

Design and Implementation of Orderly Charging System Based on Regional Distribution Network

Hongyan Li, Linlin Hu, Xiaoxiang Qi, Changfu Yang

Xu Ji Power Co., Ltd., Xuchang Henan

Email: stone_li89@163.com

Received: Nov. 2nd, 2019; accepted: Nov. 19th, 2019; published: Nov. 26th, 2019

Abstract

In order to reduce the impact of large-scale disorderly charging behavior of electric vehicles on the regional power grid, that is, to reduce the increase of peak load in the regional power grid, as a mobile load that can respond to demand, the influence of electric vehicles on the power grid becomes increasingly prominent with the expansion of the scale. In order to make full use of its potential as controllable load and promote the interaction between power grid and users, an orderly charging system based on regional distribution network is proposed. The system can monitor and transmit the battery status and load data of distribution network. Then, according to the design principle and management strategy of orderly charging strategy, according to the regional distribution of power grid load, electric vehicle operation and vehicle power, combining multi-dimension and multi-objective, the orderly charging strategy is automatically generated. Finally, the charging in a certain area is an application scenario. After many experiments, the results show that according to the generated control strategy, the daily load peak-valley difference can be reduced by guiding the electric vehicle to charge orderly.

Keywords

Orderly Charging, Energy Internet, Charging Strategy, Multidimensional, Multiple Target

基于区域配电网有序充电系统的设计与实现

李红岩, 胡林林, 齐晓祥, 杨昌富

许继电源有限公司, 河南 许昌

Email: stone_li89@163.com

收稿日期: 2019年11月2日; 录用日期: 2019年11月19日; 发布日期: 2019年11月26日

摘要

为减小规模化电动汽车无序充电行为对区域电网的影响,即减少区域电网负荷峰值的增加,电动汽车作为可响应需求的移动负荷,其对电网的影响力随着规模的扩大日益凸显。为了发挥其作为可控负荷的潜力,促进电网与用户间的互动,本文提出基于区域配电网的有序充电的系统,该系统可实现充电桩状态 and 配电网负荷数据的监测与传输,随后根据有序充电策略的设计原则和管理策略,并结合当前区域内配电网用电负荷、电动车辆运营情况和车辆电量等多种情况,使用多维度多目标算法自动生成有序充电策略。最后以某区域内的充电为应用场景,经过多次试验,结果表明按生成的控制策略,通过引导电动汽车进行有序充电,可以达到降低日负荷峰谷差的目的。

关键词

有序充电, 能源互联网, 充电策略, 多维度, 多目标

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来全球气候不断恶化,传统化石燃料汽车受到挑战,电动汽车领域迅速发展[1]。截至2018年底,全国机动车保有量达3.27亿辆,其中汽车2.4亿辆,新能源汽车261万辆,纯电动汽车保有量211万辆,占新能源汽车总量的81.06% [2]。每辆车按充电功率7 kW计算,总容量约为1477万kW,可见,随着电动汽车规模化发展,其总体充电功率是十分庞大的,由于电动汽车充电负荷在时间和空间上具有一定随机性,电动汽车的无序充电可能导致电网负荷峰值增加,现有的配电网很难支撑规模化电动汽车无序充电,而且对配电网线路改造,成本投资巨大[2] [3] [4]。

为了解决上述问题,通过对电动汽车实施有序充电,区域配电网实时负荷的峰谷差得到有效的降低[5],同时缓解配电网的改造。文献[6]针对居民区分时电价,提出一种小区电动汽车有序充电控制策略,并分析几种不同的控制策略的结果。文献[7]以居民区的配电网峰谷差最小为目标,采用遗传算法,对电动汽车在谷电价区间的充电时间进行优化。文献[8]基于居民区的配电网,以峰谷差最小为目标函数,生成有序充电控制策略。文献[9]通过分析不同车型的无序充电、有序充电,提出分散充电和集中充电相结合的充电控制方法。

随着电力物联网的发展,电网与用户的互动更加密切,更应促进电力需求侧响应,使电网朝着更加智能与高效的方向发[10] [11]。用户通过智能终端将电动汽车与充电系统连接,实现对电动汽车充电行为的远程控制,同时区域有序充电平台根据电网负荷以及用户需求,自动生成充电计划,下发到充电设备,同时告知用户。该系统通过智能终端实现用户、电动汽车以及充电设备三者联络,是实施有序充电方案的载体。

本文首先介绍区域有序充电系统的构建方案,以区域主站作为有序充电运营平台,构建有序充电系统框架,有序充电运营平台通过台区侧的能够管理单元获取区域配电网的负荷情况,同时获得电动汽车群体充电行为响应信息,掌握用户充电行为的规律与特征,以减少日负荷曲线波动、缩小峰谷差为目标,采用事件即时调度和周期滚动调度,进行有序充电控制。最后通过某区域内的有序充电,验证此方案减

少配电网的峰谷差效果明显。

2. 有序充电系统架构

本文所采用的有序充电控制系统由区域主站、能量管理单元、能量采集终端、充电设备等构成。如图 1 所示。

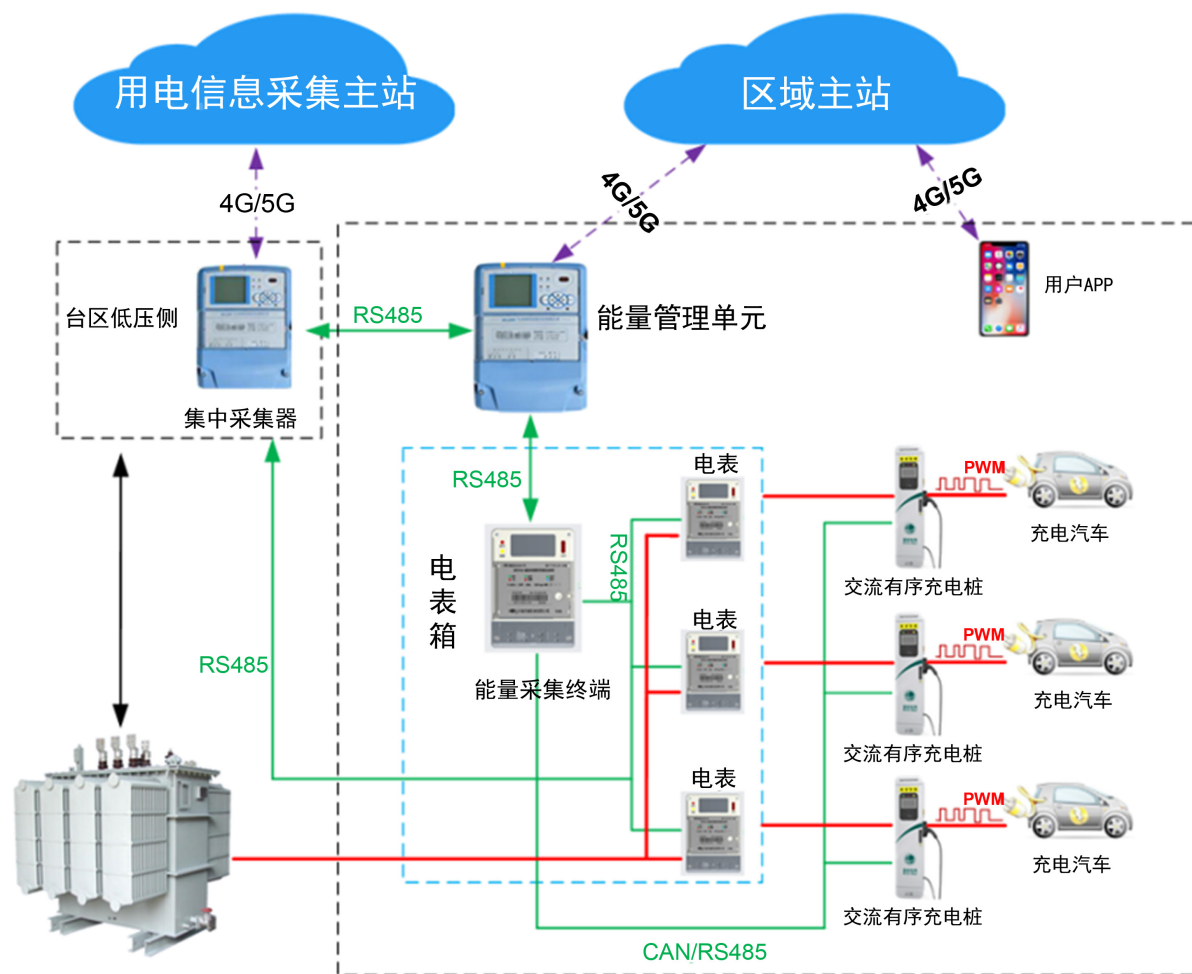


Figure 1. Orderly charging system architecture

图 1. 有序充电系统架构

能量采集终端作为充电计划的执行装置，可根据充电计划在指定时间点向特定的充电桩发送启动充电、停止充电或充电功率调节等控制指令。能量采集终端可同时控制多个充电设备，也可通过多个计量模块，对相应的交流充电桩进行计量。因通信故障导致无法接收主站或能量管理单元下发的充电计划，充电设备可支持本地启动充电(通过启动卡方式)，可优先执行内置的默认充电计划，即保持最低功率连续充电，其优先级较低，在通讯恢复后，按新的充电计划输入时执行。

能量管理单元是充电设备的有序充电控制管理中心，对下通过以太网或 RS485 接口与用电采集终端通信，获取变压器负荷状态信息；对上通过 4G 或 3G 方式与运营平台通信，获取所在区域中的每台充电设备的实时状态和充电参数信息。

区域充电服务平台，以满足区域配电网的安全经济运行为目标，开展区域级能量调度管理并支撑

本地设备开展分层协同控制，基于台区配变历史常规负荷数据和历史充电及用车习惯等基础数据，采用相应的负荷预测算法，预先计算台区基础负荷以及在各个时段可用充电功率，生成台区日前负荷调控目标曲线及负荷预测曲线，下发到能量管理单元，根据有序充电的管理和控制策略，按一定的控制算法对每台充电设备生成最优控制策略。

3. 有序充电控制策略

电动汽车有序充电，是指在区域配电网电力供应不足、突发事件等情况下，通过行政措施、经济手段、技术方法，依法控制部分用电需求，维护供用电秩序平稳的管理工作。

3.1. 有序充电策略设计原则

有序充电策略设计应遵循以下设计原则。

3.1.1. 违约最小原则

充电申请一旦被区域主站受理，应按用户充电需求生成充电计划；如出现较大的电力变化，应力求违约单数最小。同时，应满足每个充电订单启停次数最少，且功率调整次数最少的原则。

3.1.2. 次序优先原则

在用户优先级、充电目标相同情况下，按照订单生成时间的顺序优先安排充电计划；因区域配电网容量严重不足，按订单生成的先后次序优先调整订单生成时间排序在后，或者会员等级较低或非会员的充电订单。

3.1.3. 尽早履约原则

在充电计划编排时，应在满足履约目标、用户受益最大，以及充电过程尽量连续平滑的条件下，尽早启动充电过程，以减少在约定提车时间内不能完成充电电量的违约风险。

3.1.4. 费用最少原则

在不影响既有订单的充电目标和受益前提下，在充电计划编排中可采用以下策略：可以调整“有序充电”车辆的充电计划时间，提升“正常充电”的支持能力；对于“有序充电”车辆，在充电计划编制时可优化调整其充电功率，延展其充电时间，以实现电网低谷时段的充电容量充分利用，并满足更多车辆的充电服务需求。

3.2. 有序充电管理策略

有序充电管理是指面向充电请求的审核和充电订单的优化调度编排，其包括事件即时调度、周期滚动调度两种。

3.2.1. 事件即时调度

1) 当充电用户发起充电请求时，区域主站对其进行充电计划的预调度编排，审核充电请求的合理性和有效性。若请求合理且可完成，则生成订单；否则，不生成订单，并告知用户原因。

其充电计划的预调度编排的策略为：

- 若新的充电申请将影响既有订单的充电履约目标和电费受益，该申请将不予受理；
- 在满足履约目标、用户受益最大条件下，应使得充电过程尽量连续平滑；
- 当某一充电时段的区域电力容量不足时，对于同一类模式的充电请求，按照订单生成时间的顺序优先安排充电计划；

- 在不影响既有订单的充电目标和电费受益前提下，可以调整“有序充”车辆的充电计划时间和充电功率，提升“正常充”的支持能力，实现电网充电容量的充分利用，并满足更多车辆的充电服务需求。
 - 2) 当用户中止充电订单时，在结束用户订单后，重新进行充电计划的调度编排，调整在线订单充电计划，以提高订单履约率的满意度。
 - 3) 为避免用户短时多次提交充电申请对有序充电形成干扰，对用户中止充电请求次数进行约束，每个用户一天内中止充电请求不能超过约定的次数(本次取 3 次)。

3.2.2. 周期滚动调度

在有序充电过程中，能量管理单元根据电网实时运行状况、负荷预测以及用户订单执行偏差，周期滚动进行充电调度计划的编排。周期滚动编排在事件即时调度策略的基础上，还需考虑以下内容：

- 1) 用户的充电申请一旦成为订单，应力求保证本次订单完成。当由于区域配电网负荷波动、实际负荷与计划偏差较大等原因，而将有订单违约时，可以在不影响其它订单履约目标的条件下，适度调整一些订单，避免和尽量减少订单违约。
- 2) 如违约不可避免，应力求违约单数和违约电量最小。

3.3. 在线调度控制策略

在配变充电容量不足、或上级电网紧急负荷控制请求等条件下，需要对充电负荷进行在线调度控制。在线调度控制基于周期滚动调度编排的充电计划，进行充电功率调整或充电状态变更，以满足电网安全运行约束，并执行编排的充电计划。

在线调度控制具有周期控制和即时控制机制。周期控制面向台区充电管理与控制要求。即时控制为响应上级电网的紧急负荷控制要求，在条件许可下尽快实现控制目标。

在线调度控制主要采用以下策略：

- a) 当需要降低充电负荷时，按预先设置的规则依次调整充电设备的输出功率，根据需降低功率的大小，依次调整充电设备的输出功率；
- b) 当所有车辆均调整至最小输出功率时，仍不能满足负荷降低目标时，则按订单生成的次序暂停充电设备的功能输出；
- c) 在进行功率恢复时，则反序优先恢复最近被降低或暂停的输出功率；
- d) 监测车辆控制响应水平，以便后期在控制中增加考虑车辆的指令响应能力，进行相关信用记录和评价。

4. 有序充电实现过程

本文针对区域变配电网、历史负荷数据和电动车用户使用数据等多维度多目标生成最优策略，通过充电设备进行有序充电，充电设备实现有序充电，具体实现流程图如图 2 所示。

- 1) 电动汽车驶入停车位，完成充电电缆连接后。
- 2) 充电用户可通过手机 APP 或有序充电设备的人机操作界面，根据车辆的实际需求可设置充电电量、预计用车时间等充电需求信息，并从“有序充电”、“正常充电”两种充电模式中选择其中一种模式，提交充电请求。
- 3) 区域平台根据充电用户提交的充电请求，根据充电设备编号，充电模式、用车时间、电量等信息，并结合台区历史用电负荷、历史天气库等数据信息，采用层次聚类、神经网络法等训练模型，得到当前台区配电网的预测结果，包括预测日的负荷曲线、日最大最小负荷以及日负荷电量，生成相应的充电计划。

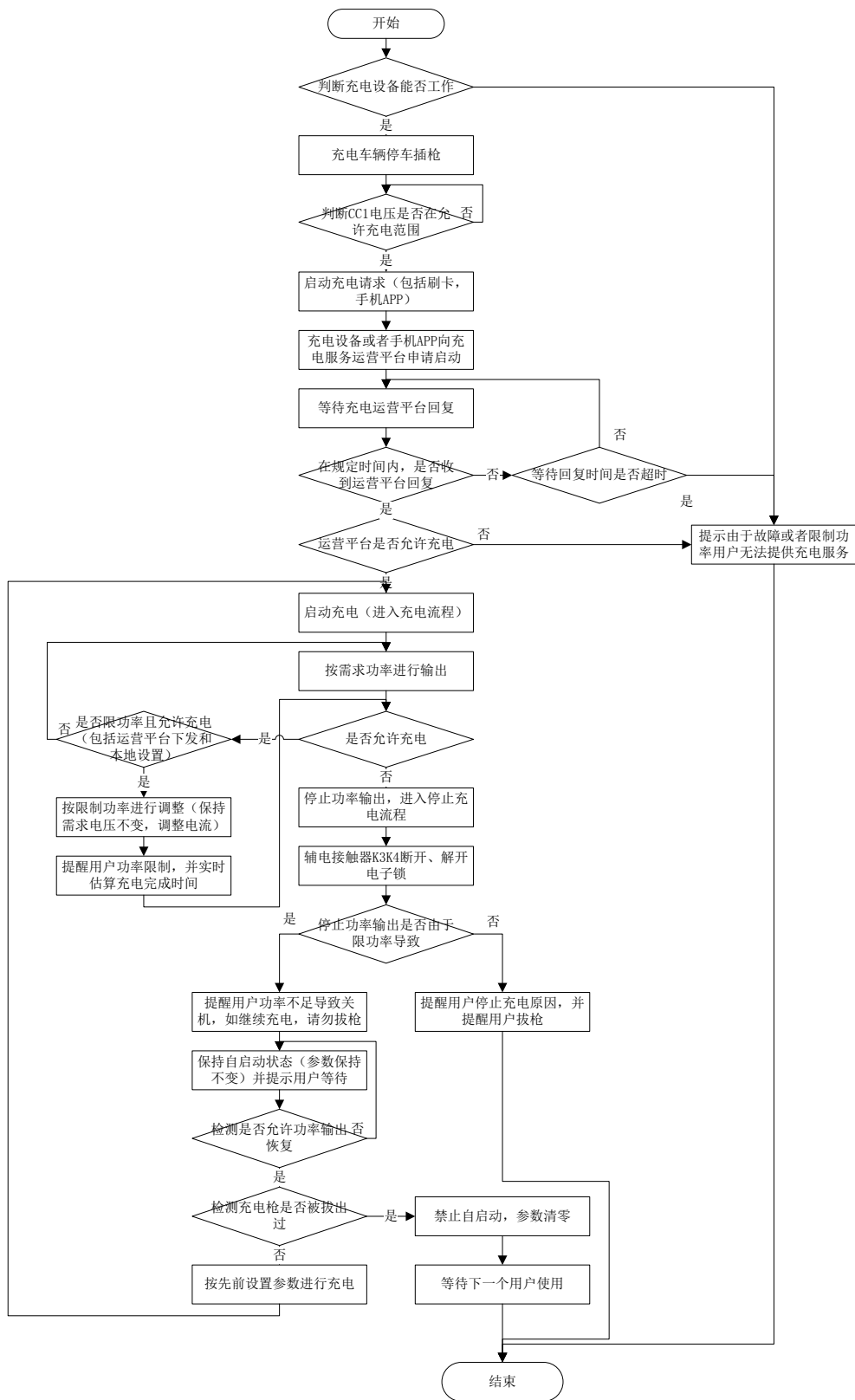


Figure 2. Orderly charging flow chart of charging equipment
图 2. 充电设备有序充电流程图

4) 并把充电计划传递给所在区域的能量管理单元, 能量管理单元根据台区内变压器的实时功率, 剩余功率。根据实时在线调度控制策略, 对充电计划的预调度进行优化和修正, 审核充电计划的合理性和有效性, 并把结果返回给充电服务运营平台。若返回请求合理且可完成, 则充电服务运营平台生成订单; 否则, 不生成订单, 告知用户原因。

5) 对于选择“正常充电”模式的车辆, 其在电网充电容量许可条件下将立即进入充电状态; 否则, 车辆进入等待状态。一旦电网充电条件具备时, 将立即进入充电状态。对于选择“有序充电”模式的车辆, 根据编排的充电计划等待至最低电价时段进入充电状态; 若低谷时段充电电量不能满足充电需求, 则会在其它时段为其编排充电计划, 以满足其充电目标电量。

6) 充电过程中, 用户可通过手机 APP 或有序充电控制器实时查询充电功率、已充电量, 预计充电结束时间等信息。能量管理单元根据实际用电情况、剩余电量, 用户充电模式级别、提车时间, 采用事件即时调度、周期滚动调度, 并按有序充电的管理和控制策略进行充电管理和调度。能量管理单元可以实时分析用户订单目标达成偏差情况。若发现将发生较大的预期偏差, 将通过充电服务运营平台及时告知用户, 以便用户根据自身用车安排调整充电计划。

7) 充电目标达成时, 将自动停止充电过程, 同时, 用户将接收到充电订单的完成情况信息。

5. 算例分析

本文以某小区乘用车为研究对象, 50%用户返回小区后选择常规充电, 其电动汽车最初 SOC 为 20% 到 50%。该小区汽车总量约为 200 辆, 共有 50 台交流充电桩, 其中电动汽车约为 60 辆。电动汽车池容量平均为 40 kW·h, 交流充电桩的功率为 7 kW。

小区变压器的额定容量为 630 kVA, 功率因数是 0.9, 效率是 0.9, 可得变压器最大负载能力 $P = 0.9 \times 0.9 \times 630 = 510 \text{ kW}$ 。

基于概率密度分布, 通过蒙特卡洛方法模拟车辆接入时间和动力电池组荷电状态, 默认用户申请的用车时间为早上 7 点前, 默认开始充电前电动汽车的 $\text{SOC}_{\text{start}}$ 为 30%, 充满后的 SOC_{end} 为 100%。无序充电和有序充电负荷图如图 3 所示。

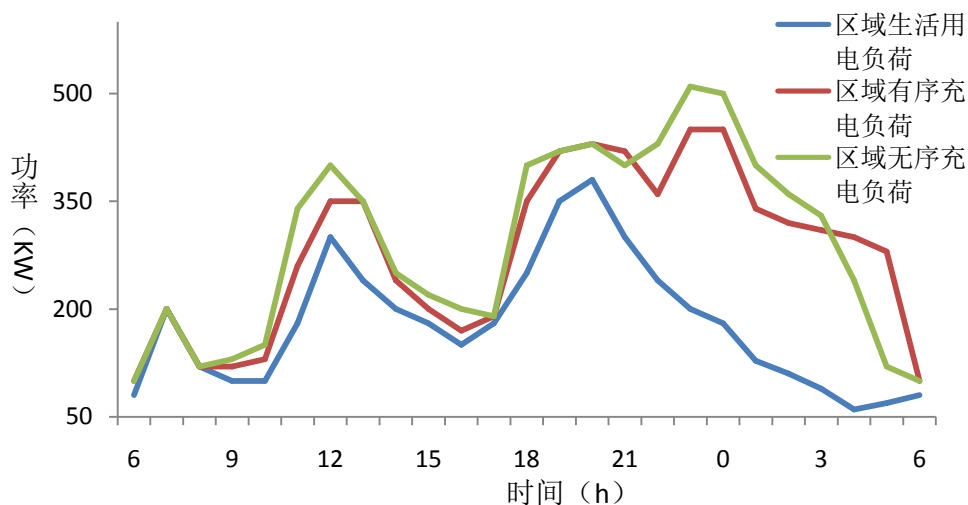


Figure 3. Load curve comparison chart of orderly and disordered charging

图 3. 有序充电和无序充电负荷曲线对比图

无序充电主要集中在晚上 20 点到 2 点, 而有序充电电动汽车充电负荷相对比较分散, 基本上分布在

11 点到 14 点时间段和 23 点到 4 点时间段,但是在 16 点到 18 点时间段出现了“峰上加峰”的现象。所采用的控制策略并不完全满足需求,因此还需要进一步改善有序充电控制算法,多目标协调调度更合理,使得电动汽车实现真正的有序充电。

由试验结果可知,小区配电网有序充电模式下,虽然保持原有的基础负荷峰值不变,但峰谷差率明显降低。

6. 结语

为了减少电动汽车用电负荷对配电网的不利影响,本文介绍了一种基于区域配电网的有序充电系统的设计和实现方案,所建立的模型充分考虑了电动汽车随机分配的特点,建立事件概率模型,通过采用在线调度控制策略,实现电动汽车的有序充电,通过实际充电和有序用电数据进行分析。算例表明,通过和无序充电进行对比,有序充电能够达到减少配电网负荷波动的效果,优化电力资源,在一定程度上达到了“削峰填谷”的作用,验证了系统方案具备一定的可行性和有效性。但在控制策略算法需要进一步优化,通过多维度多目标生成最优策略,区域内多种能源协同调度,最终使得电动汽车实现真正的有序充电。

参考文献

- [1] 陈忠华,王才倩,陈嘉敏,等. V2G 模式下的电动汽车有序充电控制模型研究[J]. 浙江电力, 2019, 38(8): 37-42.
- [2] 中华人民共和国公安部交通管理局. 2018 年机动车保有量达 3.27 亿辆[EB/OL]. <http://www.mps.gov.cn>, 2019-01-11.
- [3] 许少伦,严正,冯冬涵,等. 基于多智能体的 EV 充电协同控制策略[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(11): 7-13.
- [4] 王建,吴奎华,刘志珍. 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.
- [5] Liu, H., Zeng, P.L., Guo, J.Y., et al. (2015) An Optimization Strategy of Controlled Electric Vehicle Charging Considering Demand Side Response and Regional Wind and Photovoltaic. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 3, 232-239. <https://doi.org/10.1007/s40565-015-0117-z>
- [6] 胡泽春,宋永华,徐智威. 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.
- [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.
- [8] 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.
- [9] 黄润,周鑫,严正. 计及电动汽车不确定性的有序充电调度策略[J]. 现代电力, 2012, 29(3): 57-63.
- [10] Yang, G., Tong, B., Qiao, D., et al. (2008) Sensor-Aided Overlay Deployment and Relocation for Vast-Scale Sensor Networks. *The 27th Conference on Computer Communications*, Phoenix, 13-18 April 2008, 2216-2224. <https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2008.289>
- [11] Yao, L. and Lu, H.R. (2009) A Two-Way Direct Control of Central Air-Conditioning Load via the Internet. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24, 240-248. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2008.923813>