

杨乐华 主编

建设项目职业病危害因素识别

湖南省劳动卫生职业病防治所 组织编写

化学工业出版社
安全科学与工程出版中心

建设项目职业病危害因素识别

职业卫生工作系列图书

劳动者职业安全卫生读本　李涛等主编

基层职业病防治指南　肖云龙主编

建设项目职业病危害因素识别　杨乐华主编

建设项目职业病危害评价案例分析　杨乐华主编

化学品职业危害分类控制技术　李涛等主编

有机溶剂中毒预防指南　江朝强主编

工作场所有害因素危害特性实用手册　卢伟主编

高毒物品作业职业病危害防护实用指南　李涛等主编

职业危害与职业健康安全管理（职业危害与防护技术丛书）　陈卫红等编著

粉尘的危害与控制（职业危害与防护技术丛书）　陈卫红等编著

化学毒物危害与控制（职业危害与防护技术丛书）　周志俊等编著

物理因素危害与控制（职业危害与防护技术丛书）　彭开良等主编

生物因素危害与控制（职业危害与防护技术丛书）　何纳主编

ISBN 7-5025-8185-5

9 787502 581855 >

销售分类建议：安全

ISBN 7-5025-8185-5　定价：59.00元

湖南省劳动卫生职业病防治所　组织编写

杨乐华　主编

建设项目职业病危害因素识别

化学工业出版社
安全科学与工程出版中心
·北　京·

图书在版编目（CIP）数据

建设项目职业病危害因素识别/杨乐华主编. —北京：化学工业出版社，2006.2
ISBN 7-5025-8185-5

Ⅰ.建… Ⅱ.杨… Ⅲ.工业生产-职业病-研究
Ⅳ.R135

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 004061 号

建设项目职业病危害因素识别
湖南省劳动卫生职业病防治所 组织编写
杨乐华 主编
责任编辑：杜进祥 郭乃铎
文字编辑：何 芳
责任校对：蒋 宇
封面设计：尹琳琳

*

化学工业出版社
安全科学与工程出版中心 出版发行
（北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029）
购书咨询：(010)64982530
(010)64918013
购书传真：(010)64982630
http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订
开本 720mm×1000mm 1/16 印张 27¾ 字数 536 千字
2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-8185-5
定 价：59.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

《建设项目职业病危害因素识别》
编写人员名单

主　　编　杨乐华

副 主 编　何　滔　　张贻瑞　　肖云龙

编写人员（按姓氏笔画排列）

刘　敏　　刘建军　　李　祈　　李国宏

杨乐华　　苏长征　　肖云龙　　何　滔

宋交才　　张贻瑞　　段玉娟　　聂云峰

彭言群　　廖雍玲

前　言

职业病危害已成为影响我国劳动者健康和劳动力素质的主要卫生问题。《中华人民共和国职业病防治法》的颁布实施，充分体现党和国家对职业病防治的决心和信心。标志着我国职业病防治工作步入了法制化管理的新时代，加快了我国职业卫生与国际接轨的步伐。

在科学技术高度发达的当代，工业生产中的新技术、新项目、新工艺、新产品层出不穷，人们在生产活动中接触的有害物质越来越多。据最新报道，全世界新化学品每年以2万种的速度猛增。面对高速发展、日新月异的工业世界，职业卫生工作者面临的第一个问题就是对工作场所职业病危害因素的识别和认识。只有通过有害因素的识别，才能进一步对有害因素进行认识，也才能加强对有害因素的预防和控制。所以，对职业卫生工作者来说，无论是从事建设项目职业病危害预评价和控制效果评价，还是从事工作场所职业病危害因素定期评价等工作都离不开职业病危害因素识别。“识别”是一个永恒的主题，是职业病危害评价中的“灵魂”，是实施建设项目职业病危害评价工作的前提。这就是编写本书的目的。

为了提高职业卫生工作者对职业病危害因素的识别能力，本书在编写过程中始终贯彻“识别”这样一个主题，如对有害因素的定性识别到定量识别、职业病危害控制效果的识别。在写作方式上，以生产工艺过程识别为基础，通过工程分析，实现对建设项目中存在或可能产生的危害因素的系统全面识别。

职业病危害因素识别是职业卫生学中的一个基本内容。《建设项目职业病危害因素识别》一书的面世，实际上是在职业卫生新理念下的一次新的尝试和实践。在撰写中，本书在收集了本专业领域最新动态的基础上，还借鉴了国内外建设项目安全评价和环境影响评价等学科中的一些原理、观点和方法。比较系统地阐述了职业病危害因素识别的原理、原则、方法和程序；通过实例，介绍了噪声叠加法、有毒气体半球扩散模型法、实测法等几种新方法在定量识别中的应用；着重提出了密闭空间、设备运行异常与维修、项目建设期间等特殊工作环境中职业病危害因素识别方法等。

参加本书编写的作者有杨乐华、何滔、张贻瑞、肖云龙、李祈、廖雍玲、刘敏、李国宏、聂云峰、段玉娟、刘建军、宋交才、彭言群和苏长征，全书由杨乐华和何滔审定。

本书文字简洁易懂，科学性、实用性和可操作性强，是从事建设项目职业病危害评价工作者、职业病防治管理、职业卫生监测、职业性体检和职业病临床、急性职业中毒事故救助、厂矿职业卫生工作人员以及大专院校相关专业师生的实用参考书。

由于作者受实践经验和知识水平的限制，书中难免有疏漏和错误，欢迎读者批评指正。

杨乐华

2005 年 10 月

目　录

第一章　绪论 …… 1

第一节　职业病危害因素识别的作用 …… 1
一、建设项目职业病危害评价 …… 1
二、职业流行病学调查 …… 2
三、工作场所职业病危害因素监测与评价 …… 2
四、健康监护工作 …… 3
五、职业病诊断 …… 3
六、职业卫生监督 …… 3
第二节　职业病危害因素识别原理与原则 …… 3
一、职业病危害因素识别原理 …… 3
二、职业病危害因素识别原则 …… 5
第三节　职业病危害因素识别程序与方法 …… 5
一、职业病危害因素识别程序 …… 5
二、职业病危害因素识别方法 …… 8
第四节　特殊环境职业病危害因素识别 …… 10
一、密闭空间职业病危害因素识别 …… 11
二、异常运转情况下职业病危害因素识别 …… 12
三、维修时职业病危害因素识别 …… 12
四、项目建设期职业病危害因素识别 …… 13
第五节　职业病危害因素识别分类提示 …… 13
一、职业病危害分类方法 …… 13
二、常见职业病危害识别分类提示 …… 14
第六节　职业接触限值标准的应用 …… 24
一、职业接触限值的定义 …… 24
二、职业接触限值的作用 …… 24
三、国外职业接触限值标准应用状况 …… 25
四、我国职业接触限值制定依据 …… 27
五、我国职业接触限值制定原则 …… 27

六、我国职业接触限值标准的应用 …… 28
七、应用职业接触限值标准注意事项 …… 32
第七节　职业病危害控制措施与效果识别 …… 32
一、控制职业病危害的途径与措施 …… 32
二、生产性粉尘的控制措施 …… 34
三、生产性毒物的控制措施 …… 37
四、噪声危害控制措施 …… 38
五、高温危害控制措施 …… 40
六、个体防护用品简介 …… 41
七、防护措施效果识别与评价 …… 42
第八节　职业病危害因素识别示例 …… 43
一、类比法在某扩建项目职业病危害因素识别中的应用 …… 43
二、工程分析法在新建焚烧炉危害因素识别中的应用 …… 44
三、实测法在有机气体组分识别中的应用 …… 45
四、理论推算法在扩建项目噪声危害识别中的应用 …… 46
五、理论推算法在有毒气体泄漏事故危害识别中的应用 …… 47

第二章　燃煤火力发电机组 …… 49

第一节　煤粉炉发电机组 …… 49
一、工艺简介 …… 49
二、职业病危害因素综合识别 …… 58
三、主要防护措施及效果分析 …… 65
第二节　燃煤循环流化床锅炉发电机组 …… 70
一、工艺简介 …… 70
二、职业病危害因素综合识别 …… 71
第三节　空冷式燃煤发电机组 …… 72

第三章　燃气（燃油）发电机组 …… 74

第一节　概述 …… 74
一、燃气轮机发电特点 …… 74
二、燃气的种类 …… 75
第二节　燃气轮机用于发电的主要形式 …… 77
一、简单循环发电机组 …… 77
二、前置循环热电联产发电机组 …… 77
三、联合循环发电或热电联产机组 …… 77
四、整体化循环机组 …… 78

五、核燃联合循环机组 …… 78
六、燃机辅助循环机组 …… 78
七、燃气烟气联合循环机组 …… 78
八、燃气热泵联合循环机组 …… 78
九、燃料电池-燃气轮机联合循环机组 …… 78
第三节 燃气轮机发电机组工艺简介 …… 79
一、燃气压缩系统 …… 79
二、燃气轮机系统 …… 80
三、发电与输变电系统 …… 80
四、余热锅炉系统 …… 80
五、蒸汽轮机系统 …… 81
六、给排水及化学水处理系统 …… 81
七、维修系统 …… 82
第四节 职业病危害因素综合识别 …… 82
一、粉尘类 …… 82
二、物理性有害因素 …… 82
三、电离辐射 …… 83
四、化学毒物类 …… 83
五、劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素 …… 84
第五节 职业病危害因素归类与防护效果识别 …… 84
第六节 燃重油发电机组 …… 85
第七节 燃奥里油发电机组 …… 86
一、工艺简介 …… 86
二、职业病危害因素识别 …… 87

第四章 造纸工业 …… 89

第一节 工艺简介 …… 89
一、备料 …… 89
二、制浆 …… 90
三、造纸 …… 92
四、废纸造浆 …… 94
五、黑液回收 …… 95
六、红液回收 …… 95
七、中段污水厌氧处理 …… 95
第二节 职业病危害因素综合识别 …… 97
一、粉尘类 …… 97

二、物理性有害因素 …… 97
三、电离辐射 …… 98
四、化学毒物类 …… 98
五、生物因素 …… 99
六、劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素 …… 99
第三节 主要防护措施及效果分析 …… 99
一、防毒措施 …… 99
二、防噪声措施 …… 100
第五章 耐火材料与铁合金制造 …… 102
第一节 概述 …… 102
第二节 耐火材料的加工制造 …… 103
一、常用耐火材料的化学特性 …… 103
二、工艺简介 …… 104
三、职业病危害因素综合识别 …… 106
四、职业病危害防护措施 …… 107
第三节 硅铁合金冶炼 …… 107
一、工艺简介 …… 108
二、职业病危害因素识别 …… 108
第四节 锰铁合金冶炼 …… 108
一、高炉锰铁 …… 109
二、电炉高碳锰铁 …… 109
三、富锰渣 …… 110
四、锰硅合金 …… 112
五、中低碳锰铁 …… 112
六、金属锰 …… 112
第五节 铬铁合金冶炼 …… 113
一、中低碳铬铁 …… 113
二、微碳铬铁 …… 114
三、真空法微碳铬铁 …… 114
四、金属铬 …… 114
五、硅铬合金 …… 115
第六节 铁合金生产职业病危害因素综合识别 …… 115
第六章 焦化工业 …… 117
第一节 概述 …… 117

第二节　备煤系统…… 118
一、工艺简介…… 118
二、职业病危害因素识别…… 118
第三节　焦炉…… 118
一、工艺简介…… 118
二、职业病危害因素识别…… 119
第四节　煤气净化与化工产品精制…… 120
一、工艺简介…… 120
二、职业病危害因素识别…… 126
第五节　职业病危害因素综合识别…… 126
一、煤化学成分…… 126
二、主要职业病危害因素识别…… 126
三、焦炉与癌…… 127
第六节　职业病危害防护措施分析…… 129

第七章　铁矿石烧结与高炉炼铁 …… 131

第一节　概述…… 131
第二节　烧结原料的化学组分…… 132
一、铁矿石…… 132
二、熔剂…… 133
三、黏结剂…… 134
第三节　铁矿石烧结…… 134
一、工艺简介…… 134
二、职业病危害因素识别…… 136
三、职业病危害防护措施分析…… 137
第四节　铁矿石的氧化球团加工…… 138
一、工艺简介…… 138
二、职业病危害因素识别…… 140
三、职业病危害防护措施分析…… 141
第五节　高炉炼铁…… 141
一、高炉炼铁工艺简介…… 141
二、职业病危害因素综合识别…… 144
三、主要防护措施及效果识别…… 145

第八章　炼钢与轧钢 …… 149

第一节　概述…… 149

第二节　转炉炼钢…… 150
一、工艺简介…… 150
二、职业病危害因素综合识别…… 157
三、防护措施…… 158
第三节　电弧炉炼钢…… 159
一、工艺简介…… 159
二、职业病危害因素综合识别…… 164
三、主要防护措施及效果识别…… 166
第四节　棒材轧制…… 168
一、工艺简介…… 168
二、职业病危害因素识别…… 169
三、主要防护措施及效果识别…… 170
第五节　型材轧制…… 171
一、工艺简介…… 171
二、职业病危害因素综合识别…… 172
三、主要防护措施及效果识别…… 172
第六节　线材轧制…… 172
一、工艺简介…… 172
二、职业病危害因素综合识别…… 173
三、主要防护措施及效果识别…… 174
第七节　无缝管材轧制…… 174
一、工艺简介…… 174
二、职业病危害因素综合识别…… 175
三、主要防护措施及效果识别…… 176

第九章　有色金属冶炼 …… 177

第一节　锌的冶炼…… 177
一、工艺简介…… 177
二、职业病危害因素综合识别…… 180
三、职业病危害控制措施…… 181
第二节　铅的冶炼…… 182
一、烧结焙烧…… 183
二、铅的鼓风炉熔炼…… 184
三、粗铅火法精炼…… 185
四、铅的电解精炼…… 186
五、职业病危害因素综合识别…… 187

六、职业病危害控制措施…… 189
第三节　铝的冶炼…… 189
一、工艺简介…… 190
二、职业病危害因素综合识别…… 193
三、职业病危害控制措施…… 194
第四节　铜的冶炼…… 195
一、工艺流程…… 195
二、职业病危害因素综合识别…… 202
第五节　锡的冶炼…… 203
一、工艺流程…… 203
二、职业病危害因素识别…… 204
三、职业病危害控制措施…… 205
第六节　锑的冶炼…… 206
一、工艺流程…… 206
二、职业病危害因素的综合识别…… 209
三、职业病危害防护措施…… 211
第七节　镉的提炼…… 211
一、工艺流程…… 212
二、职业病危害因素综合识别…… 216
三、职业病危害控制措施…… 217
第八节　铟的提炼…… 217
一、工艺流程…… 218
二、职业病危害因素综合识别…… 219
三、职业病危害防护措施…… 220
第九节　汞的冶炼…… 220
一、工艺流程…… 220
二、主要职业病危害因素识别…… 222
三、职业病危害防护措施…… 223
第十节　钒的冶炼…… 223
一、工艺流程…… 223
二、职业病危害因素识别…… 226
三、职业病危害防护措施…… 227
第十一节　金的冶炼…… 227
一、工艺流程…… 228
二、主要职业病危害因素综合识别…… 237
三、职业病危害防护措施…… 238

第十章　石油炼制 …… 240

第一节　概述 …… 240
第二节　原油的分类与化学组成 …… 242
一、原油的分类 …… 242
二、原油的元素组成 …… 243
三、石油的化学组成 …… 243
四、我国主要原油的性质及类型 …… 245
第三节　石油炼制工艺选择 …… 245
一、原油加工基本程序 …… 245
二、几种类型原油加工工艺的选择 …… 246
第四节　原油蒸馏 …… 247
一、原油脱盐脱水 …… 247
二、原油蒸馏 …… 247
第五节　减黏裂化 …… 249
一、工艺简介 …… 249
二、职业病危害因素识别 …… 250
第六节　延迟焦化 …… 250
一、工艺简介 …… 250
二、装置组成 …… 251
三、职业病危害因素识别 …… 251
第七节　催化裂化 …… 251
一、工艺简介 …… 252
二、装置组成 …… 252
三、职业病危害因素识别 …… 252
第八节　催化重整 …… 253
一、化学反应原理 …… 253
二、工艺流程 …… 253
三、职业病危害因素识别 …… 254
第九节　加氢裂化 …… 255
一、化学反应原理 …… 255
二、工艺流程 …… 255
三、职业病危害因素识别 …… 257
第十节　催化原料加氢 …… 257
一、工艺流程 …… 258
二、职业病危害因素识别 …… 258

第十一节　加氢精制…… 258
一、化学反应原理…… 259
二、工艺流程…… 259
三、职业病危害因素识别…… 260
第十二节　硫黄回收与尾气处理…… 260
一、生产工艺…… 261
二、职业病危害因素识别…… 263
第十三节　酸性气制硫酸…… 263
一、生产工艺…… 263
二、职业病危害因素识别…… 264
第十四节　润滑油生产…… 265
一、渣油丙烷脱沥青…… 265
二、润滑油的溶剂精制…… 267
三、润滑油脱蜡…… 267
四、白土补充精制…… 269
第十五节　石油蜡生产…… 270
一、甲基乙基酮-甲苯脱蜡脱油联合工艺 …… 270
二、喷雾蜡脱油工艺…… 271
三、无溶剂制蜡工艺…… 272
第十六节　石油沥青生产…… 272
一、沥青的化学组成…… 272
二、主要生产方法…… 273
第十七节　甲基叔丁基醚生产…… 275
一、工艺流程…… 275
二、职业病危害因素识别…… 277
第十八节　油品的管道运输…… 277
一、原油管道输送…… 277
二、成品油管道输送…… 278
第十九节　职业病危害因素综合识别…… 279
一、石油产品理化性质…… 279
二、主要职业病危害因素综合识别…… 279
第二十节　职业病危害防护措施分析…… 282

第十一章　酸碱化肥工业 …… 285

第一节　硫酸…… 285
一、从硫铁矿制二氧化硫炉气…… 286

二、炉气的精制…… 287
三、二氧化硫的转化…… 288
四、三氧化硫的吸收…… 289
第二节　纯碱与烧碱…… 289
一、纯碱工业…… 289
二、烧碱…… 292
第三节　合成氨…… 294
一、工程分析…… 294
二、职业病危害因素综合识别…… 299
三、职业病危害防护措施…… 300
第四节　化学肥料…… 300
一、氮肥…… 300
二、磷肥…… 302
三、钾肥…… 306
四、职业病危害控制措施要点…… 307
第十二章　胶黏剂制造与应用 …… 308
第一节　行业概况与职业病危害特点…… 308
一、行业分布…… 308
二、产品分类…… 308
三、发展趋势…… 309
四、职业病危害特点…… 310
五、职业病危害识别注意事项…… 310
第二节　工艺简介…… 310
一、胶黏剂的生产…… 310
二、胶黏剂的应用工艺…… 313
第三节　几种常用胶黏剂职业病危害因素识别…… 316
一、聚乙烯醇缩甲醛胶…… 316
二、脲醛系列胶…… 317
三、聚醋酸乙烯胶黏剂…… 317
四、环氧树脂胶黏剂…… 318
五、酚醛树脂胶黏剂…… 320
六、橡胶类胶黏剂…… 322
七、聚氨酯胶黏剂…… 324
八、溶液型胶黏剂…… 324
第四节　职业病危害防护措施分析…… 326

第十三章　机械制造 …… 327

第一节　铸造 …… 327
一、铸造用砂的种类 …… 327
二、工艺简介与职业病危害因素识别 …… 328
第二节　锻压 …… 332
一、锻压的分类 …… 332
二、生产工艺 …… 332
三、锻压常用设备 …… 332
四、职业病危害因素识别 …… 333
第三节　热处理 …… 333
一、工艺简介 …… 334
二、职业病危害因素识别 …… 334
第四节　机械加工 …… 335
一、一般机械加工 …… 335
二、特种机械加工 …… 336
第五节　机械装配 …… 337
一、工艺简介 …… 337
二、职业病危害因素识别 …… 338
第六节　职业病危害防护措施分析 …… 338

第十四章　焊接工艺 …… 340

第一节　手工电弧焊 …… 340
一、工艺简介 …… 340
二、职业病危害因素识别 …… 341
第二节　氩弧焊 …… 345
一、工艺简介 …… 345
二、职业病危害因素识别 …… 345
第三节　等离子焊 …… 347
一、工艺简介 …… 347
二、职业病危害因素识别 …… 347
第四节　电子束焊 …… 349
一、工艺简介 …… 349
二、职业病危害因素识别 …… 350
第五节　其他焊接 …… 350
一、二氧化碳气体保护焊 …… 350

二、电阻焊…… 351
三、激光焊…… 351
第十五章　表面处理 …… 353
第一节　概述…… 353
一、表面处理技术分类…… 353
二、表面处理技术的工业应用…… 354
第二节　电镀…… 355
一、电镀原理…… 355
二、镀前工件表面处理…… 355
三、镀锌…… 358
四、镀铜…… 360
五、镀镍…… 361
六、镀铬…… 361
七、镀铜锡合金…… 362
八、镀铜锌合金…… 363
九、镀银…… 364
十、镀金合金…… 364
十一、几种典型的防护装饰性电镀…… 365
第三节　化学镀…… 366
一、化学镀原理与应用…… 366
二、化学镀镍…… 366
三、化学镀铜…… 367
第四节　热浸镀…… 367
一、熔剂法…… 368
二、保护气体还原法…… 369
第五节　热喷涂…… 369
一、热喷涂方法分类与应用…… 369
二、几种常用热喷涂工艺…… 370
第六节　涂料与涂装…… 371
一、涂料的组分…… 372
二、工件涂装前表面预处理…… 373
三、涂装工艺…… 375
第七节　职业病危害控制措施分析…… 376
第十六章　核电机组 …… 378
第一节　概述…… 378

第二节　核电站工艺简介…… 379
一、核电站的原理…… 379
二、核电站的分类与命名…… 379
三、压水堆（PWR）核电站工程分析 …… 380
四、核电厂的厂房布局…… 380
五、核岛（NI） …… 381
六、常规岛（CI）及配套设施（BOP） …… 383
第三节　核电站运行状态与职业病危害特点…… 383
第四节　核电生产过程中职业病危害因素综合识别…… 384
一、辐射危害因素…… 384
二、其他物理化学职业病危害因素…… 386
三、劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素…… 386
四、主要防护措施及效果识别…… 386
附录一　建设项目职业病危害因素识别与评价常用法律法规标准名录 …… 388
附录二　常见毒物职业接触限值与职业病危害临床表现一览表 …… 392
参考文献 …… 424

第一章　绪　论

《中华人民共和国职业病防治法》规定：可能产生职业病危害的建设项目应进行职业病危害评价，用人单位应定期对工作场所进行职业病危害因素检测与评价。从事职业病危害因素检测与评价，其首要环节就是要进行职业病危害因素识别。

工作场所中存在或产生的各种化学的、物理的、生物的有害因素，以及生产过程中存在的其他有害因素统称为职业病危害因素。在一定条件下，这些因素可对劳动者的身体健康产生不良影响，轻者可能轻微影响健康，重者可能罹患职业病，甚至导致伤残或死亡。

在职业卫生工作中，通过工程分析、类比调查、工作场所监测、职业流行病学调查以及实验研究等方法，把建设项目或工作场所中职业病危害因素甄别出来的过程叫职业病危害因素识别。其目的在于辨识职业病危害因素的种类、来源、存在形式、存在浓度（强度）、危害程度等，为职业病危害监测与评价、劳动者健康监护以及研究应采取的职业卫生防护控制措施等提供重要依据。

同时，职业病危害因素识别能力也是考核职业卫生工作者综合技术素质的重要指标，是职业卫生工作者必须具备的基本功。

第一节　职业病危害因素识别的作用

职业病危害因素识别在职业卫生工作中的地位和作用主要体现在以下几个方面。

一、建设项目职业病危害评价

《中华人民共和国职业病防治法》第十五条规定：新建、扩建、改建建设项目和技术改造、技术引进项目可能产生职业病危害的，建设单位在可行性论证阶段应当向卫生行政部门提交职业病危害预评价报告。未提交预评价报告或者预评价报告未经卫生行政部门审核同意的，有关部门不得批准该建设项目。第十六条又规定：建设项目在竣工验收前，建设单位应当进行职业病危害控制效果评价。建设项目竣工验收时，其职业病防护设施经卫生行政部门验收合格后，方可投入

正式生产和使用。

依法开展建设项目职业病危害评价属于预防医学的一级预防范畴。把职业病危害控制的重点落实到项目的建设中，从根本上消除或最大可能地控制、减少职业病危害因素的产生，保护劳动者的身体健康，这是我国职业卫生工作模式的重大战略转变。

众所周知，人类生存与发展离不开劳动。然而，不良的劳动条件不仅可能影响和危及劳动者的健康，而且可能导致职业病的发生。职业病是人为造成的疾病，且大多数是进行性和不可逆转的。开展建设项目职业病危害评价工作就是要从源头上控制职业病危害。

开展建设项目职业病危害评价，首要任务之一就是通过文献检索、职业卫生学调查、类比调查和工程分析等手段，识别建设项目竣工投产后可能存在的职业病危害因素。如果对危害因素的识别不够准确，轻则可使评价报告的完整性和有效性受到局限，重则可造成评价报告结论的严重失误。只有对建设项目工作场所中存在的或可能存在的职业病危害因素种类与分布情况，及其对劳动者健康影响的方式、途径、程度等有了全面、准确、客观的辨识，才能对建设项目职业病危害作出科学的评价。

由此可见，“识别”是一个永恒的主题，是建设项目职业病危害评价中的“灵魂”，是实施建设项目职业病危害评价工作的前提。

二、职业流行病学调查

职业流行病学调查是以职业人群为研究对象，采用流行病学的理论和方法，调查研究职业病危害因素及其对健康的影响在人群、时间及空间的分布；分析职业接触强度与职业性损害的剂量-反应（效应）关系；评价职业病危害因素的危险度及预防措施的效果等，以找出职业性损害发生、发展的规律，为制订和修订卫生标准、改善劳动条件和预防职业病的发生提供依据。

职业流行病学调查的核心是通过由因（危害因素）查果（病人）和以果（病人）找因（危害因素）的研究，探索病因。前者是借助剂量-反应（效应）关系对有害因素的“定量”识别；后者是根据统计推断原理对未知危害因素的“定性”识别。

三、工作场所职业病危害因素监测与评价

严格地说，工作场所职业病危害因素监测是工业企业职业病危害因素识别工作中的一个重要组成部分。

《中华人民共和国职业病防治法》第二十四条规定：用人单位应当按照国务院卫生行政部门的规定，定期对工作场所进行职业病危害因素检测、评价。职业病危害因素监测通常可分为系统监测、抽样监测、定期定点监测和个体接触水平监测等几类。鉴于工作场所中职业病危害因素种类繁多，且在同一工作场所中可同时存在多种有害因素，工作场所中职业病危害因素的强度及其在时间、空间的

分布会随着生产工艺过程、劳动过程和外界环境条件的变化而变化。因此，不论进行何类监测，在现场监测工作之前都必须通过文献检索、工艺流程分析和职业卫生学调查等手段对工作场所中可能存在的职业病危害因素作出“定性”的识别，确定监测项目和拟定监测方案。显然，项目监测的过程就是对监测对象进行职业病危害因素“定量”识别的过程。

四、健康监护工作

健康监护是指通过各种检查与分析，评价职业病危害因素对接触者健康的影响及其程度，掌握作业人员健康状况，及时发现健康损害征象，以便采取相应的控制措施，防止有害因素所致疾患的发生和发展。开展职业健康监护工作，对劳动者工作场所职业病危害因素识别是前提，通常需针对劳动者接触职业病危害因素的种类来决定检查项目。

健康监护工作属于二级预防范畴。结合作业环境中职业病危害因素和职业流行病学分析，研究职业病危害因素所致疾患在人群中发生、发展的规律以及接触-反应（效应）关系，评价职业卫生防护措施的效果。因此，健康监护结果又是判断与验证职业病危害因素识别的重要指标。

五、职业病诊断

从事职业病诊断工作的先决条件是识别职业病危害因素。职业病诊断过程中除了要有典型的临床症状、体征和实验室结果支持外，还必须有职业接触史的支持。对患者职业接触史的判定过程，就是对患者职业活动中的职业病危害因素进行定性和定量识别的过程。

六、职业卫生监督

职业卫生监督是国家行政监督的一部分，是保证职业卫生法规贯彻实施的重要手段。在实际工作中，虽然监督是一种带有强制性的管理工作，仍应注意在监督的同时给予技术指导。

不论是监督检查工作场所职业病危害因素存在的状况，还是督促与指导用人单位做好职业卫生防护，首要问题就是要对工作场所的职业病危害因素进行正确识别，只有对工作场所职业病危害因素进行定性识别和定量分析后，才可依法作出正确的监督结论。

第二节 职业病危害因素识别原理与原则

一、职业病危害因素识别原理

尽管职业病危害因素识别在职业卫生领域中的应用广泛，方法与手段众多，识别对象千变万化，且往往不同属性的识别对象要用不同的识别方法，但究其识别的思维方式和理论基础而言仍是基本一致的。在实际工作中，将职业病危害因

素识别的思维方式与依据的理论统称为职业病危害因素识别原理。常用的职业病危害因素识别原理有从因到果原理、类推原理和从量变到质变原理等。

1. 从因到果原理

万事万物有因才有果，这是事物发展变化的自然规律。生产工艺过程中物质的物理化学变化、能量的转换以及物料的泄漏等是职业病危害因素产生的直接原因；工作场所异常气象条件、通风不良、劳动组织与管理失误等则是职业病危害因素浓度或强度增高的间接原因。职业病危害因素产生并达到致病的浓度（或强度）往往不是单一因素造成的，而是由多个因素耦合在一起导致的。当缺少其中的必要因素时，职业病危害因素致病作用就会很大程度减弱或者消失。这就是因果关系的识别。

在职业病危害因素识别过程中，借鉴科技文献、相同项目数据、典型事故案例等资料，找出职业病危害因素的产生来源及其因果关系，即可科学地推断、识别职业病危害因素对劳动者的影响，实现从定性识别到定量识别的转化。

2. 类推原理

类推也称类比，是人们经常应用的一种逻辑思维方法。它是根据两个或两个以上对象之间存在的某些相同或相似的属性，从一个已知对象具有某类属性来推出另一个对象具有同类属性的推理过程。

类推方法可分为定量类推和定性类推两大类。常用的类推方法有代替推算法、因素推算法、平衡推算法、抽样推算法、比例推算法和概率推算法等。在建设项目职业病危害评价工作中，最常用到的是以同类或类似装置的职业卫生检测数据进行项目类比评价的方法。也就是典型的代替推算法。

类比推理的结论是或然性的，在应用时要注意判断结论的可靠性，其方法有：

① 要尽量多地列举两个或两类对象所共有或共缺的属性；

② 两个类比对象共有或共缺的属性愈本质，则推出的结论愈可靠；

③ 两个类比对象共有或共缺的事项与类推的属性之间具有本质和必然的联系，则推出的结论可靠性较高。

3. 从量变到质变原理

许多事物在发展变化过程中都存在从量变到质变的规律。职业病危害因素对人体的危害作用同样存在着典型的从量变到质变的过程，如氨气对人体的毒性作用随浓度增高逐渐增大：

① 当氨气浓度在 9.8mg/m^{3}以下时，对人体无刺激作用；

② 当氨气浓度在 140mg/m^{3}时，人体感觉眼和呼吸道刺激反应；

③ 当氨气浓度在 7000mg/m^{3}以上时，人体吸入可立即致死。

在工作场所职业病危害因素定量识别时，要有从量变到质变的思维方式。

从某种意义上来讲，有害物存在与否并不十分重要，关键是存在的量。因此在评价工作中，人们常常更多地关注工作场所有害物浓度（强度）是否超标以及

超标倍数等。

二、职业病危害因素识别原则

职业病危害因素识别是建设项目职业病危害评价工作的基础。在工作中应遵循全面识别、主次分明、定性与定量相结合的原则。

1. 全面识别原则

一般来讲，某种工作场所所包含的职业病危害因素是比较单纯的。而对于一个建设项目，特别是工艺复杂的建设项目，其整个生产过程中所包含的职业病危害因素是错综复杂的。为避免受工作人员知识结构缺陷，或工作疏忽导致项目的职业病危害因素识别不全，甚至发生重大的遗漏，在进行职业病危害因素识别时，要求工作人员既要有娴熟的专业基础知识，包括职业卫生、卫生工程、卫生检验等，同时还要有丰富的现场工作经验和工业技术常识。在识别过程中，首先应遵守全面识别的原则，从建设项目工程内容、工艺流程、流料流程、维修检修等多方面入手，逐一识别，分类列出，然后对因素的危害程度作出进一步的识别。不仅要识别正常生产、操作过程中可能产生的职业病危害因素，还应分析开车、停车、检修及事故等情况下可能产生的偶发性职业病危害因素。

2. 主次分明原则

全面识别职业病危害因素的目的是为了避免遗漏。而筛选主要职业病危害因素则是为了去粗取精，抓住重点。在工作中，对建设项目可能存在的职业病危害因素种类、危害程度以及可能产生的后果等进行综合分析，也是为了筛选重点，抓住起主导作用的危害因素。此外，每一种危害因素因其自身的理化特性、毒性、生产环境中存在的浓度（强度）及接触机会等的不同，对作业人员的危害程度相差甚远。因此，在识别过程中应做到主次分明，避免面面俱到，分散精力。

3. 定性与定量相结合原则

在对职业病危害因素全面定性识别后，通常还需对主要职业病危害因素进行定量识别。通过现场采样分析，进一步判断其是否超过国家职业卫生标准规定的职业接触限值，以此作为评价工作场所或建设项目职业病危害控制效果的客观指标。

第三节 职业病危害因素识别程序与方法

一、职业病危害因素识别程序

职业病危害因素识别因目的不同而有不同的工作程序。在建设项目职业病危害控制效果评价和职业病危害因素定期监测时，职业病危害因素识别工作的重点是现场调查。而在建设项目职业病危害预评价时，重点则是根据项目的设计资料（可行性研究报告、初步设计等）提供的工程设想，进行资料调研和类比调查

工作。

（一）建设项目职业病危害控制效果评价

建设项目职业病危害控制效果评价中的职业病危害因素识别主要包括收集资料、现场调查、工程分析、危害筛选等过程。

1. 收集资料

主要收集以下几个方面的资料：

① 建设项目概况；

② 生产过程使用的原料、辅料、中间产物、产品及副产品情况；

③ 生产工艺情况；

④ 生产设备情况；

⑤ 所用化学品的理化特性与毒性指标；

⑥ 建设项目职业病危害预评价报告；

⑦ 建设项目安全评价报告；

⑧ 建设项目环境影响评价报告。

2. 现场调查

重点关注以下几方面的问题：

① 原料、辅料等加料口位置及其密封情况；

② 毒性大、常温下挥发性强、易发生急性职业中毒岗位（物品）的管理；

③ 防尘、防毒、防噪声等卫生防护设施和管理措施运行情况；

④ 维修或抢修等特殊过程中职业病危害情况；

⑤ 职业病危害因素影响范围与作业人员接触的关系；

⑥ 应急救援预案落实与演练情况。

3. 工程分析

工程分析主要包括以下内容：

① 建设项目总平面布置；

② 生产过程使用的原辅材料、中间产物、产品、副产品名称与用量或产量，有害杂质含量等；

③ 主要生产工艺、生产设备及其布局，以及职业病危害因素交叉污染情况；

④ 职业病危害防护措施落实情况。

4. 危害筛选

在深入分析、全面了解建设项目职业病危害因素后，应根据以下几个方面筛选主要职业病危害因素，作为现场采样监测、进一步定量识别的依据：

① 有害因素对人体危害性大、毒性高；

② 现场浓度（强度）较高、出现机会多；

③ 作业人员接触人数多、机会多；

④ 有国家职业接触限值标准；

⑤ 有采样检测国家标准。

对于一些通过现场调查、工程分析等还不能全面定性识别的建设项目，应采用气相色谱-质谱分析仪等先进设备进行实测，以免遗漏重要职业病危害因素。

（二）建设项目职业病危害预评价

建设项目职业病危害预评价中的职业病危害因素识别工作包括资料调研、类比调查、工程分析、主要危害因素预测等过程。

1. 资料调研

主要包括：

① 全面研读建设项目设计资料（建设项目可研报告、初步设计等）；

② 重点排查拟建项目生产过程使用的原辅材料、中间产物、产品及副产品情况；

③ 主要生产设备及工艺选择情况；

④ 拟用化学品的理化特性与毒性指标。

2. 类比调查

为正确识别拟建项目职业病危害因素，可选择与拟建项目或评价单元相同的生产装置进行类比调查。通过类比对象现场调查，了解拟建项目可能存在的职业病危害因素及其强度。重点关注以下几方面的问题：

① 类比对象与拟建项目在原料、工艺、设备、防护等方面存在的异同点；

② 生产过程使用的原辅材料、中间产物、产品、副产品名称及其用量或产量，有害杂质含量；

③ 职业病危害因素影响范围与作业人员接触的情况；

④ 维修或抢修等特殊过程中职业病危害情况；

⑤ 应急救援预案，主要生产设备及职业卫生防护情况；

⑥ 类比对象建设项目职业病危害预评价报告与控制效果评价报告；

⑦ 类比对象建设项目安全评价报告；

⑧ 类比对象建设项目环境影响评价报告；

⑨ 类比对象历年劳动者健康监护结果，以及劳动者对现场有害因素的感受等；

⑩ 类比对象历年职业病危害因素监测情况。

在职业病危害预评价中并非每个建设项目都能找到有说服力的类比对象。因此，在实际工作中可以采取分评价单元类比的方法，以评价单元为单位分别找出类比对象。如果仍找不到类比对象，可以采取工程分析法、经验法等其他方法来识别职业病危害因素。

3. 工程分析

通过对拟建项目的工程分析，推测可能存在的职业病危害因素。在找不到类比对象或类比对象不尽相同时，往往利用工程分析来识别职业病危害因素。主要

从以下几个方面予以识别：

① 所选原辅材料及其所含有毒杂质的名称、含量；

② 生产工艺过程中产生的中间产物名称及转化情况；

③ 产品和副产品及其所含有毒杂质的名称与含量；

④ 作业岗位可能产生的职业病危害因素交叉污染情况；

⑤ 所选设备运行时可能产生的职业病危害情况。

4. 主要危害因素预测

在深入分析、全面了解建设项目可能存在的职业病危害因素种类后，应根据以下几个方面筛选主要职业病危害因素，作为危害预测、进一步定量识别的依据：

① 可能存在的有害因素对人体危害性大、毒性高；

② 现场浓度（强度）可能较高、出现机会多；

③ 预计劳动者接触机会多；

④ 国家职业接触限值标准和采样检测国家标准。

（三）工作场所职业病危害因素的定期监测与评价

工作场所职业病危害因素的定期监测与评价是工业企业的一项常规职业卫生工作。开展工作的首要问题就是对监测或评价对象的职业病危害因素识别。其工作程序主要包括收集资料、现场调查、工程分析、危害筛选等过程。具体内容可参见建设项目职业病危害控制效果评价工作中的职业病危害因素识别。但对下列问题应给予关注：

① 认真查阅评价对象以往所做的职业病危害控制效果评价或定期评价资料，从中获得职业病危害因素识别的一手资料；

② 重点关注生产工艺、原辅材料、产品产量、卫生防护设施是否有改变，并分析其改变对评价对象职业病危害因素可能导致的影响；

③ 查阅工作人员健康监护资料，询问劳动者接触职业病危害因素后的自我感觉，从中发现可能遗漏的职业病危害因素新线索。

二、职业病危害因素识别方法

职业病危害因素识别的方法很多，常用的有类比法、资料复用法、经验法、检查表法、工程分析法和实测法等。事实上不同的方法有不同的优缺点，不同的项目有各自的特点，应根据实际情况综合运用、扬长避短，方可取得较好的效果。

1. 类比法

类比法是利用与拟建项目类型相同的现有项目的职业病危害因素资料进行类推的识别方法。采用此法时，应重点关注识别对象与类比对象之间的相似性，如：

① 工程一般特征的相似性，包括工艺路线、生产方法、原辅材料、产品结构等；

② 职业卫生防护设施的相似性，包括有害因素产生途径、浓度（强度）与

防护措施等；

③ 环境特征的相似性，主要包括气象条件、地理条件等。

类比法是建设项目职业病危害预评价工作中最常用的识别方法。优点是通过对类比企业进行现场调查和实际检测后，可对职业病危害因素进行直观定性和定量描述。缺点是识别对象与类比对象之间因可能存在的生产规模、工艺路线、生产设备等差别，导致职业病危害因素的种类和危害程度的差异。

目前我们所遇到的评价项目多数为新技术、新材料的应用，很难在本地找到理想的类比对象。为此倡议成立全国性的建设项目职业病危害评价专业协会，利用因特网技术，建立“建设项目职业病危害评价专业网站”。实行会员制，把每个单位完成的职业病危害控制效果评价资料分类上传，建立“类比资料数据信息库”，实现资源共享。

此外在实际工作中，完全相同的类比对象是十分难找的。因此在进行类比定量识别时，应根据生产规模等工程与卫生防护特征、生产管理以及其他因素等实际情况进行必要的修正。

2. 资料复用法

资料复用法是利用已完成的同类建设项目或从文献中检索到的同类建设项目的职业病危害资料进行类比分析、定量和定性识别的方法。该法属于文献资料类比的范畴，具有简便易行等优点，但可靠性和准确性难以控制。

3. 经验法

经验法是依据其掌握的相关专业知识和实际工作经验，借助自身经验和判断能力对工作场所可能存在的职业病危害因素进行识别的方法。该方法主要适用于一些传统行业中采用传统工艺的工作场所的识别。优点是简便易行。缺点是识别准确性受评价人员知识面、经验和资料的限制，易出现遗漏和偏差。

为弥补上述不足，可采用召开专家座谈会的方式交流意见、集思广益，使职业病危害因素识别结果更加全面、可靠。

4. 检查表法

为了系统地识别工厂、车间、工段或装置、设备以及生产环境和劳动过程中产生的职业病危害因素，事先将要检查的内容以提问方式编制成表，以便进行系统检查的方法叫检查表法。它的应用可克服其他方法不系统、不全面、重点不突出等缺点，作为一种定性识别的方法有着广泛的用途。缺点是检查表的通用性差，对于不同行业、不同工艺的项目需要编制不同内容的检查表，且编制一张完整有效的检查表技术难度较大。该法适用于对传统行业传统工艺项目的识别，并应结合经验法一同使用。

5. 工程分析法

工程分析法是对识别对象的生产工艺流程、生产设备布局、化学反应原理、所选原辅材料及其所含有毒杂质的名称、含量等进行分析，推测可能存在的职业

病危害因素。在应用新技术、新工艺的建设项目，找不到类比对象与类比资料时，利用工程分析法来识别职业病危害因素最有说服力。

6. 实测法

实测法是采用仪器对工作场所可能存在的职业病危害因素进行现场采样分析的方法。可用于对职业病危害因素的定量识别；也可用于对职业病危害因素的定性识别；可用于建设项目职业病危害控制效果评价和工作场所职业病危害因素的定期监测与评价；同样也可用于建设项目职业病危害预评价。

在建设项目职业病危害控制效果评价、工作场所职业病危害因素的定期监测与评价以及建设项目职业病危害预评价类比调查等工作中，通常对已知职业病危害因素进行采样测定，属定量识别范畴。而用先进仪器设备对工作场所可能存在的职业病危害因素进行定性分析，则属于定性识别范畴。如用气相色谱-质谱分析仪对工作场所空气中有害物质进行定性与定量分析，可以识别出来一些工程分析法、经验法等难以发现的有害因素。

目前一些工业化学品供货商为推销产品，常常打出环保产品、绿色产品的旗号，或出于配方保密的目的仅提供商品名和产品代号，导致使用部门对这些化学品组分并不了解，对可能产生的职业病危害认识不足。对于这类危害因素的识别，实测法就能发挥较好的优势。因此，该法对识别生产与使用含混合有机溶剂的涂料、胶黏剂等工作场所的职业病危害因素十分有效。

实测法所得结果客观真实，往往是建设项目职业病危害评价结论和卫生监督结论的重要依据。缺点是投入的人力、物力大，时间长，测定项目不全或检测结果出现偏差时易导致识别结论的错误或遗漏。

7. 理论推算法

理论推算法是一种职业病危害因素定量识别的方法。利用有害物扩散的物理化学原理或噪声、电磁场等物理因素传播与叠加原理定量推算有害物存在浓度（强度）。如利用毒物扩散数学模型可预测与毒物散发源一定距离的某工作地点的毒物浓度，可利用噪声叠加原理预测工房内增加噪声源后噪声强度的变化。

第四节 特殊环境职业病危害因素识别

本章第三节职业病危害因素识别方法仅涉及在正常生产状态下的识别。事实上有些职业病发病原因并非正常工作状况所致，特别是许多急性职业中毒事故都发生在非正常生产情况下。据调查资料揭示，我国近年来硫化氢和一氧化碳急性职业中毒事故频发，究其原因，50%以上发生在密闭空间作业。此外，还有很多急性职业中毒事故发生在生产线（装置）异常开车、停车和设备维修等情况下。因此，特殊情况下、特殊环境中职业病危害因素识别是十分重要的，务必引起高

度重视。

一、密闭空间职业病危害因素识别

密闭空间是指与外界相对隔离，进出口受限，自然通风不良，足够容纳一人进入并从事非常规、非连续作业的有限空间。

（一）密闭空间分类

1. 无需许可密闭空间

经定时监测和持续进行机械通风，能保证在密闭空间内安全作业，并不需要办理许可的密闭空间，称为无需许可密闭空间。

2. 需要许可密闭空间

可能产生职业病有害因素，或可能对进入者产生吞没危害，或内部结构易使进入者落入引起窒息或迷失，或具有其他严重职业病危害因素存在等特征的密闭空间称为需要许可密闭空间。进入这类空间之前必须办理许可证，并应有专人安全监护。

（二）密闭空间可能存在的职业病危害问题

密闭空间存在的职业病危害主要表现在缺氧窒息和急性职业中毒两方面。

1. 缺氧窒息

密闭空间在通风不良状况下，下列原因可能导致空气中氧气浓度下降：

① 可能残留的化学物质或容器壁本身的氧化反应导致空气中氧的消耗；

② 微生物的作用导致空间内氧浓度降低；

③ 氮气吹扫置换后残留比例过大；

④ 劳动者在密闭空间中从事电焊、动火等耗氧作业；

⑤ 工作人员滞留时间过长，自身耗氧导致空间内氧浓度降低。

2. 急性职业中毒

密闭空间中有毒物质可由下列原因产生：

① 盛装有毒物质的罐槽等容器未能彻底清洗、残留液体蒸发或残留气体未被吹扫置换；

② 密闭空间内残留物质发生化学反应，产生化学毒物的聚集；

③ 密闭空间内残留化学物质吸潮后产生有毒物质；

④ 密闭空间内有机质被微生物分解，产生如硫化氢、氨气等有毒物质；

⑤ 密闭空间内进行电焊等维修作业产生高浓度的氮氧化物；

⑥ 密闭空间内进行油漆作业产生大量的有机溶剂气体；

⑦ 周围相对密度较大的有毒气体向密闭空间内聚集。

（三）职业病危害识别要点

1. 重点关注密闭空间通风换气问题

应对密闭空间有效容量大小、形状、进出口大小、自然通风情况及有无机械通风情况进行深入细致地调查分析，以判断该空间通风换气的能力。通风换气充

分的密闭空间，有害物被稀释，职业病危害得以控制。

2. 全面分析有毒气体可能产生的原因

应从密闭空间建造材料、可能残留物、外来物化学性质、化学反应及微生物作用等多方面考虑，分析有毒化学物质产生和聚集的机理。如通风不良的化粪池、下水道集水井易导致硫化氢气体聚集；含砷矿渣遇水后产生砷化氢气体；容器内从事电焊维修导致氮氧化物聚集等。

3. 注意密闭空间所处周围环境

如果密闭空间所处的周围环境有产生有害气体的条件，应考虑有害气体向密闭空间聚集的可能，特别是相对密度较大的硫化氢气体较易向低洼的密闭空间沉集。

二、异常运转情况下职业病危害因素识别

1. 试生产阶段

在生产线（装置）试生产或调试期间，往往存在特殊的职业病危害问题，许多急性职业中毒事故就发生在此阶段。

试生产或调试期间职业病危害识别应充分考虑装置泄漏、仪表失灵、连锁装置异常、卫生防护设施运转不正常等异常情况可能导致的职业病危害因素问题。应做好应急救援预案和个人防护。

2. 异常开车与停车

在生产线（装置）异常开车、停车或紧急停车情况下，往往会导致生产工艺参数的波动，从而导致一些非正常生产情况下的职业病危害问题。对于这类问题应根据建设项目生产装置、工艺流程等情况具体分析。特别是连续生产的化工企业，必须配备必要的泄险容器和设备。

对异常开车、停车或紧急停车情况下的职业病危害因素识别应充分考虑装置在紧急情况下安全处置能力和防护设施的承受能力问题，根据各种假设的异常情况逐项排查，全面识别。

3. 设备事故

某些设备事故往往伴随有毒物质的异常泄漏与扩散，成为导致急性职业中毒的主要原因之一，应重点予以辨识。通过查阅建设项目的安全评价报告，找出设备事故的类型及可能导致的毒物泄漏与扩散情况，并用事故后果模拟分析法（如有毒气体半球扩散数学模型）等评估事故导致有毒物质泄漏影响的范围与现场浓度（即定量识别），为制订事故应急救援预案提供依据。

三、维修时职业病危害因素识别

随着生产装置技术进步，自动化、密闭化程度的增高，很多生产装置在正常生产工况下职业病危害能基本得到控制，但是在设备装置维修时却存在一些难以控制的职业病危害问题。如目前现代化的燃煤火力发电厂自动化程度高，生产过程中存在的有毒物质和粉尘职业病危害基本得到了控制。但在设备维修过程中，

还存在锅炉维修时矽尘、氢氟酸、亚硝酸、放射线和高温等多种较为严重的职业病危害因素。因此在建设项目职业病危害因素识别时应予重视。

四、项目建设期职业病危害因素识别

目前法规规定的建设项目职业病危害评价范围没有包括建设项目建设期间的职业病危害问题。事实上任何项目在建设期间都存在较为严重的职业病危害问题，甚至某些项目职业病危害主要集中在建设期。如水电站的建设，在勘探、建设期间存在较为严重的矽尘、水泥尘、电焊尘等职业病危害，而进入运行期后职业病危害因素则大为减少。

可见，建设项目建设期间职业病危害因素识别与防护仍然是职业卫生工作不容忽视的问题。

第五节 职业病危害因素识别分类提示

在科学技术高度发达的当代，人们在生产活动中接触有毒有害化学品的机会越来越多。据最新报道，全球登记的化学品已超过两千万种，每年还在以两万种的速度增加。可见职业病危害因素识别是职业卫生工作永恒的主题，只有充分识别建设项目存在的职业病危害因素，才能有效地给予评价与控制，避免职业病的发生。

根据卫生部《职业病危害因素分类目录》，将职业病危害因素分类方法及主要行业分布情况提示如下。

一、职业病危害分类方法

(一) 按来源分类

各种职业病危害因素按其来源可分为以下三大类。

1. 生产工艺过程中产生的有害因素

(1) 化学因素

① 有毒物质，如铅、汞、苯、氯、一氧化碳、有机磷农药等；

② 生产性粉尘，如矽尘、石棉尘、煤尘、有机粉尘等。

(2) 物理因素

① 噪声、振动；

② 非电离辐射，如可见光、紫外线、红外线、射频辐射、激光等；

③ 异常气象条件，如高温、高湿、低温；

④ 异常气压，如高气压、低气压。

(3) 放射性同位素与电离辐射

① 放射性同位素，如^{137}Cs、^{85}Kr、^{60}Co等；

② 电离辐射，如X射线、γ射线等。

（4）生物因素　如附着于皮毛上的炭疽杆菌、甘蔗渣上的真菌、医务工作者可能接触到的生物传染性病原体等。

2. 劳动过程中的有害因素

① 劳动组织和制度不合理，劳动作息制度不合理等；

② 职业性精神（心理）紧张；

③ 劳动强度过大或生产定额不当，如安排的作业与劳动者生理状况不相适应等；

④ 个别器官或系统过度紧张，如视力紧张等；

⑤ 长时间不良体位或使用不合理的工具等。

3. 生产环境中的有害因素

① 自然环境中的因素，如炎热季节的太阳辐射；

② 厂房建筑或布局不合理，如有毒工段与无毒工段安排在一个车间；

③ 由不合理生产过程所致危害。

在实际生产过程中，往往同时存在多种有害因素对劳动者的健康产生联合作用。

（二）按所致职业病种类的分类

按所致职业病的种类可将职业病危害因素分为十大类：

① 生产性粉尘；

② 放射性同位素与放射线；

③ 有毒化学物质；

④ 物理因素；

⑤ 生物因素；

⑥ 导致职业性皮肤病的危害因素；

⑦ 导致职业性眼病的危害因素；

⑧ 导致职业性耳鼻喉口腔疾病的危害因素；

⑨ 职业性肿瘤的危害因素；

⑩ 其他职业病危害因素。

二、常见职业病危害识别分类提示

（一）生产性粉尘类

生产性粉尘是指在生产过程中形成并能长时间漂浮在空气中的固体颗粒。它是污染工作环境、损害劳动者健康的重要职业性有害因素。人类长期在粉尘环境中工作，吸入肺内的粉尘可引起多种职业性肺部疾病，其中危害最大的是导致尘肺病[1]。

生产性粉尘分类方法很多。按粉尘的性质可概括为无机粉尘和有机粉尘两大

[1] 规范的称谓为肺尘埃沉着病。

类。按导致法定职业病的病因可分为矽尘、煤尘、石墨尘、炭黑尘、石棉尘、陶瓷尘、滑石尘、水泥尘、云母尘、铝尘、电焊工尘、铸工尘、其他尘。

1. 矽尘

科学研究表明，粉尘对人体的危害性主要取决于粉尘自身游离二氧化硅的含量。通常把游离二氧化硅含量超过10%的无机性粉尘称为矽尘。长期吸入矽尘所引起的职业病叫矽肺病。容易导致矽肺的行业与工种为煤炭开采业的岩巷掘进，金属矿山开矿与选矿，耐火材料、建筑材料及其他非金属矿开采破碎与研磨，工艺美术品制造业的石质工艺品雕刻，化学肥料制造业的电炉制磷，砖瓦和轻质建材制造业的砂石筛选与板材切割，玻璃及玻璃制品业的玻璃备料与喷砂，陶瓷制品业的粉碎，耐火材料制品业的材料破碎与筛分，机械工业的铸造型砂与石英砂打磨，交通水利基本建设业的隧道掘进与碎石装运等。

2. 煤尘

含煤炭为主的粉尘称为煤尘。长期吸入煤尘所引起的职业病叫煤工尘肺。其行业与工种主要集中在煤矿和用煤单位。如煤炭采选业的采煤、装载、运输、筛煤，热电厂的上煤、磨煤、司炉，炼焦、煤气及煤制品业的原煤输送、备煤、洗煤、选煤、配煤、煤块破碎，水泥制造业的煤粉制备与输送，石墨及碳素制品业的碳素粉碎、筛分、配料，炼铁业的煤粉操作等。

3. 石墨尘

石墨是一种由碳元素为主组成的矿物质。工业上使用的有天然石墨和人工合成石墨两大类，其中天然石墨含游离二氧化硅较高，对工人的职业病危害较大。

含石墨为主的粉尘称为石墨尘。长期吸入石墨所引起的职业病叫石墨尘肺。其行业与工种主要集中在石墨的开采和材料制造业。如石墨矿采选，催化剂及各种化学助剂制造业的石墨催化剂干燥，石墨及碳素制品业的碳素制品制造等。

4. 炭黑尘

炭黑在橡胶、文化用品制造业有广泛的用途。含炭黑为主的粉尘称为炭黑尘。长期吸入炭黑所引起的职业病叫炭黑尘肺。其行业与工种分布主要集中在炭黑的制造和应用行业。如化学原料制造业的炭黑制备、造粒；碳素制品业的碳素粉碎、配料；橡胶制品业的橡胶配料、混炼；稀有金属冶炼业的碳化钨制备等。

5. 石棉尘

石棉是一种天然硅酸盐类矿物质，在建筑、汽车与保温隔热材料制造业等方面有广泛用途。含石棉纤维为主的粉尘叫石棉尘。长期吸入石棉纤维粉尘可导致石棉肺。石棉可分为温石棉和角闪石石棉两大类。其中温石棉对人体危害相对较小，角闪石石棉已被确认为有致癌作用，较常见的是导致肺癌和胸膜间皮瘤。其行业与工种分布主要集中在石棉的开采和应用行业。如石棉矿开采业的采运，石棉制品业的石棉梳棉、拼线、编织，建筑材料制造业的配料、成型、打磨，电力、蒸汽、热水生产和供应业的管道保温、锅炉检修，以及汽车刹车片制造、铁

路车辆制动件制造等。

6. 滑石尘

滑石是造纸、医药、橡胶等行业常用的原料。含滑石为主的粉尘叫滑石尘。长期吸入滑石粉尘可导致滑石尘肺。其行业与工种分布主要集中在滑石的开采和应用行业。如建筑材料及其他非金属矿采选业的滑石采矿、装载、运输、破碎、筛选、研磨、重选，滑石粉加工等。

7. 水泥尘

水泥是现代工业文明的基础。含水泥为主的粉尘叫水泥尘。长期吸入水泥粉尘可导致水泥尘肺。其行业与工种分布主要集中在水泥的烧制和应用行业。如水泥制造业的熟料冷却、熟料粉磨、水泥包装、水泥均化、水泥输送，矿石开采业的喷浆砌碹、巷道加固，水泥制品和石棉水泥制品业的称量配料、混合搅拌、紧实成型、制浆均和，建筑业的水泥运输、投料、拌和、浇捣等。

8. 云母尘

云母在电器设备制造方面有广泛的用途。含云母为主的粉尘叫云母尘。长期吸入云母粉尘可能导致云母尘肺。其行业与工种分布主要集中在云母的开采和应用行业。如云母采矿、装载、运输、破碎、筛选、研磨、重选，云母制品业的云母制粉、煅烧等。

9. 陶瓷尘

陶瓷制造是一个古老的行业，它记载了中华民族几千年的文明历史。其职业病危害也延续了几千年。含陶瓷尘为主的粉尘叫陶瓷尘。长期吸入陶瓷粉尘可能导致陶工尘肺。其行业与工种分布主要集中在陶瓷制造业。如陶土开采、粉碎、研磨、筛分、包装和运输，陶瓷制品业的原料粉碎、筛分、配料、搅拌、炼泥、成型、干燥、上釉、烧成、装出窑等。

10. 铝尘

人类制造和使用铝制品的历史不过几百年。铝制品的良好导热性、易加工性和装饰性使其得到了广泛应用。含铝、铝合金、氧化铝为主的粉尘叫铝尘。长期吸入铝尘可能导致铝尘肺。其行业与工种分布主要集中在电解铝、氧化铝开采、耐火材料制造、铝制品制造业。如氧化铝烧结、电解铝、铝合金熔铸、铝合金氧化，铝制品业的粉末冶金压制、铸造、打磨等。

11. 电焊烟尘

电焊是工业生产中最常见的工序。含电焊烟尘为主的粉尘叫电焊烟尘。长期吸入电焊烟尘可能导致电焊工尘肺。其行业与工种分布主要集中在焊接加工业。如手工电弧焊、气体保护焊、氩弧焊、碳弧气刨、气焊等。

12. 铸造粉尘

含铸造型砂为主的粉尘叫铸造粉尘。长期吸入铸造粉尘可能导致铸工尘肺。其行业与工种主要集中在铸造加工业。如机械工业的铸造浇铸、型砂制备、造

型、铸件清理等。

13. 其他粉尘

上述12类粉尘以外的粉尘可归纳为“其他粉尘”，如棉麻等有机尘、锑等金属无机尘等。长期吸入其他粉尘可能导致的尘肺叫其他尘肺。

（二）放射性同位素与放射线类

1. 放射性同位素

所谓同位素就是指原子核内具有相同数目的质子（即原子序数相同）但中子数不同的一类原子，它们的化学性质相同，在元素周期表中占有同一位置，故称同位素。例如自然界中的氢就存在三种同位素。

同位素又可分为稳定同位素与不稳定同位素两类。稳定同位素原子核内质子数、中子数以及核结构都是不变的，自然界中多数原子核属于此类。原子核不稳定，能自发地放出射线而变成另一种核素的同位素或者发生能量状态改变的不稳定同位素称为放射性同位素。放射性同位素包括天然的和人工的两类。自然界天然存在的放射性同位素称为天然放射性同位素，人工制造的放射性同位素称为人工放射性同位素。目前，工业、农业、科研、医学等领域使用的放射源大都是人工制造出来的。

凡放射性同位素都能不受外界环境温度、湿度、气压及物理化学状态影响，自发地释放出α射线、β射线、γ射线而变成其他核素。当然，释放出来的射线可能是其中一种或几种。一般而言，质量较轻的同位素只放出β射线、γ射线，质量较重的放射性同位素大多还能放出α射线。

2. 放射线

广义来说，辐射包括两大类：一类为非电离辐射，另一类为电离辐射（放射线）。所谓非电离辐射即不能使物质发生电离的辐射（如无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、超声波等），而电离辐射是能够引起物质电离的带电粒子（如α粒子，正、负电子，质子或其他重粒子）或不带电粒子（如X射线、γ射线、中子）构成的辐射。非电离辐射与X射线、γ射线辐射同属于电磁波，电离辐射的能量一般要远高于非电离辐射。

放射线的来源分两种：天然辐射和人工辐射。天然辐射是由宇宙射线和地表辐射组成的。宇宙射线主要来自银河系和太阳系。地表辐射来自地球形成时就存在的镭、钍、铀系放射性核素。

放射线都有一定的穿透性。α射线的粒子质量最大，每个粒子带两个单位正电荷，所以穿透能力差，在空气中一般仅能辐射几厘米的距离，甚至一张纸便可将其挡住。正因为α粒子质量大，穿透能力弱，故能在短距离内引起物质较多电离，即能量容易传递给物质，对人体的内照射危害是相当严重的，故要特别注意防止α发射体进入体内。

β射线实际上就是高速运动的电子流。每个β粒子带一个单位负电荷，静止

时其质量与普通电子相同。β粒子的运动速度通常比α粒子大，最大可接近光速。由于它的质量小，所带电荷量少，故β射线穿透能力比α射线要强，而电离本领却远不如α射线，用不太厚的塑料、铝片或有机玻璃等材料便可将其挡住。

γ射线是能量很高的电磁波，其性质与医院用的“X射线”类似，通常称它们为“光子”。但两者来源完全不同：γ射线来自原子核内；而X射线产生于原子核外的物理过程。X射线、γ射线穿透能力比α射线、β射线要强得多，但电离能力却比α射线、β射线要弱得多。由于α射线、β射线具有穿墙破壁的本领，故一般采用密度大的材料如铁、铅、混凝土等来进行屏蔽。

此外，还有中子射线，它同X射线、γ射线一样，也不带电，其穿透本领亦很强。中子主要来源于反应堆、加速器和放射性同位素中子源。通常用含氢多的物质如水与石蜡等来屏蔽中子。

3. 放射线的应用

1895年和1896年，德国伦琴与法国贝可勒尔相继发现X射线及放射性现象，揭开了人类利用放射线的序幕。尤其是20世纪40年代以后，射线技术的应用日趋广泛。但射线如同一把双刃剑。一方面人类在不断认识和开发利用过程中得到了巨大的利益，射线在工业、农业、医学、科研、能源、军事等国民经济各个领域的应用越来越广泛，已深入到人类生产、生活各个领域。另一方面射线在造福于人类的同时也给人类带来了一定危害甚至灾难，射线对人体的损害表现在多方面，轻则引起人体组织与器官的功能改变，还可能导致癌症和遗传性疾病的发生，重则直接引起死亡。因此，放射线有害人体健康，这已引起国际社会的广泛关注和我国政府的高度重视。

核能的发现和利用是能源科学发展的重大突破，放射线的广泛使用将把社会生产力助推到更高的阶段，也是一个国家、一个企业科技进步的主要体现。

在工业、农业、科研、医疗领域接触放射线的工种甚多。主要有：

① 放射性矿石的勘探、开采、选矿及冶炼；

② 生产和使用荧光涂料；

③ 从事原子能反应堆、粒子加速器的工作；

④ 生产和使用放射源的工作；

⑤ 工农业生产及科研中利用放射线的工作，例如金属探伤、放射性测井、食品消毒、选种育种、农作物储藏、食品保鲜、消灭农作物害虫；

⑥ 放射性仪器仪表自动测厚、测密度、测料位、测水分含量；

⑦ 考古中地质年代分析，X射线荧光分析以及应用示踪原子方法进行科研等；

⑧ 医用X射线、γ射线透视、照片诊断及治疗；

⑨ 医用放射性同位素综合实验、诊断及治疗。

在工业企业中，接触密封源的机会较常见于射线的无损探伤、自动测厚、水泥料位控制、路基密度测量、X射线荧光分析、中子活化分析等。从事开放源作

业的工种见于含放射性物质的矿石开采、冶炼、荧光涂料的生产和使用等作业。使用密封源的职业接触属外照射，从事开放源作业的危害主要是内照射。

（三）有毒化学物质类

有毒化学物质通常可根据其化学性质分为金属与类金属、刺激性气体、窒息性气体、有机化合物、农药等几类，其主要行业、工种分布和可能导致的职业病如下。各种常见毒物国家职业接触限值标准和职业病危害临床表现详见附录二。

1. 金属与类金属

炼铅、铅盐制取、蓄电池制造、油漆配料、树脂制备、铅铬黄制取、铅铬绿制取、搪瓷色素备料、搪瓷色素煅烧、玻璃色素熔制等可能接触到铅尘、铅烟和铅化合物，有可能发生急慢性铅中毒。

炼汞、汞洗涤、汞电解、汞蒸馏、氯化汞合成、压汞试验、盐水汞电解、汞制剂制取、温度计制造、血压计制造与修理等可能接触到汞，有可能发生急慢性汞中毒。

硒焙烧、硒氧化、铋制取等可能接触到无机砷及其化合物，有可能发生急慢性砷中毒。

锰铁烧结、锰铁高炉冶炼、焊条烘焙、锰矿筛分、高锰酸钾制取、硫酸锰制取、锰电解、电弧焊、气体保护焊等工种可能接触到锰烟、锰尘、锰化合物，有可能发生急慢性锰中毒。

锌镉熔炼、镉烟冷凝、镉造渣、镉铸型、镉化物制取、荧光粉制取、镉红煅烧、镉红制取、玻璃上色、镍镉电池装配、镀镉等工种可能接触到镉及其化合物，有可能发生急慢性镉及其化合物中毒。

金属铍冶炼、氧化铍冶炼、铍真空熔铸、氧化铍烧结、铍粉制取等工种可能接触到铍及其化合物，有可能发生职业性铍病。

铊冶炼、玻璃纸制取等接触铊的工种有可能发生铊及其化合物中毒。

锌钡白制造、涂料配制、X 射线检查的造影剂制造、镀件纯化、钢材淬火等接触钡及其化合物的工种可能发生钡及其化合物中毒。

钒及其化合物制取、钒铁冶炼与催化剂制备等接触钒及其化合物的工种可能发生钒及其化合物中毒。

有机砷杀菌剂合成、稀有金属冶炼等接触砷及其化合物的工种有可能发生砷及其化合物中毒、皮肤癌和肺癌等。

电镀、钢铁、制革、染料、油漆、照相材料、火柴制造等接触铬酸盐及其化合物的工种有可能发生急性铬酸盐中毒、接触性皮炎、过敏性皮炎、肺癌等。

锌钡白制取、有色金属冶炼、氯化物制取、锌盐制取等接触砷化氢气体的工种有可能发生急性砷化氢中毒。

铀矿开采、铀矿加水冶、铀浓缩和转化、核电厂、核武器生产等接触铀的工种有可能发生铀中毒。

2. 刺激性气体

刺激性气体是指对人体呼吸道、皮肤、黏膜产生强烈刺激作用的有毒气体，常见的有氯气、氨气、光气、氮氧化物、二氧化硫等。

卤水净化、自来水消毒、纸浆漂白、盐水电解、液氯灌装等接触氯气的工种有可能发生氯气中毒。

酸性气燃烧、硫黄捕集转化、脱硫、脱硫醇、硫化物焙烧、二氧化硫净化、二氧化硫转化、橡胶硫化等接触二氧化硫的工种有可能发生急性二氧化硫中毒。

氨基类杀虫剂合成、多菌灵合成、聚碳酸酯合成、甲基异氰酸酯合成、一氧化碳氯化、光气纯化、合成药酰化等接触光气的工种有可能发生急性光气中毒。

合成氨、制冷、发酵、氨基酸制取、炼焦等接触氨的工种有可能发生急性氨气中毒。

浓硝酸合成、氨氧化、氧化氮氧化、硝酸吸收、岩巷爆破、金银提纯等工种可能接触氮氧化合物，有可能发生急性氮氧化合物中毒。

3. 窒息性气体

吸入体内能导致机体窒息的气体叫窒息性气体，常见的有一氧化碳、硫化氢、氰化物等。

岩巷爆破、井下通风、炼焦、煤气制造、石灰砖瓦炉窑、高炉吹炼、气体保护焊等接触高浓度一氧化碳气体的工种有可能发生急性一氧化碳中毒。

皮革鞣制、化学制浆、黑液蒸发、硫化氢燃烧、硫氢化钠制取、石油炼制、焦化工业、二硫化碳电炉制取、腌槽坑清理等接触硫化氢气体的工种有可能发生急性硫化氢中毒。

氰化钠制取、氰化亚铜制取、炼焦、煤气制造、氢氰酸盐制取、氰化镀锌、氰化镀镉、氰化镀银、氰化镀铜等接触氰化氢气体的工种有可能发生急性氰化氢中毒。

4. 有机化合物

随着人类石油化工业和高分子化合业的兴起，人们制造和使用有机化合物的种类和机会越来越多，由此带来的职业危害问题也越来越复杂和多见。

芳烃抽提、苯（甲苯）分离、苯烃化、环己烷合成、刷胶、油漆等接触苯的工种有可能发生急慢性苯中毒，严重者可导致再生障碍性贫血、白血病。

偶氮染料、显色剂制造、化学分析检验等接触联苯胺的工种有可能发生急性联苯胺中毒，严重者可导致膀胱癌。

使用氯甲基化原料的化工行业可能接触氯甲甲醚，有可能发生急性氯甲甲醚中毒，严重者可导致肺癌。

二硫化碳电炉制取、二硫化碳甲烷制取、二硫化碳液化、精馏、有色矿浮选、选矿药剂制取、黏纤磺化等接触二硫化碳的工种有可能发生急慢性二硫化碳中毒。

丙烯腈精制、己二胺制备、分散染料合成、脂肪胺合成、丙烯酰胺合成、丁腈橡胶聚合、丁腈橡胶回收等接触丙烯腈的工种有可能发生丙烯腈中毒。

四乙基铅合成、燃料油调和、航空汽油使用等接触四乙基铅的工种有可能发生四乙基铅中毒。

热稳定剂合成、塑料备料、塑料筛分研磨、塑料捏和、塑化等接触有机锡的工种有可能发生有机锡中毒。

二甲苯精制、油漆调配、油漆稀料、油漆熬炼、树脂溶解、油漆包装、树脂制备、油墨调配、农药制造、甲苯硝化、刷胶等接触甲苯或二甲苯的工种有可能发生甲苯或二甲苯中毒。

胶黏剂制造、使用与食品粗油浸出等接触正己烷的工种有可能发生正己烷中毒。

石油加工业的汽油精制、分离、汽提，机械行业的金属表面处理、热处理、溶剂除油、外部清洗、机车零件清洗等工种可能接触到汽油，有可能发生汽油中毒。

乐果胺化、久效磷合成、叶蝉散合成、橡胶硫化促进剂合成等接触一甲胺的工种有可能发生一甲胺中毒。

氯乙烯精制、氯乙烯合成、氯乙烯聚合、氯乙烯汽提、聚氯乙烯发泡、壁纸发泡、合成革发泡、电缆电线挤塑等接触氯乙烯的工种有可能发生氯乙烯中毒，严重者可能发生肝血管肉瘤。

环氧氯丙烷合成、丙烯氯化、卤代烃合成、杀虫剂合成等接触氯丙烯的工种有可能发生氯丙烯中毒。

有机氯杀菌剂合成、硝基苯氢化、苯胺精制、染料制造、有机染料合成、胺类中间体合成、硝基中间体合成、酚类中间体合成、酮类中间体合成等工种可能接触到苯胺、甲苯胺、二甲苯胺、二苯胺、硝基苯、硝基甲苯、对硝基苯胺、二硝基苯、二硝基甲苯等苯的氨基和硝基化合物，可能导致的职业病为苯的氨基及硝基化合物中毒。

硝铵炸药备料、TNT 制取、硝铵炸药装药、炮弹装配等接触三硝基甲苯的工种有可能发生三硝基甲苯中毒。

固体酒精制取、玻璃纸制取、脂肪烃合成、甲醇加氢氯化、一氯甲烷氯化、溴甲烷合成、卤代烃合成、甲醇气相氨化、脂肪胺合成、甲醇合成、甲醇分离、酯类合成、丙烯酸甲酯制取、甲醇羰基化、甲醇醚化、醚类合成、甲醇氧化、醛类合成等接触甲醇的工种有可能发生甲醇中毒。

5. 农药

农药是指用于消灭、控制危害农作物的害虫、病菌、鼠类、杂草及其他有害动物、植物和调节植物生长的各种药物，常见的农药有有机磷农药、氨基甲酸酯类农药、拟除虫菊酯类杀虫剂等。

有机磷农药合成、包装、喷洒等接触有机磷农药的工种有可能发生有机磷农

药中毒。

速灭威合成、西维因合成、氨基类杀虫剂合成与包装、喷洒农药等接触氨基甲酸酯类农药的工种有可能发生氨基甲酸酯类农药中毒。

拟除虫菊酯类农药合成、包装、喷洒等接触拟除虫菊酯类农药的工种有可能发生拟除虫菊酯类农药中毒。

（四）物理因素类

在生产环境中通常存在一些与劳动者健康密切相关的物理因素，如气温、气湿、气流、气压、噪声、振动、可见光、紫外线、红外线、激光、微波和工频电场等。多数物理因素是生产环境中必需的条件，但其强度超出一定的范围后就会对人体产生职业危害。如气温过高、过低都会对劳动者产生不适、中暑或冻伤等。常见的物理因素所致职业病及主要行业与工种分布如下。

1. 高温

石油和天然气开采、金属与非金属矿干燥、司炉、汽机发电、炼焦干馏、熄焦、陶瓷成型、干燥、烧成、装出窑、冶炼等接触高温的工种有可能发生职业性中暑。

2. 异常气压

海底救助、打捞、潜水与沉箱作业等工种可能出现大气压力减压过快等不良影响，有可能导致职业性减压病。

高原作业、航空、航天作业等工种可能因低气压环境的不良影响导致高原病或航空病。

3. 振动

凿岩、岩巷装载、岩巷掘进、钻井、运输、破碎、筛选等手部接触到局部振动的工种有可能发生手臂振动病。

（五）生物因素类

职业性生物危害因素是指劳动者在生产过程中容易导致接触感染的生物病菌类因素。如牲畜检疫、拣毛、毛皮及其制品加工、饲养员、兽医等接触牲畜的工种有可能直接接触被炭疽杆菌感染的动物而发生职业性炭疽；护林、栲胶备料、松脂采割、松明采集、野生果品采摘、原木采伐、原木运输等出入森林作业人员有可能发生森林脑炎；牲畜检疫、拣毛、毛皮及其制品加工、饲养员、兽医等接触牲畜的工种有可能直接接触被布氏杆菌感染的动物而发生布氏杆菌病等。

（六）导致职业性皮肤病的危害因素

在生产过程中劳动者直接接触某些化学物质，或者操作不当、个人防护措施不好导致化学物质污染皮肤与黏膜，均有可能导致职业性皮肤病。常见的职业性皮肤病和主要行业与工种分布如下。

电镀铬、铅铬黄化合、锌铬黄制取、铅铬绿制取、火柴制浆、器皿清洗等接触六价铬离子的工种有可能导致接触性皮炎和皮肤铬疮形成。

硫酸、硝酸、盐酸、氢氧化钠等强酸、强碱物质可能导致化学性皮肤灼伤。

甲烷氯化、一氯甲烷氯化与有机试剂配料、提纯、溶解、精制等接触三氯甲烷的工种有可能导致职业性接触性皮炎。

炼焦、煤气净化、煤焦油制取、氧化沥青、丙烷脱沥青、筑路等工种可能发生光敏性皮炎。

手工电弧焊、气体保护焊、氩弧焊、电渣焊、碳弧气刨、气割、等离子喷涂、电喷涂等接触紫外线的工种有可能发生电光性皮炎。

炼焦、煤气净化、煤焦油制取、氧化沥青、丙烷脱沥青、油漆熬炼、树脂溶解、碳素配料、碳素成型、碳素焙烧、碳素浸沥青、筑路等工种可能发生皮肤黑变病或痤疮。

演员可能导致油彩皮炎或痤疮。

煮茧、腌咸菜、家禽宰杀、农业生产等高温作业工种有可能导致职业性浸渍、糜烂。

棉、毛、麻原料仓储运输，纺织，饲料及粮食加工，生皮、原毛及羽毛仓储运输等工种有可能导致职业性痒疹。

柠檬酸制取、坯皮浸酸、皮革鞣制、金属家具清洗等接触有机溶剂的工种有可能发生职业性角化过度、皲裂。

（七）导致职业性眼病的危害因素

在生产环境中很多化学物理因素过量作用于眼部后可导致职业性眼病。如硫酸、硝酸、盐酸、氢氧化钠等强酸、强碱以及多种刺激性化合物可能导致化学性眼部灼伤；手工电弧焊、气体保护焊、氩弧焊、电渣焊、碳弧气刨、气割、等离子喷涂、电喷涂等接触紫外线的工种有可能发生电光性眼炎；长期接触放射性物质、三硝基甲苯、高温、激光等可能导致职业性白内障等。

（八）导致职业性耳鼻喉口腔疾病的危害因素

导致职业性耳鼻喉口腔疾病的危害因素主要是噪声和腐蚀性气体。如凿岩、爆破、装载、研磨、破碎，机械加工的锯切、铣面、热轧、冷轧、挤压、穿孔、矫直、焊管、卷取、剪切等接触高强度噪声的工种，可能发生职业性听力损伤或职业性噪声聋；电镀铬、铬酸盐制造、皮革鞣制、制革配料、皮革铲磨、皮毛熟制、皮毛硝染等接触铬酸盐的工种可能发生铬鼻病；氟硼酸合成、氢氟酸合成、磷酸合成、磷矿粉制备、磷矿酸解、过磷酸钙合成、钙镁磷肥合成、磷酸二钙合成、磷肥脱氟、玻璃酸处理、玻璃酸抛光、玻璃腐蚀、有色冶炼等接触各类酸雾的工种有可能发生职业性牙酸蚀病等。

（九）职业性肿瘤的职业病危害因素

职业性危害因素导致肿瘤发生一直是医学工作者研究的热门课题，目前提出来的可疑致癌物多达上百种，但公认的确切致癌物仅几十种，我国目前职业病名单上规定的法定职业性肿瘤为8种，其主要工种分布如下。

接触角闪石石棉的工种可能发生职业性肺癌、间皮瘤。

酸性染料合成、硫化染料合成、胺类中间体合成等可能接触联苯胺的工种有可能发生职业性膀胱癌。

使用氯甲基化原料的化工行业中可能接触氯甲甲醚的工种有可能发生肺癌。

造漆、喷漆、胶黏剂生产与使用等接触苯的工种可能发生职业性白血病。

砷矿的开采、砷化合物的制造与应用等接触砷化物的工种可能发生职业性肺癌和职业性皮肤癌。

氯乙烯生产、聚氯乙烯合成等接触氯乙烯的工种可能导致肝血管肉瘤。

焦炉炼焦、熄焦、煤气净化等接触焦炉烟气的工种可能发生焦炉工人肺癌。

铬酸盐制造、铅铬黄化合、锌铬黄制取、铅铬绿制取等工种可能发生肺癌。

(十) 其他职业病危害因素

① 氧化锌可能导致金属烟雾热。

② 二异氰酸甲苯酯可能导致过敏性哮喘。

③ 棉尘可能导致棉尘病。

④ 不良作业条件可能导致腰背痛、消化性溃疡等。

第六节 职业接触限值标准的应用

为与国际接轨，我国职业卫生《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2—2002）标准正式引入了国际上普遍采用的职业接触限值概念。职业接触限值标准是职业病危害因素定量识别的评价依据。

一、职业接触限值的定义

职业接触限值（occupational exposure limit，OEL）是职业病危害因素的接触限制量值。指劳动者在职业活动过程中长期反复接触对机体不引起急性或慢性有害健康影响的容许接触水平。是根据职业性有害物质的理化特性、毒理学及现场劳动卫生学或职业流行病学调查资料，并参考美国、德国、前苏联、日本等国家的职业卫生接触限值及其制定依据而制定的。职业接触限值包含以下三个标准值：

① 最高容许浓度（MAC），指任何一次采样都不允许超过的浓度限值；

② 短时间接触容许浓度（PC-STEL），指任何一次 15 分钟采样的浓度限值；

③ 时间加权平均容许浓度（PC-TWA），指 8 小时工作日内各个接触持续时间与其相应浓度的加权平均浓度限值。

二、职业接触限值的作用

制定、颁布、实施职业卫生标准，是改善作业环境、促进工人健康的重要保证。因此，“标准一经批准发布，就是技术法规，各级生产、建设、科研、设计

管理部门和企业事业单位，都必须严格贯彻执行，任何单位不得擅自更改或降低标准”。

工作场所有害因素职业接触限值卫生标准是用来防止劳动者的过量接触、监测生产装置的泄漏及工作环境污染状况、评价工作场所卫生状况的重要依据，是保障劳动者免受有害因素危害的卫生标准。其含义包括两个方面：评价劳动者有害因素的接触状况和评价工作场所有害因素的污染状况。如通过对职业病危害因素监测的定量识别，评价劳动者在 8 小时工作时间内是否有过量的接触；评价工作场所职业病危害因素浓度（强度）是否超标；评价建设项目工作场所职业病危害控制效果等。

此外也被作为工业企业设计的卫生标准以及预防性和经常性卫生监督的定量识别评价标准。

三、国外职业接触限值标准应用状况

（一）历史回顾

职业卫生标准的历史比其他卫生标准都久远。早在 19 世纪，德国就通过立法强制实施对因职业活动所致健康损害给予赔偿，规定雇主需建立“赔偿基金”，以保证履赔，并应提供保护工人健康的措施。1883 年，德国首次颁布了一个关于一氧化碳的职业接触限值标准（OEL）。1886 年，德国学者 Lehmann 首次采用动式染毒装置研制职业接触限值标准，并基于南非金矿的研究，于 1916 年提出了第一个有关矽尘的 OEL。

进入 20 世纪 30 年代，除德国外，前苏联和美国开展了大量研究，制定了一系列 OEL。前苏联国家标准委员会累计颁布了共涉及 1300 多种有害物质的“工作带空气中有害物质的最高容许浓度”标准。其内容包括：

① 最高容许浓度（mg/m^3），有的还有工作班平均最高容许浓度；

② 生产条件下有害物质存在的主要状态，分为气体、蒸气、气溶胶等；

③ 危险性分级，即Ⅰ～Ⅳ；

④ 标注对机体的作用特点，如对皮肤、眼睛需要特别保护，致敏，致癌物，可致急性中毒和致纤维化的气溶胶。

（二）美国职业接触限值标准应用现况

1. 美国职业卫生标准研制机构提出的建议标准

美国职业卫生标准研制机构提出的建议标准主要包括美国政府工业卫生学者会议（ACGIH）制定的阈限值和国家职业安全卫生研究所（NIOSH）提出的推荐性接触限值。无法律效力。

阈限值是 ACGIH 制定的接触限值，包括化学性和物理性有害因素。有害化学物质制定了三种具体限值：

① 时间加权平均阈限值（threshold limit value-time weighted average，TLV-TWA），指 8 小时工作班以及 40 小时工作周的时间加权平均容许浓度，长

期反复接触该浓度（有害物质），几乎所有工人不会发生有害的健康效应；

② 短时间接触阈限值（threshold limit value-short term exposure limit，TLV-STEL），是在一个工作日的任何时间均不得超过的短时间接触限值（以15分钟TWA表示），工人可以接触该水平的有害因素，但每天接触不得超过4次，前后两次接触之间至少要间隔60分钟，且不得超过当日的8小时时间加权平均阈限值；

③ 上限值（threshold limit value-ceiling，TLV-C），是指瞬时也不得超过的浓度（可以＜15分钟采样测定值表示）。

以上ACGIH的三种阈限值有其内在的联系。一般而言，以TWA浓度来检测空气中的有害物质是否符合卫生限值是得当的，它是主体性的限值。然而，TWA对那些生物学作用快的物质并不适合，此时应以上限值加以控制，即TLV-C。如有些刺激或窒息性气体规定了上限值。STEL水平的接触应不至于引起刺激作用、慢性或不可逆损伤或麻醉作用。只对少数化学物质（可产生急性效应或短时间高浓度接触具有急性效应的化学物，多见于气态或气溶胶）才规定STEL，规定有STEL的化学物既要遵守STEL，也要遵守8小时的TWA限值。可见，STEL不是一个独立的接触限值，而是8小时TWA限值的补充。

另一方面，既然TWA是平均浓度，应允许环境瞬间浓度在TWA限值上下波动，只要平均不超过TWA容许浓度。当然，人们最关心的是允许上移多少。因此，ACGIH还推荐了在遵守8小时TWA限值的前提下，上移限值在总共30分钟限定接触时间内不应超过该化学物TWA限值的3倍，在任何情况下不允许超过5倍。

2. 美国联邦政府职业安全卫生标准

美国联邦政府职业安全卫生标准由劳动部下属职业安全卫生管理局（OSHA）引用NIOSH及ACGIH的资料颁布的职业接触限值，称为容许接触限值（permissible exposure limit，PEL），属美国强制性职业卫生标准。它的具体数值与NIOSH及ACGIH的类似。

3. 美国州职业安全卫生标准

除联邦政府的标准外，各州有各自的职业安全卫生标准。如华盛顿州行政管理法规（Washington Adminitrative Code，WAC）包含有容许接触限值等内容。

（三）德国职业接触限值标准应用现况

德国科学研究联合会（DFG）制定的职业接触限值，虽被译为“最高容许浓度”，但实质上是8小时TWA容许浓度。定义为：一般不影响健康或不造成不适。并有限制时间、次数的上限值。还对经皮、致癌、致敏、孕期毒物、遗传毒物分类、分级内容进行了标注。

此外还有技术参考浓度（TRK），该限值是为致癌物质根据目前技术条件要求所能达到的最低浓度。遵守TRK只能减少并不能排除该物质对健康的危害。

这是德国对致癌物所采取的一种控制措施，要求车间空气致癌物浓度在 TRK 以下，并不断改善防护措施，尽可能降低到远远低于 TRK。

（四）日本职业接触限值标准应用现况

（1）化学物职业接触限值　日本产业卫生学会推荐的有害物质接触限值，是按时间加权平均浓度规定的，并注明经皮、致癌物（分级）、致敏性（分级）、制定年代等。

（2）粉尘接触限值　对游离 SiO_2 浓度＜10%的粉尘，用公式计算呼吸性粉尘和总尘。

（3）制定了生物接触限值及物理因素标准。

四、我国职业接触限值制定依据

研究空气中有害物质接触限值，其核心就是从质和量两个方面深入研究该有害物质与机体之间的相互关系，最终目的是确定一个合理而安全的界限。换言之，就是在充分掌握有害物质作用性质的基础上，阐明其作用量与机体反应性质、程度和受损害个体在特定群体中所占比例之间的关系，即接触-反应关系。因此，在进行现场职业卫生调查与流行病学调查时，必须紧紧抓住接触-反应关系这一环节，才能使得到的资料为制定接触限值提供有力的依据。

我国职业接触限值制定依据有：

① 有害物质的物理和化学特性资料；

② 动物实验和人体毒理学资料；

③ 现场职业卫生学调查资料；

④ 流行病学调查资料。

五、我国职业接触限值制定原则

衡量一项卫生标准，不但要从制定标准的科学性上考虑，还要同时考虑标准的可行性。科学性主要指医学上的可接受性；接触限值要对接触者的健康提供最大保障。在此前提之下，还要考虑执行此限值对社会和经济发展的影响。我国制定职业接触限值的原则是“在保障健康的前提下，做到经济合理、技术可行”，即安全性与可行性相结合的原则。

经济合理和技术可行均属于可行性问题。技术上的可行性指现有的技术发展水平能否达到；经济上的可行性则意味着执行该标准的工业企业在经济上是否负担得起。国外制定卫生标准多采取所谓“两步走”的政策，卫生标准组织仅从保护健康的依据来制定标准，然后把制定好的标准或限值交给政府，由政府考虑经济和技术的可行性，决定是否采纳和赋予法律效力。

制定车间空气中有害物质接触限值，无论是动物实验还是流行病学调查研究，均要围绕有害物质的接触水平（剂量、浓度）与反应关系这一核心问题。在具体工作中，首先要做好文献检索工作，广泛收集与制定接触限值有关的国内外资料，特别是不同国家的接触限值及其制定依据。在毒理学研究方面，应尽量避

免重复国外已有研究报告的实验。应切实掌握我国实际情况，包括有关的生产、使用情况，接触该有害物质的人数、危害情况，病例报告、尸检资料及现场调查报告等。在全面整理现有资料的基础上，有针对性地补充必要的现场调查或实验研究工作，经综合分析，提出适合我国实际情况的接触限值。

六、我国职业接触限值标准的应用

（一）国内职业接触限值标准回顾

我国早在青铜器时代就有对开矿和冶炼过程实施防护措施、减轻职业危害的记载，属于对职业病危害认识最早的国家之一。但有关职业卫生标准的应用与研究工作还始于新中国成立以后。

1950 年，当时的东北人民政府卫生部翻译出版了《苏联国家标准（TOCT 1324—47）工厂设计卫生条例》，在其中作为附则 3 列出了“作业场之作业带的空气中有毒气体、蒸气及灰尘的最大容许浓度”，共计 53 项。

1956 年，我国国家建设委员会、卫生部于 3 月 20 日批准颁布了《工业企业设计暂行卫生标准》（标准-101—56），于同年 7 月 1 日起试行。其中有害物质的最高容许浓度作为附录列出，总数为 53 项。

1962 年，卫生部主编、国家计划委员会批准颁布了《工业企业设计卫生标准》[国标建（GBJ）1—62]，并于同年 4 月 1 日起实施。这是我国第一部与劳动卫生有关的国家标准，也是我国颁布的第一个包含有职业接触限值的国家卫生标准。此标准共计列出 92 项最高容许浓度值，其中仅几项农药标准值是根据我国自己的研究成果为依据制定的，其余均系引进前苏联的数据。

1979 年，卫生部、基本建设委员会、计划委员会、经济委员会、劳动总局联合批准颁布了《工业企业设计卫生标准》（TJ 36—79）。此标准的第 32 条表 4 中列出车间空气中有害物质的最高容许浓度 120 项，其中有毒物质 111 项，生产性粉尘 9 项。

为配合《中华人民共和国职业病防治法》的颁布与实施，卫生部组织专家对《工业企业设计卫生标准》（TJ 36—79）进行了修订，将原标准拆分为《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1—2002）和《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2—2002）两个国家标准。于 2002 年 4 月 8 日发布，6 月 1 日起实施。

（二）职业接触限值标准的特点

《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2—2002）卫生标准是我国首次单独汇编颁布的职业接触限值标准，具有下列特点。

1. 提升为国家标准

首次将职业接触限值单列为一个新标准，并由部颁标准上升为国家标准，其法律约束力更强。

2. 内容大幅增加

（1）毒物方面　在修订了过去 111 项标准值基础上，纳入了后颁布的 119 项

国家标准，并新增119项标准，共计330项。由于后颁布的119项国家标准包括一些对过去111项标准的修订，因此毒物共计330项，不等于上述三类之和。常见毒物职业接触限值标准详见附录二。

（2）粉尘方面　由过去的9项增至目前的47项，并新增加了呼吸性粉尘标准。

（3）生物因素方面　纳入了白僵蚕孢子1项生物因素最高容许浓度标准。

3. 对接触人员的保护水平有所变化

过去标准只提出最高容许浓度一个标准值，并且引用前苏联的模式，被定义为："该浓度是以保障生产工人健康为目的，接触有害物质时间以每天8小时、每周6天计算；在不超过该浓度的情况下，工人长期接触亦不致产生用现代检查方法所能发现的任何病理改变"。本标准基本与国际接轨，采纳了目前国际上较为通行的职业接触限值概念，提出了最高容许浓度、短时间接触容许浓度和时间加权平均容许浓度"三值"模式。保护水平为："该浓度（强度）下工人长期进行生产劳动，不引起急性和慢性职业病"；甚至在一些标准研究中，并未考虑对极少数高危人群的保护。

4. 根据有害因素特征提出不同的接触限值

① 对毒性大、刺激性大并容易导致急性中毒的毒物只提出最高容许浓度一个卫生标准值，共53项；

② 其他毒物和粉尘均提出短时间接触容许浓度和时间加权平均容许浓度两个卫生标准值。

（三）在职业病危害因素定量识别中的应用

不论是建设项目职业病危害评价，还是工作场所的定期检测与评价，正确运用本标准对职业病危害因素进行定量识别时都必须从工作场所现场调查入手。首先应了解生产工艺流程，对可能产生的有害因素种类及存在状况进行定性识别，记录工人接触方式与时间等情况。然后再选定检测分析方法，根据检测方法的要求确定采样仪器和采样方法等。最后综合分析现场待测物浓度（强度）变化规律，确定采样时机，并对检测结果做出恰当的定量识别与评价。

1. 毒物

毒性大、刺激性大、容易导致急性中毒的毒物《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2—2002）卫生标准只有最高容许浓度一个卫生标准值，共有53项，占毒物标准的16.1%。对于这类毒物的采样，应尽可能地选择一个工作日中工作场所毒物浓度最高时（见图1-1，如B线所示），并应尽量选择采样时间较短的国家标准检测方法。

其他毒物该标准提供了短时间接触容许浓度（PC-STEL）和时间加权平均容许浓度（PC-TWA）两个接触限值。

PC-STEL旨在防止劳动者接触过高的波动浓度，避免引起刺激、急性作用

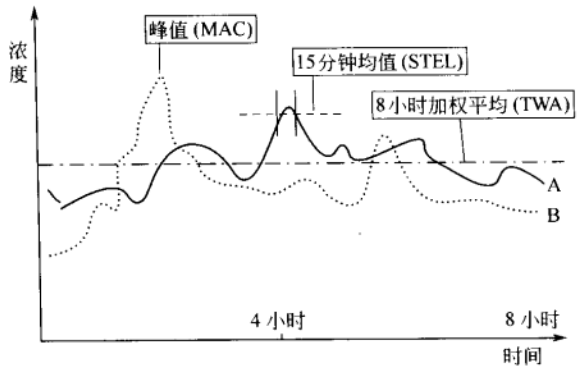


图 1-1 毒物浓度变化与职业接触限值采样的关系

或有害健康的影响。要求一般采集 15 分钟的空气样品。如果时间短于 15 分钟时，以 15 分钟的时间加权平均浓度计算。

PC-TWA 要求采集有代表性的样品，以 8 小时工作日内各个浓度与其相应持续时间的加权平均值来表示（如图 1-1 A 线所示），计算公式如下：

$$E=(C_1T_1+C_2T_2+C_3T_3+C_4T_4+\cdots C_nT_n)/8$$

式中 C——各时段浓度；

T——各浓度段持续时间，小时。

值得注意的是：

① 当劳动者工作（接触）时间不足 8 小时时，分母以 8 小时计算；

② 当工作（接触）时间超过 8 小时时，分母仍以 8 小时计算；

③ 当评价个体接触水平的采样时，应采用个体采样器；

④ 当评价工作场所有害物危害状况时，可采用常规的定点采样仪器。

有下列情况之一者应考虑毒物的协同相加作用，通过计算 K 值来综合评价：

① 两种或两种以上有毒物质具有相同的毒性作用；

② 两种或两种以上有毒物质共同作用于同一器官、系统；

③ 已知这些有毒物质可产生相加作用。

计算公式：$$K=\frac{C_1}{L_1}+\frac{C_2}{L_2}+\cdots+\frac{C_n}{L_n}$$

式中 C——各个毒物所测得的浓度；

L——各个毒物相应的容许浓度限值。

评价标准：

① $K\leqslant 1$ 时，表示未超过接触限值，符合卫生要求；

② $K>1$ 时，表示超过接触限值，不符合卫生要求。

2. 粉尘

《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2—2002）卫生标准提出了 47 项

粉尘标准，其中绝大多数包含有呼吸性粉尘标准，均提出了短时间接触容许浓度（PC-STEL）和时间加权平均容许浓度（PC-TWA）两个接触限值。标准要求尽量测定呼吸性粉尘浓度来评价，但不具备测定呼吸性粉尘条件时，可测定总粉尘浓度来评价。

计算方法与实际应用参见毒物。

3. 噪声

噪声的职业接触限值没有列入《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2—2002）卫生标准，实际工作中可用《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1—2002）中有关噪声的设计标准。

（1）噪声工作场所接触限值 《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1—2002）规定：劳动者每天连续接触噪声 8 小时，噪声声级卫生限值为 85dB（A）。对于操作人员每天接触噪声不足 8 小时的场所，可根据实际接触噪声的时间，按接触时间减半、噪声声级卫生限值增加 3dB（A）的原则，确定其噪声声级限值，但最高限值不得超过 115dB（A）。

（2）脉冲噪声工作场所接触限值 《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1—2002）有关脉冲噪声作业地点的噪声接触限值主要是根据每个工作日接触脉冲次数的多少来规定的，详见表 1-1。

表 1-1 工作地点脉冲噪声声级的卫生限值

工作日接触脉冲次数	峰值/dB
100	140
1000	130
10000	120

（3）非噪声工作场所噪声声级卫生限值 《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1—2002）规定了生产性噪声传播到非噪声工作场所的噪声声级卫生限值，该卫生限值的保护水平不是噪声所致人体的听力损伤效应，而是考虑噪声对劳动者的语言交流和工作效率等方面的影响，详见表 1-2。

表 1-2 非噪声工作地点噪声声级的卫生限值

地 点 名 称	卫生限值/dB(A)	工效限值/dB(A)
噪声车间办公室	75	不得超过 55
非噪声车间办公室	60	
会议室	60	
计算机室、精密加工室	70	

引用脉冲噪声卫生限值标准时一定要选用脉冲声级计，并同时记录峰值声压级、有效声压级和脉冲持续时间。不能用普通精密声级计进行测定。

（4）等效连续 A 声级的计算 当检测工作场所噪声波动大于 3dB(A) 或者

检测劳动者间断性接触噪声强度时，应计算等效连续 A 声级。公式如下：

$$L_{Aeq}=80+10\lg(\sum 10^{(i-1)/2}T_i)/480$$

式中 L_{Aeq}——等效连续 A 声级，dB(A)；

i——中心声级分段序号；

T_i——第 i 段中心声级在一个工作日内累积接触总时间，分钟。

七、应用职业接触限值标准注意事项

工作场所有害因素职业接触限值是衡量职业卫生状况的技术尺度，是实施卫生监督的依据，是改善劳动条件的奋斗目标。但它不是安全与有害的绝对界限，只是判断化学物在一定浓度时其安全性的基本依据，某化学物质是否损害了健康必须以医学检查结果为基础并结合实际案例的接触情况来判定。因此，即使符合卫生标准，也还有必要对接触人员进行健康检查。

此外，它只是一种限量标准，应当尽量降低空气中有害物质的浓度，而不应以达到卫生标准为满足。它又有别于立即危及生命或健康的浓度，如果认为空气中毒物浓度超过接触限值，就应发出警报，采取紧急措施，疏散工作人员是不现实的，也是没有根据的。

对于可经皮肤进入的毒物，即使空气中毒物的浓度低于接触限值，亦难以保障工人健康，尚需注意皮肤防护。空气中同时存在数种毒物时，要依据它们之间联合作用的特点，采用不同的评价方法。与某些发达国家比较，我国已颁布的接触限值在数量上还很有限，常不能满足实际工作的需要。借用国外职业接触限值作为参考标准，对于实施职业卫生监督、监测工作大有好处。但需注意的是，要弄清借用的是哪个国家或学术团体的标准，其接触限值所用的名称与含义及其制定依据、保护水平等。

此外，《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2—2002）卫生标准应由受过职业卫生专业训练的专业人员使用，不适用于非职业性接触场所的评价应用。在进行工作场所职业病危害因素定量识别或劳动者接触剂量定量识别时，应按照国家颁布的标准测定方法和有关采样规范进行检测。在无国家检测标准可用时，可用国内外公认的测定方法，但此时应遵守国家有关质量控制的规定。

第七节 职业病危害控制措施与效果识别

在建设项目职业病危害评价工作中，当识别了工作场所潜在的职业病危害因素后，就必须选择一种或多种对其控制的措施。要了解控制措施的有效性，又必须对控制措施实施后进行控制效果的定量识别。

一、控制职业病危害的途径与措施

实施职业病危害控制措施，应遵循优先工程措施、后管理措施和个体防护的

原则。职业病危害控制措施应符合国家职业卫生的法律、法规、标准、规范的要求。当职业病危害控制措施与经济效益发生矛盾时，在具有针对性、可操作性和经济合理性的原则下，优先考虑控制措施的实施。在实际操作过程中应根据职业病危害因素产生的特点和产生工艺条件的限制等情况，依次考虑替代、隔离或封闭、局部通风、全面通风（稀释）、清洁生产、减少接触时间、培训、个人防护、医疗保健措施等。

1. 替代

用无毒或低毒原料代替高毒原料，用先进的工艺方法代替落后的工艺方法，用自动化生产线代替手工操作，用低噪声设备代替高噪声设备等替代技术与措施，是从源头消除或减弱职业病危害最根本的措施。项目设计过程中应优先考虑。

2. 隔离或封闭

在职业病危害难用替代技术与手段进行治理时，可采用重新布置工艺流程或设备、对危害因素发生源进行隔离或物理屏蔽等措施。

3. 局部通风

局部通风包括局部抽风和局部送风两类系统。局部抽风是在有害气体散发的源头附近，安装抽风系统将其吸入抽风罩后排出，防止其扩散污染工作岗位的方法。局部抽风系统的有效性与气罩的设计形状、尺寸、气流速度、与污染源间的距离及污染物散发物理特性等密切相关。

局部送风是将净化后的清洁空气直接送往工作岗位劳动者呼吸带的通风系统。

4. 全面通风

对整个工房进行通风换气称为全面通风。全面通风一般用于改善车间的微小气候条件和作为控制有害气体的局部通风系统的辅助措施。只有在通风区域内有害气体散发量很小且毒性低、散发不集中的情况下才可单独考虑使用全面通风。

根据通风方式不同可分为自然通风、机械通风和空调循环通风三大类。

5. 清洁生产

实践经验证明，贯彻清洁文明生产，避免生产过程中物料的跑、冒、滴、漏，可有效地降低职业危害的程度。

6. 减少接触时间

合理安排生产和作业制度，可有效地减少劳动者每个工作班的接触总量，达到降低职业病危害程度的目的。值得指出来的是，在有害物毒性较大、浓度很高的情况下，即使短时间接触，也可能造成严重的职业病伤害。

7. 健康教育与培训

加强健康教育与职业安全培训，使劳动者养成较好的生活习惯和保持良好的个人职业卫生习惯，提高自我保护能力，如定时洗涤和使用清洁的个体防护用具等，可以减小接触有害物质的后果，增进劳动者抵御职业病危害的能力。

8. 个人防护

个体防护措施一般只作为其他控制措施的辅助预防手段。如在采取上述各项控制措施后，还不能充分控制职业病危害风险时，使用个人防护用品就是一种有效的防护办法。

9. 医疗保健

通过上岗前体检可以发现职业禁忌证；通过定期体检可以早期发现健康损害，并得到及时的治疗和调离岗位；配备足够应急救援设施，可使急性中毒病人得到及时的救治。

二、生产性粉尘的控制措施

根据尘源产生的特点可将生产性粉尘分为三类：

① 机械振动型产尘，由于机械振动，使机械设备内、外产生压力差，而造成粉尘飞扬，如颚式破碎机进料口和卸料口；

② 机械旋转型产尘，机械部件的旋转扰动空气，使周围空气形成旋转气流，造成粉尘飞扬；

③ 物料运动型产尘，物料借助自身的重力，由上而下坠落，造成扬尘。

（一）粉尘的性质

为了有效控制生产性粉尘的危害，必须掌握粉尘的性质，以便根据卫生要求，结合尘源特点和生产工艺，有针对性地采取防尘措施。

1. 粉尘的分散度

粉尘是由粒径不同的尘粒组成，粉尘的分散度是指不同粒径的粉尘所占的质量分数。粉尘中微细颗粒占的质量分数大，表示分散度高，粗颗粒占的质量分数大，表示分散度低，分散度高的粉尘不易被除尘器捕集。

粉尘的分散度不同，对人体的危害程度不同，要达到一定净化程度所要求的除尘机理也不同。

2. 粉尘的密度

指单位体积内粉尘的质量。粉尘密度对除尘设备的性能影响很大，特别是对于重力、惯性力和离心力除尘器影响最显著。

粉尘的容积密度越小，分离捕集越困难，并且出现二次扬尘的机会越大。

3. 粉尘的黏附性

指粉尘尘粒间相互凝聚的能力，粉尘的粒径越小，黏附性越强。

黏附性强的粉尘易堵塞除尘滤网和管道，造成阻力增加，破坏除尘器的正常工作。

4. 粉尘的荷电性

由于尘粒间的摩擦、碰撞和吸附使粉尘具有荷电性。处在不均匀电场中的尘粒也会因电晕放电而荷电。

静电除尘器就是利用尘粒荷电的性质，从含尘气流中分离、收集粉尘的。

5. 粉尘的湿润性

粉尘是否容易被水湿润，对湿式除尘器的效能有很大影响。容易被水湿润的粉尘称为亲水性粉尘，难于被水湿润的粉尘称为憎水性粉尘。

6. 粉尘的燃爆性

有些粉尘（如镁粉、碳化钙粉）与水接触后会引起自燃或爆炸，有些粉尘（如面粉、煤粉）在空气中达到一定浓度时，若存在能量足够的火源，也会引起爆炸。

（二）粉尘的综合控制措施

防尘对策需要对生产工艺、设备、物料、操作条件、防尘设施、个人防护用品等技术措施和管理措施进行优化组合，采取综合对策。综合对策包括技术措施、组织措施和管理措施三部分。技术措施是关键，是控制、消除粉尘污染源的根本措施。组织措施和管理措施是技术措施的保障。防尘综合措施主要包括以下几个方面的内容。

1. 工艺无害化

尽量选用不产生或少产生粉尘的工艺，采用无危害或危害小的物料，是消除、减弱粉尘危害的根本途径。如用湿法生产工艺代替干法生产工艺，用含游离二氧化硅低的原料代替含游离二氧化硅高的原料等。

2. 抑尘工艺与措施

（1）密闭隔离措施　物料采用密闭管道输送、密闭自动称量、密闭设备加工等，防止粉尘外逸。不能完全密闭的尘源，在不妨碍操作条件下，尽可能采用半封闭罩、隔离室等设施来隔绝、减少粉尘与工作场所空气的接触，将粉尘限制在局部范围内，降低粉尘的危害程度。

（2）降低物料落差　通过降低物料落差、适当降低溜槽倾斜度、隔绝气流、减少诱导空气量等方法，可抑制由于正压造成的扬尘。

（3）喷雾增湿降尘　对亲水性、弱黏性的物料和粉尘应尽量采用增湿、喷雾、喷蒸汽等措施，可有效地减少物料在装卸、运转、破碎、筛分、混合和清扫过程中粉尘的产生和扩散。厂房喷雾有助于室内漂尘的凝聚和降落。

（4）防止二次扬尘　应在设计中合理布置，尽量减少积尘平面，地面、墙壁应平整光滑，墙角呈圆角，便于清扫。使用负压清扫装置来消除逸散、沉积在地面、墙壁、构件和设备上的粉尘。对炭黑等污染大的粉尘作业及大量散发沉积粉尘的工作场所，则应采用防水地面、墙壁、顶棚、构件和水冲洗的方法，及时清理积尘。严禁用吹扫方式清尘。

（5）改革物料包装　对污染大的粉状辅料宜用小包装运输，连同包装袋一并加料或加工，以限制粉尘扩散。

3. 通风除尘

通风除尘设施是尘源控制与隔离的重要手段。局部机械通风除尘是通过收尘

系统对工房内的尘源进行通风除尘，使局部作业环境得到改善，是目前工业生产中控制粉尘扩散、消除粉尘危害的最有效的办法之一。吸尘罩是局部机械通风的关键部件。要做到形式适宜、位置正确、风量适中、强度足够、检修方便。

4. 个人防护

由于生产工艺、经济和技术等原因，通风设施无法使粉尘达到卫生标准要求时，操作工人必须配戴防尘口罩等个人防护用品，通过补救措施来减少粉尘对人体的危害。

5. 其他综合措施

应加强对粉尘作业人员的防尘教育、上岗前和定期体检，定期进行防尘设施的维护与检修以及粉尘浓度的定期检测与评价等工作。

（三）常用除尘设备简介

除尘器是将粉尘从含尘气流中分离出来的净化设备。除尘器的主要技术参数有除尘风量、除尘效率、阻力等。其工作原理主要是利用重力、惯性力、离心力、热力、扩散黏附力和电力等进行分离净化。除尘器的形式很多，大体上可以分为干式、湿式和半干半湿式三大类。各类除尘器的性能及除尘效率比较见表 1-3。

表 1-3 各类除尘器性能及除尘效率比较

序号	除尘器类型	除尘效率/%	最小捕集粒径/μm	阻力/Pa
1	重力沉降室	<50	50～100	50～120
2	惯性除尘器	50～70	20～50	300～800
3	旋风除尘器	60～90	20～40	400～1500
4	袋式除尘器	95～99	5～10	800～1500
5	电除尘器	90～98	0.5～1	50～200

与除尘器配套的风机主要有离心式、轴流式、横流式。风机的选择除要考虑效率、转速与流量等机械参数外，其运行中噪声强度也要作为重要的选择参数来考虑，以避免在控制粉尘措施效果达标后又出现噪声超标严重的局面。

1. 重力沉降室

重力沉降室是通过粉尘本身的重力使尘粒从气流中沉降分离出来的装置。

重力沉降室仅适用于 50μm 以上的大粒径粉尘。由于其除尘效率低、占地面积大，现在很少使用。多作为高浓度除尘系统中的一级除尘装置。

2. 旋风除尘器

旋风除尘器是利用气流旋转过程中作用于粉尘颗粒上的离心力，使尘粒从气流中分离的装置。旋风除尘器具有结构简单、体积小、维护方便等特点。

旋风除尘器主要用于清除含 10～20μm 粉尘为主的尘源，也可用作多级除尘器的第一级除尘器。

3. 湿式除尘器

湿式除尘器是通过含尘气体与液滴或液膜的接触使尘粒从气流中分离的装置。其优点是结构简单、投资低、占地面积小、除尘效率高、能同时对有害气体

进行净化。其缺点是除尘物料不能干法回收，泥浆处理困难。

湿式除尘器适宜处理有爆炸危险性或同时含有多种有害物质的气体，如常见燃煤锅炉烟气的水麻石除尘等。

4. 过滤除尘器

过滤除尘器是将含尘空气通过织物的过滤层或通过由填充材料构成的过滤层，把粉尘阻留下来的装置。常用的有袋式除尘器，过滤材料主要是合成纤维、金属丝、丝网等。

袋式除尘器除尘效率高，应用广泛。但不适于处理高温、高湿、含尘气体。

5. 电除尘器

电除尘器是利用高压电场产生的静电力，使尘粒从空气中分离。电除尘是一种高效干式除尘器，阻力低，可处理高温、高湿气体，主要用于大型除尘工程。

6. 泡沫除尘

泡沫除尘是在喷雾除尘基础上发展起来的一种除尘方式。同喷雾洒水降尘相比，其耗水量减少一半以上。泡沫除尘的效果好，一般可达 90%以上，尤其对 5μm 以下的呼吸性粉尘除尘效率高。可广泛用于煤矿和石料破碎等场所。

三、生产性毒物的控制措施

工作场所中毒物的危害形式以气体为主，少数以蒸气、粉尘和液体形式存在。因此，生产性毒物控制的重点是有毒气体。控制措施有工程技术措施、管理措施和个人防护等，以工程技术措施为主。

(一) 工程技术措施

1. 工艺改革

尽可能以无毒、低毒的工艺代替高毒工艺，以无毒、低毒的物料代替高毒物料，这是防毒的根本措施。如目前采用的无铅印刷工艺、无氰电镀工艺，用醇类、醋酸乙酯等低毒溶剂取代含苯溶剂等。

2. 密闭化生产

生产装置及工艺设备应管道化、密闭化，尽可能实现负压生产，防止有毒物质向外泄漏。生产过程机械化、自动化可使工作人员远离毒物发生源，不接触或少接触有毒物质。

3. 通风净化

受技术及经济条件限制，仍然存在有毒物质逸散且自然通风不能满足要求时，应设置必要的机械通风排毒与净化装置，使工作场所达到卫生标准。通风排毒主要有全面通风和局部通风两种形式。有害气体的净化方法主要有燃烧法、冷凝法、吸收法和吸附法。目前多采用吸收法和吸附法。

4. 事故处理装置

对有毒物质泄漏可能造成急性职业中毒事故的设备和工作场所，应设置可靠的事故处理装置和应急防护装置。如液氯罐旁设置浓碱池，有酸碱腐蚀性伤害的

场所设置喷淋装置等。

（二）个人防护措施

由于生产工艺、经济和技术等原因，防毒设施无法达到卫生标准要求时，操作人员应配戴防毒面罩和毒物报警器等个人防护用品。

（三）综合管理措施

用人单位应加强对作业人员的防毒教育及职业卫生知识培训，并做好上岗前和定期体检等工作。

四、噪声危害控制措施

（一）生产性噪声分类

生产性噪声按其产生原因可分为空气动力性噪声、机械性噪声和电磁性噪声三大类。

1. 空气动力性噪声

空气动力性噪声是由于气体振动产生的，当气体发生涡流或压力突变时，引起气流的扰动而产生噪声。如风机、空压机、喷射器、冲刷器噪声等。

2. 机械性噪声

机械性噪声是由于固体振动而产生的，在撞击、摩擦、转动等机械应力作用下，引起物体的弹性变形，产生振动与噪声。如球磨机、纺织机、机床噪声等。

3. 电磁性噪声

电磁性噪声是由于电机中交变力相互作用而产生的。如变压器、发电机等产生的噪声。

此外，生产性噪声根据持续时间和出现的形态可分为连续性噪声、稳态噪声、非稳态噪声和脉冲噪声；根据噪声频率特性和频谱特点又可分为低频噪声、中频噪声和高频噪声，以及窄频带噪声和宽频带噪声。

（二）噪声控制措施

只有当声源、声音传播途径和接受者三要素同时存在时，噪声才可能对劳动者产生危害。因此控制与治理措施应从声源上根治噪声、传播途径上控制噪声和对接受者采取个体防护措施三个环节考虑。

1. 声源控制

控制声源的主要措施有：

① 减少冲击性工艺和高压气体排空工艺，尽可能以焊代铆、以液压代冲压、以液动代气动；

② 选用低噪声设备；

③ 对产生较大振动的设备、管道与基础、支架之间采用柔性连接；

④ 提高设备加工精度和装配质量，减少机械摩擦与碰撞；

⑤ 采用机械化、自动化程度高的生产工艺和生产设备，实现远距离的监视操作。

2. 控制噪声的传播途径

控制噪声的传播途径主要措施有：

① 厂区合理布局，将高噪声车间与低噪声车间分开布置，对特别强烈的声源，可设置在厂区偏僻地区；

② 利用厂区内山岗、土坡、绿化带等隔声屏障减弱噪声源向接受者传播的强度；

③ 同一车间内的机械设备，在工艺条件容许情况下，高低噪声设备应分区布置；

④ 合理设计声源的排放指向，减弱噪声对敏感区域的影响；

⑤ 采取消声、隔声、吸声、隔振、阻尼等声学技术措施阻断或屏蔽噪声源向外传播；

⑥ 采取吸声、隔声、隔振等声学技术措施阻断或屏蔽外部噪声向隔声室传播。

噪声控制工程常用方法有消声、吸声、隔声、隔振和阻尼等，其降低噪声原理与应用效果情况见表 1-4。

表 1-4 几种噪声控制工程措施的原理与效果比较

序号	控制措施类型	降低噪声原理	适用场合	降噪效果/dB(A)
1	吸声	利用吸声材料或结构，降低工房内反射声。如吸声墙、吊挂吸声体等	车间噪声源多，而且分散	4～10
2	隔声	利用隔声结构，将噪声源和接受点隔开。常用的有隔声罩、隔声室	车间人多，噪声设备少宜用隔声罩；反之宜用隔声室	10～40
3	消声	利用阻性、抗性和小孔喷注、多孔扩散等原理，消减气流噪声	气动设备的空气动力性噪声	15～40
4	隔振	将振动设备与地板的刚性接触改为弹性接触，隔绝固体声传播	机械振动严重	5～25
5	阻尼（减振）	利用内摩擦损耗大的材料涂贴在振动件表面上，减少金属薄板的弯曲振动	设备金属外壳、管道等振动与噪声强度较大场合	5～15

3. 个人防护

当采取噪声控制措施后，工作场所噪声仍不能达到标准要求时，应为劳动者提供适宜的个人防护用品，如耳塞、耳罩、防声头盔、防声棉等。其防护效果见表 1-5。

表 1-5 几种防噪声个人用品效果比较

序号	类型	使用说明	隔声量/dB(A)
1	棉花	塞在耳内	5～10
2	棉花涂蜡	塞在耳内	10～20
3	伞形耳塞	塑料或人造橡胶	15～30
4	柱形耳塞	乙烯套充蜡	20～30
5	耳罩	罩壳内衬海绵	20～40
6	防声头盔	头盔内加耳塞	30～50

国外已研制成功有源护耳器，它是用一个新声源产生与原声源相位相反、振幅相等的声音，以抵消原声源的原理。这一新技术的推广应用有望使防噪声护耳器效果更好。

五、高温危害控制措施

高温环境是由于太阳的热辐射和气温的升高以及各种热源散发热量而形成的。高温作业的气象条件包括空气的温度、湿度、风速和热辐射四个方面，可分为高温强辐射热作业和高温高湿作业两大类型。不论是高温还是强热辐射，都会对机体产生热作用，影响机体的热平衡。

（一）工程技术措施

1. 优化设计与布局

在工厂总平面布置和厂房内设备布局设计时，要充分考虑控制热源的优化设计方案，应做到下列几点：

① 尽量将热源集中布置在当地夏季最小频率风向的被保护对象的上风侧；

② 高温车间的纵轴应与当地夏季主导风向相垂直，当受条件限制时，其角度不得小于 45°；

③ 高温热加工建筑物应避免西晒；

④ 高温热源尽量布置在车间外当地夏季最小频率风向的上风侧；

⑤ 车间内的高温热源和工业窑炉应布置在天窗下方或靠近车间下风侧的外墙侧窗附近；

⑥ 车间内发热设备相对于操作岗位应设计安置在夏季最小风向频率上风侧；

⑦ 热加工厂房应设置天窗挡风板，厂房侧窗下缘距地面不应高于 1.2m；

⑧ 放散大量热量的厂房宜采用单层建筑；

⑨ 当厂房是多层建筑物时，放散热源应布置在建筑物的高层；

⑩ 车间内的热源应尽量远离操作者。

2. 隔热措施

隔热是防暑降温的一项重要措施。隔热的机理是隔断热源的辐射热作用，同时还能相应减少对流散热，将热源的热作用限制在某一范围内。

（1）建筑物隔热　建筑物隔热主要是减少太阳辐射热传入车间的热量，一般要从建筑物的屋顶、外窗与外墙多方面入手，如屋顶加保温层、屋顶喷水、窗扇安装遮阳板等。

（2）设备隔热　高温车间对热设备采取隔热措施，可以减少散入车间工作场所的热量。常用方法有热绝缘和热屏障两类。

热绝缘是在发热体外直接包裹一层导热性能差的材料，以增加热阻、减少发热体向外散发热量。

热屏障是将热源与劳动者隔离的装置。可分为透明、半透明和不透明三类，其中透明热屏障应用最广，如炉前的玻璃板、淌水玻璃板和瀑布式水幕等。

3. 通风降温措施

通过通风换气带走热车间的受热空气，并把外面的冷空气置换进来。通风降温措施形式多种多样，根据通风的方式可分为自然通风和机械通风，根据换气范围可分为局部通风和全面通风。

4. 空调降温措施

空调降温措施是控制高温职业病危害最有效的工程措施之一。但存在投资费用多、使用成本高等缺点，且在大量散发热源和有害气体的工作场所中不宜使用。

空调降温措施可分为中央空调系统和室内空调装置两大类。一般对生产工艺要求高的洁净厂房、中央控制室以及人员集中的工作场所宜选用中央空调系统；岗位操作室、休息室等宜选用室内空调。

（二）卫生保健措施

常用的卫生保健措施有：

① 高温作业工人就业前及入夏之前应做好职业性体检，对患有心血管系统器质性疾病、高血压、甲亢、肝肾疾病等职业禁忌证人员，不得从事高温作业；

② 限制每次持续接触热时间，可采取轮流作业等工作方式；

③ 加强个体防护，穿戴好隔热防护用品，提供清凉饮料。

六、个体防护用品简介

个体防护用品按用途和性质分防尘、防毒、防噪声、防电、防高温辐射、防微波和激光辐射、防放射线、防酸碱、防油、防水、水上救生、防冲击、防坠落、防机械外伤和脏污、防寒和其他安全卫生用品等 16 类。按使用功能又可分为眼睛保护、听力保护、呼吸保护、皮肤防护以及防护服、安全带、保险带等。

（一）呼吸保护器具

呼吸保护器具分为两大类：一类是过滤式呼吸保护器，当空气通过过滤装置时，污染物被阻留过滤，而空气得以净化；另一类是供气式呼吸保护器，它是从一个未经过污染的外部气源，向配戴者提供洁净空气。

1. 过滤式呼吸保护器

常用的品种有普通口罩、半面罩呼吸保护器、全面罩呼吸保护器、动力空气净化呼吸保护器、动力头盔呼吸保护器等。值得注意的是，过滤式呼吸保护器的作用仅仅是过滤空气中的有害物质，因此对缺氧空气环境提供不了任何保护作用。

2. 供气式呼吸保护器

供气式呼吸器主要有长管洁净空气呼吸器、压缩空气呼吸器和自备气源呼吸器三种。适用于空气中污染物浓度高或氧气浓度低等不适合使用过滤式呼吸器的环境。

（二）听力保护器具

听力保护器具主要有两大类：一类是置于耳道内的耳塞，用于阻止声能进入；另一类是置于外耳外的耳罩和防噪声帽，限制声能通过外耳进入内耳。值得注意的是，耳塞和耳罩均不能阻止相当一部分的声能通过头部传导到听觉器官。

（三）眼睛保护器具

眼睛保护器具主要分为护目镜和防护面罩两大类。

1. 护目镜

常用的护目镜有焊接及炉窑护目镜、防微波护目镜、防激光护目镜、防射线护目镜、安全护目镜等。其中防微波护目镜有金属网防微波眼镜、金属微孔或镀金属膜防微波眼镜等多种类型，对微波有屏蔽和反射作用。防射线护目镜常用的有防 X 射线眼镜（铅玻璃镜片）和防中子眼镜（含硼透明树脂板镜片）。

2. 防护面罩

防护面罩常见的有焊接面罩和窑炉防热辐射面罩等。

（四）手部防护器具

主要包括防护手套和防护套袖两大类。其中防护手套有耐酸碱手套、焊工手套、防 X 射线手套、防水手套、防毒手套、防机械伤害手套、防静电手套、防振手套、防寒手套、防开水手套、防辐射热手套、耐火阻燃手套、电热手套、防微波手套和耐切割手套等。

（五）皮肤保护用品

皮肤保护用品主要是各类护肤膏和清洁剂，分为防水、防油、皮膜、遮光和其他用途五类。常用的有亲水性防护膏、疏水性防护膏、遮光护肤膏、皮肤清洗液、皮肤干洗膏、皮肤防护膜、胶原护肤手膏。

七、防护措施效果识别与评价

建设项目“三同时”配套防护设施往往对职业卫生、环保和安全同时发挥重要作用。由于三个部门各自的职能不同，导致对防护设施效能评价所关注的角度也不同，其评价指标和方法有较大的差异。如面粉厂的面粉收尘系统，环保部门重点关注系统的除尘效率和向大气中排放的面粉尘浓度与总量；安全部门关注的焦点是工作场所和相关密闭空间面粉浓度不至于超过面粉尘爆燃的程度；职业卫生部门则重点关注收尘系统的通风量、罩口形状与风速，以及能否保证劳动者在生产活动中经常到达的工作场所面粉尘浓度不超过国家职业接触限值。因此，职业病危害防护措施的效果评价依赖于防护措施实施后对工作场所的职业病危害因素的定量识别。

1. 局部机械通风除尘系统效果识别与评价

局部机械通风除尘系统的职业病危害控制效果识别，首先应充分了解工艺流程、粉尘性质和尘源发生规律以及劳动者生产操作方式、接触方式等，然后确定控制点位置。控制点应是劳动者在生产活动中经常到达的地点，且粉尘浓度有可

能出现最高值的位置。在局部机械通风除尘系统正常运行的工况下，对控制点粉尘浓度进行系统采样测试，尚可对该除尘系统作出客观的控制效果识别与评价。在实际工作中还可测试系统通风量、罩口风速以及分别测试局部机械通风除尘系统关闭与正常运转两种情况下控制点粉尘浓度，以系统通风量、罩口风速和控制点粉尘浓度下降倍数作为除尘系统职业病危害控制效果识别与评价的辅助指标。

2. 噪声防护工程设施效果识别与评价

对噪声防护工程设施的职业病危害控制效果识别与评价也应以工作场所噪声控制点实测数据为依据，以控制工作场所噪声强度不超过国家标准为目的。

识别与评价隔声罩对声源的衰减作用时，应分别测试隔声罩安装前后控制点噪声强度，并以隔声罩安装后能否保证工作场所噪声强度不超标作为识别与评价该设施职业病危害防护控制效果的重要指标。

隔声室是阻止外界噪声传入的建筑设施，应重点测试隔声室内平均噪声强度值，以隔声室内噪声强度不超标作为识别与评价该设施职业病危害防护控制效果的指标。

当噪声防护工程设施效果仍然达不到国家标准时，应加强个人防护，减少噪声对劳动者的危害程度。

第八节 职业病危害因素识别示例

一、类比法在某扩建项目职业病危害因素识别中的应用

【例一】

（一）建设项目概况

某化工企业为满足市场对 SBS 弹性体需求，拟在目前年产 5 万吨的基础上再建一套设备工艺完全相同的年产 5 万吨生产装置，使产能扩大 1 倍。拟扩建下列生产装置：

① 聚合工号，增加 80m^3 聚合釜的聚合生产线一条；

② 凝聚工号，增加一条凝聚生产线，并且对现有凝聚工艺生产线进行优化改造；

③ 后处理工号，新增一条年产 5 万吨的后处理生产线；

④ 其他丁基锂工号、溶剂回收工号、原料精制工号、循环水站、制冷站、空压站等辅助设施利旧，本次不进行改扩建。

（二）确定类比对象

根据类比对象相似性原则，该企业已建 SBS 生产装置是最好的类比对象。类比对象的地理位置、生产工艺、生产设备、产品产量均相同，因此类比对象的可比性极好。

在实际工作中，有时很难找到完全相同的类比对象。因此应对两者的异同点做系统的比较，特别是要对不同点的可比性做详尽的论证。如可论证拟建项目设备更先进、防护设施效果更好，工作环境中有害物浓度可能比类比对象更低，则确定此项目资料做类比对象仍有较好的可比性。

（三）职业病危害因素类比识别

1. 类比对象工艺流程

SBS 干胶及 SBS 充油胶是以丁二烯及苯乙烯为原料，环己烷为溶剂，四氢呋喃为活化剂，正丁基锂为引发剂，四氯化硅为偶合剂，经三步法反应后加入终止剂和防老剂而制得。经凝聚、挤压脱水、膨胀干燥、闪蒸脱水、切粒、包装等后处理可制得 SBS 成品干胶产品。

2. 类比对象职业病危害因素识别

（1）聚合工段　聚合反应在聚合釜中进行。物料均由管道和工业泵密封输送。但在下列地点有物料泄压与排空（表 1-6），因此存在环己烷、苯乙烯、丁二烯及其他烃类危害因素。此外，聚合出胶双螺杆泵和聚合离心泵产生高强度的噪声。

表 1-6　聚合工段主要毒物污染源

排放部位	排放物种类	主要毒物种类
聚合釜	聚合釜泄压尾气	环己烷、苯乙烯、丁二烯、其他烃类
聚合缓冲罐	缓冲罐泄压尾气	环己烷、其他烃类
防老剂、引发剂配制罐	防老剂、引发剂配制泄压尾气	环己烷、其他烃类

（2）凝聚工段　聚合后的胶液进胶液罐搅拌混匀，再经胶液泵送入凝聚釜，通入热水并进行汽提，溶剂环己烷被蒸出，脱除溶剂的高聚物在此形成胶粒，和热水一起用胶粒水泵送至后处理工号。

此过程产生的主要职业病危害因素为噪声、环己烷、丁二烯、苯乙烯及其他烃类等。

（3）后处理工段　从凝聚送来的胶粒进入挤压脱水机进行挤压脱水，然后进入膨胀干燥机、膨胀闪蒸、切粒、包装等。

该工段产生的主要职业病危害因素为噪声、高温、SBS 粉尘及振动等。其中产生粉尘的岗位有搅拌式干燥器、包装机、干燥箱出料口。

综上所述，通过类比分析确定该项目存在的职业病危害因素有环己烷、丁二烯、苯乙烯、四氢呋喃、四氯化硅、烃类、SBS 粉尘、高温、噪声及振动等。在定性识别后，再以现场监测手段进行定量识别，最后以此数据来类比预测拟建项目的职业病危害情况。

二、工程分析法在新建焚烧炉危害因素识别中的应用

【例二】

（一）建设项目概况

某城市为集中处理医用垃圾，拟新建一座一体化医疗废弃物无害化处理站。

技术方案选定一台一体化双台式 ECO 热氧化器和配套的废弃物转运、烟气净化等设备。其工作原理是：固体废物装满第一燃室后，以燃料点燃废物。7～8 分钟后第一燃室温度可达 500～600℃，自动停止供燃料。废物在缺氧条件下自燃裂解，产生的气体经烟道进入第二燃室，有毒气体和碳粒在高温下全部分解燃烧。由计算机控制热氧过程，整个过程需要持续 8～10 小时。

（二）工程分析与职业病危害因素识别

1. 有毒气体的产生

医疗废弃物成分较为复杂，其中含有各类生物性有机物、塑料、玻璃、金属等。燃料采用柴油或汽油，在热氧化燃烧时，废弃物中的硫、氮、氯等元素生成二氧化硫，氯化氢、氮氧化物、二氧化碳等酸性气体。在一级燃烧时，温度控制在 500℃左右。由于缺氧燃烧，因此将有大量的一氧化碳和少量的硫化氢产生。

由于采用汽油和柴油作燃料，因此会存在汽油和柴油的职业病危害。废弃物中含有金属类物质，在高温条件下熔化，产生金属烟雾污染环境，因此可能存在汞、镉、铅等重金属职业危害。

此外，含氯有机物在燃烧时生成二噁英类物质。二噁英类物质是多氯代二苯并对二噁英和多氯代二苯并呋喃的总称，属强致癌物。

2. 粉尘的产生

在一级燃烧时，由于燃烧不充分，烟气中含有大量的烟尘。此外，如果炉体密封不好，粉尘将污染车间空气。

3. 噪声的产生

机械设备在工作时均产生程度不同的噪声，其中引风机、水泵和运输车辆将产生高强度的噪声。

4. 高温的产生

废弃物氧化燃烧产生高温，炉体及管道将产生强辐射热，如果热量得不到及时的散发，可形成高温作业环境。

5. 病原微生物的污染

来自医院医疗废弃物的病原体（细菌、真菌及病毒等）在收集、运输、储藏过程中都有可能污染工作环境，给工作人员带来职业危害。

通过上述工程分析，该项目存在的职业病危害因素有二氧化硫、氯化氢、氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳、硫化氢、二噁英，汞、镉、铅等重金属，焚烧物粉尘，高温、噪声和病原微生物等。

三、实测法在有机气体组分识别中的应用

【例三】

1. 建设项目概况与工艺流程

某企业投资新建了一条钢制板式散热器生产线，拟进行建设项目职业病危害控制效果评价。

该建设项目主要包括对流片生产线、连续冲压成型与焊接生产线、涂装生产线和包装线。其中涂装生产线生产工艺为：首先将散热器经过表面脱脂、喷淋漂洗、钝化处理，再通过自泳漆和后处理固化等工序。后处理工序主要是喷涂后处理剂，供货商提供的后处理剂配方是水、异丙醇、胶黏剂等。

2. 职业病危害因素识别过程

根据供货商提供的资料对后处理岗位有毒物质仅能识别出异丙醇一种有毒气体，但在气相色谱定量检测时发现多个未知有机物色谱峰。于是对空气样品进一步进行气相色谱-质谱定性定量分析，发现空气样品中除含有较高浓度的异丙醇外，还含有较高浓度的丙醇和丁醇等。

可见实测法能弥补其他识别方法的不足。

四、理论推算法在扩建项目噪声危害识别中的应用

【例四】

1. 建设项目概况

某公司热电厂现有 220t/小时燃煤锅炉 3 台，为满足生产需要，拟在总体规划预留场地上再建 1 台锅炉，其型号与已有的完全相同。主厂房为半敞式结构，横向跨度 21.8m，长 96m。锅炉呈直线排列。按一炉两机配备磨煤机，磨煤机组安装在一楼南侧。磨煤机呈直线布置，型号均为 DTM290/470 型钢球磨煤机，并配套安装了风量达 57743m³/小时的排粉机 6 台，以及磨煤机润滑油站和检修起吊设施等。新建锅炉磨煤设施拟布置在该区的东侧，增加磨煤机和排粉机各 2 台，型号与现有设备相同。为减少磨煤机噪声对周围的污染，在一楼距磨煤机 3m 处建造一道高 8m、长 96m 的隔声墙将磨煤区隔离。

测得磨煤室内噪声强度最大值为 97.5dB(A)，最小值为 90.0dB(A)，平均值为 94.5dB(A)。

2. 噪声叠加强度推算

磨煤室内可看成一个稳态声场，室内各点噪声由机器直达声场和混响声场两部分组成。根据声能叠加原理，噪声叠加后的声压级（L_{1+2}）为：

$$L_{1+2}=10\lg\frac{I_1+I_2}{I_0}$$

式中 I_1+I_2——增加磨煤机组后的总声能密度；

I_1——增加磨煤机组前声能密度；

I_2——新增的磨煤机组声能密度；

I_0——基准声能密度，即 $10^{-12}\,W/m^2$。

如果增加的设备声能密度与现有声能密度不呈比例关系，应依据设备提供的声学参数，按上述声能叠加公式予以计算。

如果增加的声能密度与前者呈倍数（N）关系，则上式可简化为：

$$L_{1-2}=L_1+10\lg(N+1)$$

式中 L_1——增加磨煤机组前的声压级（$10\lg\frac{I_1}{I_0}$）；

N——新增声能密度与原有声能密度之比。

推导：因已知 $I_2=NI_1$，故 $L_{1+2}=10\lg\frac{I_1(N+1)}{I_0}=10\lg\frac{I_1}{I_0}+10\lg(N+1)$。

本项目扩建一台锅炉磨煤机组后，因室内墙壁吸声性能与室内容积改变不大，故可预测声能密度将增加 1/3，即 $N=1/3$。

$$L_{1+2}=L_1+10\lg(N+1)=L_1+10\lg\frac{4}{3}=L_1+1.2$$

因 L_1 为现有声压级，故磨煤室内噪声平均值将增加 1.2dB(A)，即依据噪声叠加法推算结果该项目扩建完毕后其磨煤室内平均噪声强度预测值为 95.7dB(A)。

五、理论推算法在有毒气体泄漏事故危害识别中的应用

【例五】

1. 建设项目概况

某拟建燃煤火力发电厂锅炉给水系统采用碱式处理，使用液氨为锅炉给水、凝结水调节 pH 值。液氨由钢瓶储存，工人需将液氨钢瓶与自动加药装置连接，然后由 DCS 控制自动加到锅炉水中。因此该扩建工程有突发液氨泄漏中毒事故的风险。如操作工人违反操作规程或钢瓶爆裂等，会造成大量氨气泄漏，导致操作人员和周围工作人员的急性氨气中毒甚至死亡事故。

2. 有毒气体半球扩散模型介绍

有毒气体半球扩散模型是一种有毒气体泄漏危害区域简单定量识别的方法。闪蒸液体或加压气体瞬间泄漏后，有一段快速扩散时间，此时泄漏的气体或液体闪蒸形成的蒸气的气团呈半球形状向外扩散。该法主要适合于大工房无有组织通风系统运行的状况下有毒气体泄漏的定量识别。

有毒气体泄漏半球扩散半径计算公式如下：

$$R=\sqrt[3]{\frac{V_g/C}{2.0944}}$$

式中 R——有毒气体的扩散半径，m；

V_g——有毒介质的蒸气体积，m^3；

C——有毒介质在空气中危险浓度值，%。

V_g 可通过查表或引用下列公式计算而得：

$$V_g=\frac{22.4WC(t-t_o)}{Mq}\times\frac{273+t_o}{273}$$

式中 W——泄漏有毒气体的质量，kg；

C——泄漏有毒气体的平均比热容，kJ/(kg·℃)；

q——泄漏有毒气体的汽化热，kJ/kg；

t——室内温度，℃；

t_o——泄漏有毒气体的沸点，℃；

M——泄漏有毒气体的相对分子质量。

3. 中毒事故氨气浓度定量识别

应用上述有毒气体泄漏半球扩散模型，可定量识别当液氨大量泄漏时离泄漏点不同距离的氨气浓度分布状况。如当室内气温 25℃、氨气泄漏量达 50kg 时，计算 V_g 值为 11.1m³，距离泄漏点 10m 位置氨气的浓度可达 3800mg/m³。

同样也可以氨气对人体毒性临界浓度值分别计算立即致死半径、中毒半径和无刺激作用最小距离等。

以泄漏 50kg 液氨量计算有关半径如下：

① 以氨气吸入立即致死浓度（$C=7000mg/m^3$）计算吸入立即致死半径为 8.3m；

② 以氨气持续吸入 5～10 分钟致死浓度（$C=3800mg/m^3$）计算吸入致死半径为 10.2m；

③ 以氨气持续吸入 30 分钟出现眼和呼吸道刺激反应浓度（$C=140mg/m^3$）计算刺激反应半径为 30.6m；

④ 以氨气持续吸入 45 分钟无刺激作用浓度（$C=9.8mg/m^3$）计算无刺激作用最小距离（半径）为 74.1m。

根据以上理论推算的结果，可预测氨气泄漏设备事故可能导致的急性氨气中毒事故的后果，为制定应急救援预案提供依据。

（杨乐华、何　滔、张贻瑞、肖云龙）

煤火力发电机组

煤是人类最早利用的化石类燃料。19 世纪末到 20 世纪初，煤成为主要能源。近几十年来，发达国家增加石油等其他能源的消费，煤炭不再是第一能源。例如，美国的煤炭消耗在石油、天然气之后居第三位；日本因煤炭资源缺乏，主要能源是石油、天然气、水力和核能。而我国煤炭资源丰富，在今后十年乃至几十年内，煤炭仍将是主要能源之一。

目前我国的电力来源主要来自于火力发电，约占电量的 81%。在今后相当长时间内这种格局还难以改变，因此目前火电建设仍然是整个电力建设市场中的重头戏。在国务院提出电力工业要以“大机组、大电网、超高压”为发展方向的产业政策引导下，300MW 燃煤机组已成为运行中的主力机组，600MW 亚临界和超临界机组是目前在建和今后拟建燃煤火力发电项目中的主流机组。此外，位于东海之滨的浙江华能玉环电厂是我国首座计划装备国产百万千瓦级超超临界燃煤机组的电厂，规划装机容量为 4 台 100 万千瓦超超临界燃煤机组，一期工程建设 2 台 100 万千瓦机组，已于 2004 年 6 月开工，预计 2007 年底投产。这项国家重点工程的节能、环保、节水先进技术将代表我国燃煤电厂的发展方向，与国外发电技术差距缩短了 30～40 年，达到国际先进水平。

目前我国大型火力发电厂绝大多数为亚临界或超临界参数的煤粉炉，中小型热电厂多为中压、次高压、高压煤粉锅炉或流化床锅炉。为适应我国北方水资源匮乏的状况，目前已开发了大型直接空冷系统。空冷技术的最大特点就是节水。

第一节　煤粉炉发电机组

目前国内外大中型燃煤火力发电机组普遍采用煤粉炉燃烧技术，一大批 600MW 大型煤粉炉发电厂正在全国各地兴建。

一、工艺简介

在燃煤火电项目设计中，根据所选煤质的发热量大小选择锅炉设计参数，如亚临界参数锅炉、超临界参数锅炉或超超临界锅炉等；依据煤质的可

磨系数大小选择磨煤机的种类，一般选择钢球磨机，煤质硬度小可选择中速磨等。尽管不型可有所不同，但工艺流程基本相同。

典型大型燃煤（煤粉炉）发电机组尘、汽轮机、发电机、升压变压器、供水及化学水处系统、维修保障系统等，火电厂鸟瞰见图 2-1，其总体工艺流程



图 2-1 燃煤火力发电厂鸟瞰

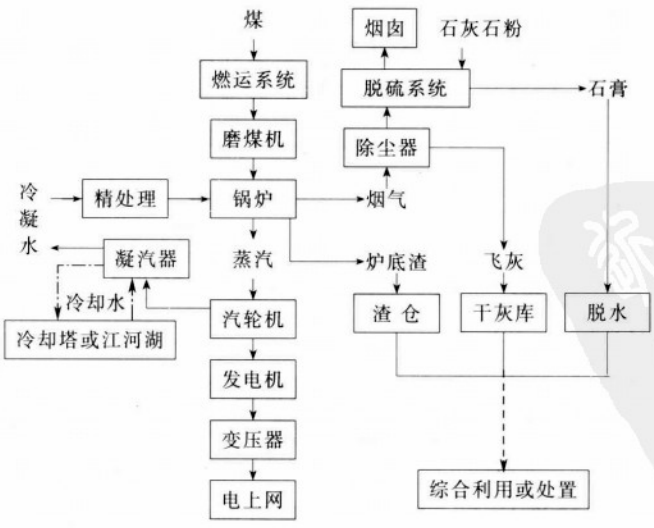


图 2-2 燃煤电厂总体工艺流程简图

（一）运煤制粉系统

原煤进入锅炉燃烧前，一般要经过卸煤、储煤、筛煤、碎煤、皮带运输、磨煤和给粉等工艺过程，工艺流程简图见图 2-3。其中卸煤装置依电厂燃煤运输方式不同而有所差异，如火车来煤多采用翻车机卸煤，船运来煤多采用抓斗卸煤等。设计燃烧混合煤种的电厂可能还有专门的配煤混煤系统。

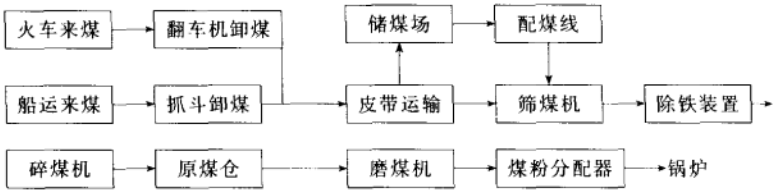


图 2-3 燃煤运输系统工艺流程简图

主要生产设备有翻车机或抓斗、斗轮堆取料机、推煤机、轮式装载机、滚轴筛、碎煤机、犁式卸料器、带式输送机、除铁装置、磨煤机等。一般根据所选煤种的可磨系数来选择磨煤机的类型，可磨系数小的煤种可选用中速磨，可磨系数大的煤种只能选择钢球磨。其中钢球磨机又分为单进单出和双进双出等型号。

可能存在的职业病危害因素：各种机械设备产生的噪声、振动；燃煤转运、加工过程中产生的煤尘等。

（二）锅炉与汽轮机系统

煤在锅炉燃烧产生的热经热交换产生水蒸气，蒸汽推动汽轮机。工艺流程见图 2-4。

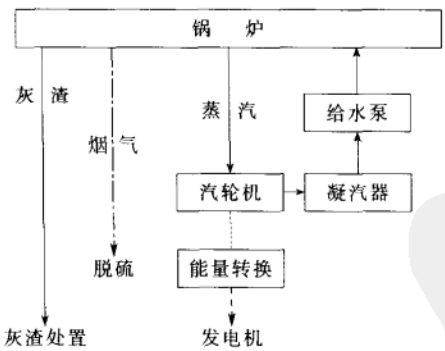


图 2-4 锅炉与汽轮机系统工艺流程

主要生产设备有锅炉和汽轮机，以及配套送风机、给水泵等，其中锅炉与汽轮机根据所选煤质配套原则，分超临界和亚临界参数两大类型。超临界和亚临界机组除工作气压和设备结构有差别外，其工作原理和存在的职业病危害因素基本相同。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动；锅炉燃烧过程中产生的二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳等有毒气体；炉渣尘、炉灰尘；高温、辐射热等。

（三）发电与输变电系统

汽轮机带动发电机发电，将机械能转化成电能，再经变压器升压后上网，工艺流程见图 2-5。

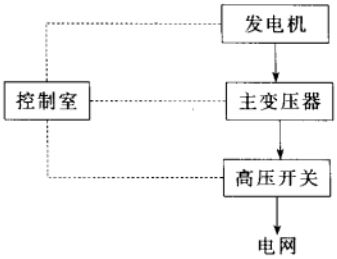


图 2-5 发电与输变电系统工艺流程

主要生产设备有发电机组、升压变压器及高压开关等设施。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动；主变压器、高压开关产生的工频电场；高压开关可能泄漏的六氟化硫及其分解产物等。

（四）供水及化学水处理系统

供水与化学水处理主要包括给水系统、循环冷却水系统、锅炉补给水处理系统、凝结水精处理系统和废水处理系统等。

由取水泵房抽取水源水，进入滤池过滤，然后进入各水处理系统。

1. 循环冷却水系统

我国大多数火电厂为节约用水，都建立了循环冷却水系统。

补充的原水经加氯、加灭藻剂、缓蚀剂等化学处理后进入循环水系统。工艺流程如图 2-6。加氯装置主要有两种方式：其一是采用液氯罐加氯，此法成本低，加入量容易控制，但存在氯气泄漏事故风险；其二是采用次氯酸钠发生器加氯，该法成本高，但没有导致氯气急性职业中毒的风险。

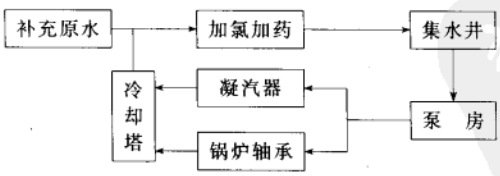


图 2-6 循环冷却水系统工艺流程

兴建在江河湖泊附近、水源充足的火电厂，为节约投资和运行成本，多采用一次循环冷却水系统。抽取江河湖泊水源水直接进入锅炉凝汽器和各种轴承冷却装置，升温后再排入江河湖泊中。该系统没有循环水冷却塔和加药装置。工艺流程如图 2-7。

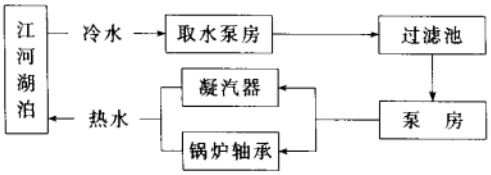


图 2-7 一次循环冷却水系统工艺流程

在沿海地区兴建的火电厂，为节约淡水资源，多采用海水冷却系统。该系统由海水冷却和淡水冷却两个系统组成。抽取海水经加氯杀灭水生生物后，直接送入锅炉凝汽器进行热交换，然后再排回大海。为避免锅炉轴承等器件的海水腐蚀，对这部分器件实行淡水冷却。该系统有冷却塔和加氯装置。工艺流程如图 2-8。

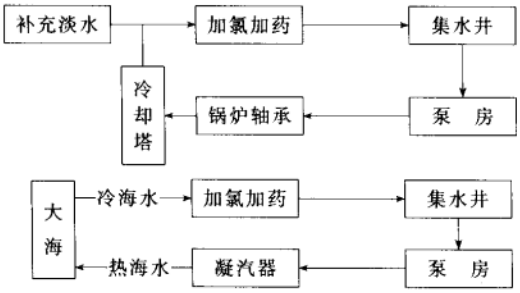


图 2-8 海水冷却系统工艺流程

2. 锅炉补给水处理系统

锅炉补给水处理系统由过滤、离子交换、除盐等工序组成。原水经过过滤器、离子交换、除盐等处理后，大部分进入凝结水精处理站，少部分供给制氢站。工艺流程参见图 2-9。

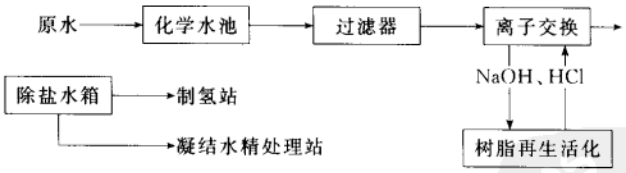


图 2-9 锅炉补给水处理系统工艺流程

3. 凝结水精处理系统

凝结水精处理系统主要由除氧器、加氨和加联氨装置组成。

一般情况下，仅在机组启动初期或凝结水精处理系统不正常（出水水质达不到要求）时，启动加联氨装置。所加联氨为稀释后的水溶液，在常温下挥发性不大。

加氨装置也有两种方式，其一是直接采购浓氨水，经稀释后控制流量加入；其二是配置液氨罐，先用氨气配备氨水溶液后再定量加入。前者使用方便、安

全，但成本较高；后者使用成本低，但存在氨气泄漏事故的风险。

4. 化学废水处理系统

主要是来自于化学水处理过程中树脂活化时产生的酸碱废水，一般通过中和沉淀、调整 pH 值后即可直接排放或作为冲渣用水等。目前现代化的燃煤电厂多数可做到废水“零排放”。

5. 其他废水处理

油灌区含油污水，除油后回收利用。

生活污水经处理后可作为冲渣用水。

输煤栈桥及建筑物冲洗水多为间断性排放，经收集、沉淀煤泥后，煤泥回收，清水重复利用。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动；各类加药间可能存在氯气、氨气、联氨、酸碱雾等化学毒物。

（五）电除尘与除灰除渣系统

锅炉排放的烟气首先经过电除尘器，再进入脱硫系统。锅炉燃煤排放的固体废物分为两类，即炉底排放的炉渣和电除尘器、省煤器等产生的飞灰。

除灰渣系统包括炉底渣处理系统、飞灰集中处理系统和灰渣外运处置系统。

1. 炉底渣处理系统

炉底渣处理方式可分为湿式除渣和干式除渣两种方式，目前火电厂一般采用湿式除渣方式。

湿式除渣方式主要采用水浸式刮板捞渣机或水封式排渣槽除渣，通过大倾角刮板捞渣机直接输渣至储渣仓。炉底渣处理系统工艺流程见图 2-10。主要设备有冲渣水泵、捞渣机、皮带输送机、渣仓等。

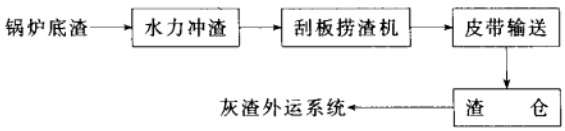


图 2-10　锅炉炉底渣处理系统工艺流程

2. 飞灰集中处理系统

随着技术的进步，粉煤灰综合利用的需求日益增长，再加上干灰气力输送系统设备的国产化率增大，设备造价下降，为采用干灰气力输送系统创造了条件。因此，目前国内新建大中型燃煤电厂普遍采用气力输送系统，飞灰集中处理系统工艺流程见图 2-11。

3. 灰渣外运处置系统

上述炉底渣处理系统和飞灰集中处理系统收集的炉底渣和飞灰，经过灰渣外运处置系统运送相关用户综合利用或送灰场处置。该系统根据灰渣利用情况可分水力输送、半干半湿输送和干式输送三种方法。

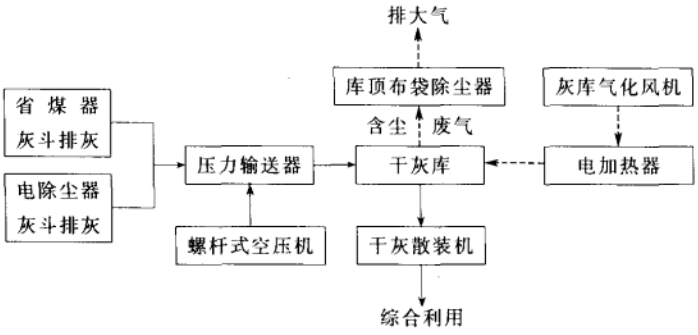


图 2-11　飞灰集中处理系统工艺流程

(1) 水力输送　炉渣通过碎渣机粉碎，飞灰通过加水混合，然后经灰渣泵加压，管道输送至灰渣场处置。

(2) 半干半湿输送　将飞灰加水 20%左右，搅拌成半干半湿的泥浆，用自卸车运输至灰场处置。

(3) 干式输送　该法主要是适用于对飞灰的综合利用，主要运输途径如下：

① 将飞灰过筛分类包装后外运；

② 用罐装汽车将飞灰运至综合利用用户；

③ 通过密闭管道系统，用风力输送至用户，如水泥厂等。

电除尘与灰渣处置系统主要设备（装置）有高效电除尘器、捞渣机、干灰散装机、罐装汽车、螺杆空压机、输灰装置等。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动；炉渣和飞灰收集处置过程中产生的粉尘；电除尘器产生的工频电场等。

(六) 烟气脱硫系统

西方一些发达国家及日本、韩国等，烟气脱硫技术已相当成熟，且种类很多，现已超过 200 种，归纳起来主要有四大类：

① 燃烧前脱硫，主要是对原煤净化，除去无机硫；

② 燃烧中脱硫，包括流化床燃烧（CFB）和炉内喷吸收剂等；

③ 燃烧后脱硫，包括石灰石-石膏湿法脱硫技术、石灰石-石膏半干法脱硫技术、石灰石-石膏干法脱硫技术、海水脱硫、氨碱法脱硫、电子束照射法和吸收剂再生等脱硫技术；

④ 联合脱硫，包括炉内喷吸收剂加尾部增湿活化法和煤气化联合循环等。

以上脱硫技术中脱硫效率能达到 90%以上的只有石灰石-石膏湿法、海水脱硫、氨法三种。

1. 氨水洗涤脱硫

氨水洗涤脱硫工艺的投资及运行成本均较高，该法一般适宜在中小燃煤机组上使用。

2. 海水脱硫

海水脱硫的应用受地域的限制，由于向大海内排放大量的含硫化合物，严重污染海洋水质，从环境保护的角度不宜大面积推广应用。

3. 石灰石-石膏湿法烟气脱硫

石灰石-石膏湿法烟气脱硫是一种燃烧后脱硫技术，该法为目前世界上燃煤电厂脱硫工艺中应用最广泛的一种脱硫技术，占现有脱硫装置的70%以上。特别在美国、德国和日本，应用该脱硫法机组容量约占电站脱硫装机总容量的80%以上，应用该法脱硫的单机容量已达1000MW以上。

我国的脱硫技术虽已发展了十多年，但由于经济原因，一直未普及开来。目前在运行的电厂中仅少数配套建设了烟气脱硫装置，如重庆珞璜电厂一、二期，太原第一热电厂，重庆电厂，杭州半山电厂，陕西韩城二电厂等采用了石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术。其中重庆珞璜电厂采用的是日本三菱公司的工艺技术，4台360MW机组，脱硫效率95%以上；重庆电厂应用德国的工艺技术，2台200MW机组，脱硫效率也在95%以上。

石灰石-石膏湿法脱硫工艺采用石灰石作脱硫吸收剂，石灰石经破碎磨细成粉状与水混合搅拌制成吸收浆液，作为吸收剂送入吸收塔。锅炉烟气经各自的电除尘器、引风机、脱硫系统入口挡板门、增压风机、气/气热交换器（GGH）进入各自的吸收塔。烟气由吸收塔下侧进入与吸收浆液接触，在塔内完成吸收、氧化反应，最终产生石膏。脱硫的化学反应过程如下：

$$SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$$

$$H_2SO_3 \longrightarrow H^+ + HSO_3^-$$

$$HSO_3^- + O_2 \longrightarrow H^+ + SO_4^{2-}$$

$$H^+ + SO_4^{2-} + CaCO_3 + H_2O \longrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O\downarrow + CO_2\uparrow$$

脱硫后的净化烟气由吸收塔出口至GGH后，将烟温升至80℃以上经烟囱排放。石灰石-石膏湿法脱硫工艺流程简图参见图2-12。

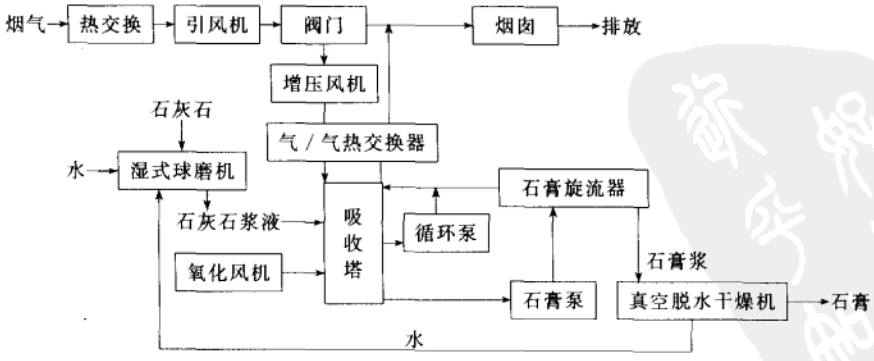


图2-12 石灰石-石膏湿法脱硫工艺流程简图

石灰石-石膏湿法脱硫系统主要设备（装置）有气/气热交换器、吸收塔、循环浆泵、石灰石浆泵、给料机、湿式球磨机、斗式提升机、真空泵、工艺水泵等。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动，脱硫过程中可能泄漏的烟气，石灰石加工过程中产生的石灰石尘，石膏脱水、运输过程中产生的石膏尘等。

如采用氨水脱硫存在氨气的职业病危害；如采用电子束照射法脱硫还存在电离辐射问题。

（七）辅助设施系统

辅助设施主要包括制氢站、柴油发电机房、空压机房、化验室、金属实验室等。

1. 制氢站

少数氢气来源较好的电厂没有建设制氢站，采用外购氢气供发电机冷却用。

制氢站多采用电解水的工艺制取氢，主要设备有水电解制氢装置、氢气干燥器、氢气储存罐等，工艺流程见图 2-13。

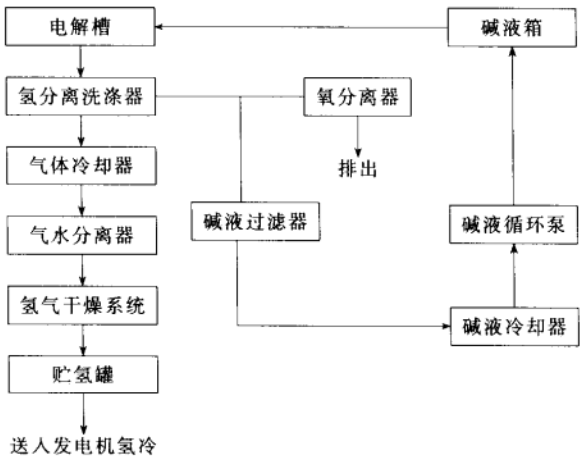


图 2-13 制氢站工艺流程

2. 空压机房

目前常用的空压机有活塞式和螺杆式两大类，其中螺杆式空压机噪声较小。需配制的其他设备有干燥器、储气罐等。

3. 柴油机房

火电厂需配备柴油发电机组，作为异常情况下保安和部分消防水泵电源。

4. 化验室

包括煤质检验、水质检验、化学品检验等。

5. 蓄电池室

目前电厂普遍采用免维修、全封闭蓄电池。如果采用普通蓄电池，则操作与维修人员可能接触到铅烟。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动；柴油发电机组存在一氧化碳、柴油烟雾；化验室可能接触汞及多种化学试剂等。

（八）维修系统

1. 锅炉维修

锅炉维修主要包括炉体和保温材料维修，蒸发水管等金属器件的维修。需用到气体保护焊、γ射线探伤仪或X射线探伤仪等。

2. 锅炉定期清洁除垢

一般新锅炉运行2～3年后要进行定期清洁除垢处理。所采用的方法多为化学法，使用氢氟酸清除水垢，然后再用亚硝酸钠进行钝化处理。

3. 仪表维修

目前电厂仪表维修工作量越来越少，如果涉及含汞仪表维修时，可能接触到汞。

4. 电器维修

电厂电器维修主要集中在各类电缆头、开关和变压器等，可能接触乙醇、溶剂汽油等多种有机溶剂。

5. 油漆维修

油漆维修主要是对各种设备、设施的定期表面维护，使用的油漆及溶剂不同，作业人员所接触的毒物也不同。

6. 皮带维修

燃料煤运输系统使用大量的皮带机，皮带对接和修补过程中需用到多种胶黏剂，劳动者可能接触到苯系物、丙酮等多种有机溶剂（参见第十二章相关内容）。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动；锅炉维修时采用氩弧焊可能接触氮氧化物、锰、紫外线、γ射线，使用X射线探伤或γ射线探伤可能存在电离辐射，以及耐火材料和保温材料粉尘；锅炉清洁除垢可能接触氢氟酸、盐酸、亚硝酸钠等；仪表维修可能接触铅、汞；皮带维修、电器维修与油漆维修可能接触苯、甲苯、二甲苯、汽油、乙醇等多种有机溶剂。

二、职业病危害因素综合识别

（一）粉尘类

燃煤火力发电机组粉尘类职业病危害因素主要来源于燃煤运输与制备、锅炉炉渣和飞灰处理、脱硫装置和锅炉维修四个方面。

1. 燃煤运输与制备

锅炉需要燃烧大量经预处理后的煤炭，一个大型燃煤电厂每天耗煤均在数千吨至数万吨之间。因此在燃煤的运输、装卸、筛选、破碎、磨煤等机械加工过程中均产生煤尘。特别是在煤的筛分和破碎过程中，如果除尘效果不佳，即会导致

严重的煤尘危害。

2. 锅炉炉渣和飞灰处理

煤在锅炉内燃烧后产生大量的固体废物，包括灰分和炭黑两部分。炭黑是煤未燃尽的固定碳，灰分是燃烧后剩余的固体残余物。其中随烟气排放的部分称为飞灰，从炉底排放的部分称为炉渣，统称为炉灰渣。其产生量决定于燃料煤的灰分含量和锅炉燃烧效率。化学成分主要决定于煤质化学组分。煤灰分含量高会降低煤的品质，给燃烧造成困难，可能使锅炉积灰、结渣，并磨损金属受热面。我国煤的灰分随煤种变化很大，少则4%～5%，多则60%～70%，大多数煤中灰分的组成如表2-1。

表2-1　煤中灰分的组成（质量分数）

成　分	含量/%	成　分	含量/%	成　分	含量/%	成　分	含量/%
SiO_2	20～60	Fe_2O_3	5～35	MgO	0.3～0.4	Na_2O 和 K_2O	1～4
Al_2O_3	10～25	CaO	1～20	TiO_2	0.5～2.5	SO_3	0.1～1.2

对人体的危害性主要决定于炉灰渣中游离二氧化硅含量以及某些重金属和放射性元素的含量。因此，不同产地的煤燃烧后产生的炉灰渣对人体的危害性差异较大。

我国煤炭燃烧后产生的炉灰渣游离二氧化硅含量绝大多数在10%～20%之间，少数游离二氧化硅含量超过50%，其危害性较大，应予以重视。

3. 脱硫装置

目前国内外用于烟气脱硫的工艺较多，但国内最常用的方法是石灰石-石膏湿法脱硫工艺。

石灰石-石膏湿法脱硫工艺采用石灰石作脱硫吸收剂，石灰石破碎、运输、投料等过程产生石灰石尘，石膏脱水、浓缩、运输等过程产生石膏尘。

4. 锅炉维修

锅炉及保温器件维修过程中需对炉体耐火材料、各类保温材料进行拆卸与修复，因此可能短时间接触高浓度的耐火泥尘、玻璃棉尘等硅酸盐类矿石尘，其中炉门密封垫等维修还可能接触石棉尘。

（二）物理性有害因素

1. 噪声

噪声是燃煤火力发电企业主要职业病危害因素之一。火力发电厂是一个机械设备比较集中的工作场所，特别是主厂房，布置有相当数量产生高强声源的设备，从而也成为火力发电厂噪声防治的重点区域。火力发电厂噪声声源主要有以下几类。

（1）机械动力噪声　各种机械设备在运转过程中摩擦、振动、碰撞产生机械噪声，该噪声以低中频为主。火电厂主要产生噪声的机械设备如下。

① 燃运部，翻车机、斗轮机、碎煤机、燃运皮带机等；

② 发电部，给水泵、给煤机、磨煤机、引风机、送风机、给粉机、油泵、汽泵、真空泵等；

③ 生产辅助设施系统，空压机、水泵、输渣设施等。

其中磨煤机、送风机噪声是火力发电工作场所中最重要的噪声污染源。

(2) 气体动力噪声　各类风机、风道、蒸汽管道中的气体和蒸汽在流动、节流、扩容、漏气、排气等过程中产生气体动力性噪声。其中尤以锅炉排气时产生高强度噪声，对周围环境影响较大。

(3) 电磁噪声　电动机、变压器等电气设备的磁场交变运动而产生电磁噪声。

在工作场所中，以上几类噪声往往是同时存在、相互叠加的。同样高强度噪声源不仅影响本岗位，同时也对周围环境噪声导致一定的叠加作用，在噪声危害定量识别时务必全面综合考虑。

2. 高温与辐射热

火力发电生产过程可能产生高温的部位有锅炉、汽轮机、发电机、除氧器、蒸汽管道等，一般对外表温度高于 50℃ 的设备应做保温处理。如果保温效果不佳或工房散热不佳，均有可能形成高温和强辐射热环境。

另外检修工人在锅炉等高温热辐射工作场所中维修时，特别是在临时停炉抢修时，作业人员可能直接进入高温强辐射热场地，因此对这部分作业人员应采取有效的防护措施，谨防高温中暑。

3. 振动

火力发电生产过程可能产生高强度振动的设备主要有振动筛、磨煤机、各种工业泵和风机等。由于在正常运行时操作人员并不直接接触这些设备，因此实际接触的手臂振动强度并不大。

4. 工频电场

在变压器、高压开关及其高压线路周围存在工频电场职业病危害因素，其强度主要与电器的电压和相处的距离密切相关。

5. 紫外线

火电厂正常生产过程中不产生紫外线职业危害，主要是在电焊维修时产生紫外线弧光。

(三) 电离辐射

金属探伤的主要检测手段有 X 射线探伤、γ 射线探伤、超声波探伤、磁粉探伤、渗透探伤、涡流探伤等。

火电厂锅炉压力容器金属维修探伤时，多选用 X 射线探伤仪或 γ 射线探伤仪。

射线探伤放射源属移动性开启式装置，只有在维修现场探伤仪短暂开启时才

存在电离辐射。

（四）化学毒物类

1. 煤燃烧过程中有毒物质的产生

煤的化学成分有碳、氢、氧、氮、硫、水分、灰分等，其中碳、氢、硫为可燃元素。

（1）碳氧化合物与碳氢化合物　煤在燃烧前期析出挥发分，其中主要是一氧化碳。挥发分的燃尽依赖于氧气的及时供给、良好的混合和足够高的温度以及较长的停留时间。碳燃烧产生一氧化碳和二氧化碳的化学反应式如下：

$$4C+3O_2 \longrightarrow 2CO_2+2CO$$

$$3C+2O_2 \longrightarrow CO_2+2CO$$

$$C+O_2 \longrightarrow 2CO$$

$$2CO+O_2 \longrightarrow 2CO_2$$

当有较多的水蒸气时，还发生下列反应：

$$C+H_2O \longrightarrow CO+H_2O$$

$$C+2H_2 \longrightarrow CH_4$$

如果燃烧过程组织良好，则一氧化碳只是中间产物，最终会燃烧完全，生成二氧化碳和水。如果锅炉设计不良、燃烧中挥发分极高或燃烧操作不当等，则会使一部分可燃气体燃烧不完全，随烟气排出，如一氧化碳、氢气和甲烷等。

另外，燃料在低温（800～1200℃）和缺氧条件下燃烧，会产生致癌的碳氢化合物，如苯并［a］芘等。

（2）硫氧化合物　硫在煤中以三种形式存在。

① 有机硫，硫与碳、氢等结合成复杂化合物；

② 黄铁矿硫，如二硫化铁等；

③ 硫酸盐硫，如硫酸钙、硫酸钠等。

其中有机硫和黄铁矿硫参加燃烧，硫酸盐硫进入灰分。我国煤的硫酸盐硫含量极少，动力用煤的硫的质量分数大部分为1%～1.5%，一些煤种的质量分数为3%～5%，个别高达8%～10%，其中含硫量高于2%的煤称为高硫煤。

燃料中的可燃硫随着燃烧而生成二氧化硫，其生成量与燃料中的含硫量成正比，如含硫量为2%的煤，排烟中的二氧化硫含量约为4200mg/m^3。

二氧化硫可转化为三氧化硫，其转化途径有两个方面。一是在高温条件下，火焰中有高浓度的原子态氧，与二氧化硫结合生成三氧化硫；二是在对流受热面上，由于金属氧化膜和积灰的催化作用，使二氧化硫转化为三氧化硫。火焰温度越高，原子态氧浓度越高，反应时间越长，三氧化硫转化量越多。

此外，在高温条件下，积灰中的三氧化二铁和五氧化二钒等对二氧化硫向三氧化硫的转化反应也有明显的催化作用，因此受热面上积灰增多时有助于三氧化硫的生成。

烟气中的水蒸气与三氧化硫结合生成硫酸蒸气。温度越低，硫酸蒸气平衡浓度越高，因此硫酸蒸气总在锅炉尾部生成。通常三氧化硫与水蒸气生成硫酸的反应，从烟气温度降到200℃左右开始，到烟气排出锅炉时，三氧化硫几乎全部转化成了硫酸。

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

硫酸蒸气与烟尘形成酸性尘，硫酸蒸气排向大气时凝结生成白色硫酸雾。

(3) 氮氧化合物　燃煤中氮在高温环境下易生成氮氧化物。人类活动排入大气的氮氧化物90%以上是燃烧产生的。锅炉燃烧产生的氮氧化物几乎全部是一氧化氮和二氧化氮，其中90%是一氧化氮。而一氧化氮在室温下会迅速氧化为二氧化氮。

锅炉燃烧产生氮氧化物的机理有三种：

① 燃料型，燃料中含有氮的化合物，在燃烧中氧化生成氮氧化物；

② 热力型，由于空气中含氮，在燃烧高温区氧化生成氮氧化物；

③ 快速型，是热力型的一种特殊形式，在碳氢化合物燃烧火焰中，碳氢化合物与空气中的氮生成中间产物，然后再进一步氧化生成一氧化氮。

在一般燃烧条件下，燃料中氮形成一氧化氮的转化率为20%～40%。燃烧温度越高，生成的热力型氮氧化物比例越高。如当燃烧温度达1600℃时热力型氮氧化物占20%～30%，当燃烧温度低于1400℃时则全部是燃烧型氮氧化物。

另有少数煤经过燃烧浓缩后重金属或放射性元素含量增高，其职业危害性应予以关注。

2. 水处理过程中有毒物质的产生

火力发电锅炉用水、冷却水和生活用水通常都不能直接利用水源水，需事先通过化学处理。水处理过程中产生有毒物质情况如下。

(1) 氯气　原水消毒间存在氯气。加氯主要有两种工艺。其一是采用液氯罐加氯，此法存在液氯泄漏导致急性氯气中毒事故的风险，应做好应急救援预案。其二是安装次氯酸钠发生器，电解食盐产生次氯酸钠溶液作为消毒剂，此法安全，没有氯气中毒的风险。

(2) 氨气　冷凝水精处理过程需补充氨水来调整pH值。加氨主要有两种工艺。其一是采用液氨罐作为氨源，先配制成氨水溶液后再定量加入。其二是直接采购浓氨水试剂，稀释后定量加入。前者存在液氨罐泄漏的风险，应做好应急救援预案。

(3) 联氨（联氨又称肼）　在锅炉启动初期或冷凝水精处理不正常时需加联氨。联氨为水溶液，经稀释后定量加入。

(4) 盐酸和氢氧化钠　在锅炉补给水处理的离子交换工序中，需定期用盐酸和氢氧化钠溶液活化树脂。因设备自动化程度高，作业人员直接接触机会甚少。

(5) 缓蚀剂与灭藻剂　锅炉冷却水采用二次循环工艺时需对冷却循环水添加

缓蚀剂和灭藻剂。该试剂均为水溶液，自动加入使作业人员直接接触机会很少。

（6）磷酸三钠与聚合氯化铝　锅炉补给水处理时某些水质需要使用聚合氯化铝净化悬浮物，使用磷酸三钠软化水。

（7）硫酸　对化学水处理过程中产生的酸碱废水的处理，需用硫酸来调整pH值。

3. 脱硫过程中有毒物质的产生

“石灰石-石膏湿法脱硫装置”以石灰石为原料，吸收二氧化硫后生成石膏。其化学反应过程没有有毒气体产生，但因设备密封不严，导致烟气泄漏时存在氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳和二氧化碳等有毒气体的危害。

如果采用氨水脱硫则还存在氨气的职业病危害。

4. 维修过程中有毒物质的产生

① 锅炉维修采用亚弧焊时可能产生氮氧化物、锰烟和放射线（参见第十四章第三节）；

② 锅炉清洁除垢时存在氢氟酸、盐酸、亚硝酸钠等化学物品；

③ 仪表维修时可能接触铅、汞；

④ 皮带维修、电器维修与油漆维修时可能接触苯、甲苯、二甲苯、汽油、酒精等多种有机溶剂。

上述维修过程中接触有毒物品机会较少，但有时可能短时间接触的浓度较高，应予重视。

5. 其他生产过程中有毒物质的产生

① 柴油发电机组应急发电时存在一氧化碳、柴油烟雾等；

② 化验室可能接触汞及多种化学试剂等。

（五）劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素

为满足电厂连续运行的需要，劳动组织实行倒班制，采取六班四运转或四班三倒等。轮班制和连续长时间工作，易引起工人生活节律紊乱和职业性精神（心理）紧张等。

此外，工人除定时巡检外，主要在操作室内工作，对生产过程的监控通过显示屏，操作通过计算机，长时间视屏操作，易造成视觉疲劳。

（六）职业病危害因素归类

煤粉炉发电机组产生的职业病危害因素种类较多，可能存在的职业病危害因素归纳如下：

① 粉尘类，主要有煤尘、炉灰渣尘、石膏尘、石灰石尘、耐火材料尘、电焊尘、石棉尘等；

② 化学毒物类，主要有二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳、氨气、肼、氯气、锰烟、汞、苯系物、乙醇、汽油、盐酸、六氟化硫、一氟化硫、四氟化硫、十氟化二硫、硫酸、氢氧化钠、磷酸三钠、聚合氯化铝、灭藻剂、缓蚀

剂、亚硝酸钠、氢氟酸、铅烟等；

③ 物理因素类，主要有噪声、振动、工频电场、高温、辐射热、紫外线等；

④ 放射性危害因素类，主要有γ辐射、X射线等；

⑤ 劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素有视觉疲劳、职业性精神（心理）紧张、生活节律紊乱等。

其中主要职业病危害因素是噪声、工频电场、高温与热辐射、煤尘、炉灰尘、石灰石尘、石膏尘，氨气、肼、氯气、氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳等。

职业病危害因素存在的环节见表2-2。毒物职业病危害临床表现及职业接触限值标准详见附录二。

表2-2 可能存在的职业病危害因素与环节

职业病危害因素种类		存在的环节
粉尘	煤尘	翻车机、运煤皮带、碎煤机、给煤机、磨煤机
	炉渣尘、飞灰尘	锅炉、电除尘、捞渣机、灰库、罐车、脱硫
	石灰石尘	脱硫工段运料、给料、球磨
	电焊尘	维修
	石膏尘	脱硫工段脱水、运输
	耐火材料尘	锅炉维修
	石棉等密封、保温材料尘	锅炉维修
毒物	二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物、二氧化硫	锅炉、电除尘、脱硫
	氮氧化物、锰烟	电焊岗位
	氨气、水合肼	水处理
	氯气、磷酸三钠、聚合氯化铝	水处理
	氢氧化钠、盐酸、硫酸	离子交换、废水处理
	灭藻剂、缓蚀剂	循环水处理
	汽油、苯系物、酒精、铅烟	电器维修、皮带维修
	六氟化硫、四氟化硫、十氟化二硫	高压电器损坏
	氢氟酸、亚硝酸钠	锅炉维修
物理	噪声、振动	运煤、磨煤、锅炉、汽机、发电机、脱硫等
	紫外线	电焊
	高温	锅炉、汽机、发电机、脱硫、维修等
	工频电场	变电所、电除尘
	X射线、γ射线	锅炉维修探伤、氩弧焊
其他	职业性精神紧张、生活节律紊乱	多数操作岗位(倒班人员)
	视觉疲劳	电脑操作室

不同的火力发电企业和装置所产生的职业病危害因素种类和强度（浓度）与使用的燃料、生产工艺、设备及运行状况等因素密切相关。因此，在建设项目职业病危害因素定性、定量识别时应具体分析，不宜生搬硬套。

三、主要防护措施及效果分析

目前我国新建的燃煤火电机组技术先进，设备国产化、自动化程度高，职业卫生防护设施较齐全，化学毒物、高温、振动、电磁辐射、电离辐射等职业病危害因素多数能得到有效控制，但噪声和粉尘常有超标现象。在建设项目职业病危害因素定量识别与评价时应予重点关注。

（一）防毒措施

燃煤火力发电生产过程使用和产生的化学毒物种类相对较少，主要存在燃煤过程、化学水处理过程、脱硫和维修过程四个环节。

1. 燃煤过程主要防护措施

煤在锅炉中燃烧，产生大量二氧化碳、氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳等化学毒物。因锅炉设计为负压燃烧方式，烟气在正常情况下由烟囱引至高空排放，不会向生产环境中扩散。

2. 化学水处理过程主要防护措施

（1）防氯气泄漏　用液氯罐方式加氯时必须要有防止氯气泄漏的措施，加氯间应有强制通风设施，其换气量不少于12次/小时。并应控制氯气储量、有浓碱吸收池或浓碱液淹没装置，配备过滤式或供气式防毒面具等措施。还应加强管理，设立警示标识和中文警示说明，制定防氯气泄漏事故的应急救援预案等。

（2）防氨气泄漏　采用液氨罐加氨时必须要有防止氨气泄漏的措施。储氨间和氨水配制间应有强制通风设施，其换气量不少于12次/小时。并应控制氨气储量、有浓酸吸收池装置，配备过滤式或供气式防毒面具等措施。还应加强管理，设立警示标识和中文警示说明，制定防氨气泄漏事故的应急救援预案等。

3. 脱硫过程主要防护措施

石灰石-石膏湿法脱硫工序吸收烟气中的二氧化硫，不产生其他有毒气体。其有毒气体危害主要是来自烟气的泄漏。该过程酸性气体对设备腐蚀性大，因此加强设备维护管理是主要防毒措施。

4. 维修过程主要防护措施

在维修过程中可能接触高浓度的氮氧化物、锰烟、氢氟酸、盐酸、亚硝酸钠、苯系物等，应采取配戴个人防护用品、加强维修工作场所的通风或采取轮换作业缩短每次连续作业时间等措施。

5. 其他

含六氟化硫的高压开关电器发生泄漏时可能存在六氟化硫及其分解产物的职业危害。因此，上网电力开关站应露天布置，并选择地势空旷扩散条件好的地方。这样一旦发生六氟化硫泄漏事件也不会对作业人员造成伤害。自用电源配电

站含六氟化硫电器的工房应采用上送下排的通风方式（六氟化硫及其分解产物相对密度较空气大），其换气量不少于12次/小时。

在沿海地区电厂为防止空气中含盐雾水对开关站和发电机出线的腐蚀作用以及增加绝缘性，常把开关站建于室内，发电机出线外加含六氟化硫气体的防护筒。此时应按上述要求做好机械通风等防护措施。

各类燃油、润滑油存储和使用场所应有机械通风装置，以防止有害气体的聚集。

据新建燃煤发电机组职业病危害控制的效果实测数据来看，绝大多数项目采用上述防毒措施后，可保证工作场所相关毒物浓度控制在国家职业接触限值标准以内。

（二）防尘措施

目前用于燃煤电厂的主要除尘技术有喷水降尘、布袋除尘、电除尘、旋风除尘、水浴除尘等，几种常见除尘技术方案主要特点比较见表2-3。

表2-3 几种常见除尘技术方案主要特点比较

序 号	技 术 方 案	特 点
1	喷水降尘系统	投资低、效果差，引起锅炉热效率下降
2	旋风除尘器系统	投资中、效果差
3	水浴除尘器系统	投资中、效果一般，耗水量大
4	布袋除尘器系统	投资高、初期效果好，而后故障频繁、效果差
5	电除尘器系统	投资高、效果好

1. 燃运过程主要防尘措施

治理燃运系统的粉尘危害，工程中常采用的方法有喷水降尘、旋风除尘器、水浴除尘器和电除尘器等多种方法。

表面水分过低是原煤在输送、转运和筛分过程中造成粉尘飞扬并污染环境的最根本原因。当原煤表面水分控制在8%～10%时基本无扬尘现象发生。可见，对原煤进行喷水加湿是抑制扬尘的一种有效途径。但此种方法仅是增加煤的表面水分，煤粒内部水分并不增加，而且往往很难喷洒均匀。所以，喷水对控制破碎机粉尘扬尘没有明显效果，同时可能发生堵筛与堵塞布袋除尘器等，影响生产。

燃运系统防尘的重点是卸煤、碎煤和磨煤部位。主要防尘措施有：

① 卸煤站采用水雾抑尘和布袋除尘效果较好，但罩口风速必须达到相关要求，否则防尘效果难以保证；

② 筛煤碎煤机房应配置大功率的布袋收尘系统；

③ 磨煤机及其输煤管道应密封性好，防止煤粉外泄；

④ 输煤栈桥、转运站、碎煤机室、煤仓间等均应设置地面水冲洗设施，以及时清除落地泄漏煤粉，防止二次扬尘。

燃煤运输过程中防尘效果好坏决定于防尘设施和管理两个方面。防尘设施设

计不当，往往会导致煤尘严重超标；同样管理措施不落实，也难以发挥其设施的功效。从多年现场监督监测结果来看，导致煤尘超标的原因以防尘设施设计不合理、运转不正常或管理不到位最为多见。

2. 灰渣输送过程主要防尘措施

灰渣输送系统分为湿式、半干半湿式和干式三大类。过去多采用湿式水力输送方式，不易产生粉尘，其危害性最小。目前为综合利用锅炉产生的飞灰，多倾向于采用干灰气力输送系统或采用罐车运输等，此过程如果生产设备密封不好或现场管理不佳均可导致粉尘浓度超标。

主要防尘措施有：

① 对装车、筛分和装袋等产生粉尘的岗位安装布袋收尘系统；

② 地面喷淋与冲洗装置，防止二次扬尘；

③ 炉灰渣尘因游离二氧化硅含量较高，多数在10%以上，属于对人体危害较大的粉尘类，应予重点防护与管理。

3. 维修过程主要防尘措施

锅炉事故抢修和正常维修时，主要防尘措施应是个人防护，如配戴防尘口罩等，并应加强现场通风除尘。

4. 脱硫过程主要防尘措施

对石灰石的破碎岗位应安装布袋收尘系统。容易落尘的地面应设计喷水抑尘或冲洗设施，防止二次扬尘。

据新建火力发电机组职业病危害控制效果实测数据来看，粉尘危害基本得到了较好控制，但燃运系统的碎煤机房和干灰气力输送系统粉尘常有超标现象，是粉尘危害控制的重点。

（三）防噪声措施

噪声是火力发电机组的另一重要职业病危害因素。防噪声主要措施是对磨煤机、送风机、空压机、碎煤机等产生高强度噪声设备的降噪措施，以及集控室和岗位操作室的隔音措施。

1. 降低噪声措施

降低设备噪声的首要问题是工艺设计和设备选型，应在工艺选择时优先考虑噪声危害较小的工艺路线；在设备采购时应将设备出厂噪声纳入重要选择指标或要求供货方配套供给防噪声设施。

（1）磨煤机　磨煤机的种类较多，一般根据煤质情况选择磨煤机。大型燃煤火电机组多采用钢球磨煤机和中速磨煤机两大类。

中速磨煤机是利用碾压的原理将煤碾碎，其工作噪声较小，多数能控制在85dB（A）以内，是最理想的选择。在煤质可磨系数指标允许的情况下，应优先选用该设备。

钢球磨煤机主要由筒体、电动机及齿轮传动装置等几个部件组成。电动机带

动筒体旋转时、靠离心力和衬瓦的摩擦力作用，将筒内的钢球和煤块带到一定的高度，然后在自身的重力作用下沿抛物线方向落下，煤块则在钢球与衬瓦之间的撞击和研磨下被逐渐粉碎。钢球磨机的噪声主要是由钢球和衬板之间互相撞击与研磨而产生的，并由筒体表面向外辐射，工作噪声较大。普通不带隔声罩的钢球磨机噪声可达105dB（A）以上，甚至高达120dB（A）左右，为中低频噪声，属撞击噪声类，其中自鸣噪声占主要部分。运行时对劳动者产生较大的职业病危害，并对周围环境产生极大的噪声污染。目前国产自带隔声罩的钢球磨机噪声一般能控制在90～100dB（A）之间，而进口自带隔声罩的钢球磨机噪声一般能控制在85dB（A）以下。

此外，还可将高强度噪声的球磨机集中布置在较大的隔声室内，通过隔声墙减少噪声对周围的污染。

（2）空压机　目前电厂常用的空压机有活塞式和螺杆式两种，也有自带隔声罩的产品。一般螺杆式空压机噪声较活塞式小，应优先选用。空压机房防噪声措施主要有三种：

① 空压机做隔声罩，减小噪声源的强度；

② 设计隔声操作室，将操作人员与高强度噪声源隔离开；

③ 上述两种防噪声措施同时实施，往往可以获得最理想的效果。

（3）碎煤机　碎煤机不仅产生煤尘，还产生高强度的噪声。其噪声控制措施同空压机。

（4）送风机　送风机及其配套的大功率电机均可产生高强度的噪声。部分国产设备噪声高达100dB（A）以上，甚至超过自带隔声罩的钢球磨机。在设备选型和安装位置选择上应予以重视。

（5）汽轮发电机组　汽轮发电机组噪声主要由汽轮机噪声、发电机噪声和励磁机噪声组成。汽轮发电机组是一个多种噪声源的综合体，加上汽轮发电机组厂房的混响效应，可使厂房内的环境噪声高达90dB（A）以上。

国产汽轮发电机组的噪声在未进行噪声控制时大多高于进口机组，一般在90dB（A）以上，个别机组则达97dB（A）。国外进口的机组一般都采用了隔声罩。

带氢冷发电机的汽轮发电机组的噪声明显低于空冷和水冷发电机的汽轮发电机组。汽轮机噪声主要以中、低频噪声为主，而发电机噪声频谱则相当宽。

对汽轮发电机组设置隔声屏罩后，可降低噪声5～10dB（A）；对混响效应采取吸声措施，即利用厂房顶部屋架吊设吸声体等，一般可进一步降低噪声2～5dB（A）。

（6）锅炉　锅炉检测和事故排气泄压时产生高强度噪声，应设计安装消声器。

2. 隔声与吸声措施

由于目前燃煤火力发电生产装置自动化程度高，多数操作人员大多数时间均在操作室内工作。为给操作人员创造一个良好的工作环境，对集控室和各岗位操作室均应进行隔声处理。

噪声防治在建筑设计上采取的基本措施是隔音和吸音。特别是隔音效果更好，一般 30cm 以上厚度的实心砖墙隔离消音效果可达 40dB（A）；玻璃窗隔声，单层为 20dB（A），双层为 37dB（A）；隔声门为 27dB（A）左右。

集控室应设置门斗（声闸），并在墙面和天棚采用吸声材料贴面。空调系统采用集中式空调，送风系统、回风系统均应设消音器。可使室内噪声降至 70dB（A）以下，甚至部分电厂可达 60dB（A）以下。

汽机房、化学水处理室、输煤系统、各种泵房等处，凡需设专人值班的地方，均应设隔音值班室，确保室内噪声控制在 70dB（A）以下。

3. 管理措施

噪声控制效果的维持，很大程度上取决于对设备的维护与管理。因此对职业卫生防护设施应有专人管理，及时维修。

据新建燃煤火力发电机组职业病危害控制效果实测数据，噪声危害得到了一定的控制，但噪声作业点超标现象还较为普遍，主要是磨煤机房、送风机和空压机房等。因此，加强个人防护，按照国家有关规定，进入噪声强度高于 85dB（A）工作场所的人员应配戴弹性耳塞或耳罩是十分必要的。

（四）高温防暑降温措施

主要措施包括自然通风和机械通风。锅炉应露天设置，有利于热量的自然散发。外表温度高于 50℃的管道容器等，表面应进行保温处理。对于生产人员较集中的集控室、汽机房、化学水处理室、输煤系统以及各种泵房操作室等处应设置空调。并应做好夏季高温作业人员和露天作业人员的防暑降温保健。

据新建火力发电机组职业病危害控制效果实测数据，高温危害基本得到了控制，但应注意对高温维修人员的现场监护和夏季露天作业人员的防暑保健。

（五）电离辐射防护措施

锅炉管道维修采用 X 射线或 γ 射线探伤时，必须全面落实国家工业 X 射线探伤和 γ 射线探伤卫生防护标准的各项规定。进行透照检查时，必须考虑控制器与射线管和被检物体的距离、照射方向、时间和屏蔽条件等因素，以保证探伤作业人员的受照剂量低于剂量限值。可将被检物体周围的空气比释动能率在 40μGy/小时以上的范围内划为控制区。控制区边界上必须悬挂清晰可见的“禁止进入 X 射线区”警示标识。探伤作业人员应在边界外操作，否则必须采取防护措施。控制区边界外空气比释动能率在 4μGy/小时以上的范围内可划为管理区，在其边界上必须设警示标识，如信号灯、铃、警戒绳，并悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，必要时设专人警戒。还应注意控制在管理区边界附近不应有经常停留的公众人员。必须加强对现场探伤作业人员进行个人剂量

监测。

一般射线探伤作业时间极短，只要加强现场防护，电离辐射危害就能得到控制。

（六）工频电场防护措施

目前新建电厂多采用一次升压，出线直接上500kV电网的方式，在超高电压电器与线路周围存在工频电场的职业病危害因素。

防电磁辐射主要遵守辐射防护三原则，即时间防护、距离防护和屏蔽防护。

从现场实测结果来看，只要科学屏蔽、接地良好，工频电场职业危害即可得到控制。

综上所述，目前新建燃煤（煤粉炉）发电机组在采取合理的职业卫生防护措施后，绝大多数职业病危害因素能得到控制，但噪声和粉尘仍常有超标现象。可见，在该项目职业病危害因素识别与评价工作、职业卫生监督监测工作和健康监护工作中，磨煤机、送风机、空压机噪声控制问题，燃运和干灰输送系统粉尘控制问题务必是关注的重点。并应做好加氯或加氨岗位的应急救援预案。

第二节 燃煤循环流化床锅炉发电机组

循环流化床燃烧技术是一种新型成熟的高效低污染清洁煤技术。目前锅炉的大型化问题已得到解决，最大容量亚临界压力循环流化床锅炉发电机组已达250MW以上。在我国燃煤与环保矛盾日益突出的情况下，循环流化床锅炉发电机组已成为十分看好的新型燃烧技术。

一、工艺简介

循环流化床锅炉是利用循环燃烧的原理，这样既可增加燃煤粒子在炉内停留时间，又可多次参与床层中剧烈的质量和热量交换，使其燃烧充分。该锅炉对煤种适应性好，不仅可高效燃用烟煤、褐煤等易燃煤种，同样可高效燃用无烟煤等难燃煤种，还可高效燃用各种低热值、高灰分或高水分的矸石、固体垃圾等废弃物。

大型燃煤循环流化床锅炉发电机组除燃煤加工和锅炉不同外，其他设施与煤粉炉发电机组相似。其锅炉设计类型很多，较常见的有下排气循环床锅炉、旋涡内分离循环床锅炉、异型水冷分离循环床锅炉等。

（一）备煤破碎系统

循环流化床锅炉无需煤粉炉的复杂制粉系统，只需简单的干燥及破碎装置即可满足燃烧要求。因此，备煤系统没有磨煤工序。其他卸煤、运煤和碎煤工序同煤粉炉（见图2-3）。

主要生产设备有翻车机或抓斗、叶轮给煤机、斗轮堆取料机、推煤机、轮式装载机、滚轴筛、带式输送机、除铁装置、碎煤机等。

可能存在的职业病危害因素：各种机械设备产生的噪声、振动；燃煤转运、加工过程中产生的煤尘等。

（二）循环流化床锅炉

循环流化床锅炉一般由送风系统、脱硫系统、防灰系统、排渣系统和仪表控制系统组成。

主要设备与工艺流程如图 2-14 所示。经破碎后的煤输入煤仓备用，定量加入流化床燃烧室循环燃烧，粗渣由炉底排出。大部分炉灰经送灰器排放，烟气中飞灰经电除尘器去除。

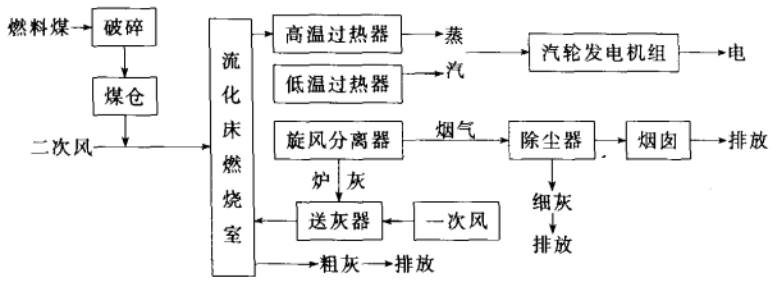


图 2-14 循环流化床锅炉工艺流程

可利用脱硫剂进行炉内高效脱硫是循环流化床锅炉的突出优点。通常循环流化床锅炉的床温保持在 800～1000℃之间，正是脱硫反应效率最高的温度区间，可获得高达 80%～90%的脱硫率。常用的脱硫剂是石灰石。同样由于较低的燃烧温度，加以分级送风，使循环流化床锅炉燃烧时产生的氮氧化物也远低于煤粉炉。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动；锅炉燃烧过程中产生的二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳等有害气体；炉渣尘、炉灰尘及高温、辐射热等。

（三）其他系统

汽轮发电机组、输变电系统、电除尘、炉渣与飞灰运送系统、给排水与化学水处理系统、辅助设施与维修等同煤粉炉发电机组（参见本章第一节相关内容）。

二、职业病危害因素综合识别

循环流化床锅炉燃烧充分，产生的二氧化硫、氮氧化物和一氧化碳等有害气体显著地少于煤粉炉，有效地减少了燃煤过程对环境的污染。该机组无需磨煤制粉，因此减少了煤粉炉发电机组中最大的球磨机噪声污染源。采用炉内脱硫，生成的石膏混入炉灰中，没有单独的石膏尘危害因素。因其他工艺与设备同煤粉炉机组，故其职业病危害因素也与煤粉炉机组相同，此不再赘述。

其职业病危害因素存在的环节见表 2-4。

表 2-4 循环流化床锅炉发电机组存在的职业病危害因素与环节

职业病危害因素种类		存在的环节
粉尘	煤尘	翻车机、运煤皮带、碎煤机、煤仓
	炉渣尘、飞灰尘	锅炉、电除尘、送灰器、灰库、罐车等
	石灰石尘	石灰石运料、破碎、给料
	电焊尘	维修
	耐火材料尘	锅炉维修
	密封、保温材料尘	锅炉维修
毒物	二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物、二氧化硫	锅炉、电除尘
	氮氧化物、锰烟	电焊岗位
	氨气、水合肼	水处理
	氯气、磷酸三钠、聚合氯化铝	水处理
	氢氧化钠、盐酸、硫酸	离子交换、废水处理
	灭藻剂、缓蚀剂	循环水处理
	汽油、苯系物、酒精、铅烟	电器维修
	六氟化硫、四氟化硫、十氟化二硫	高压电器损坏
	氢氟酸、亚硝酸钠	锅炉维修
物理	噪声、振动	运煤、送风机、汽机、发电机、破碎机等
	紫外线	电焊
	高温	锅炉、汽机、发电机、冷渣机、维修等
	工频电场	变电所、电除尘
	X 射线、γ 射线	锅炉维修探伤
其他	职业性精神紧张、生活节律紊乱	多数操作岗位(倒班人员)
	视觉疲劳	电脑操作室

其中主要职业病危害因素是：噪声、工频电场、高温与热辐射；煤尘、炉灰尘、石灰石尘；氨气、肼、氯气、氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳等。

燃煤循环流化床锅炉发电机组的职业卫生防护措施基本同煤粉炉机组，但其备煤系统噪声强度相对较小。据该类项目职业病危害因素实测结果，在职业卫生防护设施较齐全的情况下，化学毒物、高温、振动、电磁辐射、电离辐射等职业病危害因素多数得到了有效控制，但噪声和粉尘仍然是防治的重点，是职业病危害因素识别与评价和职业卫生监督工作的重点。

第三节 空冷式燃煤发电机组

在水资源匮乏的地区燃煤发电机组节水工程是最大的课题。为此，我国已开

发了空冷式燃煤发电机组。

电厂空冷技术的最大特点就是节水。其工作原理是将汽轮机排出的乏汽，由管道引入空冷凝汽器的钢制散热器中，由环境空气直接将其冷却为凝结水，减少了常规二次换热所需要的中间冷却介质，换热温差大，效果好，无需消耗大量冷却水。

空冷凝汽器由若干个空冷凝汽器散热单元组成，每个空冷凝汽器散热单元配置一台轴流式风机通风散热。该冷却系统不足之处是占地面积大，耗费电能较多。其空冷凝汽系统工艺流程见图 2-15。

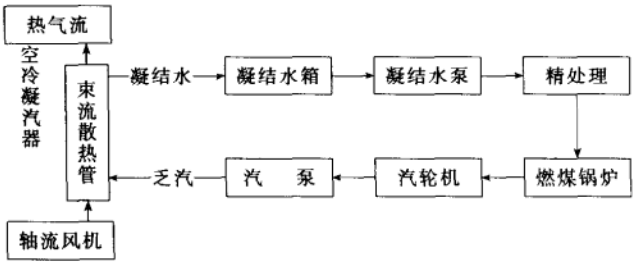


图 2-15　空冷凝汽系统工艺流程

空冷式燃煤发电机组其他工艺和设备与普通燃煤发电机组相同或相似，可参见本章相关内容。

该机组使用数台大功率轴流式风机通风散热，增加了热污染和噪声污染。在工厂总平面布置时，应将空冷凝汽器尽可能地远离主厂房和工作人员密集区，并应布置在当地夏季最小风频的上风侧。以减少热空气和噪声对主厂房和工作人员密集区的污染。

空冷式燃煤发电机组存在的主要职业病危害因素有噪声、工频电场、高温与热辐射，煤尘、炉灰尘、石灰石尘、石膏尘，氨气、肼、氯气、氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳等。其职业病危害因素识别及其防护措施详细情况可参见煤粉炉机组（本章第一节）相关内容。

（杨乐华）

第三章　燃气（燃油）发电机组

第一节　概　述

21世纪世界电力的发展将体现能源的高效、洁净利用，合理的电力结构，以及良好的环境保护。基于发电效率和环保的优势，燃气（燃油）电站将在未来电力发展中越来越受到重视。我国天然气应用的规模可达到500亿立方米/年，约60%以上气量可用于天然气发电。因此随着燃气轮机发电技术的不断进步，以天然气为燃料的发电机组，将成为我国电力工业发展的一个重要方面。

燃气轮机装置是一种以空气及燃气为工质的旋转式热力发动机。它的结构与飞机喷气式发动机一致，也类似蒸汽轮机。主要结构有三部分，即燃气轮机（透平或动力涡轮）、压气机（空气压缩机）和燃烧室。其工作原理为：叶轮式压缩机从外部吸收空气，压缩后送入燃烧室，同时燃料（气体或液体燃料）也喷入燃烧室与高温压缩空气混合，在定压下进行燃烧。生成的高温高压烟气进入燃气轮机膨胀做功，推动动力叶片高速旋转，乏汽排入大气中或再加利用。

一、燃气轮机发电特点

我国目前新建的燃气轮机发电机组以燃烧天然气为主，具有以下特点：

① 热效率高，简单循环的效率已超过40%，联合循环的效率可达58%以上；

② 低污染，环保性能好，排烟中没有SO_2、飞灰及灰渣排放，NO_x排放很低；

③ 运行灵活，可黑启动，调峰性能好；

④ 投资节省，单位容量投资远低于核电和燃煤发电机组，单机容量越大，单位容量投资越低；

⑤ 模块化设计，建设周期短；

⑥ 节水，占地少，仅为同容量常规燃煤电厂的1/3；

⑦ 自用电率低，燃气轮机电厂自用电率一般为2%，而燃煤电厂一般为7%左右，可大大降低能耗，节约能源。

二、燃气的种类

气体燃料有天然气和人工造气两类，但主要以天然气为主。其中人工造气包括液化石油气、焦炉煤气、发生炉煤气、高炉煤气、转炉煤气等。人工造气燃料通常由某些气体组分混合而成，也包括可燃物质与不可燃物质两部分。

（一）主要气体燃料的化学组成

1. 天然气

天然气是指蕴藏在地层内天然生成的，由碳氢化合物组成的可燃性气体，主要成分是甲烷。可分为纯天然气、石油伴生气、矿井气和凝析气田气四种。

纯天然气是钻井采出来的气田气，以四川干气为代表，其主要成分为甲烷（CH_4）占98%，丙烷（C_3H_8）占0.3%，丁烷（C_4H_{10}）占0.3%，氮气（N_2）占1.0%。低热值为34～3.65MJ/m³。有的产地纯天然气中含有硫化氢（H_2S）气体，毒性较大，应予重视。震惊中外的重庆开县井喷事件就是由含硫化氢天然气泄漏所致。

石油伴生气是伴随石油开采出来的石油气，它含有甲烷80%以上，乙烷、丙烷、丁烷总量为15%左右，低热值为42MJ/m³。

凝析气田气含有石油轻质馏分，其成分主要为甲烷，还有戊烷等碳氢化合物，低热值为27.5MJ/m³。

矿井气是从井下煤层中抽出来的气。矿井气的成分主要是甲烷，占30%～50%，低热值为12～19MJ/m³。

2. 液化石油气

被加压液化了的石油气叫液化石油气，主要从油气开采或者石油加工中得到。我国液化石油气的成分差异较大，主要成分是碳三和碳四类碳氢化合物。如北京液化石油气含C_4H_8 54.0%、C_4H_{10} 23.2%、C_3H_6 9.0%、C_3H_8 4.5%。液化石油气的低热值在92～120MJ/m³之间。

3. 炼焦煤气

也称煤干馏煤气或焦炉煤气。它是利用焦炉对煤进行干馏而得到的煤气。焦炉煤气主要成分为氢气（H_2）占54.4%，CH_4占31.5%，一氧化碳（CO）占6.3%，其他碳氢化合物（C_mH_n）占3.9%，二氧化碳（CO_2）占1.9%，氮气（N_2）占1.6%，氧气（O_2）占0.4%，另可能含有少量苯系物、萘等环烃类化合物。炼焦煤气由于使用煤的成分不同，所得气体的成分也不完全一样，但是其主要成分H_2、CH_4等变化范围不大。炼焦煤气的低热值为17MJ/m³左右。

4. 发生炉煤气

又称水煤气。在煤气发生炉内由灼热的煤加水蒸气化合而成。主要成分是一氧化碳占30.4%，氢气占8.4%，甲烷占1.8%，二氧化碳占2.2%，氮气占56.4%，氧气占0.4%。水煤气含一氧化碳高，毒性极大，少量泄漏就有可能引

起中毒。

5. 高炉煤气

是钢铁企业利用高炉炼铁过程中生成的煤气。该煤气可燃气体成分中也以一氧化碳含量为主，占25.6%，甲烷占1.9%，二氧化碳占8.2%，氮气占59.8%。该煤气低热值较焦炉煤气和水煤气低，一般为9～15MJ/m³。高炉煤气含一氧化碳也很高，对人体毒性大，在安全使用方面应予以高度重视。

6. 转炉煤气

是钢铁企业利用转炉炼钢过程中产生的煤气。该煤气可燃气体比例和低热值较高炉煤气低，可燃气体成分中也以一氧化碳含量为主，但含量相对较低。

7. 油煤气

又称油制气。是重油通过蓄热催化裂解或者蓄热热裂解而制得的煤气。该煤气可分为催化裂解气和热裂解气两种。催化裂解气主要成分以氢气、甲烷和一氧化碳为主；热裂解气主要成分以氢气、甲烷和乙烯为主。

（二）主要可燃气体的化学性质

1. 甲烷

甲烷为无色气体，微有葱臭，难溶于水，低位热值为35906kJ/m³。甲烷与空气混合后可引起强烈爆炸，其爆炸极限范围为5%～15%；最低着火温度为540℃，当空气中甲烷的体积分数高达25%～30%时才具有毒性。

2. 乙烷

乙烷为无色无臭气体，难溶于水，低位热值为64396kJ/m³，最低着火温度为515℃，其爆炸极限范围为2.9%～13%。

3. 氢气

氢气为无色无臭气体，难溶于水，低位热值为10794kJ/m³，最低着火温度为400℃，极易爆炸，在空气中的爆炸极限范围为4%～75.9%。

4. 一氧化碳

一氧化碳为无色无臭气体，难溶于水，低位热值为12644kJ/m³，最低着火温度为605℃，在空气中的爆炸极限范围为12.5%～74.2%。一氧化碳是一种毒性很高的气体。

5. 硫化氢

硫化氢为无色、具有浓厚的腐臭蛋气味气体，易溶于水，低位热值为23383kJ/m³，易着火燃烧，最低着火温度为270℃，其爆炸极限范围为4.3%～45.5%。硫化氢是一种毒性极高的气体。

气体燃料燃烧后生成烟气，其主要成分有氮气、二氧化碳和水蒸气，另有少量的一氧化碳、氮氧化物、二氧化硫等。如果在缺氧等状况下不完全燃烧，可产生大量的一氧化碳和炭黑粒子等；如果在低温（800～1200℃）和缺氧条件下燃

烧，有可能产生苯并［a］芘等致癌物。

第二节　燃气轮机用于发电的主要形式

一、简单循环发电机组

由燃气轮机和发电机独立组成的循环系统叫简单循环发电机组，也称为开式循环。其优点是装机快、启停灵活，多用于电网调峰和交通、工业动力系统。

二、前置循环热电联产发电机组

由燃气轮机及发电机与余热锅炉共同组成的循环系统叫前置循环热电联产或发电机组（见图 3-1）。它将燃气轮机排出的做功后高温乏烟气通过余热锅炉回收，转换为蒸汽或热水加以利用。该机组主要用于热电联产，也有将余热锅炉的蒸汽回注入燃气轮机提高燃气轮机出力和效率的设计。前置循环热电联产发电机组总效率一般超过 80%。为提高供热的灵活性，大多前置循环热电联产机组采用余热锅炉补燃技术，补燃时的总效率超过 90%。

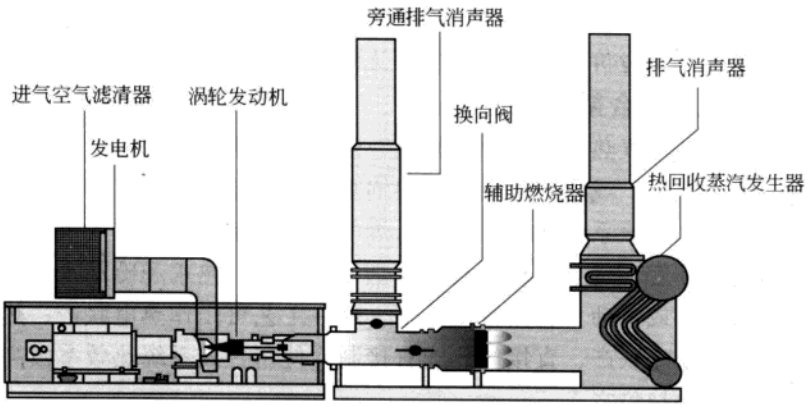


图 3-1　前置循环燃气轮机热电联产

三、联合循环发电或热电联产机组

燃气轮机及发电机与余热锅炉、蒸汽轮机或供热式蒸汽轮机（抽汽式或背压式）共同组成的循环系统叫联合循环发电或热电联产机组。它将燃气轮机排出的做功后高温乏烟气通过余热锅炉回收转换为蒸汽，再将蒸汽注入蒸汽轮机发电，或将部分发电做功后的乏汽用于供热。形式有燃气轮机、蒸汽轮机同轴推动一台发电机的单轴联合循环，也有燃气轮机、蒸汽轮机各自推动各自发电机的多轴联合循环。主要用于发电和热电联产。

四、整体化循环机组

由煤气发生炉、燃气轮机、余热锅炉和蒸汽轮机共同组成的循环系统。主要解决使用低廉的固体化石燃料代替燃气轮机使用气体、液体燃料，提高煤炭利用效率，降低污染物排放。可作为城市煤气、电力、集中供热和集中制冷以及建材、化工原料综合供应系统。

五、核燃联合循环机组

由燃气轮机、余热锅炉和核反应堆、蒸汽轮机共同组成的发电循环系统。通过燃气轮机排出的烟气再加热核反应堆输出的蒸汽，主要为提高核反应堆蒸汽的温度、压力，提高蒸汽轮机效率，降低蒸汽轮机部分的工程造价。目前处于尝试阶段。

六、燃机辅助循环机组

在以煤、油等为燃料的后置循环发电汽轮机组中，使用小型燃气轮机作为电站辅助循环系统，为锅炉预热、鼓风，改善燃烧，提高效率，并将动力直接用于驱动给水泵。

七、燃气烟气联合循环机组

由燃气轮机和烟气轮机组成的循环系统，利用燃气轮机排放烟气中的剩余压力和热焓进一步推动烟气轮机发电。该系统与燃气蒸汽联合循环系统比较可完全不用水，但烟气轮机造价较高，还未能广泛使用。

八、燃气热泵联合循环机组

由燃气轮机和烟气热泵，或燃气轮机、烟气轮机和烟气热泵，或燃气轮机、余热锅炉、蒸汽热泵，或燃气轮机、余热锅炉、蒸汽轮机和蒸汽（烟气）热泵组成的能源利用系统。该系统在燃气轮机、烟气轮机、余热锅炉、蒸汽轮机等设备完成能量利用循环后，进一步利用热泵对烟气、蒸汽、热水和冷却水中的余热进行深度回收利用，或将动力直接推动热泵。这一工艺可用作热电联产、热电冷联产、热冷联产、电冷联产、直接供热或直接制冷使用，该系统热效率极高，是未来能源利用的主要趋势之一。

九、燃料电池-燃气轮机联合循环机组

燃料电池由若干个陶瓷管构成，每个陶瓷管就像一块电池。电池以天然气为燃料产生电能，并同时放出高温高压的废气流，燃气涡轮机则用燃料电池产生的热废气流发电。由于燃料电池中没有燃烧过程，只是通过化学分解天然气燃料来产生电力，因此可以大幅度减少污染。设备不会产生二氧化硫，其反应产物中的氮氧化物含量不及目前天然气发电设备的2%，二氧化碳排放量则减少了15%。而且，只要有天然气和空气存在，燃料电池就能工作。其发电效率达到55%。这意味着来自天然气燃料的能量中有55%转化成了电能，远远高于燃煤发电设备的35%发电效率，也高于燃气涡轮机50%的发电效率。

在目前燃气发电机组中最常见的是简单循环发电机组、前置循环热电联产或发电机组、联合循环发电或热电联产机组，其中以联合循环发电或热电联产机组最为多见。联合循环发电厂鸟瞰见图 3-2。



图 3-2　燃气联合循环发电厂鸟瞰

第三节　燃气轮机发电机组工艺简介

利用天然气在燃气轮机中直接燃烧做功，使燃气轮机带动发电机发电，此为单循环发电；利用燃气轮机产生的高温尾气，通过余热锅炉，转换为蒸汽或热水加以利用叫前置循环热电联产；如果利用燃气轮机产生的高温尾气，通过余热锅炉，产生高温高压蒸汽后推动蒸汽轮机，带动发电机发电，此时为双循环即联合循环发电。

以最常用的联合循环发电机组为例，进行工程分析。

一、燃气压缩系统

天然气进入燃气轮机燃烧前要通过过滤、加压、加温，然后才能进入燃气轮机燃烧室燃烧做功。工艺流程见图 3-3。

主要生产设备有输气管道、气体过滤装置、压缩机、气体调压装置、气体冷却装置等。

可能存在的职业病危害因素：各种机械设备产生的噪声、振动；在净化、加

温、加压以及输送等过程中可能泄漏天然气，主要成分为甲烷等。

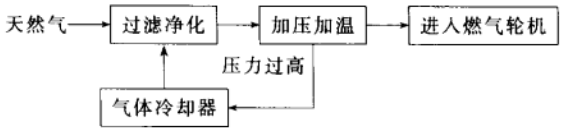


图 3-3 燃气压缩系统工艺流程

二、燃气轮机系统

燃气进入燃气轮机燃烧室与通过空气压缩机进入的高压缩空气汇合燃烧产生高温高压（1000℃以上）气流，在燃气轮机中做功。这就是热力学上所称的布雷登（Brayton）循环，从而带动发电机发电。其乏汽进入余热锅炉中，工艺流程见图 3-4。

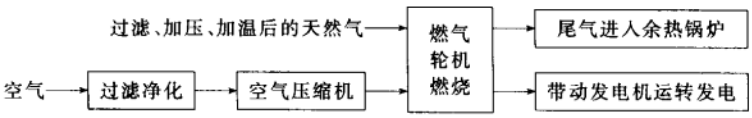


图 3-4 燃气轮机系统工艺流程

主要生产设备有输气管道、压缩机、燃气轮机等装置。

可能存在的职业病危害因素：压缩机产生的噪声、振动，燃气轮机在燃烧做功过程中产生的噪声、振动、高温，在天然气输送等过程中产生的泄漏，天然气在燃气轮机中燃烧后产生的烟气，其主要有害成分是二氧化碳、一氧化碳和未完全燃烧的碳氢化合物等。

三、发电与输变电系统

燃气轮机通过高速运转的涡轮带动发电机发电，将机械能转化成电能，电能再经变压器升压后上网，工艺流程与燃煤发电相同，在此不再赘述（参见第二章燃煤火力发电机组）。

主要生产设备有发电机组、变压器及高压开关等设施。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动；主变压器、高压开关产生的工频电场；电磁辐射高压开关可能泄漏的六氟化硫及其分解产物等。

四、余热锅炉系统

天然气与空气进入燃气轮机燃烧后产生的高温尾气，通过余热锅炉热交换，分别产生高温高压蒸汽、高温中压蒸汽、高温低压蒸汽，并分别进入蒸汽轮机的高压区、中压区和低压区推动蒸汽轮机做功，带动发电机发电。工艺流程见图 3-5。

主要生产设备有余热锅炉、输气管道、给水排水水泵及管道等。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动；高温尾气在余热锅炉热交换过程中泄漏，其主要有害成分是二氧化碳、一氧化碳和未完全燃烧的碳氢化合物等；余热锅炉产生的高温、辐射热等。

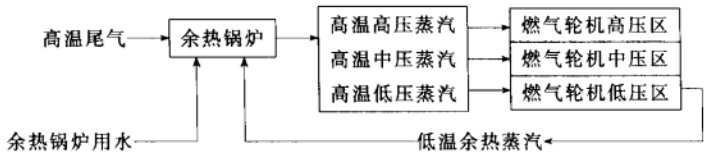


图 3-5　余热锅炉系统工艺流程

五、蒸汽轮机系统

余热锅炉产生高温高压蒸汽、高温中压蒸汽、高温低压蒸汽后，分别进入蒸汽轮机的高压区、中压区和低压区推动蒸汽轮机做功。这就是热力学上所称的朗肯（Rankine）循环，从而带动发电机发电。其排出的低温、低压尾气一部分通过蒸汽管道进入余热锅炉继续加热做功，一部分通过循环水泵用来预热进入余热锅炉的水，工艺流程见图 3-6。

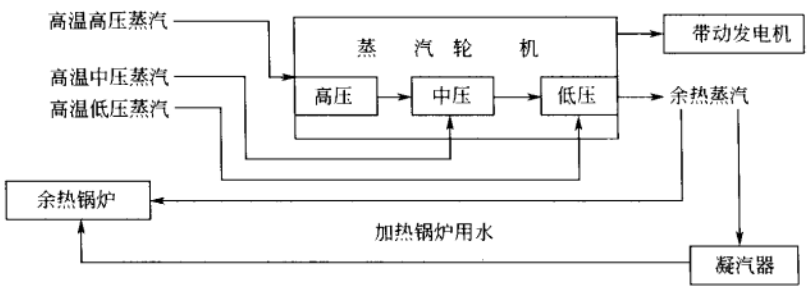


图 3-6　蒸汽轮机系统工艺流程

主要生产设备有蒸汽轮机、各种输气管道、凝汽器、给水泵等。

可能存在的职业病危害因素：各种机械设备产生的噪声、振动、高温、辐射热等。

六、给排水及化学水处理系统

供水与化学水处理主要包括循环冷却水系统、锅炉补给水处理系统等。其主要设备和工艺流程与燃煤机组类似，工艺流程参见第二章燃煤火力发电机组相关内容。

1. 循环冷却水系统

燃气轮机发电机组的循环冷却水系统由江河湖泊原水经加氯、加灭藻剂、缓蚀剂等化学处理后进入循环水系统。加氯主要有两种方式：其一是采用液氯罐加氯，此法成本低，加入量容易控制，但存在氯气泄漏事故的风险；其二是采用次氯酸钠发生器加氯，该法成本高，但没有导致氯气急性职业中毒的风险。

在水源充足的燃气轮发电机组，为节约投资和运行成本，多采用一次循环冷却水系统。抽取江河湖泊水源水直接进入锅炉凝汽器和各种轴承冷却装置，升温后再排入江河湖泊中。该系统没有冷却塔和加药装置。

2. 锅炉补给水处理系统

锅炉补给水处理系统由过滤、离子交换、除盐等工序组成。原水经过水质分析后根据水质分析结果采用多介质的过滤器过滤、反渗透、离子交换等处理后，进入锅炉补给水处理系统。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动；各类加药间可能存在氯气、氨气、联氨、酸碱雾等化学毒物。

七、维修系统

燃气轮机发电机组的维修与燃煤发电基本相同，参见第二章燃煤火力发电机组相关内容。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备产生的噪声、振动；金属探伤检测可能接触X射线、γ射线、超声波等；维修过程中接触各种泄漏的气体。

第四节 职业病危害因素综合识别

一、粉尘类

燃气轮机发电机属环保型的发电机组，基本上没有粉尘产生。

二、物理性有害因素

（一）噪声

噪声是燃气发电行业中最主要的职业病危害因素之一。燃气发电厂是一个机械设备比较集中的工作场所。特别是主厂房，布置有相当数量产生高强声源的设备，从而也成为燃气发电厂噪声防治的重点区域。燃气发电厂噪声声源主要有以下几类。

1. 机械动力噪声

各种机械设备在运转过程中产生机械噪声，该噪声以低中频的稳态噪声为主。燃气发电厂主要产生噪声的机械设备如下：空压机、燃气轮机、余热蒸汽锅炉、发电机、启动电机、水泵等。

2. 气体动力噪声

各类风机、风道、蒸汽管道中的气体和蒸汽在流动、节流、扩容、漏气、排气等过程中产生气体动力性噪声。其中尤以锅炉排气时产生噪声强度高，对周围环境影响较大。

（二）高温与辐射热

燃气发电机组在发电过程中可能产生高温部位的有燃气轮机、余热蒸汽锅

炉、蒸汽轮机、发电机、除氧器、蒸汽管道等。燃气轮机的布雷登（Brayton）循环做功过程中，它有很高的燃气初温（1200～1500℃），如果保温效果不佳或工房散热不良，均有可能形成高温和强辐射热气象环境。

另外检修工人在锅炉、汽机、发电机等高温热辐射工作场所中维修时，特别是在临时停炉抢修时，作业人员可能直接进入高温强辐射热场地，因此对这部分作业人员应采取有效的防护措施，谨防高温中暑。

（三）紫外线

电厂正常生产过程中不产生紫外线职业危害，主要是在电焊维修时产生紫外线弧光。

三、电离辐射

金属探伤的主要检测手段有X射线探伤、γ射线探伤、超声波探伤、磁粉探伤、渗透探伤、涡流探伤等。电厂锅炉压力容器金属维修探伤时，多选用X射线探伤仪或γ射线探伤仪。射线探伤放射源属移动性开启式装置，只有在维修现场探伤短暂开启时才存在电离辐射。

四、化学毒物类

（一）燃气及燃烧过程中有毒物质的产生

纯天然气是钻井采出来的气田气。其主要成分为甲烷，有的产地天然气成分中含有少量硫化氢，毒性较大，应予以重视。如果燃烧焦炉煤气、高炉煤气等工业煤气，可能燃气中含有高浓度的一氧化碳等有毒气体，发生燃气泄漏时可能导致一氧化碳中毒。

天然气在燃烧时产生的主要废气是二氧化碳、水蒸气以及少量的氮氧化物和二氧化硫等。

如果燃烧过程良好，则一氧化碳只是中间产物，最终会燃烧完全，生成二氧化碳。当氧气不充足时，则会使一部分可燃气体燃烧不完全，随烟气排出，如炭粒、一氧化碳、氢气和甲烷等。

（二）水处理过程中有毒物质的产生

燃气发电锅炉用水、冷却水和生活用水通常都不能直接利用水源水，需事先通过化学处理。在这个过程中有毒物质的产生和燃煤发电相同，具体详见燃煤发电水处理过程中有毒物质的产生。

（三）维修过程中有毒物质的产生

① 锅炉维修采用亚弧焊时可能存在氮氧化物、锰烟等；

② 锅炉清洁除垢时存在氢氟酸、盐酸、亚硝酸钠等化学物品；

③ 仪表维修时可能接触铅、汞；

④ 电器维修与油漆维修时可能接触苯、甲苯、二甲苯、汽油、乙醇等多种有机溶剂。

上述维修过程中接触有毒物品机会较少，但有时可能接触的浓度较高，应予

以重视。

五、劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素

为满足电厂连续运行的需要，劳动组织实行倒班制，易引起工人生活节律紊乱和职业性精神（心理）紧张等。

此外，工人除定时巡检外，主要在操作室内工作，对生产过程的监控主要通过显示屏，操作主要通过计算机，长时间视屏操作，易造成视觉疲劳。

第五节 职业病危害因素归类与防护效果识别

大型燃气发电机组产生的职业病危害因素种类较多，将可能存在的职业病危害因素归纳如下：

① 化学毒物类，主要有甲烷、丙烷、丁烷、一氧化碳、二氧化碳、少量的二氧化硫和氮氧化物、肼、氯气、锰烟、汞、苯系物、乙醇、汽油、盐酸、六氟化硫、一氟化硫、四氟化硫、十氟化二硫、硫酸、氢氧化钠、磷酸三钠、聚合氯化铝、灭藻剂、缓蚀剂、亚硝酸钠、氢氟酸、铅烟等；

② 物理因素类，主要有噪声、振动、工频电场、高温、辐射热、紫外线等；

③ 放射性危害因素类，主要有γ辐射、X射线等；

④ 劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素，主要有视觉疲劳、职业性精神（心理）紧张、生活节律紊乱等。

表 3-1 可能存在的职业病危害因素及存在的环节

职业病危害因素种类		存在的环节
毒物	二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物、二氧化硫、甲烷、丙烷、丁烷	燃气轮机、余热蒸汽锅
	氮氧化物、锰烟	电焊岗位
	氨气、水合肼	水处理
	氯气、磷酸三钠、聚合氯化铝	水处理
	氢氧化钠、盐酸、硫酸	离子交换、废水处理
	灭藻剂、缓蚀剂	循环水处理
	汽油、苯系物、乙醇、铅烟	电器维修
	六氟化硫、四氟化硫、十氟化二硫	高压电器损坏
	氢氟酸、亚硝酸钠	锅炉维修
物理	噪声、振动	燃气轮机、锅炉、蒸汽机、发电机、压缩机等
	紫外线	电焊
	高温	燃气轮机、锅炉、蒸汽机、发电机、压缩机等
	工频电场	变电所、电除尘
	X射线、γ射线	锅炉维修探伤
其他	职业性精神紧张、生活节律紊乱	多数操作岗位(倒班人员)
	视觉疲劳	电脑操作室

职业病危害因素可能存在的环节见表 3-1。其中主要职业病危害因素是噪声、工频电场、高温与热辐射、甲烷、一氧化碳、二氧化碳等。

不同的燃气发电机组所产生的职业病危害因素种类和强度（浓度）与使用的燃料、生产工艺、设备及运行状况等因素密切相关。因此，在实际工作中应具体分析、灵活运用。

目前我国新建的燃气发电机组技术先进，设备国产化、自动化程度高，职业卫生防护设施较齐全，其职业卫生防护措施可参照燃煤机组（参见第二章燃煤火力发电机组），在此不再赘述。多数燃气发电机组化学毒物、高温、振动、电磁辐射、电离辐射等职业病危害因素得到了有效控制；但噪声的控制有一定的困难，常存在少数地方噪声超标的现象。在建设项目职业病危害评价时应予以重点关注。

第六节 燃重油发电机组

我国燃料油消费主要用途集中在发电、交通运输、冶金、化工、轻工等行业。其中电力行业的用量最大，主要是用于重油发电。电力行业的燃料油消费主要用于两个方面：一是燃油发电与供热机组，二是燃煤机组的点火、助燃和稳燃用油。虽然整个电力行业中燃油机组装机容量仅占整个装机容量的 5.7%，但却消耗了 32%的燃料油消费量。

当原油蒸馏时，在蒸馏塔内残留的残渣油总称为重油。重油按石油炼制过程的不同，可分为直馏重油、裂化重油和调和重油三种。重油是多种化合物的混合物，以含硫、含氧、含氮的非烃类化合物为主，并含有少量的各种烷烃、环烷烃、芳香烃等，其含硫量在 1%～3%左右。这些非烃类化合物以复杂的多环化合物形态存在，形成胶质和沥青质，使得重油具有颜色深、黏度大的表观特征。

燃重油发电机组根据其燃烧装置不同大致可分为三类。

1. 燃重油内燃机发电机组

燃重油内燃机发电机组是以燃烧重油的内燃机动力部分，带动发电机发电。该机组类似于柴油机发电机组，结构紧凑，移动灵活，但发电功率不大，一般适宜单位自备电源和野外作业临时电源。

可能存在的职业病危害因素：噪声、振动、重油烟雾等。重油燃烧后可产生大量的二氧化碳、少量的二氧化硫、氮氧化物、未完全燃烧的炭粒，以及 0.1%左右的灰分等。灰分的主要成分是铁、硅、铝、钙、镁、镍、钠和钒等无机化合物。

2. 燃重油燃气轮机发电机组

燃烧重油的燃气轮机发电机组与燃气发电机组相似。利用雾化后的重油在燃

气轮机中直接燃烧做功，使燃气轮机带动发电机发电。其工艺流程与设备参见本章第二节，在此不赘述。

可能存在的职业病危害因素：噪声、振动、工频电场、重油烟雾、二氧化硫、氮氧化物等，详见本章第五节相关内容。

3. 燃重油蒸汽锅炉发电机组

燃烧重油的蒸汽锅炉发电机组主要由重油燃烧器、蒸汽锅炉、汽轮机和发电机等设备装置组成。其中重油燃烧器由油喷嘴（雾化器）和调风器组成。重油经过油喷嘴雾化成雾滴，以一定角度喷入炉内并与由调风器送入的空气相混合而着火燃烧。其工艺流程与燃煤发电机组相似，可参见（第二章）燃煤发电机组相关内容。

可能存在的职业病危害因素：与燃气发电机组相似，有噪声、振动、工频电场、重油烟雾、二氧化硫、氮氧化物等，详见本章第五节燃气发电机组相关内容。

第七节 燃奥里油发电机组

在世界能源消耗剧增、石油供不应求的形势下，奥里油作为一种新的化石类燃料得到了合理的开发利用，其中以奥里油为燃料的燃油发电机组也正在大规模开发建设。我国投资建设的第一座燃奥里油电厂，也是目前世界上最大的燃奥里油电厂，2×600MW 湛江奥里油发电厂正在全面建设中。随着石油、煤炭资源的减少，燃奥里油发电机组作为我国电力行业的新贵成员，将会占据一席地位。

一、工艺简介

1. 奥里乳化油的生产加工

奥里乳化油是以产于南美洲委内瑞拉奥里诺科河（Orinoco）流域的一种环烷基超重质原油（国外称之沥青）为原料，加水和乳化剂乳化而成。目前奥里油已探明储量约为 12000 亿桶（相当于世界石油储量的 50%）。

五十年前，委内瑞拉就已发现了奥里诺科沥青，1979 年委内瑞拉国家石油公司开始研究开采奥里诺科沥青，1988 年首次商业输出。目前已在英国、丹麦、立陶宛、意大利、日本、加拿大、美国、中国等国的发电厂使用。

奥里油的开采必须先向井下注入蒸汽，使超重质奥里原油受热稀释后再抽到地面。经脱气、脱盐处理，再经过一系列的动态静态研磨混合加工，加表面活性剂等，最后形成一种非常稀的水包油乳化液。为增强乳化液的稳定性，还需加入一定量的一乙醇胺。常用 400 号和 100 号乳化奥里油杂质含量见表 3-2。

表 3-2 乳化奥里油杂质含量

项 目	400 号乳化奥里油	100 号乳化奥里油	项 目	400 号乳化奥里油	100 号乳化奥里油
水/%	27～31	27～31	钒/(mg/L)	<360	<360
镁/(mg/L)	<20	340～370	硫/%	2.8	2.8
钠/(mg/L)	<30	<30	应用基灰分/%	0.1	0.25

2. 工艺流程

燃奥里油发电机组生产工艺流程除燃煤运输系统和燃煤锅炉系统外，其他设备和工艺均与燃煤电厂相同或相似（参见第二章燃煤火力发电机组相关内容）。主要包括乳化奥里油储存与运输系统、燃油锅炉、电除尘、汽轮机、发电机、升压变压器、供水及化学水处理系统、脱硫系统、除灰除渣系统、维修保障系统等。其工艺流程简图见图 3-7。

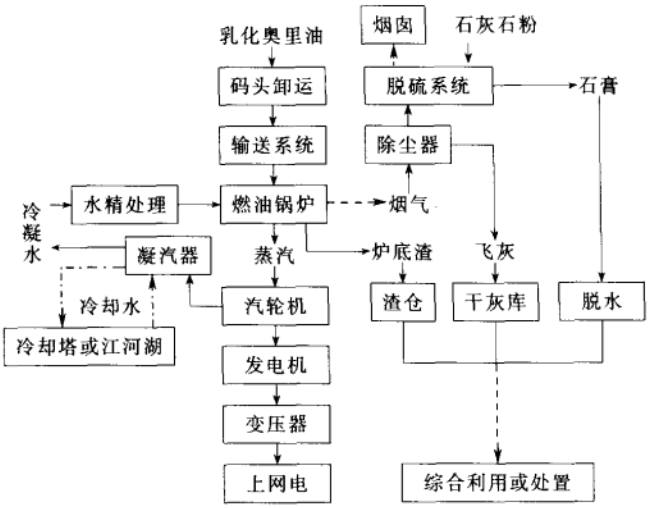


图 3-7 燃奥里油发电机组工艺流程简图

二、职业病危害因素识别

燃奥里油发电机组产生的职业病危害因素种类较多。与燃煤发电机组相比，没有煤尘、煤灰尘和磨煤机等高强度噪声的危害，但因乳化奥里油中含有较高的钒，故存在五氧化二钒等钒化合物粉尘的危害。可能存在的职业病危害因素归纳如下：

① 粉尘类，主要有含五氧化二钒灰尘、石膏尘、石灰石尘、耐火材料尘、电焊尘、石棉尘等；

② 化学毒物类，主要有二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳、氨气、肼、氯气、锰烟、汞、苯系物、乙醇、汽油、盐酸、六氟化硫、一氟化硫、四氟化硫、十氟化二硫、硫酸、氢氧化钠、磷酸三钠、聚合氯化铝、灭藻剂、缓蚀

剂、亚硝酸钠、氢氟酸、铅烟等；

③ 物理因素类，主要有噪声、振动、工频电场、高温、辐射热、紫外线等；

④ 放射性危害因素类，主要有γ辐射、X射线等；

⑤ 劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素，主要有视觉疲劳、职业性精神（心理）紧张、生活节律紊乱等。

其中主要职业病危害因素是噪声、工频电场、高温与热辐射、五氧化二钒尘、石灰石尘、石膏尘，氨气、肼、氯气、氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳等。

（杨乐华、宋交才）

第四章　造纸工业

纸在现代经济中所发挥的作用已越来越多地引起世人瞩目，被国际上公认为“永不衰竭”的工业。在美国、加拿大、日本、芬兰、瑞典等经济发达国家，造纸工业已成为其国民经济十大支柱制造业之一。当今世界各国已将纸及纸板的生产和消费水平作为衡量一个国家现代化水平和文明程度的重要标志之一。现代造纸工业的特点不同于一般日用消费品工业，它是技术、资金、资源、能源密集型的基础原料工业，是耗能、耗水、耗资源的大户。

第一节　工艺简介

造纸的原料主要是植物纤维。我国造纸工业耗用的一次纤维原料依次为稻麦秆、木材、芦苇及芒秆、蔗渣、竹子、废麻及废棉。其中，芦苇及芒秆、蔗渣、竹子、废麻及废棉等都是相对较为理想的非木材制浆纤维原料。值得指出的是，我国用于造纸工业的芦苇产量已经达到芦苇总产量的75%；而我国用于造纸工业的蔗渣量仅占可用量的25%～35%，蔗渣用于制浆造纸的潜力较大。

纸的生产大体上可分为两个过程，即制浆和造纸（图4-1）。制浆是指在原料中加入一些化学药品（如石灰或烧碱等）进行蒸煮；或者将原料直接用机械打碎、研磨；然后洗涤，去除不必要成分，保留纤维，制成浆料。需要漂白的，再加入药剂进行漂白。造纸则是把浆料用网格捞起，脱水压榨干燥，最后整理成纸的过程。

一、备料

备料是指原料在蒸煮或磨浆前按蒸煮（或磨浆）的要求进行初步的处理和加工。备料的方法和其所需设备随原料种类不同而异。即使原料种类相同，但产品类型及产品的质量要求不同时，备料的方法及选用的设备也有所不同。

按使用原料的种类备料可分为两大类，即非木材纤维原料的备料和木材纤维原料的备料。前者运用到的设备有切草机、切苇机和甘蔗除髓机等，后者有剥皮机、削片机等。

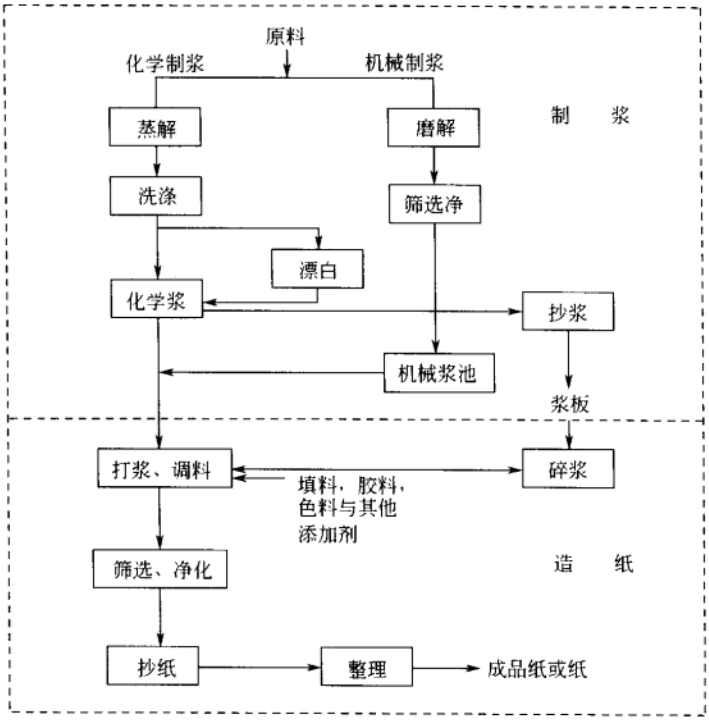


图 4-1　纸的生产过程

1. 非木材纤维原料

非木材纤维原料的备料中又可分为干法备料和湿法备料两种方法。

干法备料是指原料在一定的水分下进行切割和筛选等处理。目前国内的草浆厂绝大多数采用此法。

湿法备料是指原料悬浮于水中，在机械作用下撕裂，并分离灰尘、草叶及谷、麦粒等。国外有些草浆厂采用湿法备料。我国仍在试验阶段。

2. 原木原料

原木经过剥皮鼓剥皮后，再经削片机削片、筛选机筛选后进入下一流程。

可能存在的职业病危害因素：原木运输和各种机械设备（包括切草机、切苇机、甘蔗除髓机、多圆锯、剥皮滚筒、削片机、吹送木片风机等）产生的噪声与振动，原料在运输、加工过程中产生的粉尘以及可能存在的生物有害因素等。

二、制浆

制浆的方法有化学法、机械法、化学机械法和生物法。除机械法外，化学法及化学机械法都需要加入化工原料和造纸化学品等。

工艺流程见图 4-2。此外，还有蒸煮液和漂液的制备，废液中化学药品的回

收及热能的利用，中段废水的处理和废纸回收等辅助过程。

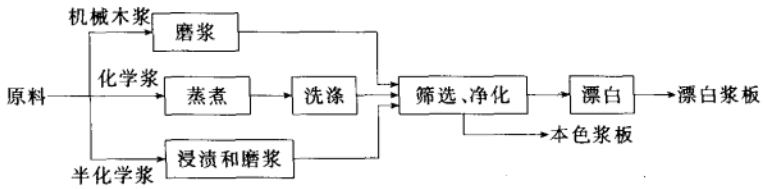


图 4-2 制浆工艺流程

（一）磨浆

原料以机械的压力、研磨等物理方式，制成断碎的细纤维。

（二）蒸煮

蒸煮是在高温（150～170℃）和高压（0.5～0.7MPa）下使原料中木素和蒸煮助剂发生化学反应而溶出，从而使纤维从原料中分离出来的过程。

制浆方法中，除生物制浆法仍处于研究阶段外，工业上主要采用的是前三种方法。每种方法各有不同的内容。

工业上蒸煮使用的主要有碱法和亚硫酸盐法两种。

1. 碱法

用碱液来处理植物纤维原料，将其中的木素溶出，使原料纤维彼此分离成浆。根据碱料不同，又分为石灰法、烧碱法及硫酸法等。目前碱法蒸煮仍是各国制浆的主要方法，且大多采用硫酸盐法。

2. 亚硫酸盐法

又分为酸性亚硫酸盐法、亚硫酸氢盐法、微酸性亚硫酸盐法、中性亚硫酸盐法和碱性亚硫酸盐法等。

各种方法选用的主要蒸煮试剂见表 4-1。

表 4-1 蒸煮方法中主要的蒸煮试剂

类 别	名 称	主要蒸煮试剂
碱法	烧碱法	NaOH
	硫酸盐法	NaOH、Na_2S
亚硫酸盐法	碱性亚硫酸盐法(AS法)	Na_2SO_3、NaOH
	中性亚硫酸盐(铵)法(NS法)	Na_2SO_3、$(NH_4)_2SO_3$、NaOH、$(NH_4)_2CO_3$
	微酸性亚硫酸盐法	亚硫酸盐-亚硫酸氢盐
	亚硫酸氢盐法	亚硫酸氢钠法和亚硫酸氢镁法
	酸性亚硫酸氢盐法	所用盐基可以是钠盐基、铵盐基、镁盐基、钙盐基

蒸煮过程中同时还可能使用助剂，以提高纸浆的得率，缩短蒸煮时间，降低筛渣率。常见的蒸煮助剂有蒽醌（AQ）、多硫化钠、Na_2SO_3、硼氢化钠、连二亚硫酸钠等。

（三）漂白

纯粹的纤维素是白色的，而木浆中因含有一定数量的木素和有色物质以及其他的杂质，而具有颜色。通过漂白，可以使纸浆具有一定的白度。

传统的漂白方法分两类。

一类称氧化性漂白。利用漂白剂的氧化作用除去纸浆中残留的木素，破坏发色基团，使木素分子氧化降解而溶出。适用于化学浆、高得率化学浆和部分半化学浆的漂白。此类漂白剂有 Cl_2、ClO_2 和次氯酸盐等。目前仍以氧化性漂白为主要的漂白方法。氧化性漂白剂因是含氯漂白，污染严重，将逐渐被含氧漂白方法所取代。

另一类称还原性漂白，也称表面漂白。是使用还原性漂白剂，选择性地破坏纸浆中的发色基团的结构，并不除去纸浆中的木素。多用于漂白木素含量较高的纸浆，如磨木浆、化学磨木浆、半化学浆等。此类漂白剂有连二亚硫酸锌、连三亚硫酸钠、硼氢化钠等。

化学浆的最典型漂白方法分别是次氯酸盐漂白、CEH 等多段漂及基本无氯漂白和全无氯漂白。

在漂白实践中用一种方法不能将浆料漂到较高白度，往往采取多种漂白方法并用，即所谓的多段漂白，如三段漂、五段漂等。如最简单的三段漂白流程，即氯化（C）、碱处理（E）、次氯酸盐补充漂白（H），简写为 CEH 三段漂。对某些纸种，三段漂白还不能达到要求的白度，因此会出现段数更多的漂白流程。

目前我国漂白工艺，在大型木（竹）浆厂，推广以二氧化氯为漂剂的无元素氯漂白、低二氧化氯漂白或全无氯漂白，限制和逐步淘汰使用氯气和次氯酸盐的三段漂或四段漂。研究开发适合草浆特点的低氯漂白和全无氯漂白。

主要生产设备为制浆设备，即将植物原料分离成纤维过程所用的设备，包括蒸煮器、磨木机、热磨机、洗浆机、漂浆机、打浆机和废液回收设备等。

可能存在的职业病危害因素：各种机电设备运行时产生的高强度噪声，木片蒸煮时产生的高温和湿热蒸汽。所添加的化学药物发生跑、冒、滴、漏，对工作人员也会造成职业病危害。如蒸煮可能接触 NaOH、Na_2S、Na_2SO_3、$(NH_4)_2SO_3$、亚硫酸盐等；漂白可能接触氯气、二氧化氯、臭氧、过氧化氢等。其中常见的主要有害物质是二氧化硫、氯气和硫化氢等。

三、造纸

由制浆工段制备的浆料生产纸和纸板，需经过打浆、加填、施胶、显白、净化和筛选等工序的处理，然后再在造纸机上抄造成纸张或纸板产品。工艺流程见图 4-3。

1. 打浆

经过蒸煮、洗涤、筛选、漂白以后的纸浆，其中尚含有纤维束。纤维本身僵硬，表面光滑，长短、粗细并不一致。为了适应对纸张性质的要求，必须对纸浆

进行机械处理，使纤维发生各种物理变化。

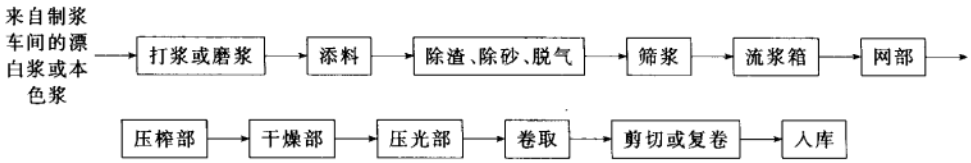


图 4-3 造纸工艺流程

这一工序长期以来是在荷兰式打浆机中靠一个可以施加压力的旋转刀和固定底刀间的作用来完成的。后来逐渐被锥形精浆机和盘磨等连续打浆设备所取代。

2. 添料

包括色料、胶料、填料、助剂等。

3. 施胶

用植物纤维生产的纸张具有吸水的性质。施胶的任务就是使纸张在一定程度上不为水和水溶液所渗透。加到浆料中去的这些抗水性胶体物质，称之为胶料，如松香胶、石蜡胶、硬脂酸石蜡胶等。施胶的方法可分为两种类型：一种是纸内施胶，将胶料加入到纸浆中，经均匀混合后再抄成纸页。一种是表面施胶，将胶料溶液涂布到已经成形的纸页上去。这通常是在施胶槽中、施胶辊上或者压光机上进行。

4. 填充

就是往纸料悬浮液中加入不溶于水或略溶于水的矿物质或人造填料，使纸张得到无填料时难以具备的一些特性，并且节约纤维，降低单位产品的耗浆量。

填料的种类很多，在天然填料方面有滑石粉、白土、高岭土、碳酸钙、石棉、生石膏、重晶石（$BaSO_4$）、烧石膏等；在人造填料方面有沉淀碳酸钙、钙镁白、碱性碳酸白、沉淀硫酸钙、二氧化钛、锌钡白、锌白、硅铝酸钠、硅酸钙等。

5. 染色

纸浆中的植物纤维总是略呈黄色至灰白色，即使是经过漂白处理也是如此。为了改善人对纸张的视觉或使纸张具有所要求的颜色，则需对植物纤维进行染色，即在浆或纸张中加入某种色料。色料分颜料和染料，但主要还是使用染料。

6. 抄纸

抄纸即是使纸浆成为纸张的过程。抄纸方法分为干法和湿法两类。目前，绝大多数均采用湿法抄纸。湿法抄纸是以水为介质，将纸浆制成均匀的浆水悬浮液（使纤维均匀分散在水中），再在造纸机上经过滤网脱去水分，纤维则存留在网上形成一交织均匀的薄层，经进一步脱水、干燥等处理最终成为纸张产品。干法造纸是以空气为介质生产纸张，因纤维间交织情况不好、产量低等原因，只用于某

些特种纸的制造。

纸的加工即是对所抄制的原纸进行再加工，获得原纸所没有的某些特性的纸张称为加工纸。根据加工方法的不同，加工纸又分为涂布加工纸、变性加工纸、复合加工纸、成型加工纸等。

可能存在的职业病危害因素：锥形精浆机、盘磨空压机、压光机等机电设备运行时产生的高强度噪声。干燥时产生的高温和湿热蒸汽。填料制备加料口存在碳酸钙尘、滑石尘等相应粉尘，复卷和打包过程中产生纸屑粉尘。中性施胶制备、助流剂制备、湿强剂制备、染料制备、消泡剂制备、杀菌剂制备、增白剂制备等存在多种化学物质。射线测厚仪产生电离辐射等。

四、废纸造浆

（一）工艺流程

使用回收废纸来造浆，必须要经过脱墨程序，以去除废纸上的涂布剂、填充剂、油墨及颜料，方能进行废纸中木质纤维的利用。利用废纸造浆的生产工艺流程见图 4-4。

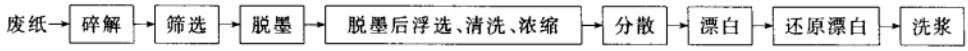


图 4-4　废纸造浆工艺流程

（二）脱墨剂的种类

随着纸张、油墨组成的变化及脱墨技术的改进，脱墨剂的品种也在不断增加，主要有如下几类。

1. 碱类和过氧化物

碱类化学品如 NaOH、Na_2CO_3、Na_2SiO_3 等。过氧化物有 Na_2O_2、H_2O_2。

2. 表面活性剂类

脱墨过程中使用的表面活性剂就是通常所说的脱墨剂。在商品脱墨剂中，用得最多的是阴离子型表面活性剂的复配物，少数是非离子型表面活性剂的复配物。有阴离子型的烷基苯磺酸盐、脂肪酸盐等，非离子型的聚氧乙烯烷基酚醚，阳离子型的十二烷基氯化铵等。

在洗涤脱墨中常使用的表面活性剂有烷基苯磺酸盐、硫酸烷基类等。在浮选脱墨中通常使用的表面活性剂有烷基聚氧乙烯醚、烷基酚聚氧乙烯醚、环氧丙烷和环氧乙烷等聚合物等。

3. 螯合剂类

是指具有螯合性能的物质。如三聚磷酸钠、焦磷酸钠、ETPA、EDTA 等。能防止由于金属离子的存在而引起双氧水失效，并能防止设备和管道结垢。少量的螯合剂还有利于提高再生纤维的白度。

对于浮选脱墨还需加入浮选捕集剂。一般是用脂肪酸，如油酸和妥尔油脂肪酸等。它能够使油墨粒子呈疏水性并稳定泡沫，使油墨粒子絮凝和附着在气泡上

浮于液面而被除去。

4. 吸附剂类

常用的有高岭土、硅藻土等。

(三) 主要职业病危害因素识别

各种机械设备产生的噪声与振动。各种脱墨化学药剂，如肥皂、聚合物 B、氢氧化钠、硫酸钠、双氧水、硫酸、EDTA 等。废纸分选时产生的粉尘以及投加填充剂时形成的矿物粉尘等。废纸分拣过程中还可能接触病原微生物等。

五、黑液回收

1. 工艺流程

目前，国内外造纸工业碱回收仍以传统的燃烧法为主。从浆料中提取的稀黑液经蒸发，达到燃烧要求的浓度，然后送碱回收炉燃烧，烧掉有机物，剩下的无机物为碳酸钠和硫化钠（草浆黑液还有硅酸钠），呈熔融状态，经溶解澄清后成为绿液。再把石灰加入绿液中，使碳酸钠等苛化为氢氧化钠和碳酸钙（白泥），沉淀分离白泥并煅烧回收碳酸钙，得到氢氧化钠和硫化钠的混合溶液，称为白液，可供制浆蒸煮用。从而起到回收碱、碳酸钙并循环用于生产的目的（图 4-5）。

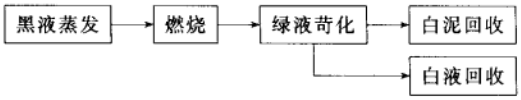


图 4-5 黑液回收工艺流程

2. 主要职业病危害因素识别

白泥回收工序存在碳酸钙粉尘，黑液蒸发和碱回收炉燃烧过程中存在高温、热辐射、噪声以及黑液蒸发出来的各种有毒气体等。

六、红液回收

1. 工艺流程

红液经蒸发后在氧化型回收炉中进行燃烧，燃烧产物中的氧化镁和二氧化硫被烟气带出。从烟气中将氧化镁分离出来，洗涤和消化后，制成氧化镁乳液。再利用该乳液吸收烟气中二氧化硫，即可得以 $Mg(HSO_3)_2$ 为主要成分的蒸煮药液。

2. 主要职业病危害因素识别

氧化镁回收工序存在烟尘，红液蒸发和回收炉燃烧过程中存在高温、热辐射、噪声以及二氧化硫等多种有害气体。

七、中段污水厌氧处理

(一) 厌氧处理原理

纸浆生产线排放的污水一般需要经过厌氧生物降解处理后再进入耗氧处理。

污水厌氧处理的原理是：高分子有机化合物在厌氧菌的分解作用下，通过水

解、酸化、产氢、产酸及产甲烷而得到降解。

1. 水解阶段

高分子有机物被细胞外酶分解为小分子。这些小分子的水解产物能溶解于水并透过细胞膜为细菌所利用。

2. 酸化阶段

小分子化合物在酸化菌的细胞内转化为更为简单的化合物，并分泌到细胞外。这一阶段的主要产物有挥发性脂肪酸、醇类、乳酸、二氧化碳、氢气、氨、硫化氢等。

3. 产乙酸产氢阶段

上述产物被进一步降解为乙酸、氢和二氧化碳，这是最终甲烷反应的反应底物。

4. 产甲烷阶段

产甲烷菌是一种严格的厌氧微生物，其生化反应可发挥两个主要作用：一个是乙酸盐的降解，另一个是氢的利用。最终以乙酸、氢和二氧化碳为底物，产生甲烷。

（二）工艺流程

污水经预酸化后，进入反应器中，反应器中厌氧颗粒污泥（微生物）降解水中的COD转化为生物气（沼气），沼气中以甲烷和二氧化碳为主，还有少量的硫化氢气体。产生的气体由三相分离器装置从污水中分离，进入沼气储罐综合利用。分离出来的处理后污水再排入耗氧处理系统进一步处理。其工艺流程见图 4-6。

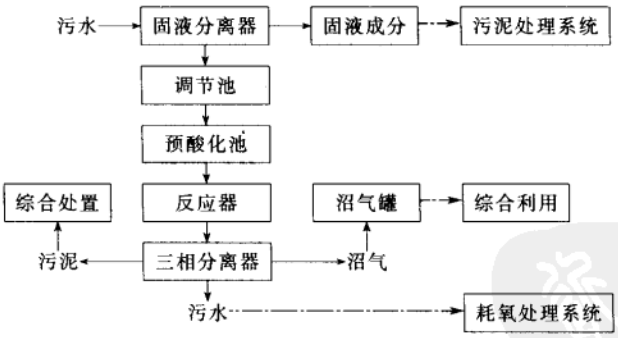


图 4-6 造纸污水厌氧处理工艺流程

（三）主要职业病危害因素识别

污水在活性污泥的生物降解过程中，高分子有机化合物最终被分解为甲烷、二氧化碳、硫化氢等气体。因此，作业工人在巡检和设备维修等操作过程中可能接触到硫化氢等有害气体，特别是进入密闭空间时有可能接触高浓度硫化氢气体，存在导致急性职业性硫化氢中毒甚至致死的风险。在设备检修时应做好现场

通风、个人防护和应急救援预案等工作。此外，工作场所还存在噪声等物理因素性职业病危害。

第二节 职业病危害因素综合识别

一、粉尘类

造纸行业中粉尘主要产生于备料车间中对原材料的加工、制浆过程中的填料以及抄纸过程。

在切断各种造纸原料时，可产生大量粉尘。如在非木纤维备料、切碎、除渣等过程中都会产生大量的有机粉尘。

在各种填料的投放过程中会产生大量无机粉尘。如石灰、矾土及滑石粉尘等。

造纸企业普遍存在纸粉尘。尤其近年来，因使用容易产生纸粉尘的废纸浆和热磨木片磨木浆以及其他未漂纤维原料，导致纸粉尘危害加重。此外，由于制定了防止水质污染法规和天然纤维原料价格上涨与环保要求等原因，被迫封闭白水系统，使极其短小的纤维再次循环，也助长了纸张粉尘的飞扬。

在复卷工序，纸辊根据需要在复卷机上复卷或切成适当的尺寸，这也是最容易产生纸粉尘的场所。复卷之后或在复卷中，有时要用压纹、印刷等加工处理，薄页纸经折叠机装箱，卫生纸经复卷机装袋，所有这些过程都会产生纸粉尘。从造纸的原料和纸种来看，一般纸粉尘量是废纸多于浆板，本色未漂又多于漂白的纸。

二、物理性有害因素

（一）噪声

噪声是制浆造纸企业主要职业病危害因素之一。有职业卫生调查指出，几乎所有纸厂都存在噪声超标现象，一般噪声值在 95～105dB（A），个别达到 110dB（A）以上。制浆造纸企业噪声声源主要有机械动力噪声和气体动力噪声。

1. 机械动力噪声

各种机械设备在运转过程中振动、摩擦、碰撞产生机械噪声，该噪声以低中频为主。制浆造纸企业主要产生噪声的机械设备如下：

① 备料车间，原木卸车和运送，切草机、切苇机、甘蔗除髓机、锯、剥皮滚筒、削片机等；

② 打浆车间，蒸煮器、磨木机、热磨机、洗浆机、漂浆机、打浆机等；

③ 抄纸车间，纸机的网案、伏辊、压榨、烘干部、压光机、卷取机、复卷机、双盘磨、搅拌机、各种泵等；

④ 脱墨车间，碎解机、碎浆机、粗筛、预筛等；

⑤ 生产辅助设施系统，空压机、水泵等。

2. 气体动力噪声

各类风机、风道、蒸汽管道中的气体和蒸汽在流动、节流、扩容、漏气、排气等过程中产生气体动力性噪声。如吹送木片的风机、木片风送管路等。

（二）高温与辐射热

在制浆工序中采用蒸煮工艺，会产生高温、高湿和热辐射。

三、电离辐射

对纸张进行测厚控制的β放射源，可同时产生β射线和γ射线职业病危害因素。因β射线辐射距离有限，因此该放射源以γ射线职业病危害因素为主。

四、化学毒物类

造纸过程中可能接触多种有毒气体或蒸汽。主要有二氧化硫、氯气、二氧化氯、硫化氢、氢氧化钠、硫酸钠、亚硫酸盐、氨、臭氧、过氧化氢、肥皂、聚合物B、双氧水、硫酸、EDTA等。此外，一些特种造纸还可能接触松香、甲醛树脂、聚乙烯醇等。

采用不同的制浆方法接触到的化学品种也不同。机械制浆法所用化学药品较少，生产过程中存在的化学性职业病危害因素相对较少。

值得引起关注的是制浆过程：在亚硫酸盐法制浆中可接触二氧化硫；在漂白工序中可受到氯气危害；造纸原料为有机物，并且加工过程中使用很多含硫的化学物质，生产过程中多处产生硫化氢气体，尤其以蓄浆池、废水处理的危险性最大。我国关于蓄浆池硫化氢中毒的报告相当多，后果都相当严重。

表4-2 可能存在的职业病危害因素与环节

工 序	设 备	原 料	产 品	职业病危害因素
备料	削片机、切草机、筛选	原木、木屑、芦苇等	草、木片	噪声、木尘等
蒸煮	蒸球、立缸	草、木片、蒸煮药剂水	粗纸浆	蒸煮药剂、硫醇、噪声、热辐射等
制药及碱回收	沸腾炉、吸收塔、碱回收炉	硫黄或硫铁矿、氧化镁、氧化钙、黑液芒硝、石灰	亚硫酸盐、蒸煮药液、火碱、硫化碱	粉尘、二氧化硫、噪声、热辐射等
洗选	洗浆机、筛浆机、浓缩机	粗纸浆	细纸浆	噪声、有机物等
漂白	漂白机、洗浆机	本色纸浆、漂白粉、氯气	漂白浆	氯气和氯化有机物、噪声等
打浆调料	打浆机、盘磨机、制胶设备	纸浆、胶料、填料	调好的浆料	噪声、粉尘、有机物等
脱墨浆	碎浆机、粗筛、预筛和精筛、浮选槽、除砂机、浓缩机、漂白机	废纸	脱墨浆	噪声、热辐射、蒸汽、γ射线等
抄纸	抄纸机	浆料	毛纸	噪声、粉尘、放射线等
整理	切纸机、复卷机、打件机	毛纸	成品纸	噪声、粉尘等

五、生物因素

剥树皮者可接触含有霉菌孢子的树皮粉尘；在用破布作原料时，可接触带有病菌的布屑粉尘；废纸分捡过程中可能接触病原微生物等。

六、劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素

为满足连续运行的需要，劳动组织实行倒班制，采取六班四运转或四班三倒等。倒班制和连续长时间工作易引起工人生活节律紊乱和职业性精神（心理）紧张等。

此外，工人除定时巡检外，主要在操作室内工作，对生产过程的监控主要通过显示屏，操作主要通过计算机，长时间视屏操作易造成视觉疲劳。

可能存在的职业病危害因素与环节见表 4-2。

第三节 主要防护措施及效果分析

一、防毒措施

1. 防氯气泄漏

用液氯罐方式加氯时必须要有防止氯气泄漏的措施，加氯间应有强制通风设施，其换气量不少于 12 次/小时。在使用液氯容器的场所应设置喷淋装置，并应有浓碱吸收池或浓碱液淹没装置，以便在发现液氯容器泄漏氯气时，设法将整个容器推入池中。

在生产操作过程中，应注意设备和管道是否“漏气”，重点部位安装氯气报警器，并严格控制氯气储量。制定针对氯气泄漏事故的应急救援预案并配备过滤式或供气式防毒面具等。

2. 二氧化氯

二氧化氯极易爆炸，爆炸后生产氯气、氧气、七氧化二氯等。一般在二氧化氯制备中，设法使其稀释至 10%（体积分数）以下，防止二氧化氯跟油类、脂肪、煤、硫黄、汞、橡胶等物质接触，并不能使其受热，受太阳光或其他光源的照射或受电火花的影响，以防止发生爆炸事故。

3. 硫化氢

为预防硫化氢中毒，在生产过程中应注意设备的密闭和通风，设置自动报警器。要进入有可能产生硫化氢的工作场所，应先进行强制性通风，再放入小动物观察有无中毒现象，或用直读式测定仪或醋酸铅试纸测试现场空气中浓度，确认工作场所安全时方可进入作业。在特殊情况必须进入高浓度硫化氢工作场所检修时，必须戴供氧式防毒面具，并应有专人在外监护。并可事先口服高铁血红蛋白形成剂对氨基苯丙酮作预防药。

二、防噪声措施

噪声是造纸工业的一重要职业病危害因素。防噪声主要措施是对备料工序、制浆工序和抄纸工序产生高强度噪声设备的降噪措施，以及集控室和岗位操作室的隔音措施。

（一）降低噪声措施

降低设备噪声的首要问题是工艺设计和设备选型，应在工艺选择时优先考虑噪声危害较小的工艺路线；在设备采购时应将设备出厂噪声纳入重要选择指标，或要求供货方配套供给防噪声设施。

1. 圆锯

圆锯的总噪声级是由空气动力性噪声、锯片振动噪声和机械噪声叠加的结果。控制方法有：

① 锯片开消声槽，可获得 10dB(A) 左右的消声；

② 在不影响锯切高度的前提下，尽量加大锯片的夹盘直径，这样可以提高锯片刚度，减少弯曲振动，对降低振动噪声和机械噪声是极其有效的。研究证明，当夹盘直径加大到锯片直径的 3/4 倍时，降噪效果最佳；

③ 从锯齿的材料和阻尼降噪；

④ 采用消声板控制圆锯是一种较有效的方法，如设计、安装合理，降噪量可达 20dB (A)。

2. 滚筒剥皮机

滚筒剥皮机是借助于原木相互摩擦以及与滚筒壁相互撞击而达到剥皮作用的，因此产生强烈的噪声。一般滚筒剥皮机噪声高达 110～120dB(A)，是造纸企业最大的噪声源。目前瑞典和挪威的很多工厂都在使用内表面覆以橡胶的剥皮滚筒，这不仅保证吸收噪声，而且由于减少设备的磨损，延长了滚筒使用的期限。

没有树皮排出孔的滚筒噪声强度相对较小。橡胶衬里可降低噪声 10dB(A) 左右，当滚筒外表面使用吸声材料时，可保证噪声值低于 90dB(A) 以下。

3. 削片机

削片机工作时，出于木片和刀片的撞击、空气的流动和设备各部件的振动，都会产生噪声。木材削片时，产生强烈的冲击，因此，削片机入口必须安装消声器或带切口的橡胶护板。为消除外壳振动产生的噪声，在外壳各部分之间采用弹性连接的隔声措施是必需的。

4. 风机

输送木片的风机工作叶轮产生空气动力性噪声，可在风机的入口安装消声器。

5. 其他设备

高速纸机，应安装在单独的基础上，并用弹性垫层把它和建筑结构分离开。

复卷机以及真空泵等都可产生高强度噪声，也应采取隔振降噪措施。

（二）隔声与吸声措施

为给操作人员创造一个良好的工作环境，对集控室和各岗位操作室均应进行隔声处理。

噪声防治在建筑设计上采取的基本措施是隔音和吸音。特别是隔音效果更好，一般30cm以上厚度的实心砖墙隔离消音效果可达40dB(A)；玻璃窗隔声，单层为20dB(A)，双层为37dB(A)；隔声门为27dB(A)左右。

集控室应设置门斗（声闸），并在墙面和天棚采用吸声材料贴面。空调系统采用集中式空调，送风系统、回风系统均应设消音器。可使室内噪声降至70dB(A)以下。

凡需设专人值班的地方，均应设隔音值班室，确保室内噪声控制在70dB（A）以下。

（三）管理措施

噪声控制效果的维持，很大程度上取决于对设备的维护与管理，因此对职业卫生防护设施应有专人管理、及时维修。

从造纸行业的职业病危害控制效果实测数据来看，噪声作业点超标现象仍普遍存在，噪声危害控制仍有待加强，尤其以备料工序、纸浆工序和抄纸工序最为显著。因此，应加强个人防护。按照国家有关规定，进入噪声强度高于85dB(A)工作场所的人员配戴弹性耳塞或耳罩是十分必要的。

（李　祈）

第五章　耐火材料与铁合金制造

第一节　概　述

耐火材料和铁合金是现代钢铁工业必不可少的原料。由于钢铁工业实施高炉大型化、炼钢氧气化、精炼炉外化、铸锭连续化和操作自动化等系列技术战略，推动了耐火材料和铁合金工业的高速发展，并成为钢铁工业的相关技术和配套工程。因此我国绝大多数大型钢铁企业都有自己的耐火材料及铁合金制造工厂。

耐火材料以耐火砖为主，其次是耐火泥和不定形耐火材料。主要包括黏土砖、高铝质砖、硅砖、碱性砖、碳化硅砖、锆质砖、经质砖等。主要用于工业生产中建造窑炉、熔池、火道、坩埚等热工设备，是一种具有耐高温作用（1000～1800℃）的建筑结构材料。钢铁工业对其消耗量最多，约占总产量的60%以上，如焦炉、热风炉、高炉、转炉、电炉、精炼炉、钢水罐、铁水罐、加热炉和热处理炉及其他热工设备的建造。除此之外，还广泛用于有色冶金、涂料、保温材料及其他建筑材料的生产。因此，耐火材料的职业病危害问题不限于耐火材料矿石的开采与加工业，其应用领域（如筑炉与维修等）的危害也不可小视。

耐火材料的分类方法很多。按化学成分可划分为酸性、碱性和中性。按耐火度可划分为普通耐火材料（1580～1770℃）、高级耐火材料（1770～2000℃）、特级耐火材料（2000℃以上）和超级耐火材料（大于3000℃）四大类。按加工制造工艺可分为烧成制品、熔铸制品、不烧制品。按用途可分为高炉用、平炉用、转炉用、连铸用、玻璃窑用、水泥窑用等。按外观可分为耐火制品、耐火泥、不定形耐火材料。按成型工艺可分为天然岩石切锯、泥浆浇注、可塑成型、半干成型和振动、捣打、熔铸成型等制品。按化学矿物组成可分为硅酸铝质（黏土砖、高铝砖、半硅砖）、硅质（硅砖、熔融石英浇制品）、镁质（镁砖、镁铝砖、镁铬砖）、碳质（碳砖、石墨砖）、白云石质、锆英石质、特殊耐火材料制品（高纯氧化物制品、难熔化合物制品和高温复合材料）等。

铁合金由一种或两种以上的金属或非金属元素与铁元素组合而成，利用这种金属混合物作为载体，将特定元素引入炼钢过程，以生产具有特定性质的钢。该引入元素可以与钢熔合成合金，或与钢液中有害杂质结合并使其以熔渣的形式在钢液凝固前与钢液分离。

铁合金的主要用途一是作为脱氧剂，消除钢液中过量的氧；二是作为合金元素的添加剂，改善钢的质量与性能。随着我国钢铁工业持续、快速地发展，钢的品种不断增加、质量不断提高，对铁合金产品提出了更高要求。铁合金的品种繁多，主要分类方法如下。

1. 按铁合金中主元素分类

主要可分为硅、锰、铬、钒、钛、钨、钼等系列铁合金。

2. 按铁合金中含碳量分类

可分为高碳、中碳、低碳、微碳、超微碳等品种。

3. 含有两种或两种以上合金元素的多元铁合金

可分为硅铝合金、硅钙合金、锰硅铝合金、硅钙铝合金、硅钙钡合金、硅铝钡钙合金等品种。

4. 按生产方法分类

① 高炉铁合金，包括高炉高碳锰铁、低硅锰合金、低硅铁等；

② 转炉铁合金，包括转炉中碳铬铁、转炉低碳铬铁、转炉中碳锰铁等；

③ 电炉铁合金，包括高碳锰铁、高碳铬铁、硅铁、锰硅合金、硅铬合金、硅铝合金、硅钙合金、磷铁、中低碳和微碳铬铁、中低碳锰铁、精炼钒铁等；

④ 炉外法（金属热法）铁合金，包括金属铬、钼铁、钛铁、硼铁、钒铁、锆铁、高钒铁等；

⑤ 真空固态还原法铁合金，包括超微碳真空铬铁、氮化铬铁、氮化锰铁等；

⑥ 电解法铁合金，包括电解金属铬、电解金属锰等。

此外，还有氧化物压块与发热铁合金等特殊铁合金。工业上常用铁合金品种见表 5-1，其中硅铁、锰铁和铬铁是钢铁工业用量最大的三种铁合金。

表 5-1　常用的铁合金及其主要组分

合金名称	除碳以外的非铁元素种类与组分	合金名称	除碳以外的非铁元素种类与组分
硼铁	16.2%硼	磷铁	18%～25%磷
铈铁(铈镧稀土合金)	50%铈，45%镧，其余为稀土金属	硅铁	15%～90%硅
铬铁	60%～70%铬(可能还含有硅、锰)	钛铁	14%～45%钛，4%～13%硅
锰铁	60%～70%锰，1.25%～7%硅	钨铁	70%～80%钨
钼铁	55%～75%钼，1.5%硅	钒铁	30%～40%钒，13%硅，1.5%铝

第二节　耐火材料的加工制造

一、常用耐火材料的化学特性

1. 酸性耐火材料

酸性耐火材料通常指 SiO_2 含量大于 93%的耐火材料。它的主要特点是在高温下能抵抗酸性熔渣的侵蚀，但易于与碱性熔渣起反应。酸性耐火材料主要有石英玻璃制品、熔融石英再结合制品、硅砖、不定形硅质耐火材料、锆英石质耐火材料和碳化硅质耐火材料等。

2. 碱性耐火材料

碱性耐火材料一般指以氧化镁或氧化镁和氧化钙为主要成分的耐火材料。这类耐火材料的耐火度都较高，抵抗碱性熔渣的能力强。碱性耐火材料主要用于碱性炼钢炉及有色金属冶炼炉，水泥工业也常常使用该类材料。其主要产品有镁质、镁铬质、镁橄榄石质、镁铝质、白云石质和石灰质等耐火材料。其中镁质、白云石质和石灰石质属强碱性耐火材料，铬镁质和镁铬质、镁橄榄石质和尖晶石质属弱碱性耐火材料。

3. 硅酸铝质耐火材料

硅酸铝质耐火材料是指以 SiO_2 和 Al_2O_3 为主要成分的耐火材料。按其 Al_2O_3 含量的多少可以分为半硅质（Al_2O_3 15%～30%）、黏土质（Al_2O_3 30%～48%）、高铝质（Al_2O_3 大于 48%）三类。这三类材料一般以叶蜡石、硅质黏土、耐火黏土和高铝矾土为主要原料。其产品品种多，使用范围广，在耐火材料生产中占有较大的比重。

4. 熔铸耐火材料

熔铸耐火材料是指用一定方法将配合料高温熔化后，浇注成的具有一定形状的耐火制品。熔铸耐火材料的生产方法一般有电熔法和铝热法两种。其中电熔法主要是用单相或三相电弧炉熔化配合料，铝热法是利用铝放热反应放出的热量将配合料熔化。电熔法是目前生产熔铸耐火材料的主要方法。熔铸耐火材料主要产品有莫来石、α-Al_2O_3、β-Al_2O_3、α-β-Al_2O_3 等。

5. 中性耐火材料

高温下与酸性或碱性熔渣都不易起明显反应的耐火材料叫中性耐火材料，如炭质耐火材料和铬质耐火材料。

二、工艺简介

耐火材料的生产工艺流程包括原料加工和产品制造两部分。

（一）原料加工

1. 天然矿石加工

天然矿石原料加工是将各种矿石通过剔除杂质、破碎成所需粒度的过程。通常工艺流程包括原料拣选、破碎、粉碎、细磨和筛分等工序。

生产设备主要有皮带输送机、螺旋脱水机、振动筛、颚式破碎机、圆锥破碎机、辊式破碎机、反击式破碎机、悬辊式粉磨机、气流磨、筛分机和包装机等。

可能存在的职业病危害因素：主要是矿石加工过程中产生的粉尘。危害程度与其化学组分有密切关系。如石英矿石加工产生的粉尘中游离二氧化硅含量在

95%以上，属于严重危害的建设项目；其次就是各类设备运行过程中产生的高强度噪声与振动。

2. 人造耐火材料

(1) 电熔刚玉　电熔刚玉是用高铝矾土或工业氧化铝作原料在电弧炉内熔融，除去杂质，冷却而成的熔块。其特点是氧化铝含量高，化学稳定性高。品种主要有电熔棕刚玉和电熔白刚玉两种。

用高铝矾土生产棕刚玉时，高铝矾土需配入适量的无烟煤和铁粉，通过预热干燥脱水、电熔去除杂质成分等工艺。其产品中 Al_2O_3 含量高达 95%以上。

用工业氧化铝生产白刚玉时，由于原料纯度高，不需要采用还原方法分离杂质。将工业氧化铝通过预热和电熔即可，白刚玉的 Al_2O_3 含量高达 98%以上。

可能存在的职业病危害因素：主要是 Al_2O_3 粉尘；其次是高温、辐射热和噪声等。

(2) 莫来石　莫来石在自然界很罕见，耐火材料用料主要靠人工合成。莫来石的生产工艺有烧结法和电熔法两种。其原理是 Al_2O_3 和 SiO_2 在高温条件下形成一种稳定的化合物。

合成莫来石多采用工业氧化铝、氢氧化铝和纯净高岭土以及低杂质的叶蜡石等作原料，通过研磨、混合配料、预热干燥后在窑炉或电炉中烧制而成。

可能存在的职业病危害因素：主要是各种高含量的 Al_2O_3 和 SiO_2 粉尘；其次是高温、辐射热和噪声等。

(3) 碳化硅　碳化硅工业生产是在 1500℃的电阻炉内用碳还原二氧化硅而生成的产品。其化学反应如下：

$$SiO_2 + 3C = SiC + 2CO\uparrow$$

碳化硅生产原料多用石英砂作硅质材料，低灰分无烟煤或石油焦炭作碳质材料，并加入少量的锯木屑和食盐等。

可能存在的职业病危害因素：主要是石英粉尘、煤尘、碳化硅尘，以及电阻炉产生的高温、强辐射热等。

(二) 耐火型材的制造

耐火型材的制造基本工序为：配料—混合—成型—干燥—煅烧—成品检验等。大型耐火材料厂均已实现机械化、自动化生产。

1. 混合成型

原料输送多用皮带运输方式或管道风力输送方式。常用的成型方法有机压成型、振动成型、挤压成型、捣打成型、等静压成型、熔铸成型、注浆成型等。

可能存在的职业病危害因素：主要是原料粉尘、噪声和振动等。

2. 干燥与煅烧

(1) 干燥　耐火材料煅烧之前需进行干燥，依产品材质和质量要求的不同，所采取的干燥方式也不同，常用的有自然干燥法、隧道干燥法、竖窑干燥法等。

干燥设备主要有烟气隧道干燥器、转筒干燥器、竖式干燥器、窑式干燥器、干燥炕、隧道窑前干燥器、远红外线干燥装置、微波干燥装置和电干燥装置等。

其中烟气隧道干燥器是在一端设有一座燃烧室，利用烟煤或无烟煤燃烧产生的烟气作为热源。在燃烧室底部高压风机作用下，高温烟气被送至隧道干燥器内，加热砖坯，使其均匀干燥。

可能存在的职业病危害因素：主要是耐火材料粉尘、高温、高湿和噪声等。如采用微波炉干燥时还存在微波辐射；如采用烟气隧道干燥器则存在二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、煤烟尘等。

(2) 煅烧　煅烧耐火材料的窑体种类较多，主要有竖窑、回转窑和隧道窑等，目前大型耐火材料厂多采用隧道窑生产。燃料主要有以下三类：

① 固体燃料，如焦炭、无烟煤粉等；

② 液体燃料，多用重油等；

③ 气体燃料，如焦炉煤气、混合煤气、天然气等。

可能存在的职业病危害因素：主要是耐火材料粉尘、燃料燃烧废气（二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、煤烟尘等）、高温、强辐射热、红外线和噪声等。

三、职业病危害因素综合识别

1. 粉尘

耐火材料生产加工过程中主要职业病危害因素是生产性粉尘，因此矽肺[1]是耐火材料工业中的主要职业病。据 1986 年全国尘肺流行病调查结果，耐火材料行业是我国矽肺发病最严重的行业之一。耐火材料生产过程中各工段均可能产生粉尘，但以原料破碎、碾磨、筛选岗位浓度最高，其次是拌料、粉料运输、干燥和装出窑等岗位。

粉尘的危害程度主要决定于粉尘中游离二氧化硅含量和粉尘浓度。如生产硅砖的主要原料为硅石，含游离二氧化硅 93%以上，属于危害极大的粉尘类；生产黏土砖的主要原料为高岭土、黏土等，含游离二氧化硅 40%左右，其危害性仍然较大，但小于硅石。

除矽尘外，在某些产品生产中还存在三氧化二铝尘、白云石尘、石灰石尘、石棉尘、碳化硅尘等。

2. 有毒物质

如使用煤或重油作燃料，存在燃烧废气污染，如二氧化硫、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物和烟尘等。

如生产沥青砖时，在加热沥青过程中可产生沥青烟气，可引起沥青性皮炎等。

皮带维修工可能接触胶黏剂中的苯系物等有机溶剂。

---

[1] 规范的称谓为硅沉着病。

3. 物理因素

在煅烧过程中产生高温、强辐射热；在干燥过程中生产高温、高湿环境。因此，从事干燥、窑炉看火、装出窑等工种的劳动者均可能接触高温、强辐射热等。

在原料破碎、粉碎、筛分、压制成型、运输等过程中均产生程度不同的噪声和振动，噪声往往是耐火材料生产过程中的第二大职业病危害因素，务必引起高度重视。

此外，在使用微波炉干燥时存在微波辐射，看火岗位存在高强度红外辐射等。

四、职业病危害防护措施

1. 防尘措施

在耐火材料的生产过程中有大量的粉尘产生。为尽量减少粉尘的产生和避免劳动者过量接触，应采取以下综合措施：

① 采用合理的生产工艺，减少粉尘的产生；

② 实现操作机械化、生产自动化，改善劳动条件；

③ 采取物料加湿，可以显著减少粉尘的产生，可加湿的物料有硅石、硬质黏土、高铝矾土、熟料、废砖等；

④ 加强设备密闭，将粉尘限制在局部范围之内，为通风除尘创造条件，耐火材料生产中经常采用的设备密闭形式有局部密闭罩、半密闭罩、整体密闭罩和小密闭室等；

⑤ 加强组织管理，健全防尘制度。

2. 防毒措施

对窑炉烟气应给予净化处理，避免对工作场所带来污染。使用煤气的窑炉应做好防止煤气泄漏的安全措施，如安装报警器、设备连锁装置和应急救援措施等。生产沥青砖时应对沥青烟给予净化治理。

3. 其他防护措施

对于产生高强度噪声的设备和场所应采取隔声措施，如球磨机、振动筛、轮碾机等。做好个人防护，给看火工发放红外线防护眼镜，给噪声作业者发放防噪声耳塞，给高温作业者发放防热辐射工作服和清凉饮料等。

第三节　硅铁合金冶炼

硅铁是铁合金工业生产最早和最主要的产品之一。在炼钢工业、铸造工业及其他工业生产中被广泛应用。硅铁是炼钢工业中必不可少的脱氧剂。在钢中添加一定数量的硅，能显著提高钢的强度、硬度和弹性，提高钢的磁导率，降低变压器钢的磁滞损耗。硅铁加入铸铁中可作球墨铸铁的孕育剂，并能阻止碳化物形

成，促进石墨的析出和球化，改善铸铁性能。此外，硅铁粉在选矿工业中可作悬浮相使用；在焊条制造业中作焊条的涂料；高硅硅铁在电气工业中可用于制备半导体纯硅；在化学工业中可用于制造聚硅氧烷等。

硅铁冶炼的主要原料是硅石、碳质还原剂和钢屑。

① 硅石，是由石英颗粒被黏合剂黏合而成的岩石，其 SiO_2 含量大于 97%；

② 碳质还原剂，冶炼硅铁大多使用冶金焦作还原剂。近年来为增大炉料的电阻率，增加化学活性，也有搭配或使用气煤焦、硅石焦、低灰分烟煤、蓝炭、半焦、低温焦、木片或木块等；

③ 钢屑，钢屑是硅铁成分的调节剂，冶炼硅铁多采用碳素钢屑。

一、工艺简介

硅铁大都使用电炉冶炼。炉料是按一定比例混合的焦炭、硅石和钢屑。在冶炼过程中，电极插在炉料中，混匀的炉料自炉顶加入，在炉料下沉过程中被急剧增温，并发生复杂的物理化学变化。熔炼好的硅铁从炉底每隔 1.2～2.5 小时放出一次，铸入金属模或流至铸铁机。

二、职业病危害因素识别

1. 粉尘

因硅石中游离二氧化硅含量较高，在配料、加料、冶炼、出硅铁、出渣过程中存在矽尘、焦炭尘、硅铁粉尘等。

维修人员在窑炉修理过程中，使用耐火材料和耐火砖，接触耐火材料尘（矽尘）。

2. 有毒气体

因硅铁中含有磷、砷等杂质，在硅铁遇潮湿环境和水时可能产生磷化氢和砷化氢气体。因此在运输与存放时应予以警示，确保硅铁合金在储存和运输过程中保持干燥。

在电炉冶炼过程中，二氧化硅被碳质还原为硅和一氧化碳、二氧化碳，氧化铁也同时被碳质还原为铁和一氧化碳、二氧化碳。因此电炉炉顶排放大量的一氧化碳和二氧化碳等有害气体。

3. 物理因素

电炉冶炼过程中产生高温和强辐射热；电极与炉料接触面产生电弧光，伴随有紫外辐射和电磁辐射；此外还产生噪声与振动等职业病危害因素。

第四节 锰铁合金冶炼

锰与氧、硫的亲和力比较大，故锰是钢液的脱氧剂和脱硫剂。此外，锰能细化钢的晶粒，提高钢的淬火深度，故锰又用作合金剂。

锰铁冶炼有高炉锰铁、电炉高碳锰铁、富锰渣、锰硅合金冶炼及电解锰等生产工艺。

一、高炉锰铁

（一）工艺简介

高炉锰铁的冶炼是以碳作发热剂和还原剂，在高炉中将锰和铁的氧化物还原，生成锰铁、炉渣和煤气的一系列复杂物理化学过程。高炉法是高碳锰铁生产最早采用的一种方法。

高炉锰铁冶炼用的原料主要有锰矿（氧化矿、碳酸盐矿、焙烧矿和烧结矿）、焦炭（冶金焦、气煤焦和土焦）和熔剂（石灰石或生石灰、白云石等）。该法以焦炭作为还原剂和热源，白云石或石灰石作熔剂，用高炉生产高碳锰铁。

（二）职业病危害因素识别

锰铁高炉的冶炼过程与高炉炼铁相似，其生产过程中存在的职业病危害因素也较为相似。

1. 粉尘

在矿石的运输、储存、分类和破碎中均产生锰尘、焦炭尘、生石灰尘、白云石尘等；高炉加料、出料、出渣、熔炼、渣处理操作过程中产生锰尘、焦炭尘、炉渣尘等；高炉维修时可能接触到耐火材料尘。

2. 物理因素

整个生产过程中均存在较高强度的机械噪声和空气动力性噪声。

锰铁生产过程中产生高温辐射热的部位有高炉本体及渣处理过程的熔渣入口处。此外，劳动者较易发生高温灼伤、烫伤等。

3. 化学毒物

高炉熔炼过程中产生的化学毒物有锰烟、铅、一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫等。

锰铁合金的炉前工人可能受到铅的危害，而车间空气中铅含量与矿石入炉含铅量和防护效果等有着密切关系。

二、电炉高碳锰铁

1. 工艺简介

电炉法生产高碳锰铁的原料为锰矿（氧化锰矿、烧结矿、焙烧矿和人造富锰渣等）、焦炭和石灰。电炉法是以电能为热源，焦炭为还原剂。

电炉高碳锰铁是含有少量硅、磷、硫杂质的锰铁碳三元合金，锰铁中锰与铁之和为92%左右，含碳6%～7%。电炉高碳锰铁主要用于炼钢的脱氧剂、脱硫剂及合金添加剂。随着中低碳锰铁生产工艺的进步，高碳锰铁还可应用于生产中低碳锰铁。

电炉高碳锰铁的冶炼是连续进行的，即连续加料冶炼，定时出铁。根据入炉

锰矿品位的不同及炉渣碱度控制的不同，在电炉内生产高碳锰铁有熔剂法、无熔剂法和少熔剂法三种。电炉高碳锰铁的操作过程主要有配料、加料、炉况维护及出铁浇铸等。

2. 职业病危害因素识别

锰矿、焦炭和石灰等散状原料配料、运输、加料中存在锰尘及散装原料混合粉尘、噪声和振动等。

电炉冶炼、出锰、出渣过程中可能产生含有锰烟、铅烟、氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳等有毒气体和炉渣尘、高温、热辐射、电磁辐射、紫外辐射、噪声和振动等危害。

辅助设备操作过程中存在有毒气体、高温热辐射、噪声等危害。高炉维修人员可能接触耐火材料尘及噪声等。

三、富锰渣

富锰渣主要用作生产锰硅合金、金属锰的原料，用作生产电炉锰铁、中低碳锰铁、高炉锰铁的配料。目前冶炼富锰渣的方法有高炉法、电炉法和转炉法三种。

（一）高炉法

1. 工艺简介

生产富锰渣的高炉与一般生铁高炉相类似，主要包括加料、送风、冶炼和收尘等几个部分，生产工艺流程如图 5-1 所示。如使用含铅高的锰矿，应设有回收

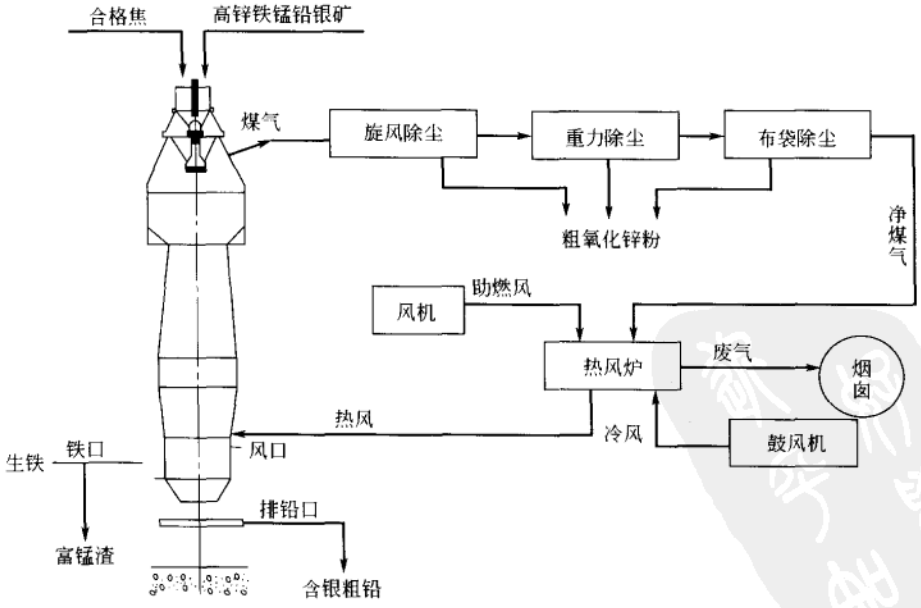


图 5-1 高炉冶炼富锰渣工艺流程

铅的设施。

有些铁锰矿石中还含有铅、锌、银等元素。由于铁、锰、铅、锌、银等五种金属的还原热力学条件及物理特性存在着明显差别，因此，可分别加以利用，同时回收这些金属。

2. 职业病危害因素识别

高炉法冶炼富锰渣存在的职业病危害因素与高炉锰铁冶炼相似。

高锌铁锰铅银矿石、焦炭等原料配料、运输过程中均产生锰尘、铅尘等金属尘、焦炭尘及噪声等。

高炉加料、富锰渣出炉、排铅口、熔炼、渣处理操作过程中产生锰尘、锰烟、铅尘、铅烟等金属尘、焦炭尘、噪声、高温、辐射热、一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、氧化锌烟雾等。除尘系统存在金属混合尘、锰烟、铅烟、氧化锌烟雾、一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫等危害。高炉维修时可能接触到耐火材料尘及噪声。

炉前工受到的职业病危害最大，该岗位可能存在高浓度的铅烟和铅尘，是导致炉前工铅中毒的主要原因。因此，炉前工作岗位是高炉冶炼富锰渣生产装置的职业病危害关键控制点。

（二）电炉法

1. 工艺简介

电炉冶炼富锰渣大都采用还原电炉（矿热炉），其工艺流程如图 5-2 所示。如使用含铅高的锰矿，应设有回收铅的设施。电炉冶炼富锰渣的主要原料是含铁的锰矿石、焦炭和萤石（或硅石）。

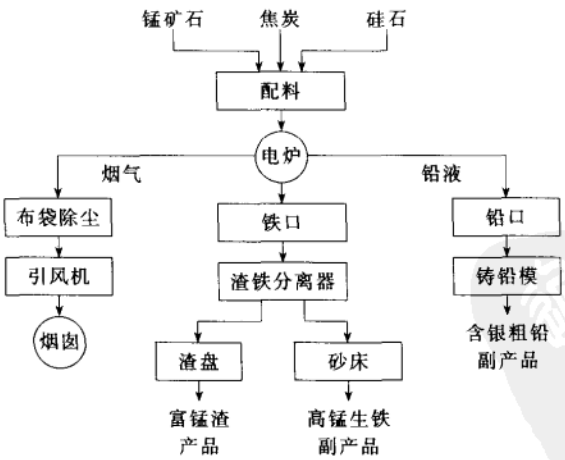


图 5-2　电炉冶炼富锰渣工艺流程

2. 职业病危害因素识别

电炉法冶炼富锰渣存在的职业病危害因素与电炉高碳锰铁冶炼相似（参见本

章“电炉高碳锰铁冶炼”内容）。因冶炼富锰渣所用原料中锰、铅组分高，导致工作场所存在的锰、铅职业中毒风险明显增大。若冶炼加入萤石，则存在气态氟化物逸出增加，从而导致氟污染。

四、锰硅合金

锰硅合金是由锰、硅、铁及少量碳和其他元素组成的合金，是一种用途较广、产量较大的铁合金。

锰硅合金的生产与电炉高碳锰铁相似。主要采用焦炭作还原剂，锰矿石、富锰渣和硅石作原料，石灰或白云石作熔剂，在电炉内连续生产。

在铁合金生产企业内，通常把炼钢使用的锰硅合金称作商品锰硅合金；把冶炼中低碳锰铁使用的锰硅合金称作自用锰硅合金；把冶炼金属锰使用的锰硅合金称作高硅锰硅合金。

锰硅合金冶炼过程中存在的职业病危害因素同电炉高碳锰铁冶炼。

五、中低碳锰铁

中低碳锰铁主要是由锰、铁两种元素组成的合金。按照其含碳量的不同，中低碳锰铁可分为低碳锰铁（含碳量小于0.7%）和中碳锰铁（含碳量0.7%～2.0%）。

中低碳锰铁广泛应用于特殊钢生产，是炼钢的重要原料之一，同时也应用于电焊条的生产。中低碳锰铁的生产方法主要有电硅热法、摇炉法和吹氧法三种，均采用一炉一炼的间断式生产方式。其中吹氧脱硅法是以矿热炉生产的液态锰硅合金为原料，通过氧枪吹入氧气，氧化锰硅合金中的硅，制取中低碳锰铁。吹氧过程中需不断地加入干燥锰矿石、煅烧石灰和萤石等配合料造渣控温。

可能存在的职业病危害因素是：锰尘、锰烟、高温、辐射热、噪声与振动等；若使用吹氧法冶炼中低碳锰铁，可能存在氟化物污染。

六、金属锰

作为铁合金用途的金属锰是一种以锰单质为主、其他各种成分均作为杂质加以严格限制的纯锰金属。

金属锰主要用于生产高温合金、不锈钢、有色金属合金和低碳高强度钢的添加剂、脱氧剂和脱硫剂。其中绝大部分用于生产铝锰合金、不锈钢和不锈钢焊条等。铝锰合金具有良好的耐蚀性能和较高的强度，主要应用于航空工业和现代建筑用装饰性材料。

金属锰的生产方法有三种，即铝热法、电硅热法和电解法。

1. 铝热法

铝热法是采用铝作还原剂，利用还原氧化锰释放的化学热进行冶炼的一种方法，可以炼制含锰高于90%的低牌号金属锰。铝热法冶炼金属锰的炉料主要是氧化锰、铝粒和发热剂（通常用硝石或氯酸钾）。

铝热法对原料的要求非常严格，生产过程中不能去除杂质，其特点是耗铝量大、生产成本高，目前已很少有厂家采用此法生产金属锰。

可能存在的职业病危害因素是：锰烟、锰尘、铝烟、氧化铝尘、高温、热辐射、噪声等。

2. 电硅热法

电硅热法生产金属锰应用得比较广泛。其原理与电硅热法生产中低碳锰铁相似。它是在精炼炉内用高硅锰硅合金中的硅还原富锰渣中的氧化锰生产出来的。这种方法的主要优点是生产成本比较低。

可能存在的职业病危害因素是：锰尘、锰烟、矽尘、高温、热辐射、噪声等。

3. 电解法

目前金属锰生产应用最广的是电解法，该法采用直流电电解硫酸锰溶液，获得含锰极高的金属锰（品位在 99.8%），可以使用的矿石类型和品级比较广，甚至可以使用一些贫锰矿，但生产成本较高。

电解法生产所需原料主要有锰矿粉、硫酸、硫酸铵、氧化剂、还原剂、添加剂等。

可能存在的职业病危害因素是：锰矿石尘、锰尘、硫酸雾、氨气、噪声、电解槽产生的电磁辐射等。

第五节　铬铁合金冶炼

与锰铁、硅铁一样，铬铁也是使用量较多的合金。铬铁可分为高碳、中碳、低碳三个等级。

一、中低碳铬铁

中低碳铬铁的冶炼方法主要有两种，即高碳铬铁精炼法和电硅热法。高碳铬铁精炼法又分为用铬矿精炼高碳铬铁和用氧气精炼高碳铬铁两类。

吹氧法是将氧气直接吹入液态高碳铬铁中使其脱碳而制得中低碳铬铁。顶吹氧气转炉的工艺流程如图 5-3。

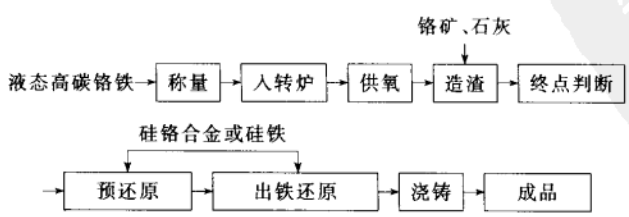


图 5-3　顶吹氧气转炉吹炼铬铁工艺流程

可能存在的职业病危害因素是：含铬粉尘、铬烟、一氧化碳、二氧化碳、噪声、高温、热辐射等。

二、微碳铬铁

微碳铬铁的冶炼方法有电硅热法、热兑法等。

电硅热法冶炼微碳铬铁所用的设备为电弧炉。其主要原料有铬矿、硅铬合金和石灰。也有的配加萤石和铁鳞。

热兑法冶炼微碳铬铁工艺是将预先熔化的铬矿-石灰熔体和硅铬合金在炉外铁水包中进行热兑操作，从而制得微碳铬铁。热兑工艺按对熔渣中三氧化二铬的分阶段还原的次数可分为一步热兑法、二步热兑法、三步热兑法。

可能存在的职业病危害因素是：铬矿尘（Cr_2O_3）、铬烟、硅石尘（SiO_2）、焦炭尘、石灰尘；高温、辐射热、紫外辐射、电磁辐射、噪声与振动；一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、氟化物等。

三、真空法微碳铬铁

真空固态脱碳法冶炼微碳铬铁是将高碳铬铁经颚式破碎机破碎到 20mm 以下后，再进入球磨机粉磨，配入适当的氧化剂，经混料、压型、干燥和真空冶炼等工序而生产出来的一种产品。真空固态脱碳生产流程见图 5-4。

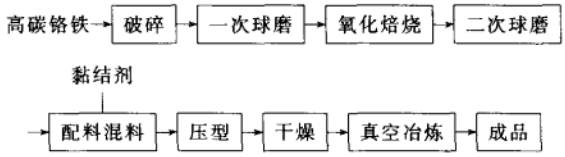


图 5-4 真空固态脱碳生产流程

可能存在的职业病危害因素是：高碳铬铁在破碎、一次球磨中产生铬铁粉尘及噪声；氧化焙烧时产生氧化铬粉尘、高温、辐射热、一氧化碳；二次球磨、配料、压型等生产过程中存在氧化铬粉尘、噪声等。

四、金属铬

作为铁合金用途的金属铬制取方法一般有两种：铝热法和电解法。我国主要采用铝热法制取金属铬。

铝热法冶炼金属铬是用铝还原三氧化二铬。其主要反应为：

$$Cr_2O_3 + 2Al = 2Cr + Al_2O_3$$

硝石、氯酸钾与铝的反应式如下：

$$6NaNO_3 + 10Al = 5Al_2O_3 + 3Na_2O + 3N_2\uparrow$$

$$KClO_3 + 2Al = Al_2O_3 + KCl$$

铝热法冶炼金属铬的炉料主要是三氧化二铬、铝粒和发热剂（氯酸钾、硝石、重铬酸钠、铬酐等），生产工序分为炉料准备、混合、筑炉、冶炼和精整几

个部分。

可能存在的职业病危害因素是：三氧化二铬、铝粒和发热剂等炉料配料、混合、螺旋运输或皮带运输、加料过程中存在氧化铬粉尘、铝粒尘及噪声等；冶炼过程中存在氧化铬尘、氧化铝尘、铬烟、噪声、高温、辐射热等；精整、喷砂时存在噪声、氧化铝粉尘等。

五、硅铬合金

硅铬合金的冶炼方法有一步法（有渣法）和二步法（无渣法）两种。一步法是将铬矿、硅石和焦炭一起加入炉内，冶炼硅铬合金。二步法的第一步是将铬矿和焦炭加入第一台电炉内，冶炼出高碳铬铁；第二步是将高碳铬铁破碎（或已被粒化的），把它与硅石、焦炭一起加入另一台电炉内，冶炼硅铬合金。目前，我国在工业生产中多采用二步法冶炼硅铬合金，一步法只是在少数厂进行过试验。

可能存在的职业病危害因素是：铬矿、硅石和焦炭配料、运输、加料、冶炼等过程中产生的铬矿尘（Cr_2O_3）、硅石尘（SiO_2）、一氧化碳、二氧化碳及噪声、高温、热辐射、紫外辐射和电磁辐射等。

第六节　铁合金生产职业病危害因素综合识别

铁合金产品繁多，生产工艺复杂。使用不同的生产工艺或设备产生的职业病危害因素与强度也存在差别，在实际工作中应在定性识别的基础上注重定量识别。铁合金生产中可能产生的职业病危害因素种类归纳如下：

① 粉尘类，主要有原料粉尘（硅石尘、锰矿尘、铬矿尘、氧化铝尘、铝尘等）、铁末尘、耐火材料尘等；

② 化学毒物类，主要有锰烟、锰尘、铬烟、铅烟、铅尘、氧化锌烟雾、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、二氧化硫、氟化物等；

③ 物理因素类，主要有噪声、振动、电磁辐射、高温、辐射热、紫外辐射等；

④ 劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素，主要有视觉疲劳、职业性精神（心理）紧张、生活节律紊乱等。

常见铁合金生产工艺可能产生的职业病危害因素见表 5-2。

值得注意的是铁合金生产中除存在高炉炼铁生产的职业病危害因素外，劳动者常常受到高浓度的锰尘、锰烟、铅尘、铅烟、三氧化二铬尘、氧化锌烟雾等化学性毒物的职业病危害。可能导致的职业病名单有职业性锰中毒、职业性铅中毒、职业性铬鼻病、职业性皮肤病、金属烟雾热等（毒物职业接触限值、职业病危害临床表现和所致职业病名单详见附录二）。

表 5-2 不同铁合金生产工艺可能产生的职业病危害因素

工艺名称	主要原料	可能存在的职业病危害因素
硅铁冶炼	硅石、焦炭和钢屑	矽尘、焦炭尘、硅铁粉尘、耐火材料尘；磷化氢、砷化氢、一氧化碳、二氧化碳；高温、辐射热、噪声与振动、紫外辐射和电磁辐射等
高炉锰铁	锰矿（焙烧矿和烧结矿等）、焦炭和熔剂（石灰石、白云石等）	锰尘、焦炭尘、生石灰尘、白云石尘、耐火材料尘、锰烟、铅、一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫；高温、辐射热、噪声与振动等
电炉高碳锰铁	锰矿（焙烧矿和烧结矿和人造富锰渣等）、焦炭和石灰	锰矿尘、焦炭尘、石灰尘、炉渣尘、锰烟、铅烟、氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳；高温、热辐射、电磁辐射、紫外辐射、噪声和振动等
高炉富锰渣	高锌铁锰铅银矿、焦炭	矿石尘、焦炭尘、锰尘、铅尘、锰烟、铅烟；噪声、高温、辐射热；一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、氧化锌烟雾
电炉富锰渣	高锌铁锰铅银矿、焦炭、萤石	矿石尘、焦炭尘、锰尘、铅尘、锰烟、铅烟；噪声、高温、辐射热、电磁辐射、紫外辐射；一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、氧化锌烟雾、氟化物
锰硅合金	锰矿、富锰渣、焦炭、硅石、白云石（或石灰）	锰矿尘、焦炭尘、石灰尘、炉渣尘、锰烟、铅烟、氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳；高温、热辐射、电磁辐射、紫外辐射、噪声和振动等
中低碳锰铁	锰硅合金、石灰、萤石	锰尘、锰烟、氟化物（吹氧法）、高温、辐射热、噪声与振动等
铝热法金属锰	氧化锰、铝粒和发热剂（通常用硝石或氯酸钾）	锰烟、锰尘、铝尘、氧化铝尘、高温、热辐射、噪声等
电硅热法金属锰	高硅锰硅合金	锰尘、锰烟、矽尘、高温、热辐射、噪声等
电解法金属锰	锰矿粉、硫酸、硫酸铵、氧化剂、还原剂、添加剂	锰矿石尘、锰尘、硫酸雾、氨气、噪声、电磁辐射等
中低碳铬铁	高碳铬铁	含铬粉尘、铬烟、一氧化碳、二氧化碳、噪声、高温、热辐射等
电硅热法微碳铬铁	铬矿、硅铬合金、石灰和萤石	铬矿尘（Cr_2O_3）、硅石尘（SiO_2）、焦炭尘、石灰尘；高温、辐射热、紫外辐射、电磁辐射、噪声与振动；铬烟、氟化物、一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫等
真空固态脱碳法微碳铬铁	高碳铬铁	铬铁粉尘、氧化铬粉尘、一氧化碳；高温、辐射热、噪声等
铝热法金属铬	三氧化二铬、铝粒和发热剂（通常用硝石或氯酸钾）	三氧化二铬尘、铝粒尘、氧化铝尘、铬烟；噪声、高温、辐射热等
硅铬合金	铬矿、硅石和焦炭	三氧化二铬尘、矽尘、焦炭尘、耐火材料尘；一氧化碳、二氧化碳；高温、辐射热、噪声与振动、紫外辐射和电磁辐射等

（廖雍玲、杨乐华）

第六章　焦化工业

第一节　概　述

炼焦是以煤作原料加热干馏制取焦炭的生产过程。其副产品有煤气和煤焦油两大类。这些是煤化学工业的重要原料，可进一步分离数百种有机和无机化合物，在冶金、化工、医药、染料、农药和日常用品等领域有广泛的用途。

我国钢铁产量已连续六年居世界第一，成为了名副其实的钢铁大国，由此拉动了对焦炭的需求。此外，西方发达国家对环保标准日趋严格，逐步淘汰了焦化工业。如英国、美国、德国等已从焦炭净出口国变为净进口国，导致国际市场上焦炭价格回升。我国焦炭出口量大增，再次出现国内大规模投资焦化工业的热潮。

目前我国焦炭产量已突破了 2.2 亿吨/年。主要分布在钢铁和煤矿两大行业，是世界焦炭生产的第一大国。据 2005 年 8 月正式发布的《钢铁产业发展政策》规定，要求现有焦化企业通过技术改造一定要努力达到焦炉大型化，其炭化室高度应在 6m 或 6m 以上。预示国家正加速焦化产业结构调整、淘汰落后生产装置。此外，捣固焦炉、预热煤炼焦和无烟装煤技术等在迅速崛起，焦炉煤气的利用率也在迅速提高。

经焦炉高温炭化后红焦的熄焦方法有湿法熄焦和干法熄焦两大类。

焦化工业主要由备煤系统、机械焦炉、煤气净化与化工产品精制四大部分组成，其工艺流程如图 6-1。

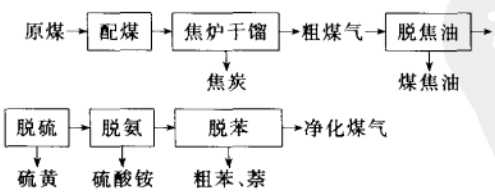


图 6-1　炼焦与煤气净化工艺流程

焦化工业存在一氧化碳、氰化氢、硫化氢、氨、苯系物、焦炉逸散物及多环芳烃等数百种职业病危害因素，是职业病危害最严重的行业之一。

第二节 备煤系统

一、工艺简介

大型炼焦企业年产焦炭一般在数百万吨以上，需配套建设大规模的备煤系统，主要由受煤设施、储煤场、配煤室、粉碎机室、煤塔、带式输煤机、通廊及相应的转运站等设施组成。

外来原料煤通过卸煤、配煤、粉碎、皮带运输等工序储于煤塔备用。工艺流程如图 6-2。

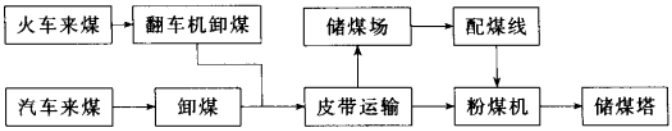


图 6-2 备煤系统工艺流程

主要生产设备有翻车机、斗轮堆取料机、推煤机、轮式装载机、粉碎机、皮带式输送机等。

二、职业病危害因素识别

在翻车机、斗轮堆取料机、推煤机、轮式装载机、粉碎机、皮带式输送机等原料煤转运的整个过程中均产生不同程度的煤尘、噪声与振动。其中大功率粉碎机产生的煤尘浓度最高，并产生高强度噪声，一般可高达 110dB（A）以上。该岗位应设置隔声操作室，安装高效率的收尘、除尘系统。

第三节 焦 炉

一、工艺简介

焦炉由连续排列的炭化室组成。原料煤由装煤车装入炭化室，经过 1000℃左右高温和近 20 小时的炭化后，赤热的焦炭由推焦车推出，送熄焦装置冷却、筛焦装置筛选，成品分类入库。工艺流程如图 6-3。

在高温作用下，煤质发生了一系列物理化学变化。炭化室的煤在 200℃以下时蒸出表面水分，同时析出吸附在煤中的二氧化碳、甲烷等气体；随温度升高至 250～300℃时，煤的大分子端部含氧化合物开始分解，生成二氧化碳、水和酚类；温度升至 500℃以上时，煤的大分子芳香族稠环化合物侧链断裂并分解，生成脂肪烃，同时释放出氢，烷烃发生裂解，生成烯烃或二烯烃；在温度升至

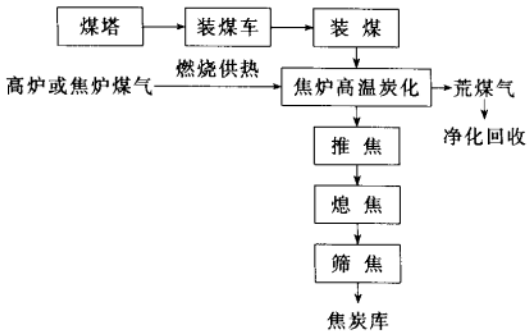


图 6-3 焦炉工艺流程

800℃以上时，烯烃产生二次裂解，生成甲烷、氢和碳。此外，高分子烷烃裂解生成的烯烃类产物可进一步聚合或环化生成环烯烃类化合物，再经脱氢生成芳香化合物。

在炭化过程中，还伴随着氨气、硫化氢、氰化氢和一氧化碳的生成：

$$N_2+3H_2 \longrightarrow 2NH_3$$

$$NH_3+C \longrightarrow HCN+H_2$$

$$CH_4+NH_3 \longrightarrow HCN+3H_2$$

$$S+H_2 \longrightarrow H_2S$$

$$FeS_2+2H_2 \longrightarrow Fe+2H_2S$$

$$CO_2+C \longrightarrow 2CO$$

通过上述复杂反应，煤气中的甲烷和重烃的含量降低，氢的含量增高，煤气的密度变小，形成含一定量的氢气、甲烷、氨、硫化氢、氰化氢、苯族烃、萘和蒽等组分的焦炉荒煤气。

湿法熄焦采用水冷喷淋的方法，具有投资少、工艺设备简单等特点，但产生大量的水蒸气和污水。水蒸气中夹杂大量的酚类、氰化物、粉尘等有害物质，给工作场所和周围环境带来污染。

干熄焦是将惰性气体作热载体。惰性气体由循环风机吹入冷却室红焦层内，吸收焦炭显热后流经余热锅炉，经换热后重新返回冷却室，反复循环将焦炭冷却至200℃以下。干熄焦装置的主要设备有干熄炉、鼓风装置、循环风机、余热锅炉、一次除尘器、二次除尘器等。干熄焦的优点是可充分利用焦炭冷却的余热，且不产生废水和废气，是目前环保人士积极倡导的新工艺。工艺流程见图6-4。

冷却后的焦炭还需整粒、过筛分类、入库等工序。

二、职业病危害因素识别

1. 粉尘

① 在炭化室装煤过程中，原料煤与赤热的炉壁接触后，立即产生大量荒煤气和烟尘，并从装煤孔逸出，在炉顶间台上弥漫。

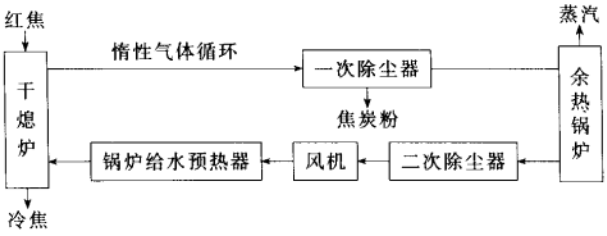


图 6-4 干熄焦工艺流程

② 装煤孔盖、上升管盖、炉门等处密封不严可导致含焦炉逸散物的荒煤气泄漏，污染炉顶间台。

③ 推焦操作过程中，由于焦炉两侧炉门开启，大量的烟尘从炉门和赤热的焦炭中散发，污染炉体周围工作场所。

④ 在湿法熄焦过程中，水接触红焦立即蒸腾出大量的水汽，从熄焦塔顶部出口排放，水汽中夹带有焦炭尘等有害物。

⑤ 筛焦整粒工序中可能产生高浓度的焦炭尘。

2. 毒物

在炉体周围的工作人员均不同程度地接触荒煤气，尤以炉顶间台看火工、装煤工接触浓度最高。荒煤气除含有煤焦尘外，还含有一氧化碳、氰化氢、硫化氢、焦炉逸散物及多环芳烃、苯酚、苯系物等数百种化学毒物，其主要毒物含量见表 6-1。

表 6-1 荒煤气中主要毒物含量

毒物名称	含量/(g/m³)	毒物名称	含量/(g/m³)	毒物名称	含量/(g/m³)
一氧化碳	69～88	氨	8～16	焦油气	80～120
氰化氢	1.0～2.5	苯族烃	30～45	其他硫化物	2～2.5
硫化氢	6～30	萘	8～12	吡啶盐类	0.4～0.6

3. 物理因素

炉体周围产生强烈的热辐射，形成高温工作环境。此外，装煤车、推焦车、熄焦车、熄焦装置和各类电机等产生强烈的噪声与振动。

第四节 煤气净化与化工产品精制

一、工艺简介

从焦炉产生的荒煤气成分十分复杂，除氢气、甲烷、乙烷和乙烯等成分外，还含有一些对煤气管道输送十分有害的物质。如萘会以固体结晶析出，堵塞管道；氨水会腐蚀设备与管道，生成的铵盐会引起管道堵塞；硫化氢及硫化物会腐

蚀设备，生成的硫铁化物也会引起管道的堵塞；氮氧化物能与煤气中的丁二烯、苯乙烯等聚合成复杂的“煤气胶”，不饱和碳氢化合物在有机硫的催化作用下能聚合生成“液相胶”。把这些物质从荒煤气中分离并综合利用的过程叫煤气净化。在工业生产中根据煤气的不同用途而有不同程度的清除要求，因而从煤气中回收化学产品、净化方法和工艺流程也有所不同。

煤气净化系统一般由冷凝鼓风、脱硫脱氰、脱氨、脱苯及苯回收等工序组成，工艺流程见图 6-5。

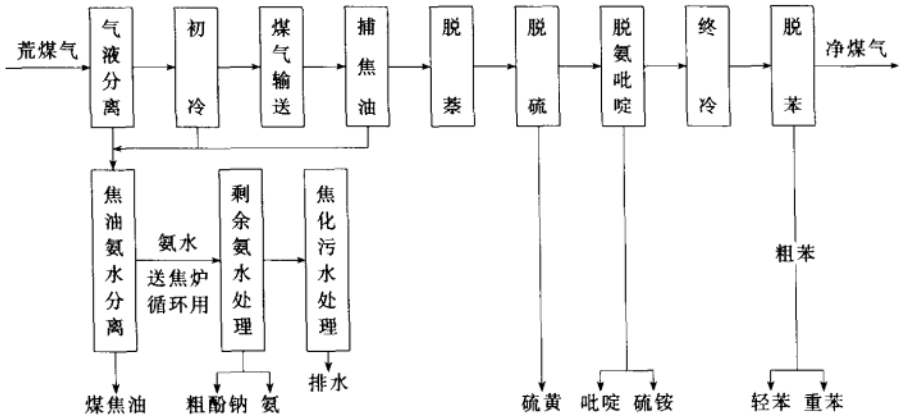


图 6-5 煤气净化工艺流程

（一）初冷与氨水的分离

来自焦炉大于 82℃的荒煤气，夹带着焦油和氨水，沿吸气管道至气液分离器。气液分离后荒煤气由上部出来，进入横管初冷器、电捕焦油器，除掉其中夹带的焦油雾，再由鼓风机压送至下一工序。

由气液分离器分离下来的焦油和氨水进入焦油渣分离器，经沉淀刮渣后进入立式焦油氨水分离槽，在此进行氨水、焦油和焦油渣分离。上部的氨水流入焦油氨水分离器下部的循环氨水中间槽，再由循环氨水泵送至焦炉集气管循环喷洒，剩余氨水送硫铵工段蒸氨。下部的焦油经焦油中间槽排入焦油贮槽。锥底部沉降的焦油渣用焦油渣泵抽出排至渣斗。

主要生产设备有横管初冷器、电捕焦油器、焦油渣分离器、刮渣装置、焦油贮槽等。

（二）煤气输送系统

煤气由焦炉炭化室产生，流经整个净化系统到煤气贮罐，要通过很长的管道及各种设备。为了克服这些设备和管道阻力，保持足够的煤气剩余压力，需设置煤气鼓风机站。鼓风机一般设置在初冷器后面，鼓风机前方为负压，压出方为正压。

焦炉煤气鼓风机有离心式和容积式两种，大型焦炉多用离心式鼓风机，中小

型焦炉多用容积式鼓风机。

（三）脱硫和脱氰化物

焦炉荒煤气中硫主要以 H_2S 形式存在（占 90% 以上），此外还有 CS_2、C_4H_4S、C_2H_5SH、CH_3SH、CH_3SCH_3 等，H_2S 的含量随煤中含硫量而变化，一般波动在 4～10g/m³ 之间。

焦炉荒煤气中 HCN 的含量取决于煤中氮含量和炭化温度，一般波动在 1～2.5g/m³ 之间。氰化氢主要是氨与红焦、一氧化碳及碳氢化合物反应而生成的。

煤气的脱硫脱氰方法已有 50 余种，大体可分为干法和湿法两大类。干法工艺是利用固体吸附剂脱除煤气中的硫化氢和氰化氢，此法设备和工艺比较简单，操作简便，但装置占地面积大，不适宜大型焦化企业。湿法是目前现代化大型焦化企业普遍采用的方法，是利用液体脱硫剂脱除煤气中的硫化氢和氰化氢的方法。

湿法根据化学反应原理又可进一步分为湿式吸收法和湿式催化氧化法。几种常用湿式脱硫脱氰方法见表 6-2。

表 6-2 几种常用湿式脱硫脱氰方法

方法类别	方法名称	吸收剂	活性剂	产品	装置位置
湿式吸收法	AS循环洗涤法	氨		元素硫或硫酸	水洗氨前
	代亚毛克斯法	氨		元素硫	氨回收前
	真空碳酸盐法	碳酸钠		元素硫或硫酸	苯回收后
	醇胺法	单乙醇胺		元素硫或硫酸	苯回收后
湿式催化氧化法	改良蒽醌法	碳酸钠	蒽醌二磺酸	熔融硫	苯回收后
	萘醌法	氨	萘醌磺酸	硫酸铵母液	氨回收前
	苦味酸法	氨	苦味酸	元素硫或硫酸	氨回收前
	对苯二酚法	氨	对苯二酚	元素硫或硫酸	氨回收前

脱硫脱氰反应在脱硫塔中完成。预冷后的煤气进入脱硫塔，与塔顶喷淋下来的脱硫液逆流接触以吸收煤气中的 H_2S、HCN。脱除 H_2S、HCN 的煤气送下一工段。

（四）脱氨和脱吡啶盐

荒煤气经过集气管和初冷凝器冷却后，氨和吡啶盐发生重新分配，一部分氨和轻质吡啶盐溶于氨水中，重质吡啶盐冷凝于焦油中。

目前主要有两种回收氨的方法。

1. 硫酸吸氨法

用硫酸水溶液作为吸收剂，吸收煤气中的氨制取硫酸铵，并同时回收轻质吡啶盐。

硫酸吸收煤气中的氨是迅速而不可逆的化学反应：

$$H_2SO_4 + 2NH_3 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

$$H_2SO_4 + NH_3 \longrightarrow NH_4HSO_4$$

$$NH_4HSO_4 + NH_3 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

从脱硫工段送来的煤气，经煤气预热后进入喷淋式饱和器上部喷淋室，在此分两股沿饱和器内壁和内除酸器外壁的环形空间流动，并经循环母液逆向喷洒，煤气中的氨被吸收后，合并成一股，沿切线方向进入饱和器内除酸器，分离煤气中夹带的酸雾后去下一工段。

产生的硫酸铵过饱和溶液通过结晶后分离，再经离心脱水、沸腾干燥、包装送入成品库。

主要生产设备有饱和器、酸洗塔、结晶槽、沸腾干燥器、除酸器等。

2. 磷酸吸氨法

磷酸吸氨法又称弗萨姆法，此法制取的产品是无水氨。

利用磷酸一铵贫液吸收煤气中的氨，生成磷酸二铵富液。富液脱除焦油后进入解吸工序，富液经加热解吸分解成氨气和磷酸一铵贫液。磷酸一铵贫液循环使用，生成的氨经精馏后制取无水氨。

主要生产设备有吸收塔、氨球罐、解吸塔和精馏塔。

（五）粗苯的回收与精制

焦炉煤气中一般含有苯族烃 25～40g/m³，经脱氨后的煤气还需继续脱苯。

从焦炉煤气中回收苯族烃采用的方法有洗油吸收法、活性炭吸附法和深冷凝结法三种，其中洗油吸收法工艺简单、经济可靠、应用广泛。

洗油吸收法依据操作压力分为加压吸收法、常压吸收法和负压吸收法。

吸收了煤气中苯族烃的洗油称为富油，富油的脱苯按操作压力分为常压水蒸气蒸馏法和减压蒸馏法；按富油加热方式又分为预热器加热富油脱苯法和管式炉加热富油脱苯法。

粗苯主要含有苯、甲苯、二甲苯和三甲苯等芳香烃，还含有少量的不饱和烃、硫化物、饱和烃、酚类和吡啶碱类等。

用洗油吸收煤气中的苯族烃所采用的洗苯塔虽有多种形式，但工艺流程基本相同（图 6-6）。煤气经最终冷却器冷却至 25～27℃后，依次通过两个洗苯塔，脱苯贫油用泵送至顺煤气气流方向的最后一个洗苯塔顶部，与煤气逆向沿着填料向下喷洒，然后经油封流入塔底接收槽，再用泵送至上一级洗苯塔顶部喷洒。吸收苯后的富液送至脱苯装置脱苯后得以再生，循环使用。

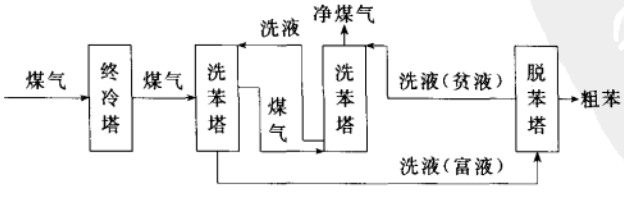


图 6-6 粗苯回收工艺流程

主要生产设备有洗苯塔、脱苯塔、洗油再生器、泵房、贮罐等。

（六）粗苯的精制

粗苯精制可获得数百种化工原料，其中苯、甲苯和二甲苯的含量约占90%以上（苯含量55%～80%、甲苯含量12%～22%、各类二甲苯含量3%～5%），是粗苯制取的主要产品。此外，还含有0.6%～2.0%的二硫化碳、0.2%左右的硫化氢和溶剂油等。

粗苯精制在145～180℃范围内馏出的混合产品称为溶剂油。溶剂油主要用于油漆和颜料工业中的溶剂，其主要成分为二甲苯25%～40%、脂肪烃和环烷烃8%～15%、丙苯和异丙苯10%～15%、均三甲苯10%～15%、偏三甲苯12%～20%、乙基甲苯20%～25%。

主要精制方法有酸洗净化法和催化加氢法等。主要生产设备有混合器、精馏塔、贮罐等。

（七）煤焦油加工

煤焦油是煤在干馏和气化过程得到的液态产物。根据干馏温度和方法的不同，可以得到不同的煤焦油：

① 低温焦油，干馏温度在450～600℃的产物；

② 中温焦油，干馏温度在700～900℃的产物；

③ 高温焦油，干馏温度在1000℃以上的产物。

低温焦油以烃类侧链和基团的断裂所得到的初次分解产物为主，也称原始焦油；高温焦油是一种由芳香烃组成的复杂混合物。

煤焦油加工主要采取蒸馏工艺。蒸馏装置可分为间歇式焦油蒸馏装置和连续式焦油蒸馏装置。其中连续式焦油蒸馏装置又可分为常压两塔式焦油连续蒸馏、常压一塔式焦油连续蒸馏、减压焦油连续蒸馏和常压-减压焦油连续蒸馏等几种工艺。其工艺流程见图6-7。

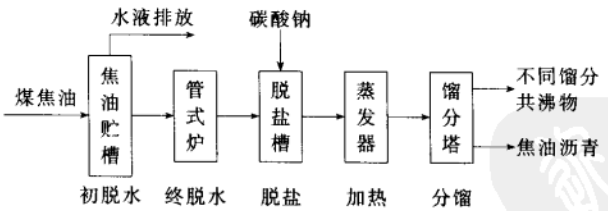


图6-7 煤焦油蒸馏加工工艺流程

煤焦油蒸馏加工可得到不同蒸馏温度下的共沸混合物和煤焦油沥青。常见的共沸混合物有轻油馏分、酚油馏分、萘油馏分、洗油馏分、蒽油馏分等。该共沸混合物可直接作为工业原料，也可对其中的化学物质作进一步提纯分离，可得到数百种化工原料。

主要生产设备有管式加热炉、蒸发器、馏分塔、贮罐、焦油泵等。

（八）剩余氨水处理

在焦炉煤气初冷过程中产生大量的氨水。其中部分用作循环氨水喷洒冷却集气管的煤气，多余的部分称为剩余氨水。剩余氨水是焦化工业污水的主要来源，在排放前必须经过除油、脱酚、蒸氨和脱氰处理。

1. 剩余氨水除油

剩余氨水除油常用澄清过滤法和溶剂萃取法。

澄清过滤法是将剩余氨水通过静置澄清分离悬浮物和沉淀物后，再通过滤器过滤，去除焦油类物质。

主要生产设备有澄清池、过滤器等。

溶剂萃取法是以粗苯作溶剂萃取剩余氨水中煤焦油的方法。剩余氨水经过滤后进入萃取槽与粗苯逆流混合，氨水中的煤焦油全部被粗苯萃取。含焦油的粗苯送溶剂回收塔用蒸汽蒸出粗苯，粗苯经冷凝后流入粗苯槽循环使用。

主要生产设备有过滤器、萃取槽、粗苯贮罐、蒸馏塔等。

2. 剩余氨水脱酚

剩余氨水中含有高浓度的酚，其中80%属于挥发酚。剩余氨水脱酚主要采用溶剂萃取法，该法又分为振动萃取法、离心萃取法和转盘萃取法三种。其中以振动萃取法应用较多。

萃取剂多用重苯溶剂油。剩余氨水经脱焦油后进入振动萃取塔，氨水中酚被萃取剂吸收。吸收酚的萃取剂与氢氧化钠溶液反应，生成酚钠盐溶出，且萃取剂得以再生并循环使用。

主要生产设备有萃取塔、澄清池、碱洗塔、贮罐等。

（九）剩余氨水蒸氨

剩余氨水中包含有挥发氨和固定铵两部分。挥发氨采用水蒸气汽提法蒸出；固定铵则采用碱性溶液分解成挥发氨蒸出。固定铵的分解有石灰乳分解法和氢氧化钠分解法，其化学反应式如下：

$$2NH_4Cl+Ca(OH)_2 \longrightarrow 2NH_3+CaCl_2+2H_2O$$

$$NH_4Cl+NaOH \longrightarrow NaCl+NH_4OH$$

$$NH_4OH \longrightarrow NH_3+H_2O$$

主要生产设备有蒸氨塔、换热器、氨水槽、碱液槽等。

（十）含氰氨气制取黄血盐钠

黄血盐钠化学名为亚铁氰化钠。剩余氨水蒸氨得到的含氰氨气可用于制取黄血盐钠。

含氰氨气通过振动筛板萃取塔，与自上而下的碳酸钠溶液逆向接触，在塔内铁屑层上发生下列化学反应，生成亚铁氰化钠。

$$2HCN+Na_2CO_3 \longrightarrow 2NaCN+CO_2+H_2O$$

$$2HCN+Fe \longrightarrow Fe(CN)_2+H_2$$

$$4NaCN+Fe(CN)_2 \longrightarrow Na_4Fe(CN)_6$$

主要生产设备有振动筛板萃取塔、搅拌式结晶槽、沉淀槽、配碱槽、过滤槽等。

二、职业病危害因素识别

上述各煤气净化工序因设备、管道和阀门泄漏等原因都可导致工作场所中煤气的污染。不同工序煤气中有害物含量相差较大，煤气中有害物含量随净化的深入而逐渐降低。其中职业病危害因素多达数百种，主要毒物有一氧化碳、硫化氢、氰化物、苯系物、氨气、萘、焦油逸散物、苯并［a］芘、二硫化碳等。此外，所有工段存在噪声危害，硫铵工段还可能存在硫酸雾，电捕焦油器、横管初冷塔、蒸馏塔等处存在高温职业病危害等。

第五节 职业病危害因素综合识别

一、煤化学成分

煤高温干馏产物主要包括焦炭和荒煤气两大类。其中荒煤气通过净化处理后可得到净化煤气、氨气及硫酸铵、硫黄、粗苯及苯系物、黄血盐、吡啶、煤焦油及煤焦油精制产品等。

煤化学产品的产出率和组分随煤的干馏温度和原料煤质量的不同而差异较大。大体情况如表 6-3。

表 6-3 煤干馏产物质量分数

名 称	含量/%	名 称	含量/%	名 称	含量/%
焦炭	70～78	化合水	2～4	硫化氢	0.1～0.5
净煤气	15～19	苯族烃	0.7～1.4	氰化氢	0.05～0.07
煤焦油	3～4.5	氨	0.25～0.35	吡啶类	0.015～0.025

焦炉净化煤气化学成分以氢气和甲烷为主。其中氢气含量在 50%～60%之间，甲烷含量在 20%～30%之间，一氧化碳在 6%左右。可见焦炉净化煤气是一种毒性较低的清洁燃气。

二、主要职业病危害因素识别

大型机焦尽管其资源利用率较高，但其具有的先天不足，以及自身无法克服的严重污染问题，如焦炉炉门、炉顶盖、放散管、装煤出焦和净化过程中的泄漏等，导致该产业仍然是环境污染和职业病危害最严重的行业之一。其中焦炉是炼焦工业职业病危害最集中的部位，又以炉顶间台最为严重。不仅存在数百种毒物，还存在苯、焦炉逸散物及多环芳烃类致癌物及氰化氢、硫化氢、氨气等十多种高毒物质。可能发生的法定职业病多达十余种，主要有多种急慢性职业中毒、高温中暑、职业性听力损伤、职业性皮肤病、尘肺病以及职业性肺癌、白血病、

皮肤癌等。

炼焦与焦化工业存在的职业病危害因素大体可分四类。

1. 化学毒物

主要有一氧化碳（CO）、氰化氢（HCN）、硫化氢（H_2S）、氨（NH_3）、二硫化碳（CS_2）、苯系物、苯酚以及多种多环芳烃类（包括苯并［a］芘、苯并［b］荧蒽、苯并［b］蒽等世界公认的致癌物）等。

化学毒物存在于焦炉及煤气净化工作场所的每个角落，以焦炉间台荒煤气危害、脱硫脱氰工作场所硫化氢和氰化氢危害、氨水泵房与蒸氨工作场所的氨气危害、脱苯与苯精馏等岗位的苯危害最为严重。

皮带维修工可能接触胶黏剂中的苯系物等有机溶剂。常见毒物职业接触限值和职业病危害临床表现详见附录二。

2. 粉尘类

粉尘类职业病危害因素主要有煤尘、焦炭尘、煤烟尘、焦油烟雾等。其防治重点为焦炉炉顶间台、粉煤室、筛焦室等工作场所。

3. 物理因素

备煤系统、焦炉、煤气净化装置以及与其配套的压缩空气站、制冷站等均存在不同程度的噪声和振动职业病危害。其中以粉煤室、筛焦室、推焦车、加煤车、煤气鼓风机室、压缩空气站、制冷站等工作场所噪声强度较大。

焦炉炉体周围及煤气净化装置中各类蒸馏塔、冷却塔、汽提塔、干燥器等所在的工作场所存在强辐射热，以焦炉炉盖处温度和热辐射强度最大，其次是出炉、上升管、装煤车、推焦车、拦焦车等岗位，较易形成高温作业的工作环境。

4. 焦炉逸散物

从焦炉逸出的气体、蒸气和烟尘统称为焦炉逸散物。在实际工作中所测的焦炉逸散物是指经滤膜采样，能溶于苯的物质总量。国家职业接触限值标准：PC-STEL 为 0.3mg/m^3，PC-TWA 为 0.1mg/m^3。其浓度大体可反映多环芳烃类的污染水平。

多环芳烃是焦炉逸散物中十分重要的致癌成分。以炉顶工作环境中浓度最高，其次是焦炉中部和下部作业区。其污染程度按工种依次是扫炉盖工、上升管工、装煤工、出炉工、推焦工。另外，煤焦油副产品精制工作场所也不同程度受到多环芳烃的污染。

主要职业病危害因素及其存在的工作岗位情况见表 6-4。

三、焦炉与癌

1. 皮肤癌

早在 1775 年，Pott 报道伦敦清扫烟囱工人的阴囊癌发病增高，这是用流行病学方法最早认识职业与肿瘤关系的报道。以后进一步证实了煤焦油的致癌性，称之为“煤焦油癌（coal tar cancer）”。

表 6-4 主要职业病危害因素及其存在的岗位

职业病危害因素名称	存在的岗位
硫化氢	炉顶装煤、扫盖、测炉温、出炉、推焦、拦焦、熄焦、鼓风机、脱硫
氰化氢及腈类化合物	炉顶装煤、扫盖、测炉温、出炉、推焦、拦焦、熄焦、黄血盐精制
氨气	氨水泵房、蒸氨、炉顶装煤、扫盖、出炉、推焦、测炉温、拦焦
一氧化碳、二氧化碳	炉顶装煤、扫盖、出炉、测炉温、推焦、拦焦、熄焦、鼓风机
苯及苯系物	洗苯、蒸苯、炉顶装煤、扫盖、测炉温、出炉、推焦、拦焦、煤焦油精加工、取样化验、皮带维修
萘	洗苯、蒸苯、炉顶装煤、扫盖、萘精制
酚及其他酚类化合物	剩余氨水脱酚、炉顶装煤、扫盖、出炉、测炉温、推焦、拦焦
二硫化碳	炉顶装煤、扫盖、测炉温、出炉、推焦、拦焦、熄焦、鼓风机、脱硫
焦炉逸散物	炉顶装煤、扫盖、测炉温、出炉、推焦、拦焦、熄焦
煤尘	卸煤、配煤、破碎、运煤、炉顶装煤
焦炭尘	出炉、推焦、拦焦、熄焦、筛焦、运焦
高温及热辐射	炉顶装煤、扫盖、测炉温、出炉、推焦、拦焦、熄焦
噪声	卸煤、配煤、破碎、运煤、炉顶装煤、扫盖、测炉温、出炉、推焦、拦焦、熄焦、鼓风机、空压机、制冷机、各类工业泵、振动筛
振动	破碎机、振动筛、鼓风机、推焦、拦焦、熄焦、装煤

2. 肺癌

焦炉工肺癌属我国法定八种职业性肿瘤之一。

20 世纪 30 年代，英国、日本研究者对焦炉、煤气发生炉工人开始进行流行病学调查，发现肺癌发病率超过一般人群。1962 年，美国开始对宾夕法尼亚州（美国的钢铁工业中心）阿里根尼郡两个焦化厂和其他地区十家焦化厂工人进行流行病学调查，发现焦炉工人的肺癌发病率特别高，相对危险度（*RR*）为 3.55～10.0，并发现与工作场所空气中焦炉逸散物浓度相关。

1982 年我国开展了职业肿瘤调查。焦炉逸散物专题组在我国 19 个焦化厂进行的流行病学调查显示，焦炉作业人群的肺癌是超量发生的癌症，并与职业接触有病因学联系。

我国调查资料还显示，焦化厂人群超量发生的肺癌主要集中在炼焦工作区或焦炉作业人群，其中肺癌的相对危险度又呈现梯度关系。炼焦工作区人群中炉顶作业人群肺癌超量最大，其次为炉侧，非焦炉最小。焦化厂工人罹患肺癌的危险按非焦炉、炉侧、炉顶的顺序依次递增，其相对危险度分别是 2.38、3.55、5.56。且焦化厂炼焦工作区及其各作业人群的肺癌相对危险度随接触工龄增长而增加。

焦炉作业、吸烟与肺癌关系的流行病学研究已证明肺癌与吸烟也有病因学联系。据鞍钢焦炉工人肺癌流行病学分析资料，焦炉作业工人吸烟者和不吸烟者肺癌发病均有很大的超量。经测算，对炉顶工人来说，每个工作日内苯并［a］芘吸入量相当于每天吸 105～540 包烟。可见焦炉逸散物的致癌性远大于吸烟。

3. 焦炉作业人员细胞遗传学改变研究进展

多环芳烃是导致焦炉工肺癌的主要原因。近年来，以细胞遗传学改变作为多环芳烃职业暴露人群的早期效应生物标志物的研究已广泛开展。其中对微核试验、姐妹染色单体交换和染色体畸变研究较多。国家职业卫生与中毒控制所郑玉新等应用彗星试验和外周血淋巴细胞胞质分裂阻滞微核检测法，评价137名焦炉工和50名非职业多环芳烃暴露对照人群外周血淋巴细胞DNA和染色体损伤水平。结果表明，在多环芳烃暴露下，外周血淋巴细胞胞质分裂阻滞微核法和彗星试验均能检出焦炉工的遗传物质损伤，彗星尾矩有随焦炉作业工龄的延长而增加的趋势。

第六节 职业病危害防护措施分析

焦化工业属重污染、难治理的行业。其职业病危害防护效果有赖于卫生防护设施的同步建设，目前大型现代化焦化企业职业病防护措施主要有以下几个方面。

1. 工艺选择

在项目设计工艺选择方面，如选用全负压净化系统，可有效地减少煤气泄漏带来的职业病危害与火灾等安全事故。选用无烟加煤工艺可有效地减少焦炉逸散物的排放与对工作场所的污染。选用干法熄焦工艺可避免湿法熄焦对工作场所与环境的污染。

2. 防尘措施

备煤系统宜设计喷雾降尘装置和地面冲洗系统，可有效地发挥降尘作用和减少二次扬尘。原料煤粉碎室宜设置布袋除尘系统，以控制原料煤粉碎过程中产生的煤尘污染。

3. 噪声控制措施

噪声是焦化工业另一重要职业病危害因素。噪声控制措施主要包括对粉煤机、煤气鼓风机、空压机、筛焦装置等产生高强度噪声设备的降噪措施，以及集控室和岗位操作室的隔音措施两个方面。

降低设备噪声的首要问题是工艺设计和设备选型，应在工艺选择和设备采购时优先考虑噪声危害较小的工艺路线和设备。

对集控室和各岗位操作室均应进行隔声处理。

4. 高温防暑降温措施

焦炉炉顶间台属高温露天作业场所，是夏日防暑降温工作的重点。夏日高温季节应供应含盐清凉饮料，可采取轮换作业的工作制度，对于生产人员较集中的集控室和各岗位操作室均应设置空调。

5. 应急救援措施

焦化工业存在易导致一氧化碳、氰化氢、硫化氢、氨气、苯等急性职业中毒事故。企业应建立应急救援预案，对上述工作场所应安装毒物报警器、设置警示标识、配备个人防护用品等。

（杨乐华）

第七章　铁矿石烧结与高炉炼铁

第一节　概　述

近年来，我国炼铁生产技术处于快速发展阶段。生铁产量高速增长，炼铁装备在向大型化、自动化、高效化、长寿化、节能降耗、高效率方向发展。同时，一些炼铁企业已开始对环保方面的投入，向清洁炼铁方向发展。但我国炼铁工业目前正处于先进的炼铁技术装备与落后的装备并存阶段，且存在产业集中度低、高炉平均炉容偏小等问题。国家发改委2005年7月发布的《钢铁产业发展政策》规定：要求现有钢铁企业通过技术改造建设的烧结机使用面积必须达到180m^{2}以上，高炉有效容积要大于3000m^3。这将有力地推进我国烧结和高炉炼铁技术装备向大型化、现代化方向发展。

金属材料可分为黑色金属和有色金属两类。黑色金属是指铁和铁的合金，如钢、生铁、铁合金、铸铁等。钢和生铁都是以铁为基础、以碳为主要添加元素的合金，统称为铁碳合金。当铁碳合金中碳含量超过2%时，称为生铁；碳含量在1.72%以下（0.05%～1.7%）时，称为钢。生铁是指把铁矿石投到高炉中冶炼而成的产品，主要用来炼钢和制造铸件。

凡供高炉冶炼用的原料通称为炉料。绝大多数炉料需经烧结或氧化球团加工后方可入炉，这部分炉料称为热料。少数以原铁矿直接入炉的矿石称为生料。

铁矿石的烧结与氧化球团加工是将粉状铁矿进行高温加热，在不完全熔化的条件下烧结成团块状原料的过程。所得产品不仅发生物理性质（包括密度、孔隙率、形状、大小和机械强度等）上的变化，也发生化学性质和物理化学性质（化学组成、还原性、矿物组成、膨胀粉化性、软熔性能等）上的变化。这类变化的结果能满足下一步高炉炼铁的需求，对提高高炉的生产能力、降低能耗、节约生产成本等成效显著，是钢铁企业生产中必不可少的重要环节。

20世纪70年代我国建成了130m^{2}烧结机，推广生产高碱度烧结矿和采用厚料层烧结，并开发了竖炉球团工艺。1989年后，我国开始设计并制造了大型烧结机成套设备。一批265～450m^{2}大型烧结机投入生产，链篦机-回转窑球团工艺得到了开发应用。目前大型烧结机都采用现代化的工艺和除尘设备。工艺完善，具有自动配料、强化制粒、偏析布料、烧结矿鼓风环式冷却、成品整粒和铺

底料系统。而且自动化水平高，几乎都设置了较为完善的检测和控制装置，并采用计算机控制系统对生产过程进行自动控制，有些装置还采用了模糊控制系统。此外，人工智能控制系统也在起步。

除尘方面，主抽风系统均采用高效干式电除尘器。筛分除尘采用高效干式电除尘器或高效布袋除尘器，除尘效率可达99%以上。工作场所职业病危害和环境污染大为改观。

目前我国铁矿石烧结球团发展迅速，某些技术已经接近或达到了世界先进水平。其生产方法主要有三种，即烧结法、球团法和压团法。

1. 烧结法

烧结法是将粉状物料（如粉矿和精矿）进行高温加热，在不完全熔化的条件下烧结成块的方法。所得产品称为烧结矿，外形为不规则多孔状。烧结所需热能由配入烧结料中的碳（无烟煤和焦炭粉）与通入的空气燃烧提供。

2. 球团法

球团法是将细粒铁矿精粉在加黏结剂和水的条件下滚动造球，然后再经焙烧固结的方法。所得产品称为球团矿，外形呈球形，粒度均匀，具有高强度和高还原性。高温氧化焙烧时的热源主要由外部燃气的燃烧来提供。

3. 压团法

压团法是将粉状铁矿石在一定外压力作用下，使之在模型内形成形状和大小一定的团块的方法。团块强度主要由添加的黏结剂或粉状物料本身具有的黏结性保持。

目前国内钢铁工业中矿石造块主要用烧结法，烧结矿占高炉用炉料的90%以上，球团矿不到10%。压团矿应用较为少见。

第二节 烧结原料的化学组分

一、铁矿石

铁矿石主要由一种或几种含铁矿物和脉石组成。根据含铁矿物的性质，主要有四类铁矿，即磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿和菱铁矿。

1. 磁铁矿

磁铁矿又称“黑矿”，其化学式为Fe_3O_4，亦可写为$FeO \cdot Fe_2O_3$。理论含铁量为72.4%，呈钢灰色或黑灰色，具有磁性，易用电磁选矿方法分选富集。

磁铁矿中主要脉石有石英、硅酸盐和碳酸盐，有时还含有少量黏土。此外，矿石中还可能含黄铁矿和磷灰石，甚至还含有黄铜矿和闪锌矿等。

2. 赤铁矿

赤铁矿又称“红矿”，其化学式为Fe_2O_3。理论含铁量为70%，铁呈高价氧

化物，为氧化程度最高的铁矿。赤铁矿含硫、磷等有害成分较磁铁矿少。

对低品位赤铁矿一般用浮选法提高其含铁品位，所获得的精矿可供烧结球团造块。

3. 褐铁矿

褐铁矿为含结晶水的赤铁矿，分子式为 $mFe_2O_3 \cdot nH_2O$。因含结晶水量不同，褐铁矿可分为五种，即水赤铁矿（$2Fe_2O_3 \cdot H_2O$）、针赤铁矿（$Fe_2O_3 \cdot H_2O$）、水针铁矿（$3Fe_2O_3 \cdot 4H_2O$）、黄针铁矿（$Fe_2O_3 \cdot 2H_2O$）、黄赭石（$Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$）。

自然界中褐铁矿富矿很少，一般含铁量为 37%～55%。其脉石主要为黏土、石英等，含硫、磷等杂质量较高。褐铁矿主要用重力选矿和磁化焙烧-磁选联合法处理。

4. 菱铁矿

菱铁矿的化学式为 $FeCO_3$。理论含铁量达 48.2%。在自然界中分布最广的是黏土质菱铁矿，其夹杂物为黏土和泥沙，硫、磷等杂质量较少。

对含铁品位低的菱铁矿可用重选法和磁化焙烧-磁选联合法。

铁矿石中的硫通常以硫化物和硫酸盐形式存在。以硫化物形式存在的矿物有 FeS_2、$CuFeS_2$、CuS、ZnS、PbS 等。以硫酸盐形式存在的有 $BaSO_4$、$CaSO_4$ 和 $MgSO_4$ 等。

烧结过程中以单质和硫化物形式存在的硫通常在氧化反应中脱除。以硫酸盐形式存在的硫则在分解反应中脱除。化学反应式如下：

$$CaSO_4 + Fe_2O_3 \longrightarrow CaO \cdot Fe_2O_3 + SO_2 + O_2$$

$$BaSO_4 + SiO_2 \longrightarrow BaO \cdot SiO_2 + SO_2 + O_2$$

$$FeS_2 \longrightarrow FeS + 2S$$

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2$$

$$FeS_2 + O_2 \longrightarrow Fe_2O_3 + SO_2$$

$$FeS_2 + O_2 \longrightarrow Fe_3O_4 + SO_2$$

$$FeS + O_2 \longrightarrow Fe_3O_4 + SO_2$$

$$SO_2 + O_2 \longrightarrow SO_3$$

以上反应生成的二氧化硫和三氧化硫有害气体随烟气排放。

铁矿石中游离二氧化硅含量因品种和产地不同差异很大，但精选后的矿石游离二氧化硅含量均较低，据文献报道，其游离二氧化硅含量均低于 10%。

二、熔剂

使矿物中脉石造渣用的物料称为熔剂，按其性质可分为：

① 碱性熔剂，主要是石灰类；

② 中性熔剂，如高铝类；

③ 酸性熔剂，如石英类。

由于铁矿石的脉石成分绝大多数以 SiO_2 为主，故常用 CaO 和 MgO 等碱性熔剂。常用碱性熔剂的矿物有石灰石（$CaCO_3$）、消石灰［$Ca(OH)_2$］、生石灰（CaO）和白云石（$CaCO_3 \cdot MgCO_3$）。

三、黏结剂

球团生产时需用膨润土作黏结剂。膨润土又称斑脱岩、膨土岩等，是以蒙脱石为主要成分的黏土岩。膨润土是含少量碱及碱土金属的含水铝硅酸盐矿物，其化学通式为 $Na_x(H_2O)_4\{(Al_{2-x}Mg_x)[Si_4O_{10}](OH)_2\}$。

第三节 铁矿石烧结

铁矿石烧结依烧结炉不同可分为烧结锅法、烧结盘法和带式烧结机法，前两者因生产能力有限，不适应大规模生产而渐被淘汰。以下重点介绍铁矿石的带式烧结机法。

一、工艺简介

大型带式烧结机生产线主要由原料准备、原料混合、烧结与冷却、机头与机尾电除尘、烟气脱硫、整粒筛分等工序组成。工艺流程见图 7-1。

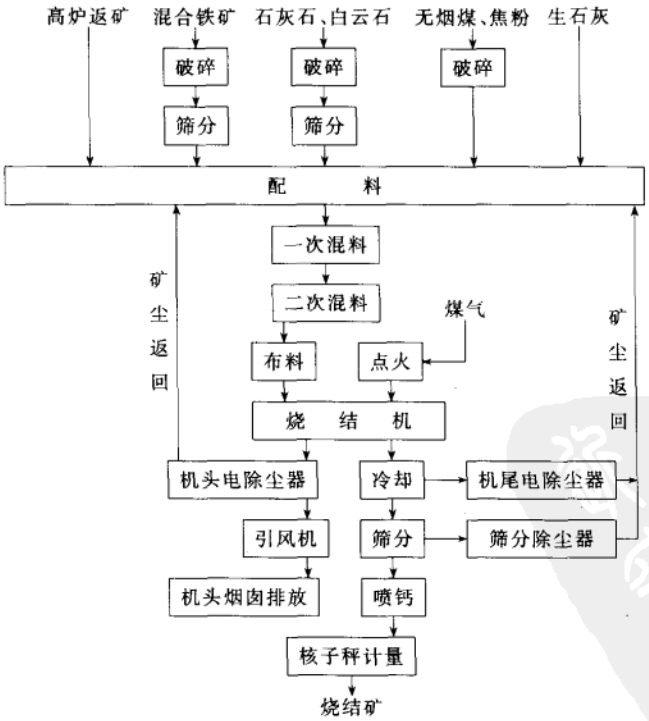


图 7-1 铁矿石烧结加工工艺流程

（一）烧结原料准备

原料准备一般包括受料、储存、混合、破碎和筛分等工序。

经火车来的原料可采用翻车机卸料。经船运来的原料在码头可由抓斗滑车、绳索滑车卸料。生石灰一般采用密封罐车运料。

1. 含铁原料

大型烧结生产企业一般建有二次料场，运来的不同原料首先分别堆放在一次料场。然后按比例分别取料、破碎、筛分和混合等工序后贮于二次料场备用。

高炉返矿和烧结返矿可由胶带机直接运往配料室。

2. 熔剂

石灰石在料场破碎成30mm后运往配料室。白云石粉由胶带机送往配料室。生石灰采用密封罐车送至配料室。

3. 燃料

烧结用固体燃料以焦炭为主，无烟煤为辅，均应事先粉碎，由胶带机送往配料室。

点火煤气由管道送往烧结机室。

（二）混合制粒及燃料分加

1. 混合制粒

根据工艺需要可采用二段混合或三段混合。混合设备均为圆筒混合机。一次混合的目的主要是将混合料充分混匀并加水到一定的湿度。二次混合主要是把混合料制成小球并加水达到适宜的水分。三次混合是将新加入的燃料混匀黏附在小球的表面，一般由滚煤机完成。

2. 燃料分加

烧结混合料中所需配碳以内配和外配两种方式配入。内配碳在混料室中加入，以无烟煤为主。外配碳在三次混合时加入，以焦炭粉为主。

（三）烧结

原料的烧结在带式烧结机台车上进行。烧结点火采用煤气作为燃料，炉膛处于微正压状态，点火温度为1150℃左右。烧结机台车上的混合料经点火后，在抽风负压作用下进行烧结，烧结过程自上而下进行。

烧结烟气由集气管、机头电除尘器除尘后，经主抽风机从烟囱排入大气。电除尘器下收集的粉尘，经加湿机加湿后汇入返矿胶带机上，返回配料室。

（四）破碎与冷却

烧结料在烧结机尾卸下，经单辊破碎机破碎后，由鼓风环式冷却机进行鼓风冷却。

（五）整粒筛分

冷却后的烧结矿进入一次筛分室。在一次筛分室内需通过两次过筛，第一次过筛级点为12mm，第二次过筛级点为20mm。第二次过筛筛上物料为大于

20mm的烧结矿，进入成品系统。第二次过筛筛下物为12～20mm粒料，被作为铺底料。

第一次过筛筛下物为小于12mm烧结矿送往二筛分室。二筛分室冷矿筛的分级点为5mm，筛分为5～12mm的烧结矿进入成品系统。筛下为小于5mm的粉末作为冷返矿返回配料室重新参与烧结。

（六）其他辅助设施

由于烧结过程所需抽风量和除尘量较大，因此该生产装置均需配备大功率的抽风机和电除尘装置。电除尘器分为机头电除尘器、机尾电除尘器和筛分电除尘器等。

当选用的铁矿石中含硫量较高时，烟气中二氧化硫含量也会增高，需配套建设脱硫装置。小规模脱硫一般采用石灰水［$Ca(OH)_2$］麻石脱硫装置。大规模脱硫宜选用石灰石-石膏湿法脱硫系统。

在烧结生产过程中，大约有一半的热能由烧结烟气和冷却废气带走。因此在鼓风环式冷却机高温废气部位可安装余热锅炉装置或者热管蒸汽发生器，通过回收余热制取蒸汽。

在原料皮带、返矿皮带和成品皮带等处需安装电子秤或核子秤。

目前，现代化烧结机配备自动化控制及计算机程序管理系统，多数操作在计算机室、控制室及专用操作台进行。

二、职业病危害因素识别

过去铁矿石烧结属于职业病危害较严重的工艺之一。随着烧结机自动化控制技术的发展和防尘防毒技术的完善，工作场所职业病危害状况大为改观。由于现代化的带式烧结机配备了完善的抽风除尘净化系统，烧结炉采用负压燃烧方式，减少了燃烧过程中粉尘和有毒物质的逸散。采用计算机自动化控制系统，重要设备及设施设有相应的连锁装置，多数生产岗位实现了无人值班，有效地减少了操作人员的劳动强度和接触机会。

铁矿石烧结过程中存在的主要职业病危害因素如下。

1. 化学毒物

烧结机由煤气点火，焦炭粉和无烟煤作燃料，燃烧工艺温度可达1100～1300℃。在燃烧过程中产生大量的二氧化碳和二氧化硫，还产生部分一氧化碳、氮氧化物，少量的铅、砷等多种有毒物质。其有毒物质种类和含量依矿石品种不同而略有差异。在烟气脱硫部位，存在氢氧化钙水雾和可能泄漏的烟气。煤气输送与燃烧装置泄漏可产生一氧化碳、甲烷等有毒物质。皮带维修工可能接触胶黏剂中的苯系物等有机溶剂。

可能存在的毒物类职业病危害因素是二氧化硫、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、铅、砷、氟、氢氧化钙等。

2. 粉尘类

粉尘是铁矿石烧结的主要职业病危害因素。原料搬运、筛分、破碎、配料和混合等过程中产生铁矿石尘、石灰尘、白云石尘；燃料粉碎和运输过程中产生煤尘、焦炭尘；在烧结、环冷、电除尘、成品筛分及装运等过程中存在烧结矿尘。

可能存在的粉尘类职业病危害因素是铁矿石尘和烧结矿尘。粉尘危害难以控制的部位是原料破碎与配料、烧结矿破碎机、成品振动筛等。

3. 物理因素

噪声是铁矿石烧结的另一主要危害因素。原料准备、原料混合、烧结与冷却、机头与机尾电除尘、烟气脱硫、整粒筛分等工序，以及与其配套的压缩空气站、制冷站等均存在不同程度的噪声危害。其中以原料破碎室、筛分室、混合室、破碎机和鼓风机、机头与机尾抽风机室、空压机室、制冷站等工作场所噪声强度较大。

原料破碎、振动筛、混合机、破碎机等产生强烈的振动。

烧结机及环冷机周围等工作场所存在强辐射热，易形成高温作业的工作环境。

如果生产线上安装了核子秤，则存在γ射线职业病危害因素。

综上所述，铁矿石烧结生产装置全过程均存在噪声和粉尘职业病危害。混料、造粒工段工作人员主要接触铁矿石尘、石灰尘、白云石尘、焦炭尘、煤尘、噪声和振动等；烧结工段工作人员主要接触二氧化碳、二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、铅、砷、铁矿尘、辐射热和噪声等职业病危害因素；筛分、电除尘工段工作人员主要接触铁矿石烧结尘、噪声和振动。

职业病危害控制需重点关注的部位是原料破碎、配料室、环冷装置、成品筛分楼等。如果采用负压燃烧技术，带式烧结机在正常状况下尘毒逸散可得到有效控制。

三、职业病危害防护措施分析

铁矿石烧结生产属重污染、可治理的行业。其职业病危害防护效果有赖于卫生防护设施的同步建设。目前大型现代化铁矿石烧结生产工艺职业病防护措施主要有以下几个方面。

1. 防尘措施

① 原料准备系统实现机械化、自动化生产，配合喷雾降尘和地面冲洗系统，可有效地发挥降尘作用和减少二次扬尘；

② 燃料煤和焦炭粉碎室设置布袋除尘装置，以控制粉碎过程中产生的煤尘和焦炭尘污染；

③ 烧结机机头安装大型抽风除尘装置，使烧结机取于负压燃烧状况，可有效地控制烧结过程中尘烟的扩散；

④ 烧结机机尾安装大型抽风除尘装置，可有效地控制环冷和烧结料破碎过

程中产生的尘烟；

⑤ 皮带输送转运站宜安装布袋除尘装置，以控制物料在转运掉落过程中产生的粉尘；

⑥ 成品筛分楼振动筛产生大量粉尘，应安装除尘装置，可选用重力旋风除尘器或电除尘器，以控制和回收振动筛产生的烧结矿粉尘。

2. 噪声控制措施

噪声控制措施主要包括对原料破碎机、粉煤机、破碎机、鼓风机、机头与机尾抽风机、空压机等产生高强度噪声设备的降噪措施，以及集控室和岗位操作室的隔声措施两个方面。

降低设备噪声的首要措施是工艺设计和设备选型，应在工艺选择和设备采购时优先考虑噪声强度小、防护设施效果好的工艺路线和设备。

对集控室和各岗位操作室均应进行隔声处理。

3. 高温防暑降温措施

环冷机和烧结机台车产生高强度辐射热。部分巡检工属露天作业。夏日高温季节应供应含盐清凉饮料，采取轮换作业的工作制度。对于生产人员较集中的集控室和各岗位操作室均应设置空调。

4. 应急救援措施

烧结点火装置以煤气为燃料，输气管道、加压风机和燃烧器均存在煤气泄漏的可能。此外，在设备试生产、开车点火、停车和检修过程中也存在违章操作导致煤气泄漏的可能。因此，应建立预防煤气中毒事故应急救援预案。对上述工作场所应安装煤气报警器、设置警示标识、配备个人防护用品等。

由于高炉煤气和转炉煤气中一氧化碳含量显著高于焦炉煤气，因此在使用高炉煤气、转炉煤气和混合煤气作燃料时更应加强防患。

第四节 铁矿石的氧化球团加工

我国铁矿石氧化球团生产有竖炉球团法、带式焙烧机球团法和链篦机-回转窑球团法等。竖炉球团法是最早发展起来的。随着钢铁工业的发展，球团工艺不仅能处理磁铁矿，而且能处理赤铁矿、褐铁矿及土状赤铁矿等。现以竖炉球团法为例说明其工艺流程和职业病危害因素识别。

一、工艺简介

竖炉球团法建设项目一般分为原料系统、造球系统、竖炉系统、装车系统和辅助系统五个工序。

1. 原料系统

原料系统包括卸料、转运、储存、配料等过程，工艺流程见图 7-2。主要原

料为铁精矿和膨润土，其中膨润土加入量一般为2%～2.5%。

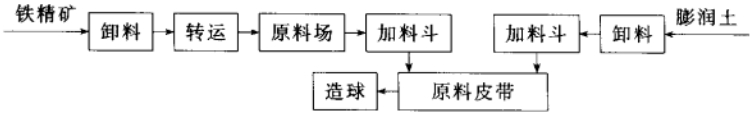


图 7-2　原料输送与配料工艺流程

主要生产设备有铲车、螺旋给料机、行车抓斗、加料斗、运输皮带、皮带计量器具等。

2. 造球系统

该工序包括原料烘干与混合、造球与焙烧、冷却与筛分等过程，工艺流程见图 7-3。

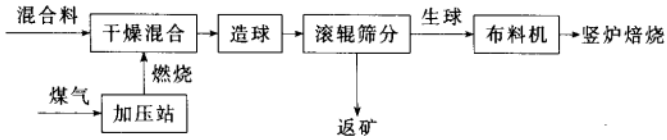


图 7-3　造球系统工艺流程

烘干炉一般以煤气为燃料供热。原料由皮带送入烘干机，在烘干机内旋转混合，经800℃左右的烟气烘干。干料先后进入圆盘造球机制球及圆辊筛筛分，合格生球进入竖炉系统，筛分下来的粉末由皮带返回原料场。

主要生产设备有烘干机、造球机、圆辊筛、运输皮带、布料机等。

3. 竖炉系统

竖炉包括燃烧室和炉膛两部分。竖炉中的工艺主要包括布料、烘干、预热、焙烧与冷却等过程。竖炉一般以煤气为燃料，煤气在燃烧室内燃烧，加热气流进入炉膛。工艺流程见图 7-4。

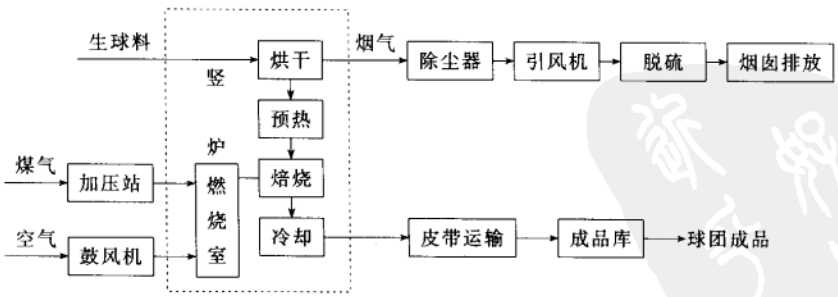


图 7-4　竖炉系统工艺流程

炉膛分为上、中、下三部分。生球经布料小车的往复运动均匀地送入炉膛上部的炉箅条上，在此经过烘干、预热后，逐步下降至炉膛中部进行焙烧，焙烧温

度在1000℃左右，原料在此发生剧烈的物理化学反应。生球被固化，生成球团矿，其中的四氧化三铁转化为三氧化二铁。球团矿在炉内继续下降到炉膛下部的齿辊卸料机、料斗，经初步冷却后由皮带送入成品库。

4. 装车系统

该系统包括球团矿从成品库到装车（火车或汽车等）外运的全过程。由于运输量大，装车系统一般由装载机、运输皮带、计量器具和分配器等组成。计量器具有核子秤和皮带电子秤等不同类型。

5. 辅助系统

该系统包括煤气加压风机、竖炉鼓风机、引风机、除尘器、脱硫装置、烟囱、循环水泵等。除尘器可选择电除尘器或重力-旋风除尘器，脱硫可选择石灰石（$CaCO_3$）湿法脱硫或消石灰［$Ca(OH)_2$］麻石脱硫。一般大规模生产装置多选用电除尘加石灰石-石膏湿法脱硫工艺。中小规模生产装置多选用重力-旋风除尘与消石灰麻石脱硫系统。

二、职业病危害因素识别

铁矿石竖炉球团生产装置属于粉尘和噪声危害较严重的场所。其职业病危害因素识别可参照铁矿石烧结法（本章第三节）。

1. 原料输送与成品装车系统

在原料输送过程中均存在铁精矿和膨润土粉尘；设备运转产生噪声与振动。

成品装车运送系统存在铁矿石尘和噪声等职业病危害因素。

2. 造球系统

原料在烘干机内旋转混合、圆盘造球机制球及圆辊筛筛分等过程中均产生铁精矿尘、噪声和振动。其中烘干机以煤气为燃料，燃烧过程中产生大量的二氧化碳和水蒸气等气体。因此存在二氧化碳、氮氧化物、一氧化碳、铁精矿尘、噪声、振动和高温高湿等职业病危害因素。

3. 竖炉系统

竖炉是该生产工艺中职业病危害最严重的部位。由于炉膛取于正压燃烧，在炉口和炉膛密闭不严处均存在烟尘的泄漏。主要职业病危害因素有煤气燃烧和焙烧过程中产生的二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、铅、砷、铁矿尘、噪声、振动和辐射热等。

4. 辅助系统

① 煤气加压风机和输送管道均存在煤气泄漏的可能；

② 除尘器清理与维修时可能产生高浓度的粉尘；

③ 脱硫装置存在二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳、石灰尘和氢氧化钙水雾；

④ 竖炉鼓风机、引风机、循环水泵和煤气加压风机等机械设备均产生高强度噪声。

综上所述，铁矿石竖炉球团生产装置全过程存在噪声和粉尘职业病危害；原料输送、混料烘干、造球工段主要接触铁矿石尘、膨润土、噪声、振动和辐射热等；竖炉工段主要接触二氧化碳、二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、铅、砷、铁矿尘、噪声、振动和辐射热等；除尘与脱硫装置工段主要接触铁矿石尘、石灰尘、氢氧化钙、二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳和噪声。

职业病危害控制需重点关注的部位是原料烘干、竖炉焙烧与煤气输送系统等。

三、职业病危害防护措施分析

铁矿石竖炉球团生产装置职业卫生防护重点在竖炉工作场所。应采取的防护措施主要是：

① 在满足工艺要求的条件下，加大引风机抽风量，以降低炉膛内燃烧气压，减少烟气外泄；

② 炉口尽量缩小、密封，减少烟气的外泄；

③ 加厚炉壁保温，降低炉体周围的热辐射强度；

④ 煤气燃烧装置进行消声处理，减少燃烧气流噪声；

⑤ 采用低噪声鼓风机和引风机；

⑥ 竖炉控制室和岗位操作室进行隔声处理，并配备冷暖空调。

煤气输气管道、加压风机和燃烧器均存在煤气泄漏的可能，因此应建立预防煤气中毒事故应急救援预案。对上述工作场所应安装煤气报警器、设置警示标识、配备个人防护用品等。其他职业病危害防护措施可参照铁矿石烧结法（本章第三节）。

第五节　高炉炼铁

炼铁方法有高炉炼铁法、电炉炼铁法、特殊炼铁法、直接还原炼铁法等方法。目前高炉炼铁法在炼铁工艺中占主导地位。

一、高炉炼铁工艺简介

炼铁的原料为铁矿石（磁铁矿、赤铁矿等）、烧结矿、焦炭及助熔剂（石灰石、白云石等）。炼铁的主要设备是高炉，此外还有热风炉、高炉煤气净化系统等辅助设施。高炉是外包钢壳、内砌耐火材料的竖式炉（图 7-5）。

炉料从炉顶加入，燃料、助熔剂、热空气从炉腰送入。物料在炉内燃烧、熔化（温度 1600～1700℃），生铁自出铁口放出，铸成铁块或送往炼钢炉炼钢。其生产工艺流程见图 7-6。

高炉炼铁以烧结矿、球团矿为原料，焦炭为还原剂和燃料，石灰石作熔剂在高温环境中冶炼，高炉产物有铁水、高炉渣和高炉煤气。典型的高炉炼铁生产装置包括高炉本体系统、热风炉系统以及配套的供电供水维修系统等。

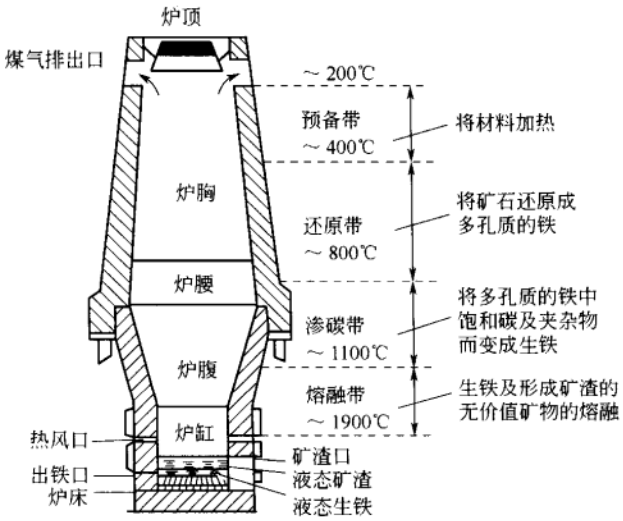


图 7-5 炼铁高炉结构示意图

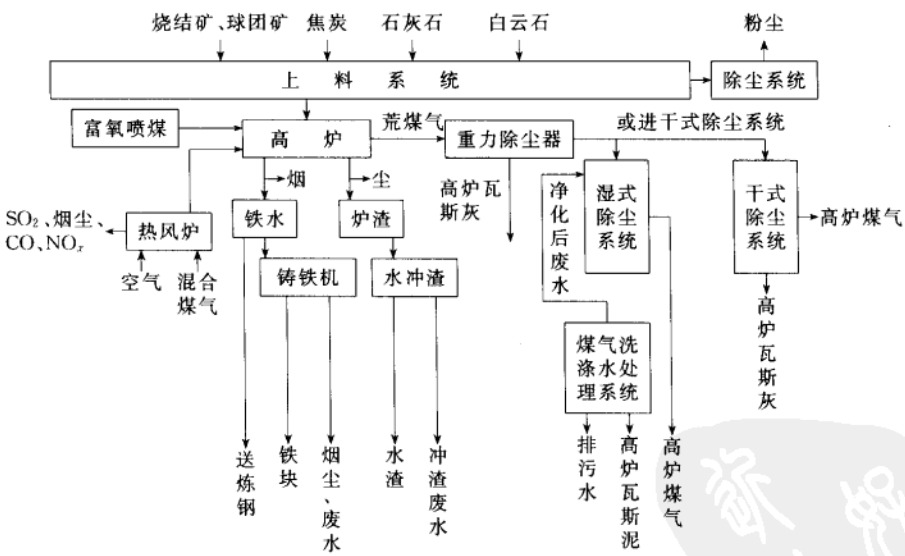


图 7-6 高炉炼铁生产工艺流程

1. 槽下供料系统

炼铁原料除铁矿石外，还有助熔剂（石灰石、白云石）、焦炭和锰矿等。

铁矿石（包括球团矿、烧结矿、块杂矿）、焦炭通过给料机、振动筛、称量等工序进入高炉。槽下供料系统工艺流程见图 7-7。

槽下供料系统由矿槽、焦槽、给料筛分及称量设备、胶带运输机、烧结及球团矿返矿仓、碎焦分级及焦丁回收系统、通风除尘设施等组成。考虑到设备检修

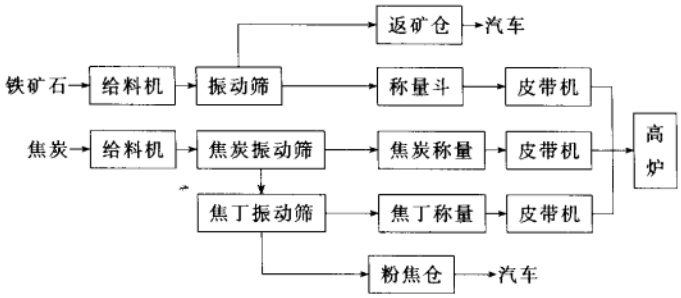


图 7-7　槽下供料系统工艺流程

及操作维护等要求，焦炭储存运输系统和矿石运输系统一般分别单独设置，构成两个独立、并列的系统。

可能存在的职业病危害因素：铁矿石粉尘、焦炭粉尘、噪声和振动等。

槽下供料系统混合粉尘组分见表 7-1。

表 7-1　槽下供料系统粉尘组分

成分	Fe	Fe_2O_3	FeO	P	MnO	S	MgO	CaO	SiO_2
含量/%	17.13	54.9	1.2	0.07	1.97	2.25	2.49	10.49	9.5

2. 热风炉系统

热风炉系统的工艺流程见图 7-8。主要设备有富氧压缩机、热风炉。

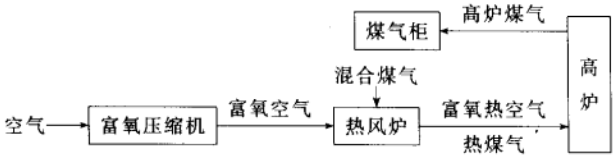


图 7-8　热风炉系统工艺流程

可能存在的职业病危害因素：富氧压缩机等产生的噪声；热风炉泄漏的煤气和烟尘等；高温、辐射热等。

3. 高炉本体系统

高炉的炉形一般都由炉喉、炉胸、炉腰、炉腹及炉缸五段组成。其上部加料台叫做炉顶。由炉顶排出的高炉煤气中含有 27%～29%的一氧化碳和 10～40g/m^3 的炉灰，经过净化除尘后，可使煤气含尘量降低到 50mg/m^3 以下。用料斗和卷扬机将炉料送入高炉加料口，通过炉顶进入炉内。为保证炉内的燃料燃烧完全，并达到熔化铸铁所需要的温度，必须向高炉内送入大量热空气（熔炼 1t 铸铁约需 4000m^3 空气）。燃料、助熔剂和热空气从炉腰送入。高炉炉缸下部有 2～4 个出口，用来排除炉渣的 1～2 个出口称为出渣口；用于放出铁水的出口称为出铁口。

焦炭和空气中的氧燃烧产生一氧化碳。一氧化碳吸取矿石中的氧而变成二氧化碳，使矿石还原成多孔的铁。铁向下降落，与红热的焦炭接触，又吸收大量碳而变成铸铁。铸铁熔化成液体状态而流至炉缸，然后由出铁口定时放出铁水铸成铁块，或直接送往炼钢炉进行炼钢。其反应如下：

$$C+O_2 \xlongequal{} CO_2 \uparrow$$

$$CO_2+C \xlongequal{} 2CO \uparrow$$

$$3Fe_2O_3+CO \xlongequal{} 2Fe_3O_4+CO_2 \uparrow$$

$$Fe_3O_4+CO \xlongequal{} 3FeO+CO_2 \uparrow$$

$$FeO+CO \xlongequal{} Fe+CO_2 \uparrow$$

还原出来的纯铁在高温作用下吸收一部分碳和少量的锰、硅、硫、磷等杂质生成低熔点的生铁，熔化为铁水。

可能存在的职业病危害因素：高炉熔炼过程中产生一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、二氧化锰、砷、铅烟、炉灰尘、高温、辐射热和噪声等。

4. 其他辅助系统

其他辅助系统主要包括配套的供电、供水系统，以及维修保障系统。

可能存在的职业病危害因素：水泵、电机、风机、压缩机引起的噪声；炉体和管道维护过程中可能接触耐火材料和保温材料。

二、职业病危害因素综合识别

（一）粉尘类

高炉炼铁厂的粉尘主要来源于：

① 槽下原料供料过程中铁矿石（包括球团矿、烧结矿、块杂矿）输送产生铁矿石尘；

② 助熔剂、焦炭通过给料机、振动筛、称量、皮带机运输、加料等工序分别产生石灰尘、焦炭尘等粉尘；

③ 出铁、出渣、渣处理操作过程中产生金属烟尘；

④ 设备维修人员可能接触耐火材料尘。

（二）物理性有害因素

1. 噪声

槽下原料供料过程中给料机、振动筛、称量斗、皮带机等设施产生噪声；热风炉系统富氧压缩机产生噪声；高炉熔炼过程及渣处理阶段产生噪声；配套的供电、供水、维修系统的供水水泵、电机、风机、压缩机产生噪声。

2. 高温与热辐射

炼铁生产过程产生高温的部位有高炉本体及渣处理过程的熔渣入口处。高炉本体在熔炼过程中产生高温、辐射热。

（三）化学毒物类

高炉熔炼过程中产生的化学毒物有一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化

硫、二氧化锰、砷、铅烟等，若矿石中含有氟化物，则冶炼时还可能有氟化物的污染。

（四）劳动组织和劳动过程中职业病危害因素

① 为满足连续生产需要，劳动组织实行倒班制，频繁间断性夜班作业可能导致部分作业工人生活节奏的紊乱和对工作的不适应；

② 主控室操作人员主要通过电脑显示屏监控生产情况，若长时间视屏作业，易导致视觉疲劳；

③ 炉前工人系高温作业，劳动强度较大。

高炉炼铁职业病危害因素可能存在的环节见表 7-2。

表 7-2　高炉炼铁可能存在的职业病危害因素及存在的环节

职业病危害因素种类		存在的环节
粉尘	铁矿石尘、焦炭尘、石灰石尘、白云石尘	给料机、振动筛、称量、皮带机运输、高炉进料
	金属尘	高炉熔炼、出铁口
	耐火材料尘	设备管道维修
毒物	一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、烟尘	热风炉
	一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、铅烟、锰烟、砷、氟	高炉熔炼、出铁
物理	噪声	给料机、振动筛、称量斗、皮带机、压缩机、高炉进料、熔炼、出铁、风机设备、渣处理等
	高温、热辐射	高炉本体、出铁口、渣处理过程的熔渣入口处
其他	职业性精神紧张、生活节律紊乱	倒班人员
	视觉疲劳	主控室视屏作业
	劳动强度较大	炉前工人

三、主要防护措施及效果识别

（一）防尘措施

炼铁厂粉尘排放浓度较大的部位是出铁场、沟下、胶带机通廊和转运站、料仓、炉顶等。炼铁厂粉尘治理主要采用干式除尘系统（袋式除尘器）、电除尘和湿式除尘系统等。

1. 尘源密封

尘源密封是一种防止操作人员与粉尘接触的隔离措施，并能缓冲含尘气流的运动、消耗粉尘飞扬的能量、减少粉尘的外逸，为除尘创造良好的条件。防尘效果取决于扬尘点的密封程度，因此，尘源密封是粉尘综合治理的重要环节。密封罩的技术要求如下。

（1）密封罩应力求严密　在设计时应尽量减少罩上的孔洞和缝隙，密封罩上通过物料孔口应设弹性材料制作的遮尘帘，尽可能避免直接连接在振动和往复运

动的设备上，胶带机受料点采用托辊时，受料点下的托辊密度应加大或改用托板。

（2）密封罩应不妨碍操作和便于检修　根据生产要求，设置必要的操作孔、检修门和观察孔，门孔应严密、关闭灵活，密封罩应便于拆卸和安装。

（3）密封应注意罩内气流运动的特点　要正确选择密封罩的形式和排风点的位置，以合理的组织罩内气流，使罩内气流保持负压。罩内应有一定的空间，以缓冲气流、减少正压。操作孔、检修门应避开气流速度较高的地点。

目前，国内外所采用的密封形式有封罩、风膜（或叫气膜）、水膜、垂幕。采用何种形式，要根据粉尘的特性和要密封的具体条件来选择。

2. 物料输送过程中的除尘

日本对原料系统粉尘治理的经验是，原料从船上卸料过程就开始采用喷水除尘；从港口到原料堆放场大多数用胶带运输，而胶带全部设有钢板密封罩；原料场设有喷水装置，水中加入3%醋酸乙烯树脂防尘剂，使水滴落在料堆表面后结成一层硬壳防止粉尘飞扬；烧结矿和焦炭在送往贮料槽的过程中都采取密封和抽风除尘措施。

首先把散发粉尘的设备进行密闭，然后抽风除尘。除尘抽风点包括矿槽、焦槽等卸料口、振动筛、称量漏斗、转运站、给料器、炉顶上料口等。原料系统大约要有20～30个密闭抽风点，总风量可达3000～4000m^3/min。除尘设备多采用大型反吹风袋式除尘器。

鞍钢11号高炉沟下除尘采用了大型反吹式除尘器。在各产尘点设有密封罩，净化后的气体经引风机排至烟囱放散。进口粉尘浓度为3g/m^3，出口粉尘浓度为60mg/m^3，处理风量为240000m^3/h。在灰斗内收集下来的粉尘，经GX型螺旋输送机、斗式提升机等输送机械运送到灰仓。

3. 出铁口除尘

出铁场在打开铁水口出铁时产生大量的烟尘。出铁场除尘一般采用两个系统，即一次除尘系统和二次除尘系统。所谓一次除尘系统就是将铁沟、铁罐等处用密封罩罩起来，在罩子的适当部位设置除尘吸风口进行抽风除尘。但是在打开铁水口和出铁过程中仍有大量的烟尘溢出，因此在铁水口处需再设置除尘系统，该系统称为二次除尘系统。

4. 其他除尘措施

① 高炉区附近的公辅设施室内建筑物一般设置正压送风，室外新风经过滤器处理后送入室内，以保证室内有良好的洁净度；

② 车间内皮带通廊、料场还设有洒水抑尘、冲洗地面设施，减少岗位粉尘对人体的危害；

③ 铁水罐修理库的烘烤铁罐厂房应设有自然通风，屋顶应设天窗，并应防止穿堂风将烟尘吹到其他作业区；在热修平台上应设有移动喷雾风扇；为给热罐

中的操作人员局部降温应设有冷却送风系统，送风口应对准热罐中心，并能够按需要转动风口以满足局部送风要求；

④ 割砖、磨砖机等处应设吸尘罩抽风除尘。

从对新建炼铁厂职业病危害控制效果结果来看，其粉尘危害基本得到控制。

（二）防毒措施

据梁学邈等对某钢铁企业急性职业中毒调查结果，高炉炼铁急性职业中毒以急性一氧化碳中毒为主，占88.30%。这与钢铁冶金的生产工艺密切相关，急性一氧化碳中毒事故的防治应成为日后工作的重点。

在高炉炼铁的冶炼工区，生产过程均产生大量的一氧化碳，高炉煤气中一氧化碳含量高达23%～30%。一氧化碳无色、无味，对高炉维护、检修作业人员造成的危害最大。

现代化的炼铁厂工艺过程采用全DCS自动化控制系统的新技术。操作主要在计算机室、控制室及专用操作台进行。自动控制系统设置相应的手动控制与操作系统。重要设备及设施设有相应的连锁装置。对可能泄漏煤气的地方设CO监测报警设施和机械通风换气设施；煤气清洗系统供水管道上设低压报警装置；灰泥捕集器液位设置高低液位报警；透平主机平台的隔声罩内设CO浓度检测仪，在CO超过30mg/m^{3}后发出声光报警；透平轴承处设有氮气密封装置，防止煤气泄漏，当氮气压力低于规定值时，将发出声光报警信号或禁止透平启动；在TRT（高炉煤气余压透平发电装置）入口管道上，设有敞开式插板阀，出口管道上也设有敞开式插板阀，作为可靠的切断装置，透平前后还设有旁通快开阀，以确保高炉及TRT的操作、运行安全稳定；TRT润滑油站、液压油站及综合仪表控制室等设有火灾自动报警装置，并配有灭火器材；焦炉煤气管道设自动低压报警及自动切断煤气装置，防止煤气管道吸入空气而造成危险。

为防止钢铁厂急性一氧化碳中毒等职业中毒事故的发生，应落实下列措施。

① 坚持“安全第一，预防为主”的方针，落实国家各项职业卫生、劳动保护法规及安全操作规程，实行标准化作业，从根本上杜绝和减少各种中毒事故的发生。

② 加强职业卫生与安全监督管理。如定期组织设备维护，提高设备完好率；定期组织现场检测与评价，改善劳动条件；发现设备隐患，及时报告，及时维护，防患于未然。应提倡在有害因素存在的工作区安装自动报警系统，以便及时撤离现场和采取相应的急救措施。对新建、改建、扩建项目应同步安装安全环境保护设施，提高安全装置的可靠性。

③ 加强通风，根据毒物产生与逸散的实际情况建立自然通风、机械通风或事故通风系统，并按卫生学要求组织通风系统的设计、安装及运行，建立无毒作业环境。

④ 强化个体防护，普及安全知识教育，尤其对新入厂职工、临时工和混岗

工应进行系统的、有针对性的职业卫生和安全生产教育。使职工不仅要了解本岗位的毒物种类及其毒性，而且掌握必要的防护、救护措施，这样才有可能减少中毒事故的发生和减轻中毒的程度。

⑤ 健全应急救援组织和网络，做好自救互救、现场救护、途中救护和医院救护，把急性事故损失减少到最低。

（三）防噪声措施

在工程设计阶段，应做到尽量选用低噪声的设备，从源头控制噪声。在设备选型时，低噪声作为一项重要的指标。

各种大型除尘系统的风机集中布置在室外，风机出口设消声器，风机机壳外部做隔声包覆；当风机布置在转运站平台上时应采取减振措施。高炉鼓风机吸气、排气、放风均设消声器，同时设专用鼓风机房。热风炉助燃风机、热风炉放风阀、高炉炉顶均压放散、减压阀组均应设消声器，降低噪声污染。

煤气透平压缩机应设隔声罩。

水处理循环系统的水泵应设专用泵房，水泵出口设橡胶软接头，操作室设隔声门窗，确保室内噪声≤70dB(A)。

采取以上噪声防护措施后，其噪声危害基本可得到有效控制。

（四）高温防暑降温措施

对高炉存在的生产性热源，应通过车间工房的防暑设计、有组织的自然通风和对炉体等热源采用保温、隔热等措施进行控制。

对于室内湿度要求不高且无人值班的场所，设置机械通风系统，以消除室内余热或废气。

高温作业区设局部通风降温移动风扇；主操作控制室、电气仪表室、计算机室等设置空调；电气仪表室、水泵房设通风设施，消除室内余热。

浇铸工及炉前工的防护服应用白色帆布、铝膜布、克伦布等不易燃烧的布料制成，以防热辐射及熔化金属飞溅烧伤。还应戴宽边毡帽、铝膜布防热面罩或有机玻璃镀金（银）面罩及帆布套袖。为炼铁工人设置休息凉亭或制冷空调休息室，使工人在夏季有舒适的地方休息，得到充足的睡眠。夏季对接触高温作业工人配备发放防暑降温饮料。

高温、热辐射是炼铁炉前工的主要职业病危害因素之一，应尽量通过各种措施降温，减少对工人健康的影响。

总之，目前现代化的新建炼铁厂在职业卫生防护设施齐全、管理和个体防护措施到位的前提下，职业病危害可得到有效控制。

（杨乐华、廖雍玲）

第八章　炼钢与轧钢

第一节　概　述

目前，炼钢工艺流程以高炉—顶吹（复吹）氧气转炉—炉外精炼—铸（锭）坯和废钢—电（弧）炉—炉外精炼—铸（锭）坯两种生产工艺路线为主。

平炉在相当长一段时间内是世界各国的主要炼钢方法，因其生产效率低、节奏慢、成本高等缺点而被氧气转炉炼钢技术所淘汰。

“九五”期间，淘汰平炉成为我国钢铁工业结构调整的重要任务。许多企业采用氧气转炉（包括顶底复合吹炼）代替平炉。少数钢厂以电炉取代平炉，并采用炉外处理、连铸连轧等一系列先进炼钢、轧钢生产技术对老厂进行技术改造。根据国家《钢铁产业发展政策》规定要求，现有钢铁企业通过技术改造建设的转炉公称容量需在 120t 及以上的规定。将有力地推进我国转炉炼钢技术的现代化。

所谓转炉炼钢法就是使用鸭梨形的转炉，以铁水作为原料，以空气或者纯氧作为氧化剂，向转炉内吹氧燃烧，靠杂质的氧化热提高钢水温度，当探头测得达到预定的低碳含量时，即停止吹氧并出钢，可在 30～45 分钟内完成一次精炼的快速炼钢法。转炉炼钢的主要特点是：靠转炉内液态生铁的物理热和生铁内各组分（如碳、锰、硅、磷等）与送入炉内的氧进行化学反应而产生的热量，使金属达到出钢要求的成分和温度。炉料主要为铁水和造渣料（如石灰、石英、萤石等）。为调整温度，可加入废钢以及少量的冷生铁块和矿石。

转炉生产的碳素钢、低合金钢主要供一般工农业生产需要。由于机械制造、国防工业需要的是优质钢和特种钢，这种钢材必须使用电炉冶炼。电炉的种类有多种，如电弧炉、电渣炉、中频感应炉、高频感应炉等。电炉是在较密闭的条件下生产的，全部氧化过程都是利用废旧钢铁及铸铁中的氧来进行。

此外，对要求高的钢种还可增加底吹氩、RH 真空处理、喷粉处理（喷 Si-Ca 粉及变性石灰）等，可以有效降低钢中的气体与杂质，并有进一步降碳及降硫的作用。在这些炉外精炼措施后还可以最终微调成分，满足优质钢材的需求。

轧钢是利用轧钢机将钢锭轧制成各种钢材的生产过程。其产品包括厚板材、薄板材、管材、型材、线材等。按轧制产品的断面形状分为型钢、板钢、钢管、周期断面钢材、特殊断面钢材五类。

按其工艺流程，轧钢系统的工艺类型包括开坯生产、型钢生产、热轧板生产、冷轧薄板生产、线材生产、无缝钢管生产和焊管生产等。对于新型、先进的连铸连轧设备，已将炼钢铸锭和初轧过程合并处理，形成一条连续的生产线，不需单独的开坯生产处理，即可获得符合要求的钢坯。属于热轧工艺过程的生产包括型钢生产、热轧板生产、线材生产、无缝钢管生产等。冷轧生产工艺，则不经过均热炉和加热炉过程，直接对经过酸洗处理过的热轧钢板卷材进行冷轧加工，制成所需的产品。

轧钢生产中的先进生产工艺有连铸连轧紧凑式机组、以热代冷、柔性轧制技术等。

轧钢所用的原料有三种：钢锭、钢坯和连铸坯。轧制时主要生产工序包括钢锭的整修、加热、初轧、精轧、矫直、成材、吊运等。

初轧是炼钢系统无连铸工艺情况下，将炼钢的钢锭脱模，在经均热、加热后轧制成符合要求的钢坯的过程。连铸坯（钢锭）经二次加热后进入不同种类的轧钢机，轧制成不同类型的钢材。炼钢与轧钢生产工艺流程见图 8-1。

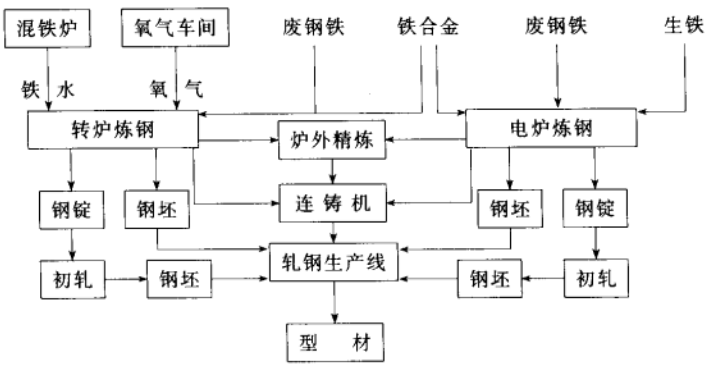


图 8-1 炼钢与轧钢生产工艺流程

近年来，表面处理技术为钢材市场的发展带来了广阔前景，同时也给轧钢系统的生产环境带来了许多比较复杂的职业卫生问题。如表面喷涂装沥青、防锈油、漆膜、锌、铅、铬等工艺带来了大量新的职业病危害因素。在建设项目职业病危害评价工作中对这些新的职业病危害因素务必全面定性和定量识别。

第二节 转炉炼钢

一、工艺简介

采用转炉炼钢的生产过程大致为：从鱼雷车或混铁炉运来的铁水经过脱硫、挡渣等预处理后即可倒入转炉中作为主要炉料，另加 10%以下的废钢，经转炉

炼钢、出钢，钢水通过炉外精炼后即可送往连铸或模铸工序。其工艺流程见图 8-2，转炉车间剖面示意图见图 8-3。

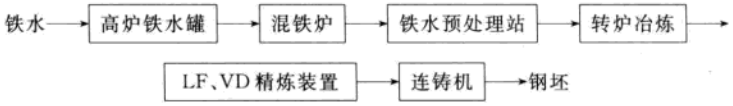


图 8-2　转炉炼钢工艺流程

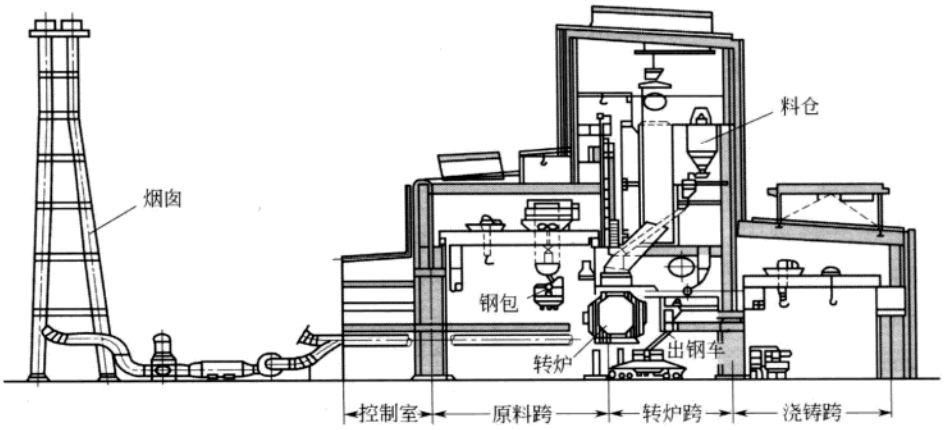


图 8-3　转炉车间剖面示意图

（一）混铁

1. 工艺流程

从高炉出来的铁水需要储存在一定容器中，同时，进行化学成分的混匀和保温。

实现混铁的常见设备有混铁水车及混铁炉。它们负责向转炉提供铁水。二者不论在设备结构上还是工艺要求上都有很大不同，但作用是相同的。

我国各大钢铁公司所采用的混铁设备主要是混铁炉，常见的有 300t、600t、1300t 等型号。炉体上开有兑铁水口和出铁水口。煤气喷嘴向炉内喷吹煤气。煤气在炉内燃烧产生热量用以补偿炉内热量的损失。同时炉体可倾动，实现出铁水及兑铁水的动作。

混铁水车又称鱼雷形混铁水车，是一种运输铁水的车辆，在我国应用较少。混铁水车相对于混铁炉有节约场地、不需要喷吹煤气加热、可满足远距离输送等优点。

2. 职业病危害因素识别

混铁炉在兑铁水和出铁水时，由于铁水的氧化有大量烟尘产生。混铁炉烟尘主要来源于兑铁水、出铁水时高温铁水与空气中的氧气反应而产生的 FeO、Fe_2O_3、Fe_3O_4 等氧化铁类尘粒，炉衬、包衬、水冷套等受高温铁水流和烟气流的冲刷而产生的少量 Al_2O_3、SiO_2、MgO 等粉尘，还有在兑铁水、出铁水过程

中，铁水产生温降，铁水中碳的溶解度降低而析出自由碳（即片状石墨）。混铁炉产生高温、热辐射，混铁炉在运行过程中会产生一氧化碳、二氧化碳、少量硫化氢、氮氧化物等有毒气体。

（二）铁水预处理

在铁水的运输容器鱼雷罐车、铁水罐和钢水包内，进行预处理和最终精炼，以求生产高质量的钢和减少渣的排放量的方法称为炉外精炼法或钢包精炼法。钢包精炼法分为在高炉-炼钢炉之间对铁水进行预备性处理的铁水预处理和在炼钢炉-连铸之间处理钢水的二次精炼。其主要目的是：

① 铁水预处理，同时脱硫、脱硅、脱磷；

② 二次精炼，脱气（H、N、CO）、脱硫、脱碳、脱氧、去除夹杂物、控制夹杂物的形态、调整成分及温度等。

1. 脱硅

在转炉炼钢中，为了除去铁水中的磷，硅含量必须降到0.2%以下。但是在一般的高炉里，生产的铁水中硅含量为1.2%左右，因此在脱磷之前要先脱硅。脱硅是氧化反应，且在低温下容易进行。作为脱磷、脱硫的前处理铁水脱硅，是用轧钢铁皮、烧结矿、铁砂等的固态氧或者气体氧与铁水中硅发生氧化反应：

$$Si+2FeO \longrightarrow SiO_2+2Fe$$

$$Si+O_2 \longrightarrow SiO_2$$

硅氧化后生成二氧化硅，形成稳定的酸性渣。

脱硅方式有出铁场脱硅和鱼雷罐车内脱硅。前者是在高炉炉前出铁场分离高炉渣后，在铁水沟和倾斜沟内连续地添加脱硅剂；后者是以氩气和氮气作为载气，向鱼雷罐车内铁水中喷吹脱硅剂。因为前者简便，被广为采用。

2. 脱磷

脱磷也是氧化反应，且在低温下容易进行：

$$2P+5FeO \longrightarrow P_2O_5+5Fe$$

$$2P+5/2O_2 \longrightarrow P_2O_5$$

磷氧化后生成的五氧化二磷不稳定（容易回磷），必须与钙、钠之类的元素结合生产磷酸盐类产物，才能稳定地存在于渣中。所以，脱磷要求渣有一定的碱度。

3. 脱硫和同时脱磷、脱硅

纯氧转炉（BOF）的脱硫率一般是40%～60%。当铁水中硫高时，添加脱硫剂预备性脱硫之后再转入炼钢工序。脱硫是还原反应，它不仅要求在高温下进行，而且要求渣具有较高的碱度。

目前，铁水脱硫使用的粉剂主要有石灰（CaO）、电石（CaC_2）、苏打灰（Na_2CO_3）、萤石（CaF_2）、镁粉等，它们的还原能力依次由弱到强。添加方法有在高炉出铁场、铁水罐、鱼雷罐车等位置单独添加或以氮气作为载气喷吹加

入等。

铁水单脱硫时，一般用 CaO 或 CaC_2，再加上少量的萤石（CaF_2），主要目的是控制渣的性状。

$$CaO+S \longrightarrow CaS+O$$

$$CaC_2+S \longrightarrow CaS+2C$$

目前，用镁粉脱硫的趋势在不断扩大，它的脱硫效率高，渣量小。

用苏打灰脱硫，效率也很高。它不仅能脱硫，同时也能脱硅、脱磷。

$$Na_2CO_3+Si \longrightarrow Na_2O \cdot SiO_2+C$$

$$4Na_2CO_3+2P \longrightarrow 3Na_2O \cdot P_2O_5+4CO+2Na$$

$$Na_2CO_3+S+2C \longrightarrow Na_2S+3CO$$

同时脱磷、脱硫的处理方式有鱼雷罐车方式和转炉方式等。

4. 工艺流程

在铁水预处理前设置混铁车前扒渣，以扒除由高炉带来的铁水脱硅渣，然后到铁水预处理对铁水进行喷吹脱磷、脱硫处理。在铁水预处理后同样也设置了混铁车后扒渣，以扒除铁水在喷吹处理时产生的脱磷、脱硫渣。处理后的铁水被送到炼钢的受铁站。在混铁车返回高炉的途中设置了排渣清罐口工序，以清除混铁车罐口的黏渣，并排出混铁车内残留的铁和渣，其工艺流程详见图 8-4。

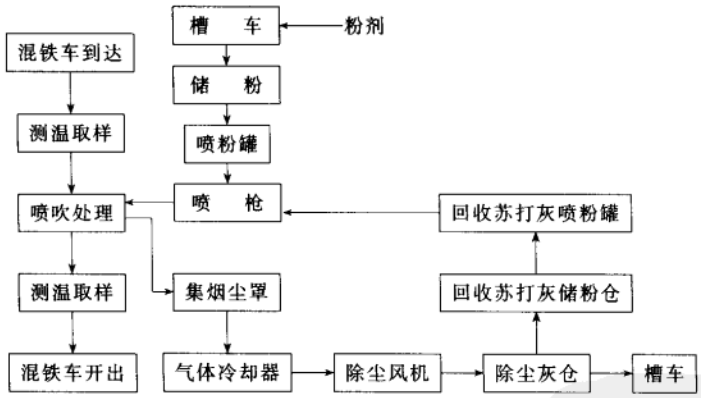


图 8-4　铁水预处理工艺流程

5. 职业病危害因素识别

铁水预处理过程产生高温和热辐射；煤气加热过程可能产生氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫；喷吹各种造渣粉剂过程中可形成逸散烟尘，主要包括氧化铁粉、造渣剂粉尘、耐火材料粉尘等。如使用萤石可产生氟化物，使用小苏打可能产生 NaOH 尘等。

（三）转炉炼钢

转炉按炉衬的耐火材料性质分为碱性（用镁砂或白云石为内衬）和酸性（用

硅质材料为内衬）。按气体吹入炉内的部位分为底吹、顶吹、侧吹和顶底复吹。酸性转炉不能除去生铁中的硫和磷，故需用优质生铁，因而应用范围受到限制。顶吹转炉应用最广，而侧吹转炉应用较少。

转炉炼钢是在高温下用氧化剂把生铁里过多的碳和其他杂质氧化成气体或炉渣除去的工序，主要原料有铁水、纯氧气、生石灰（造渣剂）、脱氧剂（硅铁、锰铁或金属铝粉）等。

1. 氧气顶吹转炉

在炉口插入水冷氧枪（喷口）供工业纯氧，并以超音速气流喷入熔池进行搅拌和反应。顶吹转炉的容量已达400t，并有更大型的转炉正在筹建中。

碱性顶吹纯氧转炉炼钢法（亦称LD法、BOF法）是世界上的主要炼钢方法。金属炉料主要是铁水，约占金属总装料量的70%～85%，其余部分是废钢（个别用富铁矿或球团矿）。通过氧枪从熔池上面垂直向下吹入高压的纯氧（含O_2 99.5%以上），氧化去除铁水中的硅、锰、碳和磷等元素，并通过造渣进行脱磷和脱硫。各种元素氧化产生的热量，加热了熔池中的液态金属，使钢水达到规定的化学成分和温度。

（1）工艺流程　装料时，把炉体倾斜，先装入称量好的废钢，接着装入铁水。然后使炉体直立，一边喷吹氧气一边投入轧钢铁皮、石灰等辅助原料。用氧气喷枪进行喷吹出现着火现象。后期，降下副枪测定铁水中的碳浓度和温度，预测达到目标的时间，最后上升氧枪，把炉体倒向装料侧，从炉口进行测温和取样，再把炉体倒向出钢侧出钢。出钢后再把炉体倒向装料侧排出渣。工艺流程见图8-5。

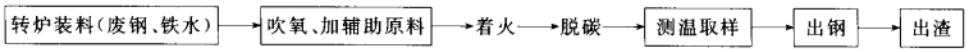


图8-5　顶吹转炉炼钢工艺流程

（2）主要化学反应

① 氧化。氧气与高温铁水发生氧化反应，使部分铁变成了氧化亚铁，并放出大量的热。

$$2Fe+O_2 \xlongequal{} 2FeO+热量$$

氧化生成的氧化亚铁再把铁水里的硅、锰、碳等氧化，降碳，调整硅和锰含量。

$$C+FeO \xlongequal{} CO+Fe$$

$$FeO+Mn \xlongequal{} Fe+MnO\ （炉渣）$$

$$2FeO+Si \xlongequal{} 2Fe+SiO_2\ （炉渣）$$

除去硫、磷杂质。

$$FeS+CaO \xlongequal{} FeO+CaS\ （炉渣）$$

$$2P+5FeO+3CaO \xlongequal{} 5Fe+Ca_3(PO_4)_2\ （炉渣）$$

② 造渣。氧化生成的二氧化碳、氧化锰以及铁水里的硫、磷等杂质跟造渣材料（如生石灰等）相互作用生成炉渣排出。

③ 脱氧。通常用硅铁、锰铁或金属铝等脱氧剂（还原剂）来还原钢水中含有的少量的氧化亚铁。例如：

$$2FeO+Si \xlongequal{} 2Fe+SiO_2$$

$$3FeO+2Al \xlongequal{} 3Fe+Al_2O_3$$

$$FeO+Mn \xlongequal{} Fe+MnO$$

2. 氧气底吹转炉

氧气底吹转炉的喷口设置在炉底，喷口数目可根据工艺要求而定。喷口形式有透气（或毛细管式）耐火砖和同心套管式两种。为延长同心套管式喷口寿命，套管之间的环缝可喷入碳氢化合物作为冷却介质。喷口也可在喷入氧气流时带入粉状造渣剂提前造渣去除硫、磷。底吹转炉较适用于高磷铁水的冶炼。

纯氧底吹转炉（Q-BOP）炉体与 LD 转炉相似，而高度/半径之比较 LD 转炉小。从内管和外管的缝隙之间吹入冷却用的天然气、丁烷、丙烷等碳氢化合物气体，特别是当要求脱磷、脱硫的场合，可以在氧气中混入粉体溶剂，例如 CaO 粉，直接吹入钢水。

3. 氧气顶底复吹转炉

结合了 Q-BOP 法和 LD 法的优点，将部分氧气或惰性气体从炉底喷入，成为顶底复合吹炼的转炉。采用纯氧顶吹，炉底以钢水搅拌为目的吹入气体促进炉内反应。底吹的气体有 N_2、O_2 和 Ar 等，有时还根据需要在底吹氧气中混入 CaO 粉。

为了适应氧化转炉快速操作和环境保护的要求，现代转炉还配有相应的装料、出钢、出渣、渣处理、烟气净化、污水处理和综合利用等配套设备，同时也采用计算器控制，以提高生产的经济效益。

4. 转炉溅渣护炉

转炉溅渣护炉是 20 世纪 90 年代炼钢领域出现的新工艺。其基本原理及工艺方法是：出钢前调整终渣成分；出钢后采用高压氮气通过氧枪吹渣，使炉渣溅起附着在转炉炉衬上，形成对炉衬的保护，从而减轻炼钢过程中对炉衬的机械冲刷和化学侵蚀，达到保护炉衬、提高转炉寿命的目的。

5. 转炉煤气回收

氧气转炉炼钢在吹炼过程中，其烟气量、烟气成分和烟气温度随冶炼阶段呈周期性变化。同时会产生大量烟尘和 CO 气体，特别在吹炼中期 CO 浓度可达 80%以上。转炉烟气中 CO 含量和烟尘中铁含量很高，因此都有很高的回收利用价值。

目前多使用日本开发的非燃烧式的 OG 法，即在转炉炉口和炉上排气固定烟罩之间设置活动烟罩。转炉一次烟气净化部分在吹氧前期，活动烟罩处于提升位

置使吸入的大量空气在炉口燃烧，利用产生的废气清除管道中的空气，消除爆炸因素。在吹氧一两分钟后降下活动烟罩，根据炉气成分变化情况（由气体连续分析仪完成），当CO含量、O_2含量达到一定值时，自动地将三通切换间从放散位置转向回收位置，由风机将煤气送入煤气柜。停止吹氧前再将三通切换间转向放散位置，提升活动烟罩，炉口又吸入大量空气燃烧，利用产生的废气排除管道中的CO气体。回收的气体中含硫低，可以用作燃料和化学原料，工业上被称之为转炉煤气。氧气顶吹转炉煤气的成分见表8-1。

表8-1 转炉煤气成分

主要成分	CO	H_2	CO_2	O_2	N_2
含量/%	45～65	<2	15～25	0.4～0.8	24～38

6. 职业病危害因素分析

转炉、煤气加压机、鼓风机、液压机等设备在运转中产生高强度的噪声和振动，尤其是在溅渣护炉工艺操作过程中可产生高达100dB(A)以上的噪声。转炉、钢包精炼炉以及钢包运输中均产生高温、辐射热。

转炉炼钢过程中（包括兑铁水、冶炼、装料、出钢）会产生大量棕色烟气，其主要成分是含铁量为60%左右的粉尘，其产生量可达8.5～10kg/t。烟尘粒度一般为0.5～1μm，浓度达80～100g/m³。同时产生高浓度的一氧化碳以及氮氧化物、二氧化碳、二氧化锰等。

在现代的转炉车间里，为了捕尘、冷却和净化金属吹炼时形成的高温含尘烟气，使用专门的锅炉冷却器和大型的烟气净化系统。但是在兑铁水时从转炉出来的大部分高温烟尘无法抽走，直接进到车间，污染了工作场所。

综上所述，转炉炼钢过程中主要职业病危害因素是一氧化碳、氮氧化物、二氧化碳、二氧化锰、含铁粉尘、耐火材料尘、钢渣尘、噪声、振动、高温与热辐射等。

（四）二次精炼

钢水的炉外精炼也称为二次炼钢。它的作用是在平炉、转炉和电炉之外对钢液进行脱气、去硫、去夹杂、调整成分和调整温度等。一般来说炉外精炼可以分为常压下精炼和真空下精炼两大类。常压下的精炼包括合成渣洗、吹氩搅拌、喷吹冶炼、电弧加热等。真空下的精炼包括钢包脱气、滴流真空脱气、提升法真空脱气、循环法真空脱气、电磁搅拌真空脱气、真空下吹氧脱碳和真空下电弧加热等方法。

一般来说，凡转炉配套连铸的车间都装备有吹氩搅拌装置；电炉配套连铸的车间装备有钢包精炼设备；在连铸连轧车间，要求生产无缺陷铸坯的情况下，需装备D-H或R-H一类的真空处理设备；在生产特殊钢连铸的情况下，要装备真空吹氩降碳和喷粉的炉外设备。

1. 炉外精炼技术的种类

目前，钢水炉外精炼的方法已多达数十种，且各具特点。但就其基本方法而言，可归纳为四类。

（1）添加物料法

① 合成渣法。合成渣法是先在钢包内放入适量的合成渣，然后用中间包向此钢包注入钢水，借助钢水注入钢包的动能，使钢与渣形成乳浊液，以大幅度增加钢渣反应面积。在反应过程中，氧和硫进入炉渣，钢中夹杂物上浮入渣，从而使钢液洁净。合成渣法处理的主要钢种有结构钢和轴承钢。

② 喂丝、射粒法。喂丝法一般是把 Ca 或 Al 加工成外有保护层的丝状。射粒法则是把 Ca、Mg、Al 或稀土元素加工成外有保护层的粒状，分别用喂丝机、射粒机快速、定量地加入钢包内的钢液中去。这样做可减少渣层对活泼元素的烧损，提高合金收得率，减少相应成分的波动，还能调整钢的晶粒度。

③ 喷粉法。喷粉法的实质就是用气体作载体，向钢液内喷吹精炼剂、增碳剂、合成渣或合金。喷粉法不仅有较好的脱硫、脱氧、减少夹杂等效果，有些喷粉法，还能方便地对钢液成分进行微调。喷粉法处理的主要钢种有优质钢、特钢。如液压钢管用钢、极低硫钢、原子能用钢等。

（2）搅拌法　钢包吹氩的主要作用是利用钢液内氩气发泡产生的气洗作用和搅拌作用，使钢液中的氢、氮含量降低，并进一步脱除钢中的氧，同时脱除夹杂物和夹渣，有效地均匀钢液的成分和温度。另外，钢水搅拌方法还有电磁搅拌法和注入式搅拌法，能显著降低非金属夹杂。

（3）减压法　真空处理与稀释法的基本原理是降低气相 H_2、N_2、CO 分压力，使其分离。

（4）加热法　对钢包内钢液进行加热，大大增加了炉外精炼工艺的灵活性。可在精炼过程中对处理时间以及钢水最终温度要求实行独立地操作。此外还能在初炼炉与连铸机之间起缓冲协调的作用，有利于稳定连铸生产和提高连浇炉数。尤其是全连铸车间，必须要有加热型炉外精炼炉起缓冲协调作用。

炉外精炼加热途径通常有电加热法和吹氧加热法。

2. 职业病危害因素识别

钢包以及炉外加热炉均产生高温和热辐射。在喷吹、搅拌过程中产生噪声和形成铁氧化物为主的逸散烟尘，并伴随有少量有毒气体产生，如 CO、CO_2、NO_x 等。此外，在使用射粒法或喷粉法添加合金和精炼剂时可能产生合金尘和精炼剂尘等。

二、职业病危害因素综合识别

（一）粉尘类

生产性粉尘（烟尘）是炼钢厂的主要有害物质。其特点是产生量大、分布面广、成分复杂。在废钢的切割、辅助料的准备与运送、混铁与吹炼、精炼等生产

过程中均产生粉尘，尤以混铁炉兑铁水与出铁水以及转炉兑铁水、投放添加剂、吹氧与出钢时产生高浓度粉尘。转炉产生的粉尘粒径较小，一般3～4μm粒径粉尘约占60%以上，主要成分为FeO、Fe_2O_3、Fe_3O_4等，同时也存在Al_2O_3、SiO_2、MgO和石墨等成分。

此外，在转炉、精炼炉、钢包等耐火材料维修过程中可接触高浓度的矽尘。

（二）物理性有害因素

1. 噪声

混铁炉、转炉、精炼炉、煤气加压机、鼓风机、液压机等设备在运转过程中均产生高强度噪声，尤以溅渣护炉、煤气加压机、鼓风机噪声危害较大。

2. 高温和热辐射

转炉炼钢工作场所高温、热辐射源多，并且相对分散，如混铁炉、转炉、精炼炉及被加热的物体（铁水、钢水、钢锭）等。工作场所中各种不同的热源能通过传导、对流、辐射散热，使周围物体和空气温度升高。周围物体被加热后，又可成为二次热辐射源，且由于热辐射面扩大，使气温进一步增高。

该工作场所的气象特点是气温高、热辐射强度大，而相对湿度低，形成干热环境，属典型的高温强辐射热作业环境。

（三）化学毒物类

① 混铁炉生产过程中产生一氧化碳和二氧化碳气体，并可能产生少量硫化氢和氮氧化物等有毒气体；

② 铁水预处理过程产生氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫，并可能产生氟化物、氢氧化钠等；

③ 转炉生产过程中产生大量的一氧化碳和二氧化碳气体，还可能产生二氧化锰、氮氧化物等。

三、防护措施

1. 防暑降温措施

① 在项目设计与工艺布局设计方面，应做到尽量使操作工人远离热源；

② 中央控制室、操作室、工人休息室等应安装冷暖空调，为操作人员创造一个舒适的工作环境；

③ 吊车司机室、行车操作室应进行隔热处理，并配备冷空调降温；

④ 高温热成品和半成品应及时运出车间，并堆放在工房的下风侧；

⑤ 抢修热炉堂时，应向工人操作处送冷气，并穿戴铝膜布隔热冷风衣，配戴防尘口罩；

⑥ 炉前工、火焰清理工应戴滤光防护眼镜，以真空镀膜制成的红外线防护镜效果较好；

⑦ 供给含盐饮料，补充电解质的不足。

2. 防噪声措施

① 在设计时应尽量选用低噪声的设备，从源头控制噪声；

② 中央控制室、操作室、工人休息室应进行隔声处理，如安装双层玻璃密闭窗，设隔声门斗等；

③ 对产生振动和噪声较大的设备，如煤气鼓风机、煤气加压机、除尘风机等应设置减振基础，并配备隔声和消声设备；

④ 实行轮流作业，减少每班接触噪声时间；

⑤ 发放防噪声耳塞，要求进入噪声作业工作场所前必须配戴好耳塞。

3. 防中毒措施

煤气中毒是转炉炼钢职业病防治工作的重点。企业应制定周密的应急救援预案。所有煤气可能聚集的地方应安装一氧化碳报警仪，并应有事故通风和逃生设施。工作场所应设置醒目的中文警示标识，划定事故逃生通道，配备防毒面具。

特别是在煤气系统的检修过程中，应严格操作规程，有安全人员监管。

4. 防尘措施

转炉炼钢防尘工作的重点是混铁炉和转炉烟气的除尘净化效果，在满足生产工艺条件的情况下，应尽可能的加大抽风量，并应优化烟尘罩的设计。

进入粉尘污染的工作场所应配戴防尘口罩，减少粉尘对劳动者身体健康的危害。

第三节　电弧炉炼钢

一、工艺简介

电弧炉炼钢是利用电能通过石墨制的电极与金属原料之间产生电弧（电弧温度可达 4000℃）作为热源来进行冶炼。电弧的作用是将电能转变成热能供给冶炼过程。

电炉炼钢主要是指电弧炉炼钢。是目前国内外生产特殊钢的主要方法。炉衬所用的耐火材料有碱性和酸性两种。酸性电弧炉对炉料限制很严，很少采用。目前绝大多数电弧炉都采用碱性炉衬，故电弧炉炼钢通常是指碱性电弧炉炼钢。

电弧炉炼钢又分为交流电弧炉和直流电弧炉。直流电弧炉是 20 世纪 80 年代才出现的新型炼钢电炉。由于它在提高炉龄、降低电极和耐火材料消耗、减轻噪声污染、消除网路闪烁等方面有独特的优点，所以目前各国正予以积极开发和关注。两种电弧炉炼钢所产生的职业病危害状况和防护措施基本相同。电弧炉炼钢的总体工艺流程见图 8-6。我国电弧炉炼钢以交流电弧炉炼钢为主导地位，下面以交流电弧炉炼钢为例介绍电炉炼钢的职业病危害因素识别内容。

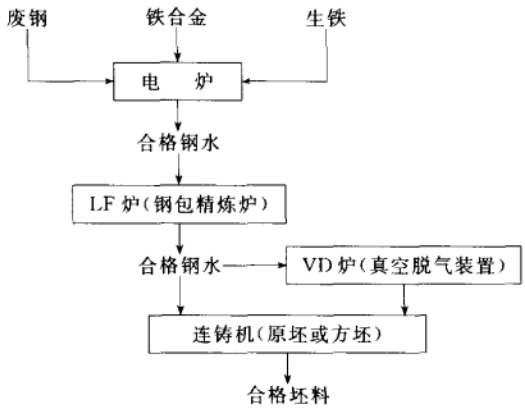


图 8-6 电弧炉炼钢总体工艺流程

典型的电弧炉炼钢包括原料上料系统、炼钢系统、连铸系统及其他辅助设施。

(一) 原料上料系统

散状料和铁合金分别从堆场或仓库取料，送到本系统的地下受料槽，通过散状料和铁合金上料系统到达炉顶料仓。其工艺流程见图 8-7。

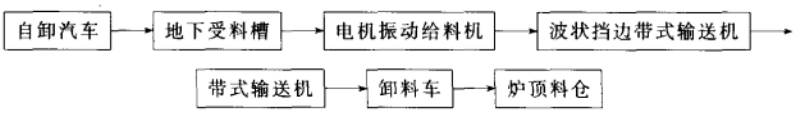


图 8-7 原料上料系统工艺流程

主要生产设备有振动给料机、波状挡边带式输送机、带式输送机、带式输送机卸料小车等。

可能存在的职业病危害因素：散状料和铁合金等原料运输系统产生的噪声和振动，以及产生的各种原料尘。

(二) 炼钢系统

该系统的功能是使废钢和生铁等熔化、喷吹碳粉和氧使钢水升温并使碳含量达到要求，然后转入 LF 钢包精炼炉等完成精炼任务。

1. 电炉操作

炉体是电炉的最主要装置。它用来熔化炉料和进行各种冶金反应。电弧炉的炉体由金属构件和耐火材料砌筑成的炉衬两部分组成。炉体的金属构件又包括炉壳、炉门、出钢槽、炉盖圈和电极密封圈等。电弧炉炉体的基本构造如图 8-8 所示。

电炉的主要任务是熔化废钢、脱磷、钢水升温并使碳含量达到要求。其他精炼任务在电炉出钢钢包、LF 钢包精炼炉或 VD 真空脱气装置内完成。

电炉炉渣流到电炉平台下，经喷水冷却后，用铲车铲松，然后装入翻斗车运往渣场处理或直接外销。

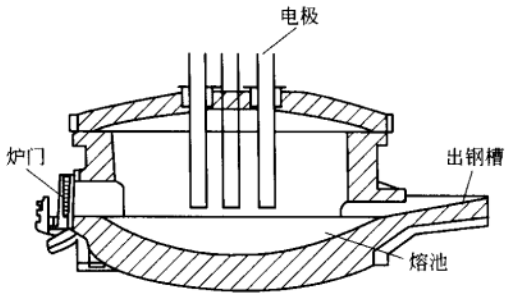


图 8-8 电弧炉炉体的基本构造

当钢水中磷、碳及温度达到出钢要求时，炉子向出钢方向倾动，打开出钢口塞，钢水自动流入钢水罐。当钢水罐中的钢水达到 1/3 左右时，将合金加入到钢水罐内，并对钢水进行吹 Ar 搅拌。当钢水罐中钢水达到吨位要求时，电炉自动回倾，进行留钢留渣操作。出钢结束后，钢包运输车即由电炉炉下出钢工位开至精炼跨，用铸造吊车吊至 LF 炉精炼等下一工位。

2. LF 钢包炉

用 LF 钢包精炼炉对钢水进行二次精炼处理，以保证钢水质量和温度要求。同时，LF 钢包精炼炉也可作为炼钢与连铸两大工序之间的缓冲区，为连铸提供必要的条件。

① 电炉出钢后，钢包运输车将钢包运至精炼跨内，并同时进行钢包底吹氩搅拌然后用铸造吊车吊至 LF 钢包车上，当 LF 钢包车开至处理工位时，给控制系统发出信号，降下钢包盖，降下电极通电升温，造渣料及铁合金通过自动加料系统从 LF 钢包炉盖上的加料斗加入钢包内，对钢水进行脱氧、脱硫和合金微调。

② 根据电炉出钢钢水温度和 VD 真空脱气装置或连铸机对钢水温度的要求，按温度控制模型对钢水进行精确升温，可使钢水温度控制在目标值的±5℃内。

③ LF 钢包炉精炼过程中，全程采用钢包底吹氩搅拌，以保证钢水成分及温度均匀，去除非金属夹杂。当底吹氩系统发生故障时，可改用事故吹氩搅拌装置。事故吹氩枪从炉盖上的事故吹氩枪孔插入钢水中吹氩搅拌。

④ 测温取样通过 LF 钢包炉炉盖上的测温取样孔进行，用自动测温取样装置或手工测量钢水温度和取样分析钢水化学成分，由炼钢过程计算机根据数学模型决定升温曲线和加料参数。

⑤ 钢水化学成分和温度合格后，钢包车开出至起吊工位，对需要喂丝的钢种进行喂丝作业，用喂丝机通过导管，将 Al 丝或 Si-Ca 丝喂入钢包中。

3. VD 真空脱气装置操作工艺

① LF 钢包炉处理合格后的钢水由钢包车运至起吊工位后，关闭氩气阀门，

拆开氩气快速接头。对需要进行 VD 真空脱气处理的钢水，则用铸造起重机将钢包从 LF 钢包炉钢包车上吊至 VD 处理工位，接上氩气快速接头，打开氩气阀门，进行底吹氩搅拌。

② 当钢包放置于真空罐内后，真空罐盖车即从待机工位开到处理工位，降下真空罐盖，打开真空滑阀，开始真空，对钢包内钢水进行脱氧、脱硫、脱氮及深脱硫处理。纯处理时间约 20 分钟，平均处理周期≤38 分钟。

③ 经 VD 真空脱气处理后，钢水中的气体含量可达到工艺要求。

④ 在脱气处理末期，可根据 LF 钢包炉最后一个试样的分析结果，向钢包内加入少量合金，精确微调成分。经一段短时间的均匀化后，用氮气破真空，提升真空罐盖。真空罐盖率由处理工位开至待机工位，同时对钢水进行喂线处理和测温取样，然后用铸造起重机将钢包从处理工位吊至连铸机大包回转台进行浇铸。

主要生产设备有电炉（电弧炉）、LF 钢包精炼炉、VD 真空脱气装置、喷吹碳粉装置、废钢料篮、废钢料篮运输车、钢包、钢包运输车、立式钢包烘烤器、卧式钢包烘烤器、喷补机、拆包机、起重机等设施。

可能存在的职业病危害因素：电炉冶炼、装料、出钢过程中可能产生含有二氧化锰、氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳、氟化物等有毒气体和除尘系统捕集的烟气；电炉、LF 炉精炼炉产生的炉渣、钢包产生的铸余渣等钢渣尘；电炉、钢包精炼炉、VD 炉在冶炼钢水过程中存在高温、热辐射、电磁辐射、紫外辐射等危害；炼钢辅助设备操作过程中存在噪声、有毒气体、高温、热辐射等；钢包修砌工在拆包、修炉中还接触耐火材料尘、噪声等；废钢配料及废钢氧割中存在氧化铁粉末尘、噪声、一氧化碳、氮氧化物等。

该系统电炉、精炼炉等工业窑炉采用电，燃料采用低硫的天然气等清洁能源，炼钢过程中加入的石灰有固硫作用，可减少 SO_2 的排放。所以 SO_2 不是主要职业病危害因素。

综上所述，电炉炼钢系统可能存在的主要职业病危害因素是含二氧化锰、氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳、氟化物、石灰尘、耐火材料尘、钢渣尘、高温、热辐射、噪声、电磁辐射、紫外辐射等。

（三）连铸系统

连铸系统的工艺流程见图 8-9。

主要生产设备有钢水罐回转台、中间罐及盖、结晶器及水套、结晶器电磁搅拌装置、拉矫机、火焰切割机、出坯辊道、铸坯打号机等连铸机及配套设施。

可能存在的职业病危害因素：钢水连铸拉矫及转运过程中的高温、热辐射、噪声；连铸机多使用^{137}铯放射源（^{137}铯半衰期 30 年）用于钢水液面测控，存在 γ 射线；火焰切割机处存在的噪声、热辐射、CO、NO_x、氧化铁粉末尘等；连铸中间罐产生铸余渣尘；在连铸中间罐修砌时产生耐火材料尘、钢渣尘。

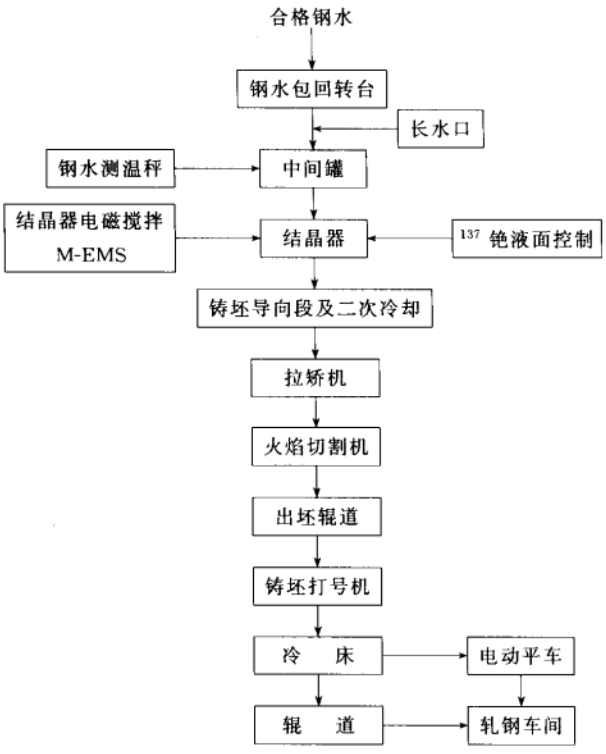


图 8-9　连铸系统工艺流程

（四）其他辅助设施

其他辅助设施有水处理、检验化验、供配电、制氧站、热力设施的空压站和锅炉房等系统。

1. 水处理系统

按机组要求供给生产用水及设备冷却水，保证生产正常运行。

循环水系统、内部管网等给排水设施以及配套的外围给排水设施包括净环水系统、软水循环系统、炼钢浊环水系统、连铸浊环水系统以及制氧净环水系统。

2. 检验化验系统

炼钢快速化验室工艺设备的配备：直读光谱仪、X 射线荧光光谱仪、红外碳硫分析仪（CS 仪）以及上述仪器相应的制样设备，如切割机、自动磨样机、压片机、钻床、除尘式砂轮机等。

现代炼钢快速化验室流程为：人工送样—快速制样—仪器分析—计算机数据传输分析结果。

硫印检验室主要配置：卧式带锯、铣床、平面磨床、电动葫芦、除尘砂轮机和电动上光干燥机等。

3. 供配电系统

根据耗电量大小，配备专用配电系统。

4. 热力设施

热力设施主要包括空压站、锅炉房等。由空压站、锅炉房提供压缩空气、蒸汽。压缩空气主要用于电炉、LF 炉、连铸机等工艺设备的动力、冷却、吹扫以及电炉布袋除尘器的反吹风及仪表用气。蒸汽主要用于 VD 真空脱气装置蒸汽喷射泵用气。

5. 制氧站

制氧机组工艺流程见图 8-10。

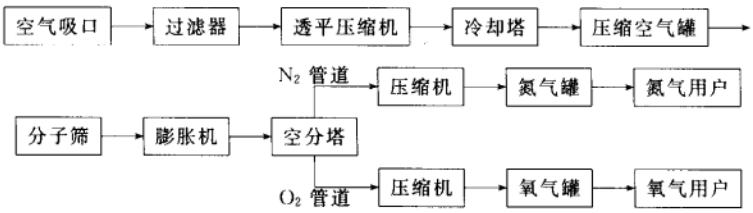


图 8-10 制氧机组工艺流程

可能存在的职业病危害因素：水处理系统依工艺要求需加阻垢缓蚀剂、阻垢分散剂（水质稳定剂）等，若应用含氯气、次氯酸钠成分的灭藻剂，则存在氯气；炼钢快速化验室的检验人员在制样分析过程中可能接触 X 射线、铁末尘、砂轮粉尘、噪声等；硫印检验室的检验人员在检验过程中可能接触铁末尘、砂轮磨尘、噪声等；供配电系统存在工频电场；热力设施系统存在高温、噪声及 CO、CO_2、SO_2、NO_x 等；制氧站存在噪声、振动和高温等。

二、职业病危害因素综合识别

（一）粉尘类

电炉炼钢厂的粉尘类职业病危害因素主要来源于：

① 散状料和铁合金等原料运输系统存在石灰、萤石、白云石、铁合金等散装原料混合粉尘，废钢配料及废钢氧割中存在氧化铁粉末尘；

② 电炉冶炼、装料、出钢过程中产生的含尘烟气及除尘系统捕集的尘粒，有可能导致作业岗位的污染；电炉、LF 炉精炼炉产生的炉渣、钢包产生的铸余渣等钢渣尘；火焰切割机处存在氧化铁粉末尘等危害；连铸中间罐产生铸余渣；

③ 钢包修砌工在拆包、修炉中还接触耐火材料尘，连铸中间罐修砌时产生耐火材料尘、钢渣尘；

④ 炼钢快速化验室及硫印检验室的检验人员在制样检验过程中可能接触铁末尘、砂轮粉尘。

（二）物理性有害因素

1. 噪声

(1) 机械动力噪声 各种机械在运转过程中由振动、摩擦、碰撞所产生的噪声，以低中频为主。炼钢厂主要产生噪声的机械设备如下：

① 原料上料系统，如地下受料槽、电机振动给料机、波状挡边带式输送机、带式输送机、卸料车；

② 电炉炼钢系统，如废钢配料、高位料仓散状料加料系统、碳氧喷枪、电炉（初炼炉）、LF 钢包精炼炉、VD 炉真空脱气装置、钢包运输车、喷补机、拆包机、起重机、除尘系统；

③ 钢坯连铸系统，如拉矫机、火焰切割机、出坯辊道、铸坯打号机、冷床；

④ 辅助设施系统，如空压机、水泵、升压泵等。

(2) 气体动力噪声 由各类风机、风道、蒸汽管道中的气体或蒸汽的流动、节流、扩容、漏气、排气等所产生的气体动力噪声，其中尤以排气产生高强噪声，对周围环境影响最大。

(3) 其他噪声 锅炉燃烧噪声，即燃料燃烧、气化、烟气流动所产生的噪声。电磁噪声，即电动机、变压器、电弧炉等电气设备的磁场交变运动而产生的噪声等。

2. 高温与热辐射

在电炉冶炼钢水过程中和钢水连铸拉矫及转运过程中存在高温、热辐射。通过热源的红外辐射、传导、对流使车间气温升高，形成高温、热辐射的气象条件。连铸火焰切割机作业处存在强辐射热。

3. 其他物理因素

连铸机使用^{137}铯放射源用于钢水液面测控，结晶器电磁搅拌存在 γ 射线（^{137}铯）；炉前快速分析室中的 X 射线荧光光谱仪使用时存在 X 射线危害。

变电所、配电室高压开关室设备可能存在工频电场。

(三) 化学毒物类

① 电炉冶炼、装料、出钢过程中可能产生含有二氧化锰、氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳、氟化物等有毒气体；

② 连铸火焰切割机处存在一氧化碳、氮氧化物等危害；

③ 高压开关等断路器中可能存在六氟化硫。在高压开关和其他电器设备过滤装置失效或含水量过高等情况下，易产生剧毒的一氟化硫、四氟化硫、十氟化二硫等气体。

(四) 劳动组织和劳动过程中职业病危害因素

电炉炼钢生产线多实行倒班连续工作制，频繁间断性夜班作业可能导致部分作业工人生活节奏的紊乱和对工作的不适应。操作室座凳与工作台高差如果达不到工效学要求，可能导致部分工人长期处于强迫工作体位。电脑与仪表监视作业可能导致精神和视力紧张状况。此外，炼钢厂多采用连跨式大工房，如果产生尘毒污染的设备密闭与隔断不严，可能产生工房内的交叉污染。热源区工房天窗设

计不合理则可影响生产环境中热量的自然散发。

（五）职业病危害因素归类

电炉炼钢产生的职业病危害因素种类归纳如下：

① 粉尘类，主要有原料粉尘、氧化铁粉末尘、钢渣尘、耐火材料尘、砂轮磨尘等；

② 化学毒物类，主要有氮氧化物、一氧化碳、二氧化锰、二氧化碳、二氧化硫、氟化物、六氟化硫及一氟化硫、四氟化硫、十氟化二硫及水处理用的缓蚀剂和阻垢剂等；

③ 物理因素类，主要有噪声、振动、工频电场、高温、辐射热、紫外辐射等；

④ 放射性危害因素类，主要有γ射线（^{137}铯）、X射线等；

⑤ 劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素，如视觉疲劳、职业性精神（心理）紧张、生活节律紊乱等。

值得注意的是行车司机室常受到烟尘、刺激性气体、噪声及高温的职业病危害，宜采取密闭空调降温措施和个人防护措施。

三、主要防护措施及效果识别

（一）防尘措施

1. 电炉除尘系统

电炉在生产过程中，产生大量含尘高温烟气，严重污染车间及周边环境。为了改善环境条件，将电炉生产过程产生的一次烟气、二次烟气进行有效地捕集，宜设置电炉除尘系统。钢铁厂多采用电炉四孔排烟加屋面罩的捕集方式，即用电炉四孔排烟弯管捕集电炉一次烟气；用屋面罩捕集电炉二次烟气。

2. LF炉、散状材料除尘系统

LF炉在冶炼期间产生含尘高温烟气，电炉、LF炉所需散状材料如铁合金、石灰材料等在转运加料过程中产生大量含尘空气，严重污染环境。为改善操作及环境条件，应合设一套除尘系统。LF炉产生的含尘高温烟气由炉盖排烟罩捕集。为了排除散状材料上料时料仓及各处转运点散发的粉尘，应考虑在卸料点、料仓、转运点设置密闭罩抽风收尘。

LF炉抽出的烟气与来自散状材料的含尘气体混合后（混合后烟气温度为85℃左右）进入长袋脉冲除尘器，净化后的烟气经除尘引风机送入烟囱排入大气。烟气排放含尘浓度≤80mg/m^3。除尘器灰斗内收集的粉尘经卸灰阀、埋刮板输送机输送到与电炉除尘系统共用的储灰仓，定期用汽车运走。

（二）防噪措施

在设备选型、采购过程中，应选择低噪达标、符合噪声卫生设计要求的生产设备。

对高噪声的设备和部位应采取隔声措施，以防止对相邻作业岗位污染。

对各种大型除尘系统的除尘风机、引风机设专用风机房，并做隔声降噪处

理。如风机设减振垫，出口设有消声器，使风机房外噪声≤85dB(A)。

水处理循环系统的水泵均设有专用泵房，水泵出口设橡胶软接头，操作室设隔声门窗，使室内噪声≤70dB(A)。

对电炉、LF炉的冶炼噪声，采取对主操作室设隔声门窗，使室内噪声≤70dB(A)。

铸机生产线上的噪声，由于噪声源多，难以治理，因此可采用滚动轴承减少噪声。主操作室设隔声门窗，使室内噪声≤70dB(A)。同时提高自控水平，减少工人在噪声环境中的工作时间。对必须在噪声环境中工作的操作人员，可配戴防噪耳塞。

空压站应优先选择带隔声罩的螺杆式空压机，站内设隔声值班操作室，减轻噪声对操作工人的影响。

从现场检测资料来看，电炉前、火切机、连铸机等岗位噪声强度较大，并多有超标现象。因此对上述设备或工作场所噪声的治理问题应给予高度重视。并对噪声值高于85dB(A)的工作场所均应要求作业人员配戴防噪耳塞或耳罩。如果噪声作业人员能正确配戴耳塞，可有效地减少噪声对工人听力的损害。

(三) 高温防暑降温措施

在高温操作点应设置局部通风。产生余热的公用设施设置通风换气设施。工艺操作及设备对室温有要求的生产用房设置分散式空调，如在电炉操作室、调度室、LF/LD炉操作室、上料系统操作室、连铸操作室、除尘操作室、电气楼值班室控制室、水处理系统电气值班室等对室内温度有要求的房间设置分散式空调。对蒸汽管道采用憎水珍珠岩保温材料管，该材料防雨、防潮，保温外层不需加镀锌板，可起保温、隔热作用。车间采用机械通风装置；参照《工业企业卫生设计标准》(GBZ 1—2002) 设置天窗；合理布置热源的位置等。

采取以上高温防暑降温措施后，有利于降低车间温度。另外，在生产任务紧张时，钢包尚未完全冷却，或需维修、筑炉时，应加强局部操作点机械通风的力度，做好个体防护工作，缩短现场工作时间。

(四) 电离辐射和电磁辐射防护措施

结晶器电磁搅拌存在γ射线 (^{137}铯)。若钢水液面计采用侧推内装式结构，^{137}铯放射源与铅屏蔽块组合为整体的源盒，从结晶器侧面推入结晶器水箱内的源盒装置中。放射源面对结晶器铜管对面的接受器进行照射，54mm厚铅屏蔽块处于操作人员与放射源之间，可有效降低^{137}铯的辐射水平。铅盒上设置操作杆，加长了拆装放射源时操作人员与放射源之间的距离。源盒操作杆上安装弹簧卡，使源盒在结晶器上快速定位和快速拆装，缩短了源盒的操作时间。源盒从结晶器上取出后装入放射源容器中，对放射源进行全方位屏蔽。电弧炉炉前存在较高照度的紫外辐射，炉前作业工人应配戴符合卫生防护要求的防护面罩、防护眼镜及适宜的防护服和手套，并安排进行炉前轮换作业，缩短接触时间。

（五）化学毒物职业病危害防护措施

对炼钢电炉产生的废气采用第四孔排烟和屋顶烟罩相结合，对电炉熔炼期一次烟气、二次烟气进入长袋脉冲除尘器处理。LF 炉烟气由炉盖排烟罩捕集，进入长袋脉冲除尘器处理。铸机二次冷却产生的蒸汽经抽气、排蒸汽风机直接外排。

采用机械化和自动化操作，可有效减少职业病危害因素的直接接触时间和强度（浓度）。

若采用水煤气供给烘烤、丙烷气供给连铸切割、天然气供给电炉炉壁烧嘴用气，当燃料管道设备出现泄漏和其他故障时，可能对劳动者带来危害。应加强设备维护和检测，保障燃料管道密闭性能；配备相应的检测设备并开展经常性监测工作；设立煤气、甲烷、丙烷气等泄漏报警装置，并制定一系列应急救援措施。在电炉炼钢、连铸火焰切割、钢包烘烤等处设置机械排风系统，并保证换气次数达到 12 次/小时。

水处理系统依工艺要求需加阻垢缓蚀剂、阻垢分散剂（水质稳定剂）等。水操作工可能接触到缓蚀剂和阻垢剂等化学药品。若使用阻垢缓蚀剂、阻垢分散剂、杀菌灭藻剂等水处理剂，每种化学药品应设固定加药间。通过仪表自动控制、密闭加药，并做好室内通风工作，保证加药间的换气次数大于 12 次/小时。使用次氯酸钠、氯气作为杀菌灭藻剂，则可能还存在次氯酸钠、氯气等危害。若使用氯气，则应对氯气可能产生的职业病危害进行申报，并应制定液氯罐泄漏事故的应急救援预案。

炼钢车间氟化物的影响是值得注意的问题。其污染来自电炉冶炼加入萤石（CaF_2）造渣工序。萤石消耗量增加，气态氟化物逸出量增大，从而导致氟污染。在电炉烟气除尘等卫生防护设施正常运行的情况下，排放的氟化物对周围作业工人不会造成大的影响。

第四节　棒材轧制

一、工艺简介

棒材轧制主要原材料为钢坯。主要产品为碳素结构钢、优质碳素钢、合金结构钢、高压锅炉管管坯、中低压锅炉管管坯、易切钢，以及高压、中低压锅炉管用钢。棒材生产工艺流程如图 8-11。

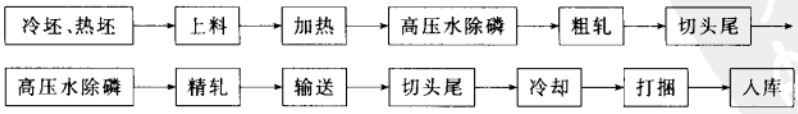


图 8-11　棒材生产工艺流程

棒材轧制生产线主要设备有加热炉、高压水除磷装置、轧机、精轧机组、热锯机、冷床、横移机构、起重运输设备及辅助设施等。

二、职业病危害因素识别

（一）粉尘类

棒材轧制系统生产性粉尘主要为铁末粉尘，主要来源于加热炉、粗轧、连轧机、精整热锯、打捆、修磨等。

（二）物理性有害因素

1. 噪声

噪声主要来源于加热炉助燃风机、水泵、轧机、电动机、热锯、钢坯上料及棒材收集过程中由于振动、摩擦、碰撞所产生的噪声；各类风机、风管、排气阀等产生的气体动力性噪声。

2. 高温与热辐射

在加热炉、轧制线、精整热锯、冷床、打捆等作业岗位均存在不同强度的高温、热辐射。

（三）化学毒物类

化学毒物依生产工艺和所使用的化学物品的不同而不同。如水处理过程可能使用氯气、次氯酸钠及酸碱等；污水处理池清理时可能存在硫化氢气体危害；油库巡检工可能接触硫化氢气体；轧机装配工主要接触机油、润滑油、防锈油、洗油（煤油）等溶剂；加热炉、轧制线大、小维修、仪表电器维修等可能接触汽油、酒精等多种有机溶剂；电焊可能接触锰和氮氧化物等；加热窑炉维修中接触耐火保温材料（矽尘）；设备油漆维修，可能接触含苯系物的油漆溶剂等；加热炉及乙炔氧割产生一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等有害气体。

污水循环系统池底淤泥有形成硫化氢的条件，特别是经过炎热夏天，沉积于淤泥中的含硫物质在某些微生物作用下，可生成硫化氢贮留于淤泥和池底空气中。而一旦搅动池底淤泥，硫化氢即可大量逸出，当达到一定浓度又缺乏有效防护时，则可能对清淤人员造成硫化氢中毒事故等严重后果，应引起重视和警惕。

（四）劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素

为满足连续生产运行的需要，劳动组织实行倒班制。倒班制和连续长时间工作易引起工人生活节律紊乱和职业性精神（心理）紧张等。

此外，操作室工作人员对生产过程的监控主要通过显示屏来完成，长时间视屏作业易造成视觉疲劳。

（五）职业病危害因素归类

通过对生产工艺过程及其产生的主要职业病危害因素的分析，工作场所主要存在的职业病危害因素归类见表 8-2。

表 8-2 主要职业病危害因素及存在环节

职业病危害因素种类		主要存在环节
粉尘	氧化铁皮尘	加热炉、粗轧、连轧、切头尾、热锯、打捆修磨、行车等
毒物	SO_2、CO、CO_2、NO_x	加热炉、精轧、行车等
	H_2S	油库、废水处理等
物理因素	噪声与振动	水泵、加热炉、粗轧、精轧、切头尾、连轧机、热锯、打捆、修磨、风机、空压机、水泵房、运输、检验等
	高温、热辐射	加热炉、粗轧、切头尾、连轧机、热锯、冷床、打捆、修磨等
	工频电场	主电室、高低压配电室、变压器室等

三、主要防护措施及效果识别

目前我国新建的棒材轧制技术先进，设备国产化、自动化程度高，职业卫生防护设施较齐全，化学毒物、高温、振动、电磁辐射等职业病危害因素多数得到了有效控制，但噪声常有超标现象，在项目职业病危害因素识别时应予以重点关注。

1. 防毒措施

① 工艺改革，积极推行机械化、自动化生产，减少劳动者接触有毒物质机会。

② 各集控室、操作室应安装符合设计要求的通风、排毒设施。加热炉操作室宜采用正压送风系统，在防止有害气体向工作岗位扩散的同时，可发挥通风降温作用。

③ 在加热炉周围可能导致煤气泄漏的工作场所应安装煤气报警仪，并设立醒目的中文警示标识；进入该区域的巡检人员应配备便携式煤气自动检测报警仪。

④ 污水循环系统循水池底淤泥有形成硫化氢的条件，清淤时应有防止硫化氢中毒的措施。

由于目前先进的步进式加热炉采用负压燃烧技术，有效地控制了燃烧废气的外泄。从现场实测结果来看，在设备正常运转工况下，有毒气体的职业病危害可得到有效控制。

值得注意的是，工人在操作加热炉煤气冷凝水排放水时，可导致部分煤气外泄。因此操作者必须熟练掌握操作规程，并制定应急救援预案。

2. 防噪声措施

① 在设计时，尽量选用低噪声的设备，从源头控制噪声。

② 轧制生产线各控制室应做隔声处理，安装双层玻璃及铝合金门窗加强隔声。助燃风机、空压机、高压泵、循环水泵等产生高强度噪声的设备，应尽量集中布置在单独的工房内，并做好隔声处理。

③ 劳动者在噪声强度超过 85dB(A) 的地点巡检、作业时，应配戴符合卫生学要求的防噪声耳塞。

3. 高温防暑降温措施

① 在项目设计与工艺布局设计方面，应合理布置热源的位置，工房应设置

天窗，尽量使操作工人远离热源。

② 对于高于50℃设备和管道需采用保温、隔热措施。

③ 轧制生产线应设封闭的操作监控室，室内应安装冷暖空调。

④ 炉前工应戴滤光防护眼镜，以真空镀膜制成的红外线防护镜效果较好。

⑤ 加强加热炉、轧机、精整等高温作业场所的局部通风。

⑥ 加强工人个体防护，定期发放高温工作服、鞋、手套，并配备防热辐射帽。

⑦ 采取保健措施，供给清凉饮料，以补充劳动者体内电解质的不足。

第五节　型材轧制

一、工艺简介

型材生产工艺流程主要分为进钢加热、热轧成型、冷剪矫直、打包检验入库等几个部分。型材生产工艺流程见图8-12，污水循环净化利用工艺流程见图8-13。

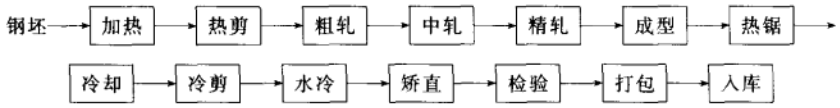


图8-12　型材生产工艺流程

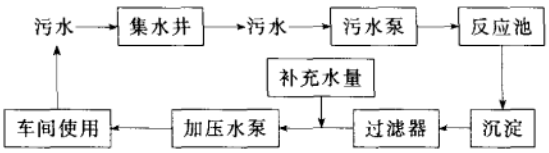


图8-13　型材污水循环净化利用工艺流程

1. 加热炉系统

钢坯首先通过检验后推入加热炉，钢坯在炉内逐渐加热，再由出钢装置将钢坯送上热轧线。

2. 热轧成型线

钢坯经加热送入热轧线，主要经过热剪、粗轧、中轧、精轧、成型、热锯、冷却等工序完成热轧过程。在生产过程中因产品的不同型号需经过的工序不完全一致。如较大型号的型钢生产就不需热剪和热锯工序。此外每一种型号的产品都需要专用的轧辊，因此不同产品的生产所导致的生产岗位噪声和粉尘等有害因素的危害程度也有差异。

3. 冷剪矫直生产线

热轧成型后的型钢通过冷床初步自然冷却后被送入冷剪矫直生产线，首先经冷剪机定长裁剪，然后喷淋水冷，再通过矫直机的组合轧辊矫直，直接送往检验

包装线。

4. 打包检验入库

工件经矫直机矫直过后，还需经过手工外观检验、打包、过磅、入库工序。该工序多为手工操作，劳动强度大，产生的噪声强度大、粉尘浓度高。

5. 水处理循环系统

车间设备冷却及其他用水径流入集水井，通过水泵提升至反应池，经絮凝沉淀、过滤、冷却后再次循环使用。因此车间污水可实现“零排放”。

二、职业病危害因素综合识别

1. 噪声

噪声是型材厂的主要职业危害因素之一。主要产生高强度噪声的设备有加热炉引风机、助燃机、粗轧机组、中轧机组、精轧机组、热剪机、热锯机、冷剪机组、矫直机、包装检验、水泵、空压机以及车间岗位放置的大功率移动式轴流风扇等。据测定，以上部位噪声多在85dB(A) 以上，矫直机的噪声强度可高达115dB(A)。

2. 粉尘

粉尘主要是高温型材遇水冷却时形成的以氧化亚铁为主的氧化铁皮粉尘。可能接触到粉尘的作业岗位有粗轧、中轧、精轧、热剪、热锯、矫直、包装检验等。调查表明，粉尘浓度多在1～5mg/m^3 之间。此外，维修工段电焊机存在电焊尘，准备车间机加岗位产生铁末尘。

3. 毒物

型材轧制工艺中使用有毒化学品较少，主要是加热炉使用煤气作燃料，燃料废气外漏时可在其生产岗位产生二氧化碳以及少量一氧化碳、二氧化硫和氮氧化物污染。一旦发生煤气泄漏，可能发生一氧化碳中毒事故。

电焊、气焊、气割均可产生氮氧化物等气体。水处理池池底淤泥有形成硫化氢的条件，硫化氢气体可能对清淤人员造成损害，应引起重视和警惕。

4. 高温与热辐射

加热炉和轧钢线普遍存在强热辐射，在局部通风不良等情况下，可形成高温、强辐射热作业环境。

三、主要防护措施及效果识别

型材轧制生产线主要职业病危害防护措施与棒材轧制相似，参见本章第四节相关内容。

第六节　线材轧制

一、工艺简介

线材生产工艺可分为加热、轧制、控制冷却、线材收集和精整，生产工艺流

程如图 8-14。

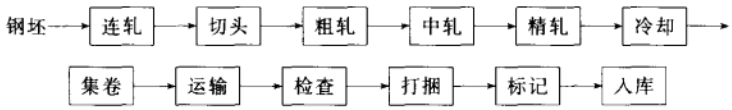


图 8-14 线材生产工艺流程

1. 加热系统

加热炉多以混合煤气为燃料。连铸坯料从加热炉入口推入炉内，装入炉内的钢坯靠后面不断装入的钢坯逐渐向前推进，并在前进过程中加热。

2. 扎制

加热好的钢坯，由机前辊道将坯料喂入轧线。根据生产产品的规格不同，选择相应的轧辊组件和轧制路线。

3. 控制冷却

组轧出的成品线材，进入冷却作业线，经冷却后的线材送入吐丝机，高速前进的线材经吐丝机后形成螺旋形线圈，均匀地铺放在散卷风冷输辊道上。螺旋状的线材通过风冷运输辊道输送至“尾”部，平稳落入集卷筒。

4. 线材收集和精整

线材收集完毕后，运输车移出松散卧卷，并挂到运输机上沿轨道运行。盘卷在运行中继续冷却，在检查站的位置由工人进行检查、取样、切头尾、打捆称量、标记、入库等工作。

二、职业病危害因素综合识别

1. 噪声

精轧系统在生产中使用的轧机、剪切设备、各种风机、电机、油泵及水处理系统各种水泵等运行时及线材收集整理中均产生不同种类的噪声。工作场所噪声强度一般在 70～100dB(A) 之间。

2. 高温与热辐射

加热炉、预精轧、精轧、吐丝、风冷运输辊道、集卷等处均存在高温、强热辐射。钢坯经加热炉加热后虽经轧制、冷却，但至轧制完成入库后仍然温度较高，散发大量热量。因此在工作场所通风散热不良时可形成高温、强辐射热作业环境。

3. 粉尘

粉尘主要来自线材轧制、冷却及输送过程中产生的氧化铁皮尘及轴流风扇吹起的地面扬尘。

4. 有害气体

精轧生产工艺中产生的有害气体很少，主要是加热炉煤气燃烧产生的二氧化碳及少量氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳等。另外发生煤气泄漏时，可能发生一

氧化碳浓度超标。

5. 劳动过程和生产环境中有害因素

频繁间断性夜班作业可能导致部分作业工人生活节奏的紊乱和对工作的不适应。

三、主要防护措施及效果识别

线材轧制生产线主要职业病危害防护措施与棒材轧制相似，可参见本章第四节相关内容。

第七节 无缝管材轧制

一、工艺简介

无缝管材生产分为加热、穿孔、热轧、定径、冷却、精整、检验等几个部分。生产工艺流程如图 8-15。

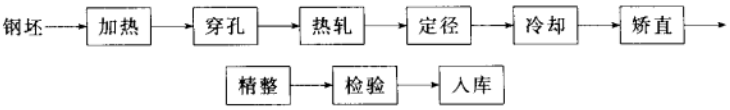


图 8-15 无缝管材生产工艺流程

1. 管坯上架加热

将管坯送往切断机切断，称重合格的管坯运往加热炉，输送过程中，管坯旋转前进清除表面氧化铁皮，经输送辊道送入加热炉。

2. 穿孔热轧成型

加热到规定温度的管坯出炉后经穿孔机穿孔。穿孔后的毛管送到铁皮吹刷站，向毛管内部喷吹氮气和硼砂。然后送往芯棒预穿线或连轧管机前台，芯棒穿入毛管，芯棒限动系统将芯棒送至预定位置时，夹送辊启动，毛管和芯棒一起进入连轧管机轧制。毛管在进入连轧管机前用高压水对毛管表面进行除鳞。从连轧机轧出的荒管直接进入三机架脱管机上脱管。轧制后芯棒返回前台，由横移装置在下一支芯棒上料的同时将返回的芯棒送到返回辊道，经冷却、润滑后循环使用。

3. 定径冷却

脱管后的荒管，采用三种不同的工艺路线。

① 以轧制状态交货的厚壁钢管，由于轧后荒管的温度较高，不需要进行再加热。脱管后经过横移台架后直接通过再加热炉出炉辊道，经高压水除鳞后送往定径机轧制到成品钢管要求的尺寸，再送往冷床上进行冷却。

② 以轧制状态交货的轧后温度较低的薄壁钢管，需要在再加热炉内进行再

加热。脱管后用热锯切去需要切除的薄壁钢管“鱼尾”，送往步进式再加热炉加热后出炉，经高压水除鳞后送往定径机轧制到成品钢管要求的尺寸，再送往冷床上进行冷却。

③ 对于需在线常化的钢管进行再加热，再加热前荒管需要冷却，然后送入再加热炉加热，保温后出炉，经高压水除鳞后送往定径机轧制到成品钢管要求的尺寸，再送往冷床上进行冷却。

4. 精整检验

钢管经冷却后送往切断机切头和切定尺。然后送往矫直机进行矫直、吸灰、无损探伤、人工检查、表面防锈处理等工序。随后经喷印标记后进行收集，存入成品仓库。对一些专用管根据不同的要求分别采取不同的工序，最后收集入库。

若采用超声波测厚和无损探伤先进设备，不存在电离辐射危害。若采用传统的放射性无损探伤技术，则存在电离辐射危害。

各主要工序可能存在的职业病危害因素汇总如表 8-3。

表 8-3 主要工序可能存在的职业病危害因素

序号	工序	可能存在的职业病危害因素
1	管坯上架加热	高温、热辐射、噪声、振动、氧化铁皮粉尘、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、硫化氢、二氧化硫等
2	穿孔热轧成型	高温、热辐射、噪声、振动、石墨粉尘、硼砂烟尘、氧化铁皮尘等
3	定径冷却	高温、噪声、振动、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、二氧化硫
4	精整检验	溶剂汽油、苯系物、乙酸乙酯、丙酮、丙烯酸、氧化锌、锌烟、噪声、振动、氧化铁皮尘
5	辅助系统	水处理剂、硫化氢、噪声、振动等

二、职业病危害因素综合识别

(一) 化学性危害因素

生产过程中可能存在的生产性毒物主要是煤气及其燃烧废气、油漆中的有机溶剂蒸气、硼砂及硫化氢气体等。

1. NO_x、CO、SO_2、H_2S、CO_2

加热炉采用煤气作燃料，煤气的主要成分是 CO 和 CO_2，并含有一定量的 NO_x、SO_2、H_2S 等，煤气泄漏可导致车间空气污染。煤气在高温燃烧过程中产生大量的 CO_2 和少量的 SO_2、NO_x 等，均可对车间环境带来污染。

在污水底泥清理过程中，因通风不良可导致硫化氢气体的聚集。

2. 油漆中的有毒气体

成品钢管需表面防锈处理、喷印着色环和商标。在刷漆、油漆喷印、喷涂和烘干过程中，尤其是手工喷印时，油漆中的有害成分会以蒸气形态逸散于车间空气中，如果通风排毒装置达不到效果，就会对其作业岗位带来职业病危害。毒物的种类依使用的油漆（溶剂）而异，主要是丙酮、丁醇、乙酸乙酯、溶剂汽油、

苯系物等。如果要进行表面热镀锌处理，则可能存在锌烟和氧化锌尘等。

3. 硼砂

毛管喷吹氮气及硼砂时会有部分硼砂以粉尘形态吹至车间空气中。

（二）噪声

生产过程中多处使用大功率电机和重型机械加工设备，将产生高强度噪声。如加热炉的引风机和助燃风机、穿孔机组、高压水除鳞设备、连轧管机组、脱管机、定径机、矫直机、空压机等。噪声是该工艺重要的职业病危害因素之一，应予以高度重视。

（三）粉尘

粉尘主要来源是钢管热轧形成的氧化铁皮粉尘、抛丸除锈形成的氧化铁皮尘，缺陷钢管需要手砂轮修磨，可产生砂轮磨尘。砂轮磨尘中的主要成分为铁及其氧化物、人工磨料碳化硅或氧化铝和少量游离二氧化硅等。

（四）高温与热辐射

生产工艺过程中存在的生产性热源有管坯加热炉、暴露于车间的在线高温钢坯（钢管）等。上述加热炉和加热的钢管等均能放出热辐射。调查资料显示，车间内最高温度可达 42℃，热辐射在 2.9～16.0J/(cm^2 · 分钟)。

（五）劳动过程和生产环境中职业病危害因素

生产线实行连续工作制，工人需轮换倒班，频繁间断性夜班作业可能导致部分作业工人生活节奏的紊乱和对工作的不适应；操作室座凳与工作台高差如果达不到工效学要求，可能导致部分工人长期处于强迫工作体位；电脑与仪表监视作业可能导致精神和视力的紧张状况。

三、主要防护措施及效果识别

为排除涂装时产生的漆雾和有害气体，应设置抽风净化系统。劳动者应配戴相应的个人防护用品，如防毒口罩等。

为降低在线钢管下线跌落噪声，应降低下线高度，并设置一些缓冲设施，达到降低跌落碰撞能量、减低噪声强度的作用。

其他职业病危害防护措施可参见棒材轧制相关内容（本章第四节）。

（聂云峰、廖雍玲、李　祈）

第九章　有色金属冶炼

有色金属工业是我国原材料工业的重要组成部分。我国最常用的有色金属有铝、铜、铅、锌、镍、镁、锡、钛、汞、锑等。其中铝、铜、铅、锌四种常用金属的产量占全国有色金属产量的90%以上。它们被广泛应用于机械、建筑、电子、汽车、冶金、包装、国防和高科技等重要部门。有色金属工业在国民经济发展中具有十分重要的地位。

然而对人体而言，许多有色金属及其化合物又是危害较大的毒物，如汞、锰、铅等。有色金属冶炼是我国职业病危害最严重的行业之一，尤其是职业中毒发病率较高。在有色金属冶炼过程中，除存在冶炼金属自身的职业病危害外，还存在伴生金属、非金属矿脉粉尘、冶炼药剂以及生产过程中产生的无机或有机毒物、高温、噪声等物理性职业病危害因素。在其职业病危害因素识别时务必全面考虑。

第一节　锌的冶炼

锌是一种白色略带蓝灰色的金属，具有金属光泽。锌在常温下与湿空气接触，表面渐被氧化生成一层灰白色致密的碱性碳酸锌［$ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$］包覆其面，保护内部的锌不再被侵蚀。

锌的主要化合物有氧化锌（ZnO）、硫化锌（ZnS）、硫酸锌（$ZnSO_4$）、氯化锌（$ZnCl_2$）等。

锌的用途很广，在国民经济中占据重要地位。锌主要消耗在镀锌方面。作为被覆物以保护钢材或钢铁制品。锌易与很多有色金属形成合金，适应国民经济许多部门的需要。如铜、锌形成黄铜，铜、锡、锌形成青铜，铜、锌、铅、锡形成抗磨合金等。锌在化学工业中可供制造颜料。氧化锌为制造橡皮的材料。氯化锌浸木材可以起保护作用。在冶金工业中用来从氰化溶液中置换金，在湿法冶炼锌中用锌粉净液，除去铜、镉等杂质，锌还用来提取粗铅中贵金属等。

一、工艺简介

自然界未发现有自然锌。锌矿石按其所含矿物不同分为硫化矿与氧化矿两

种。较常见的矿物为闪锌矿、磁闪锌矿、菱锌矿、硅锌矿和异锌矿五种。在硫化矿中锌呈 ZnS 或 nZnS·mFeS 状态，其中最多的还是 ZnS 状态。在氧化矿中锌多呈 $ZnCO_3$ 和 $ZnSO_4 \cdot H_2O$ 状态，氧化矿一般是次生矿，是硫化矿长期风化而产生的结果。在自然界的矿石中较多的还是硫化矿。炼锌的主要原料也是硫化矿。

多金属矿石中的锌通常不能直接冶炼，需进行选矿。炼锌一般采用的方法有两种，即火法炼锌和湿法炼锌。

1. 选矿

硫化铅锌矿一般采用优先浮选法。工艺流程见图 9-1。

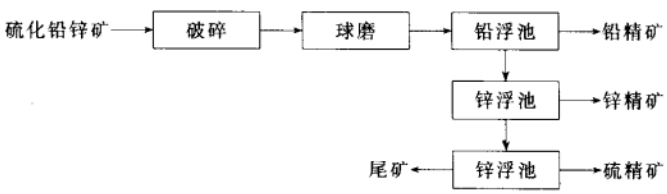


图 9-1 优先浮选工艺流程

选矿所得的锌精矿含锌约为 38%～62%，还含有铅、铁、铜以及 SiO_2、Al_2O_3、$CaCO_3$、$MgCO_3$ 等脉石成分和少量的钴、铟、镓、锗、铊等稀有金属。

氧化矿含锌很高时可直接冶金处理。若含锌少于 10%时，需先用选矿法富集，或采用回转窑等方法处理。

可能存在的职业病危害因素识别：矿石的破碎与球磨产生高强度的噪声和振动以及矿石粉尘等；浮选过程中可能接触矿石浮选化学试剂等；若采用回转窑法则存在噪声、粉尘、烟气和高温、辐射热。

2. 火法炼锌

焙烧是锌精矿在熔炼前的预备工序。通过加热使硫化锌氧化成氧化锌，生成不含硫的氧化锌矿。伴生在硫化锌精矿中的其他金属（如 Cu、Cd 等）在焙烧过程中同时被氧化成金属氧化物。焙烧过程中产生大量的 SO_2 烟气，需送制酸车间生产硫酸。然后将已焙烧的锌精矿与碳质还原物混合装入密闭器具加热到 1100℃左右，锌被还原出来。因锌的沸点在 906℃，故还原出来的锌被气化，然后再引入冷凝器内冷凝为液体锌。因此该法也称作蒸馏法。化学反应式为：

$$ZnO+C \xlongequal{} Zn+CO$$

炉料中其他氧化物也可按相似的反应被还原，但只有锌与镉强烈地气化。锌以液态在冷凝器内获得。另有一部分锌变为细的锌粉，称作蓝粉。蒸馏的残余物叫做蒸馏残渣。其工艺流程见图 9-2 所示。

主要生产设备有反射炉、沸腾炉、蒸馏锅、铸锭机和除尘器等。

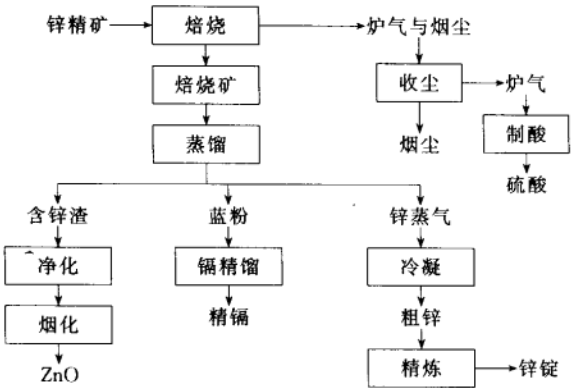


图 9-2 火法炼锌工艺流程

可能存在的职业病危害因素识别：锌精矿在干燥、焙烧、蒸馏过程中产生一氧化碳、二氧化硫、三氧化硫等烟气，矿石粉尘、锌粒粉尘、氧化锌粉尘、煤尘、少量铅烟、砷及其无机化合物尘、氧化镉尘、焦炭尘等，并产生高温、强辐射热、噪声和振动等。

3. 湿法炼锌

湿法炼锌的原理是用稀硫酸浸出焙烧矿中的锌，锌进入溶液后再以电解法从溶液中沉积出来（图 9-3）。其化学反应式为：

$$ZnO+H_2SO_4 = ZnSO_4+H_2O$$

$$Zn^{2+}+2e = Zn$$

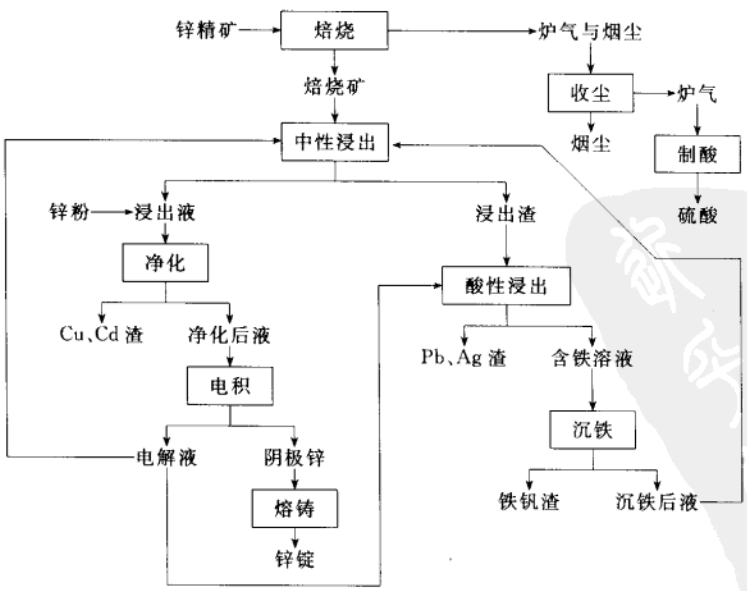


图 9-3 湿法炼锌工艺流程

除锌之外，焙烧矿中一些其他元素也全部或部分地溶于溶液中，如铜、镉等。焙烧矿中的脉石及一些其他成分在浸出时不溶，以固态分离出来，被称为锌浸出渣。浸出所得含有杂质的硫酸锌溶液，先进行净液除去杂质，然后进行电解。电解是以铝板为阴极，铅板或铅银合金板为阳极。电解过程按下列反应进行：

$$ZnSO_4 + H_2O \longrightarrow Zn + H_2SO_4 + O_2$$

在电解过程中阴极析出锌，阳极析出氧，并产生 H_2SO_4。我国的湿法炼锌厂主要采用两段常规浸出、两段净化的电解流程。

主要生产设备有反射炉、多膛炉、沸腾炉、浸出槽、过滤机、压滤机、电解槽、熔锌炉和铸锭机，以及配套的除尘器等。

可能存在的职业病危害因素识别：湿法炼锌工艺锌精矿焙烧工序同火法炼锌，该工序主要存在二氧化硫、三氧化硫等烟气，矿石粉尘、氧化锌粉尘、少量铅烟、砷及其无机化合物、氧化镉尘，并产生高温、强辐射热、噪声和振动等；浸出与电解工序主要存在矿石尘、硫酸雾、砷化氢、高湿、噪声等。

二、职业病危害因素综合识别

锌冶炼属于职业病危害较严重的行业之一，尤其是火法炼锌更为严重。其职业病危害程度依所选择的工艺技术、矿石种类、防护设施、管理水平和生产规模等不同而差异较大。

（一）粉尘类

生产性粉尘是炼锌厂的主要有害因素。在矿石破碎、球磨与运输过程中存在矿石粉尘；锌精矿干燥、焙烧和浸出过程中存在煤尘、矿石尘和氧化锌尘；在锌蒸馏过程中存在锌粉尘。矿石粉尘中游离二氧化硅含量主要决定脉石的组成成分，实测数据表明，不同矿石粉尘中游离二氧化硅含量差异很大。多数硫化矿中游离二氧化硅含量并不高，少数则含量很高。因此，其危害性也相差甚远。在实际工作中应结合矿石游离二氧化硅定量识别结果进行正确评价。

此外，检修工对停用的设备进行维修、进入设备内检修，收尘工清理管道与过滤器，以及窑炉维修时均可能接触高浓度的粉尘，应重点做好个人防护。

（二）物理性有害因素

1. 噪声

矿石破碎机、球磨机、皮带运输机、干燥炉、反射炉、多膛炉、沸腾炉、过滤机、压滤机、鼓风机、除尘风机等设备在运转过程中均产生高强度噪声。尤以破碎机、球磨机、鼓风机、除尘风机噪声危害较大。

2. 高温和热辐射

锌精矿的干燥、焙烧、熔锌铸锭和火法炼锌的锌蒸馏过程均在高温窑炉内进行，这些工作场所存在高温、强辐射热。

（三）化学毒物类

1. 矿石浮选

在矿石浮选过程中使用浮选剂等多种化学试剂。其中使用最多的是“黑药”系列品种，如丁基黑药、苯胺黑药等。该药剂为黄色至深棕色水溶液，无刺激性气味，化学性质较稳定，对人体毒性较低。

2. 干燥与焙烧

锌精矿干燥一般采用煤作燃料，在反射炉内进行。煤燃烧过程中产生大量的二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、二氧化碳等有毒气体。

焙烧是锌精矿在熔炼或浸出前的预备工序。焙烧过程中产生大量的 SO_2 烟气和金属氧化物，如氧化锌烟尘、氧化隔和砷化合物烟尘等。

3. 锌蒸馏

在火法炼锌蒸馏过程中，氧化锌被碳还原，生成金属锌，此过程产生大量的一氧化碳等有毒气体。

4. 浸出与电解

湿法冶炼需对焙烧矿进行酸浸出和电解提取锌，此工序中存在硫酸雾、砷化氢等有害气体。

5. 精炼与铸锭

生产的电解锌最后需进行熔炼和铸锭，在高温熔炼过程中产生金属烟雾，锌在空气中被迅速氧化为氧化锌烟尘。

三、职业病危害控制措施

1. 防中毒措施

砷化氢中毒是炼锌职业病防治工作的重点。企业应制定周密的应急救援预案。所有可能产生砷化氢气体的地方应加强通风，并安装报警仪。工作场所应设置醒目的中文警示标识，配备防毒面具。特别是在设备检修过程中，应严格操作规程，有安全人员监管。

焙烧炉产生大量的二氧化硫气体，应加强管理，防止烟气泄漏；电解槽产生高浓度的硫酸雾，应加强生产岗位的通风排毒。

2. 防暑降温措施

① 由于工作场所存在的热源较多，中央控制室、操作室、工人休息室等应安装冷暖空调，为操作人员创造一个舒适的工作环境；

② 吊车司机室、岗位操作室应进行隔热处理，并配备冷空调降温；

③ 高温热成品和半成品应及时运出车间，并堆放在工房的下风侧；

④ 抢修热炉堂时，应向工人操作处送冷气，并穿戴铝膜布隔热冷风衣，配戴防尘口罩；

⑤ 炉前工、铸锭工应戴滤光防护眼镜，以真空镀膜制成的红外线防护镜效果较好；

⑥ 供给含盐饮料，补充电解质的不足。

3. 防噪声措施

① 在设计时应尽量选用低噪声的设备，从源头控制噪声；

② 中央控制室、操作室、工人休息室应进行隔声处理，如安装双层玻璃密闭窗，设隔声门斗等；

③ 对产生振动和噪声较大的设备，如破碎机、球磨机、除尘风机等应设置减振设备，并配备隔声和消声设备；

④ 发放防噪声耳塞，要求进入噪声作业工作场所前必须配戴好耳塞。

4. 防尘措施

① 对产生粉尘的设备在满足生产工艺条件的情况下，应尽可能完全密闭。焙烧炉和干燥炉烟气的收尘应尽可能的加大抽风量，以维持适当的负压操作。对只能部分密闭的设备应优化烟尘罩和局部通风净化设施。

② 锌精矿的干燥、破碎、配料和返粉运输等过程中的落尘采用湿式清扫，防止二次污染。

③ 加强个人防护，进入粉尘作业生产岗位时应配戴防尘口罩，以减少粉尘对劳动者身体健康的危害。

第二节 铅的冶炼

铅的主要用途是蓄电池、电缆护套、氧化铅和铅材。据国际铅锌组织估计，今后 10～15 年，铅酸蓄电池将在电动汽车和固定式蓄电池两方面促进铅的消费。

我国铅的冶炼主要采用烧结焙烧-鼓风炉熔炼工艺。主要工艺过程有备料、烧结焙烧、鼓风炉熔炼、炉渣处理、粗铅火法初步精炼及电解精炼。

我国部分重点铅冶炼企业采用的生产工艺流程见表 9-1 和图 9-4。除昆明冶炼厂采用粗铅为原料进行加工精炼外，其他各生产厂家均以铅精矿为原料，生产出半成品的粗铅或成品电铅。

表 9-1 我国主要铅冶炼厂工艺流程

企业名称	主要工艺流程
株洲冶炼厂	铅精矿—鼓风烧结—鼓风炉熔炼—电解—电铅
韶关冶炼厂	铅锌精矿—鼓风烧结—密闭鼓风炉熔炼—精铅—电解—电铅
水口山矿务局第三冶炼厂	铅精矿—烧结锅烧结—鼓风炉熔炼—粗铅
沈阳冶炼厂	铅精矿—鼓风烧结—鼓风炉熔炼—电解—电铅
有色金属公司白银第三冶炼厂	铅锌精矿—鼓风烧结—密闭鼓风炉熔炼—精铅—粗电解—电铅
会泽铅锌矿	氧化矿块矿或烧结块—鼓风炉熔炼—粗铅
昆明冶炼厂	粗铅—电解精炼—电铅

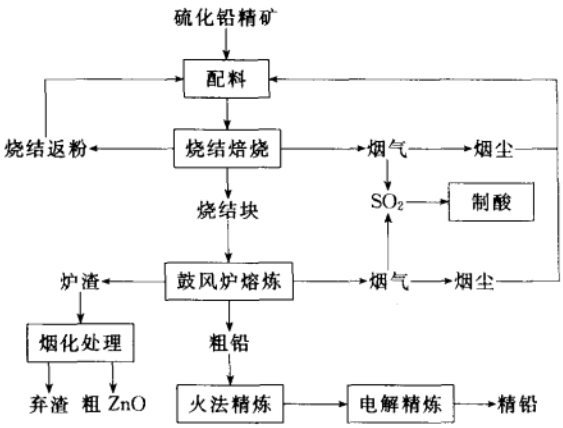


图 9-4 烧结焙烧-鼓风炉熔炼生产工艺流程

一、烧结焙烧

1. 工艺简介

铅矿石是由含铅矿物、共生矿物和脉石所组成。铅矿石因其矿物成分不同而分为硫化矿和氧化矿两类。氧化矿常在铅矿床的上层，而硫化铅矿则在下层。铅在氧化矿床中的储量比硫化矿床少得多，故意义不大。硫化铅矿的主要存在方式是方铅矿（PbS）。氧化铅矿的主要存在方式是白铅矿（$PbCO_3$）及铅矾（$PbSO_4$）。

铅矿石在大多数情况下不能直接冶炼，需要先进行选矿获得铅精矿。其中硫化铅精矿是多金属硫化矿石的选矿产品，粒度极细，大部分小于 200 筛目。其矿石浮选工艺流程可参见本章锌精矿浮选内容。国内多数铅精矿含铅在 50%～71%之间，并含有少量的 Cu、Zn、Fe、SiO_2、CaO、S、Au、Ag、Bi、Cd、As、Sb 等。

烧结所用物料除铅精矿外，还有含铅烟灰、浮渣、石灰石、焦粉、矽石粉、烧结返料等。

烧结焙烧过程是非常复杂的物理化学反应过程。随着铅精矿的干燥、升温、熔化、冷却等物理变化，金属硫化物发生氧化反应，同时还发生复杂的分解反应、置换反应和氧化物之间的造渣反应。

烧结过程的主要化学反应如下：

$$PbS+O_2 \longrightarrow PbO+SO_2\uparrow$$

$$PbS+O_2 \longrightarrow PbSO_4+PbO+2SO_2\uparrow$$

$$PbS+PbO \longrightarrow Pb+SO_2\uparrow$$

$$nPbO+mSiO_2 \longrightarrow nPbO\cdot mSO_2 \text{（硅酸铅）}$$

$$nPbO+mFe_2O_2 \longrightarrow nPbO\cdot mFe_2O_2 \text{（铁酸铅）}$$

金属硫化物的氧化焙烧是固相与气相的多反应过程。烧结焙烧过程的温度通

常控制在700～900℃范围。在烧结焙烧过程中，绝大部分硫化物氧化成氧化铅，同时铜、锌、铁的硫化物也部分氧化，部分残存于烧结块中。物料中的砷、锑等较易挥发物部分进入烟尘中，而金和银全部留于烧结块中。

焙烧过程中，产生大量的SO_2进入烟气，需对SO_2进行回收利用。由于烟气中含酸不高，一般只含2%～4%，生产中需要对烟气进行提浓，然后送制酸车间制取硫酸。

2. 职业病危害因素识别

在矿石破碎、球磨、浮选与运输过程中存在矿石粉尘。烧结焙烧过程是将硫化精矿在高温大量空气参与的强氧化气氛中使硫化物转换成氧化物的过程。主要存在的职业病危害因素有矿石尘、煤尘等，毒物有铅尘、铅烟、氧化铅、氧化锌、二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、砷化氢、砷及其化合物等，物理因素包括高温、辐射热和噪声。

二、铅的鼓风炉熔炼

1. 工艺简介

铅的鼓风炉熔炼是使用最广的方法。全世界80%以上的粗铅用鼓风炉熔炼生产。熔炼过程中，炉料自炉顶加入逐渐向下移动，而气流的运动方向与之相反。气流的主要成分是鼓风炉下部燃料层燃烧所发生的一氧化碳。该高温还原气体向上运动时与料层接触，将热传给炉料，并发生化学反应。炉料向下移动时不断地改变其物理性质及化学性质，当到达炉内高温区域时完全熔化成液体，流入炉缸，即粗铅。此外还有炉渣和铅冰铜、黄渣（或称作砷冰铜）排出；炉内烟气从炉顶排出，进入收尘系统。

铅鼓风炉的物料有炉料和燃料两部分。炉料是由烧结块、熔剂、返渣和其他附加物如铁屑等组成，其中烧结块约占总炉料的80%以上；燃料主要是焦炭。

从鼓风炉出来的粗铅除含有的95%～99%的铅外，通常含有各种杂质金属，如铜、锑、铋、金、银等，需进一步精炼提纯。精炼的方法有火法精炼和电解法精炼两种。

2. 主要化学反应过程

熔炼的主要化学反应过程是：

① 还原、沉淀、硫化（造冰铜）及造渣过程；

② 碳质燃料的燃烧过程。

氧化铅在160～185℃的温度下已开始被CO还原，该反应随温度增高而加快。还原出来的铅熔化流入炉缸。

砷在铅烧结矿中是以砷酸盐状态存在的。在800～1000℃下，在鼓风炉还原气氛中被还原成砷化物、砷及挥发性的As_2O_3。其中As_2O_3被炉气带走，砷的一部分溶解于铅中。

锑的化合物在鼓风炉内与砷的化学反应相似。锑酸盐被CO还原时，一部分

成挥发性的 Sb_2O_3 随炉气排出；另一部分则成金属锑溶入粗铅。如果炉料中含有相当多的锑，则与镍、钴及铁结合而形成锑化物的黄渣。

锡是以 SnO_2 的状态存在于铅烧结矿中。SnO_2 在铅鼓风炉内的还原气氛中按照下列的反应式还原：

$$SnO_2 + CO \longrightarrow Sn + CO_2$$

此反应开始于 850～950℃，还原的锡进入粗铅，一小部分的锡进入烟尘、炉渣及冰铜。

镉主要是以 CdO 的状态存在于烧结矿中。CdO 在 600～700℃下被 CO 还原成金属镉：

$$CdO + CO \longrightarrow Cd + CO_2$$

由于镉的沸点低（778℃），易于挥发，在熔炼过程中，镉蒸气被炉气带走，以 CdO 的状态进入烟尘，从收尘系统回收。

铋在铅烧结矿中以 Bi_2O_3 的状态存在。Bi_2O_3 在鼓风炉熔炼时，175℃的低温下就已经被 CO 还原成金属铋，而熔入粗铅。

金和银在烧结矿中是以 Au、Ag、Ag_2S 及 Ag_2S_1 的状态存在。铅是金和银的良好收集剂，因此，在熔炼时大部分的金和银进入粗铅；其中一小部分进入冰铜及黄渣。

3. 职业病危害因素识别

熔炼过程中主要存在矿石粉尘、煤尘、焦炭尘、炉渣尘和多种有色金属烟尘，毒物主要有铅尘、铅烟、氧化铅、二氧化硫、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、砷及其化合物等，物理因素包括高温、辐射热、噪声和振动等。

三、粗铅火法精炼

1. 工艺简介

火法精炼通常采用的工序为：

① 除铜，有熔析法和加硫法等；

② 除砷、锑、锡，有氧化精炼或碱性精炼法等；

③ 提取金、银，有加锌提银法或电解精炼法等；

④ 除锌，有氧化法、加碱法、氯化法或真空除锌法等；

⑤ 除铋，有电解法、加钙、镁法。

根据铅电解精炼时对各种杂质成分的要求，粗铅往往在电解精炼之前，必须进行初步的火法精炼（即熔铅作业）。其目的是除去粗铅中大部分的铜、锡等杂质金属和铸造符合电解要求的阳极板。其生产设备有反射炉和熔铅锅（精炼锅）等，一般多采用熔铅锅。

在熔铅锅进行的火法初步精炼主要有除铜和除锡两个步骤。

除铜一般采用熔析除铜和加硫除铜。熔析除铜的原理是利用铜在铅液中的溶解度，随温度的升高而提高，随温度下降而减少。一般熔析除铜可将铜降至

0.1%左右，为了除去此种残留的铜，还应采取加硫除铜法，利用铜对硫的亲和力大于铅对硫的亲和力，产生一种不熔于铅的硫化亚铜（Cu_2S）浮渣，将其捞出分离。

从粗铅中清除锡的方法有氧化精炼法和碱性精炼法两种。我国一般是采用氧化精炼除锡的方法。其原理是利用锡、砷、锑对氧的亲和力大于铅对氧的亲和力。其主要化学反应有：

$$2Pb+O_2 \xlongequal{} 2PbO$$

$$3PbO+Sn \xlongequal{} 2Pb+PbO \cdot SnO_2$$

$$6PbO+2As \xlongequal{} 3Pb+3PbO \cdot As_2O_3$$

$$4PbO+2Sb \xlongequal{} 3Pb+PbO \cdot Sb_2O_3$$

在600℃以上的高温生产过程中，向铅液鼓入压缩空气，利用空气中的氧间接将铅液中的锡、砷和锑氧化。如果熔锅装置密闭不好，可产生大量的铅蒸气挥发，污染工作场所和大气环境。

火法初步精炼主要作业工种有装锅、压渣、捞渣，加氧化铅、氧化脱锡，降温、加硫和铸型等。

经熔铅锅除铜、除锡后的氧化浮渣，除含有40%以上的铅外，还含有铜、锡、砷、铟、银等多种有价值金属，需单独进行处理。我国处理这种浮渣的方法是在反射炉中加入苏打、铁屑进行熔炼。

通过加苏打降低炉渣和冰铜的熔点，使熔炼过程在较低温度下进行。在熔炼状态下，铁屑使硫化铅还原成金属铅得以回收。

浮渣熔炼回收作业工种有升温、进料、熔化、放渣、加铁屑、扒渣、放冰铜和放铅等。

2. 职业病危害因素识别

在粗炼生产过程中，装料、卸料时产生大量含铅粉尘。如冶金炉顶两侧的加料口密闭不好，会产生大量含铅烟尘。当800～950℃的铅液经虹吸道流入粗铅锭模铸锭和高温砷冰铜、铅冰铜、炉渣从渣口流入电热床进行沉淀分离、水淬等过程中，均会产生大量铅尘、铅烟。熔铅锅内铅液温度平均达600℃以上。在锅口无密闭的情况下，加料、捞碴、搅拌等操作过程中，敞露的铅液面大量挥发铅蒸气。在加硫脱铜作业过程中还产生二氧化硫气体。现场检测结果表明，粗铅火法精炼是铅冶炼过程中铅烟、铅尘污染最严重的部位，少数岗位铅烟、铅尘浓度超标可达数十倍。此外粗炼生产过程中均存在高温和噪声危害。

四、铅的电解精炼

1. 工艺简介

铅的电解精炼是将粗铅或半精炼铅在硅氟酸与硅氟酸铅的水溶液中进行电解的过程。电解精炼前，粗铅需要经过火法精炼，以除去在电解时所不能除去的或对电解过程有害的杂质成分，然后铸成阳极片。装入有硅氟酸铅和游离硅氟酸的

电解槽中进行电解，铅自阳极溶解进入电解液并在阴极上放电析出。比铅更正电性的金属（如 Sb、As、Bi、Ag、Cu、Te 等）不溶解而形成阳极泥，附着在阳极表面。

电解后的阴极铅经过洗涤后熔化，再进行氧化精炼以除去微量的 As、Sb 和 Zn，最后铸造成电铅锭。阳极泥洗滤后另行回收处理。其工艺流程见图 9-5。

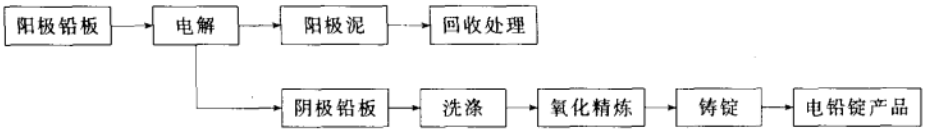


图 9-5 铅电解精炼工艺流程

2. 职业病危害因素识别

铅电解过程存在铅尘、铅烟、高温、高湿、噪声等。尤其是在铅的氧化精炼与铸锭工艺过程中，产生大量的铅烟、铅尘。

五、职业病危害因素综合识别

铅冶炼是职业病危害较严重的行业之一，尤以铅的危害最为严重。目前所采取的防护措施还难以使工作场所空气中铅浓度达标，工作人员职业性铅中毒时有发生。

（一）粉尘类

在矿石破碎、球磨浮选与运输过程中存在矿石粉尘和铅精矿尘；铅精矿干燥、烧结焙烧过程中存在煤尘、铅精矿尘和炉渣尘；在铅的鼓风炉熔炼过程中存在矿石粉尘、煤尘、焦炭尘、炉渣尘。矿石粉尘中游离二氧化硅含量主要决定脉石的组成成分，实测数据表明不同矿石粉尘中游离二氧化硅含量差异很大。因此，其危害性也相差甚远。在实际工作中应在对矿石游离二氧化硅含量进行定量识别的基础上作出正确的评价。

此外，在窑炉维修过程中可能接触高浓度的矽尘，应做好个人防护。

（二）物理性有害因素

1. 噪声

矿石破碎机、球磨机、皮带运输机、干燥炉、反射炉、鼓风炉、鼓风机、除尘风机等设备在运转过程中均产生高强度噪声。尤以破碎机、球磨机、鼓风机、除尘风机噪声危害较大。

2. 高温和热辐射

铅精矿的干燥、烧结焙烧、火法炼铅和熔铅等过程均在高温窑炉内进行，产生高强度的辐射热，该工作场所在通风散热条件欠佳的情况下易形成高温、强辐射热生产环境。

（三）化学毒物类

铅冶炼过程中存在多种化学毒物。工作场所中少数毒物以气体形态存在，多

数金属或金属化合物均以气溶胶的形态存在，如铅烟、铅尘和铅蒸气等。

1. 矿石浮选剂

在矿石浮选过程中使用浮选剂等多种化学试剂。其中使用最多的是“黑药”系列品种（参见本章第一节）。主要接触矿石浮选剂的工作场所是矿石浮选车间和废水处理车间等。

2. 硫化铅

矿石浮选后的产品是铅精矿。铅精矿中铅主要以硫化铅的形式存在。因硫化铅在人体内属于难溶性铅化合物，故铅精矿尘对人体毒性较小。接触含硫化铅粉尘的工作场所主要有矿石破碎、球磨、浮选、铅精矿运输、干燥、烧结焙烧、鼓风炉熔炼等工段。

3. 燃煤烟气

铅精矿干燥一般采用煤作燃料，在反射炉内进行。煤燃烧过程中产生大量的二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、二氧化碳等有毒气体。

4. 二氧化硫

铅精矿烧结焙烧过程中产生大量的二氧化硫烟气。在粗铅火法精炼工艺过程中也产生二氧化硫气体。存在二氧化硫职业病危害的工作场所主要有烧结焙烧和粗铅火法精炼车间。

5. 一氧化碳

铅鼓风炉熔炼过程中焦炭燃烧产生一氧化碳作为氧化铅的还原剂，因此在鼓风炉及其烟气除尘工作场所存在一氧化碳和二氧化碳职业病危害因素。

6. 铅烟、铅尘及其铅的氧化物

在烧结焙烧过程中矿石中硫化铅被转化成氧化铅。在铅鼓风炉熔炼过程中氧化铅又被还原成铅。在粗铅火法精炼、电解铅氧化精炼和铸锭过程中，因铅高温熔化产生大量铅烟和铅蒸气。铅烟和铅蒸气在空气中部分氧化成氧化铅，部分冷凝为铅尘。

在铅冶炼生产过程中铅是最大的职业病危害因素。具有高温易蒸发、生产环境中浓度高、分布广、难治理、毒性大等特点。

7. 砷化氢、砷及其化合物

在烧结焙烧和鼓风炉熔炼过程中大部分砷及其化合物以烟尘的形态随烟气排出，并被除尘装置收留后进入炉灰中；少部分熔入粗铅中的砷在粗铅火法精炼等过程中进入炉渣中。因此，铅的烧结焙烧、鼓风炉熔炼和除尘净化工作场所均存在砷及其化合物的职业病危害。特别是在收尘过程中皮肤和呼吸道可能同时接触高浓度的砷及其化合物，对人体危害较大，必须采取有效的个体防护措施。

值得注意的是，含砷炉渣和炉灰在潮湿环境或遇水过程中会产生大量的砷化氢气体，易导致急性砷化氢职业中毒的发生。

8. 其他金属及金属化合物

在铅的冶炼过程中可能产生锌及氧化锌尘、氧化镉尘、锑及氧化锑尘等多种金属粉尘。

六、职业病危害控制措施

1. 防中毒措施

铅中毒是铅冶炼行业职业病防治工作的重点。由于目前普遍采用的火法炼铅工艺温度高，铅烟、铅尘大量散发，工作场所铅浓度超标现象十分普遍。另一方面生产自动化程度不高，多数岗位需手工操作，导致作业工人近距离高浓度接触铅尘、铅烟。

解决铅和二氧化硫危害的根本方法是采用新工艺，如国外的基夫赛特法、QSL 法、奥托昆普法及我国的 SKS 法（水口山法）。工艺过程在密闭的设备中进行和负压操作，避免了铅烟对作业工人的危害。

加强密闭与通风。对每一个物料转运点和烟尘漏泄处（如排铅口、放渣口等）均应设通风除尘除毒装置，配料和卸料处亦应密闭通风除尘除毒。

个人防护和综合管理措施如配戴合格的防毒口罩、注意个人卫生、防止铅从口入、采取轮换作业、缩短劳动接触时间以及定期体检和驱铅治疗等。

2. 防暑降温措施

① 由于工作场所存在的热源较多，中央控制室、操作室、工人休息室等应安装冷暖空调；

② 吊车司机室、岗位操作室应进行隔热处理，并配备冷空调降温；

③ 炉前工、铸锭工应戴滤光防护眼镜，以真空镀膜制成的红外线防护镜效果较好；

④ 供给含盐饮料，补充电解质的不足。

3. 防噪声措施

① 在设计时应尽量选用低噪声的设备，从源头控制噪声；

② 中央控制室、操作室、工人休息室应进行隔声处理，如安装双层玻璃密闭窗、设隔声门斗等；

③ 对产生振动和噪声较大的设备，如破碎机、球磨机、除尘风机等应设置减振基础，并配备隔声和消声设备；

④ 发放防噪声耳塞，要求进入噪声作业工作场所前必须配戴好耳塞。

第三节　铝的冶炼

铝是一种银白色轻金属。铝的化合物在自然界中分布极广。地壳中铝重量的含量约为 8%，仅次于氧和硅，居第三位。铝的化学性质十分活泼，所以很少发现自然铝，只有铝的化合物。自然界中共计有 250 多种含铝矿物，其中最常见的

是铝硅酸盐族以及它们的风化产物黏土。其余的重要化合物是水合氧化物，如铝土矿等。铝土矿是现代铝工业上的主要炼铝原料。

炼铝的历史可划分两个阶段，即化学法炼铝和电解法炼铝阶段。其中电解法炼铝是现在生产金属铝的主要方法。

铝的用途很多。它的应用有两种形式，一种是纯铝，另一种是铝合金。铝合金在工业上广泛应用。压延铝合金的机械强度接近软钢，故广泛用作结构合金材料。铸造铝合金具有良好的机械强度，浇铸时流动性好，凝固时收缩率小，故可用来制造汽车发动机等。此外，铝在民用建筑、电力、飞机制造、武器制造等领域也有广泛的应用。

一、工艺简介

现代铝的工业生产主要采取冰晶石-氧化铝融盐电解法。直流电流通入电解槽，在阴极和阳极上起电化学反应，并使电解液温度维持在 950～970℃之间。阴极上的电解产物是铝液，阳极上电解产物是 O_2。O_2 使炭阳极氧化析出 CO_2 和 CO 气体。铝液经过净化和澄清之后，浇铸成锭。阳极气体中还含有少量有害的氟化物和沥青。经过净化之后，废气排放入大气，收回的氟化物返回电解槽。生产流程详见图 9-6。

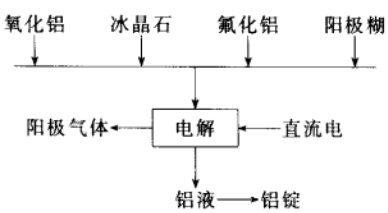


图 9-6 铝电解生产流程

电解铝的生产工序主要包括备料、电解、铝液精炼、铸锭及炭阳极生产、烟气净化与回收等。

（一）原料准备

1. 氧化铝

炼铝的主要原料是氧化铝。工业氧化铝中通常纯度为 99%左右，主要杂质有 SiO_2、Fe_2O_3、TiO_2、Na_2O、CaO 和 H_2O 等。国内氧化铝生产有混联法、拜耳法和烧结法，多采用混联法。其工艺流程见图 9-7。

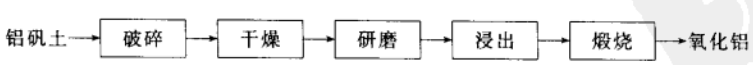


图 9-7 氧化铝生产工艺流程

可能存在的职业病危害因素是铝矾土尘、氧化铝尘、高温、热辐射、噪声和振动等。

2. 熔剂

铝电解用的熔剂包括冰晶石、氟化铝、氟化钙、氟化镁、氟化锂等几种化学物质。氧化铝在高温下溶解于由冰晶石和其他几种氟化物组成的熔剂中，构成冰晶石-氧化铝熔液。

天然冰晶石（$3NaF \cdot AlF_3$）产于格陵兰岛。它的储量有限，远远不能满足全世界铝工业的需要。所以现代电解铝工业采用合成冰晶石。

合成冰晶石有用萤石、硫酸、纯碱和氢氧化铝等原料制成的酸法冰晶石；或在磷肥生产中以副产物形式制造的副产冰晶石。

存在的职业病危害因素是氟化钙尘、石膏尘、硫酸雾、硅氟酸、氟化氢气体、高温、热辐射、噪声和振动等。

（二）炭阳极的生产

电解铝工业均采用炭阳极和炭阴极。炭阳极在电解过程中参与电化学反应而连续消耗。炭阴极原则上只破损而不消耗。在炭阴极上经常有一层铝液覆盖着，这层铝液实际上就是阴极。铝电解用的炭阳极分为自焙阳极和预焙阳极两大类。炭阳极生产的工艺流程见图 9-8。

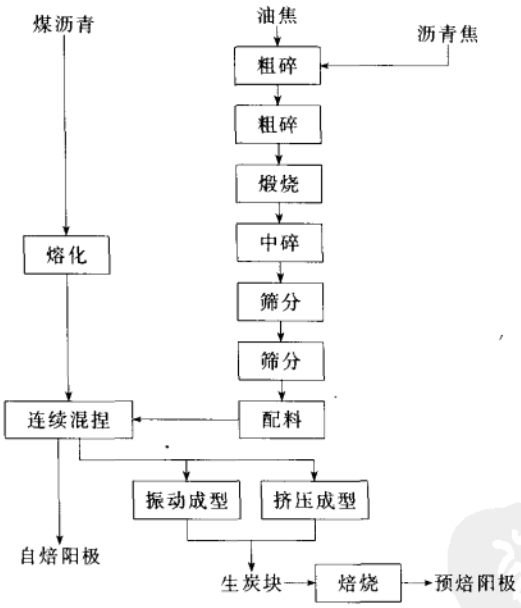


图 9-8　炭阳极生产工艺流程

焦炭和沥青是制造阳极的原料。焦炭经高温燃烧后，进行中碎和粉碎，然后按照不同的粒度组成与一定比例的沥青进行配料，经混捏后，得到可直接用于自焙阳极的阳极糊或用于制造预焙阳极的炭块糊。炭块糊经振动成型或挤压成型制成生炭块。生炭块经过高温焙烧后，得到预焙阳极炭块。

存在的职业病危害因素是煤沥青焦烟尘、炭黑尘、高温、热辐射、噪声和振

动等。

（三）电解

铝电解槽分自焙阳极电解槽和预焙阳极电解槽两大类。

自焙阳极电解槽是一个钢制槽壳，内部衬耐火砖和保温棉。电流经由炭质槽底（阴极）与插入电解质中的炭质阳极（自焙阳极）通过电解质完成电解过程。自焙阳极电解槽除了向外散发氟化物之外，还向外散发有害的沥青烟气，污染车间空气。

预焙阳极电解槽机械化和自动化程度较高，所用的预焙阳极已经在专门的焙烧炉内焙烧过，故沥青烟气散发较少。目前得到了广泛地推广应用。

含氟电解质在970℃高温作用下产生蒸发，随后在空气中冷却形成氟化物尘粒。

铝电解过程电流强度高达数万安培，在与电解质接触的阳极表面，可出现微小的电弧，产生较高强度的电磁场。预焙阳极电解槽工艺简图见9-9。

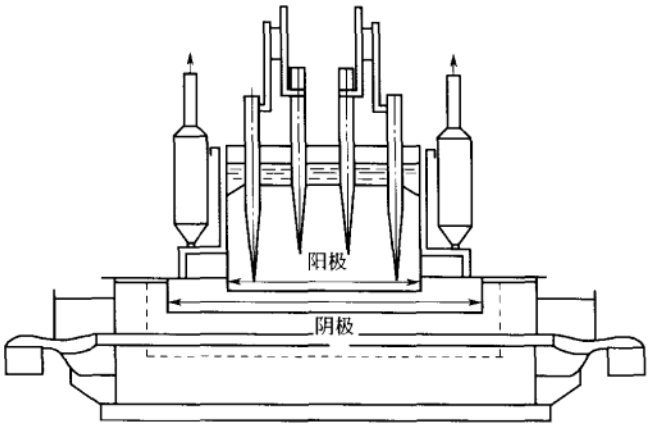


图9-9 预焙阳极上插棒式电解槽工艺简图

存在的职业病危害因素是沥青焦烟气、氟化物尘、氟化氢气体、高温、热辐射、电磁辐射、噪声和振动等。

（四）铸锭

铝电解槽产出的液体铝，经过净化、除渣和澄清之后铸成商品铝锭，此种铝称为原铝。净化的目的是为了消除从电解槽取出的铝液中的金属杂质和非金属夹杂物。净化方法有熔剂净化和气体净化两种。气体净化是一种主要的净化方法。所用的气体是氯气，亦可用氮气或氯氮混合气。在氯化过程中，除了生成气态氯化铝之外，铝中原子态氢也同氯气起反应，生成氯化氢气体。氮气净化法又称为无烟连续除气法，用此法可净化铝液并能脱出其中的气体。

存在的职业病危害因素是氯气、盐酸雾、氯化铝尘、高温、热辐射、噪声和

振动等。

二、职业病危害因素综合识别

（一）粉尘

1. 铝矾土尘与氧化铝尘

铝矾土是铝冶炼的基本矿石原料，其主要成分是三氧化二铝，与硅、铁、钛共生为水合氧化铝。铝矾土矿石在干燥、破碎、球磨与运输生产过程时，产生大量的矿石粉尘。经回转窑中煅烧后，绝大部分结合水被除去而得到质量较高的氧化铝。因此，在回转窑煅烧和电解工段生产过程中均产生氧化铝粉尘。

2. 氯化铝尘

在铸锭净化生产过程中，氯气与铝生成氯化铝烟雾，经空气冷却后形成氯化铝尘。

3. 沥青烟尘、炭黑尘

在炭阳极生产中主要使用煤沥青和焦炭，在破碎、煅烧、筛分等过程中产生沥青烟尘和炭黑尘。铝电解过程中自焙阳极在高温作用下产生沥青烟尘。

（二）化学毒物

1. 氟化氢及其他氟化物

在铝电解过程中冰晶石分解产生大量氟化氢气体，如果电解槽通风净化效果不佳时可导致工作场所氟化氢气体污染。电解槽内的熔剂成分有冰晶石、氟化铝、氟化钙、氟化镁、氟化锂等多种氟化物，在高温电解过程中有氟化物烟尘散发，加料过程中和地面扬尘时也可能导致氟化物粉尘散发。

2. 一氧化碳、二氧化碳

在铝电解过程中阳极析出氧气，氧气氧化阳极炭质产生一氧化碳和二氧化碳。由于该化学反应产生量少，故在通风良好的情况下对劳动者危害小。

3. 氯气、盐酸雾

在电解铝净化过程中需使用氯气，并产生氯化氢气体，当氯化氢气体弥散到车间空气中后吸收空气中水变成盐酸雾。

（三）物理因素

1. 噪声

矿石破碎、球磨、运输、干燥等过程，炭阳极生产的破碎、筛分、成型等生产过程，以及电解车间的通风净化装置、除尘风机等均产生高强度的噪声。

2. 电磁辐射

电解槽使用高强度电流，在与电解质接触的炭阳极表面可出现微小的电弧，产生较高强度的电磁场危害。

3. 高温和热辐射

矿石煅烧、电解、精炼、铸锭等工序使用高温窑炉或电炉，产生高强度的辐射热。该工作场所在通风散热条件欠佳情况下易形成高温、强辐射热生产环境。

三、职业病危害控制措施

铝冶炼生产工艺过程中职业病危害主要集中在铝电解车间，控制其职业危害的重要措施是电解槽抽风净化系统。

（一）污染物分类

铝电解槽高温散发出来的污染物有气态和固态两大类。气态物质的主要成分是氟化氢。固态物质又可分为大颗粒物质和小颗粒物质两类。大颗粒物质是指直径大于5μm的尘粒，主要成分是氧化铝、炭和冰晶石粉尘。由于氧化铝吸附了一部分气态氟化物，一般大颗粒物质中的总氟量约为15%。小细颗粒物质是指直径小于5μm的尘粒，由电解质蒸气凝结而成，其中氟含量高达45%。

（二）污染物的来源

① 熔融电解质产生的蒸气；

② 随阳极气泡带出的电解质液滴；

③ 电解过程中产生的HF和CF_4等。

（三）集气系统

铝电解槽散发出来的烟气，由槽上集气罩收集下来，称之为一次烟气。未经集气罩收集而直接进入电解厂房空气中者，称为二次烟气。收集一次烟气的设备系统称为一次集气系统。收集二次烟气的设备系统称为二次集气系统。

一次烟气的体积较小，其中氟化物浓度较大。二次烟气体积较大，其中氟化物浓度较小。

1. 一次集气系统

一次集气系统由槽上集气罩、通风管道和风机组成。其收集效果主要取决于集气罩的密封性和管道的抽风量。

2. 二次集气系统

由于一次集气系统的密闭程度不能达到100%，再加上还有大量的热从电解槽散发出来，所以电解厂房内部必须有良好的通风，以便使外部的新鲜空气通过墙壁上的百叶窗口进入电解厂房，流经电解槽的操作区域，然后上升至天窗。未经槽罩收集的烟气于天窗口加以收集，然后在二次净化系统内净化。

有些铝厂的预焙阳极电解槽不密闭，电解槽的烟气直接排放到房顶天窗口的集气系统内，然后加以净化处理。

（四）烟气净化系统

由于一次烟气与二次烟气在体积、浓度、成分和散发方式上有很大差别，所以对这两种烟气采取不同的净化设备。

1. 一次烟气净化

典型的净化设备有以下四种。

（1）干式净化装置　干式净化装置使用氧化铝作吸附剂。氧化铝对氟化氢的吸附主要是化学吸附。在吸附过程中，氧化铝表面上生成单分子层吸附化合物，

每个氧化铝分子吸附 2 个 HF 分子。用氧化铝来吸附氟化氢的效率可以高达 98%～99%。

（2）湿式洗涤塔　湿式洗涤塔对于清除可溶性气体（HF）具有很高的效率。湿式洗涤塔通常与静电收尘器联合使用。通常用 5% 的苏打溶液去洗涤含氟气体。其原理是使 Na_2CO_3 与气体中的 HF 起反应，生成碳酸氢钠和氟化钠。然后把 NaF 和 $NaHCO_3$ 溶液送至冰晶石合成槽与铝酸钠溶液起作用，合成冰晶石。

（3）多管旋风收尘器　多管旋风收尘器利用离心加速作用从烟气中分离固体物质，其作用主要对粗颗粒物质效果好，对细颗粒成分效果欠佳。

（4）静电收尘器　干式静电收尘器对于清除烟气中的粉尘很有效，但它没有分离气态氟化物的能力，且其中碳氢化合物还会造成堵塞。而湿式静电收尘器不易堵塞，并具有一定的分离易溶气体的能力，故多采用湿式静电收尘器。为提高净化效果，静电除尘器应与湿式洗涤塔联合应用。

2. 二次烟气净化

针对二次烟气具有体积大、污染物浓度低的特点，多用洗涤器净化。常用的洗涤器有喷雾帘、错流填充床、浮动床、多栅文丘里管和多孔板洗涤器等。

第四节　铜的冶炼

自然界发现的铜矿除少见的自然铜外，主要有硫化铜矿和氧化铜矿。铜矿中以黄铜矿为最多，约占铜矿的三分之二。一般根据含铜化合物的化学组成可分为：

① 硫化矿，如黄铜矿（$CuFeS_2$）、斑铜矿（Cu_5FeS_4）和辉铜矿（Cu_2S）等；

② 氧化矿，如赤铜矿（Cu_2O）、孔雀石［$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$］、蓝铜矿［$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$］、硅孔雀石（$CuSiO_3 \cdot 2H_2O$）等；

③ 自然铜，以单质的铜存在，在自然界中较少见。

铜矿物常伴生有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、镍黄铁矿及其他稀贵金属矿。其脉石成分主要为石英、长石、重晶石、石灰石等。

工业上常使用的铜有电解铜（含铜 99.9%～99.95%）和精铜（含铜 99.0%～99.7%）两种。前者用于电器工业上制造特种合金、金属丝及电线。后者用于制造其他合金、铜管、铜板、轴等。

一、工艺流程

目前冶炼方法主要有火法冶炼与湿法冶炼两大类，前者多用于硫化矿的冶炼，后者一般用于氧化矿的冶炼。

（一）火法冶炼

火法冶炼主要分采矿、选矿、熔炼、电解等工序。将铜精矿冶炼成合格的阳

极铜，包括预干燥、闪速熔炼、转炉吹炼、阳极炉精炼及阳极浇铸等工序。其工艺流程见图 9-10。

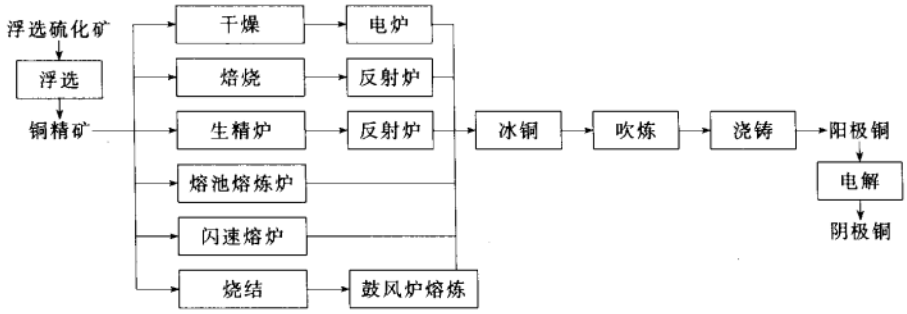


图 9-10 火法铜冶炼工艺流程

1. 选矿

选矿是将采矿得到的矿石进行破碎、筛选获得品位较高的铜精矿的过程，包括破碎、浮选、分离、浓缩、脱水等步骤。

（1）破碎 矿石经过旋回破碎机、中细碎圆锥破碎机进行三级破碎后变成细颗粒状，再经球磨机碾磨成粉状进入浮选池。

（2）浮选 浮选池内加入药剂，经浮选机不断搅拌，金属吸附在搅拌后形成的泡沫上。泡沫悬浮在池的表面，金属随泡沫流入浮选池边的槽内得到分离。

在浮选过程中加入的一系列药剂叫做浮选药剂。

浮选药剂根据在浮选过程中的作用原理可分为捕收剂、起泡剂、抑制剂、活性剂、硫化剂与矿浆调整剂等。浮选药剂常用类型与化学成分见表 9-2。

表 9-2 浮选药剂的类型与化学成分

名 称	作 用	常 见 类 型
捕收剂	能促使被浮矿物的表面造成疏水性薄膜，从而改善矿物对气泡的附着性	黄药：由酒精、二硫化碳、氢氧化钠等物质合成 黑药：由甲酚、乙醇、金属钠与五硫化二磷反应而成
起泡剂	是一种有机的表面活性物质，在浮选时，能产生足够数量稳固的起泡，以供被浮矿物的浮起	松根油、2 号浮选油、甲酚、重吡啶
抑制剂	用来暂时抑制可浮矿物的一种药剂，即可使疏水性的矿物表面变成亲水性矿物表面，以便把某一矿物从其他许多矿物中选出来	氰化钠、氰化钾、硫酸锌、重铬酸钾、水玻璃
活性剂	将原来难以浮游的矿物及将已被抑制下去的矿物给表面活性，即使原来亲水的表面改变成为疏水性的表面，使能顺利地浮游起来	硫酸铜、硫化钠
调整剂	为了调整矿液中的酸碱度而添加的浮选剂	石灰、苏打、硫酸

（3）浓缩与脱水 分离后的矿浆经浓缩和过滤，最后形成铜精矿。通过此过

程，含铜量可由原矿的0.5%提高到30%左右。

存在的主要职业病危害因素：矿石粉碎过程；由于机械设备的撞击、摩擦、转动而产生较高强度的机械噪声与振动；可能接触的毒物主要是使用的各种浮选药剂，如酒精、二硫化碳、氢氧化钠、松根油、甲酚、重吡啶、氰化钠、氰化钾、硫酸锌、重铬酸钾、硫酸铜、硫化钠、石灰、苏打灰、硫酸等；矿石粉碎过程中产生大量的粉尘。

2. 熔炼

为了提高熔炼炉的熔炼效果，铜精矿进入熔炉之前大都需要经过炼前准备。炼前准备主要包括干燥、制团、制粒、混捏、焙烧和烧结焙烧等工序。

铜熔炼是将铜精矿熔化，使之发生化学变化，生产出冰铜（铜锍）或粗铜或黑铜，并使其与炉渣分离。熔炼过程是利用铜对硫的亲和性大于铁和一些杂质金属，而铁等金属对氧的亲和性大于铜的化学特性，使杂质金属逐步氧化进入炉渣或进入烟尘而去除。绝大部分铜则富集在各种中间产物中，并逐渐得到提纯。锍是以铜硫化物、铁硫化物为主要组分的共熔体。

20世纪70年代以前，铜的火法冶炼普遍采用的设备是鼓风炉、反射炉和电炉。这几种工艺的共同缺点是能耗高、硫利用率低和污染大。目前，传统的冶炼方法逐渐被淘汰，随之兴起的是以闪速熔炼和熔池熔炼为代表的强化冶炼技术，其中最重要的突破是氧气的广泛应用。

闪速熔炼包括国际镍公司闪速炉、奥托昆普闪速炉和旋涡顶吹熔炼3种。

奥托昆普闪速炉是全球应用最多的熔炼炉，用该法生产的粗铜约占世界粗铜产量的45%左右，居各熔炼方法之首。该法特点是熔炼速度快、能耗低、可连续而稳定地产出适宜于制酸的高浓度SO_2烟气，冰铜品位可达60%～70%。

(1) 闪速炉炼铜　闪速炼铜工艺通常由炉料炼前准备、熔炼、烟气冷却、供氧、空气预热、炉渣处理、烟气处理等环节组成。

炉料炼前准备包括炉料的准确配料和干燥脱水。常用仓式配料法和堆式配料法配料。闪速炉炼铜要求炉料含水量不超过0.3%，铜精矿的干燥方法有回转窑干燥和气流干燥，我国的闪速炉炼铜厂多采用气流干燥法。

将干燥后的粉状混合料（铜精矿加熔剂）与氧气（热空气或富氧热空气）及辅助燃料（重油、粉煤或天然气）在特制的精矿喷嘴内混合后，垂直或水平高速喷入反应塔或炉膛内使之呈悬浮状态，仅2～3秒内完成大部分硫化物的氧化和造渣过程。炉料于高温作用下在反应塔（或炉膛）内迅速完成各种物理化学变化，产生的熔体陷入沉淀池内，进而完成造冰铜（铜锍）和造渣反应，并澄清分层，铜锍和炉渣分别由铜锍口和渣口排出。

烟气冷却多设置了余热锅炉，经收尘后含二氧化硫烟气送硫酸制造装置。

在反应塔内，炉料在高温作用下发生的主要反应有：

$$2CuFeS_2+5O_2 \longrightarrow Cu_2S \cdot FeS+FeO+2SO_2$$

$$2FeS+3O_2 \xlongequal{} 2FeO+2SO_2$$

在沉淀池发生的主要反应有：

$$Cu_2O+FeS \xlongequal{} Cu_2S+FeO$$

$$2FeO+SiO_2 \longrightarrow 2FeO \cdot SiO_2$$

（2）鼓风炉炼铜　把精矿砂、熔剂（石灰石、砂等）和燃料（焦炭、木炭或无烟煤）混合，投入密闭鼓风炉中，在高温下，与从炉子下部两侧风口鼓入的空气或富氧空气相遇，发生各种反应达到熔炼的目的。熔炼产出的混合熔体进入炉底，进行铜锍与炉渣的澄清分离。炉渣连续排放，铜锍按转炉吹炼的需要间断放出。产出的高温烟气通过炉内料柱的空隙上升，经炉顶排烟口进入排烟收尘装置。

矿石中一部分硫生成 SO_2，可用于制硫酸；大部分的砷、锑等杂质生成 As_2O_3、Sb_2O_3 等挥发性物质而被去除：

$$2CuFeS_2+O_2 \xlongequal{} Cu_2S+2FeS+SO_2$$

$$2FeS+3O_2 \xlongequal{} 2FeO+2SO_2$$

$$2As_2S_3+9O_2 \xlongequal{} 2As_2O_3+6SO_2$$

$$2Sb_2S_3+9O_2 \xlongequal{} 2Sb_2O_3+6SO_2$$

Cu_2S 跟剩余的 FeS 等熔融在一起而形成“冰铜”（主要由 Cu_2S 和 FeS 互相溶解形成），FeO 跟 SiO_2 形成熔渣：

$$FeO+SiO_2 \xlongequal{} FeSiO_3$$

熔渣浮在熔融冰铜的上面，容易分离，借以除去一部分杂质。

存在的主要职业病危害因素：熔炼时产生高温与热辐射；二氧化硫、三氧化硫、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物；产生的烟气中还含有少量的砷、锑、铅、铁、锌、镍、锰等氧化物粉尘，其含量主要取决于熔炼的精矿组分；此外，在物料的搬运过程中产生的铜精矿尘、石灰石尘、石英砂尘和噪声等。

3. 吹炼

冰铜吹炼是在有石英熔剂（石英砂）存在下，向熔融冰铜（1100～1300℃）鼓入空气，将冰铜中的铁和硫全部氧化除去的自热冶炼过程。我国大型铜厂的冰铜吹炼均采用转炉，小型铜厂一般采用连吹炉。冰铜经转炉吹炼后的产物是粗铜，铜含量 98.5%左右。

由于铁比铜对氧有较大的亲和力，而铜比铁对硫有较大的亲和力，因此冰铜中的 FeS 先转变为 FeO，跟熔剂结合成渣，而后 Cu_2S 才转变为 Cu_2O，Cu_2O 跟 Cu_2S 反应生成粗铜。

$$2Cu_2S+3O_2 \xlongequal{} 2Cu_2O+2SO_2$$

$$2Cu_2O+Cu_2S \xlongequal{} 6Cu+SO_2$$

存在的主要职业病危害因素：吹炼时产生高温与热辐射；一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、二氧化硫、三氧化硫及少量的砷、锑、铅、铁、锌、镍、锰等氧

化物粉尘；此外，在物料的搬运过程中产生的粉尘和噪声等。

4. 铜火法精炼

铜火法精炼是采用氧化、造渣、挥发和还原等反应进一步除去熔融粗铜中的杂质，产出化学成分和物理规格符合电解精炼要求的铜阳极板的过程。常采用倾动式简型精炼炉和精炼反射炉生产。

(1) 工艺流程　把粗铜移入反射炉，加入熔剂（石英砂），通入空气，使粗铜中的杂质氧化，跟熔剂形成炉渣而去除。在杂质除到一定程度后，再喷入重油，由重油燃烧产生的一氧化碳等还原性气体使氧化亚铜在高温下还原为铜。得到的精铜约含铜 99.7%。

(2) 主要化学反应　铜火法精炼包括氧化脱渣和还原脱氧两个基本过程。

① 氧化过程。铜被鼓入熔池的空气中的氧所氧化。

$$4Cu+O_2 \xlongequal{} 2Cu_2O$$

铜中的杂质金属（Me）遇溶解在铜液中的 Cu_2O 时发生反应。

$$Cu_2O+Me \xlongequal{} MeO+2Cu$$

② 还原过程。用重油、丙烷等还原剂将 Cu_2O 还原成金属铜。重油等还原剂受热裂解为 H_2、CO、C 等成分，并发生下列还原反应：

$$Cu_2O+H_2 \xlongequal{} 2Cu+H_2O$$

$$Cu_2O+CO \xlongequal{} 2Cu+CO_2\uparrow$$

$$Cu_2O+C \xlongequal{} 2Cu+CO\uparrow$$

粗铜再经阳极炉精炼并经过圆盘浇铸机浇铸定型，作为下一道电解工序中的阳极。故称为阳极铜。

重油是一种还原剂，但其利用率不超过 20%，裂解产生炭黑污染环境。天然气和丙烷均适用于脱氧，二者也会产生烟。氨气是有吸引力的还原剂，但价格较高而且氨能生成气态的铜氨化合物，引起铜的损失。在有天然气的地方，以使用天然气最为经济。

我国的主要铜火法精炼厂，除贵溪冶炼厂用丙烷、重庆冶炼厂用柴油外，均以重油作还原剂。上海冶炼厂采用烟气二次燃烧、多级收尘、烟气系统加余热锅炉等措施后，减少了对环境的污染，也降低了能源消耗。

存在的主要职业病危害因素：精炼时产生的高温与热辐射；一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、石英粉尘；重油等还原剂分解产生一氧化碳和炭黑烟尘等；此外，还存在机械噪声和空气动力性噪声。

5. 电解

利用氧化还原反应原理，阳极的铜电解进入电解液成为铜离子，铜离子带正电，流向阴极，在阴极富集，还原为金属铜。通过电解铜的含量达 99.95%以上。而阳极铜含多种其他元素，经电解后，这些元素在阳极沉淀下来，成为“阳极泥”。阳极泥再经处理可以得到金、银、粗硒和精碲等副产品。

存在的主要职业病危害：铜电解时产生硫酸雾，电解设备产生极低频电磁场等。

（二）湿法冶炼

湿法炼铜是用浸出剂浸出铜矿石或铜精矿中的铜，然后用化学提取法或电解提取法从经过净化处理的浸出液中获得金属铜的过程。工序可简单地分为三个步骤：浸出、萃取、电解。主要工艺流程见图 9-11。

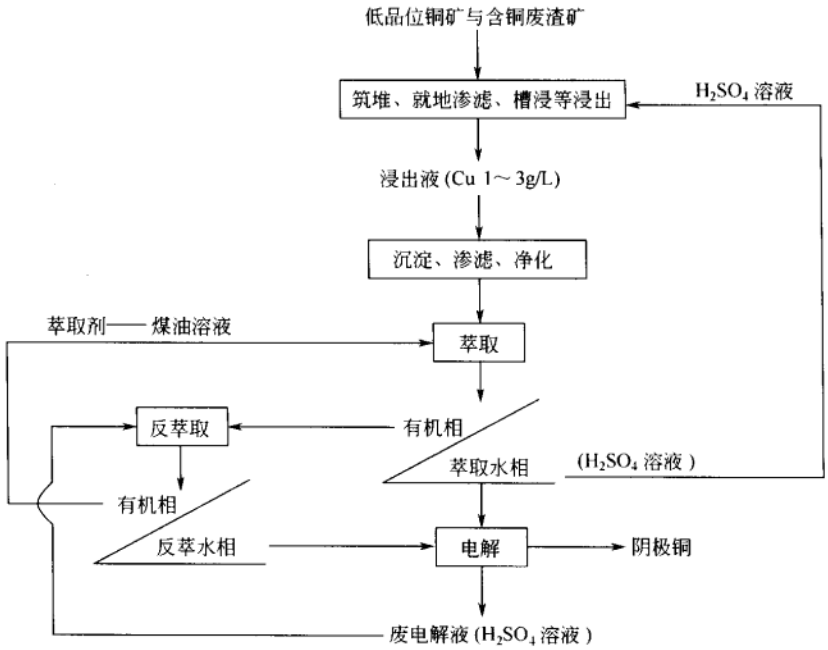


图 9-11 硫酸浸出-萃取-电解（SX-EW）生产铜的工艺流程

1. 浸出

浸出是用浸出剂使含铜矿石、焙砂或铜精矿中的铜等有价组分溶解在水溶液中与大部分杂质分离的过程，是湿法炼铜的第一道工序。

工业应用的铜浸出剂有水、硫酸、硫酸铁溶液、氨液和氯化物溶液等。最常用的铜浸出剂是硫酸。含石英多的酸性氧化铜矿，一般宜用硫酸浸出。含碱性脉石（如碳酸钙和碳酸镁）较高的氧化铜矿，多采用氨浸。混合铜矿宜用硫酸和硫酸铁的混合液浸出，硫酸主要溶解铜的氧化矿物，硫酸铁则溶解铜的硫化矿物。处理一些含金属铜的物料时，既可用硫酸也可用氨浸出。

硫化铜矿又分原生硫化矿和次生硫化矿，它们都不能被硫酸浸出。硫化铜矿的浸出主要有：

① 细菌浸出法，又称为微生物浸出，是借助某些细菌的催化作用，使矿石中的铜溶解，此法特别适于处理贫矿、废矿及难采、难选、难冶矿的堆浸和就地

浸出；

② 加压氧化浸出法。

湿法炼铜的浸出方式分为渗滤浸出和搅拌浸出两类。

(1) 渗滤浸出　渗滤浸出是一种被广泛采用的浸出方式。适用于粒度较粗的矿石和已经爆破松动的矿体。酸性浸出剂通常从矿层顶部喷洒，溶液中的酸与矿石中的酸溶铜反应，生成的硫酸铜透过矿层渗滤出来。渗滤浸出包括堆浸、就地浸出和槽浸涅出。对于较深的矿床，也可采用就地浸出的方法，但这种情况很少见。比较普遍的是采取堆浸的方式，浸出的对象是低品位矿石或采矿场筛选下来的废石矿，就在其堆积的地方进行处理。堆放在大槽内浸出即为槽浸。

(2) 搅拌浸出　磨细的含铜物料与浸出剂一起加入设有搅拌器的槽内进行搅拌浸出，搅拌浸出的效率较高。一般来说，就地浸出和堆浸的时间以年为单位计算，槽浸浸出的时间以天算，而搅拌浸出仅需 2～5 小时就可以完成。

氧化矿的浸出以化学浸出为主，其反应式为：

$$CuO+H_2SO_4 \longrightarrow CuSO_4+H_2O$$

铜转化为可溶性化合物 $CuSO_4$ 进入水溶液中，而大量不可溶杂质则留在固体残渣中，从而实现了初步分离。

细菌浸出铜一是靠细菌细胞内特有的铁氧化菌和硫氧化酶直接催化硫化矿物，破坏矿物晶格，使矿物中的铜易于与酸反应转化成硫酸铜而进入水溶液中；二是靠细菌氧化矿物中的硫和铁所形成的硫酸、硫酸高铁，进一步氧化溶解硫化铜矿物。各种铜矿的主要化学反应式为：

黄铜矿　$CuFeS_2+4O_2 \xrightarrow{\text{细菌}} CuSO_4+FeSO_4$

铜蓝　$CuS+2Fe_2(SO_4)_3 \xrightarrow{\text{细菌}} 2CuSO_4+FeSO_4+S$

存在的主要职业病危害因素：各种浸出剂如硫酸、氨、氯化物等，以及物料运输、搅拌过程中产生粉尘与噪声。

2. 萃取

用溶剂萃取法从含铜溶液中富集铜是现代湿法炼铜流程的重要组成部分。

萃取的一般过程是将由萃取剂和稀释剂（煤油）组成的有机相同含铜浓度低的水相料液混合，此时铜被萃取剂萃取由水相料液转入有机相，两相澄清分层后，经过一级萃取、二级萃取，再用含酸水溶液的反萃取剂将载铜有机相中的铜反萃出来，铜离子与萃取剂在上层，水相在下层，水相流入边槽；反萃取时，铜离子与反萃液在下层，萃取液在上层，铜离子与反萃液流入边槽得到分离，进入电解阶段。常用的萃取设备是混合澄清器。铜萃取剂主要为酮肟类和醛肟类化学物。

存在的主要职业病危害因素：设备运行时产生的噪声与振动，煤油、萃取剂等有机溶剂的挥发物和分解物等。

3. 电解沉积

电解沉积是从富铜溶液中产出高质量的阴极铜，并将电解后的贫液返回萃取工段作为反萃剂的关键工序。

萃取后的产物是一定浓度的 $CuSO_4$ 溶液，由管道输入电解车间，成为电解液。经电解后获得阴极铜产品。

存在的主要职业病危害因素：铜电解时产生硫酸雾，电解设备产生极低频电磁场等。

二、职业病危害因素综合识别

火法炼铜能耗大，并产生二氧化硫、砷、铅等烟尘，其环境污染和职业病危害均较大。而湿法炼铜不仅可以使废弃的低品位矿石、尾矿中的铜金属得到有效利用，而且生产过程中没有二氧化硫烟气排放，浸出液构成闭路循环，没有废水排放。若采用地下溶浸技术，则不需要把矿石开采出来，不破坏植被和生态，从根本上改善了采矿的工作环境。

（一）粉尘类

铜矿石主要为硫化铜矿，通常还含有黄铁矿、方铅矿等伴生矿物。矿石粉碎和矿物运输时会产生大量粉尘。粉尘包括铜矿石尘和脉石尘两部分，其职业病危害程度往往取决于脉石的化学成分与含量，如以石英为主的脉石，粉尘中游离 SiO_2 含量高，其危害性大。此外熔剂等物质运输、投料过程中也会产生粉尘，铜精矿干燥、熔炼、吹炼和火法精炼过程中可产生大量高浓度烟气。

（二）化学毒物类

火法炼铜的干燥、熔炼、吹炼和火法精炼过程中均有大量二氧化硫、三氧化硫产生，以及一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物。

铜精矿熔炼和吹炼所产生烟气含有不同的烟尘，烟尘中含有砷、锑、铅、铁、锌、镍、锰等氧化物。特别是含砷的铜矿，可引起慢性砷中毒。

铜冶炼矿渣含有砷，遇水后可产生砷化氢气体，可导致急性砷化氢中毒。

电解过程中会产生硫酸雾。

铜精炼过程中柴油、重油等还原剂产生大量的一氧化碳和炭黑等。

在矿石的浮选过程中，存在各种浮选药剂的危害，如酒精、二硫化碳、氢氧化钠、松根油、甲酚、重吡啶、氰化钠、氰化钾、硫酸锌、重铬酸钾、硫酸铜、硫化钠、石灰、苏打灰、硫酸等。

此外，湿法炼铜可能接触到煤油、萃取剂、硫酸等物质。

（三）物理性有害因素

1. 噪声与振动

矿石粉碎生产过程，由于机械的撞击、摩擦、转动而产生高强度的机械噪声和振动；各类工业窑炉燃烧过程中产生高强度的气体动力性噪声。

2. 高温与热辐射

火法炼铜在高温条件下进行，其中焙烧炉温度为850～930℃，熔炼炉温度为1500～1550℃，吹炼炉温度为1150～1250℃，浇铸温度达1095～1105℃。在上述工作场所中均产生高温和强热辐射。

3. 其他

电解装置产生极低频电磁辐射，矿物质中如存在放射性物质可能会导致放射性损伤等。

第五节　锡的冶炼

我国锡的储量居世界第一位，最主要的锡产地集中在云南和广西，其次是湖南、江西和广东。锡矿多与其他稀有金属共生，如钨、钼、钽、铌、钛、铀等。

目前由精矿中提取锡仅采用火法冶炼，其中还原熔炼获得最广泛的应用。锡的湿法冶炼由于很难选择锡石的熔剂而未获得进展。

一、工艺流程

（一）锡精矿的还原熔炼

1. 熔炼前的准备

锡精矿常含有害杂质，一般多采用焙烧、浸出、精选等方法进行预处理。

（1）焙烧　焙烧的主要目的是除去精矿中的杂质硫、砷、锑等。焙烧通常是在多膛焙烧炉或回转窑中进行。当精矿中含砷较高时应在炉料中加入还原剂，还原剂多选用碎煤或碎焦。焙烧的最高温度视硫和锑的含量多少而变化，采用多膛炉时为600～850℃，采用回转窑时炉温可达1000℃。通常锡精矿中硫和砷的总含量低于0.1%的可以不进行焙烧。

（2）精选　精选锡精矿有磁选、静电选矿、重选、浮选、浮游重选、重介质选矿等。

（3）浸出　对于复杂的锡精矿，往往用选矿或焙烧等方法不能将杂质（如锑、铋、铅、铁等）完全除去。由于锡石很难溶于盐酸中，而上述杂质又很易溶于盐酸，因而就产生了用盐酸浸出杂质而使其除去的办法。浸出作业是在用钢板作外壳，内衬橡胶及耐酸砖，外面装有齿轮带动旋转的圆筒浸出器内进行，浸出液用盐酸。

熔炼的准备工作依锡精矿的成分而定，可能采用上述作业的全部或部分工序。其工艺流程见图9-12。

2. 锡精矿还原熔炼

锡精矿还原熔炼在高温下（1100～1450℃）进行。在熔炼期发生两个主要反应过程：一是锡的氧化物和某些杂质（如铜、铅、锌、铋、锑、砷等）的氧化物在还原剂的作用下被还原形成粗锡；另一是在上述条件下，一些难以还原的氧

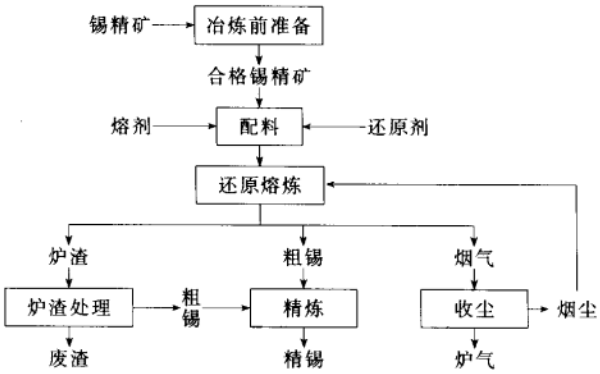


图 9-12 锡精矿还原熔炼工艺流程

化物，如硅、钙、铝、钽、钛、铌、钨等的氧化物在熔剂（如石灰石、石英等）的互相作用下形成炉渣。粗锡和炉渣彼此不互相溶解并因相对密度不同分为两层，因而分离获得粗锡和炉渣。

锡精矿还原熔炼炉种有鼓风炉、反射炉、电炉或短窑炉。目前熔炼精矿的鼓风炉普遍被反射炉所代替。

（二）粗锡的精炼

从反射炉或电炉熔炼出来的锡，一般含有 0.5%～6%的铁、铜、铅、锑、砷、铋等杂质。精炼的目的是除去以上杂质。工业上精炼粗锡的方法有火法精炼和电解精炼两种。目前多数工厂都采用火法精炼，其工艺流程见图 9-13。

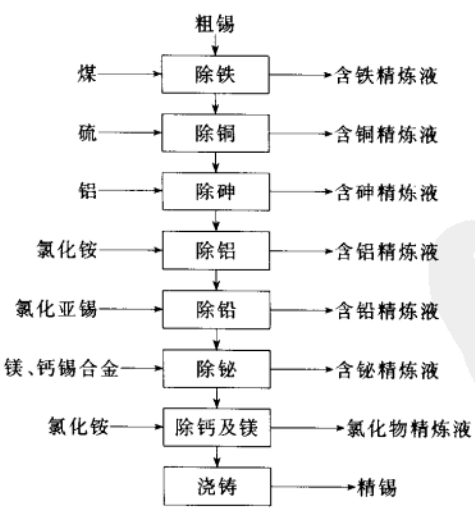


图 9-13 粗锡火法精炼工艺流程

二、职业病危害因素识别

锡冶炼生产过程中危害最主要的职业病危害因素是砷化氢和氧化砷。

（一）粉尘类

在矿石破碎、运输过程中存在矿石粉尘；锡精矿配料、烧结焙烧过程中存在煤尘、锡精矿尘和炉渣尘；在锡的还原熔炼、精炼过程中存在矿石粉尘、煤尘、炉渣尘。此外，在窑炉维修过程中可能接触高浓度的矽尘等。

（二）物理性有害因素

1. 噪声

矿石破碎机、球磨机、皮带运输机、干燥炉、反射炉、鼓风机、除尘风机等设备在运转过程中均产生高强度噪声，尤以破碎机、球磨机、鼓风机、除尘风机噪声危害较大。

2. 高温与热辐射

锡精矿的焙烧、还原熔炼和粗锡火法精炼等过程均在高温窑炉内进行，这些工作场所产生高强度的辐射热，在通风散热条件欠佳的情况下易形成高温、强辐射热生产环境。

（三）化学毒物类

锡冶炼过程中存在多种化学毒物，如砷化氢、氧化砷、铅烟、铅尘等。

1. 砷化氢、砷及其化合物

在烧结焙烧和鼓风炉熔炼过程中大部分砷及其化合物以烟尘的形态随烟气排出，并被除尘装置收留后进入炉灰中。因此，锡的焙烧、还原熔炼和除尘净化工作场所均存在砷及其化合物的职业病危害。特别是在收尘过程中可能皮肤和呼吸道同时接触高浓度的砷及其化合物。

含砷炉渣和炉灰在潮湿环境或遇水后会产生大量的砷化氢气体，常常是导致砷化氢职业中毒的主要原因。

2. 铅烟、铅尘及其铅的氧化物

在焙烧、锡鼓风炉熔炼、粗锡火法精炼过程中，因铅高温熔化产生大量铅烟和铅蒸气，铅烟和铅蒸气在空气中部分氧化成氧化铅，部分冷凝为铅尘。

3. 二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物

锡精矿焙烧一般采用碎煤或碎焦作燃料和还原剂，在多膛焙烧炉或回转窑中进行。煤燃烧过程中产生大量的二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、二氧化碳等有毒气体。

4. 盐酸

在熔炼前的浸出工段中，使用盐酸浸出方法去除锑、铋、铅、铁等杂质，因而产生盐酸雾职业危害。

5. 其他金属及金属化合物

在锡的冶炼过程中产生锌、锑、铁等及其氧化物粉尘。

三、职业病危害控制措施

1. 预防职业中毒措施

锡冶炼的职业病危害问题，最重要的是锡精矿熔炼前准备工段（焙烧和浸出）产生的砷化氢和氧化砷所引起的急性砷化氢中毒、慢性砷中毒等。此外，含砷炉渣和炉灰在潮湿环境或遇水后会产生大量的砷化氢气体，常常也是导致砷化氢职业中毒的重要原因。除砷的职业危害外，还存在铅中毒、金属烟雾热、牙酸蚀病等职业病危害。

工作场所应设置良好的通风除尘系统，要有足够的抽风量来维持罩口风速，排风罩设计形状应合理，确保除尘效果。工作场所地面应选用负压吸气干式清扫方式，禁止采用流水冲洗。另应做好个人防护，特别是在收尘过程中皮肤和呼吸道可能同时接触高浓度的砷及其化合物，应同时做好呼吸道和皮肤的防护。

2. 防暑降温措施

由于工作场所存在的热源较多，中央控制室、操作室、工人休息室等应安装空调，为操作人员创造一个舒适的工作环境。吊车司机室、岗位操作室应进行隔热处理，并配备制冷空调降温。炉前工、铸锭工应戴滤光防护眼镜，以真空镀膜制成的红外线防护镜效果较好。并供给含盐饮料，补充电解质的不足。

3. 防噪声措施

在设计时应尽量选用低噪声的设备，从源头控制噪声。中央控制室、操作室、工人休息室应进行隔声处理，如安装双层玻璃密闭窗、设隔声门斗等。发放防噪声耳塞或耳罩，要求工人进入噪声作业工作场所前必须配戴好耳塞（耳罩）。

4. 应急救援措施

锡冶炼过程中多处产生砷化氢气体，较易引起急性砷化氢中毒事故。企业应建立应急救援预案，对上述工作场所应安装毒物报警器和设立应急救援通道，设置警示标识，并配备个人防护用品等。

第六节　锑的冶炼

锑是一种稀有金属，在自然界中，锑矿石按其化学成分分为硫化锑、氧化锑和混合矿三种。按其含锑量依次分为青砂（或净砂）、麻子砂、花砂、印板砂等。锑矿石常伴生有少量砷、铅、铝、镁、铜、锌、硒、铁、钙等元素。金属锑可作为合金的硬化剂用于冶金、蓄电池及军工等行业，也是生产氧化锑的原料。三氧化二锑（锑氧、锑白）主要用作塑料、树脂、橡胶、油漆、纺织等易燃物中的阻燃协效剂。另外还广泛用于玻璃、搪瓷、涂料、触媒、冶金、化工等工业。三硫化二锑（生锑）主要用于安全火柴、鞭炮、弹药和橡胶工业。

一、工艺流程

锑有三种主要商品，即生锑、三氧化二锑（锑白）和纯锑（精锑），其生产工艺如下。

（一）生锑冶炼

生锑即三硫化二锑，含锑约70%，是由高品位辉锑矿石或锑精矿（即青砂）在坩埚炉或反射炉内用熔析法炼出来的。这种炼生锑的炼炉称生锑炉。通常由四套盛罐（又称熔罐、煮砂罐）与受罐连成一排生锑炉。每套盛罐与受罐各开一门，前门加料，后门出锑。各烟道互相连通，炼炉产生的含硫烟气均由烟囱排放。辉锑矿的熔点仅550℃，加热至此温度以上，硫化锑从脉石中析出，汇流在一起，铸成锭，即是生锑。熔析过程的温度控制在900～1000℃之间，过高或过低均对熔析不利。炼生锑需用40%以上的富矿石或锑精矿。其操作比较简单，将青砂锤成小块，装入盛罐，加温至900～1000℃，锑砂受热熔融成锑液，经盛罐孔流入受罐，将锑液倾入铁模铸锭。产生的二氧化硫及其他废气和少量挥发的锑氧化物从烟道排出，俗称烟磺。生锑渣或烟磺可以收集后重新进入氧炉再炼。主要生产设备是生锑炉、铁模等。熔炼生锑，硫烟大，污染严重。

可能存在的职业病危害因素：锤砂过程中产生矽尘，由锑矿在加热熔析、锑液注模等过程中产生大量的二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、二氧化碳、锑尘或锑蒸气、氧化锑、铅、砷等，并产生高温、强辐射等。加煤时有少量煤尘。其中较严重的危害因素是二氧化硫、锑、铅、砷和高温。

（二）三氧化二锑（锑白）的生产

锑白是纯洁的三氧化二锑，三氧化二锑含量不低于99%。制造锑白多采用金属锑为原料，在短炉膛的反射炉（亦称锑白炉）内加热熔化，用套有耐火泥管的铁管鼓入压缩空气，使锑氧化为三氧化二锑挥发出来并在一定的气氛下加以急骤冷却，使三氧化二锑蒸气直接冷凝为细粉状，导入布袋收尘系统加以收集。一般由炉体、冷凝系统、风机、布袋收尘系统等组成。其反应的化学方程式：

$$4Sb+3O_2 \xlongequal{} 2Sb_2O_3$$

生产工艺流程见图9-14，主要生产设施有锑白炉、冷凝系统、风机、收尘系统等。

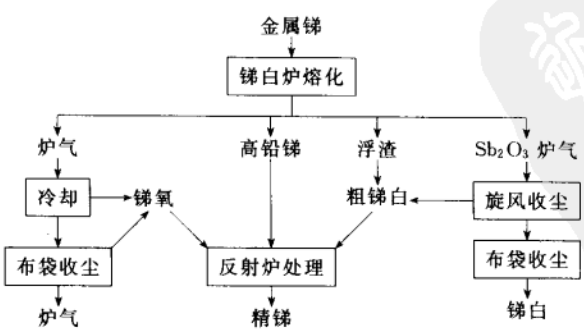


图9-14　锑白生产工艺流程

存在的职业病危害因素：锑白炉产生锑及氧化锑尘，及少量铅、砷等金属氧

化物尘，并产生高温、强辐射热、噪声等职业病危害因素。

（三）金属锑（纯锑、精锑）冶炼

纯锑的冶炼按所用原料不同分为：沉淀熔炼、挥发焙烧-还原熔炼、鼓风炉挥发熔炼、湿法炼锑。在这些方法中挥发焙烧-还原熔炼对原料的适应范围最大，应用最多。

1. 沉淀熔炼法

用废铁与辉锑矿共熔，铁置换硫化锑中的锑，生成硫化铁渣和金属锑。由于金属锑相对密度较大，富集在硫化铁渣的下面。冶炼可在坩埚炉、反射炉或电炉内进行，所用原料必须是富矿石或锑精矿。

2. 挥发焙烧-还原熔炼法

挥发焙烧的原理是把硫化锑矿氧化为具有挥发性的氧化锑，并从矿石内挥发出来，从而与脉石分离。

浮选精矿与焦炭混合后在焙烧炉中熔炼，产生含氧化锑的炉气，经收尘冷凝系统回收后，送纯锑炉熔炼为纯锑。生产工艺流程见图 9-15，主要生产设备有焙烧炉、纯锑炉、冷凝收尘系统、布袋室、烟柜等。

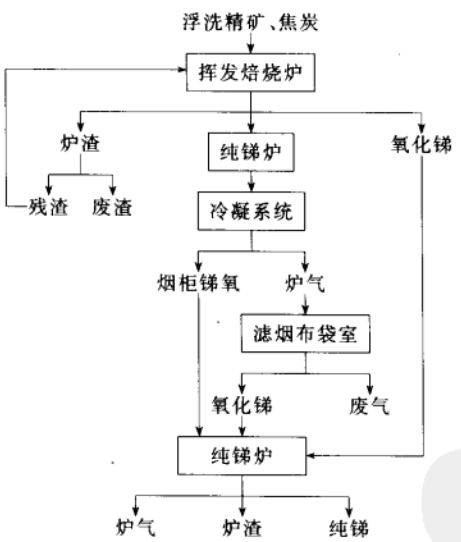


图 9-15 硫化锑矿挥发焙烧-还原熔炼工艺流程

3. 鼓风炉挥发熔炼法

鼓风炉挥发熔炼的原理与挥发焙烧基本相同。浮选精矿与石灰混合后经烘干，制成矿粒，经过筛分，成为粒矿或团矿。粒矿（团矿）在鼓风炉中挥发熔炼，使其气化从矿石中挥发出来。一部分生成含氧化锑的炉气，经冷气收尘系统回收，即粗氧化锑。一部分产生含硫的锑硫，锑硫经破碎后再入焙烧炉挥发熔炼，生成粗氧化锑。粗氧化锑经反射炉熔炼后生成精锑。生产工艺流程见图 9-16，主要生产设施有鼓风炉、冷凝收尘系统、焙烧炉、反射炉等。

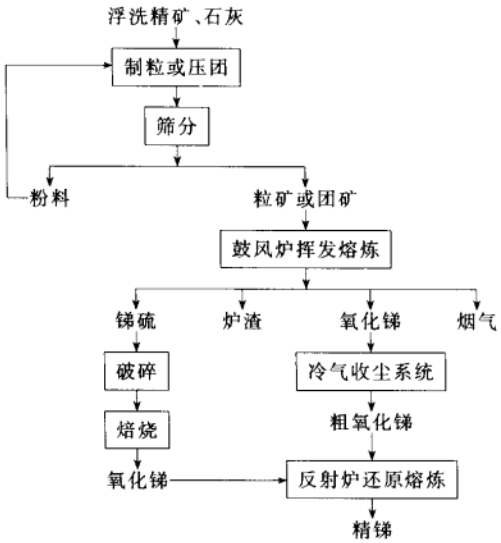


图 9-16　精锑鼓风炉挥发熔炼工艺流程

存在的职业病危害因素：在沉淀熔炼、挥发焙烧-还原熔炼、鼓风炉挥发熔炼等生产过程中，由于锑矿石中同时含有锑、硫、铅、砷等元素，在炉膛内均被氧化，产生氧化锑尘、铅和砷等氧化物尘、二氧化硫气体等。此外，加煤进料时产生煤尘，锑矿与煤燃烧产生一氧化碳、二氧化碳及高温、强辐射热。通风收尘系统和鼓风炉等产生强烈的噪声与振动。其中危害最严重的是锑尘、二氧化硫、铅、砷和高温等。

4. 湿法炼锑

湿法炼锑有两个主要过程：一是锑精矿的浸出，二是浸出液的电解。生产工艺流程见图 9-17。硫化锑精矿的浸出目前多采用的浸出剂是硫化钠（Na_2S）和苛性钠（NaOH），硫化锑溶解后变为硫代锑酸钠（Na_3SbS_3）。

存在的职业病危害因素：在工作过程中，所有溶液呈碱性，含砷量相当高，产生碱雾和砷污染；在阴极锑的熔铸过程中产生锑尘或锑蒸气；高温与热辐射、噪声等。

二、职业病危害因素的综合识别

各种锑冶炼中职业病危害因素大致相同，但其危害程度与矿石中铅、砷、硫含量密切相关。

（一）粉尘类

生产性粉尘是锑冶炼过程中主要的职业病危害因素，其中最重要的是锑尘。在焙烧炉、鼓风炉、反射炉、锑白炉、生锑炉等炼锑炉的每个工序中都存在锑尘或锑蒸气的危害。锑冶炼过程中产生的粉尘多属混合性粉尘，以锑和锑的化合物为主，并含有少量铅尘、氧化砷尘等。但烘干和制粒工序产生的粉尘中含有矽尘，锑品包装工序中产生的粉尘主要以粉状锑为主。锑尘可致锑尘肺或锑尘沉着症。

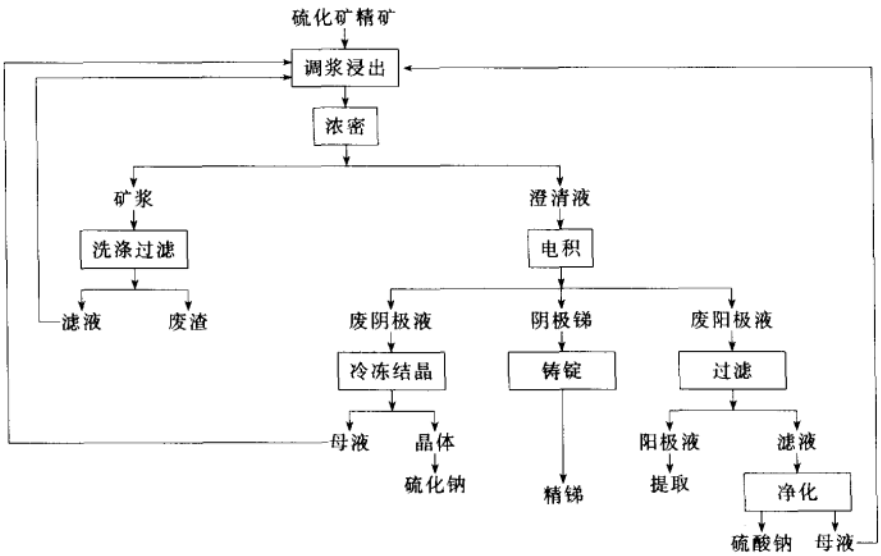


图 9-17 湿法炼锑工艺流程

（二）化学毒物类

1. 烘干与制粒

浮选锑矿石经烘干炉烘干和制成锑粒矿时，会产生少量的锑、铅和砷等毒物。

2. 炼锑炉

锑冶炼主要的炼炉有生锑炉、焙烧炉、鼓风炉、反射炉、锑白炉和烘干炉。锑矿石在熔析、熔炼过程中会产生锑尘和大量的锑蒸气，及少量的氧化砷、铅尘、铅烟、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳等职业病危害因素。其化学毒物的产生量与锑矿石的组分密切相关。如含铅、含砷量较高的矿石，车间空气中铅尘、氧化砷尘含量相对较高；含硫量较高的矿石，二氧化硫含量相对较高。

3. 锑白包装与布袋室

锑白包装和布袋室主要接触三氧化二锑，由于三氧化二锑是白色粉末状，较易分散到车间空气中。

（三）物理因素

1. 噪声

鼓风机、压风机、皮带运输设备、除尘风机等设备在运转过程中产生高强度的噪声。其特征多属中高频稳态噪声。

2. 高温和热辐射

烘干炉、生锑炉、焙烧炉、鼓风炉、反射炉、锑白炉均属高温窑炉，产生高温与强辐射热。

三、职业病危害防护措施

应针对粉尘、锑、铅、砷、二氧化硫、高温等职业病危害因素采取综合性防护措施。

1. 防尘防毒措施

① 在厂区总平面布置时，车间与车间之间要有足够的防护距离，防止污染物的相互影响。

② 选用先进的锑冶炼工艺、设备和技术。如各炼炉的加料、出料、配料和锑白包装等生产实行机械化、自动化操作，减少工人直接接触机会。

③ 保持工作场所的清洁，地面经常洒水，抑制粉尘飞扬。

④ 加强生产设备的密闭，尘毒散发点的通风收尘。

⑤ 加强个人防护，必须配戴防尘口罩、工作帽、工作服，搞好个人清洁卫生，勤洗澡、勤换衣。

2. 防暑降温措施

① 各炼炉应尽量布置在车间主导风向的下风侧，天窗下，相互之间要保持一定的距离，防止热源的叠加作用。

② 加强自然通风及机械通风，以降低车间内的温度。

③ 夏季是炼锑工人锑性皮炎（又称锑痒疮）的高发季节，应发放锑痒疮防治药物，如薄冰霜等。

④ 做好防暑降温工作，供应清凉饮料和防暑药物等。

3. 噪声防护措施

① 在厂区总平面布置时，噪声源与人员相对集中的车间之间要有足够的防护距离，或设立噪声隔离带。

② 压风机房、鼓风机房、破碎机房等高强度噪声源应采取隔声措施，对墙壁、门窗进行吸声与隔声处理。

③ 对振动较大的设备应进行隔振处理，减少噪声的传播。

④ 空气动力性噪声设备应安装消声器。

⑤ 进入噪声强度超过 85dB（A）的工作场所应配戴防噪声耳塞或耳罩。

第七节　镉的提炼

镉是一种柔软富延展性、银白色并带蓝色光泽的稀有金属。镉的产品主要是精镉（镉锭或镉粒）。镉的化学性质接近于锌，常温下镉在潮湿的空气中缓慢氧化，加热燃烧形成红色火焰，氧化成棕褐色氧化镉尘，镉易与卤素、磷、硒、硫和碲反应生成相应的化合物。镉广泛用于镀镉工艺，易与铅、锡、铋、铟、锌、银和铜等金属形成各种用途的合金。镉和镉的合金主要于用防腐涂层、合金添加

剂、低熔点合金、电池、稳定剂、颜料等。

一、工艺流程

工业上冶炼镉的原料都是冶炼厂的中间物料，其中95%的镉来自锌生产的副产品。用于镉冶炼的原料主要是湿法锌冶炼厂产生的含镉渣（Cd含量为4.5%～40.0%），蒸馏法锌冶炼厂产生的富镉兰粉（Cd含量为0.5%～5.0%），铜与铅冶炼厂的烟尘（Cd含量为2.0%～5.0%），锌焙烧烟尘、颜料厂的废渣及废电池回收等。

根据镉原料来源，镉冶炼的主要工艺可分为电积法、置换法和蒸馏法等。按冶炼方法又可分为火法和湿法。其原理主要是把硫酸加入含镉原料中，把镉浸出，加入锌粉置换后，经过压滤而得海绵状粗镉（含镉75%以上），再加硫酸及高锰酸钾使之液化（称这为“压液”）。将经过压滤、除铜后的镉新液进行电解，然后在高温（450～550℃）将镉片熔化铸锭而得到纯度为99%以上的金属镉。

（一）从湿法炼锌中所产的镉渣中提炼镉

1. 含镉锌渣（镉渣）的成分

湿法冶炼硫化锌精矿时，镉富集在浸出液净化过程的残渣中。由于锌精矿成分的差异及净化程度和方法的不同，所得的净化渣的成分也有所不同。这种含镉渣的主要成分是锌（20%～60%）、镉（5%～40%）和铜（0.75%～20%），其形态为金属的氧化物。此外还有少量的砷、锑、钴、镍、铊、铟、铅和二氧化硅等杂质。

2. 电积法

镉渣经球磨后用硫酸或锌电解废液直接在空气搅拌槽或机械搅拌槽内进行浸出。其工艺流程如图9-18。

为了加速浸出，浸出过程温度控制在85～90℃，搅拌到酸度在pH 2.5～3.0，并稳定半小时，酸度不再下降时，加入二氧化锰粉，并加适量石灰乳中和残酸，使pH达到5.2～5.4，以除去浸出液中部分杂质。浸出后进行液固分离，得到的浸出液在机械搅拌槽内，在50～55℃的温度下，用锌粉置换镉。压滤后的海绵镉经自然氧化或在干燥炉内加热氧化后，用镉电解废液和硫酸溶解（又称造液），在一定条件（控制温度85℃，搅拌浸出2～3小时，当溶液酸含量降到0.5～1g/L，并保持半小时不降酸时）控制下，加入适量的高锰酸钾，然后加入石灰乳中和到pH 5.2～5.4，以除去Fe、As、Sb等杂质。再加入新鲜海绵镉除铜。净化后的溶液测定铜、锑合格后，方可进行电解。电解过程中，添加碳酸锶或碳酸钡以控制阴极镉含铅量。采用铅银阳极和铝阴极。析出镉在铁锅内熔化铸锭，熔化温度控制在500～550℃。为了防止镉的氧化，熔融镉表面要覆盖一层苛性钠，它还可以除去镉中少量杂质锌。若析出镉中含有杂质铊时，还应加入适量氯化铵。目前国内均采用此法从铜-镉渣中回收镉。

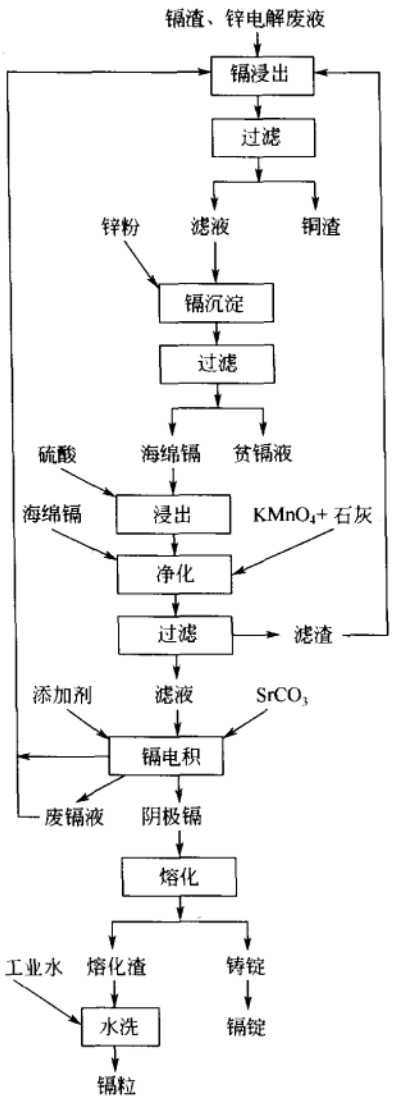


图 9-18 电积法生产镉工艺流程

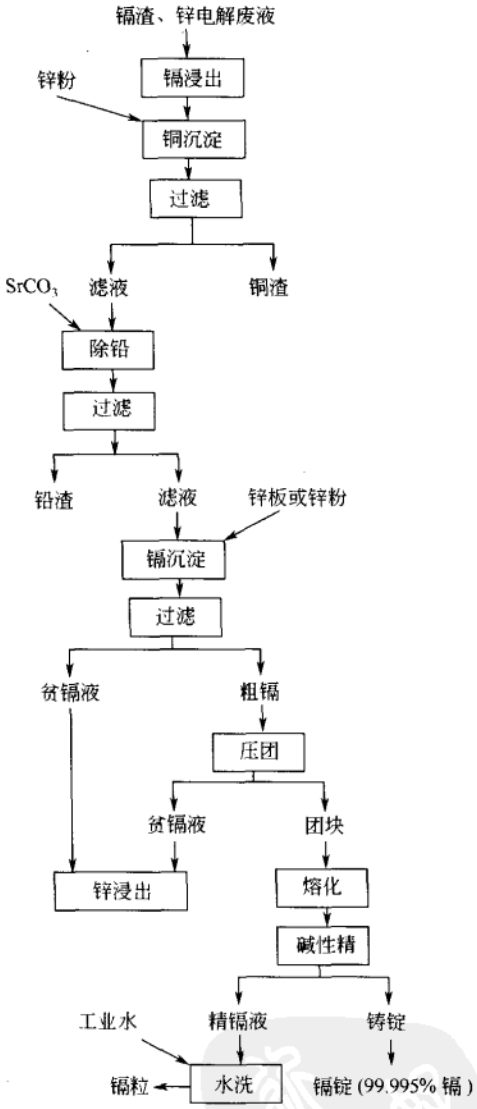


图 9-19 置换法生产镉工艺流程

3. 置换法

由于高镉渣用锌电解废液浸出，大部分铜不溶解，少量溶解的镉可用锌粉除去。添加碳酸锶或碳酸钡沉淀铅。用这种简单的方法脱除杂质，特别是铜、镍和铊是不完全的，产品含镉仅 99.95%。欲生产含镉 99.99%的产品，必须进一步净化溶液。为此必须将铜、镍和铊的含量除至 1mg/L 以下。铜和镍可在添加 As_2O_3 时用锌粉置换除去。如果镍不难脱除，则可用硫化物沉淀铜。添加重铬酸钾，使铊生成重铬酸铊而除去。净化固液分离后，加入低于化学计算量的锌

粉，沉淀析出镉，其中含锌 0.5%～2%。粗镉经洗涤压团后，装入钢锅内在氢氧化钠层覆盖下进行碱性精炼，并通入空气搅拌除锌。熔化时还加入氯化铵以除去铊，熔炼温度 390～500℃，碱性精炼后浇铸成锭。其工艺流程如图 9-19。

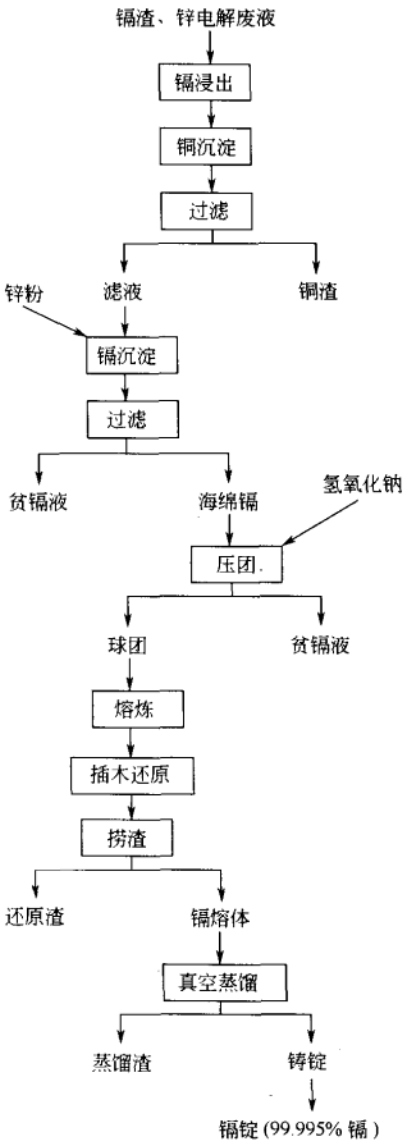


图 9-20 蒸馏法生产镉工艺流程

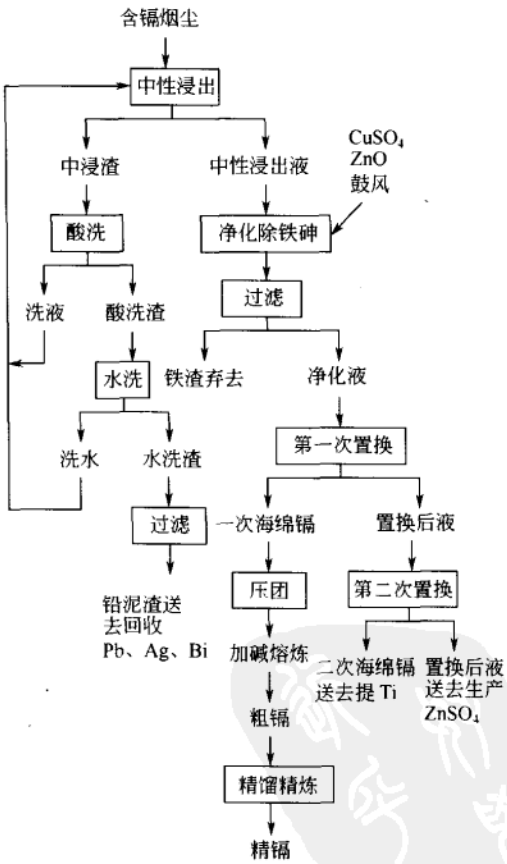


图 9-21 从烟尘中提炼镉工艺流程

4. 蒸馏法

镉渣经浸出，浸出液经锌粉沉淀镉而得到粗镉。为了避免沉淀物含锌高，置换时添加低于化学计算量的锌粉。得到的海绵镉通过压团而制得脱水的球团。真

空蒸馏原理是基于大多数杂质的沸点比镉高，通过在450～500℃真空蒸馏，镉在蒸发器内连续蒸发进入回流冷却器内。冷凝的精镉直接从贮槽放出铸锭。其工艺流程如图9-20。

5. 职业病危害因素识别

从镉渣中提炼镉的工艺的主要职业病危害因素有镉、砷化氢、铅、砷、锑、铊、镍、硫酸、硫化物等化学毒物。金属镉的提炼多在厂房内进行，为半自动化生产。浸出、置换、压团、过滤、造液、电解等工序为湿式作业，反应罐密闭不良时有部分镉、铅、砷、锌、锑、铊、镍等蒸气逸出。加料时有氧化镉粉尘飞扬。含镉锌渣球磨或破碎时可有少量的混合性金属粉尘产生。为防镉烟的逸出，熔镉锅内的液态金属镉表面覆盖一层氢氧化钠。酸浸和置换时产生酸碱雾。铸镉时产生镉烟。在酸浸或置换时，锌渣的砷离子和酸中的氢离子生成砷化氢气体逸出。此外，生产过程中产生高温与辐射热、噪声与振动等。

(二) 从含镉烟尘中提炼镉

在铅、锌、铜火法熔炼过程中产出的烟尘一般含有较高的镉、砷、锑、氯和少量稀有元素。从烟尘中回收镉的方法视烟尘的成分而定，与湿法炼锌得到的含镉渣的处理不同之处在于烟尘需经富集，然后使镉转入溶液。烟尘的富集及使镉转入溶液主要采用下列两种方法。

一是如果最初得到的烟尘含镉在1.0%以下时则需进行二段火法富集。常将烟尘多次返回烧结（或焙烧），以提高其中镉含量达10%～12%。其次是在鼓风炉或反射炉中加入石英熔剂和焦炭屑进行二段富集熔炼，得到的富集镉尘中镉含量可达25%～30%。

二是因为烟尘中的镉大部分是呈硫化物状态存在，为了使镉转变为可溶状态，需进行氧化焙烧或硫酸化焙烧。通过富集处理后的镉烟尘用硫酸进行浸出，所得浸出液的后续处理方法基本上与处理湿法炼锌含镉渣的方法相同（图9-21）。

1. 含镉烟尘的成分

锌精矿焙烧烟尘中主要是锌和铅。铅烧结烟尘中主要是铅、硫、铁、锌。铅鼓风炉烟尘中主要是铅、锌、硫、砷、镉。炼铜厂鼓风炉和转炉烟尘中主要是铁、铜、硫、锌。含镉烟尘中普遍存在的金属元素有镉、锌、铅、砷、硫、铜等。具体见表9-3。

表9-3 几种含镉烟尘的成分 /%

烟尘来源	Cd	Zn	Pb	As	Sb	Cl	S	Cu	Fe	Ti	In
锌精矿焙烧烟尘	0.80	37.50	20.00	0.40		2.00	1.40	5.20			
铅烧结烟尘	0.36	2.85	58.30	0.34		1.40	6.20	0.38	5.60	0.004	
铅鼓风炉烟尘	2.30	21.70	49.10	4.00	0.12	1.50	7.20	0.10		0.028	0.0006
炼铜厂鼓风炉烟尘	0.03	5.77	0.14	0.06		6.80	5.21	41.90		0.002	
炼铜厂转炉烟尘	0.06	3.71	1.63	0.17		6.00	21.60	16.50			

2. 直接浸出-精馏（真空蒸馏）联合流程法

为了提高镉的回收率，较先进的方法是硫酸化沸腾焙烧。先将烟尘和浓硫酸混合制粒，然后在300℃下进行硫酸化沸腾焙烧。94%的镉变为硫酸镉，大部分的砷、氯和氟挥发除去。而除硒以外的其他稀有金属留在硫酸化焙烧产品中。镉的浸出率可达96%。浸出可采用稀硫酸两次逆流浸出。酸浸终止酸度为60g/L左右，溢流返回中性浸出。酸浸渣含铅高，可作为炼铅的原料。中性浸出终止pH为4.8～5.2。浸出液经净化处理，锌粉沉淀镉后得到粗镉，粗镉进行精馏（真空蒸馏）而得成品镉（图9-20、图9-21）。

3. 职业病危害因素识别

使用不同的含镉烟尘产生的毒物种类不尽相同，但含镉烟尘中普遍存在镉、锌、铅、砷、硫等化学元素。浸出、置换工序使用硫酸等强酸，产生硫酸雾。熔化炉添加大量氢氧化钠，产生氢氧化钠烟雾。从铅烟灰中生产镉浸出过程需用氯气，因此存在氯气的危害。含砷较高的烟尘提炼镉时可产生砷化氢和砷的氧化物，含硫高的烟尘可产生硫化氢和二氧化硫气体。综上所述，可能存在的职业病危害因素为镉、铅、砷、砷化氢、二氧化硫、硫酸、氢氧化钠、氯气、硫化氢等化学毒物。由于普遍采用湿式作业和密闭化生产，生产过程中粉尘危害较小，只有在加料、压团、熔化时可能存在粉尘。

（三）从高镉锌（Zn-Cd）中提炼镉

密闭鼓风炉炼铅锌，其中产出高镉锌，从高镉锌中提炼镉如采用湿法或湿法与火法联用，则流程长，加工费高。而采用小型精馏塔一次精馏得粗镉，然后用氢氧化钠和硝酸钠作为添加剂进行火法精炼，可得到一级以上的精镉。用硫酸浸出时加入一定量的硝石后经还原浸出，成为浸出液。在一定温度下经加入亚硫酸钠还原沉硒过程产生硒绵和沉硒后液。沉硒后液加入一定量的亚硫酸钠和氯化钠后经还原沉碲过程产生碲绵和沉碲后液。沉碲后液再进行镉的提炼。

存在的职业病危害因素：反射炉、富集熔炼鼓风炉产生大量的烟尘，酸浸时产生酸雾。精馏塔精馏和火法精炼产生镉、砷、铅、硫化物等化学毒物。

（四）从镍镉电池废料中提炼镉

日本一些锌冶炼厂将镍镉电池泥渣（Cd含量5%～7%，Ni含量5%～7%）作为提镉的原料之一。将Cu、Cd从渣中一道浸出，采用电积法生产镉。海绵镉置换尾液需经净化除镍后，才能送到锌系统以回收其中的锌。从尾液中用锌粉除镍，必须使溶液含铜量达500mg/L，并在温度高于70℃的条件下进行，锌粉用量需为尾液中Cd、Cu、Ni含量的1.2～1.5倍。净化时间30分钟，使溶液中的镍、铜、镉均可达到微量。

存在的职业病危害因素：镉盐、镍盐和酸雾等。

二、职业病危害因素综合识别

镉渣和含镉烟尘中都含有镉和铅、砷、硫等共生物，因而存在镉、铅、硫化

氢、砷和砷化氢等剧毒化学毒物，可能发生的职业病有急性砷化氢中毒、硫化氢中毒、镉中毒、铅中毒、砷中毒、牙酸蚀病等。

1. 化学毒物

镉的冶炼是在密封管道和湿式作业中进行，环境中的毒物一般以蒸气的形式存在。生产过程中主要有镉、砷、铅、砷化氢、硫化氢等化学毒物。依据镉渣或烟尘的成分不同，还可能存在锑、镍、铊等，但一般含量较少。存在的主要岗位是浸出、置换、粗炼、真空蒸馏和精镉铸锭等。镉渣及镉尘的酸浸和锌粉置换沉淀镉的过程中会产生砷化氢，一旦泄漏或逸出，可能导致严重的急性砷化氢中毒。加硫酸和氯气时容易导致氯气泄漏、酸雾和化学灼伤，应注意个人防护。

2. 粉尘类

粉尘类职业病危害因素主要是混合金属性粉尘，其防治重点为加料、熔化等工作岗位。

3. 物理因素

各类工业泵、风机等产生机械噪声，熔炼过程中存在高温与辐射热等。

三、职业病危害控制措施

1. 通风防毒措施

① 为减少烟尘和镉、铅、砷等毒物蒸气的逸散，提高空气的净化程度，在镉的熔炼、精炼和熔化铸造过程中，敞开的金属流槽或熔池表面积就尽可能小。在操作孔、出口和流槽处应安装排风罩。铸镉一般为手工操作，其熔锅上方及墙上均应有机械排风装置。

② 为了减少镉的蒸气逸散，所有的熔池表面需用厚层苛性钠覆盖，并安装高效吸尘器。

③ 镉的酸浸和置换沉淀镉的过程中，产生砷化氢，应重点防护。主要措施有：一是加强工作场所的通风；二是安装安全报警装置；三是严格按安全操作规程进行操作；四是穿戴好防毒面具等个人防护用品。

④ 做好个人防护。应穿戴好防护服、防护衣和防护面罩，注意个人卫生，如勤换衣、勤洗澡等。

2. 应急救援措施

镉的提炼易导致砷化氢、硫化氢、镉、二氧化硫、硫酸等急性职业中毒事故，并可能存在氯气罐等重大危险源。企业应建立应急救援预案，对上述工作场所应安装毒物报警器和设立应急救援通道，设置警示标识，并配备个人防护用品等。

第八节　铟的提炼

铟是一种柔软、具有金属光泽的银白色金属。铟在常温（25℃）空气中保持

稳定，不发生氧化。铟的主要产品是金属铟，如高纯铟、铟锭、铟片、铟粒等，由于提炼方法不同，产品中铟的纯度也不一样。铟作为添加剂或组成成分可提高金属硬度和抗腐蚀能力，因而可用于轴承材料；铟还是低熔点合金的组成成分，用作钎焊料；铟可用于玻璃与金属间的密封剂；在电子工业中，铟是砷化铟、锑化铟和磷化铟等半导体材料的重要组成成分；在半导体器件工艺中，一种以ITO（Indium Tin Oxide）知名的透明导电玻璃获得了广泛应用。

一、工艺流程

全世界约90%的铟主要作为冶炼铅、锌的副产品从熔渣、阳极泥、烟尘等中提炼回收。铟的综合回收工艺取决于原料成分、回收金属品种及成本等多方面因素。

1. 萃取法

我国首创的从硫酸体系中萃取回收铟、锗、镓的工艺是一个较先进的工艺。从含镓、铟、锗的硫酸盐溶液萃取铟，先加入萃取剂生成有机相，后加入盐酸反萃取，生成铟水相，铟水相通过置换、电解后生产金属铟。这个工艺特别适用于湿法炼锌厂，其主要特点为：

① 在硫酸介质中萃取铟；

② 铟的回收率超过90%；

③ 为降低成本可同时萃取锗与镓。

其工艺流程见图9-22。

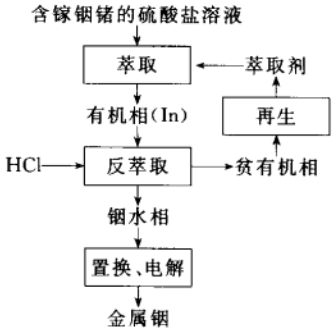


图9-22 萃取法回收铟工艺流程

职业病危害因素识别：主要是在置换和电解时产生砷化氢气体，以及少量硫化氢、铅、镉、砷等化学毒物的蒸气。使用盐酸进行萃取和反萃取时，产生盐酸雾，注意防止化学灼伤。

2. 电解法

在半导体工艺中需要高纯铟。为此，采取萃取法对冶金过程中提取的铟要进一步精炼。电解法是制备高纯铟的主要方法。因电解条件不同，可获得纯度等级不同的高纯铟。如配制成含铟80～100g/L和NaCl 100g/L的电解液，采用电流

密度 50～100A/m²、槽压 0.20～0.35V，可得 99.99%电解纯铟。采用汞齐电解法并添加溴化钾或碘化钾，电流密度为 0.02A/m²，可获得 99.9995%的高纯铟。其工艺流程见图 9-23。

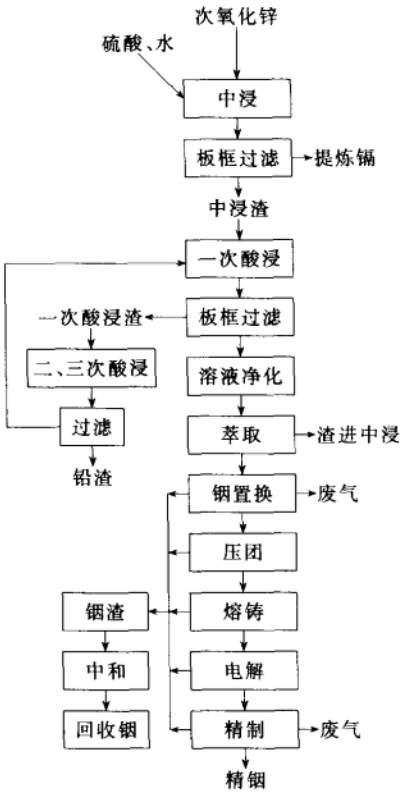


图 9-23　电解法生产铟的工艺流程

职业病危害因素识别：在中性浸出、铟置换、铅渣处理、精制等工艺过程中主要存在砷化氢气体和少量的铅、砷、镉、硫化氢等，此外，电解设备产生极低频电磁场。

3. 其他方法

除上述方法外，还可以辅之以分步蒸馏法、区域提纯法或乔赫拉尔斯基法等。可以获取 6N（99.9999%）或 7K（99.99999%）的超铟。

职业病危害因素识别：主要存在砷化氢、铅、砷、镉等化学毒物。

二、职业病危害因素综合识别

铟主要是从铅、锌等金属冶炼中的废渣（如熔渣、阳极泥、烟尘等）中进行提炼回收的。生产过程中产生的化学毒物与原料的化学组分密切相关。主要是砷化氢、砷、镉、铅等化学毒物。同时要防止使用强酸时引起化学性灼伤。急性砷化氢中毒是最常见的职业病，应重点防范。此外，还可能发生慢性镉中毒、铅中

毒、砷中毒等。

1. 化学毒物

铟的冶炼多在湿式作业或密闭容器中进行。车间空气中的毒物一般以蒸气的形式存在，主要有砷化氢、砷、镉、铅、硫酸、硫化氢等化学毒物。存在的主要岗位是酸浸、置换、精炼、溶液净化、萃取等。在置换铟的过程中会产生砷化氢气体，一旦通风不良，可引起砷化氢气体聚集，导致严重的急性砷化氢中毒事故。

2. 其他职业病危害因素

铟的冶炼大多是在湿式环境中的浸出过程，因此粉尘、高温、噪声等的危害不太明显，也不是主要的职业病危害因素。

三、职业病危害防护措施

铟不是人体必需的微量元素，但对人体的毒性不大，属一种微毒性元素。至今尚无有关铟中毒的报道。因此，铟提炼工艺中的职业病危害防护措施不是针对铟本身对人体的危害，而是针对生产过程中可能产生的其他化学毒物对人体的健康影响。

1. 防尘防毒措施

① 加强工作场所通风措施，减少砷化氢、镉、铅、砷等毒物蒸气逸散，提高空气的净化程度。在酸浸、萃取和反萃取时，要加强机械通风和工作场所的自然通风。

② 在铟的置换岗位产生砷化氢气体。应有强制性通风设施，安装砷化氢气体报警装置，严格执行安全操作规程，并配戴好防毒面具等个人防护用品。

③ 手工铸铟岗位，最好放在自然通风良好的宽敞地域，其熔锅上方及墙上均应有机械排风装置。

2. 应急救援措施

在铟的提炼生产过程中，易导致急性砷化氢中毒和硫酸化学性灼伤等急性事故。企业应建立应急救援预案，上述工作场所应安装砷化氢毒物报警器和设立应急救援通道，设置警示标识和配备个人防护用品等。

第九节 汞的冶炼

汞是在常温下唯一的液态金属，我国历史上有汞的记载已达三千多年。汞是现代工业生产和科学技术不可缺少的材料，我国曾经是世界上生产汞最多的国家之一，储量居于世界前列。

一、工艺流程

由硫化汞矿石炼汞，自古以来都是采用火法冶炼。火法炼汞简单实用，主要

包括两个基本过程：一是汞矿石的焙烧或蒸馏；二是汞蒸气的冷凝。炼汞工艺流程见图 9-24。

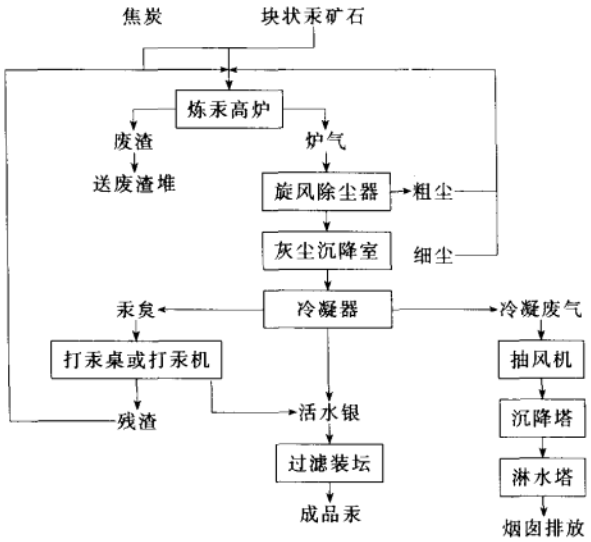


图 9-24　高炉炼汞工艺流程

（一）火法炼汞

硫化汞（HgS）矿物在氧化焙烧过程中的变化与其他金属硫化物不大相同，其中的硫虽然同样氧化为二氧化硫，但汞不能氧化为固体的氧化汞（HgO），这是因为氧化汞在高温下极不稳定，即使生成，也会马上分解。再则汞的沸点仅357.25℃，而一般焙烧温度为800℃上下，所以焙烧产物只能是汞蒸气和二氧化硫。这样，所谓汞矿石的焙烧实际上是一种一步化炼汞过程，汞蒸气经冷凝器的冷却凝聚作用后获得液态汞。

1. 高炉炼汞

高炉炼汞设备主要包括炼汞高炉、冷凝器及其前后的附带设备（除尘设备和冷凝废气处理设备）三部分。高炉所用原料主要是块状汞矿石，燃料主要用焦炭，有时搭配一部分木炭，高炉炼汞的最终产物除成品汞外只有废渣和废气，中间产物是汞炱。

高炉炉气的含汞浓度，随矿石含汞品位、入炉空气量及出炉以后的温度变化而变动。矿石含汞品位愈低，入炉空气愈多，出炉气体温度愈低时，炉气含汞浓度也愈小。

现代高炉炼汞所用的冷凝器多为铸铁管组成的竖式冷凝器。在正常情况下，炉气一进入冷凝器就应开始冷凝，一部分形成活水银，流聚在水槽内，即是汞金属产品；另一大部分，形成汞炱，待进一步处理。

冷凝器对炉气的冷却无论如何不会低到厂房内的气温，通常要求把炉气冷却

到40～50℃，冷凝废气内仍有不少汞蒸气。为了提高汞的回收率，现代炼汞厂多在抽风机后设置木制的沉淀塔和水淋塔，利用扩大横断面以降低气体流速并对气体淋水冲洗、降温等作用使烟囱排出的汞的损失进一步降低。

汞炭是一种中间产物。矿石品位愈低，粉矿愈多，除尘效率愈差时，则在冷凝器内产出的汞炭也愈多。汞炭的处理方法通常是先使沉降脱水浓缩，变为稠密物质，再拌以石灰进一步脱水并破坏包裹汞珠的薄膜，然后在铁锅内或带梆的铁板（俗称“打汞桌”）上用平面锄加以挤压，将汞挤出来。处理后的残渣仍含有不少汞，通常作为返料再进行焙烧或蒸馏。

2. 沸腾炉焙烧炼汞

沸腾炉是现代最先进的焙烧工具，不但生产能力高，而且炉温和炉内气氛都容易控制，因此用沸腾焙烧来处理汞矿石，很早就引起人们的注意。现在沸腾焙烧已成功地处理复杂汞精矿和单纯的辰砂矿。

（二）湿法炼汞

湿法炼汞近年来多趋向于用来处理浮选精矿，包括碱性浸出和电积两个主要过程。采用湿法炼汞，由于浸出和电解过程差不多都是在常温下进行，汞面上有水溶液覆盖，汞蒸气不容易逸出，可以防止或减少生产过程中的汞中毒事故。

1. 汞精矿的浸出

硫化汞能在硫化钠水溶液内很好溶解，生成硫代汞酸钠。为了防止硫化钠发生水解，在浸出剂内加入苛性钠。对硫化汞精矿采用的浸出剂为25%硫化钠和苛性钠的混合水溶液，两者的比例为4∶1。浸出温度30℃。

2. 浸出液的电积

汞浸出液的电积，阳极用石墨，阴极用汞，即在电解槽底放一层汞作为阴极。为了防止浸出液中的硫化物在阳极上遭受氧化，多采用隔膜电解。

（三）汞的精炼

由高炉冷凝器取出的汞，俗称毛汞，品位约99.5%，毛汞内杂质量虽少但种类很多，其中包括气体、水分、油脂、固体物以及各种金属等。

以毛汞作为原抖，精炼的第一步是过滤，除掉夹杂的固体物。如果含有有机物（如油脂），则用碱性溶液洗涤，然后再用水把碱液洗掉。

为了除掉汞内比汞的活性大的金属杂质，通常采用阳极氧化法，即以汞作为阳极，不锈钢作为阴极，在酸性溶液内进行电解，这时汞内那些比汞活性大的金属即行溶解，进入溶液而与汞分离。较汞惰性更高的金属，如金、铂、铱等贵金属，需要进行以过氯酸为电解液的电解精炼。汞内最顽固的金属杂质是铅和铜，必须采用蒸馏方法才能把它们除掉，有时需要蒸馏数次（重蒸馏）才能除净。

二、主要职业病危害因素识别

1. 粉尘类

主要是矿石尘和作为燃料的煤尘两大类。在矿石搬运和破碎过程中，以及矿

渣处理过程中均产生矿石尘，其危害性主要决定于矿脉的化学成分，如果含石英高，则危害性大。

2. 化学毒物

在汞的冶炼过程中均存在汞蒸气的职业病危害，尤以火法炼汞最为严重。火法炼汞焙烧过程中还产生大量的二氧化硫气体。

3. 物理因素

主要是高温与噪声等。

三、职业病危害防护措施

① 提高生产设备与工艺机械化、自动化水平，尽量减少劳动者直接接触机会；

② 各生产厂房内要保证良好的通风；

③ 各生产设备要尽可能加以密封，以减少烟尘和汞蒸气在车间内的弥漫；

④ 要尽可能降低冷凝器以后的废气温度，必要时采用化学方法对废气加以净化；

⑤ 及时清扫流失在车间地面上的汞，减少汞的蒸发；

⑥ 操作人员必须身穿工作服并戴过滤口罩，不得在车间内进食，下班后要洗澡更衣，避免把汞污染带回家。

第十节　钒的冶炼

钒是一种稀有的、柔弱而黏稠的过渡金属。钒在自然界中分布很广，一般都不会形成单独的矿床。主要是与铁、钛、铀、钼、铜、铅、锌、铝等金属矿共生，或与碳质矿、磷矿共生。在开采与加工这些矿石时，钒作为共产品或副产品予以回收。

钒以钒铁、钒化合物和金属钒的形式广泛应用于冶金、宇航、化工等工业部门。自然界中钒一般以化合物的形式存在。约 65 种钒的化合物在自然界中出现，其中有硫化钒（VS_4）、绿硫钒矿（VS_2 或 V_2S_4）、钒铅矿［$Pb_5(VO_4)_3Cl$］、钒酸钾铀矿［$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$］等。

一、工艺流程

生产钒用的原料种类繁多，性质差别较大，常用原料及处理方法见图 9-25。由于钒原料中的含钒量低，首先要使它从其他大量的组分中分离出来，得到比较纯净的钒化合物，如五氧化二钒等。其处理过程基本上分成三步：

① 使钒从原料中溶解出来，得到含钒溶液；

② 将溶液中的钒沉淀下来，得到钒的化合物或五氧化二钒；

③ 再熔炼成钒铁或其他钒产品。

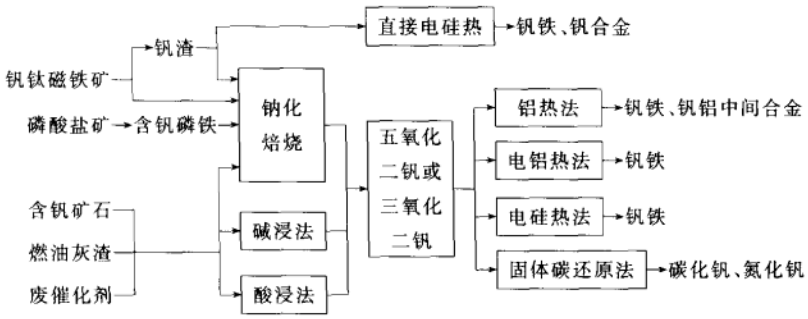


图 9-25 钒冶炼工艺流程

（一）钒的湿法冶炼

从钒原料中提取钒化合物或五氧化二钒的工艺都需要经过湿法冶金处理过程。钒湿法冶金通常分下述三步进行。

第一步是加盐焙烧，通常将所加的盐称为附加剂。常用的附加剂有食盐（NaCl）、纯碱（Na_2CO_3）、芒硝（Na_2SO_4）等，其目的是使钒在焙烧过程中转化成可溶于水的钠盐。焙烧过程是在氧化气氛条件下进行的，在这个过程中钒与氧反应，由低价转变成+5价，所以这种焙烧过程称为氧化-钠化焙烧。

第二步是用水或其他溶剂与焙烧过的物料接触，使钒进入溶液中，从而和大部分的难溶杂质分离，这个过程称为浸取或浸出。

第三步是将钒从含钒溶液中提取并制成钒化合物。通常还将钒化合物制成钒铁。

为了使钒从含钒原料中转入溶液中，按原料的组成，提钒过程大致可分三种方法：

① 加入附加剂，进行氧化-钠化焙烧，用水浸取（或先用水浸，再用稀酸浸出），使钒进入溶液；

② 加入附加剂，进行氧化-钠化焙烧，碳酸化浸取；

③ 直接用酸浸取。

1. 氧化-钠化焙烧

含钒原料与钠盐混合后在氧化性气氛中于高温下焙烧，将钒原料中不溶性钒转化为水溶性钒盐，通过浸出将钒从钒原料中分离出来，得到含钒的水溶液。钒生产中用作焙烧附加剂的钠盐有 NaCl、Na_2CO_3、Na_2SO_4、$NaNO_3$、$NaClO_3$等。焙烧使用的设备主要有回转窑和多层焙烧炉两种。

2. 钒的浸出

钒原料经过钠化焙烧后的水浸过程是在固液两相间进行的。当焙烧料与水接触后，固相中的水溶性钒化合物由于其本身分子的扩散运动和水的溶剂化作用，便逐步从内向外扩散进入水溶液。除了水浸过程外，工业生产中也采用酸浸出和碱浸出。酸浸出一般采用硫酸，碱浸出主要为碳酸钠、碳酸氢钠、碳酸铵或碳酸

氢铵的水溶液。

3. 钒的沉淀分离

在各种浸出方法得到的含钒浸出液中加入沉淀剂，使钒得到沉淀分离。

（1）钒的水解沉淀　钒的水解沉淀就是往含钒酸钠的浸出液中加酸（硫酸或盐酸），调节溶液的 pH 到一定值，在加热和不断搅拌下，即析出红色钒沉淀。过滤后得到的滤饼一般称为红饼。

（2）钒酸铵沉淀　往含钒浸出液中加入铵盐（硫酸铵、氯化铵或氨水）可以使钒酸钠变成钒酸铵沉淀。

（3）钒酸钙与钒酸铁沉淀　钒酸钙、钒酸铁沉淀法是从低浓度的含钒溶液中回收富集钒的方法。对于含钒浓度低的碱性溶液可用钒酸钙法沉淀钒。沉淀剂可用氯化钙溶液、石灰或石灰乳。稀的含钒酸性溶液可用钒酸铁沉淀法回收钒，沉淀剂用硫酸亚铁。

（二）金属钒的生产

生产金属钒的方法主要有钙热还原法、氯化物镁热还原法与真空碳热还原法。用这些方法所得到的钒含杂质高、塑性差，需要经进一步提纯后才能得到塑性钒。提纯钒的方法有熔盐电解精炼法、真空熔炼法、区域熔炼提纯法、碘化物热分解精炼法和电束熔炼法等。

1. 钙还原法

用钙还原高纯的五氧化二钒可得到纯度 99.5%的金属钒，此法成本较高，很难在工业上推广应用。

2. 铝热法

先将高纯度的 V_2O_5 或 V_2O_3 和铝粒反应制成 13%～15%的钒-铝中间合金，然后再将钒-铝合金经过真空电子束熔炼得到高纯钒锭。其工艺流程见图 9-26。

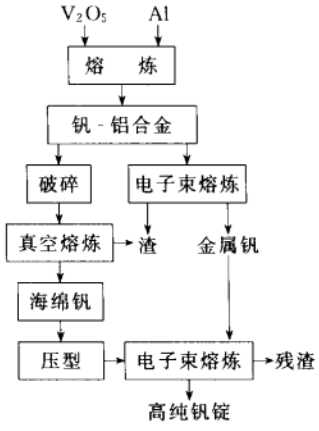


图 9-26　铝热法生产纯钒工艺流程

（三）钒铁的生产

在炼钢过程中，钒添加剂多以钒铁形式加入。钒铁是钒和铁组成的铁合金，大多是用碳、硅铁或铝还原钒的氧化物或钒渣来生产的。主要方法有电硅热法、铝热还原法等。

电硅热法通常是首先加入废钢，然后通电起弧，通电的工作电压 200V，电流 2500～3000A。接着将上炉的精炼渣加到电极周围，然后加入第一阶段反应所需的石灰与氧化钒的混合料。当炉底形成熔池后，电流便增大到变压器最大允许值（约 4000～4500A）。待炉料全熔后，先用硅铁、后用铝还原渣中的钒氧化物。

二、职业病危害因素识别

炼钒过程中排放大量有毒有害废气和废水，其中废气中含有钒化合物的粉尘或烟雾、氯化氢、二氧化硫和硫酸雾等，对环境和作业人员影响较大。短时间吸入高浓度含钒化合物的粉尘或烟雾可致职业性急性钒中毒。

（一）粉尘类

在矿石破碎、运输过程中存在矿石粉尘；钒矿石干燥、焙烧和浸出过程中存在煤尘、矿石尘和钒氧化物尘等。

（二）化学毒物类

1. 氧化-钠化焙烧

含钒原料一般在回转窑内进行钠化焙烧。在钠化焙烧过程中产生大量的五氧化二钒、三氧化二钒烟尘和二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、二氧化碳等有毒气体。

2. 浸出与净化

湿法冶炼需对焙烧矿进行水浸出或酸浸出、碱浸出，此工序中存在盐酸雾、硫酸雾、氨气等有毒气体。

3. 金属钒的生产

采用铝热法生产金属钒的过程需进行熔炼、真空熔炼和电子束熔炼，在高温熔炼过程中产生钒的氧化物烟尘、铝的氧化物烟尘等。

（三）物理性有害因素

1. 噪声

矿石破碎机、球磨机、皮带运输机、回转窑、熔炼炉、过滤机、压滤机、鼓风机、除尘风机等设备在运转过程中均产生高强度噪声，尤以破碎机、球磨机、鼓风机、除尘风机噪声危害较大。

2. 高温和热辐射

钒矿的钠化焙烧、熔炼、真空熔炼和电子束熔炼过程均在高温窑炉内进行，该工作场所存在高温、强辐射热。

3. 其他

电子束熔炼过程中可能产生 X 射线等电离辐射；电硅热法和铝热还原法生

产钒铁时产生强烈的电弧光，并伴随有紫外辐射等。

三、职业病危害防护措施

1. 防职业中毒措施

五氧化二钒职业中毒是钒冶炼企业职业病防治工作的重点。企业应制定周密的应急救援预案。所有可能产生五氧化二钒的地方应加强通风。工作场所应设置醒目的中文警示标识，配备防毒口罩等。特别是在设备抢修、维修过程中，应严格操作规程，并可采取轮换作业等工作方式。

钠化焙烧炉产生大量的二氧化硫气体，应加强密闭，防止烟气泄漏；浸出过程产生盐酸雾或硫酸雾，应加强生产岗位的通风排毒。

2. 防暑降温措施

由于工作场所存在的热源较多，操作室、工人休息室等应安装空调，为操作人员创造一个舒适的工作环境。高温热成品和半成品应及时运出车间，并堆放在工房的下风侧。及时供给含盐饮料，补充电解质的不足。

3. 防噪声措施

在设计时应尽量选用低噪声的设备，从源头控制噪声源。操作室、工人休息室应进行隔声处理，如安装双层玻璃密闭窗、设隔声门斗等。对产生振动和噪声较大的设备，如破碎机、球磨机、除尘风机等应设置减振设备，并配备隔声和消声设备。发放防噪声耳塞，要求工人进入噪声作业工作场所前必须配戴好防噪声耳塞。

4. 防尘措施

在满足生产工艺条件情况下，应尽可能加大抽风量，优化排烟罩的设计。并应加强个人防护，进入粉尘作业生产岗位时应配戴防尘口罩，以减少粉尘对劳动者身体健康的危害。

5. 健康监护措施

搞好就业前和定期体检，有严重的慢性呼吸系统疾病、严重影响肺功能的胸廓及胸膜疾病、严重慢性皮肤疾病、明显的心血管疾病者应不得从事接触钒的生产作业。

第十一节　金的冶炼

我国黄金的储量非常丰富，其资源的最大特征是伴生金的储量比率很高。近年来，我国黄金消费呈平稳状态，在消费结构上以首饰、装饰品用金占主导地位，约占黄金总消费量的90%以上。因我国工业用金材料起步晚，发展远落后于工业发展的需求，如电子、航空航天、化工、玻璃、钟表、建筑装饰等方面，用量非常少。随着科技的进步、黄金市场的开放，我国黄金在工业应用方面，其

广度和深度将不断扩大与增加，黄金在工业中的用量也必将大幅度增加。

用于生产金的原料主要是金矿床采出的矿石，其次是有色重金属选矿和冶金产出的副产金原料以及各种含金的废旧原料。近几十年来从有色重金属矿床中选出的精矿和冶金工厂的冶炼副产物重回收金有逐渐上升的趋势，它已成为各产金国的一项重要资源。矿石的来源不同，其组成成分也不同，因而在冶炼工艺上有一定的差别，但大致上可分为三个工序（图 9-27）。

金精矿 $\xrightarrow{\text{预处理}}$ 合质金 $\xrightarrow{\text{精炼提纯}}$ 成品金

图 9-27 黄金冶炼的基本过程

一般黄金冶炼厂出品的成品金（包括金锭、金条或金粒）规格和所含的主要杂质见表 9-4。

表 9-4 成品金规格和所含的主要杂质

牌 号	品 级	黄金含量/%	杂质含量(不大于)/%						
			Ag	Cu	Fe	Pb	Bi	Sb	总和
Au-99.99	一级	99.99	0.005	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.01
Au-99.95	二级	99.95	0.020	0.015	0.003	0.003	0.002	0.002	0.05

一、工艺流程

（一）预处理

目前冶炼企业大部分采用的仍是金精矿直接氰化法工艺，目前已经开发应用或正在研究的预处理新技术有无（或少）污染焙烧技术、加压氧化分解法、微生物氧化分解法、化学氧化法、氯化法和含硫试剂氧化法等，从国外预处理工艺的发展趋势和应用程度分析，新型无（或少）污染焙烧技术、加压氧化分解法和微生物氧化分解法三种预处理工艺将会成为未来难处理金矿的基本工艺技术和发展方向。

1. 新型无（或少）污染焙烧技术

（1）循环沸腾焙烧　此工艺可实现无污染焙烧，硫、碳脱出率高，焙砂质量好，投资及运营成本低。

（2）固硫、固砷焙烧　利用矿石中含有的钙、镁或添加消石灰，让焙烧氧化生成的 SO_2 和 As_2O_3 大部分与钙、镁结合成不挥发的盐留于焙砂中，它可使烟气中的硫、砷氧化物的浓度降至很低，污染很小。

（3）连续振动真空蒸馏焙烧　在温度 700℃、40～100mmHg 负压条件下处理重选高硫、碳、砷精矿。

（4）限量供风氧化-硫化焙烧　将精矿制粒后，于温度 620～650℃进行限量连续鼓风焙烧。由于精矿先经制粒，鼓风量又小，焙烧时无粉尘吹出，金全部富集于渣中，品位提高 11%～13%。废气中含有二氧化硫和一氧化碳，捕集的烟

尘中含有全部砷。

(5) 富氧焙烧 富氧焙烧通常使用含氧80%～100%的高浓度氧进行两段焙烧。它既可控制氧的供入量，又可强化有机质的氧化。在第一段焙烧过程中还可以加入适量粉煤，以降低氧耗并防止焙砂熔结。在焙烧过程中产生高浓度的二氧化硫气体。

(6) 闪速焙烧 闪速炉是一种悬浮气流夹带作业系统，连续供入的原料直接落入喷嘴喷出的高温热气流中，并在快速流动的热气流承载运动中进行焙烧。加入的物料只需几秒就可完成焙烧作业。

2. 加压氧化分解法

加压氧化分解法是目前较常用的一种氧化脱砷、脱硫的方法。可用它处理矿石，也可用于处理精矿。可在酸性、碱性介质中进行，也可在中性介质中进行。其中，酸性介质在工业上应用较多。

(1) 加压酸浸氧化法 加压酸浸氧化法，是用稀硫酸溶液在温度170℃和810～1010kPa条件下，于钛质高压釜中浸出。它可使黄铁矿和毒砂达到完全氧化，能有效地处理高硫的金精矿。锑、铅等有害杂质对浸出影响较小，金的回收率一般都很高。

(2) 加压碱浸氧化法 在用湿法处理含砷金精矿时，对少数砷精矿中的金可直接采用氰化法浸出。对于不能直接采用氰化法浸出的，在加石灰石和供氧条件下，于1013kPa和105℃的钛质反应釜中预先氧化浸出5～20小时，再将氧化渣送氰化或硫脲浸出，金的浸出率可达90%以上。

3. 微生物氧化分解法

含金黄铁矿-砷黄铁矿（毒砂）精矿使用氧化硫铁杆菌浸出，能成功地回收金。

细菌浸出硫化矿中的金是从分解硫、砷、铁开始的，它可在2～6天内使它们完全氧化分解。被溶解的砷既能生成稳定或较稳定的砷酸盐沉淀，砷、硫、铁的溶解又使微细自然金粒失去载体而离解，或因它们的溶解使自然金粒周围出现大量孔隙而暴露，便于下一步金的浸出。这就是微生物对难浸矿石进行预处理的实质。经微生物氧化浸出后，浸渣可采用氰化炭浆法提金。

可能存在的职业病危害因素：精矿含有多种有色金属元素及其他元素，其中有害元素有铅、砷、锌、铜、硫等，通过焙烧可产生铅烟（尘）、铜烟（尘）、氧化砷烟（尘）、氧化锌烟（尘）、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳等毒物，弥散于工作环境空气中，尤以生成的二氧化硫气体和砷化物粉尘危害最大，此外还有酸碱雾、石灰尘、机械噪声和振动、高温与热辐射等。微生物氧化分解法产生的危害因素最少。

(二) 混汞法

混汞法通常分为内混汞和外混汞两类。前者主要是向捣矿机和磨矿机等碎矿

设备中加汞，在碎矿的同时进行混汞作业。后者是在碎矿设备以外的设备中进行混汞。工艺流程简图如图 9-28。



图 9-28 混汞法提金工艺流程简图

1. 混汞

混汞法提金是基于液态金属汞对矿浆中金粒的选择性润湿（捕集），并向金粒内部扩散，先于金粒表面生成 $AuHg_2$，再逐渐向金粒深部扩散生成 Au_2Hg，直到生成 Au_3Hg 的固溶体，从而使之与其他金属矿物和脉石初步分离。随后汞向被捕集的金粒中扩散而生成汞齐（合金），其他矿物不被汞捕集而随矿浆流走。收集汞齐后用蒸汞器蒸馏，使汞从汞齐中挥发分离而获得金。

2. 汞膏的分离与洗涤

混汞作业所获得的汞膏混杂有大量的重砂矿物、脉石及其他杂质，必须经洗涤使其分离。此项作业俗称“清汞”。

由于汞的密度远远大于其他重矿物，故在重选设备中通过洗涤就很容易使其分离。从混汞筒和捕汞器中获得的汞膏，通常用淘金盘或短溜槽处理。分离出来的汞膏和混汞板上刮下的汞膏再进行洗涤处理。

3. 汞膏的压滤

洗净的汞膏，通常用致密的布包好后送压滤（榨）以除去多余的汞，产出固体汞膏（硬汞膏），此项作业俗称“压汞”。

榨汞膏所用的压滤机械视生产规模的大小而异。生产规模不大的工厂，通常使用手工操作的卧式螺杆压滤机或杠杆式压滤机。大规模生产的工厂则采用风压或液压压滤机。

4. 汞膏的蒸馏与蒸馏渣的熔炼

硬汞膏中金与汞的蒸馏分离是基于汞的沸点（357℃）远低于金的熔点（1064℃）和沸点（2860℃）。汞齐经压滤除汞产出的硬汞膏，含汞量仍达 60% 或更多。将其装入铸铁锅（缸）中，置于焦炭、煤气或电炉等加热的炉中缓慢升温，当温度超过汞的沸点，汞即从汞膏中气化升华。为使汞完全分离，许多工厂将蒸汞温度控制在 400～450℃，并在后期升温至 750～800℃保持 30 分钟。升华的汞经装有冷凝器的钢管冷凝后，呈球状液滴滴入盛水的容器中回收。

5. 含汞蒸气、烟气的净化

净化混汞作业产生的含汞废气的方法很多，目前最常用的有氯化-活性炭吸附法和软锰矿吸收法等。

（1）氯化-活性炭吸附法　氯化-活性炭吸附法是使废气中的亚汞离子与氯气作用生成沉淀状氯化亚汞。

$$Hg+Cl_2 \longrightarrow HgCl_2 \downarrow$$

然后由活性炭吸附回收残存的汞。使用氯化-活性炭吸附法除汞，汞的吸附率可达99.9%。

(2) 软锰矿吸收法　软锰矿吸收法是用含软锰矿的稀硫酸溶液洗涤含汞废气，使其生成硫酸亚汞回收。

$$2Hg+MnO_2 \longrightarrow Hg_2MnO_2$$

$$Hg_2MnO_2+4H_2SO_4+MnO_2 \longrightarrow 2HgSO_4+2MnSO_4+4H_2O$$

软锰矿吸收法的作业是将汞蒸气或含液态细小汞珠的废气导入一个带砖格的洗涤塔中，向塔中送入含有磨细的软锰矿的稀硫酸液进行洗气，汞与软锰矿接触后被吸收并生成硫酸亚汞。洗涤液在塔内循环流动，当洗涤液中的硫酸亚汞浓度富集到约200g/m³时，即由塔中放出，加铁屑或铜屑置换使汞沉淀回收。

(3) 碘络合法净化含汞烟气　我国研制的用于处理含汞烟气的碘络合法，是将含汞和二氧化硫的烟气经吸收塔底部进入填满瓷环的吸收塔内。并由塔顶喷淋含碘盐的吸收液来吸收汞。

吸收汞的富液，定量分批引出进行电解脱汞，分离金属汞后循环使用。

用碘络合法来处理含汞和二氧化硫的烟气，除汞率达99.5%，尾气含汞小于0.05mg/m³，烟气除汞后制得的硫酸含汞小于1%。

(4) 硫酸洗涤法净化含汞烟气　此法又称奥托昆普除汞法。烟气先经高温电收尘器除去烟尘，然后在装有填料的洗涤塔中用85%～93%的浓硫酸洗涤。洗涤的酸由热交换器保持所需的温度。由于酸与汞蒸气反应，生成的沉淀物沉降于槽中。沉淀物经水洗涤过滤后送蒸馏。冷凝的金属汞，经过滤除去固体杂质，纯度可达99.999%。沉淀物中汞的回收率为96%～99%。

混汞法主要生产设备有捣矿机、碾盘机、混汞筒、球磨机、棒磨机、混汞板(混汞槽)等。近期国外还研制出一些新型混汞设备，如选流混汞器、连续混汞器、干式电混汞器、电气混汞机械、混汞塔、便携式分选-混汞联合机等。在生产实践中选用什么样的混汞设备取决于生产工艺流程中所采用的混汞方法。

6. 职业病危害因素识别

混汞法生产过程中存在的最主要职业病危害因素是汞蒸气，它存在于生产全过程中。如果高温设备密封不良或净化效果不好，均会对工作场所和周围环境造成严重污染。含汞烟气的氯化-活性炭吸附法产生剧毒的氯化亚汞；硬汞膏中金与汞的蒸馏分离时产生高浓度的二氧化硫气体；软锰矿吸收法存在锰盐等职业危害；如用焦炭或煤气加热则存在一氧化碳、二氧化碳和氮氧化物等有害气体；用电炉加热可能存在极低频电磁场；各种机械设备产生噪声与振动，加热炉产生高温和热辐射等。

(三) 现代新型氰化法提金工艺

1. 炭浆法

炭浆法是将活性炭加入矿浆中进行多段连续逆流吸附的提金工艺方法。较早

的炭浆法作业是将细磨的矿石、浮选精矿或尾矿，加水、石灰和氰化物一起调浆后，置于一系列浸出槽中进行搅拌浸出，再将矿浆抽送另一系列吸附槽中加活性炭进行搅拌逆流吸附。这一工艺属于先氰化后吸附的炭浆法（CIP）工艺。简明流程如图 9-29。

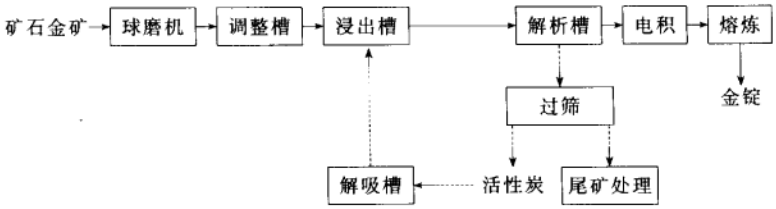


图 9-29 炭浆法提金简明流程

（1）载金炭的解析 目前在生产上广为使用的载金炭解吸方法有四种：扎德拉解吸法、酒精解吸法、高压解吸法、去离子水洗脱法。

氰化矿浆加活性炭吸附金产出的载金炭，经洗涤和除去杂物后送解吸金工序。活性炭对金的吸附属于放热反应，矿浆温度越高，炭对金吸附的容量就越小，这一特性就是载金炭高温解吸（洗脱）工艺的基础。

（2）解吸液的电积提金 活性炭吸附金，是在含有大量铜、锌、镍、铁、硫等杂质的多组分复杂溶液中进行的。通过炭的选择性吸附，大部分杂质则残留于尾矿浆中而与金分离。从矿浆中筛分出来的载金炭经解吸获得贵液，其中含金、银氰化络离子浓度较高，而杂质离子大为减少。它为电积法或沉淀法从贵液中还原回收金、银提供了一种相对理想的溶液。从解吸液中回收金的工业电解槽有扎德拉电解槽、平行电解槽等。

（3）炭的再生 经解吸金后的活性炭，必须进行再生使之活化方能循环使用。炭的再生好坏直接影响吸附效率，故它是炭浆法的关键工序。通常炭的再生方法有酸碱洗涤法和高温再生法。用于炭再生的窑，大多使用油或其他燃料加热回转窑，也有一些厂用电加热。

炭浆法主要生产设备：炭浆槽或浸出槽和中间筛，近年还研制出周边筛、桥式筛、浸没筛等。

2. 树脂浆法

（1）树脂从氰化矿浆中吸附金的流程 从氰化矿浆中提取金的离子交换吸附技术和炭浆法一样也有两种方式：一是矿浆于搅拌浸出槽中氰化后，再送往吸附槽加离子交换树脂吸附提金；二是树脂与矿浆一起加入搅拌浸出槽，矿浆的氰化和树脂的吸附部分或全部同时进行。

目前树脂吸附金的作业大多在氰化后的矿浆中进行。工艺流程如图 9-30。

（2）AⅡ-2 树脂从氰化矿浆中吸附金 AⅡ-2 树脂从氰化矿浆中吸附金工艺流程如图 9-31。

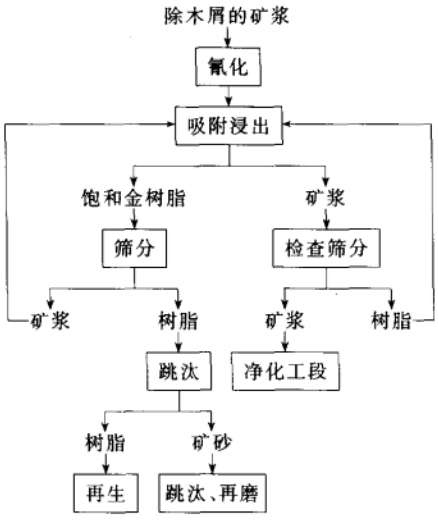


图 9-30　树脂从氰化矿浆中吸附金的工艺流程

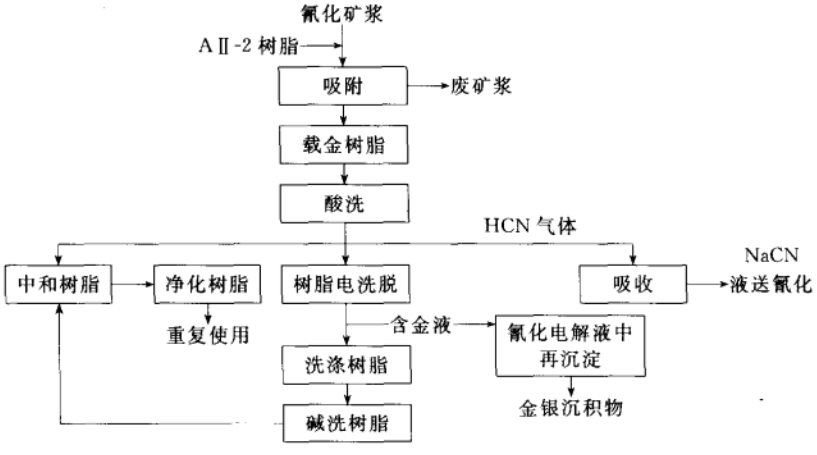


图 9-31　AⅡ-2 树脂从氰化矿浆中吸附金工艺流程

载金树脂解吸方法主要有碱洗脱法、锌氰络合物解吸法、硫氰酸铵解吸法、酸性硫脲解吸法以及饱和银树脂的解吸和再生方法等。

炭浆法主要生产设备：帕丘卡吸附槽、再生柱、电解槽、高位槽、溶液贮槽、药剂溶液配制槽、矿浆和溶液分配器、泵、工艺管道和自控装置等。

3. 堆浸法

堆浸法通常是指矿石的堆浸和废尾矿堆的浸出。就广义来说，金矿山的就地浸出也属于此范畴。

(1) 矿山就地浸出　能进行就地浸出的矿山，其矿石必须已在原地裂碎，浸出渣供入地下后能均匀地顺裂隙渗流至矿石中，并在浸出后能集中回收浸出液。

对于露出地表的矿体，可以采用在地面喷洒浸液，浸液渗过矿体进行浸出后汇集于回收井中回收。当矿体位于地下时，则采用向注入井中灌注浸出液，再从邻近回收井中回收的方法。

（2）矿石和含金废矿石的堆浸　堆浸法是将开采的矿石或从老矿山早期废弃的贫矿堆或废石堆采集来的含金废矿石，运至不透水的垫层上筑成堆，然后向矿堆上喷淋浸出液浸出。来自开采矿山的矿石，筑堆前通常要先进行破碎。

（3）老废矿堆的就地浸出　老矿山早期遗留的废矿堆，当其含有浸出价值的金，且浸出溶液能被控制而不会发生明显流失损失时，就可以进行就地浸出回收其中的金。

4. 槽浸法

槽浸法类似于常规渗滤浸出法，故又称为“新型渗滤-槽浸法”。此法已用于氧化铜矿石、铀矿石、金矿石和其他难浸矿石的处理。在金矿石浸出方面，槽浸法适于处理含金高的氧化矿和精矿。

浸出过程采用间歇浸出法，每次浸出后由浮子泵排空浸液，让槽中通风使矿粒间充满氧再浸出。完成浸出后，贵液采用活性炭或阴离子交换树脂吸附金，脱金尾液补充 NaCN 和 CaO 后再用于浸出。浸出液中金的回收采用锌置换法。

槽浸法主要生产设备有浸出槽、浮子泵、吸附柱、贫液贮槽、浸液配制槽、碱液配制槽、漂白粉浆化槽、净化脱氰洗液配制储存槽、离心泵等。

可能存在的职业病危害因素：浸出过程使用剧毒的氰化物，产生矿石粉尘、活性炭粉尘、石灰石粉尘；各种机械设备产生噪声与振动；炭再生的窑使用油或其他燃料加热，在燃烧过程产生一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫和氮氧化物等烟气，以及高温与热辐射。

（四）硫脲法

1. 常规硫脲浸出法

此法是向硫酸酸性（pH 1.5～2.5）硫脲矿浆中鼓风搅拌进行金、银浸出的常规方法。矿浆中的已溶金通常采用过滤和多次洗涤，并从滤液和洗液中用置换、吸附或电解法回收金。处理硫精矿时，硫进入溶液会生成 H_2S 等硫化物。

2. 铁浆法

铁浆法是在硫脲浸出金时向浸出槽的矿浆中插入一定面积的铁板，使已溶金、银及铜、铅等电位比铁正的金属离子呈微米粒级硫化物牢固地沉积于铁板上。由于沉积速度较快，一般每 2 小时要提出铁板刮洗一次金泥，然后再插入槽中继续使用。

3. 炭浆或树脂浆法

从硫脲浸出矿浆中吸附金、银的炭浆法或树脂浆法，其作业方法和氰化浸出的炭浆法或树脂浆法一样，所用的活性炭也一样。若采用树脂浆法则因硫脲金络离子为阳离子，而应使用强酸性阳离子交换树脂或硫醇树脂等。如不使用粒状吸

附剂，而使用阳离子交换树脂纤维布或活性炭纤维布，还可免去从矿浆中筛分回收载金粒状吸附剂的作业，只需定时从矿浆中提出载金纤维布送解吸金工序，并向槽中加入另一批备用纤维布继续进行吸附。

存在的职业病危害因素：各种机械设备产生噪声与振动；常规硫脲浸出法产生 H_2S 剧毒气体；炭浆或树脂浆法产生酸碱雾等。

（五）金的精炼

制成的粗金或金银合金，都需要进一步分离与提纯。金与银的分离以及提纯方法通常有火法、化学法和电解法等。随着近代科学技术的发展而产生的电解法，几乎取代了火法和化学法。但对一些特殊原料，或近几年来大量试验研究成功的以湿法为主的特定流程中，化学法又居重要的地位。

1. 金的火法精炼

金的火法精炼通常采用坩埚熔炼法。此法是分离和提纯金的古老方法，在过去曾被广泛使用。

（1）硫黄共熔法　该法是将粗金加入硫黄进行熔炼，此时银及铜等重金属被硫化生成硫化物造渣浮起。而金不被硫化，仍以金属状态留于坩埚底部，从而达到分离的目的。然后再对硫化渣进行还原熔炼以回收其中的银。

（2）辉锑矿共熔法　此法是将一份金银合金，加入两份辉锑矿（Sb_2S_3）进行熔炼，待全部物料熔化后，倾入预热的模中。此时，金锑合金便沉于模子底部，含少量金的硫化银、硫化锑等聚于模子上部。冷却后分离，再将硫化物进行几次熔炼，以完全分离金。金锑合金经氧化熔炼除去锑后，再加硼砂、硝石和玻璃一起熔炼，使残留的杂质造渣，以提高金的纯度。最后还原熔炼硫化渣以回收其中的银。

（3）食盐共熔法　该法是将金银合金粒与食盐、粉煤混合进行熔炼，银即生成氯化银浮起，金不被氯化而留在坩埚底部。分离金后，再还原熔炼氯化银渣以回收其中的银。

（4）硝石氧化熔炼法　该法是将含有杂质的银或金银合金与硝石进行共熔炼，在熔炼过程中少量铜等重金属被氧化造渣，而银或金银合金便得到提纯。加硝石氧化熔炼可以在合金与硝石共熔的基础上，根据杂质的氧化情况再反复加硝石几次，每次加入时要用铁或木质工具进行搅拌，以氧化杂质提高银或金银合金的纯度。

存在的职业病危害因素：硫黄共熔法在加热炉内使用硫黄，可导致硫黄的蒸发和氧化，产生大量的硫黄和二氧化硫烟气；硝石氧化熔炼法产生氮氧化物；若操作不当或管道设备密闭不严，将导致工作环境的污染。在冶炼过程中机械设备运行产生噪声与振动，加热炉产生高温与热辐射。此外，用于加热的煤气或汽油燃烧产生一氧化碳、二氧化碳和氮氧化物等烟气。

2. 金的化学法精炼

化学法分离和提纯金，除传统的硫酸浸煮、硝酸分银和王水分金等方法外，

在近代又发展了一些使用各种还原剂的还原法。

（1）硫酸浸煮法　此法是用浓硫酸在高温下进行长时间浸煮，使合金中的银及铜等金属形成硫酸盐而被除去，以达到提纯金的目的。

（2）硝酸分银法　由于硝酸分解银的速度快，溶液含银饱和浓度高，一般在自热条件下进行（不需加热或在后期加热以加速溶解），故被广泛使用。作业中为减少硝酸的消耗，通常采用1∶(1～3)的稀硝酸溶解银。在某些条件下，为降低成本，还可加入廉价的硫酸配成硫硝混酸来溶解银，但硫硝混酸可以溶解部分金，进入溶液中的金需从置换银中回收。

硝酸分银作业可在带搅拌器的耐酸搪瓷反应罐或耐酸瓷槽中进行。加入碎合金后，先用少量水润湿（特别是粉末状合金），再分次加入硝酸。加入硝酸后，反应便很剧烈，并生成大量气泡和放出大量棕色的氧化氮气体。残渣经洗涤烘干后，再加硝石于坩埚中熔炼造渣，便可获得纯度在99%以上的金锭。

（3）王水分金法　王水分金法一般用来提纯含银不多于8%的粗金，在此过程中，金进入溶液，而银则成为氯化银渣被分离出去，并能分离和回收其中所含铂族金属。对于含银多的合金，必须先经除银处理。

一般使用的王水是由一份工业纯硝酸加3～4份工业纯盐酸制成。配制王水的作业一般在耐烧玻璃或耐热瓷缸中进行。配制时先倾入盐酸，再在搅拌下缓慢加入硝酸。此时，反应强烈，生成许多气泡并放出部分氧化氮气体。经充分消化溶解后，过滤溶液，然后用亚铁或二氧化硫或草酸（$H_2C_2O_4$）等来还原滤液中的金，生成海绵金沉淀。沉淀的金用水仔细洗净，再用稀硝酸处理除去杂质后，经洗净、烘干、铸锭，可产出99.9%或更高的纯金。

存在的职业病危害因素：精炼过程产生高浓度的硫酸、盐酸、硝酸雾，并生产氮氧化物气体，加热炉产生一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物等烟气和高温、热辐射，机械设备产生噪声与振动。

3. 金的电解精炼

电解法精炼金是目前使用最广、最完善的方法。粗金含银小于20%时，可直接进行金电解精炼，含银为主的粗金则需分银电解精炼和金电解精炼两步进行。在金电解精炼车间，通常是几个或十几个电解槽串联，由一个直流电源供电。所有电解槽中的电解液必须进行循环，使电解槽内的电解成分均匀。一般用于制备电解液的方法有王水溶解法和隔膜电解法两种。

存在的职业病危害因素：电解过程中产生酸雾和极低频电磁场等。

4. 溶剂萃取精炼金

金的萃取剂很多，如醇类、醚类、酯类、胺类、酮类和含硫试剂等。金与这些试剂能形成稳定络合物并溶于有机相。如二丁基卡必醇对金有很强的选择性，当溶液盐酸浓度为1～1.5mol/L时，金可完全萃取，其他金属则不能。其工艺流程如图9-32。

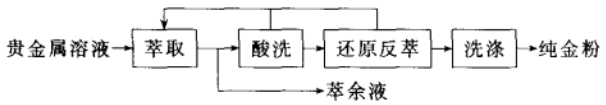


图 9-32　二丁基卡必醇萃取提纯金工艺流程

可能存在的职业病危害因素：主要是各类萃取剂，如二丁基卡必醇、仲辛醇、乙醚、胺类、硫醇、硫醚、亚砜、磷酸三丁酯、丁基膦酸二丁酯等。另外，还有盐酸和二氧化硫等。

二、主要职业病危害因素综合识别

金冶炼属于职业病危害较严重的行业之一，在冶炼过程中需使用剧毒的氰化物和汞，矿石中含有多种有色金属元素及其他元素，其中有害元素主要有砷和硫等，可产生砷化氢、二氧化硫等有害气体，较易导致急性职业中毒。其职业病危害程度依企业所选择的工艺、矿石种类、防护设施、管理水平和生产规模等不同而差异较大，在建设项目职业病危害评价工作中务必具体分析，不可生搬硬套。

（一）粉尘类

在金矿石预处理过程中，存在矿石粉尘、石灰石粉尘、煤尘、铁末尘、氧化铝粉尘、活性炭粉尘、硝石尘、硫黄尘和各类原料尘等。金矿石尘的危害性主要决定于脉石的化学成分，实测数据表明不同矿石粉尘中游离二氧化硅含量差异很大，其危害性也相差甚远。在实际工作中应结合矿石游离二氧化硅定量分析结果来评价。对于其他有色重金属选矿的副产金原料尘以及各种含金的废旧原料粉尘，应注意其有毒重金属的含量与危害。

在设备抢修、维修和收尘工清理管道与过滤器时，检修工需进入设备内直接接触高浓度的粉尘，应重点做好个人防护。

（二）物理性有害因素

1. 噪声和振动

噪声和振动主要来源于鼓风机、捣矿机、碾盘机、电动机、风机等机电设备。

2. 高温和热辐射

在精矿焙烧和加热冶炼等过程中使用各类高温炉，都会产生高温与热辐射。

3. 电磁辐射

采用大功率电炉和电解工艺时可能存在极低频电磁场的职业危害。

（三）化学毒物类

金冶炼工艺过程中使用的化学毒物较多，有剧毒的氰化物和汞，多种高浓度的强酸、强碱等；并产生毒性较大的砷化氢、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、氨气、氯化亚汞、砷烟（尘）、铅烟（尘）等。致使工作场所空气中可能存在数十种化学毒物，其中危害最大的是砷化氢和氰化氢气体、汞蒸气、砷烟（尘）和铅烟（尘）等。

可能产生的职业病主要有急性砷化氢中毒、急性氰化氢中毒、急性氮氧化物中毒、急慢性汞中毒、急慢性铅中毒、慢性砷中毒、皮肤和眼化学性灼伤等。其中急性砷化氢中毒和急性氰化氢中毒常常是导致金冶炼人员职业中毒死亡的主要原因。

三、职业病危害防护措施

（一）防尘措施

用工程技术措施消除或降低粉尘危害是防尘的根本措施。可通过工艺改革实现操作的机械化、自动化，如遥控操纵、计算机控制、隔室监控等。对不能采取湿式作业的场所，应采取密闭通风除尘的办法，也可采取密闭尘源与局部抽风相结合的方法。其防尘重点部位为矿石的破碎与运输、焙烧炉和干燥炉烟气的收尘等。应适当加大抽风量，以维持负压操作。加强个人防护，进入粉尘作业生产岗位时应配戴防尘口罩，以减少粉尘对劳动者身体健康的危害。

（二）防中毒措施

防中毒措施应以防止急性砷化氢中毒、氰化氢中毒和汞中毒为重点。所有可能产生砷化氢、氰化氢气体的酸浸和置换岗位应加强通风排毒。应尽量将反应槽、罐置于通风柜内，并维持柜内负压状况，避免毒气外逸。并应防止含氰化物等物料污染手、衣服、工具、座椅及地面。

混汞法是产生汞蒸气的重要来源，应加强设备密封、岗位通风和烟气中汞蒸气的回收净化。厂房地面应坚实、光滑，有一定的倾斜度（1%～3%），并用塑料、橡胶或沥青等不吸附汞材料铺设，以及建立良好的排水系统。洒在地面上的小量汞，应用吸液管或吸汞器及时加以回收。冲洗地面的废水和其他含汞废水，都要集中于净化池，经处理达到排放标准后方能排放。厂房墙壁要光滑平整，木材、混凝土等表面是汞的良好吸附剂，应涂以油漆或喷沥青漆，并经常用热肥皂水或千分之一的高锰酸钾水刷洗墙壁和地面。

硫黄共熔、浓硫酸浸煮等岗位，由于剧烈反应会产生大量的二氧化硫等烟气，应加强设备的密闭与通风排毒。

硝酸、硫酸、盐酸消化时产生大量的氮氧化物气体和酸雾，应将反应槽置于通风柜内，以防止氮氧化物气体中毒和酸雾的腐蚀作用。

应加强安全生产教育，促进工人自觉遵守职业安全卫生操作规程，避免人为的污染。

加强个人防护，操作人员的工作服最好使用吸汞性能差的柞蚕丝料或绸料，并应置于单独的通风房间内，与干净衣服应分房放置。避免在工作场所吸烟和进食，进食前先用热水和肥皂洗手，下班时用热水和肥皂洗澡，并更换全部衣服及鞋袜。

（三）防暑降温措施

1. 技术措施

合理设计工艺流程，改进生产设备和操作方法是改善高温作业劳动条件的根

本措施。工房设计时应考虑有良好的自然通风，对于自然通风不能满足散热要求的车间应设计机械通风。如局部抽风、局部送风和车间全面机械通风等。

2. 保健措施

高温作业工人应补充与出汗量相等的水分和盐分，饮水方式以少量多次为宜。高温作业的工作服应以耐热、导热系数小且透气性能好的织物制成。对高温作业的工人应进行就业前和入暑前的体格检查。

3. 组织措施

根据本地区气候特点，合理安排作息制度，抢修、维修热炉堂时，应向工人操作处送冷气，或采取轮换作业的工作方式。

（四）防噪声措施

一般来说，噪声并不是金冶炼行业的主要职业病危害因素，特别是一些小规模的金冶炼企业，所选设备的功率均较小，噪声强度相对不高。但对于一些大型鼓风机、捣矿机、碾盘机、电动机、风机等可能产生高强度噪声，应从设备选型、建设项目总平面布局、设计减振基础、配备隔声和消声设施、加强个人防护等多方面考虑。

（五）应急救援与保健措施

针对有可能发生的砷化氢气体中毒、氰化氢气体中毒、二氧化硫气体中毒、氮氧化物气体中毒、汞中毒和酸碱灼伤等，应建立应急救援预案，工作场所应设立毒物警示标识和中文说明等。并在相关岗位设置急救药品、喷淋冲洗设施等。

应建立工作场所职业病危害因素定期监测制度和作业人员健康监护制度。搞好就业前、在岗和离岗人员的职业性体检，及时发现职业禁忌证和职业性病损，避免职业病的发生。

（刘敏、苏长征、李祈、聂云峰）

第十章　石油炼制

第一节　概　述

把原油或石油馏分加工（或精制）成目的产品的过程叫石油炼制。石油炼制是石油工业的一个重要组成部分，原油通过石油炼制过程加工为各种石油产品。主要产品包括汽油、煤油、柴油、润滑油四大类，达800余种产品。如高辛烷值无铅车用汽油、各种航空汽油、喷气燃料、汽车机油、航空润滑油、汽轮机油、液压油、齿轮油、各种合成油、食品蜡、高等级道路沥青、针状焦及润滑脂等。此外，我国炼油厂还利用炼油干气中的烯烃生产乙苯、聚丙烯、丙烯腈和其他多种化工产品。

在石油炼制过程中产生硫化氢、硫醇、一氧化碳、氮氧化物、苯、甲苯、二甲苯、汽油、甲醇、乙醇、丙酮、二氧化硫、沥青、催化剂粉尘、噪声、高温、热辐射等多种职业病危害因素，其中危害最严重、发病率最高的是急性硫化氢中毒。属危害较严重的化工行业之一。

天然石油是一种可燃性黏稠液体，多为黑褐色或暗绿色。从地下开采出来尚未加工时称为原油，是由各种碳氢化合物（如烷烃、环烷烃、芳香烃等）组成的复杂混合物，并含有少量硫、氮、氧等有机化合物和微量金属等。

馏分（油）指原油蒸馏时分离出的具有一定馏程（沸点范围）的组分，如液化气、汽油、煤油、柴油等馏分。从减压蒸馏得到的称减压馏分。蒸馏塔底剩余的则称为渣油。馏分只是在沸点范围上类似的一组化合物，还不是需要的石油产品，需进一步加工才能成为满足规格要求的石油产品。

炼油厂在规划建设中一般根据拟加工的原油性质和产品目标来编制炼油工艺和选择生产装置。因此，根据炼油厂的主要产品可将炼油厂分为燃料油型、燃料-润滑油型和燃料-化工型三类。

1. 燃料型炼油厂

以生产汽油、喷气燃料、煤油、柴油和重油为主，同时还有燃料气、芳烃和石油焦等。这类炼油厂的特点是通过一次蒸馏加工尽可能将石油中轻质的油品，如汽油、煤油和柴油分馏出来。同时，还利用有关的二次加工工艺以原油中的重质油和石油气为原料，使其转化为轻质燃料油。

2. 燃料-润滑油型炼油厂

这类炼油厂除生产各种燃料油外还要生产各种润滑油。其特点是通过一次加工将原油中轻质油品分出，将余下的重质油品经过各种润滑油生产工艺，如溶剂精制、溶剂脱蜡、丙烷脱沥青、白土精制或加氢精制等，生产各种润滑油的基础油。再将润滑油基础油按不同比例混合，并加上添加剂调制成各种润滑油。

3. 燃料-化工型炼油厂

这类炼油厂以生产燃料油和化工产品为主，具有燃料型炼厂的各种工艺。原油首先经过一次加工分出其中轻质组分，余下的重质组分进一步通过二次加工转化为轻质组分。这些轻质组分一部分用作燃料油，另一部分通过催化重整工艺、裂解工艺以制取芳烃和乙烯等化工原料。这类炼油厂除具有燃料油生产装置外，还包括一些化工装置。利用芳烃、烯烃等基础原料以制取醇、酮、酸等基本有机化工原料及合成化工原料等。

生产燃料产品为主的现代石油炼制工艺大体可分为三大类：

① 原油蒸馏，通过常压和减压蒸馏，把原油中固有的各种不同沸点范围的组分分离成各种馏分；

② 二次加工，从原油中直接得到的轻馏分是有限的，大量的重馏分和渣油需要进一步加工，以得到更多的轻质油品；二次加工工艺包括催化裂化、加氢裂化、重整、焦化等，是以化学反应为主的加工过程；

③ 油品精制和提高质量的有关工艺，包括加氢精制、脱硫醇等。

典型炼油厂工艺流程见图 10-1。

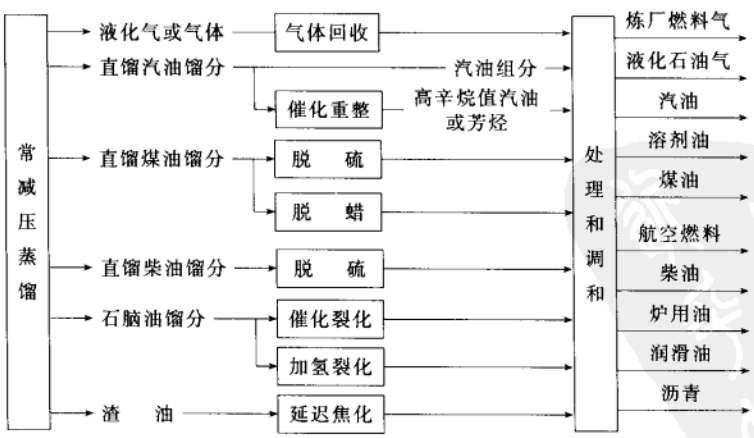


图 10-1 典型炼油厂工艺流程

在生产过程控制方面，集散型控制系统（DCS）的应用提高了控制精度和平稳操作水平，在提高目标产品收率和质量、降低能耗和提高经济效益等方面有明

显效果。

第二节 原油的分类与化学组成

一、原油的分类

原油的理化性质因产地而异。如按密度分为轻质原油和重质原油；按化学组成分为石蜡基、环烷基和中间基；按含硫量分为低硫、含硫和高硫三类。具体的分类方法如下。

（一）按 API 度分类

以原油中具有特定馏程的轻、重两个馏分的相对密度（API 度）为依据进行分类：

① 石蜡基原油，API 度不小于 40；

② 中间基原油，API 度介于 33～40 之间；

③ 环烷基原油，API 度不大于 33。

（二）按相对密度分类

相对密度是反映原油性质的一个重要指标。通常根据相对密度分类为：

① 轻质原油，相对密度不大于 0.8654；

② 中质原油，相对密度介于 0.8654～0.9340 之间；

③ 重质原油，相对密度介于 0.9340～1.0000 之间；

④ 特重原油，相对密度大于或等于 1.0000。

（三）按硫含量分类

原油的硫含量对于原油的加工和利用有着不利的影响，因此经常按照硫含量的高低对原油进行分类：

① 低硫原油，硫含量低于 0.5%；

② 含硫原油，硫含量在 0.5%～2.0%之间；

③ 高硫原油，硫含量高于 2.0%。

（四）按蜡含量分类

按照原油中的蜡含量对原油进行分类为：

① 低蜡原油，蜡含量低于 2.5%；

② 含蜡原油，蜡含量在 2.5%～10.0%之间；

③ 高蜡原油，蜡含量高于 10.0%。

目前国产原油除胜利油田和南疆油田为含硫原油外，其他都属于低硫原油。我国主要油田原油的共同特点是 API 度小、密度较大、含蜡量高、轻馏分含量较少等。几大主要油田原油性质见表 10-1。

表 10-1 我国主要油田原油性质

原 油	大庆	胜利	辽河	北疆	南疆（塔中）	海洋（惠州）
属性	低硫石蜡基	含硫中间基	低硫环烷-中间基	低硫石蜡-中间基	含硫中间基	低硫石蜡基
API 度	32.0	21.1	17.9	23.9	36.0	37.5
密度(20℃)/(g/cm³)	0.8617	0.9236	0.9443	0.9070	0.8407	0.8333
200℃馏出量/%	8.2	5.8	6.4	5.7	31.8	20.2
350℃馏出量/%	26.0	20.2	24.4	25.5	58.2	50.0
500℃馏出量/%	53.7	47.3	55.3	51.2	78.0	83.1
蜡含量/%	26.3	9.1	8.3	7.4	1.7	25.8
硫含量/%	0.11	1.03	0.26	0.13	0.54	0.06
氮含量/%	0.16	0.37	0.41	0.22	0.07	0.12
钒/(μg/g)	0.04	1.61	1.11	0.42	1.60	0.17
镍/(μg/g)	3.06	26.38	46.80	9.80	0.20	1.11

二、原油的元素组成

尽管不同地区的油田所产的原油性质千差万别，但其元素组成却基本一致，主要由碳、氢、硫、氮、氧 5 种元素组成。其中主要是碳和氢，这两种元素在原油中含量一般占 95%以上。

原油的氢碳比是反映原油化学组成的一个重要参数。对于烃类化合物来说，氢碳比是一个与其化学结构和分子量大小有关的参数，随着石油及其产品中环状结构的增加，其氢碳比下降，尤其是随芳香环结构的增加，其氢碳比显著减小。

硫、氮、氧一般称为石油的杂原子，它们在原油中的含量只有百分之几，但是含有这些杂原子的非烃化合物的含量却非常高。我国主要原油的硫含量一般都较低，而氮含量相对较高。

除碳、氢、硫、氮、氧外，原油中还含有微量的金属和非金属元素。石油中的微量元素有几十种，目前已经检测出 59 种，其中金属微量元素 45 种。这些微量元素按其化学属性可分为变价金属、碱金属和碱土金属、卤素和其他元素三大类。其中含量较多的是镍、钒、铁和铜，对工作场所劳动者可能带来职业病危害的金属和类金属元素是镍、钒、铅和砷等。

三、石油的化学组成

从化学组成来看，石油中主要含有烃类和非烃类两大类物质，其中烃类主要是烷烃、环烷烃和芳香烃。

在石油的各个馏分中，因石油的产地及种类不同，烃类和非烃类的相对含量差别很大。轻质石油的烃类含量高达 90%以上，但是重质石油的烃类含量相对较低，有的甚至低于 50%。

石油中的非烃化合物主要包括含硫、含氮、含氧化合物和胶状沥青状物质。这些非烃化合物在石油中的含量比较大，尤其在石油重质馏分和减压渣油中的含量更高。非烃化合物的存在对于石油的加工工艺以及石油产品的使用性能都有很

大的影响，同样也是石油炼制过程中职业卫生关注的重点。

1. 石油中的含硫化合物

石油中的硫含量随原油产地的不同差别很大，其含量从万分之几到百分之几。硫在石油馏分中的分布一般是随着石油馏分沸点的升高而增加，大部分硫集中在重馏分油和渣油中。

硫在石油中的存在形态主要有元素硫、硫化氢、硫醇、硫醚、二硫化物、噻吩等。这些硫化物按照性质可分为活性硫化物和非活性硫化物两大类。活性硫化物主要包括元素硫、硫化氢以及硫醇等，它们对金属设备具有较强的腐蚀作用；非活性硫化物主要包括硫醚、二硫化物和噻吩等对金属设备无腐蚀作用的硫化物，一些非活性硫化物受热分解后会变成活性硫化物。

石油中的硫化物除了元素硫和硫化氢外，其余均以有机硫化物的形式存在于原油和石油产品中。原油中硫醇的含量不多，一般多存在于轻质馏分中。噻吩及其同系物是石油中主要的一类含硫化合物，苯并噻吩系、二苯并噻吩系和萘并噻吩系化合物主要集中于重质石油馏分中。此外，原油中还有一部分硫存在于渣油和胶质、沥青质中。

2. 石油中的含氮化合物

石油中的氮含量一般比硫含量低，通常在0.05%～0.5%之间。石油中的氮分布随着馏分沸点的升高，其氮含量迅速增加，约有80%的氮集中在400℃以上的重油中。我国原油的氮含量偏高，且在炼制过程中90%的氮浓集于原油的减压渣油中。

石油中的含氮化合物通常分为碱性含氮化合物和非碱性含氮化合物两大类。不论是碱性还是非碱性含氮化合物，其氮原子均处在环结构中，为氮杂环系化合物，而脂肪族含氮化合物在石油中很少发现。石油中的碱性含氮化合物主要有吡啶系、喹啉系、异喹啉系、吖啶系和苯胺类衍生物等。随着馏分沸点的升高，碱性含氮化合物的环数也相应增多。石油中的弱碱性和非碱性含氮化合物主要有吡咯系、吲哚系和咔唑系。随着馏分沸点的升高，非碱性含氮化合物的含量也逐渐增加，主要集中在石油较重的馏分和渣油中。

3. 石油中的含氧化合物

石油中的氧含量一般为千分之几，个别石油可高达2%～3%。在石油中，氧元素都是以有机含氧化合物的形式存在的，主要分为酸性含氧化合物和中性含氧化合物两大类。

石油中的酸性含氧化合物包括环烷酸、芳香酸、脂肪酸和酚类等，它们总称为石油酸；中性含氧化合物包括醇、酯、醛及苯并呋喃等，它们的含量非常少。石油中酸性含氧化合物的含量一般用酸值（酸度）来表示，酸性含氧化合物的含量越高，则其酸值就越大。

石油中的含氧化合物主要以酸性含氧化合物为主，其中主要是环烷酸，占石

油酸性含氧化合物的90%左右，而脂肪酸、芳香酸和酚类的含量很少。

四、我国主要原油的性质及类型

我国有十几个油区，其中大庆、胜利、辽河、新疆等油区的产量最大。这些油区的原油大致可分为三种类型。

1. 石蜡基原油

我国此类原油的产量最多。大庆、中原、吉林、新疆油田所产的原油都属于石蜡基原油。它们一般具有含硫低、镍和钒含量不高、残炭低、无庚烷沥青质、蜡含量高、凝点高等特点。

2. 中间基与石蜡-中间基原油

该类原油包括胜利、辽河和大港等原油。与石蜡基原油相比，这类原油的蜡含量较低，镍含量一般较高。

3. 环烷基与环烷-中间基原油

属于此类原油的有孤岛、单家寺（胜利油区）、羊三木（大港油区）、高升（辽河油区）等原油。该类原油的产量较少，大多是密度大于0.93g/cm^{3}的重质原油，含蜡不多，凝点较低，而胶质、残炭、酸值和镍含量较高。

第三节 石油炼制工艺选择

绝大多数炼油企业都是根据原油性质和目标产品来合理选择工艺路线，通过对原油的一次加工和二次加工来生产燃料油品，三次加工则主要是生产化工产品。

一、原油加工基本程序

1. 原油的预处理

原油在炼厂加工前，还需经过脱盐、脱水等预处理，使之进入蒸馏装置时，各种盐类的总含盐量低于5mg/L。目的主要是控制对加工设备、管线的腐蚀和堵塞作用。

2. 石油的一次加工

石油一次加工主要采用常压、减压蒸馏的简单物理方法将原油切割为沸点范围不同、密度大小不同的多种石油馏分。各种馏分的分离顺序主要取决于分子大小和沸点高低。在常压蒸馏过程中，汽油的分子小、沸点低，首先馏出，随之是煤油、柴油、残余重油。残余重油经减压蒸馏又可获得一定数量的润滑油的基础油或半成品（蜡油），最后剩下的为渣油（重油）。一次加工获得的轻质油品（汽油、煤油、柴油）还需进一步精制、调配，才能成为合格油品投入市场。

3. 石油的二次加工

石油二次加工主要用化学方法或化学物理方法，将石油馏分进一步加工转

化，以达到提高某种产品收率、增加产品品种、提高产品质量等目的。属于二次加工的工艺很多，一般根据原油油品性质和产品设计要求进行选择，主要有催化裂化、催化重整、焦化、减黏、加氢裂化、溶剂脱沥青等。如对一次加工获得的重质半成品（蜡油）进行催化裂化，又可将蜡油的40%左右转化为高牌号车用汽油，30%左右转化为柴油，20%左右转化为液化气、气态烃和干气。如以轻汽油（石脑油）为原料，采用催化重整工艺加工，可生产高辛烷值汽油组分（航空汽油）或化工原料芳烃（苯、二甲苯等），还可获得副产品氢气。

4. 石油的三次加工

石油三次加工是对石油一次加工、二次加工的中间产品（包括轻油、重油、各种石油气、石蜡等），通过化学过程生产化工产品。如用催化裂化工艺所产干气中的丙烯生产丙醇、丁醇、辛醇、丙烯腈、腈纶；用丙烯和苯生产丙苯酚丙酮；用碳四馏分生产顺酐、顺丁橡胶；用苯、甲苯、二甲苯生产苯酐、聚酯、涤纶等产品。工业上最重要并且最大量的是用石脑油、柴油生产乙烯。

5. 油品精制

油品精制是石油炼制的一个重要过程。主要是通过化学方法或化学物理方法除去石油粗制油品中所含的硫、氧、氮的化合物及胶质、沥青质等非理想成分及有害杂质。

二、几种类型原油加工工艺的选择

不同性质的原油要采用不同的加工方法生产适当的产品，使原油得到合理利用。以下是几种类型原油加工工艺的选择要点。

1. 低硫石蜡基原油

以大庆原油为代表，其加工工艺选择要点为：

① 原油含硫、氮少，轻直馏分产品不需要精制或只需简单精制；

② 减压馏分油是催化裂化的好原料，同时也是生产润滑油的好原料；

③ 含蜡多，是生产石蜡的好原料；

④ 轻馏分油的饱和烃（包括正构烷烃）的含量高，可作为裂解原料，乙烯收率高；

⑤ 减压渣油的残炭低、杂质少，一般的重油加工方法都适用。

2. 中间基原油

这类原油以胜利、辽河等原油为代表，其加工工艺选择要点为：

① 直馏汽油的芳烃潜含量较高，适于作催化重整原料；

② 其直馏产品酸度高，需要精制；

③ 其催化裂化柴油的十六烷值低，需要加氢改质或加入添加剂；

④ 各馏分的芳烃含量都较高，不适合作裂解原料；

⑤ 此类原料的渣油有些可以生产合格的沥青。

3. 含硫或高硫原油

这类原油以中东原油为代表，其加工工艺选择要点为：

① 各类直馏产品以及催化裂化原料中的硫含量都很高，必须采取加氢精制等方法脱硫；

② 柴油馏分的收率高、凝点低、十六烷指数高，适于生产低凝优级柴油；

③ 减压渣油蜡含量低、饱和烃含量低，是生产高等级道路沥青的优质原料。

第四节　原油蒸馏

原油蒸馏是原油加工的第一道工序，原油经过蒸馏分离成各种油品和下游加工装置的原料。主要包括原油脱盐脱水和常减压蒸馏两大工序。

一、原油脱盐脱水

1. 工艺简介

原油中所含盐类在加工过程中会沉积在工艺管道、加热炉炉管和换热器的管壁上形成盐垢，致使传热困难、燃料消耗增加。盐类还可造成蒸馏塔的腐蚀穿孔，污染二次加工工艺中的催化剂，缩短其寿命。因此原油在炼制前需脱水脱盐处理。

常用的脱盐脱水过程是在原油中注入一定量含氯低的新鲜水或常压塔顶冷凝水（pH＞7）经充分混合，溶解残留在原油中的盐类，同时稀释原有盐水，形成新的乳化液，然后在破乳剂和高压电场的作用下，使微小水滴逐步聚集成较大的水滴，借重力从油中沉淀分离，达到脱盐脱水的目的。其工艺流程见图 10-2。

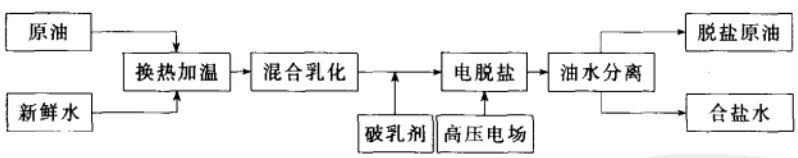


图 10-2　原油脱盐脱水工艺流程

原油来自装置外原油罐区，经原油泵抽入装置，先经常顶及初顶油气进行换热，然后送入换热系统与本装置的热油品进行换热至约 130℃左右后进入电脱盐系统。主要生产设备有电脱盐罐、防爆高阻抗变压器和油水混合器等。

2. 职业病危害因素识别

原油泵、水泵产生高强度的噪声；换热加温、脱盐过程中产生高温和热辐射；电脱盐过程中产生少量硫化氢等有害气体和极低频电磁场等。

二、原油蒸馏

1. 工艺简介

国产原油多为重质原油，轻质馏分含量较低。为了蒸出更多的馏分油作为二

次加工原料和充分回收剩余热量，常压和减压蒸馏过程一般连接在一起而构成常减压蒸馏工艺流程。我国原油蒸馏工艺流程按炼油厂类型不同，可大致分为燃料型、燃料-润滑油型两类。其中燃料-润滑油型除减压蒸馏系统工艺较燃料型复杂外，其他工艺与燃料型相同。原油常减压蒸馏工艺流程见图 10-3。

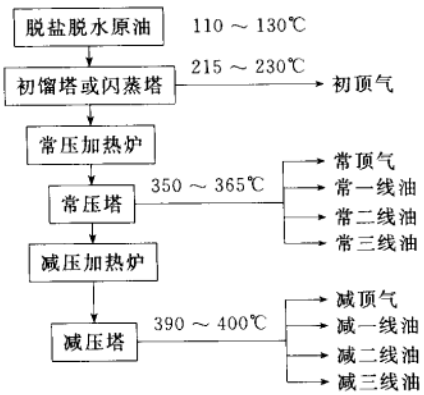


图 10-3 原油常减压蒸馏工艺流程

经过脱盐脱水后的原油进入换热网络，继续与热的油品进行换热，换热至约 240℃，进入初馏塔进行初步分馏。在此大部分的石脑油被分离出来，由塔顶引出，经与原油换热、空冷、水冷，冷却至 40℃，进入初顶回流及产品罐。冷凝的油品由此罐分出，一部分作为石脑油送出装置，另一部分作为冷回流返回到初馏塔顶。未凝结的油气引至常减顶气压缩机入口分液罐，初馏塔设一条侧线，以液相抽出直接送到常压塔。初底油由泵自初馏塔底抽出送入换热网络再换热，换热终温约 304℃，进入常压炉加热至约 368℃，送入常压塔进行分馏。

常压塔大多设有三条侧线、两个中段回流和一个顶循环回流及常顶冷凝冷却系统。常顶气经与原油换热、空冷、水冷冷凝至 40℃进入常顶回流及产品罐，冷凝的油品作为石脑油送出装置，未凝的油气引至常减顶气压缩机入口分液罐，常压塔的常一线作航煤馏分，常二线和常三线作柴油馏分，经换热冷却之后送出装置，常压重油由常底泵抽出经减压炉加热至约 394℃送入减压塔进行分馏。

减压塔多为全填料干式蒸馏操作，减压塔顶设三级冷凝冷却、三级混合抽真空系统。减顶不凝气送至焦化装置进行脱硫处理。减一线、减二线、减三线作加氢裂化料，经换热后热料送出装置。减压渣油由泵自塔底抽出经换热后热料直接作为焦化装置的原料。为减少装置的腐蚀，在塔顶有注氨（18%氨水）、注缓蚀剂和注水设施。

通过常压蒸馏、减压蒸馏后被分为石脑油馏分、航煤馏分、柴油馏分、加氢裂化料和焦化原料等满足后续加工装置要求的物料。初顶气、常顶气和减顶气经压缩机压缩后送至焦化装置进行脱硫处理。

2. 装置组成

装置主要由换热网络系统、常压系统、减压系统、常减顶气压缩机系统和防腐蚀系统（塔顶注氨、注缓蚀剂、注水设施）等部分组成。

3. 职业病危害因素识别

脱盐脱水原油在高温下进行分馏，为防止设备腐蚀，在塔顶注入氨水和缓蚀剂。存在硫化氢、氨水、汽油等多种毒物。各种工业泵、压缩机产生强烈的噪声。常压炉、减压炉及各类换热器等产生高温和热辐射。主要职业病危害因素存在的部位详见表 10-2。

表 10-2 主要职业病危害因素存在的部位

序 号	职业病危害因素名称	主要存在的部位
1	硫化氢	初馏塔、常压塔、减压塔、常压汽提塔、压缩机入口分液罐凝液罐、压缩机出口分液罐凝液罐、初顶回流罐、初顶产品罐、常顶产品罐、减顶分水罐
2	氨气	氨水泵、氨水罐
3	汽油	常压塔、常顶回流罐、常顶成品罐
4	柴油	减顶分水罐、减二线汽提塔、减三线汽提塔
5	噪声	塔顶气压缩机、常一线泵等各类在线泵
6	高温	常压炉、减压炉及各类换热器等

第五节 减黏裂化

减黏裂化是重质黏稠减压渣油经过浅度热裂化降低黏度，使之可少掺或不掺轻质油而达到燃料油质量要求的一种热加工工艺。在降低黏度的同时，还可降低渣油凝点并副产少量气体和裂化汽油馏分与柴油馏分。

一、工艺简介

减黏裂化工艺已有很大的进步。目前普遍采取上流式减黏工艺，其工艺流程如图 10-4 所示。

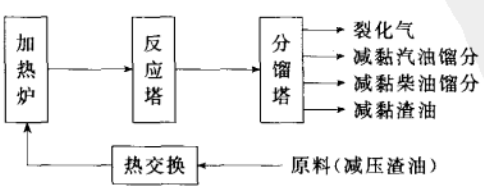


图 10-4 减黏裂化工艺流程

减黏裂化的渣油是由油分、胶质和沥青质组成。上流式减黏工艺主要反应在反应塔内进行。反应塔内设有开孔自下而上逐渐加大的筛板，以减少液体的返

流，使反应均匀。此外，该工艺物料停留时间长，反应温度低，减少了炉壁结焦，且反应完全。

在减黏裂化过程中有下列三种化学反应发生：

① 一部分胶质裂化成轻质产品，一部分缩合成沥青质，因而失去胶溶能力；

② 沥青质进行脱烷基或脱氢并进一步缩合生成类似焦炭的物质；

③ 油分被裂解成低分子烃类而变成一种沥青质凝析剂。

二、职业病危害因素识别

1. 化学因素

硫化氢、硫醇等存在于裂化原料、生产过程和产品中，裂化原料高温裂解产生汽油、柴油等烷烃和烯烃化合物，在质检采样过程和设备泄漏时均可导致硫化氢、烷烃和烯烃化合物等的职业危害。此外加热炉燃烧产生二氧化碳、氮氧化物、一氧化碳等。

2. 物理因素

加热炉、反应塔和分馏塔等设备均产生高温和热辐射。

各种工业泵、压缩机等均产生高强度噪声，其中原料油泵噪声强度较大。

第六节 延迟焦化

延迟焦化是将渣油经深度热裂化转化为气体和轻、中质馏分油及焦炭的加工过程，是炼油厂提高轻质油收率和生产石油焦的主要手段。

一、工艺简介

1. 焦化

来自常减压蒸馏装置的焦化原料，首先经柴油-原料油换热器、中段油-原料换热器、蜡油-原料油换热器换热后进入分馏塔下段换热区，在此与来自焦炭塔的热油气（420℃）接触换热，原料油经加热炉进料泵送入焦化加热炉，快速升温到500℃，然后经四通阀入焦炭塔。循环油和原料油一起在焦炭塔内进行高温长时间焦化，产生裂解、缩合等一系列反应，生成富气、汽油、柴油、蜡油等产品和石油焦。最后高温油气被分离，焦炭结聚在塔内。

从焦炭塔顶流出的热油气进入分馏塔换热段，与原料油直接换热后冷凝出循环油落入塔底。其余大量油气上升经六层换热板，进入重蜡油集油箱。重蜡油由重蜡泵抽出进入外循环，重蜡油集油箱以上分馏段从下往上分馏出蜡油、柴油、汽油和富气。

分馏塔顶油气经塔顶空冷器、分馏塔顶后冷器冷却到40℃流入分馏塔顶气液分离罐，分出的焦化富气经压缩机入口分液罐分液后进入富气压缩机。含硫污水由含硫污水泵送出装置。工艺流程见图10-5。

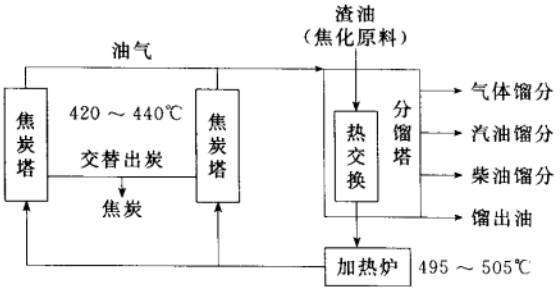


图 10-5　延迟焦化工艺流程

2. 脱硫

自吸收稳定部分来的干气和液化气分别进入干气脱硫塔和液化气脱硫塔，用装置外送来的甲基二乙醇胺（MDEA）溶剂进行脱硫。干气脱硫塔顶流出的净化干气在压力控制下并入燃料气管网，液化气脱硫塔顶的净化液化气送至液化气脱硫醇部分。干气脱硫塔和液化气脱硫塔底富溶剂混合后去装置外再生。

二、装置组成

焦化部分主要包括原料预热、加热炉、焦炭塔、分馏塔及换热器、焦炭塔的吹气放空设备、高压水泵以及水力除焦系统、冷切焦水处理系统等。

脱硫部分主要包括干气脱硫、液化气脱硫以及液化气脱硫醇系统。

三、职业病危害因素识别

1. 化学因素

生产过程中主要有硫化氢、硫醇等硫化物，汽油、柴油等烷烃和烯烃化合物，加热炉产生的二氧化碳、氮氧化物、一氧化碳等，以及液化气脱硫醇工段存在氢氧化钠碱雾等。

2. 粉尘

焦化炉出焦炭和切焦时存在焦炭粉尘。

3. 物理因素

加热炉、焦化炉等设备均产生高温和热辐射。

各工业泵、压缩机等均产生高强度噪声，其中以稳定塔进料泵、含硫污水泵、蜡油泵、柴油泵、汽油泵、分馏塔底循环泵、加热炉进料泵、原料油泵等噪声强度较大。

第七节　催化裂化

催化裂化是在催化剂存在下，将石油馏分中柴油以上的高沸点油料在高温下进行裂化的一种最重要的重油轻质化工工艺过程，以达到提高原油加工深度、生

产高辛烷值汽油、柴油和液化气的目的。

一、工艺简介

催化裂化工艺可以加工多种多样的重质原料，如直馏减压馏分油、延迟焦化馏出油、常压渣油、减压渣油、脱沥青油。催化裂化的催化剂床层有采用固定床式的，也有采用反应和催化剂再生分别在不同容器内连续进行的移动床式和流化床式的。目前绝大多数采用流化床催化裂化技术，其工艺流程见图 10-6。

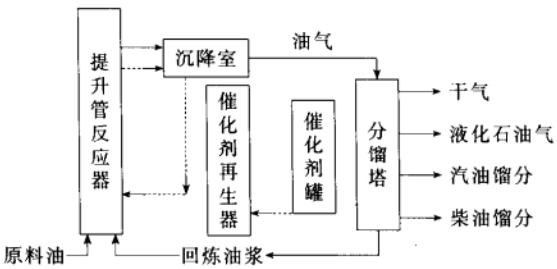


图 10-6 催化裂化工艺流程

渣油在此反应装置中通过催化裂化与分馏，可产生干气、液化石油气、柴油、汽油等粗产品。该产品还需送入干气脱硫和产品精制系统进一步加工处理（详见本章第十一节加氢精制）。

催化剂在生产过程中需通过焚烧再生活化，循环使用。

焚烧再生活化产生的烟气可通过一氧化碳焚烧炉进一步净化燃烧产热，其余热烟气首先送入烟气轮机做功，然后再进入余热锅炉进行热交换，最后经烟囱排空。

此外，催化剂再生过程中产生大量的酸性水。酸性水含有高浓度的硫化氢等有毒物质，需经过酸性水汽提装置初步净化处理后，方可排入污水系统。在酸性水汽提过程中，汽提装置产生含高浓度硫化氢的酸性气，此气体需送入硫化氢焚烧炉净化（详见本章第十二节硫黄回收与尾气处理）。

二、装置组成

催化裂化工艺的生产装置包括：

① 反应再生系统，主要有提升管反应器、再生器、催化剂罐及输送管线、主风机、烟气轮机、余热锅炉等；

② 分馏系统，有分馏塔、加热和换热及蒸汽发生系统、冷却系统等；

③ 吸收稳定系统，有空气压缩机、吸收塔、稳定塔、换热系统等；

④ 干气脱硫和产品精制系统等。

三、职业病危害因素识别

1. 化学因素

酸性水汽提和硫化氢焚烧炉可能产生高浓度的硫化氢气体。催化剂再生活化

器和一氧化碳焚烧炉可能产生高浓度一氧化碳气体。这些部位是该装置的职业病危害控制关键点，应予重点防范。此外还有硫化氢焚烧炉产生的二氧化硫、氮氧化物以及硫醇、汽油、柴油等烷烃和烯烃化合物等。

2. 粉尘

添加催化剂时劳动者可接触催化剂粉尘，但催化剂每年仅需添加几次，累计作业时间很短，实际对劳动者的危害较小。

3. 物理因素

一氧化碳焚烧炉、硫化氢焚烧炉、催化剂再生活化器、提升管反应器和酸性水汽提设备均产生高温和热辐射。

各工业泵、压缩机、主风机、烟气轮机、余热锅炉等均产生高强度噪声，其中以压缩机、主风机、烟气轮机等噪声强度较大。

第八节　催化重整

催化重整是指在有催化剂存在的条件下，对原料油的分子结构加以“重新调整排列”的意思。催化重整是从石油生产芳烃和高辛烷值汽油组分的主要工艺过程，所副产的氢气是加氢装置用氢的重要来源。因此，它是炼油和石油化工的重要生产工艺之一。

重整汽油的辛烷值很高，而且烯烃含量少、稳定性好。近年来，因各国对环保要求的提高，不加铅或少加铅的高辛烷值汽油的需求量剧增，促进了催化重整的迅速发展。另外，因催化重整中最主要的反应是芳构化反应，重整产物中的芳烃（苯、甲苯、二甲苯等）含量很高，所以催化重整也是生产芳烃的重要手段。

一、化学反应原理

催化重整的化学反应主要有以下几种：

① 脱氢反应，六碳环烷烃可脱去部分氢转变为芳烃；

② 脱氢环化反应，烷烃经过脱氢转变为环烷烃，环烷烃进一步脱氢成为芳烃，提高了汽油的辛烷值；

③ 异构化反应，正构烷烃变成异构烷烃，异构烷烃的增多也提高了汽油的辛烷值；

④ 裂化反应，裂化反应指大分子烷烃裂解成小分子烃类，由于重整反应有氢气存在，所以，裂解生成的烯烃可立即加氢成饱和烃。

二、工艺流程

重整流程基本上包括原料油的预分馏和预加氢、原料油的重整反应、产品的后加氢和稳定处理三部分。

1. 预分馏和预加氢

原料油先进入预分馏塔除去小于60℃的轻馏分之后再进入预加氢反应器。预加氢的目的是除去砷、硫、氮等能使重整催化剂中毒的物质，同时使烯烃饱和以减少重整催化剂上的积炭，从而延长生产周期。原料油在预加氢催化剂作用下进行加氢反应。预加氢后的液体油中会溶有少量的硫化氢、氨和水，经汽提塔用氢气将它们汽提出去。

2. 重整反应

预加氢后的原料油与循环氢混合，再经换热、加热后进入重整反应器。重整反应器的反应温度约为500℃，反应压力为1.8～3.0MPa。重整反应是强吸热反应。为了避免反应过程中降温过大，需将重整反应分成若干段进行。常将3～4个反应器串联使用，每个反应器前都设有加热炉，以加热至所需要的反应温度。

3. 后加氢和稳定处理

由于重整反应中存在裂解反应，重整生成油中常含有少量烯烃，这样在后续的芳烃抽提中，烯烃会混入芳烃中而影响芳烃的纯度。所以在以生产芳烃为主要目的时，还需要进行后加氢处理，后加氢的目的是使烯烃饱和。加氢产物经分离器分出富含氢的气体（含氢85%～95%，其余为甲烷、乙烷、丙烷等）后再进入稳定塔脱去气态烃及戊烷，塔底产物即可作为芳烃抽提的原料。

4. 催化剂的再生

催化剂连续操作一段时间后由于积炭导致活性下降，可以用含少量氧气（0.2%～0.5%）的氮气在高温下烧去积炭得到再生。

三、职业病危害因素识别

1. 化学因素

汽提塔可产生硫化氢等气体，重整后产生大量苯、甲苯、二甲苯等芳香烃化合物。这些部位是该装置的职业病危害控制关键点。

此外，催化剂再生活化可产生一氧化碳气体，整个生产过程中存在液化石油气、汽油类烷烃和烯烃化合物，加热炉燃烧时产生一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等有害气体。

2. 粉尘

添加催化剂和催化剂再生时劳动者可能接触催化剂粉尘，但催化剂再生和添加周期较长，劳动者每年累计作业时间很短，因此危害较小。

3. 物理因素

预分馏塔、加热炉、反应器、催化剂再生活化器等设备均产生高温和热辐射。

各工业泵、压缩机、风机等均产生高强度噪声与振动。

第九节　加氢裂化

加氢裂化属于加氢过程，是在催化剂存在下从外界补入氢气以提高油品的氢碳比。加氢裂化实质上是加氢和催化裂化过程的有机结合，一方面能使重质原料油通过裂化反应转化为汽油、煤油和柴油等轻质油品；另一方面又可以防止大量积炭的生成，而且还可以将原料油中的硫、氮、氧等杂原子通过加氢除去，使反应过程中生成的不饱和烃饱和。在化学原理上与催化裂化有许多共同之处，但是又有自己的特点：

① 原料范围广泛，可用各种劣质的重质原料，如催化裂化循环油、脱沥青油、减压馏分油等；

② 产品是优质轻质油品，特别是可生产优质低冰点喷气燃料和低凝点柴油；

③ 操作灵活性大，采用不同的催化剂和操作条件，用不同的原料，可以有选择地生产液化石油气、石脑油、喷气燃料以及轻柴油等多种优质产品。

一、化学反应原理

加氢裂化采用具有裂化和加氢两种作用的双功能催化剂。原料中各种烃类在加氢裂化过程中发生一系列的化学反应，其中除了两个主要的加氢和裂化反应以外，还有异构化、环化、非烃类氢解和缩合等多种反应。概括如下：

① 稠环芳烃加氢裂化生成较小分子的芳烃及芳烃-环烷烃；

② 双环以上环烷烃发生异构、裂化反应，生成较小分子的环烷烃，随着转化深度增加，最终生成单环环烷烃；

③ 单环芳烃和环烷烃比较稳定，不易裂开，主要是侧链断裂或生成异构体；

④ 烷烃异构化与裂化同时进行；

⑤ 烷烃裂化很少生成 C_3 以下的小分子烃；

⑥ 非烃基本上完全转化，烯烃也基本上全部饱和。

二、工艺流程

加氢裂化工业装置根据原料性质、目的产品、处理量大小及催化剂性能等的不同，分为一段流程、二段流程和串联流程三种。

1. 一段加氢裂化流程

一段加氢裂化工艺流程中只有一个反应器，原料油的加氢精制和加氢裂化在同一反应器中进行。反应器上部为精制段，内装加氢活性高的催化剂（如金属含量较高的硅铝载体催化剂等）进行原料预处理；下部为裂化段，装入裂化活性较高的催化剂（如金属含量较低的硅铝载体催化剂）进行裂化和异构化反应，最大限度生产汽油和中间馏分。其生产工艺流程见图 10-7。

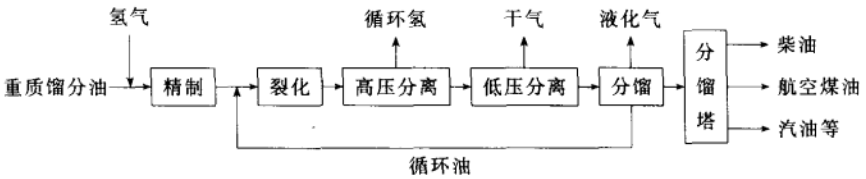


图 10-7 加氢裂化生产工艺流程

原料油经泵升压至 16MPa 后与新氢及循环氢混合。再与 420℃左右的加氢生成油换热至 320～360℃进入加热炉，反应器进料温度为 370～450℃。反应产物经与原料换热降至 200℃，再经冷却温度降到 30～40℃之后进入高压分离器。反应产物在进入空冷器之前注入软化水，溶解其中的 NH_3、H_2S 等。自高压分离器底部分出加氢生成油，经减压系统减压至 0.5MPa 后进入低压分离器。在此将水脱出，并释放出溶解气体。从低压分离器分离出的气体（低分气）送至脱硫装置，含硫污水减压后送出装置至污水汽提装置处理，液体（低分油）进入 H_2S 汽提塔脱硫。脱硫液体经加热炉加热送至分馏塔，最后分馏出轻汽油、喷气燃料、低凝柴油和塔底尾油。尾油一部分或全部可作为循环油，与原料混合后返回反应系统，或送出装置作为燃料油。

脱硫装置包括干气脱硫塔、液化气脱硫塔、低分气脱硫塔和溶剂再生塔。液化气脱硫后得到液化气产品；低分气脱硫后去制氢装置回收氢气；干气脱硫后去制氢装置作为制氢原料。

2. 两段加氢裂化流程

两段加氢裂化流程中有两个反应器，分别装有不同性能的催化剂，第一个反应器中主要进行加氢精制反应，第二个反应器中主要进行加氢裂化反应，形成了独立的两段流程体系。两段加氢裂化流程的特点是对原料的适应性强，操作灵活性大，采用不同的操作条件可改变生成油的产品分布。

原料油经高压泵升压并与循环氢和新氢混合后先与第一段生成油换热，再在加热炉中加热至反应温度，进入第一段加氢精制反应器，在加氢活性高的催化剂作用下进行脱硫、脱氮、脱微量重金属反应。反应生成物经换热、冷却后进入高压分离器，分出循环氢。生成油进入脱氨（硫）塔，脱去 NH_3 和 H_2S 后，作为第二段加氢裂化反应器的进料。第二段进料与循环氢混合后进入第二加热炉，加热至反应温度，在装有高酸性催化剂的第二段加氢裂化反应器内进行加氢、裂化和异构化等反应。反应生成物经换热、冷却、分离，分出溶解气和循环氢后送至稳定分馏系统。最后分馏出轻汽油、喷气燃料等产品。

3. 串联加氢裂化流程

串联流程是两段流程的发展，将两个反应器串联在一起。由于在第二个反应器中装入了抗氨抗硫化氢的分子筛加氢裂化催化剂，所以取消了两段流程中的脱

氨塔，使加氢精制和加氢裂化两个反应器直接串联起来。省掉了一套换热、加热、加压、冷却、减压和分离设备。

三、职业病危害因素识别

加氢裂化反应在500℃左右高温和15MPa高压状况下进行，因此在气体压缩和减压过程中均易导致物料的泄漏，并产生高强度噪声。其中硫化氢分布广、产生量大、容易泄漏，硫化氢汽提塔、硫化氢汽提塔顶回流罐和液化气脱硫塔是本装置的职业病危害控制关键点。主要设备及存在的职业病危害因素见表10-3。

表10-3 主要设备及存在的职业病危害因素

序号	名 称	主要职业病危害因素
1	加氢精制反应器	NH_3、H_2、硫化氢、芳香烃、烷烃等
2	加氢裂化反应器	NH_3、H_2、硫化氢、芳香烃、烷烃等
3	硫化氢汽提塔	柴油、氢气、石脑油、硫化氢、芳香烃、烷烃等
4	吸收脱吸塔	硫化氢、芳香烃、烷烃等
5	低分气脱硫塔	硫化氢、胺盐、芳香烃、烷烃等
6	液化气脱硫塔	硫化氢、液化气、胺盐、烷烃等
7	干气脱硫塔	硫化氢、胺盐、烷烃等
8	硫化氢汽提塔顶回流罐	硫化氢
9	反应进料泵	噪声与振动、芳香烃、烷烃等
10	硫化剂泵	噪声与振动
11	新氢压缩机	噪声与振动
12	循环氢压缩机	噪声与振动
13	反应进料加热炉	高温、热辐射、CO_2、CO、SO_2、NO_2
14	分馏塔进料加热炉	高温、热辐射、CO_2、CO、SO_2、NO_2

归纳主要职业病危害因素分布情况如下：

① 硫化氢，主要分布在加氢精制反应器、加氢裂化反应器、硫化氢汽提塔、吸收脱吸塔、低分气脱硫塔、液化气脱硫塔、干气脱硫塔、硫化氢汽提塔顶回流罐等处；

② 氨，主要分布在加氢精制反应器、加氢裂化反应器，此外在装置更换催化剂时需一次性大量使用氨；

③ 噪声，分布整个区域，以反应进料泵、硫化剂泵、新氢压缩机、循环氢压缩机等处噪声强度最大；

④ 高温，分布整个区域，以反应进料加热炉、分馏塔进料加热炉等处较高。

第十节 催化原料加氢

催化原料加氢处理装置是较新的工艺，目的是获得优质的催化原料，改善催化裂化装置的进料条件，优化催化装置的操作，改善产品分布和产品质量。通过对重质（劣质）催化原料加氢预处理，可以得到78%～85%的精制重油（硫含

量降到0.15%以下，氮含量降到0.2%以下），同时副产品可得到11%～16%的优质柴油和1.8%～3.0%的石脑油。

一、工艺流程

催化原料加氢处理装置由加氢反应和产品分馏、循环氢脱硫、低压气体脱硫及溶剂再生等部分组成。

原料首先进入过滤器除去杂质，与经换热预热后的循环氢混合，再经换热后进入反应进料加热炉，加热到所需的温度后进入反应器，反应物经换热后进入热高压分离器进行气液分离，热高分气经换热、空冷后进入冷高压分离器，进行气、油和水三相分离。

热高压分离器底部出来的热高分液进入热低压分离器进行气液分离，热低分油从底部排出后去分馏部分分馏。热低分气经换热冷却后进冷低压闪蒸罐进行气液分离，从下部出来的闪蒸液则进入冷低压分离器。冷高压分离器底部出来的冷高分液进入冷低压分离器进行气液分离。底部排出的冷低分液再次进入反应进料加热炉的对流段进行加热，然后进入分馏部分。从顶部出来的冷低分气则进行脱硫处理。

二、职业病危害因素识别

催化原料加氢处理装置的主要职业病危害因素是硫化氢和噪声，其职业病危害情况与加氢裂化工艺相似（参见本章第九节）。主要设备及存在的职业病危害因素见表10-4。

表10-4 主要设备及存在的主要职业病危害因素

序号	名　称	主要职业病危害因素
1	循环氢脱硫塔	H_2S、氨、芳香烃、烷烃、噪声等
2	脱硫溶剂再生塔	H_2S、氨、噪声
3	滤后原料缓冲罐	芳香烃、烷烃、噪声等
4	原料泵	芳香烃、烷烃、噪声等
5	加热炉	高温、热辐射、噪声、CO_2、CO、SO_2、NO_2 等
6	加氢反应器	H_2S、氨、芳香烃、烷烃、高温、热辐射、噪声
7	热高压分离器	H_2S、氨、芳香烃、烷烃、高温、热辐射、噪声
8	冷高压分离器	H_2S、氨、芳香烃、烷烃、高温、热辐射、噪声
9	热低压分离器	H_2S、氨、芳香烃、烷烃、高温、热辐射、噪声
10	冷低压分离器	H_2S、氨、芳香烃、烷烃、高温、热辐射、噪声
11	冷低压闪蒸罐	芳香烃、烷烃
12	聚结器	芳香烃、烷烃
13	循环氢压缩机	噪声、振动

第十一节　加氢精制

加氢精制能有效地使原料油中的硫、氮、氧等非烃化合物氢解，使烯烃、芳烃加氢饱和并能脱除金属和沥青质等杂质。具有处理原料范围广、液体产品收率

高、产品质量好等优点。因此，加氢精制在许多炼油过程中是必不可少的过程，也正在逐步取代其他类型的油品精制方法。

目前我国的加氢精制技术主要用于二次加工汽油和柴油的精制，例如用于改善焦化柴油的颜色和稳定性；提高渣油催化裂化柴油的稳定性和十六烷值；从焦化汽油制取乙烯原料或催化重整原料；用于某些原油直馏产品的改质，如通过加氢精制提高直馏喷气燃料的烟点等。

一、化学反应原理

在加氢精制过程中发生的主要反应有：

① 加氢脱硫、加氢脱氮和加氢脱氧，含硫、氮和氧的有机化合物与氢发生氢解反应，分别生成相应的烃和硫化氢、氨及水；

② 烯烃和芳烃的加氢饱和，在加氢精制的条件下，大部分的烯烃与氢反应生成烷烃，多环芳烃可部分加氢饱和，单环芳烃很少发生反应；

③ 加氢脱金属，几乎所有的金属有机化合物在加氢精制条件下都被加氢和分解，生成的金属沉积在催化剂表面上，造成催化剂活性下降，并导致反应床层阻力升高。

二、工艺流程

加氢精制的原料包括直馏和二次加工（如焦化、催化裂化等）的汽油、煤油、柴油及润滑油等各种石油馏分。加氢精制的工艺流程因原料不同而有所区别，但基本原理相同，多采用固定床绝热反应器。精制所用氢气大多为催化重整的副产氢气，少数另建有制氢装置。加氢精制工艺流程包括反应系统、生成油换热、冷却、分离系统和循环氢系统三部分。工艺流程如图 10-8 所示。

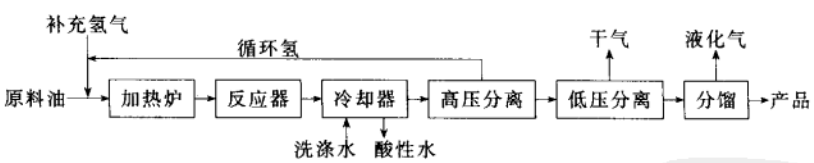


图 10-8　加氢精制工艺流程

1. 反应系统

原料油与新氢、循环氢混合，与反应产物换热后，以气液混相状态进入加热炉，加热到一定温度进入反应器。反应器进料可能是气相（精制汽油时），也可能是气液混相（精制柴油或更重的馏分油），反应器内部设有专门的进料分布器。反应器内的催化剂一般是分层填装，以利于注冷氢来控制反应温度，原料油和循环氢通过每段催化剂床层进行加氢脱硫、加氢脱氮、加氢脱氧和加氢脱金属等加氢反应。加氢精制反应器可以是一个（一段加氢法），也可以是两个（两段加氢法），依原料油的性质而定。

2. 生成油换热、冷却、分离系统

反应产物从反应器底部导出，经过换热和冷却后进入高压分离器。在冷却器前注入高压洗涤水，以溶解反应生成的氨和部分硫化氢。反应产物在高压分离器中进行分离，分出的气体是循环氢，其中除了主要组分氢以外，还有少量气态烃和未溶于水的硫化氢，分出的液体产物是加氢生成油，其中也溶有少量气态烃和硫化氢，所以生成油经过减压再进入低压分离器进一步分离出轻烃等组分后，去分馏系统分离成合格产品。

3. 循环氢系统

从高压分离器分出的循环氢经储罐及压缩机后，大部分送去与原料油混合，小部分不经加热直接送入反应器作冷氢，在装置中循环使用。为了保证循环氢的纯度，避免硫化氢在系统中积累，常用硫化氢回收系统。一般用乙醇胺吸收除去硫化氢，富液再生循环使用，解吸出来的硫化氢送到制硫装置，净化后的氢气循环使用（工艺流程如图 10-9 所示）。为了保证循环氢的浓度，需要不断地向系统中补充新氢。

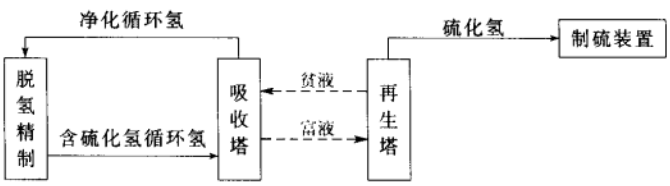


图 10-9 循环氢脱硫化氢工艺流程

三、职业病危害因素识别

加氢精制装置的主要职业病危害因素是硫化氢和噪声，其职业病危害情况与加氢裂化工艺相似（参见本章第九节）。其中主要职业病危害因素分布部位见表 10-5。

表 10-5 主要职业病危害因素存在的部位

序号	职业病危害因素名称	主要存在的部位
1	硫化氢	加氢精制反应器、产品分馏塔、高压分离罐、低压分离罐、循环氢分液罐、放空分液罐、地下油污罐、分馏塔顶空冷器、循环氢压缩机、冷却器、硫化氢吸收塔、乙醇胺再生塔
2	汽油、柴油、煤油	加氢精制反应器、产品分馏塔、高压分离罐、低压分离罐、放空分液罐、地下油污罐、分馏塔顶空冷器、冷却器
3	噪声	循环氢压缩机、新氢压缩机、原料泵、分馏塔顶回流泵、产品泵
4	高温	加热炉、冷却器及各类换热器等

第十二节 硫黄回收与尾气处理

原油中含有硫化合物，不仅影响石油产品质量，腐蚀设备，危害环境，而且

还对作业人员造成较大的职业病危害。因此，炼制含硫原油的企业都设有含硫废水汽提、气体脱硫、硫黄回收及其尾气处理装置。

一、生产工艺

硫黄回收与尾气处理装置由制硫、尾气处理、尾气焚烧及硫黄成型四部分组成。

1. 制硫部分

根据酸性气中硫化氢含量的高低，可选择不同的制硫工艺：

① 当酸性气中硫化氢浓度在2%～15%时应选用直接氧化法；

② 当酸性气中硫化氢浓度在高于15%至50%时宜选用分流法；

③ 当酸性气中硫化氢浓度大于50%时可选用部分燃烧法。

现以部分燃烧法为例说明其生产工艺流程。

来自各生产装置溶剂再生部分的酸性气和来自污水汽提装置的酸性气脱除凝液后进入酸性气燃烧炉，按照烃类完全燃烧和酸性气中1/3的H_2S生成SO_2控制进入酸性气燃烧炉的风量。在酸性气燃烧炉内，进行克劳斯（Claus）反应生成元素硫，反应式如下：

$$1/3H_2S+1/2O_2 \longrightarrow 1/3SO_2+1/3H_2O$$

$$2/3H_2S+1/3SO_2 \longrightarrow 1/xS_x+2/3H_2O$$

燃烧反应后的高温过程气进入酸性气燃烧炉余热锅炉，通过余热锅炉回收反应余热后，过程气温度降至300℃左右进入一级硫冷凝器。一级硫冷凝器采用低压蒸汽余热锅炉进一步回收反应余热并继续降低过程气温度，过程气温度降至160℃并分出冷凝下来的元素硫后，与来自酸性气燃烧炉高温掺和阀的高温过程气混合，控制过程气温度升至222℃，进入一级转化器。在催化剂的作用下过程气中H_2S与SO_2在一级转化器内发生Claus反应生成元素硫。反应后的过程气温度升至289℃出一级转化器进入二级硫冷凝器。二级硫冷凝器采用低压蒸汽余热锅炉进一步回收反应余热并降低过程气温度，过程气温度降至160℃并分出冷凝下来的元素硫后，与来自酸性气燃烧炉高温掺和阀的高温过程气混合，控制过程气温度升至213℃，进入二级转化器。在催化剂的作用下过程气中H_2S与SO_2在二级转化器内继续发生Claus反应生成元素硫。反应后的过程气温度升至230℃出二级转化器进入三级硫冷凝器。三级硫冷凝器同样采用低压蒸汽余热锅炉进一步回收反应余热并降低过程气温度，过程气温度降至155℃并分出冷凝下来的元素硫后进入尾气分液罐。

自一、二、三级硫冷凝器和尾气分液罐冷凝下来的液硫流入各自的硫封罐。自尾气分液罐出来的Claus尾气进尾气处理部分。液硫经硫封罐流到液硫池。池内设有蒸汽加热器。液硫经循环脱气后经液硫泵送至液硫成型部分。其工艺流程见图10-10。

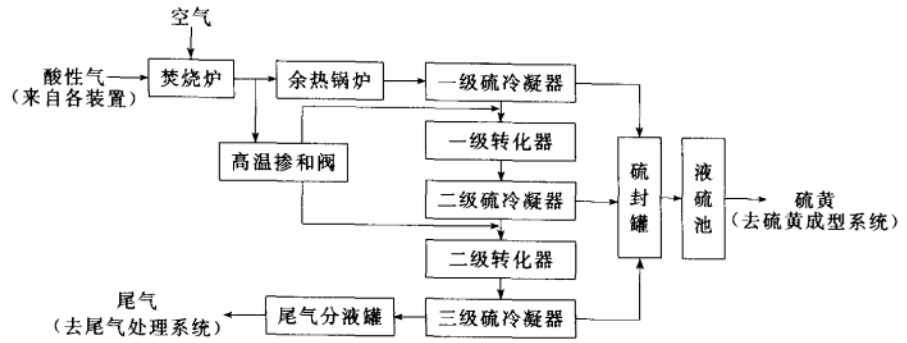


图 10-10 部分燃烧法制硫工艺流程

2. 尾气处理部分

来自制硫部分的 Claus 尾气进入尾气加热器，Claus 尾气与尾气焚烧炉的高温烟道气换热，升温至 300℃后进入加氢反应器，在 Co-Mo 催化剂的作用下，尾气中的 SO_2 和元素硫在加氢反应器内与外供 H_2 发生还原反应生成 H_2S，反应式如下：

$$SO_2+3H_2 \longrightarrow H_2S+2H_2O+Q$$
$$S+H_2 \longrightarrow H_2S+Q$$

与此同时，尾气中的 COS 和 CS_2 通过水解完全转化为 H_2S，反应式如下：

$$COS+H_2O \longrightarrow H_2S+CO_2+Q$$
$$CS_2+2H_2O \longrightarrow 2H_2S+CO_2+Q$$

由于上述反应为放热反应，出加氢反应器的尾气温度升至 326℃以上，高温尾气经尾气蒸汽发生器回收热量后温度降至 170℃，然后进入急冷塔的下部。冷却水自急冷塔上部进入，与尾气逆流接触，尾气被冷却的同时，其中含有的水蒸气被冷凝。冷却水由急冷塔底部抽出，温度约 65℃，经急冷水循环泵升压后，一部分冷至 40℃后返回急冷塔顶，少部分送至污水汽提装置。急冷塔塔顶的尾气经冷却至 40℃后进入吸收塔底部，与塔顶进入的胺液（贫液）逆流接触，尾气中的 H_2S 及部分 CO_2 被贫液吸收。自吸收塔塔顶流出的净化尾气进入尾气焚烧炉。吸收了 H_2S 及部分 CO_2 的胺液（富液）自塔底经富液加压泵升压后进入再生塔。进入再生塔的胺液（富液）经过再生，塔顶产生的酸性气体返回制硫部分循环回收其中的元素硫，塔底经过再生的胺液（贫液）经塔底贫液泵升压冷却至 40℃后返回吸收塔重复利用。其工艺流程见图 10-11。

3. 尾气焚烧部分

自尾气处理部分的尾气在尾气焚烧炉中与燃料气和过量空气混合，经过 700℃高温的充分燃烧后，尾气中的硫化物转化成二氧化硫。高温烟气经与蒸汽过热器和尾气加热器换热至约 300℃，最后经过烟囱排入大气。

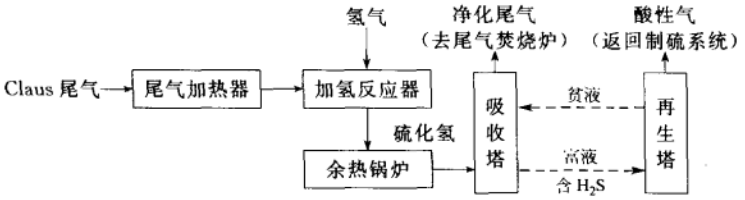


图 10-11　尾气处理工艺流程

4. 硫黄成型

自 Claus 炉产生的高温液态硫进入液硫成型装置，在此降温造粒，包装成为硫黄产品。

二、职业病危害因素识别

1. 化学因素

硫黄回收与尾气处理装置负责集中处理来自各生产装置产生的含硫化氢酸性气和酸性水。从酸性气和酸性水接收、酸性水汽提、Claus 炉焚烧、尾气处理等全过程均存在硫化氢危害，特别是在设备、阀门发生泄漏时，在局部工作场所可能聚集高浓度硫化氢，是该装置的职业病危害控制关键点，务必引起高度重视。此外，各加热炉、焚烧炉产生二氧化硫、二氧化碳、一氧化碳和少量的氮氧化物等有害气体。

2. 粉尘

催化剂一般为天然矾土或氧化铝等，在添加催化剂时劳动者可能接触催化剂粉尘。但催化剂添加周期较长，劳动者每年累计作业时间很短，因此危害较小。此外，硫黄造粒与包装工段产生硫黄粉尘和少量的升华硫。

3. 物理因素

各加热炉、反应器、余热锅炉等均产生高温和热辐射。各工业泵、压缩机、风机等均产生高强度噪声与振动等。

第十三节　酸性气制硫酸

硫酸是重要的化工原料，应用广，消耗量大。因此，利用石油炼制产生的酸性气（主要含硫化氢）生产硫酸是一项颇具经济效益的途径。近年来，许多炼油厂通过兴建酸性气制硫酸装置来取代硫黄回收装置。

一、生产工艺

该装置一般以炼油装置乙醇胺（MEA）脱硫解吸的酸性气和污水汽提的酸性（SWS）气为原料，其中 MEA 酸性气含硫化氢 50%～72%，SWS 酸性气含硫化氢 70%～80%。

经预热后的酸性气和压缩空气分别进入焚烧炉内燃烧，主要进行如下反应：

$$H_2S+O_2 \longrightarrow H_2O+SO_2$$

该反应产生大量热量，反应后气体进入余热锅炉产生高压蒸汽，将工艺气体冷却至400℃后进入SO_2反应器。反应器内SO_2在催化剂作用下转化为SO_3，由于该反应为强放热反应，反应器内催化剂分三段装填，每段催化剂都采用熔盐循环取热，这些熔盐在蒸汽发生器和盐冷却器冷却换热后循环使用。产生的SO_3气体与空气换热进一步冷却，气体中的SO_3与H_2O冷凝生成液态浓硫酸，多余的水分从尾气中排出。产生的浓硫酸与循环的产品硫酸混合降低温度后进入硫酸循环罐，经产品泵升压，再经酸冷却器冷却后，部分送出装置作为成品酸，部分循环以调节硫酸循环罐温度。其生产工艺流程见图10-12。

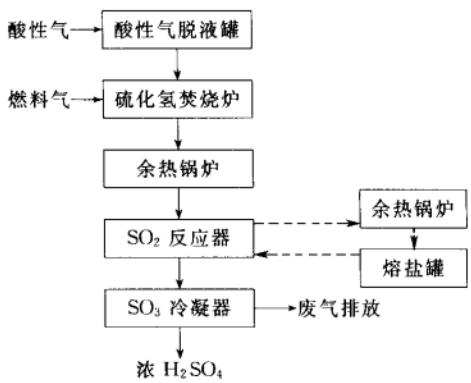


图10-12 酸性气制硫酸工艺流程

主要生产设备有焚烧炉、余热锅炉、硫酸罐、二氧化硫反应器、硫酸泵等。

二、职业病危害因素识别

1. 化学因素

该装置使用的原料气含硫化氢50%以上，反应过程气有二氧化硫和三氧化硫，产品为98%的浓硫酸。因此存在的化学性职业病危害因素主要是硫化氢、二氧化硫、三氧化硫、硫酸雾，此外，焚烧炉还产生二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物等。

加强设备密闭化生产，防止硫化氢气体和二氧化硫气体泄漏是该装置职业病危害控制的关键。浓硫酸产品也应加强密闭化管理，散发的硫酸雾对操作人员呼吸道、皮肤和牙齿均会产生强烈的腐蚀作用。

2. 物理因素

各加热炉、反应器、余热锅炉等均产生高温和热辐射。各工业泵、压缩机、风机等均产生高强度噪声与振动等。

第十四节 润滑油生产

润滑油的产量约占石油产品总量的2%～3%，数量不大，但品种繁多、数以百计，主要有工业齿轮油、液压油、特种工业润滑油等。目前的石油润滑油产品几乎都是以润滑油基础油为主，并用改善各种使用性能的添加剂调制而成。

润滑油基础油的生产过程包括：

① 常减压蒸馏切割得到黏度基本合适的润滑油馏分和减压渣油；

② 减压渣油溶剂脱沥青，得到残渣润滑油组分；

③ 溶剂精制除去各种润滑油馏分和组分中的非理想组分；

④ 溶剂脱蜡以除去高凝点组分，降低其凝点；

⑤ 白土补充精制或加氢补充精制。

根据润滑油质量标准要求，将一种或数种润滑油基础油与各种添加剂调和，即可得到合格的润滑油产品。

一、渣油丙烷脱沥青

减压渣油中含有高黏度润滑油组分，是生产航空润滑油、过热汽缸油等的宝贵原料。同时渣油中集中了原油中绝大部分的沥青质、胶质、硫、氮、氧等非烃化合物，以及微量金属化合物等。这些物质构成复杂的胶状物质，称为沥青。沥青是润滑油的非理想组分，必须除去。

丙烷脱沥青工艺是以丙烷为溶剂，脱除减压渣油中的沥青，得到重质润滑油以及催化裂化、加氢裂化和氧化沥青等加工装置的原料。

（一）工艺流程

丙烷脱沥青是根据丙烷对减压渣油中不同组分的溶解度差别悬殊，来达到脱除沥青的目的。在一定温度范围内，丙烷对渣油中的烷烃、环烷烃和单环芳烃等溶解能力很强，对多环和稠环芳烃溶解能力较弱，而对胶质和沥青质则很难溶解，甚至基本不溶。因此，利用丙烷的这一性质，可脱除渣油中的胶质和沥青质，从而得到残炭、重金属、硫和氮含量均较低的脱沥青油。

一般乙烷、丙烷、丁烷等低分子烷烃都具有脱沥青的性能。分子量越小的烷烃，其选择性越好，但溶解能力越小。选择那种溶剂应根据脱沥青油用途而定。通常用于制取润滑油原料的脱沥青溶剂主要是丙烷。用以制取润滑油料的脱沥青溶剂丙烷大都来自催化裂化的气体分馏装置，因此，除含丙烷外，常含有乙烷、丙烯、丁烷等。

丙烷脱沥青的工艺流程主要分为抽提和溶剂回收两部分。

1. 抽提系统

丙烷脱沥青在内设转盘的抽提塔中进行，抽提塔的顶部为沉降段，中下部为

抽提段。减压渣油经换热冷却或加热到适宜温度后进入一次抽提塔中上部，经分散管进入抽提段，较低温度的溶剂丙烷从抽提塔下部分三路进入。因渣油与丙烷的密度差较大，在抽提塔内逆流接触，在转盘搅拌下进行抽提。脱出的沥青从抽提塔底部引出。抽提出来的润滑油组分和丙烷称为抽出液，经上升管进入下部设有集油箱的沉降段。沉降段中设有加热管以提高温度、使抽出液又析出部分沉降物，称为二段油而被引出。二段油中含有较重的润滑油料，同时含有较多胶质，将二段油送入二次抽提塔的中上部，塔底送入溶剂丙烷，在塔内进行二次抽提。二次抽出液在塔上部的沉降段内加热沉降，然后从塔顶出塔，经回收溶剂丙烷后得到重脱沥青油。

其工艺流程见图 10-13。

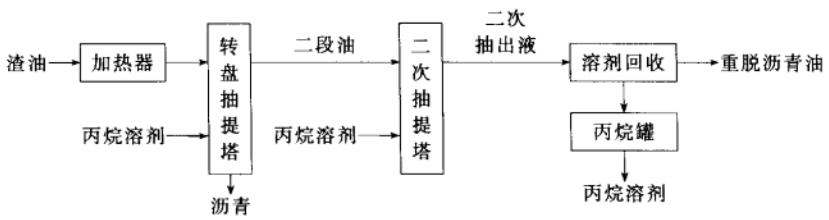


图 10-13 抽提系统工艺流程

2. 溶剂回收系统

溶剂回收系统把从抽提塔中引出的轻、重脱沥青油溶液和沥青液中的丙烷回收，以便循环使用。

轻脱沥青油溶液经换热升温到稍低于溶剂临界温度后，进入临界分离塔，利用在临界点附近溶剂对油的溶解度锐减的特性，油和丙烷分离，轻脱沥青油沉于塔底，大部分丙烷从塔顶导出，经冷却后进入丙烷罐，循环使用。

重脱沥青油溶液和从临界分离塔底得到的轻脱沥青油溶液中仍含有丙烷，分别经过两段加热闪蒸和汽提，脱出丙烷后得到轻、重脱沥青油。

（二）主要设备

渣油丙烷脱沥青装置主要设备有转盘抽提塔、临界分离塔、二次抽提塔、轻脱沥青油汽提塔、重脱沥青油汽提塔、沥青蒸发塔、沥青汽提塔、沥青加热炉、丙烷压缩机、轻脱沥青油闪蒸塔、重脱沥青油闪蒸塔、丙烷气接受塔、丙烷罐和丙烷泵等。

（三）职业病危害因素识别

渣油丙烷脱沥青装置以渣油为原料，循环使用丙烷溶剂生产脱沥青油和沥青等产品。生产过程中可能存在的职业病危害因素有：

① 渣油和沥青加热过程中可能产生多环芳烃、苯系物、萘等多种有机物以及沥青烟尘等；

② 丙烷溶剂的泄漏与蒸发产生丙烷、乙烷、丙烯、丁烷等蒸气；

③ 各种加热炉、汽提塔、分离塔等产生高温和热辐射；

④ 各工业泵、抽提塔、分离塔和压缩机等产生强烈的噪声与振动，其中丙烷压缩机和原料泵噪声较大。

二、润滑油的溶剂精制

从原油中得到的馏分润滑油料和残渣润滑油料，含有数量不同的胶质、沥青质、短侧链的芳烃、多环和杂环化合物、环烷酸和其他含硫、氮、氧等非烃化合物，必须通过精制方法除去，才能使润滑油的抗氧化稳定性、残炭值、颜色等达到产品质量标准的要求。

从润滑油料中需要除掉的组分统称为非理想组分，保留在润滑油料中的少环长侧链环状烃及部分烷烃是润滑油的理想组分。

常用的精制方法有多种，如酸碱精制、溶剂精制、吸附精制和加氢精制等。

酸碱精制处理量小，操作不连续，油品损失大，并生成大量难以处理的酸渣，一般只有在小规模生产特殊用途油品时才采用。

溶剂精制是国内外大多数炼油厂采用的方法。其原理是利用某些对润滑油料中所含理想组分和非理想组分溶解度不同的有机溶剂对润滑油料进行抽提。一般把非理想组分抽提出来，形成单独一相，称为提取液；而把理想组分留在油中，形成提余液。然后分别脱除溶剂，即可得到精制油（即提余油）和抽出油（非理想组分）。

常用的溶剂有糠醛、苯酚和 *N*-甲基吡咯烷酮等。

主要工艺流程是原料油脱气（采用糠醛精制工艺时）、溶剂抽提、精制液和提取液的溶剂回收及溶剂脱水干燥等部分。

主要生产设备有抽提塔、加热炉、提余液汽提塔、提取液汽提塔、高压蒸发塔、低压蒸发塔、分层罐、脱水塔等。

存在的职业病危害因素：加热、蒸发、汽提等生产过程中泄漏和发挥的溶剂和原料油化学成分的挥发，主要有糠醛（或苯酚、*N*-甲基吡咯烷酮等）、烷烃、芳香烃以及少量的硫化氢等。此外，还有加热炉、蒸发塔、汽提塔等设备产生的高温与辐射热，各类工业泵、蒸发塔等产生的高强度噪声与振动等。

三、润滑油脱蜡

润滑油原料经过溶剂精制脱除非理想组分后，其中的固态烃（石蜡或地蜡）的含量明显提高。在较低温度下蜡会析出，形成结晶网，阻碍油品的流动，甚至使油品“凝固”，失去流动性。为了生产具有较好低温流动性的润滑油，必须将精制后的润滑油料进行脱蜡处理，同时可以得到石蜡或地蜡产品。

通常将所含的固态烃以正构烷烃为主，其结晶为较大的片状或带状结晶的称为石蜡；而含有一定数量的少分枝异构烷烃和单环长侧链的环烷烃和芳香烃，其结晶是细小针状结晶的称为地蜡。

由于脱蜡的原料油轻重不同及对油品凝点要求不同，脱蜡方法有很多种。工业上应用的有冷榨脱蜡、分子筛脱蜡、尿素脱蜡、细菌脱蜡、催化脱蜡和溶剂脱蜡等加工过程。

1. 冷榨脱蜡

冷榨脱蜡是将原料油冷至低温，然后通过压滤机将蜡结晶从油中分离出来的方法。此法只适用于轻质润滑油（如变压器油和 10 号机械油）等，对于大多数较重的润滑油料不适用。

主要生产设备有制冷装置、结晶器和压榨机等。

主要存在的职业病危害因素：制冷过程可能泄漏氨气，以及制冷压缩机、工业泵和压榨机等产生的噪声与振动等。

2. 分子筛脱蜡

分子筛脱蜡又称吸附脱蜡，利用孔径为 0.5nm 的分子筛只吸附润滑油料中的正构烷烃而不吸附异构烷烃和环烷烃的特性，将油品中高凝点的正构烷烃与非正构烷烃分离，达到降低油品凝点的目的。此方法也只适合轻质润滑油。

主要存在的职业病危害因素：原料油挥发产生的低碳烷烃气体，以及工业泵等机电设备产生的噪声与振动。此外，更换分子筛时可能接触硅酸铝尘。

3. 细菌脱蜡

细菌脱蜡是利用一种称为解脂假丝酵母菌与含蜡油加水一起发酵，细菌吃掉蜡而繁殖，浮于液面，用离心机分出油品，得到脱蜡油，此法得不到蜡产品，也只适用于轻质油品。

主要存在的职业病危害因素：原料油挥发产生的低碳烷烃气体，酵母菌发酵过程中产生的二氧化碳，以及工业泵等机电设备产生的噪声与振动。

4. 催化脱蜡

催化脱蜡又称为临氢降凝过程，即油品在较高温度和高氢压下，通过催化剂作用与氢气发生加氢异构化和加氢裂化反应，使油中凝点较高的正构烷烃转化为凝点较低的异构烷烃和低分子烷烃，达到降低油品疑点的目的。此方法适用于各种润滑油料，也得不到蜡产品。

主要存在的职业病危害因素：加氢裂化工艺中产生的低碳烷烃气体和少量的硫化氢气体，以及工业泵、压缩机等机电设备产生的高强度噪声与振动。

5. 尿素脱蜡

尿素脱蜡是利用尿素与蜡形成配合物，然后将配合物与油分离。从而降低了油品的凝点，配合物水解后回收尿素，可循环使用。此方法也只适合于低黏度油品。

主要存在的职业病危害因素：原料油挥发产生的低碳烷烃气体，尿素分解产生的氨气，以及工业泵等机电设备产生的噪声与振动。

6. 溶剂脱蜡

溶剂脱蜡是在润滑油料中加入溶剂稀释，使油的黏度下降。然后将混合物冷却到低温使蜡结晶，形成液-固两相，再将其分离。可得到脱蜡油和蜡两种产品。溶剂精制的适用性很广，能处理各种馏分润滑油和残渣润滑油。

常用的脱蜡溶剂有两类：

① 极性溶剂，如丙酮、甲基乙基酮、二氯乙烷；

② 非极性溶剂，如苯、甲苯、丙烷、轻汽油等。

目前最常用的溶剂是酮-苯混合溶剂、如丙酮-苯-甲苯混合溶剂、甲基乙基酮-苯-甲苯混合溶剂和甲基乙基酮-甲苯溶剂。

溶剂脱蜡装置由结晶系统、制冷系统、过滤系统和溶剂回收系统组成。主要生产设备为套管结晶器、真空过滤机、溶剂回收塔、溶剂回收罐、制冷机组、干燥器等。

主要存在的职业病危害因素：泄漏挥发的溶剂，如苯、甲苯、丙酮、甲基乙基酮、二氯乙烷等，制冷系统泄漏产生的氨气，以及压缩机、过滤机、工业泵等机电设备产生的噪声与振动。

四、白土补充精制

经过溶剂精制及溶剂脱蜡后的润滑油组分中残留有少量溶剂和胶质、环烷酸、酸渣、磺酸等有害物质。这些物质影响润滑油的颜色、稳定性、抗乳化性、绝缘性和残炭等使用性能。必须采用白土补充精制或加氢补充精制，以改善润滑油组分的上述性质。

1. 白土化学成分与精制的原理

白土分为天然白土和活化白土两种。天然白土就是风化长石。活性白土是将天然白土经预热、粉碎、用8%～15%的稀硫酸活化、水洗、干燥、磨细而制得的白色或米色粉末状物。其主要成分是 SiO_2 和 Al_2O_3，还含有 Fe_2O_3、MgO、CaO 等。

一种物质的分子或原子附着在另一种物质表面上的现象称为吸附。被吸附物质称为吸附质，能将吸附质吸附在自己表面上的物质称为吸附剂。吸附质可呈气相或液相而被吸附，分别称为气相吸附或液相吸附。

吸附过程分为物理吸附和化学吸附两类。吸附质与吸附剂两者之间靠分子间引力作用产生的吸附过程，称为物理吸附；两者之间靠形成吸附化学键的过程称为化学吸附。

白土精制即是利用白土这种吸附剂对极性物质吸附能力强的特点除去润滑油中残留的非理想组分。

2. 工艺流程

白土精制过程包括原料油与白土混合、加热反应和过滤分离三个主要部分。

原料油经缓冲罐送入白土混合罐，白土由叶轮给料器送入混合罐中。通过搅拌混合均匀，油和白土混合物用泵抽出与来自蒸发塔的塔底油换热，再进入加热

炉加热到所需反应温度后，进入蒸发塔。蒸发塔采用减压操作，塔顶的油气和水分经冷凝冷却后进入真空罐。蒸发塔底油与原料油和白土混合物换热后，冷到130℃左右进入自动板框过滤机进行粗滤，滤液进入板框进料罐，再用泵打入板框过滤机进行精滤，分出废白土，得到的精制油进入精制油罐冷至40～50℃后出装置。其工艺流程见图10-14。

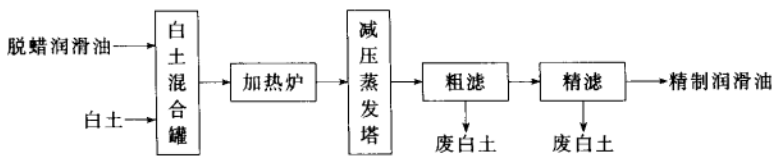


图10-14 白土补充精制工艺流程

3. 职业病危害因素识别

白土精制以脱蜡润滑油为原料，白土为吸附剂。生产过程中可能存在的职业病危害因素有：

① 原料油加热挥发产生的低碳烷烃气体，及少量的多环芳烃、苯系物等多种有机物；

② 白土进料产生的含游离二氧化硅和三氧化二铝粉尘；

③ 各种加热炉、蒸发塔等产生的高温和热辐射；

④ 各种工业泵、真空泵、压滤机等产生的强烈噪声与振动。

第十五节 石油蜡生产

石油蜡包括液蜡、石蜡、微晶蜡及石油脂。我国原油多数为含蜡原油，几种主要原油含蜡量均达15%～30%。从润滑油中得到的石蜡具有良好的绝缘性和化学稳定性，广泛用于国防、电器、化工、医药、纺织、日用化工等各领域。

根据用途不同，石蜡又可分为：

① 皂用蜡，可作为洗衣粉和肥皂的原料；

② 黄蜡，低熔点黄蜡可用于浸润火柴杆等，高熔点黄蜡可用于制造蜡烛、蜡纸和树脂制品的软化剂、药品包装等；

③ 白蜡，可作为医用蜡及绝缘材料。

蜡脱油工艺有多种，主要有无溶剂的冷榨、溶剂脱蜡脱油、溶剂喷雾脱油、发汗法等方法。

一、甲基乙基酮-甲苯脱蜡脱油联合工艺

此工艺是我国润滑油型炼油厂生产石油蜡的主要方法。其特点是脱蜡所得的蜡膏不再经熔化结晶，直接加入溶剂再稀释，在一定工艺条件下过滤脱油得到脱

油蜡。由于整个过程中省去了蜡膏熔化和再结晶步骤，简化了生产流程，降低了能耗。该方法对原料适用性好，可用于生产低含油蜡。

溶剂脱蜡装置由结晶系统、制冷系统、过滤系统和溶剂回收系统组成。主要生产设备为结晶器、滤液罐、溶剂回收塔、溶剂回收罐、制冷机组等。

主要存在的职业病危害因素：设备泄漏挥发产生的甲苯、甲基乙基酮溶剂，制冷系统泄漏产生的氨气，以及压缩机、过滤机、工业泵等机电设备产生的噪声与振动。

二、喷雾蜡脱油工艺

以丁烷为溶剂的喷雾蜡脱油工艺是我国自行开发的工艺。多年生产表明此工艺是以蜡膏为原料生产商品石蜡的较好脱油方法。具有溶剂易得、价廉、无腐蚀、设备简单、连续生产、产品质量稳定等优点。

喷雾蜡脱油工艺是将原料加热，在压力下经喷头雾化，在冷气流中固化成细小蜡颗粒，用丁烷为溶剂与蜡粒进行逆流液固抽提，利用油和蜡在丁烷中的溶解度差别将蜡粒中的油和低熔点蜡溶解并被抽出，达到蜡脱油的目的。

原料经蒸汽加热器加热到高于原料熔点 10℃以上，进入喷雾-抽提塔顶部雾化成细小液滴，落入雾化塔的气相空间内。丁烷溶剂经换冷和氨冷到－3℃左右，分三路进入喷雾-抽提塔：一路从塔底进入作为抽提溶剂，一路从塔顶进入作为制冷剂，第三路从抽提塔侧进入作为冲洗塔壁以防挂蜡的溶剂。喷雾塔内丁烷溶剂不断蒸发，使喷雾塔内充满了冷溶剂的气流。已雾化的原料液滴在下降过程中与冷气流接触，逐渐固化成为固相蜡粒。固相蜡粒下降落入喷雾塔的锥形底部，与溶剂一起进入抽提塔。

当蜡粒与溶剂一起流入抽提塔的膨胀段后，因蜡粒密度大于溶剂，蜡粒继续下降。与塔下部进入的抽提溶剂进行逆流液固抽提。蜡粒经过沉降分离，从抽提塔底用泵抽出，送入蜡回收系统。

从抽提塔底抽出的脱油蜡含有一定量溶剂丁烷，必须脱除。脱油蜡经换热和蒸汽加热到 130℃左右进入蜡溶剂蒸发塔，蒸出大部分溶剂，然后再进入蜡汽提塔进行汽提，脱除全部溶剂后即得产品脱油蜡。其工艺流程见图 10-15。

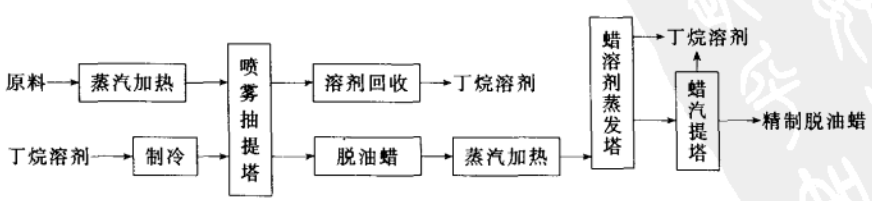


图 10-15　喷雾蜡脱油工艺流程

喷雾蜡脱油装置的主要生产设备有喷雾-抽提塔、蜡溶剂蒸发塔、蜡汽提塔、溶剂罐、脱水罐、溶剂水洗塔和蒸汽换热器等。

主要存在的职业病危害因素是：设备泄漏挥发产生的丁烷溶剂，制冷系统泄漏产生的氨气，蒸汽换热器产生的高温与热辐射，以及压缩机、过滤机、工业泵等机电设备产生的噪声与振动。

三、无溶剂制蜡工艺

无溶剂制蜡工艺又称压榨脱蜡-发汗脱油工艺。压榨脱蜡是将原料油置于套管结晶器中用液氨冷却，使蜡结晶析出，然后用板框压滤机过滤，使油和蜡分离，得到蜡饼。

因所得蜡饼中含油，必须脱油才能满足商品石蜡对熔点和含油量的要求，通常采用发汗工艺进行蜡脱油。蜡料在加热发汗时，因温度升高，使一些熔点较低的蜡熔化成液体，蜡中油的黏度也随温度升高而降低，两者慢慢地从蜡结晶所形成的毛细管中流出。其工艺流程见图 10-16。

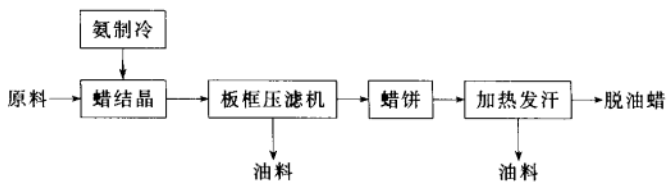


图 10-16　无溶剂制蜡工艺流程

主要存在的职业病危害因素是：制冷系统泄漏产生的氨气，发汗过程挥发的低碳烃类化合物，以及压缩机、过滤机、工业泵等机电设备产生的噪声与振动。

第十六节　石油沥青生产

石油沥青是主要石油产品之一，广泛用于道路建设、建筑、水利工程、电气绝缘和防腐等。目前已形成了道路沥青、建筑沥青、专用沥青和乳化沥青等产品系列。其中约 70%用于修路，尤其是我国最近十余年来公路交通迅猛发展，无论从数量上还是质量上均对沥青提出了更高的要求。

石油沥青生产方法主要有蒸馏法、氧化法、溶剂法、调和法、乳化沥青法和改性沥青法等。

一、沥青的化学组成

石油沥青是由烃类和非烃化合物构成的复杂混合物。其碳元素含量高，氢含量相对较低，此外还含有高度缩合的含氧、含硫、含氮、多环类化合物。石油中的微量元素（如铁、镍、钒、铜、锑等）也大都集中在沥青质和胶质中。

石油沥青的化学组成十分复杂，且随原油性质和加工条件而异。采用液相色

谱和溶剂分离方法可将沥青分为饱和烃、芳香烃、胶质和沥青质四类，即称为四组分组成。一般认为石油沥青都是由这四种组分以不同比例组成的稳定的胶体体系。以沥青质为中心，周围吸附了胶质形成胶束，胶束作为分散相分散在由饱和烃和芳香烃组成的分散介质中。四组分的组合比例、胶束在分散介质中的分散度均极大地影响沥青的性质。

二、主要生产方法

1. 蒸馏法

选择环烷基原油或其他合适原油，用蒸馏方法直接生产石油沥青是最简便、最经济的方法。该法主要用于道路沥青的生产。

蒸馏法生产沥青的工艺流程与一般原油的常减压蒸馏相似（参见本章第四节原油蒸馏）。其减压侧线产品一般只作裂化原料油和燃料油，其分馏要求不高。为提高沥青软化点，需提高减压塔拔出率，采用三级抽真空器及干式减压塔以降低闪蒸段的压力。

主要职业病危害因素是：脱盐脱水原油在高温下进行分馏，产生硫化氢、石油沥青烟、低碳烃类、苯系物等多种有毒化合物；为防止设备腐蚀在塔顶注入氨水和缓蚀剂，因此存在氨气危害；各种工业泵、压缩机产生强烈的噪声；常压炉、减压炉及各类换热器等产生高温和热辐射。

2. 氧化法

氧化法是将软化点低、针入度及温度敏感性大的减压渣油或溶剂脱油沥青，在一定温度条件下通入空气氧化，改变其组成，使软化点升高、针入度和温度敏感性减小的方法。该法可以生产道路沥青、建筑沥青及其他专用沥青。

目前除生产一些特殊沥青使用釜式氧化方法外，均采用塔式氧化工艺。典型的塔式氧化沥青生产工艺流程如下。

原料油经尾气焚烧加热炉进行预热后进入氧化塔中部，与从塔下部吹入的压缩空气逆流接触氧化。氧化产生的气体相水蒸气从塔顶升气管进入冷却塔，经水冷、气水分离后尾气引入焚烧加热炉燃烧，污油和污水去污油系统。塔底沥青用泵抽出去沥青成型机。

此工艺流程的特点是灵活性大、即可单塔连续氧化，又可多塔串联氧化。其工艺流程见图 10-17。

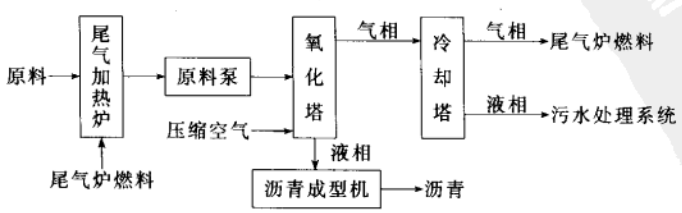


图 10-17 氧化法沥青生产工艺流程

主要生产设备有尾气焚烧加热炉、氧化塔、降温塔、冷却塔、尾气分水罐和沥青泵等。

主要职业病危害因素：原料在高温下蒸发产生石油沥青烟、低碳烷烃类、苯系物等多种有毒化合物；空气氧化产生酚类、二氧化硫、一氧化碳等有害气体；尾气焚烧加热炉燃烧产生一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、二氧化硫等燃烧废气；各种工业泵、压缩机产生强烈的噪声；尾气焚烧加热炉、氧化塔等产生高温和热辐射。

3. 溶剂法

溶剂法是利用溶剂对渣油中不同组分溶解能力的差别，从渣油中分离出富含饱和烃和芳香烃的脱沥青油，同时得到以胶质和沥青质为主的浓缩物。脱沥青油的残炭低、重金属含量少，是催化裂化和残渣润滑油生产的良好原料；胶质和沥青质浓缩物可以直接或通过调和或氧化等方法，生产出各种规格的道路沥青和建筑沥青。目前溶剂法已成为我国从石蜡基原油生产道路沥青和建筑沥青的主要方法。

溶剂抽提脱沥青常采用渣油丙烷脱沥青法。详见本章第十四节润滑油生产相关内容。

4. 调和法

调和法生产沥青是根据不同沥青质量要求，调整构成沥青各组分间比例，得到合乎质量要求的沥青产品。此方法扩大了原料来源，增大了生产灵活性，更有利于提高沥青质量。

常用的调和法生产沥青是先生产出软、硬两种沥青组分，然后根据用户需要通过在线调和方式，调和出符合需要的沥青。

主要职业病危害因素：原料加热过程产生的沥青烟雾、芳烃类和低碳烃类化学毒物，高温与热辐射，以及沥青泵等机械设备产生的噪声与振动等。

5. 乳化沥青法

沥青与水、乳化剂及其他化学品，通过机械搅拌、混合、剪切，使沥青以2～10μm直径的颗粒均匀、稳定地分散到连续的水相中，形成稳定的乳状液，称为乳化沥青。

乳化沥青可以在常温下储存、运输和施工。因此能有效地简化施工过程、节省燃料和沥青，减轻对环境的污染。广泛用于筑路、防水、防渗等多种场合。

乳化沥青的生产是将乳化剂和其他化学物品溶于水中。经加热到一定温度后由泵送出，与已加热的沥青一起按一定比例同时进入混合器，通过器内的混合元件使流体多次破碎、混合，完成乳化过程。从混合器出来的乳化沥青经中间罐送至成品罐。其工艺流程见图10-18。

主要职业病危害因素：原料加热过程产生的沥青烟雾、芳烃类和低碳烃类、乳化剂等化学毒物，以及加热炉、沥青泵和混合器等产生的高温与热辐射、噪声与振动等。

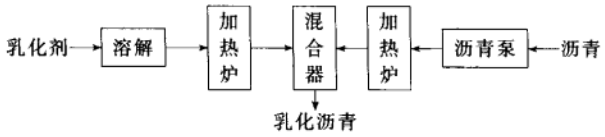


图 10-18　乳化沥青生产工艺流程

6. 改性沥青法

为使沥青具有更好性能，特别是具有更好的低温柔性和高温稳定性，可向沥青中加入某些物质使其改性，得到改性沥青。我国常用的沥青改性材料有氯丁橡胶、丁苯橡胶、聚乙烯等。不同类型和数量的高分子材料对沥青性能有不同程度的改善。例如用丁苯橡胶改性的道路沥青具有较好的高、低温性能，可用于剪切力大和载荷重的路面，如机场跑道、坡道、桥面、寒带和热带的高速公路等。

改性沥青主要采用干胶-溶剂法和胶乳法生产。

① 干胶-溶剂法是以芳香烃为溶剂，预先溶解橡胶制成橡胶溶液，将沥青与橡胶溶液混合均匀，然后再回收溶剂。

② 胶乳法生产工艺相对简单，将沥青泵入调和罐，加热与胶乳混合均匀即可得到改性沥青。

主要职业病危害因素：原料加热过程产生的沥青烟雾，溶剂挥发产生的苯、甲苯等芳烃类化学毒物，以及加热炉、沥青泵和调和罐等产生的高温与热辐射、噪声与振动等。

第十七节　甲基叔丁基醚生产

合成甲基叔丁基醚是生产高辛烷值汽油调和组分的工艺过程，近年来在车用汽油无铅化、减少环境污染等方面起了较大的作用，预计在未来将会得到更大的发展。

甲基叔丁基醚（MTBE）具有良好的调和效果、理化性能和使用性能。如MTBE对各种汽油都具有良好的调和效应，加入少量即可使汽油的辛烷值提高好几个单位。此外，MTBK具有良好的化学稳定性，加入到汽油中可提高汽油的稳定性。含MTBE汽油有助于降低汽车排放废气中污染物含量，改善环境污染等。

一、工艺流程

合成MTBE的原料主要是甲醇和炼油厂气中的异丁烯。处于液相状态的异丁烯与甲醇在催化剂作用下生成MTBE。

此反应为可逆的放热反应。温度越高，反应速度越快；反应温度越低，平衡

常数越高，平衡转化率也越高。此外，还有一些副反应发生，如异丁烯与原料中的水反应生成叔丁醇、甲醇脱水缩合生成二甲醚、异丁烯聚合生成二聚物或三聚物等。副反应生成的产物会影响最终产品的纯度和质量。

合成 MTBE 装置所用催化剂为大孔磺酸阳离子交换树脂，或叫强酸离子交换树脂。

（一）原料净化和反应

原料净化的目的是除去原料中的金属阳离子。国内装置的净化剂采用与醚化催化剂相同型号的离子交换树脂。在这种情况下，净化器除主要起原料净化作用外，还可起一定的醚化反应作用，所以净化器实际上是净化-醚化反应器。装置中设两台净化-醚化反应器，切换使用。C_4 馏分和甲醇按比例混合，经加热器加热到 40～50℃后从上部进入净化-醚化反应器。由于醚化为放热反应，为了控制反应温度，设有冷循环液设施。

（二）产品分离

从醚化反应器出来的反应物料中含有未反应的 C_4 馏分、剩余甲醇、MTBE 以及少量的副反应产物，需进行分离。其分离工艺有前水洗流程和后水洗流程两种。

1. 前水洗流程

反应产物先经甲醇水洗塔除去甲醇，然后再经分馏塔分出 C_4 馏分和 MTBE。从甲醇水洗塔底出来的甲醇水溶液送往甲醇回收塔进行甲醇与水的分离。

2. 后水洗流程

反应流出物先经 C_4 分离塔进行 MTBE 与甲醇-C_4 馏分共沸物的分离，塔底为 MTBE 产品，塔顶出来的共沸物进入水洗塔，用水抽提出甲醇，使甲醇与 C_4 馏分得到分离。从水洗塔底出来的甲醇水溶液再进入甲醇回收塔，塔顶分出的甲醇送往反应部分再使用。从塔底出来的含微量甲醇的水送往水洗塔循环使用。

MTBE 装置的主要设备有进料加热器、反应器、冷却器、分馏塔、冷凝器、水洗塔、甲醇回收塔和工业泵等。其工艺流程见图 10-19。

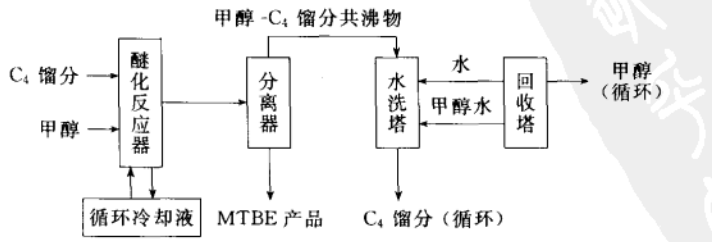


图 10-19 MTBE 生产工艺流程

二、职业病危害因素识别

MTBE合成以甲醇和炼油厂气中的异丁烯为原料，并产生叔丁醇、二甲醚、异丁烯二聚物、异丁烯三聚物等副产物。生产过程中可能存在的职业病危害因素有：

① 原料甲醇和异丁烯等气体；

② 产品MTBE；

③ 副产物叔丁醇、二甲醚、异丁烯二聚物、异丁烯三聚物等；

④ 加热炉产生高温和热辐射；

⑤ 氨制冷装置产生氨气；

⑥ 各种工业泵、分离塔等产生噪声与振动。

第十八节　油品的管道运输

油品的储运系统是现代炼油厂重要的组成部分。我国大多数炼油厂的原料油是通过长距离管道从油田运来的，或通过海运与管道联运进口原油。由于管道运输具有运输成本低、运输损耗少、输送量大等特点，其生产的成品油也逐步在实现管道外运。

长距离输油管道主要由两部分组成。

其一是连绵数百公里至数千公里的管道线路工程，它包括：

① 埋设在地下由钢管焊接而成的管路主体，其上涂敷防腐覆盖层；

② 阴极保护站及检测桩等管路防腐设施；

③ 管路经过自然或人工障碍物时的穿越工程；

④ 线路附属工程，如各种阀门室、线路保护设施和线路标志等。

其二是沿线设置的各种输油站，包括：

① 设在管道起点的首站；

② 设在中途给油流体保加压的增压泵站；

③ 设在中途分油的分油站；

④ 设在中途加油的增油站；

⑤ 在管道终点接收来油的末站；

⑥ 根据实际需要，全线还要设阴极保护站、手动截断阀室和自控截断阀室等。

一、原油管道输送

原油管道输送除上述设施外，还需要沿线设置中途加热站，如管路高差起伏很大时，在大落差段为避免管路超压，还要设减压站。其工艺流程见图10-20。

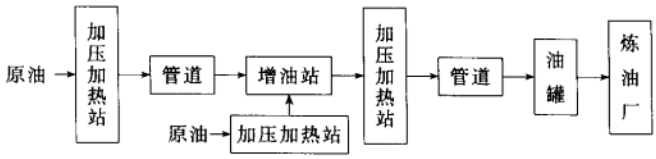


图 10-20 原油管道输送工艺流程

原料经加热加压后自首站进入输油管道，沿路经多次再加热、再加压后流往炼油厂（末站）。

管线多采用直缝电阻焊钢管，管外采用防腐处理。

目前，国内外长输管道上常用的外防腐涂层主要有煤焦油瓷漆、三层聚乙烯结构（三层 PE）、熔结环氧粉末（FBE）和双层熔结环氧粉末（双层 FBE）等。这几种防腐涂层都有各自的特点，应根据所建管道沿线的地理环境、气候条件、交通状况以及施工期间的外力作用等因素，从技术、经济等角度来科学合理地选择防腐层。

熔结环氧粉末涂层厚度约 350～500μm，防腐性能好，与钢管表面黏结力强，耐化学介质侵蚀性能、耐温性能等都比较好，价格相对也便宜，但由于涂层较薄，抗尖锐物冲击力较差，适合于大部分土壤环境和定向钻穿越黏质土壤。

三层聚乙烯结构（三层 PE），其中第一层为环氧涂料，第二层为胶黏剂，第三层为挤出聚乙烯，各层之间相互紧密粘接，形成一种复合结构，取长补短。双层熔结环氧粉末为复合涂层结构，由防腐型环氧粉末底层和抗机械损伤型环氧粉末面层一次喷涂成膜完成，涂层厚度约 600～800μm。最适于穿越段使用。

煤焦油瓷漆防腐涂层整体厚度为 2.4～4.0mm，具有良好的化学稳定性、绝缘性、耐水性、耐土壤细菌侵蚀性、耐植物根茎穿透性、现场易于补口等特点。

主要存在的职业病危害因素：原油加热过程中产生的有毒气体，主要有硫化氢、硫醇、硫醚、烃类和少量的芳香烃类化合物等；输油泵运转时产生的高强度噪声一般可达 90dB（A）以上；此外，管道防腐维修时可能接触沥青烟气等。

二、成品油管道输送

成品油输送一般采取顺序输送方式，即利用一根管道，根据所输油品的物性相接近的程度安排输送顺序，达到可先后输送多个油品和综合利用资源的目的。其输送设施和工艺流程与原油输送系统相似，即主要由首站、加压泵站、分油站和末站组成，并设有在线检测、油品切割和混油掺和等装置。其工艺流程简图见图 10-21。

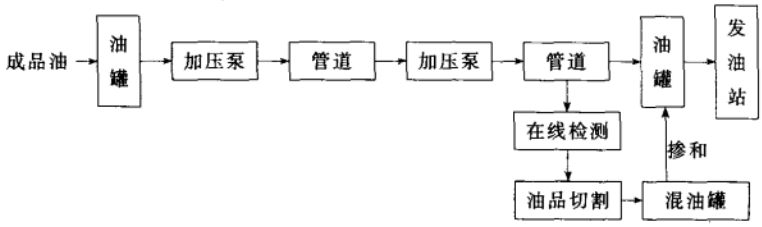


图 10-21　成品油管道输送工艺流程简图

成品油输送绝大多数采用密闭输油的方式，主管道压力高达 10MPa，油罐多采用内浮盖顶结构，输油泵和阀门等设备要求无泄漏。最大限度地减少油品损失，从而也有效地减少了油品对工作场所的污染。其输油顺序多数为：

→0＃柴油(或－10＃柴油)→90＃汽油→93＃汽油→90＃汽油→0＃柴油→。

当切换输油品种后，在其界面将形成混油段。为精确地将混油段截获，需采用在线检测和油品切割的手段。通过有效手段对油品界面进行检测，将混油分两段处理，即前段和后段。混油前段与后段分别切入专用的混油罐中，然后根据计算按比例回掺至各自的纯油罐中。

主要存在的职业病危害因素：输油泵运转时产生高强度的噪声，发油站产生少量汽油、柴油蒸气，管道防腐维修时可能接触沥青烟气等。

此外，由于成品油输送属于高压、易燃、易爆作业，发生漏油事故和火灾事故的风险较大。一旦发生上述事故，即伴随有高浓度汽油和苯等有机毒物的弥散，同时存在急性职业中毒的危险。在油罐清洗或检修时，作业人员需进入油罐。如果罐内换气不够充分或个人防护不当，极易发生急性职业中毒或缺氧窒息。

第十九节　职业病危害因素综合识别

一、石油产品理化性质

石油是一种深色的黏稠液体。它是复杂的烃类混合物，经炼制可获得各种石油产品，包括溶剂油（石油醚、石脑油等）、燃料油（液化石油气、汽油、煤油、柴油、重油和渣油等）、润滑油（脂）、固体和半固体产品（石蜡、沥青、石油焦）以及其他各种气态烃、液态烃、芳香烃等重要化工原料与化工产品。主要石油产品理化性质见表 10-6。

二、主要职业病危害因素综合识别

由于炼油厂所用的原油、生产工艺路线和产品等方面的不同，导致工作场所中存在的职业病危害因素种类与危害程度差异较大。因此，在实际工作中应注重现场调查分析，不可盲目“复制”。

表 10-6 主要石油产品理化性质

名 称	物 理 性 质	主要化学成分
汽油	无色或淡黄色液体，易挥发，易燃烧，具有特殊气味；沸点 40～200℃，自燃点 415～530℃，爆炸极限为 1.3%～6.0%；不溶于水，易溶于苯、二硫化碳和醇，极易溶于脂肪	C_4～C_{12}的脂肪烃和环烷烃，并含少量芳香烃和硫化物，其中苯含量 1.0%～3.0%；如果车用汽油中加入少量四乙基铅（1.2%～6.6%）作为抗爆剂，称乙基汽油（现已不用）
煤油	各种煤油在常温下为液体，无色或淡黄色，略具臭味。不溶于水，易溶于醇和其他有机溶剂；易挥发、易燃，与空气混合形成爆炸性混合气，爆炸极限为 2%～3%；一般沸点为 110～350℃	C_{10}～C_{16}的各种烃类混合物；一般含烷烃 20%～48%，芳香烃 20%～50%，不饱和烃 1%～6%，环烃 17%～44%，此外还有少量硫醇、胶质等杂质
柴油	白色或淡黄色液体，相对密度 0.85，熔点 −29.56℃，沸点 180～370℃，蒸气与空气混合物可燃限 0.7%～5.0%；不溶于水	由烷烃、烯烃、环烷烃、芳香烃、多环芳烃与少量硫（2～60g/kg）、氮（<1g/kg）及添加剂组成的混合物
石脑油（溶剂油）	无色或浅黄色液体，沸点 120～200℃；不溶于水，能与乙醇、丙酮、戊醇等相混溶；蒸气能与空气形成爆炸性混合物，爆炸极限 1.3%～8%	主要为煤焦油轻油分馏所得的芳香族烃类混合物，由甲苯、二甲苯异构体混合物、乙苯、异丙苯等组成
液化石油气（石油气）	无色透明，带有微弱的臭味，难溶于水，溶于乙醇和乙醚等	主要成分为丙烷、丙烯、丁烷、丁烯等低级烃
沥青	深棕色至黑色的胶泥状物质，经加热可成半固态、稠厚液体，冷却后成橡胶状固体；有柏油味；石油沥青相对密度约 0.95～1.1，沸点小于 470℃，闪点 204℃，自燃点 485℃；可溶于松节油、石油、二硫化碳、三氯甲烷、乙醚、丙酮，不溶于水、醇、酸和碱	烃类和非烃化合物构成的复杂混合物；其碳元素含量高，氢含量相对较低，此外还含有高度缩合的含氧、含硫、含氮、多环类化合物和镍、钒、铜、锑等微量元素；通常将沥青有机物分为饱和烃、芳香烃、胶质和沥青质四类

原油及其炼制产品化学成分复杂，已知化合物达数千种之多。就职业卫生而言，绝大多数原料、中间品、产品、副产品以及杂质等本身就是毒物，即职业病危害因素。此外，生产过程中职业病危害因素还有高温、热辐射、紫外线、工频电场等物理性因素等。

石油炼制生产过程中可导致急性硫化氢中毒、急性苯中毒、急性氨中毒、慢性苯中毒、噪声聋、中暑、职业性皮肤病、尘肺等数十个种职业病。其中硫化氢、苯系物及氨等是分布最广、危害最大的职业病危害因素，常常是导致急慢性职业中毒甚至死亡事故的“元凶”。

（一）化学毒物

主要有硫化氢、苯、甲苯、二甲苯、氨、二硫化碳、汽油、甲醇、乙醇、丙酮、二氧化硫、硫醇、一氧化碳、氮氧化物、沥青、苯酚以及多种多环芳烃类（包括苯并［a］芘、苯并［b］荧蒽、苯并［b］蒽等世界公认的致癌物）等。

化学毒物存在于石油炼制工作场所的每个角落。其中硫化氢以酸性水汽提、硫黄回收、酸性气制硫酸、原油蒸馏、减黏裂化、延迟裂化、催化裂化、催化重整、加氢裂化和催化原料加氢等装置产生量最大；氨主要存在于原油蒸馏、催化

原料加氢、加氢裂化以及氨制冷系统中；苯系物浓度以催化重整最高，其次是加氢精制、原油蒸馏、减黏裂化、延迟裂化等产生汽油馏分的装置；汽油见于原油蒸馏、减黏裂化、催化裂化、加氢裂化、加氢精制等装置。常见毒物职业接触限值和职业病危害临床表现详见附录二。

（二）粉尘类

石油炼制生产过程中粉尘类职业病危害因素较少，主要是催化剂类和电焊维修时产生的电焊尘等，接触机会也相对较少。

催化剂是石油炼制的关键技术。随着工艺的进步，催化剂在不断创新，品种也在不断增多。常用催化剂基质组成如下：

① Y 型沸石，是一种合成结晶铝硅酸盐，由 AlO_4 和 SiO_4 四面体以氧桥相连的三维结构组成的截角八面体，主要用作催化裂化催化剂的载体；

② η-AlO_3 和 γ-AlO_3 载体，该载体用于催化重整、加氢精制、润滑油加氢补氢精制的单金属或多金属催化剂；

③ 硅酸铝载体，该载体主要用于加氢裂化催化剂；

④ 硅藻土载体，用于烯烃叠合催化剂；

⑤ 二氧化硅载体，可用于多种催化剂的改性。

此外，在机械装置维修过程中可能产生电焊尘、金属切削尘；延迟焦化产生焦炭尘等。

（三）物理因素

石油炼制各装置多在高温高压状况下运行，绝大多数物料经管道密闭输送，因此存在噪声与振动、高温与热辐射、紫外线、工频电场等多种物理性有害因素。

1. 噪声

各类工业泵、压缩机、搅拌器、车辆运输等产生机械噪声，物料在管道及塔中高速流动、蒸发及气体排空等产生流体动力性噪声，大型电机和电器设备运行时产生电磁交变性噪声。一般噪声强度在 80～100dB（A）之间。

2. 高温与热辐射

多数装置配备有加热炉或反应塔，在生产过程中产生一定强度的高温与热辐射。此外，多数炼油装置为露天布置，夏日巡检与维修人员系露天高温作业，直接承受太阳光的辐射。

3. 工频电场

石油炼制系耗能大户，配套建设有大功率的送变电装置。该装置可产生极低频电磁场职业危害，其中以工频电场的危害最引人关注。

此外，电焊作业存在紫外线，如使用放射性料位计、检测仪等，还存在电离辐射职业危害。

主要职业病危害因素及其存在的工作岗位情况见表 10-7。

表 10-7 主要职业病危害因素及其存在的岗位

职业病危害因素名称	存在的岗位
硫化氢	酸性水汽提、硫黄回收、酸性气制硫酸、原油蒸馏、减黏裂化、延迟裂化、催化裂化、催化重整、加氢裂化、催化原料加氢
氨气	原油蒸馏、催化原料加氢、加氢裂化、沥青生产以及氨制冷系统
苯系物	催化重整、加氢精制、原油蒸馏、减黏裂化、延迟裂化等产生汽油馏分的部位
汽油	原油蒸馏、减黏裂化、催化裂化、加氢裂化、加氢精制
硫醇	减黏裂化、原油蒸馏、减黏裂化、延迟裂化
二氯乙烷	溶剂脱蜡
丙酮	溶剂脱蜡
甲醇	甲基叔丁基醚合成
一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物	催化重整、催化裂化、原油蒸馏、减黏裂化、延迟裂化、加氢裂化、催化原料加氢
沥青	沥青生产装置、润滑油生产装置
焦炭尘	延迟裂化
催化剂尘	各生产装置更换催化剂时
高温及热辐射	硫黄回收、原油蒸馏、减黏裂化、延迟裂化、催化裂化、催化重整、加氢裂化、催化原料加氢、加热炉、反应器、余热锅炉、各类换热器
噪声与振动	压缩机、工业泵、常压炉、风机、压榨机、过滤机、振动筛、反应器、汽提塔、换热器、排空装置

第二十节 职业病危害防护措施分析

石油炼制属易燃易爆高风险行业，同样也存在较大的职业病危害风险问题。由于生产过程中原料、中间产物、产品及副产品等均为毒物，且多数在常温为气体或易蒸发，因此，炼油厂的职业病危害防护效果有赖于生产设备的密闭程度和卫生防护设施的同步建设，其职业病防护措施主要有以下几个方面。

1. 工艺选择

在建设项目设计时，应优先选择使用或产生毒性程度低的物料，选择温度低、压力低、自动化程度高的工艺，选择设备密闭程度好的生产设备，以减少毒物泄漏的可能性。近十多年来，我国石油炼制工艺和设备制造有了较大的进步。许多炼油厂通过技术改造，不仅炼油能力有了大幅增加，其装置的密闭程度和职业病危害防护效果均有显著的改善。

2. 防毒措施

炼油装置绝大多数为露天布置，泄漏的气体和蒸气类毒物自然扩散较快。因此多数工作场所没有局部抽风或送风装置。其防毒措施重点应在确保装置的密闭

化生产，对一些容易发生高毒物质泄漏的关键部位应重点防范，应设置毒物报警仪器。如酸性水排放口应尽量密封，酸性气排空应尽量高，硫化氢气体罐附近应安装硫化氢气体检测报警仪。巡检人员应做好个人防护，在进入中毒危险区时应做好个人防护，携带报警仪，并有同伴监护。

一些生产过程中存在有毒气体排放时，应设计高空排放管，或直接经管道送火炬，以避免有害气体对工作场所的污染。

实践证明，炼油厂绝大多数急性中毒事件均伴随于设备泄漏事故。在正常工况下，工作场所中毒物浓度超标现象较为少见。

3. 噪声控制措施

炼油厂是连续性生产，所产生的噪声绝大多数是连续稳态噪声，其特征是以中低频的气流噪声为主。由于设备多为露天布置，对周围工作场所和环境影响较大。噪声的防治应从声源、声的传播和接受者个人防护三个方面着手。

降低声源的最佳办法是采用低噪声的设备，如选用低噪声电机、低噪声工业泵和风机等。在设备放空口加装消声器、风机进风口安装消声器可减少气流噪声的传播。此外，采取减振措施和安装隔声罩等也可显著地降低设备的噪声。

从声传播途径防治噪声方法有在总图布置时充分考虑噪声源与其他建筑物、办公区之间的关系，如保持足够的防护距离，在声源与噪声敏感点之间利用建筑物和绿化带来阻挡或吸收噪声等。

在噪声强度大、操作人员接触时间短且治理难度大的情况下应重点实施个人防护措施。如配备防噪声耳塞或耳罩等。

此外，对集控室和各岗位操作室均应进行隔声处理。

4. 高温防暑降温措施

巡检人员夏日系高温露天作业，并接触各类加热炉、反应炉、热交换器散发的热辐射。巡检人员是夏日防暑降温工作的重点监护人群。应供应含盐清凉饮料，可采取轮换作业的工作制度，对于生产人员较集中的集控室和各岗位操作室均应设置空调。

5. 应急救援措施

石油炼制生产过程多处存在硫化氢气体、氨气和苯蒸气等高毒化学物质，一旦设备泄漏或操作失误，较易导致硫化氢、氨气、苯等急性职业中毒事故。企业应建立应急救援预案，对上述工作场所应安装毒物报警器、设置警示标识，并配备现场冲洗等个人防护设施与用品。

6. 职业卫生现场管理措施

应建立工作场所职业卫生检查制度和职业病危害因素定期监测制度。对超标工作场所应及时治理，并通过检查、督导和整改等措施确保职业病危害防护设施的正常运转。

7. 健康监护措施

应建立工作人员健康监护制度和健康档案。搞好就业前、在岗和离岗人员的职业性体检，及时发现职业禁忌证和职业性病损，避免职业病的发生。

8. 个人防护措施

对工作人员配备的个人防护用品应包括以下几个方面：

① 毒物浓度较高的工作场所应配戴过滤式或供气式口罩；

② 应穿戴工作服和手套，避免裸露部位皮肤直接接触油品；

③ 进入噪声强度超过 85dB（A）的场所应配戴防噪声耳塞或耳罩；

④ 接触沥青的人员可在裸露皮肤部位涂抹防光感作用的皮肤防护剂，皮肤沾染沥青时应及时用植物油擦去，再用肥皂水冲洗。

（杨乐华、李国宏）

第十一章　酸碱化肥工业

化学工业是我国重要的基础原料产业，化工产品广泛用于工业、农业、人民生活等各个领域。在我国，化学工业通常理解为包括化学肥料、化学农药、三酸两碱（硫酸、硝酸、盐酸、烧碱、纯碱）、无机盐、染料、涂料、化学试剂、助剂、感光材料、磁性记录材料以及石油化工、合成橡胶、塑料、化学纤维等的制造，即所谓“大化工”。

我国化学工业经过几十年的发展，特别是近 20 多年的发展，已经形成了包括化学矿山、化学肥料、无机化学品、纯碱、氯碱、基本有机原料、农药、染料、涂料、精细化学品、橡胶加工、新型材料等主要行业的化学工业体系。其中合成氨、化肥、纯碱、硫酸等产量已居世界第一位。

本章对硫酸、烧碱、纯碱、合成氨、尿素、磷肥和钾肥等化学工业的职业病危害因素识别加以介绍。

第一节　硫　酸

硫酸有着非常广泛的用途，是生产各种硫酸盐的主要原料，是塑料、人造纤维、染料、油漆物等生产中不可缺少的原料。其中最主要用途是生产化学肥料，用于生产磷酸铵、重过磷酸钙、硫酸铵等。目前我国硫酸生产能力仅次于美国，居世界第二位。

目前我国生产硫酸多用接触法。用接触法制造硫酸的原料是多种多样的。多以硫黄、硫铁矿为原料，两者制酸的过程基本相似，但后者工序稍复杂一些。由于我国硫酸原料以硫铁矿为主，故下面重点介绍以硫铁矿为原料的制酸过程。

接触法生产的基本环节是焙烧、精制、转化、吸收四部分（图 11-1）：

① 焙烧矿石，制备二氧化硫气体（称为炉气）；

② 精制炉气，除去其中的各种杂质，如三氧化二砷、二氧化硒和矿尘等；

③ 精制后的二氧化硫气体借助于催化剂而被炉气中的过量氧气氧化为三氧化硫（即转化）；

④ 用浓硫酸（98.3%H_2SO_4）吸收三氧化硫气体转化成硫酸或发烟硫酸。



图 11-1 硫酸生产工艺流程

一、从硫铁矿制二氧化硫炉气

（一）生产硫酸用的原料

制酸原料是指能够产生二氧化硫的含硫物质，如硫化物矿、硫黄、硫酸盐、含硫化氢的工业废气以及冶炼烟气等。

硫铁矿分为普通硫铁矿和磁硫铁矿两类。

自然界开采的硫铁矿都是不纯的，矿石中除 FeS_2 外，还含有铜、锌、铅、砷、镍、钴、硒、碲等元素的硫化物和氟、钙、镁的碳酸盐与硫酸盐以及少量银、金等杂质。最常见的普通硫铁矿是黄铁矿，含硫量一般为 30%～50%。含硫量在 25%以下的称为贫矿。

硫黄是制造硫酸使用最早而又最好的原料。天然硫黄和回收硫黄的纯度很高，可达 99.8%以上，有害杂质的含量很少。作为生产硫酸的原料，不需要复杂的炉气净制工序，还可以省掉排渣设备，工艺流程短，生产费用低，生产中热能可合理利用，对环境污染少。

利用石油炼制过程中产生的酸性气（主要含硫化氢）和有色冶炼过程产生的含硫烟气（主要含二氧化硫）制造硫酸在我国占有较大的份额，其中酸性气制酸工艺可参见第十章第十三节酸性气制硫酸相关内容。

（二）矿石原料的预处理

对原料进行预处理的目的，是使原料的硫含量、粒度和水分分别达到一定的要求。不同的原料，需进行的预处理不同。硫精砂的粒度很细，只需干燥后便可送去焙烧，硫铁矿一般为块矿，焙烧前需要破碎和磨细。

1. 矿石的粉碎

首先应对矿石进行粉碎。通常粉碎分两级进行，先在颚式压碎机中粗碎，再在辊式压碎机或反击式破碎机中细碎，然后用电振动筛进行筛分。

2. 配料

将贫矿与富矿搭配，以使混合矿中含硫量达到工艺要求；含煤硫铁矿和普通硫铁矿搭配，混合矿含碳量应在 1%以下；高砷矿与低砷矿搭配。

3. 干燥

沸腾焙烧硫铁矿时，为了维持正常的沸腾操作状态，要求矿粉中的水含量小于 6%，因此，含水量高的矿粉在进入焙烧炉之前要进行干燥，使矿粉含水量降到 6%以下。

存在的主要职业病危害因素：矿石粉碎过程中会产生粉尘、噪声与振动；配料过程中有粉尘产生；在干燥过程中产生矿尘、高温与辐射热。

（三）硫铁矿的焙烧

随着流态化技术在硫酸工业中的应用，焙烧炉的发展经历了由固定型块矿炉、机械炉到现在全部使用的沸腾炉。焙烧硫铁矿的沸腾炉有直筒型、扩散型和锥床型等多种形式，我国主要采用扩散型。通过对硫铁矿焙烧制备二氧化硫气体。

硫铁矿通过焙烧，首先在大约900℃的高温下，硫铁矿受热分解为硫化亚铁和硫，然后分解产物中的硫燃烧，生成二氧化硫；硫化亚铁氧化为三氧化二铁和二氧化硫。

$$4FeS_2+11O_2 \xlongequal{} 2Fe_2O_3+8SO_2\uparrow$$

硫铁矿焙烧过程中，除上述反应外，当空气量不足、氧浓度低时，还有Fe_3O_4生成。在Fe_3O_4的催化作用下，尚能使少量SO_2氧化为SO_3。一般矿石中所含铜、铅、锌、钴、镉、砷、硒等的硫化物，在焙烧后有一部分成为氧化物。其中铜、锌、钴、镉的氧化物均留在矿渣中，而氧化铅、三氧化二砷及二氧化硒则部分气化，随炉气进入后续工序。硫铁矿中钙、镁的碳酸盐，分解为二氧化碳和金属氧化物；如矿石中含有氟化物，则亦会有一部分分解进入炉气中。

（四）余热的回收

硫铁矿焙烧时放出大量热量，炉气温度高达850～950℃。沸腾焙烧炉配置废热锅炉是回收余热的有效措施。

（五）炉气除尘

沸腾焙烧制得的炉气夹带的矿尘较多。通常采用旋风除尘和电除尘。

存在的主要职业病危害因素：硫铁矿焙烧过程中会产生二氧化硫、三氧化硫、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物等有害气体，同时产生大量的粉尘，其中含有氧化铁尘、三氧化二砷、氟化物、氧化硒、二氧化硅等。如果矿石含铅高，则会产生氧化铅尘（烟）；如果矿石含氟高，则会产生氟化氢气体。此外，焙烧过程中产生噪声、高温与辐射热等。物料运输过程中产生粉尘与噪声。

二、炉气的精制

焙烧硫铁矿产生的SO_2炉气含有一定量的有害杂质，不能直接送入转化工序，需要对炉气进行净化与干燥。其目的就是向SO_2催化转化工序提供比较纯净的原料气体。

（一）炉气的成分

焙烧炉出口炉气中含有气体组分和固体悬浮物，主要是氮、氧、二氧化硫、三氧化硫、水、三氧化二砷、二氧化硒、氟化氢以及一些金属氧化物蒸气和矿尘（包括矿中的脉石、三氧化二铁、四氧化三铁、硫酸盐、铅等）。其中二氧化硫和氧为转化反应物，应尽可能不损失，氮为无害惰性气体。

（二）炉气净化方法

炉气净化，首先要清除矿尘，以免妨碍对其他杂质的去除，因此炉气出焙烧

炉后需经过一系列除尘设备，这些设备虽然设置在焙烧工段，但实质上是净化的开始。

分离砷、硒、氟化合物采用湿法净化法。湿法净化又分为水洗和酸洗。用稀硫酸洗涤炉气叫“酸洗流程”，如炉气从焙烧炉出来后，直接用清水循环洗涤以代替酸洗，则叫“水洗流程”。

1. 砷和硒的清除

三氧化二砷和二氧化硒的饱和蒸气含量随着温度下降而显著降低。炉气冷却到30～50℃后，三氧化二砷和二氧化硒几乎全部凝结。用水或酸洗涤炉气时，一部分砷、硒氧化物被液体带走，大部分凝成固态颗粒悬浮在气相中，成为硫酸冷凝成酸雾的凝聚中心，随后在电除雾器中与酸雾一起清除。

2. 氟化氢的清除

气相中的HF被水或稀酸洗涤吸收并溶解。

3. 酸雾的形成和清除

用水或稀硫酸洗涤时，还有大量水分进入炉气。水分与三氧化硫作用，生成硫酸，其反应式为：

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$$

炉气冷却到100～150℃时，炉气中的绝大多数三氧化硫转变成硫酸蒸气。

湿法净制时，用水或稀硫酸洗涤炉气，炉气的温度骤降，形成酸雾是不可避免的。酸雾的雾滴直径很小，很难捕集，洗涤时只有少部分（30%～50%或更少）被酸吸收，大部分要用湿式电除雾器清除。

常用的湿法净化设备有空塔、填料塔、泡沫塔、文丘里洗涤器、间接冷凝器及电除雾器等。

（三）炉气的干燥

因浓硫酸具有吸湿性，通常就用它来干燥炉气。干燥过程所用的设备目前广泛采用的是填料塔。

经过净化除去杂质的湿炉气从干燥塔的底部进入，与塔顶喷淋的浓硫酸逆流接触，气相中的水分被硫酸吸收后，经捕沫器以除去气体夹带的酸沫，然后去转化工序。

吸收了水分后的干燥酸温度升高，由塔底流入淋洒式酸冷却器、温度降低后流入酸贮槽，再由泵送到塔顶喷淋。

存在的主要职业病危害因素：二氧化硫、三氧化硫、氟化氢、硫酸雾、三氧化二砷、二氧化硒以及一些金属氧化物蒸气和矿尘等。

三、二氧化硫的转化

二氧化硫炉气经过净化和干燥，消除了有害杂质，余下主要是SO_2、O_2和惰性气体氮。SO_2和O_2在钒催化剂作用下发生氧化反应，生成三氧化硫，称为二氧化硫的催化氧化或称为二氧化硫转化。

$$2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$$

二氧化硫转化工序的设备主要有转化器、换热器、鼓风机和加热炉等。

存在的主要职业病危害因素：二氧化硫、三氧化硫等。

四、三氧化硫的吸收

二氧化硫转化为三氧化硫之后，气体进入吸收系统用发烟硫酸或浓硫酸吸收，制成不同规格的产品硫酸。

在硫酸生产中，多采用浓度为98.3%的浓硫酸来吸收三氧化硫，三氧化硫与其中的水生成硫酸。在吸收操作中，一般都是用浓硫酸循环，在循环过程中，由于硫酸生成、浓度不断提高，需要低于98.3%的硫酸和水来稀释，以保持吸收酸的浓度。同时，随着吸收酸量的增加，可不断排出多余部分作为成品酸。

存在的主要职业病危害因素：三氧化硫、硫酸雾、噪声等。

第二节　纯碱与烧碱

纯碱和烧碱都是重要的化工原料，广泛应用于玻璃、搪瓷、制皂、纺织、石油化工、造纸、合成纤维、染料、冶金、制革、无机盐、化肥、医药、食品、石油精炼、动植物油脂加工等化学工业和日常生活，在国民经济中占有重要的地位。

一、纯碱工业

当前我国氨碱法产量约占总碱量的60%～70%，其余主要由联碱法生产，天然碱只占很少部分。

（一）氨碱法制纯碱

氨碱法的生产工艺流程见图11-2。

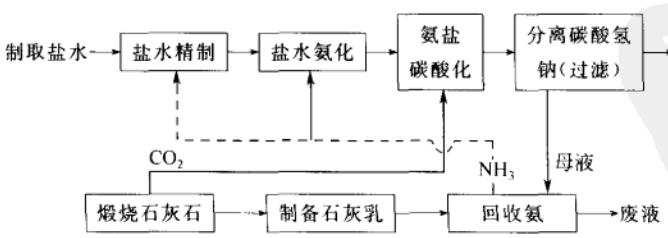


图11-2　氨碱法工艺流程

1. 饱和盐水的制备和精制

氨碱法的饱和盐水可以来自海盐、池盐、岩盐、井盐水和盐湖水等。我国较多的厂用海盐制碱原料。

原盐经过化盐桶制备成饱和食盐水，再添加石灰乳除去盐水中的镁，然后在除钙塔中吸收 CO_2、NH_3 除去盐水中的钙。发生的化学反应有：

$$Mg^{2+} + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + Ca^{2+}$$

$$Ca^{2+} + 2NH_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow CaCO_3 \downarrow + 2NH_4^+$$

精制的食盐水送入吸氨塔吸收氨气，让氨水溶解在盐水里，氨气主要是由蒸氨塔回收得到的。吸氨所得的氨盐水（成分有 NH_3、NaCl、CO_2、NH_4Cl）送往碳酸化塔。

存在的主要职业病危害因素：食盐水精制过程中可能接触到 NH_3 和$Ca(OH)_2$ 溶液。各种设备运行过程中可产生噪声。

2. 氨盐水碳酸化

氨盐水碳酸化也称碳化，是在碳酸化塔中进行的，碳酸化反应结束后，由塔底放出反应成熟的碳酸氢钠晶浆。其碳酸氢钠结晶体，可用离心机过滤，使它和母液分离。母液中主要是含氯化铵，还含有没有转化的氯化钠及碳酸化反应过程中溶解的少量碳酸钠和碳酸氢铵。

碳酸化时发生的反应很复杂，有多种中间产物产生，最终生成碳酸氢钠并沉淀出来。

$$NH_3 + CO_2 + H_2O = NH_4HCO_3$$

$$NH_4HCO_3 + NaCl = NaHCO_3 + NH_4Cl$$

存在的主要职业病危害因素：CO_2、NH_3 和噪声等。

3. $NaHCO_3$ 煅烧成纯碱

上述经过滤的碳酸氢钠尚含有许多杂质，如碳酸氢铵、氯化铵、氯化钠及水等，须将其送往煅烧工段加热焙烧。这时，碳酸氢钠受热分解，放出水蒸气和二氧化碳；碳酸氢铵分解而放出水蒸气、氨和二氧化碳。在高温下，氯化铵同碳酸钠作用，也放出氨和二氧化碳。所以煅烧操作还有使产品得到精制的作用，使最终产品中除含少量氯化钠外，绝大部分是碳酸钠。

$$2NaHCO_3 = Na_2CO_3 + CO_2 \uparrow + H_2O \uparrow$$

$$NH_4HCO_3 = NH_3 \uparrow + CO_2 \uparrow + H_2O \uparrow$$

$$NH_4Cl + NaHCO_3 = NH_3 \uparrow + CO_2 \uparrow + H_2O \uparrow + NaCl$$

存在的主要职业病危害因素：在燃烧过程中可产生高温与热辐射、噪声，大量的二氧化碳，氨气、氮氧化物等多种有毒气体。

4. 母液回收氨

母液因含有氮的三种化合物（氯化铵、碳酸氢铵和碳酸铵），为了循环利用氨，将其送蒸氨塔进行蒸馏。碳酸铵和碳酸氢铵受热分解，而重新得到氨气。氯化铵需与石灰乳反应，在蒸氨塔底部用蒸汽加热把氨蒸出来。这些回收的氨气都返回供盐水氨化使用。蒸氨过程的主要反应是：

$$2NH_4Cl + Ca(OH)_2 = 2NH_3 \uparrow + CaCl_2 + 2H_2O$$

存在的主要职业病危害因素：对母液进行蒸馏时产生 CO_2、NH_3 等有毒气体；工业泵等设备运行产生噪声；蒸氨塔产生高温与热辐射。

5. 石灰石煅烧制生石灰和 CO_2

采用氨碱法的纯碱厂，一般都附有烧石灰的石灰车间。这一方面是为了提供石灰以净化盐水，更重要的是为了在蒸氨塔中利用石灰乳来蒸馏母液中的氯化铵，以回收氨气；同时，也为了获得二氧化碳气。

$$CaCO_3 \xlongequal{} CaO + CO_2 \uparrow$$

$$CaO + H_2O \xlongequal{} Ca(OH)_2$$

氨碱法中石灰消化常用卧式转筒的化灰机。石灰和水从进口加入，随圆筒旋转而物料向前行进，出口处有圆筒筛将未消化物料与石灰乳分离。大块残渣返回石灰窑燃烧，小粒等废弃。石灰乳再经振动筛将 2mm 以上固体物料分出后送往蒸氨塔。

存在的主要职业病危害因素：生产全过程存在噪声和粉尘职业病危害，其中粉尘主要为石灰石尘和石灰尘。在燃烧过程中可产生高温，大量的二氧化碳，还产生少量的二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物等。

6. 重质纯碱的制造

粗 $NaHCO_3$ 在外热式煅烧炉得到的纯碱，称为轻质纯碱。轻质纯碱在使用时易大量飞扬损失。因此工业上通常将其加工成重质纯碱。

重质纯碱有多种生产方法，主要有挤压法和水合法。挤压法是将轻质纯碱在压辊内压成片，再破碎过筛，以 0.1～1.0mm 颗粒为成品。水合法是将轻质纯碱加水，再燃烧成重质纯碱。其工艺流程见图 11-3。



图 11-3　重质纯碱制造工艺流程

存在的主要职业病危害因素：煅烧炉煅烧过程中产生高温、辐射热和粉尘等。在进行筛分、包装的过程中可能接触到纯碱粉尘和噪声等。

（二）联合制碱法

联合制碱法的生产过程开始步骤与氨碱法相同。氨盐水在碳化塔中通入二氧化碳（来自合成氨生产系统的废二氧化碳）后生成的碳酸氢钠结晶，由碳化塔底部取出，滤去母液，进行煅烧，此时产生的二氧化碳送回碳化塔使用。滤出的母液称为母液Ⅰ，先吸收一部分氨，再在换热器内进行热交换而冷却下来，然后进入冷析结晶器内使一部分氯化氨结晶析出。过滤之后，母液中所余下的大部分氯化铵，用加盐粉的方法在盐析结晶器中析出。滤出第二部分氯化铵，所得母液（母液Ⅱ）再通入氨气、二氧化碳，循环使用。其工艺流程见图 11-4。

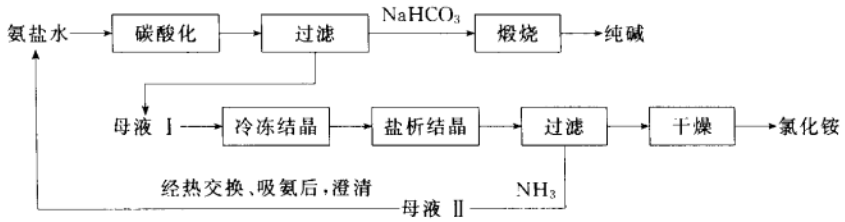


图 11-4 联合制碱法工艺流程

碳酸化塔塔底引出的悬浮晶浆经过滤滤出的母液Ⅰ含有相当数量的 NH_4Cl、未反应的 NaCl、一些溶解的 NH_4HCO_3 和 $(NH_4)_2CO_3$。母液先吸收少量氨气，使母液中的碳酸氢盐转化成溶解度大的碳酸盐，从而在随后冷冻时，不致有碳酸氢盐沉淀析出。

存在的主要职业病危害因素：与氨碱法过程中可能产生的职业病危害因素基本类似，参见上述相关内容。

二、烧碱

制造烧碱和盐酸的常用方法至今还是食盐水溶液的电解。

烧碱即氢氧化钠（NaOH），是化工原料中最重要的强碱。烧碱是国民经济中重要的基本化工原料之一，而电解食盐副产物氯则主要用于生产液氯、漂白剂、聚氯乙烯、与氢合成氯化氢等。由于生产烧碱的同时还得到氯气和氢气，因此该法又称为氯碱工业。

电解制碱主要有隔膜法、水银法和离子交换膜法。目前，美国、日本和前苏联以隔膜法为主，西欧各国以水银法为主。但总的发展趋势是水银法会继续下降，新建或扩建厂都采用隔膜法或离子交换膜法。

离子膜电解法的特点是在食盐电解槽阳极和阴极间增加一层多孔膜作为隔离之用。因为在不隔离的情况下，食盐电解时产生的氢气和氯气可以相互混合产生爆炸危险，而隔膜可以使阳极的氯气和阴极产生的氢气、烧碱隔开。

将精制过的食盐溶液注入电解槽，通入直流电，就能发生电解反应，生成氢氧化钠、氢气和氯气。其工艺流程见图 11-5。

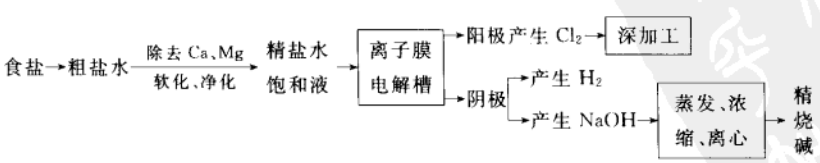


图 11-5 电解制碱工艺流程

1. 精盐水制备

食盐（包括回收盐）在化盐槽中连续化盐，制得的近饱和盐水初步加热后送

往精制槽；同时进行精制。粗食盐溶成的盐水含 Ca^{2+}、Mg^{2+}、SO_4^{2-} 和悬浮杂质，在进行电解之前必须将其去掉。其中，除去盐水中的 Ca^{2+}、Mg^{2+} 一般采用加纯碱和烧碱的方法；除去 SO_4^{2-} 则添加氯化钡。反应式为：

$$Ca^{2+}+Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3\downarrow +2Na^+$$

$$Mg^{2+}+2NaOH \longrightarrow Mg(OH)_2\downarrow +2Na^+$$

$$SO_4^{2-}+BaCl_2 \longrightarrow BaSO_4\downarrow +2Cl^-$$

精制盐水预热后送入澄清槽。为加速悬浮物的沉淀，澄清前添加凝聚剂，以促进固体微粒或絮状物凝聚、增大、加速沉降。广泛采用的凝聚剂有苛化淀粉或苛化麸皮，高效的有聚丙烯酰胺和羧甲基纤维素等高分子凝聚剂。澄清的盐水再经砂滤后预热，送入重饱和器，加入蒸发时析出的精盐，再用盐酸酸化，送去电解。

2. 电解

将精制过的食盐溶液注入电解槽，通入直流电，就能发生电解反应，生成氢氧化钠、氢气和氯气。反应式如下：

$$2NaCl+2H_2O \xlongequal{} 2NaOH+H_2\uparrow +Cl_2\uparrow$$

电解生成的氯气引入氯气总管，送到氯处理工段。氯气管路多由陶瓷或塑料管件装配组成。管路用抽气机抽吸，使阳极室保持 20～30Pa 的负压。当系统能保持密封而氯气不至于泄漏时，有些工厂采用正压操作。

3. 氯气干燥和氢气干燥

放出来的氯气需经过冷却和干燥处理，方可避免含水氯气对绝大多数金属的腐蚀。因为含水氯气比干燥氯气的腐蚀性大得多，所以必须经过处理才能送出供下一步制液氯或合成盐酸等使用。处理氯气的步骤主要是用硫酸干燥以脱除水分。再经压缩、冷冻、液化制成液氯，即可装钢瓶输送。干燥的液氯对钢瓶不腐蚀。另外，从电解槽阴极逸出的氢气不但温度高，还含有水分，也需同氯气一样经过处理才能使用。

使氯气在氢气流中燃烧可合成氯化氢，用水吸收氯化氢可制得盐酸。

4. 稀碱液浓缩和固碱

隔膜法电解液含 NaOH 约 10%～12%，却含大量 NaCl。要浓缩到 30%或 42%才成为商品烧碱，也可再熬制成固体烧碱。这种溶液须先送去蒸发。随着碱液的浓缩变稠，盐在其中的溶解度便大大下降，于是有盐逐渐结晶析出。析出的盐可返回化盐工序循环使用。再将澄清的稀溶液最后浓缩成含 45%～50%氢氧化钠的液体烧碱。要远距离输送的烧碱，还须浓缩制成固体烧碱。生产固体烧碱时，可先把稀碱液蒸成含 45%～50%氢氧化钠的浓碱液，经充分澄清后，用直接火熬浓，冷凝即为固体烧碱。

存在的主要职业病危害因素：精盐水制备过程中可能接触到烧碱、纯碱、盐酸，电解工段的主要有害物质是氯气和烧碱，氯气干燥过程中除可能接触到氯气

外，还有可能接触到浓硫酸；稀碱浓缩、固化过程中可能接触到烧碱。各种泵、风机等设备运行时会产生噪声。大功率电解设备产生极低频电磁场。

在氯气收集、干燥、冷冻、压缩和装瓶等过程中发生泄漏时均可能散发高浓度氯气，是导致作业工人急性氯气中毒的直接原因，应予重点防范，并应制定应急救援预案。

第三节 合成氨

氨在国民经济中有着重要意义，约有85%的氨用来制造化学肥料，其余作为生产其他化工产品的原料。

除氨水可直接作为肥料外，农业上使用的氮肥，例如尿素、碳酸氢铵、硝酸铵、磷酸铵、硫酸铵、氯化铵以及各种含氮混合肥和复合肥，都以氨为原料。

几十年来，合成氨在技术上发生了很大变化。生产原料由煤转向气态的天然气和液态的石油产品（合称烃类原料），大型厂绝大多数采用烃类原料。由于高压设备、离心式压缩机及生产控制系统的成功使用，生产装置的规模得以大型化，从而使合成氨的原材料和能量消耗下降。

一、工程分析

合成氨是以空气中的氮和水中的氢为原料，在高温、高压下直接人工合成的氨。氢气的获得，一般要借助煤、石油或天然气为原料，通过烃类与水蒸气的作用而得到。合成氨的生产过程主要包含原料气的制备、净化和氨的催化合成三个步骤。

（一）原料气的制备

1. 气态烃蒸汽转化法

此法适用于轻质烃原料，如天然气和石脑油等，在耐高温合金制的管式反应器中进行。管内填镍催化剂，管外用燃料气燃烧加热，通过管壁传入反应所需热量，是一种外部供热方式。

（1）工艺流程　天然气蒸汽转化的工艺流程如图11-6。天然气配入蒸汽后，在预热段加热到500℃，进入装有镍催化剂的转化炉管中，在管内被继续加热，同时轻质烃与蒸汽发生转化反应。



图11-6　天然气蒸汽转化工艺流程

气态烃原料是各种烃的混合物，除主要成分甲烷以外，还有一些其他烷烃，

有的甚至还有少量烯烃。此外，当烃与蒸汽作用时，可以有几个反应同时产生。大部分烃类与蒸汽于催化剂作用下转化成 H_2、CO 和 CO_2。主要设备有一段转化炉和二段转化炉。

（2）职业病危害因素识别　天然气压缩、预热过程中可能泄漏甲烷等气态烃类。转化炉产生高温与热辐射、甲烷等气态烃类、一氧化碳、二氧化碳、氢气等，在更换催化剂时可能接触到镍、钼等催化剂。此外，压缩机、泵、风机、管道等设备运行过程中会产生噪声与振动。

2. 重油部分氧化法

重油是石油炼制过程中的一种产品，根据炼制方法不同，分为常压重油、减压重油、裂化重油。由于原油产地及炼制方法不同，重油的化学组成与物理性质有差别，但以烷烃、环烷烃和芳香族为主，其重油中还有硫、氧、氮等组分。

重油部分氧化是指重质烃类和氧气进行部分燃烧，由于反应放出的热量，使部分碳氢化合物发生热裂解以及裂解产物的转化反应，最终获得了以 H_2 和 CO 为主体，并含有少量 CO_2 和 CH_4 的合成气。

（1）工艺流程　重油部分氧化制取合成气（CO 和 H_2）的工艺流程由四个部分组成：原料油和气化剂（O_2 和 H_2O）的预热、油的气化、出口高温合成气的热能回收、炭黑清除与回收。工艺流程见图 11-7。

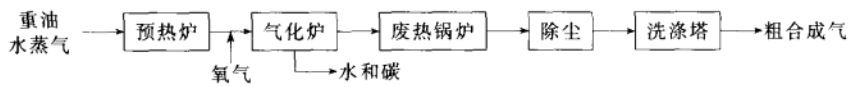


图 11-7　重油部分氧化工艺流程

（2）气化反应　重油与氧气、蒸汽经喷嘴加入气化炉中，首先重油被雾化，并与氧气、蒸汽均匀混合，在炉内高温辐射下，立即产生十分复杂的反应过程。其总反应式为：

$$C_nH_m+0.5nO_2 \longrightarrow nCO+0.5mH_2$$

重油中含有的少量硫、氧、氮等元素，硫以 H_2S、COS 形式在气体中出现，氧以 CO、CO_2、H_2O 存在于气体中，氮可能生成少量 HCN、NH_3 等。

（3）炭黑回收　重油气化过程不可避免的会有炭黑生成。所谓“炭黑”实际上是由一定量的灰分、金属氧化物等杂质组成的固体颗粒，炭黑既有亲水性，又有亲油性。因此，可以利用这些性质，通过水洗或油洗方法把原料气中炭黑含量降下来，以达到净化目的。

重油部分氧化装置的主要设备有预热炉、气化炉、废热锅炉、洗涤器等，炭黑回收装置有石脑油蒸馏塔等。

存在的主要职业病危害因素：预热炉、气化炉、废热锅炉产生高温与热辐射；预热炉、气化炉、废热锅炉产生 CO、CO_2 以及少量的 H_2S、COS、HCN、NH_3、炭黑尘等。采用石脑油萃取法还可能接触到石脑油。此外，压缩机、泵、

风机、管道等设备运行过程中产生噪声与振动。

3. 煤气化

煤气化是指煤或焦炭等固体燃料在高温常压或加压条件下，与气化剂反应转化为气体产物和少量残渣的过程。气化剂主要是水蒸气、空气（或氧气）或它们的混合气。所得气体产物根据所用原料、气化剂的种类和气化过程不同而有不同的组成。例如，用空气为气化剂制得的空气煤气，主要成分为一定量一氧化碳及大量的氮；用水蒸气为气化剂制得的水煤气，主要成分为氢及一氧化碳，其含量可达85%左右。在合成氨工业中，用适量空气（或富氧空气）与水蒸气作为气化剂，所得气体称为半水煤气。

制造半水煤气的方法有外热法、富氧空气气化法和蓄热法。以下对蓄热法进行介绍。

蓄热法也称间歇气化法，是我国多数中小型合成氨厂的重要气化方法。

工业上间歇式气化过程，是在固定床煤气发生炉中进行的。块状燃料由顶部间歇加入，气化剂通过燃料层进行气化反应，灰渣落入灰箱后排出炉外。

造气炉生产分吹风和制气两个阶段。在吹风阶段，从炉下部鼓入空气使煤或焦燃烧，此时煤层的最下层湿度最高，为燃烧层，往上温度逐渐减低，分别为气化层（通蒸汽时）、干馏（除去煤中的挥发物）层和预热层。煤燃烧并不能得到原料气——氢和一氧化碳，煤燃烧的目的是得到制气反应所需热量，将放出的热量蓄积在床层中，随后切断空气而通入水蒸气，进行吸热气化反应，产生氢和一氧化碳。主要反应式：

$$C+H_2O \longrightarrow CO+H_2$$

接着再切换到吹风阶段。如此吹风—制气—再吹风—再制气循环进行，制气所需热量由吹风阶段积蓄的热量提供。工艺流程中一般包括煤气发生炉、余热回收装置、煤气的除尘、降温及储存设备等。

存在的主要职业病危害因素：煤气发生炉产生一氧化碳、氢气，以及硫化氢、二氧化硫等有毒有害气体；煤气发生炉、余热回收装置产生高温与热辐射；在煤气发生炉、除尘设施可能接触到粉尘等；设备运行时产生噪声。

4. 变换

合成氨所需原料气只要氢和氮，而制气得到的原料气中却含有大量一氧化碳，故要通过变换工序使一氧化碳与水蒸气作用变成氢。

$$CO+H_2O \longrightarrow CO_2+H_2$$

含一氧化碳13%～15%的原料气经废热锅炉降温，在压力3MPa、温度370℃下进入高变炉，因原料气中水蒸气含量较高，一般不需添加蒸汽。经反应后，气体中CO降到3%左右，温度为425℃，气体通过高变废热锅炉，被冷却到220℃后进入低变炉，气体离开变换系统后进入CO_2吸收塔。

存在的主要职业病危害因素：一氧化碳、二氧化碳等有毒气体，高温、辐射

热、噪声等。

（二）原料气的净化

各种原料提供的粗原料气都含有硫化物。经一氧化碳变换后，含有多量的二氧化碳和少量一氧化碳，这些物质都是氨合成催化剂的毒物。为此，在氨合成工序前必须分别加以脱除。习惯上称原料气中硫化物的脱除为“脱硫”，二氧化碳的脱除为“脱碳”，少量残余一氧化碳和二氧化碳的脱除为最终净化。

在天然气、石脑油蒸气转化流程中，第一道工序是脱硫，以保护转化催化剂的活性。以重油和固体燃料为原料所制得的粗原料气，根据一氧化碳变换是否采用耐硫的催化剂而设计脱硫工序的位置。除个别设有二次脱碳流程外，脱碳总是在变换工序之后。

1. 原料气的脱硫

原料气都含有一定数量的硫化物，主要是硫化氢，其次是二硫化碳、硫氧化碳、硫醇、硫醚和噻吩等有机硫。以煤为原料时，每立方米原料气中合硫化氢一般约有几克。用高硫煤作原料时，硫化氢高达 20～30g/m^3。天然气、石脑油、重油中硫化物含量则因地区不同，差别很大。

脱硫方法可分为干法和湿法。干法是指脱硫剂的形态为固体，主要方法见表 11-1。

表 11-1　主要干法脱硫方法

方　法	脱硫剂	脱　硫　情　况
氢氧化铁法	$Fe_2O_3 \cdot xH_2O$	常压或加压，副产硫黄
活性炭法	活性炭	常压或加压，可脱硫化氢与有机硫，副产硫黄
分子筛法	碱金属硅铝酸盐	可再生，能脱硫化氢与有机硫，操作温度 38～43℃
钴钼加氢法	钴钼催化剂	转化有机硫为无机硫，温度 350～430℃，可再生
锰矿法	天然锰矿	不能再生，不能副产硫黄，温度 400℃
氧化锌法	氧化锌	不能再生，不能副产硫黄，能脱硫化氢与有机硫，操作温度 200～400℃

干法脱硫可以把硫脱至十万分之一以下，但脱硫剂不能再生或再生非常困难。因此只适用于天然气、油田气、炼厂气或石脑油中含硫较低时使用。

湿法脱硫是用溶剂吸收的脱硫方法。物理吸收剂有甲醇、聚乙二醇、二甲醚和碳酸丙烯酯等，化学吸收法有氨水催化法和改良蒽醌二磺酸钠法。

任何一种化学吸收法都是用碱性溶液吸收酸性气体硫化氢。为使脱除的硫化氢变为有用的硫，可以选择适当的氧化催化剂，将溶液中被吸收的硫化氢氧化成单体硫，因而使脱硫溶液得到再生，同时，还可以获得副产硫黄。

存在的主要职业病危害因素：设备运行过程中可能接触到硫化氢、二氧化硫、硫醇、硫醚、噻吩、硫氧化碳等物质。此外，设备运行过程中可能产生高温、噪声与振动。根据选择的方法不同，还可能接触到不同的吸收剂，如氨水、

聚乙二醇、二甲醚、碳酸丙烯酯、对苯二酚、甲醇等。

2. 脱碳

各种原料制取的粗原料气，经一氧化碳变换后，变换气中除含氢、氮外，还有二氧化碳、一氧化碳和甲烷等杂质，其中以二氧化碳含量最高。二氧化碳既是氨合成催化剂的有害物，又是制造尿素、碳酸氢铵、纯碱等化工产品的重要原料。

脱除二氧化碳的方法很多，一般采用溶液吸收法，根据吸收剂性能不同，分为两大类。

（1）物理吸收法　利用二氧化碳能溶解于水或有机溶剂这一性质。工业中用的吸收剂有水（加压水洗法）、甲醇（低温甲醇洗涤法）、碳酸丙烯酯（Fluor法）、聚乙醇二甲醚（Selexol法）、*N*-甲基吡咯烷酮（Purisol法）等。吸收二氧化碳后的溶液可用减压解吸法再生。

（2）化学吸收法　利用二氧化碳具有酸性特性而与碱性物质进行反应将其吸收，常用的吸收剂有热碳酸钾、有机胺和浓氨水。

存在的主要职业病危害因素：根据选择的方法不同可能有甲醇、碳酸丙烯酯、聚乙醇二甲醚、*N*-甲基吡咯烷酮、有机胺、浓氨水等。

3. 脱一氧化碳

早期用来脱一氧化碳的是铜氨液吸收法。铜盐的氨溶液先在高压低温下与一氧化碳生成络合物，而将一氧化碳吸收，然后溶液在加热和减压下再生，从而使一氧化碳脱除。

铜氨液法因耗用金属铜较多，设备和操作也较复杂而少用，目前多采用液氮洗涤和甲烷化法。液氮洗涤法利用一氧化碳、甲烷等在深冷低温下易在液氮中溶解的物理性质，可将一氧化碳和甲烷彻底去除。

甲烷化法是在镍催化剂存在下使一氧化碳转化为甲烷，此法流程比铜氨液法和液氮洗涤法简单。

存在的职业病危害因素：氨、甲烷、一氧化碳、二氧化碳、噪声等。

4. 脱除水分

水蒸气对催化剂有害，也应从氮氢混合气中除去，一般采用分子筛干燥的方法。所谓分子筛是一种结晶型的铝硅酸盐，又称沸石，它只让直径比孔径小的分子进入并将其吸附，从而可像筛子一样将混合物中不同大小的分子加以筛分，故称分子筛。当含水氮氢混合气通过分子筛时，水分和微量二氧化碳被吸附清除，被水饱和的分子筛经加热再生后可重复使用。

存在的职业病危害因素：铝硅酸盐粉尘、噪声和高温等。

（三）合成氨

氨合成的单程转化率不高，必须将分离氨以后的未反应的氢氮混合气循环使用。氢和氮在高温、高压和催化剂存在下，直接合成氨。工艺流程见图11-8。

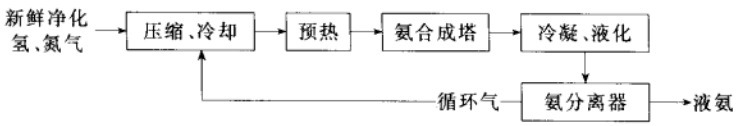


图 11-8　合成氨工艺流程

主要设备有氨合成塔、水冷器、氨分离器、循环压缩机、冷凝塔和氨冷器等。

存在的主要职业病危害因素：各种设备运行过程中产生的振动与噪声；以及氨合成塔产生的高温与辐射热等。毒物主要是氨气，从合成塔开始到成品液氨罐都可能有氨气泄漏。此外，惰性气体放空以及氨储罐排气都有可能导致氨气的污染。

二、职业病危害因素综合识别

（一）粉尘类

造气过程中产生煤尘、炉渣尘、炭黑尘等粉尘。如果是以天然气或石脑油造气，基本没有粉尘危害。

（二）物理性有害因素

1. 噪声

合成氨工艺噪声具有以下特征：

① 产生噪声的设备数量多、功率大，大部分密集布置在露天，其噪声在厂区半自由声场中传播；

② 多数为稳态噪声，例如以各种工业泵、压缩机、风机、加热炉为主的中低频噪声，以气体排放、高压阀门管道为主的高频噪声，以及部分输送机械和搅拌设备的机械噪声；

③ 除地面设备的噪声源外，还有如空冷器、气体放空等高位声源，多以自由声场条件传播至较远处。

所有噪声中以压缩机产生的噪声强度最大，一般在 100dB（A）左右，个别达 110dB（A）以上。

2. 高温与热辐射

各种加热炉、反应塔等运行过程中产生高温和热辐射。除煤气发生炉外，多数炉和塔为露天布置，有利于设备散热，因此对作业工人危害不大。

（三）化学毒物类

合成氨生产过程中存在的毒物种类较多。在原料气的制备中主要有甲烷、一氧化碳、二氧化碳、硫化氢、氰化氢、氨气、硫氧化碳、二氧化硫等。在净化工段主要有一氧化碳、二氧化碳、氨气、有机胺、甲醇、对苯二酚、碳酸丙烯酯、聚乙醇二甲醚、*N*-甲基吡咯烷酮、硫化氢、二氧化硫、硫醇、硫醚、噻吩、硫氧化碳等。在氨合成工段，毒物主要是氨气以及少量的一氧化碳、二

氧化碳等。

三、职业病危害防护措施

1. 防噪声措施

① 在建设项目总平面布置设计时，应使操作室尽可能地远离高强度噪声源，并做隔声处理。

② 在设备选型时应优先选择低噪声设备，或要求厂方安装消声罩。

③ 应采用消声、阻尼、隔振、吸声和隔声等综合措施治理高强度噪声源，主要是大功率压缩机、循环泵等。

④ 在工艺管线中，管道辐射噪声较为普遍和突出。应对所有强辐射噪声的管道做适当的阻尼、隔振、吸声、隔声处理，以降低管道的噪声强度。

⑤ 各高压工艺气体放空口应安装小孔喷注消音器，实践证明，多级小孔喷注消音器比过去普遍使用的抗性消声器效果好。

⑥ 在噪声超标点进行工作的工人应配戴防噪声耳塞或耳罩等，以降低噪声对个人健康的影响。

2. 防中毒与应急救援措施

合成氨生产过程中存在氨气、一氧化碳、氰化氢和硫化氢等高毒气体，并且多数工序在高温高压环境中进行，容器、管道、阀门、泵、压缩机等设备较易发生泄漏，是急性职业中毒事故多发行业，特别是氨气中毒和一氧化碳中毒事故频发。企业应制定应急救援预案，在关键工段或地点安装监视报警器，悬挂警示标识，存放供气式或过滤式呼吸器等。

第四节　化学肥料

人类使用化学肥料的历史并不长，大约在19世纪中叶才有生产过磷酸钙的工厂出现。氮肥工业的起步又要比磷肥晚半个世纪。由于化肥对人类赖以生存的农业有极其重要的作用，所以化肥工业的发展十分迅速，其中氮肥产量增长尤其显著。目前我国的化肥生产总产量居世界的第三位。

化学肥料制造业包括氮肥制造业、磷肥制造业、钾肥制造业、复合肥料制造业等，是化学工业中污染比较严重、职业病危害较严重的行业。其中以氮肥生产过程中氨气、一氧化碳职业病危害和磷肥生产过程中氟化物、磷化物职业危害最为严重，而钾肥生产过程中职业病危害相对较少。

一、氮肥

氮是农作物生长必需的第一大要素，因而氮肥也是化肥工业中产量最大的肥料品种。氮肥制造业的主要化肥产品有尿素、硝酸铵、硫酸铵、碳酸氢铵、氯化铵等，其中尿素为最主要的氮肥，也是氮肥行业发展的重点。

1. 尿素

尿素的分子式为 $CO(NH_2)_2$。尿素在强酸溶液中呈弱碱性，能与酸作用生成盐类。尿素的最主要用途是作肥料，世界上大约 80%～90%的尿素都用作肥料。尿素是高效优质的氮肥，既可作底肥又可作根外追肥。

尿素的生产方法是由氨和二氧化碳反应合成。氨和二氧化碳都来源于合成氨厂，因此尿素装置与合成氨装置绝大多数建在一起。氨和二氧化碳反应时首先生成中间产物氨基甲酸铵（简称甲铵），甲铵脱水即得尿素。尿素的合成是在尿素合成塔中完成的。但是，此反应是一个可逆反应，在合成塔中也不能将原料一次全部转化为尿素。从尿素合成塔出来的物料中除了尿素外，还有 CO_2 与氨。围绕着如何回收处理从尿素合成塔出来的物料，形成了各种尿素工业生产方法，例如有汽提法、水溶液法等。其工艺流程见图 11-9。

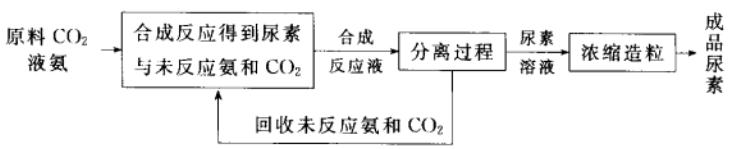


图 11-9　尿素合成工艺流程

(1) 二氧化碳汽提法　将原料 CO_2 和液氨进行加压，送入合成塔。在合成塔中进行尿素的合成，反应温度为 180～185℃。自合成塔下部流出的溶液进入二氧化碳汽提塔，蒸出的未反应氨和二氧化碳经高压甲铵冷凝后与新鲜原料氨混合后返回合成塔形成循环。汽提塔出料经降压后进入低压精馏塔的闪蒸罐，继续分出氨和二氧化碳，此后进入蒸发器脱水，得到含量 99.5%以上的熔融状态的尿素。

两步反应在合成塔内连续进行，主要化学反应原理为：

$$2NH_3 + CO_2 \rightleftharpoons NH_4COONH_2 \quad (甲铵)$$

$$NH_4COONH_2 \rightleftharpoons CO(NH_2)_2 + H_2O$$

(2) 尿液的蒸发与造粒　尿液的蒸发与造粒是尿素生产过程中的最后一个工序。熔融尿素送至造粒塔顶的旋转喷头，由造粒塔顶喷洒下来，形成颗粒状的尿素，经传送带输送到尿素散装仓库存放和冷却，最后再送至包装楼装袋。

为防止造粒过程结块，可往熔融尿素中加甲醛，甲醛在蒸发工序前或后加入均可，其数量要保证最终产品中含量不大于 0.2%。

(3) 职业病危害因素识别　整个生产工艺过程中都有氨和二氧化碳。尿素合成、汽提、低压分解回收过程中可能接触到甲铵、尿素。刮板机、耙料机、尿素输送皮带、仓库、包装等岗位均有可能接触到尿素粉尘。在尿素生产过程中添加甲醛，因此在尿素造粒过程中可能接触到甲醛蒸气。

尿素生产过程中各个阶段都可能有氨的泄漏，导致周围工作场所的污染和急

性职业中毒事故的发生。因此，防止氨中毒是该装置职业病危害防护的关键点。

生产过程中机械振动噪声主要来源于二氧化碳压缩机和泵房动力设备、刮料机、耙料机、尿素输送皮带以及破碎机、缝包机等设备。气体动力噪声主要来源于二氧化碳压缩机、工艺空气鼓风机、机泵以及尿素开车过程中高压系统放空等。

2. 硝酸铵

硝酸铵简称硝铵，分子式 NH_4NO_3。硝铵在常温下是稳定的，受热后开始分解。硝铵是一种重要的氮肥，既可以单独施用，也可与磷钾肥混合制造出各种复合肥料。硝铵是常规炸药的主要原料，在军事、采矿和筑路等方面均有应用。用硝铵还可制造一氧化二氮（笑气），用作麻醉剂。

用氨与硝酸进行中和反应一向是工业生产硝铵的主要方法。反应方程式如下：

$$NH_3 + HNO_3 = NH_4NO_3$$

稀硝酸与氨在中和器发生反应，生成硝酸铵，硝铵溶液进入蒸发器，溶液经三级真空蒸发浓缩，进入真空结晶器进行结晶，送造粒塔造粒，获得粒状成品。从造粒塔出来的硝酸铵在温度 60～80℃下进行干燥后再用沸腾床冷却器中用空气冷却，包装完成整个生产过程，得到产品硝酸铵。

存在的主要职业病危害因素：硝酸铵生产过程中有硝酸铵、硝酸、氨雾沫状蒸气蒸发；造粒、冷却、包装过程中有硝酸铵粉尘；机械设备运行产生噪声；蒸发器有高温与热辐射产生。

二、磷肥

磷肥种类繁多，大致可分为酸法磷肥和热法磷肥两大类。酸法磷肥一般指用硫酸、磷酸、硝酸或盐酸分解磷矿而制成的磷肥或复合肥料，主要品种有过磷酸钙、重过磷酸钙等。热法磷肥是指高温下加入或不加入配料，分解磷矿或其他含磷矿物生产磷肥的方法，主要品种有钙镁磷肥、钢渣磷肥、脱氟磷肥等。

（一）磷酸

磷酸的酸性不及硫酸、硝酸和盐酸，属于中强酸一类。磷酸及由其所制的磷酸盐在无机化学工业的某些部门中，特别是在磷肥工业中占有举足轻重的地位。磷酸铵、重过磷酸钙、液体复合肥料、高效固体复合肥料以及某些类型的硝酸磷肥都来自磷酸。

现在几无例外地采用天然磷酸盐（即磷矿石，主要是磷灰石和磷钙石）为原料。

磷灰石的分子式为 $Ca_5F(PO_4)_3$，又称氟磷灰石。若分子中的氟被羟基取代，便称做羟基磷灰石（碱式磷酸盐），但它们的主要成分都是磷酸钙。自然界最常见的是氟磷灰石。

磷钙石的分子式为 $Ca_3(PO_4)_2$，又称磷酸钙矿，其主要成分是磷酸钙。

此外还含有钙和镁的碳酸盐和硫酸盐、二氧化硅和硅酸盐、铁铝化合物及少量碘、氯、锰、硼、铀等。

1. 磷矿石加工

不论生产何种磷肥，都必须首先将磷矿石加工成所需粒度。

磷肥生产厂对磷矿的加工主要是细碎，细碎分干法和湿法。干法有风扫磨法，将矿石的干燥和研磨同时进行，且在负压下进行粉碎。风扫磨粉碎后，经细粉分离器分离，尾气除尘后排空。

湿法（亦称矿浆法）研磨的流程短、生产能力大、噪声小，所以在酸法磷肥的加工中得到广泛采用。湿法一般选用溢流式球磨机。

存在的主要职业病危害因素：磷矿石运输、进行细碎时产生粉尘，细碎时产生高强度噪声。

2. 磷酸的两种制法

磷酸的最终用途往往决定于磷酸的纯度，因而也就取决于它的生产方法。磷酸有两种主要制法，即湿法和热法。

湿法是用酸（一般都用硫酸）萃取处理磷矿，直接得到磷酸，故湿法又称萃取法。

热法也称炉法或干法，是先从磷矿制得单质磷（即黄磷），再直接氧化为五氧化二磷，然后由后者与水作用制成磷酸。湿法生产的磷酸中有来自磷矿的多种杂质，但这些杂质对磷肥生产不但无害，有时反而有益，所以湿法制磷酸主要用于化肥工业。

（1）湿法制磷酸　用硫酸分解磷矿的化学反应可一步或两步完成。

① 一步完成的反应为：

$$Ca_5F(PO_4)_3+nH_3PO_4+5H_2SO_4 \xlongequal{} (n+3)H_3PO_4+5CaSO_4\cdot mH_2O+HF$$

② 两步完成的反应为：

$$Ca_5F(PO_4)_3+nH_3PO_4 \xlongequal{} (n-7)H_3PO_4+5Ca(H_2PO_4)_2+HF$$

$$5Ca(H_2PO_4)_2+5H_2SO_4 \xlongequal{} 10H_3PO_4+5CaSO_4\cdot mH_2O$$

反应中生成的 HF 与磷矿中的 SiO_2 或硅酸盐作用生成 H_2SiF_6，少量的 H_2SiF_6 又分解为 SiF_4 和 HF 从气相中逸出。

湿法制磷酸的浓度一般为 30%～32%（P_2O_5），通常含有 2%～4%游离硫酸和含 F 约 2%的氟碳酸，用以制造重过磷酸钙及其他产品时需要浓缩到 40%～54%。在浓缩过程中，磷酸中的氟硅酸将分解成四氯化硅和氯化氢，与水蒸气一起逸出。磷酸浓缩方法有直接传热蒸发和间接传热蒸发两种。

存在的主要职业病危害因素：萃取槽和磷酸浓缩器中产生硫酸雾、磷酸雾、盐酸雾、氟化氢和四氟化硅蒸气，此外，加料时产生磷灰石精矿粉尘，浓缩时产生高温与噪声等。

（2）热法制磷酸　磷元素通过氧化、水化而制得磷酸的方法称为热法磷酸。

热法磷酸的生产方法普遍采用“电炉两步法”。此法是将电炉还原磷矿所得的升华磷，经过除尘后使磷冷凝呈液态磷。然后液态磷经燃烧、水化、除雾制成磷酸。

现代工业中生产磷的方法是将磷矿石与焦炭、硅石加热至熔融状态而制得元素磷。由于供给反应所需热量的方式不同，黄磷的生产方式可分为高炉法与电炉法。

电炉法制黄磷是将磷矿石、助熔剂、硅石与还原剂焦炭按一定的配比混匀后在三相电炉中熔融，磷以蒸气形式从电炉中逸出，将磷蒸气冷凝得到固体黄磷。其总反应式如下：

$$4Ca_5F(PO_4)_3+30C+21SiO_2 \xlongequal{} 3P_4+30CO+20CaSiO_3+SiF_4\uparrow$$

炉料中的氟最终以 CaF_2 的形式残留在炉渣中，但有一部分氟以 SiF_4 形式从炉中逸出。此外，原料中所含的水分成为水蒸气而与磷化物作用生成少量磷化氢（H_3P）。原料中所含的硫化物和硫酸盐在还原过程中生成硫化氢（H_2S）。碳酸盐分解会产生二氧化碳（CO_2）。

存在的主要职业病危害因素：制磷炉气主要组分为 CO，含量约 90%，另含有 CO_2、P_4、H_3P、H_2S、有机硫、HF、SiF_4、As 等，属毒性较高的混合气体，在生产过程中容易污染生产环境。此外，还有电炉产生的高温与热辐射，设备运行产生的噪声与振动等。

3. 粗磷的精制

粗磷的精制一般是将泥磷置入精制锅内，加水并用蒸汽直接加热，使泥磷升温。随着粗磷中杂质的逸出，磷与杂质形成的胶状结构被破坏。当锅内有黄烟冒出时即停止加热，并在约 60℃保温静置，使锅内液体分层，下部液体即为精制磷。

主要的职业病危害因素：粗磷精制加热过程中有少量 P、CO、H_3P、H_2S、HF、SiF_4、As 逸出。

4. 制磷酸

首先把黄磷燃烧生产五氧化二磷气体，接着用水来吸收和冷却五氧化二磷气体制成热法磷酸。其中磷酸的吸收工业上普遍采用水冷流程和酸冷流程。

（1）水冷流程　液态黄磷从石墨制的燃烧室顶部喷入，并燃烧成五氧化二磷气体，从燃烧室出来的气体先在石墨冷却器中用水冷却，再进入水化塔水化。这时有 55%的五氧化二磷成为磷酸产品，其余为磷酸雾滴，在电除雾沉降得到。

（2）酸冷流程　磷的燃烧和五氧化二磷的水化在同一设备（燃烧水化塔）中进行，液态黄磷从喷嘴喷入燃烧水化塔进行燃烧，由塔的顶部加入稀磷酸，同时从塔中喷入少量稀磷酸，冷却燃烧气并生成磷酸。然后气体再进入电除雾器捕集酸雾。所得产品一部分作为成品酸，另一部分作为稀酸循环使用。

存在的主要职业病危害因素：黄磷燃烧和水化过程中产生五氧化二磷和磷酸

雾；同时产生高温、辐射热；风机、水泵等机械设备产生噪声与振动等。

（二）普通过磷酸钙

普通过磷酸钙简称普钙，其主要化学成分是磷酸一钙 [$Ca(H_2PO_3)_2 \cdot H_2O$] 和硫酸钙。

1. 化学反应原理

普钙生产是用硫酸来分解磷矿粉。反应分两步进行。第一阶段：

$$Ca_5F(PO_4)_3 + 5H_2SO_4 \longrightarrow 5CaSO_4 + 3H_3PO_4 + HF\uparrow$$

同时，磷矿中的杂质，例如碳酸钙、碳酸镁、氧化铁、氧化铝等，都与硫酸反应生成 $CaSO_4$、$FeSO_4$、$Al(SO_4)_3$ 等，SiO_2 还与 HF 反应生成 SiF_4。

第二阶段化学反应是在后期进行，以后还要在仓库堆放很长一段时间，生产上称为“熟化”，经过熟化，达到规定指标后才能作为产品出厂。“熟化”化学反应式为：

$$Ca_5F(PO_4)_3 + 7H_3PO_4 + 5H_2O \longrightarrow 5Ca(H_2PO_3)_2 \cdot H_2O + HF\uparrow$$

2. 生产工艺

普钙生产工艺有干法和湿法两种。干法是用磷矿粉与硫酸直接混合，目前我国主要采用此种方法。湿法是将粗碎矿石加水进行湿磨制成矿浆，再与浓硫酸混合。随着物料反应的进行，磷矿不断被分解，硫酸逐渐减少，CO_2、SiF_4 和水蒸气等气体不断逸出。其工艺流程见图 11-10。

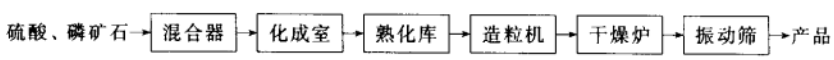


图 11-10　普钙生产工艺流程

存在的主要职业病危害因素：混合器和化成室排出含 HF、CO_2、SiF_4 废气，熟化库干燥过程中也有少量 HF 废气产生。在混合、化成、造粒、干燥等生产过程中产生磷矿粉尘和噪声。

（三）钙镁磷肥

钙镁磷肥是我国主要磷肥品种之一，主要成分是 $Ca_3(PO_4)_2$、Ca_2SiO_4 和 $MgSiO_4$。钙镁磷肥生产基本工艺是将天然磷矿石与助熔剂混配，经约 1000℃ 高温熔融，再经水淬冷粒化、干燥粉磨。多采用高炉、电炉、平炉或旋风炉进行生产。生产钙镁磷肥的主要辅助原料是助熔剂，如蛇纹石（主要成分是硅酸镁）、白云石（主要成分是碳酸钙和碳酸镁）等。燃料主要有焦炭、无烟煤、煤粉等。

磷矿石、蛇纹石（或白云石）和焦炭经破碎到一定大小，并按一定比例配好装入料车，送入高炉。从热风炉来的热风经风嘴喷入高炉。焦炭迅速燃烧而产生高温，此时高温区的温度可高达 1500℃ 以上。物料在炉内充分熔融后，自出料口放出熔融体，用水喷射，使其急冷而凝固并破碎成细小的粒于流入水淬池中。水淬后的湿料送入回转干燥机干燥。干燥后的半成品再送入球磨机磨细。其工艺

流程见图 11-11。

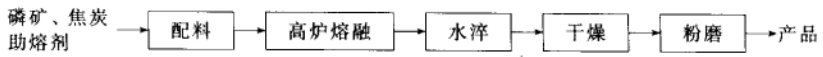


图 11-11 钙镁磷肥生产工艺流程

存在的主要职业病危害因素：高炉燃烧过程中产生氟化物（HF、SiF）、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、五氧化二磷、粉尘、高温、辐射热和噪声等。干燥和磨细过程中产生高强度噪声与粉尘等。

三、钾肥

钾肥的主要品种有氯化钾、硫酸钾和碳酸钾等。以下以氯化钾为例介绍其生产过程。

钾石盐是自然界中最重要的钾矿，一般为氯化钾和氯化钠的混合物。用钾石盐生产氯化钾的主要方法有溶解结晶法、浮选法和重介质选矿法等。

1. 溶解结晶法

溶解结晶法是根据氯化钠和氯化钾在水中的溶解度随温度变化而异的原理将两者分离来制取氯化钾的方法。

工艺流程主要由五个主要步骤组成，即矿石破碎、热液溶浸（溶解氯化钾）、固液分离（除去盐渣——氯化钠和不溶物）、冷却结晶、离心分离获得产品氯化钾。

将破碎的钾石盐送入溶解槽，用结晶后的 100℃热母液（氯化钾从饱和溶液结晶析出后的液体，主要含有氯化钠）浸取。浸取后的料浆经沉降、离心脱水，滤液和沉降槽的溢流液进一步澄清。将澄清液送至真空结晶器结晶即可得到氯化钾。一般要用多个结晶器串联操作。氯化钾晶浆再经离心机脱水并用干燥机干燥后就可得到成品。

存在的主要职业病危害因素：钾盐的破碎、运输、干燥、包装过程中产生氯化钾粉尘，真空泵等机械设备运行过程中产生高强度噪声，干燥过程中产生高温与热辐射。

2. 浮选法

浮选原理是矿粒有选择性地附着于空气小气泡上。氯化钾和氯化钠晶体表面与水的润湿程度不同，当加入某种表面活性剂后能扩大表面润湿性的差异。当加入某种脂肪胺（捕收剂）时，能选择性地吸附在氯化钾晶体表面，增加其疏水性。这种晶粒能附于小气泡随其上升到矿浆表面。然后在浮选梢中将它括出（称为精矿），再经过滤、洗涤、干燥即得氯化钾产品。氯化钠有亲水性，留在矿浆中作为尾矿排出。

捕收剂主要是十八胺或 C_{10}～C_{20} 混合胺；起泡剂主要是松节油或甲酚等；抑制剂主要是淀粉、多聚糖或羟基甲基纤维素等。

存在的主要职业病危害因素：脂肪胺、松节油、甲酚等浮选剂；氯化钾干燥与包装过程中产生氯化钾粉尘；各种机械设备运行过程中产生噪声；干燥设备产生高温与热辐射。

四、职业病危害控制措施要点

化学肥料制造是职业病危害较严重的行业。氮肥生产存在氨气、一氧化碳、甲铵、硫化氢、硫黄、二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等十多种毒物；磷肥生产存在氟化氢、硫化氢、黄磷、磷化氢、五氧化二磷、四氟化硅、硫酸雾、磷酸雾、盐酸雾、砷化物、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等数十种毒物。其中以氮肥生产过程中氨气、一氧化碳职业病危害和磷肥生产过程中氟化物、磷化物危害最为严重，而钾肥生产过程中职业病危害相对较少。较易导致的职业病名单有急性氨气中毒、急性氟化氢中毒、急性一氧化碳中毒、急性磷化氢中毒、黄磷中毒、牙酸蚀病、氟骨症、化学性眼部灼伤等。

化肥生产过程中职业病危害控制措施要点主要有以下几个方面：

① 通过工艺改革实现操作的机械化、自动化，减少工人直接接触机会；

② 高温作业工房设计时应考虑有良好的自然通风，凡自然通风不能满足散热要求的车间应设计机械通风；

③ 加强尘毒发生源的密闭与通风，对一些重点部位可采取密闭尘毒源与局部抽风相结合的办法；

④ 针对有可能发生的急性氨气中毒、急性一氧化碳中毒、急性氟化氢中毒、急性磷化氢中毒和酸灼伤等，应建立应急救援预案，工作场所应设立毒物警示标识和中文说明，并应在相关岗位设置急救药品、喷淋冲洗设施等；

⑤ 加强个人防护，进入高毒物品作业场所时应配戴防毒面具，进入粉尘作业生产岗位时应配戴防尘口罩，进入噪声作业工作场所时应配戴防噪声耳塞或耳罩；

⑥ 应建立工作场所职业病危害因素定期监测制度和作业人员健康监护制度，搞好就业前、在岗和离岗人员的职业性体检，及时发现职业禁忌证和职业性病损，避免职业病的发生。

（李　祈）

第十二章　胶黏剂制造与应用

胶黏剂是指能把纸、布、皮革、木、金属、玻璃、橡皮或塑料之类的材料黏合在一起的物质。胶黏剂可分为天然胶黏剂和人工合成胶黏剂。在工业和人们日常生活中使用的绝大多数为人工合成胶黏剂，其组分多为混合物。除起基本黏附作用的基质外，还含有固化剂、稀释剂、增塑剂、偶联剂、引发剂、增稠剂、稳定剂、填充剂等多种化学物品。

胶黏剂种类繁多，在工业生产中应用广泛。胶黏剂的职业病危害问题已引起卫生行政部门的重视。

第一节　行业概况与职业病危害特点

一、行业分布

目前我国合成胶黏剂生产非常分散。大部分企业存在规模小、品种少、产品老化、更新换代缓慢等特点。胶黏剂的使用行业分布主要包括制鞋、家具制造、玩具制造、皮革、制衣、箱包、包装、涂料、防水工程、机械、汽车、航天航空、电子电器、医疗卫生、广告宣传等。据调查，我国生产与使用胶黏剂的企业多达 70000 余家，品种超过 3000 个。以三醛胶（脲醛、酚醛和三聚氰胺-甲醛树脂胶）和聚合物乳液产量最大。

从胶黏剂进出口贸易方面来看，我国的胶黏剂贸易逆差较大。新型的、环保型的胶黏剂及其原辅材料依赖于进口。国产的胶黏剂以职业病危害严重的溶剂型及醛类产品为主。

二、产品分类

（一）按化学组成

1. 无机胶黏剂

主要包括磷酸盐型、硅酸盐型、硼酸盐型等。

2. 有机胶黏剂

主要包括天然胶黏剂和合成胶黏剂两大类。天然胶黏剂有骨胶、虫胶等动物胶，淀粉、松香、阿拉伯树胶等植物胶。其中合成胶黏剂又可分为：

① 热塑性树脂胶黏剂，如聚醋酸乙烯酯、乙烯-醋酸乙烯酯共聚物、聚酰胺等；

② 热固性树脂胶黏剂，如环氧树脂、酚醛树脂、脲醛树脂、聚氨酯等；

③ 橡胶型胶黏剂，如氯丁胶、丁腈胶、硅橡胶等；

④ 混合型胶黏剂，如环氧-酚醛胶、酚醛-丁腈胶、环氧-尼龙胶等。

（二）按用途

胶黏剂根据产品用途可分为工程用胶黏剂、建筑用胶黏剂、汽车专用胶黏剂、扬声器用胶黏剂、运动场地用胶黏剂等。

（三）按外形

从胶黏剂形态可分为水溶剂胶、有机溶剂胶、乳液胶、薄膜胶和粉末胶等。

（四）固化形式

1. 溶剂型胶

溶剂型胶是由聚合物加溶剂配制而成，其固化是由于溶剂的挥发或溶剂被胶物自身吸收消失后胶黏剂在胶接端面形成胶接膜而发挥胶接作用。

2. 反应型胶

反应型胶粘接原理是含有活性基团的基质聚合物与加入的固化剂产生化学反应，从而产生粘接作用。一般在临用前配胶。

3. 热熔型胶

热熔型胶是属于以热塑性聚合物为基本组成的无溶剂固态胶黏剂，通过加热熔融胶接，随后冷却固化而发挥胶接作用。

三、发展趋势

胶黏剂具有应用广、使用简便等特点，已成为国民经济和人民生活中不可缺少的重要化工产品。据专家预测，未来 10 年内我国胶黏剂消费仍将以 8%～10%的速度增长，其中高性能环氧树脂胶、低甲醛释放量脲醛胶、热熔胶、聚氨酯胶黏剂、有机硅胶黏剂、汽车用 PVC 塑熔胶是今后行业发展的六大重点。

根据《中国合成胶黏剂行业“十一五”发展规划建议书》，我国胶黏剂行业未来发展趋势主要体现如下几个方面：

① 加快发展环保节能型产品；

② 高性能、高品质胶黏剂将有较大发展，特别是用于机械、电子、汽车、建筑、医疗卫生和航天航空领域的胶黏剂将发展更快；

③ 胶黏剂生产将向规模化、集约化的优势企业集中，产品质量和档次将会有较大提高，部分生产规模大、技术水平高、创新能力强的企业将会有更大发展，而一些生产规模小、技术落后的企业将会加快淘汰出局；

④ 外资企业数量增加、生产规模扩大、资金投入加大、高新技术产品明显增加。

四、职业病危害特点

目前，我国胶黏剂职业病危害具有接触人群广泛且分散、职业病危害严重且表现多样等特点。

胶黏剂的职业病危害存在于胶黏剂的生产和使用过程中。绝大多数胶黏剂为多组分混合物，其毒性主要决定于加入的固化剂、稀释剂、增塑剂、偶联剂、引发剂、增稠剂、稳定剂、填充剂等多种化学物品的种类与含量。而起基本黏附作用的基料多属无毒或低毒类物质，如含苯溶剂型胶黏剂毒性大，水溶性胶黏剂毒性则相对较小等。

在胶黏剂生产、储运和使用过程中产生的有毒物质进入人体的途径以呼吸道为主，也可经皮肤或消化道进入。

对人体的职业病危害表现为急性毒性作用、慢性毒性作用和皮肤黏膜损害作用。在工作场所中短时间高浓度接触胶黏剂挥发气体可导致急性职业中毒；长时间较低浓度接触可导致慢性职业中毒；皮肤黏膜接触可导致接触性皮炎或过敏性皮炎。目前尤以含苯胶黏剂使用过程中导致急慢性苯中毒事故的职业病危害最为严重，已引起国家卫生行政部门的高度重视。

五、职业病危害识别注意事项

鉴于胶黏剂种类繁多、成分复杂，在进行职业病危害因素识别时应注意以下几个问题：

① 同类型胶黏剂因加入的助剂不同，其毒性相差甚远，因此对于不同生产厂家、不同型号的产品，特别是“三无”产品应分别予以识别；

② 在生产过程中应根据所使用的原料与杂质、可能产生的中间产物与副产品等方面来进行职业病危害因素识别；

③ 在使用过程中可根据其产品说明书、工作场所散发的气味及检测结果来进行职业病危害因素识别；

④ 目前我国胶黏剂市场管理较乱，大量“三无”产品和假冒产品充斥市场，很多产品没有按照国家规定标明有害成分和警示标识，在胶黏剂使用过程职业病危害因素识别时，应对其产品来源和产品说明书的可靠性予以验证。

第二节 工艺简介

一、胶黏剂的生产

多数胶黏剂生产工艺简单，对设备要求不高。虽然不同种类的胶黏剂生产所用原料、工艺条件和设备不完全相同，但大致可分为配料、混合、反应、包装等几道生产工序。生产设备主要有反应釜、搅拌机、包装机及各类罐槽容器等。

其化学原料主要有以下几类。

1. 基料

基料是构成胶黏剂的主要基本成分，也是赋予胶黏剂胶接能力的基本成分，通常由一种或多种高分子聚合物组成。胶黏剂的胶接性能主要由基料决定。常用的有环氧树脂、酚醛树脂、脲醛树脂、聚氨酯等。

基料绝大多数属无毒或低毒类化学物质，但其中所含游离单体可能对人体有毒害作用。常见聚合物基料游离单体有甲醛、甲苯二异氰酸酯、丙烯酸、甲酚、酚、胺类环氧固化剂、苯酐、环氧氯丙烷、氯乙烯、苯乙烯、氯丁二烯、过氯乙烯、丁二烯、戊二烯、丙烯腈、丙烯酸酯、甲基丙烯酸酯等。

2. 溶剂

为达到稀释、溶解基料，改善胶接性能等目的，在胶黏剂中常需要加入一种或多种溶剂。胶黏剂使用的溶剂多为低黏度的液体物质，其种类繁多。常用溶剂除水外，主要有脂肪烃、酯类、酮类、氯化烃类、醚类和酰胺类有机物等，常用有机溶剂见表 12-1。值得注意的是，胶黏剂的毒性往往决定于溶剂的种类与含量。

表 12-1　胶黏剂常用有机溶剂

序号	有机溶剂类别	常用品种	适用范围
1	脂肪烃	汽油、环己烷	橡胶胶黏剂
2	芳香烃	苯、甲苯、二甲苯	橡胶胶黏剂、聚苯乙烯胶等
3	卤代烃	二氯甲烷、二氯乙烷、三氯甲烷、四氯甲烷、四氯乙烷、卤代苯	橡胶胶黏剂
4	醚类	四氢呋喃、乙醚	PVC 树脂胶
5	醇类	甲醇、乙醇、正丁醇、乙二醇、苯甲醇	酚醛树脂胶、缩醛胶、虫胶等
6	醇醚	乙二醇单甲醚	酚醛树脂胶
7	酮类	丙酮、丁酮、环己酮	酚醛树脂胶、环氧树脂胶、聚氯酯、缩醛胶、PVC 树脂胶、纤维素胶等
8	酯类	乙酸乙酯、乙酸丁酯、乙酸甲酯	酚醛树脂胶、环氧树脂胶、氯丁树脂、聚氨酯等
9	酰胺类	二甲基甲酰胺、二甲基乙酰胺	聚酰亚胺、聚苯并咪唑胶
10	砜类	二甲基亚砜	聚砜胶等

3. 固化剂与促进剂

固化剂是胶黏剂中最主要的配合材料。它直接或者通过催化剂与主体聚合物进行反应，固化结果把固化剂分子引进树脂中，使分子间距离、形态、热稳定性、化学稳定性等都发生了显著变化，使原来是热塑性的线型主体聚合物变成坚韧和坚硬的体型网状结构。

促进剂是加速胶黏剂中主体聚合物与固化剂反应、缩短固化时间、降低固化温度以及调节胶黏剂中树脂固化速度的一种配合剂。

常见的固化剂有乙二胺、二乙烯二胺、己二胺、脂肪胺、芳香胺等。

4. 填料及颜料

在胶黏剂中不与主体材料发生化学反应，但可改变其性能，降低生产成本的固体材料称为填料。能改变胶黏剂外观颜色的填料称为颜料。根据填料（颜料）的成分可分为无机填料（颜料）和有机填料（颜料）。其中无机填料（颜料）主要是矿物类，常见的品种有石英粉、云母粉、碳酸钙粉、蛭石粉、二氧化钛粉、滑石粉、炭黑粉、氧化锌粉、铝粉、氧化铝粉、锑粉及锑化合物粉、铅粉及铅化合物粉、铬酸盐粉、重铬酸盐粉、锰粉及锰化合物粉等。

5. 增塑剂

增塑剂是一种能降低高分子化合物玻璃化温度和熔融温度，改善胶层脆性，提高弹性和改进耐寒性，增进熔融流动性的物质。它在胶黏剂中与树脂混合时是不活泼的，可认为它是一个惰性的树脂状或单体状的“填料”。常见的增塑剂有邻苯二甲酸二甲酯、邻苯二甲酸二乙酯、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二戊酯、邻苯二甲酸二辛酯、磷酸三乙酯、磷酸三丁酯、磷酸三苯酯、亚磷酸三苯酯、磷酸三甲苯酯、己二酸二乙酯等。

6. 增韧剂

增韧剂是一种单官能团或多官能团的化合物，能与胶料起反应成为固化体系的一部分结构。增韧剂的活性基团直接参加胶料反应，对改进胶黏剂的脆性、开裂等效果较好，能提高胶的冲击强度和伸长率。有些增韧剂能降低胶固化时的放热作用和降低固化收缩率。有的还能降低胶的内应力。增韧剂能改进胶的剪切强度、剥离强度、低温性能和柔韧性。胶黏剂中常用的增韧剂有如下几种：

① 不饱和聚酯树脂，如 302 聚酯、304 聚酯、305 聚酯、3193 聚酯等；

② 橡胶类，如聚硫橡胶、丁腈橡胶、液体丁腈橡胶、氯丁橡胶、聚氨酯橡胶和氯磺化聚乙烯橡胶等；

③ 聚酰胺树脂，如由二聚或三聚的植物油、不饱和脂肪酸或芳香酸、烷基多元胺的低分子聚合物、改性尼龙等；

④ 缩醛树脂，如聚乙烯醇缩甲醛、聚乙烯醇缩乙醛、聚乙烯醇缩甲乙醛、聚乙烯醇缩丁醛、聚己烯醇缩糠醛等；

⑤ 聚砜树脂；

⑥ 聚氨酯树脂。

7. 偶联剂

在粘接过程中为了在胶黏剂和被粘物表面之间获得一坚固的粘接界面层，常利用含有反应基团的偶联剂与被粘物固体表面形成化学键来实现。偶联剂有若干类型，以硅烷及其衍生物为主。一般认为硅烷偶联剂黏度小，表面张力低，当涂抹在被粘物的表面上，就能立即展开，并容易渗透进被粘物表面极细微的空隙之中，显示了对材料表面作用的特征，这对促进粘接是有效的。另一类偶联剂是硅烷基过氧化物，它的特点是在热的作用下，偶联剂分解生成自由基，可以与烯类

聚合物发生交联，从而促进烯类聚合物的粘接。

8. 防老剂

胶黏剂中的高分子材料在加工或应用过程中，由于环境的影响而损伤或降低其使用性能的现象，称为聚合物的环境老化。导致胶层性能变化的环境因素主要有受力、光、热、潮、霉、化学试剂侵蚀等综合因素影响。

常用的有光屏蔽剂（如炭黑），它可以挡住紫外线等有害光照射分子链；紫外线吸收剂，它可以吸收有害的紫外线而转化成无害的能量，保护分子链不受破坏，这类物质有苯基水杨酸类、二苯酮类等；能量转移剂，它从已受激发的高分子那里吸收能量，使其转为稳定，如含镍或含钴的络合物等。

9. 增黏剂

它的主要作用是使原来不粘或难粘的材料之间的粘接强度提高，浸润性、柔性及韧性等得到改善。增黏剂大多是低分子树脂物质，有天然和人工合成产品，如硅烷和松香树脂及其衍生物、烷基酚醛树脂等。

10. 阻燃剂

阻燃剂用于改善胶黏剂的抗燃性，阻燃剂作为化工商品可以分为无机化合物和有机化合物两大类；按元素种类可分为溴系、氯系、磷系等阻燃剂；若按在聚合物中引入阻燃元素的方法，可分为添加型阻燃剂和反应型阻燃剂两大类。一般说来，无机阻燃剂比有机阻燃剂稳定性高、挥发性小、烟气毒性小、成本低。

二、胶黏剂的应用工艺

粘接工艺过程一般包括表面处理、配胶、涂胶、晾置、粘接、固化、检验、修整或后加工几个步骤。

（一）表面处理

被粘物表面处理如何，直接关系到粘接强度的高低、密封性能的优劣及耐久性，是粘接工艺中不可忽视的一个重要组成部分。

1. 非金属材料的表面处理

非金属材料包括橡胶、塑料、玻璃、木材等。非金属材料的表面处理有以下几种：

（1）机械处理　用砂纸打磨，去除表面的油污、脱膜剂、增塑剂等，然后涂胶粘接。

（2）物理处理　用电场、火焰等物理手段对被粘物进行表面处理，主要用于非极性高分子材料。

（3）火焰处理　用燃烧的气体火焰在被粘物表面进行瞬时灼烧，使其表面氧化，得到含碳的极性表面。

（4）放电处理　在真空或惰性气体环境中，对非金属材料进行高压气体放电处理，使其表面氧化或交联而产生极性表面，根据不同的装置可分为电晕、接触、辉光等放电法。

（5）等离子放电　等离子处理是用无电极的高频电场连续不断地提供能量，使等离子室内的气体分子激化成带正电离子和电子的等离子体，这些等离子以几百至几千毫升/分钟的气流速度碰撞要处理的材料表面，使其生成极性层。

（6）化学处理　非金属材料的化学处理是用酸、强氧化剂等将其表面的一切油污杂质清除掉，或将非极性表面通过氧化作用生成一层含碳极性物质以增强粘接效果。

化学处理法常用的化学试剂有重铬酸钠、浓硫酸、表面活性剂、偶联剂、氢氧化钠等。

可能存在的职业病危害因素：砂轮磨尘、炭黑尘、重铬酸钠、浓硫酸、表面活性剂、偶联剂、氢氧化钠、机械噪声与振动、高频电磁场、电弧光产生的紫外线、极低频电磁场等。在实际应用时因选择的处理方法不同而异。

2. 金属材料的表面处理

金属材料的表面处理主要包括除油、除锈和活化。

（1）金属材料表面除油　金属材料在机械加工和储存过程中，表面通常黏附着油污，它的存在严重影响着良好粘接力的形成。在粘接之前必须将它们全部去除。除油的方法主要有四种，即碱液除油、有机溶剂除油、电解除油以及超声波除油。超声波除油是将欲除油的工件放到超声波清洗槽中，槽中放有溶剂或含有表面活性剂的溶液，然后开动高频发生器，当超声波频率达到20～5000Hz时，产生的能量使槽内溶液翻动，并对工作表面进行冲刷，使油污等被冲击下来。超声波除油时，可根据被除油污的种类选择适宜的溶剂。

（2）金属材料表面除锈　金属材料表面的锈蚀层和污染物可以用机械或化学处理方法除掉。

机械方法是工业上常用的表面处理方法之一，可以直接去除表面的污物，而且还能获得一定的表面粗糙度，这对粘接密封十分有利。常用的方法有手工除锈、电动工具除锈和喷砂除锈等。

喷砂除锈是通过压缩空气将砂石喷射到金属表面，经强力摩擦与冲击作用清除锈蚀。用于喷砂的砂料有矿砂、河砂、海砂、刚玉砂、金刚砂、石英砂、玻璃珠、金属弹丸等。多用于大面积工件的处理。

化学除锈是将金属在活性溶液中进行化学腐蚀处理，不仅能使表面活化或钝化，还能在金属表面形成具有良好内聚强度的表面氧化层，这对形成牢固的粘接非常有利。化学除锈有化学侵蚀和电化学侵蚀两种。

化学侵蚀钢铁材料表面常用硫酸、盐酸或其他混合酸等。为防止产生的氢气向金属内部扩散而造成氢脆，一般在处理液中加入若丁或邻二甲苯硫脲。在处理铸铁件时，加入一些氢氟酸，以使其含有的硅变成氟硅酸。铝和铝合金常用10%的氢氧化钠水溶液侵蚀，再用硝酸处理。不锈钢常用浓硝酸和氢氟酸。铜及铜合金常用浓盐酸和浓硫酸。

电化学侵蚀是将金属放在电解槽中作为电极（阴极或阳极），在直流电的作用下，借助金属的电化学和化学溶解及金属上析出的气泡将表面的氧化层清除。把处理的金属作为阳极时，在电流作用下，金属表面析出氧气泡，作为阴极时析出的是氢气泡。阳极侵蚀用的电解液是15%～20%的硫酸溶液，温度10～30℃。

可能存在的职业病危害因素：机械除锈时产生矿砂尘、刚玉尘、石英尘等，并产生强烈的噪声和振动，化学除锈和电化学除锈时存在硫酸、盐酸、氢氟酸、氢氧化钠等多种酸碱物品及极低频电磁场等。

（二）配胶

对于单组分胶黏剂一般可以直接使用。但双组分或多组分胶黏剂必须在使用前按规定的比例严格配胶。

在配胶过程中可能有大量的有机溶剂挥发，有时为稀释胶液需加入一定的有机溶剂，如环氧树脂配胶时常加入丙酮作为稀释剂等。

可能存在的职业病危害因素：主要是胶黏剂本身或加入的稀释剂产生的有机挥发物，及搅拌机产生的噪声与振动等。

（三）涂胶

涂胶是指以适当的方法和工具将胶黏剂涂布在被粘物表面。涂胶的难易与其黏度的大小有很大关系。对于无溶剂胶黏剂，如果本身黏度太大或因温度低变得黏稠而造成涂胶困难时，可将被粘物表面用电吹风预热至40～50℃。当被粘物尺寸较大时，也可用氧乙炔火焰加热，使涂布后的胶黏剂黏度降低，易于浸润被粘物表面。对于溶剂型胶黏剂，由于黏度过大，可用相应的溶剂进行稀释，再进行涂布。

可能存在的职业病危害因素：主要是胶黏剂本身或加入的稀释剂产生的有机挥发物，及加热时产生的高温、热辐射等。

（四）晾置

胶黏剂涂敷后是否需要晾置，应在什么条件下晾置以及晾置多长时间，要根据胶黏剂的性质而定。

晾胶过程中可能存在的职业病危害因素同涂胶工序。

（五）粘接

粘接是将涂胶后或经过适当晾置的被粘物表面叠合在一起的过程。粘接后适当按压、锤压或滚压，以赶出空气，密实胶层。

（六）固化

固化又称硬化，对于橡胶型胶黏剂也叫硫化，是胶黏剂通过溶剂挥发、熔体冷却、乳液凝聚的物理作用，或交联、接枝、缩聚、加聚的化学作用，使其变为固体，并且有一定强度的过程。

为了获得固化良好的胶层，固化过程必须在适当的温度、时间、压力等条件下进行。

可能存在的职业病危害因素：主要是胶黏剂本身或加入的稀释剂产生的有机挥发物，加压时产生的噪声，加热时产生的高温、热辐射等。

在工业生产中胶黏剂的使用往往融合在生产线上的某道工序中。除配胶多为手工操作外，其他刷胶、固化等工序多数由生产线自动完成，减少了劳动者直接接触的机会。另一方面，由于粘接工序已融合在生产线上，往往又给粘接部位的密封与通风排毒设计带来困难，导致胶黏剂有毒气体的扩散。

此外，目前我国个体民营企业、手工作坊使用胶黏剂十分普遍，导致的职业病危害也十分突出。如制鞋、制衣、制箱、家具制造、玩具制造等使用含苯胶黏剂引起劳动者集体苯中毒事件已屡见不鲜。该类工作场所往往使用劣质胶黏剂，且缺乏必要的密闭通风条件，在职业病危害因素识别时务必引起高度重视。

第三节　几种常用胶黏剂职业病危害因素识别

一、聚乙烯醇缩甲醛胶

聚乙烯醇缩甲醛胶俗称为107胶。具有粘接力强、黏度大、耐水性好、原料易得、性能价格比高等优点。它被广泛应用于室内外装修工程，如瓷砖粘贴、石材粘贴、地板革粘贴、壁纸和墙布粘贴、内墙涂料和多种腻子胶的黏合剂等，是我国合成黏合剂的大宗品种之一，有建筑行业“万能胶”之称。

1. 应用领域

聚乙烯醇缩甲醛胶最初只是代替浆糊及动植物胶，用作文具胶水及粘贴皮鞋衬里等用。20世纪70年代开始用于民用建筑，80年代则广泛用于各种壁纸、玻璃纤维墙布、各种墙板、瓷砖之粘贴，目前用作大白粉浆、石灰浆、多种腻子胶的黏合剂，还用作内外墙涂料、水泥地面涂料的基料，及外墙饰面、墙体处理等各个方面。

2. 生产工艺

聚乙烯醇缩甲醛胶是以聚乙烯醇与甲醛在盐酸存在下进行缩合，再经氢氧化钠调整pH值制成。在此基础上，再以尿素进行氨基化处理，即可得改性聚乙烯醇缩甲醛胶，即801胶。

生产工艺十分简单，仅需简单的桶、罐、加热反应釜即可完成全部的生产过程。

3. 可能存在的职业病危害因素识别

聚乙烯醇缩甲醛胶生产以高浓度的甲醛溶液和聚乙烯醇为原料，在加热反应的过程中产生高浓度的甲醛蒸气，对生产工人产生危害。此外生产过程中还产生噪声和热辐射等职业病危害因素。

聚乙烯醇缩甲醛本身无毒、无害、无刺激。但在生产过程中反应不完全时，

形成甲醛的残留。在使用过程中游离甲醛挥发，造成严重的职业病危害。因此，该类胶黏剂属于高毒类品种，生产与使用时应做好现场通风排毒和个人防护。此外，在使用过程中可能还存在添加剂粉尘（如碳酸钙粉、水泥尘等）和噪声等。

目前采用新的工艺，使缩合反应趋于完全，可生产出含游离甲醛极低的聚乙烯醇缩甲醛胶，如518环保型胶等。另可在107胶的基础上，再加尿素进行氨基化处理，得到含甲醛极低的改性聚乙烯醇缩甲醛胶，即801胶。可在较大程度上降低聚乙烯醇缩甲醛胶使用过程中甲醛的职业病危害。

二、脲醛系列胶

脲醛树脂的生产已有60多年历史，目前仍是国内外木材工业的主要黏合剂。由于具有胶合强度高、固化快、操作性好、生产成本低、原料丰富易得等一系列优点，而得到广泛应用。

1. 生产工艺

脲醛树脂生产以尿素和甲醛为原料，其合成反应包括加成反应和缩聚反应两个阶段。首先甲醛与尿素在中性或弱碱性的介质中进行加成，生成比较稳定的羟甲基脲。

$$H_2NCONH_2 + CH_2O \longrightarrow H_2NCONHCH_2OH$$

$$H_2NCONH_2 + 2CH_2O \longrightarrow HOH_2CNHCONHCH_2OH$$

而后一羟甲基脲和二羟甲基脲在加热或酸性反应介质中脱水缩聚成线型结构的脲醛树脂。

在传统的生产工艺中，为增加树脂性能，减少生产成本，须加入过量的甲醛反应物，导致树脂中游离甲醛含量较高，增加了树脂使用过程中的毒性。

目前降低脲醛树脂中游离甲醛的含量有各种办法。其中最有效的方法是降低生产过程中甲醛与尿素的摩尔比。但减少甲醛的用量将会带来脲醛树脂生产工艺复杂化、终点难以控制、树脂固化时间延长、树脂胶合强度和储存稳定性降低等缺点。为此，目前市场上已开发出多次分批加入尿素的低毒脲醛树脂生产新工艺，在保证脲醛树脂性能的前提下可有效地降低其甲醛含量。

2. 可能存在的职业病危害因素识别

脲醛树脂本身无毒，在脲醛树脂生产过程中除大量使用合成原料甲醛和尿素外，还需用到控制产生化学反应条件的氢氧化钠和盐酸等。主要职业病危害因素是甲醛、盐酸雾、氢氧化钠、噪声和热辐射等。

在使用过程中主要是脲醛树脂中残留甲醛挥发导致的职业病危害，此外还可能存在添加剂的危害和机械加工过程中产生的噪声与热辐射等。

值得一提的是，游离甲醛含量超标的脲醛树脂人造板是导致“装修病”的主要原因。

三、聚醋酸乙烯胶黏剂

聚醋酸乙烯酯乳液（又称聚醋酸乙烯乳液），俗称白胶或白乳胶，是一种白

色黏稠液体，适用于木材、纸制品等纤维素类物品的胶接。广泛用于建筑、木工、皮革、塑料、包装和装订等行业。还可进一步制作水泥增强剂和水性乳化漆等。为应用最广的胶黏剂之一。

1. 生产工艺

聚醋酸乙烯酯乳液是用聚醋酸乙烯单体经乳化聚合反应制得的一种热塑性胶，其外观为细腻黏稠白色乳液。该胶黏剂配制简单，仅需简单的反应釜即可完成。在生产工艺过程中需加入少量的邻苯二甲酸二丁酯、醇类化合物、甲醛、苯酚等多种有机添加剂。

聚醋酸乙烯酯乳液固化后无色透明，使用方便，常温下可快速固化，只需很短的压紧时间，就可得到较高的粘接强度。并有热塑性，能热熔，可采用热压粘接。

2. 可能存在的职业病危害因素识别

在生产和使用聚醋酸乙烯酯乳液胶过程中，添加到乳液中的甲醛、邻苯二甲酸二丁酯、醇类化合物、苯酚等多种有机溶剂可能污染工作场所，并存在生产性噪声和热辐射等职业病危害因素。

四、环氧树脂胶黏剂

环氧树脂胶黏剂是由环氧树脂、固化剂及各种添加剂混配而成，俗称万能胶。商品胶将树脂和固化剂分别双组分包装，用时临时混配。它具有黏合力强、收缩率小、尺寸稳定、毒性低、对大部分材料都具有良好的黏合能力等特点，是当前应用前景最广泛的胶种之一。

环氧树脂是指含有环氧基的线型高分子化合物。其品种繁多，主要有两大类：一类是缩水甘油基型环氧树脂，包括双酚 A 型环氧树脂、缩水甘油酯环氧树脂、环氧化酚醛、氨基环氧树脂等；另一类是环氧化烯烃，如环氧化聚丁二烯等。

（一）生产工艺

1. 环氧树脂的合成

环氧树脂种类繁多，但用作胶黏剂的主要为双酚 A 缩水甘油醚型环氧树脂。双酚 A 缩水甘油醚由环氧氯丙烷和双酚 A 通过缩聚反应生成，它是热塑性的聚合物。双酚 A 型环氧树脂生产工艺流程如图 12-1。

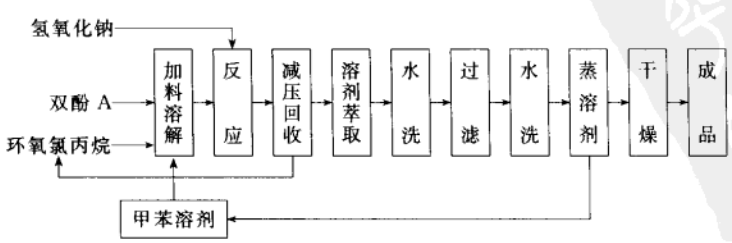


图 12-1 双酚 A 型环氧树脂生产工艺流程

相对分子质量小于900、聚合度小于2的双酚A型环氧树脂称为低分子量的环氧树脂；相对分子质量在900～1500、聚合度2～4的称为中分子量环氧树脂；相对分子质量在2900～8000、聚合度9～30的称为高分子量环氧树脂；相对分子质量在10万～45万称为超高分子量环氧树脂。

2. 环氧树脂胶黏剂的原料

为了适应不同粘接材料的需要，环氧树脂胶黏剂中需加入稀释剂、填料等各种不同的辅助材料。

（1）环氧树脂合成原料　环氧树脂合成原料主要有环氧氯丙烷、双酚A、氢氧化钠和甲苯等。

（2）固化剂　环氧树脂固化剂种类很多，常用的有胺类（已二胺、三乙烯四胺、低分子聚酰胺等）固化剂、酸酐类（顺丁烯二酸酐、邻苯二甲酸酐、70酸酐等）固化剂、改性胺（591、703、593等）固化剂、咪唑类固化剂、潜伏性固化剂（双氰胺）等。选择不同的固化剂，可以配成性能各异的环氧树脂胶黏剂。

（3）稀释剂　加入稀释剂的目的是降低环氧树脂体系的黏度。非活性稀释剂不参与固化反应，在胶黏剂固化过程中，随温度升高和时间延长会完全挥发掉，如丙酮、甲苯、乙酸乙酯等溶剂。活性稀释剂是含有一个或一个以上环氧基的化合物，如环氧丁基醚（501#）、环氧丙烷苯基醚（690#）、二缩水甘油醚（600#）等，它们能参与固化反应结合到产物结构中，影响环氧树脂胶黏剂的耐热性能和物理力学性能。

（4）填料　在环氧树脂中加入填料可降低热膨胀系数和固化收缩率，提高耐热性、粘接强度、硬度和耐磨性，降低胶黏剂的成本，改善触变性等。常用填料的种类有石英粉、刚玉粉、钛白粉、云母粉、各种金属粉、二硫化钼、石墨、石棉粉、玻璃纤维、碳酸钙、水泥、陶土、滑石粉等。

3. 常用环氧树脂胶黏剂的配方

环氧树脂胶黏剂由环氧树脂、固化剂、增韧剂、促进剂、稀释剂以及填料等配制而成。一般根据被粘接的材料性质和所要求的粘接性能来选择环氧树脂的牌号、添加的组分种类和配比。如胺类固化剂的特点是耐化学品性能好，脂肪胺、聚酰胺能作室温固化剂，而芳香族二胺需加热固化，固化产物的耐热性、机械强度、耐腐蚀性远比脂肪胺好。

（1）通用环氧树脂胶黏剂　通用环氧树脂胶黏剂应具有一定的韧性，选择液体聚硫橡胶、液体丁腈橡胶作增韧剂，脂肪胺、芳香胺、改性胺、低分子聚酰胺等作固化剂。

（2）环氧结构胶黏剂　这类环氧胶黏剂要求具有高的粘接强度，选用改性的环氧树脂做基料，如环氧-丁腈、环氧-酚醛、环氧-聚氨酯、环氧-尼龙、环氧-缩醛等。固化剂一般选用双氰胺、2-乙基-4-甲基咪唑、间苯二胺等。

（3）耐高温环氧树脂胶黏剂　耐高温环氧树脂胶黏剂包括通过选用耐高温树

脂（如酚醛树脂、有机硅树脂、聚砜树脂等）改性的环氧树脂，采用耐高温固化剂的方法制备耐高温环氧树脂，及直接合成新型耐高温环氧树脂（如多官能团环氧树脂、双酚S环氧树脂）等。

（4）耐低温环氧树脂胶黏剂　在环氧树脂胶黏剂中引入在低温下仍具有柔韧性的聚合物，如用聚氨酯、尼龙、弹性体改性的环氧树脂，可以制得耐超低温环氧树脂胶黏剂。

（5）导电性环氧树脂胶黏剂　在环氧树脂胶黏剂的配方中加入导电性填料可制得导电性环氧树脂胶黏剂。常用导电性填料有金属和非金属粒子两大类，如银粉、金粉、铜粉、镍粉、导电石炭黑等。

（6）其他类　根据一些特殊需要还有光学环氧树脂胶黏剂、导磁环氧树脂胶黏剂、导热环氧树脂胶黏剂、耐磨环氧树脂胶黏剂、环氧树脂密封胶黏剂等。

（二）可能存在的职业病危害因素识别

环氧树脂属低毒类有机物，在生产和使用过程中其职业病危害因素主要决定于所选固化剂种类以及所含各类助剂的品种与含量。使用不同品种的环氧树脂胶黏剂，其职业病危害因素相差较大，主要有以下几类：

① 毒物，主要有双酚A、环氧氯丙烷、丙酮、甲苯、乙酸乙酯、环氧丁基醚、环氧丙烷苯基醚、二缩水甘油醚、己二胺、三乙烯四胺、低分子聚酰胺、顺丁烯二酸酐、邻苯二甲酸酐、70酸酐、双氰胺等；

② 粉尘，主要有石英粉尘、刚玉粉尘、钛白粉尘、云母粉尘、各种金属粉尘、二硫化钼粉尘、石墨粉尘、石棉粉尘、玻璃纤维尘、碳酸钙尘、水泥尘、陶土尘、滑石粉尘等；

③ 物理因素，主要是机械噪声与振动、高温与热辐射等。

五、酚醛树脂胶黏剂

以酚类与醛类缩聚而成的树脂统称为酚醛树脂。酚醛树脂胶黏剂的主要成分是酚醛树脂，它是应用最早和最广泛的一类胶黏剂，其特点是粘接力强、能耐高温等。主要用于粘接木材和纸制品等。

（一）生产工艺

1. 酚醛树脂的合成

随其工艺配方不同又分为热塑性酚醛树脂和热固性酚醛树脂！酚醛树脂的合成必须在酸性或碱性催化剂存在下进行，以37%～40%甲醛水溶液和纯苯酚作原料。当甲醛过量时，在碱性催化剂作用下合成的是热固性酚醛树脂；当甲醛欠量时，在酸性催化剂作用下合成的是热塑性酚醛树脂。

在热固性酚醛树脂中，甲醛过量，苯环上具有足够的活性羟甲基基团，只要加热即可直接交联。热塑性酚醛树脂的固化需加入固化剂，常用的有六亚甲基四胺和多聚甲醛等。

生产酚醛树脂的主要化学原料有：

① 酚类，如苯酚、二甲酚、间苯二酚、多元酚等；

② 醛类，如甲醛、乙醛、糠醛等；

③ 催化剂，如盐酸、草酸、硫酸、对甲苯磺酸、氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化钡、氨水、氧化镁和乙酸锌等。

2. 酚醛树脂胶黏剂种类

为改善酚醛树脂胶黏剂固化后胶层的脆性，常通过加入橡胶和塑料来增韧，形成改性酚醛树脂胶黏剂。常用的有酚醛-丁腈橡胶胶黏剂、酚醛-有机硅胶黏剂和酚醛-缩醛-有机硅胶黏剂等。在改性酚醛树脂胶黏剂的配方中，需加入防老剂、硫化剂、溶剂和填料等各组分，其数量取决于所选用酚醛树脂品种以及制件对胶黏剂的要求。几个典型的改性酚醛树脂胶黏剂的化学配方见表 12-2。

表 12-2 常用改性酚醛树脂胶黏剂化学成分

序号	胶黏剂名称	化 学 · 配 方
1	酚醛-丁腈橡胶胶黏剂	丁腈混炼胶、酚醛树脂、氯化亚锡、没食子酸丙酯、乙酸乙酯、石棉粉
2	酚醛-缩醛-有机硅胶黏剂	酚醛树脂、聚乙烯醇缩丁醇、聚有机硅氧烷、防老剂 4010、没食子酸丙酯、六亚甲基四胺、苯、乙醇
3	酚醛-有机硅胶黏剂	聚硼有机硅氧烷、酚醛树脂、酸洗石棉、氧化锌、丁腈橡胶-40、丁酮

（二）酚醛树脂胶黏剂的应用

1. 木材加工

酚醛树脂胶黏剂最主要的用途之一是用于胶合板的制造。包括涂胶、涂胶单板干燥、组织和预压、热压胶合等四个重要工序。刨花板则利用刨花和木质碎片为原料，先将酚醛树脂胶黏剂拌和在其表面上，再在 180～200℃ 和 1.1～1.3MPa 压力下热压制成。在纤维板的生产中，也常用到酚醛树脂胶黏剂。

2. 铸造加工

在铸造加工中，酚醛树脂用作型砂胶黏剂。用量一般为 2%～3%或更少。

将石墨粉与热固性酚醛树脂胶黏剂组成的糊精浇注到模具内，在常压下成型，可制备石墨零件或材料。此外将液体或粉状酚醛树脂胶黏剂与磨料和填料混合，粘接后可制备砂轮。

3. 绝缘材料

酚醛树脂胶黏剂可用作绝缘密封胶，用于绕组线圈、电容、电阻变压器和半导体元件等。还可用来粘接启动器、普通灯泡、变压器以及印刷电路等。

4. 结构胶黏剂

酚醛树脂经过改性后，强度和韧性大大提高，使用温度范围扩大。可用于航空、车辆制造方面，如刹车衬里与闸瓦、马达皮带与离合器、闸瓦底座与圆盘衬垫等零件的粘接组装。

（三）可能存在的职业病危害因素识别

酚醛树脂本身属于低毒类物质，但在其胶黏剂生产中加入了较多的化学

毒物。

在酚醛树脂生产过程中可能存在酚类（苯酚、二甲酚、间苯二酚、多元酚等）、醛类（甲醛、乙醛、糠醛等）、催化剂（盐酸、草酸、硫酸、对甲苯磺酸、氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化钡、氨水、氧化镁和乙酸锌等）多种毒物，并存在噪声、高温等物理性有害因素。

在酚醛树脂胶黏剂生产过程中可能存在石棉粉尘、酚醛树脂尘、丁腈混炼胶尘、苯、氯化亚锡、没食子酸丙酯、乙酸乙酯等多种毒物和粉尘，并存在机械噪声与振动、高温、热辐射等。

酚醛树脂胶黏剂的应用主要存在挥发的多种有机溶剂、粘接物料粉尘以及加工过程产生的噪声与振动、高温与热辐射等。

六、橡胶类胶黏剂

几乎所有的合成橡胶及天然橡胶都可以配成胶黏剂。橡胶胶黏剂一般可以分为溶剂型及乳液型两大类。溶剂型橡胶胶黏剂配制方便，应用广泛，但对环境有污染，而且成本也较高。乳液型制备比溶液型复杂，但成本较低，对环境污染极小，毒性低，因而近年来发展很快。

配制橡胶胶黏剂胶液又分为非硫化型和硫化型两种。前者一般以天然橡胶、环化橡胶、再生橡胶等加入溶剂直接配制而成。后者则要将橡胶加以塑炼，在配制时加入硫化剂、促进剂、防老剂、补强剂等助剂，再经混炼切片溶于有机溶剂而制成。硫化型橡胶胶黏剂又有室温硫化及高温硫化两种。室温硫化橡胶胶黏剂制造工艺简单，使用方便，应用较广泛，但强度一般较低。

（一）氯丁橡胶胶黏剂

以氯丁橡胶为主体材料制成的胶黏剂称为氯丁橡胶胶黏剂。氯丁橡胶是由氯丁二烯以乳液聚合方法制得。氯丁二烯可以用石油产品丁二烯氯化或以乙炔法制备。

1. 生产工艺

氯丁橡胶经溶剂溶解就可以配制成氯丁橡胶胶黏剂，但性能较差，因而常用的各种氯丁橡胶胶黏剂都是以氯丁橡胶为主体，加入各种树脂、硫化剂、促进剂、填料等以改善胶黏剂的性能。氯丁橡胶与天然橡胶一样可以加入硫化体系进行硫化，使其链状结构形成网状或体状结构，强度得到加强。其生产工艺见图 12-2。

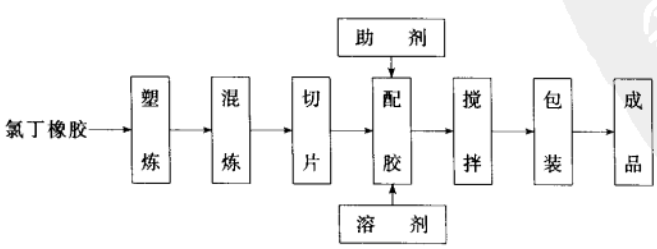


图 12-2　氯丁橡胶胶黏剂生产工艺

在加工、储存、使用过程中，由于受到外界因素如热、光、氧、水、射线、机械力和化学的作用，氯丁橡胶发生一系列物理或化学变化，如交联变脆、裂解发黏、变色龟裂、粗糙起泡、表面粉化等，逐渐丧失力学性能而不能使用，这种现象称之为老化。为了延长它的使用寿命，可以加入一些防老剂，如抗氧剂、光稳定剂、热稳定剂、变价金属抑制剂等。常用的防老剂为萘胺类，如防老剂 D（*N*-苯基-*β*-萘胺）、防老剂 A（*N*-苯基-*α*-萘胺）。也可以用污染性小的苯酚类防老剂，如防老剂 SP（苯乙烯化苯酚）、防老剂 BHT（2,6-二叔丁基对甲酚）等。

氯丁胶黏剂有时也用硫化促进剂来提高胶黏剂的耐热性，常用的有多异氰酸酯、硫脲类及胺类、三异氰酸苯酯甲烷、均二苯硫脲、乙烯硫脲、三乙基亚甲基三胺等。

氯丁橡胶胶黏剂的溶剂选择十分重要。它不但直接影响到胶液的浓度、黏度、胶液稳定性、挥发速度、黏性保持期、初粘力等，而且也影响到粘接强度。氯丁橡胶易溶于芳烃及氯化烃，微溶于汽油、丙酮、乙酸乙酯等溶剂。常用于氯丁橡胶胶黏剂的溶剂有苯、邻二氯苯、硝基苯、甲苯、二甲苯、四氯化碳、环己烷、乙酸乙酯、丙酮、异戊醇和正己醇等。

2. 可能产生的职业病危害因素

在生产和使用氯丁橡胶胶黏剂过程中，职业病危害因素主要决定于所选溶剂和助剂的品种与含量。使用不同品种氯丁橡胶胶黏剂，其职业病危害因素也不同，主要有以下几类：

① 毒物，主要有 *N*-苯基-*β*-萘胺、*N*-苯基-*α*-萘胺、苯酚、苯乙烯、2,6-二叔丁基对甲酚、三异氰酸苯酯甲烷、均二苯硫脲、乙烯硫脲、三乙基亚甲基三胺、苯、邻二氯苯、硝基苯、甲苯、二甲苯、四氯化碳、环己烷、乙酸乙酯、丙酮、异戊醇和正己醇等；

② 物理因素，主要是机械噪声与振动、高温等。

（二）双组分氯丁橡胶胶黏剂

为改善氯丁胶黏剂对金属及某些非金属的粘接性能，提高粘接强度，可用交联剂与氯丁胶液配合成双组分氯丁胶黏剂。最常用的交联剂有多异氰酸酯（如四异氰酸酯、三异氰酸酯等）、磷酸酯（三苯基硫代磷酸酯）和硫脲类（二苯硫脲、乙酰硫脲等）。它们可以使胶膜在室温下快速硫化并能提高胶膜的耐温性能。使用时要把两组分混合均匀。典型双组分氯丁胶黏剂化学成分为：

① 甲组分，主要有氯丁橡胶、氧化镁、氧化锌、防老剂、汽油、乙酸乙酯等；

② 乙组分，主要有三苯基甲烷三异氰酸酯、二氯乙烷等。

可能存在的职业病危害因素：氧化镁、氧化锌、防老剂、汽油、乙酸乙酯、二氯乙烷等毒物，以及机械噪声与振动等。

（三）其他型氯丁橡胶胶黏剂

为降低氯丁橡胶胶黏剂成本，提高其强度，有时在氯丁橡胶胶黏剂中加入大

量无机填料，可制成填料型氯丁橡胶胶黏剂。常用的填料有白炭黑、水合硅酸钙、陶土、碳酸钙、炭黑等。

用乳液聚合的氯丁橡胶乳液直接加入各种配合剂可制成水基型氯丁橡胶胶黏剂（又称氯丁胶乳胶黏剂、氯丁乳胶等）。需加入硫化剂、稳定剂、防老剂、增黏剂、增稠型填料等。

（四）丁腈橡胶胶黏剂

丁腈橡胶是丁二烯与丙烯腈的共聚物，以本体聚合方法共聚可以得到丁腈橡胶片胶，也可以采用乳液聚合得到丁腈胶乳，再经干燥制取丁腈橡胶，工业上乳液聚合的方法应用更为广泛。

丁腈橡胶以耐油性著称，耐热性、绝缘性均优于氯丁橡胶。与氯丁橡胶胶黏剂相似，丁腈橡胶胶黏剂在配制上也需加入各种配合剂，主要有硫化剂、防老剂、增塑剂、补强剂等。

常用配合剂有硫黄、氧化锌、苯并噻唑硫化物、二硫化二苯并噻唑、*N*,*N*-二环己基苯硫脲、防老剂 SP、防老剂 MB、硬脂酸、磷酸三甲酚酯、磷酸三丁氧基乙酯、邻苯二甲酸二丁酯（或二辛酯）、氯化碳酸二丁酯等。

溶剂主要有丙酮、三氯甲烷、二氯乙烯、三氯乙烯、乙酸乙酯、硝基甲烷、硝基乙烷、硝基丙烷、氯苯、氯甲苯、乙酸丁酯等。

可能存在的职业病危害因素：硫黄、氧化锌粉尘，丁二烯、丙烯腈、丙酮、三氯甲烷、二氯乙烯、三氯乙烯、乙酸乙酯、硝基甲烷、硝基乙烷、硝基丙烷、氯苯、氯甲苯、乙酸丁酯等。

（五）橡胶类胶黏剂的应用

橡胶类胶黏剂对大多数材料都有良好的粘接性能，具有广泛的适用性，被誉为非结构型的万能胶。常用橡胶类胶黏剂品种有氯丁橡胶、丁腈橡胶、丁基橡胶、丁苯橡胶、聚硫橡胶、天然橡胶等。在制鞋、航空、交通、建筑、机械、轻工等行业应用广泛。其中氯丁橡胶胶黏剂应用最多，主要用于制鞋业，少量用于汽车、家具和建筑装潢等。含苯氯丁橡胶胶黏剂的广泛使用是导致我国目前中小型企业职业病危害严重的原因之一。

七、聚氨酯胶黏剂

聚氨酯胶黏剂是以多异氰酸酯和聚氨酯为基本组分的胶黏剂，以其良好的粘接性能、工艺性能、固化胶层韧性、低温固化性能及色泽浅等特点而越来越多地被应用。目前在鞋用胶黏剂中，聚氨酯胶黏剂已开始逐步取代氯丁橡胶类胶黏剂。其溶剂主要有苯系物、醇类、酮类等，如甲苯、丙酮、丁醇、二丙酮醇等。因此在生产和使用过程中存在多异氰酸酯、聚氨酯、苯系物、醇类、酮类等职业病危害因素。

八、溶液型胶黏剂

溶液型胶黏剂是将高分子的均聚物或共聚物溶于适当的溶剂中，配成一定浓

度高分子溶液的胶黏剂。具有配制简单、使用方便等特点。其职业病危害因素主要决定于所使用的溶剂种类，常用的品种有三氯甲烷、甲苯、丙酮等。

综上所述，几种常用胶黏剂生产与使用过程中存在的职业病危害因素汇总如表 12-3。

表 12-3 常用胶黏剂职业病危害因素

胶黏剂种类	主要基料	商品名	生产过程中职业病危害因素	使用过程中职业病危害因素
聚乙烯醇缩甲醛胶黏剂	聚乙烯醇缩甲醛	107 胶、106 胶等	甲醛、高温、噪声	甲醛、碳酸钙粉尘等
脲醛树脂胶黏剂	脲醛树脂	脲醛树脂胶	甲醛、高温、噪声	甲醛、脲醛树脂粉尘等
聚醋酸乙烯胶黏剂	聚醋酸乙烯	白乳胶	邻苯二甲酸二丁酯、甲醛、苯酚、高温、噪声等	邻苯二甲酸二丁酯、甲醛、高温、噪声等
环氧树脂胶黏剂	环氧树脂、固化剂	万能胶	环氧氯丙烷、双酚 A、氢氧化钠、甲苯、氨气、高温、噪声等	丙酮、甲苯、乙酸乙酯、环氧丁基醚、环氧丙烷苯基醚、二缩水甘油醚、己二胺、三乙烯四胺、低分子聚酰胺、顺丁烯二酸酐、邻苯二甲酸酐、乙二胺、邻苯二甲酸二丁酯、丙酮、石英砂、高温、噪声等
酚醛树脂胶黏剂	酚醛树脂	酚醛树脂胶	苯酚、二甲酚、间苯二酚、多元酚、甲醛、乙醛、糠醛、盐酸、草酸、硫酸、对甲苯磺酸、氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化钡、氨水、氧化镁和乙酸锌、苯、氯化亚锡、石棉粉尘、高温、噪声等	甲醛、丙酮、苯、粉尘、高温、噪声等
聚氨酯胶黏剂	聚氨酯、多异氰酸酯	聚氨酯胶	甲苯二异氰酸酯、甲苯、丙酮、丁醇、二丙酮醇、噪声等	苯、甲苯、丙酮、丁醇、二丙酮醇、噪声等
氯丁橡胶胶黏剂	氯丁橡胶	氯丁橡胶胶、万能胶	*N*-苯基-*β*-萘胺、*N*-苯基-*α*-萘胺、苯酚、苯乙烯、2,6-二叔丁基对甲酚、三异氰酸苯酯甲烷、均二苯硫脲、乙烯硫脲、三乙基亚甲基三胺、苯、邻二氯苯、硝基苯、甲苯、二甲苯、四氯化碳、环己烷、乙酸乙酯、丙酮、异戊醇、正己醇、高温、噪声等	苯、甲苯、二甲苯、四氯化碳、环己烷、丙酮、丁醇、乙酸丁酯、二丙酮醇、噪声等
丁腈橡胶胶黏剂	丁腈橡胶	丁腈橡胶胶	硫黄、氧化锌、苯并噻唑硫化物、防老剂 SP、防老剂 MB、邻苯二甲酸二丁酯、氯化碳酸二丁酯、噪声等	丙酮、三氯甲烷、二氯乙烯、三氯乙烯、乙酸乙酯、硝基甲烷、氯苯、氯甲苯、噪声等

第四节 职业病危害防护措施分析

由于胶黏剂品种繁多，应根据生产或使用不同特点的胶黏剂采取相应的防护措施，主要包括技术措施、工程措施和个人防护措施三个方面。

1. 技术措施

在胶黏剂生产方面，通过技术创新，积极探索用无毒或低毒的物质代替有毒或高毒物质的生产工艺技术，这是消除胶黏剂职业病危害的最根本的措施。近年来，国内外在胶黏剂无毒化方面取得了可喜的进展，如无溶剂胶和水溶剂胶得到了大力推广应用，用二甲苯代替苯、庚烷代替正己烷作溶剂等。但是完全做到无毒化，从根本上解决胶黏剂的职业病危害问题还有一定的技术难度。

在胶黏剂使用方面，应在满足工艺需要的前提下，尽量选用那些毒性小的胶黏剂，并应在工艺设计时尽量集中使用、减少用量，同时应提高对“三无产品”的识别能力。

2. 工程措施

在胶黏剂生产过程中采用管道投料、密闭化、机械化、连续化生产工艺，可以有效地避免有毒物质对劳动者的职业病危害。

在胶黏剂使用过程中根据实际情况可采取密闭化、机械化生产，避免劳动者直接接触，或采取局部通风、全面通风等工程措施，以降低工作场所有毒物浓度。

针对预防胶黏剂使用过程中职业病危害而开发的多功能净化工作台较好地解决了小型粘接工作场所职业病危害问题。该工作台可设计多个操作岗位，每个操作岗位包括密闭抽风管、抽风罩、操作孔、刷胶台面、晾胶架、工作灯、红外加热器等，工作人员通过操作孔隔离操作，有效地减少了劳动者接触毒物的机会。

3. 个人防护措施

工作人员的个人防护措施包括避免呼吸道吸入和皮肤直接接触两方面。对于在毒物浓度较高的场所中工作，特别是事故处理、反应釜、反应罐等密闭容器清理等，应配戴过滤式防毒面罩或供气式防护面罩等。

手工配胶、刷胶等操作过程中应戴手套，避免皮肤直接接触胶液，可有效地预防胶黏剂对皮肤的损害。

此外，加强对工作人员的健康监护，实施上岗前和定期体检制度，可有效地排除职业禁忌证，早期发现职业性健康损害，有效地保护劳动者健康。

（杨乐华）

第十三章　机械制造

机械制造是一门古老而年轻的学科，是各种工业的基础。机械制造水平是国家工业化水平和发达程度的重要标志。机械制造工业涉及范围广泛，产业工人队伍庞大，全国有上百万劳动者从事机械制造产业。其基本生产过程可概括为铸造、锻造、热处理、机械加工和装配等生产工序（图 13-1）。

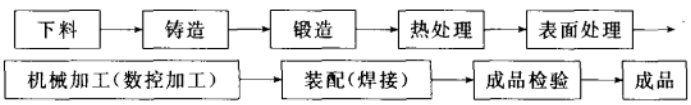


图 13-1　机械制造生产工艺流程

一个机械产品的制造过程包括零件制造、整机装配等一系列的工作。零件的加工实质是零件表面的成形过程，这些成形过程是由不同的加工方法来完成的。在一个零件上，被加工表面类型不同，所采用的加工方法也就不同。本章重点对机械制造工业中的铸造、锻造、热处理、机械加工、装配等工序的生产工艺和职业病危害因素识别分别进行阐述，而表面处理和焊接等工艺将在专门的章节（第十四章焊接工艺、第十五章表面处理）中进行阐述，在此不再复述。

第一节　铸　造

铸造是熔炼金属、制造与零件形状相适应的铸型，并将液态金属浇注到铸型中，待其冷却凝固后，获得铸件或毛坯的工艺方法。铸造的实质是利用熔融金属的流动性来实现成型。

用于铸造的金属统称为铸造合金，常用的铸造合金有铸铁、铸钢和有色金属。其中铸铁，特别是灰口铸铁应用最普遍。铸造方法很多，但最基本的方法是砂型铸造。

一、铸造用砂的种类

随着人工合成和天然矿石改性技术的应用，铸造用砂品种越来越多。常用的品种有下列几种。

1. 石英砂

在铸造生产中，石英砂是应用最广、用量最大的铸造用砂。石英砂的主要矿物组成是石英，其次为长石以及少量的云母、铁的氧化物、硫化物和碱金属氧化物等。铸钢件一般采用二氧化硅含量为96%～98%的石英砂，铸铁件及小型铸钢件一般采用二氧化硅含量为90%～93%的石英砂。

2. 电熔刚玉

电熔刚玉是一种纯氧化铝耐火材料，多由人工合成，纯的天然刚玉自然界很少存在。

3. 铝硅酸盐耐火材料

铝硅酸盐耐火材料以三氧化二铝和二氧化硅为主要化学组成，同时含有少量的三氧化二铁、氧化钛、氧化钙、氧化镁、氧化钠和氧化钾等杂质。

4. 铬铁矿砂

铬铁矿砂的主要矿物组成为铬铁矿、镁铬铁矿和铝镁铬铁矿。其化学成分主要为Cr_2O_3，其次为MgO、FeO、Al_2O_3和少量的SiO_2及其他杂质等。铸造用的铬铁矿砂的Cr_2O_3含量应不少于36%，最好大于50%。

5. 锆砂

锆砂包括二氧化锆和硅酸锆两种，由于二氧化锆的来源少，故主要采用硅酸锆。

6. 镁砂

镁砂的主要化学成分为MgO，它是由菱镁矿（$MgCO_3$）在高温下燃烧后经破碎、筛分而获得的。含有少量二氧化硅、氧化钙和三氧化二铁等杂质。

7. 橄榄石砂

橄榄石是正硅酸镁（Mg_2SiO_4）和正硅酸铁（Fe_2SiO_4）两种硅酸盐的固溶体。同时含有少量的其他矿物，如蛇纹石、绿泥石、滑石和碳酸盐等。

二、工艺简介与职业病危害因素识别

铸造工艺基本工序包括造型、合金熔炼、浇注、铸件清砂等，见图13-2。

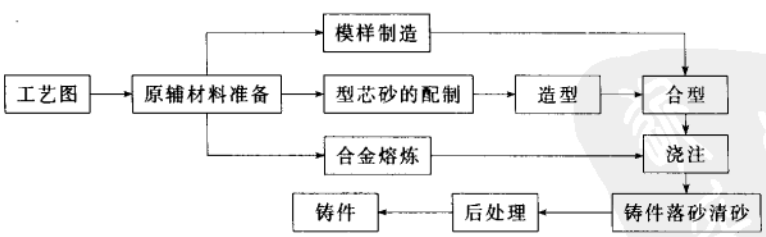


图13-2 铸造工艺流程

（一）造型（芯）

制造砂型的工艺过程叫做造型，制造砂芯的工艺过程叫做制芯，也叫造芯。造型和造芯是铸造生产中最重要的工艺过程之一。随着科学技术和生产的不断发

展，尤其是高分子化学和无机化学的巨大成就，为砂型铸造技术的迅速发展奠定了基础。新的铸造黏结剂不断出现，可供铸造工作者选择的造型（芯）方法越来越多。从手工造型到机器造型，从湿砂型到壳型，从真空密封造型到冷芯盆法造型。造型（芯）方法按机械化程度可分为手工造型（芯）和机器造型（芯）两大类。

手工造型是指用手工完成紧砂、起模、修整及合箱等主要操作的造型（芯）过程。手工造型（芯）劳动强度大，劳动者直接接触粉尘和化学药品，职业危害较大。

机器造型（芯）是用机器全部完成或至少完成紧砂操作的造型方法。和手工造型相比，机器造型的生产率高，质量稳定，工人劳动强度低，劳动者接触粉尘和化学药品的机会少，职业危害相对较小。常用的方法有如下几种：

（1）气压造型法　它是将储存在压力罐内的压缩空气突然释放出来，作用在砂箱里松散的型砂上面，使其紧实成型，或利用可燃气体燃烧爆炸产生的压力波使型砂紧实成型。

（2）冷冻造型法　采用普通石英砂作为骨架材料，加入少量的水和黏土，按普通造型方法制好铸型后送入冷冻室，借助于包覆在砂粒表面的冰冻水分而实现砂粒的结合，使铸型具有很高的强度及硬度，浇注时，铸型温度升高，水分蒸发，铸型逐步解冻，稍加震动立即溃散。

（3）实型铸造法　又称“气化模造型”、“泡沫聚苯乙烯塑料模造型”、“消失模铸造”或“无型腔铸造”等，这种铸造方法的实质是采用泡沫聚苯乙烯塑料模样代替普通模样，造好型后不取出模样就浇入金属液，在灼热液体金属的热作用下，泡沫塑料模气化和燃烧而消失，金属液取代了原来泡沫塑料模所占据的空间位置，冷却凝固后即可获得所需要的铸件。

造型用的模样根据所用材料的不同可分为木模、金属模、塑料模、气化模（泡沫塑料膜、实体模）等。机器造型按实型砂的方法有震实、压实、展压、微震压实、射砂紧实、抛砂紧实等。常用胶合剂主要成分为滑石粉、煤粉、石墨、水玻璃、膨润土、黏土等。

主要存在的职业病危害因素：造型（芯）过程中产生大量的型砂尘，其粉尘性质及危害性大小主要决定于型砂的种类，如选用石英砂造型时，因游离二氧化硅含量很高，其危害最大；另外还有震实、压实等机械设备产生的噪声与振动等，其中气压造型法产生高强度的脉冲噪声。

（二）砂型与砂芯的烘干

大型、重型以及质量要求高的铸件，普通砂型和砂芯均需经过烘干，以除去其水分，提高其强度和透气性，减少发气量，使铸件不易产生气孔、砂眼、夹砂等缺陷，从而保证铸件的质量。烘干一般包括升温预热、高温加热和炉内冷却三个阶段。

主要存在的职业病危害因素：砂型和砂芯烘干设备产生高温与热辐射；如果采用煤或煤气作燃料还会产生一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫和氮氧化物等；如果采用高频感应炉或微波炉加热时，则存在高频电磁场和微波辐射。

（三）合箱

合箱是把砂型和砂芯按要求组合在一起成为铸型的过程。习惯上也称拼箱、配箱或扣箱。铸型的合箱是制备铸型的最后工序。

主要存在的职业病危害因素：合箱过程产生的型砂尘。

（四）熔炼

熔炼是把被铸金属从固态转化为液态的过程。在金属熔炼过程中化学成分也得到了优化。

熔炼的主要设备有冲天炉、电炉、平炉、钢包精炼炉、转炉等。

铸铁时用得最多的是冲天炉，有些也用感应电炉。铸钢熔炼方法有电弧炉熔炼、感应电炉熔炼、平炉熔炼和精炼炉熔炼等。

主要存在的职业病危害因素：熔炼炉产生的高温与热辐射、一氧化碳、二氧化碳、金属烟雾等，详见第七章、第八章相关内容。

（五）浇注

经熔炼后的金属用机械或人工的方法将其注入铸型箱内的过程称为浇注。浇注过程熔融的金属与空气接触，产生大量的金属氧化物粉尘，并产生热辐射；型砂中的有机胶合剂部分发生高温氧化分解。

主要存在的职业病危害因素：高温与热辐射、金属氧化物粉尘、塑料气化模熔化、燃烧产生的烟尘、一氧化碳、二氧化碳等有害气体。

（六）铸件的落砂与清理

浇注完毕后，还必须进行落砂、清理、表面处理等工作，才能得到合格的铸件。铸件凝固冷却到一定温度后，把铸件从砂箱中取出，去掉铸件表面及内腔中的型砂和芯砂的工艺过程称为落砂，落砂通常分为人工落砂和机械落砂两种。

铸件的表面清理包括去除铸件内外表面的粘砂、毛刺、浇冒口痕迹等。其方法有手工清理、滚筒表面清理和喷、抛丸表面清理等。

主要存在的职业病危害因素：落砂与清理过程中产生大量的型砂尘、机械噪声与振动等。

（七）几种特种铸造工艺

1. 压力铸造

压力铸造是将液态金属在一定压力下快速注入铸型，并在压力下冷却凝固以获得铸件的方法。其基本工艺流程如图 13-3。



图 13-3　压力铸造工艺流程

主要存在的职业病危害因素：造型、烘干、落砂与清理等过程中产生大量的

型砂尘，机械噪声与振动；砂型和砂芯烘干设备产生高温与热辐射；如果采用煤或煤气作燃料还会产生一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫和氮氧化物等；如果采用高频感应炉或微波炉加热时，则存在高频电磁场和微波辐射；浇注过程产生大量的金属氧化物粉尘，并产生大量的热辐射；熔炼炉产生高温与热辐射、一氧化碳、二氧化碳、金属烟雾等。

2. 离心铸造

离心铸造是将液态金属浇入旋转的铸型中，在离心力作用下成型、凝固的铸造方法。其基本工艺流程如图 13-4。

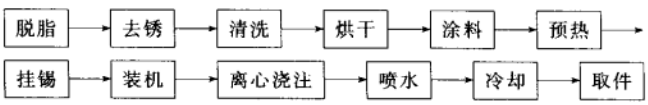


图 13-4　离心铸造工艺流程

离心铸造主要用于生产空心旋转体零件如铸管、铜套、双金属滑动轴承等。

主要存在的职业病危害因素：基本同压力铸造。

3. 熔模铸造

熔模铸造是依赖可熔性的模样造整体型壳，一般先制造蜡模，将蜡模修整后焊在蜡制浇注系统上，即得到蜡模组。然后，把蜡模组浸入用水玻璃和石英粉配制的涂料中，硬化结壳，再熔化蜡模而流出型壳，形成铸型型腔。为排除型壳中残余挥发物，提高型壳强度，还需将其放在 850～950℃的炉内焙烧。焙烧好的型壳置于铁箱中，周围填以干砂，制成砂箱，然后进行浇注。熔模铸造工艺流程如图 13-5。

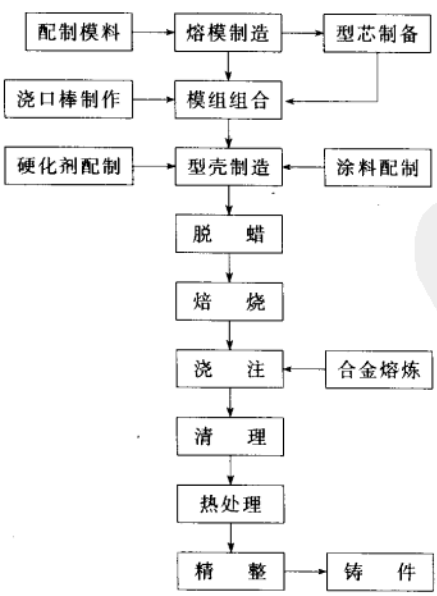


图 13-5　熔模铸造工艺流程

熔模铸造主要用于制造熔点高、形状复杂及难以加工的小型碳钢和合金钢铸件。

熔模制作的主要原材料有石蜡、地蜡、蜂蜡、川蜡、尿素、树脂、松香、聚合松香、聚乙烯、聚苯乙烯、褐煤蜡、硬脂酸、乙基纤维素等。

主要存在的职业病危害因素：基本同压力铸造。此外，在熔模铸造过程中还存在松香、石蜡等有机物高温氧化分解产生的有害气体，如二氧化碳、一氧化碳、氨气等。

第二节 锻 压

锻压是锻造和冲压的总称。锻压是对坯料施加外力，使坯料产生部分或全部的塑性变形，从而获得锻件的加工方法。

一、锻压的分类

锻压按成型方法可分为自由锻、模型锻造和板料冲压等。

1. 自由锻

用自由锻锤或压力机和简单工具打击坯料，一般在加热状态下使坯料成型，其生产基本工序有拔长、芯棒、镦粗、冲孔、扩孔、弯曲、扭转、切割和锻焊等。自由锻工序适用于单件、小批量生产外型简单的各种毛坯。

2. 模锻

用模锻锤或压力机和锻模打击坯料，一般在加热状态下使坯料成型。模锻方法分高速锤模锻、等温锻造、钢质液态模锻等。

模锻工序适用于批量生产小型毛坯，如汽车曲轴、连杆、齿轮等。

3. 板料冲压

用剪床、冲床和冲模打击坯料，一般在常温状态下使板料分离或兼成型。板料冲压工序适用于批量生产成品，如电气仪表、汽车等工业领域用的零件或毛坯。

二、生产工艺

锻压的主要生产工艺流程见图 13-6，典型的粉末锻造工艺流程见图 13-7。

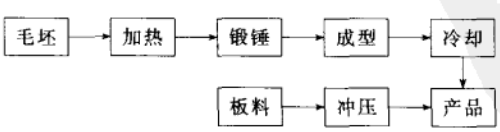


图 13-6 锻压生产工艺流程

三、锻压常用设备

1. 加热设备

主要有反射炉、燃烧炉和电炉三类。其中燃烧炉包括燃煤工业窑炉、煤气炉和燃油炉，电加热炉包括电阻炉、盐浴炉、接触加热和感应加热炉等。

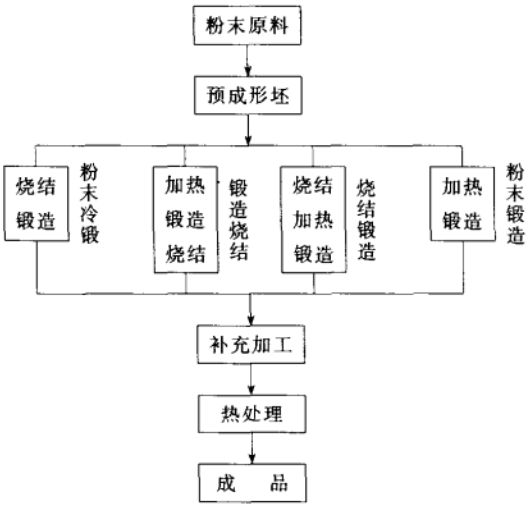


图 13-7 典型的粉末锻造工艺流程

2. 锻压设备

主要有空气锤、切边压力机、热模锻压力机、螺旋压力机、摩擦压力机、冲床、剪床等。

四、职业病危害因素识别

1. 噪声和振动

噪声是锻压工序中危害最大的职业病危害因素。锻锤（空气锤和压力锤）可产生强烈噪声和振动，一般为脉冲式噪声，其强度多在 100dB（A）以上。冲床、剪床也可产生高强度噪声，但其强度一般比锻锤小。

2. 高温与热辐射

加热炉温度高达 1200℃，锻件温度也在 500～800℃之间。在生产过程中可使工作场所产生高温与强辐射热。

3. 生产性粉尘

锻造炉、锻锤工序中加料、出炉、锻造过程可产生金属粉尘、煤尘和炉渣尘等，尤以燃煤工业窑炉污染较为严重。

4. 毒物

燃烧锻炉可产生一氧化碳、二氧化硫、二氧化碳、氮氧化物等有害气体。

第三节 热 处 理

热处理工艺主要是使金属零件在不改变外形的条件下，改变金属的性质（硬度、韧度、弹性、导电性等），达到工艺上所要求的性能，从而提高产品质量。

热处理包括正火、淬火、退火、回火和渗碳等基本过程。热处理工艺很多，一般可分为普通热处理、表面热处理（包括表面淬火和化学热处理）和特殊热处理等。

一、工艺简介

普通热处理包括淬火、退火、回火等基本过程。淬火可使金属零件的硬度增高，其过程是将零件放到1300℃的热炉或高频电炉中加热，然后取出放到水槽或油槽内迅速冷却。回火的目的是为了增加金属的弹性，这对制造发条和弹簧之类的零件是非常重要的，其工艺过程是淬火后的工件放在盛有硝石（硝酸钾）、熔融钡盐、植物油、矿物油的槽内慢慢加热到250～350℃，然后使其慢慢冷却。如零件在锻造加工时金属结构发生改变（内部强度不正常、结晶分布不均匀等）则需要进行退火，即将零件放到炉内加热2～3小时，温度800～900℃，然后慢慢冷却。普通热处理工艺流程如图13-8。

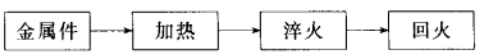


图13-8 普通热处理工艺流程

表面淬火只对工件的表面或部分表面进行热处理，所以只改变表层的组织。而心部或其他部分的组织仍保留原来的低硬度、高塑性和高韧性的性能，这样，工件截面上由于组织不同性能也就不同。表面淬火便于实现机械化、自动化，质量稳定，变形小，热处理周期短，费用少，成本低，还可用碳钢代替一些合金钢。表面淬火可分为火焰加热、电接触加热和电解液加热等方法。

化学热处理是将工件表面渗进某些化学元素的原子，改变表层的化学成分，使表面能得到高硬度或某些特殊的物理化学性能。而心部组织成分不变，仍保留原来的高塑性、高韧性的性能，这样在工件截面上就有截然不同的化学成分与组织性能。化学热处理生产周期长，不便于实现机械化、自动化生产，工艺复杂。常用的化学热处理有渗碳、渗氮、渗铝、渗铬、渗硼或多元共渗等，其中渗碳方法有固体渗碳法、气体渗碳法、液体渗碳法等。

二、职业病危害因素识别

1. 有毒气体

机械零件的正火、退火、渗碳、淬火等热处理工序要用品种繁多的辅助材料，如酸、碱、金属盐、硝盐及氰盐等。这些辅料都是具有强烈的腐蚀性和毒性的物质。如氯化钡作加热介质，工艺温度达1300℃，氯化钡大量蒸发，产生氯化钡烟尘污染车间空气；氮化工艺过程中有大量氨气排放于车间空气中；在渗碳、氰化等工艺过程使用氰化盐（亚铁氰化钾等）；盐浴炉中熔融的硝盐与工件的油污作用产生氮氧化物。此外，热处理过程中经常使用甲醇、乙醇、丙烷、丁烷、丙酮及汽油等有机溶剂。

2. 高温与热辐射

机械零件的正火、退火、渗碳、淬火等热处理工序都是在高温下进行的，车

间内各种加热炉、盐浴槽和被加热的工件都是热源。这些热源可造成高温与强热辐射的工作环境。

3. 高频电磁场

利用高频电炉进行热处理时，可产生高频电磁场职业危害。

4. 噪声与振动

各种电机、风机、工业泵和机械运转设备均可产生噪声与振动，但多数热处理车间噪声强度不大，噪声超标现象较为少见。

第四节　机械加工

机械加工是利用各种机床对金属零件进行的车、刨、钻、磨、铣等冷加工。在机械制造过程中，通常是通过铸、锻、焊、冲压等方法制成金属零件的毛坯，然后再通过切削加工制成合格零件，最后装配成机器。

一、一般机械加工

一般机械加工是指操作工人通过车床、铣床、刨床、磨床、钻床等进行的机械车削、铣削、刨削、磨削、钻削等加工。加工过程中常用的硬质合金刀具为YG（钨钴）类和YT类（钨钛钴）类。切削液有乳化液和切削油两种。乳化液以冷却作用为主，其比热容大、黏度小、流动性大，用以降低切削温度、提高刀具耐用度。切削油以润滑作用为主，其主要成分是矿物油、植物油和复合油等。

1. 铣床

铣床加工是利用铣刀的旋转运动和工件的移动对工件进行切削加工。铣床有万能卧式铣床与卧式铣床、立式铣床等，在机械加工中应用最广。

2. 刨床

利用刨刀加工工件，主要用于平面、沟槽等几何形状工件的加工。

3. 磨床

磨削加工是以砂轮为刀具对工件表面进行切削的加工过程，是工件表面精加工的主要方法之一。磨削加工应用范围较广泛，可加工外圆、内孔、平面、圆锥、槽、斜面及螺纹、齿轮等。

4. 钻床

钻床是利用钻具的旋转运动对工件进行钻孔的加工工具。

近十多年来高速发展的数控机床已完美地把上述单一加工过程有机地结合起来。通过计算机程序控制，数控机床可对过去加工步骤复杂的零件实现一体化作业，一次加工完成。大幅度提高了工作效率和减轻了操作人员劳动强度。

5. 职业病危害因素识别

一般机械加工生产过程中存在的职业病危害相对较小，主要是金属切削中使

用的乳化液和切削油对工人的影响。通常所用的乳化液是由矿物油、萘酸或油酸及碱（苛性钠）等所组成的乳剂。因机床高速转动，乳化液四溅，易污染皮肤，可引起毛囊炎及粉刺等。

在机械加工过程中，有金属和矿物性粉尘发生，在粗磨和精磨过程中，亦有大量粉尘发生。人造磨石多以金刚砂（三氧化二铝晶体）为主，其中二氧化硅含量极少，而天然磨石含有大量游离二氧化硅，故可能导致铝尘肺和矽肺。绝大多数机床产生的机械噪声在65～80dB(A）之间，噪声超标现象较为少见。

二、特种机械加工

特种加工方法是指物理化学加工、电加工和复合加工的方法。如电火花加工、电解加工、超声波加工和激光加工等都是典型的特种加工方法。

1. 电火花加工

电火花加工又称电脉冲加工或电蚀加工，是利用工具电极与工件电极之间脉冲性的火花放电，产生瞬时高温将金属蚀除。它是最常用的特种加工方法之一，如穿孔、型孔、小孔、曲线孔加工，打印标记，仿形刻字等。

2. 电解加工

电解加工是利用金属在电解液中可以发生阳极溶解的原理，将零件加工成形。电解加工是在工具和工件之间接上直流电源，工件接阳极，工具接阴极，工具极一般用铜或不锈钢等材料制成，两极之间外加直流电压为5～20V，极间间隙保持0.1～1mm，在间隙之间通以6～60m/秒的高速流动电解液，形成极间导电通路，产生电流。工件阳极表面的材料不断产生溶解，其溶解物被高速流动的电解液及时冲走，从而达到电化学切削的目的。

3. 超声波加工

超声波加工的机理主要是磨粒在超声振动下机械撞击和抛磨作用与超声波空化作用的综合结果。超声波用来加工不导电的硬脆材料，例如宝石、石英、玻璃和花岗岩等的表面加工，以及对清洗要求高的零件进行强化清洗等。

4. 激光加工

当能量密度极高的激光束照射在加工件表面上时，激光能被加工表面吸收，转换成热能，使照射斑点的局部区域温度迅速升高、熔化、气化而形成小坑，由于热扩散，使斑点周围的金属熔化，小坑中的金属蒸气迅速膨胀，产生微型爆炸，将熔融物高速喷出。同时产生一个方向性很强的反冲击波。在高温熔融和冲击波的同时作用下，在加工表面上打出一个上大下小的小孔。斑点内温度可达10000℃。激光加工可用于要求精度很高的打孔、切割和雕刻等。

5. 电子束加工

电子束加工有热型和非热型两种。热型加工是利用电子束将材料的局部加热至熔化或气化点进行加工的，适合打孔、切割槽缝、焊接及其他深结构的微细加工。非热型加工是利用电子束的化学效应进行刻蚀、大面积薄层等微细加工等。

6. 离子束加工

离子束加工主要应用于微细加工、溅射加工和注入加工。等离子弧加工适用于各种金属材料的切割、焊接、热处理，还可制造高纯度氧化铝、氧化硅和工件表面强化，还可进行等离子弧堆焊及喷涂。

7. 液体喷射加工

液体喷射加工是利用水或水中加添加剂的液体，经水泵及增压器产生高速液体束流，喷射到工件表面，从而达到去除材料的目的。可加工薄、软的金属及非金属材料，去除腔体零件内部毛刺，使金属表面产生塑性变形。磨料喷射加工适用于去毛刺加工、表面清理、切割加工、雕刻及打孔等。

8. 职业病危害因素识别

特种机械加工生产过程中存在的职业病危害因素主要与加工工具有关。如电火花加工存在金属烟尘、紫外辐射和极低频电磁辐射；激光加工存在激光照射、金属烟尘、高温和紫外辐射等；电子束加工存在 X 射线和金属烟尘等；离子束加工存在金属烟尘、紫外辐射和高频电磁辐射，如果使用钍钨电极则还有电离辐射危害；电解加工、液体喷射加工和超声波加工相对危害较小。此外，设备运转和液体高速流动等产生噪声与振动。

第五节　机械装配

一、工艺简介

根据产品设计技术要求，将零件或部件进行配合和连接，使之成为半成品或成品的过程，称为装配。机器装配是机器制造过程中的最后一个环节，它包括装配、调整、检验和试验等工序。为保证有效地进行装配工作，通常将机器划分为若干能进行独立装配的装配单元。零件是组成机器的最小单元。套件是在每一个基准零件上装上一个或若干个零件构成的。组件是在一个基准件上装上若干零件和套件构成的。部件是由基准零件加若干组件、若干零件组合而成的。其工艺流程见图 13-9、图 13-10 和图 13-11。

小批量生产多为手工装配，而大批量生产需建设装配流水线。不同机械产品的装配生产工艺相差甚远，简单的装配以组合、调整和检验为主。而复杂的产品装配工序烦琐，可能在装配过程中还需用到各类焊接、胶黏剂和涂装等。

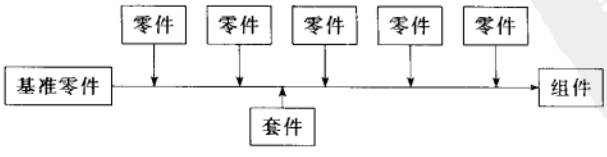


图 13-9　组件装配工艺流程

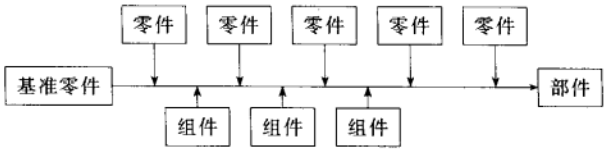


图 13-10 部件装配工艺流程

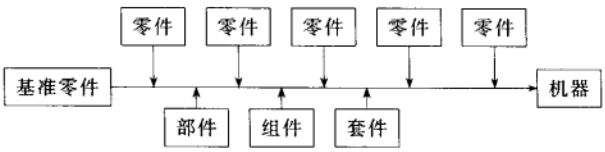


图 13-11 机器装配工艺流程

二、职业病危害因素识别

简单的机械装配工序职业病危害因素很少，其危害基本同一般机械加工。复杂的装配生产过程中存在的职业病危害因素主要与特殊装配工艺有关。如需使用各类电焊，则存在电焊职业病危害问题，详见第十四章焊接工艺相关内容；如需使用胶黏剂，则存在胶黏剂的职业病危害问题，参见第十二章有关内容；如需使用涂装工艺，则存在涂装工艺的职业病危害问题，参见第十五章有关内容。

第六节 职业病危害防护措施分析

机械制造工业职业病危害主要集中在铸造生产过程中的矽尘危害、涂装生产过程中的苯系物等有机溶剂危害和电焊作业中的电焊尘职业危害。其中涂装和电焊职业病危害防护问题在其专门章节中阐述，以下重点分析铸造和热处理工艺的职业病危害防护问题。

1. 合理布局

在车间内设备布置上，要考虑减少职业病危害交叉污染问题。如铸造工序中的熔炼炉应放在室外或远离人员集中的工作场所；铆工和电焊、（涂）喷漆工序应分开布置。

2. 工艺改革

在建设项目设计工艺选择方面，应优先选用自动化程度高的设备或生产线。如数控机床代替普通机床工作效率会成倍提高，并且劳动强度和接触机会大幅度减小。

3. 防尘措施

铸造应尽量选用低游离二氧化硅含量的型砂，并减少手工造型和清砂作业。清砂是铸砂生产中粉尘浓度最高的岗位，应予重点防护，如安装大功率的通风除

尘系统，实行喷雾湿式作业，以降低工作场所空气中粉尘浓度。并应做好个人防护，配戴符合国家相关标准的防尘口罩。

4. 防毒及应急救援措施

对热处理和金属熔炼过程中有可能产生化学毒物的设备应采取密闭措施或安装局部通风排毒装置。对产生高浓度一氧化碳、氰化氢、甲醛和苯等剧毒气体的工作场所，如某些特殊的淬火、涂装和使用胶黏剂岗位，应制定急性职业中毒事故应急救援预案，设置警示标识，配备防毒面具或防毒口罩等。

5. 噪声控制措施

噪声是机械制造工业中的重要职业病危害因素之一。噪声控制措施主要包括对铸造、锻造中的气锤、空压机、机械加工的打磨、抛光、冲压、剪板、切割等高强度噪声设备的治理。对高强度噪声源可集中布置，并设置隔声房加以屏蔽。空气动力性噪声源应在进气或排气口进行消声处理。对集控室和岗位操作室应采取隔声和吸声处理。进入噪声强度超过 85dB（A）的工作场所应配戴防噪声耳塞或耳罩。

6. 振动控制措施

振动是机械制造工业中的较为常见的职业病危害因素。对铆接、锻压机、型砂捣固机、落砂、清砂等振动设备应采取减振措施或实行轮换操作。

7. 射频防护措施

应选择合适的屏蔽防护材料，对产生高频、微波等射频辐射的设备进行屏蔽或进行距离隔离防护和时间防护等。

8. 防暑降温措施

应做好铸造、锻造、热处理等高温作业人员的夏日高温防暑降温工作。宜采取工程技术、卫生保健和劳动组织管理多方面的综合措施，如合理布置热源、供应清凉含盐饮料、轮换作业、对集控室和操作室设置空调等。

（彭言群、杨乐华）

第十四章　焊接工艺

焊接工艺是使两个分离的构件，通过原子间或分子间的联系与质点的扩散作用，形成一个整体的过程。要使两个分离的构件形成永久性的结合，首先应使两个构件相互接近到原子间的力能够产生相互作用的程度。焊接技术就是采用加热、加压或同时加热和加压等方法，来克服阻碍原子结合的因素，以达到永久牢固的连接。焊接与铆接比较，不仅提高了加工质量，而且具有工艺简便、生产效率高、节约钢材等优点。因此焊接工艺作为金属构件的一种基本加工方法，在冶金、石油、化工、机械制造、航空、造船、建筑以及国防和尖端技术等许多重要工业部门中获得了广泛的应用。

随着工业和科学技术的发展，为了满足大工件、有色金属以及高强度耐热合金等的焊接要求，在电弧焊的基础上逐步发明了电渣焊、氩弧焊、等离子焊以及接触焊、摩擦焊等焊接方法。近年来由于尖端科学部门的需要，在焊接技术方面又发展了真空电子束焊、激光焊、超声波焊等工艺。

通常将焊接方法分为三大类，即熔化焊、压力焊和钎焊。焊接分类情况见表 14-1。

表 14-1　常用焊接的分类

类 别	常 用 焊 接 名 称
熔化焊	气焊、电弧焊、铝热焊、电渣焊、等离子焊、电子束焊、激光焊、气体保护焊(二氧化碳气体保护焊、惰性气体保护焊、氢原子焊)
压力焊	锻焊、摩擦焊、气压焊、冷压焊、超声波焊、爆炸焊、接触焊(点焊、缝焊、对焊)
钎　焊	铬铁钎焊、火焰钎焊、盐浴钎焊、电接触钎焊、炉中钎焊、调频钎焊、反应钎焊、真空钎焊、扩散钎焊

从常用焊接工艺来看，主要是熔化焊工艺（特别是明弧焊）产生的职业病危害因素较多。故本章将重点介绍明弧焊中的手工电弧焊、氩弧焊以及等离子焊等焊接生产过程中的职业病危害问题。

第一节　手工电弧焊

一、工艺简介

1. 焊接电弧

手工电弧焊是以焊条与焊件（被焊的金属制件）作为两个电极，利用两电极

之间产生的电弧放电时产生的热量，使金属熔化，从而使两块金属熔合成一体的焊接过程。在两电极之间的气体介质中，强烈而持久的放电现象称为电弧。电弧放电时产生高热，电弧中心部分的温度可高达3000～4000℃，同时产生强光。

2. 焊条

焊条是进行手工电弧焊时不可缺少的材料。根据不同的焊接要求，需要选择使用不同性能的焊条。目前我国根据焊条不同的特性和用途，分为十一大类：结构钢焊条（包括普通低合金钢）、珠光体耐热钢焊条、奥氏体不锈钢焊条、铬不锈钢焊条、低温钢焊条、堆焊焊条、铸铁焊条、铜及铜合金焊条、镍及镍合金焊条、铝及铝合金焊条、其他特殊用途焊条。

焊条由焊芯和药皮组成。没有药皮的焊条称作裸焊条，现已很少应用。焊芯的主要成分为钢，另外尚含有微量的碳、锰、硅、铬、镍以及硫和磷等化学元素。焊芯在焊接时的功用，一是传导焊接电流，产生电弧，二是焊芯本身熔化形成焊缝中的填充金属。药皮有厚薄之分，薄药皮焊条的药皮重量仅为1%～2%，仅能起稳弧作用。目前最常用的是厚药皮焊条，药皮的重量约占整个焊条重量的30%～50%。焊条药皮的组成成分较复杂，每种焊条的药皮配方中，一般由7种以上原料配成。

药皮涂料主要含氧化铁、氧化锰和氧化钛等化合物的焊条，药皮熔化后的熔渣呈酸性，故这类焊条统称为酸性焊条。酸性焊条只适宜用于焊接低碳钢和不重要的结构钢。氢型药皮成分中，由于不含铁或锰等氧化物，而大理石（$CaCO_3$）和萤石（CaF_2）含量较多，碱度很大，药皮熔化后的熔渣属碱性，因此含有这种药皮的焊条称为碱性焊条。碱性焊条适用于焊接大多数的合金钢。

目前我国生产的焊条品种很多，其牌号是按照焊缝金属的抗拉强度等级和焊条药皮类型来区分的。牌号前加“结”字，表示结构钢焊条，紧接着的第一位、第二位数字表示焊缝金属抗拉强度等级，第三位数字表示焊条药皮类型和适用的焊接电源种类。

二、职业病危害因素识别

手工电弧焊时不仅有强烈的弧光，而且在电弧的高热影响下可以产生大量的电焊烟尘和多种有害气体，因此手工电弧焊的职业病危害因素的特点是综合性的。

（一）电焊弧光

手工电弧焊的电弧温度高达3000℃以上，在此种温度下可产生强烈的电焊弧光，主要是强烈的可见光和不可见的紫外线和红外线。

紫外线是一种波长为100～400nm的光波，又称紫外辐射。根据生物学效应可分为三个区带：

① 远紫外线区，又称短波紫外线（UV-C），波长100～290nm，具有杀菌和

微弱致红斑作用，为灭菌波段；

② 中紫外线区，又称中波紫外线（UV-B），波长大于 290 至 320nm，具有明显的致红斑和角膜、结膜炎症效应，为红斑区；

③ 近紫外线区，又称长波紫外线（UV-A），波长大于 320 至 400nm，可产生光毒作用和光敏效应，为黑线区。

凡物体温度达 1200℃以上时，辐射光谱中即可出现紫外线。随着温度升高，紫外线的波长变短，强度加大。手工电弧焊焊接电弧形成的紫外线属中短波紫外线。这种波长可以透过人体的皮肤角化层，被深部组织和真皮吸收，并且能损伤眼结膜和角膜。

红外线又称红外辐射，可分为：

① 长波红外线，波长为大于 3μm 至 1mm，能被皮肤吸收，只产生热的感觉；

② 中波红外线，波长为大于 1400nm 至 3μm，能被角膜和皮肤吸收；

③ 短波红外线，波长为 760～1400nm，可被组织吸收引起灼伤。

物体温度愈高，辐射强度愈大，其辐射波长愈短。手工电弧焊时可产生全部上述波长的红外线。电焊红外线可使人产生热的感觉，使血液和深部组织加热，产生灼伤，眼睛长期接受短波红外线的照射可产生红外线白内障和视网膜灼伤。

（二）电焊烟尘

手工电弧焊时由于焊条和母体焊件，含有不同合金元素和各种化合物，在焊接电弧的高温作用下，发生一系列的复杂冶金反应。熔化金属产生沸腾和蒸发，以气溶胶状态析出多种有害气体，同时还产生大量的电焊烟尘。

不同工作地点或不同工件焊接时的发尘量和空气中的烟尘浓度可有较大的差别。这往往与焊条的种类、焊接操作时间长短、同一时间焊接的焊枪数目、焊接电流强度、操作场所的容积和通风等情况有密切关系。

碱性焊条的发尘量一般高于酸性焊条的发尘量。实验证明焊接 0.5kg“结 422”型酸性焊条产生的烟尘量为 3.52g，而焊接 0.5kg“结 507”型碱性焊条的烟尘量则为 7.82g。测定空气中电焊烟尘的浓度也同样证明了这一结果。如曾在特制的容积为 $2m^3$ 的实验装置中分别测定 100g“结 422”型和“结 507”型焊条燃烧时所产生的烟尘浓度，“结 422”型焊条产生的烟尘浓度平均为 477.5（294.4～643.7）mg/m^3。“结 507”型焊条产生的烟尘浓度平均为 558.8（380.2～737.5）mg/m^3。

碱性焊条发尘量高的主要原因是焊条药皮中含有氟化物。氟化物具有促进发尘量的作用。如在药皮中加入 2%的氟化锂或氟化钠，每燃烧 0.5kg，发尘量为 12g 左右，加入 2%的氟化钙，发尘量为 8g。而无氟焊条仅为 4g 左右。

有关现场调查的测定结果证明，在没有局部抽风装置的情况下，室内使用碱性焊条的单支焊枪焊接时，空气中电焊烟尘浓度分别可达 96.6～246mg/m^3。采用“结 422”型酸性焊条在通风不良的罐内进行焊接时，空气中烟尘浓度为

168.5～286mg/m³，采用“结507”型碱性焊条时为226.4～412.8mg/m³。以上数字说明，在通风不良的罐、舱内或一般厂房内使用碱性焊条较酸性焊条空气中的电焊烟尘浓度有明显的增高。另据国外报道，在通风不良容器内焊接，焊工呼吸带处的焊尘浓度有时可高达1000mg/m³。

物理化学分析证明，电焊烟尘是一种无机性烟尘，属于金属氧化物凝聚所成的气溶胶。用滤膜采集电焊烟尘，在2万倍电子显微镜下观察，发现烟尘的微细颗粒，外观呈球状，直径大小不一，粒子中央系以金属氧化物（大多数为三氧化二铁）为核心，周围包有一层无定形硅酸的薄膜。各种类型焊条所构成的烟尘粒子，外观均无明显差异。由于烟尘粒子都带有不同电荷，因此有聚合成群的能力，在电子显微镜下可观察到由几个到几百个粒子聚合在一起的凝聚团。

电焊烟尘的分散度，根据对不同类型焊条的烟尘粒子直径大小的测定结果，多数在2μm以下，属分散度较大的尘粒类。分散度越大，其比表面积也越大，生物学活性也增加。

在焊接高温下，焊条和母体金属发生化学冶金反应，产生的电焊烟尘化学组成十分复杂，具有数十种金属和非金属化合物。有关电焊烟尘的主要化学组成见表14-2。

表14-2 电焊烟尘的主要化学组成 /%

化学组成	低碳钢低合金钢（低氢型）	低碳钢（锰型）	奥氏体不锈钢（低氢型）	酸性钛钙型	碱性低氢型
	T427	T425	TAL-7	结422	结507
Fe_2O_3	67.2	81.3	34.8	44.0	24.6
FeO				1.49	—
SiO_2	7.05	4.53	2.38	17.7	5.89
MnO_2	4.20	5.50	52.10	7.26	6.35
K_2O	—	—	—	6.15	—
Na_2O	—	—	—	5.15	17.5
CaO	—	—	—	1.0	4.6
KF	21.2	—	—	9.5	6.19
CaF_2	—	—	—	—	16.5
N_2F	—	—	—	—	13.15
CrO_3	0.013	—	0.087	—	—
TiO_2	—	0.38	—	—	—
NiO	—	—	1.45	—	—

从表14-2中可以看出，铁化物、锰化物、硅和硅酸盐、氧化钙、氮化物等，约占全部电焊烟尘总量的80%以上。酸性焊条的电焊烟尘中不含或含少量氟化物，而碱性焊条的电焊烟尘中氟化物可高达15%以上。

电焊烟尘中的铁是以三氧化二铁和氧化铁的形式、锰以氧化锰和二氧化锰的形式、氟主要以氟化钙和氟化钠的形式存在。硅（矽）的存在形式则为无定形二氧化硅，而未发现有结晶型二氧化硅的存在。这与焊条药皮中的二氧化硅主要为

结晶型二氧化硅或硅酸盐的形式存在有所不同。这种二氧化硅存在形式的不同，可能是由于高温熔化改变了二氧化硅的化学结构，使石英晶格图像发生变异的结果。

（三）电焊烟气

在手工电弧焊焊接过程中除了产生多量烟尘外，还同时逸散出大量烟气。包括一些氧化的金属气体，高温下产生的氟化氢气体，以及由于伴随的碳素燃烧和在强烈的紫外线照射下，产生的一氧化碳、氮氧化物和臭氧等气体。一般说来，电焊烟尘的组成成分相对比较恒定，而电焊烟气浓度则受焊接时间、焊条熔敷量、焊接温度等的影响而变化较大。主要的有害烟气成分如下。

1. 锰

在焊条的药皮中含有锰，含量2%～40%不等。高锰的铁铝锰合金焊条焊芯中含锰量可高达23%以上。锰的作用在于脱氧和改善机械性能。

焊接时焊条中的锰，约5%～7%熔融于焊缝中，85%以上成为焊渣，其余不到10%经高温电弧热解，蒸发、凝聚成以氧化亚锰为主的锰烟尘。

一般酸性焊条的含锰量高于碱性焊条，因此采用酸性焊条焊接时形成的电焊气溶胶中锰的含量就比碱性焊条焊接时高。由于锰的气溶胶能迅速扩散，在露天焊接时不致形成高浓度焊烟，但在通风不良场所，如船舱、锅炉、罐内进行焊接操作，即使停止焊接后，空气中锰的烟气还可长时间保持较高浓度。

关于焊接厂房空气中的二氧化锰浓度，根据国内报道，一般在0.65～12mg/m^{3}之间；在通风不良的罐内或船舱内操作时，则可高达30mg/m^{3}以上。目前尽管高锰焊条趋于淘汰，焊接时空气中锰浓度有所降低，但仍应予以关注。另外，手工电弧焊时，工人使用手持防护面盾，二氧化锰浓度在盾内面可比盾外面低三分之二，因此在评价手工电弧焊工受二氧化锰危害时，应进行具体分析。

2. 铬和镍

一般碳素钢焊条中不含铬。而奥氏体不锈钢焊条中则含有不等量的铬和少量镍。焊接时在电弧高温下可氧化产生氧化铬（主要为二氧化铬和三氧化铬）以及氧化镍（为氧化镍和五氧化二镍）。使用含铬不锈钢焊条或镍和镍合金焊条焊接时，焊工呼吸带的空气中三氧化二铬和氧化镍的含量，在无通风措施或通风不良的情况下，可显著增高，甚至超过国家卫生标准的数十倍。

3. 氟化氢

各种焊条的涂料中均含有不等量的氟化物，特别是低氢型碱性焊条中含有较多的萤石（CaF_2）。如“结507”型焊条药皮中含萤石14%～20%，“奥107”型焊条药皮中含萤石45%。萤石在电弧高温下可分解产生氟化氢气体和氟块（$CaF_2 \cdot NaF$）。氟化氢气体与水分接触可产生具有强烈腐蚀刺激性的氢氟酸。

电焊烟气中的氟化物浓度波动很大，影响因素较多，但主要取决于使用焊条的类型。低氢型碱性焊条的电焊烟气中所含的氟化物浓度较高。

4. 氮氧化物

在焊接高温下，空气中电离产生的氮与氧结合可生成氮氧化物。电焊烟气中的氮氧化物主要是二氧化氮和一氧化氮。由于一氧化氮不稳定，很容易氧化成二氧化氮，尤其是焊接过程中还同时存在紫外线、臭氧、铁尘等，均能促使一氧化氮氧化生成二氧化氮。二氧化氮遇水可变成亚硝酸，与臭氧结合可生成五氧化二氮。电焊烟气中氮氧化物产生量主要取决于电弧的长度和电压以及电流量的大小等。

5. 臭氧

臭氧是在电弧高温和强烈紫外线的激发下，使空气中氧发生电离而产生的。焊接金属的种类对臭氧的产生也有影响。

6. 一氧化碳

铁和碳是组成钢的主要元素，在焊接高温下碳不完全燃烧，就可以生成一氧化碳，但产生量极小。

（四）高温

手工电弧焊的电弧温度高达3000℃以上，在通风不良的情况下易形成高温作业的工作环境。

第二节　氩弧焊

一、工艺简介

氩弧焊是利用氩气作为焊接时保护性气体的一种焊接方式。氩气由焊炬中的专门气路输送，以一定的流速由喷嘴喷出，在焊弧周围形成一个氩气保护层，将焊弧与空气隔绝，从而能有效地保护电弧热量集中。

目前工业上应用的氩弧焊大致有以下几种：

（1）非熔化极氩弧焊　使用的棒状电极是由含钍钨材料或碳精制成，电极在焊接过程中烧损极少，故称非熔化极氩弧焊，包括纯钨棒电极和钍化钨电极，也叫钨极氩弧焊。

（2）熔化极氩弧焊　它用直流电作为电源，以金属焊丝作为电极，焊丝材料取决于母材，焊接时，焊丝以一定速度不断地向电弧区给进，焊丝在电弧热的作用下不断熔化，熔化的焊丝以射流或熔滴、射流交替的形式向焊缝过渡。

二、职业病危害因素识别

氩弧焊接的有害因素与一般手工电弧焊基本相同，主要是有害气体、粉尘以及紫外线。但由于非熔化极焊接时使用高频振荡器和钨钍电极，因此还存在高频电磁辐射和放射线等有害因素。

由于氩弧焊的电流密度大、弧温高、弧光强、弧柱中心部成为等离子体，故

可产生较高浓度的有害气体和金属粒尘。此外还有高频电磁辐射和放射线。焊接时的主要有害气体是臭氧和氮氧化物，由于焊材不同还能够产生与焊材有关的其他有害气体和烟尘。例如，焊接铝及铝镁合金时可产生大量的铝烟尘；焊接不锈钢采用含氟化物药皮的焊条时，能产生少量的氟化氢气体；有些铝合金焊接时还能产生磷化氢和锑化氢等气体。惰性气体保护焊使用的电流密度大，弧温高，焊接时产生的有害气体比一般手工电弧焊要严重，因此在某种程度上对焊工的影响比手工电弧焊要大。

（一）有害气体

1. 臭氧

臭氧的产生是在高温电弧和强烈紫外线激发下使空气中的氧电离而产生的。其浓度大小同焊接方式、焊材种类、厚度、使用的电流强度、焊接环境通风情况以及焊接持续时间有关。故焊接时产生的臭氧浓度不是一定的。在通风条件不好的容器内焊接，工作地点的臭氧浓度较高。使用熔化极自动焊时的臭氧浓度大于熔化极半自动焊，熔化极半自动焊大于非熔化极手工焊。臭氧是氩弧焊接工艺过程中的主要职业病危害因素。

2. 氮氧化物

氩弧焊接时，同手工电弧焊一样能产生氮氧化物。焊接不同焊材产生的氮氧化物浓度不一样。

（二）氩弧焊接粉尘

氩弧焊接粉尘的产生，主要来源于焊接时的金属氧化物。空气中粉尘浓度及成分取决于焊材种类和焊接工艺要求。如焊接铝时可产生铝粉尘；焊接铜时可产生铜和氧化铜粉尘。焊接电流强度越大产生粉尘浓度越高。

（三）非熔化极氩弧焊的高频电磁辐射及放射性

非熔化极手工钨极氩弧焊使用250kHz的高频振荡器，在引弧时有电磁辐射产生。钍钨电极是由钍和钨制成的，而钍具有一定的放射性。

手工钨极氩弧焊的钍钨电极中的钍是天然放射性物质，在衰变过程中能放出α、β、γ三种射线，其中α射线占90%，β射线占9%，γ射线占1%。衰变的子代产物中有钍和氡子体，它也是放射性气体。钍、氡衰变后形成的子体是十分细小的固态微粒，以气溶胶状态存在于空气中，其生物学作用比钍、氡本身要大得多。

（四）紫外线

紫外线是焊接中普遍存在的一个有害因素。氩弧焊时紫外线辐射光谱在390nm以下，其作用强度，非熔化极氩弧焊大于普通电焊5倍，熔化极氩弧焊大于普通电焊20～30倍。可见氩弧焊接紫外线的强度远远大于一般手工电弧焊。

（五）高温

氩弧焊焊接时可形成局部高温，在通风不良时易形成高温作业的工作环境。

第三节　等离子焊

一、工艺简介

（一）等离子体

一种气体经过电离作用以后，便产生带正电的阳离子和带负电的阴离子（电子）。这两种相互矛盾的离子处在一个统一体中，而且彼此所带的正负电荷相等，这种处于电离状态的气体就称为等离子体。等离子体是气体的特殊状态。

等离子体的总电荷等于零而呈电中性。它和金属、电解液一样有较高的导电性，和气体一样有很大的流动性。更重要的是带电离子重新结合时能释放出巨大的能量，激起很高的温度，发出很强的光。

（二）等离子弧

等离子弧是等离子体在工业上应用的一种形式，是由一种特制的等离子弧喷枪产生的压缩电弧。等离子弧按其阳极不同，通常可分三种形式。

1. 非转移弧

这种电弧是由钍钨棒作阴极，枪体内壁作阳极，两者之间产生的电弧可用来切割非金属、喷涂和焊接薄件等。

2. 转移弧

它是由钍钨棒作为阴极、工件作为阳极所产生的电弧。主要用于切割、焊接厚件与熔化金属等。

3. 混合弧

由上述两种电弧组合而成的等离子弧。如堆焊多采用这种电弧。

（三）等离子焊

等离子焊与一般的焊接方法相比有温度高、能量集中、焊接速度快、生产效率高、质量好、应用范围广等许多优点，已日益被广泛地应用于生产中。

目前，等离子弧焊接向两个方面发展。第一，应用等离子弧解决精密仪器、电子设备等高精尖产品零件的焊接，如微束等离子弧可焊接 0.026mm 的不锈钢金属箔。第二，焊接很厚的材料，一次焊透的最大厚度可达 12.7mm。

等离子堆焊是在工件表面堆上一层具有特殊用途的合金，如堆上一层耐磨损、耐磨蚀、耐高温的金属层，这样既保证了工件基体的良好性能，又满足了特殊部位所应具有的特殊用途。为了克服堆焊过程中电弧电压不稳、堆焊金属比较厚等缺点，发明了利用粉末作为填充材料的等离子喷焊新工艺。

二、职业病危害因素识别

随着等离子焊工艺的广泛应用，作业过程中的有害因素已逐渐为人们识别和认识。由于等离子弧弧区温度高达 10000℃以上，焰流速度很高（10000m/分

钟），采用高压高频（2500V、250kHz）振荡器引弧，以及使用钍钨棒作阴极材料等，一般认为等离子焊工艺过程中的有害因素与氩弧焊类似，主要有臭氧、氮氧化物、一氧化碳、电焊烟尘和金属氧化物、热辐射、高频电磁场、噪声、紫外辐射和电离辐射以及电击伤等。

（一）光辐射

等离子弧光辐射包括软X射线、紫外线、可见光和红外线等。

等离子弧中的紫外线、可见光和红外线的强度均较手工电弧焊、氩弧焊为高。等离子弧中紫外线强度较其他两种电弧为高，其产生的生物学作用强度较强。因此等离子弧光辐射的防护应较手工电弧焊和氩弧焊更严格。

关于等离子弧中是否存在软X射线的问题尚有争议。有人认为等离子弧只能辐射出短波紫外线，不存在软X射线，故可以不考虑电离辐射的危害。有人则认为，目前因测量仪器的限制未能测出软X射线，但还不能排除等离子弧能放射出软X射线。不过即使等离子弧中有X射线存在的话，估计其能量也很低，对人体危害不大。

（二）有害气体

等离子焊工艺所产生的有害气体包括臭氧、氮氧化物、一氧化碳和氯代烃（如三氯乙烯、四氯化碳等），以及经紫外线照射后的分解产物光气等。

1. 臭氧

等离子弧中一定波长的紫外线可激活空气中的氧，经化学反应而产生臭氧。臭氧的浓度与等离子焊的工作电流成正比，尤以焊接铝时为甚。采取良好的通风措施则可大大降低臭氧浓度。

2. 氮氧化物

等离子焊工艺现场空气中的氮氧化物是由于等离子弧引起空气中氮、氧分子离解，重新结合而形成的。它包括氧化亚氮、一氧化氮、二氧化氮、三氧化二氮、四氧化二氮和五氧化二氮等一系列氮的氧化物。尽管氮氧化物的种类繁多，但在空气中主要以二氧化氮的形式存在。等离子焊工艺现场空气中氮氧化物浓度与焊接有一定的关系，当电流达到一定数值而又无局部通风措施时，氮氧化物浓度可能很高。一旦采取局部抽风装置，氮氧化物浓度就可大大降低。

等离子弧切割不同的成流气体对于氮氧化物形成也有影响。以空气和高纯度的氮气作为成流气体的等离子弧切割现场氮氧化物的浓度明显要高。等离子弧切割现场氮氧化物的浓度与操作的时间成明显的正相关，现场操作的时间越长，氮氧化物的浓度越高。

3. 一氧化碳

等离子弧工艺中可产生少量的一氧化碳，对人体危害不大。

4. 氯代烃和光气

当用氯代烃去除金属表面油污后再施行等离子焊工艺时，氯代烃（如三氯乙

烯和四氯化碳）在紫外线照射后分解产生光气等有害气体。因此，凡对表面存在氯代烃的金属材料焊接时，应注意光气对人体的危害。

（三）电焊烟尘和金属氧化物

金属材料在等离子弧高温作用下熔融、气化，以电焊烟尘的形式或进一步氧化成金属氧化物烟尘的形式向周围空间扩散，并经由呼吸道吸入而作用于人体。

等离子焊操作过程中所存在的金属及其氧化物烟尘的种类与所使用的金属材料的成分密切相关，而浓度则受工艺特性、设备功率、等离子焰流的喷出速度和有无防护措施，特别是受有无抽风排尘装置等因素的影响。由于等离子弧的温度远较其他电弧为高，而且等离子弧有一定的冲击力，所以产生的烟尘浓度亦必然较其他电弧工艺为高。常见烟尘化学成分为铁的氧化物（三氧化二铁）、铬及其氧化物（三氧化铬）、锰、镍等。

（四）热辐射

等离子弧工艺中的热辐射给眼和皮肤带来一定的危害，应采取必要的防护措施。

（五）高频电磁场

等离子弧需由高压高频电器来激发引弧，故在引弧的一瞬间（几秒）有高频电磁场存在。

（六）噪声

由于成流气体在等离子弧喷枪内以一定速度流动，经压缩的等离子焰流从喷枪口高速喷射出来时产生气流噪声。噪声强度与气体的种类、流动速度和喷枪设计的特点有关。等离子弧喷涂和切割因工艺上要求有一定的冲击力，因而噪声强度较高，多数可达 100dB（A）以上。

（七）放射性物质

目前应用的等离子弧工艺，有的仍采用钍钨棒作阴极，这种钍钨电极含有氧化钍 1%～2.5%，存在 α、β、γ 三种射线。为避免与减少等离子弧工艺中放射性物质对人体的作用，现已有使用铈钨棒等不含钍或不含放射性物质的阴极材料。经测量，铈钨电极的放射性较钍钨电极低 2 个数量级。目前已有相当数量的等离子弧工艺采用了铈钨电极或钍钨电极，这样既有利于工艺操作，又有利于职业卫生防护。

第四节　电子束焊

一、工艺简介

电子束从发射体（阴极）逸出。在 25～300kV 的加速电压的作用下，电子被加速到 0.3～0.7 倍的光速，经电子枪中静电透镜和电磁透镜的作用形成电子

束。电子束撞击到工作表面时电子的动能转变为热能，使金属迅速熔化和蒸发。在高压金属蒸气的作用下熔化的金属被排开，电子束就能继续撞击深处的固态金属，很快在被焊工件上“钻”出一个锁形小孔，小孔的周围被液态金属包围。随着电子束与工件的相对移动，液态金属沿小孔周围流向熔池后部，逐渐冷却、凝固形成焊缝。

电子束传送到焊接接头的热量和其熔化金属的效果与束流强度、加速电压、焊接速度、电子束斑点质量以及被焊材料的性能等因素有密切的关系。

二、职业病危害因素识别

1. 金属氧化物和氮氧化物

金属材料在高温作用下熔融、气化，在非真空电子束焊机中，以电焊烟尘的形式或进一步氧化成金属氧化物烟尘的形式向周围空间扩散，同时产生氮氧化物、一氧化碳等有害气体。

2. 高温

电子束焊焊接时可形成局部高温，在通风不良时易形成高温作业的工作环境。

3. 电磁辐射

电子束焊过程中电子束撞击到工作表面电子的动能转变为热能，同时也产生部分电磁辐射。

4. 放射性物质

电子束焊过程中电子束撞击到工作表面时，可产生 X 射线。

5. 噪声

在真空电子束焊进行焊接时，真空泵可产生持续的机械噪声。

第五节　其他焊接

一、二氧化碳气体保护焊

1. 工艺简介

二氧化碳气体保护焊具有效率高、质量好、变形小、明弧易掌握和易于实现机械化等优点。目前已在汽车制造、工程机械、船舶、机车车辆、石油化工、管道、矿山机械和压力容器等部门广泛应用。

二氧化碳气体保护焊是熔化极电弧焊接方法的一种。由焊接电源、送丝系统以及二氧化碳供气系统等部分组成。二氧化碳气体保护焊与熔化极氩弧焊类似，在焊接过程中焊丝也作为电弧的一极（通常为阳极）。

2. 职业病危害因素识别

二氧化碳气体保护焊的职业危害因素基本上类同于熔化极氩弧焊。主要存在

的有害因素有紫外辐射、有害气体、电焊烟尘及其金属和氧化物等。其弧光强度是手工电弧焊的2～3倍，臭氧的产生量较氩弧焊低。

二、电阻焊

（一）工艺简介

电阻焊是利用电流通过焊件及其接触处所产生的电阻热，将焊件局部加热到塑性或熔化状态，然后在压力下形成焊接接头的焊接方法。电阻焊分为点焊、缝焊和对焊三种形式。

1. 点焊

点焊是利用柱状电极加压通电，在搭接工件接触面之间焊成一个个焊点的一种焊接方法。

2. 缝焊

缝焊过程与点焊相似，只是用旋转的圆盘状滚动电极代替了柱状电极。焊接时，盘状电极压紧焊件并转动（也带动焊件向前移动），配合断续通电，即形成连续重叠的焊点，因此称为缝焊。

3. 对焊

对焊是利用电阻热使两个工件在整个接触面上焊接起来的一种方法。

（二）电阻焊的职业病危害因素识别

电阻焊产生的职业病危害因素基本同二氧化碳气体保护焊。但没有焊药尘的危害，焊接过程中产生大量的热量和电磁辐射，高温是电阻焊最主要的职业危害因素。

三、激光焊

（一）工艺简介

激光焊是20世纪70年代发展起来的焊接新技术，它以高能量密度的激光作为热源，对金属进行熔化形成焊接接头。

与电子束焊相比，激光焊最大的特点是不需要真空室、不产生X射线。根据所用激光器及其工作方式的不同，激光焊分为连续激光焊和脉冲激光焊两种。前者在焊接过程中形成一条连续焊缝，后者焊接时形成一个个圆形焊点。

（二）职业病危害因素识别

激光具有很高的功率密度和能量，其亮度比太阳光、电弧光要高数十个数量级。而且激光设备中有数千伏至数万伏的高压激励电源，这些都能对劳动者产生损害。

1. 对眼睛的伤害

由于激光的加热效应，眼睛受激光直接照射就会造成视网膜烧伤，可瞬间使人致盲。即使是小功率激光，也会由于人眼的光学聚焦作用，导致眼底组织的损伤。激光加工时，由于工件表面对激光的反射作用产生强反射光，强反射光对劳动者具有同样的危险。

2. 对皮肤的伤害

皮肤受激光直接照射会造成烧伤，若受到经聚焦后的激光照射，伤害力更大。

3. 有害气体

激光焊时，材料受激烈加热而蒸发、气化，产生各种有毒的金属烟尘，高功率激光加热时形成的等离子体会产生臭氧、氮氧化物等。

（三）激光的职业卫生防护

1. 对激光设备的防护措施

① 电器系统外罩的所有维修门应有适当的连锁装置，而且外罩应有相应措施，以便在进入维修门之前使电容器组放电；

② 设备应有良好接地；

③ 在设备上应设有明显的危险警告标志或信号；

④ 激光光路系统尽可能全封闭，如使激光在金属管中传递，以防对人体直接照射，若不可能全封闭，则光路应设于较高位置，使光束避开人的头部等重要器官；

⑤ 激光加工工作台应采用玻璃等防护装置，防止反射光；

⑥ 激光加工场地应设安全标志，并设置栅栏、隔墙、屏风等，防止无关人员误入危险区。

2. 对劳动者的保护

① 对现场操作人员必须配备激光防护眼镜；

② 操作人员应穿白色工作服，以减少漫反射的影响；

③ 只允许有经验的工作人员进行操作；

④ 焊接区应配备有效的通风或排风装置。

（宋交才）

第十五章　表面处理

第一节　概　述

表面处理是指在固体材料表面，采用物理方法、化学方法、电化学方法、高真空方法或生物高分子方法等，进行涂装、处理、改性，形成具有特殊功能的表面层或某种功能的覆盖层的工艺过程。它综合了材料科学、冶金学、物理、化学、表面科学等各门学科的最新成果，是一门正在迅速发展的新型学科。

一、表面处理技术分类

1. 电化学方法

电化学方法是利用电极反应，在工件表面形成镀层。主要有电镀和氧化两种方法。

（1）电镀法　是指在电解质溶液中，工件为阴极，在外加电流作用下，使其表面形成镀层的过程。镀层可为金属、合金、半导体或其他各类固体微粒，常见的是金属镀铜、镀镍、镀铬等。

（2）氧化法　是指在电解质溶液中，工件为阳极，在外电流作用下，使其表面形成氧化膜层的过程。称为阳极氧化法，如铝合金的阳极氧化等。

2. 化学方法

化学方法是指在无电流作用条件下，利用化学物质相互作用，在工件表面形成镀覆层的方法。其中主要的方法是：

（1）化学转化膜处理法　是指在电解质溶液中，金属工件在无外加电流作用情况下，由溶液中化学物质与工件相互作用而在其表面形成镀层的工艺，如金属表面的发蓝、磷化、钝化、铬盐处理等；

（2）化学镀法　是指工件表面经催化处理后，放置电解质溶液中，由于化学物质的还原作用，将某些物质沉积于工件表面而形成镀层的工艺，如化学镀镍、化学镀铜等。

3. 热加工法

热加工法指是在高温条件下将材料熔融或热扩散，在工件表面形成涂层的工艺。其主要方法有热浸镀、热喷涂、热烫印、化学热处理、堆焊等。

4. 真空法

真空法是指在高真空状态下将材料气化或离子化沉积于工件表面而形成镀层的工艺。其主要方法有物理气相沉积、离子注入、化学气相沉积等。

5. 涂装法

用喷涂或刷涂方法，将涂料（有机物或无机物）涂覆于工件表面而形成涂层的工艺，如常用的喷漆、刷漆等。

6. 电泳法

工件作为一个电极放入导电的水溶性或水乳化的涂料中，与涂料中另一电极构成电解电路。在电场作用下，涂料溶液中已离解成带电的树脂离子，连同被吸附的颜料粒子一起电泳到工件表面，形成涂层。

7. 静电喷涂法

在直流高电压（80～90kV）电场作用下，雾化的带负电的油漆粒子定向飞往接正电的工件上，从而获得漆膜的过程。

8. 其他方法

其他常用的方法还有：

（1）冲击镀法　用机械冲击作用在工件表面形成涂覆层，如冲击镀锌等。

（2）激光表面处理　用激光对工件表面照射，将其表面结构改变，如激光淬火、激光重熔等。

（3）超硬膜技术　以物理方法或化学方法在工件表面制备超硬膜的技术，如金刚石薄膜、立方氮化硼薄膜等。

在工业生产实际应用中往往是多种方法结合运用，以达到美观、防腐和其他特殊表面性质的要求。

二、表面处理技术的工业应用

表面处理技术在工业生产中有十分普遍的用途。按照膜层的功能来分，主要用途如下。

1. 防护功能

绝大多数表面处理技术形成的膜层都有防护功能，主要用来抵御酸、碱的腐蚀和气体的氧化作用。如金属表面的发蓝、磷化、钝化、镀铬、烤漆等。

2. 装饰功能

各种日常用品、室内外装饰品、家用电器等表面通过涂装和电镀等表面处理后，可呈现所需的质感、光亮度、色彩、花纹和图案等，从而使我们的生活环境变得丰富多彩。

3. 耐磨损功能

在机械制造和家用电器制造等领域，为减缓零件和运动部件表面磨损，常需特殊的表面处理，如电镀、堆焊、超硬膜技术等。

4. 其他特殊功能

为提高器件表面的耐热性、阻燃性、光反射性、防反射性和光选择吸收性

等，可对其表面进行电镀、化学转化、真空镀或热喷涂等处理。

总之，表面处理是一门既古老、又处于迅速发展的传统技术，广泛用于各行各业。传统涂漆工艺带来的职业性苯中毒问题和电镀工艺带来的职业性皮肤病问题一直是职业病防治工作的重点。基于人们对器件表面防腐、装饰和其他特殊功能的追求，表面处理所用到的新工艺、新材料、新化学物品日新月异，使其职业病危害问题变得复杂化，传统的惯性思维方式往往掩盖了新的职业危害。因此，新的表面处理工艺职业病危害因素识别备受广大职业卫生工作者的关注。

第二节　电　镀

一、电镀原理

电镀是获得金属保护层的有效方法。电镀是一种电化学过程，也是一种氧化还原过程。在电镀生产过程中，将金属工件作为阴极，所镀金属或合金作为阳极，分别挂于电极棒上并浸入含有镀层成分的电解液中。通入直流电后，金属阳离子朝工件（阴极）方向移动，并在其表面获得电子，析出金属镀层。与此同时，阳极端金属原子失去电子转化为该金属离子，并溶于电解液中。

根据对金属表面处理的目的不同，如提高金属的抗腐蚀性、反光性、导电性、导磁性、钎焊性、增加表面硬度、耐磨性和修复磨损零件等，可设计不同的电镀工艺。根据电镀金属的种类不同可分为单金属电镀和合金电镀。镀层金属通常是一些在空气和溶液里不易起变化或硬度较大的金属，如镀镍、镀铬、镀锌、镀铜锡合金等。

二、镀前工件表面处理

镀前工件表面状态和清洁程度是保证镀层质量的先决条件。工件前处理工序主要包括以下几种：

① 表面磨光、抛光，常用的方法有喷砂、砂轮打磨、型砂抛光等；

② 除油，常用的方法为有机溶剂除油、化学除油、电化学除油和滚筒除油等；

③ 酸洗，酸洗的目的主要是清除工件表面的氧化膜；

④ 弱腐蚀，又叫活化处理，在工件进入电镀槽前，为了除去工件表面的钝化膜，使它露出金属结晶组织，以提高镀层与工件表面的结合强度，通常根据工序的不同，选用稀酸或稀碱进行弱腐蚀。

1. 磨光

磨光用的工具是沾有磨料的磨光轮或磨光带。沾在磨光轮或磨光带上的磨料颗粒具有很高的硬度和锋利的棱面。当磨光轮或磨光带高速旋转时，将工件表面的宏观缺陷、腐蚀痕迹、划痕、焊接药皮及氧化皮等刮削干净，使工件表面的平

整度达到工艺要求。

磨光操作除个别圆形或规则零件可用自动化磨光机外，一般都需手工操作，操作者应根据零件的形状，随时调整工件的位置。

磨光磨料可分天然矿物料或人工制造料两大类。实际工作中根据工件的材质、表面原始状态和磨光后的质量要求来选择磨料的种类和粒度。常用磨光磨料见表 15-1。

表 15-1 常用磨光磨料的化学成分与用途

序号	磨料名称	化学成分	主要用途
1	人造金刚砂(碳化硅)	SiC	铸铁、黄铜、青铜、锌、锡等脆性低的金属材料磨光
2	人造刚玉	Al_2O_3	可锻铸铁、锰青铜等高韧性、高强度材料的磨光
3	天然刚玉(金刚砂)	Al_2O_3、Fe_2O_3 及杂质	一切金属的磨光
4	硅藻土	SiO_2 及杂质	通用磨光材料
5	石英砂	SiO_2 及杂质	通用磨光材料，可用于磨光、抛光、滚光及喷砂等
6	铁丹	Fe_2O_3 及杂质	用于铜、铁、铅等材料的磨光和抛光
7	抛光用石灰	CO	一切金属的磨光
8	氧化铬	Cr_2O_3	不锈钢、铬等的磨光

主要存在的职业病危害因素：磨光机及磨光过程产生的高强度噪声与振动，磨光过程中产生的磨光粉尘，其粉尘化学成分为被磨光金属表面氧化物、金属尘粒及磨料尘等。因此粉尘的危害程度主要决定于所选磨光磨料的种类，如石英砂磨料游离二氧化硅含量最高，其危害性最大。

2. 抛光

通常抛光都在电镀后进行，对镀层表面进行精加工。但也可用于电镀前对工件表面进行预加工。抛光的目的是降低电镀制品的表面粗糙度，使制品获得装饰性外观，提高制品的耐蚀性等。

抛光多在抛光机上进行。当抛光轮高速旋转时，工件与抛光布轮摩擦产生的高温使工件材料的塑性提高，在抛光力的作用下，工件表面产生塑性变形，凸起部分被压低，并向凹处流动，使表面粗糙度降低。

抛光过程中要使用抛光膏。抛光膏由微细颗粒的磨料、各类油脂及辅助材料制成。应根据需抛光的镀层及金属来选用抛光膏。常用的抛光膏的化学成分及用途见表 15-2。

表 15-2 常用抛光膏的化学成分及用途

序号	抛光膏类型	化学成分	主要用途
1	白抛光膏	由氧化钙、少量氧化镁及动物油、石蜡等黏结剂制成	抛光较软的金属及塑料，如镍、铜、铝及其合金、有机玻璃等
2	红抛光膏	由氧化铁、氧化铝和硬脂酸、石蜡等黏结剂制成	抛光一般钢铁零件
3	绿抛光膏	由氧化铬、氧化铝和硬脂酸、石蜡等黏结剂制成	抛光硬质合金、铬层和不锈钢等

主要存在的职业病危害因素：抛光机及抛光过程产生高强度噪声与振动，抛光过程中产生抛光粉尘相对较少，但皮肤直接接触抛光膏可能产生一定的刺激与腐蚀作用，特别是绿抛光膏，因含有氧化铬，对皮肤有腐蚀和过敏作用。

3. 除油

工件在电镀前，必须先清除零件表面的油污，才能保证镀层与工件金属结合牢固。

工件上常见的油脂可分为皂化性油和非皂化性油两类。皂化性油是不同脂肪酸的甘油酯，它们能与碱发生皂化反应，生成可溶于水的肥皂和甘油，各种植物油大多属于此类。非皂化性油是各种碳氢化合物，它们不能与碱起皂化反应，不溶于碱溶液。各种机油、柴油、凡士林和石蜡等都属于此类。

常用的除油方法有有机溶剂除油、化学除油、电化学除油、擦拭除油和滚筒除油。这些方法可单独使用，也可联合使用。

常用的几种除油方法的用途及存在的职业病危害因素见表 15-3。

表 15-3　常用除油方法的用途及职业病危害

序号	除油方法	主　要　用　途	存在的职业病危害因素
1	有机溶剂除油	能溶解两类油脂，一般不腐蚀工件，主要用于油污严重的工件或易被碱液腐蚀的金属工件的初步除油	汽油、苯系物、丙酮、二氯甲烷、四氯化碳、三氯乙烯、三氯乙烷等有机溶剂，机械噪声等
2	化学除油	设备简单，成本低，用于一般零件的除油	氢氧化钠、碳酸钠、磷酸三钠、焦磷酸钠、硅酸钠、三乙醇胺油酸皂乳化剂等化学物品，噪声与高温等
3	电化学除油	除油效率高，适合于其他方法难以清除的工件	氢氧化钠、碳酸钠、磷酸三钠、焦磷酸钠、硅酸钠、三乙醇胺油酸皂乳化剂等化学物品，噪声与极低频电磁场等
4	滚筒除油	工效高，质量好，用于精度不太高的小工件除油	工件相互碰撞、跌落产生高强度噪声
5	擦拭除油	设备简单，劳动强度大，效率低，用于大型或其他方法不易处理的工件	主要是皮肤直接接触油污带来的皮肤脱脂、皲裂和过敏等

4. 浸蚀

浸蚀是电镀工艺中的重要工序之一，按其性质和用途可分为：

① 一般浸蚀，用于除去工件表面的油和锈蚀产物；

② 光亮浸蚀，用于溶解金属工件上的薄氧化膜，除去浸蚀残渣（挂灰）并提高工件表面的光泽；

③ 强浸蚀，用于除去工件上的厚氧化皮和有害的表面组织（如表面硬化层、脱碳层、疏松层）及粗化工件表面；

④ 弱浸蚀，用于溶解零件表面的钝化薄膜，保证镀层与工件金属的牢固结合；

⑤ 其他方法，为了除去某些较厚或较致密的氧化皮，浸蚀过程中还可采用

电解、超声波等辅助措施，进一步提高浸蚀速度，并提高表面质量。

对铝、锌等两性金属采用碱性浸蚀液外，其他浸蚀液大多是各类酸的混合物。多数浸蚀液不仅能溶解金属氧化物，而且还能溶解金属并析出氢。常用的浸蚀剂有硫酸、盐酸、硝酸、磷酸、酪酐、氢氟酸、氢氧化钠等。此外，还需加入一定量的缓蚀剂，如硫化动物蛋白、皂荚浸出液、二邻甲苯硫脲（若丁的主要成分）、硫脲、尿素、六亚甲基四胺以及氯化亚锡等。

为提高浸蚀效率，可将浸蚀液温度提高到80℃左右，并且可通入直流电进行电化学浸蚀，也可置于超声场内进行超声浸蚀。

主要存在的职业病危害因素：浸蚀过程需用到多种酸的混合液和缓蚀剂，因此可能存在硫酸、盐酸、硝酸、磷酸、酪酐、氢氟酸雾；工件的转运可产生机械噪声；此外，电化学浸蚀时还可产生极低频电磁场。

三、镀锌

镀锌层对钢铁工件既有机械保护作用，又有电化学保护作用。具有成本低、抗蚀性好、美观和耐储存等优点。因此在轻工、仪表、机电、农机和国防等工业中得到了广泛应用。

镀锌溶液分为碱性镀液、中性或弱酸性镀液和酸性镀液三类。碱性镀液有氰化物镀液、锌酸盐镀液及焦磷酸盐镀液等；中性或弱酸性镀液有氯化物镀液、硫酸盐光亮镀液等；酸性镀液有硫酸盐镀液、氯化铵镀液等。其中以氰化物镀锌、锌酸盐镀锌、氯化物镀锌和硫酸盐镀锌最常用。

（一）氰化物镀锌

氰化物镀锌根据电镀液含氰量高低分为高氰镀锌、中氰镀锌和低氰镀锌三种。其电镀液主要配方见表15-4。

表15-4 高氰、中氰和低氰电镀液主要配方

成　分	作　用	高氰/(g/L)	中氰/(g/L)	低氰/(g/L)
锌离子	供给金属锌离子	32	17	7.5
氰化钠	主络合剂	90	45	12
氢氧化钠	辅助络合剂	75	75	68

此外，还可根据实际需要加入硫化钠、甘油和光亮剂等。

主要存在的职业病危害因素：镀锌液产生剧毒的氰化物蒸气和氢氧化钠雾；电镀设备产生机械噪声和极低频电磁场等；此外，含氰化物液体经破损皮肤和消化道吸收可导致严重的氰化物中毒。

（二）锌酸盐镀锌

锌酸盐镀锌主要成分是氧化锌与氢氧化钠，溶液中加少量表面活性物质作为添加剂以提高阴极极化，有时还添加适量光亮剂和络合剂，以改善溶液和镀层性能。

电镀液主要化学成分为锌离子、氢氧化钠、碳酸钠、三乙醇胺、光亮剂和各种添加剂等。

主要存在的职业病危害因素：镀锌液产生氢氧化钠、碳酸钠、三乙醇胺等碱雾；电镀设备产生机械噪声和极低频电磁场等。

（三）氯化物镀锌

氯化物镀锌有氯化铵镀锌、氯化钾镀锌和无铵氯化物镀锌等多种，其中氯化铵镀锌是目前应用较广的镀种。该电镀液主要由氯化锌、氯化铵、氨三乙酸、硫脲、聚乙二醇、洗涤剂等组成。

主要存在的职业病危害因素：镀锌液产生氯化锌、氯化铵、氨三乙酸等各种化学毒物；电镀设备产生机械噪声和极低频电磁场等。

（四）硫酸盐镀锌

硫酸盐镀锌溶液成分简单、性能稳定、成本低廉，主要由硫酸锌、硫酸钠、氯化铵、硫酸铝和硼酸组成。

主要存在的职业病危害因素：镀锌液产生硫酸锌、硫酸钠、氯化铵、硫酸铝等各种化学毒物；电镀设备产生机械噪声和极低频电磁场等。

（五）钝化处理

1. 钝化处理的作用

把锌镀层放在以铬酸酐为主的溶液中进行化学处理，使其表面生成一层化学稳定性高、组织致密的铬酸盐薄膜的工艺过程称为钝化。钝化有以下几种作用：

① 使锌镀层表面进行化学抛光，形成光亮的表面；

② 钝化膜可呈现不同的颜色，如白色钝化可达到浅蓝色的钝化膜，近似铬镀层效果，也可钝化成军绿色和黑色等膜层；

③ 生成的钝化膜可提高锌镀层抗蚀性能，延长镀件的储存和使用寿命。

2. 工艺流程

钝化工艺流程见图 15-1。其钝化液化学配方为铬酸酐、硝酸、硫酸、磷酸等，黑色钝化时需用硫酸铜和硝酸银。出光液配方为硝酸、氢氟酸、盐酸、双氧水等。

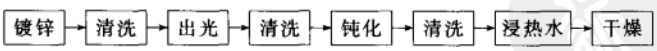


图 15-1　镀锌钝化工艺流程

3. 职业病危害因素识别

钝化液由各种强酸组成，在生产过程中产生高浓度的酸雾，对呼吸道产生强烈的刺激作用。特别是铬酸雾和铬酸溶液对皮肤、黏膜有强烈的刺激和腐蚀作用，少数接触者可导致鼻中隔穿孔、皮肤铬疮和过敏性皮炎等。此外，钝化设备可产生机械噪声与振动，干燥设备可产生高温与热辐射等。

四、镀铜

镀铜是目前电镀工业中主要的镀种之一，具有光亮、平整性好和韧性高等特点，主要用于材料装饰、机械工业、电子工业和轻工业等。

镀铜溶液的种类很多，有氰化物镀铜液、硫酸盐镀铜液、焦磷酸盐镀铜液、羟基亚乙基二膦酸（HEDP）镀铜液、柠檬酸盐镀铜液、氨三乙酸镀铜液、乙二胺镀铜液及氟硼酸盐镀铜液等。

1. 氰化物镀铜

氰化物镀铜以电解铜作阳极，一般工艺温度为50～60℃。镀液中的主要成分是铜氰络合离子和游离氰化物等。几种常用氰化物镀铜液配方见表15-5。

表15-5 几种常用氰化物镀铜液配方

镀液成分/(g/L)	预镀液	一般配方	光亮镀铜
氰化亚铜	8～35	19～45	50～58
氰化钠	12～54	26～53	67～80
氢氧化钠	2～10		12～25
碳酸钠	10～75	15～60	
酒石酸钾钠		30～60	20～25
硫氰酸钾			10～15
硫酸锰			0.05～0.08

在氰化物镀铜生产过程中，溶液中氰化钠会发生下列化学反应，产生氢氰酸和氨气等有毒物质，使电镀液中氰化物浓度下降。

与空气中二氧化碳反应而分解：

$$2NaCN+H_2O+CO_2 \longrightarrow Na_2CO_3+2HCN\uparrow$$

与阳极析出的氧反应而分解：

$$2NaCN+2NaOH+2H_2O+O_2 \longrightarrow 2Na_3CO_3+2NH_3\uparrow$$

加热镀时发生分解，生成各种化合物，如氨、甲酸钠等：

$$NaCN+2H_2O \longrightarrow NaCOOH+NH_3\uparrow$$

主要存在的职业病危害因素：生产过程中电镀液蒸发或分解产生剧毒的氢氰酸气体，以及电镀设备产生的机械噪声和极低频电磁场等；此外，含氰化物液体经破损皮肤和消化道吸收可导致严重的氰化物中毒。

2. 酸性硫酸盐镀铜

酸性硫酸盐镀铜有普通镀液和光亮镀液两类。光亮镀液是在普通镀液的基础上添加某些光亮剂，从而可直接获得光亮铜镀层，省去了机械抛光工序。

酸性硫酸盐镀铜生产工艺过程同氰化物镀铜。其镀液主要由硫酸铜、硫酸和数种表面活性剂组成。

主要存在的职业病危害因素：在生产过程中电镀液蒸发产生的硫酸雾，以及电镀设备产生的机械噪声和极低频电磁场等。

3. 焦磷酸盐镀铜

焦磷酸盐镀液以焦磷酸钾为主络合剂，主要成分为焦磷酸铜和焦磷酸钾、硝酸盐、柠檬酸铵、磷酸氢二钾、氨水等。其生产工艺过程同氰化物镀铜。

主要存在的职业病危害因素：生产过程中电镀液产生的氨气，以及电镀设备产生的机械噪声和极低频电磁场等。

五、镀镍

镍具有较高的化学稳定性。在常温下对水和空气都具有稳定性。镀镍的用途广泛，可分为防护装饰性镀镍和功能性镀镍两方面。作为防护装饰性镀层，镍可以镀覆在低碳钢、某些铝合金、铜合金表面上，塑料处理后也可镀镍，使塑料零件表面金属化。装饰性镀镍通常不单独应用，常与其他金属镀层构成多层结构体系。

镀镍溶液的种类很多，大致可分为电镀暗镀镍液、半光亮镀镍液、光亮镀镍液和特殊要求的镀镍液等。暗镀镍液主要成分是硫酸镍、氯化镍、硼酸、氨基磺酸镍等。光亮镀镍液主要成分为硫酸镍、氯化镍、硼酸、甲醛、氯化钠、醋酸、糖精等。

主要存在的职业病危害因素：生产过程中电镀液气体搅拌产生的酸雾和镍盐雾，以及电镀设备产生的机械噪声、空气动力性噪声和极低频电磁场等。

六、镀铬

铬是稍带蓝色的银白色金属，在大气中具有强烈的钝化能力，能长久保持光泽，在碱液、硝酸、硫酸、硫化物及许多有机酸中均不发生作用。镀铬层有很高的硬度和优良的耐磨性。镀铬层有较好的耐热性，在空气中加热到500℃时其外观和硬度仍无明显的变化。铬层的反光能力强，仅次于银镀层。

（一）镀铬的用途

镀铬按用途可分为防护装饰性镀铬和耐磨性镀铬。

1. 防护装饰性镀铬

防护装饰性镀铬层既可防止基体金属锈蚀，又具有装饰性光亮外观，通常作为多层电镀的最外层。如铜锡合金-铬、铜-铬、铜-镍-铬等电镀。经过抛光的制品表面镀上装饰铬后，可获得银蓝色镜面光泽，在大气中经久不变颜色。该镀铬层广泛用于仪器、仪表、日用五金、家用电器、飞机、汽车、火车等外露部件。

2. 硬铬（耐磨铬）

硬铬镀层具有很高的硬度和耐磨性能，可提高制品的耐磨性，延长使用寿命。如工、模、量、卡具、切削刀具及易磨损零件（如机床主轴、汽车拖拉机曲轴）等。硬铬镀还可用于修复磨损零件的尺寸。

3. 防护-耐磨双层铬镀层

在乳白铬镀层上加镀光亮耐磨铬镀层，既能提高抗蚀性能，又能达到耐磨目的。这种双层镀在飞机、船舶零件及枪炮内膛上得到广泛应用。

4. 黑铬镀层

黑铬镀层主要用作降低反光性能的防护-装饰性镀层，主要应用于航空仪表、光学仪器和照相器材等。

（二）镀铬溶液的类型

镀铬溶液按其化学成分可分为普通镀铬溶液、复合镀铬溶液、自动调节镀铬溶液、快速镀铬溶液、四铬酸盐镀铬溶液、常温镀铬溶液等。其中普通镀铬溶液由铬酸酐和硫酸组成。按铬酸酐的含量，可分为高浓度（350～500g/L）、中等浓度（151～250g/L）和低浓度（50～150g/L）三种镀液。复合镀铬溶液由铬酸酐、硫酸和氟硅酸组成。自动调节镀铬溶液除铬酸酐外，还有硫酸锶和氟硅酸钾。快速镀铬溶液在普通镀铬液的基础上再加入硼酸和氧化镁。四铬酸盐镀铬溶液除含有铬酸酐和硫酸外，还含有氟化钠、柠檬酸钠等。常温镀铬溶液由铬酸酐和氟化物组成。

（三）镀铬的电化学原理

1. 阴极反应

镀铬溶液成分比较简单，但其阴极反应却相当复杂。铬酸酐溶于水后生成铬酸（H_2CrO_4）和重铬酸（$H_2Cr_2O_7$），通电时的阴极反应为：

$$Cr_2O_7^{2-}+6e+14H^+ \xlongequal{} 2Cr^{3+}+7H_2O$$

$$2H^++2e \xlongequal{} H_2\uparrow$$

$$CrO_4^{2-}+6e+4H^+ \xlongequal{} Cr+4OH^-$$

2. 阳极反应

由于在镀铬中采用了不溶性铅锑合金阳极，因此不发生阳极溶解反应，在不同的电极电位下只发生下述两个反应：

$$2Cr^{3+}-6e+7H_2O \xlongequal{} Cr_2O_7^{2-}+14H^+$$

$$2H_2O-4e \xlongequal{} 4H^-+O_2\uparrow$$

（四）职业病危害因素识别

不论采取何种镀铬液配方，均以铬酸酐作为铬的来源，因此电镀液中均含有高浓度的铬酸和重铬酸。电镀过程中电镀液工艺温度一般控制在70℃左右，在此温度作用下和阴阳电极产生的氢、氧气体夹带下，产生大量的铬酸雾，给工作场所带来污染。可见控制镀铬槽铬酸雾是镀铬工艺职业病危害控制的关键点。此外还有电镀设备产生的机械噪声、空气动力性噪声和极低频电磁场等。

七、镀铜锡合金

铜锡合金俗称青铜，镀铜锡合金最常用的方法是氰化镀铜锡合金。该法对镀

层的成分和色泽容易控制，镀液分散能力好，改变镀液的组成和条件后可以获得低锡、中锡和高锡等一系列色泽的铜锡合金镀层。根据合金镀层中含锡量的多少可分为三种类型：

（1）低锡青铜，含锡 8%～15%，镀层呈黄色，是优良的防护装饰性底层或中间电镀层，已广泛用于日用五金、轻工、机械、仪表等行业中。

（2）中锡青铜，含锡大于 15%至 35%，镀层呈金黄色，硬度和耐蚀性介于低锡、高锡之间。

（3）高锡青铜，含锡 40%～55%，镀层呈银白色，亦称白青铜，抛光后有良好的反光性，常用于日用五金、仪器仪表、餐具、反光器械等。

1. 常用镀铜锡合金溶液类型

根据镀液中氰化物的含量高低可分为低氰镀、中氰镀和高氰镀等。常用镀铜锡合金溶液类型及配方见表 15-6。

表 15-6 常用镀铜锡合金溶液类型及配方

镀液成分/(g/L)	低 氰	低氰光亮	中 氰	高氰光亮
氰化亚铜	20～25	20～30	35～42	29～36
锡酸钠	30～40	10～15	30～40	25～35
游离氰化钠	4～6	5～10	20～25	25～30
氢氧化钠	20～25	8～10	7～10	6.5～8.5
三乙醇胺	15～20			
酒石酸钾钠	30～40			
醋酸铅		0.01～0.03		
焦磷酸铋				20～40
碱式硫酸铋				0.01～0.03
明胶				0.1～0.5
OP 乳化剂				0.05～2.0

2. 职业病危害因素识别

镀铜锡合金工艺温度一般控制在 55～68℃之间，用含锡量为 8%～12%的铜锡合金块作阳极。在此温度作用下和阴阳电极产生的氢、氧气体夹带下，可能产生剧毒的氰化物雾，给工作场所带来污染。此外还有电镀设备产生的机械噪声和极低频电磁场等。

八、镀铜锌合金

铜含量高于锌的铜锌合金俗称黄铜。常见的黄铜含铜量为 68%～75%，含铜量达到 70%～80%的铜锌合金呈金黄色，具有优良的装饰效果，它还可以进行化学着色而转化为其他色彩的镀层。广泛应用于灯具、日用五金、工艺品等方面。

根据镀铜锌合金的用途不同可分为装饰性镀液、厚镀层镀液、光亮滚镀液等。常用镀铜锌合金溶液类型及主要成分见表 15-7。

表 15-7 常用镀铜锌合金溶液类型及主要成分

镀液成分/(g/L)	装饰性	厚镀层	橡胶粘接用	光亮滚镀
氰化亚铜	22～27	56	8～14	28～35
氰化锌	8～12	13	5～15	4～6
游离氰化钠	16		5～10	8～16
总氰化钠		85		
氢氧化钠				5～8
硫氰化钾		30		
碳酸钠	20～40		10～25	20～30

镀铜锌合金工艺存在的职业病危害因素同镀铜锡合金。

九、镀银

镀银多用于日常用品的装饰和电子工业等。其镀液分为氰化物镀银溶液、硫低硫酸钠镀银溶液、磺基水杨酸镀银溶液和亚氨基二磺酸铵镀银溶液等，其中氰化物镀银溶液类型与配方见表 15-8。

表 15-8 常见氰化物镀银溶液类型与配方

镀液成分/(g/L)	预 镀 银	常规或光亮银	高速镀银
氰化银	1.5～2.5	20～45	35～115
游离氰化钾	70～75	35～50	40～160
碳酸钾		15～90	15～90
氢氧化钾			4～30
光亮剂		适合	适合

主要存在的职业病危害因素：生产过程中电镀液蒸发产生碱雾，氰化物镀银生产过程还产生剧毒的氰化物；电镀设备产生机械噪声和极低频电磁场等。

十、镀金合金

由于纯金镀层太软而且价格高，故多选用镀金合金。一般以 18K～20K 金的色泽和硬度较好，它们的含金量为 70.9%～87.5%。金合金镀液有碱性、酸性和中性镀液三类。

1. 碱性镀液

碱性镀液主要使用氰化物体系，其常用配方见表 15-9。

表 15-9 常用氰化物镀金合金溶液类型与组成

镀液成分/(g/L)	金-银	金-铜-镉	金-铜-镍	金-铜-银	金-镍
氰化金钾	5～10	5～10	5～10	5～10	1～5
氰化银钾	0.1～1			0.3～1.0	
氰化铜钾		100～150	50～100	50～150	
氰化镍钾			5～50		5～20
氰化镉钾		0.3～0.6			
氰化钾	50～150	5～20	微量～10	5～20	5～10
磷酸盐			10～30	10～30	
OP 乳化剂		0.05～0.1	0.05～0.1		

2. 酸性镀液

酸性镀液是加有弱有机酸（如柠檬酸、酒石酸）的氰化金钾镀液，一般 pH 为 3～4。酸性镀银液的特点是除了一部分有机化合物能使镀层光亮外，还能与微量的钴、镍、铟、锑等金属共沉积生成光亮镀层，镀层结晶致密。

3. 中性镀液

中性镀液是加有磷酸盐和乙二胺四乙酸二钠盐的氰化金钾镀液，一般 pH 为 6.0～8.5。

4. 职业病危害因素识别

镀金合金溶液均含有氰化物，在生产过程中产生剧毒的氰化物雾，尤以酸性镀液较易产生氰化氢气体，给工作场所带来污染。此外还有电镀设备产生的机械噪声和极低频电磁场等。

十一、几种典型的防护装饰性电镀

1. 防护装饰性镀铬

防护装饰性镀铬的目的是为了防止金属制品在大气中腐蚀生锈和美化产品的外观，也常用于塑料制品的表面装饰，已被大量应用于汽车、摩托车、自行车、缝纫机、钟表、家用电器、医疗器械、仪器仪表、家具、办公用品和日用五金等产品的表面装饰。

防护装饰性镀铬可分为一般防护装饰性镀铬和高耐蚀性防护装饰性镀铬。许多铁制日常用品采用镀铜、镀镍和镀铬三层电镀工艺，其工艺流程见图 15-2。

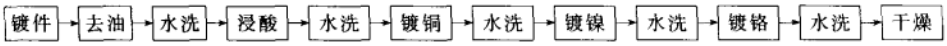


图 15-2　钢铁件铜-镍-铬三层电镀工艺流程

多层电镀生产线分直线镀和环形镀两种，工件依序进入不同的电镀槽完成规定层次的电镀。可实行生产自动化管理，有效地减少工作人员现场接触机会。

主要存在的职业病危害因素：生产过程中镀铜槽产生的氰化物气体，镀镍槽产生的镍盐蒸气，镀铬槽产生的铬酸雾，电镀液蒸发产生的酸碱雾，电镀设备产生的机械噪声和极低频电磁场等。

2. 一般钢铁零件镀耐磨铬

一般钢铁零件表面镀耐磨铬的工艺流程见图 15-3。

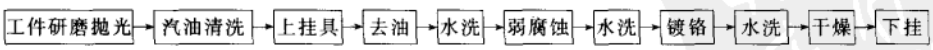


图 15-3　钢铁表面镀耐磨铬工艺流程

镀耐磨铬对工件表面处理要求较高，常用有机溶剂除油，并要求镀层较厚，以达到耐磨的目的。

主要存在的职业病危害因素：铬酸雾、硫酸雾、溶剂汽油，电镀设备产生的机械噪声和极低频电磁场等。

3. 锌合金镀铬

锌合金表面镀铬必须是多层结构，常用工艺流程如图 15-4。

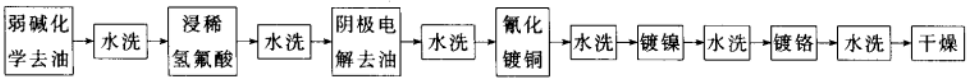


图 15-4 锌合金表面镀铬工艺流程

主要存在的职业病危害因素：铬酸雾、氰化氢、镍盐、酸碱雾、氢氟酸，电镀设备产生的机械噪声和极低频电磁场等。

第三节 化学镀

一、化学镀原理与应用

在表面处理技术过程中，化学镀占有很重要的位置。它主要是利用合适的还原剂使溶液中的金属离子选择地还原析出到经催化剂活化的表面上，而形成金属镀层的化学处理方法。

化学镀溶液的组成及其相应工作条件必须是反应只限在具有催化作用的工件表面，而溶液不应自己本身发生氧化还原反应，以免溶液自然分解，造成溶液过快失效。

若被镀的金属本身是反应的催化剂，则化学镀的过程就具有自动催化作用，使反应不断进行，镀层的厚度也逐渐增加。对于塑料、陶瓷、玻璃等不具备自动催化表面的非金属制件，在化学镀前要进行特殊的预处理，使它们表面活化而具有催化作用。

目前化学镀在工业中已被普遍采用。如在电子工业中起着重要作用，采用不同的还原剂，在化学镀中就能得到各种性能的镀层。目前已形成了化学镀镍、铜、银、金、钴、钯、铂、锡以及化学镀合金和化学复合镀层等工艺。在化学镀液中常用的还原剂有次磷酸盐、甲醛、肼、硼氢化物、氨基硼烷和它们的衍生物等。

近几年来，化学镀在石油、化学、塑料、光学、印刷、矿山、航空航天、核能、汽车、电子、计算机、纺织、造纸、食品机械等工业中得到了广泛应用。

二、化学镀镍

由于化学镀镍具有较好的耐磨性和抗腐蚀性，一般可作为工程或功能性镀层。如铝基体表面经化学镀镍后即可获得可钎焊的表面，在模具上进行化学镀镍可改善其润滑性，以便于脱膜，在零件上化学镀镍可增加其耐磨性等。

化学镀镍前要经过脱脂、喷水和流动水清洗、酸洗等前处理工序。化学镀镍溶液目前应用最广的是以次磷酸钠为还原剂的配方，主要化学成分为硫酸镍、次

磷酸钠、醋酸钠、柠檬酸钠、丁二酸、乳酸、氨基乙酸、苹果酸、硼酸、氟化钠等。在生产过程中需不断地补充、调整溶液化学组分。

主要存在的职业病危害因素：酸雾、镍盐、氟化物、机械噪声等。

三、化学镀铜

化学镀铜主要应用于非导体材料的金属化处理，如塑料制品表面金属化、电子工业的印刷线路板制作等。

化学镀铜通常以甲醛作还原剂，是一种自催化还原反应，以获得需要厚度的铜层。

$$Cu^{2+}+2HCHO+4OH^- \longrightarrow Cu+2H_2O+2HCOO^-+H_2\uparrow$$

化学镀铜溶液按络合剂种类可分为酒石酸盐型、EDTA 二钠盐型和混合结合剂型三种。按镀铜层厚度可分为镀薄铜溶液和镀厚铜溶液。按还原剂种类可分为甲醛、肼、次磷酸盐、硼氢化物等溶液。若按用途则可分为塑料金属化、印刷电路板孔金属化等溶液。几种化学镀铜溶液类型与配方见表 15-10。

表 15-10 常用化学镀铜溶液类型与配方

镀液成分及条件	塑料金属化	印刷电路板孔金属化	高温高速高稳定镀液
硫酸铜/(g/L)	7～9	10～15	6～10
酒石酸钾钠/(g/L)	40～50	40～60	
甲醛(37%)/(g/L)	11～13	10～15	10～15
氢氧化钠/(g/L)	7～9	8～14	7～10
甲醇/(g/L)		40～80	
亚铁氰化钾/(g/L)		80～130	
EDTA 二钠盐/(g/L)			30～40
α,α'-联吡啶/(g/L)			0.05～0.10
温度/℃	25～32	25～35	60～70
pH 值	11.5～12.5	11.5～12.5	12～13

主要存在的职业病危害因素：酸碱雾、甲醛、甲醇、机械噪声等。

第四节 热浸镀

将经过表面处理的金属工件，放入远比工件熔点低的熔融金属中，使工件表面镀上一层金属镀层的过程称热浸镀。热浸镀层金属一般为锡（熔点 231.9℃）、锌（熔点 419.5℃）、铝（熔点 658.7℃）和铅（熔点 327.4℃）。

热浸镀已广泛应用于工业设备和日常用品的防腐处理，如热镀水管、热镀输电线路钢支架、马口铁板等。

根据热浸镀工件前处理方法的不同，可将热浸镀工艺分为熔剂法和保护气体

还原法两类。

一、熔剂法

（一）工艺流程

1. 碱洗

碱洗的目的是去除工件表面油污。碱液一般由氢氧化钠、碳酸钠和磷酸三钠组成，碱洗温度一般为70～80℃左右。

2. 酸洗

酸洗的目的是去除工件表面氧化皮。工件表面的氧化皮由Fe_2O_3、Fe_3O_4和少量FeO所组成。其反应式如下：

$$FeO+H_2SO_4 = FeSO_4+H_2O$$

$$Fe_3O_4+4H_2SO_4+Fe = 4FeSO_4+4H_2O$$

$$Fe_2O_3+3H_2SO_4+Fe = 3FeSO_4+3H_2O$$

$$Fe+H_2SO_4 = FeSO_4+H_2\uparrow$$

3. 熔剂处理

在工件进入热浸镀前，先浸入熔融熔剂（一般为氯化锌和氯化铵混合物）中进行预处理，以脱除工件表面残存的铁盐等杂物。

4. 热浸镀

经熔剂处理过的工件放入熔融金属中，即可在其表面镀上一层金属层。浸镀加热可采用煤气炉、天然气炉或油炉，也可用感应电炉等。

5. 后处理

热浸镀后的工件必须悬挂冷却，以避免未凝固时镀层的划伤。然后还需平整矫直等处理。

其工艺流程见图15-5。



图15-5 熔剂法热浸镀工艺流程

（二）职业病危害因素识别

1. 化学毒物

工件在前处理酸碱清洗过程中清洗槽溶液蒸发产生酸碱雾，溶剂处理时熔炉产生氯化锌和氯化铵烟尘，热浸镀时熔炉产生被镀金属的烟尘及其氧化物粉尘。如镀锌时熔融状态的锌蒸发产生烟尘，部分锌烟在空气中迅速氧化成氧化锌；镀铅时会产生大量的铅烟铅尘，给工作场所带来较大的污染。此外，如采用煤气加热炉，还存在一氧化碳、氮氧化物等毒物危害。

2. 物理因素

熔剂处理、热浸镀和后处理工序均存在高温与热辐射，如果使用感应电炉则

存在电磁辐射。生产过程中机械搬运、电机和除尘风机等产生高强度噪声与振动等。

二、保护气体还原法

（一）工艺流程

1. 微氧化炉

工件进入氧化炉，由煤气或天然气加热，火焰将工件表面油污、乳化液等杂质焚烧干净，同时工件表面生成薄层氧化膜。

2. 还原炉

工件进入还原炉，该炉多用电阻或辐射管间接加热，炉内密封有氢气与氮气混合的保护气体。在炉内一方面将工件表层的氧化皮还原为适合热浸镀的活性海绵状铁，另一方面将工件继续加热进行再结晶退火。

工件从还原炉出来后，再进入热浸镀工序。后续处理同熔剂法，不再复述。其工艺流程见图 15-6。

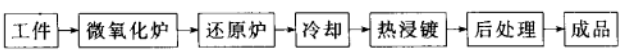


图 15-6　保护气体还原法热浸镀工艺流程

（二）职业病危害因素识别

该法生产过程中存在的职业病危害因素大体同熔剂法。但该法工件前处理工序职业病危害程度相对较轻，主要存在煤气燃烧过程中产生的一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物和工件表面杂质燃烧产生的烟尘等。

第五节　热喷涂

热喷涂材料经热源加热至熔化或半熔化态，用高压气流将其雾化并喷射于工件表面上而形成镀层的加工方法，称之为热喷涂。热喷涂材料可以是金属，也可以是非金属。一般金属喷涂层与工件之间以及喷涂层微粒之间的结合，是机械结合或微冶金结合。通过重熔或采用喷熔方法，可以得到冶金结合涂层。

一、热喷涂方法分类与应用

根据热喷涂热源及热喷涂材料的不同，可将热喷涂技术分为火焰加热及电加热法两类。

（一）火焰加热喷涂法

常用的有火焰线材（或棒材）及粉末喷涂法、火焰爆炸喷涂法、火焰超音速喷涂法、火焰粉末喷涂法等。该类方法多用氧-乙炔燃烧作为热源或高压喷射动力的气流。在机械、化工、航空、交通等部门已得到了广泛应用。

（二）电加热法

常用的方法有电弧喷涂法、线爆喷涂法、等离子喷涂法和等离子弧粉末堆焊等。其中等离子喷涂是以电弧放电产生的等离子（热离子化的气体）作为热源，将喷涂粉末熔化，并在等离子焰流加速下吹向工件表面形成涂层。这种方法不仅可喷金属，还可喷非金属，尤其是可喷涂高熔点材料，如陶瓷、碳化物等。

二、几种常用热喷涂工艺

（一）一步法喷涂工艺

1. 工艺流程

① 工件表面预处理，参见本章第四节热浸镀法；

② 预热，一般钢铁和铸铁预热至200～300℃，不锈钢及高合金钢可加热到350～400℃；

③ 预喷粉，待工件预热后立即先喷一层薄粉，以保护表面，防止工件表面预热后发生氧化；

④ 重熔，对预喷层粉末加热，待该区域粉末熔融后再开始喷粉。喷至规定的厚度后用同样的方法加热至涂层熔融，直到出现“铁面反光”现象为止；

⑤ 冷却，均匀缓慢地冷却或等温退火。

其工艺流程见图15-7。

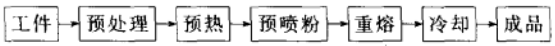


图15-7 一步法热喷涂工艺流程

2. 职业病危害因素识别

（1）化学毒物 工件在预处理酸碱清洗过程中清洗槽溶液蒸发产生酸碱雾，预喷粉和重熔过程中产生被喷金属的烟尘及其氧化物粉尘。如镀锌时熔融状态的锌蒸发产生烟尘，部分锌烟在空气中迅速氧化成氧化锌；镀铅时会产生大量的铅烟铅尘。此外，如采用乙炔加热，还存在二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物等。

（2）物理因素 预喷粉、重熔和冷却工序中均存在高温与热辐射。生产过程中机械搬运和通风除尘系统等产生高强度噪声与振动等。

（二）塑料粉末火焰喷涂工艺

1. 工艺流程

① 粉料准备，所喷粉末需达到规定的粒度，对热稳定性好，并烘烤干燥；

② 工件表面预处理，参见本章第四节热浸镀法；

③ 预热，预热温度取决于所喷塑料；

④ 喷涂，应控制喷涂温度，喷距不能太小，以免火焰烧坏塑料涂层；

⑤ 淬火，喷完后可将其自然冷却，亦可通过淬火将其晶粒细化，提高涂层结合强度及韧性。

其工艺流程见图15-8。

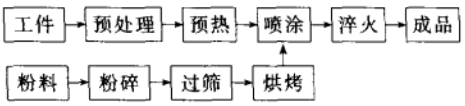


图 15-8 塑料粉末火焰喷涂工艺流程

2. 职业病危害因素识别

(1) 化学毒物 工件在预处理酸碱清洗过程中清洗槽溶液蒸发产生酸碱雾，粉料加工过程中产生塑料粉尘，粉料烘烤与喷涂过程中还可能产生塑料游离单体和高温分解产物等。此外，如采用乙炔加热，还存在二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物等。

(2) 物理因素 粉料烘烤、喷涂、淬火和冷却过程中均存在高温与热辐射。塑料粉碎、过筛和喷涂等生产过程中产生机械噪声与振动。

(三) 等离子喷涂工艺

1. 工艺流程

由电弧放电产生电弧等离子体温度可达 20000K，在高速等离子焰流载引下，将加热到熔融或高塑性状态下的喷涂材料高速撞击工件表面形成涂层。

等离子喷涂温度高，可喷材料范围广，几乎所有固态工程材料均可喷，如各种金属、陶瓷、塑料、非金属矿物及复合粉末材料等。工件不带电，基体材料适用范围广，如金属、石墨、水泥制品、硬塑料、石棉制品、陶瓷、玻璃、木材等均可作为基体。

主要设备包括等离子喷枪、送粉器、循环水冷却系统、控制系统。

2. 职业病危害因素识别

随着等离子工艺的广泛应用，工作过程中的有害因素已逐渐为人们识别和认识。由于等离子弧弧区温度高达 20000K 以上，焰流速度很高（10000m/分钟），采用高压高频（2500V、250kHz）振荡器引弧，以及使用钍钨棒作阴极材料等，由此带来的职业病危害较为严重。一般认为等离子喷涂工艺过程中的有害因素主要有臭氧、氮氧化物、一氧化碳、金属蒸气和粉尘、热辐射、高频电磁场、强烈的噪声、紫外辐射、红外线和电离辐射以及电击伤等。详见第十四章第四节等离子焊。

第六节 涂料与涂装

涂料是一种涂覆在物体表面能形成完整的膜并能与物体表面牢固黏合的物质，而实施这一涂覆过程的工艺称为涂装。在目前新技术、新工艺、新材料、新设备不断进步的情况下，对涂装工艺的要求越来越高，从而促进了涂料合成技术和涂装工艺的快速发展。

一、涂料的组分

常用的涂料有油脂涂料、天然树脂涂料、酚醛树脂涂料、沥青涂料、醇酸树脂涂料、氨基树脂涂料、硝基涂料、乙烯树脂涂料、丙烯酸树脂涂料、聚酯树脂涂料、环氧树脂涂料和聚氨酯涂料等。工业上应用最多的是丙烯酸树脂涂料、氨基树脂涂料、硝基涂料、环氧树脂涂料和聚氨酯涂料。

涂料一般由成膜物质、溶剂、助剂和颜料四部分组成。其作用主要有：

① 保护作用，使基体（金属或非金属）表面免受外界大气、盐雾、酸雾、化学药品、有机溶剂等的侵蚀；

② 装饰作用，改变基体外观，使其表面美化；

③ 改性作用，基体通过表面涂装后，可改变其阻燃性、绝缘性、辐射性、保温性等。

（一）成膜物质

成膜物质可分为油料和树脂两大类，早期的涂料主要是由天然动物油脂、植物油脂和天然树脂等制成，因此涂料又称为油漆。随着世界石油化学工业和高分子合成工业的迅速发展，为涂料工业的发展提供了良好的物质基础。因此，目前的涂料除了少量采用天然树脂和油脂外，主要是以合成树脂为成膜物质。成膜物质的分类见表 15-11。

表 15-11 成膜物质的分类

类别		主要品种
油脂类	干性油	桐油、梓油、亚麻油、苏子油
	半干性油	豆油、向日葵油、棉籽油
	不干性油	蓖麻油、椰子油、花生油
树脂类	天然树脂	松香、虫胶
	人造树脂	松香钙酯、松香甘油酯、硝酸纤维
	合成树脂	酚醛树脂、醇酸树脂、氨基树脂、环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸树脂等

（二）溶剂

溶剂是一种能挥发的液体，不同品种的涂料（或成膜物质）需要配用相应的溶剂成分。

溶剂的主要作用是使涂料保持溶解状态，并可调整涂料黏度，以便于施工。溶剂在涂料成膜过程中逐渐挥发掉，不会长期存在于漆膜中。因此溶剂往往成为涂装工艺过程中职业病危害因素的重要来源。通常对溶剂的要求是溶解能力强、挥发速度适中、无毒或毒性很小、价格低廉。

常用溶剂主要有：

① 200 号溶剂汽油，溶解能力中等，主要适用于油脂漆和天然树脂漆；

② 苯，是良好的油脂漆和树脂漆溶剂，但因毒性大，很少单独使用，常作

为甲苯和二甲苯等有机溶剂的杂质和溶剂汽油的组分存在于涂料中；

③ 甲苯，挥发速度快，溶解能力强，是天然干性油、树脂（改性酚醛、醇酸、脲醛、沥青、乙基纤维等）的强溶剂；

④ 二甲苯，挥发速度适中，溶解能力次于甲苯，既可用于常温干燥涂料，也可用于烘干涂料，如氨基醇酸烘漆、酚醛漆等；

⑤ 乙醇、丁醇等醇类溶剂，不能溶解一般树脂，但能溶解虫胶、聚乙烯醇缩丁醛树脂等，丁醇溶解能力比乙醇差，且挥发较慢，可为氨基树脂的溶剂；

⑥ 醋酸乙酯、醋酸丁酯等酯类溶剂，是良好的硝化纤维、油脂和树脂等物质的溶剂；

⑦ 甲乙酮和甲基乙丁基酮，是环氧树脂和乙烯类树脂的溶剂。

（三）助剂

为改善涂料的施工性能，需加入各种助剂。常用的助剂有催干剂、增塑剂、固化剂、防结皮剂、防沉淀剂、紫外线吸收剂、增滑剂、消泡剂等。

1. 催干剂

催干剂的作用是缩短漆膜干燥时间，催干剂可单独使用，也可几种催干剂联合使用。许多金属氧化物和金属盐类均可作为催干剂。

2. 增韧剂

增韧剂又称增塑剂、软化剂，用以增加漆膜的韧性，提高附着力，消除漆膜脆性。常用的增韧剂为蓖麻油、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯、磷酸三甲酯等。

（四）颜料

颜料是一种不溶于水、呈粉末状的有色物质。可均匀分布于介质中，其作用是增加漆膜遮盖性、增加漆膜强度、耐老化、阻止紫外线透过和耐高温等。颜料可分为有机颜料和无机颜料两大类。常用品种有铁红粉、钛白粉、锌钡白粉、铅铬黄粉、铅铬绿粉、炭黑粉、铝粉、铜粉等。

二、工件涂装前表面预处理

钢铁工件表面必须认真预处理，否则将影响涂层的附着力和平整性。主要处理工序如下。

（一）除锈

一般根据工件锈蚀程度、除锈质量要求和施工难度来选择除锈的方法。

1. 手工除锈

主要是用铲刀、钢丝刷、砂轮等工具手工去除工件上的锈渍。多用于采用机械、化学方法不便的大型工件除锈。

2. 机械除锈

机械除锈主要有抛丸、喷丸、喷砂和风动钢丝刷等方法。抛丸、喷丸、喷砂除锈是利用高速旋转叶轮或压缩空气将铁丸或砂投射到物体表面，靠冲击与摩擦

作用除去工件表面的氧化皮、锈蚀及其他污染物的方法。

喷砂有干喷砂和湿喷砂两种方法。前者加工表面比较粗糙，后者可用于各种场合，操作时对环境的污染较小，常用于较精密的加工。喷砂用的磨料包括钢砂、氧化铝砂、石英砂、碳化硅砂等，但最常用的是石英砂。

3. 化学除锈

化学除锈是使用酸液溶解钢铁表面的锈蚀物，然后再用碱液中和，或清水冲洗后干燥处理。其除锈原理和过程详见本章第四节酸洗内容。

存在的职业病危害因素：手工除锈和机械抛丸、喷丸、喷砂产生的铁锈尘、石英尘、三氧化二铝尘和碳化硅尘等；化学除锈过程中产生的酸雾；抛丸、喷砂机等产生的强烈噪声与振动等。

（二）除油

常用的除油方法是碱煮洗法。一般用3%～5%的氢氧化钠溶液加热至70～80℃煮洗，再用清水漂洗残存的碱液。化学除油液配方中除有氢氧化钠外，还有碳酸钠、磷酸三钠、水玻璃、OP乳化剂等。

存在的职业病危害因素：除油液高温蒸发出来的碱雾，高温高湿及机械噪声等。

（三）磷化

钢铁表面经除锈、除油及清除其他污物后，为进一步提高金属表面与涂层的结合力和防锈力，还需进行磷化处理。磷化是用磷酸或锰、锌、镉的磷酸盐溶液处理金属件，在金属表面产生一层磷酸盐覆盖膜，对金属起保护作用，并能使金属表面呈均匀的粗糙状态，加大涂料涂层与基体的附着力。磷化液分类与主要化学成分见表15-12。

表15-12 磷化液分类与主要化学成分

分 类	磷化液主要成分	磷化膜主要组成
锌系	$Zn(H_2PO_4)_2$	磷酸锌[$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$] 磷酸锌铁[$Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$]
锌钙系	$Zn(H_2PO_4)_2$ 和 $Ca(H_2PO_4)_2$	磷酸锌钙[$Zn_2Ca(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$] 磷酸锌铁[$Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$]
锰系	$Mn(H_2PO_4)_2$ 和 $Fe(H_2PO_4)_2$	磷酸锰铁[$Mn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$]
锰锌系	$Zn(H_2PO_4)_2$ 和 $Mn(H_2PO_4)_2$	磷酸锌、锰、铁混合物[$Mn_2FeMn(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$]
铁系	$Fe(H_2PO_4)_2$	磷酸铁[$Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$]

磷化工艺按所使用的温度分为高温型（80～99℃）、中温型（50～75℃）和常温型（10～40℃）。目前磷化发展趋势是将除油与磷化合并的“二合一”处理法，或将除锈、除油、磷化合并的“三合一”处理法。

存在的职业病危害因素：磷化过程中产生的高温高湿及机械噪声等。如果选用锰盐，还存在锰的职业危害。

三、涂装工艺

（一）常用涂装工艺简介

传统的涂装工艺主要有刷漆、喷漆、浸漆和淋漆，而现代机械化生产工艺多采用电泳法、静电喷涂法和高压无气喷涂法等。几种常用涂装工艺概况见表15-13。

表15-13 几种常用涂装工艺概况

涂装方法	内 容	适用范围	职业病危害特点
刷涂	人工用各种毛刷涂刷	任何形状工件，几乎任何涂料	以挥发的涂料溶剂危害为主，直接接触，危害大
自动浸涂	工件在悬链上借链运动自动沉入漆槽中涂漆	大批量流水线生产	可实现自动化生产，间接接触，危害小
手工喷涂	利用压缩空气，喷枪将漆雾化喷到工件表面成膜	各种形状工件，尤适用于大面积工件	产生大量的漆雾和有机溶剂，危害大。应注意防护
高压无气喷涂	涂料在高压下经喷嘴喷出，没有涂料微粒回弹和漆雾飞扬	适合喷高黏度涂料，加厚漆。工作效率高	不生产漆雾，但仍有溶剂挥发，危害相对较小
淋涂	工件在工作台上，利用循环泵将漆液喷淋到工件上	大批单一工件底漆涂装	可实现自动化生产，间接接触，危害小
幕帘淋涂	工件在连续不断往下流的漆液幕帘下通过	适于成批生产，且只需涂单面的大工件	可实现自动化生产，间接接触，危害小
流化床涂覆	利用粉末涂料在一定风压下呈“沸腾”状态，在略高于熔点的预热工件表面上融合，冷却后成膜	适于大型、形状不同的工件	可实现自动化生产，没有溶剂，间接接触，危害小
辊涂	利用辊涂机械进行辊涂	适用于平板涂装	间接接触，危害一般
静电喷涂	利用电晕放电使带电的雾化漆粒子在高压直流电场作用下，被吸附于带有异性电荷的工件表面上成膜	固定式适于大批量单一产品的自动流水生产，手提式适于各类大小产品及补漆	可实现自动化生产，间接接触，危害小。但存在电磁场危害
静电喷粉	粉末涂料在高压静电和气流的联合作用下飞向工件表面，经加热熔化后成膜	适于大批量单一产品的自动流水生产	可实现自动化生产，无溶剂，危害很小。但存在电磁场危害
电泳涂装	利用外加电场使漆液中的颜料和树脂等向作为电极的工件运动并沉积于上成膜	主要用于大批生产涂装打底漆用	可实现自动化生产，为水溶性漆，溶剂挥发少，间接接触，危害小

（二）职业病危害因素识别

涂装工艺种类繁多，常用的涂料种类与溶剂品种更多。因此，不同涂装工作场所存在的职业病危害因素可能相差较大。在实际工作中应根据以下几个方面进行综合识别。

1. 涂料的化学组成

涂装过程中产生的化学毒物几乎都是来自于涂料本身，其中绝大多数又来自涂料中的溶剂。涂料中油脂类和树脂类主要成分多属无毒或低毒物质，并且不挥

发，不污染工作环境。而溶剂类多数挥发速度快，在喷涂过程中给工作场所带来污染。因此，在化学毒物识别时，应重点关注所用涂料中溶剂的化学组成、含量和挥发性。

首先可以从产品说明书内容、产品性状和气味等方面进行初步识别。对成分不清或怀疑含有某种高毒物质的产品，可以使用气相色谱进行采样定量分析，或用气相色谱-质谱联测仪进行定性定量分析。

常见的化学毒物有苯、甲苯、二甲苯、溶剂汽油、丙酮、丙醇、丁醇、醋酸丁酯、醋酸乙酯等。另外，还应关注涂料中颜料的毒性。如涂料中添加了含铅、含铬或含镉的颜料，则存在铅、铬、镉的危害。

苯作为单独的溶剂已很少使用，但常作为甲苯和二甲苯等有机溶剂的杂质和溶剂汽油的组分存在于涂料中，其职业病危害仍不可小视。

一般无溶剂涂料比水溶性涂料危害较小，水溶性涂料又比有机溶剂涂料毒性大。

2. 涂装工艺

涂装设备本身也可能存在一些职业病危害因素。如静电喷涂，一方面减少了漆雾的浪费和职业危害，另一方面又产生了电磁辐射的职业危害；高压无气喷涂设备和压缩空气喷涂设备产生高强度的噪声；烘烤漆膜装置产生高温和热辐射等。

一般压缩空气喷涂产生的漆雾和有机溶剂污染最大，淋涂和刷涂次之，静电喷涂和高压无气喷涂产生的漆雾和有机溶剂污染较小，流化床涂覆和静电喷粉产生的污染最少。

第七节　职业病危害控制措施分析

目前我国表面处理行业职业病危害仍然十分严峻，主要表现在职业病危害的多样化，传统的职业性苯中毒、苯致再生障碍性贫血和白血病、职业性铅中毒、牙酸蚀病、职业性铬鼻病和皮肤病等职业病并未得到有效控制，而新的职业病和职业性多发病备受社会关注。如有报道，四氯乙烯作业工人的皮炎检出率达100%，放射性夜光涂料作业人员肝损伤达59.5%，喷漆作业人员的慢性咽炎为30.6%、过敏性鼻炎为18.5%，甲苯二异氰酸酯致职业性哮喘、电泳涂料致周围神经炎也常有报道。此外，苯、铅等毒物对女性生殖机能危害和子代健康影响问题也十分突出。

鉴于表面处理采用的工艺和化学物质品种繁多，应根据各自的特点采取相应的防护措施，主要包括技术措施、工程措施和个人防护措施三个方面。

1. 技术措施

在生产设备方面，尽量采用机械化和自动化生产，减少操作人员直接接触毒物的机会。在生产工艺方面，应通过技术创新，积极探索用无毒或低毒物质代替有毒或高毒物质的生产工艺技术；这是消除表面处理职业病危害的关键控制点。近年来我国在表面处理无毒化方面取得了可喜的成绩。如用二甲苯代替苯、庚烷代替正己烷作溶剂，无氰电镀、无溶剂喷涂、静电喷粉、乳胶漆和电泳涂装等新技术的应用得到了大力推广等。但是完全做到无毒化，从根本上解决表面处理的职业病危害问题还有一定的技术难度。因此，目前很有必要做好工程防护和个人防护。

2. 工程措施

在电镀和涂装生产过程中应尽量做到密闭化生产。如电镀槽和喷漆口应采取局部抽风工程措施，局部抽风系统要有足够的通风量，并且抽风罩口设计要行之有效。以减少毒物向外扩散，污染工作环境。此外，还可辅助设计岗位送风系统或全面通风系统，以进一步降低工作场所有毒物浓度。

目前超净涂装室和自动涂装生产的兴起，可使操作人员与喷涂现场隔开，有效地减少了劳动者接触的机会。

3. 个人防护措施

工作人员的个人防护措施包括避免呼吸道吸入和皮肤直接接触两方面。对于在毒物浓度较高的场所中工作，特别是事故处理、配漆等，应配戴过滤式防毒面罩或供气式防护面罩等。

手工配漆、配电镀液等操作过程中应戴手套，避免皮肤直接接触，可有效地预防化学药品对皮肤的损害。

此外，加强对工作人员的健康监护，实施上岗前和定期体检制度，可有效地排除职业禁忌证，并早期发现职业性健康损害。通过及时治疗或调离岗位，确保劳动者免受职业病危害。

（杨乐华）

第十六章　核电机组

第一节　概　　述

1942 年 12 月 2 日，费米领导的十几位科学家在美国芝加哥大学成功地启动了世界上第一座核反应堆，标志着人类从此进入了核能时代。核能的发展与和平利用是 20 世纪最杰出的科技成就之一，对它的研究与开发利用导致了一门技术密集的新兴工业——核工业的形成。

1. 世界核电的发展

1954 年 6 月，在距离莫斯科约 100km 的奥布宁斯克开始运营世界上最早的商业核电站，实现了原子能的和平利用。

在 20 世纪 50～60 年代，美国、苏联、英国、法国等几个工业先进国家致力于各种类型反应堆的研究、实验，探索各种建堆方案，建造了若干种原型核电厂。

进入 21 世纪以来，由于能源资源缺乏和温室效应使全球变暖的威胁，并随着发展中国家经济的飞速发展，不少国家开始对开发和利用核能发电表现出极大的兴趣。

据国际原子能机构（IAEA）公布，至 2002 年底，全世界共有 441 台核电机组在运行。2002 年共生产电力 2.574 万亿千瓦·时，约占当年世界总发电量的 17%。据 IAEA 估计：到 2020 年，全世界要建造约 130 个新核电机组；到 2050 年，全世界核装机容量可能达到 1500GW，是目前的四倍多。

2. 我国核电的发展

1983 年 6 月 1 日，我国自行设计的 30 万核电站在浙江省海盐县秦山破土动工，标志着我国核电建设的开始。迄今，中国已成功地自行设计建造了秦山一期 30 万千瓦和秦山二期两台 60 万千瓦压水堆机组；建设了广东大亚湾和岭澳四台百万千瓦级核电机组，以及秦山三期两台 70 万千瓦重水堆核电机组；从俄罗斯引进的两台百万千瓦级压水堆核电机组也在建设中。2004 年，中国核电机组运行良好，核电机组总发电量 504.69 亿千瓦·时，占总发电量的 2.3%。目前，广东岭澳核电站二期、秦山二期扩建工程和广东阳江工程、浙江三门核电站工程等核电工程已获国家核准或正在核准，并在按计划推进。经过几十年的发展，中

国已经形成完整的核工业体系，一个适合国情的核电发展道路正在形成。

3. 我国未来核电的发展趋势

在过去几十年间，我国火电以燃煤为主，大量的煤炭燃烧带来了严重的环境污染问题。从长远来看，发展核电是改善我国能源结构、逐步减少环境污染不可或缺的途径。因此，积极推进核电的发展已成为中国未来电力发展的一项重要措施。

我国政府确定的电力建设基本方针是“优化火电结构，大力发展水电，适当发展核电，因地制宜地发展多种新能源发电”。今后核电还要向更高层次的快中子增殖堆、高温气冷堆和聚变堆迈进。

到目前为止，湖北、湖南、吉林、安徽、重庆、河南、江西、四川、甘肃等内陆省份以及广西、浙江、广东等沿海省区不同程度地进行了内陆核电厂址的选择或可行性研究工作。

第二节　核电站工艺简介

一、核电站的原理

在核裂变反应中，裂变重核吸收中子后分裂成两个轻原子核，同时放出 2～3 个中子和释放出大约 200MeV 的可利用能量。其反应式如下：

$$^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow^{140}_{56}\mathrm{Ba}+^{94}_{36}\mathrm{Kr}+2^{1}_{0}\mathrm{n}+200\mathrm{MeV}$$

这个过程两项产物使其具有很大的利用价值，即一次核裂变释放出大量能量，可以加以利用。另一方面，还产生 2～3 个新中子，新产生的中子又继续引起新的核裂变反应，形成了一个“链式反应”，从而不断地释放出大量能量。

核电站就是利用原子核的链式裂变反应所产生的热（能）量，由载热剂（如水、重水、气体、液态金属等）带到热交换器（蒸汽发生器）传给另一个回路的水，使其产生饱和蒸汽或过热蒸汽，用来驱动发电机组发电。

在反应堆堆芯中，当裂变产生的中子和泄漏掉的中子、核燃料、堆芯结构材料吸收的中子达到平衡时，裂变反应就不再需要从外界补充中子，便能继续自动地裂变下去，这样的中子平衡状态称作临界状态。处于临界状态的反应堆可以工作在不同的功率水平之下。

二、核电站的分类与命名

所有反应堆的基本原理是相同的，但由于核燃料、冷却剂、冷却方式、中子慢化剂等的不同，反应堆有许多类型，并以中子的慢化剂来命名，常见的有：

① 以普通水作为慢化剂的反应堆叫轻水堆；

② 水以沸水的形式存在的叫沸水堆；

③ 加压使高温水保持液态的反应堆叫压水堆；

④ 以重水作为慢化剂的反应堆叫重水堆；

⑤ 以石墨作为慢化剂的反应堆叫石墨气冷堆。

压水堆是迄今为止技术较为成熟的反应堆。目前全球正在运行的商用反应堆有 400 余堆，其中压水堆占 56%。石墨气冷堆由于其安全性受到质疑，在以后的一段时期内将陆续退役。而高温气冷堆与快中子增殖堆属于第二代堆型，尚需做大量研究工作才能达到商用推广的阶段。

三、压水堆（PWR）核电站工程分析

核电厂是综合性强、自动化高、分项工程组成多的特大型工程建设项目。核反应堆堆型的选择更是一项复杂的工作。为了集中使用财力、物力，一个国家一般不同时搞多种堆型。我国根据自己的国情，一般使用压水堆。以下以压水堆核电站为例作一简要工程分析。

压水堆是轻水堆的一种。为了使冷却剂（即普通水）在经过堆芯时不发生容积沸腾，冷却剂循环系统的压力需保持在 14.7～15.7MPa 之间。从堆芯出来的高温、高压水在蒸汽发生器中使二回路水产生蒸汽，驱动汽轮发电机组发电。由于一、二回路是相隔开的，一回路中的活化产物和从破损元件泄漏出来的裂变产物通常不会进入二回路而污染汽轮发电机。压水堆的工艺流程见图 16-1。

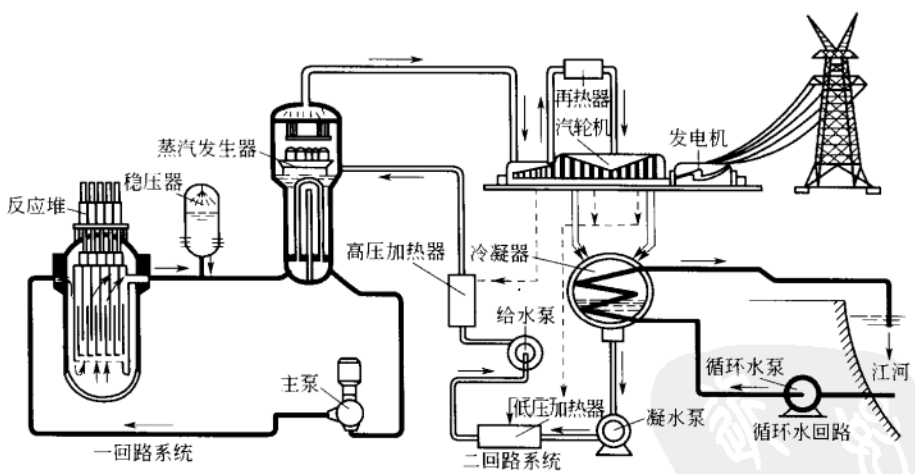


图 16-1 压水堆工艺流程

四、核电厂的厂房布局

核电厂主要厂房设施包括反应堆厂房（即安全壳）、燃料厂房、核辅助厂房、汽轮机厂房和控制厂房。一般核电厂的厂房可以分成以下几个部分。

① 核心区，主要由核岛和常规岛组成，包括反应堆厂房、核辅助厂房、燃料厂房、主控制室、应急柴油发电机房、汽轮发电机厂房等；

② 三废区，主要由废液储存、处理厂房及固化厂房、弱放射性废物库、固

体废物储存库、特种洗衣房和特种汽车库等组成；

③ 供排水区，主要由循环水泵房、输水隧洞、排水渠道、淡水净化处理车间、消防站、高压消防泵房、排水泵房等组成；

④ 动力供应区，包括冷冻机站、压缩空气及液氮储存气化站、辅助锅炉房等；

⑤ 检修及仓库区，包括检修车间、材料仓库、设备综合仓库及危险品仓库等；

⑥ 厂前区，包括电厂行政办公大楼及汽车、消防、保安及生活服务设施。

某核电厂厂区布局见图 16-2。

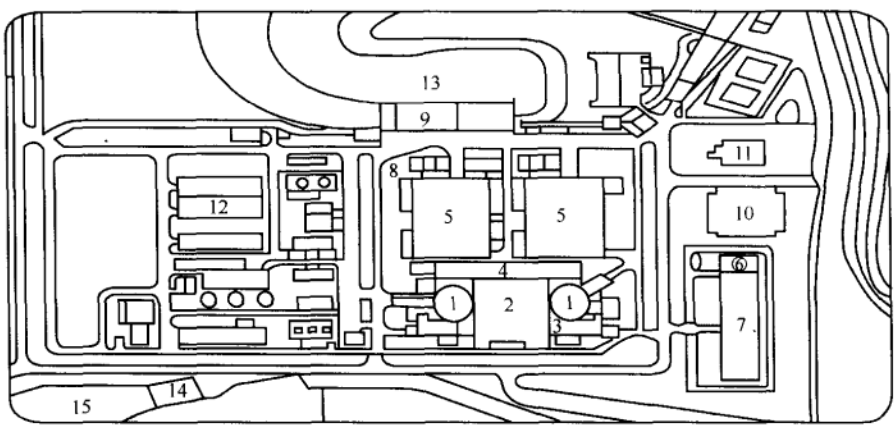


图 16-2　某核电厂厂区布局

1—反应堆厂房；2—核辅助厂房；3—燃料厂房；4—电气厂房；5—汽轮机厂房；6—调度控制楼；7—主调度大楼；8—变电站；9—循环水泵房；10—行政办公大楼；11—餐厅；12—其他辅助厂房；13—海水进口；14—循环水虹吸井；15—循环水排水泵

核岛厂房主要有反应堆厂房、核辅助厂房、燃料厂房、主控制室等。一台600～900MW 机组核岛各厂房组合后的占地面积约 8000～10000m^2。一般可将压水堆核电站分为反应堆回路、汽轮机回路、发电机回路。按惯例，通常将反应堆回路及其辅助系统和厂房（主要包括反应堆、蒸汽发生器）称为核岛（NI），汽轮机回路及其辅助系统和厂房（主要包括汽轮机、发电机）称为常规岛（CI），发电机回路等称为配套设施（BOP）。

五、核岛（NI）

从生产的角度看，核岛利用核能产生蒸汽；常规岛用蒸汽产生电能。核电站与一般电厂的区别主要在于核岛部分。核岛由核蒸汽供应系统、设备冷却水系统、核燃料装换料及储存系统等几部分组成。通常核岛核蒸汽供应系统中的压水堆、一回路主系统和设备及余热排出系统装在安全壳内。核蒸汽供应系统另两个辅助系统及核岛其余组成部分均在安全壳外的核辅助厂房中。安全壳内主要设施见图 16-3。

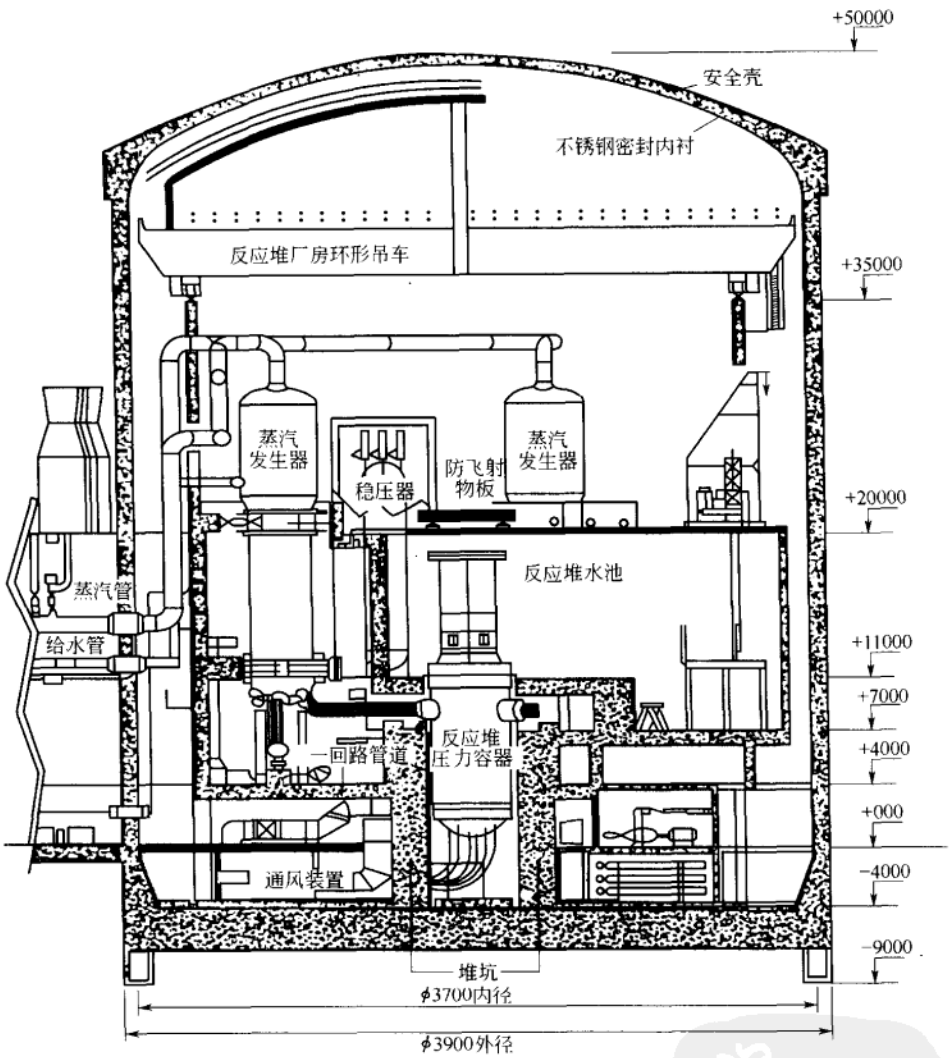


图 16-3 安全壳内主要设施

（一）核蒸汽供应系统

核蒸汽供应系统是压水堆电厂一回路、二回路的枢纽。它将反应堆产生的热量传给蒸汽发生器二次侧（即二回路侧），产生蒸汽推动汽轮机做功。蒸汽发生器又是分隔一次侧、二次侧（即一回路和二回路侧）介质的屏障，它对核电厂的安全运行十分重要。主要包括以下系统。

1. 压水堆及一回路主系统

反应堆是核电站的心脏。它是使原子核裂变的链式反应能够有控制地持续进行的装置，是利用核能的一种最重要的大型设备。反应堆中有控制棒，它是操纵

反应堆、保证其安全的重要部件。它是由能强烈吸收中子的材料制成的，主要材料有硼和镉。其他设备还有主管道、冷却剂泵、蒸汽发生器、稳压器及卸压箱等。

2. 三个辅助系统

即化学和容积控制系统、余热排出系统和安全注射系统。

3. 控制保护系统

为确保压水堆、一回路主系统、化学和容积控制系统、余热排出系统和安全注射系统的正常运行，还需设计对以上系统的控制、保护和检测系统。

在有的压水堆设计中，核蒸汽供应系统只包括压水堆及一回路主系统等设备，如美国燃烧工程公司所设计的电功率为1300MW的核蒸汽供应系统等。

（二）核岛的其余组成系统

主要包括有：

① 设备冷却水系统、生水系统、重要厂用水系统；

② 放射性废物处理系统及硼回收系统，即一回路排水处理系统；

③ 反应堆安全壳及安全壳喷淋系统；

④ 核燃料装换料及储存系统（有的设计把这个系统列入核蒸汽供应系统）；

⑤ 安全壳通风和过滤系统、核辅助厂房通风系统；

⑥ 柴油发电机组。

六、常规岛（CI）及配套设施（BOP）

常规岛（CI）及配套设施（BOP）系统与火电厂基本相同（参见第二章燃煤火力发电机组）。

第三节　核电站运行状态与职业病危害特点

总的来说，核电站的职业病危害因素大致上可分为两个方面，即放射性职业病危害和非放射性职业病危害。放射性职业病危害是核电站乃至核工业部门所特有的职业病危害因素，也是核电站所有职业病危害因素中最需严加防范的因素，且是核电站职业安全与健康工作的重要任务。

在放射性职业病危害因素识别过程中，为方便起见，可将核电站的职业照射按其运行的不同状态分为三种类型，即正常运行状态、大修状态和事故应急状态。在这三种状态下，放射性职业病危害因素（职业照射）的防范意义是大不相同的。

1. 正常运行状态

核电厂的标准状态是指包括堆芯反应性、反应堆功率水平、反应堆冷却剂平

均温度等参量的组合所对应的电厂运行状态。正常运行状态是核电站按其标准运行的状态，这种状态下，工作人员所受到的职业照射最少。

2. 大修状态

大修是核电站生产活动的一个特殊阶段。在压水堆核电站，每隔一定的周期，需要停堆更换部分燃料组件，重新布置堆芯。利用这一时期，核电站安排设备的故障检修、预防性检修和周期性检查、试验，这一阶段和过程称为大修。一般来说，核电站大修每年一次，每隔五年进行一次长大修，其余四次只是以换料工作为中心的大修。

核电站大修要在一个相对较短的时间内完成设备检修、在役检查、定期实验及工程改造等，以期消除正常运行期间产生的各种设备缺陷。因此，大修是核电厂辐射防护工作最集中、辐射风险和集体剂量最高、管理难度最大、最易发生各类事件和事故的阶段。以大亚湾为例，每年的大修集体剂量约占全年总集体剂量的85%～90%。

3. 异常或事故应急状态

异常或事故应急状态是指在核电生产过程中，当反应堆或放射源失去控制或已经失去控制时，工作人员为处理异常情况将导致异常照射或应急照射（自愿的）或事故照射（非自愿的）。1986年前苏联切尔诺贝利核电站事故导致了237人受到过量照射，其中134人患急性放射病，28人死于伴有辐射烧伤的放射病。最为严重的是使公众和受照人员产生了长期的心理负担。经过了前苏联切尔诺贝利事故后，对核电站运行的安全性进行了重新设计。这种事故状态发生的概率是很小的。

除了上述核设施特有的放射性职业病危害外，还存在噪声与振动、工频电磁场、高温与热辐射、氨、联氨等化学水处理过程中使用的有毒物质危害。此外，还存在触电、火灾隐患、机械伤害和高空坠落等危险隐患，以及职业性紧张和职业性心理疾病等。

第四节　核电生产过程中职业病危害因素综合识别

一、辐射危害因素

（一）照射特点

核电厂的辐射源有堆本体、冷却剂系统、燃料的储运及废物处理系统等。反应堆类型很多，辐射危害因素也有很大的差别，但具有下列特点。

1. 以外照射为主

总的来说反应堆运行中职业照射主要来自外照射。内照射仅占很小的比例，

一般不大于5%。

2. 以检修照射为主

反应堆运行时剂量贡献相对较小，多数核电厂只占总剂量的20%～25%左右。工作人员主要是在检修时接受照射剂量，约占总剂量的75%～80%。

所以对检修的剂量防护是辐射防护的重要工作内容。

（二）正常运行和大修

正常运行和大修时的辐射职业病危害因素主要是堆本体存在γ辐射。主冷却回路含有的放射性物质可分为两部分。一部分为活化产物，包括冷却剂本身及原有杂质的活化；另一部分为裂变产物，来自燃料包壳破损及包壳等材料表面杂质中铀的裂变。

不同堆型活化产物的组成也不同。冷水堆主要活化产物有^{16}N、^{17}N、^{19}O、^{18}F等；重水堆中由于氘核的活化，氚成为重要的活化产物；压水堆中水中含有较高浓度的B，还有^{51}Cr、^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{59}Fe、^{24}Na等腐蚀产物；在气冷堆中则有^{41}Ar和^{35}S。各种堆中都含有数量不等的^{14}C。在乏燃料储存和运输中，放射性物质主要存在于核燃料元件内。除堆芯外，还有燃料存放池和燃料运输容器，也存在着放射性物质。

（三）反应堆事故

反应堆事故是核电站非正常情况下的状态。由于事故的大小各异，事故时释放的放射性核素有很大的差别。最容易释放的放射性核素主要是挥发性气体，如惰性气体、^{131}I、^{132}I、^{133}I、^{131}Te、^{132}Te、^{134}Cs、^{103}Ru、^{140}Ba和^{141}Ce。这些主要是导致职业性内照射，产生相应的生物效应的原因。在切尔诺贝利事故期间，有超过400种放射性核素释放进入生物圈，将其中20种对人类造成潜在危害列于表16-1。

表16-1 切尔诺贝利事故期间释放的放射性核素

核 素	半衰期	放射性活度/PBq	核 素	半衰期	放射性活度/PBq
^{33}Xe	5.3天	6500	^{103}Ru	39.6天	4800
^{131}I	8.0天	3200	^{106}Ru	1.0年	2100
^{134}Cs	2.0年	180	^{141}Ce	33.0天	5600
^{137}Cs	30.0年	280	^{144}Ce	285.0天	3300
^{132}Te	78.0小时	2700	^{239}Np	2.4天	27000
^{89}Sr	52.0天	2300	^{238}Pu	86.0年	1
^{90}Sr	28.0年	200	^{239}Pu	24400.0年	0.85
^{140}Ba	12.8天	4800	^{240}Pu	6580.0年	1.2
^{95}Zr	65.0天	5600	^{241}Pu	13.2年	170
^{99}Mo	67.0小时	4800	^{241}Cm	163.0天	26

在核电站事故中，人们往往较多的是关注放射性核素对环境和公众产生的影响。实际上，单就确定性效应而言，对工作人员产生的职业病危害远比公众

严重。

二、其他物理化学职业病危害因素

在核电站的运行工作中，除了其特有的电离辐射职业病危害因素外，还存在着一些其他物理化学职业病危害因素。

1. 噪声

反应堆运行是连续的，其产生噪声大多数属于连续性稳态噪声。从声源分，有空气动力噪声、机械性噪声和电磁性噪声。重点监测与控制点是常规岛中的汽轮机、发电机，辅助厂房的空压机、水泵、风机等设备。

2. 高温与辐射热

核电厂的主要热源是反应堆堆体、核蒸汽供应系统、发电系统等。这些工作场所夏季容易形成高温、强辐射热的气象条件。

3. 工频电场

在变压器、高压开关及其高压线路周围存在工频电场职业病危害因素，其强度主要与电器的电压和相处的距离密切相关。

4. 化学因素

核蒸汽供应系统用水、冷却水和生活用水通常都不能直接利用水源水，需事先通过化学处理。水处理过程中产生有毒物质主要有氯气、氨气、联氨、缓蚀剂与灭藻剂、磷酸三钠与聚合氯化铝、硫酸与氢氧化钠等。

三、劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素

为满足电厂连续运行的需要，劳动组织实行倒班制，采取六班四运转或四班三倒等。轮班制和连续长时间工作，易引起工人生活节律紊乱和职业性精神（心理）紧张等。

此外，工人除定时巡检外，主要在操作室内工作，对生产过程的监控主要通过显示屏，操作主要通过计算机，长时间视屏操作，易造成视觉疲劳。

四、主要防护措施及效果识别

（一）质量保证体系

核电站有着严密的质量保证体系。对选址、设计、建造、调试和运行等各个阶段的每项具体活动都有单项的质量保证大纲。另外，还实行内部和外部监查制度，监督检查质量保证大纲是否起到应有的作用。

质量保证体系对参加核电站工作人员的选择、培训、考核和任命有着严格的规定。以操纵员为例，要求选择基本素质好、有一定学历和工作经验的人员，经过课堂、核电站模拟机和核电站实际运行培训，再通过国家级的考试领取操作员执照，然后才能上岗。上岗工作以后，还要进行再培训和定期考核，不合格者将被吊销执照。

（二）国家为保证核电站安全采取的措施

1. 设置国家协调机构

国务院核电领导小组及国家计委核电办公室负责核电建设和安全管理的指导协调。

2. 设立国家主管机构

国务院授权中国核工业总公司行使对核电站的主管职能。作为核电站安全运行的领导者，中国核工业总公司内专设了核电站建设、运行和安全防护管理监督局，加强对核安全的专门领导、指导、管理和监督。

3. 建立国家核安全监督机构

1984 年 10 月我国成立了国家核安全局。作为国家的核安全监督机构，其基本职能是依照我国的法律、法规，对民用核设施实行独立的安全审评和监督。国家环境保护局、劳动部和卫生部分别负责对环境质量、职业安全和人身安全进行独立的监督检查和审评。

4. 制定和完善核安全防护法规体系

国务院已颁布《中华人民共和国民用核设施安全监督管理条例》，国家核安全局、环境保护局、劳动部和卫生部等部门还颁布了有关核电站厂址选择、设计、运行、质量保证、辐射防护和废物管理、职业安全卫生等安全规定以及辐射防护基本标准等。中国核工业总公司颁布了一系列技术标准。以后还将颁布一些法规，逐步形成完善配套的核安全防护标准体系。

5. 实行核设施安全许可证制度

核电站在建造和运行前其营运单位要向国家核安全局提出安全许可证申请书，提交初步和最终安全分析报告并向国家环境保护局提交环境影响报告书。国家核安全局和环境保护局分别组织有关专家对报告书进行审评，就存在问题向核安全和环境保护专家委员提出咨询，并征询国务院有关部委和地方人民政府的意见，在建造、运行条件完全符合国家有关规定后才颁布建造和运行安全许可证。营运单位只有获得安全许可证才能开展相应的工作。

（三）剂量限值

为了保护工作人员和居民的身体健康，我国从 2003 年 4 月 1 日起，发布了新的放射防护基本标准。新的基本标准规定了剂量限值，对职业照射规定了由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）不得超过 20mSv，任何一年中的有效剂量不得超过 50mSv，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量为 500mSv。对公众的年有效剂量为 1mSv。特殊情况下，如果 5 个连续年的平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

事实上核电站对工作人员和周围公众造成的实际照射剂量比上述限量要小得多。

（刘建军）

附录一
建设项目职业病危害因素识别与评价常用法律法规标准名录

序号	名　　称	执行日期或标准号
1	中华人民共和国职业病防治法	2002年5月1日
2	中华人民共和国劳动法	1995年1月1日
3	中华人民共和国放射性污染防治法	2003年10月1日
4	中华人民共和国安全生产法	2002年11月1日
5	使用有毒物品作业场所劳动保护条例	2002年5月12日
6	放射性同位素与射线装置安全和防护条例	2005年12月1日
7	突发公共卫生事件应急条例	2003年5月12日
8	危险化学品安全管理条例	2002年3月15日
9	建设项目职业病危害评价规范	2002年5月1日
10	职业病危害项目申报管理办法	2002年5月1日
11	建设项目职业病危害分类管理办法	2002年5月1日
12	高毒物品目录(2003年版)	2003年6月10日
13	工业企业设计卫生标准	GBZ 1—2002
14	工作场所有害因素职业接触限值	GBZ 2—2002
15	工作场所职业病危害警示标识	GBZ 158—2003
16	采暖通风与空调设计规范	GB 50019—2003
17	工业企业总平面设计规范	GB 50187—1993
18	建筑照明设计标准	GB 50034—2004
19	建筑采光设计标准	GB/T 50033—2001
20	生产过程安全卫生要求总则	GB 12801—1991
21	劳动保护用品选用规则	GB 11651—1989
22	作业场所噪声测量规范	WS/T 69—1996
23	职业性接触毒物危害程度分级	GB 5044—1985
24	噪声作业分级	LD 80—1995
25	高温作业分级	GBT/T 4200—1997
26	有毒作业分级	GB 12331—1990
27	硫酸盐造纸厂卫生防护距离标准	GB 11654—1989
28	氯丁橡胶厂卫生防护距离标准	GB 11655—1989
29	黄磷厂卫生防护距离标准	GB 11656—1989
30	铜冶炼厂(密闭鼓风炉型)卫生防护距离标准	GB 11657—1989
31	聚氯乙烯树脂厂卫生防护距离标准	GB 11658—1989
32	铅蓄电池厂卫生防护距离标准	GB 11659—1989
33	炼铁厂卫生防护距离标准	GB 11660—1989
34	焦化厂卫生防护距离标准	GB 11661—1989
35	烧结厂卫生防护距离标准	GB 11662—1989
36	硫酸厂卫生防护距离标准	GB 11663—1989
37	钙镁磷肥厂卫生防护距离标准	GB 11664—1989
38	普通过磷酸钙厂卫生防护距离标准	GB 11665—1989
39	小型氮肥厂卫生防护距离标准	GB 11666—1989
40	水泥厂卫生防护距离标准	GB 18068—2000
41	硫化碱厂卫生防护距离标准	GB 18069—2000

续表

序号	名　　称	执行日期或标准号
42	油漆厂卫生防护距离标准	GB 18070—2000
43	氯碱厂(电解法制碱)卫生防护距离标准	GB 18071—2000
44	塑料厂卫生防护距离标准	GB 18072—2000
45	碳素厂卫生防护距离标准	GB 18073—2000
46	内燃机厂卫生防护距离标准	GB 18074—2000
47	汽车制造厂卫生防护距离标准	GB 18075—2000
48	石灰厂卫生防护距离标准	GB 18076—2000
49	石棉制品厂卫生防护距离标准	GB 18077—2000
50	制胶厂卫生防护距离标准	GB 18079—2000
51	缫丝厂卫生防护距离标准	GB 18080—2000
52	制革厂卫生防护距离标准	GB 18082—2000
53	以噪声污染为主的工业企业卫生防护距离标准	GB 18083—2000
54	工作场所空气中有毒物质监测的采样规范	GBZ 159—2004
55	工作场所空气有毒物质测定　锑及其化合物	GBZ/T 160.1—2004
56	工作场所空气有毒物质测定　钡及其化合物	GBZ/T 160.2—2004
57	工作场所空气有毒物质测定　铍及其化合物	GBZ/T 160.3—2004
58	工作场所空气有毒物质测定　铋及其化合物	GBZ/T 160.4—2004
59	工作场所空气有毒物质测定　镉及其化合物	GBZ/T 160.5—2004
60	工作场所空气有毒物质测定　钙及其化合物	GBZ/T 160.6—2004
61	工作场所空气有毒物质测定　铬及其化合物	GBZ/T 160.7—2004
62	工作场所空气有毒物质测定　钴及其化合物	GBZ/T 160.8—2004
63	工作场所空气有毒物质测定　铜及其化合物	GBZ/T 160.9—2004
64	工作场所空气有毒物质测定　铅及其化合物	GBZ/T 160.10—2004
65	工作场所空气有毒物质测定　锂及其化合物	GBZ/T 160.11—2004
66	工作场所空气有毒物质测定　镁及其化合物	GBZ/T 160.12—2004
67	工作场所空气有毒物质测定　锰及其化合物	GBZ/T 160.13—2004
68	工作场所空气有毒物质测定　汞及其化合物	GBZ/T 160.14—2004
69	工作场所空气有毒物质测定　铝及其化合物	GBZ/T 160.15—2004
70	工作场所空气有毒物质测定　镍及其化合物	GBZ/T 160.16—2004
71	工作场所空气有毒物质测定　钾及其化合物	GBZ/T 160.17—2004
72	工作场所空气有毒物质测定　钠及其化合物	GBZ/T 160.18—2004
73	工作场所空气有毒物质测定　锶及其化合物	GBZ/T 160.19—2004
74	工作场所空气有毒物质测定　钽及其化合物	GBZ/T 160.20—2004
75	工作场所空气有毒物质测定　铊及其化合物	GBZ/T 160.21—2004
76	工作场所空气有毒物质测定　锡及其化合物	GBZ/T 160.22—2004
77	工作场所空气有毒物质测定　钨及其化合物	GBZ/T 160.23—2004
78	工作场所空气有毒物质测定　钒及其化合物	GBZ/T 160.24—2004
79	工作场所空气有毒物质测定　锌及其化合物	GBZ/T 160.25—2004
80	工作场所空气有毒物质测定　锆及其化合物	GBZ/T 160.26—2004
81	工作场所空气有毒物质测定　硼及其化合物	GBZ/T 160.27—2004
82	工作场所空气有毒物质测定　无机含碳化合物	GBZ/T 160.28—2004
83	工作场所空气有毒物质测定　无机含氮化合物	GBZ/T 160.29—2004
84	工作场所空气有毒物质测定　无机含磷化合物	GBZ/T 160.30—2004
85	工作场所空气有毒物质测定　砷及其化合物	GBZ/T 160.31—2004
86	工作场所空气有毒物质测定　氧化物	GBZ/T 160.32—2004
87	工作场所空气有毒物质测定　硫化物	GBZ/T 160.33—2004
88	工作场所空气有毒物质测定　硒及其化合物	GBZ/T 160.34—2004
89	工作场所空气有毒物质测定　碲及其化合物	GBZ/T 160.35—2004
90	工作场所空气有毒物质测定　氟化物	GBZ/T 160.36—2004

续表

序号	名　　称	执行日期或标准号
91	工作场所空气有毒物质测定　氯化物	GBZ/T 160.37—2004
92	工作场所空气有毒物质测定　烷烃类化合物	GBZ/T 160.38—2004
93	工作场所空气有毒物质测定　烯烃类化合物	GBZ/T 160.39—2004
94	工作场所空气有毒物质测定　混合烃类化合物	GBZ/T 160.40—2004
95	工作场所空气有毒物质测定　脂环烃类化合物	GBZ/T 160.41—2004
96	工作场所空气有毒物质测定　芳香烃类化合物	GBZ/T 160.42—2004
97	工作场所空气有毒物质测定　多苯类化合物	GBZ/T 160.43—2004
98	工作场所空气有毒物质测定　多环芳香烃类化合物	GBZ/T 160.44—2004
99	工作场所空气有毒物质测定　卤代烷烃类化合物	GBZ/T 160.45—2004
100	工作场所空气有毒物质测定　卤代不饱和烃类化合物	GBZ/T 160.46—2004
101	工作场所空气有毒物质测定　卤代芳香烃类化合物	GBZ/T 160.47—2004
102	工作场所空气有毒物质测定　醇类化合物	GBZ/T 160.48—2004
103	工作场所空气有毒物质测定　硫醇类化合物	GBZ/T 160.49—2004
104	工作场所空气有毒物质测定　烷氧基乙醇类化合物	GBZ/T 160.50—2004
105	工作场所空气有毒物质测定　酚类化合物	GBZ/T 160.51—2004
106	工作场所空气有毒物质测定　脂肪族醚类化合物	GBZ/T 160.52—2004
107	工作场所空气有毒物质测定　苯基醚类化合物	GBZ/T 160.53—2004
108	工作场所空气有毒物质测定　脂肪族醛类化合物	GBZ/T 160.54—2004
109	工作场所空气有毒物质测定　脂肪族酮类化合物	GBZ/T 160.55—2004
110	工作场所空气有毒物质测定　脂环酮和芳香族酮类化合物	GBZ/T 160.56—2004
111	工作场所空气有毒物质测定　醌类化合物	GBZ/T 160.57—2004
112	工作场所空气有毒物质测定　环氧化合物	GBZ/T 160.58—2004
113	工作场所空气有毒物质测定　羧酸类化合物	GBZ/T 160.59—2004
114	工作场所空气有毒物质测定　酸酐类化合物	GBZ/T 160.60—2004
115	工作场所空气有毒物质测定　酰基卤类化合物	GBZ/T 160.61—2004
116	工作场所空气有毒物质测定　酰胺类化合物	GBZ/T 160.62—2004
117	工作场所空气有毒物质测定　饱和脂肪族酯类化合物	GBZ/T 160.63—2004
118	工作场所空气有毒物质测定　不饱和脂肪族酯类化合物	GBZ/T 160.64—2004
119	工作场所空气有毒物质测定　卤代脂肪族酯类化合物	GBZ/T 160.65—2004
120	工作场所空气有毒物质测定　芳香族酯类化合物	GBZ/T 160.66—2004
121	工作场所空气有毒物质测定　异氰酸酯类化合物	GBZ/T 160.67—2004
122	工作场所空气有毒物质测定　腈类化合物	GBZ/T 160.68—2004
123	工作场所空气有毒物质测定　脂肪族胺类化合物	GBZ/T 160.69—2004
124	工作场所空气有毒物质测定　乙醇胺类化合物	GBZ/T 160.70—2004
125	工作场所空气有毒物质测定　肼类化合物	GBZ/T 160.71—2004
126	工作场所空气有毒物质测定　芳香族胺类化合物	GBZ/T 160.72—2004
127	工作场所空气有毒物质测定　硝基烷烃类化合物	GBZ/T 160.73—2004
128	工作场所空气有毒物质测定　芳香族硝基化合物	GBZ/T 160.74—2004
129	工作场所空气有毒物质测定　杂环化合物	GBZ/T 160.75—2004
130	工作场所空气有毒物质测定　有机磷农药	GBZ/T 160.76—2004
131	工作场所空气有毒物质测定　有机氯农药	GBZ/T 160.77—2004
132	工作场所空气有毒物质测定　有机氮农药	GBZ/T 160.78—2004
133	工作场所空气有毒物质测定　药物类化合物	GBZ/T 160.79—2004
134	工作场所空气有毒物质测定　炸药类化合物	GBZ/T 160.80—2004
135	工作场所空气有毒物质测定　生物类化合物	GBZ/T 160.81—2004
136	医用γ射束远距治疗防护与安全标准	GBZ 161—2004
137	核电厂操纵员的健康标准和医学监督规定	GBZ/T 164—2004
138	使用密封放射源卫生防护标准	GBZ 114—2002
139	X射线衍射仪和荧光分析仪卫生防护标准	GBZ 115—2002

续表

序号	名　　称	执行日期或标准号
140	地下建筑氡及其子体控制标准	GBZ 116—2002
141	工业 X 射线探伤卫生防护标准	GBZ 117—2002
142	油(气)田非密封型放射源测井卫生防护标准	GBZ 118—2002
143	放射性发光涂料卫生防护标准	GBZ 119—2002
144	临床核医学卫生防护标准	GBZ 120—2002
145	后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准	GBZ 121—2002
146	离子感烟火灾探测器卫生防护标准	GBZ 122—2002
147	汽灯纱罩生产放射卫生防护标准	GBZ 123—2002
148	地热水应用中放射卫生防护标准	GBZ 124—2002
149	含密封源仪表的卫生防护标准	GBZ 125—2002
150	医用电子加速器卫生防护标准	GBZ 126—2002
151	X 射线行李包检查系统卫生防护标准	GBZ 127—2002
152	职业性外照射个人监测规范	GBZ 128—2002
153	职业性内照射个人监测规范	GBZ 129—2002
154	医用 X 射线诊断卫生防护标准	GBZ 130—2002
155	医用 X 射线治疗卫生防护标准	GBZ 131—2002
156	工业 γ 射线探伤卫生防护标准	GBZ 132—2002
157	医用放射性废物管理卫生防护标准	GBZ 133—2002
158	放射性核素敷贴治疗卫生防护标准	GBZ 134—2002
159	密封 γ 放射源容器卫生防护标准	GBZ 135—2002
160	生产和使用放射免疫分析试剂(盒)卫生防护标准	GBZ 136—2002
161	含密封源仪表的卫生防护监测规范	GBZ 137—2002
162	医用 X 射线诊断卫生防护监测规范	GBZ 138—2002
163	稀土生产场所中放射卫生防护标准	GBZ 139—2002
164	空勤人员宇宙辐射控制标准	GBZ 140—2002
165	γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范	GBZ 141—2002
166	油(气)田测井用密封型放射源卫生防护标准	GBZ 142—2002
167	集装箱检查系统放射卫生防护标准	GBZ 143—2002
168	用于光子外照射放射防护的剂量转换系数	GBZ/T 144—2002
169	个人胶片剂量计	GBZ/T 145—2002
170	X 射线防护材料衰减性能的测定	GBZ/T 147—2002
171	用于中子测井的 CR39 中子剂量计的个人剂量监测方法	GBZ/T 148—2002
172	工业 X 射线探伤卫生防护监测规范	GBZ/T 150—2002
173	放射事故个人外照射剂量估算原则	GBZ/T 151—2002
174	γ 远距治疗室设计防护要求	GBZ/T 152—2002
175	不同粒度放射性气溶胶年摄入量限值	GBZ/T 154—2002
176	空气中氡浓度的闪烁瓶测定方法	GBZ/T 155—2002

附录二
常见毒物职业接触限值与职业病危害临床表现一览表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m^3)	临床表现	可能导致的职业病
1	安妥	86-88-4	Antu	PC-TWA:0.3 PC-STEL:0.9	呼吸系统症状：刺激性咳嗽、呼吸困难、发绀、胸膜炎、肺水肿、呼吸衰竭。中枢神经系统症状：躁动、惊厥、意识模糊、昏迷、休克	
2	*N*-甲苯胺(皮)	100-61-8	*N*-Methyl aniline(skin)	PC-TWA:2 PC-STEL:5	主要损害血液系统，吸入高浓度蒸气或皮肤吸收均能引起中毒，产生头痛、昏迷、发绀、心神恍惚以及痉挛等；实验室检查高铁血红蛋白增加，可检出赫氏小体	1. 苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯中毒)中毒；2. 中毒性肝病
3	*N*-异丙基苯胺(皮)	768-52-5	*N*-Isopropylaniline (skin)	PC-TWA:10 PC-STEL:25	主要损害血液系统，产生发绀、头痛、昏迷、手指麻木、心神恍惚以及痉挛等	1. 苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯中毒)中毒；2. 中毒性肝病
4	氨	7664-41-7	Ammonia	PC-TWA:20 PC-STEL:30	主要损害呼吸系统，表现为流泪、咽痛、声音嘶哑、咳嗽、痰可带血丝、胸闷、呼吸困难、头痛、恶心、乏力、肺部啰音；严重者可发生肺水肿、急性呼吸窘迫综合征或支气管黏膜坏死脱落致窒息，可并发气胸、纵隔气肿、支气管炎、支气管周围炎、肺炎或肺水肿；眼接触液氨或高浓度氨气可引起灼伤，严重者可发生角膜穿孔；皮肤接触液氨可致灼伤	1. 氨中毒；2. 急性化学物中毒性心脏病；3. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病；4. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征
5	巴豆醛	4170-30-3	Crotonaldehyde	MAC:12	具有明显的刺激和催泪作用，严重者可出现肺水肿	
6	百菌清	1897-45-6	Chlorothalonile	MAC:1	暴露部位发生皮炎，有瘙痒、红斑、粟粒状丘疹或出现小水疱等	接触性皮炎

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
7	倍硫磷(皮)	55-38-9	Fenthion (skin)	PC-TWA:0.2 PC-STEL:0.3	恶心、呕吐、流涎、多汗、瞳孔缩小、呼吸困难、肺水肿；肌束颤动、头痛、头晕、嗜睡、烦躁、意识模糊、谵妄、抽搐、昏迷；血压升高、心率加快、心律失常	有机磷农药中毒
8	苯(皮)	71-43-2	Benzene(skin)	PC-TWA:6 PC-STEL:10	急性中毒短时间内吸入大量苯蒸气或口服多量液态苯后出现兴奋或酒醉感，伴有黏膜刺激症状，可有头晕、头痛、恶心、呕吐、步态不稳，重症者可有昏迷、抽搐、呼吸及循环衰竭，尿酚和血苯可增高；亚急性中毒短期内吸入较高浓度后可出现头晕、头痛、乏力、失眠等症状，约经1～2个月后可发生再生障碍性贫血；如及早发现，经脱离接触，适当处理，一般预后较原发性再障为好	1. 苯中毒；2. 苯所致白血病；3. 急性化学物中毒性心脏病；4. 急性化学物中毒性血液系统疾病；5. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征；6. 化学性眼部灼伤；7. 接触性皮炎
9	苯胺(皮)	62-53-3	Aniline(skin)	PC-TWA:3 PC-STEL:7.5	主要损害血液系统。轻度中毒为轻度发绀、乏力、头痛、头晕等，高铁血红蛋白10%～30%；中度中毒除上述症状外，发绀明显、恶心、食欲下降、呕吐、心悸、气急、脉率加快，高铁血红蛋白大于30%至50%，肝脏有轻度触痛；重度中毒脉率加快，可与发绀程度不平行，呼吸加快、意识障碍、抽搐，有严重溶血性贫血、肝肾损害等，高铁血红蛋白＞50%，赫氏小体＞50%；最重度可中毒、昏迷甚至死亡，血中高铁血红蛋白占60%，可见到赫氏小体，尿中有时出现血红蛋白；洗热水浴及饮酒均能促进或加重中毒	1. 苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯中毒)中毒；2. 急性化学物中毒性心脏病；3. 化学性皮肤灼伤；4. 急性化学物中毒性血液系统疾病；5. 中毒性肝病；6. 接触性皮炎；7. 急性中毒性肾病；8. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征
10	吡啶	110-86-1	Pyridine	PC-TWA:4 PC-STEL:10	轻症者有眼和上呼吸道刺激症状，并有口苦、咽干、面色潮红、头痛、恶心、无力等；重症者有意识模糊、窒息感、抽搐、昏迷等；皮肤接触可发生光敏性皮炎	急性中毒性肾病、光敏性皮炎

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
11	苯基醚(二苯醚)	101-84-8	Phenyl ether	PC-TWA:7 PC-STEL:14	对皮肤刺激不明显;其难闻的气味可令人感到恶心	
12	苯乙烯(皮)	100-42-5	Styrene(skin)	PC-TWA:50 PC-STEL:100	先有眼部刺痛、流泪、结膜充血,并出现流涕、喷嚏、咽痛等,继之有头晕、头痛、全身疲乏,并可出现恶心、呕吐、食欲减退等消化道症状,严重者眩晕、步态蹒跚	化学性眼部灼伤
13	苄基氯	100-44-7	Benzyl chloride	MAC:5	眼刺激症状和肺炎、肺水肿;皮肤接触可致红斑和大疱甚至湿疹	接触性皮炎
14	丙醇	71-23-8	Propyl alcohol	PC-TWA:200 PC-STEL:300	属低毒类;中毒可出现中枢神经系统抑制症状,并有持续恶心、呕吐、腹痛、呕血、反射消失、呼吸抑制、少尿后多尿等表现	化学性眼部灼伤
15	丙酸	79-09-4	Propionic acid	PC-TWA:30 PC-STEL:60	属低毒类;眼和皮肤可出现明显刺激症状	化学性眼部灼伤
16	丙酮	67-64-1	Acetone	PC-TWA:300 PC-STEL:450	乏力、恶心、头痛、易激动、气急、抽搐甚至昏迷,有轻度肾脏损害	化学性眼部灼伤
17	丙酮氰醇(按CN计)(皮)	75-86-5	Acetone cyanohydrin(skin),as CN	MAC:3	早期症状在吸入者有眼和上呼吸道刺激症状,呼出气带杏仁气味;并有头痛、头晕、胸闷、呼吸加深加快、血压升高、心悸、脉率加快、皮肤及黏膜呈鲜红色;皮肤或眼接触可引起灼伤	接触性皮炎、化学性眼部灼伤
18	丙烯醇(皮)	107-18-6	Allyl alcohol (skin)	PC-TWA:2 PC-STEL:3	临床表现眼部刺激征,结膜炎、角膜炎;皮肤接触后出现皮炎、水疱	化学性眼部灼伤、接触性皮炎
19	丙烯酰胺(皮)	79-06-1	Acrylamide(skin)	PC-TWA:0.3 PC-STEL:0.9	主要损害神经系统,眼球水平性震颤、言语含糊呈吟诗样、共济失调、肢体麻木、刺痛、下肢无力、对称性远端音叉振动觉和触觉障碍、腱反射减弱或消失、感觉性共济失调、肌力减退等;严重者远端肌肉萎缩,可影响运动功能,神经-肌电图示远端感觉神经电位明显降低,有神经原发性损害,可有较多自发性失神经电位	丙烯酰胺中毒

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
20	丙烯腈(皮)	107-13-1	Acrylonitrile(skin)	PC-TWA:1 PC-STEL:2	主要损害中枢神经系统;轻度中毒表现头晕、头痛、乏力、上腹不适、恶心、呕吐、胸闷、手足麻木等症状,并可出现短暂的意识朦胧、口唇发绀、眼结膜及鼻咽部充血;一次大量接触后,可致重度中毒,于短时间内出现四肢阵发性强直性抽搐或昏迷;污染皮肤可出现接触性皮炎,表现为接触部位疼痛、红肿、丘疹、水疱等	氰及腈类化合物中毒
21	丙烯酸(皮)	79-10-7	Acrylic acid(skin)	PC-TWA:6 PC-STEL:15	主要表现为皮肤、眼、呼吸道等的刺激症状	化学性皮肤灼伤、化学性眼部灼伤
22	丙烯醛	107-02-8	Acrolein	MAC:0.3	眼灼痛、流泪、结膜炎、眼睑水肿和痉挛;咽喉痒感、咽喉炎、支气管炎;重者可出现化学性肺炎、肺水肿;有的中毒患者呈兴奋状态或定向障碍;眼及皮肤接触可引起灼伤	1. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病;2. 化学性眼部灼伤;3. 急性中毒性肾病
23	丙烯酸甲酯(皮)	96-33-3	Methyl acrylate(skin)	PC-TWA:20 PC-STEL:40	吸入后出现显著的刺激症状,有流涎、眼结膜充血及显著的呼吸道刺激症状;高浓度吸入后可引起肺水肿	化学性眼部灼伤
24	草酸	144-62-7	Oxalic acid	PC-TWA:1 PC-STEL:2	主要出现皮肤、眼和呼吸道的刺激和腐蚀症状	1. 化学性皮肤灼伤;2. 化学性眼部灼伤
25	抽余油(60～220℃)	—	Raffinate(60～220℃)	PC-TWA:300 PC-STEL:450	高浓度吸入后可引起麻醉症状	
26	臭氧	10028-15-6	Ozone	MAC:0.3	咽喉干燥、咳嗽、咯痰、胸闷、食欲减退、乏力、睡眠障碍等;重者肺水肿;皮肤和黏膜接触液态臭氧可引起严重灼伤	急性化学物中毒性呼吸系统疾病
27	碘	7553-56-2	Iodine	MAC:1	流泪、眼灼痛、眼睑炎、结膜炎、鼻炎等;较重者可出现支气管炎、肺水肿、喉痉挛和水肿	1. 化学性眼部灼伤;2. 接触性皮炎

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
28	碘仿(三碘甲烷、黄碘)	75-47-8	Iodoform	PC-TWA:10 PC-STEL:25	经呼吸道或皮肤吸收:可引起中枢神经系统损害,表现为不安、头痛、记忆力减退、语言错乱、谵妄和心律不齐等	
29	碘甲烷(皮)	74-88-4	Methyl iodine(skin)	PC-TWA:10 PC-STEL:25	头痛、酩酊感、乏力、睡眠障碍、记忆力减退等;食欲减退、恶心,定向力减退、谵妄、幻觉、抽搐、昏迷、瘫痪等	
30	丁醇	71-36-3	Butyl alcohol	PC-TWA:100 PC-STEL:200	大量吸入时有眼、鼻、咽喉刺激症状,及头痛、眩晕、倦怠、恶心等症状	化学性眼部灼伤
31	1,3-丁二烯	106-99-0	1,3-Butadiene	PC-TWA:5 PC-STEL:12.5	咳嗽、嗜睡、疲乏,也可有头痛、眩晕、昏迷等症状;眼接触气体时可出现眼痛、流泪等;液态丁二烯可引起皮肤冻伤	
32	丁醛	123-72-8	Butylaldehyde	PC-TWA:5 PC-STEL:10	皮肤和眼灼伤、结膜炎;高浓度吸入可引起支气管炎、肺炎,重者出现肺水肿;并可引起麻醉症状	化学性眼部灼伤
33	丁酮	78-93-3	Methyl ethyl ketone	PC-TWA:300 PC-STEL:600	强烈气味和刺激,如对眼结膜和鼻、咽喉刺激;偶有手指和臂部麻木	化学性眼部灼伤
34	丁烯	25167-67-3	Butylene	PC-TWA:100 PC-STEL:200	黏膜刺激症状、嗜睡等,高浓度可引起昏迷	
35	对硝基苯胺(皮)	100-01-6	*p*-Nitroaniline(skin)	PC-TWA:3 PC-STEL:7.5	主要损害血液系统,参见"苯胺"	1. 苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯中毒)中毒;2. 职业性急性化学物中毒性血液系统疾病
36	对硝基氯苯/二硝基氯苯(皮)	100-00-5/25567-67-3	*p*-Nitrochlorobenzene/Dinitrochlorob-enzene(skin)	PC-TWA:0.6 PC-STEL:1.8	急性中毒时出现高铁血红蛋白血症。病情轻者,口唇、耳廓、舌及指(趾)甲轻度发绀,可伴有头晕、头痛、乏力、胸闷,血中高铁血红蛋白为10%~30%;重者皮肤、黏膜明显发绀,可出现心悸、气短、食欲不振、恶心、呕吐甚至意识障碍,血中高铁血红蛋白增高,超过30%,可发生溶血性贫血、赫氏小体高于20%、化学性膀胱炎,较严重的患者出现肝肾损害	1. 苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯)中毒;2. 职业性急性化学物中毒性血液系统疾病

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
37	对苯二甲酸	100-21-0	Terephthalic acid	PC-TWA:8 PC-STEL:15	属低毒类;对皮肤和呼吸道有轻度的刺激	化学性眼部灼伤
38	二苯胺	122-39-4	Diphenylamine	PC-TWA:10 PC-STEL:25	主要损害血液系统,出现缺氧和发绀,可出现溶血性贫血,重者伴有肝肾损害	苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯)中毒
39	二苯基甲烷二异氰酸酯	101-68-8	Diphenylmethane diisocyanate	PC-TWA:0.05 PC-STEL:0.1	吸入雾滴可出现呼吸困难、阵发性咳嗽,伴有头痛、眼痛和嗅觉丧失	
40	二丙二醇甲醚(皮)	34590-94-8	Dipropylene glycolmethyl ether (skin)	PC-TWA:600 PC-STEL:900	微毒类;有轻微刺激性,未见急性中毒病例	
41	二噁烷(皮)	123-91-1	1,1,4-Dioxane(skin)	PC-TWA:70 PC-STEL:140	上呼吸道和眼刺激症状、嗜睡、眩晕、头痛、食欲不振、胃痛、恶心、呕吐、尿毒症、昏迷,有的死亡	化学性眼部灼伤
42	二氟氯甲烷	75-45-6	Chlorodifluoromethane	PC-TWA:3500 PC-STEL:5250	接触高浓度可引起支气管肺炎、肺水肿、呼吸衰竭和肺纤维化,有时尚可并发心肌和肾脏病变	
43	二甲胺	124-40-3	Dimethylamine	PC-TWA:5 PC-STEL:10	对皮肤、眼、鼻、咽喉与呼吸道有强烈刺激作用;其水溶液对皮肤亦有刺激作用	急性化学物中毒性呼吸系统疾病
44	二甲苯(全部异构体)	1330-20-7; 95-47-6; 108-38-3	Xylene(all isomers)	PC-TWA:50 PC-STEL:100	头晕、头痛、恶心、呕吐、四肢无力、意识模糊、步态蹒跚、躁动、抽搐或昏迷;液体污染眼,可引起结膜炎及角膜损害	化学性眼部灼伤
45	二甲苯胺(皮)	121-69-7	Dimethylanilne(skin)	PC-TWA:5 PC-STEL:10	参见"苯胺";应注意神经系统及肝脏损害	1. 中毒性肝病;2. 苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯)中毒;3. 急性化学物中毒性血液系统疾病
46	二甲基二氯硅烷	75-78-5	Dimethyl dichlorosilane	MAC:2	眼结膜炎、急性喉炎、急性支气管炎、肺水肿;皮肤接触可引起皮疹或灼伤	化学性眼部灼伤、化学性皮肤灼伤

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
47	二甲基甲酰胺(皮)	68-12-2	Dimethylformamide (DMF)(skin)	PC-TWA:20 PC-STEL:40	皮肤灼伤,急性中毒时肝脏损害常较为突出,患者有明显乏力、右上腹胀痛、不适、出现黄疸、肝脏逐渐肿大、有压痛、肝功能检查示异常,病变一般不严重,经治疗可逐步减轻,数周内病情可完全恢复	1. 二甲基甲酰胺中毒;2. 中毒性肝病;3. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征;4. 化学性皮肤灼伤
48	3,3-二甲基联苯胺(皮)	119-93-7	3,3-Dimethylbenzidine(skin)	MAC:0.02	属致癌物可经皮肤吸收;粉末对皮肤、黏膜有刺激性	联苯胺所致膀胱癌
49	二甲基乙酰胺(皮)	127-19-5	Dimethyl acetamide (skin)	PC-TWA:20 PC-STEL:40	可有神经衰弱综合征和呼吸道刺激症状,部分工人出现肝脏损害	中毒性肝病
50	二聚环戊二烯	77-73-6	Dicyclopentadiene	PC-TWA:25 PC-STEL:50	大量吸入可引起急性中毒、呼吸道刺激症状及中枢神经系统兴奋症状,呈麻醉状态	
51	1,3-二氯丙醇(皮)	96-23-1	1,3-Dichloropropanol (skin)	PC-TWA:5 PC-STEL:12.5	吸入高浓度后出现眼和上呼吸道黏膜刺激症状,以及头晕、酒醉感、上腹痛、恶心、嗜睡、乏力、肺炎或肺水肿,甚至休克或昏迷;皮肤接触可致接触性皮炎	接触性皮炎
52	1,2-二氯丙烷	78-87-5	1,2-Dichloropropane	PC-TWA:350 PC-STEL:500	高浓度对中枢神经系统有抑制作用;对皮肤和眼有刺激作用	化学性眼部灼伤
53	1,3-二氯丙烯(皮)	542-75-6	1,3-Dichloropropene (skin)	PC-TWA:4 PC-STEL:10	对上呼吸道及呼吸道深部黏膜有强刺激作用,是一种强刺激剂	化学性眼部灼伤
54	二氯二氟甲烷	75-71-8	Dichlorodifluoromethane	PC-TWA:5000 PC-STEL:7500	轻者有倦怠感、注意力不集中及指端感觉减退等,重症可致知觉丧失甚至窒息死亡。哮喘病人吸入该气雾剂,可出现心律不齐甚至猝死	
55	二氯甲烷	75-09-2	Dichloromethane	PC-TWA:200 PC-STEL:300	轻者可有眩晕、头痛、恶心、呕吐以及眼和上呼吸道黏膜刺激症状;较重者则出现易激动、心律失常、步态不稳、共济失调、嗜睡;严重者很快昏迷,并可有肺水肿	化学性眼部灼伤

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
56	1,2-二氯乙烷	107-06-2	1,2-Dichloroethane	PC-TWA:7 PC-STEL:15	短时间内吸入高浓度蒸气,可出现眼、鼻、咽喉刺激症状;急性中毒时先出现头痛、乏力、兴奋、烦躁;随之很快发生步态蹒跚、嗜睡、意识模糊;可出现不同程度的恶心、呕吐、上腹痛、肝肿大、黄疸、肝功能异常或短时间蛋白尿、血尿;重者可出现肺水肿、谵妄、昏迷;皮肤接触可引起皮炎	1. 中毒性肝病;2. 化学性眼部灼伤;3. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征;4. 二氯乙烷中毒
57	1,2-二氯乙烯	540-59-0	1,2-Dichloroethylene	PC-TWA:800 PC-STEL:1200	眼烧灼感、眩晕、恶心	化学性眼部灼伤
58	二硝基苯(全部异构体)(皮)	582-29-0; 99-65-0; 100-25-4	Dinitrobenzene(all isomers)(skin)	PC-TWA:1 PC-STEL:2.5	急性中毒症状有时出现在酒后;少量毒物进入体内时可出现乏力、剧烈头痛、食欲不振、皮肤瘙痒、唇及面色苍白、发绀、巩膜黄染;高浓度毒物作用时,可出现心悸气短、耳鸣、酒醉状态及脉搏细弱、发绀、盗汗;高铁血红蛋白增高和溶血;尿中常见血红蛋白、胆色素、管型等	1. 苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯)中毒;2. 中毒性肝病;3. 急性化学物中毒性血液系统疾病
59	4,6-二硝基邻苯甲酚(皮)	534-52-1	4,6-Dinitro-o-cresol(skin)	PC-TWA:0.2 PC-STEL:0.6	皮肤黄染、头痛、恶心、呕吐、发热、呼吸困难、胸骨后痛、出汗、口渴、精神紊乱、脉搏加快、疲劳、黄疸、循环衰竭	1. 苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯)中毒;2. 中毒性肝病;3. 急性化学物中毒性血液系统疾病
60	二硝基甲苯(皮)	25321-14-6	Dinitrotoluene(skin)	PC-TWA:0.2 PC-STEL:0.6	高铁血红蛋白血症、贫血、白细胞减少和肝脏坏死;眩晕、疲劳、恶心、呕吐、呼吸困难、关节痛、失眠、震颤、麻痹、昏迷、胸痛、心悸气促、食欲减退和体重下降;本品的作业工人偶见赫氏小体	1. 苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯)中毒;2. 急性化学物中毒性血液系统疾病
61	二氧化氯	10049-04-4	Chlorine dioxide	PC-TWA:0.3 PC-STEL:0.8	主要引起咳嗽、喷嚏、气急、胸闷以及流涕、流泪等眼、鼻、咽喉部刺激症状;吸入高浓度可发生肺水肿	急性化学物中毒性呼吸系统疾病

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
62	二硫化碳(皮)	75-15-0	Carbon disulfide(skin)	PC-TWA:5 PC-STEL:10	急性中毒主要表现为中毒性脑病的症状与体征;急性轻度中毒者可有头痛、头晕、恶心、呕吐、酒醉样感、步态不稳,也可出现朦胧状态,可伴有眼、鼻刺激症状;重度中毒时出现意识模糊、谵妄、精神运动性兴奋、抽搐、昏迷;严重者可发生脑水肿、中枢性呼吸衰竭;少数患者可发展为植物状态;皮肤接触后局部可发生红斑甚至大疱	1. 二硫化碳中毒;2. 急性化学物中毒性心脏病;3. 接触性皮炎
63	二氧化锡(按Sn计)	1332-29-2	Tin dioxide,as Sn	PC-TWA:2 PC-STEL:5	可通过消化道与呼吸道侵入,但危害性小,未见急性中毒病例报告	
64	二氧化氮	10102-44-0	Nitrogen dioxide	PC-TWA:5 PC-STEL:10	急性中毒吸入气体当时可无明显症状或有眼及上呼吸道刺激症状,如咽部不适、干咳等;常经6～7小时潜伏期后出现迟发性肺水肿、急性呼吸窘迫综合征;可并发气胸及纵隔气肿、迟发性阻塞性细支气管炎	1. 急性化学物中毒性心脏病;2. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病
65	二氧化硫	7446-09-5	Sulfur dioxide	PC-TWA:5 PC-STEL:10	中毒者可有眼灼痛、畏光、流泪、流涕、咳嗽、鼻、咽喉部有烧灼样痛、声音嘶哑,甚至有呼吸短促、胸痛、胸闷、肺水肿、恶心、呕吐、上腹痛,以及全身症状如头痛、头晕、失眠、全身无力等	1. 二氧化硫中毒;2. 化学性眼部灼伤;3. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病
66	二氧化碳	124-38-9	Carbon dioxide	PC-TWA:9000 PC-STEL: 18000	接触过量二氧化碳后可引起头痛、视物模糊、耳鸣、乏力、脉搏加快,也可有嗜睡,重者可出现烦躁、谵妄、抽搐、昏迷等;吸入极高浓度可在数秒内迅速死亡	1. 急性化学源性猝死;2. 急性化学物中毒性心脏病
67	2-二乙氨基乙醇(皮)	100-37-8	2-Diethylaminoethanol(skin)	PC-TWA:50 PC-STEL:100	对眼睛、皮肤和呼吸道黏膜有腐蚀性;可由呼吸道和消化道以及皮肤吸收,影响神经系统;大量吸入可发生肺水肿	化学性眼部灼伤
68	二亚乙基三胺(皮)	111-40-0	Diethylene triamine(skin)	PC-TWA:4 PC-STEL:10	有刺激作用和致敏作用,引起结膜炎、角膜炎、皮炎;刺激呼吸道,引起气喘性呼吸、恶心、呕吐	化学性眼部灼伤

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
69	二乙基甲酮	96-22-0	Diethyl ketone	PC-TWA:700 PC-STEL:900	高浓度时对眼的刺激明显，可产生角膜损伤	化学性眼部灼伤
70	二乙烯基苯	1321-74-0	Divinyl benzene	PC-TWA:50 PC-STEL:100	属低毒类；主要具有麻醉作用，对眼及上呼吸道有刺激作用；高浓度时可引起麻醉及眼和上呼吸道刺激症状	化学性眼部灼伤
71	二异丁基甲酮	108-83-8	Diisobutyl ketone	PC-TWA:145 PC-STEL:218	有眼和鼻刺激症状，并可有头痛及眩晕	化学性眼部灼伤
72	二月桂酸二丁基锡(皮)	77-58-7	Dibutyltin dilaurate (skin)	PC-TWA:0.1 PC-STEL:0.2	毒作用常为迟发性的；对皮肤和黏膜有刺激作用；接触其蒸气可引起喉痛和咳嗽	化学性眼部灼伤
73	酚(皮)	108-95-2	Phenol(skin)	PC-TWA:10 PC-STEL:25	皮肤接触苯酚，早期呈灰白色，不久变成褐色的痂；急性中毒表现有意识障碍、呼吸抑制、抽搐，常伴有肾功能衰竭；头痛、头晕、视物模糊、体温及血压下降、肺水肿、意识障碍、抽搐、呼吸衰竭，常伴肝肾损害；眼接触可引起灼伤	1. 酚中毒；2. 化学性眼部灼伤；3. 化学性皮肤灼伤；4. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征
74	呋喃	110-00-9	Furan	PC-TWA:0.5 PC-STEL:1.5	吸入蒸气可引起中枢神经系统抑制症状；过量接触可出现疲劳、头痛、血压降低、胃肠道充血、肝脏损害	中毒性肝病
75	氟化氢(按F计)	7664-39-3	Hydrogen fluoride, as F	MAC:2	吸入高浓度时引起鼻、咽喉和胸骨后烧灼痛、胸部紧束感、咳嗽、声音嘶哑，严重时引起眼结膜、鼻和口腔黏膜顽固性溃疡、鼻衄，甚至鼻中隔穿孔、支气管炎和肺炎；更重者发生喉水肿和肺水肿；极高浓度时可致反射性呼吸停止	牙酸蚀病
76	氟化物(不含氟化氢)(按F计)		Fluorides (except HF), as F	PC-TWA:2 PC-STEL:5	对皮肤、黏膜有刺激和腐蚀作用，损害骨骼；皮肤、黏膜刺激症状、化学化肺炎、肺水肿、呼吸困难；骨质硬化症	工业性氟病
77	镉及其化合物(按Cd计)	7440-43-9	Cadmium and compounds, as Cd	PC-TWA:0.01 PC-STEL:0.02	轻度中毒者出现眼和上呼吸道刺激症状，可有头晕、头痛、乏力，有些患者出现寒战和发热、四肢关节酸痛，症状类似感冒或金属烟热；重症者出现化学性肺炎、肺水肿，偶有肝肾功能障碍	1. 镉及其化合物中毒；2. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
78	铬及其化合物：三氧化铬、铬酸盐、重铬酸盐（按 Cr 计）	7440-47-3	Chromium trioxide, chromate, dichromate, as Cr	PC-TWA：0.05 PC-STEL：0.15	吸入六价铬化合物的粉尘、烟雾中毒表现为眼、上呼吸道刺激症状，如流泪、鼻腔烧灼感、流涕、咳嗽、声音嘶哑、鼻衄、气急、呼吸困难等；皮肤接触六价铬后，可引起接触性皮炎、过敏性皮炎	1. 铬鼻病；2. 铬酸盐制造工人肺癌；3. 皮肤溃疡；4. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征
79	金属汞(蒸气)	7439-97-6	Element mercury(vapor)	PC-TWA：0.02 PC-STEL：0.04	急性中毒指短期内大量吸入汞蒸气，出现头痛、头晕、睡眠障碍、易激动、手指震颤、无力、低热等全身症状，有明显的口腔炎症状，如流涎、口干、齿龈和口腔黏膜肿胀、溃疡、出血、疼痛等，齿龈缘出现“汞线”；伴恶心、呕吐、食欲不振、腹痛、腹泻。呼吸道刺激症状有咳嗽、咳痰、胸痛、胸闷、气急，重者可发生化学性肺炎；可有蛋白尿、尿汞增高，部分患者可伴有皮炎、全身性红斑、丘疹，融合成片，可形成水疱、渗出	1. 汞及其化合物中毒；2. 急性中毒性肾病；3. 急性化学物中毒性血液系统疾病；4. 急性化学物中毒性心脏病；5. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病；6. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征；7. 接触性皮炎
80	有机汞化合物（皮）（按 Hg 计）		Mercury organic compounds(skin) as Hg	PC-TWA：0.01 PC-STEL：0.03	吸入大量有机汞蒸气或粉尘即可出现上呼吸道刺激症及头晕、头痛、恶心、胸闷等反应；以后迅速出现消化道症状，如腹痛、腹泻、食欲减退、无力；数日后常可缓解；中毒者神经症状较突出，烷基汞中毒时尤甚；有头痛、头晕、失眠、四肢发麻、酸软无力、急躁易怒；可发展为不同程度的中毒性脊髓-多发性神经病或中毒性脑脊髓病；常先下肢后上肢发麻、无力，出现肌束震颤或肌萎缩，手套、袜套样的感觉障碍，腓肠肌压痛显著；精神症状有淡漠、语言过多、幻视或幻听、狂叫、烦躁、忧郁、易怒、睡眠障碍；接触粉尘可引起结膜、角膜水肿；接触有机汞可发生皮炎，以乙酸苯汞较常见	同“金属汞”

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
81	钴及其氧化物(按Co计)	7440-48-4	Cobalt and oxides, as Co	PC-TWA:0.05 PC-STEL:0.1	钴尘可引起“硬质合金病”，表现为过敏性哮喘、呼吸困难、干咳，偶有化学性肺炎、肺水肿、哮喘；钴对皮肤的影响主要为过敏性或刺激性皮炎	接触性皮炎
82	光气	75-44-5	Phosgene	MAC:0.5	主要损害呼吸系统；吸入一定量的光气当时可出现轻度眼和上呼吸道刺激症状，如流泪、咽部不适、咳嗽、胸闷，或无明显症状；经1～24小时或长些时间的症状缓解期，后迅速出现肺水肿、急性呼吸窘迫综合征；可并发纵隔及皮下气肿、气胸等；部分患者在肺水肿消退后2周左右可出现迟发性阻塞性细支气管炎	1. 光气中毒；2. 化学性眼部灼伤；3. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征；4. 急性化学物中毒性心脏病；5. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病
83	癸硼烷(皮)	17702-41-9	Decaborane(skin)	PC-TWA:0.25 PC-STEL:0.75	四肢肌肉颤动或强直性痉挛、共济失调、头晕、嗜睡等；干咳、胸闷、恶心、食欲减退等	中毒性肝病
84	过氧化苯甲酰	94-36-0	Benzoyl peroxide	PC-TWA:5 PC-STEL:12.5	毒性较微，长期接触后，对皮肤、黏膜和眼睛有潜在刺激	化学性眼部灼伤
85	过氧化氢	7722-84-1	Hydrogen peroxide	PC-TWA:1.5 PC-STEL:3.75	皮肤接触引起化学灼伤；液滴溅入眼内，可引起结膜炎、虹膜睫状体炎及角膜上皮变性、坏死和浑浊，导致完全失明	1. 化学性眼部灼伤；2. 化学性皮肤灼伤
86	环己胺	108-91-8	Cyclohexylamine	PC-TWA:10 PC-STEL:20	可经皮肤吸收，刺激眼睛、皮肤、呼吸道，思睡、缺乏食欲、恶心、呕吐	化学性眼部灼伤
87	环己醇(皮)	108-93-0	Cyclohexanol(skin)	PC-TWA:100 PC-STEL:200	低毒；未见急性职业中毒病例	
88	环己酮(皮)	108-94-1	Cyclohexanone(skin)	PC-TWA:50 PC-STEL:100	急性吸入后可有眼、鼻、咽喉部黏膜刺激症状和头晕、胸闷、全身无力等症状；重者可出现休克、昏迷、四肢抽搐、肺水肿	化学性眼部灼伤

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
89	环己烷	110-82-7	Cyclohexane	PC-TWA:250 PC-STEL:375	对眼和上呼吸道有轻度刺激;液体污染皮肤,可引起痒感	化学性眼部灼伤
90	环氧丙烷	75-56-9	Propylene oxide	PC-TWA:5 PC-STEL:12.5	流泪、流涕、咽痛、咳嗽、呼吸困难;伴头痛、呕吐、共济失调等,重者烦躁不安、谵妄甚至昏迷;皮肤接触时可引起水疱或血疱;眼部接触可引起角膜灼伤	1. 化学性眼部灼伤;2. 接触性皮炎
91	环氧氯丙烷(皮)	106-89-8	Epichlorohydrin(skin)	PC-TWA:1 PC-STEL:2	眼刺痛、流泪、结膜充血、视力减退等表现;鼻、咽可出现局部干燥、嗅觉减退、干咳、胸闷、呼吸困难、肺水肿;眼睛与皮肤接触灼伤;肺、肝、肾损害	急性化学物中毒性呼吸系统疾病
92	环氧乙烷	75-21-8	Ethylene oxide	PC-TWA:2 PC-STEL:5	接触大量环氧乙烷气体后迅速出现眼、鼻、咽喉、支气管刺激症状,并有剧烈头痛、嗅味觉消失、恶心、频繁呕吐、四肢无力、共济失调;重者呼吸困难、发绀、肺水肿、肌肉颤动、意识朦胧以致昏迷、死亡	1. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征;2. 化学性眼部灼伤;3. 急性化学物中毒性神经系统疾病;4. 急性化学物中毒性心脏病
93	黄磷	7723-14-0	Yellow phosphorus	PC-TWA:0.05 PC-STEL:0.1	主要损害消化、泌尿和骨骼系统;液态黄磷经灼伤的皮肤吸收引起急性中毒,接触数日后可出现肝肾损害的表现;黄磷接触空气自燃生成三氧化二磷和五氧化二磷,或磷蒸气遇水蒸气形成磷酸,而引起急性中毒,出现化学性肺炎和肺水肿	1. 磷中毒;2. 中毒性肝病;3. 化学性皮肤灼伤;4. 化学性眼部灼伤;5. 急性中毒性肾病;6. 急性化学物中毒性心脏病
94	己二醇	107-41-5	Hexanediol	MAC:100	眼刺激、呼吸道刺激	
95	1,6-己二异氰酸酯	822-06-0	Hexamethylene diisocyanate	PC-TWA:0.03 PC-STEL:0.15	对皮肤、黏膜有强烈的刺激作用;可出现明显的眼和呼吸道刺激症状	化学性眼部灼伤、化学性皮肤灼伤
96	己内酰胺	105-60-2	Caprolactam	PC-TWA:5 PC-STEL:12.5	口苦、鼻和口唇黏膜干燥、鼻出血、咽炎、胃部灼热感、腹胀等症状;接触粉尘可发生过敏性皮炎	过敏性皮炎
97	2-己酮(皮)	591-78-6	2-Hexanone(skin)	PC-TWA:20 PC-STEL:40	眼和上呼吸道刺激症状;高浓度可致麻醉状态	化学性眼部灼伤

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
98	甲苯(皮)	108-88-3	Toluene(skin)	PC-TWA:50 PC-STEL:100	吸入较高浓度蒸气后有头晕、头痛、恶心、四肢无力、意识模糊、步态蹒跚,重症者有躁动、抽搐或昏迷;并伴有眼和上呼吸道刺激症状,直接吸入液体后可出现肺炎、肺水肿、肺出血及麻醉症状	1. 甲苯中毒;2. 急性化学物中毒性心脏病
99	甲醇(皮)	67-56-1	Methanol(skin)	PC-TWA:25 PC-STEL:50	急性甲醇中毒主要表现为中毒性脑病、视神经病和代谢性酸中毒;头晕、头痛、眩晕、乏力、步态蹒跚、失眠、表情淡漠、意识模糊等;重者出现昏迷及癫痫样抽搐等	1. 甲醇中毒;2. 化学性眼部灼伤;3. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征
100	甲酚(皮)	1319-77-3	Cresol(skin)	PC-TWA:10 PC-STEL:25	皮肤接触可引起局部灼伤和皮炎;溅入眼内引起角膜、结膜灼伤;肌无力、胃肠道症状、虚脱、昏迷,并可引起肺水肿和肝、肾、胰等多脏器损害;个别人对甲酚有过敏反应,可出现哮喘和皮肤过敏	1. 急性中毒性肾病;2. 化学性皮肤灼伤
101	甲基丙烯腈(皮)	126-98-7	Methylacrylonitrile(skin)	PC-TWA:3 PC-STEL:7.5	急性中毒首先兴奋,然后出现无力、气喘、发绀、阵发性强直性抽搐、昏迷、死亡	急性氰化物中毒
102	甲基丙烯酸	79-41-4	Methacrylic acid	PC-TWA:70 PC-STEL:140	高浓度引起皮肤、眼及呼吸道的刺激症状和体征	化学性皮肤灼伤、化学性眼部灼伤
103	甲基丙烯酸甲酯	80-62-6	Methyl methacrylate	PC-TWA:100 PC-STEL:200	急性中毒可表现为乏力、呕吐、头痛、头晕、胸闷、意识障碍等,可伴有呼吸道刺激症状;眼和皮肤接触后可发生结膜炎和接触性皮炎	化学性皮肤灼伤、化学性眼部灼伤
104	甲基丙烯酸缩水甘油酯	106-91-2	Glycidyl methacrylate	MAC:5	可经呼吸道,皮肤及消化道吸收;皮肤和眼接触液体可引起灼伤	化学性皮肤灼伤、化学性眼部灼伤
105	甲硫醇	74-93-1	Methyl mercaptan	PC-TWA:1 PC-STEL:2.5	轻症者可出现眼和上呼吸道刺激症状,并有头痛、头晕、步态不稳,也可有恶心、呕吐等;重症者可出现肺水肿和脑水肿,有大量泡沫痰、呼吸困难、肌无力、昏迷、抽搐等表现;高浓度时可迅速引起呼吸停止	1. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征;2. 急性化学物中毒性血液系统疾病

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
106	甲醛	50-00-0	Formaldehyde	MAC:0.5	短期内接触高浓度甲醛蒸气引起的以眼、呼吸系统损害为主的全身性疾病;轻度中毒有视物模糊、头晕、头痛、乏力等症状,检查可见结膜、咽部明显充血,胸部听诊呼吸音粗糙或闻及干性啰音;中度中毒有持续咳嗽、声音嘶哑、胸痛、呼吸困难,胸部听诊有散在的干、湿啰音;可伴有体温增高和白细胞增多,胸部X射线检查有散在的点状或斑片状阴影;重度中毒时可出现喉水肿及窒息、肺水肿、昏迷、休克;皮肤接触本品后出现急性皮炎,表现为粟粒至米粒大小红色丘疹,周围皮肤潮红或轻度红肿,皱裂部位可见湿润现象,瘙痒明显;部分患者皮肤斑贴试验阳性;可引起支气管哮喘	1. 甲醛中毒;2. 接触性皮炎;3. 化学性眼部灼伤;4. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病
107	甲酸	64-18-6	Formic acid	PC-TWA:10 PC-STEL:20	皮肤、黏膜的刺激症状;流泪、流涕、喷嚏、咳嗽及声音嘶哑、结膜炎、眼睑水肿、鼻炎、支气管炎,甚至可引起急性化学性肺炎;偶见接触本品后发生过敏反应	化学性皮肤灼伤、化学性眼部灼伤
108	甲氧基乙醇(皮)	109-86-4	2-Methoxyethanol (skin)	PC-TWA:15 PC-STEL:30	中毒症状为无力、失眠、头痛、胃肠功能障碍、夜尿、体重减轻、眼烧灼感、反应迟钝、嗜睡	化学性眼部灼伤
109	间苯二酚(雷琐辛)	108-46-3	Resorcinol	PC-TWA:20 PC-STEL:40	急性中毒表现与酚类似,呈头痛、烦躁、嗜睡、发绀、抽搐、心动过速、呼吸困难等症状;皮肤接触本品可发生皮炎	1. 化学性眼部灼伤;2. 中毒性肾病;3. 接触性皮炎
110	肼(皮)	302-01-2	Hydrazine (skin)	PC-TWA:0.06 PC-STEL:0.13	急性中毒主要损害中枢神经系统和呼吸系统;急性肼中毒多数病理改变是可逆的,故预后良好;部分患者有肝功能异常	中毒性肝病
111	糠醇	98-00-0	Furfuryl alcohol	PC-TWA:40 PC-STEL:60	小剂量接触时可产生呼吸道刺激症状,较大剂量则对呼吸有抑制作用,并引起眩晕、流涎、恶心、腹泻等症状	

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
112	糠醛(皮)	98-01-1	Furfural (skin)	PC-TWA:5 PC-STEL:12.5	接触较高浓度后可出现皮肤、眼及上呼吸道黏膜刺激和头痛等症状	化学性眼部灼伤
113	可溶性镍化合物	7440-02-0	Soluble nickel compounds	PC-TWA:0.5 PC-STEL:1.5	主要损害呼吸和皮肤;镍可引起单纯性肺嗜酸粒细胞浸润症(Loffler综合征),患者可有轻度咳嗽、低热、胸闷等,X射线表现为肺部有散在扇形阴影,病灶可呈游走性;在镀镍或电解镍时,常因其粉尘或蒸气的刺激而发生皮炎;镍有较强的致敏作用,属迟发型变态反应;皮疹发作期尿镍含量可增高	接触性皮炎
114	氢氧化钠	1310-73-2	Sodium hydroxide	MAC:2	吸入氢氧化钠的粉尘或烟雾时,可引起化学性上呼吸道炎;皮肤接触可引起灼伤;氢氧化钠溅入眼内,可发生结膜炎、结膜水肿、结膜和角膜坏死,严重者可致失明	化学性眼部灼伤、化学性皮肤灼伤
115	氢氧化钾	1310-58-3	Potassium hydroxide	MAC:2	急性吸入氢氧化钾粉尘或烟雾可引起化学性上呼吸道炎;眼接触浓氢氧化钾液可发生结膜水肿和角膜溃疡等眼灼伤表现	化学性眼部灼伤、化学性皮肤灼伤
116	联苯	92-52-4	Biphenyl	PC-TWA:1.5 PC-STEL:3.75	主要表现有神经系统症状,如头晕、头痛甚至眩晕或嗜睡;高浓度蒸气可引起眼及上呼吸道明显刺激反应	化学性眼部灼伤
117	邻苯二甲酸二丁酯	84-74-2	Dibutyl phthalate	PC-TWA:2.5 PC-STEL:6.25	经胃肠道吸收可出现恶心、头晕、流泪、畏光,并有蛋白尿	
118	邻苯二甲酸酐	85-44-9	Phthalic anhydride	MAC:1	直接接触本品,可引起皮肤、眼和上呼吸道明显刺激反应;皮肤和肺的过敏反应	哮喘
119	磷胺(皮)	13171-21-6	Phosphamidon(skin)	PC-TWA:0.02 PC-STEL:0.06	急性中毒出现恶心、呕吐、流涎、多汗、视物模糊、瞳孔缩小、呼吸困难、肺水肿;肌束颤动、头痛、烦躁、谵妄、抽搐、昏迷;血压升高、心律失常	急性化学物中毒性心脏病

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
120	磷酸	7664-38-2	Phosphoric acid	PC-TWA:1 PC-STEL:3	浓缩较高时磷酸可致急性眼和呼吸道刺激症状;磷酸溅入眼内可引起眼损害	牙酸蚀病
121	磷化氢	7803-51-2	Phosphine	MAC:0.3	主要损害神经和呼吸系统;急性磷化氢中毒是吸入磷化氢气体后引起的以神经系统、呼吸系统损害为主的全身性疾病;急性磷化氢中毒起病较快,数分钟即可出现严重中毒症状;急性磷化氢中毒主要表现头晕、头痛、乏力、恶心、呕吐、食欲减退、咳嗽、胸闷;重度中毒除上述临床表现外,还可有昏迷、抽搐、肺水肿、休克、明显心肌损害及明显肝肾损害等	1. 磷化氢中毒;2. 急性化学物中毒性心脏病;3. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病;4. 中毒性肝病
122	硫酸钡(按Ba计)	7727-06-0	Barium sulfate,as Ba	PC-TWA:10 PC-STEL:25	中毒时可出现头痛、眩晕、耳鸣、复视、无力、进行性肌麻痹、心律失常、肾功能受损	钡及其化合物中毒
123	硫化氢	7783-06-4	Hydrogen sulfide	MAC:10	主要损害中枢神经和呼吸系统,刺激黏膜;急性硫化氢中毒一般发病迅速,出现以脑和/或呼吸系统损害为主的临床表现,亦可伴有心脏等器官功能障碍;接触较高浓度硫化氢后可出现头痛、头晕、乏力、共济失调,可发生轻度意识障碍;接触极高浓度硫化氢后可发生电击样死亡,即在接触后数秒或数分钟内呼吸骤停,数分钟后可发生心跳停止;也可立即或数分钟内昏迷,并呼吸骤停而死亡	急性硫化氢中毒
124	硫酸及三氧化硫	7664-93-9	Sulfuric acid and sulfur trioxide	PC-TWA:1 PC-STEL:2	明显的上呼吸道刺激症状及支气管炎,重者可迅速发生化学性肺炎或肺水肿,高浓度时可引起喉痉挛和水肿而致窒息;伴有结膜炎和咽炎;皮肤接触发生溃疡;溅入眼内可引起结膜炎、结膜水肿、角膜溃疡以致穿孔	1. 化学性皮肤灼伤;2. 接触性皮炎;3. 化学性眼部灼伤;4. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病;5. 牙酸蚀病

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
125	硫酸二甲酯(皮)	77-78-1	Dimethyl sulfate(skin)	PC-TWA:0.5 PC-STEL:1.5	中毒时受损的主要靶器官是眼和呼吸系统，表现为急性结膜炎、角膜炎、咽喉炎、气管支气管炎或支气管周围炎，重症表现为肺炎、肺水肿；轻度中毒时有明显的眼及呼吸道黏膜刺激症状，表现为羞明、流泪、结膜充血、咳嗽、咳痰、胸闷，两肺可闻及散在的干性啰音或少量湿性啰音；中度中毒时表现为明显咳嗽、咳痰、气急，伴有胸闷及轻度发绀，两肺散在干性啰音或伴有局部湿性啰音或两肺散在喘鸣音，支气管肺炎、间质性肺水肿或局限性肺泡性肺水肿；重度中毒时则咯大量白色或粉红色泡沫痰、明显呼吸困难、发绀、两肺散在湿性啰音，弥漫性肺泡性肺水肿，同时还可伴发窒息、气胸、纵隔气肿、皮下气肿；严重者出现成人型呼吸窘迫综合征	1. 硫酸二甲酯中毒；2. 化学性皮肤灼伤；3. 化学性眼部灼伤；4. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征；5. 急性化学物中毒性心脏病；6. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病
126	硫酰氟	2699-79-8	Sulfuryl fluoride	PC-TWA:20 PC-STEL:40	主要表现为对呼吸道的刺激和中枢神经系统的抑制作用，继而出现兴奋和抽搐	化学性眼部灼伤
127	六氟丙烯	116-15-4	Hexafluoropropylene	PC-TWA:4 PC-STEL:10	急性中毒早期主要表现为咽部有异物感或阻塞感、干咳、呛咳，有的咯白色黏痰，有胸闷、气急、胸骨后紧束感，剧烈咳嗽诱发恶心、呕吐，可有不同程度头痛、头晕	急性化学物中毒性呼吸系统疾病
128	六氟化硫	2551-62-4	Sulfur hexafluoride	PC-TWA:6000 PC-STEL:9000	窒息或低氧血症，其严重程度根据空气中含氧量而异；本品的气体或液化气可引起皮肤灼伤或冻伤	皮肤化学性灼伤
129	六氯丁二烯(皮)	87-68-3	Hexachlorobutadine	PC-TWA:0.2 PC-STEL:0.6	可经呼吸道、消化道和皮肤吸收进入人体；未见急性中毒病例报道	氯丁二烯中毒
130	氯丙烯	107-05-1	Allyl chloride	PC-TWA:2 PC-STEL:4	高浓度接触可引起眼、呼吸道刺激症状及昏迷；长期接触主要引起多发性感觉-运动型周围神经病	氯丙烯中毒

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
131	氯丁二烯(皮)	126-99-8	Chloroprene(skin)	PC-TWA:4 PC-STEL:10	轻度中毒可有头晕、头痛、乏力、步态不稳或意识障碍、恶心流泪、咽部干痛、咳嗽、胸闷、呼吸困难;重度中毒可出现昏迷、抽搐	中毒性肝病
132	氯化苦	76-06-2	Chloropicrin	MAC:1	主要表现为羞明、流泪、眼睑痉挛、打喷嚏、咽喉部刺痒等;还可有面部及周身皮肤潮红、干燥等;可致皮肤红斑、水疱、灼伤、皮下出血等;结膜水肿、角膜炎、虹膜炎、喉水肿、肺水肿;严重者出现肝损害	急性化学物中毒性呼吸系统疾病
133	氯化氢及盐酸	7647-01-0	Hydrogen chloride and Hydrochloric acid	MAC:7.5	吸入烟雾后可出现呛咳、流泪、咳嗽、胸闷、呼吸加快;吸入高浓度烟雾可引起肺水肿、喉痉挛或水肿甚至导致窒息,很快死亡	1. 牙酸蚀病;2. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病
134	氯化氰	506-77-4	Cyanogen chloride	MAC:0.75	眼和皮肤接触有强的刺激性和腐蚀性;吸入会致严重中毒	化学性皮肤灼伤、化学性眼部灼伤
135	氯化锌烟	7646-85-7	Zinc chloride fume	PC-TWA:1 PC-STEL:2	支气管肺炎;氯化锌灼伤皮肤后,局部皮肤充血,中心可形成溃疡,有剧痛	化学性皮肤灼伤
136	氯甲烷	74-87-3	Methyl chloride	PC-TWA:60 PC-STEL:120	轻度中毒先有头晕、头胀、乏力,经几小时后症状明显,出现头痛、嗜睡、持续呕吐,继而胸闷、心悸、视物模糊或复视、步态蹒跚、抑郁状态,也有肢体麻木、眼球及手震颤、语言障碍等表现;重度中毒除轻度中毒症状外,出现抽搐、谵妄、视力障碍明显、肌束震动、昏迷	
137	氯乙醇(皮)	107-07-3	Ethylene chlorohydrin (skin)	MAC:2	头晕、嗜睡、恶心、呕吐、胸痛、呼吸困难、视觉障碍、血尿、血压下降、共济失调、抽搐、谵妄、昏迷等肺水肿、脑水肿	中毒性肝病
138	氯乙醛	107-20-0	Chloroacetaldehyde	MAC:3	眼接触液体可发生灼伤;对皮肤、黏膜有强烈的刺激性	化学性眼部灼伤

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
139	氯化汞（升汞）	7487-94-7	Mercuric chloride	PC-TWA：0.025 PC-STEL：0.075	经消化道吸收可出现恶心、呕吐、严重腹痛、腹泻和便血；严重者可发生休克、昏迷；中毒初期可出现口腔炎，如大量流涎、口腔黏膜及齿龈肿胀、充血、糜烂、牙痛甚至脱落	1. 汞及其化合物中毒；2. 化学性眼部灼伤；3. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征
140	氯萘（皮）	90-13-1	Chloronaphthalene (skin)	PC-TWA：0.5 PC-STEL：1.5	主要损害肝和皮肤；接触其粉尘或蒸气可引起氯痤疮，严重时可发生中毒性肝病	中毒性肝病
141	氯	7782-50-5	Chlorine	MAC：1	急性中毒主要为呼吸系统损害的表现；起病及病情变化一般均较迅速，可发生咽喉炎、支气管炎、肺炎或肺水肿，表现为咽痛、呛咳、咯少量痰、气急、胸闷或咯粉红色泡沫痰、呼吸困难等症状，有时伴有恶心、呕吐等症状；重症者尚可出现急性呼吸窘迫综合征，有进行性呼吸频速和窘迫、心动过速、顽固性低氧血症；少数患者有哮喘样发作，出现喘息、肺部有哮喘音；极高浓度时可引起声门痉挛或水肿、支气管痉挛或反射性呼吸中枢抑制而致迅速窒息死亡；并发症主要有肺部继发感染、心肌损害及气胸、纵隔气肿等；氯可引起急性结膜炎，高浓度氯气或液氯可引起眼灼伤；液氯或高浓度氯气可引起皮肤暴露部位急性皮炎或灼伤	1. 氯气中毒；2. 化学性眼部灼伤；3. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征；4. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病
142	氯乙烯	75-01-4	Vinyl chloride	PC-TWA：10 PC-STEL：25	轻度中毒有眩晕、头痛、无力、恶心、胸闷、嗜睡、步态蹒跚等症状；并可出现心率减慢、血压降低等体征；重度中毒时上述症状加重，可出意识障碍甚至昏迷、抽搐、躁动、血压下降等，可因呼吸、循环衰竭而死亡	1. 氯乙烯中毒；2. 氯乙烯所致肝血管肉瘤；3. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征；4. 急性化学物中毒性心脏病；5. 中毒性肝病
143	马来酸酐	108-31-6	Maleic anhydride	PC-TWA：1 PC-STEL：2	对眼和皮肤有明显刺激作用；吸入后引起咽炎和支气管炎；可引起皮肤过敏反应	化学性眼部灼伤

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
144	吗啉(皮)	110-91-8	Morpholine(skin)	PC-TWA:60 PC-STEL:120	引起鼻黏膜的强刺激症状;皮肤接触致灼痛、皮炎或灼伤;眼接触蒸气致角膜水肿	急性中毒性肾病
145	煤焦油沥青挥发物(按苯溶物计)	65996-93-2	Coal tar pitch volatiles,as Benzene soluble matters	PC-TWA:0.2 PC-STEL:0.6	高热的液态沥青对皮肤造成热力烧伤,粉尘与烟气对眼的损害以睑结膜炎为主,闻及沥青臭气后,可出现头晕、头胀、头痛、胸闷、乏力、恶心或咳嗽、心悸、耳鸣等;接触沥青可引起刺激性接触性皮炎;在阳光下接触焦油沥青后可引起光毒性皮炎	1. 皮肤黑变病;2. 光敏性皮炎;3. 化学性眼部灼伤;4. 皮肤痤疮 5. 急性中毒性肾病
146	锰及其无机化合物(按MnO_2计)	7439-96-5	Manganese and inorganic compounds,as MnO_2	PC-TWA:0.15 PC-STEL:0.45	吸入大量新生的氧化锰烟尘后,引起"金属烟热",出现头晕、头痛、恶心、寒战、高热以及咽痛、咳嗽、气喘,数小时后热退、全身大汗,次日遗留乏力感	1. 锰及其化合物中毒;2. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病
147	镍及其无机化合物(按Ni计)	7440-02-0	Nickel and inorganic compounds,as Ni	PC-TWA:1 PC-STEL:2.5	患者可有轻度咳嗽、低热、胸闷等,接触粉尘或蒸气时可发生接触性皮炎或过敏性湿疹	接触性皮炎
148	萘	91-20-3	Naphthalene	PC-TWA:50 PC-STEL:75	吸入高浓度萘蒸气可致头痛、恶心、呕吐、食欲消失、呼吸道及眼结膜刺激、角膜表面浑浊、腰痛、尿频、尿中出现蛋白和红细胞、白细胞;个别严重病人可有肝肿大、肝肾功能异常、溶血、抽搐、昏迷等	1. 化学性眼灼伤;2. 急性中毒性肾病;3. 急性化学物中毒性血液系统疾病;4. 白内障
149	萘烷	91-17-8	Decalin	PC-TWA:60 PC-STEL:120	蒸气刺激眼睛和鼻,吸入后尿呈绿色;接触皮肤能引起皮炎	化学性眼部灼伤
150	铍及其化合物(按Be计)金属铍、氧化铍、硫酸铍、碳酸铍、氟化铍、氢氧化铍	7440-41-7	Beryllium and compounds, as Be (Be, Beryllium oxide, Beryllium sulfate, Beryllium carbonate)	PC-TWA: 0.0005 PC-STEL: 0.001	临床表现主要有鼻咽部干痒、咳嗽、咯痰、胸闷、胸痛、气急、乏力、发热、发绀、肺部可有湿性啰音等;部分病例可伴有肝脏损害	1. 铍病;2. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病;3. 化学性眼部灼伤

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
151	铅及其无机化合物(按Pb计)	7439-92-1	Lead and inorganic compounds	铅烟 PC-TWA:0.03 PC-STEL:0.09 铅尘 PC-TWA:0.05 PC-STEL:0.15	急性铅中毒多因消化道吸收引起。中毒后,口内有金属味、流涎、恶心、呕吐,阵发性剧烈腹绞痛(铅绞痛),腹软,按之可减轻疼痛,常有便秘或腹泻、头痛、血压升高、多汗、尿少;严重者可有中毒性肝病、中毒性肾病及贫血等;麻痹性肠梗阻等偶有发生,齿龈有铅线为铅吸收的征象	1. 铅及其化合物中毒;2. 中毒性肝病;3. 急性化学物中毒性心脏病;4. 急性化学物中毒性血液系统疾病;5. 急性中毒性肾病
152	氢醌	123-31-9	Hydroquinone	PC-TWA:1 PC-STEL:2	皮肤接触出现湿疹、皮炎和白斑;眼部接触可有结膜炎和角膜炎;长期接触时,角膜浑浊的同时产生结膜褐色素沉着	化学性眼部灼伤
153	氢氧化铯	21351-79-1	Cesium hydroxide	PC-TWA:2 PC-STEL:5	吸入粉尘、烟雾或液体能引起化学性上呼吸道炎,皮肤或黏膜接触引起药物性损伤	化学性眼部灼伤
154	氰氨化钙	156-62-7	Calcium cyanamide	PC-TWA:1 PC-STEL:3	粉尘能刺激和腐蚀眼睛、黏膜和皮肤,引起结膜炎,并能造成灼伤;眼结膜、鼻、咽喉、支气管	化学性眼部灼伤
155	氰化氢(按CN计)(皮)	74-90-8	Hydrogen cyanide, as CN(skin)	MAC:1	主要损害神经和呼吸系统,刺激黏膜;吸入者有眼和上呼吸道刺激症状,呼出气带杏仁气味;并有头痛、头晕、胸闷、呼吸加深加快、血压升高、心悸、脉率加快、皮肤及黏膜呈鲜红色;后有胸部压迫感、呼吸困难、意识朦胧;继而抽搐、昏迷、呼吸减慢、血压下降、发绀、全身肌肉松弛、呼吸停止、脉搏弱而不规则、心跳停止、死亡;静脉血呈鲜红色	1. 氰和腈类化合物中毒;2. 急性化学源猝死;3. 急性化学物中毒性血液系统疾病
156	氰化物(按CN计)(皮)	460-19-5	Cyanides, as CN(skin)	MAC:1	参见"氰化氢"	1. 氰和腈类化合物中毒;2. 急性化学源猝死;3. 急性化学物中毒性血液系统疾病;4. 急性化学物中毒性心脏病

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
157	溶剂汽油		Solvent gasolines	PC-TWA:300 PC-STEL:450	可引起流泪、流涕、咳嗽、眼结膜充血等眼和上呼吸道刺激症状，出现头晕、头痛、四肢无力、心悸、恶性、呕吐、视物模糊、复视、酩酊感、易激动、步态不稳、眼睑、舌、手指微震颤、共济失调等；严重者有谵妄、昏迷、抽搐等；部分患者可有惊恐不安、欣慰感、幻觉、哭笑无常等精神症状	1. 汽油中毒；2. 化学性眼灼伤；3. 急性中毒性肾病；4. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征；5. 急性化学物中毒性心脏病；6. 化学性皮肤灼伤；7. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病
158	三次甲基三硝基胺(黑索今)	121-82-4	Cyclonite (RDX)	PC-TWA:1.5 PC-STEL:3.75	大量接触粉尘时可迅速出现头痛、眩晕、恶心、口中有甜味，并感口干而剧渴，十分疲劳和软弱，手足及全身抽搐；较严重病例在抽搐发作时，颜面及四肢发绀，大小便失禁，颇似癫痫大发作	
159	三硝基甲苯(皮)	118-96-7	Trinitrotoluene (skin)	PC-TWA:0.2 PC-STEL:0.5	急性中毒症状为头晕、头痛、发绀、恶心、呕吐、上腹痛、无力、食欲不振、口苦；呼吸道和皮肤等的刺激症状，鼻痒、打喷、咽干、流泪	1. 三硝基甲苯白内障；2. 三硝基甲苯中毒；3. 急性化学物中毒性血液系统疾病；4. 中毒性肝病
160	三氟化硼	7637-07-2	Boron trifluoride	MAC:3	急性中毒时主要出现干咳、气急、胸闷、胸部紧迫感等呼吸道刺激症状；部分有恶心、流涎；可引起化学性肺炎，并可有震颤和阵挛性抽搐	化学性眼部灼伤
161	1,2,3-三氯丙烷(皮)	96-18-4	1,2,3-Trichloropropane(skin)	PC-TWA:60 PC-STEL:120	急性中毒主要损害中枢神经系统；血和尿中可检出三氯乙酸	急性化学物中毒性心脏病
162	三氯化磷	7719-12-2	Phosphorus trichloride	PC-TWA:1 PC-STEL:2	接触过量三氯化磷烟雾后，可引起咳嗽、流泪、流涕、眼及咽部疼痛、充血、水肿，胸部压迫感、吞咽困难等；严重的病例有支气管炎、化学性肺炎或肺水肿等表现	1. 化学性皮肤灼伤；2. 急性化学物中毒性心脏病；3. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
163	三氯甲烷	67-66-3	Trichloromethane	PC-TWA:20 PC-STEL:40	中毒初期出现头痛、呕吐、兴奋、黏膜刺激症状等，以后可出现精神错乱、不安、手震颤等，严重中毒者可发生呼吸麻痹和心室颤动；同时可伴有肝肾功能损害；液态可造成皮肤脱脂和化学性灼伤、皮炎和湿疹	1. 化学性眼部灼伤；2. 中毒性肝病；3. 接触性皮炎
164	三氯氧磷	10025-87 3	Phosphorus oxychloride	PC-TWA:0.3 PC-STEL:0.6	急性中毒症状有流涕、咽喉干痒、头痛、呼吸困难；稍重的病例有鼻衄、全身无力、痰中有血丝、鼻中隔黏膜灼伤；严重病例可发生喉水肿致窒息、肺炎或肺水肿	1. 化学性眼部灼伤；2. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病
165	1,1,1-三氯乙烷	71-55-6	1,1,1-trichloroethane	PC-TWA:900 PC-STEL:1350	急性中毒主要损害中枢神经系统，轻者表现为头痛、眩晕、步态蹒跚、共济失调、嗜睡等，重者可出现抽搐甚至昏迷	1. 急性化学物中毒性心脏病；2. 中毒性肝病
166	三乙基氯化锡(皮)	994-31-0	Triethyltin chloride (skin)	PC-TWA:0.05 PC-STEL:0.1	急性中毒早期常有头痛、头晕、头胀、出汗、恶心、胃纳减退、失眠等症状，后可出现嗜睡、频繁呕吐、抽搐等；严重者可发生明显脑水肿，出现昏迷、抽搐、锥体束征等	有机锡中毒
167	双丙酮醇	123-42-2	Diacetone alcohol	PC-TWA:240 PC-STEL:360	吸入后出现眼、鼻、咽喉刺激感，胸部不适；严重者可发生麻醉、血压下降、肝肾损害，最后可因呼吸中枢抑制而死亡	化学性眼部灼伤
168	双氯甲醚	542-88-1	Bis(chloromethyl) ether	MAC:0.005	短时吸入可损伤肺组织，引起肺水肿；本剂长期吸入可致小细胞性肺癌	职业性肺癌
169	四氯化碳(皮)	56-23-5	Carbon tetrachloride (skin)	PC-TWA:15 PC-STEL:25	轻度中毒患者可有头晕、头痛、乏力、恶心、呕吐、食欲不振等症状，还有步态蹒跚、短暂意识障碍或肝脏增大、轻度肝功能异常或蛋白尿等；重度中毒，除上述临床表现外，还有重度中枢神经系统、肝或肾损害，如出现昏迷、严重肝功能异常或急性肾功能衰竭	1. 四氯化碳中毒；2. 中毒性肝病；3. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病；4. 急性化学物中毒性心脏病；5. 急性化学物中毒性血液系统疾病；6. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征；7. 急性中毒性肾病；8. 化学性皮肤灼伤

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
170	四氯乙烯	127-18-4	Tetrachloroethylene	PC-TWA:200 PC-STEL:300	急性吸入主要表现为眼、鼻、喉、咽刺激症状，有眼灼痛、流涎、流涕、口干、口内金属甜味、头痛和头部压迫感、眩晕、运动失调甚至意识不清；临床报道对肝有损害	1. 急性化学物中毒性心脏病；2. 中毒性肝病
171	四氢呋喃	109-99-9	Tetrahydrofuran	PC-TWA:300 PC-STEL:450	高浓度吸入后可出现头晕、胸闷、胸痛、咳嗽、乏力、口干、恶心、呕吐等症状，可伴有眼刺激症状、肝功能障碍	化学性眼部灼伤
172	四溴化碳	558-13-4	Carbon tetrabromide	PC-TWA:1.5 PC-STEL:4	对眼和呼吸道有刺激作用；吸入高浓度四溴化碳可导致支气管炎、肺炎和肺水肿	化学性眼部灼伤
173	四乙基铅(按Pb计)(皮)	78-00-2	Tetraethyl lead, as Pb(skin)	PC-TWA:0.02 PC-STEL:0.06	短期大量接触四乙基铅后有失眠、多梦、头痛、头晕、食欲不振等神经衰弱症状，并有兴奋、急躁易怒、焦虑不安、癔病样发作；基础体温、血压及脉率可降低；甚至出现意识谵妄、昏迷、四肢抽搐	四乙基铅中毒
174	砷化氢(胂)	7784-42-1	Arsine	MAC:0.03	轻度中毒有头晕、头痛、乏力、恶心、呕吐、腹痛、关节及腰部酸痛，皮肤及巩膜轻度黄染；血红细胞及血红蛋白降低，尿呈酱油色，尿隐血阳性、蛋白阳性，尿中有红细胞、白细胞，血尿素氮增高，可伴有肝脏损害；重度中毒发病急剧，有寒战、高热、昏迷、谵妄、抽搐、发绀、巩膜及全身重度黄染；少尿或无尿、贫血加重、网织红细胞明显增多、尿呈深酱色、尿隐血强阳性、血尿素氮明显增高，出现急性肾功能衰竭和肝脏损害	1. 砷化氢中毒；2. 中毒性肝病；3. 急性化学物中毒性心脏病；4. 急性化学物中毒性血液系统疾病；5. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征；6. 急性中毒性肾病；7. 化学性眼部灼伤

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
175	砷及其无机化合物(按As计)	7440-38-2	Arsenic and inorganic compounds, as As	PC-TWA:0.01 PC-STEL:0.02	工业生产中经皮吸收致急性中毒相对少见;其表现除急性胃肠炎外,尚可有接触性皮炎、眼及咽喉刺激症状,有咳嗽、胸痛、呼吸困难、乏力及烦躁不安等,甚至发生痉挛、昏迷而死亡;化验检查尿砷往往增高,尤以中毒初期为著;神经-肌电图示肌肉失神经电位,感觉或运动神经传导速度减慢	1. 砷及其化合物中毒;2. 砷所致肺癌、皮肤癌;3. 急性中毒性肾病;4. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征;5. 急性化学物中毒性神经系统疾病;6. 急性化学物中毒性血液系统疾病;7. 急性化学物中毒性心脏病;8. 化学性眼部灼伤
176	碳酸钠(纯碱)	3313-92-6	Sodium carbonate	PC-TWA:3 PC-STEL:6	呼吸道、眼刺激症状;重症者可引起结膜灼伤;皮肤接触后可引起皮炎、灼伤	1. 化学性眼部灼伤;2. 接触性皮炎
177	铊及其可溶性化合物(按Tl计)(皮)	7440-28-0	Thallium and soluble compounds, as Tl (skin)	PC-TWA:0.05 PC-STEL:0.1	急性中毒可出现恶心、阵发性腹绞痛、精神症状、高热、谵妄、抽搐、昏迷、四肢麻木、痛觉过敏、四肢远端肌萎缩等;指甲和趾甲有白色横纹(米氏纹)及脱发是铊中毒的特异体征;其他可出现高血压及心、肝、肾损害;急性职业中毒早期可仅有周围神经病变、下肢无力和痛觉过敏	1. 铊及其化合物中毒;2. 中毒性肝病;3. 白内障;4. 急性化学物中毒性神经系统疾病
178	羰基镍(按Ni计)	13463-39-3	Nickel carbonyl, as Ni	MAC:0.002	轻度中毒表现为头晕、头痛、乏力、恶心,伴有胸闷、胸痛、咽干,其次为咳嗽;中度中毒常在早期症状出现8～72小时后突然加剧,可有咳嗽、多痰、呼吸困难;亦可伴有畏寒、发热(不超过39℃)、意识模糊、嗜睡或兴奋;重度中毒主要表现为呼吸困难、发绀、血性泡沫痰,可伴有高热、抽搐、昏迷;肺部可闻广泛干、湿啰音,心动过速、心律不齐甚或出现奔马律	1. 羰基镍中毒;2. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征;3. 急性化学物中毒性心脏病;4. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病;5. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
179	锑及其化合物(按Sb计)	7440-36-0	Antimony and compounds, as Sb	PC-TWA:0.5 PC-STEL:1.5	吸入中毒者可出现结膜炎、鼻炎、咽炎及支气管炎症状;严重者可发生化学性肺炎、肺水肿;吸入锑蒸气氧化成的氧化锑,可引起金属烟热	1. 中毒性肝病;2. 急性化学物中毒性心脏病;3. 急性化学物中毒性血液系统疾病;4. 化学性眼部灼伤
180	钨及其不溶性化合物(按W计)	7440-33-7	Tungsten and insoluble compounds, as W	PC-TWA:5 PC-STEL:10	经消化道吸收后可出现全身无力、发热;接触钨粉可引起轻度上呼吸道刺激症状;曾有引起哮喘的报道	
181	五硫化二磷	1314-80-3	Phosphorus pentasulfide	PC-TWA:1 PC-STEL:3	可引起眼、口腔、上呼吸道、下呼吸道的刺激症状;严重者可出现肺炎、肺水肿	化学性眼部灼伤
182	五氯酚及其钠盐(皮)	87-86-5	Pentachlorophenol and sodium salts (skin)	PC-TWA:0.3 PC-STEL:0.9	急性中毒早期症状为乏力、多汗、两下肢沉重感、烦渴、发热38℃左右,可伴有头痛、头晕、恶心、呕吐、腹痛等;病情恶化者可出现高热40℃以上、全身大汗淋漓、极度疲乏、烦躁不安、昏迷、抽搐等;可发生心、肝、肾损害	1. 五氯酚(钠)中毒;2. 中毒性肝病;3. 急性化学源性猝死
183	五氧化二磷	1314-56-3	Phosphorus pentoxide	MAC:1	急性中毒可出现眼、口腔、上呼吸道、下呼吸道的刺激症状,如流泪、流涕、咳嗽、咳痰等症状;严重者可出现肺炎、肺水肿	化学性眼部灼伤
184	戊烷	109-66-0	Pentane	PC-TWA:500 PC-STEL:1000	高浓度可引起眼和呼吸道黏膜轻度刺激症状和麻醉症状,重症者可有意识丧失	化学性眼部灼伤
185	硒化氢(按Se计)	7783-07-5	Hydrogen selenide, as Se	PC-TWA:0.15 PC-STEL:0.3	强烈刺激眼、鼻和呼吸系统;喷嚏、声音沙哑、干咳、丧失嗅觉、头痛、胸痛	急性化学物中毒性呼吸系统疾病
186	硝化甘油(皮)	55-63-0	Nitroglycerine (skin)	MAC:1	剧烈搏动性头痛、头晕、恶心、心悸、眩晕、舌烧灼感、面色潮红等;较大量时引起血压过低、晕厥、视觉障碍等,尚可有发绀等高铁血红蛋白血症	苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯)中毒

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
187	硝基苯(皮)	98-95-3	Nitrobenzene(skin)	PC-TWA:2 PC-STEL:5	引起高铁血红蛋白血症，发绀、头晕、头痛、耳鸣、手指麻木、全身无力等；进一步可出现心悸、胸闷、气急、步态蹒跚、恶心、呕吐甚至昏厥等；甚至出现发生休克、心律失常、惊厥以致昏迷；参见“苯胺”	1. 苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯)中毒；2. 中毒性肝病；3. 急性化学物中毒性血液系统疾病；4. 急性化学物中毒性血液系统疾病；5. 化学性皮肤灼伤
188	硝基甲苯(全部异构体)(皮)	88-72-2;99-08-1;99-99-0	Nitrotoluene(all isomers)(skin)	PC-TWA:10 PC-STEL:25	大量接触能引起头痛、面潮红、晕眩、呼吸困难、发绀、恶心、呕吐、肌无力、脉搏及呼吸频率增加；参见“苯胺”	1. 苯的氨基、硝基化合物(不包括三硝基甲苯)中毒；2. 急性化学物中毒性血液系统疾病
189	硝基甲烷	75-52-5	Nitromethane	PC-TWA:50 PC-STEL:100	高浓度蒸气可引起中枢神经系统麻醉症状和眼及上呼吸道刺激症状	化学性眼部灼伤
190	溴化氢	10035-10-6	Hydrogen bromide	MAC:10	眼、鼻和咽喉黏膜的刺激，皮肤和眼接触液态溴化氢可发生灼伤	化学性眼部灼伤
191	溴甲烷(皮)	74-83-9	Methyl bromide(skin)	PC-TWA:2 PC-STEL:5	轻度中毒可有头痛、无力、全身不适、晕眩、恶心、呕吐、视力减退、咳嗽、胸闷、呼吸困难、发绀；重者很快发展成肺水肿，或有抽搐、昏迷等	1. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病；2. 化学性眼部灼伤
192	溴氰菊酯	52918-63-5	Deltamethrin	PC-TWA:0.03 PC-STEL:0.09	接触较大量1～48小时后面部感觉异常、头晕、头痛、乏力、恶心、呕吐、精神萎靡、多汗、流涎；少数出现胸闷、肢端发麻、心悸、视物模糊、瞳孔缩小、肌束颤动、昏迷或阵发性抽搐；部分患者可发生肺水肿；眼接触可引起眼痛、畏光、流泪、眼睑水肿、球结膜充血水肿；皮肤接触可发生接触性皮炎	1. 化学性眼部灼伤；2. 接触性皮炎

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
193	氧化钙	1305-78-8	Calcium oxide	PC-TWA:2 PC-STEL:5	吸入氧化钙粉尘可引起上呼吸道炎症或肺炎;氧化钙可引起眼和皮肤的刺激症状和灼伤	化学性眼部灼伤
194	氧化镁烟	1309-48-4	Magnesium oxide fume	PC-TWA:10 PC-STEL:25	吸入一定浓度氧化镁烟尘可发生金属烟热,有发热、咳嗽、胸闷、血白细胞增多;接触其粉尘可见呼吸道和眼部刺激症状	金属烟热
195	氧化锌	1314-13-2	Zinc oxide	PC-TWA:3 PC-STEL:5	接触氧化锌烟尘后首先是头晕、疲倦、乏力、胸闷、气急、肌肉痛、关节痛,以后发热、血白细胞数增多,较重者伴有畏寒、寒战	金属烟热
196	液化石油气	68476-85-7	Liquified petroleum gas(L.P.G.)	PC-TWA:1000 PC-STEL:1500	大量吸入时可产生头晕、头痛、恶心、四肢无力、酒醉状态,可有发绀、意识障碍,重症者昏迷;吸入高浓度时可立即有窒息感,并迅速昏迷	
197	一甲胺(甲胺)	74-89-5	Monomethylamine	PC-TWA:5 PC-STEL:10	短期内吸入较大量一甲胺气体可出现上呼吸道刺激症状、咽部充血水肿、喉水肿、支气管炎、肺炎、肺水肿、急性呼吸窘迫综合征,可并发气胸、纵隔气肿等;常伴有眼和皮肤灼伤	1. 氨中毒;2. 急性化学物中毒性心脏病;3. 急性化学物中毒性呼吸系统疾病
198	一氧化氮	10102-43-9	Nitric oxide(Nitrogen monooxide)	PC-TWA:15 PC-STEL:30	吸入气体当时可无明显症状,或仅有咽部不适、干咳等;出现迟发性肺水肿、急性呼吸窘迫综合征;可并发气胸及纵隔气肿;迟发性阻塞性细支气管炎	急性化学物中毒性呼吸系统疾病
199	乙胺	7504-04-7	Ethylamine	PC-TWA:9 PC-STEL:18	液体溅入眼内可致严重眼灼伤、角膜水肿;沾染皮肤可引起皮肤灼伤;吸入其气体可有眼与上呼吸道刺激症状	1. 化学性眼部灼伤;2. 化学性皮肤灼伤
200	乙苯	100-41-4	Ethyl benzene	PC-TWA:100 PC-STEL:150	轻度中毒表现为兴奋、酒醉状态,伴有结膜充血、流泪、流涕、喷嚏以及头晕、头痛、恶心、呕吐、步态蹒跚、轻度意识障碍等;重度中毒可发生昏迷、抽搐、血压下降以及呼吸循环衰竭	1. 化学性眼部灼伤;2. 急性中毒性肾病

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
201	乙醇胺	141-43-5	Ethanolamine	PC-TWA:8 PC-STEL:15	较高浓度引起呼吸道刺激症状;液体溅入眼内引起急性角结膜炎	化学性皮肤灼伤
202	乙二胺(皮)	107-15-3	Ethylenediamine (skin)	PC-TWA:4 PC-STEL:10	过量蒸气可引起眼、呼吸道和皮肤的刺激症状,发生结膜炎、支气管炎、肺炎和肺水肿、接触性皮炎;个别已致敏者可发生哮喘;眼及皮肤可引起灼伤、过敏性接触性皮炎	化学性皮肤灼伤
203	乙二醇	107-21-1	Ethylene glycol	PC-TWA:20 PC-STEL:40	中毒早期可有酒醉感、嗜睡、癫痫样发作、代谢障碍、心动过速、高血压、呼吸和循环衰竭;后期突出表现为肾脏损害、肾功能衰竭	
204	乙基戊基甲酮	541-85-5	Ethyl amyl ketone	PC-TWA:130 PC-STEL:195	经呼吸道吸入可有头痛、恶心、呼吸减慢、心率下降及眼部短时刺激症状;皮肤接触本品液体可致皮肤干燥、皲裂甚至皮炎	化学性皮肤灼伤、化学性眼部灼伤
205	乙腈	75-05-8	Acetonitrile	PC-TWA:10 PC-STEL:25	急性中毒症状主要表现为衰弱、无力、恶心、腹痛、腹泻、胸闷、胸痛,严重者发生呼吸及循环障碍	
206	乙醚	60-29-7	Ethyl ether	PC-TWA:300 PC-STEL:500	轻度急性中毒可有头晕、嗜睡、兴奋、全身无力等;重度中毒其症状与手术麻醉相同,短时间头晕、兴奋后,不久即出现意识模糊、嗜睡等	
207	乙醛	75-07-0	Acetaldehyde	MAC:45	低浓度可引起眼及上呼吸道刺激症状、皮肤过敏;吸入高浓度可出现头痛、嗜睡、意识障碍及支气管炎、肺水肿、腹泻、蛋白尿、肝和心肌脂肪性变	化学性眼部灼伤
208	乙酸	64-19-7	Acetic acid	PC-TWA:10 PC-STEL:20	短时高浓度吸入乙酸蒸气可引起鼻、咽黏膜干燥或大量流涕、咽痛、剧烈干咳,有时可有呼吸困难、发绀及双肺湿性啰音;眼损害出现结膜充血、眼睑水肿等;皮肤接触可发生红、痛、水疱等	1. 化学性皮肤灼伤;2. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征;3. 化学性眼部灼伤

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
209	乙酸甲酯	79-20-9	Methyl acetate	PC-TWA:100 PC-STEL:200	主要临床表现有黏膜刺激和中枢麻醉	化学性眼部灼伤
210	乙酸戊酯(全部异构体)	628-63-7	Amyl acetate(all isomers)	PC-TWA:100 PC-STEL:200	主要反应为眼、鼻刺激、咽喉烧灼感与呛咳	化学性眼部灼伤
211	乙酸乙烯酯	108-05-4	Vinyl acetate	PC-TWA:10 PC-STEL:15	具有麻醉和全身毒性作用;对眼和上呼吸道有强烈刺激作用;长期反复接触皮肤会产生脱脂效应	化学性眼部灼伤
212	异丙胺	75-31-0	Isopropylamine	PC-TWA:12 PC-STEL:24	本品有强烈的局部刺激作用,可引起眼睛、皮肤灼伤与呼吸道刺激症状	化学性眼部灼伤
213	异丙醇	67-63-0	Isopropyl alcohol(IPA)	PC-TWA:350 PC-STEL:700	吸入蒸气可引起眼及呼吸道黏膜刺激症状;急性中毒主要损害中枢神经系统	化学性眼部灼伤
214	异稻瘟净(皮)	26087-47-8	Kitazin o-p(skin)	PC-TWA:2 PC-STEL:5	本品属有机磷酸酯类农药,对胆碱酯酶活性有抑制作用	农药中毒
215	异佛尔酮	78-59-1	Isophorone	MAC:30	接触后有眼、鼻、喉刺激症状;少数人诉头痛、恶心;个别人有窒息感	化学性眼部灼伤
216	异佛尔酮二异氰酸酯	4098-71-9	Isophorone diisocyanate (IPDI)	PC-TWA:0.05 PC-STEL:0.1	可出现眼和呼吸道刺激症状	化学性眼部灼伤
217	异氰酸甲酯(皮)	624-83-9	Methyl isocyanate (skin)	PC-TWA:0.05 PC-STEL:0.08	低浓度引起流泪和咳嗽,高浓度可引起眼红肿和化学性灼伤;可导致化学性肺炎与肺水肿、呼吸道过敏反应,加重呼吸困难和肺水肿	化学性眼部灼伤
218	异亚丙基丙酮	141-79-7	Mesity oxide	PC-TWA:60 PC-STEL:100	有轻度上呼吸道和眼部刺激症状	化学性眼部灼伤
219	铟及其化合物(按In计)	7440-74-6	Indium and compounds, as In	PC-TWA:0.1 PC-STEL:0.3	目前未见铟及其化合物的职业中毒报道	

续表

序号	中文名	CAS No.	英文名	职业接触限值标准/(mg/m³)	临床表现	可能导致的职业病
220	一氧化碳(非高原区)	630-08-0	Carbon monoxide	PC-TWA:20 PC-STEL:30	轻、中度中毒主要表现为头痛、头晕、心悸、恶心、呕吐、四肢乏力、意识模糊甚至昏迷;重度中毒者往往出现牙关紧闭、强直性全身痉挛、大小便失禁;部分患者可并发脑水肿、肺水肿、严重的心肌损害、休克、呼吸衰竭、上消化道出血、皮肤水疱或成片的皮肤红肿、肌肉肿胀坏死、肝肾损害等	1. 一氧化碳中毒;2. 急性化学源性猝死;3. 急性化学物中毒性多功能障碍综合征;4. 急性化学物中毒性心脏病;5. 急性化学物中毒性神经系统疾病
221	茚	95-13-6	Indene	PC-TWA:50 PC-STEL:100	毒性低;可引起轻度黏膜刺激症状	化学性眼部灼伤
222	正丁胺(皮)	109-73-9	*n*-butylamine	MAC:15	本品主要引起头痛、面部皮肤潮红及咽、眼刺激症状;皮肤直接接触原液可致灼伤、水疱形成	化学性眼部灼伤
223	正庚烷	142-82-5	*n*-Heptane	PC-TWA:500 PC-STEL:1000	急性中毒可表现为眩晕、酒醉状态甚至昏迷	
224	正己烷(皮)	110-54-3	*n*-Hexane (skin)	PC-TWA:100 PC-STEL:180	急性吸入高浓度可出现眼和上呼吸道刺激症状及麻醉症状;皮肤接触可出现烧灼感、红斑、水肿、起疱;慢性中毒可出现多发性周围神经病;神经电生理测定结果可与神经病严重度相关	1. 正己烷中毒;2. 急性化学物中毒性神经系统疾病
225	重氮甲烷	334-88-3	Diazomethane	PC-TWA:0.35 PC-STEL:0.7	眼结膜炎、胸骨后疼痛、咳嗽和呼吸困难;重者可发生化学性肺炎和肺水肿;有时可出现哮喘样症状;部分患者有头痛、面色潮红、窦性心动过缓及心律不齐	化学性眼部灼伤

注:职业接触限值标准值引自《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ 2—2002)。其中,MAC为最高容许浓度,PC-STEL为短时间接触容许浓度,PC-TWA为时间加权平均容许浓度。

(段玉娟)

参 考 文 献

1 中华人民共和国职业病防治法．北京：法律出版社，2002
2 卫生部卫生法制与监督司．中华人民共和国职业卫生法规汇编．北京：中国人口出版社，2002
3 中华人民共和国国务院令（第352号）．使用有毒物品作业场所劳动保护条例．2002
4 中华人民共和国卫生部发布．建设项目职业病危害评价规范．2002
5 中华人民共和国卫生部发布．职业病危害因素分类目录．2002
6 中华人民共和国卫生部发布．中华人民共和国国家职业卫生标准 GBZ 1—2002．工业企业设计卫生标准．北京：法律出版社，2002
7 中华人民共和国卫生部发布．中华人民共和国国家职业卫生标准 GBZ 2—2002．工作场所有害因素职业接触限值．北京：法律出版社，2002
8 中华人民共和国卫生部发布．中华人民共和国国家职业卫生标准 GBZ 159—2004．工作场所空气中有害物质监测的采样规范．北京：法律出版社，2004
9 中华人民共和国卫生部．建设项目职业病危害分类管理办法（修订征求意见稿）．2005
10 中华人民共和国卫生部．职业病危害因素分类目录（修订征求意见稿）．2005
11 中华人民共和国卫生部．石棉作业职业卫生管理规范（征求意见稿）．2005
12 中华人民共和国卫生部．作业场所防止职业中毒卫生工程防护措施管理规范（征求意见稿）．2005
13 中华人民共和国卫生部．密闭空间作业职业病危害防护规范（征求意见稿）．2005
14 中华人民共和国卫生部．建设项目职业卫生专篇编写规范（征求意见稿）．2005
15 中华人民共和国卫生部．建设项目职业病危害评价规范（修订征求意见稿）．2005
16 中华人民共和国卫生部．建设项目职业病危害控制效果评价技术导则（征求意见稿）．2005
17 中华人民共和国卫生部．建设项目职业病危害预评价技术导则（征求意见稿）．2005
18 何凤生主编．中华职业医学．北京：人民卫生出版社，1999
19 任引津主编．实用急性中毒全书．北京：人民卫生出版社，2003
20 金泰廙主编．职业卫生与职业医学．第五版．北京：人民卫生出版社，2003
21 刘世杰，王世俊等．中国医学百科全书劳动卫生与职业病学．上海：上海科学技术出版社，1985
22 卫生部法制与监督司编．建设项目职业病危害评价．北京：中国人口出版社，2003
23 邵强等编．职业病危害卫生工程控制技术．北京：化学工业出版社，2005
24 李涛等主编．高毒物品作业职业病危害防护实用指南．北京：化学工业出版社，2004
25 程时远，陈国正主编．胶黏剂生产与应用手册．北京：化学工业出版社，2003
26 李涛等主编．劳动者职业安全卫生读本．北京：化学工业出版社，2005
27 刘铁民等编．安全评价方法应用指南．北京：化学工业出版社，2003
28 国家安全生产监督管理总局编．安全评价．第3版．北京：煤炭工业出版社，2005
29 肖云龙主编，杨乐华，何滔副主编．基层职业病防治指南．北京：化学工业出版社，2005
30 张沛商，姜亢编著．噪声控制工程．北京：北京经济学院出版社，1991
31 国家环境保护总局环境评估中心编著．建设项目环境影响技术评估指南（试行）．北京：中国环境科学出版社，2003
32 李静华等编著．工业噪声治理技术．北京：中国环境科学出版社，1993
33 王淑荪等编著．工业防毒技术．北京：北京经济学院出版社，1991
34 赵由才，牛冬杰主编．湿法冶金污染控制技术．北京：冶金工业出版社，2003
35 [日]万谷志郎著，李宏译．钢铁冶炼．北京：冶金工业出版社，2001
36 周传典主编．高炉炼铁生产技术手册．北京：冶金工业出版社，2002
37 肖瑞华，白金峰主编．煤化学产品工艺学．北京：冶金工业出版社，2003
38 傅菊英等编．烧结球团学．长沙：中南工业大学出版社，1996
39 尹汝珊等编．耐火材料技术问答．北京：冶金工业出版社，1994
40 赵乃成，张启轩编著．铁合金生产实用技术手册．北京：冶金工业出版社，1998
41 [苏] M. A. 雷斯著，周进华等译．铁合金冶炼．北京：冶金工业出版社，1981
42 赵煦阳等主编．工业企业设计职业安全卫生监督手册．长沙：湖南科学技术出版社，1990
43 国际劳工组织主编．职业卫生与安全百科全书（上卷）．第2版．北京：中国大百科全书出版社，1990
44 陈济东主编．大亚湾核电站系统及运行（上）．北京：原子能出版社，1994
45 施仲齐等主编．核电站的环境影响．北京：水利电力出版社，1984

46 高增林，周立人主编．核工业放射工作人员健康管理．北京：原子能出版社，1999
47 邓力群等主编，当代中国的核工业．北京：中国社会科学出版社，1987
48 刘树铮主编．医学放射生物学．第2版．北京：原子能出版社，1998
49 臧希年，申世飞编著．核电厂系统及设备．北京：清华大学出版社，2003
50 郭力生，耿秀生主编．核辐射事故医学应急．北京：原子能出版社，2004
51 李蕙主编．铅毒防护．北京：中国劳动出版社，1991
52 梅光贵等编著．湿法炼锌学．长沙：中南大学出版社，2001
53 邱竹贤主编．铅电解．北京：冶金工业出版社，1982
54 有色金属冶金/中国冶金百科全书总编辑委员会《有色金属冶金》卷编辑委员会．中国冶金百科全书·有色金属冶金．北京：冶金工业出版社，1998
55 《化工百科全书》编辑委员会，化学工业出版社《化工百科全书》编辑部．化工百科全书．第5卷．氟化物-工业溶剂．北京：化学工业出版社，1993
56 《化工百科全书》编辑委员会，化学工业出版社《化工百科全书》编辑部．化工百科全书．第18卷．锌和锌合金-硬质合金．北京：化学工业出版社，1993
57 廖世明，柏谈论编著．国外钒冶金．北京：冶金工业出版社，1985
58 赵由才，牛冬杰主编．湿法冶金污染控制技术．北京：冶金工业出版社，2003
59 袁建国等编著．焊接工操作指南．长沙：湖南科学技术出版社，2003
60 陈祝年编著．焊接工程师手册．北京：机械工业出版社，2002
61 胡传炘主编．表面处理技术手册．第2版．北京：北京工业大学出版社，2001
62 侯祥麟主编．中国炼油技术．第2版．北京：中国石化出版社，2001
63 阎国超主编．炼油化工工艺及设备概论．东营：石油大学出版社，1998
64 寿德清，山红红编．石油加工概论．东营：石油大学出版社，1996
65 张宝忠主编．现代机械制造技术基础实训教程．北京：清华大学出版社，2004
66 樊东黎主编．热加工艺规范．北京：机械工业出版社，2003
67 吴宗泽主编．机械设计实用手册．第2版．北京：化学工业出版社，2003
68 梁仁杰等编著．化工工业学．重庆：重庆大学出版社，1998
69 苏健民编著．化工和石油化工概论．北京：中国石化出版社，1995
70 侯德榜，胡先庚著．酸和碱．北京：科学出版社，1980
71 张五平主编．无机化工工艺学（中册）．第3版．北京：化学工业出版社，2001
72 杨乐华．某新建焦炉职业病危害因素识别与控制效果评价．公共卫生与预防医学，2004，15（5）：70～71
73 杨乐华．建设项目职业病危害分类与问题探讨．实用预防医学，2004，11（6）：1264～1265
74 杨乐华等．某钢铁公司轧钢厂职业病危害控制效果评价．实用预防医学，2004，12（2）：299～300
75 杨乐华等．某无缝钢管建设项目职业病危害因素识别与预评价．中国职业医学，2005，32（2）：27～30
76 杨乐华．噪声叠加法在职业病危害预评价中的应用．中国工业医学杂志，2005，18（4）：244～245
77 梁学邈等．某钢铁企业急性职业中毒调查分析及对策．工业卫生与职业病，2002，28（4）：235
78 杨克菲．二氧化碳电弧点焊工艺实验及应用．焊接，1988，（3）：12～17
79 纪胜．燃煤火电厂对脱硫工艺的选择．华北电力技术，2000，（3）：23～25
80 全国职业性肿瘤调查焦炉逸散物专题组．焦炉、煤气、碳素、炼油工人的癌症流行病学研究．中华劳动卫生职业病杂志．1986，4（4）：208～210
81 何永华．职业接触评估方法研究进展．中华劳动卫生职业病杂志，2005，23（1）：58～60
82 刘荫曾等．某冶炼厂职业镉危害的初步调查．工业卫生与职业病，1985，11（1）：25～28

[General Information]
书名=建设项目职业病危害因素识别
丛书名=职业卫生工作系列图书
作者=杨乐华主编　湖南省劳动卫生职业病防治所组织编
页数=425
SS号=11555621
出版日期=2006年03月第1版
出版社=化学工业出版社
尺寸=24cm
原书定价=59.00
主题词=工业生产(学科：职业病　学科：研究)工业生产　职业病
参考文献格式=杨乐华主编.建设项目职业病危害因素识别.化学工业出版社，2006.02.
内容提要=本书主要论述燃煤火力发电机组、燃气(燃油)发电机组、造纸工业、耐火材料与铁合金制造、焦化工业、铁矿石烧结与高炉炼铁等职业病危害因素识别问题。

封面
书名
版权
前言
目录
第一章　绪论
第一节　　职业病危害因素识别的作用
一、建设项目职业病危害评价
二、职业流行病学调查
三、工作场所职业病危害因素监测与评价
四、健康监护工作
五、职业病诊断
六、职业卫生监督
第二节　　职业病危害因素识别原理与原则
一、职业病危害因素识别原理
二、职业病危害因素识别原则
第三节　　职业病危害因素识别程序与方法
一、职业病危害因素识别程序
二、职业病危害因素识别方法
第四节　　特殊环境职业病危害因素识别
一、密闭空间职业病危害因素识别
二、异常运转情况下职业病危害因素识别
三、维修时职业病危害因素识别
四、项目建设期职业病危害因素识别
第五节　　职业病危害因素识别分类提示
一、职业病危害分类方法
二、常见职业病危害识别分类提示
第六节　　职业接触限值标准的应用
一、职业接触限值的定义
二、职业接触限值的作用
三、国外职业接触限值标准应用状况
四、我国职业接触限值制定依据
五、我国职业接触限值制定原则
六、我国职业接触限值标准的应用
七、应用职业接触限值标准注意事项
第七节　　职业病危害控制措施与效果识别
一、控制职业病危害的途径与措施
二、生产性粉尘的控制措施
三、生产性毒物的控制措施
四、噪声危害控制措施
五、高温危害控制措施
六、个体防护用品简介
七、防护措施效果识别与评价
第八节　　职业病危害因素识别示例
一、类比法在某扩建项目职业病危害因素识别中的应用
二、工程分析法在新建焚烧炉危害因素识别中的应用
三、实测法在有机气体组分识别中的应用
四、理论推算法在扩建项目噪声危害识别中的应用
五、理论推算法在有毒气体泄漏事故危害识别中的应用
第二章　燃煤火力发电机组
第一节　　煤粉炉发电机组
一、工艺简介
二、职业病危害因素综合识别
三、主要防护措施及效果分析
第二节　　燃煤循环流化床锅炉发电机组
一、工艺简介
二、职业病危害因素综合识别
第三节　　空冷式燃煤发电机组
第三章　燃气（燃油）发电机组
第一节　　概述
一、燃气轮机发电特点
二、燃气的种类
第二节　　燃气轮机用于发电的主要形式
一、简单循环发电机组
二、前置循环热电联产发电机组
三、联合循环发电或热电联产机组
四、整体化循环机组
五、核燃联合循环机组
六、燃机辅助循环机组

七、燃气烟气联合循环机组
八、燃气热泵联合循环机组
九、燃料电池－燃气轮机联合循环机组
第三节　燃气轮机发电机组工艺简介
一、燃气压缩系统
二、燃气轮机系统
三、发电与输变电系统
四、余热锅炉系统
五、蒸汽轮机系统
六、给排水及化学水处理系统
七、维修系统
第四节　职业病危害因素综合识别
一、粉尘类
二、物理性有害因素
三、电离辐射
四、化学毒物类
五、劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素
第五节　职业病危害因素归类与防护效果识别
第六节　燃重油发电机组
第七节　燃奥里油发电机组
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
第四章　造纸工业
第一节　工艺简介
一、备料
二、制浆
三、造纸
四、废纸造浆
五、黑液回收
六、红液回收
七、中段污水厌氧处理
第二节　职业病危害因素综合识别
一、粉尘类
二、物理性有害因素
三、电离辐射
四、化学毒物类
五、生物因素
六、劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素
第三节　主要防护措施及效果分析
一、防毒措施
二、防噪声措施
第五章　耐火材料与铁合金制造
第一节　概述
第二节　耐火材料的加工制造
一、常用耐火材料的化学特性
二、工艺简介
三、职业病危害因素综合识别
四、职业病危害防护措施
第三节　硅铁合金冶炼
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
第四节　锰铁合金冶炼
一、高炉锰铁
二、电炉高碳锰铁
三、富锰渣
四、锰硅合金
五、中低碳锰铁
六、金属锰
第五节　铬铁合金冶炼
一、中低碳铬铁
二、微碳铬铁
三、真空法微碳铬铁
四、金属铬
五、硅铬合金
第六节　铁合金生产职业病危害因素综合识别
第六章　焦化工业
第一节　概述
第二节　备煤系统
一、工艺简介

二、职业病危害因素识别
第三节　焦炉
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
第四节　煤气净化与化工产品精制
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
第五节　职业病危害因素综合识别
一、煤化学成分
二、主要职业病危害因素识别
三、焦炉与癌
第六节　职业病危害防护措施分析
第七章　铁矿石烧结与高炉炼铁
第一节　概述
第二节　烧结原料的化学组分
一、铁矿石
二、熔剂
三、黏结剂
第三节　铁矿石烧结
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
三、职业病危害防护措施分析
第四节　铁矿石的氧化球团加工
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
三、职业病危害防护措施分析
第五节　高炉炼铁
一、高炉炼铁工艺简介
二、职业病危害因素综合识别
三、主要防护措施及效果识别
第八章　炼钢与轧钢
第一节　概述
第二节　转炉炼钢
一、工艺简介
二、职业病危害因素综合识别
三、防护措施
第三节　电弧炉炼钢
一、工艺简介
二、职业病危害因素综合识别
三、主要防护措施及效果识别
第四节　棒材轧制
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
三、主要防护措施及效果识别
第五节　型材轧制
一、工艺简介
二、职业病危害因素综合识别
三、主要防护措施及效果识别
第六节　线材轧制
一、工艺简介
二、职业病危害因素综合识别
三、主要防护措施及效果识别
第七节　无缝管材轧制
一、工艺简介
二、职业病危害因素综合识别
三、主要防护措施及效果识别
第九章　有色金属冶炼
第一节　锌的冶炼
一、工艺简介
二、职业病危害因素综合识别
三、职业病危害控制措施
第二节　铅的冶炼
一、烧结焙烧
二、铅的鼓风炉熔炼
三、粗铅火法精炼
四、铅的电解精炼
五、职业病危害因素综合识别
六、职业病危害控制措施
第三节　铝的冶炼

一、工艺简介
二、职业病危害因素综合识别
三、职业病危害控制措施
第四节　铜的冶炼
一、工艺流程
二、职业病危害因素综合识别
第五节　锡的冶炼
一、工艺流程
二、职业病危害因素识别
三、职业病危害控制措施
第六节　锑的冶炼
一、工艺流程
二、职业病危害因素的综合识别
三、职业病危害防护措施
第七节　镉的提炼
一、工艺流程
二、职业病危害因素综合识别
三、职业病危害控制措施
第八节　钢的提炼
一、工艺流程
二、职业病危害因素综合识别
三、职业病危害防护措施
第九节　汞的冶炼
一、工艺流程
二、主要职业病危害因素识别
三、职业病危害防护措施
第十节　钒的冶炼
一、工艺流程
二、职业病危害因素识别
三、职业病危害防护措施
第十一节　金的冶炼
一、工艺流程
二、主要职业病危害因素综合识别
三、职业病危害防护措施
第十章　石油炼制
第一节　概述
第二节　原油的分类与化学组成
一、原油的分类
二、原油的元素组成
三、石油的化学组成
四、我国主要原油的性质及类型
第三节　石油炼制工艺选择
一、原油加工基本程序
二、几种类型原油加工工艺的选择
第四节　原油蒸馏
一、原油脱盐脱水
二、原油蒸馏
第五节　减黏裂化
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
第六节　延迟焦化
一、工艺简介
二、装置组成
三、职业病危害因素识别
第七节　催化裂化
一、工艺简介
二、装置组成
三、职业病危害因素识别
第八节　催化重整
一、化学反应原理
二、工艺流程
三、职业病危害因素识别
第九节　加氢裂化
一、化学反应原理
二、工艺流程
三、职业病危害因素识别
第十节　催化原料加氢
一、工艺流程
二、职业病危害因素识别

第十一节　加氢精制
一、化学反应原理
二、工艺流程
三、职业病危害因素识别
第十二节　硫黄回收与尾气处理
一、生产工艺
二、职业病危害因素识别
第十三节　酸性气制硫酸
一、生产工艺
二、职业病危害因素识别
第十四节　润滑油生产
一、渣油丙烷脱沥青
二、润滑油的溶剂精制
三、润滑油脱蜡
四、白土补充精制
第十五节　石油蜡生产
一、甲基乙基酮－甲苯脱蜡脱油联合工艺
二、喷雾蜡脱油工艺
三、无溶剂制蜡工艺
第十六节　石油沥青生产
一、沥青的化学组成
二、主要生产方法
第十七节　甲基叔丁基醚生产
一、工艺流程
二、职业病危害因素识别
第十八节　油品的管道运输
一、原油管道输送
二、成品油管道输送
第十九节　职业病危害因素综合识别
一、石油产品理化性质
二、主要职业病危害因素综合识别
第二十节　职业病危害防护措施分析
第十一章　酸碱化肥工业
第一节　硫酸
一、从硫铁矿制二氧化硫炉气
二、炉气的精制
三、二氧化硫的转化
四、三氧化硫的吸收
第二节　纯碱与烧碱
一、纯碱工业
二、烧碱
第三节　合成氨
一、工程分析
二、职业病危害因素综合识别
三、职业病危害防护措施
第四节　化学肥料
一、氮肥
二、磷肥
三、钾肥
四、职业病危害控制措施要点
第十二章　胶黏剂制造与应用
第一节　行业概况与职业病危害特点
一、行业分布
二、产品分类
三、发展趋势
四、职业病危害特点
五、职业病危害识别注意事项
第二节　工艺简介
一、胶黏剂的生产
二、胶黏剂的应用工艺
第三节　几种常用胶黏剂职业病危害因素识别
一、聚乙烯醇缩甲醛胶
二、脲醛系列胶
三、聚醋酸乙烯胶黏剂
四、环氧树脂胶黏剂
五、酚醛树脂胶黏剂
六、橡胶类胶黏剂
七、聚氨酯胶黏剂
八、溶液型胶黏剂

第四节　职业病危害防护措施分析
第十三章　机械制造
第一节　铸造
一、铸造用砂的种类
二、工艺简介与职业病危害因素识别
第二节　锻压
一、锻压的分类
二、生产工艺
三、锻压常用设备
四、职业病危害因素识别
第三节　热处理
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
第四节　机械加工
一、一般机械加工
二、特种机械加工
第五节　机械装配
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
第六节　职业病危害防护措施分析
第十四章　焊接工艺
第一节　手工电弧焊
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
第二节　氩弧焊
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
第三节　等离子焊
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
第四节　电子束焊
一、工艺简介
二、职业病危害因素识别
第五节　其他焊接
一、二氧化碳气体保护焊
二、电阻焊
三、激光焊
第十五章　表面处理
第一节　概述
一、表面处理技术分类
二、表面处理技术的工业应用
第二节　电镀
一、电镀原理
二、镀前工件表面处理
三、镀锌
四、镀铜
五、镀镍
六、镀铬
七、镀铜锡合金
八、镀铜锌合金
九、镀银
十、镀金合金
十一、几种典型的防护装饰性电镀
第三节　化学镀
一、化学镀原理与应用
二、化学镀镍
三、化学镀铜
第四节　热浸镀
一、熔剂法
二、保护气体还原法
第五节　热喷涂
一、热喷涂方法分类与应用
二、几种常用热喷涂工艺
第六节　涂料与涂装
一、涂料的组分
二、工件涂装前表面预处理
三、涂装工艺
第七节　职业病危害控制措施分析
第十六章　核电机组

第一节　概述
第二节　核电站工艺简介
一、核电站的原理
二、核电站的分类与命名
三、压水堆（PWR）核电站工程分析
四、核电厂的厂房布局
五、核岛（NI）
六、常规岛（CI）及配套设施（BOP）
第三节　核电站运行状态与职业病危害特点
第四节　核电生产过程中职业病危害因素综合识别
一、辐射危害因素
二、其他物理化学职业病危害因素
三、劳动组织与劳动过程中的职业病危害因素
四、主要防护措施及效果识别
附录一　建设项目职业病危害因素识别与评价常用法律法规标准名录
附录二　常见毒物职业接触限值与职业病危害临床表现一览表
参考文献