云南省磷石膏综合利用现状及对策建议

黄　洁[1]，黎晟沅[1]，杨晶媛[1]，普康晶[1]，张晓旭[2]

（1. 云南省科学技术情报研究院，云南 昆明　650051；2. 云南省生态环境科学研究院，云南 昆明　650034）

［摘　要］磷石膏综合治理是世界性难题，当前处置方式仍以堆存为主。大量堆存的磷石膏不仅侵占土地资源，存在生态环境安全隐患，而且制约着磷化工产业绿色可持续发展。云南省是我国重要磷资源、磷肥、磷化工基地之一。通过梳理云南省磷石膏综合利用现状及存在的问题，提出强化生产中污染物减量，推行磷石膏无害化处理，实施全产业链协同发展，压实企业主体责任，推动使命和场景驱动创新，拓展综合利用途径，建立多部门协作联动机制，强化统筹协调督导等建议，为深入推进磷石膏减量化、资源化、无害化，促进磷化工产业资源节约和绿色发展提供参考。

［关键词］云南省；磷石膏；综合利用；现状；对策

［中图分类号］X705　　［文献标志码］A　　［文章编号］2097-4566（2025）02-0012-05

Present situation and countermeasures of comprehensive utilization of phosphogypsum in Yunnan province

HUANG Jie[1], LI Shengyuan[1], YANG Jingyuan[1], PU Kangjing[1], ZHANG Xiaoxu[2]

(1. *Yunnan Academy of Scientific & Technical Information*, *Kunming* 650051, *China*;
2. *Yunnan Academy of Environmental Sciences*, *Kunming* 650034, *China*)

Abstract: The comprehensive treatment of phosphogypsum is a worldwide problem, and the current disposal method is still dominated by storage. A large amount of phosphogypsum not only occupies land resources, has hidden dangers of ecological environment security, but also restricts the green and sustainable development of phosphorus chemical industry. Yunnan province is one of the important bases of phosphorus resources, phosphorus fertilizer and phosphorus chemical industry in China. By reviewing the current situation and existing problems in the comprehensive utilization of phosphogypsum in Yunnan province, some suggestions are put forward including strengthening the reduction of pollutants in production, implementing the harmless treatment of phosphogypsum, implementing the coordinated development of the whole industrial chain, consolidating the main responsibility of enterprises, promoting mission and scenario-driven innovation, expanding the comprehensive utilization channels, establishing multi-department collaboration and linkage mechanism, and strengthening overall coordination and supervision, in order to further promote the reduction, resources and harmless of phosphogypsum, provide reference for promoting resource conservation and green development of the phosphorus chemical industry.

Key words: Yunnan province; phosphogypsum; comprehensive utilization; current status; countermeasures

0　引言

磷石膏综合治理是世界性难题，也是制约磷化工产业发展的最大障碍。磷石膏是湿法生产磷酸时产生的固体废渣，一般每制备磷酸1 t约产生磷石膏5 t[1]。我国是全球磷石膏产生和储存量最大的国家，主要集中在湖北、云南、贵州、四川、安徽等磷矿资源富集省份[2]。据统计，目前磷石膏全球堆存量已达60亿t以上，我国堆存量为8.7亿t，每年产生8 000万t[3]。云南省是我国磷矿主要产区之一，也是国家重要的磷化工基地，磷肥产量居全国

［收稿日期］2024-12-17

［作者简介］黄　洁(1986-)，女，哈尼族，云南昆明人，副研究员，主要研究方向为科技情报与决策咨询研究。

［通信作者］杨晶媛(1988-)女，云南昆明人，助理研究员，主要研究方向为科技情报与决策咨询研究、环境技术。

［基金项目］云南省科技厅科技计划项目(202204AL030015)；云南省科技厅科技计划项目(202404AL030035)

第2。磷石膏作为磷化工工业固废，大量堆放不仅破坏生态环境，而且造成土地资源浪费。因此，如何绿色、高效、高值、规模化利用磷石膏，已成为制约云南省磷化工产业高质量发展的关键问题。

1　云南省磷石膏综合利用发展现状

1.1　磷石膏产存压力大，综合利用能力不断提升

云南是我国磷资源储量第一的省份[4]，也是国家重要的磷资源、磷肥、磷化工基地，在为国家粮食安全和磷化工产业发展作出积极贡献的同时，也伴随产生了大量的磷石膏，承载着较大的处置利用压力。近年来，随着综合利用技术提升及综合利用途径拓展，云南省积极探索将磷石膏用于建材、水泥缓凝剂、生态修复材料等领域，全省磷石膏综合利用率大幅度提升，从2021年的16.6%提升至2023年的68.9%，高于全国平均水平的55.6%。按照《云南省全面推进磷石膏综合利用工作方案》要求，到2025年，云南省磷石膏综合利用率将达到75%（见表1），综合消纳量（包括综合利用量和无害化处理量）与产生量实现动态平衡。

表1　云南省相关州（市）磷石膏利用任务指标[5]

Table 1　Task indicators of phosphogypsum utilization for relevant prefectures and cities in Yunnan province

项目	2023年		2024年		2025年	
	利用量/万t	利用率/%	利用量/万t	利用率/%	利用量/万t	利用率/%
昆明市	997.0	55	1 178.0	65	1 359.8	75
昭通市	6.3	55	7.8	65	8.6	75
曲靖市	83.0	55	98.2	65	113.3	75
玉溪市	2.0	55	2.0	65	3.0	75
楚雄州	67.7	55	80.2	65	92.6	75
红河州	116.6	55	137.8	65	159.3	75
合计	1 272.6	55	1 504.0	65	1 736.6	75

1.2　制定政策技术规范，推进重点地区政策落地

云南省级和所属各州（市）认真研究和制定相关政策，加强磷石膏环境监管、提高综合利用率。省级层面制定出台了《云南省固体废物污染环境防治条例》《云南省“十四五”生态环境保护规划》《云南省工业固体废物和重金属污染防治“十四五”规划》等政策，以防范磷石膏产生更多污染。为进一步推广磷石膏在新型建筑材料、路基材料、水泥缓凝剂等领域的利用，相继出台了《云南省磷石膏建筑材料应用技术导则》《云南省磷建筑石膏建材应用技术导则》《云南省磷建筑石膏建材产品推广应用工作方案》《长江流域（云南段）总磷污染控制方案》《云南省全面推进磷石膏综合利用工作方案》等政策。为落实任务指标，各地积极出台了《昆明市加快推动磷石膏综合利用二十条措施》《昆明市全面加强磷石膏综合利用三年攻坚行动方案（2023—2025年）》《昆明市磷石膏建材推广应用实施方案》《昆明市关于加强磷石膏综合利用夯实技术创新能力工作方案》《红河州“十四五”现代产业发展规划》《曲靖市全面加强磷石膏综合利用三年攻坚行动方案（2023—2025年）》等相关政策及管理办法。

1.3　加大资金补助支持，推动磷石膏“以用促产”

云南省充分发挥财政资金的撬动引领作用：支持企业加大对磷石膏的综合利用，云南省工业和信息化厅实施“以用促产”政策，对年利用5万t以上的磷石膏利用企业，政府及磷化企业共给予30～70元/t的资金补助；指导企业争取中央财政资金支持，2022年中化云龙有限公司磷石膏综合利用项目获得440万元中央预算内投资支持；加大省级资金支持力度，2021年和2022年省级工业和信息化发展专项对6个磷石膏综合利用项目给予了资金支持，2023年云南省住房和城乡建设厅等部门将磷石膏综合利用项目纳入各级重大项目库，对利用磷石膏作为原料生产相关材料的企业可按70%退税比例给予税收优惠。

1.4　持续强化行业监管，提升磷石膏风险管理能力

云南省深入推进磷石膏环境污染防治集中攻坚，加强磷石膏堆存、综合利用环境监管。一方面，严格落实生态环境部办公厅《关于做好“三磷”建设项目环境影响评价与排污许可管理工作的通知》，要求磷肥建设项目应实行“以用定产”，以磷石膏综合利用量决定湿法磷酸产量，落实磷石膏综合利用途径，综合利用不畅的可利用现有磷石膏库堆存，不得新建、扩建磷石膏库；磷石膏库、尾矿库、暂存场按第Ⅱ类一般工业固体废物处置要求采取防渗、地下水导排等措施，并建设地下水监测井，开展日常监控，防范地下水环境污染。另一方面，全省多部门联合，开展多轮涉磷石膏企业及堆存场所环境风险隐患排查，摸清磷石膏数量、分布、环境管理状况及环境管理风险，督促和指导存在问题的企业制定和落实整改措施。此外，云南省生态环境厅、云南省工业信息化厅牵头推进磷石膏信息化管理及“透明化”库建设工作，督促指导企业如实记录磷石膏的产生数量、流向、贮存、利用、处置等信息，公开企业及堆存场所、监测数据及责任人等污染防治信息。

1.5 培育壮大龙头企业，建设综合利用基地

云南省磷石膏主要集中在云南云天化股份有限公司、云南磷化集团海口磷业有限公司、云南祥丰金麦化工有限公司、云南弘祥化工有限公司、昆明川金诺化工股份有限公司、云南胜威化工有限公司和禄丰天宝磷化工有限公司等7家企业，磷石膏堆存和产生量占全省的90%以上。通过政策支持和项目建设等方式，云南祥丰环保科技有限公司、云南云天化环保科技有限公司、云南吉麟环保科技公司、云南镔淦科技有限公司等一批磷石膏资源综合利用企业已经逐步成长为有一定技术含量、产品质量好的磷石膏综合利用行业龙头企业，其抹灰砂浆等产品已销往四川、贵州、江苏等地，少量试销香港、澳门。同时，云南省分享推广安宁国家工业资源综合利用基地建设经验，组织推进云南祥丰环保科技有限公司省级磷石膏综合利用示范中心和开远省级磷石膏资源综合利用基地建设，目前全省磷石膏建材产品及磷石膏缓凝剂等产能已超过700万t/a。

1.6 强化科技项目支撑，加快关键技术攻关

针对磷石膏产消平衡难度大、综合利用成本高、市场竞争力弱等问题，云南省科技厅坚持创新驱动，强化科技支撑，持续在项目、资金等方面加大支持力度。2024年9月，云南省科技厅会同相关行业主管部门联合发布了包括磷石膏资源化规模化开发利用关键技术在内的首批重大技术攻关“揭榜挂帅”项目榜单，鼓励并欢迎有研究开发实力的高校、科研院所、科技型企业或其组成的联合体开展产学研合作揭榜攻关，为提升磷石膏综合利用水平提供强力的科技支撑。近年来，系统组织实施了一批科技攻关项目，开展跨领域、跨学科的联合攻关，提升磷石膏减量化、清洁化、无害化和资源化水平：云南云天化环保科技有限公司通过实施“大型流态化焙烧磷石膏制备高附加值材料关键技术研发”项目，建成了处理能力达45万t/a的大型磷石膏制备β半水石膏和Ⅱ型无水石膏多功能产业化示范装置；云南省交通投资建设集团有限公司实施“磷石膏固体废弃物路用关键技术装备研发”项目，研究改性磷石膏作为路基水稳材料的关键技术及施工装备，开展改性磷石膏代替传统水泥稳定碎石层铺设路面试验；云南禄丰环保科技有限公司建成年处理200万t磷石膏水洗综合利用生产线；云南吉麟环保科技有限公司建成130万t/a磷石膏综合利用生产线；昆明理工大学、云南大学等省内高校和科研机构也针对磷石膏除杂、煅烧机制、产品性能指标开展了较为全面的基础和应用研究，取得了阶段性成果。

2 云南省磷石膏综合利用存在的问题

2.1 磷石膏新增及堆存量大，环境压力巨大

云南省磷石膏新增产量大、历史堆存量大。磷石膏产区主要分布在昆明（占全省的70%以上）、红河、曲靖、楚雄、玉溪等地，现有各类磷石膏堆存场所75个，每年产生磷石膏约2 300万t，约占全国的30%，除少部分资源化综合利用外，其余主要采用堆存处置，目前全省堆存量达2亿t以上。研究表明，磷石膏中含有游离磷酸、氟化物、五氧化二磷、磷酸盐及少量重金属等杂质，对环境及人类健康有较大影响[6]。在堆存过程中，有害物质会随风雨侵蚀而逐渐渗漏污染土壤、地下水及地表水；另外，人体若长期接触磷石膏可能导致呼吸系统和肺部疾病的发生，如支气管炎、肺纤维化等[7]。

2.2 磷石膏相关政策扶持不足，资金支持不到位

磷石膏综合利用是行业性难题，近年来从国家到云南省级层面逐步重视，并已出台了许多有效的政策来推动磷石膏的综合利用，然而政策普遍以引导为主，不够具体、细化，相应配套措施有待完善。此外，磷石膏资源综合利用企业产品附加值低、无害化处置成本高且税负重，需要政府优惠政策的扶持，从实际执行情况看，很多优惠政策并没有落实到位，优惠政策激励作用发挥不充分，企业缺乏资金、税收、技术创新和转型升级项目等政策支持，导致磷石膏综合利用价值化、产业化、市场化进程较慢。

2.3 部分企业主体责任压得不实，消减工作不积极

截至2023年年底，云南省现有磷化工企业110余家[8]，其中，涉磷石膏企业62家。部分企业对生态环境保护工作重视程度不够、主体责任压得不实，在落实各项环境保护要求和磷石膏消纳过程中抱有“撤摊子、甩包袱、歇歇脚”的心态。有的企业只注重经济效益，认为磷石膏综合利用技术难度大、生产成本高、产品附加值低，缺乏主动性，“推一推”才“动一动”；有的企业依然抱有侥幸心理，觉得时间长了、热点过了、关注少了，就能大事化小、小事化无。

2.4 综合利用途径拓展困难，产品附加值低

磷肥行业生产成本偏高，毛利率偏低。磷石膏作为磷肥生产过程中产生的废弃物，综合利用以低附加值传统建材产品为主，且价格、品类等方面趋于同质化，市场竞争激烈。同时，受经济下行压力

和房地产行业低迷的影响，建材领域全行业存在产能过剩问题，磷石膏建材产品销售面临巨大压力，而在农用、生态修复、化工及路基材料领域，因基础研究及技术创新不足，市场接受度有限，监管难度大，推广受阻[9]。云南省地处西南部偏远经济不发达地区，交通不便，远离市场需求大的东南沿海地区，高昂的物流成本导致产品利润空间被压缩，进一步削弱了磷石膏综合利用产品的市场竞争力。

2.5 部门间沟通协作不畅，上下游产业协同不足

磷石膏综合利用是一项多维度系统工程，涉及化工、农业、建筑、制造等多个行业，以及工信、生态环境、发展改革、住房和城乡建设、自然资源、市场监督管理、科技等多个行政管理部门[10]，各厅局部门工作职能和分工不同，侧重点也不同，在磷石膏综合利用途径拓展、产品推广、标准制定等工作中存在权责边界不清晰、产业与政府部门间沟通不畅等问题，顶层统一规划、统一管理协调有待完善。

3 提高云南省磷石膏综合利用水平的建议

3.1 强化生产中污染物减量，推行磷石膏无害化处理

以国家及省级政策和技术规范推动磷化工产业优化升级，严控源头增量、消纳存量、提高质量、实现动态平衡，以高标准、高质量推进磷石膏无害化改性。一是统筹磷矿资源开发与保护，加强磷矿生产、建设管理，推广新型选矿工艺，加强中低品位磷矿利用及硅、氟、镁等共伴生资源开发，提高磷矿资源利用率。二是应用与湿法磷酸工艺耦合的磷石膏预处理技术，提升磷石膏净化处理工艺水平，减少污染物产生量，提高磷石膏品质，降低磷石膏排放量及综合利用难度。三是推动大数据、云计算、人工智能、5G等新一代信息技术与磷酸生产深度融合，优化生产流程，实时监控排放情况，降低消耗、减少排放。四是产生磷石膏的企业必须配套建设磷石膏无害化处理设施，现有产生磷石膏企业未配套建设的应当进行整改，新建产生磷石膏项目配套建设的无害化处理设施应当与项目主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。五是提升磷石膏堆场环境管理水平，做好磷石膏渣库及临时堆场“三防”措施，确保渗滤液有效收集，关注地下水监测数据，降低堆场环境风险隐患。

3.2 强化政策支持和资金保障，促进磷石膏行业可持续发展

着力强化资金和政策支持，有效激发磷石膏综合利用各方市场主体活力，促进磷石膏绿色、高效、高值、规模化利用。一是出台与《云南省全面推进磷石膏综合利用工作方案》配套的相关措施，实行政策激励、机制倒逼，“以用促产”，推动磷化工企业有序可持续发展。二是依托企业自身实际，全力支持企业建设磷石膏综合利用项目，开辟“绿色通道”，在项目立项、土地、环评、施工许可、生产许可等方面给予政策倾斜。三是安排专项资金支持磷石膏综合利用项目建设以及产品市场推广应用，并在税收、金融、用地、用能、科研等方面给予支持。四是落实税收政策，对符合享受财政部、国家税务总局发布的《资源综合利用产品和劳务增值税优惠目录》的磷石膏资源综合利用条件的，可享受增值税即征即退优惠政策。

3.3 实施全产业链协同发展，压实企业主体责任

实施全产业链协同发展，推动磷化工上下游企业集聚发展，实现耦合共生，压紧压实企业主体责任。一是坚持政府引导支持、龙头企业牵头主导、中小企业融通发展，积极采取项目合作、上下游补偿等方式，建立上游磷矿采选企业与下游磷石膏综合利用企业间的补偿机制，全产业链合力推动磷石膏综合利用绿色循环发展。二是立足磷石膏全生命周期各阶段，前端坚持“谁采矿谁治理”，压实企业主体“源头减量”责任，中端坚持“谁排渣谁治理”，压实磷石膏产生企业“品质提级和环保提级”责任；末端坚持“谁利用谁受益”，激励磷石膏综合利用企业消纳的积极性。三是加强磷矿的流向管理，将磷矿采选、磷矿供应与磷石膏产生企业的磷酸生产、磷石膏无害化处理、磷石膏综合利用、磷石膏库安全环保监管等挂钩，促进企业优化生产工艺、加大技术投入、节约用地和用矿，推进磷石膏源头减量。

3.4 推动使命和场景驱动创新，拓展综合利用途径

建立以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系，拓展磷石膏综合利用途径。一是强化云南云天化股份有限公司等国有企业履行生态环境保护的责任使命，牵引云南祥丰金麦化工有限公司、云南弘祥化工有限公司等龙头企业，联合科研院所组建省级创新平台，组建产业协同创新联盟，汇聚产学研用资源优势，加大磷石膏特性及利用机制基础研究，体系化推进磷石膏质量在线监测和处理技术、绿色磷酸生产工艺、低成本除杂净化技术、磷石膏大掺比利用共性关键技术、磷石膏环境污染控制技术等攻关。二是以“场景驱动创

新”为抓手，组织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3个工程；并推动α型半水石膏（$CaSO_4·0.5H_2O$）在口腔医学、仿生学、精密铸造、工艺美术等领域的高值化应用，研发高强度、高防水性能的石膏砌块绿色建筑材料等产品。三是加大宣传引导力度，通过新闻媒体和网络平台，开展磷石膏污染防治、综合治理等方面的宣传，发布磷石膏综合利用有关动态信息、政策措施，组织推介磷石膏建材产品和示范项目，努力提升磷石膏制品在省内外市场的认可度，营造良好的磷石膏综合利用社会氛围；推动磷石膏综合利用产品生产企业、应用单位产销衔接，积极帮助企业拓展省内外市场。

3.5 建立多部门协作联动机制，强化统筹协调督导

由各相关部门牵头、行业协会参与，建立上下游产业协同、地区间配合的协同处理机制和统一、高效的协调机构，疏通体系间的壁垒，强化统筹协调和督促指导。一是加强工业和信息化、生态环境、住房和城乡建设、自然资源、市场监督管理等相关部门之间的沟通协调，尽力解决项目建设和磷石膏利用产品在市场推广中的难题，积极拓展利用途径。二是建议由工业和信息化部、生态环境部和自然资源部门牵头研究制定磷石膏矿山生态修复环境风险控制、污染防治技术、效果和影响跟踪评估技术等标准规范。三是加强政企学研协同合作，学习借鉴湖北、贵州等外省先进经验，通过探索“地方标准（试行）—区域标准—行业标准”的模式来促进磷石膏相关标准的建立健全。

[参考文献]

[1] 陈秋松，吴爱祥.磷石膏充填技术研究进展[J].工程科学学报，2025，47(2)：195-214.
CHEN Q S, WU A X. Research progress of phosphogypsum-based backfill technology [J]. Chinese Journal of Engineering, 2025, 47(2): 195-214.

[2] 徐长忠，於金浩，李义连.磷石膏的预处理和综合利用研究进展[J].安全与环境工程，2024，31(1)：260-270.
XU C Z, YU J H, LI Y L. Research progress of pretreatment and comprehensive utilization of phosphogypsum [J]. Safety and Environmental Engineering, 2024, 31(1): 260-270.

[3] 王梅红，陈传武.做磷化工高质量发展领跑者——专访中国五环工程有限公司党委书记、董事长俞新[N].中国化工报，2023-04-20.
WANG M H, CHEN C W. Be the Leader in High-Quality Development of Phosphate Chemical Industry - Interview with YU Xin, Secretary of the Party Committee and Chairman of China Wuhuan Engineering Co., Ltd. [N]. China Chemical Industry News, 2023-04-20.

[4] 胡敏.我国磷矿产业现状与发展趋势[J].磷肥与复肥，2023，38(11)：1-5.
HU M.Current situation and development trends of phosphate rock industry in China[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(11): 1-5.

[5] 张勤勋.积极探索磷石膏综合利用途径着力提升昆明市“无废城市”建设水平[J].环境保护，2024，52(14)：36-38.
ZHANG Q X. Kunming is Actively Exploring Ways to Make Comprehensive Use of Phosphogypsum to Promote the Construction of “Zero-waste City”[J]. Environmental Protection, 2018, 52(14): 36-38.

[6] 国亚非，赵泽阳，张正虎，等.磷石膏的综合利用探讨[J].中国非金属矿工业导刊，2021(4)：4-7.
GUO Y F, ZHAO Z Y, ZHANG Z H, et al. Study on Comprehensive Utilization of Phosphogypsum [J]. China Non-metallic Minerals Industry, 2021(4): 4-7.

[7] 祝国亮.磷石膏的综合利用及其在环境领域的应用研究进展[J].生态产业科学与磷氟工程，2024，39(7)：65-70.
ZHU G L. Research progress on comprehensive utilization of phosphogypsum and its application in environment field [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39(7): 65-70.

[8] 蒋太光，杜丽梅.云南省磷化工产业发展现状及展望[J].磷肥与复肥，2023，38(5)：4-7.
JIANG T G, DU L M. Development status and prospect of phosphorus chemical industry in Yunnan province [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(5): 4-7.

[9] 修学峰，魏艳丽，崔荣政，等.多措并举扎实推进磷石膏综合利用[J].环境保护，2024，52(14)：12-15.
XIU X F, WEI Y L, CUI R Z, et al. Taking Multiple Measures and Adopting Comprehensive Policies to Solidly Promote the Comprehensive Utilization of Phosphogypsum [J]. Environmental Protection, 2024, 52(14): 12-15.

[10] 崔荣政.2021年我国磷石膏综合利用现状及建议[J].磷肥与复肥，2022，37(11)：1-3.
CUI R Z. Status of comprehensive utilization of phosphogypsum in China in 2021 and suggestions [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2022, 37 (11): 1-3.