

文章编号: 1000-4416(2002)06-0487-03

# 燃气管网系统运行工况的宏观模型<sup>\*</sup>

赵新华, 窦秋萍

(天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072)

**摘要:** 研究了燃气压缩机的功率计算。提出了对燃气管网系统进行模拟的宏观模型, 预测了由于供气量变化而形成的管网压力工况。

**关键词:** 燃气管网水力工况; 燃气调度; 压缩机; 模拟

**中图分类号:** TU996

**文献标识码:** A

## 1 概 述

许多城市燃气系统装备有监控系统、通信系统及计算机调度管理系统。计算机监控系统如果仅用于数据采集、数据库管理、系统显示、通信及传统调度等数据处理及日常管理工作, 还远远不够。因此必须对这些资源做更深层次的开发利用, 使其充分发挥作用, 进一步提高其投资效益。

有待开发研究的内容很多, 优化调度就是一个重要的课题。优化调度是根据预测要求的供气负荷, 按预定的优化目标, 在满足一系列约束条件的情况下进行优化运算, 最后作出决策方案, 以调度各气源厂及储配站的压缩机开停台数及运行时间, 并给出该决策方案的主要技术经济参数<sup>[1-4]</sup>。

为了解决优化调度问题, 要解决以下 4 个问题:

① 燃气压缩机特性及功率计算; ② 燃气输配系统工况的宏观模型及其求解; ③ 优化调度的数学模型、目标函数及约束条件; ④ 优化调度的求解计算。

本文仅就燃气压缩机功率计算与燃气输配系统工况的宏观模型进行探讨。

## 2 燃气压缩机的功率计算

燃气压缩机的功率计算, 既要反映各种因素, 又要准确而简便, 特别要便于计算机使用。确定参数工作预先在程序中设置好, 有的可在输入数据文件

中根据情况调整。

对于带中间冷却器的多级压缩容积式压缩机, 当各级入口温度相同, 各级压缩比相同时, 其理论功率可按下式计算:

$$P = 16.34 F Z p_1 q_v \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \left( \epsilon^{\frac{\kappa-1}{Z\kappa}} - 1 \right)$$

式中:  $P$  —— 压缩机理论功率, kW;

$F$  —— 中间冷却器压力损失校正系数, 对于二级压缩一般取  $F = 1.08$ ;

$Z$  —— 压缩级数;

$p_1$  —— 进口绝对压力, MPa;

$q_v$  —— 进口气量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;

$\kappa$  —— 燃气(混合气体)的等火商指数;

$\epsilon$  —— 实际总压缩比。

对于单级压缩机, 上式可简化为:

$$P = 16.34 p_1 q_v \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \left( \epsilon_a^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right)$$

$$\epsilon_a = \frac{p_2}{p_1 (1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2)}$$

式中:  $\epsilon_a$  —— 实际总压缩比;

$\alpha_1, \alpha_2$  —— 吸气、排气压力损失系数;

$p_2$  —— 宏观模型预测的压力, MPa。

同理, 对于二级压缩, 实际总压缩比可写成:

$$\epsilon_a = \frac{p'_1}{p_1 (1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2)} \cdot \frac{p_2}{p'_1 (1 - \beta_1)(1 - \beta_2)} = \frac{p_2}{p_1 (1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2)(1 - \beta_1)(1 - \beta_2)}$$

\* 收稿日期: 2002-05-27

作者简介: 赵新华(1952-), 男, 河北平谷人, 教授, 硕士, 主要从事环境系统工程、液化气输配技术等方面的教学和科研工作。

式中:  $p'$  ——第一级的排气绝对压力;

$\beta_1, \beta_2$  ——第二级吸气、排气压力损失系数。

压力损失系数与气体密度、活塞平均线速度及压力有关, 计算比较复杂。手工计算时一般查曲线图确定。本课题由于采用程序计算, 为了简化, 根据实际平均压力, 考虑燃气平均密度及活塞线速度等条件, 取平均值为:

$$\alpha_1 = 0.06, \alpha_2 = 0.10, \beta_1 = 0.04, \beta_2 = 0.09$$

故:

$$(1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2) = 0.846, (1 - \beta_1)(1 - \beta_2) = 0.874$$

一级压缩功率为:

$$P_1 = 16.34 p_1 q_v \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{0.846 p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right]$$

二级压缩功率为:

$$P_2 = 32.68 p_1 q_v \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{0.739 p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right]$$

### 3 宏观模型

#### 3.1 宏观模型的建立与状态模拟<sup>[5-7]</sup>

城市燃气管网系统是一庞大复杂的网络, 其运行状况具有随机性、非线性和时变等特点, 包含的信息繁多冗杂。为了快速准确地模拟管网的实际工况, 建立了一个简化的、适于优化调度的燃气管网数学模型。模型有 2 个简化: ① 只考虑主要参数以反映管网系统的特性; ② 对系统中的每一节点, 除应考虑各厂站的供气量及供气压力影响外, 还应考虑其他节点的影响, 影响程度由其系数来决定, 而系数可以结合大量实际数据通过回归计算得到。基于此, 在实际管网中选定少量有代表性的压力监测点, 再加上气源厂、储配站, 构造一简化网络, 构造宏观模型。

燃气管网系统在某一供气时刻的宏观模型为:

$$p_i = \sum_{j=1}^{N_m} A_{ij} p_{mj} + \sum_{k=1}^{N_s} B_{ik} Q_k^2 + C_i Q_{\text{tot}}^2 + D_i$$

$$i = 1, 2, \dots, N_m$$

式中:  $p_i$  ——下一时刻  $t$  时, 第  $i$  个监测点(包括厂站)的预测压力;

$A_{ij}$  ——第  $j$  个监测点压力对第  $i$  个监测点压力的影响常系数;

$p_{mj}$  ——上一时刻  $(t-1)$  时, 第  $j$  个监测点

(包括厂站)的实测压力;

$N_m$  ——监测点(包括厂站)总数;

$B_{ik}$  ——第  $k$  个厂站供气量对第  $i$  个监测点压力的影响常系数;

$Q_k$  ——下一时刻  $t$  时, 第  $k$  个厂站供气量的优化预测值;

$N_s$  ——供气厂站总数;

$C, D_i$  ——对第  $i$  个监测点拟合求出的常系数和常数项;

$Q_{\text{tot}}$  ——下一时刻  $t$  时, 管网的预测总供气量。

利用宏观模型, 可以对燃气管网系统进行模拟, 以管网总供气量  $Q_{\text{tot}}$  和各厂站供气量  $Q_k$  为变量以及实时监测的压力值  $p_{mj}$  来计算这一组函数值, 预测由管网供气量变化而形成的管网状态, 以便为系统的优化运行提供决策支持。对于管网实时采集数据  $p_{mj}$  中的错误数据, 要参照系统运行的历史资料将其剔除, 不然会使模拟状态偏离实际状态。

由于宏观模型引入了管网实时信息, 使得预测与实际管网状态比较一致, 为优化调度奠定了基础。

#### 3.2 宏观模型的求解程序及其应用

在宏观模型中, 各气源厂、储配站的供气量  $Q_k$  及各监测点压力  $p_{mj}$  的历史数据均为已知, 当具有足够大的样本时, 求各个待定系数  $A_{ij}, B_{ik}, C_i, D_i$  为多元线性回归问题<sup>[8]</sup>, 计算原理如下。

将  $Q_{\text{tot}}, Q_k, p_{mj}$  都看作自变量  $X_i$ ,  $p_i$  看作随机变量  $Y$ , 则  $Y$  随  $X_1, X_2, \dots, X_n$  ( $n = N_m + N_s + 1$ ) 的变化, 可以有  $m$  组观测数据:

$$\left\{ X_{1t}, X_{2t}, \dots, X_{nt}, Y_t \right\}_{t=1, 2, \dots, m}$$

为确定  $Y$  与各个变量  $X_1, X_2, \dots, X_n$  的相关关系, 采用最小二乘法。用如下线性组合多项式表示随机变量  $Y$  与自变量  $X_1, X_2, \dots, X_n$  之间的关系:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad (1)$$

取  $m$  组观测数据代入式(1), 可以得到  $m$  个  $Y$

的计算值, 记为  $Y$ 。用这  $m$  个计算值与  $Y$  的  $m$  个实测值  $Y_t$  求差的平方和, 并使其最小, 来确定各个  $b_0, b_1, \dots, b_n$  参数, 并将其称为回归系数。用数学式表示为:

$$Q = \sum_{t=1}^m (Y_t - Y)^2 =$$

$$\sum_{t=1}^m \left[ Y_t - \left( b_0 + b_1 X_{1t} + \dots + b_n X_{nt} \right) \right]^2 \quad (2)$$

由数学分析的极值原理,若  $b_j$  满足以下方程组:

$$\frac{\partial Q}{\partial b_j} = 0 \quad j = 0, 1, \dots, n \quad (3)$$

则  $b_j$  就是使  $Q$  最小的所求各个回归系数。

由  $\frac{\partial Q}{\partial b_0} = 0$  可求得

$$\sum_{i=1}^m [Y_i - (b_0 + b_1 X_{i1} + \dots + b_n X_{in})] = 0$$

即  $b_0 = \bar{Y} - (b_1 \bar{X}_1 + b_2 \bar{X}_2 + \dots + b_n \bar{X}_n)$

$$b_0 = \bar{Y} - \sum_{j=1}^n b_j \bar{X}_j \quad (4)$$

其中

$$\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i$$

$$\bar{X}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

将式(4)代入式(2),可得到

$$Q = \sum_{i=1}^m \left[ Y_i - \bar{Y} - \sum_{j=1}^n b_j (X_{ij} - \bar{X}_j) \right]^2$$

将上式代入式(3),且取  $j = 1, 2, \dots, n$ , 可得到  $n$  个方程:

$$\sum_{j=1}^n \left[ \sum_{i=1}^m (X_{ij} - \bar{X}_j) (X_{it} - \bar{X}_i) \right] b_j = \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y}) (X_{it} - \bar{X}_i) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

将式(5)展开即为关于  $b_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) 的线性方程组,通过高斯消元法解此线性方程组就可将诸  $b_j$  求出,而  $b_0$  可以通过式(4)求出。依据得到的  $b_0, b_j$  进而可求出  $A_{ij}, B_{ik}, C_i, D_i$ 。

在一段时期内燃气管网系统的流量和压力的输入数据,是对宏观模型和优化调度至关重要的原始数据。一套数据样本应反映一个稳定的燃气管网系统,当燃气管网系统设备、管道及监测点数和监测参数有了明显的变化时,就要在变化了的系统的基础上积累数据,形成新的样本,再重新进行宏观模型的计算,以便修改宏观模型的系数。

宏观模型计算系数求解程序并不是每次调度运行都要用到的,而是当系统有了一些变化时,定期或不定期地进行重新拟合更新。当系统有明显变化时,在变化后积累了足够数据即可更新,当系统无明显变化时,根据燃气负荷变化情况可以按季节更新。

### 参考文献:

- [1] 朱麟,张玉润,吴明光,等.城市煤气负荷预报[J].煤气与热力,1998,(2):27-28,39.
- [2] 王民生,马龙友.城市燃气输配系统的微型电子计算机优化调度[J].煤气与热力,1988,(1):19-23.
- [3] 金志刚.城市煤气输配的监控与调度[J].煤气与热力,1992,(2):32-38.
- [4] 鲍秀伟.城市煤气调度系统的现代化管理[J].煤气与热力,1996,(3):35-39.
- [5] 姜乃昌,韩德宏.配水管网的解析宏观模型[J].给排水,1990,(1):2-8.
- [6] Gilman H D, Gilman M Y, Demoyer R, Jr. Replication modeling for water—distribution control [J]. Journal AWWA, 1973, (4): 255-260.
- [7] 段文泽,刘士荣.城市供水系统建模方法研究[J].系统工程理论与实践,1988,(7):17-27.
- [8] 盛承懋.应用回归分析[M].上海:上海科学技术文献出版社,1989.

## Macromodel of Gas Network System Operation State

ZHAO Xin-hua, DOU Qiu-ping

(School of Environment Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Power calculation of the gas compressor is studied. The macromodel of the gas network system operation state to simulate its actual state is presented, and the pressure operation state of the gas network caused by the change of gas supply flow is forecasted.

**Key words:** hydraulic operation state of gas network; gas dispatch; compressor; simulation