

## 灵巧潮流控制的电动汽车智能化充电站

李瑞生<sup>1,2</sup>, 王晓雷<sup>1,2</sup>, 周逢权<sup>1</sup>, 李献伟<sup>1</sup>

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 中原工学院, 河南 郑州 450007)

**摘要:** 针对目前电动汽车智能化充电站的建设热潮, 分析了当前电动汽车充电站的研究和应用现状。在智能电网的体系中, 对作为智能电网重要用电和储能单元的电动汽车智能化充电站, 探讨了潮流可逆的变拓扑电动汽车智能化充电站的电路结构、直流系统和计量通信监控系统, 并在此基础上对充电站快速充电能力、纯电动汽车充电能力进行了分析, 提出了相应的快速充电解决方案和途径。对充电站输入功率和潮流进行分析, 提出了均衡输入功率方案和灵巧潮流控制方法。

**关键词:** 智能电网; 电动汽车; 潮流控制; 快速充电; V2G

### The system of electric vehicle intelligence charge station with smart power flow control

LI Rui-sheng<sup>1,2</sup>, WANG Xiao-lei<sup>1,2</sup>, ZHOU Feng-quan<sup>1</sup>, LI Xian-wei<sup>1</sup>

(1. XJ Electric Co., LTD, Xuchang 461000, China; 2. Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** This paper analyzes the research and current application situations of electric vehicle intelligence charge station considering the current construction upsurge of the intelligent charging station. In the system of smart grid, the circuit structure of flow reversible variable topology electric vehicle intelligence charge station, direct current system and measuring communication monitoring system are discussed concerning the electric vehicle intelligence charge station which is the important storage unit of smart grid. Meanwhile, it puts forward corresponding solutions for fast charging based on the analysis of fast charging ability of charge station as well as pure electric vehicle, and proposes balanced solutions of input power as well as the smart power flow control method based on the analysis of input power and flow control.

**Key words:** smart grid; electric vehicle; power flow control; rapidity charge; V2G

中图分类号: TM910.6 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)21-0087-04

## 0 引言

电动汽车技术包括纯电动汽车、双模动力和混合动力汽车等新能源汽车目前在世界各国推广应用的技术和经济的瓶颈之一是充电站技术的发展滞后于电动汽车本身的技术发展<sup>[1]</sup>。为了适应新能源汽车技术的发展, 国家电网公司在2009年12月颁布了《国家电网公司电动汽车充电设施建设指导意见》等有关的企业文件和标准<sup>[2]</sup>, 这些相关标准是国家电网公司在国内首次提出充电站设计、建设标准, 对于组织电动汽车充电机的生产、选型、使用及充电站的建设提供了技术依据。目前, 国内外相关领域学术论文和专利主要集中于电动汽车充电站的充电设备的理论、结构、控制和通信等方面, 例如, 文献[3]提出了一种“基于极端单体电池充放电控制技术”和“动力蓄电池综合管理系统”, 文献[4]比较研究了常规充电、快速充电、机械充电等类型的充电模式的优缺点。从电能外部接入角度对充电站

的建设作了研究, 文献[5]进行了电动汽车充电站通信网络及接口设计工作, 介绍了电动汽车充电站通信网络的功能和整体设计方案。日本的新能源汽车一直处于世界领先水平<sup>[6]</sup>, 东京电力公司宣布其成功开发出大型快速充电器, 使充电时间大大缩短, 进一步提高了日本普及使用电动车的可能性。但是, 上述标准和研究工作对于基于“统一坚强的智能电网”的电动汽车智能充电站新技术发展趋势尚未给予充分体现, 特别是基于智能电网的V2G (Vehicle to Grid) 技术, 对于电动汽车充电站研究将产生深远影响。因此, 急需结合国家智能电网示范工程建设, 对于新型电动汽车智能充电站的灵巧潮流控制技术进行前瞻性的探索。

本文探讨了在智能电网的体系中, 电动汽车智能化充电站(场)的子系统组成的要素, 包括与智能电网无缝连接的智能化网络结构、充电机、自愈配电、高级量测等系统的特征, 深入探讨了电动汽车智能充电站具有的快速脉冲充电的能力, 灵巧潮

流控制的特点，有均衡输入功率的特征，高效的系统使用效率，可对局域配网提供紧急功率和峰荷的电力支持的有关问题的研究。电动汽车智能充电站的研究和建设必须纳入到国家的“统一坚强的智能电网”的战略目标和技术体系中去，在电动汽车充电站通用技术规范、通信协议和技术、终端用户与智能网络的双向互动，电动汽车智能充电站复杂的潮流控制技术等方面与智能电网形成一个有机的统一体。

### 1 电动汽车智能充电站（场）结构

电动汽车智能充电站（场）可以具有多种形式，包括专业化商用的电动汽车充电站，大型移动车载充电站，大型停车场也应当逐步具备电动汽车的充电能力，包括社区、商场、单位、道路设置的电动汽车充电桩，以及家庭的小型车库都应当纳入到电动汽车智能充电站（场）的体系中，都是智能电网的智能化终端，其结构虽然有一定的差异，但是其总体特征都应当与智能电网的体系兼容，下面以专业化商用的电动汽车充电站为例，分析智能充电站的基本特征和实现功能，其设计思路，也适用与其他类型的充电站（场）。

#### 1.1 大型电动汽车智能充电站的电路结构

为电动汽车智能化充电站的主体系统结构和配网一次设备结构系统图如图 1 所示，考虑到今后智能配网的发展趋势，电动汽车智能化充电站采用 20 kV 配网电压。为了保障供电的可靠性采用双路双回供电，主变压器采用 2 台 500 kVA 具备有载

调压功能的干式变压器，原/副边的电压变比为 20/0.4 kV。为了与 AMI 系统兼容，配网侧全部采用 IEC61968 和 61970 标准的具有通信接口电子式电流传感器和电子式电压传感器。

#### 1.2 电动汽车智能充电站的直流系统

基于快速充电，高功率因数和最大限度地减少谐波污染的要求，充电站采用 2 台最大输出能力为 500 kW 的 PWM 整流器/逆变器，组成电动汽车智能化充电站的可控直流电压、可控直流电流的高脉冲电流的直流系统。为了实现脉冲功率充电的要求，设置 2 台 500 kW 的 DC/DC 变流器，并匹配相应功率的超级电容器组。直流母线系统为额定参数 500 V，2 000 A，在 PWM 整流模式运行下，最高电压可以为 650 V。可以直接与充电范围为 90~500 V、额定电流为 2 000 A 的被称为“充电炮”的自适应大功率脉冲式充电接口相连接。

#### 1.3 电动汽车智能充电站的计量通信监控系统

充电站的终端充电机应当具有与电网高级量测体系（AMI）兼容的测量、通信、监控系统，其作用应当有与车载的网络系统能够进行实时通信，监控电动汽车电源系统有关参数。智能化的电池管理系统也是 AMI 系统的监控对象，能够可靠地完成电池状态的实时监控和故障诊断，并通过现场总线的方式告知车辆总成控制器、充电机和 AMI 系统，智能电网的高级资产管理（AAM）无缝集成对于电动汽车充电站运营模式具有重要的意义，当用户之间交换储存的电能以及用户上传多余的电能时，必须依靠功能完备的智能电网的高级资产管理（AAM）系统，作为电能资产管理中介和交易中心。

### 2 电动汽车智能充电站（场）的特征

#### 2.1 充电站快速充电能力的研究

2010 年 2 月以来，国内外锂离子动力电池的主要企业都相继推出了改进的能量型和功率型磷酸铁锂动力电池，能量型锂电池已经具备了 2C 充电，4C 放电的能力。而功率型磷酸铁锂动力电池更是具备 10C 充电，30C 放电的能力<sup>[7]</sup>，类似技术的出现，对于电动汽车的充电效率和成本将产生深远的影响。

近年来，国内外的电动汽车充电站显然随着动力电池技术的进步，特别是磷酸铁锂电池的广泛应用有了不少进展。但是，其现有的技术路线与智能电网基本特征仍然存在巨大的差距，其存在的问题主要反映在下列方面：

电动汽车充电站高功率密度和高能量密度的快速充电技术仍然没有取得根本性的突破，目前根据

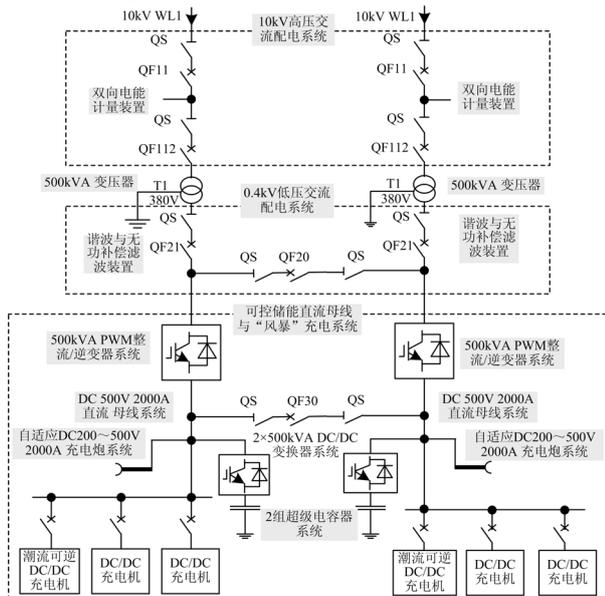


图 1 电动汽车智能化充电站主接线图

Fig.1 Main circuit electric vehicle intelligence charge station

相关文献[8], 汽车电池充电率达到 50% 的时间最好的记录为 10 min。制约充电速度的主要原因有两个, 其一是受到锂电池最佳充电速率为 0.2~1C 的观念制约; 其二是基于目前的常规交流电网的电动汽车充电站无法提供强大的瞬时功率。

解决上述问题的途径也是两个, 其一是对于充电过程进行更加精确的控制, 当然, 最根本的出路在于采用新型结构的锂电池; 其二是采用坚强的交直流混合电网进行锂电池的风暴 (Storm) 式充电。关键技术是采用可控的超级电容作为“摆渡能量”装置, 对于锂电池进行强大脉冲式充电。即采用大功率 PWM 整流/逆变器组成了电动汽车智能化充电站的可控直流电压、电流的高脉冲电流的直流母线系统, 该 PWM 整流/逆变器具有下列功能:

① 可以作为“充电炮”给予新型锂电池进行快速充电使用, 其充电能力可以达到对于大功率的电动汽车的整车动力电池组进行高速充电;

② 该系统作为通用直流母线具有给小功率 DC/DC 电动汽车充电机供电的基本功能;

③ 采用大容量直流母线槽作为电动汽车智能化充电站低压系统的主要能量通道, 没有交流电的“趋肤”和“挤流”效应, 母线的有效截面积大, 损耗低, 发热少, 散热好, 同时, 可以采用外部风冷方式, 承受冲击电流和过载能力强;

④ 在电动汽车智能充电站应当具有自学习性、可扩充性、自优化性等人工智能的基本特征, 特别是对于新型动力电池的技术发展应当具有自适应性。

## 2.2 纯电动汽车充电能力对比分析

目前, 最先推广应用的电动汽车是电动公交车辆<sup>[1]</sup>, 其对比参数如表 1。在充电时, 其充电时间  $T_c$ <sup>[1]</sup> 的计算如公式 (1):

表 1 电动公交车辆电池系统典型参数

Tab.1 Typical parameter of electric bus battery system

电池类型	额定容量/Ah	最高电压/V	最大电流/A	充电功率/kW	充电倍率/C
磷酸铁锂	360	445	120	53.4	0.3
磷酸铁锂(改进后)	360	445	2000	890	5.5

$$T_c = (1 + \gamma_T \%) \frac{N_1 \Delta E}{\eta_T \eta_C P_{Omax}} \quad (1)$$

式中:  $\gamma_T = (1 - 20)\%$  为充电时间系数;  $\eta_T = 0.65 - 0.95$  为充电效率修正系数;  $\eta_C = 0.80 - 0.92$  为充电效率;  $P_{Omax}$  为充电功率;  $N_1$  为每组充满电荷的蓄电池可

提供的服务次数, 在此算例中  $N_1$  为 4 次;  $\Delta E_1$  为每运行一次消耗的蓄电池能量, 在此算例中  $N_1 \Delta E_1$  为 125 (kWh); 根据表 1 和公式 (1) 可以计算出, 在常规充电和大功率快速充电时, 以单台车每天 12 h 的运行总时间计算, 电池充电和运行参数对比见表 2 中。

表 2 电动公交车辆电池充电时间对比

Tab.2 Comparison of charge time of electric bus battery

电池类型	充电时间/h	速度 / (km · h <sup>-1</sup> )	总里程 / (km · d <sup>-1</sup> )	运行比率 / %
磷酸铁锂	4.5	30	150	41.2
磷酸铁锂 (改进后)	0.18	30	344	93

显然随着充电时间的缩短, 电池的运行效率将大为提高。

## 2.3 电动汽车充电站的灵巧潮流控制

随着智能电网技术的发展, 电动汽车智能充电(机)站并不仅仅是一个用电单元, 其基本特征是一个智能化的能量交换管理中心, 或者可以认为是一个能量 ATM 机, 按照管理规约, 可以作为一个种子 BT 单元, 进行动态的能量下载或上传。例如, 由于系统具有双向潮流控制能力, 电动汽车的用户在需要的情况下, 可以将自己电动汽车的锂电池组的多余的能量, 上传到电动汽车智能化充电站中。在紧急的情况下, 它也可以为局域配网提供紧急功率和峰荷的电力支持, 并作为智能电网一个坚强的支撑节点, 有效地保障智能电网的稳定运行。电动汽车智能充电(机)站, 在智能电网的拓扑结构中, 并不是一个地理上的孤立节点, 而是具有智能化网络重构能力的用电/储能单元, 以及能量双向交换的节点。终端用户可以根据利益最大化的原则, 委托智能电网的区域调度中心, 进行优化管理。因此, 必须采用新的智能化技术和具有双向潮流控制能力和计量能力的新型充(放)机, 来对锂电池组进行管理和调度。必须将电动汽车智能充电站的研究和建设纳入到国家的“统一坚强的智能电网”的战略目标和技术体系中去, 在电动汽车充电站通用技术规范、通信协议和技术、终端用户与智能网络的双向互动, 电动汽车智能充电站复杂的潮流控制技术等方面与智能电网形成一个有机的统一体。

## 2.4 充电站的均衡输入功率的特征

由于采用超级电容平衡瞬时功率, 通过良好的控制技术, 可以在变压器输入端实现恒功率输入特性。这样可以大幅度提高电力资产的使用效率。

### 3 结论

本文通过探讨智能电网的体系中, 电动汽车智能化充电站(场)的子系统组成的要素, 包括充电系统智能化网络结构、智能充电机、自愈配电、高级量测等系统的特征, 通过一个纯电动公交车系统为例子, 深入探讨了电动汽车智能充电站具有的快速脉冲充电的能力, 灵巧潮流控制的特点, 有均衡输入功率的特征, 高效的系统使用效率, 并可对局域配网提供紧急功率和峰荷的电力支持的有关问题的研究。建议电动汽车智能充电站的研究和建设必须纳入到国家的“统一坚强的智能电网”的战略目标和技术体系中去, 在电动汽车充电站通用技术规范、通信协议和潮流控制技术等方面与智能电网形成一个有机的整体。

### 参考文献

[1] 滕乐天, 姜久春, 何维国. 电动汽车充电机(站)设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.  
TENG Le-tian, JIANG Jiu-chun, HE Wei-guo. Electric bus charge station design[M]. Beijing: China Electric Press, 2009.

[2] 国家电网公司. Q/GDW 233~238-2009. 电动汽车充电站通用技术要求, 等[S]. 北京: 国家电网公司企业标准, 2009.  
National Power Grid. Q/GDW 233~238-2009. Electric vehicle charging station general technical requirement, etc[S]. Beijing: National Power Grid Enterprise Requirement, 2009.

[3] 钱良国, 郝永超, 肖亚玲. 锂离子等新型动力蓄电池成组应用技术和设备研究最新进展[J]. 机械工程学报, 2009, 45 (2): 2-11.  
QIAN Liang-guo, HAO Yong-chao, XIAO Ya-ling. The latest development of the group application technology & equipment of Li-Ion batteries[J]. Journal of Mechanical

Engineering, 2009, 45 (2): 2-11.

[4] 姚建歆, 王媚, 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).  
YAO Jian-xin, WANG Mei, LUO Wei-ming. Construction and application of charging systems for electric mobiles[J]. East China Electric Power, 2008, 36 (8).

[5] 李慧琪. 纯电动汽车运营模式及经济性探讨[J]. 科技管理研究, 2007 (7).  
LI Hui-qi. Pure electric vehicle operation mode and economic investigation[J]. Science and Technology Management Research, 2007 (7).

[6] 金一丁, 宋强, 刘文华. 电池储能系统的非线性控制器[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (7).  
JIN Yi-ding, SONG Qiang, LIU Wen-hua. Nonlinear controller for battery energy storage system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (7).

[7] Byoungwoo Kang, Gerbrand Ceder. Battery materials for ultrafast charging and discharging[J]. Nature, 2009, 458 (12).

[8] 王震坡, 孙逢春, 林程. 电动公交客车充电站容量需求预测与仿真[J]. 北京理工大学学报, 2006, 26 (12).  
WANG Zhen-po, SUN Feng-chun, LIN Cheng. Forecasting and simulation of the distribution capacity of E-bus charge station[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2006, 26 (12).

收稿日期: 2010-06-03

作者简介:

李瑞生(1966-), 男, 硕士, 教授级工程师, 从事继电保护方面的研究; E-mail: ruishengl@xjgc.com

王晓雷(1963-), 男, 博士, 教授, 从事电力电子领域研究;

周逢权(1969-), 男, 博士, 教授级工程师, 从事智能电网方面的研究。

(上接第 86 页 continued from page 86)

### 参考文献

[1] 李苏苏. 配电自动化规划及主站系统实施探讨[C]. //贵州省电机工程学会 2007 年优秀论文集. 2007: 150-152.  
LI Su-su. Study for the power distribution automation planning and main station implementation[C]. //Excellent Papers Collection of 2007 Guizhou Province Electrical Engineering Society. 2007: 150-152.

[2] 朱毅, 周君. GIS 与 SCADA 集成中一体化技术的研究[J]. 计算机与数学工程, 2007, 35 (3): 22-23.

ZHU Yi, ZHOU Jun. Study of integration technique for GIS and SCADA[J]. Computer and Mathematic Engineering, 2007, 35 (3): 22-23.

收稿日期: 2010-06-30

作者简介:

黄益庄(1938-), 女, 教授, 主要研究方向为电力系统自动化、电能质量分析与控制; E-mail: Hyz-dea@tsinghua.edu.cn

李树军(1981-), 男, 工程师, 主要从事中低压配电网自动化与配电网管理系统研究。