

# 基于需求响应群控式充电系统

李璞, 贾心怡

(深圳市车电网络有限公司, 广东 深圳 518057)

**摘要:** 需求响应作为电力体制改革下电网与用户的主要互动手段, 近年来在各个领域得到广泛开展。在可参与需求响应的用户中, 电动汽车充电作为一种可削减柔性负荷, 具有很大的需求响应潜力。因此, 开展电动汽车充电设施需求响应研究将有效改善电网负荷侧的功率分布曲线。提出了一种基于激励的需求响应策略, 通过配电监测实时采集台区负荷, 根据特定算法将剩余功率分配到群控充电系统, 该系统具有冗余度小、稳定性高、运营维护方便, 同时为后续进一步扩展边缘计算和优化模型, 实现更高层次的智能运维提供了基础条件。

**关键词:** 充电负荷; 需求响应; 有序充电; 群控系统; 公共充电设施

## Group-controlled charging system based on demand response

LI Pu, JIA Xinyi

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

**Abstract:** Demand response, as the main interactive means between power grid and users under the reform of power system, has been widely carried out in various fields in recent years in China. Among users who can participate in demand response, electric vehicle charging has a great demand response potential as a kind of flexible load. Therefore, researching the demand response of electric vehicle charging facilities will effectively improve the power distribution curve on the grid user side. This paper proposes an incentive-based demand response strategy, which collects the load of the station in real time through power distribution monitoring and distributes the remaining power to the interior of the group-controlled charging system according to a specific algorithm. The system has small redundancy, high stability, and convenient for operation and maintenance. At the same time, it provides the basic conditions for further extending the edge calculation and optimization model to achieve higher level intelligent operation and maintenance.

**Key words:** charging load; demand response; ordered charging; group-controlled charging system; public charging facility

## 0 引言

随着全球汽车保有量的迅速增长, 能源、环境和安全问题也日益加剧。从可持续发展角度看, 汽车产业必须解决能源、污染、安全和拥堵全球公认的四大问题, 而建设低碳化、信息化与智能化汽车产业链已被认为是最终解决方案。但在今天, 作为新能源汽车产业发展的基础之一, 充电桩的发展还存在着许多问题, 桩的分布不平衡就是其中非常突出的一个问题。一方面, 老城区和中心城区容易出现配电容量不足, 导致新建充电桩运营十分困难的局面, 电动汽车车主面临无桩可充的窘境; 而另一方面, 城区边缘地带电力资源冗余, 充电桩众多却利用率低下, 这些盲目布建的桩在消耗大量社会资源后却成了死桩、废桩。随着电动汽车的发展, 每年的充电量也在飞速增长, 未来将达到一个非常巨

大的数字。以广州市为例, 根据《广州市新能源汽车发展工作方案(2017-2020)》<sup>[1]</sup>, 到2020年广东省新能源汽车总数将达到20万辆, 其中有17万辆为私人 and 租赁领域新能源汽车, 与公共领域的集中快充模式相反, 一些私人及租赁领域大多采用分散充电, 假设每辆车日均充电量为20度, 仅此一项新增的广州市内日充电需求就将达到340万度之多。更加重要的是, 根据用户调查显示, 大部分私人电动车主选择在晚上下班后充电(18:00~22:00), 其用电负荷与电网晚高峰基本重叠, 如果不进行有序充电调控, 将会大大加重小区配电网的运行负担<sup>[2]</sup>。

目前有许多学者都在研究如何减小电动汽车无序充电对电网运行产生的影响, 如文献[3]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[4]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[5]利用电气介数定性分析了充电站选址对系统电压的稳定性影响,指出充电站选址于高介数节点有助于充电负荷的消纳;文献[6]基于主动配电网的特点,提出了含电动汽车充电和分布式电源的优化重构模型以实现电网优化运行;文献[7]提出了一种基于多目标的有序充电控制系统,能够依照电池自身特点与所处环境情况对车辆充电进行智能化管控。

但是大量的研究都仅有理论层面上的推断,在实际执行过程中有各种各样的困难。本文从用户、电力供应方、运营方等不同视角分析了当前充电行业的难点和痛点,提出基于需求响应的原理,搭建一个可柔性充(放)电、灵活调度,且后续具有扩展潜力的充电系统,改善充电运营生态环境,实现电网与充电领域的和谐发展。

## 1 车与桩发展现状

### 1.1 电动汽车发展现状

近几年来,在各国政府的积极推动和汽车制造商的努力下,基于动力电池技术进步和成本降低,全球汽车电动化进程不断加快。根据国际能源署统计,截止2018年,全球电动汽车保有量达到510万辆,同比2017年增长64%,中国以230万辆连续成为电动汽车保有量第一的国家。据国际能源机构预测,到2030年电动汽车将占世界汽车销量的30%。

### 1.2 电桩发展现状

充电桩产业在国家和各地政策的支持下,这些年也有了一定程度的发展,但总体而言,其发展水平仍然滞后于电动汽车的发展,根据中国充电基础设施联盟的数据计算,2018年国内电动汽车和公共充电桩数量之比仍在持续增加,已由2016年的5.29和2017年的7.01增加到了7.03。且由于选点布局不合理、检修维护不及时、充电接口及电压不兼容等多方面原因,我国公共充电桩的整体利用率不足15%<sup>[8]</sup>,也即是说,在电动汽车迅猛发展的同时,现今已布局充电桩的数量远远不能提供未来汽车大规模电动化的需求,而且充电桩的建设不足也已成为电动汽车发展的桎梏。

## 2 各方需求与矛盾

### 2.1 电动汽车车主

当前广大电动汽车车主正被车桩比低、充电难、充电费用高三大问题所困扰,这也使得电动汽车的潜在消费人群迟迟处于观望状态,对电动汽车的快速发展形成了一定禁锢。对于电动汽车车主来说,

对充电服务的要求主要体现在便捷性、安全性、经济性方面,但一方面,由于车位或报装问题,小区自建桩困难;另一方面公共充电设施不足。当前充电桩无论是从站点分布、充电费用等方面,离用户期望都还有很大的差距。

### 2.2 电网供应方

我国还处于电力负荷快速增长的时期,现有线路设施和容量不足以支撑大量充电负荷接入。而充电设施引入的新增负荷,对电力系统的发、输、配电容量都有较高的要求<sup>[9]</sup>。电动汽车的无序充电不仅会增大负荷峰值,拉大用电峰谷差,同时还会加剧配电网损耗,导致电压水平下降,影响电网的运行安全。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。要兼顾电网规划的要求,并与电网规划、建设与改造密切结合的情况下发展和规划充电行业。既要结合变电站的建设、改造,进行科学、合理的选址,又要满足电力系统对电力平衡、供电可靠性、电能质量、自动化等方面的要求,为广大群众提供充电服务,这是充电行业发展中必须解决的一个问题。

### 2.3 充电运营商

充电站作为一种特殊的电力设施,在建设过程中需考虑场地、土建、设备、电费和维护等方面的投资,土地取得和增容申请都十分困难。而当前充电负荷波动过大、充电桩利用率极低,这是导致回收期过长且投资风险很大的最重要的原因,社会投资建设充电桩的意愿度较低,进一步加剧了充电难的问题。这也表明,通过智能化的运维管理解决城市充电的效率问题将是运营商提高自身利润、从行业竞争中脱颖而出的关键。

### 2.4 地产开发商

对于地产开发商来讲,虽然建桩的场地不算难题,但有时也会遇到片区变压器冗余小,无法满足建桩需求的情况,而增大配电容量不仅会造成投资浪费,还会进一步降低设备的利用率<sup>[10]</sup>。另外很多地产商在建桩时只是为了完成任务指标或者获得优惠政策,建桩后缺少对设备的运营维护,这些桩对用户来说并没有真正的发挥作用,甚至从一开始就是闲置设备,造成了很大的资源浪费。事实上,充电桩自身盈利不足是开发商怠于运营管理和设备维护的原因,而一旦对充电桩建设的意义产生困惑,在规划建设时就更难从合理、长远的角度考虑了。

## 3 基于需求响应的有序充电调控

需求响应(Demand Response, DR)作为电力体

制改革下电网与用户的主要互动手段近年来在我国各个领域得到了广泛开展<sup>[11]</sup>。电动汽车充电作为一种可削减柔性负荷，在电动汽车充电领域开展设施需求响应研究，将有效改善电网负荷侧的功率分布曲线。

为了解决电动汽车大规模无序充电后对配电网造成的冲击，许多学者对有序充电调控方法进行了探索和研究，主要分为两大类<sup>[12]</sup>：一个是直接控制电动汽车的充电功率和充电时间，即通过强制手段维护区域用电安全，被称为硬调控；另一个是运用需求响应策略，根据电能供给侧能力自发地调节用电负荷，也被称为软调控。与硬调控相比，软调控更能调动用户参与的积极性，在前期推广过程中对用户习惯的培养上更有优势，能满足车主、充电运营商、电网多方面的需求，也是目前试点研究中运用较多的一种。如图 1 所示，根据不同策略，主要有电价需求响应和基于激励的需求响应两种方式。

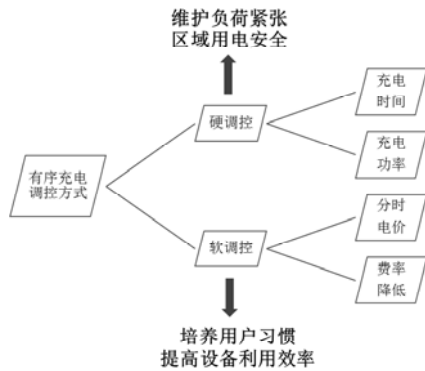


图 1 有序充电的调控方式

Fig. 1 Regulation methods of orderly charging

### 3.1 电价的需求响应

需求侧响应的定价机制，指在定价过程中充分考虑用电侧的需求，以有效转移和控制用电负荷，抑制电价峰值的出现，同时提升所有市场参与者的经济效益<sup>[13-14]</sup>。目前一些居民小区虽然已实行峰谷电价，但民意调查显示，其对电动汽车充电的引导效果并不理想，谷期电力资源实际利用率仍然较低。目前更多的小区分时电价是固定不变的，其峰谷时刻和电价不随现实状况发生转移和改变，其灵活性和引导性会相对较弱，如能随着电动汽车的普及和电池成本的下降，在今后运作时能将电动汽车的储能特性考虑在内，有希望得到更好的效果<sup>[15]</sup>。

### 3.2 基于激励的需求响应

基于激励的需求响应主要通过充电运营商和电网公司之间的协议来实现。对于运营方来说，其主要盈利来源于充电服务费的收取，而电费在运营支

出中占比最大，降低电费支出是充电运营商提高盈利能力首要考虑的问题。正是基于这一根本点，对于将充电负荷控制在电网健康运行的范围内的充电运营商，电网给予激励奖励，运营商再将奖励分享给用户，从而实现上下游的需求传递与响应过程。相比于硬调控的强制执行和软调控的分时电价，基于激励的响应允许运营方有更多自主调度空间，策略上更灵活，与配合的算法模型相结合，能通过功率预约与实时调节等多种方式，控制负荷平衡的同时实现充电收益最大化。

## 4 有序群控充电系统

### 4.1 有序群控充电系统架构

有序群控充电系统主要由两个方面构成，一个是电力的流动控制，另一个是通信的传递控制。通过在台区变压器的低压侧接入一个配电监测设备，实时采集台区当前总负荷，并通过 4G 通信上传到具有有序控制算法模型的充电云平台(能源管理系统)，云平台则根据预先设定的策略，计算并安排单个群充系统的可用充电余量，避免过载等安全风险。平台下发的指令会通过以太网、4G、PLC 等方式传递到群充系统的操作终端，操作终端再根据用户侧的需求及设定策略将充电功率下发到每一个充电终端。

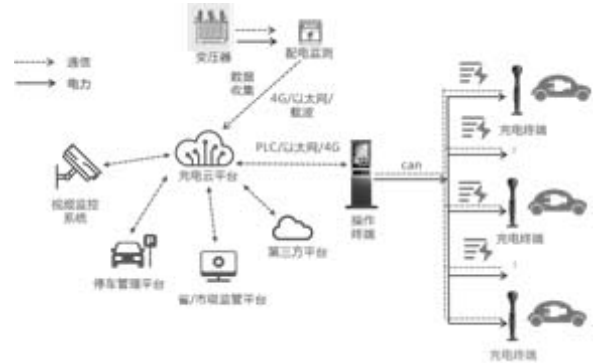


图 2 有序群控充电系统架构

Fig. 2 Architecture of ordered group-controlled charging system

### 4.2 有序群控充电系统优势

该系统采用群充与能源管理系统相结合的方式，具有系统冗余小、稳定性高的特点，且相比与单桩直连的平台有着更好的经济优势。同时群控的模式也具有搭载边缘计算，为后续扩展接入更多桩体，提供深度机器学习以实现算法优化，提高调度精度，为实现更高层次的智能运维打下了基础。采用有序群控充电系统，能较大地提高单桩利用率，同时标准配置统一降低了接口数量，易于管理和维护，在搭载边缘计算时还可减轻平台负担。



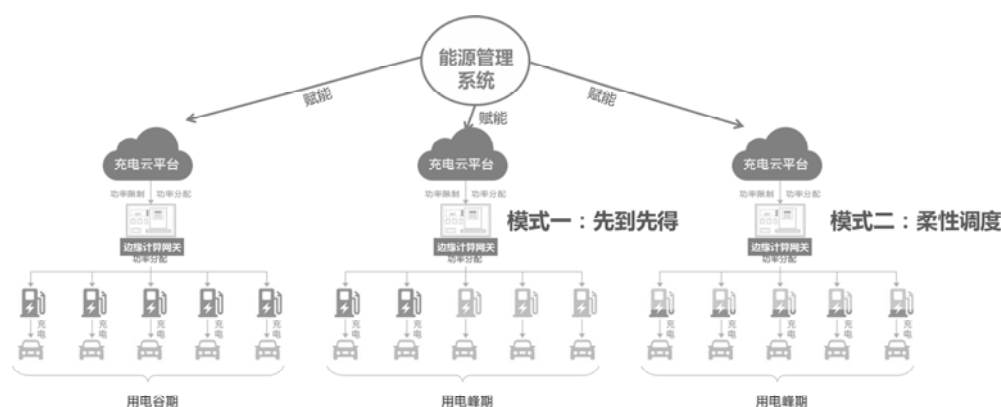


图3 有序群控充电系统响应策略

Fig. 3 Response strategies of ordered group control charging system

## 5 结论

本文分析了电动汽车及充电行业发展的情况和未来趋势,通过分析充电领域涉及的充电用户、电力资源供应方、充电服务运营商以及与建设投资相关的地产开发商四个主体间的不同需求,提出了当前充电发展存在的问题及原因。提出采用基于激励的需求响应策略,建立该场景下的算法模型,通过配电监测实时采集台区负荷,同时根据算法将剩余功率分配到群控充电系统的内部,该系统冗余度小、稳定性高、运营维护方便,且后续可扩展边缘计算和优化模型,实现更高层次的智能运维。

## 参考文献

- [1] 广州市人民政府. 广州市新能源汽车发展工作方案(2017—2020年)[S]. 2017.
- [2] 包广清, 袁怡, 杨军, 等. 电动汽车充放电行为对电网负荷特性的影响[J]. 兰州理工大学学报, 2015, 41(5): 84-90.  
BAO Guangqing, YUAN Yi, YANG Jun, et al. Impact of charging-discharging behavior of electric vehicles on power grid load characteristics[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2015, 41(5): 84-90.
- [3] 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.
- [4] 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 Xiaomin. Impacts of electric vehicles charging on distribution grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(17): 38-43.
- [5] 杨田, 刘晓明, 吴其, 等. 电动汽车充电站选址对电压稳定影响的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(5): 31-37.  
YANG Tian, LIU Xiaoming, WU Qi, et al. Research on impacts of electric vehicle charging station location on voltage stability[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(5): 31-37.
- [6] 张涛, 张东方, 王凌云, 等. 计及电动汽车充电模式的主动配电网多目标优化重构[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(8): 2-9.  
ZHANG Tao, ZHANG Dongfang, WANG Lingyun, et al. Multi-objective optimization of active distribution network reconfiguration considering electric vehicle charging mode[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(8): 2-9.
- [7] 费春国, 王鹏鹏. 智能有序充电控制系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(9): 135-139.  
FEI Chunguo, WANG Pengpeng. System design of the intelligent orderly charging control[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(9): 135-139.
- [8] 国家能源局: 公共充电桩利用率不足15%[J]. 变频器世界, 2018(2): 34-34.
- [9] 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.
- [10] 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 Ju'ai, 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.
- [11] 南思博, 李庚银, 周明, 等. 智能小区可削减柔性负荷实时需求响应策略[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(10): 42-50.
- NAN Sibao, LI Gengyin, ZHOU Ming, et al. Real-time demand response of curtailable flexible load in smart residential community[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(10): 42-50.
- [12] 张硕. 基于需求响应的电动汽车有序充电策略的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2018.
- ZHANG Shuo. Research on ordered charging strategy of electric vehicle based on demand response[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2018.
- [13] 王彪, 尹霞. 实时电价下含 V2G 功能的电动汽车理性充放电模型及其分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(24): 90-96.
- WANG Biao, YIN Xia. Modeling and analysis on the rational charging and discharging of electric vehicle with V2G function under real-time prices[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(24): 90-96.
- [14] 苏舒, 李培军, 严辉, 等. 基于 Hotelling 模型的充电服务费双寡头联盟定价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(11): 133-142.
- SU Shu, LI Peijun, YAN Hui, et al. Pricing method of charging service fee duopoly alliance based on Hotelling model[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(11): 133-142.
- [15] 严俊, 严凤. 峰谷分时电价背景下的居民电动汽车有序放电策略[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(15): 127-134.
- YAN Jun, YAN Feng. An orderly charging and discharging strategy for residential electric vehicles based on peak-valley electricity tariffs[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(15): 127-134.

---

收稿日期: 2019-08-31

作者简介:

李 璞(1978—), 男, 硕士, 中级工程师, 研究方向为新能源汽车供电、储能系统等; E-mail: Lipu1@szclou.com

贾心怡(1991—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为新能源汽车供电。E-mail: jiaxinyi@szclou.com