

电动汽车充电对电网影响的综述

高赐威, 张亮

(东南大学 电气工程学院, 江苏省 南京市 210096)

A Survey of Influence of Electric Vehicle Charging on Power Grid

GAO Ciwei, ZHANG Liang

(Electrical Engineering School, Southeast University, Nanjing 210096, Jiangsu Province, China)

ABSTRACT: Under vigorous promotion of government, electric vehicle (EV) industry in China gets into fast growth period, and it also greatly promotes the construction of charging facilities, namely charging stations and piles for EV, so the charging of lots of EV will greatly impact on power grid and the impacts vary with the popularization level of EV, EV types, charging time and charging mode of EV as well as the difference in charging modes and charging characteristics of EV. Based on present research status related to power grid connected to charging devices home and abroad and in the viewpoint of power transmission and distribution, the impact of EV charging on power grid is analyzed in detail. In allusion to the harmonic pollution in power grid caused by EV charging stations, various measures to dispose harmonic pollution in power grid are presented, and it is pointed out that the future operation of power grid will be more and more impacted by charging behavior of EV and their energy storage characteristics, thus the research on siting planning for the construction of EV charging facilities and the control strategy for charging and discharging of EV will be the focus in this field.

KEY WORDS: electric vehicle (EV); power grid; harmonic pollution; charging station; charging behavior

摘要: 在政府对电动汽车产业的大力推动下, 我国电动汽车产业将步入快速发展期, 这也极大地推动了电动汽车充电站和充电桩的建设, 大量电动汽车的充电行为将会给电网带来较大影响。电动汽车的普及程度、类型、充电时间、充电方式以及充电特性的不同会使电动汽车对电网的影响发生变化。从输电网、配电网角度对国内外关于电动汽车接入电网的研究现状及电动汽车充电对电网的影响进行了详细分析。针对充电站对电网的谐波污染问题, 介绍了各种谐波污染的治理方法, 并指出电动汽车的充电行为及其储能特性在未来电网运行中的影响和作用将越来越大, 研究充电设施建设的布点规划及电动汽车充放电控制策略将成为该领域的重点。

关键词: 电动汽车; 电网; 谐波污染; 充电站; 充电行为

0 引言

随着全球能源危机的不断加深, 石油资源的日

趋枯竭以及大气污染、全球气温上升的危害加剧, 各国政府及汽车企业普遍认识到节能和减排是未来汽车技术发展的主攻方向, 发展电动汽车将是解决这 2 个技术难点的最佳途径^[1], 其中纯电动汽车被认为是汽车工业的未来^[2]。

各国政府非常重视电动汽车的发展, 美国能源部将设立 20 亿美元政府资金资助下一代纯电动汽车需要的电池和部件开发。目前, 国外的混合动力汽车已经开始大规模产业化, 纯电动汽车也已开始进入市场。大量电动汽车充电主要在夜间, 这既能改善电力负荷曲线, 提高电网的经济效益, 又能实现环保的目的^[3]。

我国电动汽车起步较发达国家晚, 但是发展很快。各汽车生产商积极投入到研发电动汽车的行列。为满足电动汽车的充电需求, 各省都在大力推进充电站和充电桩的建设。2010 年 4 月, 《电动汽车传导式充电接口》、《电动汽车充电站通用要求》、《电动汽车电池管理系统与非车载充电机之间的通信协议》和《轻型混合动力电动汽车能耗量试验方法》4 项国家标准出台, 而国家对包括电动汽车在内的新能源汽车也实施了补贴扶持政策。

大量电动汽车的出现将会给电网运行带来很大影响。国外在电动汽车接入电网(vehicle to grid, V2G)方面进行了多方面的研究, 文献[4-10]涉及的研究内容包括: 电动汽车可以看成为一个分布式电源; 电动汽车可支持大规模可再生能源接入电网; 电动汽车也可进行频率调节。

电动汽车作为电力负荷, 它的充电行为具有随机性、间歇性, 文献[11-14]从这些特点出发通过建立不同场景研究了电动汽车充电对电网负荷平衡带来的影响。由于电动汽车充电过程当中使用到整流装置, 这些整流装置在工作时会产生大量的谐

波, 这会给电网带来谐波污染, 文献[15-18]对此进行了仿真分析。

1 电动汽车充电对电网的影响因素

电动汽车充电对电网的影响因素主要是电动汽车的普及程度、电动汽车的类型、电动汽车的充电时间、电动汽车的充电方式以及电动汽车的充电特性。需要指出的是, 当电动汽车接入电网的方式仅限于通过充电站(桩)时, 电动汽车对电网的影响就笼统地反映在充电站(桩)对电网的影响。

1) 电动汽车的普及程度。电动汽车的普及程度不同对电网的影响大小也不同。电动汽车数量较少, 对电网的影响非常小, 而当数量较大时, 其对电网的影响将不容忽视。国外根据电动汽车普及程度分阶段研究电动汽车对电网的影响。

电动汽车的普及程度受很多方面的影响, 其中影响较大的是电动汽车技术的发展水平。当技术很成熟而且价格较低时, 电动汽车的拥有量较高, 此时其对电网的影响也较大。

2) 电动汽车的类型。本文指的电动汽车的类型主要是不同用途的汽车, 如轿车、运输车等。不同类型电动汽车的充电电路和充电时间是不一样的。文献[19-20]研究了小型轿车、中型轿车、中型多用途汽车和大型多用途汽车 4 种电动汽车类型, 并通过分析得到: 大型多用途汽车容量较大, 充电所需时间也较长, 其对电网造成产生的影响最大。

3) 电动汽车的充电时间。充电时间场景的设置需要根据电动汽车使用者的用车习惯、上下班时间以及引导政策等来进行。在研究中, 可以从电网运营者角度进行设置, 也可以从电动汽车使用者方便性方面进行设置。不同的充电时间对电网的影响非常大, 如果在峰荷时间进行充电将加重电网负担, 而如果在非峰荷时间进行充电将减小充电对电网的冲击。

文献[5]提出的充电时间场景为同时充电、连续充电以及正常分布充电。由于同时充电是指混合电动汽车(plug-in electric vehicle, PHEV)拥有者在特定的时间给汽车充电, 所以对电网的影响最大, 而连续充电指在 1d 中 PHEV 以一个随机比例接入电网进行充电, 这样对负荷的需求就比较平稳, 对电网的影响也较小。文献[21]未采用时间场景, 而是通过多代理运输仿真 MATSim(multi-agent transport simulation)、PHEV 管理和电力系统仿真(PHEV

management and power system simulation, PMPSM)软件来得到充电模型。

4) 电动汽车的充电方式。目前, 电动汽车充电方式主要分充电模式和更换电池模式, 这 2 种充电方式的一个共同特点是利用专用插座从电网获得电能。充电模式可分为普通充电和快速充电。普通充电又叫慢速充电, 它每次充电所需的时间较长; 快速充电是利用大电流给电动汽车充电, 这种充电方式不仅会给电网带来较大的冲击, 而且会减少电池使用寿命。更换电池模式是将空电池留在充电站利用小电流进行长时间充电。表 1 为 2 种充电方式的比较。

不同的充电方式可以应用于不同类型的汽车, 如更换电池模式适合在公交公司、出租车公司使用, 而对于私家车, 可以选择在夜间电价便宜时对汽车慢速充电。

5) 电动汽车的充电特性。充电汽车接入电网时的电力需要由充电的电压和电流决定。不同类型汽车的充电特性不同, 对电网的影响也不同。文献[13]考虑了小型轿车、中型轿车、中型多用途汽车、大型多用途汽车 4 种类型电动汽车的充电特性, 通过分析得到大型多用途汽车对电网的影响最大。

2 电动汽车充电对电网的影响

2.1 电动汽车充电对输电网络的影响

针对现有或规划的发电(供电)容量是否能够满足电动汽车充电引起的负荷增长(负荷平衡角度), 国外做了很多相关的研究^[11-14]。文献[11]研究了由北美可靠性委员会(North American Reliability Council, NARC)和美国能源部的能源信息管理机构制定的 13 个区域 2020 年和 2030 年 PHEV 在电力需求、供应、电源结构、电价以及相应的排放情况等方面的潜在影响。该研究基于美国能源部橡树岭实验室的竞争性调度模型, 对每个区域的 2020 年和 2030 年 7 种不同的场景进行分析, 表明每个区域都需要进行额外的电源建设或者应用需求响应来应对来自电动汽车的电力需求。文献[5]基于场景分析研究了加州电力市场在高、低电动汽车增长方案下将使得电力负荷分别增长 2% 和 8%。文献[12]以从下而上的方法, 不计具体的充电设施, 仅从考虑充分满足电动汽车自然增长出发, 研究了美国佛蒙特州在最优充电模式、夜间充电模式和 1d 内 2 次充电模式等 3 种场景下电动汽车充电对电力负

荷的影响。研究表明,该州电网可以支持10万辆电动汽车夜间充电,而负荷高峰期充电则会使电力供应出现极大的问题。文献[13]研究了整个美国电网对电动汽车充电的承受能力,研究了24h均可充电和12h可充电2个场景。其结果表明,美国现有电网最多可以承受73%的电动汽车负荷所需。

美国国家可再生能源实验室(National Renewable Energy Laboratory, NREL)根据不同插入式电动汽车发展场景研究了电动汽车负荷对6个区域电网的影响^[14],在每一种场景下假设电力公司完全控制了电动汽车的充电行为,且每天40%的汽车能源来自电力,通过模型分析表明在不进行额外电力基础设施建设的情况下,这6个区域的电网可以支撑区域内50%的汽车为充电汽车,由此将引起5%~10%的电能需求增加。

2.2 电动汽车充电对配电网的影响

电动汽车充电不仅会影响配电网的负荷平衡,而且会给配电网带来其它问题。电动汽车的聚集性充电可能会导致局部地区的负荷紧张;电动汽车充电时间的叠加或负荷高峰时段的充电行为将会加重配电网负担。

文献[22]研究表明电动汽车负荷有可能聚集在某些局部区域,这将引起配电网的局部过负荷问题。文献[23]针对该问题建立了通用的研究框架,以美国电科院(Electric Power Research Institute, EPRI)的开放式配电系统仿真(open distribution system simulator, OpenDSS)分析平台建立了配电网模型,从确定性和随机性2个方面细致分析了电动汽车充电对配网负荷平衡、电压调节、三相平衡的影响,提出了图1所示的系统影响分析框架。

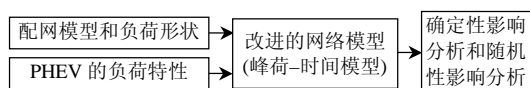


图1 系统影响分析框架

Fig. 1 System impact analysis framework

文献[3]在以下3个假设条件下分析电动汽车使用时对电网负荷曲线的影响:1)我国电动汽车的使用已初具规模;2)每辆电动汽车每天只进行1次充电;3)电动汽车的充电采用快速充电。

文献[3]首先从蓄电池的充电特性出发,建立了电动汽车的随机充电模型,在确定充电电动车数量的前提下假设一定区间内电动汽车在充电数量和充电时间均服从正态分布,这样就得到电网负荷曲线的调节曲线。利用该调节曲线分析得到:如果电

动汽车使用者在电网用电高峰时对电动汽车蓄电池充电,不但不能对电网负荷起负荷调整作用,反而增加电网负荷,对电网造成不利影响,所以在电动汽车普及过程中应对电动汽车使用者进行正确引导。

文献[24]指出当电动汽车在负荷高峰时刻进行充电时,充电设备产生的电网电流需求会使电力系统过载,使剩余电量储备增加,使电网效率降低。该文针对这些影响提出2种充电协调方法:分布协调和集中协调。分布协调指当整个充电站的总电流需求量在规定范围内时,使每辆电动汽车的充电电流最大,从而缩短充电时间。集中协调指通过计算机的智能判断来协调每辆电动汽车蓄电池的充电时机、电流大小以及充电时间长短,从而实现总电流需求量不超载的目的。

2.3 充电站对电网的谐波污染

国内很多研究人员通过建模和仿真研究充电站对电网造成谐波污染的问题^[15-18,24-25]。文献[16]在Matlab/Simulink平台上搭建充电机(站)的仿真模型,通过实测和理论验证研究影响充电机(站)谐波大小的因素。文献[18]利用商用电动汽车充电机收集的数据对谐波电流进行计算,再利用概率统计学大数定律和中心极限定理,建立多谐波源谐波分析数学模型,研究多个电动汽车充电机产生的谐波电流及其概率特性。文献[24]介绍了产生谐波污染的原因,并指出谐波污染会使测量仪表不准确、易损坏大容量电容器、使电力导线过热以及使保护装置误报警等,该文同时提出使用新式充电设备,并在电力系统中使用滤波器,协调每个充电站充电器数量,解决谐波污染问题。

针对充电设备带来的谐波污染等问题,可以总结出以下对策^[25]:1)贯彻执行与谐波相关的国家标准,从总体上控制供电系统谐波水平。2)增加换流装置的相数,换流装置是主要的谐波源之一,当脉动数由6增加到12时,可以大大降低谐波电流有效值。3)增装无功补偿装置,提高系统承受谐波的能力。4)加装滤波装置。对谐波污染可采用就地治理的办法,在充电站(机)地完成谐波治理工作,未来的充电站建设可能越来越多地应用绿色充电机(充电过程中能够有效抑制谐波且功率因数较高的充电机)治理谐波。武汉电动汽车示范运营公司建成的绿色充电系统采用集中充电方式,充电模块主要由功率因素校正(power factor correction,

PFC)、直流转直流(DC/DC)2 大功能电路组成,该系统采用电流平均值控制法,采用较高功率因数的 Boost 单相功率因数校正电路,使功率更大,使功率因数大于 0.92,使谐波畸变率小于 5%。

2.4 充电设施规划建设对电动汽车充电负荷的影响

从电网负荷的角度来看,充电设施实际上是电动汽车充电和电网的接口,充电设施的规划和建设对电动汽车充电负荷影响巨大。特别是当前电动汽车种类多样,现在仍然处于产业培育和快速成长阶段,虽然国家已经出台了 4 项电动汽车相关内容的标准,但充电方式等还未统一,需要充分研究电动汽车的充电方式、充电站的布局规划、相关变电站的规模设置。文献[26-27]提出发展电动汽车对充电技术的要求为充电快速化、充电通用化、充电智能化、电能转换高效化以及充电集成化。

1) 充电站的建设。目前,电动汽车充电对电网的影响主要体现在充电站和充电桩对电网的影响。由于充电桩容量较小且相对分散,所以其对电网影响较小,而由于充电站包含有多台充电机和充电桩,其对电网的影响较大。文献[26]指出充电站的外部接入方式受供电可靠性、建设规模、建设成本等因素的影响,并在此基础上分析了充电站规模的影响因素,即变压器台数、变压器容量以及充电机数量。

2) 充电站的布点。充电站的规模决定着某个节点对电网影响的大小,而充电站的布点则涉及多个节点对电网的影响。把充电站建设在配电变压器周围可以方便地获取电能,但从电动汽车使用者角度考虑,充电站应该建设在市区内,考虑到市区的可用资源较少,可以把充电站分布建设在市区周围。文献[27]指出电动汽车充电站布局包括“需求”和“可能性”2 个因素,衡量充电站需求的主要指标是交通量与服务半径 2 个要素,决定可能性与否关键在于交通、环保及区域配电能力等外部环境条件与该地区的建设规划和路网规划。文献[27]还指出充电站的设置应充分考虑本区域的输配电网现状以及电动汽车的发展趋势。

风电、太阳能、潮汐发电、地热发电等新能源发电存在间歇性,这会对电网产生很大的影响,因此可以考虑把充电站建设在新能源发电厂附近。由于新能源发电厂一般远离市区,所以建设在新能源发电厂周围的充电站主要是对更换下来的电池进行充电。在对这些电池充电前,需要在市区设立电池

收集点把需要充电的电池集中收集起来,然后运到新能源发电厂周围的充电站充电,当电池充满电后再运回各个电池收集点。这种充电站的布点方式将促进新能源发电的发展。

除了上述充电站布点方式,还可以对现有加油站进行改造,使其同时具有充电的功能。2010 年年初,中石化宣布在北京加油站增加充电功能。随着石油资源的日益枯竭,石油公司在加油站建设充电站将变得更加普遍。

3 结论

目前,我国电动汽车产业步入快速发展期,大量电动汽车的充电行为将给电网带来较大影响,而电动汽车的储能特性也将为电力系统的安全经济运行提供新的机遇。电动汽车充电对电网的影响受电动汽车商业模式的影响巨大,当前仍存在较大的不确定性;从负荷平衡的角度来看,电动汽车使用和充电的时间特性具有削峰填谷的功能,因此对输电网影响不大,而电动汽车充电的群聚效应对配网局部将产生较大的影响,这方面仍有待深入研究。另一方面,当前我国充电设施建设如火如荼,但相应的充电站布点和容量规划缺乏成熟的理论和方法。

从电动汽车充电未来的发展趋势来看,短期内主要考虑配电网规划中电动汽车充电设施的布点和容量配置,而从长期来看,随着电动汽车走入家庭以及充电技术和计量技术的发展,大规模分布式的家庭充电将成为研究电动汽车充电对电网影响必须考虑的重要方面。

参考文献

- [1] 杨孝纶. 电动汽车技术发展趋势及前景(上)[J]. 汽车科技, 2007(6): 10-13.
Yang Xiaolun. The development trend and foreground of the electric vehicle[J]. Auto Mobile Science & Technology, 2007(6): 10-13(in Chinese).
- [2] 孙逢春. 电动汽车发展现状及趋势[J]. 科学中国人, 2006(8): 44-47.
Sun Pengchun. The current situation and development trend of the electric vehicle[J]. Scientific Chinese, 2006(8): 44-47(in Chinese).
- [3] 雷黎, 刘权彬. 电动汽车使用对电网负荷曲线的影响初探[J]. 电机技术, 2000(1): 37-39.
Lei Li, Liu Quanbin. Study on the Influence on the EV's usage to the load curve[J]. Electrical Machinery Technology, 2000(1): 37-39(in Chinese).
- [4] Kempton W, Tomic J, Letendre S, et al. Vehicle-to-grid power: battery, hybrid, and fuel cell vehicles as resources for distributed electric power in california[R]. Davis, CA: Institute of Transportation Studies Report, 2001.

- [5] Jason W, Lincoln P. Impact of plug-hybrid electric vehicles on california's electricity grid[D]. North Carolina: Duke University, 2009.
- [6] Kempton W, Tomic J. Vehicle-to-grid power fundamental: calculating capacity and net revenue[J]. Journal of Power Sources, 2005, 144(1): 268-279.
- [7] Kempton W, Tomic J. Vehicle-to-grid power implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy[J]. Journal of Power Sources, 2005, 144(1): 280-294.
- [8] Christophe G, George G. A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation[J]. Energy Policy, 2009, 37(11): 4379-4390.
- [9] Kempton W, Udo V, Huber K, et al. A test of vehicle-to-grid(V2G) for energy storage and frequency regulation in the PJM system[R]. Delaware: University of Delaware, 2008.
- [10] Larry D, Jessica H. A new car, a new grid[J]. IEEE power & Energy Magazine, 2010, 8(2): 55-61.
- [11] Hadley S W, Tsvetkova A. Potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on regional power generation[R]. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, 2008.
- [12] Steven L. Plug-in hybrid electric vehicles and the vermont grid: a scoping analysis[R]. Vermont: University of Vermont Transportation Center, 2007.
- [13] Meyers M.K, Schneider K, Pratt R. Impacts assessment of plug-in hybrid vehicles on electric utilities and regional US power grids part 1: technical analysis[R]. State of Washington: Pacific Northwest National Laboratory, 2007.
- [14] Denholm P, Short W. An evaluation of utility system impacts and benefits of optimally dispatched plug-in hybrid electric vehicles[R]. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2007.
- [15] 牛利勇, 姜久春, 张维戈. 纯电动公交充电站谐波分析模型方法[J]. 高技术通讯, 2008, 18(9): 953-957.
- Niu Liyong, Jiang Jiuchun, Zhang Weige. A simulation model for analysis of current harmonics generated by charging stations for electric buses[J]. Chinese High Technology Letters, 2008, 18(9): 953-957(in Chinese).
- [16] 黄少芳. 电动汽车充电机(站)谐波问题的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [17] 陈新琪, 李鹏, 胡文堂, 等. 电动汽车充电站对电网谐波的影响分析[J]. 中国电力, 2008, 41(9): 31-36.
- Chen Xinqi, Li Peng, Hu Wentang, et al. Analysis of impacts of electric vehicle charger on power grid harmonic[J]. Electric Power, 2008, 41(9): 31-36(in Chinese).
- [18] 卢艳霞, 张秀敏, 蒲孝文. 电动汽车充电站谐波分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(3): 51-54.
- Lu Yanxia, Zhang Xiumin, Pu Xiaowen. Harmonic study of electric vehicle chargers[J]. Proceedings of the Chinese Society of Universities, 2006, 18(3): 51-54(in Chinese).
- [19] Stanton W H. Impact of plug-in hybrid vehicles on the electric grid[R]. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, 2006.
- [20] Parks K, Denholm P, Markel T. Costs and emissions associated with plug-in hybrid electric vehicle charging in the xcel energy colorado service territory[R]. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2007.
- [21] Rashid A W, Matthias D G, Michael B, et al. Plug-in hybrid electric vehicles and smart grid: investigations based on a micro-simulation [C]//The 12th International Conference of the International Association for Travel Behaviour Research, Jaipur, India: International Association for Travel Behaviour Research, 2009.
- [22] Rowand M. The Electricity utility-business case[C]//Plug-In Conference, San Jose CA: EPRI, Silicon Valley Leadership Group, 2009.
- [23] Taylor J, Maitra A, Alexander M, et al. Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations[C]//Power & Energy Society General Meeting. Calgary, Alberta: Energy Development and Power Generation Committee, 2009.
- [24] 李俄收, 吴文民. 电动汽车蓄电池充电对电力系统的影响及对策[J]. 华东电力, 2010, 38(1): 109-113.
- Li Eshou, Wu Wenmin. Influence and countermeasure of electric vehicle battery charging to power systems[J]. East China Electric Power, 2010, 38(1): 109-113(in Chinese).
- [25] 陈玉进. 电动汽车充电设备特点及对电网影响探讨[J]. 湖北电力, 2009, 33(6): 48-50.
- Chen Yujin. Study on the influence on power quality by electric vehicle charging equipment[J]. Hubei Electric Power, 2009, 33(6): 48-50(in Chinese).
- [26] 康继光, 卫振林, 程丹明, 等. 电动汽车充电模式与充电站建设研究[J]. 电力需求侧管理, 2009, 11(5): 64-66.
- Kang Jiguang, Wei Zhenlin, Cheng Danming, et al. Research on electric vehicle charging mode and charging stations construction[J]. Power Demand Side Management, 2009, 11(5): 64-66(in Chinese).
- [27] 徐凡, 俞国勤, 顾临峰, 等. 电动汽车充电站布局规划浅析[J]. 华东电力, 2009, 17(10): 1678-1682.
- Xu Fan, Yu Guoqin, Gu Linfeng, et al. Tentative analysis of layout of electrical vehicle charging stations[J]. East China Electric Power, 2009, 17(10): 1678-1682(in Chinese).



高赐威

收稿日期: 2010-09-20。

作者简介:

高赐威(1977), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电动汽车接入电网、电力规划、电力市场、需求侧管理、电力安全等, E-mail: ciwei.gao@126.com;

张亮(1987), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制。

(责任编辑 杜宁)