

T/YNESS

云南省环境科学学会团体标准

T/YNESS 007—2025

改性磷石膏应用于土地复垦技术规范

Technical Specifications for the Application of Modified Phosphogypsum in
Land Reclamation

2025 - 12 - 19 发布

2025 - 12 - 19 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..... | 1 |
| 4 总体要求及工艺流程..... | 2 |
| 5 磷石膏改性技术要求..... | 2 |
| 6 改性磷石膏用于土地复垦技术要求..... | 3 |
| 7 监测与管理要求..... | 5 |

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。

本文件由云南农业大学提出。

本文件由云南省环境科学学会归口管理。

本文件起草单位：云南农业大学、云南云天化环保科技有限公司、北京建工环境修复股份有限公司、昆明川金诺化工股份有限公司、云南红富化肥有限公司。

本文件主要起草人：张乃明，康绍果，包立，高刘，周永祥，张琳，张晖，李世华，杨松霖，李莹美，周洪印，何建杨，刘昱成，钟晋，刘丽平，秦立，王思敏，王文峰，马杰文。

改性磷石膏应用于土地复垦技术规范

1 范围

本文件规定了改性磷石膏应用于土地复垦的总体要求及工艺流程、磷石膏改性技术要求、改性磷石膏用于土地复垦技术要求、监测与管理要求等内容。

本文件适用于改性磷石膏应用于土地复垦工程的设计、施工及监测。

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 2762 食品安全国家标准 食品中污染物限量
- GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）
- GB 16297 大气污染物综合排放标准
- GB/T 42251 采矿沉陷区生态修复技术规程
- GB/T 43935 矿山土地复垦与生态修复监测评价技术规范
- HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
- HJ/T 332 食用农产品产地环境质量评价标准
- HJ/T 333 温室蔬菜产地环境质量评价标准
- HJ 557 固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法
- HJ 1415 磷石膏利用和无害化贮存污染控制技术规范
- NY 861 粮食(含谷物、豆类、薯类)及制品中铅、铬、镉、汞、硒、砷、铜、锌等八种元素限量
- 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标准。

3.1

改性磷石膏 modified phosphogypsum

指以工业副产磷石膏为原料，采用物理、化学或复合改性处理后可应用于土地复垦的材料。

3.2

土地复垦 land reclamation

指利用改性磷石膏对生产建设活动或自然灾害损毁的土地采取整治措施，使其达到可供利用状态的活动。其中，复垦土地从上至下可分为表土层、亚表层和基础层。

3.3

表土层 topsoil layer

复垦土地的最上层，该层具有有机质含量较高，养分含量较丰富，结构良好等特点，适宜植物生长。

3.4

亚表层 subsoil layer

又称“心土层”，通常是表土层和基础层之间的过渡层，剖面构型位于表土层与基础层之间。该土层较为紧实，具备一定的防水分下渗能力，有较好的保水保肥性能。

3.5

基础层 substratum layer

基础层上接亚表层，下接母质层或基岩，是微地形重塑和土体重构的基础，不受耕作活动影响。

4 总体要求及工艺流程

4.1 磷石膏改性及土地复垦施工应符合安全环保的原则，确保改性磷石膏应用于土地复垦后不产生新的安全和环保隐患。

4.2 改性磷石膏应用于土地复垦区域的底部高程应高于地下水年最高水位。

4.3 改性磷石膏应用于土地复垦施工过程中所产生的废气、废水、固体废物及其他污染物应进行治理，并达到 GB 8978、GB 16297 等国家和地方污染物排放标准要求。

4.4 利用改性磷石膏复垦后的区域土壤质量应符合 GB 15618 用地类型对应的要求或不低于当地土壤环境背景值。

4.5 利用改性磷石膏复垦后的区域用于食用农产品种植的，其环境质量应满足 GB 15618、HJ/T 332、HJ/T 333 以及其它国家、行业及地方标准的相关要求；农产品中重金属限值按照 GB 2762 和 NY 861 执行。

4.6 应对利用改性磷石膏复垦后的区域土壤、水环境等进行长期跟踪监测，经长期监测如果发现存在环境风险的，经评估后应及时采取补救措施，保障项目的长期有效性及稳定性。

4.7 改性磷石膏用于土地复垦的工作内容主要包括磷石膏改性、改性磷石膏质量监测、基础层施工、亚表层施工、表土层施工、土地复垦过程监测、地力提升、土地后续利用及长期监测等。具体工艺流程如图 1 所示。

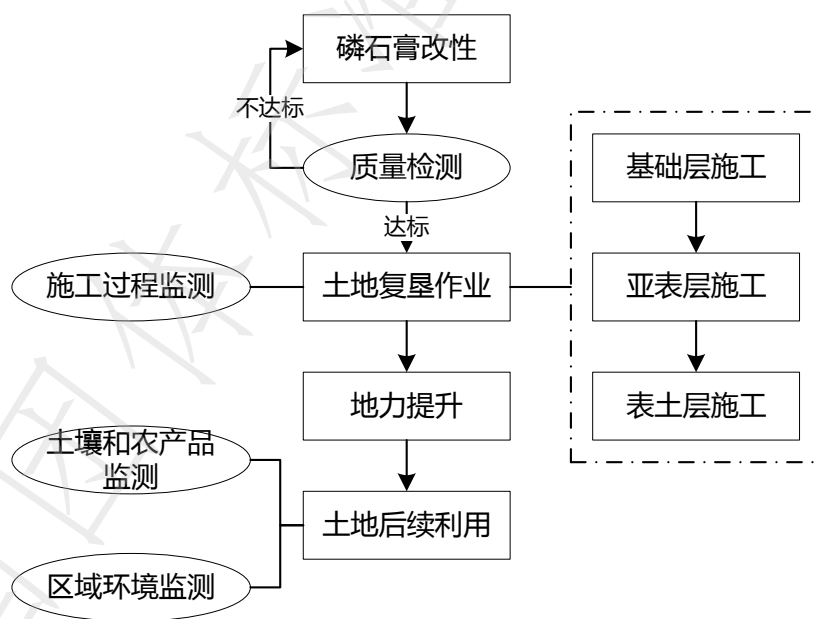


图 1 改性磷石膏用于土地复垦工艺流程图

5 磷石膏改性技术要求

5.1 磷石膏原料和改性材料

5.1.1 磷石膏原料的放射性核素限量应符合 GB6566 中 A 类装饰装修材料的要求。

5.1.2 用于磷石膏改性的材料包括 pH 调节剂、腐殖质、钝化剂以及满足要求的固体废物。

5.2 改性技术要点

5.2.1 改性处理方式包括水洗、化学中和、钝化、浮选、热处理等。

5.2.2 改性材料的选择应根据磷石膏种类、理化性质、后续利用场景等确定。

5.2.3 磷石膏改性过程产生的废水、废气等各种污染物的排放应符合国家发布的污染物排放标准；地方污染物排放标准、环境影响评价批复文件或排污许可证有更严格要求的，从其规定。

5.2.4 改性磷石膏临时存放和利用时应采取相应防渗漏、防雨淋、防扬尘措施。

5.2.5 应对改性磷石膏开展质量监测，监测达标后方可用于土地复垦活动。

5.3 改性磷石膏质量监测

5.3.1 采样频次：利用规模 $\leq 300000\text{t}$ ，以 5000t 改性磷石膏为一批次； $300000\text{t} <$ 利用规模 $\leq 1000000\text{t}$ ，以 15000t 改性磷石膏为一批次；利用规模 $> 1000000\text{t}$ ，以 30000t 改性磷石膏为一批次。

5.3.2 采样方法：每批次采样点数量应不少于 10 个，每个点位样品不小于 0.5 kg，将上述样品混合均匀后进行分析测试。

5.3.3 质量要求：改性磷石膏中镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌的含量应满足 GB 15618 中筛选值要求，重金属等主要污染物浓度均不应超过 GB 8978 最高允许排放浓度（第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行），主要质量控制指标及限值要求见表 1。

表1 改性磷石膏主要质量控制指标及限值

| 序号 | 指标类型 | 控制指标 | 单位 | 限值 | 参考标准 |
|----|------------------|------------|-------|------------------|-----------------------------|
| 1 | 污染物总量 | 镉 | mg/kg | 不同 pH 及应用场景对应筛选值 | GB 15618 表 1 |
| 2 | | 汞 | mg/kg | | |
| 3 | | 砷 | mg/kg | | |
| 4 | | 铅 | mg/kg | | |
| 5 | | 铬 | mg/kg | | |
| 6 | | 铜 | mg/kg | | |
| 7 | | 镍 | mg/kg | | |
| 8 | | 锌 | mg/kg | | |
| 9 | 按照 HJ 557 制备的浸出液 | 氟化物（以 F 计） | mg/L | ≤ 10 | GB 8978（第二类污染物一级标准最高允许排放浓度） |
| 10 | | 锌 | mg/L | ≤ 2.0 | |
| 11 | | 总汞 | mg/L | ≤ 0.05 | GB 8978（第一类污染物最高允许排放浓度） |
| 12 | | 总镉 | mg/L | ≤ 0.1 | |
| 13 | | 总砷 | mg/L | ≤ 0.5 | |
| 14 | | 总铅 | mg/L | ≤ 1.0 | |
| 15 | | 总镍 | mg/L | ≤ 1.0 | |
| 16 | | 总铬 | mg/L | ≤ 1.5 | |
| 17 | | 总铍 | mg/L | ≤ 0.005 | |
| 18 | | 总银 | mg/L | ≤ 0.5 | |
| 19 | | 六价铬 | mg/L | ≤ 0.5 | |

6 改性磷石膏用于土地复垦技术要求

6.1 应用场景及复垦方向

6.1.1 改性磷石膏应用于土地复垦适用于以下场景：

- 自然损毁土地：水土流失严重区域、石漠化地区、喀斯特地区、天然洼区、沟壑、滩涂、地灾损毁地等区域土地。
- 人为损毁土地：磷矿、煤矿、有色金属矿等矿山损毁土地，排土场、废石堆、尾矿库、围垦、坝区等区域土地。

6.1.2 土地复垦方向应遵循因地制宜原则，根据不同地区的自然禀赋（如气候、地形、土壤、水资源等）科学合理确定土地的用途，包括但不限于耕地、园地、林地、草地。

6.2 基础层

6.2.1 基础层作业以土地整形为主，对于存在地质安全隐患、污染及水土流失的区域，在基础层施工前应采取技术措施消除地质安全隐患及污染、控制水土流失后方可开展土地平整，具体技术措施参照 GB/T 42251 执行。

6.2.2 基础层作业宜利用区域内的土石料进行，区域内土方不足的可利用检测达标的改性磷石膏进行，其质量应满足本标准 5.3 条要求。

6.2.3 基础层饱和渗透系数应不大于 1.0×10^{-5} cm/s，且厚度不小于 0.75 m。

6.2.4 基础层作业宜围绕满足后期土地为农用地进行，结合农用地需配套的灌溉与排水、交通设施、防护与生态环境保护工程建设统一进行。

6.2.5 基础层作业完成后，应具备作为农用地利用的条件，促进土壤水、肥、气、热的协调，提高土地生产力和农用地质量。

6.2.6 基础层作业完成后，平整度、地面坡度和稳定性应满足后续亚表层施工的要求。

6.3 亚表层和表土层

6.3.1 利用改性磷石膏对区域土壤进行重新构造，形成适宜植被生长的土壤。

6.3.2 亚表层由改性磷石膏和壤土、粘土按一定比例混合、搅拌而成，壤土、粘土中镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌的含量应小于或等于 GB 15618 规定的筛选值。

6.3.3 亚表层应能支撑植物根系下扎，具备一定的防水分下渗能力，有较好的保水保肥性能。

6.3.4 表土层由改性磷石膏和当地根植层土壤按照一定比例混合、搅拌而成，所使用当地耕植层土壤应无石块、杂物等，其中镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌的含量应小于或等于 GB 15618 规定的筛选值。

6.3.5 表土层作业完成后地形、土壤质量、生产力水平指标应满足 TD/T 1036 对应土地复垦类型的要求，营养指标、生产力指标等达不到要求的，应进行表土层地力提升。

6.3.6 根据不同复垦用地方向，表土层和亚表层中材料配比（改性磷石膏:土壤）和土层厚度等关键指标控制要求如表 2 所示。

表2 不同复垦方向材料配比及厚度要求

| 复垦方向 | 指标类型 | 土层划分 | 指标控制要求 |
|------|------|------|----------|
| 耕地 | 材料配比 | 表土层 | 5:5 |
| | | 亚表层 | 6:4 |
| | 土层厚度 | 表土层 | 30~100cm |
| | | 亚表层 | 20~100cm |
| 园地 | 材料配比 | 表土层 | 6:4 |
| | | 亚表层 | 6:4 |
| | 土层厚度 | 表土层 | 40~100cm |
| | | 亚表层 | 20~100cm |
| 林地 | 材料配比 | 表土层 | 6:4 |
| | | 亚表层 | 7:3 |
| | 土层厚度 | 表土层 | 40~100cm |
| | | 亚表层 | 30~100cm |
| 草地 | 材料配比 | 表土层 | 6:4 |
| | | 亚表层 | 7:3 |
| | 土层厚度 | 表土层 | 20~50cm |
| | | 亚表层 | 20~50cm |

注：本表为相关指标推荐值，项目实施过程中根据具体使用场景可进行动态调整。

6.4 地力提升

6.4.1 地力提升的方式包括秸秆还田、测土配方施肥、增施有机质、土壤调理剂和菌剂，并种植适宜的绿肥作物等。

6.4.2 地力提升应依据土地复垦的用地类型、使用制度及作物对土壤养分的需求，确定目标控制值。

6.4.3 地力提升作业前应首先取土壤样品进行测试，针对性地进行培肥，施肥方法根据肥料种类选择。

6.4.4 地力提升后土壤质量及生产力水平应符合 TD/T 1036 的规定。

6.5 土地复垦效果评价

按 GB/T 43935 及 TD/T 1036 执行。

7 监测与管理要求

7.1 复垦区监测

7.1.1 土地复垦过程污染物监测

7.1.1.1 在土地复垦作业过程中，应定期对土地复垦区域进行采样监测。

7.1.1.2 监测点位：在改性磷石膏复垦施工完成的区域内，参照 HJ/T 166 要求进行系统布点采样。

7.1.1.3 监测指标：pH、镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌、总氟化物，按照 HJ 557 制备的浸出液中氟化物。

7.1.1.4 监测频率：土地复垦产物中污染物的监测频次应不低于每周 3 次；连续 2 周监测结果均不超标时，在磷石膏来源及投加量稳定的前提下，频次可减为每月 1 次；连续 3 个月监测结果均不超出规定限值，频次可减为每年 2 次。若在此期间监测结果超出规定限值，或磷石膏来源发生变化，或利用活动中断 3 个月以上，则监测频次重新调整为每周 3 次，依次重复。每次采样数量应不少于 10 份，每份样品不小于 0.5kg，混合均匀后进行分析测试。

7.1.1.5 执行标准：镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌的含量应小于或等于 GB 15618 规定的筛选值或区域性土壤环境背景值。总氟化物含量不应高于区域性土壤环境背景值或风险评估确定的限值，且按照 HJ 557 制备的浸出液中氟化物浓度不超过 5 mg/L。

7.1.2 复垦区土壤及农产品监测

7.1.2.1 利用改性磷石膏复垦后的土地种植食用农产品时，应同步开展农产品协同监测。

7.1.2.2 监测点位：监测布点参照 HJ/T 166 执行；监测频次按作物生长周期确定，同步采集食用农产品及土壤样品测试。

7.1.2.3 监测指标：复垦区土壤：pH、铜、铅、铬、镉、镍、砷、汞、总氟化物；农产品：铜、铅、铬、镉、锌、砷、汞、硒等。

7.1.2.4 复垦区土壤环境质量应满足 GB 15618、HJ/T 332、HJ/T 333 以及其他相关要求或与当地土壤背景值相当，农产品中特征污染物指标应满足 GB 2762 和 NY 861 要求。

7.1.3 复垦区跟踪性监测

利用改性磷石膏复垦的土地投入使用后 5 年内需每年进行不少于 1 次土壤理化性质、营养指标以及主要污染控制指标监测，结合复垦区域周边土壤、地下水等生态环境变化评价改性磷石膏使用影响，5 年后根据风险评估结果调整监测频率，确保长期稳定满足利用要求。

7.2 复垦区周边环境监测

7.2.1 周边土壤监测

7.2.1.1 监测点位：结合复垦区域地形、主导风向和地表径流方向，在下游周边雨水易于汇流和积聚区域以及主导风向的下风向区域布设土壤采样监测点，点位数量不少于4个。

7.2.1.2 监测指标：pH、镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌、总氟化物。

7.2.1.3 监测频率：复垦作业期间旱季每季度不少于1次，雨季每季度不少于2次；作业结束后每年不少于1次。当连续5年不超出所在区域土壤本底水平时可停止监测。

7.2.1.4 周边土壤环境质量应符合 GB 15618 中筛选值或土壤背景值要求。

7.2.2 周边地下水监测

7.2.2.1 监测点位：在复垦区域地下水流场上游、下游及可能受污染物扩散影响的周边区域内应各至少布设1个监测点，总监测井数量不应少于3口。

7.2.2.2 监测指标：pH、总磷、氟化物、铅、铬、镉、砷、汞和硫酸盐。

7.2.2.3 监测频率：复垦作业期间旱季每季度不少于1次，雨季每季度不少于2次；作业结束后每年不少于1次。当连续5年不超出上游地下水水质或者所在区域地下水本底水平时可停止监测。

7.2.2.4 周边地下水不超出上游地下水水质或者所在区域地下水水质本底水平。

7.3 数据管理与报告

7.3.1 所有监测数据应详细记录，并定期归档，确保数据的可追溯性。

7.3.2 每季度编制环境监测报告，汇总分析监测数据，评估环境风险，并提出改进建议。

7.3.3 定期公开环境监测结果，确保信息的透明度和公众参与度。

7.3.4 应保存磷石膏改性、土地复垦过程的相关资料，包括培训记录、管理台账及相关附件等，保存时间不得少于5年。

7.4 环境管理要求

7.4.1 实施改性磷石膏土地复垦项目的责任主体单位应建立环境保护管理制度体系，并编制环境应急预案。

7.4.2 磷石膏改性、土地复垦作业场地周边应设置警示标志、围挡等，避免人畜进入造成破坏。

7.4.3 应对管理人员定期组织磷石膏危害特性、环境保护要求、环境应急处理、职业健康等培训。

7.4.4 改性磷石膏土地复垦项目实施完成移交后，环境保护管理责任主体为土地使用权人或土地所有权人。