

4-16-2021

Design of coordinated charging control system for electric vehicles charging load in the residential area

Jian LIN

Xiamen Power Supply Company, State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd., Xiamen, 361000 , China

Jun XIONG

Xiamen Power Supply Company, State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd., Xiamen, 361000 , China

Minghao SUN

Xiamen Power Supply Company, State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd., Xiamen, 361000 , China

Hao JIANG

Xiamen Power Supply Company, State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd., Xiamen, 361000 , China

Yuan HUANG

College of Electrical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065 , China

Follow this and additional works at: <https://jepst.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

LIN, Jian; XIONG, Jun; SUN, Minghao; JIANG, Hao; and HUANG, Yuan (2021) "Design of coordinated charging control system for electric vehicles charging load in the residential area," *Journal of Electric Power Science and Technology*. Vol. 35: Iss. 5, Article 6.

DOI: 10.19781/j.issn.16739140.2020.05.006

Available at: <https://jepst.researchcommons.org/journal/vol35/iss5/6>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electric Power Science and Technology. It has been accepted for inclusion in Journal of Electric Power Science and Technology by an authorized editor of Journal of Electric Power Science and Technology.

一种住宅小区电动汽车有序充电控制系统的设计

林 健¹, 熊 军¹, 孙明浩¹, 蒋 航¹, 黄 媛²

(1. 国网福建省电力有限公司厦门供电公司, 福建 厦门 350003; 2. 四川大学电气工程学院, 四川 成都 610065)

摘 要:大量电动汽车接入住宅小区,给住宅小区配电设施带来压力。研究住宅小区电动汽车的充电模式,建立监控体系是保障电动汽车与电网友好互动的基础。在此背景下,设计以电动汽车充电桩监控为基础的住宅小区有序充电的控制系统,并考虑住宅小区的负荷特性及峰谷电价,建立电动汽车两阶段有序充电控制的模型,实现了用户的充电成本与住宅小区负荷峰谷差最小的目标。实际系统的算例分析验证了该方法的有效性,所提控制系统在峰谷电价时段变化时也能有效运营,进一步验证了所提思路方法的合理性。

关 键 词:电动汽车;有序充电;配调一体化;峰谷电价;两阶段优化

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2020.05.006 中图分类号:TM732 文章编号:1673-9140(2020)05-0046-08

Design of coordinated charging control system for electric vehicles charging load in the residential area

LIN Jian¹, XIONG Jun¹, SUN Minghao¹, JIANG Hao¹, HUANG Yuan²

(1. Xiamen Power Supply Company, State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd., Xiamen, 361000, China;

2. College of Electrical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: A large number of electric vehicles are connected to residential communities, putting pressure on power distribution facilities in residential communities. Studying the charging mode of electric vehicles in residential quarters and establishing a monitoring system are the basis for ensuring the friendly interaction between electric vehicles and the power grid. This paper establishes an orderly charging control system for residential quarters based on the monitoring of electric vehicle charging piles. Considering the load characteristics and peak/valley electricity prices of residential quarters, a two-stage orderly charging control model for electric vehicles is established to realize the objective of minimizing the charging cost of users and the load peak-valley difference in the residential area. A case study of actual system is studied. It is shown that the method is effective, and it can also operate effectively during the peak/valley electricity price periods, which further verifies the rationality of the ideas and methods proposed in this paper.

Key words: electric vehicle; orderly charging; distribution-dispatching integration; peak-valley price; two-stage optimization

随着人们对环境和能源的日益关注和重视,电动汽车(Electric Vehicle, EV)以其环保、节能等优势受到各国政府的积极扶持,其普及程度大大提高了^[1]。电动汽车作为可移动、可控制的负荷对电网的影响已引起广泛的关注^[2-3]。大量电动汽车的接入给电网的规划、运行带来了较大的挑战。充分利用电动汽车的优势可以为电网的运行调控提供新的手段,有利于促进清洁能源的接入^[4]。

目前,国内外专家学者对电动汽车接入电网后的充放电控制进行了大量的研究:文献[5-6]利用分时电价机制对大量 EV 的充放电行为进行适当协调,削弱其对电力系统的负面影响,通过削峰填谷改善系统负荷曲线轮廓,提高系统运行的经济性。文献[7-8]从需求侧响应的角度出发,研究 EV 用户参与电网调控的充放电模型,模拟仿真不同的响应效果及对电网的影响程度。文献[9]建立配网—充电站两层优化模型,在配网层考虑配网安全约束制定充电站的充电计划,参与市场的优化运行;在充电站层制定各 EV 的充电策略,考虑车主的充电需求,最大化车主参与充电调度的满意度;文献[10]通过引入 EV 换电站的有序充电策略,考虑 EV 换电站和分布式电源的多场景协调规划方法,实现系统建设运行成本、综合净负荷波动指标以及网络能量损耗的最小。以上研究均表明对 EV 进行有序协调控制^[11]的必要性和重要性。

与此同时,大规模 EV 接入住宅小区使得用电负荷急剧增多,而住宅小区因为用地限制和昂贵的改扩建成本,不具备新建专门供电设施的条件,因此通过建立对大规模电动汽车的集中信息监控系统显得尤为重要。通过电动汽车与电网的双向互动,利用有线和无线通信技术支撑,将 EV 的有序充电策略与所在住宅小区的用电场景结合,并利用峰谷电价实现 EV 的有序充电控制。

为此,该文设计了一种对住宅小区的 EV 进行有序充电的控制系统,该系统以充电桩的实时监控为基础,并结合配电一体化信息,利用峰谷电价实现

对 EV 的有序充电控制,采用二阶段优化算法实现用户充电成本最小以及住宅小区的整体负荷峰谷差最小的目标。最后,通过实际算例进一步验证该文思路及方法的合理性。

1 住宅小区电动汽车有序充电的系统构架

1.1 住宅小区电动汽车充电模式

对住宅小区 EV 进行有序充电控制有以下几点驱动因素:①政策因素:国家对居民用户购买电动汽车的补贴不断提高^[12],居民购买 EV 的意愿强烈;②技术因素:调查数据表明,84.25%的用户日行驶里程小于 60 km,其用电需求在当前车载电池的容量范围内^[13],能满足用户的使用需求;③用户出行特性:居民用户的出行规律决定了 EV 的停留时间较长,允许有较长的持续充电时间;④用户响应:居民用户对峰谷电价调节的响应能力强,且对用户零干扰,在住宅小区通过充电设备的建设实现 EV 充电的可操作性强。因而, EV 在住宅小区进行充电被认为是理想的充电方式。

因为住宅小区 EV 充电功率通常较小,所以即插即用的充电桩模式对于住宅小区的 EV 来说更具有实践价值。该文根据文献[14]的家用车使用习惯调查结果,模拟大量住宅用户 EV 出行规律,以充电桩的即插即用充电模式作为住宅小区电动汽车的充电模式,在考虑住宅小区的配电容量约束前提下,实现 EV 充电的经济性与电网安全性。

1.2 电动汽车有序充电构架

住宅小区 EV 的有序充电控制以充电桩的监控为基础,结合配电网的实时运行数据进行有序充电控制,其构架如图 1 所示。采用有线或无线通信方式相结合的方式对充电桩进行实时监控,获取电动汽车的基本运行状态信息、用户的用车信息。此外还需要融合配电网的调控一体化系统的配电生产管理系统、营销业务系统、用电采集系统、配电 SCA-

DA 系统,从这些系统中获取住宅用户的静态、动态信息、网络拓扑关系及电价信息等,提供有序充电计算的基础数据。

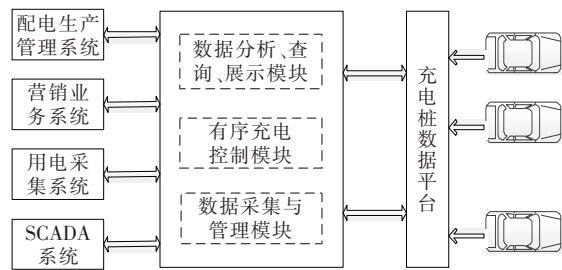


图 1 住宅小区电动汽车接入配电网的有序充电构架

Figure 1 Coordinated charging architecture diagram of residential quarter electric vehicles connected to the distribution network

对充电桩的监控是建立在有线和无线双向通信机制的过程层电子设备之上,它具备以下功能:①当电动汽车与充电桩相连接时,可以控制电动汽车开始充电的时刻(T_{start});②能记录电动汽车接入的基本参数,如初始时刻的荷电状态(SOC_{start}),并计算其所需充电时长(T)等基本参数;③能记录用户用车的基本需求信息,如期望的充电电量(SOC_{expect})、期望的离开时间(T_{expect})等;④能与住宅小区的配电控制中心进行通信交互,提交充电请求,上传充电需求信息,接受并执行其下达的充电控制指令。

电动汽车有序充电控制系统包括:①数据的采集与管理模块;②有序充电控制模块;③数据的分析、查询、展示模块。其中,数据的采集与管理模块利用高效、双向的通信机制实现对充电桩的数据采集与交换;有序充电控制模块完成有序充电的算法实现,并整定发送对充电桩与配电系统断路器及开关的控制;数据的分析、查询、展示模块一方面实现对电动汽车的充电信息的记录与存储,另一方面实现对整个住宅小区的用电信息及电动汽车的充电信息的记录与存储。统计分析电动汽车充电电流电压变化曲线、电池在充电过程中的荷电状态等。

2 电动汽车有序充电控制策略

2.1 数据采集与监视

依据图 2 所示的系统监控图,对 EV 的电池需要采集监控如图 3 所示的信息,其信息可按动态信息和静态信息分别进行采集。

而充电桩作为监控对象包括主控板、视频监控模块、监控板和 IC 卡读写器、LCD 显示器和微型打印机等元件,它具有对充电桩基本参数的显示功能,能对其运行状态进行实时监控,发出告警信息,记录用户的需求等。其详细的采集信息如图 4、5 所示。

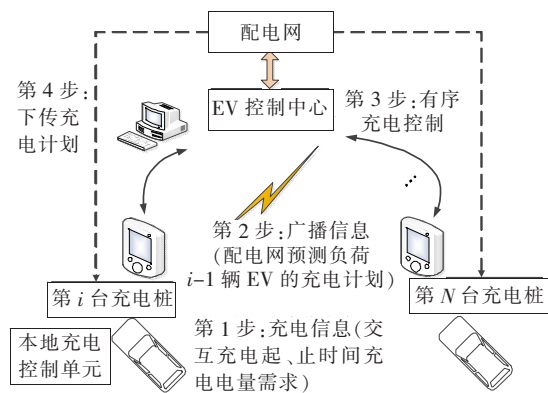


图 2 住宅小区电动汽车有序充电监控

Figure 2 Coordinated charging monitoring diagram of electric vehicles in residential quarters

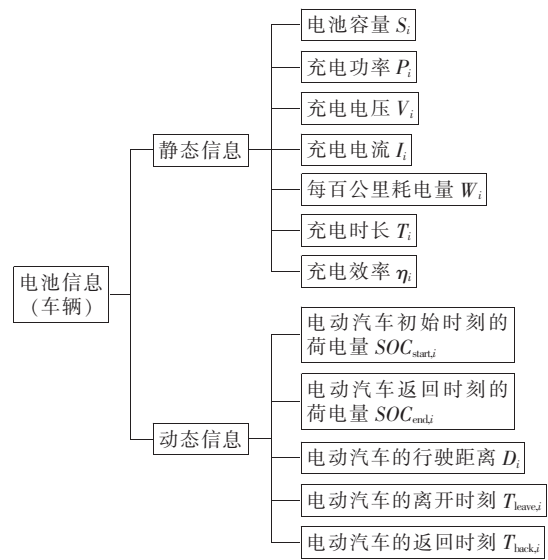


图 3 电动汽车电池信息采集

Figure 3 Electric vehicle battery information collection diagram

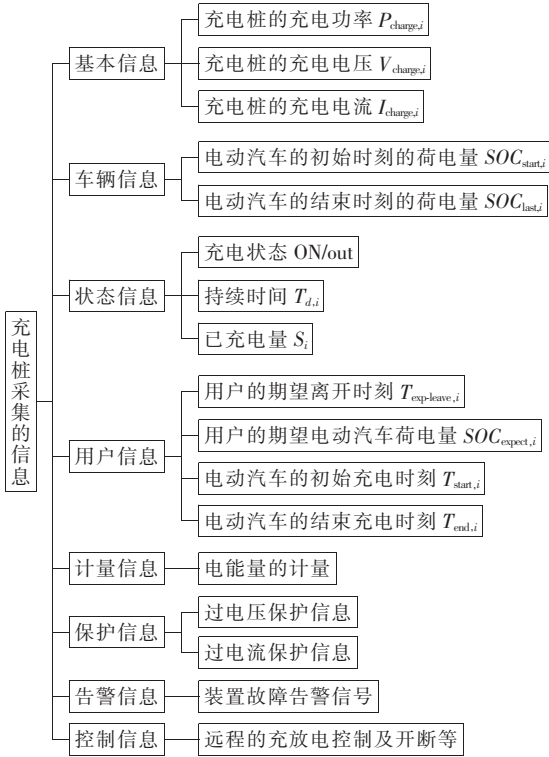


图 4 充电桩的监控信息采集

Figure 4 Monitoring information collection diagram of charging pile

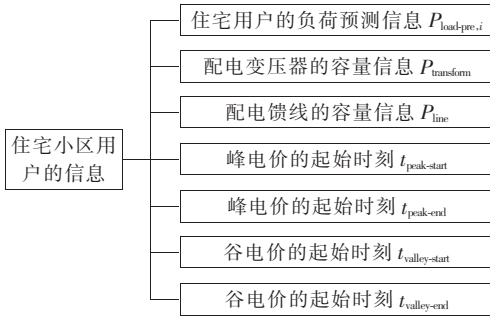


图 5 住宅小区用户的信息采集

Figure 5 Information collection diagram of residential quarter users

2.2 日前有序充电控制的计算

根据充电桩采集的数据对 EV 的充电信息完成基本计算,包括,返回时刻的荷电状态 $SOC_{end,i}$ 、充电时长 T_i 、充电结束时刻 $T_{end,i}$ 、电动汽车的停留时间 $T_{stay,i}$:

$$T_i = \frac{SOC_{end,i} - SOC_{start,i}}{P_i \times \eta_i} \quad (1)$$

$$T_{end,i} = t_{start,i} + T_i \quad (2)$$

该文为了满足住宅小区大量电动汽车渗透的需求,利用峰谷电价对 EV 进行有序充电控制,并考虑其对电价的响应能力,建立两阶段的优化模型。第 1 阶段以电动汽车的充电成本最优为目标:

$$f(x) = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=t_{start,i}}^{t_{end,i}} C(t) P_{i,j} \Delta t \quad (3)$$

式中 n 为住宅小区电动汽车的数量; $t_{end,i}$ 为第 i 辆电动汽车的当日结束行程时间; $t_{start,i}$ 为第 i 辆电动汽车的次日离家时间; $P_{i,j}$ 为第 i 台电动汽车在第 j 时段的充电功率; Δt 为时间长度; $C(t)$ 为第 i 台电动汽车在第 j 时段的峰谷电价^[15],可以描述为

$$C(t) = \begin{cases} C_v, & t_{c1} \leq t \leq t_{c2} \\ C_p, & t_{d1} \leq t \leq t_{d2} \\ C_n, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中 C_v 为谷电价, $[t_{c1}, t_{c2}]$ 为谷电价时段; C_p 为峰电价, $[t_{d1}, t_{d2}]$ 为峰电价时段; C_n 为平电价。

从电网的角度出发,考虑住宅小区负荷的整体波动性,第 2 阶段的优化以负荷的峰谷差最小为优化目标:

$$\min f_2 = \max_{0 \leq t \leq 23} (P_{load,t} + P_{EV,t}) - \min_{0 \leq t \leq 23} (P_{load,t} + P_{EV,t}) \quad (5)$$

式中 $P_{load,t}$ 为配电一体化系统预测的 t 时刻住宅小区的常规负荷; $P_{EV,t}$ 为 t 时刻的所有电动汽车充电负荷。

此外,还需要满足以下约束:

$$SOC_{exp,i} \leq SOC_{start,i} \leq 1 \quad (6)$$

$$T_{exp-leave,i} \leq T_{start,i} + \frac{SOC_{except,i} - SOC_{end,i}}{P_i \eta_i} \quad (7)$$

$$\sum_{i=0}^n P_{i,j} + P_{load,j} \leq P_{transform}, j \in (0, 23) \quad (8)$$

式中 $P_{load,j}$ 代表 j 时刻的住宅用户的功率; i 代表充电桩所接入的节点。

2.3 实时滚动修正

按两阶段优化方案做出电动汽车日前调度的有

序充电计划,而实际由于电动汽车用车特性的随机性及负荷的随机性,需要实时做出滚动修正。

实时调度中,输入基础负荷、电动汽车充电负荷数据的实际值和日前预测值,计算出实时调度的功率,设定遗传算法的迭代次数以及种群规模,以实时调度费用最小为目标进行迭代更新,最终生成电动汽车充电负荷的功率变化调度方案。

3 算法流程

从充电桩的数据采集平台获取车辆的运行状态信息,并按式(2)、(3)计算相关充电参数。第 1 阶段的优化采用遍历寻优的方法,求得电动汽车充电成本最优的可行方案解集,将其用二维数组方式表达: $A = [A_{1,1}, \dots, A_{i,j}, \dots A_{1,m}]$, 其中 i 代表车辆的台数, m 代表所对应的方案个数, $A_{i,j}$ 代表可选择的充电时段。第 2 阶段采用遗传算法 (genetic algorithm, GA) 对第 1 阶段的可行性方案解集寻优, 求取满足式(5)目标函数的最优解。算法流程:

- 1)从充电桩的监控采集系统中获取 N 辆 EV 实际数据,包括第 i 辆 EV 的 $t_{\text{end},i}$ 、 $t_{\text{start},i}$ 和 d_i ($1 \leq i \leq N$), 确定其相应的荷电状态及未来的出行安排;
- 2)从配电一体化系统中获取住宅小区的用电预测负荷数据及电价信息;
- 3)利用遍历计算 EV 用户的最优充电成本的可行解;
- 4)利用 GA 获取满足配网容量约束下的住宅小区负荷峰谷差最小的充电方案。

求解过程如图 6 所示。为了保证 GA 算法不过早限于局部最优,在遗传过程中适当修改交叉和变异率, k 为迭代次数, kk 为达到最优解连续不变的代数, M 为最优解保持连续不变的最大迭代次数, 也就是说一旦迭代过程中最优解保持不变达到 M 代就对变异率和交叉率进行修改。

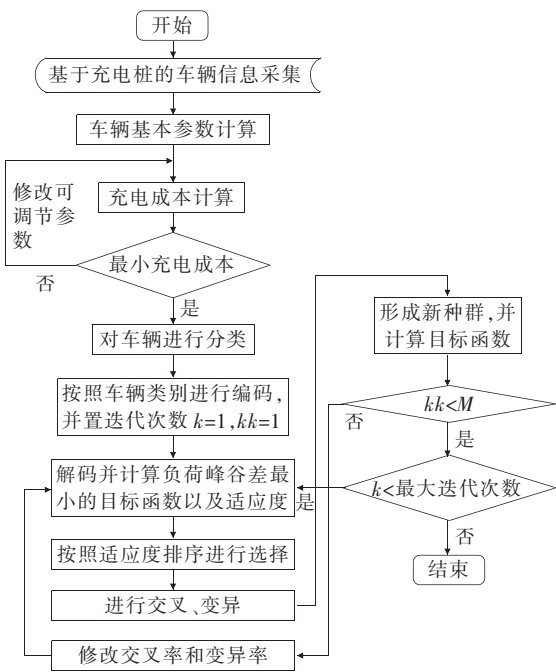


图 6 电动汽车有序充电的日前计划两阶段优化流程
Figure 6 Two-stage optimization flowchart of the day-ahead plan for coordinated charging of electric vehicles

4 算例分析

4.1 算例说明

该文从中国某城市住宅小区(750 套住房, 平均每套住房 100 m²)的调控一体化系统中获取日负荷预测数据, 日最大负荷为 600 kW, 并且在 12:00 左右和 18:30 左右有 2 个明显的用电高峰, 负荷预测曲线如图 7 所示。配电变压器的容量为 650 kW。该文假定车辆台数为 100 辆, 根据文献[15]通过蒙特卡洛法模拟仿真住宅小区的电动汽车出行规律。EV 的相关参数如表 1 所示, 峰谷电价如表 2 所示。

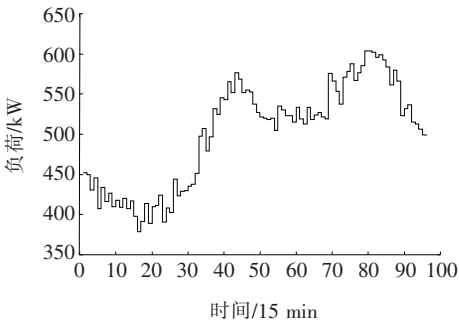


图 7 住宅小区负荷预测曲线
Figure 7 Residential district load prediction curve

表 1 电动汽车参数

Table 1 The parameters of electric vehicles			
充放电功率/ kW	充放电 效率/%	耗电量/ (kW·h/100 km)	电池容量/ (kW·h)
4	0.97	150.96	24

表 2 电动汽车充电的峰谷电价

Table 2 The peak and valley prices of electric vehicles charging			
起止时间	电价费用/ (元/(kW·h))	服务费/ (元/(kW·h))	总费用/ (元/(kW·h))
0:00—8:00	0.332 5	0.6	0.93
8:00—8:30	0.622 2	0.6	1.22
8:30—11:30	0.911 9	0.6	1.51
11:30—14:30	0.622 2	0.6	1.22
14:30—17:30	0.911 9	0.6	1.51
17:30—19:00	0.622 2	0.6	1.22
19:00—21:00	0.911 9	0.6	1.51
21:00—0:00	0.332 5	0.6	0.93

4.2 基本算例测试

在该文设计的有序充电控制系统架构下,可以获取两阶段优化的所有参数信息。通过第 1 阶段优化获取候选的充电计划方案:100 辆 EV 充电方案总数为 1261 种,平均充电方案为 45 种,EV 的总充电成本为 685.29 元。通过第 2 阶段优化则获取每一台 EV 的具体充电实施方案,并且为验证该文所提方法合理性,在算例设计过程中增加 EV 无序充电的结果,无序充电的费用为 923.4 元,有序充电和无序充电的负荷曲线对比如图 8 所示。

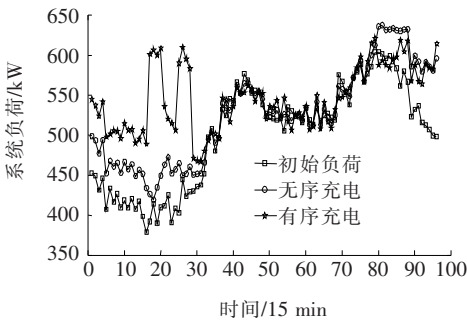


图 8 EV 有序充电与无序充电对比

Figure 8 Comparison between coordinated charging and disorderly charging of electric vehicles

从图 8 可知,在无序充电规则下,EV 充电基本集中在下班高峰期,遵循 EV 用户的出行规律。并且,总负荷曲线负荷峰值出现时间 19:30,负荷峰值

为 646 kW,此时基础负荷和 EV 充电负荷均处于较高水平,EV 无序充电导致配电网出现“峰上加峰”现象,不利于电网的安全稳定运行。

通过该文所提两阶段优化模型的调整,EV 则安排到往常的低谷时段,从整体的负荷曲线来说负荷峰值不变,负荷谷值提高,峰谷差缩减明显,对于电网调度运行部门而言是非常有价值的。图 8 也将有序充电规则下各个时刻 EV 充电车辆的台数标注出来,可以看到 EV 基本均匀地分配到各个时刻,也不会造成拥堵。这均依赖于有序充电控制系统的强健才得以实现。

此外,在有序充电规则下,系统负荷曲线于 6:00 左右出现小高峰,这明显区别于现在常规的负荷特性。随着 EV 车辆数的进一步增加,按照该文设计的控制系统,很可能在 0:00—8:00 出现新的负荷高峰,并且高于 19:00 的峰值。在此种情形下,更依赖于有序充电控制系统的优化调整,避免出现配电网变压器过载的情况。

4.3 灵敏度分析

该文所提 EV 有序充电控制系统主要是依赖于峰谷电价来驱动 EV 用户进行充电方案的调整,使得用户充电费用小并且电网的峰谷差最小的优化,由此可见,峰谷电价对控制系统的设计有着重要作用。该文针对谷电价时段变化对 EV 充电方案的影响进行相应讨论。表 3、4 分别展示了在谷电价时段变短和谷电价时段变长 2 种情形下,EV 充电候选方案的变化,图 9 则展示了 3 种情形下住宅小区 EV 两阶段充电优化后的系统负荷曲线。

表 3 谷电价时段变短情形下的充电方案

Table 3 Charging scheme under the condition of shortened valley electricity price period			
时段	充电电价/ (元/(kW·h))	候选方 案总数	充电总 成本/元
峰时(10:00—12:00,16:00—17:00,19:00—22:00)	1.51		
谷时(0:00—6:00,23:00—24:00)	0.93	681	645.29
平时(13:00—15:00,7:00—9:00,18:00—	1.22		

表 4 谷电价时段变长情形下的充电方案

Table 4 Charging scheme under the condition of prolonged valley electricity price period

时段	充电电价/ (元/(kW·h))	候选方 案总数	充电总 成本/元
峰时(11:00—12:00,16:00— 17:00,19:00—20:00)	1.51		
谷时(0:00—10:00, 21:00—24:00)	0.93	1 073	645.29
平时(13:00—15:00, 18:00)	1.22		

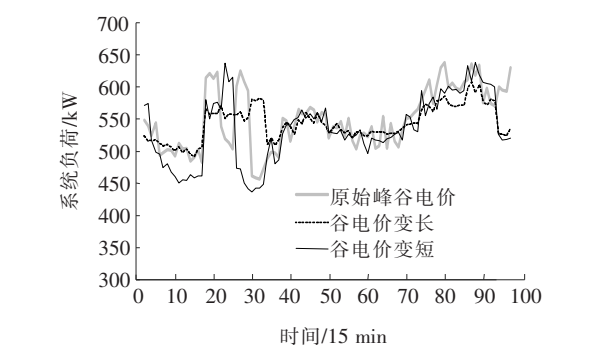


图 9 谷电价变化对 EV 有序充电的影响

Figure 9 Impact of valley electricity price changes on coordinated charging of EVs

从表 3、4 可知,谷电价时段变化对候选方案总数的影响较大,但总充电费用不变,这说明在这几种情形下,住宅小区的 EV 容纳能力大于 100 辆。而通过观察图 9 可知,谷电价时段变短时,在 6:00—7:00 左右出现谷值。

而谷电价变长时,峰谷差却和原峰谷电价大致相同,但谷值出现的时刻不一样。这是因为 EV 用户出行规律所决定了在 8:00 后,EV 不再进行充电,所以虽然谷电价时段有所变长,但基本和原峰谷电价的结果一致。

5 结语

该文设计了一种对住宅小区 EV 用户进行有序充电管理的控制系统,该系统以充电桩的实时监控管理为基础,并辅以人机交互面板及控制。通过设计两阶段的优化控制算法,以实现 EV 用户的充电成本最优及整体住宅小区的负荷峰谷差最小的目

的。该系统嵌入某实际配电自动化系统,为电网公司接纳大规模电动汽车用户的管理提供了有益的尝试。

参考文献:

[1] 中华人民共和国国务院. 节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020 年)[R/OL]. [2012-06-28]. http://www.gov.cn/zwqk/2012-07/09/content_2179032.htm.

[2] 黄廷城,张勇军. 计及充电可靠性的电动汽车有序充电控制策略优化与分析[J]. 电力科学与技术学报, 2019,34(4):85-92.

HUANG Tingcheng, ZHANG Yongjun. Optimization and analysis of orderly charging and discharging control strategy for electric vehicles considering charging reliability[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2019,34(4):85-92.

[3] 陈丽丹,张尧. 电动汽车随机充电对配电网影响的研究[J]. 电力科学与技术学报, 2016,31(1):62-69.

CHEN Lidan, ZHANG Yao. Study on the influence of electric vehicles random charging on distribution network[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2016, 31(1): 62-69.

[4] 郭小帆,马天男,王超,等. 计及电动汽车充电站接入的配电网网架规划优化研究[J]. 智慧电力, 2019,47(6): 64-70.

GUO Xiaofan, MA Tiannan, WANG Chao, et al. Power distribution network structure planning considering access of electric vehicle charging station[J]. Smart Power, 2019, 47(6): 64-70.

[5] 侯慧,樊浩,谢俊,等. 分时电价下价格理性用户最优充电策略[J]. 中国电力, 2018,51(1):171-178.

HOU Hui, FAN Hao, XIE Jun, et al. The optimal charging strategy of EV rational user based on TOU power price[J]. Electric Power, 2018,51(1):171-178.

[6] 陈奎,马子龙,周思宇,等. 电动汽车两阶段多目标有序充电策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020,48(1): 65-72.

CHEN Kui, MA Zilong, ZHOU Siyu, et al. Charging control strategy for electric vehicles based on two-stage

- multi-target optimization[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(1): 65-72.
- [7] 潘樟惠,高赐威,刘顺桂. 基于需求侧放电竞价的电动汽车充放电调度研究[J]. 电网技术, 2016, 40(4): 1140-1146.
- PAN Zhanghui, GAO Ciwei, LIU Shungui. Research on charging and discharging dispatch of electric vehicles based on demand side discharge bidding[J]. Power System Technology, 2016, 40(4): 1140-1146.
- [8] 黄其新,王启明,陆朱卫,等. 基于 sigmoid 函数激励需求响应模型的电动汽车有序充电控制策略[J]. 电力科学与技术学报, 2017, 32(4): 57-64.
- HUANG Qixin, WANG Qiming, LU Zhuwei, et al. Co-ordinated charging strategy for electric vehicles based on sigmoid function stimulating demand response model [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2017, 32(4): 57-64.
- [9] 王行行,赵晋泉,王珂,等. 考虑用户满意度和配网安全的电动汽车多目标双层充电优化[J]. 电网技术, 2017, 41(7): 2165-2172.
- WANG Xingxing, ZHAO Jinquan, WANG Ke, et al. Multi-objective bi-level electric vehicle charging optimization considering user satisfaction degree and distribution grid security [J]. Power System Technology, 2017, 41(7): 2165-2172.
- [10] 田园园,廖清芬,徐雨田,等. 基于有序充电策略的换电站及分布式电源多场景协调规划方法[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(9): 62-69.
- TIAN Yuanyuan, LIAO Qingfen, XU Yutian. Multi-scenario coordinated planning method of EV battery-swapping station and distributed generation based on coordinated charging strategy[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(9): 62-69.
- [11] 张军,韩华春,原增泉. 基于两级充电管理系统的电动汽车智能充电控制系统研究[J]. 电力工程技术, 2017, 36(5): 86-92.
- ZHANG Jun, HAN Huachun, YUAN Zengquan. Smart charging control electrical vehicles based on two-level charge management system[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(5): 86-92.
- [12] 王博,艾欣. 考虑 V2G 用户响应度的峰谷电价时段优化有序充电[J]. 现代电力, 2016, 33(2): 39-44.
- WANG Bo, AI Xin. Coordinated charging of peak-valley time-period optimization by considering V2G user reactivity[J]. Modern Electric Power, 2016, 33(2): 39-44.
- [13] 徐浩,苗世洪,钱甜甜,等. 计及多日一充模式的规模化电动汽车充电负荷建模策略[J]. 电工技术学报, 2015, 30(9): 139-137.
- XU Hao, MIAO Shihong, QIAN Tiantian, et al. A modeling strategy for charging loads of large-scale electric vehicles considering multi-days spaced charging mode[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(9): 139-137.
- [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] 程瑜,翟娜娜. 面向智能电网的峰谷分时电价评估[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 196-201+214.
- CHENG Yu, ZHAI Nana. Evaluation of TOU price oriented to smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 196-201+214.