

城市燃气负荷预测方法及其分析*

彭世尼¹, 苏小红¹, 黄强²

(1. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 重庆燃气集团, 重庆 400045)

摘要: 负荷预测在燃气系统规划和运行调度方面发挥的重要作用, 具有明显的经济效益。系统地介绍和分析了各种负荷预测的方法及特点, 并指出做好负荷预测已成为实现燃气系统管理现代化的重要手段。

关键词: 燃气负荷; 负荷预测; 分析

中图分类号: TU996.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7329(2005)04-0137-05

Methods of City Gas Load Forecasting and Their Analysis

PENG Shi-ni¹, SU Xiao-hong¹, HUANG Qiang²

(1. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. Chongqing Gas Group, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract Gas load forecast has great influence on the planning, operation and control of gas system and has obvious economic benefit. In this paper the methods of gas load forecasting and their characteristics are systematically introduced. Then, it is pointed out that gas load forecasting is an important manner in modern management of gas system.

Keywords: gas load; load forecasting methods; analysis

随着城市燃气行业的发展, 作为燃气企业重要组成部分的负荷预测越来越受到城市输配管网调度部门和规划设计部门的重视。燃气负荷预测是一项非常重要的研究课题, 它不仅是燃气系统调度、实时控制、运行计划和发展规划的前提, 更是一个燃气管网调度部门和规划部门所必须具有的基本信息。提高负荷预测技术水平, 有利于燃气系统计划管理, 有利于合理安排燃气管网运行方式和机组检修计划, 有利于建设规划, 有利于系统的经济效益和社会效益。

负荷预测是指在充分考虑一些重要的系统运行特性、增容决策、自然条件与社会影响的条件下, 研究或利用一套系统地处理过去与未来负荷的数学方法, 在满足一定精度要求下, 决定未来某特定时刻的负荷数值^[1]。负荷预测包括两个方面的含义: 一是对未来需求量的预测, 二是对未来用气量的预测。燃气负荷预测就是根据历史燃气负荷值, 在满足一定精度的情况下决定未来某特定时刻的负荷值。

负荷预测研究早在 20 世纪 50、60 年代就开始了, 但直到 20 世纪 80 年代, 这一课题开始得到发展。随着计算机技术的迅速发展, 负荷预测的速度和精度也逐渐提高。参看在负荷预测方面已有的工作及文献可知^[1-7], 用于城市燃气负荷预测的方法很多, 常用的有: 时间序列法、灰色理论预测法、回归分析法、专家系统法、神经网络法等。

1 燃气负荷各预测方法概述及其特点分析

1.1 时间序列法

负荷的历史纪录总是构成一个时间序列。时间序列指观察和记录到的一组按时间顺序排列的数

* 收稿日期: 2005-03-20

基金项目: 重庆市小城镇建设科技专项 (CSPI, 2004aa7008-4)

作者简介: 彭世尼 (1961-), 男, 河南澧县人, 副教授, 博士, 主要从事燃气输配与应用的研究。

据。实际数据的时间序列,展示了研究对象在一定时期内的发展变化过程,可以分析和找出它的变化特征、趋势和发展规律的预测信息。时间序列法用时间来替代影响负荷的因素,依据负荷过去的统计数据,通过曲线拟合和参数估计,找到其随时间变化的规律,选择适当的模型形式和模型参数以建立预测模型,利用模型进行预测,对模型预测值进行评估和修正得到预测结果^[8,9]。

时间序列法包括确定型和随机型两种。常用的确定型时间序列法有:移动平均法、指数平滑法等。常用的随机型时间序列法有:自回归模型 AR(p)、移动平均模型 MA(q)、自回归-移动平均模型 ARMA(p, q)等。由于城市燃气负荷时间序列受许多因素的作用,这些因素的变动本身就带来有不确定性,燃气负荷时间序列是由随机过程产生的。随机型时间序列分析法把时间序列作为随机过程来研究,考虑了时间序列的随机特性和统计特性,比确定型时间序列模型提供更多的信息,预测精度更高。其最典型、应用最为广泛的是 ARMA 模型。ARMA 数学模型^[10]为:

$$x_t = \theta_1 x_{t-1} + \theta_2 x_{t-2} + \cdots + \theta_p x_{t-p} + e_t \quad (1)$$

$$x_t = (1 - w_1 B - w_2 B^2 - \cdots - w_q B^q) e_t \quad (2)$$

$$x_t (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \cdots - \theta_p B^p) = (1 - w_1 B - w_2 B^2 - \cdots - w_q B^q) e_t \quad (3)$$

式中: $\theta_i (i=1, 2, \dots, p)$, $w_j (j=1, 2, \dots, q)$ 为模型的待定系数; e_t 均值为零方差不为零的随机干扰项; p, q 为模型阶数; $\{x_t\} (t=1, 2, \dots, n)$ 为燃气负荷时间序列; B 为后移算子, $Bx_t = x_{t-1}$, $B^k x_t = x_{t-k}$ 。

通常记(1)式为 AR(p)模型, (2)式为 MA(q)模型, (3)式为 ARMA(p, q)模型。在确定模型阶次和模型参数估计后,可用该模型进行预测^[11]。由于燃气负荷变化是非平稳随机过程,具有一定的增长趋势和周期性,应当定义差分算子将之变为平稳随机时间序列,再使用该模型。

目前时间序列法是处理随机序列的基本方法^[12],具有以下优点:(1)原理成熟、应用简便;(2)所需历史数据少、工作量少。(3)主要根据过去的负荷值及干扰值来推算未来的负荷,不需要相关因素的资料,因而在一些相关因素的预测值和某些常数难以得到时,是一种有效可行的办法。

时间序列法具有以下缺点:(1)对数据的要求较高;(2)用线性模型表达负荷之间非线性关系有一定局限性;(3)不能方便地考虑天气情况等对负荷有重要影响的相关因素,只致力于数据的拟合,对规律性的处理不足,只适用于负荷变化比较均匀的短期负荷预测的情况。

时间序列法都完全没有考虑到天气、社会活动等对负荷的影响,尤其是温度对负荷的影响,当气候骤变或有一些特殊的社会活动时,时间序列法存在着预测不精确的问题。这主要由于该方法存在明显的滞后性,当最近的实际数据发生异常变化时,由于模型平滑作用,预测数据无法随之做出反应,采用 ARMA 法进行短期负荷预测研究应着眼于这方面。

1.2 灰色理论预测法

灰色预测是一种不严格的系统方法。以灰色系统理论为基础的灰色预测技术,可在数据不多的情况下找出某个时期内起作用的规律,建立负荷预测的模型。从一阶常微分方程的解中可以看出,它要求原始数据序列光滑,一次累加生成后的数据序列接近指数分布。建立灰色模型首先将原始燃气负荷数据累加生成成为近似有指数规律增长的数列,构造近似的完全确定的微分方程,完成灰色建模^[13,14]。

单变量一阶 GM(1,1)模型(Grey Model)是最常用的一种灰色模型:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (4)$$

GM(1,1)模型预测的具体公式为:

$$x^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (5)$$

$$x^{(0)}(k+1) = x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k) = (e^{-a} - 1) \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} \quad (6)$$

式中: a, u 为模型参数,分别代表发展系数和灰作用度; $x^{(0)}(1)$ 为第 1 时刻的燃气负荷值; $x^{(1)}(k)$ 为一次累加生成的燃气负荷值, $x^{(1)}(k) = \sum_{i=0}^k x^{(0)}(i)$; $x^{(0)}(k+1)$ 为第 $k+1$ 时刻的燃气负荷值; $\{x^{(0)}\}$ 为原始

燃气负荷序列, $\{x^{(0)}\} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$; $\{x^{(1)}\}$ 为 $\{x^{(0)}\}$ 的一次累加生成数列, $\{x^{(1)}\} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$ 。

灰色预测的优点是:(1)要求负荷数据少,建模比较简单,在数据缺乏时十分有效;(2)不考虑分布规律、不考虑变化趋势;(3)运算方便、短期预测精度高、易于检验。

灰色预测的缺点是:(1)当负荷增长速度较慢,即对应的指数函数 $x = be^{-at}$ 中 $|a|$ 同较小时,预测精度较高,较大时,预测精度变差,即当数据灰度越大预测精度越差;(2)不太适合负荷的长期预测,长期预测会大大超过实际值;(3)它比较适合具有指数增长规律的负荷的预测。当负荷的增长规律不是指数型时,预测精度变差;(4)简单灰色预测应用于燃气系统的长期预测时,会出现增长率过快的问题;(5)在数据量小的情况下,极有可能舍去了一些有用信息,降低预测精度。

该方法能根据原始数据的不同特点,构造出不同的预测模型。对于具体的负荷预测问题,目前并不存在一种通用的改进模型,要提高预测精度,需要针对实际问题的特点选择合适的改进方法或几种改进的组合。灰色神经网络用于燃气日负荷预测的结果表明,该组合较好地提高收敛速度和预测精度,简便易行^[7]。但灰色系统理论还不尽完善,还有待于进一步发展。

1.3 回归分析法

回归预测是根据历史数据的变化规律寻找自变量与因变量之间的回归方程式,确定模型参数,据此做出预测。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。回归分析法从研究燃气负荷与相关因素的相关关系入手,通过回归分析建立回归模型,负荷预测,对过去具有随机性的负荷记录进行拟合,得到一条确定的曲线,然后将此曲线外延到适当时刻,就得到该时刻的负荷预测值^[8]。

回归预测法的模型为:

$$q = f(x_1, x_2, \dots, x_p) \quad (7)$$

式(7)中:燃气负荷 q 是随机变量,代表燃气负荷主要影响因素的自变量 x_1, x_2, \dots, x_p 中,可能有确定性变量及随机变量。回归关系 f 既可能是线性的,也可能是非线性的,表达燃气负荷与 p 种主要影响因素的相关关系。利用该方程由 x_1, x_2, \dots, x_p 的未来值可得到燃气负荷 q 的预测值。

回归预测的优点是:预测精度较高,适用于中、长期预测。回归预测具有以下缺点:(1)规划水平年的工农业总产值很难详细统计;(2)用回归分析法只能测算出综合用负荷的发展水平,无法测算出负荷发展水平,也就无法进行具体的建设规划;(3)不能考虑到燃气负荷逐年递增的情况^[10]。

回归分析是一种常用的因果预测模型,作为影响因素的自变量的选取以及自变量预测值的准确性都非常重要,在预测时要引入适当的自变量,否则会加大计算量,降低模型的稳定性,使误差累加到相应的因变量上,从而造成很大的误差。在系统发生较大变化时,可以根据相应变化因素修正预测值,对预测值的误差有一大体把握。对于短期预测来说,由于燃气数据波动大,影响因素较复杂,将直接影响到预测值的准确度,因此它更适用于长期预测^[15]。

1.4 专家系统法

专家系统预测法^[15,16] (Expert System)是利用专家丰富经验和权威性进行预测,是对数据库里存放的过去几年甚至几十年的,每小时的燃气负荷和天气数据进行分析,从而汇集有经验的负荷预测人员的知识进行燃气负荷预测。专家系统法是对人类的不可量化的经验进行转化的一种较好方法。专家系统一般由知识库、综合数据库、推理机、解释程序和知识获取等五部分组成,专家系统构成框图如图1所示。知识库用以储存专家用以解决燃气负荷预测问题的知识,包括各种数学模型;综合数据库用以储存推理过程中的事实,存放系统运行中所需的原始数据和生成信息,主要包括历年气象数据、燃气负荷及特殊情况数据和有预测结果的数据信息;推理机用以控制推理过程,据综合数据库的状态,利用知识库知识来实现实际问题求解;知识获取部分用以建立、修改编辑、补充知识库,并对其进行一致性、完整性维护;解释程序用以说明求解过程,回答用

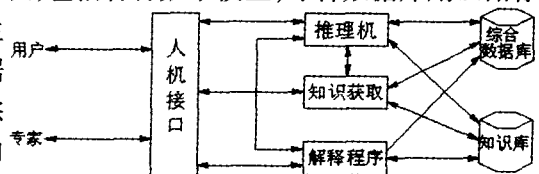


图1 专家系统构成框图

户问题。其中最主要的是知识库和推理机。一般来说知识库中知识的数量与质量是专家系统性能是否优越的决定性因素^[17]。

专家系统法的优点是:(1)能汇集多个专家的知识 and 经验,最大限度地利用专家的能力;(2)占有的资料、信息多,考虑的因素也比较全面,有利于得出较为正确的结论。(3)较好地避免人为差错,具有较为广泛的使用前景。专家系统法的缺点是:(1)不具有自学习能力,受数据库里存放的知识总量的限制;(2)对突发性事件和不断变化的条件适应性差。专家系统预测法适用于中长期负荷预测。

负荷预测专家系统本身是一个耗时的过程,它的研制需要较长时间进行原始资料积累和模型修正,开发周期长。且专家系统需要考虑的因素很多,各种因素以及它们之间的关系很难量化,因而很难确切地在专家系统中反映。不同的负荷预测专家系统对同样的问题可能有不同的知识或政策,做出不同的回答,即使同一个负荷预测专家系统在确定结果时也会因预测人员的不同而不同。

1.5 人工神经网络法^[18]

人工神经网络(ANN, Artificial Neural Network)是由多个神经元连接而成、用以模拟人脑行为的网络系统,是一种与传统计算方法不同的信息处理工具,它能通过学习获得合适的参数,用来映射任意复杂的非线性关系。利用人工神经网络的学习功能,用大量样本对神经网络进行训练,调整其连接权值和阈值,然后根据已确定的模型进行预测。ANN 应用于短期负荷预测比应用于中长期负荷预测更为适宜。短期负荷变化可以认为是一个平稳随机过程。而长期负荷预测可能会因政治、经济等大的转折导致其模型的数学基础的破坏。人工神经元模型可表述为^[19]:

$$\tau \frac{du_i}{dt} = -u_i(t) + \sum w_{ij}x_j(t) - \theta_i \quad (8)$$

$$y_i(t) = f[u_i(t)] \quad (9)$$

其中: x_i 为输入信号; y_i 为输出信号; θ_i 为阈值; w_{ij} 为与神经元 x_j 的连接权值; $f(*)$ 为传递函数,常采用 Sigmoid 型, $f = 1/1 + \exp[-(n+b)]$ 。

神经网络预测法的优点是:(1)可以模仿人脑的智能化处理;(2)对大量非结构性、非精确性规律具有自适应功能;(3)具有信息记忆、自主学习、知识推理和优化计算的特点。神经网络预测法的缺点是:(1)初始值的确定无法利用已有的系统信息,易陷于局部极小的状态;(2)它的学习过程通常较慢,对突发事件的适应性差。(3)它实际上是对系统的一个黑箱模拟,不能看到具体的数学模型表达式。

对于一个具体的负荷预测来说,用于预测的人工神经网络的研制需要相当长时间的原始资料积累和模型修正,才能确定一个地区的负荷变化情况以及与相关因素之间的关系。对某一系统设计的性能良好的 ANN 结构,如果直接应用于另一系统,预测性能可能很差,因此对不同的系统要根据其负荷变化的规律及气象等影响因素变化规律来选取不同的特征参量、不同的数据处理方法、不同的 ANN 模型与结构。实际应用表明,采用 ANN 进行短期燃气负荷预测,误差多在允许的范围内,结果令人满意^[5]。

2 各种方法分析比较

由于各种预测方法从研究的角度、建模方法和适用条件等都不同,因而不可能将上述各方法在同一尺度下进行比较。因此可从五个方面进行分析比较^[16,20]:

1) 研究角度和适用条件:回归分析法、时间序列法着重统计规律的描述,适用于大样本;灰色模型法致力于少数据所表现出来的现实规律的研究,适用于贫信息条件下的分析和预测;专家预测法拥有某个领域内专家的知识 and 经验,适用于中长期负荷预测;神经网络法学习能力强,适用于时间序列预测问题,尤其是平稳随机过程的预测,主要应用于短期负荷预测。

2) 数据形式:时间序列法可以通过对原始数据进行指数加权组合直接预测未来值,也可以采用原始数据建模;回归分析法是采用原始数据建模;灰色系统理论是采用生成数序列建模;专家系统预测是在模型集的基础上辅以丰富经验和判断力,快速得出最优预测结果,神经网络法多采用相关因素归一化处理。

3) 计算复杂程度:回归分析法和灰色模型相对简单,且回归分析法可由 excel 实现。

4) 预测方法发展程度:时间序列法应用最为广泛和成熟,专家系统法、灰色系统理论预测法、神经网络预测法都有待进一步完善和改进。

5) 适用的时间分类:时间序列法、灰色系统理论预测法、神经网络法较适宜近期预测,回归分析法、专家系统法适用于中长期负荷预测。

3 结束语

燃气负荷预测已成为实现燃气系统管理现代化的重要内容。通过分析比较,可知各种预测方法都具有其各自的优缺点和适用范围,必须根据实际情况选择适合的方法和模型,以求在预测成本允许范围内达到所需精度。因此必须提高规划人员自身的素质,能及时根据出现的实际情况进行判断,一旦发现有的误差倾向,就应当及时修改预测模型或改用其他适当预测法。燃气负荷是有为数众多的各类用户的用气所构成,是动态的,在燃气系统中,不断有用户接入,但也不排除有用户撤出,用气设备数量和类型情况经常有变动。燃气负荷具有时变性并受各种因素的影响,如日期、地理条件和经济条件等。

对于短期燃气负荷预测,最重要的因素是星期几、温度、季节、特殊日子(节假日)等,在此情况下,人工神经网络法将是较适合的短期负荷预测方法,前面已对它的优点进行说明。BP 网络的学习函数采用梯度下降动量学习函数来计算权值和阈值的变化率,采用 L - M 训练函数,可较好地缩短训练时间,提高预测精度。同时通过具体算例分析,神经网络优化组合的预测方法也能很好地提高系统精度^[21]。结合小波分析技术、遗传算法的混合神经网络预测模型将是提高燃气负荷预测精度行之有效的办法。

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]. 中国电力出版社,1998.
- [2] 肖文晖,刘亚斌,王思存. 燃气小时负荷的模糊神经网络预测[J]. 煤气与热力,2002,22(1):16-18.
- [3] 焦文玲,严铭卿,廉乐明. 城市燃气负荷的灰色预测[J]. 煤气与热力,2001,21(5):387-389.
- [4] 焦文玲,展长虹,严铭卿,等. 城市燃气短期负荷预测的研究[J]. 煤气与热力,2001,21(6):483-486.
- [5] 谭羽非,陈家新. 基于人工神经网络的城市煤气短期负荷的预测[J]. 煤气与热力,2001,21(3):199-202.
- [6] 严铭卿,廉乐明,焦文玲,等. 燃气负荷及其预测模型[J]. 煤气与热力,2003,23(5):259-262.
- [7] 谭羽非. 城市燃气管网日负荷预测的灰色神经网络模型[J]. 煤气与热力,2003,23(6):679-682.
- [8] 欧俊豪,王家生,徐漪萍,等. 应用数理统计(第二版)[M]. 天津:天津大学出版社,1999.
- [9] 杨位钦,顾岚. 时间序列分析与动态数据建模[M]. 北京:北京理工大学出版社,1988.
- [10] 杜元顺. 煤气时负荷系数的短期预测[J]. 煤气与热力,1981,5:46-51.
- [11] 叶瑰昀,罗耀华等. 基于 ARMA 模型的电力系统负荷预测方法研究[J]. 信息技术,2002,(6):74-76.
- [12] S. M. 潘迪特,吴宽民著. 李昌琪等译. 时间序列及系统分析与应用[M]. 北京:机械工业出版社,1988.
- [13] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1988.
- [14] 易德生,郭萍. 灰色理论与方法[M]. 北京:石油工业出版社,1992.
- [15] 王吉权,赵玉林. 电力系统负荷预测方法及特点[J]. 农村电气化,2003,11:7-8.
- [16] 魏伟,牛东晓,常征. 负荷预测技术的新进展[J]. 华北电力大学学报,2002,29:10-15.
- [17] 徐力. 区域货运量预测“专家系统”[J]. 水运工程,1996,(10):47-51.
- [18] 张立明. 人工神经网络的模型及应用[M]. 上海:复旦大学出版社,1993.
- [19] 飞思科级产品研发中心. 神经网络理论与 MATLAB7 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [20] 吴漫红,杨继旺. 几种电力负荷预测方法及其比较[J]. 广东电力,2004,17:17-21.
- [21] 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,2004,26:842-844.