

计及电动汽车自由充电的负荷需求

谈丽娟,赵彩虹,刘 笠,李 静,杨 磊

(南京师范大学电气与自动化工程学院,江苏 南京 210042)

[摘要] 电动汽车规模化应用后,其充电功率需求将会对原有的电网负荷产生很大的影响. 对不同类型的电动汽车不同的充电功率,采用蒙特卡洛法抽取起始充电时间和日行驶里程来计算电动汽车的充电负荷,给出了多台汽车的充电负荷曲线. 以某市夏季日负荷曲线为例,计算出不同规模电动汽车对原负荷曲线的影响. 结果表明,电动汽车的自由充电特性使电网的峰荷产生了一定的增长.

[关键词] 电动汽车,负荷需求,蒙特卡洛法

[中图分类号] TM714 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2014)01-0018-04

Load Demand by Considering the Free Charge of Electric Vehicles

Tan Lijuan, Zhao Caihong, Liu Li, Li Jing, Yang Lei

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: After large-scale application of electric vehicles, the charging power requirements of them will have a huge impact on the original grid load. The charging powers of different types of electric vehicles are analyzed in this paper. The charging loads of electric vehicles are calculated by extracting the start charging time and the day mileage using the Monte Carlo method, then the charging load curves of many electric vehicles are given. Taking the daily load curve of a city during a certain summer day for an example, the impacts of power demand of electric vehicles on different scales on original load curve are calculated. The results show that the free charging characteristics of electric vehicles give rise to an increase in the peak load of the grid to some extent.

Key words: electric vehicles, load demand, Monte Carlo method

随着全球气候的不断恶化以及传统化石能源的短缺,使用清洁电力为动力的电动汽车应运而生,目前已经成为各国政府、汽车制造企业等关注的热点.

大规模的电动汽车应用后,其总体的充电功率将会很大,对电网运行产生一定的影响^[1]. 电动汽车充电负荷在时间和空间上都存在着随机性,研究它的负荷特性对于电网的稳定安全运行及电力系统规划具有重要意义^[2].

文献[3]研究了在不同充电方式下,中国未来电动汽车的负荷预测,比较全面地考虑了不同类型的电动汽车以及工作日和节假日负荷曲线的区别. 文献[4]分析了3种不同充电模式下电动车负荷对电网日负荷曲线的影响,但在计算电动车负荷模型时充电时间的给定不大符合实际情况. 文献[5]采用蒙特卡洛法将单台电动汽车充电负荷累加得出了未来上海市私家电动汽车的负荷曲线,通过起始充电容量和起始充电时间来计算充电时长. 文献[6]通过将不同渗透率的电动汽车负荷叠加在典型配电网的日负荷曲线上分析了电动汽车对配网的负荷需求、电压水平和相位平衡等方面的影响.

本文对影响电动汽车充电需求的因素作了一定的分析,在考虑起始充电时间、日行驶里程和不同的充电方式等因素下,用蒙特卡洛法预测了某市的电动汽车充电负荷量,并分析了其对电网夏季日负荷曲线产生的影响.

1 电动汽车的负荷计算方法

1.1 开始充电时刻和日行驶里程的概率模型

当居民停车场充电设施和工作单位停车场充电设备完善后,一般的私家电动汽车可以选择夜间在家

里或是白天在工作单位完成充电过程,一般都是夜间在家充满电,如果前一晚由于某些原因没有及时充满电,到达单位后也能充电以保证可以顺利回家.假设私家车在单位停车场、居民停车场充电的比例分别为0.3和0.7.私家车上上班到达时间相对下班回家时间集中且考虑到不同单位上、下班时间有所区别,根据大量统计数据结果以及考虑到居民的日常生活出行习惯,假设私家车在单位停车场以及居民停车场起始充电时间分布服从 $N(9,0.52^2)$ 和 $N(19.5,1.52^2)$ 的正态分布^[3].本文考虑的是一般工作日出行情况,如遇周末和节假日,其起始充电时间将不满足以上分布规律,对负荷的影响也将发生变化.

日行驶里程取决于用户的出行习惯和行驶特性,反映了电动汽车一天内消耗的电能.根据2001年美国交通部对全美家用车辆的调查结果NHTS(National Household Travel Survey)^[7]用极大似然估计的方法将日行驶里程近似为对数正态分布,拟合结果如图1所示.

其概率密度函数为:

$$f_D(x) = \frac{1}{x\sigma_D\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu_D)^2}{2\sigma_D^2}\right], \quad (1)$$

式中, $\mu_D=3.20$; $\sigma_D=0.88$.

1.2 充电时长计算

电动汽车充电所耗时间长度可估计为^[8]:

$$T_C = \frac{SW_{100}}{100P_C}, \quad (2)$$

式中, T_C 为充电时间长度/h; S 为日行驶里程/km; W_{100} 为百km的耗电量/(kW·h/km); P_C 为充电功率/kW.

根据开始充电时间和计算出来的充电时间长度,乘以相应的电动汽车充电功率即可得每台电动汽车的每天充电负荷量.

1.3 基于蒙特卡洛模拟的电动汽车充电负荷计算

将每一辆电动汽车充电负荷曲线累加,可得到总的电动汽车充电负荷曲线.充电负荷以天为计算单位,时间间隔精确到小时,即计算全天24h的充电负荷.第*i*小时总充电负荷为所有车辆在此时充电负荷之和,总充电功率可表示为:

$$P_E = \sum_{n=1}^N P_{n,i}. \quad (3)$$

其中, P_E 为第*i*小时的总充电功率, $i=1,2,\dots,24$; N 为电动汽车的总量; $P_{n,i}$ 为第*n*辆电动汽车在第*i*小时的充电功率.

采用蒙特卡洛法模拟抽取单位车辆起始充电时间、日行驶距离、充电方式的电动汽车充电负荷计算方法,其流程图如图2所示.

对单辆车辆充电负荷计算时,要确定该车的种类和充电行为,若该车有多种可能的充电行为,系统产生一个满足 $U(0,1)$ 均匀分布的随机数,根据不同充电行为发生的概率分布,确定车辆的充电行为.对于不同类型电动汽车的选取,也采用以上随机抽取的方法确定.

2 电动汽车充电负荷量预测

2.1 电动汽车规模

根据GB/T 3730.1—2001,汽车可以分为商用车和乘用车两大类.公交车、工程车、邮政车等商用车通常具有固定的行驶特性和停放场所,其电力需求也可预计为较为固定的模式,而乘用车无论在行驶里程或用户充电行为上都更具随机性和灵活性.因此,本文将以家用乘用车为研究对象,考虑其负荷特性.

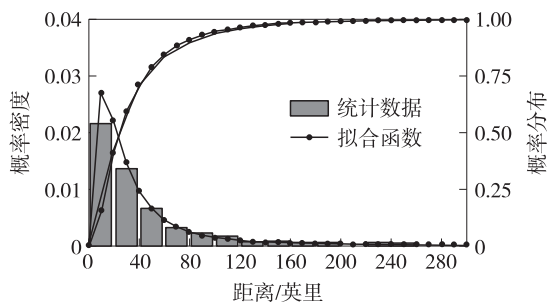


图1 日行驶距离

Fig.1 Driving distance during one day

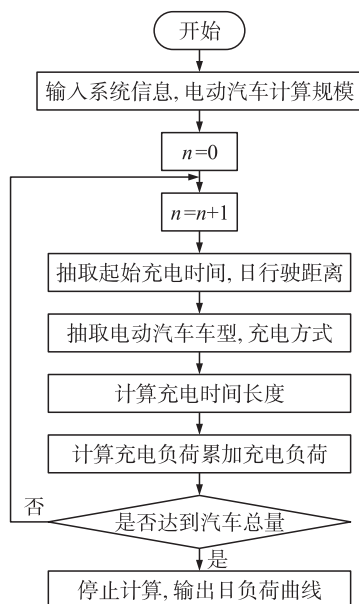


图2 基于蒙特卡洛模拟的电动汽车充电负荷计算流程图

Fig.2 Flow chart of proposed algorithm based on Monte Carlo simulation

据最新研究成果,预计至 2015 年,某市的新能源汽车将达到 10 万辆,根据千人保有量法预测的我国 2015 和 2020 年电动汽车保有量将达到 338 万辆和 1 620 万辆^[9]. 假定某市占全国电动汽车的比例同比增长,则保有量到 2020 年将达到 48 万辆. 假设其中电动私家车的数量占电动汽车总量的比例为 80%, 则 2015 年和 2020 年某市的私家电动汽车保有量将到达 8 万辆和 38 万辆,具体预测数据如表 1 所示.

2.2 电动汽车的种类

根据使用能源和驱动系统的不同,电动汽车可以分为纯电动汽车 PEV(Pure Electric Vehicles)、插电式混合动力电动汽车 PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicles)及燃料电池电动汽车. 其中,纯电动汽车完全靠电能驱动;插电式电动汽车采用汽油和电能驱动;燃料电池电动汽车则以清洁燃料发出电能驱动. 纯电动汽车受电池容量限制虽未大规模普及,但代表着未来电动汽车发展方向即完全依靠绿色电力能源来驱动汽车. 本文选取了 3 种典型的纯电动汽车类型:荣威 E50,日产聆风和比亚迪 E6 为例,进行负荷计算,其各自的充电特性如表 2 所示.

假定正常充电模式下,电动汽车的充电电流倍率为 0.2 C,充电时间为 5 h,快速充电模式下,电动汽车的充电电流倍率为 2 C,充电时间为 0.5 h.

2.3 假设条件

根据上述分析,许多因素将影响电动汽车功率需求. 参考目前电动汽车的发展状况,本文对私家电动车做出如下假设:

- (1)至 2015 年、2020 年,某市私人电动汽车保有量分别为 8 万和 38 万辆;
- (2)本文主要考虑的是私家电动汽车,假设都为纯电动汽车;
- (3)在自由充电模式下,电动汽车开始充电时间是由车主完全控制的,电动汽车开始充电时间主要分两个时段,分别满足 $N(9,0.52^2)$ 和 $N(19.5,1.52^2)$ 的正态分布,假设其比例分别为 0.3 和 0.7;
- (4)几种不同类型的电动汽车充电参数如表 2 所示,各种类型的电动汽车所占比例参考如下:BEV1、BEV2 和 BEV3 的比例为 40%、30% 和 30%;
- (5)在充电方式的选择上,假设 95% 的电动汽车采用正常充电,即充电电流倍率为 0.2 C,5% 的电动汽车采用快速充电,即充电电流倍率为 2 C;
- (6)考虑到电池的寿命,充电频率为一天一次,并且充电从开始持续到电池充满电结束.

基于上述假定,采用蒙特卡洛仿真方法可以得到电动汽车规模化应用后的负荷曲线. 预计至 2015 和 2020 年,某市私家电动汽车日充电负荷曲线如图 3 所示.

由图 3 可知,从 2015 年到 2020 年,随着电动私家车的普及,电动汽车的充电负荷量快速上升. 由于电动汽车接入电网的时间基本集中在 9 点和 19.5 点,所以在这两个时刻附近出现了充电负荷的高峰,最大充电负荷值分别为 56 MW 和 266 MW.

3 电动汽车规模化应用对负荷曲线的影响

本文以某市 2010 年夏季某日的负荷曲线为例,根据其目前的用电年平均增长率为 9.5%,可以预测 2020 年的日负荷情况. 按照上述模型,将电动汽车的充电负荷叠加在日负荷曲线上,考虑至 2020 年时电动汽车的不同应用规模对一天内负荷曲线的影响. 计算结果如图 4 所示.

表 1 2015 年和 2020 年某市电动汽车保有量预测

Table 1 Population prediction of electric vehicles in a city in 2015 and 2020

	2015 年	2020 年
全国电动汽车保有量/万辆	338	1620
某市电动汽车保有量/万辆	10	48
某市私家电动汽车保有量/万辆	8	38

表 2 几种典型纯电动汽车充电特性

Table 2 Charging characteristics of several typical pure electric vehicles

	荣威 e50 (BEV1)	日产 leaf (BEV2)	比亚迪 e6 (BEV3)
最大功率/kW	52	80	90
电池容量/kWh	18	24	60
充电功率 0.2 C/kW	3.6	4.8	12
充电功率 2 C/kW	36	48	120
市场价格/万元	23.49	22.6	32.98
百公里耗电量/(kWh/100 km)	10	12	19.5
续航里程/km	180	161	300

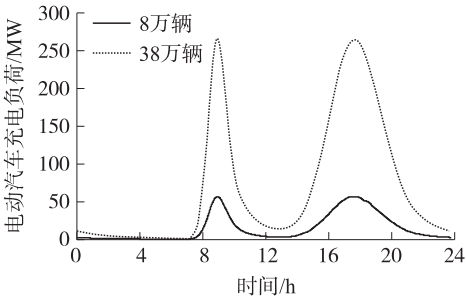


图 3 2015 和 2020 年某市电动汽车日充电负荷曲线

Fig.3 Prediction of daily charging load curves in a city in 2015 and 2020

不同规模电动汽车对电网最大负荷的影响见表3.表中 P_{\max} 为电动汽车最大充电功率需求.

表3 不同规模的电动汽车对最大负荷的影响

Table 3 The impacts of electric vehicles on the maximum load under different scales

电动汽车数量(万辆)	P_{\max}/MW	叠加后的最大负荷/MW	最大负荷增长量/MW
—	—	27 880	—
8	57	27 885	5
38	264	27 904	24
100	693	27 944	64

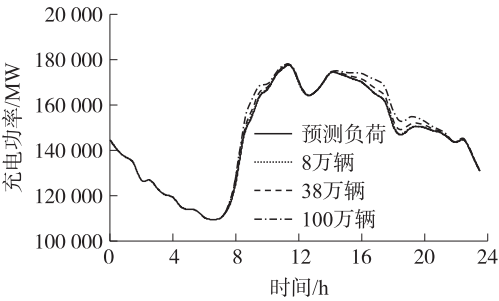


图4 某市不同规模电动汽车对日负荷曲线的影响

Fig.4 The impact of electric vehicles on the load curve under different scales

结果表明,在自由充电模式下,电动汽车充电负荷具有明显的峰谷差,其峰荷时段与全网负荷峰荷时段基本一致.在算例条件下,电动汽车充电需求将使电网最大负荷发生一定增长,其增长量与电动汽车数量的增长正相关.

根据图3对电动汽车负荷量的预测,随着大规模电动汽车的应用,其负荷增量主要集中在一天中的两个时间段,即8:00—10:00和16:00—20:00,从图4可以看出,相应时间段的预测总负荷量出现了较大的增幅,使电网用电高峰段需求出现两次上升,产生了峰上加峰的情况,进一步扩大了负荷的峰谷差值.未来大规模电动汽车的入网,虽然会给环境保护带来一定益处,但其充电负荷对电网的影响很大,增加了电网的旋转备用容量,所以可以采用一些调度策略来协调电动汽车的充电行为.

4 结论

电动汽车的充电负荷受很多因素的影响,开始充电的时间、日行驶里程、汽车保有量、不同的车型和不同的充电功率等因素,都会影响电动汽车的充电负荷.大规模电动汽车的充电负荷需求量预测和不同应用规模下的电动汽车对日负荷曲线的影响都表明电动汽车使电网高峰负荷发生了一定的增长.

[参考文献](References)

[1] 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)

[2] Luis Pieltain Fernández,Tomás Gómez San Román. Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks[J]. IEEE Transaction on Power System,2011,26(1):206-213.

[3] 罗卓伟,胡泽春,宋永华,等.电动汽车充电负荷计算方法[J].电力系统自动化,2011,35(14):36-42.
Luo Zhuowei,Hu Zechun,Song Yonghua,et al. Calculation method of electric vehicle charging load[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(14):36-42. (in Chinese)

[4] 谢莹华,谭春辉,张雪峰.电动汽车充放电方式对深圳电网日负荷曲线的影响[J].广东电力,2011,24(12):47-50.
Xie Yinghua,Tan Chunhui,Zhang Xuefeng. Impact of charge and discharge electric automobile on daily load curve of shenzhen power grid[J]. Guangdong Electric Power,2011,24(12):47-50. (in Chinese)

[5] 黄润.电动汽车入网对电网负荷影响的研究[D].上海:上海交通大学电子信息与电气工程学院,2012:10-23.
Huang Run. Impacts of electric vehicles charging on the load of power system[D]. Shanghai:School of Electronic Information and Electrical Engineering,Shanghai Jiao Tong University,2012:10-23. (in Chinese)

[6] Putrus G A,Suwanapingkarl P,Johnston D. Impact of electric vehicles on power distribution networks[C]//IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference,Dearborn University of Michigan-Dearborn,2009:827-832.

[7] Vyas A,Santini D. Use of national surveys for estimating 'full' PHEV potential for oil user eduction[EB/OL]. [2008-07-21]http://www.transportation.gov/pdfs/HV/525.pdf.

[8] 田立亭,史双龙,贾卓.电动汽车充电功率需求的统计学建模方法[J].电网技术,2010,34(11):126-130.
Tian Liting,Shi Shuanglong,Jia Zhuo. A statistical model for charging power demand of electric vehicles[J]. Power System Technology,2010,34(11):126-130. (in Chinese)

[9] 王瑞妙,陈涛,刘永相,等.弹性系数法和千人保有量法预测电动汽车保有量[J].农业装备与车辆工程,2011(6):40-48.
Wang Ruimiao,Chen Tao,Liu Yongxiang,et al. Electric vehicle holdings prediction using elasticity and thousand holdings methods[J]. Agricultural Equipment and Vehicle Engineering,2011(6):40-48. (in Chinese)

[责任编辑:刘健]