

转载自《电力系统保护与控制》2019年47卷19期

引用格式: 李宏刚, 潘景宜. 铁路综合交通枢纽电动汽车充电桩系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(19): 152-157.

LI Honggang, PAN Jingyi. System design of charging pile system for electric vehicle in railway comprehensive communication hub[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(19): 152-157.

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181526

铁路综合交通枢纽电动汽车充电桩系统设计

李宏刚¹, 潘景宜²

(1. 中国铁路设计集团有限公司, 天津 300142; 2. 珠海泰坦科技股份有限公司, 广东 珠海 519015)

摘要: 在综合交通枢纽的快速发展和新能源汽车迅速增长的背景下, 系统地分析了已建成的综合交通枢纽的功能定位及空间布局, 提出综合交通枢纽的新能源电动汽车的充电方案及配电系统计算。从铁路综合枢纽内的公车枢纽、社会公共停车场、出租车停车场等重点区域停放电动汽车的充电需求入手, 结合每个停车区域的停车数量或规划的公交线路、停运时间、最大充电时间, 针对性地分析了公交车辆、私家车、出租车、社会车辆的充电方式, 计算出充电桩数量, 提出充电计费方式和配电系统设计方案。研究表明, 该方案指导了铁路综合交通枢纽内的电动汽车充电桩的系统设计, 优化了充电系统供电方案, 控制了综合枢纽的建设投资和运营成本。

关键词: 铁路综合交通枢纽; 电动汽车; 充电桩; 空间布局; 配电设计

System design of charging pile system for electric vehicle in railway comprehensive communication hub

LI Honggang¹, PAN Jingyi²

(1. China Railway Design Corporation, Tianjin 300142, China; 2. China Titans Energy Technology Group Co., Ltd., Zhuhai 519015, China)

Abstract: Under the background of the rapid development of integrated transportation hub and the rapid growth of new energy vehicles, this paper systematically analyses the functional orientation and spatial layout of the built integrated transportation hub, and puts forward the charging scheme and distribution system calculation of new energy electric vehicles in integrated transportation hub. Starting with the charging demand of parking electric vehicles in key areas such as bus hub, public parking lot and taxi parking lot in railway comprehensive hub, and combining the number of parking areas or the planned bus route, parking time and maximum charging time in each parking area, the charging mode of bus, private car, taxi and social vehicle is analyzed pertinently, the number of charging piles is calculated, and the billing mode and the design of distribution system are proposed. The results show that the scheme guides the system design of charging piles for electric vehicles in railway integrated transport hub, optimizes the power supply scheme of charging system, and controls the construction investment and operation of integrated transport hub.

This work is supported by National High-tech R & D Program of China (863 Program) (No. 2011AA11A247).

Key words: railway comprehensive communication hub; electric vehicle; charging pile; spatial distribution; design of power distribution

0 引言

根据国务院《关于印发“十三五”现代综合交通运输体系发展规划的通知》、《关于印发“十二五”综合交通运输体系发展的通知》以及国家发展改革委《关于印发促进综合交通枢纽发展的指导性意

见的通知》, 集铁路、公交、地铁、飞机等交通运输工具于一体的综合性交通枢纽得到了快速发展, 各省地级以上城市均已建成或正在建设综合交通枢纽, 实现了轨道交通、地面公共交通、铁路等交通工具的零距离换乘的要求^[1-2]。

根据《关于加快新能源汽车推广应用的指导意见》和《电动汽车充电基础设施发展指南(2015—2020年)》, 明确要以纯电动驱动为新能源汽车的主

要战略方向, 电动汽车充电服务设施要满足以使用者居住地、驻地停车位配建充电设施为主体, 以城市公共停车位、路内临时停车位配建充电设施为辅助, 以城市充电站、换电站为补充的发展方向。2015—2020年, 新增超过430万个用户专用充电桩和50万个分散式公共充电桩^[3]。

本文根据国家关于电动汽车的发展规划, 结合综合交通枢纽的空间布局和建筑形态, 对铁路枢纽内的公交停车场、社会停车场、出租车场等重点区域的充电桩配置、电费计量、配电设计等问题进行研究, 适应枢纽内电动汽车的要求, 满足快速发展的城市电动汽车发展需求。

1 铁路综合交通枢纽的空间布局

全国城镇体系规划(2006—2020年)系统地提出了综合交通枢纽, 明确建立全国综合交通枢纽体系, 促进多种交通方式的有机衔接。综合交通枢纽系统图如图1所示。

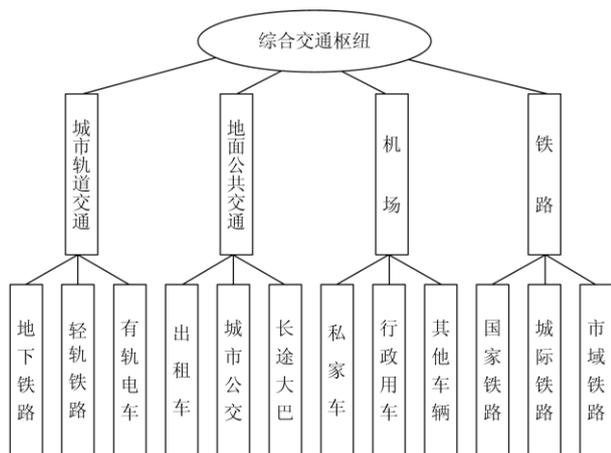


图1 铁路综合交通枢纽系统图

Fig. 1 System diagram of the railway comprehensive transportation hub

目前, 国内已建成了北京南站、上海虹桥站、南京南站、天津站、天津西站、沈阳南站等许多以铁路车站为中心的综合交通枢纽, 将轨道交通、公共交通、私人交通、铁路运输等多种运输方式紧密结合在一起, 实现了零距离换乘和无缝化衔接的旅客出行方式^[4]。建成的铁路综合交通枢纽, 一般情况下, 在地面层设置了城市公交站和长途客运站, 在地下分别设置了轨道交通车站、私家车和行政用车的社会车辆停车场、出租车场, 用于满足不同层次、不同结构的旅客出行需求。铁路综合交通枢纽空间布局如图2所示。

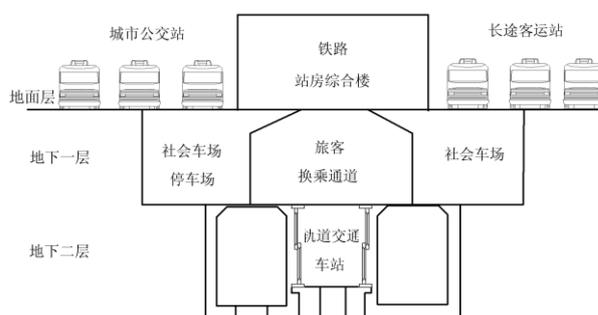


图2 铁路综合交通枢纽空间布局示意图

Fig. 2 Space layout schematic diagram of the railway comprehensive traffic hub

本文根据国务院《关于加快新能源汽车推广应用的指导意见》和国家发改委《电动汽车充电基础设施发展指南(2015—2020年)》, 结合国内电动汽车的技术发展和综合交通枢纽内的空间布局, 分别对枢纽内的城市公交站、社会车辆停车场、出租车场、私家车场等停靠电动汽车的场所进行充电桩系统研究^[5-7]。

2 城市公交站充电桩系统设计

铁路综合交通枢纽一般依托于高铁车站, 在城市规划中属于地标性建筑物或位于城市中心区域, 因此在铁路综合交通枢纽的公交站的设计上一般存在两种形式: 一种枢纽内设置停车场, 用于始发车辆的停靠和维护; 一种枢纽内不设停车场, 所有公交车在综合交通枢纽里只作为中间停靠站, 夜间停车在终点站的停车场内。

2.1 设停车场的公交站充电桩设计

2.1.1 充电桩计算^[8-21]

设公交车场第 n 条线路公交数量为 W_n , 公交运营时间为 T_{n1} , 电动公交充电时间为 τ_n , 平均续航里程为 K_n , 平均上下车时间为 T , 运营里程为 L_n , 平均车速为 V_n , 发车间隔为 T_{n2} , 车站数量为 N , 充电桩数量为 C_n , 充满电后持续运行天数为 D_n , k 为运营线路调整系数(根据高峰时段运营线路的拥堵系数, 一般可取1.0~1.5), 则:

$$W_n = k \left(\frac{2L_n}{V_n T_{n2}} + \frac{2(N-1)T}{T_{n2}} \right) \quad (1)$$

$$D_n = \frac{K_n [2L_n + 2(N-1)TV_n]}{T_n L_n V_n} \quad (2)$$

$$C_n = \frac{W_n \tau_n}{D_n (24 - T_n)} \quad (3)$$

若公交车场设有1,2,3,...,n路电动公交车,则总充电桩数 C_{Σ} 为

$$C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (4)$$

2.1.2 供电方案

(1) 负荷分类及供电要求

由于中断供电,会影响公交车的正常运营,影响旅客的正常出行,在一定范围内造成社会公共秩序混乱,故综合交通枢纽内的公交车场的充电桩负荷等级按二级负荷配电,宜由枢纽内的供电系统接引两回独立的高压电源供电,每回供电线路应满足100%负荷的供电能力。

(2) 负荷计算

$$P_{\Sigma} = \frac{K_L K_x C_{\Sigma} P_N}{\eta} \quad (5)$$

$$Q_{\Sigma} = P_{\Sigma} (\operatorname{tg} \phi_1 - \operatorname{tg} \phi_2) \quad (6)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} \quad (7)$$

式中: C_{Σ} 为总充电桩数; P_N 为单台充电机额定功率; P_{Σ} 为总计算有功功率; Q_{Σ} 为总计算无功功率; S_{Σ} 为总计算视在功率; η 为充电机效率; K_L 为利用系数; K_x 为需要系数; $\operatorname{tg} \phi_1$ 为补偿前计算负荷功率因数角的正切; $\operatorname{tg} \phi_2$ 为补偿后计算负荷功率因数角的正切。

2.1.3 计费方案

计费方式的选择,与电动公交车的组织方式有很大关系。常用的组织方式有两种,一种是以经济考核单元体为单位,固定停车位及充电桩位置,电费计量;一种是混合充电,不固定充电位置,按车辆所行驶的里程数决定,里程计费。

(1) 电费计量

$$R_{\Sigma n} = k_1 k_2 \sum_{i=1}^m w_i r_1 \quad (8)$$

式中: k_1 为政策优惠电价系数; k_2 为修正系数,

$$k_2 = \frac{w_{\Sigma}}{C_{\Sigma}}; w_i \text{为每座充电桩月电能}; w_{\Sigma} \text{为总计量}$$

$$\sum_{i=1}^m w_i$$

电能; w_k 为每座充电桩月电能; r_1 为电价; $R_{\Sigma n}$ 为车队每月总电费; m 为每车队充电桩数量。

(2) 里程计费

$$R_{\Sigma n} = k_1 \frac{L_n}{C_n} w_{\Sigma} r_1 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m L_i$$

式中: k_1 为政策优惠电价系数; w_{Σ} 为总计量电能; w_k 为每座充电桩月电能; r_1 为电价; $R_{\Sigma n}$ 为车队每

月总电费; L_n 为每车队每月总运营里程; L_i 为每辆车每月总运营里程。

2.2 不设停车场的公交站充电设计

2.2.1 充电方案及数量

不设停车场的公交站,为保证电动公交车的应急供电,可采用两种方式:一种是根据枢纽内电动公交车的电池类别,分别存放若干组电池组,采用快速更换电池组方案;一种是设置2~3套应急快速充电桩,满足应急快速充电需求,确保电动公交应急状况下快速充电,确保安全运营。

2.2.2 供电方案

(1) 快速更换电池组方案

在枢纽内的公交站不设充电桩设施,由公交车中心充电站统一派送蓄电池组,集中存放在公交枢纽办公楼内的专用房间内。

(2) 充电桩方案

应急充电时应在确保安全可靠的情况下,在最短的时间内充电至公交车能安全运营至公交充电中心站,故设置2~3套高电压(300~750 V)、大功率的直流充电桩。

2.3 计费方案

快速更换电池组方案不存在计费问题,可参与车辆救援标准收费。

快速充电方案,以经济考核单体为单元,按电费计价,参照式(8)计算。

3 出租车场充电系统设计

综合交通枢纽内的出租车场规划时,电动出租车充电模式一般可分为三种:一种交流充电桩;一种快速更换电池组;一种直流充电桩。

对于交流充电,充满电需要5~8 h,等待时间长,但对于出租车,不能长时间停靠,故在出租车场不考虑交流充电,本文只针对直流充电桩和快速更换电池组方案进行研究^[22-23]。

3.1 快速更换电池组

快速更换电池组方案,需设置快速充电桩和电池组存放间,本文仅对充电桩数量、供电方案及计费进行考虑。

3.1.1 充电桩数量计算

充电桩数量计算如式(10)所示。

$$C = \frac{60T_1 N \tau_{\text{充}}}{T_2 T_3} \quad (10)$$

式中: C 为充电桩数量; $\tau_{\text{充}}$ 为电池组充电时间; N 为换电池组工位; T_1 为工作站运营时间; T_2 为换电组时间间隔; T_3 为每天充电总时间。

3.1.2 供电方案

(1) 负荷分类及供电要求

由于中断供电, 会影响出租车的正常运营, 在一定范围内造成社会公共秩序混乱, 故出租车充电桩按二级负荷考虑, 宜由两回高压供电电源供电, 每回供电线路应满足 100% 负荷的供电能力。

(2) 负荷计算

负荷计算参照式(5)一式(7)。

3.1.3 计费方案

对于快速更换电池组的方案, 宜采用里程计费, 具体算法如式(11)所示。

$$R = k_1(M_1 - M_2)r_2 \quad (11)$$

式中: k_1 为政策优惠电价系数; M_1 为当前更换电池组时行车里程; M_2 为上一次更换电池组时行车里程; r_2 为单公里费用。

3.2 直流快速充电桩

3.2.1 充电桩数量计算

根据所在城市的电动出租车的发展规划, 结合全市充电桩布局及规划, 合理确定综合交通枢纽的日充电车辆能力, 如式(12)所示。

$$C = \frac{N_{\text{辆}} \tau_{\text{充}}}{T_1} \quad (12)$$

式中: C 为充电桩数量; $\tau_{\text{充}}$ 为每辆出租车平均充电时间; $N_{\text{辆}}$ 为换电池组工位; T_1 为充电站运营时间。

3.2.2 供电方案

(1) 负荷分类及供电要求

由于中断供电, 会影响出租车的正常运营, 影响旅客的正常出行, 会在一定范围内造成社会公共秩序混乱, 故综合交通枢纽内的出租车充电桩负荷等级按二级负荷配电, 宜由枢纽内的供电系统接引两回独立的高压电源供电, 每回供电线路应满足 100% 负荷的供电能力。

(2) 负荷计算

负荷计算参照式(5)一式(7)。

3.2.3 计费方案

充电桩方案是针对每辆充电的出租车, 个体识别容量, 宜采用电费计量, 如式(13)所示。

$$R = k_1(w_1 - w_2)r_1 \quad (13)$$

式中: k_1 为政策优惠电价系数; r_1 为电价; w_1 为充电后电表数; w_2 为充电前电表数。

4 社会停车场充电桩设计

铁路综合交通枢纽内社会停车场的充电桩设计主要受枢纽内的人员流动情况、周边市政配套工程的建设情况以及停车场管理费用等因素影响。市政

配套齐全, 周围商业发展充分, 会极大带动枢纽内停车场的停靠汽车数量, 管理费用的高低影响汽车停靠时间。

4.1 国内外电动汽车概况

受新能源汽车政策的大力支持, 近几年来, 国内外电动汽车得到了快速发展, 北汽、比亚迪、江淮、奇瑞、吉利、宝马、特斯拉等国内外厂家投入了巨大人力财力进行研究及推广, 但受汽车技术、蓄电池技术及充电设施的限制, 各生产厂家的电动汽车的电池容量、充电时间、续航里程不尽一致, 具体情况如表 1 所示。

表 1 电动汽车充电时间及续航里程统计表

Table 1 Statistics on charging time and mileage of electric vehicles

序号	品牌	慢充 时间/h	快充 时间/h	续航 里程/km
1	比亚迪-秦	7	1.2	300
2	荣威 RX5	7	3	320
3	北汽 E180EV	8	2	150
4	江淮和悦	8	2.5	200
5	长安 E30	8	1.5	160
6	长安奔奔	8	0.5	180
7	腾势	5	2	250
8	奇瑞 eQ	8	0.5	200
9	力帆 LF7002	7	—	150
10	宝马 i3	5.5	0.5	246
11	特斯拉 MODEL S	10.5	4.5	632
12	特斯拉 MODEL X	10.5	4.5	565

4.2 社会停车场的汽车分类及特征

铁路综合交通枢纽社会停车场内的电动汽车一般分为三类: 第一类是枢纽内的管理人员和商业经营人员的汽车; 第二类是枢纽周边写字楼及住宅人员的汽车; 第三类是接送旅客的汽车。

根据枢纽内的车辆活动规律和运营时间, 针对综合枢纽内停靠车辆的特点, 分类总结停车场内各类汽车的活动规律。第一类汽车基本上长期包月停留在停车场内, 停车时间在 6~10 h; 第二类汽车停靠在枢纽内的数量主要取决于综合交通枢纽周边的配套完善程度以及枢纽内的停车收费政策, 若在合理的政策指导下也属于长期包月停留, 停车时间在 6~15 h; 第三类汽车, 接送旅客, 由于受综合交通枢纽内的地铁、高铁、长途汽车等交通工具的影响, 基本停留时间保持在 0.1~2 h。

4.3 充电桩设计

4.3.1 充电桩数量

由于综合交通枢纽的社会车场为按小时收费的公共停车场, 停车费用比较高, 这样社会停车场的

充电桩数量受政策、周围市政配套工程落实情况等因素影响比较大,建议工程初期,综合交通枢纽内的充电桩数量按国务院办公厅下发的《加速电动汽车充电基础设施建设的指导意见》的要求执行,即建设充电设施的车位比例不低于10%。

$$C = 0.1P_S \quad (14)$$

式中: C 为充电桩数量; P_S 为社会停车场的总停车位。

4.3.2 充电桩类型选择

根据综合交通枢纽社会停车场的功能要求、电动汽车的基本需求,结合停车场内的电动汽车的分类及活动规律,建议综合枢纽内交流充电桩与直流快速充电桩比例宜为2:8。

4.4 供电方案

4.4.1 负荷分类及供电要求

由于中断供电,不会对正常运营的社会秩序产生混乱,故综合交通枢纽内的社会汽车充电桩属于三级负荷。

4.4.2 负荷计算

$$P_{\Sigma} = K_L K_x \left(\frac{CP_{N1}}{5\eta_1} + \frac{4CP_{N2}}{5\eta_2} \right) \quad (15)$$

式中: K_L 为利用系数; K_x 为需要系数; C 为总充电桩数; P_{N1} 为快充充电桩额定功率; P_{N2} 为慢充充电桩额定功率; P_{Σ} 为总计算有功功率; η_1 为快充充电桩效率; η_2 为慢充充电桩效率。

4.5 计费方案

计费采用电费计量,每辆汽车充完后自动计算出电费,具体计算公式可参考式(13)。

5 结语

综合交通枢纽是城市发展的必然需求,可满足旅客快速换乘的需求。本文从交通枢纽的空间布局入手,对枢纽内的公交车场、出租车场以及社会停车场等不同区域的电动汽车充电系统进行了研究,提出了电动汽车的充电桩计算方法和负荷计算,解决了综合交通枢纽内的充电系统设计。

参考文献

[1] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发“十三五”现代综合交通运输体系发展规划的通知[Z]. 北京: 中华人民共和国国务院, 2017.

[2] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发“十二五”综合交通运输体系发展的通知[Z]. 北京: 中华人民共和国国务院, 2012.

[3] 国家发展改革委. 国家发展改革委关于印发促进综合交通枢纽发展的指导意见的通知[Z]. 北京: 国家发展

改革委, 2013.

[4] 胡世东. 城市综合交通枢纽发展理念探讨[J]. 铁道标准设计, 2010(10): 33-35.
HU Shidong. Exploration for developing concept on urban comprehensive transportation hub[J]. Railway Standard Design, 2010(10): 33-35.

[5] 陈游. 我国充电桩设计要求及相关概述[J]. 智能建筑电气技术, 2012, 11(3): 39-45.
CHEN You. Design requirements and related overview of charging piles in China[J]. Electrical Technology of Intelligent Buildings, 2012, 11(3): 39-45.

[6] 闫孟迪, 夏卫国, 杨晓萍. 电动汽车充电设施行业政策综述[J]. 新能源汽车供能技术, 2017, 1(1): 32-37.
YAN Mengdi, XIA Weiguo, YANG Xiaoping. Review of the policy of electric vehicle charging infrastructure[J]. Energy Supply Techniques of New Energy Vehicles, 2017, 1(1): 32-37.

[7] 杨俊乾. 关于电动汽车充电模式的思考[J]. 电气技术, 2010(10): 10-11.
YANG Junqian. Think through EV charge mode[J]. Electrical Engineering, 2010(10): 10-11.

[8] 李洪峰, 李红霞, 陈志刚, 等. 一种新型电动汽车充电桩技术方案探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(6): 142-147.
LI Hongfeng, LI Hongxia, CHEN Zhigang, et al. Discussion on technology scheme of a new EV charging pile[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(6): 142-147.

[9] 朱鹰屏, 韩新莹, 刘世立, 等. 基于改进双中心粒子群算法的电动公交车运营数量优化策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(8): 126-131.
ZHU Yingping, HAN Xinying, LIU Shili, et al. Optimization of operation quantities of electric buses based on improved double center particle swarm optimization algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(8): 126-131.

[10] 徐鹏, 陈祺伟, 连湛伟, 等. 一种电动公交车交换电站动力电池全自动更换技术方案[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(3): 150-154.
XU Peng, CHEN Qiwei, LIAN Zhanwei, et al. An EV charging station automatic battery replacement technology[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(3): 150-154.

[11] 杨少兵, 吴命利, 姜久春, 等. 快速式电动公交充电站经济运行优化策略[J]. 电网技术, 2014, 38(2): 335-340.
YANG Shaobing, WU Mingli, JIANG Jiuchun, et al. Optimal strategy for economic operation of electric bus battery swapping station[J]. Power System Technology,

- 2014, 38(2): 335-340.
- [12] 刘文霞, 徐晓波, 周辉. 基于支持向量机的纯电动公交车充/换电站日负荷预测[J]. 电力系统自动化, 2014, 34(11): 41-48.
LIU Wenxia, XU Xiaobo, ZHOU Xi. Daily load forecasting based on SVM for electric bus charging station[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 34(11): 41-48.
- [13] 李智, 侯兴哲, 刘永相, 等. 基于深度学习的充电站容量规划方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(21): 67-73.
LI Zhi, HOU Xingzhe, LIU Yongxiang, et al. A capacity planning method of charging station based on depth learning[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(21): 67-73.
- [14] 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.
- [15] HUI Cai, QI Yuchen, ZHI Jianguan, et al. Hierarchical distributed control for decentralized battery energy storage system based on consensus algorithm with pinning node[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2018, 3(3): 52-60. DOI: 10.1186/s41601-018-0081-5.
- [16] 周娟, 任国影, 魏琛, 等. 电动汽车交流充电桩谐波分析及谐波抑制研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 18-25.
ZHOU Juan, REN Guoying, WEI Chen, et al. Harmonic analysis of electric vehicle AC charging spot and research on harmonic restriction[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 18-25.
- [17] 段庆, 孙云莲, 张笑迪, 等. 电动汽车充电桩选址定容方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(12): 88-93.
DUAN Qing, SUN Yunlian, ZHANG Xiaodi, et al. Location and capacity planning of electric vehicles charging piles[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(12): 88-93.
- [18] 李炳华, 贾佳, 岳云涛, 等. 交流充电桩需要系数研究[J]. 智能建筑电气技术, 2017, 11(3): 12-16, 20.
LI Binghua, JIA Jia, YUE Yuntao, et al. Research on the demand coefficient of AC charging pile[J]. Electrical Technology of Intelligent Buildings, 2017, 11(3): 12-16, 20.
- [19] 罗卓伟, 胡泽春, 宋永华, 等. 电动汽车充电负荷计算方法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(14): 36-42.
LUO Zhuowei, HU Zechun, SONG Yonghua, et al. Study on plug-in electric vehicles charging load calculating[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(14): 36-42.
- [20] 李俄收, 朱会田, 吴文民. 电动汽车蓄电池的充电方法和充电设备[J]. 电源技术, 2009, 33(10): 11-13.
LI Eshou, ZHU Huitian, WU Wenmin. Charging equipment and method of electric vehicle battery[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2009, 33(10): 11-13.
- [21] WANG Donghua, MAO Chengxiang, WANG Minwei, et al. The impact of charging plug-in electric vehicles on distribution system considering spatial and temporal distribution[J]. Advanced Materials Research, 2014, 953-954: 1367-1371.
- [22] 张帝, 姜久春, 张维戈, 等. 电动出租车充电桩优化配置[J]. 电工技术学报, 2015, 30(18): 181-187.
ZHANG Di, JIANG Jiuchun, ZHANG Weige, et al. Optimal configuration of charging spots for electric taxis[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(18): 181-187.
- [23] MU Yunfei, WU Jianzhong, JENKINS N, et al. A spatial-temporal model for grid impact analysis of plug-in electric vehicles[J]. Applied Energy, 2014, 114: 456-465.

收稿日期: 2018-12-06; 修回日期: 2019-02-26

作者简介:

李宏刚(1974—), 男, 通信作者, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电气自动化; E-mail: lihonggang@crdc.com

潘景宜(1951—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为电气自动化。E-mail: 13600365135@139.com