

DOI: 10.3969/j.issn.1006-4729.2013.01.003

电力系统超短期负荷预测算法及应用

钱 虹, 阮大兵, 黄正润

(上海电力学院 自动化工程学院, 上海 200090)

摘要: 简述了超短期负荷预测的概念和应用. 将目前预测方法分为传统预测算法和现代预测算法, 介绍了各种算法的原理、适用范围, 以及大规模新能源并网运行对超短期负荷预测的影响. 对比分析各种算法的优点和不足, 提出了对历史数据预处理、建立分时段的综合预测模型, 以及考虑气象因素等提高超短期负荷预测精度的措施.

关键词: 超短期负荷预测; 传统预测算法; 现代预测算法

中图分类号: TM715

文献标志码: A

文章编号: 1006-4729(2013)01-0009-04

Ultra-short-term Load Forecasting Algorithm and Application

QIAN Hong, RUAN Dabing, HUANG Zhengrun

(School of Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: The concept and application of ultra-short term load forecasting are introduced in brief, and the current algorithms are classified into traditional forecasting and modern forecasting. Then the principles, scope of application and the influence of the large-scale new energy sources connected to the grid are introduced. The advantages and disadvantages of these algorithms are compared. The pretreatment of the history data is put forward, a comprehensive forecasting model in divided periods is set up and the weather factors are considered in raising forecast accuracy.

Key words: ultra-short-term load forecasting; traditional forecasting; modern forecasting

电力系统负荷预测按照其用途不同,可分为长期、中期、短期、超短期预测. 其中,超短期负荷预测主要用于在线运行,它一般以 5~30 min 为预测间隔,预测未来 1 至几小时内的负荷变化. 预测周期短,要求预测的算法速度快. 超短期预测一般是追求算法的实用性,因此复杂的算法在超短期预测中比较少见^[1].

本文介绍了超短期负荷预测的应用场合,对目前常采用的几种算法进行了介绍并且分析了各

自的优劣. 针对目前新能源广泛接入电网的前景,提出了改进预测精度的措施.

1 超短期负荷预测算法

1.1 传统预测算法

1.1.1 线性外推法

超短期负荷预测的线性外推方法,就是根据已知的过去时间段的负荷曲线来进行拟合,得到一条

收稿日期: 2012-04-09

通讯作者简介: 钱虹(1967-),女,在读博士,副教授,上海人. 主要研究方向为电力系统智能控制,故障诊断.

E-mail: qianhong.sh@163.com.

确定的曲线,使得这条曲线能反映负荷本身的变化趋势,然后按照这个变化趋势,利用曲线上未来时刻对应的值,估计出该时刻的负荷预测值^[1-3].

其模型可以表示为:

$$y = a + bt + \varepsilon \quad (1)$$

式中: y —— t 时刻的负荷值;

a, b ——模型的待定系数;

ε ——随机干扰,对于全过程来说,干扰中和为零.

由已知的历史数据可知,利用最小二乘法得到 a, b 的估计值为 \hat{a}, \hat{b} ,那么对应于给定时刻 t , Y 的估计值为 $\hat{a} + \hat{b}t$,记作 \hat{y} .

在实际计算中,可得出模型参数如下:如果当前时刻为 t_0 ,则实际负荷 y_0 为已知数,那么 t_1 时刻的负荷值是在 y_0 基础上的一种随机变化,这样 \hat{a} 就可以认为是 y_0 ,则 t_1 时刻的负荷 y_1 为:

$$y_1 = y_0 + \hat{b}t_1 \quad (2)$$

线性外推法的外推特性较好,但是对负荷曲线拐点处的预测效果较差.

1.1.2 时间序列法

时间序列法^[1]是超短期负荷预测的经典方法,是根据负荷的历史资料,设立一个数学模型,用这个数学模型一方面来描述电力负荷这个随机变量变化过程的统计规律,另一方面在该数学模型的基础上再确立负荷预测的数学表达式,对未来的负荷进行预报.就一般的时间序列预测方法^[4-7]而言,总是先去识别与实际预测同标序列符合的一个随机模型,并估计出随机模型中的未知参数,再对随机模型进行考核,当确认该随机模型具有适用价值后,再在此基础上建立预测表达式进行预报.在时间序列法中广泛使用的模型有 AR(自回归)序列模型、MA(移动平均)序列模型、ARMA(自回归移动平均)序列模型和 ARIMA(自回归积分移动平均)模型等,它具有对历史数据量要求较低、计算量小的优点,但它的基本模型是线性模型,并假定负荷曲线是平稳的时间序列,因此当用它来预测周末、节假日时,预测精度就比较差.另外,在季节交替时,还要进行模型的调整,从而产生预测盲点.

1.1.3 卡尔曼滤波法

卡尔曼滤波^[8,9]将系统负荷分解为确定和随机两部分.确定部分采用最小二乘法预测,随机部

分采用卡尔曼滤波算法.模型用状态空间描述.

$$\text{状态方程: } x(t+1) = \varphi(t)x(t) + K\eta(t) \quad (3)$$

$$\text{量测方程: } Y_s(t) = H(t)X(t) + \varepsilon(t) \quad (4)$$

式中: $x(t)$ —— t 时刻 d 维状态向量;

$\varphi(t)$ —— t 时刻 $d \times d$ 维状态矩阵;

K —— $d \times n$ 参数行矩阵;

$\eta(t)$ —— t 时刻 $n \times 1$ 维系统白噪声向量;

$Y_s(t)$ —— t 时刻负荷随机分量值;

$H(t)$ —— d 维参数行向量;

$\varepsilon(t)$ ——量测噪声.

根据负荷预报周期和负荷特性,选择合适的状态空间结构,即确定 H, φ, K .卡尔曼滤波法在使用中最大的障碍是如何求得量测噪声和系统噪声的方差.最新的技术是采用极大似然法来估计并决定量测噪声与系统噪声的方差,但效果欠佳,结果不太精确.

1.1.4 负荷求导法

虽然每天负荷大小有差别,但文献[10]认为,负荷的变化率有一定的稳定性.负荷求导法的基本思想是将负荷看成时间的函数,对函数进行一次求导,可以得到各点的负荷变化率.文献[11]将负荷预测日模型分为休息日和工作日,提高了预测的精度.负荷求导法的算法简单,运行速度快,并且能够克服线性外推拐点处预测不准确的缺点.但负荷求导的模型没有考虑天气对用电需求的影响,所以对不同气象情况下的相似日预测精度不够准确.

1.2 现代智能预测算法

现代智能预测算法是借鉴自然界中自然现象或生物体的各种原理和机理而开发的计算方法.智能算法一般具有自适应能力,特别适用于解决非线性、模型不确定性等问题^[12].

1.2.1 神经网络算法

目前应用于超短期负荷预测的神经网络算法有 BP 神经网络.它是一种前馈算法,权值的调整采用误差反向传播算法. BP 算法的主要缺点是收敛速度慢、局部极值,以及难以确定隐层和隐层节点的个数.目前有一些文献是对 BP 算法进行了改进^[13-16],主要是采用了启发式的学习算法或者更加有效的优化算法.

1.2.2 免疫算法

文献[17]用最小二乘法分别建立 1 h, 2 h, 3

h 的超短期负荷的差分模型,取每种预测的误差作为目标函数,用免疫算法来寻优。免疫算法具有自组织、自学习、自适应和鲁棒性等优点。

1.2.3 支持向量机算法

支持向量机(SVM)方法是建立在统计学理论的VC维理论和结构风险最小原理基础上的,根据有限的样本信息在模型的复杂性和学习能力之间寻求最佳折衷,以期获得最好的推广能力。利用SVM进行负荷预测,具有一定的精度。但SVM存在计算速度慢、鲁棒性不强等缺点。文献[18]提出了自适应双向加权最小二乘支持向量机的超短期负荷预测,提高了预测的精度。

1.2.4 专家系统算法

该算法将本地区历史负荷数据存入数据库中,用聚类分析方法、模糊算法、粗糙集理论等总结出历史数据的规律性,提取有关规则,再根据当前的已知条件对未来负荷进行预测。专家系统能对不可量化的经验进行转化,具有非线性能力强的优点,适用于负荷变化模型复杂的地区。但对于规律不断变化的负荷适应能力差^[19-21]。

2 超短期负荷预测的应用

2.1 自动发电控制(AGC)应用

文献[22]至文献[25]提出了应用于区域控制偏差(ACE)超前控制的负荷预测模型。超短期负荷预测主要用于对发电机组进行超前控制,减小ACE,降低系统频率波动。常规AGC控制方式是当联络线功率或系统频率偏离计划值时,AGC根据ACE大小来调节各发电机组出力,减小ACE,使联络线功率或系统频率恢复到正常值。这显然是一个滞后控制过程。因此,当负荷变化较快时,调节性能较差。应用超短期负荷预测的结果来超前控制机组出力,能够显著减小ACE值,系统频率将更加稳定。超前控制需要下一个时刻的负荷值,但由于短时间内负荷变化惯性较大,因此用线性外推法预测效果较好。

2.2 电力系统状态估计应用

文献[26]提出了将超短期负荷预测应用于电力系统动态状态估计的方法。动态状态估计是根据电力系统的各种量测信息,估计出电力系统当前的运行状态,这是大部分在线应用的高级软

件的基础。如果电力系统状态估计结果不准确,后续的任何分析计算将不可能得到准确的结果。基于超短期负荷预测的电力系统动态状态估计将超短期负荷预测所得到的节点注入功率作为滤波步的输入,能够实时地对电力系统进行动态状态估计,提高了动态状态估计的精度,同时也提高了对下一时刻状态量预测的精度,为其他在线功能的实现提供了可靠的系统信息,进一步为电力系统提供安全可靠的监控。

2.3 预防控制应用

文献[27]提出了将超短期负荷预测应用于智能设备在线自投。智能电网的发展,对设备的事后处理自动化水平提出了更高的要求^[28]。应用超短期负荷预测的结果,提前预估系统的运行状态及潮流,确定对备用电源、备用设备进行自动投切的策略,以保证供电的可靠性及系统的稳定性。

类似的应用还有将预报结果用于指导电网实时动态无功电压优化控制,可保证优化控制的实时性,还可以避免设备的频繁动作^[29]。

3 提高超短期负荷预测精确性措施

超短期负荷预测多用于系统调频、安全监视、预防控制和紧急事故处理等,因而保证其精确性至关重要。如果预测误差较大,不但不能为系统安全稳定运行提供帮助,还可能会适得其反,因此本文提出相应的改进措施,以提高负荷预测的精度。

3.1 数据的预处理

实际负荷中有时会出现异常值,建模时个别异常数据会影响模型的精度,因此对不良数据的辨识是必要的。此外,出现异常值时应当用可靠的估计值来代替。代替值可以采用横向法和纵向法求得。横向法是根据当前时间的值线性外推来推测出异常时刻的值。纵向法就是根据取相似日相同时间段的值来代替异常值^[30]。

3.2 分时段变权重的综合预测模型

考虑到实际负荷变化的复杂性,可以考虑将多种预测方法相结合。如线性外推法的外推特性较好,在负荷近似线性的时段主要用线性模型,而神经网络法是非线性算法,可在拐点处主要使用神经网络算法。将这两种算法结合使用,采用不同

时段变权值的综合预测模型来提高负荷预测的精度^[31]。

3.3 气象因素的考虑

超短期负荷预测虽然一般不考虑气象因素^[1],但是随着智能电网的发展,将会有越来越多的新能源并网发电,形成分布式电网,这些新能源发电量受光照、风速的影响较大。当新能源容量很大时,会对电网稳定性造成很大威胁。因此,可以将这些新能源单独考虑,采用马尔科夫链预测其发电量,在总的负荷需求下减去发电量就是负荷的实际需求值。

4 结 语

超短期负荷预测可以有效指导电力系统的安全、经济、稳定运行。目前超短期负荷预测的各种算法还存在着一些缺点,很多算法还停留在理论阶段,不能应用于实际生产。因此在实际应用中,需要充分考虑地区负荷特性,采取有效提高精确度的措施,建立适用于特定地区的超短期负荷预测算法模型,从而提高预测精度,为电网的安全运行提供帮助。

参考文献:

- [1] 康重庆,夏清,刘梅. 电力系统负荷预测[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 252-258.
- [2] 张怡,张峰. 电力系统超短期负荷预测技术的应用与发展[J]. 浙江电力, 2010(2): 5-8.
- [3] 肖国权,王春,张福伟. 电力负荷预测[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000: 65-80.
- [4] 张思远,何光宇,梅生伟,等. 基于相似时间序列检索的超短期负荷预测[J]. 电网技术, 2008, 32(12): 56-59.
- [5] 马一平,张卫,贾强. 基于局部形相似的超短期负荷预测[J]. 电网与清洁能源, 2010, 26(9): 26-28.
- [6] 姜勇,卢毅. 基于相似日的神经网络短期负荷预测方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2001, 13(6): 35-36.
- [7] 范宏,程浩忠,贾德香,等. 基于改进相似日的超短期负荷预测法[J]. 华东电力, 2006, 34(4): 7-9.
- [8] 于尔铿,刘广一,周京阳,等. 能量管理系统[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 121-125.
- [9] 刘维烈,朱峰,李端超,等. 电力系统调频与自动发电控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006: 112-114.
- [10] 吴劲晖,王冬明,黄良宝,等. 一种超短期负荷预测方法-负荷求导法[J]. 浙江电力, 2000, 19(6): 1-4.
- [11] 赵成旺,顾幸生,严军. 负荷求导法在超短期负荷预测中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(5): 5-9.
- [12] 刘燕,龙新峰,梁平. 电力负荷非线性预测方法与研究方向探讨[J]. 广东电力, 2005, 18(7): 1-6.
- [13] 赵宇红,唐耀庚,张韵辉. 基于神经网络和模糊理论的短期负荷预测[J]. 高压技术, 2006, 32(5): 107-110.
- [14] 姜勇. 电力系统短期负荷预测的模糊神经网络方法[J]. 继电器, 2002, 30(7): 11-13.
- [15] 贾德香,韩净. 基于改进BP网络的电力系统超短期负荷预测[J]. 安徽电气工程职业技术学院报, 2008, 13(3): 71-73.
- [16] 史德明,李林川,宋建文. 基于灰色预测和神经网络的电力系统负荷预测[J]. 电网技术, 2001, 25(12): 14-17.
- [17] 鲍光辉,熊赞超,艾芊. 基于免疫算法的超短期负荷预测方法[J]. 华东电力, 2010, 38(12): 1965-1967.
- [18] 王岗,姜杰,唐昆明,等. 基于自适应双向加权最小二乘支持向量机的超短期负荷预测[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(19): 142-146.
- [19] 冯丽,邱家驹. 粗糙集理论及其在短期电力负荷预测中的应用[J]. 电网技术, 2004, 16(6): 60-63.
- [20] 熊浩,罗日成. 遗传模糊算法在短期负荷预测中的应用[J]. 继电器, 2004, 32(4): 20-23.
- [21] 杨争林,唐国庆,宋燕敏,等. 改进的基于聚类分析的超短期负荷预测方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(24): 83-86.
- [22] 刘翌,刘盛松,陈莉,等. 具有安全校正与超前控制功能的自动发电控制研究[J]. 电力科学与工程, 2007, 23(1): 23-27.
- [23] 李予州,吴文传,张伯明,等. 应用于ACE超前控制的超短期负荷预测模型[J]. 电力系统自动化: 增刊, 2007: 28-32.
- [24] 张峰,张怡,周剑波,等. 基于SSTLF与AGC机组出力调度系统设计[J]. 继电器, 2005, 33(7): 70-74.
- [25] 谭涛,姜杰,何潜,等. 省级电网AGC控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(16): 63-66.
- [26] 谢铁明,卫志农,袁安建. 基于超短期负荷预测的电力系统动态状态估计[J]. 江苏电机工程, 2009, 28(1): 8-10.
- [27] 殷智. 基于超短期负荷预测的智能自备投在线投退系统[D]. 济南: 山东大学, 2011.
- [28] 郭永基. 加强电力系统可靠性的研究和应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(19): 1-5.
- [29] 张雅琼,徐泰山. 计及超短期负荷预报的电网实时动态无功电压控制[C]//第二十九届中国电网调度运行会收录论文集, 2005: 1-5.
- [30] 陈亚红,穆钢,段方丽. 短期电力负荷预报中几种异常数据的处理[J]. 东北电力学院学报, 2002, 22(2): 1-5.
- [31] 康重庆,夏清,张伯明. 电力系统负荷预测研究综述与发展方向的探讨[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(17): 1-11.

(编辑 苏娟)