

# 中国燃料电池汽车发展路线图

中国汽车技术研究中心

2017年7月14日

# 目 录

1	引言	4
2	中国燃料电池汽车发展路线图研究	4
3	国外燃料电池汽车发展概况	8
3.1	国外政策发展	8
3.2	国外燃料电池发展现状	10
4	国内燃料电池汽车发展概况	12
4.1	国内政策发展	12
4.2	国内燃料电池发展现状	13
4.3	国内燃料电池与氢能的建设成绩	16
5	国内外燃料电池汽车技术水平现状与差距对比	21
5.1	燃料电池轿车	21
5.2	燃料电池客车	22
5.3	关键材料	22
5.4	燃料电池附件系统对标	23
5.5	国内燃料电池汽车存在问题	24
6	燃料电池汽车及产业化发展趋势	26
6.1	燃料电池汽车发展趋势	26
6.2	产业化发展趋势	27
6.3	燃料电池产业链发展	30
7	产业发展方向的改进措施和建议	43
7.1	政策	43

7.2	氢能基础设施.....	44
7.3	制氢储氢技术.....	45
7.4	核心专利.....	46
7.5	燃料电池电堆技术 .....	47
7.6	燃料电池技术领域-关键材料.....	48
7.7	燃料电池系统附件 .....	49
7.8	燃料电池动力总成 .....	50
7.9	燃料电池汽车.....	51
7.10	产业 .....	52

# 1 引言

燃料电池是一种以电化学反应方式将氢气与空气（氧气）的化学能转变为电能的能量转换装置。由于不经过高温燃烧过程，唯一的排放产物是水，没有污染物排放；同时只要能保障氢气的供给，燃料电池将会持续输出电能。

氢能燃料电池汽车是指以车载氢气为能量源、经燃料电池将氢气的化学能量转化为电能，以电机驱动车辆实现运输功能的汽车。不包括以石化燃料为加注燃料、以车载装置所制氢气作为能量源的汽车。

燃料电池汽车涉及的内容主要包括三部分：燃料电池汽车、燃料电池系统、及氢能系统。燃料电池汽车部分包括整车与燃料电池系统，燃料电池系统部分包括燃料电池电堆、关键材料与核心部件，氢能系统部分包括氢气的生产储存与加注、以及车载氢储存系统。

## 2 中国燃料电池汽车发展路线图研究

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》。

氢燃料电池汽车具有零排放、续驶里程长、燃料加注快的典型特点，是未来汽车行业发展的主要趋势之一。同时，发展氢燃料电池汽车，对改善能源结构，发展低碳交通，具有非常显著的意义。

国外上，欧、美、日等地区和国家已基本完成性能开发验证，逐

步进入氢能及燃料电池产业化阶段。我国经过多年研究，取得了不小进步，但在系统比功率、寿命及成本控制等方面，相较国外先进水平仍有一定差距。

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各产业链技术的进一步成熟、性能进一步提升外，主要趋势表现为燃料电池的模块化和系列化、氢燃料电池汽车动力系统混合化、车载能源载体氢气和来源多样化、氢燃料电池汽车运行规模化等。

《节能与新能源汽车技术路线图》其中燃料电池的规划如下：

### 总体思路

- ◆ 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；
- ◆ 中期（十年内）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；
- ◆ 远期（十五年内）以全功率燃料电池为动力特征，在私人乘用车、大型商用车领域实现百万辆规模的商业推广；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。

发展目标	技术路径	发展重点																		
2020年到2030年逐步由示范运行向大规模推广应用发展。 > 燃料电池车发展规模： <table border="1"> <thead> <tr> <th>2020年</th> <th>2025年</th> <th>2030年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5000辆</td> <td>5万辆</td> <td>百万辆</td> </tr> </tbody> </table> > 燃料电池堆比功率 (kW/kg) <table border="1"> <thead> <tr> <th>2020年</th> <th>2025年</th> <th>2030年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>2.5</td> <td>2.5</td> </tr> </tbody> </table> > 燃料电池堆耐久性 (小时) <table border="1"> <thead> <tr> <th>2020年</th> <th>2025年</th> <th>2030年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5000</td> <td>6000</td> <td>8000</td> </tr> </tbody> </table>	2020年	2025年	2030年	5000辆	5万辆	百万辆	2020年	2025年	2030年	2	2.5	2.5	2020年	2025年	2030年	5000	6000	8000	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; 燃料电池关键材料技术</li> <li>&gt; 电堆技术</li> <li>&gt; 系统集成与控制技术</li> <li>&gt; 动力系统开发技术</li> <li>&gt; 燃料电池汽车的设计与集成技术</li> <li>&gt; 提高功率密度</li> <li>&gt; 提高耐久性</li> <li>&gt; 降低成本</li> <li>&gt; 提高载氢安全</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 新型燃料电池核心材料</li> <li>✓ 先进燃料电池电堆</li> <li>✓ 关键辅助系统零部件技术</li> <li>✓ 高性能燃料电池系统</li> <li>✓ 混合型燃料电池动力系统</li> <li>✓ 制氢运氢储氢及加氢基础设施</li> </ul>
2020年	2025年	2030年																		
5000辆	5万辆	百万辆																		
2020年	2025年	2030年																		
2	2.5	2.5																		
2020年	2025年	2030年																		
5000	6000	8000																		

氢燃料电池汽车首先实现在特定地区的公共服务用车领域 5000 辆规模示范应用； 逐步推广至城市私人用车、公共服务用车等领域的大批量应用，达到 50000 辆规模；最终，在私人乘用车、大型商用车领域实现百万辆规模的商业推广。在此过程中， 进一步提高氢燃料电池汽车低温启动、可靠耐久、使用寿命等性能并降低整车成本，逐步扩大燃料电池系统产能，完善氢气供应、运输及加注基础设施建设， 支撑氢燃料电池汽车的产业化发展。

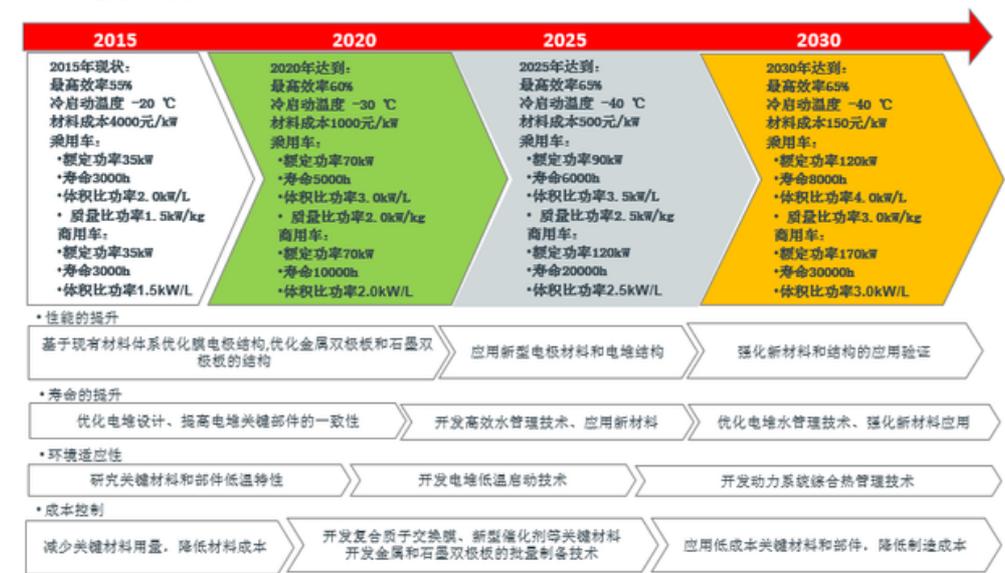
### 总体技术路线

		2020年	2025年	2030年
<b>总体目标</b>		在特定地区的公共服务用车领域小规模示范应用，5000辆规模 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，50000辆规模 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，百万辆规模 燃料电池系统产能超过10万套/企业
<b>氢能燃料电池汽车</b>	<b>功能要求</b>	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车相当，具有相对产品竞争力优势
	<b>商用车</b>	耐久性40万km 成本≤150万元	耐久性80万km 成本≤100万元	耐久性100万km 成本≤60万元
	<b>乘用车</b>	寿命20万km 成本≤30万元	寿命25万km 成本≤20万元	寿命30万km 成本≤18万元
<b>关键零部件技术</b>		高速无油空压机、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		系统成本低于200元/kW
<b>氢能基础设施</b>	<b>氢气供应</b>	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
	<b>氢气运输</b>	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
	<b>加氢站</b>	数量超过100座	数量超过300座	数量超过1000座

### 总体技术路线分析

氢燃料电池汽车总体发展路径，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、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，完善包括燃料电池堆及关键材料、燃料电池系统及核心部件、氢燃料电池汽车及关键零部件、氢能供应基础设施在内的完整的技术链与产业链，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。

燃料电池堆技术路线图



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、燃料电池堆及材料、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全面产业化。

### 3 国外燃料电池汽车发展概况

从国外燃料电池电动汽车发展现状看，全球主要汽车公司基本完成了燃料电池电动汽车的性能研发，整车性能已达到传统汽车水平，示范中发现的核心技术问题也已经得到解决。今后的研究重点集中到降低燃料电池系统成本、规模建设加氢基础设施和推广商业化示范等方面。

#### 3.1 国外政策发展

为了加快氢能源的开发和利用，各国家和地区纷纷推出氢能与燃料电池产业发展政策和规划，从基础科学研究、产品补贴、基础设施建设、战略联盟等各个方面对行业的发展进行推动。

表 1 世界各国氢能源发展政策情况

国家/地区	政策名称	政策内容
美国	H2USA 计划. 2013 年 5 月	由美国能源部提出，涉及了多个公共和私营部门及氢能和 FC 企业，计划共投资 25 亿美元，其中国家拨款 15 亿美元，三大汽车公司投资 10 亿美元，致力于推进美国氢能基础设施的建设。
	《能源政策法》. 2005 年	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；2012 年 9 月再次修订，对清能和燃料电池的补贴仍然持续有效。在发展的第一/二/三阶段，5000/4000/3000 美元/kwh 的燃料电池系统，分别实现超过 70%/60%/30%的效率转换，即可分别享受 50%/40%/30%的税收抵免。
	《氢态势计划：综合研究、开发和示范计划》. 2004 年	制定美国氢能发展路线图，明确提出于 2040 年前进入氢经济社会。
欧洲	英国 H2 Mobility 计划	到 2015/25/30 年之前，分别在国内建设 65/330/1150 个加氢站，并配备建设相应氢气输送管道，基本实现全国覆盖。
	德国 H2 Mobility 计划	到 2023 年将目前在德国的 15 个加氢站扩大到约 400 个，确保高速公路沿线每 90km 有一个、每个大城市至少有 10 个加氢站。
	EU 第七框架计划 (FP7)	2008-2013 年，欧盟将从 EU 第七框架计划 (FP7) 中花费相当 37.13 亿的人民币支持氢燃料电池技术的研发和示范。荷兰、瑞典、法国、丹麦、德国与英国六国达成有关共同开发并推

		广氢能源汽车的协议，共同建设一个欧洲氢气设施网络，并负责协调能源传输；2013年欧盟新增14亿欧元继续推广FCH JU项目，同时开展En-Field项目，推广家用热电联产燃料电池产品CHP。
	《氢能和燃料电池——我们未来的前景》. 2003年6月	阐述了欧洲面临的能源挑战及发展氢能的原因，明确提出欧洲将于2050年过渡到氢经济，制定了欧洲实现向氢经济过渡的近期(2000—2010年)、中期(2010—2020年)和长期(2020—2050年)3个阶段及其主要的研发和示范行动计划路线图，并提出了相关对策建议。
日本	《氢能源白皮书》. 2014年7月30日	介绍了氢作为能源利用的意义、建设氢社会的政策动向、制造、运输、储存、利用等的技术发展以及现在的课题和今后的方向等。
	《氢燃料电池车普及促进策略》. 2014年	将氢燃料、氢燃料电池车相关的国外技术标准引入日本国内，并将其作为国内行业标准，从而使日本制造的氢燃料电池车更易于出口海外。
	《新成长战略》. 2014年修订	在《新成长战略》中，日本政府提出以下目标：包括氢燃料电池车在内的下一代环保车市场份额，将从2013年的约23%提升至2030年的50%~70%。同时，为氢燃料电池车提供补贴，2025年使其售价与混动车持平，统一标准与国外接轨以促进其海外销售等举措被列为重点实施项目。
	《实现氢社会政策建言》. 2014年	提出了具体的氢燃料电池车普及目标和政策支持措施。例如：每座加氢站最高补贴2亿日元；2017年前免费供应氢燃料；2017年前氢燃料电池车免费在高速公路上行驶；到2020年，使氢燃料电池车年销量达到4万辆；到2030年，使氢燃料电池车年销量达到40万辆，累计销售200万辆；到2025年，使氢燃料电池车售价与目前的混合动力车持平（即200万日元）；2025年前，购买一辆氢燃料电池车补贴200万日元等。
	《燃料电池汽车和加氢站2015年商业化路线图》. 2009年	明确指出2011年-2015年开展燃料电池汽车技术验证和市场示范，随后进入商业化示范推广前期。
韩国	实施“绿色氢城市示范”项目. 2012	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。
	绿色新政. 2012	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%。
	首尔计划推广氢燃料电池. 2009	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%。
	低碳绿色增长战略. 2008	其中氢能燃料电池研发项目投资16亿3800万RMB。
印度	“第十二期RD&D”计划	主要为继续支持氢气生产、内燃发动机中氢气的存储和应用和燃料电池项目；支持质子交换膜燃料电池和固体氧化物燃料电池开发项目；支持固定式氢气发电站示范和氢燃料汽车；

		支持氢燃料汽车的示范项目。
冰岛	生态经济	主要内容为：（1）零排放车辆没有税；（2）环境友好型燃料没有燃料税，只有增值税；（3）燃料卖家销售燃料，2014 环境友好型燃料需要占比 3%，2016 年需要占比 5%。
加拿大	氢公路计划. 2004	在 2010 年前，在温哥华到 2010 年冬奥会主办城市威斯勒的 120 公里公路上建立 5 个燃料电池车的加氢站，并生产出必要数量的燃料电池车，由氢燃料电池车承担 2010 年冬奥会期间机场与主办城市之间的人员运输任务。
	氢能早期采用者计划. 2007	加政府投入 2.15 亿加元进行“氢能早期采用者计划”，用于开发创新，包括氢能高速公路的建设。

## 3.2 国外燃料电池发展现状

### 1.1.1 燃料电池汽车整车性能基本满足商业化示范需要

燃料电池商用车的可靠性、经济性和便利性满足商业示范运行需要。在北美多个城市开展的公交客车示范表明，燃料电池客车整车、动力系统和燃料电池系统的可靠性都达到了商业化推广需求(燃料电池系统平均故障间隔里程超过 5 万公里)，燃料电池叉车、物流车等领域的示范和应用跟踪数据也表明燃料电池系统的耐久性超过 1 万小时。

燃料电池乘用车的性能接近用户接受的水平。丰田公司的 Mirai 燃料电池汽车，完成单次氢燃料补给仅需约 3 分钟，续驶里程达到 650 公里，完全能够满足平常的行车需求。2015 年在全球量产车用最佳发动机评选中首次出现了燃料电池发动机，标志着这一新技术商业化的开始。

### 1.1.2 燃料电池电堆技术基本满足车用要求

燃料电池功率密度不断提高，能够满足车辆动力性要求。丰田、本田、现代推出了量产版的燃料电池汽车，国外主流汽车厂持续关注

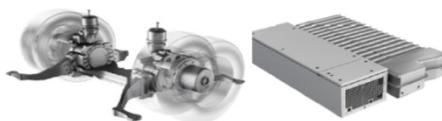
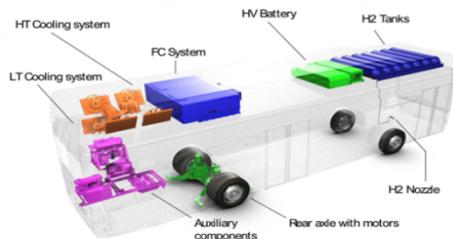
燃料电池汽车，多家车企推出量产计划。丰田 2014 年 12 月 15 日在日本发布了量产版燃料电池汽车，命名为 Mirai。该车采用 70MPa 高压储氢瓶，3 分钟加氢，续驶里程 650km，可在零下 37° 正常启动。本田 2016 年 3 月推出量产版燃料电池汽车 CLARITY FUEL CELL。该车采用本田自制的 100 kW 燃料电池系统，电堆功率密度 3.1 kW/L，采用 70 MPa 高压储氢瓶，3 分钟加氢，续驶里程 700km。

现代汽车公司将推出 ix35 燃料电池车，新车已在韩国蔚山的现代工厂投入生产，2015 年之前 1000 辆。该车采用现代自制 100kW 燃料电池系统，70MPa 高压储氢瓶，续驶里程 694 km。

奔驰、日野推出了燃料电池客车，国外上燃料电池客车示范项目持续进行，推进燃料电池客车产业化发展。日野燃料电池客车关键零部件借用 Mirai 燃料电池汽车，实现燃料电池电堆、高压储氢瓶、电机与量产汽车通用。采用 2 个 114 kW 燃料电池系统，8 个 60 L, 70 MPa 储氢瓶，2 个 110 kW 电机。



OEM	Daimler AG
Model	Citaro FC Hybrid
Battery (A123)	Lithium-Ionen Akku 26 kWh
Electric hub motor	2 x 80 kW
Fuel cell (AFCC)	2 x 60 kW
Hydrogen tank	7 x 205 l, 35 kg / 350 bar
Range	250 km



### 3.2.1 氢能基础设施与车辆同步实施，超前部署满足商业化发展需要

世界各国纷纷制定了各自的加氢站建设规划，以配合燃料电池电动汽车的推广应用。日本在名古屋、东京、大阪和福冈四个城市之间建造 100 座加氢站，在 2025 年前扩大到 1000 个，到 2030 年计划建成覆盖全国的加氢站，数量达到 5000 个。韩国到 2015 年已经建设了 13 座加氢站，预计到 2020 年建设 168 座加氢站。美国计划于 2017 年建成至少 84 座加氢站，达到单站日产 500 公斤以上的氢气产量。

表 2 各国加氢站数量

	日本	美国	英国	韩国	加拿大	法国	中国	印度
数量	83	67	14	12	7	7	5	3

## 4 国内燃料电池汽车发展概况

### 4.1 国内政策发展

我国新能源汽车产业发展规划中明确提出发展包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车及燃料电池汽车在内的新能源汽车，但从国内情况来看，目前新能源汽车的发展更加偏重于纯电动汽车和插电式混合动力汽车，而氢燃料电池车基本处于配角地位。自 2014 年以来，我国密集颁布了一系列政策措施，彰显出国家发展氢能与燃料电池产业的决心，总体来看，政策扶持产业发展的趋势愈加明显。

表 3 国内氢能源政策情况

序号	政策名称	涉及氢能源的内容
1	《中国制造 2025》.2015	继续支持电动汽车、燃料电池汽车发展，掌握汽车低碳化、信息化、智能化核心技术，提升动力电池、驱动电机、高效内燃机、先进变速器、轻量化材料、智能控制等核心技术的工程化和产业化能力，形成从关键零部件到整车的完整工业体系和创新体系，推动自主品牌节能与新能源汽车同国外先进水平接轨。
2	《2016-2020 年新能源汽车	燃料电池汽车补贴不实行退坡：乘用车 20 万/辆，轻型客车货车

	推广应用财政支持政策方案》.2015	30 万/辆，大中型客车和中重型货车 50 万/辆。
3	《国家重点研发计划新能源汽车重点专项实施方案》征求意见稿.2015	燃料电池汽车技术取得突破，达到产业化要求，实现千辆级市场规模。
4	《关于加快推进新能源汽车在交通运输行业推广应用的实施意见的通知》.2015	积极推广应用燃料电池汽车。
5	《能源发展战略行动计划（2014-2020 年）》.2014	“氢能与燃料电池”作为能源科技创新战略方向。
6	《关于新能源汽车充电设施建设奖励的通知》.2014	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。
7	《产业结构调整目录（2014 版）》	储氢材料被列入鼓励类。
8	《节能与新能源汽车产业发展规划》.2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 新能源汽车主要包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车及燃料电池汽车。</li> <li>• 燃料电池汽车、车用氢能源产业与国外同步发展。</li> <li>• 开展燃料电池电堆、发动机及其关键材料核心技术研究。</li> <li>• 重点开展纯电动乘用车、插电式混合动力乘用车、混合动力商用车、燃料电池汽车等关键核心技术研发。</li> <li>• 继续开展燃料电池汽车运行示范，提高燃料电池系统的可靠性和耐久性，带动氢的制备、储运和加注技术发展。</li> </ul>
9	《当前优先发展的高技术产业化重点领域指南（2011 年度）》.2011	氢开发与利用。高效天然气制氢、化工、冶金副产煤气制氢，低能耗电解水制氢，生物质制氢、微生物制氢技术，高压容器贮氢、金属贮氢、化合物贮氢技术，氢加注设备和加氢站技术，超高纯度氢的制备技术，氢燃料发动机与发电系统技术。
10	《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》.2010	开展燃料电池汽车相关前沿技术研发，大力推进高效率、低排放节能汽车发展。
11	《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020 年）》.2006	氢能及燃料电池技术：重点研究高效低成本的化石能源和可再生能源制氢技术，经济高效氢储存和输配技术，燃料电池基础关键部件制备和电堆集成技术，燃料电池发电及车用动力系统集成技术，形成氢能和燃料电池技术规范与标准。

## 4.2 国内燃料电池发展现状

### 4.2.1 氢能研发起步早，体系不完善

我国对氢能的研究与开发可追溯到 20 世纪 60 年代。2000 年科技部启动 973 基础研究项目，内容为氢能的规模制备、储运和燃料电池的相关研究，该项目针对氢能领域的若干科学命题和核心技术开展

基础性研究。2001-2005 年，国家科技部 863 电动汽车重大专项设立课题，以期在燃料电池、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，最终开发成功燃料电池公交车和燃料电池轿车。

目前我国已经形成从基础研究到示范演示的全方位格局，初步形成一支由高等院校、科研院所、石油化工及汽车工业等部门为主的从事氢能研究、开发和应用的专业队伍。我国燃料电池汽车产业链的研发体系以大学为主，清华大学、同济大学以及大连化学物理研究所承担大量的研发工作，而燃料电池汽车的生产体系建设较为缓慢，只有上汽集团参与相关建设工作。2012 年，清华大学、同济大学、中科院大连物理化学研究所、上汽、一汽等发起成立中国燃料电池汽车技术创新战略联盟。国内燃料电池研发与生产体系仍需要不断的完善，才能更好的推动我国氢能源产业快速发展。

#### **4.2.2 技术突破，但关键技术落后**

经过多年努力，我国在氢能和燃料电池技术领域取得了较大进展。在氢制备、储运等技术领域，我国的制氢工业以引进技术为主，技术相对成熟，与发达国家的差距不大；在燃料电池技术领域，我国已经掌握了诸如电催化剂、质子交换膜、双极板材料等关键技术，与国外先进水平保持同步，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。

#### **4.2.3 产业整体处于研发示范阶段**

目前我国已经自行设计、制造、实验了多种不同型号的燃料电池

样车。研制的燃料电池发动机和汽车亦在 2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会进行示范运行，均取得圆满成功。上汽也于 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。

但与美欧日等西方发达国家相比，我国在氢能与燃料电池产业化和商业化进程方面滞后。国外燃料电池产业链各环节均已实现产业化，但国内的产业化程度还很低，且研发主体基本多为高校、科研机构 and 中小企业，商业化产品寥寥无几。总体来看，我国与国外水平差距明显，基本停留在技术示范阶段。

#### **4.2.4 核心专利少，创新能力不足**

在氢能与燃料电池专利技术上，我国与美日德存在较大差距。从全球优先权专利申请来看，燃料电池汽车专利技术主要集中在日本、韩国、美国和德国。其中，日本优先权专利数量达到 10454 个专利族，占 71%，各大关键技术均处于绝对领先地位。此后依次是韩国(1225)、美国(1089)与德国(949)，差别不大，中国(317)以 2%排名第五。

我国氢燃料电池技术和产业基础薄弱，资金和技术力量投入不足，参与机构数量较少，导致我国氢燃料电池技术创新能力不足。“十二五”期间，科技部预算计划投入 2 亿多元用于燃料电池汽车研发，但与发达国家数亿美元的投入相比略显不足。

#### **4.2.5 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 大容积储氢罐、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 2016 年 7 月，我国运行的加氢站共有 5 座，分别位于北京、上海、佛山、大连和郑州，加氢站建设较为滞后。

### **4.3 国内燃料电池与氢能的建设成绩**

近年来，我国在燃料电池方面的投入也不断加大，经过三个“五年规划”及“863”等科技项目攻关，基本建立起具有自主知识产权的燃料电池轿车与燃料电池城市客车动力系统技术平台，也初步形成了燃料电池发动机、动力电池、DC/DC 变换器、驱动电机、供氢系统等关键零部件的配套研发体系。我国燃料电池汽车正处于商业化示范运行考核与应用的阶段，已在北京奥运燃料电池汽车规模示范、上海世博燃料电池汽车规模示范、UNDP 燃料电池城市客车示范以及“十城千辆”、广州亚运会、深圳大运会等示范应用中取得了相对良好的社会效益。

#### **4.3.1 燃料电池汽车**

基于燃料电池轿车和客车动力系统技术平台，目前已开发出 3 款燃料电池客车、5 款燃料电池轿车，已具备开发百辆级燃料电池汽车动力系统平台与整车生产能力以及进入国外市场的竞争力。成功在北京奥运会、上海世博会、全球环境基金与联合国发展计划署 (GEF/UNDP) 共同支持的燃料电池城市客车商业化示范区、新加坡青奥会、美国加州等活动和区域进行了示范运行。

燃料电池轿车最高车速达 150km/h, 0~100km/h 的加速时间 14 秒，一次加氢续驶里程 300km，氢气消耗 0.912kg/100km。动力系统平台

应用于“上海牌”、“帕萨特”、“奔腾”、“志翔”、“东方之子”等车型，先后完成了2008年北京奥运会、2009年美国加州、2010年上海世博会和广州亚运会等示范和运行。

表 4 燃料电池轿车指标完成情况

指标类型		预期指标	指标完成情况 (平台)
动力性	最高车速	150	153
	加速时间	17	12.5
	最大爬坡度	20	20
经济性	氢燃料消耗率(kg/100km)	≤1.3	1.164
	续驶里程 ( km )	> 400	323
环境适应性, °C		-10~45	-10°C冷启动
噪声/加速行驶车外噪声		70	69.5dB
可靠性/主要部件平均故障间隔里程		≥4000	≥4086km

所开发的燃料电池客车动力系统平台应用在福田、苏州金龙，上汽申沃等客车上，先后参加了2008年北京奥运会、2010年上海世博会、2010年新加坡首届青年奥运会等示范，还成功参加了北京公交为期一年的道路载客运行，验证了燃料电池客车的动力性、经济性和可靠性，车辆百公里氢气消耗率为8.5kg。

表 5 燃料电池轿车指标完成情况

指标类型		预期指标	指标完成情况
动力性	最高车速	≥80	92
	加速时间	≤25(0-50km/h)	15
	最大爬坡度	≥18	18
经济性	氢燃料消耗率 (kg/100km)	< 8.5	7.98
	续驶里程 ( km )	> 300	313
环境适应性, °C		-10~45	满足要求

噪声/加速行驶车外噪声		75.2
可靠性/主要部件平均故障间隔里程	≥2500	3331.7

2016年9月，全国首条氢能城市公交车示范线路正式开通，由上海重塑能源科技和佛山飞驰客车共同研制的12台燃料电池大巴车正式投入运营。

#### 4.3.2 燃料电池车用动力总成

我国已经攻克了车用燃料电池动力系统集成、控制和适配等关键难点，形成了燃料电池系统、动力电池、DC/DC变换器、驱动电机、储氢与供氢系统等关键零部件配套研发体系，实现了综合技术的跨越，总体技术接近国外先进水平。

以同济大学新能源汽车工程中心为主的燃料电池轿车动力系统研发团队和以清华大学汽车安全与节能国家重点实验室为主的燃料电池客车动力系统研发团队在车用燃料电池动力系统平台技术方面



取得重要进展。轿车动力系统技术平台采用燃料电池-动力电池混合驱动的构型方案，形成了千套级燃料电池轿车动力系统平台的集成能力。燃料电池客车形成的燃料电池-动力电池动力系统技术平台，攻克了制动能量回收、蓄电池系统热电管理技术、双燃料电池堆独立运

行等瓶颈技术，建立了碰撞-氢-电等多因素构成的新的汽车安全技术体系，完成了国内第一例客车用氢-电系统的整车碰撞试验。

图 1 上海世博燃料电池客车与燃料电池轿车

由广东国鸿氢能科技有限公司与佛山飞驰汽车制造有限公司、加拿大巴拉德公司、重塑科技共同研制的大巴车。具有自主知识产权；车长 11 米，载客 78 人，续驶里程可达到 400 公里以上。



### 4.3.3 燃料电池系统

我国在车用燃料电池系统技术方面，初步掌握了燃料电池的材料、部件及电堆的关键技术，基本建立了具有自主知识产权的车用燃料电池技术平台。我国车用燃料电池电堆的功率密度已达 2.0kW/L，掌握了-20°C 低温启动技术，燃料电池轿车道路工况运行寿命超过 3000h。

国内从事车用燃料电池技术研究的机构包括大连化学物理研究所、武汉理工大学、清华大学、上海交通大学、同济大学、中南大学等诸多高校和科研院所，经过国家科技计划的支持，在车用燃料电池关键材料、部件及电堆研究等方面都取得了明显的进展，从发表的研

究结果来看，在催化剂、炭纸、膜电极和双极板的关键技术指标接近国外先进水平。

国内从事车用燃料电池系统产品开发的单位主要有新源动力股份有限公司、上海神力科技有限公司、武汉理工新能源有限公司。质子交换膜、催化剂、炭纸、膜电极和双极板的关键技术指标接近国外先进水平，但是从这些技术和材料在燃料电池汽车开发中的应用效果来看，存在着技术开发不充分、产品实现方面能力不足、缺乏批量生产能力等问题。在产业层面上，我国还不具备完整的燃料电池电堆产业链，燃料电池关键材料主要依赖进口，从事燃料电池电堆相关业务的企业数量少、投入小，技术开发和制造能力与国外先进水平差距比较明显。

#### **4.3.4 氢气基础设施**

我国已具备设计建设 70MPa 加氢站的能力（包括固定站和移动站），关键设备国产化取得重大进展，相关标准法规也在逐步完善中。目前国内运行的加氢站有 5 座，分别位于北京，上海、佛山、大连和郑州。北京加氢站具备站外供氢、站内天然气重整制氢和站内电解水制氢三种供氢方式，加注压力为 35MPa；上海加氢站采用外供氢方式，以上海地区的工业副产氢气为气源，加注压力 70MPa。

从氢能的来源方面，目前我国存在的焦炉气和工业副产气中含有大量的氢，同时可再生能源，如弃风弃电弃水，也可以作为制取氢气的来源。

## 5 国内外燃料电池汽车技术水平现状与差距对比

总体来看,国外整车企业已在 2015 年进入量产阶段;而在中国,燃料电池汽车还处于性能改进和小规模示范阶段。

### 5.1 燃料电池轿车

我国燃料电池轿车在动力性、续驶里程等基本性能指标方面与国外的车型基本相当,最高车速基本都在 150~170 km/h 上下,百公里加速时间也基本在 10~15 s 左右。但由于国外开始采用 70MPa 车载储氢系统,一次加注的续驶里程大大提高。从动力系统的基本配置来看,最大的差别在于燃料电池发动机的功率输出能力与电机的转矩输出能力上。其中国外燃料电池发动机的功率输出能力基本在 80~100 kW,比国内的 55kW 高出很多,而且具有很高的质量比功率和体积比功率指标。同等功率输出能力的电机具有更高转矩输出能力,约比国内高 50~80Nm,比例达到 25%~40%。

表 6-1 国内外研究进展

	丰田	现代	通用	日产	奔驰	上汽
车重	1850kg	2290kg	1800kg	1860kg	1718kg	1833kg
最高车速	175km/h	160km/h	160km/h	150km/h	170km/h	150km/h
0~100km/h 加速时间	9.6s	12.6s	12s	14s	11.3s	15s
PCE 功率	114kw	100kw	92kw	90kw	100kw	40kw
PCE 体积/重量	37L/56kg	60L	130kg	34L/43kg	不详	54L/74kg
PCE 低温启动性能	-30°C	-30°C	-30°C	-30°C	-25°C	-20°C
PCE 铂用量	20g	40g	30g	40g	20g	不详
PCE 耐久性	>5000h	5000h	5500h	-	>5000h	2000h

氢系统参数	122.4L, 5kg	144L, 5.6kg	4.2kg			
电机参数	113kw , 335Nm	100kw , 300Nm	94kw, 320Nm	90kw , 280Nm	100kw , 290Nm	90kw 300Nm
电池参数	1.6kwh 镍氢 电池	24kw 锂离子 电池	1.8kwh, 35kW 镍氢电池	不详	9kwh	11kWh
续驶里程	650km	594km	320km	500km	500km	400km

## 5.2 燃料电池客车

我国燃料电池城市客车在加速时间、最高车速等动力性指标方面与国外的车型基本相当，最高车速 80km/h 居多，0~50 km/h 加速时间在 20s 左右。续驶里程适中，一般在 250~400 km 之间，氢耗指标有一定优势，储氢瓶的最高压力均为 35 MPa。

表 6-2 国内外研究进展

客车厂家	美国 Van Hool	美国 New Flyer	德国戴姆勒奔驰	日本丰田和日野	宇通客车	佛山飞驰
燃料电池功率	120kw	150kw	2×60kw	2×114kw	30kw/60kw	88kW
燃料电池厂家	US FuelCell	Ballard HD6	AFCC	Toyota	亿华通	上海重塑
动力电池的容量或功率	17.4kwh, 锂离子 (EnerDel)	47kwh, 锂离子 (Valence)	26kwh, 锂离子 (A123)	2×1.6kwh 2 个轿车用的 镍氢电池模块	64.5kWh, 锂离子	50kWh,
电机功率或转矩	2×85kw Slemens ELFA	2×85kw Slemens ELFA	2×80kw Wheel Hub	2×110kw 2 个轿车电机	100kW	90kW
氢气气瓶	350bar, 8 个	350bar, 8 个	350bar, 7 个	700bar, 8 个	350bar, 8 个	350bar, 8 个
氢气量	40kg	56kg	35kg	480 升, 18kg	8*150L, 25kg	25kg
耐久性	18000h	8000h	12000h	未公开	未公开 (4000h)	10000h
续驶里程	300 英里	300 英里	250km	未公开	600km	400km
整车成本	2million \$	2million \$	2.2million \$	未公开	未公开	300m RMB

## 5.3 关键材料

在燃料电池关键材料，如催化剂，质子交换膜、膜电极 (membrane eletrode assembly MEA) 等方面，中国与国外水平相比仍存在较大差

距，造成中国与发达国家技术上这些差距的原因主要分析如下：

1) 关键材料未实现国产化。上述关键材料如电催化剂、质子交换膜、炭纸大都采用进口材料，且多数为国外垄断，价格极高；尽管在“十一五规划”中国产替代材料如催化剂、膜、炭纸等取得了可喜成就，然而，由于尚未形成批量生产能力，或者产品质量不够稳定。

2) 部件制备技术落后。由于缺少先进制备技术与设备，使得一些主要部件如双极板、MEA 等制造质量得不到保障，一致性较差。

3) 系统耐久性与可靠性有待提高。国内对电堆耐久性的研究不足，对系统优化提升电堆性能与寿命缺乏深刻的认识，造成了辅助系统匹配与控制策略研究过程中思路简单，甚至盲目。

## 5.4 燃料电池附件系统对标

在燃料电池附件系统方面，中国与国外先进水平相比差距很大，基本没有成熟产品。

表 6-3 国内外研究进展

	国外现状与水平	中国现状与水平
压缩机	21 世纪初，美国开始在政府支持下开发燃料电池专用压缩机。美国能源部支持了 AD Little Inc.、Honeywell、VAIREX Corporation、Mechanology, LL 等企业；瑞典的 Opcon Autorotor AB 对多种压缩机进行比较开发。典型的是 Honeywell 的离心式压缩机和 Opcon 的双螺杆压缩机，二者已经达到产品的要求，在多款燃料电池系统中进行了长时间的运行。	广东广顺的一家企业在进行燃料电池专用离心式压缩机的开发，目前处于开发设计的初期阶段；而且没有将电机及其控制器进行集成设计和优化的能力，可靠性和耐久性得不到保证。
加湿器	主流技术是 Gas-to-Gas 加湿器。已有多厂家开发出加湿器形成产品。能够满足备用电源到燃料电池公交车用的加湿需要。美国的 Perma-Pure 生产的管式加湿器、加拿大 Dipont 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	尚无相应的零部件开发商开发此类产品，基本上是采购国外的产品。一些研究单位开展了基础研究；在如何小型化或取消增湿器方面，缺少系统优化的经验和能力。

	湿器等；丰田等企业采用先进系统设计，取消了加湿器，提高低温冷启动性能。	
氢循环装置	美国 Park 公司开发出氢气循环泵，可用于不同的燃料电池汽车，美国 Argonne 国家实验室，开发了氢气引射装置(E-jector)以及与氢循环泵混合循环系统，各大汽车公司也开发相应的氢气循环装置，并用于燃料电池发动机。	尚没有见过有厂家进行过类似产品的研发。一些研究单位开展了基础研究。缺少大流量的氢气再循环泵及其驱动电机。
DC/DC	丰田已经将 DC/DC 与燃料电池直接集成在一起，作为燃料电池系统的一个执行器，提高了系统集成度。	尚没有专门从事针对燃料电池 DC/DC 研发的厂家，针对燃料电池的特殊控制和保护逻辑尚不清楚。

## 5.5 国内燃料电池汽车存在问题

目前制约中国燃料电池汽车发展的瓶颈包括贵金属成本及中毒问题、燃料电池稳定性问题、氢供给难题等技术性制约因素。

燃料电池耐久性问题。以车用燃料电池的基本要求为例，轿车用燃料电池系统的运行寿命必须达到 3000~5000h。国内相关企业氢燃料电池的稳定寿命还在 3000 小时左右，而国外先进技术已经可以达到 5000 小时以上。

关键材料和核心零部件薄弱。我国燃料电池关键材料和部件基础比较薄弱，如燃料电池用电催化剂、质子交换膜、炭纸等关键材料的开发多停留于实验室和样品阶段，空气压缩机和氢气回流泵等关键部件没有产品供应，严重影响到我国车用燃料电池电堆技术的开发进程。

氢气储存问题。我国使用的压力为 35MPa 的碳纤维缠绕金属内胆气瓶 (III) 的储氢密度为 3.9%，通过提高压力到 70MPa 可达到 5%；而采用碳纤维缠绕塑料内胆气瓶 (IV) 储氢密度可以进一步提高到 5.5%。我国在 IV 瓶方面尚没有技术，在 70MPa 的 III 瓶方面仅有研发

成果，没有产品。另外，目前正在探讨和研发的另外一条路径是有机液态储氢值得重视，国内有一定的研究基础，但缺乏示范考核。

我国燃料电池材料与关键部件技术基础与国外先进水平差距较大，耐久性、功率密度和低成本技术明显落后。燃料电池发动机等关键零部件方面，基本没有成熟产品，产业链配套体系很不完善；燃料电池发动机的耐久性方面，我国仅为几千小时，国外上已实现超过 1 万小时；轿车集成和控制的水平差距不大，但燃料电池发动机的功率密度明显低；燃料电池客车的混合动力系统的构型和集成水平和国外相当，但受制于燃料电池发动机水平，整车耐久性和可靠性明显偏低。

我国在 70 MPa 车载供氢系统方面正处于研发阶段，在“十二五规划”和“863”项目”的支持下，已开发出车载 70MPa 储氢瓶样机，但在产品化开发方面仍存在诸多问题，如标准问题，低成本产业化制备工艺研究、关键材料研究等。而关于 70MPa 关键阀组件的开发方面，目前尚未组织立项，技术和标准两方面都有待攻克。总体上与国外技术差距明显。

尽管国外上燃料电池汽车技术已经获得了长足的进步，但是国内，示范运行目前依然面临一些关键技术问题和挑战，阻碍了燃料电池汽车的大规模商业化进程，需要 GEF 项目的支持以突破这些关键技术问题。具体如下：

车用燃料电池的耐久性不高。我国燃料电池基础材料技术与国外先进水平存在一定差距，燃料电池寿命低于国外先进水平，采用国内电堆的耐久性仅达到了 3000 小时。

国内燃料电池的低温启动性能尚待解决。丰田已经可以实现零下 30℃到零下 40℃低温启动；而我国目前水平仅可以实现零下 10℃启动。北京市作为示范城市中冬季温度最低的城市，需要通过 GEF 示范运行，进一步研究、完善和验证低温条件下的启动性能，使得燃料电池汽车满足零下 20℃启动和运行。

## 6 燃料电池汽车及产业化发展趋势

### 6.1 燃料电池汽车发展趋势

车用燃料电池技术发展方向逐渐明确，各大汽车厂商继续进行新一代燃料电池技术的研发，目标是降低制造成本和提高可靠性与耐久性。燃料电池汽车技术发展的趋势表现为：

- 1) **燃料电池模块化和系列化**。为了便于提高可靠性和寿命，并降低成本，燃料电池发展出现模块化趋势。单个燃料电池模块的功率范围被界定在一定的范围之内，通过模块的组装，实现不同车辆对燃料电池功率等级的要求。
- 2) **燃料电池汽车动力系统混合化**。在目前的燃料电池汽车动力系统中，已经不再采用最初的动力方案，而是燃料电池系统与动力蓄电池混合驱动的方式。这种混合动力驱动方案最早被我国科技人员采用，可有效提高燃料电池的寿命、降低车辆成本，已被国外广泛采纳。
- 3) **车载能源载体氢气化，来源多样化**。经过对各种能源载体的比较和考核，基本摒弃了基于车载各种化石燃料重整制氢的

技术途径，更多得采用了车辆直接储存氢气的方案，储存方式以高压气态为主；而氢气制取在制氢站完成，采取了基于本地资源特点的多种制氢途径。

- 4) **燃料电池汽车产业联盟化**。在汽车制造行业，燃料电池技术通常是自己研发，但目前燃料电池汽车产业发展正在突破这种常规发展模式。目前，汽车整车生产企业与燃料电池生产厂家加强了技术整合。汽车整车生产厂商与燃料电池生产企业的合作共赢成为了燃料电池汽车发展的一种重要模式。

## 6.2 产业化发展趋势

氢能源优势突出，是未来能源绿色体系的重要组成。作为一种战略性高效清洁能源，氢能源产业的发展受到世界各国广泛关注和重视。目前，世界各国纷纷制定和出台一系列的政策、规划，明确氢能产业发展路线图，投入巨额财政资金用于氢能与燃料电池技术的研发，同时启动氢能与燃料电池的示范应用项目，并不断完善配套加氢站等基础设施的建设。伴随着燃料电池商业化进程加快，世界各国愈加重视氢能与燃料电池产业的发展，政策导向性更加明确。另外，为了推动氢能产业发展，各国开始加强联盟合作，如荷兰、丹麦、瑞典、法国、英国与德国六国已经达成共同开发推广氢能源汽车的协议，这些国家间联盟合作或成为国外氢能产业合作的新趋势。

- 1) **氢燃料电池汽车开启产业化**。从技术方面来看，欧美日等发达国家大多已完成燃料电池汽车基本性能的研发阶段，解决了若干关键技术问题，在整车性能、可靠性、寿命和环境适应性

等方面均与传统汽车相当。成本方面，燃料电池系统成本持续下降，整车成本从 2005 年之前的 100 万美元降到现在的 5-10 万美元，在可接受范围。基础设施方面，各国政府和企业纷纷制定相应的加氢站建设计划，以保障燃料电池汽车加氢需求。综合来看，氢燃料电池汽车产业化条件已经具备。

目前，世界主要汽车制造商均设定了燃料电池汽车的商业化时间，其中丰田、现代均表示将于 2015 年商业化燃料电池汽车。其中，丰田已于 14 年 12 月 15 日在日本国内开始销售其燃料电池汽车 Mirai，并计划 2015 年登陆欧美市场。通用、福特、奔驰都将在 3 年内推出量产车型，宝马和日产均有 2020 年前推出氢燃料电池商品车计划。因此，2015 年被视为氢燃料电池汽车的市场化元年，产业化黎明到来，2020 年被看作市场启动年，届时将大规模生产氢燃料电池汽车。

- 2) **氢燃料电池汽车开启产业化。**工业化和商业化的绝大多数问题都可以归结到成本之上，燃料电池亦不例外。近 10 年来，燃料电池的成本控制一直是研究机构和实业界最重要的目标之一。根据 DOE 的估算，基于 2013 年的技术水平，在年产 50000 套的规模下，车用 80kW 功率的 PEMFC 燃料电池成本降低到 55 美元/kW，较之 2002 年的 275 美元/kW 下降了 80%，这一数字已经逐步接近美国能源部设定的 2017 年成本目标：\$30/kW。
- 图 6-1 美国能源部 (DOE) 所属 Argonne 国家实验室估计的燃料电池系统成本数据。Error! Reference source not

found. 燃料电池成本与生产规模之间的关系，说明随着生产规模的扩大化，燃料电池的成本会降为示范运行时的1/3~1/4，同时，可以看出近五年来燃料电池系统的发展已经将系统成本减小为2007年的一半。

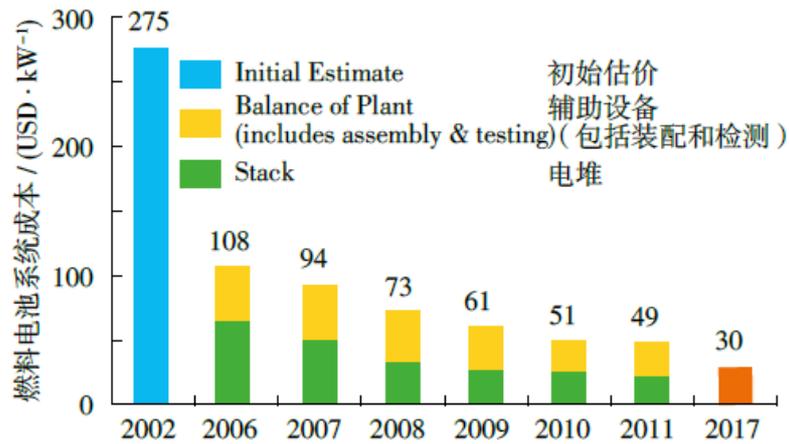


图 6-1 80kW 的燃料电池系统假定大批量生产（每年 50 万台）条件下的成本<sup>1</sup>

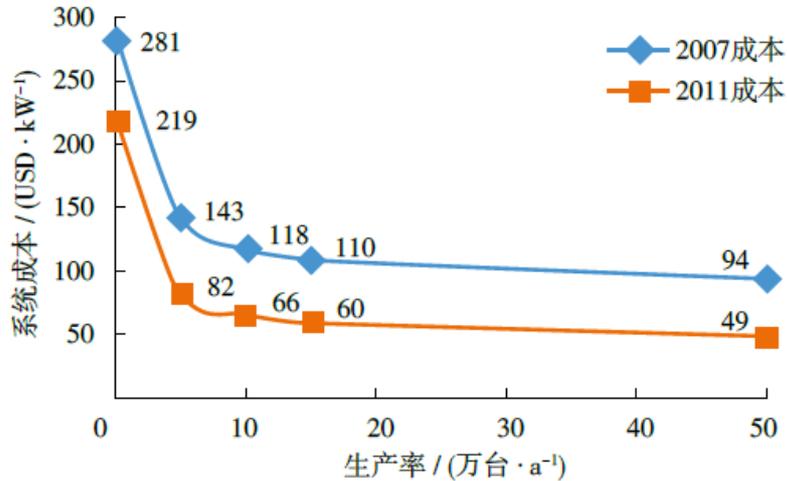


图 6-2 燃料电池系统产量和成本的关系（资料来源：DOE）

预计随着氢能与燃料电池、关键材料等技术的逐步成熟，氢燃料电池系统的成本继续呈现下降趋势，将更加有利于氢燃料电池系统产品的产业化和商业化。

## 6.3 燃料电池产业链发展

### 6.3.1 燃料电池客车示范情况

世界范围内，多个国家都启动了燃料电池客车示范，其中，美国在 2006 年专门启动了国家燃料电池公共汽车计划（National Fuel Cell City Bus Program, NFCBP），2011 年美国燃料电池混合动力公共汽车实际道路示范运行单车寿命超过 1.1 万小时；德国戴姆勒集团参与“Hy FLEET: CUTE（2003-2009）”项目，36 辆梅赛德斯-奔驰 Citaro 燃料电池客车已由 20 个交通运营商使用，运营时间超过 14 万小时，行驶里程超过 220 万 km；韩国现代从 2002 年开始研发燃料电池汽车，2012 年推出了第 3 代燃料电池 SUV 和客车，开始全球示范。

表 7 典型燃料客车示范项目

示范项目名称	时间	车辆运行情况
美国，国家燃料电池公共汽车计划	2006-2011年	单车寿命超过1.1万小时
CHIC(Clean Hydrogen In European Cities) 示范项目	2010-2016年	26辆燃料电池公交车
加拿大BC项目	/	20辆燃料电池客车
德国“HyFLEET: CUTE ”项目	2003-2009年	36辆燃料电池客车，运行时间超过14万小时，里程达到220万公里
中国，燃料电池客车示范项目	一期：2003-2007.10	一期：燃料电池客车，安全运行9万多公里
	二期：2006.7-2012.1	二期：6辆燃料电池客车，累计201196公里，减排216吨

根据各地燃料电池客车示范分析，燃料电池公交车和城际客车核心系统 PEMFC 寿命已达 1 万小时，最高能够达到 2 万小时，可靠性逐渐提高，但车辆采购成本较高。在客车性能方面，国内外的差距不大，甚至在氢燃料消耗方面还具有领先优势。

表 8 2012 年全球商业化固定式燃料电池制造商<sup>2</sup>

主动力及微型热电联产 (m-CHP) 应用市场燃料电池制造商					
	制造商	国别	产品名称	类别	输出功率
1	Ballard Power Systems	美国	FCgen-1300	PEMF C	2-11kW
			CLEARgen	PEMF C	500kW 的倍数
2	Bloom Energy	美国	ES-5400	SOFC	100kW
			ES-5700	SOFC	200kW
			UPM-570	SOFC	160kW
3	Ceramic Fuel Cells	澳大利亚	BlueGen	SOFC	2kW
			Gennex	SOFC	1.5kW
4	ClearEdge Power	美国	PureCell	PEMF	5kW
			System Model 5	C	
			PureCell	PAFC	400kW
			System Model 400		
5	ENEOS CellTech	日本	ENE-FARM	PEMF C	250-700W
6	FuelCell Energy	美国	DFC 300	MCFC	300kW
			DFC 1500	MCFC	1400kW
			DFC 3000	MCFC	2800kW
			DFC-ERG	MCFC	多兆瓦 (MW)
7	Heliocentris Fuel Cells AG	德国	Nexa 1200	PEMF C	1.2kW
8	Horizon Fuel Cell Technologies	新加坡	GreenHub	PEMF	500w-2kW
			Powerbox	C	
9	Hydrogenics	加拿大	HyPM Rack	PEMF C	2-200kW
			CommScope	PEMF	2-16kW
			FC cabinet	C	
10	松下 (Panasonic)	日本	ENE-FARM	PEMF C	250-700W

<sup>2</sup>美国能源部能源效率与可再生能源办公室《2012 Fuel Cell Technologies Market Report》

1	东芝 (Toshiba)	日本	ENE-FARM	PEMF	250-700W
1				C	

**备用和远程电源 (Backup and Remote Power) 应用市场燃料电池制造商**

	制造商	国别	产品名称	类别	输出功率
1	Altergy Systems	美国	Freedom	PEM	5-30kW
			Power System	FC	
2	Ballard Power Systems	加拿大	ElectraGen-ME	PEM	2.5-5kW
			ElectraGen-H2	FC	1.7, 2.5&5kW
3	Dantherm Power	丹麦	DBX 2000	PEM	1.7kW
				FC	
			DBX 5000	PEM	5kW
				FC	
4	Horizon Fuel Cell Technologies	新加坡	H-Series	PEM	12W-5kW
				FC	
5	Hydrogenics	加拿大	HyPM XR	PEM	4.5, 8.5 和
			Power Modules	FC	12.5kW
6	ReliOn	美国	E-200	PEM	175-525W
				FC	
			E-1000x	PEM	1-4kW
				FC	
			E-1100	PEM	1.1-4.4kW
				FC	
			E-1100v	PEM	1.1kW
				FC	
			E-2200x	PEM	2.2-17.5kW
				FC	
			E-2500	PEM	2.5-20kW
				FC	
			T-2000	PEM	100W-6kW 以
				FC	上
7	SFC Energy	德国	EFOY Pro	DMF	45W
			800	CFC	
			EFOY Pro	DMF	110W

表 9 为 2012 年全球商用便携式燃料电池领域的部分制造商及其产品。

表 9 2012 年全球商用便携式燃料电池制造商

序号	制造商	国别	产品名称	类别	输出功率
1	Horizon 燃料电池技术公司	新加坡	MINIPAK	PEMFC	2W
			HYDROPAK	PEMFC	50W
			HYMERA	PEMFC	150-200W
			HYDROMAX	PEMFC	180W
2	Lillputian 系统公司	美国	Nectar™	SOFC	2.5W
3	myFC 公司	瑞典	Power Trekk	PEMFC	2.5-5W
4	SFC 能源公司	德国	EFOY COMFORT 系列 80, 140, 210	DMFC	40W、72W 和 105W

资料来源：美国能源部能源效率与可再生能源办公室《2012 Fuel Cell Technologies Market Report》。

### 6.3.2 氢燃料电池乘用车发展现状

世界几大汽车集团正在进行车用燃料电池和燃料电池汽车的研发工作，都推出了相应的产品，如丰田汽车、本田汽车、日产汽车、现代汽车等多家公司。随着发达国家燃料电池乘用车技术趋于成熟，国内外乘用车性能水平差距逐渐拉大，主要性能参数如表所示。

表 10 几款主流燃料电池轿车性能参数对比

车型	丰田	现代	通用	日产	奔驰
指标	Mirai	IX35	Equinox	Xtrial	F-Cell
车辆照片					
车重	1850kg	2290kg	1800kg	1860kg	1718kg
最高车速	175km/h	160km/h	160km/h	150km/h	170km/h
0~100km/h 加速时间	9.6sec	12.5sec	12Sec	14sec	11.3sec
FCE 功率	114kW	100kW	92kW	90kW	100kW
FCE 体积/重量	37L/56kg	60L	/130kg	34L/43kg	不详

	3. 1kW/L				
FCE 功率密度		1. 65kW/L	0. 7kW/kg	2. 5kW/L	不详
	2. 0kW/kg				
FCE 低温性能	-30℃	-30℃	-30℃	-30℃	-25℃
FCE 铂用量	20g	40g	30g	40g	-
FCE 耐久性	>5000h	5000h	5500h	-	>2000h
氢系统参数	122. 4L, 5kg	144L, 5. 6kg	4. 2kg	不详	不详
电机参数	113kW, 335Nm	100kW, 300Nm	94kW, 320Nm	90kW, 280Nm	100kW, 290Nm
电池参数	1. 6kWh	24kWh	1. 8kWh, 35kWh	不详	不详
	镍氢电池	锂离子电池	镍氢电池		
续驶里程	650km	594km	320km	500km	616km

现阶段，国外燃料电池乘用车的核心零部件如电堆，均由企业自主研发，但燃料电池客车的核心零部件大多来自零部件供应商，主要的配套关系如图 3 所示。



图 3 国外乘用车、客车与核心电堆厂商的配套关系

### 6.3.3 燃料电池及关键材料发展现状

#### 6.3.3.1 燃料电池

燃料电池电堆主要由单体燃料电池构成，其中，单体燃料电池包括双极板、密封圈和膜电极，而膜电极又分为质子交换膜、催化剂层和气体扩散层。

到目前为止，质子交换膜燃料电池均使用铂及其合金作为有效的催化剂，铂资源的匮乏和成本昂贵直接制约了燃料电池大规模商业化

应用。从全球范围来看，现阶段应用于质子交换膜燃料电池的铂催化剂生产企业主要有英国的 JM，德国的巴斯夫股份公司（BASF），比利时的 Umicore，日本的 TKK，美国的 E-TEK 等，目前中国的企业还未实现实质性突破，主要以研究机构为代表，如中国的大化所、长春应用化学所、天津大学和中山大学等。

质子交换膜是氢燃料电池最核心的零部件之一，是燃料电池电解质和催化剂进行电化学反应的基础，质子交换膜性能要求极高，目前在氢燃料电池中使用的质子交换膜主要采用全氟化聚合物材料合成，具有稳定性好及长寿命的特点，同时具有良好的阻气性能，但开发和生产难度高，现阶段主流的生产企业有美国的杜邦公司，另外，还有日本的旭化学工业株式会社（Asahi Chemical）及日本 AGC 旭硝子株式会社（Asahi Glass）生产的 aciplex 膜及 flemion 膜。中国的生产商主要有大连新源动力、上海神力及武汉理工新能源有限公司。

气体扩散层是支撑催化剂层、收集电流、为化学反应提供电子通道、气体通道及排水通道的隔层，由碳布/碳网和防水剂聚四氟乙烯组成，其材料和制备技术影响着燃料电池性能的优劣，也是决定燃料电池成本的关键零部件之一，目前主流的生产企业有日本东丽、加拿大巴拉德和德国 SGL 等。

双极板在燃料电池中主要起输送和分配燃料的作用，在电堆中负责隔离阴阳两极的气体，目前广泛采用的双极板材料有无孔石墨板、金属板及复合材料双极板。其中，石墨双极板的主流生产商有美国的 POCO 公司、SHF 公司、Graftech 和，以及日本的藤仓 gomu 工业株式

会社、日本九州耐火炼瓦株式会社 (Kyushu Refractories CO. LTD)，英国的 Bac2 以及加拿大巴拉德等。另外，金属双极板的主要生产企业有瑞典的 cellimpact、德国的 Dana 和 Grabener、美国的 treadstone 公司等，国内主要有鑫能石墨、沪江科技、联强碳素以及喜丽碳素等。

电堆即为满足使用需求将多个单体组合起来的电池组。根据工作电压的不同单体电池的数量也不同，又因重量与体积比功率不同而呈现出各种电堆产品。目前主流的燃料电池电堆生产企业有加拿大的巴拉德、Hydrogenics，美国的 Plug Power 公司，日本的丰田及本田公司，英国的 ITM power、intelligent energy 公司，中国的上海神力及新源动力。

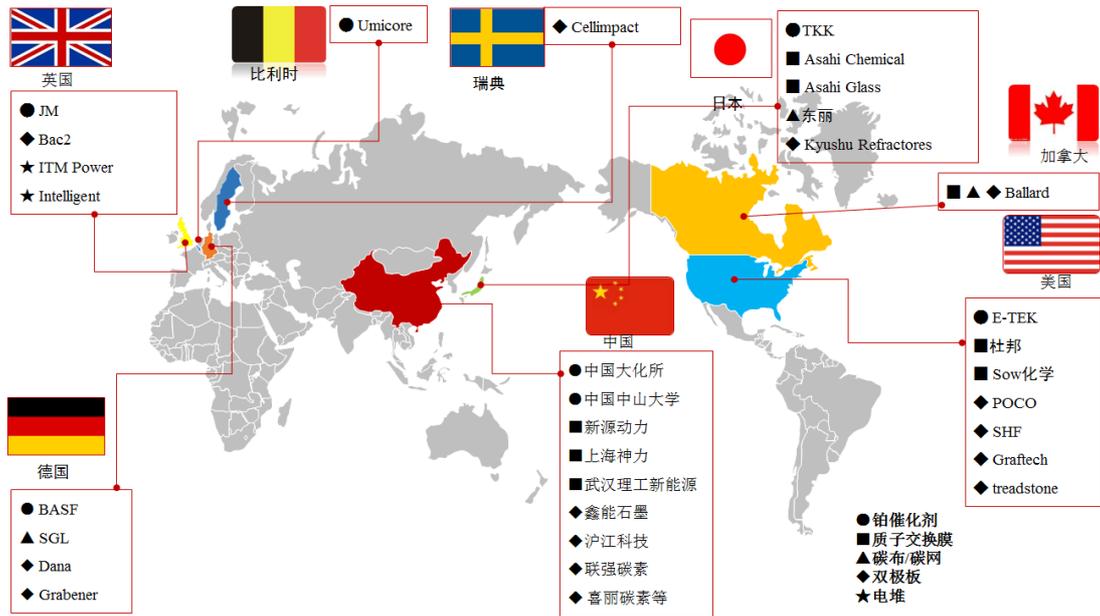


图 4 全球燃料电池材料产业链代表企业分布图

### 6.3.3.2 关键材料及零部件

尽管我国的氢燃料电池技术取得了重大的突破，但是与国外先进水平相比，在关键材料方面仍在存在一定的差距，如催化剂和质子交换膜等，目前主要以进口为主，不仅价格昂贵，而且垄断性极强。

上汽通过产学研结合，研发出的新型催化剂活性是国外商业催化剂的 3 倍，成本降低了 25%。开发出的金属双极板可使燃料电池电堆体积功率密度提高 1 倍。具体情况见下表。

表 11 国内外氢燃料电池关键材料性能对比及产业化情况

..	国外现状与水平 <sup>a</sup> (2011 年)	国内现状与水平
催化剂	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 铂族金属载量<sup>b</sup>:0.19g/kW ;0.15mg/cm<sup>2</sup></li> <li>◇ 30,000 次 CV 后活性衰减: 48%</li> <li>◇ 催化剂放大生产: 3M; JM; BASF; Tanaka, Umicore 等。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 铂族金属载量<sup>d</sup>: 1.1g/kW;0.6mg/cm<sup>2</sup></li> <li>◇ 3,000 次 CV 后活性衰减<sup>f</sup>: 8.6%</li> <li>◇ 催化剂小规模生产: 大化所</li> </ul>
质子交换膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 从均质膜到向复合膜发展;</li> <li>◇ 国外巨头垄断: 美国 Dupont; WL Gore; 3M; 比利时 Solvay 等</li> </ul>	国内已成功开发复合膜,但尚未量产: 新源动力, 武汉理工, 山东东岳
碳纸/碳布等	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 已形成流水线生产线: SGL; Toray; Ballard 等</li> </ul>	国内有试生产, 但无大批量生产和应用
MEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 额定功率性能: 845mW/cm<sup>2</sup></li> <li>◇ 动态工况寿命<sup>b</sup>: 9000h</li> <li>◇ 成本: \$16/kW</li> <li>◇ 已形成流水线生产能力: WL Gore, 3M, Ballard 等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 额定功率性能:800wW/cm<sup>2</sup> ;</li> <li>◇ 成本 2000-500 元/kW;</li> <li>◇ 制造工艺以湿法 CCM 工艺为主, 主要是半手工生产</li> </ul>
双极板	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 腐蚀电流: &lt;1μA/cm<sup>2</sup></li> <li>◇ 电导率: &gt;100S/cm</li> <li>◇ 抗弯强度(碳板): &gt;34MPa</li> <li>◇ 成本: \$5-10/kW</li> <li>◇ 已有成熟的产品供应商: 瑞士 Cellimpact; 德国 SGL、DANA;英国 Bac2; 美国 Graftech 等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 实用化的数据欠缺;</li> <li>◇ 以石墨碳板为主 ;金属板未成熟量产</li> </ul>
密封剂	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 有专门的燃料电池密封胶生产商: 德国汉高, 日本三健</li> </ul>	国内无专门产品, 研究也缺乏
电堆整体性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 功率密度: 3.0kW/L;2.5kW/kg</li> <li>◇ 效率@25%额定功率:65%</li> <li>◇ 车载工况寿命: 2500h ;UTCP 大巴已实现上万小时寿命</li> <li>◇ 成本<sup>g</sup>: \$22/kW<sub>e</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 功率密度<sup>d</sup> ≤1.1kW/L;≤1kW/kg</li> <li>◇ 效率@25%额定功率:50%</li> <li>◇ 车载工况寿命<sup>h</sup>: &lt;2000h</li> <li>◇ 成本: 5000-10000 元/kW</li> </ul>

注: <sup>a</sup>美国能源部公布的数据;

<sup>b</sup>基于 3M 公司 PtCoMn 和 Pt3Ni7 纳米结构薄膜催化剂 ( NSTF );

<sup>c</sup>H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>单电池, 扣除内阻;

<sup>d</sup>大化所 863 项目验收数据: [http://www.dicp.ac.cn/xwzx/kjdt/201109/t20110929\\_3356849.html](http://www.dicp.ac.cn/xwzx/kjdt/201109/t20110929_3356849.html)

<sup>e</sup>文献数据: Xueming Ma, Hui Meng, Mei Cai, Pei Kang Shen, J. Am. Chem.Soc. 2012, 134, 1954-1957.

<sup>f</sup>同济大学实验数据;

<sup>g</sup>按年产 50 万台计;

<sup>h</sup>同济大学世博会实车数据。

### 6.3.4 燃料电池系统及辅助系统

国内在燃料电池发动机的寿命和环境适应性方面与国外先进水

平相比，仍然存在一定的差距，其原因在于国内相关研究较少。

表 12 国内外燃料电池发动机的寿命与环境适应性对比

	国外	国内
燃料电池系统的低温启动	国外汽车厂商如奔驰、丰田等已经实现-30°C的低温启动，并在加拿大北部严寒地区进行了试车实验。	国内燃料电池发动机实现-10°C低温启动，清华大学节能与新能源汽车工程中心进行了-15°C环境下低温启动的试验
燃料电池系统的耐久性	<p>燃料电池质子交换膜 &gt;7300h</p> <p>轿车用电堆实验室寿命 &gt;5000h</p> <p>公交车用燃料电池系统 &gt;7000h</p>	国内生产的燃料电池车用燃料电池系统在车用环境下寿命在 1000 小时左右，很少超过 2000 小时。

1 燃料电池辅助系统方面，国内几乎空白，仅有压缩机一项能够在国内找到生产商，其余的均处于研究阶段或者需要进口。

表 13 燃料电池辅助系统国内外对比

	国外现状与水平 <sup>a</sup> (2015 年)	国内现状与水平
<b>压缩机</b>	国外在 2002 年开始在政府支持下开发燃料电池专用压缩机，美国 DOE 支持了 <b>AD Little Inc.</b> 、 <b>Honeywell</b> 、 <b>VAIREX Corporation</b> 、 <b>Mechanology, LL</b> 等企业，以及瑞典的 <b>Opcon Autorotor AB</b> 对多种压缩机进行比较开发，目前比较典型的是 <b>Honeywell</b> 的离心式压缩机和 <b>Opcon</b> 的双螺杆压缩机。二者已经达到产品的要求，在多款燃料电池系统中进行了长时间的运行。	<p><b>亿华通</b> 2014 年研发的燃料电池专用涡轮增压空压机已进入产品测试阶段，并在北京市燃料电池城市客车上取得应用。</p> <p>国内广东的一家企业正在进行燃料电池专用离心式压缩机的开发，目前处于开发设计的初期阶段。</p>
<b>加湿器</b>	加湿器目前国外上的主流技术是 Gas-to-Gas 加湿器。国外已经有许多厂家已经开发出加湿器，并已经形成产品，已经能够满足备用电源到燃料电池公交车用的加湿需要。如美国的 <b>Perma-Pure</b> 生产的管式加湿器、加拿大 <b>Dipont</b> 生产的板式加湿器、德国 <b>Mann-Hummel</b> 生产的板式和管式加湿器和德国 <b>Freudenberg FCCT</b> 生产的管式加湿器等	国内尚无相应的零部件开发商开发此类产品，基本上是采购国外的产品。一些研究单位开展了基础研究

## 氢循环装置

美国的 Park 公司开发出氢气循环泵可用于不同的燃料电池汽车，美国的 Argonne 国家实验室开发了氢气引射装置(E-jector)以及与氢循环泵混合循环系统，各大汽车公司也开发相应的氢气循环装置并用于了燃料电池发动机上。

中国尚没有见过有厂家进行过类似产品的研发。一些研究单位开展了基础研究

---

### 6.3.5 制氢企业

从燃料电池的全产业链来看，制氢、加氢及车载储氢的发展和经济性都可影响氢燃料电池汽车行业的发展。制氢方面，又因制氢方式的不同存在经济型差异，采用煤气化、石油裂解、天然气重整制氢等传统化石燃料制氢的方式仍为主流，也是成本比较低的方案，但从长期发展来看，采用生物燃料、太阳能、风能、核能电解水制氢的方式正在逐步发展。目前主流的氢气生产企业有日本的堺 LNG 株式会社 (SakaiLNG)、岩谷产业、JX Holdings，美国的 Praxair，加拿大的 Hydrogenics 公司，法国的 Air Liquide，德国的林德公司 (Linde)，以及中国的神华集团、凯美特气和华特气体公司。

制氢企业的制造氢气设备有些为自产、有些则来自制氢设备制造商，前者的代表企业主要有日本的岩谷产业、德国的林德公司，后者这种单纯的设备制造方主要有中国的七一八研究所、大陆制氢、北京氢璞创能等。总体来看，我国的氢气设备制造方尚与国外制造方存在差距。

燃料电池发动机与内燃机同样都有冷却循环系统、空气供给系统、燃料供给系统和复杂的电子控制系统，其系统的效率随温度和功率的变化而变化，是影响氢燃料电池汽车性能的关键核心零部件；现阶段燃料电池发动机的生产企业主要分为两类，一类是燃料电池汽车制造

商,另外一类是零部件制造商,前者的代表企业有日本的丰田及本田,韩国的现代,美国的通用,以及德国的戴姆勒,后者的代表企业有中国的亿华通和重塑科技。

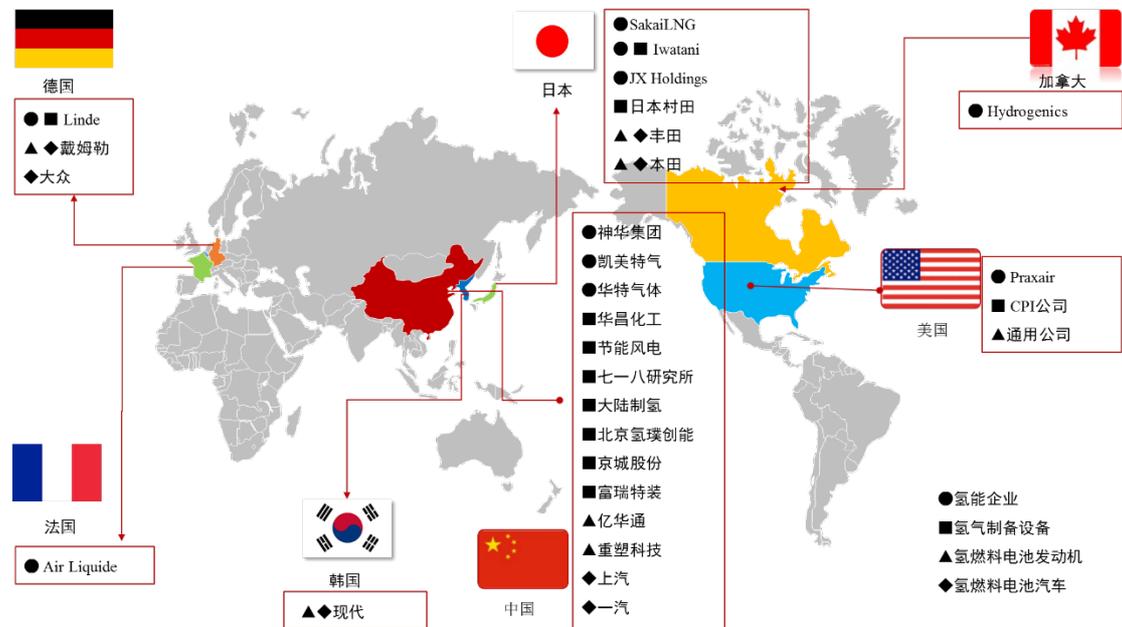


图 5 全球氢能产业链代表企业分布

### 6.3.6 加氢站建设进展

全球主要国家分别制定了不同的加氢站发展规划,2009年,戴姆勒,福特,通用/欧宝,本田,现代/起亚,雷诺/日产和丰田等7家车企联合签署了一封致能源公司和政府机构的公开信,指出2015年起将有显著数量的燃料电池汽车推向市场,因此迫切需要建设氢基础设施,尤其是在欧洲(德国)、美国、日本和韩国等重点市场。同年,德国主要的汽车和能源公司与政府联合启动了H2Mobility Initiative计划,旨在于2012到2015年之间建立起一个全国性综合加氢网络,为实现每年生产并销售十万辆电动和燃料电池汽车的后续项目打下坚实的基础。德国的目标是在2020年使100万辆电动车

和 50 万辆燃料电池汽车投入使用，德国目前已经有 13 个加氢站投入使用。日本计划在 2025 年前建设 800 个加氢站，到 2030 年计划建成覆盖全国的加氢站，数量达到 5000 个，燃料电池汽车的比例超过 10%。

美国能源部（DOE）可再生能源实验室（NREL）对加氢站建设投资和加氢规模进行了分析，现有的加氢站的加氢能力为 160kg/天，按照轿车 0.5kg/天，可以满足 300 辆燃料电池轿车加氢，其建设成本 265 百万美元，折合人民币 1500 万元。未来 3 年进入商业化早期，一个加氢站的加氢能力提高到 450kg/天，利用率提高到 74%，建设费用为 280 万元美元，折合人民币 1800 万元；2016 年由于燃料电池轿车数量增加，加注单位燃料的建设成本进一步下降。大型的加氢站（每天加氢 1500kg），单位燃料的建设成本可以下降 80%。

美国能源部（DOE）所属的可再生能源实验室（NREL）还研究了加氢站出售氢气的费用和加氢站的建设规模之间的关系。加氢站在商业化早期阶段，每天可以加注 450kg 氢气，相应氢气成本为 5.9 美元，折合人民币为 32 元/kg；当大规模运行阶段，氢气的成本为 3.49 美元/kg，折合人民币 22 元/kg。

韩国目前已经建设了 13 座加氢站，预计到 2020 年建设 168 座加氢站。沿韩国高速公路建设成氢高速公路。

截止到 2016 年 1 月，全球正在运营的加氢站达到 214 座。全球加氢站统计报告<sup>3</sup>称，2015 年全球新增 54 座加氢站，且欧美国家已形成初具规模的加氢站供应链。许多国家正在计划加强对加氢站的支

---

<sup>3</sup> 来源于 [www.H2Stations.org](http://www.H2Stations.org) 发布的加氢站统计报告

持，逐步推进加氢站的建设。目前全球 214 座加氢站中，95 座位于欧洲，50 座位于北美，1 座在南美，1 座位于澳大利亚，其他 67 座在亚洲，其中 121 座对公众开放。

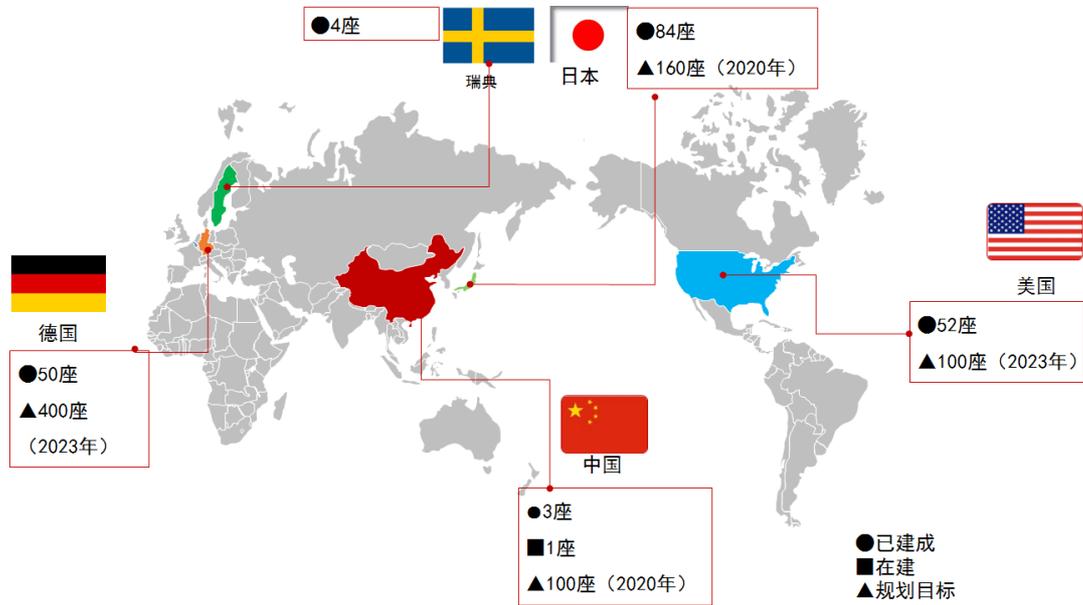


图 6 世界主要国家加氢站建设现状及目标

表 14 国内外燃料电池汽车产业链情况

		国内	国外
燃料电池乘用车		上汽	丰田、本田、日产、现代
燃料电池客车		北汽福田、宇通客车	戴姆勒、现代、日野
燃料电池发动机		亿华通、重塑科技	丰田、本田，现代，通用，戴姆勒
燃料电池电堆		上海神力、新源动力	巴拉德、Hydrogenics、Plug Power 公司，丰田、本田，ITM power、intelligent energy 公司
关键材料	质子交换膜	大连新源动力、上海神力、武汉理工新能源	杜邦公司、旭化学工业株式会社、AGC 旭硝子株式会社
	气体扩散层		日本东丽、加拿大巴拉德和德国 SGL
	双极板	鑫能石墨、沪江科技、联强碳素、喜丽碳素	瑞典的 cellimpact、德国的 Dana 和 Grabener、美国的 treadstone 公司
制氢企业		神华集团、凯美特气和华特气体公司	日本堺 LNG 株式会社 (SakaiLNG)、岩谷产业、JX Holdings，美国 Praxair，加拿大 Hydrogenics 公司，法国 Air Liquide，德国林德公司 (Linde)

# 7 产业发展方向的改进措施和建议

## 7.1 政策

1. 美国：多个公共和私营部门及氢能和 FC 企业，计划投资 25 亿美元致力于推进美国氢能基础建设

2. 英国：2015/25/30 年之前，分别在国内建设 65/330/1150 个加氢站，并配备建设相应氢气输送管道，基本实现全国覆盖

3. 德国：2023 年将目前的 15 个加氢站扩大到约 400 个，确保高速公路沿线每 90km 有一个，每个大城市至少有 10 个加氢站

4. 欧盟：2008-2013 年，欧盟花费相当 37.13 亿人民币支持氢燃料电池技术的研发和示范。荷兰、瑞典、法国、丹麦、德国与英国六国达成有关共同开发并推广氢能源汽车的协议，共同建设一个欧洲氢气设施网络

5. 日本：具体的氢燃料电池普及目标和政策支持措施，到 2020 年氢燃料电池车年销量达 4 万辆；2030 年达 40 万辆，累计销售 200 万辆

6. 韩国：计划 2012-2018 年间投入总额达到 877 亿韩元建设绿色氢城市（氢气的生产和管理、燃料电池的生产等），力争到 2020 年氢燃料电池的使用量占首尔市全部替代能源使用量的 30%，氢能燃料电池研发项目投资 16 亿 3800 万 RMB

7. 中国：目前新能源汽车的发展更加偏重于纯电动汽车和插电式混合动力汽车，而氢燃料电池车基本处于配角地位，2014 年以来，

密集颁布了一系列政策措施，彰显出国家发展氢能与燃料电池产业的决心。总体来看，政策扶持产业发展的趋势愈加明显。对符合国家技术标准且加氢能力不少于 200 公斤的新建燃料电池汽车加氢站每个站奖励 400 万元

总体来看，我国政策扶持产业发展的趋势愈加明显。但是对比国外政策的力度仍有差距。应加大政策力度，国家斥资力度，国家奖励力度，彰显出国家发展氢能与燃料电池产业的决心，极大激励氢燃料产业的发展积极性。具体可从以下几个方面着手：

1) 鼓励对氢能等绿色能源的研发，使用奖励政策，增加政府高校的研发合作项目，加大专利保护力度。

2) 奖励制造厂商使用氢能和燃料电池进行生产，并对该类新兴企业进行政策扶持，如无偿贷款担保、部分税费减免等

3) 鼓励投资燃料电池汽车等新兴产业。对投资企业实施的鼓励政策可以有无偿贷款担保、部分税费减免等

4) 积极出台政策鼓励客户购买燃料电池汽车，具体见特斯拉的政府扶持政策，如送牌照等

## **7.2 氢能基础设施**

1. 国外：世界各国纷纷制定各自的加氢站建设规划，以配合燃料电池电动汽车的推广应用。日本在四个城市之间建造 100 座加氢站，在 2025 年前扩大到 1000 个，到 2030 年计划建成覆盖全国的加氢站，数量达到 5000 个。韩国到 2015 年已经建设了 13 座加氢站，预计到

2020 年建设 168 座加氢站，沿韩国高速公路建设成氢高速公路。美国计划于 2017 年建成至少 84 座加氢站，达到单站日产 500 公斤以上的氢气产量。截止到 2016 年 1 月，全球正在运营的加氢站达到 214 座，欧美国家已形成初具规模的加氢站供应链，许多国家正在计划加强对加氢站的支持，逐步推进加氢站的建设。

2. 中国：我国 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：45MPa 大容积储氢罐、35MPa 加氢机和 45MPa 隔膜式压缩机均已实现国产化。我国已具备设计建设 70MPa 加氢站的能力（包括固定站和移动站），关键设备国产化也取得重大进展，相关标准法规也在逐步完善中。目前国内运行的加氢站共有 5 座，分别位于北京、上海、佛山、大连和郑州，加氢站建设较为滞后。北京加氢站具备站外供氢、站内天然气重整制氢和站内电解水制氢三种供氢方式，加注压力为 35MPa；上海加氢站采用外供氢方式，以上海地区的工业副产氢气为气源，加注压力 70MPa。佛山已经完成规划，计划在 2018 年之前建成 14 座加氢站。

以上内容可以看出当前国内加氢站数量有限，极大阻碍了燃料电池的全面市场化和普及，关键是要加强加氢站的技术开发和建设。必须要在主要示范城市逐步建立更多的加氢站，加大对加氢站承建公司的奖励政策，出台政策扩大燃料电池车的内需。建议在 5 年计划里以北京上海长三角珠三角为核心，建立百座以上数量的加氢站覆盖，除此之外，还必须明确规范政府职责及推进部门定义。

## 7.3 制氢储氢技术

1. 我国的制氢工业以引进技术为主，技术相对成熟，与发达国家的差距不大，我国的氢气设备制造方法尚与国外制造方法存在差距。

2. 储氢问题。我国使用的压力为 35MPa 的碳纤维缠绕金属内胆气瓶 (III) 的储氢密度为 3.9%，通过提高压力到 70MPa 可达到 5%；而采用碳纤维缠绕塑料内胆气瓶 (IV) 储氢密度可以进一步提高到 5.5%。我国在 IV 瓶方面没有技术，在 70MPa 的 III 瓶方面仅有研发成果，没有产品。目前正在探讨和研发的另外一条路径是有机液态储氢值得重视，国内有一定的研究基础，但缺乏示范考核。在储氢关键零部件，如主要阀门方面，目前在可靠性和寿命方面跟国外比还有一定的差距。

从氢能的来源方面，目前我国存在的焦炉气和工业副产气中含有大量的氢，同时可再生能源，如弃风弃电弃水，也可以作为制取氢气的来源。国家应该加大研发力度重点在制氢以及有机液态储氢技术，培养该方向的人才和技术人员。在相关富产氢基地附近建立用氢据点。积极促进和国外先进技术机构合作并引进先进技术和先进设备，在国内建设研究示范基地，旨在解决制氢储氢问题。重点研究高效低成本的化石能源和可再生能源制氢技术，要根据国情进行制氢技术研究，我国煤产丰富，可积极引导煤矿资源制氢。

## 7.4 核心专利

燃料电池汽车专利技术主要集中在日本、韩国、美国和德国。日本优先权专利数量达到 10454 个专利族，占 71%，在各大关键技术均处于绝对领先地位。此后依次是韩国 (1225)、美国 (1089) 与德国 (949)，差别不大。中国 (317) 以 2% 排名第五。

我国氢燃料电池技术和产业基础薄弱，资金和技术力量投入不足，参与机构数量较少，导致我国燃料电池技术创新能力不足。“十二五”期间，科技部预算计划投入 2 亿多元用于燃料电池汽车研发，但与发达国家数亿美元的投入相比略显不足。因此我们可以从以下 3 个方面入手改善：

1. 国家必须加大在创新技术能力上的投资，保证我国的创新能力和更多专利。增加对高校和企业的专利研发奖励，加强自主知识产权的保护，针对国内关键技术的缺失，加大相关课题的高校研究项目，进行相关领域的专利技术研发。

2. 在燃料电池汽车领域已经出现竞争力非常强大的竞争者，如丰田，他们拥有业内绝大部分专利，形成技术垄断。后续可以考虑针对行业标杆企业的专利布局和技术竞争力进行分析，以便绕开其技术壁垒。根据此思路，还可以对业内的供应商、出现的潜在竞争者进行技术实力进行评估，以便寻找到合作伙伴。

3. 对于目前中国市场的情况，也可以有针对性的分析目前全球机构在中国市场的专利布局，来帮助竞争企业有策略的进行专利布局，防范风险。

## 7.5 燃料电池电堆技术

国外燃料电池功率密度不断提高，能够满足车辆动力性要求，并且在金属板和碳板上都有相应的相关产品出来。如巴拉德，已经有相对比较成熟可靠的产品生产线。然而国内对电堆耐久性的研究不足，对系统优化提升电堆性能与寿命缺乏深刻的认识，造成了辅助系统匹

配与控制策略研究过程中思路简单，甚至盲目。电堆批量组装，我国还落后于世界先进国家；从事燃料电池电堆相关业务的企业数量少、投入小，技术开发和制造能力与国外先进水平差距比较明显。

基于目前现状，加大研发投入攻克技术难关为第一任务。具体如下：

1. 加大研发投入对电堆技术的研究，提高电堆密度
2. 加强电堆耐久性，燃料电池基础关键部件制备和电堆集成技术等燃料电池电堆相关技术的研究。
3. 加强燃料电池电堆上下游产业链技术的研究，比如关键材料的自主研发等
4. 输送人才去国外进修与学习。
5. 促进国内外企业合作，进行技术共享，培养自己的专业技术团队，以能够自主完成批量组装为目标
6. 加强国外交流与合作，积极参与国外氢生态的建设。

## 7.6 燃料电池技术领域-关键材料

我国已掌握了诸如电催化剂、质子交换膜、双极板材料等关键技术与国外先进水平保持同步，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。

1. 关键材料未实现国产化。上述关键材料如电催化剂、质子交换膜、炭纸大都采用进口材料，且多数为国外垄断，价格极高；尽管在“十一五规划”中国产替代材料如催化剂、膜、炭纸等取得了可喜成就，然而，由于尚未形成批量生产能力，或者产品质量不够稳定；

2. 部件制备技术落后。由于缺少先进制备技术与设备，使得一些

主要部件如双极板、MEA 等制造质量得不到保障，一致性较差

### 3. 主要以进口为主，不仅价格昂贵，而且垄断性极强

为了解决上述问题，我们需要加大研发技术投入，针对关键材料的先进技术争取有更大的突破，积极推进关键材料如催化剂，质子交换膜、膜电极（membrane eletrode assembly MEA）等的国内自主研究，并积极鼓励替代材料的研究，降低关键材料成本。并主动与国外供应商厂家接触，降低门槛，欢迎相关厂家入驻国内科技园区。能够积极拉动上下游产业发展，促进关键材料技术的国产化，降低成本。也能有效培养国内上下游的产业有效发展，也可以聘请相关国外知名专家进行学术交流和分享，与国外关键材料生产企业保持良好的业务往来，推动形成互赢局面；最重要的是必须引进国外先进设备，对该产业设备降低关税。培养国内开发研发设备能力，提供相应地奖励。加大对先进制备技术与设备的投入，保证主要部件如双极板、MEA 等的制造质量，选定一定开发区域作为示范区，在该示范区对相关研发提供奖励和支持

## 7.7 燃料电池系统附件

中国和国外先进水平相比差距很很大，基本没有成熟产品。

1. 压缩机目前处于开发设计的初期阶段，而且没有将电机及其控制器进行集成设计和优化的能力，可靠性和耐久性得不到保证

2. 加湿器尚无相应地零部件开发商开发此类产品，基本上都是采购国外的产品。在如何小型化或取消增湿器方面，缺少系统优化的经

验和能力

3. 氢循环装置尚没有厂家进行类似产品的研发, 缺少大流量的氢气再循环泵及其驱动电机

4. DC/DC 尚没有专门从事此研发的厂家, 针对燃料电池的特殊控制和保护逻辑尚不清楚

由于目前和国外差距过大, 最好的方法一定是和国外先进企业进行合资和合作, 引进技术为先。因此就要加大研发经费投入, 缩短和国外的差距。积极鼓励国内厂家和企业或者机构对压缩机、加湿器等系统附件的研发, 提供较大幅度的补贴或者奖励。促进高校和企业的合作, 积极寻找突破口, 加大产学研的研发作用。

## 7.8 燃料电池动力总成

我国已经攻克了车用燃料电池动力系统集成、控制和适配等关键难点, 形成了燃料电池系统、动力电池、DC/DC 变换器、驱动电机、储氢与供氢系统等关键零部件配套研发体系, 实现了综合技术的跨越, 总体技术接近国外先进水平。以同济大学新能源汽车工程中心为主的燃料电池轿车动力系统研发团队和以清华大学汽车安全与节能国家重点实验室为主的燃料电池客车动力系统研发团队在车用燃料电池动力系统平台技术方面取得重要进展。

基于此, 我们应该在保证现阶段成果的基础上得到进一步提升, 可以从以下方面着手:

1. 加强国家对燃料电池汽车研发开发的重视, 对国内整车厂提供奖励和补贴, 能够对燃料电池技术的提升起促进作用。

2. 对标国外，继续鼓励国内各高校进行燃料电池动力系统平台技术方面，在高校开展燃料电池相关学科的研究和学习，加大产学研合作项目的投入。
3. 鼓励技术引进和项目落地项目。加大国内和国外间的技术交流，

## 7.9 燃料电池汽车

1. 国外燃料电池商用车的可靠性、经济性和便利性满足商业示范运行需要。而且整车、动力系统和燃料电池的可靠性都达到了商业化推广需求，燃料电池叉车、物流车等领域的示范和应用跟踪数据也表明燃料电池系统的耐久性超过 1 万小时

而国内所开发的燃料电池客车动力系统平台应用在福田、苏州金龙、上汽申沃等客车上，已验证了燃料电池客车的动力性、经济性和可靠性，车辆百公里氢气消耗率为 8.5kg。我国燃料电池客车在加速时间、最高车速等动力性能指标方面与国外的车型基本相当，最高车速 80km/h 居多，0-50km/h 加速时间在 20s 左右。续航里程适中，一般在 250-400km 之间，耗氢指标有一定优势，储氢瓶的最高压力均为 35MPa。

2. 国外燃料电池乘用车性能接近用户接受的水平，国外开始采用 70MPa 车载储氢系统，一次加注的续驶里程大大提高。从动力系统的基本配置来看，最大的差别在于燃料电池发动机的功率输出能力与电机的转矩输出能力上，国外燃料电池发动机的功率输出基本能力在 80-100KW，比国内的 55KW 高出很多，而且具有很高的质量比功率和体积比功率指标。同等功率输出能力的电机具有更高转矩输出能力，

约比国内高 50-80Nm，比例达到 25%-40%，燃料电池系统国外先进技术已经可以达到 5000 小时以上

而国内燃料电池轿车最高车速达 150km/h, 0~100km/h 的加速时间 14 秒，一次加氢续驶里程 300km，氢气消耗 0.912kg/100km。动力系统平台应用于“上海牌”、“帕萨特”、“奔腾”、“志翔”、“东方之子”等车型上，先后完成了 2008 年北京奥运会、2009 年美国加州、2010 年上海世博会和广州亚运会等示范和运行。我国燃料电池轿车在动力性、续驶里程等基本性能指标方面与国外的车型基本相当，最高车速基本都在 150-170km/h 上下，百公里加速时间也基本在 10-15s 左右。国内相关企业氢燃料电池的稳定寿命还在 3000 小时左右

通过上述分析，我们可以从以下几个方面着手改善：

1. 加大研发投入技术研究，改善提高燃料电池发动机的输出功率
2. 加大研发力度，提高和改善电机的转矩输出能力
3. 加大研发投入力度，研究燃料电池系统一次加注的续航里程
4. 和国外先进机构合作，促成国内外企业间的协作
5. 促成引进拥有先进科技的公司在国内成立本土跨国合资，使得技术本土化，培养本土的专业技术团队和技术人员

## 7.10 产业

国外基本完成性能研发阶段，整车性能已能达到传统汽车水平，解决了示范中发现的核心技术问题，国外上燃料电池产业链各环节均已实现产业化

目前我国已形成从基础研究到示范演示的全方位格局，初步形成一支由高等院校、科研院所、石油化工及汽车工业等部门为主的从事氢能研究、开发和应用的专业队伍。我国燃料电池汽车产业链的研发体系以大学为主，清华大学、同济大学以及大连化学物理研究所承担大量的研发工作，而燃料电池汽车的生产体系建设较为缓慢，只有上汽集团参与相关建设工作。我国已经自行设计、制造、实验了多种不同型号的燃料电池样车。充分验证了燃料电池汽车的环境适应性。但与美欧日等西方发达国家相比，我国在氢能与燃料电池产业化和商业化进程方面滞后，国内产业化程度还很低，且研发主体基本多为高校、可研机构和中小企业，商业化产品寥寥无几。差距明显，基本停留在技术示范阶段。我国还不具备完整的燃料电池电堆产业链，燃料电池关键材料主要依赖进口，从事燃料电池电堆相关业务的企业数量少，投入小，技术开发和制造能力与国外先进水平差距比较明显

因此国内燃料电池研发和生产体系仍需要不断的完善，才能更好的推动我国氢能源产业快速发展，积极推动建立批量生产线。由于国内燃料电池关键部件还没有形成一个很大的市场，因此还需要企业家投入，建立关键材料和关键部件小批量生产线，使关键材料的供给立足于国内。另外也可以促进和鼓励企业间建立起优势互补、强强联合的合作伙伴关系，最大程度实现商业化。促进和刺激上下游产业的发展和质量保证，形成整体产业的提升。政府可以提供更大程度的政策鼓励 and 措施，刺激和提升企业家对该产业的认知和兴趣，从而形成良性发展。

