

# 氢燃料电池混合动力车制氢和 充电技术的现状与展望

徐达成<sup>\*,1,2,3</sup> 高怡晨<sup>1,2,3</sup> 谢 欢<sup>1,2,3</sup>

- (1. 上海机动车检测认证技术研究中心有限公司, 上海 201805;  
2. 国家机动车产品质量监督检验中心(上海), 上海 201805;  
3. 国家新能源机动车产品质量监督检验中心, 上海 201805)

**摘 要:**随着全球对新能源车辆的重视,氢燃料电池混合动力车已成为当前新能源车辆主要的发展趋势之一。其主要补给方式分为氢气和充电两种形式。本文首先分析当前各国对于氢燃料电池车的发展规划和氢燃料电池混合动力车的优势,总结了国内外在该领域的差距;并详细解释了水电解制氢、重整制氢和工业副产气制氢等制氢技术以及无线充电、换电技术和大功率充电等充电技术,分析了当前我国在该方向的标准发展情况;提出对我国而言,大力发展水电解制氢和动态无线充电产业,同时在政府的支持下,加快对换电技术的公共产业实施、加速对氢电合建站的建设以及加强与国外相关机构的合作,力争走在世界前沿是未来主要发展方向的建议,相关结论可为企业和用户提供参考。

**关键词:**氢燃料电池混合动力车;制氢技术;充电技术

**DOI:**10.16507/j.issn.1006-6055.2020.04.017

## Present Situation and Prospect of Hydrogen Fuel Cell Hybrid Vehicle's Hydrogen Production Technology and Charging Technology

XU Dacheng<sup>\*,1,2,3</sup> GAO Yichen<sup>1,2,3</sup> XIE Huan<sup>1,2,3</sup>

- (1. Shanghai Motor Vehicle Inspection Certification & Tech Innovation Center Co., Ltd.,  
Shanghai 201805, China; 2. National Center of Supervision and Inspection on Motor Vehicle  
Products Quality (Shanghai), Shanghai 201805, China; 3. National Center of Supervision and  
Inspection on New Energy Motor Vehicle Products Quality, Shanghai 201805, China)

**Abstract:** With new energy vehicles attracting increasing global attention, hydrogen fuel cell hybrid vehicles have become one of the main development trends of new energy vehicles. Its major recharge modes are divided into two forms: hydrogen and charging. In this paper, the development plan of hydrogen fuel cell vehicle in different countries and the advantages of hydrogen fuel cell hybrid vehicle are analysed, the gap between China and foreign countries in this field is summarized, the hydrogen production technology such as hydro-hydrolysis, reforming hydrogen production and industrial by-product gas hydrogen production as well as the charging technology such as wireless charging, power exchange technology and high-power charging are explained in detail, and the development of standards in China in this field is analyzed. Suggestions for develo-

\* E-mail: xdc0805@163.com

ping hydro-hydrolysis and dynamic wireless charging technologies in China are put forward. The paper also proposes suggestions to promote future development in this field, such as to accelerate the implementation of the public industry of power exchange technology, to accelerate the construction of hydrogen power joint station and to strengthen cooperation with relevant institutions abroad in order to strive to be at the forefront of the world with the support of the government. The relevant conclusions can provide reference for enterprises and users.

**Keywords:** Hydrogen Fuel Cell Hybrid Vehicle; Hydrogen Production Technology; Charging Technology

近年来,随着全球污染问题日益严重,新能源车越来越受重视。当前新能源汽车电池主要分为蓄电池和燃料电池两种形式。后者由于其高效、节能和清洁的特点,已成为未来汽车发展的主要趋势之一<sup>[1]</sup>。最早的燃料电池由著名科学家 W. R. Grove 发明,而第一辆燃料电池车是巴拉德公司在 1993 年推出。近年来,美国、日本、欧盟等多个国家和地区相继制订了多个氢能发展规划<sup>[2]</sup>, 组建氢燃料电池的生态链。韩国政府于 2019 年 1 月发布《氢能经济发展路线图》,希望把韩国打造成世纪最高水平的氢能经济领先国家;欧洲燃料电池和氢能联合组织在 2019 年 2 月发布《欧洲氢能路线图;欧洲能源转型的可持续发展路径》,明确了欧洲氢能发展的路线图;在燃料电池混合动力车处于领先位置的日本,2019 年 3 月,日本政府发布《氢能利用进度表》,明确了到 2030 年日本应用氢能的关键目标<sup>[3]</sup>。日本当前为燃料电池汽车配套建立的加氢站超过 100 座,位居世界第一<sup>[4]</sup>。本田自主研发的燃料电池功率密度提高到了 3 kW/L,只要充氢 3 ~ 5 min,就能续航 585 km<sup>[5]</sup>。

我国的燃料电池处于起步阶段,为了大力发展燃料电池汽车,我国在《节能与新能源汽车技术路线图》中提出“2030 年燃料电池汽车发展规模拟实现百万辆级别”。2019 年,在新能源车退坡政策的大环境下,燃料电池车的补贴并没有减少。然而,储氢系统技术、成本、寿命和可靠性等诸多因素的制约,使得纯燃料电池汽车很难真正

市场化运行<sup>[6]</sup>。当前,燃料电池混合动力车采用蓄电池作为辅助动力源和燃料电池并联,共同为汽车提供能力<sup>[7]</sup>。这使得燃料电池混合动力车既要具有充电技术的提升,又要拥有制氢技术的提升。如何保证充电加氢的安全、方便,成为了氢燃料电池混合动力车研究的一大方向。本文通过研究分析当前制氢技术和充电技术的发展现状,分析了当前所遇到的瓶颈,并提出了未来的发展趋势。

## 1 氢燃料电池混合动力车原理及优势

与传统内燃机汽车相比,氢燃料电池混合动力车不受传统内燃机卡诺循环的热效率限制,被认为是发展前景较为广阔的一种新能源汽车。其主要系统结构如图 1 所示,由燃料电池系统、车载储氢系统、电驱动及能量管理系统组成。

### 1.1 燃料电池系统

燃料电池是一种能力转换装置,根据不同的电解质,可划分为五类<sup>[8]</sup>,其中,质子交换膜燃料电池是现阶段车用燃料电池系统主要使用的核心材料。有别于传统内燃机的燃烧做功,燃料(高压氢气)经过压力调节装置后从燃料电池阳极侧进入,空气(氧气)经过空压机等加压过滤装置后从燃料电池阴极侧进入,在催化剂的作用下发生氧化还原反应,将化学能转化电能。表 1 列出了部分燃料电池系统的相关参数,基于《关于调整完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》的要求,商用车用燃料电池系统额定功率不得

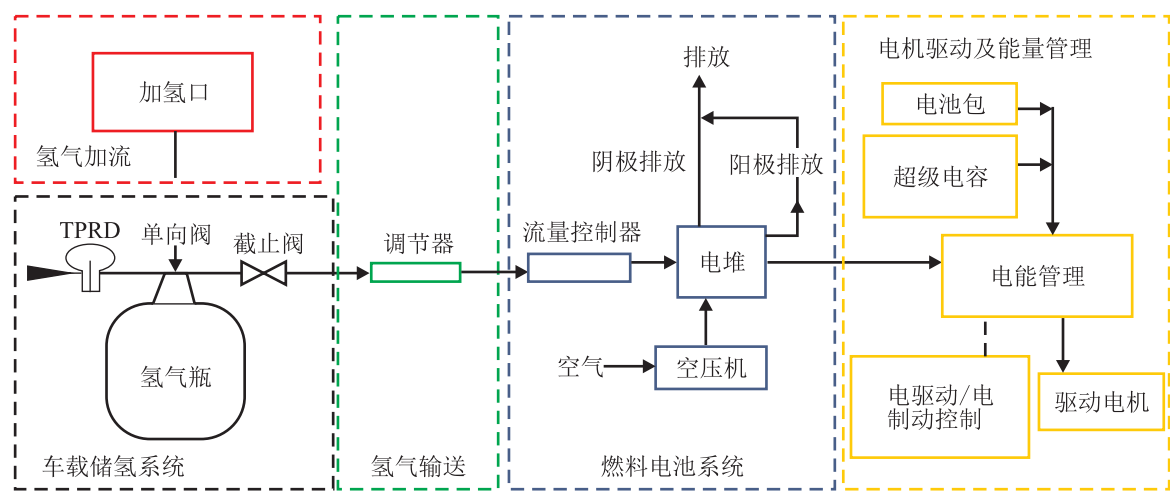


图 1 氢燃料电池混合动力车系统结构图

Fig. 1 Hydrogen Fuel Cell Hybrid Vehicle System Structure

表 1 燃料电池系统参数对比

Tab. 1 Comparison of Fuel Cell System Parameters

额定功率 (kW)	峰值功率 (kW)	质量 (kg)	功率质量比 (kW/kg)	体积 (L)	功率体积比 (kW/L)	加载动态响应(s) (10% PE ~ 90% PE)
30	31.00	204.0	0.147	200	0.150	24.0
45	48.59	149.0	0.302	360	0.125	24.0
46	48.00	153.0	0.300	135	0.341	9.0
61	62.00	182.5	0.334	182	0.335	26.0
65	66.00	162.5	0.400	130	0.500	15.2

小于30 kW。随着主流企业单堆的功率级别提高,未来大功率燃料电池系统将成为商用化主流。

1.2 车载氢系统

车载氢系统按照 GTR No. 13 中的定义,包含了加氢系统、储氢系统、供氢系统及部分燃料电池系统中的氢气子系统。作为燃料的运输及储存机构,车载氢系统负责将燃料(高压氢气)通过加氢口、单向阀等送入储氢系统中,其主要技术指标是储存密度,即单位质量的储氢密度和体积储氢密度。我国现阶段的储氢瓶为金属内胆Ⅲ型瓶,具有良好的相容性、抗腐蚀性能及低密度高比强度,其质量储氢密度为 4.0 wt%,略低于国外采用Ⅳ型的先进水平(表 2)。以 35MPa 储氢瓶为例,容量一般为 140 L,可储存 3 kg 左右氢

气,以等速法进行续驶里程测试可行驶约 300 km。我国自行制造的 35 MPa 金属材料储氢瓶极大程度上打破了国外对于高压储氢技术的封锁,促进了我国燃料电池混合动力汽车的商业化,但受限於金属的高密度质量储氢密度较难提升,我国正抓紧研发Ⅳ型瓶,提升质量储氢密度,实现低成本、小重容、轻量化,促进氢燃料电池混合动力车在乘用车领域的发展。

作为车载氢系统中的核心零部件,供氢系统承担着燃料供给,保障整个系统的运行,其主要由单向阀、截止阀、电磁阀、减压阀等阀体组成。负责将储氢系统中高压气体氢气,通过多级减压降至燃料电池堆内部正常工作的压力范围,根据燃料电池堆的工作策略,进气压力一般需稳定保

表 2 国内外车载储氢瓶参数对比

Tab. 2 Comparison of Parameters of Vehicle Hydrogen Storage Bottles at Home and Abroad					
企业	型号	容积(L)	重量(kg)	压力(MPa)	质量储氢密度(wt%)
中材科技股份有限公司	Ⅲ型	140	78.0	35	4.0
北京科泰克科技有限公司	Ⅲ型	140	75.0	35	4.0
北京天海工业有限公司	Ⅲ型	140	75.0	35	4.0
北京科泰克科技有限公司	Ⅲ型	65	45.0	70	4.0
北京天海工业有限公司	Ⅲ型	54	54.0	70	4.0
丰田汽车有限公司	Ⅳ型	60	42.8	70	5.7
Hexagon Lincoln, Inc	Ⅳ型	64	43.0	70	6.0

持在不低于 0.2 MPa。另一方面,储氢瓶的瓶阀处、减压阀及各个电磁阀上设计了压力、温度及浓度传感器,供氢系统负责监控氢气的温度、压力及氢气浓度来反馈车辆的运行状态及安全,配备了三级报警装置,根据监测到的氢气浓度值,触发整车的安全保护。

1.3 电驱动及能量管理系统组成

氢燃料电池混合动力车区别于传统车最核心的技术是“三电”,包括电池、电驱动、电控。电池及电驱动作为氢燃料电池混合动力车的动力来源及输出,随着技术层面的推荐,技术已趋于成熟。相比传统车的整车控制器(VCU),氢燃料电池混合动力车新增的电机控制器(MCU)、电池管理系统(BMS)、燃料电池管理系统(FCU)等直接影响了新能源汽车的动力性、经济性、安全性及可靠性。

1.4 加注时间

从加注便利性来说,对各种类型的车辆补能时间和续驶里程进行对比(图 2)可知,氢燃料电池混合动力车的氢气加注速度已经与传统燃油车持平,平均 3~5 分钟能完成一次加注,弥补了现阶段车辆二次电池充电时间长的短板。

2 制氢技术和充电技术的研究状况

美国是最早提出发展氢能经济的国家之一,

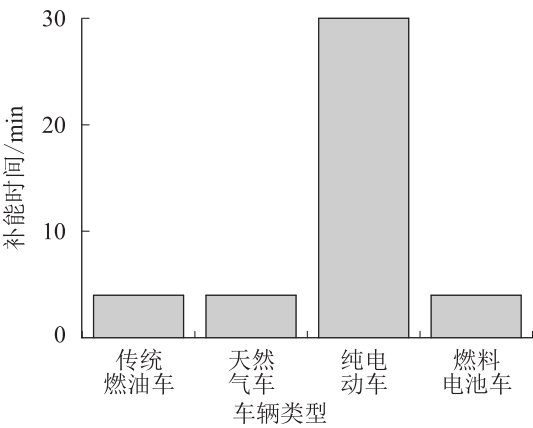


图 2 不同车辆补能时间对比

Fig. 2 Comparison of Power-up Time of Different Vehicles

进入 21 世纪后陆续发布相关政策计划并进行资金支持。俄罗斯、加拿大、日本等国随即也出台相应促进政策。相比之下,我国相关技术研究虽然最早可追溯到 20 世纪 70 年代,但缺乏较为全面的规划及政策支持,直至 2016 年国家发改委和能源局相继发布计划及路线图,明确氢能将在我国未来的能源发展中承担重要角色。从专利检索数据来看,我国制氢技术起步较晚,2002 年之前相关专利申请数量较少,自 2003 年开始,以浙江大学、中国石油化工股份有限公司、中科院为主的大学、油气能源公司、科研机构等迅速拉升国内制氢专利技术的申请量;从对专利主题的分析发现,国内制氢技术主要研究集中在氢和含氢复合气的生产、水解制氢研究、太阳能制氢研究、

制氢合成器的处理等方面。

1873 年英国人 Robet Davidson 最早制造出了一辆电动三轮车。而真正大力推广电动车辆则是进入 20 世纪,相关标准也陆续开始制定。美国充电体系主要通过各州政府推动,个人需求占比大于公共需求;欧洲各车企联合制定了 CCS 充电标准;同时,日本充电行业技术的 CHAdeMO 体系,也已经成为世界主流的充电标准之一。我国于 2015 年成立国家电动汽车充电基础设施促进联盟,开始不断完善统一充电相关的标准及建设。针对充电系统模块,目前美国的高通、Witricity 以及李尔等企业处于领先地位,申请了多项专利,垄断了一些技术。近年来以中兴、华为带头的我国企业也开始加大了这方面的研发力度,并参与了国外标准的制定过程。

2.1 制氢技术

氢燃料电池混合动力车的动力主要来源于车载氢系统,其负责完成氢气的加注、存储、运输及释放等功能。我国针对燃料电池混合动力汽车加氢技术已出台 5 份相关标准(表 3),涉及加氢站、加氢枪、储氢装置以及安全规范等方面。

国家能源局在中华人民共和国能源法(征求意见稿)中首次从法律角度确定氢能属于能源。

表 3 我国燃料电池混合动力汽车相关加氢技术标准

Tab.3 Standard for Hydrogenation of Fuel Cell Hybrid Automobile in China

序号	标准编号	标准名称
1	GB/T 34425-2017	燃料电池电动汽车 加氢枪
2	GB/T 34584-2017	加氢站安全技术规范
3	GB/T 26779-2011	燃料电池电动汽车 加氢口
4	GB/T 34583-2017	加氢站用储氢装置安全技术要求
5	GB/T 26990-2011	燃料电池电动汽车 车载氢系统 技术条件
6	GB/T 29126-2012	燃料电池电动汽车 车载氢系统 试验方法

就能源结构而言,我国仍处于富煤、贫油、少气的时代,资源储备以及经济发展的需求以煤炭为主。中国是全球最大的焦炭生产国,2019 年国内焦炭产量达到 4.712 亿吨,每吨焦炭可产生焦炉煤气约 350~450 m<sup>3</sup>,其中焦炉煤气中氢气含量约占 50%~60%<sup>[9]</sup>,可副产氢气 700 万吨以上,以每辆车 3 kg 的氢气装载量来计算,足以满足现阶段的燃料电池混合动力汽车的运营需求。

从制氢的技术路线来说,工业制氢中副产气制氢、化石燃料制氢、重整制氢、水电解制氢是较为成熟的方案,目前主要的制氢原料 96% 左右来源于传统能源的化学重整和工业副产气,仅有 4% 左右来源于电解水,我国作为煤炭大国,主要的氢气来源以工业副产氢为主。

2.1.1 水电解制氢技术

欧洲绝大部分加氢站主要采用水电解制氢,利用压缩机将水电离产生的氢气以高压气态的形式存储于储气罐中为后续车辆加注,加氢站内水电解制氢从一定角度上减少了氢气运输的成本,制取的氢气纯度高、杂质气体少。未来,电解水制氢将成为有效的供氢主体。

2.1.2 重整制氢技术

天然气重整制氢主要应用于化工行业,主要包括四个流程:原料气的预处理、蒸汽转化、一氧化碳变化、氢气提纯,通过重整纯化产生的氢气系统能耗低、纯度较高。其成本支出主要受制于天然气的买入价格和前期设备投入。由美国引领的岩气革命,使得美国本土的天然气产量激增,促进了天然气重整制氢的发展。相关数据显示,每吨原材料可副产 0.05 t 氢气<sup>[10]</sup>。中国作为天然气进口国,部分地区缺油少气,采用天然气重整制氢很大程度上将提高氢气成本。

2.1.3 工业副产气制氢

工业副产氢气主要分布在钢铁、化工等行

业,主要来源包括焦炉煤气制氢、氯碱副产品制氢、轻烃裂解副产氢等几种方式。焦炉煤气制氢规模较大,但制氢纯度不高且时长较高,容易对环境造成污染,现在大部分已经被氯碱工业副产品的氢气所代替。氯碱工业副产品的氢气因成本低、工艺简单、纯度高等优势成为燃料电池混合动力汽车的主要原料。氯化钠作为原料通过处理提纯后可获得高纯度氢气,将成本控制在每立方氢气约 0.83 ~ 1.33 元人民币<sup>[11]</sup>。

2.2 充电技术

随着新能源汽车和充电设备的普及,如何保障充电安全性和可靠性已成为关注重点。我国在 2015 年针对充电系统发布了 5 份新标准。并在 2017 年针对充电系统的互操作性和通信协议一致性完善了 3 份新标准(表 4)。越来越多的充电技术正在不断涌现。

2.2.1 无线充电技术

无线电能传输技术是指利用电磁场、电磁波在物理空间中的分布和传播特性,采取非导线直接接触的方式,实现电能由电源侧传递至负载侧

的技术<sup>[12]</sup>。当前,常用无线充电技术主要分为电磁感应式充电技术、无线电波式充电技术和磁场共振式充电技术<sup>[13-15]</sup>。而在汽车上,考虑到原边设备和副边设备的距离问题,通常选用可实现较大传输功率和传输距离的磁场共振式充电技术。

当前,我国已确认无线充电的基本频率范围为 79 ~ 90 kHz,标称频率为 85.5 kHz。功率等级主要分为 6 档(表 5)。在国际上,针对无线充电的 IEC ( 61980.1 ) 和 ISO ( 19363 ) 标准预计在 2020—2021 年发布。我国于 2017 年成立了无线充电标准组,预计将制定 8 份无线充电的标准,2020 年 4 月已发布了 4 份,剩余的互操作性标准等预计在 2022 年左右发布。

配合自动泊车系统,无线充电会增加用户舒适验感,但是当前针对无线充电的安全、效率和互操作性的要求仍在不断探索制定中,还没有车企针对无线充电进行量产配置,大部分停留在试验摸索阶段,无线充电的普及还需要一定的时间。

2.2.2 换电技术

换电技术指的是通过直接更换新能源车辆

表 4 我国充电系统技术标准

Tab.4 Standard of Charging System in China

序号	标准编号	标准名称
1	GB/T 18487.1-2015	电动汽车传导充电系统 第 1 部分:通用要求
2	GB/T 20234.1-2015	电动汽车传导充电用连接装置 第 1 部分:通用要求
3	GB/T 20234.2-2015	电动汽车传导充电用连接装置 第 2 部分:交流充电接口
4	GB/T 20234.3-2015	电动汽车传导充电用连接装置 第 3 部分:直流充电接口
5	GB/T 27930-2015	电动汽车非车载传导式充电机与电池管理系统之间的通信协议
6	GB/T 34657.1-2017	电动汽车传导充电互操作性测试规范 第 1 部分:供电设备
7	GB/T 34657.2-2017	电动汽车传导充电互操作性测试规范 第 2 部分:车辆
8	GB/T 34658-2017	电动汽车非车载传导式充电机与电池管理系统之间的通信协议一致性测试

表 5 无线充电输入功率等级<sup>[16]</sup>

Tab.5 Wireless Charging Input Power Level<sup>[16]</sup>

类别	MF-WPT1	MF-WPT2	MF-WPT3	MF-WPT4	MF-WPT5	MF-WPT6	MF-WPT7
功率范围(kW)	P≤3.7	3.7 < P≤7.7	7.7 < P≤11.1	11.1 < P≤22	22 < P≤33	33 < P≤66	P > 66

电池包来达到电池满电的效果,即所谓的“电车分离”。21 世纪开始,国内外相关企业也开始研究换电模式。Better Place<sup>[17]</sup>最早于 2007 年提出了电动汽车的“换电模式”。特斯拉于 2013 年建造了换电站,尝试推进换电模式,不过由于需要额外的费用以及体验性较差,于 2015 年放弃了该模式。北汽于 2014 年将换电模式的对象主要放在出租车行业;蔚来于 2018 年在 ES8 上使用了换电模式,同时提出了电池租赁方案,以降低电池使用成本。

由于电池可采用租赁的形式,故可换电车辆的购置价格可比涵盖电池包的车辆低很多,同时由于采用统一接口的电池包,更换速度也大大提高,远比直接采用充电桩充电来补充电能快捷,且换下来的电池包可在波谷电价时进行慢充,既保证了电池寿命又降低了充电成本。而换电模式的缺点也相当明显,由于需要统一电池包的尺寸,该项技术的推广并不顺利;同时过多的接插件插拔容易造成机械磨损,产生一定的危害。总而言之,借接换电技术的优势在于续驶里程长、更换时间快、成本低;缺点则是没有统一的电池包尺寸及接插件尺寸、换电站投入成本大、机械磨损对电池造成损伤。

当前,我国针对换电模式的政策并不完善,尚未发布鼓励政策,导致了研发进展缓慢。同时,相关的换电标准仍然在制定中,比如《电动汽车换电安全要求》,标准刚刚进入征求意见稿阶段,预计在 2020 年底才会发布。因此,换电模式的普及和发展仍然需要一定的时间。未来,换电模式的使用场景会主要体现在汽车租赁领域。

2.2.3 大功率充电

充电时间长是当前新能源车辆最主要的问题之一,究其原因,还是因为当前的充电功率太

小。我国目前大部分地区采用的直流充电桩最大功率为 250 kW,大多数车辆都需要充电 1 ~ 2 个小时才能充满。大功率充电刻不容缓。

已有多家车企提出推广大功率充电的应用场景。保时捷计划为旗下 Tayan 配置 350 kW 的充电桩,可在 15 分钟内充电 80%;特斯拉预计设计 250 kW 超充桩,已达到 15 分钟充电 50% 的目标。多国也在大功率充电领域进行了规划,欧洲计划在 2020 年建立多个 350 kW 的充电桩;日本计划在 2025 年后推广 350 kW 大功率充电<sup>[18]</sup>。由中电联和中汽研牵头,我国已于 2018 年开始研究制定关于大功率充电的标准,预计在 2022 年将 350 kW 的大功率充电技术投入使用,2025 年进行大规模的普及;同时,为了配合充电桩的功率,单体电池的能量密度需要提升至 300 wh/kg 以上,充电倍率需达到 4 ~ 6 C<sup>[18]</sup>。现阶段,以宁德时代为代表的电池企业正在计划量产 3C 倍率充电的动力电池,通过采用合理充电区间和充电策略保证动力电池使用寿命。

受制于当前电池的技术水平,当前大功率充电的普及比较缓慢。同时,大功率充电过程中车桩兼容、安全防护和降温等问题,仍然有待研究解决。

2.3 氢电合建

截至 2018 年,全球正在运营的加氢站达到 369 座<sup>[19]</sup>,相比国外,我国加氢站建设缓慢、分布不均。我国于 2017 年制定的 GB/T34584-2017《加氢站安全技术规范》标准中,提出要加氢合建站,意为加氢站与汽车加油、加气站和电动汽车充电站等设施两站或多站合建。2019 年 7 月,我国首座油氢电合建站在佛山建立。未来,这种油氢电合建站会成为主流发展趋势。然而,由于油氢电合建站的造价成本高,同时其相关标准仍没

有开始制定,因此,它的普及仍然有很长的路要走。

3 结语与展望

当前,我国燃料电池混合动力汽车还处于起步阶段。为配合制氢技术和充电技术的发展,相关技术研发及国家标准都已开始启动。

从工艺路线来看,制氢技术主要有水电解制氢、重整制氢和工业副产气制氢三种,相比之下,我国煤炭资源较为丰富,工业副产氢作为现阶段主要氢气来源,已经在几大油气企业得到了应用,基本满足现阶段商业运营的需求,但制氢过程会产生大量二氧化碳、运输路线和环境温度受限以及无法长距离运输等缺点将很大程度上影响其后期大规模运营对于高效、清洁、低成本的要求,从技术成熟度的角度来评价,工业副产氢制氢不适宜作为后期的主要制氢趋势;而天然气重整制氢虽然制氢成本低,但前期设备投入大、原材料的稳定供应问题都是当期需要克服的难题,原材料的短缺会导致后端氢气供应的不稳定。而我国天然气主要依托于国外进口,容易受到其他国家的资源壁垒。因此,水电解制氢将是我国在制氢技术方面的主要发展方向,因为我国拥有丰富的可再生能源:西部地区的光能、沿海地区的潮汐能及风能的应用将很大程度上满足电解水制氢的能源消耗。水电解现场制氢的应用也将减少高压氢气在存储及运输方面的费用及局限性,然而如何降低设备制造费用、提高制氢效率也是当前研究的重点。

充电技术的发展方向主要集中在无线充电、换电技术和大功率充电上。其中,动态无线充电可大大提高续航里程,但目前已发布的无线充电国家标准针对的均是静态无线充电。因此,如何

提高动态无线充电的充电效率以及保障充电过程中车辆和乘客的安全是当前研究的重点。换电技术的普及可以大大降低充电时间,但是,对于电池包尺寸的统一以及接插件的机械磨损仍是当前需要克服的难题,其应用场景仍然偏向于商用,这需要政府的大力支持和推广,将这一技术应用于租赁车和物流车等公共领域。大功率充电可以有效减少充电时间,然而受限于电池技术和充电兼容性问题,大功率充电会降低电池的循环寿命,导致需要频繁更换电池,这是当前的技术瓶颈,当前,我国已与日本充电联盟 CHAdeMO 合作,共同研制超级充电的相关标准技术。只有不断地和国外充电技术组织合作,同时攻克电池新技术,才可使我国大功率充电走在世界前沿,从而实现弯道超车的目标。

氢电合建站必然是未来补给站的主要存在方式之一,尽快完善针对其建设及安全的相关标准及措施,提高合建站的使用效率,降低合建站的建设投入费用乃是未来主要的发展方向。

参考文献

[1]周大为,左曙光,刘敬芳,等. 燃料电池车用可变频微穿孔消声器试验研究[J]. 汽车工程,2019,41(1):80-85.  
ZHOU Dawei,ZUO Shuguang,LIU Jinfang, et al. An Experimental Study on Frequency-adjustable Micro-perforated Muffler for Fuel Cell Vehicles [J]. Automotive Engineering ,2019,41(1):80-85.

[2]游双娇,张震,周颖,等. 氢能先发国家的产业政策及启示[J]. 石油科技论坛,2019,38(5):57-66.  
YOU Shuangjiao,ZHANG Zhen,ZHOU Ying, et

- al. Industrial Policies of Advanced Hydrogen Energy Countries and Enlightenment [J]. Oil Forum, 2019, 38(5):57-66.
- [3] 吴善略, 张丽娟. 世界主要国家氢能发展规划综述[J]. 科技中国, 2019(7):91-97.
- WU Shanlue, ZHANG Lijuan. Review of Hydrogen Energy Development Planning in Major Countries in the World [J]. Science China, 2019(7):91-97.
- [4] 王焕霞. 氢能发展与加氢站建设的思考[J]. 石油库与加油站, 2019, 28(6):21-24.
- WANG Huanxia. The Development of Hydrogen Energy And the Construction of Hydrogenation Station [J]. Oil Depot And Gas Station, 2019, 28(6):21-24.
- [5] 陈明帅. 燃料电池电动汽车混合动力系统的仿真研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2018.
- CHEN Mingshuai. Simulation Study on Hybrid System of Fuel Cell Electric Vehicle [D]. Qingdao: University of Qingdao, 2018.
- [6] 马紫峰, 章冬云. 氢电混合燃料电池汽车动力系统技术 [J]. 电源技术, 2008, 32(6):357-360.
- MA Ziyun, ZHANG Dongyun. Automotive Power System Technology for Hydrogen-electric Hybrid Fuel Cell [J]. Power Technology, 2008, 32(6):357-360.
- [7] 倪红军, 吕帅帅, 陈青青, 等. 氢电混合燃料电池汽车动力系统研究进展 [J]. 电源技术, 2015, 39(4):855-856.
- NI Hongjun, LV Shuaishuai, CHEN Qingqing, et al. Research Progress of Power System for Hydrogen-electric Hybrid Fuel Cell Vehicles [J]. Power Technology, 2015, 39(4):855-856.
- [8] 赵佳骏, 王培红. 主流燃料电池技术发展现状与趋势[J]. 上海节能, 2015(4):199-203.
- ZHAO Jiajun, WANG Peihong. Development Current Situation and Trends of Mainstream Fuel Cell Technologies [J]. Shanghai Energy Conservation, 2015(4):199-203.
- [9] 上官方钦, 邴秀萍, 张春霞. 钢铁生产主要节能措施及其 CO<sub>2</sub> 减排潜力分析 [J]. 冶金能源, 2009, 28(1):3-7.
- SHANGGUAN Fangqin, LI Xiuping, ZHANG Chunxia. Main Energy-saving Measures in Steel Production and the Potential Analysis of CO<sub>2</sub> Emission Reduction [J]. Energy for Metallurgical Industry, 2009, 28(1):3-7.
- [10] 张剑光. 氢能产业发展展望——制氢与氢能储运 [J]. 化工设计, 2019, 29(4):3-6.
- ZHANG Jianguang. Development Prospect of Hydrogen Energy Industry-hydrogen Production and Hydrogen Energy Storage and Transportation [J]. Chemical Design, 2019, 29(4):3-6.
- [11] 邓彤. 氢能产业发展的挑战与机遇分析——以山西为例 [J]. 技术经济与管理研究, 2019(10):106-110.
- DENG Tong. Opportunities and Challenges of Developing Hydrogen Energy Industry in Shanxi Province [J]. Journal of Technical Economics & Management, 2019(10):106-110.
- [12] 张献, 王朝晖, 魏斌, 等. 电动汽车无线充电系统中电屏蔽对空间磁场的影响分析 [J]. 电工技术学报, 2019, 34(8):1580-1588.
- ZHANG Xian, WANG Zhaohui, WEI Bin, et al. Analysis of the Influence of Electric Shield on Space Magnetic Field in Electric Vehicle Wireless Charging System [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(8):1580-

1588.

[ 13 ] GARCÍA V ,CARLOS A ,LLORENS I ,et al. Comparative Study of Dynamic Wireless Charging of Electric Vehicles in Motorway ,Highway and Urban Stretches[ J] . Energy ,2017 ,137( 6 ) :78-83.

[ 14 ] ZENG H ,LIU Z ,HOU Y ,et al. Optimization of Magnetic Core Structure for Wireless Charging Coupler[ J] . IEEE Transactions on Magnetics , 2017 ,53( 6 ) :1-4

[ 15 ] 麦瑞坤 ,陈阳 ,张友源 ,等. 基于变次级补偿参数的感应式无线充电系统研究[ J] . 中国电机工程学报 ,2017 ,37( 11 ) :3263-3269.

MAI Ruikun ,CHEN Yang ,ZHANG Youyuan ,et al. Study on Secondary Compensation Capacitor Alteration Based IPT Charging System [ J] . Proceedings of the CSEE , 2017 , 37 ( 11 ) : 3263-3269.

[ 16 ] 中国电力企业联合会. 电动汽车无线充电系统第 1 部分: 通用要求: GB/T 38775. 1—2020 [ S] . 北京: 中国标准出版社 ,2020.

China Electric Power Enterprise Federation. Electric Vehicle Wireless Power Transfer System Part 1: General Requirements [ S] . Beijing ,: China Standards Press ,2020.

[ 17 ] 贾莉洁 ,衣丽君. 后补贴时代新能源汽车换电模式发展趋势 [ J] . 汽车实用技术 ,2020 ,1:9-12.

JIA Lijie , YI Lijun. The Development Trend of New Energy Vehicle Power Exchange Model in the Post-subsidy Era [ J] . Automotive Practical Technology ,2020 ,1:9-12.

[ 18 ] 吴鹏飞 ,刘宏骏 ,郝烨. 电动汽车大功率充电发展现状及趋势研究 [ J] . 汽车实用技术 ,2020 ,1:26-29.

WU Pengfei ,LIU Hongjun ,HAO Ye. Research on Development Status and Trend of Electric Vehicle High Power Charging [ J] . Automotive Practical Technology ,2020 ,1:26-29.

[ 19 ] 周琼芳 ,张全斌. 我国氢燃料电池汽车加氢站建设现状与前景展望[ J] . 中外能源 ,2019 ,24: 28-33.

ZHOU Qiongfang ,ZHANG Quanbin. Present Situation and Prospect of Hydrogen Fuel Cell Vehicle Hydrogenation Station in China [ J] . Chinese and Foreign Energy ,2019 ,24:28-33.

作者贡献说明

徐达成:收集、整理资料,设计文章框架,撰写摘要、引言、第 2.2 节、第 2.3 节、第 3 节;

高怡晨:收集、整理资料,撰写第 1 节、第 2.1 节;

谢 欢:收集、整理资料。

第 492 页

www. globesci. com