

基于蒙特卡洛模拟的电动汽车充电负荷预测

乔文娟

(银川能源学院 电力学院, 银川 750100)

摘要:主要对不同类型电动汽车集聚充电时所产生的负荷进行相应预测。纵观中国电动汽车的发展状况,根据不同的用途,分为4大类。分别是电动公交车、出租车、公务车、私家车。不同类型电动汽车所对应充电特点、充电方式以及充电时段都不相同,采用蒙特卡洛方法来模拟抽取起始荷电状态(SOC)、起始充电时间。计算4种电动汽车的充电负荷,应用C++语言仿真模拟对应负荷特性曲线,并计算得到总体负荷曲线。通过分析总体负荷曲线的特征,得出未来电动汽车充电负荷的整体趋势,将会对电动汽车的迅速发展建设提供指导性意见。

关键词:电动汽车;蒙特卡洛模拟;充电负荷;充电方式

中图分类号: TN 9

文献标志码: A

文章编号: 1674-1951(2018)06-0019-04

0 引言

众所周知,能源短缺与环境污染是21世纪全球关注的两大难题,同时也将是未来社会发展的重大挑战。电动汽车良好的环保节能特性成为现今国际汽车发展的潮流和热点之一^[1]。据工业和信息化部对电动汽车的发展战略规划,预计2030年中国的电动汽车总量将会达到6000万辆^[2]。电动汽车的核心是充电电池,同样充电电池作为主要动力源,每天都需要充电,大量的电动汽车接入电网充电一定会给电网造成严重的冲击。所以,构建合适的电动汽车充电负荷模型,不仅利于计算电动汽车的充电负荷,并且对电力系统的运行乃至规划都具有重要的指导意义^[3]。

电动汽车的充电负荷在很多方面都具有很大的随机性和间歇性,影响因素很多,主要包括电动汽车保有量、起始荷电状态(SOC)、充电功率、充电时间和动力电池容量。随着电池技术的不断进步,电动汽车充电研究已得到国内外众多学者的高度重视,考虑多种因素,建立了不同的充电负荷模型。然而,必须提出的是有关充电负荷的研究依然存在着很多不足,比如对电动汽车类型和充电方式的因素考虑仍然不全面等。

因此,本文按照实际需求将电动汽车划分为电动公交车、出租车、公务车、私家车4大类,不同种类的电动汽车充电特性完全不同,将采用蒙特卡洛模拟方法拟抽取起始荷电状态、起始充电时间来计算4类电动汽车的充电负荷,求取负荷特性曲线,通过曲线对中国未来的电动汽车充电负荷进行预测

分析。

1 车辆运营情况与充电特性分析

不同类型电动汽车,它们的充电特性,例如充电时间和频率各种参数,都有很大差异。通过调研,得出4种不同种类的电动汽车充电特性具体情况:各类电动汽车适合的充电时段,充电频率,起始充电容量分布和起始时间分布。基于车辆的日均行驶里程及能耗,得到车辆的充电负荷。

1.1 公交车

公交车的行驶特性相对非常的固定。早上06:00左右发车,晚上22:00左右收车,中间不间断,共计约16 h。通过对公交车运营情况进行调研可知,公交车行程通常是确定的,来回双程大约为70 km,每辆车在1天当中大约可以往返4趟,日耗电量约为275 kW·h。目前已经运行的电动公交车充满电的额定行驶路程约为150~200 km。

根据公交车的运营情况,分别提出2种充电策略:在白天运营时段,一般不能长时间的停留,采用快速充电较为合理;在夜间停运时段,可以长时间逗留,一般采用常规充电。公交车运行早、晚高峰期分别为07:00—08:00,17:00—18:00。根据上述情况,制定以下的充电措施:白天充电时间选择在09:30—16:00,晚上充电时间为23:00—05:00。电动公交车每天需要充电的2次,起始SOC满足正态分布。

1.2 出租车

出租车的行驶路线相对比较灵活,可以在不拉乘客时,选择就近的充电站充电。电动出租车作为多数人出行的交通工具,在不久的将来会得到大规模的推广应用。电动出租车行驶路线特别灵活,平均每天行驶里程基本在350~400 km,每天需要充

电 2 次。

根据出租车的运营需求,每辆车运行方式为 2 班倒,规定要在交班前充满电。交班时间一般在早上 06:00,下午 16:00。为了带来多的效益,白天运营时段经常选择在就近充电站进行快速充电;夜间休息的时段选择在就近的充电场所进行常规充电。根据出租车的交接班时间和休息时间,选择在中午时间 11:30—14:00 进行快速充电,在夜间 02:00—05:00 进行常规充电。一天的运营过程中需要充电 2 次,起始 SOC 满足正态分布。

1.3 公务车

公务车一般用于各单位公务出行,行驶路程比较灵活,但大多数都是白天运行,夜间休息。公务车在不执行公务外出时,可以选择对其进行充电。一般公务车夜间晚上多停留在固定停车场,所以可以选择在夜间进行常规充电,即 18:00—07:00,起始 SOC 满足正态分布 $N(0.40, 0.12)$ 。

1.4 私家车

据调查,中国私家车平均每年的行驶里程数约为 15 000 ~ 20 000 km,每天的行驶里程为 40 km^[4]。私家车在工作日的主要用途为上、下班出行,节假日的主要用途为外出休闲等。针对每天的出行情况,通常停留在小区停车场或者是单位停车场;而节假日会有所不同,私家车一般停留在小区停车场或商场超市以及娱乐场所停车场。小区停车场和单位停车场内一般会长时间逗留,因此可采用常规充电;商场超市停车场,停留的时间比较有限,必须限制充电时间,可以采用快速充电。

私家电动汽车的上班出行高峰期为 07:00—08:00,充电时间为白天工作期间。下班出行的高峰期为 17:00—19:00,充电时间可以选择在回到家时间至次日早上 06:00。节假日出行时,可以选择晚上在小区停车场充电或白天时段在公共停车场进行快速充电。按私家车平均每天的行驶里程数来看,每天只需充电 1 次,起始 SOC 满足正态分布 $N(0.60, 0.12)$ 。

2 不同车辆运营及充电特性分析

2.1 电动汽车充电负荷计算模型

首先计算单辆电动汽车的充电负荷,然后累加所有电动汽车充电负荷,就可以得到总的充电负荷曲线。模型建立的难点通常在于电动汽车起始充电时间和起始 SOC 的不确定因素很大,因此可以选择蒙特卡洛方法模拟法抽取起始充电时间和起始 SOC,然后得到充电所需时间。计算电动汽车充电负荷以 1 天为单位,将 1 天分为 1440 min,令 P_i 表示

第 i 分钟所有电动汽车充电负荷,则总充电功率为:

$$P_i = \sum_{n=1}^m P_{n,i},$$

式中, $i = 1, 2, 3 \cdots 1440$; m 为电动汽车总数量,辆; $P_{n,i}$ 为第 n 辆车在 i 时刻的充电功率, kW。

2.2 蒙特卡洛方法的电动汽车充电负荷计算

假设电动汽车的充电时间不被控制,为“即插即充”方式。对不同类型的电动汽车,确定此类汽车的充电行为。对于常规充电的电动汽车,没有充电时长的限制,利用蒙特卡洛方法抽取起始 SOC,在满足充电所需要时长的约束条件下,缩短起始充电时间的抽样范围,抽取起始充电时间,进行负荷计算;选择快速充电模式的电动汽车,同样基于蒙特卡洛方法抽取起始充电时间,计算充电限制时间长度,在满足充电所需时长的限制下,首先抽取起始充电时间,然后进行负荷计算,流程如图 1 所示。

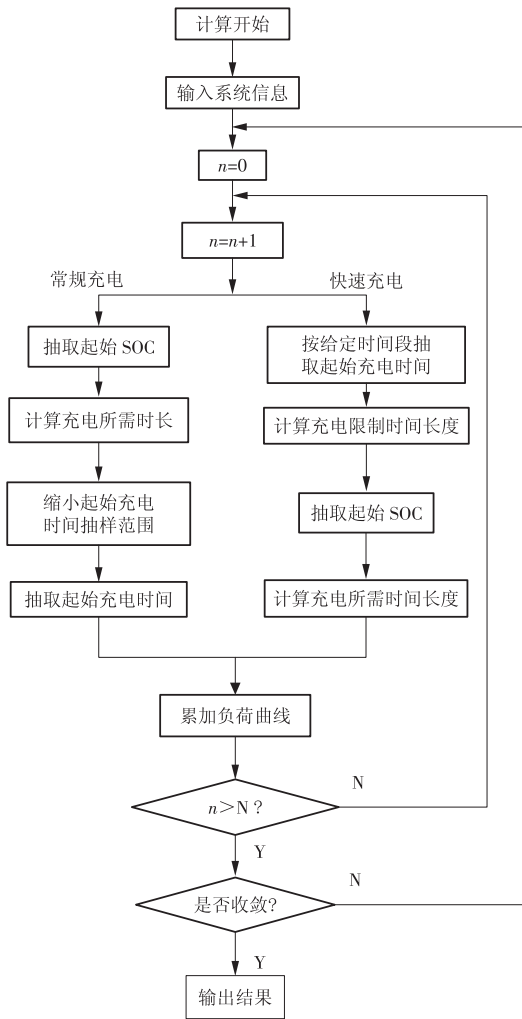


图 1 电动汽车充电流程

本文采用的常规充电时的充电电流取值 0.20 A, 从零电量直至充满电花费时间为 5 h; 快速充电时充电电流取值为 1.25 A, 充电花费时间为 80 min。

该算法利用蒙特卡洛模拟方法抽取 SOC 和起始充电时间,原理是将符合均匀分布 $u(0,1)$ 的随机点转换为符合标准正态分布 $N(0,1)$ 的随机点,由概率知识可知,要转为一般正态分布 $N(e,v)$,只需进行简单计算 $p \times v + e$ 即可,其中 p 表示概率。

3 电动汽车充电负荷曲线预测

3.1 各种类型电动汽车保有量预测

随着人民生活水准的不断提高,汽车价格不断的平民化,汽车已成为人们出行的必需品。汽车保有量的预测,可以利用过去和当前的观测值对未来的值进行估计。首先对未来中国的各种类型的汽车数量进行预测,假设电动公交车、电动出租车、电动公务车在 2020 年、2030 年所占比例分别为 15% 和 30%,私家电动汽车所占比例分别为 10% 和 30%,然后就能得出 2020 年、2030 年各类电动汽车的数量,具体数据见表 1。

表 1 中国电动汽车保有量预测情况 万辆

年份	公交车	公务车	出租车	私家车
2020	13.08	133.70	31.30	829.86
2030	38.56	436.99	102.41	5304.90

3.2 参数设置

基于 4 种类型电动汽车的充电特性的分析,得到一些基本参数,其中包括充电次数、充电时段、是否要求充电时长的限制、起始充电容量分布、起始时间分布见表 2。

3.3 电动汽车充电负荷曲线

由表 2 可知,电动公交车每天的充电次数为 2,起始充电时间服从均匀分布,充电功率为 21 kW。电动出租车一天中需要充电 2 次,白天休息时间的充电方式为快速充电,充电时间为 80 min,快速充电

时起始时间服从直角梯形分布,常规、快速充电功率分别为 14 kW、90 kW。电动公务车每天仅需充电 1 次,通常选择在晚上进行常规充电,充电功率为 7 kW,起始时间分布服从均匀分布。电动私家车充电方式有所不同,因为在工作日和节假日行驶路线不同,所以参数不同,在工作日一般需要充电 1 次,在不同充电场合所占的比例不同,单位停车场和小区停车场进行常规充电,起始时间分布分别服从 $N(9,0.25)$ 、 $N(19,1.25)$,充电功率为 7 kW。在商场超市以及娱乐场所的停车场要快速充电,限制充电时间为 80 min,起始时间服从直角梯形分布,充电功率为 45 kW。私家电动车在节假日时充电概率为 0.8,不同的时间段充电比例会有所差异,起始充电容量将会呈现出正态分布,起始时间分布会呈现出均匀分布和直角梯形分布,充电功率与工作日相同。

应用 C++ 语言编程,分别输入 4 种不同类型电动汽车的数量,当电动汽车接入电网进行充电时,计算每一分钟电动汽车的充电功率,最后绘制出电动汽车的充电负荷曲线,分别将 4 种类型电动汽车充电负荷进行叠加,2020 年、2030 年工作日充电负荷曲线如图 2 所示,2020 年、2030 年节假日充电负荷曲线如图 3 所示。

3.4 结果分析

通过分析仿真图可以得到以下几点结论。

(1)2020 年工作日充电负荷峰值为 2 537.07 MW,节假日充电负荷峰值 1 329.51 MW。

(2)2030 年,随着电动汽车的快速发展普及,4 种类型的电动汽车充电负荷上升趋势非常迅速。

(3)电动私家车在今后所占的比例非常大,因此未来电动汽车的主要充电负荷来自电动私家车。

(4)电动汽车充电的负荷高峰期,主要聚集在

表 2 电动汽车充电特性分析

车辆类型	日充电次数	充电时段	充电时长是否有限制	各时段充电概率	起始充电容量分布	起始时间分布
公交车	2	09:30 ~ 16:00	否	1	$N(0.50,0.01)$	均匀分布
		11:00 ~ 05:00	否	1	$N(0.50,0.01)$	
出租车	2	00:00 ~ 05:00	否	1	$N(0.30,0.01)$	均匀分布
		11:30 ~ 14:00	80 min	1	$N(0.30,0.01)$	直角梯形分布
公务车	1	18:00 ~ 07:00	否	1	$N(0.40,0.01)$	均匀分布
私家车 工作日	1	08:00 ~ 17:00	否	0.2	$N(0.60,0.01)$	$N(9,0.25)$
		19:00 ~ 07:00	否	0.7	$N(0.60,0.01)$	$N(19,1.25)$
		19:00 ~ 22:00	80min	0.1	$N(0.60,0.01)$	直角梯形分布
私家车 节假日	0.8	20:00 ~ 05:00	否	0.5	$N(0.60,0.01)$	均匀分布
		00:00 ~ 07:00	否	0.1	$N(0.60,0.01)$	均匀分布
		12:00 ~ 22:00	80 min	0.2	$N(0.60,0.01)$	直角梯形分布

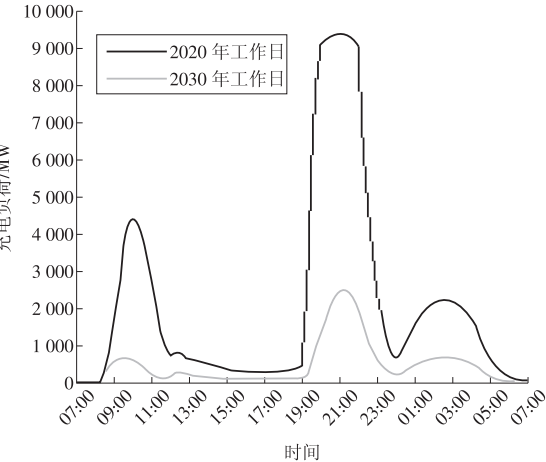


图 2 2020 年、2030 年工作日充电负荷曲线

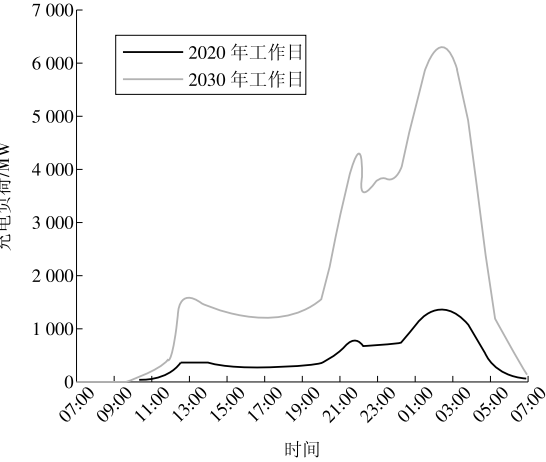


图 3 2020 年、2030 年节假日充电负荷曲线

傍晚下班后一直到晚上 22:00 点左右,这个高峰产生的主要原因是绝大多数的电汽车主会通常选择在下班回家后即刻对电动汽车进行充电,因此造成了负荷的迅速上升。充电负荷曲线不平缓,具有明显的峰谷差,并且在时间上与电网的用电高峰期正好相符,若不对电动汽车充电行为实施控制策略,会出

现“峰上加峰”的情况,不久的将来,大规模的电动汽车投入运行,那么如此大规模的电动汽车充电必将给电网的正常的运行带来难以承受的压力。

4 结束语

本文将电动汽车根据具体的行驶特性分为公交车、出租车、公务车、私家车,参照它们的运行情况及充电特点,建立了利用蒙特卡洛模拟方法的充电负荷预测模型,并得出结论,同时也清晰直观地发现影响充电负荷的主要因素。分析和预测 2020 年、2030 年电动汽车保有量,得出电动汽车充电负荷,对今后相关部门的电动汽车充电站的建设有重要的参考价值。

参考文献:

[1]BAUER T,LIPS H P,THIELE G,et al. Operational tests on HVDC thyristor modules in a synthetic test circuit for the Sylmar East Restoration Project[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2017,12(3):1151-1158.

[2]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.

[3]张文亮,武斌,李武峰,等. 我国纯电动汽车的发展方向及能源供给模式的探讨[J]. 电网技术,2009,33(4):1-5.

[4]艾学勇,顾洁,解大,等. 电动汽车日充电曲线预测方法[J]. 电力系统及其自动化学报,2013,25(6):25-30.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

乔文娟(1990—),女,宁夏银川人,工学硕士,工程师,从事电动汽车充电及继电保护相关工作(E-mail:249540592@qq.com)。

广 告 索 引

山东华建仓储装备科技有限公司	(封面)
郑州科润机电工程有限公司	(封二)
华电技术	(封三)
华电郑州机械设计研究院有限公司	(封底)
上海华向节能环保科技有限公司	(前插 1)
南通高欣耐磨科技股份有限公司	(前插 2)
浙江鼎诚环保科技有限公司	(前插 3)
勇钦(上海)润滑设备有限公司	(前插 4)
合众高科(北京)环保技术股份有限公司	(前插 5)
上纬新材料科技股份有限公司	(前插 6)

青岛捷能汽轮机集团股份有限公司	(前插 7)
华电郑州机械设计研究院有限公司(跨版)	(前插 8,9)
郑州科源耐磨防腐工程有限公司(跨版)	(前插 10,11)
华电重工股份有限公司(跨版)	(前插 12,13)
华电重工股份有限公司	(目次页右)
常州金坛东方汽轮机配件厂	(中插 1)
华电水务控股有限公司(跨版)	(中插 2,3)
华电环保系统工程有限公司(跨版)	(中插 4,5)
郑州市鸿鑫机械科技发展有限公司	(中插 6)