

“双碳”目标下中国磷化工产业绿色转型路径研究

邓洪杰 (瓮福(集团)有限责任公司瓮福化工公司, 贵州 福泉 550500)

摘要: 在“碳达峰、碳中和”战略大背景下, 磷化工行业作为资源型、能源密集型的基础产业, 自身具有高耗能、高排放特征, 使其成为碳减排政策重点关照对象。从“双碳”政策导向出发, 本文对磷化工行业当下政策、能源消耗结构及环境污染性加以分析, 指出其在绿色环保进程中存在的结构性问题及面临技术障碍。在此基础上, 探讨绿色工艺技术、节能减排方案、可持续生产模式探索等手段的可行性, 创建磷化工绿色转型系统的架构模型, 促进磷化工产业实现低碳并高效增长的目标。

关键词: “双碳”目标; 磷化工产业; 绿色转型路径

中图分类号: TQ126

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 031-0019-03

Research on the Green Transformation Path of China's Phosphorus Chemical Industry under the “Dual Carbon” Goal

Deng Hongjie (Wengfu (Group) Co., Ltd. Wengfu Chemical Co., Ltd., Fuquan Guizhou 550500, China)

Abstract: Against the backdrop of the “carbon peak and carbon neutrality” strategy, the phosphorus chemical industry, as a resource-based and energy intensive basic industry, has high energy consumption and emissions characteristics, making it a key focus of carbon reduction policies. Starting from the “dual carbon” policy orientation, this article analyzes the current policies, energy consumption structure, and environmental pollution of the phosphorus chemical industry, pointing out the structural problems and technical obstacles it faces in the process of green environmental protection. On this basis, explore the feasibility of green process technology, energy-saving and emission reduction plans, and sustainable production mode exploration, create an architecture model for the green transformation system of phosphorus chemical industry, and promote the goal of low-carbon and efficient growth of the phosphorus chemical industry.

Keywords: “dual carbon” target; Phosphorus chemical industry; Green Transformation Path

“双碳”目标逐渐推进, 我国经济发展正在由高速度转向高质量发展, 传统高排放产业正在经历着深层次的改变。磷化工产业是农业、能源、材料等众多领域的重要上游供应者, 不仅既是国民经济的重要支柱, 也是因为能源消耗和环境影响而成为绿色转型重点对象的产业。从经济学角度来说, 产业绿色化包含生产技术更新、资源分配效率等内容, 必须实现外部性内生以及制度性奖励的有效性来推动行业发展, 目前, 国内磷化工企业在碳减排投资决策时, 普遍存在着成本与收益失衡的现象, 绿色转型的意愿和能力存在明显的差异。对此, 必须在政策引导下, 借助绿色金融, 碳交易市场和技术创新的联动机制, 促使磷化工达成环境效益和经济效益的双赢局面, 本研究希望通过理论与实际相结合, 找到切实可行的绿色转型之路。

1 双碳目标概述与政策背景

“碳达峰、碳中和”目标的提出, 意味着我国发展模式由传统高碳路径向绿色低碳转型的新阶段迈进, 2020年9月, 中国向世界作出庄严承诺, 力争于2030年前达到碳达峰, 2060年前实现碳中和^[1]。有利于推进生态文明建设, 实现高质量发展, 从宏观政策角度而言, 国家陆续出台《“十四五”节能减排综合工作方案》《2030年前碳达峰行动方案》等文件, 形

成以碳强度控制、能源结构改善、产业升级为核心内容的政策体系。在此框架之下, 能源密集型产业成为碳减排的重点监管对象, 尤其磷化工, 钢铁, 水泥等传统行业, 进行绿色转型具有重要意义。

对磷化工行业来说, 双碳政策既是环境压力, 也是产业升级、经济转型的倒逼机制。随着碳排放配额交易制度逐步建立, 企业面临碳成本显性化压力, 必须提升能源利用效率, 降低碳排放强度。不仅如此, 绿色生产能力、碳足迹管理能力成为衡量企业竞争力的新指标, 所以, 理解“双碳”目标的政策含义, 既利于引导磷化工企业调整战略定位, 又给创建绿色、低碳、循环发展的化工产业体系给予路径指引和制度保证。

2 磷化工产业发展现状与面临的挑战

2.1 磷化工产业的发展现状

我国磷化工产业属于重要的基础原材料产业, 历经长时间发展之后, 已经形成起包含磷矿石开采, 磷酸制造以及磷肥、磷酸盐等终端产品的完整产业链。据国家统计局数据, 2022年我国磷矿石产量达1.05亿t, 同比增长1.79%。磷化工中游产品当中, 磷复肥对磷矿石的需求量最高, 占71%。其次是黄磷, 占比7%。2023年我国磷化工行业产值为2355.65亿元, 相

较 2022 年增长 157.1 亿元, 同比增长 7.15%^[2]。主要上市企业有云天化、兴发集团、湖北宜化、和邦生物、川发龙蟒、六国化工等企业在磷化工产品供应方面占比较高。同时磷化工产品在国际市场有一定优势, 我国是全球磷化工产品生产第一大国, 消费与出口更是位居世界前列。

2.2 产业面临的主要挑战

即便我国的磷化工产业已经实现高质量发展, 但仍存在不少问题。目前我国磷矿利用情况不容乐观, 我国磷矿资源主要集中于云南、湖北、四川、贵州四省, 其平均含量仅为 19.4%, 高品位富矿比例不足十分之一^[3]。随着环境压力持续增大, 磷化工在制造过程中会排放许多废水、废气及固态废物, 若这些物质处置不当, 势必会对自然环境产生重大损害。近些年, 国家大力推动磷化工行业供给侧改革, 部分地方政府颁布了严格的磷矿石限产规定。在严抓安全生产、环境保护的背景下, 磷矿石的开工率出现下滑, 所以磷矿石市场供给显著降低。技术创新能力缺乏也影响了产业发展, 目前磷化工企业对于高端产品研发、智能制造等环节投入较少, 造成产品附加值偏低, 不能满足市场的多元化需求。国际市场竞争日趋激烈, 贸易壁垒和技术标准的改进, 给我国磷化工产业提出了更高的要求。优化资源利用率、加强环保治理、开展技术创新、拓宽国际市场, 是我国磷化工产业必须应对的重大难题。

2.3 环境影响分析

磷化工产业对于农业增产、工业发展有着重要作用, 但是其生产过程对环境产生的影响也不可小觑, 磷化工生产过程中的“三废”排放问题严重。以湿法磷酸生产为例, 每生产 1t 磷酸就会产生大约 4.5t 磷石膏固体废渣, 这种副产物堆积量极大, 若未妥善处理, 将会造成土地资源被占用、地下水遭受污染、重金属渗漏等生态安全隐患^[4]。且在生产过程中排放出来的含氟废气, 硫氧化物以及氮氧化物都会对空气质量产生不良影响, 这不但加重了区域性酸雨现象, 而且危害到周边居民的身体健康。就水环境而言, 磷化工废水里含有大量磷、氟、氮等污染因子, 若处理不当就排放, 就会使水体变得富营养化, 从而引发藻类爆发、鱼类死亡等生态灾难, 严重扰乱水生生态系统。且部分中小型企业由于环保投入不足, 当地监管不到位, 存在着偷排漏排的现象, 这就加大了环境风险的不确定性。

就碳排放而言, 磷化工产业能源依赖性较强, 以煤电为主, 单位产品碳排放强度较高, 在“双碳”政策背景下, 碳减排压力大, 磷化工产业单位产品碳排

放强度约 1.5~2.0tCO₂/t 产品, 高于多数制造业平均水平, 提高生产能效、优化能源结构成为环境治理重点方向。

3 绿色转型技术的创新路径与应用

3.1 磷化工产业绿色技术创新

在“双碳”战略目标倒逼机制下, 绿色技术创新成为磷化工产业实现高质量发展的核心动力, 我国磷化工企业正由资源粗放型向技术密集型快速转型, 绿色技术的研发与应用不断推进, 主要表现在节能降耗、污染物减排、副产物资源化利用、智能制造等多个方面。绿色工艺替代高污染工艺成为技术创新的重点方向, 磷酸生产方面, 湿法磷酸仍是主流技术, 传统工艺存在能耗高, 副产物磷石膏堆积的问题。近年来, 部分企业采用强化萃取、多效蒸发、闭路循环等新技术, 做到对副产物的协同处理和资源化利用。“磷石膏综合利用”就以开发磷石膏制水泥缓凝剂、建材填料、硫酸钙板材等产品, 减少固废排放, 做到经济效益和环境效益双赢。

绿色催化剂与高效反应器技术也得到持续发展, 在黄磷生产阶段, 用新型节能电炉的智能控温系统, 热效率高, 单位能耗低。磷酸盐合成时, 选活性更高、选择性更好的催化剂, 副反应少, 收率高, 废液 COD 含量低。对含氟, 含氨废气, 部分企业用干法脱氟, 高效喷淋塔等新技术, 气体排放达标或“近零排放”。

数字化与智能化管理技术渐渐渗入到磷化工产业链当中, 通过部署工业互联网平台和智能传感系统, 企业可做到对原料投配、温度控制、能耗监测、尾气排放等重要环节实施全过程在线监测。以智能热能回收系统来说, 可实现自动调整热量回收装置的运作参数, 最大限度地发挥余热的利用效率, 进而缩减总体能耗和碳排放量。这种智能化改进既提高了企业的资源利用水平, 又给碳排放精细化管理和碳足迹追寻给予技术上的支持。新能源与替代能源方面, 一些企业试图把风电、光伏这些绿电带入电炉生产体系, 或者用生物质、氢能这类低碳能源取代部分传统能源, 从根本上缩减碳排放强度, 在 CCUS 技术这块, 部分大型磷化工企业已经在高浓度 CO₂ 排放点布置了捕集装置, 而且开始尝试做 CO₂ 矿化、合成甲醇这类方向上的产业化试验。

3.2 绿色工艺的实施

绿色工艺的推行是磷化工产业迈向绿色低碳转型的重要部分, 其目的在于把绿色技术革新所取得的成果转变为可规模化且持续化的工程应用。近些年来, “双碳”战略目标促使之下, 多数磷化工企业逐渐把绿色工艺加入到自身生产体系中, 从而达成污染物减

少,能源利用效率提高以及资源循环再用的目的。

在实际生产当中,绿色工艺的推行最先表现在清洁生产流程的重新构建上,以湿法磷酸生产工艺为例,通过多级逆流洗涤,连续反应控制系统以及低温反应技术之后,能有效降低磷石膏副产品数量及杂质含量,进而优化磷酸纯度,缩减废水排放量^[5]。部分大型企业还在生产线当中安装了在线质控系统,可及时调节原料配比以及反应条件,从而提升资源转化率并保证生产稳定。此类改良过的工艺逐步在磷化工园区里得以落实,既大幅度提升了资源利用效率,又给企业带来了稳定的成本收益。

绿色工艺还体现在“三废”协同处理与资源化利用上,以磷石膏为例,传统处理方式就是堆存,既占地方又怕二次污染,但经过绿色工艺改造之后,磷石膏能改性生产建材。例如磷石膏水泥、石膏板、或将土壤改良剂用到农田里,这样就大大提升了它的资源价值。结合黄磷生产过程来看,高温还原反应会生成很多含磷烟气,传统工艺往往造成氟化物、磷酸雾等污染物外排。近年来,企业采用干法回收,湿法脱除以及膜分离技术结合起来,能把废气中有害物质变成工业原料或者环保副产品,做到污染物近零排放。

绿色工艺在能效提升上也有明显成果,磷化工属于高能耗行业,尤其在黄磷电炉生产时能耗占总成本比例达50%以上。要缩减电力耗费,企业便积极采用变频调速系统,节能型反应炉,余热回收锅炉等技术组合,再结合智能能耗管理平台,随时观察能效指标,这些绿色节能工艺的实施,可实现单位产品能耗下降10%-20%。如此一来,在碳交易制度慢慢完善之时,企业便可争取到更多碳资产收益。

绿色工艺的执行还依靠产业集聚及园区化运作模式,在不少化工园区,企业创建集中供热中心,统一污水处理系统和危险废物处理设施,从而减小单个企业绿色工艺投入的边际成本,而且,资源共享和副产物互相供应机制的创建也加快了工艺流程间的闭环耦合,一些园区内部的磷肥企业可以将制酸副产蒸汽输送到邻近的合成氨装置或者水泥厂,做到“热—电—料”的低碳工艺链条。绿色工艺的推行还要配合制度建设与人才培育,企业推行绿色工艺时要完善绿色绩效考核体系、环境信息公开制度以及碳排放监测审计制度,提升治理透明度和外界监督力度。企业还要推动与科研院所共建绿色工艺研发中心,培养绿色制造人才,打通从实验室到产业化的快速通道。

3.3 可持续生产模式的探索

随着“双碳”战略不断深入,全球绿色竞争格局重塑之际,磷化工产业正在由单一减排导向转向系统性可

持续生产模式。可持续生产既是对技术与工艺的绿色提升,又是一种涉及资源利用、产品全寿命周期、管理及产业协同的综合发展理念,目的在于达成环境保护、经济效益和社会责任相统一。循环经济模式是可持续生产体系的基础,磷化工企业正积极打造“副产物资源化—再利用—零排放”闭环路径。依靠废水回用、磷石膏再生、废热余能利用等办法,延长资源链条,提升整体资源利用率。部分大型企业搭建起“磷矿开采—磷酸制备—磷肥生产—副产物综合利用”一体化平台,做到能量、物质、信息的高效协同,减少资源浪费的情况出现。产品绿色设计和生命周期管理渐渐变成产业核心竞争力的一部分,针对产品原材料来源,制造过程碳足迹,使用安全性以及回收利用率展开全方位评价,企业就能改良产品架构,从源头上做到减污降碳,部分企业已经采用绿色标签和碳标签认证制度,从而加大产品在国际市场上的竞争实力,区域层面上推动绿色园区创建也是可持续模式的关键走向。

4 结论

综上所述,在“双碳”战略背景下,我国磷化工产业正是绿色低碳转型的重要时期。通过绿色技术创新、大力发展清洁工艺、对可持续生产模式的系统探索等手段,可有效提高产业链资源利用率,降低对生态环境的影响,促使循环经济与数字化管理水平得到显著提升。磷化工企业需进一步强化绿色投资与协同创新能力,在政策支持与市场机制影响下,构建高效、低碳、智能的一体化绿色发展体系,推动产业实现经济增长与生态保护的协同共赢,为我国实现碳达峰与碳中和目标贡献关键力量。

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] 姚远,井红权,尹玉婷,等.“双碳”背景下热法黄磷生产技术研究现状及建议[J].化工进展,2024,43(4):2104-2116.
- [3] 李阳.成就品质,构建绿色肥料全产业链——访中国磷复肥工业协会秘书长李光[J].中国农资,2021(38):2-2.
- [4] 吴宏.“双碳”经济背景下的磷矿资源安全保障战略研究[J].中国矿业,2024,33(S01):1-4.
- [5] 熊丽.双碳经济下工业副产品磷石膏行业的发展概况及趋势[J].中国化工贸易,2022:10-12.

作者简介:

邓洪杰(1998.04.13-)男,汉,贵州瓮安,本科,初级职称,研究方向:磷化工行业、化工工艺精细化工。