

我国磷化工产业现状与发展趋势：从资源驱动到创新引领

任飞¹, 刘禹辰², 刘佳³, 张虔榕², 孙督翁², 曹硕¹, 颜旗池¹, 李立衡¹, 何宾宾²

(1. 云南磊玛涛应用材料研究有限公司, 云南 昆明 650503; 2. 昆明理工大学, 云南 昆明 650500;
3. 昆明磷谷科技有限公司, 云南 昆明 650600)

[摘要] 磷化工行业是我国战略性矿产资源产业之一, 经过七十余年发展, 已形成“采选-湿法/热法磷酸-肥料/精细化学品”完整产业链, 并在全球占据产量、消费和出口三项第一。当前, 行业正处于“总量过剩、结构性短缺、绿色转型、资源约束”多重矛盾叠加的瓶颈期。新能源、新材料及“双碳”目标为行业打开新的增长通道, 也带来了技术升级、产业布局重塑、资源综合利用等深层变革。综述2023—2025年我国磷化工产业运行数据, 剖析制约因素, 展望未来5~10年发展路径, 供政策、企业及投资界参考。

[关键词] 磷化工; 现状; 发展趋势; 磷石膏; 绿色循环

[中图分类号] F426.7 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2026) 02-0006-07

Current situation and development trends of phosphorus chemical industry in China: From resource-driven to innovation leads

REN Fei¹, LIU Yuchen², LIU Jia³, ZHANG Qianrong², SUN Duweng², CAO Shuo¹,
YAN Qichi¹, LI Liheng¹, HE Binbin²

(1. Yunnan Rematerial Institution of Application Materials Co., Ltd., Kunming 650503, China;
2. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;
3. Kunming Phosphorus Valley Technology Co., Ltd., Kunming 650600, China)

Abstract: As a strategic mineral resource industry in China, the phosphorus chemical industry has developed into a complete industrial chain over seventy years—from mining and processing to phosphoric acid production and downstream fertilizers or fine chemicals—leading the world in production, consumption, and exports. Currently, it faces overlapping challenges including overall overcapacity, structural shortages, green transition pressures, and resource constraints. Meanwhile, emerging opportunities in new energy, new materials, and the national dual-carbon strategy are opening new growth pathways and driving deeper shifts in technology upgrading, industrial restructuring, and integrated resource utilization. The performance data of phosphorus chemical industry in China from 2023 to 2025 is reviewed, key constraints are analyzed, and development trends for the next 5 - 10 years are outlined, offering reference for policymakers, enterprises, and investors.

Key words: phosphorus chemicals; current situation; development trends; phosphogypsum; green circular

1 我国磷化工产业规模与经济运行

1.1 产值与产量

2024年, 我国磷矿全行业产值达2450亿元, 同比增长4.0%, 行业结构持续优化: 磷肥用磷占比从2015年的70%降至57%, 而新能源用磷(如磷酸铁锂(LFP)、六氟磷酸锂等)占比自2022年的6%快速提升至9%, 成为增长新动力。预计2025

年磷矿实物产量将达4.8亿t, 市场价值突破1.2万亿元, 行业向高附加值领域加速转型。在加工工艺方面, 湿法磷酸凭借成本及环保优势在肥料和工业磷酸盐生产中占主导地位, 而热法磷酸则在电子级磷酸、新能源材料等高端领域保持竞争力。尽管磷肥产量增速放缓, 但高效环保的新型磷肥需求上升, 推动行业向精细化、绿色化发展。未来, 磷

收稿日期: 2026-01-12

作者简介: 任飞(1985—), 男, 云南昆明人, 工程师, 云南磊玛涛应用材料研究有限公司董事长, 主要从事磷化工的技术研发与企业经营工作。

通信作者: 何宾宾, 男, 教授, 主要从事磷化工技术创新与固废资源化利用的研究工作。

化工产业将在传统磷肥与新能源材料的双轮驱动下,实现更高质量的发展^[1-2]。

1.2 产品结构

1) 传统大宗磷化工产品

我国磷化工行业长期以来以传统大宗产品为主导,其中磷酸一铵(MAP)和磷酸二铵(DAP)是主要的磷肥品种,2024年合计产能约2600万t,占磷肥市场的主要份额。然而,受农业需求增速放缓、环保政策趋严以及行业产能过剩影响,磷肥行业的利润空间受到挤压,部分企业正逐步向高附加值产品转型^[3]。

此外,黄磷作为热法磷酸的核心原料,近年来受能耗双控政策限制,产能已压缩至120万t/a左右,行业整体开工率不足60%,供需格局趋于紧平衡。尽管传统大宗产品仍是磷化工行业的重要支柱,但增长空间有限,未来将更多依赖技术升级和绿色生产来提升竞争力^[4]。

2) 新兴高附加值磷化工产品

随着新能源、电子信息、新材料等产业的快速发展,高附加值磷化工产品需求激增,成为行业增长的重要驱动力。在电子化学品领域,电子级磷酸作为半导体和液晶面板制造的关键材料,近年来国产化率显著提升。国内龙头企业湖北兴发化工集团股份有限公司(简称兴发集团)通过自主研发,其超高纯电子级磷酸技术荣获国家科学技术进步二等奖,国内市场占有率超过80%,并成功替代日本厂商,成为国际芯片公司格罗方德的最大供应商,同时向中芯国际集成电路制造有限公司、上海华虹宏力半导体制造有限公司等国内半导体企业稳定供货。兴发集团规划新建3万t/a电子级磷酸项目,进一步扩大产能。此外,瓮福紫金化工股份有限公司采用湿法净化磷酸技术建设的2万t/a电子级磷酸项目已进入设备安装阶段,预计投产后将增强国产电子级磷酸供应能力。江苏澄星磷化工股份有限公司(简称澄星股份)也在布局电子级磷酸生产,计划在江阴临港项目新增相关产能。目前,国产电子级磷酸已突破国际垄断,技术指标达到SEMI(国际半导体产业协会)最高标准,并逐步向高端芯片制造领域渗透。

食品级磷酸钠盐作为重要的食品添加剂和医药辅料,近年来市场需求保持稳定增长,国内主要生产企业包括兴发集团、贵州川恒化工股份有限公司(简称川恒股份)、澄星股份和湖北祥云(集团)化工股份有限公司(简称湖北祥云)等。兴发集团食

品级磷酸钠盐年产能超过10万t,产品广泛应用于肉制品、乳制品、烘焙食品等领域;川恒股份依托“矿化一体”优势,食品级磷酸盐年产量达8万t,并通过FDA(美国食品药品监督管理局)认证打入国际市场;湖北祥云新建的5万t/a食品级磷酸钠盐项目已投产,进一步提升了行业供给能力。据统计,2023年我国食品级磷酸钠盐总产量约40万t,同比增长8%,其中约15%出口至东南亚、欧美等地区。在医药领域,磷酸钠盐作为缓泻剂、pH调节剂等药用辅料,年需求量约3万t,主要供应商包括中国医药集团有限公司、华润双鹤药业股份有限公司等。随着食品加工行业升级和医药需求增长,预计未来5年该产品年需求量将保持6%~8%的复合增长率,行业龙头企业正通过技术改造和产能扩张来抢占市场份额。

在阻燃材料领域,磷系阻燃剂凭借其优异的环保性能和阻燃效率,正快速替代传统的卤系阻燃剂,在工程塑料、电子电器、建筑材料等领域的应用量持续扩大。国内主要生产企业包括浙江万盛股份有限公司(简称万盛股份)、扬州晨化新材料股份有限公司(简称晨化股份)、江苏雅克科技股份有限公司(简称雅克科技)等龙头企业,其中万盛股份作为全球领先的磷系阻燃剂供应商,年产能超过15万t,产品广泛应用于汽车、家电等领域;晨化股份专注于工程塑料用磷系阻燃剂,年产量达8万t,其无卤阻燃剂产品已通过欧盟REACH(化学品注册、评估、许可和限制法规)认证;雅克科技则重点布局电子级阻燃材料,年产能5万t,主要供应PCB(印制线路板)基板等高端应用领域。据统计,2023年我国磷系阻燃剂总产量约40万t,占全球市场份额的35%以上,出口量超过12万t,主要销往欧美和东南亚市场。随着各国环保法规日趋严格以及新能源汽车、5G(第五代移动通信技术)通信等新兴产业发展,预计到2025年国内磷系阻燃剂市场需求将突破60万t,年复合增长率保持在10%以上,行业龙头企业正通过技术升级和产能扩张来满足日益增长的市场需求。

我国磷酸铁锂正极材料产业正迎来爆发式增长,2024年全国产量突破240万t,预计2025年将达300万t,年复合增长率超过50%。这一迅猛发展主要得益于新能源汽车渗透率持续提升(2024年达40%)和储能市场需求激增(2024年全球储能装机超100GW·h)。深圳市德方纳米科技股份有限公司(简称德方纳米)、湖南裕能新能源电池材料股

股份有限公司（简称湖南裕能）、湖北万润新能源科技股份有限公司等企业加速扩产，其中德方纳米2024年产能达35万t/a，湖南裕能超40万t/a。这一增长直接带动上游高纯磷酸（纯度 $\geq 99.9\%$ ）年需求突破80万t，磷酸铁原料需求超300万t。随着4680大圆柱电池、CTP（无模组电池）技术推广及钠离子电池产业化加速，预计到2026年LFP正极材料市场规模将突破400万t，对应形成千亿级产业链，并推动磷化工企业向新能源材料领域加速转型^[5]。

作为锂离子电池电解液的核心材料，六氟磷酸锂（LiPF₆）正迎来爆发式增长，2024年全球需求量突破15万t，我国产能占比超过70%。多氟多新材料股份有限公司（简称多氟多）、天际股份新能源科技股份有限公司、深圳新宙邦科技股份有限公司等持续扩产，其中多氟多年产能已达5万t，成为全球最大供应商。受益于全球动力电池产能扩张（2024年超2TW·h）和储能市场需求激增，预计2025年六氟磷酸锂市场将突破20万t规模。该产品技术门槛高、附加值大（吨利润超过3万元），带动磷矿资源向氟化工领域延伸。目前行业正加速向高纯电子级（ $\geq 99.99\%$ ）产品升级，并探索新型电解质盐技术路线。六氟磷酸锂的快速发展，与磷酸铁锂正极材料共同构成了磷化工新能源转型的双引擎，推动行业利润率提升3~5个百分点，成为磷资源高值化利用的典范^[6]。

2 资源端：磷矿储采比下降与区域集中度提升

我国磷矿资源面临储采比快速下降与区域集中度高的双重挑战，基础储量32.4亿t，但储采比仅35~42年，远低于全球336年的平均水平。目前我国92%的磷矿资源集中于云南、贵州、湖北和四川4省，区域政策差异导致供给弹性不足。2024年全国磷矿石产量1.1亿t，但高品位磷矿缺口达293万t，预计到2030年缺口可能扩大至2200万t。在此背景下，进口依存度已从2020年的2%攀升至2024年的12%，主要依赖摩洛哥和约旦等国家。值得关注的是，随着云南镇雄磷矿（探明储量8.37亿t，平均品位 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 23.5%）的逐步开发，预计到2026年可新增500万t/a产能，这将有效缓解高品位磷矿的供给压力，改善资源保障情况^[7]。

3 技术进展

3.1 绿色工艺

1) 湿法磷酸净化技术

我国湿法磷酸净化技术以溶剂萃取法为核心，相比传统热法工艺能耗可降低40%以上，并显著减

少碳排放。目前主流技术路线包括：四川大学的乳化和萃取技术（流程短但易结垢）、瓮福（集团）有限责任公司的脉冲塔式萃取技术（产能大但投资高）以及华中师范大学的TBP（磷酸三丁酯）溶剂萃取技术（节能但溶剂损失较大）。这些技术各具特色，已在国内企业如兴发集团、云天化集团有限责任公司（简称云天化）等实现产业化应用，推动湿法磷酸在工业级、食品级及新能源材料领域的广泛应用^[8]。

绿色工艺创新主要体现在三方面：一是能耗与排放控制，如半水-二水法湿法磷酸年减排CO₂ 600万t；二是资源高效利用，将磷萃取率从传统工艺的95%提升至99%；三是环保治理，通过深冷吸附回收溶剂、膜分散技术减少挥发性有机物（VOCs）排放。然而行业仍面临低品位磷矿适应性差（需盐酸法等新路线）、溶剂回收成本高（TBP损失率3%~5%）、磷石膏综合利用难（传统工艺 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 0.5%~2.0%）等瓶颈，制约技术推广。

技术突破将聚焦三大方向：一是开发低品位矿处理技术，如盐酸法工艺的设备防腐技术；二是智能化改造萃取装置（转盘塔/脉冲塔）提升连续运行稳定性；三是构建新能源材料全产业链，实现“磷矿-高纯磷酸-磷酸铁锂”一体化生产。随着磷化工向精细化转型，湿法净化技术有望在2030年前将行业综合能耗再降20%，推动我国从磷资源大国迈向高附加值产品强国^[9]。

2) 半水-二水法耦合工艺

半水-二水法耦合工艺是一种先进的湿法磷酸生产技术，其核心原理是通过分阶段反应优化磷矿分解过程^[10]。第一阶段（半水法）在较高温度（100~110℃）下进行，磷矿与硫酸反应生成高浓度磷酸（ $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 35%~39%）和半水石膏（CaSO₄·0.5H₂O）；第二阶段（二水法）在较低温度（80~85℃）下将半水石膏转化为二水石膏（CaSO₄·2H₂O），同时提高磷回收率至98%^[11]。该工艺的主要优势包括：能耗较传统二水法降低52%~60%；磷回收率提升3%~5%，减少磷矿消耗；磷石膏中水溶磷质量分数显著降低（ $< 0.5\%$ ），更利于环保堆存或资源化利用。但该工艺对低品位磷矿适应性有限，且设备防腐要求较高^[12]。

该技术由云南云天化红磷化工有限公司从国外引进，历经30余年的改进优化，并由中国五环工程有限公司推广转化，在兴发集团（单套装置38万t/a）、中化涪陵（30万t/a装置）等企业成功应用。此

外,该技术已推广至突尼斯、埃及等“一带一路”国家,成为全球磷化工行业绿色升级的标杆工艺。

3.2 资源综合回收利用

1) 伴生氟的回收与利用

磷矿中伴生的氟资源占我国氟资源总量的87%以上,但传统湿法磷酸工艺中60%~70%的氟随磷肥或磷石膏流失,既造成资源浪费,又带来土壤和水体污染风险^[13]。高效回收氟资源对缓解萤石矿短缺(我国萤石储量仅占全球的13%)、保障新能源材料(如六氟磷酸锂)供应链安全至关重要^[14]。目前,国内企业如云天化集团有限责任公司通过与昆明理工大学何宾宾教授团队合作,开发了“减压浓缩-串级汽提”技术,将吨 P_2O_5 氟回收率提升至78 kg;同时何宾宾教授团队^[15-16]开发了溶解结晶技术,使磷石膏固相中 $w(F)$ 从0.51%降至0.05%,上述技术获得中国石油和化学工业联合会科技进步奖一等奖。贵州磷化(集团)有限责任公司(简称贵州磷化)更实现磷矿伴生氟生产无水氟化氢技术,并衍生出六氟磷酸锂等高附加值产品,但存在硅渣含氟高难以利用,主要以堆存的形式处置的问题。

未来技术发展将聚焦三大方向:一是低品位矿适配技术,如盐酸法路线突破设备防腐瓶颈;二是智能化回收系统,通过AI(人工智能)优化汽提塔运行参数,提升氟逸出率至90%以上;三是磷氟产业链耦合,构建“磷矿-高纯氟硅酸-六氟磷酸锂/电子级氢氟酸”一体化模式,推动磷化工产业向千亿级新能源材料集群跃升^[17-18]。

2) 伴生硅的资源化利用

磷矿中伴生的硅资源(主要以二氧化硅形式存在)长期被视为废弃物,但其高值化利用对减少磷石膏污染、缓解硅基材料(如白炭黑、光伏级多晶硅)原料短缺具有重要意义^[19]。目前,国内高校已实现技术突破:昆明理工大学何宾宾教授与祖运副教授联合通过解离-沉淀将副产硅转化为高品质白炭黑和分子筛;深圳新乾化工材料科技有限公司开发的“浓酸法”技术实现氟硅酸中硅元素的高效提取,副产纳米二氧化硅纯度达99.9%,应用于橡胶、涂料等领域。

未来技术发展将聚焦三大方向:一是硅基新材料延伸,如开发光伏级硅烷、半导体用高纯硅;二是磷-硅产业耦合,借鉴有机磷与有机硅协同生产的“三元素循环”模式,提升原子经济性;三是智能化分选提纯,利用XRT光电分选等技术提高中低品位磷矿中硅的富集效率。通过全产业链技术集

成,磷矿伴生硅资源综合利用率有望从目前的不足30%提升至60%以上,助力我国磷化工产业迈向绿色产业集群^[20-21]。

4 政策环境

2023年年底工业和信息化部等八部委出台《推进磷资源高效高值利用实施方案》,提出到2030年实现磷矿产出率提升20%、磷石膏综合利用率 $\geq 75%$ 、行业集中度(CR10) $\geq 60%$ 三大核心目标。政策实施采取“双轮驱动”模式:一方面通过资源约束性政策严控产能,云南、湖北、贵州等重点产区严格执行“以消定产”“等量置换”制度,配套阶梯电价(如云贵地区超过基准能耗1.2倍的企业电价上浮50%)倒逼中小产能退出;另一方面通过循环经济激励政策推动转型,对磷石膏“以用定产”企业给予税收减免(如资源综合利用增值税即征即退70%),并设立专项资金支持磷石膏制硫酸联产水泥(如贵州磷化30万t/a示范项目)、路基材料等规模化应用。目前,湖北已建成全球最大磷石膏综合利用产业园(年消纳能力800万t),云南则通过“磷-氟-硅”全元素回收技术路线,将伴生资源利用率提升至国际领先水平。这一政策体系正推动磷产业从传统肥料向新能源材料(磷酸铁锂)、电子化学品(高纯磷酸)等千亿级赛道跨越式发展^[22]。

5 产业格局“三化”趋势

未来5年,磷化工需求结构将呈现“传统+新兴”双轮驱动格局。传统磷肥需求进入平台期,受全球粮食安全战略支撑,预计年增速维持在1%~2%,但受环保政策约束,磷肥产能扩张受限,行业向高附加值产品转型。与此同时,新能源及储能领域对磷的需求呈爆发式增长,磷酸铁锂正极材料、六氟磷酸锂电解液等产品推动磷化工行业向新能源赛道延伸^[23-24]。预计2025—2030年新能源领域用磷需求年复合增速超25%,到2030年新能源领域用磷占比有望从目前的9%提升至25%~30%,成为磷化工增长的核心引擎^[25]。

5.1 一体化:矿-酸-盐-新能源材料纵向延伸

未来磷化工企业将加速“矿化一体”布局,形成磷矿-湿法磷酸-磷酸铁/磷酸铁锂的全产业链模式,降低中间环节成本并提升资源保障能力。目前贵州磷化、兴发集团、云天化等企业已实现湿法净化磷酸-磷酸铁锂一体化生产,预计到2030年,园区化、基地化率将提升至80%,推动行业集中度(CR10)从目前的50%提升至60%以上^[4]。

5.2 精细化：高附加值磷化学品加速发展

随着传统磷肥市场饱和，电子级、食品级、医药级磷化学品成为新增长点。电子级磷酸（用于半导体清洗）纯度要求达99.999%，国内兴发集团已实现进口替代，并供应中芯国际集成电路制造有限公司等芯片企业；食品级磷酸钠盐在饮料、肉制品添加剂领域需求稳定增长，预计2030年市场规模突破1500亿元，年均增速15%。此外，磷系阻燃剂（无卤化趋势）、医药级磷酸盐（如抗骨质疏松药物）等高附加值产品将推动磷化工向精细化升级。

5.3 国际化：全球资源布局与技术输出

国内磷化工企业正加速“走出去”战略，一方面在摩洛哥、突尼斯等磷矿富集区布局资源（如贵州磷化与OCP（磷酸盐）集团合作），另一方面向东南亚、中东输出湿法磷酸净化技术及磷石膏综合利用装备。例如，中国五环工程有限公司的半水-二水法湿法磷酸技术已推广至埃及、突尼斯，并配套磷石膏制硫酸联产水泥技术，助力当地绿色磷化工发展。此外，西部陆海新通道助力磷肥出口，贵州磷化通过铁海联运将磷酸二铵运至菲律宾、越南等市场，2024年出口量超250万t，运输成本降低10%。

6 未来发展趋势

1) 建立“矿床、矿石、矿物”磷矿基因数据库——指导选矿、产品精加工路线

我国磷资源禀赋差，以沉积型磷矿床为主，含部分变质型和风化型磷矿，矿石组成复杂，杂质含量高，同时矿物嵌布粒度细，元素晶格取代，类质同象等问题突出，与贵州、湖北相比，云南省磷矿性质复杂，矿石可选性差异巨大的问题极为突出。所以，亟须建立专有的磷矿基因数据库，根据磷矿资源特性，制定长期开采、选矿规划，精细磷化工产品生产策略，为将来30年的磷系产品制造形成顶层设计。

2) 开发中低品位磷矿选矿技术，提高磷矿资源利用率

我国易选的磷矿富矿耗竭严重，入选品位 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 已经由20年前的25%~26%下降到20%~22%，存有大量的中低品位磷矿（ $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 15%~20%），而且下游湿法磷酸生产对倍半氧化物含量有严格要求，现行的配矿手段无法消耗大量的低品位磷矿，缺乏针对中低品位磷矿的浮选技术。对于高镁、高硅的中低品位磷矿，采用正-反浮选和双反浮选工艺目前都无法产业化选矿生产，主要原因是成本高，回水pH干扰大，必须开发针对低品位矿石的

正-反浮选、双反浮选药剂及配套工艺，但以上工艺研发难度极大，需联合企业、高校、院所多方力量，对关键技术进行长期攻关，突破技术瓶颈^[26]。

3) 加快发展大型化、智慧化、绿色化采矿、选矿装备

磷矿选厂处理量远大于有色金属选厂，在矿石开采、运输、碎磨、选别、脱水、精矿输送等工序都需要大型化、绿色设备。例如，矿石的输送采用新能源矿山重卡，每辆车每年可节约成本上百万元；同时整个采矿、选矿过程都需要智慧化集中控制，虽然许多选矿厂都装备了自动控制系统，但控制水平有待提高，应开发内置模型实现工艺参数与精矿指标的精确关联。

4) “产-学-研”结合，加快突破湿法磷酸净化关键技术

湿法磷酸是磷酸盐产品生产的中间产品，其纯度分为农用级、饲料级、工业级、食品级等，纯度逐级递增，产品加工难度和附加值也逐级提高。湿法磷酸制造技术是磷化工行业的核心技术，也是决定企业生产成本的关键技术。《推进磷资源高效高值利用实施方案》强调“推广湿法磷酸净化生产技术，对净化酸和萃余酸进行分质梯级利用”。支持产业链上下游企业、科研院所、创新平台等采用“揭榜挂帅”“赛马机制”等方式协同攻关，加快突破湿法磷酸净化关键技术，全面提升行业发展水平。

5) 建立“理论-技术-产品”全链条的工农融合肥料创新平台

肥料是现代农业生产的基础材料之一，肥料创新面临着协同实现粮食安全、资源高效、环境友好、营养健康、绿色低碳的巨大挑战。为破解这一重大难题，以绿色智能肥料为抓手，开展多学科交叉创新、工农融合全产业链绿色发展的解决方案设计与实现路径研究，打破传统以工业生产主导的肥料产品研发与产业化模式^[27]。以农业生产需求为导向，充分挖掘作物营养特性和农业生产特点来设计匹配土壤和作物的绿色、高效肥料产品，形成满足现代农业需求的肥料创新研发模式，以工农科研院所+肥料生产企业紧密协作为基础，建立绿色智能肥料产品创新中试平台，按照“生产问题发现→产品配方设计→工业生产实现→农学效果验证→营销品牌建设→农业示范应用”全链条的创新思路来共同培养工农融合型高端人才，使其成为创新发展的原动力^[28]。

6) 寻求低碳原料替代，推动生产制造工艺革

新和设备改造

黄磷行业的发展趋势是要求尾气利用率达到90%以上,并净化到达标排放,水淬渣汽有组织排放并回收水汽,磷渣100%回收利用。为实现黄磷清洁生产,应对现有装置进行智能化改造,开发水淬渣气处理、尾气抽气系统、循环污水分离及泥磷处理技术等一整套黄磷工业清洁生产关键设备及工艺技术^[29]。

7) 加强资源配置,强化磷系新能源全产业链发展质量,注重延链发展

我国矿产资源丰富,对能源选择及经济调控的回旋空间较大,应切实从我国矿产资源的高值化利用出发,根据能源战略和产业发展需要,从全产业链系统谋划,可持续性的绿色高效利用矿产资源发展新材料产业。增强统筹利用国内国际两个市场、两种资源的能力,立足资源、区位、产业特色,调整优化生产力空间布局,依托各类产业园区、开放平台,促进引导周边优势锂资源合理配置,产业集聚和延伸发展,形成功能布局合理、协调联动的发展格局,构建磷矿—磷酸铁—磷酸铁锂材料—电芯—动力/储能终端等全产业链发展,推动产业链上下游及关联产业高效合作,协同发展,打造更安全可靠产业链、供应链体系。主动服务和融入国家发展战略和全国发展大局,充分发挥区位优势、资源优势,找准融入新发展格局的发力点和突破口,成为国内市场与南亚、东南亚国际市场之间的战略纽带、“大循环、双循环”的重要支撑^[30]。

7 结论

我国磷化工产业正处于从规模扩张向高质量发展转型的关键阶段。随着新能源、新材料产业的快速崛起,传统磷肥主导的产业结构正加速向“传统+新兴”双轮驱动模式转变。预计到2030年,新能源用磷占比将提升至25%~30%,成为行业增长的核心引擎。

技术创新是推动产业升级的关键动力。湿法磷酸净化、伴生资源回收、磷石膏综合利用等绿色工艺的突破,正推动行业向低碳化、精细化方向发展。特别是“磷-氟-硅”全元素回收技术的成熟应用,使资源综合利用率显著提升。

未来产业发展将呈现三大特征:一是产业链纵向一体化加速,形成“矿-酸-新材料”完整价值链;二是产品结构持续优化,高附加值磷化学品占比不断提升;三是国际化布局深化,通过技术输出和资源合作构建全球竞争优势。

要实现可持续发展,仍需突破三大瓶颈:低品位磷矿高效利用、湿法磷酸净化技术升级、磷石膏规模化消纳。这需要政府、企业、科研院所协同发力,构建产学研用深度融合的创新体系。随着《推进磷资源高效高值利用实施方案》的深入实施,我国磷化工产业有望在2030年前实现质的飞跃,从全球最大生产国迈向世界磷化工强国。

[参考文献]

- [1] 胡敏.我国磷化工产业发展现状及趋势[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(1):1-7.
HU M. Development status and trends of phosphorus chemical industry in China [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2025, 40(1):1-7.
- [2] 崔荣国,张艳飞,郭娟,等.资源全球配置下的中国磷矿发展策略[J].中国工程科学,2019,21(1):128-132.
GUI R G, ZHANG Y F, GUO J, et al. Development Strategy of Phosphate Rock in China Under Global Allocation of Resources [J]. Strategic Study of Chinese Academy of Engineering, 2019, 21(1):128-32.
- [3] 黄洁,黎晟沉,杨晶媛,等.云南省磷石膏综合利用现状及对策建议[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(2):12-16.
HUANG J, LI S Y, YANG J Y, et al. Present situation and countermeasures of comprehensive utilization of phosphogypsum in Yunnan province [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2025, 40(2):12-16.
- [4] 梁霏飞.我国磷化工产业链现状、发展趋势及建议[J].当代化工研究,2025(4):191-193.
LIANG F F, Current Situation, Development Trends and Suggestions of China's Phosphorus Chemical Industry Chain [J]. Modern Chemical Research, 2025(4):191-193.
- [5] 黄侃.磷酸铁锂或将搅热磷化工[J].中国石油和化工产业观察,2021(9):18-19.
HUANG K. Lithium iron phosphate may stir up the phosphorus chemical industry [J]. China Petrochemical Industry Observer, 2021(9):18-19.
- [6] 郭和一,闫康平,吴鹏程,等.磷化工副产物磷铁制备锂电池正极材料LiFePO₄的研究[J].新能源进展,2014,2(2):141-145.
GUO H Y, YAN K P, WU P C, et al. Study on Preparing Cathode Material LiFePO₄ of Lithium Batteries Using Ferrophosphorus Byproducts [J]. Advances in New and Renewable Energy, 2014, 2(2):141-145.
- [7] 杨稳权,蔡忠俊,张华,等.我国战略性磷矿资源现状、保障能力与加工进展[J].有色金属(选矿部分),2025(7):1-10.
YANG W Q, CAI Z J, ZHANG H, et al. Status of Strategic Phosphate Resources, Safeguard Capacity and Processing Progress in China [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2025(7):1-10.
- [8] 张程,钟文婧,纪利俊,等.湿法磷酸脱氟渣中磷和氟的浸取回收[J].化学工程,2019,47(8):1-5,21.
ZHANG C, ZHONG W J, JI L J, et al. Recovery of phosphorus and fluorine in defluorination sludge from wet-process phosphoric acid by leaching [J]. Chemical Engineering, 2019, 47(8):1-5,21.
- [9] 黄欣雨,甘晨,张名扬,等.湿法磷酸萃取技术发展现状与研究进展[J].工程科学学报,2024,46(11):1948-1959.

- HUANG X Y, GAN C, ZHANG M Y, et al. Development status and research progress of wet phosphoric acid extraction technology[J]. Chinese Journal of Engineering, 2024, 46(11): 1948-1959.
- [10] 匡国明.二水法磷酸改半水-二水法或二水-半水法工艺路线探讨[J].磷肥与复肥, 2019, 34(2): 28-29.
KUANG G M. Discussing on phosphoric acid process route of dihydrate process transformed into semihydrate-dihydrate process or dihydrate-semihydrate process [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2019, 34(2): 28-29.
- [11] 杨培发,陈军民,陈志华.我国湿法磷酸生产技术对比[J].磷肥与复肥, 2020, 35(1): 24-26.
YANG P F, CHEN J M, CHEN Z H. Comparison of WPA production technology in China [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2020, 35(1): 24-26.
- [12] 鲁坤鹏.半水法湿法磷酸工艺的开发[D].武汉: 武汉工程大学, 2020.
LU K P. Development of semi-aqueous wet-process phosphoric acid process[D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2020.
- [13] ZHAO M, LI X, YU J X, et al. Highly efficient recovery of phosphate and fluoride from phosphogypsum leachate: Selective precipitation and adsorption [J]. Journal of Environmental Management, 2024, 367: 122064.
- [14] DONG W, SUN N, DENG X, et al. Study on the occurrence state of main components of phosphogypsum dihydrate and its impurity distribution [J]. Rsc Advances, 2024, 14 (31) : 22280-22291.
- [15] 何宾宾.对我国磷氟协同发展的思考与建议[J].云南化工, 2024, 51(S1): 20-24.
HE B B. Thoughts and Suggestions on the Coordinated Development of Phosphorus and Fluorine in China[J]. Yunnan Chemical Technology, 2024, 51(S1): 20-24.
- [16] 何宾宾,傅英,张儒学,等.湿法磷酸中伴生氟的赋存形态与回收现状及展望[J].磷肥与复肥, 2023, 38(12): 30-36.
HE B B, FU Y, ZHANG R X, et al. Present situation and prospect of occurrence and recovery of associated fluorine in WPA [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(12): 30-36.
- [17] 刘帅杰.磷、氟化工产业的协同发展研究[J].现代化工, 2024, 44(3): 1-4.
LIU S J. Synergistic development of phosphorus and fluorine chemical industries [J]. Modern Chemical Industry, 2024, 44 (3): 1-4.
- [18] 崔荣政,高永峰,王臣,等.磷氟产业协同发展势在必行[J].生态产业科学与磷氟工程, 2024, 39(8): VI-VII.
CUI R Z, GAO Y F, WANG C, et al. Collaborative development of phosphorus and fluorine industry is imperative [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39(8): VI-VII.
- [19] 肖林波,田承涛,廖秋实,等.磷化工生产全资源循环综合利用技术探讨与实践[J].磷肥与复肥, 2018, 33(10): 32-34.
XIAO L B, TIAN C T, LIAO Q S, et al. Discussion and practice on circulation and comprehensive utilization technology of full resources in phosphorus chemical production [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2018, 33(10): 32-34.
- [20] 邓智,龙秉文,张逸,等.磷化工副产氟硅酸湿法合成氟化铝的工艺研究[J].无机盐工业, 2025, 57(3): 71-77.
DENG Z, LONG B W, ZHANG Y, et al. Study on wet synthesis process of aluminum fluoride from fluosilicic acid by-product of phosphorus chemical industry [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2025, 57(3): 71-77.
- [21] 白倩,荆碧,李秋霞.磷化工副产物磷铁渣绿色循环真空脱硅[J].矿产综合利用, 2024, 45(2): 123-126.
BAI Q, JING B, LI Q X. Desilicification Recyling Ferrophosphorus Slag under Vacuum [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(2): 123-126.
- [22] 谢海燕,贾彦鹏,李刚.产业政策、资源政策与环境政策不协调的潜在风险与防控——以磷矿资源开发利用为例[J].中国经贸导刊, 2022(8): 56-58.
XIE H Y, JIA Y P, LI G. Potential Risks and Mitigation Strategies for the Misalignment of Industrial, Resource and Environmental Policies: The Case of Phosphate Ore Resource Development and Utilisation [J]. China Economic & Trade Herald, 2022(8): 56-58.
- [23] 董战峰,冀云卿,李晓亮.磷化工产业高质量发展与生态环境政策改革方向[J].磷肥与复肥, 2020, 35(8): 9-11.
DONG Z F, JI Y Q, LI X L. High quality development of phosphorus chemical industry and innovation direction of ecological environment policy [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2020, 35(8): 9-11.
- [24] 张怡.绵竹市磷化工产业绿色发展政策执行中的问题与对策研究[D].成都: 四川大学, 2022.
ZHANG Y. Research on problems and countermeasures in the implementation of green development policies of phosphorus chemical industry in Mianzhu city [D]. Chengdu: Sichuan University, 2022.
- [25] 管云.共生耦合“链动”磷化工产业新生态[J].当代贵州, 2025, (22): 38-39.
GUAN Y. Symbiotic Coupling: Driving a New Ecosystem for the Phosphorus Chemical Industry [J]. Guizhou Today, 2025, (22): 38-39.
- [26] 李元元,程维,王玲华,等.磷化工行业节能降碳措施探讨[J].云南化工, 2024, 51(12): 149-152.
LI Y Y, CHENG W, WANG L H, et al. Overview of Energy-saving and Carbon Reduction Measures in the Phosphorus Chemical Industry [J]. Yunnan Chemical Technology, 2024, 51(12): 149-152.
- [27] LI A, ZHONG J, ZHANG L, et al. Effect of Phosphorus Chemical Solid Waste Modified Landforming Soil on Corn Quality and Safety Evaluation [J]. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2025, 13(4): 15-36.
- [28] 何浩明.磷矿资源综合利用及新型工艺技术探讨[J].磷肥与复肥, 2022, 37(8): 34-36.
HE H M. Comprehensive utilization of phosphate rock resources and related new techniques [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2022, 37(8): 34-36.
- [29] 李贵东,王雪萌,安燕,等.典型磷化工企业碳足迹核算及减排措施[J].环境工程学报, 2025, 19(4): 988-997.
LI G D, WANG X M, AN Y, et al. Carbon Footprint Accounting and Emission Reduction Measures for Typical Phosphorus Chemical Enterprises [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2025, 19(4): 988-997.
- [30] 赵晓飞.精细突破、集群共进、项目领航——2025聚焦化工新局[J].中国石油和化工, 2025 (2): 16-19.
ZHAO X F. Precision Breakthroughs, Cluster Advancement, Project Leadership — 2025 Focuses on the New Landscape of Chemical Engineering [J]. China Petroleum and Chemical Industry, 2025(2): 16-19.