

基于峰谷电价的家用电动车居民小区 有序充电控制方法

苏海锋, 梁志瑞

(华北电力大学 新能源电力系统国家重点实验室, 河北 保定 071003)

摘要: 目前大部分居民小区的供电容量不能满足较多电动汽车充电的需要。提出一种在不增加小区已有配电容量的前提下, 满足较大规模家用电动车居民小区内有序充电的控制方法。该方法是在私家电动汽车出行规律和普通居民小区生活用电规律的基础上, 基于峰谷分时电价, 最大限度利用谷时段进行充电的有序充电控制方法。采用序贯蒙特卡洛仿真对某居民小区电动汽车充电进行验证, 结果证明了所提方法的合理性和实用性。

关键词: 电动汽车; 峰谷分时电价; 有序充电; 控制; 模型; 序贯蒙特卡洛仿真

中图分类号: TM 715; U 469.72

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.06.003

0 引言

汽车是全球石油危机和温室气体排放的主要因素之一, 发展清洁能源汽车迫在眉睫。目前, 世界范围内, 电动汽车(EV)时代的序幕正在拉开^[1]。各国政府纷纷制定战略、出台政策、培育市场; 相关企业积极投入, 相关技术发展迅猛。据工业和信息化部电动汽车发展战略研究报告预测, 2030 年全国电动汽车保有量将达到 6 000 万辆^[2]。规模如此庞大的电动汽车, 无论是采用何种充电方式, 对电网的影响都将相当可观^[3-5]。2014 年电动汽车再次成为关注的焦点。但是, 新能源汽车市场一直存在“政策热、推广难”的尴尬。特别是家用电动汽车市场, 用户有纯电动汽车的购车指标, 小区也有固定车位, 却因为物业拒绝在车位上安装充电桩(由于小区供电容量有限)而不得不搁置购车计划。一个重要的原因是目前大部分已有小区在规划设计时没有考虑到电动汽车的充电需要。大规模电动汽车无序充电需要很大的充电负荷, 出现电动汽车的充电功率高峰与小区原有用电高峰重叠, 对电网用电安全造成威胁。

目前, 我国智能配电网和智能配电居民小区建设还很不普及和和完善, 已有居民小区的供电容量不能满足较多电动汽车的充电需要。增加配电设备容量, 将会涉及投资、多部门协调及复杂的施工改造等很多问题, 而且还会导致负荷峰谷差变大, 降低设备利用率, 这是目前私家电动汽车推广难的症结之一。小区充电桩问题不解决, 家用电动车很难推

广。因此, 开展大规模电动汽车接入电网后对电网影响的定量评估及以减少负面影响为目标的有序充电控制策略研究, 已日益成为人们关注的热点问题^[6-13]。

文献[6-8]以私家电动汽车慢速充电方式为主要研究对象, 在电网分时电价的基础上, 研究了电动汽车有序充电问题。其中, 文献[6]提出了基于峰谷电价的电动汽车有序充电时段的优化模型与方法。文献[7]以减小电网峰谷差作为主要目标, 结合电网分时电价的时段划分与局域配电网负荷波动情况, 提出了电动汽车充电分时电价时段划分方法, 并建立了以用户充电费用最小和电池起始充电时间最早为控制目标的数学模型。文献[8]分析了规模化电动汽车自然充电对电网负荷变化规律的影响, 并提出了基于峰谷充、放电价政策的有序充放电策略。文献[9]以商用车和私家车为研究对象, 分析了无序充电、时段控制充电、有序充电对配电网负荷的影响, 采用集中式与分布式结合的优化控制理念, 建立了电动汽车协调控制充电模型, 通过算例验证了充电负荷模型和充电制策略的有效性和可行性。文献[10]以充电站运营收益最大化为目标, 以配电变压器容量及最大限度满足用户充电需求为约束条件, 建立了充电站内电动汽车有序充电数学模型。文献[11]在分析电动汽车充电负荷特性、管理架构的基础上, 提出了基于多智能体的电动汽车充电管理模式, 建立了单台电动汽车的充电负荷模型和基于多智能体系统的电动汽车充电优化模型, 有效地实现了电动汽车充电负荷的“移峰填谷”。文献[12]提出了基于动态分时电价的电动汽车充电站有序充电控制方法。该方法在综合考虑用户充电需求和电网负荷水平的基础上, 以削峰填谷为目标,

收稿日期: 2014-12-23; 修回日期: 2015-04-15

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2015MS85)
Project supported by the Fundamental Research Funds for the Central Universities(2015MS85)

采用启发式算法动态求解接入充电站电动汽车的分时电价时段。文献[13]提出了一种从充电负荷配置和充电需求引导两方面展开的电动汽车有序充电实施方案,建立了从电网优化运行到电动汽车充电终端的分层分布实施架构。以上研究内容为电动汽车有序充电控制方法的研究奠定了基础。

本文以私家电动汽车慢速充电方式为主要研究对象,在分析私家电动汽车出行规律和普通居民小区生活用电规律基础上,基于峰谷分时电价和小区生活用电典型日历史负荷曲线,提出了一种无需建设充电控制中心主站及充电桩与主站的通信网络,且适用于较大规模家用电动汽车居民小区内有序充电的双序谷时段最大化有序充电控制方法。考虑到电动汽车充电负荷和居民生活用电负荷都具有时序特性,本文利用序贯蒙特卡洛方法对本文提出的有序充电控制策略进行了时序仿真验证。由仿真结果看出,本文方法在满足用户用车需求的条件下,最大限度地利用谷时段进行充电,在小区配电设备不扩容的情况下尽可能多地满足了小区用户家用电动汽车的充电需求。

1 分时电价与电动汽车有序充电

居民生活用电峰谷分时电价,是我国目前在居民生活用电中逐步推广的一种电价机制,其意义在于鼓励居民利用低谷电价的优惠条件来消费低谷电力。同时,对电力部门而言,将高峰用电转移到低谷时段,既缓解了高峰电力供需缺口,又促进了电力资源的优化配置,是一项“削峰填谷”的双赢政策。充分利用峰谷分时电价政策,能够指导用户优化用电,在不改变原来配电容量的基础上,满足未来一段时间内配网负荷较大增长的需要。

规模化电动汽车作为充电负荷自然接入电网将增加区域电网的最大负荷值并加大峰谷差率。在不影响人们用车习惯的基础上,优化车辆充电秩序,最大限度满足用户充电需求,对提高配电设备等利用率及电网稳定具有重大意义。因此,从电网角度而言,必须对电动汽车充电进行有效引导或控制,即在满足电动汽车使用需求的前提下,通过有效的电价经济手段和充电控制手段引导电动汽车有序充电,避开电网负荷高峰时段,合理地分散电动汽车的充电功率,减少对电网的负荷冲击及不必要的发电装机与电网建设,保证电动汽车与电网协调发展^[8]。

2 私家电动汽车负荷需求建模

2.1 私家车出行返回时刻及行驶里程概率分布

在未实施峰谷分时电价引导政策的情况下,用

户充电时间的选择主要受出行习惯和生活规律影响。根据美国交通部对全美家用车辆的调查结果,一天中有 14% 的家用车辆不被使用,有 43.5% 的家用车辆日行驶里程在 20 mile(约 32 km)以内,83.7% 的家用车辆日行驶里程在 60 mile(约 97 km)以内^[14-15]。对统计数据进行归一化处理,用极大似然估计的方法分别将车辆最后出行返回时刻和日行驶里程近似为正态分布和对数正态分布,如图 1 和图 2 所示。由此也可以看出绝大部分的私家车有充足的在家充电时间。

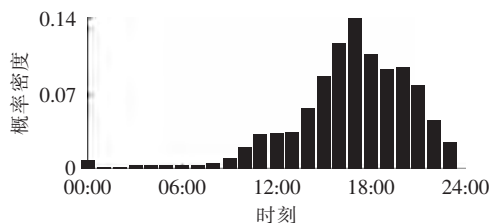


图 1 私家电动汽车出行最后返回时刻概率分布图
Fig.1 Probability distribution of return time of household EVs

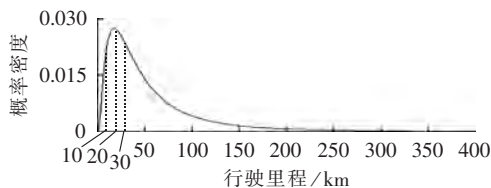


图 2 私家电动汽车日行驶里程概率密度分布
Fig.2 Probability density distribution of daily trip distance of household EVs

私家电动汽车出行最后返回时刻概率密度分布函数如下式所示:

$$f_s = \begin{cases} \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - \mu_s)^2}{2\sigma_s^2}\right] & \mu_s - 12 < x_i \leq 24 \\ \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i + 24 - \mu_s)^2}{2\sigma_s^2}\right] & 0 < x_i \leq \mu_s - 12 \end{cases} \quad (1)$$

其中, x_i 为时间;期望值 $\mu_s = 17.6$;标准差 $\sigma_s = 3.4$ 。

日行驶里程的概率密度函数如下式所示:

$$f_D(L) = \frac{1}{L \sigma_D \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln L - \mu_D)^2}{2\sigma_D^2}\right] \quad (2)$$

其中, L 为日行驶里程;期望值 $\mu_D = 3.20$;标准差 $\sigma_D = 0.88$ 。

2.2 慢速充电功率概率分布模型

家用电动汽车动力电池容量通常在 20~30 kW·h 范围内呈均匀分布。目前电动汽车动力电池以锂电池为主,在小区内一般采用三段式慢速小电流充电方式,分别是预充电阶段、恒流充电阶段和恒压充电阶段。由于预充电阶段和恒压充电阶段占整个充电时间的比例非常小,本文研究假设充电过程为恒

功率充电。各电动汽车的充电功率 P_C 在 2~3 kW (0.1C, C 为电池容量,单位 kW·h) 范围内呈均匀分布,充电功率表达式如下式所示:

$$P_C(x_v) = 2 + \text{rand}() \quad (3)$$

其中, x_v 为任一电动汽车; $\text{rand}()$ 为 [0, 1] 区间上的随机数。

2.3 电动汽车充电时间

私家电动汽车充电时间计算公式如下:

$$T_C = \frac{LW_{100}}{100P_C} \quad (4)$$

其中, T_C 为充电时间,单位为 h; L 为日行驶里程,单位为 km; W_{100} 为每百 km 耗电量,单位 kW·h; P_C 为充电功率,单位为 kW。

2.4 有序充电控制策略

本文提出了一种基于典型日历史负荷曲线、峰谷电价和用户出行规律的居民小区私家电动汽车有序充电控制方法。充电控制方法包括:双序谷时段最大化有序充电和常规无序充电(回家即充)2 种充电模式。双序谷时段最大化有序充电是在无充电站统一协调控制充电模式下的一种充分利用谷时段进行电动汽车充电的有序充电方法,由正序谷时段充电和倒序谷时段充电 2 种充电模式组成。

目前我国实施的居民生活用电分时电价为峰谷分时电价,如表 1 所示,其中, t_{f-b} 为峰时段开始时间, t_{f-o} 为峰时段结束时间, t_{g-b} 为谷时段开始时间, t_{g-o} 为谷时段结束时间。

表 1 居民峰谷电价表

Table 1 Residential TOU electricity tariff table

类型	时段
峰	$t_{f-b} - t_{f-o}$
谷	$t_{g-b} - t_{g-o}$

(1) 正序谷时段充电。

以表 1 所示的居民生活用电峰谷电价信息为例,正序谷时段充电是指,若某电动汽车具备在谷时段充电的条件,充电所需时长为 t ,当谷时段时长大于充电时长 t (如图 3(a) 所示),那么谷时段的起始时刻是充电开始时刻;当谷时段时长小于充电时长 t (如图 3(b) 所示),则充电开始时间从谷时段起始时间向前平移 Δt 时长。谷时段正序充电时序如图 3 所示。

$$\Delta t = t - t_g \quad (5)$$

其中, t 为充电时长; t_g 为谷时段时长。

(2) 倒序谷时段充电。

倒序谷时段充电时序如图 4 所示。倒序谷时段充电是指,若某电动汽车具备在谷时段充电的条件,充电所需时长为 t ,当谷时段时长大于充电时长 t (如图 4(a) 所示),那么距离谷时段结束 t 前那一时

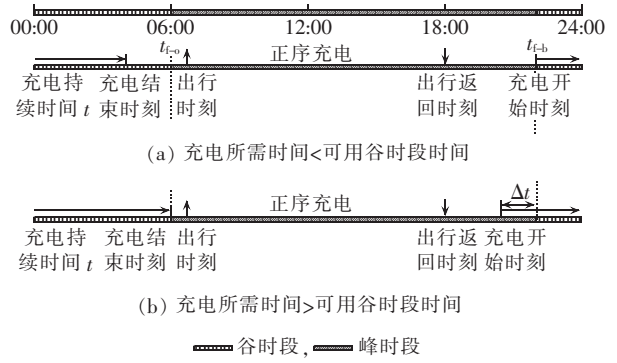


图 3 电动汽车正序谷时段充电时序图
Fig.3 Sequential chart of positive valley-period EV charging

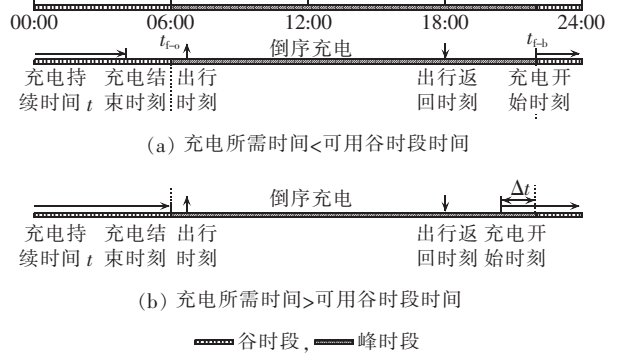


图 4 电动汽车倒序谷时段充电时序图
Fig.4 Sequential chart of reverse valley-period EV charging

刻是充电开始时刻;当谷时段时长小于充电时长 t (如图 4(b) 所示),则充电开始时间从谷时段起始时间向前平移 Δt 时长。由于倒序充电和常规的充电时序正好相反,因此称为倒序充电。

(3) 充电控制策略实施过程。

本文提出的充电控制策略是在满足私家电动汽车出行需求基础上的一种优化充电控制策略,具体实施过程如下。

a. 读取电动汽车的初始荷电状态和离开时的最低要求荷电状态(最低荷电状态是由用户行驶里程需求决定的),计算出充电时间。

b. 用户输入用车需求信息,若用户无特殊用车需求,次日谷时段结束时刻为默认充电完成时刻(仿真时假设 15:00—24:00 返回车辆的 95% 为无特殊用车需求用户),采用双序谷时段最大化有序充电方式。对有特殊用车需求的用户,若采用双序谷时段最大化有序充电方式不能满足充电需求,再采用常规无序充电方式。

采用双序谷时段最大化有序充电方式的车辆,是采用正序谷时段充电还是倒序谷时段充电是由充电控制模块随机决定。车辆正序谷时段充电和倒序谷时段充电的概率具体确定方法如下:

a. 设定初始正序充电和倒序充电车辆数目的

比例 $\lambda = \lambda_1 : \lambda_2 = 0 : 1 (\lambda_1 + \lambda_2 = 1)$, 以 0.01 为步长逐步增加 λ_1 的值、减小 λ_2 的值, 基于小区典型日历史负荷数据和假设的小区电动汽车数量, 采用序贯蒙特卡洛仿真法 (流程图见图 5) 计算小区用电负荷的日最大功率;

b. 对居民小区用电负荷日最大功率进行排序, 选择日最大功率最小值对应的 λ 值作为正序谷时段充电和倒序谷时段充电车辆数目的比例。

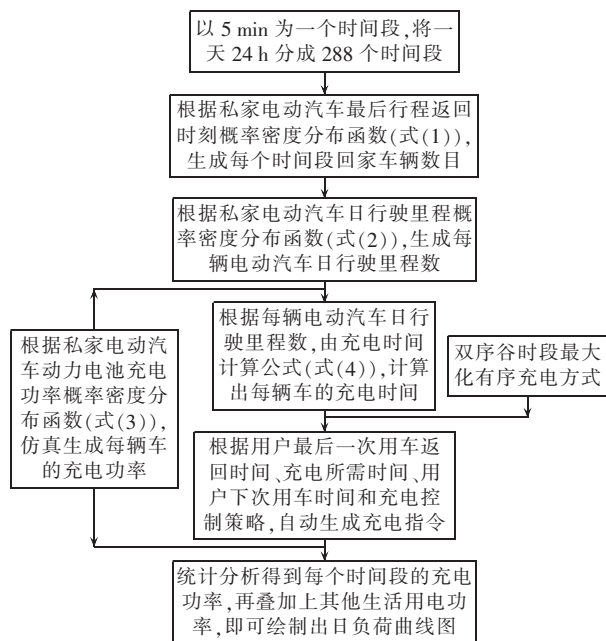


图 5 序贯蒙特卡洛仿真计算小区用电日负荷曲线流程图

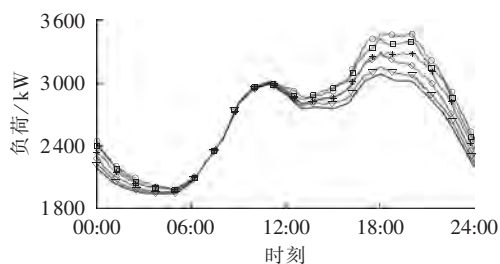
Fig.5 Flowchart of sequential Monte Carlo simulation for calculating daily load curve of residential quarter

3 算例分析

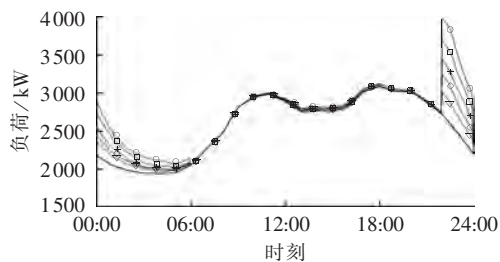
为验证本文方法的有效性, 以某居民小区为例进行了仿真分析。居民小区的用电具有很强的规律性, 一天会出现 2 个用电高峰, 分别出现在中午和晚上。图 6 各小图中最下方的那条曲线是我国某城市居民小区 (750 套住房, 平均每套住房 100 m²) 典型日最大负荷曲线, 12:00 左右和 18:30 左右有 2 个明显的用电高峰, 日负荷峰值为 3 080 kW。

基于表 2 的居民生活用电峰谷电价数据和本文提出的方法, 分别采用了常规无序充电模式、正序谷时段充电模式、倒序谷时段充电模式和双序谷时段充电模式, 根据式 (1)~(4) 表述的电动汽车出行规律模型和负荷需求模型, 利用图 5 所示的程序流程图进行时序仿真得到的 100~500 辆家用电动汽车的充电功率时序图如图 6 所示, 500 辆电动汽车的充电数据及对电网的影响结果如表 3 所示。

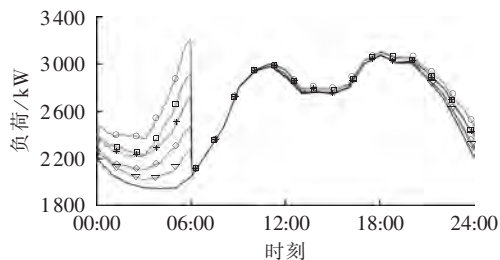
采用双序谷时段充电模式时, 最优谷时段正序充电和谷时段倒序充电车辆数目的比例为 0.25:0.75。



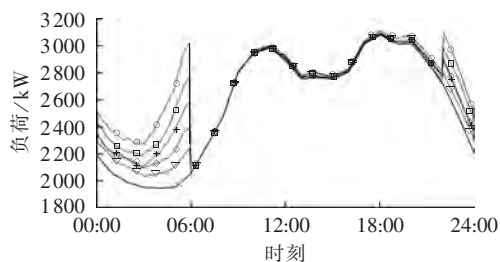
(a) 无序充电模式



(b) 正序谷时段充电模式



(c) 倒序谷时段充电模式



(d) 双序谷时段充电模式

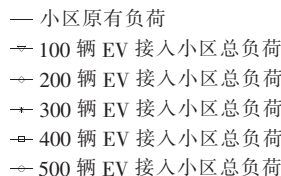


图 6 电动汽车充电小区日负荷曲线

Fig.6 Daily load curve of residential quarter with EV charging

表 2 居民生活用电峰谷电价信息

Table 2 Residential peak and valley electricity tariffs

类型	时段
峰	06:00—22:00
谷	22:00 至次日 06:00
电价	峰:0.617 元/(kW·h), 谷:0.307 元/(kW·h)

由图 6 所示的不同充电控制方式下的日负荷曲线图可以看出:

表3 500辆电动汽车充电数据及对小区电网的影响
Table 3 Charging data of 500 EVs and corresponding influence on residential distribution network

参数	无序	正序	倒序	双序
车辆数	500	500	500	500
总里程/km	27237	27237	27237	27237
总峰负荷/kW	3452	3989	3197	3107
总谷负荷/kW	1995	2054	2054	2054
原始峰负荷/kW	3080	3080	3080	3080
原始谷负荷/kW	1944	1944	1944	1944
日总用电量/(kW·h)	3953	4020	4045	4046
日峰时段电量/(kW·h)	2798	457	457	457
日谷时段电量/(kW·h)	1154	3563	3588	3589
平均行驶里程/km	54	54	54	54
每百km耗电量/(kW·h)	15	15	15	15
原始负荷峰谷差率/%	36.89	36.89	36.89	36.89
总负荷峰谷差率/%	42.20	48.51	35.78	33.91
充电成本/元	2081	1376	1383	1384
配网过载率/%	12.08	29.50	3.81	0.88

注:总负荷表示小区原有用电负荷和电动汽车负荷的累加值;原始负荷表示小区原有用电负荷,不考虑电动汽车接入;配网过载率=(总峰负荷-原始峰负荷)/原始峰负荷×100%。

a. 采用无序充电控制策略的电动汽车接入电网时,电动汽车的充电功率高峰会与小区原有用电高峰重叠,对电网用电安全造成威胁;

b. 峰谷分时电价实现了充电负荷的峰谷转移,但如果不对谷时段充电进行有序控制,不能实现真正意义上的削峰填谷,甚至会产生比无序充电更严重的用电负荷峰值,如图6(b)、(c)所示;

c. 双序谷时段充电模式,充分发挥了电动汽车充电负荷的削峰填谷效果。

从表3可以看出,采用双序谷时段充电模式时,系统峰负荷显著减小,从3452kW降低到3107kW,有效地解决了电动汽车无序充电对电网“峰上加峰”的问题;峰谷差率明显减小,从42.20%降低到33.91%,提高了配电设备的运行效率;配网过载率只有0.88%,即使在小区配电设备不扩容的情况下,也能满足2/3(小区750住户中500用户拥有1辆电动汽车)的家庭拥有1辆电动汽车;另外采用谷时段最大化充电策略,显著降低了用户的充电成本,从2081元降低到1384元,降低了33%。

4 结论

本文基于日常车辆的出行习惯方面的统计学规律和小区典型日负荷曲线数据,提出了基于峰谷分时电价的双序谷时段充电方法,并进行了时序仿真验证,得到的结论如下:

a. 电动汽车无序充电将增加电网峰值负荷及负荷的峰谷差率;

b. 只依靠峰谷电价经济手段,不能实现真正的电动汽车充电负荷的削峰填谷;

c. 采用双序谷时段充电模式实现了充电负荷的削峰填谷,在小区配电设备不扩容的情况下,也能满足2/3的家庭拥有1辆电动汽车。

若考虑电动汽车在小区以外地点(如单位、公共充设施等)充电的情况,小区对电动汽车的接纳能力还能提高。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国科学技术部. 电动汽车科技发展“十二五”专项规划 [EB/OL]. (2012-03-27). <http://www.most.gov.cn/tztg/201204/W020120503407413903488.pdf>.
- [2] 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):1-5.
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):1-5.
- [3] 胡泽春,宋永华,徐智威,等. 电动汽车接入电网的影响与利用[J]. 中国电机工程学报,2012,32(4):1-10.
HU Zechun,SONG Yonghua,XU Zhiwei,et al. Impacts and utilization of electric vehicles integration into power systems[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(4):1-10.
- [4] SCHNEIDER K,GERKENSMEYER C,KINTNER-MEYER M,et al. Impact assessment of plug-in hybrid vehicles on pacific northwest distribution systems[C]//Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. Pittsburgh,PA,USA:IEEE,2008:1-6.
- [5] 周念成,熊希聪,王强钢. 多种类型电动汽车接入配电网的充电负荷概率模拟[J]. 电力自动化设备,2014,34(2):1-7.
ZHOU Niancheng,XIONG Xicong,WANG Qianggang. Simulation of charging load probability for connection of different electric vehicles to distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(2):1-7.
- [6] 葛少云,黄镠,刘洪. 电动汽车有序充电的峰谷电价时段优化[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(10):1-5.
GE Shaoyun,HUANG Liu,LIU Hong. Optimization of peak-valley TOU power price time-period in ordered charging mode of electric vehicle[J]. Power System Protection and Control,2012,40(10):1-5.
- [7] 孙晓明,王玮,苏粟,等. 基于分时电价的电动汽车有序充电控制策略设计[J]. 电力系统自动化,2013,37(1):191-195.
SUN Xiaoming,WANG Wei,SU Su,et al. Coordinated charging strategy for electric vehicles based on time-of-use price[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(1):191-195.
- [8] 孙近文,万云飞,郑培文,等. 基于需求侧管理的电动汽车有序充放电策略[J]. 电工技术学报,2014,29(8):64-69.
SUN Jinwen,WAN Yunfei,ZHENG Peiwen,et al. Coordinated charging and discharging strategy for electric vehicles based on demand side management[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2014,29(8):64-69.
- [9] 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.
- [10] 徐智威,胡泽春,宋永华,等. 充电站内电动汽车有序充电策略[J]. 电力系统自动化,2012,36(11):38-43.
SU Zhiwei,HU Zechun,SONG Yonghua,et al. Coordinated charging of plug-in electric vehicles in charging stations[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(11):38-43.
- [11] 许少伦,严正,冯冬涵,等. 基于多智能体的电动汽车充电协同控制策略[J]. 电力自动化设备,2014,34(11):7-14.
XU Shaolun,YAN Zheng,FENG Donghan,et al. Cooperative charging control strategy of electric vehicles based on multi-agent[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(11):7-14.
- [12] 徐智威,胡泽春,宋永华,等. 基于动态分时电价的电动汽车充电站有序充电策略[J]. 中国电机工程学报,2014,34(22):3638-3646.
XU Zhiwei,HU Zechun,SONG Yonghua,et al. Coordinated charging strategy for PEV charging stations based on dynamic time-of-use tariffs[J]. Proceedings of the CSEE,2014,34(22):3638-3646.
- [13] 张明霞,田立亭. 一种基于需求分析的电动汽车有序充电实施架构[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(3):118-122.

- ZHANG Mingxia,TIAN Liting. A method to organize the charging of electric vehicle based on demand analysis [J]. Power System Protection and Control,2013,41(3):118-122.
- [14] 田立亭,史双龙,贾卓. 电动汽车充电功率需求的统计学建模方法[J]. 电网技术,2010,34(11):126-130.
TIAN Liting,SHI Shuanglong,JIA Zhuo. A statistical model for charging power demand of electric vehicles[J]. Power System Technology,2010,34(11):126-130.
- [15] VYAS A,SANTINI D. Use of national surveys for estimating "full" PHEV potential for oil use reduction[EB/OL]. (2008-07-21).
<http://www.Transportation.anl.gov/pdfs/HV/525.pdf>.

作者简介:



苏海锋

苏海锋(1977—),男,河北石家庄人,讲师,博士,主要从事电网规划及智能配电网方面的研究工作(E-mail:hfsups@163.com);

梁志瑞(1959—),男,河北邯郸人,教授,从事电力系统自动化、电力系统监测与故障诊断技术的教学与研究工作。

Orderly charging control based on peak-valley electricity tariffs for household electric vehicles of residential quarter

SU Haifeng,LIANG Zhirui

(State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North China Electric Power University,Baoding 071003,China)

Abstract: At present,the electricity supply capacity of most residential quarters cannot meet the need of large-scale EV(Electric Vehicle) charging. A method of orderly charging control for large-scale household EVs of residential quarter without additional power distribution capacity is proposed,which makes full use of the valley period in the orderly EV charging control based on the regular patterns of household EV trip and residential electricity consumption and the TOU(Time-Of-Use) electricity pricing policy. Sequential Monte Carlo simulation is carried out for a residential quarter,and the rationality and practicability of the proposed method are verified by the simulative results.

Key words: electric vehicles; peak-valley tariff; orderly charging; control; models; sequential Monte Carlo simulation