

德国氢能战略的驱动逻辑与成效评估

——基于全球氢能产业空间的分析*

寇静娜 张 锐

内容提要:由于清洁氢气能够帮助难以脱碳的钢铁、交通运输等行业实现深度脱碳,因此,氢能已成为各国应对气候变化和清洁能源转型的重要战略选择。其中,以德国为代表的欧洲发达工业经济体最为积极,通过国家战略部署,德国主动参与并建构以绿氢为主的全球氢能贸易网络。基于氢能产业特有的网络结构和“中心—外围”空间属性分析,本文认为,德国氢能战略的驱动内核是由联邦政府、产业联盟及科研院所组成的三重螺旋模型,促使该国提出远超现实的庞大氢能需求,并依此部署主要侧重于海外的系统行动。通过分析三个参与程度不同的海外案例,本文评估了德国氢能战略在加速推动本土能源转型的同时,试图进一步主导和把控绿氢出口国及全球供应链的目的,呈现出一定程度的“绿色殖民主义”色彩。中国作为全球氢能产业的重要一极,应深入理解上述行动的底层逻辑,做好有效预判与应对。

关键词:产业空间 德国 氢能战略 三重螺旋模型 海外行动

2015年《巴黎协定》签订之后,欧盟在全球气候治理和能源转型领域的影响力持续衰退,尤其是2020年全球新冠疫情对其造成巨大冲击。尽管欧盟采取了一系列补救措施,但其领导力并未彻底恢复。^①2022年爆发的乌克兰危机进一步改变了欧洲气候正义为先的行动逻辑,更多地转向以能源供应安全为主导的行动部署。因此,德国

* 本文系国家社会科学基金项目“中国深度参与全球能源转型的角色塑造与战略提升研究”(项目批准号:23BGJ036)的阶段性研究成果。感谢匿名评审专家对本文提出的意见与建议,文责自负。

^① 寇静娜、张锐:《疫情后谁将继续领导全球气候治理——欧盟的衰退与反击》,载《中国地质大学学报(社会科学版)》,2021年第1期,第87-104页。

除继续巩固以可再生能源为核心的“能源转向”(Energie Wende)战略外,^①特别把氢能发展作为碳中和目标下重塑欧盟及本国领导力的战略重点,陆续公布高达数十亿欧元的财政支持和具体战略规划,以推动氢能产业发展,促使氢能成为欧盟及德国气候政策、工业政策和经济复苏的关键要素。

目前,全球生产的氢气主要为化石燃料形成的灰氢,以此为基础的蓝氢借助碳捕集、利用与封存技术(CCUS)成为阶段性低碳替代选择,不过总体的碳排放量与气候足迹并不乐观。相比之下,由可再生能源制成的绿氢能够避免上述问题,帮助包括制造业、钢铁等重工业和包括汽车、航空在内的交通物流业实现深度脱碳,进而减缓气候危机。但难题在于,一些拥有氢能技术的发达国家缺乏充足的可再生能源开发潜力,本土绿氢产量难以满足其能源需求,必须依赖进口。^② 总之,氢能特有的技术门槛和对资源的原始需求,令其兼具清洁能源与化石能源的多重特征,致使全球正在形成一种以氢能产业标准和技术为核心,而非以物质资源为绝对主导的新兴国际能源政治形态。

在此背景下,德国作为最积极的推动氢能产业发展的国家之一,其庞大的绿氢需求和以一系列海外行动为核心的国家战略,极具研究代表性和学术价值,能够折射出氢能特有的全球南北合作与博弈的国际政治属性。德国是为了推动自身及其代表的欧洲加速向更清洁安全的能源世界迈进,重返全球气候治理领导者地位?还是试图借助这一新兴能源塑造全新的世界能源秩序,通过对绿氢生产国的“绿色掠夺”,成为本轮清洁能源转型的主导者?抑或两者皆有?本文将通过当前全球氢能产业的基本特征与空间属性,系统评估德国积极推动并主导氢能战略的真实诉求。中国是全球氢能大国之一,可从德国的海外投资与合作中获得启示。

一 氢能产业的网络结构与空间属性

全球氢能产业正处于多品类、多环节的同步发展阶段,由于先天资源、生产成本和选择意愿各不相同,所有涉氢国家态度亦有差异,且没有任何一国可以独立覆盖整个供应链。因此,一种类似传统石油、天然气时代的地缘供需网络初具雏形,特质不同且

^① 2010年,该战略由德国联邦政府提出,自2011年正式公布执行至今,是德国国家能源转型的政策基石。

^② 余珮、郝瑞雪、孙永平:《全球清洁能源合作伙伴关系下的中欧技术合作》,载《欧洲研究》,2023年第4期,第30-54页。

属性鲜明。

(一) 氢能产业的网络结构特征

不同于风能、太阳能等典型的可再生能源,氢能是一种可以通过控制色度和技术供应链、在难以脱碳的领域实现有效深度脱碳的二次能源,还可与储能结合弥补清洁能源不稳定的缺陷。因此,既有研究已经关注到正在兴起的全球氢能网络,侧重研判其可能形成的特殊地缘政治属性,强调氢能产业链的发展将是重塑油气时代世界秩序的历史契机。格拉夫(Thijs Van de Graaf)认为,如果选择大规模进口蓝氢或绿氢,国家间将产生全新的依赖关系,但若给化石燃料生产方和进口方提供以灰氢为主的生存线,能源转型中传统的利益行为体结构则仍难改变,会引发国家间新一轮的地缘经济与技术竞争。^①

上述观点已成为当前主流认知,即很难有一个国家或地区可以完整覆盖氢能从制备、储运到交通或钢铁等具体领域应用的整个产业链,氢能极大可能成为下一种“石油”,通过创造全新的进出口方,改变全球能源贸易版图。在此基础上,本文围绕地缘政治空间、市场反馈和各国行为互动,进一步指出现阶段氢能产业特有的网络结构具有多主体参与、多偏好期望和多依赖权衡三个特征。

第一,多主体参与指不同能源实力与能源基础的国家都在参与和推动氢能发展,旨在通过绿色转型的脱碳行动应对全球气候变化。后疫情时代,氢能作为来源和色度可控的二次能源载体正在撬动全球能源权力版图。因此,氢能国际贸易政治性主要体现为激烈的工业体系扩张、高度分散的国际供应链漩涡和不确定的跨境运输路线。^②除发达国家和新兴经济体十分积极之外,以海湾阿拉伯国家合作委员会成员为代表的油气出口国为了在新一轮能源转型中争取话语权,同样试图借助已有的资源优势 and 能源贸易网络开拓氢能出口市场。此外,许多先天太阳能和风能资源丰富的欠发达地区,如东地中海和非洲国家,为谋求更多海外投资也积极响应,旨在借助全球北方国家的技术与资金援助,努力成为全球氢能产业供应链中的一环,争取在转型中“搭便车”。

第二,多偏好期望围绕氢能色差展开,不同国家或地区对于氢能色度的态度亦不

^① Thijs Van de Graaf et al., “The New Oil? The Geopolitics and International Governance of Hydrogen,” *Energy Research & Social Science*, Vol.70, 2020, DOI:10.1016/j.erss.2020.101667.

^② 寇静娜:《能源转型中的东南亚国家角色与内在冲突——一项以氢能为核心的分析》,载《南洋问题研究》,2022年第2期,第53-71页。

相同。以德国为代表的欧洲是绿氢的坚定支持方,强调只有通过可再生能源电解水制氢才是真正的无碳绿色能源。不过在获取足够的绿氢之前,通过海上运输甲烷合成甲醇及氨等液态有机氢载体,或扩大进口来自邻近地区通过氢气管道运输的蓝氢,也成为西方发达经济体的阶段性选择。相比之下,以中国为代表的亚洲国家虽然也高度支持绿氢,但并不排斥灰氢使用,提高氢能的经济性和商业规模是其首要考虑因素。氢能供应方则兼顾各方认知,以需求方要求为准,在全球范围内呈现两色或多色并行的态势。

第三,多依赖权衡表现为氢能产业链中各国间的依赖性,尤其是全球南北方之间的依赖,即发达国家和不发达国家的捆绑合作。氢能产业的跨国网络将在一个以波动性、不确定性、复杂性和模糊性为特征的国际环境中逐渐成形。^① 因为与化石能源相比,氢能供应链和价值链更长、更复杂,众多参与行为体的不同偏好、诉求会随着地理位置、能源资源、运输路线、关键市场、生产需求量和项目投融资的变化而变化,且随着整个产业链的持续分散,依赖性最终也可能变得复杂交织且难以掌控。例如,即便像中国这样一个短期内不需要进口氢能的国家,在制氢装备原材料、技术研发和成本商业化方面也可能会依赖其他氢能产业链的参与方。

(二)全球氢能产业的空间属性

“中心—外围”理论、依附论和世界体系理论一并构成分析发达工业体系中后发国家现代化受阻的理论流派,侧重研究全球不同地区如何被逐步“编织”,纳入以资本主义世界为中心的体系之中。^② 普雷维什(Raul Prebisch)基于拉美地区畸形的依附经济结构提出“中心—外围”理论,即由于“外围”欠发达地区缺乏资金、技术和市场等资源要素,必须依赖“中心”供给,形成不平等分配。^③ 在此基础上,依附论将上述概念从经济层面延伸到社会政治及文化等不同领域,强调“外围”地区对“中心”地区资本与价值观的绝对依靠。^④ 沃勒斯特(Immanuel Wallerstein)进一步提炼出系统的世界体系理论,指出世界经济体系本质上是“中心—半边缘—边缘”的不平等剥削结构,不同地区在不同的角色扮演中获利差距巨大,且随着“中心”逐步扩张将“外围”纳入中

^① Mathew J. Burrows and Oliver Gnad, “Between ‘Muddling Through’ and ‘Grand Design’: Regaining Political Initiatives—the Role of Strategic Foresight,” *Futures*, Vol.97, 2018, pp.6–17.

^② Theotonio Dos Santos, “The Structure of Dependence,” *The American Economic Review*, Vol.60, No.2, 1970, pp.231–236.

^③ 董国辉:《经济全球化与“中心—外围”理论》,载《拉丁美洲研究》,2003年第2期,第50–54页。

^④ [德]安德烈·冈德·弗兰克:《不发达的发展》,载[美]查尔斯·威尔伯编:《发达与不发达问题的政治经济学》,高钰等译,商务印书馆2015年版,第161–176页。

心边缘。^①

总之,不同流派和学者对世界体系“不平等”“失衡”或“依附”的核心理念认知高度一致,^②并在氢能领域得到有效验证。目前,全球氢能产业现状是灰氢充足,但出于碳排放要求尽可能避免使用;蓝氢和绿氢供需区域地理分裂,通过典型能源消费与供给关系的折射,形成特有的清洁氢能进出口贸易网络,塑造出具有“中心—外围”特征的空间关系,即“中心”往往是全球或区域内能源高消费的发达地带,而“外围”是清洁能源或油气资源禀赋较好、能够大规模制备氢气的欠发达地区。

在这种空间关系中,“中心”被定义为氢能技术、资金和相关工业密集地区,“周边”区域的特点是基础设施薄弱、工业化程度低和社会经济条件差。两者之间存在“中心—外围”理论中典型的失衡关系,具体包括四种:(1)供需失衡。有出口意愿的国家远多于有进口意愿的国家,这种局面在可预见的未来还将持续,为此买方更具主导权。(2)技术失衡。有购买意愿的德国、日韩等国技术实力显著,而售卖氢气的多数发展中国家则毫无技术实力。(3)投资实力失衡。德国及欧盟针对清洁能源的投资预算相对充足,面向全球提供扶持项目与建设资金,而能够出口氢能的欠发达国家基本只能被动等待。(4)资源失衡。拥有需求、技术和资金优势的进口方基本都存在先天资源匮乏的问题,出口方恰好相反,拥有绝对丰富的土地、风能或太阳能资源。

上述可见,氢能产业的国际贸易供需网络形成了特有的“中心—外围”空间,重点包括欧洲大陆和亚洲大陆两个宏观区域。其中,一个以欧洲为“中心”,东地中海、中东、北非为“外围”地区;另一个以东北亚为“中心”,东南亚、南亚、中亚为“外围”地区。两个空间均辐射到澳大利亚和撒哈拉以南的非洲等地区:前者氢源丰富,涉及氢能出口贸易;后者拥有丰富的太阳能、风力资源和电解槽关键原材料矿产。^③不同的“中心—外围”空间组合反映出不同的地缘政治与经济关系,每个“中心”均有自己的“外围”区域,彼此也非绝对隔绝,联系程度各有不同,^④具有特别的空间属性(见表1),可以概括为三个特征。

第一,全球氢能产业竞争的空白领域多且差异明显。氢能与油气贸易的主要区别是其进出口贸易的不对称性较弱。因为从技术上来看,世界上几乎所有地方都有生产

^① 陈子焯:《中国式现代化对“中心—外围”体系的突破及其重大意义》,载《东方学刊》,2023年第4期,第13-21页。

^② 隋广军、郁清漪:《全球援助治理改革与共同体构建》,载《世界经济与政治》,2023年第4期,第2-25页。

^③ 美国的地缘“孤岛”性质和以页岩气为主的能源生产重点战略,使北美氢能产业尚未形成上述空间。

^④ Bowen Yan and Jianxi Luo, “Multicores-Periphery Structure in Networks,” *Network Science*, Vol.7, No.1, 2019, pp.70-87.

氢气的可能性,绝大多数国家都可以成为氢的生产和消费者,而且氢不易储存,使得出口国很难将氢能贸易“武器化”,进口国也不会被一个供应商困住,不可能像油气资源一样,由于天然的地域限制而出现垄断性和排他性。^①换言之,氢能的资源、技术和投资可以根据需求分散流动,并非如跨境电力贸易一样根据双方供求条件双向流动,而是更多地呈现出从出口方到进口方的单向流动。正是由于构建供需一体化、运作良好、清洁的区域氢能市场充满不确定性和未知风险,因而亟待填补的空白领域很多。

尽管目前全球已有近30个国家发布国家级氢能战略或路线图,但在氢气生产途径和具体应用方面仍存在明显差异,最大分歧在于不同国家对氢能的色度有不同偏好。为此,基于避免碳锁定和降低投资风险的需要,应根据《巴黎协定》建立国际协商框架,设定一套各方协调一致的标准和认证规则,科学识别氢及其衍生物的碳含量,通过规定氢气色度证书的有效时间,为2050年后实现碳中和铺平道路。但矛盾在于,欧洲主推一步到位的电解水制取绿氢,蓝氢仅用于阶段性过渡;而亚洲侧重打造规模化氢能经济,通过商业市场获得竞争优势。

第二,氢能产业在全球化背景下更趋区域化,且“中心”与“外围”关系不断变化,存在交叉竞争空间。氢能产业空间的内核是形成稳定的进出口贸易循环,以德国为代表的欧洲空间在“气候道德”的压力下,由于在本土难以满足符合要求的绿氢产量,只能通过海外项目从“外围”地区进口;而以中国和日韩为“中心”的亚洲空间则将精力放在产业链的技术渗透上,如氢燃料电池汽车推广,对于色度的要求并未放在首位。两个空间各有重点,均存在对共同资源的竞争,竭力在产业链持续博弈中争取更大的优势。为此,氢能产业空间无法扁平化或像传统贸易一样真正全球化,更准确的定义应是全球化背景下的区域化或“堡垒化”。

事实上,此类“中心—外围”地区的界定并非由既有地理与社会环境决定,更多地取决于产业设施密集程度和政治经济因素,对外部地缘政治力量的渗透与反渗透也是一个考虑因素。随着“外围”地区日趋远离传统能源旧“中心”,离心力会同步增强,欧亚大陆现有空间的能源博弈紧张程度随之增高,技术和产业竞争也将更加激烈。因此,两个氢能产业空间的扩张显示出相似特征:空间中的“外围”地区并非一成不变,可能正在转变为次中心或中转互联空间,即旧空间的边界逐渐模糊,新的更大空间正在形成。

^① 张锐:《绿色剧变:能源大革命与世界新秩序》,生活·读书·新知三联书店2024年版,第308页。

第三,以技术标准为主导,绿氢电解槽的技术路线与关键原材料成为竞争焦点。通过可再生能源电解水制取的氢是最受西方肯定的无碳绿氢,其成本居高不下主要是因为电解槽技术。目前只有碱性(AEL)电解槽和质子交换膜(PEM)电解槽两种技术较为成熟:前者成本低但启动时间长;后者虽然启动快、效率高,但阴阳两极必须由全球较为稀缺、昂贵的金属铂和铱制成,且没有替代品。以德国为代表的欧洲相关技术研究投入较早,拥有各类电解槽的技术优势和成熟的生产制造体系,但氢能产业链的依赖性和脆弱性仍十分明显,不仅需要考虑原材料的供应和关键部件的采购,还要关注中国作为竞争对手在电解槽制造方面日益增加的市场支配地位。其具体表现在两个方面:一方面,AEL电解槽涉及镍,中国的镍储量虽然不多,但冶炼和精炼业务分别超过全球供应量的四分之三和三分之一,能够以极大的成本优势生产AEL电解槽。中国生产的电解槽与欧洲电解槽的功率和质量水平相似,但成本只有欧洲的五分之一,产量已占全球一半以上,且仍在加速增长,这直接导致欧洲的技术和市场领先优势持续丧失。^①另一方面,全球铂金矿藏主要集中在南非、俄罗斯和津巴布韦,与欧洲均存在贸易脱钩或地缘冲突风险。此外,中国正逐渐取得PEM电解槽技术发展领域的重要地位,美国对该市场也越来越感兴趣,中美均成为PEM电解槽的重要竞争对手。

表1 全球氢能产业“中心—外围”空间属性特征

两大空间		欧洲空间	亚洲空间
“中心—外围”		德国(欧盟)—东地中海及北非	日韩—东南亚及中亚
次辐射空间		拉丁美洲、撒哈拉以南非洲	俄罗斯
空间属性	输出形式	整体项目为先、标准输出	产业链技术渗透、燃料汽车
	氢能色度	以绿氢为主	并不强调绝对绿色
	技术门槛	质子交换膜(PEM)电解槽技术有优势,但成本高且产能不足	通过碱性(AEL)电解槽技术逐渐追赶,且产能巨大
	交叉区域	存在竞争交叉空间,如澳大利亚、中东等	

注:表由作者自制。

^① David Chen, “China’s Regulatory Agenda for Energy: Current Developments Leading to Future Opportunities for Nickel,” Nickel Institute, June 5, 2020, <https://nickelinstitute.org/en/blog/2020/june/chinas-regulatory-agenda-for-energy/>.

二 德国氢能战略的关键内核与驱动主体

为了将能源供应的安全性、经济性、环保性与创新智能型气候保护有效结合起来,确保本土能源转型的效率与成果,德国于2020年6月发布了《国家氢能战略》(Die Nationale Wasserstoffstrategie),预估到2030年,本土氢能需求将达到90—110太瓦时,届时国内电解槽功率应达到5吉瓦才能满足部分的绿氢需求,其余绿氢由海外市场进口。同时,该战略明确了持续扩大以绿氢为核心的供需关系及应用市场将成为德国整体脱碳战略的核心组成部分。^①经过三年详细的系统评估,德国再次调整和修订目标,2023年7月正式对外发布新版《国家氢能战略》,将2030年氢能需求提升至95—130太瓦时,将此前绿氢电解槽5吉瓦的目标提至10吉瓦,预计届时进口量会占总需求量的50%—70%;还扩大了管道运输规模,预计在2028年之前,德国本土将改造超过1800公里的氢气管道,在欧洲境内增加约4500公里氢气管道,^②这意味着德国将成为欧洲乃至全球最大的绿氢进口国。^③

不仅如此,德国还借助自身影响力在欧洲层面持续拓展国际合作。2018年9月,德国联邦政府与欧盟委员会及其成员国共同签署“欧洲氢能倡议”(A European Hydrogen Initiative),将氢能确立为具有国际战略意义的价值创造链,并在2020年担任欧盟理事会主席国期间推动欧盟委员会发布《欧盟氢能战略》(A Hydrogen Strategy for A Climate-Neutral Europe)。^④2022年乌克兰危机后,德国进一步提升了氢能在欧洲的战略重要性。欧盟为重塑能源安全发布的“重新赋能欧盟”(REPowerEU)方案中,明确设定2030年绿氢需求目标为2000万吨,一半在欧盟境内生产,另一半从海外进口,^⑤与2021年全球绿氢产量仅不到4万吨相比,^⑥这个目标几无实现的可能性。欧盟还计划

^① “The National Hydrogen Strategy,” BMWI, June 2020, https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/files/bmwi_nationale-wasserstoffstrategie_eng_s01.pdf?_blob=publicationFile&v=2.

^② “National Hydrogen Strategy Update,” BMWK, July 2023, <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/national-hydrogen-strategy-update.pdf?blob=publicationFile&v=2>.

^③ Andrea Dertinger et al., “Covering Germany’s Green Hydrogen Demand: Transport Options for Enabling Imports,” Guidehouse, 2022, <https://guide-house.com/-/media/www/site/insights/energy/2022/transport-options-for-covering-germanys-green-hydrogen-demand.pdf>.

^④ European Commission, “A Hydrogen Strategy for A Climate-neutral Europe,” July 8, 2020, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301>.

^⑤ European Commission, “REPowerEU: A Plan to Rapidly Reduce Dependence on Russian Fossil Fuels and Fast forward the Green Transition,” May 18, 2022, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_3131.

^⑥ IEA, “Global Hydrogen Review 2022,” September 2022, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>.

通过部分改造天然气管道和部分新建管道的方式,到 2040 年铺设 53000 公里氢气管道,^①与欧洲目前仅有的 2000 公里氢气管道相比,这同样也是一个过于超前的设想(见表 2)。^②

表 2 德国及欧盟氢能战略目标

战略名称	发布时间	目标时间	氢能需求	本土电解	海外进口
《国家氢能战略》	2020 年 6 月	2030 年	90—110 太瓦时	5 吉瓦	船舶运输为主
新版 《国家氢能战略》	2023 年 7 月		95—130 太瓦时	10 吉瓦	船舶运输与 管道运输兼备
《欧盟氢能战略》	2020 年 7 月		1000 万吨	40 吉瓦	
REPowerEU	2022 年 5 月		2000 万吨	目标的一半	
共同特征:本土电解槽功率难以满足需求,必须大规模依赖海外进口					

注:表由作者自制。

(一) 德国氢能战略的关键内核

事实上,德国乃至欧盟很少出现设定目标与现实基础差距过大的政策,氢能战略却是例外。其中,德国格外积极的意愿发挥了重要作用,甚至可以把欧盟的氢能战略视为德国氢能战略的升级版。因此,准确解读德国氢能战略的关键内核,也成为深刻理解全球氢能产业网络结构中欧洲空间的重要途径。本文将借助三重螺旋模型解释德国这种“高目标—低基础—重海外”氢能战略的内在驱动逻辑。

三重螺旋模型由埃茨科维茨(Henry Etzkowitz)和莱德斯多夫(Loet Leydesdorff)于 1997 年提出,强调向知识—科技型社会的迈进应建立在政府、高校和产业综合发展的基础之上(见图 1)。^③ 该模型需要模糊并重叠掌权者(政府)、创新机构(高校)和产业界(企业)之间的传统边界,通过利用三方之间的合作关系与潜力,侧重为具有产业实

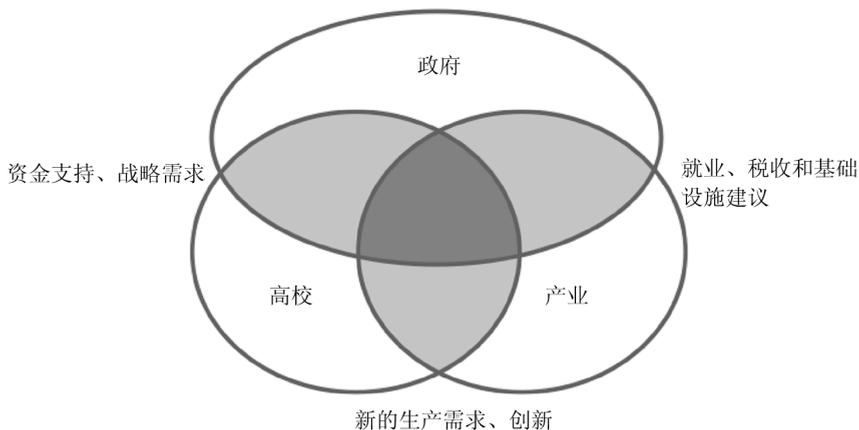
^① European Hydrogen Backbone, “European Hydrogen Backbone: Implementation Roadmap—Cross Border Projects and Costs Update,” November 2023, <https://www.ehb.eu/files/downloads/EHB-2023-20-Nov-FINAL-design.pdf>.

^② IEA, “Global Hydrogen Review 2024,” October 2024, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf>.

^③ Henry Etzkowitz and Loet Leydesdorff, eds., *Universities and the Global Knowledge Economy: A Triple Helix of University-Industry-Government Relations*, Pinter, 1997.

用性知识的传播和运用建立系统框架,巩固知识学习型社会的领先效用,提高经济发展水平。^① 罗德里格斯(Carlos Rodrigues)和苏维宁(Nina Suvinen)进一步指出,模型的关键要素是进程中所有已确定的利益相关者的相互关系,包括不同类型、层面及组织的合作,鼓励从临时合作逐渐转变为战略联盟。^② 该模型恰好可以用于解释德国氢能战略的内在驱动逻辑,因为绿氢对电解槽的技术要求和其成本经济性需要相关产业的支持,反之,相关的技术创新也将加速推动清洁能源转型速度,政府可以通过连接两者,创造合理有利的合作条件,最终为科学界解决氢能产业现实需求提供有力支撑。但原始的重螺旋模型无法清晰诠释德国氢能战略的内核,需要在开放创新与技术商业化的背景下调整利益相关者的关系,进一步细化、升级三重螺旋模型,构建适用于本文的模式结构(见图2)。

图1 三重螺旋模型示意图

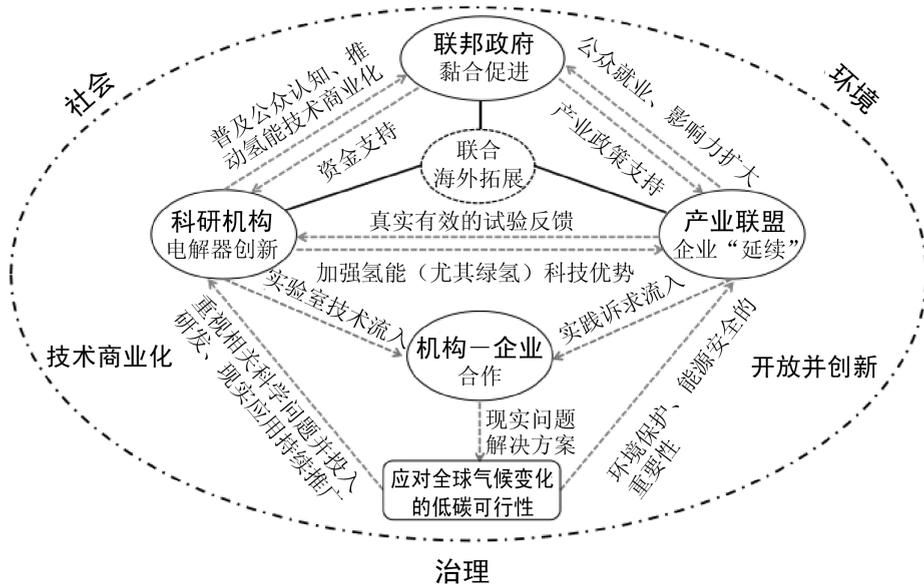


注:图由作者自制。

^① Henry Etzkowitz and Jose Manoel Carvalho de Mello, "The Rise of A Triple Helix Culture Innovation in Brazilian Economic and Social Development," *International Journal of Technology Management & Sustainable Development*, Vol.2, No.3, 2004, pp.159-171; Henry Etzkowitz, "The New Visible Hand: An Assisted Linear Model of Science and Innovation Policy," *Science and Public Policy*, Vol.33, No.5, 2006, pp.310-320.

^② Carlos Rodrigues and Ana Melo, "The Triple Helix Model as an Instrument of Local Response to the Economic Crisis," *European Planning Studies*, Vol.20, No.9, 2012, pp.1483-1496; Nina Suvinen et al., "How Necessary Are Intermediary Organizations in the Commercialization of Research?" *European Planning Studies*, Vol.18, No.9, 2010, pp.1365-1389.

图 2 德国氢能战略的三重螺旋模型结构



注：图由作者自制。

德国氢能战略的三重螺旋模型中,每个合作领域都需要利益相关者之间的良性互动、技术的商业推广、解决方案的开放共享、对可持续发展中宏观外部环境的协调和对社会治理基本原则的坚持。在此背景下,包括高校在内的科研机构通过技术研发和创新,持续加强对相关绿氢企业的科技支撑,在现实的试验场开发创新解决方案,为学生提供实践培训及就业保障,并吸引工业合作伙伴参与项目实施。同时,产业链上企业组成的产业联盟也可通过具体项目的落地、运营获取相关技术的试验反馈,创建能够扩大产能且符合现实需求的绿氢解决方案,共同赢得应对全球气候变化的低碳市场。事实上,战略性新兴产业很难自然壮大,前期必须通过外力干预提高其影响力,氢能产业便是典型代表,其之所以现阶段在德国享有战略优先发展权,与具体从事技术创新的科研机构与能源企业紧密相关:科研机构数十年在电解槽技术领域积累深厚,甚至是相关技术的创始、发明方;产业联盟不仅包括各类电解槽制造商,还有一批小型企业专注于尚未成熟的新兴技术。此外,由于化石燃料正被逐步淘汰,意味着相关企业的基础设施极大可能成为搁浅资产,德国传统能源企业、油车制造商等都在去碳化的进

程中出现生存危机,因此,催热氢能产业成为保护现有企业资产价值和实现经济脱碳的有效出路。

但三重螺旋结构中尤为关键的是,科研机构和能源企业的合作需要在联邦政府的支持下展开,科研机构借此获得稳定、可持续的资金支持,对公众开展科普教育,推动氢能技术商业化;能源企业能够通过各类有针对性的鼓励政策和奖励措施扩大生产,继续维持经营和生存;联邦政府则借助前两者的联合扩大以绿氢为主的氢能产业规模,对内稳定社会、提高就业和提升公众认可度,对外继续提高在全球清洁能源转型中的影响力和领导力。实践表明,德国的大型工业经济体必须拥有稳定、安全、可控的氢能供应体系,在可再生能源和其他能源难以完全提供安全保障之前,德国应该将氢能作为可把控主导权的战略性能源资源。

事实上,德国的氢能战略从来不是单纯的能源供给或进口方略,而是多方共同参与的产业链组合战略,旨在通过自身氢能技术、装备及项目的“出海”和落地,为本土新兴产业开拓国际生存空间,进一步维系传统能源、化工、钢铁等高碳行业的优势。上述三重螺旋结构中体现的合作模式成为德国通过扩张绿氢产业实现预期能源安全的有效选择,利益相关者们不仅把氢能作为2022年乌克兰危机背景下能源供给的替代保障,还将其作为本国引领全球低碳转型的战略依托,因此,德国加速将氢能产业整体纳入国家能源体系,最大力度地促进绿氢体系建设。换言之,德国在全球氢能产业网络空间中积极构建运输和贸易网络是自身氢能战略内在诉求的外在体现。

(二) 利益相关者成为驱动主体

德国氢能战略的关键内核是由联邦政府、产业联盟和科研院所组成的三重螺旋模型,在连接内部关系的同时,通过所有利益相关者彼此推动、双向互动的关联合作和建设性关系,不仅能够创造符合氢能市场需求的商品经济,如解决电解槽成本居高不下等特定问题,还能够对社会、环境和全球治理产生积极影响,形成对外扩散的行动力。三方利益相关者(见表3)不仅是氢能战略的主要驱动力,也是整个欧洲氢能“中心—外围”空间关系的塑造者。尤其是政府和企业,既有内部诉求,又有产业扩张、新型能源外交、加深与全球南方关系等各种外部诉求。因此,德国具有积极的主观意愿、扎实的技术实力和充分的资金支持,使其成为新的氢能网络空间的“中心”。

表 3 德国氢能战略关键利益相关者

利益相关者	政府领域	产业领域	科研领域
主要层面	<p>执政联盟: 目前是由社民党 (SPD)、绿党 (Die Grünen) 及自民党 (FDP) 组成的执政联盟</p> <p>具体事务部门: 联邦经济事务和气候行动部 (BMWK); 联邦教育与研究部 (BMBF); 国家氢能委员会 (NWR); 联邦环境、自然保护和核安全部 (BMUV); 德国能源署 (DENA)</p>	<p>化石能源企业及运营商: 林德 (Linde); 温特沙尔 (Wintershall Dea); 意昂集团 (E.ON); 莱茵集团 (RWE); 壳牌石油 (BP); 挪威国家石油公司 (Equinor); 尤尼珀 (Uniper) 等</p> <p>行业协会与咨询公司: 德国能源与水行业协会 (BDEW); 未来天然气组织 (Zukunft Gas); 德国氢能和燃料电池协会 (DWV)</p>	<p>高校: 慕尼黑工业大学 (TUM); 亚琛工业大学 (RWTH Aachen); 科隆大学 (UzK) 等</p> <p>科研机构: 弗劳恩霍夫应用研究促进协会 (Fraunhofer-Gesellschaft) 以及下辖的加工机械和加工技术研究所 (IWU); 生产技术研究所 (IPT); 制造工程和自动化研究所 (IPA); 纳米系统研究所 (ENAS); 材料与系统微结构研究所 (IMWS); 风能系统研究所 (IWES) 等</p>
次要层面		<p>电解槽制造商: 西门子 (Siemens); 蒂森克虏伯 (Thyssenkrupp); 舍弗勒 (Schaeffler) 和 MAN Energy Solutions (大众汽车子公司)</p> <p>钢铁、锅炉及化工企业: 蒂森克虏伯 (Thyssenkrupp); 萨尔茨吉特 (Salzgitter); 菲斯曼 (Viessmann); 巴斯夫 (BASF) 等</p> <p>交通运输企业: 戴姆勒卡车 (Daimler Truck); 莱斯航运 (Laeisz); 德国联邦铁路货运公司 (DB Cargo); 汉莎航空 (Lufthansa) 等</p>	<p>科研机构: 亥姆霍兹联合会 (HGF); 马克思·普朗克协会 (MPG) 等</p>

注:表由作者自制。

第一,利益相关者中的联邦政府不仅指执政联盟,还包括负责具体业务的事务部门和特殊职能委员会,各方内部关联紧密,共同组成氢能战略的发布方。上一任德国总理默克尔在最后任期发布氢能战略,具体主导落实的部门为联邦经济与能源部(BMWi),时任该部门负责人彼得·阿尔特迈尔(Peter Altmaier)与默克尔是基民盟党内同事。从某种程度上说,负责主要事务的部门政策反映了联邦政府的意志,同时也代表德国的超大型企业介入国内乃至欧盟的决策。^①德国联邦教育与研究部(BMBF)在氢能战略中也扮演着重要角色,2021年投入7.4亿欧元启动了三个为期四年的绿氢项目,旨在打造德国在全球绿氢领域中的领导地位。成立于默克尔政府时期的德国国家氢能委员会(NWR)由25人组成,其中16名委员来自与政府联系紧密的氢能供应链企业和公共事业部门,至今仍负责就氢能战略的实施向政府提供专业建议。

第二,产业领域的利益相关者由企业、行业协会和咨询协会组成,其中化石能源企业尤为积极,是德国氢能战略的主导方和推动方。因为新版《国家氢能战略》中明确提出,在绿氢生产满足需求前,允许有限度地使用蓝氢、绿松石氢(来自化石气体,产生固体碳)和橙氢(基于废物和残余材料),因此氢能成为德国化石能源企业谋求自身转型和生存的关键赛道。例如,温特沙尔(Wintershall Dea)等天然气运营商把从天然气中提炼出的蓝氢称为通向未来更清洁氢气的低碳桥梁,通过扩大氢能业务量,建造更多的管道、进口终端和储气设施。氢能消费端的钢铁化工企业,如蒂森克虏伯(Thyssenkrupp)及巴斯夫(BASF)等,也将产业命运押在绿氢和低碳氢能够实现工业脱碳之上。交通行业协会认为,氢是可以有效减少长途运输中碳排放的关键燃料,因而,汽车制造商和铁路货运、航空运输及机场港口运营商也成为氢能产业积极的参与方。德国本土最大的能源协会——能源与水行业协会(BDEW)(其1900多家会员覆盖德国90%的化石燃料业务)^②和拥有近130个天然气行业成员的未来天然气组织(Zukunft Gas)均与企业一起积极推动氢能发展。

第三,确保绿氢技术优势和标准的高校与科研机构是提高竞争力、促进交叉融合发展的战略技术支持方。最有代表性的就是成立于1949年的弗劳恩霍夫应用研究促进协会(Fraunhofer-Gesellschaft),作为德国最大的应用技术研发机构,其绝大多数成

^① Corporate Europe Observatory and LobbyControl e.V., “Tainted Love: Corporate Lobbying and the Upcoming German EU Presidency,” June 2020, <https://corporateeurope.org/sites/default/files/2020-06/Corporate-lobbying-DE-presidency-web%20ENG.pdf>.

^② BDEW, “Mitglieder,” <https://www.bdew.de/verband/mitglieder/>.

员基于大学已有的科研团队,确保技术从实验室向应用端的有效流通。以联邦政府大力资助的里程碑项目“H2Giga”(电解水规模化)、“H2Mare”(海上氢及载体产品生产)和“TransHyDE”(氢气运输技术)为例,弗劳恩霍夫应用研究促进协会所有相关领域的研究所全部参与其中。此外,包括亚琛工业大学等高校在内的二百多个科研院所均参与具体的氢能产业项目,旨在消除德国大规模开展氢能应用的障碍。

在三方利益相关者的螺旋互动过程中,企业主导的产业参与方最为积极,竭力推进影响政府决策和具体战略的细节,甚至形成自下而上的氢能游说集团,雇用前政府官员管理企业或工业联合会,对政府建立的有效政策进行反馈。更重要的是,绿氢在德国氢能战略中始终处于第一位,但很长一段时间内需要依靠海外供氢,以液氢等为载体的海运贸易成为氢能战略中最重要的供应解决方案。因此,为了确保国家氢能战略的顺利实施,三重螺旋结构的参与方积极驱动、拓展海外业务,自然也成为全球氢能产业中欧洲“中心—外围”空间的核心缔造者。

三 德国氢能战略中海外项目的典型特质

根据新版《国际氢能战略》的评估,到2030年,德国需通过海外进口弥补届时三分之二的氢能需求,且综合已有的政策设置与路线规划,其氢能进口未来将占欧洲进口氢能需求总和的60%至70%。^①为了实现上述战略目标,德国积极开展海外行动,其氢能双边合作关系由近及远划分为四类:加入德国组建的氢联盟国家,包括阿尔及利亚、澳大利亚、加拿大、摩洛哥、纳米比亚、突尼斯等;设立氢外交论坛和建立对话关系的国家,包括安哥拉、尼日利亚、沙特阿拉伯、哈萨克斯坦、阿曼等;建立以氢为优先事项的能源伙伴关系和对话关系的国家,包括挪威、巴西、智利、墨西哥、南非、中国、日本、韩国、印度、越南、卡塔尔、土耳其、阿联酋等;建立以氢为优先事项的双边气候和发展伙伴关系的国家,如肯尼亚。

本文围绕全球氢能产业空间结构中德国对外合作的重点方向,分别选择纳米比亚的Hyphen绿氢项目、智利的Haru Oni氢基燃料项目和沙特的Neom零碳社区项目三个典型案例,通过合作地区、氢气色度、利益相关者等属性分析,研判德国氢能战略侧重海外项目的底层逻辑和根本诉求。

^① Andrea Dertinger et al., “Covering Germany’s Green Hydrogen Demand: Transport Options for Enabling Imports”.

(一) 德国主导型: 纳米比亚 Hyphen 绿氢项目

纳米比亚位于非洲西南部,地广人稀且拥有丰富的太阳能与风力资源,凭借其连接欧洲的运输路线和区位优势,成为德国选择价格低廉的绿氢的重要海外合作方。2021年,纳米比亚政府向全球发布价值约100亿美元的大型绿氢项目招标,德国能源企业英塔格(Enertrag)与国际投资企业尼可拉斯控股公司(Nicholas Holdings)共同合资的Hyphen氢能公司(Hyphen Hydrogen Energy)成功中标,^①标志着纳米比亚成为全球首个与德国达成绿氢项目协议的国家。

在项目具体落实的过程中,德国企业参与度很高,中标后明确要求在纳米比亚南部海岸建设一个大型风能和太阳能园区,生产的绿氢出口到德国再转化为氢气。^②2022年3月,莱茵集团(RWE)与纳米比亚签署了采购协议,规定这个项目投产后,该集团每年从纳米比亚进口超30万吨绿氢。^③不仅如此,德国政府层面也积极配合,2023年起,联邦教育与研究部资助3000万欧元,与纳米比亚签订氢能合作项目,旨在推动建立全球最佳的氢技术、氢生产基地和运输路径,^④预计2026年前项目能够投产。虽然该项目在很大程度上可以改善当地的电力供应,但大型基础设施建设与能源项目运营可能会破坏当地脆弱的生态系统、造成水资源困境和引发土地使用冲突。由于国家实力悬殊,德国在纳米比亚绿氢项目上主导性很强,纳米比亚国家计划委员会仅参与合作协定的签署,项目建设地区的政府人员基本被排除在项目之外,还存在土地招标过程不透明、项目特许权长达40年等问题。^⑤这种带有“殖民”色彩的“合作”并非凭空而来。20世纪初,德国曾在同一地区将当地土著民关入集中营,强迫其开采钻石。换言之,这个项目地点的选择本身就存在传统强国对不发达国家的剥削惯性,至少并未考虑纳米比亚的舆论态度和民众参与性。

(二) 德国次要主导型: 智利 Haru Oni 氢基燃料项目

^① 中国驻纳米比亚大使馆:《Hyphen公司成功竞得纳米比亚大型绿色氢能项目》,2021年11月8日, http://na.mofcom.gov.cn/jmxw/art/2021/art_6217949de17b4b2e8e4f0a089d4d53c2.html。

^② Hyphen Hydrogen Energy (Namibia), “Southern Corridor Development Initiative (SCDI) Namibian Green Hydrogen Project,” May 2023, <https://hyphenafrika.com/the-hyphen-project/>。

^③ RWE, “RWE and Hyphen Explore Offtake of Green Ammonia from Namibia,” December 2, 2022, <https://www.rwe.com/en/press/rwe-supply-and-trading/2022-12-02-rwe-and-hyphen-explore-offtake-of-green-ammonia-from-namibia>。

^④ 中国驻德国大使馆:《德国教研部已开展多项氢能国际合作项目》,2023年4月5日, http://de.china-embassy.gov.cn/kjcx/dgkjcxjb/202304/t20230405_11054716.htm。

^⑤ IPPR, “PROCUREMENT – TRACKER NAMIBIA – Transparency Concerns Dog ‘Largest Tender in Nation’s History’,” Issue No.16, April 2022, <https://ippr.org.na/wp-content/uploads/2022/04/PTN16-web.pdf>。

2022年12月,全球首个综合性碳中和绿色合成氢基燃料工厂 Haru Oni 正式投产,位于智利南部蓬塔阿雷纳斯市附近,由德国西门子、保时捷公司和智利国家石油公司共同投资,同时得到德国联邦经济和气候保护部支持。因为当地风力资源禀赋优越,可实现年均达6000小时的满负荷绿电运营时间,可通过风电制氢,进一步合成符合碳中和标准的绿色甲醇和汽油,预计2025年前后产能可增至5500万升。^①

该项目为2020年首个获得德国国家氢能战略资助的项目,德国政府为此向西门子提供了超过800万欧元的资金,^②通过碳足迹追踪,该项目从风力发电到氢能生产,再到给车辆加油的整个生产应用环节,符合欧盟对绿色可持续燃料制定的标准,并于2023年9月顺利通过南德意志集团(TÜV)专家审核,最终获得国际可持续发展与碳认证(ISCCPLUS)证书,^③这也是德国参与主导下,全球首个获得绿色认证的可再生能源制氢—氢基材料项目。该项目成为德国国家氢能战略首个资助、实地参与建设并推动投产运营的项目,进一步提高了本国在具有较大难度的海运及航空电气化转型领域的影响力。

但与此同时,项目在智利本地产生了消极影响,该地区绿氢项目所需的风电场很可能危及濒临灭绝鸟类的迁徙路线,^④且海水淡化厂和接驳港口也会危害珍稀海豚和鲸鱼物种,^⑤对当地生态多样性产生不可预估的破坏。智利是南美对煤电依赖最大的国家,煤电占比接近40%,对海外化石能源进口依赖度超过80%,如果将风电份额持续用于生产绿色氢基燃料,那么会对本国清洁能源转型造成进一步延迟。

(三) 当地政府主导型:沙特 Neom 零碳社区项目

Neom 是沙特政府于2016年在“2030愿景”(Vision2030)中宣布耗资5000亿美元打造的巨型零碳社区,即区域内全部使用可再生能源,可容纳近1000万人生活。该项

^① Siemens Energy Global, “Haru Oni: eFuel Plant of the Future,” November 14, 2022, <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/stories/haru-oni.html>.

^② BMWK, “Pressekonferenz: Förderbescheid-Übergabefür eine Anlage für grünen Wasserstoff in Chile,” December 2020, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Videos/2020/20201202-PK-Foerder-bescheid-Wasserstoff-Siemens/pressekonferenz.html>.

^③ ISCC 全称为“International Sustainability and Carbon Certification”,源于欧盟《可再生能源指令》和英国可再生燃料法规,已发展成为一个国际认可的可持续与碳减排认证体系,包括 ISCC EU、ISCC PLUS 和 ISCC CORSIA 三个主要认证标准。其中,ISCC PLUS 认证材料主要有三类,分别为生物原料、循环原料和可再生原料。

^④ ReGlobal, “RWE Renewables to Start 835 MW Green Hydrogen Project in Chile,” December 28, 2022, <https://reglobal.org/rwe-renewables-to-start-835-mw-green-hydrogen-project-in-chile/>.

^⑤ Orlando Milesi, “Doubts about Chile’s Green Hydrogen Boom,” IPS, October 12, 2022, <https://www.ip-news.net/2022/10/doubts-chiles-green-hydrogen-boom/>.

目 2022 年已开始动工,^①中美欧等清洁能源装备和技术大国均参与建设。为确保清洁能源稳定供应,2023 年 5 月,沙特官方宣布已与 23 个国家和地区和金融投资机构签约,共同融资建设总投资额高达 84 亿美元的全球最大的绿氢工厂,计划在 4 吉瓦太阳能和风能装机容量的基础上,达到日均 600—650 吨的绿氢生产量,用于出口和本国应用。^②

该项目在氢能产业竞争中备受瞩目,一旦在预计时间内(2026 年)正式投入运营,将成为全球最大规模的绿氢出口示范项目,但德国对该项目的参与度并不高,仅开展在美国企业独家运营基础上的技术分包合作。美国空气产品公司(Air Products)作为整体承包商和系统集成商获得 67 亿美元的最大签约合同,将其中 2 吉瓦的电解厂项目给予德国蒂森克虏伯公司(Thyssenkrupp),德国政府为这个项目提供 150 万欧元的支持。^③项目投产后,将由 Neom、沙特最大公共事业开发方——国际电力与水务公司(Acwa Power)和美国空气产品公司共同组建运营方,通过蒂森克虏伯建造的巨大电解槽生产氢气,再将氢气转化为液氨出口。^④因此,在所有合作方中,沙特将大幅提高其在相关领域的国际影响力,德国作为次要参与方主要展现其在电解槽领域的技术实力,以此持续拓展在全球氢能竞争中的优势。

但除以上公开形式外,Neom 为统筹整个能源板块而建立的能源与水务公司(ENOWA)是该项目的可再生能源系统和绿氢业务拓展的直接负责方,其首席执行官特瑞姆(Peter Terium)曾是德国大型能源企业英诺吉(Innogy)的创始人,并且该公司能源执行总监、氢能与绿色燃料执行总监均来自莱茵集团等德国能源巨头。^⑤德国通过关键人事管理的输出模式,间接影响沙特绿色能源与氢能产业,进一步推动德国海外绿氢贸易试点基地的落实。

(四) 德国氢能战略海外项目的“中心—外围”特质

^① NEOM, “Neom 是什么,” <https://www.neom.com/zh-cn/about>。

^② Thyssenkrupp, “One of the Largest Green Hydrogen Projects in the World; Thyssenkrupp Signs Contract to Install Over 2GW Electrolysis Plant for Air Products in NEOM,” December 13, 2021, <https://www.thyssenkrupp.com/en/newsroom/press-releases/pressdetailpage/one-of-the-largest-green-hydrogen-projects-in-the-world--thyssenkrupp-signs-contract-to-install-over-2gw-electrolysis-plant-for-air-products-in-neom-124584>。

^③ Forbes Middle East, “Thyssenkrupp’s Green Hydrogen Plant in Saudi Gets German Government Funding,” December 17, 2020, <https://www.forbesmiddleeast.com/industry/energy/thyssenkrupps-green-hydrogen-plant-in-saudi-gets-german-government-funding>。

^④ 中国产业发展促进会氢能分会:《世界最大!蒂森克虏伯启动 2 吉瓦绿氢项目》,2021 年 12 月 14 日, <https://cn-heipa.com/newsinfo/2232304.html>。

^⑤ ENOWA, “Our Executive Team,” <https://enowa.neom.com>。

基于对上述三个参与度由强到弱的海外氢能开发案例的分析,体现了德国试图通过不同程度地把控海外项目的建设运营,主导全球氢能产业空间中以绿氢为核心的技术和标准,竭力推动国内能源安全和能源稳步转型的目的。但这仅是合作项目的积极方面,德国为了确保战略核心诉求的顺利实现而参与的海外项目,实际存在不同程度的负面影响(见表4)。

表4 德国海外氢能项目建设案例的特征

具体案例	Hyphen 绿氢项目	Haru Oni 氢基燃料项目	Neom 零碳社区项目	
合作地区与国家	西非—纳米比亚	南美—智利	中东—沙特阿拉伯	
空间 属 性	隶属空间	欧洲空间—次辐射区域		交叉区域
	输出形式	德国完全主导	德国主导、当地参与度低	技术参与合作
	氢能色度	绿氢/氨	绿色氢基合成燃料	绿氢/氨
	技术门槛	整体项目和技术输出	整体项目和技术输出	大型电解槽技术
合作(竞争)对象	纳米比亚	智利	沙特、美国、中国等	
德国利益相关者	联邦教育与研究部	联邦经济事务与气候行动部、西门子、保时捷	蒂森克虏伯	
项目进展	开始建设	已建成,投入运营	建设中	
转型效应	全球绿氢示范性项目、拉动绿色经济、推动清洁能源转型、提高国际影响力			
负面影响	水土资源冲突、人权侵犯、破坏生态多样性、能源占用、延迟当地去碳化、当地无参与无提高、财务风险			
类似海外合作地区	南非	巴西、阿根廷	阿曼、埃及、阿联酋、毛里塔尼亚	

注:表由作者自制。

第一,海外氢能项目一般选择技术欠缺但资源丰富的全球南方国家,项目建设过程中会造成当地水土资源利用冲突、人权侵犯和生态多样性破坏。最典型的是北非和中东地区,它们是德国主要的合作对象,也是全球氢能开发最积极的地区,相关氢能项目中光伏电站、风电场、氢气运输管道建设都需要大片土地。例如,沙特 Neom 零碳社区项目需要征用大量土地,当地一个名为豪伊塔特(Howeitat)的村庄被拆除,导致该地区居民被迫搬迁,造成数十名抗议者被判长期监禁甚至死刑,以及一名抗议者被枪

杀的恶劣影响,^①由此可见氢能产业空间发展对南方国家生态和人权产生了消极影响。其他南方国家相关地区也存在类似问题,南非、巴西等与德国签署绿氢生产与出口项目的国家,均爆发了由水土资源和环境污染引发的冲突和纠纷。^②

不仅如此,包括海湾国家、摩洛哥、埃及、阿尔及利亚和毛里塔尼亚等在内的氢能合作方,由于绝大多数地处沙漠,均属于全球水资源最紧张的国家行列,^③且持续增长的人口和气候变化还将加剧水资源短缺,而通过电解水生产绿氢对水资源的大量需求,将导致当地严重的用水供需矛盾。作为德国氢能出口的专业研究机构,弗劳恩霍夫系统技术与创新研究所(Fraunhofer ISI)认为,在水资源紧张的地区生产氢气,会出现严重的资源分配不均问题,对与氢能开发商议价能力不足的当地社区造成进一步的负面效应。^④如果难以或无法持续使用淡水资源进行电解水,在干旱或半干旱地区采用海水淡化技术获取生产绿氢所需的水便成为目前全球主要解决方案,但也存在负面影响,即高耗能和排放,大量难以化解的残渣直接排入海水,造成海洋生态系统的破坏。目前,海湾地区已经出现此类生态问题亟待处理和应对,含有多种化学物质的含盐废水被视为破坏当地海洋生态系统的重大风险。^⑤

第二,发达国家主导的绿氢贸易是延长化石燃料使用期的“特洛伊木马”,可能引发氢能出口国的能源脱碳困境。2020年新冠疫情和2022年乌克兰危机爆发后,全球能源安全形势日益严峻,德国及欧洲可以通过氢能战略推动能源安全和绿色转型,但更多南方国家却缺乏充足的资金或技术。绝大多数海外氢能项目伙伴自身并不生产绿氢,海湾国家2021年可再生能源发电量占比在5%以内,即使是能源转型先锋——

^① “Saudi Arabia: Al-Howeit Land Rights Defenders Jailed for 50 Years after Protesting Displacement for Neom Mega-project,” Business and Human Rights Resource Centre, September 19, 2022, <https://www.business-human-rights.org/en/latest-news/saudi-arabia-consultancy-cos-working-on-neom-project-accused-of-continuing-to-violate-land-rights-of-al-howeit-at-tribe-incl-co-comments/>.

^② Hydrogen Central, “Germany Provides EUR 12, 5M Funding for Green Hydrogen Development in South Africa,” January 18, 2022, <https://hydrogen-central.com/germany-eur-125m-funding-green-hydrogen-development-south-africa/>; Tobias Kalt and Makoma Lekalakala, “The Green Hydrogen Frontier—Neocolonialism, Greenwashing or Just Transition?” December 9, 2022, <https://www.dailymaverick.co.za/article/2022-12-09-green-hydrogen-neocolonialism-greenwashing-or-just-transition/>; Christian Brannstrom and Adryane Gorayeb, “Geographical Implications of Brazil’s Emerging Green Hydrogen Sector,” *Journal of Latin American Geography*, Vol.21, No.1, 2022, pp.185-194.

^③ World Atlas, “The 10 Most Water-Stressed Countries in the World,” December 30, 2022, <https://www.worldatlas.com/natural-disasters/the-10-most-water-stressed-countries-in-the-world.html>.

^④ Martin Wietschel et al., “Opportunities and Challenges When Importing Green Hydrogen and Synthesis Products,” Fraunhofer ISI, Policy Brief, December 2020, https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2020/policy_brief_hydrogen.pdf.

^⑤ Mustafa Omerspahic et al., “Characteristics of Desalination Brine and Its Impacts on Marine Chemistry and Health, With Emphasis on the Persian/Arabian Gulf: A Review,” *Frontiers in Marine Science*, 2022, DOI: 10.3389/fmars.2022.845113.

摩洛哥也仅有五分之一的可再生能源用于发电,^①诸多合作方推动本土氢能项目更多是为了满足海外需求。由天然气生产的蓝氢也会直接造成对当地天然气资源的“依赖锁定”。因此,以出口为导向的绿氢生产对改善南方国家自身的能源安全并无助益。阿尔及利亚、埃及、南非等国家都面临相同问题,即绿氢出口会使当地能源短缺的情况进一步恶化,本土清洁能源转型或被延迟。德国国内科研机构也表示,一国只有至少超过75%的电力来自可再生能源,绿氢制造才有现实贸易基础,否则会导致比直接燃烧化石燃料更高的碳排放。^②

第三,绿氢技术输出并不会直接造福当地,反而存在隐性的不对等压迫乃至财务风险。很多与德国签署合作协议的潜在氢出口国,相关项目重点并没有放在增强当地民众的政策参与度和提高本地的生活水平上,涉及项目建设的地方政府及民众普遍感觉被排除在决策之外。汉堡大学针对德国支持的近30个非洲氢能项目的研究结果显示,没有任何一个项目在决策前考虑过当地社会的意愿与态度,也没有自下而上的民众参与。^③除大部分全球南方国家外,德国还与澳大利亚、加拿大等发达经济体签署合作协议,此类国家除了自产氢气外,也有大量的海外项目。例如,澳大利亚大型绿色能源开发商——福瑞斯特未来工业(FFI)在刚果(金)参与开发全球最大水电项目——大英加水电工程(Inga),^④计划通过水电生产绿氢,由于该项目存在较高的环境和社会成本,目前尚未提出妥善的解决方案。但德国能源巨头意昂(E.ON)^⑤和化工企业科思创(Covestro)^⑥均与福瑞斯特未来工业签署了大规模氢气购买协议,若后者氢源来自刚果(金),则意味着德国企业间接参与并鼓励了这个不平等的水电项目。

① Hannah Ritchie, Max Roser and Pablo Rosado, “How Much of Our Electricity Comes from Renewables?” Our World in Data, January 2024, <https://ourworldindata.org/renewable-energy#how-much-of-our-electricity-comes-from-renewables>.

② Christoph Heinemann, Peter Kasten, “Bedeutung von Power-to-X für den Klimaschutz in Deutschland,” Öko-Institute. V., November 2019, <https://www.oeko.de/presse/archiv-presse-meldungen/presse-detailseite/2019/bedeutung-von-power-to-x-fuer-den-klimaschutz-in-deutschland>.

③ Universität Hamburg, “H2 Politics,” <https://www.wiso.uni-hamburg.de/fachbereich-sowi/professuren/mueller/forschung/h2politics.html>.

④ International Rivers, “Inga Campaign,” <https://www.internationalrivers.org/where-we-work/africa/congo/inga-campaign/>.

⑤ E.ON, “Fortescue Future Industries and E.ON Partner on Journey to Become Europe’s Largest Green Renewable Hydrogen Supplier and Distributor,” March 29, 2022, <https://www.eon.com/en/about-us/media/press-release/2022/2022-03-29-fortescue-future-industries-and-eon-partnership.html>.

⑥ Lars Boelke et al., “Fortescue Future Industries and Covestro Announce Plans to Enter a Long-term Green Hydrogen Supply Agreement,” Covestro, January 2022, <https://www.covestro.com/press/fortescue-future-industries-and-covestro-announce-plans-to-enter-a-long-term-green-hydrogen-supply-agreement/>.

此外,绿色能源投资也存在失败的可能性,尤其是涉及氢能这类全球争议不断的能源类型,投资方需要承担相关风险。例如,纳米比亚绿氢项目便存在投资风险,该项目估值约94亿美元,^①除德国投资支持外,纳米比亚计划提供超过20亿美元的资金,但该国年均国内生产总值仅为123.1亿美元。^②尤其是该项目因为经济特区的区位选择和税收减免的优惠政策,进一步降低了国库的收入份额,因此,纳米比亚的项目投资决策大概率会增加本国的债务负担。

四 德国氢能战略的成效评估

本文通过对德国氢能战略关键内核、驱动主体及海外项目运营模式的系统分析,结合联邦政府、企业与科研机构的公开资料,分别从优势、劣势、机遇和威胁四个方面(SWOT模型)对氢能战略进行整体归纳(见表5),以科学评估德国推动绿氢为主导的氢能战略的真实诉求和实际成效,即加速推动本国国内能源绿色安全转型,并通过对海外项目的投入和把控,在全球氢能产业空间中争取绝对的“中心”地位。鉴于欧盟氢能战略中德国的影响力,该评估也可以用于进一步研判乌克兰危机升级背景下欧洲能源安全供应与转型的行动逻辑。

(一) 以利益相关者驱动海外项目为核心

德国的海外氢能行动由三重螺旋结构内核驱动,从2020年的《国家氢能战略》到2023年的新版《国家氢能战略》,明确表达了对氢能产业的认知、需求和路径安排。德国氢能项目的关键诉求是通过从内到外的合作项目,竭力主导以德国绿氢技术标准为核心的全球“中心—外围”绿氢贸易网络空间,联邦经济事务与气候行动部、教育与研究部等发布系列支持资金与政策措施,行业联盟和企业积极投入,借助自有技术优势实现海外大规模氢能项目的推广落地。

其中,联邦经济发展与合作部的行为最具典型性,其作为德国在海外氢能行动的重要驱动方并不直接介入项目开发。2019年,该部特别成立一个行业专属论坛——绿色氢能商业联盟,组织企业参与国家氢能战略,为其海外投资和项目建设提供政策

^① “Southern Corridor Development Initiative (SCDI) Namibian Green Hydrogen Project”.

^② The World Bank, “GDP (Current US \$) - Namibia,” <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=NA>.

表 5 德国氢能战略的 SWOT 分析

优势:内部重视	劣势:资源不足
<p>联邦政府层面:</p> <p>联邦政府重视且积极推动,发布《国家氢能战略》及新版《国家氢能战略》;</p> <p>对氢能项目研发和建设资金资助力度极大</p> <p>企业与科研机构层面:</p> <p>能源及相关基础设施企业积极投入,已经形成相对完整的行业联盟和公关组织;</p> <p>氢能领域的科研机构 and 高校众多且实力强</p> <p>国内环境与民众认知层面:</p> <p>已经推动十余年“能源转向”战略,清洁能源成为主流,基础扎实;</p> <p>民众环保意识超前,对氢能接受度高</p>	<p>可再生能源层面:</p> <p>境内风力和太阳能资源贫乏,无法满足电解水生产绿氢需求;</p> <p>几乎没有可挖掘的绿氢资源潜力;</p> <p>可再生能源补贴价格持续增长,令用能终端用户难以承受</p> <p>化石能源层面:</p> <p>天然气资源极度匮乏,对外依赖度高,无法生产蓝氢满足需求;</p> <p>化石能源企业资金足、影响力大、生产惯性强,为生存已转道氢能,产生游说影响力</p>
机遇:技术为先	威胁:开发经济性与合规性
<p>具体技术层面:</p> <p>氢能制储运及应用各环节技术先进,尤其是 PEM 电解槽技术领先;</p> <p>氢冶金技术已实现全流程商业化贯通应用</p> <p>实际应用层面:</p> <p>氢能已推广用于交通运输(燃料电池汽车、船舶、航空)、钢铁和供热领域;</p> <p>极端气候天气下,实现社区内氢储一体“小岛”式独立用能;</p> <p>海外氢能项目对本国氢能技术的实践应用与提升</p>	<p>竞争与经济层面:</p> <p>其他清洁能源在应用市场中竞争力的提高及全球其他氢能强国的追赶与超越(如中国);</p> <p>投资门槛高,国内氢能应用项目(加氢站、氢能重卡、氢冶金)数量不足;</p> <p>天然气管道掺氢影响现有供气稳定</p> <p>海外风险层面:</p> <p>对海外氢能生产国的不公平压迫,如项目投资的不透明,对当地社区环境资源及居民生活的负面影响等;</p> <p>可能会引发新一轮氢能的全球地缘政治动荡</p>

注:表由作者自制。

保障。^① 德国有 100 多家大型企业和协会参与其中,包括壳牌、汉莎航空、德国工业联

^① BMZ, “Ergebnisprotokoll Dialogveranstaltung der Unternehmensallianz Energie,” April 2022, <https://media.frag-den-staat.de/files/foi/765875/anl-7-protokoll-dialogveranstaltung.pdf>.

合会(BDI)、德国氢能和燃料电池协会(DWV)等。^①因为绿氢的生产成本与销售价格在短期内仍处于较高水平,对买方无法形成经济吸引力,因此,联盟额外设置一个名为“H2Global”的资助计划,用于补贴承受高昂售价的绿氢购买方。^②德国联邦政府向该计划连续拨款超过40亿欧元,^③以保障氢能稳定的进口,同时促进氢能技术的出口。在该计划的支持下,西门子、蒂森克虏伯和其他大型能源企业在世界各地陆续建立氢能分公司或办事处,德国工业联合会也高度肯定“H2Global”对提升德国企业竞争力的影响。^④

表面上看,德国氢能战略为本国能源绿色低碳与安全供应提供了支持和保障,是推动能源转型的利器,但从内向外对其战略进行剖析可知,德国战略诉求的实现必须建立在庞大的海外项目的基础之上。而在项目实际推动过程中,由于直接以政府或企业为主体的对外行动会遭受持续的审视和争议,因此只能选择通过打造行业联盟的方式间接治理。

(二)海外开发模式带有“绿色殖民主义”色彩

德国主导下的以国内示范和技术资金及标准输出为主、依赖海外大规模供应氢能的产业开发模式,其风险始终存在且很难消除,但所有风险中最复杂的是德国参与海外氢能生产与贸易网络可能对海外合作方形成不平等的压迫,是延续历史但又兼具当下新特点的一种剥削模式。具体而言,德国的海外氢能开发带有“绿色殖民主义”色彩,即“发达资本主义国家以应对环境危机、追求绿色发展等目标为掩护,对发展中国家持续实施经济剥削、权益侵害和单边控制”。^⑤数个世纪以来,导致非洲等地资源锐减、环境恶化和土地冲突的矛盾在海外氢能生产地区再次出现。这一点已经引起德国部分环保组织和科学界的关注,德国气候联盟、应用生态研究所等机构纷纷发布此类

^① BMZ, “Treffen der Unternehmensallianz Energie 2021–2022 unter Beteiligung des BMZ,” January 2023, <https://media.frag-den-staat.de/files/foi/765875/auflistung-der-treffen-zwischen-dem-ministerium-und-interessenvertreter-innen-zum-thema-wasserstoff.pdf>.

^② H2 Global Stiftung(Germany), “Introduction of H2 Global,” <https://www.h2-global.org/>.

^③ Nikolaus J. Kurmayer, “Scholz Ups Global Hydrogen Ambitions, Dwarfs EU Initiative,” Euractiv, November 9, 2022, <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/scholz-ups-global-hydrogen-ambitions-dwarfs-eu-initiative>.

^④ BDI, “Gute Grundlage für Hochlaufeiner Wasserstoff-wirtschaft,” September 22, 2021, <https://bdi.eu/artikel/news/gute-grundlage-fuer-hochlauf-einer-wasserstoffwirtschaft-entlang-der-wertschoepfungskette/>.

^⑤ 张锐:《清洁能源供应链与美欧绿色殖民主义扩张》,载《国外理论动态》,2023年第6期,第151页。

行为的风险预判与解决方案。^①

与此同时,与德国合作开发氢能的全球南方国家内部往往也存在争议。一方面,这些国家政府试图通过氢能生产塑造绿色发展的清洁正义形象,开拓经济多元化发展的路径;另一方面,项目开发涉及的社会团体和社区则不断表达反对意见,担心当地的土地、水资源及生态环境等受到破坏。德国联邦政府表示关注,并在此基础上通过“H2Global”,对向欧洲出口绿氢的国家和地区提供资助,并制定可持续发展标准。例如,出口商必须证明其运营地点不靠近环境敏感地区、在员工培训方面进行投资并遵守国际劳工组织标准、避免在干旱地区使用饮用水、在使用海水淡化时对废物进行可持续管理等。但此类标准并无普适性,仅适用于少数受资助的精选项目,具体验证程序和执行标准并无明确规定。不仅如此,“德国优先”在海外项目中处处体现。例如,“H2Global”资助的项目面向欧盟以外的氢气销售商时,要求其投标书必须使用德语提交,供应商还需证明其已在欧盟市场经营数年。^②同时,德国的可持续发展标准既没有包含当地社区的知情同意要求,也没有提出技术转让、经济效益分配等方面的方案。

(三)全球氢能产业空间竞争加剧引发色度妥协

基于全球氢能产业的跨区域贸易特质和对海外绿氢的庞大需求,德国不仅需要面对来自欧洲空间的内部压力,而且不能忽视技术持续追赶的亚洲竞争对象,这些因素已对氢能战略行动产生持续干扰,甚至引发对氢气的色度妥协。一方面,由于绿氢存在抢占欧洲本土绿电的可能性,欧盟设定的绿氢“额外性”规则要求境内生产绿氢不能占用现有稀缺的发电设备,必须建造新的可再生能源装备。联邦政府很早就意识到这一规则会令未来德国氢气价格缺乏下降空间,因此,莱茵集团、西门子能源、戴姆勒、蒂森克虏伯等超大企业联合起来要求制定执行此项规定的过渡期和不溯既往规则,以削弱负面影响。2023年2月,欧盟委员会公布最终授权法案,明确2028年前为过渡期,“额外性”规则要求在过渡期后,执行此前已运行的氢能项目无需额外新建可再生

^① Klima Allianz, “Wasserstoff-Positionspapier der deutschen Zivilgesellschaft,” November 2021, https://www.klima-allianz.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Daten/Publikationen/Positionen/210513_H2_Positionspapier2.pdf; Öko-Institute.V., “Sustainability Dimensions of Imported Hydrogen,” Working Paper 8/2021, December 2021, <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-imported-hydrogen.pdf>.

^② Baker McKenzie, “International: H2Global Enables Imports of Sustainable Hydrogen Products into Germany and Incentivizes Investment in Green Hydrogen Outside of the European Union,” December 2022, <https://insightplus.bakermckenzie.com/bm/projects/international-h2global-enables-imports-of-sustainable-hydrogen-products-into-germany-and-incentivizes-investment-in-green-hydrogen-outside-of-the-european-union/>.

能源装备。^①

另一方面,因为技术应用是多种能源类型并行,氢能在发展的同时要面对其他清洁能源在市场上的技术爆发。受限于本土应用示范项目高额的投资门槛和较低的商业回报,加氢站、氢能重卡等推广数量的增速陷入瓶颈。截止到2023年年底,德国有加氢站105座,整年仅增加8座,短短几年被以中日韩为代表的亚洲市场完全超越,^②东亚国家已成为德国乃至欧洲在全球氢能产业中最有力的竞争者。由于现阶段的亚洲市场更关注燃料电池汽车及相关技术环节,着重发力电解槽规模化生产出口,还未对此类布局于全球南方国家的“中心—外围”绿氢贸易空间形成有效威胁,但追赶趋势明显。

因此,面对德国国内难以满足的庞大氢能缺口,通过海上运输甲烷、合成甲醇及氨等液态有机氢载体,以及扩大使用来自邻国和邻近地区氢气管道运输的蓝氢成为阶段性有效选择。此前,联邦政府始终秉持进口氢必须为“绿色”的原则,但2023年年初与挪威达成协议,共同计划在过渡期内使用蓝氢。^③不仅如此,2022年3月,德国联邦经济事务与气候行动部部长罗伯特·哈贝克(Robert Habeck)带领包括林德、西门子和蒂森克虏伯等在内的二十多家德国企业访问阿联酋,双方在蓝氢出口方面基本达成一致。^④不过开放蓝氢进口仅是德国庞大氢能需求的阶段性补充,强调使用蓝氢只是通往绿氢道路上的一个中转阶段,至少不在本国生产蓝氢成为德国氢能战略的清洁伦理底线。

总之,当前复杂的全球地缘政治经济格局和能源安全危机成为侧重海外进口的德国氢能战略落实的有利条件,促使其从内到外构建符合本国国家利益的国际氢能进出口贸易模式。换言之,这种以德国及欧盟为北方代表,强调氢能作为清洁能源转型加速器,体现“中心—外围”特质的氢能贸易网络客观上正在形成,全球南方国家难有

^① European Commission, “Questions and Answers on the EU Delegated Acts on Renewable Hydrogen,” February 13, 2023, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/qanda_23_595/QANDA_23_595_EN.pdf.

^② H2stations, “Europe Is Increasingly Adapting Its Growing Hydrogen Refuelling Infrastructure to Include Heavy-duty Vehicle Refueling,” February 1, 2024, <https://www.h2stations.org/press-release-2024-europe-is-increasingly-adapting-its-growing-hydrogen-refuelling-infrastructure-to-include-heavy-duty-vehicle-refuelling/>.

^③ Norwegian Government, “Joint Statement - Germany - Norway - Hydrogen,” January 5, 2023, <https://www.regjeringen.no/en/whatsnew/dep/smk/press-releases/2023/closer-cooperation-between-norway-and-germany-to-develop-green-industry/joint-statement-germany-norway-hydrogen/id2958105/>.

^④ Nikolaus J. Kurmaye, “UAE, Germany Sign ‘Blue Hydrogen’ Contract in Abu Dhabi,” Euractiv, March 22, 2022, <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/uae-germany-sign-blue-hydrogen-contract-in-abu-dhabi/>.

提出异议的能力。

五 结论

氢能成为全球清洁能源转型中与太阳能、风能等可再生能源互补耦合的重要能源,各国纷纷加大投入,旨在促使自身在相关产业链与价值链日趋完整的过程中赢得主导优势。本文通过分析全球氢能产业的网络结构和空间属性,认为德国国家氢能战略的内核驱动力的特点是由政府、科研机构和企业利益相关者构成的三重螺旋结构,这决定了德国积极拓展海外氢能生产合作的“中心—外围”贸易结构空间。同时,本文基于德国氢能海外项目三个案例的分析,从整体上评估其氢能战略的真实目的。

首先,德国氢能战略是目标规划本土化和行动方案国际化的统一,是“欧洲—外围区域”地缘关系的历史再现。20世纪下半叶至今,全球范围内发生的数轮能源危机表明,确保能源供应安全已成为攸关各个国家和地区政治稳定和经济发展的根本问题,也是战略政策制定的核心目标。但清洁能源与化石能源的发展逻辑截然不同,前者更侧重技术管理规范与装备应用,先天资源的重要性相对降低,两者的地缘范畴基本不重合,且较少有国家同时具备两类能源的绝对优势。因此,德国战略体现了欧洲能源转型的基本行动逻辑,即在自身化石能源匮乏并高度依赖进口的背景下,面对清洁能源资源分散性和高技术门槛的特质,选择可再生能源资源丰富、人工与土地成本低廉、当地政府配合支持度高,但缺乏技术能力或主导权的海外氢能生产方,搭建了新一轮外在表象全球化,但其内核是由本国高度控制的“中心—外围”发展模式。

其次,侧重海外项目的德国国家氢能战略在推动本土能源转型加速的同时,也染上了“绿色殖民主义”色彩,前者经官方明确表述且被广泛认可,后者真实存在且争议性正在逐渐增大。德国为生产绿氢和蓝氢海外项目的当地国提供参与全球能源转型的机遇,但更重要的是试图建立氢能产业“霸权”体系的可能路径。这种体现“中心—外围”属性的贸易结构空间,本质上沿袭了数个世纪以来欧洲传统的殖民方式,即占用和消耗当地资源,为德国供应清洁绿色能源,将生态破坏和土地、水资源的冲突等负面问题留在原地。然而,氢能实现深度脱碳和应对气候危机的效果可能并不乐观,短期内绿氢电解槽技术难以突破且成本居高不下,这意味着未来数年,绿氢更多的是趋势引领,氢能产业事实上会持续扩大灰氢和蓝氢的使用规模,从而导致碳排放增加,乃至氢能生产国当地化石能源的“经济锁定”。

最后,也是最需要关注和警惕的是,与化石能源系统相比,氢能将分配权从集中的先天资源转移到技术标准、关键原料和工业统筹等方面的模式,与其他清洁能源的发展趋势基本一致。但氢能的多层次供应链、特定技术价值链和参与者的多样拓扑结构呈现出更加复杂和矛盾的网络生态,其中高超的政治技巧和先进的技术缺一不可。本文并非反对或否定氢能在全球能源转型中的积极效果与发展趋势,而是以德国积极发展氢能作为研究对象,通过内核结构的学理研究评估其国家战略的真实意图和实际收益,从本质上理解西方工业国对全球气候与能源治理体系的持续主导逻辑,即氢能是此类北方国家选择的、能够帮助其实现本轮能源变革下重返全球“中心”地位的又一新型工具。

中国已是全球清洁能源大国,正在迈向清洁能源强国,同样在氢能这一国际能源转型竞争的重要赛道上全面发力,在本土对灰氢包容且备受欧美诘难的同时,^①氢能海外技术与装备“外溢”的进出口贸易也面临类似问题,即很可能被强行扣上新“殖民主义”的帽子。虽然中国与德国乃至欧洲氢能战略的出发逻辑截然不同,但在海外资源开发、产业链打造、技术标准推广等方面与之存在竞争关系。基于此,中国氢能进出口贸易应与全球地缘政治经济格局、本国能源与气候战略目标相联系,在全球氢能产业竞争空间中避免类似德国氢能战略的海外行动备受质疑的问题,着重推动与当地合作方的互补合作,竭力降低不对称相互依存、投资失败和供应安全事件的风险;应努力实现习近平总书记提出的能源绿色低碳转型共赢的新模式,深度参与国际能源机制变革,推动建立公平公正、均衡普惠的全球能源治理体系,^②打造真正符合人类命运共同体利益的能源相互依存关系。

(作者简介:寇静娜,太原理工大学经济与管理学院副教授,中国人民大学欧洲问题研究中心研究员;张锐,全球能源互联网发展合作组织经济技术研究院研究员。责任编辑:蔡雅洁)

^① Jingna Kou et al., “Hydrogen as a Transition Tool in a Fossil Fuel Resource Region: Taking China’s Coal Capital Shanxi as an Example,” *Sustainability*, 2023, DOI:10.3390/su151512044.

^② 《习近平在中共中央政治局第十二次集体学习时强调:大力推动我国新能源高质量发展为共建清洁美丽世界作出更大贡献》,新华社,2024年3月1日, https://www.sogou.com/link?url=DSOYnZeCC_qetJvTgG4Ehhybu2_tkEaJVUBAYzDh885eYMBcdNZ110zZDJU9GTEqUNggQPmbDNAGRSeVEFF0Nw.