

# 2019年中国氢能政策、产业与科技发展热点回眸

孟翔宇<sup>1</sup>, 顾阿伦<sup>2</sup>, 邬新国<sup>1</sup>, 刘滨<sup>2</sup>, 何朝晖<sup>2</sup>, 毛宗强<sup>1,2\*</sup>

1. 东莞深圳清华大学研究院创新中心, 东莞 523808

2. 清华大学核能与新能源技术研究院, 北京 100084

**摘要** 能源载体——氢能作为一种典型的新能源形式, 具有无污染、热值高、重量轻、资源丰富等优势, 被视为21世纪最有希望为人类提供可持续发展动力的清洁能源。从政策制定、产业发展、基础研究以及国际合作等4个方面, 综述了中国氢能产业在2019年所取得的进步, 分析了面临的问题, 总结了经验教训, 对未来氢能产业的发展提出了具体建议。

**关键词** 氢能产业; 能源技术; 清洁能源

中国在《巴黎协定》中承诺, 到2030年中国单位GDP的CO<sub>2</sub>排放要比2005下降60%~65%, 非化石能源在总能源中的比例要提升到20%左右, 且中国的CO<sub>2</sub>的排放要达到峰值, 并且争取尽早达到峰值<sup>[1-3]</sup>。要实现上述目标, 中国将比发达国家面临更严峻的挑战。中国需要发展经济, 推进工业化和现代化进程, 提高人民生活水平, 能源消费不可避免地会持续增长。在当前以化石能源为主体能源供应结构下, CO<sub>2</sub>排放也将呈持续上升的趋势。而应对全球气候变化, 则需要加大力度控制和减缓CO<sub>2</sub>排放。协调两者之间的矛盾, 就必须推动能源供应和消费体系的变革, 以尽量少的能源消费和

CO<sub>2</sub>排放, 支撑经济社会的持续发展。但需要注意的是, 当前大多数排放在全球紧迫的深度脱碳情景下, 其边际减排成本将呈非线性快速上升的趋势, 这就意味着必须有革命性先进技术的突破和大规模产业化应用才能推动能源体系低碳化转型。在这其中, 氢能由于其清洁低碳、热值高、来源广泛和安全性可控的特点, 逐渐成为推动全球能源技术创新和产业变革, 重塑产业链业态和竞争格局的先进能源载体<sup>[4-5]</sup>。

当前, 美国、欧盟、日本等国家和地区都在投入大量资金, 组织科研力量, 制定发展规划, 积极推动氢能技术及产业发展, 意图抢占氢能产业发展的国

收稿日期: 2019-12-31; 修回日期: 2020-01-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFE0202000); 清华大学绿色经济与可持续发展研究中心第二期项目

作者简介: 孟翔宇, 高级工程师, 研究方向为氢能发展战略与规划、低碳及可持续发展政策等, 电子信箱: mengxy@tsinghua-dg.org; 毛宗强(通信作者), 教授, 研究方向为氢能及燃料电池技术、氢能政策与战略、标准等, 电子信箱: maozq@tsinghua.edu.cn

引用格式: 孟翔宇, 顾阿伦, 邬新国, 等. 2019年中国氢能政策、产业与科技发展热点回眸[J]. 科技导报, 2020, 38(3): 172-183; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.03.015

际竞争制高点。中国将发展氢能产业作为重要措施,推进能源革命和经济低碳转型,既有利于应对气候变化,在国际上树立负责任大国的形象,也能够满足国内保障能源安全、发展低碳经济的内在需求,具有多方面协同效应。需要以更大的决心和更有力的措施推动氢能技术进步,提高中国在氢能技术领域的竞争力,推动氢能产业成为新的经济增长点,以促进中国产业转型升级和能源结构优化。

## 1 政策回顾

### 1.1 中国氢能政策概述

2019年以来,中国对氢能产业发展日益重视,出台了涉及氢能领域各方面的一系列政策推动氢能产业健康发展。在《2019年国务院政府工作报告》<sup>[6]</sup>中,明确提出“推进充电、加氢等设施建设”,标

志氢能首次被写入《政府工作报告》,体现了中国对发展氢能产业的决心,2019年内国家层面涉及氢能产业发展的主要政策如表1所示。

2019年中国公布的氢能产业发展政策涉及到氢能基础设施建设、装备制造和氢能利用在内的许多领域,也涉及到政策鼓励、资金支持等方面,同时加氢基础设施建设等指导意见也在逐渐丰富,相关配套政策和资金的落地都有利于解决加氢站前期资金投入大、加氢站运营安监审批难等问题。当前,中国氢能产业处于前期开发阶段,今后中国政策的持续支持、技术研发的不断进步,以及更为广阔的市场开发是中国氢能产业化发展的关键。

### 1.2 地方氢能发展政策回顾

2019年,广东、山西等10个省份将发展氢能写入政府工作报告,山东、河北、浙江等省份陆续发布本地氢能产业发展规划,且许多地方都制定了促进

表1 2019年中国氢能产业发展相关政策

时间	机构	政策名称	主要内容
1月4日	生态环境部等11部门	柴油货车污染治理攻坚战行动计划 <sup>[7]</sup>	鼓励各地组织开展燃料电池火车示范运营,建设一批加氢示范站
2月14日	国家发展改革委等7部门	绿色产业指导目录(2019年版) <sup>[8]</sup>	鼓励发展氢能利用设施建设和运营,燃料电池装备以及在新能源汽车和船舶上的应用
3月5日	国务院	政府工作报告	推进充电、加氢等设施建设
3月26日	财政部	关于进一步完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知	补贴转为支持加氢站基础设施和配套投资
4月9日	国务院	落实《政府工作报告》中重点工作部门分工意见	将继续执行新能源汽车购置优惠政策,推动充电、加氢等设施建设
5月8日	财政部	关于支持新能源公交车推广应用的通知	“以买代补”的方式重点支持新能源公交车运营
5月16日	工业和信息化部	2019年新能源汽车标准化工作要点 <sup>[9]</sup>	加快车载氢系统、加氢口、加氢枪、加氢通信协议等标准的编制修订,开展燃料电池汽车碰撞后安全标准的预研工作
6月28日	财政部、税务总局	关于继续执行的车辆购置税优惠政策的公告	自2018年1月1日至2020年12月31日,购买新能源汽车免征车辆购置税
9月19日	国务院	交通强国建设纲要 <sup>[10]</sup>	要科学规划建设城市停车设施,加强充电、加氢、加气和公交站点等设施建设,全面提升城市交通基础设施智能化水平
11月15日	国家发展改革委联合14个部门	关于推动先进制造业和现代服务业深度融合发展的实施意见 <sup>[11]</sup>	加强新能源生产使用和制造业绿色融合,推动氢能产业创新、集聚发展,完善氢能制备、储运、加注等设施和服务
11月	国家统计局	能源统计报表制度	氢气和煤炭、天然气、原油、电力、生物燃料等一起,纳入2020年能源统计

氢能产业发展的相关政策,涉及氢能基础设施建设、关键零部件制造和配套运营服务等,2019年各地区对于氢能发展的主要政策如表2所示。

由表2可知,许多地区都为氢能产业的发展制定了相应的计划,需注意的是,经济与实用性是氢能技术产业化的动力。因此,需要因地制宜,采用多元化的制氢、储氢、运氢及氢能应用的体系,才能有效降低氢能的平均使用成本。

受国家整体政策、产业环境的推动,中国氢能

及燃料电池产业逐步形成了3大重点区域:京津冀区域、长三角区域和珠三角区域。由于各地所拥有的资源禀赋、产业基础和技术优势的不同,各地区氢能发展的重点及路径也不同。这三大重点区域中,长三角地区的产业政策、规划及产业链覆盖范围要领先于其他两个地区,京津冀地区主要以氢燃料电池商用车的示范应用以及氢能源应用推广为主,而珠三角地区主要以打造完整的燃料电池产业链为主。

表2 2019年中国各地区氢能发展主要政策

时间	省市	政策名称	主要内容
1月4日	山东省	山东省氢能源产业发展路线图(建议稿)	2020年,燃料电池车数量达到2000辆,加氢站达到20座;到2025年,燃料电池汽车数量达到5万辆,加氢站达到200座;到2030年,燃料电池汽车数量达到10万辆,加氢站达到500座
1月7日	南京市	南京市打造新能源汽车产业地标行动计划	重点推进纯电动汽车、插电式混合动力汽车、燃料电池汽车开发,积极布局智能网联汽车产业,着力提升新能源汽车产业自主创新和核心竞争能力
1月11日	浙江省	浙江省汽车产业高质量发展行动计划(2019—2022年)	要加快培育燃料电池汽车产业链,支持燃料电池电堆等关键技术研发,鼓励有能力的企业加快研制燃料电池汽车
2月1日	嘉善县	嘉善县推进氢能产业发展和示范应用实施方案(2019—2022年)	力争在2022年完成120 kW的电堆设计与开发,燃料电池产能要达到10000台,销售要达到5000台。并且配合嘉兴市建成加氢站3~5座,使燃料电池公交车占新能源公交车保有量的50%之上
2月11日	常熟市	常熟市氢燃料电池汽车产业发展规划	将氢燃料电池汽车产业的发展作为常熟市推进产业结构调整、科技创新突破、丰富年轻汽车城内涵的重要抓手,以丰田为技术支撑、氢燃料电池汽车产业园为核心,目标到2030年形成千亿级产业集群,打造中国氢燃料电池汽车新高地
2月20日	宁波市	宁波市人民政府办公厅关于加快氢能产业发展的若干意见	到2022年,氢能产业体系不断完善,自主创新能力持续提升,产业发展环境更加优越,推进一批氢能应用示范设施,全市氢能产业综合实力不断增强。到2025年,全市氢能产业规模大幅提升,氢燃料电池电堆、关键材料、零部件和动力系统集成核心技术达到国际先进水平,建成加氢站20~25座,氢燃料电池汽车运行规模力争突破1500辆
3月15日	海南省	海南省清洁能源汽车发展规划	要坚持充电为主、加气为辅、加气提前布局的原则,力争通过3~5年时间,建成覆盖全海南省、满足各类型清洁能源汽车应用基本需求,充换兼容、快慢充互补、多场景结合、智能化的充电加气网络
4月30日	山西省	山西省新能源汽车产业2019年行动计划	依托太原市、大同市、长治市等城市现有氢燃料电池汽车相关产业开展试点示范,并发挥吉利晋中基地、大运汽车、江铃重汽等企业的示范和带动作用
5月5日	四川省	四川省打好柴油货车污染治理攻坚战实施方案(征求意见稿)	鼓励开展燃料电池货车示范运营,建设加氢示范站,支持替代燃料、混合动力、纯电动、燃料电池等技术攻关,鼓励开发天然气燃料等新能源专用发动机,优化动力总成系统匹配

续表2 2019年各地区氢能发展主要政策

时间	省市	政策名称	主要内容
5月24日	上海市、南通市、如皋市	长三角氢走廊建设发展规划	以长三角城市群城际间带状及网状加氢基础设施建设为重点,兼顾重点城市市内加氢基础设施建设,以满足城际间交通加氢需求为出发点,适度超前建设,以推动实现加氢基础设施与氢燃料电池汽车的协调平衡发展为目标
7月4日	上海市	嘉定区鼓励氢燃料电池汽车产业发展扶持的有关意见(试行)	全力支持企业通过开展兼并收购等活动,重组、整合上下游产业链,区相关产业基金可共同参与或提供资金支持;并购国内外知名品牌的,经认定给予并购金额10%,最高1000万元的补贴;推动氢燃料电池公交车的示范运营,按照国家和市级标准给予补贴
8月12日	河北省	河北省推进氢能产业发展实施意见	推动氢能产业高质量发展,为河北省能源转型提供新的增长极。到2025年,要培育国内领先的企业10~15家,氢能产业链年产值要达到500亿元。到2030年,要培育5~10家具有国际领先的龙头企业,氢能产业链年产值突破2000亿元,至少建成100座加氢站,电池汽车运行要超过5万辆
9月9日	六盘水	六盘水市氢能原产业发展规划(2019—2030年)	到2030年,结合煤炭资源和可再生能源发展,以煤制氢为重点氢能产业链,布局氢燃料电池示范应用和加氢基础设施建设,建成加氢站20座
9月	山东省	山东省氢能原产业中长期发展规划(2019—2030)(征求意见稿)	到2025年,山东省氢能源产业增加值要达到1000亿元,燃料电池固定式发电装机容量要达到200 MW,到2030年,燃料电池汽车达到5万辆
10月	佛山市	佛山市南海区氢能产业发展规划(2019—2030)(征求意见稿)	到2030年,氢能产业累计产值要突破1000亿元
11月8日	济宁市	济宁市人民政府关于支持氢能产业发展的意见	500 kg/d撬装式加氢站每站补贴400万元,500 kg/d固定式加氢站每站补贴800万元;车辆补贴按1:1进行;加氢站氢气给予20元/kg补贴
11月15日	老河口市	氢能产业发展五年行动计划(2020—2024)	到2024年,将老河口市建设成为在全国有一定影响力的氢燃料整车及核心零部件生产基地,在中部地区有特色的氢燃料商用车(工程车、环卫车)生产基地,华中地区氢能产业创新和示范应用基地,襄阳氢能产业重要增长极
11月28日	重庆市	重庆市氢燃料电池汽车产业发展指导意见(征求意见稿)	到2022年,氢燃料电池汽车产业链体系初步形成,自主创新能力显著提升,产业发展环境更加优越,示范应用初具规模。在技术链层面,实现电堆、系统集成与控制等核心技术达到国内先进水平。建成加氢站20座,探索推进公交车、物流车、港区集卡车等示范运营,氢燃料电池汽车运行规模力争达到1000辆
11月29日	佛山市	高明区氢能源产业发展规划(2019—2030)	将高明区建设成为全国氢能产业发展先行示范区,打造国际一流的“氢能源轨道交通装备制造基地”和“氢能源空港示范区”,争取到2030年建成以氢能轨道交通、临港氢能经济、西江氢能旅游为主要特色的中国氢城
12月13日	张家口	《张家口首都水源涵养功能区和生态环境支撑区建设规划(2019—2035年)》实施意见	延伸产业链条,大力发展氢能产业。研发高效绿色制氢先进技术,规划氢能产业生态园,推广氢燃料电池汽车和电动汽车规模化应用,建成国内知名的氢能之都
12月31日	河北省	关于同意组建河北省氢能产业创新中心的批复	着力解决氢制备、氢储运、氢加注、氢燃料电池及关键零部件、氢电安全等一批关键核心技术和产品,推动一批重要科技成果转化,建立健全“政产学研用资”协同创新生态系统,完成2022年、2025年发展目标

## 2 氢能产业发展热点

### 2.1 加氢站建设

加氢站基础设施近年来迅猛发展。截至2018年底,共建成加氢站23座,加氢站规模500 kg以上的占比39%,大多试验或者是内部使用为主,商业化运行的加氢站6座,占比26%。2019年在建的加氢站超过50座。现运行的加氢站主要集中在上海、江苏、广东和湖北几个省市,约占全部加氢站的65%,显示出氢能利用产业的区域特征,一方面是这些地区氢能的基础设施建设,另一方面与这些地方的自身资源禀赋相关。中国制氢行业的分布也呈现东部沿海多、内陆少的特点<sup>[12]</sup>,而且已经有超过25个省市出台了布局加氢站建设的政策<sup>[13]</sup>。

由于加氢设备成本高、回报预期不明等,使得有意进入加氢站建设的企业处于观望状态,在加氢站建设成本高等现实情况下,“氢油合建站”这样的新型混合加油、加氢站模式的出现,不仅适应了氢能产业发展的需求,也为氢能基础设施建设提供了新思路。

2019年7月,中国石化佛山樟坑油氢合建站正式建成投入使用。樟坑站是国内首次利用现有加油站改造为油氢合建站的模式开发加氢站,同时配备建设充电设施,是全国首座集油、氢、电“三位一体”能源供给的混合站。

特别值得注意的是,2019年11月8日,由兖矿集团有限公司建设的“综合能源补给站”在山东济宁落成。该综合能源补给站是全球首座融合“油、气、电、氢、醇”多种能源供给为一体的综合能源补给站,占地面积2万m<sup>2</sup>,包括能源补给区和综合服务区。该站能源补给区布局了氢气加注机、天然气加注机、加油机、醇基燃料加注机和电动汽车充电桩,最多可同时容纳7个种类16辆车进行能源补给。氢气加注系统设计加氢能力为1000 kg/d。每辆车平均加氢时间约10 min。当前,该站还处在自用示范阶段,未来运营手续完成后将实现对外运营。

2019年11月18日,由中国石化上海石油化工股份有限公司建设的“西上海油氢合建站”竣工,标志着首批两座油氢合建站正式落户上海(另一座为

安智油氢合建站)。据悉,两座加油加氢服务的综合功能站各拥有2个汽油罐、2个柴油罐、4个储氢罐的二级加油加氢站。站内设置2台12枪加油机,2台4枪加氢机,另预留1台70 MPa加氢机。

2019年11月21日,国家能源集团首个氢能科研示范标杆项目——如皋加氢站所有调试工作全部完成,具备转入商业运营模式条件,标志着国内首座符合国际标准的35 MPa/70 MPa双模商业加氢站顺利完成建站工作。该站设计日加氢能力1000 kg,固定储氢能力600 kg,能有效满足各类氢燃料电池车的快速连续加氢需求。

2019年12月25日,潞宝集团万吨级焦炉煤气提纯制氢示范工程暨氢电油气综合能源站在潞宝集团正式投运。该项目由潞城经济技术开发区、潞宝集团投资,山西国投海德利森氢能装备股份有限公司承建,为潞宝生态工业园区及周边地区交通物流车辆提供加氢、充电、加油、加气服务的绿色综合能源,该能源站具备500 kg级的加氢能力,能够满足当下氢燃料电池车辆的加氢需求。

### 2.2 氢燃料电池产业开发

燃料电池是具有发展前途的新动力电源,也是当前氢能产业开发的热点,燃料电池乘用车在技术方面已经初步成熟,而且体现了续航里程、充电时间、能量密度、环保特性等多方面的鲜明特色。在各种燃料电池技术中,综合考虑工作温度、催化剂稳定性、电效率、比功率/功率密度等技术指标,综合性能最适于乘用车/大多数商用车应用的燃料电池技术是质子交换膜燃料电池技术。当前具备完全燃料电池电堆生产能力的企业包括中国新能源动力股份有限公司、上海神力科技有限公司,以及国外丰田汽车公司(Toyota Motor Corporation, TOYOTA)、巴拉德动力系统公司(Ballard Power Systems Inc, BLPD)、普拉格能源公司(Plug Power Inc, PLUG)等。以丰田生产的氢燃料电池汽车Mirai为例,其燃料电池电堆经过10余年的技术优化,体积功率密度和质量功率分别达到3.1k W/L和2.0 kW/kg。总体而言国内外水平尚存代差,燃料电池乘用车的规模化推广应用仍需要时间;未来可兼容充电与加氢两种供能方式的插电混动/增程式

燃料电池乘用车或后来居上,成为最受青睐的燃料电池乘用车。同时中国在氢燃料电池汽车的特殊领域也在开展示范工程:包括佛山的氢能有轨电车示范及陕汽控股的氢燃料电池环卫车示范等,显示了中国氢燃料电池车预将在重型车型上持续开发的势头。在2019年7月的武汉商用车展上,江铃重型汽车有限公司展出了其生产的威龙FCV氢燃料重卡,这是整个车展中唯一一款氢燃料重卡,也是目前中国第一款下线的氢燃料重卡。到2019年12月,由潍柴动力股份有限公司、中国氢能产业技术创新与应用联盟、国家能源集团联合研发了首台国产200 t以上氢燃料-锂电池混合能源矿用卡车自卸车成功下线,其核心控制系统则由中车永济电机公司提供,显示了氢燃料重型卡车的新发展水平。

同时,中国燃料电池车开始出口国外。2019年4月12日,中国氢燃料电池汽车出口第一单是佛山市飞驰汽车制造有限公司与马来西亚沙捞越州SEDC的第一个氢燃料电池汽车购车项目。该批车辆出口至马来西亚后,运行表现良好。

在船用燃料电池方面,2019年12月3日,在上海举办的第20届中国国际海事会展上,中国船舶第七一二研究所发布了拥有自主知识产权的全国首台500 kW级船用燃料电池系统解决方案,为助推中国绿色船舶发展提供了新的动力。

2019年南阳“水氢汽车”事件成为氢能燃料电池产业开发的重大新闻,虽然“水氢汽车”项目已停摆,相关公司也进入破产清算,但是该事件体现了氢燃料电池产业发展初期的乱象。未来应考虑设立专业评审机制,作为各地方进行相关技术产业化投资的前置条件,以避免类似闹剧再次出现。

### 2.3 工业领域应用

除交通领域外,氢能还可以在工业领域得到推广应用。目前欧洲有3个项目是基于氢能炼钢技术的,即瑞典钢铁公司发起的突破性氢能炼铁技术、由德国萨尔茨吉特钢铁公司发起的萨尔茨吉特低碳炼钢(SALCOS)项目和由奥钢联发起的H2FUTURE项目,前2个项目主要是基于目前现有的还原技术,而最后1个是利用等离子熔融还原技术,且均不需要再利用CO<sub>2</sub>捕获和封存(CCS)等技术。

韩国、日本和澳大利亚也已经部署了氢能炼钢技术示范与研究。氢能炼钢已经是目前工业领域最佳的减排技术之一,现有文献资料表明,目前氢能炼钢的成本约为361~640欧元/t<sup>[14]</sup>,成本十分昂贵。国内已经就氢能冶金开展了相关的研究,山西左权县已投资18亿元人民币,建设利用焦炉气中甲烷与CO<sub>2</sub>进行重整制氢,以及利用CO和焦炉气中的H<sub>2</sub>进行气基还原铁的工业示范项目,该项目引进了伊朗的设备和美国Midrex工艺,预计到2020年上半年达到正常运行状态。还有项目提出了“核能制氢”与“氢能冶金”相结合的方式<sup>[15]</sup>,即通过“核能冶金”来解决氢气成本高、炼钢减排难的问题。根据目前全球现有的技术实践项目来看,该方式预计到2030年不会有大规模的推广潜力。

2019年12月21日,由中国科学院大连化学物理研究所李灿团队主导的国内首个“液体太阳能燃料”生产示范工程,在兰州新区精细化工园区落地。该项目将建设年产1440吨甲醇的制备装置,总投资1.41亿元。其基本技术路径是利用可再生能源太阳能发电,最终制备成甲醇,形成低碳运输燃料,实现甲醇重整制氢及氢燃料电池在重卡等商用车上的技术应用。该项目是绿色氢能在工业领域应用的示范性案例,为未来全产业链的绿色氢能在工业领域的应用提供了新的方向。

### 2.4 储能领域的应用

与传统的电池储能不同,氢储能通过电解水制氢的方式,将能源以氢气或氢化合物的方式存储起来,无论是从储能密度还是从储存时间来说,氢储能都有着绝对的优势,尤其适用于大规模和跨周、月等长时间的储能。氢储能技术的推广障碍在于压缩和输送过程的设备资金投入,研究显示在目前整个氢能产业链中,氢气的储存和输送所需成本几乎占据全部成本的1/2。截至2019年9月底,中国已投运储能项目累计装机规模为31.5 GW,占全球17%,同比增长2.9%;其中抽水蓄能累计装机占比最大,约为95%。而随着可再生能源的大规模开发与应用,显示氢储能这种大规模储能技术会有很大的发展空间,但还需要通过技术发展降低成本,探索成熟的商业盈利模式以及去除体制和机制上的

障碍。

截至2019年,在氢能综合利用方面又取得了新的进展。2019年12月,在山西长治市举办的首届中国(长治)老工业和资源型城市氢能产业发展论坛上,7个氢能项目现场签约,总投资达45.85亿元。这7个氢能项目涵盖了煤制氢、加氢基础设施、供氢系统、氢能专用车辆制造、氢能重卡示范运行等多个不同的领域。近年来,长治市通过整合内外部技术资金等产业要素,积极推进以“制氢+储供氢装备制造+氢能重卡和专用车辆制造+加氢基础设施建设+氢能重卡物流园区+氢能社区”作为产业发展路径的老工业城市和资源型城市氢能产业发展模式。

### 3 氢能基础研究进展

#### 3.1 制氢领域

2019年制氢领域的研究主要集中于催化剂制备方面,其中由中国科学技术大学宋礼和江俊合作,创新思路设计出的一种“松果结构”的铂金属催化剂,在制氢效果不变的情况下,将铂金属的用量降低到传统商业催化剂的约1/75<sup>[16]</sup>,引起了广泛关注。而Guan等<sup>[17]</sup>研究了不同电压下二氧化钛纳米管的形貌,并使用30 V下制备的二氧化钛纳米管进行了光解水测试,在第一次循环中,其产氢能力达到1979.8  $\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

Huang等<sup>[18]</sup>提出了一种简便的方法来制备具有高光催化活性的介孔 $\text{TiO}_2$ 纳米纤维,其催化性能是P25的2倍。Wang等<sup>[19]</sup>提出了一种酸诱导的金红石型 $\text{TiO}_2$ 光催化剂的组装策略,所得的 $\text{TiO}_2$ 产物实现了402.4  $\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ 的光催化氢释放速率,这是Degussa P25- $\text{TiO}_2$ 的3.1倍。He等<sup>[20]</sup>制备了石墨烯改性的 $\text{WO}_3/\text{TiO}_2$ 阶梯式异质结(S式异质结)复合光催化剂。新型复合材料显示出显著提高的光催化 $\text{H}_2$ 析出速率为245.8  $\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ,约为纯 $\text{TiO}_2$ 的3.5倍。Lin等<sup>[21]</sup>制备了 $\text{K}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$ 纳米片,并结合Rh纳米粒子作为助催化剂,所得材料的光催化水分解得到了有效改善。在纯水中, $\text{H}_2$ 产生和 $\text{O}_2$ 产生速率分别为142  $\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ 和68  $\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ 。比

原始 $\text{K}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$ 光催化剂高出约10倍。Zhang等<sup>[22]</sup>报道了 $\text{CoP}/\text{CeVO}_4$ 杂化光催化剂由于在可见光照射下首次通过EY(曙红Y)敏化而表现出高的氢释放效率,并且在5 h内产生的氢量达到444.6  $\mu\text{mol}$ 。Wei等<sup>[23]</sup>通过在由静电纺丝技术制备的 $\text{TiO}_2$ 纳米丝上生长2D  $\text{MoS}_2$ 薄层,随后再还原 $\text{TiO}_2$ 引入 $\text{Ti}^{3+}$ ,使得该材料也获得了光解水的能力。Wei等<sup>[24]</sup>使用水热法成功地合成了 $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ 固溶体,并使用水热法制备了 $\text{MoS}_2$ 用于辅助光解水。该材料进行可见光驱动的光催化实验,以同时实现制氢和阿莫西林抗生素废水降解。结果表明8%  $\text{MoS}_2/\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ 达到了最佳的光催化性能。

Li<sup>[25]</sup>制备了 $\text{Bi}_2\text{S}_3/\text{BiVO}_4$ 复合电极,在可见光照射下光转换效率为2.9%,是裸 $\text{BiVO}_4$ 电极的近3倍,而在光电催化中,氢的产生提高了近5倍。Li等<sup>[26]</sup>在盐酸水溶液中制备了结晶氮化碳,其显示出优异的光催化性能,氢释放量为683.54  $\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ,并且在420 nm下的量子效率为6.6%,该光催化氢释放量分别比结晶氮化碳和氮化碳高2~10倍。Wang等<sup>[27]</sup>通过无模板水热法合成了空心氮化碳微球,并使用含羟基物质修饰。修饰后的羟基氮化碳微球颗粒在420 nm处的表观量子效率(AQE)为3.7%。Wang等<sup>[28]</sup>通过以多孔 $\text{SiO}_2$ 纳米颗粒为模板,同时剥落纳米级的g- $\text{C}_3\text{N}_4$ 并沉积CdS纳米颗粒,形成一系列核壳 $\text{SiCN}@\text{CdS}$ 杂纳米结构,用于在可见光照射下光催化生产氢。

Qi等<sup>[29]</sup>通过在g- $\text{C}_3\text{N}_4$ 上装载适量的CoP量子点,可显著提高g- $\text{C}_3\text{N}_4$ 的氢分解反应的光催化活性。在合成后的样品中,最优化的样品(g- $\text{C}_3\text{N}_4/\text{CoP}$ -4%)与原始g- $\text{C}_3\text{N}_4$ 相比显示出优异的光催化活性,以936  $\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ 的速率产生氢气,甚至高于具有4 wt% Pt(665  $\mu\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ )的g- $\text{C}_3\text{N}_4$ 。Zhao等<sup>[30]</sup>制备了 $\text{CdS}/\text{MoS}_2$ 复合材料,该复合材料可以扩大可见光的吸收范围,并改善光生电子和空穴的分离和透射率。

杜洪方等<sup>[31]</sup>以 $\text{WO}_2$ 和Se粉在高温下合成 $\text{WSe}_2$ ,经超声剥离处理后形成晶态 $\text{WSe}_2$ 纳米片,具有低成本的优点,在大规模电解水制氢产业中拥有重要应用价值。Wen等<sup>[32]</sup>开发了一种新的双功能

催化剂钴基纳米材料,具有高度有序特征的掺杂镍的二维(2D)富缺陷纳米片,其氢气释放反应(HER)和氧气释放反应(OER)表现出较好的电催化活性。

### 3.2 储运氢领域

胡强等<sup>[33]</sup>通过量子计算模拟了氢在Ti中的行为及TiH<sub>2</sub>体系在释放氢气时的行为,推导了Ti储氢薄膜储氢/释氢的动力学模型,预测了Ti储氢薄膜释氢时间。Wang等<sup>[34]</sup>通过将直径约5 nm的镁颗粒均匀分布于C<sub>60</sub>纳米片上,制备了可以在4.5 MPa下实现了12.5 wt%的氢吸收,这个数据远超金属镁单质的理论值(7.6 wt%)和美国能源部2020年预计实现目标(5.5 wt%)。

Wu等<sup>[35]</sup>通过溶液法合成了2种新的储氢化合物NaZn(BH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·en和NaZn(BH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·2en(en=乙二胺)。在200°C以下时,它们可以分别释放6.4 wt%和6.3 wt%的纯氢,这证明了其可用作氢载体的潜力。吴岱丰等<sup>[36]</sup>以Zr(BH<sub>4</sub>)<sub>4</sub>·8NH<sub>3</sub>为对象,重点围绕改善与探索新的合成方法、降低其放氢温度、提高其放氢纯度等关键科学问题开展研究。

戴豪<sup>[37]</sup>以具有储氢容量高(8 wt%)、材料成本低、便于贮运以及制氢反应不产生固体副产物等突出优点的水合肼(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O)为储氢物质,以Ni<sub>60</sub>Pt<sub>40</sub>/CeO<sub>2</sub>为催化剂,展开了反应动力学的相关研究。

### 3.3 氢燃料电池领域

中国科学院大连化学物理研究所Deng等<sup>[38]</sup>以ZnO纳米管阵列为基底制造了高度有序的Pt纳米管结构,高度有序的纳米管表现出了比随机分布的Pt/C催化剂层更高的催化性能。

冯艳等<sup>[39]</sup>研究了使用具有金属有机框架结构(MOF)的Fe/N/C催化剂制备膜电极的方法,从催化剂载量、浆料的I/C比以及膜电极的涂布方式3个角度研究了影响非铂催化剂性能的关键因素。金守一等<sup>[40]</sup>对车用质子交换膜燃料电池发展现状进行了较详细的综述,认为目前膜电极组件的研发和生产已经取得了很大的成果,但为了降低成本,提高膜电极性能,简化制备工艺,仍有大量技术需

要突破,主要包括:1)制备高强度、高稳定性、低透气性的超薄质子交换膜;2)研制高活性、高耐久性、低成本的非贵金属催化剂;3)开发机械强度高、排水性优异、厚度薄的气体扩散层。

双流板目前设计主要采取先设计、再模拟、优选后生产的策略,通过数值模拟和物理模拟,可以提高双流板的设计效率,有效降低开发成本。例如刘崇林等就展示了双流板数理模拟研究<sup>[41]</sup>和物理模拟研究<sup>[42]</sup>的过程。

## 4 氢能产业发展的国际合作

2019年,中国在氢能产业发展的国际合作上取得了新的进展,合作领域逐渐由氢能技术理论及系统研发转向氢能产业综合深入开发,呈现出新的特点和趋势,合作国家主要为日本、韩国及欧盟国家等。

### 4.1 中日氢能合作

中国与日本氢能相关企业和高校的合作在逐步扩大并深化,2019年中日之间氢能产业合作情况如表3所示。

表3 2019年中日氢能产业合作情况

时间	日本企业	中国企业和高校	内容
2月	本田汽车	无锡贝斯特精机	中方生产氢燃料电池组件,应用于日本本田Clarity汽车制造
4月	丰田汽车	清华大学	成立清华大学-丰田联合研究院
4月	丰田汽车	北汽福田、亿华通	三方在燃料电池客车领域展开合作
9月	丰田汽车	中国一汽、苏州金龙、重塑科技	四方达成合作意向,上海重塑科技提供采用丰田技术的燃料电池堆,供给一汽及苏州金龙生产的燃料电池车
9月	丰田汽车	广汽集团	深化新能源车领域的技术合作,包括在广汽集团生产的车上搭载燃料电池系统
10月	东芝	摩氢科技	分布式燃料电池系统研发合作

从表3可知,中日之间有关氢能产业领域的合作已走向商业化阶段,而且合作范围涵盖了从技术研发到装备制造、系统配合等各层面,并开始致力于产业化推广。2019年12月8日,在日本东京,由中国国家发展和改革委员会、商务部、中国驻日本大使馆与日本经济产业省、日中经济协会共同举办的第13届中日节能环保综合论坛上,浙江巨化集团与日本丸红株式会社签约巨化中日氢能示范工程,该示范工程拟打造氢能智慧产业园,示范工程包括低碳工厂和学校。

#### 4.2 中韩氢能合作

2019年4月18日,在2019中外知名企业四川行活动期间,韩国现代自动车株式会社副社长、商用事业部本部长李仁哲透露,将会在四川生产氢燃料电池汽车整车,产品将在全国销售<sup>[43]</sup>。但李仁哲并未透露具体选址、车型、时间表、产能等信息。需关注的是,四川现代汽车有限公司成立于2012年8月,2013年1月正式运营,经营范围包括商用车、发动机及其配件等,根据其经营范围判断,生产的燃料电池车的车型很可能为商用车而非乘用车。现代汽车选择在四川生产燃料电池汽车,除了较好的汽车制造业基础外,四川还有一个优势即水力资源丰富。根据公开信息,2018年四川省水电装机容量达7674万kW,位居全国第一,然而丰水期仍存在“弃水”问题。将弃水电量制氢,既可以消化过剩电量,又可为氢产业发展提供坚实支撑,进而实现多方面共赢。

#### 4.3 中欧氢能合作

2019年10月15日,中国科学技术部部长王志刚与德国联邦交通和数字基础设施部部长安德里亚斯·邵伊尔在柏林签署了两部委《关于在创新驱动技术和相关基础设施领域继续开展合作的联合意向声明》<sup>[44]</sup>,双方将深化和拓展合作伙伴关系和合作项目,包括燃料电池和氢技术、燃料电池汽车基础设施、商业模式、规范和标准研究等领域;探讨氢能供应以及国际规范、法则和标准等问题,同时还要加强两国政府在相关基础设施资助和建设方面的经验交流等。

2019年11月6日,在中国国家主席习近平和法国总统马克龙共同见证下,中国石油化工集团有限公司与法国液化空气集团在北京人民大会堂签署合作备忘录,探讨加强氢能领域合作。中国石化将成立氢能公司,致力于氢能技术研发及基础设施网络建设,并引入国际领先的氢能企业作为战略投资者,联合打造氢能产业链和氢能经济生态圈,共同推动氢能和燃料电池汽车整体解决方案在中国的推广和应用。

荷兰是欧盟氢能及燃料电池行业产学研一体化最强的成员国之一,而中国是世界上最大的制氢国,双方在氢能领域的合作空间十分广阔。荷兰SHV能源集团中国分公司与雄川氢能科技有限公司达成合作,在2019年7月份正式启用在中国广东建设的第一座加氢站,该加氢站具有每天为30辆氢能大巴或100辆卡车加氢的能力。2019年9月23—28日,由荷兰海尔德兰省国王专员John Berends率领的氢能贸易代表团访问了湖北武汉和江苏如皋,中国国际贸易促进委员会武汉市分会和荷兰东部地区国家经济发展投资局签订了合作备忘录,体现了双方对发展零污染氢能及燃料电池技术的积极态度。

综上所述,拥有先进氢能技术的国家都在加强同中国企业的合作,以期待在未来中国氢能市场的开发与竞争中处于有利地位。这对中国氢能产业发展带来两方面的影响。首先,加强与其他国家的合作有利于中国引进先进氢能技术,缩短从研发到市场化的时间周期,快速弥补中国在该领域与世界先进水平的差距。其次,也应注意到国外氢能技术在中国的大规模产业化应用也会对中国氢能领域的民族产业发展带来“挤压效应”,如何在引进先进技术与保护民族产业的方面进行平衡,是今后在进行氢能国际合作方面需要认真思考的问题。

## 5 结论

2019年是中国氢能产业取得较大发展的一年,从国家到各地方,都出台了許多支持氢能产业

发展的政策、规划及发展纲要。然而当前氢能发展依然面临着国家顶层设计不足、主管部门定位不明以及各地方低水平重复建设的问题。同时,不同于其他战略新兴产业,氢能发展深层动力来自材料等基础科学的发展,这在氢能制储运用各个环节都有着深刻体现,因此未来中国氢能产业的发展上需要从管理到研发、产业化推广方面形成系统化的政策体系。

为推进中国氢能产业未来高效有序发展,本文从政策规划、科研和产业发展方面提出以下3方面建议。

1) 政策规划方面。第一,国家层面完善氢能发展政策的顶层设计,建议制定合理的、符合中国国情的氢能发展路线图,统筹全国氢能发展路径。第二,建议健全政策管理体系,保持政策的稳定性、延续性,让企业方向明确,敢于投入。第三,除必要的补贴政策外,建议尽快促进绿色氢能产业发展。第四,完善氢能基础设施建设审批流程,细化和规范补贴、标准、评价等方面的规定,推动氢能基础设施产业发展。第五,在地方层面,各地方政府结合自身经济能力、资源特点、产业基础条件、人才等因素,制定契合自身的发展规划,防止偏激冒进和低水平重复建设。

2) 科研方面。首先,高校和科研所需加强涉及氢能的基础科学研究,以技术应用为导向,尽快实现核心技术及装备的国产化,降低成本、助推氢能发展。其次,应重视科技成果转化,设立国家级氢能工程研究机构,促进“产学研”融合发展。

3) 产业发展方面。首先,探索氢能及燃料电池可以商业运营的有效模式,推动氢燃料电池车的商业化运营,为日后补贴退坡以致取消补贴做好准备。其次,积极拓展氢能应用领域,推动氢能的全方位发展和应用,培育新经济增长点,促进中国经济产业结构升级改造和经济社会的可持续发展。

### 参考文献(References)

[1] 何建坤. 努力实现能源和经济低碳转型[J]. 可持续发展经济导刊, 2019(增刊2): 26-27.

- [2] 何建坤. 全球气候治理新形势及我国对策[J]. 环境经济研究, 2019, 4(3): 1-9.
- [3] 何建坤. 全球气候治理变革与我国气候治理制度建设[J]. 中国机构改革与管理, 2019(2): 37-39.
- [4] 毛宗强. 世界氢能炙手可热 中国氢能蓄势待发[J]. 太阳能, 2016(7): 16-19.
- [5] 蒋利军, 陈霖新. 氢能技术现状及挑战[J]. 能源, 2019(3): 24-27.
- [6] 政府工作报告——2018年3月5日在第十三届全国人民代表大会第一次会议上[EB/OL]. [2019-12-20]. [http://www.xinhuanet.com/2018-03/22/c\\_1122575588.htm](http://www.xinhuanet.com/2018-03/22/c_1122575588.htm).
- [7] 黎明. 生态环境部等11部门联合发布《柴油货车污染治理攻坚战行动计划》[J]. 商用汽车, 2019(1): 6.
- [8] 陈婉. 《绿色产业指导目录(2019年版)》印发,厘清绿色产业边界,告别泛绿化现象[J]. 环境经济, 2019(7): 50-53.
- [9] 2019年新能源汽车标准化工作要点[EB/OL]. [2019-12-30]. <http://www.miit.gov.cn/n1146285/n1146352/n3054355/n3057585/n3057589/c6957468/content.html>.
- [10] 中共中央 国务院印发《交通强国建设纲要》[EB/OL]. [2019-12-30]. [http://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content\\_5431432.html](http://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.html).
- [11] 15部门印发《关于推动先进制造业和现代服务业深度融合发展的实施意见》[EB/OL]. [2019-12-30]. [http://www.gov.cn/xinwen/2019-11/15/content\\_5452459.html](http://www.gov.cn/xinwen/2019-11/15/content_5452459.html).
- [12] 中国加氢站建设全景图[EB/OL]. [2019-12-31]. [http://www.sohu.com/a/333295953\\_465907](http://www.sohu.com/a/333295953_465907).
- [13] 超25省市出台政策布局加氢站,2019年加氢站市场格局分析[EB/OL]. [2019-12-31]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1645529215836670576&wfr=spider&for=pc>.
- [14] Ahman V V, Nilsson M, Nilsson L J. Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 203(1): 736-745.
- [15] 中核集团:“核能制氢”力助“氢能炼钢”,炼钢零排放时代来临[EB/OL]. [2019-12-13]. <https://www.d1ev.com/kol/88090>.
- [16] Liu D, Li X, Chen S. et al. Atomically dispersed platinum supported on curved carbon supports for efficient electrocatalytic hydrogen evolution.[J]. Nat Energy, 2019(4): 512-518.
- [17] Guan N Z, Hong Y L, Peng J, et al. Effect of TiO<sub>2</sub> nanotube arrays morphology/structure on photocatalytic hydrogen production[J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2020, 20(2): 852-857.
- [18] Huang G, Liu X, Shi S, et al. Hydrogen producing water

- treatment through mesoporous TiO<sub>2</sub> nanofibers with oriented nanocrystals[J]. Chinese Journal of Catalysis, 2020, 41(1): 50–61.
- [19] Wang H, Hu X, Ma Y, et al. Nitrate-group-grafting-induced assembly of rutile TiO<sub>2</sub> nano bundles for enhanced photocatalytic hydrogen evolution[J]. Chinese Journal of Catalysis, 2020, 41(1): 95–102.
- [20] He F, Meng A, Cheng B, et al. Enhanced photocatalytic H<sub>2</sub>-production activity of WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> step-scheme heterojunction by graphene modification[J]. Chinese Journal of Catalysis, 2020, 41(1): 9–20.
- [21] Lin Y Z, Yu L Y. Photocatalytic water splitting on Rh/K<sub>4</sub>Nb<sub>6</sub>O<sub>17</sub> nanosheets[J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2020, 20(2): 1224–1231.
- [22] Zhang L, Hao X, Li J, et al. Unique synergistic effects of ZIF-9(Co)-derived cobalt phosphide and CeVO<sub>4</sub> heterojunction for efficient hydrogen evolution[J]. Chinese Journal of Catalysis, 2020, 41(1): 82–94.
- [23] Ou W, Pan J, Liu Y, et al. Two-dimensional ultrathin MoS<sub>2</sub>-modified black Ti<sup>3+</sup>-TiO<sub>2</sub> nanotubes for enhanced photocatalytic water splitting hydrogen production[J]. Journal of Energy Chemistry, 2020, 43: 188–194.
- [24] Wei Z, Xu M, Liu J, et al. Simultaneous visible-light-induced hydrogen production enhancement and antibiotic wastewater degradation using MoS<sub>2</sub>@ZnxCd<sub>1-x</sub>S: Solid-solution-assisted photocatalysis[J]. Chinese Journal of Catalysis, 2020, 41(1): 103–113.
- [25] Li F, Leung D Y. Highly enhanced performance of heterojunction Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/BiVO<sub>4</sub> photoanode for photo electrocatalytic hydrogen production under solar light irradiation[J]. Chemical Engineering Science, 2020, 211(1): 115266.
- [26] Li Y, Zhang D, Feng X, et al. Enhanced photocatalytic hydrogen production activity of highly crystalline carbon nitride synthesized by hydrochloric acid treatment[J]. Chinese Journal of Catalysis, 2020, 41(1): 21–30.
- [27] Wang S, Zhao H, Zhao X, et al. Surface engineering of hollow carbon nitride microspheres for efficient photoredox catalysis[J]. Chemical Engineering Journal, 2020, 381(1): 122593.
- [28] Wang W, Fang J. Mesoporous SiO<sub>2</sub>-derived g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>@CdS core-shell heteronanostructure for efficient and stable photocatalytic H<sub>2</sub> production[J]. Ceramics International, 2020, 46(2): 2384–2391.
- [29] Qi K, Lü W, Khan I, et al. Photocatalytic H<sub>2</sub> generation via CoP quantum-dot-modified g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> synthesized by electroless plating[J]. Chinese Journal of Catalysis, 2020, 41(1): 114–121.
- [30] Zhao W, Liu J, Ding Z, et al. Optimal synthesis of platinum-free 1D/2D CdS/MoS<sub>2</sub> (CM) heterojunctions with improved photocatalytic hydrogen production performance[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2020, 813(1): 152234.
- [31] 杜洪方, 王珂, 何松, 等. 富缺陷晶态 WSe<sub>2</sub> 纳米片: 一种潜在的高效低成本析氢反应电催化剂[J/OL]. 材料导报, 2020(1): 1–13.
- [32] Wen X C, Yi W Z, Guang L C, et al. Hierarchical porous bimetal-sulfide bi-functional nanocatalysts for hydrogen production by overall water electrolysis[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2020, 560(15): 426–435.
- [33] 胡强. 基于密度泛函理论的钛膜吸氢/释氢机理研究及钛储氢层寿命预测[C]/第十四届国际真空科学与工程应用学术会议. 沈阳: 中国真空学会, 2019: 236–237.
- [34] Wang Y, Luo K, Ye W, et al. Mg@C<sub>60</sub> nano-lamellae and its 12.50 wt% hydrogen storage capacity[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2019, 44(29): 15239–15245.
- [35] Wu Y, Qi Y, Zheng J, et al. Synthesis and dehydrogenation properties of NaZn(BH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·en and NaZn(BH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·2en (en=ethylene diamine)[J]. Journal of Energy Chemistry, 2020, 42: 233–236.
- [36] 吴岱丰. 金属硼氢化物氨合物的制备与性能调控[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [37] 戴豪. 水合肼分解制氢高效催化剂 Ni-Pt/CeO<sub>2</sub> 的制备及性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [38] Deng R Y, Zhang X X, Sun R L, et al. Nanostructured ultrathin catalyst layer with ordered platinum nanotube arrays for polymer electrolyte membrane fuel cells[J]. Journal of Energy Chemistry, 2020, 43(1): 33–39.
- [39] 冯艳, 杨琨, 姚力, 等. 质子交换膜燃料电池基于非铂催化剂的膜电极制备与性能研究[J]. 上海汽车, 2019(6): 4–8.
- [40] 金守一, 盛夏, 潘兴龙, 等. 车用质子交换膜燃料电池膜电极组件综述[J]. 汽车文摘, 2019(12): 5–12.
- [41] 刘崇林, 崔衡, 李源源, 等. 双流板坯中间包结构优化的数理模拟研究[J]. 冶金设备, 2019(4): 12–16.
- [42] 刘崇林, 崔衡, 李源源, 等. 双流板坯中间包流场优化的物理模拟研究[J]. 冶金设备, 2019(3): 9–15.
- [43] 熊筱伟. 韩国现代新能源车落子四川! 副社长李仁哲: 将在川生产氢燃料电池汽车[EB/OL]. [2019–12–31]. <https://sichuan.scol.com.cn/ggxw/201904/56855309.html>.
- [44] 李山. 中德签署联合意向声明继续推进电动汽车领域合作[N]. 科技日报, 2019–10–17.

## Review of China's hydrogen industry policy and scientific and technological development hotspots in 2019

MENG Xiangyu<sup>1</sup>, GU Alun<sup>2</sup>, WU Xinguo<sup>1</sup>, LIU Bin<sup>2</sup>, HE Chaohui<sup>2</sup>, MAO Zongqiang<sup>1,2\*</sup>

1. Tsinghua Innovation Centre In Dongguan, Dongguan 523808, China

2. Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China

**Abstract** This paper summarizes the progress of China's hydrogen industry in 2019, analyzes the problems and draws up the experience and lessons from four aspects: policy-making, industrial development, basic research and international cooperation. Then, based on an in-depth analysis of hot news and events, some specific suggestions for the future development of hydrogen energy industry are put forward.

**Keywords** hydrogen energy industry; energy technology; clean energy ●



(责任编辑 卫夏雯)