第 18 卷　第 34 期　2018 年 12 月
1671—1815(2018)034-0176-07

科　学　技　术　与　工　程
Science Technology and Engineering

Vol. 18　No. 34　Dec. 2018
ⓒ 2018　Sci. Tech. Engrg.

引用格式:赖国书. 基于自回归求和滑动平均模型的居民区电动汽车负载特性分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(34): 176—182
Lai Guoshu. Analysis on load characteristics of electric vehicles in residential areas based on auto regressive integrated moving average model [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(34): 176—182

电工技术

基于自回归求和滑动平均模型的居民区电动汽车负载特性分析

赖国书
(国网福建省电力有限公司, 福州 350003)

摘　要　随着电动汽车规模的日益扩大和居民区充电设施的逐渐完善,大量电动汽车的充电行为将给居民区电网负荷带来较大影响。在电动汽车充电特性研究的基础上,提出了一种基于自回归求和滑动平均(ARIMA)模型的面向居民区的电动汽车负载特性分析方法,通过构建多辆电动汽车的总耗电模型,较好地预测了电动汽车总体充电需求,进而实现对居民区变压器容量的合理配置。最后选取若干具有代表性的小区,测试分析了电动汽车接入前后的台区负载变化情况,验证了所提方法的有效性。

关键词　电动汽车　面向居民区　负载特性分析　自回归求和滑动平均模型
中图法分类号　TM714;　　**文献标志码**　A

作为新能源汽车的代表,电动汽车在节能减排、缓解燃油供求矛盾及环境污染等问题方面相比传统汽车有着天然的优势,近年来受到政府部门、汽车生产商以及能源企业的广泛关注[1]。

中国十三五规划提出 2015 ~ 2020 年将新建满足 500 万辆各类电动汽车的充电配套设施。可以预见随着电动汽车规模的扩大和充电设施的逐渐完善,越来越多的家庭将在居民区为电动汽车进行充电。而电动汽车的大规模使用,新增充电负荷接入台区电网,将对居民区电力系统的容量配置、运行、规划及运营模式造成较大程度的影响,并带来新的问题和变化[2]。

在此背景下,研究电动汽车接入对居民区的负载特性的影响具有重要意义。由于受诸多因素影响,电动汽车的充电过程分析较为复杂,体现在不同用户使用习惯、出行需求不尽相同,不同区域的电动汽车数量、充电设施完善程度差异较大,导致充电负荷表现出一定的分散性和随机性。

目前已有部分文献对电动汽车的充电行为进行了初步研究,但多集中在某些细节特征的建模与分析上,比如对充电时长、充电时间、日行驶里程等概率模型构建及完善方面[3,4],缺少较为完整的系统性应用结论。另外针对居民区电力负荷特性分析的已有文献[5,6]也各自有其侧重点,且都没有考虑电动汽车接入情形,因此在实际应用时仍存在一定的局限性。

总体而言,用于面向居民区的电动汽车接入负载特性分析的论文尚不多见。本文系统分析了居民区电动汽车的充电特性,包括动力电池充电特征、出行时间概率分布、起始充电时间以及充电时长、日行驶里程等数学模型。在此基础上利用自回归求和滑动平均模型(auto regressive integrated moving average, ARIMA)[7]对居民区负荷特性发展变化进行研究分析,并给出相应的数据处理流程。最后从居民区电动汽车保有量计算开始,建立多辆电动汽车的总耗电模型,较好地预测居民区电动汽车充电需求,并结合台区变压器容量的合理配置进行分析,为电动汽车的有序充电控制提供了技术支持,有助于科学地建设居民区电动汽车充电设施。

1　居民区电动汽车充电特性分析

1.1　电动汽车电池充电特征

目前电动汽车电池包括镍-氢、铅酸和锂离子三种类型,而锂离子电池是应用最广泛、发展潜力最大的动力电池。文献[3]给出锂离子充电模型,由一个受控电压源和恒值内阻串联组成,由式(1)刻画:

2018 年 5 月 25 日收到
作者简介:赖国书(1972—),男,汉族,福建永定人,硕士,高级经济师。研究方向:智能用电及新能源技术。E-mail: laiguoshu123@163.com。

$$\begin{cases} U = E_0 - \dfrac{K\bar{\omega}i}{0.1\bar{\omega} + m(t)} - \dfrac{Km(t)}{\bar{\omega} - m(t)} + Ae^{-Bm(t)} - Yi \\ m(t) = \left(1 - \dfrac{S_0}{100}\right)\bar{\omega} + \int_0^t i\mathrm{d}t \end{cases} \tag{1}$$

式(1)中:U 为电池电压;i 为充电电流;$\bar{\omega}$ 为额定容量;E_0 为恒定电势;A,B 为充电指数段常数;K 为极化常数;Y 为电池内阻;S_0 为电池初始状态。

对标明额定电压和容量的锂离子电池而言,给定起始状态参数,根据式(1)对应的数学模型,容易计算出相应的充电功率。图 1 展示了基于锂离子电池的电动汽车充电功率曲线。

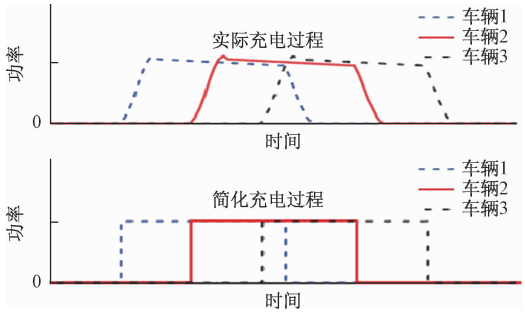


图 1　电动汽车锂离子电池充电功率模型

Fig. 1　Charging power model of lithium-ion battery for electric vehicle

由图 1 可知,锂离子电池充电过程可进一步简化,即电动汽车在充电时间内充电功率可以近似为某一固定常数,依据 GB/T 18487.1—2001 标准选取典型值 3.5 kW 进行后续分析计算。

1.2　居民区电动汽车出行时间概率分布

研究居民区电动汽车的负载特性影响,而居民区一般以私家车为主,因此仅需考虑私家车的充电情况。2001 年美国交通部对全美家用车辆最后一次出行时间调查结果如图 2 所示[8]。可见私家车用户通常在 7:00 ~ 9:00 时离开居民区、17:30 ~ 18:30 时回到居民区。电动汽车在居民区停放时间多为夜间且超过 10 h,具有适合慢充的特点。因此有必要针对特定时间段制定有序的充电策略。

1.3　居民区电动汽车日行驶里程

电动汽车充电行为的随机性体现在充电时长、充电起始/结束时刻等方面。但对某个特定用户而言,其充电时长由日行驶里程唯一确定,因而从这个角度来讲,其充电行为并不具有随机性[3];但由于多个用户的并发充电不具备同步性,大批量电动汽车用户的充电过程仍具有一定的随机性和分散性,因而需要借助统计概率理论工具进行合理的演算分析。

根据文献[4]提供的统计数据表明,私家车日

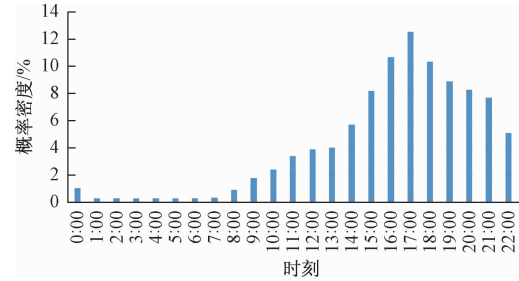


图 2　居民区私家车最后一次出行结束时间概率分布

Fig. 2　Probability distribution of the last travel time of private car in residential area

行驶里程数服从式对应的概率密度函数,不失一般性,以此结论作为电动汽车日行驶里程 d_i 的计算依据:

$$f(d_i) = \frac{1}{d_i\sqrt{2\pi\sigma_d^2}}\exp\left[-\frac{(\ln d_i - \mu_d)^2}{2\sigma_d^2}\right], \quad d_i > 0 \tag{2}$$

式(2)中:$\mu_d = 3.47$ 为日行驶里程数的平均值;$\sigma_d = 0.88$ 表示日行驶里程数的标准差。

根据式(2),得居民区私家汽车日行驶里程的概率分布(图 3)。

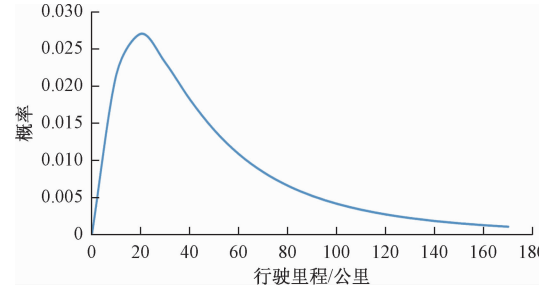


图 3　居民区私家汽车日行驶里程概率分布

Fig. 3　Probability distribution of daily driving mileage of private car in residential area

1.4　居民区电动汽车渗透率

电动汽车渗透率 α 能直观和准确地反映居民区配电网内新能源汽车的发展水平,同时也显著反映了电动汽车充电需求的大小,其计算公式为

$$\alpha = \frac{M_{PEV}}{M_R} \tag{3}$$

式(3)中:M_{PEV} 为居民区电动汽车总数量,也称保有量;M_R 为居民区住户总数量。

1.5　居民区电动汽车充电时长

根据文献[9]的结论,电动汽车电池状态 SOC 与每日行驶距离 d 有线性关系:

$$SOC = \left(1 - \frac{d}{d_M}\right) \times 100\% \tag{4}$$

式(4)中:d_M 表示电动汽车最大日行驶里程。以采用 3.5 kW 充电功率,电池容量为 30 kW·h 的电动

汽车为例,每天所需的充电时长概率分布如图 4 所示。

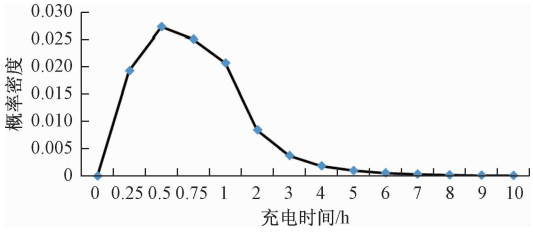


图 4 居民区电动汽车充电时长概率分布

Fig. 4 Probability distribution of charging duration of residential electric vehicles

2 基于 ARIMA 模型的居民区负载特性分析方法

目前针对居民区负载特性的分析方法主要分为两大类[5,6]:一类为预测方法,另一类为调查资料处理方法。其中预测方法包括 ARIMA 模型法、马尔科夫模型法等。从调查资料中计算分析负荷特性指标的方法主要有回归分析法、区间分析法、平均值法等。其中回归分析法是通过对数据的统计分析,寻找出居民区负载与影响因素之间的因果关系,建立回归模型并确定各因素对负载贡献系数的办法;区间分析法是利用居民区负荷数据的边界范围已知的先验信息,依据区间数学工具求解相关指标;平均值法是通过取一组数的平均值来估算该指标的值。中值法、期望值法、加权平均值法等都是平均值法。在负载特性分析中,平均值法可作为一个常用方法。

相比其他几种方法,ARIMA 模型法将居民区负荷测量结果以时间为标准进行排序,形成一个有序序列,然后使用模型模拟其特征,通常具有较高的分析精度[7],可以较好地预测居民区负载的发展趋势。其基本思想为:首先对原始序列进行平稳化处理,其次计算自相关与偏自相关函数,接着进行模型定阶和参数估计,最后验证模型有效性。

2.1 利用差分方法对原始序列进行平稳化处理

ARIMA 数学模型记为 ARIMA(p, d, q)。首先对非平稳随机序列变量 $\boldsymbol{Y} = \{Y_i\}(i = 1,2,\cdots,N)$ 进行 d 阶差分处理,其递归定义形式为

$$\nabla^d \boldsymbol{Y}_t = \nabla^{d-1}\boldsymbol{Y}_{t+1} - \nabla^{d-1}\boldsymbol{Y}_t, \quad d \geqslant 1 \tag{5}$$

式(5)中:∇表示差分处理;t 代表序列时刻;参数 d 为差分阶数;可采用 ADF(augmented dickey fuller, ADF)检验方法[10]。具体做法为从一阶差分开始依次进行平稳化检验,直至通过为止,最终得到平稳序列 $\boldsymbol{X} = \nabla^d \boldsymbol{Y}_t = \{X_i\}$。此时由 ARIMA($p$, d, q)转化为 ARMA(p, q)模型,如式(6)所示:

$$X_i = \varphi_1 X_{i-1} + \varphi_2 X_{i-2} + \cdots + \varphi_p X_{i-p} + \varepsilon_i - \theta_1 \varepsilon_{i-1} - \theta_2 \varepsilon_{i-2} - \cdots - \theta_q \varepsilon_{i-q} \tag{6}$$

式(6)中:$\varphi_1,\varphi_2,\cdots,\varphi_p$ 为自回归系数,p 为自回归阶数;$\theta_1,\theta_2,\cdots,\theta_q$ 为滑动平均系数,q 为滑动平均阶数;$\boldsymbol{X}$ 为平稳序列矢量,$\boldsymbol{\varepsilon}$ 为高斯白噪声矢量,满足 $\boldsymbol{\varepsilon} \sim N(0,\sigma^2)$。

2.2 计算平稳序列自相关与偏自相关函数

序列 $\boldsymbol{X}$ 的自相关函数(auto correlation function, ACF)ρ_k 计算公式为

$$\rho_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} X_{i+k}X_i}{N} \tag{7}$$

序列 $\boldsymbol{X}$ 的偏自相关函数(partial auto correlation function, PACF)$\varphi_{k,j}$ 计算公式为

$$\begin{cases} \varphi_{1,1} = \rho_1 \\ \varphi_{k+1,k+1} = \left(\rho_{k+1} - \sum_{j=1}^{k}\rho_{k+1-j}\varphi_{k,j}\right)\left(1 - \sum_{j=1}^{k}\rho_j\varphi_{k,j}\right)^{-1} \\ \varphi_{k+1,j} = \varphi_{k,j} - \varphi_{k+1,k+1}\varphi_{k+1,k+1-j}, \quad j = 1,2,\cdots,k \end{cases} \tag{8}$$

式(8)中:N 为序列长度。根据式(7)、式(8)计算的 ACF 与 PACF 结果,由表 1 判断出相应的模型类型,其中 AR(p)是 ARMA(p, q)在 $q=0$ 的特例,MA(q)是 ARMA(p, q)在 $p=0$ 的特例。

表 1 ARIMA 模型识别原则

Table 1 ARIMA model recognition principle

参量	AR(p)	MA(q)	ARMA(p, q)
ρ_k	指数衰减/震荡	有限长度/截尾	指数衰减/震荡
$\varphi_{k,j}$	有限长度/截尾	指数衰减/震荡	指数衰减/震荡

2.3 模型定阶和参数估计

从 ACF 与 PACF 的趋势中可以得出 ARMA 模型阶数的大致范围,然后利用最小信息准则(akaike information criterion, AIC)确定最佳的模型阶数[10]。AIC 记为 $\mathrm{AIC} = 2k - \ln L$,其中 L 为似然函数,k 为参数的数量。实际中选取最小 AIC 阶数作为最佳模型阶数,防止出现过拟合(overfitting)的情形。

另外,参数估计的方法通包括矩估计法、最小二乘估计法、最大似然估计法等[11]。

2.4 模型定阶和参数估计

对拟合产生的 ARIMA 模型进行有效性验证,即对电力数据的实际值与预测值之间的残差序列进行白噪声检验。白噪声检验又被称为纯随机检验,用于验证预测的电力数据序列值之间的相关性是否存在。如果不是白噪声,则需要重新拟合和识别模型。最后依据最小均方差准则确定最佳的 ARIMA 模型参数,并根据 d 次差分的逆操作处理,重构出电力负荷的预测结果。

综上所述,图 5 给出了基于 ARIMA 模型的居民区负载特性分析。

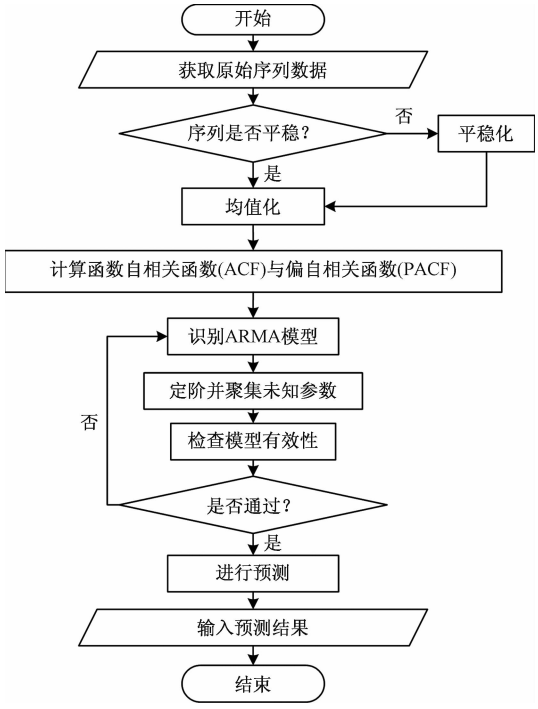


图 5　基于 ARIMA 模型的居民区负载特性分析

Fig. 5　Residential area load characteristics analysis based on ARIMA model

3　电动汽车接入对居民区负载特性影响分析

基于削峰填谷的思想,考虑居民区的负荷特性,优化充电策略,实行有序充电,并对电动汽车的充电功率进行控制,即变压器能够保证居民日常用电和电动汽车充电需求。

电动汽车接入对居民区负载特性影响的处理流程如图 6 所示。

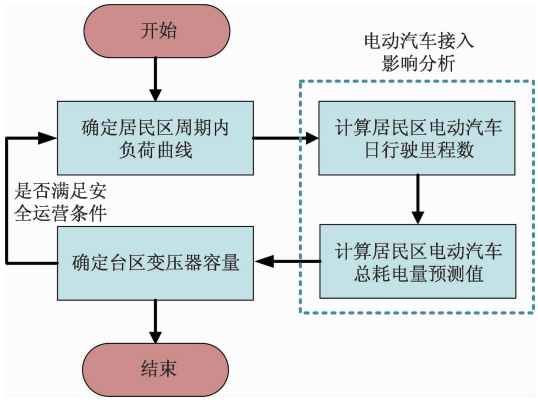


图 6　电动汽车接入对居民区负载影响处理流程

Fig. 6　Processing flow of electric vehicle access to residential area load impact

3.1　确定周期内负荷曲线

当一个居民区成熟以后,其负荷特性也会稳定,采用 ARIMA 模型法,以 24 h 为一个周期,可以对居民区负荷特性的发展趋势进行合理预测和分析。下面以福州市鼓楼区一高档小区为例,依据用电信息采集系统获取 2016 年 9 月 10 日采样负荷曲线,如图 7 所示。

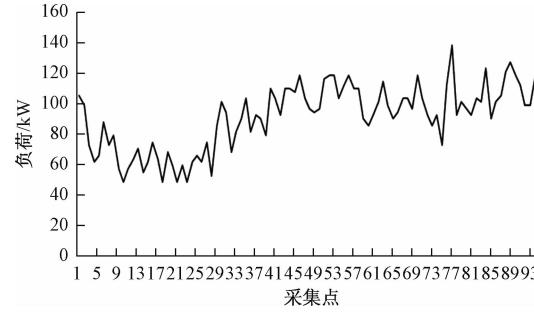


图 7　一天内居民区负荷变化曲线

Fig. 7　Load change curve of residential area for a day

设电动汽车的渗透率为 0.3,考虑到居民电动汽车充电时间集中在 19:00 附近,对一天内电动汽车接入的负荷叠加曲线进行重新绘制,如图 8 所示。

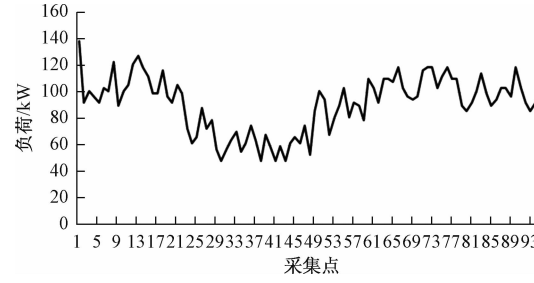


图 8　考虑电动汽车接入的一天内居民区负荷叠加曲线

Fig. 8　Residential area load curve in connection with electric vehicle access for a day

因此,在使用 ARIMA 模型预测未来负荷的基础上,同时结合对公变用户的用电负荷分类特征,可以衡量未来电动汽车大规模使用情形下对居民区电网负荷产生的影响。除了观察一天内负荷变化及发展趋势,还能对电动汽车接入负荷对台区电网的影响大小进行科学评测,详细分析见第 4 节。

3.2　计算电动汽车日行驶里程

对某一区域内不同类型的居民区,根据式采用比例法计算电动车保有量:

$$M_{\mathrm{PEV}} = \alpha M_{\mathrm{R}} \tag{9}$$

另外居民区电动汽车的平均日行驶里程 $E(d)$ 的期望值可由计算得出:

$$E(d) = \int_0^{\infty} [f_{\mathrm{d}}(x)x]\mathrm{d}x \tag{10}$$

因此居民区内所有电动汽车的日行驶里程总期

望 $E_{\text{Whole}}(d)$ 为

$$E_{\text{Whole}}(d) = M_{\text{PEV}}E(d) \tag{11}$$

3.3 计算电动汽车总耗电量

考虑到充电桩 DC-DC 变换器的转换效率高于96%,另外整流电路的功率因数大于 97% 的特点,故电动汽车充电的功率可近似等于动力电池的充电功率。根据式,电动汽车电池状态 SOC 的期望为

$$E(\text{SOC}) = 1 - \frac{E(d)}{d_{\text{M}}} \tag{12}$$

进一步,计算出居民区电动汽车总耗电量期望,即预测值 $Q_{\text{电动汽车}}$ 为

$$Q_{\text{电动汽车}} = E(\text{SOC})E_{\text{Whole}}(d)Q_0 \tag{13}$$

式(13)中:Q_0 = 3.5 kW 为电动汽车典型充电功率。

3.4 确定台区变压器总容量

选取居民区历史最大负荷日,以该居民区最高负荷值 $Q_{\text{最高负荷}}$ 为标准,对每个采样点进行做差处理,得到相应的电量差值,记为 $Q_{\text{差}}$,定义如下:

$$Q_{\text{差}} = Q_{\text{最高负荷}} - Q_{\text{电动汽车}} \tag{14}$$

若 $Q_{\text{差}} \gg 0$,则意味变压器以居民区最高负荷值为标准,基本能够满足电动汽车的充电要求;若 $Q_{\text{差}} \ll 0$,则意味变压器不能够满足新增电动汽车充电要求,需要必须进行增容。

特别地,可依据接入电动汽车之后,居民区最高负载率不超过某一安全门限值(如 40%)的准则来确定变压器容量。

4 实验分析

4.1 示例一

选取福州市某小区的实测数据作为电力负荷预测的原始数据,从 2014 年1 月1 日 ~2016 年 12 月 31 日记录的每天负荷数据,共 1 095 个样本点。该小区的类型为高层带商铺有地下室。以 2014 年 1 月1 日 ~2016 年 12 月 30 日的原始数据进行建模分析,并将 2016 年 12 月 31 日实际数据用以检验模型的预测精度。

图 9 给出了居民区原始负荷数据曲线图,明显看出数据不具有平稳特性。图 10 表示的是季节差分后的折线图和自相关系数图,经多次计算最终选定 AIC 最小拟合模型为 ARIMA(2, 1, 2),残差白噪声检验说明模型显著有效,参数特征显著,分别如表 2 和表 3 所示。

表 2 残差白噪声检验

Table 2 Residual white noise test

延迟阶数	LB 统计量	*P* 值	结论
6	4. 16	0. 137 2	模型显著有效
12	9. 35	0. 324 7	

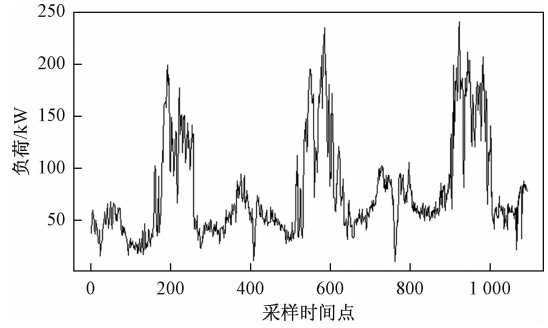


图 9 居民区原始负载曲线

Fig. 9 Original load curve of residential area

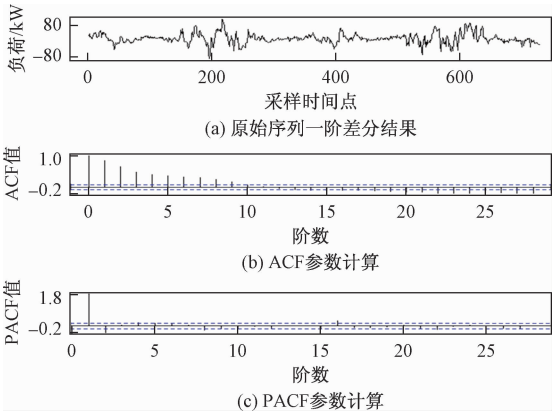


图 10 居民区负载差分处理后曲线

Fig. 10 Curve of load differential processing in residential area

表 3 参数显著性检验

Table 3 Parameter significance test

检验参数	LB 统计量	*P* 值	结论
均值	14. 34	<0. 000 1	模型显著有效
	2. 28	<0. 000 4	

图 11 展示了 2016 年 12 月 31 日的台区负荷预测值,与实际获取的真实值相比,基于 ARIMA 模型法的负载预测值表现良好,表现出稳健的数据重构性能。

在使用 ARIMA 模型预测居民区负载变化的基础上,衡量电动汽车接入情形下对居民区电网负荷产生的影响。

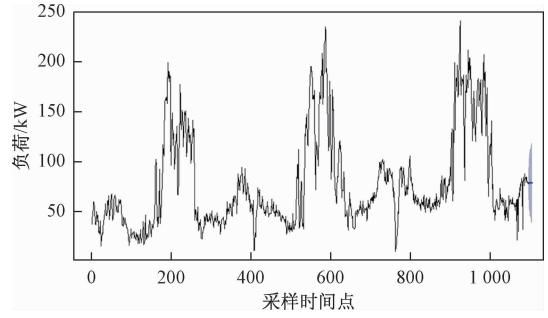
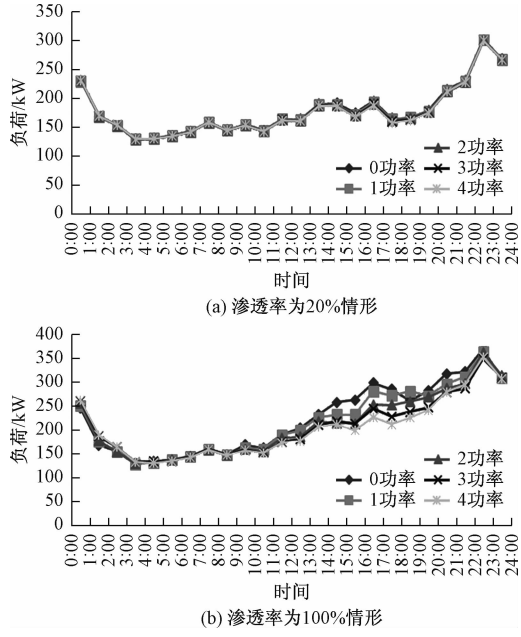


图 11 居民区负载特性预测曲线

Fig. 11 Prediction curve of residential area load characteristics

以 <渗透率,充电阈值 > 为一组变量进行居民区与充电汽车的负荷叠加,其中渗透率取值分别为 20% 和 100%,充电阈值 0 ~ 4 分别代表无序充电、充电时长超过 1 h、2 h、3 h 和 4 h 情形。根据蒙特卡洛仿真实验,相应的负载曲线叠加结果如图 12 所示。



(a) 渗透率为20%情形

(b) 渗透率为100%情形

图 12　电动汽车渗透率为 20% 和 100% 时的负载叠加曲线

Fig. 12　Load superposition curve under the situation of electric vehicle penetration rate is 20%　and 100%

从图 12 能够看出,当渗透率较低时,电动汽车对台区的叠加负荷影响不大,当渗透率较高时,电动汽车充电成为台区叠加负荷的主要部分。该台区是由 2 台容量为 680 kW 变压器所组成,容易计算出随着渗透率从 20% 到 100%,居民区变压器的最高负载率由 19.4% 上升到 24.3%。

4.2　示例二

基于 2016 年的用电信息采集系统,收集福州市 12 个典型台区的用电信息,其类型特点如表 4 所示。

表 4　典型小区的类型特点

Table 4　Characteristics of representative residential areas

区域	序号	小区名称	类型
思明区	1	海峡国际社区	高层,有地下室
	2	新华城	高层带商铺,有地下室
	3	湖明丽景	多层、高层带商铺
	4	山水芳邻	高层,有地下室
湖里区	5	金尚小区	多层带商铺
	6	万科湖心岛	高层,有地下室
	7	世茂湖滨花园	高层带商铺,有地下室
	8	紫金家园	高层,有地下室
集美区	9	泉水湾	高层带商铺,有地下室
	10	大学康城	高层带商铺,有地下室
	11	金域华府	高层带商铺,有地下室
	12	丰融尚城	高层

类似地,以 <渗透率,不同小区 > 为一组变量进行居民区与充电汽车的负荷叠加,其中渗透率分别取 0%、20% 和 100% 三种情形,可依据蒙特卡洛仿真计算出居民区与电动汽车负载曲线的叠加结果。

图 13 展示了 12 个小区的最高负载率统计结果。可以看出,所选台区的总体负载率较低。即便电动汽车大规模接入居民区,负载率会随之升高,但是由于所选台区在电力系统设计时留有足够的裕量,在 100% 负载率时,绝大多数小区变压器的最高负载率基本都在 30% 以下,远低于安全门限,即能够满足新增电动汽车的供电需求。

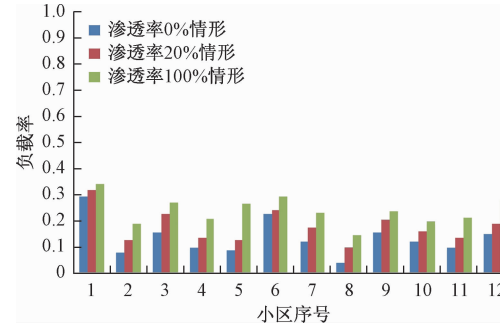


图 13　不同渗透率情形下各居民区的负载率

Fig. 13　Load rate of each residential area under different penetration rates

由上述分析可知,结合各类小区负荷曲线的不同形式,利用所提的负载分析方法,可以提前判断台区负载特性变化,为合理配置变压器容量提供技术支撑,实现优化和平稳居民区电网负荷的目的。

5　结论

首先从电动汽车的电池特性、行驶习惯以及充电行为出发,计算并分析了居民区电动汽车的充电特性。然后利用 ARIMA 模型分析法,结合对新增电动汽车总耗电量期望的计算,较好地分析了电动汽车接入对居民区负荷特性的影响。最后选取了具有若干具有代表性的居民区,以 <渗透率, 充电阈值 > 和 <渗透率, 不同小区 > 作为变量参数进行负载曲线叠加预测实验,验证了所提方法的有效性。

研究成果为后续研究充电汽车服务模式和运行策略奠定基础,对未来电动汽车大规模接入的居民区电网设计工作具有重要指导作用。

参　考　文　献

1　Silvas E, Hofman T, Murgovski N, *et al*. Review of optimization strategies for system-level design in hybrid electric vehicles. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2017; 66(1): 57—70

2　Darcovich K, Recoskie S, Ribberink H, *et al*. Effect on battery life of vehicle-to-home electric power provision under canadian residential

electrical demand. Applied Thermal Engineering, 2017; 114: 1515—1522

3 Bambang R T, Rohman A S, Dronkers C J, *et al*. Energy management of fuel cell/battery/supercapacitor hybrid power sources using model predictive control. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014;10(4): 1992—2002

4 Taylor J, Maitra A, Alexander M, *et al*. Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations. International Conference on Power & Energy Society. Alberta: IEEE, 2009: 1—6

5 张铁峰, 顾明迪. 电力用户负荷模式提取技术及应用综述. 电网技术, 2016; 40(3): 804—811
Zhang Tiefeng, Gu Mingdi. Overview of electricity customer load pattern extraction technology and its application. Power System Technology, 2016; 40(3): 804—811

6 Ahmadi M, Rosenberger J M, Lee W J, *et al*. Optimizing load control in a collaborative residential microgrid environment. IEEE Transactions on Smart Grid, 2015; 6(3): 1196—1207

7 Leithon J, Lim T J, Sun S. Renewable energy management in cellular networks: An online strategy based on ARIMA forecasting and a markov chain model. International Conference on Wireless Communications and Networking. Doha: IEEE, 2016: 1—6

8 郭 毅, 胡泽春, 张洪财, 等. 居民区配电网接纳电动汽车充电能力的统计评估方法. 电网技术, 2015; 39(9): 2458—2464
Guo Yi, Hu Zechun, Zhang Hongcai, *et al*. A statistical method to evaluate the capability of residential distribution network for accommodating electric vehicle charging load. Power System Technology, 2015; 39(9): 2458—2464

9 Ghayes J, Oliveira P R, Vaughan S, *et al*. Simplified electric vehicle power train models and range estimation. International Conference on Vehicle Power and Propulsion. Chicago: IEEE, 2011: 1—5

10 Box G E, Jenkins G M, Reinsel G C, *et al*. Time series analysis: Forecasting and control. 5th ed. Hoboken: John Wiley & Sons Press, 2015: 47—68

11 梁青艳, 孙彦广. 钢铁企业电力负荷动态预测建模问题的应用研究. 科学技术与工程, 2018; 18(16): 44—54
Liang Qingyan, Sun Yanguang. Investigation on application of electricity load dynamic forecast modelling in iron and steel enterprises. Science Technology and Engineering, 2018; 18(16): 44—54

Analysis on Load Characteristics of Electric Vehicles in Residential Areas Based on Auto Regressive Integrated Moving Average Model

LAI Guo-shu

(State Grid Fujian Electric Power Company, Fuzhou 350003, China)

[**Abstract**] With a rapid development of electric vehicles and a gradual improvement of charging facilities in the residential areas, the load of whole power grid may be seriously affected by the large number of electric vehicles charging behaviors. Therefore, a load demand analyzing method based on auto regressive integrated moving average (ARIMA) model was proposed. Firstly, the total power consumption model of multiple electric vehicles is established. Then, a predict electric vehicle charging demand is derived, so as to achieve rational allocation of transformer capacity. Finally, several representative residential areas are selected to measure the load changes before and after the access of electric vehicles. Simulation results verify the effectiveness of the proposed method.

[**Key words**] electric vehicles facing the residential area load characteristic analysis auto regressive integrated moving average model