

中国 V2G 关键技术及其发展对策研究*

赵世佳¹ 刘宗巍² 郝瀚² 赵福全²

(1.中国电子信息产业发展研究院,北京 100048;2.清华大学,汽车产业与技术战略研究院 汽车安全与节能国家重点实验室,北京 100084)

【摘要】对 V2G 技术进行了分析,介绍了其主要功能、关键技术与社会经济效益。对美国、日本和欧洲 V2G 技术的发展现状进行了梳理,指出了国外出台多方面举措加快 V2G 技术发展和商业化应用。分析了中国发展 V2G 技术的瓶颈问题,最后从顶层设计、关键技术、发展环境等方面提出了中国加快发展 V2G 技术的对策建议。

关键词:汽车产业 V2G 技术 电动汽车

中图分类号:T-9

文献标识码:A

DOI: 10.19620/j.cnki.1000-3703.20180512

Research on V2G Key Technology and Development Countermeasures in China

Zhao Shijia¹, Liu Zongwei², Hao Han², Zhao Fuquan²

(1. China Center for Information Industry Development, Beijing 100048; 2. Automotive Strategy Research Institute, State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084)

【Abstract】V2G technology was analyzed, its main function, key technologies and social & economical benefits were introduced in this paper. The development situation of V2G technology in the US, Japan and Europe was outlined. It was indicated in the paper that many foreign countries introduced various measures to accelerate the development and commercial application of V2G technology. The bottleneck that hindered the development of V2G technology in China was analyzed. In the last part of the paper, some countermeasures for accelerating the development of V2G technology in China were presented in top-down design, key technology and development, etc.

Key words: Automotive industry, V2G technology, Eclectic vehicle

1 前言

全球汽车产业已进入节能低碳发展阶段,发展新能源汽车成为各国汽车产业的战略方向^[1-3],对于我国建设和谐汽车社会和构建汽车强国也具有重要意义^[4]。车辆和电网互动(Vehicle-to-Grid, V2G)技术是将电动汽车车载电池作为分布式储能单元,实现车辆和电网之间能量与信息双向传递的技术。应用 V2G 技术可使无序充电转变为有序充电,并将电动汽车作为移动的、分布式储能单元接入电网^[5]。同时, V2G 技术将在可再生能源大规模电力接入方面发挥重要作用,减少火电或其他常规机组的备用容量,提高供电稳定性^[6],降低电网在备

用容量和设备改造等方面的投资^[7],带来可观的社会效益和经济效益。2017年,我国新能源汽车保有量达到153万辆,我国作为全球最大的新能源汽车市场,具有发展 V2G 技术的基础优势。

近年来,国内外学者针对 V2G 技术开展了大量的研究工作。翁国庆等分析了同时引入私家电动车电池集群、公交电动车电池集群和梯次利用电池集群与微网 V2G 服务的方案,提出了各集群 V2G 可用容量的实时评估模型,为微网系统制定能量优化调控策略提供支撑^[8]。刘晓飞提出了一种基于蒙特卡洛仿真的电动汽车 V2G 负荷时空分布的预测方法,构建了电动汽车参与 V2G 服务的过程中实现用户收益最大化的分析模

*基金项目:中国工程院咨询项目(2015-XZ-36);国家自然科学基金重点项目(U1764265);

国家自然科学基金青年科学基金项目(71403142)。

型^[9]。项顶等结合用户起始充、放电时刻的泊松分布特性,建立了以电网总负荷波动最小为目标,以满足用户充放电时间、充放电需求等为约束条件的V2G最优峰谷电价模型,并以京津唐电网为例,进行了案例分析^[10]。李志伟等提出了满足电动汽车电池约束、电网约束和车主约束基础上的电动汽车分布式储能的控制策略,可显著提高可再生能源可调度性,大幅降低电动汽车充、放电切换次数,并且减缓动力电池寿命的衰减^[11]。利用V2G技术可带来可观的经济效益, Noel 和 McCormack 通过燃油客车和电动客车对比,指出采用V2G技术可以大幅节约使用成本^[12],且通过电动汽车调节电力系统的波峰可明显降低电力系统的运营成本^[13]。文献[14]对消费者对于V2G的支付意愿进行了情景分析,结果显示短期内支付意愿仍然较低,主要原因是电动汽车的里程焦虑、高昂的电池成本以及严苛的V2G协议。Elpiniki 等对电动汽车充、放电损失进行了测量,分析了电网集成车辆系统的功率损耗,为充电系统的高效设计提供了参考^[8]。Yosef等在文献[15]的研究基础上,提出了V2G效率和经济分析模型^[16]。

Han 指出,隐私是目前V2G技术发展的一大障碍,包括匿名身份验证、位置隐私、识别隐私、隐藏数据汇总、隐私保护计费 and 支付、隐私保护数据发布等,并提出了具体解决方案^[17]。

本文重点探讨了V2G技术的主要功能,分析了美国、日本和欧洲等国家和地区V2G技术的进展情况,对中国发展V2G技术的现状和问题进行了梳理,并提出了有针对性的对策建议。

2 V2G技术的主要功能及国外布局分析

2.1 V2G技术的主要功能

V2G技术可实现信息与能量双向、实时、可控、高速地在车辆和电网之间流动,其应用将使电动汽车“无序”充电转变为“有序”充电,并将电动汽车作为移动的、分布式储能单元接入电网,用于平抑负荷峰谷、提高电网调频效率、保证关键负载正常运行等方面,在提高电网安全性、稳定性、可靠性和能源利用效率的同时,延缓电网建设投资。智能电网为电动汽车与电网间的互动提供应用平台,V2G的组成部分主要包括电动汽车、能源供应商、电网运营商、移动运营商、用户等,如图1所示。

作为综合应用技术,V2G在可再生能源大规模电力接入方面发挥显著作用,其主要功能与效益如表1所示。

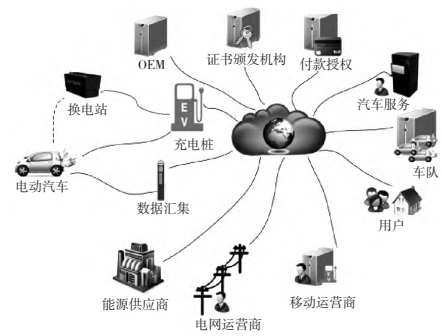


图1 V2G架构及组成部分^[18]

表1 V2G技术功能及效益

| 功能 | 效益 |
|---------------------|--------------------------|
| 削峰填谷,平抑电网负荷,减少对电网冲击 | 提高设备利用效率,降低电网运行成本 |
| 调节频率,根据电网需求进行调频 | 减少电网对发电机组的调频容量需求和支付的调频成本 |
| 旋转备用,在发电系统中提供同步容量 | 减少电网对发电机组的备用容量需求和备用成本 |

V2G的关键技术主要包括高性能双向充放电技术、面向能源互联网的电动汽车充放电智能互动调度技术、大规模化电动汽车有序充电管理技术、电动汽车充放电运行安全测试技术、高级智能量测体系和双向通信技术。

2.2 国外V2G技术布局分析

2.2.1 美国政府高度重视V2G技术

美国特拉华大学是V2G技术研究的先驱,最早提出V2G概念。2009年,美国政府拨款3000万美元(约合2.05亿元人民币)资助福特与公用事业部门合作,推动电动汽车与电网整合示范项目^[19]。科研院所也积极参与V2G技术研究,2014年,美国西南研究院推广了第一代V2G集中管控系统,用于管理控制大批量电动汽车的充电操作,通过分析电网的负荷程度自动推迟汽车充电时间,该系统的诞生标志着支持稳定电能输送的技术已走向成熟。2016年,美国出台《促进电动汽车和充电基础设施指导原则》,鼓励创新V2G应用模式。目前,美国V2G技术已成熟,进入智能充电和电网互动的应用模式探索阶段。

2.2.2 日本致力于研发商业化V2G系统

日本出台多项政策及举措支持V2G技术发展,已实现V2G技术小范围应用示范。2010年发布《日本新一代汽车战略》,提出将汽车的定位由单一车辆延伸至网络化的系统,强调开发和推广可双向输电的V2G技术。同年,以5000家用户为对象,日本启动了智能仪表使用方面的试验。2016年,日本颁布《纯电动汽车与插电式混合动力汽车路线图》,提出建立全国范围内电动

汽车商业化V2G应用体系。

2.2.3 欧洲多国启动V2G技术研发

目前,欧洲V2G技术联合研发进入实质阶段,探索商业化运营模式成为重点。2016年,德国政府投入10亿欧元(约合75亿元人民币)的补助资金支持电力公司和汽车企业研发V2G技术,发挥电动汽车作为储能单元的功能。2017年5月,意大利电力公司、日产与意大利技术研究院三方签订合作协议,共同推动V2G技术研发;7月,英国政府宣布出资2000万英镑(约合1.77亿元人民币)推动V2G技术发展,促进电动汽车在平抑电网负荷方面发挥更大作用。

3 中国V2G技术发展现状及主要瓶颈

3.1 发展现状

电动汽车市场规模逐步扩大和动力电池技术的迭代升级为V2G技术的发展奠定了良好的基础,近年来,在车辆与电网互动方面,我国在政府规划、技术研究、企业层面积极开展多方面工作。

在政府规划层面:国务院发布的《关于电动汽车充电设施建设的指导意见》提出大力推进“互联网+充电基础设施”,促进电动汽车与智能电网间能量和信息的双向互动;国务院发布的《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》强调开展电动汽车电力系统储能应用技术研发,实施分布式新能源与电动汽车联合应用示范,推动电动汽车与智能电网、新能源、储能、智能驾驶等融合发展;工业和信息化部、发展改革委、科学技术部近期联合发布的《汽车产业中长期发展规划》指出,探索新能源汽车与可再生能源、智能电网的深度融合和协同发展的商业化推广模式。

在技术研究层面:国家科技部、能源局、清华大学等相关单位已经对V2G技术开展了多个项目的立项研究;国家863项目“电动汽车与电网互动技术研究”建立了电动汽车与电网互动试验验证系统,并依托大连城西充电站实现了示范应用;“电动汽车充放电及与电网互动关键技术”致力于提高电动汽车与电网的互动性与便捷性,加快电动汽车与智能电网行业的发展;国家能源局项目“电动汽车与电网双向交互终端及电动汽车智能充放电控制系统研究”提出了规模化电动汽车智能充放电控制策略,分析了电动汽车与电网互动的可行性;清华大学对电动汽车与电网互动最优峰谷电价、电动汽车充放电对电网影响等问题开展了深入研究。

在企业进展层面:国家电网积极推动V2G领域发展以及能源互联网技术创新,开展了利用电动汽车参与

电网调频,提高电网运营稳定性的研究;南方电网将电动汽车和电网互动技术列为智能电网关键技术研究方向,提出了电动汽车与电网互动的统一架构,并对电动汽车与电网的通讯结构和控制策略进行了探讨;上汽集团长期致力于V2G领域的研究,2010年在上海世博园区完成电动汽车与电网互动演示,目前与阳光电源联合研发基于V2G的新能源汽车能量管理技术^[5]。

3.2 主要瓶颈

3.2.1 缺乏顶层设计

中国具有针对性、系统性的车辆和电网互动战略及顶层设计尚未出台,缺乏国家整体的宏观战略引导,不仅制约了相关企业技术研发,在新能源汽车、智能网联汽车快速发展的变革期,更影响了V2G基础设施建设和布局。同时,在V2G领域尚没有统一的标准,不同的通信接口和协议阻碍了电网的统一协调调度,影响车辆与电网的交互。

3.2.2 关键技术储备不足

中国V2G领域的前瞻性技术研发、储备不足,关键技术停留在试验阶段,针对不同V2G目标的调控技术和控制策略仍然空缺。在面向能源互联网的电动汽车充放电智能互动调度技术、电动汽车充放电运行安全测试技术等方面有待突破,亟待加强电动汽车企业与电网企业的互动,进一步开展产业化研究。

3.2.3 市场环境仍待优化

V2G领域的商业模式和市场机制仍处于起步阶段。一方面,消费者对于将电动汽车电能反馈电网的意愿并不积极,回馈电网带来的额外收益与频繁充放电对电池寿命的影响还没有形成科学的评估结论;另一方面,对于消费者的参与程度考虑不足,电动汽车V2G功能宣传力度不够,消费者目前还没有关注到这一新兴领域,而未来V2G能否成功推行取决于消费者的参与意愿和参与数量。

中国V2G技术发展与国外对比分析见表2。

表2 国内外V2G技术差距

| | 顶层设计 | 关键技术 | 市场环境 |
|----|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 中国 | 尚未出台具体政策 | 技术进展相对缓慢 | 文化理念仍有待提升 |
| 国外 | 日本提出建立全国范围内电动汽车商业化V2G应用体系 | 美国V2G技术已成熟,欧洲V2G技术具备商业化条件 | 欧洲电动汽车消费者节能环保意识强,积极参与V2G活动 |

4 中国V2G技术发展的战略建议

随着能源革命的不断推进,V2G技术将成为将可再

生能源接入电网并充分发挥电动汽车储能特性的重要保障,本文分析认为,中国V2G技术发展应重点在顶层设计、突破关键技术、培育发展环境方面着重发力。

4.1 系统制定V2G领域顶层设计

第一,我国在建设智能电网进程中,应加紧制定V2G领域的发展战略规划,在战略方向、发展目标、重点任务等多方面做好顶层设计和前瞻布局,结合我国实际情况,谋划V2G技术商业模式,促进交通出行和电力系统的智能化、网联化、低碳化转型,实现多方共赢。第二,尽快研究出台电动汽车与智能电网融合的相关通信方式和标准,目前,制造企业充电设备的通信接口和协议各不相同,这为电网对电动汽车的统一调度带来很大的挑战,下一步应重点激励企业、高校、科研机构的创新意识,充分调动各方资源,推动电动汽车与电网互动的产学研深度合作,建立完整的通信传输体系,为V2G技术提供传输保障。第三,积极研究制定基于区块链技术的电能交易模式,区块链技术可以实现电能的数字化精准管理,通过去中心化的方式促进电能点对点交易,消费者可将家中太阳能板产生的过剩电力存储到电动汽车中并出售给其他家庭,以电动汽车分布式储能作为电网和可再生能源间的缓冲。

4.2 重点突破V2G关键技术

一是充分利用我国新能源汽车快速发展的有利条件,持续跟踪国外V2G领域技术研究进展情况。我国对V2G的研究前期主要侧重于可行性分析、整体结构的描述及各组成部分功能分析等,而对其具体的实现技术则涉及较少。因此,我国亟需加快布局V2G关键技术和基础研究,将V2G列入智能电网技术研发的重点,进一步加大资金支持,重点突破高效智能化双向充放电技术、充放电智能互动调度技术、有序充电管理系统等V2G关键技术。二是激励企业、高校、科研机构创新意识,充分协调电力企业、整车企业、零部件企业、互联网企业、科研院所等多方资源,通过技术创新中心、联合攻关小组等方式,促进V2G技术联合研发与应用相融合。三是加大首台(套)政策在V2G技术领域的实施力度,支持自主技术装备的研发和推广应用,我国首台(套)重大技术装备试验、示范项目实施多年,通过政策引导推动V2G技术的产业化进程,充分调动参与V2G重大技术装备创新的积极性,形成市场需求与研发示范相互促进、良性互动的格局。四是研究制定V2G技术应用示范发展计划,加强V2G技术应用场景的研究论证,加大对车辆和电网互动的支持力度,选择具有代表性的地区适时开展应用示范,以V2G技术为载体,促进

电动汽车、能源互联网、智能电网全方位融合发展。

4.3 积极培育V2G技术发展环境

首先,通过特许经营、股权合作等方式以及政府与社会资本合作(Public-Private Partnership, PPP)等模式吸引社会资本参与V2G技术研发及商业化推广应用,V2G技术是极具市场前景的前瞻性技术,需要企业投入大量的研发资金,充分发挥社会资本融资、专业、管理等优势。其次,将电动汽车参与电网电能调度的经济性进行情景分析并实现量化评估,对由技术改进给消费者带来的更大的经济利益及时公布于众,正确引导消费者参与V2G系统中电网调峰及电能交易活动。再次,建立与汽车使用能耗和污染排放挂钩的长效税收机制,如环境税、能源税、碳税等,引导电动汽车消费和可再生能源使用,同时增加传统燃油汽车的使用成本,进一步鼓励消费者购买和使用电动汽车,中央可以通过对示范省市以及示范运营项目给予综合奖励,鼓励相关省市将更多的资金用于V2G技术使用环境建设。最后,制定合理、精准的电价控制策略,充分利用闲置电动汽车储能能力以及对可再生能源入网造成扰动的平抑,提高电动汽车的社会利用效率,积极引导电动汽车用户深度参与V2G系统中电网调峰及电能交易活动。

5 结束语

作为综合应用技术,V2G具备削峰填谷、调节频率、旋转备用等功能,可实现车载电池与电网的能量与信息互动,进而在可再生能源大规模电力接入中发挥显著作用。近年来,美国、日本、欧洲等国家和地区政府高度重视V2G技术并从政策、财政等多方面提供支持,为推动V2G技术发展和商业化运营营造了良好的环境。我国尽管在多项政策文件中提及发展V2G技术,但仍缺乏系统性的战略支撑,在关键技术研发上进展相对缓慢,消费者端也没有建立起充分利用电能剩余价值的意识。综上,我国应重点加快布局V2G领域,系统开展V2G领域的顶层设计,重点突破V2G相关关键技术,积极培育V2G技术发展环境,依托新能源汽车发展的基础优势,加快推动V2G技术的研发和产业化进程。

参 考 文 献

- [1] 赵福全,刘宗巍,郝瀚,等.中国实现汽车强国的战略分析和实施路径[J].中国科技论坛,2016(8):45-51+76.
- [2] 赵世佳,赵福全,郝瀚,等.中国新能源汽车充电基础设施发展现状与应对策略[J].中国科技论坛,2017(10):97-104.
- [3] Hao H, Liu Z, Zhao F, et al. Scenario analysis of energy consumption and greenhouse gas emissions from China's

- passenger vehicles[J]. *Energy*, 2015, 91: 151–159.
- [4] Zhao S, Zhao F, Liu Z. The Current Status, Barriers and Development Strategy of New Energy Vehicle Industry in China[C]// International Conference on Industrial Technology and Management. IEEE, 2017: 96–100.
- [5] 国家电网公司营销部. 电动汽车智能充换电服务网络建设与运营[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [6] 许晓慧. 电动汽车及充换电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [7] 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.
- [8] 翁国庆, 张有兵, 戚军, 等. 多类型电动汽车电池集群参与微网储能的V2G可用容量评估[J]. *电工技术学报*, 2014, 29(8): 36–45.
- [9] 刘晓飞. 电动汽车V2G系统及充放电控制策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [10] 项顶, 宋永华, 胡泽春, 等. 电动汽车参与V2G的最优峰谷电价研究[J]. *中国电机工程学报*, 2013, 33(31): 15–25.
- [11] 李志伟, 赵书强, 刘应梅. 电动汽车分布式储能控制策略及应用[J]. *电网技术*, 2016, 40(2): 442–450.
- [12] Noel L, McCormack R. A Cost Benefit Analysis of a V2G-capable Electric School Bus Compared to a Traditional Diesel School Bus[J]. *Applied Energy*, 2014, 126: 246 – 255.
- [13] Weis A, Jaramillo P, Michalek J. Estimating the Potential of Controlled Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charging to Reduce Operational and Capacity Expansion Costs for Electric Power Systems with High Wind Penetration[J]. *Applied Energy*, 2014, 115: 190–204.
- [14] Hidrue M K, Parsons G R. Is There a Near-Term Market for Vehicle-to-Grid Electric Vehicles?[J]. *Applied Energy*, 2015, 151: 67–76.
- [15] Apostolaki-Iosifidou E, Codani P, Kempton W. Measurement of Power Loss during Electric Vehicle Charging and Discharging[J]. *Energy*, 2017, 127: 730–742.
- [16] Shirazi Y A, Sachs D L. Comments on “Measurement of Power Loss during Electric Vehicle Charging and Discharging” – Notable Findings for V2G Economics[J]. *Energy*, 2018, 142: 1139–1141.
- [17] Han W, Xiao Y. Privacy Preservation for V2G Networks in Smart Grid: A Survey[J]. *Computer Communications*, 2016, 91: 17–28.
- [18] Falk R, Fries S. Securely Connecting Electric Vehicles to the Smart Grid[J]. *Int. Journal on Advances in Internet Technology*, 2013, 6(1/2), 57–67.
- [19] 段端端, 马钧. 美国V2G商业化研究及对我国汽车业的启示[J]. *上海汽车*, 2011(8): 2–6.

(责任编辑 斛 畔)

修改稿收到日期为2018年5月16日。