

文章编号: 1006-4729(2012)02-0156-03

电动汽车快速充电站的负荷特性

胡 荣, 赵品贤

(上海电力学院 电力与自动化工程学院, 上海 200090)

摘 要: 介绍了电动汽车的各种充电模式, 探讨了快速充电站的负荷特性. 借鉴汽车加油统计规律, 建立了单台电动汽车功率需求的统计模型, 并利用概率统计学大数定律和中心极限定理, 求得多台电动汽车同时充电的最大负荷功率, 以期为城市电网负荷预测提供技术依据.

关键词: 电动汽车; 充电站; 负荷特性

中图分类号: TM714; TP273 文献标志码: A

Load Characteristics of Fast Charging Station of Electric Vehicles

HU Rong, ZHAO Pin-xian

(School of Electric Power and Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: Various power supply services for different charging mode are studied with special focus on fast charging station load characteristics. Enlightened by statistical data of internal combustion cars, a statistical model of electric vehicles' power demand is built. Using large number law and central limit theorem, total power maximum demand of many electric vehicles is calculated to provide a technical basis for load forecast.

Key words: electric vehicle; charging station; load characteristics

近年来,在全球环境恶化及传统化石能源短缺的背景下,各国加紧了电动汽车应用的探索和研究. 预计2015年,我国纯电动汽车的保有量将达266万辆左右. 每辆电动汽车功率按20 kW计算,则总容量为 5.32×10^7 kW. 由此可见,电动汽车在规模化应用后,其总的负荷需求将十分庞大.

电动汽车充电负荷在时间和空间上具有一定的随机性,可能导致电网负荷高峰的增加,需要新增电网装机容量,而一些输配电网将不能承载

其能量需求^[1,2]. 因此,分析电动汽车的电能需求对未来城市负荷预测、电力配送,以及基础设施建设规划等具有重要意义. 定量评估电动汽车负荷带来的影响已成为许多电力工作者关注的焦点. 文献[3]和文献[4]采用电动汽车负荷1 d的分布对历史负荷曲线进行叠加,得到了电动汽车对日负荷曲线的影响;文献[5]通过“填谷”方法按电量计算了美国各区域电网可承受的插入式混合动力汽车的数量;文献[6]分析了未经管理的充

收稿日期: 2011-07-05

通讯作者简介: 胡荣(1962-),女,副教授,湖北武汉人. 主要研究方向为配电网优化规划及配电网评估与改造等.

E-mail: hurong6-2@126.com.

基金项目: 上海市教育委员会重点学科建设项目(J51303);上海市重点攻关项目(10DZ1203100).

电和电价引导的充电对电网的影响;文献[7]对一个大型停车场车辆的驶入时刻进行了统计,并根据统计出的规律对变压器、供电电缆进行了设计;文献[8]根据充电功率的统计规律建立了用于多台电动汽车充电机谐波评估的数学模型.本文从电动汽车充电模式着手,分析了各种充电模式对电网的影响,探讨了对电网影响相对较大的快速充电站的负荷特性.

1 蓄电池的充电模型

电动汽车的充电模式分为常规充电模式、快速充电模式和换电池模式3种.

(1) 常规充电模式 通常采用充电桩充电,充电电压一般为交流220 V,充电电流为10~15 A,充电时间为5~8 h.可利用夜晚在住宅小区和停车场充电,达到削峰填谷的效果.但常规充电时间一般较长,给实际使用带来许多不便.

(2) 快速充电模式 快速充电电池的出现,为纯电动汽车的商业化提供了技术支持.快速充电又称应急充电,以150~400 A大电流在电动汽车停车的20 min至2 h内,为其提供70%~80%充电服务.其充电电压一般为直流400 V或750 V.2010年5月,国家电网签署了267份电动汽车充电设施建设战略合作框架协议,占全国273个地级市的98%.光大证券预测,2012年全国将建成快速充电桩36 200个,慢充电桩7 400个.

(3) 换电池模式 主要是通过更换电动汽车的电池组来达到为其充电的目的.更换电池方便快捷,可在2 min内由专业人员借助专业机械快速完成,其缺点是电动汽车和电池的标准化问题难以统一.

上述3种模式中的快速充电模式对电网影响最大.本文以快速充电模式为研究对象,根据电动汽车的充电特性建立快速充电站负荷特性模型.

2 快速充电模型

2.1 单台蓄电池充电特性

根据马斯定律:在充电过程中,蓄电池的充电电流始终等于或接近于蓄电池的可接受电流(即蓄电池不被击穿的最大电流),在很短的时间内完成对蓄电池的充电,而在这个过程中,温度也不会太高(40℃以下).在充电过程中,为了尽量减

少极化,可以得出蓄电池的允许充电特性,即在不产生气泡或微产生气泡的条件下充电电流随时间变化的曲线如图1所示.

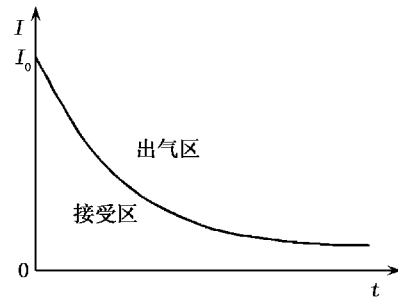


图1 蓄电池快速充电特性曲线

蓄电池的快速充电模型为^[9]:

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

式中: I ——蓄电池可以接受的充电电流(不会使蓄电池击穿),即允许的充电电流;

I_0 ——当 $t=0$ 时最大的允许充电电流,由蓄电池的使用状态决定;

α ——蓄电池固有充电电流接受比,也称固有接受比 $\alpha = I_0/C$ (C 为蓄电池需要充入的电量)。

从蓄电池接受比 α 的定义中可以看出,当蓄电池的容量确定后, α 越大表示蓄电池接受能力越强,充电的速度也将越快,即充电时间越短.

2.2 电动汽车充电时刻的选择

借鉴汽车加油统计规律,假定电动汽车充电到达时刻服从泊松过程,当 λ 较大时,则用均值 $\mu = \lambda$, 方差 $\sigma^2 = \lambda$ 的正态分布去近似于泊松分布,结果令人满意.为此,我们假设电动汽车的充电到达时刻服从 $N(\lambda, \sqrt{\lambda})$ 分布,即:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\lambda}} \exp\left[-\frac{(t-\lambda)^2}{2\lambda}\right] \quad (2)$$

2.3 多台充电功率模型

当多台电动汽车同时充电时,目标函数为 $Y = \sum_{i=1}^n i e^{-\alpha\Phi(t)}$ ($1 \leq t \leq n$),其中时间 $\Phi(t)$ 为随机变量,目标函数不方便求解,所以尝试通过数学期望和方差求取满足99.7%用电负荷需求模型,即:

$$E(i) - 3\sigma \quad E(i) + 3\sigma \quad (3)$$

$$E(g(x)) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) f(x) dt \quad (4)$$

$$D(\sigma^2) = E(g(x)^2) - (E(g(x)))^2 \quad (5)$$

各蓄电池的充电过程相互独立,所以蓄电池的充电电流符合独立同分布:

$$E(i_1 + i_2 + \dots + i_n) = E(i_1) + E(i_2) + \dots$$

$$E(i_n) = nE(i) \quad (6)$$

$$D(i_1 + i_2 + \dots + i_n) = D(i_1) + D(i_2) + \dots$$

$$D(i_n) = nD(i) \quad (7)$$

$$\Phi(3.1) = 0.997 \leq P\{x \leq Q\} = P\{x \leq Q\} =$$

$$P\left\{\frac{x - nE(i)}{\sqrt{nD(i)}} \leq \frac{Q - nE(i)}{\sqrt{nD(i)}}\right\} = \Phi\left(\frac{Q - nE(i)}{\sqrt{nD(i)}}\right) \quad (8)$$

充电站全部充电机同时进行充电时所需的总功率为:

$$P = \frac{QV}{\eta} \quad (9)$$

式中: Q ——近似为蓄电池同时充电时总电流;
 η ——充电机的充电效率.

3 案例分析

假设某大型充电站有 50 台电动汽车同时充电,充电时间服从:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{30\pi}} \exp\left[-\frac{(t-15)^2}{30}\right]$$

蓄电池的单台容量为 120 Ah,最大允许充电电流为 275 A,充电电压为直流 400 V,充电机效率 η 取 0.9,则由马斯定律可知:

$$\lambda = \frac{I_0}{C} = \frac{275}{120 \times 60} = 0.038$$

考虑充电过程 C 的变化,为简化计算 C 统一取为 90 Ah,则:

$$\lambda = \frac{I_0}{C} = \frac{275}{90 \times 60} = 0.51$$

故单台充电电流 $I = 250e^{-0.051t}$,考虑到不同时刻对充电电流的影响:

$$E(i) = \int_{-\infty}^{+\infty} 275e^{-0.051t} \frac{1}{\sqrt{30\pi}} e^{-\frac{(t-15)^2}{30}} dt = 130.5 \text{ (A)}$$

$$D(\sigma^2) = \int_{-\infty}^{+\infty} (275e^{-0.051t})^2 \frac{1}{\sqrt{30\pi}} e^{-\frac{(t-15)^2}{30}} dt -$$

$$\left[\int_{-\infty}^{+\infty} (275e^{-0.051t}) \frac{1}{\sqrt{30\pi}} e^{-\frac{(t-15)^2}{30}} dt\right]^2 = 667 \text{ (A)}$$

因为各蓄电池充电负荷独立同分布,故:

$$E(i_1 + i_2 + \dots + i_n) = nE(i) =$$

$$50 \times 130.5 = 6525 \text{ (A)}$$

$$D(i_1 + i_2 + \dots + i_n) = nD(i) =$$

$$50 \times 677 = 33850 \text{ (A)}$$

由中心极限定理可知,大量独立同分布随机变量和的分布近似服从于正态分布:

$$\Phi(3.1) = \Phi\left(\frac{Q - 6525}{\sqrt{33850}}\right)$$

$$Q = 7095 \text{ A}$$

所以变电站的总负荷为:

$$P = \frac{7095 \times 400}{0.9 \times 1000} = 3153 \text{ kW}$$

若由最大电流计算,则:

$$P = \frac{50 \times 275 \times 400}{0.9 \times 1000} = 6111 \text{ kW}$$

考虑快速充电过程中不同充电时刻电流的变化,用 $E(i) - 3\sigma$, $E(i) + 3\sigma$ 来估算电动汽车充电负荷,在满足充电负荷需求的前提下,能极大地减少充电站的配电容量配置.

4 结 语

本文由电动汽车充电服从泊松分布、近似服从正态分布,以及不同蓄电池在不同充电时刻的错峰效应,借助概率论数学期望和方差知识,分析了一台电动汽车充电时的电流,然后利用统计学大数定律和中心极限定理,得出了电动汽车总的最大充电功率远小于单台最大功率之和、在满足充电需求的同时可以减少配电设备投资的结论.

参考文献:

- [1] ADOFO P, BIAGIO C. The introduction of electric vehicles in the private fleet: potential impact on the electric supply system and on the environment [J]. Italy Energy Policy, 2010, 38(8): 4549-4561.
- [2] AXSEN J, KURANI K. Anticipating plug-in hybrid vehicle energy impacts in California: constructing a consumer-informed, re-charge profiles [J]. Transportation Research, 2010, 15(4): 212-219.
- [3] PUTRUS G, SUWANA Pingkarl A, JOHNSTON P. Impact of electric vehicles on power distribution networks [C]//IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Dearborn, USA, 2009: 827-832.
- [4] WYNNE J. Impact of plug-in hybrid electric vehicles on California's electricity grid [D]. North Carolina: Nicholas School of the Environment of Duke University, 2009.
- [5] KINTNER M, SCHNEIDER K, PRATT R. Impacts assessment of plug-in hybrid vehicles on electric utilities and regional US power grids part I: technical analysis [C]//Electric Utilities Environmental Conference, Tucson, USA, 2007: 1-23.

(下转第 175 页)

参考文献:

- [1] 董明, 赵文彬, 严璋. 油气分析诊断变压器故障方法的改进[J]. 高电压技术, 2002, 28(4): 628.
- [2] 李斌, 徐建源. 变压器油中溶解气体的多智能体故障诊断方法[J]. 中国电力, 2011, 44(2): 82-86.
- [3] 张蕊, 郭瑞君, 李华, 等. 基于变压器故障分类的 DGA 特征提取[J]. 变压器, 2005, 31(4): 32-33.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 7252-2001, 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 1-25.
- [5] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T 722-2000, 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2001: 1-24.

(编辑 白林雪)

(上接第 158 页)

- [6] DeFOREST N, FUNK J, LORIMER A. Impact of widespread electric vehicle adoption on the electrical utility business: threats and opportunities [EB/OL]. [2009-08-31] http://cet.berkeley.edu/dl/Utilities_Final_8-31-09.pdf.
- [7] HUTCHINSON R S. Power supply protection, protection, and harmonic analysis for an electric vehicle charging system in a large parking deck [D]. North Carolina: North Carolina State University, 2009.
- [8] STAATS P T, GRADY W M, Arapostathis A *et al.* A statistical method for predicting the net harmonic currents generated by a concentration of electric vehicle batterychargers [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1997, 12(3): 1258-1266.
- [9] 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.

(编辑 胡小萍)