

基于产业技术路线图的中国氢能产业发展战略

邓明荣, 胥彦玲

(北京市科学技术研究院, 北京 100044)

摘要: 为了进一步探索氢能产业在不同时间节点上技术、产品、市场和政策措施的可行性,构建基于产业技术路线图的氢能产业发展分析框架。基于 incoPat 专利数据库,通过专利检索分析产业现状。从产业环境、主要产品、关键技术等对中国氢能产业发展趋势进行预测描绘。结合昌平“能源谷”建设实践,系统地提出应加大可再生能源制氢领域技术攻关、积极推动试点示范、加快构建氢能供应体系和以绿氢为核心的“氢工业”全产业链体系、完善标准体系和强化国际合作等建议。

关键词: 产业技术路线图; 氢能; 发展战略

中图分类号: F426 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)07-0128-09

氢能产业作为未来国家能源体系的重要组成部分,是中国未来产业的重点发展方向,也是发展新质生产力的主要载体之一。在全球碳中和大背景下,推进氢能源的生产和利用已成为大部分国家或地区的共识,全球多个国家/地区颁布氢能发展战略和路线图,包括美国《美国国家清洁氢能战略和路线图》、日本《氢能/燃料电池战略发展路线图》,以及欧盟颁布的《欧盟氢能战略》^[1],均明确将氢能提升到国家能源战略高度。近年来,随着《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》《关于加快推动制造业绿色化发展指导意见》等国家政策的密集出台,中国氢能产业呈现出快速发展的趋势,学界对氢能产业发展研究也形成了诸多研究成果。但目前对氢能产业的研究较为分散,多集中于各个子领域,如电解水制氢产业、燃料电池产业、车用氢能产业等,缺乏对氢能产业发展路线的整体性规划。基于此,本文应用技术路线图方法,梳理中国氢能产业发展现状,从产业环境、主要产品、关键技术等方面对中国氢能产业发展趋势进行预测,绘制中国氢能产业技术路线图,并结合昌平“能源谷”建设实践提出中国氢能产业发展的战略建议。

1 文献综述

1.1 产业技术路线图

技术路线图起源于 20 世纪 70 年代末期的美国

汽车行业,现已广泛应用于企业研发战略规划、产业技术预见和国家科技发展规划中,为企业研发项目布局和资源投入、产业关键技术攻关和新兴领域培育、国家资源配置和政策制定等提供了有力的支持^[2]。技术路线图按照应用领域可分为企业技术路线图、产业技术路线图、国家技术路线图等^[3]。产业技术路线图在可再生能源领域的应用很广泛,较为典型的有美国电力产业技术路线图(美国电力研究院 EPRI)、美国光电产业技术路线图(美国光电研究中心)、加拿大燃料电池产业技术路线图(加拿大工业部)、《美国国家清洁氢能战略和路线图》(美国能源部)、《氢能/燃料电池战略发展路线图》(日本氢能/燃料电池战略协会)等。学界关于产业技术路线图也有较多的研究成果,主要采用头脑风暴法、德尔菲调查法、问卷调查法,以及专利分析、文献计量等定量研究方法构建产业技术路线图^[4-7],明确该产业的发展方向与战略目标,以及产业发展过程中所需的技术、资源、环境,厘清技术-产品-市场之间的关系,对产业发展战略、规划制定起到决策支撑作用。

1.2 氢能发展战略研究

中国氢能产业的发展很大程度上得益于政策支持和驱动。很多学者应用内容分析、文献计量、德尔菲调查法等对中国以及国际主要国家的氢能政策与发展战略进行研究。凌文等^[8]采用内容分析

收稿日期: 2024-09-25

基金项目: 北京市科学技术研究院首都高端智库项目(152023KF008-17)

作者简介: 邓明荣(1985—),女,湖北襄阳人,硕士,助理研究员,研究方向为技术与产业情报; 胥彦玲(1977—),女,陕西汉中人,博士,副研究员,研究方向为技术与产业情报。

法总结了我国氢能产业发展现状和战略需求,提出加强氢能产业顶层设计、加快标准体系建设和加大全产业链的试点示范推广的政策建议。孙旭东等^[9]采用文献计量法和内容分析法,对2017年1月1日至2022年6月1日期间发布的地方性氢能产业政策进行定量化文本挖掘,分析研究氢能政策发展演化轨迹、产业区域格局及产业链布局等特征。陈洪波和王新春^[10]采用比较分析法对美国、欧盟、日本、澳大利亚等世界主要经济体的氢发展战略与政策进行了比较,提出中国需加快氢经济发展战略制定、加强关键技术研究、构建完善的氢产业链和政策体系等建议。

综上所述,国内对氢能产业发展战略研究成果大多采用内容分析、文献计量等方法,选定几项政策为研究样本,判别中国氢能战略现状与特点,分析与世界主要经济体的差距,缺少从“技术-产品-市场”相互影响作用的视角对氢能产业发展战略进行全景式的探索,利用技术路线图为氢能产业提供宏观指导的研究仍未见报道。

2 基于技术路线图的氢能产业发展分析框架及要素

2.1 基于技术路线图的氢能产业发展分析框架

制定氢能产业技术路线图的过程包含两个阶段:准备阶段和实施阶段。准备阶段主要包括文献收集、整理、汇总和分析,现状调研、问卷设计、组建

专家支持团队等。实施阶段主要采用文献研究法、头脑风暴法、专家访谈法、专利分析法等对北京市氢能产业技术路线图的各要素,包括产业现状、产业环境、主要产品、关键技术等进行分析,并进行技术路线图的具体绘制,如图1所示。

(1)现状分析。通过专利分析进行全球以及国内氢能技术研发现状和趋势的研究,包括全球整体趋势及地区分布、技术热点、研发主体构成等。

(2)产业环境分析。全面剖析氢能产业的政策与市场双重环境。政策层面聚焦于影响氢能技术、产品及市场未来发展的政策法规;市场层面则深入分析市场竞争态势、产业链上下游等。

(3)主要产品。明确当前及未来中期、远期氢能领域的核心产品与应用类别,依托专家访谈,探讨不同产品的应用前景及所处发展阶段。

(4)关键技术。基于专家研讨和问卷调查,综合评判影响氢能产业发展的各关键技术重要程度以及预期实现时间,探讨技术研发方向。

2.2 氢能产业技术路线图要素分析

2.2.1 边界确定

依据氢能产业链的划分,确定中国氢能产业技术路线图的边界包括上游制氢(制备-储运-加注)、中游燃料动力电池系统及下游应用中涉及到的相关技术与设备,以及标准、技术服务,影响氢能产业发展的市场环境、政策环境等。

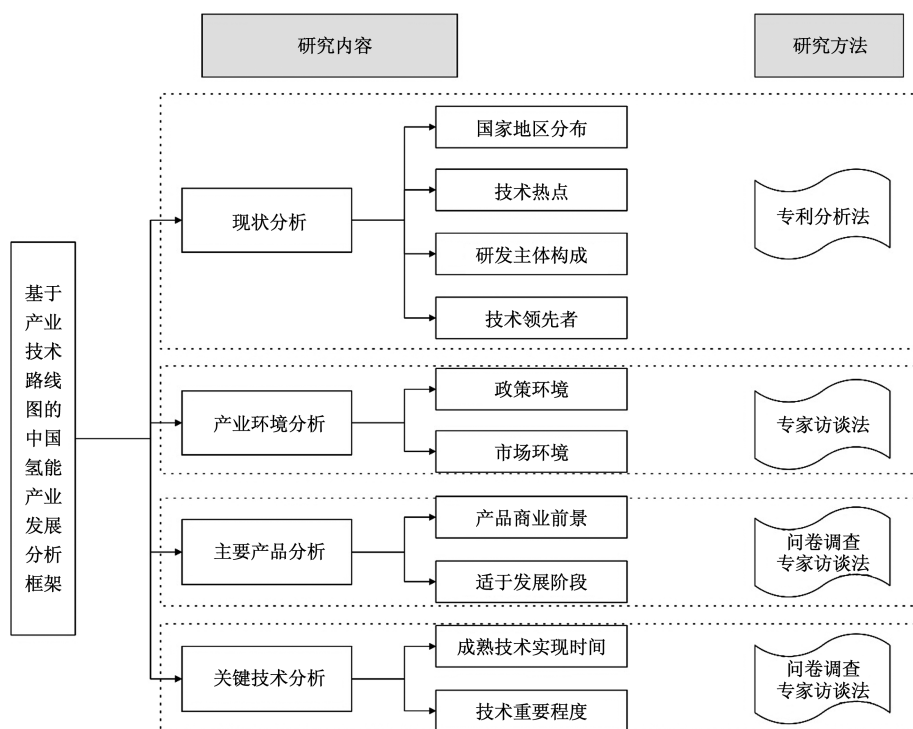


图1 基于产业技术路线图的氢能产业发展分析框架

2.2.2 现状分析

利用 incoPat 专利数据库,对 2005 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日期间公布的氢能技术专利进行检索和分析。具体分析结果如下。

(1)全球氢能领域专利整体趋势分析。总领域专利包括发明专利、实用新型、外观设计共计 64 757 件。全球氢能专利申请数量呈现持续增长趋势(图 2),氢能技术创新处于持续活跃期,专利主要分布在中国,日本、韩国、美国、印度等国紧随其后。其中,中国在 2016—2023 年呈爆发式增长,出现研发热潮,在全球市场的占比也越来越高,这与 2016 年中国加入《巴黎气候变化协定》后国家对氢能等清洁能源加强重视,给予较大的政策扶持力度有关。

(2)从技术热点看,氢燃料电池及其关键部件(如电堆、催化剂、膜电极、双极板等)的技术创新及其下游应用,特别是交通领域的应用(在全球公开的氢能应用领域发明专利中占比达 48.7%),已经成为全球范围内专利研发和产业化的重要方向。这一趋势的背后是氢燃料电池汽车作为清洁能源

解决方案的潜力逐渐被认可,也是碳减排和能源结构转型的迫切需求。在制氢领域,电解水制氢的发明专利公开量占全球制氢技术的 38.0%,仍然是全球热点制氢技术,但太阳能制氢、化工原料转化制氢的近 5 年发明专利公开量大幅增加,成为创新热点。在储氢领域,高压气态储氢发明专利公开量最大,占全球储氢技术的 25.6%,为主流储氢技术,其次为固态储氢技术(11.7%),而有机液体储氢技术近年来也创新活跃。

(3)全球氢能领域排名前 10 的专利申请人中,日本占 4 席,中国占 3 席,韩国占 2 席(图 3)。从主要专利申请人的类别来看,技术领先者既包含了像丰田、日产、本田这样的国际知名车企,也涵盖了如中国化工、中国科学院大连化学物理研究所、亿华通等科研机构和企业。这体现了氢能技术的多元化和复杂性,需要不同领域的创新主体共同推动其发展。同时,从国家分布来看,日本以其强大的汽车产业基础和科研实力占据了绝对优势,而中国和韩国也在积极追赶,展现了氢能领域的全球竞争格局。

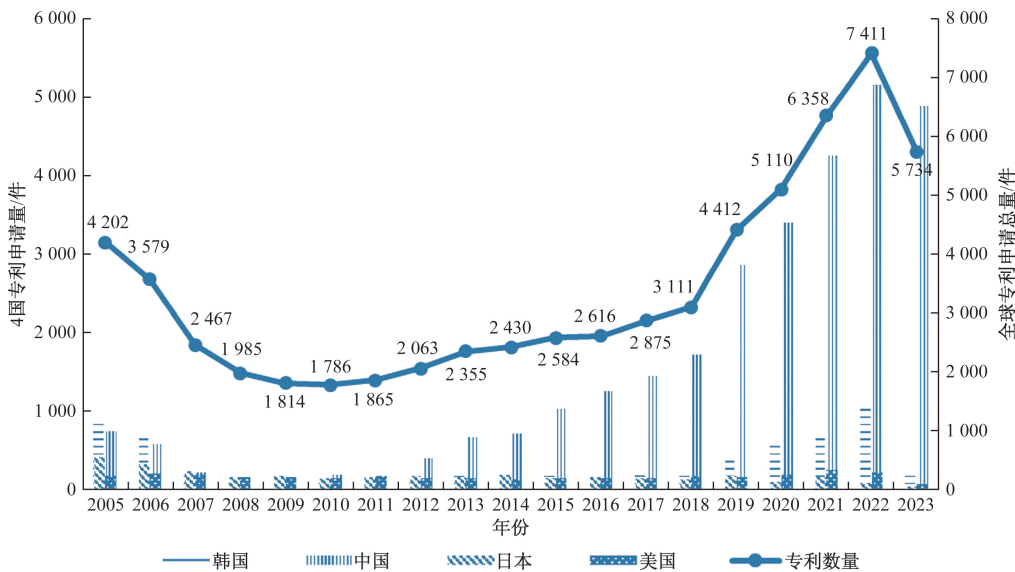


图 2 氢能全球专利申请趋势

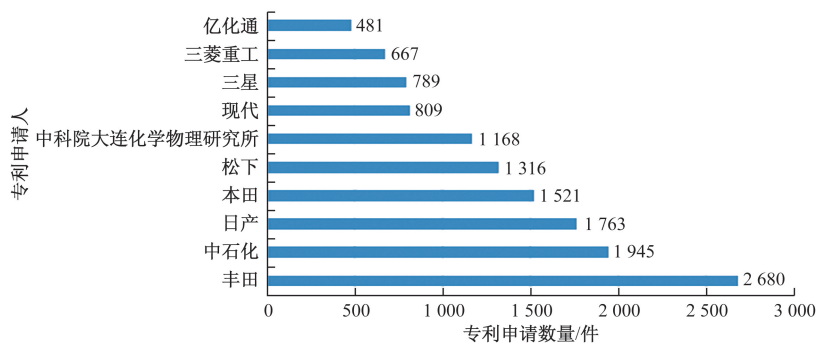


图 3 全球氢能领域前 10 位专利申请人情况

2.2.3 产业环境分析

(1)氢能“1+N”政策体系逐渐完善,政策环境不断向好。中国氢能产业发展在很大程度上来源于国家政策扶持。从时间分布来看,中国《“十五”科学技术发展规划》中首次提出将氢能技术列入重点前瞻部署的前沿性技术^[11]。之后,在“十二五”规划、“十三五”规划以及《国家战略性新兴产业发展规划》等战略性政策文件中多次提及可再生能源制氢,并将其列为新兴产业的重点发展方向之一^[12]。自2022年《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》出台以来,氢能产业政策制定步伐持续加快,2023年出台氢能产业政策38项,2024年政府工作报告明确提出加快前沿新兴氢能产业发展,预计未来3~5年内中国氢能政策体系将进一步完善,通过财税优惠、供应链激励以及直接补贴等多方面为氢能产业发展提供更加系统、全面的政策支持。

(2)氢能市场产业化前景良好。中国氢能市场处于发展初期,市场规模整体呈快速增长态势。2022年中国氢能市场规模约为3329亿元,同比增长6.2%^[13]。随着氢能产业的持续发展和政策支持,预计2024年国内氢能产业规模有望突破5000亿元。从产业链生态来看,中国氢能产业链上游分布着制氢、储运氢企业以及加氢站建设和运营商,包括国富氢能、兰石重装、美锦能源、中国石化、国家能源、中科富海、海德利森、派瑞华氢、中集

氢能等企业;中游是布局在燃料电池、电堆技术领域的企业,包括新源动力、上海神力等;下游是布局氢能应用的企业,包括武汉格罗夫、北京亿华通以及中国一汽、丰田汽车、郑州宇通等车企。中国氢能行业的市场竞争格局呈现出多样化、集中与分散并存的特点:上游制氢和加氢站行业市场集中度较高。以电解水制氢为例,2023年派瑞氢能、隆基氢能和阳光电源3家龙头企业的市场份额占比达72%^[14]。中游燃料电池行业的代表性企业中,亿华通和国鸿氢能燃料电池系统业务占比最高,分别为92.74%和97.86%。但随着布局燃料电池的企业产品陆续面向市场,行业竞争将明显加剧,市场集中度将显著下降。下游应用前景最明确的是交通领域,随着燃料电池汽车技术的不断成熟和成本的降低,其市场渗透率将逐渐提高,燃料电池汽车将成为氢能应用的重要方向之一。但随着船舶、飞机领域应用政策出台,绿氢促进船舶、飞机等交通领域减排的步伐将逐渐加快。与此同时,中国氢能将在能源、化工、交通、冶金、农业等多个领域得到多元化应用,氢能应用的多样化趋势将日益明显,呈现“多面开花”。

2.2.4 主要产品分析

选取《2024胡润中国新能源潜力企业百强榜》列出的前15家企业(表1)进行案例分析,对氢能产业主要产品进行梳理,最终筛选了氢燃料电池系统/电堆、质子交换膜、膜电极、双极板、PEM(proton exchange membrane,质子交换膜)电解槽、碱性水电解槽、PEM

表1 《2024胡润中国新能源潜力企业百强榜》前15家企业产品梳理

序号	企业名称	主要产品	最终筛选产品
1	国氢科技	氢燃料电池电堆及系统、PEM电解槽、质子交换膜	氢燃料电池系统/电堆、质子交换膜、膜电极、双极板、PEM电解槽、碱性水电解槽、PEM制氢膜、碱液电极、碱槽隔膜、氢液化装置及液氢储罐、气态储氢瓶及储氢系统、固态储氢装置
2	重塑能源	氢燃料电池电堆、膜电极、双极板、PEM纯水电解制氢系统、PEM纯水电解槽、PEM制氢膜电极、制氢电源和碱性电解槽先进电极	
3	隆基氢能	碱性水电解槽、清洁能源制氢项目电解水制氢装置	
4	中科富海	氢液化装置等	
5	东岳氢能	氢燃料电池质子膜、水电解制氢膜、液流电池膜、膨体聚四氟乙烯(ePTFE)、全氟磺酸离子交换树脂等	
6	未势能源	燃料电池发动机、电堆膜电极、35MPa/70MPa车载储氢系统、储氢瓶、瓶阀及减压阀等	
7	阳光氢能	制氢电源、碱性水电解槽、PEM电解槽、气液分离与纯化装置、智慧氢能管理系统	
8	蓝能氢能	储氢瓶及储氢系统等	
9	氢枫氢能	镁基固态储氢装置等	
10	爱德曼氢能	电解槽制氢系统、兆瓦级氢能发电系统、车船用氢能燃料电池动力系统、氢储能等	
11	赛克赛斯氢能	PEM纯水电解制氢装备、质子交换膜等	
12	鸿基创能	燃料电池和PEM电解水制氢膜电极等	
13	治臻新能源	氢燃料电池金属双极板、PEM电解槽用金属极板	
14	唐锋能源	燃料电池和电解槽膜电极	
15	舜华新能源	加氢站、车载储氢系统	

制氢膜、碱液电极、碱槽隔膜、氢液化装置及液氢储罐、气态储氢瓶及储氢系统、固态储氢装置 12 种产品进行产品应用前景和发展阶段的研判。

基于文献分析、德尔菲法和调查问卷,对以上 12 类产品的应用前景和发展阶段等方面进行分析和预判(表 2)。应用前景分值范围为 1~5 星,分别表示应用前景差、较差、一般、较好、非常具有应用前景。

氢能产业大部分产品应用前景较好。上游制氢环节主要涉及的产品为电解槽及其零部件。碱性和 PEM 是目前电解水制氢领域中发展较为成熟,已实现产业化的两种电解槽。分析结果显示,国内企业多以碱性水电解槽为主,部分企业碱性电解槽和 PEM 电解槽双路线并存。综合专家意见认为,从产品成熟度来看,当前碱性电解槽已经处于规模化,且经历了输出压力、电解槽功率、隔膜材料等多方面的升级来提升效率和改善工作环境的适应性,而 PEM 电解槽则还处于性能和使用寿命被验证和成长的成长阶段;从应用前景来看,PEM 电解槽更适应于与可再生能源相结合的工作环境,更符合未来要达到的低碳高能的能源目标。氢储运环节当前成熟度较高的为气态储氢系统,民用的氢液

化装置仍处于起步阶段,固态储氢尚处于实验室研发中。中游氢燃料电池系统/电堆发展迅速,应用前景向好。近年来中国氢燃料电池市场规模不断攀升,由 2019 年的 16.3 亿元增至 2023 年的 39.3 亿元,复合年增长率为 24.61%。2024 年 1—8 月,亿华通以 106 646 kW 的累计装机量位居榜首,市场占有率达到 19%。重塑能源和国鸿氢能分别位居第 2 和第 3。下游应用则主要集中于能源及石化、化工领域,同时中国也在钢铁冶金、储能、建筑、发电等多重领域积极探索氢能应用。

2.2.5 关键技术分析

基于文献分析、专家访谈和调查问卷,对中国氢能产业的关键技术在技术发展趋势、重要程度、预计技术成熟实现时间、技术研发方向等方面进行预判。首先,结合文献分析和专利文本挖掘,整理形成制氢、储氢、运氢、加氢 4 大类共 12 项技术主题。之后,通过问卷调查和专家访谈,明确各项技术重要程度、预计成熟技术实现时间、技术研发方向,并采用加权平均计算各项技术的重要程度综合评价,结果见表 3。技术重要程度分值范围为 1~5 星,分别表示技术重要程度非常不重要、较不重要、重要程度中等、较重要、非常重要。

(1)制氢技术。制氢是氢能利用的第一个关键性技术环节。从中国的制氢技术演变历程来看,可划分为 3 个阶段:第 1 阶段(1998—2002 年),国内制氢技术基础薄弱,自主研发实力不足,制氢技术和设备主要依赖于美国、日本等国进口;第 2 阶段(2003—2015 年),在政策的大力推动下,制氢技术得到了快速发展;第 3 阶段(2016 至今),自中国加入《巴黎气候变化协定》后氢能被列入国家重点部署的前沿技术。综合专家意见,认为目前主流的制氢技术包括化石原料制氢、化工原料制氢、工业尾气制氢、电解水制氢和新型制氢技术等。其中,化石原料、化工原料制氢技术发展较早,工艺较为成熟;

表 2 氢能主要产品成熟度和应用前景研判

序号	主要产品	应用前景	产品成熟实现时间
1	氢燃料电池系统/电堆		短期
2	质子交换膜(工业副产氢)		短期
3	膜电极		中长期
4	双级板		短期
5	PEM 电解槽		中长期
6	碱性水电解槽		短期
7	PEM 制氢膜		中长期
8	碱液电极		短期
9	碱槽隔膜		短期
10	氢液化装置及液氢储罐		中长期
11	气态储氢瓶及储氢系统		短期
12	固态储氢装置		中长期

表 3 氢能产业技术发展趋势预判情况

产业链	技术发展趋势预判	技术重要程度	成熟技术实现时间	技术研发方向
制氢	化石能源制氢+CCUS 技术		短期	氢气提纯技术、CCUS 技术;大力发展生物制氢、太阳光解水制氢,“绿色”煤制氢技术
	可再生能源电解水制氢技术		中长期	
储氢、运氢	高压气态储氢		短期	研发 70 MPa 气态、氢气压缩机、液氢泵、氢气液化装备;碳纤维和碳纳米管等碳质储氢材料;研发有机液体储氢技术等
	低温液态储氢;固体储氢;有机液体储氢;		中长期	
	高压气态拖车		短期	研究高密度高性能高安全性管材,发展氢泄漏与实时监测技术、氢能管网等
	管道输氢、有机液体管道输氢		中长期	
加氢	35 MPa 加氢站		短期	研发加氢枪等设备;加强在加注安全、过程控制、建站设计及标准等方面的研究
	0 MPa 加氢站,液氢加注站		中长期	

工业尾气制氢技术由于受到工业装置和产能的限制难以成为主流技术；电解水制氢是目前的热点技术，而太阳能光解水制氢、生物制氢等新型制氢技术是目前发展前景较看好的技术分支。

(2) 储运氢技术。当前，氢气的储存与运输方式依据氢气的物理状态及所采用的储氢材料的不同特性，主要可划分为4大类别：高压气态储运、低温液态储运、固态材料储运以及特殊的高压液体储运方式。其中，气态储运因其在常温条件下即可实现氢气的快速充放，且成本相对较低，目前已成为国内最为主要且技术最为成熟的氢气储运方式。但缺点在于单位体积储氢罐所能储存的氢气量较少，且高压储氢罐制造和维护的技术要求较高。未来研发方向为提高储氢密度、降低能耗成本、提高

有机液体储氢脱氢效率。

(3) 加氢技术。加氢站的技术实现路径主要区分为站内制氢与站外供氢两种模式。鉴于中国加氢站设计的特定模式，目前主要采用站外供氢的方式。综合专家意见认为，短期内仍以35 MPa加氢站为主，未来将加大对0 MPa加氢站、液氢加注站、加氢枪等方面的研发和设计，同时对加注安全、过程控制、建站设计及标准等方面加强关注。

3 中国氢能产业技术路线图的绘制

运用Microsoft Office Visio软件进行中国氢能产业技术路线图的绘制，横向为时间轴，从2015—2035年以及更远的2050年；纵向分为4个层级，自上而下依次为政策环境层、市场环境层、主要产品层、关键技术层(图4)。

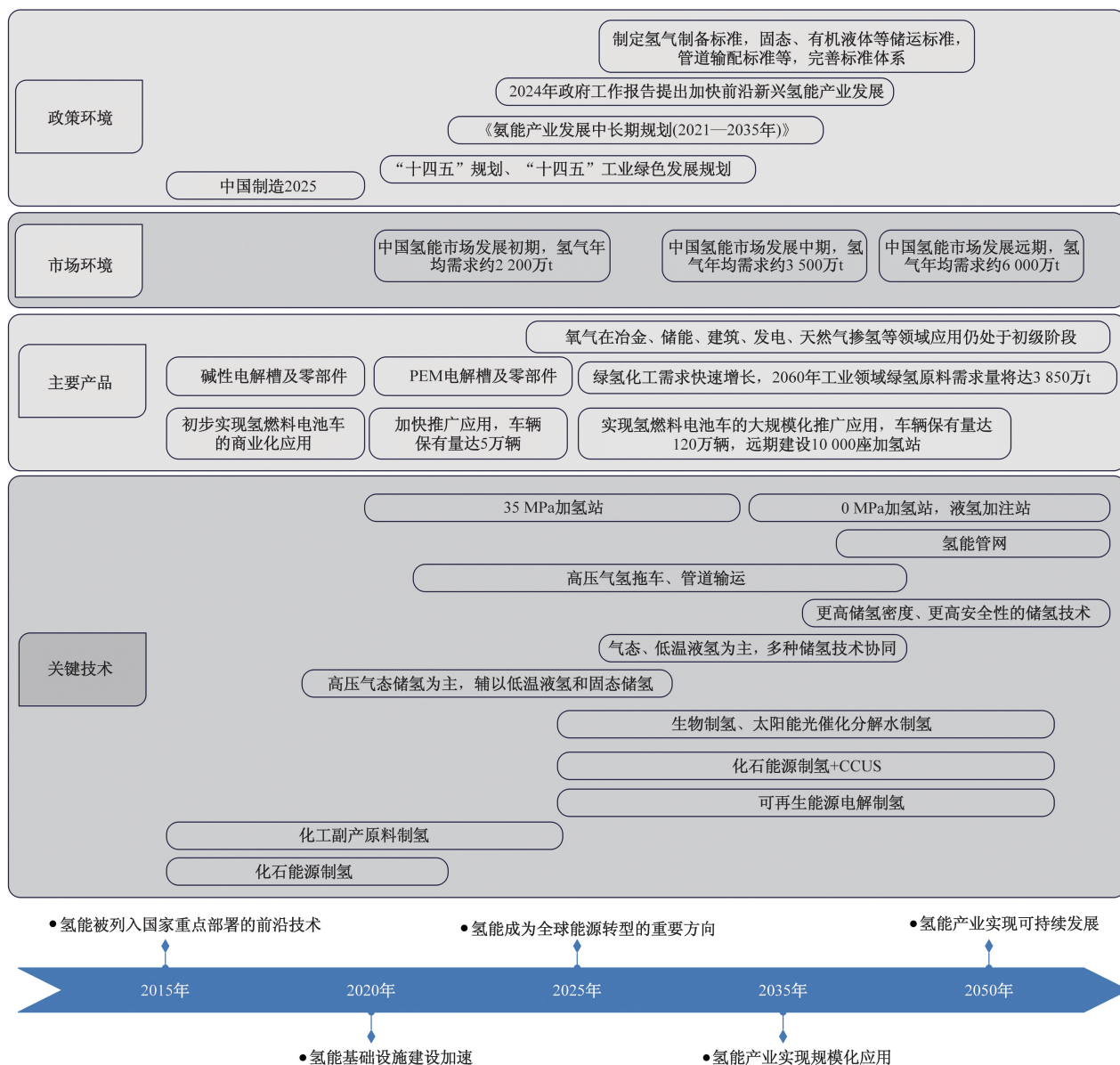


图4 中国氢能产业技术路线图

第1阶段(2015—2025年):出台了一系列有力措施以支持绿色氢能产业的蓬勃发展,这些措施涵盖了财税优惠、供应链激励以及直接补贴等多方面,为绿色氢能项目提供了坚实的政策保障和经济激励。为了加速氢能技术的商业化进程,政府积极推动示范项目的建设,帮助验证氢能技术的可行性和经济性,并通过规模效应和技术创新进一步降低储氢和运输成本。在技术突破方面,持续聚焦氢能领域的核心技术研发,特别是针对氢气的制备、储存、运输以及燃料电池等关键环节。

第2阶段(2025—2035年):将致力于构建全面而系统的氢气技术标准体系,该体系将涵盖国家、行业、区域、协会及公司等多个层面的标准制定,以确保氢气产业从基础设施设计、施工到认证等各个环节均有据可依、有标可循;将加大对基础设施的投资力度,特别是在氢能管网的建设上,确保氢气能够高效、稳定地输送到各个地区,从而满足日益增长的氢能需求。通过建立国家级工程和研究中心,以及鼓励龙头企业、高校及科研机构的深度合作,构建起一个强大的技术创新网络,聚焦于关键技术突破和自主化。

第3阶段(2035—2050年):为保障氢能行业的健康有序发展,将持续完善氢能行业标准体系和认证框架,以提升产品质量、规范市场秩序。加快氢气在钢铁冶金、电力、建筑、天然气掺氢等领域应用场景拓展,尽早实现大规模商业化应用。在能源基础设施布局上,计划2050年在全国范围内建设超过10 000个加氢站,旨在构建一个高效、协同运作的氢能网络。国际合作方面,中国将积极寻求与国际伙伴在氢气供应网络建设、技术共享、市场开拓等方面的合作机会,吸引国际投资,共同打造开放、包容、共赢的国际氢能合作平台。

4 昌平“能源谷”建设实践

昌平“能源谷”的建设背景是为了积极践行“双碳”战略,推动全球能源转型,建设具有国际影响力的能源领域技术创新高地和北京先进能源产业高地。氢能领域是昌平“能源谷”的重点产业方向之一。

4.1 建设现状

“能源谷”集中入驻了华能集团清洁能源技术研究院等74家高端研发机构和科技型企业,集聚了万余名能源领域科研人才,累计建成了46个国家级和北京市重点实验室、工程技术中心,设有7个院士

工作站^[15]。近年来,“能源谷”开展卡脖子技术攻关,相继承担了能源互联网、氢能等一系列国家重大专项,累计有效专利拥有量达7 268件。

4.2 政策环境

在自贸试验区、服务业扩大开放综合示范区、中关村自主创新示范区以及首都高水平人才高地核心区等多重政策优势的叠加效应下,昌平区已经系统性地构建了一个“1+1+N”(第1个“1”指制定、出台一个综合性指导意见;第2个“1”指出台全区推进高精尖产业发展若干措施;“N”指支撑上述意见政策的具体专项政策措施,重点覆盖财税类、产业类、要素类,从科技创新、应用场景、人才保障和资金支持等多维度支持产业发展壮大)的创新政策框架,发布并实施了《先进能源产业提质增效行动计划》等关键政策,旨在促进能源产业的转型升级和效率提升。昌平区还针对氢能特定细分市场,制定了专门的支持政策对优质氢能项目进行重金奖励,支持氢能产业高质量发展。

4.3 创新成果

在氢能领域,“能源谷”以数智氢能产业园为载体,充分发挥国家能源集团、中国氢能联盟研究院在数智氢能、科技创新等方面的优势,打造氢能技术研发高地。产业园以数智氢能产业链为核心,布局包括氢能制备、储存、运输、应用及氢能设备制造等全产业链环节,创新活跃,产出多项氢能产业关键技术成果,部分实现世界领先水平。以中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司为例,研制出国际首套1 300标准立方米/h碱性电解水制氢系统,该装置在碱性制氢电解槽技术方面实现了世界领先。

4.4 存在问题

(1)关键核心技术以及相关零部件和材料的自主可控性不足。目前氢能产业的关键零部件,如催化剂、质子交换膜等仍依赖于进口材料,长距离、大规模、低成本的国产氢能储运技术也有待进一步突破。

(2)绿氢制备产业链尚不健全。绿氢制备技术有待进一步提升,当前面临上游生产成本过高、专用基础设施欠缺、能量利用率不高、市场需求尚未充分开发等问题。

(3)行业标准规范不完善。中国在氢储运和加注方面的技术标准方面落后于美日等国,需尽快完善氢能全产业链的行业标准和技术规范。

5 中国氢能产业发展战略建议

5.1 加大可再生能源制氢领域技术攻关,积极推动试点示范

(1)聚焦可再生能源制氢领域的关键核心技术,如高效的电解水制氢技术、光解水制氢技术、微生物制氢技术等,设定具体的技术指标和研发时间表,绘制明确的技术路线图。

(2)依托洁净能源国家实验室、涉氢国家重点实验室等,建设一批国家级可再生能源制氢技术研发平台,为技术攻关提供强有力的支撑。与此同时,整合政府、企业、高校及科研院所的科研力量,形成产学研用协同创新机制,吸引和培养一批在可再生能源制氢领域具有国际视野和创新能力强的高水平人才,打造具有国际竞争力的创新团队。

(3)在风、光资源丰富地区建设可再生能源制氢示范项目,推动技术攻关与示范应用相结合,加速技术成果向产业化转化。

5.2 加快构建安全、稳定、高效的全国氢能供应体系

一方面,探索并实践固态储氢、有机液体储氢等多种储运技术,加快布局中长距离输氢管网,提升氢能储运的效率和安全性,逐步构建便捷和低成本氢气运输网络;另一方面,统筹推进氢能基础设施建设,在交通枢纽、工业园区、物流集散地等区域加快建设加氢站,形成覆盖全国的加氢站网络,满足氢能车辆及其他氢能应用的需求。

5.3 积极构建以绿氢为核心的“氢工业”全产业链体系

第一,围绕“氢工业”全产业链进行产学研联合攻关,加大对绿氢技术与设备的自主研发;第二,精细把握电解水制氢工艺在传统石油化工企业应用可行性,因地制宜、实事求是地推广清洁制氢技术;第三,积极引导氢气在钢铁冶金、电力、建筑、天然气掺氢等领域的探索应用,逐步构建以绿氢为核心的“氢工业”全产业链体系。

5.4 完善标准体系,提升中国氢能技术标准体系的影响力

构建包括制氢-储氢-运氢-加氢-氢能应用、氢安全及相关检测、氢工程建设等多个方面的技术标准体系,确保氢能产业链的各个环节都有相应的标准可依,保障氢能产业安全、高效和可持续发展。在完善国内氢能技术标准体系的同时,积极参与国际氢能标准化工作,与国际标准化组织(ISO)等机

构建立合作关系,推动中国氢能技术标准与国际接轨,提升中国在国际氢能领域的话语权和影响力。

5.5 强化国际合作,推动氢能产业高质量可持续发展

搭建国际氢能合作对话平台,引领、推动氢能全产业链核心技术、材料和装备各个环节的国际合作。积极参与国际多边领域的合作项目,探索在氢能基础设施建设、关键氢能装备等领域的技术研发合作和成果共享,推动氢能在交通、化工、储能、建筑等多领域的技术应用和产业协同,促进氢能产业高质量可持续发展。

参考文献

- [1] 刘应都,郭红霞,欧阳晓平. 氢燃料电池技术发展现状及未来展望[J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 162-171.
- [2] 索玮岚,李建平,王林,等. 区域科技创新规划中重点领域的关键技术路线图研究[J]. 青海科技, 2022, 29(3): 11-16, 30.
- [3] 傅翠晓,庄珺,沈应龙,等. 面向战略需求的产业技术路线图方法体系研究[J]. 科技管理研究, 2022, 42(7): 137-143.
- [4] 林原,张乐,丁堃,等. 融合专利表示的技术路线图构建研究[J]. 情报杂志, 2021, 40(10): 15-20.
- [5] 刘宇飞,周源,褚恒,等. 工程科技知识图谱驱动的专家交互技术路线图方法[J]. 科学学与科学技术管理, 2021, 42(3): 29-47.
- [6] 隗玲,李姝影,方曙. 技术路线图:方法及其应用综述[J]. 数据分析与知识发现, 2020, 4(9): 1-14.
- [7] 李梦洋,侯凯洋,翟东升. 基于专利和面向园区的机器人产业技术路线图研究与应用[J]. 中国科技论坛, 2019(8): 27-34.
- [8] 凌文,李全生,张凯. 中国氢能产业发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(3): 80-88.
- [9] 孙旭东,赵玉莹,李诗睿,等. 中国地方性氢能发展政策的文本量化分析[J]. 化工进展, 2023, 42(7): 3478-3488.
- [10] 陈洪波,王新春. 氢产业发展战略的国际比较及政策建议[J]. 企业经济, 2021, 40(12): 126-134.
- [11] 智慧芽,科创板日报. 2022年中国氢能行业技术发展洞察报告[EB/OL]. (2022-03-31)[2024-09-06]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1728784271423877891&wfr=spider&for=pc>.
- [12] 孙德强,张俊武,吴小梅,等. 中国氢能产业发展现状、挑战及对策[J]. 中国能源, 2022, 44(9): 27-35.
- [13] 曾升,李进,王鑫,等. 中国氢能利用技术进展及前景展望[J]. 电源技术, 2022, 46(7): 716-722.
- [14] 宝丰太阳能电解水制氢综合示范项目正式投产[J]. 石油化工应用, 2021, 40(5): 124.
- [15] 陶凤,常蕾. 聚焦高精尖昌平打造科创生态双引擎[N]. 北京商报, 2021-06-28(002).

Development Strategy of China's Hydrogen Energy Industry Based on the Industrial Technology Road-map

DENG Mingrong, XU Yanling

(Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100044, China)

Abstract: In order to further explore the feasibility of key technologies, related products, markets, and policy measures in the hydrogen energy industry at different time nodes, an analysis framework for the development of the hydrogen energy industry was constructed based on industrial technology road-map. The incoPat patent database was used to clarify the current development status of the hydrogen energy industry through technology patent retrieval and analysis. Adopting questionnaire survey and expert interview afterwards, the development trend of China's hydrogen energy industry is predicted and depicted from aspects of industrial environment, main products, key technologies, etc. Based on above predictions and depictions, a roadmap for the development of China's hydrogen energy industry is drawn. In combination with the construction practice of Changping "Energy Valley", suggestions for industrial development are systematically put forward, such as increasing technological research and development in the field of hydrogen production using renewable energy, actively promoting pilot demonstrations, accelerating the construction of a national hydrogen energy supply system and a whole industry chain system of hydrogen industry with green hydrogen as the core, improving the standard system, and strengthening international cooperation.

Keywords: industrial technology roadmap; hydrogen energy; development strategy