

慢充和换电方式下的电动汽车充电负荷计算

俞豪君¹, 梁茜², 许文超¹, 牛涛¹, 韩志锐¹

(1.江苏省电力设计院,江苏南京 211102;2.上海电力公司沪北供电公司,上海 200070)

摘要:提出了慢充模式和换电模式电动汽车充电功率预测计算方法。首先综合分析影响电动汽车充电功率的各要素,在合理假设的基础上,建立要素量化概率模型,其次引入蒙特卡洛随机模拟方法,提出充电功率计算方法和流程,以北京地区为例,研究混合模式的电动汽车的规模化接入对城市电网的影响。

关键词:电动汽车;充电负荷计算;随机模拟;换电;智能电网

中图分类号:U469.72

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2015)02-0058-04

电动汽车作为一种绿色交通工具,在保障国家能源安全、缓解城市地区污染和促进经济发展和产业结构调整方面具有重要的战略意义。规模化电动汽车的应用,将会给传统电网造成一定的冲击。电动汽车充电功率计算是进行电动汽车与电网交互设施规划^[1]以及进一步进行协调控制^[2]的基础。影响电动汽车充电功率的很多因素往往很难建立较为准确的数学模型进行描述,因此给功率预测带来了很大的困难。目前,国内外对此课题的研究通常要基于一系列条件性很强的假设,利用统计数据和计算机模拟技术,对电动汽车充电功率进行预测。文献[3]分析了与电动汽车功率需求相关的各种因素。考虑了部分随机因素的概率分布,建立了电动汽车功率需求的统计模型。采用蒙特卡洛随机模拟方法,形成了从单体到群体电动汽车功率需求的计算方法。文献[4]则对电动汽车进行了简单的分类,从私家车、公务车、公交车和出租车不同的出行特性入手,在起始电量状态(SOC)、行驶距离和充电模式的一系列假设前提下,研究了各类电动汽车在工作日和休息日的充电功率预测方法。文献[5]结合实时地理交通信息,对电动汽车的充电行为进行了分析。目前的研究存在影响因素考虑不全面、假设强主观性、数据缺乏、且尚未有对换电方式电动汽车负荷进行计算的研究等问题。

1 电动汽车主要充电方式

目前,电动汽车充电的模式主要有3种,慢充、快充和换电。

(1) 慢充(充电桩)方式:通常使用7 kW以下的交流电源充电,充满一组电池大概需要6~10 h。充电桩缓慢的充电过程意味着它只适合面向用户的停车过程,更适合服务覆盖范围较小的分散式布局。

(2) 快充方式:电动汽车快速充电需要高功率直流充电机,额定功率可达200 kW以上,充满一组电池

大约需要10~30 min。快速充电可以满足电动汽车的应急充电需求,但是对于电池寿命有很大的损伤,同时会给电网带来冲击和谐波污染。

(3) 换电方式:换电模式利用专用的电池更换设备,将电动汽车耗尽的电池组直接更换为充电站内已经充满的电池组。整个过程由自动化设备在数分钟内完成,比快速充电更为方便快捷。这种充电方式对电池损伤小,而且可以提供统一的电池维护保养,大大增加了电池寿命。但是这种模式需要统一的电池规格,充电技术和接口标准,还有与之相配套的电池租赁体系和物流系统^[6],因此短期内这种模式的推广普及具有一定的难度,从中长期看,这种模式良好的特性使得其在未来市场中将占有一定的份额。

2 电动汽车充电功率计算

充电功率预测的主要任务是研究电动汽车充电功率在时间上的分布状况,从而为电力系统运行提供参考,并作为进一步引导电动汽车有序充电的依据。充电功率预测是一个多元、强耦合、非线性的复杂问题,影响因素众多且有些因素难以进行数学建模。在研究中,将选取对电动汽车充电行为影响最大的几个因素进行建模和分析。因为慢充和换电方式在充电功率特性上表现很大的不同,则分别对慢充模式和换电模式的充电功率预测进行分析。

2.1 慢充方式

2.1.1 基本假设

影响慢充方式电动汽车充电功率的主要因素包括出发/到达时刻、行驶距离、起始电量状态、充电功率、充电场所和充电习惯。

(1) 出发/到达时刻的选取对电动汽车开始/结束充电时刻影响较大,而出发/到达时刻因个人出行习惯的不同差异很大,为了便于分析,只研究在正常工作日,用于通勤的电动汽车的行为。对于通勤的车辆,每天的日常出行有很大的规律性,根据中北京市交通

统计数据^[7],通勤车辆上班、下班出发/到达比例如图1、图2所示。

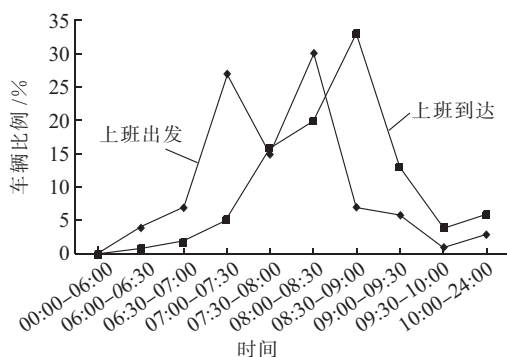


图1 上班出发及到达时间车辆分布图

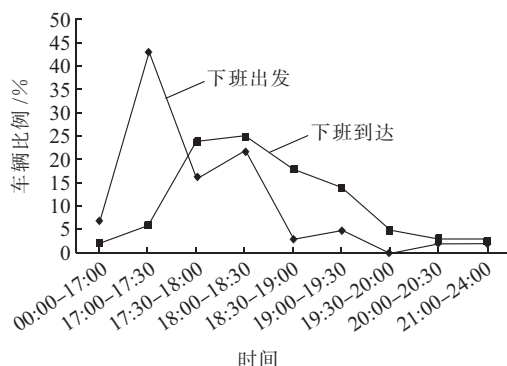


图2 下班出发及到达时间车辆分布图

(2) 电动汽车的行驶距离决定了电池耗电量的大小,从而决定了充电时间的长短,根据2011年北京市交通发展年度报告,车辆年平均行驶里程统计数据如表1所示。

表1 车辆每年行驶里程统计表

项目	调查样本数	每年平均行驶里程/(km·a ⁻¹)
公务车	172	28 657
私家车	825	19 596
调查样本	997	21 161

假设日平均行驶里程=年平均行驶里程/365。通勤车辆每天行驶次数为2次,因此假设每次出行的距离为二分之一行驶距离。如认为车辆行驶里程满足正态分布,其数学期望为日均行驶里程,方差为日均行驶里程的1/10。

(3) 起始电量状态。电量状态是表征电动汽车电池状态的参数,其定义为:

$$\text{电量状态} = \frac{\text{电池剩余电量}}{\text{电池额定容量}} \quad (1)$$

起始电量状态即电动汽车在一天开始时刻的电池电量,假设初始电量状态服从正态分布。

(4) 根据中国于2010年4月通过的《电动汽车传导式接口》^[8],认为在家充电功率为3.5 kW,而在商场、企业等的停车场充电功率为7 kW。

(5) 充电习惯的不同对充电功率的预测影响也较

大,且充电决策的主观性很大,通常认为电池剩余电量与充电意愿存在反向相关关系。但这种反向相关关系存在很强的主观性,这种主观性通常难以用客观的数学模型表述,因此需要引入一个强假设。

引入模糊数学理论,将{进行充电}看作一个模糊集合,建立从电池电量状态到该集合的隶属度函数,以此刻画用户的充电意愿。

$$A: \{\text{电池电量状态}\} \rightarrow \{\text{进行充电}\}$$

$$x \rightarrow A(x)$$

其中 x 是集合{电池电量状态}中的元素,取值范围为0%~100%,它作为用户充电意愿的判断依据。 A 为建立在集合{电池电量状态}上的函数, $A(x)$ 取值范围为[0,1],当取值越靠近1时,表示此时的电池剩余电量属于用户进行充电的集合的程度越高,也就是用户充电意愿越强。构造隶属度函数 A 为:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & 80\% < x \leq 100\% \\ 0.5 + 0.5 \sin\left(\frac{x-0.55}{0.55} \pi\right) & 30\% \leq x \leq 80\% \\ 1 & x < 30\% \end{cases} \quad (2)$$

该隶属度函数的构造:①保证了充电意愿关于电池电量状态的连续性;②当电池电量状态大于80%时,不进行充电;③当电池电量状态低于30%时,一定进行充电。

2.1.2 算法流程

利用计算机模拟技术进行慢充方式电动汽车功率预测的流程如下。

(1) 初始化,计数器 $M=0$; (2) 按图3计算数量为 N 的电动汽车在慢充模式下的功率需求, $M=M+1$,记录计算结果; (3) 重复步骤(2)直到 M 满足终止条件,由 M 组随机模拟实验结果计算均值和方差。

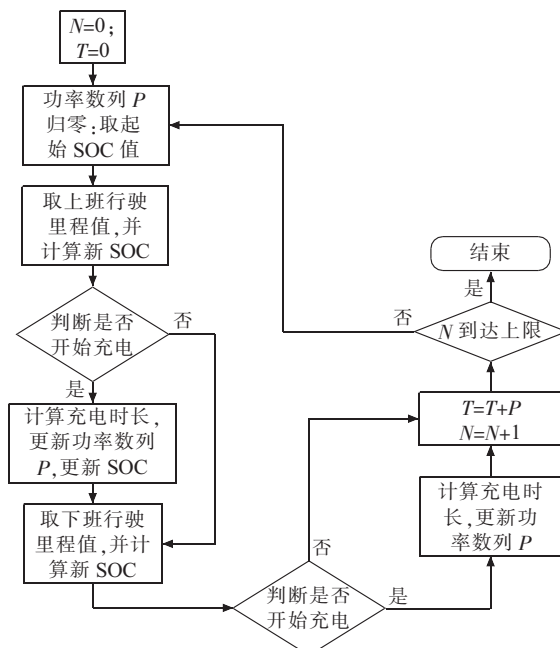


图3 慢充方式功率计算流程图

2.2 换电方式

2.2.1 基本假设

(1) 和慢充方式不同,换电方式只需几分钟,不需在换电站停留很长时间,因此在这点上,人们在使用换电站设施行为上表现出和常规加油站加油行为的相似性。即认为人们主要在上下班的途中进行更换电池。

(2) 换电时段。可以认为电动汽车的换电操作绝大部分是在上下班的途中完成的,且认为换电时段在上下班途中均匀分布。上下班途中时间间隔的长短主要取决于上下班路程的长短,则认为两者之间存在正比关系。

(3) 换电需求取决于电池剩余电量和用户换电习惯,因此们在本节引入一个模糊函数,用于表征用户换电意愿的大小,即:

$$B(x) = \begin{cases} 0.5 - 0.5 \sin\left(\frac{x-0.6}{0.8} \pi\right) & x > 0.2 \\ 1 & x \leq 0.2 \end{cases} \quad (3)$$

函数的设置遵循原则:① 电池电量低于 0.2 时,必须更换电池;② 充电意愿相对电池电量的连续性。

(4) 换电站:运行状态包括换电站剩余满充电池数量与换电站充电计划

2.2.2 算法流程

(1) 初始化,计数器 $M=0$; (2) 按图 4 所示计算数量为 N 的电动汽车在换电模式下的换电需求, $M=M+1$,记录计算结果; (3) 重复步骤(2)直到 M 满足终止条件,由 M 组随机模拟实验结果计算均值和方差。

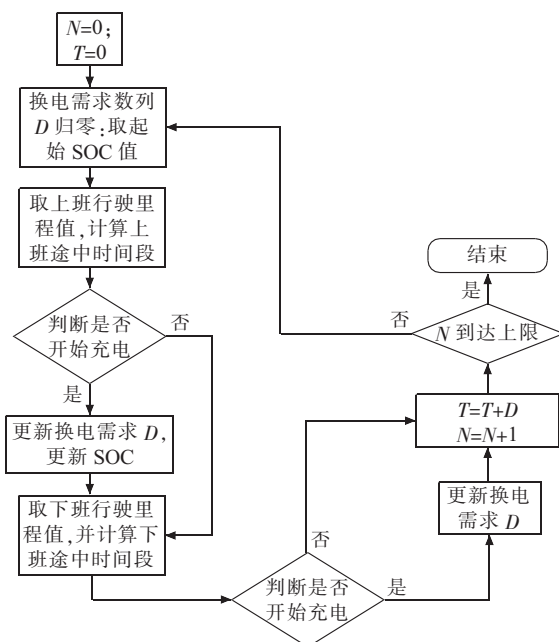


图 4 换电方式需求计算流程

3 算例分析

以北京城市配网为例,北京现有人口约 2000 万,汽车保有量约 500 万辆。北京负荷最高峰约为 16 000

MW,以峰值负荷为 12 000 MW 的某工作日为例进行分析。假设电动汽车初始电量状态满足均值为 0.7 和方差为 0.1 的正态分布,且选择换电和慢充作为能量补充的可能性分别为 0.3 和 0.7,在 5% 的渗透率条件下,有 15 000 辆电动汽车选择换电,而选择慢充方式的电动汽车则达 35 000 辆。慢充方式选择设定为每天充电次数完全由充电习惯决定的模式,换电方式选择设定为换下即刻开始充电。计算结果如图 5 所示。

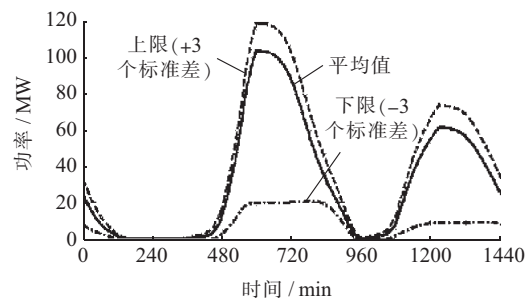


图 5 综合算例计算结果

由图 5 可以看到,2 种方式叠加的结果是形成上午和下午 2 个时段的高峰,上午负荷高峰出现在 10:00 左右,峰值超过了 100 MW,甚至在极端的情况下,可以达到 120 MW;下午负荷高峰出现在 20:00-21:00,峰值超过了 60 MW,甚至在极端的情况下,可以达到 75 MW。这将对电网造成一定的冲击。

不同渗透率条件下的负荷分布如图 6 所示。随着电动汽车渗透率的不断提高,城市总体负荷的峰荷将不断提高,当渗透率达 15% 时,峰值负荷接近 13 500 MW,增长了 12.5%,同时也可看到,电动汽车的充电也拉升了低谷时段的用电负荷(19:00-24:00),这对保证电网基荷机组及可再生能源的连续运行是有益的。

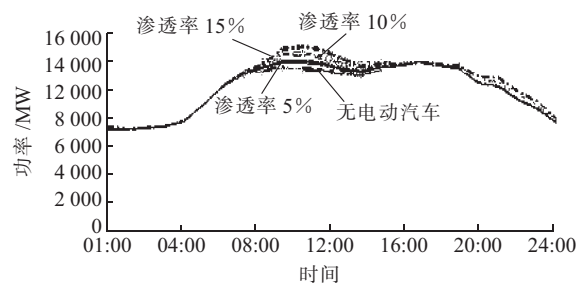


图 6 不同渗透率下的负荷分布

4 结束语

本文对慢充方式和换电方式 2 种电动汽车充电行为进行了分析,并建立了数学模型,利用蒙特卡洛方法进行计算机模拟,以北京为实例分析电动汽车负荷对电网的影响。电动汽车充电会造成新的负荷高峰,在一定程度上给城市供电网络带来冲击;且这种冲击随着电动汽车的普及和推广会越来越大,本文的计算结果可以为未来规模化电动汽车接入电网后,城市电网的规划和建设提供参考。

参考文献:

- [1] 许文超,牛涛,颜淋丽,等. 电动汽车充电站需求影响因素及预测方法[J]. 江苏电机工程,2011,30(3):41-43.
- [2] 薛钟兵,彭程. 新能源发电与电动汽车充换储站协调运行研究[J]. 江苏电机工程,2014,33(5):36-38.
- [3] 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
- [4] 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.
- [5] SU W C, WANG J H, ZHANG KL, et al. Framework for Investigating the Impact of PHEV Charging on Power Distribution System and Transportation Network [C]. IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society: 4735-4740.
- [6] 刘坚. 电动汽车充电方式和商业运营模式初探[J]. 汽车工程师,2011(1):19-23
- [7] 全永燊,郭继孚. 北京市交通发展年度报告(2003~2008年)[R]. 北京:北京交通发展研究中心,2008.
- [8] 陈凌. 电动汽车传导式充电接口[J]. 国内外机电一体化技术,2012(5):53-55.

作者简介:

俞豪君(1987),男,江苏常州人,工程师,研究方向为电动汽车充换电服务网络规划、新能源汽车与电网互动技术;

梁茜(1986),女,江苏连云港人,工程师,研究方向为电力系统优化运行;

许文超(1979),女,江苏盐城人,高级工程师,研究方向为电力系统规划设计、电动汽车充换电服务网络规划;

牛涛(1984),男,陕西西安人,工程师,研究方向为电力系统规划设计、电动汽车充换电服务网络规划;

韩志锟(1984),男,河南郑州人,工程师,研究方向为电力系统规划设计、电动汽车充换电服务网络规划。

Charging Load Calculation of Electric Vehicles Under Normal Charging Mode and Battery Exchange Mode

YU Haojun¹, LIANG Qian², XU Wenchao¹, NIU Tao¹, HAN Zhikun¹

(1. Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102, China;

2. State Grid Shanghai Electric Power Company, Shanghai 200070, China)

Abstract: The charging load calculation methods for EVs under normal charging mode and battery exchange mode are introduced. Firstly, key factors impacting charging are analyzed and modeled based on a set of proper assumptions. Secondly, the Monte Carlo method is adopted to calculate the charging load of EVs. Finally, the impacts of mixed-mode EVs on urban power system is studied.

Key words: EV; charging load calculation; monte-carlo method; battery exchange; smart grid

下 期 要 目

- 江苏配电自动化规划分析
- 电动汽车换电商业模式探讨
- 双馈风机附加阻尼控制环节与 PSS 的参数协调优化
- 基于 Qt 的继电保护逻辑组态软件开发
- 一种高压母线保护静模自动测试方案
- 智能电网综合评价模型与方法综述
- 地级电网的超高压自动电压控制模式研究
- 直流微电网及其多变流装置协调控制技术研究

广 告 索 引

华电江苏能源有限公司	封一	远东电缆有限公司	(黑白)文前
南京苏逸实业有限公司	封二	江苏省电力设计院	封三
南瑞科技股份有限公司	前插 1	江苏南瑞帕威尔电气有限公司	封四
《江苏电机工程》协办单位	前插 2		