

国内磷化工产业现状及高质量发展实践探究

朱东华（昆明市中航磷化工有限公司，云南 东川 654100）

摘要：我国磷化工产业已确立全球主导地位，形成涵盖磷矿开采至高端化学品的完整产业链，云南、贵州、湖北、四川四省为核心集聚区。但产业发展面临资源约束加剧、环保压力突出、产品结构待优化等挑战。近年来，行业以技术创新为核心驱动力，通过中低品位矿利用、磷石膏资源化、伴生氟硅资源回收等技术突破，结合向新能源磷酸铁领域延伸、产业集聚协同、副产物农业全量利用等转型实践，逐步实现从“资源依赖”向“技术驱动”的跨越，为产业高质量发展奠定基础。本文系统分析产业现状与核心矛盾，总结技术创新与产业转型的典型实践，为行业可持续发展提供参考。

关键词：磷化工；产业现状；资源利用；高质量发展

中图分类号：TQ126.3

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）033-0019-03

Research on the current situation and high-quality development practice of domestic phosphorus chemical industry

Zhu Donghua (Kunming Zhonghang Phosphorus Chemical Co., LTD., Dongchuan Yunnan 654100, China)

Abstract: China's phosphorus chemical industry has established a global leadership position, forming a complete industrial chain spanning from phosphate mining to high-end chemicals, with Yunnan, Guizhou, Hubei, and Sichuan provinces serving as core clusters. However, the industry faces challenges including intensified resource constraints, prominent environmental pressures, and the need for product structure optimization. In recent years, driven by technological innovation, the sector has achieved breakthroughs in utilizing low-grade ores, recycling phosphogypsum, and recovering associated fluorosilicon resources. Through transformative practices such as extending into new energy phosphate iron fields, industrial cluster collaboration, and full utilization of by-product agricultural resources, the industry has gradually transitioned from "resource dependency" to "technology-driven development," laying the foundation for high-quality growth. This paper systematically analyzes the current industry status and core contradictions, summarizes typical practices in technological innovation and industrial transformation, and provides references for sustainable industry development.

Key words: phosphorus chemical industry; industrial status; resource utilization; high-quality development

磷化工产业作为链接农业安全与新能源产业的关键枢纽，其产品既支撑全球 70% 以上的磷肥供给，又为新能源电池、电子化学品等高端领域提供核心原料。我国磷矿开采量占全球 40%~50%，磷肥、黄磷等主要产品产量稳居世界首位，已构建起全球最完整的磷化工产业链体系。然而，在资源禀赋约束，如富矿短缺、储采比远低于国际平均水平以及“双碳”目标与环保政策收紧的多重压力下，传统粗放式发展模式难以为继。在此背景下，探究磷化工产业现状特征，总结磷氟硅协同、磷酸铁布局、副产物农业利用等高质量发展路径，对于推动产业从规模扩张向质效提升转型、保障资源安全与生态安全具有重要现实意义。

1 国内磷化工产业现状

1.1 产业规模与空间格局

我国已形成全球领先的磷化工产业规模，2023 年磷矿石储量约 38 亿 t，占全球 5.1%，年开采量占全球 40%~50%，培育了贵州磷化、云南云天化、湖北兴发、新洋丰等一批龙头企业。产业空间集聚特征显著，磷矿开采、黄磷及磷肥生产集中于云南、贵州、湖北、

四川四省，四省磷矿储量合计占全国 93%，2024 年全国 70% 的磷石膏产生量也集中于上述区域，其中湖北省作为磷化工第一大省，磷石膏产生量与综合利用量均居全国首位，且建成全国最大高端磷化工材料基地。

在产业集群建设方面，形成多层次园区体系：福泉—瓮安千亿级化工园区已集聚 40 余个新能源项目，形成从磷矿到正极材料的完整产业链；湖北宜昌聚焦磷酸铁锂材料，湖北兴发投资超 100 亿元建设 30 万 t 级电池关键材料、50 万 t 级磷酸铁及磷酸铁锂项目；湖北荆门依托新洋丰等企业，打造磷复肥与新能源材料协同基地，2025 年区域磷酸铁产能将突破 80 万 t，成为全国重要的磷酸铁生产集群。

1.2 资源端约束与供需特征

磷矿资源禀赋呈现“贫矿多、富矿少、伴生资源丰富”的特点，全国磷矿平均品位仅 16.85%，近 90.8% 为中低品位矿，储采比仅 42，远低于世界平均值 336，过度开采导致资源保障压力持续加大，按当前开采速度，我国磷矿资源将于 36.5 年后面临枯竭风险。从伴生资源看，磷矿中氟含量约 3%~4%，全球

磷矿伴生氟资源达 23.68 亿 t，是萤石资源的重要补充（我国萤石 60% 为低品位伴生矿，利用难度大），同时伴生硅资源占比超 60%，但当前氟、硅资源综合利用率不足 30%，存在严重浪费。

从供需格局看，2018 年以来磷矿石产量呈缩减趋势，2024 年磷矿石均价突破 1100 元/t，较 2021 年涨幅超 30%。下游需求呈现“双轨分化”：农业领域仍为基础需求，60% 左右的磷矿石用于生产磷酸一铵、磷酸二铵等磷肥产品，但过量施用导致土壤磷累积率达 11%，农业磷排放占总排放的 67.4%，资源浪费与污染问题突出；新能源领域需求爆发，2022 年磷酸铁锂需求达 59.9 万 t，2025 年有望突破 200 万 t，带动磷酸铁需求超 197 万 t，推动磷资源向高附加值领域流动，形成“传统需求稳中有降、高端需求年增 30%”的供需结构。

1.3 产品结构与环境瓶颈

产品结构呈现“中低端为主、高端短缺”的特征：黄磷产业以热法磷酸、三氯化磷等中低端应用为主，行业集中度较低（CR5 不足 40%），且属于高耗能、高污染领域，每吨黄磷耗电量超 14000 kW·h，新建产能受到严格限制；磷酸产业中，热法磷酸产能占比约 40%，湿法磷酸占比 60%，但湿法净化磷酸技术虽逐步发展（贵州开磷 40 万 t/a、湖北宜化 20 万 t/a 项目 2025 年投运），高端电子级、医药级磷酸仍有 30% 依赖进口。

环保压力成为产业发展的主要制约因素：2024 年全国磷石膏产生量达 8600 万 t，虽综合利用率提升至 61.6%，但堆存量仍超 6 亿 t，且存在重金属污染、酸性废水渗漏风险，湖北、贵州等集聚区土壤磷超标率达 28%；含磷氟废水年产生量超 1.2 亿 t，处理率不足 70%；黄磷生产等环节碳排放强度达 8t CO₂/t 产品，远超化工行业平均水平，与“双碳”目标差距显著^[1]。

2 国内磷化工产业高质量发展实践

2.1 技术创新驱动资源高效利用

2.1.1 中低品位矿与磷氟硅协同利用技术

在低品位矿开发领域，龙头企业突破关键技术：贵州磷化集团研发的正反浮选技术，将磷矿入选品位由 30% 降低至 24%，资源利用率提升 20%；湖北三宁化工通过磷矿浮选阶段脱硅工艺，使磷精矿品位提升至 32% 以上，回收率超 85%。针对伴生氟硅资源，形成多元化利用路径：贵州磷化集团全球首创磷矿伴生氟回收生产无水氟化氢技术，成本降低超 50%，已建成 21 万 t 产能，年产值超 20 亿元；湖北三宁化工利用氟硅酸制备电子级氢氟酸（纯度 99.98%），并联合白炭黑，氟收率达 99.24%、硅收率达 95.35%；云

天化通过氨解氟硅酸工艺，生产冰晶石（w(F)=53.10%）与水玻璃，实现氟硅资源全量利用，年新增产值超 8 亿元。

中国工程院院士金涌提出的“湿法稀磷酸源头氟回收”技术路线，在云南云天化中试成功；此外，部分企业实现磷矿伴生碘资源产业化回收，年产能达 50t，填补国内空白，构建起“磷—氟—硅—碘”多元素协同利用体系。

2.1.2 副产物全量利用技术突破

磷石膏资源化利用：形成“无害化+多元化”技术体系，2024 年湖北省磷石膏无害化处理率达 75.7%，建成 39 条处理生产线。在工业利用方面，贵州磷化集团拥有 76 项磷石膏绿色建材专利，2024 年利用量超 300 万 t，用于井下充填（占比 40%）、水泥缓凝剂（占比 32.8%）、路基材料（占比 15%）；湖北宜化通过半水—二水法磷酸工艺从源头减量，磷石膏产生量降低 15%，并开发磷石膏基自流平砂浆，抗压强度（28d）达 22.1MPa，扩展度 213mm，满足建筑行业标准。在农业利用方面，磷石膏用于盐碱地改良，在新疆兵团试验田使土壤 pH 从 9.2 降至 8.3，棉花产量提升 12%；此外，刘秀状等研究团队利用磷石膏与黄磷渣协同制备微晶玻璃，主晶相为硅灰石（CaSiO₃），抗压强度达 85MPa，实现固废高值化。

其他副产物利用：磷尾矿（年产生 700 万 t）通过酸解活化制备中微量元素肥，廖秋实团队开发的强酸酸解工艺，钙镁提取率超 80%，在南方缺钙镁土壤应用中，水稻产量提升 8%；黄磷渣（年产生 660 万 t）用于生产硅肥，云天化绿色智能水稻肥使稻谷千粒重增加 2.3g，品质提升 1 个等级；含磷氟废水通过多段沉淀工艺处理，湖北三宁化工实现废水回用率超 90%，分离的含磷污泥返回磷酸生产线，含氟污泥用于制备无水 HF，3 万 t/a 项目将于 2026 年投产，联产 1.4 万 t/a 白炭黑，形成闭环循环。

2.1.3 高端产品制备技术突破

在湿法磷酸净化领域，贵州磷化集团开发的“以微结构为基础的湿法磷酸净化技术”，单套产能超 40 万 t，年产能突破 200 万 t，成为全球最大湿法净化磷酸供应商，产品纯度达 99.99%，满足电子级标准；瓮福集团自主研发的单级萃取技术，磷酸萃取率超 90%，用于生产食品级磷酸，成本较进口降低 25%。在精细磷酸盐领域，突破纳米羟基磷灰石制备技术，王飞团队制备的 PLA/10% nHAP 复合材料，压缩强度较纯 PLA 提升 14%，弯曲强度提升 42%，用于骨组织修复；张国华团队开发的改性磷酸钙/PLA 复合材料，热稳定性提升 30℃，抗菌率超 99%，应用于医疗食品

包装。

在新能源材料领域,湖北兴发开发“磷矿—磷酸—磷酸铁”一体化工艺,磷酸铁纯度达 99.5%,杂质含量低于 50ppm,满足电池级标准;贵州川恒化工“矿化一体”项目,通过磷矿直接酸解制备磷酸铁,成本较传统工艺降低 18%,每吨产品能耗减少 200kg 标准煤,2025 年产能将达 30 万 t,年产值超 60 亿元。

2.2 产业融合与绿色转型实践

2.2.1 向新能源磷酸铁领域深度延伸

磷化工企业依托资源与成本优势,加速布局磷酸铁市场,形成“磷矿自给—磷酸制备—磷酸铁生产—磷酸铁锂协同”的全产业链模式。从产能布局看,云天化 50 万 t/a 磷酸铁项目一期 10 万 t 已于 2022 年投产,二期 40 万 t 2025 年落地;云图控股 35 万 t/a、新洋丰 30 万 t/a 项目 2023–2025 年逐步释放,2025 年行业总产能将超 300 万 t。从成本优势看,磷矿石自给企业成本节约 3000 元/t,兴发股份(磷矿储备 12.21 亿 t)、新洋丰(磷矿储备 5 亿 t)等企业,磷酸铁生产成本较非磷化工企业低 15%~20%,毛利率超 30%^[2]。

从市场协同看,企业与电池厂深度合作:云天化与宁德时代合资建设 50 万 t/a 磷酸铁锂项目,实现“磷酸铁—磷酸铁锂”无缝衔接;湖北宜化与比亚迪合作,定向供应磷酸铁,保障下游需求。从区域效益看,黔南州通过磷酸铁产业布局,磷系材料产值从 2020 年 120 亿元跃升至 2024 年 580 亿元,每吨磷矿石附加值从 2500 元增长至 10 万元,提升 40 倍,带动区域 GDP 年增 8%^[3]。

2.2.2 产业集聚与工农融合发展

产业集聚区通过“横向耦合、纵向延伸”构建循环体系:福泉—瓮安园区形成“磷矿开采—磷酸—磷酸铁—磷酸铁锂”“磷石膏—建材—建筑”“氟硅酸—氢氟酸—氟化工”三条产业链,40 余家企业实现原料互供,物流成本降低 15%,综合能耗下降 12%;湖北宜昌园区推动磷化工与煤化工、氟化工协同,盛屯贵州公司 15 万 t/a 磷酸铁锂项目副产品引进钼焙烧、钼铁合金项目,实现固废零外排,年产值增加 20 亿元^[4]。

工农融合方面,形成“工业副产物—农业利用—生态改善”闭环:磷石膏改良盐碱地超 10 万亩,带动粮食增产 5 万 t;磷尾矿制备中微量元素肥年推广面积超 50 万亩,减少化学肥料施用 15%;氟硅酸生产氟硅酸脲农药,防治小麦冬锈病效果达 90%,减少农药用量 20%。

2.2.3 政策与市场双驱动转型

政策层面形成“标准引领+资金支持”体系:工信部完善磷石膏综合利用标准,发布《磷石膏无害化

处理技术规范》《磷石膏建材产品质量要求》;湖北省出台全国首部磷石膏污染防治地方性法规,对综合利用率超 70% 的企业给予每吨 50 元补贴;国家发改委将磷氟硅协同利用技术纳入“双碳”技术目录,给予税收减免。市场层面,新能源领域高需求推动磷酸铁价格稳定在 1.5 万元/t 以上,较传统磷肥附加值提升 10 倍;环保成本内部化倒逼企业转型,磷石膏堆存成本从 2020 年 20 元/t 增至 2024 年 50 元/t,推动企业加大资源化投入,形成“政策引导、市场倒逼、企业主导”的转型机制^[5]。

3 结语

我国磷化工产业在全球价值链中已确立规模优势,但资源约束,如储采比低、伴生资源浪费等,磷石膏堆存、碳排放高等环保压力与产品结构,如高端短缺、农业浪费等,这些仍是高质量发展的主要障碍。从行业实践来看,技术创新是破解瓶颈的核心:磷氟硅协同利用技术提升资源利用率 30%,副产物全量利用技术减少固废排放 40%,高端材料制备技术打破国外垄断;产业融合是转型关键:向磷酸铁领域延伸使附加值提升 40 倍,产业集聚降低综合成本 15%,工农融合实现“变废为宝”。2024 年磷石膏综合利用率突破 60%、磷氟硅协同产值超 50 亿元、磷酸铁产能达 120 万 t 等成果,印证了“技术创新+产业融合”路径的可行性。未来,产业高质量发展需重点突破三方面,技术、产业、政策。通过技术、产业与政策的协同发力,磷化工产业有望实现从“全球规模领先”向“全球质量领先”的跨越,为保障粮食安全、能源安全与生态安全提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 梅毅,聂云祥,谢德龙,等.磷化工行业高质量发展是“双碳”目标的必然要求[J].磷肥与复肥,2023(7):3-3.
- [2] 李英翔,蒋太光,刘红.云南省磷化工行业发展现状及绿色高质量发展建议[J].磷肥与复肥,2021,36(09):5-9.
- [3] 徐晓磊.贵州磷化:高质量发展领跑磷化工产业不断升级[J].中国农资,2024(3):15-15.
- [4] 肖艳,林荷程.国内磷化工产业现状及发展展望[J].四川化工,2023,26(4):12-15.
- [5] 陈建江.磷化工产业可持续发展问题探索[J].化工管理,2021(21):44-46.

作者简介:

朱东华(1975-),云南昭通人,专科,工程师,目前主要从事化工分析方面的工作。