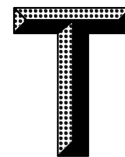


ICS 73.010
CCS B 120



团 体 标 准

T/CI 1091—2025

人工坑硐生态修复固废固化回填技术规程

Technical code for curing and backfilling of artificial pits for
ecological remediation

2025-07-11 发布

2025-07-11 实施

中国国际科技促进会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	Ⅲ
引言	Ⅳ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般要求	3
5 人工坑硐回填材料及性能测试	4
6 固化回填料浆制备与固化体施工	4
7 露天采坑生态修复固化回填	5
8 塌陷区生态修复固化回填	9
9 采空区固化充填	11
10 回填施工完成验收	12
参考文献	13

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中南大学提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：中南大学、安徽马钢矿业资源集团姑山矿业有限公司、铜陵化工集团新桥矿业有限公司、云南磷化集团有限公司、中钢石家庄工程设计研究院有限公司、内蒙古科技大学、长沙有色冶金设计研究院有限公司、华北理工大学、河北钢铁集团矿业有限公司石人沟铁矿、中冶沈勘秦皇岛工程设计研究总院有限公司、飞翼股份有限公司、湖南普泰充填矿山设备有限公司、大冶市大红山矿业有限公司、江苏雪浪生态科技有限公司、江苏山石矿业服务有限公司、江西铜业股份有限公司永平铜矿、河北钢铁集团矿业有限公司庙沟铁矿、贵州路发实业有限公司。

本文件主要起草人：陈秋松、开锐、葛联合、李树建、马伟伟、曹钊、熊有为、卢宏建、廖志强、张建勇、姜寄、李洪波、王文杰、杨策、崔捷、陈华、李胜辉、刘忠正、张钦礼、张清、彭华锋、郭永杰、温小亚、吴祥业、刘恩彦、李燕芬、蒲章鹏、肖崇春、周峰、季晓华、李雨婷、杜英男、冯岩、李国平、李建伟、朱丽、程中平、王道林、乔露、王旭。

引 言

矿山人工坑硐生态修复固废固化回填涉及安全、环保、工艺等多方面的技术细节,但当前缺乏标准和规程,各科研和设计单位在开展方案研究和设计工作时经验依赖性强、盲目性大,固废回填过程的安全性、环保性评价缺少统一评价依据,存在一定的安全、环保隐患,不利于行业的健康发展。因此制定本文件,对践行“绿水青山就是金山银山”的可持续发展理念具有重要意义。

人工坑硐生态修复固废固化回填技术规程

1 范围

本文件规定了人工坑硐生态修复固废固化回填方案相关参数确定、操作技术要求、安全控制措施、环境保护指标等。

本文件适用于金属、非金属矿山人工坑硐(主要包括露天采坑、地下开采形成的采空区、地下开采引起的地表塌陷坑等)以生态修复为目的的固体废物固化回填作业过程,不涉及回填结束后的生态修复。

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 16423 金属非金属矿山安全规程
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB/T 37573 露天煤矿边坡稳定性年度评价技术规范
- GB/T 37697 露天煤矿边坡变形监测技术规范
- GB 50771 有色金属采矿设计规范
- GB 50830 冶金矿山采矿设计规范
- GB 51016 非煤露天矿边坡工程技术规范
- GB 51173 煤炭工业露天矿疏干排水设计规范
- GB/T 51450 金属非金属矿山充填工程技术标准
- HJ 164 地下水环境监测技术规范
- HJ 819 排污单位自行监测技术指南 总则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

人工坑硐 **artificial pit**

露天开采形成的露天采坑(亦称露天坑)、地下开采形成的采空区、地下开采引起的地表塌陷区等。

3.2

露天采坑 **open pit**

露天开采形成的凹陷坑,上部边界为露天采场封闭圈,下部边界为露天最低开采水平境界,四周为露天边坡。山坡露天矿通过构筑坝体或挡墙形成封闭圈,封闭圈内的空间。露天转地下采用充填法开采时,境界顶柱上部的采坑。

3.3

塌陷区 **subsidence area**

矿产资源地下开采导致的地表下陷区域。

3.4

地下采空区 underground goaf

金属非金属地下矿山矿岩开挖后形成且未进行回填或崩落处理的空洞区域。

3.5

生态修复 ecological restoration

以人工坑硐固化回填为基础,结合生物、物理、化学及工程技术措施,改善、恢复或重建人工坑硐及周边邻近区域退化、受损生态系统的过程。

3.6

固体废弃物 solid waste

在工业、建筑、农业等生产活动中产生能充当回填材料的固体、半固体的废弃物。

注:简称“固废”。如矿石回采过程中产生的废石、选矿厂排出的尾砂、煤炭回采排放的矸石、冶炼厂排出的冶炼渣、磷化工厂排出的磷石膏、水利疏浚清淤工程中的产生的河湖淤泥等。

3.7

固化回填 solidified backfill

采用硬化后具备一定力学强度回填体对人工坑硐进行回填作业的过程。

注:包括露天采坑回填、塌陷区回填和地下采空区充填。

3.8

胶结回填体 cemented backfill

回填骨料与胶凝材料拌合后形成一定浓度的回填料浆,并能在水化作用下硬化具有一定力学强度的固结体。

3.9

非胶结回填体 cement-free backfill

在不添加胶凝材料的情况下,通过碾压等外力促使回填材料固结后的回填体。

3.10

胶凝材料 cementitious materials

在物理、化学作用下,能使浆体变成坚固的石状体,并能胶结其他物料,形成具有一定力学强度复合固体的物质。

3.11

回填技术参数 backfill technical parameters

人工坑硐固化回填相关的一般技术参数。

注:包括但不限于回填容积、单次回填高度、回填分区、打底回填厚度、分层回填高度、回填体强度、回填配比等。

3.12

回填容积 backfill volume

根据生态修复需要进行规划回填的人工坑硐总容积。

3.13

单次回填高度 backfill height per time

根据工艺要求或固化体养护要求确定的单次回填最大高度。

3.14

固化回填分区 solidified backfill zone

据回填料浆流动特性和养护需要,将总回填区域划分为若干分区,一个分区回填结束后,移至另一个分区回填,为该分区回填料浆凝固创造条件。对于固体废料干式回填,可根据排放工艺要求,进行分区或不分区回填。

3.15

分区回填顺序 zone backfill sequence

对于露天采坑浆体分区回填,根据固结排水需要确定的不同区域实施回填作业时的顺序。

3.16

打底固化回填 plug solidified backfill

对于下部仍有矿产资源需要开采的人工坑硐,为保证未来人工坑硐下矿产资源的安全,必须在人工坑硐底部构筑一定厚度具有较高力学强度和防渗性能的固化回填体。

3.17

普通固化回填 ordinary solidified backfill

保证安全的前提下为降低固化回填成本,在打底固化回填层上,进行较低强度的胶结回填或非胶结回填。

3.18

回填体强度 backfill strength

根据工艺要求确定的回填体 28 天龄期单轴抗压强度。

注:单位为兆帕(MPa)。

3.19

回填配比参数 backfill ratio parameters

满足回填体强度要求的各回填材料质量比例关系。

注1:包括灰砂比、浆体浓度、外加剂添加量(需要添加条件下)等。

注2:灰砂比系指回填物料中胶凝材料与回填固体废弃物的质量分数。

注3:浆体浓度系指回填料浆中固体物料(包括胶凝材料和固体废弃物)所占的质量分数。

注4:外加剂添加量系指需要添加外加剂条件下,外加剂占胶凝材料或固体废弃物的质量分数。

3.20

集水坑 catch pit

露天采坑固化回填过程中设置的临时集水设施。

注:料浆固化回填过程中冲洗管道用水和水化反应之外多余滤出的水分,以及露天采坑大气降水和边坡渗水,均汇集到集水坑,由排水设施排出露天采坑。

4 一般要求

4.1 以生态修复为目的的露天采坑或塌陷坑固化回填应按照当时政策规定,开展可行性研究、环境影响评价、初步设计、安全设施设计等前期工作,并获得相关行政许可或备案手续。

4.2 对于周围仍有矿产资源需要开采的采空区回填,应充分考虑周围资源开采可行性,确定采空区回填体强度指标和采空区回填方案。

4.3 对于下部仍有矿产资源需要开采的露天采坑或塌陷区,应进行专门论证,分析露天采坑或塌陷区回填与未来资源开采的时空关系和相互影响程度,确定不影响未来资源开采和周围地下水环境的固化回填方案,作为项目设计的依据。

4.4 环境评价中,应按照 GB 18599 要求,确定露天采坑或塌陷坑固化回填场类别。

4.5 充当回填材料的固废应符合我国环保与安全相关要求,不应对人体、环境及回填体性能产生有害影响;应满足或经无害化处理后应符合 GB 18599 要求。

4.6 露天采坑或塌陷坑固化回填防渗性能应满足 GB 18599 对应级别场地的相应要求。

4.7 可根据实际回填工况情况建立溯源体系。

5 人工坑硐回填材料及性能测试

5.1 固化回填材料

- 5.1.1 回填材料通常包括回填骨料、胶凝材料、水和(或)其他外加剂。
- 5.1.2 回填骨料可选用采掘废石、选矿厂排出的全尾砂或分级尾砂等对回填环境不构成污染威胁的大宗固废材料;或经专家论证污染可控的磷石膏、赤泥等难处置固废材料。
- 5.1.3 胶凝材料可采用水泥、胶固粉、粉煤灰、钢渣、高炉矿渣或改性后具有胶凝作用的其他材料。
- 5.1.4 外加剂包括但不限于减水剂、絮凝剂、纤维材料等。

5.2 回填骨料性能测试

- 5.2.1 在制备回填料浆前,需对回填材料的基础物理化学性质进行测试,包括回填材料的基础物理力学性质、矿物组成、化学成分等。
- 5.2.2 其中,基础物理力学性质包括但不限于比重、真密度、粒径、压缩系数、孔隙率、渗透系数等,测试方法可按照 GB/T 50123 有关规定执行。
- 5.2.3 矿物组成测试方法可按照 GB/T 40407 执行。
- 5.2.4 化学成分测试方法可按照 GB/Z 42520 执行。
- 5.2.5 毒性浸出测试方法可按照 HJ 557 执行。

5.3 回填料浆与回填体性能测试

- 5.3.1 回填料浆性能试验应进行泌水试验、凝结时间试验、坍落度、流动坡面角、沉缩比、流变特性、管道输送等试验。回填体应进行单轴抗压强度测试。
- 5.3.2 回填料浆凝结时间与坍落度测试可参照 GB/T 50080 执行。
- 5.3.3 回填料浆流动坡面角测试宜在两侧密封的箱体中进行,箱体上部开放方便灌浆,箱体尺寸为:高度宜为 0.2 m~0.5 m,长度不宜小于 1 m。测试时,从箱体一侧的下料口进浆,直至该侧浆体液面高度达到箱体高度的 60%~80% 时,停止进浆。
- 5.3.4 回填料浆自下料口向外流动过程中的流动坡面角计算见公式(1):

$$\alpha = \arctan \frac{\Delta h}{lf} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- α ——料浆流动坡面角,单位为度(°);
- Δh ——料浆流动过程中,液面下降总高度,单位为米(m);
- l ——料浆流动距离,单位为米(m);
- f ——考虑实验室内箱体的流动摩擦阻力较小,取补偿系数 $f=0.4\sim 0.6$ 。

- 5.3.5 其他性能测试按照 GB/T 51450 执行。

6 固化回填料浆制备与固化体施工

6.1 胶结回填体制备

可按照 GB/T 39489、GB/T 51450,制备胶结回填体。

6.2 回填浆体输送

可按照 GB/T 51450 确定输送方式。

6.3 非胶结固化体施工

宜通过干堆、碾压等方式施工非胶结固化体。

7 露天采坑生态修复固化回填

7.1 露天采坑现状调查

回填之前需依据已有资料、实地踏勘、岩土工程勘察、精准测量等方式对露天采坑现状进行调查。具体调查内容包括：区域水文地质条件、地形地貌、不良地质作用和地质灾害、土壤与植被、周边环境与工程、采坑容积、边坡稳定性等。

7.2 回填技术参数

7.2.1 回填容积

要求如下。

- a) 宜采用工程建模软件构建露天采坑三维模型,计算获得露天采坑总容积。
- b) 若仅回填封闭圈内采坑,则总容积即为封闭圈以下露天采坑空间容积;若通过构筑坝体或挡墙形成加高的封闭圈,则总容积为加高封闭圈内空间容积。
- c) 应根据生态修复方案覆土厚度,确定回填容积见公式(2):

$$V=V_z-V_T \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- V —— 回填容积,单位为立方米(m^3);
 V_z —— 露天采坑总容积,单位为立方米(m^3);
 V_T —— 覆土体积,单位为立方米(m^3)。

- d) 应根据回填分区设置情况,尤其是分区挡墙构筑需要,确定单次回填容积。

7.2.2 回填高度

要求如下。

- a) 应根据采坑状况及生态修复覆土方案,确定回填总高度见公式(3):

$$H=H_F-H_T \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- H —— 回填总高度,单位为米(m);
 H_F —— 封闭圈高度,单位为米(m);
 H_T —— 覆土厚度,单位为米(m)。

- b) 应根据回填分区设置情况,尤其是分区挡墙构筑需要,确定单次回填高度见公式(4):

$$H_0=H_D-0.2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- H_0 —— 单次回填高度,单位为米(m);
 H_D —— 挡墙高度,单位为米(m)。

7.2.3 固化回填分区

要求如下。

- a) 应根据回填料浆流动规律与固结养护时间,实行分区交替回填。
- b) 回填分区应本着尽可能减少排放点移动次数的原则,确定分区尺寸。
- c) 固化回填分区确定方式为,首先根据回填料浆流动坡面角计算单点排放料浆流动距离 L_0 见公式(5):

$$L_0 = H / \tan \alpha \dots\dots\dots (5)$$

式中:

H ——固化回填总高度,单位为米(m);

α ——回填料浆流动坡面角。

- d) 最大分区回填长度 L 宜为 $(0.3 \sim 0.4)L_0$ 。

7.2.4 打底固化回填厚度

要求如下:

- a) 若露天采坑下部或周围无空区和潜在可回收资源、围岩条件良好、与区域地下水系无明显水力联系,则打底固化回填应符合 GB 18599 防渗要求;
- b) 若露天采坑下部或周边有待回收矿产资源,应委托研究单位结合下部矿产资源回收方法研究确定安全合理的境界顶柱厚度与打底回填厚度。

7.2.5 打底固化回填体强度要求

要求如下:

- a) 若露天采坑下部或周围无空区和潜在可回收资源、围岩条件良好,打底固化回填体应满足 GB 18599 对应级别场地的相应要求;
- b) 若露天采坑下部赋存有矿产资源且后期需进行回收,则回填体强度主要取决于下部矿产资源回收工艺,应根据露天采坑固化回填对露天转地下开采影响专项论证,确定与下部露天转地下开采工艺相适应的强度指标,一般不低于 3.0 MPa,并敷设 1 层~2 层钢筋网,提高整体性。

7.2.6 普通固化回填体强度要求

要求如下:

- a) 若露天采坑下部或周围无空区和潜在可回收资源、围岩条件良好,普通回填体强度无要求,但应处于固结状态;
- b) 若露天采坑下部赋存有矿产资源且后期需进行回收,则普通回填体应固结,且强度不宜低于 0.5 MPa。

7.2.7 回填配比参数

应进行固化回填配比试验,根据 7.2.5、7.2.6 确定指标要求,综合技术和经济因素,确定固化回填配比参数。

7.3 分区挡墙构筑

7.3.1 分区回填挡墙宜采用低成本构筑材料和简易构筑工艺。

7.3.2 回填挡墙可采用建筑垃圾或其他固废碾压构筑,也可采用沙袋垒筑或膜袋法(见 KA/T 21)浇

筑；自第二分层开始，可在固化回填体达到初步凝固状态时，挖取一定量固化回填体，就地堆筑回填挡墙。

7.3.3 挡墙应根据所处位置，以及与集水坑的时空关系，设置必要的滤水设施或工程，将固化回填料浆水化反应后多余水分排至集水坑。

7.3.4 分区挡墙应保证挡墙内料浆回填过程中不外泄、挡墙不垮塌。

7.4 防渗处理

7.4.1 在坑底进行防渗设施施工前，应先将坑底的植被、根系、碎石、淤泥等清理干净。

7.4.2 露天采坑下部赋存有矿产资源且后期需进行回收的，宜采用钢筋混凝土构筑防渗层。

7.4.3 防渗处理工艺宜考虑固废类型、地质条件等，其他要求参考GB 18599。

7.5 防、排水

7.5.1 固化回填防水

固化回填前，应对露天采坑防水、截水设施进行全面检查、清淤、修复，使截导水设施处于良好工作状态。

7.5.2 排水量计算

要求如下：

- a) 排水量应包括地下涌水量、降雨径流量及回填体脱滤水量；
- b) 地下涌水量、降雨径流量按照GB 51173、GB 50830、GB 50771等进行计算；
- c) 回填体脱滤水量计算应包括回填体滤水、洗管水及润管水。

7.5.3 防、排水系统设计

要求如下。

- a) 露天采坑固化回填防、排水系统设计原则上按照GB 16423、GB 51173、GB 50830、GB 50771等相关内容执行。
- b) 排水系统依据分段截流—露天采坑底部移动泵站—边坡固定泵站分段接力排水进行设置。其中，宜根据分区回填方案，在露天采坑底部最低水平形成自然集水坑，集水坑随回填高度增加顺序提高；固定泵站水平以下12 m固化回填时，保留固定泵站不变；固化回填高度接近固定泵站水平时，顺序上移泵站，泵站与回填水平之间宜保留不小于原露天矿一个台阶的距离。

7.6 安全监测

7.6.1 边坡稳定性监测

应按GB/T 37573、GB/T 37697、GB 51016对固化回填水平且边坡高度100 m以上的露天采坑边坡稳定性进行监测。

7.6.2 露天转地下开采地压监测

在开展防渗工作前，应建立地压或微震监测系统，重点监测固化回填过程中境界顶柱和打底回填层的应力、位移等。

7.6.3 回填质量监测

要求如下。

- a) 回填站日常监测可按照GB/T 51450执行。
- b) 打底回填区域每上升5 m对回填体进行取样强度检测,确保打底回填质量达到要求;打底层上部普通回填50 m范围内,每上升10 m进行取样检测;50 m后可根据需要延长取样周期。
- c) 回填体取样宜采用地质钻取样方式。
- d) 固化回填体出现不均匀沉降、裂缝时,应查明沉降量,裂缝走向及长度、宽度以及引起的沉降原因,判断危害程度并采取安全措施。

7.6.4 防排水系统监测

要求如下:

- a) 汛期应对回填场排水系统构筑物、截洪沟进行巡查,发现问题及时修复,防止发生安全事故;
- b) 汛期过后应对排水构筑物、露天边坡进行全面检查与清理,发现问题及时修复。

7.6.5 监控

要求如下。

- a) 应在露天采坑境外设置网络摄像机,对露天采坑回填过程的视、音频信息进行采集和录像,摄像机设置点位与数量以覆盖整个回填区域为原则。
- b) 网络摄像机采集的视(音)频及控制流信息宜通过光纤传输至显示终端和总调度室;不具备光纤敷设条件的可采用无线传输。

7.7 安全管理

7.7.1 安全机构设置

露天采坑回填需设置专门的安全机构,另设2名~3名专职安全员,负责回填工程的安全工作。

7.7.2 安全员职责

及时确定和发现回填过程中可能出现的不安全因素及事故隐患,定期对潜在的灾害可能发生场所进行检验、检测、检查,提前预防,并协调、处理突发事故。

7.7.3 防护

要求如下:

- a) 回填区域无关人员不应进入;
- b) 需做好露天采坑周界防护,做好安全标识,防止人畜误入;
- c) 加强固化回填过程中的巡视,发现问题及时处理。

7.7.4 救护与应急救援

要求如下:

- a) 应配置必备的救护工具、器材及急救药品,能满足露天采坑回填过程中一般灾害的处置;
- b) 应定期组织职工学习自救、互救、灾害应急及处理等方面的知识,培养职工应急能力;
- c) 如果露天采坑回填工程依托矿山进行,救护与应急救援可依托矿山相应系统;

d) 其他可参照 GB 16423 执行。

7.7.5 其他

其他未尽事宜,宜参考《建筑施工企业主要负责人、项目负责人和专职安全生产管理人员安全生产管理规定》执行。

7.8 环保要求

7.8.1 地表水监测要求

要求如下。

- a) 存在影响地表水环境的固废固化回填项目,应按照 HJ 819 相关要求,确定地表水监测位置。根据 GB 3838 确定监测指标,监测频次不少于半年 1 次。
- b) 监测指标异常应查明原因,采取相应补救措施,经复检达标后方可继续施工。

7.8.2 地下水监测要求

要求如下:

- a) 在露天采坑上游、两侧及下游分别布设监测点,以评估固化回填对地下水的污染状况;
- b) 监测点位布置、监测内容、方式与频次按照 HJ 164 执行;
- c) 监测指标异常应查明原因,采取相应补救措施,经复检达标后方可继续施工。

8 塌陷区生态修复固化回填

8.1 塌陷区现状调查

回填之前需依据已有资料、实地踏勘、岩土工程勘察、精准测量等方式对塌陷坑现状进行调查。具体调查内容包括:区域水文地质条件、地形地貌、不良地质作用和地质灾害、土壤与植被、周边环境与工程、塌陷范围、塌陷区体积、引起地表塌陷的地下采矿工程情况等。

8.2 回填目的

明确回填的目的:

- a) 仅生态修复;
- b) 生态修复的同时为深部与周边资源回收创造条件。

8.3 回填方式

8.3.1 如果仅限于生态修复,宜采用干式固体废料(包括压滤后的尾砂)回填为主,无需添加胶凝材料,采用自然或其他物理固结方式。

8.3.2 如果周围和(或)深部存在潜在可回收资源,则应结合潜在资源回收方案,确定采用干式回填,或者浆体灌注回填。

8.4 回填技术参数

8.4.1 回填高度

根据生态修复覆土需要,确定回填标高。

8.4.2 回填材料组成与参数

要求如下：

- a) 固体废料胶结料浆回填时,需明确灰砂比、料浆浓度等指标;
- b) 固体废料非胶结料浆回填时,需明确料浆浓度等指标;
- c) 其他干式固体废料回填时,需明确固体废料粒度等指标。

8.4.3 回填量

根据确定的回填高度、通过试验或工程类比确定的塌陷区内松散物料渗透性能,确定塌陷区回填量。

8.5 回填工艺

要求如下：

- a) 干式固体废料(包括压滤后的尾砂)回填时,需明确物料运输方式、塌陷区内布料工艺等;
- b) 采用管道输送料浆回填时,宜按照 GB/T 51450 进行回填工艺方案设计。

8.6 井下封堵

要求如下：

- a) 如果采用料浆回填,且塌陷区底部采矿工程需要保留,或塌陷区底部仍有开采活动,则需在回填塌陷区与周围工程之间构筑挡墙,以避免回填料浆下泄至井下巷道,影响井下作业安全;
- b) 宜采用钢筋混凝土构筑挡墙,挡墙参数应通过力学计算确定,采用刻槽或锚杆与巷道围岩连接;
- c) 挡墙应设置泄滤水装置;
- d) 挡墙构筑完成后,封闭挡墙与周围围岩接触处应进行防漏浆处理。

8.7 井下排水

如果采用料浆回填,且塌陷区底部因采矿工程需要,或塌陷区底部仍有开采活动,需在回填塌陷区与周围工程之间构筑挡墙,则应估算通过挡墙滤出的水量,并对井下排水系统能力进行校核,并采取相应措施。

8.8 地面排水

要求如下：

- a) 如果采用料浆回填,应在断面塌陷区外安全地段设置排水设施,将塌陷区积水排出;
- b) 排水系统可参照 GB 51173、GB 50830、GB 50771 等相关内容设计。

8.9 监控与防护

采用物探、钻探等手段,对塌陷区底部进行隐蔽空区及水体探测,危险区域宜采取注浆或其他有效措施进行治理。其他参照 7.6.5 执行。

8.10 安全管理

参照 7.7 执行。

8.11 环保要求

参照7.8执行。

9 采空区固化充填

9.1 采空区现状调查

在充填之前需依据已有资料、实地踏勘、精准测量等方式对采空区现状进行调查。具体调查内容包括但不限于：

- a) 采空区(群)分布状况、规模、尺寸、采空区与外界联系通路,绘制出空区附近中段采场现状图和巷道现状图;
- b) 采空区残矿资源类型(盘区矿柱、顶底柱、间柱、存窿矿、挂壁矿)及储量、与周围采空区关系、开采技术条件、可回收利用程度等;
- c) 评估采空区稳定性,查明充填采空区与充填制备站相互关系,重点确认两者之间的距离、高差,计算充填倍线;
- d) 根据分布特征、处理条件和周围残矿资源回收价值与回收方案,采空区充填可采用废石干式充填和尾矿等固体废料胶结充填。

9.2 充填采空区确定

要求如下:

- a) 仅为处理采空区时,可以通过理论分析和(或)数值模拟等方法,确定满足地压控制需要的固化充填治理采空区;
- b) 如采空区处理与残矿回收并重,则需根据残矿回收需要,确定需要固化充填治理的采空区;
- c) 如采空区充填的目的是处理尾矿堆放难题,则应尽可能多地对采空区进行固化充填。

9.3 充填技术参数

9.3.1 充填体强度

要求如下:

- a) 无残矿回收,且采用废石干式充填时,无强度要求;
- b) 无残矿回收,仅为处理尾矿且采用料浆充填时,应确保充填料浆能脱水固结,不应将采空区作为尾矿库使用;
- c) 需要回收残矿时,应根据残矿回收的采矿方法,通过理论分析和(或)数值模拟、工程类比等方法,确定充填体强度。

9.3.2 充填配比参数

应进行充填配比试验,综合技术和经济因素,确定充填配比参数。

9.4 充填工艺

要求如下。

- a) 采空区宜利用矿山充填系统进行充填作业。
- b) 废石充填时,需明确物料的运输方式、采空区内下料工艺等。

- c) 采用管道输送料浆充填时,宜按照 GB/T 51450 进行充填工艺方案设计和监控与安全设施设计。
- d) 有通路进入采空区上部巷道时,按照普通充填管道布设方案布置管道。
- e) 采空区上部无充填通路时,可从地表或上部中段施工钻孔,直接连通采空区,进行充填。钻孔需至少施工两条,一条充填,一条排气。
- f) 多个采空区联通时,可作为一个采空区充填,仅封堵与外界联通通道。

9.5 采空区封堵

按照 GB/T 51450 执行。

9.6 采空区泄滤水

按照 GB/T 51450 执行。

9.7 充填接顶

按照 GB/T 51450 执行。

9.8 充填质量检测

按照 GB/T 51450 执行。

10 回填施工完成验收

回填施工完成验收可按照 TD/T 1092 执行。

参 考 文 献

- [1] GB/T 39489 全尾砂膏体充填技术规范
 - [2] GB/T 40407 硅酸盐水泥熟料矿相X射线衍射分析方法
 - [3] GB/Z 42520 铁矿石X射线荧光光谱分析实验室操作指南
 - [4] GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
 - [5] GB/T 50123 土工试验方法标准
 - [6] HJ 557 固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法
 - [7] KA/T 21 模袋法尾矿堆坝技术规程
 - [8] TD/T 1092 矿山生态修复工程验收规范
-

中国国际科技促进会
团体标准
人工坑硐生态修复固废固化回填技术规程
T/CI 1091—2025

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 27 千字
2026年1月第1版 2026年1月第1次印刷

*

书号:155066·5-18242 定价 43.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/CI 1091-2025