

我国纯电动汽车的发展方向及 能源供给模式的探讨

张文亮, 武斌, 李武峰, 来小康

(中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192)

Discussion on Development Trend of Battery Electric Vehicles in China and Its Energy Supply Mode

ZHANG Wen-liang, WU Bin, LI Wu-feng, LAI Xiao-kang

(China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China)

ABSTRACT: The actuality and trends of electric vehicles (EV) home and abroad are reviewed. The development trend of battery electric vehicles (BEV) and its energy supply mode in China are emphatically dissertated. The development stage of BEV in China is divided into two periods, namely the demonstration period and mature period, the keystone and the challenge in the current development period of BEV are analyzed. Finally, for the energy supply mode of BEV, the key technology and technical direction to be researched are pointed out.

KEY WORDS: battery electric vehicles (BEV); energy supply; development trend; technical directions

摘要: 总结了国内外电动汽车的发展现状及趋势, 重点探讨了我国纯电动汽车的发展方向及能源供给模式, 将我国纯电动汽车发展阶段划分为示范应用期和推广成熟期, 分析了现阶段纯电动汽车发展的重点和存在的问题, 同时针对纯电动汽车能源供给模式, 指出了需要开展研究的技术重点和方向。

关键词: 纯电动汽车(BEV); 能源供给; 发展趋势; 技术方向

0 引言

目前, 环境和能源问题日益严峻, 传统燃油汽车环境污染严重, 能源消耗大, 引起人们越来越多的关注与担忧。电动汽车具有节能、环保的优势, 可有效缓解能源资源紧张、大气污染严重等问题。

电动汽车是以电池或超级电容为动力源, 全部或部分由电机驱动的汽车。按照目前技术状态和车辆驱动原理, 电动汽车主要分为混合动力汽车、纯电动汽车和燃料电池汽车3种类型, 此外, 在混合动力汽车的基础上出现了可外接充电的混合动力汽车^[1-5]。本文将在分析国内外电动汽车发展现状及趋势的基础上, 重点探讨我国纯电动汽车的发展方

向及其能源供给模式。

1 电动汽车发展现状及趋势

1.1 国外电动汽车发展现状

北美、欧洲、日本等发达国家高度重视电动汽车的发展, 政府采取各种鼓励措施促进电动汽车的发展。目前混合动力汽车已在北美、欧洲、日本形成规模市场, 丰田混合动力汽车在全球的累计销量已达到百万辆。纯电动汽车、可外接充电的混合动力汽车已在适合其运行特点的领域开展了示范应用, 并以集团化公共服务用车为主, 如东京电力公司营业服务用车、美国纽约曼哈顿邮政用车、英国垃圾清运车、法国波尔多市政用车等。在具备有利条件的特定国家和地区即将开展电动汽车的商业化运行, 如以色列政府已经制定并开始实施一项在10a内推广100万辆电动汽车的计划^[4-7]。

车用动力电池是影响电动汽车发展的最关键因素。目前, 国外混合动力及纯电动汽车的车用动力电池已经逐步集中到锂离子电池上。为在全球范围内推广车用锂离子动力电池, 各大汽车厂商开始关注动力电池的标准化, 日本企业已经率先迈出步伐。在日本经济产业省等相关政府部门的带领下, 丰田、日产等9家汽车生产企业、松下电器等6家电池厂商及东京电力公司将共同制定电动汽车用锂电池标准, 该标准涵盖测试方法、充电方法、车辆安全等方面。

国外电力公司已经认识到电动汽车发展将给电力销售带来巨大的市场, 均采取积极态度推动电动汽车的发展, 并主动参与能源供给系统的研发和电动汽车的应用等工作, 包括内部电动汽车应用与测

试、能源基础设施建设与标准制订、电池技术研发、电池梯次利用、电动汽车与储能技术结合等。法国电力公司在其内部车队测试丰田公司可外接充电混合动力汽车；东京电力公司成功开发大型快速充电器，并带头参与电动汽车基础设施的建设，2009年将在东京建设200多个充电设施，3年后增加到1000个以上。东京电力公司还与富士重工合作开发锂离子电池组，并应用于“R1e”型电动汽车。美国电力科学研究院联合34家电力公司与通用汽车公司合作，共同开展可外接充电的混合动力汽车研究，研究内容包括可外接充电的混合动力汽车应用的可行性方案、商业化运营、充电、公共政策需求等。美国南加州爱迪生电力公司和福特公司合作进行扩展电池应用领域研究，提出为旧电池培育交易市场，促进未来能源存储装置在公用事业中应用的方案。美国南加州爱迪生电力公司和福特公司还指出智能化可外接充电的混合动力汽车可能成为未来智能电网的一部分。

1.2 国内电动汽车的发展现状

我国自“八五”以来，在研发电动汽车方面投入了大量的人力、物力和财力，并取得了一系列科研成果，开发出一批电动汽车整车产品，在北京、武汉、天津、株洲、杭州等城市开展了不同形式的小规模示范运行^[5,8]。纯电动客车以公交系统示范运营为主，如北京121路、杭州Y9路等。纯电动轿车以公务用车示范运行为主，如天津市开展电动轿车示范运行。电动小巴在局部地区开始商业化运营，如武汉市电动小巴，株洲田心小区电动小巴、北京云岗小区电动小巴等。微型电动汽车在山东、河北等北方地区的一些市县自发形成市场，仅山东省就有数家生产厂和改装厂，已达量产规模。国家科技部正在积极组织推进“十城千辆”电动汽车大规模示范行动计划，首批选定五城一地，即在武汉、上海、深圳、大连、重庆和长沙—株洲—湘潭开展示范运行。

北京奥运会上，电动汽车示范运行取得了良好效果，这对我国电动汽车发展将起到有力的助推作用。奥运会期间，50辆锂离子电池纯电动客车在奥运中心区的奥运村、媒体村和北部赛区等线路上为奥运官员、媒体记者、运动员提供24h全天候的运输服务。奥运会电动汽车示范运行不但起到了有效的示范引导作用，而且带动了电动汽车及其能源供给技术的发展。

国家电网公司高度重视电动汽车推广应用工作。从2006年以来，国家电网公司大力开展电动

汽车关键技术研究与应用推广工作，在动力电池系统、充电系统、动力总成、内部示范应用考核、能源供给模式与配套政策等5个方面开展研究工作，率先开展内部示范应用，并积极推动社会车辆应用和能源供给基础设施建设。目前，内部使用的电动汽车已达50余辆，包括电力营销服务车、电力工程车和公务车等。

虽然我国已开展电动汽车示范应用，但是缺乏有效的、可持续推动电动汽车发展的市场化机制。电动公交车的示范应用主要通过科技项目的形式开展，基本上都是由政府主导，公交运营单位和车辆研发生产单位参加。参与单位的风险较大，无法在短期内形成利益链，因此缺乏持续推动的动力。微型电动汽车自发形成的市场缺乏有效的组织管理，车辆质量和电池性能有待提高。

1.3 电动汽车的发展趋势

电动汽车是汽车工业发展的必然趋势，纯电动汽车和燃料电池汽车是电动汽车发展的最终方向。电动汽车的大规模应用需要相对较长的过程，将经历不同的发展阶段。国外电动汽车发展的技术路线已逐渐明晰：在起步期对各种电动汽车技术方向进行探索；在过渡期将混合动力汽车作为主要发展方向；纯电动汽车和燃料电池汽车则是成熟期的最终发展目标；各阶段的发展重点都是以乘用车为代表的中小型车辆。国内混合动力汽车技术渐趋完善，已进入商业化推广阶段；纯电动汽车技术日趋成熟，已在特定区域开始推广应用。值得注意的是，金融危机爆发导致国际传统汽车产业衰退，而国际油价的不确定性、节能减排压力的增加、动力电池技术的新进展，使部分国际主流汽车厂商开始积极参与纯电动汽车研发，如日产公司、宝马公司等，这可能引发纯电动汽车新的发展热潮。

2 我国纯电动汽车的发展方向

2.1 我国纯电动汽车发展阶段分析

纯电动汽车性能正在逐步改善，但与燃油车相比仍存在一定的差距，其发展受多方面因素的影响。根据发展的主导方式、技术水平、能源供给设施建设规模等特点，我国纯电动汽车发展可分为2个阶段，即示范应用期和推广成熟期。区分2个阶段的主要标志应是纯电动汽车发展由政府推动过渡为市场推动。

纯电动汽车的发展处于示范应用期时，纯电动汽车技术趋向成熟，但经济性差；发展模式以政府主导的示范运行为主，依靠政府补贴，应用数量相

对较少,主要是定点、定线、定半径运行的公共服务用车;在局部区域个人使用的微型电动汽车自发形成一定规模;能源供给设施的建设刚刚起步,主要是满足纯电动汽车的示范运行。

纯电动汽车的发展处于推广成熟期时,纯电动汽车技术已经成熟,经济性与燃油车相当,甚至超越燃油车;发展模式以市场化推动为主、政府引导为辅,电动汽车已规模化应用,乘用车成为发展重点;能源供给设施趋于完善。

2.2 现阶段我国纯电动汽车发展重点分析

我国纯电动汽车在生产和应用方面的发展势头较快,但仍处于示范应用期,其性能有待进一步提高。纯电动汽车实际运行的续驶里程为100~200 km,常规充电需要2~6 h。纯电动汽车续驶里程短、电池成组寿命短、充电时间长及成本高等问题影响我国纯电动汽车的普及,现阶段纯电动汽车主要应用于特定区域和特定用途。

现阶段以政府主导的社会公共服务用车是纯电动汽车应用的主要方面之一。公交、电力、环卫、邮政等公共服务领域集团用车的特点是车辆管理比较集中、行驶路线相对固定、行驶里程相对较短,因此宜采用纯电动汽车。政府对社会公共服务领域具有较强的管理调控力,各种补贴优惠政策易于实施和操作。

以个人使用的微型电动汽车将有可能在现阶段电动汽车产业化发展过程中率先取得突破。在国内部分省市的中小城市,微型电动汽车作为填补电动汽车和小型燃油车之间的空白市场,保有量已经达到千辆,且需求量迅速增加,有自发形成规模市场的趋势。微型电动汽车对续驶里程要求不高,装载电池数量少,对电池性能要求相对较低,价格便宜,使用费用远低于小型燃油车^[9-11]。

2.3 我国纯电动汽车发展存在的问题

虽然我国纯电动汽车发展取得了一系列的成果,但仍处于小范围示范阶段。本文认为我国纯电动汽车的发展主要存在如下问题:

1) 动力电池性能有待进一步提高。动力电池成组循环寿命短,是制约电动汽车发展的主要瓶颈^[12-14]。虽然锂离子电池能量较高,单体循环寿命可达1000次以上,但其性能仍有待进一步提高。由于电池单体的性能差异,电池成组应用后,循环寿命较短,如单体循环寿命为800~1000次的锂离子电池,成组应用到公交车上后,循环寿命只有400~600次,甚至更低,这导致电动汽车经济性偏差。

2) 电动汽车能源供给基础设施建设薄弱。长

期以来,电动汽车能源供给基础设施建设没有得到足够重视,缺乏完善的标准规范^[15],城市建设也未将电动汽车充电设施建设列入规划,这已经成为影响我国电动汽车发展的主要因素之一。与传统燃油汽车有遍布城乡的能源供给网络相比,电动汽车能源供给基础设施发展非常薄弱。目前,能源供给技术研究和基础设施建设已经受到国家有关部门的高度重视,基础设施关键技术相关内容已被列入电动汽车共性关键技术研究中。

3) 推动电动汽车发展的市场机制亟需形成。现阶段,电动汽车的推广应用需要巨大的资金投入,而目前公共服务用电动汽车的示范应用基本上以政府主导为主,依靠政府的财政资金投入,因此亟需探索电动汽车推广的商业化模式,引进市场化机制,加速电动汽车产业化的进程。微型电动汽车可能自发形成规模市场,但缺乏必要的组织管理,存在无序发展的隐患,因此需要探索其发展的商业化模式,以构建微型电动汽车良性发展的市场化机制。

4) 支持鼓励电动汽车发展的政策滞后。这已成为制约电动汽车发展的关键问题之一。直至目前,我国鼓励电动汽车发展的全国性政策和法规还在讨论制定中,对阻碍电动汽车上路政策的修改进程缓慢,短期内电动汽车获取牌照困难,难以上路行驶,即使这些车辆取得国家公告,也仍被限制在2~3个省市运行,因而造成电动汽车消费需求不旺,扩大应用范围动力不足的局面。

3 我国纯电动汽车能源供给技术的发展方向

3.1 我国纯电动汽车能源供给发展阶段分析

电动汽车的能源供给系统由供电系统、充电系统和电能存储系统组成,实现电能由交流在线向直流离线存储的变换,为电动汽车行驶提供直流电能供给。能源供给是电动汽车产业链中的重要环节,配套完善的能源供给基础设施是电动汽车发展的必要支撑因素,而能源供给环节的利益保证是促进能源供给基础设施完善成熟的必要条件。能源供给模式与电动汽车的发展密切相关,在电动汽车不同的发展阶段,能源供给呈现不同的特点。

在示范应用期,能源供给服务的对象主要是集团化的公共服务用车和个人使用的微型电动汽车。公共服务用车主要采用集中充电为主、电池租赁为辅的能源供给模式。对于微型电动汽车而言,可采用基于集约充电的电池租赁为主、车载充电为辅的充电方式。技术研究应集中在电池成组与梯次利用

技术、充电技术、能源供给标准体系、能源供给模式及政策等方面。

在推广成熟期，电动乘用车成为电动汽车发展的重点，其能源供给以分散式小功率家庭充电为主、电池租赁和快速充电网络为辅。电动汽车大规模的应用使得用户对电能的需求迅速增长，电动汽车作为未来智能电网的分散式储能单元，可实现电网的峰谷调节，延伸电动汽车能源供给环节的利益链。技术研究将主要集中在电动汽车与电网储能结合、电动汽车与电网间的智能交互连接等。

3.2 现阶段纯电动汽车能源供给模式分析

集团化公共服务用车主要采用集中充电为主，电池租赁为辅的能源供给模式。公共服务用车停运时间、地点较集中，可以在已有的停车场建设充电设施进行集中充电，这降低了能源供给设施的投资，但是其建设投入资金仍很大，还需要在政府大力支持的基础上探索多种融资渠道。以北京数据为例，在已有停车场的基础上进行充电站建设，按照整车充电测算，不含电池及土建费用，建设为30辆电动公交车充电的充电站需1000余万元。

对于微型电动汽车，可采用基于集约充电的电池租赁为主、车载充电为辅的充电方式。由于微型电动汽车以局部地区的个人使用为主，若采用基于集约充电的电池租赁方式，不但可以降低车辆初次购置成本，而且通过对电池的专业化充电和维护，可有效提高电池寿命，同时也便于开展动力电池梯次利用，从而降低使用费用。针对微型电动汽车，以电池租赁方式进行能源供给时所需的建设投资并不大，参照北京数据进行测算，50辆微型电动汽车采用电池更换方式，电池按照车辆的1.5倍配置，需投资240余万元，其中电池费用为135万元。

3.3 电动汽车能源供给技术研究重点与方向

现阶段，我们应重点开展如下研究工作，以促进我国电动汽车能源供给技术的进步，推动电动汽车的发展。

1) 动力电池成组技术研究。锂离子电池成组寿命仍然偏低。受生产工艺等影响，电池组中各单体电池的性能存在着差异，且在使用过程中这种差异越来越突出，从而使电池组的循环寿命大大缩短。动力电池技术涉及电化学与材料科学，因电池单体生产工艺与生产质量无法迅速提高，相对其它技术发展缓慢，所以动力电池性能短期内迅速提高的可能性不大。因此需要采用电池成组技术提高电动汽车动力电池的

性能，包括配组分选、成组集成、热管理与电管理、充电及维护等^[13-14,16]。

2) 动力电池梯次利用技术研究。电池梯次利用是指动力电池在电动汽车上的应用不能满足功率和能量需求时，在其它领域继续应用，充分发挥其应用价值。电池梯次利用是有望降低电动汽车使用成本的重要手段。电池购置价格偏高是限制电动汽车推广的重要因素之一。通过对动力电池进行梯次利用，可有效降低电池在电动汽车使用阶段的成本，提升电池的利用价值。电池梯次利用技术研究包括筛选评估、重新配组、梯次利用与储能集成、梯次利用机制及其管理机制等。

3) 充电技术研究。充电技术研究包括充电机技术和充电监控技术。充电机技术研究主要是通过研究充电过程对电池使用寿命、温度、安全性等方面的影响，选择合理的拓扑结构，采取合适的充电方式，实现充电过程的动态优化及智能化控制，从而实现最优充电。研究充电监控技术，需要规范充电机和充电站监控系统之间的通信协议，实现对多台充电机状态和充电过程的实时监控，并使其具有和上级其它监控系统、运营收费系统通信的功能。

4) 电动汽车供充电相互影响研究。充电系统的功率因数较高，但产生的谐波较大，电流总畸变率在30%以上，主要是5、7、11、13次谐波，电流波形畸变明显。只有经过有源滤波，才能使充电系统产生的谐波电流达到国标要求。因此，需要开展电动汽车充电系统对电网影响的研究，同时需要开展电动汽车负荷对电网填谷作用的研究，并跟踪电动汽车与智能电网相结合的技术发展动态，探讨电动汽车能源供给与电网储能的有机结合，逐步发展智能电网，实现电能供需方式的重大变革。

5) 电动汽车能源供给系统标准体系建设。电动汽车能源供给系统标准体系应包括基础标准、电池单体及电池组相关标准、充电机及充电站相关标准、计量相关标准、供电系统相关标准等。国内有关组织机构、研发生产单位应加强合作，积极参与国际标准和国家标准的制订，建设完善的电动汽车能源供给标准体系。

6) 电动汽车及能源供给商业模式研究。目前电动汽车发展还处于示范应用期，面临投资大、产业化机制尚未理顺的问题，因此在开展关键技术研究的同时，需要加强电动汽车及能源供给商业化模式的研究，构建电动汽车推广应用的市场化机制，

加速产业化进程。对于公共服务用电动汽车,可借鉴北京地铁4号线的模式,探索特许经营模式,引入民间资本,减轻政府压力,增强发展动力,加快电动汽车的发展;对于微型电动汽车,选择条件适宜的局部地区,建设基于集约充电的电池租赁网络,探索微型电动汽车发展的商业模式,推进乘用车电动化的步伐。同时,要开展国家电动汽车相关政策的研究,争取早日出台全国性的支持鼓励电动汽车的牌照、财税、补贴等配套政策,为电动汽车发展创造有利的政策环境。

4 结论和展望

电动汽车已经成为汽车工业发展不可逆转的潮流,其发展将分阶段不断推进。随着技术的不断进步,我国电动汽车应用重点将逐步从公共服务用车、微型电动汽车过渡到电动乘用车,并形成电动汽车发展的市场化机制,实现电动汽车的大规模产业化。能源供给是电动汽车产业链中的重要环节,能源供给模式与电动汽车的发展密切相关。

当前,电动汽车应用数量有限,对电网而言是一种特殊的用电设备,需在政府主导下加强能源供给设施的建设,以促进电动汽车的发展。随着电动汽车应用规模的扩大,电动汽车负荷将大幅度增长,电动汽车将作为分散式储能单元,成为智能电网的重要组成部分,成为电网削峰填谷的重要手段。

参考文献

- [1] 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,2002:24-25.
- [2] 李兴虎. 电动汽车概论[M]. 北京:北京理工大学出版社,2005:5-9.
- [3] 陈全世,朱家琰,田光宇. 先进电动汽车技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007:243-251.
- [4] 陈清泉,孙立清. 电动汽车的现状和发展趋势[J]. 科技导报,2005,23(4):24-28.
Chen Qingquan, Sun Liqing. Status and future trends of electric vehicles [J]. Science & Technology Review, 2005, 23(4): 24-28(in Chinese).
- [5] 孙逢春. 电动汽车发展现状及趋势[J]. 科学中国人,2006(8):44-47.
- [6] 国家电网公司电动汽车考察团. 法国和意大利电动汽车考察报告[J]. 电力需求侧管理,2008,10(1):1-4.
State Grid Corporation investigation group for electric vehicles. Investigation report of electric vehicles in France and Italy [J]. Power Demand Side Management, 2008, 10(1): 1-4(in Chinese).
- [7] 吴英姿,王康,卫振林,等. 浅析中国电动汽车产业发展的配套政策[J]. 电力需求侧管理,2008,10(2):71-74.
Wu Yingzi, Wang Kang, Wei Zhenlin, et al. Matching policies of Chinese electric vehicles industry development[J]. Power Demand Side Management, 2008, 10(2): 71-74(in Chinese).
- [8] 万钢. 中国“十五”电动汽车重大科技专项进展综述[J]. 中国科技产业,2006(2):110-117.
- [9] 欧阳明高. 我国节能与新能源汽车发展战略与对策[J]. 汽车工程,2006,28(4):317-321.
- [10] 刘宏,王贺武,罗茜,等. 纯电动汽车生命周期3E评价及微型化发展[J]. 交通科技与经济,2007,44(6):45-48.
Liu Hong, Wang Hewu, Luo Qian, et al. Energy, environment and economic assessment of life cycle for electric vehicle [J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2007, 44(6): 45-48(in Chinese).
- [11] 王瑛,王贺武,欧阳明高. 电动汽车微型化发展路径分析[J]. 电源技术,2008,32(4):257-260.
Wang Ying, Wang Hewu, Ouyang Minggao. Analysis of development pathway for electric vehicle miniaturization[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2008, 32(4): 257-260(in Chinese).
- [12] 麻友良,陈全世. 我国电动汽车发展问题探讨[J]. 武汉科技大学学报:自然科学版,2002,25(3):280-283.
Ma Youliang, Chen Quanshi. Research on the problem with development of electric automobile in China[J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology(Natural Science Edition), 2002, 25(3): 280-283(in Chinese).
- [13] 王震坡,孙逢春. 锂离子动力电池特性研究[J]. 北京理工大学学报,2004,23(12):1053-1057.
Wang Zhenpo, Sun Fengchun. Study on the characteristics of Li-ion batteries[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2004, 23(12): 1053-1057(in Chinese).
- [14] 王震坡,孙逢春,林程. 不一致性对动力电池组使用寿命影响的分析[J]. 北京理工大学学报,2006,26(7):577-580.
Wang Zhenpo, Sun Fengchun, Lin Cheng. An analysis on the influence of inconsistencies upon the service life of power battery packs[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2006, 26(7): 577-580(in Chinese).
- [15] 刘伏萍,陈燕涛,苏茂辉,等. 我国电动汽车标准的现状和发展[J]. 上海汽车,2006(4):37-40.
- [16] 付正阳,林成涛,陈全世. 电动汽车电池组热管理系统的关键技术[J]. 公路交通科技,2005,22(3):119-123.
Fu Zhengyang, Lin Chengtao, Chen Quanshi. Key technologies of thermal management system for EV battery packs[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(3): 119-123(in Chinese).



张文亮

收稿日期:2008-12-24。

作者简介:

张文亮(1954—),男,教授级高级工程师,主要从事高电压技术和电磁兼容等方面的研究,

E-mail: wlzhang@epri.ac.cn;

武斌(1976—),男,高级工程师,主要从事电力自动化和电动汽车能源供给等方面的研究,

E-mail: wubin@epri.ac.cn;

李武峰(1976—),男,高级工程师,主要从事电动汽车能源供给和高电压技术等方面的研究, E-mail: liwuf@epri.ac.cn;

来小康(1959—),男,教授级高级工程师,主要从事储能、电动汽车能源供给和高电压技术等方面的研究, E-mail: laixk @epri.ac.cn.

(责任编辑 杜宁)