

插电式电动汽车入网体系框架研究*

龚长武, 张有兵*, 翁国庆

(浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 为解决未来电动汽车(EVs)普及所带来的能源供应紧缺及其接入对电网的影响等问题,将车辆入网(V2G)技术应用到智能电网中。简要综述了V2G概念及研究现状,探讨了在中国实现EV入网的几种模式,提出了在未来中国智能电网环境下EV通过微网并与大电网进行融合的框架结构,从电网技术操作与电力市场经济两方面,对所有参与EV入网过程与活动的参与者作了描述,最后给出了需要开展研究的技术重点和方向。研究结果表明,该V2G技术及其体系框架可充分利用车载储能系统与电网功率进行双向互动,支持大规模可再生能源利用,提高电力系统效率及稳定性,加快电动汽车普及。

关键词: 插电式电动汽车;多微网;电动汽车入网;可再生能源;智能电网

中图分类号: TM732;U469.72 文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)08-0961-05

Research on system framework of plug-in electric vehicles integrated into electric power system

GONG Chang-wu, ZHANG You-bing, WENG Guo-qing

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In order to solve the problems of energy supply shortages brought by the popularization of electric vehicles (EVs) and impacts on electric power system integration, the vehicle-to-grid (V2G) technology was applied to the smart grid. Firstly, the concept and state-of-the-art research of V2G were reviewed briefly. Then, several models for EVs connected with the grid realized in China were discussed. Meanwhile, a framework that EVs integrated into the grid through the microgrids under the environment of Chinese future smart grid was proposed. All the players involved in both these processes, as well as their activities, were described from two different domains: the grid technical operation and the electricity markets economic. Finally, the key technology and technical direction to be researched were pointed out. The results indicate that, the V2G technology and its system framework can make full use of the vehicle's energy storage system to have a two-way interaction with the grid, support the large sized application of renewable energy, improve the efficiency and stability of power system, and have certain practical significance for speeding up the adoption of EVs.

Key words: plug-in electric vehicles(EVs);multi-microgrids;vehicle-to-grid(V2G);renewable energy sources;smart grid

0 引言

20世纪,工业化国家创造了两大相互独立的能源转换系统—电力系统和车辆交通系统。据美国能源部预测,2020年以后全球石油需求与常规石油供给之间将出现净缺口。汽车能源消耗是全球温室气体排放和

大气污染的主要来源,也是造成全球石油压力的重要原因^[1],能源短缺和环境污染已成为世界关注焦点。在能源需求、环境保护和节能减排的巨大压力下,分布式发电技术和电动汽车入网(V2G)技术^[2]获得了广泛的重视与应用。将电动汽车看成分布式电源或可控负载,以微型电网的形式接入大电网并网运行,与大电

收稿日期:2012-03-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50777057);浙江省自然科学基金重点资助项目(Z1110893);浙江省自然科学基金资助项目(LY12E07005)

作者简介:龚长武(1984-),男,江西丰城人,主要从事智能电网、分布式发电技术及电动汽车入网等方面的研究。E-mail:gchangwu189802@163.com

通信联系人:张有兵,男,教授,硕士生导师。E-mail:youbingzhang@zjut.edu.cn

网互为支撑,是充分发挥分布式发电系统效益、解决能源环境问题的最有效方案之一。微型电网(简称微网,即一种由负荷和微电源及储能装置共同组成的有机系统^[3])是目前国内外电网研究的最新课题,它能够为小规模风能、太阳能等可再生分布式电源(Distributed Generation, DG)提供更加宜入的环境,有效提高传统电网的容量,减少温室气体的排放。

未来电动汽车的流行与普及,将势必影响大电网的发展,给大电网规划设计、调度运行及保护控制等方面带来新的问题,因此有必要针对高渗透率电动汽车和电动汽车入网相关体系框架进行研究。

本研究从微网角度探讨中国 EVs 有效利用运行模式,即从含 V2G 典型多能源发电微网系统结构、插电式电动汽车结构和市场运行机制等方面进行分析。研究内容和成果将为中国当前电动汽车充电设施建设提供路线参考,为中国智能电网的建设、大电网的安全稳定、微网未来建设和并网运行提供指导。

1 V2G 概念及研究现状

通过电动汽车与电网联网,将电动汽车看成为一个分布式能量源或电网可控负荷,通过电网调度,实现车辆和电网功率双向流动,这就是 V2G 技术的概念本质。该概念最早于上世纪 90 年代由美国特拉华大学(University of Delaware)Willett Kempton 教授和其合作者 Letendre 创造性地提出,在美国电力事业部门和公共机构的资助下发展了这一概念,并进行了长期深入研究^[4-7]。

当前 V2G 技术已成为智能电网研究领域的热点之一,引起了能源专家和电力工业界的重视,很多国家都加强了相关方面的研究力度,美国、日本、印度、欧盟(如丹麦、瑞典、德国、法国、英国)等从不同方面展开了 V2G 研究,主要围绕 V2G 入网所带来的经济效益、社会效益和生态环境效益等进行研究,主要研究内容归结如下:研究 EV 动力能源及辅助驱动单元^[8-10]、相关入网设备电力电子技术及接口(如 EV 功率双向逆变装置)^[11]、综合技术经济效益最大化时各种 EV 集群充放电算法^[12]、大规模 V2G 电动汽车应用对电力系统影响分析^[13-15]、EV 入网可提供电网峰谷平衡及电力辅助服务(如调节、旋转备用)^[16]、智能电网环境下 V2G 的实现分析^[17]、V2G 概念应用在虚拟电厂^[18]及 V2G 实施后带来的环境影响和经济效益^[19]等。

2 集群 EV 入网结构

2.1 EV 入网接入方式探讨

EV 在广义上可分为 3 类:电池电动汽车(battery

electric vehicle, BEV)、混合动力汽车(hybrid electric vehicle, HEV)和燃料电池电动汽车(fuel cell electric vehicle, FCEV),本研究所 EVs 主要是指通过传导电缆与电网插电连接的插电式电动汽车(用 PEVs 表示,这里主要指 BEV 与 HEV)。由于单个 PEV 对于大电网来说是一个很小的电源或负荷,若要使 PEV 的储能功能和备用功能得到有效发挥,必须按多个 PEVs 形成的群体来考虑和调度管理。对于 PEV 向电网提供辅助服务而言,其所能提供的能力(即 V2G 功率大小)与 PEV 最终普及率和 PEV 参与 V2G 并可以被有效调用的数量有关。现有的研究工作表明,绝大多数 PEVs 在一天中 90% 以上的时间是处于闲置状态的,因此,研究者可以将 PEV 以集群的形式接入电网进行实时调度,以加快 PEV 推广普及。

目前,国外 PEV 接入电网主要有以下两种方式:一种是以车辆到户(Vehicle to Home, V2H)或车辆到楼宇(Vehicle to Building, V2B)等单一车辆形式接入,车辆集群以第三方车辆聚集商(Aggregator)组织(车辆与大电网之间中间商,负责车辆调度和经营管理);一种是以集群形式在公共停车场直接接入大电网,其典型原理框图如图 1 所示。

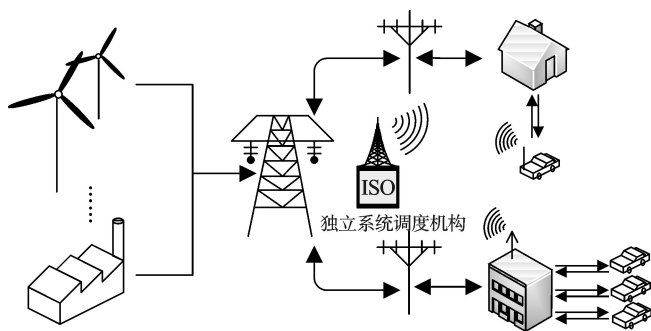


图1 电动汽车与电网连接示意图

考虑到集群 PEVs 数量或容量、接入电网电压等级等因素,理论上 PEVs 接入电网可以有以下模式:

(1) 模式 1: 大容量(集群容量达到 GW 级及以上)集群电动汽车接入超高压或高压输电网,采用超高压或高压直流输电方式,为地方或区域大电网提供服务;

(2) 模式 2: 中小容量(kW 级至 MW 级)集群电动汽车组成微网的形式接入中低压配电网,向微网和大电网提供服务;

(3) 模式 3: 电动汽车用户将单一小容量(kW 级以下)个人车辆接入低压配电网,为自己和周围电网服务。

在现实条件下,并不允许所有模式都存在,有的模式是合理的,有的模式是不适宜的,另外,还要受国情、政策环境、电力体制等因素影响。在模式 1 下,系

统容量大,但由于PEV分布范围较广,需要建设和改造的线路多,运营成本高,且运行不确定性强,调度控制及实现比较难,所以模式1不适宜采用;对于模式3,由于中国普通家庭车库相对较少且分散不均,不利于集群统一调度管理。根据文献[20]中提出的微网经济模式,本研究采用模式2,即以集群PEVs在企业、商业区停车场或居民社区等场所进行集中充、放电管理,符合未来中国智能电网和智能微网发展需要。

2.2 含PEV多能源发电微网结构

含PEVs的单个微网典型结构如图2所示^[21]。微网在正常情况下是并网运行,为了不对系统和已有电网结构造成过多的影响,应保证微网主要还是从系统吸收功率。风、光等再生能源尽量满负荷运行,发出的功率主要供给微网内部负荷,微型燃气轮机^[22]、燃料电池等只是在微网孤岛运行或热电联供效率较高时承担基础负荷。PEVs并入微网后,会增加微网用电负荷,为了避免系统向微网供电的负荷过高,PEVs应尽量在微网和大电网负荷低谷时进行充电。整个微网相对大电网来说是一个整体,利用静态开关经主馈线与中、低压配电网相连,可实现并网与孤岛运行模式间平滑无缝切换。

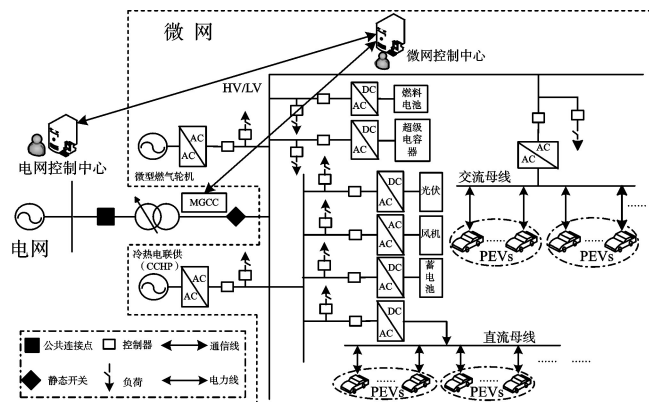


图2 含插电式电动汽车的单个微网结构

3 入网框架结构设计

PEV接入电网架构结构主要包括:PEV(用户)、PEV充电站、微网控制中心和电网控制中心。

3.1 电动汽车

图2中,PEV具有直流和交流两种供电方式,受篇幅限制本研究仅给出电源为交流时的电动汽车关键拓扑结构,如图3所示,主要包括:车载充放电器、动力电源、储能管理系统(Energy Storage Management System, ESMS)等,各模块均可通过CAN总线进行通信。

由于充、电站不可能提供各种PEVs电源电压,具有V2G双向电能传输和通信的PEV须配备车载充放电器。国内EV充电接口正式标准尚未出台,与非

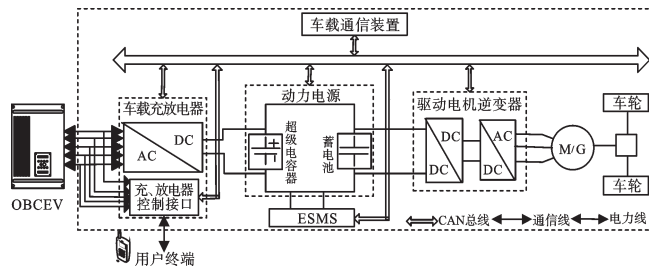


图3 插电式电动汽车关键拓扑结构

车载双向智能充放电装置(Off-board Bi-directional Charger for Electric Vehicles, OBCEV)连接的PEV充、放电接口也待制定。充、放电控制接口主要采集电力线上的参量,接收用户终端和微网控制中心控制信号,使其工作在充电或放电模式,模式切换由充、放电控制接口对AC/DC模块进行控制。另外,用户可以通过车载控制面板“就地控制”或通过终端设备使用无线GPRS“远程控制”PEVs,实时查询当前电网电价、充放电交互信息及其他计量计费等信息,对充、放电参数设置及运行状态进行设定。

3.2 PEV充电站

为方便PEV集中充放电,本研究需要在工业区、居住社区或商业场所等公共停车场建设充、电站,其建设、运营和维护可由政府、汽车制造商、电网等相关机构投资,在此不作具体分析。

充、电站设施主要包括:OBCEV、智能电表、PEV站控系统、监控系统及其他辅助设施等,其中,OBCEV通过现场总线获取ESMS状态和运行信息,完成充、放电过程控制和计费记录;智能电表配置在OBCEV上,可通过ZigBee、Wi-Fi、电力线载波^[23]或其组合通信方式与其进行双向通讯,用于双向计量、显示实时电价、本地信息存储、与站控系统通信并传输所计量信息等。站控系统负责采集、处理存储来自本地OBCEV实时运行数据及PEVs总容量、用户设置参数等,可通过Internet、3G/4G等通信网络向微网控制中心转发以上信息、接收并分发来自微网控制中心的指令。其设置目的主要是为了减少微网控制中心数据通信量压力,提高数据处理效率,可看成微网控制中心子能量管理系统。

3.3 微网控制中心与电网控制中心

微网控制中心是一个集调度、结算、交易为一体的机构,包括微网EMS与数据采集与监控系统(SCADA)、交易与结算系统等,在通信网络的协调下,负责处理与PEVs、大电网之间的电力流、信息流和业务流。电网控制中心功能与传统电网控制中心相似,可管理和控制区域内多个PEV微网控制中心,负责区域内(包括其他微网和能源供应服务商)电力信息业务,

其通讯网络也可采用已有的通信手段和方式实现。

4 市场运行机制

随着电力市场体制的深入改革,电力管制及相关投资体制逐渐放宽,含PEVs的多微网可作为可中断负荷^[24]参与电力市场竞争,如参与各种形式的辅助服务(如电网电压/频率调节),其市场框架如图4所示。

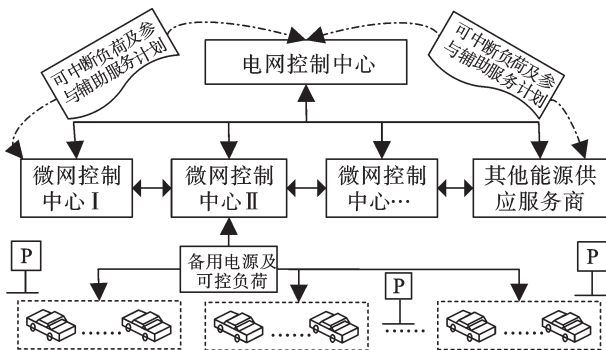


图4 V2G市场框架

一般情况下,含PEVs的多微网主要还是从大电网吸收功率,由于其具有自己的供电系统,就能相对比较容易地调整对外网的负荷需求,可作为可中断负荷参与电力系统的需求侧管理。各微网控制中心将与电网控制中心签订可中断负荷双边合同,获得相应经济效益。微网在参与电力市场可中断负荷管理时,将明确自己的最低可中断负荷成本。假设其他DG出力不变时,则中断负荷成本与参与并网的车辆电池储能容量和充、放电特性,以及微网针对PEVs的激励措施有关。在微网参与可中断负荷竞价之后,根据微网参与可中断负荷所得到的电价水平,用户与微网控制中心将根据PEVs可入网容量等签订相关备用计划协议。以微网为单位代替PEVs参与整个电网的市场需求侧管理,可以大大简化实施方案。

由于PEV接入微网再参与大电网备用计划或多或少会给用户带来影响,并对车载储能设备带来损耗,需要PEV用户在微网备用计划内自愿参与。同时,为使PEVs有效接入微网,需要由微网控制中心采取合理的经济刺激计划以吸引用户参与微网集群备用计划,例如可以向签署并网协议的用户给予电池保养与维护、停车等优惠服务,但是,对不按合同规定在一定时间并网的用户将采取相应处罚,甚至取消所有相关优惠服务。

任何一辆已签订合同参与并网的PEVs将其状态信息(如车辆ID和位置、电池容量和类型、当前电池荷电状态(State of Charge, SOC)和下一次行驶所需最小SOC等)周期性地发送给微网控制中心,而电网控制中心则在电力市场中公布未来一段时期电网状态。

微网EMS将选择一些愿意参与微网备用PEVs,通过通信系统发送控制指令,将已准备好或正在充电的车辆转为备用计划(保证其基本容量能满足下一次行驶需求前提下)PEVs与微网内其他DG和储能装置共同向微网内负荷供电,微网控制中心则按合同所协定价再向集群PEVs付费。当大电网因故停止向微网供电或微网参与大电网调频备用时,电网控制中心以合约协定的可中断电价或所提供的调频服务向微网控制中心支付一定费用。对于签署并网协议PEVs,微网控制中心可向其提供中长期较低合约电价。当涉及PEVs在其他微网或能源供应服务商范围内进行充、放电服务时,各微网控制中心及其他能源供应服务商之间可以通过相应技术和市场机制进行全程控制管理。

5 结束语

PEVs通过V2G技术集群接入微网具有很好的经济性和环保性,能够较好地解决未来交通能源短缺问题,实现电力和交通这两大能源系统沟通与互动,达到微网内及微网同大电网间能量交换最优化,实现建设统一的坚强智能电网。在此背景下,本研究从目前已有一些成果出发,针对PEVs接入微网并与大电网良好互动运行的整个体系框架进行了初步研究与设计,为了使它成功实现,需要在许多方面进行深入的研究,如PEV动力电源的优化、PEV接口标准制定、PEV智能调度与管理、PEV充电站建设与维护、PEV并网运行和并网标准的精确制定、含PEVs微网市场运行模式、电网稳定安全等,该设计可为以后工作提供参考。

参考文献(References):

- [1] 王震坡,贾永轩. 电动汽车蓝图[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [2] KEMPTON W, TOMIC J. Electric vehicles as a new power source for electric utilities[J]. **Transportation Research (Part D): Transport and Environment**, 1997, 2(3): 157-175.
- [3] 杨艳天,张有兵,翁国庆. 微网并网控制策略的研究[J]. 机电工程,2010,27(2):14-16.
- [4] KEMPTON W, KUBO T. Electric-drive vehicles for peak power in Japan[J]. **Energy Policy**, 2000, 28(1):9-18.
- [5] KEMPTON W, TOMIC J. Vehicle-to-grid power fundamentals: calculating capacity and net revenue[J]. **Journal of Power Sources**, 2005, 144(1):268-279.
- [6] KEMPTON W, TOMIC J. V2g power implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy[J]. **Journal of Power Sources**, 2005, 144(1): 280-294.

- [7] TOMIC J, KEMPTON W. Using fleets of electric-drive vehicles for grid support[J]. **Journal of Power Sources**, 2007, 168(2):459-468.
- [8] LUKIC S M, CAO J, BANSAL R C, et al. Energy storage systems for automotive applications [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2008, 55(6):2258-2267.
- [9] KHALIGH A, LI Z H. Battery, Ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: state of the art [J]. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, 2010, 59(6):2806-2814.
- [10] ORTUZAR M, MORENO J, DIXON J. Ultracapacitor-based auxiliary energy system for an electric vehicle: implementation and evaluation[J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2007, 54(4):2147-2156.
- [11] MADAWALA U K, THRIMAWITHANA D J. Current sourced bi-directional inductive power transfer system [J]. **IET Power Electronics**, 2011, 4(4):471-480.
- [12] SEKYUNG H, SOOHEE H, SEZAKI K. Development of an optimal vehicle-to-grid aggregator for frequency regulation [J]. **IEEE Transactions on Smart Grid**, 2010, 1(1):65-72.
- [13] CLEMENTI-NYNS K, HAESSEN E, DRIESEN J. The impact of vehicle-to-grid on the distribution grid [J]. **Electric Power Systems Research**, 2011, 81(1):185-192.
- [14] GREEN R C, WANG L F, ALAM M. The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: a review and outlook [J]. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2011, 15(1):544-553.
- [15] DYKE K J, SCHOFIELD N, BARNES M. The impact of transport electrification on electrical networks [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2010, 57(12):3917-3926.
- [16] PILLAI J R, BAK-JENSEN B. Integration of vehicle-to-grid in the Western Danish power system [J]. **IEEE Transactions on Sustainable Energy**, 2011, 2(1):12-19.
- [17] GUILLE C, GROSS G. A conceptual framework for the vehicle-to-grid (v2g) implementation [J]. **Energy Policy**, 2009, 37(11):4379-4390.
- [18] MUSIO M, LOMBARDI P, DAMIANO A. Vehicles to grid (V2g) concept applied to a virtual power plant structure [C]// Proceedings of 2010 XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM). Rome: [s.n.], 2010:1-6.
- [19] TURTON H, MOURA F. Vehicle-to-grid systems for sustainable development: an integrated energy analysis [J]. **Technological Forecasting and Social Change**, 2008, 75(8):1091-1108.
- [20] 程军照, 李澍森, 冯宇, 等. 发达国家微网政策及其对中国的借鉴意义[J]. **电力系统自动化**, 2010, 34(1):64-68.
- [21] PECAS LOPES J A, POLENZ S A, MOREIRA C L, et al. Identification of control and management strategies for LV unbalanced microgrids with plugged-in electric vehicles [J]. **Electric Power Systems Research**, 2010, 80(8):898-906.
- [22] 孙可, 韩祯祥, 曹一家. 微型燃气轮机系统在分布式发电中的应用研究[J]. **机电工程**, 2005, 22(8):55-60.
- [23] ZHANG Y B, CHENG S J. A novel multicarrier signal transmission system over multipath channel of low-voltage power line [J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 2004, 19(4):1668-1672.
- [24] 张颖, 张有兵, 曹一家, 等. 基于证据理论的可中断负荷不确定性风险收益评估模型[J]. **电力系统保护与控制**, 2009, 37(16):1-6.

[编辑:李辉]

(上接第928页)

- [4] CUI Su-xia, WANG Yong-hui, FLOWLER J E. Motion estimation and compensation in the redundant-wavelet domain using triangle meshes [J]. **Signal Processing: Image Communication**, 2006, 21(7):586-598.
- [5] 丁宁, 周新志. 基于提升方案的冗余 Haar 小波变换与时间序列预测 [J]. **计算机应用**, 2007, 27(1):59-64.
- [6] 宋建文, 黄扬帆, 刘艳飞, 等. 基于网格模型的运动补偿帧频提升研究 [J]. **计算机工程**, 2011, 37(3):281-283.
- [7] 段汕. 形态学及其在遥感影像处理中的应用研究 [D]. 武汉: 武汉大学遥感信息工程学院, 2004.
- [8] 王晓军. 形态学小波提升格和自适应提升格在图象处理中的应用 [D]. 汕头: 汕头大学理学院, 2002.
- [9] 曾文涵. 双树复小波表面分析模型及加工过程形貌辨识方法研究 [D]. 武汉: 华中科技大学机械科学与工程学院, 2005.
- [10] 陈江龙. 偏态表面形貌的形态小波滤波方法研究与应用 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学机械工程学院, 2007.

[编辑:张翔]