

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB/T 51450—2022

金属非金属矿山充填工程技术标准

Technology standard for backfill engineering in
metallic and non-metallic mines

2022-09-08 发布

2022-12-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 联合发布
国家市场监督管理总局

中华人民共和国国家标准

金属非金属矿山充填工程技术标准

Technology standard for backfill engineering in
metallic and non-metallic mines

GB/T 51450—2022

主编部门：国家建筑材料工业标准定额总站

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 2 2 年 1 2 月 1 日

中国计划出版社

2022 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

2022 年 第 137 号

住房和城乡建设部关于发布国家标准 《金属非金属矿山充填工程技术标准》的公告

现批准《金属非金属矿山充填工程技术标准》为国家标准,编号为 GB/T 51450-2022,自 2022 年 12 月 1 日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开,并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国计划出版社有限公司出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2022 年 9 月 8 日

前 言

本标准是根据住房和城乡建设部《关于印发 2017 年工程建设标准规范制修订及相关工作计划的通知》(建标〔2016〕248 号)的要求,由矿冶科技集团有限公司、建筑材料工业技术情报研究所会同有关单位共同编制完成的。

本标准在编制过程中,编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本标准。

本标准主要技术内容:总则、术语、充填材料、充填系统设计、充填作业、质量检测等。

本标准由住房和城乡建设部负责管理。

本 标 准 起 草 单 位:矿冶科技集团有限公司(地址:北京市大兴区北兴路东段 22 号,邮政编码:102628)

建筑材料工业技术情报研究所
中国恩菲工程技术有限公司
长沙有色冶金设计研究院有限公司
长沙矿山研究院有限责任公司
招金矿业股份有限公司
金建工程设计有限公司
山东黄金矿业科技有限公司
大冶有色金属集团控股有限公司
西部矿业股份有限公司
南京银茂铅锌矿业有限公司
飞翼股份有限公司
深圳市中金岭南有色金属股份有限公司

安徽马钢张庄矿业有限责任公司
 中铁十九局集团矿业投资有限公司
 北京安科兴业科技股份有限公司
 北科蕴宏环保科技(北京)有限公司
 中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司
 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司
 南京坤元材料有限公司
 江西瑞钛管道有限公司
 安徽先进建筑材料研究院有限公司

本标准主要起草人员:杨小聪 郭利杰 周爱民 施士虎
 郭 群 刘福春 魏晓明 许文远
 李文臣 陈 晶 史采星 朱立德
 董 鑫 王春光 呼艳芬 齐兆军
 刘友章 陈少君 王海丰 高鹏举
 王志远 张鹏飞 田志刚 杜向红
 陈五九 王挥云 李长城 季毛伟
 张 宁 顾铎铃 李乾龙 方长辉
 周锡林 王明远 田立斌

本标准主要审查人员:蔡美峰 蔡嗣经 杨焕文 周永祥
 龙 涛 刘文永 侯运炳 许新启
 李 政

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	充填材料	(5)
3.1	一般规定	(5)
3.2	充填材料取样	(5)
3.3	实验室充填材料制备	(6)
3.4	集料物理化学试验	(6)
3.5	胶凝材料试验	(6)
3.6	尾砂沉降试验	(6)
3.7	充填料浆性能试验	(7)
3.8	充填体强度试验	(7)
4	充填系统设计	(11)
4.1	充填方式	(11)
4.2	充填能力计算	(11)
4.3	充填制备站站址	(12)
4.4	充填集料制备	(12)
4.5	胶凝材料储存与给料	(13)
4.6	充填材料混合	(13)
4.7	充填料输送	(14)
4.8	充填系统监测与控制	(15)
4.9	充填系统安全设施	(16)
5	充填作业	(17)
5.1	采空区封闭	(17)
5.2	充填料脱水	(17)

5.3 充填接顶	(17)
5.4 充填管理	(18)
6 质量检测	(19)
6.1 充填材料检测	(19)
6.2 充填料浆检测	(19)
6.3 充填体检测	(20)
附录 A 尾砂沉降试验	(22)
附录 B 充填料浆扩展度试验	(25)
附录 C 充填沉缩比试验	(26)
附录 D 充填材料消耗量计算	(27)
本标准用词说明	(29)
引用标准名录	(30)
附：条文说明	(31)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Backfill material	(5)
3.1	General requirements	(5)
3.2	Sampling of backfill material	(5)
3.3	Preparation of laboratory backfill material	(6)
3.4	Aggregate physical and chemical properties tests	(6)
3.5	Binder test	(6)
3.6	Tailings settling test	(6)
3.7	Backfill slurry performance test	(7)
3.8	Backfill strength test	(7)
4	Backfill system design	(11)
4.1	Backfill types	(11)
4.2	Backfill capacity calculation	(11)
4.3	Backfill plant location	(12)
4.4	Backfill aggregate preparation	(12)
4.5	Binder storage and supply	(13)
4.6	Backfill material mixing	(13)
4.7	Backfill slurry transportation	(14)
4.8	Backfill system monitor and control	(15)
4.9	Safety facilities of backfill system	(16)
5	Operations of stope backfilling	(17)
5.1	Stope barricade	(17)
5.2	Backfill slurry dewatering	(17)

5.3	Roof contacting of backfill	(17)
5.4	Backfill management	(18)
6	Quality inspection	(19)
6.1	Backfill material inspection	(19)
6.2	Backfill slurry inspection	(19)
6.3	Backfill inspection	(20)
Appendix A	Tailings settling test	(22)
Appendix B	Backfill slurry spread test	(25)
Appendix C	Backfill slurry settling ratio test	(26)
Appendix D	Consumption calculation of backfill material	(27)
	Explanation of wording in this standard	(29)
	List of quoted standards	(30)
	Addition;Explanation of provisions	(31)

1 总 则

1.0.1 为规范矿山充填的工程设计、生产作业和质量检测,提高我国矿山充填技术水平,促进充填采矿法的推广应用,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于金属非金属地下矿山充填的工程设计、生产作业和质量检测。

1.0.3 金属非金属矿山充填除应符合本标准规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 矿山充填 mine backfill

采用砂、石以及其他材料,对地下采空区充填的作业过程。

2.0.2 充填材料 backfill material

包括充填集料、胶凝材料、水,以及改善充填料浆性能的外加剂。

2.0.3 充填集料 backfill aggregate

充填体中起填充和骨架作用的惰性材料。

2.0.4 尾砂 tailings

选矿厂在当前经济技术条件下,将矿石磨细,选取有用成分后排放的固体废弃物。

2.0.5 全尾砂 unclassified tailings

未经分级的全粒级尾砂。

2.0.6 分级尾砂 classified tailings

尾砂分级后用于矿山充填的粗粒沉砂。

2.0.7 粒级组成 particle size distribution

构成物料的各级别颗粒含量占总物料的比例,通常以百分数来表示。

2.0.8 胶凝材料 binder

在物理、化学作用下,能从浆体变成坚固的石状体,并能胶结其他物料,形成有一定机械强度复合固体的物质。

2.0.9 充填料浆 backfill slurry

充填集料、胶凝材料等与水混合形成的浆状物。

2.0.10 充填配比 recipe of backfill slurry

充填料浆中充填材料间的质量比例关系。

- 2.0.11 充填浓度** solid content of backfill slurry
充填集料与胶凝材料的干质量占充填料浆总质量的百分比。
- 2.0.12 充填沉缩比** settling ratio of backfill slurry
充填料浆体积与终凝或固结后充填体体积之比。
- 2.0.13 充填体** backfill
充填料经过脱水、固结、硬化等过程形成的固体物或散体物。
- 2.0.14 采场充填体** stope backfill
充填料充入采场等地下空区形成的充填体。
- 2.0.15 充填体试件** backfill specimen
用于试验或质量检测等目的,通过浇注成型或钻凿取芯获取的充填体样品。
- 2.0.16 充填体强度** backfill strength
充填体抵抗外力时保持自身不被破坏的极限应力。
- 2.0.17 充填系统** backfill system
用于采集、加工、贮存充填材料,制备成充填料浆,输送至采空区的设备、设施、构筑物的总称。
- 2.0.18 胶结充填** cemented backfill
充填材料中含胶凝材料,能使充填料浆硬化并具有一定强度的矿山充填方式。
- 2.0.19 非胶结充填** uncemented backfill
充填材料中不含胶凝材料,充填集料能固结或堆积的矿山充填方式。
- 2.0.20 水力充填** hydraulic backfill
以水作为输送载体,将充填材料以两相流体状态,通过管道输送至采空区的充填方式。
- 2.0.21 膏体充填** paste backfill
将充填材料以结构流体状态,通过管道输送至采空区,在采空区内无须设置脱水设施的充填方式。

2.0.22 废石充填 rock backfill

将矿山掘进废石或破碎废石作为充填材料充入采空区的充填方式。

3 充填材料

3.1 一般规定

- 3.1.1 充填材料应符合我国环保和安全相关要求,不应对人体、环境及充填体性能产生有害影响。
- 3.1.2 充填集料的选择应符合下列规定:
 - 1 充填集料应符合现行国家标准《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599 的有关规定;
 - 2 充填集料宜采用尾砂、废石等矿山固体废弃物或一般工业固体废物;
 - 3 含硫量超过 8% 的集料不宜用于胶结充填。
- 3.1.3 胶凝材料应采用水泥或具有胶凝作用的其他材料。
- 3.1.4 充填用水的水质要求应符合下列规定:
 - 1 pH 不得小于 5;
 - 2 SO_4^{2-} 含量不得超过 2700mg/L。
- 3.1.5 充填系统建设方案初步设计前,应完成充填材料试验。
- 3.1.6 充填材料变更或性质发生变化时,应重新开展相应的充填材料试验。

3.2 充填材料取样

- 3.2.1 充填材料样品应具有代表性。
- 3.2.2 采用尾砂充填且尚未建成选厂的矿山宜选取连选试验产生的尾砂。
- 3.2.3 散状集料宜采用棋盘式取样。
- 3.2.4 充填材料取样数量宜大于试验所需量的 1.5 倍。
- 3.2.5 胶凝材料实验室储存过程中应防潮,并应在保质期内使用。

3.3 实验室充填材料制备

3.3.1 尾砂浆宜自然晾至气干状态,宜采用环锥法、移锥法或滚移法混合均匀,并宜根据试验方案分批封装。

3.3.2 试验前应测定充填集料含水率,并应基于充填集料含水率计算充填材料配比。

3.3.3 实验室拌制充填材料时,材料用量应以质量计。集料称量的允许偏差为 $\pm 0.5\%$;胶凝材料、水、外加剂称量的允许偏差为 $\pm 0.2\%$ 。

3.3.4 实验室充填料浆宜采用机械搅拌,搅拌时间不宜少于180s。

3.4 集料物理化学试验

3.4.1 集料物理性质测试参数应包括密度、粒径、孔隙率、渗透系数,测试方法应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123的有关规定执行。

3.4.2 集料应检测化学成分及其含量。

3.4.3 集料粒级组成测试应符合下列规定:

1 粒径大于 $74\mu\text{m}$ 的集料宜采用筛分测试法;

2 粒径小于或等于 $74\mu\text{m}$ 的集料宜采用激光粒度分析测试法、湿筛法、水析法。

3.5 胶凝材料试验

3.5.1 胶凝材料标准稠度用水量、凝结时间、安定性试验应按现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346的有关规定执行。

3.5.2 水泥强度试验应按现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》GB/T 17671的有关规定执行。

3.6 尾砂沉降试验

3.6.1 采用重力沉降浓缩方式制备尾砂浆的充填工艺应开展尾

砂沉降试验。

3.6.2 分级尾砂充填应开展静态自然沉降试验,并应记录不同进料浓度下的沉降速度、固体通量和最大底流浓度。

3.6.3 全尾砂充填应开展静态自然沉降试验、静态絮凝沉降试验。深锥浓密机浓缩宜补充开展动态絮凝沉降试验,并应记录不同进料浓度、不同絮凝剂及同种絮凝剂不同添加量条件下的沉降速度、固体通量、最大底流浓度和溢流水悬浮物浓度。

3.6.4 尾砂沉降试验应按本标准附录 A 执行。

3.7 充填料浆性能试验

3.7.1 充填料浆性能试验宜采用泌水试验、凝结时间试验、坍落度试验、扩展度试验、充填沉缩比试验、流变试验、管道输送试验。

3.7.2 充填料浆泌水试验和凝结时间试验应按现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的有关规定执行。

3.7.3 膏体料浆或含有废石、碎石等粗集料的水力充填料浆,宜开展充填料浆坍落度试验评价料浆流动性能,坍落度试验应按现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的有关规定执行。

3.7.4 尾砂等细集料的水力充填料浆,宜开展充填料浆扩展度试验评价料浆流动性能,扩展度试验应按本标准附录 B 执行。

3.7.5 充填沉缩比试验应按本标准附录 C 执行。

3.7.6 充填料浆屈服应力和黏度系数等流变参数宜通过旋转流变仪和毛细管黏度计测定。

3.7.7 充填料浆管道沿程阻力损失和局部阻力损失等管道输送参数宜通过管道输送试验测定。

3.8 充填体强度试验

3.8.1 胶结充填体强度宜通过单轴抗压强度试验测定。

3.8.2 测定胶结充填体单轴抗压强度的试模形状和尺寸应符合下列规定：

- 1 宜采用 $\phi 75\text{mm} \times 150\text{mm}$ 圆柱体试模；
- 2 当充填集料含有废石、碎石等粗集料时，圆柱体试模直径应大于粗集料最大粒径的 4 倍，试模高度应为试模直径的 2 倍。

3.8.3 试验仪器设备应符合下列规定：

1 试模应由刚性材料制成的圆筒和底板构成。试模不应有漏水现象。试模直径的误差应小于 $1/200D$ 。试模底板的平面度公差不应超过 0.02mm 。试模圆柱体纵轴与底板夹角应为 90° ，允许公差为 0.5° 。

2 压力试验机测量的允许偏差为 $\pm 1\%$ ，试件破坏荷载宜小于全量程的 80% 。

3 游标卡尺的量程不应小于 200mm ，分度值宜为 0.02mm 。

3.8.4 试件制作应符合下列规定：

1 制作试件前，试模内表面应涂薄层矿物油或不与充填材料发生反应的脱模剂；

2 充填料浆制备应符合本标准第 3.3 节的规定；

3 浇注试模时，不得使充填料浆溢出；

4 浇注完毕后，应立即对试模口进行覆盖，并应将试模放入标准养护室或养护箱；

5 每组试件不应少于 3 个。

3.8.5 试件养护应符合下列规定：

1 试件应带模养护，养护温度宜为 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度宜大于 90% ，或采用充填采空区的温度和湿度进行养护；

2 试件养护龄期应根据采矿方法对充填体的作用要求而确定，可选择 3d、7d、28d、60d、90d 等。

3.8.6 单轴抗压强度试验应按下列步骤进行：

1 试件到达养护龄期后，取出拆模，检查试件尺寸及形状，试件上端面应研磨整平；

2 试件高度不应低于直径的 1.8 倍；试件高度宜采用游标卡尺测量，测量结果应精确至 0.1mm；试件直径应采用游标卡尺分别在试件上部、中部和下部相互垂直的两个位置上共测量 6 次，取测量的算术平均值作为测量结果，测量结果应精确至 0.1mm；

3 将试件置于试验机上下承压板之间，试件纵轴应与加压板中心对准；

4 开启试验机，试件表面与上下承压板或钢垫板应均匀接触；试验机的加压板与试件端面之间应紧密接触，不得夹入异物；

5 应选择合适的速率连续加载，开始加载至试件破坏时间不应小于 2min，然后记录破坏荷载 F 。

3.8.7 单轴抗压强度试验结果应按下列公式计算：

1 试件直径应按下式计算：

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3.8.7-1)$$

式中： d ——试件计算直径(mm)；

d_1 、 d_2 ——试件两个垂直方向的直径(mm)。

2 试件抗压强度应按下式计算：

$$f = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (3.8.7-2)$$

式中： f ——试件抗压强度(MPa)；

F ——试件破坏荷载(N)；

d ——试件计算直径(mm)。

3.8.8 单轴抗压强度试验结果确定应符合下列规定：

1 以 3 个试件测试结果的算术平均值作为圆柱体试件抗压强度值，抗压强度值应精确至 0.01MPa；

2 当最大值或最小值与中间值的差值超过中间值的 15%

时,应以中间值作为抗压强度测试值;

3 当最大值和最小值与中间值的差值均超过中间值 15%时,应判定此组试验结果无效。

4 充填系统设计

4.1 充填方式

4.1.1 充填方式宜采用水力充填、膏体充填和废石充填。

4.1.2 充填方式应根据充填材料来源及性质、采矿方法要求、经济效益等要素综合确定。

4.2 充填能力计算

4.2.1 充填系统工作制度设计应符合下列规定：

1 年工作天数宜与采矿作业天数相同；

2 小型矿山宜为每天 1 班，大中型矿山宜为每天 2 班～3 班，每班有效工作时间宜为 5h～6h。

4.2.2 充填能力应按下列公式计算：

1 年平均充填实体量应按下式计算：

$$Q_a = Z \frac{P_a}{\gamma_k} \quad (4.2.2-1)$$

式中： Q_a ——年平均充填实体量(m^3/a)；

P_a ——充填法年矿石产量(t/a)；

γ_k ——矿石密度(t/m^3)；

Z ——采充比(m^3/m^3)，宜取 0.8～1.0。

2 日平均充填实体量应按下式计算：

$$Q_d = \frac{Q_a}{T} \quad (4.2.2-2)$$

式中： Q_d ——日平均充填实体量(m^3/d)；

T ——年工作天数(d)。

3 日平均充填料浆量应按下式计算：

$$Q_s = K_1 K_2 Q_c \quad (4.2.2-3)$$

式中： Q_s ——日平均充填料浆量(m^3/d)；

K_1 ——充填沉缩比，宜取 1.05~1.20；

K_2 ——流失系数，宜取 1.02~1.05。

4 日充填料浆制备能力应按下式计算：

$$Q_d = K_3 Q_s \quad (4.2.2-4)$$

式中： Q_d ——日充填料浆制备能力(m^3/d)；

K_3 ——充填作业不均衡系数，宜取 1.2~1.5。

5 小时充填料浆制备能力应按下式计算：

$$q_h = \frac{Q_d}{t} \quad (4.2.2-5)$$

式中： q_h ——小时充填料浆制备能力(m^3/h)；

t ——日有效充填时间(h)。

4.2.3 充填材料消耗量宜按本标准附录 D 计算。

4.3 充填制备站站址

4.3.1 充填制备站站址选择应符合下列规定：

- 1 宜位于开采移动带之外；
- 2 宜利用地形地势条件；
- 3 宜采用集中布置，当矿体走向长度大或多矿体分散时，可采用分散布置。

4.3.2 充填制备站站址应开展工程地质勘察。

4.4 充填集料制备

4.4.1 制备尾砂集料应符合下列规定：

- 1 采用全尾砂或分级溢流尾砂充填时，宜选择膏体充填方式；
- 2 采用分级尾砂作为充填集料的水力充填方式时，尾砂渗透系数宜大于 8cm/h。

4.4.2 尾砂浓缩应采用重力沉降浓缩或过滤浓缩方式。沉降浓缩装置宜采用砂仓、深锥浓密机等,过滤浓缩装置宜采用真空过滤机、压滤机等。

4.4.3 砂仓浓缩应符合下列规定:

- 1 立式砂仓或卧式砂仓不宜少于 2 个;
- 2 砂仓宜在顶部中心设置进料井,底部宜设置造浆装置;
- 3 砂仓放砂管路宜安装备用阀门;
- 4 立式砂仓顶部应设置溢流槽。

4.4.4 深锥浓密机浓缩应符合下列规定:

- 1 尾砂粒级组成中小于 $38\mu\text{m}$ 的尾砂含量不宜小于 40%;
- 2 深锥浓密机设备选型应根据尾砂沉降试验确定。

4.4.5 制备废石集料应符合下列规定:

- 1 膏体充填的废石粗集料粒度不宜大于 20mm;
- 2 废石胶结充填应采用水泥浆直浇自淋混合方式,当废石集料粒径小于 5mm 时,含量不宜大于 20%;
- 3 当地表废石集料通过重力或机械方式运输至井下进行废石充填时,废石块度不宜大于 150mm;
- 4 当井下掘进废石不出坑直接用于废石非胶结充填时,宜采用自然级配。

4.5 胶凝材料储存与给料

4.5.1 胶凝材料宜采用仓式储存,料仓顶部应安装除尘装置。

4.5.2 料仓设计宜按现行国家标准《有色金属采矿设计规范》GB 50771 的有关规定执行。

4.5.3 料仓应设有避免仓内蓬料的设施。

4.5.4 给料装置应具有计量与输送功能。

4.6 充填材料混合

4.6.1 水力充填料浆和膏体充填料浆混合搅拌应符合下列规定:

1 水力充填料浆宜采用一段搅拌,膏体充填料浆宜采用卧式—卧式或卧式—立式两段搅拌;

2 不含粗集料的膏体充填料浆二段搅拌宜选择高速活化搅拌机;

3 充填料浆搅拌装置的有效容积应满足 2min~3min 输送流量;

4 立式搅拌装置的搅拌液位宜控制在搅拌桶高度的 2/3~3/4 处,卧式搅拌装置的搅拌液位不宜低于传动轴轴心位置。

4.6.2 废石充填料混合应符合下列规定:

1 采用水泥浆浇淋废石进行废石胶结充填时,宜采用水泥浆直浇自淋混合或水泥浆溜槽自淋混合;

2 采用尾砂胶结充填料浆与废石混合充填时,废石占集料比例不宜大于 60%,废石与尾砂胶结充填料浆宜在采场内同步下料混合。

4.7 充填料输送

4.7.1 充填料浆管道输送方式应符合下列规定:

1 充填料浆垂直管道的重力势能应按下列式计算:

$$W_p = \rho g H \quad (4.7.1-1)$$

式中: W_p ——垂直管道的重力势能(Pa);

ρ ——充填料浆密度(kg/m³);

g ——重力加速度(m/s²);

H ——垂直管道高度(m)。

2 管道输送系统阻力损失应按下列式计算:

$$h_p = \xi_p L \quad (4.7.1-2)$$

式中: h_p ——系统阻力损失(kPa);

ξ ——局部阻力系数,宜取 1.05~1.15;

i_p ——单位长度管道的沿程阻力损失(kPa/m);

L ——管道总长度(m)。

3 水力充填料浆系统重力势能大于系统阻力损失 1.2 倍时,宜采用自流输送;膏体充填料浆宜采用泵压输送。

4 膏体充填料浆管道输送流速宜控制在 $1\text{m/s}\sim 2\text{m/s}$;水力充填料浆工作流速应大于临界流速。

4.7.2 充填钻孔设计宜按现行国家标准《有色金属采矿设计规范》GB 50771 的有关规定执行。

4.7.3 充填管道选型应符合下列规定:

1 主充填管竖直段和孔底弯管宜采用双金属复合管或耐磨性能不低于双金属复合管的其他管材;

2 主充填管水平段宜采用耐磨无缝钢管、共挤耐磨层增强塑料复合管等耐磨管材;

3 临近采空区的充填管宜采用钢编复合管、聚乙烯塑料管等。

4.7.4 管道敷设应符合下列规定:

1 主充填竖直管不应设在提升井内,宜采用充填钻孔方式,服务年限长的大型矿山宜设专用充填井;

2 充填料浆管道及下料口应固定牢靠;

3 充填管道连接件耐压等级不应低于连接管耐压等级,充填钻孔套管宜采用焊接或管箍连接,不经常拆卸的管段宜采用法兰盘连接,经常拆卸的水平管段宜采用沟槽式管接头。

4.7.5 采用深井管道输送且水平输送距离较短时,应采取减压措施。

4.7.6 废石充填料宜采用重力自溜和机械运输相结合的输送方式,宜选择重力自溜输送与铲运机输送、带式机输送、无轨运料车输送等方式组合的两段或三段输送流程。

4.8 充填系统监测与控制

4.8.1 充填监控系统应具有监测、自动控制、生产报表、设备运行报表和故障报警等功能。

4.8.2 充填系统监测与控制应符合下列规定：

- 1 宜对供料仓料位、水池液位、搅拌装置液位进行监测与控制；
- 2 应对尾砂浆进料浓度、尾砂浆底流浓度、充填料浆浓度进行监测与控制；
- 3 应对尾砂浆进料流量、尾砂浆底流流量、充填料浆流量、调浓水流量、其他添加料流量进行监测与控制；
- 4 应对散状集料计量、胶凝材料计量进行监测与控制；
- 5 宜对风压、水压、泵送压力进行监测与控制。

4.8.3 充填监控系统报警应符合下列规定：

- 1 供料仓料位、水池液位、搅拌装置液位宜设置上下限报警；
- 2 充填系统设备发生故障时，应自动报警。

4.8.4 充填制备站内关键设备位置宜配套视频监控系统。

4.8.5 充填监控系统应配置隔离器、熔断器等电气保护元器件。

4.8.6 充填监控系统宜具有可扩展性及冗余功能。

4.9 充填系统安全设施

4.9.1 充填制备站应配置事故池及事故池泵送系统，事故池有效容积不宜小于 2h 充填料浆量。

4.9.2 充填制备站内应配置用于清洗充填管路的静压水源。

4.9.3 深锥浓密机和充填工业泵用电等级宜为二级负荷。

4.9.4 使用含辐射设备应进行安全防护，并应设置隔离带。

4.9.5 充填钻孔底部管道、主管道等关键位置宜进行压力监测。

4.9.6 充填钻孔底部宜设置管道应急排料装置及事故池，事故池有效容积不宜小于主充填垂直管段总体积。

4.9.7 主充填管路沿线宜布设应急水源或气源。

4.9.8 寒冷地区砂仓、水池、事故池、架空管道等设施应采取保温防冻措施。

5 充填作业

5.1 采空区封闭

5.1.1 充填作业前,应构筑封闭挡墙。封闭位置应设在采空区进路的围岩稳固地段。构筑封闭挡墙前应清除巷道周边浮石。

5.1.2 封闭挡墙构筑形式宜选择金属构件装配式挡墙、混凝土挡墙、砖挡墙或木挡墙。

5.1.3 封闭挡墙参数和分次充填高度应通过力学计算确定。

5.1.4 封闭挡墙构筑完成后,封闭挡墙与周边围岩接触处应做防漏浆处理。

5.1.5 空场嗣后充填高度未超过封闭挡墙时,宜控制单次充填高度。

5.2 充填料脱水

5.2.1 充填料浆泌水率大于5%时,宜设置脱水设施。空场嗣后充填宜采用脱水管脱水,脱水管数量不宜少于2条;分层充填和进路式充填宜采用脱水管、滤水挡墙、滤水井等脱水方式。

5.2.2 脱水管布设位置应远离充填料浆下料口。

5.2.3 充填作业区宜设置沉淀池。

5.3 充填接顶

5.3.1 充填宜接顶。

5.3.2 充填接顶宜多点、多次下料,充填料浆下料口和排气管进气口应设置在采空区顶板高处。

5.3.3 充填接顶方式宜采用加压泵压注料浆、膨胀充填材料等。

5.4 充 填 管 理

5.4.1 充填计划编制应符合下列规定：

- 1 宜绘制采空区实测图及相邻采场工程实测图；
- 2 宜计算采空区总充填量、充填次数和单次充填量；
- 3 宜编制充填管路、封闭挡墙、脱水、接顶等施工方案。

5.4.2 充填制备站与充填工作面之间应保持通信畅通。

5.4.3 充填管道引流和清洗应符合下列规定：

- 1 充填作业开始前，应对充填管道引流；
- 2 充填作业完毕后，应对充填管道清洗，管道清洗宜采用水或高压风；
- 3 引流水、洗管水应通过三通阀门排放至充填空区外的集水设施内。

5.4.4 充填作业时，应对管路和封闭挡墙巡视，发现跑浆、漏浆等异常情况应及时处理。

6 质量检测

6.1 充填材料检测

6.1.1 充填集料质量检测应符合下列规定：

1 充填集料应按现行国家标准《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599 的有关规定进行检测；

2 应对充填集料硫含量进行检测。

6.1.2 胶凝材料质量检测应符合下列规定：

1 胶凝材料进厂时应对其类型、级别、出厂日期等信息进行检查；

2 应按同一生产厂家、同一等级、同一品种、同一批号且连续进厂的胶凝材料，以不超过 500t 为一批，每批抽样数量不应少于 1 次；

3 应对抽样胶凝材料的安定性、强度和凝结时间进行复检。

6.1.3 充填用水质量检测应符合下列规定：

1 当采用饮用水作为充填用水时，可不检测；当采用选厂回水等其他水源时，应对成分和 pH 进行检测；

2 同一水源每年检测不应少于 1 次。

6.2 充填料浆检测

6.2.1 充填作业过程中，应对充填料浆浓度、胶凝材料给料量、流量进行检测。

6.2.2 充填料浆浓度检测应符合下列规定：

1 宜采用仪表进行在线检测，并应定期对检测仪表进行标定；

2 充填料浆浓度应设定上限值、下限值，当偏离设定范围的上下限值时，应及时调整至设定范围内。

6.2.3 胶凝材料给料量检测应符合下列规定：

1 宜采用仪表进行在线检测，并应定期对检测仪表进行标定；

2 胶凝材料给料量偏差宜控制在设计值的±1%范围内，当超出该范围时，应及时调整至设定范围内。

6.2.4 充填料浆流量应符合下列规定：

1 宜采用仪表进行在线检测，并应定期对检测仪表进行校验；

2 充填料浆流量偏差宜控制在设计值的±10%范围内，当超出该范围时，应及时调整至设计值。

6.3 充填体检测

6.3.1 充填制备站充填体试件质量检测应符合下列规定：

1 充填料浆稳定制备过程中，每班取样检测充填料浆浓度不宜少于3次；

2 每班的每种配比充填料浆均应取样，浇注试模不应少于3个，并应对胶结充填体试件进行规定龄期的单轴抗压强度试验；

3 充填作业过程中，养护龄期为3d的胶结充填体单轴抗压强度连续3班低于生产指标时，应调整充填配比参数。

6.3.2 采场充填体质量检测应符合下列规定：

1 宜采用原位取芯方式；

2 充填体取芯位置应具有代表性；

3 充填体取芯试样应用保鲜膜包裹，并应依次编录；

4 充填体试样应加工成标准圆柱体试件，试件直径不应小于50mm；

5 井下充填体质量宜采用取芯试件的平均强度和标准差综合评估。

6.3.3 采场充填体取芯试件强度数据平均值应按下列公式计算：

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \cdots + x_n)}{n} \quad (6.3.3)$$

式中： $\bar{x}$ ——采场充填体取芯试件强度数据的平均值(MPa)；

$x_1, x_2, \dots, x_n$ ——单个取芯试件单轴抗压强度(MPa);

n ——取芯试件样本总数。

6.3.4 采场充填体取芯试件强度数据标准差应按下式计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6.3.4)$$

式中: σ ——采场充填体取芯试件强度数据的标准差。

附录 A 尾砂沉降试验

A.0.1 实验仪器设备应符合下列规定：

- 1 量筒容积宜为 2000mL，外壁粘贴刻度尺，最小分度值为 1mm，零刻度线对应量筒底部；
- 2 天平称量允许偏差为 $\pm 0.2\%$ ；
- 3 絮凝剂添加装置宜为滴管或注射器；
- 4 其他仪器宜包括秒表、橡胶网孔搅拌棒、烧杯、水平仪、刻度尺、洗耳球、虹吸管等。

A.0.2 静态自然沉降试验步骤应包括下列内容：

- 1 尾砂浆制备符合本标准第 3.3 节的规定；
- 2 将制备好的尾砂浆倒入 2000mL 量筒内，用橡胶网孔搅拌棒搅拌均匀；
- 3 量筒静置，观察到上清液和浆液清晰的界面，记录界面高度；
- 4 按一定时间间隔，记录上清液和浆液界面高度，根据试验结果绘制静态沉降曲线，并对沉降曲线中均匀沉降段回归分析，计算得出尾砂浆沉降速度和固体通量；
- 5 静置 24h 后，通过虹吸方式将尾砂浆上部清水排出，采用烘干方法测定尾砂浆底流浓度；也可量测尾砂浆上部清水高度，计算得出尾砂浆底流浓度。

A.0.3 静态絮凝沉降试验步骤应包括下列内容：

- 1 在烧杯中配置絮凝剂溶液，并搅拌均匀；
- 2 向制备好的尾砂浆中滴入定量的絮凝剂溶液，搅拌混合均匀后，按照本标准第 A.0.2 条第 3 款～第 5 款步骤开展静态絮凝沉降试验；

3 以尾砂浆浓度、絮凝剂添加量、絮凝剂溶液浓度的试验参数为定值,选取不同类型的絮凝剂开展静态絮凝沉降试验,采用固体通量指标来确定匹配的絮凝剂型号;

4 采用选定的絮凝剂型号,分别开展不同进料浓度下的静态絮凝沉降试验,采用固体通量指标来确定合理的尾砂浆进料浓度;

5 以选定的尾砂浆进料浓度为定值,分别开展同种絮凝剂不同添加量的静态絮凝沉降试验,采用固体通量指标来确定合理的絮凝剂添加量。

A.0.4 动态沉降试验步骤应包括下列内容:

1 根据静态絮凝沉降试验,筛选出合理的絮凝剂型号、尾砂浆进料浓度、絮凝剂添加量;

2 采用动态沉降试验装置(图 A.0.4),通过连续进料和连续放砂,测试尾砂浆的底流浓度、溢流水悬浮物浓度。

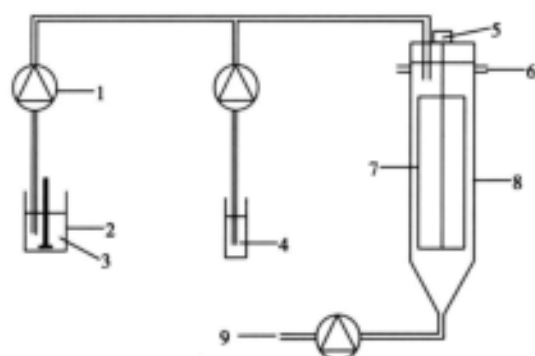


图 A.0.4 动态沉降试验装置

1—蠕动泵;2—搅拌桶;3—尾砂浆;4—絮凝剂溶液;5—电机;6—溢流口;
7—框架;8—动态浓密装置;9—底流取料口

A.0.5 固体通量应按下式计算:

$$G = \rho C_w \quad (A.0.5)$$

式中:G——固体通量[t/(m²·h)];

ρ ——尾砂浆密度(t/m³)；
 v ——固体颗粒沉降速度(m/h)；
 C_w ——尾砂浆的浓度(%)。

A. 0. 6 底流浓度应按下列公式计算：

$$C = \frac{m_2}{m_1 - m_3} \quad (\text{A. 0. 6-1})$$

式中： C ——底流浓度(%)；
 m_1 ——尾砂浆和量筒的总质量(g)；
 m_2 ——烘干的尾砂质量(g)；
 m_3 ——量筒质量(g)。

或

$$C = \frac{m_4}{m_4 + m_5 - \pi \rho_w r^2 l} \quad (\text{A. 0. 6-2})$$

式中： m_4 ——试验尾砂质量(g)；
 m_5 ——试验水质量(g)；
 r ——量筒内半径(cm)；
 l ——量筒内尾砂浆上部清水高度(cm)；
 ρ_w ——上部清水密度(g/cm³)。

附录 B 充填料浆扩展度试验

B.0.1 试验仪器应符合下列规定：

- 1 截锥圆模宜为上口直径为 36mm、下口直径为 60mm、高度为 60mm,内壁宜为光滑无缝的金属制品；
- 2 钢尺宜为 300mm；
- 3 玻璃板尺寸宜为 400mm×400mm×5mm。

B.0.2 试验步骤应包括下列内容：

- 1 将玻璃板放置在水平位置,用湿布抹擦玻璃板、截锥圆模,然后将湿润后的截锥圆模放在玻璃板中心位置；
- 2 充填料浆制备应符合本标准第 3.3 节的规定；
- 3 将制备好的充填料浆迅速倒入截锥圆模内,并用抹刀将上口刮平；
- 4 清除筒边玻璃板上的料浆后,垂直平稳地提起截锥圆模,同时开启秒表计时。当料浆不再扩散或扩散持续时间已达 30s 时,使用钢尺测量料浆流淌部分互相垂直的两个方向的最大直径,取平均值(单位为 mm)作为充填料浆的扩展度。

附录 C 充填沉缩比试验

C.0.1 试验仪器应符合下列规定：

- 1 宜采用锥形瓶等收口容器；
- 2 天平称量允许偏差为 $\pm 0.2\%$ 。

C.0.2 试验步骤应包括下列内容：

- 1 将容器洗净、烘干，称质量(m)；
- 2 向容器中注满蒸馏水，擦干容器外壁后，称容器加水的总质量(m_1)；将容器中蒸馏水倒出，烘干容器；
- 3 充填料浆制备应符合本标准第 3.3 节的规定，并将制备好的充填料浆注入容器内，略低于瓶口，称容器加充填料浆的总质量(m_2)；
- 4 向容器继续加注蒸馏水，待液面与瓶口齐平后，称容器、充填料浆、蒸馏水的总质量(m_3)，将容器密封，静置养护；
- 5 当充填料浆终凝或固结后，倒出容器中充填料浆析水，再次注满蒸馏水，称容器、充填体和蒸馏水的总质量(m_4)；
- 6 倒出容器中的蒸馏水，称容器加充填体的总质量(m_5)。

C.0.3 充填沉缩比应按下列式计算：

$$\eta = \frac{m_1 - m - (m_3 - m_2)}{m_1 - m - (m_4 - m_5)} \quad (\text{C. 0. 3})$$

式中： η ——充填沉缩比；

m ——容器质量(g)；

m_1 ——容器、水总质量(g)；

m_2 ——容器、充填料浆总质量(g)；

m_3 ——容器、充填料浆、蒸馏水总质量(g)；

m_4 ——容器、充填体、水总质量(g)；

m_5 ——容器、充填体总质量(g)。

附录 D 充填材料消耗量计算

D.0.1 充填料浆密度应按下列式计算：

$$\rho_m = \frac{\rho_c \rho_s (1 + N)}{C_w (\rho_s + N \rho_c) + (1 - C_w) [\rho_c \rho_s (1 + N)]} \quad (\text{D.0.1})$$

式中： ρ_m ——充填料浆密度(t/m³)；

ρ_c ——胶凝材料密度(t/m³)；

ρ_s ——集料密度(t/m³)；

N ——充填集料与胶凝材料质量之比；

C_w ——充填浓度(%)。

D.0.2 每立方米充填料浆中胶凝材料质量应按下列式计算：

$$m_c = \rho_m \frac{C_w}{1 + N} \quad (\text{D.0.2})$$

式中： m_c ——每立方米充填料浆中胶凝材料质量(t)。

D.0.3 每立方米充填料浆中集料质量应按下列式计算：

$$m_s = \rho_m \frac{N C_w}{1 + N} \quad (\text{D.0.3})$$

式中： m_s ——每立方米充填料浆中集料质量(t)。

D.0.4 每立方米充填料浆中水质量应按下列式计算：

$$m_w = \rho_m (1 - C_w) \quad (\text{D.0.4})$$

式中： m_w ——每立方米充填料浆中水质量(t)。

D.0.5 小时充填实体量应按下列式计算：

$$q_s = \frac{q}{K_1} \quad (\text{D.0.5})$$

式中： q_s ——小时充填实体量(m³/h)；

q ——充填料浆流量(m³/h)；

K_1 ——充填沉缩比。

D. 0. 6 每立方米充填实体中胶凝材料质量应按下式计算：

$$m_{ca} = m_c K_1 \quad (D. 0. 6)$$

式中： m_{ca} ——每立方米充填实体中胶凝材料质量(t)。

D. 0. 7 每立方米充填实体中集料质量应按下式计算：

$$m_{as} = m_s K_1 \quad (D. 0. 7)$$

式中： m_{as} ——每立方米充填实体中集料质量(t)。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
- 《土工试验方法标准》GB/T 50123
- 《有色金属采矿设计规范》GB 50771
- 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346
- 《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》GB/T 17671
- 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599

中华人民共和国国家标准

金属非金属矿山充填工程技术标准

GB/T 51450—2022

条文说明

编制说明

《金属非金属矿山充填工程技术标准》GB/T 51450—2022 经住房和城乡建设部 2022 年 9 月 8 日以第 137 号公告批准发布。

本标准编制过程中,编制组对我国金属非金属矿山充填材料、充填试验、充填系统、充填工艺等方面进行了大量的调查研究,总结了我国金属非金属矿山充填在工程设计、生产作业和质量检测等方面的实践经验,参考了国外先进技术法规、技术标准,取得了金属非金属矿山充填的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,《金属非金属矿山充填工程技术标准》编制组按章、节、条的顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、编制依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总 则	(37)
2 术 语	(38)
3 充填材料	(39)
3.1 一般规定	(39)
3.3 实验室充填材料制备	(39)
3.4 集料物理化学试验	(40)
3.7 充填料浆性能试验	(40)
3.8 充填体强度试验	(40)
4 充填系统设计	(42)
4.2 充填能力计算	(42)
4.7 充填料输送	(42)
附录 D 充填材料消耗量计算	(43)

1 总 则

1.0.1 充填采矿法是一种绿色开采技术,具有安全与环保双重作用,是金属非金属矿山开采的发展方向。2012年,国家安全生产监督管理总局等五部委联合发文,要求新建金属非金属地下矿山必须对能否采用充填采矿法进行论证并优先推行充填采矿法。目前,充填采矿法在我国金属非金属矿山获得了广泛应用,但是现有的矿山设计规范和安全规程无法满足矿山充填的技术需求。因此,为了对金属非金属矿山充填技术工作做统一标准和要求,使我国的矿山充填能安全、经济、有效地运行,编制了本标准。

2 术 语

2.0.10 充填配比主要是指固体物料之间的质量比例关系,即为胶凝材料与充填集料的质量比例关系,通常称为灰砂比。

2.0.11 在矿山实际生产中,充填浓度也称充填料浆浓度、充填料浆质量分数。

2.0.19 非胶结充填料浆无法在采空区中脱水固结形成充填体,则不属于非胶结充填。

2.0.22 掘进废石主要是指井下开拓、采准产生的废石,一般为自然级配,也可破碎、筛分加工后的废石;破碎废石主要是指专为充填开挖的废石石料,一般需破碎、筛分加工。

3 充填材料

3.1 一般规定

3.1.2 本条对充填集料的选择做出了规定。

3 充填集料含硫量超过 8% 时,需通过充填体强度试验确定能否作为胶结充填集料。

3.1.4 充填用水根据现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 中混凝土拌和用水水质要求,对 pH、 SO_4^{2-} 含量两项可能影响到充填材料性能的指标做出规定。

3.3 实验室充填材料制备

3.3.1 气干状态是指尾砂的内部含有一定水分,而表层和表面是干燥无水。尾砂取样方法如下:

(1)环锥法是用铁铲将试样从四周铲向中心,堆成圆锥形,然后将圆锥中的矿样扒向四周,堆成大环,接着再将试样顺次堆成圆锥及圆环,如此反复几次,即可将试样混匀。

(2)移锥法是将矿样向中心点徐徐倒下,形成圆锥形矿堆,再将此矿堆沿同一方向从锥底两相对位置将矿样依次铲取放在附近另一中心点,又堆成新的圆锥形矿堆,一般混合 3 次~4 次即可将矿样混匀。

(3)滚移法是将矿样堆置在橡胶布的中心,然后提起布的一角,使矿样在橡胶布上滚动。当滚过对角线一定距离后,再提起对应的另一角,使矿样做同样滚移。四个角都轮流提过后,重复数次即可。也可以用两手同时提起橡胶布对应的两角做滚动,再提起另外对应的两角做滚动,重复数次即可。

3.4 集料物理化学试验

3.4.2 集料化学成分及含量一般采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES法)、滴定法等进行测试。

3.7 充填料浆性能试验

3.7.3 在矿山实际生产中,充填料浆坍落度也称料浆坍落度。

3.7.4 尾砂等细集料的水力充填料浆在开展坍落度实验时,由于料浆坍落后厚度较小且难于测量,而料浆扩展度便于测量,因此通过开展充填料浆的扩展度试验来评价料浆流动性能更为合理。

3.7.6 充填料浆流变试验采用流变仪时,流变参数一般采用宾汉姆模型对流变曲线回归分析,数学模型为:

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{du}{dy} \quad (1)$$

式中: τ ——剪切应力(Pa);

τ_0 ——屈服应力(Pa);

η ——黏度系数(Pa·s);

$\frac{du}{dy}$ ——剪切速率(S⁻¹)。

3.8 充填体强度试验

3.8.2 目前国内矿山在制作胶结充填体试件时,一般借鉴现行行业标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70,采用边长为70.7mm的立方体试模。由于充填料浆相对于建筑砂浆均质性较差,分层明显,在开展单轴抗压强度试验时,立方体试件荷载施加的方向垂直于试件浇注的方向;而圆柱体试件荷载施加的方向与试件浇注的方向一致,可以较好反映充填体真实的受力情况。同时考虑到与采场充填体的取芯试件形状相匹配,并进一步与国际标准接轨,本标准推荐使用圆柱体试模。当充填料浆浓度较低时,通过增加试模高度来保证充填体试件尺寸。

3.8.4 本条对试件制作做出了规定。

4 充填料浆浇注完成后,一般采用塑料薄膜或塑料盖对试模口进行覆盖,避免试模中充填料浆水分流失。

3.8.6 本条对单轴抗压强度试验步骤做出了说明。

5 胶结充填体单轴抗压强度一般分布在 0~6MPa 范围内,当开展单轴抗压强度试验时,若采用恒定位移速率加载,则高强度充填体试件试验时长较大,低强度充填体试件试验时长较小,因此,为了避免加载速率过快,同时保证合适的加载速率,美国材料试验协会标准 ASTM D 4832-02 *ASTM Standard Test Method for Preparation and Testing of Controlled Low Strength Material (CLSM) Test Cylinders* 中做了有关规定,在试验过程中固定加载时长,选择合适的速率连续加载,开始加载至试件破坏时间不低于 2min。

4 充填系统设计

4.2 充填能力计算

4.2.1 充填系统工作制度需结合矿山采选生产系统综合确定,与充填物料供给和井下回采制度相适应,故根据矿山生产现状选择充填系统的年工作天数和日工作时间。

4.2.2 本条对充填能力的计算做出了说明。

4 充填作业不均衡系数综合反映充填系统制备能力的富余程度,对于单位充填班次内有效作业时间短、采场可能存在强采强充等情况下取大值,反之,则取小值。

4.7 充填料输送

4.7.5 减压措施包括折返/阶梯布置、变径管、90°弯头等管路型,阻尼节流孔板、减压阀、缓冲盒等设备型,减压池、减压站等构筑物型等。

附录 D 充填材料消耗量计算

D.0.1 当含有多种集料时,按集料之间的质量比例计算混合集料密度。