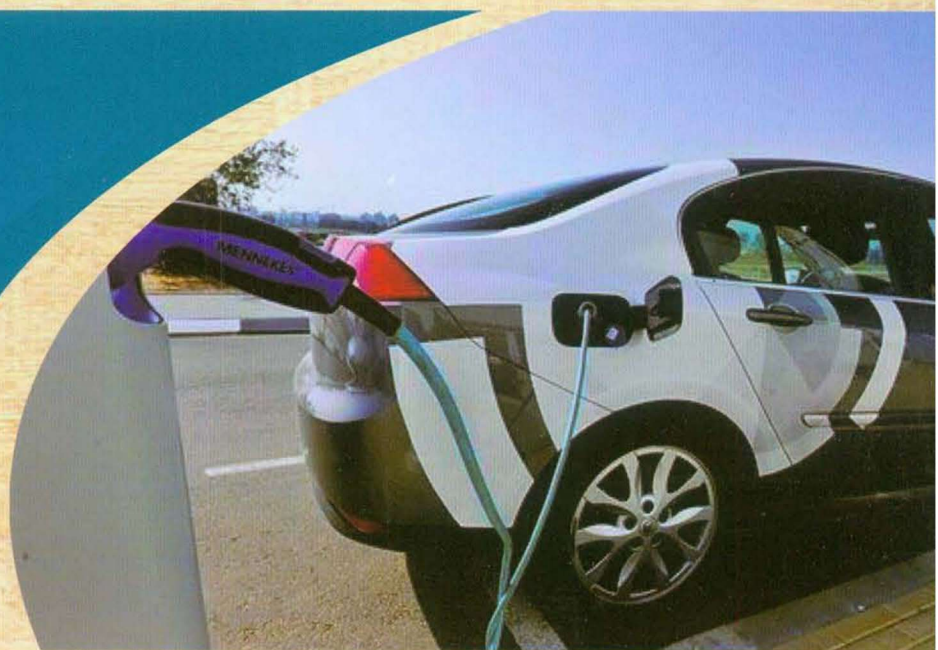
 新能源汽车技术专业规划教材



电动汽车充电站的运行与管理

DIANDONG QICHE CHONGDIANZHAN DE YUNXING YU GUANLI



主 编/严朝勇 副主编/张胜宾 张永栋

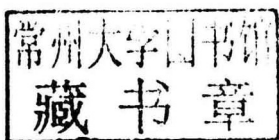


重庆大学出版社

电动汽车充电站的运行与管理

主 编 严朝勇

副主编 张胜宾 张永栋



常州大学出版社

内 容 提 要

本书全面系统地论述了电动汽车充电站的运行与维护技术,共分10个学习项目。项目1阐述了电动汽车运行技术的总体认知;项目2介绍了电动汽车充电机技术基础;项目3论述了电动汽车的动力电池及其电池管理系统;项目4介绍了电动汽车充换电站的构成与功能;项目5论述了电动汽车充电站的交流配电系统;项目6介绍了电动汽车充电站的直流系统;项目7介绍了电动汽车充电机的功能及应用;项目8介绍了电动汽车充电站的监控系统;项目9介绍了电动汽车的充电产业;项目10论述了电动汽车充电站的安全运行管理。

本书可作为高等职业教育新能源汽车技术专业的专业教材,也可作为汽车相关专业的选修教材。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车充电站的运行与管理 / 严朝勇主编. -- 重庆 : 重庆大学出版社, 2017.8
ISBN 978-7-5689-0728-6

I. ①电… II. ①严… III. ①电动汽车—充电—电站—管理—高等教育—教材 IV. ①U469.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第199251号

电动汽车充电站的运行与管理

主 编 严朝勇

副主编 张胜宾 张永栋

策划编辑:周 立

责任编辑:文 鹏 邓桂华 版式设计:周 立

责任校对:邹 忌 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:10.5 字数:262千

2017年11月第1版 2017年11月第1次印刷

印数:1—2 000

ISBN 978-7-5689-0728-6 定价:30.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

现代社会能源危机和生态环境的日益恶化,使人们认识到必须利用可再生的绿色能源代替传统的一次性能源。目前,国内新能源汽车的配套设施较为滞后,总量结构仍不能满足城市的需要,充电站、换电站是保证新能源汽车的运营基础,但目前安装落实新能源车辆充电、换电设施仍有困难,且各地段难度分布不均衡,这样就难以满足运营需要,给公交线路、运营组织安排带来了较大的障碍。

我国非常重视发展包括电动汽车在内的新能源汽车,已经在多个城市开展了电动汽车产业化示范运营工作,建立健全了较完善的充电服务市场和可持续发展的“互联网+充电基础设施”产业生态体系,培育了一批具有国际竞争力的充电服务企业。

本书详细地讨论了电动汽车充电站运行与维护技术,对电动汽车充电机技术基础、电动汽车的动力电池及其电池管理系统、电动汽车充换电站的构成与功能、电动汽车充电站的交流配电系统、电动汽车充电站的直流系统、电动汽车充电机的功能及应用、电动汽车充电站的监控系统、电动汽车的充电产业、电动汽车充电站的安全运行管理等方面作了深入分析,并着重介绍了电动汽车充电站运行与维护技术的特点和性能优势。

本书全面系统地论述了电动汽车充电站的运行与维护技术,共分10个学习项目。项目1阐述了电动汽车运行技术的总体认知;项目2介绍了电动汽车充电机技术基础;项目3论述了电动汽车的动力电池及其电池管理系统;项目4介绍了电动汽车充换电站的构成与功能;项目5论述了电动汽车充电站的交流配电系统;项目6介绍了电动汽车充电站的直流系统;项目7介绍了电动汽车充电机的功能及应用;项目8介绍了电动汽车充电站的监控系统;项目9介绍了电动汽车的

充电产业;项目 10 论述了电动汽车充电站的安全运行管理。

本书可作为高等职业教育新能源汽车专业的专业教材,也可作为汽车相关专业的选修教材。

本书的特点是理论联系实际,在注重理论阐述的前提下,力图深入浅出、图文并茂。本书实用性较强,富有启发性,便于自学,比较全面地反映了电动汽车充电站运行与维护技术的相关内容。

本书由严朝勇任主编,张胜宾、张永栋任副主编。项目 1、项目 10 由严朝勇编写;项目 2 由温福军编写;项目 3 由黄剑编写;项目 4 由张永栋编写;项目 5 由黄景鹏编写;项目 6 由郭海龙编写;项目 7 由黄俊刚编写;项目 8、项目 9 由张胜宾编写。本书由严朝勇统稿。

由于书中引用了参考文献中的部分内容,特向其作者表示深切的谢意。由于电动汽车充电站运行与维护技术发展的历史较短,一些关键技术还处于研究中,再加上编者水平有限,难免会有许多疏漏、错误与不足之处,敬请广大专家和读者批评指正,以便再版时修正。

编者

2017 年 2 月

目 录

项目 1 电动汽车运行技术的总体认知	1
项目要求	1
相关知识	1
一、电动汽车的发展历史	1
二、电动汽车的分类、组成和工作原理	8
三、动力电池的性能和特点	13
四、电动汽车示范运营的政策与商业模式创新	14
项目实施	16
电动汽车充电站的系统功能认知	16
小结	16
思考题	17
项目 2 电动汽车充电机技术基础	18
项目要求	18
相关知识	18
一、直流开关稳压电源的分类、原理和构成	19
二、直流开关稳压电源主控元件的原理和应用	20
三、高频 PWM-DC/DC 变换器	30
项目实施	38
用指针式万用表检测 IGBT 的方法	38
小结	39
思考题	39
项目 3 电动汽车的动力电池及其电池管理系统	40
项目要求	40
相关知识	40
一、电动汽车动力电池的作用、分类	40

二、电动汽车动力电池的应用现状	43
三、铅酸蓄电池	44
四、锂蓄电池	50
五、燃料电池	59
六、高速飞轮储能电池	62
七、超级电容	64
八、电动汽车的电池管理系统	70
项目实施.....	75
镍氢电池充放电性能测试.....	75
小结.....	78
思考题.....	78
项目 4 电动汽车充换电站的构成与功能	79
项目要求.....	79
相关知识.....	79
一、充换电站建设的总体技术方案	80
二、充换电站的组成部分	80
三、高速公路充换电站的运营模式	82
四、电动公共汽车充电站的运营模式	82
五、小区电动汽车充换电设施的运营模式	85
项目实施.....	87
平面充电站的充电系统整体认识.....	87
小结.....	88
思考题.....	89
项目 5 电动汽车充电站的交流配电系统	90
项目要求.....	90
相关知识.....	90
一、硬件系统组成	91
二、硬件电路设计	92
三、系统程序流程	93
四、系统测试	94
项目实施.....	96
CEV1100 交流充电桩的识别	96
小结.....	97
思考题.....	97

项目 6 电动汽车充电站的直流系统	98
项目要求	98
相关知识	98
一、直流充电桩的概述	99
二、直流充电桩工作原理	99
三、硬件设计	99
四、软件设计	100
五、非车载充电机	101
项目实施	102
CEV1200 直流充电机操作流程	103
小结	104
思考题	104
项目 7 电动汽车充电机的功能及应用	105
项目要求	105
相关知识	105
一、充电机的构成及作用	107
二、电动汽车充电机分类	114
三、充电机的功能模块	115
四、家用充电设施	115
五、公共充电设施	116
六、电动汽车的充电接口	118
七、电动汽车充电机的工作原理和技术特点	120
项目实施	125
电动汽车充电机性能的认识	125
小结	126
思考题	126
项目 8 电动汽车充电站的监控系统	127
项目要求	127
相关知识	127
一、电动汽车充电站的充电监控系统配置原则	127
二、电动汽车充电站的监控网络	128
三、电动汽车电能供给方式	129
四、电动汽车充电站建设模式	130
五、电动汽车充电站监控系统功能	130
六、电动汽车充电站监控系统的实现与应用	132
七、电动汽车充电站监控系统的运行与操作	134

项目实施	138
电动汽车电池充电监控系统的认识	138
小结	140
思考题	140
项目9 电动汽车的充电产业	141
项目要求	141
相关知识	141
一、电动汽车充电产业剖析.....	142
二、充电产业商业模式构成要素分析.....	142
三、充电产业商业模式构成的主体.....	143
四、基于“互联网+”的电动汽车智能充电服务系统 ...	144
项目实施	146
电动汽车充电站计量系统一体化模式的认识	146
小结	147
思考题	147
项目10 电动汽车充电站的安全运行管理	148
项目要求	148
相关知识	148
一、电动汽车充换电服务网络运行管理系统概述.....	149
二、系统架构与设计.....	149
三、系统技术架构.....	149
四、系统网络架构.....	150
五、关键技术分析.....	151
六、系统运行情况.....	153
七、维护管理模块.....	153
八、电动汽车充换电服务网络安全管理模块.....	154
项目实施	154
公共交通电动汽车充换电服务网络管理系统的认识 ...	154
小结	154
思考题	155
参考文献	156

项目 **I**

电动汽车运行技术的总体认知

◆ 项目要求

该项目通过对电动汽车运行技术的学习,提高读者对电动汽车运行技术的学习兴趣。通过对电动汽车运行技术的总体认知,使读者初步了解电动汽车运行技术的学习内容,同时,加深对电动汽车运行技术基础知识的理解。



知识要求

1. 了解电动汽车的发展历史、分类、组成和工作原理。
2. 了解动力电池的性能和特点、电动汽车示范运营的政策与商业模式创新。



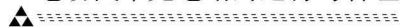
能力要求

1. 理解电动汽车的工作原理和特点。
2. 理解动力电池的性能和特点、电动汽车示范运营的政策与商业模式创新。

◆ 相关知识

一、电动汽车的发展历史

电动汽车的历史并不比内燃机汽车短,它也是最古老的汽车之一,甚至比奥托循环发动机(柴油机)和奔驰发动机(汽油机)还要早。苏格兰商人罗伯特·安德森在1832—1839年(准确时间不明)研发出电动车。1835年,荷兰教授Sibrandus Stratingh设计了一款小型电动车,他的助手克里斯托弗·贝克则负责制造。但更具实用价值、更成功的电动车由美国人托马斯·



达文波特和苏格兰人罗伯特·戴维森在 1842 年研制,他们首次使用了不可充电电池。Gaston Plante 于 1865 年在法国研发出性能更好的蓄电池,其同乡卡米尔·福尔又在 1881 年对电池进行了改进,提高了电池容量,为电动车的发展铺平了道路。奥地利发明家 Franz Kravogl 在 1867 年的巴黎世界博览会上推出了一款双轮驱动电动车。法国和英国成为第一批支持发展电动汽车发展的国家。1881 年 11 月,法国发明家 Gustave Trouve 在巴黎举行的国际电力博览会上演示了三轮电动车,托马斯·帕克表示电动车可在 1884 年实现量产。在内燃机汽车兴盛之前,电动车就创造了许多速度和行驶距离的记录。例如,Camille Jenatzy 在 1899 年 4 月 29 日用自行研发的电动车突破了 100 km/h,创造了 105.88 km/h 的极速。1891 年,A. L. Ryker 研发出电动三轮车,William Morrison 制造了六座电动厢式客车,电动车开始得到美国人的重视。19 世纪 90 年代到 20 世纪初期,电动车技术得到了高速发展,相对于内燃机汽车的优势逐渐形成。1897 年,美国费城电车公司研制的纽约电动出租车实现了电动车的商用化。20 世纪初,安东尼电气、贝克、底特律电气(安德森电动车公司)、爱迪生、Studebaker 和其他公司相继推出电动汽车,电动车的销量全面超越汽油动力汽车。电动车也逐渐成为上流社会喜爱的城市用车,电动车清洁、安静,并且易于操控的特点,非常适合女性驾驶。由于当时没有晶体管技术,因此电动车的性能也受到限制,这些早期的电动车极速大约只有 32 km/h。在 19 世纪末 20 世纪初迎来经济繁荣的美国,人们的收入快速增长,汽车开始流行起来。1899 年和 1900 年,电动车销量远远超过其他动力的汽车。电动汽车相比同时代的其他动力汽车具有非常明显的优势,它们没有震动,没有难闻的废气,也没有汽油机巨大的噪声。汽油机汽车需要换挡,令其操控起来比较繁杂,而电动车不需要切换挡位。虽然蒸汽机汽车也不需要换挡,但却需要长达 45 min 漫长的预热时间。并且蒸汽机汽车加一次水的续航里程,相比电动车单次充电的续航里程更短。由于当时只有城市中才拥有良好路面,大部分时候汽车都只能在本地使用,因此电动车续航里程短的问题并没有成为阻碍其发展的原因。

相对于汽油发动机汽车,电动车不需要人力启动和频繁地换挡,成为大部分人的选择。当时的基本型电动车售价在 1 000 美元以下,但也发展出豪华电动车,它们的外形被设计得非常华贵,拥有宽敞的座舱,座舱内则用上价格不菲的高级材料。在 1910 年时,这类豪华电动车的均价达到了 3 000 美元。

电动车最初因为缺乏充电配套设施而阻碍了发展,但是随着电网的高速发展,到了 1912 年,很多美国家庭都已经通电,从而能够在家中完成充电。在世纪之交,有 40% 的美国汽车采用蒸汽机,38% 的汽车采用电力驱动,22% 的汽车使用汽油动力。美国的电动车保有量达到 33 842 辆,电动车在 19 世纪 20 年代大获成功,销量在 1912 年达到了顶峰。

20 世纪 20 年代到 20 世纪 80 年代,汽柴油机成为主流。电动车在 20 世纪初迎来成功之后,很快又失去了成长的优势。从 20 世纪 20 年代开始,电动汽车逐渐被内燃机汽车替代,究其原因主要有 4 点:第一,美国在城市间建立起良好的公路网络,需要汽车拥有更长的续航里程;第二,德克萨斯、俄克拉荷马和加利福尼亚等大油田的发现,降低了汽油价格,令普通消费者也能负担燃油费用;第三,Charles Kettering 在 1912 年发明的电力启动系统使得汽油机不再需要人力启动;第四,Hiram Percy Maxim 在 1897 发明的消声器,大幅降低了内燃机的噪声。而当时的电动车速度低,续航里程短,而内燃机汽车的速度更快,续航里程更长,并且价格便宜许多。

伟大的亨利·福特开始在美国大批量生产内燃机汽车,并且售价平易近人,例如,1915 年

福特汽车的售价低至440美元(相当于今天的9200美元)。与此相反,效率较低的电动车却价格昂贵,一款1912年的电动双座敞篷车售价1750美元(相当于今天的3.9万美元)。19世纪20年代,电动车销量迅速下滑,电动汽车在10年后彻底消失。

20世纪70年代全球三次石油危机爆发后,各跨国汽车公司先后开始研发各种类型的电动汽车。我国经过“八五”“九五”“十五”“十一五”“十二五”5个五年计划,在研发电动汽车的专项上投入了大量的人力、物力和财力,并取得了一系列科研成果,但是,迄今为止,这些科研成果真正能转化为产品,并实现产业化生产的项目并不多。国外大汽车公司比我国投入更多的资金和人力,已投入批量生产的电动汽车产品也寥寥无几。随着全球能源危机的不断加深,石油资源的日趋枯竭以及大气污染、全球气温上升的危害加剧,各国政府及汽车企业普遍认识到节能和减排是未来汽车技术发展的主攻方向,发展电动汽车将是解决这两个技术难点的最佳途径,现介绍电动汽车的现状与发展趋势。

1. 电动汽车的现状

现代电动汽车一般可分为3类:纯电动汽车(BEV)、混合动力汽车(HEV)、燃料电池电动汽车(FCEV)。但是近几年在传统混合动力汽车的基础上,又派生出一种插电式(Plug-In)混合动力汽车,简称PHEV。

1) 纯电动汽车(BEV)

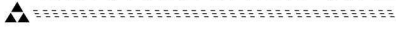
纯电动汽车是指完全由动力蓄电池提供电力驱动的电动汽车,虽然它已有134年悠久的历史,但一直仅限于某些特定范围内应用,市场较小。主要原因是由于各种类别的蓄电池,普遍存在价格高、寿命短、外形尺寸和质量大、充电时间长等严重缺点。目前采用的铅酸电池、镍氢电池和锂离子电池。根据实际装车时的循环寿命和市场价格,可估算出电动汽车从各种动力电池上每获取 $1\text{ kW}\cdot\text{h}$ 电能所必须付出的费用。计算时,假设电池最高可充电荷电状态(SOC)为0.9,放电SOC为0.2,即实际可用的电池容量仅占总容量的70%;由电网供电价为 $0.5\text{ 元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,电池的平均充放电效率为0.75。

由粗略计算可知,虽然从电网取电仅需 $0.5\text{ 元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,但充入电池,再从电池取出,铅酸电池每提供 $1\text{ kW}\cdot\text{h}$ 电能,价格为3.05元左右,其中2.38元为电池折旧费,0.67元为电网供电费,而从镍氢电池中每提供 $1\text{ kW}\cdot\text{h}$ 电能,费用为9.6元,锂离子电池为10.2元,即后两种先进电池供电成本是铅酸电池的3倍多。

目前国内市场上用柴油机发电,价格大致为 $3\text{ 元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,若用汽油机发电,供电价格估计为 $4\text{ 元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,即从铅酸电池提供电能的价格大致和柴油机发电价格相等,仅仅从取得能量的成本考虑,采用铅酸电池比汽油机驱动有一定价格优势,但是由于它太过笨重,充电时间又长,因此只被广泛用于车速小于 50 km/h 的各种场地车、高尔夫球车、垃圾车、叉车以及电动自行车上。实践证明铅酸电池在这一低端产品市场上有较强的竞争力和实用性。

镍氢电池的主要优点是相对寿命较长,但是由于镍金属占其成本的60%,导致镍氢电池价格居高不下。锂离子电池技术发展很快,近10年来,其比能量由 $100(\text{W}\cdot\text{h})/\text{kg}$ 增加到 $180(\text{W}\cdot\text{h})/\text{kg}$,比功率可达 $2000\text{ W}/\text{kg}$,循环寿命达1000次以上,工作温度范围达 $-40\sim 55^\circ\text{C}$ 。

近年由于磷酸铁锂离子电池的研发有重大突破,又大大提高了电池的安全性。目前已有许多发达国家将锂离子电池作为电动汽车用动力电池的主攻方向。我国拥有锂资源优势,锂电池产量2004年已占全球市场的37.1%,2015年,锂离子电池的性/价比达到和铅酸电池竞



争的水平,成为未来电动汽车的主要动力电池。

以电动自行车为代表的低性能车辆,由于其成本低廉,仅我国在 2006 年已达到年产 2 000 万辆,美国通用汽车公司生产的冲击 1 号电动跑车,虽然已达到了很高的动力性,但是由于售价高昂,仅生产了 50 辆,由于没有市场而不得不停产。性能较低的场地车,在我国年产达 7 000 ~ 8 000 辆。天津清源电动车公司生产的微型电动车,最高车速仅 50 km/h,年产也可以达千辆以上,这可能是目前市场所能接受的纯电动车辆性能的上限。上述所有电动车辆均采用铅酸电池为动力。随着高性能锂离子电池的性/价比不断提升,市场上可能会出现最高车速不小于 500 km/h,续驶里程不小于 1 500 km 的高性能纯电动汽车。

2) 混合动力电动汽车(HEV)

由于完全由动力蓄电池驱动的纯电动汽车,其性能/价格比长期以来都远远低于传统的内燃机汽车,难以与传统汽车相竞争,20 世纪 90 年代以来各大汽车公司都着手开发混合动力汽车。日本丰田公司在 1997 年率先向市场推出“先驱者(Prius)”混合动力汽车,并在日本、美国和欧洲各国市场上均获得较大成功,累计产销量已超过 60 万辆。随后日本本田、美国福特、通用和欧洲一些大公司,也纷纷向市场推出各种类型的混合动力汽车。

(1) 研制全混合动力汽车的必要性

混合动力电动汽车是指具备两个以上动力源,而其中有一个可以释放电能的汽车。混合动力汽车按混合方式不同,可分为串联式、并联式和混联式 3 种;按混合度(电机功率与内燃机功率之比)的不同,又可分为微混合、轻度混合和全混合 3 种。其中外挂式皮带驱动启动/发电(BSG)式是微混合动力汽车的典型结构,其电机功率一般仅 2 ~ 3 kW,依赖发动机的停车断油功能,可节燃油 5% ~ 7%;在发动机曲轴后端加装一个电动/发电型盘式电机(ISG)是轻度混合动力汽车的典型结构;具有纯电力驱动功能的可作为全混合或混联式混合动力汽车的典型。丰田公司的 Prius 轿车即属于这类全混合汽车。目前我国若干汽车企业研制的混合动力汽车,大多采用 ISG 轻度混合或 BSG 微混合方案,主要是考虑这两种方案的技术难度较小,生产成本也较低。但是根据研究表明,混合动力汽车的节油率几乎与汽车功率的混合度和汽车的生产成正比上升。

(2) 研发及市场情况

下面分别介绍混合动力乘用车和混合动力公交车的研发及市场情况。

以节油率最佳的丰田 Prius 汽车为例,在我国实测它与丰田花冠(Corrola)油耗在各种工况下的平均节油率为 39.6%,平均每百公里可节油 3.07 L。

以 97 号汽油价格为 5 元/L 计算,每百公里可节省油费 15.35 元,行驶 20 万 km 也仅省油费 3.07 万元,显然还不足以抵消购置混合动力汽车所增加的费用。据中国汽车工业协会统计,2006 年一汽丰田普锐斯(Prius)销量仅为 2 152 辆,占全国乘用车总销量的 0.04%。考虑到我国用户对汽车售价的敏感性,这一销售业绩并不令人惊奇,可以认为在近期,如果没有政府的大力支持,混合动力乘用车在我国不会有很大的市场。

(3) 城市公交车的使用特点

在我国,城市公交车与私人乘用车的情况有很大的不同,具体归纳为以下 3 个方面:

①据统计我国城镇居民日常出门有 70% 是首选乘坐公交车,我国大部分城市政府都奉行公交车优先的交通政策,我国公交车的年产量和保有量都居世界第一。

②我国城市公交车大多由市政府补助公交企业采购,公交车是否符合节油减排要求,将是

政府需要考虑的一个重要采购原则。

③从技术角度来分析,在城市工况下,公交车频繁起步、加速、制动和停车,要额外消耗许多燃油。汽车制动消耗能量(油耗)所占比例,其算数平均值达47.1%。即有近一半的燃油是被汽车频繁制动所消耗的,这就为混合动力公交车的节油减排留下了相当大的空间。

正是考虑到以上几个特点,我国至少有7~8家汽车企业将研发、生产混合动力公交车作为研发工作的重点。经过近几年的开发,虽然已取得了一系列重大成果,但公交车的节油率并未达到预计的要求,一辆总重15.5 t,长11 m的混合动力公交车,实际油耗为33~35 L,平均34 L/100 km,若传统11 m长公交车的平均油耗为40 L/100 km,则节油率仅15%。

(4) 节油率难以进一步提高的原因

分析节油率难以进一步提高的原因主要有两个:

①汽车的制动过程十分短暂,一般不超过10 s,在短短的几秒内,电机要求发出很大的电流,才能有效回收制动能量,但是电池的充电倍率只有放电倍率的一半,因此电池不能接受大电流充电。理论上汽车有50%~60%的制动能量可回收,实际回收的制动能量小于20%,最简单的改进办法是加大动力电池容量,例如至少加大容量一倍,回收的制动能量可由20%增加到40%。但这将大大增加整车成本和汽车自重,经济上可能得不偿失。

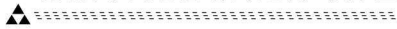
②混合动力公交车若采用停车断油,甚至滑行时即断油,可节油10%左右(4 L/100 km),实际上国产柴油机没有专门为混合动力汽车设计,一般不允许频繁地停车断油,否则供油系和废气增压器都可能损坏,严重影响柴油机寿命。其次,停车断油就必须装有电动转向油泵、电动空压机和电动空调系统,这又会大大增加整车成本和重量,两相权衡,不一定合算,因此近期大多未实现停车断油功能。因此,目前HEV的开发重点集中在节油降耗的工作上,针对以上问题,科研工作者提出了不同的解决方案,如利用超级电容器的功率密度达铅酸电池的10倍,具有快速吸收大电流充电的优异特性,在混合动力汽车制动时可以快速吸收能量,大大提高制动能量的回收率,此外,它还具有循环寿命长、充放电效率高、耐低温以及免维护等优点。这种方案由于受到超级电容价格昂贵的影响,限制了它在混合动力汽车上的广泛应用。在进一步降低成本、提高能量密度后,超级电容器最有可能首先在混合动力公交车上得到应用。

3) 插电式混合动力汽车

插电式混合动力汽车是最新的一代混合动力汽车类型,近年来受到各国政府、汽车企业和研究机构的普遍关注,国内外专家认为,PHEV有望在几年后得到广泛的推广使用。

据统计,法国城镇居民80%以上日均驾车里程少于50 km,在美国,汽车驾驶者也有60%以上日均行驶里程少于50 km,80%以上日均行驶里程少于90 km。PHEV特别适合于一周有5天仅驾车用于上下班,行驶里程在50~90 km的工薪族使用。PHEV是在混合动力汽车上增加了纯电动行驶工况,并且加大了动力电池容量,使PHEV采用纯电动工况可行驶50~90 km,超过这一里程,即必须启动内燃机,采用混合驱动模式。因此,PHEV的电池容量一般达5~10 kW·h,是纯电动汽车电池容量的30%~50%,是一般混合动力汽车电池容量的3~5倍,可以说它是介于混合动力汽车与纯电动汽车之间的一种过渡性产品。与传统的内燃机汽车和一般混合动力汽车(HEV)对比,PHEV由于更多地依赖动力电池驱动汽车,因此它的燃油经济性进一步提高,二氧化碳和氮氧化物排放更少。由于动力电池容量的加大,每辆车的售价至少比一般HEV高2 000美元。

随着蓄电池容量的加大,汽车价格将上升,但是燃油消耗和尾气排放则下降。因此可以认



为,电动汽车是以使用和损耗蓄电池为代价来换取节油、减排的效果,动力电池性/价比的大幅提升将是电动汽车能否迅速推广使用的关键所在。

一般 HEV 动力电池 SOC 仅在较小范围内波动(例如 $\pm(2\% \sim 3\%)$),因此循环寿命次数很长,而 PHEV 的动力电池 SOC 必须在很大的范围内波动(例如 $\pm 40\%$),属于深充深放,因此循环工作寿命短得多,和纯电动汽车(PEV)相似。目前在 PHEV 上都采用先进的锂离子电池,锂离子电池每放出 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 电能,能耗费为 10.2 元,相当于内燃机每千瓦时能耗费用的 3 倍。随着全球石油价格不断上升,燃油内燃机的能耗费用也将不断上升,而锂离子电池随着技术进步和产量的增加,其能耗费用将不断下降,两者可能在 2015—2020 年内达到平衡点。因此 PHEV 有望在 10 年内得到大范围推广使用。

4) 燃料电池电动汽车

早在 1839 年,英国人格罗孚就提出了氢和氧反应发电的原理。20 世纪 60 年代,研发出了液氢和液氧发电的燃料电池,由美国 UTC 公司首先用于航天和军事用途。近 20 年来,由于石油危机和大气污染日趋严重,以质子交换模式为代表的燃料电池技术,受到世界各国普遍重视。各大跨国汽车公司纷纷投入巨资,研发出了各种类型的燃料电池电动汽车(FCEV)。

(1) 质子交换膜燃料电池(PEMFC)的主要优点

①其排放生成物是水及水蒸气,为零污染。

②能量转换效率可高达 $60\% \sim 70\%$ 。

③无机械震动、低噪声、低热辐射。

④宇宙质量中有 75% 是氢,地球上氢也几乎是无处不在。氢还是化学元素中质量最轻、导热性和燃烧性最好的元素。

⑤氢的热值很高,1 kg 氢和 3.8 L 汽油的热值相当。

(2) 燃料电池电动汽车存在的技术、经济问题

在我国,国家科技部把研发燃料电池客车和燃料电池轿车列入“十五”和“十一五”计划“863”重大科技项目,并已取得了一系列重大科技成果,但是在多年科研实践中,也暴露出一些技术、经济问题:

①燃料电池发动机的耐久性寿命短,一般仅 $1\,000 \sim 1\,200 \text{ h}$ (国外达 $2\,200 \text{ h}$),燃料电池汽车行驶 $4 \text{ 万} \sim 5 \text{ 万 km}$,功率即下降 40% ,和传统内燃机可普遍行驶 50 万 km 以上相比,差距很大。

②燃料电池发动机的制造成本居高不下,一般估计 3 万元/kW (国外成本约 $3\,000 \text{ 美元/kW}$),与传统内燃机仅 $200 \sim 350 \text{ 元/kW}$ 相比,差距巨大。由于其中如质子交换膜、炭纸、铂金属催化剂、高纯度石墨粉、氢回收泵、增压空气泵等关键部件均依靠进口,因此与国外相比,并没有成本优势。

③燃料电池发动机对工作环境的适应性很差。国产机可在 $0 \sim 40 \text{ }^\circ\text{C}$ 气温下工作,低于 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 有结冰问题,高于 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 过热不能正常工作。此外对空气中的粉尘、一氧化碳、硫化物等都十分敏感,铂催化剂极易污染中毒失效。

④燃料电池汽车的使用成本过于高昂。例如,高纯度(99.999%)高压氢(大于 200 MPa)售价 $80 \sim 100 \text{ 元/kg}$ 。按 1 kg 氢可发 $10 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 电能计算,仅燃料费即约为 $10 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$,按燃料电池发动机工作寿命 $1\,000 \text{ h}$ 计算,折旧费为 $30 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。因此总的动力成本达 $40 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。至少在目前,由燃料电池发动机提供 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 电能的成本远高于其他各种

动力电池,这从一个侧面反映了作为汽车动力源,燃料电池汽车还有相当长的距离。

(3) 目前燃料电池电动汽车的研究课题

尽管存在如此多的问题,但是燃料电池仍然是人类迄今为止发明的最清洁、安静又可无限再生的能源,值得我们为实现燃料电池电动汽车的产业化付出更大的努力。

为此建议从以下几个方面进行工作:

①以更为创新的思维,对燃料电池的基本理论和基础材料进行深入研究。例如,努力探寻非铂金属催化剂;努力研制抗电腐蚀金属双极板和耐高温($>110\text{ }^{\circ}\text{C}$)高机械强度质子交换膜等。

②努力实现如炭纸、增压空气泵等关键零部件的国产化,以降低整机成本。

③进一步提高整机的优化集成技术,着力提高整机的耐候性(高、低气温变化)、抗大气污染能力和耐电负荷急剧变化能力等。

2. 电机及电动车轮的分类

电动汽车驱动电机是所有电动汽车必不可少的关键部件。目前使用较多的有直流有刷电机、永磁无刷电机、交流感应电机和开关磁阻电机4种。

美国和德国开发的电动汽车大多采用交流感应电机,主要优点是价格较低、效率高、重量轻,但启动转矩小。日本研制的电动汽车几乎全部使用永磁无刷电机,其主要优点是效率可以比交流感应电机高6个百分点,但价格较贵,永磁材料一般仅耐热 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。开关磁阻电机结构较新,优点是结构简单、可靠、成本较低、启动性能好,没有大的冲击电流,它兼有交流感应电机变频调速和直流电机调速的优点,缺点是噪声较大,但仍有一定改进余地。对于电动汽车而言,由于电能是由各类电池提供,价格昂贵而弥足珍贵,因此使用相对效率最高的永磁无刷电机是较为合理的,它已被广泛用于功率小于 100 kW 的现代电动汽车上。

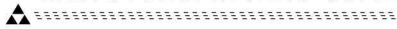
此外,在国外已有越来越多的电动汽车采用性能先进的电动轮(又称轮毂电机),它用电机(多为永磁无刷式)直接驱动车轮,因此无传统汽车的变速箱、传动轴、驱动桥等复杂的机械传动部件,汽车结构大大简化。但是它要求电机在低转速下有很大的扭矩,特别是对于军用越野车,要求电机基点转速:最高转速 $=1:10$ 。近几年,美、英、法、德等国纷纷将电动轮技术应用用于军用越野车和轻型坦克上,并取得了重大成果。例如美海军陆战队在“悍马”基础上研制出串联式“影子”新型混合动力越野车,采用了电动轮技术。与传统“悍马”车对比试验,在同样侦察试验条件下,“悍马”耗油 472 kg ,而“影子”仅耗油 200 kg ;同一越野路段,“悍马”耗时 32 min 跑完,而“影子”仅耗时 $13\text{ min }50\text{ s}$,此外它还具有在纯电动模式下,汽车静音、无“热痕迹”等优点。如此优异的性能,据闻美军已决定停产传统“悍马”车,全部改产新型混合动力电动轮驱动的“影子”型军车。这一重要发展趋势,应引起高度关注。

3. 电动汽车的发展趋势

综上所述,可以从技术/经济分析出发,对电动汽车技术的现状和未来作以下结论:

①在目前国内市场价格的基础上,可粗略计算出各种提供电能技术的价格比。即电网供电:柴油机供电:铅酸电池供电:镍氢电池供电:锂离子电池供电:燃料电池供电 $=1:6:6:19.2:20.4:80$ 。这从一个侧面反映了各种供电方式距离电动汽车市场的远近。当然,随着石油价格的上升、电池技术的进步,这些比例关系将发生很大的变化。

②由于铅酸电池的供电成本大体和柴油机供电相等,因此它仍然是低端电动车市场的主要动力电池。磷酸锂离子电池技术进步较快,它最有可能成为铅酸电池的竞争对手,率先成为



高端电动车市场的主要动力电池。

③由于混合动力汽车仅需装用纯电动汽车 1/10 的动力电池容量,整车有较为接近市场的性/价比,因此它仍将是近期实现产业化的主要电动汽车种类。考虑到我国国情,目前仍应大力推广使用混合动力大客车,进一步降低制造成本,减少油耗和排放。

④在锂离子电池性/价比进一步提升后,外接充电式混合动力汽车(PHEV)有望成为理想的上班族乘用车,它可大幅度减少油耗和降低排放,但是由于较高的价格,它可能首先在发达国家得到推广应用。

⑤燃料电池虽然是理想的清洁能源,但是目前它的性/价比太低,要达到可以进入市场的性/价比,可说是任重而道远,必须从基础材料和基本理论上有所重大突破,才可能进入汽车市场。

⑥电动轮已成为国外电力驱动技术的重要发展趋势,并已在军用越野车上得到实际应用,证实它在技术/经济上的重要优势,我国虽也有不少单位研发,但始终未进入“863”计划,技术进步缓慢,因此有必要奋起直追,尽快掌握这一先进的电驱动技术。

2015 年我国新能源汽车生产 340 471 辆,销售 331 092 辆,同比分别增长 3.3 倍和 3.4 倍,远高于同期非新能源汽车的产销增量。其中纯电动汽车产销分别完成 254 633 辆和 247 482 辆,同比分别增长 4.2 倍和 4.5 倍。对此,中汽协秘书长助理许海东说:“新能源汽车在去年应该是爆发性的增长,30 多万辆将近 40 万辆,已经成为汽车消费的一个不可忽略的力量,在北京明显看到有很多的人因为摇不到号,最后选择新能源汽车。”

对于 2017 年新能源汽车的行情,中汽协也作了预期,预测全年销量 70 万辆左右,比去年多一倍。

二、电动汽车的分类、组成和工作原理

电动汽车是以车载电源为动力,用电机驱动车辆行驶的汽车,根据国标 GB/T 19596—2004 电动汽车术语,电动汽车可划分为纯电动汽车(BEV)、燃料电池汽车(FCEV)、混合动力汽车(HEV)等。

1. 电动汽车分类及特点

1) 纯电动汽车

电动汽车是由车载可充电蓄电池或其他能量储存装置提供动力源,由电动机驱动的汽车。由于电动机具有良好的牵引特性,因此纯电动汽车的传动系统不需要离合器和变速器,车速控制由控制器通过调速系统改变电动机的转速即可实现。

纯电动汽车有以下几方面优点:

①降低对石油资源的依赖。电力可以从多种一次能源获得,而且技术相对简单成熟,只要有电力供应的地方都能够为电动汽车充电,可以降低经济社会发展对石油资源的依赖。

②减少环境污染。电动汽车不直接排放污染大气的有害气体,即使换算为发电厂的排放,由于发电厂远离人类聚集区,且排放物及处理的技术标准比较明确,有利于集中清除排放物。

③实现与智能电网的互动。电动汽车可以在用电低谷时充电,全面提高发电及电网利用效率,甚至在规模化应用后,可以在电网高峰负荷时为电网提供电力,大大提高综合经济效益。

2) 混合动力汽车

混合动力汽车是指至少从可消耗的燃料(常规燃料)和可再充电能/能量储存装置等车载