

# 车网互动的实践进展与框架设计

龚成明, 韩亚宁

(南京德睿能源研究院有限公司, 江苏 南京 210000)

**摘要:** 随着电动汽车爆发式的增长, 电动汽车无序充电给电网带来压力, 车网互动控制成为热门话题, 近年来国内外也有不少车网互动的实践。列举了车网互动的几种典型实践场景与方法, 并对车网互动的整体框架进行了设计和展望。

**关键词:** 车网互动; V2G; 协调控制; 电动汽车; 聚合

## On the practical progress and framework design of vehicle to grid

GONG Chengming, HAN Yaning

(DERI Energy Research Institute Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

**Abstract:** With the explosive growth of electric vehicles, the disorderly charging of electric vehicles puts pressure on the power grid, and the interactive control of the Vehicle to Grid (V2G) has become a hot topic. In recent years, there have been many practices of V2G at home and abroad. This paper summarizes several typical practical examples and methods of V2G, and then presents the designs and prospects of the overall framework of V2G.

**Key words:** vehicle to grid; V2G; coordination control; electric vehicles; aggregation

## 0 引言

21世纪以来, 我们面临着前所未有的能源和环境危机, 随着技术发展, 电动汽车作为新能源汽车, 将成为广泛使用的新兴清洁交通工具<sup>[1-2]</sup>。尤其近段时间以来, 电动汽车的续航里程已经接近普通燃油车水平, 安全性方面也有显著提升, 解决了普通用户对于里程和安全性的焦虑, 电动汽车得到大发展。然而, 大量电动汽车并网后必然对电力系统的运行和规划产生影响, 导致负荷增长, 峰上加峰。无序充电使得电网运行优化控制难度增加, 并影响电能的质量<sup>[3-7]</sup>。另外研究表明, 电动汽车随机并入电网时将不可避免地给电网带来大量谐波污染<sup>[8-11]</sup>。基于此, 关于电动汽车与电网协同互动, 进行有序充电显得十分必要。目前关于车网互动也有很多的研究进展, 文献[12]指出, 当电动汽车参与电网互动, 不仅能够为电网提供调峰调频等辅助服务, 提高基荷机组利用率, 保障电网运行的安全性和可靠性, 还能够提高电网消纳可再生能源的能力, 实现新能源车充新能源电, 提高电网运行的经济性。文献[13]介绍了电动汽车与电网互动(V2G)的关键技术, 认为实现车网互动的关键问题在于调控技术、市场机制、技术设施三个方面。对于电动汽车并入电网后

的调度与控制, 有学者提出基于V2G技术的电动汽车实时调度策略<sup>[14]</sup>, 以降低充电成本和网损为目标, 建立电动汽车调度模型。文献[15-16]提出考虑电价因素的电动汽车互动策略, 结合电动汽车用户对充电价格的敏感性, 进行有序充电的引导来实现削峰填谷。文献[17]考虑了电动汽车对居民小区的配电影响, 对住宅小区电动汽车有序充电潜力进行评估, 认为电动汽车有序充电时能够提高小区配电网承载能力, 增加充电设施接入容量。

实际上, 在车网互动的理论研究和电动汽车增长带来的现实问题驱动下, 关于车网互动的实践已经开始, 但鲜有文章对此进行分析概述。笔者将对车网互动的实践进展进行概述, 以期从实践层呈现出电动汽车与电网互动的多种形式。文章基于实践提出了车网互动的框架设计, 并对未来微网化的就地互动控制进行了展望。

## 1 车网互动的实践

理论与实践往往是统一的, 理论研究支撑实践的落地, 而实践则能够很好地检验和促进理论研究。本文首先阐述车网互动过程中几种典型的实践示例, 以切实的实践应用场景和应用效果给读者带来更为真切的感觉。

### 1.1 峰谷价差的公交充电调度

分时电价表现了电网最基本的用电负荷调节需求, 对于大量电动汽车聚合体而言, 通过峰谷价差能够实现充电的经济性, 因此产生了基于分时电价的电动汽车充电策略研究成果和应用。文献[18]中根据公交车辆的运行规律和充电特性, 利用电网的分时电价政策, 有效地降低了充电站的充电费用。文献[19]中提出了基于分时电价的电动汽车多目标优化充电策略, 通过建立电动汽车集中充电的多目标优化调度模型, 使得充电成本最小化。

关于基于峰谷价差的公交充电调度应用, 目前有以下技术突破, 如流程图 1 所示。

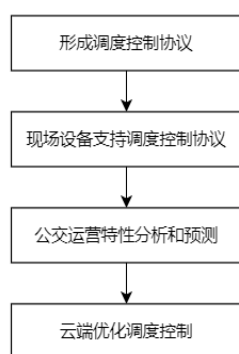


图 1 公交充电调度流程图

Fig. 1 Flow chart of bus charging dispatch

1) 形成了支持功率、SOC 等目标的调度控制协议, 云端可通过该协议将控制命令下发到充电桩终端进行车辆的充电电流控制;

2) 通过对现场设备软件的升级, 使得大量电动汽车充电桩设备支持如 1) 所述的控制协议;

3) 基于大数据分析公交车辆的运营特性和充电特性, 并基于此对公交车辆的出行需求进行精准预测;

4) 云端部署优化调度的算法, 通过采集各充电车辆的实时充电信息, 并结合如 3) 所述的预测信息进行云端优化计算, 得到各电动汽车当前最优充电计划。

以上技术突破使得整个调度流程在云端自动执行, 消除了人工定时开启充电进行峰谷套利的人力成本, 公交车司机停车后, 插枪即可在电价高峰期限制充电, 低谷期开启充电。另外, 对公交运营特性的分析和出行计划的预测来确定调度的约束条件, 使得调度过程能够满足车辆正常运营需求。

### 1.2 台区充电调度

随着局部地区用电需求的增长, 用电时间和空间上的随机性, 某些供电台区往往会出现这样的问题:

- 1) 一些有充电需求的场所, 变压器增容困难;
- 2) 原有变压器用电峰谷差非常大, 利用小时数很低;
- 3) 如果简单增设充电设施, 高峰充电时段将引起过载。

针对以上问题, 通过复用 1.1 节中所述的调度控制协议, 并获取变压器的负载率作为调度决策的约束条件, 当充电负荷过高且接近变压器容量时, 主动降低车辆充电功率, 保持变压器安全稳定运行。

台区充电调度的首要目标就是保护变压器, 通过优化调度, 避免增加充电设施后变压器过载的情况, 有效提高了变压器负载率和利用率。

### 1.3 聚合电动汽车参与调峰辅助服务

基于峰谷电价响应的调度策略对于电网运行来说不够精细, 难以缓解日益增大的电网调峰压力。而传统调峰机组的调峰能力已经有了上限, 电动汽车聚合体作为规模庞大的负荷侧资源, 具备一定的调峰能力。目前, 电网也在积极挖掘包含电动汽车在内的负荷侧资源参与电力调峰辅助服务。

聚合电动汽车参与调峰辅助服务, 聚合商首先与电网调度中心建立信息交互通道, 进行实时数据交互, 电网通过下发调度指令的形式对聚合的充电资源进行总体控制, 调度指令由聚合商分解执行, 来满足电网的调峰需求。

以华北地区为例, 冬季京津冀北地区由于供暖期燃煤机组运行率高, 夜间风能发电量大, 导致地区在夜间时段有较大的调峰压力。而华北地区有 40 万辆电动汽车, 总容量约 180 万千瓦, 华北电网鼓励第三方主体通过聚合的方式, 对分散的电动汽车充电负荷进行控制和引导, 并在 2019 年首次开展含负荷侧聚合商主体在内调峰市场, 促进新能源消纳 1 958 万千瓦时, 减少了弃光弃风, 缓解调峰压力, 实现了电网、发电企业、负荷聚合商、终端用户的多方共赢。

### 1.4 分区聚合参与互动控制与需求响应

一个省市级地区内往往是局部地区出现供电压力大的情况下, 总体聚合调度时难以满足各区域的调峰调频和需求响应。为消除或缓解局部地区用电的过载、重载问题, 因而演化出分区聚合电动汽车来接受电网调度的方案, 聚合商将每个区域作为一个聚合单元, 电网可按实际需求对其中一个或几个聚合单元进行控制。

这种方案目前在青岛地区已经开始实施, 电动汽车作为负荷侧资源, 由负荷聚合商按供电台区聚合起来参与泛在物联互动控制, 接受电网调度指令。分区的控制更精细更灵活, 具体区域的划分可按电

网实际调度需求而定,满足电网的精细化调度需求。

### 1.5 特定品种中长期电力交易

目前,我国新能源并网装机和消纳总量高速增长,但存在地域上、时间上的不平衡性,能源供给与能源需求的矛盾突出,部分地区出现弃风、弃光、弃水的问题<sup>[20]</sup>,因此绿电交易需求明显,交易的价格空间很大。

实际上,一定规模的充电负荷聚合后具有较强的总体规律,考虑日期、天气等因素可实现较高的用电量预测精度,能够参与中长期电力交易,消纳本地区或跨省的绿色低价电力,经济环保。目前,国内各地区均有中长期电力交易市场组织或开展,近期云南省出台的《云南电力中长期交易实施细则》(征求意见稿),明确提出要坚持节能减排和清洁能源优先上网,促进清洁能源生产和消纳。充电运营商作为电力大用户,在满足准入条件的情况下结合用电需求预测参与绿电中长期电力交易,可在低价购电的同时促进消纳新能源电力,实现新能源车充新能源电。例如,西南地区夏季丰水期水电富余,四川省开展了富余电量和低谷弃水等交易品种,若结合充电负荷时间特点合理参与,既能够帮助消纳水电,又能够显著降低电动汽车用能成本。

## 2 车网互动框架初探与展望

在理论研究和实践应用的基础上,给出车网互动的框架,即车网互动包含信息交互、价值交互、能量交互三个方面,以能量交互为最终目的,以技术条件作为支撑,并将聚合层作为交互的中间桥梁,在此基础上需要完善的市场化交易体系。同时,随着微电网的发展,微网化的就地调控也将是未来车网互动的重要一环。

### 2.1 具备支持能量交互的基础

车网互动的最终目的是能量的交互,而能量交互则以价值交互、信息交互和技术支撑为前提条件,具体如下:

1) 价值交互是能量交互的强心剂,只有建立完善的市场激励机制,才能充分调动各方参与电力互动与交易的积极性,也才能维持交易的持久性。

2) 信息交互是能量交互的载体,如图2所示,这种交互是多边的,电网将控制需求作为控制指令下发给负荷聚合商,聚合商控制所聚合的各电动汽车单体,同时采集电动汽车充电信息,并上送给电网,由电网对聚合商的调度效果进行考核,并进行收益结算。

3) 技术支撑是能量交互的必要条件。如何打通电网调控中心与负荷聚合商的信息交互通道,进行

安全高效的数据交互;如何对电网调度指令进行分解,优化各电动汽车单体的充电功率;如何与底层设备交互,实施对车辆的精准、快速的控制;以及动力电池技术经济特性的提升等,都是车网互动时必须解决的技术问题。

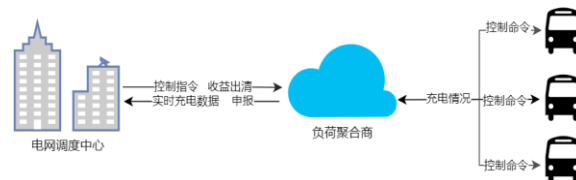


Fig. 2 Interactive schematic diagram of aggregator and power grid

### 2.2 聚合层作为中间桥梁

车网互动过程中,负荷聚合商层面起到至关重要的作用。首先,单个充电用户对移动储能的价值不敏感,难以发挥电动汽车的调节价值,负荷聚合商作为电网与终端用户之间的桥梁,组织电动汽车作为聚合体参与电网互动,并通过控制或营销手段引导电动汽车进行依电网需求的有序充电,能量巨大。同时,聚合层能够消除电网对大规模电动汽车直接实施控制时的调度压力与权责问题,能快速高效地将电动汽车这种移动式储能聚合起来接受电网调度。

### 2.3 制定与完善市场化交易体系及规则

目前,华北调峰市场作为国内首个第三方主体,参与的负荷侧资源接入电网调峰并实际结算的辅助服务市场,带动了整个电力辅助服务市场化交易体系的建设。近期江苏等地也有就负荷侧资源参与调峰的市场规则出台并向公众征求意见。推进建设市场化交易体系,电网侧应进一步开展现货、中长期、辅助服务等多品种交易市场,深化制定市场规则,完善交易机制,并积极吸纳第三方交易主体的建议和意见,逐步形成完善的市场化交易体系。

### 2.4 展望—微网化就地调控

随着清洁能源的推广和用户用电经济性需求,由分布式光伏、储能、负荷等组成的微电网开始普及,电动汽车作为移动负荷和电源,也是微电网的重要组成部分。文献[21]考虑了电动汽车有序充电对微电网优化配置的影响,认为降低了微电网的规划成本和用户的充电费用。近期有不少关于包含电动汽车在内的微电网多源协调控制理论和技术的研究。将电动汽车及其充电设施融入微电网,通过就地配置光伏、储能,提供微网化的运行控制能力,就能实现在用户侧的就地互动控制,并在条件允许

时给电网提供高效的调峰调频等辅助服务。

### 3 结论

随着电动汽车爆发式的增长, 居民、工商业用电负荷不断提升, 局部时间和空间范围上用电负荷和发电能力的矛盾加大, 电力系统面临严重的挑战。2020年冬天湖南省就出现了电力供应不足的问题, 挖掘负荷侧资源进行有序充电, 尤其是聚合大量电动汽车进行车网互动控制, 可以说迫在眉睫。本文从应用层面介绍了车网互动的几种模式与案例, 突出体现了车网互动的应用价值和效果, 并对车网互动的框架设计进行了初步探讨, 提出车网互动时支持能量交互的基础条件是利益的交互、信息的交互和技术的支撑, 并以聚合层作为中间桥梁, 在此基础上需要建立完善的市场化交易体系。

### 参考文献

- [1] 胡棚湫, 谭泽富, 邱刚, 等. 电动汽车发展综述[J]. 电气应用, 2018, 37(20): 79-85.  
HU Pengqiu, TAN Zefu, QIU Gang, et al. Overview of electric vehicle development[J]. Electrotechnical Application, 2018, 37(20): 79-85.
- [2] 陈典桢. 电动汽车发展现状及前景分析[J]. 科学时代, 2014(7): 1-2.  
CHEN Dianzhen. Analysis on the development status and prospect of electric vehicles[J]. Kexue Shidai, 2014(7): 1-2.
- [3] BRADLEY T H, C W QUINN. Analysis of plug in hybrid electric vehicle utility factors[J]. Journal of Power Sources, 2010, 195(16): 5399-5408.
- [4] MOHSENI P, STEVIE R G. Electric vehicles: holy grail or fool's gold[C] // 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting, July 26-30, 2009, Calgary, AB, Canada: 1-5.
- [5] ANDERSEN P H, MATHEWS J A, RASK M. Integrating private transport into renewable energy policy: The strategy of creating intelligent recharging grids for electric vehicles[J]. Energy Policy, 2009, 37(7): 2481-2486.
- [6] 王金行, 赵生传, 刘远龙, 等. 电动汽车充电对区域电网电能质量的影响[J]. 山东电力技术, 2012(2): 16-20.  
WANG Jinxing, ZHAO Shengchuan, LIU Yuanlong, et al. The analysis on the influences of electrical vehicle charging to regional grid power quality[J]. Shandong Electric Power, 2012(2): 16-20.
- [7] 何若太, 刘澄, 王颖, 等. 基于出行链的电动汽车无序充电对配电网影响的时空特性分析[J]. 电气应用, 2018, 37(21): 31-37.  
HE Ruotai, LIU Cheng, WANG Ying, et al. Analysis of the spatio-temporal characteristics of the impact of disordered charging of electric vehicles on the distribution network based on the travel chain[J]. Electrotechnical Application, 2018, 37(21): 31-37.
- [8] 李娜, 黄梅. 不同类型电动汽车充电机接入后电力系统的谐波分析[J]. 电网技术, 2011, 35(1): 170-174.  
LI Na, HUANG Mei. Analysis on harmonics caused by connecting different types of electric vehicle chargers with power network[J]. Power System Technology, 2011, 35(1): 170-174.
- [9] 黄梅, 黄少芳. 电动汽车充电站谐波的工程计算方法[J]. 电网技术, 2008, 32(20): 20-23.  
HUANG Mei, HUANG Shaofang. A harmonic engineering calculation method for electric vehicle charging station[J]. Power System Technology, 2008, 32(20): 20-23.
- [10] GOMEZ J C, MORCOS M M. Impact of EV battery chargers on the power quality of distribution systems[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2003, 18(3): 975-981.
- [11] CHAN M S W, CHAU K T, CHAN C C. Modeling of electric vehicle chargers[C] // Industrial Electronics Society, 1998.IECON'98. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE, 1998: 433-438.
- [12] 潘巍, 刘瑜俊, 徐青山, 等. 电动汽车与电网互动协调控制策略研究综述[J]. 电力需求侧管理, 2013, 15(4): 6-10.  
PAN Wei, LIU Yujun, XU Qingshan, et al. Review of coordinated control strategy between electric vehicle and power grid[J]. Power Demand Side Management, 2013, 15(4): 6-10.
- [13] 胡泽春, 占恺峤, 徐智威, 等. 电动汽车与电网互动的关键问题分析与展望[J]. 电力建设, 2015, 36(7): 6-13.  
HU Zechun, ZHAN Kaiqiao, XU Zhiwei, et al. Analysis and outlook on the key problems of electric vehicle and power grid interaction[J]. Electric Power Construction, 2015, 36(7): 6-13.
- [14] 陈凯炎, 牛玉刚. 基于 V2G 技术的电动汽车实时调度策略[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(14): 1-9.  
CHEN Kaiyan, NIU Yugang. Real-time scheduling strategy of electric vehicle based on vehicle-to-grid application[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(14): 1-9.
- [15] 陈静鹏, 艾芊, 肖斐. 基于集群响应的规模化电动汽车充电优化调度[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(22): 43-48.  
CHEN Jingpeng, AI Qian, XIAO Fei. Optimal charging scheduling for massive electric vehicles based on cluster response[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016,

- 40(22): 43-48.
- [16] 吴晨曦, 张杰, 张新延, 等. 考虑电价影响的电动汽车削峰填谷水平评价[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(17): 14-22.  
WU Chenxi, ZHANG Jie, ZHANG Xinyan, et al. Load shifting level evaluation of EVs in the different energy price environment[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(17): 14-22.
- [17] 陈旭, 杨柳, 杨振刚, 等. 住宅小区电动汽车有序充电潜力评估[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(2): 122-128.  
CHEN Xu, YANG Liu, YANG Zhengang, et al. Assessment of orderly charging potential of electric vehicles in residential areas[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(2): 122-128.
- [18] 杨梦楠, 陈华杰, 胡佳慧. 一种分时电价的公交充电经济调度方法及系统: 中国, CN201811619365.7[P]. 2020-04-17.  
YANG Mengnan, CHEN Huajie, HU Jiahui. An economic dispatching method and system for bus charging with time-of-use electricity price: China, CN201811619365.7[P]. 2020-04-17.
- [19] 佟晶晶, 温俊强, 王丹, 等. 基于分时电价的电动汽车多目标优化充电策略[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 17-23.  
TONG Jingjing, WEN Junqiang, WANG Dan, et al. Multi-objective optimization charging strategy for plug-in electric vehicles based on time-of-use price[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(1): 17-23.
- [20] 舒印彪, 张智刚, 郭剑波, 等. 新能源消纳关键因素分析及解决措施研究[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(1): 1-9.  
SHU Yinbiao, ZHANG Zhigang, GUO Jianbo, et al. Study on key factors and solution of renewable energy accommodation[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(1): 1-9.
- [21] 丁明, 史盛亮, 潘浩, 等. 含电动汽车充电负荷的交直流混合微电网规划[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(1): 32-38.  
DING Ming, SHI Shengliang, PAN Hao, et al. Planning of AC/DC hybrid microgrid with integration of electric vehicles charging load[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(1): 32-38.

收稿日期: 2020-12-29; 修回日期: 2021-01-04

作者简介:

龚成明(1977—), 男, 硕士, 研究员级高级工程师, 研究方向为电网运行控制、微电网系统和综合能源管理等;  
E-mail: gongchengming@deri.energy

韩亚宁(1995—), 男, 通信作者, 本科, 软件开发工程师, 研究方向为充电能量管理、充电负荷调控与市场化交易领域。E-mail: hynkoala@163.com