

团 体 标 准

T/KMSHJBHLHH -006—2025

磷石膏基胶凝型护坡绿化材料
应用技术规程

(发布稿)

2025-12-22 发布

2026-01-22 实施

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。

本文件由云南省云天化环保科技有限公司提出。

本文件由昆明市环境保护联合会归口。

本文件起草单位：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、云南中环正浩环境科技有限公司、云南建邦环境技术有限公司、云南大学、昆明理工大学、昆明川金诺化工股份有限公司、中化云龙有限公司、昆明环联环境评估有限公司、云南红富化肥有限公司、云南吉相新材料有限公司。

本文件主要起草人：张晖、钟晋、毕珺、李世华、刘磊、郭旭东、潘静、杨雪娇、康绍果、杨松霖、刘丽平、王赛、李刚、邓段斌、许金岚、郑红艳、吴鹏飞、刘勇、陈哲、张春红、宁平、李凯、孙鑫、戴取秀、黄一敏、施磊、包双友、李坤林、周永祥、魏家贵、李磊、曾润国、刘伟、盛勇、李学锋、李晓、常乔平、李强、黄皓瑾、易霞、龙贤聪、刘玉峰、史鹏程、李明贵、马杰文、汪满林、王术、吉智慧、刘贵东。

引 言

中华人民共和国工业和信息化部等7部委联合印发的《磷石膏综合利用行动方案》（工信部联节[2024]58号）要求：推动以磷石膏为原料生产水稳基层材料等路基材料、路基填料、路基加固材料、边坡绿化喷筑材料、胶凝型护坡材料、隔音屏障、充填材料、土壤改良和生态修复材料等。扩大磷石膏在露天矿坑回填、井下充填、地下采空区充填等领域的综合利用规模，支持有条件的地区因地制宜在道路交通、土壤改良、石漠化土壤治理等领域开展试点应用。《云南省全面推进磷石膏综合利用工作方案》（云工信资源[2023]431号）明确提出：全面实施磷石膏废弃矿坑生态修复利用、磷建筑石膏建材推广、磷石膏路基材料应用“三个工程”；在符合条件的地区，鼓励支持使用符合相关标准的无害化磷石膏材料实施边坡治理和石漠化修复；鼓励各地因地制宜，在人造土制备、土壤改良、石漠化土壤治理、胶凝型护坡材料制备等方面探索磷石膏示范利用新途径。国家生态环境部也正式发布了行业标准《磷石膏利用和贮存污染控制技术规范》（HJ1415—2025），自2025年7月1日起实施。该标准明确规定：磷石膏可用于石漠化治理、矿山复垦边坡治理、园林绿化等土地利用领域。

随着我国经济建设的迅猛发展，各地基础设施建设也同步加快，各类高速公路和铁路工程、港口工程、能源开发利用工程和矿产资源开采等工程建设活动需要开挖大量边坡，边坡的开挖必然破坏原有植被覆盖层，导致大量的次生裸地，形成了很多裸露的岩质边坡，既破坏了植被和土壤，损毁生态景观，又容易造成水土流失，诱发崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害。随着人类环保意识的不断增强，人们对环境质量的要求越来越高，工程建设与环境保护的矛盾日益突出，传统的岩质边坡工程护坡技术如水泥抹面、捶面、喷混凝土以及浆砌片石护坡等不具备绿化效果，生态环境效益较差，已不能满足环境保护的要求。因此，边坡工程的规划建设越来越重视生态环保，多种生态护坡技术开始广泛应用于边坡防护和加固。对边坡进行生态防护不仅可以通过植物根系加固边坡，减少水土流失，而且还可以净化空气，美化环境，并为边坡生态恢复提供条件。因此，生态防护技术对边坡防护工程而言，具有良好的经济效益、生态效益和社会效益。磷石膏在矿物组成、粒度及分布、团粒结构形成过程、成壤结构等方面，是最接近自然土壤的大宗工业固废，具备制造土壤化材料的基础。通过调整pH值、补充有机质及营养元素、优化团粒结构可作为边坡复绿、石漠化土地治理用土壤材料，具有优良的植生性能、抗冲刷性能和水土保持性能，一方面为磷石膏资源化综合利用开辟新途径，另一方面解决各类生态修复项目绿化土壤材料来源问题。

通过研发和示范工程建设，磷石膏基胶凝型护坡绿化材料已被应用于边坡复绿、石漠化土地治理等项目，取得了较为理想的效果。本次制订《磷石膏基胶凝型护坡绿化材料应用技术规程》是为了对在示范工程项目中得到验证的磷石膏基胶凝型护坡绿化材料工艺技术进行固化，同时制定产品主要技术指标和特征污染物控制指标，为磷石膏基胶凝型护坡绿化材料产品研发、生产、销售、应用提供统一、规范的标准指导，并可为国内其他地区的磷石膏土地利用途径提供参考和借鉴。

磷石膏基胶凝型护坡绿化材料应用技术规程

1 范围

本文件给出了磷石膏基胶凝型护坡绿化材料的总体要求、技术指标和应用。

本文件适用于应用磷石膏基胶凝型护坡绿化材料对边坡、矿山废弃地、浅表矿坑、回填区、堆场、排土场以及石漠化土地等进行复垦、复绿。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 5484 石膏化学分析方法

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 17669.3 建筑石膏力学性能的测定

GB/T 23456-2018 磷石膏

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 38360-2019 裸露坡面植被恢复技术规范

GB 4284-2018 农用污泥污染物控制标准

CJ/T 340 绿化种植土壤

CJJ/T 292-2018 边坡喷播绿化工程技术标准

HJ 1415-2025 磷石膏利用和无害化贮存污染控制技术规范

HJ 557 固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法

JC/T 2073 磷石膏中磷、氟的测定方法

NY/T 525-2021 有机肥料

SL 419-2007 水土保持试验规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用本文件。

3.1

磷石膏基胶凝型护坡绿化材料

以磷石膏通过煅烧、转晶等方法制备的半水石膏或磷石膏或两者的混合物为主要原料，按照使用需要添加一定比例的有机质、营养物质和水等成分，通过一定工艺制备的具有胶凝特性、防护功能、水土保持、景观绿化和改善生态环境等综合功能的生境基材。

注：磷石膏基胶凝型护坡绿化材料中主要原料（半水石膏、磷石膏）含量宜大于50%。

3.2

生境基材

人工配制的、用于快速重建植被和生态系统的工程化生态功能材料。

4 总体要求

4.1 磷石膏基胶凝型护坡绿化材料应根据实际应用场景进行配方调整。

4.2 采用磷石膏基胶凝型护坡绿化材料在各类场景进行复垦、复绿，应综合考虑所处区域水文、地质、气象条件等因素，因地制宜、有针对性地合理设计、精心施工、科学养护、科学管理。实施后应实现安全稳定、与周边自然环境和景观相协调、区域生态功能恢复的目标。

4.3 采用磷石膏基胶凝型护坡绿化材料在各类场景进行复垦、复绿,其环保性能除应符合本文件规定外,尚应符合国家现行有关法规和标准的规定。

5 技术指标

5.1 主要原料

用于制备磷石膏基胶凝型护坡绿化材料的磷石膏,其主要控制指标应符合表1的要求。

表1 用于制备磷石膏基胶凝型护坡绿化材料的磷石膏主要控制指标。

项目	指标	分析方法
附着水 (H ₂ O) /%	≤	25
二水硫酸钙 (CaSO ₄ ·2H ₂ O) /%	≥	65
水溶性氟离子 (F ⁻) (干基) /%	≤	0.2

用于制备磷石膏基胶凝型护坡绿化材料的半水石膏,其主要控制指标应符合表2的要求。

表2 用于制备磷石膏基胶凝型护坡绿化材料的半水石膏主要控制指标。

项目	指标	分析方法
半水硫酸钙 (CaSO ₄ ·0.5H ₂ O) (干基) /%	≥	40
2h 湿抗折强度/MPa	≥	0.5
2h 湿抗压强度/MPa	≥	1.0
水溶性氟离子 (F ⁻) (干基) /%	≤	0.2

5.2 其他原料

用于制备磷石膏基胶凝型护坡绿化材料的其他原料包括自然土、有机质等。

5.3 磷石膏基胶凝型护坡绿化材料技术指标

磷石膏基胶凝型护坡绿化材料的指标应符合表3的要求。

表3 磷石膏基胶凝型护坡绿化材料的主要控制指标

项目	指标	分析方法
土壤容重/ (g/cm ³)	≤1.5	CJ/T 340
通气孔隙率 (%)	≥25	
含水率/ (%)	≥15	
pH值	5.5~8.0	
有机质 (g/kg)	≥25	
水解氮 (mg/kg)	≥100	
有效磷 (mg/kg)	≥50	
速效钾 (mg/kg)	≥120	
无侧限抗压强度 (MPa)	≥0.25	GB/T 17669.3
侵蚀模数 (降雨强度50mm/h)	≤200 g/ (m ² ·h)	SL 419

5.4 磷石膏基胶凝型护坡绿化材料主要特征污染物控制指标

5.4.1 磷石膏基胶凝型护坡绿化材料用于石漠化治理、矿山复垦、边坡治理的用地性质为建设用地时,铜、铅、铬(六价)、镉、镍、砷、汞的含量应满足 GB 36600 中筛选值要求。

5.4.2 磷石膏基胶凝型护坡绿化材料用于石漠化治理、矿山复垦、边坡治理的用地性质为农用地时,镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌的含量应满足 GB 15618 中筛选值要求。

5.4.3 磷石膏基胶凝型护坡绿化材料中氟化物的含量应满足 HJ 1415-2025 中土地利用的相关指标要求。

6 检验

6.1 原料

6.1.1 主要原料

主要原料包括磷石膏和半水石膏，取样和检验应分别进行。

6.1.1.1 批量

主要原料选用散装方式，以20000吨为一批量，不足20000吨也按一批计。

6.1.1.2 取样批次

主要原料按散装样品取样规则均匀布点取样，布点不少于20个，每个点抽取不少于200 g，共抽取4 kg以上试样，均匀混合后用四分法缩分至2 kg，分为两份，一份作为试验样，一份作为备用样，密封保存备查。瓶上贴标签，注明：生产厂名称、产品名称、批号、采样日期和采样者姓名。一瓶供检验用，另一瓶保存一周备查。

6.1.1.3 检验规则

检验结果符合本文5.1的全部要求时，判定该批主要原料合格。若有两项（含两项）以上项目不符合要求，判定该批主要原料不合格。若只有一项项目不合格，用备用样对不合格项进行复检。若复验合格，判定该批主要原料合格；如仍不合格，判定该批主要原料不合格。

6.1.2 自然土

6.1.2.1 批量

自然土采用散装方式，以10000方为一批量，不足10000方也按一批计。

6.1.2.2 检验规则

自然土的环保性能和其他指标应满足GB 15618的相关规定。

6.1.3 有机质

6.1.3.1 批量

有机质采用散装方式，以1000吨为一批量，不足1000吨也按一批计。

6.1.3.2 检验规则

有机质来源为污泥、淤泥等时，应满足GB 4284中B级污泥产物相关指标规定要求；其他来源有机质应满足NY/T 525相关指标规定要求。

6.2 磷石膏基胶凝型护坡绿化材料

6.2.1 批量

磷石膏基胶凝型护坡绿化材料选用散装方式，以20000吨产品为一批量，不足20000吨也按一批计。

6.2.2 取样批次

磷石膏基胶凝型护坡绿化材料按散装产品取样规则均匀布点取样，布点不少于20个，每个点抽取不少于200 g，共抽取4 kg以上试样，均匀混合后用四分法缩分至2 kg，分为两份，一份作为试验样，一份作为备用样，密封保存备查。瓶上贴标签，注明：生产厂名称、产品名称、批号、采样日期和采样者姓名。一瓶供检验用，另一瓶保存一周备查。

6.2.3 检验规则

检验结果符合本文5.3的全部要求时，判定该批产品合格。若有两项（含两项）以上项目不符合要求，判定该批产品不合格。若只有一项项目不合格，用备用样对不合格项进行复检。若复验合格，判定该批产品合格；如仍不合格，判定该批产品不合格。

7 应用

7.1 设计

7.1.1 应根据不同应用场景的设计标准、规范要求及场地水文地质、工程地质、岩体结构特征、施工条件、区域气象条件和已经出现的变形破坏迹象等，进行合理设计，并与周边构筑物及自然环境相协调。

7.1.2 应在场地安全稳定的基础上开展设计。

7.1.3 应根据场地情况和需求设计截、排水系统，防止周边洪水对磷石膏基胶凝型护坡绿化材料形成过度冲刷。可根据需求设置蓄水池，将截、排水引流至池中，进行日常管养。

7.2 场地修整

7.2.1 场地修整应符合安全、经济、适用原则，并满足方案设计、施工及生态系统构建要求。

7.2.2 场地修整包括清理表面浮土、碎石和不稳定区域。边坡类型属于 GB/T 38360-2019 中“岩质-崖坡段”所属的光滑表面边坡类型，应按设计要求采取重力削减措施对边坡进行局部或整体修整，包括设置重力削减带（条）、植生带（袋）、植生网等；边坡修整应尽量达到平顺状态，避免大面积的突起、负角度区域存在。

7.2.3 场地修整应在施工前完成。

7.3 材料配制

磷石膏基胶凝型护坡绿化材料分为基层和面层，两者应分别配制。基层配制时，固相拌和料由达到 5.1 和 6.1 要求的主要原料、自然土、有机质等组成；面层配制时增加植物种子，植物种子宜以乡土植物种类为主，选择适应性强，耐干旱脊薄、喜钙、根系发达、成活容易、生长迅速、更新能力强，特别是无性繁殖更新能力强的树种和草种，不应选用可导致生态危害的外来入侵物种及植物绞杀种；用种量应综合考虑种子千粒重、发芽率、期望植株密度、发芽势和苗木生长速度等因素，根据场景类型确定，种子配比应合理确定先锋植物和目标植物的种子比例及用量，乔灌草型配置应提出配比中乔木种子数量比例最低值，灌草型配置应提出灌木种子数量比例最低值和草本植物数量比例最高值。

7.4 施工

7.4.1 磷石膏基胶凝型护坡绿化材料应根据不同应用场景的施工标准、规范要求进行施工。施工应根据安全、经济、适用原则对人员、设备、材料进行配置。

7.4.2 磷石膏基胶凝型护坡绿化材料应根据实际应用场景调节配方和液固比，以浆料的形式进行施工，包括但不限于喷播、浇灌、摊铺等。喷播施工按照 GB/T 38360 中喷播相关要求或 CJJ/T 292 中植被混凝土相关规定执行。其他施工方式按照设计要求执行。施工应分两次进行，先施工基层，再施工面层。

7.5 监测及验收

7.5.1 监测

应建立监测制度，制定监测方案，按照 5.4 的要求对磷石膏基胶凝型护坡绿化材料特征污染物开展监测，保存原始监测记录。磷石膏基胶凝型护坡绿化材料安全、环保指标按照 HJ 1415-2025 中土地利用的相关指标要求执行。

7.5.2 验收

采用磷石膏基胶凝型护坡绿化材料开展复垦、复绿应用，应满足设计要求或按照 GB/T 38360 中工程质量验收相关规定执行。

7.6 管理

7.6.1 应根据场景气候因素选用相应的养护措施，保证植物正常生长；苗期可采取遮盖等措施，根据场景、气候条件选用遮盖材料；宜根据场景气候条件和植物生长需要进行水肥控制技术设计；应根据场景气候条件采用喷灌、滴灌等方式，根据植物习性和墒情及时浇水，保证水分供应。

7.6.2 宜结合植物长势和安全因素，进行刈割、修剪、平茬、补播等种群调控。宜结合植物生长和病虫害发生特点采用有害生物防治措施。

7.6.3 可参照 GB/T 38360 中养护管理相关规定执行。

全国团体标准信息平台