

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—2026

盐湖提锂副产品稀散金属富集与 回收技术规

Technical specification for enrichment and recovery of associated rare and scattered
metals in salt lake lithium extraction

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中国西部开发促进会 发布

目 次

前言	2
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 原料要求	2
5.1 来源与分类	2
5.2 化学成分要求	2
5.3 物理性质要求	2
5.4 原料管理	2
6 富集工艺	2
6.1 工艺选择	2
6.2 吸附法富集	2
6.3 萃取法富集	3
6.4 膜分离法富集	3
7 回收工艺	4
7.1 硼回收工艺	4
7.2 碘回收工艺	4
7.3 铷与铯回收工艺	4
8 检测方法	4
8.1 样品采集与制备	4
8.2 锂含量测定	5
8.3 硼含量测定	5
8.4 碘含量测定	5
8.5 铷、铯含量测定	5
8.6 数值修约	5
9 运行与维护要求	5
9.1 运行管理	5
9.2 设备维护	5
9.3 异常处理	5
9.4 人员要求	6

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。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布。

盐湖提锂副产品稀散金属富集与回收技术规

1 范围

本文件规定了盐湖提锂副产品稀散金属富集与回收技术的总体要求、原料要求、富集工艺、回收工艺、产品质量、检测方法、运行与维护。

本文件适用于以含硼、碘、铷、铯等稀散金属的盐湖提锂副产品（如沉锂母液、吸附尾液、洗脱液、膜浓缩浓水等）为原料，采用吸附、萃取、膜分离等技术进行稀散金属富集与回收的生产、检验与运行管理。

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 601 化学试剂 标准滴定溶液的制备
- GB/T 602 化学试剂 杂质测定用标准溶液的制备
- GB/T 603 化学试剂 试验方法中所用制剂及制品的制备
- GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法
- GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 14554 恶臭污染物排放标准
- GB 5085.7 危险废物鉴别标准 通则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

盐湖提锂副产品 by-product of lithium extraction from salt lake

指在从盐湖卤水中提取碳酸锂或氢氧化锂主产品过程中，所产生的含稀散金属元素的剩余溶液或中间产物。

3.2

稀散金属 dispersed metals

指硼、碘、铷、铯等在地壳中含量低、分布分散、但具有重要战略用途的金属元素。

3.3

富集 enrichment

通过物理或化学方法提高副产品液中稀散金属离子浓度的过程。

3.4

回收率 recovery rate

从副产品液中提取得到的某种稀散金属产品质量占该金属在原液中总含量的百分比。

3.5

负载有机相 loaded organic phase

在萃取过程中，已吸收目标稀散金属离子并与水相分离的有机溶剂相。

4 总体要求

稀散金属富集与回收过程应符合以下要求：

——应遵循资源化、减量化、无害化原则。

- 应选择对盐湖提锂主工艺影响最小的介入节点。
- 应实现多种稀散金属的梯级分离与协同回收。
- 不得引入对后续回收及环境造成二次污染的化学物质。
- 应配备自动化控制系统与在线监测装置。

5 原料要求

5.1 来源与分类

原料来源与分类应符合以下要求：

- 应明确原料来源，包括但不限于沉锂母液、吸附尾液、洗脱液、膜浓缩浓水；
- 应根据稀散金属含量及杂质组成对原料进行分类管理。

5.2 化学成分要求

原料化学成分分析应符合以下要求：

- 应提供原料的完整化学成分分析报告；
- 分析报告至少应包含锂（Li）、硼（B）、碘（I）、铷（Rb）、铯（Cs）的含量；
- 应提供主要杂质离子（如钙、镁、钠、钾、硫酸根、氯根等）的含量数据。

5.3 物理性质要求

原料物理性质检测应符合以下要求：

- 应测定并记录原料的 pH 值（25℃）；
- 应测定并记录原料的悬浮物含量及总溶解固体（TDS）；
- 应测定并记录原料的密度及动力粘度（25℃）。

5.4 原料管理

原料管理应符合以下要求：

- 不同批次、不同来源的原料应分区存放，标识清晰；
- 属于危险废物的原料应按照 GB 5085.7 进行鉴别与申报；
- 原料储存容器应具备防腐蚀、防泄漏功能。

6 富集工艺

6.1 工艺选择

富集工艺的选择应符合以下要求：

- 应根据稀散金属在原料液中的存在形态（离子态、络合物态）及浓度水平确定；
- 应优先选用能耗低、药剂消耗少、分离效率高的工艺；
- 宜采用梯级富集路线，先富集高浓度元素，再回收低浓度元素；
- 工艺确定前应进行小试及中试验证。

6.2 吸附法富集

6.2.1 吸附剂选择

吸附剂选择应符合以下要求：

- 应选用对硼、碘、铷、铯具有高选择性的吸附树脂或功能材料；
- 吸附剂的静态吸附容量不应低于设计指标要求；
- 吸附剂应具有良好的机械强度和化学稳定性；
- 应提供吸附剂的动力学吸附曲线及 pH 适用范围。

6.2.2 吸附操作要求

吸附操作应符合以下要求：

- 吸附操作宜采用固定床或连续移动床方式；
- 进液流速应根据吸附剂的动力学特性确定；
- 吸附穿透点应通过穿透曲线试验确定；
- 达到穿透点前应停止进液并转入解吸步骤；
- 吸附温度应控制在吸附剂允许的范围内。

6.2.3 解吸操作要求

解吸操作应符合以下要求：

- 解吸剂宜选用稀酸、稀碱或盐溶液；
- 解吸剂浓度及用量应通过试验优化确定；
- 解吸温度不应超过吸附剂的热稳定性上限；
- 解吸液应收集并送入下一工序；
- 解吸后的吸附剂应进行再生处理。

6.3 萃取法富集

6.3.1 萃取剂选择

萃取剂选择应符合以下要求：

- 应选择对目标金属分配比高、反萃容易、水溶性低的萃取剂；
- 萃取剂应与稀释剂具有良好的相容性；
- 萃取体系应具备良好的相分离性能；
- 应提供萃取剂的选择性系数及饱和萃取容量。

6.3.2 萃取设备要求

萃取设备应符合以下要求：

- 应根据处理规模选择混合澄清槽、萃取塔或离心萃取器；
- 萃取设备材质应耐腐蚀、耐磨损；
- 应配备相比调节及流量控制装置。
- 萃取设备应具备液位监测及报警功能。

6.3.3 萃取操作要求

萃取操作应符合以下要求：

- 萃取级数应根据 McCabe-Thiele 图或动态模拟结果确定；
- 萃取过程应控制相比 (O/A)、混合强度与澄清时间；
- 萃取温度应根据萃取剂性能及料液特性确定；
- 负载有机相反萃前应进行洗涤，去除共萃杂质；
- 贫有机相应返回萃取工序循环使用。

6.4 膜分离法富集

6.4.1 膜材料选择

膜材料选择应符合以下要求：

- 应根据离子截留分子量选择纳滤膜或电渗析膜；
- 膜材料应具备良好的化学稳定性和抗污染性能；
- 应提供膜组件的截留分子量、通量及操作压力范围；
- 膜材料应适用于盐湖卤水体系的 pH 及温度条件。

6.4.2 膜系统要求

膜系统应符合以下要求：

- 膜系统前应设置保安过滤器，防止颗粒物损伤膜组件；
- 应配备在线清洗装置；

- 应设置流量、压力、温度在线监测仪表；
- 膜组件应便于拆卸、更换及清洗。

6.4.3 膜操作要求

膜操作应符合以下要求：

- 运行压力、温度、回收率应控制在膜供应商推荐的范围内。
- 进液 pH 值应调节至膜材料允许的范围。
- 膜通量下降超过初始通量 20%时应进行清洗。
- 膜清洗周期与方法应基于通量衰减曲线确定。
- 清洗废液应收集并按规定处理。

7 回收工艺

7.1 硼回收工艺

硼的回收应符合以下要求：

- 富集液中硼浓度达到 1 g/L 以上时方可进入回收工序；
- 可采用酸化-冷却结晶法生产硼酸；
- 酸化过程应控制 pH 值在适宜范围内；
- 结晶温度及降温速率应根据溶解度曲线确定；
- 结晶母液应返回富集工序或外排处理；
- 硼回收率不应低于 85%。

7.2 碘回收工艺

碘的回收应符合以下要求：

- 含碘富集液应先调节 pH 至 2~3。
- 采用空气吹出法或离子交换法提取碘。
- 吹出法应控制氧化剂（氯气或双氧水）的投加量。
- 吹出塔的气液比应根据试验确定。
- 吸收液中的碘应通过酸化或还原方式析出。
- 提取的粗碘应通过升华或重结晶提纯。
- 成品碘含量不应低于 99.0%。
- 碘回收率不应低于 80%。

7.3 铷与铯回收工艺

铷与铯的回收应符合以下要求：

- 应在脱除硼、碘及大部分钙镁离子后进行。
- 宜采用分步沉淀或离子交换/吸附-解吸工艺。
- 分步沉淀应控制沉淀剂的种类及投加顺序。
- 离子交换法应选用对铷/铯具有高选择性的树脂。
- 解吸液应浓缩结晶得到最终产品。
- 最终产品可为铷铯混合盐或单一铷盐、铯盐。
- 铷、铯的综合回收率不应低于 80%。

8 检测方法

8.1 样品采集与制备

样品采集与制备应符合以下要求：

- 采样点应设置在原料入口、各工序出口及最终产品出口；
- 采样频率应根据生产稳定性确定，每班次不应少于 1 次；
- 样品应密封保存，避免污染及挥发；

——样品制备应按 GB/T 6682 要求使用试验用水。

8.2 锂含量测定

锂含量测定应符合以下要求：

- 应采用电感耦合等离子体发射光谱法；
- 检测波长宜选用 670.78 nm；
- 标准曲线相关系数不应低于 0.999；
- 样品测定前应进行适当稀释。

8.3 硼含量测定

硼含量测定应符合以下要求：

- 应采用电感耦合等离子体发射光谱法或甘露醇滴定法；
- ICP-OES 法检测波长宜选用 249.77 nm；
- 滴定法应按 GB/T 601 配制标准溶液。

8.4 碘含量测定

碘含量测定应符合以下要求：

- 应采用硫代硫酸钠滴定法或离子色谱法；
- 滴定法应按 GB/T 601 配制硫代硫酸钠标准溶液；
- 离子色谱法应配备电导检测器。

8.5 铷、铯含量测定

铷、铯含量测定应符合以下要求：

- 应采用电感耦合等离子体发射光谱法或火焰原子吸收光谱法；
- ICP-OES 法检测波长：铷宜选用 780.02 nm，铯宜选用 852.11 nm。
- 样品基体干扰较大时，应采用标准加入法。

8.6 数值修约

检测结果的数值修约应符合 GB/T 8170 的规定。

9 运行与维护要求

9.1 运行管理

运行管理应符合以下要求：

- 应建立富集-回收全流程运行台账；
- 台账记录内容应包括进液量、出液量、药剂消耗量、产品产量、能耗等；
- 应每日记录关键工艺参数（温度、pH、流量、压力等）；
- 运行记录应保存不少于 3 年。

9.2 设备维护

设备维护应符合以下要求：

- 关键设备（萃取器、膜组件、吸附塔）应制定维护保养计划；
- 维护保养计划应明确维护周期、维护内容及责任人；
- 在线仪表（pH 计、流量计、液位计）应每 3 个月校准一次；
- 设备故障应记录并分析原因，重大故障应形成处理报告。

9.3 异常处理

异常处理应符合以下要求：

- 产品回收率连续 3 个批次低于设计值 10% 时，应停机排查原因；
- 设备运行参数超出设定范围时，应及时调整并记录；

- 出现泄漏、冒槽等安全事故时，应立即启动应急预案。
- 异常处理完成后应形成书面报告。

9.4 人员要求

人员要求应符合以下要求：

- 操作人员应经过稀散金属回收工艺与安全培训后上岗；
 - 培训内容应包括工艺原理、操作规程、安全防护及应急处置；
 - 特种作业人员应持证上岗；
 - 应建立人员培训档案，每年组织复训不少于 1 次。
-