

燃气负荷中长期预测的方法

中国市政工程华北设计研究总院(300074) 严铭卿

1 中长期负荷预测与短期预测的特性比较

燃气用气负荷预测有若干分类方法,但最有实际意义的分类是按时间段区分中长期预测与短期预测。这种时间段的区分有很多的内涵。包括要求预测适用范围及所起作用不同,即预测需达到的目的不同;不同时间段燃气用气负荷的规律性不同,即本身性质不同;因而适合采用的预测方式方法也不同。这是研究预测问题首先要辨认清楚的。

(1)燃气用气负荷预测(以下简称负荷预测或预测)按预测时间段可从大类上区分为中长期预测与短期预测。中长期预测时间段为5年~15年或15年以上;短期预测时间段可为24h,7天~30天或1年。预测时间段的设定,完全是人为的,是按工作的需要裁取的。

(2)预测时间段区分,反映的是预测目的差异。中长期预测主要用于燃气发展规划或燃气资源开发及一定规模项目设施建设的需要。做出燃气发展预测,用于适应一个地域的经济社会发展或一个部门的能源需求。短期预测主要用于运行调度,包括气源供给计划,储库注采调度,长输管道加压站运行调度,一个城镇或区域系统运行调度,以及工厂、企业设施维修计划。

(3)由于预测时间段的不同,在不同时间段中负荷变化形态不同。在中长期时间段内,负荷变化主要表现为趋势性。一个中长期时间段往往即是一个阶段。本质上它是由经济社会发展的阶段性所确定的。更宏观的看,沿一个阶段的发展过程可能会表现出某种周期性特征。在短期时间段内,变化形态主要为周期性和随机性。从实际数据可以看到24小时,7天或12个月等负荷变化周期。其周期性只能是一种

准周期性,但可近似的予以采用。作为受多因素影响、由大量个体形成的总体负荷必然会具有随机性。其随机性不会是平稳的,但可看待为平稳的随机过程。

(4)负荷的变化形态不同来源于负荷形成机制的不同。短期负荷是一种客观的需求,是“自在的”。而中长期负荷其影响因素与短期负荷明显不同,与季节、天气等因素的关联度很小,主要受城市经济发展、政府政策、燃气价格、地理位置、能源结构调整中与其他替代能源的竞争性等多种不确定因素影响。中长期负荷是基于与区域经济社会发展需求有相关关系、又在一定程度上进行人为安排的一种预期(所以用“预期”比用“预测”更贴切),是“人为的”。这表明,对待负荷预测的方式上也会有所不同。例如对中长期预测,尽量用客观的方式确定目标期预测值,再在相当程度上用人为计划的方式安排年度值。

(5)由于负荷主要变化形态不同,即负荷主要性质不同,有必要采取不同的负荷预测方法。

有鉴于此,中长期预测,不适宜用一种单纯的数据相关或规律性类推方法。作者建议采取综合的途径。其中一种途径是按用气类型分别用不同的方法对规划目标年用气量进行预测,然后再进行规划期年度安排预测的“两步预测法”。

2 燃气负荷中长期预测方法

本段介绍作者提出的“两步预测法”:第一步,按用气类型分别采用不同的方法,同时并用定性与定量分析做出目标年预测;第二步,再作规划期年度安排预测。采取目标年预测与规划期年度预测相结合形成预测值时间序列。对城镇规划或某些用途可能不需年度安排预测,则可只进行第一步。

2.1 目标年预测

(1)居民用气,依据城镇规划,基于规划人口增长做预测。

$$q_{ra} = \frac{N_p Q_p}{H_L} \quad (1)$$

式中 q_{ra} ——居民用气量, m^3/a ;
 N_p ——目标年居民规划人口数,人;
 Q_p ——居民用气量指标, $\text{MJ}/(\text{人} \cdot \text{a})$;
 H_L ——燃气低热值, MJ/m^3 。

需要注意到,居民用气量指标是相对稳定的,但计算中要重点对用气量指标进行分析和调整。它与经济社会发展水平,生活质量的提高可能是正相关,也可能是负相关;与居民收入水平在一定发展阶段后可能就不存在相关关系。对居民用气,一般还有居民用气气化率因素,作者认为,今后进行的中长期负荷预测一般应该取居民用气气化率为 100%。

(2)商业用气,生活资料类商业主要服务于居民;生产资料类商业直接服务于工、农业,间接服务于居民。所以,商业用气与经济社会发展有相关性,与国民经济产业结构调整有关。商业用气的预测建议由规划的第三产业(商业)的产值,用商业用气量与商业产值的相关性进行计算。例如由 1996 年—2005 年我国商业用气量相对于第三产业(商业)产值作拟合,得到商业用气量与商业产值的相关关系:

$$q_{ca} = a_c P_{cp}^3 + b_c P_{cp}^2 + c_c P_{cp} + d_c \quad (2)$$

式中 q_{ca} ——商业用气量, $10^8 \text{m}^3/\text{a}$;
 P_{cp} ——第三产业产值, 10^{12} 元/a;
 a_c, b_c, c_c, d_c ——拟合系数,由当地历史数据得出;其中 $a_c = 0.01696, b_c = -0.46890, c_c = 5.59831, d_c = -12.14467$ 。如图 1 所示。

(3)工业用气。工业用气在城镇燃气系统中比重愈来愈大。在我国,工业生产是国民经济的主产业,与经济发展总趋势密切相关。因而工业用气可基本按与 GDP 线性相关考虑。预测时,需考虑到科技发展水平、节能减排要求、环保目标以及工业产业结构调整趋势等诸多因素。其中节能要求对各种能耗都要求下降。减排要求会促使能源类型从煤、油转向优质气体燃料。环保目标可能需借助于优质气体燃料的替换,这些因素会增加用气量需求。工业结构从大

能源消耗型向高科技含量型调整会产生显著的节能效果,减少用气量。对工业用气量的预测,可由规划的工业产值,用工业用气量与工业产值的相关性进行计算,可用直线型式的(3)式:

$$q_{ia} = a_i P_{ip} + b_i \quad (3)$$

式中 q_{ia} ——工业用气量, $10^8 \text{m}^3/\text{a}$;
 P_{ip} ——第三产业产值, 10^{12} 元/a;
 a_i, b_i ——拟合系数,由当地历史数据得出。

建议用直线型式是来源于前述分析和对现有数据的观察。例如,用 1998 年—2003 年及 2005 年我国工业用气量相对于第二产业(工业)产值作拟合,得到:

$$q_{ia} = a_i P_{ip}^3 + b_i P_{ip}^2 + c_i P_{ip} + d_i \quad (4)$$

式中 q_{ia} ——工业用气量, $10^8 \text{m}^3/\text{a}$;
 P_{ip} ——第二产业产值, 10^{12} 元/a;
 a_i, b_i, c_i, d_i ——拟合系数;其中 $a_i = 0.0069, b_i = -0.1930, c_i = 5.4103, d_i = -1.3525$ 。如图 2 所示。

由图 2 可见,拟合曲线接近于直线。随着天然气工业用气率的增加,曲线应向上弯;随着技术进步和单位能耗减小,曲线应向下弯。所以曲线型式会随时间改变,规划用的拟合曲线需采用当时数据;为简化计算,对工业用气量可以考虑采用直线模型。

(4)采暖空调用气。与能源价格、设备价格、环保(减排)要求、采暖空调技术进展等多种因素有关。特

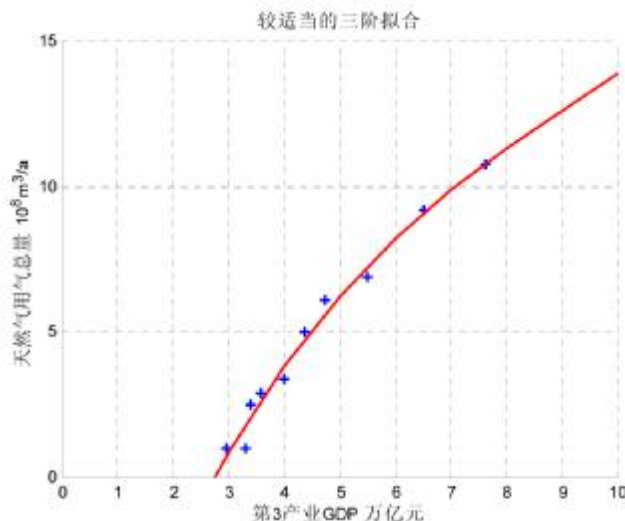


图 1 天然气商业用气量相对于商业产值的拟合曲线

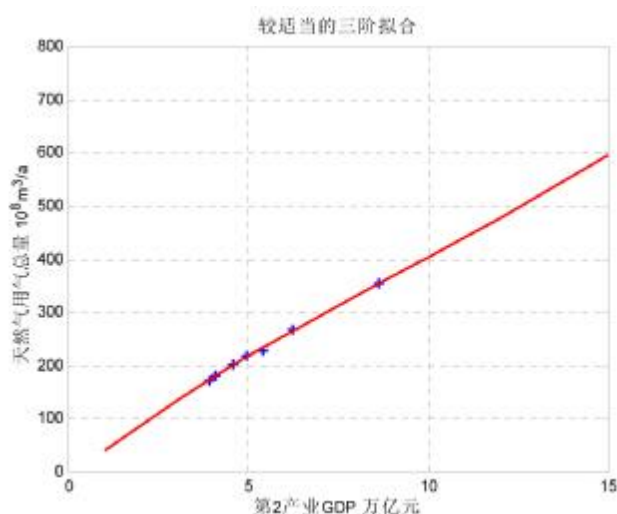


图2 天然气工业用气量相对于工业产值的拟合曲线

别是燃气采暖或空调可显著影响用气负荷的月不均匀性。燃气采暖用气会加大用气冬季高峰;燃气空调有助于夏季削平电力负荷。因而对采暖空调用气的预测也与城镇能源结构的规划有关。

对采暖用气可以由规划的城镇建筑面积、燃气采暖建筑面积比值与建筑采暖面积热指标计算:

$$q_{Ha} = \frac{\beta_H t_H Q_H \gamma_H A_T}{H_L \eta_H} \quad (5)$$

式中 q_{Ha} ——燃气采暖用气量, m^3/a ;
 Q_H ——建筑采暖面积热指标, $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;
 β_H ——平均部分负荷率;
 t_H ——建筑采暖运行时间, h/a ;
 A_T ——城镇建筑面积, m^2 ;
 γ_H ——城镇燃气采暖建筑面积比值;
 H_L ——燃气低热值, MJ/m^3 ;
 η_H ——采暖系统效率。

或按式(4)计算,其中 $n=\beta_H t_H$, $A=\gamma_H A_T$ 。

建筑采暖面积热指标 Q_H 与地区、城镇的气候条件、建筑类型、采暖方式有关,需采用当地资料。例如按文献[7]天津市厂房燃气红外线柔强辐射采暖 $Q_H=0.270 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,建筑采暖运行时间 $t=2880 \text{ h/a}$ 。按文献[8],北京地区建筑采暖 $Q_H=0.144 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。可看到文献[7]、[8]数据是互相颠倒的,辐射采暖应小于常规对流采暖。

采暖系统热效率 $\eta_H=0.86$ 。

平均部分负荷率是实际运行功率与系统设计功

率的比值,在无确切数据情况下, $\beta_{A1}=0.3$ 可用于参考。

对空调用气可以由规划的城镇空调建筑面积、空调建筑冷、热负荷指标与建筑空调冷、热负荷平均部分负荷率计算:

$$q_{Aa} = \left[\frac{\beta_{A1} t_{A1} Q_{A1}}{\eta_{A1}} + \frac{\beta_{A2} t_{A2} Q_{A2}}{\eta_{A2}} \right] \frac{\gamma_A A_A}{H_L} \quad (6)$$

式中 q_{Aa} ——燃气空调用气量, m^3/a ;
 Q_{A1}, Q_{A2} ——空调建筑冷、热负荷指标, $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;
 β_{A1}, β_{A2} ——建筑空调冷、热负荷平均部分负荷率;

t_{A1}, t_{A2} ——燃气空调系统制冷、采暖运行时间, h/a ;

A_A ——城镇空调建筑面积, m^2 ;

γ_A ——城镇燃气空调建筑面积比值;

H_L ——燃气低热值, MJ/m^3 ;

η_{A1}, η_{A2} ——燃气空调制冷、采暖系统效率。

建筑热负荷指标可按 $Q_{A2}=Q_H$ 计算。建筑冷负荷指标也与地区、城镇的气候条件、建筑类型(用途,维护结构)等有关,需采用当地资料。在无确切数据情况下,按文献[10]数据,京津地区 $Q_{A1}=0.387 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, $Q_{A2}=0.190 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, $Q_{A1} \approx 2Q_{A2}$, 建筑空调冷、热负荷平均部分负荷率 $\beta_{A1}=0.3, \beta_{A2}=0.4 \sim 0.65$; 按文献[12]数据,上海地区 $Q_{A1}=0.5625 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, $Q_{A2}=0.6375 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, $Q_{A1} \approx Q_{A2}$, 只给出实际运行时间为设计时间的70%,未给出平均部分负荷率。对一个系统 $\beta_{A1} \times Q_{A2}$ 或 $\beta_{A2} \times Q_{A2}$ 应基本为定数,即设计功率大,部分负荷率就会小。

对照文献 [10]: $Q_{A2}=0.190$, 文献 [12]: $Q_{A2}=0.6375$, 可认为[10] Q_{A2} 偏小, [12] Q_{A2} 偏大。

(5)燃气汽车用气。主要取决于城镇环保目标推动,汽车油气燃料价格对比,燃气汽车燃料系统设备价格等产业政策因素、市场因素。因而燃气汽车用气很难按规律预测,更需靠人为安排。由规划预定的燃气汽车数量计算燃气汽车用气量:

$$q_{Va} = \sum_k N_{VK} L_K f_K 10^{-4} \quad (7)$$

式中 q_{Va} ——燃气汽车用气量, $10^8 \text{ m}^3/\text{a}$;
 N_{VK} ——第 k 类燃气汽车数量, 10^4 辆;
 L_K ——第 k 类燃气汽车平均年行车里程,

100km/a;

f_k ——第 k 类燃气汽车百公里油耗, $m^3/(100 \text{ km} \cdot \text{辆})$;

K ——燃气汽车种类。

(6)发电动力用气。我国将仍以煤电为主,大力发展水电、核电和风力发电。某些情况下,燃气发电可能用于调峰电厂。所以对发电动力用气不能按规律类推做出预测。由规划预定的燃气发电规模,用下式计算气电预测用气量:

$$q_{Ea} = \frac{P_E N_E e}{10^4 H_i} \quad (8)$$

式中 q_{Ea} ——发电动力用气量, $10^8 m^3/a$;
 P_E ——电厂发电机组功率, $10^4 kW$;
 N_E ——年运行时数, h ;
 N_E ——耗气指标, $m^3/(kW \cdot h)$ 。

2.2 年度安排预测

规划期用气量年度变化,形式上即是如何逐年达到规划目标年的规划预测用气量。可以考虑如下 5 种型式进行全部用气量年度预测或先作分类用气量年度预测再合成全部用气量年度预测。

(1)直线型

这是传统规划设计工作经常自觉或自然地会采用的直线型用气量预测形式。即是由已有的起始年用气量与已预测的规划目标年用气量做出年度用气量预测直线:

$$q_{ai} = q_{a0} + (q_{ad} - q_{a0}) \frac{i}{T_d} \quad (9)$$

式中 q_{ai} ——第 i 年用气量, $10^8 m^3/a$;
 q_{a0} ——起始年用气量, $10^8 m^3/a$;
 q_{ad} ——规划目标年用气量, $10^8 m^3/a$;
 T_d ——规划年限(规划目标年年序号), a ;
 i ——年度序号。

(2)负指数函数型

这种型式的用气量变化可用于反映新建或有较大规模扩建的城镇燃气负荷的增长。开始年份的增长速度逐年加大,以后增速逐年减小直到趋于一种较稳定的用气量规模。需用现有历史年份和规划目标年用气量数据进行曲线拟合得出:

$$q_{ai} = c + ae^{-\frac{b}{i}} \quad (10)$$

或

$$q_a = c - ae^{-bi} \quad (11)$$

式中 a, b, c ——系数、指数及常数,由曲线拟合得出。

(3)单调指数函数型

为便于规划设计工作应用,作者构造出一种用气量单调增加的指数函数,形成一种开始增速较大、但增速逐年减小,到规划目标年趋于稳定的用气量预测型式:

$$q_{ai} = q_{a0} + q_{aU} [1 - e^{-bi}] \quad (i=1, 2, \dots, TD) \quad (12)$$

$$q_{aU} = \frac{q_{ad} - q_{a0}}{a} \quad b = -\frac{1}{T_d} \ln(1 - \alpha)$$

式中 q_{ad} ——规划目标年预测用气量, $10^8 m^3/a$;
 T_d ——规划目标年年序号, a ;
 α ——增速变化参数。

这种预测曲线不需进行拟合计算,应用很直观、方便。只需代入规划目标年预测用气量 q_{ad} ,通过设定一个增速变化参数 α 值,用简单的代数运算得出预测曲线,如图 3 所示。

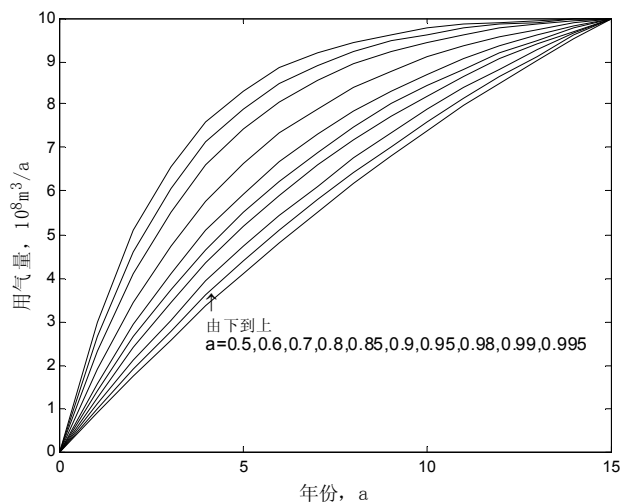


图 3 单调指数函数预测曲线

这种类型与第 2 种型式不同之处还在于,用气量在规划目标年后很快趋于稳定,而第 2 种类型则可能预测出较长的用气量达到稳定的过程。

(4)用近年用气量历史数据和规划年预测用气量结合,拟合出多项式预测曲线。

$$q_{ai} = a(T_d + i)^3 + b(T_d + i)^2 + c(T_d + i) + d \quad (i=1, 2, \dots, T_d) \quad (13)$$

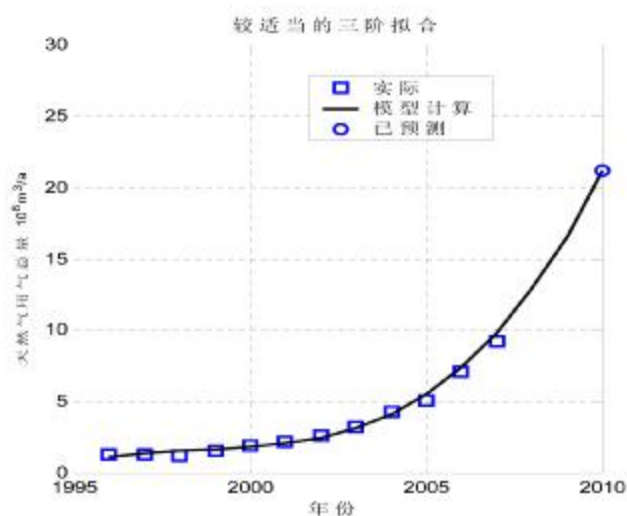


图4 天然气用量多项式预测曲线

式中 T_s ——历史拟合数据的最后年序号

这种方法对一个供气已开始新一轮增长、并制定了(规划目标年用气量)发展目标的城镇可考虑使用。图4是某大城市的实例。已有1996年~2007年天然气用气量,已预测2010年用气量。用1996年~2005年共10年用气量及2010年预测用气量进行拟合;用2006年、2007年数据对照。拟合系数为:

$$a=0.0127, b=-0.1415, c=0.6390, d=0.5992$$

从图4上看到效果不错。这是一种在一段期限内经济高速增长,用气量增速逐年加大的型式。

(5) 天然气用气量比值法

由当前天然气用气量占总能耗的比值及设定的规划目标年用气量占总能耗的比值计算出比值的增长率,得出规划期内逐年的比值。若已有规划期内逐年的总能耗,则可预测出规划期内逐年的用气量。做出的是天然气占总能耗的比值逐年增加、增速(比值的增长率)为常数的二次曲线型式。

$$q_{ai}=r_i E_{ai} \quad (i=1,2,\dots,T_D) \quad (14)$$

$$r_i=r_0(1+\beta)^i$$

$$\text{设 } r_D=r_0(1+\beta)^{T_D} \quad \therefore \beta=\left[\frac{r_D}{r_0}\right]^{\frac{1}{T_D}}-1$$

式中 q_{ai} ——规划期内逐年的预测用气量, $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$;
 r_i ——规划期内逐年用气量占总能耗的比值;

E_{ai} ——规划期内逐年的总能耗, $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$;

r_D ——规划目标年用气量占总能耗的比值;

r_0 ——当前天然气用气量占总能耗的比值;

T_D ——规划目标年, a;

β ——比值的增长率。

这种预测方法有较大的不确定性,因为它直接地依赖于总能耗的预测;且设比值的增长率 β 为定值。因此,这种方法的实用价值较差。

3 结论

(1)中长期预测与短期预测,适用范围及所起作用不同,即预测需达到的目的不同;不同时间段燃气用气负荷的规律性不同,即本身性质不同;因而适合采用的预测方式方法也不同。

(2)“两步预测法”是一种适用的城镇燃气用气负荷中长期预测方法。本方法可包括两个步骤,第一步,按用气类型分别采用不同的方法,同时并用定性分析与定量分析做出目标年预测;第二步,再作规划期年度安排预测。采取目标年预测与规划期年度预测相结合形成预测值时间序列。对城镇规划或某些用途可能不需年度安排预测,则可只进行第一步。

参考文献

- 1 严铭卿, 廉乐明等. 燃气负荷及研究进展[J]. 煤气与热力, 2002, (6): 490-493
- 2 严铭卿, 廉乐明等. 燃气负荷及其模型研究[J]. 煤气与热力, 2003, (4): 207-230
- 3 严铭卿, 廉乐明等. 燃气负荷及其预测模型[J]. 煤气与热力, 2003, (5): 259-262, 266
- 4 严铭卿等. 燃气输配工程分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007
- 5 陈广仁, 陈荣华. 天然气需求量与国内生产总值及总能耗的关系[J]. 煤气与热力, 2003, (8): 478-480
- 6 王根林. 城市天然气用气规律及负荷预测[J]. 煤气与热力, 2004, 24(7): 391-394.
- 7 曲玉文等. 燃气红外线柔强辐射采暖在高大建筑的应用[J]. 煤气与热力, 2004, (3): 141-144
- 8 钱文斌等. 燃气壁挂炉分户采暖的应用前景[J]. 煤气与热力, 2005, (11): 39-40
- 9 孙项菲, 孙良传等. 天津天然气用气量与 GDP 的曲线拟合