

Research on the Application Feasibility of Electric Vehicle as Mobile Energy Storage Unit

Gaoping Bai, Mei Huang

New and Renewable Energy Technology Institute, School of Electrical Engineering, Beijing Jiao Tong University, Beijing, China

Email: 08121987@bjtu.edu.cn, mhuang@bjtu.edu.cn

Abstract: This paper introduces Vehicle-to-Grid (V2G) concept and V2G functions of Electric Vehicle (EV) as mobile energy storage unit. Advantages and application feasibility of V2G function are presented. Application condition and technical problems of EV's V2G function are analyzed. Its operation scheme and control system are presented as well.

Keywords: V2G; EPS; reduce disturbance; power balance; distributed mobile energy storage

电动汽车作为移动储能单元应用的可行性研究

白高平, 黄 梅

北京交通大学电气工程学院新能源研究所, 北京, 中国, 100044

Email: 08121987@bjtu.edu.cn, mhuang@bjtu.edu.cn

摘 要: 本文介绍了 V2G 概念和电动汽车作为移动储能单元的 V2G 功能, 分析了电动汽车 V2G 功能的优势及其应用可行性。本文分析了电动汽车 V2G 功能的应用条件和技术问题, 提出了其应用方案和控制体系。

关键词: V2G; EPS; 平抑扰动; 功率平衡; 分布式移动储能

1 引言

随着电动汽车的数量逐年增多及电动汽车充电站规模逐年增大, 双向互动服务试点将在越来越多的城市得到推广应用, 分布式能源、电动汽车等各种终端用电设备将实现“即接即用”。电动汽车的进一步推广应用和充电站的建设使得人们对电动汽车和充电站的认识已经不仅仅局限在代步工具和“加油站”上, 而是希望开拓更广泛的应用。电动汽车中的动力电池可以理解为电网中一个具有清洁、高效、环保等特点的分布式移动储能单元。当车载动力电池需要充电时, 电能从电网流向汽车; 当汽车暂停使用时, 也可以把车载电池中的电能反送给电网系统。V2G (Vehicle to Grid) 是指电动车辆作为移动储能单元在受控状态下实现与电网的能量和信息的双向交换功能^[1], 在实现电动汽车(充电站)从电网获得能量的同时, 还可以保证在必要时电动汽车(充电站)向电网反送电, 从而提高电网整体运行的可靠性。

目前美国政府把电动汽车作为其国家战略重要组成部分, 现在已有多个 V2G 示范项目开展, 美国电力

研究院在大力推广这样的模式。此外, 丹麦、英国、法国和德国也相继进行了一些 V2G 研究。在国内由于市场环境尚不成熟, 辅助负荷和分时电价机制也不完整, 因此还没有商业化运营 V2G 示范项目, 缺乏公开发表的资料、论文。上海世博会期间, 上海市电力公司率先在世博园实现了 V2G 功能展示, 其他电力公司也开始 V2G 的相关研究。

V2G 项目可以充分利用夜间用电低谷时段进行充电, 白天用电高峰时将电能反送回电网, 在一定程度上可改善电网负荷曲线, 减少电网在备用容量上的投资^[2], 此外还可获得一定收益。在满足我国节能减排的要求及全球低碳生活的大背景下, 开发应用电动汽车作为移动储能单元的 V2G 功能显示出其重要意义。

2 电动汽车充电站的 V2G 功能

2.1 V2G 概念及扩展

V2G 概念如引言所述, 在工程应用中, 根据实际应用范围和场景可将 V2G 概念扩展, 有 V2H (Vehicle-to-Home) 和 V2B (Vehicle-to-Building)。

V2H 和 V2B 都是电动车辆作为移动储能单元在受控状态下实现与电网的能量和信息的双向交换功能,前者可以在必要时对家庭负荷供电,满足用户全部或部分用电需求,以减少家庭的电费支出,还可以作为家庭 EPS;后者可以在必要时对楼宇负荷供电,满足用户全部或部分用电需求,使楼宇用电更加经济,还可以作为楼宇的 EPS 电源使用。

2.2 V2G 功能

有资料显示,汽车平均每天仅行驶 1 个小时,90% 的时间处于停驶状态。当同时具备充电和放电功能的电动汽车充电站数量发展到足够规模,且实现蓄电池输出功率的大小和方向可控时,通过 V2G 技术可以做到平抑地区电网负荷低谷、对系统频率波动做出响应、作为 EPS 以及为配电网分布式电源接入平抑扰动。因此,可将 V2G 功能归纳为以下几个方面。

2.2.1 平抑地区电网负荷低谷

运行中电网日负荷有很大的峰谷差,系统中发电电源为满足负荷低谷需要,在电网负荷高峰时段需要有足够容量的电厂发电,因而在电网负荷低谷时将有相当的发电容量处于闲置状态。当电动汽车充电站具备 V2G 功能时,可在地区电网负荷高峰时段放电输出功率,表现为电源特性;在地区电网负荷低谷时段充电吸收功率,表现为负荷特性,这样可在一定程度上起到平抑负荷低谷的作用^[3]。使用 V2G 功能不仅能够减少电网在备用容量上的投资,减小电网峰谷差,取得经济效益,而且具有较高的效率。

2.2.2 对频率波动做出响应

电网负荷的随机变化必将引起电网频率的波动,电网通过自动发电控制(AGC)调整频率以达到系统实时的有功功率平衡。当电动汽车充电站具备 V2G 功能时,其可控的电源特性及负荷特性,无疑能够对系统频率波动做出响应,从而对系统的功率平衡发挥一定的作用。

2.2.3 作为应急电源 EPS

EPS(Emergency Power Supply)即应急电源,可保证重要负载在交流供电电源(市电)出现干扰或中断时能够连续正常运行。当电动汽车充电站具备 V2G 功能时,其可控的电源特性可实现 EPS 功能,从而节省常规 EPS 装置的投资,且其可靠性高并可以根据实际情况来选择需要的容量或扩大容量。

2.2.4 为分布式电源接入平抑扰动

以风能、光伏为代表的分布式电源,由于其间歇性特征使发电输出功率具有较大的波动性,会对地区电网正常运行形成冲击。从电网角度来看,这种随机的波动性实际上是对电网供电质量的“污染”,电网在接纳这些电能时需要对波动进行调节,其实质仍然是电网的实时功率平衡问题。显然,利用电动汽车充电站的 V2G 功能,可以作为备用容量对分布式电源接入平抑扰动^[4],从而减少火电或其他常规机组的备用容量。

2.3 V2G 功能的优势

V2G 在电网中参与平抑地区电网负荷低谷、对频率波动做出响应、作为 EPS、为配电网分布式电源接入平抑扰动时,具有一定的特点,甚至与常规电厂和储能单元相比,存在一定的优势。

2.3.1 调整容量可以保证

有国外资料显示,一天当中 90% 的电动车辆都可以参与 V2G 服务,即使在交通的高峰期也有 80% 多的车辆是停着的,而且对于私家电动车,绝大多数时间处于停驶状态,一天当中只有 4%~5% 的时间是行使的,也即 95% 的时间可以参加 V2G 服务,这为电动车作为分布式移动储能单元应用提供了可能性。

对平抑负荷低谷而言,即使是白天出勤率高的电动公交车、出租车、环卫车和货运车等,也可以在夜间负荷低谷时充电,起到填谷的作用^[5]。

2.3.2 响应速度快、综合效率高

具有双向功率调节控制功能的电动车充放电速度可达到毫秒级,而传统电力系统功率电源由于要考虑到机械元件的寿命,响应时间最快也在秒级左右。

电力系统传统调峰、调频最终均需要通过发电机调速系统实现,发电机调速系统的机械特性决定了其对 AGC 信号响应必然存在误差,因此要求电网调度有更大的响应功率储备裕度。而 V2G 对调节命令响应快速准确,可以减少功率储备裕度。此外,电池的充放电效率比一般的抽水蓄能电站运行的平均综合能源效率要高。

2.3.3 具有明显的社会效益和经济效益

V2G 中的车辆在完成自身行驶功能的同时,不需要添加额外装置。充分利用闲置的电动汽车储能能力,鼓励用户参与 V2G 服务,参与系统功率平衡、作为 EPS 等,一方面可以使电动车用户获得收益,另一方面也丰富了对 V2G 功能的合理应用,节省了增设固定

储能装置的投资^[6]，并减少了传统实现相应功能所需的部分电厂的调节容量，进而提高了常规电厂运行的经济性能。

2.3.4 V2G 参与调频服务特点

当具有 V2G 功能的充放电电站能对系统频率变化做出相应，并相应地通过电池充电和放电参与系统的功率平衡时，V2G 站（具有 V2G 功能的充放电电站）可以在 AGC 的控制下实现功率上调和功率下调。从长期运行的平均效果看，上调功率与下调功率趋于平衡，电动汽车可以较长时间实现对频率波动做出响应的功能而不需要特意的充放电。

同时，V2G 站可以不受动作次数和频率限制实现功率上调和下调的交替工作，这一点与常规电厂相比具有明显优势。传统的调频厂为使机组安全运行，除了需要功率变化信号允许值限制，还需要在某一方向的功率信号执行过程中对反相调节信号实施闭锁。而在 V2G 的参与调频过程中不存在这样的限制，相反，上调和下调的交替对 V2G 来说更有优势。

当然长期的频繁充放电对电池寿命的影响问题仍有待进一步研究。

2.3.5 V2G 用作 EPS 的特点

当电网出现故障时，以大量 V2G 站作为后盾，可以通过控制部分电动车的电池放电实现 EPS 功能，从而减少大量精密 EPS 设备的配备和维护人员的定期维护工作，只要 V2G 站的正常维护考虑 EPS 功能，就能保证可靠性。同时可以根据实际需要及紧急供电负荷情况来选择需要的 EPS 容量或扩大容量，其适应性强。在 V2G 站，实现 V2G 其他功能的同时，一部分电动车兼做 EPS，进一步体现经济性。

3 V2G 应用的可行性

理论上讲，V2G 可实现与电网的友好互动，是推动智能电网发展的重要组成。但当 V2G 付诸实际应用时，还有具体问题需要考虑和解决。

3.1 V2G 应用的条件

归纳以上所述 V2G 功能，具体实施时可概括为功率平衡和 EPS 两类功能。前者包括计划功率平衡（例如平抑负荷峰谷，可纳入电网的发电计划）和实时功率平衡（例如对系统频率波动做出响应），为配电网分布式电源接入平抑扰动也属于这一类。要使 V2G 功能真正对电网运行发挥有益的作用，必须具备一定的

应用条件。

3.1.1 规模条件

如果 V2G 参与电网的功率平衡和 EPS，首要条件是具有足够的容量，因此 V2G 站的容量和数量必须达到一定的规模，否则将达不到实际效果。

虽然单个电动汽车或充电站容量对电网的作用很小，但是，按照 09 年 3 月份公布的《汽车产业调整和振兴规划》，到 2011 年“形成 50 万辆纯电动、充电式混合动力和普通型混合动力等新能源汽车产能，新能源汽车销量占乘用车销售总量的 5% 左右”，各地也相继出台新能源汽车规划，从现在的情况来看，实现的规模可能还不止如此。而到 2020 年，纯电动车的保有量将达到 400 万辆，届时 V2G 站对电网功率平衡的补充作用将不可忽视。

3.1.2 控制条件

如果 V2G 参与电网的功率平衡，除了本身输出功率的大小和方向可控制以外，还必须加入当前电网的功率控制系统。

电动汽车充电站的 V2G 功能，实质上是分布式移动储能功能^[7]。目前国内运行和正在建设的电动汽车充电站，充电机均接入电网的 0.4kV 系统。按照国家电网公司到 2020 年电动汽车充电站达到万座规模的智能电网分阶段发展目标，届时有如此数量的分布式电源将全部从配电网接入，参与电网的调度和控制，考虑 V2G 对电网的功率平衡功能，这些分布式电源的控制应该纳入当前的电网 AGC 系统。

目前我国电网采用分层控制，AGC 系统通常在省级及以上调度，V2G 站从配电网接入，同时单个 V2G 站与 AGC 系统中的大机组相比容量甚微，如何将数量大、容量小的 V2G 站纳入电网的控制系统，是实现 V2G 功能必须要解决的问题。

3.1.3 通信条件

V2G 站纳入电网的控制系统一个必须具备的条件是通信，包括 V2G 站内的通信、V2G 站与站外车辆的通信、V2G 站与控制中心及电网调度的通信等。并且以上通信需双向通信。

例如功率平衡指令由电网调度通过充电站内通信网络发送给电动车，电动车的响应被监测、记录并通过通信网络反馈给充电站。电动车发展到一定规模，在有关政策和技术的支支持下，指令也可通过无线通信直接发送给电动汽车，电动汽车的响应可以被监测

并记录的结果也通过无线通信反馈给充电站。

因此,通信是电动车可以按照电网要求实现有组织、有计划参与电网功率平衡的保证。

3.1.4 政策条件

政策激励是电动车用户参与 V2G 服务的保证,同时要采取相应措施使其履行 V2G 合约,保证在合约范围内的电动车可用容量及时间的稳定性是实现各种 V2G 服务的前提。

例如,在电力市场机制不断健全的基础上,可以通过 AGC 服务价格激励用户参与 V2G 服务^[8],这样对用户来说,只要充放电的价格差大于因为参与 V2G 服务而造成的成本时就可以参与 V2G 服务,确保 V2G 可用容量。

3.2 V2G 应用的技术问题

V2G 是先进的通信、IT、能源、新材料、传感器等产业的集成,也是配电网技术、网络技术、通信技术、传感器技术、电力电子技术、储能技术的综合应用,并需要新的技术开发和应用。

3.2.1 电动车/充电站功率双向交换功能

电动车/充电站具备功率双向交换功能有两个含义:既可以向电网输送功率(即电动汽车蓄电池放电状态),也可以从电网吸收功率(即电动汽车蓄电池充电状态);电动汽车蓄电池放电功率和充电功率大小可调节。实现电动车/充电站功率双向交换功能,需要充放电机的输出功率大小及方向能够按照要求实现控制。

3.2.2 合理、可行的控制策略

电网依据功率平衡需求并按照各充电站的 V2G 统计信息,通过相关策略制定 V2G 充放电计划下发给各充电站;各充电站接到计划后,通过相关策略及算法合理选择车辆,分配充放电功率,保证充放电计划合理执行;V2G 实现 EPS 功能,需要对电网状态做出判断,合理选择车辆,分配放电功率,控制对重要负荷的供电功率和供电时间。

在 V2G 整个功能的实施过程中,离不开合理、可行的控制策略。并且随着 V2G 功能运行经验的积累,可以对控制策略进一步优化。

3.2.3 V2G 预测

V2G 在参与电网调度过程中,需要可用容量与可用时间的预测。

从电网安全的角度来看,V2G 作为具有用户参与性的分布式发电单元大量接入系统时,准确地预测 V2G 能够参与调度的可用用量和可用时间,是电网调度运行机构关注的问题之一。

正是由于 V2G 具有与用户能量双向交互的互动性,因此其可用容量和可用时间的预测问题也比传统的负荷预测更为复杂。例如在 V2G 应用初期可以采用用户设置的方式(用户在一个周末设置好下一周车辆参与 V2G 的计划),进一步可以采用根据历史数据进行预测的方式(V2G 的容量受到天气、节假日、价格、温度、季节、经济发展情况与电动车参与 V2G 服务的数量密切相关)或用户设置与历史数据预测结合的方式等。

4 V2G 的应用方案及控制体系

集中式充电站 V2G 运行控制模型如图 1 所示。

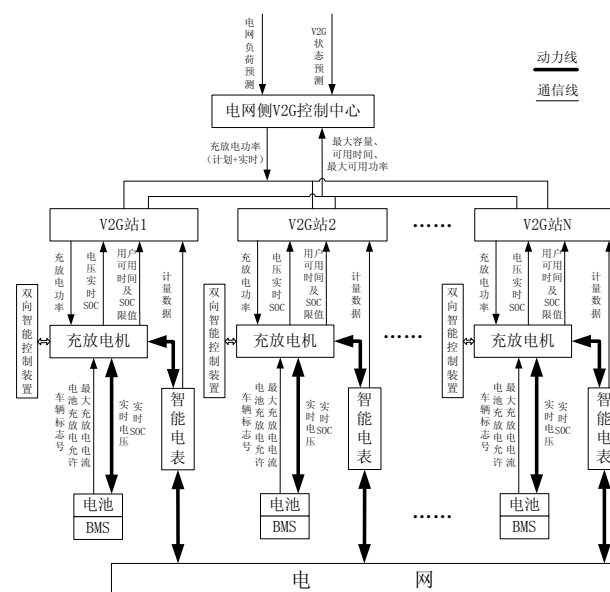


Figure 1. V2G operation control model of centralized charging station

图 1. 集中式充电站 V2G 运行控制模型

V2G 系统的主要组成部分有:电池管理系统(BMS)、充放电电机、V2G 站和电网侧控制中心。

电网侧控制中心根据负荷预测和 V2G 状态的参数以及来自各个 V2G 站的实时信息,制定 V2G 的发电计划并发布到各个 V2G 站;在 V2G 参与响应频率波动任务时,实时调节功率命令一并发送到各个 V2G

站。

BMS 通过充放电机提供最大放电电流、电池实时电量与电压、电池是否允许放电等信息。用户在充放电电机上的人机界面输入 SOC 与可用时间等信息。

V2G 站执行电网侧控制中心的发电计划和功率调节命令, 依据充放电策略选择充放电车辆和充放电电流, 利用双向智能控制装置控制充放电机执行; 同时, 将通过充放电机得到的实时信息和用户设置信息上传电网侧控制中心。

5 结语

V2G 作为一项新开发的技术, 其发展还有赖于电网相关政策和技术的配套发展, 同时也面临一些新的问题。

V2G 作为分布式电源并入电网后将给配电网带来一系列影响。配电网的特点是呈放射形结构并由单电源供电, 功率单方相流动。电动车即是电网中移动分布的用户, 当电动车向电网反馈电能时, 又相当于一个个分布式微电源, 如此众多的移动分布式负荷和微电源对电网设备的影响、对电网稳定的影响、对保护和电能质量的影响、与电网之间的动态特性、微电源之间的协调控制、电网的调度等都有待于进一步研究。

国家要推动新能源的发展, 需要在配电网分布式电源接入和电网自身的利益上求得平衡, 因此需要有政策的合理引导。从投资角度来讲, V2G 的投资涉及到社会投入和产出的问题, 即付出多少和得到多少回报的问题。电动车参与电网互动后, 除了需要考虑电

动车主的利益意外, 也将对电网中其他发电企业产生一定的影响。

建立 V2G 的政策、法规、标准, 规范 V2G 的经营、管理, 保障各方的利益是实现 V2G 颇待解决的问题。同时, 如何制定合理的电价制度吸引电网、运营商、用户甚至相关设备制造产业积极参与 V2G 是经济分析的难点之一。

References (参考文献)

- [1] Steven E. Letendre, Ph.D., Willett Kempton, Ph.D., The V2G Concept: A New Model for Power? [J]. Public Utilities Fortnightly, 2002, 16-26.
- [2] Ford Global Technologies, Inc, A Battery Interactive Charging System and Method for Electric Vehicles [P], China, 101257218, 2008, 09, 03.
福特全球技术公司, 一种用于电力车辆的电池交互式充电的系统和方法[P], 中国专利, 101257218, 2008, 09, 03.
- [3] Christophe Guille, George Gross, A conceptual framework for the vehicle-to-grid implementation [J]. Energy Policy, 2009.
- [4] Willett Kempton, Amardeep Dhanju, Electric Vehicles with V2G [J], Windtech International, 2006.
- [5] Jianxin YAO, Mei WANG, Weiming LUO, Analysis and Research on the Construction and Application of Electric Vehicle Charging Station [J], East China Electricity, 2008, 36(8): 107-110.
姚建歆, 王媚, 罗伟明, 电动汽车充电站系统建设应用分析研究[J], 华东电力, 2008, 36(8):107- 110.
- [6] Sanjaka G. Wirasingha, Nigel Schofield, Ali Emadi, Plug-in hybrid electric vehicle developments in the US: trends, barriers, and economic feasibility [J], IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2008, 3(5).
- [7] Thomas B. Gage, Development and Evaluation of a Plug-in HEV with Vehicle-to-Grid Power Flow[R], 2003.
- [8] Alec N. Brooks, Vehicle-to-Grid Demonstration Project: Grid Regulation Ancillary Service with a Battery Electric Vehicle[R], 2002.