

美欧氢能发展战略及对我国的启示

赵振利, 王刚[✉]

(中国电子信息产业发展研究院, 北京 100036)

摘要: [目的] 氢能具备来源广泛、储运便利、利用高效等特征, 在构建新型能源体系中发挥重要作用。文章通过系统性分析美国与欧盟的氢能产业发展战略, 结合我国产业发展实际, 给出我国氢能产业发展的具体政策建议。[方法] 通过梳理和分析美欧两大经济体发展氢能的相关政策、战略规划和典型做法, 总结其氢能产业发展的成功经验。[结论] 基于我国氢能产业发展现状, 围绕当前我国氢能产业发展存在的问题与挑战, 针对性提出加强顶层设计, 进一步完善氢能产业发展政策体系; 强化科技创新引领, 重视氢能关键环节核心技术创新突破; 拓展氢能多元化应用, 打造协同大生态; 重视国际合作, 积极参与国际规则 and 标准制定等多项政策建议。[结论] 文章提及的相关政策建议可为相关部门和行业人员提供一定的参考, 以期进一步提升我国氢能产业发展质量和速度。

关键词: 氢能; 产业政策; 美国; 欧盟; 典型做法; 启示

中图分类号: TK91; F410

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2023)03-0097-07

开放科学(资源服务)二维码:



Hydrogen Energy Development Strategy of America and Europe and Its Enlightenment to China

ZHAO Zhenli, WANG Gang[✉]

(China Center for Information Industry Development, Beijing 100036, China)

Abstract: [Introduction] Hydrogen energy plays an important role in the construction of a new energy system due to its extensive sources, convenient storage and transportation, and efficient utilization. This paper systematically analyzes the development strategies of the hydrogen energy industry in the United States and European Union, and combines with the actual development of Chinese industry, and gives specific policy suggestions for the development of the hydrogen energy industry. [Method] The successful experience of hydrogen industry development in the United States and Europe was summarized by combing and analyzing the relevant policies, strategic planning and typical practices of hydrogen energy development in the two major economies. [Result] Based on the current development status of the hydrogen energy industry in our country, this paper puts forward a number of targeted policy recommendations, including strengthening the top-level design to further improve the hydrogen energy industry development policy system; strengthening the guidance of scientific and technological innovation, and attaching importance to the innovation and breakthrough of core technologies in key links of hydrogen energy; expanding the diversified application of hydrogen energy and building a collaborative ecology; attaching importance to international cooperation and taking an active part in the formulation of international rules and standards. [Conclusion] The policy recommendations mentioned in the article can provide reference for relevant departments and industries, so as to further improve the development quality and speed of the hydrogen energy industry.

Key words: hydrogen energy; industrial policy; the United States; the European Union; typical practice; enlightenment

2095-8676 © 2023 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

收稿日期: 2023-04-10 修回日期: 2023-04-19

基金项目: 国家社会科学基金一般项目“我国‘一带一路’能源投资绿色效果评价与改进策略研究”(20BJY076)

0 引言

为应对日益严重的气候变化,2015年12月12日,在巴黎召开的缔约方会议第二十一届会议通过了《巴黎协定》,承诺将全球平均气温较工业化前水平升高控制在 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之内,且升温控制在 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之内^[1]。为实现这一目标,以绿色、低碳、可持续的新能源取代传统化石能源,构建低碳可持续的能源系统成为全球共识^[2-4]。氢能具有绿色低碳、来源丰富、能量密度高等优势^[5],打破了现有单一能源转换模式,即将煤电等传统能源转换为可再生能源等清洁能源,被视为21世纪最具有发展潜力的清洁能源^[6-8]。

现阶段,按制氢来源和碳排放量划分,氢能可以分为绿氢、蓝氢和灰氢。其中绿氢可通过光电、风

电等可再生能源电解水制氢,过程中基本不产生二氧化碳,实现“零碳排放”,被称为最具潜力的氢能供应方式^[9-10]。《世界能源展望》(2023年版)中指出,预计到2030年,绿氢将占低碳氢(主要以绿氢和蓝氢为主)的60%,且随着技术进步和制造效率的提升,绿氢成本进一步缩小,到2050年绿氢占比将达到65%左右,有望推动钢铁、石化、重卡等“难减排领域”实现深度脱碳^[11]。2022年我国氢气产量达3781万t,全球排名第一,如图1所示。但是大部分属于灰氢,即通过化石能源制氢,绿氢占比较低,且面临关键技术设备和关键材料受制于人、产业链单一等问题,我国氢能产业实现规模化发展还面临诸多挑战^[12]。

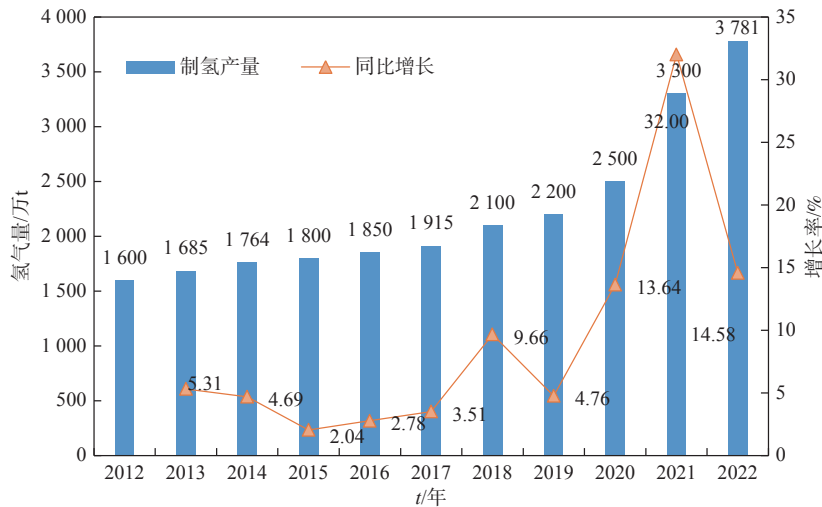


图1 2012—2022年我国氢能产量及同比增长(数据来源:中国煤炭工业协会,中商情报网)

Fig. 1 China's hydrogen energy output and year-on-year growth in 2012-2022 (Source: China National Coal Association, www.askci.com)

为推动氢能产业发展,世界各国将氢纳入其能源立法和国家发展计划,制定氢能战略^[13-15],在产业推动、技术创新、配套激励措施等方面协同发力,对我国进一步提升氢能产业规模,推动氢能产业发展具有较大的借鉴意义^[16-18]。基于此,文章总结和分析了美欧两大重要经济体在促进本国或地区的氢能产业发展中的主要经验,对我国完善整个氢能产业体系具有重要的借鉴意义。

1 美国氢能发展战略与主要政策

美国氢技术的历史可以追溯到1969年。美国是全球最早生产和使用氢能的国家之一,也是最早

将氢能纳入能源战略的国家之一^[19-20]。20世纪90年代以来,美国颁布多项促进氢能发展政策和行动计划,推动氢能产业化进程^[21]。总结来看,美国氢能政策有如下特征:

1) 重视氢能生产、储运和应用全环节技术研发创新

美国尤为重视氢能技术研发,支持氢能生产、储运和应用等多个环节技术研发,最早于1990年颁布《氢研究、开发及示范法案》和1996年颁布的《氢能前景法案》,投入1.6亿美元用于氢能生产、储运、应用技术研发等。通过技术探索和氢能商业用途的可行性研究论证,基本确定氢能产业的发展方向。美

国氢能产业进入技术研发和示范阶段。随后于2003年启动“氢燃料计划”,计划在5年内投资12亿美元,支持氢能生产和储运技术研发。2013财年的政府预算中,拨付63亿美元投向氢能、车用燃料等清洁能源研发,并对国内氢能技术设施运行抵免30%~50%的税收。2021年,美国总统签署《基础设施投资和就业法案》,计划于2022—2026年间,拨付15亿美元支持电解槽和氢能全产业链研发和示范。除此之外,美国还尤为重视新材料的研发,包括燃料电池离子交换膜、电解槽新型涂层材料和各种催化剂。经过多年发展,美国“制氢-储氢-输氢-用氢”全产业链核心技术日趋成熟。

2) 立法先行,明确氢能商业发展路线和战略地位

2002年,美国能源部发布《国家氢能路线图》,正式推动氢能经济由构想转向行动。随后,2004年

发布《氢立场计划》,确定发展氢能的4个阶段,即研发示范、市场转化、基础设施建设和市场扩张、完成规模化发展。且从2004年开始,美国持续开展氢能与燃料电池项目,能源部每年平均向氢能产业项目投资超1.2亿美元,支持氢能产业发展。除重视氢能产业本身发展外,还重视氢能产业的应用,尤其在燃料电池方面,2005年,美国两院通过能源政策法案,要求汽车生产商2015年前实现氢燃料电池汽车的商业化和市场化。2012年,美国国会重新修订氢燃料电池扶持政策,对储氢制氢设备、加氢站、氢燃料电池车等多项基础设施提供税收减免等财政支持。2014年更是颁布《全面能源政策》,确定氢能在交通领域转型中的引领作用。2022年,美国能源部发布《国家清洁氢能战略和路线图(草案)》进一步明确氢能战略性地位,并制定2022—2035年近、中、长期清洁氢能发展行动时间表,如图2所示。

	近期: 2022—2025年	中期: 2026—2029年	远期: 2030—2035年
清洁制氢	<ul style="list-style-type: none"> 从生命周期、可持续性、成本、区域和公平角度评估路径,以优先考虑策略,确定差距。 建立清洁氢标准。 示范热解制氢、废物制氢、可再生能源制氢和核能制氢等清洁技术等。 	<ul style="list-style-type: none"> 实现电解制氢成本2美元/kg。 实现国内吉瓦级规模电解槽生产能力。 可最大限度地减少关键材料用量,同时实现性能和耐久性有竞争力的催化剂和组件等。 	<ul style="list-style-type: none"> 大规模部署可再生能源制氢、核能制氢和化石能源结合CCS制氢。 到2030年,清洁氢产能至少达到1 000万t/a。 不同来源的清洁氢成本达到1美元/kg等。
输送和存储基础设施	<ul style="list-style-type: none"> 开发和更新分析模型和工具,以评估输送和存储技术路径,确定差距并确定策略的优先顺序。 开发严格监测和减少氢泄漏和汽化损耗的技术。 评估管道和组件材料与氢气和氢气/天然气混合物的相容性等。 	<ul style="list-style-type: none"> 验证和改进分析模型和工具,以确定各种应用的输送和存储优先顺序。 示范高效可靠的氢气管道压缩机运行。 量化气氢和液氢基础设施损耗,为大规模部署提供信息等。 	<ul style="list-style-type: none"> 与当地社区和利益相关方合作,设计针对区域供需优化的氢能基础设施网络,以最大限度地发挥效益,确保实现能源、环境和公平目标。 示范先进液化技术,比当前概念的效率提高一倍。 制定长期储氢计划/氢战略储备,以确保供应弹性等。
终端应用和市场采用	<ul style="list-style-type: none"> 为清洁氢的生产、加工、运输、存储和终端应用的大规模部署奠定监管基础。 开展跨领域工作(如核能、可再生能源、化石燃料、CCS、储能),确定监管和政策差距,以及解决这些差距的关键战略,以最大限度地减少影响等。 	<ul style="list-style-type: none"> 使氢能技术相关的规范和标准能够实现国际协调。 开发市场模式以加快部署进展,克服监管障碍,促进可再生能源电力用于电解槽。 通过公开访问的平台分享安全最佳做法以及从早期部署中汲取的经验教训等。 	<ul style="list-style-type: none"> 开发市场模式监管指南,以实现清洁氢的出口。 利用从大规模部署中获得的经验教训,确定未来增长的优先领域,重点是支持最有效、经济、与气候目标一致的整体方法,最大限度地改善公共健康安全 and 环境等。
推动因素	<ul style="list-style-type: none"> 制定和实施广泛和包容性的利益相关方参与框架,并收集反馈。 为团队和组织以及联邦资助的示范项目的地理/社区选址确定多样性、公平性、包容性和其他关键优先事项的衡量标准;推出工具和平台,以促进伙伴关系、包容性和市场部署等。 	<ul style="list-style-type: none"> 完善和不断改进利益相关方的参与和包容性,并应用所学到的经验。 促进公私合作关系,以实现包容性并加速进展。 与氢能中心所在地区的弱势社区制定和执行社区获利协议等。 	<ul style="list-style-type: none"> 量化部署氢能的益处,并确定额外的政策或计划优先事项,以加快进展。 在弱势社区部署清洁氢能技术的制造设施。 评估区域清洁氢能中心的技术-社会-经济影响等。

图2 美国清洁氢能战略和路线图近中长期行动计划表

Fig. 2 Short-term, medium-term and long-term action plans of clean hydrogen energy strategy and roadmap for the United States

3) 多部门协同合作, 共同推动氢能产业化

当前, 美国基本形成以美国能源部为主导, 大学科研院所及企业为辅助的科研机构, 共同承担氢及燃料电池攻关项目。美国政府还通过政府采购强化对氢能产业的支持, 跨部门协同, 推动氢经济规模化发展。为打破产业发展瓶颈, 美国一方面制定清晰的氢能技术路线图, 加强氢能产业的应用推广, 另一方面, 重视私营部门, 尤其是利用跨国公司资金和技术优势, 加速氢能产业的市场化推广, 涌现出大批优质企业。在需求侧, 美国政府出台多项激励措施, 提升氢燃料电池车的消费。如美国政府为消费者购买指定的氢燃料电池车提供最高 8000 美元的退税抵扣。

4) 注重国际合作, 扩大全球影响力

2003 年, 以美国为首, 启动《氢经济国际伙伴计划》, 与澳大利亚、加拿大、中国等 16 个国家签署《IPHE 参考条款》, 标志以氢燃料为代表的新一代能源开发合作成为全球共识。支持在氢能产业方面的多边和双边国际合作, 在标准制定、供应链安全等方面共同制定国际规范。当前, 美日欧已初步形成氢能多边合作联盟, 并希望通过全球协调机制, 推动本国氢能标准和规制国际化通用。2019 年, G20 能源与环境部长级会议上, 三方代表达成氢能和燃料电池技术合作联盟意向。

美国更加关注氢能产业全链条技术储备, 推动低成本绿氢, 保持在氢能技术方面的优势, 但是值得注意的是, 通过“页岩气”革命, 美国获得丰富且低廉的天然气, 当前在终端应用上, 对比天然气, 氢能综合成本还不具备优势, 氢能的应用推广面临一定的阻力。

2 欧盟氢能发展战略与主要政策

欧洲氢能产业发展较早, 并将氢能视为实现低碳发展的抓手之一^[22-23]。欧盟致力于探索氢能的综合应用, 构建规模化绿氢供应体系, 以实现脱碳为主。2018 年欧盟通过《欧盟 2050 长期战略愿景》, 表示为发展绿色经济, 将快速大规模部署绿氢, 并提出到 2050 年将提升氢能在能源结构中的占比达到 13%^[24]。《欧洲绿色协议》中明确将发展氢能作为关键有限事项, 并指出欧盟将加强国际合作, 通过外交途径有力倡导氢能发展。

通过出台完整的战略路线图和战略规划, 欧盟明确氢能在实现绿色经济中的重要地位, 并出台多项政策支持^[25-26]。2020 年, 欧盟推出氢能战略, 明确将氢能作为未来发展的重点, 并成立清洁氢能联盟, 以期通过大力支持氢能发展, 重振气候治理领导力和实现经济绿色复苏。随后, 提出能源气候一揽子计划, 要求进一步提升氢能应用。2022 年, 欧盟委员会和欧洲氢能贸易协会组成“清洁氢伙伴关系”, 为氢能提供 3 亿欧元, 支持清洁氢生产、储存和分配等环节, 并推动氢能在航空、重型运输等典型难减排行业中的应用, 推广目标如表 1 所示。2022 年, 欧盟通过“地平线欧洲”向“清洁氢能联合行动计划”投资 10 亿欧元, 支持氢能示范项目。

表 1 欧盟交通领域与供热供电氢能发展目标

Tab. 1 EU transportation field and development goal of hydrogen energy for heating and power supply

领域	分类项	2020年	2030年
交通	燃料电池汽车	1200辆	370万辆
	燃料电池商务车	不足300辆	50万辆
	燃料电池卡车及 燃料电池公交车	2辆重卡, 50辆公交车	4.5万辆
	燃料电池列车	2辆	570辆
	供热	—	处于示范阶段
供电	—	完成3000台燃料 电池共生系统	到2040年, 规模 超250万台

注: 数据来源为《全球能源发展报告 2020》及公开资料整理。

随着俄乌冲突、新冠疫情等事件的爆发, 欧盟更加重视能源安全, 并将氢能视为能源安全的关键保障。一方面, 氢能能量密度高, 储运灵活, 可以减少能源的进口; 另一方面, 氢能的发展还可以帮助欧盟抵抗能源价格波动的风险。氢能可通过可再生能源电解水获得, 且随着技术进步, 绿氢的生产成本逐年降低, 预计到 2025 年, 绿氢成本可再降低 30%。

制定清洁能源标准是欧盟提升国际话语权的重要手段。早在 1998 年, 欧盟启动联合氢能项目一期, 内容包括在制氢、储氢、输氢、基础设施、安全等标准, 增强成员国之间氢能标准化协助。此外, 一方面, 通过多边和双边氢能协议, 界定氢能生产的总碳排放量, 制定氢能可持续标准; 另一方面, 强化技术优

势、与周边国家跨境贸易等,强化在氢能市场中欧元的地位。

德国是较早实现氢能应用的国家,为满足严格的国际尾气排放标准,先后投资14亿欧元支持氢能项目开发。德国将氢能视为能源安全和能源低碳转型的关键,与可再生能源协同发展,加快氢能产业链布局,明确氢能在工业、建筑、重型运输等领域实现脱碳的重要地位。2020年,发布《国家氢能战略》,确定绿氢的战略地位,加速绿氢技术研发,并通过《未来计划》,计划追加90亿欧元,支持国内氢能技术转化、推广及培育氢能国际伙伴关系。

3 对我国的启示及建议

近年来,我国逐渐加快氢能产业发展,出台多项规划,从国家层面明确氢能产业链各环节的发展目标,为我国发展氢能指明方向^[27]。“十四五”规划纲要中将氢能和储能列为六大未来产业之一,随后密集出台多项支持政策,从氢能试验推广到产业化全面发展^[28-30]。2022年,《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》《2022年能源工作指导意见》《“十四五”可再生能源发展规划》等多项政策发布,从氢能技术研发、“制氢-储氢-输氢-加氢-用氢”全产业链多个环节,系统规划了氢能发展重点。但是,与发达经济体相比,我国氢能产业发展还面临研发创新资源不足,关键技术依赖严重等问题,需要从顶层设计出发,多角度、全方面提升我国氢能产业的国际竞争力。为此,提出以下建议:

1)加强顶层设计,进一步完善氢能产业政策体系。2020年,氢能正式被纳入能源统计范围,标志氢能成为我国能源系统的重要组成部分。《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》和《2022年能源工作指导意见》两项文件的发布进一步明确我国氢能产业的发展目标,但是总体来看,我国氢能产业发展的路线还需进一步完善,支持政策还需进一步细化,尤其是需要进一步统筹各省市出台的氢能产业发展规划,根据地区禀赋和产业特点,提出针对性较强的发展规划,强化应用。此外,建议从国家层面全面评估氢能在能源转型、实现“双碳”目标中的战略地位,全方位谋划氢能全产业链、多场景应用,制定氢能产业发展总体规划。

2)强化科技创新引领,重视氢能关键环节核心

技术创新突破。如何低成本制取氢能成为当前突破氢能规模化发展的关键因素之一,加大对绿氢,尤其是可再生能源制氢技术研发,并前瞻性布局“制氢-储氢-输氢-加氢-用氢”全产业链关键技术和核心材料的研发,掌握核心技术自主权。组建创新联合体,依托大型能源企业成立研发平台,整合社会资源,围绕关键技术进行核心攻关。提升规模化提纯、储氢、输氢、先进燃料电池研发等先进工艺技术的支持力度,加大资金扶持力度,强化技术支撑。

3)拓展氢能多元化应用,打造协同大生态。充分利用我国能源化工和可再生能源优势,加快培育“制氢-储氢-输氢-加氢-用氢”全产业链生态。支持构建跨区域协作式氢能“生产+应用”,支持绿氢生产基地建设,深入实施“西氢东送”,打造全国一体化氢市场。适时开展多种应用场景,支持社会各方在燃料电池、交通运输、家庭供热等领域开展氢能试点应用,并通过示范验证逐步走向规模化发展,推动氢能、电能、热能一体化发展。

4)重视国际合作,积极参与国际规则和标准制定。充分利用我国丰富可再生能源优势,在氢能技术创新、市场化应用等方面加强国际交流,融入国际氢能产业链体系。通过中欧高层对话等机制,推动氢能合作,提升我国氢能国际标准的参与度。鼓励有实力企业将成熟应用转化为标准,推动国家标准向国际标准发展,争取国际话语权。

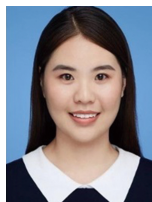
参考文献:

- [1] 施昱萱,张志全. 国内外氢能产业发展实践对比及对我国的启示 [J]. *应用化工*, 2023: 1-5. DOI: 10.16581/j.cnki.issn1671-3206.20230412.001.
SHI Y X, ZHANG Z Q. Domestic and foreign hydrogen industry development practice comparison and the enlightenment to our country [J]. *Applied chemical industry*, 2023: 1-5. DOI: 10.16581/j.cnki.issn1671-3206.20230412.001.
- [2] 何旭鸪,赵亮东,袁海云,等. 浅析俄罗斯新能源发展政策及标准——展望中俄新能源领域合作 [J]. *中国标准化*, 2023(4): 228-232, 237.
HE X J, ZHAO L D, YUAN H Y, et al. A brief analysis of Russia's new energy development policies and standards: outlook on China-Russia cooperation in new energy [J]. *China standardization*, 2023(4): 228-232, 237.
- [3] 张庆生,黄雪松. 国内外氢能产业政策与技术经济性分析 [J/OL]. *低碳化学与化工*: 1-7 (2023-04-04) [2023-04-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1807.TQ.20230404.1334.014>.

- html.
- ZHANG Q S, HUANG X S. Analysis of domestic and foreign hydrogen energy industrial policies and technical economy [J/OL]. *Low-carbon chemistry and chemical engineering*: 1-7 (2023-04-04) [2023-04-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1807.TQ.20230404.1334.014.html>.
- [4] 延科斌. 氢能技术的发展应用与供应链金融模式构建思考 [J]. *时代金融*, 2023(4): 33-34, 42.
- YAN K B. The development and application of hydrogen energy technology and the construction of supply chain finance model [J]. *Times finance*, 2023(4): 33-34, 42.
- [5] 刘洋, 于欣. 低碳能源经济发展下氢能的问题及策略分析 [J]. *产业创新研究*, 2023(6): 15-17.
- LIU Y, YU X. Analysis on problems and strategies of hydrogen energy under the development of low-carbon energy economy [J]. *Industrial innovation*, 2023(6): 15-17.
- [6] FARRELL N. Policy design for green hydrogen [J]. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2023, 178: 113216. DOI: 10.1016/J.RSER.2023.113216.
- [7] 刘小奇, 陈瑶, 周友, 等. 大规模电氢耦合系统: 中欧大型能源企业的技术视角分析与展望 [J]. *中国电机工程学报*, 2023: 1-7. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.230013.
- LIU X Q, CHEN Y, ZHOU Y, et al. Large-scale power-hydrogen coupling systems: technical perspective analysis and prospect of large energy companies in China and Europe [J]. *Proceedings of the CSEE*, 2023: 1-7. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.230013.
- [8] AZIZ G, SARWAR S, WAHEED R, et al. Significance of hydrogen energy to control the environmental gasses in light of COP26: a case of European Countries [J]. *Resources policy*, 2023, 80: 103240. DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.103240.
- [9] 张灿, 张明震, 申升, 等. 中国氢能高质量发展的路径建议与政策探讨 [J]. *南方能源建设*, 2022, 9(4): 11-23. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.04.002.
- ZHANG C, ZHANG M Z, SHEN S, et al. Path suggestion and policy discussion for China's high-quality development of hydrogen energy [J]. *Southern energy construction*, 2022, 9(4): 11-23. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.04.002.
- [10] GORDON J A, BALTA-OZKAN N, NABAVI S A. Socio-technical barriers to domestic hydrogen futures: repurposing pipelines, policies, and public perceptions [J]. *Applied energy*, 2023, 336: 120850. DOI: 10.1016/J.APENERGY.2023.120850.
- [11] BP. BP energy outlook 2023 edition [EB/OL]. (2023-01-30) [2023-04-10]. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2023.pdf>.
- [12] YUAN Y Q, TAN-MULLINS M. An innovative approach for energy transition in China? Chinese national hydrogen policies from 2001 to 2020 [J]. *Sustainability*, 2023, 15(2): 1265. DOI: 10.3390/SU15021265.
- [13] 景春梅, 陈妍. 综合施策解决我国氢能产业发展痛点问题 [J]. *全球化*, 2023(1): 96-103. DOI: 10.16845/j.cnki.ccieeqqh.2023.01.005.
- JING C M, CHEN Y. Comprehensive measures to solve the pain points of the development of China's hydrogen energy industry [J]. *Globalization*, 2023(1): 96-103. DOI: 10.16845/j.cnki.ccieeqqh.2023.01.005.
- [14] 张晓兰, 黄伟熔. 我国氢能产业发展形势、存在问题与政策建议 [J]. *中国国情国力*, 2023(1): 9-12. DOI: 10.13561/j.cnki.zggqgl.2023.01.003.
- ZHANG X L, HAUNG W R. Development situation, Problems and policy suggestions of hydrogen energy industry in China [J]. *China national conditions and strength*, 2023(1): 9-12. DOI: 10.13561/j.cnki.zggqgl.2023.01.003.
- [15] 孙旭东, 赵玉莹, 李诗睿, 等. 我国地方性氢能发展政策的文本量化分析 [J]. *化工进展*, 2022: 1-12. DOI: 10.16085/j.issn.1000-6613.2022-1580.
- SUN X D, ZHAO Y Y, LI S R, et al. Quantitative analysis of Local hydrogen energy development policy [J]. *Chemical industry and engineering progress*, 2022: 1-12. DOI: 10.16085/j.issn.1000-6613.2022-1580.
- [16] 李晨曦, 宋固, 刘佳音, 等. 基于企业视角的我国氢能产业发展研究 [J]. *中国能源*, 2022, 44(11): 36-41. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2355.2022.11.004.
- LI C X, SONG G, LIU J Y, et al. The development research of hydrogen energy industry based on enterprise perspective [J]. *Energy of China*, 2022, 44(11): 36-41. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2355.2022.11.004.
- [17] 张睿宁, 李慧. 中国-东盟能源合作的机遇、挑战与对策建议 [J]. *中国能源*, 2022, 44(11): 77-86. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2355.2022.11.010.
- ZHANG R N, LI H. Opportunities, challenges and suggestions for China-ASEAN energy cooperation [J]. *Energy of China*, 2022, 44(11): 77-86. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2355.2022.11.010.
- [18] HESEL P, BRAUN S, ZIMMERMANN F, et al. Integrated modelling of European electricity and hydrogen markets [J]. *Applied energy*, 2022, 328: 120162. DOI: 10.1016/j.apenergy.2022.120162.
- [19] 刘尚泽, 于青, 管健. 氢能利用与产业发展现状及展望 [J]. *能源与节能*, 2022(11): 18-21. DOI: 10.16643/j.cnki.14-1360/td.2022.11.038.
- LIU S Z, YU Q, GUAN J. Current situation and prospects of hydrogen energy utilization and industrial development [J]. *Energy and energy conservation*, 2022(11): 18-21. DOI: 10.16643/j.cnki.14-1360/td.2022.11.038.
- [20] 高新伟, 安瑞超. 氢能产业发展情况分析 & 政策建议 [J]. *中国石化*, 2022(11): 42-45. DOI: 10.3969/j.issn.1005-457X.2022.11.018.
- GAO X W, AN R C. Analysis of hydrogen industry development and policy suggestions [J]. *Sinopec monthly*, 2022(11): 42-45.

- DOI: [10.3969/j.issn.1005-457X.2022.11.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-457X.2022.11.018).
- [21] 王雪莹, 薛雅. 国际社会促进氢能研发与产业发展的举措与借鉴 [J]. *全球科技经济瞭望*, 2022, 37(10): 61-68. DOI: [10.3772/j.issn.1009-8623.2022.10.008](https://doi.org/10.3772/j.issn.1009-8623.2022.10.008).
WANG X Y, XUE Y. Practices and references of the international community in promoting hydrogen energy R&D and industry [J]. *Global science, technology and economy outlook*, 2022, 37(10): 61-68. DOI: [10.3772/j.issn.1009-8623.2022.10.008](https://doi.org/10.3772/j.issn.1009-8623.2022.10.008).
- [22] 李雪威, 李鹏羽. 中欧氢能竞争与合作新态势及中国应对 [J]. *德国研究*, 2022, 37(5): 4-24, 113.
LI X W, LI P Y. Zu wettbewerb und zusammenarbeit in wasserstoff zwischen China und der EU sowie Chinas reaktion [J]. *Deutschland-studien*, 2022, 37(5): 4-24, 113.
- [23] 朱彤, 李雅卓. 德国能源转型进程中氢能发展经验及启示 [J]. *世界石油工业*, 2022, 29(5): 11-16.
ZHU T, LI Y Z. Development and enlightenment of hydrogen energy in the German energy transition process [J]. *World petroleum industry*, 2022, 29(5): 11-16.
- [24] 陈冬梅, 李银铃. 氢能产业的发展现状、瓶颈及发展策略 [J]. *中国高新科技*, 2022(20): 89-91. DOI: [10.13535/j.cnki.10-1507/n.2022.20.32](https://doi.org/10.13535/j.cnki.10-1507/n.2022.20.32).
CHEN D M, LI Y L. Development status, bottleneck and development strategy of hydrogen energy industry [J]. *China high and new technology*, 2022(20): 89-91. DOI: [10.13535/j.cnki.10-1507/n.2022.20.32](https://doi.org/10.13535/j.cnki.10-1507/n.2022.20.32).
- [25] 金瑞庭. 全球主要国家发展氢能的实践经验与政策建议 [J]. *中国能源*, 2022, 44(7): 5-9. DOI: [10.3969/j.issn.1003-2355.2022.07.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2355.2022.07.001).
JIN R T. Practical experience and policy suggestion of developing hydrogen energy in major countries in the world [J]. *Energy of China*, 2022, 44(7): 5-9. DOI: [10.3969/j.issn.1003-2355.2022.07.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2355.2022.07.001).
- [26] 王超, 孙福全, 许晔, 等. 世界主要经济体氢能发展战略剖析与启示 [J]. *世界科技研究与发展*, 2022, 44(5): 597-604. DOI: [10.16507/j.issn.1006-6055.2022.04.005](https://doi.org/10.16507/j.issn.1006-6055.2022.04.005).
WANG C, SUN F Q, XU Y, et al. Analysis and enlightenment of hydrogen development strategy of world's major economies [J]. *World sci-tech R& D*, 2022, 44(5): 597-604. DOI: [10.16507/j.issn.1006-6055.2022.04.005](https://doi.org/10.16507/j.issn.1006-6055.2022.04.005).
- [27] 程一步. 2022年国内氢能产业发展动态及新政策对产业影响浅析 [J]. *石油石化绿色低碳*, 2022, 7(5): 1-6. DOI: [10.3969/j.issn.2095-0942.2022.05.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-0942.2022.05.001).
CHENG Y B. China's hydrogen energy industry development and new policy implications in 2022 [J]. *Green petroleum & petrochemicals*, 2022, 7(5): 1-6. DOI: [10.3969/j.issn.2095-0942.2022.05.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-0942.2022.05.001).
- [28] 孙德强, 张俊武, 吴小梅, 等. 我国氢能产业发展现状、挑战及对策 [J]. *中国能源*, 2022, 44(9): 27-35. DOI: [10.3969/j.issn.1003-2355.2022.09.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2355.2022.09.004).
ZHANG D Q, ZHANG J W, WU X M, et al. Development status, challenges and countermeasures of hydrogen energy industry in China [J]. *Energy of China*, 2022, 44(9): 27-35. DOI: [10.3969/j.issn.1003-2355.2022.09.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2355.2022.09.004).
- [29] 许传博, 刘建国. 氢储能在我国新型电力系统中的应用价值、挑战及展望 [J]. *中国工程科学*, 2022, 24(3): 89-99. DOI: [10.15302/J-SSCAE-2022.03.010](https://doi.org/10.15302/J-SSCAE-2022.03.010).
XU C B, LIU J G. Hydrogen energy storage in China's new-type power system: application value, challenges, and prospects [J]. *Strategic study of CAE*, 2022, 24(3): 89-99. DOI: [10.15302/J-SSCAE-2022.03.010](https://doi.org/10.15302/J-SSCAE-2022.03.010).
- [30] 张智, 赵苑瑾, 蔡楠. 中国氢能产业技术发展现状及未来展望 [J]. *天然气工业*, 2022, 42(5): 156-165. DOI: [10.3787/j.issn.1000-0976.2022.05.017](https://doi.org/10.3787/j.issn.1000-0976.2022.05.017).
ZHANG Z, ZHAO Y J, CAI N. Technological development status and prospect of hydrogen energy industry in China [J]. *Natural gas industry*, 2022, 42(5): 156-165. DOI: [10.3787/j.issn.1000-0976.2022.05.017](https://doi.org/10.3787/j.issn.1000-0976.2022.05.017).

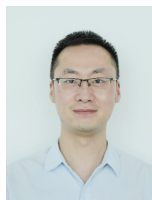
作者简介:



赵振利

赵振利 (第一作者)

1991-, 女, 河南濮阳人, 助理研究员, 博士, 主要研究方向为产业政策研究(e-mail)zhaozhenli@ccidthinktank.com。



王刚

王刚 (通信作者)

1986-, 男, 陕西咸阳人, 助理研究员, 博士, 主要研究方向为能源互联网、产业研究(e-mail)wanggang@ccidthinktank.com。

(编辑 叶筠英)