

日本新能源产业技术综合开发机构 “燃料电池·氢”专项实施研究

林云蕾^{1, 2}, 卞曙光¹, 朱卫东¹, 程竹静¹

(1. 科学技术部高技术研究中心, 北京 100044;
2. 清华大学公共管理学院, 北京 100084)

摘要: 日本高度重视燃料电池和氢能技术发展, 全面推进氢能社会早日实现。新能源产业技术综合开发机构(NEDO)推出的“燃料电池·氢”专项基于日本氢能基础战略和绿色增长战略等政策, 为提升燃料电池和氢能的创新研发、普及和规模化应用开发了相关课题。对“燃料电池·氢”专项背景和政策逻辑进行分析, 厘清其主要研究领域和技术路线布局, 结合专项目标对实施成效进行评估。“燃料电池·氢”专项的研究布局和创新管理经验可为中国氢能技术创新发展和战略部署提供参考。

关键词: 日本; 燃料电池; 氢能; 产业

中图分类号: F416.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2023.08.007

日本是一个资源匮乏的国家, 高度依赖进口能源。继 2011 年 3 月 11 日发生的东日本大地震和东京电力公司福岛第一核电站事故后, 日本的能源形势发生了巨大变化。为保障能源安全和可持续发展, 需要在能源领域进行创新和技术突破, 推动清洁能源技术研发和应用成为日本的迫切任务^[1]。氢燃烧时不会排放二氧化碳, 能够以气态、液态和固态等多种形态储存和运输。氢能具有能源效率高、环境影响小、可应急使用等特点, 有望成为实现碳中和社会的关键技术。2017 年, 日本率先制定了氢能基础战略, 将氢能定位为与可再生能源并驾齐驱的新能源选择之一^[2]。2020 年 10 月, 时任日本首相菅义伟宣布了日本到 2050 年实现碳中和目标, 随后制定了“2050 年碳中和绿色增长战略”(以下称“绿色增长战略”)^[3]。绿色增长战略针对 14 个重要领域制订了行动计划, 氢能就是其中之一。为助力电力、工业和交通等部门脱碳, 最大限度地发挥可再生能源的潜力, 日本将引进低成本、大量生产氢气

的技术, 构建能够高效运输氢气的供应链, 将氢气用于发电、燃料电池汽车(FCV)和工业等用途。

新能源产业技术综合开发机构(New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO)是日本政府资助的促进新能源和产业发展的公共管理机构^[4]。NEDO 一直关注燃料电池、氢能技术研发和示范应用问题, 并于 2014 年启动了“燃料电池·氢”专项, 该专项资助企业、高校、研究机构和地方政府等进行燃料电池和氢能相关研究, 力图通过集中产学研力量, 解决“燃料电池·氢”领域关键技术难题, 根据社会发展和项目建设需要, 给予合理投资。截至 2023 年, 该专项陆续开展了“氢能利用等前沿研发项目”“氢能社会建设技术开发项目”“超高压氢基础设施全面推广研发项目”“旨在解决燃料电池等飞跃性普及的共性问题的产学研共同研究开发项目”和“打造具有竞争力的氢气供应链的技术开发项目”共 5 个方向的研究工作。在专项总体目标的指导下, 各方向制定了基本计划和

第一作者简介: 林云蕾(1989—), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为科技政策、创新政策、技术预见。

通信作者简介: 卞曙光(1964—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为创新管理、科技项目管理、科技政策。电子邮箱: jeanbsg@htrdc.com

收稿日期: 2023-06-20

年度实施政策, 以公开招募的方式筛选出项目实施主体(包括大学、研究机构、地方政府、民营企业 and 外企等), 根据实施主体和研发类型, 项目类型总体分为委托项目(包含共同研究项目)和补贴项目。对于高风险的基础技术开发项目, 需要较长时间才能得以实际应用。其将以委托项目的形式实施, 由公共研究机构、大学和行业团体等实施的有利于整个日本氢能产业的研发主题或有助于法规和标准优化, 以及国际化的技术开发主题也将成为委托项目。而由民营企业等实施的研发项目不仅有利于氢能产业, 同时对企业自身有利, 因此原则上为补贴项目。“燃料电池·氢”专项的5个研究方向下各包含了3~5个子项, NEDO为每个研究方向(必要时为每个子项)指派一名项目经理, 项目经理负责规划和管理整体体系的项目进度, 并监督与业务执行相关的活动, 最大化保证项目所需实现的技术成果和政策效果。此外, NEDO还根据需要选择第三方外部专家, 为各研究方向实施方案提出技术建议并进行阶段性评估。NEDO从技术和政策角度对课题意义、目标实现程度、技术意义和对未来产业的连锁反应以及高效管理进行中期评估和终期评估, 基于中期评价结果, 根据需要采取扩大、缩小或终止项目等措施。NEDO负责整个系统的管理和执行, 还与经济产业省、顾问和研发实施者等密切合作, 并设立研究评估委员会及时反映外部专家的意见, 实施适当的运营管理。在多方合作下, “燃料电池·氢”专项的实施为日本氢能社会建设和能源安全做出了积极贡献。本文将重点介绍“燃料电池·氢”专项的研发策略和应用成效。

1 新能源产业技术综合开发机构概述

NEDO成立于1980年, 其最初的任务是在石油危机后促进石油替代能源的发展。1988年, NEDO进行重组, 其职责范围扩大到产业技术研发范畴, 以提高日本的产业竞争力。2003年, NEDO重组为独立行政机构, 经过多次转型, NEDO成为日本20世纪70年代两次石油危机后新能源开发领域的领导者, 其使命之一是“解决能源和全球环境问题”, 为此积极开发和试验新能源及节能技术, 推动新能源推广应用和节能减排, 并在海外推广技术示范, 为能源稳定供应和解决全球环境问题做出贡献; 使命之二是“提升产业科技能力”, NEDO

在挖掘未来产业核心技术种子、形成产业竞争力基础的中长期项目和开发应用等各个阶段开展技术开发工作, 在此过程中通过产学研合作, 努力将新技术商业化。NEDO汇集企业、大学和公共研究机构的资源, 长期从事能源产业研发和应用示范, 并支持以R&D为导向的初创企业成长, 以及积累有助于决策和R&D管理的技术情报。

NEDO在燃料电池和氢能领域发挥重要的作用, 主要体现在:(1)技术研发和创新方面, 通过资助和支持氢能相关项目, 包括氢气生产、储存、运输和利用等, 以及支持包括材料研发、系统设计和性能优化等在内的燃料电池相关项目, NEDO帮助日本的研究机构、大学和企业进行技术研发, 推动燃料电池及氢能领域新理念和新技术发展。(2)基础设施建设方面, NEDO支持氢气供应站点、储氢设施和相关设施建设, 以满足氢燃料电池汽车和其他氢能技术应用的需求。(3)技术示范和商业化推进方面, NEDO在专项计划实施过程中, 注重将科研成果转化为实际的商业化项目。NEDO通过支持燃料电池和氢能技术的示范项目, 推动技术商业化和市场推广。资助企业进行燃料电池和氢能系统的实地试验和验证, 以展示其可行性和实用性。这种支持帮助企业克服技术和市场应用的障碍, 加速了燃料电池和氢能技术的商业化进程。此外, NEDO还与产业界和政府部门合作, 制定政策和计划, 促进氢能产业的发展和市场推广。(5)国际合作方面, NEDO积极与其他国家、地区以及国际组织开展合作, 共享经验, 合作研究燃料电池和氢能技术。通过国际合作, NEDO扩大了日本在燃料电池和氢能领域的影响力, 并促进了全球燃料电池和氢能技术的发展。总体而言, NEDO的支持和推动促进了燃料电池和氢能技术在日本的发展, 并为日本实现清洁能源转型和可持续发展做出了重要贡献。

2 新能源产业技术综合开发机构“燃料电池·氢”专项设立背景和目标

燃料电池和氢能技术是构建氢能社会的核心技术, 有助于节约能源、减少环境负荷、增强能源多样化和创造新产业。日本经济产业省2008年3月发布的“Cool Earth-能源革新技术计划”中, 将燃料电池和氢能技术列为实现2050年全球温室气体排放量减少50%的21项重要技术之一^[5]。2005年,

NEDO 在产学研合作的体系下推进研发项目，并制定了《燃料电池和氢能技术发展路线图》（以下简称“路线图”），该路线图在 2023 年进行了第 5 次修订。2014 年，为应对东日本大地震引发的福岛第一核电站事故，NEDO 重新审视战略能源计划，并讨论包括新能源结构和实现措施在内的新计划，于同年启动了“燃料电池·氢”专项，旨在推动燃料电池和氢能技术的研究、开发和商业化应用。

该专项的研究目标主要有以下 5 个方面^[6-10]：一是降低制氢成本并提高输氢效率和发电效率。开发可再生能源等低成本制氢技术，以及高效转化和运输的氢载体以便于氢气远距离运输，研究氢燃烧高效燃气轮机发电技术。二是提高燃料电池性能，包括提高功率密度、延长寿命和降低成本。通过技术创新和工艺改进，致力于提高燃料电池的可靠性和经济性，以促进其商业化应用。三是推动氢能基础设施建设，包括氢气生产、储存、输送和加氢站等。通过扩展氢能基础设施的规模和覆盖范围，为燃料电池车辆和其他氢能应用提供必要的支持和便利条件。四是促进燃料电池和氢能产业发展，NEDO 专项旨在加强与相关产业的合作，推动燃料电池和氢能产业的发展。通过支持企业研发、推广应用和市场培育等措施，促进产业链的完善和技术的商业化转化，提升日本在燃料电池和氢能领域的竞争力。五是实现氢能社会的构想，即基于氢能源的清洁、可持续和高效能源体系，通过燃料电池和氢能技术的发展和运用，减少对化石燃料的依赖，实现低碳排放和能源多样化，为可持续发展做出贡献。

“燃料电池·氢”专项旨在推动燃料电池和氢能技术的研究、开发和商业化应用，促进氢能基础设施的建设，并推动相关产业的发展，以实现氢能社会的构想。NEDO 作为创新加速器，通过开发和示范具有实际应用价值的燃料电池和氢能创新技术，为稳定的能源供应和解决全球环境问题做出贡献。

3 NEDO “燃料电池·氢”专项研究部署

3.1 研究和开发项目的选择和规划

“燃料电池·氢”专项从 2014 年开始分阶段资助 5 类项目，分别是：（1）“氢能利用等前沿研发项目”，旨在确立氢作为 2040 年及以后“无碳能源的新选择”的地位^[6]。（2）“氢能社会建设技术开发项目”，大幅度扩大氢能在发电领域的

应用，到 2030 年前后，引领全球构建完善的氢能供应链，建立灵活的能源供应体系，提升能源安全^[7]。（3）“超高压氢基础设施全面推广研发项目”，为实现燃料电池汽车（FCV）在世界范围内的最快普及，推进研究和开发，以解决与加氢站（HRS）相关的超高压氢气技术（以约 1 000 倍大气压安全、廉价地生产、储存和运输氢气的技术）等问题。推进监管审查并开发有助于降低氢气站维护和运营成本的技术。此外，为确保燃料电池汽车的国际竞争力，将对汽车高压氢气罐和加氢质量控制方法等国际标准的协调和国际标准化进行研究和开发^[8]。

（4）“旨在解决燃料电池等飞跃性普及的共性课题的产学研共同研究开发项目”，根据“第 5 次能源基本计划”和“氢·燃料电池战略路线图”等规定的脱碳情景和用户需求，开发合作领域的基础技术，构建高效、高耐久性和低成本的燃料电池系统（包括储氢罐等），为 2030 年后的自主扩散做出贡献，并开发用于非常规应用场景的技术以及可应用于批量生产的检测技术^[9]。（5）“打造具有竞争力的氢气供应链的技术开发项目”，通过进一步的技术创新，降低氢气成本。支持开发构建氢供应链所需的基本技术，推动 ISO 标准等提案，并获取制定法规和国际标准化所需的数据^[10]。该专项研究方向及主题如表 1 所示。

根据日本研究网^[11]及 NEDO 官网公开数据，截至 2023 年 6 月，“燃料电池·氢”专项共资助 238 项研究课题。其中氢能利用等前沿研发项目共资助 39 项课题，在制氢方法方面，除电解水制氢（10 项，包括高温水蒸气电解制氢）外，还涉及甲烷制氢（7 项）、硼氢化物制氢（1 项）和碱金属制氢（1 项）；4 项课题对纯氢/氢氧燃烧技术及燃气轮机进行了研究；5 项课题重点关注制氢系统及其性能验证方法；此外，有 4 项课题对制氢方法、制氢材料及氢系统导入等相关的信息进行收集并调查技术发展趋势；其余课题研究涉及氢载体系统、流量预测和评价、电解槽开发和液氢储存系统开发等。

氢能社会建设技术开发项目 共资助 74 项课题，其中有 8 项课题对电转气（Power to Gas，P2G）系统、氢热电联产（CHP）系统、可再生能源制氢系统、电/氢复合储能系统和脱碳能源系统等技术进行研发。25 项课题对日本中部、东北部、北部、关西地区和西部等地开展了氢供应、氢能地

表 1 “燃料电池·氢”专项研究方向及主题^[5-9]

项目类别	执行期限	研究主题
氢能利用等前沿研发项目	2014—2022 年	阶段一：2014—2017 年。低成本制氢系统研发；高效制氢技术研究；氢能规模化利用技术研发；载能系统调查研究；总体系统导入情景调查研究。 阶段二：2018—2022 年。先进电解水制氢技术基础技术研发；氢能规模化利用技术研发；超高效发电通用基础研究开发；载能系统调查研究；开发使用碳氢化物等不排放二氧化碳的制氢技术
氢能社会建设技术开发项目	2014—2025 年	氢能源系统技术开发； 氢能规模化利用技术开发；建立源自未使用能源的氢气供应链，氢能利用系统开发； 氢能区域利用技术开发； 综合调查研究：氢气生产、运输、储存、利用等方面的调查研究；为实现氢能社会而进行的信息传播调查研究
超高压氢基础设施全面推广研发项目	2018—2022 年	与日本国内监管改革法规相关的技术开发；加氢站降低成本相关的技术开发；与国际扩张、国际标准化等相关的研发
旨在解决燃料电池等飞跃性普及的共性问题的产学研共同研究开发项目	2020—2024 年	解决共性问题的基础技术开发：高功率发电技术开发，高负荷运行技术开发，高耐久启动停止等技术开发，防止极端环境下劣化的技术开发，交叉课题技术开发； 氢能利用等先进前沿技术开发：创新储氢相关技术开发，创新燃料电池技术开发，先进水电解技术开发，推进其他氢相关技术的技术开发； 燃料电池多用途应用技术开发：开展燃料电池多用途应用加速验证，低成本、创新生产、系统化技术开发
打造具有竞争力的氢气供应链的技术开发项目	2023—2027 年	促进氢相关技术进步的研发；法规优化和国际标准化所需的研究开发

产地消（当地生产当地消费）和区域氢气综合利用模式等研究，旨在根据当地的地理条件和自然资源优势，合理发展氢能利用技术，研究氢能供应链推广措施以推动氢能社会建设。例如，考虑日本山梨县拥有丰富的太阳能和水资源，建立从可再生能源到电解水制氢及其使用的绿色氢气生产利用体系；研究利用北海道石狩湾新港剩余海上风电电力打造的氢供应链；研究偏远岛屿（如宫古岛）制氢和利用模式，以及构建绿色氢/水循环社会的可行性；讨论内陆中部地区从海外接收和运送进口氢气的可行性。有 7 项课题对包括名古屋港、横滨港、神户港和富山港等在内的港口进行区域氢利用模式研究，以形成碳中和港。此外，7 项课题对城市、工业园区和机场等不同场景下的氢气规模化利用模式进行探讨。其余课题针对燃料电池性能评价、制氢技术、输运氢技术和模式以及氢供应链等展开调查，并跟踪国内外相关技术研究动向，调研氢能系统构建的商业模式，通过调查研究提高社会对氢能的接受度等。

超高压氢基础设施全面推广研发项目共资助 22 项课题，该项目涉及储氢、输氢和加氢等基础设施建设和推广研究，以及法律法规和标准化建设。

具体而言，其中有 4 项课题研究了高压储氢器和蓄能器用材料、装备，有 6 项课题研究了储氢、加氢站等相关材料、基础设施设施的试验和检测方法。有 4 项课题针对燃料电池汽车、输氢设备和加氢站的标准化及法律问题进行调查。有 7 项课题研究了加氢站和氢气管道安全、储氢/供氢系统，以及氢气分析和检测系统。还有 1 项课题对氢能社会相关国际组织政策的动向进行跟踪研究。

旨在解决燃料电池等飞跃性普及的共性问题的产学研共同研究开发项目共资助 94 项课题。燃料电池的技术路线主要分为聚合物电解质燃料电池（PEFC）和固体氧化物燃料电池（SOFC），PEFC 具有高效率和良好的绿色性，在家庭住宅和交通领域等拥有广泛应用前景，SOFC 是第三代燃料电池，与其他几种燃料电池相比其理论能量密度最高，未来有望得到普及应用。该项目共资助 PEFC 相关课题 61 项，主要研究 PEFC 膜电极（包括低铂膜电极）、催化剂研发和生产工艺、PEFC 测试、分析方法和平台，高压储氢罐检测，燃料电池模组和系统研发，搭载 PEFC 的沿海船舶、液压挖掘机、农用拖拉机、轮胎式龙门起重机的开发等。该项目还资助 SOFC 相关课题 17 项，研究质子传导陶瓷燃

料电池、氨硼烷移动氢燃料电池、可逆固体氧化物燃料电池和固体氧化物燃料电池等相关器件、技术、评价方法及应用,以及高压储氢材料、设备的研发和检测。7项课题为储氢领域,主要研究液氢储存系统、高压储氢罐用材料和制造工艺、高压氢容器设计和健康监测技术。其中有2项课题研究水电解槽和催化剂,其余课题研究燃料电池、氢燃料电池汽车/大型商用车辆(FCV/HDV)和电解水发展路线图,燃料电池系统海外部署标准、规范和发展趋势,以及燃料电池汽车的液化氢技术可行性。

打造具有竞争力的氢气供应链的技术开发项目共资助9项课题。对包括液氢储罐用钢材、氢气称重技术、降低加氢站成本的先进基础技术、预冷制冷设备及工艺等促进氢相关技术进步的领域进行了资助,并研究制储输用环节相关材料、设备和系统的评价方法,此外还对HDV加氢协议进行研究以应对世界各地燃料电池在重型车辆应用方面的加速研究。

综上所述,2014年以来,“燃料电池·氢”专项资助的课题对燃料电池和氢能领域进行了较为全面的研究,目前燃料电池研究重点聚焦PEFC和SOFC,低铂PEFC和质子传导陶瓷燃料电池受到NEDO和众多研究单位的广泛关注,此外燃料电池系统的检测、评价和标准化建设也是燃料电池加快普及应用的关键所在。氢能领域包含制氢、储运氢、氢利用和氢基础设施等,相关研究致力于大规模氢利用技术、氢长期储存和远距离输送、完善氢供应链,以构建氢能社会。

3.2 项目资助类型和经费部署

NEDO是负责为具有国家战略重要性的项目进行招标和提供资金的政府机构,2014年以来,“燃料电池·氢”专项面向在日本具有研发基地的企业、大学及其他研究机构进行公开招募(涉及国际推广应用的课题也招募外企),并根据研究内容和技术类型(基础、应用)将资助分为委托项目、共同研究项目和补贴项目。具有研究风险的基础技术开发项目或由大学、地方政府或公共研究机构等实施的项目为委托项目,实施主体称为委托方,项目可由委托方单独实施,委托方亦可对部分业务进行再委托,或者与大学、国立研究开发法人等共同实施部分业务(称为共同实施),也存在委托方将部分业务分给其组员企业实施的情景^[12]。除此之外,实施主体也可由多方组成,多个委托方在平等的基

础上,明确职责分工、共同进行NEDO委托工作;共同研究项目是NEDO与委托方进行共同研究,委托方承担一定研究费用,进行研发等工作。而由企业作为实施主体的项目则是补贴项目,该类项目对企业自身发展有利,因此NEDO采取补贴项目的形式实施,企业需承担一定的研发费用。

“燃料电池·氢”专项资助的单位类型和数量占比如图1所示。参与“燃料电池·氢”专项研究的281家单位中,企业数量占据绝对优势,共包含176家企业,占比为62.63%,参与课题最多的前5家企业为岩谷产业株式会社(11项)、东芝能源系统及解决方案株式会社(8项)、瑞穗研究与技术株式会社(7项)、川崎重工业株式会社(7项)和丰田通商株式会社(7项);大学数量为56所,占比为19.93%,参与课题最多的前5家大学为九州大学(19项)、东北大学(15项)、东京大学(15项)、东京工业大学(14项)和京都大学(11项);研究机构/协会的数量为32家,占比为11.39%,参与课题最多的前5家研究机构/协会为产业技术综合研究所(20项)、物质材料研究机构(12项)、日本汽车研究所(8项)、氢供给利用技术协会(6项)和电力中央研究所(5项);地方政府/地方政府组织数量为14个,占比为4.98%,其中参与课题最多的前5个地方政府/政府组织为山梨县企业局(4项)、山梨县(2项)、川崎市(2项)、宾库县(1项)和大分县(1项);外资企业共有3家,包括日野汽车制造公司(美国)、太平洋海岸工程公司、丰台南通商公司(美国),占比

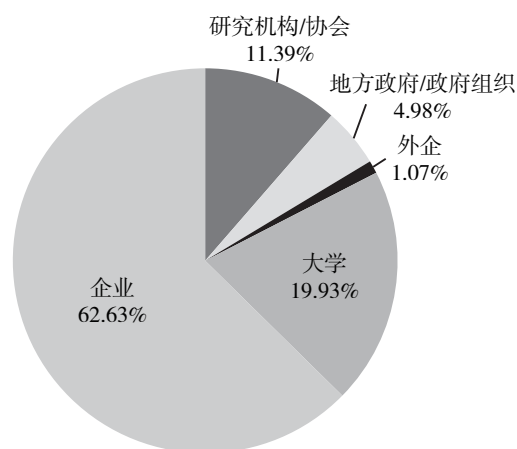


图1 2014—2022年“燃料电池·氢”专项资助单位类型及数量占比

为 1.07%，共同参与 1 项课题研究。

截至 2022 年底，燃料电池·氢”专项的资助规模达约 1 237.5 亿日元。由表 2 可知，氢能利用等前沿研发项目 2014—2022 年的资助经费为 113.01 亿日元，氢能社会建设技术开发项目 2014—

2025 年的资助经费为 756.51 亿日元，超高压氢基础设施全面推广研发项目 2018—2022 年的资助经费为 162.67 亿日元，旨在解决燃料电池等飞跃性普及的共性问题的产学研共同研究开发项目 2020—2024 年的资助经费为 205.31 亿日元。

表 2 2014—2022 年“燃料电池·氢能”专项资助情况

项目类型	执行期限 (年)	资助经费(亿日元)									
		2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	合计
氢能利用等前沿研发项目	2014—2022	12.77	14.55	12.96	8.79	8.14	13.2	15.0	15.0	12.6	113.01
氢能社会建设技术开发项目	2014—2025	0.07	18.10	44.30	66.53	149.57	151.18	92.48	95.14	139.14	756.51
超高压氢基础设施全面推广研发项目	2018—2022	—	—	—	—	16.11	25.79	22.96	32.60	65.21	162.67
旨在解决燃料电池等飞跃性普及的共性问题的产学研共同研究开发项目	2020—2024	—	—	—	—	—	—	45.31	68.98	91.02	205.31
打造具有竞争力的氢气供应链的技术开发项目	2023—2027	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4 “燃料电池·氢”专项实施成效

在 NEDO “燃料电池·氢”专项的资助和管理下，经过大学、企业、研究机构和地方政府等共同努力，实现了燃料电池技术、加氢站建设、区域氢利用模式、氢能前沿研发技术、氢能发电/氢供应链及 P2G 系统开发等方面的重要突破。PEFC 方面，NEDO 开发了电极催化剂、电解质膜和膜电组件，研发了储氢罐并提高储氢效率，以及高精度性能预测技术、燃料电池系统退化预测技术和燃料电池材料及设备性能的高精度测量技术，可满足 2030 年后燃料电池汽车自主普及和扩大应用所需的高效率、高耐久性和低成本要求；SOFC 方面，NEDO 推动了高效率（发电效率超 65%）和高耐久性（130 000 h 耐久性）的电堆和系统开发；加氢站建设方面，下一代加氢站和罐装技术正在试验验证中，制定了加氢站安全相关（如远程监控自助加氢站、有关设备结构等）的技术标准方案，开发了高压储氢容器并制定了相关技术文件；区域氢利用模式方面，在多个地区开展了氢气供应和利用模式调研，展示了未来实现大规模氢能社会的可能性，并开发了氢气热电联产相关技术和设备；氢能前沿研发技术方面，

开发了甲烷制氢催化剂和制氢系统，研究了硼氢化物制氢的基本原理等；氢能发电/氢供应链方面，正在研发能够抑制燃烧过程中污染物排放的小型（数兆瓦级）和大型（数百兆瓦级）氢燃烧器，为利用海外资源生产氢气并输送至日本进行了液化氢运输技术和设施研发；P2G 系统开发方面，着力解决水电解制氢设备的大型化、高耐久性和低成本技术问题，以及厘清反应机理并建立性能评价方法。目前 P2G 系统正在进行大规模技术开发（制氢量约 300～1 200 m³/h），福岛县和山梨县等地进行了试验验证。

“燃料电池·氢”专项主要有以下代表性成果。

4.1 氮氧化物大幅减少、氢气混合燃烧的干式氢能燃气轮机示范运行

氢气作为燃料可以应用于多种场景，如燃气轮机发电和燃料电池汽车。与其他内燃机一样，燃气轮机在燃烧过程中会产生氮氧化物（NO_x），因此，氢燃气轮机的氮氧化物减排技术是扩大其在不安装脱硝设备情况下，值得推广应用的一项非常有效的技术。此外，在未来大规模引入氢气的过渡时期，氢气和天然气的混合燃料将是推广氢气燃气轮机的一项有益技术。然而，优化燃烧器以减少 NO_x 排

放和扩大混燃范围是一项重大挑战^[13]。

自 2019 年以来,川崎重工业株式会社一直在开发干式、低 NO_x 排放并以氢为燃料的燃气轮机技术。川崎重工业株式会社利用微小氢火焰的燃烧技术开发了世界上第一台干式、低 NO_x 氢燃料燃气轮机,并于 2020 年 5 月在神户市港口港进行技术论证试验。2022 年,作为 NEDO“燃料电池·氢”专项——氢能社会建设技术开发项目的一环,川崎重工业株式会在神户市港岛的氢气热电联产系统(CGS)示范工厂进行了干燃烧室的氢能燃气轮机示范运行^[13],干烧法发电效率高于常规方法,并能够使 NO_x 排放量降至 35 mL/m³(日本《大气污染防治法》规定值的 50%)甚至更低,这项示范试验进一步提高了氢气发电的发电效率并减少对环境的影响^[14]。

4.2 “福岛加氢技术研究中心”加氢研究设施运行^[15]

日本经济产业省制定的《氢·燃料电池战略路线图》中提出了第一阶段在交通领域利用加氢站的发展目标^[15],而 HDV 加氢站的发展需要开发高流量加氢方式和高流量计量技术。在此背景下,NEDO 启动了“超高压氢基础设施全面推广技术开发项目”——兼容 HDV 等新协议的氢燃料称重系统检测技术和加注技术以及商业化示范研发,该项目的执行单位为产业技术综合研究所、岩谷产业株式会社、龙野株式会社、东奇柯系统解决方案株式会社、氢供给利用技术协会及日本汽车研究所。

在这个项目中,自 2021 年起,日本在福岛县浪江町开发福岛加氢技术研究中心。2022 年 12 月福岛加氢技术研究中心开始全面运营,该中心拥有氢气接收设备、中压氢气压缩机、高压氢气压缩机、中压氢气蓄压器、高压氢气蓄压器、氢气分配器和模拟容器,主要开展高流量氢气加注技术和高流量氢气测量技术开发^[16]。开发高流量氢气加注技术的目标是将 HDV 的氢气加注时间缩短至 10 min 左右,同时实现准确测量。NEDO 将通过该中心的建设,推动燃料电池重型车早日实现商业化和普及化^[17]。

4.3 世界首台燃料电池驱动的轮胎式龙门起重机研制和验证试验

港口作为物流集散地,要求其减少二氧化碳排放,实现零排放。广泛应用于港口的橡胶轮胎式龙门起重机(RTGC)由柴油发电机提供动力,是港口实现脱碳的关键。在此背景下,三井 E&S 株式会社从 2021 年开始实施“旨在解决燃料电池等

飞跃性普及的共性问题的产学研共同研究开发项目”——氢动力轮胎式龙门起重机,致力于开发使用燃料电池作为动力源的轮胎式龙门起重机。该研究将 RTGC 的发电机组更换为由燃料电池、氢气罐和辅助设备等组成的燃料电池动力包,并增加了蓄电池的容量,因此无须增加燃料电池的输出,可以减小电池尺寸并处理瞬时输出,保证稳定运行。通过该研究,NEDO 与三井 E&S 机械株式会社共同开发出世界上首台燃料电池电源组的轮胎式龙门起重机,可实现燃料电池小型化和稳态运行^[18]。

未来,在“氢能社会建设技术开发项目”——北美洛杉矶港口氢模式商业化示范研发中,三井 E&S 机械株式会社将收集新开发的轮胎式龙门起重机在实际货物装卸条件下的运行稳定性、加氢方式和频率等数据,为设计改进提供反馈。NEDO 将推广零排放港口设备,并遵守美国加利福尼亚州规定的“清洁空气行动计划”,2030 年在美国洛杉矶港和长滩港区实现零排放^[19]。

5 结论与建议

研发作为创新的重要基础,对一个国家的科技和经济发展至关重要。政府对研发的资助能够帮助大学和研发机构专注于特定创新领域,加强基础研发和应用研发之间的联系,同时降低研究成本从而刺激企业增加研发支出,以期促进具有潜力的未来产业发展。氢能是未来能源体系的重要组成部分,还是战略性新兴产业和未来产业的重点发展方向。在日本多年的政策扶持和引导下,大学、企业和研发机构积极投入氢能研发和应用中,推进氢能社会普及。本文对 NEDO 管理的“燃料电池·氢”专项的研究任务部署、主要研究领域、资助情况和实施成效等方面进行分析,为中国氢能技术相关科研项目计划制订和创新管理提供参考。

(1) 创建氢能技术路线图。

NEDO 的经验表明,在政策目标和经济可行性之间取得平衡对新技术的开发和应用非常重要^[4],当前燃料电池和氢能技术发展形势变化迅速,有必要整理未来的推广场景和技术问题,为行业利益相关者之间的共同对话奠定基础。因此应制定相关技术路线图,确定技术发展方向,增加成功的概率。自 2005 年以来,NEDO 发布了多个版本的燃料电池和氢能技术发展路线图,供产业界、学术界和政

府参考, 明确了日本燃料电池即氢能技术发展应解决的技术问题, 指明了技术发展方向, 引领产学研在该领域进行高效、精准的研发工作。

(2) 建立完善的项目管理机制。

NEDO 是日本国家级的研究开发机构, 也是日本最大的公共研究开发管理机构之一。“燃料电池·氢”专项研发阶段以燃料电池和氢能领域基础研究、应用研究和技术示范为目标, 涵盖广泛领域。NEDO 项目的特点是通过合作或竞争的方式推进产业界、学术界、政府等多方参与, 为确保达到项目目标和预期成效, NEDO 建立了完善的项目管理机制, 以《独立行政法人通则法》^[20] 和《国立研究开发法人新能源产业技术综合开发机构法》^[21] 为基本行动准则, 并将《研究与开发管理指南》《NEDO 标准化管理指南》等作为其管理制度的一部分。为通过研发管理创造创新, 2014 年起, NEDO 引入了项目经理制度, 旨在进一步强化其管理职能^[22]。项目经理作为实际工作负责人对项目组进行指导和监督, 并与项目实施单位、经济产业省和顾问等合作, 进行综合管理, 截至 2020 年, 任命的 60 名项目经理中, 约 50% 以上是从私营企业、政府机构和独立机构借调的人员, 拥有多元化的社会背景和经验。该制度汇集了具有丰富经验的人力资源进行项目管理。

(3) 加强与其他公共支持组织的相互合作。

NEDO 将各项目主管和部门负责人组成协作系统, 以便与日本文部科学省和经济产业省等合作交流。如与文部科学省管辖的科学技术振兴机构的战略创新研究推进课题“先进低碳技术开发”中的“能源载体研究加速项目”等基础研究课题密切合作, 在该协作系统的项目之间协调各业务计划, 共享成果和设施, 促进科研人员交流, 为构建创新生态系统做出贡献。

(4) 把握世界领先的创新趋势。

NEDO 致力于加强和积累有助于政策规划和研发管理的技术情报, 以发现新的萌芽并将其应用于社会。NEDO 对世界范围内氢能前沿技术动向、氢利用潜力和氢能利用模式、海外氢供应链建设可行性等进行调查研究, 并制定能够发挥日本优势的技术战略, 提供政策依据, 从而促进普及氢能社会和建设全球氢供应链。■

参考文献:

[1] KASHIWAGI T, ODA T. Energy policy & New National

Energy Strategy in Japan[C]//The 26th International Conference on Thermoelectrics. Jeju Island: IEEE, 2007: 420-425.

[2] 王大伟, 孟浩, 曾文, 等. “双碳”视角下欧美日绿色发展策略研究[J]. 全球科技经济瞭望, 2022, 37(5): 61-66, 76.

[3] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 2050 年碳中和绿色增长战略[EB/OL]. [2023-03-18]. https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf.

[4] MOROZUMI S, INOUE N, ARASHIRO Y, et al. Strategies and status of grid-connection technology development in NEDO[C]//Power & Energy Society General Meeting-Conversion & Delivery of Electrical Energy in the Century. Pittsburgh: IEEE, 2008: 1-6.

[5] 経済産業省. Cool Earth- エネルギー革新技術計画[EB/OL]. [2023-03-10]. https://www.iae.or.jp/wp/wp-content/uploads/2014/09/ene_map_2008/CE_RM_2008.pdf.

[6] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 「水素利用等先導研究開発事業」基本計画[EB/OL]. [2023-03-10]. <https://www.nedo.go.jp/content/100920084.pdf>.

[7] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 「水素社会構築技術開発事業」基本計画[EB/OL]. [2023-03-10]. <https://www.nedo.go.jp/content/100643168.pdf>.

[8] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」基本計画[EB/OL]. [2023-03-10]. <https://www.nedo.go.jp/content/100879356.pdf>.

[9] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 「燃料电池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業」[EB/OL]. [2023-03-10]. <https://www.nedo.go.jp/content/100920018.pdf>.

[10] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 「競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業」基本計画[EB/OL]. [2023-03-27]. <https://www.nedo.go.jp/content/100920084.pdf>.

[11] 日本の研究. 研究课题检索 - 燃料电池·水素[EB/OL]. [2023-03-31]. <https://research-er.jp/projects/search?freeword=%E7%87%83%E6%96%99%E9%9B%BB%E6%B1%A0%E3%83%BB%E6%B0%B4%E7%B4%A0>.

[12] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. 委託業務事務処理マニュアル(2023 年度版)[EB/

- OL]. [2023-03-20]. https://www.nedo.go.jp/itaku-gyomu/manual_jimushori_2023.html.
- [13] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. ドライ方式水素ガスタービンで、窒素酸化物の大幅削減と水素・天然ガス混合燃料を用いた実証運転に成功 [EB/OL]. [2023-03-29]. https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101578.html.
- [14] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 世界初、ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービンの技術実証試験に成功 - 水素社会の実現に向けて水素発電の性能を向上 [EB/OL]. [2023-03-05]. https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101337.html.
- [15] 経済産業省. 水素・燃料電池戦略ロードマップ [EB/OL]. [2023-03-12]. https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/roadmap_hyoka_wg/pdf/002_s05_00.pdf.
- [16] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 水素充填研究設備「福島水素充填技術研究センター」が完成、運用開始 [EB/OL]. [2023-03-12]. https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101600.html.
- [17] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 水素充填研究設備「福島水素充填技術研究センター」が完成、運用開始—HDV への水素充填・計量技術の早期実用化を目指す [EB/OL]. [2023-03-05]. https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101600.html.
- [18] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 世界初、燃料電池を動力源としたラバータイヤ式門型クレーンの開発と実証試験に成功 [EB/OL]. [2023-03-18]. https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101637.html.
- [19] 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 世界初、燃料電池を動力源としたラバータイヤ式門型クレーンの開発と実証試験に成功—港湾荷役機器分野で、温室効果ガスの排出量削減に貢献 [EB/OL]. [2023-03-05]. https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101637.html.
- [20] 衆議院. 独立行政法人通則法 [EB/OL]. [2023-03-16]. https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_housei.nsf/html/housei/h145103.htm.
- [21] eGOV 法令検索. 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法 [EB/OL]. [2023-03-17]. <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=414AC0000000145>.
- [22] 一色俊之. NEDO におけるプロジェクトマネジメントの体系と PM 人材育成 [J]. P2M マガジン, 2021(11): 23-27.

Research of the Implementation of the “Fuel Cell & Hydrogen” Projects of the New Energy and Industrial Technology Development Organization in Japan

LIN Yunlei^{1,2}, BIAN Shuguang¹, ZHU Weidong¹, CHENG Zhujing¹

(1. High Technology Research and Development Center, Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100044;

2. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract: Japan attaches great importance to the development of fuel cell and hydrogen energy technology, and comprehensively promotes the early realization of a hydrogen energy society. The “Fuel Cell & Hydrogen” project launched by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) is based on Japanese “Basic Strategy of Hydrogen Energy” and “Green Growth Strategy” and other policies. The project develops relevant research topics to improve innovative research and development, popularization, and large-scale application of fuel cell and hydrogen energy. This paper analyzes the background and policy logic of the “Fuel Cell & Hydrogen” project, clarifies its main research fields and technical route layout, and evaluates its implementation effectiveness in combination with the project goals. The research deployment and innovation management experience of the “Fuel Cell & Hydrogen” project can provide a reference for the innovation and development of hydrogen energy technology in China.

Keywords: Japan; fuel cell; hydrogen energy; industry