

# 电力系统负荷预测综述

张凌云<sup>1</sup>, 肖惠仁<sup>1</sup>, 吴俊豪<sup>1</sup>, 廖谦<sup>1</sup>, 王鹏<sup>2</sup>

(1. 贵州电网有限责任公司兴义供电局, 贵州 贵阳 562400;

2. 贵州大学电气工程学院, 贵州 贵阳 550025)

**摘要:**精确的负荷预测是电力系统一直追求的目标,各种现代的新兴算法、方法运用到负荷预测之中,不同的预测方法由于自身的特点对于负荷预测的适用性也不尽相同,对于不同方法在负荷预测中的综述就显得很有必要。本文讨论了国内外的负荷预测的研究现状,分析了进行电力系统负荷预测的多种传统方法和现代智能方法,并总结出各种预测方法的优缺点和适用性,对于电力系统在选择负荷预测方法时具有一定参考价值。最后,对智能电网下的几种特定负荷预测场景进行了介绍,以这些角度去看待负荷预测问题,得出适用于这些场景的负荷预测方法,对于未来的负荷预测的发展也进行了展望。

**关键词:**电力系统;负荷预测;智能电网

**文章编号:**2096-4633(2018)01-0052-05 **中图分类号:**TM14 **文献标志码:**B

电力系统负荷预测是通过历史负荷数据、气象数据等来预测未来某地区电力负荷的方法,按照预测的时间长短可以分为超短期、短期、中期、长期负荷预测,负荷预测作为决策所需的基本量,对于指导电力系统的规划、运行、控制、稳定等都有很大的作用。随着电力系统的日渐智能化发展,负荷预测方法也多种多样,对比现有的预测方法,不同场景用不同的预测方法,能够明显提高预测准确度。

## 1 国内外研究现状

电力负荷变化受到各种因素影响,比如当地的社会经济的发展,气候条件,地区内工业、旅游业等的影响,其中,气候条件对于地区内的负荷也有比较显著的影响,在对负荷数据进行分析研究后可以发现,地区的负荷变化与影响因素之间存在非线性关系,由于影响因素众多,负荷预测的基本思路就是找到影响因素与负荷之间的非线性关系,这也是负荷预测的基本研究方向。

由于影响因素和负荷之间是一种非线性关系,人工神经网络、支持向量机等一些智能算法具有很好的非线性拟合能力,所以在现在的负荷预测中,智能算法在国内外研究中占了很高比重,主要工作就是优化算法,优化输入以此来达到更好的预测精度。例如文献[1]提出了一种基于小波

变换和模糊自适应共振理论映射网络的新的混合智能算法,该模型能够更准确的负荷预测。文献[2]当中提到利用经验模式分解方法,时间序列在这里被分成两部分,这两部分分别用来表示本地振荡和趋势的能量消耗值,以此为基础来训练支持向量机模型<sup>[3]</sup>,实证结果说明该方法在负荷预测中具有较高的准确度。

在文献[4]中提出了基于加权最小二乘的状态预估模型和算法,主要做法是将电压特性作为描述系统状态特征的基本量,采用状态估计方法来进行负荷预测,用于动态负荷预测很有优势,文献[5-7]的具体内容就是针对在支持向量机中输入的选择以及对支持向量机在短期负荷预测中的各种参数选取的问题——分析,系统的总结与展望了基于支持向量机的负荷预测。

## 2 负荷预测方法

### 2.1 传统的负荷预测方法

#### 2.1.1 回归分析法

回归分析预测方法就是通过建立一个负荷与影响负荷变化因素之间的回归关系式,在这里,主要就是找到负荷受到哪些因素影响,然后建立这些因素对于负荷的关系,当然在方程中会有未知参数,这就需要根据已知的数据通过一定的算法来求出未知参数,这样就建立起了针对该地区负

荷预测的模型,一般采取最小二乘法来进行参数求取。

回归分析法的优点是很好理解模型的含义,而且模型简单易懂,参数较少,求参数方法也比较简单,所以预测的速度较快。当然回归分析法对于历史数据要求较高,并且由于模型简单故准确度相对较低;而且由于模型限制,此方法无法将大量的影响因素考虑进来。同时该模型对于如何初始化也有较高要求<sup>[8-10]</sup>。

### 2.1.2 时间序列法

按一定时间间隔进行采样并且记录下来的历史负荷数据形成的有序集合叫做电力负荷的历史数据,由时间序列的知识可以将电力负荷的历史数据看成是一个时间序列,再用时间序列解决问题的办法来解决电力系统负荷预测问题,目前取得了较好的效果,应用也比较成熟,具体的做法就是在已知的历史数据序列的基础上,建立数学模型来描述负荷值与时间的相互关系,确定时间序列的表达式,通过该模型来进行时间序列的负荷。

时间序列方法优点就是时间序列所需要的数据量比其它的预测方法要少,所以时间序列在计算速度上具有优势,并且由于时间序列的连续性的特点,对于负荷预测的连续性也能很好的保留。但是时间序列方法要求建模人需要比较高的理论水平,对建模本身来说也比较复杂;对于模型本身来说它要求原始时间序列的具有较高的平稳性,故该方法的应用较局限只适用于在短期负荷预测中负荷变化比较均匀的那部分;该方法对于周期性时间考虑较多但对不确定因素考虑较少,对于天气或节假日负荷影响因素较多的时间段还存在很大的误差<sup>[11]</sup>。

### 2.1.3 灰色模型法

近年来,灰色模型法凭借在解决不确定因素的问题中的优越性广泛应用于很多领域,比如气象和农业领域。在电力系统中电力负荷受很多因素的共同影响,在这些因素中,有的因素确定,有的因素不确定,这就给了灰色系统负荷预测空间,我们可以把电力系统看成一个灰色系统来考虑,灰色系统在计及不确定因素的负荷预测具有优势。

灰色系统在在负荷预测中的计算量较小,而且由于负荷预测的不确定因素多,这恰恰又是灰色预测法的优点,故准确度较高。该方法应用面

广,对于各个时间长短的负荷预测都能有很好的预测准确度。在具体建模过程中也比较简单。但该方法不足之处应用面比较窄,只对指数趋势负荷预测效果较好。

此外,传统的负荷预测方法还有负荷求导法,也就是通过梯度求导的方法来进行负荷预测,相似日法即通过找到与待预测日相似的一些历史负荷日,再对历史负荷日通过一定的方法进行修正来提高负荷预测的准确度等。

## 2.2 智能预测方法

### 2.2.1 人工神经网络法

人工神经网络是一个非线性网络,在这个网络中有大量的神经元,每一个神经元有将输入的量通过一个非线性函数(通常是S函数)映射到输出。人工神经网络经过多年的发展有很多类型,如BP网络、RBF网络等已广泛用于负荷预测,众所周知,神经网络之所以广泛的应用于很多的行业,就是它强大的对于数据的映射能力,在负荷预测中,人工神经网络能很好的反应历史数据的输入与输出的预测负荷的之间的关系。

人工神经网络方法通过神经元之间的权值来表达自变量与因变量之间的关系,它的并行结构能够很好的处理实时性的问题,广泛用于负荷预测中。该方法的不足是对于神经网络的隐含层的个数选取没有统一的选取标准,只能多次试验来比较得到较好的隐含层个数,并且人工神经网络的结构确定也不容易,对于输入的选择很重要,合适的输入对结果的准确度有很大影响,选择时要多多考虑,同时还可能还会遇到学习速度慢,局部极小点等问题。

### 2.2.2 支持向量机法

支持向量机(SVM)是一个很新的智能算法,开始提出来就是为了解决分类问题的,但它同时也具有非线性拟合能力,所以也可以运用于负荷预测之中,在利用SVM来进行负荷预测中,也需要先将数据处理,训练数据分为训练集与验证集,训练数据用来训练负荷预测的SVM模型,验证数据用来验证模型的性能,对于验证集,一般是通过时间序列的方法来提取数据,模型训练好之后,各个参数定下来,再通过这个模型来进行负荷的预测。

SVM方法是新兴的智能算法,具有很多优越的

性能,相对于人工神经网络来说收敛速度提升很大,局部极小点的问题也能解决,因为对于 SVM 来说只有全局最优解,SVM 方法的不足之处是该方法对于存贮需求量大,对于模型的建立程序的实现比较复杂,不好在实际应用中推广,而且对于数据中的知识是否冗余也不能通过 SVM 确定<sup>[12]</sup>。

### 2.2.3 小波分析法

小波变换的原理就是可以在很多频域信号相组合的混合信号之中将各个频域的信号通过技术手段分离出来,在负荷预测领域,将历史负荷数据看成是一个混合的信号,通过小波变换,将不同序列的信号分解到不同的尺度之内,这个子序列和小波变换在信号中的频域是一样的概念,这样做的好处就是每个子序列的周期性较总的历史数据明显,对于每个子序列建立周期自回归模型,最后再把各个子序列的预测值进行重组以达到负荷预测的目的。小波分析法的周期性很明显,对于负荷随时间的变化考虑较多,该方法的不足之处是未能考虑其它外部因素对于负荷的影响,并且小波基的选择对于预测结果有很大影响<sup>[13-14]</sup>。

此外,智能算法还有模糊理论法,就是通过模糊理论来模糊化负荷预测中的关键的因素来进行负荷预测,通过专家知识建立的一个系统的专家系统法也应用于负荷预测中。还有通过几种算法结合起来发挥它们各自的优点来达到负荷预测准确度的综合模型预测法。

## 2.3 几种特定场景的负荷预测

### 2.3.1 母线负荷预测

母线负荷预测就是对于电力系统的各个节点也就是各变电站的负荷进行预测,这样可以便于电力部门掌握电力负荷在电网中的分布情况,在智能电网的大背景下,掌握电网的整个运行情况显得尤为重要,根据对变电站负荷情况的分析,可以保证供电的可靠与平稳。由于母线的负荷预测是节点的负荷预测,广义来说,一个地区负荷预测也可以看成是一个总的节点的负荷预测,所以地区级的负荷预测方法也可以用在母线负荷预测中,但是在母线的负荷预测中,往往不止考虑预测有功负荷,还需要预测无功负荷,这也是为了掌握更多的负荷分布情况,未来的智能电网,各种新能源和节能技术的应用对于发电侧和用电侧的特性变化很大,以及分布式能源的广泛应用,都需要母线负荷预测来掌握负荷的分布

情况。

### 2.3.2 考虑需求侧管理的负荷预测

在迈进智能电网的今天,需求侧管理被广泛应用到电力系统中,考虑需求侧管理的负荷预测也很有必要,文献[15]提出了根据系统调度员(distribution system operators, DSOs)接受的需求响应信号,作为建模依据,再来进行负荷预测,这样的预测方法在实时负荷预测能够达到较高的准确度,文献[16]提出了通过负荷侧管理来修正负荷预测模型参数值来使负荷预测达到较高的准确度,未来智能电网信息交互会非常快捷,用户侧的信息会很快的反馈回供电企业,新节能技术的应用越来越多,对于电力企业,充分考虑反馈的信息很有必要,考虑需求侧管理的负荷预测就是要利用用户反馈回的信息来更准确的预测负荷,对于信息化的电网,实时的、准确的负荷预测一定要考虑需求侧管理。

### 2.3.3 电动汽车充电负荷预测

随着电动汽车的应用越来越多,将电动汽车的充电纳入到负荷预测显得也越来越重要,由于电动汽车本身的时间与空间的分布特征不同,用户行为和地区的电动汽车保有量也不尽相同,预测方法较系统的负荷预测有所区别,目前常用的方法是通过蒙特卡洛等方法先对电动车的充电的时间状态模拟或者对电动车的驾驶行为来考虑时空分布特性等的负荷预测,这种特定场景的负荷预测具有较高的准确度<sup>[17-20]</sup>。

## 3 结论

本文对于国内外负荷预测的现状进行了介绍,分析了各种预测方法的优缺点和适用性,总结如下:

(1)回归分析法、灰色预测法用在历史数据与预测数据的关系比较简单,通过分析就能大致知道它们的变化关系的情形下,能够有很好的预测效果,另外,当样本数据较少以及中长期负荷预测中灰色预测法和简单的回归分析法也是负荷预测中的很好选择。

(2)神经网络预测法、支持向量机预测法等智能算法在拥有大量历史数据的情况下的负荷预测能够有很高的预测精度,在超短期、短期、实时的负荷预测中智能算法也很有优势。

(3)智能电网中的负荷预测朝着实时化,大

数据量,高精确性要求的方向发展,形成大数据的格局,挖掘更深层次的负荷影响因素变得很有必要。

未来的负荷预测方法关键在于提高准确性和实时性,以达到智能电网的要求。

#### 参考文献:

- [1] HAQUEAU,MANDAL P,MENG J,et al. A novel hybrid approach based on wavelet transform and fuzzy ARTMAP network for predicting wind farm power production [C]. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), Las Vegas, NV, USA; 2012.
- [2] GHELARDONIL,GHIOA,ANGUITAD. Energy load forecasting using empirical mode decomposition and Support Vector Regression [J]. IEEE Transactions on Smart Grid,2013,4(1): 549-556.
- [3] MORIH,KURATAE. An efficient kernel machine technique for short term load forecasting under smart grid environment [C]. IEEE on Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, USA; 2012.
- [4] 韩力,韩学山,雷鸣,等. 节点负荷预测与发电控制结合的状态预估方法[J]. 电力系统自动化,2009,33(4): 16-20.  
HAN Li,HAN Xueshan,LEI Ming. Method for state forecasting and estimation based on nodal load forecasting and generation control [J]. Automation of Electric Systems,2009,33(4): 16-20.
- [5] 耿艳,韩学山,韩力. 基于最小二乘支持向量机的短期负荷预测[J]. 电网技术,2008,32(18): 72-76.  
GENG Yan,HAN Xueshan,HAN Li. Short-term load forecasting based on least squares support vector machines [J]. Power System Technology,2008,32(18): 72-76.
- [6] 陈超,黄国勇,邵宗凯,等. 基于日特征量相似日的 PSO-SVM 短期负荷预测[J]. 中国电力,2013,46(7): 91-94.  
CHENG chao,CHENG Chao,HUANG Guoyong, et al. Short-term load forecasting for similar days based on PSO-SVM and daily feature vector [J]. Electric Power,2013,46(7): 91-94.
- [7] 王奔,冷北雪,张喜海,等. 支持向量机在短期负荷预测中的应用概况[J]. 电力系统及其自动化学报,2011,23(4): 115-121.  
WANG Ben,LENG Beixue,ZHANG Xihai. Application profiles of support vector machine in short-term load forecasting [J]. Proceedings of the CSU-EPSA,2011,23(4): 115-121.
- [8] 谷云东,胡芳芳. 分区支持向量回归及其在负荷预测中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报,2013,25(3): 20-24.  
GU Yundong,HU Fangfang. Partitioned support vector regression and its application on load forecasting [J]. Proceedings of the CSU-EPSA,2013,25(3): 20-24.
- [9] 熊岗. 应用灰色系统原理进行长期电力需求预测[J]. 上海交通大学学报,1993,27(5): 15-18.  
XIONG Gang. Long term forecasting of electric power demand using grey theory [J], Journal of Shanghai Jiaotong University, 1993, 27(5): 15-18.
- [10] 王文莉. 负荷预测的灰色系统方法[J]. 东北电力学院学报, 1997,17(2): 37-43.  
WANG Wenli,WEI Xiaoyun. An improved method based on grey model in load forecasting of power system [J]. Journal of Northeast China Institute of Electric Power,1997,17(2): 37-43.
- [11] 叶瑰昀,罗耀华,刘勇,等. 基于 ARMA 模型的电力负荷预测方法研究[J]. 信息技术,2002,6: 74-76.  
YE Guiyun,LUO Yaohua,LIU Yong, et al. Researchon method of power system load forecasting based on ARMA model [J]. Information Technology,2002,6: 74-76.
- [12] 赵登福,王蒙,张讲社,等. 基于支撑向量机的短期负荷预测[J]. 中国电机工程学报,2002,22(4): 26-30.  
ZHAO Dengfu,WANG Meng,ZHANG Jiangshe, et al. A support vector machine approach for short-termload forecasting [J]. Proceedings of the CSEE,2002,22(4): 26-30.
- [13] 廖旋煊,胡智宏,马莹莹,等. 电力系统短期负荷预测方法综述[J]. 电力系统控制与保护,2011,39(1): 147-152.  
LIAO Nihuan,HU Zhihong,MA Yingying, et al. Review of the short-term load forecasting methods of electric power system [J]. Power System Protection and Control,2011,39(1): 147-152.
- [14] 李博,门德月,严亚勤,等. 基于数值天气预报的母线负荷预测[J]. 电力系统自动化,2015,39(1): 137-140.  
LI Bo,MEN Deyue,YAN Yaqin, et al. Bus load forecasting based on numerical weather prediction [J]. Aotomation of Electric Power System,2015,39(1): 137-140.
- [15] 于道林,韩少晓,李晨,等. 考虑需求响应的电力系统短期负荷预测模型[J]. 青岛大学学报(工程技术版),2016,31(3): 6-10.  
YU Daolin,HAN Shaoxiao,LI Chen, et al. Short-term load forecasting model considering demand response of the power system [J]. Journal of Qindao University (E&T),2016,31(3): 6-10.
- [16] 苏卫华,储琳琳,张亮,等. 考虑需求侧管理的负荷预测方法研究[J]. 华东电力,2010,38(8): 1236-1239.  
SU Weihua,CHU Linlin,ZHANG Liang, et al. Study on load forecast method considering demand side management [J]. Eastchina Electric Power,2010,38(8): 1236-1239.
- [17] 朱慧婷,杨雪,陈友媛. 电动汽车充电负荷预测方法综述[J]. 电力信息与通信技术,2016,14(5): 44-47.  
ZHU Huiting,YANG Xue,CHEN Youyuan. Overview of the charging load forecasting methods of Plug-in electric vehicles [J]. Power Information and Communication Technology,2016,14(5): 44-47.
- [18] 李小璐. 贵州电网负荷预测分析[J]. 贵州电力技术,2014,17(5): 49-51.  
LI Xiaolu. Analysis of load forecasting in Guizhou power grid [J]. Guizhou Electric Power Technology,2014,17(5): 49-51.

[19] 赖威敏,文波. 基于改进 BP 神经网络的母线负荷预测[J]. 贵州电力技术,2016,19(8):35-37.

LAI Weiming, WEN Bo. Bus load forecasting based on improved BP neural network [J]. Guizhou Electric Power Technology, 2016,19(8):35-37.

[20] 李辉. 改进残差 GM(1,1) 模型在中长期负荷预测中的应用[J]. 广东电力,2017,30(9):81-85.

LI Hui. Application of improved residual error GM(1,1) model in medium and long term load forecasting[J]. Guangdong Electric

Power,2017,30(9):81-85.

收稿日期:2017-10-20

作者简介:



张凌云(1975),男,本科,工程师,主要从事信息数据运营、规划工作。

(本文责任编辑:范斌)

## Review of power system load forecasting

ZHANG Lingyun<sup>1</sup>, XIAO Huiren<sup>1</sup>, WU Junhao<sup>1</sup>, LIAO Qian<sup>1</sup>, WANG Peng<sup>2</sup>

(1. Xingyi Power Supply Bureau of Guizhou Power Grid Co., Ltd., Xingyi 562400 Guizhou, China;

2. Electrical Engineering College of Guizhou University, Guiyang 550025 Guizhou, China)

**Abstract:** The precise load forecasting of electric power system is always the pursuit of the goal, all kinds of modern emerging algorithms and methods are applied to load forecasting. Different forecasting methods have different applicability to load forecasting due to its own characteristics. Therefore, it is necessary to summarize different methods in load forecasting. The paper discusses the domestic and foreign research situation of load forecasting, analyzes several traditional methods of power system load forecasting and modern intelligent methods, and summarizes the advantages and disadvantages of various forecasting methods. The power system has a certain reference value in selecting the load forecasting method. Finally, several specific load forecasting scenarios under smart grid are introduced. From these perspectives, load forecasting problems can be viewed, and load forecasting methods suitable for these scenarios can be drawn, and the future development of load forecasting is also forecasted.

**Key words:** power system; load forecasting; smart grid