

世界热法黄磷产业现状与发展研究

徐戴红¹, 伍唐文¹, 孙志立^{1,2,3}

- 绵阳启明星磷化工有限公司, 四川 安州 622650;
- 中国无机盐工业协会, 北京 100013;
- 贵州省黔南化学化工学会, 贵州 都匀 558000)

[摘要] 全球热法黄磷产业正经历一场深刻的结构性变革, 其核心驱动力由过去的“资源与成本”转向“绿色、低碳与价值链重塑”。介绍我国黄磷产业及主产区企业发展状况, 以及世界黄磷产业发展与现状。目前我国是全球热法黄磷的生产中心, 生产企业主要分布在水电和磷矿资源丰富的云贵川鄂4省, 产能、产量占全球的85%左右。摩洛哥具备热法黄磷产业崛起的现实条件, 凭借顶级磷矿资源和巨资投入的太阳能, 建设绿色黄磷装置也在计划之中。欧盟碳边境调节机制(CBAM)等政策, 使“碳足迹”成为新的单边贸易壁垒(倒逼全球产业绿色升级)。那些能够将“绿色能源、先进技术、循环经济与下游市场”最有效结合的黄磷产业产品, 将成为最后赢家。

[关键词] 世界; 热法黄磷; 格局重构; 价值提升; 探索研究

[中图分类号] TQ126.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 11-0007-08

Research on the current status and development of the world's thermal yellow phosphorus industry

XU Daihong¹, WU Tangwen¹, SUN Zhili^{1,2,3}

- Mianyang Qimingxing Phosphorus Chemical Co., Ltd., Anzhou 622650, China;
- China Inorganic Salt Industry Association, Beijing 100013, China;
- Qiannan Chemical Society of Guizhou Province, Duyun 558000, China)

Abstract: The global thermal yellow phosphorus industry is undergoing a profound structural transformation, with its core driving force shifting from “resources and costs” to “green, low-carbon and value chain reshaping”. The development status of China's yellow phosphorus industry and enterprises in major production areas are introduced, as well as the development and current situation of the world's yellow phosphorus industry. At present, China is the production center of global thermal yellow phosphorus, and the production enterprises are mainly distributed in the four provinces of Yunnan, Guizhou, Sichuan and Hubei, which are rich in hydropower and phosphate resources. The production capacity and output account for about 85% of the world. The real conditions for Morocco's rise exist, and with top-notch phosphate resources and huge investments in solar energy, the construction of green yellow phosphorus facilities is also a natural plan. The European Union (EU)'s Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) and other policies have made “carbon footprint” a new unilateral trade barrier (forcing global industries to upgrade to green). The yellow phosphorus industry products that can effectively combine “green energy, advanced technology, circular economy, and downstream markets” will become the ultimate winners.

Key words: world; thermal yellow phosphorus; pattern reconstruction; value enhancement; explore research

0 引言

黄磷作为由P₄分子构成的高活性磷同素异形体, 是全球工业体系中高附加值磷化合物的核心原料, 其生产主要依赖电炉高温还原磷矿石的热法工艺, 在现代工业链条中占据不可替代的基础地位。热法黄磷通过衍生转化可形成磷酸、三氯化磷

等关键中间体, 广泛支撑化肥农药、阻燃材料、电

[收稿日期] 2025-10-31

[作者简介] 徐戴红(1988-), 男, 湖北黄石人, 绵阳启明星磷化工有限公司董事长。

[通信作者] 孙志立(1953-), 男, 云南石屏人, 研究员、教授级高级工程师。

子化学品及磷酸铁锂（LFP）电池等多领域发展，直接关联农业生产安全、工业制造升级与新能源产业布局，其产业发展质量对全球产业链供应链稳定具有重要影响。

从20世纪90年代后期开始，中国黄磷产能、产量一直处于上升领先地位，美国、欧盟处于下降趋势。目前世界的黄磷供给呈现中国、越南、哈萨克斯坦“三足鼎立”状态。“世界黄磷看中国，中国黄磷看云南（美国和欧盟一年的产量，不及云南一台电炉的最高产量）”仍是世界黄磷供需现状。热法黄磷的未来世界，将是“谁掌握绿磷技术、谁主导磷化工话语权！”

1 我国黄磷产业及主产区企业发展状况

1.1 我国热法制磷技术的发展与创新

1949年，大连、上海遗留2台小黄磷电炉，国内黄磷产量仅27 t；“一五”期间（1953—1957年）黄磷产量上升至450 t/a；“二五”期间（1958—1962年）黄磷产量提高到2 108 t/a；“三五”期间（1966—1970年）黄磷产量增加到1.514 2万 t/a；“五五”末期（1980年）中国黄磷产能提升至6.7万 t/a，产量达到4.242 9万 t/a^[1]。

1978年，我国黄磷产量不到20 000 t，黄磷生产装置基本都是800 t/a、1 000 t/a、1 500 t/a的小电炉^[2]。当时，3 000 t/a的黄磷生产装置在国内就属于最大、最好的黄磷电炉了^[3]。这些小装置产量低、能耗高、污染大，泥磷、磷渣、磷炉尾气基本没有得到很好利用。为了改变这种落后的产业结构、发展黄磷工业，将黄磷向磷酸盐、高效磷肥方向发展，化工部曾在1965年抽调国内相关黄磷技术方面的设计人员到原化工部第七设计院（现中石化南京工程有限公司），由江善襄、陈善继为工程设计总负责人，建设两台15 000 kV·A的黄磷电炉^[2,4]。1992年以后，我国江浙一带的小黄磷装置逐步退出黄磷行业，黄磷生产向磷矿电力资源丰富的云贵川鄂省份转移^[5]。

2008年，我国取消了黄磷出口退税政策，2010年，我国开始对黄磷出口加征特别关税，国内黄磷出口量锐减，由于产能过剩和环保等矛盾凸显，一些黄磷企业在市场竞争中退出。“十二五”、“十三五”、“十四五”（2021年至2025年9月）^[5-6]期间我国黄磷产量分别为465.5万 t、439.34万 t、385.33万 t。2014年，我国黄磷产能达到240万 t，产量首次突破百万吨大关（102.5万 t），产能、产量分别占世界的88.24%、89.91%^[4,6]。

2025年是我国“十四五”的收官之年，1至9月黄磷产量为74.15万 t，预计全年黄磷产量为95万 t左右，“十四五”期间，我国黄磷产量可控制在400万 t左右。

表1是2020—2025年我国云贵川鄂4省黄磷产量。

表1 2020—2025年我国云贵川鄂4省黄磷产量
Table 1 Output of yellow phosphorus in Yunnan, Guizhou, Sichuan, and Hubei provinces of China from 2020 to 2025 万 t

省份	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年
云南	42.28	30.15	37.8	31.5	38.07	33.35
贵州	12.25	11.49	15.6	14.1	18.55	16.07
四川	18.65	20.13	18.1	19.5	20.15	17.08
湖北	8.00	9.60	9.00	8.5	8.94	7.65
合计	81.17	71.37	80.5	73.6	85.71	74.15

注：2025年为1—9月。

改革开放40多年，我国黄磷企业在向生态环境、清洁生产迈进的同时，黄磷尾气净化后发电、生产碳一化工产品（甲酸及甲酸钠）、作为下游磷酸盐生产的热源^[7]；黄磷污水零排放，系统内含磷水全封闭循环使用；磷泥回收改变传统的转锅、烧酸落后处理方式，通过全密闭生产工艺连续蒸磷处理，消除了生产过程中的二次污染问题；磷渣外售给水泥企业或生产微粉，用于水泥熟料等建材和作硅肥等。湖北兴发化工集团股份有限公司、云南弥勒市磷电化工有限责任公司、云南宣威磷电有限责任公司和贵州瓮安县成功磷业等公司在“三磷”治理方面做出了表率，现在，我国黄磷生产装置的生态环境得到了进一步改善，积极向清洁生产行列迈进，黄磷尾气灭火、出渣出铁烟气（汽）和固废等都分别得到了较好的有组织集中收集处理，实现了清洁生产、达标排放的目标^[8]。

1.2 云南省黄磷生产技术的创新发展

20世纪90年代是云南省黄磷产业高速发展期，产能、产量占国内50%以上，连续7年产量超过50万 t/a，持续位于全国之首，出口数量、价格占据了国内外绝对主导地位，获得了“中国黄磷看云南”的美誉。

云南省磷矿资源丰富，资源禀赋与热法制磷用矿条件匹配程度高，是我国唯一拥有大型（引进德国、俄罗斯先进技术）、中型、小型黄磷电炉生产技术的省份，在我国黄磷行业的建设发展过程中，一直积极引领热法制磷技术的进步与创新。

2002年11月8日,世界第一台三相7根电极呈梅花状布置的多电极黄磷电炉在我国云南省红河哈尼族彝族自治州石屏县磷酸盐厂建成投产。2005年6月19日,世界第一台万吨级多电极黄磷生产电炉在云南省红河哈尼族彝族自治州石屏县方盛磷化工科技有限公司顺利投产。该装置采用三相7根电极发明专利和孙志立等的多项创新技术设计建设,72 h性能考核产量为108 t(平均日产39.33 t),每吨黄磷升华电11 791 kW·h,各项经济技术指标均达到或超过国内最好水平^[2,9]。

2025年云南黄磷省生产企业产能统计如表2所示。

表2 云南省黄磷生产企业产能统计

Table 2 Capacity statistics of yellow phosphorus production enterprises in Yunnan province

项目	产能/(万t·a ⁻¹)
云南宣威磷电有限责任公司	8.00
云南弥勒市磷电化工有限责任公司	7.00
云南江磷集团股份有限公司	7.00
云南澄江华业磷化工有限责任公司	3.00
云南澄江德安磷化工有限责任公司	3.00
云南云天化福石科技有限公司	2.80
云南活发磷化工有限公司	2.50
云南浩坤磷化工集团有限公司	2.70
云南浩明精细磷化工有限公司	2.50
云南南磷集团弥勒磷电有限公司	4.00
云南再峰(集团)有限公司龙凤黄磷厂	2.50
云南澄江志成磷业化工有限公司	2.30
云南旭东集团有限公司	2.30
云南屏边黄磷厂有限公司	2.10
陆良县宏盈磷业有限责任公司	2.00
云南荣盛磷化工有限公司	3.00
云南澄江冶钢九龙磷化工有限责任公司	1.40
云南师宗富盛磷电有限公司	1.20
曲靖云华磷化工有限责任公司	1.00
云南石屏瑞龙电力实业有限责任公司	0.75
云南磷源化工有限公司	0.75
云南富民和平化工有限公司	0.75
富民县云富磷酸盐有限责任公司	0.50
合计	61.55

从表1、表2中可知,云南省的黄磷产能、产量在国内外业内至今仍然名列前茅。凭借几十年的生产探索积淀了厚实的热法制磷技术经验,以及得天独厚的磷矿、水电等资源禀赋,云南省在行业的重新洗牌及整合过程中占有得天独厚的先

机,“世界黄磷看中国,中国黄磷看云南”已成为普遍共识。

如今,云南省“光伏+黄磷”转型是黄磷行业向零碳生产转型的标杆性尝试。其中云南省曲靖市示范项目尤为关键,“光伏+黄磷”技改不仅是技术革命,更是全球高碳行业转型的试验场,期望能早日实现。

1.3 贵州省黄磷生产技术的创新发展

1997年9月,为了解决国内外电极采购困难、价格高等问题,贵州省黄磷产业技术的先驱者敢于创新,针对省内15 000 kV·A制磷装置存在的问题和不足,在尊重科学理念的原则下,用增加三相电极数量降低电极电流密度,解决了一个世界性技术难题,使用国产 ϕ 500 mm石墨电极,首创建成的中国第一台三相6根电极呈圆周布置的多电极黄磷电炉在贵州开阳黔能天和磷业有限公司顺利投产^[10]。

2025年贵州省黄磷生产企业产能统计如表3所示。

表3 贵州省黄磷生产企业产能统计

Table 3 Capacity statistics of yellow phosphorus production enterprises in Guizhou province

项目	产能/(万t·a ⁻¹)
贵州瓮福黄磷有限公司	5.00 + 6.60
瓮安县龙马磷业有限公司	5.00
瓮安县成功磷化有限公司	3.20
贵州黔能天和磷业有限公司	3.00 + 6.00
贵州中核新观山黄磷厂	1.50
贵州中核新强黄磷厂	1.50
贵州福泉川东化工有限公司	5.00
贵州开阳川东化工公司	1.50
贵州胜泓威新材料科技有限公司	0.75 × 2
贵州开阳青利天盟化工有限公司	1.75
贵州福泉华鑫磷化工有限责任公司	1.50
贵州施秉成功磷化有限公司	1.70
合计	46.00

2008年5月15日,世界第一台三相9根电极黄磷电炉在贵州省瓮安县成功磷业有限责任公司建成投产^[11]。2015年,贵州省惠水川东化工有限公司、贵州省产品质量监督检验院、开阳质量计量检验检测中心有限责任公司作为主要起草单位参与编制了我国热法黄磷生产技术标准《黄磷生产技术规范》(GB/T 33321—2016)^[12]。

贵州多电极黄磷电炉的出现,不仅实现了不用自焙电极就可以增大热法制磷电炉容量,而且

是国人认识科学技术是第一生产力到自主创新是第一竞争力的跨越^[5,11]。贵州省不仅是新技术的发源地，如今黄磷的“微波硅热提磷”、“航天高温一步法（MWAY）磷酸（黄磷）”等中试装置一直在进行，继续为中国乃至世界黄磷工业的创新与发展做出积极贡献。

1.4 四川省热法黄磷的发展、延续与优劣

四川省目前的黄磷主产区在凉山州，产能在13万t/a左右，产量也是最高，如2024年，凉山州（雷波凯瑞磷化工有限责任公司、会东金川磷化工有限责任公司、美姑凯元磷化工有限责任公司）黄磷产量超过10万t；攀枝花共有3家黄磷企业，2024年产量6.33万t。马边无穷矿业有限公司、四川马边龙泰磷电有限责任公司在2022年12月停运；四川棉竹华丰磷化工公司在2018年6月14日停运，至今尚未恢复；西昌明源磷化工有限公司于2018年停运，2024年仅生产黄磷86t。

2025年四川省黄磷生产企业产能统计见表4。

表4 四川省黄磷生产企业产能统计

Table 4 Capacity statistics of yellow phosphorus production enterprises in Sichuan province

项目	产能/(万·a ⁻¹)
川南达凯瑞磷化工公司	6
会东金川磷化工有限责任公司	5
四川攀枝花众立成化工公司	6
四川攀枝花汇丰和化工公司	2+2
四川攀枝花天亿化工公司	2
绵阳启明星磷化工有限公司	3.1
四川蓝海(集团)有限公司	2.5+1.2
美姑凯元磷化工有限责任公司	2
马边无穷矿业有限公司	3.5
四川马边龙泰磷电有限责任公司	2
四川棉竹华丰磷化工公司	2
西昌明源磷化工有限公司	1.2
合计	40.5

四川省热法黄磷产业的主要发展方向，是与具备能源、磷资源和下游产品基础的企业进行跨界重组。四川省的绵阳启明星磷化工有限公司（创建于1992年）是一家集生产、研发、销售于一体的磷化工企业，该公司以热法黄磷为源头，形成了磷酸钠盐、钾盐、铵盐产品链；以黄磷尾气为原料，成功开发出甲酸、甲酸钠、甲酸钾产品链；以磷化工副产物资源综合利用为接口，实现磷化工和碳一化工的有机无缝结合，总生产能力达20万t/a以上，各类磷酸盐产品畅销国内20多个省、市，并远销

欧美、亚洲等40多个国家和地区。公司各项资源、能源、产品已经形成一个完整的生产优势互补、循环经济体系，被业内视为“节能减排、循环经济”的典范。

1.5 湖北热法黄磷的发展与亮点

湖北省目前仅湖北兴发化工集团股份有限公司（简称兴发集团）拥有热法制磷装置（湖北兴发化工集团股份有限公司在贵州还有一独资黄磷生产企业），在长江中上游“三磷”治理中走在业内的前面，如出渣出铁废气处理排放，“灭火”磷炉尾气资源化利用等。兴发集团的精细磷化工做的很有特色，生产的黄磷基本做到了自产自自用^[13]。在磷化工领域，兴发集团早在20世纪90年代便推进市场化改革，是少有的既能保持国企资源禀赋（磷矿政策支持），又具备民企市场敏锐度的企业，被行业称为“国企中的民企标杆”。如2021年新能源风口期，仅用1年时间建成5万t/a磷酸铁产能，速度远超同行国企，其成功模式被业内视为国企改革的最佳案例。

目前湖北省的黄磷装置主要分布在兴山、远安、保康、南漳，黄磷变压器容量及产能如表5所示。保康楚烽2台黄磷电炉准备撤除搬迁，在襄阳谷城建设的2×4万kV·A黄磷装置项目已经开工，计划采用φ800mm石墨电极。此项目落成后，兴发集团的黄磷装置变压器容量将达到35.7万kV·A，产能达18万t/a左右。

湖北省依托磷矿资源优势与产业集群基础，具备发展新能源材料及半导体产业的“先天禀赋”与“后天优势”双重支撑，兴发集团还积极推动湖北省从“磷矿大省”向“黑磷强省”“新材料产业高地”（黑磷作为《中国制造2025》重点布局的第三代半导体材料，诺贝尔物理学奖得主Andre Geim院士评价为“超越石墨烯的光电子学革命性材料”）转变，以及磷化工产业向“高端化、智能化、绿色

表5 湖北省黄磷变压器容量及产能

Table 5 Transformer capacity and capacity of yellow phosphorus industry in Hubei province

项目	数量/台	变压器容量/(万kV·A)	产能/(万·a ⁻¹)
兴山刘草坡	3	5.75(1.65+1.8+2.3)	2.875
兴山白沙河	3	4.95(3×1.65)	2.475
保康楚烽	2	4.8(2.3+2.5)	2.400
襄阳南涝	2	5(2×2.5)	2.500
宜昌远安	4	12(2×2.5+2×3.5)	6.000
合计	14	32.5	16.25

化”深度跃升，而其中的黑磷作为下一代半导体核心材料，正是湖北省巩固产业优势、实现价值链攀升的“战略支点”。

2 世界黄磷产业发展现状

2.1 美国

美国黄磷产业的轨迹是一个典型的“兴起于工业需求，鼎盛于消费拉动，衰亡于环保成本”的案例。美国黄磷产业“黄金时代”的高峰期（1960—1970年）曾经拥有超过20家黄磷生产工厂，产能在50万~60万t/a（产量接近产能），成为全球最大的黄磷生产国和消费国（与如今中国相似）。主要生产地集中在佛罗里达州（拥有丰富的磷矿资源）、田纳西州和爱达荷州等地^[2]。当时的化工巨头如FMC公司（Food Machinery and Chemical Corporation）、孟山都公司（Monsanto）、胡克化学公司（Hooker Chemical）等都是美国主要的黄磷生产商。2008年金融危机后，美国一家大型黄磷生产商——P₄ Production Ltd（位于爱达荷州）的工厂陷入了财务困境。2016年全面停产并申请破产保护，于2017年正式关闭，标志着美国一家长达一个世纪的黄磷大规模生产企业终结。

2024年，美国黄磷产能仅有2万t/a，产量降至0.7万t/a，世界占比从2000年的14.3%下降到0.5%。如今美国所需的黄磷（主要用于半导体、医药等高端领域）完全依赖进口，主要来源地包括中国、越南和哈萨克斯坦等国。

2.2 哈萨克斯坦

20世纪80年代中后期（1985—1989年），哈萨克斯坦的黄磷产能、产量达到顶峰。这一时期，哈萨克斯坦黄磷产量达到了历史最高水平（50万t/a左右）。在21世纪10年代中期，融入全球经济后，利用自身能源和资源优势达到另一个产能新高，黄磷产能、产量分别为15万t/a和12万t/a。目前哈萨克斯坦黄磷产能为8.5万t/a，产量5万t/a。

2.3 欧盟

欧盟黄磷产能、产量高峰出现在20世纪60年代末至70年代中期（黄磷产能在30万~40万t/a），当时，欧盟的德国、法国、荷兰、比利时等国的经济快速复苏，磷化学工业迅猛发展。与美国情况类似，含磷洗涤剂（特别是三聚磷酸钠）的普及是其最主要的驱动力，创造了巨大的黄磷需求。当时欧洲拥有先进的电炉制磷技术和磷化学工艺，聚集了如位于荷兰西南部的弗利辛恩港的Thermphos International黄磷工厂、德国的巴斯夫（BASF）公

司、赫斯特（Hoechst）公司等化工巨头，它们都是欧洲当时有名的黄磷生产和供应商，不仅能满足区域内需求，还具备出口能力^[2]。

2010年，欧盟尚有6家黄磷厂，产能18.5万t/a。2012年，荷兰的Thermphos International公司宣布破产，2013年，弗利辛恩黄磷工厂正式关闭，最终在持续亏损和巨大环保压力下倒闭，标志着欧盟境内大规模的黄磷生产彻底成为历史。目前德国路德维希港是欧盟唯一黄磷厂，2024年产能4万t，产量1.4万t，欧盟黄磷进口量依存度从2010年的15%上升至2024年的92%，所需的黄磷或磷酸（热法）100%依赖进口，主要来自哈萨克斯坦、越南和中国等地。

欧盟黄磷产业的兴衰展示了发达国家如何通过严厉的环保法规，主动淘汰高污染产业，并使其依赖全球供应链。

2.4 伊朗、马来西亚

由于方方面面的原因，伊朗在建的2×25 000 kV·A黄磷装置仅土建主体工程完工，非标等施工尚未进场，长达10余年的黄磷项目建设步履艰难；马来西亚4×25 000 kV·A（5万t/a）黄磷装置于2023年前已建成，并进行了短期试生产，但由于所需原料、资金等问题，目前仍未恢复生产。

2.5 越南

越南的黄磷产业始于20世纪70年代，当时建有中国援建的1 000 t/a、2 000 t/a的小磷炉（已拆除）。目前，越南有7家黄磷厂（13套磷炉装置），2024年黄磷产能18万t/a，产量12.5万t^[14]。越南的黄磷产业经历了“过山车”式发展，抓住中国供给侧改革、开始逐步收紧环保政策（关停部分高能耗、高污染黄磷电炉）的窗口期（导致全球黄磷供应出现短期缺口的时间差），利用越南拥有相对廉价的劳动力、较宽松的环保法规和较低的电价，吸引国内外投资，在越南，特别是北部山区（老街省）快速上马一批热法制磷项目。越南一度成为仅次于中国的亚洲重要黄磷生产国，产品主要出口到印度、日本、韩国及欧洲。

越南老街省本土磷矿虽然能支撑目前的生产需要，但磷矿匮乏且品位低、一些主要原材料依赖进口（电、焦炭、石墨电极）的瓶颈凸显，尤其是政府开始重视可持续发展，取消了对高耗能产业电价补贴，大幅度提高环保门槛，迫使企业投入巨资建设环保设施，导致成本进一步推高。越南开始进行模式转变，从“生产黄磷”到“加工磷酸”，利用

进口原料,向下游延伸,加工成附加值更高的磷系精细化学品,最终转向加工贸易。在全球化产业链中寻找自身定位的务实是一种必然的选择,它证明了在全球化分工中,缺乏核心资源(高品位磷矿)和稳定廉价能源这两大基石,仅凭短期的政策或成本差异,是无法建立支撑起可持续的高耗能基础原料产业的。

2.6 印度

印度是全球非常典型的黄磷产品“有消费市场,无上游产能”的案例,每年3万~4万t的黄磷消费量完全依赖进口(2023年黄磷进口量3.2万t),是黄磷产品的纯消费国和进口国,国内没有一家商业规模化的本土黄磷生产企业和装置。印度环境部2018年就发布禁令:禁止新建 ≥ 1 万t/a黄磷项目,2023年重新修订允许实验室级和 ≤ 500 t/a黄磷装置用于军工、医药等科学研究,目前印度理工学院有一台50t/a的黄磷电炉用于科学实验。

印度拥有一定量的磷矿资源($w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 普遍低于25%)和相对廉价的劳动力,存在着本土化生产的可能。但其工业电价远高于中国、哈萨克斯坦等主要产磷区,就其能源成本毫无优势可言。随着未来热法制磷技术跃迁,直接布局或投资下一代颠覆性制磷技术,如流化床还原法、等离子体法、熔融电解法、微波硅热提磷法、航天高温一步法、流态化法、低温碳热还原磷酸法、磷煤耦合联产一氧化碳制磷法等创新技术,跳过目前传统的“电热法制磷”技术;或者能源技术出现革命性突破(如印度光伏电价暴跌至全球最低),大幅度降低能耗和成本(低于电热法制磷),印度可以布局黄磷装置。否则,印度“可以”发展黄磷生产,是在技术可能性层面;但“会不会”去发展,是在经济可行性层面。由此印度将继续延续形成的黄磷产品重要消费市场,很难成为有竞争力的生产基地,这一格局短期内不会改变。

2.7 摩洛哥

摩洛哥发展热法黄磷产业具有全方位的优势。首先,摩洛哥政府制定了明确的战略雄心,其国家龙头企业OCP(磷酸盐)集团宣布“从资源到粮食”的全产业链战略,核心是向磷化工下游高附加值产品延伸;其次,摩洛哥是拥有全球顶级磷矿资源,总储量及资源量分别占世界磷矿的85%和59%(我国这两组数量分别为6.2%、5.8%),并且高品位磷矿($w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 30%)占比约70%^[2],这为热法制磷和深加工奠定了物质基础;第三,摩洛哥新能

源发展潜力巨大,如丰富的太阳能和风能资源,解决了最大的碳排放瓶颈,为高耗能的热法制磷生产提供廉价、绿色的电力支撑;最后,摩洛哥毗邻欧洲和美洲两大高端磷化学品市场,具有优越的地理环境和市场位置,便于产品出口。

摩洛哥在大幅度增加湿法磷酸和磷肥产能,在巩固其全球肥料领导地位的原有基础上,规划短期内实现黄磷生产“0”的突破,将磷矿石的价值提升数倍。OCP集团依托廉价磷矿+绿氢拟建(计划2026年投产)首座10万t/a黄磷厂,OCP集团正在大力推进这一发展战略,其核心目标是“2023—2027年的150亿美元投资计划”。

摩洛哥黄磷一旦形成规模化生产,必将迅速取代亚洲供应商,成为欧洲的首要供应源,实现欧洲市场的“近岸外包”。摩洛哥建设热法制磷装置,远非新增一个黄磷产能点那么简单,将形成一个全新的、强大的区域性供应中心。对全球黄磷供应链格局重塑产生宏观影响,全球供应链将从“亚洲主导”变为“中国(亚洲市场)、摩洛哥(欧洲、美洲市场)、哈萨克斯坦(过渡角色)”的“三足鼎立”之势,供应链韧性增强,但竞争更加激烈。它将是点燃全球黄磷供应链大变局的“催化剂”,对于中国而言,这既是前所未有的挑战,也是打破低端锁定、迈向产业链顶级的战略机遇。

3 世界黄磷供给格局重塑与应变

3.1 世界黄磷产能、产量和供给

世界黄磷产业的产能、产量和供给格局正在并将发生一场深刻的结构性变革。最深刻的改变之一是产业链与价值重心的下移,将从黄磷本身(上游),转移到其下游高附加值产品。最终,谁能在绿色技术、下游高附加值产品和国际标准制定上占据领先地位,谁就能在未来10年的全球磷化工格局中掌握市场的话语权。

中国从20世纪90年代后期开始黄磷产量一直处于上升领先地位,美国欧盟处于下降趋势,目前世界的黄磷供给处于中国、越南、哈萨克斯坦“三足鼎立”的状态,美国、欧盟一年的产量^[7],不及中国一个中型厂的产量(见表6)。全球热法磷酸盐供应高度依赖中国(占比 $> 85\%$),国内受制于环保安全和能源成本,黄磷是同质化大宗商品,目前竞争主要靠成本。

未来黄磷同质化大宗商品的属性和竞争主要靠成本的现状必将改变。绿色溢价将成为新的准入壁垒,由可再生能源(水电、光伏)生产的黄磷将不

表6 世界黄磷产能和产量

Table 6 Global yellow phosphorus capacity and output

万t

生产国或地区	2000年产能/产量	2005年产能/产量	2010年产能/产量	2015年产能/产量	2020年产能/产量	2024年产能/产量
中国	87.0/50.59	120/76.99	220/91.0	250/92.5	138/81.17	145/85.71
哈萨克斯坦	8.5/6.2	9.8/7.1	10.5/7.8	11.0/7.0	10.0/6.0	9.5/5.5
越南	3.2/2.0	5.0/3.5	8.0/5.2	10.0/6.5	12.0/8.0	15.0/10.0
美国	15.0/11.8	12.0/8.5	8.0/5.0	5.0/3.0	3.0/1.5	2.5/1.0
欧盟	18.5/14.2	15.0/10.3	10.0/6.0	6.0/3.5	4.0/2.0	3.5/1.8
全球	132.2/84.79	161.8/106.39	256.5/115	282/112.5	167/98.67	175.5/104.01

再是小众产品，而是进入欧美高端市场的必需品。“绿电黄磷”、碳足迹将成为新的标准和定价维度。传统落后产能面临淘汰，无法进行绿色转型的高能耗、高排放产能（尤其是在电价高昂、环保压力大的地区）或将因无法承受碳关税等成本而逐步退出市场。

3.2 世界黄磷产业未来十年的变化及展望

世界黄磷产业的未来格局重构，将是一场深刻且不可逆的变革。未来十年，全球黄磷产业将从当前“中国单一中心”的格局，演变为“中国-摩洛哥双核驱动”的新结构，并最终形成一个更多元、更区域化的生态体系，清晰展示这一重构路径中各主要参与方的战略定位与互动关系。

(1) 中国的变化。从“规模之王”到“价值之巅”的中国将经历痛苦的转型，目标是从价值链底部的“供应商”升级为顶部的“领导者”^[13]。

关键转型路径中产能进一步向云南、四川等水电、光伏富集区集中，打造“绿电黄磷”基地以应对碳壁垒；价值链攀升向下游发展电子级、新能源级等高附加值产品，服务国内庞大的电池和芯片产业；向摩洛哥、伊朗、沙特、埃及等磷资源国输出黄磷生产技术和工厂整体解决方案，抢占全球价值链顶端，从“卖产品”转向“卖技术、卖标准、卖解决方案”。

(2) 世界的变化。从“依赖”到“多元”与“博弈”，全球供应链将变得更区域化、更复杂。关键变化路径中欧洲将把采购重心从亚洲转向摩洛哥和周边地区，以缩短供应链、降低风险；围绕“黄磷碳足迹核算标准”将展开激烈博弈，绿色规则博弈决定未来产业的准入规则和成本结构^[1,3-4]。

未来世界黄磷产业引领者，将是那些能够将绿色能源、创新技术和终端市场需求最有效整合的国家和企业。热法黄磷产业将呈现“低碳技术定胜负、产业链高端精细化定利润、国际标准化定规则”的格局。ISO正在规划《黄磷生命周期评价国

际标准》标准的制定进程与中国角色的深度解析，将重塑全球热法黄磷产业竞争规则——“碳数据”必将成为比“产能规模”更核心的竞争力。

(3) 中国与世界的互动。从“单向输出”到“竞合共生”，两者的关系将变得更为复杂。未来十年，世界黄磷产业的重构对中国而言，是“挑战与机遇并存”。能够将“绿色能源、技术创新与终端市场”最有效结合的国家，将在新的产业格局中占据主导地位。这场变革将推动全球磷化工走向更绿色、更高效、更高级的发展阶段^[6,11]。

4 结束语

世界热法黄磷产业正经历一场关乎生存与发展的深刻变革，其核心逻辑已从传统大宗商品“拼资源、比成本”的粗放模式，转向“绿色技术为基、产业链协同为脉、可持续发展为魂”的高精尖赛道。这场变革不仅是产能格局的重新洗牌，更是价值体系的全面重构——全球热法黄磷产业将加速告别单一的“规模竞赛”，进入“双中心引领、多区域协同”的新格局，绿色贸易壁垒下的区域化供应链重构与价值链高端化争夺将成为未来十年的主旋律。

从产业演进的底层逻辑来看，“绿色、高端、循环”已不再是政策倡导的附加项，而是企业生存的必备条件。在能源维度，随着全球“双碳”目标的深化推进，“碳足迹”正成为黄磷产品全球流通的“通行证”，云南“光伏+黄磷”、四川水电制磷等模式的探索，印证了绿电资源与黄磷生产结合的必然性，未来谁能率先实现全产业链的低碳化转型，谁就能在欧美碳关税等政策壁垒前占据主动；在技术维度，半导体级黄磷、电子级磷酸等高端产品的市场缺口持续扩大，传统同质化产能的利润空间将进一步压缩，技术研发能力决定了企业能否突破“低端锁定”，抢占价值链顶端的定价权；在资源维度，磷矿资源的高效利用与副产物的循环增值成为成本控制的关键，磷渣制建材、黄磷尾气生产

碳—化工产品等循环经济模式，已从“加分项”转变为企业降本增效的“生命线”。

对于全球参与者而言，这场变革既是挑战也是战略机遇。中国黄磷企业需加速从“规模领先”向“价值引领”转型，一方面要聚焦云南、四川等优势区域，打造集约化、低碳化的“绿电黄磷”产业集群，另一方面需加大高端产品研发投入，推动磷化工与新能源、半导体等战略性新兴产业的深度融合；摩洛哥等新兴力量则凭借磷矿资源与绿电优势，正试图在欧洲市场构建“近岸供应”体系，重塑区域竞争格局；而欧美等传统消费市场，将通过主导国际标准制定（如ISO《黄磷生命周期评价国际标准》），进一步强化绿色规则的话语权。

最终，全球磷化工行业将呈现“强者恒强、优者生存”的生态：具备战略远见的企业将通过“绿电布局+技术创新+循环经济”的多路线协同，构建“成本可控、技术领先、低碳合规”的综合竞争力；而那些依赖高能耗、高污染产能，缺乏转型动力与能力的企业，将在环保压力、成本攀升与市场淘汰的多重作用下逐步退出舞台。这场变革不仅将推动黄磷产业本身走向更高质量的发展阶段，更将为全球高碳产业的绿色转型提供可借鉴的“磷化工样本”。

[参考文献]

- [1] 孙志立, 问立宁. 中国黄磷工业的创新发展之路[J]. 化肥工业, 2018, 45(3): 1-6, 30.
SUN Z L, WEN L N. Innovation and Development Path of Yellow Phosphorus Industry in China [J]. Chemical Fertilizer Industry, 2018, 45(3): 1-6, 30.
- [2] 孙志立, 杜建学. 电法制磷[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010.
- [3] 孙志立, 问立宁, 黄平. 致敬改革开放40周年——后发赶超的贵州磷化工进展[J]. 化肥工业, 2019, 46(5): 1-5, 41.
SUN Z L, WEN L N, HUANG P. Paying Tribute to the 40th Anniversary of Reform and Opening-Up: Progress in the Phosphorus Chemical Industry in Guizhou, the Place that is Catching up [J]. Chemical Fertilizer Industry, 2019, 46(5): 1-5, 41.
- [4] 孙志立, 王敏忠. 浅析多电极制磷电炉设计运行与现状[J]. 硫磷设计与粉体工程, 2008(5): 23-29, 51.
SUN Z L, WANG M Z. Analysis of Design, Operation and Current Status of Multi-electrode Electrical Phosphorus Furnace [J]. Sulphur Phosphorus & Bulk Materials Handling Related Engineering, 2008(5): 23-29, 51.
- [5] 孙志立. 贵州“十三五”磷化工发展规划的思考[J]. 硫磷设计与粉体工程, 2015(5): 1-8, 100.
SUN Z L. Considerations of Planning for the Development of Phosphate Industry in Guizhou during The 13th “Five-year Plan” [J]. Sulphur Phosphorus & Bulk Materials Handling Related Engineering, 2015(5): 1-8, 100.
- [6] 孙志立. 我国黄磷工业回顾及“十三五”发展思路[J]. 磷肥与复肥, 2016, 31(10): 1-8.
SUN Z L. Retrospect of yellow phosphorus industry in China and development thinking in the 13th Five-year Plan [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2016, 31(10): 1-8.
- [7] 问立宁, 孙志立. 我国黄磷改革开放40年技术创新世界瞩目[J]. 磷肥与复肥, 2016, 33(12): 1-8.
WEN L N, SUN Z L. Innovative production technology of yellow phosphorus in China during 40 years of reform and opening up drawing attention of the world [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2016, 33(12): 1-8.
- [8] 武智斌, 牛仁杰, 孙志立. “双碳”背景下热法制磷人工智能自动化控制探讨[J]. 肥料与健康, 2024, 51(6): 146-151.
WU Z B, NIU R J, SUN Z L. Exploration of Artificial Intelligence Automation Control for Thermal Phosphorus Production Under the Background of Peak Carbon Dioxide Emissions and Carbon Neutrality [J]. Fertilizer & Health, 2024, 51(6): 146-151.
- [9] 孙志立. 多电极是制磷电炉大型国产化发展的必然趋势[C]//第二届全国磷复肥/磷化工技术创新(云天化国际)论坛论文集. 昆明: 全国磷肥与复肥信息总站, 2009: 218-227.
- [10] 孙志立. 80 MW 制磷电炉运行总结[J]. 硫磷设计与粉体工程, 2002(4): 19-26.
SUN Z L. The Operation Summary of 80 MW Electric Furnace for Phosphorus Production [J]. Sulphur Phosphorus & Bulk Materials Handling Related Engineering, 2002(4): 19-26.
- [11] 孙志立. 对贵州瓮福经济带磷矿资源合理利用的思考[J]. 硫磷设计与粉体工程, 2013(3): 41-44.
SUN Z L. Consideration on Utilization of Phosphate Rock Resources in Guizhou Wengfu Economic Belt [J]. Sulphur Phosphorus & Bulk Materials Handling Related Engineering, 2013(3): 41-44.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 黄磷生产技术规范: GB/T 33321—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [13] 孙志立, 问立宁, 黄平. 引进国外热法制磷装置技术研究与问题探讨[J]. 磷肥与复肥, 2019, 34(9): 25-27, 47.
SUN Z L, WEN L N, HUANG P. Technical research and problem discussion on imported yellow phosphorus plant with thermal process [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2019, 34(9): 25-27, 47.
- [14] 牛仁杰, 潘江, 孙志立. 直接使用低品位磷矿是热法黄磷企业可持续发展的战备课题[J]. 硫磷设计与粉体工程, 2023(4): 1-4.
NIU R J, PAN J, SUN Z L. Direct Use of Low-grade Phosphate Rock Is a Strategic Issue for the Sustainable Development of Thermal Process Yellow Phosphorus Enterprises [J]. Sulphur Phosphorus & Bulk Materials Handling Related Engineering, 2023(4): 1-4.