降本增效导向下磷化工行业绿色低碳标准体系的完善策略

韦志浩　王紫唯（中国化工节能技术协会，北京　100723）

李远钊　赵励远（国家节能中心，北京　100045）

摘　要：在“双碳”目标背景下，磷化工行业面临着节能减排与降本增效的双重挑战。文章系统梳理了磷化工绿色低碳标准体系的现状、问题，并从降本增效视角提出了完善策略。研究表明，通过构建涵盖碳足迹核算、资源综合利用、节能节水等多维度的标准体系，可显著提升磷化工行业资源效率与环境绩效，为行业绿色转型提供标准化支撑。

关键词：磷化工；绿色低碳；标准体系；降本增效

中图分类号：TQ126.3　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-5167（2025）031-0016-03

Strategies for Improving the Green and Low-Carbon Standard System in the Phosphorus Chemical Industry under the Guidance of Cost Reduction and Efficiency Enhancement

Wei Zhihao, Wang Ziwei (China Chemical Energy Conservation Technology Association, Beijing 100723, China)

Li Yuanzhao, Zhao Liyuan (National Energy Conservation Center, Beijing 100045, China)

Abstract: Under the “Carbon peaking and carbon neutrality” goals, the phosphorus chemical industry faces the dual challenges of energy conservation, emission reduction, cost reduction, and efficiency enhancement. This paper systematically reviews the current status and issues of the green and low-carbon standard system in the phosphorus chemical industry and proposes improvement strategies and efficiency evaluation methods from the perspective of cost reduction. The study demonstrates that establishing a multi-dimensional standard system encompassing carbon footprint accounting, comprehensive resource utilization, and energy and water conservation can significantly enhance the resource efficiency and environmental performance of the phosphorus chemical industry, thereby providing standardized support for its green transformation.

Keywords: phosphorus chemical industry; green and low-carbon; standard system; cost reduction and efficiency enhancement

磷化工作为我国基础化工产业的重要组成部分，在保障粮食安全和新能源发展等方面具有不可替代的战略地位。《推进磷资源高效高值利用实施方案》[1]中明确指出，创新驱动、结构优化、绿色发展是行业实现高质量发展的四大目标，凸显了磷化工在国家产业布局中的核心作用。然而，行业长期面临资源利用率低、环境污染和化石能源依赖强的挑战，对磷化工而言，绿色低碳转型不仅是响应国家政策的必然选择，也是提升行业竞争力、降低生产成本的关键抓手。

自 2020 年我国提出“碳达峰、碳中和”目标后，工业领域的“双碳”标准体系建设被提升至国家层面的战略任务，完善碳排放核算、信息披露和企业减碳路径是实现“双碳”目标的关键环节。2022 年 10 月，市场监管总局、国家发展改革委、工业和信息化部、等部门联合印发了《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》，提出了 2025 年前完成不少于 1000 项国家标准和行业标准，实质性参与不少于 30 项相关国际标准制修订的目标。国家标准化管理委员会、国家发展改革委、工业和信息化部等 11 个部门于 2023 年 4 月 1 日联合发布的《碳达峰碳中和标准体系建设指南》进一步细化了标准体系，明确了碳达峰碳中和标准化工作重点。标准化工作作为引领行业实现绿色、低碳、高质量发展的重要技术支撑，其体系完善与效能提升具有重大意义。这一系列政策导向为磷化工行业节能低碳标准体系建设提供了顶层设计。

1　基于霍尔三维结构理论分析磷化工行业节能与绿色低碳标准体系现状

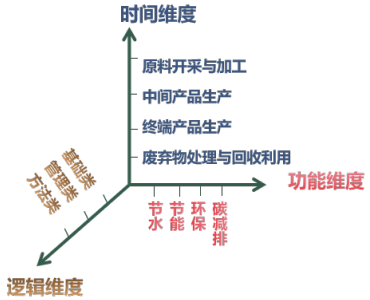

图 1 霍尔三维结构示意图

基于霍尔三维结构理论[2]，本研究从时间维、逻辑维和知识维三个维度，对磷化工行业节能低碳标准体系进行了梳理与系统分析（图 1）。磷化工行业的标准体系已形成“国家 – 行业 – 团体 – 地方”四层级格局，覆盖原料开采与加工 – 产品生产 – 废弃物处理与回收利用 – 绿色制造与评价类标准全链条。国家标准方面，以 GB/GB/T/GB/Z 为主，已发布 30 余项，涉及磷酸（GB/T 2091–2008）、磷肥（GB 10205–2009、GB 20412–2006 等）、黄磷包装（GB 16473–1996）、工业五氧化二磷（GB/T 13258–2008）、磷石膏（GB/T 23456–2009）、磷酸废水排放（GB 15580–2011）等；同时还有 GB/Z 系列安全规程（如黄磷安全规程 GB/Z 24784–2009）。行业和地方标准层面，主要针对磷化工关键工艺设定技术条件和质量要求，例如工业磷酸《GB/T 2091–2008》、工业湿法粗磷酸《HG/T 4068–2008》、工业湿法净化磷酸《HG/T 4069–2008》、工业五氧化二磷《HG/T 5357–2018》、富过磷酸《DB53/523–2013》（云南省地方标准）等（详见表 1）。

表 1 基于霍尔三维理论分类的磷化工行业原料开采、产品生产环节节能降碳标准

时间维度	功能维度	逻辑维度	标准名称
原料开采与加工	节能	管理类	
		方法类	HG 2274-1992 钙镁磷肥用硅镁质半自熔性磷矿
	节水	管理类	--
		方法类	--
	碳排放	管理类	--
		方法类	--
	环保	管理类	GB/T 38104-2019 磷尾矿处理处置技术规范（现行）
		方法类	GB/T 1871.5-2022 磷矿石和磷精矿中氧化镁含量的测定 火焰原子吸收光谱法、容量法和电感耦合等离子体发射光谱法等
产品生产	节能	管理类	GB 21345-2024 黄磷单位产品能源消耗限额（已发布，待实施） GB 29138-2012 磷酸一铵单位产品能源消耗限额（现行） GB 29139-2012 磷酸二铵单位产品能源消耗限额（现行） GB 21344-2023 化肥行业单位产品能源消耗限额（即将实施，代替合成氨、磷酸一铵、磷酸二铵、硫酸钾、碳酸氢铵）
		方法类	GB/T 33321-2016 黄磷生产技术规范（现行） GB/T 28602-2012 磷酸（热法）生产技术规范（现行） GB/T 29338-2012 磷酸（湿法）生产技术规范（现行） GB/T 2091—2008 工业磷酸（生产技术规范类，现行） HG/T 4068-2022 工业湿法粗磷酸（生产技术规范类，现行） HG/T 4069-2022 工业湿法净化磷酸（生产技术规范类，现行）
	节水	管理类	GB/T 18916.37-2018 取水定额 第 37 部分：湿法磷酸（现行）
		方法类	--
	碳排放	管理类	--
		方法类	GB/T 32151.45-2024《温室气体排放核算与报告要求 第 45 部分：磷酸及磷酸盐企业》
	环保	管理类	GB/T 37387-2019 工业废磷酸的处理处置规范（现行） GB 15580-2011 磷肥工业水污染物排放标准（现行） HJ 2054-2018 磷肥工业废水治理工程技术规范（现行）
		方法类	GB/T 38102-2019 湿法磷酸及磷肥生产中氟硅酸废液处理处置方法（现行） HJ 1088-2020 排污单位自行监测技术指南 磷肥、钾肥、复混肥料、有机肥料和微生物肥料（现行）

2 存在的主要问题与挑战

尽管标准体系建设取得了一定进展，但仍面临多重挑战。

2.1 标准覆盖不全面

现有标准主要集中在末端治理和基础规范方面，对源头减量、过程控制等关键环节覆盖不足。特别是对于磷矿共（伴）生氟、硅资源回收利用等领域，缺乏统一的技术规范和产品标准。在新兴的磷系新能源材料领域，标准缺失更为明显，难以满足“磷矿 – 磷酸 – 磷酸铁 – 磷酸铁锂（钠）”全链条发展需求。

2.2 标准协同性不足

各地区、各环节标准之间存在碎片化问题，缺乏系统性整合。例如，磷石膏综合利用涉及无害化处理、产品开发、市场应用等多个环节，当前标准间衔接不够紧密，难以形成闭环管理。同时，政府标准与市场标准之间的协同性也有待加强，导致标准实施效果大打折扣。

2.3 计量基础薄弱

碳足迹核算的准确性依赖于可靠的碳计量体系。湖北省市场监管局指出，磷化工产业碳计量存在“创新性强、涉及面广、工作任务重，且没有成熟经验可借鉴”的困难。碳计量器具配备不足、管理不规范，以及能源计量数据转换为碳排放数据的技术不成熟，都直接影响碳足迹核算的准确性和可信度。

2.4 技术与标准融合不够

标准化进程与技术创新未能形成有效互动。一方面，许多先进技术如“湿法磷酸净化技术”、“黄磷干法除尘”等缺乏标准支撑，推广受阻；另一方面，标准更新速度滞后于技术发展，不能及时反映行业最新技术进步，如磷系新能源材料领域的创新技术未能及时转化为标准。

3 降本增效导向下标准体系的完善策略

3.1 系统构建标准体系，强化顶层设计

降本增效目标要求磷化工标准体系必须坚持系统

思维和全生命周期理念，构建覆盖磷资源开发、加工、利用及回收全过程的绿色低碳标准体系。这一体系应包含四大子系统：①碳足迹核算标准子系统。优先制定磷肥、黄磷、磷酸及磷系新能源材料等主导产品的碳足迹核算规则标准。建立从磷矿开采、运输到产品生产全过程的碳排放监测、报告与核查标准，为企业精准识别碳减排重点环节、有效降低碳成本提供技术依据。湖北省的实践经验表明，磷化工碳计量技术规范应涵盖“碳计量器具配备及管理、能源计量数据转换为碳排放数据、碳计量数据溯源及可信评价”等关键环节。②资源综合利用标准子系统。重点强化磷石膏、磷矿伴生资源（氟、硅等）和尾矿的综合利用标准建设。四川达州成功通过构建涵盖“综合利用、副产回收、节能生产、清洁生产”四大领域的标准体系，创造了磷石膏综合利用率 100.64% 的显著成效。应加快制定《磷石膏无害化处理技术规范》《磷石膏水泥缓凝剂》等关键标准，推动磷石膏从“环境包袱”向“千万吨级资源”转变。③节能节水标准子系统。针对磷化工高耗能特点，及时更新黄磷、磷铵等高耗能产品的能耗限额标准，以及电机、泵、风机等关键用能设备的能效标准。同时，制定磷矿开采和磷化工生产的水效标准，推动水资源循环利用和分质利用，降低新鲜水消耗和水处理成本。④绿色制造标准子系统。完善以绿色工厂、绿色园区、绿色供应链为核心的绿色制造标准体系。不仅要制定《磷酸一铵、磷酸二铵行业绿色工厂评价要求》等具体产品标准，还应推动零碳工厂、零碳工业园区等前沿标准研制，为企业构建绿色制造体系提供全方位指引。

3.2 强化过程控制与产业链协同

降本增效必须从单一环节向全产业链拓展，通过标准实施实现系统优化。①源头减量标准化。推广半水 / 半水 – 二水湿法磷酸新工艺、膜分离 – 结晶耦合等先进技术标准，从源头减少磷石膏产生量和污染物排放。云南磷化工转型升级方案中明确将“磷石膏‘源头减量’”作为重点任务，通过标准引领企业采用更清洁的生产技术。②过程优化标准化。建立生产过程的能源精细化管理标准，推动能 – 碳计量信息化管理平台建设，实现“碳计量器具数字化管理、碳计量数据可信评价和碳管理绩效可视可改进”。湖北宜化集团等龙头企业通过参与碳管理体系建设，验证了标准在提升碳管理绩效方面的价值。③产业链协同标准化。构建“磷 – 氟 – 硅 – 钙”多产业耦合的标准体系，推动跨行业协同降本。云南昭通计划“强化磷、氟化工耦合，支持无水氟化氢、含氟新材料项目建设”，通过标准引导实现资源跨行业高效利用。同时，推动“磷矿 – 磷酸 – 磷酸铁 – 磷酸铁锂（钠）”垂直整合的标准体系建设，提升新能源材料领域的成本竞争力。

3.3 推动技术革新与数字化管理

技术创新与数字化管理是实现降本增效的关键路径：①关键技术标准化。围绕磷化工降本增效的关键技术瓶颈，加快标准研制步伐。云南省将“磷矿高效利用技术”、“高附加值磷化学品制备技术”和“绿色化技术”列为三大技术创新方向。应重点开展中低品位磷矿浮选富集、湿法磷酸净化、黄磷干法除尘等技术的标准化工作，降低生产成本，提升产品附加值。②数字化标准建设。推动大数据、5G、工业互联网等新一代信息技术在磷化工全生命周期的应用标准制定。建设能 – 碳计量信息化管理平台，实现能源和碳数据的实时采集、分析和优化，为精细化管理提供支撑。数字孪生、人工智能等技术在工艺优化、能耗管理、污染控制等方面的应用标准，可显著提升管理效率，降低运营成本。③创新成果标准化机制。建立“技术攻关 – 标准固化 – 产业升级”的快速通道，及时将先进适用技术转化为标准。四川达州通过将“滤盘磷石膏品质提升技术”、“净化率提升技术”等 28 项技改研究成果固化为标准，实现了技术与标准的良性互动。这种机制有效加速了创新成果的推广应用，使企业能够更快分享技术进步带来的成本效益。

4 结论与展望

本文系统探讨了降本增效导向下磷化工行业绿色低碳标准体系的完善策略与效能评估。研究表明，构建系统完备、协同高效的标准体系，是推动磷化工行业绿色低碳转型和降本增效的关键路径。通过采纳本文提出的完善策略，磷化工企业可在实现环境目标的同时提升经济效益，达成环境保护与成本优化的双赢。

未来磷化工绿色低碳标准体系发展应重点关注以下方向，一是加强前瞻性标准布局，特别是磷系新能源材料、磷矿伴生资源回收等新兴领域，抢占产业竞争制高点；二是推动数字化与标准化深度融合，利用大数据、人工智能等技术提升标准实施效率和精准度；三是强化国际标准参与度，提升我国磷化工标准在国际上的话语权和影响力，为全球磷化工绿色发展贡献中国方案。

参考文献：

[1] 工业和信息化部，国家发展改革委，科学技术部，等. 推进磷资源高效高值利用实施方案（工信部联原〔2023〕259 号）[z]. 北京：工业和信息化部，2023.

[2] Hall A.D. Hall’s ThreeDimensional Structure of System Engineering[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics,1970,1(2):123130.