

ICS 13.030.40

Z 01

团 体 标 准

T/ACEF XXX-2025

柠檬酸石膏生态回填利用技术规范

Technical specifications for ecological backfill utilization

of citric acid gypsum

（征求意见稿）

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中 华 环 保 联 合 会 发 布

目 次

前 言 1

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 2

5 回填材料要求 4

6 环境本底调查和选址 5

7 环境风险评估 8

8 回填作业要求 8

9 生态修复要求 9

10 污染控制要求 9

11 环境监测要求 10

12 后期管理要求 12

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这些专利的责任。

本文件由生态环境部固体废物与化学品管理技术中心，中华环保联合会绿色技术发展专业委员会提出。

本文件由中华环保联合会归口管理。

本文件主编单位：XXX。

本文件参编单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX。

柠檬酸石膏生态回填利用技术规范

1 范围

本文件规定了柠檬酸石膏用于生态回填的术语和定义、总体要求、材料要求、环境本底调查和选址、环境风险评估、回填作业要求、生态修复要求、污染控制、环境监测要求及后期管理要求等。

本文件适用于利用柠檬酸石膏进行生态回填过程的环境本底调查、选址、环境风险评估，以及回填和生态修复的设计、运行和管理。

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 3838	地表水环境质量标准
GB 5085.3	危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
GB 8978	污水综合排放标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 15618	土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准
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 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/T 14848	地下水质量标准
GB/T 15776	造林技术规程
DZ/T 0282	水文地质调查规范
HJ 2.3	环境影响评价技术导则 地表水环境
HJ 25.3	建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 91.2	地表水环境监测技术规范
HJ 557	固体废物浸出毒性方法 水平振荡法
HJ 610	环境影响评价技术导则 地下水环境
HJ 819	排污单位自行监测技术指南 总则
HJ 964	环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）
HJ/T 20	工业固体废物采样制样技术规范
HJ/T 91.2	地表水环境监测技术规范
JC/T 2649	柠檬酸石膏
TD/T 1036	土地复垦质量控制标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

柠檬酸石膏 citric acid gypsum

柠檬酸生产过程中，沉淀型柠檬酸氢钙与硫酸反应生成的富含二水硫酸钙的副产物。

3.2

高纯柠檬酸石膏 high-purity citric acid gypsum

以规模化消纳、资源化封存为目的，对柠檬酸石膏进行调浆、水洗等深度净化处理后满足回填利用要求的产物。

3.3

生态回填利用 ecological backfilling utilization

以规模化消纳、资源化封存为目的，将高纯柠檬酸石膏回填至露天开采地表挖掘区、取土场、地下开采塌陷区以及天然坑洼区等场地，进行土地复垦、植被恢复等生态修复活动的过程。

4 总体要求

4.1 基本要求

4.1.1 环境风险可控

开展生态回填前，必须进行系统的场地勘察、环境本底调查、环境风险评估、专家论证和环境影响评价。重点评估高纯柠檬酸石膏在特定地质与水文条件下，其理化特性对周边土壤、地下水和地表水环境的潜在迁移风险和生态影响。经环境风险评估不可接受的，不得用于生态回填利用。

4.1.2 污染预防与全过程管理

应遵循源头管控和过程控制理念，对高纯柠檬酸石膏从产生、运输、贮存到回填施工及后期管护的全生命周期实施系统化管理。所有环节应建立生态环境质量监测体系，确保潜在污染风险可追溯、可控制。

4.1.3 因地制宜

应结合回填场地的工程地质与水文地质条件、区域环境容量、生态修复目标以及高纯柠檬酸石膏的物理化学性质，科学论证并制定针对性的回填方案与生态修复技术方案，实现高纯柠檬酸石膏规模化消纳、资源化封存与生态环境恢复的协同。

4.2 工作流程

高纯柠檬酸石膏生态回填工作主要包括：回填材料分析、环境本底调查、选址分析、回填作业、生态修复及后期管理等环节。基本工作流程见图 1。

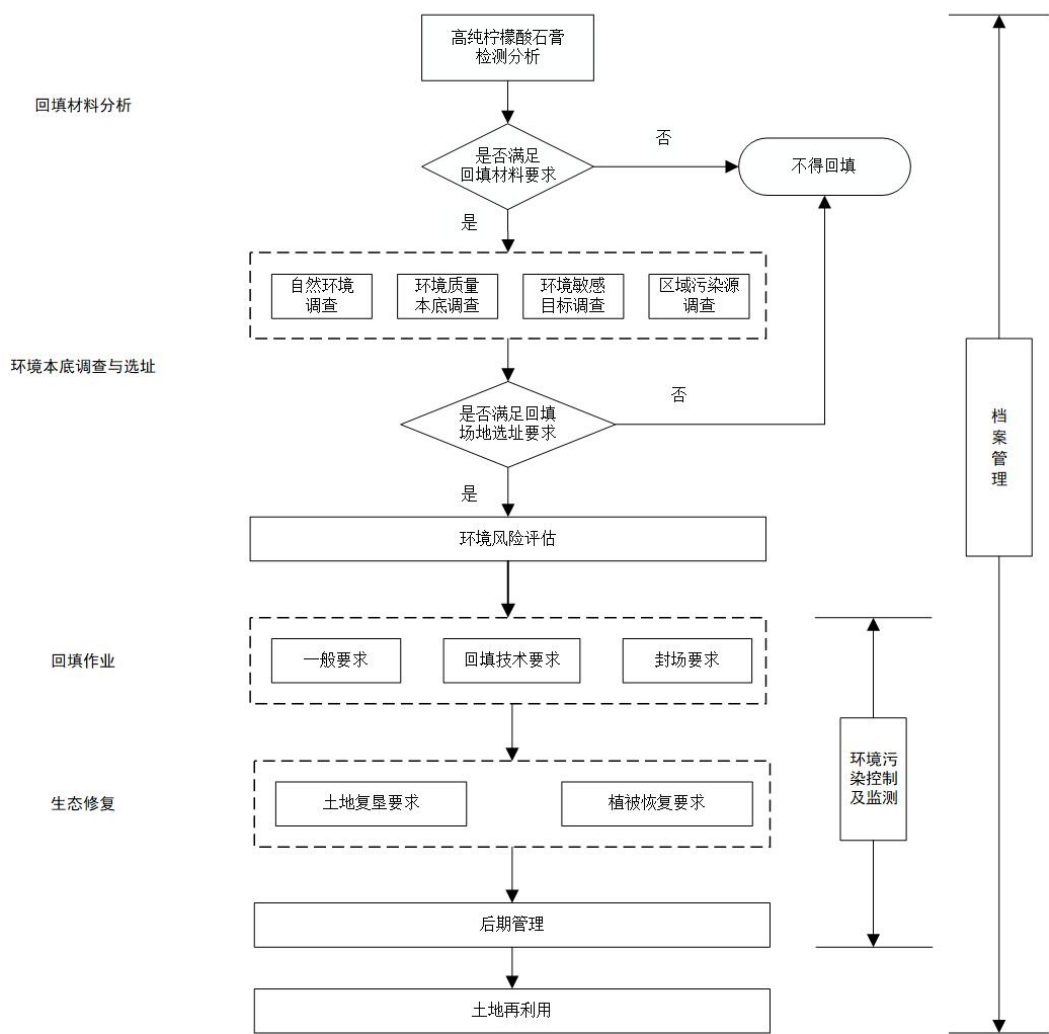


图 1 基本工作流程图

5 回填材料要求

高纯柠檬酸石膏的基本理化指标应符合表 1 的要求，且按照 HJ 557 规定方法制备的浸出液污染物指标须满足表 2 的要求。

表 1 高纯柠檬酸石膏基本理化指标

序号	项目	指标
1	pH	6.5-8.5
2	附着水含量，%	≤20
3	二水硫酸钙（CaSO ₄ •2H ₂ O）（干基），%	≥80
4	有机质含量，%	<2
5	水溶性盐总量，%	<2
7	水溶性氧化镁（MgO）（干基），%	≤0.2

序号	项目	指标
8	游离酸（以无水柠檬酸 C ₆ H ₈ O ₇ 计） （干基）， %	≤0.10
9	易分解杂质（干基）， %	≤0.15

表 2 高纯柠檬酸石膏浸出液污染物指标

序号	项目	指标
1	铬（六价）， mg/L	≤0.05
2	总砷， mg/L	≤0.01
3	总铍， mg/L	≤0.002
4	总银， mg/L	≤0.05
5	硫化物， mg/L	≤0.02
6	氨氮， mg/L	≤0.5
7	氟化物， mg/L	≤1
8	阴离子表面活性剂	≤0.3
9	总锌， mg/L	≤1
10	总锰， mg/L	≤0.1
11	磷酸盐（以 P 计）， mg/L	≤0.5
12	五日生化需氧量， mg/L	≤20
13	化学需氧量， mg/L	≤100

注：高纯柠檬酸石膏的特征污染物为项目 1-10。

6 环境本底调查和选址

6.1 环境本底调查

6.1.1 调查范围

根据回填场地及其受影响区域所在水文地质单元，结合工程地质、水文地质、气象与土地利用、生态现状、周边生态环境敏感目标及相关污染源分布确定调查范围。

6.1.2 调查内容

待回填场地及其可能影响范围的自然环境、环境质量本底、环境敏感目标、区域污染源等。

6.1.3 自然环境调查

主要包括工程地质、水文地质、气象与土地利用、生态现状等基本情况的调查。

a) 工程地质情况调查包括如下内容：

1) 地质结构：回填场地所处区域的地层结构、地层稳定性、岩性等。

2) 地形地貌：影响回填场地安全的危岩体、高边坡和破碎斜坡等主要岩体形态的规模、分布及发育程度等，说明回填场地地质灾害隐患的类型、分布、规模及状态等。

b) 水文地质情况调查包括如下内容：

回填场地所在流域地表水和地下水的基本水文特征，按照 DZ/T 0282 和 HJ 610 相关要求开展调查工作。

1) 地下水：包气带特征、地下水类型、含水层分布特征、与地下水有关的环境地质问题、地下水开发利用情况（集中供水水源地、分散水源井以及特殊类型地下水的分布及利用情况）等。

2) 岩溶发育情况、地质构造等。

3) 地表水：地表水系分布、多年平均径流量、平均流速、特征参数等。

c) 气象与土地利用调查应包括如下内容：

1) 气象：回填场地所在地气象条件；

2) 基本现状：回填场地的面积容积、历史演变、治理现状等；

3) 土地利用情况：土地利用现状及规划类型、规模、分布和权属情况。

d) 生态现状调查包括植被类型，植物群落结构，群落中的关键种、建群种、优势种；动物物种组成；生态系统类型等情况。

6.1.4 环境质量本底调查

调查范围内土壤、地表水及地下水的环境质量本底水平，作为环境风险评估、长期监测的对照值。

a) 土壤：调查回填场地内土壤时，需参照以下要求进行：

1) 土壤布点及采样要求：根据回填场地及其周边可能受到影响的区域地形特征、主导风向、地表径流方向等情况，按照 HJ 964 中监测布点与采样要求进行。回填场地内和外围均应设置表层样采样点。如已裸露基岩，可不设置采样点，并注明理由；

2) 土壤监测指标：根据土地利用规划用途和高纯柠檬酸石膏污染特性，参照 GB 36600、GB 15618 等标准选取监测指标，包括铬（六价）、总砷、总钼、总锌等。

b) 地下水：调查回填场地范围地下水时，需参照以下要求进行：

1) 地下水布点及采样要求：按照 HJ 610 中监测布点与采样要求进行；

2) 地下水监测指标：根据地下水环境保护目标和高纯柠檬酸石膏污染特性，参照 GB/T 14848 等标准选取监测指标，包括铬（六价）、总砷、总钼、总银、硫化物、氨氮、

氟化物、阴离子表面活性剂、总锌、总锰等。

c) 地表水：回填场地周边如有受影响的环境敏感目标，需进行地表水采样监测，参照以下要求进行：

1) 地表水布点及采样要求：采样点位的布设按照 HJ 2.3 的要求进行；水质样品采集流程及管理执行 HJ 91.2 相关技术规定要求；

2) 地表水监测指标：根据水域功能类别和高纯柠檬酸石膏污染特性，参照 GB 3838 等标准选取监测指标，根据水环境保护功能，包括铬（六价）、硫化物、氨氮、氟化物、阴离子表面活性剂、总锌、总锰等监测指标。

6.1.5 环境敏感目标

调查回填场地周边居民区、学校、医院、饮用水源保护区、永久基本农田及其它公共场所等环境敏感目标的分布、规模、保护要求等情况，以及调查范围内的构筑物、工程设施等其他情况。

6.1.6 区域污染源

调查回填场地周边 1km 范围内是否有影响高纯柠檬酸石膏生态回填的固体废物产生源，调查其来源、主要成分、固体废物属性、污染特征等，排查干扰环境风险评估结果的污染源。

6.2 选址

6.2.1 回填场地应符合环境保护法律法规及相关法定规划要求，应与所在地国土空间规划协调一致，应与当地的生态环境与水土资源保护要求相一致。

6.2.2 高纯柠檬酸石膏回填场地不应位于以下地区：

a) 活动断层、岩溶强发育区、地质灾害发育区以及天然湿地等区域；

b) 江河、湖泊、运河、渠道、水库最高水位线以下的滩地和岸坡，以及国家和地方长远规划中的水库等人工蓄水设施的淹没区和保护区之内；

c) 国务院和国务院有关主管部门及地方人民政府划定的生态保护红线区域、永久基本农田和其他需要特别保护的区域内。

6.2.3 高纯柠檬酸石膏回填场地可选择露天开采地表挖掘区、地下开采塌陷区以及天然坑洼区等。

7 环境风险评估

除国家、地方及相关行业另有标准规定外，根据生态回填后土地利用性质、规划用途及生态环境和环境质量控制目标等要求，结合待回填场地的环境本底调查结果分析，按照 HJ 25.3 等相关标准进行环境风险评估，重点评估对地下水、地表水及周边土壤的环境污染风险。根据风险评估结果，判断高纯柠檬酸石膏用于生态回填的可行性，经风险评估确定环境风险可接受的，可开展后续生态回填工作。

8 回填作业要求

8.1 一般要求

8.1.1 回填作业的设计、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。

8.1.2 回填作业实施之前，应当根据环境本底调查、风险评估结果及土地复垦要求，组织编制回填施工方案。回填施工方案应包括施工质量保证、施工质量控制内容和环境应急预案，明确环境保护条款和责任，作为项目竣工验收的依据和监理的主要工作内容。

8.1.3 回填工程可根据回填场地规模和建设条件进行分期、分区设计建设。回填作业面应按功能分区合理布置，主要功能区包括回填作业区、辅助生产区、管理区、进出场道路等。

8.1.4 回填工程一般应配套截排水系统、淋溶水收集系统、分析化验与环境监测系统 and 废水处理系统。雨水通过截洪沟等截排水系统引排至场外，避免进入作业区。

8.1.5 回填期间应建立工程设施检查维护制度，定期开展巡查，发现破损、堵塞或结构异常等情况应及时修复，确保各系统安全稳定运行。

8.2 回填技术要求

8.2.1 回填工程的防渗设计应结合项目环境风险评估结果确定。

8.2.2 应确保回填过程及回填场地长期安全稳定，回填地形坡度一般不大于 25°。回填时需要高纯柠檬酸石膏进行分层压实。

8.3 封场要求

8.3.1 封场设计应统筹考虑环境保护、生态修复与未来土地用途需求，科学选择覆盖结构形式、材料类型及配套排水、绿化等辅助工程。封场方案应满足抗蚀、植被恢复等功

能要求，并为后续非建设用途（如林草地、生态绿地等）提供基础条件。

8.3.2 封场一般应要求覆盖土层，厚度视高纯柠檬酸石膏的物理特性和拟种植物种类确定。同时需结合周边地形因素，控制场地坡度和高度，防止雨水侵蚀和过度冲刷。

8.3.3 封场后，仍需对覆盖层进行维护管理，防止覆盖层不均匀沉降、开裂。

9 生态修复要求

当生态回填用地完成回填工作后，应及时开展土地复垦及植被修复。

9.1 土地复垦要求

依据当地地形条件、水资源及表土资源等自然环境条件和社会发展需求并按照相关规定进行土地复垦。土地复垦实施过程应满足 TD/T 1036 规定的相关土地复垦质量控制要求。土地复垦后开发利用的，应符合 GB 15618 和 GB 36600 相应规划用途的土壤环境质量要求。

9.2 植被恢复要求

9.2.1 植被恢复设计造林树种苗木应符合 GB/T 15776 等要求，对于坡面植被恢复技术应符合 GB/T 38360。

9.2.2 植被恢复设计应按遵从立地条件与植物生态学特征相适应、乡土适生植物优先原则，考虑植被适应性、结构布局合理性和物种多样性，优先使用原生表土及乡土物种，禁止引入对当地生物多样性造成威胁的外来植物种，重建与周边生态系统相协调的生态系统，最终形成可自然维持的生态系统。

9.2.3 植被恢复设计应考虑土地利用类型、回填区与非回填区处理、坡度与边坡处理、水土保持和固土稳定等因素。

9.2.4 为防止破坏回填修复区的顶部及边坡的防渗设计，宜选用根系不发达、播种栽植容易、成活率高的植被进行修复。

9.2.5 非回填的修复区域，宜选用根系发达、萌芽能力强、生长速度快、能有效固结土壤、抗水土流失能力强的植物。

10 污染控制要求

10.1 回填过程禁止掺加经环境风险评估之外的其他固体废物。

10.2 应制定回填作业过程中的地下水、地表水、大气、噪声、固体废物、土壤等污染

防治措施以及应急措施等，且应严格执行淋溶水收集处理、雨水截排等环境保护措施，防止回填过程对周边大气、地下水、地表水和土壤造成污染。

10.3 高纯柠檬酸石膏回填施工过程产生的废水应经处理后回用或满足 GB 8978 的要求达标排放，大气污染物排放应当符合 GB 16297 及相关标准要求，噪声应当符合 GB 12348 标准规定，固体废物应当采取综合利用或妥善处理等措施，防止或减少产生。

10.4 回填过程产生的淋溶水经收集处理，检测合格后优先用于矿区绿化、道路降尘等综合利用途径，或满足 GB 8978 的要求达标排放。

11 环境监测要求

11.1 一般要求

11.1.1 回填作业、生态修复施工及后期管理过程中，应制定回填过程及后期管理的环境监测方案，对污染物排放状况及对周边环境质量的影响，参照 HJ 819 要求开展自行监测，制定回填材料检测方案及地下水、地表水、大气、土壤、噪声等环境质量监测方案，明确监测质量保证和质量控制要求，建立信息档案，保存原始监测记录和报告。

11.1.2 环境质量监测指标应根据回填高纯柠檬酸石膏质量和环境风险评估结果确定，应与污染防治和环境质量控制目标相衔接，且能表征高纯柠檬酸石膏污染特征。

11.2 回填材料检测

高纯柠檬酸石膏的采样规则、检测要求如下：

a) 采样批次：在该高纯柠檬酸石膏来源及投加量稳定的前提下，频次为每月 1 次；在连续两个月监测结果均不超出表 1 和表 2 指标要求时，频次可减为每年 1 次；若在此期间监测结果出现异常或高纯柠檬酸石膏来源发生变化或再生利用中断超过半年以上，则监测频次重新调整为每月 1 次。

b) 采样方法：高纯柠檬酸石膏用于回填场地后进行采样，结合回填工艺确定采样区域。采样区域使用网格法结合堆积高度确定采样点位数，每批次采样点位不少于 3 个，每批次份样数不少于 6 个，将上述份样制成一个混合样，按照 HJ/T 20 中第 5 章的要求进行制样分析。

c) 检测要求：检测指标参照表 1 和表 2。pH 应按 GB/T 15555.12 测定；附着水含量、二水硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）（干基）、水溶性氧化镁（ MgO ）（干基）、游离酸（以无水柠檬酸 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 计）（干基）、易分解杂质（干基）应按 JC/T 2649 测定；有机质含量应

按 HJ 761 测定；水溶性盐总量应按 NY/T 1121.16 测定；铬（六价）、总砷、总铍、总银、硫化物、氨氮、氟化物、阴离子表面活性剂、总锌、总锰应按 GB/T 14848 测定；磷酸盐（以 P 计）、五日生化需氧量、化学需氧量应按 GB 8978 测定。

11.3 回填过程环境监测

11.3.1 土壤监测要求

回填过程土壤监测要求如下：

a) 在回填场地周边雨水易于汇流和积聚的区域以及回填场地外主导风向的下风向区域布设土壤采样监测点，并根据环境风险评估结果，采集表层土壤样品。监测点位可使用 6.1.4 中已有监测点位或根据实际情况另行增设，表层土壤监测点位数量均不少于 4 个。

b) 监测指标与 6.1.4 中要求保持一致。监测指标的分析方法按 GB 36600 或 GB 15618 的规定执行。

c) 自行监测频次不少于每年 1 次。

11.3.2 地下水监测要求

回填过程地下水监测要求如下：

a) 回填区所在相对水文地质单元潜水含水层水质监测点应不少于 3 个，可能受建设项目影响的含水层 1~2 个。回填区上游及下游影响区的地下水水质监测点各不得少于 1 个；在包气带厚度超过 100m 的地区或监测井较难布置的基岩山区，可视情况调整数量，并说明调整理由。

b) 监测指标、采样要求与 6.1.4 中要求保持一致。监测指标的分析方法按 GB 14848 的规定执行。

c) 监测频率为每年丰、枯水期各监测 1 次。如监测结果出现异常，应及时进行重新监测，间隔时间不得超过 1 个月。

11.3.3 地表水监测要求

回填过程地表水监测要求如下：

a) 对于存在影响地表水的回填项目，应按照 HJ 819 要求，确定地表水监测点位。

b) 监测指标、采样要求与 6.1.4 中要求保持一致。监测指标的分析方法按 GB 3838 的规定执行。

c) 监测频次为季度性监测，对于周边存在地表水环境敏感区域或目标的，还需要增加

监测频次。如监测结果出现异常，应及时进行重新监测，间隔时间不得超过 1 个月。

11.3.4 大气监测要求

回填过程大气监测要求如下：

- a) 采样点布设、采样及分析方法按 GB16297 的规定执行，污染源下风方向应为主要监测范围。
- b) 无组织气体排放常规监测因子应至少包括颗粒物等。
- c) 监测频次不少于每季度 1 次。如监测结果出现异常，应及时进行重新监测，间隔时间不得超过 1 周。

11.3.5 噪声监测要求

回填过程噪声监测要求如下：

- a) 回填作业期间的噪声测量方法及环境噪声排放限值按照 GB12523 的规定执行。
- b) 监测频次不少于每季度 1 次。

11.4 生态回填后环境质量监测

生态修复后，工程区域土壤质量监测按照 11.3.1 执行、地下水质量监测按照 11.3.2 执行、地表水质量监测按照 11.3.3 执行，直到相关指标连续 2 年内，年均检测指标持续稳定，特征污染物指标不呈上升趋势。当发现年均监测指标呈上升趋势，应当采取相应的对策措施。

12 后期管理要求

12.1 档案管理

生态回填应建立全过程档案管理制度，台账满足生态回填全过程和全生命周期的监管要求，并按照国家档案管理等法律法规进行整理与归档，永久保存。档案资料包括但不限于以下内容：

- a) 工程地质与水文地质勘察报告、环境本底调查及风险评估报告、环境影响评价文件、回填实施方案。
- b) 应急预案、突发环境事件应急预案、监测计划、工程管理制度、环境管理制度。
- c) 高纯柠檬酸石膏原料来源台账，入场台账等资料。包括高纯柠檬酸石膏使用日期、使用量、使用范围、高纯柠檬酸石膏按 HJ 557 制备浸出液的污染物含量等。
- d) 生态回填后土壤、地表水及地下水等监测结果、监测报告等。

e) 竣工环境保护验收调查报告、工程验收报告等。

12.2 其他

12.2.1 完成生态回填后，需建立长期维护管理制度并保存相关工作记录。

12.2.2 完成生态回填后，应在场区边界外应设置明显标识牌，注明施工完成时间、进入和使用该场地时应注意的事项，以及长期运行设施运行管理责任主体和联系方式。
