

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.008

电动汽车充电对住宅小区配电网的影响研究

陈雷¹, 卢斯煜²

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663; 2. 南方电网科学研究院, 广州 510700)

摘要: 世界范围内对环境保护的逐步重视以及化石能源的日益枯竭, 推动了电动汽车的迅速发展。随着私人电动汽车的推广普及, 其充电行为将改变系统原有的负荷特性, 从而影响配电网的安全和经济运行。以城市住宅小区为研究对象, 根据不同场景用户的充电行为建立小区电动汽车充电功率的蒙特卡洛计算模型, 结合典型小区居民原始负荷特性, 分析电动汽车充电对小区配电网的影响, 并提出有效的需求侧管理策略, 用以引导用户充电行为与系统安全可靠、削峰填谷需要的良性互动, 使其提高对电网友好性的影响和削弱不良影响。

关键词: 电动汽车; 住宅小区; 配电网; 需求侧管理策略

中图分类号: TM714

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)01-0051-08

Research on the Influence of Electric Vehicle Charging on Distribution Network of Residential District

CHEN Lei¹, LU Siyu²

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;
2. Electric Power Research Institute, CSG, Guangzhou 510700, China)

Abstract: The increased focus on environmental protection and the problem of lack of fossil energy around the world has prompted the rapid development of electric vehicles (EVs). With the popularity of private EVs, the original load characteristics of the system would be changed by the charging behavior which would have an impact on the safety and economic operation of the distribution network. The Monte Carlo calculation model of the charging power of the urban residential district electric vehicle was set up according to the charging behavior of users in different scenarios, and the influence of EVs charging on residence community distribution network was analyzed. The effective demand side management strategy was put forward to guide the charging behavior of users to make the system security and reliability, so as to improve the impact on the network friendliness and weaken the adverse effects.

Key words: electric vehicles; residence community; distribution network; demand side management strategy

随着电动汽车相关技术的不断发展进步, 电动汽车必将实现规模化发展^[1-2], 但是, 大量的电动汽车充电将会对配电网设备造成影响, 从而影响配电网的安全与经济运行^[3-4]。电动汽车对配电网的影响主要通过充电负荷实现, 但是, 大量电动汽车的集群负荷特性在时间和空间上的分布具有较大的随机性, 导致充电负荷特性复杂。因此, 开展电动汽车充电对配电网的影响分析及以减少负面影响为目标的需求侧管理策略的研究, 对维持电网安全

稳定运行具有重大意义。

本文以城市住宅小区为研究对象, 根据工作日、节假日用户的充电行为建立小区电动汽车充电功率的蒙特卡洛计算模型, 对不同渗透率电动汽车进行充电负荷预测, 结合典型小区居民原始负荷特性, 分析电动汽车充电对小区负荷特性及配电变压器负载率的影响及小区接纳电动汽车充电的能力, 并提出有效的需求侧管理策略, 用以引导用户充电行为与系统安全可靠、削峰填谷需要的良性互动, 使其提高对电网友好性的影响和削弱不良影响。

1 电动汽车充电负荷预测

1.1 影响电动汽车充电负荷的因素

1.1.1 电动汽车充电模式

电动汽车充电模式主要分为快速充电和慢速充电^[5]。

1) 快速充电可以为电动汽车提供短时间充电服务, 充电时间约为 20 min 到 2 h 内, 充电电流约为 150~400 A, 一般是在电动汽车充电站或者有条件的大型停车场进行。

2) 慢速充电以较小交流电进行充电, 一般采用单相 20 V/32 A 交流电源(7 kW), 对私人乘用车而言, 充电时长通常为 5~8 h。电动汽车慢速充电一般通过充电桩进行, 主要适用于住宅小区或者部分有条件的工作区域。

1.1.2 用户充电行为

私家车行驶路线相对灵活, 私家车在工作日的主要用途为上、下班出行, 节假日的主要用途为休闲娱乐、走亲访友等。

用 SOC(State of Charge) 表示电池的荷电状态, 也叫剩余电量, 表示电池的剩余容量与其完全充电状态的容量的比值。SOC 由电动汽车出发时的充电状态和行驶里程决定, 取值范围为 0~100%^[6]。据调查, 中国汽车每年的行驶里程在 $(1.5 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4)$ km, 日平均行驶里程约为 40 km, 根据市场电动汽车电池实际续航能力, 用户平均每天需充一次电, 充电起始 SOC 满足正态分布 $N(0.4, 0.1^2)$ ^[7]。

将用户自然情况下的充电方式定义为无序充电。根据用户出行习惯, 工作日约 80% 的私人电动汽车在小区停车场起始充电时间在 18:00~24:00 服从 $N(19, 2.5^2)$ 的正态分布, 其余 20% 的电动汽车充电时间服从 $U(8, 17)$ 的均匀分布; 节假日 70% 的私人电动汽车需要充电, 约 40% 的电动汽车在小区停车场起始充电时间在 9:00~16:00 服从 $U(9, 16)$ 的均匀分布, 60% 的起始充电时间在 17:00~22:00 服从 $U(17, 22)$ 的均匀分布^[8]。根据私人电动汽车充电行为与充电类型对应时间段及以上假设可以得出电动汽车充电负荷模型建立所需的参数表, 如表 1 所示。

1.2 电动汽车充电负荷建模

为了保证计算结果的准确性, 将一天分为 1 440 min, 计算每一分钟单辆电动汽车的充电功

率, 从而得到单辆车的充电负荷曲线, 将每一辆电动汽车的充电负荷曲线叠加, 就可得到所有电动汽车一天 24 h 的充电负荷曲线。在 MTALAB 环境下运行程序, 执行 10 000 次蒙特卡洛仿真, 生成电动汽车充电负荷曲线。由于工作日和节假日用户的充电行为不同, 住宅小区在工作日和节假日电动汽车充电曲线存在明显差异。

表 1 私家车充电特性

Tab. 1 Charging characteristics of private cars

情景	充电桩使用率/%	起始充电时间	充电概率	起始 SOC 分布	起始时间分布
工作日	100	8:00~17:00	0.2	$N(0.4, 0.22^2)$	$U(8, 17)$
	100	18:00~24:00	0.8	$N(0.4, 0.22^2)$	$N(19, 2.52^2)$
节假日	70	9:00~16:00	0.4	$N(0.4, 0.22^2)$	$U(9, 16)$
	70	17:00~22:00	0.6	$N(0.4, 0.22^2)$	$U(17, 22)$

假设住宅小区有住户 1 000 户, 每户拥有一辆私家车。按照电动汽车渗透率分别为 10%~60% 考虑, 对私家电动汽车工作日、节假日进行充电负荷预测。

工作日和节假日住宅小区电动汽车充电负荷曲线如图 1、图 2 所示, 最高充电负荷如表 2 所示。可看出, 电动汽车渗透率、居民作息时间对电动汽车充电负荷影响较大。总体来说, 住宅小区工作日充电负荷大于节假日。工作日电动汽车充电负荷的高峰期主要集中在下班后 19:00 到晚上 22:00 点间, 主要原因是大多数车主选择在下班到家后立刻对电动汽车进行充电, 造成了负荷的急剧攀升; 节假日电动汽车充电的负荷有两个高峰, 其中晚高峰

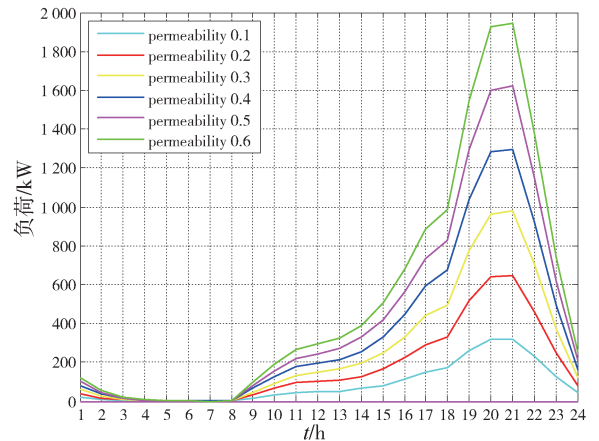


图 1 工作日私家车充电负荷曲线

Fig. 1 EVs charging load curve on weekday

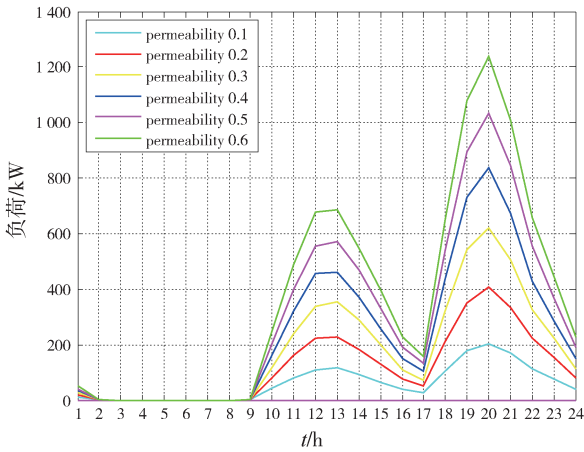


图 2 节假日私家车充电负荷曲线

Fig. 2 EVs charging load curve on weekend

充电负荷较高,主要集中在 19:00~21:00 间,节假日充电车辆较工作日少,且用户充电时间较为分散,使节假日充电最高负荷低于工作日充电最高负荷。无论是工作日还是节假日,电动汽车充电负荷都有明显的峰谷差,并且与小区居民的用电高峰期一致。

表 2 私家车充电负荷

Tab. 2 EVs charging load kW

渗透率/%	10	20	30	40	50
住宅小区工作	350	690	1 100	1 360	1 700
住宅小区节假日	210	410	610	820	1 020

2 电动汽车充电对小区配电网的影响

2.1 典型小区的选取

根据小区内单户面积和住户的收入水平不同,划分为三类典型小区:普通小区、中档小区和高档小区^[9]。假设普通、中档、高档小区户数均为 1 000 户,结合不同类型小区对应的负荷密度指标^[10]计算出工作日、节假日最高负荷,进而得出小区配电变压器总容量,负荷特性曲线由调研同类型小区得出,如表 3 所示。

表 3 日最高负荷、配电变压器容量选取值

Tab. 3 Daily maximum load and distribution transformer capacity selection

小区类型	普通小区	中档小区	高档小区
户数/户	1 000	1 000	1 000
计算负荷/kW	4. 600	6. 000	10. 00

小区类型	普通小区	中档小区	高档小区
需用系数	0. 600	0. 600	0. 600
负荷规划裕度	0. 700	0. 650	0. 600
功率因素	0. 850	0. 850	0. 850
同时率	0. 400	0. 400	0. 400
工作日最高负荷/kW	1 104	1 440	2 400
节假日最高负荷/kW	1 187	1 636	2 243
配电变压器的参考容量/kVA	1 855	2 606	4 706
配电变压器的实际容量/kVA	2 000	3 000	4 800

2.2 电动汽车充电对负荷特性的影响

将电动汽车渗透率为 10%~60% 时的充电负荷分别叠加至小区工作日、节假日原始负荷曲线,得出包含电动汽车充电负荷的三类典型小区工作日、节假日负荷曲线如图 3~图 8 所示。

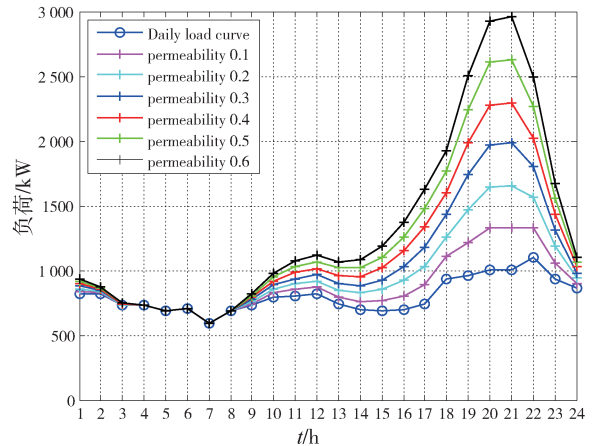


图 3 工作日普通小区负荷曲线

Fig. 3 Ordinary-level community load curve on weekday

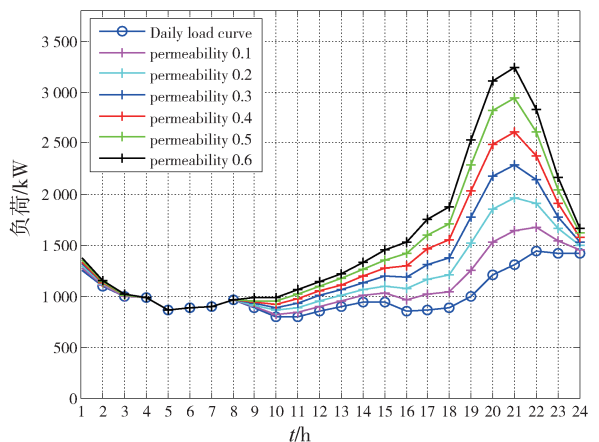


图 4 工作日中档小区负荷曲线

Fig. 4 Mid-level community load curve on weekday

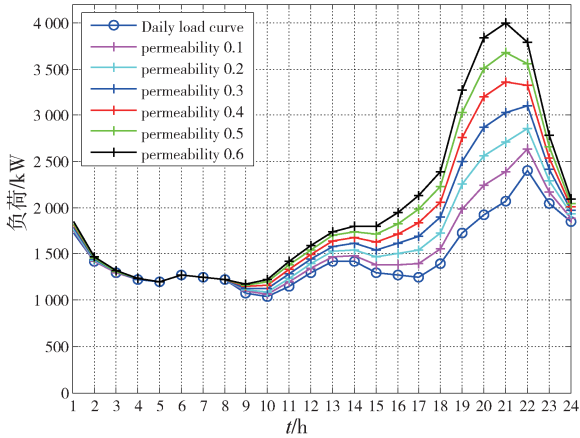


图5 工作日高档小区负荷曲线

Fig. 5 High-level community load curve on weekday

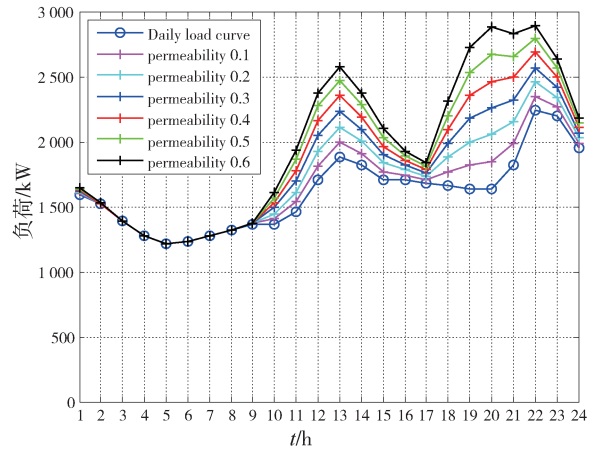


图8 节假日高档小区负荷曲线

Fig. 8 High-level community load curve on weekend

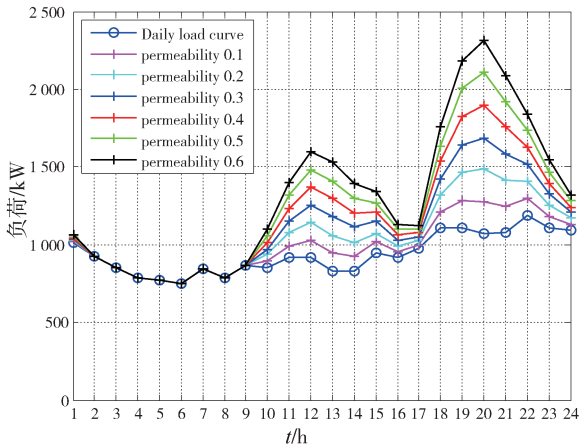


图6 节假日普通小区负荷曲线

Fig. 6 Ordinary-level community load curve on weekend

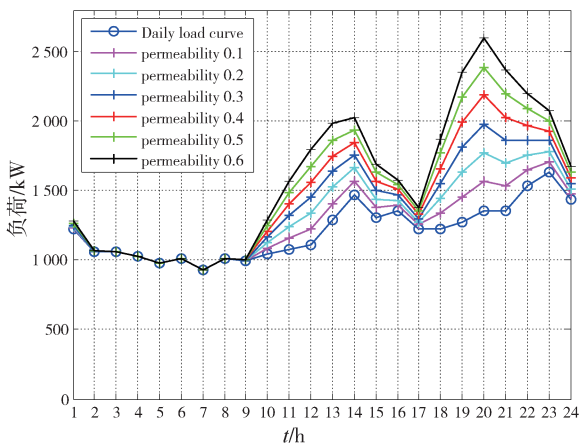


图7 节假日中档小区负荷曲线

Fig. 7 Mid-level community load curve on weekend

可见,较小的渗透率将影响普通小区的负荷特性;中、高档小区由于原负荷基数较大,电动汽车充电负荷占原负荷的比例相对较小,对负荷特性的影响较小。工作日电动汽车充电时间较集中,电动汽车渗透率为10%~60%时,相比原居民用电负荷,普通、中档、高档小区最高负荷分别提高了21%~167%、16%~127%、10%~67%;节假日电动汽车充电时间相对分散,相比原居民用电负荷,普通、中档、高档小区最高负荷分别提高了9%~94%、5%~59%、4%~29%。

工作日普通、中档、高档小区峰谷差率分别从0.46、0.46、0.57提高到0.55~0.8、0.51~0.73、0.6~0.71;节假日普通、中档、高档小区峰谷差率分别从0.38、0.43、0.37提高到0.42~0.68、0.45~0.64、0.49~0.58。可见,电动汽车充电高峰与居民原始用电高峰重合,使三类小区工作日、节假日峰谷差率随着电动汽车渗透率的升高有了不同程度的提高。峰谷差率的增大,增加了系统的调峰压力,且系统需要提供更大的备用容量,造成了资源的浪费。

2.3 对配电变压器负载率的影响

根据表3计算结果,普通、中档、高档小区配电变压器总容量分别为2 MVA、3 MVA、4.8 MVA。当电动汽车渗透率分别为10%~60%时,为使小区工作日、节假日配电变压器不过载,普通、中档、高档小区接纳电动汽车渗透率最大值如表4所示。可见,配电变压器负载率随着电动汽车渗透率的升高而增大。工作日电动汽车充电时间较

为集中, 且与晚高峰居民原始负荷时间重叠, 增加了配电变压器的供电压力; 节假日电动汽车充电时间相对分散, 因此, 相比工作日, 节假日电动汽车充电负荷对小区配电变压器供电压力影响较小。除此之外, 在电动汽车接入配电网后, 配电变压器过载情况与小区的经济定位有密切关系^[11]。当电动汽车渗透率相同时, 高档、中档小区的配电变压器负载率明显低于普通小区, 主要因为高档、中档小区在规划时对配电变压器留取了更高的用电负荷裕度, 普通小区配电变压器容量、容量裕度比中档小区、高档小区小, 随着电动汽车渗透率的升高, 负荷高峰时期供电压力增大。

表 4 小区配电变压器接纳电动汽车渗透率最大值

Tab. 4 Acceptance of electric vehicle penetration maximum in district distribution transformer %

情景	普通小区	中档小区	高档小区
工作日	≤20	≤50	≤60
节假日	≤40	≤60	≤60

3 需求侧管理策略

大量的电动汽车同时在电网原始负荷的高峰(特别是晚高峰)时期进行充电, 导致负荷曲线“峰上加峰”, 超过现有配电设备的供电能力, 若因此对现有配电设备增容改造, 则会导致用电谷值时刻更多配电设备低载运行, 大大降低了配电设备利用效率。

因此, 有必要对用户充电行为进行有效的引导或控制, 在满足电动汽车充电需求的基础上, 考虑运用峰谷电价策略引导电动汽车有序充电, 避开电网原始负荷的高峰时期, 对电网负荷进行“移峰填谷”, 从而延缓配电网设备增容改造, 使电动汽车与电网协调发展^[12]。

3.1 电动汽车有序充电负荷曲线

电费是电动汽车最主要的行车成本, 用户进行充电时间的调整能有效减少电费支出, 所以用户会尽可能多地在谷时充电。假设谷价区间为 1:00 ~ 8:00, 采用峰谷电价策略引导后, 80% 的用户在谷时充电, 20% 的用户不受电价影响。当电动汽车渗透率分别为 10% ~ 60% 时, 对电动汽车工作日、节假日充电进行负荷预测。

工作日和节假日住宅小区电动汽车充电负荷曲线如图 9 ~ 图 10 所示, 最高充电负荷如表 5 所示。

可见工作日、节假日电动汽车充电负荷的高峰期主要集中在谷价时段 4:00 ~ 8:00 及晚上 19:00 ~ 21:00 点之间, 产生这两个高峰的主要原因是大部分用户选择在谷时电价充电和少部分不受峰谷电价影响的用户选择在外出回家后直接对电动汽车进行充电, 造成了充电负荷的增加, 节假日充电车辆较工作日少, 且用户充电时间较为分散, 使节假日充电最高负荷低于工作日充电最高负荷。相比无序充电下, 采用峰谷电价策略下工作日、节假日充电最高负荷分别减少 25% 和 17% 左右。

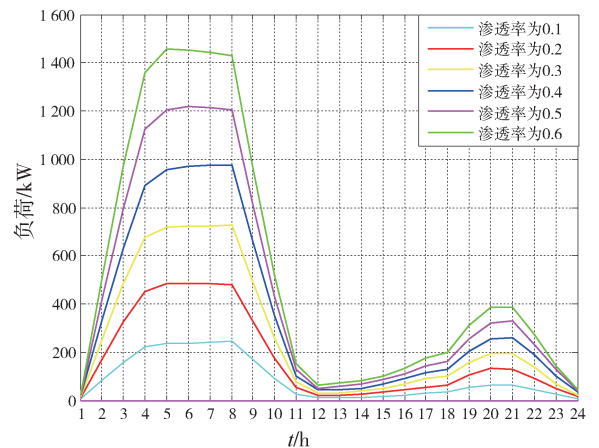


图 9 工作日私家车充电负荷曲线

Fig. 9 EVs charging load curve on weekday

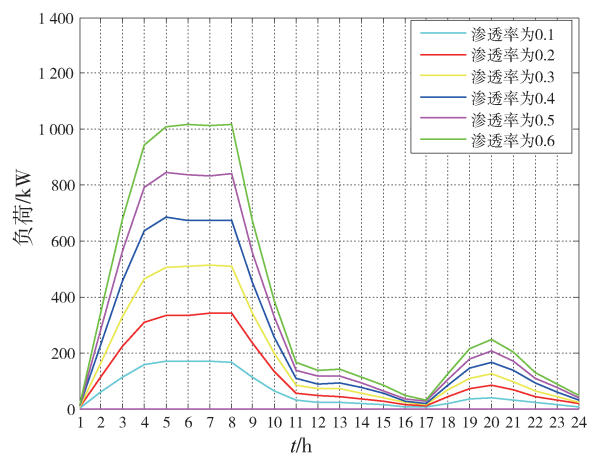


图 10 节假日私家车充电负荷曲线

Fig. 10 EVs charging load curve on weekend

3.2 有序充电对负荷特性的影响

将电动汽车渗透率为 10% ~ 60% 时的充电负荷分别叠加至小区工作日、节假日原始负荷曲线, 得出包含电动汽车充电负荷的三类型小区工作日、节假日负荷曲线如图 11 ~ 图 16 所示。

表5 私家车有序充电负荷

Tab. 5 Orderly charging load of EVs kW

渗透率/%	10	20	30	40	50	60
住宅小区工作日	246	484	732	973	1 211	1 456
住宅小区节假日	176	341	515	680	844	1 023

可见,工作日、节假日电动汽车主要集中在谷时充电,与居民用电谷期时间重合。电动汽车渗透率为10%~60%时,相比原居民用电负荷,工作日普通、中档、高档小区最高负荷分别提高了5%~114%、3%~67%、2%~13%;节假日普通、中档、高档小区最高负荷分别提高了2%~70%、1%~24%、1%~6%。

工作日普通、中档、高档小区峰谷差率分别从0.46、0.46、0.57变化为0.39~0.67、0.45~0.62、0.54~0.52;节假日普通、中档、高档小区峰谷差率分别从0.38、0.43、0.37变化为0.29~0.52、0.33~0.39、0.39~0.32。

在峰谷电价策略的引导下,用户主动调整电动汽车充电时段,充分利用了夜间负荷低谷时段充电,达到有序充电的目的。相对无序充电状态,有序充电能有效对电网负荷进行“移峰填谷”,大大降低了系统峰谷差率,从而避免了无序充电时的“峰上加峰”负面效应,提高了设备利用效率,有利于电网的经济运行。

建议充电设施企业把可预订充电时间作为充电设施必备的功能并在全国予以推广,可以从技术上为移峰填谷奠定基础。

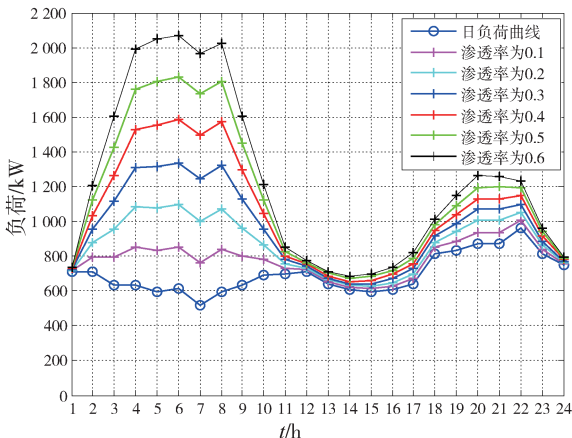


图11 工作日普通小区负荷曲线

Fig. 11 Ordinary-level community load curve on weekday

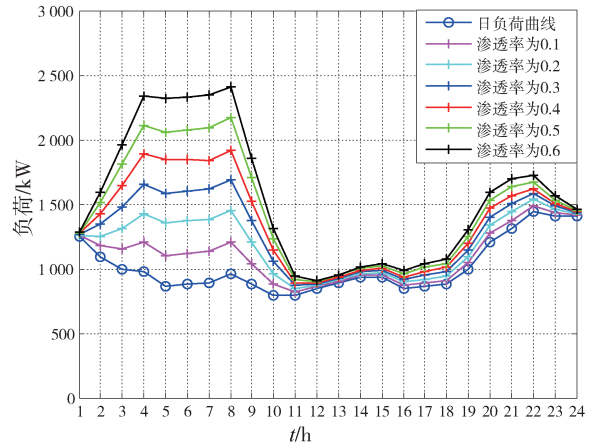


图12 工作日中档小区负荷曲线

Fig. 12 Mid-level community load curve on weekday

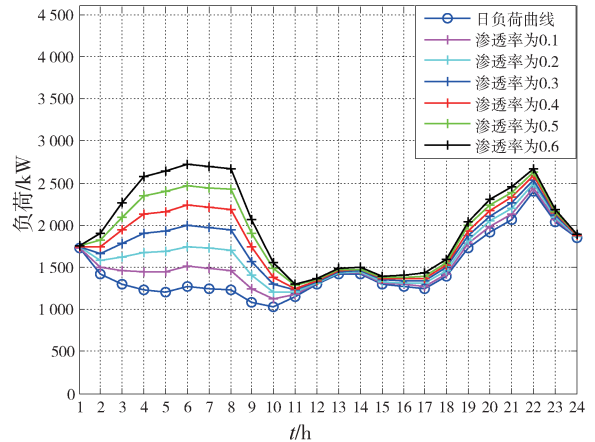


图13 工作日高档小区负荷曲线

Fig. 13 High-level community load curve on weekday

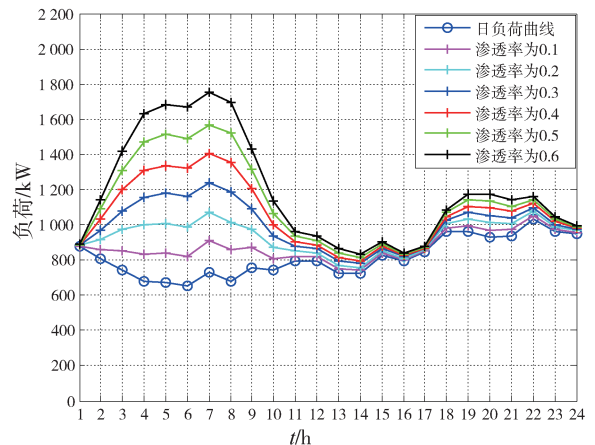


图14 节假日普通小区负荷曲线

Fig. 14 Ordinary-level community load curve on weekend

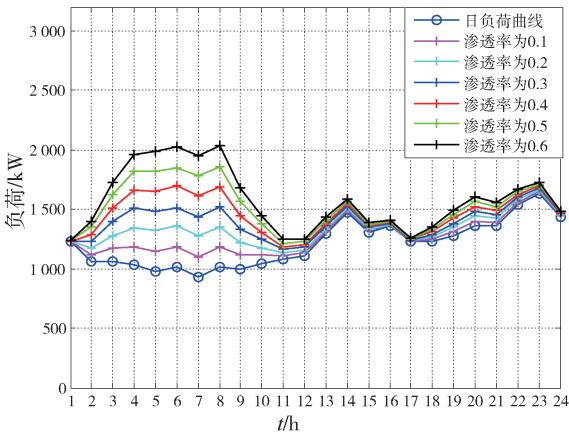


图 15 节假日中档小区负荷曲线

Fig. 15 Mid-level community load curve on weekend

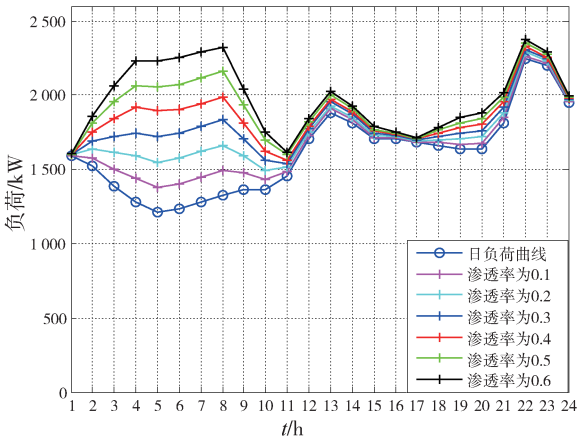


图 16 节假日高档小区负荷曲线

Fig. 16 High-level community load curve on weekend

3.3 有序充电对配电变压器负载率的影响

当电动汽车渗透率分别为 10% ~ 60% 时, 普通、中档、高档小区接纳电动汽车渗透率最大值见表 6 所示。可见, 在峰谷电价策略引导下, 车主会尽量选择在电价较低的谷时对电动汽车充电, 从而在一定程度上将晚高峰时段的电动汽车充电负荷转移至电网负荷低谷时段。大量电动汽车集中在谷时充电, 有效减小了住宅小区晚高峰时配变的供电压力, 采用峰谷电价引导策略小区配电变压器可接纳更多电动汽车同时充电。

表 6 小区配电变压器接纳电动汽车渗透率最大值

Tab. 6 Acceptance of electric vehicle penetration maximum in district distribution transformer %

情景	普通小区	中档小区	高档小区
工作日	≤50	≤60	≤60
节假日	≤60	≤60	≤60

4 结论

本文以普通、中档和高档三类典型小区为研究对象, 探讨了工作日、节假日不同渗透率下电动汽车充电对小区配电网负荷特性的影响, 分析了不同类型小区接纳电动汽车充电的能力。主要结论如下:

1) 大量电动汽车集中在晚高峰充电, 造成电网负荷“峰上加峰”。若不对用户充电行为进行引导, 较小的渗透率将影响普通小区的负荷特性; 中、高档小区由于原负荷基数较大, 电动汽车充电负荷占原负荷的比例相对较小, 对负荷特性的影响较小。

2) 对于相同的电动汽车渗透率时, 高档、中档小区的配电变压器负载率明显低于普通小区, 主要是因为高档、中档小区在规划时对配电变压器留取了更高的用电负荷裕度, 普通小区配电变压器容量、容量裕度比中档、高档小区小, 随着电动汽车渗透率的升高, 负荷高峰时期供电压力逐渐增大。

3) 采用峰谷电价引导策略, 使电动汽车有序充电, 相对于无序充电状态下对小区负荷进行了“移峰填谷”, 有效降低了峰谷差率。峰谷电价策略极大地减小了无序充电时“峰上加峰”的负面效应, 提高了设备利用效率, 有利于电网的经济运行。

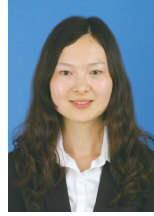
参考文献:

- [1] BOULANGER A G, CHU A C, MAXX S, et al. Vehicle electrification: status and issues [J]. Proceeding of the IEEE, 2011, 99(6): 1116-1138.
- [2] 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 Z C, SONG Y H, XU Z W, et al. Impacts and utilization of electric vehicles integration into power systems [J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(4): 1-10.
- [3] CLEMENT-NYNS K, HAESSEN E, DRIESEN J, et al. The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid [J]. IEEE Transaction on Power Systems, 2011, 25(1): 371-380.
- [4] 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]. 电力系统自动化, 2015, 35(6): 1-9.
GUO J L, WEN F Q. The influence of electric vehicle charging on power system and its countermeasures [J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(6): 1-9.
- [5] 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 Z W, HU Z C, SONG Y H, et al. Study on plug-in electric vehicles charging load calculating [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(14): 36-42.
- [6] 王建. 电动汽车充电对电网的影响及有序充电研究 [D]. 济

- 南: 山东大学, 2013.
- [7] 林秀丽, 汤大钢, 丁焰, 等. 中国机动车行驶里程分布规律 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(3): 377-340.
LIN X L, TANG D G, DING Y, et al. Study on the distribution of vehicle mileage traveled in China [J]. Research of Environmental Science, 2009, 22(3): 377-340.
- [8] 贾东明. 规模化电动汽车充电对配电网的影响及有序充电研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
- [9] 郭毅, 胡泽春, 张洪财, 等. 居民区配电网接纳电动汽车充电能力的统计评估方法 [J]. 电网技术, 2015, 39(9): 2458-2464.
GUO Y, HU Z C, ZHANG H C, et al. A statistical method to evaluate the capability of residential distribution network for accommodating electric vehicle charging load [J]. Power System Technology, 2015, 39(9): 2458-2464.
- [10] 中国南方电网公司. 中国南方电网公司 10 kV 及以下业扩受电工程技术导则 [EB/OL] (2014-04-30). [2017-10-10]. <http://www.csg.cn>.
- [11] 陈俊. 电动汽车充电负荷特性及配电网承载能力研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2016.
- [12] 王海吉. 电网企业在电动汽车充电设施产业链的竞争分析 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(2): 27-31.
WANG H J. Competitive advantage analysis of power grid enterprise on the industrial chain of electric vehicle charging infra-

structure [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(2): 27-31.

作者简介:



CHEN L

陈雷

1989-, 女, 江西吉安人, 工程师, 硕士, 主要从事电力系统规划、电力系统新技术等研究工作 (e-mail) chenlei4@gedi.com.cn。



LU S Y

卢斯焯

1986-, 男, 广东潮州人, 工程师, 博士, 主要从事电力系统规划与可靠性、新能源发电等研究工作 (e-mail) lusy@csq.cn。

(责任编辑 高春萌)

(下接第 97 页 Continued from Page 97)

- [15] 姚斌, 施世鸿, 陈荔. ± 1 100 kV 特高压直流换流站直流场导体的电磁计算与设计选型 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(4): 37-41.
YAO B, SHI S H, CHEN L. Electromagnetic environment calculation and design of ± 1 100 kV DC conductor in UHVDC converter station [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(4): 37-41.



KONG Z D

孔志达

1977-, 男, 广东广州人, 高级工程师, 硕士, 长期从事变电站、换流站设计、研究等工作 (e-mail) kongzhida@gedi.com.cn。

作者简介:



YUE Y F

岳云峰

1982-, 男, 吉林吉林人, 工程师, 硕士, 长期从事特高压变电站、换流站设计等工作 (e-mail) yueyunfeng@gedi.com.cn。



JIAN X H

简翔浩

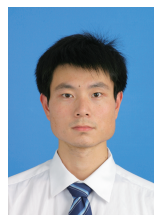
1975-, 男, 广东肇庆人, 高级工程师, 硕士, 长期从事特高压变电站、换流站设计等工作 (e-mail) jianxianghao@gedi.com.cn。



GUO J C

郭金川

1984-, 女, 河南平顶山人, 工程师, 硕士, 长期从事变电站、换流站设计、研究等工作 (e-mail) guojinchuan@gedi.com.cn。



TAN W

谭威

1987-, 男, 湖北英山人, 工程师, 硕士, 长期从事变电站、换流站设计、共用接地的研究等工作 (e-mail) tanwei@gedi.com.cn。

(责任编辑 高春萌)