

# 磷化工产业的低碳发展路径探究

刘超

湖北海格斯新能源有限公司 湖北宜昌 443000

**摘要:** 在全球共同应对气候变化的大背景下,传统磷化工产业高能耗、高排放的发展模式已难以为继,绿色低碳转型成为行业生存与长远发展的关键课题。结合我国磷化工产业的实际发展情况,本文全面探讨了该产业实现低碳发展的可行路径。首先明确了产业转型所需的基础管理保障措施,随后从生产工艺技术革新、固体废物资源化高值利用、传统能源与新型清洁能源融合三个核心维度,深入分析了实现减排降碳的关键技术手段。在此基础上,进一步探讨了产业结构优化、政策法规完善、产学研协同创新机制构建等外部配套支撑体系的重要作用,并结合具体实践案例,阐述了低碳转型实践取得的综合成效。本研究希望能为磷化工产业实现绿色、低碳、循环发展提供切实的理论参考与实践指导。

**关键词:** 磷化工; 低碳发展; 措施

## 引言

磷化工产业是保障国家粮食安全、支撑基础工业发展的重要原材料产业,其产品广泛应用于肥料、农药、新能源、电子信息等多个领域,在国民经济中占据重要地位。但长期以来,传统磷化工生产高度依赖化石能源,生产过程中不仅会产生大量碳排放,还会伴随磷石膏、氟硅渣等固体废物的堆积,资源环境约束日益加剧,已成为制约产业高质量发展的瓶颈。推动磷化工产业低碳转型,既是响应国家“双碳”战略目标的必然要求,也是产业突破资源环境限制、实现可持续发展的内在诉求。当前,我国磷化工产业低碳发展还面临技术不成熟、转型成本较高、机制不完善等诸多挑战,亟需探索一套系统、可行的发展路径。基于此,本文从基础保障、核心技术、配套支撑等多个维度,系统探究磷化工产业的低碳发展策略,为产业绿色变革提供思路借鉴。

### 一、磷化工产业低碳转型的基础保障措施

磷化工产业要实现真正的低碳变革,不能单纯依靠零散的技术改造,必须先筑牢基础保障体系,将低碳发展理念全面融入企业的战略规划与日常运营全过程。在碳管理方面,企业应率先搭建一套科学完整的碳足迹管理体系,实现从原料入厂到产品出厂全流程的碳足迹监测、核算与报告,确保数据可追溯、可核查,从而精准定位碳排放的重点工序与关键设备,找到减排突破口。基于精准的碳数据,企业需制定分阶段、可量化、可考

核的碳减排目标,将目标逐级分解到车间、班组和个人,明确各岗位的碳减排责任,建立健全碳绩效管理体系。在能源管理基础工作上,企业要严格按照相关标准,配备齐全能源计量器具,并定期进行检定校准,确保能耗数据真实准确。同时,定期开展全面的能源审计与能效对标工作,不仅是满足国家监管要求的需要,更是企业自我诊断、查找能效短板、挖掘节能潜力的重要手段。低碳转型离不开持续的资金支持,企业应设立绿色低碳发展专项基金,优先保障具有显著减排效益的技术研发、设备改造等项目投入。这些基础性管理工作的扎实程度,直接决定了后续各类高新技术措施能否顺利落地、发挥实效,同时也为企业参与碳市场交易、应对绿色金融评估提供了必要的的数据支撑和能力保障。

### 二、磷化工产业低碳发展的核心技术措施

#### 1. 生产工艺优化升级

优化升级现有生产工艺,是从生产源头减少能耗、降低碳排放最直接、最有效的方式。在磷肥及基础磷化工领域,技术革新的重点的是提升反应效率、提高能源利用率,减少生产过程中的能源浪费和碳排放。黄磷生产作为磷化工行业的高耗能环节,技术升级应聚焦于电炉的大型化、密闭化和智能化改造。通过采用大容量、全封闭黄磷电炉,并配套完善的尾气净化回收系统,可将以往直接燃烧排放或低效利用的黄磷尾气有效回收,回收后的高品质一氧化碳,可不再作为简单燃料使用,而是转化为合成甲酸钠、草酸等高附加值化工产品的碳

一化学原料，实现资源的高效利用和减排双赢。在磷酸盐精细化工领域，推动间歇式、半间歇式反应装置向连续化、自动化、集成化生产转型，能够有效提高反应选择性，减少物料循环量，降低单位产品能耗。同时广泛应用微波加热、超声波反应器等过程强化技术，深入推行热集成与热泵技术，对生产流程中的余热、废热进行深度回收和梯级利用，从系统层面提升整个生产体系的能量利用效率，从根源上减少化石能源消耗和碳排放。

### 2. 固废资源高值化利用

磷化工固废的大宗化、高值化利用，尤其是磷石膏的资源化利用，是推动产业低碳循环发展的关键环节。磷石膏是磷肥生产过程中产生的主要副产品，目前我国磷石膏堆存量巨大，不仅占用大量土地资源，还可能引发土壤、水体污染等环境问题，因此实现其资源化利用迫在眉睫。要推动磷石膏大规模资源化应用，首先需要突破低成本净化预处理技术瓶颈，开发高效、低能耗的杂质去除工艺，提升磷石膏的品质，为其后续高值化利用奠定基础。在建材领域，应进一步扩大磷石膏的应用范围，除了生产石膏板、石膏砂浆、路基材料等传统产品外，积极研发石膏砌块、自流平砂浆等新型建材，提升磷石膏的利用效率和产品附加值。同时，积极拓展磷石膏在土壤调理、生态修复、硫资源回收等领域的多元化应用路径：在土壤调理方面，磷石膏可用于改善土壤结构，为农作物提供钙、硫等营养元素，促进作物生长；在生态修复领域，可应用于矿山复垦、湿地恢复等项目，减少产业生态足迹；在硫资源回收方面，通过相关技术提取磷石膏中的硫元素，用于生产硫酸或其他化工原料，实现资源循环利用。此外对于氟硅渣等其他磷化工副产品，应加大研发投入，突破高纯氟、硅资源提取的关键技术，将其转化为高附加值的氟化工产品、白炭黑等材料，提升固废资源的整体利用效益。

### 3. 新能源与传统产能耦合应用

优化能源结构、推动能源绿色化，是降低磷化工产业间接碳排放、实现行业低碳转型的关键路径。磷化工企业应充分利用厂房屋顶、闲置场地等空间资源，规模化建设分布式光伏发电项目，优先满足厂区生产、生活用电需求，减少对外部电网的依赖，降低输电损耗。在光照、风力、生物质资源条件适宜的地区，企业可因地制宜，积极探索风电、生物质发电等可再生能源的开发与应用，丰富绿色能源供给形式，优化能源结构。同时，重点研究绿电制氢技术与合成氨、黄磷、磷酸及下游化

学品生产过程的耦合可行性，通过试点示范，推动绿氢替代化石能源制氢，从源头减少工艺过程中的碳排放。对于生产所需的蒸汽、热能，应逐步推进太阳能光热、地热等清洁热源的应用，逐步淘汰燃煤锅炉、燃气供热系统，实现热力环节的脱碳化。

## 三、磷化工产业低碳转型的配套支撑措施

### 1. 产业结构优化调整

从产业布局和结构层面进行优化，是提升磷化工行业整体能效和碳效的根本举措。要引导磷化工产业要素向磷矿资源丰富、环境容量充足、新能源条件优越、产业配套完善的地区集聚，培育一批大型化、一体化、园区化的绿色磷化工产业集群。在产业集群内部，实现原料互供、能量梯级利用、基础设施共享、污染物集中治理，能够大幅降低单个企业的运营成本和碳排放强度，提升产业整体竞争力。政府应严格执行环保、能耗、碳排放等强制性标准，依法淘汰落后工艺装备和过剩产能，为先进产能腾出市场空间和环境容量。鼓励优势企业通过兼并重组、产能置换等方式整合资源，培育一批技术领先、产业链完整、具有国际竞争力的大型绿色磷化工企业集团。在产品结构方面，引导企业逐步摆脱对大宗基础磷肥、黄磷等产品的依赖，向电子级磷酸、新能源电池正极材料前驱体、高端食品添加剂、特种阻燃剂等高技术含量、高附加值、低能耗、低排放的精细磷化工领域延伸，提升产业碳生产力，增强行业抵御市场波动和政策风险的能力。

### 2. 政策体系完善强化

构建激励与约束并重的政策体系，建立以市场为导向、以法治为保障的低碳发展机制，是推动磷化工产业低碳转型的重要支撑。应加快制定磷化工产品全生命周期碳排放核算标准和低碳产品认证规则，明确核算边界和方法，建立统一、规范的低碳评价体系，为企业低碳转型提供明确指引。完善基于能耗和碳排放强度的差别化电价、税收政策，对能效领先、碳排放强度低的企业给予电价优惠、税收减免等激励，对高耗能、高排放企业实行阶梯电价、环保税加征等约束措施，倒逼企业加快转型。加大财政、金融支持力度，通过财政专项资金、绿色信贷、绿色债券等方式，重点支持磷化工低碳技术创新、示范项目建设等。设立磷化工低碳转型专项扶持资金，鼓励金融机构开发针对性的绿色金融产品，解决企业转型资金短缺问题。探索建立磷石膏综合利用强制性目标和绿色采购制度，明确磷石膏资源化利用率约束

指标，将磷石膏综合利用产品纳入政府绿色采购清单，扩大产品市场需求。强化环境监管，将碳排放数据纳入日常环保执法检查范围，建立企业碳排放在线监测、核查机制，对未达到减排要求的企业依法责令限期整改，确保政策落地见效，引导市场形成稳定的低碳发展预期，调动企业转型积极性。

### 3. 协同创新机制构建

构建“政产学研用金”深度融合的协同创新机制，整合政府、企业、高校、科研机构、用户、金融机构等多方资源，形成创新合力，是推动磷化工低碳技术突破、加快产业转型的关键。支持龙头企业牵头组建创新联合体，联合高校、科研机构开展跨领域合作，聚焦低碳工艺革新、碳捕集利用与封存、固废资源高值化等核心技术难题，集中力量攻关，突破技术瓶颈。加快建设国家级、省级磷化工低碳技术工程研究中心、重点实验室等高水平研发平台，打造共性技术研发、成果转化的重要载体。完善中试孵化服务体系，推动科研成果从实验室走向产业化应用，加快成熟低碳技术的示范推广，提升技术转化率。加强国际交流合作，引进国际先进低碳技术和经验，通过合作研发、人才互动等方式实现消化吸收再创新。完善知识产权保护与激励机制，营造开放、包容、协同、共享的创新生态，加速低碳技术扩散，推动产业绿色转型和高质量发展。

### 四、磷化工企业低碳转型案例分析

国内某大型磷化工集团，长期以来面临磷石膏堆存压力大、核心产品生产能耗偏高、环保约束趋紧等突出问题。近年来，该集团立足自身发展实际，构建系统性低碳转型体系，全方位推进降碳措施落地，实现了环保效益、经济效益和社会效益的协同提升，为行业低碳转型提供了可复制、可推广的实践经验。该集团将技术创新作为低碳转型的核心驱动力，累计投入超过40亿元专项资金，用于低碳技术研发、生产设备改造和产业化应用，逐步形成了全方位低碳发展模式。在工艺优化方面，全面淘汰传统落后生产工艺，推广应用半水-二水法磷酸生产技术、管式反应器磷铵生产技术，并配套建设全流程余热回收利用系统，使黄磷生产余热利用率提升至90%以上，整体生产能耗较行业平均水平降低15%，每年减少二氧化碳排放超过10万吨，显著提升了核心产品的低碳竞争力。在固废资源利用方面，该集团构建了建

材消纳、化工循环、高端转化三大利用路径，建成140万平方米磷石膏模块生产线和140万吨制硫酸装置，实现无水石膏规模化生产，每年可消纳磷石膏280万吨，磷石膏综合利用率从原来的30%提升至85%，既有效破解了磷石膏堆存的生态压力，又培育了新的经济增长点。在新能源耦合应用方面，依托区域丰富的清洁能源资源，该集团打造一体化生产体系，目前70%的生产用电来自水电、光伏等清洁能源。通过一系列低碳转型措施，该集团不仅实现了碳排放强度大幅下降、各项环保指标全面达标，还成功培育了磷石膏绿色建材、高端无水石膏等新的利润增长点，每年新增产值超过20亿元，真正实现了低碳转型与高质量发展的双赢。

### 结束语

磷化工产业作为国民经济重要的战略性基础产业，其低碳转型既是践行国家“双碳”战略、推动绿色发展的必然要求，也是破解资源环境约束、提升产业核心竞争力、实现可持续发展的关键举措。本文结合我国磷化工产业的发展实际和转型痛点，从基础保障、核心技术、配套支撑、实践示范四个维度，构建了全方位、多层次的低碳发展路径体系，明确了工艺优化升级、固废高值化利用、新能源耦合替代等核心技术方向，以及产业结构调整、政策体系完善、协同创新机制构建等配套支撑措施，并通过典型企业案例，验证了该路径体系的可行性、实操性和综合效益。

### 参考文献

- [1] 林雪. 磷化工产业的低碳发展路径探究[J]. 化工管理, 2025, (20): 80-85.
- [2] 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.
- [3] 叶建强, 韩喜超, 魏正坤. 基于“双碳”背景下云南磷化工绿色低碳转型发展研究[J]. 生态产业科学与磷氟工程, 2025, 40, (10): 18-24.
- [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, 2024, 26(4): 12-14.
- [5] 孔汇贤. 磷矿选矿进展及存在的问题[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(10): 144-146.