

团 体 标 准

T/ACEF 240—2025

锂渣用于地表矿坑回填和生态恢复技术指南

Technical guidelines for backfill and ecological restoration of surface mine pit with
lithium slag

(发布稿)

2025-12-18 发布

2025-12-22 实施

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 总体要求.....	3
5 环境调查.....	4
6 铈渣回填材料.....	6
7 矿坑回填.....	6
8 生态恢复.....	7
9 环境监测.....	8
10 环境管理.....	8
附录 A（资料性）浸出毒性及毒性物质含量限值.....	10

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《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。

本文件由中国科学院南京土壤研究所提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件起草单位：中国科学院南京土壤研究所、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心、江西赣锋锂业集团股份有限公司、中国科学院过程工程研究所、中国科学院赣江创新研究院、生态环境部南京环境科学研究所、江西省国土空间调查规划研究院、江西省生态环境科学研究与规划院、江西九岭锂业股份有限公司。

本文件主要起草人：滕应、徐勇峰、任文杰、赵玲、张靖云、许涓、彭爱平、李会泉、王东、李强、甘信宏、万敏、汪帅马、魏冬冬、姚丽。

锂渣用于地表矿坑回填和生态恢复技术指南

1 范围

本文件规定了锂渣用于地表矿坑回填和生态恢复的总体要求、环境调查、锂渣回填材料、矿坑回填、生态恢复、环境监测和环境管理等内容。

本文件适用于采用一般工业固体废物属性的锂渣进行地表矿坑回填及后续生态恢复。本文件不适用于铀钍及伴生放射性矿坑的回填和生态恢复。

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 3838	地表水环境质量标准
GB 5085.7	危险废物鉴别标准通则
GB 8978	污水综合排放标准
GB 12523	建筑施工场界环境噪声排放标准
GB/T 12719	矿区水文地质工程地质勘查规范
GB/T 14848	地下水质量标准
GB 15618	土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）
GB/T 15776	造林技术规程
GB 16297	大气污染物综合排放标准
GB 18599	一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
GB/T 32740	自然生态系统土壤长期定位监测指南
GB 36600	土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
GB/T 38360	裸露坡面植被恢复技术规范
GB 50330	建筑边坡工程技术规范
HJ/T 20	工业固体废物采样制样技术规范

HJ 25.3	建设用地土壤污染风险评估技术导则
HJ/T 91	地表水和污水监测技术规范
HJ 164	地下水环境监测技术规范
HJ/T 166	土壤环境监测技术规范
HJ 557	固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法
HJ 610	环境影响评价技术导则 地下水环境
HJ 737	土壤和沉积物 铍的测定 石墨炉原子吸收分光光度法
HJ 1080	土壤和沉积物 铊的测定 石墨炉原子吸收分光光度法
HJ 1172	全国生态状况调查评估技术规范 —生态系统质量评估
HJ 1315	土壤和沉积物 19 种金属元素总量的测定 电感耦合等离子体质谱法
SL 379	水工挡土墙设计规范
TD/T 1036	土壤复垦质量控制标准
TD/T 1070.3	矿山生态修复技术规范 第 3 部分：金属矿山
NY/T 1342	人工草地建设技术规程
DB36/ 1282	建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

锂渣 lithium slag

以锂云母、锂辉石等为主要原料，经火法或湿法冶炼生产锂产品过程中于焙烧熟料浸出工序产生的固体残渣，主要成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 、Fe 及其他微量金属化合物。

3.2

锂渣改性 lithium slag modification

将锂渣与粉煤灰、矿渣、激发剂等辅助材料按特定比例混合，通过物理或化学手段处理，以实现其浸出毒性达标、力学性能满足回填要求、并形成低渗透性回填体为目的的处理过程。

3.3

地表矿坑 surface mine pit

通过露天开采方式，剥离上覆岩土体后形成的露天坑洞、凹陷区或挖掘区。

3.4

回填 backfilling

在复垦、景观恢复、建设用地平整、农业用地平整以及防止地表塌陷的地貌保护等工程中，以土地复垦为目的，利用属于一般工业固体废物的锂渣替代土、砂、石等生产材料填充露天开采地表挖掘区、取土场以及天然坑洼区的活动。

[来源：GB 18599-2020，3.11，有修改]

3.5

生态恢复 ecological restoration

指针对已退化、受损或破坏的生态系统，通过采取消除污染、控制风险及人工辅助与自然重建相结合的综合措施，使其逐步恢复生态功能和健康状态的过程。

[来源：HJ 651-2013，3.2，有修改]

4 总体要求

4.1 基本原则

4.1.1 安全性原则

在锂渣用于地表矿坑回填和生态恢复前，应进行环境现状调查与风险评估以确保环境风险可接受，在锂渣用于地表矿坑回填过程中应统筹评估其对土壤、地下水及地表水的潜在环境风险。同时，应重视施工人员安全，提供必要的培训与防护装备，以预防安全隐患，确保施工环境的安全与稳定。

4.1.2 科学性原则

根据地表矿坑的水文地质条件、环境现状及锂渣特性，合理选择锂渣改性技术，因地制宜制定回填及生态恢复方案。

4.1.3 合规性原则

锂渣用于地表矿坑回填和生态恢复时应立足矿坑及周边区域整体，全过程符合现行法规与标准，系统地开展环境风险评估及全过程的生态环境质量监测。

4.1.4 可行性原则

所有方案与措施均需进行可行性评估，确保其在技术、经济和环境上的可实施性，并应基于实地调研与系统分析，确保策略科学合理且可实施。

4.2 工作流程

锂渣用于地表矿坑回填和生态恢复工作程序见图 1。

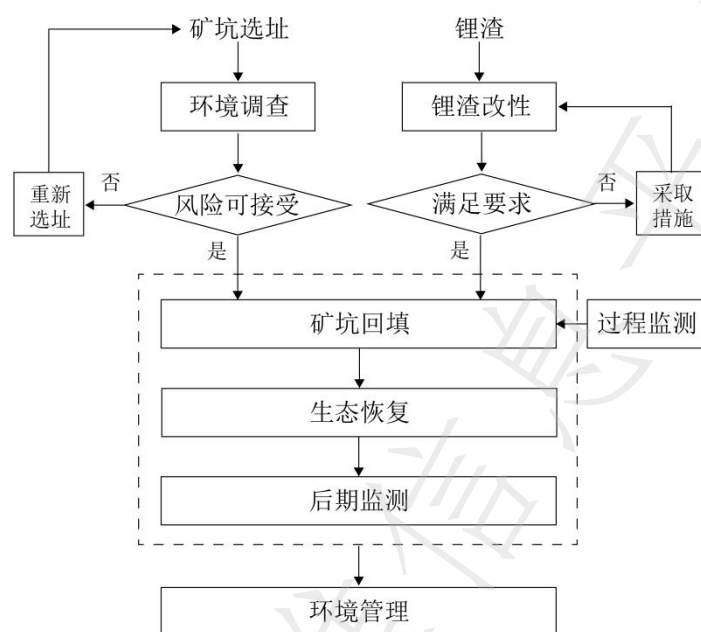


图 1 工作流程

4.3 矿坑选址要求

4.3.1 使用锂渣进行地表矿坑回填与生态恢复时，选址应统筹考虑区域国土空间规划、生态环境保护规划以及水土资源保护专项规划等要求，严格落实“三线一单”管控规定，并依法履行环境影响评价与排污许可管理制度。同时，生态恢复目标及相关技术措施应契合矿区长远发展战略，符合《矿区土地复垦与生态修复技术规范》等专项技术标准的要求。

4.3.2 应避开滑坡、泥石流多发带和活动断层等地质灾害极高和高风险区，避开饮用水水源保护区、自然保护地及生态保护红线等环境敏感区域。

4.3.3 须确保回填区地质条件满足地基承载力要求，防止因局部下沉对防渗、管道等设施造成破坏，从而杜绝由此引发的环境与安全风险。

4.3.4 场地选址的适宜性，应综合考量区域水文地质、工程地质及环境地质等基础资料，结合场地现状调查与污染特征分析结果，并以不稳定斜坡、渗透性等地质灾害风险为核心评估内容来确定，兼顾技术可行性与经济合理性。

5 环境调查

5.1 一般要求

通过文献调研、资料收集、现场勘查及人员访谈等多种方法，系统查明地表矿坑所在水文地质单元的自然环境状况与环境现状，识别潜在环境风险，为后续环境影响评价与风险管理建立科学、全面的环境基准。

5.2 地表矿坑勘察

5.2.1 地表矿坑应调查地表矿坑地质结构、地形地貌、水文地质、气象与土地利用状况和生态现状的基本特征。

5.2.2 地质结构调查宜包括矿坑所处区域的地形地貌、地层结构、地层稳定性和区域岩性等。

5.2.3 地形地貌调查宜包括影响矿坑安全的危岩体、高边坡和破碎斜坡等岩体形态的规模、分布和发育程度等，同时明确矿坑地质灾害隐患的类型、分布、规模及其现状。

5.2.4 水文地质调查宜针对矿坑及其流域的地表水和地下水的基本水文特征确定，宜包括包气带特征、地表水水系特征、多年平均径流量及其特征值、地下水类型、含水层分布特征、水力联系，以及地下水的补给和排泄情况和地下水水位动态变化等，且应符合 GB/T 12719 和 HJ 610 的规定。

5.2.5 气象与土地利用调查宜包括降水、蒸发、气温、风向和风速等多年平均的气象要素，以及相应的土地条件、利用现状和规划等。

5.2.6 生态现状调查宜包括矿坑及其周边植被类型、群落结构、优势植物种类和常见植物种类，以及动物种群类型和数量等。

5.3 环境现状调查

5.3.1 调查地表矿坑及周边区域范围内土壤、地表水及地下水的环境现状。

5.3.2 土壤环境调查应根据地表矿坑周边地形特征、主导风向和地表径流方向设置采样点，且应符合 HJ/T 166 中监测布点与采样的规定；监测指标可参照 GB 36600、GB 15618 并结合锂渣的污染特征因子合理确定，应包括但不限于：pH、镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍等基本重金属指标，以及铍、铊、氟、锰等锂渣特征污染物。具体指标的检测应参照 HJ 1315、HJ 737 及 HJ 1080 等标准执行。

5.3.3 地表水环境调查应包括矿坑周边如有受影响的地表水，应符合 HJ/T 91 中监测布点与采样的规定；监测指标可参照 GB 3838 并结合锂渣的污染特征因子合理确定，应包括但不限于：pH、化学需氧量、氨氮、总磷、氟化物等基本指标，以及铍、铊、锰等锂渣特征污染物。

5.3.4 地下水环境调查应在矿坑区域地下水流向上下游及周边设监测井，应符合 HJ 164 中监测布点与采样的规定；监测指标可参照 GB/T 14848 并结合锂渣的污染特征因子合理确定，应包括但不限于：pH、总硬度、硫酸盐、氯化物、氟化物等基本指标，以及铍、铊、锰等锂渣特征污染物。

5.4 环境风险评估

结合地表矿坑和环境现状调查结果、生态恢复后土地利用性质、规划用途等，按照 HJ 25.3 的规定进行环境风险评估，重点评估地下水及周边土壤的环境风险。如果评估结果显示环境风险在可接受范围内（如污染物浓度增量未超过风险控制值），则该区域可作为锂渣回填的适宜区。

6 锂渣回填材料

6.1 锂渣要求

6.1.1 对锂渣贮存场的采样按照 HJ/T 20 的要求采集样品。

6.1.2 采集的锂渣样品按照 HJ 557 规定方法获取浸出液，锂渣特征污染物浓度、pH 值等物理化学指标可参照 GB 5085.7 测定。

6.1.3 锂渣的浸出液特征污染物浓度应符合 GB 18599 的规定，且 pH 值为 6-9，属于一般工业固体废物。

6.1.4 对于满足第 I 类一般固体废物的锂渣可直接用于回填并按照 I 类场进行封场及生态恢复；对于满足第 II 类一般固体废物的锂渣需经过改性后用于回填，用于回填时应按照本标准要求开展回填、生态恢复、环境监测和环境管理等。

6.2 改性锂渣要求

6.2.1 属于第 II 类一般工业固体废物的锂渣应经改性处理，使其满足回填要求。

6.2.2 对锂渣和辅助材料宜进行干燥处理，剔除大块儿杂质。

6.2.3 锂渣组分设计应根据改性目标优化，如需提升材料综合性能宜辅以水泥、粉煤灰等固化剂，以及膨润土、生物炭和激发剂等功能性添加剂。

6.2.4 改性后的锂渣应满足下列力学与水力性能要求其抗压强度不宜低于 0.55 MPa，渗透系数不应大于 1×10^{-6} cm/s。

6.2.5 改性后的锂渣应满足环境稳定性要求，并通过毒性浸出试验进行验证。浸出液须按照 HJ 557 方法制备，其特征污染物（包括铍、铊、氟、锰等）应依据 GB 5085.7 等方法进行检测，检测结果须同时满足以下条件：浸出液中任何一种特征污染物的浓度均不应超过 GB 8978 规定的最高允许排放浓度（第二类污染物按一级标准执行），且符合附录 A 的相关规定，方可用于回填。

7 矿坑回填

7.1 一般要求

7.1.1 回填场地底部高程应高于地下水年最高水位。

- 7.1.2 回填工程的设计、施工、运行等应符合相关法律法规、国家及行业相关标准规范要求。
- 7.1.3 回填作业前应制定详细的施工方案，内容宜包括质量保证措施、污染物控制要求和环境保护条款以及相应的应急措施。
- 7.1.4 回填区域应严格限定于矿坑历史边界范围内，除为满足安全防护所必需的结构外，不得擅自扩大作业范围。作业面应按照功能明确、互不干扰的原则，合理划分为核心作业区、物料暂存区、安全通道区及设备停放区等功能单元，并设置清晰的标识标牌与必要的物理隔断。同时，应在危险区域布设临时防护网或隔离栏，全面实行分区管理，确保施工有序、安全可控。
- 7.1.5 在改性锂渣回填施工过程中应建立并严格执行台账管理制度，对回填区域、回填方量、材料来源、检测报告等信息进行完整的记录，确保全过程可追溯。
- 7.1.6 回填作业应避免在雨天进行，并应落实防汛预案。

7.2 回填技术要求

- 7.2.1 回填区域应位于连续、稳定的地基之上，回填前宜完成场地清理、平整及修复工作。
- 7.2.2 回填前应根据回填需求在回填区域合理设计和设置防渗系统、排水系统、边坡保护和挡土墙，且应符合 GB 18599、GB 50330 和 SL 379 的规定。
- 7.2.3 回填过程中应根据需求设置基础防渗层、回填层、阻隔层和覆土层，设计可参照 GB 18599 执行。
- 7.2.4 基础防渗层可选择厚度不小于 0.75 m 且饱和渗透系数不大于 1×10^{-6} cm/s 的粘土类防渗层或采用厚度至少为 1.5 mm 的高密度聚乙烯膜等具有同等级以上隔水效力的材料。
- 7.2.5 回填层宜采用分层填筑、逐层压实的方式将改性锂渣回填到作业区内。
- 7.2.6 阻隔层可根据实际土地利用规划及要求，采用改性压实粘土或同等防渗材料，渗透系数不应大于 1×10^{-5} cm/s，厚度不得小于 0.30 m，压实系数不宜少于 0.85。
- 7.2.7 覆土层可根据拟种植物种类、周边地形因素等实际情况在回填层或阻隔层上方覆土，覆土厚度和土质应符合 TD/T 1036 的规定。确无覆土时，可采用无土生态恢复、岩土风化物生态恢复和加速风化等措施。

8 生态恢复

- 8.1 生态恢复目标和任务应根据矿坑所在矿山的生态恢复总体定位，以及国土空间总体规划、土地利用现状和其他相关法定规划要求确定。
- 8.2 回填作业结束后，应及时开展土地复垦工作。覆土应优先采用经前期环境调查确认环境质量合格

的原地表土或周边安全土源，严禁使用环境质量不达标或含有害物质的土壤。土地复垦质量控制应符合 TD/T 1036 的规定。复垦为建设用地的，土壤环境质量须同时符合 GB 36600 与 DB36/ 1282 的要求；复垦为农用地的，则应符合 GB 15618 的规定。

8.3 植被恢复应综合坡度、水土保持等因素，优先采用原生表土与乡土物种，禁用有害外来种，构建近自然群落，选抗逆性强且与周边景观协调的植被，植被恢复技术应符合 GB/T 38360、GB/T 15776 和 NY/T 1342 的规定。

8.4 生态恢复效果与管护可参照 TD/T 1070.3 的规定执行。

9 环境监测

9.1 过程监测

9.1.1 地表矿坑回填过程中，土壤质量监测应按本文件 5.3.2 执行、地表水质量监测应按本文件 5.3.3 执行、地下水质量监测应按本文件 5.3.4 执行。土壤监测频次不应少于每年 1 次；地表水监测频次不应少于每半年 1 次；地下水监测频次宜为每年在丰水期、平水期和枯水期各监测 1 次。

9.1.2 地表矿坑回填过程中，应根据实际情况监测收集的淋滤水、抽提水、厂区内冲洗水和初期雨水等废水，监测指标应涵盖 pH、铍、铊、锰、氟等特征因子，可参照 GB 3838 分析确定；监测频次不应少于每季度 1 次。废水达 GB 8978 标准可排放。

9.1.3 在地表矿坑回填过程中，应根据主要监测污染源下风方向设置采样点，采样点布设、采样及分析可参照 GB 16297 执行；监测频次不应少于每季度 1 次。

9.1.4 在地表矿坑回填过程中，噪声测量方法和环境噪声排放限制应符合 GB 12523 的规定。

9.2 后期监测

9.2.1 生态恢复后，土壤质量监测应按本文件 5.3.2 执行、地表水质量监测应按本文件 5.3.3 执行、地下水质量监测应按本文件 5.3.4 执行，土壤、地表水和地下水监测频次按照本文件 9.1.1 执行，直至相关指标在连续 3 年内年均指标持续稳定且无明显上升趋势。

9.2.2 生态恢复后，可根据实际需求对回填及周边区域生态系统质量、生物多样性、植物群落特征、土壤动物、土壤微生物等指标监测，可参照 GB/T 32740 和 HJ 1172 分析确定，监测频次每年宜 1 次。

10 环境管理

10.1 过程管理

实施地表矿坑回填及生态恢复工程的过程中，应合理安排作业并分析环境监测结果，同时应定期检查工程设施，及时处理发现的异常情况。

10.2 后期管理

实施地表矿坑回填及生态恢复工程完成后，应建立长期维护管理制度。在修复后场区的边界及关键位置，应设立永久性标识牌。标识牌应清晰载明项目名称、完成时间、责任单位、联系方式、回填材料性质、土地规划用途与使用限制，以及必要的注意事项。

10.3 应急响应

应建立环境风险应急响应机制，制定明确的应急预案，规范异常情况的判定、报告、评估与控制措施。在监测中发现特征污染物异常时，须立即启动调查评估，并据此采取污染阻断与治理行动，及时调整后续作业方案

10.4 档案管理

实施地表矿坑回填及生态恢复工程应进行全过程档案管理，并按国家档案管理等要求进行整理与归档，应涵盖项目立项、设计、施工、监测到验收的关键数据与信息，应包含技术方案、设计图纸、施工记录、环境监测数据及生态恢复评估等。

附录 A

(资料性)

浸出毒性及毒性物质含量限值

A.1 浸出毒性及毒性物质含量限值见表 A.1

表 A.1 浸出毒性及毒性物质含量限值要求

序号	污染物项目	指标	毒性物质含量限制
1	pH	6~9	$\frac{12\text{Be} + 3\text{Cr} + 3\text{Ni} + 3\text{As} + 2\text{Cd} + 2\text{TI} + 3\text{Se}}{1000} + \frac{\text{Mn} + 2\text{Zn} + 2\text{Ba}}{30000} + \frac{\text{Pb}}{5000} < 1$
2	总镉 (Cd, mg/L)	≤ 0.1	
3	总铬 (Cr, mg/L)	≤ 1.5	
4	六价铬 (Cr ⁶⁺ , mg/L)	≤ 0.5	
5	总砷 (As, mg/L)	≤ 0.5	
6	总铅 (Pb, mg/L)	≤ 1.0	
7	总镍 (Ni, mg/L)	≤ 0.5	
8	总钡 (Ba, mg/L)	≤ 0.7	
9	总铍 (Be, mg/L)	≤ 0.005	
10	总铊 (Tl, mg/L)	≤ 0.005	
11	总锌 (Zn, mg/L)	≤ 2.0	
12	总锰 (Mn, mg/L)	≤ 2.0	