

DOI: 10.7667/PSPC170683

电动汽车换电智能监控系统的改进

王俊霞¹, 陈志刚¹, 郭 葳¹, 朱意霞¹, 徐石明²

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 分析了电动汽车换电监控系统的现状与存在的问题。结合实际换电运行流程, 设计了一种改进的电动汽车换电智能监控系统。该监控系统设计了新型的换电电量计量方法, 解决了换电电量计量与计费困难的问题。设计了电池箱优选策略, 实现了全自动换电命令下发、换电过程管理、换电决策和换电执行过程全景反演等的应用, 解决了换电监控系统智能化程度不足的问题。设计了换电监控系统的系统组成、架构设计、功能定义和新型换电流程, 并从软件设计、组网实现、数据结构、换电电量计量与计费、全自动换电策略等方面的工作完成了系统的最终实现。实际工程应用结果表明, 该系统可显著降低换电电量计量与计费功能的实现复杂度和成本, 提高电动汽车换电监控系统的智能化水平, 降低换电站建设和运营成本。

关键词: 电动汽车; 监控系统; 换电; 电量计量; 全自动换电策略

Modification of intelligent monitoring system for EV battery swap station

WANG Junxia¹, CHEN Zhigang¹, GUO Wei¹, ZHU Yixia¹, XU Shiming²

(1. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China; 2. NARI Group Co., Ltd, Nanjing 210000, China)

Abstract: The status quo and existing problems of monitoring system for EV battery swap station are analyzed. Then a modified intelligent monitoring system for EV battery swap station is designed, combined with the actual battery swap operation process. The monitoring system solves the difficulty of electric energy metering and billing for battery swap by means of the design of a new battery swap electric energy metrological method. The monitoring system solves problem of the insufficient intelligent degree of monitoring system for EV battery swap station by designing a battery box optimization strategy, which realizes the application of auto battery swap control command send, battery swapping process management, panoramic inversion of decision making and execution process of battery swap, etc. This paper designs the system composition, architecture design, functional definition, and new battery swapping process of the battery swap monitoring system, finally realizes the monitoring system through the work on software design, network realization, data structure, battery swapping electric energy metering and billing, and the auto battery swap strategy. Practical project application results show that, the proposed monitoring system can significantly reduce the complexity and cost of battery swap electric energy metering and billing, effectively improve the intelligent degree of monitoring system for EV battery swap station, and lower the construction and operating costs of EV battery swap station.

This work is supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2016YFB0101800) and National Invention Patent of China (No. CN106183864A).

Key words: electric vehicle; monitoring system; battery swapping; electric energy metering; auto battery swap strategy

0 引言

随着电动汽车的推广应用和充换电服务网络建设的发展, 不同的应用场景和运行方式对电动汽车换电站的建设提出了新需求。换电站监控系统需要

面临自动完成换电电量计量与计费工作, 同时需要满足电动车辆实际运行中不同补电方式交叉使用时的换电电量计量与计费要求。全自动集装箱码头区域内建设的电动汽车换电站要求无人值班、要求对电池箱或充电设备均衡使用, 需要实现换电前、换电中和换电后全程无需人工干预的全自动换电控制^[1]。

针对上述需求, 本文分析了目前电动汽车换电监控系统的现状和存在的问题, 设计了一种新型电

基金项目: 国家重点研发计划项目资助(2016YFB0101800); 国家发明专利(公开号 CN106183864A)

电动汽车换电智能监控系统。本文设计的换电监控系统主要通过设计新型的换电电量计量方法和设计电池箱优选策略,实现自动换电命令下发、换电过程管理、换电决策和换电执行过程全景反演等的应用,来满足这些需求,达到提高换电监控系统的智能化水平,降低换电站建设和运营成本的效果。

1 现状分析

目前,换电站的换电计量与计费存在三种情况:第一种情况是不具备换电计量与计费功能;第二种情况是通过人工抄表方式实现换电电量计量与计费;第三种情况是通过监控系统与车辆上的车载终端通信,读取车辆上的直流电度表读数来完成自动换电计量与计费^[2-5]。因此,在车辆上配备直流电度表才能实现换电计量与计费,需要换电监控系统和车载终端采用移动互联网的方式通信才能实现自动换电计量与计费,系统图如图1所示。

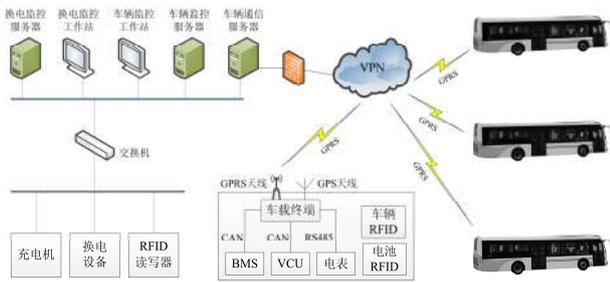


图1 自动换电计量与计费系统图

Fig. 1 Diagram of the electric energy metering and billing system for EV battery swap

第三种情况中存在的问题有:需要在车辆上安装直流电度表和车载终端,设备成本高;车载终端需要使用移动互联网与监控系统通信,运营成本高;需要换电监控系统具备车辆监控的能力,系统复杂度高;只能适用于车辆仅进行换电的应用场景,无法适用于车辆交叉采用充电桩充电和换电站换电的能量补充方式的应用场景,应用范围受限。

目前,国内的电动汽车换电站已经能够实现换电设备层面的自动换电,既换电设备接收到换电命令后自动完成在车辆和电池架间的电池箱更换任务^[6-8],但是必须由值班人员进行换电电池箱/电池组(有些换电模式还需要指定中转电池仓格)的选取,并通过换电监控系统的人机界面向换电设备下发换电控制命令,换电控制流程如图2所示。

此种换电控制模式的主要问题有:必须配备监控值班员,无法实现无人值班;依靠人工选取换电电池箱/电池组,难以实现对电池箱或充电设备的均

衡使用;人为因素、随机因素多,不利于提高换电站运行效率和设备利用率。



图2 换电控制流程图

Fig. 2 Diagram of the battery swapping process

2 设计方案

通过对目前换电站监控系统的分析,结合未来技术发展趋势,提出新型换电电量计量方法和应用电池箱优选策略的新型换电控制流程,降低换电电量计量与计费功能的实现复杂度和成本,提高电动汽车换电监控系统的智能化水平,降低换电站建设和运营的成本。

换电监控系统记录换电交易数据并自动生成基于电池箱充电电量的换电电量计量与计费信息,其原理是:当一次换电过程全部完成时,先生成包括换电车辆身份、换上电池箱、换下电池箱、换电开始时间、换电结束时间等信息的换电交易记录。然后将换下的乏电电池箱充满电所用的充电电量作为本次换电交易的计量电量信息,并根据计量电量信息中的总电量和分时电量,结合换电收费策略生成计费信息。

换电监控系统识别换电车辆身份信息、车辆就位信息和换电准备就绪信息,自动匹配车辆类型及其所用的电池箱类型。自动换电策略模块基于换电车辆类型、所用电池箱类型和换电工位信息,按照设定策略自动选取换电电池箱/电池组/中转电池仓格,向换电设备下发换电控制命令。换电设备接收到换电命令后,自动完成换电车辆和电池仓格间的电池箱更换工作。电池选取策略兼顾电池箱和充电设备的平衡使用等需求^[9-13]。换电管理模块跟踪换电控制执行过程并自动处理换电过程中出现的异常情况。系统记录换电策略和换电控制相关信息以实现换电控制决策和换电执行过程的全景反演。

下面从系统组成、产品架构、功能定义和换电流程等方面进行系统的设计。

2.1 系统组成

与现有自动换电计量与计费系统相比, 新型电动汽车换电智能监控系统不需要复杂的车载直流电度表、车载终端、车辆监控系统和 VPN 通道等, 可不配置换电监控操作员。仅需在常规换电站的基础上, 增加充电计量电度表。对电池组, 可每个电池组配一个电度表。对电池组分属左右两侧电池架的情况, 可为每侧的半组电池各配一个电度表。系统组成结构如图 3 所示。

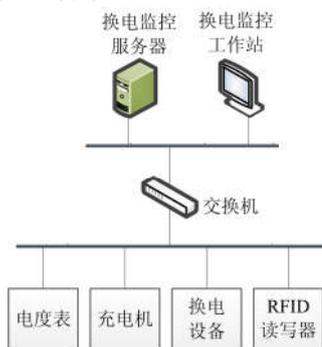


图 3 新型电动汽车换电智能监控系统图

Fig. 3 Diagram of the new intelligent monitoring system for EV battery swap station

2.2 架构设计

新型电动汽车换电智能监控系统包括数据交互、自动换电策略、换电管理和自动换电控制等模块。系统从中控系统接收车辆信息, 向中控系统发布换电工位和换电控制结果、换电执行过程信息, 给换电设备下发换电控制命令。换电设备在换电车辆和电池仓格间完成电池箱更换工作。系统架构如图 4 所示。

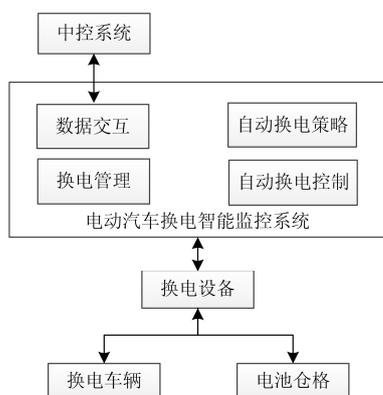


图 4 新型电动汽车换电智能监控系统架构图

Fig. 4 Architecture diagram of the new intelligent monitoring system for EV battery swap station

2.3 功能定义

换电监控系统具体功能包括与中控系统的数据交互、自动换电策略、自动换电控制、换电过程管理、换电计量与计费等。

1) 与中控系统的数据交互: 接收中控系统下发的换电车辆身份、车辆就位和换电准备就绪等车辆信息, 向中控系统发布换电工位当前状态和换电控制结果、换电执行过程和换电完成等信息。

2) 自动换电策略: 按照设定策略自动选取换电电池箱/电池组/中转电池仓格用于换电控制, 起到兼顾电池箱和充电设备平衡使用的作用。

3) 自动换电控制: 根据系统获取的车辆准备就绪等信息, 在适当的时机按照自动换电策略的选取结果, 向换电设备下发换电控制命令。

4) 换电过程管理: 对换电过程进行跟踪和管理; 处理车辆未停到位、换电中故障等异常; 将自动换电策略优选队列、策略选择结果、电力安全等相关数据断面信息、换电控制命令及执行结果、换电控制过程跟踪结果、异常情况处理及结果等记录到历史数据库中, 以实现换电控制决策和换电执行过程的全景反演, 用于展示演示、模拟训练、诊断分析、责任划分和故障排查等方面^[14]。

5) 换电计量与计费: 生成并存储换电记录信息, 生成并存储换电电量计量与计费信息。

2.4 换电流程

新型换电控制流程如图 5 所示。

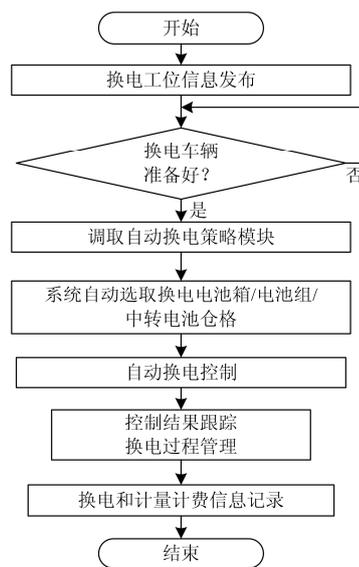


图 5 新型换电控制流程图

Fig. 5 Diagram of the new battery swapping process

与现有换电控制流程相比, 新流程取消了换电监控操作员选取换电电池箱/电池组/中转电池仓格

和操作员下发换电控制指令的过程,增加了电池箱优选策略,增加了自动换电命令下发、换电过程管理、换电决策和换电执行过程全景反馈。

3 技术实现

3.1 软件设计

遵循“基础平台+应用平台+工程配置”的设计理念,采用模块化、层次化、组件化的软件开发思想,可灵活扩展业务处理功能。采用大型商业数据库与自行开发的实时数据库结合,使历史库和内存库的访问达到数据无缝连接和统一管理。采用面向对象的思想进行换电监控系统的分析设计实现,采用 Visio 等工具进行辅助设计,采用 QT/VC6 等集成开发环境,通过 C/C++语言进行软件模块的编码工作。系统体系结构如图 6 所示。

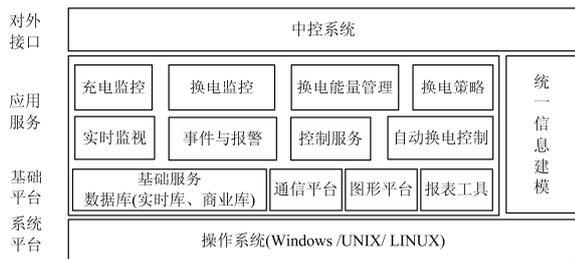


图 6 系统体系结构图

Fig. 6 System architecture diagram

3.2 组网实现

换电站监控系统由站控层、间隔层两部分组成,采用分层、分布、开放式网络实现连接,组网方式如图 7 所示。

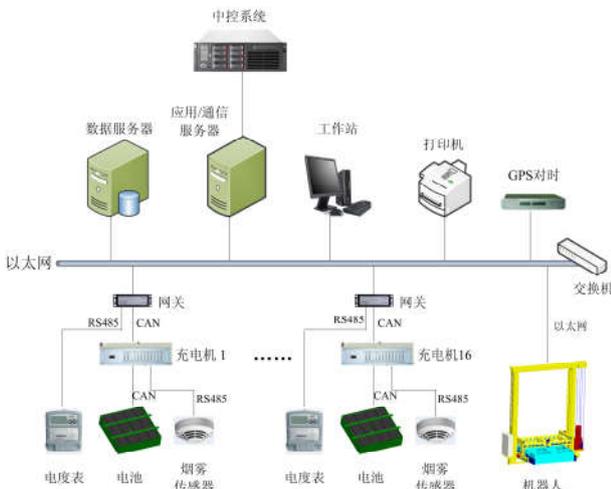


图 7 换电站组网实现示意图

Fig. 7 Schematic diagram of swap station network

站控层由计算机网络连接的系统主机、操作员工作站等设备构成,提供站内运行的人机界面,实

现管理控制间隔层设备等功能,形成全站的监控、管理中心,并可与上级中控系统通信。

间隔层由站内充电机监控单元、终端设备和各种网络、通信接口设备等构成,完成面向单元设备的监测控制等功能。

间隔层采用以太网、CAN 网、RS485 等方式连接;站控层和间隔层之间采用以太网连接;站控层各主机之间采用以太网连接。

3.3 数据结构

在充电机组表中增加充电机和电池箱故障标识、第一个和第二个电度表的设备 ID 等字段。生成换电计量信息时可由电度表的设备 ID 找到其对应总电度和分时电度的测点信息。修改后的充电机组表结构如表 1 所示。

表 1 充电机组表结构

Table 1 Table structure of charging group

序号	标示	类型	说明
1	GrpId	int	充电机组 ID
2	GRPTYPE	int	电池箱类型
3	GrpStatus	int	充电机组是否全部充满
4	CHAAAlarmFlag	int	充电机故障标识
5	BMSAlarmFlag	int	电池箱故障标识
6	Whm1EquipID	int	电度表 1 设备 ID
7	Whm2EquipID	int	电度表 2 设备 ID

在换电工位表中增加车辆身份、车辆有无标识、换电准备完成/换电完成标识、换电车辆是否停到位、换电控制结果、当前换电步骤等字段。修改后的换电工位表结构如表 2 所示。

表 2 换电工位表结构

Table 2 Table structure of swap area

序号	标示	类型	说明
1	AreaID	int	换电工位 ID
2	CarLicense	char	车牌号
3	CarExist	int	车辆有无标识 换电准备标识
4	ReadyFlag	int	0: 不处于换电状态; 1: 准备就绪/换电中; 2: 换电完成 是否可进车换电
5	AreaReady	int	0: 不可提供换电服务; 1: 可提供换电服务
6	AGVStatusFlag	int	换电车辆是否停到位
7	RBTFaultCode	int	换电设备故障码
8	CmdFaultFlag	int	换电遥控失败标识
9	CmdFaultRsn	int	换电遥控失败原因
10	RobotReply	int	换电设备控制应答结果
11	SwapStep	int	当前换电步骤

3.4 换电电量计量与计费

当一次换电完成时, 首先生成包括换电车辆、换上电池箱、换下电池箱、换电开始时间、结束时间等信息的换电交易记录, 同时记录换下车的电池箱所放电池仓格连接的充电机组所对应电表 1 和电表 2 的当前电度量, 作为起始电度量。因为每次换上换电车辆的电池箱都是充满的电池箱, 所以在上述电池箱充满电后换上另一辆换电车辆时, 记录对应电表 1 和电表 2 的当前电度量, 作为结束电度量。换下车的乏电电池箱充满电所用充电电量为结束电度量和起始电度量的差值, 将此电量作为此次换电交易的计量电量, 并据此总电量和分时电量生成计费信息。换电电量计算公式为

$$E_{\text{Swap}} = (E_{j1} + E_{j2}) - (E_{i1} + E_{i2}) \quad (1)$$

式中: E_{Swap} 为换电电量; E_{i1} 为电表 1 的起始电度量; E_{i2} 为电表 2 的起始电度量; E_{j1} 为电表 1 的结束电度量; E_{j2} 为电表 2 的结束电度量。式(1)对于总电量、尖电量、峰电量、平电量和谷电量均成立。这种计量方法的特点有:

特点一, 适用于电池箱在电池架上多次充电的情况。因为以电池箱从第一辆车上换下作为起始时间点, 以电池箱换上第二辆车作为结束时间点, 在两次换电之间的多次充电、补电所产生的充电电量都会计入换电电量中。

特点二, 适用于车辆交叉采用在换电站换电和用充电桩充电的能量补充方式。表 3 举例说明这种情况下换电计量结果与实际情况的比较结果(其中的电量均以占电池额定容量的百分比来表示), 可见换电交易计量电量和实际补充电量是一致的。两次换电间进行多次充电时的计量结果以此类推。

车辆交叉使用充电和换电的能量补充方式时的计量结果举例如表 3 所示。

表 3 换电与充电交叉进行时的计量结果

Table 3 Energy metering result of EV battery swap when it's interspersed with EV battery charge

时间点	SOC	消耗电量	补充电量	计量电量
上次换电后	100%	-	-	-
充电前	60%	40	-	-
充电后	90%	-	30	30
本次换电时	50%	40	-	-
换电后充满电	100%	-	50	50

系统实际应用于某换电站时的实际换电电量计量结果如图 8 所示。

图 8 换电电量计量结果图

Fig. 8 Picture of energy metering result for battery swap

3.5 全自动换电策略

换电智能监控系统通过 RFID 读写器和安全岛自动识别换电车辆身份信息、车辆就位信息和换电准备就绪信息, 或者从中控系统接收这些信息。系统根据换电车辆身份信息从车辆信息表查询其车辆类型和所用电池箱类型。

自动换电策略模块基于换电车辆类型、所用电池箱类型和换电工位信息, 自动选取换电用的已充满电的电池箱和放置车上换下的乏电电池箱的电池仓格, 策略如下。

(1) 选取换电用的已充满电的电池箱, 采用基于先进先出 FIFO 和移动加权法的候选队列优选策略^[15-17], 公式为

$$P_i = k_i \times P_{bi} + P_{ri} \quad (2)$$

式中: P_i 为候选电池箱的得分值; P_{bi} 为基础分值, 满足本次换电需求即电池箱单体压差等参数满足换电需求、电池箱类型和换电车辆类型匹配的电池箱中, 先充满的电池箱获得更高的基础分值, 基础分值在候选队列有变动时重新进行计算; k_i 为加权值; P_{ri} 为修正值。 k_i 和 P_{ri} 反映电池箱预期剩余寿命、总充电电量、总充电时间等因素。从队列中选出得分值 P_i 最高的电池箱作为策略优选结果, 可以起到兼顾电池箱和充电设备平衡使用的作用。

(2) 选取放置车上换下的乏电电池箱的电池仓格, 采用基于先进先出 FIFO 和移动加权法的候选队列优选策略, 公式为

$$P_j = k_j \times P_{bj} + P_{rj} \quad (3)$$

式中: P_j 为候选电池仓格的得分值; P_{bj} 为基础分值, 充电设备与换电车辆电池箱类型相匹配, 并且对充电设备无故障的电池仓格中, 先空出来的电池仓格获得更高的基础分值, 基础分值在候选队列有变动时重新进行计算; k_j 为加权值; P_{rj} 为修正值。 k_j

和 P_v 反映充电设备使用情况等因素。从队列中选出得分值 P_j 最高的电池仓格作为策略优选结果，可以起到平衡使用充电设备的作用。

系统实际应用于某换电站时的全自动换电结果如图 9 所示。

时间	描述	对象	备注	级别
2017-04-26 11:33:20.204	机器人工作结束	A充换电工位	自动模式待机	一般
2017-04-26 11:33:25.150	自动换电控制	A充换电工位1#换电机电指令	自动控制换电完成, 机器人已回到待机位	一般
2017-04-26 11:33:24.147	机器人换电步骤	A充换电工位	换电全部完成, 机器人已回到待机位	一般
2017-04-26 11:33:27.612	机器人换电步骤	A充换电工位	完成换电, 换电入AGV	一般
2017-04-26 11:33:28.376	机器人换电步骤	A充换电工位	完成换电, 换电入AGV	一般
2017-04-26 11:33:28.040	机器人换电步骤	A充换电工位	完成换电, 换电入AGV	一般
2017-04-26 11:33:28.445	机器人换电步骤	A充换电工位	完成换电, 换电入AGV	一般
2017-04-26 11:33:29.869	机器人换电步骤	A充换电工位	准备开始换电	一般
2017-04-26 11:33:31.199	机器人工作结束	A充换电工位	自动模式换电中	一般
2017-04-26 11:33:34.622	换电操作	A充换电工位1#换电机电指令	换电操作成功	操作
2017-04-26 11:33:30.607	换电操作	A充换电工位1#换电机电指令	换电操作成功	操作
2017-04-26 11:33:28.995	自动换电控制	A充换电工位1#换电机电指令	自动换电控制: 换电4#换电, 无换电, 换电入AGV	一般

图 9 全自动换电结果图

Fig. 9 Picture of a auto battery swap result

4 结语

本文分析了电动汽车换电监控系统的现状与存在的问题。改进了电动汽车换电智能监控系统。所设计的新型电动汽车换电智能监控系统已经成功应用于浙江金华某公交车换电站和上海某全自动化港口换电站等项目，实际应用结果表明，该系统达到了预期设计目标。

1) 通过设计新型的换电电量计量与计费方法，极大地简化了换电监控系统的实现，以简洁的系统结构、较低的成本实现了全自动换电计量与计费功能，解决了换电电量计量与计费困难的问题。

2) 通过设计新型的换电电量计量与计费方法，使全自动换电计量与计费功能适用于车辆交叉使用充电桩充电和换电站换电的应用场景，解决了换电计量与计费系统应用范围受限的问题。

3) 通过自动换电命令下发、换电过程管理、换电决策和换电执行过程全景反演等的应用，实现了换电监控系统换电控制流程的优化和控制命令自动下发，解决了必须配备监控值班员、无法实现无人值班或减少人值班运行模式的问题，有利于提升换电站运营效率和设备利用率。

4) 通过设计电池箱优选策略，解决了换电监控系统智能化程度不足的问题，能起到保障电池箱和充电设备平衡使用的效果。

系统的应用达到了简化自动换电电量计量与计费系统结构，扩展换电电量计量与计费系统应用范围，提高换电监控系统智能化水平，提升换电站运行效率和设备利用率，兼顾电池箱和充电设备平衡使用，降低换电站建设和运营成本的效果^[18]，对电动汽车充换电产品的进一步推广具有重大意义。

参考文献

[1] 金祺, 罗勋杰, 陈迪茂. 超大型全自动集装箱码头 AGV 电池更换站的布置模式[J]. 水运工程, 2016, 519(9): 66-70.
JIN Qi, LUO Xunjie, CHEN Dimao. Layout pattern of AGV battery exchange station in ultra-large type automatic container terminal[J]. Port & Waterway Engineering, 2016, 519(9): 66-70.

[2] 胡道栋, 张娟, 克满, 等. 电动汽车充换电站换电操作管理单元的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(7): 136-140.
HU Daodong, ZHANG Juan, KE Xiao, et al. Design and implementation of the battery-swapping operation control unit at the EV charging/swap station[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(7): 136-140.

[3] 叶剑斌, 金秋. 电动汽车充换电站集中监控系统设计[J]. 华东电力, 2011, 39(7): 1082-1084.
YE Jianbin, JIN Qiu. Electric vehicle centralized monitoring system in power station design[J]. East China Electric Power, 2011, 39(7): 1082-1084.

[4] 高赐威, 吴茜. 电动汽车换电模式研究综述[J]. 电网技术, 2013, 37(4): 891-898.
GAO Ciwei, WU Xi. A survey on battery-swapping mode of electric vehicles[J]. Power System Technology, 2013, 37(4): 891-898.

[5] 李涛, 杨桂丹. 电动汽车充电站和电池更换站监控系统设计方案研究[J]. 电工技术, 2012, 51(9): 48-51.
LI Tao, YANG Guidan. Research on the design scheme of EV charging station and battery swap station[J]. Electric Engineering, 2012, 51(9): 48-51.

[6] 朱意霞, 李红霞, 史文强, 等. 电动汽车充电服务柔性管理系统设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 91-97.
ZHU Yixia, LI Hongxia, SHI Wenqiang, et al. Design and implementation of electric vehicle charging service flexible management system[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 91-97.

[7] 周逢权, 连湛伟, 王晓雷, 等. 电动汽车充电站运营模式探析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 63-66, 71.
ZHOU Fengquan, LIAN Zhanwei, WANG Xiaolei, et al. Electric vehicle charging station operation mode analysis[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 63-66, 71.

[8] 李国, 张智晟, 温令云. 换电模式下电动汽车充换电

- 网络的规划[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(20): 93-98.
- LI Guo, ZHANG Zhisheng, WEN Lingyun. Planning of battery-switching and vehicle-charging network based on battery switching mode[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(20): 93-98.
- [9] 连湛伟, 石欣, 克潇, 等. 电动汽车充换电站动力电池全寿命周期在线检测管理系统[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(12): 137-142.
- LIAN Zhanwei, SHI Xin, KE Xiao, et al. The whole life cycle on-line detection and management system of power battery in the electric vehicle charging and exchanging station[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(12): 137-142.
- [10] 焦东升, 王海云, 朱洁, 等. 基于离散 Fréchet 距离的电动汽车电池健康状态诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(12): 68-74.
- JIAO Dongsheng, WANG Haiyun, ZHU Jie, et al. EV battery SOH diagnosis method based on discrete Fréchet distance[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(12): 68-74.
- [11] 高明煜, 何志伟, 徐杰. 基于采样点卡尔曼滤波的动力电池 SOC 估计[J]. 电工技术学报, 2011, 26(11): 161-167.
- GAO Mingyu, HE Zhiwei, XU Jie. Kalman filter based sampling points battery SOC estimation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(11): 161-167.
- [12] GANG N. Cycle life performance of rechargeable li-ion batteries and mathematical modeling[D]. USA: University of South Carolina, 2004.
- [13] 杨茜, 邓建慎, 李洪峰, 等. 电动汽车公共服务与互动平台设计研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 137-144.
- YANG Xi, DENG Jianshen, LI Hongfeng, et al. Design and research on public service and interactive platform in electric vehicle[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 137-144.
- [14] HUANG Junhui, GE Shaoyun, HAN Jun, et al. A diagnostic method for distribution networks based on power supply safety standards[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 63-70. DOI: 10.1186/s41601-016-0020-2.
- [15] 李云刚. 基于移动平均法的改进[J]. 统计与决策, 2009(19): 158-159.
- LI Yungang. Study on the improvement of moving average method[J]. Statistics and Decision, 2009(19): 158-159.
- [16] 鞠非, 杨春玉, 徐小龙, 等. 基于时空约束的电动汽车充电策略[J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(9): 96-101.
- JU Fei, YANG Chunyu, XU Xiaolong, et al. A charging strategy for electric vehicles based on spatiotemporal restriction[J]. Power System and Clean Energy, 2016, 32(9): 96-101.
- [17] 朱鹰屏, 张绪红, 韩新莹. 用于配电网网损优化的电动汽车智能充电调度[J]. 广东电力, 2016, 29(9): 94-97, 103.
- ZHU Yingping, ZHANG Xuhong, HAN Xinying. Intelligent charging scheduling for electric vehicle for optimization on network loss of power distribution network[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(9): 94-97, 103.
- [18] 洪彬倬, 刘浩梁. 电动汽车协同运行商业模式[J]. 广东电力, 2016, 29(10): 17-23.
- HONG Binzhao, LIU Haoliang. Business model for coordinated operation of electric vehicles[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(10): 17-23.

收稿日期: 2017-05-08; 修回日期: 2017-07-05

作者简介:

王俊霞(1978—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向为电气自动化; E-mail: 573947709@qq.com

陈志刚(1979—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向为电动汽车充换电站系统方案; E-mail: 823375447@qq.com

郭 葳(1988—), 女, 硕士, 主要研究方向为电动汽车充换电方案; E-mail: xjtc_guowei@126.com

朱意霞(1981—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向为电动汽车充换电站系统。E-mail: gracie-009@163.com

(编辑 魏小丽)