

灵活互动的充电网络建设

李璞

(深圳市车电网络有限公司, 广东 深圳 518057)

摘要: 随着电动汽车的保有量飞速发展, 与之配套的充电网络建设同样迎来了快速发展时期, 但也暴露出许多问题。为了提升电动汽车充电网络的建设水平, 针对当前充电网络建设过程中存在的配电容量不足、无序充电影响、平台开放性低等问题进行了分析。通过储充结合、V2G技术、用电侧的充电负荷调度模型及“车-桩-网-人”的深度互动的综合方案, 为建设更灵活、互通、可靠、智能的充电网络提供一些思路和方法, 以提高配电网络的经济效益性、安全稳定性和环境友好性。

关键词: 充电桩; V2G; 充电策略; 互联互通; 车+桩+网+人

Flexible and interactive charging network construction

LI Pu

(Shenzhen Carenergynet Co., Ltd., Shenzhen 518057, China)

Abstract: With the rapid development of electric vehicle ownership, the construction of corresponding charging network ushered in a period of rapid development, but many problems also have been exposed. In order to improve the construction level of EV charging network, the problems existing in the current construction process of charging network, such as insufficient power distribution capacity, unordered charging, low openness of platform and so on, are analyzed. Through the comprehensive scheme consist of storage and charging combination, V2G technology, the charging load scheduling model on the power side and the in-depth interactive of "vehicle-charger-network-human", some ideas and methods are provided for the construction of a more flexible, interconnected, reliable and intelligent charging network, so as to improve the economic efficiency, safety stability and environmental friendliness of the distribution network.

Key words: charger; V2G; charging strategy; interconnection and interworking; vehicle-charger-network-human

0 引言

随着国家对能源结构调整的不断深入, 以及进一步加快清洁能源发展的大背景下, 各大主流汽车厂商顺应潮流, 相继推出了新能源汽车产品, 其中电动汽车作为一种新兴环保车辆, 近年来在国家的大力支持下得到了快速发展。随着工信部燃油车退出时间表的推进和电动汽车技术不断更新, 未来车辆必将以电动汽车为主, 充电设施将逐步取代加油站成为国家重要基础设施, 充电桩(站)的建设将大力推动电动汽车的普及。

由于目前充电基础设施建设处于初期发展阶段, 面临较为严峻的考验, 行业标准在不断更新变化, 运营商前期建设的充电设施由于标准改变而成为淘汰产品, 新增充电负荷对配电网形成冲击影响电网安全运行, 同时管理平台之间的互联互通还不够完善, 用户体验不佳等问题也成为关注重点。目

前充电基础设施建设遇到种种问题引起行业内各专家学者广泛研究讨论, 针对电动汽车规模化后存在的问题, 文献[1]研究了随机充电行为对城市电网带来的影响, 认为合理安排电动汽车充电时间可有效减缓电缆老化速度; 文献[2]根据短期负荷趋势, 建立了充电控制数学模型, 对各时段的充电功率进行优化; 文献[3]针对油车站点问题, 提出了以智能地锁方式管控充电车位的解决方法。本文主要对充电基础设施建设中出现的问题进行了分析, 提出了关于充电网络建设的一些思考, 倡导实现平台互通互联, 建立“车-桩-网-人”互动下电动汽车集群参与电网辅助服务的市场机制。

1 电动汽车及充电设施产业发展

近年来, 国家加速推进全领域车辆电动化进程, 并且在“十五”、“十一五”、“十二五”和“十三五”连续四个五年计划中推动产业转型, 电动化趋势日

益明显^[5]。

2016年3月2日,发改委、中宣部、科技部等十部委就联合制定了《关于促进绿色消费的指导意见》,文件要求2020年后公务车及公交系统基本实现全面电动化。自2017年以来,广东、山东、上海等多个省份已先后发布公共领域交通全面电动化的时间表,都是以2020年为时间节点。

在物流运输领域,交通运输部、发改委、工业和信息化部等十四个部委于2017年联合印发了《促进道路货运行业健康稳定发展行动计划》,明确指出国家将全面推动城市货运车辆电动化进程。在今年8月份中国电动汽车百人会行业热点问题系列研讨会上,专家代表也提出加快物流运输领域的电动化趋势。

除了公共领域以及物流运输领域,在私人用车领域国家也在大力推广新能源汽车。目前,进入工信部推荐目录的新能源车型也以乘用车居多,数量远超其他车型。为了刺激民众购买电动车,2018年政府工作报告宣布将新能源车购置税优惠政策再延长3年,北京市电动汽车延长免基本用电费5年,多个城市取消新能源车限牌……,不管是国家还是地方,都为新能源汽车发展尽可能的创造良好条件,从补贴、上牌、路权等方面给予支持。

国内电动汽车保有量的持续增长,对配套的充电设施建设提出了相应要求。在国家发展改革委发布的《电动汽车充电基础设施发展指南(2015-2020)》中明确提出,到2020年新增集中式充换电站超过1.2万座,分散式充电桩超过480万个,以满足全国500万辆电动汽车充电需求。在国务院办公厅发布的《关于加快电动汽车充电基础设施建设的指导意见》中,社会公共停车场建设充电设施或预留建设安装条件的车位比例不低于10%,每2000辆电动汽车至少配套建设一座公共充电站。鼓励建设占地少、成本低、见效快的机械式与立体式停车充电一体化设施。

在国家对新能源汽车产业的发展规划和政策支持下,充电设施建设近年来高速发展着。在公共桩方面,截止2018年11月,中国充电设施促进联盟内成员总计上报桩数28.97万台,交流桩和直流桩分别占比62.45%和37.36%,2017年12月到2018年11月,月均新增7083台;私人桩方面,截至2018年11月,通过联盟内成员整车企业采样数据统计私人类充电桩安装43.81万台,整体配建率约71.01%(未配建原因多为集团用户自行建桩、居住地物业不配合、居住地没有固定停车位等)。预计2020年全国电动汽车市场规模可达1000亿元,与之相

应配套的充电设施运营平台承载的运营能力,即充电费用结算将达到300亿元/年。

随着电动汽车及充电设施的快速发展,电动汽车用户和充电运营商将日益增多,对充电场站和运营平台的市场需求也将增加;对各运营商的充电设施进行统一管理,加强政府监管,改变各自为政、条块分割的需求也日益迫切。此外,随着小区和商业区充电设施的增多,充电业务越来越融入普通百姓生活中,对配电网的考验和对“车-桩-网-人”一体化的服务要求也在不断提升。

2 关于充电网络建设的思考

2.1 问题分析

目前电动汽车充电网络的建设还存在较多问题,下面就充电网络建设过程中常面临的配电容量不足以及无序充电造成的负面影响进行分析。

(1) 配电网容量不足

电动汽车充电站作为一种特殊的电力设施,在设计规划时必须充分考虑与配电系统的结合是否合理。而原有配网容量不足,电网改造困难等问题常常成为充电设施建设的最大阻碍。尤其是在老旧小区、商业居民区等配电网剩余负荷紧张的地区,存在公共充电桩建设容量小,增设变压器申请难、费用高等问题。还有,在充电站扩建时因未考虑新接入的充电设施对原有充电桩造成的电压、电流不稳,导致电动汽车在充电过程中高压接线盒损坏,由此引发的安全事故也频频发生。充电设施引入的新增负荷,对电力系统的发、输、配电容量都提出较高的要求^[6]。因此,在充电站建设(扩建)规划时,需对配电网和充电设施进行协调规划,尽量避免、缩小对配电设施增容改造的需求。一是要充分考虑电动汽车充电负荷的时空分布情况,考虑能量缓冲是非常必要的;二是要考虑资源的利用效率,不能完全要求电网进行升级改造。应以投资和系统网损最小化,充电站截获交通流量最大化为目标,建立多目标优化的数学模型,根据计算结果合理地选择站点的建设数量和地址。

(2) 无序充电负面影响

未来电动汽车具有数量庞大、时间及空间上充电行为的随机性、间歇性、波动性的特点,主要表现为单台车辆充电时间及地点的不确定和在充电高峰期大规模接入负荷对电网造成运行和控制难度的明显增加^[7-10]。已有许多学者在研究无序充电对配电网安全运行造成的影响,用电负荷在时间上的不均衡性不仅会增加配电网的损耗,导致电压水平下降,还会对电网的三相负载平衡、变压器使用寿命

和电缆老化寿命造成影响^[1,11-13]；另外，从经济的角度讲，无序充电会拉大峰谷差，而峰谷差增大则会影响配网资源的利用率，增加建设和运营成本。据统计，2010年至2015年广东省的日负荷峰谷差率常年在35%以上，并且随着城镇化率的提高，高峰与低谷时段的峰谷差还在进一步增加^[14]。这就对充电网络的负荷优化及调度能力提出了考验，如果调度策略用得好，可以较大幅度地减轻电动汽车入网所带来的不利影响。所以要加强调度模型方面的研究，以达到平滑日负荷曲线的目的，以电价、预测电动汽车入网量、变压器容量、配电网电压波动等多个因素为指标，形成针对不同场景下的有序充电的调度策略模型^[15]。

(3) 现有充电桩运营平台的局限

当前的充电桩运营市场中，运营商各自为政，互联互通程度很低，缺乏统一的公共服务平台。每个运营商都需要投入大量的资源建设自己的企业运营平台，发行充电卡或者APP，而不同运营商的充电卡和APP不能通用。且各个运营商的技术标准不一，运营模式不同，服务水平参差不齐，无法实现跨运营商的互联互通，给电动汽车用户带来了极大的不便。对于在小区和单位内部建设的非经营性充电设施也缺乏有效的监控管理，没有实现资源的优化配置，而如果每个小区和单位都自己建设各自的后台管理系统在经济性上不可行。另一方面，目前国内的充电运营平台系统的开放性和可扩展性都不够，无法实现对外开放数据和与智慧交通等的融合，不能很好地满足政府监管的需要，当设备发生故障时的响应速度也很迟缓。

2.2 如何建设灵活互动的充电网络的思考

上面提到了关于充电网络建设的诸多问题，下面就如何建设灵活互通的充电网络提出了一些思考的方向。

(1) 储充结合，需求响应

充电网络的建设，应以满足需求为出发点，以解决当前存在的问题为重点。针对上面提到的电网负荷峰谷差增大和配电容量不足引发的矛盾这一问题，可在充电网络中引入储能系统，除了能平滑电力负荷、降低电网冲击，还能调节充电系统的连续性和稳定性。近年引起热议的局域微电网概念就是一个很好的提议^[16-17]，在需求侧采用分布式储能，通过能量交换系统与大电网进行能量交流，形成储充一体化的充电网络，可以最大限度的利用电网资源，做到充电柔性可控。

同时，储能系统的构成可以考虑与动力电池梯次利用相结合，采用不拆解、组串分布式构架。将

一套完整的退役动力电池作为单个电池包，多个电池包与电池管理单元DCU、DC/DC模块串联构成一个储能单元，再相互并联构成功率不等的储能系统，可以将梯次利用电池的系统成本降低到1元/Wh。其中EMS作为梯次利用系统的能量管理核心，对每个电池包的BMS传输的电池信息进行采集，同时通过交换机对DC/DC模块下达工作指令，即在对电池进行有效监测的同时还可结合调度策略做出反应。

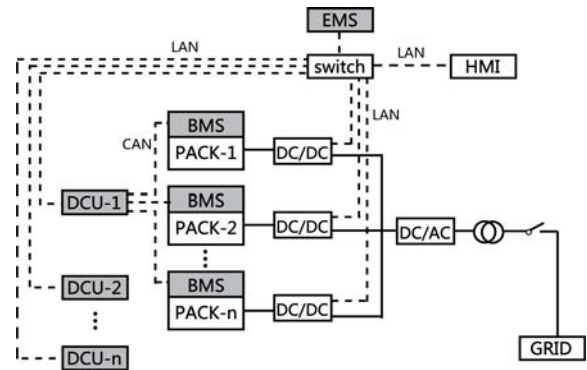


图1 梯次利用储能系统框图

Fig. 1 Diagram of second-use energy storage system

(2) 群充群放，负荷管控

以双向模块、电池管理系统、能量控制系统、并网保护等组成的V2G车电网络技术，能很好地实现削峰填谷、能量跨区域流动和故障紧急救援等目标。其本质是将直流母线作为一个能量蓄水池，通过双向的DC/DC模块实现车辆与电网间能量的双向流动，当接入的电动汽车达到一定规模时，用调度手段可达到不同区域间电力能量的流动。对于终端用户而言，由于V2G的特点，可以方便对电动汽车的电池进行容量标定和维护，很好地适应在充电准备阶段、充电过程中、充电末尾阶段不同充电功

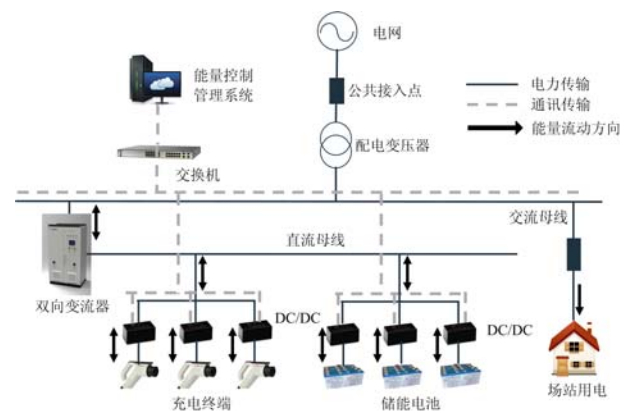


图2 V2G车电网络技术构成图

Fig. 2 Technical composition diagram of V2G network

率同时充电的需求，做到集成群充，功率共享；对电网而言，因为充电模块集成在一起，可以很容易地按电网功率限制，对终端进行功率分配(峰值期增大功率分配，谷值期减小功率分配)，车与电网之间还能在不同的用电环境下达到负荷转移、负荷调节、施转备用的互动，从而起到保护电网的作用^[17]。

(3) 策略调度，售电增值

上文提到的主要是关于设备层面的，在软件层面上，更好的调度策略也能起到降低成本、售电增值的目的。以总充电成本最小、电网负荷方差最小为目标，以充电需求等条件为约束，建立一个电动汽车充电负荷的优化调度模型，根据配电网的负荷状态及车的充电状态，自动优化充电时序和充电功率。基于多种机器学习策略，针对单辆电动汽车，聚合分析大量、快速更新、多种类的的数据推导出电动汽车的充电习惯，预测每一辆电动汽车的充电开始时间、持续时间和充电地点，得到单辆电动汽车的负荷模型，该模型综合考虑电池状态、出行时间、行驶路径与速度、充电偏好等信息。调度策略主要可分为充电优先和削峰填谷两种策略。充电功率优先策略是指当充电功率大于配网容量时，利用储能电池补充为电动车充电。当充电功率小于配网容量时，配电网剩余容量为储能充电直至充满；削峰填谷策略则是在电网平谷时段，利用电网能量为电动车充电，剩余容量可为储能充电直至充满。在电网尖峰时段，优先利用储能为电动车充电，不足的功率从电网获取。

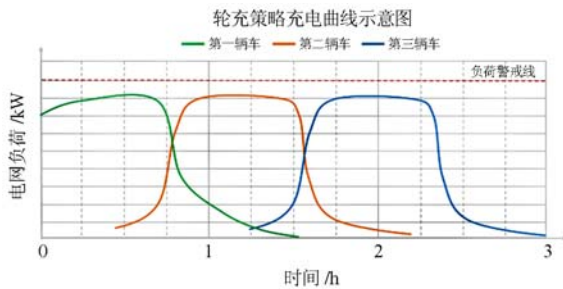


图3 场站级调度策略

Fig. 3 Power dispatching strategy in station level

场站级调度是基于充电桩轮充技术实现充电负荷的最大利用，利用场站柔性负荷调度保证变压器在安全负载内运行，保护关键用电。平台级调度以平台为基础，通过储能等新能源技术实现城市级区域能量调度，降低充电对电网的冲击，还可在云端服务器增加远程功率控制策略，提供在线自主学习充电桩运营状态数据，自动生成契合该场站功率调配模型，做到智能调节功率。

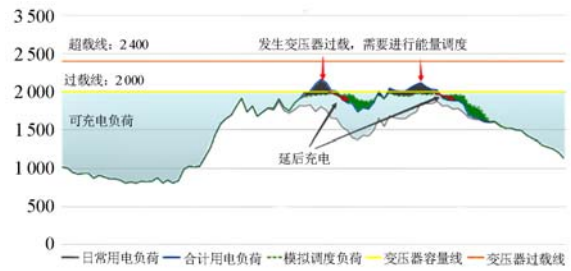


图4 平台级调度策略

Fig. 4 Power dispatching strategy in platform level

当未来动力电池成本下降到可以利用峰谷差价获取收益时，还可增加能量的双向流动，将电动汽车作为分布式移动储能资源，充电桩承担车辆和电网的连接任务，形成车电上网的智能充电系统，实现售电增值。当新能源车车辆规模达到一定程度后可与现有电网形成深度需求调节，将双向充电桩作为应急电源，在微网离网停电时调集电动汽车与桩相连，进行临时供电，增强充电网络的灵活互通性，减少对配电增容改造的影响，具有较高实用价值和产品化前景。

(4) 互联互通，“车+桩+网+人”合一

V2G 理念是传统汽车产业链步入“互联网+”时代最关键的一笔，“车-桩-网-人”的互动连接在于信息与资源的共享。但目前充电运营系统都是为各自网络内电动汽车充电需求提供服务，各系统之间相互独立，还未形成一套完整的技术体系和标准，互联互通标准主要集中在“车-桩”之间技术接口，缺乏运营相关的接口标准。而高度开放的电动汽车充电互联互通云平台，应支持车-桩-网的全面互联互通，支持与政府系统的深度融合，与配电网的灵活调度，与智慧交通、财政等系统实现集成应用，基于大数据分析挖掘，为充电设施规划和政策制定提供辅助决策。能为运营商、用户、第三方机构等搭建一个沟通合作的基础平台，便利电动汽车用户，拓展充电设施运营服务新模式，促进产业链资源的整合，推动新能源汽车产业的可持续健康发展。车电网研发的充电云平台，致力于实现平台间的互联互通，充电设施统一接入管理，资源与数据高度共享，用户可通过云平台使用不同运营商的桩轻松完成充电漫游，届时用户仅凭一台手机就可享受到日常充电、电动汽车租赁、充电桩运维、私桩分享、售电套利等一系列服务。平台服务以充电业务为核心，串联充电设施采购、建站运营、售后维护、停车管理、分时租赁、整车销售、保险服务、周边商场等业务线，满足多元化需求，促进生态圈企业融合共生，放大整体价值，助力充电事业持续发展。

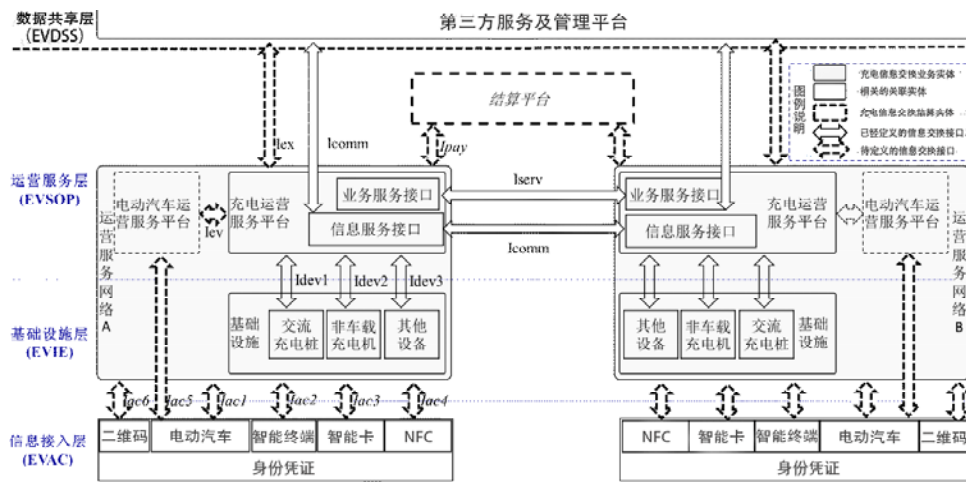


图 5 互联互通构架图

Fig. 5 Frame of interconnection architecture

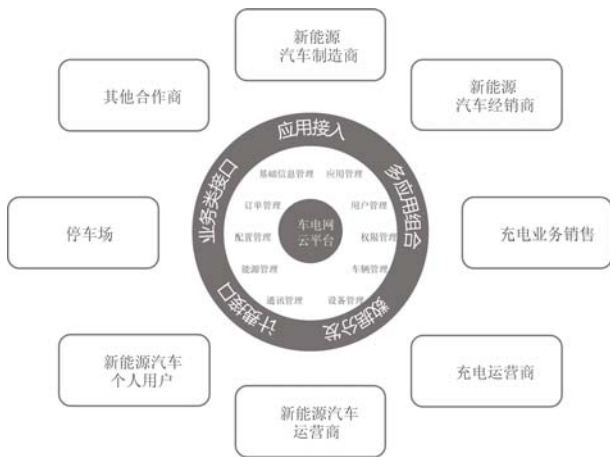


图 6 “车+桩+网+人”生态圈式经营

Fig. 6 “vehicle-charger-network-human” ecosphere Management

3 结论

随着国家在新能源汽车行业的加大投入，充电桩产业也迎来了爆发式增长，在大规模扩张的同时也遇到了不少问题，其发展前景可谓是机遇与挑战并存。本文分析了目前行业内遇到的一些问题：配电网容量不足阻碍发展、无序充电拉大峰谷差、平台开放性和扩展程度低。对充电网络的建设提供了一些想法和思路：(1) 充电桩可与储能结合，平滑充电负荷，提高设备稳定性；(2) 采用 V2G 一体充放机，群充群控，调节负荷；(3) 建立从场站到平台级的调度策略模型，配合储能系统，实现售电增值；(4) 实现平台互通，加强车-桩-网-人的互动连接，创造经济、社会、环境价值。本文提出从建立电动汽车、充电桩的产品服务，到结合储能提高智能电网的能效管理、综合售能，再扩展到智慧交通、助

推“大交通+小交通+私人交通”的新型绿色交通生态体系，通过数据流和能量流，把人、车、环境、城市有机的结合起来，发展未来新能源汽车领域更大的生态圈。

参考文献

- [1] 朱晓岭, 杨静, 于德明, 等. 规模化电动汽车充电对配电网电缆老化的影响[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(6): 117-123, 130.
ZHU Xiaoling, YANG Jing, YU Deming, et al. Impact of large-scale EVs charging load on aging effect of power cables[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(6): 117-123, 130.
- [2] 李惠玲, 白晓民. 电动汽车充电对配电网的影响及对策[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(17): 38-43.
LI Huiling, BAI Xiaoming. Impacts of electric vehicles charging on distribution grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(17): 38-43.
- [3] 武圣, 易正, 孙玉昆, 等. 基于智能地锁解决燃油车占位和充电预约的技术研究与设计[J]. 现代信息科技, 2018, 2(3): 167-169.
WU Sheng, YI Zheng, SUN Yukun, et al. Technical research and design based on smart ground lock to solve fuel truck occupancy and charge reservation[J]. Modern Information Technology, 2018, 2(3): 167-169.
- [4] 葛少云, 冯亮, 刘洪, 等. 考虑电量分布及行驶里程的高速公路充电站规划[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(7): 111-116.
GE Shaoyun, FENG Liang, LIU Hong, et al. Planning of charging stations on highway considering power distribution and driving mileage[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(7): 111-116.

- [5] 国务院. “十二五”节能环保产业发展规划[EB/OL]. (2012-09-14) [2018-01-02]. <http://www.caepi.org.cn/p/1211/28731.html>.
- [6] 郭建龙, 文福拴. 电动汽车充电对电力系统的影响及其对策[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(6): 1-9.
GUO Jianlong, WEN Fushuan. Impact of electric vehicle charging on power system and relevant counter measures[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(6): 1-9.
- [7] 陈丽丹, 聂涌泉, 钟庆. 基于出行链的电动汽车充电负荷预测模型[J]. 电工技术学报, 2015, 30(4): 216-225.
CHEN Lidan, NIE Yongquan, ZHONG Qing. A model for electric vehicle charging load forecasting based on trip chains[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(4): 216-225.
- [8] MEYERS M K, SCHNEIDER K, PRATT R. Impacts assessment of plug-in hybrid vehicles on electric utilities and regional US power grids: Part 1 technical analysis[R]. Richland, WA, USA: Pacific Northwest National Laboratory, 2007.
- [9] ZHANG P, QIAN K, ZHOU C, et al. A methodology for optimization of power systems demand due to electric vehicle charging load[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2012, 27(3): 1628-1636.
- [10] 胡宇航, 皮一晨, 崔静安, 等. 电动汽车充电站负荷建模研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(8): 107-112.
HU Yuhang, PI Yichen, CUI Jingan, et al. Research on electric vehicle charging station modeling[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(8): 107-112.
- [11] 王建, 吴奎华, 刘志珍, 等. 电动汽车充电对配电网负荷的影响及有序控制研究[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(8): 47-52.
WANG Jian, WU Kuihua, LIU Zhizhen, et al. Impact of electric vehicle charging on distribution network load and coordinated control[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(8): 47-52.
- [12] 熊虎, 向铁元, 荣欣, 等. 电动汽车电池更换站布局的最优规划[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(9): 1-6.
XIONG Hu, XIANG Tiejue, RONG Xin, et al. Optimal allocation of electric vehicle battery swap station[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(9): 1-6.
- [13] KAZERONI M, KAR N C. Impact analysis of EV battery charging on the power system distribution transformers[C] // 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC), Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2012: 6.
- [14] 郇嘉嘉, 左郑敏. 广东电网负荷特性典型日选取研究[J]. 电力科学与技术学报, 2017, 32(1): 164-170.
XUN Jiajia, ZUO Zhengmin. Research on typical day selection method of Guangdong power grid load[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2017, 32(1): 164-170.
- [15] 谢东亮, 张宇琼, 吴巨爱, 等. 容量受限下电动汽车充电策略优化及应急备用能力分析[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(11): 56-63.
XIE Dongliang, ZHANG Yuqiong, WU Juai, et al. Charging optimization strategy and capability analysis as reserve measures for electric vehicles under limited-capacity area[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(11): 56-63.
- [16] 邓诗蕾, 王明渝. 直流微电网潮流控制器与分布式储能协同控制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(24): 40-46.
DENG Shilei, WANG Mingyu. Cooperative control strategy of DC microgrid power flow controller and distributed energy storage system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(24): 40-46.
- [17] 王闪闪, 赵晋斌, 毛玲, 等. 基于电动汽车移动储能特性的直流微网控制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(20): 31-38.
WANG Shanshan, ZHAO Jinbin, MAO Ling, et al. A control strategy based on mobile energy storage characteristic of electric vehicles in DC micro-grid[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(20): 31-38.
- [18] 张喆, 邱艳. 公用充电站车桩人互动深化应用研究[J]. 供用电, 2018, 35(9): 47-52.
ZHANG Zhe, QIU Yan. Research on deepening application of vehicle-piling-people in public charging station[J]. Distribution & Utilization, 2018, 35(9): 47-52.

收稿日期: 2018-10-25

作者简介:

李璞 (1978—), 男, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为新能源汽车供电。E-mail: Lipu1@szclou.com