

# 电力系统负荷预测技术

宗慧敏, 滕 欢

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

**摘 要:** 负荷预测是电力系统规划、供电、调度等部门的重要的基础工作, 讨论了负荷预测的特点、分类及各种成熟的负荷预测技术, 研究了现代负荷预测技术的发展动态, 并指出未来主要的研究方向。

**关键词:** 电力系统; 负荷预测; 预测技术

**Abstract:** Load forecasting is the foundation of power system planning, power supply and dispatching. The characteristics and classification of the load forecasting are discussed as well as all kinds of mature load forecasting technologies. Furthermore, the development of modern load forecasting technology is studied and the main issues of future researches on this field are pointed out.

**Key words:** power system; load forecasting; forecasting technology

**中图分类号:** TM714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)-0036-04

负荷预测是从已知的电力需求出发, 通过对历史数据的分析, 并考虑政治、经济、气候等相关因素, 对未来的用电需求做出估计和预测。负荷预测是电力系统规划、供电、调度等部门的重要的基础工作。对于经济合理地安排发电机组的启停及检修计划, 保持电网安全稳定运行以及未来电网的增容和改建等有十分重要的作用。

## 1 负荷预测的特点及分类

负荷预测研究的对象是不肯定事件, 对于这种事件, 需要人们采用适当的预测技术, 推知负荷的发展趋势, 这就使负荷预测具有不确定性、条件性、时间性、多方案性等特点。显然, 就不可能存在任何时候、任何地点、对任何对象都具有普遍适用性的预测方法。

负荷预测中经常按时间期限分为长期、中期、短期和超短期: ①长期负荷预测是指数年至数十年的负荷预测, 主要是帮助电网规划部门对电网进行规划、增容和改建, 要特别考虑国民经济发展、人口、国家政策等影响。②中期负荷预测是指月至年的负荷预测, 用于水库调度、机组检修、燃料计划等运行计划的编制, 主要受大用户生产计划、气象条件、产业结构调整等影响。③短期负荷预测是指日至周的负荷预测, 用于调度计划的编制, 主要受星期类型、气象因素等影

响。④超短期负荷预测是指未来 1 h 以内的负荷预测, 其中 5~10 s 的负荷预测用于质量控制, 1~5 min 的负荷预测用于安全监视, 10~60 min 的负荷预测用于预防控制和紧急状态处理。

此外, 负荷预测按行业可以分为城市民用负荷、商业负荷、农村负荷、工业负荷以及其他负荷的负荷预测; 按特性又可以分为最高负荷、最低负荷、平均负荷、负荷峰谷差、高峰负荷平均、低谷负荷平均、平峰负荷平均、全网负荷、母线负荷、负荷率等类型的负荷预测。

## 2 负荷预测的基本程序

1) 确定负荷预测的目的和要求, 根据实际需要和具体情况, 拟定一个合理的预测工作计划。

2) 多方面调查收集资料, 并以直接有关性、可靠性、最新性的标准挑选资料, 深入研究后, 再考虑是否还需要收集其他资料, 尽可能做到细致、全面, 但避免用臆想的数据填补所缺少的资料。

3) 基础资料的整理和分析。在对大量的资料进行全面分析之后, 选择其中有代表性的、真实程度和可用程度高的有关资料作为预测的基础资料。对基础资料进行必要的分析和整理, 对资料中的异常数据进行分析, 做出取舍或修正。

4) 电力系统相关因素数据的获取。电力系统受

到经济发展、天气变化等因素的影响,可以从相关部门获取其对相关因素未来变化规律的预测结果,作为负荷预测的基础数据。

5)选取预测模型。这是关键性的一步,预测模型要能够反映统计资料的一般特征,否则就会造成预测误差过大。可以同时用几种模型进行运算对比,以选择适合具体资料的模型。

6)用预测模型进行负荷预测,再考虑影响预测对象的因素以及新的发展趋势,经过综合分析、判断、修正后确定预测结果。

7)负荷预测的滚动性管理。即经过一段时间的实践,利用反馈信息对预测值进行调整,并对预测结果进行误差分析,以考虑预测模型是否适合,为下次预测做好准备。

### 3 电力负荷预测方法简介

负荷预测有一些常规单一的预测方法,如专家预测法、类比法、主观概率预测法、单耗法、负荷密度法、比例系数增长法、弹性系数法等。这些方法虽然简单,但大多需要做很多细致的统计调查工作,而且很难反映现代政治、经济、气象等条件的影响。下面介绍几种经典的负荷预测技术<sup>[1,2]</sup>。

#### 3.1 趋势外推预测技术

电力负荷虽然是不确定的、随机的,易受到气候、意外事故等各种条件的干扰,但在一定条件下,仍存在明显的变化趋势。例如从季度和月份方面看,用电负荷存在周期性的变化趋势,又如用电负荷总体上呈增长趋势等。一旦找到了负荷的变化趋势,就能按照这种变化趋势对未来负荷做出判断,这就是趋势外推预测技术。

外推法有水平趋势预测、线性趋势预测、多项式趋势预测、季节型趋势预测等。优点是简单实用,所需数据量少,缺点是对随机成分不做统计处理,如果负荷出现变动,会引起较大误差。

#### 3.2 回归模型预测技术

回归模型预测就是根据以往负荷的历史资料,用数理统计中的回归分析方法对变量的观测数据进行统计分析,建立数学模型,从而实现预测的目的。

回归模型有一元线性回归、多元线性回归、非线性回归等回归预测模型。其中,线性回归模型适用于电力系统中期负荷预测。优点是原理和结构简单,预

测速度快,外推特性好,缺点是对历史数据要求高。

#### 3.3 时间序列预测技术

时间序列预测技术是现在常用于短期负荷预测的较为成熟的方法。它是根据整个观测序列所呈现出的某种随机过程的规律性去建立和估计产生实际序列的随机过程的模型,然后用这些模型进行预测。

时间序列可分为自回归(AR)、动平均(MA)、自回归—动平均(ARMA)、累计式自回归—动平均(ARMA)等模型。优点是所需历史数据少,计算速度快,缺点是对原始时间序列的平稳性要求较高,只致力于数据的拟合,不注重规律的发现,对影响负荷变化的因素考虑不足。

#### 3.4 灰色预测技术

灰色系统理论认为任何随机过程都是在一定幅值范围、一定时区内变化的灰色量,称随机过程为灰色过程。以灰色系统理论为基础的灰色预测技术是利用原始数列的整理来寻找数的规律,从而推导出信息发展的趋势。

灰色预测是用灰色模型  $GM(1,1)$ 、 $GM(1,n)$  进行的定量预测,从其功用和特征上可分为数列预测、灾变预测、季节灾变预测、拓扑预测、系统预测五类。优点是要求负荷数据少、不考虑分布规律、不考虑变化趋势、运算方便、短期预测精度高、易于检验等,缺点是当数据离散程度越大,预测精度越差,也不太适合于电力系统的长期后推若干年的预测。

### 4 电力负荷预测技术的发展动态

近些年来,随着科学技术的迅速发展,新的预测方法不断出现,例如组合模型预测、专家系统预测、神经网络预测、小波分析预测、模糊负荷预测等。下面将重点介绍组合模型、神经网络和小波分析三种预测技术。

#### 4.1 组合模型预测技术

组合模型预测有两类概念:一是指将几种预测方法所得的预测结果,选取适当的权重进行加权平均;二是指在几种预测方法中进行比较,选择拟合度最佳或标准离差最小的预测模型作为最优模型进行预测。

第一类概念的关键问题是权重的选取,经常使用的是等权平均和基于最小二乘法的最优权重确定方法。前者方法简单,是在对各种预测方法的预测精度完全未知的情况下所采用的一种较为稳妥的方法,能

降低单一预测方法的风险性,提高了可靠度。后者则依据各基本预测方法对历史数据的拟合误差,建立以误差平方和为最小的目标函数及相应的权系数的约束条件,并通过最小化目标函数来求取权重系数。但这种优化方法存在诸如局部最优、约束条件和目标函数的不易处理等问题。

文献 [3] 深入研究了组合模型预测机制,提出了“最优拟合模型”不等于“最优预测模型”的观点,放宽了算法的不等式约束条件,使得权重可以取负值;文献 [4] 从理论上论证了组合预测方法相对于单一预测模型的优越性,并提出一种基于 BP 神经网络模型的最优权重确定方法,能够充分反映各个预测模型的预测值与样本真实观测值之间的非线性关系,提高了组合模型的预测精度;文献 [5] 通过虚拟预测结果与实际负荷曲线数据的误差平方和的最小化,得到组合模型的权重值;文献 [6] 采用进化规划方法处理优化问题,避免了传统优化方法存在的局部最优、约束条件等问题。

组合预测是在单个预测模型不能完全正确地描述预测量的变化规律时,能够有效提高预测效果的一种补偿办法,如果可以找到一个能完全反映实际发展规律的模型进行预测,可能比用组合预测方法预测效果更好。

#### 4.2 人工神经网络 (ANN) 预测技术

神经网络理论是利用神经网络的学习能力,让计算机学习包含在历史负荷数据中的映射关系,再利用这种映射关系预测未来负荷。人工神经元是神经网络的基本计算单元,一般是多输入、单输出的非线性单元。目前用于负荷预测的人工神经网络主要有误差反向传播网络 (BP)、径向基函数网络 (RBF) 等。神经网络预测技术可以模仿人脑做智能化处理,对大量非结构性、非确定性规律具有自适应功能,有信息记忆、自主学习、知识推理和优化计算的特点,适合于做短期负荷预测。人工神经网络有很大的应用市场,但也存在很多不足:收敛慢,易陷入局部极小的状态;网络结构确定缺乏有效理论指导,主观依赖性强;神经网络的学习过程通常较慢,对突发事件的适应性差。因此,运用 ANN 进行负荷预测的关键在于:网络结构的确定、恰当的输入变量的选取以及样本和训练集的构建。

文献 [7] 通过多种数据挖掘技术寻找与预测日同等气象类型的多个历史日负荷,由此进一步提取数

据,组成规律强化、干扰弱化、具有高度相似气象特征的数据序列,再构建人工神经网络模型,有效提高了预测精度,简化了模型的输入和计算;文献 [8] 将相似日方法和人工神经网络方法结合,提出一种基于相似日和 RBF 网络的新方法,有效提高了预测精度和稳定性;文献 [9] 利用 BP 神经网络进行短期负荷预测,在有足够的训练样本的前提下,对模型进行合理分类,将样本随机分离为训练集和测试集,有效防止了训练过程中常出现的过拟合现象,提高了预测精度;文献 [10] 提出灰色模型 (GM) 因不同的参数  $a, u$  取值,就得到不同的预测值,从而很难选择准确的模型。于是将灰色预测作为 ANN 的输入,利用人工神经网络克服上述困难,提高预测精度。文献 [11] 将擅长处理不确定性、不精确性及噪声所致问题的模糊系统,与具有分布式并行处理和自学习机制的神经网络结合,提高了收敛速度和预测精度,降低了陷入局部极值点的可能性。此外,有的学者应用了粗糙集理论选择预测模型输入变量和确定神经网络的结构,也有学者将混沌理论与 RBF 神经网络相结合,基于延迟坐标相空间重构技术,求出最佳嵌入维数和延迟时间,由嵌入维数决定 RBF 神经网络的输入从而实现预测。这些都在一定程度上弥补了单一神经网络的不足。

#### 4.3 小波分析预测技术

小波分析是一种时域-频域分析方法,它在时域和频域上同时具有良好的局部化性质,并且能根据信号频率高低自动调节采样的疏密,容易捕捉和分析微弱信号以及信号、图像的任意细小部分。小波变换能将各种交织在一起的不同频率组成的混合信号分解成不同频带上的块信号,对负荷序列进行小波变换,可以将负荷序列分别投影到不同的尺度上,对不同的子负荷序列进行数据处理,并分别采用相匹配的模型进行预测,最后通过小波重构,得到完整的负荷预测结果,这种方法具有较高的预测精度和较强的适应能力<sup>[12]</sup>。

文献 [13] 针对电力负荷本身具有以天、周、年为周期发生波动的特点,使用周期自回归 (PAR) 模型有选择的对分解序列进行预测,结果表明先使用小波分析处理的预测结果比直接使用 PAR 模型预测的精度高;文献 [14] 利用小波分析对负荷样本做序列分解,根据小波变换的分辨率随频率增高而降低的特点,对高尺度负荷分量采用常规预测方法,其他负荷

分量则采用模糊神经网络处理技术,最后通过序列重构得到完整的负荷预测结果,取得了较高的预测精度和适应能力;文献 [15] 采用了小波变换和最小二乘支持向量机混合模型,先利用小波分析方法将负荷序列分解,再根据分解后各分量的特点,构造不同的支持向量机模型,对各分量分别进行预测,最后对各分量预测信号进行重构得到最终预测结果,取得了较高的预测精度;文献 [16] 提出一种基于 BP 子网络和小波网络的短期负荷预测的级联网络模型,采用 BP 子网络来映射气象等不确定因素的影响,采用小波网络来映射历史负荷值的影响。它结合了小波变换良好的时频局域化性质和神经网络的自学习能力,明显地改善了神经网络难以合理确定网络结构和存在局部最优等缺陷。

## 5 结论与建议

通过对负荷预测的特征和多种负荷预测方法的综述,得出以下结论和建议:

1) 单一负荷预测方法存在各种各样的弊端,很难满足要求,而模糊数学、专家系统理论、混沌理论等新兴交叉学科理论的出现,为负荷预测提供了坚实的理论依据和数学基础,因此,智能化、组合化以及各种交叉学科理论在负荷预测中的应用成为未来负荷预测方法研究的主要发展方向。

2) 以上所述负荷预测方法都有一定的适用场合,目前,要找出一种可以适用于任何负荷模型的方法并不是很现实的。因此,预测人员应结合预测地区的实际负荷情况和特点,建立适合的负荷预测模型,以提高预测精度。

3) 历史负荷数据的质量直接影响预测精度,应选择合理的方法对历史数据进行辨识与预处理,剔除坏数据,并及时补充新数据,充分合理地利用各种历史数据,这样,预测效果将会更好。

### 参考文献

- [1] 牛东晓,曹树华,赵磊,等. 电力负荷预测技术及其应用 [M]. 北京:中国电力出版社, 1998.
- [2] 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.

- [3] 莫维仁,张伯明,孙宏斌,等. 短期负荷综合预测模型的探讨 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(1): 30—34.
- [4] 安德洪,韩文秀,岳毅宏. 组合预测法的改进及其在负荷预测中的应用 [J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(6): 843—844.
- [5] 程旭,康重庆,夏清,等. 短期负荷预测的综合模型 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24(9): 42—44.
- [6] 谢敬东,唐国庆,徐高飞,等. 组合预测方法在电力负荷预测中的应用 [J]. 中国电力, 1998, 31(6): 3—5.
- [7] 牛东晓,刑棉,孟明. 基于联合数据挖掘技术的神经网络负荷预测模型研究 [J]. 电工技术学报, 2004, 19(9): 62—68.
- [8] 鞠平,姜巍,赵夏阳,等. 96点短期负荷预测方法及其应用 [J]. 电力系统自动化, 2001, (22): 32—36.
- [9] 周佃民,管晓宏,孙婕,等. 基于神经网络的电力系统短期负荷预测研究 [J]. 电网技术, 2002, 26(2): 10—13.
- [10] 史德明,李林川,宋建文. 基于灰色预测系统和神经网络的电力系统负荷预测 [J]. 电网技术, 2001, 25(12): 15—17.
- [11] 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]. 高电压技术, 2006, 32(5): 107—110.
- [12] 邵能灵,侯志俭,李涛,等. 基于小波分析的电力系统短期负荷预测方法 [J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(1): 45—50.
- [13] 顾洁. 应用小波分析进行短期负荷预测 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(2): 40—44.
- [14] 邵能灵,侯志俭. 小波模糊神经网络在电力系统短期负荷预测中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(1): 24—29.
- [15] 杨延西,刘丁. 基于小波变换和最小二乘支持向量机的短期电力负荷预测 [J]. 电网技术, 2005, 29(13): 60—64.
- [16] 李永坚,胡鹤宇. 电力系统短期负荷预测的级联网络模型研究 [J]. 继电器, 2004, 32(10): 14—18.

### 作者简介:

宗慧敏 (1982—), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统调度及其自动化。

滕欢 (1965—), 女, 高级工程师, 长期从事电力系统调度自动化科研、教学及工程实践工作。

(收稿日期: 2008—11—10)

# 欢迎订阅《四川电力技术》