

2019 全球氢燃料电池汽车 技术与产业研究报告

深圳市清新电源研究院
深圳汽航院科技有限公司
2019 年 9 月

编写组主要成员：

编写人员：张瑞锋 雷国鹏 香志康 张强 李擎天

报告审查：张哲旭 夏悦 张锐

报告设计：张文斌

引 言

氢能是极具战略意义的清洁能源，对全球节能减排有着巨大的效益。从上世纪到现在，汽车行业对全球经济发展和人类生活水平的提升发挥了关键作用，为了缓解全球汽车保有量迅速增长导致的化石能源消耗和碳排放问题，燃料电池汽车因其工作效率高和环保节能特点，成为了新能源汽车发展的重要方向。氢能被称为人类的终极能源之一，是全球能源结构转型的重大战略方向，备受世界各国关注。国外氢能与燃料电池汽车技术及产业发展较快，日本已经将氢能发展定为国家战略，氢能技术在美国、日本、韩国与欧盟等国家和地区初步进入商业化应用阶段，燃料电池汽车在美国、日韩等国家早已实现了产业化。发展氢能既是我国应对全球气候变化，构建清洁低碳、安全高效现代能源体系的重要组成部分，也是建设美丽中国的重要途径，对我国加快产业结构调整，实现高质量发展具有重要意义。2017年以来中国氢能燃料电池汽车步入了发展的快车道，氢能基础技术与产业稳步前进，整车企业不断推出了燃料电池汽车产品，燃料电池关键零部件产品性能和生产工艺逐步提升，有望短期内实现国产化，燃料电池汽车的示范运营规模和范围也不断扩张，与国外企业的技术合作日益紧密。然而，全球氢燃料电池企业的发展普遍出现了氢能制取成本高昂，氢气运输效率偏低，

车用氢能技术不够成熟，整车成本过高等问题，亟需针对车用氢能技术创新及产业化应用的重大问题开展系统研究。伴随着燃料电池汽车产业化基础的巩固加强以及产业化进程的加速推进，全球氢能产业发展将逐步迈入关键时期。

本报告包括政策篇、市场篇、技术篇、企业篇、产业篇、趋势篇六个部分。政策篇和市场篇涵盖了全球主要国家在氢燃料电池汽车领域的相关政策和市场发展情况。技术篇全面阐述氢能与燃料电池汽车产业链的各个部分，并于每个部分总结国内外现状，提出该部分技术的未来的发展趋势。企业篇系统介绍全球主要车企在氢燃料电池领域的产品情况，包括其技术特点和成果。产业篇梳理氢燃料电池汽车产业的发展情况，分析当前国内外氢燃料电池汽车产业竞争力以及所面临的困境，并给出针对性建议。趋势篇基于大量数据和权威机构的相关资料，在氢能和燃料电池汽车产业方面做出合理性预测，对未来的氢燃料电池汽车领域提供一些价值导向，提出推进产业发展的策略及建议。本报告将对国内外燃料电池汽车技术创新及运用、关键零部件生产、燃料电池汽车示范运行、商业模式等进行持续研究。

鉴于氢燃料电池汽车的发展属于前沿热门的研究内容，报告中汇总的图表数据和材料难免存在疏漏和不足之处，一些内容判断和观点仍需实践检验，不当之处恳请读者批评指正。

目 录

| | |
|---------------------------|----|
| 第 I 部分 政策篇..... | 1 |
| 第一章 全球氢燃料电池汽车产业的主要政策..... | 1 |
| 第一节 日本..... | 1 |
| 第二节 加拿大..... | 4 |
| 第三节 美国..... | 8 |
| 第四节 欧盟..... | 12 |
| 第五节 韩国..... | 16 |
| 第六节 中国..... | 20 |
| 第二章 全球氢燃料电池汽车产业发展路线图..... | 29 |
| 第一节 日本..... | 29 |
| 第二节 加拿大..... | 35 |
| 第三节 美国..... | 35 |
| 第四节 欧盟..... | 38 |
| 第五节 韩国..... | 41 |
| 第六节 中国..... | 44 |
| 第 II 部份 市场篇..... | 50 |
| 第三章 全球氢燃料电池汽车市场发展情况..... | 50 |
| 第一节 日本..... | 50 |
| 第二节 加拿大..... | 52 |
| 第三节 美国..... | 54 |
| 第四节 欧盟..... | 57 |
| 第五节 韩国..... | 60 |
| 第六节 中国..... | 62 |
| 第 III 部份 技术篇..... | 66 |
| 第四章 氢燃料电池电堆..... | 66 |
| 第一节 膜电机组件..... | 72 |
| 第二节 双极板..... | 84 |
| 第三节 密封件..... | 90 |
| 第四节 紧固件..... | 91 |
| 第五节 电堆集成技术..... | 92 |
| 第五章 氢燃料电池系统..... | 98 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 第一节 空气供应系统..... | 98 |
| 第二节 氢气循环系统..... | 102 |
| 第三节 水热管理系统..... | 107 |
| 第四节 泵与阀件..... | 111 |
| 第五节 电控系统..... | 112 |
| 第六节 系统集成技术..... | 115 |
| 第六章 氢燃料电池汽车集成技术..... | 117 |
| 第一节 车载储氢技术..... | 117 |
| 第二节 氢电安全技术..... | 120 |
| 第三节 能量管理技术..... | 122 |
| 第四节 控制系统技术..... | 126 |
| 第七章 氢能基础设施技术..... | 131 |
| 第一节 制氢技术..... | 131 |
| 第二节 储氢技术..... | 134 |
| 第三节 运氢技术..... | 137 |
| 第四节 加氢技术..... | 140 |
| 第IV部份 企业篇..... | 147 |
| 第九章 全球氢燃料电池汽车重点企业分析..... | 147 |
| 第一节 日本—丰田汽车公司..... | 147 |
| 第二节 日本—本田技研工业株式会社..... | 152 |
| 第三节 日本—日产汽车公司..... | 155 |
| 第四节 美国—通用汽车公司..... | 158 |
| 第五节 美国—普拉格能源公司..... | 161 |
| 第六节 美国—福特汽车公司..... | 163 |
| 第七节 德国—戴姆勒股份公司..... | 165 |
| 第八节 德国—大众汽车公司..... | 167 |
| 第九节 韩国—现代汽车公司..... | 169 |
| 第十节 中国—上海汽车集团股份有限公司..... | 172 |
| 第十一节 中国—佛山市飞驰汽车制造有限公司..... | 174 |
| 第十二节 中国—广东国鸿氢能科技有限公司..... | 177 |
| 第十三节 中国—广东国鸿巴拉德氢能动力有限公司..... | 181 |
| 第十四节 中国—深圳五洲龙汽车股份有限公司..... | 185 |
| 第十五节 中国—深圳市雄韬电源科技股份有限公司..... | 186 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 第V部份 产业篇..... | 189 |
| 第十章 全球氢燃料电池汽车产业发展情况..... | 189 |
| 第一节 全球氢燃料电池汽车的产业发展规划..... | 189 |
| 第二节 全球氢燃料电池汽车的技术规范和标准..... | 203 |
| 第三节 全球氢燃料电池汽车产业发展面临的挑战..... | 213 |
| 第四节 全球氢燃料电池汽车产业竞争力分析..... | 216 |
| 第五节 全球氢燃料电池汽车产业发展建议..... | 222 |
| 第VI部份 趋势篇..... | 227 |
| 第十一章 氢燃料电池汽车发展趋势和战略分析..... | 227 |
| 第一节 全球氢燃料电池汽车发展趋势和预测..... | 227 |
| 第二节 中国氢燃料电池汽车发展趋势和预测..... | 230 |
| 第三节 推动中国氢燃料电池汽车规模化发展的战略..... | 234 |
| 第十二章 致谢..... | 239 |
| 第十三章 免责声明..... | 240 |

第 I 部分 政策篇

第一章 全球氢燃料电池汽车产业的主要政策

氢能是未来能源系统的重要组成部分，面对能源消耗和应对气候变化问题等多重挑战，是全球能源结构转型的重大战略方向，备受世界各国关注。世界主要国家都把发展燃料电池汽车提升到国家战略高度。国外氢能与燃料电池汽车技术及产业发展较快，氢能技术在日本、美国、韩国与欧盟等国家和地区初步进入商业化应用阶段，燃料电池汽车在日、韩、美等国家早已实现了产业化。

第一节 日本

一、构筑“氢能源社会”

(1) 总述

日本将氢燃料电池汽车作为国家经济发展战略的重要组成部分，政府始终坚持促进氢能与燃料电池的发展。日本国土面积小，人口密集，一次能源极度匮乏，能源自给率长期以来仅有 6~7%，同时不具备大规模修建光伏风电水电的条件；2011 年日本大地震和福岛核电站事故也让原本在日本能源供应中处于重要地位的核能严重遭挫；长期能源受限的日本一直在探索能引发国家能源体系革命性转变的解决方案。为应对气候变化问题，由 2016 年其提交联合国的国家自主贡献方案，日本预计到 2030 年之前，实现温室气体排放量在 2013 年财政年度基础上降 26%。发展氢能成为日本的最优选择，许多城市利用风力、太阳能等发电制氢用于燃料电池，以此构建以氢燃料电池汽车、家用氢能发电和供热供暖的社会体系。

早在 2009 年，家用燃料电池“EAE-FARM”就于日本上市，因 2011 年日本

大地震对日本供电系统的严重破坏，上市以来销量超过了 10 万套，全球燃料电池走进千家万户的国家只有日本。20 世纪 90 年代初，日本就开始氢能利用，家用-燃料电池和燃料电池汽车技术的研发，并取得了丰硕的成果，日本企业在核心部件和技术工艺拥有的专利遥遥领先于其他国家，以丰田为代表的日本公司赶超早期的奔驰、通用，后来居上率先量产商业化道路。根据德勤的预测，至 2030 年氢燃料电池汽车有望为日本经济贡献 4.4 万亿日元的效益。

(2) 政府政策支持

自 1993 年起，日本政府就开始实施包括氢在内的清洁能源利用计划，出台一系列法律法规政策支持发展氢能和燃料电池汽车。进入 21 世纪，日本政府联合丰田、本田加快了燃料电池汽车研发的步伐，2013 年日本首相安倍晋三就政府制定的《日本复兴战略》提出：“燃料电池不仅用于汽车，而且还要在居民家庭及建筑中广泛运用”。以构筑“氢能源社会”为目的，执政的自民党议员于 6 月成立了“促进实现以氢燃料电池汽车为中心的氢社会研究会”，让丰田、本田等企业也参与当中。

2015 年初东京都政府公布了资助燃料电池汽车发展的计划，投资 452 亿日元作为燃料电池汽车消费补贴和加氢站建设的费用。丰田和本田为了迎接奥运会，承诺在 2020 年之前向东京投放多达 6000 辆氢燃料电池汽车；在东京购买燃料电池汽车的消费者可额外获得市政府的 100 万日元补贴。日本对氢能和燃料电池的支持政策主要包括研发、示范和车辆补贴等方面。在研发方面，2017 年日本经济产省对燃料电池研发支持共计 129 亿日元，包括燃料电池、加氢站、氢能供应链 3 个方向；在示范方面，2017 年开始固定式燃料电池示范由家庭应用扩大到商业和工业应用，计划在 2020 年达到 1400 万套规模，2030 年达到 5300 万套规模。

在车辆补贴方面，实施新能源汽车绿色税制政策，根据汽车种类和指标，车重税和汽车购置税可以享受 50%~100%的减免，并同时在加氢站建设方面给予了大约 50%的补贴。2018 年 10 月日本举办的第一届氢能部长级会议上，会议代表集中探讨了打造氢能可持续发展社会的愿景，日本经济产业省（METI）2018 年在氢能与燃料电池产业研发上的总投入达到 2.6 亿美元。日本政府致力建设“氢能源社会”，使氢能成为日本的第三大能源支柱。

日本政府推进氢能相关政策

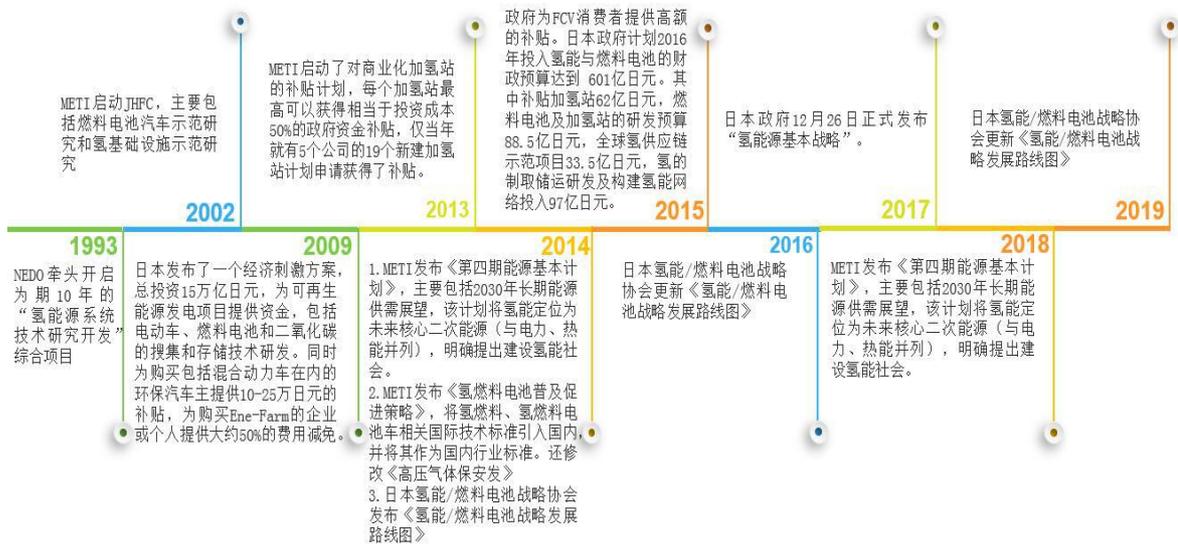


图 1.1 日本政府推进氢能相关政策

资料来源：METI，NEDO，国金证券研究所

(3) 标准法规作用

日本政府除了采取直接的财政优惠政策和措施支持氢燃料电池汽车发展，制定标准法规也是至关重要的一项。最早在 2005 年，日本就制定了燃料电池汽车安全标准，如今联合国有关机构以日本标准为蓝本的国际氢燃料电池汽车安全标准已正式确立。为 2015 年成为日本氢燃料电池汽车元年做准备，启动市场普及应用，日本经济产业省于 2014 年着手修订国内相关技术标准，将燃料电池汽车

国际标准相关规定指标引入国内，修订采用国际标准，降低厂家的负担和成本，利于燃料电池汽车普及和出口。储氢罐压力上限的提高增大了氢气储量，进而延长了车辆续航里程。放宽对储氢罐钢材的规定指标，以便日本企业采购国外价格低廉的钢材。

(4) 氢能技术设施快速推进

完善加氢站等基础设施建设对氢燃料电池汽车产业发展至关重要，在早期“氢能与燃料电池示范运用”项目中，日本政府就大力支持建设加氢站，以东京为中心相继建成 12 个加氢站。2014 年日本共有 31 座加氢站使用运营，2015 年日本政府财政预算中有 110 亿日元资金是用于加强站建设补贴。日本加氢站多由能源公司联合汽车企业间接投资进行建设，由能源公司负责运营，加氢站一般与加油站或加气站设在同一地址，共存构成一个综合型设施。2017 年末，日本三大主流车企丰田、本田和日产宣布，将在 2018 年与其他八家能源、金融企业共同成立一家新公司——“日本加氢站网络公司（JHyM）”，计划在日本建设更多加氢站并提供维护服务，加快氢燃料电池汽车的推广与普及。这八家企业包括日本最大的天然气供应商东京天然气公司、日本出光兴产公司、天然气生产商岩谷公司、日本发展银行和法国液化空气日本分公司等。这 11 家公司发表联合声明称，初步计划将在 4 年内合作新建 80 座加氢站。目前，日本已经拥有超过 103 座加氢站，成为全球加氢站数量最多的国家。

第二节 加拿大

一、氢能项目导向

(1) 总述

加拿大能源资源蕴藏丰富，石油、天然气及铀矿储量很大，均处于世界前列。

同时其经济发达，国土面积广大，气候寒冷，是一个能源高消耗国，能源工业是加拿大经济支柱之一。但是其人口稀少，大部分矿产品用于出口，这为其创造了巨大的财富。作为能源出口型国家，政府早早意识到了化石能源的有限性和全球碳排放的压力，加拿大作为核能和氢能研发最积极的国家之一，在世界处于领先地位。加拿大工业部和加拿大自然资源保护部门一起承办了技术合作项目，以促进氢能源项目的开发和商业化应用。氢能利用可以说始于加拿大，1984年7月，国际氢能协会在加拿大国家研究委员会和加拿大氢能协会的支持下于多伦多市召开了第五届世界氢能会议，阐述了向氢能源过渡的主题。

加拿大运输燃料电池协会是政府投入2300万加元于2001年组建的，用以示范和评估燃料电池汽车备选燃料。协会的主要任务是证明温室气体（GHG）减少，评估使用不同燃料的燃料电池汽车，发展燃料基础设施（包括技术标准、编码、培训、认证和安全方面）。到2005年，将对轻型、中型、重型车采用不同燃料和燃料系统的组合进行示范。第一步工作是制定与燃料电池和氢能技术相关的标准、进行相关培训和测试。协会的基金来自“2000加拿大行动计划”，这是一个投资5亿加元的减少温室气体的计划。

第十四届世界氢能大会于2002年6月9~13日在加拿大蒙特利尔举行，加拿大巴拉德（Ballard）公司的质子交换膜燃料电池技术在世界处于领先地位，是主要的号召者。加拿大计划将燃料电池电动汽车技术发展成国家的支柱产业，加拿大对氢能的研究与开发投入在逐年增加。

（2）政府助力项目

2003年10月，加拿大政府宣布出资2.15亿加元启动h2EA计划（氢能早期采用者计划）。计划通过在加拿大工业运行、示范氢能应用将加拿大转化到氢能

经济的新技术概念设计工程，包括氢能高速公路的建设，同时还实施“加拿大燃料电池氢能社区伙伴”、“温哥华燃料电池专案”以及“复合燃料电池运输公共项目”等项目。巴拉德公司支持加拿大政府在范库弗峰和惠斯勒之间兴建世界第一条氢能公路。通过使用建在公路上 7 个制氢点制取的氢气，来促进车用氢燃料电池更广泛的应用。

2004 年 4 月，加拿大总理在温哥华宣布，联邦政府将为“氢公路项目”提供资助，该项目的实施将是氢能史上的里程碑，是由多个政府部门和企业共同参与的一个氢燃料电池综合开发项目。具体内容是 2010 年前，在温哥华到冬奥会主办城市威士拿的 120 公里公路上建立 5 个燃料电池车的加氢站，由一定数量的氢燃料电池车承担 2010 年冬奥会期间温哥华机场与冬奥会主要城市威士拿之间的人员运输任务。同时发布的还有三个项目：温哥华燃料电池车项目、氢高压阀门开发项目和氢燃料送货车项目，配套促进燃料电池车的开发。氢公路项目是加拿大大规模商业化利用燃料电池长远计划的一部分，政府希望通过此项目为燃料电池在运输工具、固定电源和微型电源方面的应用做出示范，借冬奥会向世界展示燃料电池的价值和实用性。通过这个项目实施，加拿大的氢技术和燃料电池技术水平在全球新能源经济竞争中占据领先地位。

氢机场项目也是同期加拿大计划中的氢能源利用项目之一，主要内容是用以氢燃料技术和燃料电池车技术装备机场，其中包括机场内的客运车、装卸行李的叉车及其他小型车辆。在建立氢机场所需的最先进的轻型燃料添加系统、多用燃料车的设计和生方面，卡尔加里的 Dynetech 工业公司处于世界前列，为慕尼黑机场提供压缩氢气和两套 350bar 的氢气储存系统。

(3) 企业扶持，税收和补贴政策优化

加拿大氢能的发展与关键企业发展息息相关，在政府的扶持下，加拿大在氢技术应用领域有着健全的研究、开发和生产体系。据统计，加拿大现有与氢技术直接有关的公司超过了一百家，其中包括研发燃料电池的世界巨头巴拉德公司，开发燃料电池测试系统技术的 Hydrogenics 公司和研发氢气压缩机的 Dynetech 工业公司等。后期加拿大政府相对于其他国家竞争对手的政府，重视和支持程度还是不够，政府在氢燃料电池产业内投入年均才总计 3000 万美元，需要退税手段来鼓励能源用户购买氢燃料电池，许多加拿大企业为了维持，开始出售部分业务和股权，减少资金的投入目前是氢燃料技术进入商业化的重要阶段，更需要政府提供全面支持。

加拿大政府承诺在未来三年（从 2019 至 2021 年）里向加拿大交通部拨款 3 亿加元，对购买零售价不超过 45000 加元的电动或氢燃料汽车的消费者给予每辆车最高 5000 加元补贴，但目前加拿大国内所售车型中仅有 7 款车型符合获得补贴的要求，没有把插电混动车型纳入补贴范围，这对于消费者来说补贴力度很薄弱。目前加拿大各地的政策不一，会导致消费者无法遵从，而且容易滋生漏洞。因为部分加拿大省级地区推出了各自的新能源汽车优惠政策，而加拿大联邦政府也没有对这些优惠政策进行统一，也没有推出相关的监管政策。对新能源汽车的基础设施建设方面的拨款仅为 1.3 亿加元，主要用于公共停车场、商业中心、居民区的充电站和燃料补给站建设。经加拿大清洁能源组织的民意调查，加拿大政府不断做出努力，计划通过设立创新基金的模式，鼓励汽车制造商和零部件制造商等汽车生产链企业，在新能源汽车领域进行创新。目前，该基金已经刚刚获得了加拿大联邦政府提供的额外 8 亿加元资金扶持，同时加拿大政府每年还会向加拿大交通部拨款 500 万加元，以刺激汽车制造商满足市场需求。

第三节 美国

一、引导能源体系向氢能经济过渡

(1) 总述

美国对氢能源的关注要追溯到 1973 年的石油能源危机时期。在 1973 年石油危机时期，美国成立了国际氢能源组织。由于美国的能源自给项目失败，美国国家能源研究和开发组织从 1970 年开始赞助氢能源的研究。美国能源部是美国联邦政府推动氢能的官方机构，美国的燃料电池发展和政府执政指导思想息息相关。美国通用汽车 1974 年首次提出以氢为能源构筑未来氢经济社会，在 1994 年，克林顿政府实施“新一代汽车合作计划（PNGV）”，耗资 15 亿美元，开发三倍于当时燃料效益的新一代先进轿车。

美国燃料电池汽车产业后续经历布什政府和奥巴马政府两个关键阶段，由于执政理念不同消沉了一段时间，但是美国政府及州政府一直积极支持燃料电池产业的发展，通过鼓励能源体系从石油到氢燃料的转化，减少对进口石油的依赖，从而达到提高能源安全的目的。

(2) 政府引导

领导人小布什执政后美国政府先后出台了多项计划以推动氢能经济的发展。

表 1.1 美国氢能与燃料电池产业政策

| | |
|------|---|
| 1970 | 开始赞助氢能源的研究；成立国际氢能源组织。 |
| 1990 | 美国颁布了《1990 年氢气研究、开发及示范法案》，制定了氢研发五年管理计划”，期待在最短时间内，采用较为经济的方法，突破氢生产、分配及运用过程中的关键技术。 |
| 1996 | 美国颁布《氢能前景法案》。 |
| 2001 | 美国发布《2030 年及以后美国向氢经济转型的国家愿景》，它标志着美国官、产、学、研”各界对发展氢能基本达成共识，从而转入制定国家氢能战略阶段。 |

| | |
|------|---|
| 2002 | 美国完成战略研究并发布了《国家氢能路线图》，并投 17 亿美元开始实施《氢、燃料电池及技术设施技术开发计划》和《自由车技术开发计划》。 |
| 2003 | 美国布什总统在国情咨文讲话中正式提出实施“国家氢燃料研究计划”，目标是到 2020 年人们可以选择燃料电池汽车。 |
| 2004 | 2004 年，美国能源部出台了《氢能技术研究、开发与示范行动计划》，标志着美国发展氢经济已从政策的评估、制定阶段开始步入以技术研发和示范为起点的系统化实施阶段。 |
| 2005 | 2005 年，美国出台《能源政策法》，将发展氢能和燃料电池技术的有关项目及其财政经费授权额度明确写入法中，今后 10 年间将投入 123 亿美元支持氢能和燃料电池技术研发，同时对购买燃料电池汽车返税 8000 美元以上，对加氢站建设或家用燃料电池给予 30% 的补偿。 |
| 2006 | 美国总统布什在其《国情咨文》中首次提出了先进能源计划”，把能源特别是车用氢能推向了美国政治和技术争论的前沿，并在《能源政策法案》中提出 5 年内累计投入 40 亿美元，开展与氢能相关的技术研发和示范活动。 |
| 2006 | 美国于 2006 年启动了国家燃料电池公共汽车计划(National FuelcellCity Bus Program, NFCBP)，进行了广泛的车辆研发和示范工作。 |
| 2006 | 美国能源部发布“氢立场计划”，确认了美国“氢经济”发展要经过研发示范、市场转化、基础建设和市场扩张以及完成向氢能经济转化四个阶段。 |
| 2007 | 美国南加州对氢燃料电池的生产和研究的设备实行税收全免政策；俄亥俄州 250kW 以下的燃料电池系统实行税收全免政策，但对 250kW 以上的系统要征收替代税。 |
| 2009 | 美国通过的《2009 年恢复与再投资法》经济刺激计划，整个预算 7890 亿美元中有 200 亿美元用于可再生能源和清洁能源项目，氢能和燃料电池相关研发也将受益。 |
| 2010 | 美国加州宣布为零排放、轻量型汽车提供 1.6 万美元的回扣激励措施。此外，政府还宣布加州自给自足激励计划项目（SGIP）延长至 2014 年底。该项目每年为加州 CHP、风能、废热循环利用和储能项目提供 5 亿美元的资金支持。 |
| 2012 | 美国总统奥巴马向国会提交了总额大约 3.8 万亿美金的 2013 财年政府预算中，将向美国能源部拨款 63 亿美元，用于燃料电池、氢能、车用替代燃料等清洁能源的研究、开发、示范和部署等活动。 |
| 2012 | 美国国会在新时期的能源修订会议上重新修订了氢燃料电池政策方案。修订后 ITC（美国国际贸易委员会）燃料电池税收抵免政策主要有一下几个层次： 1、5000 美元/kWh 的燃料电池系统，实现至少 70% 的效率转换对应 50% 的税收抵免； 2、4000 美元/kWh 的燃料电池系统，实现至少 60% 的效率转换对应 40% 的税收抵免； 3、3000 美元/kWh 的燃料电池系统，只要达到 30% 的效率转换对应 30% 的税收抵免。 重新修订的燃料电池政策还包括了 HFV 以及储氢、制氢以及加氢站等基础设施的奖励政策，根据 |

| | |
|------|---|
| | 新法案的规定，任何氢能基础设施的运行均可享受 30-50%的税收抵免。 |
| 2013 | 美国能源部宣布启动一项 H2USA 的项目，该项目由美国政府牵头，大力支持氢能源汽车研发 |
| 2013 | 美国加州立法机关通过了一项价值达 20 亿美元的延长纯净汽车和燃料补贴到 2023 年的法案。该法案要求每年建设 2000 万美元的加氢站，直到至少在加州有 100 个公用的加氢站。 |
| 2015 | 美国能源局向国会提交了《2015 年美国燃料电池和氢能技术发展报告》，肯定了未来氢能市场的发展潜力，大力投资发展先进氢能与燃料电池技术，宣布设立 3500 万美元的基金，这笔资金的资助范围涵盖了氢气的制取、储存、运输，基础设施元件制造以及氢能及氢燃料电池技术的推广等方面，主要研究制氢、储氢、先进储氢材料以及氢燃料电池性能等。 |
| 2016 | 加州贫困买家补贴政策，收入低于联邦贫困线 300%的买家将在氢燃料电池汽车获得高达 6500 美元的补贴，收入超过 25 万美元的加州买家在氢燃料电池汽车仍有 5000 美元补贴，但其他新能源车不再有补贴。 |
| 2018 | 美国国会决定对 2017 年购买燃料电池车、电动摩托车及安装了电动汽车充电基础设施的车主给予税收抵免政策（原计划于 16 年终止）。2017 年购买燃料电池车的车主可享受 4000 美元的税收抵免。 |
| 2018 | 根据可再生能源投资税收抵免（ITC）政策，将在五年内逐步减少 30%的税收，最终确保燃料电池产品（包括固定电站和物料运输行业）达到其他清洁能源技术同等发展水平。 |

资料来源: DOE, 国金证券研究所

除了联邦政府以外，各州政府也根据各自情况积极出台相应的激励政策和税收优惠措施，并开展大规模的示范运行。2000—2001 年，美国加利福尼亚州爆发了震惊全美的能源危机。为了解决这一问题，2000 年 9 月，加州州政府出台 AB970 号法案，决定用现金激励电力用户在用电端自建发电储电设施，鼓励新能源和绿色技术。2004 年 4 月美国加利福尼亚州州长阿诺·斯瓦辛格签署行政命令 S-7-04，开始正式在加州内建立氢能高速公路网（简称：CaH2Net）；2006 年 2 月，加利福尼亚大气资源局、加利福尼亚燃料电池合作组织、加利福尼亚环保署以及加利福尼亚消防署共同召开会议，宣布将从立法、制定相关标准与规范直

到终端销售的层面共同促进氢能汽车与 CaH₂Net 的发展。纽约地方政府联合通用汽车公司（GM）和壳氢（Shell Hydrogen，壳牌石油下属）共同推动燃料电池汽车，计划将纽约建成东海岸重要的氢能走廊。2006 年 GM 提供了 13 辆燃料电池汽车，壳氢在纽约建立首个氢能服务站，后续 Shell 在纽约和华盛顿连线之间建设了两个加氢站并投入使用；美国密西根州政府计划在东南地区建设一条氢能走廊，包括六个加氢站：Ann Arbor、Southfield、Milford、Dearborn、Detroit 机场（Ford Motor 承建）和 Tech Town（NextEnergy 承建）。

2016 年内美国就有 10 个州颁布相关政策，支持燃料电池产品逐步投入市场，包括氢燃料电池汽车税收减免，在工厂、居民区等地安装部署燃料电池发电系统等。此外，根据美国联邦公路局公布的“国家替代燃料与充电网络”规划，美国全境 35 个州将形成以 55 座加氢站为基础节点的“氢能网络”，加利福尼亚州、科罗拉多州、佛罗里达州、纽约州、威斯康辛州等 10 个州将率先启动建设工作。2019 年，加利福尼亚州的加氢站数量占到了全美加氢站数量的一半以上，已经开放运营的加氢站超过 40 座。

（3）汽车制造商积极推动

美国汽车制造商也是美国氢能汽车产业的积极推动者，美国通用公司、福特公司和克莱斯勒公司在美国能源部的大力支持下全力研究质子交换膜燃料电池汽车，2000 年悉尼奥运会上通用汽车公司推出用液氢作为燃料的“氢动一号”作为运动场工作车。美国通用至今已经开发超过 100 多辆燃料电池汽车，主要成果有 Hy-wire 线传控燃料电池车、“氢动三号”燃料电池汽车，Sequel 氢燃料电池车、“氢动四号”（能零下温度启动），2015 年将实现自己的燃料电池汽车产业化。

克莱斯勒汽车公司与 2007 年 11 月宣布加入美国“加州燃料电池合作组织”（CaFCP）；福特公司经过三代开发，燃料电池汽车车队数量已超过 40 台车，交付美国、德国、加拿大和冰岛用户使用；为了解决目前氢能汽车成本过高的问题，有关汽车厂商和销售商提供租赁服务，用户不需要购买整车，只需要支付租用普通汽车相当的费用即可体验氢能汽车。

（4）学术界的支持

美国学术界对美国氢能发展的支持不可或缺。2009 年美国氢能学会研究指出氢燃料电池汽车将使 2100 年美国二氧化碳排放低于 1990 年水平的 80%，其他任何燃料车辆都完成不了这个刚性需求；2008 年美国国家研究院发表的《过渡到替代运输技术：聚焦在氢》的报告指出 2050 年美国氢能将实现飞跃发展，氢能汽车保有量在高速发展情形下过亿，工业界投入 4000 亿美元以建成 180000 加氢站，210 座大规模制氢厂和 80000 英里供氢运输管道，预计 2020 年后大部分美国城市的氢气价格达到 3.2~3.6 美元/公斤氢气，2015 年后氢能汽车开始商业化。

第四节 欧盟

一、“交通与氢能”融合

（1）总述

欧洲主要国家汽车工业基础雄厚，普遍对能源、环境、气候变化等问题非常敏感，欧洲正在向脱碳能源系统过渡，欧盟 28 个成员国签署并批准了巴黎协议。政府间气候变化专门委员会（IPCC）最近的报告强调了要彻底减少排放的紧迫性：到 2030 年，全球变暖不超过 1.5 摄氏度，排放量必须下降 45%（与 2010 年的水平相比），到 2050 年必须降至“零排放”。否则，将导致更极端的温度、海平

面上升和生物多样性严重损失等主要气候影响。氢是运输、工业和建筑业大规模脱碳的最佳（或唯一）选择。

欧洲燃料电池汽车发展路线的总体特征是促进“交通与氢能”融合，持续稳定支持氢能和燃料电池汽车产业发展。欧盟 2016 年发布的《可再生能源指令》等政策文件均提出将氢能作为能源系统的重要组成部分，正在推进的《燃料电池和氢能实施计划》的实施周期是 2014~2020 年，主要目标是，到 2020 年将氢能和燃料电池应用在固定式能源供应和交通方面。重点支持方向包括交通产业：道路交通、非道路交通和机械、基础设施等；能源产业：氢气制备、运输、储能、发电、热电联产等。

（2）政府对行业扶持

欧盟建立“欧洲研究区”和“燃料电池与氢联合行动计划”，以推动氢与燃料电池技术的发展，历年的扶持政策主要如下：

表 1.2 欧洲燃料电池汽车产业扶持政策

| 日期 | 政策内容 |
|--------|---|
| 2003 年 | 欧盟促成了“欧洲研究区（European Research Area, ERA）”，建立了大量的研发平台，其中就有“欧洲氢能和燃料电池技术平台（EHFCP）”。该平台的目的在于向欧盟委员会推荐燃料电池和氢能技术发展的一些关键性领域。 |
| 2007 年 | 欧盟的“第 6 科研框架计划（2002-2006）”已对氢能技术和燃料电池技术经费支持 1.257 亿欧元和 1.539 亿欧元。其第一轮资金支持包含 30 个项目，涉及氢能制造（1460 万欧元）、氢能贮藏（1070 万欧元）、氢能的传输（2134 万欧元）、氢能的最终应用（1350 万欧元）、高温燃料电池（1510 万欧元）等项目。2007 年 3 月欧盟又发布计划，拟于 2007-2015 年间投入 74 亿欧元用于实施氢能和燃料电池技术研究计划。 |
| 2008 年 | 欧盟出台了燃料电池与氢联合行动计划项目（FCH-JU），决定在 2008 至 2013 年至少斥资 9.4 亿欧元用于燃料电池和氢能的研究和发展，涉及的项目包括氢气车队项目、ZERO-REGIO 项目和小型车辆氢气链项目的公开实验。到 2011 年，FCH-JU 运营基本正常，正在进行的项目 44 个（投资 7.9 亿 RMB），涉及 250 家合作伙伴。2010 年又调用 27 个项目，投资 7 亿 |

| | |
|--------|--|
| | RMB，将于 2011 年底正式启动。其中两个大规模车辆示范项目“H ₂ moves Scandinavia”和欧洲城市清洁氢能（CHIC），已经成为全球典范。 |
| 2009 年 | 欧盟批准燃料电池与氢联合行动计划项目。该计划的目标是促进氢与燃料电池技术的发展，为 2015 年商业化进行技术储备。该计划的总预算是在 2008-2013 年至少投入 9.4 亿欧元，其中欧盟投入 4.67 亿欧元现金，产业界投入 2000 万欧元现金和至少 4.5 亿欧元资产，研究机构投入 300 万欧元现金。 |
| 2011 年 | FCH-JU 运营基本正常，正在进行的项目 44 个，投资额达到 7.9 亿 RMB，涉及 250 家合作伙伴。2010 年又调用 27 个项目，投资共 7 亿 RMB，将于 2011 年底正式启动，其中两个项目是大规模车辆示范项目“H ₂ moves Scandinavia”和欧洲城市清洁氢能（CHIC）。 |
| 2012 年 | 实施了 Ene-field 项目。项目包含 12 个欧盟成员国，9 家燃料电池系统制造商和接近 1000 套微型 CHP 系统。项目至少持续 3 年，计划投资 5300 万欧元。10 月开始实施氢燃料电池在物流业商用化应用的中试示范项目。 |
| 2013 年 | FCH-JU 项目运营基本正常，2013 年投入经费约 6300 万欧元，FCH-JU 第二阶段实施期为 2014-2024，计划投入 14 亿欧元，实现燃料电池系统成本降低 90%，燃料电池“发电”效率提高 10%。2014 年至 2020 年，欧盟将启动 Horizon2020 计划，在该计划中氢和燃料电池的投入预算达到 220 亿欧元。 |
| 2015 年 | “氢燃料创新汽车计划（Hyfive）”、“清洁能源伙伴计划（CEP）”以及“英国氢气流动路线图计划（UKH2Mobility）”等多个计划正在稳步推进，旨在推广氢能基础设施的建设以及氢能交通的普及，也主要围绕氢燃料电池汽车的引入进行加氢站建设。 |
| 2016 年 | 欧盟发布《可再生能源指令》等政策文件均提出将能源作为能源系统的重要组成部分，正在推进的《燃料电池和氢能实施计划》的实施周期是 2014~2020 年，主要目标是到 2020 年实现氢能和燃料电池在固定式能源供应和交通方面的应用。 |
| 2017 年 | 德国政府组织本国汽车行业领导企业成立了一个 6000 万欧元、为期三年的联盟，研究汽车燃料电池堆的大批量生产。此次联盟名为“AutoStack-Industrie”，由德国联邦交通和数字基础设施部（BMVI）投资，第一年出资 2130 万欧元。 |
| 2018 年 | 法国政府拟计划拨款 1 亿欧元用于支持本国的氢能发展，从 2019 年起，法国环境和能源署将出资 1 亿欧元用于在工业、交通以及能源领域部署氢气。进一步发展氢动力车辆以及加速加氢站建设。2023 年计划拥有 5000 辆轻型商用车，2028 年将增加至 20000-50000 辆。2028 年，加氢站规模建设增加至 400-1000 座。 |

资料来源：公开资料，深圳汽航院

从表中可以看出，欧盟把燃料电池和氢能源技术发展成为能源领域的一项战

略高新技术，使欧盟在燃料电池和氢能源技术处于世界领先地位。其主要目的都是为了更好地应对能源和气候变化的挑战，帮助欧盟实现其 2020 年的减排目标。欧盟领导人在 2008 年 1 月出台了一项气候和能源战略问题一揽子计划。欧盟在计划中承诺到 2020 年将温室气体排放量在 1990 年的基础上至少减少 20%；将欧盟可再生清洁能源占总能耗的比例提高到 20%；将欧盟化石能源的消费量在 1990 年的基础上减少 20%。

(3) 示范项目实施

欧盟及欧洲各国一致致力于氢能与燃料电池的研发和示范应用，通过一系列项目的开展，欧洲燃料电池汽车已经步入市场导入的早期阶段。据 IPHE 统计，2019 年欧盟运行燃料电池乘用车超过了 1000 辆，燃料电池公交车超过 70 辆，同时还有其他特殊专用车（燃料电池叉车、垃圾车等）。2008 年 5 月，欧盟委员会、欧洲工业和研究组织共同出台了公私合营的燃料电池与氢能联合行动计划，来支持欧洲氢能与燃料电池的研发、示范和推广运用。

欧洲燃料电池和氢能公共事业组织（FCH JU）致力于支持燃料电池汽车的五个项目：CHIC 项目（Clean Hydrogen in European Cities，2010~2016 年）是在欧盟第七研发框架计划（FP7）支持下进行的，项目总预算约为 8190 万欧元，旨在推动零排放燃料电池公交车的商业化运行。在欧洲多个城市，如瑞士阿尔高州、意大利博尔扎诺、英国伦敦、意大利米兰、挪威奥斯陆、德国科隆和汉堡等示范运行 54 辆燃料电池公交车；High V.Lo-city 项目（Cities Speeding up the Integration of Hydrogen Buses，2012~2019 年）于欧盟第七研发框架计划支持下进行，项目总预算约为 2920 万欧元。该项目通过在英国英格兰、意大利利古里亚、比利时弗兰德和荷兰格罗宁根运行 14 辆燃料电池公交车，展示新一代燃

料电池技术和运行效率,从而推动商业化运行;Hytransit 项目(European Hydrogen Transit Buses, 2013~2018 年)总预算约为 1770 欧元,在苏格兰等地运行约 20 辆燃料电池公交车;3Emotion 项目(Environmentally Friendly, Efficient Electric Motion, 2015~2019 年)项目总预算约为 4190 万欧元,该项目在伦敦、罗马、佛兰德斯、鹿特丹和瑟堡五大城市运行 27 辆燃料电池公交车;JIVE 项目(Joint Initiative for Hydrogen Vehicles across Europe, 2017~2020 年)总预算 1.06 亿欧元,将通过部署 140 辆燃料电池公交车,在意大利、英国、德国、拉脱维亚和丹麦等地的 9 个城市进行示范运行,为商业化铺平道路。该项目将为大巴车运行及维护、加氢积累经验,为后续 JIVE 2 在欧洲部署约 152 辆燃料电池巴士做准备,总经费超过了 13.3 亿欧元。

除了欧盟层面,欧洲各国也在积极开展示范应用。2016 年德国政府通过了第二阶段的氢能与燃料电池国家创新计划,德国作为欧洲氢基础设施建设的排头兵,拥有的加氢站数量仅次于日本,为了配合自身燃料电池汽车产业的发展;法国于 2018 年 6 月推出了“氢能计划”,提出到 2023 年推广 5000 辆轻型商用车、200 辆重型卡车;到 2028 年,推广 2 万辆以上轻型商用车和 800 辆以上重型卡车。挪威计划至 2023 年引进 1000 辆燃料电池重卡。可见,欧洲氢能的发展与交通行业息息相关。

第五节 韩国

一、成为世界最高水准的氢经济先进国

(1) 总述

韩国的基本国情和日本很接近,自然资源匮乏,但是韩国对氢燃料技术的研究比美、日等国落后 4-5 年,韩国燃料电池汽车的概念最早是在 1998 年 G7 峰会

中提出来的，过去二十年年间韩国一直致力于燃料电池汽车开发，目标成为氢汽车、燃料电池世界市场占有率第一的国家，从化石燃料资源缺乏国进入氢产出国。

(2) 政策扶持

韩国政府为了应对全球能源短缺、环境污染和气候变暖等问题，积极推进新能源产业成为可持续发展的重要举措。为了提高能效和降低能源消耗量，要从能耗大的制造经济向服务经济转变，在 2008 年开始实施“低碳绿色增长战略”，其中对燃料电池研发项目投资金额达到 16 亿 3800 万元。2010 年又实施“百万绿色家庭”项目，推广家用燃料电池系统，计划在 2020 年前安装 10 万套 1kW 的燃料电池系统，安装补贴在 2010-2011 年之前达到 80%。2012 年政府投入预算总额达到 185 亿韩元建设氢城市示范项目。

表 1.3 韩国燃料电池汽车产业扶持政策

| 年份 | 政策 |
|--------|---|
| 2008 年 | 实施“低碳绿色增长战略”，其中氢能燃料电池研发项目投资 16 亿 3800 万元。 |
| 2009 年 | 韩国知识经济部（MKE）成立了韩国能源技术评估和计划机构，计划评价和管理包括氢燃料电池等在内的能源研发项目。 |
| 2009 年 | 韩国首都首尔计划推广氢燃料电池的使用，力争到 2020 年使氢燃料电池的使用量占首尔市全部替代能源使用量的 30%。 |
| 2010 年 | 实施“百万绿色家庭项目”，计划在 2020 年前向安装不同类型新可再生能源设施的家庭补贴 100 万元。政府的目标是在 2020 年之前安装 10 万套 1kW 的燃料电池系统，安装补贴在 2010-2011 年之前达到 80%。 |
| 2010 年 | 韩国还公布了一项斥资 380 亿美元的“绿色新政”项目，其中许多计划都与燃料电池和氢能项目相关。目的在于，到 2012 年在绿色产业部门增加 600 万人的就业机会并且获得全球绿色技术市场 7% 的份额，到 2030 年要上升至 13%。 |
| 2012 年 | 实施可再生能源配额标准（RPS）方案，到 2012 年，独立发电厂商的发电量的 2% 必须来源于可再生资源。如果建筑物的面积大于 3000m ² ，其电力必须有 2~5% 来自可再生资源。如果可再生能源是来自燃料电池的话，这个比例还需翻倍。 |

| | |
|--------|---|
| 2012 年 | 实施“绿色氢城市示范”项目，计划在 2012 年到 2018 年间投入总额达到 877 亿韩元（中央政府出资 520 亿韩元，地方政府 185 亿韩元，私人投资 172 亿韩元）建设绿色氢城市。主要投资内容为氢气的生产和管理，燃料电池的生产等。 |
| 2015 年 | 韩国政府表示将满足该国对氢燃料电池汽车（FCEV）需求。主要通过降低车辆售价并建立必要的基础设施来实现。在首尔，购买燃料电池汽车的消费者可以得到 2750 万韩元的国家补贴，以及各种免税的优惠政策。除了补贴和税收减免，韩国政府也计划帮助汽车制造商降低生产成本。 |
| 2017 | 韩国国土、基础建设与交通运输部联合声明自 2017 年 9 月到 2020 年，氢燃料电池汽车高速公路通行费减半 |
| 2018 年 | 韩国贸易、工业和能源部召开会议宣布韩国政府和国内相关企业决定未来 5 年投资 2.6 万亿韩元（折合 150 万亿人民币），建立公私合作伙伴关系，加快该国氢燃料电池汽车生态系统的发展、增加加氢站的数量。 |
| 2019 年 | 韩国政府发布《氢能经济活性化路线图》，旨在大力发展氢能产业，以引领全球氢燃料电池汽车和燃料电池市场发展。根据该路线图，政府计划到 2040 年氢燃料电池汽车累计产量由目前的 2000 余辆增至 620 万辆，氢燃料电池汽车充电站从现有的 14 个增至 1200 个。 |

资料来源：公开资料，深圳汽航院，智研咨询整理

（3）以氢汽车和燃料电池作为两大核心

韩国氢经济发展推进方案主要以氢汽车和燃料电池作为两大核心发展氢经济。主要推进课题有三部分：1.（普及）扩大氢轿车，公共汽车，出租车等交通基础设施。为此大规模扩建加氢站，建设汽车、公共汽车、出租车、卡车等全车型的生产线。2.（制度）支付车种的补助金及补贴汽车、公交车、出租车等氢商用车的燃料费。随着氢汽车和氢气价格下降，逐渐减少补贴。3.（出口）独家销售和出口用于车辆的燃料电池系统、模块，引领燃料电池汽车市场，促进中小型氢经济体联合增长。氢轿车完成国内普及，2022 年年产量 3.5 万台，达到 5000 韩元水平；2025 年到商业性量产水平，年 10 万台（内需 6 万台/出口 4 万台），

价格下降到内燃机机车水平。通过技术开发补助,达到核心零部件国产化率 100%,政府提供 3 千亿韩元推进配件技术力提高。

(4) 产业示范推广

韩国政府积极开展燃料电池汽车推广工作,其推行的环保汽车示范项目促进了燃料电池汽车在首尔、光州、蔚山、昌原、忠清南道等设有加氢站的城市销售。2018 年 7 月首尔和蔚山开始氢出租车和燃料电池公交车试运行,计划于 2021 年在主要大城市普及氢出租车,2023 年扩大到全国范围。期间政府支援氢汽车租赁等出租汽车试运行中所需的费用,2020 年建立氢转移中心,为城市圈的主要交通枢纽提供充注和基础设施维护,在新老路线运行氢公交车;在高速公路休息区建设 CNG 充注站,创新型城市建设加氢站;2019 年联合地方当局和运输协会等在公共汽车停车场建设加氢站。韩国政府为 CNG 公共汽车提供采购费用、加氢站补助、公共汽车燃料费、油价补助等优惠;氢公交车等环保车引进时,公交车运输事业许可证标准放宽、长途快速巴士运营者选定时提供加分等奖励;提高城市公共汽车运输营业执照的获取比率。

2021 年韩国政府计划实施以公共部门为中心的氢卡车试点项目,货运专用车中从 5 吨级开始按顺序转换为氢卡车;将垃圾收集,路面清洁和浇水等特殊卡车扩展到 5 吨氢卡车;在分析试点项目成果的基础上,将商用车纳入公共部门生态汽车的义务购买范畴。2020 年前完成 10 吨氢卡车部件技术的开发,2022 年完成测试。一半货运车转换为氢卡车,推动物流运输事业;2025 年确保大型(5 吨以上)氢卡车零部件的降低成本技术;2030 年为止完成氢卡车部件 100%的国产化率。

第六节 中国

一、技术创新与研发支持

(1) 政策总述

随着韩国，日本等国家氢燃料电池汽车率先实现了产业化，中国氢燃料电池汽车行业开始受到广泛关注，产业化进程不断加快。政府陆续出台政策支持行业发展，我国对燃料电池汽车领域明确支持始于“十五”时期，至今我国共出台主要20项氢燃料电池车相关战略及支持策略，内容涵盖汽车补贴、发展规划路线、氢能及燃料电池产业化技术研发、能源发展战略和前沿技术、行动标准等。2019年3月，加氢站建设首次写入政府工作报告，燃料电池将迎来大规模推广应用阶段。

表 1.4 我国燃料电池相关政策

| 序号 | 日期 | 政策名称 | 部门 | 内容 |
|----|----------|------------------------------|----------|---|
| 1 | 2001年9月 | 《863电动汽车重大科技专项计划》 | 科技部 | 国家拨款8.8亿元，确定了以“三纵三横”为核心的电动汽车专项矩阵式研发体系，其中包含了对燃料电池汽车和燃料电池系统的研发。 |
| 2 | 2001年11月 | 《当前优先发展的高新技术产业化重点领域指南》 | 国家计委、科技部 | 因地制宜地开发并推广生物质能、风能、太阳能、氢能和地热能等可再生清洁能源；氢燃料电池、质子交换膜燃料电池的规模化生产。 |
| 3 | 2002年8月 | 《可持续发展科技纲要》(2001-2010年) | 科技部 | 研究燃料电池技术；加快氢能制取、贮存和利用装置的开发步伐，取得技术上的突破。 |
| 4 | 2006年3月 | 国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年) | 国务院 | 重点研究开发混合动力汽车、替代燃料汽车和燃料电池汽车整车设计、集成和制造技术，动力系统集成与控制技术，汽车计算平台技术，高效低排放内燃机、燃料电池发动机、动力蓄电池、驱动电机等关键部件技术，新能源汽车实验测试及基础设施技术等。 |

| | | | | |
|----|----------|--------------------------------|-----------------|--|
| 5 | 2006年5月 | 国家“十一五”科学技术发展规划 | 科技部 | 先进能源技术：积极发展新能源和可再生能源技术，掌握核能、氢能开发与利用技术。重点研究氢能与燃料电池技术、高效节能与分布式供电技术、洁净煤技术、可再生能源技术。 |
| 6 | 2009年2月 | 《节能与新能源汽车示范推广财政补助资金管理暂行办法》 | 财政部、科技部 | 首次开始在试点城市对燃料电池乘用车和客车分别给予25万元/辆和60万元/辆的财政补贴。 |
| 7 | 2011年7月 | 国家“十二五”科学技术发展规划 | 科技部 | 重点探索面向第四代核能、氢能与燃料电池、海洋能、地热能、二氧化碳捕集、利用与封存等方向的前沿技术。 |
| 8 | 2012年3月 | 电动汽车科技发展“十二五”专项规划 | 科技部 | 突破燃料电池关键技术和系统集成，推进工程实用化，为新一代燃料电池汽车研发与产业化奠定核心技术基础。 |
| 9 | 2012年7月 | 《节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020年）》 | 国务院 | 首次对燃料电池汽车未来发展要达到的技术指标做了规划，提出到2020年燃料电池汽车、车用氢能源产业要达到与国际同步的水平，动力电池模块比能量达到300瓦时/公斤以上，成本降至1.5元/瓦时以下。 |
| 10 | 2014年6月 | 《能源发展战略行动计划2014-2020》 | 国务院 | 把氢的制取、储运及加氢站，先进燃料电池、燃料电池分布式发电作为重点战略方向。 |
| 11 | 2014年11月 | 《关于新能源汽车充电设施建设奖励的通知》 | 财政部、科技部、工信部、发改委 | 对符合国家技术标准且日加氢能力不少于200公斤的新建燃料电池汽车加氢站每个站奖励400万元。 |
| 12 | 2015年4月 | 《关于2016-2020年新能源汽车推广应用财政支持的通知》 | 财政部 | 对于燃料电池乘用车，燃料电池轻型客车、火车、燃料电池大中型客车、中重型货车分别就20万元/辆，30万/辆和50万元/辆的补助。 |
| 13 | 2015年10月 | 《中国制造2025》重点领域技术路线图 | 国家制造强国建设战略咨询委员会 | 到2025年，制氢、加氢等配套基础设施基本完善，燃料电池汽车实现区域小规模运行。 |

| | | | | |
|----|----------|------------------------------------|--------------------------|--|
| 14 | 2016年4月 | 《能源技术革命创新行动计划（2016-2030年）》 | 发改委、国家能源局 | 提出15项重点创新任务，其中包括氢能燃料电池技术创新。 |
| 15 | 2016年10月 | 《中国氢能产业基础设施发展蓝皮书（2016）》 | 中国标准化研究院资源与环境分院和中国电器工业协会 | 规划：到2020年，加氢站数量达到100座；燃料电池车辆达到10000辆；氢能轨道交通车辆达到50列；到2030年，加氢站数量达到1000座，燃料电池车辆保有量达到200万辆。 |
| 16 | 2016年11月 | 《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》 | 国务院 | 进一步发展壮大与氢能源相关的新能源汽车、节能环保等战略性新兴产业。培育新业态、新模式、发展特色产业集群。 |
| 17 | 2017年4月 | 汽车产业中长期发展规划 | 工信部、发改委、科技部 | 制定节能汽车、纯电动汽车和插电式混合动力汽车、氢能燃料电池汽车、智能网联汽车、汽车动力电池、汽车轻量化、汽车制造等技术路线图。 |
| 18 | 2017年6月 | “十三五”交通领域科技创新专项规划 | 科技部、交通运输部 | 燃料电池汽车专项技术：深入开展电堆关键材料和部件的创新研究及产业化研发，大幅提高燃料电池电堆产品性能、寿命、降低成本。 |
| 19 | 2018年3月 | 国家重点研发计划“可再生能源与氢能技术”重点专项2018年度项目申报 | 科技部 | 完成氢能产业化目标：1.车用膜电极及批量制备技术；2.车用燃料电池空压机研发；3.车用燃料电池氢气再循环泵研发；4.车载液体供氢技术；5.燃料电池车用氢气纯化技术；6.加氢站用高安全固态储氢供氢技术；7.70MPa加氢站用加压加注关键设备；加氢关键部件安全性能测试技术及装备。 |
| 20 | 2019年3月 | 《政府工作报告》 | 国务院 | 推动加氢站建设首次写入《政府工作报告》 |

资料来源：公开资料

地方政策持续跟进，助力氢燃料电池产业化发展。目前上海、江苏如皋、浙

江台州、湖北武汉、广东南海等地均出台支持氢燃料电池发展政策。

(2) 燃料电池汽车产业发展战略和产业引导

我国对氢能的开发与利用越来越重视,逐渐将氢能发展列入相关发展战略及产业政策,燃料电池汽车是车用氢能的主要应用方向。根据工信部最新发布的《新能源汽车生产企业及产品准入管理规定》,新能源汽车是指采用新型动力系统,完全或者主要依靠新型能源驱动的汽车,包括插电式混合动力(含增程式)汽车、纯电动汽车和燃料电池汽车等。我国氢能燃料电池汽车发展战略及产业引导政策总结如下表 1.5 所示。

表 1.5 我国燃料电池汽车产业发展战略及产业引导政策

| 政策名称 | 发布部门 | 成文时间 |
|-------------------------------|-----------------|------------------|
| 国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定 | 国务院 | 2010 年 10 月 10 日 |
| 电动汽车科技发展“十二五”专项规划 | 科技部 | 2012 年 3 月 27 日 |
| 《节能与新能源汽车产业发展规划(2012-2020 年)》 | 国务院 | 2012 年 6 月 28 日 |
| 国务院办公厅关于加快新能源汽车推广应用的指导意见 | 国务院办公厅 | 2014 年 7 月 14 日 |
| 《中国制造 2025》重点领域技术路线图 | 国务院 | 2015 年 5 月 8 日 |
| 《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》 | 国务院 | 2016 年 11 月 29 日 |
| 汽车产业中长期发展规划 | 工信部、发改委、 科技部 | 2017 年 4 月 6 日 |

资料来源:中国车用氢能产业发展报告(2018)

2010年国务院颁布的《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》,将新能源汽车产业确定为国家重点发展的战略新兴产业。2012年,国务院发布的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012-2020年)》,总结了我国新能源汽车发

展现状及面临的形势，提出了新能源汽车产业发展的指导思想和基本原则、技术路线和主要目标、主要任务、保障措施以及《规划》实施方案，氢能燃料电池汽车产业发展的上层设计思路比较明确。在2019年6月，山东省潍坊市举行了《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》新闻发布会，由“中国氢能联盟”汇聚多家单位和100多位该行业领域的专家耗时8个多月编制而成，主要包括了氢能及燃料电池产业、技术、政策三大路线图，其中政策方面对氢能及燃料电池产业的标准体系、法律法规和示范运用区域进行规划。



图 1.2 国内氢能及燃料电池政策路线图

数据来源：中国氢能源及燃料电池产业白皮书（2019版）

我国燃料电池汽车示范推广工作进展很快，2017年已开展多个燃料电池汽车示范运营项目，几乎集中在燃料电池商用车领域，全国运营数量已达1000辆，其中公交560辆左右，物流车约430辆，轻客140辆。燃料电池汽车的示范运营也有利于向大众推广和普及相关知识，近距离感受氢燃料电池汽车的魅力。

表 1.6 燃料电池汽车运营现状

| 城市 | 运营情况 |
|-----|--|
| 佛山 | 2017年6月，全国首条商业化载客运营的氢能源公交示范线（Q101线）28辆公交，在佛山市正式运营 |
| | 2018年12月，佛山禅城区70辆氢燃料电池公交车运营启动 |
| | 2019年3月，佛山市飞驰汽车制造有限公司（下称“飞驰汽车”）向佛山市顺德区鸿运公共交通有限公司、佛山市三水区国 |
| | 鸿公共交通有限公司、佛山市汽车运输集团有限公司合计交付190辆氢燃料电池城市客车。 |
| 深圳 | 2019年3月，氢松用车旗下控股子公司深圳宏旭新能源汽车运营有限公司投放600辆燃料电池物流车运营，目前在运营100辆左右 |
| 新宾 | 2018年4月，40辆上汽FCV80型氢能源汽车上线运营 |
| 南阳 | 2019年4月26日，青年汽车为南阳打造的首批72辆氢燃料城市客车已经顺利完成交付 |
| 如皋 | 2018年6月，青年汽车集团与南通百应能源有限公司共同研发生产的3辆氢燃料电池大巴，成功交付如皋运营 |
| 成都 | 2018年6月，10辆东方电气和蜀都客车研发的氢燃料电池公交车投入郫都区P09公交线路载客运行，标志着四川省首条氢燃料电池客车示范线进入商业示范运行 |
| 聊城 | 2019年5月，首批30辆氢燃料新能源公交车已投放至K11路和K351路两条线路，开始上线试运营 |
| 德州 | 2019年5月，山东氢能汽车运营公司第一阶段投入30辆氢能物流车用于本地多家企业 |
| | 2018年12月，雄韬氢雄40台氢燃料电池公交车全部上牌，交付大同公交运营，这是山西省首批氢燃料电池公交车的上线 |
| 张家口 | 2018年7月，张家口2018年1月份订购的74辆氢能汽车（49辆氢燃料电池公交车和25辆氢燃料电池大客车）投向公交领域开始运行 |

| | |
|----|---|
| 武汉 | 2018年9月28日，由武汉泰歌和武汉开沃新能源汽车联合研制的首批氢动力公交车在武汉东湖新技术开发区359路公交线路试运行 |
| | 2019年1月，雄韬氢雄提供动力系统的20台燃料电池公交车投入武汉经开区的线路运营 |
| 郑州 | 2018年8月，郑州市首批3辆氢燃料电池公交车即将投入727路公交线路运行 |
| 上海 | 2018年9月27日，6台型号为SWB6128FCEV01的上海申沃客车全低地板燃料电池城市客车正式交付嘉定114公交 |
| | 2018年1月19日，上海汽车集团股份有限公司与上海化学工业区强强合作，现场交付的20台FCV80将在上海化学工业 |
| | 区内承担通勤职责。上汽大通相关负责人表示，首批100台氢燃料电池车FCV80将陆续交付 |
| | 2018年1月，东风500台氢燃料电池物流车全部上牌完毕在上海市开始落地运营，在运营数量300辆 |
| | 2019年1月，上海神力联合上海申龙客车有限公司研发的两款氢燃料电池公交车，正式交付上海奉贤巴士公共交通有限公司、上海奉贤汽车客运有限公司 |

资料来源:《燃料电池产业链系列报告之十》国金证券,深圳汽航院

(3) 燃料电池汽车产业政策分析

从氢燃料电池汽车产业链来看,政策可以分为燃料电池汽车氢能供给环节政策和燃料电池汽车氢能应用环节政策两大类,前者包括氢气制取、储运好加注等,后者包括氢气加注、车辆供氢系统及燃料电池电堆等。在我国燃料电池汽车氢能供给政策中,偏宏观的产业政策占了较大比例。我国已出台的二十多项车用氢能相关政策中,半数以上政策属于宏观偏向性政策,研发氢能利用基础技术仅是一个分支方向。而燃料电池汽车氢能应用相关政策基本是独立发布,我国对其的支持政策已形成包含示范推广、财政补贴、激励措施、税收减免、投资管理、准入管理、安全管理在内比较完善的体系。但是我国燃料电池汽车产业政策存在三个

突出问题：1.产业政策体系不够完善健全。现有政策主要以宏观产业引导和侧重技术研发的引导为主，缺乏系统的支持燃料电池汽车技术产业化和规模化示范应用的政策，我国许多地区和企业已经开展小规模氢能产业示范，我国从氢气纯化、运输产业支持、加氢站审批到加氢站运营管理等支持匮乏；2.产业政策重点偏差。在氢气制取等我国氢能技术相对成熟和产业化进程较快的环节，政策扶持密集。在车用氢能储运等薄弱环节反而鲜有支持政策；3.产业支持力度不足。相对燃料电池汽车应用，氢能供给环节基本没有政策支持，一些地方出台了专门的补贴政策，国家层面仍未出台明确支持政策，同时也要重视氢能供给产业化技术攻关。

现有技术创新与研发支持主要体现在宏观的新能源领域，燃料电池汽车产业仅是一个小分支，缺乏独立完善的支持政策。第一需要对车用氢能产业顶层设计进行完善，明确战略定位和发展路径；第二需要构建燃料电池汽车氢能供给产业政策体系，出台车用氢能运输、加注技术研发、应用示范和加氢站与氢安全管理等支持政策；第三是加快制定国家加氢基础设施指导战略，自2017年以来我国燃料电池汽车示范运行快速推进，但是氢能基础设施建设跟不上导致有车无氢。

参考文献

- [1] Bruce S, Temminghoff M, Hayward J, Schmidt E, Munnings C, Palfreyman D, Hartley P (2018) National Hydrogen Roadmap. CSIRO, Australia.
- [2] Hydrogen scaling up-A sustainable pathway for the global energy transition. Hydrogen Council. November 2017
- [3] 中国汽车技术研究中心有限公司.2018年车用氢能产业蓝皮书[M]北京:社会科学文献出版社,2018:201,384,404,422.

- [4] 沈浩明.中国氢燃料电池汽车产业发展研究.上海汽车.2018(04):35-39.
- [5] 程振彪.燃料电池汽车-新能源汽车最具战略意义的突破口[M]北京:机械工业出版社,2016:53-56,72,94.
- [6] 沃尔特·怀特, 罗纳德·瓦根伯格, 拉尔夫·纳尔逊著.刘经美, 张正国译.加拿大政府与政治[M]北京:北京大学出版社,2004年6月:10,11.
- [7] 蕙季.加拿大要造氢能公路[J].交通环保,2005(2):10-10.
- [8] 程振彪.我国应更加重视燃料电池汽车发展(连载二)[J].汽车科技,2016(06):17-19.
- [9] Ogden J W,hitsell D,Brisdon A K.世界各国聚焦氢能源经济[J].资源与人居环境,2010(3):38-40.

第二章 全球氢燃料电池汽车产业发展路线图

全球主要国家除了政策的发布,也制定适合本国国情的氢燃料电池汽车产业发展路线。所以,国内外氢燃料电池汽车产业发展路线各有特点,并且为未来氢燃料电池汽车产业的发展方向和定位起到重要导向作用,本章将分国家进行详细阐述本国的氢燃料电池汽车产业发展路线情况。

第一节 日本

一、“三步走”发展计划

(1) 2014年其本框架确立

2008年隶属于日本经济产业省的燃料电池商业化组织(FCCJ)发布了名为《燃料电池汽车和加氢站2015年商业化路线图》的文件,明确指出在2011~2015年间,重点开展氢燃料电池商业化的运行技术验证和市场应用示范,随后进入商业化推广阶段。2013年安倍政府推出的《日本再复兴战略》,把发展氢能源提升为国策,并启动加氢站建设的前期工作。2014年内阁修订《日本在复兴战略》,发出建设“氢能源社会”的呼吁。紧接着日本政府制定了第四次《能源基本计划》,将氢能源定位为与电力和热能并列的核心二次能源,提出建设“氢能源社会”。2014年6月12日,自民党的议案《实现氢社会政策建言》提出,2020年要使全日本氢燃料电池汽车的年销量达到4万辆,2030年达到40万辆,累计销量达到200万辆。同年同月19日,以此提案为基础,日本经济产业省制定了从目前到2040年的《日本氢能源普及路线图》,确认政府有必要在推广普及初级阶段向购车者提供补贴优惠,以减轻消费者的负担;同时政府与企业需通力合作,实现批量生产和技术创新等措施进一步降低成本。

按照这个路线图，日本确立了“三步走”发展战略框架，2015年和2020年是两个重要节点，前者为日本氢燃料电池汽车元年，意味着氢燃料电池汽车正式商业化入市，开始国内示范性推广普及应用；后者是与2020年东京奥运会前后，日本氢燃料电池汽车进军国际市场，推动全球范围内的普及应用。

第一阶段是从2014到2025年，扩大氢能的运用范围，旨在日本户用燃料电池装置的数量分别在2020年和2030年提高到140万台和530万台，2015年燃料电池车加氢站增加到100座。另外，日本氢能/燃料电池战略协会计划在2015年商业化燃料电池车，2016年商业化燃料电池公交，2017年商业化/产业化使用SOFCs（固态氧化物燃料电池）的燃料电池系统。第二阶段是2020年中期—2030年底，全面引入氢发电和建立大规模氢能供应系统，旨在从海外购氢的价格降到30日元/立方米，扩大日本商业用氢的流通网络，全面利用海外未使用的能源生产、运输、存储氢，全方位发展氢发电产业等。第三阶段从2040年开始，定位是建零二氧化碳的供氢系统建立期，旨在通过收集和储存二氧化碳，全面实现零排放的制氢、运氢、储氢。

（2）2015-2017年氢能基本战略

2015年安倍政府在实施政方针演说中表达了实现“氢能社会”的决心，旨在继续建造燃料电池加氢站之后，通过氢能发电站的商业运作来增加氢能流通量并降低价格。2016年日本经济产业省公布了燃料电池汽车的普及计划，计划到2025年度使供给加氢站增至320处，相当于目前的4倍。2017年12月，日本政府发布了《氢能基本战略》，明确设定了中期（2030年）、长期（2050年）的氢能发展目标。到2030年，燃料电池汽车的普及数将达到80万辆，同时加大燃料电池公交车和卡车的研发力度，实现氢能源发电商用化，以削减碳排放并提高能源自

给率；2050 年实现传统燃油车被燃料电池车取代。

根据《氢能基本战略》，日本计划了两种并行的制氢路线：一是海外进口廉价氢气；二是国内可再生能源制氢。海外制氢成为日本氢燃料的重要来源，海外制氢的方法主要有以下两种：利用海外廉价褐煤制氢；利用可再生能源禀赋条件好，发电成本的低的国家电解水制氢。日本川崎重工与澳大利亚政府达成一致，利用澳大利亚褐煤制氢，液态储存并海运回日本。由于海外储运成本高昂，日本国内 60%以上的氢气来源于盐水电解。在家用燃料电池热电联供应系统方面，日本家用热电联产系统 ENE-FARM 通过天然气重整制取氢气，再将氢气注入燃料电池中发电，同时用发电时产生的热能来供应暖气和热水，整体能源效率可达 90%。根据《氢能基本战略》，家用燃料电池系统市场销售目标到 2020 年达到 140 万台，2030 年达到 530 万台。截至 2017 年底，日本公共加氢站数量为 91 座，根据日本氢能源基本战略，2020 年要达 160 个，2025 年要达到 320 个，2030 年要增加到 900 个，到 2050 年加注站的经济效益将超过加油站，并逐步替代加油站。

(3) 2018-2019年第五次能源基本计划

2018 年日本新能源和产业技术综合开发机构制定了氢燃料汽车推广目标。根据目标规划，日本将在 2040 年普及氢燃料汽车，并且氢燃料电池车的续航里程将延长至目前的 1.5 倍，达到 1000 公里。到 2040 年该车型的保有量将由目前的 2000 辆，增加到 300 万至 600 万辆。2018 年 7 月 3 日，日本政府公布了最新制定的“第 5 次能源基本计划”，提出了日本能源转型战略的新目标、新路径和新方向，这是一份面向 2030 年以及 2050 年的日本能源中长期发展规划的政策指南和行动纲领。此次计划首次将可再生能源定位为 2050 年的“主力能源”，燃料电

池汽车要实现 2025 年的 20 万台和 2030 年的 80 万台市场目标；到 2025 年燃料电池电堆系统成本要从 2 万日元/kW 降至 0.5 万日元/kW(注：10000 日元约等于 600 元人民币左右)，储氢系统要从目前的 70 万日元降至 2030 年的 10~20 万日元，燃料电池整车车价与同等级别混动车差价要从目前的 300 万日元减少到 70 万日元。最大功率密度要从目前的 3.0kW/L 提高到 2030 年的 6.0kW/L，续航里程要从 2020 年 650 公里提高到 2030 年 800 公里。2025 年还计划开发出普及型的燃料电池车型。

燃料电池公交车方面，自 2017 年 3 月投入运营以来，截至 2019 年 2 月东京地区在运巴士有 18 台，2020 年东京奥运会之前要达到 100 台，2030 年要达到 1200 台。为此，2025 年之前车价要减半，即从目前的 1 亿零 500 万日元降至 5250 万日元，2030 年左右实现经济完全自立；燃料电池铲车方面，自 2017 年开始投放市场，截至 2019 年 2 月在各大机场与批发市场投运的铲车约 150 台，到 2020 年要达到 500 台，2030 年要达到 1 万台。与此同时要积极扩大海外市场销售；计划要开发燃料电池卡车、船舶和列车等其它交通工具。目前，日本利用海上风电制氢运营的燃料电池船舶已经下海；燃料电池物流车已试制完成；燃料电池动力列车被德国抢先，日本正在加紧追赶之中。此外，日本还计划将燃料电池技术推广应用到工业、宇航等领域。

商业加氢站方面，自 2013 年开始建设以来，截至 2019 年 3 月共开放了 103 个。2020 年要达到 160 个，2025 年要达到 320 个。为此，到 2025 年要大幅降低加氢站的建设运维费和关键设备成本，其中建设费从 3.5 亿日元减至 2 亿日元，运维费要从 3400 万日元/年降至 1500 万日元/年，压缩机从 0.9 亿日元降至 0.5 亿日元，蓄压器从 0.5 亿日元降至 0.1 亿日元。2020 年加氢站的机器装备将统一

规格，以进一步挖掘降价空间。加氢站运维费中的人力成本占据 35%左右，因此日本决定在东京奥运会之前设立无人值守的加氢站，今年 8 月前将完成相关法规、技术解决方案和安全措施的制定。

家用燃料电池方面，2009 年日本率先推出以家用燃料电池为主的小型热电联产系统，截至 2019 年 1 月，市场共售出 27.4 万台。价格从 10 年前的 300 多万日元降至今日的 94 万日元。2020 年将实现经济自立，其中固体高分子型燃料电池(PEFC)售价由 94 万日元降为 80 万日元，固体氧化物型燃料电池(SOFC)售价由 119 万日元降至 100 万日元，2030 年的市场普及目标要达到 530 万台，投资回收期由 7~8 年缩短至 5 年。商用和工业级燃料电池方面，到 2025 年发电效率要达到 55%以上，将来超过 65%。发电成本要与标杆电价持平，其中低压设备成本为 50 万日元/kW，发电成本为 25 日元/kWh，高压设备成本为 30 万日元/kW，发电成本为 17 日元/kWh。使用寿命从目前的 9 万小时要增加到 13 万小时。合并总结的日本燃料电池产业链路线图大致如下：

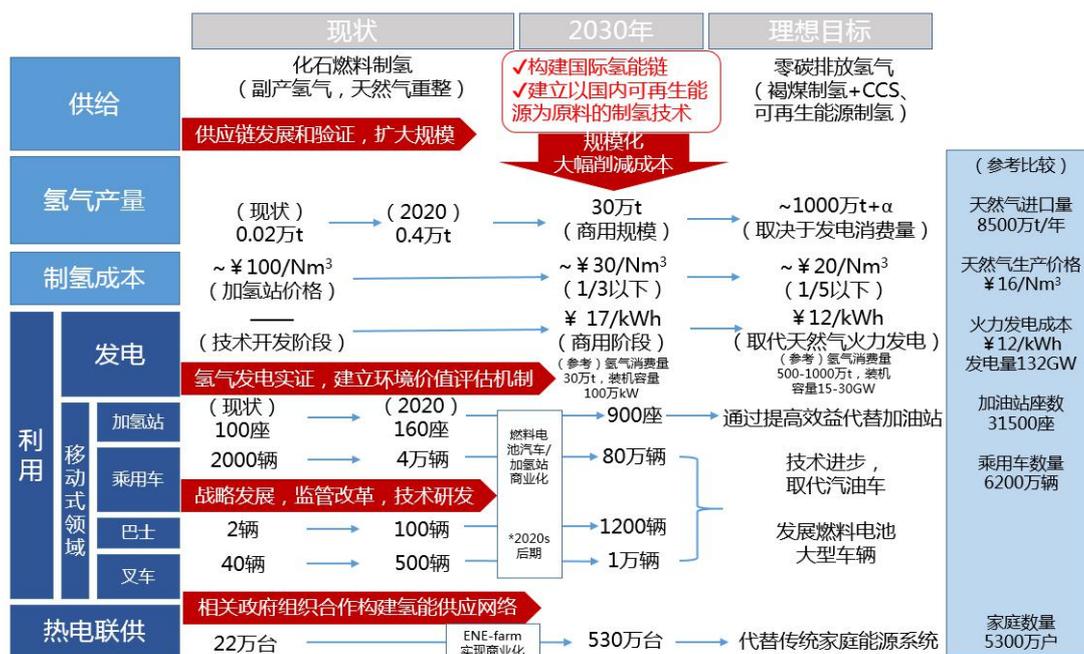


图 2.1 日本燃料电池产业链路线图示

数据来源：公开资料，深圳汽航院

2019 年 5 月日本主导的《东京宣言》则呼吁推动四方面的国际合作：一是，为加速氢制备成本和燃料电池汽车等氢能产品降价，各国要进行技术合作，加强法规和标准制定的协调；二是，为确保加氢站和储氢系统等相关设施的安全性，以及因地制宜建立氢能产业链，要积极推广和扩大氢能利用，推动各国联合研发；三是，为提高和分享对建设氢能社会的共识，调查和评估氢能的市場潜力、经济效果、CO₂ 减排效果具有重要的意义；四是，为扩大氢能产业投资，要加强氢能教育和宣传活动，以提高社会接受度。这标志着日本从氢燃料电池产业链的各个环节向构筑“氢能源社会”目标前进。

(3) 燃料电池堆量产化技术路线

日本燃料电池电堆技术已经相当成熟，在此基础上，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）提出了 2035 年日本国内实现燃料电池堆量产化的目标计划，相关目标包括：2020 年至 2035 年催化剂浆料连续生产中催化剂加工速度从 160g/小时提升至 480g/小时、单电池加工速度从 4s/片提升至 0.5s/片、电堆活化时间从 40min 降低至 0min、卷对卷生产工艺中 GDL 和触媒加工速度从 5-9m/min 提高到 50m/min。

表 2.1 燃料电池堆量产化路线图(NEDO 发布)

| 工程 年代 | 催化剂制备·混合 | 卷对卷 | 加工 | 活化·活化检查 |
|----------|-------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| 2020 | 连续生产 160g/h | 触媒:5-9m/min GDL:6.5m/min | 电池装配·压紧·搬运各工程 4s/片 | 活化 40min 在线全数检查 |
| 2025 | 连续生产 240g/h | 触媒:10m/min GDL:15m/min | 电池装配·压紧·搬运各工程 2s/片 | 活化 20min 在线全数检查 |

| | | | | |
|------|-------------|---------------------------|----------------------|--------------------------------|
| | | | | 检查项目 1/2 |
| 2030 | 连续生产 360g/h | 触媒:20m/min GDL:25m/min | 电池装配•压紧•搬运各工程 1s/片 | 活化 10min 在线全数检查 检查项目 1/4 |
| 2035 | 连续生产 480g/h | 触媒:50m/min GDL:50m/min | 电池装配•压紧•搬运各工程 0.5s/片 | 活化 0min 无全数检查 |

第二节 加拿大

从第一章加拿大燃料电池汽车发展的政府策略来看，加拿大的燃料电池产业基本是项目导向，通过大力扶持企业推广项目实施，主要集中于基础氢能设施技术和燃料电池系统，整车通过与国际主流车企合作实现，2000年6月通用汽车公司和 Hydrogenics 公司发布了第一代质子交换膜燃料电池车辆 HydroGen1，次年10月两家公司开发了低污染技术，为汽车和卡车提供动力；巴拉德生产的燃料电池系统广泛用于国际燃料电池轿车厂商和欧美燃料电池客车厂商。加拿大省级地区推出了各自的新能源汽车优惠政策，加拿大联邦政府并没有对这些优惠政策进行整合统一，也没有推出相关的监管政策。2019年最近一次新能源汽车补贴优惠政策修改，并没有从根本上提出新能源汽车的发展战略和思路。此次加拿大政府提出的新预算还增加了新能源汽车基础设施建设、配套新能源汽车停车设施等，唯独没有确定新能源汽车的发展节点和时间表。

第三节 美国

一、美国氢能技术发展四阶段

美国的氢能发展路线图从时间上分为4个阶段，从2000年至2040年，每个

阶段发展的侧重点不同，但相互关联。根据 2004 年美国能源部出台的《氢能技术研究、开发与示范行动计划》，标志着美国发展氢经济已从政策的评估、制定阶段开始步入以技术研究和示范为起点的系统化实施阶段，四个相互重叠、关联的阶段如下：

(1) 技术、政策和市场开发阶段（2000~2015年）

重点是：降低燃料电池制造的成本；开发固定储氢装置，主要是金属储氢材料，也包括开发新型碳结构；天然气继续作为制氢的主要原料；开发氢燃料发动机和继续完善氢燃料电池；进一步发展固定式质子交换膜燃料电池；汽车制造商开始批量生产氢燃料汽车；在建筑物中增加燃料电池组合供热、供能的试验；继续开发便携式氢燃料电池装置。第一阶段还包括出台与氢能有关的能源和环境政策，包括减少能源进口；控制温室气体排放；控制大气污染。在全球制定和完成安全使用氢能的标准；在美国完成电和天然气的市场结构重组，扩大分布式能源系统的应用，政府加强责任、许可和法律、法规的制定，构筑氢能商业化发展框架；政府发挥主导作用并鼓励企业业界积极参与。

(2) 向市场初步过渡阶段（2010~2025年）

在这一阶段挖掘出许多适用于氢经济的重要技术，其中最突出的通过发展大批量得固定和移动装置，进而达到降低燃料电池成本的目的；氢能供应的初始阶段已经准备就绪，特别是氢能廉价的生产 and 储存；天然气依旧是制氢的主要途径，煤的汽化、核能及可再生能源技术使用比重增加；重量轻、成本低的储氢装置开始商业化；能源生产基地和燃料供应站将包含分布式氢能生产系统，有些还包括可再生能源（如太阳能和风能）；一些将使用光生物和光化学技术；将进一步开发和广泛使用水力氢内燃机。

联邦和州政府在推动氢能技术向市场过渡方面有着重要作用。许多政府或公共部门将成为氢能的“第一用户”，如公共汽车，城市管理部门、消防、公安将使用分布式能源装置，以确保连续供应，氢能系统以其对环境的优势将被重点采纳。

(3) 市场扩大与基础设施建设阶段（2015~2035年）

此阶段先进技术已较大地降低制氢成本，公交车辆和政府车辆将普遍使用氢燃料电池。氢能的开发已从局部向全面推广，建立国家氢能基础设施。尽管氢已能通过多种途径生产，但煤和生物质还是作为主要的原料。大大小小的压力储氢容器将开始大规模生产，其他一些储存技术，如碳结构将根据商业化需要进入开发阶段。国家政策将支持氢能市场化扩展，国家和地方标准开始实施，使氢技术的效率变得更高。氢能技术与产品的商业化已基本实现，与氢能相关的基础设施，如加氢站、氢能运输系统等基础开始兴建，企业界已成为推动氢经济发展的主体。

(4) 实现向氢经济的转化阶段（2025~2040年）

这一阶段氢能将最终取代化石能源成为市场上最广泛使用的终端能源。经济性和对环境友好特性意味着氢将大量和廉价地来自于可再生能源制造，利用生物系统的氢“农场”，如藻类作物就可以制造氢，从煤和生物质汽化工厂也能大量地制造氢，生产中碳的回收减少了大气污染，被回收的碳还可以作为原料，制造其他材料。氢能的生产、存储、运输和应用产品全面实现商业化，并在全国范围建立起了与之相应的基础设施网，以氢能为基础的能源体系已基本建立。

(5) 路线分析

美国高度关注氢燃料电池技术的开发，从短期来看，主要由于大量利用化石能源造成严重的温室气体排放所承受的巨大国际压力，至今美国政府仍未签署联合国于1997年颁布的《京都议定书》规定发达国家应承担的减排义务。美国

另一个考虑是寄希望于通过高新技术的开发,创造更多的就业机会,调整本国的产业结构,提升其产品在国际市场上的竞争力、以及为增加目前的能源安全和电力供应可靠性需要。从长期来看,由于世界化石能源特别是石油资源将趋于枯竭,迫切需要寻求一种新的能源资源或产品,为向下一代能源体系转换及多样化做充分的技术准备和长时间的系统运行经验积累。

第四节 欧盟

一、欧盟氢能路线的三个阶段

欧盟氢能技术路线图从时间上划分为三个阶段,短期从2000年到2010年;中期从2010年到2020年;中远期从2020年到2050年。三阶段开发氢能的目标和侧重点不同,但总体上体现了欧盟发展氢能政策的连续性和一贯性。欧盟在由化石能源向氢能和可再生能源转型过程中,重点引入了可再生能源概念,利用风能、太阳能和生物质等生产氢能,强调利用可再生资源对减少温室气体和污染的作用。

(1) 第一阶段内容

提高使用可再生能源生产电的比例,由此通过电解等方法制取氢;提高化石能源技术的功效和化石液化燃料的质量;开始氢能和燃料电池的初级市场的应用,通过示范项目使公众逐步接受氢能概念;建设氢能管道系统,实施用于固定和移动应用的氢燃料加注IC工程;支持氢能基础设施的早期开发,解决关键技术瓶颈,如氢的制取、储存、安全;完善燃料电池的性能和价格。这一阶段将开发小于500kW的固定式高温燃料电池系统(MCFC/HSOFC);开发小于300kW的固定式低温燃料电池系统(PEM)。

(2) 第二阶段内容

继续增加生物质液化燃料的使用；继续使用通过化石原料(包括煤)转化为氢和燃料电池，这将有利于逐步实现氢经济和减少二氧化碳，这样产生的氢适合于常规的燃烧系统、氢气涡轮发电机和燃料电池系统，减少温室气体和污染物排放；完善可再生能源制氢系统，继续研究和开发其他无碳能源，如太阳能和先进的核能；系列化生产燃料电池汽车和其它运输工具，并使具有价格竞争力的氢能汽车进入家庭；建造分布式燃料电池电力供应站，使高温燃料电池系统(SOFC)达到小于 10000kW 级水平。欧盟要求到 2020 年，新的氢燃料家用车比例要达到 5%，其他氢燃料交通工具比例达到 2%。所有车的平均二氧化碳排放量减少 2.8g/km，二氧化碳年排放量减少 1500 万吨。

(3) 第三阶段内容

使氢能满足不断增长的能源需求，通过大量使用可再生能源和先进核能生产氢能；扩大氢能的分配网络，保持环境的良性循环；将目前 30%的加油站改建成加氢站，氢燃料汽车成为家庭用车的首选；逐渐改变目前以电力生产和电网分配为中心的能源供应模式，取而代之的是以燃料电池和智能网络分配为特征的分布式供能模式，氢能经济基本取代传统的化石能源经济。欧盟要求到 2040 年，新的氢燃料家用车比例要达到 35%，其他氢燃料交通工具比例达到 32%。所有车的平均二氧化碳排放量减少 44.8g/km，二氧化碳年排放量减少 2.4 亿吨。

根据距欧洲氢能路线，其规划的燃料电池产业长远目标主要有：2050 年欧洲可能产生大约 2250 太瓦时 (TWh) 的氢气，约占欧盟总能源需求的四分之一，为大约 4200 万辆大型汽车、170 万辆卡车、大约 25 万辆公共汽车和 5500 多辆火车提供燃料。它的供热量将超过相当于 5200 万户 (约 465 太瓦时)，并提供高达 10%的建筑用电需求；欧盟需要在 2050 年将其二氧化碳排放量从目前的

3500Mt 减少到 770Mt, 2050 年每年的氮氧化物排放量可减少 50Mt; 预计到 2030 年, 氢的部署将为欧盟公司的燃料和相关设备创造 1300 亿欧元的产业, 到 2050 年将达到 8200 亿欧元; 在运输方面, 到 2030 年, 燃料电池电动汽车 (FCEVs) 数量可能为乘用车的 1/22 和在售商用车的 1/12, 从而形成了 370 万辆燃料电池乘用车和 50 万辆燃料电池商用车的车队。此外, 到 2030 年, 约有 45000 辆燃料电池卡车和公共汽车可以上路。到 2030 年, 燃料电池列车还可以替换大约 570 辆柴油列车; 对于建筑部门来说, 到 2030 年, 氢能可以替代 7% 的天然气 (按体积计), 到 2040 年, 氢能可以替代 32%, 与此同时, 到 2040 年部署超过 250 万个燃料电池 CHP, 提高能源效率并将占电网中 15TWh 的电力份额; 在工业上, 到 2030 年, 包括炼油厂和氨生产在内的所有应用都可以实现向三分之一超低碳氢生产的过渡。此外, 具有较大减排潜力的应用, 如 DRI 炼钢, 必须进行大规模的可行性试验。在电力部门, “过剩”可再生能源如弃风和弃光, 其大规模转换为氢气, 大规模的氢气发电示范以及可再生能源-氢气发电厂也可能在 2030 年之前实现。

(4) 分析

欧盟想要实现这些雄心勃勃的里程碑, 需要政策制定者, 行业和投资者采取协调一致的方法, 否则氢能部署水平将会大大降低。在运输领域, 燃料电池汽车的部署达标困难, 尤其是在动力不足的情况下, 燃料电池汽车和加氢站将成为利基解决方案, 决策者和行业对其进一步发展的资金不足。由于欧盟工业缺乏强大的国内市场, 也不会大规模发展其氢能工业, 因此在国际上它很可能仍然缺乏竞争力。为所需的基础设施提供资金也是可能的: 每升汽油和柴油征收 1% 的 3 年税, 将很容易为整个欧盟范围内的基本氢燃料补充基础设施的建设提供资金, 到

2030 年为止，这项基础设施的建设将耗资约 80 亿欧元。通过智能规划和行业参与，这一必要的初始融资可能会进一步减少。此外，还需要充分的市场吸收政策框架，以促进和加速对不同产业链的投资。

欧盟拥有几个优势使其特别适合领导氢和燃料电池技术。首先，它在氢和燃料电池产业链上拥有世界级的参与者，可以推动氢解决方案的开发和部署。第二，它在氢能方面拥有强大的研究机构，并在欧盟、国家和区域各级支持研究、开发和部署（研发）。第三，欧盟致力于实现环境目标，如增加可再生能源、减少碳排放和减少地方排放，其公民的环境意识和意识很高。第四，它拥有广泛的天然气网络，可以依靠它来实现家庭和工业的脱碳。

第五节 韩国

一、力促2025年成本与燃油车持平

2019 年 1 月，在韩国蔚山市政府大楼召开的氢能经济战略报告会上，韩国产业通商资源部正式对外发布了该国《氢能经济活性化路线图》，计划到 2025 年将氢燃料电池乘用车的年产能提升至 10 万辆，售价降至目前的一半。早在 2018 年 8 月，韩国政府就将氢能经济与人工智能、大数据并列为三大战略投资领域。而后历经 3 个月，在听取了 100 多位专家意见后，韩国政府经研究分析制定了该路线图，囊括了氢能生产、运输、存储、使用等全部领域，旨在大力发展氢能产业，并在全球氢燃料电池车市场的发展中占得先机。

（1）总体规划

韩国作为一个能源进口大国，直在寻求其能源供给多样化，希望在核能、化石能源之外找到更多替代能源，可再生能源、氢燃料电池都在其选择范围之列。此前，韩国曾提出，计划在 2030 年用可再生能源来满足首都首尔 20% 的能源需

求，另有 10% 的能源供给则正是要由燃料电池来提供。韩国氢能产业发展规划主要如下：

表 2.2 移动工具发展规划

| | | 2018 年 | 2022 年 | 2040 年 |
|----------|------|----------------------------|-------------|----------------------|
| 移动工具 | 氢汽车 | 1800 台（内需） | 81000 台（内需） | 620 万台以上（内需） |
| | | 900 台（出口） | 67000 台（出口） | 290 万台（出口） |
| | 轿车 | 1800 台（内需） | 81000 台（内需） | 590 万台（内需） |
| | | 900 台（出口） | 67000 台（出口） | 275 万台（出口） |
| | 公交车 | 2 台 | 2000 台 | 6 万台（内需） 4 万台（出口） |
| 加氢站 | 14 个 | 310 个 | 1200 个以上 | |
| 火车船舶·无人机 | | 通过研发和测试 2030 年之前推进商业化和出口项目 | | |

表 2.3 氢能源发展规划

| | | | 2018 年 | 2022 年 | 2040 年 |
|----|-------|--------|-------------------|----------------------|------------------------|
| 能源 | 燃料电池 | 发电用 | 307.6MW | 1.5GW（内需） 1GW（出口） | 15GW 以上（内需） 8GW（出口） |
| | | 家庭·建筑用 | 7MW | 50MW | 2.1GW 以上 |
| | 燃料汽轮机 | | 30 年完成技术开发→商业开发理论 | | |

表 2.4 氢气供应及价格发展规划

| | | 2018 年 | 2022 年 | 2030 年 | 2040 年 |
|------|---------------|---------------------|----------------------|--|--|
| 氢气供应 | 供应量 （=需求量） | 13 万吨/年 | 47 万吨/年 | 194 万吨/年 | 526 万吨/年以上 |
| | 供应方式 | 副产氢（1%） 提取氢（99%） | 副产氢 提取氢 水电解 | 副产氢 提取氢（50%） 水电解 海外生产 （其余三种方式 共占 50%） | 副产氢 提取氢（30%） 水电解 海外生产 （其余三种方式共 占 70%） |
| | 氢气价格 | （政策价格） | 6000W/kg （初期市场价格） | 4000W/kg | 3000W/kg |

(2) 氢经济发展推进方案

韩国氢经济发展推进方案主要以氢汽车和燃料电池作为两大核心发展氢经济，虽然起步相较欧美较晚，但是韩国发展方案涉及内容全面且路线明确，这对韩国氢燃料电池产业飞速发展起到了关键作用，具体方案如下：

表 2.5 氢经济发展推进方案

| | | | | |
|---------------------|--------------------------------|---|------|-------------|
| 交通，能源等氢利用加速化 | | | | |
| 运用 | 交通 | 1.建立和扩大氢动力汽车的量产及普及 2.氢出租车、公共汽车等公共交通的转型 3.公共部门氢卡车利用 4.扩大全国的加氢站，确保自给自足 5.扩大船舶、火车、无人机等其他领域 | | |
| | 能源 | 1.普及和扩大发电用燃料电池及提取氢产业化 2.家庭和建筑的燃料电池扩展 3.氢燃料汽轮机的技术发展及产业化 | | |
| 生产 | Grey 氢气到 Green 氢气的转变 | | | |
| | Grey 氢气 | 副产氢的利用及生产大规模提取氢 | | |
| | Green 氢气 | 1.大量生产，电解水制氢及保障经济性 2.引进海外，零碳排放 | | |
| 氢气 储运 | 建立稳定、经济的氢气分配系统 | | | |
| | 储存 | 除高压气体外，还可多样化高效液体、液体和固体储存 | | |
| | 运输 | 建立全国范围的管道网络，促进氢载体等大规模配送 | | |
| 安全 | 提高国民对氢安全的认知及全周期氢的安全管理体系 | | | |
| 产业 生态 系统 | 技术革新 | 相关部门建立技术 | 专门人才 | 培养安全及核心技术人才 |
| | 标准化 | 全球建立氢标准 | 基础建设 | 建立氢技术基础基准 |
| | 法律基础 | 氢经济法、安全法 | 国际合作 | 作为领先国积极参与主导 |
| | 出口产业 | 大中小企业一同进军 | 生态系 | 建立健全的生态链 |

(3) 推进加氢站建设

随着氢能车的普及，政府扩大初期加氢站建设，支援建设补助金和市/省的

氢汽车供应相结合，在市区/高速公路服务区等交通网据点及公交/出租车停车场等地建设加氢站，并且放宽加氢站的限制，计划于 2022 年建成 310 个加氢站，2040 年建成 1200 个站。在加氢站技术要求方面，通过压缩机、高压阀门、储存容器等核心零件和充注器国产化来实现 30 年内加氢站的国产化率达到 100%；制定提高安全性的技术标准，如加氢站性能和零件安全评估技术；根据各地区的不同特性，制定最低廉的制氢方案；通过开发液化和液氢技术提高储存效率，通过使用氢气管道的大规模运输降低运输成本；维持加氢站建设补贴和运营补贴，直到氢价达到目标水平，根据氢价格下调，逐步缩小补助金。

第六节 中国

一、新能源汽车发展中的重要一环

我国新能源汽车技术路线经历了四个发展阶段，2003 年-2005 年：国家中长期科技发展规划确立了节能与新能源汽车战略（低能耗与新能源汽车）；2009 年-2012 年：科技部与工信部发展规划确立了“纯电驱动”技术转型战略；2014 年：发展新能源汽车受到中央领导核心的重视，习近平总书记亲自确立了发展新能源汽车的汽车强国战略，开启了中国新能源汽车产业化新阶段；2018 年 11 月：全国政协召开“促进新能源汽车产业健康发展”双周座谈会，一起研究制定面向 2035 年新能源汽车发展战略规划。我国氢燃料电池汽车没有独立的产业发展路线文件，一般都是规划到新能源汽车技术路线中。

（1）中国燃料电池汽车发展路线概况

2016 年 10 月 26 日，在中国汽车工程学会年会上，国家强国战略咨询委员会、清华大学教授欧阳明高作为代表发布了备受关注的《节能与新能源汽车技术路线图》。欧美、日韩等地区和国家基本完成了性能开发验证，已经迈入了燃料

电池汽车产业化的阶段,我国通过多年技术研究取得了不俗的成绩,我国先后在《中国制造 2025》、《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》、《“十三五”国家科技创新规划》和《“十三五”能源领域科技创新专项规划》等规划方案中,提出重点发展氢能与燃料电池汽车产业。2017 年,国家正式出台了燃料电池汽车推广应用补贴政策。2018 年,国家财政投资规划氢燃料电池产业资金超过 850 亿元,到年底,我国燃料电池车产量 1619 辆,同比增加 27%;41 家中国整车企业开始研发氢燃料电池汽车;已运营及在建加氢站分别有 19 座、45 座。在系统比功率、寿命、关键零部件生产工艺、车载供氢及成本控制等方面,和国际领先水平仍有差距。随着车用燃料电池技术发展方向逐渐明确,除了燃料电池材料、电池堆、系统、整车动力系统以及氢能基础等产业链技术进一步发展和性能提升,未来趋势主要体现在燃料电池的模块化、氢燃料电池汽车动力系统混合化、氢气车载形式和氢气来源多样化、示范运行规模化等。具体内容如下:

表 2.6 中国燃料电池汽车发展路线具体内容

| | | 2020 年 | 2025 年 | 2030 年 |
|---------------------------------|------|---|---|---|
| 总体目标 | | 在特定地区的公共服务用车领域小规模示范应用规模 5000 辆 (累计)燃料电池系统产能超过 1000 套 / 企业 | 在城市私人用车、公共服务用车领域实现大批量应用规模 5 万辆 (累计)燃料电池系统产能超过 1 万套 / 企业 | 在私人乘用车、大型商用车领域实现大规模商业化推广规模 100 万辆 (累计)燃料电池系统产能超过 10 万套 / 企业 |
| 氢 燃 料 电 池 汽 车 | 功能要求 | 冷启动温度达到-30℃, 动力系统构型设计优化, 整车成本与纯电动汽车相当 | 冷启动温度达到-40℃, 批量化降低整车购置成本, 与同级别混合动力汽车相当 | 整车性能达到与传统内燃机汽车相当, 具有相对产品竞争力和优势 |
| | 商用车 | 最高车速≥80km/h 成本≤150 万元 | 最高车速≥80km/h 成本≤100 万元 | 最高车速≥80km/h 成本≤60 万元 |
| | 乘用车 | 最高车速≥180km/h 寿命 20 万 km 成本≤30 万元 | 最高车速≥180km/h 寿命 25 万 km 成本≤20 万元 | 最高车速≥180km/h 寿命 30 万 km 成本≤18 万元 |

| | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|---|---|-----------------------------|
| 共 性 关 键 技 术 | 燃料 电 池 堆 技 术 | 冷启动温度<-30℃ 比功率 2kW/kg 或 3kW/L 寿命达到 5000h | 冷启动温度<-40℃ 比功率 2.5kW/kg 寿命达到 6000h 以上 | 寿命达到 8000h 以上 |
| | 基础 材 料 技 术 | 高性能膜材料、低铅催化剂及金 属双极板技术 | 高可靠性膜、催化剂及双极板技 术 | 低成本膜电极、双极板技术 |
| | 控制 技 术 | 燃料电池优化控制技术 | 燃料电池高可靠性控制技术 | 燃料电池低成本、高集成化控制技 术 |
| | 储氢 技 术 | 供给系统关键部件开发技术；高 压储氢技术和氢安全技术 | 供给系统关键部件高可靠性技 术；储氢系统高可靠性技术 | 供给系统关键部件低成本技术；储 氢系统低成本技术 |
| 关键零部 件技术 | | 高速无油空气压缩机、氢循环系统、70MPa 储氢瓶等关键系统附件的性能满足车用指标要求，系统成本 低于 200 元/kW | | |
| 氢 能 基 础 设 施 | 氢气 供 应 | 可再生能源分布式制氢；焦炉煤气等副产氢气制氢高效低成本氢气 分离纯化技术 | | 可再生能源分布式制氢 |
| | 氢气 运 输 | 高压气态氢气储存与运输 | 低温液体氢气运输 | 常压高密度有机液体储氢与运输 |
| | 加氢 站 | 100 座 | 350 座 | 1000 座 |

数据来源：节能与新能源汽车技术路线图、国泰君安证券研究

总体实施路径是通过三个五年的技术研发、示范考核和领域推广，开展燃料电池关键材料技术、燃料电池堆技术、系统集成与控制技术、动力系统开发技术以及制氢、储氢、运氢等基础技术研究，掌握氢燃料电池汽车的设计与集成技术，完善包括燃料电池电堆及其关键材料、燃料电池系统及核心部件、氢燃料电池汽车及管件零部件、氢能供应基础设施在内的完整的技术链和产业链，实现构建面向未来的清洁、低碳、高效氢燃料电池汽车研发和应用体系的整体发展目标。在省市层面，北京、上海、广东、湖北、江苏等 10 省市出台了燃料电池汽车相关政策，2018 年，上海发布《上海市燃料电池汽车发展规划》，明确燃料电池汽车

技术发展路线，力争 3-5 年建成“环上海加氢站走廊”；武汉发布《氢能产业发展规划方案》，提出到 2025 年建成 3~5 家氢能国际领军企业，建设 30~100 座加氢站，力争氢能燃料电池全产业链年产值突破 1000 亿元，将武汉打造为世界级新型氢能城市。

(2) 燃料电池汽车发展思路

根据路线图，可以整理出我国燃料电池汽车整体发展思路。

1.近期（5 年内）以中等功率燃料电池与大容量动力电池的深度混合动力构型为技术特征，实现燃料电池汽车在特定地区的公共服务用车领域大规模示范应用。

2.中期（10 年内）以大功率燃料电池与中等容量动力电池的电电混合为特征，实现燃料电池汽车的较大规模批量化商业应用。

3.远期（15 年内）以全功率燃料电池为动力特征，以可再生能源为主的氢能供应体系建设与规模扩大支撑燃料电池汽车规模化发展，在大型商用车、私人乘用车领域可实现百万辆规模的商业推广。

氢燃料电池汽车技术路线以实现氢燃料电池汽车产业化为目标，开展燃料电池系统、燃料电堆及材料、车载储氢与加氢站等关键产业环节技术与产品攻关，突破核心技术，提高性能并进一步降低成本，建立并完善燃料电池关键技术及产业链，使得燃料电池乘用车与商用车具有较强市场竞争力并实现产业化。

(3) 路线分析

目前能源和环境的问题影响我国经济的高速增长，能源短缺和环境恶化问题日益突出，阻碍了中国可持续发展，需尽快根据我国国情制定符合的氢燃料电池汽车产业发展战略。我国需要将开发氢能纳入国家长期能源战略，制定专门的关

于氢能中长期发展战略和详细的实施计划。政府加大扶持力度，由于燃料电池公交和物流车技术门槛较低，在推广宣传和宣传方面更具有优势，所以扩大燃料电池客车示范项目的普及，可提高民众的接受度，成为燃料电池汽车的突破口，并且出台氢能基础设施扶持政策，加大氢能能源开发的投资力度。另外，国家有关部门需将氢燃料电池汽车版块独立出来，制定目标明确的氢燃料电池汽车产业化路线图，政府主导投资并和企业通力合作。建立更多的产、学、研合作机制和合作平台，尤其是氢能利用基础技术研究，促使国家大型能源企业和汽车制造企业参与氢能开发进程。为了顺应“氢经济时代”的潮流，氢基础设施的建设（氢运输管道、储存设施、加氢站等）需要提速，将氢能基础设施建设纳入国家基础设施建设和城市建设的整体规划中。

参考文献

- [1] 甄子健.日本燃料电池汽车产业化技术及战略路线图分析[J].电工电能新技术,2016,35(7):50-54.
- [2] Canadian Fuel Cell Commercialization Roadmap Update. Government of Canada, 2008.
- [3] 顾钢.国外氢能技术路线图及对我国的启示[J].国际技术经济研究,2004,7(4):34-37.
- [4] 韩国总统文在寅.韩国氢能经济发展路线图.韩国政府，2019.
- [5] Hydrogen Roadmap Europe.燃料电池与氢能联合组织（FCH JU），2019.
- [6] 毛宗强.氢能与燃料电池汽车在美国风光依旧[J].工厂动力,2009(4):24-30.
- [7] 中国燃料电池汽车发展路线图.中国汽车技术研究中心，2017.

- [8] 程振彪.我国应更加重视燃料电池汽车发展(连载二)[J].汽车科技,2016(06):17-19.
- [9] 陈晨,李霞,莫桓.聚焦各国燃料电池产业政策发展[J].电器工业,2015(6):71-73.
- [10] 周杰.日本能源发展规划六大新看点[J].经济,2018,No.291(16):74-76.
- [11] 王林.提高能效推动燃料电池应用[J].能源研究与利用,2015(4).

第 II 部份 市场篇

第三章 全球氢燃料电池汽车市场发展情况

第一节 日本

(1) 燃料电池汽车技术世界领先

汽车技术在乘用车和商用车领域走在世界的前端。早在二十世纪 90 年代，日本丰田汽车公司就开始了对其对氢能的探索，从兴趣小组形式发展到现在的能源研发部，随后本田和日产也紧随脚步开展燃料电池汽车的研究。目前，丰田本田开发的燃料电池乘用车已率先迈入量产化阶段，经过二十年多年的技术积累，2014 年丰田推出世界第一款量产燃料电池汽车 Mirai，最高车速达 175km/h，能够-30 度低温启动，一次加氢续航里程达 700km，搭载有两个 70MPa 氢气罐，单次充气 3 分钟，此外，汽车后盖箱有一个电源输出插口，用专用的电源线连接家庭插座，可以保证一户人家一个星期的照明、空调、冰箱、做饭、洗澡等的电力所需。Mirai 在日本和美国等市场已经销售了 16000 多辆(中国市场尚未销售)。丰田正在建设新的自动化生产线，并计划扩大燃料电池(氢氧合成装置)与高压氢气罐的生产能力，计划在明年(2020 年)投产，生产能力将提高 10 倍。此外，丰田公司计划在 2050 年内全面停止生产燃油汽车，转向燃料电池和纯电动汽车。

本田也一直致力于燃料电池汽车技术的研发，其开发的 FCX Clarity 燃料电池汽车续航里程达到了 750km，2018 年已经销售至北美和日本本土市场；在商用车方面，丰田推出燃料电池公交车—SORA，搭载丰田自主研发燃料电池组，配备 10 个 70MPa 储氢瓶，一次加氢续航里程为 200km，2017 年开始在东京，名古屋等城市投入使用，丰田将为 2020 年东京奥运会提供 100 多辆燃料电池公

交车 SORA。此外，丰田还将推出燃料电池卡车 Project Portal(2.0)即燃料电池卡车 Alpha 的升级版，续航里程达 500km。

现阶段氢燃料电池汽车推广仍然受到加氢站等基础设施的限制，日产公司在 2016 年对外公布了其搭载 5kW SOFC 动力系统的燃料电池汽车“e-NV200”，在巴西完成了第一阶段的路面测试，该套系统使用乙醇作为燃料续航里程达到 600 公里，日产计划 2020 年实现该车量产，能够从核心上解决燃料电池汽车推广成本高的问题

(2) 带动全球合作

实际上，丰田，本田等车企可以看作是日本氢能发展规划中的重要棋子。对于日本来说，氢能源的研发与使用，不只是一个技术与生产的问题，更重要的是形成全社会的产业链。打造这一个产业链，日本已经花了 5 年左右的时间，从液化气的进口（国际商社）、氢气制造加工储存（岩谷集团等公司）、氢能源汽车的制造（丰田等）、高压气罐的研发制造（三菱重工等）、汽车与气罐新材料的研发生产（东丽公司等）、氢气运输车运输船的研发制造、高压氢气的安全运输、加氢站的建设与普及、氢能源汽车的销售与售后服务等。整个产业链的完整构建，才能确保丰田氢能源汽车在 2016 年正式投放市场。

制氢成本高、使用率低是制约日本实现氢能源基本战略的主要瓶颈。在目前的技术水平上，氢气生产成本过高导致目前市场氢气价格远高于天然气等常用能源价格，很难获得能源市场上的一席之地。同时，提高氢发电效率的技术难题也急需解决。氢燃料电池汽车成本仍处“奢侈”行列。为了联合全球力量突破技术壁垒，2015 年丰田汽车公司提出将 5680 个燃料电池汽车技术专利免费开放，其中关于氢气生产技术加氢站建设技术的 70 件专利无限期开放；其他专利开放至

2020年。其目的是带动世界性氢燃料技术的普及发展，培养市场规模，共同攻坚技术难题，以期将来在更大的市场中获得利益。

第二节 加拿大

一、支柱产业

(1) 2001-2010年迅猛发展

自2001年加拿大运输燃料电池协会组建开始到2010年冬奥会，加拿大通过各种示范项目实施，确立了世界燃料电池的霸主地位。加拿大对氢能的研究与开发投入在持续增加，2003年就从2002年的2.76亿美元增至2.9亿美元，后续5年里，氢能开发投入达到了10亿美元以上。加拿大在氢能领域拥有的专利2003年达581项，比2002年增加34%；加拿大氢能公司示范推广的氢能项目从2002年的79项增至262项；2004年的报告显示，在过去5年里，加拿大的氢能公司数目增加了一倍。加拿大现有与氢技术直接有关的公司超过了一百家，其中包括研发燃料电池的世界巨头巴拉德公司，开发燃料电池测试系统技术的Hydrogenics公司和研发氢气压缩机的Dynetech工业公司等，加拿大的长期目标是抢占世界氢能领域的制高点。

巴拉德动力系统公司（Ballard Power System Inc）成立于1979年，公司从1983年开始一直致力于燃料电池的开发制造，在30余年的经验积累下，目前已经成为质子交换膜燃料电池技术的全球领导者，是世界上最大的集设计、开发、生产、销售、服务为一体的质子交换膜燃料电池企业，产品畅销于欧美、日韩、中国等地的车企；Hydrogenics成立于1948年，是基于水电解和质子交换膜技术的氢生成和燃料电池产品的开发商和制造商，在比利时、德国、美国也建立了生产基地。总部位于加拿大安大略省Mississauga，在德国格拉德贝克设有卫星设施，开发

和生产氢气发电、储能和燃料电池产品。Hydrogenics 在比利时，加拿大和德国开展业务，在美国，印度尼西亚，马来西亚和俄罗斯设有办事处。氢能公司发展为在设计、制造和安装商业氢系统、燃料电池及兆瓦级储能解决方案领域有着 60 多年经验的全球领袖。2018 年 6 月 25 日为美国第一艘高速海船提供燃料电池。

（2）国际合作

基于加拿大政府扶持力度有限，加拿大许多企业选择寻求国际合作缓解资金压力。2007 年 11 月 7 日，加拿大巴拉德动力系统公司宣布，将旗下汽车燃料电池业务出售给德国戴姆勒集团和福特汽车公司。作为世界范围内燃料电池处于技术领先地位的巴拉德动力系统公司，此次剥离给戴姆勒和福特的业务包括汽车燃料电池部分知识产权、113 名公司的科研人员和部分试验实施。但巴拉德公司并没有完全放弃燃料电池汽车业务，它仍然在福特和戴姆勒控股的公司中持有 19.9% 的股份，只是它自己无需再投入资金，将全部精力集中到备用电力、居民用途等更有商业前途的市场。2015 年 6 月加拿大巴拉德动力系统公司在北京分别与南通泽禾新能源科技有限公司（“泽禾”）和广东鸿运氢能源科技有限公司（“鸿运”）签署价值 1000 万加元（约合 5000 万人民币的最终许可协议和供应协定，为中国两座城市首批部署的 33 辆燃料电池动力公共汽车提供燃料电池动力产品和技术解决方案。2016 年大洋电机和 2018 年潍柴动力相继成为巴拉德的最大股东。

2010 年 9 月，Hydrogenics 与总部位于北卡罗来纳州 Hickory 的跨国电信公司 CommScope Inc.（康普投资）结盟。根据联盟，康普投资 850 万美元在 Hydrogenics，作为联合产品开发计划的一部分。Hydrogenics 在中国的合作伙伴很多，最广为人知的是 Hydrogenics 是亿华通的燃料电池系统供应商，及福建雪

人股份认购了 Hydrogenics 不超过 17.6%的股份。

(3) 探索努力

加拿大企业和政府都在寻求适合自我国情的燃料电池汽车发展路线,加拿大氢能公司总裁兼 CEO Daryl Wilson 在中国电动汽车百人会论坛(2018)演讲指出,加拿大燃料电池产业取得了丰硕的成果,也面临许多困难,安全以及降低成本至关重要,尤其是膜技术、双极板、膜电极等关键部件,其次需要部署更多的氢能基础设施。加拿大联邦政府需要对地方优惠政策进行整合统一,推出相关的监管政策,在增加燃料电池汽车补贴力度的同时寻求新途径鼓励汽车制造商和零部件制造商等汽车生产链企业,比如设立基金制度刺激行业发展。Joi Scientific 的 Hydrogen 2.0 技术使用高效,高通量系统从未经处理的海水中释放氢气。作为加拿大东部海上省的主要电力公司,2019 年初 New Brunswick Power 宣布将与 Joi Scientific 合作开发世界上第一个氢能分布式电网,随着氢能基础技术的逐步成熟,加拿大燃料电池汽车产业即将迈入新的阶段。

第三节 美国

一、美国燃料电池汽车产业蓬勃发展

截至 2019 年,美国拥有超过 50 座加氢站在运营,总数量处于世界第三,加州加氢站占比超过了 80%,这为燃料电池汽车示范运行和产业化提供了良好的基础条件。

(1) 燃料电池客车示范运行

2003 年 Freedom Car 计划的提出,进一步明确了燃料电池技术发展目标,极大地推动了燃料电池汽车技术进步和示范运行的组织开展。从世界范围来看,美国已成为世界上开展燃料电池公共客车示范最广、规模最大的国家。美国在城市

中心进行了许多氢燃料汽车项目，通过政府提供燃料费用和补贴来鼓励交通公司使用燃料电池客车。通过这些巴士的试运营情况，NREL 评估燃料电池的系统运行情况，并将其中的经验用于下一代燃料电池系统。从 NREL 公布的美国燃料电池巴士运营的评估报告来看，截至 2018 年底计划内共有 40 个燃料电池项目，其中 12 个在运营，9 个在规划中，已完成 9 个，正在运营的大巴数量达到了 35 辆，另外有 39 辆大巴正在制造。国内知名新能源客车制造商比亚迪参与了其中一个项目，该项目是一个机场摆渡大巴规划，正处于规划状态，燃料电池系统由美国混合动力提供。在动力系统方面，这一批项目所有的燃料电池大巴几乎都使用以氢为燃料电池的混合动力系统。

(2) 燃料电池汽车的行业先锋

在世界氢燃料电池汽车研发的早期阶段，美国通用是发展最快的跨过汽车公司之一。2000 年悉尼奥运会上通用汽车公司推出用液氢作为燃料的“氢动一号”作为运动场工作车，液态储氢 5kg，输出功率 80kW。2003 年，通用“氢动二号”推出，采用完全由软件控制电子信号“线传”技术 Hy-wire。此后，在优化“氢动一号”的基础上，开发出“氢动三号”燃料电池汽车，搭配液氢储罐的型号续航里程达到了 400km。2008 年，通用又开发出第四代氢燃料汽车“氢动四号”即雪佛兰 Equinox，输出功率达到 93kW，搭配三个 70MPa 高压储气罐续航里程达到了 320km。该车作为示范车辆向纽约市投放和租赁给美国军方，基于军民两用的市场发展策略，美国车企和军方一直有燃料电池相关合作，2013 年 7 月通用和陆军坦克和自动车辆及工程中心签订了五年合作协议。2017 年通用汽车向媒体代表展示了名叫 SURUS (Silent Utility Rover Universal Superstructure) 燃料电池电动汽车平台，它是一辆很大的无人驾驶汽车，尺寸和集装箱接近，可用作移动和

应急发电设备、用于货物运输，主要供给军队使用。通用汽车还开发 Chevrolet Colorado ZH2 氢动力皮卡，已在美军处测试。继“氢动四号”后，通用又研发出应用第五代燃料电池系统的 Volt 插电式燃料电池汽车，续航里程高达 480km，铂金属用量相比上一代减少三分之一，重量减轻 30%，电电混合模式效率更高。

美国燃料电池汽车可谓行业的先锋和先驱，此类汽车实际道路行驶里程总计超过了 600 万公里，已销售和租赁的燃料电池车数量超过了 6500，积累了大量技术成果，2002-2012 年氢燃料电池汽车技术专利统计中，美国居于首位，2015 年后就可实现商业化。在产业发展需要大量资金投入和目前无法为消费者提供长期使用的技术双重困境下，美国车企转向了寻找汽车行业以外的合作伙伴以及商业收入机会。通用与法国利勃海尔航空航天公司达成独家协议，开发用于飞机的氢燃料电池辅助动力装置（Auxiliary Power Unit）。辅助动力装置通常为飞机照明、空调、备用系统和其他辅助功能提供动力。2017 年，通用正式启动了一个燃料电池军事应用的专项防务部门。

（3）燃料电池叉车行业成熟

如今美国拥有超过 2 万台燃料电池叉车，普拉格能源公司（Plug Power Inc）与 1997 年成立于美国特拉华州，是一家全球大规模的兼设计、开发、制造和商业销售的综合性燃料电池系统供应商，专注于燃料电池在物资搬运设备领域即燃料电池叉车的应用。普拉格在该领域处于全球领先地位，拥有燃料电池叉车市场最大份额 95%，同时兼顾固定式电源业务。公司主打产品是用于叉车的质子交换膜燃料电池系统 Gen Drive，累计销售超过两万五千多件，是公司最主要业务和盈利来源。2018 年 6 月 Plug Power 收购了 AFC，将 AFC 的膜电极组件技术引入到 Pro Gen 氢燃料电池系统中，功率密度提升至两倍，而且寿命更长。2018 年 9

月，Plug Power 与伦斯勒理工学院(RPI)自动化技术和系统中心以及国家可再生能源实验室合作，利用美国能源部 200 万美元的赠款开发机器人加氢站，目标是提高仓库设施中氢动力汽车的易用性和效率。目前，这项技术可以对现有的 Gen Fuel 站点进行改造，以支持现场超过 20000 个 Gen Drive 燃料电池，未来这项技术可以用于道路上的车队车辆、自动驾驶车辆和自动驾驶乘用车。

第四节 欧盟

一、各国协同发力

(1) 燃料电池车技术持续创新

在业界，戴姆勒-奔驰是对燃料电池汽车发展最积极、最坚定的实践推动者。作为世界首辆（内燃机）传统汽车的发明者，于 1994 年就推出全球第一辆燃料电池汽车，第一代的 Nekar，是基于奔驰公司的 MB100 的小面包平台改装而成，电堆输出功率 30kW，续航里程仅 130km，采用高压氢罐储氢。之后，奔驰相继研发出 Nekar2-Nekar4 型氢燃料电池汽车，1999 年和 2000 年推出的 Nekar4a 和 Nekar4 同样也是和 Nekar3 一样的平台，但是它们的氢的储存方式不一样。Nekar4a 基于液体储氢的思路，配置了压力为 9kg，低温储存箱在零下 200 多度的氢系统。其续航能力达到了 450 公里以上，充分体现了液体氢的优势。一年以后推出的 Nekar4 依旧采用高压氢瓶，在有限的空间里仅能携带 2.7kg 的氢气，续航里程仅 200 多公里，此时的电堆技术已经可以发展到了 75kW 的等级，最高车速 145kW/h。2002 年 5 月到 6 月 3 辆 Nekar 5 在美国完成了测试，续航里程突破了 500km，后续该车生产了几百台，在德国通过特种租赁的方式进行推广测试。2004 年，梅赛德斯-奔驰 A 级燃料电池轿车面世，向柏林市等客户交付 10 辆用于示范运行。2009 年，奔驰研发了新一代 B 级 F-cell 氢燃料电池轿车并投产，首批 200 辆于

2010年初交付欧美客户示范运用，一次加氢只需3分钟，携带压缩氢气4kg续航达400km，最高时速170km，电堆可在-25℃下启动，相较04年的A级燃料电池轿车驱动系统，体积缩小了40%，燃料消耗减少30%而输出功率增加30%，2011年三辆B级燃料电池轿车完成了“F-cell World Drive”环球测试。

为了克服在燃料电池汽车产业发展中遇到的困难和技术瓶颈，戴姆勒-奔驰与福特、日产等战略合作于2017推出了首款GLC F-CELL氢燃料电池动力车型。奔驰GLC F-CELL版搭载9千瓦时的电池组，能提供50公里的续航里程，加上氢能源，该车的总续航里程可达到500公里，计划于2018年投产。

在燃料电池商用车领域，1997年奔驰推出了NEBUS O 405 N，首次将燃料电池技术引入商用车领域。该车的氢燃料储存在车顶上的七个玻璃纤维包裹的铝罐中，可支持续航250km，足以应付一辆城市公共汽车的日常工作量。2003年，奔驰以Citaro客车为原型制造首批30辆150kW燃料电池城市公交车在欧洲城市投入运营，随后氢燃料电池大巴在世界各地陆续装备起来。2005年，梅赛德斯-奔驰在第39届东京车展上推出了F600研究车HYGENIUS，新车输出功率85kW/115hp，最高车速140km/h，续航里程可达400km，但所配备的燃料电池系统在效率和性能显著提升的基础上，体积减少了40%。2018年奔驰推出一款燃料电池车Concept Sprinter F-CELL，涵盖房车，小巴和物流车三种车型，电动机最大功率为147kW，可以存储4.5kg的氢气，与此同时外加车辆安装的动力电池，可以让车辆行驶300公里。

德国大众在发展氢燃料电池汽车上并不算最积极的车企，然而2014年12月在洛杉矶国际车展上，该公司一口气展出三款氢燃料电池汽车（高尔夫Hymontion，大众帕萨特Hymontion和奥迪A7h-tron等概念车），装备公司自主

研发的第四代 100kW 级电堆。尽管大众认为氢燃料电池汽车在 2020 年之前难以普及应用，但始终将其视为汽车电动化战略非常重要的一环，现已着手研发第五代燃料电池电堆。

（2）加氢站建设加速

欧洲加氢站事业在各国政府和企业的通力合作下，短短几年全欧洲运行的加氢站已经超过了 140 座，占全球比例 40%以上，截至 2018 年 9 月德国正在运营的加氢站有 50 座，超过美国成为世界上加氢站第二多的国家。壳牌公司于 2011 年在德国建立了第一座加氢站，此后奔驰与德国林德合作，从 2012 年起投资数千万欧元，至 2015 年在德国境内增设 15 座加氢站。2013 年奔驰与道达尔、德国林德、奥地利石油燃气、荷兰皇家壳牌等五家企业合作，倾注 3.5 亿欧元投资，启动为期十年的“H₂ Mobility”建设项目计划以推动的德国加氢站建设，2023 年增加到 400 座。该项目作为“国家氢和氢燃料电池技术创新计划（NIP）”的一部分得到了德国国家氢能和燃料电池技术组织（NOW）的支持。

世界老牌汽车强国英国对发展新能源汽车保持十分积极的态度，联邦政府计划从 2015 年起逐步实现氢燃料电池汽车的本土化生产，2012 年 1 月联邦政府宣布实施“英国 H₂ Mobility”计划，参与企业有戴姆勒-奔驰、丰田、本田、现代、英国日产等，力争 2050 年之前零排放汽车市场占有率达 30%-50%。2014 年 10 月，联邦政府宣布投资 1100 万英镑用于加氢站建设，2015 前后加氢站增加到 15 座，最终按照“英国 H₂ Mobility”计划增加到 65 座，逐步实现全国网络覆盖。

荷兰是发展氢燃料电池汽车最积极的国家之一，2013 年 5 月荷兰住房、空间规划与环境部（VROM）宣布 2014-2015 内通过多项措施推广燃料电池汽车的应用，鹿特丹和埃因霍恩已增设了两座加氢站，JP 德密公司新能源技术丰厚，

主要从事新一代氢燃料电池的研发，并推广到实际应用中。丹麦是当今世界上加氢站最为密集的国家之一，这为全球主流车企大力推广氢燃料电池汽车进入丹麦提供了极大的支持。自从韩国现代在 2014 年将其途胜氢燃料电池汽车正式在丹麦开售以来，一年内丹麦境内的氢燃料电池汽车数量几乎翻倍。丰田也在 2015 年将其 Mirai 引入丹麦，本田则在 2016 年向丹麦引进了 Clarity 氢燃料电池汽车。

瑞典斯德哥尔摩首个加氢站建成于 2015 年 9 月份，加氢站获得欧盟“交通用氢能基础设施计划（HIT-2）”的资助，该加氢站由全球氢能技术领导企业林德（Linde）公司建设。作为全球氢能基础设施的龙头，林德公司已经在全球 15 个国家设立超过 100 个加氢站，累计加氢次数达 10 万次。法国 Air Liquide 公司掌握着从生产、仓储、配送以及终端客户应用开发等领域的氢能全供应链。该公司一直致力于推广氢能在交通运输领域的应用。在全球范围内 Air Liquide 已经成功建设了 75 个加氢站，其中 5 个位于法国。

第五节 韩国

一、另辟蹊径飞速发展

（1）燃料电池研发基础共性技术

亚洲范围内，韩国是排在日本之后对发展氢燃料电池汽车最积极的国家，韩国政府在燃料电池研发基础共性技术上的投入巨大，给氢燃料电池汽车的推广应用创造条件。2019 年韩国加氢站计划已确定增至 27 座，主要分布于首尔城市圈内。根据韩国《关于韩国建立氢能经济社会方案》，韩国预计 2020 年达到 80 座加氢站，2025 年达到 210 座加氢站，2030 年达到 520 座加氢站，形成密集的

网络覆盖。首尔利用垃圾填埋气制氢享誉世界，政府支持和营造有利于创新的环境，同时也收到临近日本的影响感染，燃料电池汽车产业实现了快速增长。

（2）坚持燃料电池汽车自主研发

在全球汽车业内，韩国一直是实现自主发展的汽车强国，在氢燃料电池汽车领域现代起亚集团仍然坚持自主研发，于 1998 年前后才着手正式进行研发。起亚于 2000 年就率先推出“狮跑”（Sportage）牌燃料电池汽车。同年 11 月，现代也发布了圣达菲（Santa Fe）牌燃料电池汽车。2006 年，现代在燃料电池系统技术研发上取得重大突破，电堆实现零下低温启动和正常运行实用化，首代途胜（Tucson）牌燃料电池汽车面世，输出功率达 80kW，最高车速 150km/h，续航 300km。2009 年，起亚又研制出霸锐（Borrego）牌四轮驱动式燃料电池汽车，电堆功率 118kW，最高车速 160km/h，续航接近 500km，计划于 2012 年投产。2010 年，现代推出第三代途胜牌 ix 型燃料电池汽车，新一代电堆可在 -25 低温启动，输出功率达 100kW，最高车速 160km/h，可连续行驶 600km 以上。途胜车型有专门为欧洲市场创制的版本即 ix35，2013 年 2 月 ix35 型燃料电池车正式投入批量生产，与汽油版车共用一个平台和生产线，到 2015 年现代已在欧洲销售数百辆 ix35 型燃料电池车，同期也在美国开展合作项目推销约 1000 辆途胜氢燃料电池汽车。2018 年现代推出新一代途胜 FCV，电堆功率 124kW，续航里程接近 594km（NEDC），价格低于丰田 Mirai。同年现代在美国推出 NEXO，输出功率达 135kW，可连续行驶 754km（NEDC），最高提速至 179km/h，乘用车技术达到世界领跑。

除了乘用车外，现代汽车在商用车领域也在积极布局，正在开发氢燃料电池市内大型公交客车，计划 2019 年开始销售；垃圾清运车、路面清扫车等氢燃料

电池中型卡车也在开发中；现代汽车还与瑞士 H2 Energy 公司签署了采购协议，将从 2019 年开始分 5 年向其交付 1000 辆氢燃料电池大型卡车。此外，到 2030 年，现代汽车集团将把燃料电池系统的年产量由目前的 3000 套提高到 70 万套，其中 50 万套用于氢燃料电池乘用车和商用车，20 万套用于无人机、船舶、火车、电力生产和存储等其他产业。

韩国车企深刻意识到建立和完善制氢加氢站等技术设施对推广燃料电池汽车的重要性，积极在全球范围内推动氢基础设施建设事业的发展。在欧美地区，现代都主动联合地方政府实施建设项目，为燃料电池汽车产业发展营造良好的环境。

（3）燃料电池发电

燃料电池发电也是韩国推进氢能利用的一个重要领域。2014 年，韩国最大的独立发电商 POSCO 负责运营世界最大的氢燃料电厂。目前，POSCO 和电池供应商 FuelCell 计划打造另一个燃料电池发电项目，在首尔市快速公交公司经营的铁路附近，建设一个装机 19.6 兆瓦的项目，由 7 个 2.8 兆瓦的燃料电池组成，在供电的同时为当地供暖。据悉，首尔地区规划中的类似项目总装机量达到 230 兆瓦。韩国已经超过日本和美国，成为燃料电池发电最大的市场，其中，韩国 2015 年氢燃料电池发电的市场价值就达到 10 亿美元，到 2022 年，这一市场规模更有望攀升至 150 亿美元。

第六节 中国

一、发展曲折，努力缩短差距

进入 21 世纪后，在“十五”时期，氢燃料电池汽车关键核心技术的研发攻关被列入国家“863”电动汽车重大专项之中，给予重点资助。上汽与同济大学等合

作研发的“超越二号”和“超越三号”燃料电池汽车，分别参加了 2004 年和 2006 年世界必比登新能源汽车挑战赛，在七项技术测试中分别取得五项和四项技术 A 级奖。“超越三号”最高车速可达 123km/h，一次加氢续航 230km。当时中国氢燃料电池汽车技术落后并不大，后续上汽集团基于荣威 750 为原型开发了“上海”牌燃料电池轿车；与同济大学 and 大众汽车集团等合作开发了“帕萨特领驭”牌燃料电池轿车，最高速度高达 143km/h，一次加氢续航 300km。我国“十五”期内，燃料电池汽车技术取得丰硕成果，分别在 2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会时期进行示范运行。

近年来，燃料电池汽车虽然在国家相关政策中列为要大力发展的新能源汽车之一，但在实际行动中已经边缘化，我国研发力量主要集中在纯电动汽车上，这使得我国氢燃料电池汽车的发展一度陷入停滞，与国际的差距拉开，我们要正视与先进国家和地区的差距，迎接挑战，努力实现我国氢燃料电池汽车产业的健康发展，我国于 2016 年前后开始加快追赶国际先进燃料电池汽车技术的步伐。

(1) 产业整体处于研发示范阶段

目前我国燃料电池汽车示范运行项目主要集中在客车和物流车，宇通客车、青年汽车集团、五洲龙客车、佛山飞驰等车企已在近年陆续参与示范运行。乘用车方面，上汽于 2013 年举办实现燃料电池汽车中国万里行活动，充分验证了燃料电池汽车的环境适应性。但与发达国家相比，我国氢能与燃料电池产业化和商业化进程方面滞后，国内仅支持小规模生产，且研发主体多为高校、研发机构和中小企业，商业化产品很少。总体来看，我国燃料电池汽车产业发展还停留在技术示范和验证阶段。

中国氢燃料电池市场发展独具特色，与国外普遍的发展路线不一样，其中一

点就是中国选择商用车起步，主要基于三点考虑:其一，对加氢站的建设布局要求不高。其二，在加氢时间方面考虑，时间较短的燃料电池汽车适用商用车的应用场景。其三，国内燃料电池汽车产业依靠政府支持，推广商用车会更加容易。所以，在十三五之前国内主要汽车企业采用自主研发的电堆开发相关整车产品，参加了 2008 年奥运会、2010 年上海世博会、2010 年新加坡首届青奥会。十三五开始后，更多企业从事氢燃料电池商用车开发。据统计，2017 年全国燃料电池商用车产量 1226 辆，产量最大车型为物流车，普通客车产量最大企业为上汽大通，公交客车产量最大企业为佛山飞驰，受加氢站限制，适用于长途、大型城郊货运领域氢燃料电池卡车产品暂时缺口较大。

(2) 加氢站技术成熟但建设滞后

加氢站建设方面，我国的 35MPa 加氢站技术已趋于成熟，加氢站的设计、建设以及三大关键设备如 45MPa 大容量储氢罐、35MPa 加氢机和 45MPa 隔膜式压缩机均已实现国产化。目前，我国已经开始主攻 70MPa 加氢站技术。截止 2019 年，我国运行的加氢站共有 25 座，还有 14 座在建，分别位于北京、上海、佛山、大连和郑州等地，相对于中国的国土面积可谓寥寥无几，加氢站建设较为滞后。作为未来燃料电池汽车产业发展的基石，中国已进入快速发展加氢站建设阶段，近期计划新建加氢站 17 座。《节能与新能源汽车路线》中提出中国计划在 2020 年建成 100 座加氢站，2030 年计划达到 1000 座加氢站，国家层面也给予了众多政策支持。十三届全国人大二次会议将“推动加氢等设施建设”加进《政府工作报告》；《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》中指出我国对燃料电池加氢站予以 400 万元/站的补贴，地方补贴不低于 300 万元/站。

参考文献

- [1] 程振彪.燃料电池汽车-新能源汽车最具战略意义的突破口[M]北京:机械工业出版社,2016:53-56,60-69,72,94,99-102.
- [2] 中国汽车技术研究中心有限公司.2018年车用氢能产业蓝皮书[M]北京:社会科学文献出版社,2018:201,384,404,422.
- [3] 陈晨,李霞,莫桓.聚焦各国燃料电池产业政策发展[J].电器工业,2015(6):71-73.
- [4] 毛宗强.氢能与燃料电池汽车在美国风光依旧[C].中国动力工程学会工业气体专业委员会技术论坛.2010.
- [5] 李慧.韩国氢燃料业异军突起[N].中国能源报.2015(08).
- [6] 陈广.国内氢燃料电池市场分析[J].知识经济,2018,466(12):56-57.

第III部份 技术篇

第四章 氢燃料电池电堆

燃料电池电堆是燃料电池汽车系统最核心的部件，其技术的进步很大程度决定着燃料电池汽车行业的发展，燃料电池电堆对燃料电池汽车的性能影响显著，目前国外燃料电池电堆已经量产，并在燃料电池轿车和商用车上广泛运用。

燃料电池的发电原理与电池大致一致，实质是燃料气体和氧化剂发生化学反应。燃料电池主要有三个组成部分：阴极、阳极和电解质。其中电解质材料决定了燃料电池的类型；阳极将燃料分解成电子和离子，通常由铂制成；阴极将离子转化为水，通常由镍或纳米材料制成。根据面积单个燃料电池产生的功率范围为几瓦至约 1kw，电压范围为 0.5-1V（通常为 0.7V）。未来车辆需要更高的电压和功率，借助双极板串联多个燃料电池，这就形成了所谓的燃料电池电堆。其中，质子交换膜燃料电池（PEMFC）应用范围较广，也是交通领域燃料电池的首选。

在轿车方面，国外轿车厂发动机均采用全功率模式，再加上轿车空间有限，因此一般使用使用高压金属板电堆，体积功率密度高(>3kW/L)，均能实现-25℃以下低温启动，寿命 5000 小时以上，已逐步实现商业化。国内燃料电池轿车发动机仅有上汽一家自主开发的荣威 950 轿车（30kW）完成公告认证，并与同济，大众合作开发了“帕萨特领驭”燃料电池轿车。2019 年初武汉格罗夫氢能汽车有限公司宣称国内首款氢燃料电池汽车即将上市，续航达到 1000 公里，其他乘用车企业均采用合作的方式，北汽、广汽、长安等还处于样车开发阶段。

表 4.1 国外燃料电池轿车电堆参数对比

| | | | | | |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 整车厂家 | 通用 | 丰田 | 本田 | 现代 | 奔驰 |
| 整车型号 | 轿车 | 轿车 | 轿车 | 轿车 | 轿车 |
| 体积比功率密度 (kW/L) | - | 3.1 | 3.1 | 3.1 | - |
| 总功率 (kW) | 92 | 114 | 103 | 100 | 100 |
| 寿命 (h) | 5500 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 |
| 铂载 (g/kW) | 0.326 | 0.175 | 0.12 | 0.4 | 0.2 |
| 重量 (kg) | 130 | 56 | - | - | - |
| 低温启动 (°C) | -30 | -30 | -30 | -30 | -25 |
| 是否增湿 | - | 无独立增湿器 | 有 | 有 | 有 |
| 双极板 | 金属板 | 金属板 | 金属板 | 金属板 | 金属板 |
| 工作压力 | 高压 70MPa |

数据来源：燃料电池发动机工程技术研究中心、国泰君安证券研究

在商用车方面，国外商用车燃料电池电堆供应商主要有加拿大 Ballard、Hydrogenics 和 US Hybrid，这三家企业目前均与国内的企业有合作，发动机均采用石墨板和中低压技术路线，寿命已经突破 20000 小时。

表 4.2 国外燃料电池商用车电堆型号和参数对比

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|
| 发动机厂家及型号 | Ballard HD30 | Ballard HD60/85 | Hydrogenics Celerity 60 | US Hybrid FCE80 | US Hybrid FCE 150 |
| 额定功率 (kW) | 30 | 60/85 | 600 | 80 | 150 |
| 尺寸 (L) | 162 | 497 | 294 | 494 | 659 |
| 重量 (kg) | 125 | 244/256 | 275 | 248 | 474 |
| 操作压力 | 中压 | 中压 | 常压 | 低压 | 低压 |
| 双极板 | 石墨板 | 石墨板 | 石墨板 | 石墨板 | 石墨板 |
| 低温储存 (°C) | 不适用 | 不适用 | -40 | -40 | -40 |

| | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 低温启动 (°C) | 不适用 | 不适用 | -10 | -10 | - |
| 寿命 (h) | 10000 | 10000 | 10000 | 20000 | 20000 |

数据来源：燃料电池发动机工程技术研究中心、国泰君安证券研究

国内燃料电池电堆开发模式与国外有区别，国外采用全功率型燃料电池电堆，国内则采用氢-电混合燃料电池电堆，即锂电池和氢燃料电池混合动力，锂电池弥补车辆启动的高功率需求，燃料电池部分满足长续航需求。国内有北京亿华通、新源动力、上海重塑、广东国鸿重塑等企业开发出 30kW 以上燃料电池电堆。目前装载北京亿华通燃料电池电堆的客车租赁车队（北京 60 辆燃料电池团体客车）和燃料电池公交车车队（张家口 74 台燃料电池公交车）已正式投入商业化运营；装载上汽集团自主研发的燃料电池电堆的 FCV80 实现了百台级的销售和日常运营；上海重塑的燃料电池电堆已装载在 500 台物流车上并投入商业化运营。

表 4.3 国内燃料电池电堆主要厂商及参数

| 集成厂家 | 功率 (kW) | 低温启动 (°C) | 寿命 (h) | IP 等级 |
|------------|-------------|-----------|------------|-------|
| 北京亿华通 | 30/60/80 | -30 | 10000 | 67 |
| 大连新能源动力 | 30-60 | -20 | 5000 | 67 |
| 上海重塑 | 30-60 | -20 | 12000 | 67 |
| 弗尔赛能源 | 12/30 | -20 | 5000-10000 | 67 |
| 武汉众宇 | 0.25-1.2/30 | - | - | 67 |
| 北京氢璞创能 | 30 | -10 | 10000 | 67 |
| 安徽明天氢能 | 20-100 | -20 | - | - |
| 广东国鸿氢能 | 30 | - | 12000 | - |
| 广东国鸿重塑能源科技 | 30-90 | -20 | 12000 | 67 |
| 广东鸿运氢能科技 | 30 | - | 12000 | 67 |
| 广东鸿运氢能科技 | 30 | - | 12000 | 67 |

数据来源：公司官网 长城证券研究所 国泰君安证券研究

电堆是燃料电池的主要成本，年产 1000 套系统与年产 50 万套系统，电堆占燃料电池成本分别为 66%、42%。根据 DOE 的估算，车用 80kW 燃料电池系统成本平均为 45 美元/kW（年产 50 万套的规模），其中燃料电池堆成本为 19 美元/kW。我国对燃料电池电堆关键部件和材料规划目标具体如下

表 4.4 我国燃料电池电堆关键部件和材料规划目标

| | 指标 | 单位 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|-------|---------------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 膜电极 | 电机功率密度 | W/cm ² | 0.7 | 1 | 1.2 | 1.5 |
| | Pt 用量 | g/kW | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.125 |
| 催化剂 | 质量比活性 (Pt, 0.9V) | mA/mg | ≥300 | ≥440 | ≥480 | ≥570 |
| | 活性比表面积 (Pt) | m ² /g | ≥65 | ≥65 | ≥80 | ≥80 |
| | 动电位扫描活性衰减率 (%) (0.6-1.0V) | - | 20 (3000 次) | ≤40 (3000 次) | ≤40 (3000 次) | ≤40 (3000 次) |
| | 1.2V 恒电位运行后活性衰减率 (%) | - | 20 (100h) | ≤40 (400h) | ≤40 (400h) | ≤40 (400h) |
| 质子交换膜 | 质子电导率 | S/cm | 0.05 | 0.08 | 0.1 | 0.1 |
| | 机械强度 | MPa | 35 | 40 | 45 | 50 |
| | 渗氢电流 | mA/cm ² | 2.5 | 2 | 1.5 | 1.5 |
| | 机械稳定性 (20000 次干湿循环, 渗氢电流) | mA/cm ² | >10 | <10 | <10 | <10 |
| | 电化学稳定性 (1000h 开路, 渗氢电流) | mA/cm ² | >10 | <10 | <10 | <10 |
| 碳纸 | 电阻率 | mΩ•cm | 80 (垂直) 6.0 (平行) | 60 (垂直) 4.0 (平行) | 50 (垂直) 3.0 (平行) | 50 (垂直) 2.0 (平行) |
| | 透气率 | ml•mm /cm ² •h•m mH ₂ O | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
| | 抗拉强度 | N/cm | ≥30 | ≥50 | ≥60 | ≥60 |
| | 耐腐蚀性 | 电阻率增 | mΩ•cm | ≤1.5 | ≤1.0 | ≤0.8 |

| | | | | | | | |
|-----|----------------|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| | (24h、80℃、1.4V) | 量 | | | | | |
| | | 润湿角增量 | 度 | ≤50 | ≤30 | ≤20 | ≤15 |
| 双极板 | 金属板 | 厚度 | mm | 1.5 | 1.2 | 1 | 1 |
| | | 腐蚀电流 | μA/cm ² | 5 | 1 | <1.0 | <1.0 |
| | 石墨板 | 厚度 | mm | 2 | 1.6 | 1.5 | <1.5 |
| | | 电阻率 | μΩ·m | 16 | 15 | <15 | <15 |
| | | 机械强度 | MPa | 50 | 60 | 65 | >70 |
| | | 孔隙率 | % | ≤0.12 | ≤0.10 | ≤0.10 | ≤0.10 |

数据来源：节能与新能源汽车技术路线图、国泰君安证券研究

如表 4.5 所示，国外乘用车厂大多自行开发电堆，并不对外开放，例如丰田、本田、现代等。也有少数采用合作企业的电堆开发发动机的乘用车企业，比如奥迪采用加拿大巴拉德定制开发的电堆，奔驰采用与福田合资公司的 AFCC 的电堆。目前国外可以单独供应车用燃料电池电堆的知名企业主要有加拿大的 Ballard 和 Hydrogenics，欧洲和美国正在运营的燃料电池公交车大多采用这两家公司的石墨极板电堆产品，已经过数千万公里、数百万小时的实车运营考验，两家加拿大电堆企业都具备了一定产能，Ballard 还与广东国鸿设立了合资企业生产 9SSL 电堆。此外还有一些规模较小的电堆开发企业，例如英国的 Erlingklinger，荷兰的 Nedstack 等，在少数项目有应用，目前产能比较有限。

国内能够独立自主开发电堆有大连新源动力和上海神力企业等企业，大连新源动力采用的是金属板和复合板的技术路线，与上汽合作，开发了荣威 950 乘用车和上汽 V80 客车。上海神力成立于 1998 年，是中国第一家专业的燃料电池电堆研发生产企业，目前两家都建成了燃料电池电堆中试线，正处于从小批量到产

业化转变的关键阶段。另外有一些新兴的燃料电池电堆企业，例如弗尔塞能源、北京氢璞、武汉众宇、佛山国鸿等，也开发出燃料电池电堆样机和生产线，正处于验证阶段。

表 4.5 国内外生产的电堆参数对比

| | 生产厂家 | 额定功率 (kW) | 功率密度 (kW/L) | 低温启动 (°C) | 低温存储 (°C) |
|-------------|-------------|---------------|-------------|-----------|-----------|
| 国外 | Ballard | 30/60 | 1.5 | - | - |
| | Hydrogenics | 30 | 0.8 | - | - |
| | AFCC | 30 | - | -30 | -40 |
| | 丰田 | 114 | 3.1 | -30 | -40 |
| | 本田 | 103 | 3.1 | -30 | -40 |
| | 现代 | 100 | 3.1 | -30 | -40 |
| 国内 | 上海神力 | 40/80 | 2 | -20 | -40 |
| | 大连新源动力 | 30-40 (复合双极板) | 1.5 | -10 | -40 |
| | | 70-80 (金属双极板) | 2.4 | -20 | -40 |
| | 弗尔赛能源 | 16/36 | - | -10 | - |
| | 北京氢璞创能 | 20-50 | - | -10 | -40 |
| | 武汉众宇 | 0.25-1.2/36 | - | - | - |
| | 上海攀业 | 0.05-1.8 | - | -5 | - |
| | 安徽明天氢能 | 20-100 | - | -20 | - |
| 广东国鸿巴拉德氢能动力 | 30-60 | - | - | - | |

数据来源：燃料电池发动机工程技术研究中心、国泰君安证券研究

根据《节能与新能源汽车技术路线图年度评估报告 2018》，2017 年以来，燃料电池动力系统和关键部件等技术领域取得标志性进展。燃料电池电堆关键材料和部件方面，新开发的燃料电池催化剂成本降低了 50%~80%；大面积超薄燃料电池金属双极板规模量产，综合性能达到国际领先水平；膜电极性能突破

1W/cm²，铂载量 0.45mg/kW，寿命超过 6000 小时，膜电极功率密度达到路线图 2020 年目标水平。

第一节 膜电极组件

燃料电池膜电极（Membrane Electrode Assembly, MEA）是燃料电池电堆的核心部件，是燃料电池发生电化学反应的场所，相当于锂电池的电芯，其主要由质子交换膜、催化剂和气体扩散层 3 部分组成，成本占比超过燃料电池系统的 50%，其性能直接决定着燃料电池的发电能力及寿命。MEA 通常由质子交换膜、阴-阳极催化层、阴-阳极气体扩散层等五层组成。为利于膜电极在电堆中的密封，可在膜电极非活性区域加入两层保护层，称为七层 MEA。根据 MEA 的结构可将其技术分为三种，分别为 GDE（Gas Diffusion Electrode）、CCM（Catalyst Coated Membrane）和有序化 MEA。

GDE 技术最早进入产业化应用，即将催化剂配制成墨水状浆料直接涂覆在气体扩散层上，再与质子交换膜组装成 MEA。此类 MEA 催化层较厚，催化层质子传导能力较差，催化剂利用率很低，使用的催化剂量较大，后续也有通过加入 Nafion 作为粘结剂来改善该问题。

CCM 技术是当前最可能实现商业化并得到广泛运用的工艺，即催化剂直接或间接涂覆在质子交换膜上，形成膜-催化层三合一整体，再与气体扩散层组装成 MEA。此类 MEA 催化剂多用离子树脂如 Nafion 溶液作为粘结剂，催化层很薄约 5 微米左右，相比 GDE 技术实现了低铂化且离子传导能力强，催化层与质子交换膜之间的接触电阻也较小。但是其对气体扩散层的水管理要求较高，否则容易水淹导致浓差极化。

有序化 MEA 具有优良的多相传质通道，其催化层中的催化剂或载体呈矩阵有序化排列，水气传质更容易，催化剂利用率的大幅提高降低了膜电极中催化剂 Pt 的载量，并且提升了膜电极的性能和使用寿命。但是有序化膜电极还处在实验室研究阶段，还未实现大规模产业化，面临着水管理等问题需要解决，是未来膜电极技术的主流方向。

表 4.6 燃料电池膜电极发展历程

| 历程 | 名称 | 特征 |
|-------|-----------------|--|
| 1 代 | 热压法膜电极 (PTFE) | Pt/C 催化剂与 PTFE 乳液按一定比例混合均匀制备到气体扩散层上形成催化层，经过烧结、浸渍 PFTE 溶液、再烧结，并与膜热压后形成膜电极 |
| 1.5 代 | 热压法膜电极 (Nafion) | 采用 Nafion 溶液替代 PTFE 乳液的制备方法 |
| 2 代 | CCM 三合一膜电极 | 将催化层直接制备在质子交换膜表面上。制备方法有扩喷涂、转印、化学沉积法、电化学沉积法、物理溅射沉积法、干粉喷射法、打印法等 |
| 2.5 代 | 梯度化膜电极 | 通过对 Nafion 含量、Pt 载量、空隙度等量的分布进行梯度化设计以实现 Pt 的最大利用率 |
| 3 代 | 有序化膜电极 | 通过将三相传输通道的有序化，实现超低铂载量和高功率密度 |

资料来源：CNKI 长城证券研究所

表 4.7 不同 MEA 制备技术对比

| 类别 | GDE | CCM | 有序化 MEA |
|-------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 电极结构 | 催化剂涂覆在气体扩散层上，催化层一般 | 催化剂涂覆在质子交换膜上 | 催化层中的催化剂或载体呈有序化排列 |
| Pt 用量 | 0.8mg/cm ² 左右 | 0.2~0.8mg/cm ² | 可低至 0.102mg/cm ² |

| | | | |
|------|--------------------|-------------------|--------------|
| 制造工艺 | 可卷到卷批量制造 | 可卷到卷批量制造 | 真空溅射等方法小批量制备 |
| 优势 | 稳定性较好，易批量制备，制造费用较低 | Pt 用量较低；性能好；易批量制备 | Pt 用量低，性能好 |
| 劣势 | 阻抗大，性能较差；Pt | 稳定性较差；制造成本较高 | 水管理要求高，不易批量制 |

| | | | |
|------|---------|--------------------------------|----------|
| | 用量高 | | 备, 制造费用高 |
| 技术状态 | 产业化 | 产业化 | 实验室 |
| 代表厂商 | Ballard | W. L. Gore; Johnson Matthey | 3M |

资料来源: 根据公开资料整理, 深圳汽航院

经过数十年的研究, MEA 技术已取得了重大突破, 贵金属用量不断下降的同时 MEA 性能和寿命有了很大程度的提升。目前国外 MEA 技术研究的重点仍然集中在性能、寿命以及成本上, 国际主要的 MEA 供应商有美国的 W.L.Gore、美国 3M、英国 Johnson Matthey、日本 Greenerity、日本旭硝子、日本旭化成等, 其他的如加拿大 Ballard、日本丰田则自主开发 MEA 供本企业使用, 并且多数国际 MEA 供应商已具备连续化批量生产的能力。美国如今技术发展的现状已和美国能源部制定的 2020 年 MEA 技术指标非常接近, 而我国燃料电池这块的主要部件技术差距还很大, 主要集中在这几个分支:

表 4.8 国内外燃料电池主要组件技术差距

| 技术分支 | 国际水平 | 国内现状 |
|-------|--|--|
| 催化剂 | 铂载量达到 0.12-0.17g/kW, <0.12mg/cm ² , 已进入大规模生产阶段 | 铂载量约 0.4g/kW, >0.5mg/cm ² , 仅有小规模生产 |
| 交换膜 | 技术水平较高, 由均质膜向复合膜发展。进行了大规模生产、垄断 | 技术水平有差距, 开发出复合膜, 尚未量产 |
| 碳纸/碳布 | 已进入流水线生产 | 试生产阶段 |

| | | |
|-------|---|--|
| 双极板 | 导电率达到 100S/cm, 抗弯强度>50MPa, 成本控制在每千瓦 5~10 美元 (33~66 元人民币) | 实验室验证阶段, 未进行量产 |
| 膜电极组件 | 电流密度达到 2.5~3.0A/cm ² , 动态工况寿命达到 9000h, 成本控制在每千瓦 16 美元 (105 元人民币) | 电流密度约 1.5A/cm ² , 动态工况寿命约 3000h, 成本约每千瓦 2000 元人民币 |

| | | |
|------|--|--|
| 电堆总成 | 体积功率密度 3.0kW/L 以上, 轿车车载工况寿命 5000h 以上, 商用车车载工况寿命 12000h 以上, 总成本每千瓦 22 美元 (144 元人民币) | 体积功率密度普遍小于 3kW/L, 轿车车载工况寿命小于 3000h, 商用车车载工况寿命小于 10000h, 总成本每千瓦 800-4000 元人民币 |
|------|--|--|

材料来源:《中国燃料电池汽车发展问题研究》, 百度公开资料, 深圳汽航院

国际市场销售的 MEA 主要采用 CCM 技术, 其 Pt 用量一般在 0.3-0.8mg/cm², 额定功率密度可达到 1W/cm² 以上, 预期寿命可达 5000 小时, 基本满足 MEA 商业化需求, 除了面临成本和寿命等技术问题外, 更重要的是面临着缺乏低成本大规模制备工艺以及高水平质量控制体系的难题。

近年来国内 MEA 的开发也取得了较大进展, 中国科学院大连化物所、武理工等在国家“863”项目的支持下进行了基于 GDE 和 CCM 技术的低成本、高性能 MEA 研究, 国内 MEA 技术可以实现铂载量 0.3mg/cm², 功率密度 1.4W/cm², 单电池 MEA 寿命超过 5600 小时, 与国际水平相当。我国的有序化 MEA 研究起步较晚, 目前有武理工、大连化物所、清华大学等承担进行探索性开发。在 MEA 批量化生产方面, 国内已有少数几家企业具备产业化能力, 比如武汉理工新能源有限公司是国内最大的 MEA 供应商, 同时是国内膜电极产销达到百万片级规模的企业, 主要生产基于 CCM 技术的 MEA 产品。此外大连新源动力, 昆山桑莱特、苏州擎动、广东鸿基创能等企业涌现, 自主生产膜电极用于其电堆产品。

(1) 催化剂

质子交换膜氢燃料电池 (PEMFC) 是通过电化学反应将化学能直接转化为电能的装置, 促使阴阳两极发生电化学反应的即为燃料电池电催化剂。燃料电池电催化剂的作用是降低反应的活化能, 提高氢和氧在电极上的氧化还原反应速率, 是氢燃料电池内部的重要部件之一, 其催化效果好坏直接决定电池的输出能力和

稳定性。

贵金属 Pt 系材料因为具有良好的分子吸附解离行为，以及对电极上氧化还原反应具有较低的过电势和较高的催化活性，成为最常用的燃料电池催化材料。随着燃料电池汽车进一步普及，燃料电池用 Pt 的总量将迅速增加，但全球已探明的 Pt 资源量仅为 2.8 万吨左右，通过 Pt 回收可解决部分 Pt 需求，低 Pt 化和无 Pt 化必将成为未来燃料电池催化剂的研发趋势（如表 4.9 所示）

表 4.9 催化剂 2015 年性能现状及 2020 年目标

| 名称 | 单位 | 2015 现状 | 2020 目标 |
|-----------------------------|--------------------|---------|---------|
| 铂族金属总含量（两电极） | g/kW | 0.16 | 0.125 |
| 铂族金属总负载（两电极） | mg/cm ² | 0.13 | 0.125 |
| 质量比活性 | A/mg | >0.5 | 0.44 |
| 初始催化活性的损失 | % | 66 | <40 |
| 在 0.8A/cm ² | mV | 13 | <30 |
| 电催化剂稳定性 | % | 41 | <40 |
| 在 1.5A/cm ² 时的损失 | mV | 65 | <30 |
| 无铂族金属催化剂活性 | A/cm ² | 0.016 | >0.044 |

资料来源：DOE 长城证券研究所、招商证券

目前燃料电池中常用的商用催化剂是 Pt/C，由纳米级的 Pt 颗粒（3~5nm）和支撑这些 Pt 颗粒的大比表面积活性炭构成。燃料电池在车辆运行工况下，催化剂会发生衰减，如在动电位作用下会发生 Pt 纳米颗粒的团聚、迁移、流失等。针对这些成本和耐久性问题，研究新型高稳定、高活性的低 Pt 或非 Pt 催化剂是目前热点。美国能源部(DOE)提出了 0.125g/kW 的指标,美国通用汽车公司(GM)研发的 PtNi、PtCo 合金催化剂具有较高的氧还原质量比活性,PtNi 为 0.75A/mg_{Pt}、PtCo 为 0.6A/mg_{Pt}, 超过了 2017 年 DOE 的质量比活性指标 0.44A/mg_{Pt}, 并且这

两种催化剂也达到了电位循环稳定性要求的指标。美国 3M 公司合成了阵列导电纤维/PtCoMn-壳结构催化剂，成功将铂载量降到 $0.15\text{mg}/\text{cm}^2$ ($0.19\text{g}/\text{kW}$)。尽管上述的 Pt 基催化剂的催化性能优异，但仍然无法实现批量化生产，需要进一步研究。

国外企业在催化剂产业化方面处于领先地位，Pt/C 催化剂的国外主要供应商为日本田中贵金属和英国庄信万丰 (Johnson Matthey)。根据 DOE 数据，目前丰田 Mirai 燃料电池催化剂 Pt 含量达到 $0.175\text{g}/\text{kW}$ ，本田 FCV 燃料电池催化剂 Pt 含量降至 $0.125\text{g}/\text{kW}$ 。与国外相比，国内燃料电池催化剂技术尚处于实验室研制及开发阶段，大部分产品需求依赖进口。近年来国内部分企业已经开始燃料电池催化剂的产业化布局，云南贵金属集团与上汽集团联合开发的燃料电池阳极和阴极材料全系列 Pt 含量的 Pt/C 催化剂 (30%-70%) 性能达到国际同类产品先进水平，正在案发的 PtCo/C、PtNi/C 和 PtRu/C 系列新型合金催化剂制备工艺已获得突破进展；武汉喜马拉雅和与清华大学合作成立了清华喜马拉雅燃料电池产业化基地，产能达到 $1200\text{g}/\text{天}$ 的规模，催化剂性能达到进口 JM70%Pt/C 催化剂同等水平；苏州擎动科技有限公司，昆山桑莱特新能源科技有限公司也在大力开发不同 Pt 含量的 Pt/C 和 PtRu/C 催化剂。

未来燃料电池催化剂的趋势是最大限度降低 Pt 用量，或者寻找替代 Pt 的催化剂，参见表 4.10。

表 4.10 未来催化剂主要研究方向及趋势

| 名称 | 定义 | 优点 | 举例 |
|----|----|----|----|
|----|----|----|----|

| | | | |
|----------------|-----------------------------------|---|---|
| Pt-单原子层催化剂 | Pt 单原子层的核壳结构催化剂 | 是一种有效降低 Pt 用量、提高 Pt 利用率，同时改善催化剂的 ORR 性能的方式 | 在金属 (Au、Pd、Ir、Ru、Rh 等) 或非贵金属表面欠电位沉积一层 Cu 原子层，然后置换成致密的 Pt 单原子层 |
| Pt-M 合金催化剂 | Pt 与过渡金属合金催化剂 | 通过过渡金属催化剂对 Pt 的电子与几何效应，在提高稳定性的同时，质量比活性也有所提高。同时降低了贵金属的用量，使催化剂的成本大幅降低 | 如 PtCo/C、PtPd/C、PtNi/C 等二元合金催化剂 |
| Pt 核壳催化剂 | 利用非 Pt 材料为支撑核、表面贵金属为壳的结构 | 可降低 Pt 用量，提高质量比活性，是下一代催化剂的发展方向之一 | 化学还原制备 PtCo 合金，利用脱合金 (de-alloyed) 方法制备的 PtCo/C 核壳电催化剂，质量比活性可达 Pt/C 的 4 倍 |
| 形貌可控的 Pt-M 催化剂 | 控制活性组分的为一定形貌的结构 | 提高活性组分的原子利用率 | 如 PtNi 单晶八面体结构催化剂，活性可以提高到 Pt/C 的 10 倍以上 |
| Pt 纳米管电催化剂 | 有序碳层上的单晶 Pt 纳米线、规则 Pt 纳米晶等 | 对氧化还原具有较高的比活性，且解决了关于碳载体的耐久性问题，对于铂溶解和膜化学侵蚀的损耗更小 | 3M 纳米薄膜催化剂 (NSTF) |
| 非贵金属催化剂 | 主要包括过渡金属原子簇合物、过渡金属螯合物、过渡金属氮化物与碳化物 | 降低成本 | 如碳载氮协同铁电催化剂 Fe/N/C，在电压不小于 0.9V 时，与 Pt 载量为 0.4mg/cm ² 的 Gore 电极性能相当 |

资料来源:《科技导报》，国金证券研究所，深圳汽航院

我国急需快速实现燃料电池催化剂的国产化，减少进口的比例，需解决的关键问题是催化剂的寿命和制备成本的控制。一方面制备工艺的产业化需适当给予

企业政策扶持和资金支持；另一方面要加快建立燃料电池催化剂测试方法标准和质量评价体系；最后加强贵金属铂资源的回收利用和闭环产业链，进一步降低市场应用成本。其中催化剂寿命延长、制备成本降低和铂资源回收是全球氢燃料电池技术与产业化需共同面对的问题，铂资源稀缺并且价格昂贵，追求高性价比的催化剂是行业的长远目标。

(2) 质子交换膜

质子交换膜是一种高分子固态电解质材料，作为关键材料其性能直接影响燃料电池的稳定性和耐久性。根据膜的组份可以将质子交换膜分为：全氟磺酸质子交换膜、非全氟化质子交换膜、无氟化质子交换膜和复合质子交换膜，四种膜的特点如所示。

表 4.11 主要质子交换膜类型及特点

| 类型 | 全氟磺酸膜 | 非全氟化质子交换膜 | 无氟化质子交换膜 | 复合膜 |
|------|--|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 组成 | 由碳氟主链和带有磺酸基团的醚支链构成 | 用取代的氯化物代替氟树脂，或用氟化物与无机或其他非氟化物共混 | 无氟化烃类聚合物膜 | 修饰材料和全氟磺酸树脂构成的复合膜 |
| 优点 | 机械强度高，化学稳定性好，导电率较高，低温时电流密度大，质子传导电阻小 | 成本低，工作效率高，并且能够使电池寿命提升15000h | 成本低，污染小 | 机械性能改善，改善膜内水传动与分布，降低质子交换膜内阻 |
| 缺点 | 温度升高使质子传导性能变差，高温易发生化学降解，成本高 | 机械强度及化学稳定性较差 | 化学稳定性较弱 | 制备技术要求较高 |
| 商业应用 | 杜邦-Nafion 系列旭化成-AcipleX 膜氯工程-C膜 Ballard-BAM 型膜 | Ballard-BAM3G 膜 | DAIS-硫化苯乙烯-丁二烯/苯乙烯嵌段共聚物膜（研制） | Gore-select-PTFE 增强膜 |

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 用 | | | | |
|---|--|--|--|--|

资料来源: CNKI 长城证券研究所

其中,全氟磺酸质子交换膜是已经商业化的燃料电池隔膜材料,是目前世界上质子交换膜的主流产品,一方面是因为全氟磺酸聚合物分子链上的亲水性磺酸基团具有优良的氢离子传异特性,另一方面因为全氟磺酸特有的聚四氟乙烯结构,碳-氟键的键能高,使其力学性能、化学稳定性和耐久性优异,综合性能优于其他材料,以下是不同厂商全氟磺酸膜基本参数:

表 4.12 不同厂商全氟磺酸膜基本参数

| 品牌及生产商 | 结构参数 | EW 值 (/g·mol ⁻¹) | 厚度/μm |
|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------|
| Nafion (Du Pont) | n=1, x=5~13.5 | 1100~1200 | 25~250 |
| Dow membrane (Dow chemical) | p=2 | 800 | 125 |
| Flemion (Asahi Glass) | n=0, p=2 | 1000 | 50~120 |
| Aciplex (Asahi Chemical) | n=0, x=1.5~14, p=2~5 | 1000~1200 | 25~100 |
| 东岳集团膜 | n=1, x=5~13.5, p=2 或 n=0, p=2 | 800~1000 | 50~150 |

资料来源: CNKI 长城证券研究所, 深圳汽航院

非全氟化质子交换膜和无氟质子交换膜的生产工艺简化,成本降低,可以降低质子交换膜的价格,也是目前商业化产品开发的主要方向。现阶段其物理化学稳定性相比全氟磺酸膜较差,需要比较苛刻的工作环境,限制了其量产推广。

复合质子交换膜是以全氟磺酸膜为基础优化的产品,主要包括机械增强型质子交换膜、高温质子交换膜及自增湿型质子交换膜。现在已经商业化的复合膜主要是机械增强型质子交换膜,在全氟磺酸树脂中加入 PTEE 或玻璃纤维作为修饰材料,制备得到 PTEE/全氟磺酸和玻璃纤维/全氟磺酸复合膜。这样既保证了自

身机械强度和稳定性，同时也大幅度降低了质子交换膜的厚度，材料成本随之降低，提高燃料电池整体性能。

高温质子交换膜及自增湿型质子交换膜也是研究的热点。高温质子交换膜修饰材料一般用的是高沸点无机酸或杂多酸，能够解决高温下普通全氟磺酸膜含水量急剧下降造成导电性大幅降低以及化学稳定性不够导致膜的机械强度下降的缺点。而自增湿型质子交换膜修饰材料一般为亲水氧化物，保证低湿度条件下质子交换膜的水含量。

全球质子交换膜的技术发展方向总体为：均质膜向复合膜发展，向低厚度发展，向高离子交换当量发展。目前全球生产全氟磺酸膜的企业主要有美国科慕 Chemours、陶氏化学 Dow Chemical、3M 和 Gore，加拿大 Ballard，日本的旭化成、旭硝子，比利时的 Solvay，主要产品如表 4.13 所示。

表 4.13 全球质子交换膜主要企业与产品

| 生产厂家 | 国家 | 产品及特性 |
|----------------|-----|--|
| Gore | 美国 | Gore-select 复合膜，改性全氟磺酸膜，技术处于全球领先地位 |
| 科慕 Chemours | 美国 | Nafion 系列膜，化学稳定性强、机械强度高、在高湿度下导电率高、低温下电流密度大、质子传导电阻小、目前市场占有率最高 |
| Dow Chemical | 美国 | 陶氏 Xus-B204 膜，因含氟侧链短，合成难度大且价格高，现已停产 |
| 3M | 美国 | 3M 全氟磺酸离子交换膜系列，PAIF 复合膜（主要用于碱性工作环境） |
| 杜邦 Dupont | 美国 | Nafion 系列膜，1966 年开始 |
| Ballard | 加拿大 | BAM 系列膜，1983 年开始 |
| Solvay | 比利时 | Solvay 系列膜 |
| 旭硝子 | 日本 | Flemion F4000 系列，氟工程 C 系列，1978 年开始 |
| 旭化成 | 日本 | Aciplex F800 系列，1980 年开始 |
| 东岳集团 | 中国 | DF988、DF2801 质子交换膜，高性能，适用于高温 PEMFC 的短链全氟磺酸膜 |
| 武汉理工新能源 | 中国 | 复合质子交换膜，已向国内外数家研究单位提供测试样品，得到好评 |

资料来源：公开资料整理 EVCloud，东兴证券研究所

现阶段 Gore 在全球质子交换膜供应领域中处于领先地位，Gore-select 系列复合膜性能卓越，得到业内的广泛认可，除了现场放置的大部分公用固定设备质子交换膜燃料电池演示和商业系统，丰田 Mirai、本田 Clarity 和现代 ix35 均采用 Gore 的 Select 系列质子交换膜。

近年来，我国质子交换膜技术发展迅速。在技术研发方面，大连化物所和武汉理工大学都在积极研发复合膜技术；在量产方面，亚洲最大的氟化工企业山东东岳集团联合上海交通大学实现了复合膜的产业化，近年来开发的 DF260 膜性能出色并具备规模化生产能力，其采用的 ePTFE 增强复合结构厚度达到了 15 μ m。总的来说，国内质子交换膜的开发大多还处于实验室阶段，与国际一流商业产品 Gore-select 等在综合性能上依旧存在差距。总结全球质子交换膜的产业化重点有五个，第一是研究高性能氟化质子交换膜，降低成本和厚度；第二是非全氟化质子交换膜和无氟质子交换膜的物化稳定性提高，使其符合商业化应用需求；第三是高温质子交换膜及自增湿型质子交换膜研究，提高膜适应性；第四是 PTFE 机械增强型质子交换膜研究，提升膜机械强度；第五是无氟膜，复合型质子交换膜大规模生产工艺研究。

(3) 气体扩散层

目前在 PEMFC 中，用碳纤维纸上载碳粉作为微孔层的扩散层是应用最广泛的，市场上流通的碳纸及气体扩散层主要来自美国、加拿大、德国、日韩的企业，主要供应商为美国 MP、加拿大 Ballard、德国西格里集团 SGL、德国 Freudenberg、德国 JNTG、日本东丽 Toray 等。

气体扩散层的技术发展趋势主要表现为三个方面：第一是降低 GDL 的厚度，

降低基体碳纸的厚度是关键，可以大大提高气体扩散能力，减少电池在高电流密度下的传质问题，提高电池的功率密度，日本东丽已经开发出 150 μm ~100 μm 厚的碳纸；第二是在制造工艺上将片材生产转变为卷材生产，提高了材料的生产效率，德国 SGL 和日本东丽都能大批量供应性能可靠的碳纸；第三是由于微孔层的加入实现了气体和水在流场和催化层中间的再分配，其对提高扩散层的导电性、稳定性和寿命都具有重要的作用。以下是不同种类扩散层的性能指标：

表 4.14 不同种类扩散层性能指标

| 项目 | 碳纤维纸 | 碳纤维编织布 | 炭黑纸 |
|--------------------------------|-----------|---------|------|
| 厚度 (mm) | 0.2-0.3 | 0.1-1.0 | <0.5 |
| 密度 (g/cm ³) | 0.4-0.45 | N/A | 0.35 |
| 强度 (MPa) | 16-18 | 3000 | N/A |
| 电阻率 ($\Omega\cdot\text{cm}$) | 0.02-0.10 | N/A | 0.5 |
| 透气性 (%) | 70-80 | 60-90 | 70 |

资料来源：中国知网、长城证券研究所，深圳汽航院

为了克服碳纤维纸缺乏柔性而碳纤维编织布缺乏尺寸稳定性的弱点，PEMFC 电极用气体扩散层基底还可选用碳纤维无纺布，兼具一定机械强度、高柔性和尺寸稳定的优点，有利于电极的生产制作。德国 Freudenberg 公司制作的碳纤维无纺布具有较好的性能且实现了量产的突破。

从目前的产业链的构成来看，国内在电堆及系统方面已有所布局，但是原材料和零配件方面的相关企业依然很少，原材料主要依靠外国进口，国内本土产业链建设仍然不够，以碳纸为例，大陆仍处于不断研发和小规模生产阶段，台湾碳能公司的碳纸在机械性能和电化学、热力学方面较为优质，东丽占据了更大的市场份额，而性价比最高的是台湾碳能公司的产品，其产品专注于燃料电池领域，更贴近客户需求。国内方面安泰科技多孔钛气体扩散层产品已稳定供应全球知名

综合能源供应商普拉格能源公司。

全球供应质量上乘碳纸的厂商较少，而且价格偏高，台湾碳能科技提供的碳纸适用于燃料电池实验室研发和生产线上，新一代碳纸和碳布因各项特性改善可以使燃料电池有更高的效能。综上，基体碳纸厚度降低，卷材大批量生产工艺，扩散层中引入微孔层技术研究（实现气体和水在流场和催化层中间的再分配，提高扩散层的导电性、稳定性和寿命），低成本兼具一定机械强度、高柔性和尺寸稳定改性碳纸是全球碳纸技术发展的趋势。

第二节 双极板

双极板是燃料电池的重要部件，一般具有复杂的微细流场结构，发挥分配水气、支撑其他部件、收集电流等功能，其质量直接影响电堆的输出功率和使用寿命。根据美国能源部 2017 年发布的燃料电池系统成本报告估计，在燃料电池系统年产量在 1000 台的情况下，双极板成本占整个系统成本的 18%；但是随着系统年产量增至 50 万台，其成本比例将增至 28%。因此，开发高性能、低成本的双极板并实现大批量生产对推进燃料电池汽车商业化具有重大意义。

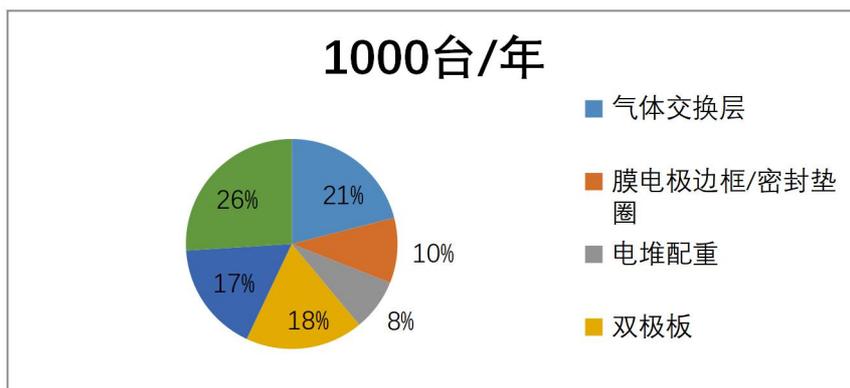


图 4.1 (a) 燃料电池电堆成本比例

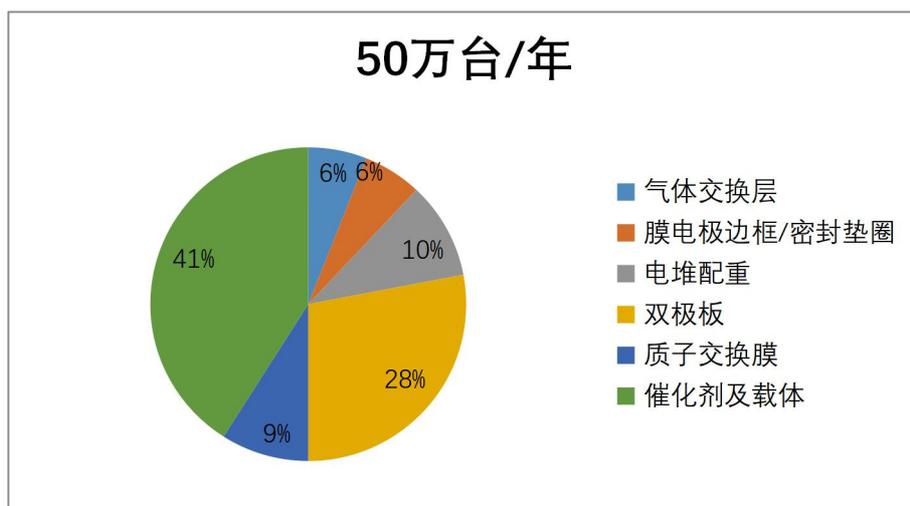


图 4.1 (b) 燃料电池电堆成本比例

资料来源：美国能源部氢能和燃料电池项目报告#17007-燃料电池系统成本-2017。

根据基体材料的不同，双极板可以分为石墨双极板、金属双极板和复合材料双极板，不同双极板类型及性能如所示。

表 4.15 不同双极板类型及性能对比

| 分类 | 金属板 | 石墨板 | | |
|--------|----------|--------|-----------|----------|
| | | 无孔石墨板 | 模压石墨板 | 复合板 |
| 材料成分 | 不锈钢、铝、钛等 | 石墨 | | 聚合物 |
| 导电率 | 非常好 | 高 | | 良好 |
| 散热性能 | 良好 | 高 | | 一般 |
| 渗透率 | 可忽略 | 良好 | | 良好 |
| 化学稳定性 | 差 | 良好 | | 良好 |
| 可加工性 | 好 | 差 | | 良好 |
| 生产周期 | 短 | 长 | | 一般 |
| 制造成本 | 与金属材料有关 | 高 | | 高 |
| 主要加工方式 | 冲压成型 | 铣削 | 模压成型 | 模压成型注塑成型 |
| 材料改进措施 | 表面镀膜涂层处理 | 树脂密封处理 | 掺杂金属粉末碳纤维 | 优化填充料配比 |

资料来源：《中国氢能与燃料电池年度报告2018》长城证券研究所

(1) 石墨板

其中石墨双极板最早被开发使用，目前技术已经成熟并实现商业化大规模应

用。其优点在于耐腐蚀性好且导热导电性能较强；缺点是强度较低，为满足电堆强度要求制备的极板较厚，石墨脆性较大，震动过大易出现断裂。因此，石墨双极板一般应用在固定电站、叉车、轻轨列车等对电堆功率密度要求不高、震动较少、工况稳定的情况中。模压成型的制备方法相比铣削加工更能提高双极板的制备效率和简化工序。石墨复合双极板是先将高分子溶剂与石墨、碳纤维、碳纳米管等碳基骨架材料混合，通过注塑、成型、固化等工序实现石墨复合双极板的制备。

加拿大巴拉德动力系统公司代表了目前石墨板制造的国际一流水平，综合性能较好。石墨是第一代双极板材料，主流供应商还包括美国通用电气、美国 SHF、英国 Bac2 公司、日本 Fujikura Rubber LTD、日本 Kyushu Refractories CO.LTD、德国 SGL 公司、韩国现代等。国内在铣削石墨极板加工方面比较有代表性的企业有红枫石墨、黑匣子等，加工精度和稳定性较高；模压石墨极板的国内主流企业有上海神力、杭州鑫能石墨、江阴沪江科技、上海喜丽碳素等；在石墨复合双极板领域，比较有实力的是新源动力，其制备的量产复合双极板兼具良好的导电性和精度，未来有望实现低成本石墨复合双极板的大规模制造。

(2) 金属板

金属双极板是替代石墨双极板的最佳选择，和石墨极板相比有不少优势，第一金属具有良好的延展性、机械性和可加工性，可采用高精度塑性成形工艺来制备具有复杂微流道特征的双极板，特别在批量加工中可大大降低生产成本；第二金属的强度一般比石墨高，极板厚度可大幅降低，功率密度指标优势突出；第三金属的韧性使其能适应高震动的复杂工况；第四金属的高导电高导热特性也使其成为双极板的优良材料。唯一的缺点是耐腐蚀较差，表面改性的多涂层结构金属

双极板具备较大的发展空间，能够保证寿命。

为抢占燃料电池汽车市场，世界各大整车和零部件制造商，比如丰田、本田、通用、宝马、Intelligent Energy、Gencell、Nuvera、Technologies.Inc 等大力开展金属双极板的开发研究，车企逐步构建自己的金属双极板产业链，金属双极板技术已然成为各大汽车厂商的核心竞争力所在。

(3) 对别分析

| 类型 | 优势 | 劣势 | 供应商/研究机构 |
|---------|--------------------------------|---------------|---|
| 石墨双极板 | 导电性、导热性、耐腐蚀性好，重量轻，技术成熟 | 体积大，强度和加工性能较差 | 美国 POCO、SHF、Graftech、加拿大 Ballard、日本 Fujikura Rubber LTD、KyushuRefractories、英国 Bac2、德国 SGL 公司、韩国现代、杭州鑫能石墨、江阴沪江科技、上海喜丽碳素等 |
| 金属双极板 | 强度高，导电性、导热性好，成本低 | 密度较大、耐腐蚀性差 | Treadstone、Cellimpact、DANA、Grabener、丰田、本田、通用、宝马、Intelligent Energy、Gencell、Nuvera、Technologies.Inc、大连化物所、上海治臻、武汉理工等 |
| 复合材料双极板 | 兼具石墨板耐腐蚀性和金属材料的高强度，高导电的特点，阻气性好 | 质量大，加工繁琐，成本高 | Porvair，美国橡树岭国家实验室、华南理工大学、新源动力等 |

表 4.16 不同类型极板对应的优缺点和主流企业

综上，不同类型极板对应的优缺点和主流企业如表 4.16 所示。可见，金属双极板是燃料电池汽车产业领域未来发展的重要方向，其功率密度可以达到 3~5kW/L，高性能、低成本金属双极板是支撑燃料电池汽车应用的关键技术，核心指标包括金属极板设计、精密制造、耐久和寿命、批量化制造及成本控制等，目前国内外研究现状如所示。

表 4.17 金属双极板主要技术指标及国内外水平比较

| 关键指标 | 国内技术状态 | 国际技术状态 |
|------------|---|---|
| 金属极板设计 | <p>在市场和政策的牵引下，上汽集团联合新能源动力、上海交大等开发了 100kW 级 300 型电堆的金属极板；新源动力联合上海治臻开发了极板，电堆功率达 80kW 以上，功率密度达 2.85kW/L（含端板）；另外，武汉理工大学与上海治臻联合开发的金属极板，其电堆功率密度也达到 2.7kW/L。此外，大连化物所、航天 811 所等单位也开发了多型号金属极板并进行了电堆试制，积累了大量实际经验；但目前国内金属极板的流道构型还主要以二维流场为主</p> | <p>目前，各大汽车厂商如丰田、本田、福特、通用、现代等都在加大投入开发车用堆，金属双极板设计为其核心技术机密之一；丰田公司为了促进燃料电池技术的应用，解密了其他商业化 Mirai 燃料电池汽车的大量技术，其采用新型 3D 流场的极板</p> |
| 精密制造 | <p>随着近年来不断投入研发力量，在金属双极板一致精密制造方面国内技术逐渐达到较高的水平，在高精度成形、焊接热变形控制等方面达到甚至代表了国际上的一流水平，国内有代表性的单位有上海交大/上海治臻团队、武汉理工大学、大连化物所等</p> | <p>目前，金属双极板主流制备工艺为成形-焊接-涂层，现代、通用、日产等均采用这种方式实现了金属极板制造并应用于车用堆生产；丰田公司开发了钛合金高深宽比金属极板的量产制造工艺，代表了该领域的国际水准</p> |
| 耐久和寿命 | <p>近年来，国内各研究机构在金属极板表面改性和耐久性提升方面投入了大量科研力量，上海交大、大连理工等研究单位开发了多种复合涂层，并在平衡涂层性能与成本方面做了许多努力，极板性能持续提升。目前上汽集团、新源动力与上海治臻联合开发金属极板量产涂层技术，按乘用车工况经过 5010 个小时的测试（测试后电阻低于 10mΩ·cm²），满足 5000 小时的寿命要求，基本达到了国际一流水准</p> | <p>国际上，最为典型的是日本丰田公司开发了碳纳米涂层，提高了极板耐久性。目前，该涂层已经应用与其商业化车用燃料电池电堆，其设计寿命达 5000 小时，燃料电池汽车 Mirai 测试 10 万 km 电堆性能无明显衰减。但是值得注意的是，其涂层成本仍然较高，保性能、降成本仍然是金属极板耐久性提升的关键问题之一</p> |
| 批量化制造及成本控制 | <p>国内比较有代表性的单位是上海治臻，其建立了国内首条金属双极板连续生产线，设计产能为 50 万件/年；目前其量产金属双极板产品在精度、寿命、一致性上都达到上汽集团量产技术要求。但是，极板成本距离美国能源部制定的 3 美元/kW 的指标仍然有距离</p> | <p>丰田公司以商业化 Mirai 燃料电池轿车、Sora 燃料电池大巴为牵引，培育了金属极板产业链。目前 Mirai 轿车实现了一定程度的批量化制造，年产量在 2000 辆左右，售价约 35 万元人民币</p> |

对比国际一流极板设计水平，我国金属双板在水管理和密封等创新设计方面

仍有很大的进步空间；国内精密制造的技术已逐步追赶国际的脚步；在金属板耐腐蚀涂层研发和寿命保证方面，目前国内外极板涂层成本普遍较高，这是制约金属极板控成本、提效率的关键瓶颈问题，因此开发低成本、高性能的极板涂层工艺是国内外共同的核心目标；在金属极板批量化制造和成本控制方面，国内仍处于起步阶段，与国外产业化制备状态相比存在一定差距。

美国能源部根据能源技术竞争性的要求制定了燃料电池金属双极板的性能和成本目标（详见表 4.18）。与现有技术状况对比可得出金属双极板的三个主要发展趋势：第一，为满足车用燃料电池电堆高功率、复杂工况和低温启动的要求，同时增强电堆装配集成、密封、水热综合管理的性能和可靠性，需要在现有基础上探索新型金属板的设计和制造模式；第二，开发新型低成本和高耐久性的涂层工艺是亟需克服的难题；第三，金属极板作为车用电堆除膜电极之外成本最高的部件，极板制造成本需降低至商业化的要求。

表 4.18 美国能源部金属双极板 2020 年目标

| 指标 | 单位 | 2015 | 2020 |
|-------|--------------------------------------|-------|--------------------------|
| 成本 | 美元/kW | 7 | 3 |
| 板重 | kg/kW | <0.4 | 0.4 |
| 渗透系数 | cm ³ /cm ² *Pa | 0 | <1.3*10 ⁻⁽¹⁴⁾ |
| 电导率 | S/cm | >100 | >100 |
| 面积电阻率 | Ohm/cm ² | 0.006 | <0.01 |
| 抗弯强度 | MPa | >34 | >25 |
| 成型伸长率 | % | 20-40 | 40 |
| 阳极耐腐蚀 | μA/cm ² | <1 | <1 无峰值 |
| 阴极耐腐蚀 | μA/cm ² | <1 | <1 |
| 电导率 | S/cm | >100 | >100 |
| 寿命 | h | <5000 | 5000 |

资料来源：美国能源部DOE，浙商证券研究所

综上，开发高性能低成本双极板的大批量生产工艺至关重要，石墨双极板或复合石墨双极板需要进一步降低厚度，金属双极板则需要研究其改性涂层工艺提高耐腐蚀性，还有内部流道构型设计研究，高精度成形，焊接热变形控制工艺研究等。

第三节 密封件

电堆由多个单体电池以串联方式层叠组合而成。单体电池由双极板与膜电极(MEA，包括催化剂、质子交换膜、GDL 气体扩散层)组成。若干单体之间嵌入密封件，经前、后端板压紧后用螺杆紧固拴牢，即构成燃料电池电堆。密封件的主流供应商都来自国外，比如德国 Freudenberg、日本 NOK。

(1) 密封件两大巨头

2018 年，科德宝 (Freudenberg) 大中华区销售额 85 亿元人民币，同比增长 2.9%。其中，在中国内地销售额 78 亿元人民币，同比增长 3.2%，占科德宝集团销售额的 11%，据介绍这其中主要是来自汽车业务。燃料电池电堆密封作为特种密封解决方案，其作用是减少泄漏，并提高穿过膜的氢质子流量，品种主要有气体扩散层集成密封和双极板集成密封。2018 年 10 月科德宝集团旗下的 FreudenbergSealing Technologies 宣布开发出特殊密封件，可直接安装在气体扩散层，并易于设计非常薄的电芯。该弹性体密封件在注塑成型工艺中直接安装在气体扩散层上，可用于气体的微细分布以及高分子电解质膜两侧的热量和水分传输。高分子电解质膜将形成含有密闭气体扩散层的紧凑安全的密封单元。

NOK 作为全球最大的独立油封制造商，日本国内市场占有率为 70%，海外市场占有率为 50%。1960 年开始与欧洲最大的油封制造商德国科德宝展开合作，在日美欧亚市场构筑全球供应网络，开发针对燃料电池内部电池堆的低反作用力、

节省空间的密封零部件，促进 E-mobility 用密封的开发，并开始了部分产品的批量销售。

(2) 竞争力分析

虽然密封件占燃料电池电堆成本的比例不高（10%以内），但是燃料电池密封件的生产销售仍由国外企业垄断，国内燃料电池零部件的开发处于比较滞后的阶段，大多依赖进口，随着产业规模提升，国产燃料电池零部件需提高竞争力。密封件对于维持燃料电池车辆氢电安全至关重要，要求具有较高的气体阻隔性能，用于电堆内部需具备低透湿性，耐湿性，耐热性，绝缘性，保证双极板、膜电极、密封胶线等多个界面良好密封，且不影响流道性能；用于电堆外要求能应对吸收震动和冲击。密封件技术也是全球氢燃料电池汽车技术链中比较薄弱的一环，掌握核心技术的企业稀缺。

第四节 紧固件

在燃料电池固定领域，传统的固定方式是利用两个外端板多根固定螺杆进行连接固定，这种固定模式对 MEA、双极板和端板等加工公差要求较高，增大了电堆的生产成本。若电堆各部件的加工精度不够，导致电堆内部压力不均匀，会造成电堆四周的尺寸误差较大，不便于电堆产品规格化生产；由于电堆内部受压力不均匀，会造成电堆内部器件接触松紧度不一样，导致电堆内阻增大，大幅度降低电堆性能；随着使用过程，震动和热胀冷缩易导致螺帽松动现象，有泄漏的风险；产生的间隙容易受潮影响电池寿命。

(1) 固定件形式多样化

固定件在长期使用过程中的可靠性决定着一个电堆的使用寿命，国内外电堆集成企业会选用与自己产品加工精度适合的紧固件形式。美国 3M 开发了一种用

于燃料电池组件的点胶成形紧固件，组件包括第一和第二流场板，每个流场板包括多个紧固位置限定处的多个紧固件孔径，各个紧固件孔径对准以限定紧固孔，由弹性材料形成的点胶成形紧固件放置在每个紧固孔中，有利于紧固件的体积位移；韩国先进科学与技术研究院（KAIST）的 Hee-TakKim 和它的团队开发出一种新的紧固系统，能将氢和氧机械结合而不是化学结合，在碳氢化合物薄膜表面生成一组细小的圆柱体。然后通过加热使柱体伸入软化的电极外层。下一步，当材料冷却和吸收水时，机械连接得以实现和加强。该方法用到的碳氢化合物薄膜是在硅模具上铸造而成；一般 FCHV-adv 中燃料电池采用双行排列方式，使用浮动端板来实现恒压紧固，Mirai 的燃料电池采用单行排列，恒距紧固方式，从而简化了电堆的紧固结构，减少了紧固件数量，电堆功率密度得到提高，成本降低。所以，紧固件效果的体现要结合特定燃料电池电堆的结构。

（2）共同点

尽管固定件形式有很多，但主要思路是为了解决电堆内部压力不均的问题，防止产生过大间隙影响电堆寿命，另一个是简化辅助结构降低成本。因此，国内外燃料电池组件的紧固一般都是用刚性件和弹性件配合，包含端板、压力缓冲件（弹性材料）、压力分散部件、紧固螺栓等。特定的燃料电池电堆结构会需要特殊的紧固方式或者特殊材料的紧固件，这部分内容为国内研究的薄弱环节，国外已经开发了适用于新一代燃料电池系统的紧固装置，比如采用纳米弹性材料，卷制弹性圆柱销，卷制管状原件，精密弹性定位销，限压套，碟形弹簧等，同时提高各元件加工精度，减少尺寸误差和规格化生产。

第五节 电堆集成技术

电堆是燃料电池最关键部件，由多个单体电池以串联方式层叠组合构成。将

双极板与膜电极交替叠合，各单体之间嵌入密封件，经前、后端板压紧后用螺杆紧固拴牢，即构成燃料电池电堆。电堆工作时，氢气和氧气分别由进口引入，经电堆气体主通道分配至各单电池的双极板，经双极板导流均匀分配至电极，通过电极支撑体与催化剂接触进行电化学反应。组成电堆的单体电池主要由双极板和膜电极组成。膜电极包含了质子交换膜、催化剂和气体扩散层。在氢燃料电池汽车产业链中，电堆是处于中游核心环节。

（1）全球行业发展现状

全球氢燃料电池电堆企业按照业务覆盖情况可以分为三类，分别为第三方电堆企业、系统企业、车企等。巴拉德、Hydrogenics、国鸿氢能、新源动力等属于第三方电堆企业，为车企定制开发电堆；亿华通和普拉格能源等属于系统专精特新企业，分别提供适用于燃料电池商用车和叉车的燃料电池发动机系统；丰田、现代、上汽等车企则为自己的燃料电池整车自主研发电堆集成技术。

日韩车企，比如丰田、本田、现代等大多拥有自主研发的电堆，掌握自己电堆集成的核心技术并且不对外开放；而欧美车企倾向于和电堆集成企业合作，比如奥迪采用了加拿大巴拉德定制开发的电堆，奔驰采用奔驰与福田的合资公司AFCC的电堆，戴姆勒也使用巴拉德定制的电堆。目前国外可以单独供应车用燃料电池电堆的知名企业主要有加拿大的Ballard和Hydrogenics，他们的电堆产品已经过长期运营验证。欧洲和美国正在运营的燃料电池公交车绝大多数采用这两家公司的石墨板电堆产品，已经经过了数千万公里、数百万小时的实车运营考验，这两家加拿大电堆企业都已经具备了一定产能，Ballard还与广东国鸿设立了合资企业生产9SSL电堆。

（2）国内行业发展现状

我国早在 2001 年就通过国家科技部 863 电动汽车重大专项设立课题，促使在燃料电池、燃料电池发动机以及整车系统方面形成一套拥有自主知识产权的核心技术。经过 863 计划，我国初步掌握了燃料电池关键材料、部件及电堆的部分关键技术，基本建立了具有自主知识产权的车用燃料电池技术平台。2018 年，中国科学院大连化物所在经过寿命测试和整车应用验证后，首次自主研发 HYMOD-300 型车用燃料电池电堆模块，实现电堆在-10℃环境下的低温启动以及-40℃下的储存。目前国内燃料电池电堆集成技术逐渐起步，电堆及产业链企业数量逐渐增长，产能量级也快速提升。国内电堆集成厂商主要有分为自主研发队伍，以大连新源动力和上海神力科技为代表和国外引进队伍，以广东国鸿为代表。不同技术模式的情况对比如下：

表 4.19 不同电堆集成技术模式的性能对比

| | 大连新源动力 | 上海神力科技 | 广东国鸿 |
|--------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 技术模式 | 自主研发 | 自主研发 | 引进国外 |
| 产品电堆 | HYMOD [®] -300 型 车用燃料电池电堆 | SL-C 系列 | 巴拉德 FCvelocity-9SSL |
| 耐久性 | 5000h | 10000h | >20000h |
| 低温性能 | -10℃低温启动， -40℃储存 | -40℃储存 | -20℃到 75℃ |
| 产能 | 1.5 万 kW | 6 万 kW | 30 万 kW |
| 动力系统客户 | 新源动力 | 亿华通 | 国鸿重塑 |
| 整车用户 | 上汽 | 宇通、福田、申龙、厦 门金龙 | 东风、厦门金龙、宇通、 飞驰 |
| 应用车型 | 荣威 750 燃料电池轿车， 上汽大通 FCV80 | 商用车 | 商用车、东风物流车 |
| 优势 | 自主研发实力强，依托上 汽发展 | 自主研发实力较强，与 亿华通形成协同优势 | 产能最大，寿命最长， 巴拉德电堆产品成熟 |

资料来源：官网、公开资料整理，深圳汽航院

新源动力涵盖了燃料电池产业链的多个环节，电堆集成技术国内领先，率先在国内实现实验室科研成果的生产化，燃料电池中试基地，生产、测试装备齐全，已实现燃料电池关键材料及部件和集成电堆的小批量生产。上海子公司成为新源动力的系统集成、总成生产与技术服务中心。在第十五届东京燃料电池展览会上，新源动力全球首次发布第三代金属双极板电堆 HYMOD®-70，单堆功率达 85kW，电堆体积功率密度突破 3.kW/L，可在-30℃低温启动和-40℃储存，适用于乘用车和商用车，已获多家主机厂小批量订单。上海神力科技有限公司承担并完成“九·五”重点攻关计划，“十五”863 及“十一五”863 重大攻关计划中燃料电池发动机课题，其自主开发的 C290-30 燃料电池电堆通过国家强制检测认证，达到国内领先水平。2017 年 6 月 30 日广东国鸿氢能科技有限公司在广东云浮市建成投产了全球最大的商用燃料电池 9SSL 电堆生产线，截至目前，公司已经成为国内燃料电池领域的龙头企业，主要产品有 9SSL 电堆和 HD85、MD30、MP30 车用燃料电池模块。公司与加拿大巴拉德及上海重塑能源建立合资空公司，建成投产全球最大规模的商用燃料电池电堆生产线和燃料电池动力系统集成生产线，年产电堆可达两万台，动力系统 5000 套。公司在消化吸收巴拉德电堆集成和产线技术后，开始自主研发高比功率的新一代燃料电池电堆。

(3) 国内外电堆集成产业市场占比

2019 年 3 月高工产研氢电研究所(GGII)通过调研及推算，2018 年全球氢燃料电池电堆企业的电堆业务营收前十名市场分布情况如下图所示，巴拉德依旧排名第一；国鸿依靠技术引进和强大的市场运作能力仅次于巴拉德；松下依靠日本国内的 Ene-Farm 项目排在第三。丰田、本田技术超前，其电堆营收直接受终端整车销量带动；新源动力等企业代表国内自主技术也具备一定市场竞争力。

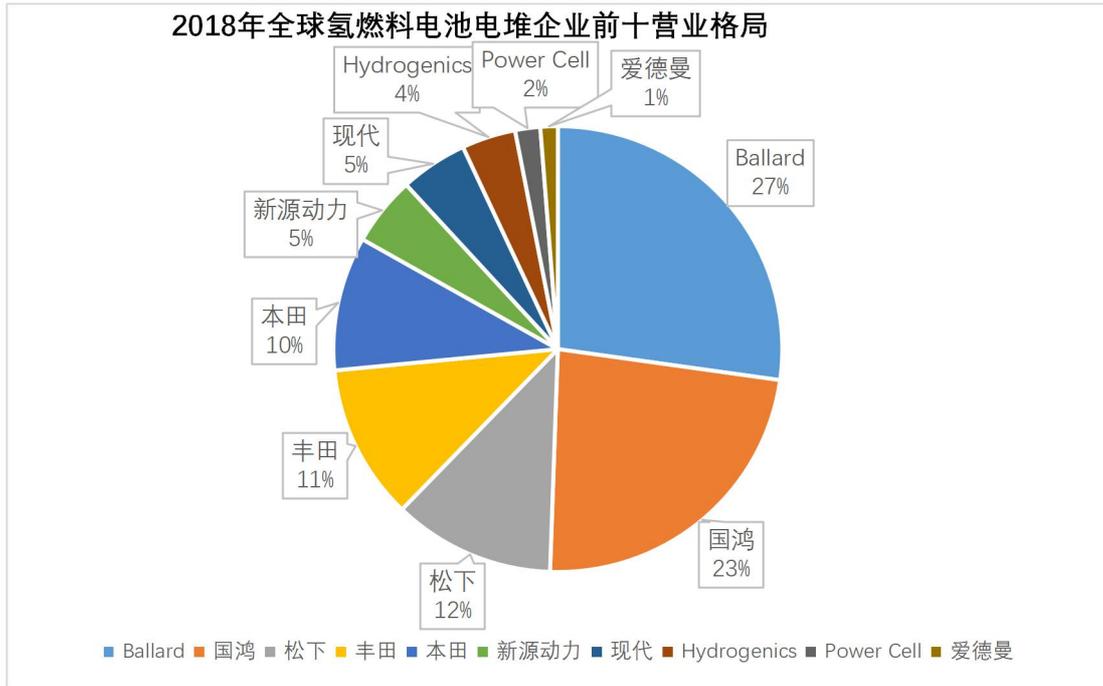


图 4.2 2018 年全球氢燃料电池电堆企业前十营业格局

从 2018 年的企业营收来看，北美的燃料电池电堆集成企业中巴拉德的市场份额是 Hydrogenics 的 6 倍以上，具有绝对优势。欧洲的燃料电池电堆集成企业处于发展中，与北美地区有一定差距。亚洲地区，日韩企业的燃料电池电堆集成技术较为领先，以丰田、本田、现代等车企为主要代表。中国燃料电池电堆集成技术起步较晚，但市场潜力巨大，吸引巴拉德、Hydrogenics、Nedstack 等国外电堆企业在国内布局。

综合全球燃料电池电堆技术产业现状，为进一步降低电堆集成成本实现产业盈利创收，第一个是需要加快电堆各零部件的研发，提升性能和产能；第二个是建立统一的燃料电池测试方法标准和质量评价体系；第三个是加强铂资源回收利用，使产业形成闭环；进而朝着水热管理优化，紧固性密封性良好的电堆集成技术良性发展。

参考文献

- [1] 刘宗巍,史天泽,郝瀚,et al.中国燃料电池汽车发展问题研究[J].汽车技术,2018(1):4-6.
- [2] 邱锴俊.部分技术提前达标,燃料电池车发展目标或上调.[EB/OL].2018-12-21.
- [3] 李丹,宋天丹,康敬欣,et al.燃料电池用质子交换膜的研究进展[J].电源技术,2016,40(10):2084-2087.
- [4] 燃料电池产业链（二）|电堆篇：行业分析[R].国金证券,2019

第五章 氢燃料电池系统

第一节 空气供应系统

空压机是燃料电池车空气供应系统的主要部件,为燃料电池供应源源不断的压缩空气。由于燃料电池内部的化学反应对环境“苛刻”的要求,参与反应的空气(氧气)的温度、湿度、压力和流量需要空压机进行控制与调整。常见的空压机类型有滑片式、涡旋式、涡轮式、螺杆式与离心式等。

表 5.1 主要类型空压机优缺点对比

| 压缩机种类 | 优势 | 劣势 |
|----------|--------------------------------------|--------------------------------|
| 滑片式空气压缩机 | 无需润滑剂 | 机械摩擦大,效率较低 |
| 涡旋式空气压缩机 | 噪声小、容积量较高,且压力与气量连续可调,在宽的工况下都能达到较高的效率 | 体积大、质量大;随着主轴转速的提高,压缩机的振动也会随之增大 |
| 涡轮式空气压缩机 | 效率高,在高速电机的支持下,小体积下可以提供相当的流量 | 整机可靠性,无故障运行时间、小流量供气方面还存在一些问题 |
| 螺杆空气压缩机 | 结构紧凑、零部件少、安装简单、无易损件、排气稳定、可靠性好、启停方便 | 体积大、质量重、价格高、噪声较大、需要供油润滑轴承 |
| 离心式压缩机 | 高效率、低价格、轻质、密封性好、响应快、寿命长 | 偏离设计工况下,性能下降很严重 |

资料来源:中国氢能源网、广证恒生、CNKI长城证券研究所

典型的燃料电池空气供应系统由空气过滤器、空压机、电机、中冷器、增湿器和膨胀机等组成。其中,空压机由电机和膨胀机共同驱动。空气压缩机可让气体压力提升至原来外界环境压力的 2 到 4 倍,从而提升电堆的反应速度。但空压机的寄生功耗很大,约占燃料电池辅助功耗的 80%,其性能直接影响燃料电池系统的效率、紧凑性和水平衡特性。

燃料电池空压机需要满足: 1) 无油。润滑油会使电堆发生中毒,因此空压

机需要采用水润滑轴承或空气轴承；2) 高效。空压机的寄生功率巨大，其效率直接影响着燃料电池系统的性能；3) 小型化和低成本。燃料电池受其功率密度和成本的限制，小型化和低成本有助于燃料电池汽车的产业化；4) 低噪声。空压机是燃料电池系统最大的噪声源之一，空压机的噪声必须被控制；5) 喘振线在小流量区。可以实现燃料电池在小流量高压比工况下高效地运行；6) 良好的动态响应能力。当需求功率发生变化时，空气流量和压力需进行无延迟地进行调整，以跟踪输出功率的变化。

(1) 国外现状

国外燃料电池汽车开发历史较长，空压机产品技术处于领先地位，在转子、轴承、高速电机等方面都积累了很多经验和专利。同时这些企业拥有丰富的汽车配件开发经验，可针对汽车厂商的需求做针对性开发。螺杆式空压机的优点是压力/流量可以灵活调整、启停方便、安装简单，缺点是噪声大、体积大、质量重和价格高，已在美国 GM, PlugPower、加拿大 Ballard 等公司的燃料电池系统中采用。瑞典 OPCON 开发的螺杆压缩机排气流量从 17g/s 到 400g/s, 压比可达 3.2, 并且可以自由调节流量以匹配燃料电池车辆的不同工况，已广泛运用于丰田、本田、现代等企业燃料电池汽车产品。

美国 Garrett 开发的两级电动压缩机采用先进的轴承和电气系统设计，能在高达 20kW 的功率下连续运行，压比达 3 以上，目前已被本田 Clarity 采用；美国 UQM Technologies 生产的燃料电池压缩机系统适用于乘用车、中型车辆及商用车。

涡轮式空压机容积效率较高，压力与气量连续可调，但尺寸和重量较大，本田和现代等公司已定制开发了空气轴承的涡轮式空压机。丰田 Mirai 采用罗茨式

压缩机，性能稳定，虽然有噪音但是配套降噪措施，其成本有很大下降空间，配合丰田自己的金属双极板电堆和膜电极，能量密度高达 3.1kW/L 并能实现自增湿功能。

(2) 国内现状

目前国内车用燃料电池空压机基本依赖进口，国产的因为压比性能不足在车企少有实际应用。如下表是国内外主要空压机厂家产品的参数对比。

表 5.2 国内外厂家压缩机主要参数对比

| 生产厂家 | 产品类型 | 空气流量 | 额定功率 (kW) | 转速 (rpm) | 最大压比 |
|----------------|-----------------------|----------------------|-----------|----------|------|
| Honeywell (美国) | 涡轮式 | 125g/s | 25 | - | 3 |
| UQM (美国) | 罗茨式 | 100g/s | 6.5 | 18000 | - |
| Rotrex(丹麦) | 离心式 | 150g/s | - | 180000 | 2.94 |
| OPCON (瑞典) | 螺杆式 (AutorotorOA1050) | - | 14 | - | - |
| 日立 (日本) | 涡轮式 (SRL-3.7MB5C) | - | 3.7 | - | - |
| 广顺新能源动力 | 离心式 | 120m ³ /h | 6.8 | - | - |
| 福建雪人 | 螺杆式 | 100g/s | - | 24000 | 2.8 |
| 嘉兴德燃动力系统 | 涡轮式 (FAC-40-D) | 51g/s | 4.6 | 40000 | 1.7 |
| | 涡轮式 (FAC-50-D) | 65g/s | 8 | 50000 | 1.9 |

数据来源：燃料电池发动机工程技术研究中心、国泰君安证券研究

福建雪人股份采用螺杆式压缩机，转速可达 24000rpm，最大压比 2.8，其持有 OPCON17.01% 股权，OPCON 市场占有率较高。离心式压缩机转速很高，可以达到 80000rpm，其可靠性还需要验证，成本控制上也有很大问题，其在效率上也不如螺杆和罗茨式压缩机。近年来国内燃料电池车压缩机研发力度加大，涌现出不少车用压缩机生产企业。

表 5.3 国内主要压缩机企业

| 公司名称 | 情况 |
|-----------------|--|
| 国家电力投资集团有限公司 | 国电投总经理江毅透露,集团在氢燃料电池开发领域获重大突破,其中就包括空压机,据其表述,该集团已经实现燃料电池全产业链完全自主化。 |
| 潍坊富源增压器有限公司 | 2019年1月,中科合创(北京)科技成果评价中心组织对潍坊富源增压器有限公司完成的“燃料电池用空气悬浮离心压缩机项目”进行了科技成果评价。 |
| 福建雪人股份有限公司 | 2015年收购了压缩机全球知名企业SRM和OPCON,2016年之前,OPCON供应量全球燃料电池空压机领域领先。主要设计制造了进气量5-20公斤进气量的螺杆空压机。2018年销量在20台以上,预计19年能实现超过500台。 |
| 江苏金通灵氢能机械科技有限公司 | 公司全资子公司江苏金通灵氢能机械科技有限公司与加速如皋经开区签订《氢能源产业投资项目合作框架性协议书》,金通灵氢能机械规划总投资4.5亿元,其中包含有在如皋经开区氢能产业园区投建“燃料电池空气压缩机和氢能备用电源的研发制造”。 |
| 嘉兴德燃动力系统公司 | 公司2018年,在浙江嘉兴总部首次发布了公司自主研发的两款燃料电池专用空压机,为车用15-50kW燃料电池发动机系统量身打造,其型号分别为FAC-40-D和FAC-50-D。 |
| 北京伯肯节能科技股份有限公司 | 公司2018年展出自主研发的世界一流的高效无油空气悬浮离心空压机产品,目前正在自测,2019年有望正式供货,这一产品为一级离心增压和永磁电机直联,采用空气箔片轴承,压比超过2,稳定转速每分钟8万转(2018年数据)以上,效率可达70%以上,有明显产品性能优势。 |
| 广东广顺新能源动力科技有限公司 | 广顺新能源于2010年成立,成立至今,在上汽集团、新源能力、同济大学、清华大学等支持下已完成了第一、二代产品的开发,现已开始第三代产品的研发。其中,公司第二代产品曾与上汽荣威750及950燃料电池车配套,产品压比 ≥ 2 。 |
| 毅合捷汽车科技股份有限公司 | 毅合捷是一家专业研发和制造涡轮增压器的国际企业,产品应用于内燃机,混合动力,燃料电池动力和通用航空发动机等。销售覆盖世界5大洲100多个国家和地区,旗下自主品牌“JRONE”畅销全球,是全球涡轮增压器领导品牌之一。 |
| 势加透博 | 突破了高效低比转速压气机、动压气浮轴承、高速电极控制等核心关键技术,成功研发了XT-FCC系列气悬浮空压机,覆盖了30kW~110kW燃料电池系统需求。 |

资料来源:公开资料整理,深圳汽航院

(3) 产业分析

综合全球燃料电池空气供应系统产业现状来看,空压机技术发展的重点主要有以下四个方面:

1.由于采用金属双极板的燃料电池堆可以达到更高的功率密度,导热导电性能优异,机械强度高,阻气性好,适用于乘用车,但是金属双极板的流道狭窄,需要克服流道阻力的高压缩比空压机,空压机需能够提供更大的流量以保证充足的空气供应;

2.燃料电池供应系统一般包含如下器件:空滤、空压机、电机控制器、中冷器、加湿器、消声器、温度流量传感器,管路等,供应商分散会导致组装和使用不方便,于是燃料电池空压机将逐渐和空气系统内的其他组件以总成的方式联合生产,既节省空间也便于整车的生产装配和后期维护保养;

3.燃料电池空压机的动力来源于电堆产生的电能,属于系统的寄生功耗,通过回收尾气中的能量可以将压缩机的功耗降低;

4.随着大部分车用燃料电池系统从锂电池-燃料电池混合驱动过渡到燃料电池全功率方案,这将要求空压机的操作带加宽,配合不同工况下燃料电池对空气流量的需求已达到最佳系统效率。

第二节 氢气循环系统

车载氢气循环系统为燃料电池发动机供给燃料,主要分硬件系统和控制系统两部分,硬件系统包括储氢瓶、供应管路、加氢口、压力流量调整原件(组合式瓶阀、溢流阀、减压阀等)、压力/温度传感器,氢泄漏传感器等;控制系统则是通过制定的控制策略及各压力/温度传感器的反馈信号对系统的电磁阀进行开/关控制,并给出车载供氢系统的适时状态。车载储氢的方式主要有如下几种(见表5.4)

表 5.4 储氢技术对比

| 储氢技术 | | 储氢密度 | 优点 | 缺点 | 应用场景 |
|---------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| 高压气态储氢 | 一型：钢瓶 | 7.1g/L(12-15MPa) | 成本低，能耗低，充放氢速度快，发展最成熟 | 体积储氢密度低，70MPa 的 IV 型储氢瓶是未来发展重点 | 固定式、车载、散装货运储氢 |
| | 二型：纤维环向缠绕钢瓶 | 14.9g/L(35MPa) | | | |
| | 三型：金属内胆纤维全缠绕复合材料气瓶 | 40-70MPa | | | |
| | 四型：全复合轻质纤维缠绕储气罐 | 39g/L(70MPa) | | | |
| 低温液态储氢 | | 70g/L | 储氢密度高，纯度高 | 液化过程耗能大，成本高，易挥发 | 航天航空 |
| 深冷-高压超临界 | | - | 结合高压储氢和液氢储氢的优点，相同容积的燃料罐中续航里程是最长的。 | - | 中小型车辆、城际客车 |
| 储氢材料储氢（有机物液体、金属氧化物） | | 氢阳能源有机液体储氢（常温常压） 58g/L | 液体储氢密度高，储运方便 | 成本高，吸放氢条件限制，容易发生副反应，重量大 | 研究阶段，不适合用于批量化生产的车辆终端 |

资料来源：氢云链，浙商证券研究所，深圳汽航院

高压储氢是目前最简单和最常用的车载纯氢储存方法，因此大部分燃料电池汽车供氢系统都选择高压储氢方式。燃料电池大巴、物流车高压供氢的压力通常为 35MPa，燃料电池乘用车高压供氢压力通常为 70MPa。燃料电池工作时对氢气的流量和压力要求极高，储存的氢气需要经过一套压力和流量的调节系统调节后再输送到燃料电池内部。

(1) 国外现状

国外目前大多为 70MPa 车载供氢系统，普遍应用于乘用车上，技术比较领

先的代表性是加拿大的 Dynetek 公司和美国的 Quantum 公司。其中车企也对适合自己的车载供氢系统也进行了详细研究和开发,比较出色的有丰田和本田,丰田 Mirai 的新型 70MPa 高压储氢系统采用全缠绕IV型气瓶,铝合金主体的高压瓶口阀和高压调节器能通过表面处理大幅度提高铝合金硬度,调整管道与接头硬度优化密封结构,提升压力控制稳定性,改进通信方式和采用预冷加氢工艺,使得最大充装状态达到 95%;本田 Clarity 采用新型 70MPa 供氢系统,储存在高压氢气瓶中的氢气在被供应到燃料电池堆之前,通过内置电磁阀降低压力,内置电磁阀采用铝合金材料,应用树脂密封技术隔离从而减少氢气对温度传感器的影响,树脂密封结构使得整体构造具有高机械强度和耐蠕变性。

(2) 国内现状

国内 70MPa 的燃料电池乘用车仍处于起步阶段,主要以公交车和物流车为主,配备 35MPa 的车载供氢系统。在车载氢气供应系统的技术路线上,国内与国外均沿用的是天然气汽车供气系统的技术和标准。目前,国内车载氢气循环系统的主要供应商有张家港富瑞氢能、派瑞华、上海舜华等。富瑞氢能自主开发的 35MPa 供氢系统已经小规模应用。

虽然 35MPa 车载供氢系统有了一大批供应商,但是自主产品的质量存在比较多缺陷,和国外差距明显,高压气体储氢的存储压力要达到 35MPa 甚至 70MPa,才能为汽车提供高效的燃料储存。开发安全、高效的车载储氢瓶一直是燃料电池汽车氢循环系统的关键技术难题。如所示,为不同材质储氢瓶性能对比。

表 5.5 不同材质储氢瓶性能对比

| 类型 | I 型 | II 型 | III 型 | IV 型 | V 型 |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|
| 材料 | 纯钢制金属 | 钢制内胆 纤维缠绕 | 铝内胆 纤维缠绕 | 塑料内胆 纤维缠绕 | 无内 胆纤 维缠 绕 |
| 工作压力 | 17.5~20MPa | 26.3~30MPa | 30~70MPa | 70MPa 以上 | 研发 中 |
| 介质相容性 | 有氢脆 有腐蚀性 | 有氢脆 有腐蚀性 | 有氢脆 有腐蚀性 | 有氢脆 有腐蚀性 | |
| 产品重容比 | 0.90-1.3kg/L | 0.60-0.95kg/L | H ₂ : 0.35-1.00 kg/L | H ₂ : 0.30-0.80kg /L | |
| 使用寿命 | 15 年 | 15 年 | 15/20 年 | 15/20 年 | |
| 储氢密度 | 14.28~17.23kg/m ³ | 14.28~17.23kg/m ³ | 40.4kg/m ³ | 48.8kg/m ³ | |
| 成本 | 低 | 中等 | 最高 | 高 | |
| 车载 是否使用 | 否 | 否 | 是 | 是 | |

资料来源：北京市氢燃料电池发动机工程技术研究中心 长城证券研究所

为降低气瓶的自重，同时对环向和轴向进行增强，III型全缠绕气瓶成为较好的选择。III型全缠绕气瓶采用碳纤维代替玻璃纤维使得金属内胆的厚度进一步降低，采用铝合金替代钢材也是的气瓶重量大幅下降。IV型瓶以重量轻、价格低廉的优势，在加拿大、美国、德国、日韩等得到认可。

(3) 产业研究方向分析

高强度碳纤维与耐腐蚀性塑料内胆的轻量化开发应用、高耐压等级和长疲劳循环寿命的研究，是国内外研究机构和企业 in 高压储氢瓶领域的热点。III型和IV型复合高压氢气瓶研制技术先进的公司有：美国 Hexagon Lincoln、美国 Quantum、美国 FIBA Technologies Inc、加拿大 Dynetek、日本 SAMTECH、意大利 FaberIndustries、Freudenberg 等。美国 Quantum 是全球率先开发出聚乙烯塑料内

胆、碳纤维缠绕IV型储氢瓶的公司，于2001年12月开发出工作压力70MPa的储氢瓶；美国Hexagon Lincoln公司在2002年7月也成功研制了工作压力为70MPa的高压储氢瓶，爆破压力为175MPa，最大储氢密度达到5.7wt%。加拿大Dynetek致力于生产金属内胆复合材料缠绕III型储氢瓶，储氢密度为4.3~5.1wt%。日本SAMTECH也开发了多种材质和规格的高压储氢瓶，大巴车等商用车多采用35MPa的，已量产的燃料电池轿车多采用70MPa的。丰田公司于2014年上市的Mirai燃料电池汽车、本田公司于2016年上市的Clarity燃料电池汽车，现代2018年上市的NEXO燃料电池汽车均搭配了70MPa的IV型储氢瓶。

目前我国已经具备了各种尺寸规格35MPa铝内胆纤维全环绕III型高压储氢瓶的设计和批量生产能力，代表性的企业有沈阳斯林达、北京科泰克、北京天海、富瑞氢能等，具体如所示。2016年沈阳斯林达研制的70MPaIII型纤维全缠绕的车用储氢瓶已应用于上汽荣威950氢燃料电池汽车，后续北京科泰克、北京天海、富瑞氢能等也陆续推出70MPaIII型储氢瓶，IV型瓶国内仍处于样瓶试制阶段。

我国车载储氢瓶在材料、技术研发、实验能力与数据、标准体系等方面与国外存在着很大的差距。

表 5.6 国内 35MPaIII型储氢瓶参数

| 储氢气瓶生产商 | 工作压力 (MPa) | 容积 (L) | 储氢质量密度 (wt%) |
|---------|------------|--------|--------------|
| 沈阳斯林达 | 35 | 9-307 | 3.8~4.9 |
| 北京科泰克 | 35 | 140 | 4.3 |
| 北京天海 | 35 | 5-230 | 3.5~4.0 |
| 富瑞氢能 | 35 | 70-200 | 4.0~4.9 |

第一，碳纤维关键原材料依赖进口，高性能碳纤维基本处于技术空白状态，价格高于国外，性能较差，批量化生产能力不足；第二，70MPa储氢瓶相关的基础设施配套和产业化成本居高不下，70MPa加氢站未普及，高压压缩机、加

氢机、加注冷却系统、控制逻辑等问题尚未解决；第三，生产工艺不成熟与国家标准不完善阻碍了IV型瓶的开发，目前我国 GB/T35544 标准仅对III型作了规定（见如下表格）；第四，深冷高压储氢瓶的开发和标准体系尚未建立。

表 5.7 国内外车载储氢瓶标准对比

| 内容 | 我国相关标准 | ISO/CD19881:2015 技术要求 |
|--------|---|---|
| 范围 | 压力为 35MPa，容积≤450L，温度-40 至 65℃ | 压力≤70MPa，容积≤1000L，温度-40 至 85℃ |
| 结构型式 | 一端或两端开口III型瓶 | I、II、III、IV四种气瓶 |
| 设计要求 | 压缩氢气 | 压缩氢气 |
| 材料 | 内衬材料为 6061 铝合金；缠绕层为玻璃纤维、芳纶纤维或碳纤维；过渡层为热固性或热塑性树脂 | III型瓶内胆采用铝合金；缠绕层为玻璃纤维、芳纶纤维或碳纤维；过渡层为热固性或热塑性树脂 |
| 型式实验要求 | 层间剪切强度、水压爆破试验、常温疲劳、火烧、枪击、损失容限、极限温度疲劳试验、跌落、化学腐蚀、加速应力破坏 | 水压爆破试验、常温疲劳、火烧、枪击、损失容限、极限温度疲劳试验、跌落、化学腐蚀、加速应力破坏、氢气气体循环试验 |

资料来源：《车用高压储氢气瓶法规标准研究》，东兴证券研究所

车载储氢瓶由于安装空间受限、续航里程提升和能耗降低需求，发展趋势主要表现为高压化、轻量化、低成本，所以常温高压IV型轻量储氢瓶和深冷高压高密度储氢瓶将是车用储氢的研发方向。

第三节 水热管理系统

燃料电池汽车水热管理子系统主要包括冷却水泵、散热器及风扇、加湿水泵、水箱及相应的管路等，同时加湿器、冷凝器、水分离器的部分功能也属于燃料电池汽车水热管理子系统。

质子交换膜燃料电池的正常工作温度范围较窄，因为过低的温度会影响燃料催化剂的活度，阻抗较大；温度过高则又容易导致质子交换膜脱水，引起膜的电

导率下降和损坏等情况，因此目前质子交换膜燃料电池的正常工作范围控制在60~80℃。对于质子交换膜燃料电池来说，最理想的情况是整个电堆内部的工作温度完全一致，这样有利于提高电堆内部各单片电池的一致性，有利于改善整个电堆的工作特性和寿命。

由于燃料电池在电化学反应过程中产生的热量需要由冷却系统带走，因此允许电堆内部有一定温度差以便冷却系统带走多余的热量，温差最好控制在5~10℃以内，以免温差过高对电堆性能产生较大不利影响。但由于受各种极化现象的影响，目前质子交换膜燃料电池实际使用时其效率一般在50%-60%之间。由于其工作温度较低，因此从电堆表面以热辐射、对流形式以及电堆尾排处散发的热量非常少，大部分热量需要利用冷却系统带出，利用散热系统来散发。所以相对于传统车用内燃机而言，在发出相同功率的条件下，质子交换膜燃料电池发动机需要由散热系统散发的热量更多，一般为传统内燃机的两倍左右。这就对燃料电池的水热管理系统提出了更高的要求，这也是目前燃料电池发动机开发过程中的难点之一。列出了质子交换膜燃料电池与传统内燃机在散热方面的一些比较。

表 5.8 燃料电池与内燃机的散热比较

| 类型 | 燃料电池 | 内燃机 |
|-----------|-----------|------------|
| 尾排气体带走的热量 | 3%~5% | 50% |
| 散热系统带走的热量 | 95% | 50% |
| 散热器的工作温度 | 环境温度到 75℃ | 环境温度到 110℃ |

(1) 水热管理系统技术要点

燃料电池汽车的水热管理系统主要有以下特点：1.燃料电池发动机工作时的冷却循环水温度要比传统发动机工作时的冷却液循环温度低 20℃以上，也意味

着冷却系统与外界环境的温差更小，会增加冷却系统的工作难度；2.在相同功率情况下，燃料电池发动机需要通过冷却系统带走的热量约为传统发动机的 2.5~3 倍，对冷却系统的散热能力要求更为严苛；3.由于质子交换膜对工作温度的敏感性较高，过低的温度会影响膜的工作性能和寿命，过高的温度又会造成膜的损坏；为了尽量保证燃料电池内部工作温度的一致性，冷却循环水进、出燃料电池的温差必须控制在 10℃ 以内，因此对冷却系统的响应速度和控制精度要求较高。质子交换膜燃料电池发动机冷却系统原理如所示。

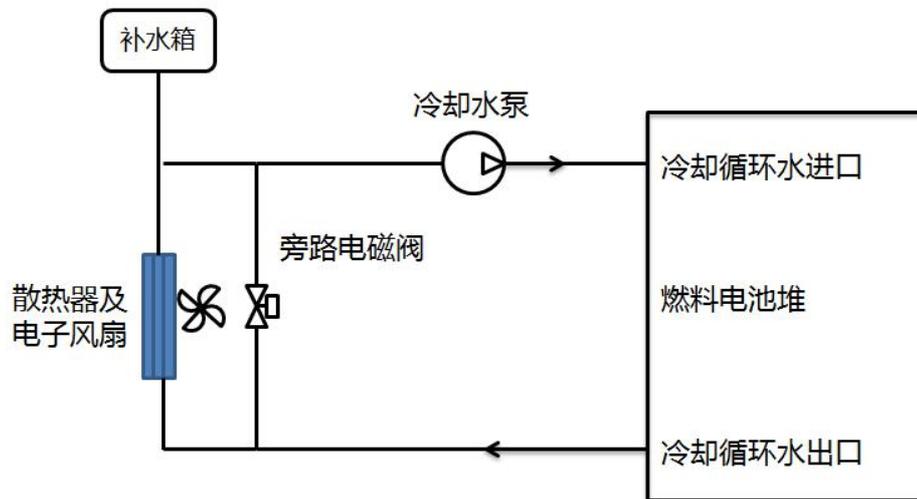


图 5.1 质子交换膜燃料电池发动机冷却系统原理图

冷却系统的主要部件由冷却水泵、散热器及电子风扇、补水箱、旁路阀组成。燃料电池发动机系统中需要利用冷却循环水，如膜加湿器和喷水加湿器，此时就需要在冷却系统中引出一条支路以便将部分冷却循环水引入相应部件。旁路电磁阀的作用是在发动机起动阶段将散热器短路以减少冷却系统的散热量，这样有利于加快燃料电池的温升尽快达到正常工作温度。其目的是尽量缩短冷起动时间，减少燃料电池在低温、低效区域工作的时间，有利于提高燃料电池的性能和寿命。

(2) 水迁移形式

质子交换膜燃料电池的水热管理系统主要目的就是维持质子交换膜适合的水合程度，同时保证电池内部适合的湿润状态，以免产生膜脱水或电池内部发生堵水等现象。冷却系统的设计就是要根据所选质子交换膜燃料电池的类型、电堆功率的大小等实际情况，确定合适的加湿方式及整个水热管理系统的结构，同时还要保证加湿用水与回收水之间的平衡。

在电池内部，水的迁移主要表现为两种形式，一种是在电渗力的作用下被水化的质子携带，从阳极向阴极运动。另一种是水在浓度梯度下从阴极向阳极的扩散运动。电渗作用和扩散作用分别使水向相反的方向运动，如果两者速率一致则膜中的水仍处于平衡状态。然而在实际运行中，随着放电电流的增加，反向扩散水量愈来愈低于正向电渗迁移的水量，形成水净迁移，最终结果导致水从膜的阳极侧迁移至阴极侧，阳极侧脱水。为了建立水的平衡需要控制阳极补充水分等于水向阴极的净迁移量，并且补充水量可调。在目前加湿系统的设计中，一般通过对阳极气体加湿来补充。当采用空气作为氧化剂，对空气的加湿也很重要，因为空气中的氧分压比较低，高速的干燥气体使得阴极气室保持很低的水分压，增大了水的净迁移，从而使膜在阳极侧的失水更为严重。

(3) 国内外发展近况

目前国际上的主流技术是 Gas-to-Gas 加湿器。国外已经有许多厂家开发出加湿器，并已量产销售，能够满足备用电源到氢燃料电池公交车用加湿需要。如美国的 Perma-Pure 生产的管式加湿器、加拿大生产的板式加湿器、德国 Mann-Hummel 生产的板式和管式加湿器和德国 Freudenberg FCCT 生产的管式加湿器等。国内生产燃料电池车用加湿器的厂家非常少，且性能亟待提高，深圳伊

腾迪新能源有限公司开发的加湿器寿命突破了 10000 小时。此外，国际已经开发出自增湿的电堆，丰田 Mirai 采用内部循环系统，无需加湿器，使用电池内发电产生的水蒸气自我加湿，以保持电解质膜的质子传导性能。

第四节 泵与阀件

前三节所述的三个系统，泵是提供稳定动力的“心脏”，而性能良好的阀件和连接件是保证燃料电池系统稳定，密封性可靠，避免水汽腐蚀的关键。

(1) 国内外氢泵发展现状

氢气循环系统零部件供应方面，国外有着许多掌握先进技术的供应商。在氢循环泵方面，主流供应商较少，性能比较优异的氢泵由美国 PARK 公司生产，其开发出氢气循环泵可用于不同的氢燃料电池汽车，国内目前没有替代品，主要是由于氢气循环泵的氢气密封和水汽腐蚀和冲击问题难以解决。国内雪人股份、广顺新能源、汉钟精机等企业正在进行氢气循环泵的研发。

(2) 国外阀件供应体系完善

在瓶口阀方面：意大利 OMB 提供全系列的高压氢气阀门，涵盖 35MPa 和 70MPa 两个压力使用范围，并支持在瓶口阀处加减压器；OMB 与 Daimler AG 合作开发了瓶口阀 OTV700，用于 70MPa 供氢系统；加拿大 GFI 开发的 70MPa H-ITVR 瓶口阀同样提供可调的低压输出结构来简化系统。

在减压阀方面：Testocom 公司专门针对氢气和天然气开发了一系列减压阀，采用直动活塞式结构，最大进口压力分 5000psig（合 35MPa）和 10000psig（合 70MPa）两种，最大出口压力 500psig（合 3.5MPa）。此外，美国 Swagelok 和韩国 DK-Lok 也开发有减压阀，意大利 OMB 和加拿大 GFI 的设计可以将减压元件集成的瓶口阀上。

在加氢口方面：德国 WEH 是此类零部件的主要供应商，全球大多数先进的加氢站依赖于 WEH 的嘉庆组件，其提供高压加氢零件满足 25MPa-70MPa 的加注压力要求，流速可达到 100~120g/s，还可以编码控制压力范围和气体类型，并安装了集成的止回阀系统，同样适用于公交车、卡车和乘用车的氢气加注。

在供气管路方面：美国 Swagelok 公司开发有卡套接头、卡套管、单向阀、过流阀、针阀、比例卸荷阀和过滤器等，一般采用 316 不锈钢，具备抗氢脆性能。韩国 DK-Lok 公司也是供氢管路系统的主要供应商，技术能力和美国 Swagelok 不相上下。

(3) 国内阀件供应商稀缺

国内零部件开发主要厂商有北京天海、沈阳斯林达、北京科泰克、沈阳美托等，已初具生产 35MPa 供氢系统零部件的能力，沈阳斯林达还自主开发了 35MPa 高压氢气瓶口阀；上海瀚氢动力科技有限公司、上海百图低温阀门有限公司也开发供氢系统的集成式瓶口阀和其他零部件。储氢瓶瓶口阀、PRD 阀等需要承受高压（45MPa 以上）和温度剧变冲击，目前国内仍是基本依赖进口，进口产品常常兼容性差强人意，国产产品的可靠性还亟待提高。需要肯定的是，国内的北京博肯、上海舜华和科泰克等公司，正在积极开发相关产品，预计 2019 年前后量产并投放市场。

第五节 电控系统

燃料电池系统电控系统用于实现对燃料电池发动机的全过程控制，包括运行各环节的协调、监控和管理，以确保可靠和高效的系统运行。燃料电池的输出特性随着电流的增大，电压下降幅度是比较大的。而燃料电池汽车后续的负载是电极控制器，它基本是恒压的动力系统，需要 DC-DC 来改变燃料电池的输出特性

来适应动力系统的恒压源特性的需求。另外，混合型燃料电池汽车的动力系统通常采用燃料电池加电池的混合结构，基于制造工艺和产品的可靠性的考虑，燃料电池系统的输出电压都比较低，一般在 240V~430V，而且燃料电池的外特性（电压随电流的变化）曲线的斜率比较大。另一方面，设计较高的动力总线电压等级可以提高驱动系统效率和减小驱动系统的体积及重量，电池组的标称电压一般在 380V 以上，而且电池的充放电特性及其使用也要求电燃料电池的端电压在较小范围内波动，需要 DC-DC 变换器对燃料电池的输出电压进行升压变换及稳压调节，实现变换器输出电压和电池工作电压相匹配，同时对燃料电池的最大输出电流和功率进行控制，起到保护燃料电池系统的目的。

FCU 的作用是控制燃料电池发动机的基本工况和输出功率。通常燃料电池车辆的控制核心 VCU 根据车辆的行驶状况对能量的要求，通过 CAN 总线实时向 FCU 发出对能量需求量的请求信号，FCU 在收到来自 VCU 对能量要求的信号后，会即刻调整燃料电池的工况和 DC-DC 的转换功率。燃料电池发动机的启动、功率输出、关机均受 VCU 的指挥，在燃料电池工作过程中若燃料电池发动机出现故障出于自我保护可先停机，再通知 VCU，此时车辆还可以依靠蓄电池组继续工作。

(1) 电控系统发展路线

从功率拓扑来看，现在基本是两大类型，一种是隔离型拓扑，一种是非隔离型拓扑。隔离型拓扑的主要特点是需要有变换器。一般来讲这种拓扑都是用单管多管并联。非隔离型拓扑像 BOOST、ZVT-BOOST 等等，它的特点是效率非常高，实验室测试到的效率甚至可以超过 98%。因为电路开关器械数量比较少，所以可靠性比较高，一般会用功率模块来设计，从整体上更有利于向大功率拓展。

燃料电池 DC—DC 都是用长控的机械，包括 MOSFET、IGBT、SiC，碳化硅的抗压频率可以做得比较高，以达到比较高的效率和能量密度。在机械这块，现在也有两个路线，一是多管并联，二是模块。多管并联成本会比较低，但是这种技术需要通信电源，它的负载是蓄电池，蓄电池的动特性要求非常低，即使是快充也要一个多小时。燃料电池后续动力系统虽然有锂电池对它动态特性做一些补充，但实际上它对动态特性的要求还是比较高。如果是串联这种系统，在动特性要求比较高的时候，可能就破坏这种条件导致炸机。多管并联动态均衡以及热均衡和安装是比较大的挑战。

(2) 数字控制

数字控制已经广泛利用在电池方面的产品。现在模拟控制依然有，这种控制灵活性比较差，同时控制的手段比较少，而且它的控制性能受温度和环境变化影响比较大。数字控制的实时性已经完全能够跟模拟控制媲美，其可以用一些现代离散控制的技术，已经成为一个主流。从控制来看一般选用多路交错并联的控制，这样燃料电池的流波比较少。另外，这种控制技术可以提供更大的电流，同时可以减少各个支路的电流负担，可以增强系统的冗余能力。另外，在控制中会广泛使用电流控制前馈技术，控制过程中用动态调整开关频率，这样可以获得较好的电磁干扰特性。

(3) 分析

燃料电池 DC-DC 的发展首先是高能效，提升燃料电池整体的转换效率，未来可能会选用一些软开关的功率拓扑，碳化硅的应用可能会越来越广泛，另外高效软件控制算法对提升控制器的转换效率也很有帮助，这部分需要做到控制成本。另一个趋势就是高功率密度，对热设计和热仿真也会越来越重视。设计合理的输

出特性是 DC-DC 变换器的关键技术，其输出特性应该限制燃料电池的输出功率和电流，保证燃料电池的安全运行，根据整车动力系统的设计要求，确定 DC-DC 变换器的输出电压给定值，通过输出电压的闭环控制实现变换器恒压输出，对电流的控制防止过流现象也是车载 DC-DC 变换器的关键技术。

第六节 系统集成技术

燃料电池汽车动力系统集成设计的目标是将燃料电池汽车系统的 FCS（电堆）、PCU（动力控制模块 Power Control Unit）、驱动电机、减速器、水泵、水箱、加湿器、空压机及其控制系统集成为一个刚性整体，并整体悬置固定在车身的前舱内。动力系统集成设计要求具有良好的装配、拆卸以及维护工艺性。

根据集成系统设计目标，将动力系统零件分为两层布置；上层为 FCS，PCU、加湿器、水箱；下层为驱动电机、减速器、空压机以及控制器、空滤和水泵。各零件通过框架结构相互连接在一起，一般采用组装式立方框架结构，单件数控加工，批量生产采用压力铸造。

（1）技术要求

根据整车性能要求和框架使用环境，由设计流程分析确定对框架设计的技术要求：1.满足总布置对前舱动力系统零部件的集成安装要求及装配工艺要求。满足集成框架与车身、副车架之间的悬置连接要求；2.安全承载的静载荷及整车坐标下 XYZ 方向的冲击载荷达标；3.满足整车里程疲劳耐久性要求；4.框架在动载荷下应有足够的刚度，以保证所固定的零部件之间无相互挤压和碰撞。设计参考标准为框架跨度内，静载下最大变形量不超过 0.2mm，冲击载荷下最大变形量不超过 1.5mm；5.在满足功能和性能的前提下尽可能减轻集成框架重量。

（2）国内外现状

国外拥有比较先进的集成技术厂商有加拿大 Ballard、Hydrogenics、AFCC（奔驰福特）、Toyota、松下、三菱、Plug Power 等，由于系统集成的技术门槛不高，国内涌现出不少优良企业，比如大洋电机、亿华通、新源动力、佛山国鸿、广东鸿运、南通泽木、安徽明天氢能科技、宇通等，其中亿华通专注于氢燃料电池动力系统研发与产业化，目前已实现氢燃料电池发动机批量化生产，燃料电池发动机采用世界领先的干膜技术，具有低温启动、低温储存、高效率、高可靠性等优势。采用燃料电池发动机和动力电池的电电混合模式，为客户提供集系统构型分析、系统集成、动力系统优化控制、工程服务为一体的整套解决方案。

参考文献

- [1] 曾洁,郭永伟,张育华.燃料电池电动汽车的解决方案[J].机电工程技术,2004(5).
- [2] 鲍鹏龙,章道彪,许思传,et al.燃料电池车用空气压缩机发展现状及趋势[J].电源技术,2016,40(8).
- [3] 李前.车用高压储氢气瓶法规标准研究[J].石油和化工设备,2018,21(8):1-3.
- [4] 周歌.质子交换膜燃料电池气体增湿过程研究[D].2001.

第六章 氢燃料电池汽车集成技术

第一节 车载储氢技术

由于体积和重量的限制，车载储氢的技术要求很高，主要技术指标是能量储存密度，即单位质量储氢密度和体积储氢密度。除了能量密度要求之外。氢气燃料消耗也要满足汽车行驶状态的变化要求，快速行驶时要求储氢系统能够快速供氢，停车等待时停止供氢，车载储氢系统应该有很好的动态响应性能；充填氢气时需要压缩加气时间，控制在几分钟内；冬季零下几十度环境要求车载储氢系统也能正常工作并及时供应氢气；储氢系统的安全性也是非常重要的，还需要相应的保障措施。

根据美国能源部的指标，技术指标并没有限定储氢方式，只要满足要求，基于气态、液态、固态的三种储氢方式均可，不同方式有着各自的优缺点。

表 6.1 美国能源部关于 2005-2015 年车载储氢系统的技术与经济指标

| 储氢系统参数 | 2005 年 | 2010 年 | 2015 年 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 质量能量密度 (kWh/kg) | 1.5 | 2.0 | 3.0 |
| 系统重量 (kg) | 111 | 85 | 55.6 |
| 储氢密度 (wt%) | 4.5 | 5.9 | 9.0 |
| 体积能量密度 (kWh/L) | 1.2 | 1.5 | 2.7 |
| 系统体积 (L) | 139 | 111 | 62 |
| 系统能量成本 (USD/kWh) | 6 | 4 | 2 |
| 系统成本 (USD) | 1000 | 666 | 333 |
| 氢气加注速率 (kg/min) | 0.5 | 1.5 | 2.0 |
| 氢气加注事件 (min) | 10 | 3.3 | 2.5 |

(1) 气态储氢

气态高压储氢在车载储氢系统最直接的方式，通过减压阀就可以调控氢气的释放，是储氢厂商采用最多的车载储氢方法。其优势在于动态响应好，在零下

几十度的低温环境下也能正常工作，高压加氢的速度很快，充满一辆大公交车的储氢容器需要十分钟以内。其缺点在于储氢密度不高，气态车载储氢瓶的国内外研究进展见第五章第二节，此处不再赘述。

(2) 液态储氢

氢气的液化是通过多次循环的绝热膨胀来实现的，由于液氢沸点很低，气化潜热小，液氢与外界的温度有着巨大温差，稍有热量从外界传入容器，就会造成液氢的沸腾而损失，持续低温是车载液态储氢技术的核心问题。为减少蒸发损失，液氢燃料储罐多采用双层壁式结构，内外层之间保持真空，还设置了碳纤维和多层铝箔以隔绝热量传递。图 6.1 是美国林德研制的车载液氢储罐，为确保运行安全，车上有安全管理系统，负责实时监控由于液氢蒸发造成的压力升高，当系统氢压达到风险压力时氢气经卸压阀排出。

美国通用、福特汽车和 BMW 等车企都已推出车载液氢储罐供氢的燃料电池汽车，最高时速能达 150km，重量控制在 90kg 以内，质量储氢密度大于 5%；但是液态储氢商业化难度很高，第一由于绝热要求，储罐体积是普通汽油箱的 3-4 倍；第二氢气的液化成本很高，制取液氢消耗的能量接近液氢质量能量的 30%；第三，氢气的蒸发问题无法彻底消除，为了避免储箱压力过高必须定期放氢泄压；第四，液氢加氢站的建设和维护难度也很大。国内液氢主要用于航空航天事业，在车载储氢系统上鲜有应用。



图 6.1 林德气体液态储氢瓶

(3) 固态储氢

车载固态储氢是一种基于固态储氢材料为介质的技术，其工作原理是储氢材料在一定温度和压力条件下与氢反应形成氢化物，同时放出热量，加热时氢化物分解将储存的氢释放出来，这个吸收和释放的过程是可逆的，可重复循环进行，对应了实际应用中汽车的加氢和供氢过程。其优点是安全性很好，不易发生爆炸，单位体积储氢密度高，同样温度压力条件下是气态氢的 1000 倍。2005 年丰田设计的新型高压金属氢化物储氢罐，轻质复合容器腔体内填充 Ti-Cr-Mn 系储氢合金材料和内置式换热器，罐体总重 420kg，储氢量达 7.3kg，其加氢供氢性能指标与同体积的 35MPa 高压气态储氢瓶相当，但续航里程是气态的 2.5 倍；德国 Benz 公司和 GFE 公司，加拿大 Ballard 公司等也先后研制了用于客车、专用车的质子交换膜燃料电池的固态储氢器，国内也有不少试制成功的固态储氢器，广泛运用于汽车，助动车、游艇等场合。其缺点是质量储氢密度偏低，有效质量储氢密度仅为 1.5-3%，并且需要额外加热系统增加体积和质量，低温环境热交换量加大，这大大增加了整车的无效负荷。

(4) 未来技术趋势

鉴于不同储氢方式各有优缺点，后续有不少研究机构提出复合的车载储氢方式，气态和固态储氢两者组合起来以提高整个系统的重量和体积储气密度，比如丰田公司研制的气态高压-金属氢化物复合储氢罐，也有高压储氢和气态储氢复合的设想，借助高压储氢机制来降低液态储氢部分对绝热的苛刻要求，利用液态储氢机制来降低高压储氢部分的压力。

经过近十年的发展，高压储氢的成功应用尤为显著，高效、安全、低成本的车载储氢系统是发展氢燃料电池汽车必须克服的难关，如何提高高压储氢系统的

体积储氢密度，如何解决固态储氢系统中储氢材料的重量储氢密度，如何解决液化储氢的汽化和成本问题，寻求复合储氢的解决路径，关乎车载储氢系统规模应用的成功与否。

第二节 氢电安全技术

根据氢气的危险特性，其与空气混合能形成爆炸性混合物，遇热或明火即爆炸；另外，燃料电池车所带的高压电力系统也是重大的危险源。世界各国和地区一直在大力推广燃料电池技术及燃料电池汽车，先后制定了多个安全性法规和标准：美国 SAE 制定了 SAE J2578《燃料电池汽车安全的推荐性做法》，对燃料电池车安全测试、燃料电池系统安全、电力系统安全、机械安全、故障防护系统等有相应的强制性法规要求；国标标准化组织 ISO 发表了 ISO 23273-2013《燃料电池道路车辆-安全性规范-带压缩氢燃料汽车用氢危险防护措施》，对燃料电池系统的环境影响和各个部件设计性能要求做了详细表述；全球技术法规 CTR13 是目前各国公认的权威燃料电池汽车的安全性法规要求，法规增加了车载压缩储氢的要求，包括型式试验和顺序试验；欧盟对氢燃料电池汽车的安全要求实行欧盟委员会法规（EU）No 06/2010、欧盟议会和理事会法规（EC）No 79/2009，对一些关键阀件提出具体测试要求。

我国燃料电池安全测评项目目前已制定了 20 多项国家标准，基本形成了自己的燃料电池汽车安全体系。燃料电池汽车需要符合《道路机动车辆生产企业及产品公告》和中国强制性产品认证（CCC 认证）的标准包括 GB/T 24549-2009、GB/T 24554-2009、GB/T 26779-2011、GB/T 26990-2011、GB/T 29126-2012。

（1）氢电安全的一般要求

氢燃料电池汽车系统首先要满足传统汽车，电动汽车的安全法规，并具有燃

料电池车的警示标识。对于氢安全使用方面，由于高压储氢瓶是车载储氢系统的主流，一般高压储氢瓶具备三层结构，要求储氢容器内应该配备温度传感器显示罐内气体温度，同时安装过压和低压保护装置，实时显示内部压力，发生事故时进行安全报警并及时切断氢气供应，一旦系统发生泄漏燃料系统总开关需及时关闭。

燃料电池汽车通过加氢口进行燃料加注，加注口应具有防尘盖组织异物进入，标注最大加注压力，并有消除静电的措施和能够承受来自任意反向 670N 的载荷，且气密性良好。当发生故障或意外事故时燃料系统需要通风排气，放气装置尽量安装在高处，且防止排出氢气对人员的危害，避免流向暴露的电气端子、电气开关等其他火源。储氢瓶到燃料电池氢气，氢气泄漏的薄弱环节是导气管、燃料电池及其连接部分，因此氢气防泄漏安全系统是必须的，在储氢瓶和驾驶位附近安装氢气感应装置，一秒内感知氢气泄漏并关闭氢瓶电磁阀和断电，并发出警报，同时需要配备手动截止阀防止电磁阀失效。如果因为汽车意外碰撞导致供氢管路破裂，供氢系统内需设置紧急关断阀避免氢气进一步泄露。当车身意外失火，温度和压力传感器检测到异常温度和气体压力需联动切断氢气供应，同时为了防止储氢瓶高温高压爆炸，气瓶上应设计安全阀或者易熔栓，紧急情况泄压按一定速度排空氢气，在不满足氢气爆炸极限有点燃条件时，氢气只会排出多少燃烧多少，避免爆燃的危险。超压和低压情况均通过气瓶和管路内的压力传感器实现报警和关断电磁阀控制。另外就是当车身发生剧烈碰撞时，碰撞传感器检测后发出信号关断瓶口停止供气。最后，系统定期的气密性检测也是必要的，提前发现安全隐患。

(2) 氢电技术要点和研究欠缺

现阶段燃料电池汽车的安全标准对汽车动力电路的电压级别、标识、触电防护、绝缘性等提出了具体要求。在触电防护要求中提出了防止与动力电路系统中带电部件直接接触，防止与动力系统外漏可导电部件的间接接触的规定。燃料电池汽车的每个电路和电平台及其他电路之间应保持绝缘。氢气泄漏情况和泄漏后导致燃烧爆炸情况的原因有很多，需要对系统的电安全和氢安全进行综合考虑，主要技术要点如下：1.高压互锁设计，为了实现打开高压部件舱门和加氢口确保高压切断，在各高压设备安装舱门上安装接近开关，提供准确的开关信号；2.碰撞保护及绝缘监测设计，在燃料电池舱内部设置碰撞开关，在发生碰撞时动作切断高压继电器的线圈，整车安装绝缘电阻监测系统，实现漏电报警，二级报警强制切断供电系统；3.手动隔离开关：保证停车状态下整车高压完全切断；4.调试状态及漏电检测设计，便于对高压设备进行开舱带电调试或者维修；5.相关阀门、水泵尽可能选择耐高压高温耐腐蚀的防爆型号，在成本允许的前提下增加氢气阀和减压阀的冗余设计；6.燃料电池发动启动前，对管路注入氮气或者惰性气体进行密封性自检。

氢电安全技术在国内外已经有较多理论性研究，集中在车载高压储氢设计方面，实验性和计算机模拟研究尚缺，这是限制燃料电池汽车发展的瓶颈之一。

第三节 能量管理技术

燃料电池汽车按照驱动模式概括起来有纯燃料电池驱动系统和燃料电池(FC)与辅助动力源组成的混合驱动系统两种形式。

(1) 主要能量管理模式

纯燃料电池驱动系统只有燃料电池一个动力源，汽车的所有功率负荷都由燃料电池承担。它的主要缺点有：燃料电池功率大、成本高；对燃料电池系统的动

态性能和可靠性提出了很高的要求；不能进行制动能量回收。为了有效解决上述问题，使用辅助能量存储系统作为燃料电池系统的辅助动力源和燃料电池联合工作，组成混合驱动系统共同驱动汽车。

当燃料电池单独用于燃料电池汽车独立驱动电机时，燃料电池汽车功率不断变化，会使燃料电池的输出电流发生突变，进而导致燃料电池内部发生水淹或缺水。水淹会加速催化剂层、气体扩散层和膜的腐蚀；缺水则会导致膜干裂，加速膜的降解。因此，有效的燃料电池动力系统结构是燃料电池汽车的重要组成部分。

燃料电池-动力电池动力系统构型是指燃料电池提供均值功率，动力电池提供峰值功率；当车辆制动时，动力电池能够吸收再生制动回馈的能量；能够在燃料电池启动时为鼓风机或空压机供电、空气和氧气加湿、电堆加热。它的缺点是在制动时，对动力电池大电流充电，使动力电池寿命减少；增加动力电池的数量导致整车质量增加，影响动力性和经济性。

在燃料电池-超级电容动力系统构型中，超级电容器能够在短时间内以大电流充电和放电，并且一次充电时间仅需要 0.3 秒；同时超级电容还具有使用寿命长、常规制动时再生能量回收效率高、正常工作温度范围宽以及功率密度大等优点。它的缺点是超级电容的比能量低，能量的存储有限，只能够持续提供大约的峰值功率，同时这种混合动力系统结构复杂、对系统各部件之间的匹配及控制器的设计要求高。

燃料电池-动力电池-超级电容动力系统构型是指结合超级电容高功率密度和动力电池高能量密度等优点，在车辆行驶过程中，动力电池能够提供均值辅助功率，当辅助功率需求较大时，超级电容提供主要能量。同时比能量和比功率的要求可以相互分离，在较少考虑比功率的条件下，优化动力电池的比能量以及循

环使用寿命设计。它的缺点是这种动力系统结构复杂，整车控制策略复杂，且控制电容充放电电流、提高其放电电流时间等的策略需要进一步的研究。

(2) 研究趋势

各大研究机构普遍研究的是混合驱动形式。传统内燃机混合动力汽车是内燃机与电动机之间驱动力的合成，即在两个动力源之间进行动力分配。在燃料电池混合动力电动汽车(FCHEV)中则是电与电的合成，即要进行的是功率分配，可分为两种控制模式：开关模式的基本思想为：对燃料电池进行最优控制，即以最低氢气消耗为目标调节燃料电池，使其在某一工作点工作，该工作点是燃料电池最佳效率点，使燃料电池始终工作于相对低的氢气消耗区，由蓄电池作为功率均衡装置来满足具体的汽车行驶功率要求。功率跟随模式的基本思想为：当蓄电池荷电状态(SOC)在蓄电池荷电状态最低设定值与蓄电池荷电状态最高设定值之间时，燃料电池应在某一设定的范围内输出功率，输出功率不仅要满足车辆驱动要求，还要为蓄电池组充电，该功率称为均衡功率（即对蓄电池进行能量补充使其在最佳的 SOC 状态）。它有四种驱动模式：蓄电池单独驱动模式、燃料电池单独驱动模式、燃料电池单独驱动并给蓄电池充电模式、燃料电池和蓄电池并联驱动模式。

燃料电池的最佳工作区域是燃料电池既处于极化曲线的高效率区域又处于燃料电池利用效率高的区域。燃料电池混合发电系统能量管理的目的是维持燃料电池处于最佳工作区域，同时满足用户的需求，其能量管理系统结构大致如下：

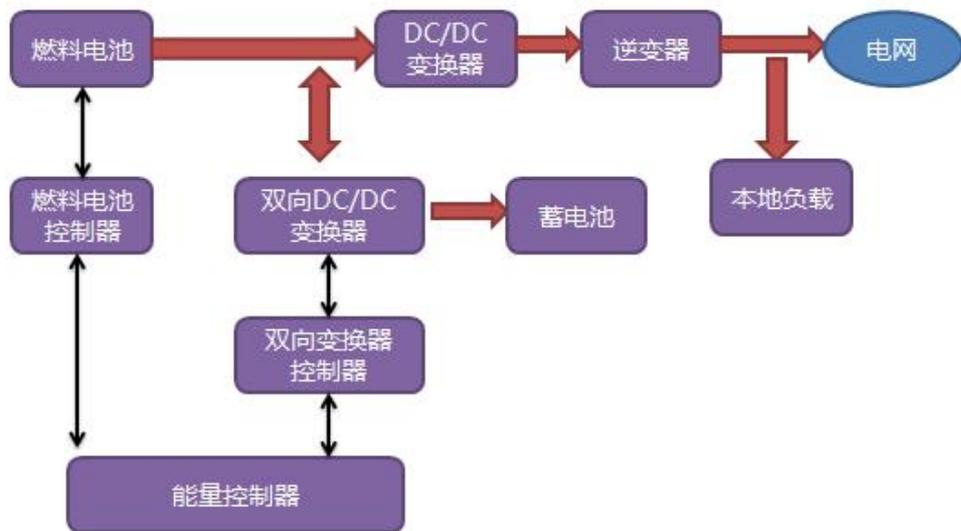


图 6.2 能量管理控制框图

能量管理环节的作用归纳起来有两个：一个是间接的控制燃料电池的输出电流，使得在负载变化的时候燃料电池的输出电流是缓慢变化的；另一个是控制蓄电池的电压，使其处于一个可以快速充放电的最佳状态。研究和实现多能源动力系统的能量分配和流向，以期提高燃料电池整车性能，已成为当前燃料电池电动汽车研发领域的关键和热点问题。

对于多能量源的燃料电池混合动力汽车来说，能量控制策略主要包括功率分配策略、速比控制和制动能量回馈策略三个有机组成部分。核心问题是功率分配，三者紧密结合才能够降低燃料消耗，并且延长燃料电池和蓄电池的使用寿命。功率跟随模式与开关模式是燃料电池-蓄电池混合动力系统的两种基本的控制策略，它们的侧重点有所不同。功率跟随模式的基本思想为：当蓄电池荷电状态在蓄电池荷电状态最低设定值与蓄电池荷电状态最高设定值之间时，燃料电池应在某一设定的范围内输出功率，输出功率不仅要满足车辆驱动要求，还要为蓄电池组充电，该功率成为均衡功率。开关模式的基本思想为：对燃料电池进行最优控制，

即以最低氢气消耗为目标调节燃料电池使其在某一工作点工作,该工作点是燃料电池最佳效率点,使燃料电池始终工作与相对低的氢气消耗区,由蓄电池作为功率均衡装置来满足具体的汽车行驶功率要求。两种控制方式侧重点不同,功率跟随模式以控制蓄电池最佳为准,而开关模式以控制燃料电池最佳为准。

第四节 控制系统技术

由于质子交换膜电堆结构精细,且动态运行过程中需保持电池内参数平衡、电池间平衡、氢原料的安全性。在动态燃料电池发动机中电堆内外部电学参数必须协调,所以燃料电池发动机首先要对电堆内部有效控制,然后及时对外部信号响应,内、外两部分高效协调运行,这是车用燃料电池发动机可靠性的基础。车用燃料电池控制系统主要包含氢燃料供给、空气供给、水热管理系统、加湿系统、氢电等五个子系统,各子系统有着自己的控制策略。

(1) 车载供氢系统控制

现在车载氢气燃料供给系统主要使用高纯度的高压氢气,经减压稳压后进入电堆。而燃料电池发动机主要对储氢瓶阀门,管路阀门和泵进行控制,从而满足动态汽车响应及时性要求。可控制因素仅为氢气流量、压力,使电堆达到动态输出的期望值是该控制的难点。许多研究表明采用 PID 控制,在变负载时有利于维持 PEM 膜两端压力平衡、延长电堆使用寿命,采用预测控制策略控制氢气流速,也可以初步满足负载要求。

(2) 空气供给系统控制

空气供给系统主要由过滤装置、高速风机、风量调节和测量装置构成。由于行车必须考虑车载空气流量变化和燃料电池的动态快速响应,避免内部发生缺氧状态,对空气控制也是现有燃料电池发动机的技术难点。研究表明采用显式模型、

PI 控制、级联结构划模控制模型等均有较好效果。其中采用非线性二阶级联结构划模控制模型,通过对空气流量和压力双重控制可大幅度提高系统瞬态性和鲁棒性。但是控制空气流量和压力比较困难,优化控制操作是提高系统响应性的关键。在这方面采用微分板形理论简化模型、PI 控制器理论模型均可以改善系统的稳定性和耐用性。从实践结果得知,动态扰动离心压缩系统和系统降噪处理利于减小空气与氢气供给的耦合效应,提高系统响应的瞬态性和稳定性。因此,提高响应速度和维持最佳工作状态从而获取最优控制策略是对该系统研究的主要方向。

(3) 加湿系统控制

加湿系统由水箱、水泵和加湿装置组成。主要作用是加湿氢气和空气来湿润质子交换膜,电堆内部水平衡是电堆动态稳定性的关键。现在改进型膜加湿器通过优化流道并采用 Gas To Gas 加湿方案,不需要额外电源,利用燃料电池发动机系统热量及水分的回收、降低运营成本,是当前加湿系统发展的前沿和热点。目前国外已有成熟的产品上市,而国内在该方面研究相对落后。该方案采取实时采样电堆功率、湿度等后端信息,以实现前端反馈控制,通过反馈前端干扰和回路的耦合设计发现了输送水汽不均匀的问题,可通过改进加湿器材料、结构优化得到解决。电堆阴极生成水反扩散至阳极对质子交换膜加湿的方案仍然在研究中。

(4) 水热管理系统控制

水热管理系统是电堆高效安全运行的重要保障,传统的外部循环水换热方式对功率日益增大的燃料电池发动机已不适用,其换热效率低而且局部积热问题严重。目前采用双制冷剂、双回路设计的反馈系统,热管相变传热系统,可有效控制电堆温度、减小散热器体积;通过空气流量调节也可提高热管理系统的散热效

率。未来使外部水热管理系统与加湿系统联合是提升系统效率和降低系统体积质量的重点。

(5) 氢安全控制系统控制

氢安全控制系统设计侧重于系统启动前进行氮气或惰性气体吹扫；运行中控制氢气供给系统的电动阀门动作和空气供给高压风机的开启，以维持质子交换膜压力平衡；系统设置的氢传感器在氢泄漏时切断氢气供应；当氢气，空气供给系统压力过高或过低时报警，必要时切断供应。运用 CFD 技术对氢的可燃性下限进行仿真，对燃料电池车不用工况下的氢释放评估，为氢电安全问题提供了测试、分析、改进措施和控制策略。

(6) 电机及数字电机控制器

燃料电池电动汽车的驱动电机及控制器的工作条件恶劣，工作负荷与转速变化范围大，空间受到很大限制。对电机及控制器的比功率和性能要求严格，对安全性和可靠性要求也比较高。电机和控制器需最佳匹配，除遵循和满足现有标准和法规，还需应用相关试验技术规范科学、准确地对燃料电池电动汽车电机及其控制器进行评价和性能对比。电机控制器将动力电池储存的电能转化为驱动电机所需的电能，控制电机转速、扭矩和功率，同时在刹车时将电机发出的电能回收到蓄电池组，本质是一个电能变换控制装置。

(7) 整车控制器

燃料电池电动汽车整车控制器是整个汽车的核心控制部件，负责处理驾驶员输入和系统运行状态信号，例如启动钥匙状态、油门位置、制动踏板位置、档位、燃料电池温度和电流等。通过这些信号进行控制决策和计算，将控制指令输出到各部件控制单元。车辆的运行情况基本决定了整车控制器应该实现的功能。

一般控制流程主要如下：首先采用蓄电池提供控制器用弱电，燃料电池辅助系统的风机和水泵用强电，使得燃料电池发动机处于待机状态。然后控制系统检查电堆温度、氢气压力等启动条件，符合后激发子程序启动冷却、氢气、空气等系统，当电堆达到一定开路电压，电堆输出电力供系统使用，此时切断蓄电池供电，燃料电池进入怠速状态。在正常行车时，燃料电池发动机根据车况调整对外输出送电。在接到停车指令时，控制系统启动子程序切断负载回路，关闭氢气、空气、冷却系统，切换至锂电池供电进入待机状态。如果控制系统在怠速或正常行车状态时检测到故障信号，则发动机通过非正常停机子程序自动关机进行故障等级分析并处理。

可见整车控制器应具备的基本功能有通讯、监控、功率控制、能量分配等，基于 CAN 总线分布式结构，提高网络性能和系统可靠性；遵循开放式国标标准，有利于系统的扩充和发展；采用分层控制，模块化以提高设计效率；具备良好的容错性和抗干扰性能。最终目的是保证燃料电池汽车行驶性能的前提下，提高资源利用率，实现多能源间优势互补，是目前研发的重要课题。

参考文献

- [1] 李雷明,朱清峰,曹涛.燃料电池在通信领域应用的展望和分析[J].邮电设计技术,2016(12).
- [2] 吴迪,文醉.燃料电池汽车氢电安全法规标准的研究[J].时代汽车,2019,304(01):71-72.
- [3] 郑鹤清.燃料电池混合动力汽车控制策略研究[D].2007.
- [4] 孙绪旗.氢燃料电池汽车动力系统设计及建模仿真[D].武汉理工大学,2012

- [5] 张创,汪云,程星,et al.燃料电池发动机控制系统的研究进展[J].变频器世界,2015(9):42-43.
- [6] 吴迪,文醉.燃料电池汽车氢电安全法规标准的研究[J].时代汽车,2019,304(01):71-72.

第七章 氢能基础设施技术

第一节 制氢技术

氢的利用主要通过燃料电池技术实现，随着燃料电池系统技术进步、产业规模扩大，其使用成本将大幅度降低，但未来氢能的接受性与市场规模主要取决于终端用氢的价格、绿色性与安全性，制氢、储运及加氢等基础设施的配套至关重要。

(1) 主要制氢方式对比

我国氢气产能超过 2000 万吨/年，但生产主要依赖化石能源，消费路径主要是作为工业原料，清洁能源制氢和氢能的能源化利用规模较小。(1) 氢气供给：国内由煤、天然气、石油等化石燃料生产的氢气占比接近 70%，工业副产氢（焦炉煤气、氯碱等）占比约为 30%，电解水制氢占比不到 1%。(2) 氢气需求：基本为工业用途，如合成氨、合成甲醇、石油炼化等；用于交通领域的燃料电池汽车占比不到 1%。如表 7.1 所示是几种主要制氢方式的对比：

表 7.1 主要制氢方法对比

| 制氢工艺 | 具体方法 | 特点 |
|---------|---|---------------------------------|
| 化石燃料制氢 | 是传统的制氢方法，一般用于制氢的化石燃料是天然气。天然气制氢的过程是：在一定的压力和一定的高温及催化剂作用下，天然气中烷烃和水蒸汽发生化学反应。转化气经过沸锅换热、进入变换炉使 H ₂ O 和 CO 变换成 H ₂ 和 CO ₂ 。再经过换热、冷凝、汽水分离，通过程序控制将气体依序通过装有 3 种特定吸附剂的吸附塔，由变压吸附（PSA）升压吸附 N ₂ 、CO、CH ₄ 、CO ₂ ，提取产品氢气。 | 成本低，适用于大规模制氢，但受限于原料的供应，并且具有污染性。 |
| 工业副产物制氢 | 采用变压吸附的工艺，从炼焦行业副产的焦炉气中提取纯氢。其基本原理是利用固体吸附剂对气体的吸附具有选择性，以及气体在吸附剂上的吸附量随其分压的降低而减少的特性，实现气体混合物的分离和吸附剂的再生，达到提纯制氢的目的 | 成本低，适用于大规模制氢，但受限于原料的供应，并且具有污染性。 |

| | | |
|--------|---|--|
| 生物原料制氢 | 甲醇裂解制氢的工艺过程是甲醇和除盐水按一定的配比混合，加热至 270℃ 左右的混合物蒸汽，在催化剂(Cu-Zn-Al)或者(Cu-Zn-Cr)的作用下，发生催化裂解和转化反应 | 投资低、建成快、无污染等特点，并且甲醇作为原料可以更为灵活，但甲醇裂解制氢难以进行大规模的制氢。 |
| 水电解 | 传统的电解水法 | 能耗过高成本高，但具有可持续和低污染，随着电价下降和技术发展、规模化效应，电解水产业即将兴起。 |

资料来源：中国电池网等公开资料整理

(2) 重整制氢

根据 IEA 数据，全球 48% 的氢气是由天然气通过蒸汽甲烷重整工艺 (SMR) 生产，即在高温、催化剂的作用下，甲烷和水蒸气发生的反应生成氢气的过程。用这种方法大规模生产氢气的成本主要由天然气价格决定，例如目前美国天然气的价格是 0.9 美元/kg，欧洲的天然气 2.2 美元/kg，日本的天然气 3.2/kg。

表 7.2 重整制氢与电解制氢经济性比较

| 应用 | 功率 | 效率 | 初始投资 (美元/kW) | 寿命 | 成熟度 |
|-------------|-----------|--------|-----------------|------|-------|
| 大规模蒸汽甲烷重整制氢 | 150-300MW | 70-85% | 400-600 | 30 年 | 已成熟 |
| 小规模蒸汽甲烷重整制氢 | 0.15-15MW | ~51% | 3000-5000 | 15 年 | 小规模示范 |

| | | | | | |
|------------|--------------------------------------|--------|-----------|----------------|------|
| 碱性 电解槽 | 最多 150MW | 65-82% | 850-1500 | 60000-90000 小时 | 已成熟 |
| PEM 电解槽 | 最多 150MW (电池堆) 最 多 1MW (系统) | 65-78% | 3000-5000 | 20000-60000 小时 | 初入市场 |
| SO 电解槽 | 实验室级别 | 85-90% | - | ~1000 小时 | 研发阶段 |

(3) 电解制氢

电解法是通过施加一个直流电把水分解成氢气和氧气，把电能转化成化学能。截至 2014 年，全球大约安装了 8GW 电解能力的电解氢设备。不同类型的电解槽可以按电解质和电荷载体的不同，分成碱性电解槽、质子交换膜（PEM）电解槽和固体氧化物（SO）电解槽等。碱性电解槽是目前最成熟的技术，并且投资成本比其他的电解槽要低很多，但是 PEM 电解槽和 SO 电解槽更有希望降低成本和提高效率。电解氢的成本取决于电力成本以及电解槽的投资成本。为了最大限度地降低电力成本，很多电解氢的设备选择接入价格低廉的可再生能源，如光伏和风电。

国外制氢技术（重整制氢，电解制氢）比较成熟的企业代表有 Hydrogenics 和林德气体；国内企业还是以化石能源制氢和工业副产氢为主流，代表性企业有华昌化工、滨化股份、中节能、中石油、中石化等；重整制氢和电解制氢也有不少企业在研究，比如同济-新源动力、天科股份、中国神华、鸿达兴业等；制氢设备的供应商主要有清能集团、派瑞华、氢璞创能等。

(4) 制氢成本对比

如表 7.3 所示为电解制氢与传统制氢方式成本对比，综合来看，电解制氢成本高于化石能源制氢、工业副产氢、重整制氢等方式，结合现有的制氢价格，在没有补贴的情况下，加氢站很难实现盈亏平衡。通过投资加氢站、外购氢、售氢的单一模式将无法持续，缺少协同制氢、储运氢、加氢等基础设施网络资源的优化配置，难以减少供氢成本，不利于整个氢能产业的持续发展。

表 7.3 电解制氢与传统制氢方式成本对比

| 制氢种类 | 制氢方式 | 能源价格 | 制氢成本（元/kg） |
|--------|---------|--------------------|------------|
| 电解制氢 | 低谷电 | 0.3 元/kWh | 20 |
| 化石能源制氢 | 大工业用的 | 0.6 元/kWh | 38 |
| 工业副产氢 | 可再生能源弃电 | 0.1 元/kWh | 10 |
| 化石能源制氢 | 天然气 | 3 元/m ³ | 13 |
| | 煤炭 | 550 元/t | 10 |
| 工业副产氢 | - | NA | 8-14 |

数据来源：发改委能源所

第二节 储氢技术

储氢技术作为氢气从生产到利用过程中的桥梁，是指将氢气以稳定形式的能量储存起来，以方便使用的技术。氢气的质量能量密度约为 120MJ/kg，是汽油、柴油、天然气的 2.7 倍，然而在 288.15K、0.101MPa 条件下，单位体积氢气的能量密度仅为 12.1MJ。因此，储氢技术的关键点在于如何提高氢气的能量密度。

（1）氢气压缩机

大型加氢站应用中压缩机是储氢的关键技术，通常制氢后得到的氢气主要通过压缩途径储存。将氢气经压缩机压缩，存储在中低压压力等级的储氢罐。当制

得氢气量足够大时，利用地下气穴储存，地下存储的氢气压力水平范围为 2-18MPa。若设备允许，氢气可以通过低温液化，储存到低温储氢罐，其储氢量相比压缩储氢要大得多；同等空间下，压缩储氢提供氢储量 100kWh，而低温液态存储可达 100GWh。

氢气压缩机是将氢源加压注入储气系统的核心装置，输出压力和气体封闭性能是其最重要的性能指标。全球范围内来看，各种类型的压缩机都有使用。隔膜式压缩机输出压力极限可超过 100MPa，密封性能非常好，因此是加氢站氢气压缩系统的最佳选择。但隔膜式氢气压缩机需采用极薄的金属液压驱动膜片将压缩气体与液油完全分离，液油压缩结构和冷却系统也较为复杂，技术难度远高于常规压缩机。如表 7.4 所示是一些主流厂商氢气压缩机参数比较：

表 7.4 高压氢气压缩机性能比较

| 压缩机类型 | 活塞液压 | 膜片 | 液压 | 膜片 | 液压 |
|------------------------------|-----------|-------|-------|----------------|----------------|
| 压缩级数 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 压缩能力 (Nm ³ /h) | 525 | 62 | 300 | 60 | 100 |
| 生产商 | Hydro-Pac | Hofer | Linde | Burton Corblin | Idro Meccanica |
| 压缩级数 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |

美国 Hydro-Pac、PDC 等公司已掌握具有三层金属隔膜结构的氢气压缩机制造技术，输出压力上限超过 85MPa；我国现有压缩机制造商仅能生产用于石油、化工领域的工业氢气压缩机，输出压力均在 30MPa 以下，无法满足加氢站技术要求，中船重工 718 所通过与美国 PDC 公司技术合作可组装配套加氢站的高压氢气压缩机，但核心部件均需美方提供，距离国产化还有较远距离。

(2) 氢气储运产业结构

相比上游制氢行业,我国氢能储运和加注产业化较为滞后。压缩氢气与液态、固态和有机液体储氢技术相比相对成熟,但产业化仍有距离。是氢气储运产业结构概况和差距。

表 7.5 氢气储运产业结构

| 关键技术环节 | | 主要制造商 | 国内技术水平 |
|-------------------|------------------------------------|--|--|
| 低温液态 氢储运装 备 | 大容积液氨圆柱形储罐、液氢球罐 | 中国航天科技、中集安瑞科、 美国 MVE、日本 JCI、Chart 公司、JSCCryogenmash、林 德公司 | 大容积液氢球 罐、罐车技术与 国外存在差距、 关键零部件仍依 赖进口 |
| | 液氢运输及加注设备 | | |
| | 液氢罐车 | | |
| 高压气态 氢储运装 备 | 车载高压氢气瓶 | 意大利 Faber Industries、美 国 Hexagon Lincoln、日本 SAMTECH、富瑞氢能、北 京有色金属研究总院、沈阳 斯林达安、浙江大学、巨化 集团 | 与国际先进水平 存在一定差距 |
| | 固定式高压储氢容器 | | |
| | 移动式高压储氢容器 | | |
| 储氢 新材料 | 金属氧化物储氢材料、有机液体储氢材 料、多孔材料吸附存储材料等 | 美国 Brookhaven 实验室、日 本 AKIBA 实验室、德国纽伦 堡能源研究中心、北京有色 金属研究总院、中国地质大 学、荷兰飞利浦、日本三德、 美国 OVONIC 公司、日本松 下电器、日本福瑞能源、日 本积水化学、氢阳能源 | 与国际先进水平 存在较大差距、 但是大多处于研 发试验阶段 |
| 加氢站建 设与运营 | 35MPa、70MPa 加氢站技术整备及建设 | 奥地石油友天然气集团、法 国道达尔、荷兰皇家壳牌、 德国林德、美国 True Zero 公 司、美国空气产品公司、日 本岩谷、上海舜华新能源系 | 与国际先进水平 存在较大差距 |
| | 气态氢加注装备、气态氢品质检测设备、 加氢质量计量设备 | | |

| | | | |
|--|--|------------|--|
| | | 统有限公司、富瑞氢能 | |
|--|--|------------|--|

资料来源：中商产业研究 长城证券研究所

储运气瓶与车载气瓶的差别在于压力不同：储运气瓶的压力高于车载氢气瓶。当为燃料电池汽车加注时，以站内储氢瓶和车载瓶之间的压差为驱动力，高压气态氢气由站内向车载储气瓶不断加注，直到目标加注质量或者压力则加注完毕。目前国内加氢站目标加注压力多为 35MPa，站内储气压力为 40~45MPa。为了满足更长续航里程的需求，70MPa 的加氢站成为未来发展趋势，其储气瓶压力需要达到 80~90MPa，因此储运气瓶需要承担更大的压力，对强度和材质要求相对更高。

液氢储存问题与车载储氢瓶相同。利用低温铁路槽车长距离运输液氢能满足较大的输氢量，并且可以快速和经济的运输氢气。这种铁路槽车常用水平放置的圆筒形低温绝热槽罐，其储存液氢的容量可达 100m³。特殊大容量的铁路槽车甚至可运输 120~200m³ 的液氢。液化氢气所需能耗将近氢气本身的 40%，且需要保持低温，在 101 千帕压强下，温度 -252.87℃ 时，氢气才可转变成无色的液体，导致储氢罐内外温差较大，因此其储存的容器及输液管道都带有高度的绝热性能。

第三节 运氢技术

如表 7.6 为各类型氢气运输方式对比。针对氢气的储存方式，氢气运输方式主要是三种：气氢拖车、气氢管道、液氢罐车。总体来说，300 公里以下的短距离运输，液氢管道运输成本和气氢拖车有成本优势，400 公里以上的长距离运输则液氢罐车更具优势。我国压缩氢气主要通过气氢拖车和氢气管道两种方式运输。

表 7.6 各类氢气运输方式对比

| 运输方式 | 输送量 | 应用情况 | 优缺点 |
|------|-----|------|-----|
|------|-----|------|-----|

| | | | |
|--------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| 集装箱 (气氢) | 5-10kg/格 | 广泛用于商品氢气运输 | 非常成熟，运输量小 |
| 长管拖车 (气氢) | 250-460 kg/车 | 广泛用于商品氢气运输 | 运输量小，不适宜远距离运输 |
| 管道 (气氢) | 310-8900 kg/h | 主要应用于化工厂，未普及 | 一次性投资成本高，运输效率高 |
| 槽车 (液氢) | 360-4300 kg/车 | 国外应用广泛，国内仅用于航天液氢输送 | 液化投资大、能耗高、设备要求高 |
| 管道 (液氢) | - | 国外较少、国内没有 | 运输量大、能耗高，投资大 |
| 铁路 (液氢) | 2300-9100 kg/车 | 国外较少、国内没有 | 运输量大 |

资料来源：EVCloud，东兴证券研究所

(1) 气氢拖车

气氢拖车：由于高压储氢瓶中氢气质量约占储氢瓶总质量的1%~5%，因此运输气氢拖车运输效率非常低，在运输300公里左右时成本为7000元/吨。其成本主要包括：拖车折旧费、维护保养费、氢气压缩耗电、人员工资及运输油耗等。这种方式比较适用于运输距离较近、输送量较低、氢气日用量为吨级或以下的用户。目前，国内加氢站的外进氢气均采用气氢拖车进行运输。气氢拖车成本构成如下：

表 7.7 气氢拖车成本构成

| 项目 | 成本结构 | 金额 | 单位 |
|------|------|--------|-----|
| 固定成本 | 折旧 | 100000 | 元/年 |
| 固定成本 | 人工 | 300000 | 元/年 |
| | 车辆保险 | 10000 | 元/年 |

| | | | |
|------|----|-----|------|
| 可变成本 | 保养 | 0.2 | 元/km |
| 可变成本 | 油料 | 1.5 | 元/km |
| | 过路 | 0.7 | 元/km |
| | 电耗 | 0.6 | 元/kg |

资料来源：玖牛咨询，长城证券研究所

(2) 液氢罐车

液氢罐车：液氢罐车的运输成本结构与气氢拖车类似，只是增加氢气液化成本及运输途中液氢的沸腾损耗。槽罐车市场价格约 45 万/辆，每次装载液氢约 4300kg，运输途中由于液氢沸腾平均每小时损耗 0.01%，液化过程损耗 0.5%。液化过程耗电 11kWh/kg。槽罐车充卸一次约耗时 6.5 小时。液氢罐车成本构成如下：

表 7.8 液氢罐车成本构成

| 项目 | 成本结构 | 金额 | 单位 |
|------|------|--------|------|
| 固定成本 | 折旧 | 45000 | 元/年 |
| | 人工 | 300000 | 元/年 |
| | 车辆保险 | 10000 | 元/年 |
| 可变成本 | 保养 | 0.2 | 元/km |
| | 油料 | 1.5 | 元/km |
| | 过路 | 0.7 | 元/km |
| | 电耗 | 6.6 | 元/kg |
| | 液化损耗 | 0.5 | 元/kg |
| | 运输损耗 | 0.01 | %/小时 |

资料来源：玖牛咨询，长城证券研究所

(3) 气氢管道

气氢管道：管道输送的年运输能力取决于设计能力，而与运输距离基本无关。目前，氢气管道使用的直径都不大(多数直径 $d < 200\text{mm}$)，输氢压力一般小于

7MPa，国外气氢管道输送相对国内较成熟，美国、欧洲已分别建成 2400km、1500km 的输氢管道。我国目前氢气管网仅有 300~400km，最长的输氢管线为“巴陵-长岭”氢气管道，全长约 42km、压力为 4MPa。

(4) 三种运输方式对比

三种运输方式综合考虑（如表 7.9），可根据距离需求和国家战略发展需要选择合适的运输模式，目前国内氢气管道尚未普及，短距离运输选用气氢拖车为主，但从长远发展来看，大规模、长距离的氢气管道运输，可有效降低运输成本。

表 7.9 三种运输方式综合对比

| 运输方式 | 运输能力 | 运输距离 | 能量损耗 | 固定成本 | 可变成本 | 部署时间 |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| 气体罐运输 | 低 | 低 | 低 | 低 | 高 | 短期 |
| 液化罐运输 | 中等 | 高 | 高 | 中等 | 中等 | 中长期 |
| 管道运输 | 高 | 高 | 低 | 高 | 低 | 中长期 |

第四节 加氢技术

加氢站是燃料电池汽车实现产业化运营的关键基础设施，加氢站的建设数量及普及程度在很大程度上决定了燃料电池汽车的产业化过程。

(1) 各国加氢站建设情况

各发达国家高度重视发展燃料电池汽车，美日欧等主要国家和地区均把加氢站建设作为一项重点任务予以推进，如下表所示。

表 7.10 各国加氢站规划（中国客车网数据）

| 类别 | 美国 | 日本 | 德国 | 中国 | 韩国 |
|------|--------------|------------------------------|------------------------------|---|---|
| 运营数量 | 42 座 | 96 座 | 60 座 | 23 座 | 14 座 |
| 目标数量 | 2025 年 100 座 | 2020 年 160 座 2025 年 320 座 | 2019 年 100 座 2023 年 400 座 | 2020 年 100 座 2015 年 350 座 2030 年 1000 座 | 2020 年 100 座 2025 年 210 座 2030 年 520 座 2050 年 1500 座 |

根据日本燃料电池商用化协会（FCCJ）的统计，截至 2018 年 12 月，日本有 100 座加氢站正在运营，另有 11 座加氢站正在规划中，日本已是目前世界上用于加氢站数量最多的国家，其中 JXTG 公司、日本岩谷产业株式会社（Iwatani）和日本移动加氢站服务公司（Nippon Mobile Hydrogen Station Services）是日本加氢站的主要运营商，其他运营商还有大阪燃气、广岛丰田等。韩国于 2001 年开始建设加氢站，到 2018 年底建成 28 座加氢站，运营机构由市政逐渐转向企业，比如现代汽车、韩国天然气公司、汽车安全研究院等。

北美地区是全球最早开始加氢站建设的地区之一，2010 年温哥华开设了世界最大的加氢站（800kg/天），其中美国无论在加氢站数量还是商业化程度上，都位居北美地区前列，在全球处于领先水平。在政府促进策略的支持作业下，加州成为美国乃至全球加氢基础设施最密集的地区之一，主要运营商为 AirProducts、德国 Linde、True Zero 等。

目前，全欧洲运行的加氢站已经超过了 140 座，占全球比例 40%以上。德国是欧洲氢能基础设施建设的主力，截至 2018 年 9 月德国正在运营的加氢站有 50 座，超过美国成为世界上加氢站第二多的国家。欧洲加氢站主要运营商有戴姆勒、荷兰皇家壳牌、H2 Mobility、法液空等。

我国加氢站建设始于第十一个五年计划期间，最早建成的加氢站是 2006 年的北京永丰加氢站，建成运营的加氢站基本是为大型赛事、示范项目、公司自给使用而建的，商业化运营的加氢站几乎没有。2018 年末国内在建及在运营加氢站情况如下所示：

表 7.11 截至 2018 年末国内在建及在运营加氢站建设情况

| 运营 | 加氢站名称 | 建成 | 城市 | 地区 | 建设方 | 运营方 |
|----|-------|----|----|----|-----|-----|
|----|-------|----|----|----|-----|-----|

| 状态 | | 时间 | | | | |
|------------------------|------------|---------|-----|-------------------------|--------------------------|---------------|
| 在运营 (16) | 永丰加氢站 | 2006 | 北京 | 北京 | 北京氢能华通； BP 公司 | 亿华通 |
| | 安亭加氢站 | 2007 | 上海 | 上海 | 上海舜华； 同济大学 | 上海舜华 |
| | 台湾微生物制氢加氢站 | 2011 | 台湾 | 台湾 | - | - |
| | 上海电驱动加氢站 | 2015 | 上海 | 上海 | 氢枫能源 | 上海电驱 |
| | 宇通加氢站 | 2016 | 郑州 | 河南 | 宇通 | 宇通 |
| | 同新加氢站 | 2016 | 大连 | 辽宁 | 同济大学 | 同济大学； 新源动力 |
| | 沙朗加氢站 | 2017 | 中山 | 广东 | 氢枫能源 | 大洋电机 |
| | 丰田加氢站 | 2017 | 常熟 | 江苏 | 丰田 | - |
| | 瑞晖佛山加氢站 | 2017 | 佛山 | 广东 | 瑞晖能源 | 瑞晖能源 |
| | 东风特汽十堰加氢站 | 2017 | 十堰 | 湖北 | 氢枫能源 | 东风特汽 |
| | 张家口临时加氢站 | 2018 | 张家口 | 河北 | 亿华通 | 亿华通 |
| | 禅城区加氢站 | 2018 | 佛山 | 广东 | 佛汽集团 | - |
| | 云浮新兴加油加氢站 | 2018 | 云浮 | 广东 | 氢枫能源 | 国鸿 |
| | 张家港加氢站 | 2018 | 张家港 | 江苏 | 氢枫能源 | - |
| | 罗定加氢站 | 2018 | 罗定 | 广东 | 云浮舜为； 上海舜华 | - |
| 抚顺新宾沐与康加氢站 | 2019 | 新宾满族自治县 | 辽宁 | 沐与康氢能科技 产 业发展有限公司 | - | |
| 已拆除或 闲置 (3) | 上海世博会加氢站 | 2010 | 上海 | 上海 | - | - |
| | 广州亚运会加氢站 | 2010 | 广州 | 广东 | - | - |
| | 深圳大运会加氢站 | 2011 | 深圳 | 广东 | 上海舜华 | 上海舜华 |
| 已建成不 确定是否 运营 (7) | 三水加氢站 | 2016 | 佛山 | 广东 | 国鸿 | - |
| | 云浮加氢站 | 2017 | 云浮 | 广东 | 氢枫能源 | 国鸿 |
| | 南通百应加氢站 | 2018 | 南通 | 江苏 | - | - |
| 已建成不 确定是否 运 (7) | 郫都区加氢站 | 2018 | 成都 | 四川 | 四川天然气投资 公司；四川金星 能源 | 四川燃气 |

| | | | | | | |
|---------|---------|------|----|----|-----------|------|
| | 佛罗路加氢站 | 2018 | 佛山 | 广东 | 锦鸿新能源有限公司 | - |
| | 聊城中通加氢站 | 2018 | 聊城 | 山东 | - | - |
| | 神华如皋加氢站 | 2018 | 如皋 | 江苏 | 氢枫能源 | 南通百应 |
| 无具体建成消息 | 武汉氢雄加氢站 | 2018 | 武汉 | 湖北 | - | - |
| (2) | 武汉中极加氢站 | 2019 | 武汉 | 湖北 | - | - |

资料来源：长城证券研究所

(2) 产业分析

全球范围来看，我国加氢站建设相对缓慢。一方面氢能需求不足，导致加氢站投入平均成本过高、难以大规模铺设；另一方面国内加氢站成本过高，建设及运营经验不足，加氢站建设运营管理制度体系缺位，加氢站建设运营等行政审批程序不畅通等多方面因素，又使得我国加氢站推广缓慢。80%的加氢站集中在广东、上海、江苏、湖北、辽宁五个省份地区。加氢站投资主体主要是：1) 政府投资、地方国资委或国资能源企业：神华集团、中石化、中石油等；2) 汽车厂商：上汽、东风特汽、丰田汽车、宇通、中通等；3) 燃料电池或系统企业：新源动力、广东国鸿、亿华通、上海神力、爱德曼、明天氢能、大洋电机等；4) 交通物流运营商：氢车熟路、上海驿动、国能联盛、国能联盛、国联氢能、新宾沐与康等；5) 加氢站建设运营企业：上海舜华、北京海德利森科技、氢枫能源、北京派瑞华氢等；6) 加氢站设备集成供应商：北京海德利森科技、富瑞氢能、厚普股份等；7) 气体公司：上海浦江特种气体、南海燃气、四川燃气、林德、空气化工、华昌化工、滨化集团等。

(3) 加氢站系统流程

加氢站系统依据不同的功能，可分为制氢系统（自制氢）或输送系统（外供

氢)、调压干燥系统、氢气压缩系统、储气系统、售气加注系统和控制系统六个主要子系统。氢气压缩机、高压储氢罐、氢气加注机是加氢站系统的三大核心装备。加氢站通过外部供氢和站内制氢获得氢气后,经过调压干燥系统处理后转化为压力稳定的干燥气体,随后在氢气压缩机的输送下进入高压储氢罐储存,最后通过氢气加注机为燃料电池汽车进行加注。

根据北京派瑞华氢能科技有限公司官网的资料,现有加氢站类型可分为四种:固定式加氢站、撬装式加氢站、简易加氢装置和移动加氢车,如今国内外在建的加氢站以固定式和撬装式为主。不同规模的加氢站采用不同的运输方式。一个小的加氢站初始阶段可能每天只需要 50kg 到 100kg,但是在成熟以后的市场里,加氢站每天可能会需要 2000kg 氢燃料。对于小加氢站,可以采用氢气气罐运输或者现场制氢,而对于日用氢量大于 500kg 且没有现场制氢的加氢站,液化运输和管道运输是最好选择。

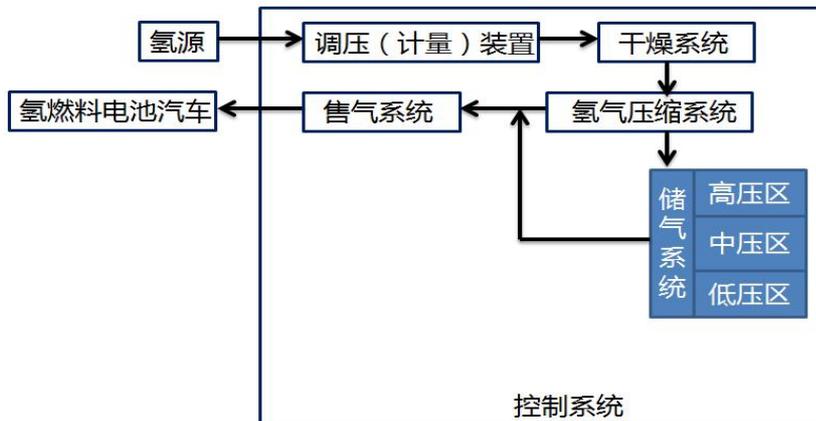


图 7.1 加氢站工艺流程示意图

表 7.12 加氢站分类及特点

| 类型 | 复杂程度 | 场地 | 建设周期 | 加注能力 | 扩展性 | 建设成本 |
|----|------|----|------|------|-----|------|
| | | | | | | |

| | | 要求 | | | | |
|------------|---|----|-------|---------------|--------|------------------|
| 固定式 加氢站 | 高 | 大 | 半年~一年 | 可同时为多辆 车加注 | 可增加扩容 | 100万元~3000 万元 |
| 撬装式 加氢站 | 中 | 较大 | 六个月以内 | 可为一定数量 车加注 | 一般不能扩容 | 300万元~1000 万元 |
| 简易加 氢装置 | 中 | 中 | 一般四个月 | 只能加注一辆 | 一般不能扩容 | 几十万元~一百 万元 |
| 移动 加氢车 | 低 | 小 | 一般四个月 | 可给一定数量 车加注 | 一般不能扩容 | 200万元~500万 元 |

加氢机是为燃料电池汽车加注氢燃料的核心设备，加注压力是其主要参数。氢气加注机的加注压力高于 20MPa 标准的天然气加注设备，但其主要结构和工作原理与天然气加注机并无较大区别，相较于氢气压缩机和高压储氢罐而言技术难度较小，未来的发展方向在于加注系统智能化和安全性的提高。欧美日加氢站普遍采用与汽车配套的 70MPa 压力标准。日本从制度上鼓励车载氢瓶单次充气压力的安全上限值从 70MPa 提高到 88MPa，实现技术升级。德国林德、美国空气化工等企业生产的 70MPa 加氢机安全性与智能化较高，并已经实现量产。我国示范性加氢站和燃料电池客车车载供氢系统处于 35MPa 压力的技术水平，核心设备主要依赖进口。在加氢机方面，天然气设备制造商厚普股份已成功研发氢气加注装置，并已进入产品测试阶段，富瑞特装、舜华新能源、天津大陆等也在研制自主技术的加氢装置，氢气加注设备是目前最有可能实现国产化的核心设备。

参考文献

- [1] 李璐伶,樊栓狮,陈秋雄,et al.储氢技术研究现状及展望[J].储能科学与技术,2018,v.7;No.36(04):587-591.
- [2] 程一步.氢燃料电池技术应用现状及发展趋势分析[J].石油石化绿色低碳,2018,v.3;No.14(02):6

第IV部份 企业篇

第九章 全球氢燃料电池汽车重点企业分析

第一节 日本—丰田汽车公司

一、企业简介

丰田汽车公司（Toyota Motor Corporation），简称丰田（TOYOTA），是一家总部设在日本爱知县丰田市和东京都文京区的日本汽车制造公司，是第一个达到年产量千万台以上的车厂。早在二十世纪90年代，日本丰田汽车公司就开始了

对氢能的探索，从兴趣小组形式发展到现在的新能源研发部，经过二十年多年的技术积累，2015年丰田开发的燃料电池乘用车已率先迈入量产化阶段。

二、主要产品

（1）丰田Mirai



图 9.1 丰田 Mirai

在2014年丰田汽车公司推出世界第一款量产燃料电池汽车，最高车速达175km/h，能够-30度低温启动，一次加氢续航里程达700km，搭载有两个70MPa

氢气罐，单次充气 3 分钟。此 MIRAI 在日本和美国等市场已经销售了 16000 多辆(中国市场尚未销售)。

(2) 丰田SORA



图 9.2 丰田 SORA

丰田推出燃料电池公交车—SORA，搭载丰田自主研发燃料电池组、配备 10 个 70MPa 储氢瓶，一次加氢续航里程为 200km，2017 年开始在东京，名古屋等城市投入使用。

(3) Project Portal(2.0)



图 9.3 Project Portal(2.0)

2017 年的时候，丰田发布 Project Portal 燃料电池卡车的 Alpha 版本。首个版本已经在长滩和洛杉矶港口实现了超过 10000 英里（16093 公里）的集装箱搬运作业。2018 年公司随即推出了 Project Portal 的 2.0（又称 Beta）版本。项目首席工程师 Andrew Lund 表示：“首辆卡车完成了概念验证，更具商业上的可行性”。

三、产品技术特点

(1) 丰田Mirai

燃料电池电堆功率最高可达 114kW，峰值扭矩 335N；燃料电池位于前排座椅下方，能量密度达到 3.1kW/L；储氢罐采用碳纤维材质和凯夫拉防弹衣面料制造，可承压 70MPa 以上，单位储氢密度 5.7wt%。位于座椅后方的储能电池能够把燃料电池堆产生的剩余电能以及制动动能回收产生的电能储存起来；采用内部循环系统，无需加湿器，使用电池内发电产生的水蒸气自我加湿，以保持电解质膜的质子传导性能；Mirai 的车身对两侧的纵梁采用分散冲击力的设计，在氢罐周围布置加强件，实现碰撞时对燃料电池电堆及储氢罐的保护；配备交直流电接口，供家用电器使用；售价为 723.6 万日元（含税）左右，享受政府补贴后仅 500 万日元（折合人民币 26.5 万元左右）就可以拿下，价格与皇冠 HEV 相当。



图 9.4 丰田 Mirai 内部架构

资料来源：新能源汽车网，安信证券研究中心

(2) 丰田SORA

使用 ITS（智能交通系统）提高预防性安全性能，用通信雷达巡航控制；配备共享车辆之间距离信息的系统，具有车队识别功能；车辆可装载接近 80 人；

在十字路口右转时系统可发出警报，提示司机可能遇到的危险；接近十字路口红灯时油门未松开或者司机没看见红灯，系统发出警报并鼓励提前减速；如发生紧急情况允许司机或乘客按下紧急刹车开关，使汽车减速并停车；安装在公交车前部的“毫米波雷达”探测到前方有车辆或障碍物相碰的危险，蜂鸣器会发出警报；公交启停信息系统可识别乘客在车队中上下车的时间，使用专用的无线电向基础设施设备发送请求，以延长绿灯时间或减少红灯时间，系统检测路面的引导线，并自动转向和减速。

(3) Project Portal(2.0)

拥有 670hp（500kW）的电机、以及 1796Nm 的扭矩；借鉴丰田 Mirai 燃料电池汽车身上使用的电子设备、电线、12kWh 电池、以及燃料电池技术；增加了卧铺驾驶室和燃料箱组合，轴距不增加的情况下极大增加了内舱室空间；PortalBeta 卡车的续航里程超过 300 英里，较 2017 年的 Alpha 车型提升了 50% 左右。

四、相关知识产权

2004-2009 年期间丰田在该技术领域的专利申请量年均 1895 件；2009 年后申请量回落到年均 500 件左右；2014 年开始回升，2015 年的专利申请量重新达到 1000 件以上。丰田汽车在其总部所在地日本的专利申请量最大，累计申请燃料电池相关专利 8712 件，占比总量 55%，在美国申请量占 12.2%，在中国申请量占 9.2%。丰田汽车公司技术重点集中在氢泵、排水阀、电解质膜、储氢罐等技术，从 IPC 分类号来看，丰田汽车在燃料电池及其制造领域申请的专利数量最多，达到 9671 件，占总量 61%，专利数量第二多的技术领域是电极，占总量的 9.5%。

丰田汽车公司与爱信、Nippon Soken、丰田中央研发实验室等集团内外企业和科研机构合作最多；与本田汽车、日产汽车、松下公司技术关联度较高，互相引用专利。丰田汽车与燃料电池相关技术的高产发明人包括 Yoshiaki Naganuma、Satoshi Aoyama、Hiroyuki Imanishi、Kota MANABE 和 Manabu Kato 等，发明人包括 Yoshiaki Naganuma 的专利申请就有 328 件。申请量排名前 10 的发明人是公司技术研发核心团队，共有 1940 项，占公司总量的 12.2%。

五、关键技术与阶段性成果

自 2015 年发布以来，Mirai 就受到重点关注，国内对于 Mirai 的氢动力概念有了普遍认知和理解，Mirai 车型研究也进入高潮。

- Mirai 使用的燃料电池系统（Toyota Fuel Cell System，简称 TFCS）由丰田汽车自主研发，包括六个子系统，分别是燃料电池堆、储能电池、高压储氢罐、驱动电机、PC 升压变频器和动力控制装置。
- Mirai 的燃料电池堆：为固体聚合物电解质燃料电池，最大输出功率为 114kW，由 370 片电池组成，重量仅 56kg，体积仅 37L，体积功率密度和质量功率密度分别为 3.1kW/L 和 2.0kW/kg，升压变频器负责将电压提升至 650V。
- Mirai 后备箱镍氢储能电池，吸收燃料电池组输出剩余的电能和车辆行驶中回收的电能，供汽车急加速或车载电池使用。
- Mirai 后排座椅下两个承压 70MPa 的高压储氢罐，外壳由碳纤维和凯夫拉组成，可抵抗轻型武器冲击。
- Mirai 加氢口：位于车身左后方，最高可承受 87.5MPa 加注压力，配合专业加氢设备，三分钟冲注完毕。
- Mirai 混合动力电机，最大驱动功率 113kW，最大扭矩 335Nm。

- FC 升压变频器：对燃料电池发出的电升压供给电动机使用，最大输出电压为 650V。
- 动力控制装置：由逆变器、升压转换器和 DC/DC 转换器组成，用于精确控制燃料电池堆的输出和电池的充电及放电。
- 加湿系统：内部循环系统（无加湿器，可实现自增湿）。

第二节 日本—本田技研工业株式会社

一、企业简介

本田是世界上最大的摩托车生产厂家，汽车产量和规模也名列世界十大汽车厂家之列。1946 年 10 月创立，1948 年 9 月成立公司，创始人是传奇式人物本田宗一郎。公司总部在东京，雇员总数达 18 万人左右。现在，本田公司已是一个跨国汽车、摩托车生产销售集团。它的产品除汽车、摩托车外，还有发电机、农机等动力机械产品。2017 年 BrandZ 全球最具价值品牌 100 强，本田(Honda)汽车以 121.63 亿美元排名第 91 名。2018 年 7 月 19 日，《财富》世界 500 强排行榜发布，本田汽车位列 30 位。

本田从 1999 年开始研发燃料电池汽车，在使用巴拉德系统的同时也一直坚持自主研发燃料电池系统。本田的燃料电池汽车被认为可以与丰田的 mirai 媲美，与其一直坚持自主研发有着密切联系。本田在 1999-2003 年间坚持每年推出一款新的燃料电池汽车，2003 年的 FCX-V4 技术参数已经与现在的燃料电池汽车已经非常接近。直到 2007 年才再次推出了一款燃料电池汽车 Clarity，这个名字也一直沿用到现在，2016 年隆重推出了新的 Clarity FUEL CELL。

二、主要产品

(1) 本田FCV clarity



图 9.5 本田 FCV clarity

本田首款正式销售的燃料电池汽车，在日本市场的售价为 766 万日元（约合 45 万元人民币）；该车使用了本田自主研发的燃料电池系统，功率达到了 103kW，储氢罐压力达到了 70MPa，续航里程高达 750km。其搭载的燃料电池系统非常的紧凑，前舱就能将燃料电池系统完全容纳。

三、产品技术特点

(1) 本田FCV clarity

长宽高分别是 4915mm/1875mm/1480mm，轴距则是 2750mm；为了增加续航里程，车身设计注重空气动力学，降低风阻，该车在日本 JC08 工况下的续航里程可达 750km；整套燃料电池动力系统全部布置在了前舱之中，它也是首款实现这种布局的燃料电池轿车，这对小型化和集成化有着很高的要求；燃料电池动力系统在体积上与本田的 3.5LV6 自然吸气发动机接近，驱动电机最大功率为 130kW（177Ps），最大扭矩 300Nm，参数比不上 V6 发动机，但是实际表现并不逊色；燃料电池动力系统主要由燃料电池堆、升压变频器、PCU 动力控制单元、驱动电机组成。燃料电池堆最大功率达到了 103kW，能量密度为 3.1kW/L，和丰

田 Mirai 处于同一水平；首次应用了两级电动增压器，供气效率比传统的气泵提高许多；两个储氢罐容量分别是 24L 和 117L。前储氢罐很小，以减少对乘员空间的影响，后排可以乘坐 3 人，后储氢罐过大，它位于后排座椅和行李厢之间，侵占了行李厢空间；本田还为 Clarity Fuel Cell 提供了一套外部供电设备，可以把车辆产生的电能转化为标准电压电流，为各种电器供电。丰田 Mirai 也能向外部供电，但是需要有相应设施的支持，适用面要窄一些。

四、相关知识产权

本田专利所涉及到的技术主要包括电堆、整车、储氢、热管理、控制系统等。2017 年通用汽车(GM)和 Honda 宣布成立合资公司,对氢燃料电池系统进行量产, GM 与 Honda 合计拥有 2200 多个有关燃料电池的专利。2002 年到 2015 年间,有关燃料电池的申请专利总数排行榜上, GM 与 Honda 分列世界第一及第三。本田还有一部分专利是有关氢燃料电池摩托车方面。根据德温特专利数据库,本田在燃料电池领域的专利约是丰田的 1/2。

五、关键技术与阶段性成果

本田开发紧凑且抗冲击性强的燃料电池双极板使得电堆置于 CLARITY 燃料电池汽车引擎盖(Front Hood)下方变成可能。通过将上一代电池中下底较宽的梯形截面形状密封圈改成矩形截面形状,密封圈的宽度变小,电堆体积减少了约 3L 左右。此外,树脂和密封圈包裹双极板有助于保持和外界隔离,消除了为防水和保持电堆箱体隔离的附加措施。再者,降低了新一代电堆的零部件数目,反应气体从歧管到流场的区域同样采用密封圈材料,在密封胶成形过程中就将上述区域制备出来,简化了流程。通过在双极板四周采用锯齿状树脂来提高抗冲击性,应对碰撞过程中的偏移和误差(Misalignment)。最后,将薄板冲压成形工艺

(Press-Forming)、树脂成型工艺(Resin Molding)和橡胶成型工艺(Rubber Molding)

集成为一个工艺，生成成本大大降低，利于产业化。其在结构和工艺设计上有以下特点：

- 降低电堆体积的密封结构：通常，减少密封圈的压缩率有助于延长密封圈寿命。为了增加密封圈在低压缩率条件下的密封压力，密封圈应尽可能减少横向移动的趋势。因此，上一代的梯形密封截面形状的密封圈改成矩形截面形状，矩形截面形状的压缩率较低。
- 降低零件数的防触电 Coating 结构：本田在密封圈成型过程将双极板进行导电隔离表面处理，同时在金属双极板外围附上橡胶，通过上述结构提高导电隔离效果。
- 使用密封圈流场结构件简化工艺：橡胶用于成形气体进出口区域，通过桥墩结构(Bridge Pier Structure)，反应气体进出口与隔开阴阳极反应气体的密封圈相交，在密封团加入肋之后，建立了一个简易的 molded Shape 来通过无损耗的 Two-way Extraction 方法使橡胶可以移动，该方法不需要使用滑动模具，称其为“Forced Extraction”。
- 提高抗冲击性且减少误差的结构设计：燃料电池电堆置于引擎盖下方，由于碰撞发生时对电堆的冲击力加大，因此配置连接燃料电池电堆左右端盖的连接杆，并且电池上的凸起部位与连接杆的凹部相啮合。金属双极板四周有锯齿状的结构，由于锯齿状的结构采用高强度的树脂注压在双极板上形成一个整体结构，连接杆和双极板之间的高压双极板导电隔离从而可以保证。

第三节 日本—日产汽车公司

一、企业简介

日产汽车公司（NISSAN）由鲇川义介(Aikawa Yoshisuke)于 1933 年在神奈川县横滨市成立，目前在二十个国家和地区（包括日本）设有汽车制造基地，并在全球 160 多个国家和地区提供产品和服务。2017 年 6 月，《2017 年 BrandZ 最具价值全球品牌 100 强》公布，日产汽车排名第 100 位。2018 年 7 月 19 日，《财富》世界 500 强排行榜发布，日产汽车位列 54 位。2018 年 12 月，世界品牌实验室编制的《2018 世界品牌 500 强》揭晓，日产排名第 254。

氢燃料电池汽车非常环保，但目前造价非常高，而主要的原因就是氢气在保存和运输的过程中消耗的成本很高。日产提出自己的解决方案，开发了一种新的燃料电池系统，通过使用生物乙醇（来自于玉米和甘蔗等农作物）来产生氢气，并且计划在 2020 年使用在汽车上。

二、主要产品

(1) 日产 e-NV200



图 9.6 日产 e-NV200

日产汽车公司推出一款固体氧化物燃料电池（SOFC）驱动并采用乙醇为燃

料进行发电的原型车。此技术支持现有的基础设施，提供一种环保型的交通运输方式。在未来，酶生物燃料电池的使用更加便利。与处理大多数燃料相比，乙醇混合水（Ethanol-blended Water）的处理更简易且安全。酶生物燃料电池不需要新建基础设施也能使用，所以市场的发展潜力巨大。

三、产品技术特点

（1）日产e-NV200

日产汽车正研究酶生物燃料电池，开发以 100%乙醇或乙醇混合水为原料，具有清洁、高效、便于供给优势的动力系统。该系统的碳中和特点，使其排放洁净如空气，可以成为自然碳循环的一部分。搭载酶生物燃料电池的汽车除了拥有加速迅猛、行驶噪音低、运行成本低等电动汽车的显著特征外，其续航里程可与汽油车相媲美。酶生物燃料电池原型车（日产 e-NV200）以 100%的乙醇为原料为 24 千瓦时的电池充电，续航里程可超过 600 公里，油箱容积 30L，SOFC 输出功率为 5kW。

日产聆风、日产 e-NV200、e-Power 等日产纯电动汽车，均搭载专用的大容量电动机和发电机，再配合酶生物燃料电池所带来的高能效、高电动化水平以及更丰富的驾驶乐趣，在世界各地解决能源供应与基础设施的课题，将助力“日产智能动力”理念的实现。

四、相关知识产权

根据德温特专利数据库，日产在燃料电池领域的专利持有数和本田相近，数量约为丰田的 1/2。从申请人专利价值上看，2016 年公开的中国专利中，日本丰田新能源汽车、日产新能源汽车专利价值度较高，整体专利价值度重心值 5，同时存在一些价值度为 6、7 甚至 8、9 的高价值专利。日产汽车公司的燃料电池汽

车领域专利主要集中在电堆（酶生物燃料电池），控制系统和整车方向。

五、关键技术与阶段性成果

日产汽车开发以 100%乙醇或乙醇混合水为原料，具备清洁和高效的动力系统，并且有碳中和特点，排放物洁净，致力于研究“酶生物燃料电池（e-Bio Fuel-Cell）”技术，日产“智能出行”系统，以实现“零事故，零排放”为目标，聚焦智能驾驶、智能动力、智能互联三大技术领域，并在日产聆风、日产 e-NV200、e-Power 等应用专属的大容量电动机和发电机

第四节 美国—通用汽车公司

一、企业简介

通用汽车公司（General Motors Company, GM）成立于 1908 年 9 月 16 日，自从威廉·杜兰特创建了美国通用汽车公司以来，通用汽车在全球生产和销售包括别克、雪佛兰、凯迪拉克、GMC、五菱、宝骏以及霍顿等一系列品牌车型并提供服务。2014 年，通用汽车旗下多个品牌全系列车型畅销于全球 120 多个国家和地区，包括电动车、微车、重型全尺寸卡车、紧凑型车及敞篷车。2018 年 7 月 19 日，《财富》世界 500 强排行榜发布，通用汽车公司位列 21 位。2018 年 12 月 18 日，世界品牌实验室编制的《2018 世界品牌 500 强》揭晓，通用汽车公司排名第 59 位。2019 年 7 月，入选 2019《财富》世界 500 强。

美国通用汽车战略眼光很早就看到氢能时代的来临，不断投入以支持氢燃料电池汽车的发展，早在 1997 年就建立了“燃料电池研究开发总部”，在过去 10 年内取得了重要的进展。

二、主要产品

（1）雪佛兰科罗拉多ZH₂

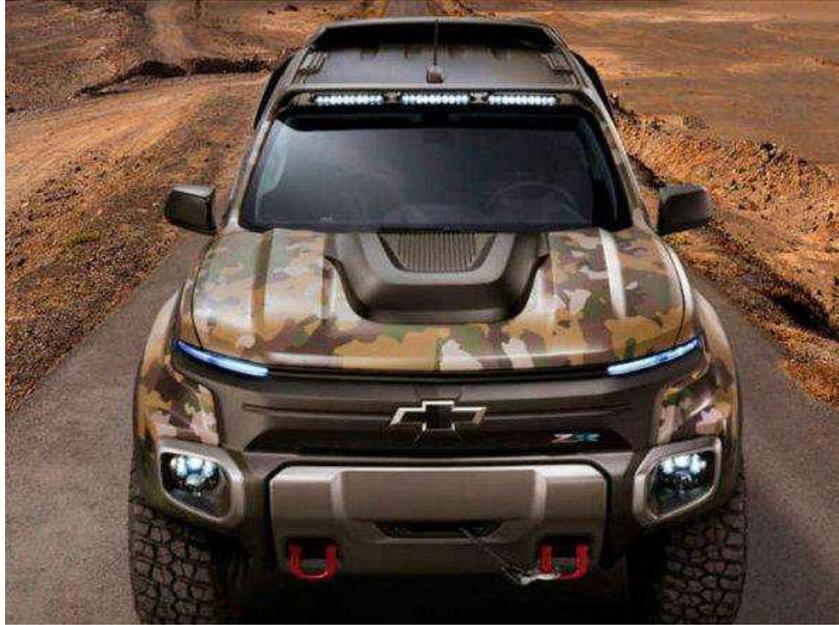


图 9.7 雪佛兰科罗拉多 ZH2

军用车科罗拉多 ZH2 是由通用汽车和美国陆军坦克与自动车辆研究、开发和工程中心 (TARDEC) 联合研发, 最大特点是使用氢燃料电池作为动力, 2017 年, 美国军方将在训练任务和战场中测试氢燃料电池技术的可行性。

(2) 氢动三号



图 9.8 氢动三号

“氢动三号”是日本第一款得到公路行驶许可的液氢燃料电池汽车, 在所有获

准在日本公路行驶的燃料电池车中，“氢动三号”以长达 400 公里的持续行驶距离拔得头筹。

三、产品技术特点

(1) 雪佛兰科罗拉多 ZH2

基于现款科罗拉多 ZR2 打造，使用了骑上伸展科罗拉多 ZR2 底盘略加修改的 zh2 身体，使用了曾经出现在 2007 款雪佛兰 Equinox 上的 93 千瓦的燃料电池动力系统；噪声特别小，几乎可以接近零噪音，是秘密行动的理想选择；热源信号小，比常规的发动机要小 10 倍多，使 ZH2 容易躲避热扫描仪；氢燃料电池驱动可以确保科罗拉多 ZH2 在所有时速下保持高扭矩，进而克服常规动力发动机扭矩受外界影响的不足；氢燃料电池系统产生的副产物水，每小时产生 1/3 加仑的水，在偏远地区或者物资供给不足的情况下，可以作为生活用水来使用；采用的是氢燃料电池动力系统，所以不需要传统的格栅，也不必担心损坏散热器。

(2) 氢动三号

在科研人员对驱动系统进行整体设计后，此系统可以作为一个整体模块进行预先组装，然后安装在“氢动三号”中，并与传统引擎使用同样的固定点，电牵引系统、燃料电池组、空气压缩机及附件都被置入这一重 300 公斤的模块中；该车属于全功率燃料电池汽车，无需蓄电池；“氢动三号”的总车重降低了约 100 公斤，接近了 1590 公斤的目标值；而且使“氢动三号”获得 600 升的容积，这一容积与生产型欧宝赛飞利的载货空间完全相同。由此一来，“氢动三号”的外形与现有的车型几乎相同；“氢动三号”0-100 公里/小时的加速时间约为 16 秒，最大时速达到 160 公里。氢储存罐分为两种，一种罐内储存的是温度为-253 度的液态氢，另一种罐内储存的是承受最高压力可达 700bar 的高压氢气。一次充气行驶里程分

别可达 400 公里和 270 公里。

四、相关知识产权

美国通用在燃料电池领域的专利主要集中在膜电极、系统控制、制氢储氢和电解质方向，总专利数量超过了六千。

五、关键技术与阶段性成果

通用汽车公司的技术研究在燃料电池系统中包括净化系统中气体净化与重整、冷却系统。在质子交换膜燃料电池领域集中在电极相关技术，在关键技术方面有液氢储罐技术和全功率燃料电池汽车技术，另外由软件控制电子信号“线传”技术 Hy-wire、SURUS 燃料电池电动汽车平台：无人驾驶和 Volt 插电式燃料电池汽车技术。其成果用于飞机的氢燃料电池辅助动力装置和燃料电池相关军事应用。

第五节 美国—普拉格能源公司

一、企业简介

普拉格能源公司（Plug Power Inc）与 1997 年成立于美国特拉华州，是一家全球大规模的兼设计、开发、制造和商业销售的综合性燃料电池系统供应商，专注于燃料电池在物资搬运设备领域即燃料电池叉车的应用。普拉格在该领域处于全球领先地位，拥有燃料电池叉车市场最大份额 95%，同时兼顾固定式电源业务。公司主打产品是用于叉车的质子交换膜燃料电池系统 Gen Drive，累计销售超过两万五千多件，是公司最主要业务和盈利来源。

二、主要产品

（1）GenDrive 燃料电池系统



图 9.9 Class-2 电动叉车

来源: Plug Power 官网

公司推出用于 Class-2 电动叉车的新型 GenDrive 2440-36R 燃料电池系统，代替传统电池驱动，相比上一代 GenDrive 系统，新的 GenDrive 车型可以在车上储存更多的燃料，使运行时间增加 56%，并将客户的总体加氢时间缩短 30% 以上。这些 GenDrive 设备的第一批客户订单计划于 2018 年第三季度开始发货。

三、产品技术特点

GenDrive 燃料电池为电动升降车提供了比充电电池动力系统更有效、有价值工作方式。这种新的 GenDrive Class-2 型号相对于传统铅酸电池解决方案而言，能够为 2 类车辆储存更多能量，消除电池更换时间，平均加氢时间少于 3 分钟。该系统能够在低至 -22°F 的冷冻室环境中提供 100% 的动力，在燃料量偏低时不损失速度。GenDrive 燃料电池单元无缝地安装在所有起重卡车上电池所占的空间中。紧凑的氢气加气站取代大型电池充电室，为其他用途腾出宝贵的仓库空间。

Class-2 运行时间的扩展对杂货和零售客户来说是一个重要的价值提升。在三班制工作中，使用 GenDrive 2440-36R 的叉车不需要在每个班次进行加氢，从而减少了加氢周期，现在每天只需加氢两次。对于拥有超过 90 辆 2 类车辆的典

型客户而言，这意味着 5 年内预计生产力节省超过 40 万美元。

四、关键技术与阶段性成果

普拉格能源公司（Plug Power Inc）技术特点是质子交换膜燃料电池和燃料加工技术以及燃料电池/蓄电池混合动力技术，其具体的内容有：

- **GenKey:** 为客户提供将材料搬运转变为燃料电池电源的解决方案。
- **GenDrive:** 是一种氢燃料质子交换膜（PEM）燃料电池系统。它为起重设备的材料搬运提供电力。
- **GenFuel:** 是一个氢燃料输送系统。它帮助客户为 GenDrive 单元补给燃料，以供生产。
- **GenCare:** 是 GenDrive 燃料电池和 GenFuel 产品的持续维护计划。
- **ReliOn:** 是平稳燃料电池解决方案。它提供可扩展的模块化 PEM 燃料电池电源，以支持电信、运输和公用事业部门并满足网格支持电力需求。

第六节 美国—福特汽车公司

一、企业简介

福特汽车公司（Ford Motor Company, NYSE: F）是一间生产汽车的跨国企业，于美国密歇根州迪尔伯恩（现公司总部所在地）由亨利·福特（Henry Ford）所创立，于 1903 年公司化，是美国底特律的三大汽车生产商之一。通用、福特、克莱斯勒三家公司统治着美国汽车市场。福特汽车在美国汽车市场连续七十五年保持销售量第二名，仅次于通用汽车，2007 年才因油价高涨大型 SUV 休旅车与卡车销量减少，被丰田汽车超越成为美国市场销售量第三名。

一、主要产品

(1) Focus FCV

Focus FCV 是福特公司最新的燃料电池汽车，福特 2006 年跳入混合动力市场，采取这项技术的燃料电池车辆正是福特 FCV，福特 Focus FCV 预示着未来 5-10 年汽车工业的发展方向。



图 9.10 Ford Focus FCV

三、产品技术特点

Ford Focus FCV 由 Ballard 902 燃料电池系统(质子交换膜(PEM)堆栈)驱动，储氢罐储氢压力 5000psi；包含高压 SANYO 镍氢电池系统的模块，用于制动能量回收；一次加氢续航里程为 150 至 200 英里，最高时速为 80 英里；可以实现氢和汽油间的动力切换；

四、相关知识产权

福特汽车在燃料电池领域的专利主要集中在车辆混合动力系统，能量管理和回收方面。

五、关键技术与阶段性成果

福特汽车公司在氢燃料电池汽车领域涉及燃料电池汽车混合动力技术和镍

氢电池能量回收系统。

第七节 德国—戴姆勒股份公司

一、企业简介

戴姆勒股份公司 (Daimler AG)，总部位于德国斯图加特，是全球最大的商用车制造商。公司旗下包括梅赛德斯-奔驰汽车、梅赛德斯-奔驰轻型商用车、戴姆勒载重车和戴姆勒金融服务等四大业务单元。2019年3月28日，浙江吉利控股集团和戴姆勒股份公司宣布，双方将成立合资公司，在全球范围内联合运营和推动 smart 品牌转型，致力于将 smart 打造成为全球领先的高端电动智能汽车品牌。合资公司总部设在中国，双方各持股 50%。

二、主要产品

2017年，奔驰在法兰克福车展上发布首款插电混动版燃料电池车 GLC F-Cell，作为世界上第一款燃料电池插电式混合动力车，仅使用氢气 GLC F-Cell 就可支持续航达 430km，锂电池将为续航贡献 51km。该车型在 2018 年前后发布，售价约为 5 万英镑（约合 43.05 万元人民币）。



图 9.11 GLC F-Cell

三、产品技术特点

梅赛德斯奔驰 GLC 氢燃料电池版 (F-cell) 车型将燃料电池动力与插电式混动相结合，搭载 9 千瓦时的电池组、燃料电池堆和燃料罐，此车在底部安装有两个容量为 4.4 千克的碳纤维贮氢罐，一次充满仅需 3 分钟；使用了氢燃料电池和锂离子电池共同来组成混合动力系统，但车辆主要的能量源依赖于氢燃料电池，发动机功率为 155kW，扭矩为 365Nm；车载 7.2kW 充电器，锂电池电池组能在 1.5 小时内充满。

四、相关知识产权

全球氢燃料电池专利数德国戴姆勒集团位列第五，前四个均为日本公司（丰田，本田，松下，日产），戴姆勒具有强大的后发潜力。2006 年以后国际 PEMFC 技术研发总体处于下降态势，研发热点向 SOFC 和 AFC 技术领域迁移。国际各机构间的合作较为密切，并已形成丰田汽车、现代汽车、戴姆勒汽车为首的合作群。其中丰田汽车与日本总研电气（Nippon Soken）、日本爱信精机公司(Aisin Seiki)、电装（Denso）合作密切；韩国现代企业与起亚汽车合作密切；通用汽车与戴姆勒公司合作密切。

五、关键技术与阶段性成果

戴姆勒股份公司（Daimler AG）在氢燃料电池汽车领域与多家重点车企合作密切，该公司在燃料电池汽车方面有所建树，其主要关键技术和成果有：

- 锂电池燃料电池混合动力技术
- 氢能基础设施技术：加氢设备，加氢站建设运营
- 能量回收技术：在所有模式下，车辆在刹车或滑行状态下系统可以进行能量回收，将动能转化为电能储存在锂电池内。
- GLC F-Cell 结构：燃料电池系统在发动机舱，中部防止两个储氢罐，尾部放

置可充电的锂电池和驱动车辆行驶的电机。

第八节 德国—大众汽车公司

一、 企业简介

大众汽车是一家总部位于德国沃尔夫斯堡的汽车制造公司，也是世界四大汽车生产商之一的大众集团的核心企业。由世界著名的汽车设计大师波尔舍创立于1937年，是德国最大的汽车生产集团，其乘用车业务分为两大品牌。在集团之下，奥迪和大众各自独立管理其品牌群，并负责从中创造利润。各个品牌均有其自己的标识，自主经营。

二、 主要产品

(1) A7 Sportback h-tron quattro

在燃料电池汽车方面的主要产品为奥迪 A7 Sportback h-tron quattro 和高尔夫 Sportwagen HyMotion。

2014 年洛杉矶车展上发布了奥迪 A7 Sportback h-tron quattro 氢燃料混合动力车，并在公共道路上试驾。这款汽车展示了奥迪在燃料电池、插电式混合动力、“e-quattro”电动四驱等领域的深厚造诣。奥迪 A7 Sportback h-tron quattro 从静止加速到 100 公里/时仅需 7.9 秒，最高车速可达 180 公里/时，值得称道的是满箱氢燃料行驶超过 500 公里的路程仅排放一些水。



图 9.12 奥迪 A7 Sportback h-tron quattro

(2) SportWagen HyMotion

2015 上海车展上，大众发布了高尔夫 SportWagen HyMotion 车型。新车采用了氢燃料电池动力系统，所搭载的动力系统总最大功率为 134 马力，其 0-100km/h 加速时间为 10 秒。该车基于大众 MQB 平台打造而来，目前这套平台可生产多种动力系统的车型。包括有汽油、柴油、天然气、纯电动以及混动多种形式驱动。在新能源时代，高尔夫 SportWagen HyMotion 可实现零排放。



图 9.13 高尔夫 HyMotion

三、产品技术特点

(1) 奥迪A7Sportback h-tron quattro

奥迪A7 Sportback h-tron quattro的外观与量产版奥迪A7并无二致，其最核心的部件是位于传统发动机舱的氢燃料电池，由300多个电池单元组成。其工作原理极为清洁，氢气被输送到电池阳极后，被分解为质子和电子，质子到达阴极后与空气中的氧气反应变成水蒸气，同时电子提供电能，整个燃料电池的电压在230至360伏之间。在燃料电池模式下，车辆仅需大约1千克的氢就能行驶100公里，产生的能量相当于3.7升汽油，加满大约5千克氢气只需要不到3分钟的时间。

奥迪A7 Sportback h-tron quattro的另一个特点是采用插电式混合动力概念，它拥有一个容量为8.8千瓦时的蓄电池与奥迪A3 Sportback e-tron相同，位于行李厢的下方，可为车辆额外提供大约50公里的续航里程。蓄电池与燃料电池完美搭配，它能回收制动时的能量，并可在运动模式下让车辆的动力更为强劲。而当驾驶者按下EV键时，车辆只使用蓄电池驱动。

(2) 高尔夫Sportwagen HyMotion

高尔夫SportWagen HyMotion拥有约500公里的续航里程，采用前轮驱动，氢燃料被储存在四个纤维容器内，并置于车身下方。另外，高尔夫SportWagen HyMotion还配有一套锂电池组，由e-Golf上的电池组改进而来。

四、关键技术与阶段性成果

大众汽车公司在氢燃料电池汽车领域涉及燃料电池汽车插电式混合动力技术。还有能量回收技术，能使得蓄电池与燃料电池完美搭配，它能回收制动时的能量，并可在运动模式下让车辆的动力更为强劲。另外在燃料电池电堆技术成果方面，汽车装备公司自主研发第四代100kW级电堆。

第九节 韩国—现代汽车公司

一、企业简介

现代汽车公司是韩国最大的汽车企业，由富有传奇色彩的商业巨子郑周永先生在1967年创办现代汽车，总部在首尔。现代汽车年产量100万辆，主要产品有小马牌、超小马牌、斯拉塔牌小客车及载货车。目前现代汽车公司已发展成为现代集团，其经营范围由汽车扩展到建筑、造船和机械等领域。现代汽车公司目前燃料电池车产能为3000辆，2018年12月发布了《燃料电池电动车2030展望》，计划2022年达到4万辆燃料电池汽车产量，2030年达到50万辆燃料电池车产量。

二、主要产品

(1) ix35 FCV



图 9.14 ix35 FCV

2013年2月，ix35 FCV现代汽车韩国蔚山工厂正式下线，据现代官方介绍，ix35搭载了经现代研发团队14年时间、耗资数百亿元自主研发的燃料电池。比大众、丰田等至少提前了2年。2014年4月，现代宣布在韩国本土开售氢燃料电池车，售价高达1.5亿韩元，折合人民币85.5万元。

(2) NEXO



图 9.15 NEXO

2018年上半年，现代NEXO在韩国市场正式发售，这是现代汽车在氢燃料电池领域部署的重要车型之一，按照计划，现代将在2022年前完成全球1万辆NEXO的销售。

三、产品技术特点

(1) ix35 FCV

ix35 FCV装配一套输出功率100千瓦的燃料电池系统，两个氢燃料存储设备，续航里程达594公里，最大功率134马力、最高时速160公里，可媲美一般准中级汽油车。据统计，100万辆ix35 FCV可替代1GW级核电站10个，年均减少排放二氧化碳210万吨。与普通燃油车型相比，ix35FCV另一大优势是在零下20°以下还能正常点火行驶。

(2) 现代NEXO

最大的亮点在于续航里程和科技配置上。从第一代氢燃料电池车ix35FCV到最新一代的NEXO，现代在燃料电池系统的效率提升上花了不少心思。NEXO的能量来源于3个储氢罐提供的14磅氢气（约为6.3公斤），这能够提供超过600公里的续航里程。续航里程才是它的重点，2019年，Nexo最高续航里程将会达到595公里，这一数据击败了作为燃料电池续航里程之王本田Clarity（589公里）。

安全方面，现代NEXO在以严苛著称的美国汽车安全测试机构—美国公路安全保险协会（IIHS）车辆碰撞测试中获最高等级“顶级安全车+（2019 Top Safety Pick+）”评价，现代NEXO拥有安全、稳健的车身结构。现代NEXO储氢罐从设计阶段到生产阶段都经过严密检查，符合韩国、欧洲和联合国的储氢罐安全认证标准。

四、关键技术与阶段性成果

现代汽车公司在氢电安全技术领域的车载高压储氢设计方面,采用能够极大增强正面碰撞性能的车体结构及能保护储氢罐的车身结构,搭配超高张力钢板,有效得提升了车身强度,确保车辆的碰撞安全性。在整车集成技术方面,采用三个等体积储氢罐的重量比两个罐还轻,整体车重降低20%,燃料电池的功率密度增加了30%。现代2018上市的NEXO燃料电池汽车均搭配了70MPa的IV型储氢瓶。

第十节 中国—上海汽车集团股份有限公司

一、 企业简介

上汽集团始终坚持自主创新、布局未来,瞄准“电动化、智能网联化、共享化、国际化”的新四化发展趋势,是国内最早推出新能源汽车发展战略的企业,并已自主掌握“电池+电机+电控”的三电核心技术。作为集团重要发展板块,上汽大通MAXUS将新能源当作重要发展方向,实施“全平台、全系列、全路线”的新能源策略,纯电动、混动、燃料电池车三条技术路线齐头并进,成为真正意义上的新能源全技术路线开发和商业化运营的领先者。

二、 主要产品

(1) 上汽荣威 950



图 9.16 上汽荣威 950

2014北京车展，上汽发布了荣耀950插电式氢燃料电池轿车，荣威950燃料电池轿车是一款实现公告、销售和上牌的燃料电池轿车。其具备“动力电池+燃料电池”双动力源，可实现纯电动、混动和制动能量回收等模式，同时具备外接电源慢充功能，实现了真正意义上的能源多元化。

(2) 上汽大通MAXUS G20FC



图 9.17 上汽大通 MAXUS G20FC

2019上海车展上汽大通推出氢燃料乘用车G20FC，将是上汽首款采用氢燃料电池驱动的量产乘用车，清洁能源大趋势下，氢燃料电池车作为汽车环保的终极解决方案，被称作新能源汽车的终极方向。上汽大通MAXUS在G20的基础上，推出国内首款，将氢燃料电池运用在乘用车领域的G20FC。

(3) 上汽大通MAXUS燃料电池车FCV80



图 9.18 FCV80

FCV80作为绿色无污染的中国首款商业化运营燃料电池宽体轻客，同时也是国内第一款运用全新准入标准的燃料电池轻客车型、国际首款燃料电池轻客车型，代表了中国汽车工业最尖端技术。

三、产品技术特点

(1) 上汽荣威950

这款插电式氢燃料电池轿车最大的亮点在于其搭载有动力蓄电池和氢燃料电池双动力源系统。新车行驶以氢燃料电池为主，动力蓄电池为辅，基于车载的On-board蓄电池充电器，新车可通过市网电力系统为动力蓄电池充电。氢燃料电池方面，新车搭载有两个700bar氢气瓶，其氢气储量可达4.34公斤，最大续航里程为400公里。此外，据上汽表示，通过优化车辆启动系统，即便是在零下20℃的环境中，新车依旧可以正常启动与行驶。

(2) 上汽大通MAXUS G20FC

和其他氢燃料电池车一样，G20FC同样是将高压储氢罐中氢气输送到燃料电池中产生电能，再由电机将直接驱动车辆前进。《电动大咖》了解到，G20FC的电机最大功率150kW，可实现5分钟内加氢和-30℃冷启动，NEDC工况续航里程可达550公里。

(3) 上汽大通MAXUS燃料电池车FCV80

该车采用了燃料电池系统为主、动力电池为辅的双动力源，最长续驶里程可达500公里，解决了纯电动汽车用户在续航里程方面普遍存在的焦虑，从根本上解决了新燃料汽车在续航里程方面的弊端。

第十一节 中国—佛山市飞驰汽车制造有限公司

一、企业简介

飞驰汽车制造有限公司技术力量雄厚，掌握客车系统概念设计、系统工程设计、零部件需求定义、开发实施、零部件测试、动力系统验证和整车系统验证等技术，形成了动力系统设计与验证、网络通讯、整车控制器等开发能力，并具备整车标定、控制器诊断标定能力。同时，公司与国内外多家氢燃料电池技术企业、研究机构保持有紧密的合作关系，其中包括广东国鸿氢能、加拿大巴拉德、上海重塑、佛科院等。

公司继续加大技术引进和研发，深入研究燃料电池系统成组技术、燃料电池车载控制技术，吸收国际先进技术，拓展燃料电池车载应用，同时，以优厚的待遇吸引国内外在氢能领域的高端人才，组建技术研发团队，做好产品的基础研究、技术和应用的深层次开发。以氢能产品为主，利用3-5年的时间，从生产成本、产品品种及产量，满足市场需求。其中，生产成本方面，控制在和同类纯电动车相比不超过20%；产品品种方面，能够满足客运、公交、物流等运输领域使用需求；产量方面，力争3年内实现年产5000辆的目标。

二、主要产品

佛山市飞驰汽车制造有限公司是氢燃料电池客车先行者，在氢燃料电池领域，主要产品为客车。2016年9月28日和10月18日，飞驰客车公司成功研发的首款11米氢燃料电池城市客车分别投入佛山三水区、云浮市区的国内首条和第二条氢能公交线路正式运行，目前示范线整体运作正常，它的代表车型有以下几款：FSQ6120FCEVG、FSQ6700FCEVG、FSQ6860FCEVG和FSQ6110FCEVG1氢燃料电池客车。



图 9.19 FSQ6120FCEVG 氢燃料电池客车



图 9.19 FSQ6700FCEVG 氢燃料电池客车



图 9.20 FSQ6860FCEVG 氢燃料电池客车



图 9.21 FSQ6110FCEVG1 氢燃料电池客车

以上图片来源：飞驰汽车制造有限公司官网

三、产品技术特点

FSQ6120FCEVG、FSQ6700FCEVG、FSQ6860FCEVG、FSQ6110FCEVG1 四款氢燃料电池客车，分别长12、7米、8.6米、11米。都采用全氟磺酸质子交换膜氢空燃料电池，运行稳定。

第十二节 中国—广东国鸿氢能科技有限公司

一、企业简介

广东国鸿氢能科技有限公司是在国家领导的高度关注和各级政府的大力支持下，以氢燃料电池为核心产品的高科技企业。公司致力于通过规模化生产使氢燃料电池能广泛应用于车、船、无人机、轨道交通、分布式发电、备用电源等领域，为我国庞大的水、风、光等可再生能源闲置产能和海量工业副产氢提供安全高效的应用方案，为解决我国能源的环保问题、结构问题和安全问题贡献一份智慧和力量。

作为中国氢能产业发展的领军企业，公司与加拿大 Ballard 公司和上海重塑

分别成立合资公司，生产业界领先的电堆和系统模块，并与清华、上海交大、西南交大北京理工、华南理工、上海大学、南方科大、中科院大连化物所等院校通过联合实验室等形式结成紧密合作关系，全力推动氢燃料电池及上下游各环节的市场化应用，目前已成为国内最优秀的氢能制储运加用整体解决方案集成服务企业之一。

二、主要产品及技术特点

(1) 9SSL电堆



图 9.22 9SSL 电堆

来源：国鸿氢能科技有限公司官网

9SSL 系列燃料电池电堆是为交通领域设计的液冷式电堆产品，能够满足车用变载动态特性要求。具有良好的单电池均一性，根据组装电池数的不同，额定功率为 3.8kW-30kW，工作寿命超过 12000 小时。

(2) MP30 车用燃料电池模块



图 9.23 MP30 车用燃料电池模块

来源：国鸿氢能科技有限公司官网

MP30 燃料电池模块，具有很高的系统集成度与能量密度，防护等级可达 IP67，优良的性能与可靠性满足货车与客车需求。

(3) MD30 轻型车用燃料电池模块：



图 9.24 MD30 燃料电池模块

来源：国鸿氢能科技有限公司官网

MD30 燃料电池模块是为中小型商用车开发的动力模块，系统可靠性高，维护性好，工作寿命长，可适应较为恶劣的工况环境，满足中小型客车、货车动力系统需求。

(4) HD85 重型车用燃料电池模块：



图 9.25 HD85 重型车用燃料电池模块

来源：国鸿氢能科技有限公司官网

HD85 燃料电池模块是为商用车开发的大功率动力模块，系统可靠性高，维护性好，工作寿命长，动态特性好，可适应较为恶劣的工况环境，满足大中型客

车、货车动力系统需求。

(5) 纯氢燃料备用电源：



图 9.26 纯氢燃料备用电源

来源：国鸿氢能科技有限公司官网

国鸿氢能为通信和网络应用提供纯氢燃料备用电源解决方案。该系统具有清洁环保、性能可靠、安静无噪、经济高效的特点，并作为关键备用电源在全球使用。该系统采用氢燃料电池技术，具有完整的集成电源管理系统，可配置成集成或独立模块。

(6) 甲醇重整燃料备用电源



图 9.27 甲醇重整燃料备用电源

来源：国鸿氢能科技有限公司官网

甲醇重整燃料电池系统具有可靠性高、耐久自动和维护需求少的特点，作为静态备用电源用于远程通信站点。甲醇燃料系统在保证卓越的性能的同时降低了运行成本。

第十三节 中国—广东国鸿巴拉德氢能动力有限公司

一、企业简介

广东国鸿巴拉德氢能动力有限公司是一家合资企业，成立于 2016，注册地址位于云浮市云城区思劳镇佛山（云浮）产业转移工业园南园区 9 号。广东国鸿氢能科技有限公司持有其 90% 的股份，巴拉德持有 10% 的股份。公司生产经过巴拉德许可的燃料电池堆，组装到在本地组装的燃料电池发动机中或集成到中国的零排放客车和商用车中。

二、主要产品及技术特点

(1) 巴拉德重型车辆专用 FCveloCity® 动力模块



图 9.28 巴拉德重型车辆专用 FCveloCity® 动力模块

来源：巴拉德动力系统公司官网

巴拉德重型车辆专用 FCveloCity® 动力模块的技术特点：

- 可集成到客车、卡车和轻轨中，车辆就绪后即可部署到商用车队中。
- FCveloCity® 动力模块专为运输应用开发而成，是一种带有排气散热系统 PEM 燃料电池发动机，随时可以集成到电力驱动器上。
- FCveloCity® 动力模块的设计可扩展、可灵活集成且便于维修，供应 30kW 至 200kW 的各种配置。动力模块能够实地运行 25000 小时，在各类运行和气候条件下，都具备最优的性能，保障超长的客车作业时间和燃料电池寿命。

- 集成系统增湿和压力优化在各种运行条件下保障卓越的性能、燃油效率和耐久性，避免老化

表 9.1 巴拉德重型车辆专用 FCveloCity®动力模块系列

| 产品系列 | FCveloCity®-MD | FCveloCity®-HD | FCveloCity®-XD |
|------|-------------------|-----------------|----------------|
| 净功率级 | 30kW | 60kW、85kW、100kW | 200kW |
| 应用 | 小型公交汽车电池混合动力里程扩增器 | 全尺寸混合动力电动客车 | 轻轨列车和航海应用 |

数据来源：巴拉德动力系统公司官网

(2) 巴拉德水冷式FCvelocity®-9SSL燃料电池堆



图 2.29 巴拉德水冷式 FCvelocity®-9SSL 燃料电池堆

来源：巴拉德动力系统公司官网

巴拉德水冷式 FCvelocity®-9SSL 燃料电池堆技术特点：

- 功率输出可从 4kW 扩展至 21kW；
- 水冷式系统保障更高耐久性；
- 用于承受恶劣的工作条件；具有快速动态响应功能；寿命超过 20000 小时，具体因应用不同而有所差异。
- FCvelocity®-9SSL 燃料电池堆集成到巴拉德 FCveloCity®动力模块，为公交车和轻轨车辆供电。FCvelocity®-9SSL 燃料电池堆还被广泛部署到 Plug Power 的电动叉车专用 GenDrive®燃料电池系统中。

(3) FCgen®-LCS水冷燃料电池堆



图 2.30 FCgen®-LCS 水冷燃料电池堆

来源: 巴拉德动力系统公司官网

耐用的膜电极组(MEA); 可重复使用的低成本碳板; 紧凑型电池堆设计; 优化的运行条件; FCgen®-LCS 将集成到巴拉德下一代 HD 电源模块产品中, 该产品在 2019 年正式面世。

(4) FCgen®-1020ACS 风冷式燃料电池堆



图 2.31 FCgen®-1020ACS 风冷式燃料电池堆

来源: 巴拉德动力系统公司官网

FCgen®-1020ACS 风冷式燃料电池堆的技术特点:

- 阳极开放式电池堆和自增湿 MEA 免除了增湿器、冷却液泵和散热器的必要;

- 寿命长达 10000 小时，具体因应用不同而有所差异；性能稳健而可靠；
- FCgen®-1020ACS 燃料电池堆通过集成到巴拉德 FCgen®-H2PM 直接氢气备用电源系统，以及 Plug Power 的电动叉车专用 GenDrive®燃料电池系统产品线，得以广泛部署。

(5) FCgen®-micro 通用型氢燃料低功率燃料电池堆



图 2.32 FCgen®-micro 通用型氢燃料低功率燃料电池堆

来源: 巴拉德动力系统公司官网

FCgen®-micro 通用型氢燃料低功率燃料电池堆的技术特点:

- FCgen®-micro 专为便携式和娱乐应用而设计。巴拉德还提供 FCgen®-micro(NPMC)，其中含有非贵金属催化剂(NPMC)，是巴拉德铂基 FCgen®-micro 的一种变型，既可以降低成本，又提高了对硫氧化物等常见空气污染物的耐受能力。
- 紧凑型电池堆设计；
- 阳极开放式电池堆免除了增湿器、冷却液泵和散热器的必要；
- 产生清洁的直流电源。可提供原型装置用于有限客户评估，适合重点考虑产品尺寸、耐久性和功率密度的应用。
- FCgen®-micro 燃料电池堆特别适用于笔记本电脑和手机充电器以及士兵用

电力设备等超轻量级应用。

第十四节 中国—深圳五洲龙汽车股份有限公司

一、 企业简介

深圳市五洲龙汽车股份有限公司总部位于深圳市龙岗区宝龙工业城，是国内最早从事新能源客车生产研发的高新技术企业。

集团以“五洲龙”牌新能源客车为主导产品，即混合动力、纯电动、燃料电池、清洁燃料客车，同时还包括传统柴油客车及公交车系列和专用医疗车辆系列。产品不仅畅销国内二十多个省、市、自治区以及港澳地区，还远销中东、拉美、非洲、亚太等地区的 40 多个国家。

未来五年五洲龙将继续于新能源汽车为核心，兼顾传统客车的发展；以深圳为总部，布局全国，走向世界，以新能源客车、控制系统和动力电池等核心技术引领市场，力争整车和电池产业产销值突破“双百亿”，成为我国新能源客车主要骨干企业之一。

二、主要产品及技术特点

(1) 氢燃料电池场地车 LCF10



图 2.33 氢燃料电池场地车 LCF10

来源：五洲龙汽车股份有限公司官网

以气态的燃料如氧气与氢气，将化学能转变成电能；燃料电池发电效率高达60%，比传统发动机效率高（约40%）；氢气在阳极被氧化，氧气在阴极被还原，最后生成水，不会造成环境污染。

表 9.2 氢燃料电池场地车 LCF10 参数

| 长宽高 (mm) | 最高车速 (kmh) | 最大总质量 (kg) | 额定乘客 | 驱动电机 | 燃料电池 | 动力电池 | 氢瓶容量 | 轮胎 | 制动助力 |
|------------------------|---------------|---------------|------|------------------|------|---------------------------|-------|---------------|-------------|
| 4430× 1600× 2045 | 40km/h | 1080kg | 10 | 额定 5kW 峰值 9kW | 5kW | 磷酸 铁 锂 138V, 8Ah | 28×2L | 195/6 0R14 | 电动真空 泵助力 |

数据来源：五洲龙汽车股份有限公司官网

第十五节 中国—深圳市雄韬电源科技股份有限公司

一、企业简介

“中国电池行业优秀出口企业”、“中国优秀民营科技企业”、“深圳市高新技术企业”、“深圳市民营领军骨干企业”等殊荣，公司累计申请技术专利 100 余项，并多次荣获广东省、深圳市科技进步奖、创新奖等，并承担国家火炬计划重点项目。

二、主要产品及技术特点

(1) 雄韬氢雄燃料电池厢式运输车



图 2.34 雄韬氢雄燃料电池厢式运输车

来源：深圳市雄韬电源科技股份有限公司官网

雄韬氢雄燃料电池厢式运输车为武汉雄韬氢雄燃料电池科技有限公司联合东风汽车集团有限公司共同开发,采用了雄韬氢雄最新研制的氢燃料电池发动机,整车设计轻量化,净载重达 3.8 吨,加满一次氢气只需 3 分钟左右,续航里程超过 300 公里;利用氢气作为能源,排放只有水,是市内配送、城市间物流、高频次运输任务等真正的清洁能源解决方案。目前,该款氢燃料电池厢式运输车已获批进入国家工信部公告推荐目录。

(2) 雄韬氢雄10.5m燃料电池城市客车

雄韬氢雄10.5m燃料电池城市客车为雄韬电源联合中通客车控股股份有限公司共同开发,该车搭载了雄韬氢雄自主研发的氢燃料电池发动机及控制系统等核心零部件,性能达到国内先进水平,具有完全自主知识产权;一次加氢10分钟,工况法下续航里程350公里。氢燃料电池城市客车利用氢气作为能源,一排放物是水,是公众绿色环保出行真正的终极能源解决方案。



图 2.35 雄韬氢雄 10.5m 燃料电池城市客车

来源: 深圳市雄韬电源科技股份有限公司官网

参考文献

[1] 丰田燃料电池汽车核心技术及专利剖析[DB]燃料电池个人图书馆

- [2] 李忠东.日产推出世界第一款固体氧化物燃料电池车型[J].汽车与配件,2016(37):38-39.
- [3] 日产汽车发表世界首款固体氧化物燃料电池汽车[J].汽车零部件,2016(9):94-94.
- [4] 程振彪.我国应更加重视燃料电池汽车发展(连载二)[J].汽车科技,2016(6):12-13
- [5] 王婷.福特T型车[J].二十一世纪商业评论,2006(2):112-112.

第V部份 产业篇

第十章 全球氢燃料电池汽车产业发展情况

第一节 全球氢燃料电池汽车的产业发展规划

一、 国内外氢燃料电池汽车的产业发展现状

(1) 整车

丰田Mirai燃料电池轿车于2014年12月宣布商业化，展示了氢燃料电池汽车技术的又一大推进，开始面向普通消费者人群，氢燃料电池汽车的技术已经从基础研究、样车示范进入工程化、商品化发展阶段。据统计，宝马公司在2015年7月发布i8FCV试装车，最大续航里程483km。2016年，全球氢燃料电池汽车销量达到2312辆，比2015年增幅225%，主要有3款车型：丰田Mirai、本田Clarity、现代ix35FC。在2018年美国CES展上，韩国现代汽车公司发布一款NEXO氢燃料电池SUV汽车，代表现代新能源技术的最高水平。

国内在燃料电池乘用车方面，在2008年北京奥运会示范运行20辆燃料电池轿车车队。2010年上海世博会，同济大学、上汽和上燃动力通力合作，196辆燃料电池车辆投入示范运行，包括90辆燃料电池轿车、6辆燃料电池公交客车、100辆燃料电池观光车。上汽集团是主要的投入研发企业，目前已完成前后四代氢燃料电池轿车的开发。上汽氢燃料电池轿车在动力性、续航里程等性能指标方面取得了重大进步，部分车辆在2014年上汽的：“新能源汽车万里行”全国巡游，通过10000km的实际路试。国内外典型氢燃料电池轿车对比如表10.1所示。

表10.1国内外典型氢燃料电池轿车对比

| 参数 | 丰田 Mirai | 现代 ix35 | 本田 Clarity | 通用 Equinox | 荣威 950 |
|----------------|----------|---------|------------|------------|---------|
| 整车整备质量/kg | 1850 | 2290 | 1890 | 2010 | 2080 |
| 0~100km/h 加速性能 | 10 | 12.5 | 10 | 12 | 12 |
| 最大时速 (km/h) | 160 | 160 | 161 | 160 | 160 |
| 一次加氢续航里程/km | 650 | 415 | 750 | 320 | 430 |
| 燃料电池堆功率/kW | 114 | 110 | 100 | 93 | 43 |
| 储氢质量/kg | 5 | 5.64 | - | 4.2 | 4.2 |
| 动力系统构型 | 全功率型 | 全功率型 | 全功率型 | 全功率型 | Plug-in |

资料来源：上海汽车期刊

通过国内外几款典型氢燃料电池轿车对比，在电堆功率、储氢技术、动力性能等与国外存在着差距，整车技术有待提高。

(2) 加氢站

作为给燃料电池汽车提供氢气的基础设施，加氢站的发展十分的重要。全球拥有加氢站的国家以及数量分别是日本（96座）、德国（60座）、美国（42座）、中国（23座）、法国（19座）、英国（17座）、韩国（14座）、丹麦（11座）。日本、德国和美国加氢站共有198座，占全球总数的54%。

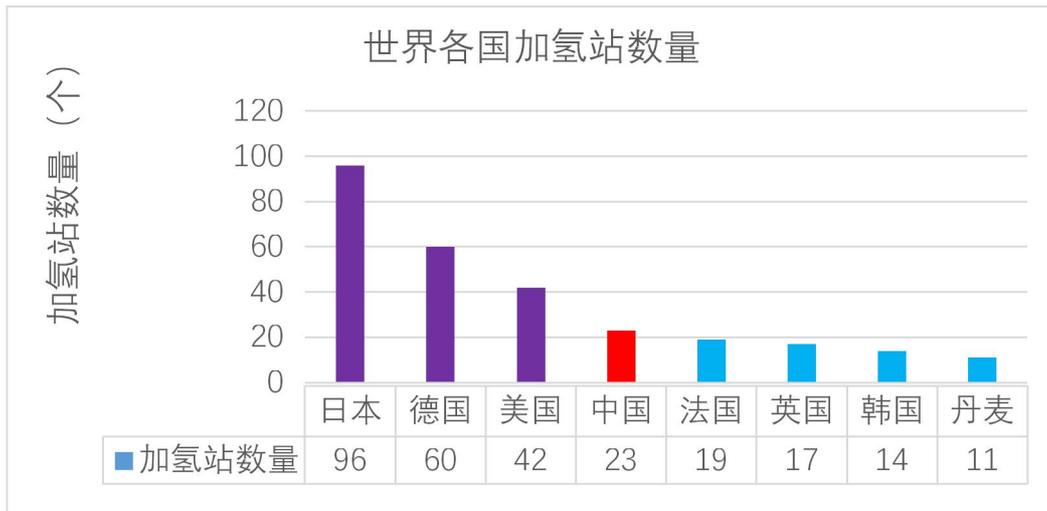


图10.1 世界各国加氢站数量

资料来源：百度公开资料

目前，全球主要加氢站分布三分之一以上为液氢加氢站，以日本、美国、法国市场为主。国内方面，截止2018年底中国共有23座建成的加氢站，占比约为6%，相比于全国的10万多加油站和70多万充电桩数量是非常少的。根据2016年发布的《中国氢能产业基础设施发展蓝皮书（2016）》，2020年我国将建成加氢站100座，2030年将建成1000座。

(3) 关键零部件和材料

燃料电池汽车包括车载储氢系统、燃料电池系统、电驱动系统、整车控制系统和辅助储能装置等新元素，氢能供应包括氢气从生产、储存、运输到加注、使用的全过程。从产业链来看，燃料电池涉及面广，具体如图2所示。其中关键的零部件和材料产业化对于燃料电池汽车推广至关重要，在对关键核心零部件的成本和技术掌控情况上来看，国内还需继续努力，打破国外的部分技术垄断，提高自身研发燃料电池核心技术，将核心部件国产化是氢燃料电池汽车产业化的关键。

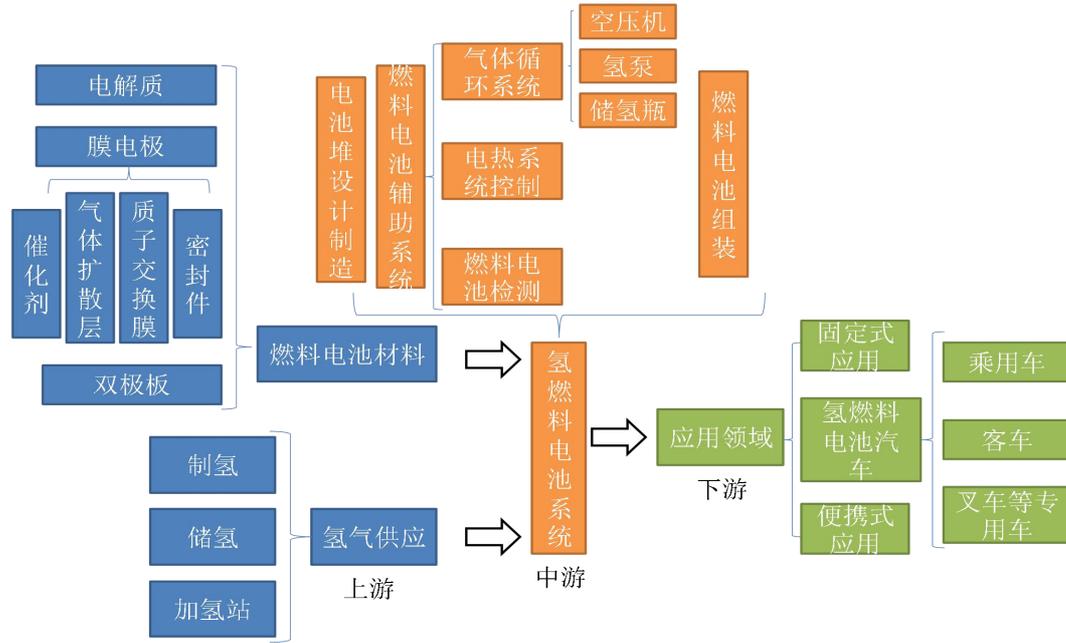


图10.2 燃料电池产业链

现今，国内外企业已积极投入相关零部件的研发和生产，为先行抢占市场，提高自身核心竞争力做准备。燃料电池产业链国内外企业发展现状见表10.2所示。

表 10.2 燃料电池产业链生产企业

| 产业链 | 部件 | 国内生产企业 | 国外生产企业 |
|------------|-------|---|---|
| 上游 电池材料 | 催化剂 | 贵研铂业、大连物化所、华昌化工、武汉喜马拉雅、上海唐锋、中科院宁波材料所、新源动力、北方稀土 | TKK、3M、日本田中、Johnson Matthey、BASF |
| | 气体扩散层 | 中南、武理工研发、上海河森 | 加拿大 Ballard、MP、德国西格里集团 SGL、日本东丽 Toray、Freudenberg、台湾碳能科技、日本 JSR |
| | 双极板 | 安泰科技、杭州鑫能石墨、江阴沪江科技、大连物化所、华南理工、上海喜丽碳素、上海神力、上海治臻新能源装备、新源动力、清能集团 | BMC、TreadStone、POCO、SHF、Ballard、日本 Fujikura Rubber LTD、KyushuRefractories、英国 Bac2、Cellimpact、DANA、Grabener、 |

| | | | |
|--------|-------|--|---|
| | | | Siemens、Porvair |
| | 膜电极 | 安泰科技、理工氢电、理工新能源、东岳集团、新源动力、苏州擎动、昆山桑莱特、上海唐锋、广州鸿基 | Gore、3M、Solvicore、BASF FC、NuVant、Ion Power、JohnsonMatthey、Toyota、GPPE |
| | 质子交换膜 | 山东东岳集团、江苏阳光、巨化股份、三爱富、武汉理工新能源、上海神力、浙江汉拯、同济科技、南都电源、中科同力、雄韬股份 | 科慕、杜邦、美国陶氏化学、IonPower、IRD FC、LLC、Gore、旭硝子、旭化成、日本氯工程、比利时苏威、戈尔 |
| | 密封件 | / | Freudenberg、NOK |
| 中 游 | 电池堆 | 大洋电机、东方电气、同济科技、长城电工、南都电源、新源动力、上海神力科技、上海重塑、佛山国鸿、攀业氢能、上海燃料电池汽车动力系统有限公司 | Ballard、Hydrogenenics、AFCC、Toyota、松下、三菱、AFCC、Bloom Energy、Plug Power、UTC、GM、Power cell、Intelligent Energy、Ned Stack |
| | 空压机 | 雪人股份、汉钟精机、国家电力投资集团有限公司、潍坊富源增压器、江苏金通灵氢能机械科技、嘉兴德燃动力系统、北京伯肯节能科技、广东广顺新能源动力科技、毅合捷汽车科技 | GM、PIUG、PowerXcellsis、OPCON、丰田、日立、Rotrex、Honeywell、UQM、PARK |
| | 储氢瓶 | 京城股份、亿华通、富瑞特装、中材科技、科泰克、斯林达、上海舜华、伯肯节能、派瑞华、天海工业； | 日本村田 |
| | 系统组装 | 大洋电机、亿华通、新源动力、东方电气、德威新材、怡球资源、盐城兴邦、佛山国鸿、广东鸿运、南通泽木、上燃动力、中船重工、安徽明天氢能科技 | Ballard、Hydrogenenics、AFCC、Toyota、松下、三菱、Plug Power、UTC、BMW、Boeing、Siemens、Raytheon、Volkswagen、Daimler、Hyundai |
| 下 游 | 乘用车 | 上汽、北汽、荣威、奇瑞、长城、众泰、比亚迪、吉利、长安、广汽、小鹏汽车 | 丰田、本田、奔驰、三菱、现代、通用、戴姆勒 |

| | | | |
|---------|--------|--|--|
| 应用 | 客车 | 通客车、福田汽车-欧辉、南京金龙、广东鸿运、亿华通、大洋电机、南通泽禾、北汽福田、中通客车、佛山飞驰、上汽-大通、东风汽车、安凯客车、开沃汽车、江淮新能源、中植汽车 | 奔驰、New Flyer、Van Hool |
| | 叉车等专用车 | 安徽合力、中国中车、南通泽禾、广东鸿运、新青年、东风特汽、奥新新能源 | PLUG |
| 燃料制取及配套 | 制氢 | 同济-新源动力、天科股份、金通灵、鸿达兴业、华昌化工、滨化股份、中节能、中石油、中石化、中国华能、中国神华、国家能源集团、（制氢设备）清能集团 | Hydrogenenics、林德气体 |
| 燃料制取及配套 | 储氢/运氢 | 北京天海工业、科泰克、斯林达安科技、中国航天科技、中集安瑞科、富瑞氢能、巨化集团、京城股份、亿华通、中国神华、翰氢动力、伯肯节能（储氢材料）氢阳能源、中科同力、科力远、厦门钨业、云海金属、北方稀土、中材科技、恒神股份 | Freudenberg、美国 Quantum、通用汽车、Impco、Hexagon Lincoln Inc、美国 MVE、日本 JCI、Chart 公司、JSC Cryogenmash、林德公司、Faber Industries、日本 SAMTECH、日本村田、加拿大 Dynetec |
| | 加氢站 | 亿华通、富瑞氢能、厚普股份、上海舜华、瑞晖能源、上海神华低碳、氢枫能源、广东国鸿、上汽、北京氢能华通、宇通、同济-新源动力、东风特汽、佛汽集团、四川金星能源、美锦能源 | 奥地石油友天然气集团、法国道达尔、荷兰皇家壳牌、德国林德、美国 True Zero 公司、美国空气产品公司、日本岩谷、丰田 |

中国在氢燃料电池电堆及其关键材料领域已初步形成产业链，但技术成熟度差距较大。关键材料未实现国产化，如电催化剂、质子交换膜、炭纸大都采用进口材料，且多数为国外垄断，价格高；国内产品尚未形成批量生产能力，或者产品质量不够稳定。部件制备落后，因为缺少先进制备技术和设备，在一些主要部件如双极板、MEA等制造质量不达标，一致性较差。燃料电池附件系统方面，

如空压机、加湿器、氢循环装置等附件系统，基本依赖进口；国内空压机正加紧开发，已具备一定的应用能力。系统耐久性与可靠性不足，国产电堆的寿命为几千小时，国外已经达到上万小时，所以国内电堆的耐久性研究不够深入，在系统优化提升电堆性能和寿命需要更全面的认知。

二、国内外氢燃料电池汽车的产业发展方向和重点规划

氢能与燃料电池能实现能源的多元化来源以及高效、零排放利用，正成为全球能源转型发展的重要方向，也是国家能源战略的重要组成部分。氢燃料电池汽车续航里程局限小，补充能量快，绿色环保，但发展关键在于氢能产业和氢能供给体系的建立。国外重视氢供给体系，加大推进加氢站等基础设施的建设，国内的能源战略中氢供给体系为辅助定位，那么在未来一段时间比较适合特定区域的运行，无法与纯电动汽车一样大规模的推广。此外，在投入经济和汽车保有量的规划对于氢燃料电池汽车产业的发展也至关重要。

(1) 国外氢燃料电池汽车产业重点规划和方向

国外主要国家高度重视发展燃料电池汽车，经过几十年的技术积累与沉淀，在燃料电池汽车的发展阶段已迈入商业化，而后燃料电池汽车的量产和市场的成熟将是发展的方向。

表10.3 国外主要国家的氢能与燃料电池产业市场发展情况

| | |
|----|--|
| 日本 | 政府将氢能上升为国家战略。产业链成熟，技术、商业化领先，丰田 Mirai 产量超万台，Enc-farm 热电联产系统数量超过 30 万套，加氢站超过 100 座。规划 2030 年燃料电池车 81 万辆，加氢站 900 座，热电联产系统 530 万台。 |
| 韩国 | 政府支持力度大、补贴高，产业链较为完善。2018 年韩国运营燃料电池汽车达到 889 辆，加氢站 14 座，发电站装机量达到 |

| | |
|--------|--|
| 美国 | 研发较早，小布什时期政府投入较高，此后支持力度有所下降，燃料电池车生产较少。应用集中在加州，加州也是全球燃料电池车推广最为成熟的地区，加氢站建设 40 座，乘用车保有量超 6500 辆。规划 2030 年燃料电池车 100 万辆，加氢站 1000 座。 |
| 德国 | 商业化应用处于探索期，乘用车约有 500 辆、列车和热电联产均有推广；重视基础设施建设，在运营加氢站数量达 71 座。产业链生态完备，车企巨头奔驰、宝马持续发力燃料电池汽车研发及产业化。 |
| 欧洲其他地区 | 成立燃料电池联盟共同推进燃料电池，远期规划宏大，计划 2050 年实现 4500 万辆燃料电池车，2040 年加氢站达 15000 座。 |

资料来源：燃料电池产业链系列报告之十 国金证券

从全球主要市场角度分析，燃料电池产业初步解决商业模式和成本下降路径的问题，由于车辆的规模扩大，将在不久的未来实现规模化的商业运营。在加氢站方面，它是燃料电池汽车实现商业化运营的关键基础设施，所以国外氢燃料电池汽车其一重点规划是在氢基础设施方面加快加氢站的战略布局，日本计划到 2020 年建设 160 座加氢站，日本现有加氢站数量全球第一，也是全球第一个加氢站数量达到 100 座以上的国家。德国计划在 2023 年建设 400 座加氢站。韩国于 2018 年 6 月颁布《氢燃料电池汽车产业生态战略路线图》，提出在 2022 年，政府与企业合作投资 2.6 万亿韩元（约 23.3 亿美元），推广 1.6 万辆燃料电池汽车，建设 310 座加氢站的规划目标。在美国方面，据美国能源部替代燃料数据中心的统计，截止 2018 年 9 月 30 日，美国运行中的加氢站有 40 座，其中主要分布在加利福尼亚州，拥有 35 座商业加氢站，其他 5 座分布于东部几个州和夏威夷，计划到 2023 年建成超过 100 座加氢站。目前，全欧洲运行中的加氢站有 140 多座，根据 FCH JU 的预测，到 2025 年，欧洲将建成 800 座以上加氢站，总的看来，欧洲加氢基础设施网络化发展格局正初步形成。

除了加氢站方面的规划，还有研发投入经费和推广燃料电池汽车数量的规划。

日本到2030年对氢社会的投资可达1万亿日元，2017年发布的《氢能基本战略》指出2020年，日本燃料电池汽车保有量将达到4万辆；2030年超过80万辆，直至2050年，将替代新增传统燃油车。美国能源部2016年的燃料电池研发和氢能研发的投入分别为3500万和4100万美元。欧洲主要国家花了很多精力布局燃料电池汽车，法国2018年推出“氢能计划”，提到2023年推广5000辆轻型商用车、200辆重型卡车；到2028年，推广2万辆以上轻型商用车和800辆以上重型卡车。德国在2030年生产200万辆燃料电池汽车。挪威计划至2023年引进1000辆燃料电池重卡。

(2) 国内氢燃料电池汽车产业重点规划和方向

中国燃料电池汽车近几年发展势头强劲，在燃料电池汽车示范应用取得突破性进展，在产业方向路径上通过发展燃料电池商用车，实现规模化后以降低燃料电池和氢成本，拓展到乘用车领域。

政策推动燃料电池汽车产业的发展，政府的支持与引导是至关重要的。全国各地政府对氢燃料电池汽车的规划工作正如火如荼的进行着，全国一些城市建设氢能产业园区，氢能小镇等。

表10.4 各地政府推动规划或项目情况

| 省份 | 地市 | 规划/项目时间 | 燃料电池规划/项目 |
|----|----|---------|---|
| 上海 | 上海 | 2017.9 | 《上海市燃料电池汽车发展规划》提出到2020年建设加氢站5-10座、乘用车示范区2个，运行规模达到3000辆；到2025年建成加氢站50座，乘用车不少于2万辆、其它特种车辆不少于1万辆；在到2030年，实现上海燃料电池汽车全产业链年产值突破3000亿元。 |
| 广东 | 广州 | 2018.2 | 广州开发区管委会与鸿基创能科技有限公司签署战略合作框架协议，国内重要的氢燃料电池膜电极产业化项目正式落户黄埔区、广州开发区，签约项目总投资约8亿元，2019年实现年产10万平米膜电极的规模， |

| | | | |
|----|--------|---|---|
| | 佛山 | 2017.12 | 12月，佛山市在第二届氢能与燃料电池产业发展国际交流会提出将在2019年投入使用10座加氢站，力争实现1000辆的氢能公交车示范运营项目 |
| | | 2018.11 | 《佛山市氢能源产业发展规划(2018-2030年)》提出到2020年，氢能累计产值达到200亿元，加氢站达到28座；2025年产业产值500亿元，加氢站达到43座；2030年产业累计产值1000亿元，加氢站达到57座。 |
| 湖北 | 武汉 | 2018.1 | 2018—2020年，燃料电池汽车全产业链年产值超过100亿元；建设5—20座加氢站，燃料电池公交车、通勤车、物流车等示范运行规模达到2000—3000辆。到2025年，建成加氢站30-100座，实现乘用车、公交、物流车及其他特种车辆总计1-3万辆的运行体量，氢能燃料电池全产业链年产值力争突破1000亿元 |
| 江苏 | 如皋 | 2017.5 | 《如皋市城市总体规划(2013-2030)》成为全省重要的新能源汽车产业基地，成为联合国开发计划署在中国的首个“氢经济示范城市” |
| | 盐城 | 2017.1 | 2018年盐城市计划运营10辆燃料电池公交车。“十三五”期间，力争实现1500辆以上的客车、物流车、专用车、乘用车等多种燃料电池汽车的示范应用，形成一定的规模效应 |
| | 苏州 | 2018.3 | 到2020年，氢能产业链年产值突破100亿元，建成加氢站近10座，氢燃料电池汽车运行规模力争达到800辆；到2025年，氢能产业链年产值突破500亿元，建成加氢站近40座，燃料电池车运行规模力争达到10000辆。 |
| | 张家港 | 2019.1 | 到2020年氢能年产值要突破100亿元，未来3年，在张家港市建成加氢站10座，公交车等示范运 |
| | | | 行路线10条以上，运行规模达到200辆。 |
| 南京 | 2019.1 | 《南京市打造新能源汽车产业地标行动计划》指出，要重点推进燃料电池汽车、纯电动汽车、插电式混合动力汽车开发，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。 | |

| | | | |
|----|----|---------|---|
| 江苏 | 常熟 | 2019.2 | 《常熟市氢燃料电池汽车产业发展规划》提出近期（2019-2022年）目标是，围绕氢燃料电池汽车的应用和推广示范建成一批市场优化运营的公共加氢站，推广示范一批公交、客车、物流配送车、环卫车等应用车辆；积极申报国家试点示范城市；快速推进核心技术开发和产品攻关，积极招引国内外创新研发机构落户；初步形成相对完整的产业链条。中期（2023-2025年）目标是，实现氢燃料电池汽车核心技术的重点突破，集聚5至10家领先的研发机构；实现1至2家具有影响力的整车企业量产，关键零部件企业达到50家以上，产业规模突破百亿；建成更完善的加氢设施。远期（2026-2030年）目标是，打造成为更具影响力的产业技术创新中心，引领氢燃料电池汽车创新发展；形成千亿级产业集群；成为具有区域影响力的氢燃料电池汽车应用城市。 |
| 浙江 | 台州 | 2017.12 | 台州市委市政府提出通过“氢能小镇”先行先试带动区域社会经济和产业转型升级的发展模式，将台州打造成“氢能产业第一城”。小镇将不仅覆盖氢能全产业链，还将构筑全国首个完整的集“产业+资本+技术+服务”为一体的氢能源产业生态体系，建设氢能产业园区，在技术创新、运营模式、发展业态和体制机制等方面深入探索。规划中的台州氢能小镇项目位于台州湾循环经济集聚区核心区，分为平台和产业两个区块。预计台州氢能小镇五年内总投资将达到160亿元，以期培育一批氢能产业的龙头企业。其中，产业投资占总投资的60%，科技平台研发占总投资的10%，小镇配套基础建设占总投资的30%。 |
| | 宁波 | 2019.1 | 《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》提出到2022年建成加氢站10~15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600~800辆；到2025年，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。 |
| 山东 | 山东 | 2019.1 | 《山东省氢能产业发展路线图》建议稿提出初步发展目标，到2020年，燃料电池汽车数量达到2000辆，加氢站达20座；到2025年，燃料电池汽车数量达到5万辆，加氢站达200座；到2030年，燃料电池汽车数量达到10万辆，加氢站达500座 |
| | 聊城 | 2017.7 | 聊城经济技术开发区、大洋电机、中通客车“氢燃料电池产业化”项目滨化股份与拥有氢燃料电池技术的北京亿华通科技股份有限公司（新三板上市公司）达成合作协议，共同投资5000万元设立氢能源公司 |

| | | | |
|----|--------|---|--|
| 山东 | 淄博 | 2018.2.4 | 淄博高新区在火炬大厦举行了氢能新能源汽车产业集群项目签约仪式。投资方浙江枫桐特种能源科技有限公司董事长王方成、淄博京科电气有限公司董事长董义鹏出席了签约仪式。淄博高新区工委委员、管委会副主任申佃军代表高新区管委会与王方成签署了投资协议。达产后年生产乘用车 10 万辆、物流车 5 万辆、大巴车 1 万辆。投产后年实现销售额 500 亿元。 |
| | 济南 | 2018.1 | 2018 政府工作报告提出开展燃料电池大规模应用及产业化试点，推进“中国氢谷”项目规划建设； |
| | | 2017.8 | 中国重汽集团投资 500 亿元在济南高新区建设氢动能汽车产业园项目，主要涉及氢能源汽车创新中心、整车制造和动力总成； |
| | | 2017.8 | 世能氢电公司计划在济南投资 100 亿元，建设氢燃料电池项目，主要生产氢燃料电池关键材料及部件、氢燃料电池电堆引擎、氢燃料电池等。 |
| 潍坊 | 2018.2 | 潍柴未来 5-10 年，将以氢燃料电池作为技术攻关主要方向，打造涵盖氢燃料电池、固态锂电池、电机、混合动力总成系统、整车整机的新能源动力产业建设新能源动力产业园。新能源动力产业园初步规划建设中国最大的新能源驱动电机制造基地、世界领先的氢燃料电池制造基地、商用车新能源动力总成系统制造基地、世界一流的新能源叉车制造基地、新能源轻型商用车制造基地和世界一流的新能源虚拟创新中心等六大基地。目前，虚拟创新中心建设初步完成了功能与布局设计，计划 6 月份开工建设。预计新能源动力产业园建设总投资额 500 亿元 | |
| 山西 | 大同 | 2018.1 | 雄韬股份拟与大同市人民政府签订《投资合作协议》，在大同市投资建设雄韬氢能大同产业园项目，项目投资金额不少于 30 亿元，项目计划 3 年之内建成年产能不少于 5 万套的氢燃料发动机系统生产基地；2 年之内全市范围内推广不少于 3000 辆氢燃料整车，全省范围内推广不少于 5000 辆氢燃料整车。项目全部投产后，可实现产值不少于 150 亿元，上缴税收不少于 15 亿元。 |
| 河北 | 张家口 | 2017.9 | 张家口亿华通燃料电池生产基地正式下线，年产能为 2000 台。亿华通动力科技有限公司生产的氢燃料电池发动机将装配福田公司生产的欧辉氢燃料电池客车上，首批百辆氢燃料电池客车年内将在张家口批量上线运营，助力 2022 年冬奥会。 |

| | | | |
|----|-----|---------|--|
| 河北 | 张家口 | 2018.1 | 张家口 74 辆燃料电池公交完成招标，2018 年率先启动百辆运营，未来公交全部实现氢燃料电池替换可达 2000 辆；张家口市将加速建设地区氢能综合利用产业体系，建设京张奥运氢能高速公路，以及多个风光电氢综合能源利用示范项目，并将于今年率先启动百辆级燃料电池客车示范运营，最终实现 19 个区县加氢站全覆盖，公交车全部实现氢燃料电池化 |
| | 霸州 | 2018.3 | 中国交通建设集团股份有限公司下属全资子公司中国公路车辆机械有限公司与霸州市政府签署协议，在该市建设以生产氢燃料电池为主的新能源汽车产业基地，项目计划总投资 100 亿元。该项目计划总投资 100 亿元，占地 2600 亩，其中企业总部、科技研发及生活配套占地 600 亩，生产区占地 2000 亩。先期启动新能源汽车主机厂，占地约 1000 亩，计划分两期建设，一期 2019 年年底前建成，年产客车 10000 辆，二期建成后客车总产量达 20000 辆，年产值 350 亿元。 |
| 安徽 | 六安 | 2017.12 | 安徽明天氢能产业园奠基仪式在六安示范园区举行。明天氢能产业园占地 700 亩、总投资 25 亿元，主要建设氢燃料电池研发生产中心、加氢站研发及运营中心、燃料电池厂、电堆工厂、热电联供厂、双极板工厂、MEA 工厂等。 |
| 四川 | 成都 | 2018.2 | 2 月 28 日下午，成都市郫都区工业港，两辆 9 米长的氢燃料电池城市客车开始试运营 |
| 江西 | 定南 | 2017.3 | 2017 年 3 月 19 日，定南氢燃料电池发动机项目签约仪式在定南县迎宾馆举行，由三硕科技（赣州）有限公司投资 5 亿元的氢燃料电池发动机项目正式落户定南，生产经营规模为年生产 3 万台氢燃料电池发动机，项目预计今年 10 月投产，年产值可达 90 亿元以上。 |
| 陕西 | 西安 | 2016.5 | 陕西省发改委公布 2016 年重点建设项目计划科技创新与战略性新兴产业培育工程西安氢燃料电池生产线 |

资料来源：燃料电池产业链系列报告之十 国金证券

在 2019 年两会期间，领导人在政府报告中明确提出“推动充电、加氢等设施建设”，国家发展改革委、国家能源局组织编制了《能源技术革命创新行动计划（2016-2030 年）》，部署了氢能与燃料电池技术创新等 15 项重点任务：2025-2030 年大规模制氢技术、分布式制氢技术和氢的储运技术实现应用推广。《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》提出要系统推进燃料电池车的研发与产业化；推动

高性能低成本燃料电池材料和系统关键部件研发;推动车载储氢系统以及氢制备、储运和加注技术发展,推进加氢站建设。规划还明确,到2020年,要实现燃料电池车批量生产和规模化示范应用。在政府推行的相关政策下,我国氢燃料电池汽车朝着产业化和商业化方向前进。

地方政府也非常支持氢能产业,如:如皋目前已经是全国涉足氢能产业最早、企业集聚度最高、氢能产业链建设最全的地区之一,打造中国首个氢能经济示范,实现城市的可持续发展。中国作为全球最大的汽车市场,正确的方向和规划对燃料电池汽车未来的发展十分重要,不盲目跟风,逐渐完善符合我国国情的发展战略,我国氢燃料电池汽车在技术路线的规划如表10.6所示。

表 10.6 国内氢燃料电池汽车规划

| | | 2015 | | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------|---------------|-------------------|---------------|-----------|-------------|-----------|
| 氢能燃料 汽车 | 中国制造 | 高比功率、高耐久性燃料电池电堆产品 | | | 低成本燃料电池电堆技术 | |
| | 2025 | 技术 | | | | |
| | 技术路线图 | 性能 | 最高效率 | 最高效率 | 最高效率 | 最高效率 |
| | | | 55% | 60% | 65% | 65% |
| | | | 冷启动温度-20℃ | 冷启动温度-30℃ | 冷启动温度-40℃ | 冷启动温度-40℃ |
| | | | 材料成本 | 材料成本 | 材料成本 | 材料成本 |
| | | | 4000 元/kW | 1000 元/kW | 500 元/kW | 150 元/kW |
| | | | 乘用车: | 乘用车: | 乘用车: | 乘用车: |
| | | | 额定功率 | 额定功率 | 额定功率 | 额定功率 |
| 35kW | 70kW | 90kW | 120kW | | | |
| 寿命 3000h | 寿命 5000h | 寿命 6000h | 寿命 8000h | | | |
| 体积比功率 2.0kW/L | 体积比功率 3.0kW/L | 体积比功率 3.5kW/L | 体积比功率 4.0kW/L | | | |
| 质量比功率 1.5kW/L | 质量比功率 2kW/L | 质量比功率 2.5kW/L | 质量比功率 3.0kW/L | | | |

| | | | | | | |
|----------|-------|--|---------------|-------------|---------------|--|
| 氢燃料电池汽车 | 技术路线图 | 性能 | 商用车： | 商用车： | 商用车： | 商用车： |
| | | | 额定功率 | 额定功率 | 额定功率 | 额定功率 |
| | | | 35kW | 70kW | 120kW | 170kW |
| | | | 寿命 3000h | 寿命 10000h | 寿命 20000h | 寿命 30000h |
| | | | 体积比功率 1.5kW/L | 体积比功率 2kW/L | 体积比功率 2.5kW/L | 体积比功率 3.0kW/L |
| 氢能燃料电池汽车 | 技术路线图 | 高速空压机、氢循环系统、70MPa 储氢瓶等关键系统附件性能满足车用指标要求 | | | | 系统部件逐步实现国产化，系统成本低于 200 元/kW(年产 50 万辆规模时) |
| | | 商用车 | 耐久性 40 万 km | 耐久性 80 万 km | 耐久性 100 万 km | |
| | | 成本 | 成本≤150 万元 | 成本≤100 万元 | 成本≤60 万元 | |
| | | 乘用车 | 寿命 20 万 km | 耐久性 25 万 km | 耐久性 30 万 km | |
| | | 成本 | 成本≤30 万元 | 成本≤20 万元 | 成本≤18 万元 | |

数据来源：中国氢能源及燃料电池产业白皮书（2019版）

第二节 全球氢燃料电池汽车的技术规范和标准

为推动氢燃料电池汽车的健康发展，更好的推广和普及新能源汽车，完善和改进燃料电池汽车的技术规范和标准是至关重要的。国内外积极制定符合本国国情的相关技术规范和标准，促进氢燃料电池汽车的商业化推行。

一、 国内外氢燃料电池汽车技术规范和标准的发展现状

(1) 国内氢燃料电池汽车的技术规范和标准

中国氢燃料电池汽车标准体系在10年间不断改进,已经初步形成。根据中国汽车工程学会的统计,截至2018年5月,中国国家标准化管理委员会累计发布国家标准、行业标准76项,其中涉及电池、反应堆34项,氢能基础设施27项,燃料电池汽车15项。现行标准62条,已废止标准2条,即将试行标准12条。具体情况如下:

表 10.7 中国氢燃料电池汽车标准(电池电堆)

| 标准号 | 标准名称 | 状态 | 实施日期 |
|-------------------|-------------------------|----|-----------|
| GB/T 20042.2-2008 | 质子交换膜燃料电池第2部分:电池堆通用技术条件 | 现行 | 2009/1/1 |
| GB/Z 21742-2008 | 便携式质子交换膜燃料电池发电系统 | 现行 | 2009/1/1 |
| GB/T 20042.3-2009 | 质子交换膜燃料电池第3部分:质子交换膜测试方法 | 现行 | 2009/11/1 |
| GB/T 20042.4-2009 | 质子交换膜燃料电池第4部分:电催化剂测试方法 | 现行 | 2009/11/1 |
| GB/T 20042.5-2009 | 质子交换膜燃料电池第5部分:膜电极测试方法 | 现行 | 2009/11/1 |
| GB/T 23646-2009 | 电动自行车用燃料电池发电系统技术条件 | 现行 | 2009/11/1 |
| GB/T 23751.1-2009 | 微型燃料电池发电系统第1部分:安全 | 现行 | 2009/11/1 |
| GB/T 23751.2-2009 | 微型燃料电池发电系统第2部分:性能试验方法 | 现行 | 2009/11/1 |
| GB/T 20042.6-2011 | 质子交换膜燃料电池第6部分:双极板特性测试方法 | 现行 | 2012/5/1 |
| GB/T 27748.2-2011 | 固定式燃料电池发电系统第1部分:安全 | 现行 | 2012/5/1 |
| GB/T 27748.3-2011 | 固定式燃料电池发电系统第3部分:安装 | 现行 | 2012/5/1 |
| GB/Z 27753-2011 | 质子交换膜燃料电池膜电极工况适应性测试方法 | 现行 | 2012/5/1 |
| GB/T 28816-2012 | 燃料电池一术语 | 现行 | 2013/2/1 |

| | | | |
|-------------------|---|----|-----------|
| GB/T 28817-2012 | 聚合物电解质燃料电池单电池测试方法 | 现行 | 2013/2/1 |
| GBT 23751.3-2013 | 微型燃料电池发电系统第3部分:燃料容器互换性 | 现行 | 2013/12/2 |
| GB/T 27748.2-2013 | 固定式燃料电池发电系统第2部分:性能试验方法 | 现行 | 2014/3/7 |
| GB/T 30084-2013 | 便携式燃料电池发电系统安全 | 现行 | 2014/4/9 |
| GB/T 20042.7-2014 | 质子交换膜燃料电池第7部分:炭纸特性测试方法 | 现行 | 2015/7/1 |
| GB/T 31036-2014 | 质子交换膜燃料电池电堆低温特性试验方法 | 现行 | 2015/7/1 |
| GB/T 31036-2014 | 质子交换膜燃料电池备用电源系统安全 | 现行 | 2015/7/1 |
| GB/T 31037.1-2014 | 工业起升车辆用燃料电池发电系统第1部分:安全 | 现行 | 2015/7/1 |
| GB/T 31037.2-2014 | 工业起升车辆用燃料电池发电系统第2部分:技术条件 | 现行 | 2015/7/1 |
| GB/T 31886.1-2015 | 反应气中杂质对质子交换膜燃料电池性能影响的测试方法 第1部分:空气中杂质 | 现行 | 2016/4/1 |
| GB/T 31886.2-2015 | 反应气中杂质对质子交换膜燃料电池性能影响的测试方法 第2部分:氢气中杂质 | 现行 | 2016/4/1 |
| GB/T 20042.1-2017 | 质子交换膜燃料电池第1部分:术语 | 现行 | 2017/12/1 |
| GB/T 30084-2013 | 便携式燃料电池发电系统安全 | 现行 | 2014/4/9 |
| GB/T 33978-2017 | 道路车辆用质子交换膜燃料电池模块 | 现行 | 2018/2/1 |
| GB/T 33979-2017 | 质子交换膜燃料电池发电系统低温特性测试方法 | 现行 | 2018/2/1 |
| GB/T 33983.1-2017 | 直接甲醇燃料电池系统第1部分:安全 | 现行 | 2018/2/1 |
| GB/T 33983.2-2017 | 直接甲醇燃料电池系统第2部分:性能试验方法 | 现行 | 2018/2/1 |
| GB/T 34582-2017 | 固体氧化物燃料电池单电池和电池堆性能试验方法 | 现行 | 2018/4/1 |
| GB/T 34872-2017 | 质子交换膜燃料电池供氢系统技术要求 | 现行 | 2018/5/1 |

| | | | |
|-------------------|----------------------------------|----|------------|
| GB/T 29838-2013 | 燃料电池 模块 | 现行 | 2013/11/12 |
| GB/T 27748.4-2017 | 固定式燃料电池发电系统第4部分:小型燃料电池发电系统性能试验方法 | 现行 | 2018/2/1 |
| GB/T 36544-2018 | 变电站用质子交换膜燃料电池供电系统 | 现行 | 2019/2/1 |
| GB/T 37154-2018 | 燃料电池电动汽车整车氢气排放测试方法 | 现行 | 2019/7/1 |
| GB/T 37244-2018 | 质子交换膜燃料电池车用燃料氢气 | 现行 | 2019/7/1 |

表 10.8 中国氢燃料电池汽车标准（氢能及基础设施）

| 标准号 | 标准名称 | 状态 | 实施日期 |
|-----------------|-------------------|----|-----------|
| GB/T3634.1-2006 | 氢气第1部分:工业氢 | 现行 | 2006/11/1 |
| GB/T3634.2-2011 | 氢气第2部分:纯氧、高纯氢和超纯氢 | 现行 | 2012/10/1 |
| GB/T16942-2009 | 电子工业用气体氢 | 现行 | 2010/5/1 |
| GB/T4962-2008 | 氢气使用安全技术规程 | 现行 | 2009/10/1 |
| GB/T 19774-2005 | 水电解制氢系统技术要求 | 现行 | 2005/11/1 |
| GB/T 26916-2011 | 小型氢能综合能源系统性能评价方法 | 现行 | 2012/3/1 |
| GB/T 19774-2005 | 水电解制氢系统技术要求 | 现行 | 2005/11/1 |
| GB/T 26916-2011 | 小型氢能综合能源系统性能评价方法 | 现行 | 2012/3/1 |
| GB/T 24499-2009 | 氢气、氢能与氢能系统术语 | 现行 | 2010/5/1 |
| GB/T 19773-2005 | 变压吸附提纯氢系统技术要求 | 现行 | 2005/11/1 |
| GB/T 29412-2012 | 变压吸附提纯氢用吸附器 | 现行 | 2013/10/1 |
| GB/T 29411-2012 | 水电解氢氧发生器技术要求 | 现行 | 2013/10/1 |
| GB/T 32311-2015 | 水电解制氢系统能效限定值及能效等级 | 现行 | 2017/1/1 |

| | | | |
|-------------------|-------------------------------|----|-----------|
| GB/T 26915-2011 | 太阳能光催化分解水制氢体系的能量转化效率与量子产率计算 | 现行 | 2012/3/1 |
| GB/T 34540-2017 | 甲醇转化变压吸附制氢系统技术要求 | 现行 | 2018/5/1 |
| GB/T23606-2009 | 铜氢脆检验方法 | 现行 | 2010/2/1 |
| GB/T24185-2009 | 逐级加力法测定钢中氢脆临界值试验方法 | 现行 | 2010/4/1 |
| GB/T 34539-2017 | 氢氧发生器安全技术要求 | 现行 | 2018/5/1 |
| GB/T 29411-2012 | 水电解氢氧发生器技术要求 | 现行 | 2013/10/1 |
| GB/T 33291-2016 | 氢化物可逆吸放氢压力-组成等温线 (P-C-T) 测试方法 | 现行 | 2017/7/1 |
| GB/T 24499-2009 | 氢气、氢能与氢能系统术语 | 现行 | 2010/5/1 |
| GB/T 29729-2013 | 氢系统安全的基本要求 | 现行 | 2014/1/1 |
| GB/T 34542.1-2017 | 氢气储存输送系统第1部分:通用要求 | 现行 | 2018/5/1 |
| GB/T34542.2-2018 | 氢气储存输送系统 第2部分:金属材料与压缩氢环境相容 | 现行 | 2018/12/1 |
| GB/T34542.3-2018 | 氢气储存输送系统第3部分:金属材料氢脆敏感度试验方法 | 现行 | 2018/12/1 |
| GB/T 34544-2017 | 小型燃料电池车用低压储氢装置安全试验方法 | 现行 | 2018/5/1 |
| GB/T 33292-2016 | 燃料电池备用电源用金属氢化物储氢系统 | 现行 | 2017/7/1 |
| GB/T26466-2011 | 固定式高压储氢用钢带错绕式容器 | 现行 | 2011/12/1 |
| GB/T 34542.1-2017 | 氢气储存输送系统第1部分:通用要求 | 现行 | 2018/5/1 |
| GB/T35544-2017 | 车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶 | 现行 | 2018/7/1 |
| GB/T 31139-2014 | 移动式加氢设施安全技术规范 | 现行 | 2015/1/1 |

| | | | |
|-----------------|---------------------|----|-----------|
| GB/T 34583-2017 | 加氢站用储氢装置安全技术要求 | 现行 | 2018/5/1 |
| GB 50516-2010 | 加氢站技术规范 | 现行 | 2010/12/1 |
| GB/T 34584-2017 | 加氢站安全技术规范 | 现行 | 2018/5/1 |
| GB/Z 34541-2017 | 氢能车辆加氢设施安全运行管理规程 | 现行 | 2018/5/1 |
| GB/T 29124-2012 | 氢燃料电池电动汽车示范运行配套设施规范 | 现行 | 2013/7/1 |
| GB/T 34425-2017 | 燃料电池电动汽车加氢枪 | 现行 | 2018/5/1 |
| GB/T 31138-2014 | 汽车用压缩氢气加气机 | 现行 | 2015/1/1 |
| GB/T 30719-2014 | 液氢车辆燃料加注系统接口 | 现行 | 2014/10/1 |
| QC/T 816-2009 | 加氢车技术条件 | 现行 | 2010/4/1 |
| GB/T 34537-2017 | 车用压缩氢气天然气混合燃气 | 现行 | 2018/5/1 |
| GB/T 30718-2014 | 压缩氢气车辆加注连接装置 | 现行 | 2014/10/1 |

资料来源：作者自行整理

表 10.9 中国氢燃料电池汽车标准（燃料电池汽车）

| 标准号 | 标准名称 | 状态 | 实施日期 |
|-----------------|-------------------|----|-----------|
| GB/T 23645-2009 | 乘用车用燃料电池发电系统测试方法 | 现行 | 2009/11/1 |
| GB/T 24548-2009 | 燃料电池电动汽车术语 | 现行 | 2010/7/1 |
| GB/T 24549-2009 | 燃料电池电动汽车安全要求 | 现行 | 2010/7/1 |
| GB/T 24554-2009 | 燃料电池发动机性能试验方法 | 现行 | 2010/7/1 |
| GB/T 25319-2010 | 汽车用燃料电池发电系统技术条件 | 现行 | 2011/5/1 |
| GB/T 26779-2011 | 燃料电池电动汽车加氢口 | 现行 | 2012/1/1 |
| GB/T 26990-2011 | 燃料电池电动汽车车载氢系统技术条件 | 现行 | 2012/3/1 |

| | | | |
|-----------------|-------------------|----|----------|
| GB/T 26991-2011 | 燃料电池电动汽车最高车速试验方法 | 现行 | 2012/3/1 |
| GB/T 28183-2011 | 客车用燃料电池发电系统测试方法 | 现行 | 2012/6/1 |
| GB/T 29123-2012 | 示范运行氢燃料电池电动汽车技术规范 | 现行 | 2013/7/1 |
| GB/T 29126-2012 | 燃料电池电动汽车车载氢系统试验方法 | 现行 | 2013/7/1 |
| GB/T 34593-2017 | 燃料电池发动机氢气排放测试方法 | 现行 | 2018/5/1 |
| GB/T 35178-2017 | 燃料电池电动汽车氢气消耗量测量方法 | 现行 | 2018/7/1 |

资料来源：作者自行整理

(2) 国外氢燃料电池汽车的技术规范和标准

国外积极的制订氢燃料电池技术相关技术规范和标准,尤其是美国和日本等发达国家,加强国家之间的合作,从而提升本国的氢燃料电池汽车相关技术规范和标准国际化。具体的一些情况如下:

表 10.10 国外氢燃料电池汽车标准 (电池电堆)

| | |
|-----------|---------------------------|
| SAE J2594 | 燃料电池回收指南 (美国) |
| SAE J2615 | 汽车用燃料电池系统性能试验 (美国) |
| SAE J2616 | 汽车用燃料电池燃料系统处理分系统性能试验 (美国) |
| SAE J2617 | 汽车用质子交换膜燃料电池堆试验推荐规程 (美国) |
| SAE J2722 | 质子交换膜燃料电池堆可靠性试验推荐规程 (美国) |
| JISC8800 | 燃料电池电池用语 (日本) |
| JISC8801 | 磷酸形燃料电池发电系统通则 (日本) |
| JISC8802 | 磷酸形燃料电池寿命试验方法 (日本) |
| JISC8803 | 磷酸形燃料电池发电设备表示方法 (日本) |

| | |
|-------------|--|
| JISC8811 | 固体高分子形燃料电池发电装置的表示方法（日本） |
| JISC8821 | 小形固体高分子形燃料电池系统通则（日本） |
| JISC8822 | 小形固体高分子形燃料电池系统的安全基准（日本） |
| JISC8823 | 小形固体高分子形燃料电池系统的安全性及性能试验方法（日本） |
| JISC8824 | 小形固体高分子形燃料电池系统的环境试验方法（日本） |
| JISC8825 | 小形燃料电池系统的电磁两立性（EMC）（日本） |
| JISC8826 | 小型燃料电池系统的系统连系型能量转换器的测试方法（日本） |
| JISC8827 | 小形固体高分子形燃料电池系统中的能量转换器的单独驾驶检测功能的测试方法（日本） |
| JISC8831 | 定置用固体高分子形燃料电池堆安全性评估试验方法（日本） |
| JISC8832 | 定置用固体高分子形燃料电池堆性能试验方法（日本） |
| JISC884 1-1 | 小形固体氧化物形燃料电池系统-第 1 部：通则（日本） |
| JISC884 1-2 | 小形固体氧化物形燃料电池系统-第 2 部：安全基准及安全性试验方法（日本） |
| JISC884 1-3 | 小形固体氧化物形燃料电池系统-第 3 部：性能试验方法及环境试验方法（日本） |
| JISC8842 | 固体氧化物形燃料电池单个及电池堆发电性能试验方法（日本） |
| JISC8851 | 小形燃料电池系统的 11 模式能量效率和标准家庭的年消费能量量的测量方法（日本） |
| JISR1761 | 固体氧化物形燃料电池用多孔质陶瓷的气体透射率测量方法（日本） |

资料来源：作者自行整理

表 10.11 国外氢燃料电池汽车标准（燃料电池汽车）

| 标准号 | 标准名称 |
|---------------|--|
| SAE J2572 | 使用压缩氢燃料的电池汽车燃料经济性、排放污染物及续驶里程检测推荐规程（美国） |
| SAE TIR J2601 | 轻型气态氢道路车辆的燃料加注协议（美国） |
| SAE J2719 | 燃料电池车氢质量指南（美国） |
| SAE TIR J2799 | 70MPa 压缩氢道路燃料车辆连接装置和可选车辆与燃料加注站之间通讯（美国） |
| SAE J2601 | 轻型气态氢汽车的燃料协议（美国） |
| SAE J2799 | 氢燃料汽车补给站软件及硬件标准（美国） |
| SAE J2600 | 压缩氢气车辆燃料连接装置（美国） |
| SAE TIR J2601 | 轻型气态氢道路车辆的燃料加注协议（美国） |
| SAE J2719 | 燃料电池车氢质量指南（美国） |
| SAE TIR J2799 | 70MPa 压缩氢道路燃料车辆连接装置和可选车辆与燃料加注站之间通讯（美国） |
| SAE J2601 | 轻型气态氢汽车的燃料协议（美国） |
| SAE J2799 | 氢燃料汽车补给站软件及硬件标准（美国） |
| SAE J2600 | 压缩氢气车辆燃料连接装置（美国） |
| SAE J1766 | 电动车和混合动力车蓄电池系统碰撞完整性试验推荐规程（美国） |
| SAE J2578 | 燃料电池汽车一般安全推荐规程（美国） |
| SAE J2579 | 燃料电池及其他氢燃料汽车燃料系统技术信息报告（美国） |
| SAE J2760 | 燃料电池及其他氢燃料汽车技术信息报告中压力术语（美国） |
| SAE J2574 | 燃料电池汽车术语（美国） |

二、国内外之间的氢燃料汽车技术标准的比较

(1) 与美国氢燃料电池标准的比较

美国关于氢燃料电池汽车的标准制订较为重视,形成全球最完善的燃料电池汽车标准体系。相比于中国,所体现的优点有:

其一:美国发布的相关标准是联合多个国内外技术机构和国内多家汽车企业,共同参与标准的制定和研究,中国的氢燃料电池汽车标准制定相比之下较为单一。

其二:美国对氢燃料电池的再回收工作十分重视,在标准内容里面涉及多项,并且在氢燃料电池汽车推出之前就考虑燃料电池梯级利用和回收。通过“再利用—再加工—再销售—再循环”的方式,全面开展燃料电池的可回收工作。而中国在发布的众多标准中并没有涉及关于燃料电池的回收和再利用内容。

(2) 与日本氢燃料电池标准的比较

日本的氢燃料电池标准体系走在世界的前列,并且多项氢燃料电池汽车方面的标准被联合国采用。日本的氢燃料电池标准中最有分量的是燃料电池方面的标准,其中以磷酸型燃料电池相关标准较为全面。相比之下,中国的开发和标准制定还十分不足,虽然颁布一些氢燃料电池标准,但总体看来比较分散,笼统,在安全性能和电池寿命方面的规范有不足之处。此外,日本在加氢技术和设施的规范比较完善,也是国内标准在这方面的内容需要尽快补充的部分。

三、对未来我国氢燃料电池汽车技术规范和标准制订工作的建议

从上文来看,我国氢燃料电池汽车技术规范和标准存在一些不足之处,对比发达国家还有一些差距,虽然有一些借鉴和参考价值,但是我国的氢燃料电池汽车起步时间晚,在技术层次还有所欠缺,应多方面考虑继续改进和完善符合我国国情的技术规范和标准。另外氢燃料电池产业链较长,协调工作仅仅依靠燃料电

池标委会是不够的，可以由国家标准化管理部门主导，采取多个部门和国内代表性车企共同参与，合作攻关，标准的制定不再单一化。

第三节 全球氢燃料电池汽车产业发展面临的挑战

燃料电池汽车是氢能与燃料电池产业链的关键环节，其技术的发展引领着整个产业链向前迈进的步伐。现今，燃料电池汽车迎来产业化发展重要窗口期，世界各国在氢燃料电池汽车普及推广的道路上都面临着挑战。

一、国内氢燃料电池汽车产业发展面临的挑战

中国氢燃料电池汽车发展起步相对较晚，但近年来发展势头强劲。特别值得一提的是，作为全球最大的汽车市场，中国的燃料电池汽车行业增长潜力最大，尤其在商用车领域，这既是优势也是挑战。在2019年8月19日，由中国汽车工业协会主办，汽车之家承办的第一届“全球汽车产业创新大会”在北京国家会议中心隆重召开。工业和信息化部副部长辛国斌表示，未来3-5年将是汽车产业攻坚克难的关键阶段。今年1-7月，汽车产销量降幅1-6月有所收窄，但与上年同期相比分别下降超过10个百分点。我国汽车产业在经历了28年持续增长后，首次出现负增长。所以，加快氢燃料电池汽车产业的发展对促进国内汽车行业的欣欣向荣具有重要作用。现今我国氢燃料电池汽车的商业化、产业化是滞后的。所面临的挑战主要有以下7点：

（1）氢燃料电池汽车相关技术有待提高

氢燃料电池汽车技术发展道路上，我国虽然较早部署一系列研究，但在关键零部件规模生产和电堆批量组装及相关性能指标，我国还落后于世界先进国家，燃料电池成本居高不下。储氢罐压力普遍仍是35MPa，冷启动温度刚达到-30度。

在电堆功率密度上，国际先进水平大约达到3kW/L，而国内大多产品在2kW/L左右。膜电极耐久性方面，国内动态工况的实际测量寿命大约在3000小时，国际已经达到9000小时。国内的催化剂在铂用量方面，每千瓦大约0.3克，国际较高水平已达到0.06克以下。还有国内基本采用低压压缩机，国外主要采用高压空气压缩机，若把压力提高至两倍左右，它的效率可能提高50%。

(2) 氢能产业与基础设施尚需完善

我国的制氢、供氢、和加氢系统落后，导致各环节成本较高，但其实我国低成本的氢来源是很广泛的，目前我国氢基础设施相关核心技术和设备并不完善，需加强科技创新和技术投入，才能提升氢能的经济性。此外，虽然我国采用液氢储运的方式降低氢的成本，但相配套的装备和产业化才刚起步，所以液氢储运的方式并未真正投入使用。我国加氢站建设主体众多，缺乏国家统筹和政策配套措施，所以需建设加氢站并提供完善的制氢、储备、加氢服务。

(3) 技术标准和检测体系急需改进

技术标准和检测体系急需与燃料电池汽车领域相关的技术标准、规范法规亟待设立，虽然有些新的法规出现，但仍然需要实时更新，在检测能力方面也有待加强。另外，在燃料电池全生命周期的测试评价、加氢站建设、燃料电池电堆和燃料电池发动机等方面的标准也需要改进和完善。还有提高企业研发和生产测试能力，实验方法、检测体系规范化发展。

(4) 产业链薄弱，工程化不足

产业链较为薄弱，一些实验室产品如燃料电池用电催化剂、质子交换膜在一致性和可靠性方面不足，空气压缩机等关键部件价格较高、供应不足。在整车企

业方面，氢燃料电池汽车零部件供应体系不具备稳定性，供应链较薄弱，导致生产的零部件在品质上不达标。产业上下游需加强联合，补齐产业链的不足。

(5) 产业化和商业化进度落后

虽然我国新能源汽车数量较多，但主要在城市范围内运行，不足之处在于续航里程、充电时间等，而氢燃料电池汽车很好的解决了这些问题，需要加速推进燃料电池汽车产业化和商业化问题，在重视电动汽车发展的同时，不能落下燃料电池汽车的推广。

(6) 公众缺乏对氢燃料电池汽车安全性的认知

由于公众在氢能方面的不熟悉，涉及氢能的产品会联系到氢弹等危险性武器。但对比气密性测试、泄露点火测试等试验结果表明，氢气的危险系数低于汽油、天然气。在氢燃料电池的设计和运行、加氢站的运维等过程都采取全面安全措施，所以氢的安全性是可控的。我国需要加大科普和宣传氢燃料电池汽车的安全，民众会更加接受该类型汽车。

(7) 国际间的开放和合作有待加强

我国希望积极与世界各国开展新能源汽车方面的合作，主要是应对气候变化，防止环境污染，优化能源结构，所以也是世界共同面对的话题。我国与其他国家应精诚合作，共同发展，为汽车行业的转型升级作出贡献。

二、国外氢燃料电池汽车产业发展面临的挑战

(1) 氢燃料电池汽车的市场化推进

日本、美国、韩国等国家及主要整车企业均制定了燃料电池汽车发展战略，加快燃料电池汽车产业布局。目前燃料电池汽车技术成熟度、成本和基础设施条件仍不如纯电动汽车，车辆成本相比纯电动汽车高约60%~80%，市场化进程总

体比纯电动汽车晚约10年，尚处于市场化起步期。车辆成本相比于纯电动汽车高约60~80%，市场化进程总体上比纯电动汽车晚约10年，尚处于市场起步期，推进氢燃料电池汽车的市场化进程是国外主要的目标。

(2) 氢燃料电池汽车提高技术、降低成本

为了促进燃料电池汽车大规模的推广和应用，必须提高技术水平和降低成本，其一可集中在燃料电池技术方面，重点延长燃料电池寿命、提高燃料电池功率密度和提升燃料电池低温启动性能等技术指标。其二是降低燃料电池系统成本，降低质子交换膜成本、减少贵金属用量等。

(3) 基础设施的完善

在加氢站建设方面，数据显示，截至2018年12月底，欧洲拥有160座正在运行的加氢站，占全球总数量的40%；亚洲拥有140座，占35%；北美拥有85座，占21.25%。欧洲和亚洲是全球加氢站分布的主要区域。国外加速加氢站的布局，在基础设施完善方面仍需加大力度，降低制氢、储运氢和加氢站建设成本。

第四节 全球氢燃料电池汽车产业竞争力分析

一、 全球主要氢燃料电池汽车企业竞争力分析

目前，包括丰田汽车公司、通用汽车公司、戴姆勒股份公司、大众汽车公司和现代汽车公司等知名汽车企业，积极的投入氢燃料电池汽车领域。当前该领域竞争实力方面主要还是在日本和韩国一些汽车公司。其中尤属丰田汽车公司和现代汽车公司最具代表性。

丰田公司布局世界各地，全球化生产、销售和分配网络已经形成。丰田公司在氢能源领域研究已经有 20 多年的历史，独自研发的专利技术多达 5000 多项。丰田在技术研发和产品开发上一直坚持适应时代要求，即时开发生产更适合消费

者需求的车型，这一方针是丰田成功的关键点。

2014年丰田汽车公司推出世界上第一款量产的氢燃料电池汽车 Mirai，直至今今仍然坚持生产和推广燃料电池汽车，虽然包括日产汽车和特斯拉公司的全球汽车制造商大致认为氢能和燃料电池无法运用在商业上，但丰田公司坚信氢能将在未来 100 年成为清洁能源的主要来源，丰田现今包括 Mirai 汽车的成本昂贵，一直尝试改善这种情况，战略分析估计，2020 年后全球燃料电池汽车销量 3000 辆增长到 3 万辆，丰田通过其他车辆，如大型车型应用 FCV 系统，销量的增长和其他车辆通用零件降低成本，增加市场竞争力。丰田 Mirai 占全球燃料电池乘用车总销量的九成，其市场占有率高。

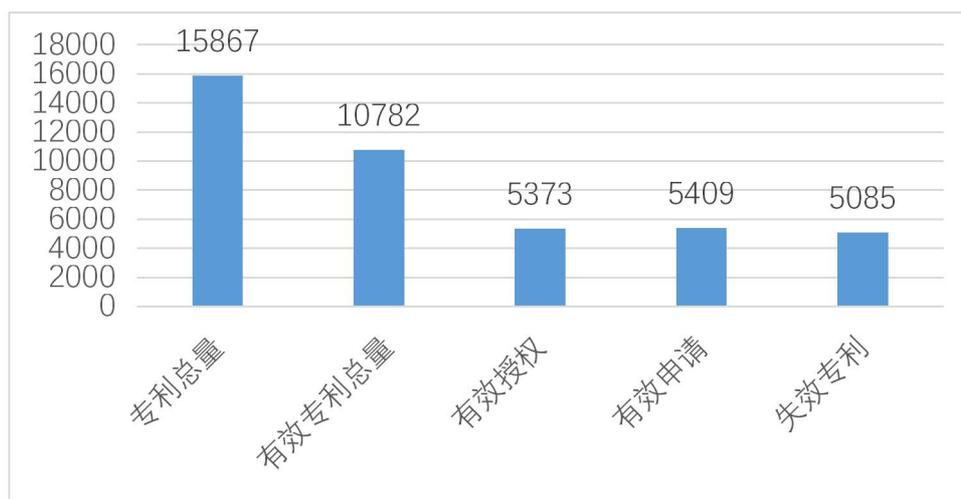


图10.3 丰田公司2017年专利申请情况

数据来源：公开资料

特别值得一提的是丰田汽车公司的氢燃料电池技术位于前列，2017年专利申请主要覆盖日本、美国、中国、欧洲等 21 个国家、地区和 2 个国际知识产权组织，数量达到 15867 件。在燃料电池领域的相关专利包括了燃料电池堆专利、高压储氢罐专利、加氢站技术等，建立了氢燃料电池方面独一无二的技术壁垒。在燃料电池专利申请人全球的排名情况，丰田汽车公司拥有 10737 个专利族占据

第一位，此外，日本企业占专利数量的 83%，所以在使用和推广燃料电池技术方面，避开丰田汽车公司都有些许困难，丰田汽车公司在氢燃料电池汽车领域投入的技术研发可见一斑，在竞争实力方面是毋庸置疑的全球前列。

虽然丰田汽车公司在氢燃料电池汽车领域占据重要地位，但韩国现代汽车公司也不甘示弱。现代汽车公司作为全球首家推出氢燃料电池汽车的企业，已在美国和欧洲等市场销售氢燃料电池汽车。2000 年推出首款圣达菲 FCV，2004 年推出途胜 FCV，到现今的全新一代 NEXO 燃料电池汽车，发展历程相比于其他企业是更加丰富的，在技术成熟上也经过时间的检验，达到全球顶尖水平，并且在国家层面，韩国计划成为世界最高水准的氢经济先进国，大力发展氢能产业，在氢燃料电池汽车市场夺得先机，给现代汽车公司营造良好的发展氛围，扩展业务范围。

丰田汽车公司和现代汽车公司分别推出的 Mirai 和 NEXO 是目前氢燃料汽车领域的先进技术代表性车型。下表为部分氢燃料汽车一些参数对比。

表10.12 部分氢燃料电池汽车对比

| | MIRAI | CLARITY | NEXO |
|----------------|---------|---------|---------|
| 汽车制造商 | 丰田 | 本田 | 现代汽车 |
| 研发/上市年份 | 2014 年 | 2016 年 | 2018 年 |
| 续航里程 (NEDC 模式) | 650km | 700km | 800km |
| 储氢罐容量 | 5.7 | 6 | 6.33 |
| 电机功率 | 114kW | 100kW | 120kW |
| 系统净功率 | 91kW | - | 100kW |
| 电堆功率密度 | 3.1kW/L | 3.1kW/L | 3.1kW/L |
| 最高车速 | 175km/h | 165km/h | 160km/h |
| 0~100km/h 加速时间 | 9.6sec | 9sec | 9.5sec |
| FCE 低温启动性能 | -30℃ | -30℃ | -30℃ |
| FCE 耐久性 | >5000h | >5000h | 5000h |

Mirai 和 NEXO 在性能方面不相上下，在续航和最大功率方面同样出色，除此上面表中的参数，NEXO 的核心系统具有空气净化的作用，拥有 VoiceCurtain“黑科技”，前排驾驶者无法听到后排乘客的说话，保护乘坐的私密性，而 Mirai 在外观设计上便体现科技感和独特感，安全性能卓越，其 2019 款 Mirai 储氢罐由碳纤维和凯夫拉材料制成，保持密闭状态即使是激烈的碰撞也不受影响，此外，它的 PTO 动力输出装置可使得自身作为发电机为房子提供一周的电量，所以 Mirai 在其他方面也是优质选择。

二、全球氢燃料电池汽车产业地区竞争力分析

1. 我国与国外的氢燃料电池汽车产业竞争力分析

我国在氢燃料电池汽车产业领域发展较晚，总体来说还有很大差距，核心技术以及基础设施建设方面都有待加强，但作为全球最大的汽车市场，近几年的快速发展，竞争潜力方面是优于国外的。下表为现今主要国家的燃料电池汽车拥有车辆的数量情况。

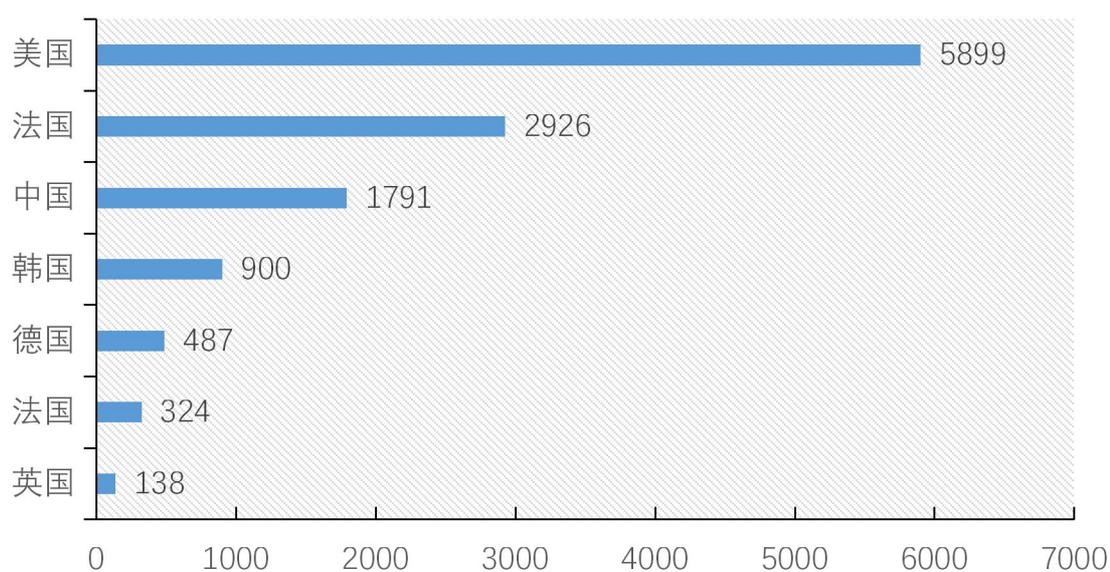


图 10.4 各国燃料电池汽车保有量

数据来源：IEA，国金证券研究所

根据 IEA 统计，2018 年全球燃料电池汽车保有量达到 1.29 万辆，在目前的燃料电池保有量上，美国占 46%，日本占 23%，我国占 14%。多数主要的国家以乘用车为主，中国以商用车为主。

表10.13 国内外氢燃料电池产业核心指标

| | 核心指标 | 国内 | 国际 | |
|--------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 产业链上游 | 氢气的制取 | 化石燃料制氢、工业副产氢、水电解制氢等 | 化石燃料制氢、水电解制氢、生物制氢等 | |
| 产业链中游 | 氢气储运 | 基本为压缩气氢进行运输，多为 30MPaIII 型钢瓶储氢瓶 | 气氢和液氢，气氢储氢 70MPaIV 型碳纤维瓶 | |
| | 加氢站 | 均为气氢站且数量较少（23 座） | 加氢站数量较多，且部分为液氢站 | |
| | 燃料电池 | 电堆体积功率 密度 | 体积功率 2.2-2.7kW/L 成本 6000 元/kW | 体积功率 3.1kW/L 成本 1000 元/kW |
| | | 电堆质量功率 密度 | 约 2.2kW/kg | 约 2.5kW/kg |
| | 动力电池系统 | 燃料电池系统 功率 | 30-60kW | 92-114kW |
| | 动力系统 | 电堆催化剂 | 铂载量 0.6g/kW | 铂载量 0.19g/kW |
| | | 客车车载工况 寿命 | 3000-5000 小时 | 12000-18000 小时 |
| 轿车车载工况 寿命 | | 2000 小时 | >5000 小时 | |
| | 车 0-100km/h 加速性能 | 15 秒 | 9.6-12.5 秒 | |

| | | | | |
|-----|--|--------|---------------|-----------------------|
| | | 低温启动性能 | -20~-10℃ | -30℃ |
| | | 氢气循环泵 | 依赖进口 | 较为成熟 |
| | | 空气压缩机 | 不稳定、故障率高 | 较为成熟 |
| 产业链 | | 交通领域 | 1873 辆（主要为客车） | 美国 6000 多辆，日本 3000 多辆 |
| 下游 | | 电源领域 | 国内尚无应用 | 日本 ENE-FARM 系统较为成熟 |

资料来源：公开资料整理

在核心指标的各项内容上，我国与国外都有不足之处。我国现今着手于氢燃料汽车商用车领域，而国外已经在乘用车领域进入量产阶段，所以总体氢燃料电池汽车产业竞争力分析上我国目前不具备与国外主要国家竞争实力，虽然在燃料电池汽车保有量上并不在下游，但只是商用车领域，并未落实在乘用车的量产方面。还需加快战略布局，在关键技术、基础设施、政策法规等方面下功夫，参考我国纯电动汽车领域的成功发展，相应的对氢燃料电池汽车产业也需有足够的信心去面对。

2.国内各地区的氢燃料电池汽车产业竞争力分析

国内各地区响应国家的号召，推行一些地方政策发展氢燃料电池汽车领域，但各地区的实际情况使得在战略布局方面需要考虑选取适合重点发展氢能与燃料电池产业的区域。

表10.14 国内氢能与燃料电池产业的区域分布情况

| | 地方政府支持力度 | 氢源 | FCV 产业链发展 | 示范运营 | 基础设施 | 市场预期 | 综合 |
|----|----------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------------------|
| 长三 | ★★★★★ | ★★★★★ | ★★★★★ | ★★★★★ | ★★★★☆ | ★★★★★ | ★★★★★ (产业集群效应) |

| | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| 角 | | | | | | | |
| 珠 三 角 | ★★★★☆ | ★★★★ | ★★★★★ | ★★★★★ | ★★★★★ | ★★★★★ | ★★★★☆ (产业集群效应) |
| 京 津 冀 | ★★★★☆ | ★★★★ | ★★★★★ | ★★★★☆ | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ (产业集群效应) |
| 山 东 | ★★★★☆ | ★★★★ | ★★ | ★★ | ★ | ★★★ | ★★★★☆ (产业集群效应) |
| 武 汉 | ★★★★☆ | ★★★★☆ | ★★★★☆ | ★★★★☆ | ★★★★ | ★★★ | ★★★★ |
| 陕 西 | ★★ | ★★☆ | ★★ | ★★☆ | ★★☆ | ★★ | ★★★ |
| 辽 宁 | ★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★☆ | ★★★ |
| 成 都 | ★★ | ★★ | ★★ | ★★★★ | ★★★ | ★★ | ★★☆ |
| 郑 州 | ★★★ | ★★ | ★★★ | ★★★★ | ★★ | ★★☆ | ★★☆ |
| 大 同 | ★★☆ | ★★★ | ★★☆ | ★☆ | ★ | ★ | ★★ |

资料来源：中国氢能汽车产业发展战略研究报告

从表中可以看出长三角、珠三角、京津冀地区未来氢能产业发展的潜力是比较大的，从政府支持力度、产业链、市场预期，这三个区域都有一定优势，所以氢燃料电池汽车产业竞争力是优于其他地区的，在加氢站的建设发展也可先从这些区域着手开展。

第五节 全球氢燃料电池汽车产业发展建议

(1) 调整新能源汽车发展思路，提高氢燃料汽车产业战略价值

国家应根据世界当前产业与科技发展呈现的新趋势和新动向,总结我国多年发展新能源汽车的实践经验和教训,使国家和企业的努力更切合客观实际,不断进行“实践—认识—再实践—再认识”的过程。

近年,氢燃料电池汽车技术有一系列重大突破,氢燃料电池汽车满足市场常规的使用要求已不存在问题,在国外已经进入商用化阶段,离大规模量产也不再遥远。我国虽然在纯电动汽车领域的研究有不俗的成果,但其局限性渐渐显露出来,如续航里程和充电时间方面相比于氢燃料电池汽车是有劣势的,发展氢燃料电池汽车也是国内外压力所致。首先国内面临生态环境危机,制约着国家经济社会的可持续发展,严重威胁着人们的生存,而氢燃料电池汽车在所有新能源汽车之中,环保性能最优越,使得减排效果最明显,所以民心所向,大势所趋,民之所愿,国之期待。其次是国际形势,之前的内容也提到不仅看到欧洲、美国十分的重视,并且我国的近邻—日本和韩国也大力推动燃料电池汽车的发展,形势催人,且不等,我国汽车行业应有清醒认识,抓住机遇,跟上国际的步伐。及时调整新能源汽车发展思路,虽现今实际情况偏重纯电动汽车,但同时加大重视燃料电池汽车的研发,应用长远的眼光看待事物,氢燃料电池汽车产业的战略价值会逐渐体现,带给汽车市场新的一次创新型变革和活力。

(2) 建立氢能供给体系,保障和促进燃料电池汽车产业发展

燃料电池汽车的推广应用离不开氢能供给体系,当前产业发展面临着这方面的挑战。从氢能发展阶段来看,全球正处于氢能产业化加快推进时期。美国、欧洲、日本等国家加快加氢站等基础设施建设,加大对氢能技术研发和产业化的支持力度。我国应总结吸取电动汽车充电的示范,建设形势适度超前的氢能基础设施体系和网络。

(3) 强化关键资源整合，不断提升产业链层次和水平

我国通过国家科技研发支持初步掌握氢能与燃料电池汽车关键技术，但投资这些技术的生产设备等资源不足，阻碍关键技术的产业化进程。我国强化关键资源的整合，可加速氢能与燃料电池汽车产业化进程，同时提升产业链的层次和水平也十分重要，依托研发项目与示范工程，构建“材料—零部件—整车”燃料电池汽车和“制氢—储/运氢—加氢”产业链，形成上下游联动的产业体系。一方面，我国需要强化对生产企业、社会资本等资源的整合，随着氢燃料电池汽车的发展，一些其他领域企业会积极进入，通过正确的引导措施，使生产经验丰富和实力雄厚的企业进入氢燃料电池汽车领域，与该领域的企业合作，有力提高研发水平，推进产业化进程；另一方面，鼓励产业上下游联合，努力培育补齐产业链。鼓励主导燃料电池系统/电堆的企业，可考虑推广适销对路的整车产品。鼓励能源企业主导或与零部件企业共同开发氢气压缩机、氢罐等核心部件。

(4) 构建产业政策体系，完善标准法规内容

我国需构建较为全面的产业政策体系，加快制定氢燃料电池汽车产业发展规划，明确产业发展的目标、主要任务、支持措施、管理规范 and 保障措施。完善的标准法规是促进产业有序健康发展的基本保障，形成支撑产业发展的系统性综合服务能力。

我国需努力完善氢能支持政策，保障氢燃料电池汽车的氢能供给，结合产业发展规划内容，制定氢燃料电池汽车相关研发和示范应用等支持政策，形成有力的支持政策体系。另外，政府在燃料电池汽车试点示范城市建立完善区域支持政策，并进行奖励，加强企业和政府之间的协调。

(5) 组建多方联合创新研发团体，掌握关键核心技术

关键核心技术突破的工作是迫在眉睫的，政府、行业机构、科研机构与企业要积极合作，组建联合创新研发团体，急需攻克燃料电池电堆、燃料电池系统、燃料电池整车及氢能供给系统等核心技术，提升产业创新能力和产品技术水平，具体建议如下：

建立国家与地方、行业与企业联动的创新研发体系。准确把握未来技术趋势，不断完善氢能与燃料电池汽车技术路线图，指引行业研发方向，提高研发资金投入效益和研发效率。建立研发平台及资源信息共享平台，提高产业核心竞争力。鼓励企业积极开展自主研发，鼓励高效、科研院所通过转让、许可或者作价投资等市场化方式转移科技成果。攻克高性能、低成本燃料电池电堆核心技术，研究燃料电池堆高效水管理及低温等关键技术，解决燃料电池电堆工程化关键技术，开发高比功率、长寿命燃料电池发动机，突破制氢、储/运氢、加氢关键技术等，所以，组建研发团体，突破技术瓶颈，掌握关键核心技术至关重要。

(6) 加大宣传力度，提升产业发展的认同感和接受度

目前，公众对氢燃料电池汽车认知度比较低，在安全性和可靠性方面存在质疑。提升整个社会对氢能与燃料电池汽车的认同感和接受度是营造良好的产业发展环境的重要一部分，鼓励开展多样化的宣传教育和公共活动。政府部门通过开展试乘试驾活动，展示示范项目成果、加强国际交流等深化各级政府对发展氢能与燃料电池汽车产业的认识，打消安全生产、驾驶方面的顾虑，引导整个社会建立氢燃料电池安全的共识。也可通过建立氢燃料电池汽车体验及展示中心，与民众面对面接触，了解氢燃料电池汽车原理、发展历程、安全性能等信息，减少安全方面的考虑。

(7) 坚持自主与开放相结合，提高产业发展的国际化水平

鉴于我国传统汽车数十年发展的经验和教训,氢燃料电池汽车必须立足自主,即需要掌握关键核心技术和资源,但这不是“闭关锁国”,在当今国际形势下,扩大开放力度,鼓励国内科研机构、企业等积极与国外相关优秀企业合作,建立互惠互利的双赢乃至多赢联盟,共同攻克难关,资源与成果共享。开展高层次、高水平的国际合作是顺应全球氢燃料电池汽车产业融合发展潮流,迅速提升国际竞争力的有效手段,开放视野,立足全球,坚持自主与开放相结合,提高我国氢燃料电池汽车产业发展的国际化水平。

参考文献

- [1] 王佳,方海峰.我国燃料电池汽车产业发展现状、问题与建议[J].汽车工业研究,2018,No.292(09):14-17.
- [2] 孙志英,刘伟峰,王其武,et al.燃料电池汽车的现状与发展前景[J].信息记录材料,2013,14(6):53-56.
- [3] 刘宗巍,史天泽,郝瀚,et al.中国燃料电池汽车发展问题研究[J].汽车技术,2018(1):1-9.
- [4] 中国汽车工程学会.世界氢能与燃料电池汽车产业发展报告(2018)[M].北京,2018:164-167
- [5] 袁中,周定华,陈大华.国内氢燃料电池汽车产业现状及发展前景[J].时代汽车,2018,303(12):69-70.
- [6] 沈浩明.中国氢燃料电池汽车产业发展研究[J].上海汽车,2018.
- [7] 崔立勇.万钢:燃料电池汽车发展亟待补齐七大短板[J].中国战略新兴产业,2018, No.161(29):83.

第VI部份 趋势篇

第十一章 氢燃料电池汽车发展趋势和战略分析

第一节 全球氢燃料电池汽车发展趋势和预测

一、2020~2035年全球能源消费发展趋势和预测

随着经济不断发展和人口的增长,全球一次能源消耗量不断增加。全球经济的增长需要更多的能源,如图11.1所示,2020~2035年能源强度不断下降使得GDP增长的速度有所缓和,能源消费增长速度低于过去。



图 11.1 GDP 和一次能源增长

数据来源: BP世界能源展望2017

近几年,许多国家已开始将其能源系统转型到可再生能源为基础的可持续能源供应系统。从行业、地区和分能源种类体现能源转型的情况如下图所示:

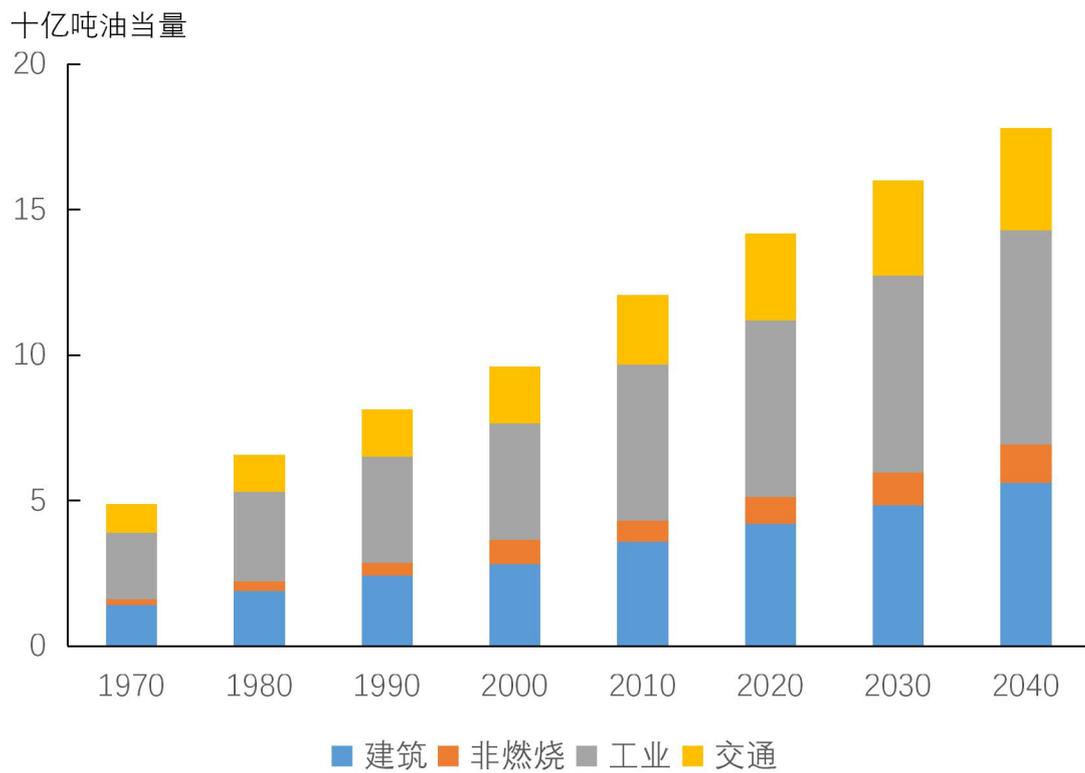


图 11.2 行业能源消费量

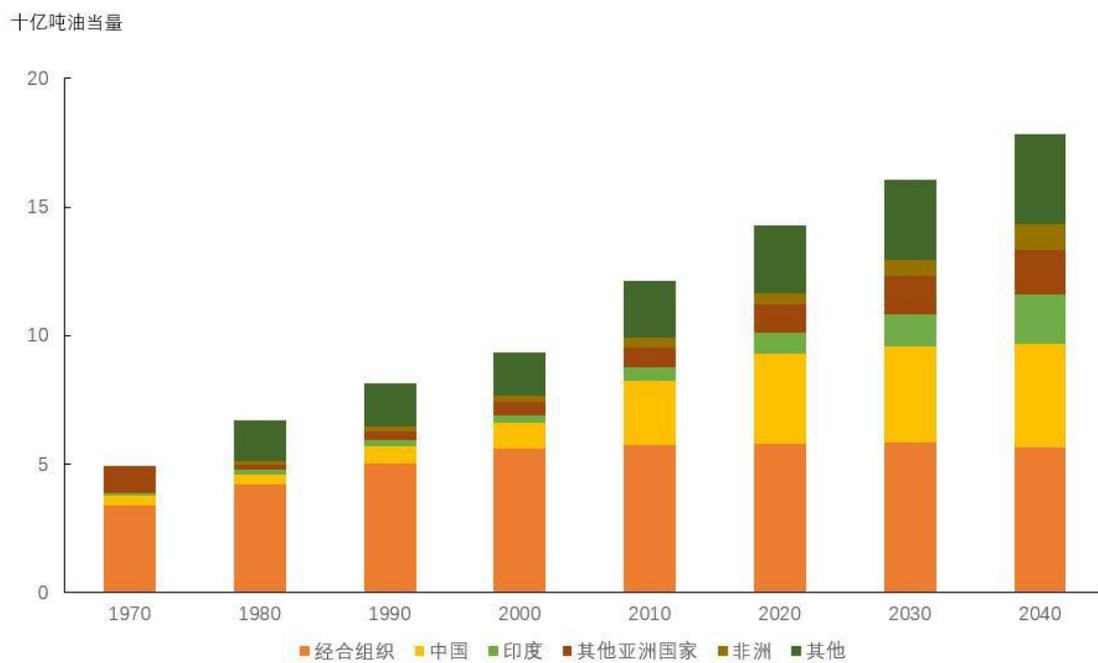


图 11.3 地区能源消费量

十亿吨油当量

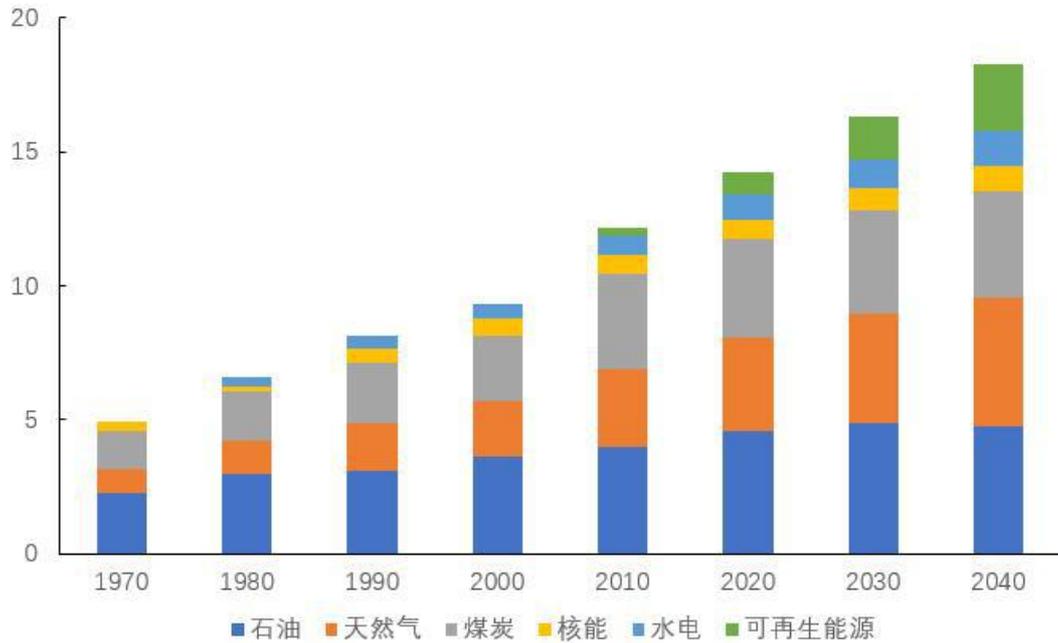


图 11.4 能源种类

以上图表数据来源：BP世界能源展望2018

图11.2、图11.3、图11.4显示行业中的能源使用情况；能源生产和消费的地区；多种能源的消费和生产情况，在2020~2035年，工业和建筑占据能源消费总增长的大部分；地区部分中，中国和印度是新增能源需求量较大的国家，也正是快速发展中的经济体；能源种类部分，可再生能源成为增长最快的能源，另外，天然气的增速远远的高于煤炭和石油。

二、2020~2035年全球氢燃料电池汽车消费预测

随着第三次工业革命的兴起，新能源、新科技的进步，世界汽车产业再次聚焦氢燃料电池汽车，它所拥有的优势给世界带来巨大吸引力，各国也正在研发热潮中不断推广和宣传氢燃料电池汽车，就总体而言，全球各个国家都发布了燃料电池汽车（包括乘用车和商用车）在未来时段的规划，从各国家发布的路线图进

行消费预测。欧洲氢能路线的规划2030年，大概有45000辆燃料电池汽车上路运行。日本方面，2018-2019年第五次能源基本计划内容中，日本政府提出燃料电池汽车要实现2025年的20万辆以及2030年的80万辆，详情见表11.1所示，根据这些数据，由于规划与预期不可划等同，所以保守预计全球燃料电池汽车消费在2020~2035年达到1000万辆规模，市场逐渐扩大。

表11.1 全球国家陆续发布燃料电池汽车长期规划

| | 燃料电池汽车规划（万辆） | | | | |
|----|--------------|-------|-------|-------|-------|
| | 2020年 | 2022年 | 2025年 | 2028年 | 2030年 |
| 美国 | 1.3 | 4 | / | / | 100 |
| 日本 | 4 | / | 20 | / | 81 |
| 德国 | / | / | / | / | / |
| 法国 | / | 0.5 | / | 2~5 | / |
| 中国 | 0.5 | / | 5 | / | 100 |
| 荷兰 | 0.2 | / | / | / | / |
| 韩国 | / | 8.1 | 10 | / | 180 |
| 欧洲 | / | / | / | / | 424.5 |

数据来源：作者自行收集

第二节 中国氢燃料电池汽车发展趋势和预测

一、2020~2035年中国氢能源产业发展趋势

我国氢能源丰富，国家正在加强对氢能战略布局，地区部门已经出台支持氢能和燃料电池发展的措施，但我国氢能源产业发展起步较晚，在政策、技术标准等有待完善，整体来看，我国氢能源产业处于发展的初级阶段。我国能源发展在2020~2035年清洁低碳、安全高效的能源体系初步建成，由于电气化水平的提升，非化石能源稳定发展，二氧化碳排放量达峰后也随之下降，能源消费的总量得到有效的控制，那么，在未来的2020~2035年，中国氢能源产业将改进各个部

分的不足。见下表，根据中国氢能联盟的数据，氢能源占比逐年增高，氢能的消耗增加，加氢站等基础设施加速扩建，推进燃料电池车的普及。



图11.5 中国氢能及燃料电池产业路线图

数据来源：中国氢能源及燃料电池产业白皮书（2019版），深圳汽航院

二、2020~2035年中国氢能源技术发展趋势

目前，中国氢能源技术有很大的提升空间，在不久的未来，随着国家、社会以及公众的关注，氢能源技术将在各个领域展示属于它的魅力。中国氢能源技术发展部分具体的内容如下表所示：

表11.2 我国氢能产业基础设施技术发展路线

| 项目 | 2016年 | 2020年 | 2030年 | 2050年 |
|----|------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 制氢 | 工业副产氢气回收、天然气制氢、煤制氢、电解水 | 可再生能源制氢 CCS技术 | 低碳煤基制氢技术 可再生能源制氢 多元化制氢体系 | 规模化可再生能源制氢、工业副产氢气网收规模低碳煤制氢形成绿色氢能供应体系 |

| | | | | |
|--------|----------------------|--|--|-----------------------------|
| 氢储存与运输 | 35MPa 气态 储存液、氢罐车长管拖车 | 20MPa 气瓶技术安全预测预警技术高效液态储氢复合体系储氢 | 高压储氢设备轻量化 技术安全控制技术 100MPa 级氢安全仪器仪表 | 掺氢天然气管道输送技术、 长距离高压氢气管道技术 |
| 氢能利用设施 | 35MPa 加氢 4 座加氢站 | 70MPa 加氢 100 座、 加氢站 20W1W 发电 1 万辆车 | 发电 200 万辆车 3000km 氢气管线 | 1000 万辆车 |

数据来源：公开资料整理

结合我国氢能及燃料电池产业发展实际，中国氢能联盟制定了近中远期的技术路线图。



图11.6 氢能及燃料电池技术路线图

数据来源：中国氢能源及燃料电池产业白皮书（2019版），深圳汽航院

三、2020~2035年中国氢能源基础设施发展趋势

氢能源的基础设施是氢能开发利用的基础，中国氢能源基础设施近些年投入强度不断加大，截至2018年底，我国共建成加氢站23座，其中固定式11座、撬装

站10座、厂内站2座。加氢规模500kg以上的占39%，多以试验及内部使用为主，商业化运营的加氢站6座，占比为26%，在建加氢站合计约40余座。截止2019年3月之前统计，我国已投产的加氢站数量达到25座，比2017年增加14座，加氢站数量逐年增加。所以根据《中国氢能产业基础设施发展蓝皮书》2016版内容，对中国氢能基础设施在2020~2035年发展的趋势见下表：

表11.3 中国氢能产业基础设施发展路线图

| | 2016年 | 2020年 | 2030年 | 2050年 |
|------|---|---|--|--|
| 产值目标 | 约1800亿元 | 3000亿元 | 10000亿元 | 40000亿元 |
| 产业目标 | 可用于氢能的氢气产能700亿立方米/年 | 可用于氢能的氢气产能720亿立方米/年 初步完成产业链示范 | 可用于氢能的氢气产能1000亿立方米/年，成为新的经济增长点和新能源战略的重要组成部分 | 氢能成为能源结构的重要组成部分，氢能产业成为我国产业结构的重要组成部分 |
| 节能减排 | 消纳弃水、弃风、弃光等富余可再生能源；减量代替煤，石油及天然气等化石燃料；煤炭清洁高效利用 | | | |
| 装备制造 | 氢气制备、储存及运输装备加氢站4座..... | 加氢站100座以上，20万千瓦燃料电池发电，一万辆燃料电池运输车辆，氢能轨道交通50列，氢能河湖船舶示范..... | 加氢站1000座以上，10000万千瓦燃料电池发电，200万辆燃料电池运输车辆，3000公里以上氢气长输管道 | 加氢站网络构建完成，1000万辆燃料电池运输车辆，完善的氢燃料基础设施及基于氢能的分布式功能系统 |
| 支撑体系 | 逐步建立完善有利于氢能产业发展的支撑体系 | | | |
| | 标准规范、财政政策 | 检测认证质量安全 | 技术推广 | 产业发展平台 |

资料来源：中国氢能产业基础设施发展蓝皮书2016版

四、2020~2035年中国氢燃料电池汽车消费预测

2018年国务院印发的《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》提出需系统推进燃料电池汽车研发与产业化，到2020年，实现燃料电池汽车批量生产和规模化示范应用。随着氢能源汽车的发展进入成熟阶段，以及在政府政策的支持的推进下，燃料电池汽车的产量将迎来爆发式增长时期，根据中国氢能路线规划图，

2020年，在特定地区的公共服务用车领域小规模示范应用规模5000辆（累计）燃料电池系统产能超过1000套/企业，2025年，在城市私人用车、公共服务用车领域实现大批量应用规模5万辆（累计）燃料电池系统产能超过1万套/企业，2030年，在私人乘用车、大型商用车领域实现大规模商业化推广规模100万辆（累计）燃料电池系统产能超过10万套/企业，所以预计到2035年能达到80万辆。

第三节 推动中国氢燃料电池汽车规模化发展的战略

燃料电池汽车处于产业化初期，其产业的发展路线应符合客观实际，首先明确氢燃料电池汽车战略定位，其次实施相关战略计划。

一、战略定位

（1）纯电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池汽车都有各自独特的适用领域。纯电动汽车使用成本低，结构并不复杂，但续航里程相对偏低，所以城市私家车、短途通勤车等领域有推广优势。插电式混合动力汽车最主要的方面在于既可采用电能也可采用燃油，适用行驶里程长、路线不固定的中大型乘用车领域。燃料电池汽车绿色环保、续驶里程长，转化效率高等优点，比较适用在城际客车、中长途物流车和货车等领域，随着燃料电池汽车发展越来越成熟，燃料电池汽车的比较优势会日益突出。

（2）现今，国际上大规模推广燃料电池汽车的条件未成熟，在2019年发布的《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》中对于中国氢能及燃料电池产业技术路线展望时间段从2020-2025年的5年至2026-2035年的10年以及2036-2050年的15年，考虑其时间跨度方面，在技术路线上展望不容十分乐观。主要在于氢气价格远高于传统燃油和电能，加氢站等基础设施不完善，如何提高燃料电池汽车技术水平、降低成本和完善基础设施仍是燃料电池汽车产业发展的三大瓶颈。

(3) 我国以纯电驱动为新能源汽车发展的主要战略取向是符合当前我国汽车行业的客观实际。目前，纯电动汽车技术更加成熟，充电基础设施的建设可行性更高，在国际已经大规模推广。国内已经具有完善的基础设施和成熟的充电技术，并且整体成本较低。

(4) 国家应该加强对燃料电池汽车的战略布局和储备，积极投入产业的发展。在纯电动汽车方面，我国已达到国际并跑甚至领跑的水平，但燃料电池汽车和国际领先水平差距进一步扩大。我国应借鉴纯电动汽车发展成功的经验，在商用车领域取得突破，提高商用车领域的国际竞争力，随着燃料电池汽车产业规模不断扩大，技术、成本、基础设施等方面有较好进展，燃料电池乘用车领域可顺势而为，加速发展。

二、战略计划

为推动氢燃料电池汽车大规模推广，氢能与燃料电池产业链应该全面推进，并共同协调发展。在战略计划实施层面需要从政策、法规、技术、基础设施、安全方面考虑，形成完善的战略体系。

1. 政策实施战略

发展氢燃料电池汽车产业需要国家的政策支持，国家有关部门应重点关注战略性、全局性、方向性事项，不应涉及氢燃料电池汽车发展的具体性、事务性问题。比如，过去国家有关部门对氢燃料电池汽车产销量的规定太具体，至于产销量能达到多少，主要还是取决于市场的发展而不是人为的意志。

近几年，国家密集出台政策大力支持氢燃料电池汽车的发展，从 2014 年《能源发展战略行动计划》到 2015 年 5 月《中国制造 2025》，而后 2016 年推出的《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》等都将氢能和燃料电池技术的发展列为重

点任务，燃料电池汽车为重点支持的领域，地方政府也积极响应国家政策，但发展氢燃料电池汽车是一个较大的系统工程，需要涉及许多部门和单位，必须要求协调一致地进行工作，制定有针对性、有效合理的政策，并且政府的产业导向明确，确立氢能源在能源结构的地位，国内尽快形成分工明确和权责清晰的氢能及燃料电池汽车管理体系，使得各级政府、部门更好的响应政策的实施。

2.法规标准战略

目前，我国氢燃料电池汽车产业的标准化体系尚处于初级阶段，必须重视其标准体系的完善，由国家层面牵头，统筹协调各个方向的标准要求，形成完整有效的协调机制，并且与相关企业合作，共同参与标准的制定工作，并对标准的内容及时更新完善。

3.技术战略

掌握关键核心技术，补齐关键领域短板是推行氢燃料电池汽车规模化发展的重点。关键零部件进口依赖性需降低，关键组件制备工艺水平必须加快提高，双极板、空压机、氢循环泵等与国外相比有较大差距。所以，战略上在氢燃料电池汽车的产业链体系内，各个环节涉及的技术需共同发展，虽存在优劣之分，但不可差距过大，存在较大短板。

在燃料电池电堆方面，设计包括运行的可靠性、功率密度的提高、成本的减控都需要考虑。具体可以如开发燃料电池电堆新型电极材料，提高膜电极、双极板等关键材料的一致性等方面入手，提升燃料电池电堆的性能。

在燃料电池发动机技术方面，可研究燃料电池发动机关键零部件的测试与评价技术以及燃料电池发动机控制系统与关键工艺技术等，致力于开发高比功率、长寿命燃料电池发动机。

在整车研究方面，研究70MPa车载储氢及新型储氢技术，燃料电池汽车的全功率研发促进“燃料电池+动力电池”电电系统向全功率燃料电池系统转换。

关于氢气的储运、加氢站以及氢安全的标准比较少，对于辅助系统的测评如空压机的性能、功耗和含油量的测试得增加，燃料系统的耐久性检测得增加要求。另外还需突破制氢、储/运氢、加氢关键技术，在开展低温液态储氢、液态加氢站等前瞻性技术研究，突破加氢站70MPa高压加注技术及关键设备等，要紧抓氢燃料电池汽车关键技术问题，国家应大力支持相关科研工作和人员，高校、企业、政府相互合作，共同推动氢燃料电池汽车技术的发展。

4.基础设施建设战略

从汽车产业发展历程看来，传统燃料汽车和电动汽车技术与能源供给体系协同共进。我国应吸取纯电动汽车曾因基础设施不完善导致的电动汽车产业发展滞后的经验教训，在燃料电池汽车领域，积极加快加氢站等基础设施的完善，并且加氢站的不足也会影响人们购买燃料电池的积极性，加氢站在质量和数量上需合理，提高加氢设备产业化能力，降低成本也是关键一环。

5.安全宣传战略

尽管在安全性能方面已经对氢燃料汽车进行了全面的测试，但大众对于氢燃料电池汽车安全仍有疑虑，也另一方面体现大众对于氢燃料电池汽车的认知度不够，有部分人甚至只是认为对于与氢气相关的产品就犹如带个氢弹，都是危险品，造成了不必要的担忧，这也很大层面上影响了燃料电池汽车商业化的发展。但其实从危险程度上看，汽油的危险程度远甚于氢气，这也是因为氢气密度远低于空气，爆炸发生在气源上方，而汽油爆炸发生在燃料周围，所以安全性上氢燃料电池汽车是值得信赖的。

政府、企业宣传工作尤为重要，在高校，公众场所的多媒体展示或者纸面宣传都可以起到一定作用。可举办氢燃料电池汽车主题的车展，氢燃料电池汽车的示范运行都可以使得人们近距离感受氢燃料电池汽车的安全性和稳定性。此外，氢燃料电池汽车标准关于安全方面内容应尽快补充完善，规范氢气安全使用标准，普及氢气安全知识，让消费者认识和理解氢的安全使用，不仅仅局限于氢燃料电池汽车是安全的，关于氢能的其他产品使用也是十分安全可靠的。

参考文献

- [1] 中国汽车工程学会.世界氢能与燃料电池汽车产业发展报告（2018）[M].北京,2018.
- [2] BP世界能源展望2017版[R].英国石油公司，2017.
- [3] BP世界能源展望2018版[R].英国石油公司，2017.

第十二章 致谢

本研究报告感谢各位专家学者的无私贡献,报告编写人员的辛苦调研和撰写工作。

感谢清华大学深圳国际研究生院、北京大学深圳研究生院、哈尔滨工业大学(深圳)、南方科技大学、深圳大学等单位提供的平台支持!

感谢各参与调研单位、投研单位提供的技术与研究报告资料!

第十三章 免责声明

本报告仅供深圳市清新电源研究院、深圳汽航院科技有限公司、清华大学深圳国际研究生院材料与器件检测中心及其客户使用。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。

本报告的信息来源于已公开的资料，本单位对该信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所含资料、意见及推测仅反映本单位于发布本报告当日的判断。在不同时期，本单位可发出与本报告所含资料、意见及推测不一致的报告。本单位不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本单位对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

在任何情况下，本报告对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，据此做出的任何投资决策与本单位、本单位员工或者关联机构无关。我单位不对报告中的任何内容做出任何形式的担保。

本单位利用信息隔离制度控制内部一个或多个领域、部门或关联机构之间的信息流动。本报告版权仅为本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表或引用。如征得本单位同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处“深圳市清新电源研究院和深圳汽航院科技有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。