

T/CPFIA 000X-20XX

团体标准

T/CPFIA 000X-20xx

磷石膏无害化处理指南 (试行)

编制说明

2022-xx-xx

2022-xx 实施

中国磷复肥工业协会 发布

磷石膏无害化处理指南（试行）

编制说明

1. 编制本标准的必要性

磷化工、磷复肥行业是保障国家粮食安全，实现国家能源战略转变，支撑国民经济和社会发展的行业。湿法磷酸是磷化工、磷复肥行业的基础性原料。磷石膏是硫酸分解磷矿生产湿法磷酸的副产物，国内外大多数湿法磷酸装置采用二水物工艺进行生产，副产磷石膏主要成分为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。

据中国磷复肥工业协会统计，我国现有湿法磷酸装置产能约 2000 万吨（ P_2O_5 计，下同），每年实际产量约 1600 万吨，每年新增副产磷石膏约 8000 万吨。过去，国内磷石膏没有进行规模化、资源化利用，大多数排至专门建设的磷石膏渣库进行露天堆存，全国历史堆存量约 7.5 亿。可以看出，全国磷石膏历史堆存量和每年新增数量都很大。

磷石膏大量堆存，一方面，可供利用的硫酸钙（硫、钙）资源没有得到有效利用，另一方面，也带来了环保、安全风险。

近些年来，国家和各级地方政府对发展经济与保护环境的关系及其政策导向发生了质的转变，将磷石膏等大宗固废综合利用要求提到了空前高度，不断出台一系列法律法规、通知公告等政策文件，明确提出了方向、任务、目标指标以及扶持政策，大力鼓励和推动磷石膏等大宗固废的综合利用。国家最新出台的“十四五循环经济发展规划”，提出了主要目标：到 2025 年，循环型生产方式全面推行，绿色设计和清洁生产普遍推广，资源综合利用能力显著提升，资源循环型产业体系基本建立。主要资源产出率比 2020 年提高约 20%，单位 GDP 能源消耗、

用水量比 2020 年分别降低 13.5%、16%左右，农作物秸秆综合利用率保持在 86% 以上，大宗固废（含磷石膏）综合利用率达到 60%。

据中国磷复肥工业协会统计：2021 年，国内磷石膏产出量约 8000 万吨，利用量约 3200 万吨，利用率仅 40%左右（包括用于磷石膏渣坝筑坝）。2022 年 8 月，国内和一些省市新出台的相关政策又明确：用于磷石膏坝筑坝的数量不计入综合利用量，意味着目前国内磷石膏的实际利用率低于 40%，2025 年要达到磷石膏利用率 60%的目标，仍然面临较大压力。

另一方面，“十四五循环经济发展规划”同时也提出：加强资源综合利用，进一步拓宽工业副产石膏（含磷石膏）、建筑垃圾等大宗固废综合利用渠道，扩大在生态修复、绿色开采、绿色建材、交通工程等领域的利用规模，完善政策机制和标准规范等要求，为磷石膏在更为广泛的领域应用提供了政策支撑依据。

磷石膏可供利用的主要成分为硫酸钙，但其同时还含有硅，少量游离磷酸、水溶性氟等酸性物质，少量水溶性镁、钠、钾、有机质以及微量的重金属等，这些杂质成分会对加工下游产品的质量和使用性能带来不利影响，部分成分也可能会对某个应用领域带来一定的环境和人身健康影响风险，因此，为了确保安全、环保、可靠的贮存（堆存）和利用好磷石膏，将其预先进行无害化处理（净化），显得迫切而重要。但国内在此方面，仅有一个针对磷石膏制酸而建立的处理处置规范（国家标准），湖北省也刚出台了一个地方标准。目前，尚无一个适用于全国范围的国家标准、行业标准和团体标准，来对磷石膏在各个主要应用领域的利用、处置及其所需进行相应的无害化处理、净化，以满足下游材料、产品的质量和使用性能要求以及环境、人身健康影响风险控制要求的标准，来进行全面规范，提供标准依据和支撑，这个问题是制约国内磷石膏综合利用、处置，亟需解决的主要问题之一。本标准的建立和实施，就是要解决这一问题，为拓宽磷石膏的利用

和处置领域，提供技术标准的依据和支撑，为推动全国磷石膏综合利用发挥积极作用，具有重要现实意义和应用价值。

为此，自 2021 年开始，中国磷复肥工业协会组织，云南云天化环保科技有限公司、贵州磷化（集团）股份有限公司、中国五环工程有限公司、武汉工程大学、郑州大学、重庆大学、中国电建贵阳院生态与环境工程院、先正达集团中国公司、中化化肥有限公司、中化重庆涪陵化工有限公司、宜都兴发化工有限公司、湖北宜化集团有限责任公司、湖北宜化磷石膏科技开发有限公司、湖北新洋丰新型建材科技有限公司、云南祥丰实业集团有限公司、云南祥丰环保科技有限公司、湖北大峪口化工有限责任公司、中化云龙有限公司、昆明川金诺化工股份有限公司、贵州中车绿色环保有限公司等各省磷化工行业主要企业、大专院校、科研院所等相关单位，根据近年来国内磷石膏无害化处理技术的相关研究和实际应用成果，并参考国内磷石膏原料和下游主要应用领域现有的相关质量、安全、环保等方面的标准，组织制定本团体标准，对磷石膏无害化处理技术及其无害化贮存（堆存）以及下游主要应用领域的质量性能指标以及环保和人身健康影响风险控制指标等方面进行规范，为磷石膏无害化处理、无害化贮存（堆存）以及拓宽其综合利用领域提供技术标准依据和支撑。

2.任务来源和主要工作过程

2.1 任务来源

本团体标准的编制，主要从无害化处理、净化后的磷石膏，在充填和生态修复材料、道路材料、土壤改良、建筑材料、水泥缓凝剂等领域应用，所应满足的质量性能指标进行了相应规定。

同时，本团体标准，还对无害化处理、净化后磷石膏的相关特征污染物进行了识别、确定，在满足“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”（GB 18599）

中“6.1 中进入 I 类场的一般工业固体废弃物”要求，按其规定进入一般工业固体废物贮存场（非磷石膏渣场）进行贮存和运行管理，其同时参照“固体废物浸出毒性浸出方法 水平震荡法”（HJ 557-2010）进行特征污染物浸出，参照“污水综合排放标准”（GB 8978-1996）进行磷石膏相关特征污染物指标的测定，满足其相应控制指标要求，为无害化处理、净化磷石膏在各主要领域的应用以及实现无害化贮存，提供标准依据和支撑。

2.2 主要工作过程

2021 年 8 月 19 日，云南云天化环保科技有限公司等企业与中国磷复肥工业协会交流讨论磷石膏无害化处理及其标准编制等相关问题；2021 年 9 月 15 日，中国磷复肥工业协会牵头组织云南云天化环保科技有限公司、贵州磷化集团有限公司、湖北宜化集团有限公司、上海交通大学、武汉工程大学、中国五环工程有限公司、贵州磷化(集团)有限责任公司、云南云天化环保科技有限公司、湖北大峪口化工有限责任公司、中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司等企业，在贵阳交流、讨论本标准编制问题，并对相关工作进行了安排布置；2022 年 6 月 24 日，云南云天化环保科技有限公司提交了立项申请书，协会标委会秘书处同意后，对立项申请进行了公示；2022 年 7 月 11 日，经过 15 天的公示，标委会办公室没有收到任何对公示项目有异议的意见，所申报的团体标准符合立项条件，予以批准立项；2022 年 7 月 22 日，中国磷复肥工业协会组织、相关单位参与视频会议，正式启动磷石膏无害化处理指南团体标准编制工作；2023 年 2 月 3 日，中国磷复肥工业协会组织召开视频会议，讨论确定标准中无害化处理净化磷石膏后，满足下游不同应用领域的质量性能指标要求，进行相应利用，以及满足一般工业固体废物贮存场（非渣场）入场要求，进行无害化贮存、填埋和运行管理的要求等，形成最终定稿，并讨论了编制说明和标准编制项目申报等相关工作。2023 年 3 月 30-31 日，

中国磷复肥工业协会在湖北宜昌组织全国磷石膏综合利用现场交流会，期间对团标工作进行了汇报和内容宣讲，得到了参会代表的极大关注。

3.标准编制原则和主要内容

3.1 标准编制原则

主要遵循科学性与实用性并重的原则。

紧密结合国家“十四五循环经济发展规划”提出的：到 2025 年，大宗固废（含磷石膏）综合利用率达到 60% 的目标，及其所明确的“加强资源综合利用，进一步拓宽工业副产石膏（含磷石膏）、建筑垃圾等大宗固废综合利用渠道，扩大在生态修复、绿色开采、绿色建材、交通工程等领域的利用规模等要求，编制本标准。

本标准对磷石膏通过无害化处理、净化，降低、去除和（或）固定有害性杂质，用于矿井、矿坑充填和生态修复、道路材料、土壤改良、建筑材料、水泥缓凝剂等不同应用领域所应满足的质量和使用性能指标要求以及环境和人身健康风险控制要求进行了相应规定。同时，对磷石膏通过无害化处理、净化，降低、去除和（或）固定有害性杂质，其特征污染物满足“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”（GB 18599）中的相关要求，按其规定进入一般工业固体废物贮存场（非磷石膏渣场）进行贮存、填埋和运行管理进行了相应规定，为无害化处理、净化磷石膏，拓展各个应用领域的应用，以及实现磷石膏的无害化处理和无害化堆存提供技术标准依据和支撑。

本标准所提出的磷石膏无害化处理指南，是以国内贵州、湖北、云南等省为代表的磷化工企业，在开展磷石膏综合利用过程中，针对磷石膏制备充填和生态修复材料、建材、筑路材料、农用土壤调理剂、水泥缓凝剂等不同应用领域所应满足的环境影响和人身健康风险控制要求以及满足下游各应用领域中，会对产品质量和使用性能带来影响的有害性杂质指标及其限量的不同控制要求，预先对磷

石膏进行无害化处理的试验研究结果和实际应用经验和结果而制定。国内在磷石膏预先进行无害化处理以及在上述应用领域中，除了制筑路材料和应用方面，还处于开发试验和试验路段铺设试验阶段，未实现大规模应用之外，在其它几个主要应用领域，均具有多年试验研究和规模化应用实践经验和数据作为依据和支撑。本标准所提出的磷石膏无害化处理指南中，可能产生人身健康和环境影响风险的特征污染物以及会对下游制备材料、产品质量造成影响的有害性杂质控制指标和限值，是根据下游不同应用领域的不同要求等方面进行综合考虑而制订，力求具有依据，体现实用性和针对性。

3.2 标准名称

“磷石膏无害化处理指南（试行）”。

3.3 标准主要内容

“磷石膏无害化处理指南”明确了适用范围，规定了相关术语和定义，磷石膏无害化处理方法以及无害化处理后，在充填和生态修复、道路材料、土壤改良、建筑材料、水泥缓凝剂等各主要应用领域进行资源化综合利用的技术指标，以及满足一般工业固体废物贮存、填埋场（非渣场）入场要求，进行无害化贮存（堆存）和运行、管理的技术指标和相关要求、检测方法等。

本指南对无害化处理净化磷石膏，其特征污染物应达到下游不同应用领域的人身健康和环境影响风险控制要求以及对下游各应用领域的材料、产品的质量和性能会带来影响的有害性杂质的不同限量要求进行了规定；对无害化处理净化磷石膏满足一般工业固体废物贮存场（非渣场）入场要求，进行无害化贮存（堆存）、填埋以及以及相关事项作出了规定。

4.行业基本情况

4.1 国内磷石膏产生及利用的总体概况

我国现有湿法磷酸装置产能约 2000 万吨（ P_2O_5 计，下同），每年实际产量约 1600 万吨，每年新增副产磷石膏约 8000 万吨。目前，全国历史堆存量约 7.5 亿。我国磷石膏历史堆存量和每年新增数量都很大。

磷石膏大量堆存，一方面，可供利用的硫酸钙（硫、钙）资源没有得到有效利用，另一方面，也带来了环保、安全风险。

近些年来，国家和各级政府大力强化磷石膏等大宗固废综合利用，不断出台法律法规、规划、通知公告等政策文件，明确提出了利用方向、任务、目标和相关扶持政策，大力推动磷石膏利用。国家最新出台的“十四五循环经济发展规划”中提出到 2025 年，磷石膏综合利用率需达到 60% 的目标。

据中国磷复肥工业协会统计：2021 年，全国磷石膏产出量约 8000 万吨，利用量约 3200 万吨，利用率仅 40% 左右（包括磷石膏渣坝筑坝）。2022 年 8 月，国内一些省市新出台的相关政策明确：用于筑坝的磷石膏不计入综合利用率，意味着全国磷石膏实际综合利用率低于 40%，到 2025 年全国磷石膏利用率要达到 60% 的目标，差距较大。

国内磷矿和磷化工和副产磷石膏企业主要分布在云、贵、川、鄂四省。

目前，国内磷石膏消纳、利用的主要途径是：矿井及矿坑充填和生态修复、水泥缓凝剂、建材（粉材和型材）、制酸等。其中，地下充填利用数量最大，其次是水泥缓凝剂。缓凝剂的应用已较成熟，但利用总量存在天花板限制问题。矿井充填方面，贵州已大量应用多年，云南、湖北、安徽等省开始示范试验应用于矿坑充填和生态修复。建材方面，贵州省已建立几百万吨的产业化应用装置，大力开拓下游市场，云南等省逐步建立规模化生产装置，推进相关应用。筑路材料

方面，目前尚处于研发试验和匝道等少量路段的试验、验证阶段，尚未规模化应用。土壤调理剂方面，除甘肃瓮福建立了 20 万吨/年规模化装置，产品应用于盐碱地改良之外，其它省市尚未能推进规模化产业应用，仅少数地区存在种植户自行拉用的情况，总体利用量较小。制酸方面，历史上国内采用单段回转窑煅烧工艺建立的几套“四·六”装置，因能耗高和经济性问题全部停产，采用预热器回转窑工艺的鲁北化工和贵州金正大的规模化装置，也存在经济问题，后者已停产，前者因处理烷基化废硫酸获得额外收益，至今仍在运行；制酸烧渣还可作为水泥混合材，生产建材的原料，冶金原料，保温材料等等。经无害化处理的磷石膏，还可应用于人造土、消防砂、磷石膏基复合材料以及塑料、橡胶、造纸、涂料等方面，但目前还处于研发试验研究，尚无规模化产业应用。

4.1.1 主要省份磷石膏利用概况

(1) 贵州省磷石膏利用概况

贵州是磷石膏产生量大且综合利用做得比较好的省份，根据贵州工信厅利用量补贴数据，其磷石膏利用处置总量和利用处置率如下：

2019 年：产生量 1150 万吨，利用处置总量 411.6 万吨(含充填、筑坝等途径)，利用处置率约 35.8%(其中，各种途径及其占比为：地下填充 180.1 万吨，占 44.0%；缓凝剂 113.6 万吨，约占 27.6%；石膏建材 69.8 万吨，约占 17.0%；制酸 48.1 万吨，约占 11.7%)。若扣除充填，利用总量仅为 231.5 万吨，利用率仅 20.1%，可看出，地下充填是支撑其利用量和利用率的主要途径。

2021 年：产生量为 1203.2 万吨，利用处置总量 1326.7 万吨（含充填、筑坝 867.7 万吨），利用处置率约 109.9%。若扣充填、除筑坝后，利用总量 907.1 万吨，利用处置率约 75.4%(其中，各种途径及其占比为：井下填充 448.1 万吨，占 33.8%；缓凝剂 210.3 万吨，约占 15.9%；石膏建材 162.2 万吨，约占 12.2%；制酸 86.5

万吨，约占 6.5%)。若扣除充填，利用总量为 430.5 万吨，利用率仅 35.6%，同样可看出，地下充填是支撑其利用量和利用率的途径，其余依次为水泥缓凝剂、石膏建材、磷石膏制酸。

2022 年上半年：贵州省磷石膏利用处置总量 350.2 万吨，其中，充填 220.8 万吨，占比高达 63.1%，缓凝剂 56.5 万吨，约占 16.2%，石膏建材（含制酸）72.9 万吨，约占 20.8%。若扣除充填利用量，其它所有途径的利用量约 129.4 万吨，占比仅 36.9%。

从 2019 年到 2021 年，贵州省出台了一系列推动上游磷石膏制建材和拉动下游使用磷石膏建材的配套鼓励政策，此方面的利用量增加了 92.4 万吨，但从下游建筑、建材推广应用的情况反看，由于受到原料、产品质量波动以及一次性供应数量、使用性能、消费习惯等诸多因素的影响，磷石膏制建材产品的市场接受度和认可度亟待进一步提高。

就目前和未来几年情况而言，磷石膏无害化处理用于矿井充填，仍是贵州省最重要、占比最大的磷石膏利用途径，其它用量较大一些的还有石膏建材（含制酸联产熟料）、水泥缓凝剂等，但其占比仍较低。

(2) 湖北省磷石膏利用概况

湖北省 2021 年磷石膏综合利用率约 39.3%，远低于贵州，原因主要是其目前充填、筑坝和建材等方面的利用量还比较小。2022 年 6 月 9 日，湖北省印发实施《湖北省磷石膏无害化处理技术规程(试行)》，提出到 2025 年底新产生的磷石膏全部实施无害化处理。祥云公司已建成 230 万吨/年磷石膏无害化处理装置，邦普宜化、楚星、三宁等企业正在规划的磷石膏无害化处理项目，设计能力合计约 1100 万吨/年，处理之后主要是进行无害化充填、制酸以及缓凝剂、建材等下游各利用领域。湖北已将无害化处理之后的磷石膏用于制酸作为主要发展方向之一，其中

一些企业已经（或计划）建设产业化装置，如：2022年4月，宜昌西部化工有限公司磷石膏制10万吨/年硫酸、联产12万吨/年水泥熟料项目已建成，新洋丰、三宁也正在开展100万吨/年磷石膏制酸项目的技术研发及项目可研等相关工作。

就目前和未来一些年的情况而言，磷石膏用于充填、缓凝剂和建材等，仍是湖北省的主要利用途径，但这些方面的利用率总体较低。依靠现有途径，湖北省要保障2025年磷石膏利用率达到国家“十四五循环经济发展规划”中提出的60%的目标，存在明显困难。

（3）云南省磷石膏利用概况

云南省2021年磷石膏产生量约2569万吨，利用量约552万吨（含筑坝等数量），利用率约21.5%，其中，缓凝剂163万吨，占比29.5%，石膏建材55万吨，占比10.0%，土壤调理剂9万吨，占比1.6%，可看出，缓凝剂和石膏建材是云南省目前利用量和利用率的较大的途径，其余数量主要用于筑坝等。若扣除筑坝等非综合利用途径后，磷石膏利用处置量为392万吨，利用率仅15.3%。

云南磷石膏利用率远低于贵州的主要原因有：云南统计口径给出的磷石膏产生量高达2569万吨，数量过大（是贵州统计口径给出的产生量约1200万吨的一倍以上），而且，目前云南在充填、建材和制酸等方面的利用量还比较小，具有很大的潜力。就目前和未来一些年的情况而言，云南省要保障2025年磷石膏利用率达到国家“十四五循环经济发展规划”中提出的60%的目标，存在明显困难。

综上所述，依靠国内现有磷石膏利用途径，磷化工行业要实现2025年磷石膏利用率达到“十四五循环经济发展规划”中提出的60%的目标，存在明显困难，如果不计入目前利用量最大的矿井、矿坑充填数量，则面临更大困难。

4.2 国内磷石膏无害化处理以及在主要领域的应用及其相关标准和控制指标现状

4.2.1 用于充填和生态修复

由于长期开采各种矿产、石材等，目前国内存在大量矿坑和矿山废弃地，给生态环境带来较大影响，且占用大量土地。磷石膏经过无害化处理，制备充填材料，大量用于矿坑、矿井和矿山废弃地的充填和生态修复，一方面可以替代其它严重短缺的充填材料，另一方面，可以大量消化利用大宗固废磷石膏，可谓一举两得。

多年来，贵州一直将大量磷石膏用于地下矿井充填，利用数量多年位列第一，此途径一直是其实际利用数量最大、最主要的利用途径。近几年来，安徽、湖北、云南等省在充填方面也开展了应用示范试验，产生一定利用数量。云南把磷石膏用于筑坝（渣坝子坝）的同时，也开始尝试无害化处理磷石膏制备充填材料，用于矿坑充填和生态修复。

目前，国内磷石膏经过无害化处理，制备充填和生态修复材料及其应用，存在的主要问题是：缺乏科学、合理、统一的无害化处理标准和可能带来环境污染风险的特征污染物指标识别和控制限值要求和相应规定，以及工程应用技术规程等；在安全、环保等相关行政许可、备案等方面，各省、各地的做法和要求也存在较大差异，缺乏统一的认识和规定，导致大多数省份在推进实际应用方面存在较大困难和障碍。各省在此领域的应用也存在很大差异，一些省已在规模化大量利用，一些省却很难拓展。

某些省区和企业，根据自身的认知，对磷石膏进行简单中和处理后，即用于充填和生态修复，在不具备合法、合规程序和手续，未取得安全环保等相关行政许可批复、备案的情况下，就实施充填和修复工程，且未有效控制实施过程中带来的粉尘等环境影响问题，而受到行政处罚，造成不良影响，对后续开展此领域的应用带来更多困难和障碍。

因此，在试验研究开发得出科学数据、依据，进行评估、评价等相关前提条件下，如何制订科学、合理、统一的无害化处理标准和特征污染物识别、控制指标和限值要求、工程应用技术规程等，以及在工程应用实施过程中的如何控制安全环保问题和风险以及后续相关监测和保障等问题，成为磷石膏进行无害化处理制备充填和生态修复材料，大量应用于矿井、矿坑充填和生态修复领域亟待解决的重要问题，本指南和相关技术规程的制订就是要解决这些问题，为磷石膏无害化处理及其应用于充填和生态修复领域提供标准规范依据。

（1）贵州省磷石膏用于充填和生态修复状况

贵州将磷石膏用于矿井充填已有多年历史。2017年11月，贵州开磷集团、中南大学、贵州省产品质量监督检验院合作完成了贵州省地方标准“磷矿开采磷石膏充填采矿技术规范”（DB52/T 1179-2017）的编制，并颁布实施（2018年03月进行了修订更新）。该标准的核心内容有采矿系统布置、磷石膏充填系统、采场充填工艺、磷石膏充填水质监测等四个方面。该标准中，磷石膏无害化处理制备充填材料，未按“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”（GB 18599）执行，未直接述及充填材料浸出液应满足什么标准和指标要求。标准对充填渗水和充填渗滤水进行了定义，未对充填废水进行定义，之后对充填的相关水体和液体

进行了宽泛的叙述：“充填废水的排放应依据不同受纳水体性质满足国家相关水体水质排放标准进行排放，根据不同受纳水体应按‘磷肥工业水污染物排放标准’（GB15580）、‘污水综合排放标准’（GB 8978）和‘地表水环境质量标准’（GB3838）的规定执行”。

目前，贵州主要采用石灰中和、添加一定比例的水泥等进行预处理的方法进行预处理，以“磷矿开采磷石膏充填采矿技术规范”（DB52/T 1179）地方标准为依据，将改性磷石膏大量用于矿井充填，2022年上半年：贵州磷石膏利用处置总

量 350.2 万吨，其中，充填 220.8 万吨，占比高达 63.1%。贵州的一些相关提法是：“虽然目前磷石膏利用处置主要还是用于井下充填等非产业化发展方式进行利用，但磷石膏建材等产业化发展上升态势明显，未来可期”。

在磷石膏用于充填和生态修复方面，贵州开磷集团作为首批国家级“绿色矿山”、首批“国家级矿产资源综合利用示范基地”试点单位，积极推行资源开采与加工一体化、建设生态工业园区的绿色工业化道路。将绿色矿山建设理念贯穿矿山设计、建设、生产及闭坑全过程，实现井下涌水用作工业生产用水，磷化工产生的磷石膏部分用作矿山充填，提高磷矿资源的回采率。实施生态移民搬迁，矿山生态修复，种树、种草 680 余亩。

贵州省开展实施的大量井下充填项目，其具体实施过程中，如何对磷石膏进行无害化处理，充填材料及其浸出液特征污染物指标和控制等方面，没有查到实际应用及其检测的相关资料和数据。

(2) 安徽省的矿坑充填和生态修复情况

2019 年 6 月，安徽六国化工股份有限公司开展了位于长江支流顺安河旁边的“伯乐采石废弃矿坑”（直径约 300m，深约 30-50m）生态修复治理项目，主要包括磷石膏填埋处理及植被恢复，实现生态修复。

根据该项目环境影响评价报告书（简称环评报告，下同），项目实施处置场为废弃矿坑型处置场，利用安徽省铜陵市伯乐矿业废弃石料厂中的矿坑，清理场地和积水坑，设置成 II 类工业固废处置场，场区占地面积约 69564m²，现状标高 +8.1m~+41.1m，边坡坡度 25~60°。

依据该项目环评报告结论，确定该项目环境防护距离 88 m，经现场勘查防护距离内无环境敏感点，项目主要关注三个方面的环境问题：即生态环境影响及恢复措施、地下水环境影响及环保措施，粉尘、噪声对环境的影响及环保措施等。

该项目对磷石膏充填材料及其特征污染物浸出液，未按照“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”（GB 18599）及其“污水综合排放标准”（GB 8978）执行，未直接给出充填材料及其浸出液的污染物及其控制指标，项目环评报告给出项目（长江支流顺安河）地表水执行“地表水环境质量标准”（GB3838—2002）Ⅲ类水质标准，指标值如下（单位：mg/L）：

pH 6-9（无量纲），DO ≥ 5.0 ，COD ≤ 20 ，BOD₅ ≤ 34 ，氨氮 ≤ 1.0 ，总磷（以P计） ≤ 0.2 （湖、库 ≤ 0.05 ），氟化物（以F计） ≤ 1.0 ，砷 ≤ 0.05 ；对铅、镉、铬、汞等未进行规定。

同时，该项目环评报告给出项目地下水执行“地下水质量标准”（GB/T14848-2017）中Ⅲ类水标准，指标值如下（单位：mg/L）：

pH 6.5-8.5（无量纲），总硬度 450，COD（Mn法，以O₂计）3.0，溶解性总固体 1000，氨氮 0.5，挥发酚份 0.002，总磷（以P计）0.2（总磷比照“地表水环境质量标准”-GB 3838-2002中Ⅲ类水质标准），氟化物（以F计）1.0，铁 0.3，铜 1.0，铅 0.01，镉 0.005，六价铬 0.05，砷 0.01，汞 0.001。

环评报告给出的上述相关污染物浸出液各项指标的控制值执行地表水和地下水的国家标准，是较为严格的。

根据项目环评报告，其堤坝（底部、边坡）和淋溶水收集沟渠、收集池和事故应急池，采用了粘土分层碾压、复合土工膜水平防渗和防渗墙垂直防渗等技术。

根据环评报告，项目的具体实施过程为：采用渣土车将六国化工磷石膏堆场内的磷石膏，运输至废弃矿坑内进行回填处置，根据情况进行淋溶水导排收集，在处置场完成全部的堆填厚度要求后，对固废堆体临空面用土进行覆盖封场。根据Ⅱ类固废处置场覆盖系统可由下至上的结构层依次为：厚粘土、HDPE土工膜、复合土工排水网、厚耕植土，绿化恢复。可根据项目区周边实际情况，树种选择

结合当地生物群落多样性及景观要求，该项目 II 类固废处置场采用“灌木+地被植物”混种。

2019 年 5 月 2 日，安徽六国化工股份有限公司委托江苏新清源环保有限公司完成的“长龙山振兴、伯乐采石场等废弃矿坑及六国化工磷石膏生态修复治理项目”环境影响评价，根据“《中华人民共和国环境影响评价法》”、“《建设项目环境保护管理条例》”、“《环境影响评价公众参与办法》”等文件规定，2019 年 5 月 8 日至 2019 年 5 月 21 日和 2019 年 6 月 3 日至 2019 年 6 月 15 日，建设单位在铜陵市生态环境局网站分别进行了环境影响评价的第一次和第二次公示，公示主要内容为项目概况、环境影响评价工作程序及主要工作内容、征求公众意见的主要事项、公众提出意见主要方式、建设单位和环评单位信息及联系方式等。之后，根据公示反馈意见，完善了项目环境影响评价报告，开始实施、完成了项目。



安徽六国化工伯乐矿坑充填及生态修复治理项目现场图片（2021-7-21）

2021年5月，安徽六国化工股份有限公司（以下简称“公司”）公告称：公司于近日收到铜陵市生态环境局对公司下达的《行政处罚决定书》（铜环罚〔2021〕14号），主要情况如下：（1）铜陵市生态环境局对公司长龙山振兴、伯乐矿坑磷石膏生态治理修复，项目执法检查发现：公司在未有效建成淋溶水收集系统且污染防治设施未能同步建成的情况下，实施磷石膏填埋作业，已造成局部区域环境污染和群众投诉。依据《建设项目环境保护管理条例》第二十三条第一款“违反本条例规定，需要配套建设的环境保护措施未建成、未经验收或者验收不合格，建设项目即投入生产或者使用，或者在环境保护设施验收中弄虚作假的，由县级以上环境保护行政主管部门责令限期改正，处20万元以上100万元以下的罚款；逾期不改正的，处100万元以上200万元以下的罚款……”规定，作出以下处理：责令公司立即改正环境违法行为；对公司罚款100万元的行政处罚；并提出了整改要求和措施。

安徽六国化工实施的矿坑充填和生态修复治理项目，在相关环保设施未建成情况下，就实施磷石膏填埋作业，是其之后受到行政处罚的主要原因。

但该项目的具体实施，如何对磷石膏进行无害化处理净化，充填材料及其浸出液污染物指标和控制等方面，没有查到实际应用及其检测的相关数据和资料。

（3）云南省的矿坑充填和生态修复情况

a. 云南胜威项目情况

2019年下半年，云南胜威化工有限公司实施了磷石膏改性、充填修复项目。

根据其改性技术方案，主要是对磷石膏新渣进行喷洒石灰乳中和到中性、固定有害杂质的净化处理，然后再进行堆存。对堆存满一年以上磷石膏，也进行喷洒石灰乳中和到中性、固定有害杂质的净化处理，处理之后的没批磷石膏，经检

验 PH 为中性、合格后，运送到相邻的、铺设了防渗层的中庄采坑进行充填和生态修复。

据云南胜威化工有限公司提供的磷石膏改性方案等资料显示，2020 年 12 月，其委托云南升环检测技术有限公司对稳定、堆存满一年的、经过改性处理后的 6 个磷石膏样品进行了浸出毒性试验，检测结果与标准对比和判定见表 1、表 2、表 3。改性处理后磷石膏浸出液测定结果与“污水综合排放标准”（GB8978-1996）一级指标对比和判定见表 4、表 5。

表 1：改性处理后磷石膏毒性浸出测定结果

样号	改性处理后磷石膏					
	202012W205	202012W20	202012W205	202012W205	202012W205	202012W205
项目	2GF001	52GF002	2GF003	2GF004	2GF005	2GF006
pH（无量纲）	6.68	6.61	6.67	6.70	6.71	6.66
标准值	≤2.0 或 ≥12.5（本说明备注：此指标存在疑问）					
评价	达标	达标	达标	达标	达标	达标

注：按《危险废物鉴别标准——腐蚀性鉴别》（GB5085.1-2007）进行检验、判定。

表 2：改性处理后磷石膏毒性浸出测定结果（单位：mg/L）

项目	改性处理后磷石膏			标准值	结果评价
	202012W2052G	202012W205	202012W2052GF		
	F001	2GF002	003		
铜	0.02	0.02	0.02	100	达标
锌	0.520	0.504	0.501	100	达标
镉	0.005	0.005	0.005	1	达标
铅	0.966	0.948	0.943	5	达标
总铬	0.005	0.007	0.005	15	达标
六价铬	0.004	0.004	0.004	5	达标
总汞（μg/L）	0.05	0.05	0.05	0.1（mg/L）	达标

铍 (μg/L)	0.21	0.21	0.21	0.02 (mg/L)	达标
钡	13.2	13.5	13.4	100	达标
镍	0.04	0.04	0.04	5	达标
总银	0.01	0.01	0.01	5	达标
总砷 (μg/L)	0.21	0.21	0.21	5 (mg/L)	达标
硒 (μg/L)	0.51	0.51	0.51	1 (mg/L)	达标
氟化物	24.2	19.8	25.5	100	达标
氰化物	0.004	0.004	0.004	5	达标
检测方法：硝酸硫酸法（本说明备注：此为溶样方法，而非检测方法）					

注：按《危险废物鉴别标准——浸出毒性鉴别》国标（GB5085.3-2007）检验和判定。

表 3：改性处理后磷石膏毒性浸出测定结果（单位：mg/L）（续表 2）

项目	样号	改性后的磷石膏			标准值	结果评价
		202012W2052GF004	202012W2052GF005	202012W2052GF006		
铜		0.02	0.02	0.02	100	达标
锌		0.209	0.327	0.259	100	达标
镉		0.005	0.005	0.005	1	达标
铅		0.640	0.966	0.789	5	达标
总铬		0.009	0.006	0.008	15	达标
六价铬		0.004	0.004	0.004	5	达标
总汞 (μg/L)		0.051	0.051	0.051	0.1 (mg/L)	达标
铍 (μg/L)		0.21	0.21	0.21	0.02 (mg/L)	达标
钡		9.39	13.2	10.1	100	达标
镍		0.04	0.04	0.04	5	达标
总银		0.21	0.21	0.21	5	达标
总砷 (μg/L)		0.21	0.21	0.21	5 (mg/L)	达标
硒 (μg/L)		0.51	0.51	0.51	1 (mg/L)	达标
氟化物		20.0	19.3	33.6	100	达标
氰化物		0.004	0.004	0.004	5	达标
检测方法：硝酸硫酸法（本说明备注：此为溶样方法，而非检测方法）						

注：按“危险废物鉴别标准—浸出毒性鉴别”（GB5085.3-2007）检验判定

表 4：改性处理后磷石膏浸出液测定结果与“污水综合排放标准”（GB8978-1996）一级指标对比（单位：mg/L）

项目	样号	改性后磷石膏			《污水综合排放标准》 （GB8978-1996）一级	结果 评价
		202012W2052G F001	202012W205 2GF002	202012W205 2GF003		
pH		6.68	6.61	6.67	6-9	达标
铜		0.02	0.02L	0.021	0.5	达标
锌		0.005	0.005	0.005	2.0	达标
镉		0.005	0.005	0.005	0.1	达标
铅		0.11	0.11	0.11	1.0	达标
总铬		0.004	0.004	0.004	1.5	达标
六价铬		0.004	0.004	0.004	0.5	达标
总汞（μg/L）		0.051	0.051	0.051	0.05（mg/L）	达标
铍（μg/L）		0.21	0.21	0.21	0.005	达标
钡		0.11	0.11	0.11	-	-
镍		0.041	0.041	0.041	1.0	达标
总银		0.011	0.011	0.011	0.5	达标
总砷（μg/L）		0.21	0.21	0.21	0.5	达标
硒（μg/L）		0.51	0.51	0.51	-	-
氟化物		7.8	9.2	8.6	10	达标
氰化物		0.004L	0.004L	0.004L	0.5	达标
烷基汞		未检出	未检出	未检出	不得检出	达标

检测方法：水平振荡法（本说明备注：此为溶样方法，而非检测方法）

表 5：改性处理后磷石膏浸出液测定结果与“污水综合排放标准”（GB8978-1996）一级指标对比（续表 4）（单位：mg/L）

项目	样号	改性后的磷石膏			《污水综合排放标准》 （GB8978-1996）一级	结果 评价
		202012W205 2GF004	202012W2052G F005	202012W205 2GF006		
pH		6.70	6.71	6.66	6-9	达标
铜		0.02	0.02L	0.02	0.5	达标
锌		0.005	0.005	0.005	2.0	达标
镉		0.005	0.005	0.005	0.1	达标

铅	0.11	0.11	0.11	1.0	达标
总铬	0.0041	0.0041	0.0041	1.5	达标
六价铬	0.0041	0.0041	0.0041	0.5	达标
总汞 (μg/L)	0.051	0.051	0.051	0.05 (mg/L)	达标
铍 (μg/L)	0.21	0.21	0.21	0.005	达标
钡	0.11	0.11	0.11	-	-
镍	0.041	0.041	0.041	1.0	达标
总银	0.011	0.011	0.011	0.5	达标
总砷 (μg/L)	0.21	0.21	0.21	0.5	达标
硒 (μg/L)	0.51	0.51	0.51	-	-
氟化物	7.5	6.3	9.3	10	达标
氰化物	0.0041	0.0041	0.0041	0.5	达标
检测方法：水平振荡法（本说明备注：此为溶样方法，而非检测方法）					

该企业所提供的磷石膏改性方案等资料，给出了经过堆存一年，经过改性的磷石膏样品的检测结果，由此得出的结论是：“经过改性方案改性后的填充料中，各个单项污染物浸出液最高浓度均满足“危险废物鉴别标准——浸出毒性鉴别”（GB5085.3-2007）标准限值要求，改性后所取的6个充填料样品，按“一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准”（GB18599-2001）和“污水综合排放标准”（GB8978-1996）标准进行污染物检测、对比，均满足标准限值要求，由此得出：“改性料属于标准规定的第Ⅰ类一般工业固体废物”。

该企业提供的磷石膏改性方案等资料述及：“对已修复的中庄采坑进行修复过程的地下水监测结果显示：填充修复场地，充填渗水基本不会下渗，地下水监测中有取到水样的监测结果均达标”。

该企业委托云南升环检测技术有限公司进行检测，提供的检测结果中，未包含国家标准“一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准”（GB18599-2001）和“污水综合排放标准”（GB8978-1996）标准中均作出明确规定的磷含量这个指标，本指南需注意进行规范。



云南胜威化工有限公司渣场（分为 A/B 两区）及相邻的中庄矿坑充填项目

2019 年，国家推长办向云南省移交了全国人大水污染防治法执法检查报告，反映的有关问题，按照“云南省推动长江经济带发展领导小组办公室关于印发全国人大水污染防治法执法检查报告反映的有关问题云南整改方案的通知”（云发改基础〔2019〕869 号），省生态环境厅牵头负责实施云南胜威化工有限公司磷石膏改性、充填修复项目问题的整改。主要问题是：物料及磷石膏堆场防扬散、防雨淋措施不到位，含磷扬尘及淋溶水无法得到有效收集等。

整改情况：昆明市生态环境局针对其存在的违法、违规问题，对其进行行政处罚人民币 47.25 万元。企业对原矿堆场、磷石膏渣场采取了“三防”措施，扬尘、淋溶水、渗滤液得到有效管控。

b. 云天化项目情况

2021 年至 2022 年一季度年，公司完成了改性磷石膏废弃矿坑生态修复集成技术开发，该项集成技术主要包括磷石膏无害化改性技术，充填体稳定技术，工程重构与稳定技术，土壤重构技术，先锋植物筛选与繁育技术，混合农林种植技术

等。通过磷石膏中和剂、固化剂、稳定剂、增强剂等多种组合添加剂配方技术开发，进行无害化处理制备得到的充填材料，其浸出液的特征污染物，满足“污水综合排放标准”（GB8978-1996）中一级指标要求。云天化还制订、颁布实施了“磷石膏基生态修复材料产品企业标准（Q/YTHC.103-011-2021）企业标准，正制订“磷石膏基生态修复材料用于采坑填充技术规范”（Q/YTHC-113.011-2021）企业标准，为技术应用提供企业标准依据。

依托前述集成技术，在完成项目水文地质调查报告、工程地质勘察报告、堆填设计报告、环境本底调查及风险评估、地灾评估报告、应急预案及安全预评价、水保、环境影响报告表、项目立项、生态修复方案等相关工作及其相关行政许可批复和备案后，2022年3月，云天化开始实施西山区海口街道办云龙磷矿废弃矿坑生态修复工程，在不影响、不破坏现有林地，且为了确保首次实施矿坑充填的环境风险可控，在预先铺设防渗层前提下，回填4个矿坑，修复后恢复为耕地，其边坡、非回填修复区和其它生态修复区恢复为林地，修复面积约1539亩，预计利用磷石膏基新型生态修复材料约981万吨。至2022年9月底，该项目已完成100万吨无害化处理磷石膏制充填材料的充填量，目前正在继续推进充填工程。

磷石膏进行无害化处理用于充填和生态修复等，需重点关注和控制的是：完成充填之后，其后续浸出液特征污染物指标需达到“污水综合排放标准”（GB8978-1996）一级指标要求，该限制值要求是很高的，因此磷石膏必须添加多种组合添加剂，规范进行无害化处理，得到的充填材料才有可能达到标准和指标要求。

前期试验按照HJ/T 557标准，先对磷石膏渣场的原始磷石膏的特征污染物进行毒性浸出试验，浸出液检测结果见表6。

表 6：云南渣场原始磷石膏浸出液特征污染物含量与标准对比

指标项目	单位	含量范围	平均	污水综合排放标准 (GB8978-1996) 一级指 标要求
PH (1:250 倍稀释)	无量纲	3.6-4.0	3.7	6-9
磷酸盐 (以 P 计)	mg/L	19.5-56.9	28.6	≤0.50
氟化物 (以 F 计)	mg/L	27.6-331.0	38.8	≤10
水溶性氟 (以 F-计)	mg/L	-	-	-
氯离子 (Cl ⁻)	mg/L	-	-	-
铅 (Pb)	mg/L	0.33-2.38	1.18	≤1.0
砷 (As)	mg/L	0.008-0.014	0.010	≤0.50
镉 (Cd)	mg/L	0-0.11	0.06	≤0.10
汞 (Hg)	mg/L	0-0.02	0.008	≤0.05
铬 (Cr)	mg/L	0.011-1.68	0.028	≤1.5
六价铬	mg/L	0-0.86	0.012	≤0.50

注：磷石膏固体内照指数、外照指数分别为 0.4-0.6 和 0.2-0.4，建材和农用相关国家标准要求均为≤1.0。

可看出：渣场磷石膏浸出液的特征污染物中，除镉和汞能够达到标准要求之外，其余指标均存在不同程度超过标准限值的情况，尤其是 PH、磷酸盐、水溶性氟等存在明显超标问题，因此，对磷石膏进行规范性无害化处理是必须的。

通过多种添加剂组合配方，对磷石膏进行无害化处理后，得到的充填材料，其浸出液的各项特征污染物含量，均达到“污水综合排放标准”（GB8978-1996）一级指标，稳定满足上述相关国家标准控制要求。其中，无害化处理之前，明显超标较多的 PH、氟化物、磷酸盐三项指标检测结果及其固定去除率见表 7。

表 7：PH、氟化物、磷酸盐三项指标检测结果及其固定去除率

指标项目	PH		氟化物 (F 计, 不含氟 化钙) mg/L		磷酸盐 (以 P 计) mg/L	
	7 天	15 天	7 天	15 天	7 天	15 天
1 号空白	4.00	3.52	29.30	29.30	59.00	65.10

指标项目	PH		氟化物 (F 计, 不含氟化钙) mg/L		磷酸盐 (以 P 计) mg/L	
	2 号空白	3.70	3.22	29.10	40.90	56.60
1 号无害化处理样品	10.00	8.61	5.71	4.47	0.05	0.05
固定去除率%			80.4	87.3	99.91	99.92
2 号无害化处理样品	10.30	8.86	6.93	3.91	0.05	0.01
去除率%			76.3	88.9	99.91	99.98

从云天化首例实施的云龙磷矿废弃矿坑充填和生态修复实践来看，磷石膏经过规范的无害化处理，制备合格的充填材料，用于矿坑充填，其充填材料浸出液的特征污染物含量达到“污水综合排放标准”（GB8978-1996）一级指标，实现稳定控制是可行的。充填后，将对渗滤液进行长期监测，以进一步跟踪、验证。



云天化云龙磷矿废弃矿坑充填和生态修复项目

云天化在完成云龙磷矿废弃矿坑生态修复工程项目后，计划继续开展柳树箐渣场附近的先生崖废弃矿坑生态修复新项目，预计可消化利用修复材料约 650 万吨，未来计划将充填和生态修复工程拓展应用于其它矿坑的充填和生态修复项目。磷石膏经过无害化处理，制备充填材料及其应用，其所含杂质对充填材料物理性能指标的影响方面并不存在问题，可满足相关标准要求，主要问题是其所含有的

一些特征污染物（特征有害杂质）可能带来的环境风险及其有效控制。本指南对充填后的渗滤液（浸出液），与“污水综合排放标准”（GB 8978）最为接近，因此也参照了“污水综合排放标准”（GB 8978）中最为严格的一级指标要求。由于该标准为污水综合排放标准，涉及到的有害杂质指标项目多达几十项，磷石膏不含其中的大多数有害杂质项，故本指南根据磷石膏所含有害性杂质成分的特性和特点，明确了磷石膏中的“特征污染物”指标项目，其浸出液的特征污染物含量限值，参照 GB 8978 标准中最为严格的“一级”指标要求，所有这些，都充分体现了本指南的科学性和先进性。

本指南还明确了经过无害化处理后的磷石膏，除了可用来加工矿坑、矿井等各类矿山采空区、各类矿山废弃地（含采石、采砂场）等领域的充填和生态修复材料、土地整理、根植层材料之外，还可用来加工土方平衡和工业、民用等建设工程回填材料，相关材料的浸出液特征污染物控制指标与前述充填和生态修复材料完全一致，其它质量性能和特性指标应满足相关国家、行业、地方等相关标准要求。

本指南明确了按照《固体废物浸出毒性浸出方法 水平震荡法》（HJ 557）进行特征污染物浸出，按照《污水综合排放标准》（GB 8978）规定的方法进行检验。

4.2.2 用于制建材

石膏基建材具有生产能耗低、可循环使用、防火性能好、透气性好、可调节室内温度和湿度等优点，在世界范围内均得到普及应用。国内外石膏基建材大规模应用已有较长的历史和成熟的经验。国外欧洲、美国、日本、澳大利亚、新西兰等发达国家在建筑内墙和装配式建筑领域的使用量很大，石膏基建材已经基本替代了水泥基等传统建材。国内使用各种石膏基建材，也有较长历史，近些年来，随着环境保护政策日益严格，石灰石、砂石料开采受限，石膏基建材得到更

快的普及应用，目前需求量较大（达上千万吨），未来需求潜力有望过亿吨，石膏基建材的大类产品主要有：各型石膏的基础粉材及其下游一系列粉材产品和众多系列的型材产品。目前，国内基础粉材仍以 β 半水石膏粉为主， α 半水石膏粉和无水 II 型石膏粉，因其良好的使用性能，近两年也得到重视和发展。下游粉材和型材产品主要有一系列的抹灰砂浆、自流平砂浆、灰泥、嵌缝石膏以及众多系列的各种、各型条板，各种、各型砌块（砖）等等。

从磷石膏制建材相关标准方面来说，国内在石膏基建材方面，已经建立了一系列的国家标准、行业标准和地方标准及其配套的系列应用技术规范（规程），形成了较为完备的国家标准、国家建材行业标准、地方标准、协会标准以及相应的应用技术规程等标准体系，为其应用提供了良好支撑，相关标准如：“建筑石膏”（GB/T9776）、“抹灰石膏”（GB/T28627）、“纸面石膏板”（GB/T9775）、“石膏砌块”（JC/T 698）、“石膏砌块砌体技术规程”（JC/T 201）、“石膏基自流平砂浆”（JC/T 1023）、“粘结石膏”（JC/T 1025）、“建筑用轻质隔墙条板”（GB/T23451）、“ α 型高强石膏”（JC/T 2038）、“嵌缝石膏”（JC/T 2075）、“石膏装饰条”（JC/T 2078）、“建筑用砌筑和抹灰干混砂浆”（JT/C 291）、“建筑材料放射性核素限量”（GB 6566）、“喷筑石膏复合墙体应用技术规程”（T/CECS675）、“磷石膏建筑材料应用统一技术规范”地标（DBJ52/T093-2019）等等。

2010 年颁布实施的“建筑材料放射性核素限量”国家标准（GB 6566）明确规定了内照射指数 ≤ 1.0 ，外照射指数 ≤ 1.0 。各种建材粉材和型材的最基础的原料石膏粉“建筑石膏”即将颁布实施的新国标（GB/T9776-2021）和 2010 年颁布实施的“ α 型高强石膏”国家建材行标（JC/T 2038），以及最主要的石膏建材产品“抹灰石膏”国标（GB/T28627）、以及 2019 年贵州省颁布实施的“磷石膏建筑材料应用统一技术规范”地标（DBJ52/T093-2019）等相关国家标准、国家行业标准

和地方标准，对相关建材产品的有害成分和有效成分的指标和限制规定汇总和对比见表 8。

表 8：“建筑石膏”（GB/T9776-2021）标准的指标和限值规定

指 标		“建筑石膏” 国标 (GB/T9776-2021) (含磷石膏及其与天然石膏、脱硫石膏的混合原料加工产品)	“ α 型高强石膏” 国家建材行 标 (JC/T 2038) (适用于天然石膏和工业副产石膏原料)	“室内装修、装饰材料” 国标 (GB18582) 水性墙面涂料、腻子粉	“抹灰石膏” (GB/T28627)	“磷石膏建筑材料应用统一技术规范” 贵州省地标 (DBJ52/T093)
Pb (PPm) ≤		无规定要求	无规定要求	90	无规定要求	无规定要求
As (PPm) ≤		无规定要求	无规定要求	无规定要求	无规定要求	无规定要求
Cr (PPm) ≤		无规定要求	无规定要求	60	无规定要求	无规定要求
Hg (PPm) ≤		无规定要求	无规定要求	60	无规定要求	无规定要求
Cd (PPm) ≤		无规定要求	无规定要求	75	无规定要求	无规定要求
放 射 性 ≤	内照射 指 数 (Ira)	1.0 (原料 1.0)	无规定要求	1, 0	1.0	1.0
	外照射 指数 (IR)	1.0 (原料 1.0)	无规定要求	1.0	1.0	1.0
水溶性 F— (%) ≤		0.10 (原料 0.20)	无规定要求	-	无规定要求(原料 0.20)	无直接规定要求 (原料 0.20)
水溶性 Cl— (%) ≤		0.05 (原料 0.04)	无规定要求	-	无规定要求(原料 0.04)	无直接规定要求 (原料 0.04)
水溶性 MgO (%) ≤		0.10 (原料 0.30)	无规定要求	-	无规定要求(原料 0.30)	无直接规定要求 (原料 0.30)
水溶性 Na ₂ O (%) ≤		0.05 (原料 0.10)	无规定要求	-	无规定要求(原料 0.10)	无直接规定要求 (原料 0.10)
水溶性 P ₂ O ₅ (%) ≤		0.20 (原料 0.30)	无规定要求	-	无规定要求(原料 0.30)	无直接规定要求 (原料 0.30)
PH ≥		5.0(原料供需商定)	无规定要求	-	无规定要求 (原料供需商定)	无直接规定要求 (原料供需商定)
有机物含量 ≤		-	-	VCO: 水性墙	1.0	-

			面 涂 料 120g/L, 水性 腻子粉		
III 型无水石膏 ≤	-	-		8 (建筑石膏为原料))	-
原 料 CaSO ₄ ·2H ₂ O (%) ≥	80	85	-	80	90 (一级) 80 (二级)
原料中附着水 (%) ≤	20	-	-	-	15 (一级) 20 (二级)

这些石膏建材方面的国家标准、行业标准、地方标准，主要规定了产品的物理性能指标要求，大多数标准也规定了可能对产品质量和使用性能会带来明显影响的一些杂质成分的限量指标。而对重金属危害性杂质限量方面，除了“室内装修、装饰材料” 国标（GB18582）（内墙涂料中的水性墙面涂料、腻子粉部分）和“水泥工厂设计规范” 国家标准（GB50295-2008）进行了部分规定，且规定的限值较高之外，其它建材方面的国家标准、国家建材行业标准均未对铅、砷、铬、汞、镉等重金属含量作出明确的限量规定。这种状况，不符合我国目前对产品质量和环境安全越来越重视的发展趋势，也是磷石膏需要预先进行无害化处理、净化，再加工一系列下游建材产品的主要原因。本指南中建材部分的质量指标和限值，目前，只能仍然参照建筑石膏的国家标准，对重金属未作要求。

从磷石膏制建材实际生产和应用方面来说，多年来国内企业生产的石膏基建材，大多数是以低端的β半水石膏粉（国家标准称为“建筑石膏”）为基材，再进一步加工下游一系列的各类粉材和型材产品。近几年来，具有更高强度和性能的α半水石膏以及经过激发剂激发，可以获得高强度的无水Ⅱ型石膏等产品受到重视，国内贵州金正大、贵州磷化和云天化等少数企业建成了规模化生产装置，正在积极拓展市场和应用。

过去，国内主要采用天然石膏、脱硫石膏等原料来生产各种类型的石膏基建材产品，近些年以来，环境保护得到进一步重视，天然石膏开采受到限制，而且

随着太阳能、风能、生物质发电和水电等可再生能源的普及，火电厂逐步关停，副产脱硫石膏量呈现出逐步下降趋势，另一方面，国家大力推进大宗固废综合利用，使得磷石膏替代天然石膏和脱硫石膏生产各种建材产品成为新的发展趋势。

磷石膏作为磷化工行业的副产物，与天然石膏和脱硫石膏相比，其酸度较高，还含有水溶性磷、氟、镁、钠、氯和微量重金属和有机质等杂质，以其为原料生产下游建材产品时，会对建材产品质量和使用性能带来一定影响，因此，需要预先对磷石膏进行无害化处理、净化，再用于建材产品生产，稳定、提高产品质量。

过去，磷石膏制建材基本上都是取用渣场堆置，自然陈化、净化的石膏为原料，各地磷石膏杂质成分的差异、渣场堆置陈化时间、地理气候条件等方面的差异，导致原料陈化、净化程度不同，下游建材产品质量波动，市场应用后，出现过发霉、变色、鼓包、开裂等问题，影响到磷石膏建材产品的市场声誉和推广应用。现在，多数磷石膏制建材企业，已经独立或与上游磷酸生产企业合作建立了磷石膏净化除杂装置，确保下游建材产品质量。但也还有少部分小型企业仍然采用渣场磷石膏直接生产建材，存在一定质量波动和潜在质量隐患和风险。

近几年，各省均建立了一批磷石膏制各类建材（各种粉材和型材）的中、大型规模化生产装置，磷石膏预先经过无害化净化处理，这些生产装置运行稳定，产品质量达到国家、行业和地方相关标准要求。2021年，贵州省各地共有磷石膏制各类建材企业近60家，主要产品产能分别达到：石膏粉产品约196万吨/年（ β 半水石膏为主， α 半水石膏20万吨），抹灰石膏砂浆（轻质、重质、底层等）约757万吨/年，纸面石膏板约3400万平方米，轻质内墙隔板约500万平方米，各类石膏条板约120万平方米，石膏砌块约660万平方米（含防潮砌块约300万平方米）。

云南省磷石膏制建材装置发展相对滞后，2021年，共有磷石膏制建材企业近

10 家，除云天化环保科技建成磷石膏处理量 45 万吨/年生产装置（ β 半水石膏 36 万吨/或无水 II 型石膏 21.6 万吨/年一体化、多功能生产装置）外，其余均为 β 半水石膏装置，总产能约 118 万吨/年，石膏砂浆产能约 75 万吨/年。此外，新希望（云南）在建 50 万吨/年 β 半水石膏装置。

前已述及，目前国内磷石膏制建材产品所执行的产品标准和应用技术规程等标准体系已经比较完善，绝大多数产品和应用可直接执行现有国家、行业和地方标准。但采用磷石膏作为原料生产下游建材产品时，少数小企业没有明确的无害化处理、净化应达到的对下游产品质量会产生影响的有害杂质限量指标要求，有要求的各企业，其控制指标也存在差异，使得下游建材产品存在质量差异、波动和风险。

总之，制订科学、合理、统一的磷石膏无害化处理指南（标准），统一规定和规范可能会对环境和人身健康带来风险的控制指标和限制要求以及对下游产品质量会产生影响的有害杂质和限量指标的控制要求，预先做好磷石膏无害化处理、净化，确保下游建材产品具备良好、稳定的质量和性能，是磷石膏制备各种建筑材料，大量应用于建筑、建材领域亟待解决的重要问题。本指南和相关技术规程的制订，就是要为解决这些问题提高技术标准依据，为规范磷石膏无害化处理净化，大量应用于各类建材产品的生产提供支撑，大力拓展应用市场，推进其更大规模的实际应用。

4.2.3 用于土壤改良

磷石膏应用于农业土壤改良，同时提供钙、镁、硫、硅等植物营养元素，具有悠久历史。国外，美国磷石膏主要用于补充花生种植中的钙、蔬菜和牧草种植中的硫，以及作为土壤碱度、酸性结皮和底土改良剂等，每年用量约 150 万吨，虽然美国磷矿和磷石膏的放射性和镉等重金属含量较高，但其农用主要关注放射

性核素含量，要求小于 0.37 皮居/克，北卡罗莱那州、佛罗里达北部地区磷石膏能满足此要求，1992 年，EPA、美国农业部禁止放射性高于限值的其它地区磷石膏农用。巴西主要用于种植大豆、甘蔗等作物，取得较好增产效果。俄罗斯、哈萨克斯坦磷石膏主要用于盐碱或退化土壤改良，利用磷石膏中的钙替代吸附在土层复合体上的钠，还有磷石膏中添加各种矿物质和有机质制作堆肥，其所含多量硫和少量磷对谷物、油料和喜硫作物效果明显。此外，磷石膏可改善土壤结构，提高土壤保水能力。西班牙对磷石膏农用中，重金属镉的转移、摄入进行了试验，对几十年使用磷石膏的土壤成分变化进行了模拟监测，结果显示磷石膏农用安全可靠，并立法允许磷石膏农用。加拿大用于加工人造土之后，应用于农业和林业。印度采用磷石膏作为经济实惠的硫源，2007 至 2012 年印度完成了磷石膏农用效果及其环境影响试验，其结论是：磷石膏是一种良好的硫源，可显著提高油菜籽和豆类中油脂和蛋白质含量，提高粮食作物品质，印度农用磷石膏的标准，没有规定放射性和重金属限值，仅规定了硫酸钙、氟、钠、游离水、粒度这几个指标。此外，比利时、芬兰、波兰、摩洛哥、菲律宾等国，均在农业、林业领域使用磷石膏，取得了明显的增产和土壤改良效果。

我国于上世纪 60 年代就开展了磷石膏农用的大量试验，1999 年在部分省几十个县农科所和乡农科站附设了磷石膏农化服务点。长期以来，在各级农业管理部门、肥料监督检验机构协同下，在不同纬度区域的盐碱地、盐渍化土壤、酸性黄壤、红壤旱地、山原红壤等各种类型土壤上和不同作物上进行试验，从不同角度验证了其土壤改良和增产效果。

目前，国内磷石膏农用，可参考的我国现行国家标准和国家行业标准主要有“肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标”国家标准（GBT 23349-2009）和“磷石膏土壤调理剂”国家行业标准（HG/T 4219-2011），其对有害成分和有效成分的指

标和限制规定见表 9。

表 9: “肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标”(GBT 23349)和“磷石膏土壤调理剂”(HG/T 4219-2011 标准的指标和限值规定

指 标	GBT 23349 国标规定	HG/T 4219-2011 国家行标规定
铅及其化合物(以 Pb 计,%) ≤	0.0200 (200PPm)	0.0200 (200PPm)
砷及其化合物(以 As 计,%) ≤	0.0050 (50PPm)	0.0050 (50PPm)
铬及其化合物(以 Cr 计,%) ≤	0.0050 (50PPm)	0.0050 (50PPm)
汞及其化合物(以 Hg 计,%) ≤	0.0005 (5PPm)	0.0005 (5PPm)
镉及其化合物(以 Cd 计,%) ≤	0.0010 (10PPm)	0.0010 (10PPm)
水溶性氟(以 F 计,%) 钙的质量分数(以 Ca 计,%) ≥	-	0.30
PH	-	3.0-6.5
放射性	-	未进行规定
钙的质量分数(以 Ca 计/干基,%) ≥	-	17.0
硫的质量分数(以 S 计/干基,%) ≥	-	14.0
游离水的质量分数(H ₂ O%) ≤	-	25

可看出:已颁布实施的“肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标”(GBT 23349)国家标准,对铅、砷、铬、汞、镉指标限值要求不算太严。2012年7月颁布实施的“磷石膏土壤调理剂”(HG/T 4219-2011)国家行业标准,对磷石膏含有的钙、硫两种中量营养元素以及有害性元素水溶性氟和铅、砷、镉、汞、铬含量、PH值等进行了规定,但限值要求均不算太严。从该标准对PH值的规定为酸性(3.0-6.5)来看,基本属于未对磷石膏进行无害化改性处理的原始磷石膏,只能适用于盐碱地改良,而不能适用于所有土壤类型,也未对放射性核素进行规定,且缺乏单位面积施用量等应用规范要求。

2012-2015年,云天化与云南农业大学、云南省化工研究院、云南省土肥站、宣威市土肥站、玉溪市土肥站(峨山县土肥站、红塔区土肥站)、砚山县土肥站、临沧市临翔区农技中心、文山州农科院油料作物研究所、开远市农技中心、开远

市乐白道街道办事处、石林县农技中心等较多单位合作，那时，是采用没有预先经过专门无害处理的原始磷石膏作为土壤调理剂，开展了农用种植方面的大量试验，试验内容设计（地点、土壤和作物种类）见表 10。

表 10：种植试验内容设计（地点、土壤和作物种类）

试验点	土壤类型	作物	试验时间/年	作物种植情况
临沧市临翔区	红壤	玉米、油菜	2012-2015	大春玉米，小春油菜，每种作物各种植三茬
开远市	红壤	甘蔗	2012-2015	2012 年新种，2013 年宿根，2014 年新种
曲靖市宣威县	紫色土	玉米、马铃薯	2012-2014	据当地习惯，玉米和马铃薯采用套种的方式，各三茬
玉溪市红塔区	紫色土	玉米、油菜	2012-2013	大春玉米，小春油菜，各种一茬
峨山县	紫色土	玉米、油菜	2013-2015	大春玉米，小春油菜，各种两茬
文山州	红壤	花生	2012 年	试验地块选择失误，土质较粘，不宜种植花生
砚山县	红壤	花生	2013-2014	花生两茬
石林县	石灰性土壤	大豆	2013-2015	大豆两茬 玉米两茬
云南农业大学	石灰性土壤红壤、紫色土	大豆、花生、玉米	20122014	堆肥、盆栽试验
大田试验合计	3 种土壤类型	六种作物	4 年	共计 6 个试验点 26 组试验，取样 7000 余份

2012-2015 年完成了临沧、玉溪（红塔区、峨山县）、宣威、开远、砚山、石林等 7 个地点，共计 23 组大田试验和在云南农大的 17 组温室试验，试验土壤类型包括红壤、紫色土、石灰性土壤等 3 种类型，作物包括了玉米、甘蔗、油菜、花生、大豆、马铃薯等 6 种，2012-2015 年共采集样品 4629 份，其中：植株样品 3070 份，土壤样品 1559 份，获得 8.29 万个数据。

试验结果表明：磷石膏土壤调理剂对玉米、甘蔗、马铃薯、豆科作物具有促进生长作用，大部分地区 and 种植作物可获得明显的增产效果（5.0-21.1%）；施用后，能有效提高土壤供磷、硫、钙能力；除了用于碱性土壤改良之外，作为新开垦酸性红壤的调理剂，其改良效果优于石灰等；施用磷石膏能有效降低土壤交换性铝和作物植株的铝含量，改善和调节了作物体内氮、磷、钾、硫、钙等养分的平衡；施用后，玉米、马铃薯、花生、大豆、油菜籽粒以及甘蔗中的重金属含量低于国家相关标准，土壤中重金属含量基本无变化，不会给土壤和作物造成二次污染，对作物和环境安全，磷石膏质地粘重，过量施用会导致土壤容重增加，因此，磷石膏与植物秸秆、烟末等有机物质混合制成有机—无机混合改良剂，可进一步提高使用效果，试验给出施用量建议控制在 250kg/亩以下，尤其在块根类作物上不宜过量施用；试验观测到土壤中氟含量有所增加，这个主要是采用未经过无害化处理的磷石膏直接作为土壤调理剂带来的影响，试验土地施用化肥也可能带来一定影响。故在采用经过无害化处理、对氟进行了固定的磷石膏制备土壤调理剂方面，通过进一步试验验证土壤中氟含量的变化。

前些年，磷石膏用于土壤调理剂，在全国多地因施用效果较好，均存在农户自发拉用的情况，存在部分农户过量施用、滥用未经过无害化处理的磷石膏等问题，在有效控制环境污染风险方面，一直得不到农业部门的认可，难以通过其土壤调理剂产品的登记备案，导致国内磷石膏农用存在标准和行政许可两个方面的困难和障碍，一直没有形成大规范化应用。

因此，制订科学、合理、统一的“磷石膏无害化处理指南”和“磷石膏制土壤调理剂技术规程”，对磷石膏进行无害化处理，再用于制备土壤调理剂，科学规范无害化处理和土壤调理剂产品质量控制指标和环境污染风险控制指标以及使用技术规范，具有重要意义。

本指南参照“肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标”(GBT 23349)国家标准和“磷石膏土壤调理剂”(HG/T 4219-2011)国家行业标准等相关标准,结合无害化处理、净化磷石膏的实际情况,规定磷石膏经过无害化处理,降低、转化、固定大部分水溶性氟、钠,钝化、固定重金属,再用于制备多种土壤调理剂,产品有害杂质达到:水溶性氟 $\leq 0.2\%$,铅 $\leq 200\text{mg/kg}$,砷 $\leq 40\text{mg/kg}$,铬 $\leq 150\text{mg/kg}$,汞 $\leq 4\text{mg/kg}$,镉 $\leq 8\text{mg/kg}$,钠离子 $\leq 0.2\%$,PH 值是根据下游应用土壤类型和酸碱度不同,科学合理的进行了相应的规定;本指南还特别增加了放射性(内外照射指数)的限量的规定,均为 ≤ 1.0 ,体现了本指南更严格的环境和人身健康影响风险的控制要求,体现了本指南的先进性。本指南还明确了农用磷石膏经过无害化处理之后,可直接制备一类粉状土壤调理剂,或添加腐殖酸、有机质和其它中微量元素等组分,可制备功效更强、更全面的二类粉状和三类颗粒状土壤调理剂产品,在环境和人身健康影响风险可控条件下,还将土壤调理剂产品适用范围扩大,全面涵盖了碱性、中性和酸性土壤,且涵盖了颗粒状产品,以适应和满足现代农业与其它颗粒状肥料混合进行机械化施肥,进行大规模应用的需求,充分体现了本标准的科学性、先进性和实用性,在土壤、环境和食品安全风险进一步下降,且得到有效控制的前提下,为无害化处理磷石膏及其农用打通行政许可路径、推进磷石膏土壤调理剂规范化、规模化应用,提供技术标准依据和支撑。

本指南明确了二水硫酸钙、水溶性氟含量及其检验方法,参照“磷石膏”(GB/T 23456)国家标准中的规定要求。铅、砷、镉、汞、铬及其检验方法,参照了“肥料中有毒有害物质的限量要求”(GB 38400)。钠离子及其检验方法参照了“土壤调理剂及使用规程 烟气脱硫石膏原料”(NY/T 3936)的要求。

4.2.4 用于道路材料

国外一些国家将磷石膏用作筑路材料。2018年,俄罗斯联邦道路管理局批准

了“用于公路路面建造的磷石膏技术规范”，在道路建设和维修中使用“路基磷石膏”（RBPG），允许在第1-5类（从高速、高等级公路到普通道路）的道路建设和维修中使用，符合国家标准 GOST 52398-2005 的规定，联邦建设和住房/公共基础设施部修改也批准了该标准，允许在城市环境中使用 RBPG 进行道路建设。在海关编码为 TK-465 的“建筑”部分中，“路基磷石膏”已被正式批准为道路建筑材料。之后，俄罗斯将其适用范围进一步扩大，覆盖俄罗斯所有地区。2015 年俄罗斯 PhosAgro 公司开发了一种在低交通密度的城市居民区中用作通用道路和街道路基底层的简化施工工艺，俄罗斯使用路基磷石膏建成道路（包括试点路段）的总路面面积达到约 18 万 m²。

摩洛哥基础设施建设、城镇化水平的不断提升，对建筑材料需求较大，且环境保护力度强化，常规沙石料等骨料开采受限，价格上涨。1985 年，摩洛哥在常规道路上采用不同含量的磷石膏配方进行试点路段试验，铺设了长度约 1 公里的试点道路，对道路机械性能和可能造成的环境影响进行了长期监控，均达到相关标准，之后的试验路段，磷石膏比例约占筑路材料的 65%。

印度中央道路研究院（CRRRI）在“利用磷石膏作为道路建筑材料的可行性研究”方面进行了大量试验，主要结论有：当磷石膏在最佳水分含量和最大干密度情况下被压实时，会产生很高的强度，足以在不同的路面层中使用。但将样品浸入水中，其强度会下降，但仍可满足底基层或软基覆盖层要求。磷石膏本身可用作填充材料，并可用于道路的路基/底基层中，用 20%磷石膏混合当地土壤可用作路基/覆盖层，用 20%磷石膏和 2%或 4%石灰混合当地土壤也可用作路基/覆盖层，用 40%磷石膏混合粉煤灰可用作路基/封盖层和底基层，但对粉煤灰和磷石膏的混合物进行耐久性测试，难以达到耐久性测试标准。抗压强度方面，样品表现为半刚性材料，在极限强度下表现为脆性材料。

近些年来，国内在磷石膏制筑路材料方面，开展了一些试验研究，并实施了一些试验路段的铺设，为降低成本，当时未预先专门对磷石膏进行无害化处理，也未对筑路材料制备和应用过程进行全面优化，一些路段的试验，如：2019年初，云天化与云南省公路科学技术研究院合作磷石膏用作路基水稳层试验，在厂区内部道路铺设了202米和145米试验路段，铺设厚度35厘米，至今路面尚完好。2019年末，云天化牵头，与云南省公路科学技术研究院合作，在易武高速九场辅道铺设了400米试验路段，至今路面尚完好，但无具体试验数据。2020年9月，云南省交投集团牵头与其它单位合作，在姚楚高速铺设了500米试验路段，铺设厚度39厘米，应用效果和具体数据待验证。

2021年4月，云南省交投集团牵头，与中科院地理研究所、交通部公路研究院、云天化环保科技等单位合作，共同申报了云南省科技计划项目“磷石膏固体废弃物路用关键技术、装备研发及综合应用”项目，计划在云南新建的三条高速公路上共铺设15公里，铺设路基水稳层厚度约40厘米，消耗磷石膏约8万立方。

2020年4月，根据中国建筑材料联合会“关于下达2020年第七批协会标准制定计划的通知”（中建材联标发〔2020〕50号）等文件要求，由湖北昌耀新材料股份有限公司、武汉理工大学、宜昌市建筑节能推广中心、宜昌市信息与标准化所、湖北建夷检测检验中心有限公司、宜昌市城市规划设计院、苏州混凝土水泥制品研究院检测中心、扬州大学、三峡大学、广州市市政工程设计研究总院、湖北三峡路桥工程有限公司、宜昌通世达交通开发有限公司等近20家单位编写了“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”中国建筑材料协会标准（T/CBMF XX-202X/T/CCPA XX-202X）（征求意见稿），即将由中国建筑材料联合会、中国混凝土与水泥制品协会联合发布。该标准内容主要包括：总则、术语、基本规定、原材料要求、材料分档、组成设计、混合料生产和施工以及磷石膏稳定层

的养护、交通管制、层间管理等九大方面，该标准中述及：“编制组经广泛调查研究，认真总结普通水泥稳定碎石层后期出现收缩开裂的原因，将磷石膏矿渣水泥基材料用于公路路面基层稳定材料，并通过公路试验段工程实践发现，磷石膏稳定层具有抗折、抗压强度高、凝结时间长、抗冻性能好等特点，还具有微膨胀性可有效控制公路水稳层在后期出现收缩开裂的现象。同时，磷石膏稳定层的应用不仅能够消耗大量的磷石膏，减少水泥用量，降低成本，还能够改善公路水稳层的性能，提高公路使用寿命，因此，在结合国内相关标准并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程”，“本规程适用于公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料，各等级公路、广场新建和改扩建工程的基层、底基层可参照使用”；“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料应用技术除应符合本规程外，还应符合国家现行相关标准的规定”；该标准将“磷石膏矿渣水泥基材料”（phosphogypsum slag cement matrix material）定义为：“以磷石膏、矿渣粉和水泥为原材料，按照一定比例进行复合而成的胶凝材料”，“磷石膏稳定层（phosphogypsum graded gravel stabilized layer”定义为：“以级配碎石为主要原材料，以磷石膏矿渣水泥基材料作为胶凝材料，通过加水共同拌合而成的混合料”。该标准还规定了：“原料磷石膏的质量应符合现行‘磷石膏’国家标准（GB/T 23456—2018）的规定”。

“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”中建材协会标准（T/CBMF XX-202X/T/CCPA XX-202X）（征求意见稿）明确规定了磷石膏制筑路材料的放射性限量要求，内外照射指数均 ≤ 1.0 ，明确磷石膏在使用前应经过无害化改性处理，改性后的磷石膏应符合表 11 的要求。

表 11：“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”中建材协会标准（T/CBMF XX-202X/T/CCPA XX-202X）规定的指标及控制值

指 标	“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”中建材协会标准（T/CBMF XX-202X/T/CCPA XX-202X） （征求意见稿）
CaSO ₄ ·2H ₂ O（%）≥	85.0
附着水（%）≤	15.0
水溶性 P ₂ O ₅ （%）≤	0.30
水溶性 F ⁻ （%）≤	0.20
PH≥	6.0
细度（80um 方孔筛筛余量（%）≤	20.0

可看出：表中对水溶性磷、氟指标的要求不算太严，对水溶性氯离子没有要求。由该标准主编单位组织，相关单位开展了磷石膏、水泥、矿渣粉、细集料、粗集料等复配，制备筑路材料试验研究以及试验路段铺设试验，完成相关检测，其原料磷石膏中放射性核素含量，依据“建筑材料放射性核素限量”国标（GB 6566-2010）进行检测。该标准编制说明述及：“现有‘磷石膏土壤调理剂’国家化工行业标准（HGT 4219），已制定了磷石膏作为土壤调理剂的可行性，“制品用过硫磷石膏矿渣水泥混凝土”国家建材行业标准（JC/T 2391），也已认可了磷石膏混凝土制品的可靠性，说明了磷石膏对环境、对人体是安全的”。通过 X 射线荧光分析（XRF）测试磷石膏试样中各元素及其存在的氧化物含量，通过 X 射线衍射（XRD）测试磷石膏内部主要矿物成分，并依据“肥料汞、砷、镉、铅、铬含量的测定”农业行业标准（NY/T 1978-2010）中的检测方法，对磷石膏中有害重金属进行检测；此外，磷石膏用作建筑材料，需要符合“磷石膏及其综合利用产品质量标准”地标（DB 4205/T-2019）中的一级或二级的全部质量指标要求，包括基本要求、放射性核素限量及重金属限量等。经实际检测，磷石膏制筑路材料，全部检测结果达到以上相关标准要求。

2020 年 11 月至 2021 年 5 月，在宜昌市夷陵区小东方大道、欧阳修主题公园附属道路、江临路、柏临河一路、柏临河二路等试验段进行初步的试验验证，获得满意结果之后，标准制定工作组完成了通“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”中建材协会团体标准（征求意见稿）的编制，待修改定稿后发布实施。

2022 年，云南交投集团与中国科学院地质与地球物理研究所、交通运输部公路科学研究所，也共同完成了云南交投集团企业标准“磷石膏固体废弃物路用技术标准”（征求意见稿，2022）的编制，其主要内容包括：总则、术语、材料、路面基层、边坡、水泥混凝土构件等方面。该标准规定用于筑路材料的磷石膏质量应符合“磷石膏”国标（GB/T 23456—2018）中一级或二级的规定（参见前述表 8）。

云南交投集团企业标准“磷石膏固体废弃物路用技术标准”（征求意见稿，2022）中，除了满足上述放射性限量要求和表 11 的指标及控制值要求之外，还规定了有害杂质重金属限量应符合广泛施用的肥料标准要求，执行“肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标”国家标准（GB/T 23349）要求（可参见表 9）。目前，云南交投集团等合作单位正在开展相关工作，以磷石膏为主要原料，参配水泥、粉煤灰、固化剂、稳定剂等其它物料，对磷石膏进行无害化处理，制备筑路材料。计划以二级公路基层、底基层技术指标为目标。对磷石膏水稳料的配合比设计、拌和工艺、施工工艺、环境影响进一步进行优化、验证。现经初步测算，用于路基水稳层，每平方米路面磷石膏用量约 450kg，强度能达到二级公路标准，经济半径在 70km 以内。

本指南规定了加工筑路材料的磷石膏原料的有害性杂质，需满足水溶性 P205 $\leq 0.20\%$ ，水溶性 F- $\leq 0.10\%$ ，均比中建材协会标准“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”（T/CBMF XX-202X/T/CCPA XX-202X）（征求意见稿）降

低 50%进行加严控制，还额外增加了水溶性 $Cl^- \leq 0.10\%$ 的指标，进行加严控制；特别是，本指南与中建材协会标准“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”（T/CBMF XX-202X/T/CCPA XX-202X）（征求意见稿）相比，还特别规定了原始磷石膏经过无害化处理之后，得到的硫酸钙原料，加工的筑路材料，其质量性能和使用特性指标应满足国家、行业、地方等相关标准、规范要求，特别规定了筑路材料浸出液的特征污染物控制指标，参照污水综合排放标准一级指标要求执行，这个要求是非常严格的。

本指南明确规定了磷石膏需要预先规范进行无害化处理、净化，再用来加工筑路材料，严格、有效控制有害性物质浸出可能带来的环境污染风险，充分体现了本指南指标及其控制值的严格性和先进性，为确保筑路材料质量、使用性能及其环境污染风险可以有效控制，为推动磷石膏无害化处理制备筑路材料的安全、环保、规模化应用提供科学、合理、全面的标准依据和支撑。

本指南明确规定了特征污染物的浸出采用“固体废物浸出毒性浸出方法 水平震荡法”（HJ 557），统一了浸出方法，消除地理、季节、气候、自然环境土壤水饱和度等因素变化所带来的差异。本标准明确规定了特征污染物检验方法采用“污水综合排放标准”（GB 8978）规定的方法。

4.2.5 用于水泥缓凝剂

水泥缓凝剂是改善水泥凝结时间的添加剂。过去，多数水泥厂是以天然石膏、脱硫石膏作为水泥缓凝剂。之后，受到天然石膏开采和脱硫石膏成本较高和数量减少的影响，为降低成本，满足需求，水泥厂逐步采用磷石膏作为缓凝剂。磷石膏应用于水泥缓凝剂，已有很长的历史和广泛的应用经验，是国内外磷石膏利用技术最成熟、最成功的途径之一，磷石膏缓凝剂使用量为水泥的 3-5%，我国水泥产能高达近 20 亿吨，绝对产量较大，但由于受到运输距离等因素限制，以及水泥

行业受房地产影响较大，磷石膏制水泥缓凝剂的需求量，虽还具备一定潜力，但经过多年开发应用，已经与可能使用的最大数量较为接近。

国内磷石膏缓凝剂，已有成熟的标准依据。之前就有一些地方标准和行业标准，如“水泥生产用磷石膏”农业行业标准（NY/T1060-2006），主要规定了 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \geq 85\%$ （一级）、 65% （二级）， $\text{P}_2\text{O}_5 \leq 1.5\%$ ，附着水 $\leq 8\%$ （或由供需双方商定），放射性核素（建筑主体材料）内照射指数和外照射指数均为 ≤ 1.0 。

“磷石膏改性水泥缓凝剂”（DB53/T2012），主要规定了 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \geq 65\%$ ，水溶性 $\text{P}_2\text{O}_5 \leq 0.15\%$ ，粒度 $10-40\text{mm} \geq 80\%$ （如有特殊需求，由供需双方商定），附着水 $\leq 15\%$ （或由供需双方商定），放射性核素（建筑主体材料）内照射指数和外照射指数均为 ≤ 1.0 。

2019年颁布实施的“用于水泥中的工业副产石膏”（GB/T21371-2019）主要规定了二水石膏和无水石膏总量 $\geq 75\%$ ，氯离子 $\leq 0.50\%$ ， $\text{PH} \geq 5.0$ ，规定了水溶性 P_2O_5 、水溶性 F-和附着水由供需双方商定，放射性核素（建筑主体材料）内照射指数和外照射指数均为 ≤ 1.0 。本指南沿用了此国家标准规定的相关指标、限值要求和检验方法。

过去，磷石膏未经过无害化处理降低有害杂质含量，导致水泥产品质量性能受到影响的问题。之后，先无害化处理、净化磷石膏，再制备水泥缓凝剂，成为业内普遍采用的方法，以避免对水泥质量性能带来影响，其中，放射性核素和硫酸钙含量，一般均能够达到指标要求，需要预先处理降低的主要是氯离子、水溶性磷和水溶性氟含量，提高 PH 值。

4.2.6 其它用途

本指南明确了经无害化处理的磷石膏，也可用于制硫酸，制酸烧渣可多途径利用。

现已有的、仅针对磷石膏制硫酸而制定的“磷石膏处理处置规范”(GB/T32124)国家标准，主要考虑了磷石膏烧渣通常作为水泥熟料，但在兼顾考虑磷石膏烧渣还可以作为普通氧化钙、活性氧化钙、矿渣棉纤维、人造石等等很多利用途径和领域，以及根据这些利用途径和领域的材料和产品的质量指标要求不同，其对应的原料磷石膏的处理净化方法也不同等方面，存在问题和缺陷。

应根据烧渣的不同利用途径，确定原料磷石膏的质量特性控制指标要求，优化选择无害化处理净化方法。这些指标和相关内容，目前尚难以确定，需要在今后不断取得数据和依据之后，再行补充完善。

本指南明确了经无害化处理的磷石膏，还可应用于人造土、消防砂、磷石膏基复合材料以及塑料、纸张、橡胶填料等领域。根据不同应用领域，确定原料磷石膏及其无害化处理制备得到的材料、产品的质量特性控制指标要求，优化选择针对不同应用领域的磷石膏无害化处理净化方法。这些内容目前尚难以确定，需要在今后不断取得数据和依据之后，再行补充完善。

4.3 无害化贮存

本指南创新提出和明确了磷石膏无害化处理，是为了实现磷石膏资源化利用和无害化贮存和填埋。

根据“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”(GB 18599)中 I 类场的入场要求，磷石膏经过无害化处理净化，其可溶性盐、有机质、PH 等特征污染物，完全达到该标准中最严格的、最高等级的 I 类场入场要求，可根据该标准进入 I 类场贮存场进行贮存及其管理和运行控制，体现了本标准的科学性和先进性，且本指南对于 (GB 18599) 未进行规定的放射性核素限量的风险控制指标也进行了补充、完善和规定，要求其满足与人体接触更为紧密的“建筑材料放射性核素限量”(GB 6566)国家标准规定的指标要求，进一步体现了本标准的先进性。同时，

本指南规定了磷石膏经过无害化处理净化，其浸出液中的 pH、磷酸盐、氟化物、总铅、总砷、总镉、总汞、总铬等特征污染物应完全达到污水综合排放标准(GB 8978) 中最严格、最高等级的一级指标要求，COD、悬浮物、总氮、氨氮等常见水污染控制指标，也满足“水污染物特别排放限值”(GB 15580) 国家标准的要求，充分体现了本标准的科学性、系统性和先进性。

综上所述：经过无害化处理、净化的磷石膏，其特征污染物和常见水污染控制指标，已经同时满足 GB 18599、GB 8978 和 GB 15580 三项国家标准中最严格、最高等级的环境污染控制指标要求，已转变为一般工业固体废弃物，可依据上述两项国家标准进入“贮存场”和“填埋场”，进行贮存、填埋及其管理和运行控制。满足如此严格的环境影响控制指标要求，其本质和目的就是确保环保风险可控，尽可能消除环保领域专家的疑虑和否定态度，打通无害化处理磷石膏可以采用“贮存场”、“填埋场”进行贮存和填埋的通道。

还需要特别说明的是：上述“贮存场”和“填埋场”，与传统概念中，用于存放没有经过无害化处理净化的、具有较强酸性以及较高水溶性磷、氟等特征污染物“磷石膏渣库（或称为磷石膏渣场）”是完全不同的，其建设、管理和运行控制要求也存在本质的不同。

本指南明确了可溶性盐、有机质、PH 等特征污染物，按照 GB 18599 标准规定的方法进行检验，放射性核素限量按照 GB 6566 标准规定的方法进行检验，其浸出液中 pH、磷酸盐、氟化物、总铅、总砷、总镉、总汞、总铬等特征污染物，按照 GB 8978 标准规定的方法进行检验，COD、悬浮物、总氮、氨氮等常见水污染控制指标，按照 GB 15580 标准规定的方法进行检验。

5. 磷石膏无害化处理方法

本指南明确了磷石膏无害化处理方法主要有水洗、焙烧、分选、中和、转晶或上述方法的组合方法等。

5.1 水洗方法

经调浆、固液分离和洗涤，降低磷石膏的酸性和水溶性磷、氟等杂质含量。

5.2 焙烧方法

在较高温度下焙烧，去除磷石膏中的挥发性组分，分解有机质，并将部分磷、氟等杂质转化为不溶或难溶性物质而被固定。

5.3 分选方法

针对磷石膏中所需脱除的杂质成分，根据其物理特性差异或采用相应药剂改变目标产物与杂质成分的疏水、亲水性，实现杂质分离。

5.4 中和方法

在磷石膏中加入石灰、电石渣等适宜的碱性物质，与磷石膏中的游离酸和水溶性磷、氟等杂质反应形成不溶或难溶物质，去除其酸性和水溶性杂质的方法。

5.5 转晶方法

采用各种无机或有机溶剂或混合型溶剂，溶解磷石膏，液固分离不溶性杂质，液相重结晶得到硫酸钙，同时抑制杂质重结晶析出。

5.6 其它方法

磷石膏无害化处理过程中添加各种类型的添加剂，或采用微生物处理等其它方法去除和固定磷石膏中的有害性杂质。

总之，磷石膏无害化处理的方法，可根据下游不同应用领域的不同要求，确定不同处理指标要求，选择单一或组合式无害化处理、净化方法。应鼓励和

优先考虑结合现有湿法磷酸生产装置和磷化工企业相关生产装置，选择确定综合性优化方法，在无害化处理、净化过程中，力求做到节能降耗、节水减排、节约成本、增加效益。

6. 磷石膏无害化处理指标及其控制值和依据

6.1 用于充填和生态修复材料的技术指标及依据

经无害化处理后的磷石膏，用来进一步加工矿坑、矿井等各类矿山采空区、各类矿山废弃地（含采石、采砂场）等领域的充填和生态修复材料、土地整理、根植层材料，也可用来加工土方平衡和工业、民用等建设工程回填材料，相关材料的浸出液特征污染物控制指标应符合表 1 要求。其它质量性能和特性指标应满足相关国家、行业、地方等相关标准要求。

表 2 无害化处理磷石膏制备的充填和生态修复材料的浸出液特征污染物控制指标要求

序号	项目	单位	指标	参考标准
1	磷酸盐（以 P 计）	mg/L	≤0.5	GB 8978 （一级指标要求）
2	氟化物（以 F 计）	mg/L	≤10	
3	总汞	mg/L	≤0.05	
4	总镉	mg/L	≤0.1	
5	总铬	mg/L	≤1.5	
6	总砷	mg/L	≤0.5	
7	总铅	mg/L	≤1.0	
8	pH	-	6-9	

注：1. 按照《固体废物浸出毒性浸出方法 水平震荡法》（HJ 557）进行特征污染物浸出。
2. 1-8 项按照《污水综合排放标准》（GB 8978）规定的方法检验。

6.2 用于道路材料的技术指标和依据

加工筑路材料的磷石膏原料，应符合表 2 要求。

表 2 磷石膏的控制指标要求

序号	项目	指标	参考标准	检测方法
----	----	----	------	------

1	附着水 (H ₂ O) (湿基) /%	≤25	GB/T23456	GB/T5484	
2	二水硫酸钙 (CaSO ₄ ·2H ₂ O) (干基) /%	≥70		GB/T23456	
3	水溶性五氧化二磷 (P ₂ O ₅) (干基) /%	≤0.50		JC/T2073	
4	水溶性氟离子 (F ⁻) (干基) /%	≤0.30		GB/T 5484	
5	氯离子 (Cl ⁻) (干基) /%	≤0.04			
6	pH	≥6			
7	水溶性氧化镁 (MgO) (干基) /%	≤0.30			
8	水溶性氧化钠 (NaO) (干基) /%	≤0.10			
9	放射性核素限量	内照射指数	≤1.0	GB6566	GB6566
		外照射指数	≤1.0		
10	砷及其化合物 (以 As 计) (干基) /%	≤0.005	GB 38400	肥料中砷、镉、铬、铅、汞含量的测定(GB/T 23349)	
11	镉及其化合物 (以 Cd 计) (干基) /%	≤0.001			
12	铅及其化合物 (以 Pb 计) (干基) /%	≤0.02			
13	铬及其化合物 (以 Cr 计) (干基) /%	≤0.05			
14	汞及其化合物 (以 Hg 计) (干基) /%	≤0.0005			
注: pH 值由供需双方商定, 但是基于筑路材料的实际情况, 最低限制控制为 6。					

原始磷石膏经过无害化处理之后, 得到的硫酸钙原料, 加工的筑路材料, 其质量性能和特性指标应满足相关国家、行业、地方等相关标准要求, 其浸出液特征污染物指标参照表 1 要求执行。

磷石膏经过无害化处理, 用于筑路材料时, 使用单位应每年定期对筑路材料进行芯样抽检。

6.3 用于土壤改良的技术指标和依据

无害化处理磷石膏, 可直接制备一类粉状土壤调理剂, 或添加其它组分, 可制备二类粉状土壤调理剂产品, 再进行造粒, 可制备三类颗粒状土壤调理剂产品。一类、二类、三类土壤调理剂产品的质量和特性控制指标, 应分别符合表 3、表 4、表 5 的要求。

无害化处理磷石膏用作土壤改良的原料时, 其磷酸盐指标不做要求。

表 3 一类土壤调理剂的质量和特性控制指标要求

序号	项目	单位	指标		参考标准
1	pH	-	2.5~6.5	8.0~9.5	—

2	CaSO ₄ ·2H ₂ O (干基)		Wt%	≥70.0	GB/T 23456
3	水溶性氟 (以 F 计)		Wt%	≤0.2	
4	Na ⁺		Wt%	≤0.2	NY/T 3936
5	砷 (As)		mg/kg	≤40	GB 38400
6	镉 (Cd)		mg/kg	≤8	
7	铬 (Cr)		mg/kg	≤150	
8	铅 (Pb)		mg/kg	≤200	
9	汞 (Hg)		mg/kg	≤4	
10	放射性核素限 量	内照指数	-	≤1.0	GB 6566
		外照指数	-	≤1.0	

注：

- 1-3 项按照《磷石膏》(GB/T 23456) 标准规定的方法检验。
- 4 项按照《土壤检测》(NY/T 1121) 标准规定的方法检验。
- 5-9 项按照《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400) 标准规定的方法检验。
- 10 项按照《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566) 标准规定的方法检验。
- 游离水分由供需双方合同约定。

表 4 二类土壤调理剂的质量和特性控制指标要求

序号	项目	单位	指标		参考标准
1	pH	-	4.0~6.5	8.0~9.5	—
2	钙 (以 Ca 计)	Wt%	≥10.0		
3	硫 (以 S 计)	Wt%	≥8.0		
4	水溶性氟 (以 F 计)		Wt%	≤0.2	GB/T 23456
5	Na ⁺		Wt%	≤0.2	NY/T 3936
6	砷 (As)		mg/kg	≤40	GB 38400
7	镉 (Cd)		mg/kg	≤8	
8	铬 (Cr)		mg/kg	≤150	
9	铅 (Pb)		mg/kg	≤200	
10	汞 (Hg)		mg/kg	≤4	
11	放射性核素限 量	内照指数	-	≤1.0	GB 6566
		外照指数	-	≤1.0	

注：

- 1、4 项按照《磷石膏》(GB/T 23456) 标准规定的方法检验。

2. 2、3项按照《石膏化学分析方法》(GB/T 5484)标准规定的方法检验。
3. 4项按照《土壤检测》(NY/T 1121)标准规定的方法检验。
4. 5-9项按照《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400)标准规定的方法检验。
5. 10项按照《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566)标准规定的方法检验。
6. 游离水分、有机质、蛔虫卵死亡率、大肠杆菌群数、颗粒强度,由供需双方合同约定。

表5 三类土壤调理剂的质量和特性控制指标要求

序号	项目	单位	指标		参考标准
1	pH	-	4.0~6.5	8.0~9.5	—
2	钙(以Ca计)	Wt%	≥10.0		
3	硫(以S计)	Wt%	≥8.0		
4	粒度(2.00mm-6.00mm)	%	≥90.0		-
5	水溶性氟(以F计)	Wt%	≤0.2		GB/T 23456
6	Na ⁺	Wt%	≤0.2		NY/T 3936
7	砷(As)	mg/kg	≤40		GB 38400
8	镉(Cd)	mg/kg	≤8		
9	铬(Cr)	mg/kg	≤150		
10	铅(Pb)	mg/kg	≤200		
11	汞(Hg)	mg/kg	≤4		
12	放射性核素限量	内照指数	-	≤1.0	GB 6566
		外照指数	-	≤1.0	

注:

1. 1、4项按照《磷石膏》(GB/T 23456)标准规定的方法检验。
2. 2、3项按照《石膏化学分析方法》(GB/T 5484)标准规定的方法检验。
3. 4项按照《土壤检测》(NY/T 1121)标准规定的方法检验。
4. 5-9项按照《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400)标准规定的方法检验。
5. 10项按照《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566)标准规定的方法检验。
6. 游离水分、有机质、蛔虫卵死亡率、大肠杆菌群数,由供需双方合同约定。

6.4 用于建筑材料的技术指标和依据

加工建筑材料的磷石膏原料的控制指标,应符合表6要求。

表6 磷石膏的控制指标要求

序号	项目	单位	指标	参考标准
----	----	----	----	------

1	二水硫酸钙 (CaSO ₄ ·2H ₂ O) (干基)	wt%	≥80	GB/T 23456	
2	附着水 (H ₂ O) (湿基)	wt%	≤20		
3	水溶性五氧化二磷 (P ₂ O ₅) (干基)	wt%	≤0.30		
4	水溶性氟离子 (F ⁻) (干基)	wt%	≤0.20		
5	水溶性氧化镁 (MgO) (干基)	wt%	≤0.30		
6	氯离子 (Cl ⁻) (干基)	wt%	≤0.04		
7	水溶性氧化钠 (Na ₂ O) (干基)	wt%	≤0.10		
8	放射性核素限量	内照射指数	-	≤1.0	GB 6566
		外照射指数	-	≤1.0	
<p>注：</p> <p>1. 1-6 项及 pH 按照《磷石膏》(GB/T 23456) 标准规定的方法检验。</p> <p>2. 7 项按照《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566) 标准规定的方法检验。</p> <p>3. pH 由供需双方商定。</p>					

原始磷石膏经过无害化处理之后，所制备的建筑材料，其质量性能和特性的控制指标，应符合表 7 要求。

表 7 无害化处理磷石膏制备的建筑材料控制指标要求

序号	项目	单位	指标	参考标准	
1	水溶性五氧化二磷 (P ₂ O ₅) (干基)	wt%	≤0.20	GB/T 9776	
2	水溶性氟离子 (F ⁻) (干基)	wt%	≤0.10		
3	水溶性氯离子 (Cl ⁻) (干基)	wt%	≤0.05		
4	水溶性氧化镁 (MgO)	wt%	≤0.10		
5	水溶性氧化钠 (Na ₂ O)	wt%	≤0.05		
6	pH	-	≥5		
7	放射性核素限量	内照射指数	-	≤1.0	GB 6566
		外照射指数	-	≤1.0	
<p>注：</p> <p>1. 1-6 项按照《建筑石膏》(GB/T 9776) 标准规定的方法检验。</p> <p>2. 7 项按照《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566) 标准规定的方法检验。</p>					

6.5 用于水泥缓凝剂的技术指标和依据

经无害化处理后的磷石膏制备水泥缓凝剂时，质量性能和特性的控制指标，应符合表 8 要求。

表 8 无害化处理磷石膏制备的水泥缓凝剂控制指标要求

序号	项目	单位	指标	参考标准
1	pH	-	≥5	GB/T 21371
2	二水硫酸钙 (CaSO ₄ ·2H ₂ O)	wt%	≥75	
3	氯离子 (Cl ⁻)	wt%	≤0.5	
4	放射性核素限量	内照射指数	≤1.0	
		外照射指数	≤1.0	
注： 1. 1-3 项按照《石膏化学分析方法》(GB/T 5484) 标准规定的方法检验。 2. 4 项按照《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566) 标准规定的方法检验。 3. 附着水、水溶性五氧化二磷、水溶性氟离子含量由供需双方商定。				

6.6 其它用途

经无害化处理的磷石膏，也可用于制硫酸，制酸烧渣可作为水泥熟料及其混合材，生产建材的原料，冶金原料，保温材料等等多途径利用，应根据烧渣的不同利用途径，确定原料磷石膏的质量特性控制指标要求，优化选择相应的无害化处理净化方法。

经无害化处理的磷石膏，还可应用于人造土、消防砂、磷石膏基复合材料以及塑料、纸张、橡胶填料等领域。应根据不同应用领域，确定原料磷石膏及其无害化处理制备得到的材料、产品的质量特性控制指标要求，优化选择针对不同应用领域的磷石膏无害化处理净化方法。

这些内容目前尚难以确定，需要在今后不断取得数据和依据之后，再行补充完善。

6.7 无害化处理磷石膏后，进行无害化贮存和填埋的技术指标及依据

磷石膏经无害化处理后，在满足《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB 18599) 标准中 I 类场的入场控制指标要求 (见表 1) 条件下，其已转变为一般工业固体废弃物，根据该标准规定，可进入一般工业固体废物贮存场 (非

渣场) I 类场进行贮存, 并按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB 18599) 标准的相关要求进行贮存和管理。

表 9 无害化处理磷石膏进入 I 类贮存场的控制指标要求

序号	项目		单位	指标	参考标准
1	可溶性盐		Wt%	≤2.0	GB 18599 (I 类场指标要求)
2	有机质		Wt%	≤2.0	
3	pH		-	6-9	
4	磷酸盐 (以 P 计)		mg/L	≤0.5	GB 8978 (一级指标要求)
5	氟化物 (以 F 计)		mg/L	≤10	
6	总砷		mg/L	≤0.5	
7	总汞*		mg/L	≤0.05	
8	总镉*		mg/L	≤0.1	
9	总铬*		mg/L	≤1.5	
10	总铅*		mg/L	≤1.0	
11	COD _{Cr}		mg/L	≤50	GB 15580 (水污染物特别排放限值)
12	悬浮物		mg/L	≤20	
13	总氮		mg/L	≤10	
14	氨氮		mg/L	≤5	
15	放射性	内照射指数	-	≤1.0	GB 6566
		外照射指数	-	≤1.0	
注:					
1. 1-3 项按照 GB 18599 标准规定的方法进行检验。					
2. 按照《固体废物浸出毒性浸出方法 水平震荡法》(HJ 557-2010) 进行特征污染物浸出, 1-8 项按照《污水综合排放标准》(GB 8978) 规定的方法进行检验。					
3. 4、5 项指标检验频次应按照当地环保部门的要求进行。					
4. 总汞、总铬、总镉、总铅为型式检验项目, 当政府监管部门提出型式检验要求等情况时进行型式检验。					

7.安全、环保、职业健康及监测

7.1 安全及监测

副产磷石膏的企业、利用磷石膏加工各类材料和产品的企业以及下游各领域进行使用和工程应用的企业, 在磷石膏无害化处理、无害化贮存和加工各类

材料和产品过程中，以及在下游各领域进行工程应用过程中，在项目及工程的可研论证、建设及工程实施、装置试车、投产、运行以及项目、工程验收等各步骤，均应满足（但不限于）以下安全及监管要求：

（1）应按国家、地方的相关安全监管要求，办理齐全的安全行政许可、审批、备案等手续，应符合国家、行业、地方标准（规范）和本指南的相关规定，确保项目实施全过程均合法、依规，以及满足各级相关安全标准（规范）要求。

（2）所有项目的实施应遵守国家、地方的法律、法规、政策、文件、通知等要求，并在实施过程中严格进行安全监管、监测、检查、考核，确保项目实施全过程安全和监管有效、可控，并接受相关部门运行监管。

（3）如需配套建设安全设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

（4）如需采用压力容器、行车等各类特种设备，应按国家、行业和地方的相关安全监管要求执行，并接受相关部门运行监管。

（5）如涉及危险化学品，易燃易爆物质、物品，放射性物品，易制毒化学品等国家和地方重点监管的物质、物品，在其运输、贮存和使用过程中，应重点加强安全风险和危险源辨识，应制订完善的安全监管制度和措施，加强安全监管、检查、考核，配备齐全的安全应急设施，制定完善的应急预案，定期开展应急演练。

（6）企业操作和管理人员及外来劳务人员，均应经过安全教育培训、考核合格后，持证上岗，配备必要的劳动保护用品。

（7）须遵守和满足国家和地方的其它安全及监管要求。

（8）其它说明

磷石膏经过无害化处理，进行无害化贮存以及应用于下游矿坑、矿井、矿山废弃地的充填、生态修复时，应按照“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”（GB 18599）的要求，开展项目实施、安全运行和控制管理。

7.2 环保及监测

副产磷石膏的企业、利用磷石膏加工各类材料和产品的企业以及下游各领域进行使用和工程应用的企业，在磷石膏无害化处理、无害化贮存和加工各类材料和产品过程中，以及在下游各领域进行工程应用过程中，在项目及工程的可研论证、建设及工程实施、装置试车、投产、运行以及项目、工程验收等各步骤，均应满足（但不限于）以下环保及监管要求：

（1）应按国家、地方的相关环保监管要求，办理齐全的环保行政许可、审批、备案等手续，应符合国家、行业、地方标准（规范）和本指南的相关规定，确保项目实施全过程均合法、依规，以及满足各级相关环保标准（规范）要求。

（2）所有项目的实施应遵守国家、地方的法律、法规、政策、文件、通知等要求，对全过程环境影响风险和因素进行识别，应制订完善的环保监管制度和措施，并按国家、行业和地方相关监管要求，在实施过程中严格进行环保监管、监测、检查、考核，确保项目实施全过程环保和监管有效、可控，并接受相关部门运行监管。

（3）如需配套建设环保设施，环境影响评价文件需明确配套建设的环境污染防治设施，须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

（4）大气污染控制方面，应采取清洁生产工艺、设备等措施，降低粉尘、氟化物、硫化物等污染物排放，相关污染物排放应符合GB 16297 及相关标准要求，应加强重点区域特别排放限值及大气污染物排放总量控制要求。

(5) 水污染控制方面，应对全过程中产生的生产、生活等各种污水进行规范处理后回用或达标排放。

(6) 固体废物污染控制方面，产生固体废物的，应当采取综合利用或合理处理等措施，防止或减少固体废物产生，有效控制和降低其污染风险。

(7) 操作及管理人员应经过环境保护和环境风险识别控制方面的教育、培训，考试合格后上岗。

(8) 其它说明

磷石膏经过无害化处理，进行无害化贮存以及应用于下游矿坑、矿井、矿山废弃地的充填、生态修复时，已经可以有效控制其污染因子，达到“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”(GB 18599)标准中进入 I 类场贮存的相关要求，尤其是其浸出液特征污染物达到“污水综合排放标准”(GB 8978)一级指标要求，可有效控制无害化贮存或矿坑、矿井充填和生态修复的环境影响风险，故可按照“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”(GB 18599)的要求，实施运行控制和管理。同时，应按照有关法律和“环境监测管理办法”、“企业事业单位环境信息公开办法”等规定，建立相应的监测制度、监测方案，对有可能带来周边环境质量影响风险的因子进行监测和有效控制，并公开监测结果。

磷石膏经过无害化处理用于筑路材料，工程项目实施前，使用单位应根据和对照磷石膏的特征污染物，对一定距离路段、一定范围内的土壤、地表水及地下水中，与磷石膏特征污染物对应的现状值进行检测，在基层、底基层完工后，应对可能会受到影响的土壤和水体开展监测，监测频次每年至少一次。

7.3 职业健康及监测

副产磷石膏的企业、利用磷石膏加工各类材料和产品的企业以及下游各领域进行使用和工程应用的企业，在磷石膏无害化处理、无害化贮存和加工各类

材料和产品过程中，以及在下游各领域进行工程应用过程中，在项目及工程的可研论证、建设及工程实施、装置试车、投产、运行以及项目、工程验收等各步骤，均应满足（但不限于）以下职业健康及监管要求：

（1）应按国家、地方的相关环保监管要求，办理齐全的职业健康行政许可、审批、备案等手续，应符合国家、行业、地方标准（规范）和本指南的相关规定，确保项目实施全过程均合法、依规，以及满足各级相关职业健康标准（规范）要求。

（2）所有项目的实施应遵守国家、地方的法律、法规、政策、文件、通知等要求，对全过程职业健康风险进行识别，应制订完善的职业健康监管制度和措施，并按国家、行业和地方相关监管要求，在实施过程中严格进行职业健康监管、监测、检查、考核，确保项目实施全过程职业健康和监管有效、可控，并接受相关部门运行监管。

（3）如需配套建设职业健康设施，须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

（4）污染、噪声与振动控制方面，应采取清洁生产和低噪声工艺、设备等措施，降低大气、水、固体废料和噪声可能带来的污染风险以及对人身健康的不利影响，相关指标应满足国家、行业、地方等相关标准要求。噪声方面，如仍达不到相关标准要求，则应采取有效的消声、隔声、吸声、减振、隔振以及综合控制等噪声控制措施，减少振动、降低噪声污染，以达到GB 12348、GB/T 50087 等标准规定。

（5）操作和管理人员、外来劳务人员，应经过职业健康培训、考试合格后上岗，配备必要的个人防护用品。

8.效果分析

本指南对磷石膏通过无害化处理、净化，降低、去除和（或）固定有害性杂质，用于矿井、矿坑充填和生态修复、道路材料、土壤改良、建筑材料、水泥缓凝剂等不同应用领域所应满足的质量和使用性能指标要求以及环境和人身健康风险控制要求进行了相应规定。同时，对磷石膏通过无害化处理、净化，降低、去除和（或）固定有害性杂质，其特征污染物满足“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”（GB 18599）中的相关要求，按其规定进入一般工业固体废物贮存场（非磷石膏渣场）进行贮存、填埋和运行管理进行了相应规定，为无害化处理、净化磷石膏，拓展各个应用领域的应用，以及实现磷石膏的无害化处理和无害化堆存提供技术标准依据和支撑。

本指南所提出的磷石膏无害化处理指南，是以国内贵州、湖北、云南等省为代表的磷化工企业，在开展磷石膏综合利用过程中，针对磷石膏制备充填和生态修复材料、建材、筑路材料、农用土壤调理剂、水泥缓凝剂等不同应用领域所应满足的环境影响和人身健康风险控制要求以及满足下游各应用领域中，会对产品质量和使用性能带来影响的有害性杂质指标及其限量的不同控制要求，预先对磷石膏进行无害化处理的试验研究结果和实际应用经验和结果而制定。国内在磷石膏预先进行无害化处理以及在上述应用领域中，除了制筑路材料和应用方面，还处于开发试验和试验路段铺设试验阶段，未实现大规模应用之外，在其它几个主要应用领域，均具有多年试验研究和规模化应用实践经验和数据作为依据和支撑。本标准所提出的磷石膏无害化处理指南中，可能产生人身健康和环境影响风险的特征污染物以及会对下游制备材料、产品质量造成影响的有害性杂质控制指标和限值，是根据下游不同应用领域的不同要求等方面进行综合考虑而制订，力求具有依据，体现实用性和针对性。

8.1 用于充填和生态修复材料

本指南中，此部分内容所提出的磷石膏无害化处理，是以磷肥企业副产磷石膏的酸性（PH）、磷酸盐、氟化物以及重金属等特征污染物以及放射性等可能存在环境影响风险的因素作为无害化处理的主要控制目标和指标，以有效控制这些环境风险，并结合磷石膏无害化处理后，制备充填和生态修复材料，进行无害化充填和生态修复为基础而制订。

国内贵州省在磷石膏中，简单加入成本相对较低的矿渣水泥等物质，进行无害化处理后，用于地下矿井充填已有很多年历史，充填利用是贵州省历年磷石膏利用数量最大、占比最高的利用途径，且地下矿井充填是在无法像露天矿坑充填一样，能够铺设进一步降低环境风险的防渗层情况下完成的。2019年、2021年和2022年上半年，贵州磷石膏用于地下填充的数量分别为180.1万吨、448.1万吨和220.8万吨，占磷石膏利用总量的比率，分别高达44.0%、33.8%和63.1%，贵州在此方面的、多年的大规模化工程应用，所积累了丰富的经验，为其它省份提供了示范。

安徽六国化工伯乐采石废弃矿坑（占地面积约69564m²）充填和生态修复项目，也已利用了大量磷石膏，为安徽在此方面的利用进行了首次尝试和示范。云南胜威化工中庄磷矿采坑完成的充填和生态修复项目，同样为云南省在此方面的利用进行了首次尝试和示范。云天化完成的改性磷石膏废弃矿坑生态修复集成技术开发，通过磷石膏中和剂、固化剂、稳定剂等多种添加剂组合配方进行磷石膏无害化处理和改性处理，制备得到的充填材料浸出液的特征污染物，满足“《污水综合排放标准》”国标（GB8978-1996）中的一级指标要求。云天化还制订、颁布实施了“磷石膏基生态修复材料产品企业标准（Q/YTHC.103-011-2021），正在制

订“磷石膏基生态修复材料用于采坑填充技术规范”（Q/YTHC-113.011-2021）企业标准，为技术在云天化的应用提供了标准依据。

依托前述集成技术，在完成相关技术方案和相关行政许可批复、备案后，云天化正在实施云龙磷矿废弃矿坑生态修复工程，为确保首次实施矿坑充填的环境风险可控，在预先铺设防渗层前提下，回填 4 个矿坑，修复后恢复为耕地，其边坡、非回填修复区则恢复为林地，修复总面积约 1539 亩，预计利用磷石膏基新型生态修复材料约 981 万吨。至 2022 年 9 月底，该项目已完成 100 万吨无害化处理磷石膏制充填材料和充填，目前正在继续推进充填工程。

磷石膏经无害化处理后，其浸出液的提取及其特征污染物控制指标满足“污水综合排放标准”国标（GB 8978-1996）一级指标要求时，所制备的充填和生态修复材料，可有效控制环境影响风险，用作矿山采空区、采石场、废弃矿山等生态环境修复回填、土方平衡、根植层材料及工业、民用等建设工程回填的材料，符合国家“十四五循环经济发展规划”提出的：加强资源综合利用，进一步拓宽工业副产石膏（含磷石膏）等大宗固废综合利用渠道，扩大在生态修复等领域的利用规模的要求，将在短、中期内，即可大量消化利用磷石膏，对提高磷石膏利用量和利用率，促进磷化工行业持续稳定发展，将发挥重要支撑作用。

8.2 用于道路材料

本指南中，此部分内容所提出的磷石膏无害化处理，是以磷肥企业副产磷石膏的酸性（PH）、水溶性 P2O5、水溶性氟和氯离子以及放射性等可能存在环境和人身健康影响风险的因素以及二水硫酸钙、附着水等可能对道路材料制备过程和性能产生影响的因素，以及无害化处理磷石膏制备道路材料浸出液中水溶性磷、氟、重金属、PH 等特征污染物控制，作为无害化处理的主要控制目标和指标，以有效控制这些环境影响风险和材料使用性能，并结合磷石膏无害化处理后，制备

道路材料，用于无害化道路建设为基础而制订。

经无害化处理的磷石膏可用作路基材料等筑路材料和市政道路等各种道路材料的原料。国外俄罗斯、摩洛哥、印度等国家，将磷石膏用于道路材料已有多年历史。

俄罗斯联邦道路管理局批准“用于公路路面建造的磷石膏技术规范”，在道路建设和维修中使用“路基磷石膏”（RBPG），允许在第1-5类（从高速、高等级公路到普通道路）的道路建设和维修中使用（符合其国家标准 GOST 52398-2005 的规定），联邦建设和住房/公共基础设施部甚至允许在城市环境中使用 RBPG 进行道路建设，可以判断：其在使用磷石膏制备“路基磷石膏”（RBPG）过程中，已经进行无害化处理，环境污染风险得到有效控制；俄罗斯使用路基磷石膏建成道路（包括试点路段）总面积达到约 18 万 m²。摩洛哥在常规道路上采用不同含量的磷石膏配方进行试点路段试验，对道路机械性能和可能造成的环境影响进行了长期监控，均达到相关标准。印度中央道路研究院（CRRI）在“利用磷石膏作为道路建筑材料的可行性研究”方面进行了大量试验，主要结论有：当磷石膏在最佳水分和最大干密度下被压实，会产生很高强度，足以在不同的路面层中使用。但在水饱和状态下，强度会下降，但仍可满足底基层或软基覆盖层要求，可用于道路的路基/底基层中；用 20% 磷石膏混合当地土壤可用作路基/覆盖层，用 20% 磷石膏和 2% 或 4% 石灰混合当地土壤也可用作路基/覆盖层，用 40% 磷石膏混合粉煤灰可用作路基/封盖层和底基层。抗压强度方面，样品表现为半刚性材料，在极限强度下表现为脆性材料。

总体来说，国外在磷石膏制道路材料的研究和应用方面，应该说还是相对成熟一些，在磷石膏筑路相关性能和环境影响风险控制等方面，提供了一些可借鉴的经验。

国内在磷石膏制筑路材料方面，开展了较多试验研究，并实施了一些试验路段的铺设。2019年，云天化与云南省公路科学技术研究院合作在厂区内道路铺设的试验路段，至今路面尚完好。之后，云天化牵头，与云南省公路科学技术研究院合作，在易武高速九场辅道铺设的试验路段，至今路面尚完好。2020年9月，云南省交投集团牵头与其它单位合作，在姚楚高速铺设了试验路段，应用效果和具体数据待验证。

2021年4月，云南省交投集团牵头，与中科院地理研究所、交通部公路研究院等单位合作，共同申报、通过了云南省科技计划项目“磷石膏固体废弃物路用关键技术、装备研发及综合应用”的评审，计划在云南新建的三条高速公路上共铺设15公里，铺设路基水稳层厚度约40厘米，消耗磷石膏约8万立方。

2020年4月，根据中建材联合会标准编制要求，湖北昌耀公司、武汉理工大学、宜昌市建筑节能推广中心、宜昌市信息与标准化所、湖北建夷检测检验中心有限公司、宜昌市城市规划设计院、扬州大学、三峡大学、广州市市政工程设计研究总院、湖北三峡路桥工程有限公司等近20家单位，完成了“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”中建材料协会标准（征求意见稿）。该标准述及：“编制组经广泛调查研究，将磷石膏矿渣水泥基材料用于公路路面基层稳定材料，并通过公路试验路段工程实践发现，磷石膏稳定层具有抗折、抗压强度高、凝结时间长、抗冻性能好等特点，还具有微膨胀性可有效控制公路水稳层在后期出现收缩开裂的现象。同时，磷石膏稳定层的应用不仅能够消耗大量的磷石膏，减少水泥用量，降低成本，还能够改善公路水稳层的性能，提高公路使用寿命，因此，在结合国内相关标准并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程”。“本规程适用于公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料，各等级公路、广场新建和改扩建工程的基层、底基层可参照使用”，据称，该标准编制过程中，依据相关

标准和检测方法，重点对材料和浸出液中的水溶性磷、氟、重金属等可能带来环境风险的有害成分进行检测，达到“磷石膏及其综合利用产品质量标准”地标（DB 4205/T-2019）中的一级或二级的全部质量指标要求，包括基本要求、水溶性磷、氟限量及重金属限量等环境影响风险控制指标。

2020 -2021 年，编制组相关单位在宜昌市夷陵区小东方大道、欧阳修主题公园附属道路、江临路、柏临河一路、柏临河二路等试验路段开展了实际铺设试验验证，获得满意结果。目前，“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”中建材协会团体标准（征求意见稿）待定稿后发布实施。

从国内外的研究和应用经验的相关资料来看，磷石膏经过无害化处理，制备筑路材料，添加适宜比率的矿渣水泥等碱性胶凝材料和其它辅助材料，其道路性能和环境影响风险应是可控的，关键是受到筑路材料的各种原料和制备成本以及运输、铺设工程等综合成本高低影响。此方面的开发应用，符合国家“十四五循环经济发展规划”提出的：加强资源综合利用，进一步拓宽工业副产石膏（含磷石膏）等大宗固废综合利用渠道，扩大在交通工程等领域利用规模的要求。此应用领域一旦打通，在为道路交通建设解决筑路材料短缺问题、提供低成本原料的同时，还可在短、中期内形成较大规模的磷石膏利用数量，对提高磷石膏利用量和利用率，将发挥积极作用。

8.3 用于土壤改良

本指南中，此部分内容所提出的磷石膏无害化处理，实现无害化贮存，是以磷肥企业副产磷石膏的酸性、水溶性氟和钠，以及重金属、放射性等可能存在环境影响风险的因素以及对产品制备和使用效果、使用过程中可能产生影响的中量元素钙、硫等含量等作为主要控制目标和指标，以有效控制这些环境影响风险和产产品使用效果，并结合磷石膏无害化处理后，制备三类粉状或颗粒状土壤调理剂产

品为基础而制订。

经无害化处理后的磷石膏可用作土壤调理剂和农用肥料添加剂。国外美国、巴西、加拿大、印度、比利时、芬兰、波兰、摩洛哥、菲律宾等国，均在农业和林业等领域使用磷石膏土壤调理剂和硫、钙等中微量元素补充剂，在盐碱地等各类土壤以及各种作物上使用，进行过系统研究，取得了明显的土壤改良和增产效果，实现了规模化应用，其应用经验值得借鉴。

国内将磷石膏用于农业和土壤调理剂也有很长历史，开展了磷石膏农用的大量试验研究，曾在一些省的几十个县、乡农科站（所）设置了磷石膏农化服务点，在不同纬度区域的盐碱地、盐渍化土壤、酸性黄壤、红壤旱地、山原红壤等各种类型土壤上和不同作物上进行试验，均验证了磷石膏的土壤改良、增产及作物品质改善效果。

本指南提出的磷石膏进行无害化处理制备土壤调理剂，还结合了农用土壤改良、增产提质效果试验为基础而开展。甘肃、云南、安徽等多省完成的多点试验和大面积、多种作物农用示范结果显示：施用磷石膏改良剂后，土壤全盐含量降低约 10%，pH 降低约 0.5 个单位，坐果率提高约 10%，增产率平均达到约 15%，效果明显。甘肃瓮福与甘肃农大合作，开展磷石膏土壤调理剂大田试验，进一步验证了磷石膏改良盐碱地的效果，且对环境和土壤没有造成污染，现正与地方政府紧密对接，加快推广应用。安徽司尔特委托安徽农科院开展磷石膏制腐植酸型钙镁硫土壤调理剂，在盐碱土壤中能有效改良土壤，玉米增产效果明显。山东东营垦利区滨海盐碱地试验效果表明，磷石膏土壤专用调理剂在改良盐碱地土壤种植小麦的增产效果显著；安徽舒城开展酸性土壤改良效果和对种植番茄增产试验表明，磷石膏土壤专用调理剂在改良酸性土壤性状和种植番茄的增产效果显著。云天化与云南农业大学、云南省化工研究院、云南省土肥站、宣威市土肥站、玉溪

市土肥站（峨山县土肥站、红塔区土肥站）、砚山县土肥站、临翔区农技中心、文山州农科院油料作物研究所、开远市农技中心、开远市乐白道街道办事处、石林县农技中心等单位合作，在红壤、紫色土、石灰性土壤等不同土壤，玉米、油菜、大豆、甘蔗、花生、马铃薯等不同作物上施用磷石膏土壤调理剂，对农作物具有5-20%的增产效果，还能改善一些作物的品质，还能改善土壤容重，增加土壤通透性，降低土壤酸碱度，减少土壤中全盐含量，增加土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量，减少了施入田间的肥料养分的损失，提高肥料利用率和肥效降低投入成本。

前些年，由于施用效果较好，且成本低廉，云南宣威市区域的农户，施用未经任何无害化处理的磷石膏，曾经形成过较大利用规模（一度达到过每年近百万吨），但因为存在农户过量施用、滥用等问题，后因当地某镇人大，在未分析查找原因情况下，提出工业废渣流入农田，污染土壤和作物，当地磷石膏农用被迫中止，究其原因，主要是不进行无害化处理，且无使用规范，农户每亩使用量过大（有的达到近一吨），用于存在这些问题，在磷石膏如何有效控制环境污染风险方面，难以得到农业部门的认可，难以通过其土壤调理剂产品的登记备案。目前，国内磷石膏农用在标准和行政许可两个方面均存在一些困难和障碍，除甘肃瓮福建成20万吨/年生产装置，正在推广应用之外，国内还没有建成更多规范化生产装置，暂未形成规模化应用。所以，磷石膏农用，需预先进行无害化处理，且按照规范适量施用，有效控制环境风险，这也是制订本指南需要解决的关键问题。

从国内外的研究和应用经验的相关资料来看，磷石膏只要预先经过无害化处理，制土壤调理剂等农用产品，其磷石膏的特征污染物对环境影响风险是可控的，产品的增产和土壤改良效果也是肯定的，此方面的行政许可和开发应用途径一旦打通，将在短、中期内形成较大规模的磷石膏利用数量，对农业增产和土壤改良

以及提高磷石膏利用量和利用率，将发挥积极作用。

8.4 用于建筑材料

本指南中，此部分内容所提出的磷石膏无害化处理，是以磷肥企业副产磷石膏的酸性（PH）、水溶性 P2O5、水溶性氟离子、二水硫酸钙、水溶性氧化镁、水溶性氧化钠、氯离子等可能对下游建筑材料质量性能产生影响的有害杂质以及放射性等可能存在环境和人体影响风险的因素作为无害化处理的主要控制目标和指标，以有效控制这些质量性能和环境影响风险，并结合磷石膏无害化处理后，制备各种建筑材料（各种粉材和型材），在建材和相关领域进行无害化应用为基础而制订。

石膏基建材具有生产能耗低、可循环使用、防火性能好、透气性好、可调节室内温度和湿度等优点，在世界范围内均得到普及应用。国内外石膏基建材大规模化应用已有较长的历史和成熟的经验。国外欧洲、美国、日本、澳大利亚、新西兰等发达国家在建筑内墙和装配式建筑领域的使用量很大，石膏基建材已经基本替代了水泥基等传统建材。国内使用各种石膏基建材，也有较长历史，近些年来，随着环境保护政策日益严格，石灰石、砂石料开采受限，石膏基建材得到更快普及应用，目前需求量较大（达上千万吨），未来需求潜力有望过亿吨，石膏基建材的大类产品主要有：各型石膏的基础粉材及其下游一系列粉材产品和众多系列的型材产品。目前，国内基础粉材仍以 β 半水石膏粉为主， α 半水石膏粉和无水 II 型石膏粉，因其良好的使用性能，近两年也得到重视和发展。下游粉材和型材产品主要有一系列的抹灰砂浆、自流平砂浆、灰泥、嵌缝石膏以及众多系列的各种、各型条板，各种、各型砌块（砖）等等。

从磷石膏制建材相关标准方面来说，国内在石膏基建材方面，已经建立了一系列的国家标准、行业标准和地方标准及其配套的系列应用技术规范（规程），形成了较为完备的国家标准、国家建材行业标准、地方标准、协会标准以及相应

的应用技术规程等标准体系，为其应用提供了良好的、系统性支撑，相关标准如：“建筑石膏”（GB/T9776）、“抹灰石膏”（GB/T28627）、“纸面石膏板”（GB/T9775）、“石膏砌块”（JC/T 698）、“石膏砌块砌体技术规程”（JC/T 201）、“石膏基自流平砂浆”（JC/T 1023）、“粘结石膏”（JC/T 1025）、“建筑用轻质隔墙条板”（GB/T23451）、“α型高强石膏”（JC/T 2038）、“嵌缝石膏”（JC/T 2075）、“石膏装饰条”（JC/T 2078）、“建筑用砌筑和抹灰干混砂浆”（JT/C 291）、“建筑材料放射性核素限量”（GB 6566）、“喷筑石膏复合墙体应用技术规程”（T/CECS675）、“磷石膏建筑材料应用统一技术规范”地标（DBJ52/T093-2019）等等。

近几年，全国各省均建立了一大批磷石膏制各类建材（各种粉材和型材）的中、大型规模化生产装置，磷石膏预先经过无害化净化处理再用于各种建材产品生产，这些生产装置运行稳定，产品质量达到国家、行业和地方相关标准要求。目前，贵州省各地共有磷石膏制各类建材的企业近 60 家，主要产品产能分别达到：石膏粉产品约 196 万吨/年（β 半水石膏为主，α 半水石膏 20 万吨），抹灰石膏砂浆（轻质、重质、底层等）约 757 万吨/年，纸面石膏板约 3400 万平方米，轻质内墙隔板约 500 万平方米，各类石膏条板约 120 万平方米，石膏砌块约 660 万平方米（含防潮砌块约 300 万平方米）。湖北、四川、重庆等省市也建成了一批中大型磷石膏制建材装置，各自形成上百万吨和几百万吨的产能。云南省目前共有磷石膏制建材企业近 10 家，除云天化环保科技建成建成磷石膏处理量 45 万吨/年大型装置（36 万吨/年 β 半水石膏或 21.6 万吨/年无水 II 型石膏一体化装置）以及 15 万吨/年抹灰石膏装置外，其余均为 β 半水石膏装置，总产能约 118 万吨/年，石膏砂浆总产能约 75 万吨/年。此外，新希望（云南）在建 50 万吨/年 β 半水石膏装置。

总之，磷石膏经过无害化处理，在国内已经建成一大批中大型装置，形成大

规模产业化和应用，随着技术、设备的不断创新、进步，产品质量不断提高。生产成本不断下降，以及下游应用领域的不断拓展，只要注重无害化处理、净化，去除有害杂质，进一步提高产品质量，确保下游建材行业质量良好和稳定，磷石膏无害化处理制备各类建材产品具有更大的发展空间。

8.5 用于水泥缓凝剂的技术指标和依据

国内外大规模使用石膏基水泥缓凝剂，具有悠久的历史 and 非常成熟的应用经验。

由于磷石膏缓凝剂在水泥中的添加量占比低（仅 3%），对有害杂质的限制和要求也就相对较低。本标准中，此部分内容所提出的磷石膏无害化处理，是以磷肥企业副产磷石膏的酸性（PH）、氯离子、二水硫酸钙含量等可能对下游水泥生产和水泥缓凝剂的使用性能产生影响的有害杂质以及放射性等可能存在环境和人体影响风险的因素作为无害化处理的主要控制目标和指标，以有效控制这些质量性能和环境、人身影响风险，并结合磷石膏无害化处理后，制备水泥缓凝剂，在水泥行业和相关领域进行应用为基础而制订。

过去，多数水泥厂是以天然石膏、脱硫石膏作为水泥缓凝剂。之后，受环境保护和降低水泥生产成本等因素的影响，磷石膏经过无害化处理、改性，逐步成为水泥缓凝剂的主要来源。磷石膏水泥缓凝剂，具有很长的使用历史和广泛的应用经验，是国内外磷石膏利用技术最成熟、最成功的途径之一。

国内磷石膏缓凝剂，已有成熟的标准依据，如“水泥生产用磷石膏”国家农业行业标准（NY/T1060-2006）、“磷石膏改性水泥缓凝剂”（DB53/T2012）地方标准、“用于水泥中的工业副产石膏”国家标准（GB/T21371-2019）等等。其主要规定了二水石膏和无水石膏总量 $\geq 75\%$ ，氯离子 $\leq 0.50\%$ ，PH ≥ 5.0 ，水溶性 P205、水溶性 F-和附着水由供需双方商定，放射性核素（建筑主体材料）内照射指数和外

照射指数均为 ≤ 1.0 。

我国水泥产能高达近 20 亿吨，绝对产量较大，但其使用量仅为水泥的 3-5%，以及受到运输距离等因素限制等方面的影响，磷石膏制水泥缓凝剂虽还具有一定发展潜力，但经过多年开发应用，已接近最大使用量，进一步提高磷石膏缓凝剂的产品质量和使用性能，更好的满足下游用户需求，是今后重点工作的方向。

8.6 无害化处理磷石膏后，规范进行无害化贮存、管理

本指南中，此部分内容所提出的磷石膏无害化处理，实现无害化贮存，是以磷肥企业副产磷石膏的可溶性盐、有机质。酸性（PH）、磷酸盐磷氟化物以及重金属、放射性等可能存在环境影响风险的因素作为无害化处理的主要控制目标和指标，以有效控制这些环境影响风险，并结合磷石膏无害化处理后，进行无害化贮存为基础而制订。

贵州、云南、湖北等省的企业和研究机构，在对磷石膏进行无害化处理、净化方面开展完成的试验结果表明：经无害化处理后的磷石膏，可满足“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”国标（GB 18599）I类场的入场要求，其浸出液的特征污染物控制指标满足“污水综合排放标准”（GB 8978-1996）一级指标要求；有些报告显示，达到地表水、地下水的相关国家标准要求。从试验检测得出的结果与 GB 18599 和 GB 8978 两个国家标准的相关指标要求和无害化处理磷石膏及其特征污染物浸出试验结果进行比较，无害化处理磷石膏中的可溶性盐、有机质和 PH, 已经达到“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”国标（GB 18599）I类场的入场要求，新增放射性指标也满足与人体接触更为紧密的建材产品相关国家标准要求，可以安全环保的入场进行贮存、填埋；其浸出液中水溶性磷、氟、重金属等特征污染物以及 COD、悬浮物、总氮、氨氮等指标，均已经达到“污水综合排放标准”（GB 8978-1996）一级指标要求，已经属于一般工业固体废物，可

以直接进入一般工业固体废物贮存场(非磷石膏渣场)I类场进行贮存和运行管理。在稳定控制环境影响风险的特征污染物等相关指标达到国家标准限值的前提下,可先设计铺设防渗层,未来在取得大量数据证明的基础上,可考虑不再铺设防渗层。如果磷石膏无害化处理和贮存,能够顺利获得相关行政许可,将可在中短期内大大缓解国内磷化工行业中的大多数企业,目前普遍面临的磷石膏渣场剩余库容紧张的压力,确保行业企业正常生产经营,确保国家化肥供应和粮食安全。当然,各企业同时也会尽全力,尽快提高其它各个主要利用途径的磷石膏利用量和综合利用率,这对磷化工行业实现持续稳定发展将会产生积极影响。

磷石膏无害化处理、净化后,进入一般工业固体废物贮存场(非磷石膏渣场)进行贮存和管理,可以是临时性贮存(以后用作原料),也可以是永久性填埋,进行覆土植被闭库等。

8.7 磷石膏无害化处理及其应用于制备下游各领域的材料、产品,应满足相关法律、法规、技术标准和技术规范(规程)的要求

磷石膏磷石膏无害化处理及其应用于制备下游各领域的材料、产品及其后续应用整个过程中,在项目立项、装置建设和试车投产、生产运行管理、工程应用施工等全过程控制管理中,均应满足环境及安全监测、环境保护、安全与职业健康等方面的相关法律、法规和相关标准和应用技术规范(规程)的要求,进行有效管控。在此不再赘述。

9. 专利知识产权说明

本标准起草过程中,不涉及专利和知识产权保护。

10. 产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况

10.1 用于充填和生态修复材料

本指南中,此部分内容所提出的磷石膏无害化处理,是以磷肥企业副产磷石

膏的酸性（PH）、磷酸盐、氟化物以及重金属等特征污染物以及放射性等可能存在环境影响风险的因素作为无害化处理的主要控制目标和指标，以有效控制这些环境风险，并结合磷石膏无害化处理后，制备充填和生态修复材料，进行无害化充填和生态修复为基础而制订。

国内贵州省在磷石膏中，简单加入成本相对较低的矿渣水泥等物质，进行无害化处理后，用于地下矿井充填已有很多年历史，充填利用是贵州省历年磷石膏利用数量最大、占比最高的利用途径，且地下矿井充填是在无法像露天矿坑充填一样，能够铺设进一步降低环境风险的防渗层情况下完成的。2019年、2021年和2022年上半年，贵州磷石膏用于地下填充的数量分别为180.1万吨、448.1万吨和220.8万吨，占磷石膏利用总量的比率，分别高达44.0%、33.8%和63.1%，贵州在此方面的、多年的大规模化工程应用，所积累了丰富的经验，为其它省份提供了示范。

安徽六国化工伯乐采石废弃矿坑（占地面积约69564m²）充填和生态修复项目，也已利用了大量磷石膏，为安徽在此方面的利用进行了首次尝试和示范。云南胜威化工中庄磷矿采坑完成的充填和生态修复项目，同样为云南省在此方面的利用进行了首次尝试和示范。云天化完成的改性磷石膏废弃矿坑生态修复集成技术开发，通过磷石膏中和剂、固化剂、稳定剂等多种添加剂组合配方进行磷石膏无害化处理和改性处理，制备得到的充填材料浸出液的特征污染物，满足“污水综合排放标准”国标（GB8978-1996）中的一级指标要求。云天化还制订、颁布实施了“磷石膏基生态修复材料产品企业标准（Q/YTHC.103-011-2021），正在制订“磷石膏基生态修复材料用于采坑填充技术规范”（Q/YTHC-113.011-2021）企业标准，为技术在云天化的应用提供了标准依据。

依托前述集成技术，在完成相关技术方案和相关行政许可批复、备案后，云天化正在实施云龙磷矿废弃矿坑生态修复工程，为确保首次实施矿坑充填的环境风险可控，在预先铺设防渗层前提下，回填 4 个矿坑，修复后恢复为耕地，其边坡、非回填修复区则恢复为林地，修复总面积约 1539 亩，预计利用磷石膏基新型生态修复材料约 981 万吨。至 2022 年 9 月底，该项目已完成 100 万吨无害化处理磷石膏制充填材料和充填，目前正在继续推进充填工程。

磷石膏经无害化处理后，其浸出液的提取及其特征污染物控制指标满足“污水综合排放标准”国标（GB 8978-1996）一级指标要求时，所制备的充填和生态修复材料，可有效控制环境影响风险，用作矿山采空区、采石场、废弃矿山等生态环境修复回填、土方平衡、根植层材料及工业、民用等建设工程回填的材料，符合国家“十四五循环经济发展规划”提出的：加强资源综合利用，进一步拓宽工业副产石膏（含磷石膏）等大宗固废综合利用渠道，扩大在生态修复等领域的利用规模的要求，将在短、中期内，即可大量消化利用磷石膏，对提高磷石膏利用量和利用率，促进磷化工行业持续稳定发展，将发挥重要支撑作用，产生显著的经济效益和社会效益。

10.2 用于道路材料

本指南中，此部分内容所提出的磷石膏无害化处理，是以磷肥企业副产磷石膏的酸性（PH）、水溶性 P2O5、水溶性氟和氯离子以及放射性等可能存在环境和人身健康影响风险的因素以及二水硫酸钙、附着水等可能对道路材料制备过程和质性能产生影响的因素，以及无害化处理磷石膏制备道路材料浸出液中水溶性磷、氟、重金属、PH 等特征污染物控制，作为无害化处理的主要控制目标和指标，以有效控制这些环境影响风险和材料使用性能，并结合磷石膏无害化处理后，制备道路材料，用于无害化道路建设为基础而制订。

经无害化处理的磷石膏可用作路基材料等筑路材料和市政道路等各种道路材料的原料。国外俄罗斯、摩洛哥、印度等国家，将磷石膏用于道路材料已有多年历史。

俄罗斯联邦道路管理局批准“用于公路路面建造的磷石膏技术规范”，在道路建设和维修中使用“路基磷石膏”（RBPG），允许在第 1-5 类（从高速、高等级公路到普通道路）的道路建设和维修中使用（符合其国家标准 GOST 52398-2005 的规定），联邦建设和住房/公共基础设施部甚至允许在城市环境中使用 RBPG 进行道路建设，可以判断：其在使用磷石膏制备“路基磷石膏”（RBPG）过程中，已经进行无害化处理，环境污染风险得到有效控制；俄罗斯使用路基磷石膏建成道路（包括试点路段）总面积达到约 18 万 m²。摩洛哥在常规道路上采用不同含量的磷石膏配方进行试点路段试验，对道路机械性能和可能造成的环境影响进行了长期监控，均达到相关标准。印度中央道路研究院（CRRI）在“利用磷石膏作为道路建筑材料的可行性研究”方面进行了大量试验，主要结论有：当磷石膏在最佳水分和最大干密度下被压实，会产生很高强度，足以在不同的路面层中使用。但其在水饱和状态下，强度会下降，但仍可满足底基层或软基覆盖层要求，可用于道路的路基/底基层中；用 20%磷石膏混合当地土壤可用作路基/覆盖层，用 20%磷石膏和 2%或 4%石灰混合当地土壤也可用作路基/覆盖层，用 40%磷石膏混合粉煤灰可用作路基/封盖层和底基层。抗压强度方面，样品表现为半刚性材料，在极限强度下表现为脆性材料。

总体来说，国外在磷石膏制道路材料的研究和应用方面，应该说还是相对成熟一些，在磷石膏筑路相关性能和环境影响风险控制等方面，提供了一些可借鉴的经验。

国内在磷石膏制筑路材料方面，开展了较多试验研究，并实施了一些试验路段的铺设。2019年，云天化与云南省公路科学技术研究院合作在厂区内道路铺设的试验路段，至今路面尚完好。之后，云天化牵头，与云南省公路科学技术研究院合作，在易武高速九场辅道铺设的试验路段，至今路面尚完好。2020年9月，云南省交投集团牵头与其它单位合作，在姚楚高速铺设了试验路段，应用效果和具体数据待验证。

2021年4月，云南省交投集团牵头，与中科院地理研究所、交通部公路研究院等单位合作，共同申报、通过了云南省科技计划项目“磷石膏固体废弃物路用关键技术、装备研发及综合应用”的评审，计划在云南新建的三条高速公路上共铺设15公里，铺设路基水稳层厚度约40厘米，消耗磷石膏约8万立方。

2020年4月，根据中建材联合会标准编制要求，湖北昌耀公司、武汉理工大学、宜昌市建筑节能推广中心、宜昌市信息与标准化所、湖北建夷检测检验中心有限公司、宜昌市城市规划设计院、扬州大学、三峡大学、广州市市政工程设计研究总院、湖北三峡路桥工程有限公司等近20家单位，完成了“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”中建材料协会标准（征求意见稿）。该标准述及：“编制组经广泛调查研究，将磷石膏矿渣水泥基材料用于公路路面基层稳定材料，并通过公路试验路段工程实践发现，磷石膏稳定层具有抗折、抗压强度高、凝结时间长、抗冻性能好等特点，还具有微膨胀性可有效控制公路水稳层在后期出现收缩开裂的现象。同时，磷石膏稳定层的应用不仅能够消耗大量的磷石膏，减少水泥用量，降低成本，还能够改善公路水稳层的性能，提高公路使用寿命，因此，在结合国内相关标准并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程”。“本规程适用于公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料，各等级公路、广场新建和改扩建工程的基层、底基层可参照使用”，据称，该标准编制过程中，依据相关

标准和检测方法，重点对材料和浸出液中的水溶性磷、氟、重金属等可能带来环境风险的有害成分进行检测，达到“磷石膏及其综合利用产品质量标准”地标（DB 4205/T-2019）中的一级或二级的全部质量指标要求，包括基本要求、水溶性磷、氟限量及重金属限量等环境影响风险控制指标。

2020 -2021 年，编制组相关单位在宜昌市夷陵区小东方大道、欧阳修主题公园附属道路、江临路、柏临河一路、柏临河二路等试验路段开展了实际铺设试验验证，获得满意结果。目前，“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”中建材协会团体标准（征求意见稿）待定稿后发布实施。

从国内外的研究和应用经验的相关资料来看，磷石膏经过无害化处理，制备筑路材料，添加适宜比率的矿渣水泥等碱性胶凝材料和其它辅助材料，其道路性能和环境影响风险应是可控的，关键是受到筑路材料的各种原料和制备成本以及运输、铺设工程等综合成本高低影响。此方面的开发应用，符合国家“十四五循环经济发展规划”提出的：加强资源综合利用，进一步拓宽工业副产石膏（含磷石膏）等大宗固废综合利用渠道，扩大在交通工程等领域利用规模的要求。此应用领域一旦打通，在为道路交通建设解决筑路材料短缺问题、提供低成本原料的同时，还可在短、中期内形成较大规模的磷石膏利用数量，对提高磷石膏利用量和利用率，将发挥积极作用，产生显著的经济效益和社会效益。

10.3 用于土壤改良

本指南中，此部分内容所提出的磷石膏无害化处理，实现无害化贮存，是以磷肥企业副产磷石膏的酸性、水溶性氟和钠，以及重金属、放射性等可能存在环境影响风险的因素以及对产品制备和使用效果、使用过程中可能产生影响的中量元素钙、硫等含量等作为主要控制目标和指标，以有效控制这些环境影响风险和产产品使用效果，并结合磷石膏无害化处理后，制备三类粉状或颗粒状土壤调理剂产

品为基础而制订。

经无害化处理后的磷石膏可用作土壤调理剂和农用肥料添加剂。国外美国、巴西、加拿大、印度、比利时、芬兰、波兰、摩洛哥、菲律宾等国，均在农业和林业等领域使用磷石膏土壤调理剂和硫、钙等中微量元素补充剂，在盐碱地等各类土壤以及各种作物上使用，进行过系统研究，取得了明显的土壤改良和增产效果，实现了规模化应用，其应用经验值得借鉴。

国内将磷石膏用于农业和土壤调理剂也有很长历史，开展了磷石膏农用的大量试验研究，曾在一些省的几十个县、乡农科站（所）设置了磷石膏农化服务点，在不同纬度区域的盐碱地、盐渍化土壤、酸性黄壤、红壤旱地、山原红壤等各种类型土壤上和不同作物上进行试验，均验证了磷石膏的土壤改良、增产及作物品质改善效果。

本指南提出的磷石膏进行无害化处理制备土壤调理剂，还结合了农用土壤改良、增产提质效果试验为基础而开展。甘肃、云南、安徽等多省完成的多点试验和大面积、多种作物农用示范结果显示：施用磷石膏改良剂后，土壤全盐含量降低约 10%，pH 降低约 0.5 个单位，坐果率提高约 10%，增产率平均达到约 15%，效果明显。甘肃瓮福与甘肃农大合作，开展磷石膏土壤调理剂大田试验，进一步验证了磷石膏改良盐碱地的效果，且对环境和土壤没有造成污染，现正与地方政府紧密对接，加快推广应用。安徽司尔特委托安徽农科院开展磷石膏制腐植酸型钙镁硫土壤调理剂，在盐碱土壤中能有效改良土壤，玉米增产效果明显。山东东营垦利区滨海盐碱地试验效果表明，磷石膏土壤专用调理剂在改良盐碱地土壤种植小麦的增产效果显著；安徽舒城开展酸性土壤改良效果和对种植番茄增产试验表明，磷石膏土壤专用调理剂在改良酸性土壤性状和种植番茄的增产效果显著。云天化与云南农业大学、云南省化工研究院、云南省土肥站、宣威市土肥站、玉溪

市土肥站（峨山县土肥站、红塔区土肥站）、砚山县土肥站、临翔区农技中心、文山州农科院油料作物研究所、开远市农技中心、开远市乐白道街道办事处、石林县农技中心等单位合作，在红壤、紫色土、石灰性土壤等不同土壤，玉米、油菜、大豆、甘蔗、花生、马铃薯等不同作物上施用磷石膏土壤调理剂，对农作物具有5-20%的增产效果，还能改善一些作物的品质，还能改善土壤容重，增加土壤通透性，降低土壤酸碱度，减少土壤中全盐含量，增加土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量，减少了施入田间的肥料养分的损失，提高肥料利用率和肥效降低投入成本。

前些年，由于施用效果较好，且成本低廉，云南宣威市区域的农户，施用未经任何无害化处理的磷石膏，曾经形成过较大利用规模（一度达到过每年近百万吨），但因为存在农户过量施用、滥用等问题，后因当地某镇人大，在未分析查找原因情况下，提出工业废渣流入农田，污染土壤和作物，当地磷石膏农用被迫中止，究其原因，主要是不进行无害化处理，且无使用规范，农户每亩使用量过大（有的达到近一吨），用于存在这些问题，在磷石膏如何有效控制环境污染风险方面，难以得到农业部门的认可，难以通过其土壤调理剂产品的登记备案。目前，国内磷石膏农用在标准和行政许可两个方面均存在一些困难和障碍，除甘肃瓮福建成20万吨/年生产装置，正在推广应用之外，国内还没有建成更多规范化生产装置，暂未形成规模化应用。所以，磷石膏农用，需预先进行无害化处理，且按照规范适量施用，有效控制环境风险，这也是制订本指南需要解决的关键问题。

从国内外的研究和应用经验的相关资料来看，磷石膏只要预先经过无害化处理，制土壤调理剂等农用产品，其磷石膏的特征污染物对环境风险是可控的，产品的增产和土壤改良效果也是肯定的，此方面的行政许可和开发应用途径一旦打通，将在短、中期内形成较大规模的磷石膏利用数量，对农业增产和土壤改良

以及提高磷石膏利用量和利用率，将发挥积极作用，产生显著的经济效益和社会效益。

10.4 用于建筑材料

本指南中，此部分内容所提出的磷石膏无害化处理，是以磷肥企业副产磷石膏的酸性（PH）、水溶性 P2O5、水溶性氟离子、二水硫酸钙、水溶性氧化镁、水溶性氧化钠、氯离子等可能对下游建筑材料质量性能产生影响的有害杂质以及放射性等可能存在环境和人体影响风险的因素作为无害化处理的主要控制目标和指标，以有效控制这些质量性能和环境影响风险，并结合磷石膏无害化处理后，制备各种建筑材料（各种粉材和型材），在建材和相关领域进行无害化应用为基础而制订。

石膏基建材具有生产能耗低、可循环使用、防火性能好、透气性好、可调节室内温度和湿度等优点，在世界范围内均得到普及应用。国内外石膏基建材大规模应用已有较长的历史和成熟的经验。国外欧洲、美国、日本、澳大利亚、新西兰等发达国家在建筑内墙和装配式建筑领域的使用量很大，石膏基建材已经基本替代了水泥基等传统建材。国内使用各种石膏基建材，也有较长历史，近些年来，随着环境保护政策日益严格，石灰石、砂石料开采受限，石膏基建材得到更快普及应用，目前需求量较大（达上千万吨），未来需求潜力有望过亿吨，石膏基建材的大类产品主要有：各型石膏的基础粉材及其下游一系列粉材产品和众多系列的型材产品。目前，国内基础粉材仍以 β 半水石膏粉为主， α 半水石膏粉和无水 II 型石膏粉，因其良好的使用性能，近两年也得到重视和发展。下游粉材和型材产品主要有一系列的抹灰砂浆、自流平砂浆、灰泥、嵌缝石膏以及众多系列的各种、各型条板，各种、各型砌块（砖）等等。

从磷石膏制建材相关标准方面来说，国内在石膏基建材方面，已经建立了一系列的国家标准、行业标准和地方标准及其配套的系列应用技术规范（规程），

形成了较为完备的国家标准、国家建材行业标准、地方标准、协会标准以及相应的应用技术规程等标准体系，为其应用提供了良好的、系统性支撑，相关标准如：“建筑石膏”（GB/T9776）、“抹灰石膏”（GB/T28627）、“纸面石膏板”（GB/T9775）、“石膏砌块”（JC/T 698）、“石膏砌块砌体技术规程”（JC/T 201）、“石膏基自流平砂浆”（JC/T 1023）、“粘结石膏”（JC/T 1025）、“建筑用轻质隔墙条板”（GB/T23451）、“ α 型高强石膏”（JC/T 2038）、“嵌缝石膏”（JC/T 2075）、“石膏装饰条”（JC/T 2078）、“建筑用砌筑和抹灰干混砂浆”（JT/C 291）、“建筑材料放射性核素限量”（GB 6566）、“喷筑石膏复合墙体应用技术规程”（T/CECS675）、“磷石膏建筑材料应用统一技术规范”地标（DBJ52/T093-2019）等等。

近几年，全国各省均建立了一大批磷石膏制各类建材（各种粉材和型材）的中、大型规模化生产装置，磷石膏预先经过无害化净化处理再用于各种建材产品生产，这些生产装置运行稳定，产品质量达到国家、行业和地方相关标准要求。目前，贵州省各地共有磷石膏制各类建材的企业近 60 家，主要产品产能分别达到：石膏粉产品约 196 万吨/年（ β 半水石膏为主， α 半水石膏 20 万吨），抹灰石膏砂浆（轻质、重质、底层等）约 757 万吨/年，纸面石膏板约 3400 万平方米，轻质内墙隔板约 500 万平方米，各类石膏条板约 120 万平方米，石膏砌块约 660 万平方米（含防潮砌块约 300 万平方米）。湖北、四川、重庆等省市也建成了一批中大型磷石膏制建材装置，各自形成上百万吨和几百万吨的产能。云南省目前共有磷石膏制建材企业近 10 家，除云天化环保科技建成建成磷石膏处理量 45 万吨/年大型装置（36 万吨/年 β 半水石膏或 21.6 万吨/年无水 II 型石膏一体化装置）以及 15 万吨/年抹灰石膏装置外，其余均为 β 半水石膏装置，总产能约 118 万吨/年，石膏砂浆总产能约 75 万吨/年。此外，新希望（云南）在建 50 万吨/年 β 半水石膏装置。

总之，磷石膏经过无害化处理，在国内已经建成一大批中大型装置，形成大规模产业化和应用，随着技术、设备的不断创新、进步，产品质量不断提高。生产成本不断下降，以及下游应用领域的不断拓展，只要注重无害化处理、净化，去除有害杂质，进一步提高产品质量，确保下游建材行业质量良好和稳定，磷石膏无害化处理，替代天然石膏等原料，用于制备各类建材产品具有更大的发展空间，将产生显著的经济效益和社会效益。

10.5 用于水泥缓凝剂的技术指标和依据

国内外大规模使用石膏基水泥缓凝剂，具有悠久的历史 and 非常成熟的应用经验。

由于磷石膏缓凝剂在水泥中的添加量占比低（仅 3%），对有害杂质的限制和要求也就相对较低。本标准中，此部分内容所提出的磷石膏无害化处理，是以磷肥企业副产磷石膏的酸性（PH）、氯离子、二水硫酸钙含量等可能对下游水泥生产和水泥缓凝剂的使用性能产生影响的有害杂质以及放射性等可能存在环境和人体影响风险的因素作为无害化处理的主要控制目标和指标，以有效控制这些质量性能和环境、人身影响风险，并结合磷石膏无害化处理后，制备水泥缓凝剂，在水泥行业和相关领域进行应用为基础而制订。

过去，多数水泥厂是以天然石膏、脱硫石膏作为水泥缓凝剂。之后，受环境保护和降低水泥生产成本等因素的影响，磷石膏经过无害化处理、改性，逐步成为水泥缓凝剂的主要来源。磷石膏水泥缓凝剂，具有很长的使用历史和广泛的应用经验，是国内外磷石膏利用技术最成熟、最成功的途径之一。

国内磷石膏缓凝剂，已有成熟的标准依据，如“水泥生产用磷石膏”国家农业行业标准（NY/T1060-2006）、“磷石膏改性水泥缓凝剂”（DB53/T2012）地方标准、“用于水泥中的工业副产石膏”国家标准（GB/T21371-2019）等等。其主要规

定了二水石膏和无水石膏总量 $\geq 75\%$ ，氯离子 $\leq 0.50\%$ ， $\text{PH} \geq 5.0$ ，水溶性 P205、水溶性 F-和附着水由供需双方商定，放射性核素（建筑主体材料）内照射指数和外照射指数均为 ≤ 1.0 。

我国水泥产能高达近 20 亿吨，绝对产量较大，但其使用量仅为水泥的 3-5%，以及受到运输距离等因素限制等方面的影响，磷石膏制水泥缓凝剂虽还具备一定发展潜力，但经过多年开发应用，已接近最大使用量，进一步提高磷石膏缓凝剂的产品质量和使用性能，更好的满足下游用户需求，是今后重点工作的方向。磷石膏替代天然石膏和脱硫石膏用于水泥缓凝剂，产生了明显的经济效益和社会效益。

10.6 无害化处理磷石膏后，规范进行无害化贮存、管理

本指南中，此部分内容所提出的磷石膏无害化处理，实现无害化贮存，是以磷肥企业副产磷石膏的可溶性盐、有机质。酸性（PH）、磷酸盐磷氟化物以及重金属、放射性等可能存在环境影响风险的因素作为无害化处理的主要控制目标和指标，以有效控制这些环境影响风险，并结合磷石膏无害化处理后，进行无害化贮存为基础而制订。

贵州、云南、湖北等省的企业和研究机构，在对磷石膏进行无害化处理、净化方面开展完成的试验结果表明：经无害化处理后的磷石膏，可满足“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”国标（GB 18599）I类场的入场要求，其浸出液的特征污染物控制指标满足“污水综合排放标准”（GB 8978-1996）一级指标要求；有些报告显示，达到地表水、地下水的相关国家标准要求。从试验检测得出的结果与 GB 18599 和 GB 8978 两个国家标准的相关指标要求和无害化处理磷石膏及其特征污染物浸出试验结果进行比较，无害化处理磷石膏中的可溶性盐、有机质和 PH, 已经达到“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”国标（GB 18599）

I类场的入场要求，新增放射性指标也满足与人体接触更为紧密的建材产品相关国家标准要求，可以安全环保的入场进行贮存、填埋；其浸出液中水溶性磷、氟、重金属等特征污染物以及 COD、悬浮物、总氮、氨氮等指标，均已经达到“污水综合排放标准”（GB 8978-1996）一级指标要求，已经属于一般工业固体废物，可以直接进入一般工业固体废物贮存场（非磷石膏渣场）I类场进行贮存和运行管理。在稳定控制环境影响风险的特征污染物等相关指标达到国家标准限值的前提下，可先设计铺设防渗层，未来在取得大量数据证明的基础上，可考虑不再铺设防渗层。磷石膏无害化处理、净化后，进入一般工业固体废物贮存场（非磷石膏渣场）进行贮存和管理，可以是临时性贮存（以后用作原料），也可以是永久性填埋，进行覆土植被闭库等。如果磷石膏无害化处理和贮存、填埋，能够顺利获得相关行政许可，将可在中短期内大大缓解国内磷化工行业中的大多数企业，目前普遍面临的磷石膏渣场剩余库容紧张的压力，确保行业企业正常生产经营，确保国家化肥供应和粮食安全。当然，各企业同时也会尽全力，尽快提高其它各个主要利用途径的磷石膏利用量和综合利用率，这对磷化工行业实现持续稳定发展将会产生积极影响，将产生极其显著的经济效益和社会效益。

11.采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况

11.1 用于充填和生态修复材料

在此应用方面，国外尚没有可以直接对比的标准。

国内可直接对比的标准是贵州省地方标准“磷矿开采磷石膏充填采矿技术规范”（DB52/T 1179-2017）等地方标准，本指南充填材料及其浸出液的相关特征

污染物控制指标和限制优于贵州省、湖北省的实际应用结果和地方标准。

国内可间接对比的标准有“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”(GB 18599)中进入 I 类场的一般工业固体废弃物”的要求以及“污水综合排放标准”(GB 8978-1996)一级指标要求,达到此两个标准要求的水体,排入江河时,其环境污染风险也是可以控制的。那么,当磷石膏经过无害化处理制备的充填和生态修复材料及其浸出液特征污染物,已经满足这两个标准的最高要求,可以认为其环境污染风险也是可以控制的了。

11.2 用于道路材料

在此应用方面,国外印度的标准主要是控制放射性,对重金属等指标没有明确规定,本指南在环境影响风险控制指标方面优于印度标准。没有查到国外其它国家的可比标准。

目前,国内尚没有已经颁布实施的可比国家和行业标准。

如果与中国建筑材料协会正在制定“公路路面基层稳定用磷石膏矿渣水泥基材料技术规程”标准(T/CBMF XX-202X/T/CCPA XX-202X)(征求意见稿)和云南交投集团“磷石膏固体废弃物路用技术标准”(征求意见稿,2022)相比,本指南道路材料浸出液特征污染物控制指标和限制优于这两个标准。

11.3 用于土壤改良

在此应用方面,印度农用磷石膏的标准,没有规定放射性和重金属限值,仅规定了硫酸钙、氟、钠、游离水、粒度这几个指标。本指南在环境影响风险控制指标方面优于印度标准。没有查到国外其它国家的可比标准。

国内可直接对比的标准有“磷石膏土壤调理剂”国家化工行业标准(HG/T 4219-2011),本指南土壤调理剂浸出液的相关特征污染物控制指标和限制方面优于前述标准。

国内可间接对比的标准有“肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标”国家标准（GB/T 23349-2009），本指南土壤调理剂浸出液的相关特征污染物控制指标和限制方面优于这些标准。

11.4 用于建筑材料

在此方面的应用，暂时没有查到国外其它国家可直接对比的标准。

国内可直接对比的标准有“建筑石膏”国家标准（GB/T9776-2021）、“抹灰石膏”国家标准（GB/T28627）、“室内装修、装饰材料”国家标准（GB18582）中水性墙面涂料、腻子粉部分、“α型高强石膏”国家建材行标（JC/T 2038）以及“磷石膏建筑材料应用统一技术规范”地方标准（DBJ52/T093），本指南磷石膏制建材的相关特征污染物控制指标和限制等同于或优于这些标准。

11.5 用于水泥缓凝剂

在此方面的应用，暂时没有查到国外其它国家可直接对比的标准。

国内可直接对比的标准有“用于水泥中的工业副产石膏”（GB/T21371-2019）等，主要规定了二水石膏和无水石膏总量 $\geq 75\%$ ，氯离子 $\leq 0.50\%$ ， $\text{PH} \geq 5.0$ ，放射性核素（建筑主体材料）内照射指数和外照射指数均为 ≤ 1.0 ，水溶性 P205、水溶性 F-和附着水由供需双方商定。本指南与前述标准直接规定的控制指标相比，本指南磷石膏制水泥缓凝剂直接规定的相关特征污染物和有害杂质控制指标限值相同。

国内可直接对比的标准还有“水泥生产用磷石膏”农业行业标准（NY/T1060-2006）和“磷石膏改性水泥缓凝剂”地方标准（DB53/T-2012），本指南磷石膏制水泥缓凝剂直接规定的相关特征污染物和有害杂质控制指标限值优于此两个标准。

11.6 无害化处理磷石膏后，规范进行无害化贮存、管理

在此方面，国内外尚没有可以直接对比的标准，但在铺设防渗层的情况下，与原始磷石膏渣场相比，无害化处理磷石膏的贮存场已经具备很大的环境影响风险控制边际和优势。

在对磷石膏进行无害化处理、净化方面开展完成的试验结果表明：经无害化处理后的磷石膏，可满足“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准”国标（GB 18599）I 类场的入场要求，其浸出液的提取和特征污染物控制指标满足“污水综合排放标准”（GB 8978-1996）一级指标要求，有些试验和应用报告显示，达到地表水、地下水的相关国家标准要求。仅从试验检测得出的结果与 GB 18599 和 GB 8978 两个国家标准的相关指标要求和无害化处理磷石膏及其特征污染物浸出试验结果进行比较，无害化处理磷石膏已经属于一般工业固体废物，从标准的角度理解，其已经可以直接进入一般工业固体废物贮存场（非磷石膏渣场）I 类场（或 II 类场）进行贮存和管理。

12. 与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本指南与现行相关法律、法规、规章没有抵触情形，与国家相关标准，特别是强制性标准协调一致。

13. 重大分歧意见的处理经过和依据

对本指南起草及修订过程中存在的分歧和意见，重点参考类似的已经发布的国家标准、国家行业标准以及各相关协会标准和地方标准进行科学、合理的对比和优化调整，最终需达成一致性意见。

14.标准性质的建议说明

本指南的性质建议为磷化工行业以及各个行业和领域的磷石膏利用企业，在涉及磷石膏无害化处理以及在下游不同应用领域应用，以及磷石膏经过无害化处理，其特征污染物达到相关国家标准规定前提下，实现无害化贮存、填埋，而统一规范的协会标准，是在磷化工企业以及各个行业和领域的磷石膏利用企业，在生产、应用过程中执行的规范性、通用性标准。建议下一步升级为国家行业标准，在应用推广和相关条件成熟之后，建议升级为国家标准。

15.贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法、实施日期等）

本标准是针对磷化工行业的企业以及各个行业和领域利用、应用磷石膏的企业，在磷石膏无害化处理以及下游各领域应用以及实现磷石膏无害化处理、无害化贮存、填埋等等方面的、新的协会标准。为加强标准的贯彻落实，建议由标准制定组织单位中国磷复肥工业协会牵头组织各行业的企业和单位进行集中培训、学习、观测实施，并由标准应用企业进一步组织有关技术、管理人员进行学习、贯彻实施。在示范推广应用过程中，应通过各级、各种媒体进行报道、企业网站等途径进行宣传，通过多种途径的学习培训和宣传报道，扩大影响力和贯彻实施力度。确保磷化工企业和磷石膏利用企业的技术和管理人员全面掌握标准的核心内容、主要控制指标和限值，为磷石膏无害化处理、下游产品质量和相关环境和人身安全风险的控制提供基础依据和保障，促进磷石膏无害化处理以及在各行业、各领域的推广应用，为提高生态环境效益和经济效益、社会效益作出贡献。

16.废止现行相关标准的建议

本标准为新制订标准，与现有国家、行业、地方、协会标准不抵触，暂时没

有废止现行相关标准的建议。待时机成熟，进行标准升级之后，再行考虑提出废除相关标准的建议。

17.其它应予说明的事项

无

2023年3月28日