

# 氢燃料电池汽车技术与经济环境研究 现状及展望

吴东来

( 中国汽车工程研究院股份有限公司 重庆 401122 )

**摘要:** 随着全球能源危机与环境污染问题的日益凸显, 各国政府纷纷出台政策, 推动氢燃料电池汽车产业的发展。该文主要介绍了氢燃料电池汽车的技术原理与核心部件, 回顾了氢燃料电池汽车的发展历程和技术现状, 综述了氢燃料电池汽车技术、经济、环境评价方面的研究进展, 在此基础上, 提出了氢燃料电池汽车未来研究与发展方向, 以期为氢燃料电池汽车相关研究和应用提供参考。

**关键词:** 氢燃料电池汽车; 研究现状; 经济; 展望

中图分类号: U469.72

文献标识码: A

文章编号: 1671-3567 ( 2023 ) 07-0053-03

## Research Status and Prospect of Hydrogen Fuel Cell Vehicle Technology and Economic Environment

WU Donglai

( China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing, 401122 China )

**Abstract:** With the global energy crisis and environmental pollution becoming increasingly prominent, governments of all countries have introduced policies to promote the development of hydrogen fuel cell vehicle industry. This article mainly introduces the technical principles and core components of hydrogen fuel cell vehicles, reviews the development history and current status of hydrogen fuel cell vehicles, summarizes the research progress in technology, economy, and environmental evaluation of hydrogen fuel cell vehicles, and proposes future research and development directions for hydrogen fuel cell vehicles, in order to provide reference for the research and application of hydrogen fuel cell vehicles.

**Key Words:** Hydrogen fuel cell vehicles; Research status; Economy; Expectation

### 1 相关领域的技术突破

#### 1.1 氢燃料电池汽车取得的技术成效

最近几年, 燃料电池车的性能有了很大的进步, 具体体现在 4 个方面: (1) 在上海车展上发布的欧思典燃料电池车, 续航里程已经超过了 1 000 km, 最高时速在 150 ~ 170 km 之间。(2) 在充填时间上, 平均 3 ~ 5 min。(3) 耐久性: 多年来, 电池的使用寿命仅在 10 000 h 左右, 极大地限制了其实际应用, 但近年来, 日本厂商对其进行了技术改造, 使其使用寿命达到了 40 000 h (10 年)。其中, 领先的 PEMFC 系统可连续工作 60 000 ~ 80 000 h。(4) 动力上, 作为目前最先进的燃料电池, PEMFC 的能量转化率达到 55%, 约占整个交通系统的 90%<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 氢燃料电池汽车尚需突破的技术挑战

##### 1.2.1 关键材料与零部件的技术挑战

(1) 铂 (Pt) 催化剂 (尤其是阴极催化剂) 占燃料电池堆成本的 40% 左右。另外, 对于燃料电池的成本也有很大的影响, 其中还涉及了一些重要的材料, 如双极板的不锈钢、包覆层、隔膜、触媒层等。开发廉价的替代材料, 尤其是 Pt 的用量和用量, 是目前燃料电池车辆发展的当务之急。

(2) 改进和优化燃料电池膜电极 (MEA) 的制备工艺, 是提高 Pt 利用率, 降低生产成本的一个重要途径。其中, 有序膜电极的制备技术是实现燃料电池性能提升的有效途径。预期其铂载量将达到 0.15 ~ 0.25 mg/cm<sup>2</sup>, 有望在该技术上取得突破性进展。

作者简介: 吴东来 (1989—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为汽车工程。

### 1.2.2 制氢、储氢技术的挑战

燃料电池车的普及与其加氢站点的规模密切相关。氢气制取、储运、分配等环节的技术路线对于推广应用具有重要意义。

对于制取氢，目前比较成熟的有3条技术路径，但是3条路径都有各自的优势和不足。一是以煤和天然气为代表的已转化为氢气的矿物资源<sup>[2]</sup>。然而，煤炭制氢涉及到对制氢过程的污染和碳捕获和封存，目前我国仍处在研究和示范阶段。然而，由于我国“富煤少油少气”的特点，目前只有极少的几个区域能够进行该技术的开发。二是以焦炉煤气、氯碱尾气和丙烷脱氢为典型的工业副产品为氢源；这条技术路线也会遇到碳捕集和封存的问题，从长远来看，钢铁、化工等工业领域都会引进非碳制氢技术来取代化石能源，从而达到深度脱碳的目的，它们将从氢气的供应方变成需方。三是电解水制氢，其年制氢总量在3%左右。电解法生产氢气的工艺包括水电解法、质子交换膜法和固态氧化物法。水解罐是目前最为成熟的一种技术，但其生产成本与排放与电源密切相关，要实现整个生产过程中的零排放，利用可再生资源生产的电力电解制氢将是今后最好的生产方法<sup>[3]</sup>。

### 1.3 燃料电池技术国内外技术水平差距

世界上的先进国家都在大力开发燃油车辆，中国也是如此。但是，相对于世界上最先进的技术，我国的燃料电池技术在功率、交换膜稳定性、催化剂用量、双极板电导率和抗弯程度、成本控制等方面都还有很大的距离，我国的核心零件仍然依赖于进口，还没有形成自主的开发能力。

## 2 成本效益的经济分析

### 2.1 氢燃料电池汽车的成本预估

#### 2.1.1 生产成本

目前，各家公司生产的氢气动力车辆的价格在55 000 ~ 65 000美元不等。根据美国“橡树岭”国家实验室的预测，预计到2020年，新能源车的造价将降低24%，新能源车的造价为32 000 ~ 34 000美元。国际能源署的一项研究也表明，到2050年，一辆燃料电池车辆的售价约为33 400美元，而国际能源署则表示，到2050年，其售价约为33 600美元。

#### 2.1.2 加氢站成本

建设运营成本。Sun Panpan; Qiao Zelong; Wang Shitao; Li Danyang; Liu Xuerui 等人认为，在氢气发电站上没有必要进行大规模的投资，只需在24万 ~ 25万欧元之间进行初步的建设即可。XU Yang 等人对近

期（2015到2025年）中国深圳引进燃料电池车辆和加氢站点的费用进行了估算，得出了在深圳建设10座加氢站点所需要的资金总额是1 970万美元的结果。

氢气成本。美国能源部门的一份报告显示，到2035年，氢的花费将会达到6美元/kg，而MORRISON Robert C. 等人则预测到2050年，氢的花费将会达到2.5美元/kg。当前，常规燃油车辆每百公里燃油费用为8.5，而燃油电池车辆每百公里燃油费用为4.6，与常规燃油如汽油在燃油费用上已具备竞争性。

### 2.2 氢燃料电池汽车的效益分析

#### 2.2.1 市场销量与份额

首先，有一些有关氢气动力车辆销售的资料：根据美国汽车生产商及交易商联合会的报道，与前4年比较，在2017年度，氢气动力车辆的数目增加280%。Xu Wenxiang; Liu Mengnan; Xu Liyou; Zhang Shuai 等人预计，德国的氢气动力车辆将从2020年的95台增长至2050年的7 500台，而到2050年，全世界的氢气动力车辆将超过4亿台。到2050年，氢的改进与应用将会快速发展，包括在各种行业，如汽车、铁路与航空业；其次是关于市场占有率的文献，据2017年度国际氢能源委员会对未来潜力的调查，到2040年，燃料电池车辆将成为280万辆，而该车辆的市场占有率将占10.1%。Alzahrani Ahmad 等人利用logit模型，对燃料可用性对车辆选择进行了研究，结果表明，充电站的可用性约占了常规加油站可用率的10%，与环保型汽车的市场份额成了正比，为11.3%。在不同的网络化程度下，该公司的市场占有率为17.4%，在不同的网络化程度下，该公司的市场占有率为33%。

#### 2.2.2 政府补贴与措施

英国将于2040年前实现燃油及柴油机动车的全面禁运，而欧洲则计划于2050年前削减80%的碳排放量，中国科技部门也公布了关于发展新能源汽车的“十二五”计划。总体而言，到2050年前后，氢气燃料电池车可以达到商品化，它的市场占有率将逐渐增大，大众对它的认识也会提高，同时，国家的财政补助也将推动氢气燃料电池车的商业化进程，因此，对氢气燃料电池车的投入将会带来很大的收益；在费用方面，现有文献主要是基于用户角度，而非基于厂商角度，对整个生命周期的费用进行了探讨，其中，对于加氢站场的投入是至关重要的一步，而对于其运营过程中的费用问题，则是当前的热门课题。

### 3 能耗、碳排放及环境影响

#### 3.1 能源消耗

根据 Xu Wenxiang;Liu Mengnan;Xu Liyou;Zhang Shuai 等人的研究,在 40% 的电池回收率下,他们可以计算出到 2020 年,在原材料生产、部件组装、物流运输、回收处置这 4 个方面的能耗。但是, Yin Xianzhi;Hou Meiling;Zhu Kai;Ye Ke;Yan Jun 等人利用循环仿真的方式,对电动汽车和燃料汽车在各种路径下的能源使用量进行了分析,得出的结果是:在燃煤方式下,电动汽车所需要的能耗只有 2.58 MJ/km,较燃料电池汽车降低 3%;在天然气方式下,燃料电池汽车的能耗较电动汽车降低了 14%~20%;在使用新能源的方式下,利用太阳能固态氧化物电解池制造的燃料电池汽车的能量效率与电动汽车相同<sup>[4]</sup>。

#### 3.2 碳排放对比

经调查表明:生产氢气效率低下,无法达到氢气驱动车辆的排放减少效应。Ding Qianqian;Zhang Mingyu;Huang Houtao 等人经研究认为,以天然气重整制氢为燃料的燃料电池巴士,其化石能源使用量较柴油巴士高 33%,温室气体排放量较柴油巴士高 16%,而采用可再生能源电解水制氢才能实现主动减排。

总而言之,若采用可再生资源来制造氢,燃料型车辆相对于常规车辆,其全寿命的碳排放可减少 50%,而若采用天然气转化制氢,其碳减排效果并不明显。总之,使用燃油车再加上一条洁净的制氢路线,将会大幅度降低公路交通工具的碳排放。对于燃料电池车辆的环境的研究,能够与经济学的研究成果联系起来,从而为其在商业上的生存能力提供一个切实可行的证据<sup>[5]</sup>。

### 4 研究展望

在技术方面,氢能与燃料电池系统的集成技术主要涉及以下 3 个方面。

(1) 高功率密度质子交换膜燃料电池技术,该技术的特点是低电压、高功率、高比功率、长寿命,通过采用“一膜多电”结构,质子交换膜燃料电池在输出电压(电压范围)、功率密度(单位面积)和比功率上都有很大的提高。然而,在大功率输出时,膜电极容易出现过饱和现象,导致寿命缩短。因此,燃料电池系统需与催化剂载体等其他部件集成以保证高功率密度的实现。

(2) 燃料电池与其他电子设备集成,以实现整车能量流的控制。燃料电池与整车控制器集成技术是当前研究热点之一,目前已有较多研究成果。然而,

由于车辆负载的不确定性,整车控制器往往无法准确预测各个能源系统的输入输出特性,导致控制效果不佳。因此,为提高燃料电池系统的能量利用率,需要将燃料电池系统与其他电子设备集成,以实现整车能量流的控制<sup>[6]</sup>。

(3) 氢燃料电池系统与电力电子元件集成技术。传统车用电池通常采用锂离子电池、镍氢电池等作为储能元件。然而,锂离子电池价格昂贵,且不具备高功率密度,无法满足燃料电池系统对能量密度的要求;镍氢电池性能也不稳定,存在较多问题。因此,为了满足燃料电池系统的功率需求并降低成本,必须将电力电子元件集成到燃料电池系统中。

未来研究的难点包括寻找新型可替代催化剂、降低催化剂用量、开发高效技术路线、大力开发可再生能源水电解制氢、液态储氢和用新型材料储氢,为氢燃料电池汽车排除技术障碍。

### 5 结语

总而言之,氢燃料电池汽车的技术和经济优势已被全球所公认,但目前仍然存在成本高昂、安全性有待提升、产业链尚未成熟等问题。因此,要从氢燃料电池汽车技术与成本等方面入手,进一步提升氢能与燃料电池系统的集成技术,强化氢气在使用过程中的安全性,建立氢能回收利用体系,有效推动氢燃料电池汽车产业的发展。最后笔者建议结合氢燃料电池汽车实际应用场景,对氢燃料电池汽车的经济与环境影响进行深入研究。例如:开展不同车型、不同地区的氢燃料电池汽车经济性评价工作,以及建立合理的经济模型来预测不同场景下的氢燃料电池汽车经济性与碳排放情况。

#### 参考文献

- [1] 何田田,张天.氢燃料电池汽车的氢泄漏检测概述[J].军民两用技术与产品,2023(3):46-49.
- [2] 何家海.氢燃料电池汽车的现状及未来发展趋势[J].时代汽车,2023(5):4-6.
- [3] 吴东来.基于氢燃料电池汽车产业链发展分析[J].汽车与驾驶维修(维修版),2018(9):112-113.
- [4] 殷卓成,王贺,段文益,等.氢燃料电池汽车关键技术研究现状与前景分析[J].现代化工,2022,42(10):18-23.
- [5] 付佩,周紫佳,兰利波,等.氢燃料电池汽车发动机关键技术研究现状及趋势展望[J].汽车工程学报,2022,12(4):388-398.
- [6] 黄亚娟.中国氢燃料电池汽车技术发展现状及前景[J].时代汽车,2020(9):79-80.