

电动汽车接入对配电网负荷曲线的影响分析

韦 磊^{1, 2}, 朱 红¹, 廖迎春^{2, 3}, 余 昆^{2, 3}

(1.南京供电公司, 江苏 南京 210019; 2.河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 211100;

3.江苏省配用电与能效工程技术研究中心, 江苏 南京 210003)

摘 要: 电动汽车的大规模接入给电力系统带来不可忽视的影响, 特别是在配电网中, 电动汽车的接入会直接改变负荷曲线的变化规律, 从而影响配电网的安全可靠经济运行。从电动汽车类型、充放电行为特性、起始充放电电量状态、起始充放电时间等因素对负荷曲线的影响进行仿真分析。结果表明, 如果电动汽车按照自然特性仅以充电状态接入配电网, 则负荷曲线会产生“峰上加峰”现象, 且电动汽车数量越多, 高峰负荷越大, 给配电网造成巨大压力。如果电动汽车以充-放电状态接入配电网, 则能够起到很好的削峰填谷作用。

关键词: 电动汽车; 配电网; 负荷曲线; 接入状态

0 引言

目前, 全球二氧化碳排放 40% 来自电力系统, 24% 来自交通工具^[1], 能源短缺和环境污染已成为世界关注的焦点。据统计, 我国汽车能源消费占能源总消耗的 10%, 预计 2030 年将达到 30%。

根据《中国汽车产业发展报告(2008 年)》以及汽车行业的发展趋势, 各类汽车在 2030 年时的保有量估计见表 1。

表 1 2030 年各类汽车的保有量

种类	数量/万辆
公交车	116-141
出租车	307-375
公务车	1311-1602
私家车	15915-19451

以纯电驱动、混合动力驱动以及燃料电池驱动电机作为动力系统的电动汽车^[2]具有排放低、能量来源广等优点, 是目前缓解石油供给紧张、大气环境污染的重要手段。

根据电动汽车的不同功能, 可以分为电动公交车、电动出租车、电动公务车和电动私家车四种。电动汽车在配电网中完成充、放电, 因此, 其接入对配电网的影响较大, 会改变整个负荷曲线, 从而对配电网的调度和控制产生影响, 因此, 本文通过分析电动汽车接入对配电网负荷曲线的影响, 找出负荷曲线的变化规律, 为后续研究提供科学依据。

1 电动汽车电气特性分析

1.1 电动汽车接入状态分析

电动汽车接入状态主要分为充电状态和充-放电状态。

当充电汽车以充电桩自由接入配电网时, 由于各电动汽车接入的随机性较大, 电网的调度成本比较高, 因此在这种情况下电动汽车一般以充电状态接入配电网, 即不考虑电动汽车的放电行为。

充电桩可以采用慢速充电(模式L1), 常规充电(模式L2)以及快速充电(模式L3)三种方式为电动汽车充电, 各模式主要特性如表 2 所示^[3]。

表 2 电动汽车充电桩的充电模式

充电模式	额定电压/V	额定电流/A	适用场所
L1	单相220	16	家用
	单相220	32	
L2	三相380	32	商场、停车场等
	三相380	63	
L3	600	300	高速公路服务区、充电站等

当电动汽车以充换电站等方式集中接入电网时, 电动汽车-电网互动技术(Vehicle to Grid, V2G)可以实现电动汽车与电网之间的通信交互, 并以此作为控制基础, 统一调配电动汽车与电网之间的双向能量转换。因此, 电动汽车既可以作为电网的负荷, 又可以作为储能设备和备用电源设备。在这种情况下, 电动汽车以充-放电状态接入配电网。

在充换电站中, 控制端可结合电动汽车的电池情况, 选择快速充电或常规充电两种充电方式在用电低谷时为电动汽车充电。并在用电高峰期, 调

用电池中的过剩电量向电网放电,减少电网的负载压力。因此,基于充换电站的集中控制,可以达到有序充放电目标。

1.2 电动公交车的电气特性分析

据统计,公交车一般日均行驶里程为 150~200 km。公交车的运营时间一般为 5:30-23:00,运营的高峰时段为上下班时间,考虑为 6:30-9:00 和 16:00-18:30,在此阶段发车间隔短,一般为 3~5 min,并且公交车辆均需参与运行,在其余时段客运压力较小,发车间隔为 7~8 min。可见,电动公交车的用电量较大,其电池额定容量较大,约为 300Ah,在白天运营过程中需要至少充电 1 次,且不能在高峰时段充电。由于白天公交车难以长时间停留,需进行快速充电,假设其充电时段为 10:00-16:30,充电额定电压为 380V,额定功率为 270kW;夜间停运时段可进行常规充电,假设其充电时段为 23:00-5:30,充电额定功率为 42kW;充电起始电量分布服从正态分布 $N(0.5,0.1^2)$ 。由于电动公交车交通任务繁重,对充沛的电能要求很高,因此,不考虑此类电动汽车的放电行为^[3-5]。

1.3 电动出租车的电气特性分析

据统计,电动出租车每天的运营里程约 300-400km,因此,需要为电动汽车配备较大容量的电池,通常为 200Ah。假设电动出租车在一天的运营过程中进行 2 次充电,根据出租车司机的运营规律,选取 11:30-14:30 和 2:00-4:00 时两个时间段进行充电。由于电动出租车停靠时间较短,在这两个时间段均选取快速充电方式对出租车进行充电,充电额定电压为 380V,额定功率为 90kW,充电起始电量满足正态分布 $N(0.3,0.1^2)$ 。同样,电动出租车的交通任务繁重,对电量要求高,因此不考虑其放电行为^[3-5]。

1.4 电动公务的电气特性分析

公务车每天行驶里程较少,可选取中等容量电池,一般为 100Ah 左右。在非用电高峰期且公务车不执行任务时即可进行充电,考虑为 22:00-7:00。由于充电时间充裕,其充电模式多采用常规充电,充电额定电压为 380V,额定功率为 14kW,起始电量满足正态分布 $N(0.4,0.1^2)$ 。同时当电动公务车中电量过剩时,对闲置的公务车进行统一管

理,在 18:00-22:00 向电网放电,放电起始容量为 $N(0.9,0.1^2)$,功率为 14kW^[3-5]。

1.5 电动私家车的充电行为分析

私家车年均行驶里程为 2.5 万公里,可推算出日均行驶里程为 70km,因此仅需使用中等容量电池即可,一般为 100Ah 左右。在 7:00-9:00 上班高峰时段,将有 66.95% 的私家车在运行,而在 17:30-19:30 下班高峰时段,有 71.95% 的私家车在运行,在其它时段,私家车的充电时间较为充裕,可对其进行常规充电。考虑每辆电动私家车每天进行一次充电,有 30% 的可能性在 9:00-17:00 时间段,70% 的可能性在 22:00-7:00 时间段,额定充电额定电压为 380V,额定功率为 14kW,充电起始电量服从正态分布 $N(0.6,0.1^2)$ 。同时,在用电晚高峰时段 18:00-22:00 时,可对这段时间有电量剩余的电动私家车进行统一调度,向电网进行放电,考虑放电规模为充电规模的 1/10,放电起始容量满足正太分布 $N(0.9,0.1^2)$,放电功率为 14kW^[3-5]。

2 电动汽车接入对负荷曲线的影响仿真分析

2.1 电动汽车总负荷计算方法

电力负荷计算以天为计算单位,时间间隔为分钟,全天共 1440 分钟。 i 时总充电负荷为所有车辆在此时的充电负荷之和,总充电功率可表示为:

$$L_i = \sum_{n=1}^N P_{n,i}$$

式中, L_i 为 i 时总充电功率, $i=1, 2, \dots,$

1440; N 为电动汽车总量; $P_{n,i}$ 为第 n 辆车在 i 时的等效功率。采用蒙特卡洛模拟抽取各类电动汽车的充放电行为特性、起始充放电容量、起始充放电时间等因素对整体负荷进行模拟计算^[6,7]。

针对某供电区域 A 的负荷,通过历史数据其典型工作日的负荷曲线,并以年增长率 10% 预估 2030 年典型工作日的负荷曲线。假设区域 A 中汽车保有量为全国的 1/100,考虑到电动汽车的不同发展趋势,在 2030 年,分别取电动汽车渗透率为 10%、30%、50%,通过对比电动汽车接入对配

电网前后负荷曲线的平均值、峰谷差以及方差来分析电动汽车接入对整体负荷量、削峰填谷效果以及负荷曲线平滑程度的影响。

2.2 电动汽车以充电状态接入对配电网负荷曲线的影响

电动汽车以充电状态接入电网时，不考虑电动公交车与电动私家车的放电特性，经过蒙特卡洛模拟得到不同渗透率下电动汽车的总负荷，并与2030年常规负荷预测曲线相叠加，可得如下结果，见表3和图1、2、3。

可以发现，随着电动汽车渗透率的增大，配电网整体负荷量变大，配电网压力增加，负荷曲线平滑程度得到改善但程度非常有限。当电动汽车渗透率由0%增长至30%时，负荷曲线的峰谷差变化不明显，但随着渗透率的进一步增大，峰谷差也会大幅度增加。换句话说，按用户习惯自然充电将对配电网造成一定的负面影响，需要采取应对措施。

表3 不同渗透率下电动汽车以充电状态接入配电网的负荷曲线特性

电动汽车渗透率/%	峰值	谷值	平均值	峰谷差	方差
0	3269.3	876.4	1770.0	2392.9	455830
10	3473.2	1075.2	1921.3	2398	431642
30	3820.0	1425.1	2135.2	2394.9	412984
50	4166.3	1453.1	2381.9	2713.2	409013

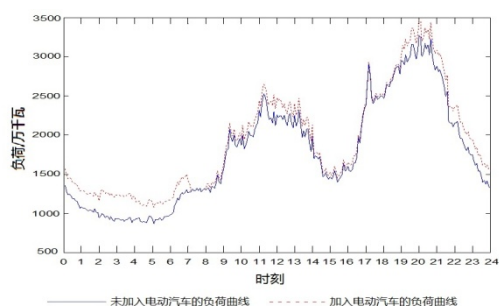


图1 渗透率为10%时电动汽车以充电状态接入前后的日负荷曲线

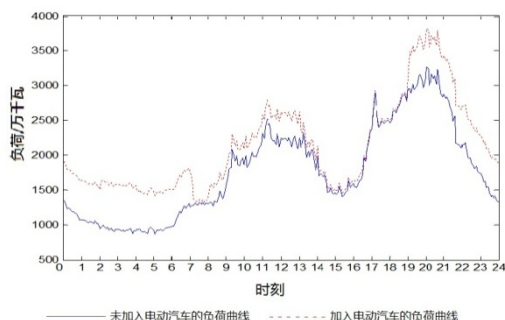


图2 渗透率为30%时电动汽车以充电状态接入前后的日负荷曲线

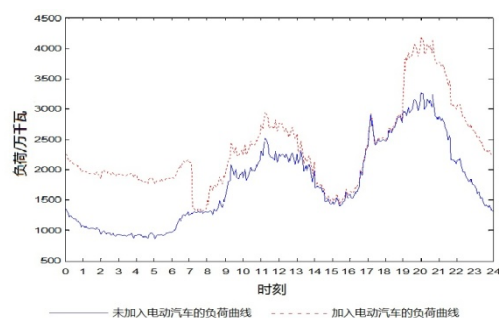


图3 渗透率为50%时电动汽车以充电状态接入前后的日负荷曲线

2.3 电动汽车以充-放电状态接入对配电网负荷曲线的影响

考虑电动汽车充、放电后，经过蒙特卡洛模拟可得如下结果，见表4和图4、5、6。

表4 不同渗透率下电动汽车以充-放电状态接入前后配电网负荷特性对比

电动汽车渗透率/%	峰值	谷值	平均值	峰谷差	方差
0	3269.3	876.4	1770.0	2392.9	455830
10	3241.5	1153.0	1913.2	2088.5	325813
30	3192.4	1453.4	2141.3	1739	175706
50	3142.4	1452.9	2315.9	1689.5	138235

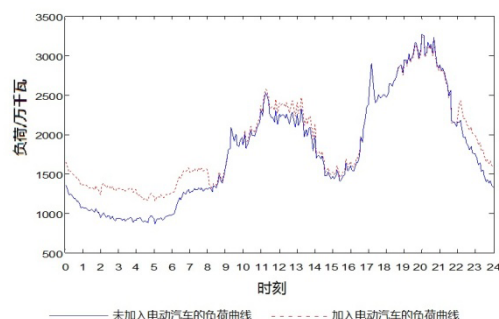


图4 渗透率为10%时电动汽车以充-放电状态接入前后的日负荷曲线

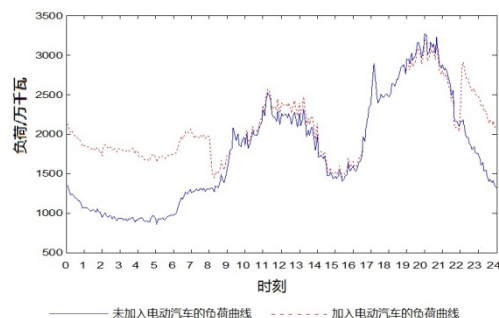


图5 渗透率为30%时电动汽车以充-放电状态接入前后的日负荷曲线

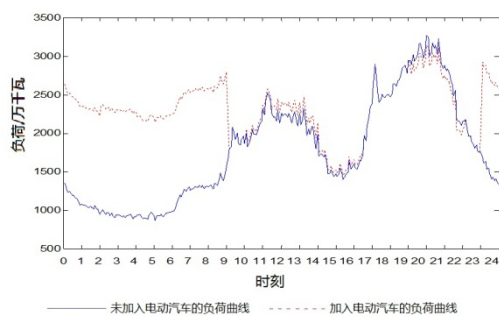


图 6 渗透率为 50% 时电动汽车以充-放电状态接入前后的日
负荷曲线

由上述分析可知,在充-放电状态下,随着电动汽车渗透率的增加,虽然配电网的整体负荷量增大,但是更多的电动汽车将参与配电网的调峰工作中去,负荷曲线的峰谷差明显变小,削峰填谷效果明显。同时,负荷曲线的方差变小程度可观,整条负荷曲线随着电动汽车的接入变得更加平滑。因此电动汽车以充-放电状态接入将有利于配电网的运行。

3 结束语

电动汽车的发展是必然趋势,其大规模接入,会给配电网带来不可忽略的影响。如果按照用户习惯以自然充电状态接入配电网,则随着电动汽车渗透率的增大,整体负荷用电量变大,负荷峰谷差增大,对配电网的运行带来更大的压力。当电动汽车通过 V2G 站以充-放电状态接入配电网,则电动汽车将依据调度指令参与电网调峰,起到削峰填谷作用,同时整条负荷曲线随着电动汽车的接入变得更加平滑,有利于电网的运行。

参考文献:

- [1] LabuttS, White R R, LarbonFinace.The financial implications of climatechange [M]. Hoboken: John Wiley&Sons, Inc.2007.
- [2] 古丽萍.前景广阔的电动汽车[J].节能与环保,2003(08).
- [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.

- [4] 王涛,张东华,贺智轶,等.电动汽车充电桩的控制系统研究与设计[J].湖北电力,2011, 35(1): 5-7.
- [5] 张秉良,孙玉田,李建祥.电动汽车的电网调峰模型及效益分析[J].山东电力研究院, 2012,26(15): 23-27.
- [6] Dow L,MarshallM,LeXu,et al.A novel approach for evaluating the impact of electric vehicles on the power distribution system[C].IEEEPower and Energy Society GeneralMeeting.Minneapolis, MN, 2010: 1-6.
- [7] SoaresF J, LopesJAP, Almeida PM R.A MonteCarlo method to evaluate electric vehicles impacts in distribution networks[C].IEEE Conference on Innovative Technologies for anEfficient and Reliable Electricity Supply.Waltham: IEEE, 2010:365-372.

作者简介:

韦 磊 (1982-), 男, 江苏南京人, 博士研究生, 高级工程师, 从事电力系统自动化、电力系统通信及智能电网方向研究;

朱 红 (1971-), 女, 江苏南京人, 研究员级高级工程师, 主要研究方向:电力系统经济运行分析与控制、电力信息通信、可再生能源发电系统的运行分析与控制;

廖迎春 (1975-), 女, 江苏盐城人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为智能配电网运行分析、配电网智能调度控制、电力系统经济运行分析与控制、电力信息通信、可再生能源发电系统的运行分析控制、能源管理与能源经济;

余 昆 (1978-), 男, 重庆人, 副教授, 博士, 主要研究方向为配电网规划与评估、智能配电网运行分析、配电网智能调度与控制。