



中华人民共和国国家标准

GB/T 43922—2024

在役聚乙烯燃气管道检验与评价

Inspection and evaluation of in-service polyethylene gas pipeline

2024-04-25 发布

2024-04-25 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	1
5 数据收集与资料审查	3
6 现场检验	6
7 适用性(合于使用)评价	8
8 安全状况等级评定	8
9 基于风险的检验	10
10 检验周期	11
11 问题处理与检验报告	12
附录 A (规范性) 在役聚乙烯燃气管道年度检查	13
附录 B (资料性) 聚乙烯燃气管道位置与埋深检测方法	15
附录 C (规范性) 气体泄漏检测方法分级	22
附录 D (资料性) 在役聚乙烯燃气管道焊接接头的数字射线检测方法	24
附录 E (资料性) 聚乙烯燃气管道热熔接头相控阵超声检测方法	32
附录 F (资料性) 热熔接头相控阵检测特征图谱	37
附录 G (资料性) 剩余寿命预测方法	39
参考文献	44

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)与中华人民共和国住房和城乡建设部共同提出并归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院、中国市政工程华北设计研究总院有限公司、上海市特种设备监督检验技术研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院、港华投资有限公司、深圳市燃气集团股份有限公司、安徽省特种设备检测院、福建省锅炉压力容器检验研究院、北京交通大学、中特检深燃安全技术服务(深圳)有限公司、河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院、沈阳特种设备检测研究院、陕西省特种设备检验检测研究院、北京工业大学、中国石油大学(北京)、亚太塑料制品有限公司、上海燃气有限公司、山西华新城市燃气集团有限公司、重庆市特种设备检测研究院、广东省特种设备检测研究院中山检测院、华润燃气郑州工程建设有限公司、国机特种设备检验有限公司、中国石油集团工程材料研究院有限公司、福建恒杰塑业新材料有限公司、内江市检验检测中心、浙江省特种设备科学研究院、郑州华润燃气股份有限公司。

本文件主要起草人：何仁洋、李颜强、陈钊、孟涛、杜建梅、左延田、宋高峰、席丹、王文想、李志宏、梁航、兰惠清、李书涛、赵向南、刘长征、林楠、徐勇、张晓明、李长春、王新华、吴胜平、郭岩宝、郭璟倩、李瑜、陈杉、秦雄、卫鹏宇、李晓龙、陈仲波、梅琳、刘建辉、杨玲、何仁碧、刘剑、周德敏、李琛、程经纬、王珂、陈光武、杨志杰、夏立、侯凤林。

在役聚乙烯燃气管道检验与评价

1 范围

本文件规定了在役聚乙烯燃气管道检验与评价的数据收集与资料审查、现场检验、适用性评价、安全状况等级评定、基于风险的检验、检验周期等技术内容。

本文件适用于特种设备目录范围内的在役聚乙烯燃气管道的检验与评价。

本文件不适用于非开挖修复用聚乙烯燃气管道的检验与评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 15558(所有部分) 燃气用埋地聚乙烯(PE)管道系统

GB 50028 城镇燃气设计规范

GB 55009 燃气工程项目规范

CJJ 63 聚乙烯燃气管道工程技术标准

CJJ/T 215 城镇燃气管网泄漏检测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

示踪装置 **locating device**

沿管道铺设，可通过专用设备探测确定管道位置的装置。

3.2

警示装置 **warning device**

敷设在埋地燃气管道上方，喷涂有警示标识，以提示地下有城镇燃气管道的标识装置。

3.3

深根植物 **deep rooted plants**

根系深达聚乙烯燃气管道埋设部位有可能损坏管道本体的植物。

4 总体要求

4.1 本文件规定的检验包括定期检验和年度检查两种类型，定期检验按检验方法分为常规检验和基于风险的检验(RBI)两种。定期检验宜采用包括资料审查、现场检验和适用性(合于使用)评价等项目的常规检验方法，或根据管道的损伤模式和风险水平结合管道使用情况采用基于风险的检验方法。定期检验应在年度检查的基础上进行，进行定期检验的年度可不进行年度检查。

4.2 定期检验宜采用常规检验的方法进行检验，当满足 9.1 规定的条件时，可采用基于风险的检验

方法。

4.3 常规检验的主要内容宜包括数据收集与资料审查、检验方案制定、检验实施、安全状况等级评定、确定检验周期、问题处理与检验报告,当满足 7.1 规定的条件时应进行适用性评价。常规检验流程见图 1。

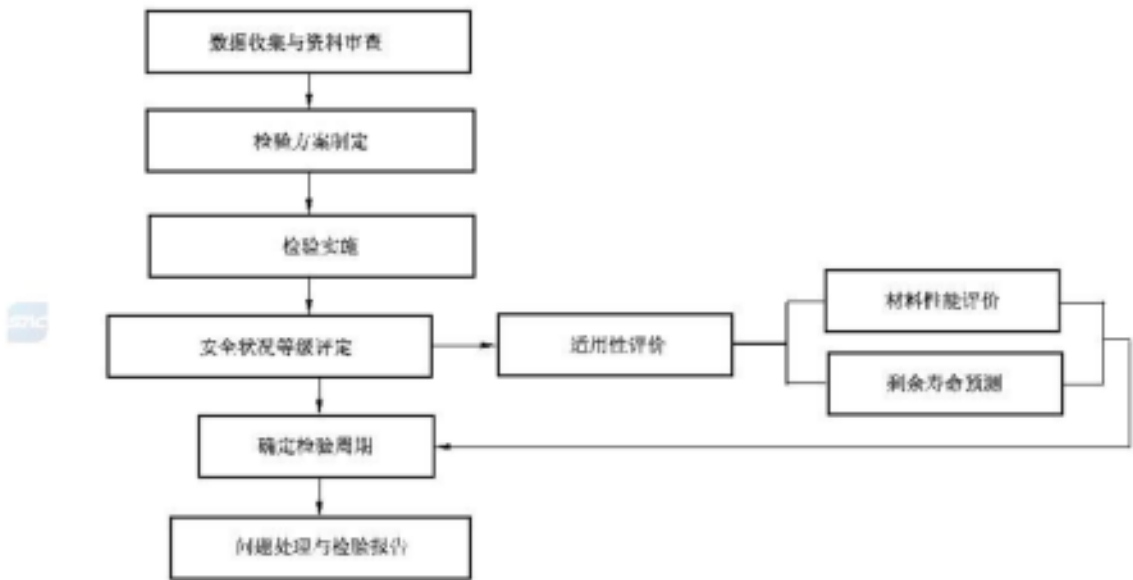


图 1 常规检验流程图

4.4 基于风险的检验主要内容宜包括 RBI 实施计划、RBI 评估数据收集、损伤类别与失效模式识别、风险评估、风险的确定、检验策略的制定、风险是否可接受、其他减缓风险的措施、检验检测的实施、RBI 文件和记录的保存、再评估和 RBI 评估结果的更新等。基于风险的检验流程见图 2。

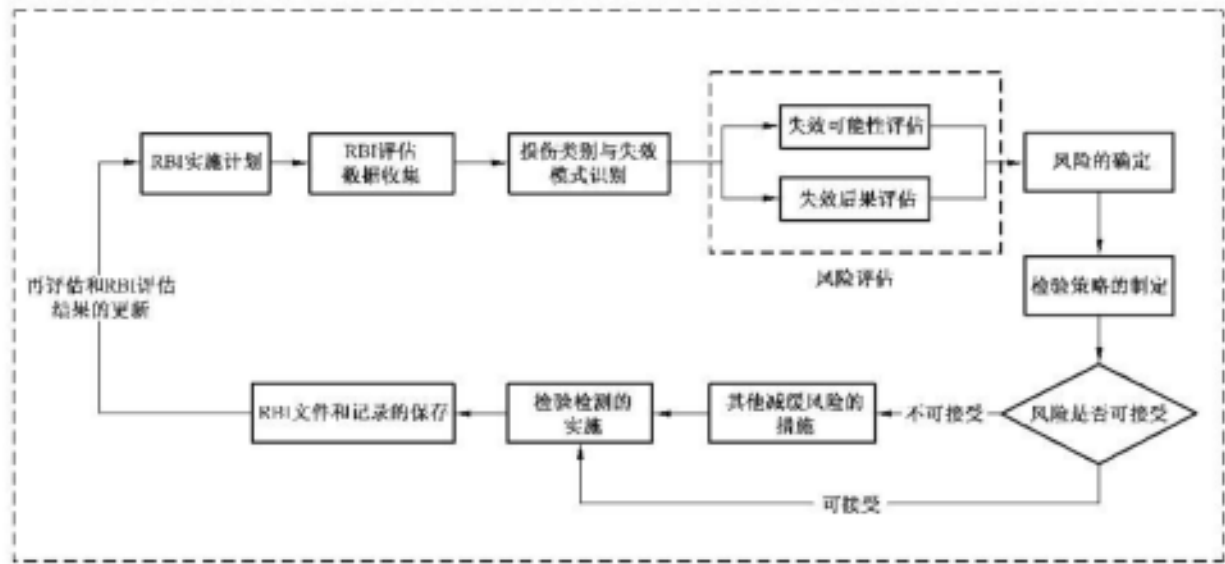


图 2 基于风险的检验流程图

4.5 压力管道的定期检验机构应取得公用管道定期检验资质(DD2),承担 RBI 的检验机构还应取得 RBI 资质。

4.6 年度检查应至少包括对管道安全管理情况和管道运行状况的检查。年度检查由管道使用单位组织实施或委托具有公用管道定期检验资质(DD2)的检验机构负责实施。年度检查的方法按照附录 A

- 进行。
- 4.7 管道使用单位应为检验提供必要的条件,并协助完成检验工作。
- 4.8 检验所使用的设备、仪器和测量工具应在有效的检定或者校准期内。
- 4.9 使用单位宜开展管道检验数据信息化工作,建立信息化管理系统,规范并归档历次检验数据。
- 4.10 在役聚乙烯燃气管道检验与评价,除应符合本文件规定外,还应符合国家现行的有关标准的规定。

5 数据收集与资料审查

- 5.1 开展定期检验收集管道数据时,收集的管道原始数据(设计、制造、安装与竣工等相关信息)见表1,管道使用及运行管理数据见表2。
- 5.2 收集的数据应真实有效。必要时,可对收集到的各类数据进行整理、对比及分析,提高数据质量。
- 5.3 在数据收集过程中,当发现检验过程的数据不满足检验要求时,可收集其他检验相关的数据或开展现场检测对数据进行补充。

表 1 管道原始数据

序号	分类	数据子类名称	数据收集信息
1	设计资料	设计单位资质	设计单位名称
2			设计许可证编号
3			设计许可范围
4		设计图纸	盖章情况
5			审批情况
6		设计说明书	设计标准规范
7			设计条件、地区等级
8			设计压力/设计温度
9			设计介质
10			管道材料
11			管道规格
12		设计材料表	材料清单
13		设计变更	变更单
14			设计变更内容
15	制造资料	制造单位资质	制造单位名称
16			制造许可证编号
17			制造许可范围
18			型式试验证书
19		出厂资料	产品质量证明文件
20			制造监督检验证书
21	监理	监理单位	平检、旁站记录资料
22			监理过程确认情况、质量评估报告

表 1 管道原始数据（续）

序号	分类	数据子类名称	数据收集信息
23	监督检验	监督检验	监督检验证书、管道数据表和管道监督检验报告
24	安装竣工资料	安装单位资质	安装单位名称
25			安装许可证号
26			安装许可范围
27		竣工资料	施工组织设计/施工方案
28			材料验收记录
29			沟槽开挖情况
30			焊接操作人员资质
31			焊接工艺及焊接工艺评定
32			焊接记录
33			焊缝检测报告
34			焊缝翻边切除比例
35			回填质量记录
36			管道吹扫记录
37			强度试验报告
38			严密性试验报告
39			竣工图
40			竣工验收记录

表 2 管道使用及运行管理数据

序号	分类	数据子类名称	数据收集信息
1	运行管理制度、程序文件	安全管理制度	安全责任制
2			安全机构和人员
3		巡检制度	巡检规程
4		设备维护制度	设备维护规程
5	人员培训与考核记录	培训制度	培训制度
6		培训内容	培训记录
7		培训材料	培训记录
8		培训及考核方式	面授、网课、实操、考试等
9		培训记录	培训记录
10	运行日志及工艺记录	管道运行记录	记录和日志
11			相关操作人员专业水平及工作经验
12		介质组分	气质分析报告

表 2 管道使用及运行管理数据（续）

序号	分类	数据子类名称	数据收集信息
13	运行日志及工艺记录	切断系统	是否设置切断阀门
14		巡检	巡检频率
15			巡检方式
16			巡检人员的能力
17		阀门等设施维护	维护保养计划
18			维护保养方式
19			维护保养记录
20		管道占压、安全间距不足、埋深不足	占压、安全间距不足记录
21			处理记录
22		管道保护范围及控制范围内的第三方施工活动记录	施工活动位置
23			施工活动类别
24			对建设活动施工单位的技术交底
25		隐患监护措施实施情况记录	第三方施工活动记录
26			隐患及重点巡查位置汇总
27			监护措施
28			实施情况记录
29		泄漏检测情况	泄漏检测记录
30		故障处理记录	故障位置
31			故障类别
32			处理记录
33		事故调查记录	事故位置
34			事故类别
35			调查记录
36	修理改造资料	修理改造单位资质	修理改造单位名称
37			修理改造单位许可证号
38			修理改造单位许可范围
39		竣工资料	竣工验收资料
40	应急预案及演练	监督检验	监督检验证书和报告
41		应急预案	应急预案备案
42		应急演练记录	应急演练频次
43			演练记录
44	变更记录	变更记录	变更单

5.4 检验人员应根据使用单位提供的管道资料开展资料审查，重点审查资料的完整性。

5.5 检验人员审核资料时应分析下列影响数据有效性的主要因素：

- a) 数据的真实性;
- b) 图纸及文件的有效性;
- c) 检测偏差;
- d) 笔误;
- e) 检测设备和工具的准确性不足。

5.6 检验人员应确认管道设计及安装时采用的规范、标准的现行有效性,并评估版本变化对检验结果的影响。

5.7 检验完成后,管道使用单位应对管道数据进行完善和更新,并补充到管道数据库中。

6 现场检验

6.1 检验方案制定

6.1.1 检验人员在检验实施前,应结合资料审查的结果,综合安全技术规范及相应标准的要求、使用单位管理制度和意见、安全管理或检验目标、待检管道特征、服役工况和环境条件、检验有效性及资源投入等因素制定检验方案。

6.1.2 常规检验方案至少包括以下内容:

- a) 管道基本情况及检验范围;
- b) 依据的规范、标准;
- c) 参与人员要求与分工;
- d) 仪器设备清单;
- e) 检验流程;
- f) 检验项目、内容,检测方法、检测比例或数量等;
- g) 记录与报告要求;
- h) 管道使用单位配合项目;
- i) 质量健康安全环保要求。

6.2 检验实施

6.2.1 管道现场检验内容主要包括宏观检查、泄漏检测、开挖检验。

6.2.2 检验实施前,管道使用单位应配合做好检验前的准备工作,使管道处于适宜待检状态。

6.2.3 检验实施过程中应按照法规、标准和检验方案要求执行,并做好记录。

6.2.4 宏观检查主要内容和要求应包括以下内容。

- a) 位置与埋深检查:结合管道资料和现场巡检检查情况,对管道位置与埋深进行抽查,抽查比例不应小于2处/km,不足1 km的,至少抽查1处。对管道位置与埋深的抽查可参照附录B所列方法并结合开挖检验进行。抽查验证发现管道位置不明的,由使用单位组织开展管道位置专项检测。
- b) 管线敷设环境检查:主要检查管道与地面其他建筑物或相邻管道的水平或垂直净距、占压状况、密闭空间、深根植物或者管道裸露、土壤扰动等情况;应结合使用单位提供的信息对地下建筑物进行抽查。管道保护范围应满足管道使用单位和GB 55009的要求。
- c) 穿越管道检查:主要检查穿越管道保护设施的完整性和稳固性,套管检查孔的完好情况等,有泄漏检测装置的,还应进行穿越段泄漏检测。
- d) 地面设施检查:标志桩、标志牌(贴)、阀井、阀门、放散管、警示装置等的完好情况。
- e) 检验人员认为有必要的其他检查。

6.2.5 应对以下位置管段进行重点检查:

- a) 穿越段；
- b) 管道阀门、管道分支处；
- c) 与热力、蒸汽等高温管道相邻，排污或其他液体管道下方的位置；
- d) 影响管道安全运行，曾经发生过严重泄漏和严重事故的位置；
- e) 曾经为非机动车道或者绿化带改为机动车道的或承受交变载荷的位置；
- f) 易发生第三方损坏的位置；
- g) 经过空穴(地下室)、管道占压位置；
- h) 位于边坡、地质不稳等位置；
- i) 可能存在白蚁、老鼠等生物侵害的位置；
- j) 深根植物周边位置；
- k) 检验人员认为其他重要的位置。

6.2.6 泄漏检测应结合宏观检查进行抽查，重点对阀井、燃气可能泄漏扩散到的地沟、窖井、地下密闭空间等进行检测，并判定管道是否发生泄漏。对存在疑似泄漏的位置，可采用地面钻孔方法检测。燃气泄漏检测方法按附录 C 进行。

6.2.7 开挖数量按照表 3 确定。当开挖点计算数量不为整数时，应对计算数量的小数向上进位圆整；当检验发现第 8 章所规定的安全状况 4 级缺陷时，宜增加抽查检验数量，增加数量由检验人员与使用单位协商确定。

表 3 管道开挖数量

管道使用年限	20 年以内	超过 20 年
开挖数量处/km	0.3	0.4

6.2.8 开挖位置的选取应重点结合以下因素：

- a) 与热力、电力、污水管道交叉、并行的净距不满足相关规范、标准要求的；
- b) 发生过泄漏、沉降、承受交变载荷和第三方损坏的；
- c) 埋深不足的；
- d) 管道支线分支处的；
- e) 选择管线中焊接部位、弯头部位、曾经发生过压扁截气操作的、安装鞍型三通的位置；
- f) 钢塑转换接头的位置；
- g) 易发生生物侵害的；
- h) 检验人员认为需要开挖的。

6.2.9 开挖检验主要包括以下内容。

- a) 管道埋深测量：聚乙烯燃气管道埋设的最小覆土厚度(地面至管顶)应符合 GB 50028、GB 55009 的规定。
- b) 示踪装置检查：检查示踪装置有无腐蚀、断裂等导致示踪装置失效的情况。
- c) 敷设环境检查：检查土壤中是否有白蚁、老鼠、深根植物等生物侵害和低于 -20°C 或高于 40°C 的土壤温度异常。
- d) 管体检查：检查开挖处管体标识，有无变形、划伤、气泡、凹陷、杂质、颜色不均、生物损伤等缺陷，有无老化降解等情况。
- e) 焊口无损检测：目视检查开挖处的焊接接头外观，应满足 CJJ 63 的有关规定，必要时可在焊接接头部位进行无损检测抽查。可采用相控阵超声、射线等其他经过验证的技术进行无损检测。聚乙烯管道焊接接头的数字射线检测参照 NB/T 47013.11 和附录 D 进行，电熔接头相控阵超声检测参照 NB/T 47013.15 进行，热熔接头的相控阵超声检测参照附录 E 和附录 F 进行。

- f) 警示装置完好情况检查。
- g) 聚乙烯管道与周边其他建筑物及其他管线净距,应满足 GB 50028、CJJ 63 的有关规定。
- h) 钢塑转换接头的外观、防腐质量、泄漏情况等。
- i) 附属设备的检查:阀门、法兰等设施的完好情况。

7 适用性(合于使用)评价

7.1 存在下列条件之一的管道应进行适用性评价:

- a) 运行时间达到设计工作年限以上的;
- b) 发生地质灾害、运行事故或外力损害后需要继续使用的。

7.2 适用性评价包括材料性能评价、剩余寿命预测及其他损伤评价。

7.3 材料性能评价一般采用现场取样的方式进行,样品长度至少为 1 m,截取的样品应包含焊接接头。评价项目包括氧化诱导时间和熔体质量流动速率测试,检测和评价方法按照 GB/T 15558(所有部分)的要求进行。当以上两项中任一项测试不合格时,还应进行力学性能测试。

当发现存在明显材料老化现象时,宜结合管道投用时间、运行工况、老化程度,建立材料老化的预测模型,开展管道剩余寿命预测。管道剩余寿命预测方法可参照附录 G。

8 安全状况等级评定

8.1 管体安全状况等级评定

8.1.1 管体安全状况等级评定要求

现场检验完成之后,应从管道位置或结构、管道组成件材质、管道损伤情况、裂纹、焊接缺陷、管道组成件缺陷、附属设施、泄漏等方面评定管道安全状况等级。管道定期检验的安全状况等级分为 1 级、2 级、3 级和 4 级,共 4 个级别,1 级最优,4 级最差。检验发现的缺陷经修复后,按照修复后的情况重新进行安全状况等级评定。

8.1.2 管道位置或结构

管道位置或结构缺陷的安全状况等级评定如下。

- a) 位置不当
当聚乙烯燃气管道的位置不满足规范、标准相关要求,且未采取相关保护措施,定为 3 级,如对管道安全运行影响较大,定为 4 级。
- b) 不合理结构
当聚乙烯燃气管道有不符合安全技术规范或者设计、安装标准的不合理结构时,应进行调整或修复,调整或修复完好后,不影响定级;如暂时无法进行调整或修复,对于不承受明显交变载荷且经定期检验未发现新生缺陷的,定为 3 级,否则,定为 4 级。

8.1.3 管道组成件材质

管道组成件材质,应符合设计和使用要求,管道组成件材质缺陷的安全状况等级评定如下。

- a) 材质与原设计不符
如果材质明确、强度等性能校核合格,在使用中未发生安全问题,经检验可满足使用要求,则不影响定级,否则定为 4 级。
- b) 材质劣化和损伤

发现材质劣化、损伤的,如有管材外观缺陷(气泡、划伤、凹陷、杂质、颜色不均)、老化降解或疲劳损伤,应根据其劣化程度进行安全状况等级评定。

- 1) 管材外观存在缺陷,经确认能够满足使用要求,根据使用情况定为2级或3级;否则定为4级。
- 2) 材料老化降解,但不影响使用要求的,根据使用情况定为3级;老化降解严重时,定为4级。
- 3) 对于蠕变损伤,当存在蠕变孔洞的,定为3级;当存在蠕变裂纹的,定为4级。
- 4) 管道存在热损伤、疲劳损伤的,经检验不影响使用要求时,定为3级;若存在裂纹,定为4级。

8.1.4 管体损伤

管体存在损伤但深度不超过壁厚5%或2 mm的,定为2级;损伤深度超过壁厚5%或2 mm但不超过壁厚10%或4 mm的,定为3级;损伤深度超过壁厚10%或4 mm的,定为4级。

8.1.5 裂纹

管道组成件的内外表面或管壁中存在裂纹的,定为4级。

8.1.6 焊接缺陷

采用数字射线检测时,缺陷评定质量等级为附录D中Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级的,安全状况等级分别对应评定为1级、2级、3级、4级;采用相控阵超声检测时,焊接缺陷的安全状况等级评定如下。

a) 熔合面夹杂

不存在与内冷焊区贯通的融合面夹杂缺陷且与内冷焊区不贯通的融合面夹杂缺陷长度不大于 $L/10$ 的,定为2级;与内冷焊区贯通的融合面夹杂缺陷长度不大于 $L/10$ 或与内冷焊区不贯通的融合面夹杂缺陷长度不大于 $L/5$ 的,定为3级;与内冷焊区贯通的融合面夹杂缺陷长度大于 $L/10$ 或与内冷焊区不贯通的融合面夹杂缺陷长度大于 $L/5$ 的,定为4级。

L ——标称熔合区长度,单位为毫米(mm)。

b) 孔洞

单个孔洞缺陷计算尺寸 $X/L < 5\%$ 且 $h < 5\%T$,或组合孔洞缺陷累计尺寸 $X/L < 10\%$ 且 $h < 5\%T$ 的,定为2级;单个孔洞缺陷计算尺寸 $5\% \leq X/L < 10\%$ 且 $5\%T \leq h < 10\%T$,或组合孔洞缺陷累计尺寸 $10\% \leq X/L < 15\%$ 且 $5\%T \leq h < 10\%T$ 的,定为3级;单个孔洞缺陷计算尺寸 $X/L \geq 10\%$ 且 $h \geq 10\%T$,或组合孔洞缺陷累计尺寸 $X/L \geq 15\%$ 且 $h \geq 10\%T$,或内冷焊区贯通孔洞的,定为4级。

X ——缺陷在熔合面轴向方向上的尺寸,单位为毫米(mm);

L ——标称熔合区长度,单位为毫米(mm);

T ——管材壁厚,单位为毫米(mm);

h ——孔洞自身高度,单位为毫米(mm)。

c) 结构畸变

存在电阻丝错位,错位量不大于电阻丝间距的,定为2级;错位量大于电阻丝间距但不大于1.5倍电阻丝间距的,定为3级;相邻电阻丝间存在连贯性孔洞,或相邻电阻丝相互接触,或错位量大于1.5倍电阻丝间距的,定为4级。

d) 冷焊

在电熔管件的承插端口尺寸和公差满足GB/T 15558(所有部分)规定的前提下,冷焊程度 $H < 10\%$ 的,定为2级;冷焊程度 $10\% \leq H < 30\%$ 的,定为3级;冷焊程度 $H \geq 30\%$ 的,定为

4 级。

H ——接头冷焊表征量。

e) 过焊

过焊引起孔洞或电阻丝错位缺陷的,分别按照 8.1.6b) 和 c) 评定;过焊未引起孔洞或电阻丝错位缺陷的,按过焊程度对过焊进行分级评定,过焊程度 $H' < 20\%$ 的,定为 2 级;过焊程度 $20\% \leq H' < 40\%$ 的,定为 3 级;过焊程度 $H' \geq 40\%$ 的,定为 4 级。

H' ——接头过焊表征量。

f) 承插不到位

焊接接头承插不到位的,定为 4 级。

g) 焊缝过短

焊缝过短时,焊接接头的表现形式为卷边过大。卷边宽度 $B = 0.35T \sim 0.45T$ 、卷边高度 $L = 0.2T \sim 0.25T$ 的,定为 2 级,否则定为 3 级;卷边底部若有杂质、小孔、偏移或损坏的,定为 4 级;卷边有裂缝缺陷的,定为 4 级。

T ——管材壁厚。

8.1.7 管道组成件缺陷

管道组成件缺陷的安全状况等级评定如下:

- a) 管道组成件变形但不影响管道安全使用的,定为 2 级;否则根据变形情况定为 3 级或 4 级;
- b) 阀门应满足 GB/T 15558(所有部分)的要求,当阀门损坏时,应进行更换,更换后不影响定级;否则定为 4 级;
- c) 钢塑转换接头经检验存在腐蚀,但在下一个检验周期内不影响使用,定为 3 级;否则定为 4 级;
- d) 安全保护装置及仪器仪表损坏或超期未检定的,应进行更换,更换后不影响定级;否则定为 4 级。

8.1.8 附属设施

管道的检漏管、凝水缸的排水管不满足设计要求时,应进行调整,调整后不影响使用,则定为 2 级,否则定为 3 级。

8.1.9 管体泄漏

检测后经确认存在泄漏的,定为 4 级。

8.2 安全状况综合评价等级及结论

在役聚乙烯燃气管道的安全状况等级分为四级。管体安全状况综合评价等级,以所有评价等级最低的为准;安全状况等级综合评定为 1 级和 2 级的,检验结论为符合要求,可以继续使用;安全状况等级综合评定为 3 级的,检验结论为基本符合要求,有条件地监控使用;安全状况等级综合评定为 4 级的,检验结论为不符合要求,不应继续使用。

9 基于风险的检验

9.1 基于风险的检验应用条件

实施基于风险的检验的管道,应依据相关标准实施完整性管理,并且管道使用单位应满足以下条件:

- a) 具有完善的管道完整性管理体系和较高的管理水平;

- b) 已建立健全应对各种突发情况的应急预案,并且定期进行演练;
- c) 管道运行良好,能够按照有关规定进行检验和维护;
- d) 管道资料齐全、完整;
- e) 工艺操作稳定;
- f) 管道已建立地理信息系统(GIS)或其他信息化平台。

9.2 基于风险的检验实施

实施基于风险的检验时,应符合以下要求:

- a) 从事基于风险的检验的人员经过相应的培训,熟悉基于风险的检验的相关国家标准和专用分析软件;
- b) 管道使用单位向检验机构提出基于风险的检验的书面申请,并且提交实施完整性管理的记录和评价资料,检验机构对收到的申请资料进行审查,并复核管道使用单位情况,确认其满足开展基于风险的检验的条件;
- c) 检验机构根据管道运行状况、损伤模式、风险可接受程度等,按照相关标准进行风险评估,提出检验策略(包括检验时间、内容和方法);
- d) 管道使用单位根据基于风险的检验策略,制定具体的检验计划,由检验机构依据其检验策略制定具体的检验方案,实施检验,出具基于风险的检验报告。

10 检验周期

10.1 检验周期的确定

管道首次定期检验时间按照表4的规定执行。以后的检验周期由检验机构根据管道的安全状况等级,按照以下要求确定:

- a) 安全状况等级为1级或2级,其检验周期不超过6年;
- b) 安全状况等级为3级,有条件监控使用,其检验周期不超过3年,使用单位应采取有效的监控措施;
- c) 安全状况等级为4级,应对问题进行处理,否则不应继续使用。

表4 首次定期检验时间

设计压力 MPa	$0.4 < P \leq 0.8$	$0.1 \leq P \leq 0.4$
首次定期检验时间	投产后3年内	投产后5年内

10.2 检验周期的缩短

有下列情况之一的管道,定期检验周期应适当缩短:

- a) 介质或环境对管道材料的影响情况不明的;
- b) 频繁发生泄漏的;
- c) 材质劣化现象比较明显的;
- d) 管道埋深不满足相关标准规范、设计文件要求的;
- e) 使用单位未进行年度检查的;
- f) 检验中对其他影响安全的因素有怀疑的。

10.3 检验周期的延长

实施基于风险的检验方法进行检验的管道,其检验周期可依据基于风险的检验的情况确定管道的检验周期,根据管道的风险水平延长检验周期,但最长不超过9年。

11 问题处理与检验报告

11.1 问题处理

对于检验发现存在需要处理的问题,检验机构可出具检验意见通知书,将检验情况通知使用单位。使用单位应当及时完成问题的处理,并将问题处理结果书面反馈检验机构;检验机构收到问题处理结果书面反馈后,正式出具定期检验报告。使用单位在约定的时间内未完成问题处理工作的,检验机构可按照实际检验情况出具定期检验报告,待收到问题处理结果书面反馈后再次出具允许使用报告。

11.2 检验报告

检验人员应准确填写定期检验记录,及时出具定期检验报告。定期检验报告中应明确许可工作条件、参数及下次定期检验日期等。

附录 A

(规范性)

在役聚乙烯燃气管道年度检查

A.1 基本要求

A.1.1 聚乙烯燃气管道使用单位应建立年度检查制度,并按照管理要求划分管段,开展年度检查工作。

A.1.2 年度检查通常由聚乙烯燃气管道使用单位组织实施,也可委托具备相应检验能力的检验机构实施。实施年度检查的人员,应进行专业技术培训,经考核合格后方可上岗。

A.1.3 年度检查每年进行一次,进行定期检验的年度可不进行年度检查。

A.2 重点检查部位

实施年度检查时,应对下列管道或位置进行重点检查:

- a) 穿越段管道;
- b) 管道阀井、与周边建筑物或其他管线的水平净距或垂直净距不满足 GB 50028 和 CJJ 63 要求的位置;
- c) 曾经发生过泄漏,影响管道安全运行的管道;
- d) 存在第三方损坏的管道;
- e) 位于边坡、地质不稳等位置的管道,地质灾害频发地段敷设的管道;
- f) 曾经为非机动车道或绿化带后改为机动车道的管道;
- g) 有证据表明白蚁活动密集区域的管道;
- h) 检验人员认为有必要检查的部位。

A.3 检查项目与要求

A.3.1 检查项目

年度检查项目包括:资料审查、宏观检查、敷设环境调查、泄漏检测。

A.3.2 资料审查

资料审查主要包括以下内容:

- a) 安全管理制度和操作规程是否齐全有效;
- b) 相关安全技术规范规定的设计资料、安装竣工资料、监理资料、质量证明文件、监督检验证书及改造、修理资料等是否完整;
- c) 日常巡检、维护、运行记录,安全检查记录是否符合要求;
- d) 年度检查、定期检验报告是否齐全,检查、检验报告中所提出的问题是是否得到解决;
- e) 是否按照相关要求制定了专项应急预案,并且有演练记录;
- f) 是否对事故、故障以及处理情况进行了记录。

在管道投入使用后的首次年度检查时,应审查 a)、b) 项的资料,以后的年度检查视情况进行审查。

A.3.3 宏观检查

宏观检查主要包括以下内容:

- a) 检查周围地表、周边环境发生较大变动、管道沉降等情况下,管道位置与埋深是否符合设计及

验收规范的要求；

- b) 检查管道上方敷设的示踪线、可探测示踪带、电子标识器等示踪和定位系统的完整性和有效性；
- c) 检查管道地面标志是否存在缺失、损坏等情况；
- d) 检查管道穿越段保护工程的完整性、稳固性、河道变迁、水工保护等情况；
- e) 检查阀井(室)内有无积水、沉降、泄漏等情况。

A.3.4 敷设环境调查

敷设环境调查主要包括以下内容。

- a) 检查管道与其他建筑物的净距以及管道上方占压变化情况。
- b) 与热力管道伴行或交叉敷设时,通过查阅数据资料或实际测量得出聚乙烯燃气管道与热力管道的水平净距或垂直净距。必要时,测试聚乙烯燃气管道外壁温度。
- c) 与其他管线伴行或交叉敷设时,通过查阅数据资料或实际测量得出聚乙烯燃气管道与其他管线的水平净距或垂直净距。
- d) 检查管道周边是否存在白蚁、老鼠啃咬等生物侵害情况。
- e) 检查管道上方是否存在容易对管道造成破坏的深根植物。
- f) 检查管道控制范围内是否存在第三方施工活动。
- g) 检查管道洪水冲刷情况。
- h) 不良地质条件调查,检查管道沿线是否有地面沉降、滑坡、断层、冻土等不良地质条件。

A.3.5 泄漏检测

A.3.5.1 对管道沿线利用检测设备及工具定期进行泄漏检测排查,重点抽查管道阀门、法兰、钢塑转换接头以及距管道比较近的地沟、窖井等部位的泄漏情况。

A.3.5.2 对可疑泄漏点应进行进一步精确的定位检测或地面钻孔检测。

A.3.5.3 必要时对管道泄漏异常点进行开挖验证。

A.4 年度检查结论与报告

A.4.1 年度结论

年度检查工作完成后,检查机构应根据实际情况作出以下检查结论：

- a) 符合要求,指未发现影响安全使用的问题或者只发现轻度的、不影响安全使用的问题,可在允许的工作参数范围内继续使用；
- b) 基本符合要求,指发现问题经过使用单位采取措施后管道能安全运行,可在监控条件下使用,并且在检查结论中应注明监控条件、监控运行待解决的问题及其完成期限；
- c) 不符合要求,指发现严重问题,影响管道安全运行的情况,不应继续使用,应停止运行或者由具备相关检验能力的检验机构进行定期检验。

A.4.2 年度报告

年度检查完成后应按照本文件的检查项目、要求进行记录,并出具经审核审批的年度检查报告。

附录 B

(资料性)

聚乙烯燃气管道位置与埋深检测方法

B.1 电磁感应探管仪定位法

B.1.1 方法适用性

本方法适用于有完好示踪线的聚乙烯燃气管道的检测。

B.1.2 方法介绍

发射机发射固定频率的信号施加到待测管线示踪线上,接收机以相同频率接收此信号,利用电磁信号的原理来探测地下管线的精确位置和埋深,探测示意图见图 B.1。

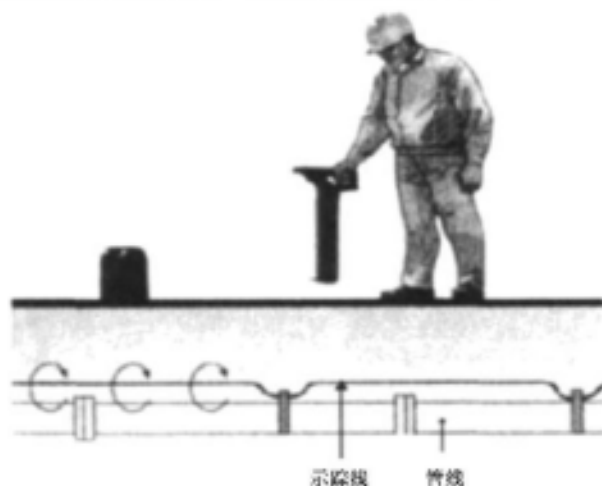


图 B.1 电磁感应探管仪探测示意图

B.1.3 检测设备

检测设备包括发射机、接收机,以及配套的电源设备、连接线等。

B.1.4 检测步骤

探管仪定位法检测步骤如下:

- 利用阀井、开挖点等能够接触到管道示踪线的位置将发射机与待测管道示踪线进行连接;
- 设定电流强度,调节发射机输出电流,使电流稳定输出;
- 设定接收机探测频率与发射机工作在同一频率上;
- 利用峰值法或者谷值法对管道定位,配合全球导航卫星系统(GNSS)定位仪,记录管线的埋深及坐标,绘制管线路由图。

B.2 固定信标定位法



B.2.1 方法适用性

本方法适用于埋设有电子标识器的聚乙烯燃气管道的检测。

B.2.2 方法介绍

信标探测器通过发送可使地下信标感应的特定低频脉冲信号,并接收地下信标感应信号,定位布设于地下管线上方的电子标识器,确定管线的位置和埋深,探测示意图见图 B.2。

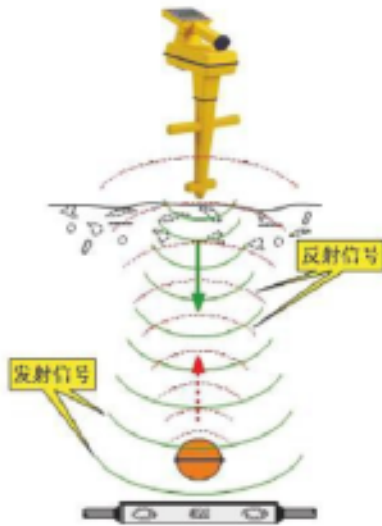


图 B.2 固定信标探测示意图

B.2.3 检测设备

检测设备包括信标探测仪接收机、电子标识器等。

B.2.4 检测步骤

固定信标定位法检测步骤如下:

- a) 架设信标探测器,设定探测频率,不同埋设深度的信标对应不同的频率;
- b) 探测管线位置上方布设的信标对管道定位,配合 GNSS 定位仪,记录管线的埋深及坐标,绘制管线路由图。

B.3 探地雷达定位法

B.3.1 方法适用性

本方法适用于未敷设示踪线或示踪线失效的聚乙烯燃气管道的检测。

B.3.2 方法介绍

利用超高频短脉冲电磁波在介质中传播时其路径、电磁场强度与波形随通过介质的电性质和几何形态的不同而变化的特点,根据接收到波的行程时间、幅度与波形资料判断管线的位置和埋深,探测示意图见图 B.3。

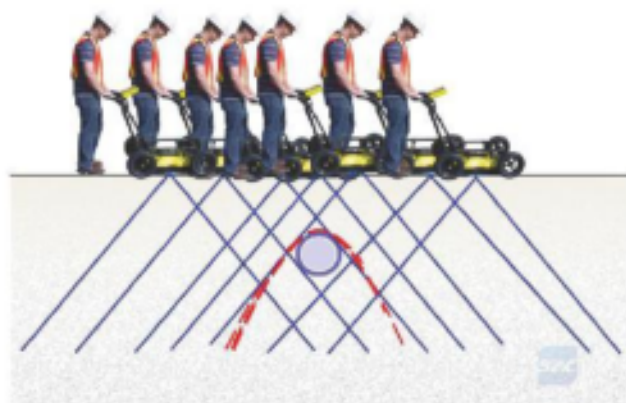


图 B.3 探地雷达探测示意图

B.3.3 检测设备

检测设备包括管线探地雷达发射天线、接收天线等。

B.3.4 检测步骤

探地雷达收集方式一般采用剖面法探测,以阀井、开挖点等作为坐标原点,将发射、接收天线以固定的距离摆放,沿检测方向以等步长同步移动,所有单道反射信息构成了雷达图像剖面,其中横坐标表示天线在水平方向的位置,纵坐标记录的是反射波的行程时间。该剖面常以脉冲反冲波的波形记录,波形的正负峰分别以黑、白表示,或者以灰阶或色彩表示,这样,同相轴或等灰、等色线即可形象地表征出地下反射界面或目标体。

B.4 主动声波探测法

B.4.1 方法适用性

本方法适用于未敷设示踪线或示踪线失效的聚乙烯燃气管道的检测。

B.4.2 方法介绍

利用发射控制机驱动气体振动器,通过放散阀或调压箱和管道连接驱动管道中的燃气以施加多频复合声波震动信号,使管道中的燃气产生特殊调制的振荡波信号,接收并跟踪仪器信号源发出的声波信号,从而精确定位管道的位置与走向,探测示意图见图 B.4。

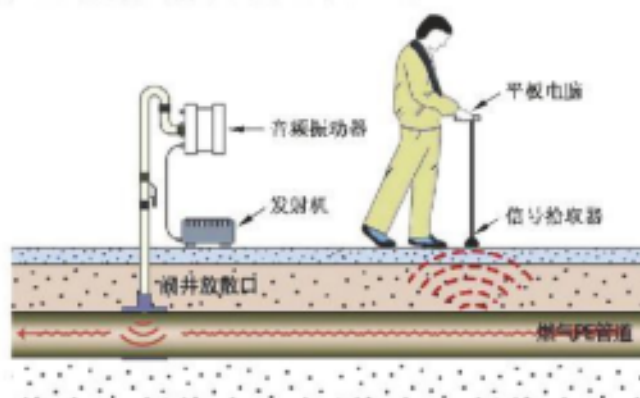


图 B.4 主动声波探测示意图

B.4.3 检测设备

检测设备包括发射机部分和地面接收机部分,发射机部分分为信号发射器和振动器;接收机部分分为拾音器、信号分析器和耳机。

B.4.4 检测步骤

主动声波法检测步骤如下:

- a) 连接前检查接口气密性,确认放散阀门是关闭的,打开放散阀保护堵头,清理里面的杂物和水;
- b) 架设发射控制机,选择合适的接头将发射控制机接头连接到放散阀或者调压箱放散阀,通过快速接头将共振腔连接发射机共振腔,一般安装在待测管道的上游;
- c) 通过拾音器及信号分析软件,接收声波信号并分析,确定待测管道的位置与走向。

B.5 静电力探测法

B.5.1 方法适用性

本方法适用于未敷设示踪线或示踪线失效的聚乙烯燃气管道的检测。

B.5.2 方法介绍

燃气主要成分氢原子核中的质子是一种带有正电荷的粒子,其本身在不停地无规则自旋,具有一定磁性,在外磁场作用下自旋质子将按一定方向排列,称为核子顺磁性,使用弱磁感应探测仪可将被探测物的弱磁场放大,双手持金属杆的操作使用者在运动状态下通过人体静电、大地磁场、弱磁场的相互作用下可探测出被探测物的位置与埋深,探测示意图见图 B.5。

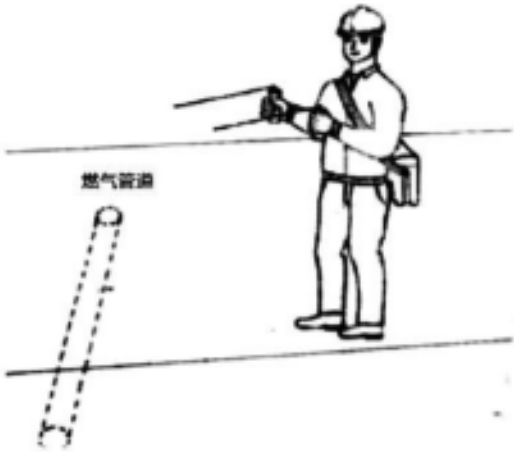


图 B.5 静电力探测示意图

B.5.3 检测设备

检测设备包括主机、探测天线,配套的电源充电设备、背包等。

B.5.4 检测步骤

静电力探测法检测步骤如下:

- a) 打开设备开关,取出可旋转伸缩探测天线,并将探测天线拉伸至最长,保持天线可旋转,天线水平且平行指向前方,与检测人员肩部宽即可;



- b) 初步判断管道大致走向,以及管道所在范围,垂直管道方向进行走动探测,当两根天线相互吸引并旋转至交叉平行状态,天线正下方即为待测管道所在位置,检测人员走过目标管道后,天线可由平行状态缓慢打开,最终恢复到预备状态;
- c) 从天线交叉点平稳向前开始记录,到天线完全打开停止记录,检测人员走过的距离即为管道埋深;
- d) 天线在待测管道上方,指向与管道走向平行,检测人员移动至两杆欲改变平行状态时,一杆静止,另一标向前错开至再次改变平行状态,两杆错开的距离即为管道管径;
- e) 单手操作时,天线的指向与正下方目标管道的走向一致,可用于管道追踪和弯头、三通的识别。

B.6 冲击棒检测定位法

B.6.1 方法适用性

本方法适用于土质较为疏松、单一的土壤环境中的聚乙烯燃气管道的检测。

B.6.2 方法介绍

通过冲击棒探针上部的配重块向下的冲击力使探针竖直插入土壤中直至探针端部与聚乙烯燃气管道接触,通过探针与管道不断地撞击将声音及震动传递到地面,由检测人员辨认是否为待测管道,通过探针插入土壤深度判断管道埋深,探测示意图见图 B.6。

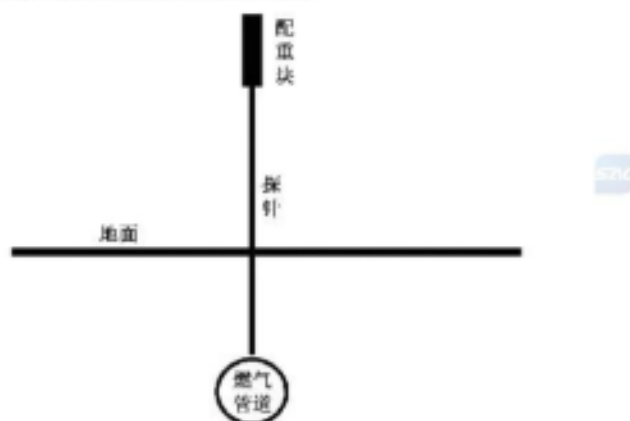


图 B.6 冲击棒探测示意图

B.6.3 检测设备

检测设备包括含配重块、探针的冲击棒。

B.6.4 检测步骤

冲击棒检测定位法检测步骤如下。

- a) 通过阀井判断管道走向、埋深是否符合冲击棒量程,之后在管道敷设方向沿地面上划定若干横截面,横截面的间距根据现场情况确定,在横截面上使用冲击棒进行探测。
- b) 以管道出入土处为圆心在地面画出圆形截面,圆形截面的直径根据现场情况确定,之后在圆形截面上使用冲击棒进行探测,直至找出管道位置,若探测不出管道位置则证明管道埋深超出冲击棒探测量程,宜选择量程更大的冲击棒。若探测出管道位置,则此位置与圆心连线则为管道敷设方向,重复 a) 步骤。
- c) 将探针竖直放置于待测位置地面上,手持配重块将其尽可能的远离地面,之后用力向下释

放,重复操作该过程,使探针不断地插入土壤中直至接触到待测管道。

- d) 冲击棒在横截面上使用时,冲击孔的间距不宜过大,且使探针竖直向下运行。
- e) 探测出管道后,配合 GNSS 定位仪,记录管线的埋深及坐标,绘制管线路由图。

B.7 被动声波反射法

B.7.1 方法适用性

本方法适用于土质较为紧实、单一的土壤环境中的聚乙烯燃气管道的检测。

B.7.2 方法介绍

仪器向地下发出超声波,采集反射波的频率、延时及信号强度。操作者至少重复进行三次等间距探测,称为一次界面扫描。如果仪器探测到空腔,仪器将接收到空腔反射信号,多次截面扫描的结果汇总起来才能完成一次管道定位,探测示意图见图 B.7。

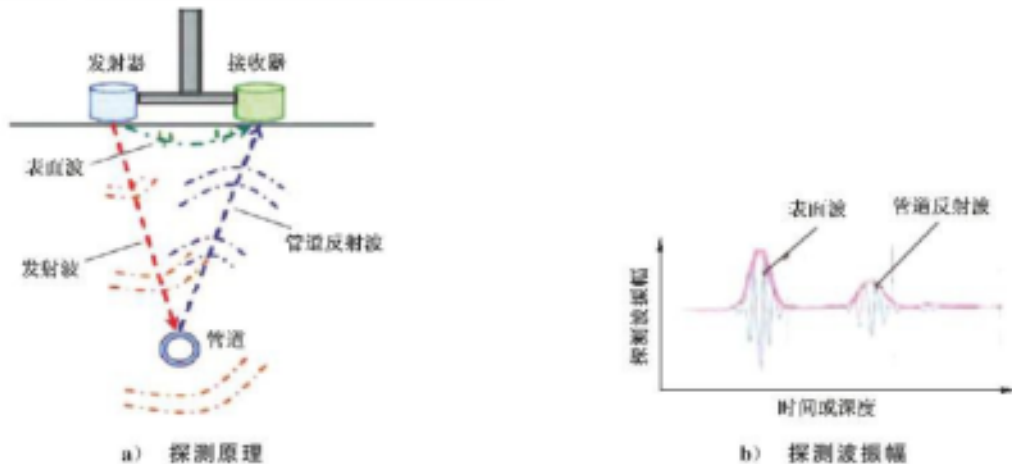


图 B.7 被动声波反射探测示意图

B.7.3 检测设备

检测设备包括一体式声波反射法检测仪、钢卷尺。

B.7.4 检测步骤

声波反射法检测步骤如下:

- a) 启动电源按键,推动检测仪至目标管道上方;
- b) 按仪器扫描键,采集该位置反射声波信号;
- c) 用钢卷尺测量出检测仪两侧间距 1 m 的位置,分别将检测仪移动至上述两处位置采集反射声波信号;
- d) 根据反射声波信号判定管道位置并进行标记。

B.8 电磁波感应探测法

B.8.1 方法适用性

本方法适用于未敷设示踪线或示踪线失效的聚乙烯燃气管道的检测。

B.8.2 方法介绍

主机发射特定电磁信号在短时间内产生分辨率非常高的数据以区分土壤与管道(所发电磁波会因材料介电常数不同而被区分),即电磁波发射到埋地管道时会因土壤之间的差别马上反射回地面,识别器前端探头线性接收地下折回信号时,经软件分析判定地下所收集信号为同一高度、同一材质、且在一条线上时,识别器会进行反馈(信号灯长亮、信号条满格及声音长响),即为所探管道,探测示意图见图 B.8。

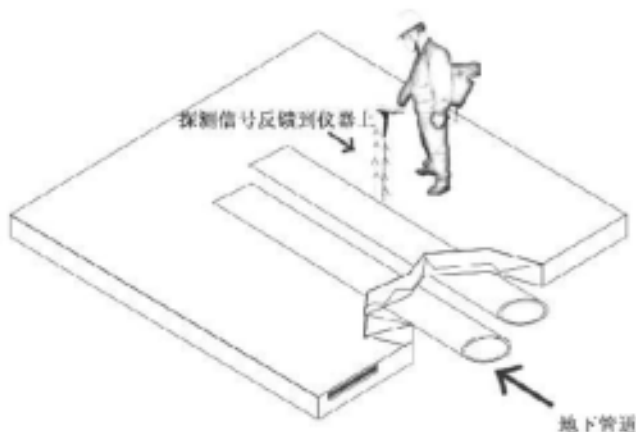


图 B.8 电磁波感应探测示意图

B.8.3 检测设备

检测设备包括主机、信号识别器、GNSS 定位仪、激光对焦辅助仪、激光测距仪、水平仪、主机充电器、主机背包、充电宝等。

B.8.4 检测步骤

电磁波感应探测法检测步骤如下:

- 打开主机与信号识别器电源开关,主机与信号识别器会自动连接(二者间距不宜超过 10 m),待连接后(3 min)即可正常操作;
- 可通过图纸等信息了解所探管道现场大致情况,初步判断管道大致走向,缩小所探测管道所在范围,垂直管道方向进行先高后低走动探测;
- 预备状态时,自然站立,手握信号识别器,信号识别器探头与地面间隙为 30 cm~80 cm;
- 信号识别器远离管道,即信号识别器接收的信号消失(信号条从满格到单边直至无、二个信号灯只亮一边,声音长响至不响),即可到预备状态;
- 待信号识别器收集到疑似信号后可来回切割,信息稳定后(信号条满格、二个信号灯长亮,声音长响)即管道位置(数据可通过全球定位系统 GPS 取得);
- 信号识别器识别到管道后,将信号识别器探头端方向调整至与地面角度 45°,移动信号识别器至信号识别器再次长响时停止移动,信号长响处与管道位置距离即为埋深(此为三角测量法,数据通过测距仪取得);
- 从管道两侧向管道方向进行信号切割,管道两侧信号中间距离即为管径或套管管径,若中间基本无距离可判定为线,有距离则为管;
- 沿着管道方向连续确认信号可跟踪管道走向。

附 录 C
(规范性)
气体泄漏检测方法及分级

C.1 基本要求

- C.1.1 可用便携式气体泄漏检测仪、气体泄漏检测车、燃气嗅探犬等一种或多种技术组合的方式对聚乙烯燃气管道沿线进行泄漏检测。
- C.1.2 泄漏检测应按照 CJJ/T 215 的相关规定执行。
- C.1.3 可燃气体泄漏检测仪报警装置的报警浓度不高于可燃气体爆炸极限下限的 20%。

C.2 检测

- C.2.1 检测前应充分查阅管道相关资料,掌握管道位置、走向等信息。
- C.2.2 选择重点检测区域和位置,重点检查管道阀门、法兰、套管、熔接接口(含钢塑转换接口)等组件,及燃气可能泄漏扩散到的地沟、窖井、地下密闭空间内的泄漏情况;对疑似泄漏点可进行地面钻孔检测。
- C.2.3 根据检测区域、对象,选择 C.1.1 中规定的合适检测方法。
- C.2.4 应沿管道附近的道路接缝、路面裂痕、土质地面或草地进行检测。
- C.2.5 对阀井、地下密闭空间等位置,宜将检测仪器探头插入井盖开气孔内或沿井盖边缘缝隙等处进行检测。
- C.2.6 由于各区域大气中甲烷背景浓度不同,当整个检测过程中存在甲烷浓度突变或显著高于正常大气浓度范围时,应认为存在疑似泄漏区域。
- C.2.7 当空气中异味或气体泄漏声响时,应认为存在疑似泄漏区域。
- C.2.8 当发现疑似泄漏点时,应在周围多个点进行采样检测,寻找到泄漏气体浓度最大的位置。
- C.2.9 在气体浓度最大的位置,应通过测量是否有乙烷气体来判断是否为燃气泄漏。
- C.2.10 对于疑似的泄漏,应按照可能扩散过程选择检测孔或开挖的方式,确定管道泄漏位置。

C.3 气体泄漏分级

- C.3.1 当检测出泄漏点时,应对其进行原因分析。根据泄漏点的泄漏浓度、周边环境、压力等级等要素,分析泄漏潜在影响及风险大小。
- C.3.2 应根据泄漏点的危险程度进行等级评估,见表 C.1,并根据危险等级采取泄漏处置、扩大检测、应急处置等风险控制措施。

表 C.1 泄漏点等级评估

泄漏分级	危险程度	分级条件
I 级	发现时对人身或财产危害较大,应立即进行修复	具备以下条件之一,即为 I 级泄漏。 a) 听到、看到、感觉到等可直观确认气体泄漏的; b) 建筑物内或建筑物下有燃气积存的; c) 其他燃气管道井、管沟内可燃气体检测器显示可燃气体读数,并分析确认为燃气泄漏的; d) 燃气泄漏读数来自距建筑物 5 m 内压力大于 0.1 MPa 的; e) 燃气管道沿途地面燃气浓度达到 80% 爆炸下限(LEL)及以上的

表 C.1 泄漏点等级评估（续）

泄漏分级	危险程度	分级条件
Ⅱ级	发现时对人身或财产的危害较小,可制定计划及时进行修复,并应采取措施持续监测	燃气管道所经地面燃气浓度达到 201×10^{-6} (PPM) $\sim 80\%$ LEL.
Ⅲ级	发现时无危害,并且可在较长时间内保持无危险的状态	燃气管道所经地面燃气浓度达到 0×10^{-6} (PPM) $\sim 200 \times 10^{-6}$ (PPM)



附录 D

(资料性)

在役聚乙烯燃气管道焊接接头的数字射线检测方法

D.1 一般要求

D.1.1 环境条件

射线检测场所的放射卫生防护条件参照 GBZ 117 的规定。现场进行 X 射线检测时,参照 GBZ 117 的规定划定控制区和管理区,设置警告标志。从事射线检测的人员佩戴个人剂量计或剂量报警仪。

D.1.2 检测系统

根据被检工件的厚度、焦距大小,选择能量范围适宜的 X 射线机(宜使用高频射线机);焦点的选择宜与所采用的探测器相匹配;基本性能参照 GB/T 26837 的规定。

探测器系统、计算机系统、系统软件要求、检测系统的验收与核查参照 NB/T 47013.11 的规定。

D.2 技术分级

射线检测技术分为 AB 级(基本技术)和 B 级(优化技术)两个等级;当射线检测技术等级 AB 级不能满足规范要求的灵敏度时,宜将射线检测技术等级提高到 B 级。

D.3 检测准备

D.3.1 检测布置

当管道公称外径 $d_n > 110$ mm 时,采用双壁单影;当 $d_n \leq 110$ mm 时,采用双壁双影。

D.3.2 表面处理

当采用热熔对接焊时,检测前宜清除外翻边。

D.3.3 标记

D.3.3.1 标记放置在受检区域至少 10 mm 以外的部位。所有标记的影像避免重叠,且不干扰有效评定范围内的影像。

D.3.3.2 受检焊接接头表面宜作永久性标记,使每幅图像可准确定位。如果材料材质与使用条件不宜在受检焊接接头表面作永久性标记时,宜通过准确的检测位置示意图来记录其位置。

D.3.3.3 如焊接接头在射线透照图像上不易看清,检测前宜在焊接接头两侧放置高密度标记物。标记物一般为由适当尺寸的铅(或其他适宜的重金属)制成的数字、拼音字母或符号等。图像上所显示的标记宜位于有效评定区之外,使每一区段标记明确无误。

D.3.3.4 受检部位宜有定位标记来表示透照部位区段的中心位置和分段编号的方向,一般用十字箭头表示。

D.3.4 标记搭接

透照区域明确分段覆盖透照时,图像间宜搭接,使整个受检区域都被透照,搭接标记可用符号“↑”或其他能显示搭接位置的方法表示。

D.3.5 阶梯孔型像质计

D.3.5.1 像质计的选用

宜选用与受检焊接接头母材相同的材料或具有相似吸收系数、容差为±10%的材料制造的像质计。阶梯孔型像质计由不同厚的阶梯和孔组成,相应的公差和对应的孔编号见表 D.1,几何形状见图 D.1,基本性能参照 GB/T 23901.2 的规定。采用的阶梯孔型像质计宜标有材质规格(PE100、PE80 等)、第一阶梯孔号。

表 D.1 阶梯孔型像质计型号及尺寸

孔编号	标称孔径和阶梯厚度	极限偏差
H5	0.32	+1.5%
H6	0.40	
H7	0.50	
H8	0.63	+2%
H9	0.80	
H10	1.00	

单位为毫米



图 D.1 阶梯孔型像质计

D.3.5.2 像质计放置要求

D.3.5.2.1 阶梯孔型像质计放置探测器侧,按照表 D.2 选择阶梯孔型像质计,对于双壁单影透照方式,W 取公称壁厚 e_n 。

表 D.2 阶梯孔型像质计梯孔的选用

透照厚度 ^a mm	阶梯孔型像质计的阶梯孔编号
>5~10	H4
>10~15	H5
>15~24	H6
>24~40	H7

表 D.2 阶梯孔型像质计梯孔的选用（续）

透照厚度 ^a mm	阶梯孔型像质计的阶梯孔编号
>40~60	H8
>60~80	H9
^a 可用公称壁厚 e_n 。	

D.3.5.2.2 采用阶梯孔型像质计,阶梯孔宜靠近焊缝。若采用相同的透照和图像处理技术,像质计值不出现差异时,不必验证射线透照质量。

D.3.6 双线型像质计

双线型像质计的放置、使用及识别参照 NB/T 47013.11 的规定。

D.3.7 一次透照长度

D.3.7.1 管道公称外径 $d_n < 110$ mm 的管道环向焊接接头 100%静态成像的透照次数要求如下。

- a) 倾斜透照椭圆成像时,当 $e_n/d_n \leq 0.12$,相隔 90°透照 2 次;当 $e_n/d_n > 0.12$ 时,相隔 120°或 60°透照 3 次。
- b) 垂直透照重叠成像时,相隔 120°或 60°透照 3 次。

D.3.7.2 对管道公称外径 $d_n = 110$ mm 的管道,环向焊接接头 100%静态成像透照 4 次。

D.3.7.3 由于结构原因不能进行多次透照时,可采用圆成像或重叠成像方式透照 1 次。鉴于透照一次不能实现焊缝全长的 100%检测,此时宜采用有效措施扩大缺陷检出范围,使图像评定范围内灰度、信噪比、灵敏度和分辨率满足要求。

D.3.7.4 对于外径大于 110 mm,且小于探测器有效成像尺寸的被检工件,在满足表 D.3 透照厚度比 K 值规定的前提下,一次透照有效长度不大于被检工件内径,且图像灰度值宜满足 D.4.2 的要求。

表 D.3 不同检测技术等级允许的透照厚度比

检测技术等级	透照厚度比 K
AB 级	1.2
B 级	1.1

D.4 透照实施

D.4.1 透照参数选择

实际检测时,根据采用 X 射线数字成像系统和被检工件的特点,选择适当 X 射线能量(在满足射线穿透的条件下选择较低的能量)、曝光量等参数,使图像质量满足检测要求。

D.4.2 射线束调整

调整射线束至直射受检区中央,并垂直于受检焊缝表面。若射线束方向与表面不垂直,宜在检测报告中备注。

D.4.3 射线源至受检部位距离 f

D.4.3.1 AB级检测, f 的最小值取决于射线源有效焦点尺寸 d 和焊缝表面至探测器距离 b , 按公式(D.1)计算。

$$f_{\min} = 10db^{2/3} \quad \text{.....(D.1)}$$

D.4.3.2 B级检测, f 的最小值取决于射线源有效焦点尺寸 d 和焊缝表面至探测器距离 b , 按公式(D.2)计算。

$$f_{\min} = 15db^{2/3} \quad \text{.....(D.2)}$$

D.4.4 图像质量要求

D.4.4.1 一般要求

测定图像质量的像质计分为阶梯孔型像质计和双线型像质计, 图像同时满足灵敏度和分辨率的要求, 图像灵敏度采用阶梯孔型像质计进行测定, 图像分辨率采用双线型像质计进行测定。

图像质量验证宜在每一种焊接接头的第一次透照时进行或在此之前专门进行工艺验证。验证图像质量的透照布置宜摆放阶梯孔型和双线型两种像质计。

D.4.4.2 图像灵敏度

按照检测技术等级的要求及采用的透照方式, 图像灵敏度分别符合表 D.2 的规定, 图像灵敏度要求宜达到能清晰识别表 D.2 规定的阶梯孔。

D.4.4.3 图像分辨率

根据检测技术等级的要求, 图像分辨率分别满足表 D.4 和表 D.5 的规定, 测试方法参照 NB/T 47013.11 的规定进行。对于双壁单影透照方式, 透照厚度 W 取公称壁厚 e_n 。

表 D.4 AB级像质达到的图像分辨率

透照厚度 W^a mm	图像分辨率 IP mm	丝号	丝径 mm
>2~3.5	6.25	D11	0.08
>3.5~5	5.00	D10	0.10
>5~10	3.85	D9	0.13
>10~25	3.13	D8	0.16
>25~55	2.50	D7	0.20
>55~150	2.00	D6	0.25
>150~250	1.56	D5	0.32
>250	1.25	D4	0.40
^a 可用公称壁厚 e_n 。			

表 D.5 B 级像质达到的图像分辨率

透照厚度 W^a mm	图像分辨率 IP mm	丝号	丝径 mm
>2~4	10.00	D13	0.05
>4~8	7.70	D12	0.06
>8~12	6.25	D11	0.08
>12~40	5.00	D10	0.10
>40~120	3.85	D9	0.13
>120~200	3.13	D8	0.16
>200	2.50	D7	0.20
^a 可用公称壁厚 e_n 。			

D.5 图像评定

D.5.1 一般要求

- D.5.1.1 图像质量满足规定的要求后,方可进行被检工件质量的等级评定。
- D.5.1.2 图像可通过正像或负像的方式显示。
- D.5.1.3 在光线柔和的环境下观察图像,显示器屏幕宜清洁、无明显的光线反射。
- D.5.1.4 图像有效评定区域内不宜存在干扰缺陷图像识别的伪像。

D.5.2 图像灰度范围要求

- D.5.2.1 图像有效评定区域内的灰度值宜按照相应技术等级控制。具体规定如下:
 - a) AB 级图像的灰度值控制在满量程的 20%~80%;
 - b) B 级图像的灰度值控制在满量程的 40%~80%。
- D.5.2.2 可通过测量图像灰度直方图等方法确定图像灰度分布范围。

D.5.3 信噪比要求

- D.5.3.1 归一化信噪比的最低要求满足表 D.6 对归一化信噪比的最低要求。
- D.5.3.2 归一化信噪比测试方法参照 NB/T 47013.11 的规定进行。

表 D.6 归一化信噪比最低要求

管电压范围 kV	归一化信噪比	
	AB 级	B 级
≤150	100	170

D.5.4 图像存储

- D.5.4.1 存储格式按照数字成像软件采集原始图像数据的设置格式执行,便于对图像的评价和检测质量评定的测试。
- D.5.4.2 焊缝编号与图像编号相对应,图像识别信息不宜更改。

D.5.5 缺陷的识别与评定

D.5.5.1 缺陷的识别可采用人工识别或计算机辅助识别方法。

D.5.5.2 人工识别可通过系统软件工具对图像进行线性拉伸来改变图像显示的灰度范围,达到人眼识别的最佳效果。

D.5.6 缺陷几何尺寸的测量

通过系统软件对缺陷的几何尺寸进行测量,计算见公式(D.3)。

$$S = \delta \times N_i \quad \text{.....(D.3)}$$

式中:

S ——缺陷几何尺寸;

δ ——几何尺寸因子;

N_i ——由计算机测量缺陷图像尺寸得到的像素个数。

在缺陷测量前,可结合实际检测要求,在实际检测条件下,采集已知尺寸试件的 X 射线数字图像对其几何尺寸进行标定,几何尺寸因子的计算见公式(D.4)。

$$\delta = L / N_i \quad \text{.....(D.4)}$$

式中:

δ ——几何尺寸因子;

L ——标定所用试件的尺寸,单位为毫米(mm);

N_i ——由计算机测量标定用试件图像尺寸得到的像素个数。

D.5.7 缺陷深度的测量

缺陷深度的测量可采用模拟试件,由系统软件计算得到不同深度(厚度)与图像灰度的变化规律。

D.5.8 缺陷的分级与评定

D.5.8.1 缺陷类型

焊接接头中存在的缺陷按性质分为裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷和圆形缺陷五类。

D.5.8.2 质量等级的划分

根据焊接接头中存在的缺陷类型、尺寸、数量和密集程度,其质量等级可划分为Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级。

D.5.8.3 质量分级的一般规定

D.5.8.3.1 Ⅰ级焊接接头内不存在裂纹、未熔合、未焊透和条形缺陷;Ⅱ级和Ⅲ级焊接接头内不存在裂纹、未熔合和未焊透;焊缝中缺陷超过Ⅲ级者为Ⅳ级。

D.5.8.3.2 各质量等级的圆形缺陷分级及其评定按 D.5.8.4 的规定;各质量等级的条形缺陷分级及其评定按 D.5.8.5 的规定;当各类缺陷评定的质量级别不同时,以质量最差的级别作为焊缝的质量等级。

D.5.8.4 圆形缺陷的分级评定

D.5.8.4.1 圆形缺陷用圆形缺陷评定区进行质量分级评定,圆形缺陷评定区为一个与焊缝平行的矩形,其尺寸见表 D.7。圆形缺陷评定区宜选在缺陷最严重的区域。

表 D.7 缺陷评定区

单位为毫米

公称壁厚 e_n	评定区尺寸
≤ 20	10×10
$> 20 \sim 50$	10×20

D.5.8.4.2 在圆形缺陷评定区域内或与圆形评定区边界线相割的缺陷均宜划入评定区内。

D.5.8.4.3 不计点数的缺陷尺寸见表 D.8。

表 D.8 不计点数尺寸

单位为毫米

公称壁厚 e_n	缺陷弧长
≤ 20	≤ 0.4
$> 20 \sim 50$	≤ 0.6

D.5.8.4.4 圆形缺陷点数换算见表 D.9。

表 D.9 圆形缺陷点数换算

缺陷弧长 mm	≤ 1	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 3$	$> 3 \sim 4$	$> 4 \sim 6$	$> 6 \sim 8$	$> 8 \sim 10$
点数	1	2	3	6	10	15	25

D.5.8.4.5 圆形缺陷分级见表 D.10，当母材公称厚度不同时，取较薄的厚度。

表 D.10 圆形缺陷的分级

评定区	10 mm×10 mm				10 mm×20 mm	
公称壁厚 e_n mm	≤ 3	$> 3 \sim 5$	$> 5 \sim 10$	$> 10 \sim 20$	$> 20 \sim 30$	$> 30 \sim 50$
I 级(缺陷点数)	1	2	3	4	5	6
II 级(缺陷点数)	3	7	10	14	17	20
III 级(缺陷点数)	6	14	21	28	34	40
IV 级(缺陷点数)	缺陷点数大于 III 级的					

D.5.8.4.6 单个圆形缺陷的长径超过母材公称厚度的 1/3 时，不宜评为 I 级。

D.5.8.4.7 单个圆形缺陷的长径超过母材公称厚度的 1/2 或大于 10 mm 时，评为 IV 级。

D.5.8.4.8 当 III 级焊缝允许的缺陷点数连续存在并超过评定区尺寸的 3 倍时，评为 IV 级。

D.5.8.4.9 对于 I 级焊缝和母材公称厚度不大于 5 mm 的 II 级焊缝内，不计点数的缺陷在评定区内不宜大于 10 个，超过时焊缝质量宜降一级。

D.5.8.4.10 焊缝内发现气孔较大的圆形缺陷时定义为深孔缺陷，对致密性要求较高的焊缝存在深孔缺陷时，其质量等级评定为 IV 级。

D.5.8.5 条形缺陷的分级评定

D.5.8.5.1 条形缺陷按表 D.11 的规定进行分级评定。

表 D.11 条形缺陷的分级

单位为毫米

质量等级	公称壁厚 e_n	
	≤ 12	$> 12 \sim 50$
	缺陷长度	
I 级	不存在条形缺陷	不存在条形缺陷
II 级	< 4	$< 1/3e_n$
III 级	< 4	$< 1/2e_n$
IV 级	缺陷等级大于 III 级的	

D.5.8.5.2 当 2 个或 2 个以上条形缺陷在同一直线上,且相邻缺陷间距小于或等于较短缺陷长度时,宜作为 1 个缺陷处理,即间距也计入缺陷的长度之中。

D.5.8.6 缺陷的综合评级

在焊缝评定区内同时存在圆形缺陷与条形缺陷时,宜分别进行评级,以其级别较低的作为此焊缝的质量等级,若级别相同,则降低一级作为其焊缝质量等级。

D.6 检测记录及报告

D.6.1 按照现场操作的实际情况详细记录检测过程的有关信息和数据。X 射线数字成像检测记录参照 NB/T 47013.1 的规定,包括下列内容。

- 制造单位、检测单位或委托单位。
- 被检工件焊接方法。
- 使用的检测工艺文件编号。
- 射线机有效焦点尺寸。
- 检测规范:检测技术等级、透照布置、像质计、滤波板、射线能量、曝光量或透照时间、射线机与探测器的相对关系、透照几何参数、软件处理方式和条件等。
- 图像评定:灰度值、信噪比、图像灵敏度、图像分辨率、缺陷位置和性质。
- 检测工艺文件验证情况。
- 检测结果及质量分级。
- 审核人员及其技术资格。
- 其他需要说明或记录的事项。

D.6.2 根据检测记录出具检测报告,报告内容参照 NB/T 47013.11 的规定执行。

D.7 档案管理

D.7.1 图像存储在硬盘等数字存储介质中,并在只读光盘中存档。

D.7.2 检测图像备份不少于两份,相应的原始记录和检测报告也同期保存。

D.7.3 图像保存不少于 8 年,在有效保存期内,避免图像数据丢失和更改。

附录 E

(资料性)

聚乙烯燃气管道热熔接头相控阵超声检测方法

E.1 检测人员

E.1.1 按本方法实施检测的人员,宜接受专业培训,具备相应资质,方可开展检测工作。

E.1.2 该专业培训科目包括相控阵超声检测技术和聚乙烯热熔接头检测技术。

E.2 检测设备

E.2.1 检测系统测试基本要求

相控阵超声检测系统除按 GB/T 29302 进行测试并符合其要求外,还宜参照本方法的规定进行测试并满足要求。

E.2.2 探头

E.2.2.1 聚乙烯燃气管道热熔接头相控阵超声检测用探头采用一维线阵斜探头。

E.2.2.2 探头声束汇聚区范围满足检测聚乙烯燃气管道热熔接头内缺陷深度的要求。

E.2.2.3 探头折射角通常为 45° 或 60° ,探头楔块选用声学性能与聚乙烯相近的材料制作,推荐采用聚砜材料。

E.2.2.4 探头频率根据管材厚度选定。不同管材厚度范围推荐的探头频率见表 E.1。

表 E.1 不同管材厚度适用的探头频率

PE 管材厚度 e mm	频率 f MHz
$4 < e \leq 8$	$f > 5.0$
$8 < e \leq 30$	$2.5 < f \leq 5.0$
$e > 30$	$2.0 < f \leq 2.5$

E.2.3 检测系统

检测系统在校准试块上最远和最近人工反射体信号的灵敏度余量和信噪比均宜超过 12 dB,且横向分辨率小于 2 mm,纵向分辨率小于 1 mm。

E.2.4 扫查器

E.2.4.1 能夹持探头并贴合管道沿焊缝进行平行扫查。

E.2.4.2 检测前对扫查器进行校准,位移误差小于 1%,最大不超过 10 mm。

E.2.4.3 位置分辨率小于 1 mm。

E.2.5 耦合剂

宜使用对聚乙烯材料没有任何腐蚀、溶解作用的耦合剂,耦合剂宜易于附着和清除。

E.3 校准试块

E.3.1 采用与被热熔接头管件材料声学性能相同或近似的材料制成,该材料不宜有大于或等于 $\phi 1\text{ mm}$ 平底孔当量直径的缺陷。

E.3.2 选择图 E.1 所示校准试块图纸进行制作,试块的检测面为平面或带有一定曲率半径的曲面,在试块的不同深度位置上含有 6 个排列不均匀的预埋金属丝。

单位为毫米

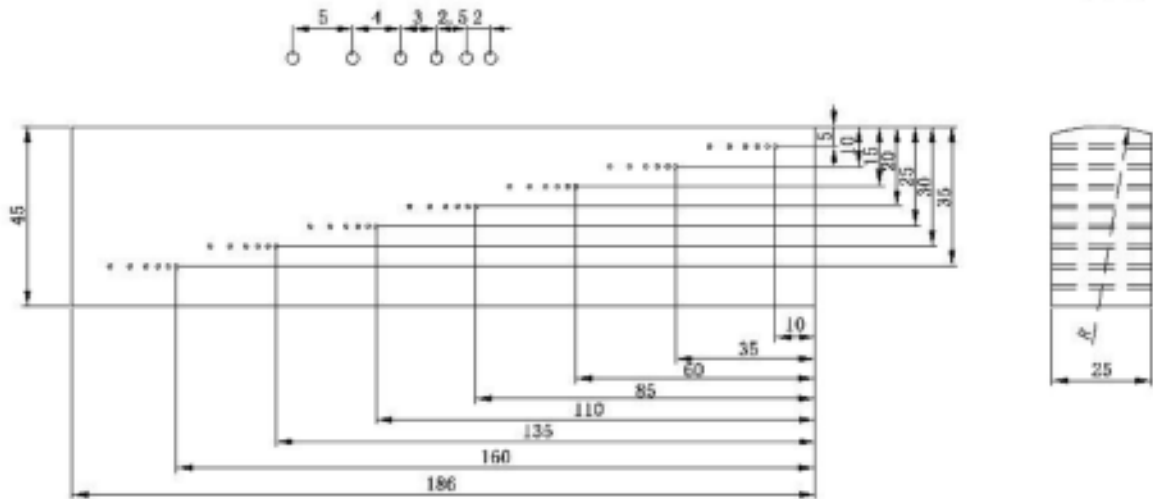


图 E.1 校准试块图纸

E.3.3 试块的型号、相应的曲率半径和适用的热熔接头范围见表 E.2 的规定。

表 E.2 试块圆弧曲率半径

单位为毫米

试块型号	试块圆弧曲率半径 R	适用的热熔接头范围(公称直径)
PE-I-1	30	75~<110
PE-I-2	60	110~200
PE-I-3	平面	>200

E.4 检测准备

E.4.1 检测时机

使用单位按照检验机构的要求及时组织开挖,便于焊接接头检测正常开展。

E.4.2 表面要求

被检测的热熔焊接接头宜在焊缝两边一倍壁厚再加 50 mm 范围内整圈清除表面异物。

E.4.3 检测区域

检测区域包括焊缝中心线两侧一倍壁厚。

E.4.4 灵敏度校准

E.4.4.1 灵敏度校准宜在校准试块上进行。

E.4.4.2 灵敏度校准后不同深度处相同反射体回波波幅宜基本一致,且经最大补偿的声束回波的信噪比不宜小于 6 dB,记录此时的增益和波高为参考幅度。

E.4.4.3 扫查灵敏度由工艺验证试验确定,一般将 $\phi 1 \times 25-4$ dB 设置为满屏高度的 80%~95%,作为扫查灵敏度。

E.5 检测

E.5.1 使用经校准的检测系统对待测热熔接头进行检测。

E.5.2 检测方式采用扇扫描,探头平行于焊缝周向移动做沿线扫查,如图 E.2 所示。



标引序号说明:

1——管材;

2——接头;

3——相控阵探头。

图 E.2 热熔接头检测示意图

E.5.3 焊缝长度方向重叠宜大于 20 mm。

E.5.4 在完成扫描之后,宜自动存储原始数据。

E.6 结果解释和评价

E.6.1 缺陷的判定

当反射波幅大于或等于 20% 满屏幕波高时,宜记录并测定。

E.6.2 缺陷的尺寸

以 S 显示和 B 显示的图像中缺陷成像尺寸作为缺陷尺寸。

E.6.3 缺陷的定性

E.6.3.1 热熔接头缺陷性质

热熔接头缺陷主要包括:

- 接头中的孔洞;
- 熔合面夹杂,如夹砂、灰尘、金属等;
- 未熔合;
- 裂纹。

E.6.3.2 熔合面夹杂

熔合面夹杂缺陷为面积型缺陷,将其表征为由其外接矩形之长和宽围成的矩形。图 E.3 中缺陷所在的面为聚乙烯热熔接头的熔合面(B 显示图像),X 为缺陷径向的矩形边长即缺陷高度,Y 为缺陷周向的矩形边长即缺陷长度。

当相邻缺陷间距小于或等于较短缺陷尺寸时,视为单个缺陷,并将缺陷间距记入缺陷长度。

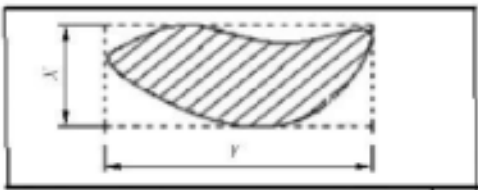


图 E.3 熔接面缺陷的表征

E.6.3.3 孔洞

孔洞缺陷为体积型缺陷,宜表征其 X 、 Y 以确定缺陷尺寸,其表征方法与 E.6.3.2 相同。

E.7 质量分级

E.7.1 聚乙烯燃气管道对接接头相控阵超声检测质量分级

根据接头中存在的缺陷类型、数量和密集程度,其质量等级可划分为 I 级、II 级、III 级。

I 级、II 级焊接接头内无裂纹和未熔合缺陷。

E.7.2 熔合面夹杂的质量分级

熔合面夹杂缺陷分级评定见表 E.3。

表 E.3 熔合面夹杂缺陷的质量分级

级别	与内外壁贯通的熔合面夹杂	在接头熔合面中间的熔合面夹杂
I 级	$X < 5\%T, Y < 10\%T$	$X < 10\%T$, 且在任何连续 300 mm 的焊缝长度中, 当 Y 累计长度不超过 20 mm
II 级	$X < 10\%T, Y < 20\%T$	$X < 15\%T$, 且在任何连续 300 mm 的焊缝长度中, 当 Y 累计长度不超过 50 mm
III 级	缺陷等级大于 II 级者	
注: T 为管材壁厚。		

E.7.3 孔洞的质量分级

I、II 级热熔接头中不宜存在尖锐端角的孔洞缺陷。

孔洞缺陷分级评定见表 E.4。



表 E.4 孔洞缺陷的质量分级

级别	单个孔洞	组合孔洞
I 级	$X<5\%T,Y<10\%T$	$X<5\%T$ 且在任何连续 300 mm 的焊缝长度中,当缺陷累计长度 Y 不超过 20 mm
II 级	$X<10\%T,Y<20\%T$	$X<10\%T$ 且在任何连续 300 mm 的焊缝长度中,当缺陷累计长度 Y 不超过 50 mm
III 级	缺陷等级大于 II 级者	
注: T 为热熔接头管材壁厚。		

E.8 检测报告

聚乙烯燃气管道相控阵超声检测后,由相应检测资质Ⅱ级或以上人员编写检测报告,内容至少包括:

- a) 聚乙烯燃气管道名称及地点、焊缝数量、验收标准;
- b) 管道材料型号、直径、壁厚;
- c) 相控阵超声仪器型号、检测技术、探头规格型号;
- d) 检测记录和结果、缺陷评价等级;
- e) 检测人员资质、报告日期。

附录 F

(资料性)

热熔接头相控阵检测特征图谱

F.1 正常焊接

正常焊接热熔接头超声图像有清晰的内外表面信号显示,在内外表面显示的信号之间,除探头本身的干扰信号外,无明显的其他信号显示,见图 F.1。

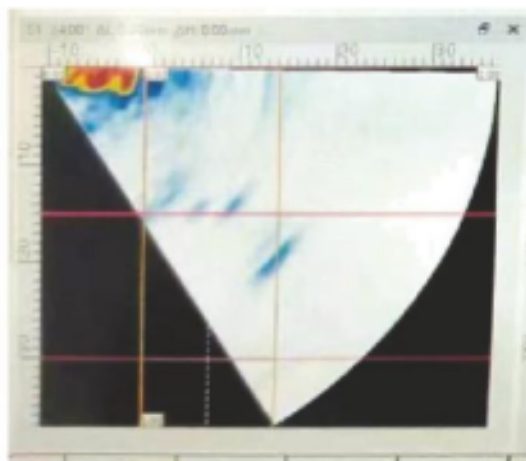


图 F.1 正常焊接接头超声图谱

F.2 熔合面夹杂

熔合面夹杂属于面积型缺陷,位置在熔合线上,见图 F.2。常见熔合面夹杂缺陷有:金属夹杂、非金属夹杂等。在内外表面显示的信号之间,有明显的信号显示。金属夹杂显示较亮,非金属夹杂显示较暗。

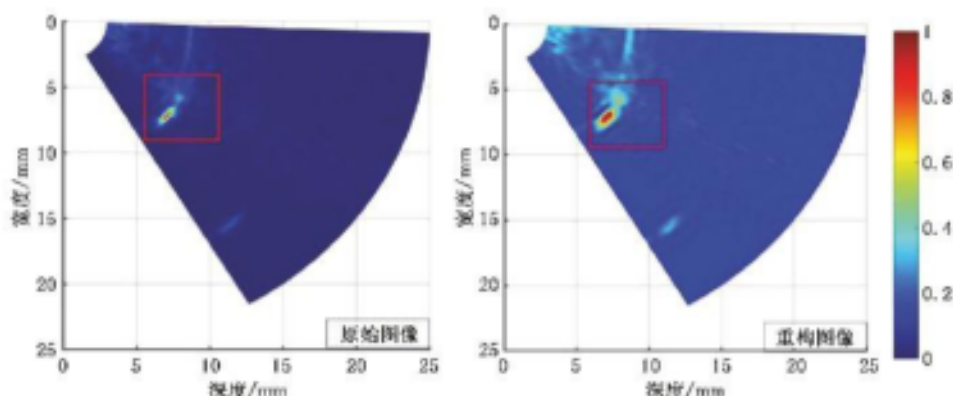


图 F.2 含有夹杂物的超声图谱

F.3 孔洞

孔洞属于体积型缺陷,图像较为清晰,在内外表面显示的信号之间,有明显的信号显示,见图 F.3。

孔洞主要是由于管材潮湿或端面污染物气化造成。出现严重孔洞时,在孔洞缺陷下方常会出现管材内壁信号缺失。

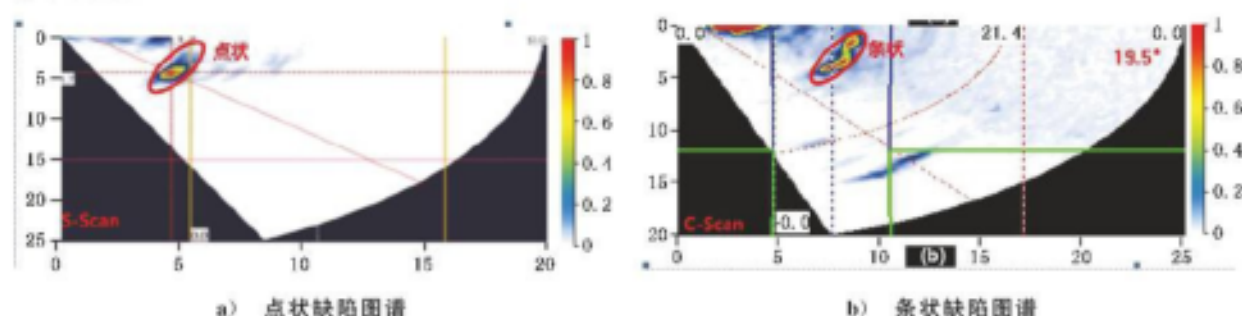


图 F.3 含孔洞的超声图谱

F.4 未熔合

未熔合属于面积型缺陷,出现在熔合面上。通常在内外表面显示的信号之间产生贯穿型的显示,见图 F.4。未熔合缺陷较严重,检测时典型的未熔合宜检出。

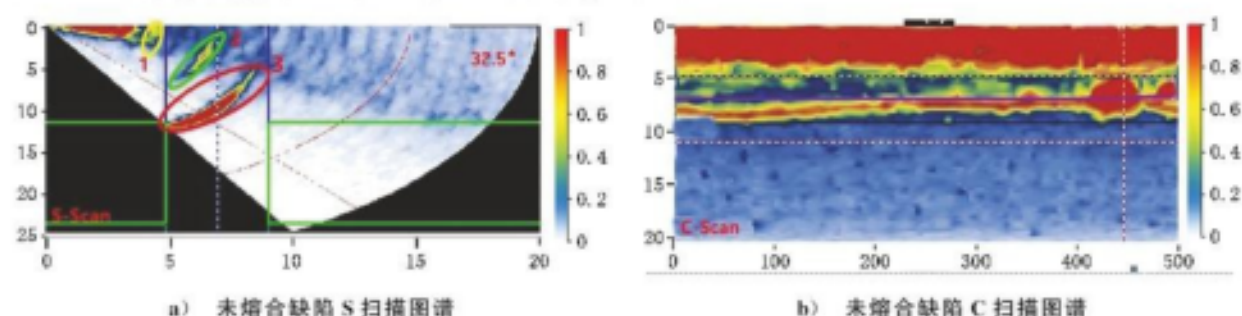


图 F.4 未熔合超声图谱

F.5 边界信号和干扰信号

热熔接头相控阵检测在热熔接头内、外表面会形成边界信号,见图 F.5;由于相控阵探头本身的原因,也会在图像中产生一些干扰信号。这些信号显示在移动探头时,不会随着探头的移动,显示位置发生改变,而缺陷信号显示会发生变化。边界信号和干扰信号等这些信号不宜被包括在判定信号里。

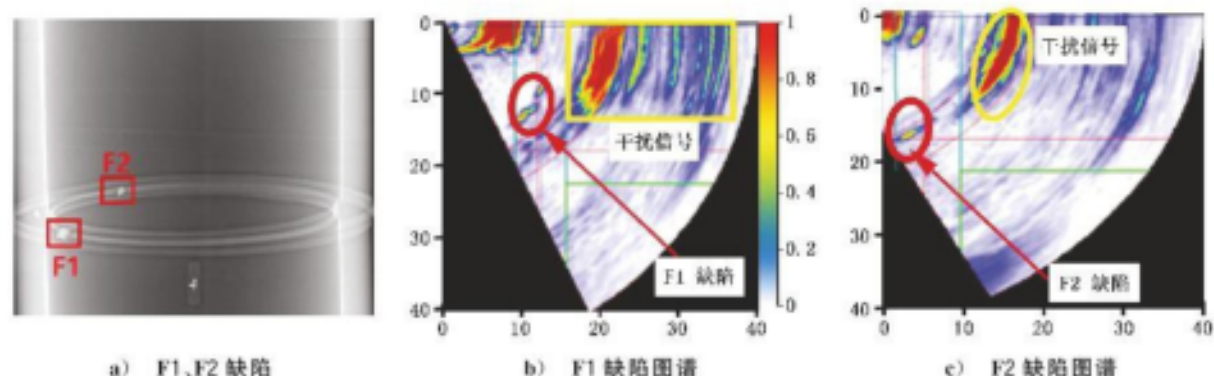


图 F.5 焊接中的边界信号和干扰信号

附 录 G

(资料性)

剩余寿命预测方法

G.1 寿命预测方法原理

聚乙烯燃气管道在服役期间,引起性能变化的主要因素包括温度、机械应力、燃气介质和土壤环境等。在一定温度范围内,烘箱加速老化与埋地条件下的老化机理相同,参照塑料和橡胶等高分子材料应用阿伦尼乌斯(Arrhenius)公式推算寿命和最高使用温度。利用承压高温烘箱加速老化试验数据,可计算环境温度下聚乙烯燃气管道的寿命。

G.2 寿命预测试验

G.2.1 试验仪器

试验仪器包括高温烘箱、拉伸试验机、氧化诱导期试验仪。

G.2.2 试验条件

G.2.2.1 老化试验温度不少于三个,相邻温度间隔不低于 10℃。为避免高温下老化曲线出现非线性偏离,Arrhenius 外推法限制老化温度低于燃气聚乙烯管材熔点 20℃。

G.2.2.2 老化试验时间因温度不同而异,对于较高温度的老化试验,性能变化达到临界值后才可结束;对于最低温度的老化试验,试验结束时,性能变化不宜小于 80%。

G.2.2.3 老化试验中聚乙烯管道内压等于实际服役工况下的燃气输送压力。

G.2.3 试验步骤

G.2.3.1 将不少于三段待老化聚乙烯管道内充入不超过 0.4 MPa 压力气体,分别用封堵头密封,长度不小于 40 cm。参照 GB/T 3512,在烘箱中进行加速老化试验。

G.2.3.2 聚乙烯管材拉伸试验参照 GB/T 8804.2 进行。

G.2.3.3 聚乙烯管材氧化诱导时间检测试验参照 GB/T 19466.6 进行。

G.2.3.4 所有试验宜采用待测埋地聚乙烯燃气管道的同厂家同型号管材。

G.3 结果处理

G.3.1 使用寿命预测模型

聚乙烯燃气管道老化性能变化指标 P 与老化时间 t 的关系可用经验公式(G.1)描述:

$$P = Ae^{-Kt} \quad \dots\dots\dots (G.1)$$

式中:

P ——老化性能变化指标。对于拉伸性能试验为任意老化时间的断裂伸长率 L_t 与老化前断裂伸长率 L_0 的比值。对于诱导期试验为任意老化时间的氧化诱导期 S_t 与老化前氧化诱导期 S_0 的比值。

A ——试验常数。

K ——老化速率常数,单位为每天(d^{-1})。

t ——老化时间,单位为天(d)。

G.3.2 老化速率

老化速率常数 K 与老化温度 T 之间关系服从阿伦尼乌斯(Arrhenius)公式,见公式(G.2):

$$\ln K = \ln B - \frac{E}{RT} \quad \text{.....(G.2)}$$

式中:

K ——老化速率常数,单位为每天(d^{-1});

B ——频率因子,单位为每天(d^{-1});

E ——表观活化能,单位为焦耳每摩尔(J/mol);

R ——气体常数,取值为 8.314,单位为焦耳每摩尔开尔文($\text{J/mol} \cdot \text{K}$);

T ——老化温度,单位为开尔文(K)。

G.3.3 统计分析

由热老化试验结果,对每个老化试验温度可获得一组(n 个)老化时间 t 与性能变化指标 P 的数据,可计算 m 个老化试验温度下的老化速率 K ,老化速率 K 按公式(G.1)计算。

$$\begin{cases} t_1, t_2, \dots, t_i \\ P_1, P_2, \dots, P_i \end{cases} \quad i=1, 2, \dots, n$$

公式(G.1)经自然对数变换后可用公式(G.3)表示。

$$Y = a + bX \quad \text{.....(G.3)}$$

式中: $Y = \ln P$, $a = \ln A$, $b = -K$, $X = t$ 。用最小二乘法求得系数 a , b 和相关系数 r_1 ,见公式(G.4)~公式(G.6)。

$$b = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} \quad \text{.....(G.4)}$$

$$a = \frac{\sum Y}{n} - b \cdot \frac{\sum X}{n} \quad \text{.....(G.5)}$$

$$r_1 = \frac{\sum YX - \frac{\sum Y \cdot \sum X}{n}}{\sqrt{\left[\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right] \left[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right]}} \quad \text{.....(G.6)}$$

由此可求得公式(G.1)中参数值,见公式(G.7)。

$$K = -b \quad A = e^a \quad \text{.....(G.7)}$$

则参数 A 的估计值见公式(G.8)。

$$\hat{A} = \frac{\sum A_i}{m} \quad \text{.....(G.8)}$$

进行相关系数检查,参考表 G.1 中显著性水平为 0.01(即置信度 99%),自由度 $f=n-2$ 的表值,如果 $|r_1|$ 计算值大于表值,则 X 与 Y 相关显著,否则方程不成立,查找原因,重新试验或补做试验。

表 G.1 相关系数检查表

自由度 f	0.01 显著性水平
1	1.000
2	0.990

表 G.1 相关系数检查表 (续)

自由度 f	0.01 显著性水平
3	0.959
4	0.917
5	0.874

由老化速率计算结果,可得老化速率 K 与温度 T 的关系,

$$\begin{cases} T_1, T_2, \dots, T_j \\ K_1, K_2, \dots, K_j \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

公式(G.2)经对数变换后可用公式(G.9)表示,

$$W = C + DZ \quad \dots\dots\dots (G.9)$$

式中: $W = \ln K$, $C = \ln B$, $D = -E/R$, $Z = 1/T$ 。按照公式(G.10)~公式(G.12)用最小二乘法求得系数 C 、 D 和相关系数 r_2 。

$$D = \frac{\sum WZ - \frac{\sum Z \cdot \sum W}{m}}{\sum Z^2 - \frac{(\sum Z)^2}{m}} \quad \dots\dots\dots (G.10)$$

$$C = \frac{\sum W}{m} - D \cdot \frac{\sum Z}{m} \quad \dots\dots\dots (G.11)$$

$$r_2 = \frac{\sum WZ - \frac{\sum W \cdot \sum Z}{m}}{\sqrt{\left[\sum W^2 - \frac{(\sum W)^2}{m} \right] \left[\sum Z^2 - \frac{(\sum Z)^2}{m} \right]}} \quad \dots\dots\dots (G.12)$$

进行相关系数检查,根据表 G.1 中显著性水平为 0.05,自由度 $f = m - 2$ 的表值,如果 $|r_2|$ 计算值大于表值,则 W 与 Z 相关显著,否则方程不成立,查找原因,重新试验或补做试验。

G.3.4 使用寿命计算

将公式(G.10)和公式(G.11)代入公式(G.2),按照公式(G.13)求得埋地聚乙烯燃气管道温度 T 下的老化速率为:

$$\ln K = C + D/T \quad \dots\dots\dots (G.13)$$

现场可以割管的条件下,宜参照 GB/T 8804.2 获得埋地燃气聚乙烯管道的拉伸试样,测得当前燃气聚乙烯管道的断裂伸长率 L_c ,得到老化性能变化指标 $P_c = L_c/L_0$ 。参照 GB/T 15558(所有部分)取燃气聚乙烯管道的断裂伸长率下限 350%,得到接近寿命时的老化性能变化指标 $P_s = 3.5/L_0$ 。

现场无割管的条件下,根据 GB/T 19466.6 在埋地燃气聚乙烯管道外壁取约 15 mg 的聚乙烯试样进行热分析试验,测得当前燃气聚乙烯管道的氧化诱导时间 S_c ,得到老化性能变化指标 $P_c = S_c/S_0$ 。参照 GB/T 15558(所有部分)取燃气聚乙烯管道的氧化诱导时间下限 20 min,得到接近寿命时的老化性能变化指标 $P_s = 20/S_0$ 。

代入公式(G.1)得到埋地聚乙烯燃气管道的使用寿命 t_s 和预计寿命 t_e 的计算式分别为公式(G.14)和公式(G.15):

$$t_s = \frac{\ln\left(\frac{A}{P_c}\right)}{K} \quad \dots\dots\dots (G.14)$$

$$t_e = \frac{\ln\left(\frac{A}{P_e}\right)}{K} \dots\dots\dots (G.15)$$

式中：寿命 t 的单位均为天(d)，除以 365 可换算得到年(a)。

相应该燃气聚乙烯管道的剩余寿命 t_r ，计算式见公式(G.16)：

$$t_r = t_e - t_s \dots\dots\dots (G.16)$$

G.4 算例

以某燃气用 PE80 级别管材为例说明，管径为 DN40×4，在内压 0.4 MPa 和老化温度 353 K、363 K、373 K 和 383 K 下进行不同老化时间的老化试验。试件拉伸性能变化测试结果见表 G.2。

表 G.2 聚乙烯管材试验数据

老化时间(t) h	老化性能变化指标 P			
	353 K	363 K	373 K	383 K
72	0.964 906 189	0.964 885 586	0.964 871 851	0.964 858 116
156	0.923 963 411	0.923 918 771	0.923 889 011	0.923 859 251
356	0.826 480 604	0.826 378 733	0.826 310 819	0.826 242 906
456	0.777 739 200	0.777 608 714	0.777 521 724	0.777 434 733
504	0.754 343 326	0.754 199 105	0.754 102 958	0.754 006 810

根据公式(G.3)～公式(G.5)，采用最小二乘法计算线性方程 a 、 b 、相关系数 r_1 和老化速率常数 K 的系数，见表 G.3。因为有 5 个不同的老化时间，自由度为 3，查表 G.1 可得到 0.01 显著性水平为 0.959，上述 r_1 值均大于该值，表示方程均线性相关。

表 G.3 不同老化温度下聚乙烯管材线性方程常数值

T/K	$1/T$	a	b	$A=e^a$	$\ln K$	r_1
353	0.002 833	-0.167 831 635	3.241 18E-07	0.845 496 175	-14.942 157 34	0.999 605 929
363	0.002 755	-0.167 942 159	3.245 65E-07	0.845 402 732	-14.940 779 96	0.999 605 381
373	0.002 681	-0.168 015 850	3.248 63E-07	0.845 340 436	-14.939 862 07	0.999 605 015
383	0.002 611	-0.168 089 55	3.251 61E-07	0.845 278 137	-14.938 944 48	0.999 604 649

将表 G.2 中的数据 A 代入公式(G.8)，按照公式(G.17)计算 A 的估计值：

$$\hat{A} = \frac{\sum_{i=1}^m A_i}{m} = 0.845\ 379\ 37 \dots\dots\dots (G.17)$$

根据线性拟合提供的计算值，可求得公式 $W=C+DZ$ 中的系数 C 、 D 和相关系数 r_2 ，见表 G.4。由于 4 个不同老化温度，自由度为 2，查表 G.1 可得到 0.01 显著性水平为 0.990， $|r_2|$ 值大于该值，表示方程线性相关。将 $\ln K$ 和 $1/T$ 进行作图，见图 G.1。

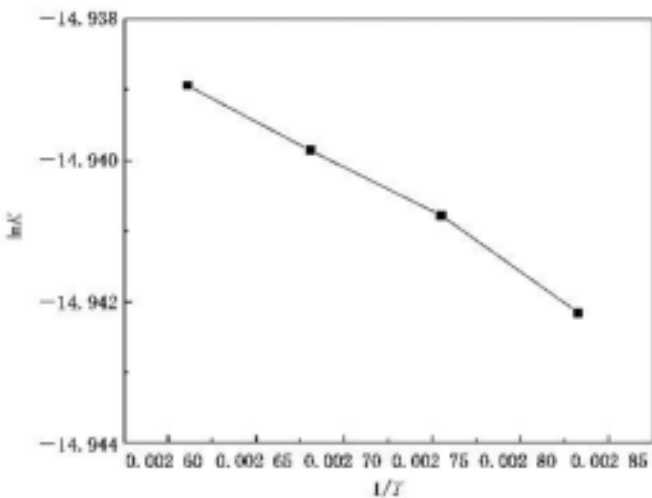


图 G.1 聚乙烯管材老化速度常数与温度 1/T 的关系

表 G.4 聚乙烯管材拉伸性能变化数学模型主要参数

C	D	m	r ₂
-15,500 609 93	205,953 630 1	4	0,996 438 568

查文献可知,该地区土壤恒温层温度为 286 K,代入公式(G.13)求得,见公式(G.18):

$$\ln K = C + \frac{D}{T} = -15,500\ 609\ 93 + 205,953\ 630\ 1/286 = -14,780\ 492\ 34 \dots\dots (G.18)$$

通过工程现场开挖割管,获得燃气聚乙烯管道服役一定年限后的拉伸试样,得到实际拉伸性能变化率 $P_e=0,843\ 438\ 34$ 和 $P_e=0,839\ 185\ 62$ 。因此该埋地聚乙烯燃气管道的使用寿命 t_s 和预计寿命 t_e 分别代入公式(G.14)和公式(G.15),计算如下:

$$t_s = \frac{\ln\left(\frac{A}{P_e}\right)}{K} = \frac{\ln\left(\frac{0,845\ 379\ 37}{0,8}\right)}{e^{-14,780\ 492\ 34}} \approx 6\ 033,45\ d = 16,53\ a$$

$$t_e = \frac{\ln\left(\frac{A}{P_e}\right)}{K} = \frac{\ln\left(\frac{0,845\ 379\ 37}{0,839\ 185\ 62}\right)}{e^{-14,780\ 492\ 34}} \approx 19\ 301,2\ d = 52,88\ a$$

代入公式(G.16)可计算出该埋地燃气聚乙烯管道的剩余寿命为:

$$t_r = 52,88\ a - 16,53\ a = 36,35\ a$$

该燃气聚乙烯管道的剩余寿命为 36.35 a,因此该燃气聚乙烯管道可安全运行。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验
 - [2] GB/T 8804.2 热塑性塑料管材 拉伸性能测定 第2部分:硬聚氯乙烯(PVC-U)、氯化聚氯乙烯(PVC-C)和高抗冲聚氯乙烯(PVC-HI)管材
 - [3] GB/T 19466.6 塑料 差示扫描量热法(DSC) 第6部分:氧化诱导时间(等温 OIT)和氧化诱导温度(动态 OIT)的测定
 - [4] GB/T 23901.2 无损检测 射线照相检测图像质量 第2部分:阶梯孔型像质计像质值的测定
 - [5] GB/T 26837 无损检测仪器 固定式和移动式工业 X 射线探伤机
 - [6] GB/T 29302 无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验
 - [7] GBZ 117 工业探伤放射防护标准
 - [8] NB/T 47013.1 承压设备无损检测 第1部分:通用要求
 - [9] NB/T 47013.11 承压设备无损检测 第11部分:X 射线数字成像检测
 - [10] NB/T 47013.15 承压设备无损检测 第15部分:相控阵超声检测
-