

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2014.03.002

燃气输配系统远程调压控制策略研究

□ 北京市燃气集团有限责任公司 (100035) 高顺利 李洪波 宋来弟

□ 北京远东仪表有限公司 (100013) 邵华 史晋峰

摘要: 根据调压箱(站)下游用户的天然气消耗历史数据,通过黑箱建模的方式,分析并建立下游用户用气规律的模型,并以此黑箱模型为基础计算出以“天”为周期的优化调压控制策略,以保证下游管网压力平稳和下游用户用气质量。

关键词: 燃气调压箱 用气规律建模 小流量工况 优化控制策略

Remote Pressure Control Strategy Research of Gas Transmission and Distribution System

Gao Shunli, Li Hongbo, Song Laidi, Shao Hua, Shi Jinfeng

Abstract: According to the historical data of natural gas consumption of the regular box' s downstream users, by the way of black-box modeling, analyzing and establishing the natural gas consumption model of downstream users, and calculating the optimal control strategy with the period of “day” by the black box modeling, to make sure the pressure stability in the downstream pipe network, and to ensure the quality of users' using-gas.

Keywords: Natural gas regular box Modeling of consumption regularity Low-flow conditions
Optimal control strategy

1 引言

随着城市化进程的发展和能源结构的调整,各行业(工业、商业、市政和民用等)对天然气的需求越来越大。天然气需求的增大和应用范围的不断扩展,需要将自动化技术、测控技术、计算机技术和通信技术等信息化技术与天然气输配控制系统相融合,提高并完善天然气输配系统的工艺故障分析、区域天然气需求分析、远程调压等智能化管理调度水平。

图1表示:用气高峰日和非高峰日内下游用户一天内用气量随时间的变化过程;图2表示:一年内

260天的日平均用气量。从图1和图2中可以看出:高峰日和非高峰日,高峰时段和非高峰时段时,天然气的流量变化范围很大,在考虑性价比的情况下,实际流量计的选择必须覆盖流量上限。由此可能会出现:在用气量低谷时,实际运行流量接近或低于流量计下限,从而引起流量的测量不准确。

在现有调压设备配置情况下,在高峰日和高峰时段时,随着下游用户天然气流量需求的增大,下游管网的压力会出现降低的趋势,即表现出:调压箱下游管网运行压力不平稳,用户用气质量不能保证的情况。同时结合上游管网的供给能力,即:供给充足和

供给不足时，分别采用调压运行和限流保供的控制策略，降低上游管网的天然气供给负荷压力，并保证调压箱上下游管网的运行压力平稳。

通过调压箱运行过程中关键工艺参数的监测，分析现场设备运行状态、分析建立下游用户的用气规律^[1,2,3]，并以此为基础计算出不同工况下的控制策略，实现调压箱在实际运行中的优化控制^[4]，满足特定情况下的限流保供运行、调压运行和小流量工况运行，保证用气高峰时段的调压箱上下游管网运行压力平稳和天然气供应能力，以及用气低谷时段流量计计量的准确性。

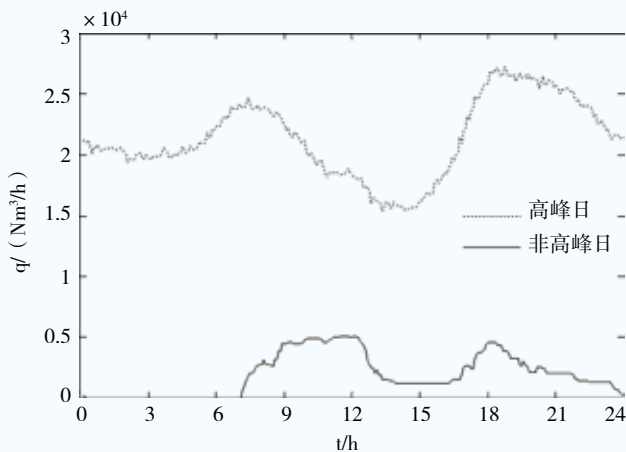


图1 高峰日和非高峰日的瞬时流量数据对比图

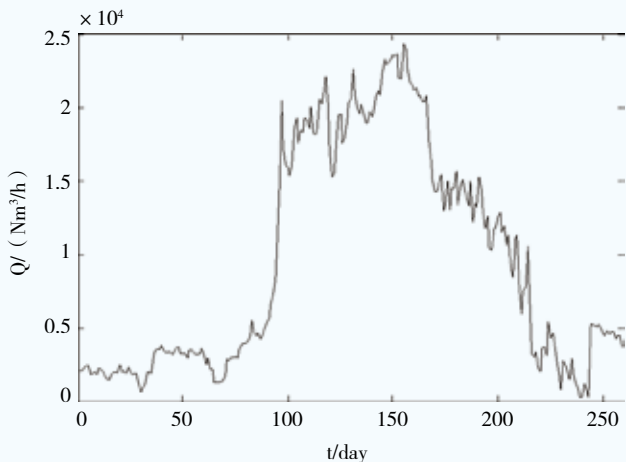


图2 3个季度（秋/冬/春）内日平均流量图

本论文以区域调压箱为研究对象，通过对现有调压设备和数据采集系统的改造，搭建可实现远程调压限流控制、工艺故障分析、历史数据分析、优化控制

策略生成和执行的平台，为燃气集团实现增强安全供气指数，提高数据测控效率，推进天然气输配控制系统的智能化建设提供有力支持。

2 远程调压系统平台搭建

2.1 远程调压系统介绍

目前现场调压单元的配置为：切断阀+监视调压器+工作调压器，其中切断阀的配置与否取决于调压箱进出口压力的压力等级，如果进出口压力等级是跨级的，则需要配置切断阀。

在现有配置条件下实现：调压，限流，小流量控制等，都需要由现场操作工人根据调度中心的调度命令来实现。为了实现上述功能的远程操控和自动执行，首先需要对现有工作调压器进行相应的技术改造，使其改造为可实现远程操控的远程调压/限流系统。

可实现远程操控的调压系统有：LC21-圣诞树系统、CS系统、五合一智能调压器和RCS8000系统等。

2.2 控制平台的搭建

现场硬件配置：过程数据远传仪表（温度、压力、流量、可燃气体浓度、阀位状态等）；远传调压设备；控制系统（PLC/RTU）；数据远传单元(远传DTU)；和现场工控机。

在上述硬件配置的平台，通过上位软件的编程实现：调压站设备运行过程的组态显示；工控机中历史数据的建模，流量预测；优化控制策略的生成；及同现场控制器配合实现具体控制。

通过上述硬件配置和软件编程，搭建可实现远程操控，历史数据建模，关键过程数据预测，调压控制，限流控制，小流量运行控制等目的的控制平台。

3 下游用户用气规律建模

通过对2年~3年的历史数据处理，模型选择，参数回归的方式，建立关键过程参数-时间的预测模型，用于后续优化调度控制。

由于天然气的用气特性曲线有高峰时段和低谷时段，因此，其数据表现出非平稳数据序列的特性，需要在建模之前对数据进行处理，使其处理后的数据具

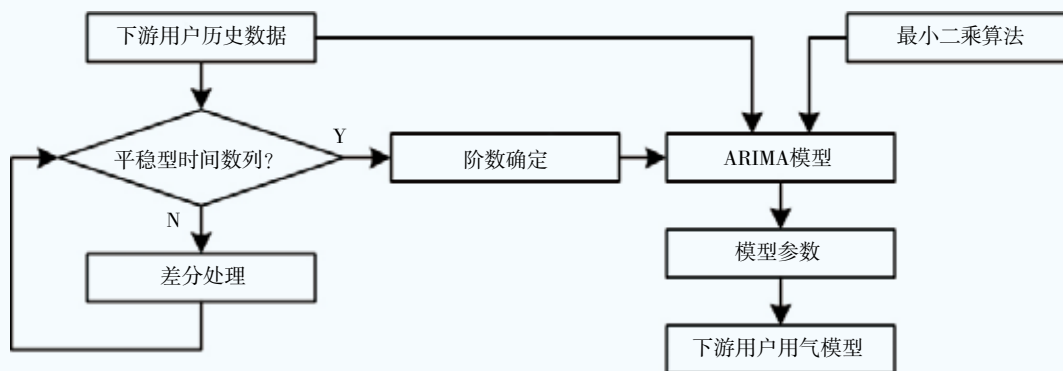


图3 下游用户用气规律建模过程

有近似平稳数据序列的特性。

按预测周期不同可分为：短期/中期/长期预测模型；按预测最小单位可分为：分钟预测/小时预测/日预测/月预测/年预测，预测最小单位不同则使用的技术方案不同。按其技术路线可分为：主元回归分析法、时间序列法、灰色系统法GM(1, N)、粗糙集法、神经网络法、支持向量机法和组合预测法，各种技术路线的侧重点不同。

在短期预测建模过程中，常用的技术路线有：时间序列法、神经网络法、小波分析法等，但是在技术路线可执行这个特点上，时间序列法更有优势。方案中采用的技术路线为：ARIMA建模。日用气规律建模需要的数据有：出口压力-时间，瞬时流量-时间的相关数据。

具体步骤：原始数据处理、ARIMA的建模确定和参数辨识实现。

(1) 当时间序列 $\{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\}$ 本身不是平稳时间序列的时候，如果它的增量（即：一次差分）稳定在零点附近，可以将看成是平稳序列。在实际的问题中，所遇到的多数非平稳序列可以通过一次或多次差分后成为平稳时间序列。

对于非平稳数列： $\{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\}$ ，进行如下处理：

$$k_1 = k_1$$

$$k_2 = k_2 - k_1$$

$$k_3 = k_3 - k_2$$

⋮

$$k_n = k_n - k_{n-1}$$

构建新数列： $\{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\}$ ，如果新数列还

是非平稳数列，则重复上述过程。

(2) 确定自回归和滑动平均模型的阶数，建立ARIMA模型；

$$\begin{cases} \bar{x}_t = \varphi_0 + \varphi_1 x_{t-1} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \\ \varphi_p \neq 0, \theta_q \neq 0 \\ E(\varepsilon_t) = 0, \text{Var}(\varepsilon_t) = \sigma_\varepsilon^2, E(\varepsilon_t \varepsilon_s) = 0, s \neq t \\ E x_s \varepsilon_t = 0, \forall s < t \end{cases}$$

(3) 通过历史数据，使用最小二乘的辨识算法，计算ARIMA模型中的未知参数。

$$J(\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q) = \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - x_i)^2$$

$$\min_{\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q} J = \min_{\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q} \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - x_i)^2$$

即：

$$\frac{\partial J}{\partial \varphi_0} = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial \varphi_1} = 0$$

⋮

$$\frac{\partial J}{\partial \varphi_p} = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial \theta_1} = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial \theta_2} = 0$$

⋮

$$\frac{\partial J}{\partial \theta_q} = 0$$

通过求解上述矩阵方程的解，从而计算出ARIMA模型中的未知参数。

具体建模过程的思路：通过当前年度的前2年~3年历史数据，随着时间的更替，历史数据不断循环更新。根据每年中相应日相应时间点的流量数据和压力数据（2011年11月20日9点30分的瞬时流量数据/压力数据、2012年11月20日9点30分的瞬时流量数据/压力数据、2013年11月20日9点30分的瞬时流量数据/压力数据，通过同一时间点的3个历史数据，预测2014年11月20日9点30分的瞬时流量数据/压力数据），以5min作为时间差，预测下一个时间点的瞬时流量/压力（2014年11月20日9点35分的瞬时流量/压力），循环执行上述过程，一次性预测出5日~7日的下游需求预测数据，用于后续优化调度和控制。

黑箱建模中不同模型的补偿思路如图4所示：通

过‘周’模型计算下一周的周预测累积流量；通过‘天’模型计算下一周内每天的预测累积流量，并以天预测累积流量为基础计算出7天的累积流量；通过两个7日的预测累积流量，使用加权的方式计算出最终的周预测累积流量，同时结合每日的日累计流量的比例关系，计算出最终日累计流量数据；循环执行上述过程，直至最后生成一周内以‘分’为周期的过程参数预测数据，用于后于的优化调度和控制。

4 优化控制策略的生成

通过调整调压站出口压力的设置值，调整调压站所能供给的天然气流量，但最终调度目的为：减少对调压站上游管网负荷的冲击，保证调压站下游管网压力的平稳，并保证足够的天然气供应量。

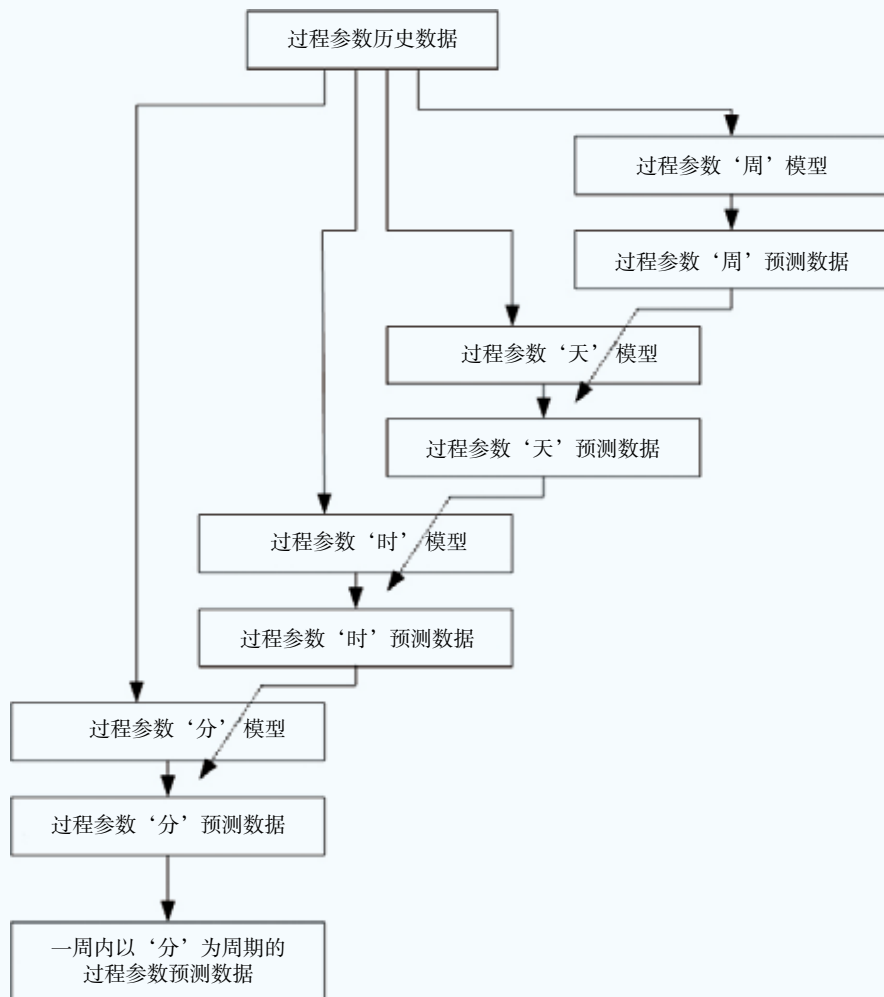


图4 总体模型及数据预测过程示意图

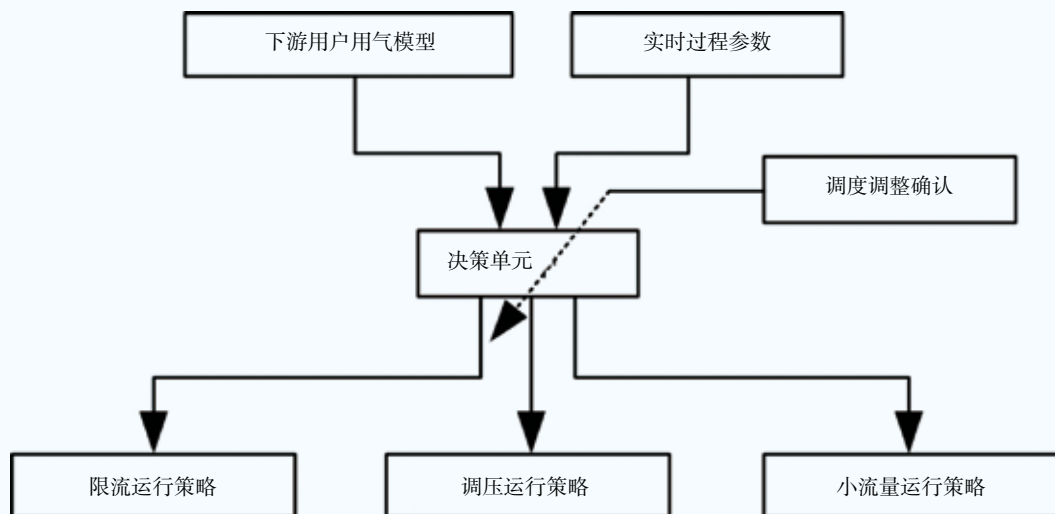


图5 控制策略决策示意图

如图5所示：通过天然气用气流量模型，预测下游用户一天内天然气用量的流量-时间分布数据，判断出用气高峰时段和低谷时段，同时结合实际运行过程参数数据，计算出相应不同时段运行压力数据，在此基础上调度人员根据经验做出调整确认后，下载到本地控制器中执行具体的控制。

在用气高峰时段，且上游管网供气充足时：结合模型预测数据和调压箱实际出口压力数据，执行调压运行控制策略，计算出最终调压站出口压力设定值随时间的变化曲线，在保证下游管网压力稳定的同时，保证天然气的供应量。

在用气高峰时段，且上游管网供气不足时：结合模型预测数据和调压箱实际出口压力数据，执行限流运行控制策略，计算出最终调压站出口压力设定值随时间的变化曲线，使得实际运行调压箱的瞬时流量不超过限流设定值，实现限流保供的目的，并保证调压箱上下游管网的运行压力平稳。

在用气低谷时段，结合调压箱实际出口压力数据，周期性调整调压器出口压力的设定值，在保证下游管网压力平稳的同时，保证运行流量计的计量准确性。

5 结论

由于燃气行业涉及民生问题，因此，对天然气调压系统运行的‘安’、‘稳’、‘长’、‘满’、‘优’等指标

提出更高的要求，并且着重于关注‘安’、‘稳’、‘长’的指标要求。因此，在调压站/调压箱控制过程中，对运行过程中调压站的出口压力关注更多，其下游用户的流量需求通过压力和流量间的耦合关系来保证。

在本论文中，下游用户用气规律的建模在实际控制中，用来判断用气高峰时段和用气低谷时段，后续的控制过程需要和实际调压箱的出口压力数据相互配合来完成整个控制作用。但是随着城市化智能管网系统的建设，各底层调压站/调压箱的用气规律建模的作用将会越来越大，不仅可以为管理层提供运营决策的基础数据支持，同时在管网运行调度过程起着越来越重要的作用，如：区域调压箱运行站点的决策，调压箱运行数量的决策，及各调压箱运行负荷分配的估计等。

参考文献

- 1 李雅兰, 刘燕. 天然气负荷指标及用气规律的研究[J]. 城市燃气, 2007; (2): 15-22
- 2 严铭卿. 燃气负荷中长期预测的方法[J]. 城市燃气, 2009; (10): 13-17
- 3 严铭卿, 廉乐明. 燃气负荷及研究进展[J]. 煤气与热力, 2002; (6): 490-493
- 4 霍小亮. 微流遥调技术在城市燃气调压站中的应用[J]. 城市燃气, 2013; (9): 17-20