

中国电动汽车技术新进展

曹秉刚

(西安交通大学电动汽车与系统控制研究所, 710049, 西安)

摘要: 介绍了中国政府在发展电动汽车方面实施的政策、重大研究计划和取得的重要进展。通过对中国燃料电池电动汽车、纯电动汽车和混合动力电动汽车技术现状的研究,以及对电池、电机、控制器等电动汽车关键技术的进展,以及企业高校在电动汽车研发方面取得的成果的分析,指出在未来10年中混合动力电动汽车将会迅速发展,但远景并不乐观。其中,充电式混合动力电动汽车更具有发展前途;虽然燃料电池电动汽车有很好的应用前景,但受到价格的约束,因此近20年内不太可能大规模进入市场;纯电动汽车有着广阔的发展前景,而其中的微型电动汽车更适合中国的国情。

关键词: 电动汽车;燃料电池;混合动力;电池

中图分类号: U469.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)01-0114-05

Current Progress of Electric Vehicle Development in China

Cao Binggang

(Institute for Electric Vehicle and System Control, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

迫于能源危机和环境保护的双重压力,世界各国电动汽车(EV)的研究开发不断升温。日本丰田公司率先开发出混合动力汽车 Prius,揭开了电动汽车的时代序幕,至2005年底,全球已累计销售50万辆以上。2003年,我国为能源价格的上涨付出了约60亿美元的代价^[1],权威人士认为能源已成为我国最重要的国家安全问题之一。20世纪90年代以来,国家计委、科技部等部门开始有组织、有步骤地推动电动汽车的研发和产业化。

1 政府的政策与支持

1.1 国家高技术研究发展计划

在国家“十五”期间,科技部设立了电动汽车重大科技专项,共计拨款8.8亿元,组织企业、高校和科研机构进行联合攻关,确定了以燃料电池汽车(FCEV)、混合动力电动汽车(HEV)、纯电动汽车(BEV)车型为“三纵”,多能源动力总成控制系统、驱动电机及其控制系统、动力蓄电池及其管理系统三种共性技术为“三横”的“三纵三横”的研发布局^[2-4]。

电动汽车重大科技专项实施5年来,取得的重

要进展为:燃料电池汽车已经成功开发出样车,燃料电池轿车累计运行4 000 km,燃料电池客车累计运行8 000 km;混合动力客车已在武汉等地公交线路上试运行超过了14万 km;纯电动轿车和客车均已通过国家质检中心的型式认证试验。

截至2004年底,已完成电动汽车整车产品13项新标准的起草、5项标准的修订,以及6项关键零部件产品测试规范的制定^[5],并在北京、武汉、天津、威海等城市开展了电动汽车商业化试验示范运营^[6]。

1.2 国家重点基础研究发展计划

我国在国家重点基础研究发展计划项目能源领域设置了“氢能的规模制备、储运及相关燃料电池的基础研究”课题,研究目标就是为氢能的规模开发奠定拥有自主知识产权的基础。车载制氢、储氢理论与技术的突破将有助于解决储氢难题,克服氢燃料电池汽车实用化的障碍。燃料电池的关键材料以及燃料电池应用基础研究的突破,将可能降低燃料电池的成本,提高其可靠性。

1.3 政府采购

2008年北京奥运会将以“绿色、科技、人文”为

宗旨,因此应为奥运会提供绿色车辆,以保证环保性能指标达到世界发达国家的先进水平。预计到2008年,北京90%的公共汽车和70%的出租车将使用清洁燃料,在奥运会的采购清单上,有18 000辆清洁燃料公交车、1 000辆电动汽车和1 000辆其他类型的汽车^[7]。

预计2010年对上海世博会的总投资大约为150亿美元。为体现“城市让生活更美好”的主题,上海市将加大公交汽车、电车的更新改造力度,未来5年内,上海将更新8 000辆以上的公交车辆,快速发展公交电车。到2010年世博会时,由于各展馆里大量需要无污染的电动汽车,因此将促进国产电动汽车的全面上市。

电动汽车重大科技专项历经5年的研究开发,完成了发达国家多年的技术进步,特别是燃料电池电动汽车技术与国外先进技术比较接近;纯电动汽车在某些方面也具有一定的领先水平;混合动力电动汽车虽然在多方面展开了研发工作,但与国外先进技术、特别是日本水平相比仍有很大差距。

2 我国电动汽车技术的新进展

2.1 我国电动汽车的研发现状

2.1.1 燃料电池电动汽车开发情况 我国燃料电池的研究已从过去的单电堆研究,发展到带有支持系统和控制系统的燃料电池发动机系统的研究开发^[8]。在国家“十五”高技术研究发展计划——电动汽车的重大专项中,清华大学和北京客车总厂合作承担研究燃料电池客车的计划,上海汽车工业集团公司、同济大学、信息部电机研究所、上海燃料电池汽车动力系统公司承担了燃料电池轿车的研发任务。“超越一号”燃料电池混合动力轿车于2003年通过了国家科技部的测试,上海通用上海泛亚汽车技术中心共同开发出燃料电池与蓄电池驱动的35 kW凤凰燃料电池轻型客车,东风电动车辆公司与中国科学院于2001年研制出30 kW燃料电池中型客车,北京飞驰绿能电源技术公司与清华大学合作推出以压缩氢气为燃料的“京零一号”质子交换膜燃料电池轻型客车,并于2001年4月参加了第3届北京国际电动汽车、清洁汽车展览会。

2.1.2 纯电动汽车开发情况 在国家“十五”高技术研究发展计划承担电动大客车项目的有北方车辆厂和北京理工大学,承担纯电动轿车研发的是上海汽车奇瑞公司、上海交通大学、天津汽车集团和中国汽车技术研究中心。

在整车开发方面,天津清源电动车辆有限责任公司与一汽夏利股份有限公司牵头合作开发出XL2000纯电动轿车。天津清源电动车辆有限公司和中科院电动所还共同研制成功我国第一辆纯电动中型客车;东风电动车辆股份公司开发出EQ7160EV纯电动轿车和纯电动客车等车型。

2.1.3 混合动力汽车开发情况 东风电动车公司开发的EQ6110HEV型混合动力城市公交车采用混联方案,康明斯6BTA型柴油机、交流电机,纯电池电动运行最高车速31 km/h,发动机和电机混合驱动最高车速72 km/h;天津清源电动车辆有限公司开发出使用燃油和电力双能源的混合动力中型客车,排放达到欧III标准,燃油经济性提高15%以上;北京嘉捷博大电动车有限公司和常州客车厂合作开发了我国第一辆以燃气轮机作为动力机的混合动力电动大客车,该车排放指标低于2008年将在欧洲开始执行的欧V标准;深圳明华环保汽车有限公司开发出混合动力轻型客车,混合动力系统采用达到欧洲III号排放标准的柴油机。

2.2 电动汽车关键技术进展

电动汽车的关键技术包括车身技术、底盘技术、电池技术、电机技术和控制器技术。车身和底盘技术是汽车的通用技术,而电池技术、电机技术和控制器技术则是电动汽车所特有的技术,这3项技术也是一直制约电动汽车大规模进入市场的关键因素。经过多年的探索和努力,我国电动汽车在各项关键技术方面相继取得了突破^[9-10]。

研究电动汽车采用锂离子动力电池的单位主要有北京有色金属研究总院、中科院物理所、潍坊青鸟华光电池公司等,已研制出适合纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车的高能型和高功率型锂离子动力电池,并初步形成了一定的产业规模^[11]。在电机方面,华中科技大学开发的全数字化开关磁阻电机、中船712所开发的永磁无刷电机、中国科学院北京三环通用电气公司开发的电动汽车专用7.5 kW轮毂电机,都有一定的突破。西安交通大学具有自主知识产权的能量回收型电动车控制器被评为科技部、商务部、质检总局和环保总局2005年国家重点新产品。

2.3 企业项目进展

2.3.1 一汽集团 一汽正在研发解放牌混合动力城市客车和红旗牌混合动力轿车,其中混合动力客车项目属于国家高技术研究发展计划项目。解放牌混合动力城市客车具有纯电机驱动、发动机单独驱

动、联合驱动和电机启动发动机,以及滑行再生制动5种基本工作模式。天津一汽公司承担的国家高技术研究发展计划项目“夏利纯电动轿车”已经通过验收,该车已具备部分制动能量回收功能,其最高车速大于120 km/h,续驶里程等速法大于230 km,工况法大于150 km。

2.3.2 东风汽车集团 东风电动车辆股份有限公司承担了2个国家高技术研究发展计划的整车项目,已研制出4台电动客车作为武汉市公交汽车投入使用。主要产品有:神龙富康纯电动轿车、EQ7200混合动力轿车和EQ61100混合动力公交客车。

神龙富康纯电动轿车采用交流感应电机和镍氢电池,总质量为1 620 kg,最高车速85 km/h,加速性能0~50 km/h的加速时间小于等于10 s,续驶里程(50 km/h匀速行驶)150 km。

EQ7200HEV混合动力轿车配置了永磁无刷电机和镍氢电池,整车质量1 320 kg,最大车速160 km/h,0~100 km/h加速时间小于等于13 s,最大爬坡度25%,续驶里程500 km,整车排放可达欧洲III号标准。EQ6110HEV混合动力公交车采用开关磁阻电机、康明斯柴油机,总质量15 500 kg,最大车速80 km/h,0~50 km/h加速时间小于35 s,最大爬坡度25%,续驶里程500 km,整车排放减少30%,油耗降低30%(城市工况)。

2.3.3 上海汽车集团 上海燃料电池汽车动力系统有限公司质量和同济大学等共同承建国家高技术研究发展计划电动汽车重大专项燃料电池轿车项目,已经研制出两款燃料电池轿车。上海泛亚汽车技术中心有限公司与上海交通大学共同研制了“凤凰”燃料电池汽车,可载客8人,总质量2 500 kg,最大功率104 kW,其中燃料电池最大功率35 kW,最高速度113 km/h,0~100 km/h的加速时间仅13 s。

奇瑞公司开发了奇瑞混合动力轿车、奇瑞纯电动轿车。奇瑞混合动力轿车目前配置的是排量为1.0 L的发动机,动力性能达到1.6 L发动机传统轿车水平,最高速度可达160 km/h,排放可达欧III标准。

2.3.4 长安汽车公司 长安汽车联合清华大学等单位共同承担的国家高技术研究发展计划项目ISG混合动力长安轿车整车匹配项目,目前已经通过国家级验收。该车的油耗降低30%以上,排放达到欧III标准,最高速度160 km/h,续驶里程大于500 km,最大爬坡度25%。

2.3.5 比亚迪汽车有限公司 比亚迪公司开发的电动汽车成本价在10万~12万元之间,售价在14

万元左右。该电动汽车计划首先在深圳上市,在进行必要的改进后,将全面进入北京、上海、广州和西安等汽车市场^[12]。比亚迪公司针对目前锂电池存在的问题,开发了新的锂电池,具有出色的性能。

2.4 我国高校的研究情况

2.4.1 同济大学 同济大学先后试制成我国第一台由直流无刷轮毂电机独立驱动的4轮驱动燃料电池微型电动汽车“春晖一号”和“春晖二号”以及“超越”系列混合动力电动汽车。“春晖一号”四轮电驱动燃料电池轿车最高时速50 km/h,配置锂离子蓄电池和燃料充氢电池2种混合动力,续驶里程150 km。“超越一号”燃料电池混合动力轿车已经通过验收,主要技术参数为:0~100 km/h的加速时间小于等于30 s,14 s内可以加速到80 km/h,最高时速为105 km/h,最大爬坡度20%,续驶里程230 km。“超越三号”主要技术参数为:0~100 km/h的加速时间小于等于20 s,最高时速120 km/h,最大爬坡度20%,续驶里程200 km^[13-14]。

2.4.2 清华大学 清华大学承担了国家高技术研究发展计划项目“燃料电池城市客车整车技术”等有关电动汽车的研究课题,目前已研制出了12辆16座中巴环保燃料电池轻型客车样车,并已投入运行。该车采用质子交换膜燃料电池(氢/氧型),额定功率18 kW,驱动电机额定功率35 kW,最大功率90 kW,配置无级调速传动系统,最高车速80 km/h,最大爬坡度15%,0~40 km/h的加速时间不大于15 s,一次加氢续驶里程大于165 km。

2.4.3 北京理工大学 北京理工大学承担了国家高技术研究发展计划项目和2008年北京奥运会电动车项目,同时承担北京市电动汽车示范运行管理中心的筹建和运行管理工作。该项目已经研制出纯电动豪华旅游车和纯电动低地板公交车的样车。纯电动豪华旅游车由北京理工大学和北方华德尼奥普兰客车股份有限公司共同研制,该车安装了锂离子电池组且使用交流驱动系统。

2.4.4 香港大学 1993年香港大学研制出4座电动轿车—U2001,配置了45 kW永磁直流无刷电机和264 V镍氢蓄电池。其中,永磁无刷直流电机采用了特殊设计,可以在很广的转速范围内高效率工作。该车采用了一系列20世纪90年代水平的高新技术,采用声频导航系统提高了安全性,便于用户驾驶,采用智能能量管理系统使能量的转化和传递达到最优。U2001轿车的最高速度为110 km/h,0~48 km/h的加速时间为6.3 s,以88 km/h的速度行驶

时,一次充电的续驶里程为 176 km^[15].

2.4.5 西安交通大学 西安交通大学在电动汽车关键技术领域研究开发了 15 项国家发明专利,正式授权 5 项,有 2 项国际发明已被正式受理.在电动汽车驱动控制和能量回收技术的研究中,率先将 H_{∞} 鲁棒控制应用到电动汽车能量回收技术上.与传统的控制方法相比, H_{∞} 鲁棒控制可以方便地同时考虑输入电压变动、负载扰动和其他非线性的补偿,显著地提高了车辆的一次性充电的续驶里程^[16-19].试验表明,采用西安交大制动能量回收专利技术的铅酸电池纯电动汽车 XJTU-1 可以使续驶里程由 160 km 延长到 200 km 以上^[20-21].西安交大对电动汽车超级电容-蓄电池复合电源系统的研究表明,在市内道路行驶时,可以提高电动汽车续驶里程 30%~50%^[22].2005 年 10 月 19 日,西安交大电动汽车 XJTUEV-2 与日本大阪产业大学太阳能车及 Myway 公司的电动汽车一起进行了“新丝绸之路挑战”拉力活动,经 8 天 7 夜的征程,于 10 月 26 日完成了从西安到敦煌的长途行驶,接受了恶劣路况的考验.同时,该车由西安交大独创,是世界上第一辆实现了利用车辆振动能量进行压电发电功能的电动汽车.

3 电动汽车技术进一步发展的思考

纵观国内外电动汽车的技术进展,作者认为以下几个方面值得进一步思考.

(1)燃料电池电动汽车.中国政府在燃料电池汽车的研究方面做了大量投资,目前燃料电池汽车技术上的难点在于能量变换效率低,约为 35%.由于氢的储存还存在着安全性的问题,存储过程中耗能太多,因此充氢设施投资太大.燃料电池汽车成本过高,轿车在 100 万美元左右,大客车为 150 万~200 万美元,因此真正实现产业化还要到很多年之后.由于美国 20 世纪 90 年代对燃料电池汽车大规模的投入却换来了沉痛的教训,因此“氢经济”的论调也骤然降温.

(2)混合动力电动汽车.以丰田 Prius 为代表的混合动力电动汽车以节能和环保的巨大优点而备受社会各界的青睐.对 Prius 的工况进行分析可以发现,它存在着价格高、效率低、仍然使用较多汽油的 3 大问题.混合动力电动汽车同时具有燃油和电动 2 套系统,因为发动机的功率通过动力分配机构带动发电机,发出的电力供给电机带动车轮运转,这样的环节需要消耗很多能量,因此效率较低.另外,除了减速、制动工况外,这种汽车的其他工作循环都是由

燃油来完成的,因此耗油较多.混合动力电动汽车的发展方向在于充电式(Plug-in Hybrid)特别是利用夜间电力充电的混合动力电动汽车.

(3)纯电动汽车.国家在纯电动汽车研究开发方面投资较少,但一些企业却表现积极,纯电动汽车在技术上已逐渐成熟,如果在政策上再有所放开,纯电动汽车将会迎来很好的发展阶段.电池技术对纯电动汽车制约最大,而锂电池的出现不仅解决了安全性问题,而且延长了车辆的使用寿命,续驶里程可以达到 200 km 以上还能进行快速充电,基本满足日常使用要求,并且在价格上也有所降低.微型纯电动汽车近年来有很大的发展,如前后排列、承载 1~2 人,时速 60 km/h 左右的微型电动汽车有着巨大的市场前景.

4 结 论

本文通过对我国电动汽车发展情况的分析得到了如下结论.

(1)在政府的支持下,我国电动汽车的研究开发和产业化工作在过去几年中取得了长足的进步,在有关方面的努力下,电动汽车技术和产业可望得到继续发展.

(2)未来 10 年,混合动力电动汽车(HEV)将会迅速发展,并占有一定的市场规模.混合动力电动汽车由于存在着 3 大问题,因此远景并不乐观.充电式(Plug-in Hybrid)特别是利用夜间电力充电的混合动力电动汽车更具有发展前途.

(3)燃料电池电动汽车(FCEV)在我国将有很好的应用前景,但由于价格和技术上的原因,近 20 年内不可能进入规模市场.

(4)随着电池(特别是锂电池)、电机、控制器技术的进展,纯电动汽车(BEV)有广阔的发展前景,其中适合我国国情的微型电动汽车将会率先发展.我们将迎来可持续发展的清洁电动汽车的新时代.

参考文献:

- [1] 陈治光. 科技奥运中华世纪梦 电动汽车十年磨一剑—北京打造电动汽车产业化之路[J]. 科技潮, 2004(6): 8-11.
Chen Zhiguang. Our centurial dream of science & technology olympics, decade of EV—the road of EV industrialization in Beijing[J]. Science & Culture Science-Tech Waves, 2004(6): 8-11.
- [2] 万钢. 中国电动汽车的现状和发展[J]. 中国环保产业, 2003, 55(2): 30-32.

- Wan Gang. State and development of electric cars in China [J]. *China Environmental Protection Industry*, 2003,55(2):30-32.
- [3] 阚萍. 中国电动汽车的研究概述[J]. *安徽科技*, 2004(7):33-34.
- Han Ping. Summary of the research on EV in China [J]. *Anhui Science & Technology*, 2004(7):33-34.
- [4] 吴志新. 我国电动汽车发展现状及展望[J]. *汽车科技*, 2003(4):25-28.
- Wu Zhixin. Current status and perspective of EV development in China [J]. *Automobile Science & Technology*, 2003(4):25-28.
- [5] 吴卫. 我国混合动力电动汽车标准的研究和制定[J]. *交通标准化*, 2005,143(7): 8-11.
- Wu Wei. Studying and establishing of hybrid electric vehicles standard in our country [J]. *Communication Standardization*, 2005,143(7):8-11.
- [6] 张翔,赵韩,张炳力. 中国电动汽车的进展[J]. *汽车研究与开发*, 2004(1):19-25.
- Zhang Xiang, Zhao Han, Zhang Bingli. Progress of electric vehicle in China [J]. *Automobile Research & Development*, 2004(1):19-25.
- [7] 徐能伟. 我国电动汽车商业化运营模式探讨[J]. *上海汽车*, 2005(5): 3-6.
- Xu Nengwei. Discussion on commercial mode of EV in China [J]. *Shanghai Auto*, 2005(5): 3-6.
- [8] 胡树华,杨威. 我国电动汽车产业化战略分析[J]. *北京汽车*, 2003(3): 20-25.
- Hu Shuhua, Yang Wei. Analyses on industrialization strategy of EV in China [J]. *Beijing Automotive Engineering*, 2003(3): 20-25.
- [9] 专项总体组. 面向产业化 抢占制高点-电动汽车重大科技专项取得重要进展[J]. *中国科技产业*, 2005(3): 65-66.
- Special-Project Group. Significant progress of important S&T special-project on electric vehicle [J]. *Science & Technology Industry of China*, 2005(3): 65-66.
- [10] 陈清泉,孙逢春,祝嘉光. 现代电动汽车技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002: 21-48.
- [11] 卢世刚,刘莎. 电动汽车用动力电池的主要发展方向[J]. *新材料产业*, 2005(4): 49-54.
- Lu Shigang, Liu Sha. Major developing direction of battery for EV [J]. *Advanced Materials Industry*, 2005(4): 49-54.
- [12] 顾列铭. 比亚迪从电池到电动汽车的“无间道”[J]. *经贸世界*, 2004(3): 27-29.
- Gu Lieming. BYD from battery to EV [J]. *Economy & Trade World*, 2004(3): 27-29.
- [13] 卓桂荣,余卓平,陈惠,等. 4WD 电动汽车转速闭环控制[J]. *汽车技术*, 2004(12):18-22.
- Zhuo Guirong, Yu Zhuoping, Chen Hui, et al. Closed-loop control of rotation speed of 4WD electric vehicle [J]. *Automobile Technology*, 2004(12):18-22.
- [14] 卓桂荣,陈辛波,余卓平,等. 全方位线控四轮转向电动汽车设计[J]. *机械设计*, 2005,22(2):29-32.
- Zhuo Guirong, Chen Xinbo, Yu Zhuoping, et al. Design of an omnidirectional wire controlled four wheels steering electric car [J]. *Journal of Machine Design*, 2005,22(2):29-32.
- [15] 张翔,赵韩,钱立军,等. 国内各主要单位电动汽车研发项目进展情况及主要产品介绍[J]. *汽车技术*, 2004(5):42-44.
- Zhang Xiang, Zhao Han, Qian Lijun, et al. Introduction of progresses and products on EV in China [J]. *Automobile Technology*, 2004(5):42-44.
- [16] 李竟成. 电动汽车驱动控制与再生制动研究[D]. 西安:西安交通大学机械工程学院,2003.
- [17] 曹秉刚,张传伟,白志峰. 电动汽车技术进展和发展趋势[J]. *西安交通大学学报*, 2004,38(1): 1-5.
- Cao Binggang, Zhang Chuanwei, Bai Zhifeng. Technology progress and trends of electric vehicles [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2004,38(1):1-5.
- [18] 白志峰,曹秉刚. 电动汽车驱动与再生制动的 H_∞ 鲁棒控制[J]. *西安交通大学学报*, 2005,39(3):256-260.
- Bai Zhifeng, Cao Binggang. H_∞ robust control for driving and regenerative braking of electric vehicle [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2005,39(3):256-260.
- [19] Bai Zhifeng, Zhang Chuanwei, Cao Binggang. H_∞ control for regenerative braking of electric vehicle [C] // *IEEE Vehicle Power & Propulsion 2004*. Paris: IEEE, 2004:125-128.
- [20] Cao Binggang, Bai Zhifeng, Zhang Wei. Research on control for regenerative braking of electric vehicle [C] // *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2005:92-97.
- [21] Zhang Chuanwei, Bai Zhifeng, Cao Binggang, et al. Study on regenerative braking of electric vehicle [C] // *Proceeding of the 4th International Power Electronics and Motion Control Conference*. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2004:836-839.
- [22] 白志峰. 电动汽车超级电容-蓄电池复合电源系统开发及其 H_∞ 鲁棒控制研究[D]. 西安:西安交通大学机械工程学院,2006.