

氢能源汽车的关键技术分析及其对策探讨

王 丽, 刘 斌

(华南理工大学广州学院, 广州 510800)

摘 要: 相比内燃机汽车, 氢燃料电池汽车效率更高, 且能实现零排放; 和纯电动车相比, 它补充能源的时间更短, 续航里程更长, 是未来汽车发展的方向之一。本文运用调查得到的数据和结合最新的科技信息, 分析了有关氢能源汽车的多项关键技术, 包括氢气的制备和储存技术、燃料电池技术及电源管理技术、氢能源汽车的整车控制技术、加氢站等配套设施技术。并结合我国的实际情况, 从技术、政策、产业模式等多方面提出突破氢能源汽车发展瓶颈的方法。通过分析关键技术和提出突破方法, 可以更清楚地了解氢能源汽车, 对培育氢能源汽车的早期市场有理论意义和现实意义。

关键词: 氢能源汽车; 燃料电池; 控制技术

中图分类号: U469

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2017)05-0439-07

引言

汽车排放造成的环境污染和石油资源枯竭正日益加剧, 寻找清洁的替代能源, 是每一个国家必须面临的问题。氢气来源广泛, 可以通过太阳能、风能、核能等分解水获得; 如果将其作为车载燃料, 反应后只生成水, 既能缓解环境污染, 又能消除石油危机。氢燃料电池汽车正好满足了这些要求。燃料电池由于完全不进行燃料的燃烧过程, 而是通过电化学反应直接将燃料的化学能转化成电能, 因此它的能量转化效率可高达45%~60%, 约是内燃机的两倍, 而随着技术的进步, 还可以达到更高。另外, 氢燃料电池汽车不排放 SO_x 、 NO_x 等有害气体, 也不产生温室气体 CO_2 , 可谓是真正的零排放汽车。再者氢燃料电池汽车不存在纯电动车充电时间长、续航里程短的弊病, 所以它的诞生和发展对于汽车领域来说具有里程碑意义的。

尽管氢能源汽车有着众多优点, 但它仍有许多问题尚未得到妥善解决, 导致其至今无法占据汽车的主流市场。比如氢气的制备和储存难, 氢燃料电池的寿命低、成本高, 加氢站等基础设施建设滞后……解决好这些问题, 将会为汽车界乃至所有的工业领域打开一个全新的局面, 并且将有效化解能源危机、改善人类的生存环境, 为人类社会的长远可持续发展做出重大贡献。

1 发展氢能源汽车的优势

氢气来源广泛, 可通过电解水、化石燃料转化、生物分解有机物等方法制取, 且氢气与氧气反应只生成水, 生成的水又可以循环利用, 因此, 氢能源的可持续发展性非常优越, 且氢燃料更经济更节能: 氢燃料电池汽车每公里的燃料运行成本大约为汽油车的 60%, 未来还能降至更低。各国都很支持氢燃料电池汽车的发展, 相关的补贴条件非常优渥。

氢能源汽车主要分为两种：一种是氢内燃机汽车，即氢气直接在发动机的气缸里燃烧，化学能转化为机械能以驱动汽车行驶，和传统内燃机原理相似；另一种是氢燃料电池汽车，氢气供入燃料电池与氧气反应产生电能，电能再供给电动机以驱动汽车行驶，属于典型的电动汽车。目前氢能源汽车的主流发展方向是氢燃料电池汽车。氢燃料电池汽车具备以下特点：

1) 燃料电池没有像内燃机一样的运动部件或摩擦副，能量转换在静态下完成，工作时无噪音、无振动，且运行温度低(80 左右)，功率响应快。

2) 燃料电池直接将燃料的化学能转化成电能，不受卡诺循环的限制，能量转换效率高，可达到 60%以上。

3) 相比纯电动车搭载的动力锂电池，氢燃料电池质量轻，补充能量的时间短(加氢只需 3~5 分钟)，续航里程长(>600km)。

4) 燃料电池可以装配在不同用途和不同型号的车辆上，功率只需通过配置单体电池的片数来选定，而续航里程则由氢燃料罐的大小(储氢容

量)来决定。

2 氢能源汽车的关键技术分析

2.1 氢气的制备、存储技术

电是一种二次能源，需通过消耗一次能源来获得。最合理的是采用风力发电或太阳能发电。此外，风电和太阳能光伏电，业内称为垃圾电，其功率不平稳，发电时间不稳定，会对电网产生巨大冲击，所以这两种电很难并入电网。如果给这些电厂配备电解水制氢设施，这些垃圾电就能被就地消纳。因此氢气的制备选择电解水制氢法。

作者进行了《关于氢能源汽车的技术认知及发展前景调查》(以下全部简称为《调查》)的调查报告，报告中对于“你认为最经济环保且最适合大规模生产的制氢方法是什么？”(如图 1)，有 62.73%的人认为是“太阳能电解水制氢或太阳能光解水制氢”，占比最高；其次是“风力发电，电解水制氢”，占比 50.91%，该两项数据也可以充分说明人们对风电制氢和太阳能发电制氢的期望和科学的制氢方式是相吻合的。

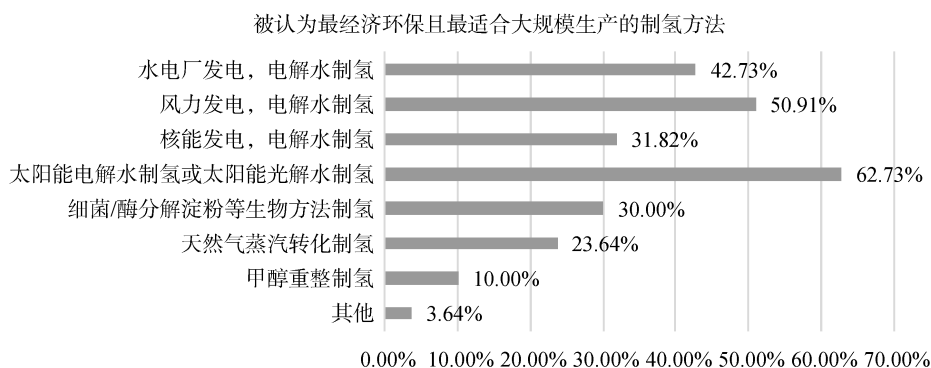


图 1 民众认为最经济环保且最适合大规模生产的制氢方法

氢气是地球上密度最低的气体，而且它的扩散能力很强，化学性质十分活泼，这些特点决定了氢气较难以常规的形式储存。目前氢气的储存方式主要有三种：高压气态储存、低温液态储存、固态吸氢材料储存。

高压气态储氢是将氢气以很高的压力充进储

氢瓶，压力通常为 35Mpa 或者 70Mpa。高压储氢的优点是操作简便、储氢成本低、充放氢速度快且易于控制，缺点是单位体积能量密度低。

低温液态储氢是将氢气冷却至-253 以下，让氢从气态转变成液态，再充入特制的绝热容器中。液态氢的密度是标准状态下气态氢的 788 倍，

因此液氢的单位体积能量密度要比压缩气氢高出好几倍, 这意味着可以给汽车提供更长的续航里程。低温储氢对容器的隔热性能要求很高, 并且液化氢气要消耗较多能量, 约占总氢能的 1/3, 这就大大降低了车载氢能源的整体利用效能。

固态吸氢材料储氢是利用某些金属络合物来吸附氢气的。研究发现, 把镁、钛、锆、铌、镧等金属及它们的合金制成络合物, 再将它们置于高压 (<5MPa) 的氢气环境中, 这些金属就会像海绵吸水一样把氢气储存起来, 只需通过加热或减压的方式就能让它们把氢气释放出来。金属氢化物单位体积的储氢密度是相同温度、压力条件下气态氢的 1000 倍^[1], 储氢能力优于气态储氢和液态储氢。在《调查》中 (见图 2), 约有 42% 的人认为“金属氢化物储存”是最有发展前景的车载储氢方式 (占比最大), 可见该储氢方式的确是最符合汽车的使用要求的。

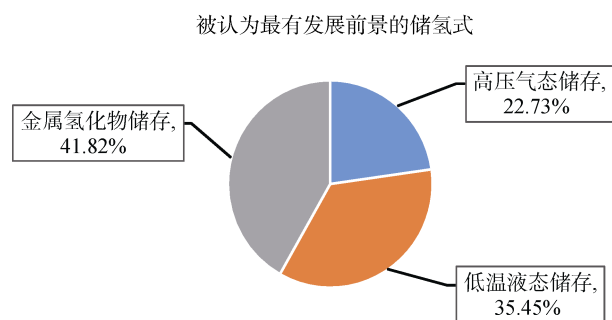


图 2 民众看好的储氢方式

除了以上三种储氢方式, 其实还有一种最新的有机液态储氢。中国地质大学的程寒松教授和他带领的团队, 将特定的不饱和芳香烃作为载体, 通过催化的方式把氢化合进载体里, 实现了在常温常压下就能将氢气存储起来。2016 年 9 月, 首台使用该技术的氢能客车“泰歌号”在武汉扬子江汽车集团有限公司成功下线, 标志着我国卓有成效地推进了氢能源在汽车领域的产业化应用进程。

2.2 氢燃料电池技术

质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 易于实现小

型化, 并且能量转换效率高、低温启动性能好、可输出电流大、工作噪音小, 因此最适合汽车搭载。PEMFC 的核心部件是膜电极组件 (MEA), 其包括质子交换膜、催化层、气体扩散层 (GDL) 等片层结构。GDL 通常为经过聚四氟乙烯憎水处理的石墨炭纸, 其上需附着一层活性炭以使表面平整, 再附着上铂催化剂。这几层材料经过热压成型后便形成 MEA, MEA 的两侧需装上密封圈, 然后将其置于双极板之间, 由此构成单体电池, 若干块单体电池便组合成燃料电池电堆。双极板通常用石墨制作, 需用数控铣床或者精雕机在其上加工阴、阳极气体流场, 复杂的机加工使得双极板成本较高^[2]。

PEMFC 的工作原理为: H_2 和 O_2 通过双极板上的气道分别到达电池的阳极和阴极, 通过 MEA 上的扩散层到达催化层。在膜的阳极侧, H_2 在阳极催化剂表面上解离为水合质子和电子, 水合质子通过质子交换膜上的磺酸基传递到达阴极, 而电子则通过外电路流经负载到达阴极; 在阴极的催化剂表面, 氧分子结合从阳极传递过来的水合质子和电子, 生成水分子。在此过程中, 质子要携带水分子从阳极传递到阴极, 阴极也会因电化学反应而生成水, 这些水都从阴极排出。PEMFC 的工作原理如图 3 所示。

保持燃料电池水热平衡是电源管理技术中的难点。质子的传导需依靠水, 因此必须让质子交换膜保持湿润, 缺水过多会使膜的电导率下降, 导致电池的输出功率不稳。水过多积聚会使氧气输送受阻, 导致燃料电池的不均匀发电。另外, PEMFC 的冷启动问题不容忽视, 否则会大幅折损电池寿命。因此, 必须采用一定手段来防止 PEMFC 内部结冰, 常用的方法有: (1) 用氮气吹扫残余水分; (2) 让电池保温至水的冰点以上; (3) 利用气体或冷却液流经管道对电池内部进行加热等。

2.3 氢能源汽车的整车控制技术

氢燃料电池汽车需安装整车控制器 (Vehicle

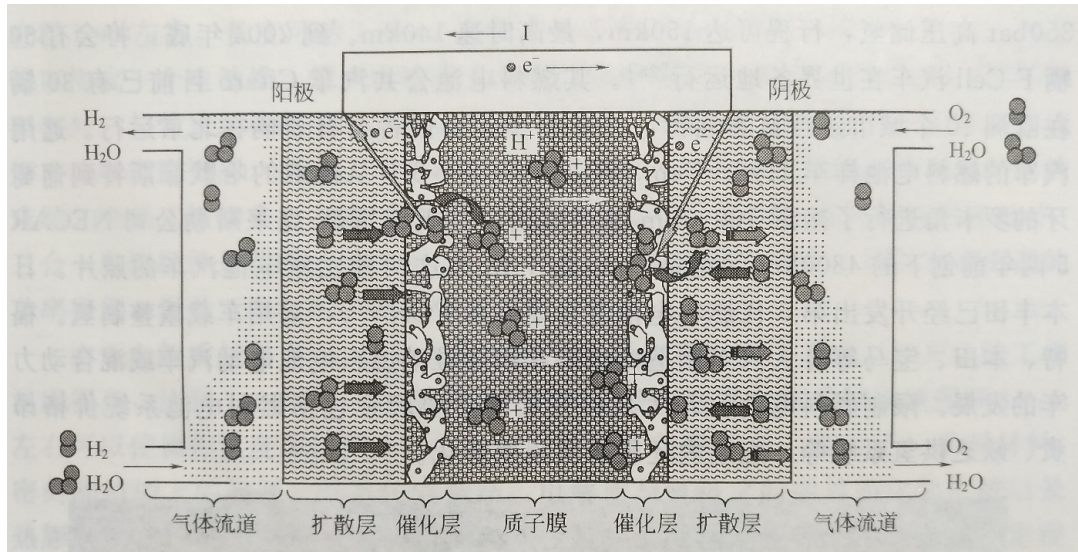


图3 PEMFC的工作原理

Control Unit, VCU), 以协调车辆各个分系统的正常工作。VCU是氢燃料电池汽车的核心控制部件, 相当于整车的智能管家, 其控制原理为: 采集车辆各个控制器信号, 对信号作出分析和判断, 接着通过 CAN 总线把这些指令发送给相应的电器模块, 最后各个控制器根据接到的指令执行相应的动作。

2.4 加氢站的配套设施技术

要想实现氢能源汽车的产业化发展或者大规模应用, 完善加氢站等配套设施建设是必要举措。加氢站的氢气来源有两种: 站外购入和站内自制。前一种结构配置相对简单, 建造成本较低, 建造周期也较短, 适建地区广泛。后一种目前普遍采用天然气或甲醇重整制氢, 占地面积大, 技术较复杂, 短期内能满足较大的加氢需求, 但长期来看不利于环保; 也可采用电解水站内制氢, 此类加氢站更适合与风电站或者太阳能电站形成配套来生产氢气。

站外购入获取氢气的方式需要借助交通工具将氢气从制氢厂运输到加氢站。若采用气态氢拖车运输, 为了运输过程中的安全, 管状容器的储氢压力不得高于 20Mpa, 所以还需经过站内的氢气压缩机增压至 35Mpa 以上才能达到加注标准。

若采用液氢罐车运输, 输送至加氢站储罐内的液态氢还需经蒸发器汽化, 再经压缩机增压后才能为氢能源汽车加注。

3 发展氢能源汽车的对策

3.1 加强自主创新, 重点攻克氢燃料电池技术

氢燃料电池技术是氢能源汽车技术的核心, 解决燃料电池的制造成本高、耐久性差的问题刻不容缓。以我国为例, 可以从以下着手:

技术上, 加大资金和科研的投入, 技术进步是降低氢燃料电池产业化成本的首要手段。攻克的目标主要指向膜电极组件和双极板:

1) 现有的高分子质子交换膜生产工艺复杂, 急需做出改进和优化, 比如将一些机械强度高、化学稳定性和热稳定性好的聚合物进行改性, 赋予其传导质子的能力, 便能代替现今价格高昂的全氟磺酸膜。

2) 降低催化剂中 Pt 的含量, 提高它的利用率。

3) 将金属和石墨复合制成的复合双极板有优良的性能, 且加工工艺相对简单, 材料成本也较低, 可以重点发展用以替代脆性大的石墨双极板。

政策上, 应该以更积极的支持态度和出台更具体的发展方案:

1) 引导相关企业进行产学研联合攻关, 设立专项资金鼓励研发燃料电池系统和膜电极等关键组件, 让这些技术尽快实现国产化。

2) 鼓励和支持车企踊跃申报关于燃料电池的国家级研发项目, 对其中拥有自主知识产权的技术创新成果尽快投入实际应用^[3]。

3) 对于购买燃料电池汽车的扶持政策, 可以进一步将渠道扩宽, 比如采用操作性好的购车补贴的政策等。

产业模式上, 应该做好中长期的产业布局, 目前可以让燃料电池商用车做好示范运行, 再逐渐把燃料电池技术推广和应用至乘用车上。成本的降低不仅依靠技术的进步, 还有赖于规模化生产。目前, 中国生产的燃料电池组成本需要 10000 美元/kW, 日本生产的燃料电池组成本也需 2000 美元/kW, 美国能源局经过测算认为只有当燃料电池的成本降至 50 美元/kW 时, 才能与内燃机汽车形成竞争。通过《调查》还发现, 以中国目前的消费水平, 有 61.82% 的人能接受的氢燃料电池汽车的价格都在 10~20 万这个区间 (如图 4), 参照丰田 Mirai 现在 30 万元左右的售价, 显然 FCV 的价格还不能引起人们的购买欲望 (从图 5 有 57.27% 的人持观望态度也可以看出), 反映出来的问题便是氢燃料电池的成本还有极大的下降空间。

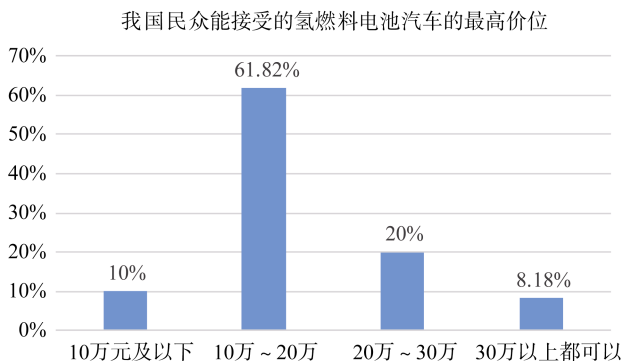


图 4 我国民众能接受的氢燃料电池汽车的最高价位

3.2 落实加氢站的建设, 优化能源补给网络

在氢能源汽车产业链上, 加氢站是上游制氢运氢与下游燃料电池汽车应用的重要枢纽^[4]。完

各方面条件合适的情况下, 是否会购买丰田 Mirai FCV?

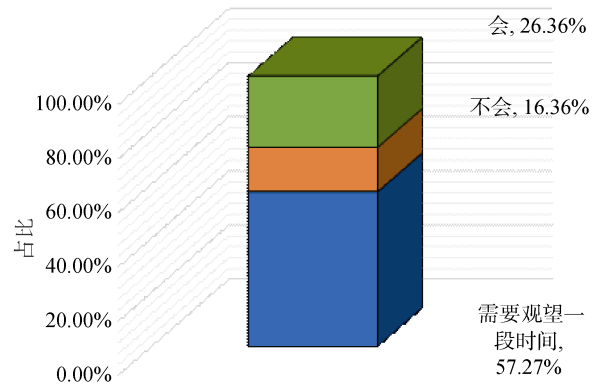


图 5 民众对丰田 Mirai FCV 的购买意愿

善加氢站的建设, 有利于加快氢能源汽车的普及和技术研发进程。

加氢站的建设, 必须由点及线、由线到面地进行布局。氢能源汽车通常优先发展商用客车, 主要原因为: 公共交通的能源利用效率高, 人均的能源消耗量低, 示范效果的受众面比乘用车广; 公共交通的运行线路固定, 且车辆集中, 建设配套的加氢站难度较小。因此, 加氢站早期的布置可以选取公交线路的起点和终点进行建造, 然后在公交线路的沿途增设适当的数量, 这是由点及线的过程。氢能源商用车促进加氢站网络线的形成, 氢能源乘用车加氢也会变得便捷起来。氢能源乘用车的能源补给服务得到完善, 又会促进加氢站由线扩展到面, 进而逐渐形成完整的区域化加氢网络。

加氢站的结构与加油站却相差不大, 可以通过适当的手段将加油站改造成加氢站, 比如现在有不少加油站都是废弃的, 可以将它们很好地利用起来; 或将加氢站合并建在加油站的旁边, 两种方法都可以节省一部分的用地成本。加氢站在设计建造时要预留充足的安全距离, 必要时可增设防爆墙; 在正式运营前要布控消防安全预警, 提前备好应对风险的方案。

3.3 多管齐下, 促进氢能源汽车逐步形成产业化

发展和推广氢能源汽车是个复杂而系统的工

程, 单一发展某一项技术不可能实现成功, 需要统筹兼顾整一条产业链。布局好整条产业链的上中下游(如图6), 调动国内大型能源企业和装备制造企业参与, 共建基础设施, 多管齐下, 才能为加速氢能源汽车产业的发展提供保障。

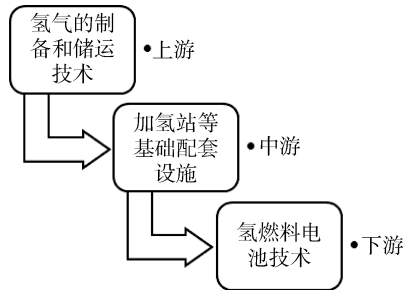


图6 氢能源汽车产业链布局

汽车产业牵涉到科技、文化、经济等多个社会领域, 代表着国家的发展意志, 因此政府的政策支持与引导就显得尤为重要。《调查》中显示, 对于普及氢能源汽车应从哪些方面着手?(如图7)超过半数的民众都支持以下几个方面: 政府部门加大扶持力度, 明确中长期的规划; 企业、高校和研究部门加强研发, 提高技术性能, 同时降低生产成本; 多引导车企进行试点运行, 联合多方做好宣传; 大力推动制氢、储氢、加氢站等配套设施的建设。由此可见, 普及氢能源汽车, 人们认为对政策、科技和基础设施的投入最为重要。

普及氢能源汽车应从哪些方面着手?

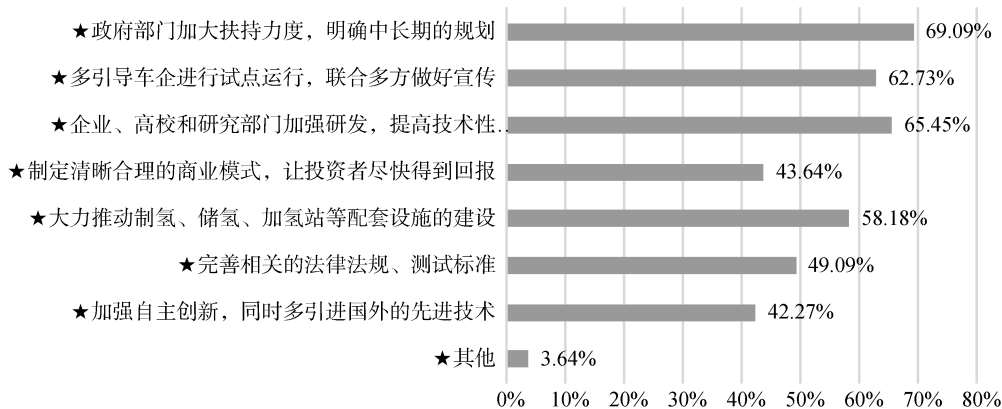


图7 普及氢能源汽车的措施

我国有世界上最庞大的汽车消费市场、对能源结构的转型需求迫切、对氢燃料电池汽车的扶持政策十分优越, 且产业链也在加紧布局, 这些条件都为氢能源汽车在中国的发展提供了最佳契机。在《调查》中发现, 有74.55%的人认为通过发展氢能源汽车能让中国的汽车企业实现“弯道超车”(如图8), 也就是将近有3/4的人对氢能源汽车的发展持乐观态度。希望中国能尽快实现氢能汽车的产业化, 相信中国也一定能通过自己的努力从汽车大国转变成汽车强国。

4 结语

本文对氢能源汽车所需的关键技术做了详细

氢能源汽车能否让中国汽车工业实现“弯道超车”?

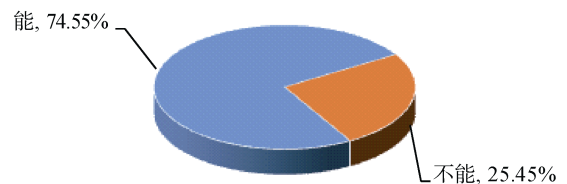


图8 民众对发展氢能源汽车的看法

分析, 并对目前氢能源汽车的发展瓶颈提出了突破方法。

1) 风电和太阳能光伏电由于不稳定而不能并入电网, 将这部分电用于分解水制氢气不仅能减少浪费, 甚至可以实现氢能源汽车真正实现零排

放。储氢方式长期来看宜发展固态储氢或者有机液态储氢,我国的有机液态储氢技术已经初步得到应用,需继续保持技术领先优势并投入产业化。

2)目前氢燃料电池存在成本偏高和耐久性偏差两大短板,为此质子交换膜、Pt 催化剂、双极板研发新材料和优化加工工艺,是使氢燃料电池降低成本和提高耐久性的有效路径。降低燃料电池成本的方法除了使技术进步还有赖于规模化生产。

3)国内布局氢能源汽车产业可优先发展氢燃料电池客车或公交车,或现有加油站加装储氢装置,加氢站的完善可以支撑更多燃料电池乘用车的发展。

4)我国大部分民众对氢能源汽车的关注偏

少,但关注的人群中对氢能源汽车的发展持乐观态度。影响大众选择氢能源汽车的主要原因有技术不成熟、安全顾虑和加氢站等基础设施不完善。和纯电动车相比,氢燃料电池汽车拥有更长续航里程这个优点最被民众看好,民众普遍期望氢能源汽车售价降低到与电动汽车持平,将具有一定的竞争能力。

参考文献

- [1] 刘 宇. 车载氢能源技术的分析与展望[J]. 能源与环境, 2010, (1): 25-26.
- [2] 毛宗强. 燃料电池[M]. 化学工业出版社, 2005: 21-27.
- [3] 李 丹, 王兴艳. 燃料电池产业化道路探析[N]. 新材料产业, 2014-11-24.
- [4] 王 周. 我国加氢站建设的发展前景探讨[J]. 城市燃气, 2015, (488): 28-32.

Key Technology Analysis and Countermeasure Discussion of Hydrogen-powered Vehicles

Wang Li, Liu Bin

(Guangzhou college of south China university of technology, Guangzhou 510800, China)

Abstract: Compared with the internal combustion engine vehicle, the hydrogen fuel cell vehicle is more efficient and can achieve zero emission; and compared with the pure electric vehicle, it takes a shorter time to charge, and gets a longer recharge mileage. So hydrogen fuel cell vehicles is remarkable, and is the future direction of the development of the car. Based on the data obtained from the survey and the latest scientific and technological information, this paper analyzes a number of critical technologies related to hydrogen-powered vehicles, including the technology of hydrogen preparation, storage, the technology of fuel cell and power management, vehicle control technology of hydrogen-powered vehicle, the technology of hydrogen refueling station facilities. And then combined with China's actual situation, the approach of breakthrough bottlenecks are concluded from the technology, policy, industrial model and other aspects. Through analyzing the critical technologies and suggesting the breakthrough methods, people can more clearly understand the hydrogen-powered vehicles, and it also has profound theoretical significance and practical significance for cultivating the preliminary market of hydrogen-powered vehicles.

Keywords: hydrogen-powered vehicle; fuel cell; control technology