



Views & Comments

法国、德国及欧盟对未来氢能研究和创新的愿景

Fermin Cuevas, 张俊先, Michel Latroche

University of Paris Est Creteil, CNRS, ICMPE, UMR 7182, Thiais 94320, France

氢 (H_2) 作为重要载体, 帮助我们的社会从化石燃料中解放出来, 并向高效的新型能源进行转型。氢具有高的能量密度, 可用于各种规模的移动、固定或工业应用。全世界越来越多的国家 (如中国、德国、日本、韩国、澳大利亚、美国) 意识到了氢的重要作用。在强大的财政支持下, 这些国家正在为推动氢及燃料电池技术的发展制定强有力的路线。

法国氢能的发展现状

在这一进程中, 法国是重要的参与者。自2015年8月颁布《绿色增长能源转型法》以及2015年12月巴黎主办第21届联合国气候变化大会 (COP21) 以来, 法国已表现出对减少温室气体排放的强烈愿望。其中引人关注的是, 这些举措促成了2018年6月国家氢能计划 (NHP) 的出台, 该计划设定了三个主要目标: 实现工业级脱碳制氢、氢能交通运输和提高电力系统的灵活性, 以及天然气网络脱碳。截至2019年, NHP已投入1亿欧元, 用于开发至少26座加氢站和380辆燃料电池电动汽车 (FCEV)。上述目标已被纳入法国多年能源计划和《能源与气候法》, 目标是到2028年达到400座加氢站、20 000辆FCEV、800辆重型车辆及脱碳氢占工业氢的比例为20%。

与欧盟 (EU) 的宏伟目标一致, 法国拥有推进低碳排放氢系统的主要资产。其得益于大规模脱碳发电以

及大型制氢工业。到2050年, 法国的低碳足迹氢可满足其最终能源需求的20%, 并使每年二氧化碳 (CO_2) 排放量减少约5500万吨, 相当于法国气候计划 (2017年) 目标与目前欧盟参考方案 [欧盟监管技术标准 (RTS) 方案] 之间差距的三分之一 [1]。

在国家层面, 氢能系统的研究资金主要集中在2005—2012年间法国国家科研署 (ANR) 的国家行动计划 (PAH) [2], 其次是HPAC[†]低技术就绪水平 (TRL) 项目, 以及生态转型机构 (ADEME) 和FUI[‡]示范项目。分配给这些项目的资金 (7年间ANR共提供1.23亿欧元) 也用于法国国家科学研究中心 (CNRS) 及原子能和替代能源委员会 (CEA) 中的研究工作, 这使法国的科研成果及专利申请数量大幅增加。这种有针对性的资金扶持为工业部门的发展奠定了基础, 涌现出一批致力于制氢、储存和转化研究的企业。如今, 法国通过在相关领域积累的专家意见以及主要研究参与者的贡献 (主要集中在CNRS FRH2和CEA实验室) 向着目标迈进。此外, 法国还设立了研究项目合约“法国氢倡议” (IFHy), 其核心是实现公共研究与产业之间的对接。IFHy的目标是发展并协调公有和私有的合作关系, 以确保科研与产品商业开发之间的连续性, 积极参与法国氢产业的成型及发展, 促进法国工业的成长。

[†] Hydrogen and fuel cells

[‡] Support for collaborative projects of competitiveness clusters

2020年9月,法国政府宣布启动法国发展脱碳氢的国家战略。该战略(将在2021—2030年期间实施)将获得70亿欧元的投资,实现以下三个首要目标:①通过大力发展法国的电解产业,实现工业脱碳;②利用脱碳氢开发重型交通工具;③支持研究、创新及技能发展,以促进未来应用(图1)。在以上三个首要目标中,针对最后一项,研究人员设想了多个目标,包括在能源网络中发展氢能,确定工业新用途以减少二氧化碳排放,发展氢动力重型交通工具(飞机和船舶),以及提出未来以氢为基础的设施概念。为加速这一首要研究计划的实施,该战略将支持氢领域的研发(R&D)工作,并保持其在国际上的前沿地位,因为法国在这一领域拥有领先的研究基地。

德国氢能的发展现状

德国也是这一领域的重要参与者。德国提出了《2030年气候行动计划》,其目标是到2050年实现碳中和。为使德国成为温室气体中立国并履行COP21《巴黎协定》的国际承诺,氢已被确定为一种脱碳选择。德国政府认为只有通过可再生能源制氢(即清洁的绿色氢)才是可持续的。

虽然德国的研究经费对所有的课题均保持开放态度,但氢技术引起了联邦政府的额外重视。2006—2016年,德国批准了大约7亿欧元的资金用于支持国家氢能及燃料电池技术创新计划,在此基础上,2016—2026年间,德国将投入14亿欧元。此外,联邦政府正在利用能源研究计划所提供的资金,打造一个卓越的研究场所[3]。

自2019年新冠病毒肺炎大流行以来,德国加强了对能源转型和绿色氢项目的扶持力度。2020年6月,德国

联邦政府实施了《国家氢能战略》,并成立了国家氢能委员会,通过项目提案和实施氢战略的行动建议,向国务秘书委员会提供咨询和支持[4]。计划的目标包括:确立氢能作为替代能源,使氢成为工业部门可持续发展的基础原料,开发国内市场并建立国际市场,加强德国工业发展,并最终使氢能利用具有经济可行性[5]。

在该项计划中,交通运输、工业和建筑行业得到了特别支持。针对交通运输行业,德国为刺激该市场,提供了36亿欧元用于电动汽车或气候友好型汽车的购置补贴。此外,为鼓励投资,德国将提供45亿欧元用于建设电动燃料设施以及燃料加注的基础设施。对于航空和航海部门,德国已投资5000万欧元用于开发混合动力和氢动力飞机及船舶。针对工业,德国已提出了从传统化石燃料向氢能转变的各种方法。针对建筑业,德国自2016年开始实施能效激励计划,2020—2024年期间,将继续提供7亿欧元的资金。

研究是能源政策的战略基础。2020—2023年,能源与气候基金将提供3.1亿欧元用于绿色氢的基础研究,并计划在此期间追加提供两亿欧元用于加强该领域的研究。此外,2020—2023年期间将提供6亿欧元,用于建立针对能源转型倡议的监管沙盒,此举将有助于加快技术和创新从实验室向市场的转移。德国将提供超过10亿欧元用于技术和大型工业设施的投资(作为德国脱碳计划的一部分),将在2020—2023年期间利用氢对这些设施的制造工艺实现脱碳处理。此外,还有一些项目致力于推广氢在制造业中的应用,以及杜绝材料工业中的碳排放。这些计划的目的是鼓励业界积极投资于氢解决方案。2020年6月3日,联盟委员会通过了一项“未来计划”(package for the future),将额外追加70亿欧元用于加快德国氢技术的市场推广,以及20亿欧元用于培养国际伙伴关系。

2015年年初,德国联邦经济事务和能源部启动了能源转型研究及创新平台。基于该平台的框架,Koper-nikus项目是德国在能源转型领域最大的研究计划之一[6]。该项目由四个核心组成,每一核心都有各自的目标:ENSURE用于开发未来电网;P2X用于研究将来自可再生资源的二氧化碳、水和电转化为气体、燃料、化学品和塑料;SynErgie用于研究如何使能源密集型工业流程更加灵活,以适应可再生能源的可用性;第四个核心Ariadne[7]作为科学与社会之间的联合学习过程,用于分析从单个产业到全局层面,政策措施将如何发挥作用。

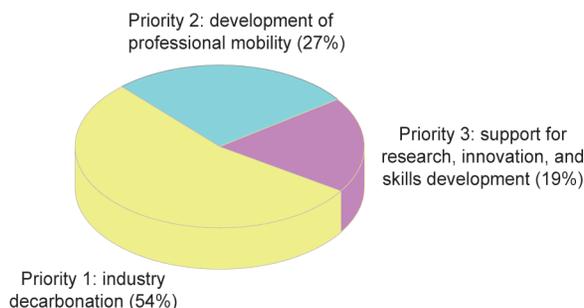


图1. 对2020—2023年法国发展脱碳氢国家战略预算的分配(总计34亿欧元)。

氢能在欧盟的发展现状

放眼整个欧洲大陆，欧盟出台的政策全力支持实施氢能系统，并将其作为实现《欧洲绿色协议》[8]和欧洲清洁能源转型的关键手段之一。氢能系统的实施符合COP21《巴黎协定》的要求，有助于欧盟在2050年实现碳中和的目标[9]。不仅如此，其目标是限制欧洲对烃类的使用，并为欧盟的经济增长作出贡献。考虑到欧盟在可再生能源技术方面的领导地位，服务于众多工业部门及其他终端用途的氢价值链的兴起会带来最高100万个相关的工作岗位。

早在21世纪初，欧盟委员会（EC）就已确定需要建立一个高效战略，以发展2020—2050年间以氢为导向的能源经济[10]。根据第六框架计划（FP6；2002—2006），欧盟已投入3亿欧元用于氢能的研究项目。此外，2004年1月，欧盟启动了欧洲氢能及燃料电池平台。通过该公共平台，欧盟致力于促进商业可行的氢能及燃料电池应用，并启动相关的氢基础设施。该举措为2008年建立燃料电池暨氢能联合企业（FCH-JU）伙伴关系奠定基础[11]。

如今，FCH-JU是欧洲支持氢能研究和技术开发（RTD）的最重要手段。这是一种公私合作伙伴关系，由三名成员组成：欧洲共同体（EC）、欧洲氢能研究所以及欧洲氢能组织[12]，分别代表公共机构、研究团体和行业合作伙伴（图2）。能够合理协调公共和私人利益是欧盟部署氢经济的必要条件。2008年，首个FCH-JU RTD项目启动，2007—2013年期间的总预算额为9.47亿

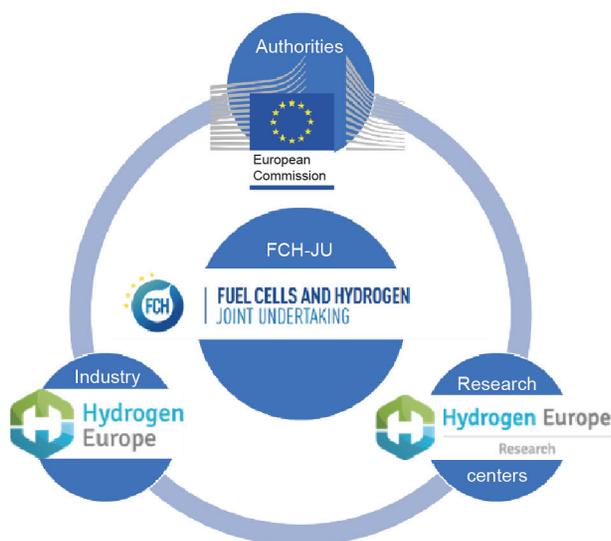


图2. 燃料电池暨氢能联合企业（FCH-JU）公私合作伙伴关系。

欧元，其中包括对持续运行至2017年的RTD项目的支持。欧洲共同体通过FP7研究项目提供了一半的预算，其余部分由行业法人通过实物捐助的形式承担[13]。在欧盟“地平线2020”计划（2014—2020）运行下，第二个FCH-2-JU RTD项目的预算额增加到13.3亿欧元，其中一半由私人成员承担[14]。FCH-2-JU项目的核心目标如图3所示。

为在2027年之前促进欧洲的科学倡议，一项名为“欧洲地平线”（Horizon Europe）的新型欧盟研究及创新计划将于2021年生效，该计划预算为1000亿欧元。该计划将提供一整套方法用于进行运输活动，包括电池、清洁氢、低碳炼钢、循环生物基产业以及建筑环境。在氢能方面，作为FCH-2-JU计划的延续，一个名为“欧洲清洁氢”的新型伙伴关系[16]正在构建中。该伙伴关系对于实施欧盟委员会于2020年7月发布的欧洲路线图将发挥关键作用。这个路线图定名为“欧洲气候中立氢战略”（A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe）[8]，是基于2019年发布的一份报告[17]提出的。其以整个氢能产业价值链为基础，建立了从生产到运输、工业、能源和供热应用的路线过程，同时考虑了相关技能和交叉问题（即法规、安全、教育和培训、社会经济研究等）。

欧洲氢能路线图的最终目标是开发以风能和太阳能为主的可再生能源制备清洁氢。在进行这一制备之前，需要考虑清洁氢的成本，清洁氢的成本（2.5~5.5 欧元·kg⁻¹）目前过于昂贵，通过化石燃料制氢的成本为1.5 欧元·kg⁻¹。此外，中间解决方案，如化石氢结合相应的碳捕集与封存，成本约为2 欧元·kg⁻¹。在这一背景下，欧洲路线图定义了三个阶段：① 2020—2024年，将部署6 GW可再生氢电解槽，用于化工行业及重型运输行业（公共汽车及卡车）的现场制氢；② 2025—2030年，电解槽装置规模将增加至40 GW，主要用于新出现的市场（即炼钢、铁路和海运）、加氢站、每日或季节性储能、电网均衡、本地制氢网络，并为住宅和商业建筑供热；③ 2030—2050年，将大规模发展电力生产，其中四分之一的可再生电力用于制清洁氢。

为实现这一路线图的目标，需要额外的投资。例如，2020—2030年期间，电解制氢及其运输、分配、储存以及加氢站建设将获得大约1000亿欧元的支持。伴随而来的是巨大的投入（大约3000亿欧元）用于利用太阳能和风能生产清洁电力。这些投资将得到欧洲清洁氢联盟（European Clean Hydrogen Alliance）的支持[18]，该联盟汇集了产业、国家和地方公共当局（LPA）、民间



图3. FCH-JU计划的核心目标[15]。

社团及其他利益相关者。

欧洲路线图还确定了在以下两个层面开展国际合作的必要性：第一，与邻国（即西欧和北非国家）接洽，推动在清洁氢方面的合作，促进清洁能源转型，并鼓励可持续增长和发展；第二，与全球行动者合作，制定国际标准，确立通用的定义和方法。后者将通过国际机构进行，如国际氢能经济和燃料电池伙伴计划（IPHE）[19]、国际能源署（IEA）和国际可再生能源署（IRENA），以及20国集团（G20）的合作。

综上所述，在欧盟的支持下，法国和德国正从国家层面做出巨大投入，推动在氢能源转型领域开展研究和创新。这些路线图和计划的目标是采用尖端技术，为未来数个世纪造福人类的无碳世界铺平道路。

References

- [1] EU reference scenario 2016 [Internet]. Luxembourg: Directorate-General for Energy, European Commission; c2016 [cited 2020 Nov 24]. Available from: https://ec.europa.eu/energy/data-analysis/energy-modelling/eu-referencescenario-2016_en.
- [2] PAN-H national action plan for hydrogen [Internet]. Paris: Agence Nationale de la Recherche; [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://anr.fr/en/callfor-proposals-details/call/plan-daction-national-sur-lhydrogene-et-les-piles-acombustible-pan-h/>. French.
- [3] dfg.de [Internet]. Bonn: Deutsche Forschungsgemeinschaft; c2010–2021 [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://www.dfg.de>.
- [4] Mertens A. Securing a global leadership role on hydrogen technologies [Internet]. Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy; 2020 Oct 6 [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2020/20200610-securing-a-global-leadership-role-onhydrogen-technologies.html>.
- [5] The national hydrogen strategy [Internet]. Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy; 2020 Oct 6 [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogenstrategy.html>.
- [6] Kopernikus project home [Internet]. Bonn: Federal Ministry for Education and Research; [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://www.kopernikusprojekte.de/en/home>.
- [7] Messina S. How the Copernicus Project Ariadne intends to act as a guide through the energy turnaround [Internet]. Bonn: Federal Ministry for Education and Research; [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://www.kopernikus-projekte.de/en/projects/ariadne>.
- [8] The European Green Deal. Communication from the commission to the European parliament, the European council, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions [Internet]. Brussels: European Commission; 2019 Dec 11 [cited 2020 Nov 24]. Available from: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf.
- [9] 2050 long-term strategy [Internet]. Brussels: European Commission; [cited 2020 Nov 24]. Available from: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en.
- [10] European hydrogen and fuel cell technology platform. Deployment strategy [Internet]. Brussels: Advisory Council of the European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform; 2005 Aug [cited 2020 Nov 24]. Available from: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/documents/hfp_ds_report_aug2005.pdf.
- [11] Fuel cells and hydrogen joint undertaking (FCH-JU) [Internet]. Brussels: European Commission; [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://www.fch.europa.eu/>.
- [12] Hydrogen Europe [Internet]. Brussels: European Commission; [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://hydrogeneurope.eu/>.
- [13] Fuel cells and hydrogen joint undertaking, annual activity report 2010 [Internet]. Brussels: European Commission; 2010 Nov [cited 2020 Nov 24]. Available from: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20JU%20Annual%20Activity%20Report%202010_0.pdf.
- [14] Fuel cells and hydrogen joint undertaking, annual activity report 2014 [Internet]. Brussels: European Commission; 2015 Feb [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCHAnnualreport2014-D-15May2015-WEB.PDF>.
- [15] Program review report 2017 [Internet]. Brussels: European Commission;

- c2018 [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://www.fch.europa.eu/publications/program-review-report-2017>.
- [16] Clean hydrogen for Europe [Internet]. Brussels: European Commission; [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://hydrogeneurope.eu/clean-hydrogeneurope>.
- [17] Hydrogen roadmap Europe [Internet]. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2019 Jan [cited 2020 Nov 24]. Available from: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf.
- [18] Internal market, industry, entrepreneurship and SMEs [Internet]. Brussels: European Commission; 2020 [cited 2020 Nov 24]. Available from: https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-clean-hydrogen-alliance_en.
- [19] iphe.net [Internet]. International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy; c2020 [cited 2020 Nov 24]. Available from: <https://www.iphe.net/>.