

基于“双碳”背景下云南磷化工绿色低碳转型发展研究

叶建强¹, 韩喜超², 魏正坤¹

(1. 云南三环中化化肥有限公司, 云南 昆明 650114; 2. 云南云天化红磷化工有限公司, 云南 开远 661699)

[摘要] 在全球碳达峰、碳中和战略背景下, 云南省作为我国磷化工产业核心基地, 面临资源依赖性强、环境压力大、产业结构单一等挑战。系统梳理云南省磷化工产业发展现状, 指出其磷矿资源“丰而不富”、磷石膏综合利用率低、产品精细化不足(高附加值产品占比<10%)等突出问题。介绍云南省磷化工产业通过产业链延伸(磷矿-黄磷-磷酸-精细磷酸盐)、磷氟耦合发展(氟硅资源综合利用率先突破70%)、技术创新(胶磷矿浮选技术能耗降低60%)及磷石膏规模化利用(新增处理能力100万t/a)等路径, 探索绿色低碳转型策略。研究提出强化科技创新、优化产业布局、完善政策体系等建议, 为区域新质生产力培育和全球磷化工行业低碳发展提供参考。

[关键词] “双碳”; 云南省; 磷化工; 绿色低碳转型; 磷石膏资源化; 产业链优化; 磷氟耦合

[中图分类号] TQ126.3¹; F426 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 10-0018-07

Research on green and low carbon transformation and development of phosphorus chemical industry in Yunnan province under background of “dual carbon”

YE Jianqiang¹, HAN Xichao², WEI Zhengkun¹

(1. Yunnan Three-circle Sinochem Fertilizer Co., Ltd., Kunming 650114, China;

2. Yunnan Yuntianhua Red Phosphorus Chemical Co., Ltd., Kaiyuan 661699, China)

Abstract: Against the backdrop of the global carbon peak and carbon neutrality strategy, Yunnan province, as the core base of China's phosphorus chemical industry, faces challenges such as strong resource dependence, high environmental pressure, and a single industrial structure. The current development status of Yunnan's phosphate chemical industry is reviewed, pointing out prominent problems such as abundant but not abundant phosphate resources, low comprehensive utilization rate of phosphogypsum, and insufficient product refinement (high value-added products accounting for less than 10%). The green and low-carbon transformation strategies are explored by Yunnan phosphorus chemical industry through industrial chain extension (phosphate-yellow phosphate-phosphoric acid-fine phosphate), phosphorus fluorine coupling development (comprehensive utilization rate of fluoride silicon resources exceeding 70%), technological innovation (energy consumption reduction of colophane flotation technology by 60%), and large-scale utilization of phosphogypsum (new processing capacity of 1 million t/a). The study proposes suggestions to strengthen technological innovation, optimize industrial layout, and improve policy system, providing reference for the cultivation of regional new quality productivity and the low-carbon development of the global phosphorus chemical industry.

Key words: “dual carbon”; Yunnan province; phosphorus chemical industry; green and low-carbon transformation; phosphogypsum resource utilization; industrial chain optimization; coupling of phosphorus and fluorine

在全球气候变化和环境保护形势日益紧迫的背景下, 碳达峰与碳中和已成为国际社会普遍关注的重大议题。作为全球最大的碳排放国, 我国积极履行大国责任, 明确提出力争2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的“双碳”目标^[1-2]。这一目标的实现不仅是推动我国经济社会高质量发展

的核心引擎, 更是深化生态文明建设、促进人与自然和谐共生的战略路径, 标志着我国正式步入以绿色低碳为导向的全新发展阶段。同时, “双碳”目

[收稿日期] 2024-08-15; **[修回日期]** 2025-02-16

[作者简介] 叶建强(1996-), 男, 云南楚雄人, 硕士, 助理工程师, 从事磷化工技术与开发工作。

标将加速我国经济结构的优化升级，推动绿色低碳产业蓬勃发展，为经济长期稳定增长注入新动能。

磷化学工业（简称磷化工）是以磷矿石为原材料，通过一系列的物理化学加工过程将磷矿石中的磷元素转化为多样化化工产品的工业。作为贯穿磷矿开采至终端产品全产业链的重要行业，磷化工为现代工业和社会发展提供了不可或缺的支撑，在国民经济中占据重要地位。然而，长期以来，磷化工行业以粗放型发展模式为主，呈现出高耗能、高排放的显著特征，面临资源消耗高、环境压力大、产业结构不合理等突出问题，成为碳减排的重点领域之一^[3]。因此，磷化工行业绿色低碳转型既是应对全球环境挑战的必然选择，也是实现产业可持续发展的内在需求。

云南省作为我国重要的磷化工生产基地，凭借其丰富的磷矿资源和坚实的产业基础，在全球磷化工产业链中占据重要地位。然而，随着全球气候变化加剧和环保政策趋严，传统磷化工生产方式暴露出的资源消耗大、环境污染严重等问题日益凸显，云南省磷化工产业正面临前所未有的挑战。在此背景下，推动云南省磷化工绿色低碳转型发展，不仅对激发区域新质生产力潜能、优化经济结构具有深远意义，更在磷化工行业绿色重构与生态环境保护中发挥关键作用。如何在碳达峰、碳中和目标下实现云南省磷化工产业的绿色低碳转型，已成为当前亟待解决的重要课题。基于碳达峰、碳中和背景下

云南省磷化工绿色低碳转型发展研究，不仅具有重要的理论价值和实践意义，还将为我国乃至全球磷化工行业的绿色低碳发展提供有益借鉴和科学支撑。

1 云南省磷化工产业发展现状及存在问题

云南省凭借其得天独厚的资源优势，拥有磷矿储量丰富、分布高度集中以及伴生资源多样化的显著特点，素有“有色金属王国”和“磷化工大省”的美誉。近年来，云南省磷化工产业驶入发展快车道，产业链条不断延伸，产品结构持续优化，市场竞争力显著提升，已成为全国乃至全球磷化工产业的重要一极。然而，在快速发展的同时，云南磷化工产业也面临着资源依赖性强、技术创新不足、环境约束加剧等多重挑战。在此背景下，如何深化产业内外协同创新，推动产业结构高端化、绿色化、智能化升级，已成为云南省培育新质生产力、实现高质量发展的关键命题。

1.1 云南省磷化工产业发展现状

云南省磷化工行业的生产工艺技术和装备水平已位居全国前列，磷氟全产业链逐步完善，其全产业链布局如图1所示。云南省作为我国最早的磷化工基地之一，历经从早期简单开采和粗加工到如今精细化、高附加值产品生产的转型升级，逐步形成了独具特色的产业优势。目前，云南省磷化工产业已构建起涵盖磷矿采选、新型肥料、精细磷化工及磷系新能源材料的完整产业体系，发展成为集磷复肥、黄磷、精细磷化工全产业链一体化的重要磷化

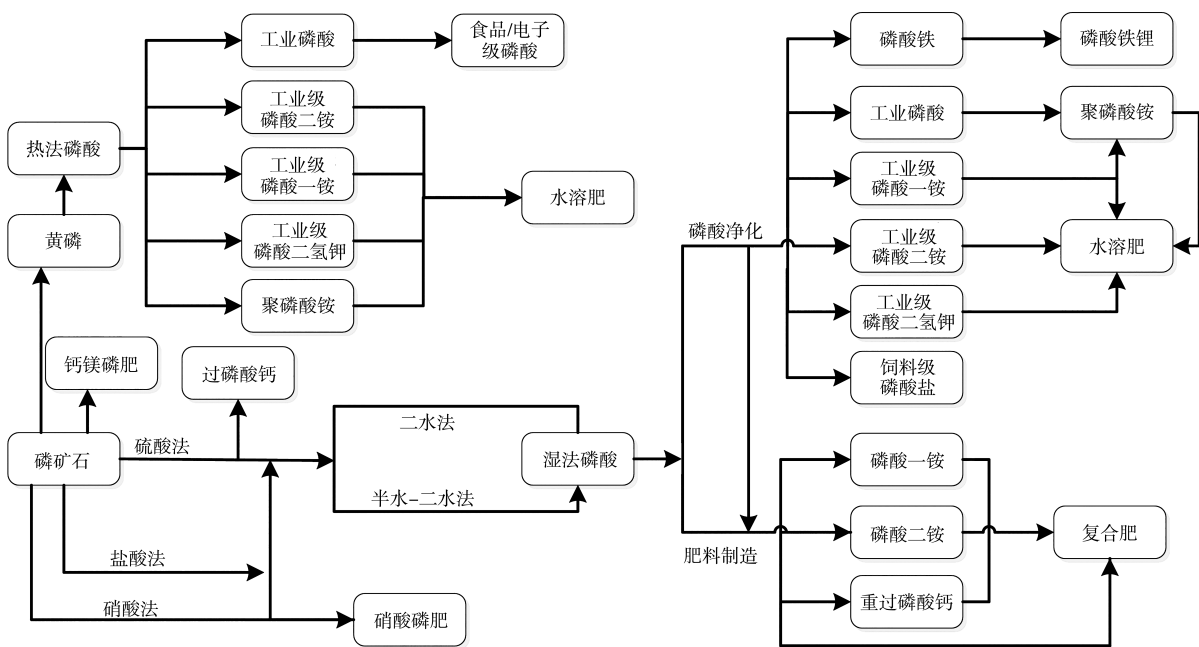


图1 云南磷化工全产业链

Fig. 1 Yunnan phosphorus chemical industry chain

工基地。云南省在磷石膏综合利用、硫酸尾气治理、余热发电、湿法磷酸净化、磷肥副产氟硅酸制氢氟酸、黄磷“三废”治理以及磷系材料研发等领域均取得了显著突破，多项技术已实现产业化应用。据统计，2022年云南省高浓度磷复肥产能达872万t/a，占全国总产量的30%左右；黄磷、磷酸氢钙产量均占全国总产量的50%以上^[4]。

云南省磷化工产业基础雄厚，发展优势显著。全省已探明磷矿资源储量达29亿t，具有“浅地表、少杂质、易开采”的特点，潜在资源量超过300亿t，形成了10个磷矿规划区和磷矿基地，拥有25个规模化矿山。在基础磷化工领域，云南省磷酸、磷肥等产品生产工艺先进，产能规模位居全国前列，尤其在黄磷及磷酸盐产品生产方面具有显著优势，磷矿石、磷酸、黄磷等主要磷化工产品产量长期稳居全国前列^[5]。截至2023年年底，全省规模以上磷化工企业达110家，行业总产值接近700亿元，已发展成为涵盖高浓度磷复肥、黄磷、磷酸氢钙及精细磷化工产品等多元化产品的磷化工大省，在全国磷化工行业中占据领先地位^[6]。2021—2024年云南省磷化工主要产品产量详见表1。

表1 2021—2024年云南省主要磷化工产品产量^[6]

Table 1 Production of major phosphorus chemical products in Yunnan province from 2021 to 2024

产品	各年产量/万t			
	2021年	2022年	2023年	2024年
合成氨	236.43	246.61	256.02	
氮肥(折N)	219.73	213.43	233.05	
尿素 ^①	132.91	143.55	146.93	
甲醇	89.85	122.53	102.90	
焦炭	1 300.00	1 268.00	1 173.00	
硫酸 ^②	1 589.00	1 483.00	1 459.00	1 513.78
湿法磷酸 ^③	527.00	476.00	500.00	513.56
磷肥 ^③	447.60	428.15	420.60	424.45
高浓度磷复肥 ^③	426.70	406.95	393.00	396.45
低浓度磷复肥 ^③	20.90	21.20	27.60	28.00
磷酸一铵	129.00	113.72	109.73	113.50
磷酸二铵	232.40	234.61	237.91	230.77
重过磷酸钙	35.46	27.77	17.53	16.97
过磷酸钙	11.60	13.20	19.60	24.26
钙镁磷肥	9.30	8.00	8.00	3.74
饲料级磷酸氢钙 ^①	198.00	145.00	170.00	219.45
黄磷	39.00	46.00	37.50	40.62

注：①实物量；②折 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 100%；③折 P_2O_5 。

近年来，云南省磷化工产业实现了跨越式发展，已构建起涵盖磷矿采选、化学原料及化学制品

制造等门类齐全、产业链完整的现代化磷化工产业体系，并培育了以云天化集团有限责任公司、云南祥丰实业集团有限公司、昆明川金诺化工股份有限公司为代表的一批行业龙头骨干企业。其中，磷复肥、黄磷等核心产品凭借显著的产能优势和技术创新，在国际市场上形成了较强的竞争力，影响力持续提升。这些产品不仅满足了国内外市场日益增长的多样化需求，更以卓越的品质和良好的口碑在全球化工领域树立了品牌形象，进一步巩固了云南省作为我国乃至全球重要磷化工生产基地的战略地位。

1.2 云南省磷化工产业发展困境与挑战

磷矿资源“丰而不富”，采选难度大，开采成本高。云南省磷矿资源丰富，根据《2022年全国矿产资源储量统计表》和《2023年全国主要矿产资源储量统计表》统计，2022年全国磷矿保有储量为36.9亿t，其中云南省以13.35亿t的储量位居全国首位，占全国总量的36%^[7-8]。虽然云南省磷矿资源储量丰富，但整体磷矿资源以中低品位为主，平均品位 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 仅为22%~24%，远低于贵州、湖北等地（平均品位 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 在30%以上）。其中，I级品磷矿资源（品位 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 大于30%的富矿）储量仅占全国总量的16.04%，在鄂云贵3省居末位，整体呈现出“丰而不富”的显著特征^[9]。尤其近年来因过度开采，导致高品位磷矿资源持续消耗，磷矿整体品位显著下降，贫矿化趋势加速^[10-12]。我国主要省份磷矿查明资源储量分布如图2所示。

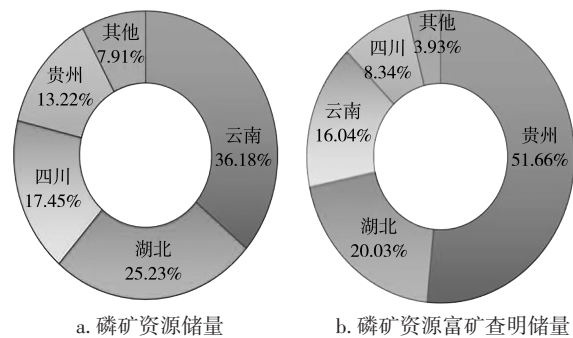


图2 2022年我国主要省份磷矿查明资源储量分布图^[7-8]

Fig. 2 Distribution of identified resource reserves of phosphorite in major provinces of China in 2022

云南省磷矿以海相沉积型胶磷矿为主，占比达62.68%。这类矿石具有“贫、细、杂”的特点，属于世界公认的难选磷矿石。其矿体埋藏深、厚度变化大，且常与硅质、钙质等杂质伴生，导致开采和选矿难度较大。为满足黄磷、磷酸和磷肥等工业生产对高品位磷矿的需求，云南省通过浮选技术实现了胶磷矿的产业化应用。其中，创新的胶磷矿浮选

柱技术已实现工程化、产业化应用，磷矿浮选产率超过70%，选矿技术开发与产业化水平处于国内领先地位^[13]。然而，复杂的矿石性质和选矿工艺也使得生产成本居高不下，进一步制约了资源的高效利用。

资源环境压力大，磷石膏利用率低，环境治理成本高。云南省磷化工产业长期以粗放型发展模式为主，随着产业规模的扩张和开采强度的提升，资源环境压力日益加剧。据统计，2024年全国磷矿石产量达1.14亿t，其中云南省磷矿石年开采量达2 397.76万t，占全国总产量的21.12%。按当前开采速度测算，部分矿区的磷矿石资源预计在20~30年内面临枯竭风险^[14]。与此同时，磷化工生产过程中产生的固体废弃物磷石膏的堆存问题尤为严峻。2022年，云南省磷石膏年产生量突破2 400万t，累计堆存量已超过2亿t，占用土地面积逾333 hm²（5 000亩），而其综合利用率仅为36.6%，显著低于全国平均水平。2020—2023年云南省磷石膏产生量及利用率的变化趋势如图3所示^[15]。此外，磷化工企业在生产过程中对环境造成的污染问题依然突出，环保治理水平整体偏低。大型磷化工企业年均环保投入超过1亿元，而中小型企业受资金和技术限制，环保设施不完善，污染治理能力不足。以云南省昆阳磷矿为例，其矿山生态恢复工程累计投入治理资金4.36亿元，植被恢复面积达1 560 hm²（2.34万亩），环境治理成本之高可见一斑^[9]。

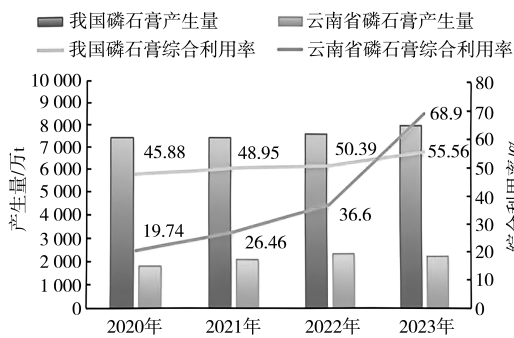


图3 2020—2023年云南省磷石膏产量及利用率对比
Fig. 3 Comparison of production and utilization rate of phosphogypsum in Yunnan province from 2020 to 2023

磷化工产业结构单一，产品精细化程度低，转型升级过程艰难。云南省磷化工产业结构单一，高度依赖初级产品，其中70%以上的量都用于生产磷酸一铵、磷酸二铵、重过磷酸钙、过磷酸钙之类的化肥产品，高附加值的精细磷化工产品（如电子级磷酸、食品级磷酸盐、磷系阻燃剂等）占比不足

10%，远低于发达国家水平，2023年云南省磷化工产业链主要产品占比如图4所示。从产业链布局来看，云南省磷化工企业主要集中于磷矿石开采、黄磷生产和磷肥制造等上游环节，缺乏向下游高附加值产品延伸的能力，导致利润空间受限，难以支撑产业的可持续发展，正面临着产业结构的失衡与优化升级的迟缓两大核心问题^[16]。从技术创新能力来看，云南省磷化工企业研发投入不足，高端产品技术壁垒难以突破。电子级磷酸、食品级磷酸盐等高端产品的生产技术长期被国外企业垄断，本地企业难以实现技术自主化。同时，由于缺乏先进的节能技术和设备，企业的节能减排潜力未能充分释放，进一步制约了绿色转型的推进。这种技术短板使得企业抵御市场风险的能力较弱，一旦市场波动，企业将面临巨大的经营压力。此外，云南省磷化工企业普遍面临资金短缺问题，加之政策支持力度不足和市场环境制约，转型升级过程尤为艰难。

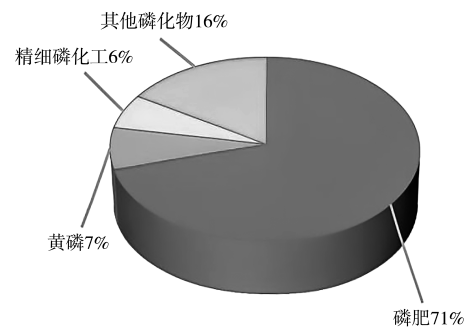


图4 2023年云南省磷化工产业链主要产品占比
Fig. 4 Proportion of main products of phosphorus chemical industry chain in Yunnan province in 2023

2 云南省磷化工绿色低碳转型发展路径探索

随着全球范围内环保意识的日益增强，绿色低碳转型已成为各行各业普遍认同的发展路径。在这场波澜壮阔的绿色变革中，云南省磷化工企业非但没有被时代的洪流所淘汰，反而凭借自身的积极努力与不懈创新，成功开辟了更为广阔的发展天地。展望未来，随着国家政策的有力引导以及工艺技术的持续优化与升级，云南省磷化工行业无疑将步入一个更加绿色、低碳且可持续发展的崭新阶段，为区域经济转型和生态文明建设注入强劲动力。

2.1 云南省磷化工绿色低碳转型成果

1) 延伸磷矿—黄磷—磷酸—精细磷酸盐产业链

云南省近年来积极推进磷化工产业链向高端化、精细化延伸，重点发展聚磷酸、聚磷酸铵等高附加值精细磷酸盐产品，构建磷矿—黄磷—磷酸—精

细磷酸盐及磷化物全产业链。同时，大力发展磷系阻燃剂、磷系电子化学品、磷系功能性材料和专用化学品，推动黄磷深加工产业体系升级。以净化磷酸为核心，向下游拓展工业级、食品级、医药级磷酸盐产业链，并积极布局新能源领域，围绕“资源-材料-电芯-电池-应用-回收”全产业链为磷酸铁锂正极材料前驱体及磷酸铁锂电池提供关键原料，精细化工产业集群的战略布局加速落地^[17]。

2) 优化磷复肥产品结构，推动产业高端化发展

云南省通过技术创新和产品研发，持续优化磷复肥产品结构，提高高浓度磷复肥、专用肥和个性化肥料的比例，以满足不同地区农作物及生长阶段的多样化需求。同时，鼓励企业加大技术改造和设

备更新投入，提升生产工艺和装备水平，推动磷复肥产业向高端化、智能化、绿色化方向转型。

构建磷-氟化工耦合产业链，提升资源综合利用水平。云南省积极推动磷矿共(伴)生氟、硅等资源的回收利用，强化磷化工与氟化工的协同发展，重点布局高端含氟新材料产业。例如，云天化与多氟多合作成立云南氟磷电子科技有限公司，开展磷肥副产氟硅资源综合利用项目，按照“氟硅酸-氢氟酸-氟精细化学品-氟电子化学品”的增值路径，将氟硅酸转化为无水氟化氢和白炭黑，并进一步开发氟精细化学品和氟电子化学品^[18]。这一布局不仅提高了氟、硅资源的价值，还克服了无水氟化氢产品远离消费市场的劣势，显著提升了产业竞争力。云南省磷-氟化工产业链未来布局如图5所示。

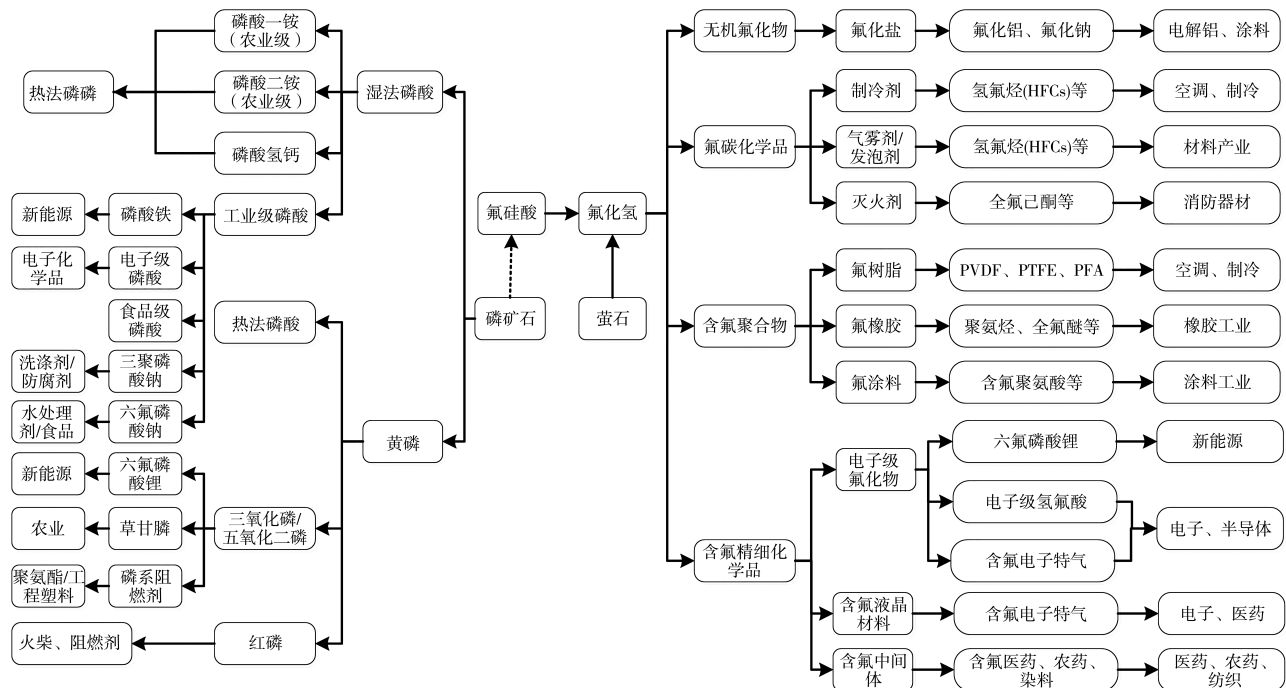


图5 云南省磷-氟化工全产业链

Fig. 5 Phosphorus-fluorine chemical industry chain of Yunnan province

3) 促进磷化工可持续发展的重大技术开发研究

近年来，云南加大研发投入，突破中低品位磷矿加工利用技术，云南磷化集团有限责任公司成功开发“胶磷矿柱-槽联合短流程浮选工艺”等具有自主知识产权的成套关键技术成果，该套技术应用在国内最大的晋宁450万t/a胶磷矿浮选装置，实现资源经济最大化^[19]。昆明理工大学云南省磷化工节能与新材料重点实验室致力于基础磷化工的节能减碳技术开发与黑磷制备及其阻燃储能研究，通过黄磷磷炉气与黄磷反应热的回收，每吨黄磷能耗降

低60%以上，取得了一系列突破性进展^[20]。

4) 重点打造精细磷化工产业集群

在整体产业链的构建上，云南省以磷矿采选业务为基础，以化肥生产和精细化工业务为主导，推动磷化工上下游企业集聚发展。发挥省内龙头企业带动作用，推动磷化工上下游企业集聚发展，实现耦合共生，以安宁产业园区、晋宁工业园区、海口工业园区、华宁工业园区、会泽产业园区等为重点，打造低碳循环化的磷化工产业集群^[6]。通过聚焦资源和产业优势，推进产业纵向延伸，推动产业结构转型。

5) 推动磷石膏综合利用

2023年以来,昆明市工业和信息化局深入企业一线,指导企业对磷石膏进行无害化处理,云南天安化工有限公司和云南祥丰环保科技有限公司共计700万t/a磷石膏无害化处理装置启动建设,中化云龙有限公司等磷石膏综合利用项目建成试生产,2024年新增利用能力100万t。云南省通过将磷石膏无害化处理与矿山生态修复相结合,利用约8000座废弃矿山和矿坑,推动磷石膏的综合利用,磷石膏综合利用率从2022年36.6%提升至2023年68.9%,综合利用率大幅度提升^[21]。2023年云南省磷石膏利用途径占比情况见图6。

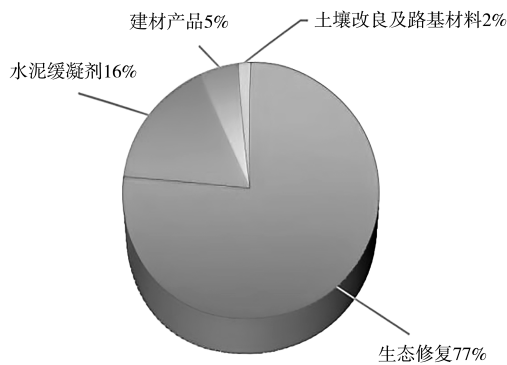


图6 2023年云南省磷石膏利用途径占比情况

Fig. 6 Proportion of phosphogypsum utilization pathways in Yunnan province in 2023

2.2 云南省磷化工绿色低碳转型发展建议

1) 加强科技创新和人才培养引进

磷化工产业的未来发展必须紧紧依托科技创新和人才战略这两大核心驱动力。云南省磷化工产业在科技创新能力和高端人才储备方面存在明显短板,亟须通过加大研发投入、完善产学研合作机制以及引进高层次人才,构建以创新为核心竞争力的产业生态体系。只有在科技创新与人才引育的双轮驱动下,云南省磷化工产业才能突破发展瓶颈,迈向更高质量的发展阶段。

2) 推动产业结构优化升级和布局调整

当前,全球磷化工产业正处于深度调整与转型升级的关键期。云南省磷化工产业需积极适应全球经济格局变化,加快从传统粗放型生产模式向更高效、更高端方向转型。通过加大高端磷系化学品、电子级磷酸等高附加值产品的研发与生产力度,提升产品的科技含量与市场竞争力,推动产业向精细化、专业化和绿色化方向迈进。同时,优化产业空间布局,推动产业集群化发展,形成区域协同效应。

3) 完善政策法规体系,加大执法力度

健全的政策法规体系是磷化工产业绿色低碳转型的重要保障。政府应加快制定和完善磷化工行业绿色低碳发展的标准体系,强化环境准入和能耗约束机制。通过严格执法和常态化监管,倒逼企业提升环保意识和技术水平,实现经济效益与环境效益的协同发展。同时,探索建立碳排放交易机制,为企业绿色转型提供市场化激励。

4) 提升企业主体责任意识,加强社会监督

企业是绿色低碳转型的主体,其责任意识的提升至关重要。磷化工企业应主动承担环境责任,通过技术创新和管理优化降低能耗与排放,构建绿色生产体系。同时,建立健全社会监督机制,鼓励公众、媒体和非政府组织参与环境监督,形成政府监管、企业自律和社会监督三位一体的治理格局,为产业可持续发展提供坚实保障。

3 结论与展望

当前,磷化工产业正处于机遇与挑战并存的关键转型期,面临着转型升级、提质增效的迫切需求。云南省磷化工产业的绿色低碳转型不仅是实现“双碳”目标的必然要求,更是推动区域经济高质量发展、构建现代产业体系战略选择的必然要求。未来,随着技术进步、政策支持体系的完善以及市场机制的健全,云南省磷化工产业有望在绿色低碳转型的道路上取得突破性进展,形成具有示范效应的产业新模式。然而,这一转型过程也面临技术瓶颈、资金压力、国际竞争加剧等多重挑战。只有通过政府引导、企业主体和社会参与的协同联动,构建多方共建共享的绿色发展生态,才能推动云南省磷化工产业实现绿色化、低碳化和高端化发展,为全球磷化工产业的可持续发展贡献“云南方案”。

[参考文献]

- [1] 戎楚楚,丁聪,张如竹.石化和化工行业碳达峰、碳中和路径[J]. 化纤与纺织技术,2024,53(8):109-111.
- [2] 刘泓汛,杨竞男,高金凤.碳达峰碳中和与经济发展协同的最优碳减排路径[J].厦门大学学报(哲学社会科学版),2025,75(1):123-136.
LIU H X, YANG J N, GAO J F. Optimal Carbon Emission Reduction Pathway for Coordinating Carbon Peak and Carbon Neutrality with Economic Development [J]. Journal of Xiamen University (Arts & Social Sciences), 2025,75(1): 123-136.
- [3] 徐莹.基于碳达峰和碳中和背景下的磷化工产业绿色低碳节能减排研究[J].化工设计通讯,2023,49(1):156-158.
XU Y. Research on Green Low-Carbon Energy Saving and Emission Reduction of Phosphorus Chemical Industry Based on Carbon Peak and Carbon Neutralization [J]. Chemical

- Engineering Design Communications, 2023, 49(1):156-158.
- [4] 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.
- [5] 吕海青, 刘峰. 云南省磷矿资源开发利用现状与综合利用建议[J]. 云南冶金, 2015, 44(5):86-89.
LYU H Q, LIU F. The Exploitation Current Situation and Comprehensive Utilization Suggestion of Phosphate Ore Resource in Yunnan Province [J]. Yunnan Metallurgy, 2015, 44 (5) : 86-89.
- [6] 蒋太光, 杜丽梅, 赵雅. 云南省化工产业现状简析及发展方向探讨[J]. 生态产业科学与磷氟工程, 2024, 39(6):6-10.
JIANG T G, DU L M, ZHAO Y. Current situation and development direction of chemical industry in Yunnan province [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39(6):6-10.
- [7] 佚名.《中国矿产资源报告(2024)》发布[J]. 中国有色金属, 2024 (21):24.
- [8] 佚名. 2022年度全国矿产资源储量统计数据发布[J]. 黄金科学技术, 2023, 31(3):452.
- [9] 贾晗, 刘军省, 焦森, 等. 长江经济带磷矿资源开发与生态保护现状分析及对策建议[J]. 中国矿业, 2021, 30(2):67-72.
JIA H, LIU J X, JIAO S, et al. Situation analysis and countermeasures of phosphate rock resources exploitation and ecological protection in Yangtze River Economic Belt[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(2):67-72.
- [10] 杨稳权. 云南胶磷矿反浮选捕收剂 YP6-2 浮选性能研究[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2017.
YANG W Q. Study on flotation performance of Yunnan reverse flotation collector YP6-2 in Yunnan province [D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2017.
- [11] 候杰, 雷琼. 我国磷矿资源开发利用现状分析[J]. 磷肥与复肥, 2024, 39(5):29-31, 34.
HOU J, LEI Q. Analysis on present situation of development and utilization of phosphate rock resources in China [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2024, 39(5):29-31, 34.
- [12] 张亚明, 李文超, 王海军. 我国磷矿资源开发利用现状[J]. 化工矿物与加工, 2020, 49(6):43-46.
ZHANG Y M, LI W C, WANG H J. Status quo of development and utilization of phosphate resources in China [J]. Industrial Minerals & Processing, 2020, 49(6):43-46.
- [13] 刘丽芬, 李耀基, 柏中能, 等. 云南磷矿选矿产业化开发利用及发展历程[J]. 云南化工, 2019, 46(11):36-39, 68.
LIU L F, LI Y J, BAI Z N, et al. Development and utilization of phosphate mineral processing industry in Yunnan province [J]. Yunnan Chemical Technology, 2019, 46(11): 36-39, 68.
- [14] 王辛龙, 钟艳君, 许德华, 等. 我国磷化工产业现状、发展趋势及高质量发展路径[J]. 生态产业科学与磷氟工程, 2024, 39 (7):9-21.
WANG X L, ZHONG Y J, XU D H, et al. Current situation, development trends and high-quality development pathways of China's phosphorus chemical industry [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39(7):9-21.
- [15] 白春华, 王金宝, 李光辉, 等. 我国磷石膏污染特性空间分布及环境管理研究[J]. 环境科学研究, 2005, 38(3):632-641.
BAI C H, WANG J B, LI G H, et al. Research on the Pollution Characteristics, Utilization and Environmental Management of Phosphogypsum in China [J]. Research of Environmental Sciences, 2025, 38(3):632-641.
- [16] 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(9):5-9.
LI Y X, JIANG T G, LIU H. Development status and suggestions for green and high quality development of phosphorus chemical industry in Yunnan [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2021, 36(9):5-9.
- [17] 胡晓蓉. 新能源电池产业发展势头强劲[N]. 云南日报, 2023-08-29(003).
- [18] 杨华春. 以新质生产力推进磷氟产业协同发展[J]. 生态产业科学与磷氟工程, 2024, 39(11):刊首页.
YANG H C. Promote the coordinated development of phosphorus and fluorine industry with new quality productivity [J]. Eco-industrial Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39(11): Issue of home page.
- [19] 刘润哲, 朱倪, 李若兰, 等. 碳酸盐型胶磷矿浮选体系中常见离子对胶磷矿和白云石浮选行为的影响[J]. 磷肥与复肥, 2024, 39(1):16-19.
LIU R Z, ZHU N, LI R L, et al. Effect of common ions on collophane and dolomite flotation in carbonate type collophane flotation system [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2024, 39 (1):16-19.
- [20] 李明霞, 夜晨, 李姗, 等. 磷矿热还原制取黄磷技术现状及研究进展[J]. 化工进展, 2024, 43(7):3578-3592.
LI M X, YE C, LI S, et al. Current status and research progress of thermal reduction technology for producing yellow phosphorus from phosphate rock [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2024, 43(7):3578-3592.
- [21] 崔荣政, 王臣, 修学峰. 2023年我国磷石膏综合利用情况及产业发展现状分析[J]. 生态产业科学与磷氟工程, 2024, 39 (11):1-6.
CUI R Z, WANG C, XIU X F. Analysis of comprehensive utilization and industrial development status of phosphogypsum in China in 2023 [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39(11):1-6.