

化工副产物磷石膏资源化利用关键技术研究 及市场发展前景分析

张玉合 崔金峰 孟红杰 王玉法 王有桥 (山东鲁北企业集团总公司, 山东 滨州 251909)

摘要: 磷石膏是磷化工企业采用湿法工艺生产磷酸等过程中所产生的一种固体废弃物。由于磷石膏成分复杂, 利用难度较大。近年来, 国内多家大中型化工企业及研究机构展开了对磷石膏高附加值资源化利用技术的研究, 并取得了较好的成果。本文从化工副产物磷石膏资源化利用现状、化工副产物磷石膏资源化利用关键技术研究、化工副产物磷石膏资源化利用经济分析及市场发展前景等方面进行了探讨分析, 为企业开展磷石膏资源化利用提供了新的发展思路。

关键词: 磷石膏; 资源化利用; 循环经济; 发展前景; 经济效益

中图分类号: X781 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 010-0022-03

Research on Key Technologies for the Resource Utilization of Phosphorous, a By-product of the Chemical Industry, and Analysis of Market Development Prospects

Zhang Yuhe, Cui Jinfeng, Meng Hongjie, Wang Yufa, Wang Youqiao (Shandong Lubei Enterprise Group Corporation, Binzhou Shandong 251909, China)

Abstract: Phosphorous is a solid waste generated during the wet-process production of phosphoric acid, and other products in phosphate chemical enterprises. Due to its complex composition, Phosphorous poses significant challenges for utilization. In recent years, numerous domestic chemical enterprises and research institutions have actively explored high-value-added resource recovery technologies for Phosphorous, achieving promising results. This paper comprehensively examines the current status of Phosphorous resource recovery as a chemical by-product, key technological advancements in its resourceful utilization, economic feasibility assessments, and market development prospects—offering enterprises fresh strategic insights for advancing Phosphorous colorization.

Keywords: Phosphorous; resourceful utilization; circular economy; development prospects; economic benefits

化工产业是我国国民经济的重要支柱产业之一, 在推动经济发展的同时, 也产生了大量的化工废弃物。在磷化工领域, 每年都会产生大量化工废弃物磷石膏。据统计, 每生产磷酸 1t 会产生磷石膏 4 ~ 5t。大量磷石膏的堆存不仅会占用大量土地资源, 还会污染地表水和地下水, 对生态系统和人类健康构成威胁。探索高附加值、高品质的资源化利用途径对实现磷石膏的可持续利用至关重要。^[1]

1 化工副产物磷石膏资源化利用现状

磷石膏是磷肥工业产生量和库存量大的一种工业固体废物, 含有丰富的钙、硫资源。^[2] 近年来, 随着我国磷化工产业的快速发展, 我国每年都产生大量磷石膏。据统计, 2022 年我国磷石膏产生量是 6849 万 t, 2023 年我国磷石膏产生量达到 7267.95 万 t, 2024 年我国磷石膏产生量约达 8600 万 t。(2015 年-2024 年我国磷石膏产生情况如表 1 所示) 大量磷石膏的堆积贮存不仅会占用大量的土地资源, 还会对生态环境造成了严重的污染。通过对磷石膏进行资源化利用, 可实现磷石膏“变废为宝”。

表 1 2015 年-2024 年我国磷石膏产生情况统计表

序号	年份	磷石膏产生量 (万 t)
1	2015 年	9119
2	2016 年	8229
3	2017 年	7383
4	2018 年	7633
5	2019 年	7246
6	2020 年	7151
7	2021 年	7578
8	2022 年	6849
9	2023 年	7267.95
10	2024 年	8600

目前, 我国磷石膏的资源化利用技术主要应用在建筑材料、化工、农业等领域。其中, 在建筑材料领域, 磷石膏可以用于生产石膏板、石膏砌块、水泥缓凝剂等。磷石膏在建材领域创新应用, 契合国家“双碳”目标, 促进了我国磷化工可持续发展。^[3] 比如, 2025 年 12 月, 贵州大学化学与化工学院陈前林教授团队成功开发出具有自主知识产权的“二水/无水湿法磷酸联产无水石膏工艺技术”, 成为贵州深入推进

“富矿精开”战略在化工领域的生动实践；在化工领域，通过高温煅烧磷石膏，可以分解产生二氧化硫和氧化钙，二氧化硫可以进一步制成硫酸，氧化钙可以用于生产水泥，可使企业大大减少对天然石膏和硫铁矿等资源的依赖；在农业领域，由于磷石膏中含有一定量的磷、钙等营养元素，可以为土壤提供养分，调节土壤的酸碱度，改善土壤结构，可以通过磷石膏资源化利用技术将其制成土壤改良剂和肥料使用。

但是，由于磷石膏中含有氟、氯、有机物等多种杂质和有害物质，这些杂质和有害物质给磷石膏的性能和质量带来了较大影响，从而增加了磷石膏资源化利用的难度。加之有些磷石膏资源化利用新技术还不够成熟，尚未实现大规模生产。积极研究易于成果转化落地并快速实现经济效益的磷石膏资源化利用技术，成为众多企业的关注焦点。

2 化工副产物磷石膏资源化利用关键技术研究

2.1 磷石膏生产免煅烧建材产品关键技术

该技术采用低温陶瓷化复合材料对磷石膏进行改性，可成功制备出免煅烧、生态环保的新型建材。生产过程中无需购置高温煅烧，既节约原材料成本，又省去化工企业购置及运维煅烧设备的巨额投资。产品具有绿色环保、轻质高强、蓄热调温、抗冻耐久等优势，且体积吸水率低、导热系数适中、冻融循环后强度保持率高。目前，该项目成果产品已在轻质骨料混凝土、地暖系统填充层、装配式建筑隔墙板等领域实现工程化应用，经济性、功能性显著。

2.2 磷石膏制备生态路基材料关键技术

将磷石膏与碎石集料、粘土、石灰、钢渣、粉煤灰等混合，按照特定比例可以制备生态路基底层填料。该技术主要包含预处理、配比、制备等重要流程节点。其中，预处理技术主要包括水洗、中和、煅烧等环节。水洗是通过水的冲洗作用去除游离磷酸、氟化物等磷石膏表面的水溶性杂质，中和是利用碱性物质与磷石膏中的酸性杂质发生反应以达到降低其酸性的目的，煅烧是将磷石膏在一定温度下加热，将磷石膏转变成半水硫酸钙或无水硫酸钙以提高其强度和稳定性；配合比设计是磷石膏制备生态路基材料的关键环节，在设计配合比时，需考虑磷石膏的性质、添加剂的种类和用量、压实度等因素；磷石膏生态路基材料制备包括原材料的计量、搅拌、成型等环节。研究表明，大掺量磷石膏水硬性基层施工工艺及流程与水稳碎石基层基本一致，基层压实度及抗压强度均达标。^[4]

2.3 磷石膏制取硫酸联产硅钙钾镁关键技术

该技术以磷石膏为原料，经气流烘干、混合配比、预热和煅烧等关键工序，实现磷石膏的资源化高效利

用，可以制取工业级硫酸及多功能硅钙钾镁复合肥。（工艺流程图如图1所示）该技术生产的硅钙钾镁肥料富含活性硅、水溶性钙、缓释钾及可交换态镁，具有营养供给与土壤改良双重功能。该肥料既可满足作物对中微量元素的均衡需求，又能有效中和土壤酸性，提升pH值，改善土壤通透性与耕作性能，可显著增强土壤阳离子交换量与酸碱缓冲容量，提升保水保肥能力，为酸化退化耕地的可持续修复与地力提升提供绿色技术支撑。

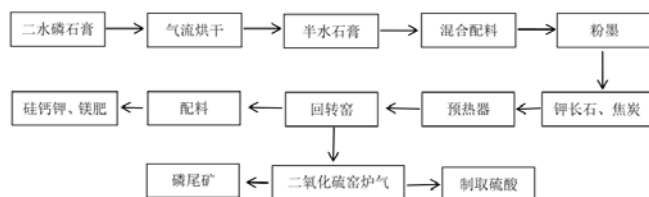


图1 磷石膏资源化利用制取工业硫酸联产硅钙钾镁肥生产工艺流程图

2.4 改性磷石膏制备管道用聚乙烯材料添加剂关键技术

将磷石膏改性制成一种高效的添加剂，可应用于管道用聚乙烯材料制备。引入改性磷石膏能够显著提升聚乙烯材料的耐热性和弯曲强度，降低生产成本，环保特性较好。^[5]有关研究表明，当改性无水磷石膏的质量分数控制在5%以内时，复合材料的弯曲强度、耐热性能及缺口冲击强度均得到协同提升，但拉伸强度略有降低；提高磷石膏添加量至5%以上，弯曲强化效应仍保持显著，耐热性进一步增强；在5% - 20%区间内，材料低频剪切黏度随填料含量增加而持续上升，表明熔体加工稳定性与抗变形能力同步改善。尽管拉伸强度在低添加量下呈小幅下降趋势，但综合力学与热性能的平衡优化更为突出，更能够契合结构件对高温承载与抗弯变形的工程需求。所以，将改性无水磷石膏添加量控制在20%范围以内用于管道用聚乙烯材料生产，既能有效弥补传统填料在耐热与韧性方面的不足，又可以通过界面调控抑制应力集中，为管道用聚乙烯材料带来显著的性能提升。

3 化工副产物磷石膏资源化利用经济性分析

磷石膏资源化利用企业在开展磷石膏资源化利用工作的成本主要包括原料成本、预处理成本、生产加工成本和设备投资成本等。其中，原料成本相对较低，因为磷石膏本身是工业废弃物，有些企业主要是资源化利用本企业产生的磷石膏，有些企业是购买磷石膏回来开展磷石膏资源化利用。在购买磷石膏时，购买磷石膏的费用一般都很低甚至有些地方政府还会给予一定补贴，但是购买时企业还要考虑运输半径和贮存成本，控制好库存；由于磷石膏中含有杂质，需要进

行除杂、水洗、煅烧等预处理工艺,以满足不同利用途径的要求,导致磷石膏预处理成本相对较高;生产成本的高低取决于具体的工艺和产品类型,比如如果只是简单的粉墨、混合生产基础建筑材料则生产成本就较低,如果制取一些高附加值的化工产品则生产成本就相对较高。

磷石膏资源化利用的收益主要来源于产品销售收益、资源回收收益和环保效益。通过将磷石膏资源化利用加工成建筑材料、化工产品等,可以获得产品销售的利润。此外,通过磷石膏资源化利用技术回收磷石膏中的硫、钙等资源,可减少企业对天然资源的依赖,并减少磷石膏堆存对土地资源的占用和环境污染,符合国家循环经济发展理念。

4 市场发展前景

在市场需求方面在工业化浪潮推动下,磷石膏作为磷肥制造业的重要副产物产量持续攀升。^[6]磷石膏作为大宗工业固废,经资源化利用制成的建筑石膏粉、高强石膏、土壤改良剂等产品,具有成本低、环境友好性与功能适配性。积极开展磷石膏资源化利用工作,可使企业实现环境效益和经济效益双赢。^[7]并且,随着新农业的发展,农业领域对土壤改良剂的需求也在不断增加,磷石膏在土壤改良方面的独特优势,将会受到农业从业者越来越多的关注和青睐。据有关部门预测,2030年我国建筑石膏粉总需求将达8000万t,其中磷石膏基产品占比有望突破30%,年消纳磷石膏超600万t。此外,磷石膏在盐碱地治理、酸性土壤改良及有机肥载体等农业场景的应用持续深化,形成“建材+农用”双轮驱动格局。

在政策方面,国家将磷石膏资源化利用提升至战略高度,持续强化顶层设计与政策协同。《“十四五”工业绿色发展规划》明确要求,到2025年全国磷石膏综合利用率突破60%;《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》进一步强调构建“产废—利废—消纳”闭环体系。在系统性政策驱动下,磷石膏正加速从“环境负担”转向“城市矿山”,产业化、规模化、高值化资源化利用进程大幅提速,预计未来几年,产业将迎来快速发展期。

在技术创新方面,近年来我国在磷石膏资源化利用领域取得了显著进展。我国磷石膏资源化利用技术创新成效显著,已形成建材生产、土壤改良、化工原料等多元化路径。并且,建筑石膏粉、纸面石膏板等产品性能达或近天然石膏水平。随着技术的不断进步,磷石膏的利用效率和产品质量将进一步提高,为产业发展提供了有力的技术支撑,推动磷石膏资源化向规模化、高质化、产业化纵深发展。未来五至十年,中

国磷石膏资源化利用产业将会有良好的市场前景。^[8]

5 结束语

虽然开展磷石膏资源化利用技术研究,能够给化工、建材、农业等多个领域带来较好的成效。但是,由于磷石膏中含有一定量的重金属、放射性物质等有害物质。磷石膏资源化利用企业必须要对产品进行严格的检测,以确保产出产品的可靠性和安全性。相信随着我国循环经济及高端化工产业的发展,磷石膏资源化利用技术将会得到更广泛的应用。

参考文献:

- [1] 孙晓堃,张欢,唐正,黄晓,张华丽,马晓娟.磷石膏高值化利用途径研究现状[J].生态产业科学与磷氟工程,2026,41(01):94-101.
- [2] 鲁敏,赵露露,柯军.磷石膏无害化技术及制备高附加产品研究进展[J].能源与环境,2025(04):105-107+134.
- [3] 刘先锋,彭家惠,瞿金东,范璞玥,钟刚华.磷石膏在建材领域的创新应用场景探析[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(11):78-83.
- [4] 赵权威.大掺量磷石膏水硬性道路基层施工工艺[J].交通世界,2025(33):41-43.
- [5] 黄鑫,林明华,徐定红,郑斌,郭建兵.改性磷石膏在管道用聚乙烯材料的应用[J].塑料,2025,54(05):32-35.
- [6] 杨建宇,刘于涵,杨伟军,姜鹏霄.磷石膏资源化利用技术及其标准化探讨[J].工程建设标准化,2025(07):81-87.
- [7] 刘先锋,彭家惠,瞿金东,范璞玥,钟刚华.磷石膏在建材领域的创新应用场景探析[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(11):78-83.
- [8] 吴岳伟,张露,王克,陈小莉,李菁若.浅析我国工业固废资源化及磷石膏利用政策[J].化工管理,2025(13):53-55.

作者简介:

张玉合(1978-),男,汉族,山东滨州人,专科,工程师,研究方向:化学工程、检验检测、新材料等。
 崔金峰(1984-),男,汉族,山东无棣人,本科,工程师,研究方向:化学工程、检验检测、新材料等。
 孟红杰(1987-),女,汉族,山东滨州人,本科,工程师,研究方向:化学工程、检验检测、新材料等。
 王玉法(1984-),男,汉族,山东滨州人,专科,助理工程师,研究方向:化学工程、检验检测、新材料等。
 王有桥(1990-),男,汉族,山东滨州人,本科,助理工程师,研究方向:化学工程、检验检测、新材料等。