

纯电动汽车供能策略研究

叶建红¹, 陈小鸿²

(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要: 分析了纯电动汽车供能策略的 5 大决策要素: 城市电网运行特征, 电池与充电技术, 纯电动汽车交通功能定位, 纯电动汽车节能减排效益以及土地资源约束等. 综合各决策要素, 提出纯电动汽车供能应有别于传统燃油车自由式加油模式, 而须实施夜间低谷充电为主、白天快速补电与更换电池组为辅, 结合各类型交通方式出行特征, 提供组合型供能模式的能源供给策略. 进一步界定了常规充电站、快速充电站与电池更换站的服务定位及布局要求. 研究成果对于完善纯电动汽车能源供给体系, 指导供能设施建设具有重要意义.

关键词: 纯电动汽车; 充电站; 出行特征; 供能策略

中图分类号: U 491.12

文献标识码: A

Energy Supply Strategy for Battery Electric Vehicles

YE Jianhong¹, CHEN Xiaohong²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: This paper presents an analysis of five decisive elements of the energy supply strategy for battery electric vehicles (BEVs), which include the characteristics of urban electric network, the technique of battery and charging, the usage pattern of BEVs, the effect of energy saving and emission reduction, and the constraint of urban land resources. With a consideration of these five decisive elements, this paper argues that the energy supply mode for BEVs should be different from that for traditional petrol vehicles. Energy supply of BEVs is proposed to be mainly dependent on charging at night during the low electric demand period. The modes of quick-charging in the daytime and battery-replacing should act as supplementary methods. Then the service function and layout requirements of the slow-charging piles, fast-charging stations and battery swap stations are proposed based on the energy supply strategy. The study results are of great

importance to the energy supply system and the upcoming rigorous construction of energy supply facilities.

Key words: battery electric vehicles; charging station; trip characteristics; energy supply strategy

能源安全与环境保护的双重压力推动新能源汽车上升为国家战略性新兴产业. 当前, 国家正陆续出台一系列扶持政策加速推进新能源汽车产业发展, “十城千辆”示范推广试点城市由 13 个增加到 25 个, 私人购买新能源汽车补贴方案也于近期颁布实施. 随着电动汽车推广力度的加大, 电能供给体系建设显得愈发重要与迫切. 以上海为例, 若 2020 年上海充电式混合动力和纯电动汽车达到 35 万辆规模^[1], 考虑 80% 的日出车率以及 10% 的车辆同时使用快速充电方式(以 30 kW 充电功率计), 另有 10% 的车辆同时使用慢速充电方式(以 3 kW 充电功率计), 则可最大增加电网负荷 92.4 万 kW. 这一负荷值约占 2008 年上海电网最高负荷(2 243.2 万 kW)的 4.1%, 占发电设备容量(1 679.74 万 kW)的 5.5%. 若有更多的电动汽车白天充电, 则对本已不堪重负的城市电网运行无疑是雪上加霜. 另一方面, 部分企业已认识到电动汽车发展带来的巨大电力销售市场, 纷纷涉足充电设施建设. 国家电网公司计划于 2010 年底前在 27 个地区建设 75 座充电站和 6 029 个充电桩试点; 中石油、中石化计划与重庆市合作, 在部分加油站增设充电站; 中海油与中国普天合资公司——普天海油新能源动力有限公司计划 2010 年在 2 个以上省会城市启动投入充电站网络建设.

目前的充电设施建设似乎在沿袭传统加油站建设思路, 即通过新建和(加油站)改建充电站、充电桩, 逐步形成高覆盖率的充电网络. 但电动汽车和传

收稿日期: 2010-06-19

基金项目: 能源基金会(G-0907-11268)

第一作者: 叶建红(1981—), 男, 工学博士, 主要研究方向为交通运输规划与交通环境. E-mail: yjh1875@hotmail.com

通讯作者: 陈小鸿(1961—), 女, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为交通系统规划与管理. E-mail: chenxh@tongji.edu.cn

统燃油汽车在车辆性能、交通出行模式上都存在显著差异.纯电动汽车 100~200 km 的续驶里程,决定了其使用对象主要是城市内部、日行驶距离小于 100 km 左右的出行者.夜间低谷充电、白天合理出行是电动汽车最经济、最适宜的使用模式,也是不大规模增加城市白天电网负荷的必然要求.

因此,传统“自由式加油模式”不适合电动汽车能源供给的特征与要求.在大规模建设充电设施之前,首先必须在宏观层面明确电动汽车的供能策略,即采用何种主导模式(包括夜间常规充电、白天快速充电、更换电池组等)为电动汽车充电,以及常规充电桩、快速充电站、电池更换站等充电设施在供能体系中的功能定位与服务对象.基于供能策略,相关政府部门还需进一步对充电设施开展适度超前的统筹建设布局规划,否则按目前任由企业从自身利益出发各自建站、无序铺点的建设模式,反而不利于电动汽车产业的长远发展.

1 相关研究回顾

作为纯电动汽车产业的关键环节,能源供给一直是产业界、学术界讨论的热点问题.现有相关研究主要集中于电池充电技术,充电需求与电网供给关系,车辆使用方式与能源供给模式等,对充电站布局设计也有初步分析.

1.1 充电技术方面

王刚等^[2]总结了纯电动汽车常规充电、快速充电、无线充电等多种充电技术的特征与可行性;康继光等^[3]也比较研究了常规充电、快速充电、地面充电等不同充电方式的优缺点.

1.2 充电需求与电网供给方面

腾乐天等^[1]指出纯电动汽车能源供给系统建设需要结合电力负荷的特点,提高电力设备综合利用效率,调节电网峰谷平衡,改善电网负荷特性;姚建歆等^[4]分析了纯电动汽车运行模式及相应充电量需求,提出在研究电动汽车充电需求时,需要考虑电动汽车保有量及运行特征、动力电池特性、充电时间、充电场所及其他环境条件的影响;刘强等^[5]探讨了纯电动汽车步入商业化运营后,充电站设备研发、建设模式、场所、电价制定、电力市场拓展等电力配套服务措施.

1.3 车辆使用方式与能源供给模式方面

曲巍等^[6]归纳了国外纯电动轿车的使用方式和能源供给模式,提出国内大城市与中小城市的能源

供给模式应主要由电力电网公司来建设分布合理的供电网络,配合单位自建充电设施;张文亮等^[7]总结了国内外纯电动汽车的发展现状与趋势,并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,提出不同阶段的能源供给对象与策略.

1.4 充电站布局设计方面

徐凡等^[8]分析了影响纯电动汽车充电站规划的因素,并给出布局规划的原则性建议,如充电站分布与电动汽车交通密度和充电需求的分布尽可能一致,充电站布局应符合充电站服务半径要求等;Gao Hongli^[9]提出了充电站布局的原则与基本步骤,采用定性定量相结合的方法,基于供需平衡理论建立了充电站布局优化模型;刘金行^[10]对电池更换式充电站的建设、管理、标准化等环节进行分析,通过对充电时间、电池流通管理、充电安全等方面的比较论证,证明电池更换式充电站具有较强的现实可操作性.

国外对新能源汽车供能体系也开展了相关研究.典型的如美国加州大学戴维斯分校交通研究中心开展了 STEPS (sustainable transportation energy pathways) 研究计划.在能源供给方面,该中心评估了电动汽车充电需求对加州电网供给的影响^[11],提出利用地理信息系统(GIS)评估加氢站网络选址方法^[12],以及基于 Fuel-Travel-Back(燃料-出行-回程)方法优化加氢站选址^[13].Hong Junhee^[14]基于期望的纯电动车辆到达率与充电时间,利用排队理论提出满足一定服务水平的充电站服务能力计算方法.

整体上现有研究多从电力工程角度分析纯电动汽车电池充电技术以及充电站建设的电力接入问题,并在充电分析基础上初步给出不同车辆使用方式对应的能源供给模式.但在宏观能源供给体系层面,尚未明确提出纯电动汽车总体供能策略,未能结合纯电动汽车在电力工程、交通工程上的应用需求,提出各类能源供给设施在供能网络中的服务定位.对各类供能设施的统筹布局规划,也还需进一步加强.

2 供能策略决策因素

2.1 城市电网运行特征

由于人口、产业集聚,城市用电需求负荷密度高,且随着社会经济的快速发展,电力需求不断增长.以上海为例^[15],2000—2008年间,上海市年用电量由 559.51 亿 kW·h 增加到 1 138.22 亿 kW·h,年均增长 9.3%;日最高用电负荷由 1 041.7 万 kW 增加到 2 243.2 万 kW,年均增长 10.1%.另一方面,电网供电

侧发电设备容量增长有限,速度增长滞后.2001—2008 年上海年末发电设备容量由1 121.09 万 kW增加到1 679.74 万 kW,年均增长 5.9%.

除需求总量快速增长外,城市电网需求侧还面临逐年扩大的用电峰谷差困扰.2008 年上海电网日最大峰谷差达 878.8 万 kW,约占最高用电负荷的 40%.一方面,高峰用电负荷超出发电设备最高出力,造成电力紧缺;另一方面,低谷电力负荷远小于发电设备最高出力,又形成电力相对过剩.高峰紧缺与低谷过剩并存成为城市电网系统运营的典型特征,上海市每年投入近 200 亿元解决电力负荷增量问题.

在上述电网运行特征下,如果大量纯电动汽车在白天充电,势必会造成更严重的高峰紧缺与低谷过剩,政府也不得不投入更多资金解决电力负荷问题.相反,如果纯电动车在夜间低谷时段充电,既可以降低充电成本(夜间电价减半),又可对电网运营起到削峰填谷作用,有利于提高电网及电力设备的供电效率,降低需求侧用电成本.因此,夜间低谷充电对纯电

动汽车与电网运行是一种双赢模式.

2.2 电池性能与充电技术

电池研发是纯电动汽车产业最关键的技术,电池单次充电续驶里程直接影响了纯电动汽车的推广与普及程度.表 1 总结了几款典型纯电动汽车电池技术性能参数,可以看到现阶段纯电动乘用车电池单次充电实际续驶里程约在 100~200 km,百公里耗电 8~12 kW·h,最高车速约 100~150 km·h⁻¹.

关于纯电动汽车的能源补给,目前已形成常规充电、快速充电和更换电池组 3 种常用充电方式.常规充电采用小电流的恒压或恒流方式,电流约为 15 A,充电需 5~8 h;快速充电采用 150~400 A 的高电流,在 20~30 min 内就能使蓄电池电量达到 80%~90%;更换电池组是在蓄电池能量耗尽时,用充满电的电池组更换已经耗尽的电池组,更换过程可在 10 min 之内完成.3 类充电方式的优缺点、适用性已有相关研究总结^[2-3],本文从充电设施规划、建设、运营角度分析 3 类充电方式对基础设施的要求,如表 2 所示.

表 1 典型纯电动乘用车电池技术性能参数
Tab.1 Battery performance parameters of some typical BEVs

车型	电池类型	续驶里程/km	百公里耗电/(kW·h)	最高车速/(km·h ⁻¹)
奇瑞 S18	磷酸铁锂电池(40 A·h)	120~150	8~10	120
众泰 2008EV	汉维铁锂电池	200(等速工况)	12	110
长安奔奔 i	锂离子电池	150	10	120
上汽荣威 E1	磷酸铁锂电池	135	—	120
日产 Leaf	复合锂离子电池(48 A·h)	161	—	145
三菱 iMiEV	锂离子电池	160	—	130

注:表中各类车型电池技术性能参数来源于汽车厂商网站发布数据.

表 2 不同充电方式对基础设施的要求
Tab.2 Infrastructure requirements of different charging methods

充电方式	充电及配套设施	设施规划要求	设施建设要求	设施运营要求
常规充电	①车载充电机加充电插口;②充电桩;③电力计量收费装置.	①常规充电设施在供能体系中的服务定位;②设施规划总量与空间布局;③与建筑停车配建规划协调.	可结合居住区、楼宇、商场、超市的停车场以及社会公共停车场建设,无需额外占用土地.	充电过程由用户自己完成,除日常维护外无特殊运营要求.
快速充电	①大型充电机;②电力计量收费装置.	①快速充电设施在供能体系中的服务定位;②设施规划总量与空间布局;③与城市规划、电网规划协调.	一般宜结合 10 kV 变电站建设,需要独立空间,占用一定土地.	充电过程由专人完成,需要智能化充电管理系统,专业化操作与维护.
更换电池组	①备用电池组;②电池充电装置;③电池更换装置.	①电池更换站在供能体系中的服务定位;②设施规划总量与空间布局;③与城市规划、电网规划协调.	结合特定车型的运行特征布点,需要独立空间,占用一定土地.	由专人专业机械更换电池组,可在夜间对能量耗尽电池组充电.辅以电池物流配送,形成工厂式电力综合服务站.

2.3 纯电动汽车交通功能定位

在当前电池性能与充电技术条件下,纯电动汽车较传统燃油车在使用便捷性、可靠性等方面仍有一定差距.纯电动汽车主要适合于城市范围内、日出

行距离不超过 100 km 的代步模式.根据国内城市居民日均出行次数、出行里程、出行空间分布等特征,纯电动汽车代步使用模式具有良好的可行性.2008 年中国汽车技术研究中心联合新浪汽车开展的乘用车

车行车习惯调查^[16]表明,工作日约 83%的乘用车日均行驶里程小于 50 km,96%的乘用车日均行驶里程小于 100 km;休息日约 70%的乘用车日均行驶里程小于 50 km,93%的乘用车日均行驶里程小于 100 km(图 1).该调查样本为:省会城市及直辖市占 49%,地级城市占 34%,县级城市占 12%,城镇及农村占 5%.由此可见,样本有一半来自地级市与县城城镇.实际上大城市乘用车日均行驶里程可能稍高于调查值.如上海市 2004 年客车及摩托车出行特征如表 3、图 2 所示^[17].其中,私人小客车出行车辆平均每日行驶里程约 52 km,平均每车次出行距离约 19 km,小于 50 km 的占到 94%以上.尽管如此,若综合 2004 年上海车辆出行特征与 2008 年乘用车调查结果,将上海市各类客车与摩托车替换为纯电动汽车,则当前电动汽车电池单次充电续驶里程(100~200 km)基本满足社会客车和摩托车白天行驶、夜间充电的需求,公交车需要在白天更换电池组二三次,出租车需要更换电池组三四次.

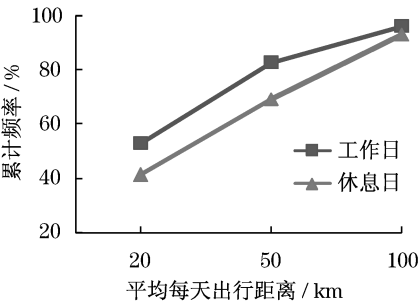


图 1 2008 年乘用车调查出行距离累计频率分布(右)
Fig.1 Samples distribution (left) and cumulative frequency distribution of travel distance (right)

表 3 2004 年上海市客车与摩托车出行特征
Tab.3 Travel characteristics of passenger cars and motorcycles in Shanghai

机动车类型	平均每车每日 出行次数/车次	平均每车每日 行驶里程/km	平均每车次 出行距离/km
单位小客车	3.42	69.8	20.4
私人小客车	2.75	52.1	18.9
大客车	3.30	95.6	29.0
公交车		244.0	
出租车	36(载客车次)	348.0	6.1(载客里程)
摩托车	2.37	28.1	11.9
轻便摩托车	2.11	20.8	9.9

2.4 纯电动汽车节能减排效益

目前我国燃煤发电约占总发电量的 80% 以上,电力并非清洁能源,而存在较高的碳排放量.而且由于夜间电力负荷大大下降,电力部门只能降低发电

机组的功率,这使得单位火力发电的煤耗增加,碳排放也随之加剧.

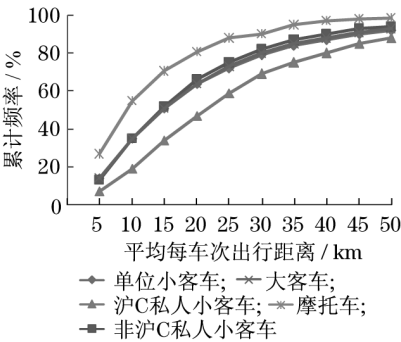


图 2 2004 年上海市客车与摩托车平均每车次出行距离
累计频率分布
Fig.2 Cumulative frequency distribution of travel distance per vehicle-time of passenger cars and motorcycles in Shanghai

因此,在当前电力资源供给结构下,关于纯电动汽车全生命周期的碳排放是否低于传统燃油汽车还存在一定争议.国家发改委能源研究所副所长李俊峰日前指出:目前国内所有的新能源汽车,没有一辆是低碳的,必须寻找到新的技术路线才能生产出低碳汽车来.但倘若电动汽车利用夜间低谷“闲置”的电力进行充电,既可提高电能利用效率,降低碳排放,又能在生命周期源头上不额外增加由于燃煤发电(供纯电动汽车使用)新增的碳排放量,使纯电动汽车毋庸置疑地起到节能减排的作用.

2.5 土地资源约束

有限的土地资源是国内几乎所有城市发展面临的主要约束条件.在现有 3 种充电方式中,常规充电基本不额外占用土地,快速充电和电池更换都需要单独占用土地,根据规模不同占地面积几百至几千平方米不等.

在城市寸土寸金的有限空间内,按传统加油站思路大规模建设快速充电站、电池更换站已不太可能.土地资源约束决定了常规充电站必须承担纯电动汽车供能主体的作用.

3 纯电动汽车供能策略

根据上述对城市电网运行特征、纯电动汽车交通功能定位以及节能减排效益、城市土地资源约束等因素分析,本文提出纯电动汽车供能策略.

3.1 总体供能模式

以夜间低谷充电为主,白天快速补电与更换电

池组为辅,结合各类型交通方式出行特征,提供组合型供能模式(表 4)。

表 4 各类交通方式供能策略与要求
Tab.4 Energy supply strategy and requirements of different transportation modes

交通方式	供能策略	供能要求
私人小汽车	①以夜间低谷时段在居住区停车场充电为主,白天在办公场所或社会停车场利用常规充电方式补电;②行车途中必要时可利用快速充电方式补电。	①高密度分布的车载充电机插口和充电桩;②智能化电能显示与快速充电站地理位置指示系统。
特定用户租赁车	①以夜间低谷时段在停车场充电和白天常规充电为主;②行车途中必要时可采用更换电池组方式补电。	①结合车辆行驶线路布置充电插口和充电桩;②结合车辆运营调度满足使用需求。
出租车	以更换电池组方式为主,电池更换站在夜间低谷时段对能量耗尽电池组进行常规充电。	①车辆电池组尽可能标准化;②较高密度分布的电池更换站;③智能化电能显示与电池更换站地理位置指示系统。
公交车	以更换电池组方式为主,电池更换站在夜间低谷时段对能量耗尽电池组进行常规充电。	①车辆电池组尽可能标准化;②结合车辆日行驶里程计算供能强度。
政府及企事业单位用车	①以夜间停驶状态下低谷充电为主,白天在办公场所或社会停车场利用常规充电方式补电;②行车途中必要时可利用快速充电方式补电。	①单位停车场自备车载充电机插口和充电桩;②智能化电能显示与快速充电站地理位置指示系统。

3.2 供能设施服务定位与布局

3.2.1 常规充电桩

常规充电桩在能源供给体系中占主导地位,以体现夜间低谷充电为主的供能策略。其服务对象包括各种出行目的的纯电动汽车,尤其是满足私人小汽车、政府及企事业单位用车的充电需求。空间布局上,在居住社区、办公楼宇、商场超市、交通枢纽以及社会停车场(库)等安装车载充电接口或充电桩,构建高覆盖率的公共充电网络,方便车辆在停驶状态下就近接入电网充电。

3.2.2 快速充电站

快速充电站在能源供给体系中应处于补充地位,主要服务于私人小汽车、政府及企事业单位用车在使用途中应急补电需求。空间布局上,由于快速充电电流大,对电网运行影响程度高,宜结合变电站设

置。同时,考虑服务车辆的出行空间分布特征,优化快速充电站选址。

3.2.3 电池更换站

在各种汽车厂商电池、充电机和充电接口难取得统一的情形下,电池更换站在能源供给体系中也只能处于补充地位。由于公交车、出租车、租赁车等集团化用车模式使用的车辆类型较统一、且对能源补给时间要求高,电池更换站特别适用于这类用车模式。空间布局上,结合车辆行驶路线、区域集中设置一定数量电池更换站,根据车辆运营特征配备电池组,更换下来的电池组在夜间利用常规方式集中充电。

将常规充电桩、快速充电站、电池更换站在能源供给体系中的功能定位、服务对象与空间布局总结如表 5 所示。

表 5 电动汽车供能设施功能定位、服务对象与空间布局
Tab.5 Service function service object and spatial layout of energy supply infrastructures

供能设施	功能定位	服务对象	空间布局
常规充电桩	主导地位	为所有交通方式的纯电动汽车提供常规充电服务,重点满足私人小汽车。	居住社区、办公楼宇、商场超市、交通枢纽以及社会停车场(库)。
快速充电站	补充地位	为所有交通方式的纯电动汽车提供快速补电服务,重点满足私人小汽车、政府及企事业单位用车。	结合 10 kV 变电站设置,并考虑车辆出行的空间分布特征进行优化。
电池更换站	补充地位	为所有交通方式的纯电动汽车提供更换电池服务,重点满足公交、出租、租赁等集团化用车。	结合车辆行驶路线、区域集中设置。

4 结语

随着新能源汽车示范推广力度的加大,能源供

给将扮演着日趋重要的角色。时下众多相关企业纷纷投资充电设施建设,抢占充电市场先机。但在大规模充电设施建设前,必须首先在宏观层面明确纯电动汽车供能策略,界定不同类型充电设施在能源供

给体系中的服务定位与布局要求. 否则在总体策略不明确的情况下盲目建设充电设施, 可能导致充电网络不能满足车辆使用特性与出行需求, 并形成部分企业在充电设施建设中恶性竞争的局面. 本文通过对纯电动汽车能源供给策略决策因素的分析, 提出纯电动汽车能源供给应有别于传统燃油车自由的加油模式, 须实施夜间低谷充电为主, 白天快速补电与更换电池组为辅, 结合各类型交通方式出行特征, 提供组合型供能模式的能源供给策略.

在本文研究基础上, 可针对特定区域交通出行特征, 进一步研究供能设施空间布局优化模型, 定量分析供能设施的建设规模. 另外, 创新供能设施建设、运营的商业化模式也是构建能源供给体系的重要内容, 值得深入探讨.

参考文献:

- [1] 腾乐天, 何维国, 杜成刚, 等. 电动汽车能源供给模式及其对电网运营的影响[J]. 华东电力, 2009, 37(10): 16.
TENG Letian, HE Weiguo, DU Chenggang, et al. Power supply modes for electrical vehicles and their impacts on grid operation [J]. East China Electric Power, 2009, 37(10): 16.
- [2] 王刚, 周荣, 乔维高, 等. 电动汽车充电技术研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2008(6): 7.
WANG Gang, ZHOU Rong, QIAO Weigao, et al. The research on charging technologies for electric vehicle [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2008(6): 7.
- [3] 康继光, 卫振林, 程丹明, 等. 电动汽车充电模式与充电站建设研究[J]. 电力需求侧管理, 2008, 11(5): 64.
KANG Jiguang, WEI Zhenlin, CHENG Danming, et al. Research on electric vehicle charging mode and charging stations construction [J]. Power Demand Side Management, 2008, 11(5): 64.
- [4] 姚建敏, 王娟, 罗伟明. 电动汽车充电系统建设应用分析研究[J]. 华东电力, 2008, 36(8): 10.
YAO Jianxin, WANG Juan, LUO Weiming. Construction and application of charging systems for electric mobiles [J]. East China Electric Power, 2008, 36(8): 10.
- [5] 刘强, 王春莉. 市场环境下电动汽车的电力服务[J]. 电力需求侧管理, 2007, 9(1): 45.
LIU Qiang, WANG Chunli. Electric power service of electric automobile based on market environment [J]. Power Demand Side Management, 2007, 9(1): 45.
- [6] 曲巍, 赵宏振. 纯电动轿车的使用模式与能源供给模式[J]. 电力需求侧管理, 2009, 11(2): 21.
QU Wei, ZHAO Hongzhen. Usage patterns and energy supply model of pure electric cars [J]. Power Demand Side Management, 2009, 11(2): 21.
- [7] 张文亮, 武斌, 李武峰, 等. 我国纯电动汽车的发展方向及能源供给模式的探讨[J]. 电网技术, 2009, 33(4): 1.
ZHANG Wenliang, WU Bin, LI Wufeng, et al. Discussion on development trend of battery electric vehicles in China and its energy supply mode [J]. Power System Technology, 2009, 33(4): 1.
- [8] 徐凡, 俞国勤, 顾临峰, 等. 电动汽车充电站布局规划浅析[J]. 华东电力, 2009, 37(10): 1678.
XU Fan, YU Guoqin, GU Linfeng, et al. Tentative analysis of layout of electrical vehicle charging stations [J]. East China Electric Power, 2009, 37(10): 16.
- [9] GAO Hongli, HUO Yamin, LUO Yong. Optimization model of the public EV charging station distribution in city [C] // Proceedings of the 2nd International Conference on Transportation Engineering. Reston: American Society of Civil Engineers, 2009: 3166 - 3171.
- [10] 刘金行. 建设电动汽车电池更换式充电站的可操作性分析[J]. 科技广场, 2010(3): 226.
LIU Jinhang. Operability analysis of electric cars battery replacement charging station construction [J]. Science Mosaic, 2010(3): 226.
- [11] McCarthy, Ryan W. Assessing vehicle electricity demand impacts on california electricity supply [R]. Davis: University of California. Institute of Transportation Studies, 2009.
- [12] Nicholas A Michael, Handy L Susan, Sperling Daniel. Using geographic information systems to evaluate siting and networks of hydrogen stations [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2004 (1880): 126.
- [13] Lin Zhenhong, Ogden M Joan, Fan Yueyue. The fuel-travel-back approach to hydrogen station siting [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2009, 33 (12): 30.
- [14] HONG Junhee, CHOI Jungin, LEE Jeongion, et al. Determining the proper capacity of electric vehicle charging station [J]. Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, 2009, 58(10): 1911.
- [15] 上海市统计局. 上海统计年鉴 2009 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
Shanghai Municipal Statistics Bureau. Shanghai statistical Yearbook 2009 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2009.
- [16] 中国汽车技术研究中心, 新浪汽车. 乘用车行车习惯调查 [EB/OL]. (2008-09-20) [2011-07-02]. <http://survey.news.sina.com.cn/voterresult.php?pid=27024>.
China Automotive Technology & Research Center, Sina Website. Passenger car driving behavior survey [EB/OL]. (2008-09-20) [2011-07-02]. <http://survey.news.sina.com.cn/voterresult.php?pid=27024>.
- [17] 上海市第三次综合交通调查总报告编委会. 上海市第三次综合交通调查总报告 [R]. 上海: 上海市城市综合交通规划研究所, 2004.
Bureau of the Leading Group for the Third Comprehensive Transport Survey of Shanghai. General Report of the Third Comprehensive Transport Survey of Shanghai in 2004 [R]. Shanghai: Shanghai City Transportation Planning Institute, 2004.