

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2018.04.003

# 有限容积燃气管道带气作业 降压时间的计算与仿真

□ 北京市燃气集团有限责任公司第四分公司 (100176) 张明作 李英杰 党辉

□ 清华大学机械工程系 (100084) 王 建

**摘 要:** 本文阐述了燃气管道带气作业的工作原理,建立了管道计算模型,并获得了管道带气作业降压时间的计算公式。利用FLUENT软件对燃气管道降压过程进行仿真模拟,分析了燃气管道降压过程中的压力-时间变化特性。通过与实际燃气管道降压过程时间数据对比,验证了计算方法和仿真模型的有效性。该方法可以应用于燃气管道带气作业压降控制,对带气作业调压方案的制定具有重要的指导意义。

**关键词:** 带气作业 降压时间 压力仿真

## Calculation and Simulation of Depressurization Time of Gas Pipeline with Limited Volume

Zhang Mingzuo, Li Yingjie, Danghui, Wang Jian

**Abstract:** The working principle of pipeline maintenance with gas is introduced in the paper. A model is established to obtain the calculating formula of the depressurization time. The simulation of the gas pipeline's depressurization process is conducted in FLUENT, with which the pressure-time characteristics of the process is analyzed. The calculation and simulation results are validated by comparing the data from an actual gas pipeline depressurization process. The proposed method can be applied to gas pipeline pressure drop control, which is highly instructive on pressure regulating scheme design on gas pipeline.

**Keywords:** operation with gas depressurization time pressure simulation

近年来,北京的雾霾治理一直备受关注,随着国家《大气污染防治行动计划》以及各地实施细则的逐步落实,北方地区“煤改气”项目进入攻坚阶段,为此,北京市将散煤治理作为治理空气污染“三大战役”之首,通过实施“煤改电”、“煤改气”,完成400个村“无煤化”任务<sup>[1]</sup>。

目前,随着我国城市燃气管网建设飞速发展和燃气设备应用的大量普及,燃气管道腐蚀、老化、泄漏等问题也逐渐暴露出来,然而受城市建设和人口密度的影响,燃气管道大多铺设在城市人口密集区,管线环境复杂,一旦发生事故,后果将不堪设想,因此对燃气管网的安全维护也提出了更高的要求<sup>[2]</sup>。国内

对城市燃气管道泄漏的维修抢险手段主要是人工带气焊接<sup>[3]</sup>,焊接前需要将管道内压力降至安全水平并保持。目前,燃气管道降压时间的计算没有现成的方法,主要凭借调压人员进行估算,存在较大的误差。作业时过于依赖现场工作人员的经验,难以快速、安全地将管道内压力调节到安全作业范围内。

## 1 燃气管道带气作业系统构成和工作原理

城市燃气管道多为中低压管道,压力在0.01MPa~0.2MPa(表压)之间<sup>[4]</sup>。某地区燃气管网发生泄露的示意图如图1所示,为了减少对下游用气的影响,通常需要对管道进行带气焊接作业。为了保证焊接作业的安全,需要将管道内压力降至安全水平并维持在正压状态,根据燃气管道带气作业安全管理规定,其管内压力一般维持在300Pa~800Pa(表压)范围内。传统做法是调节上游调压站阀门开度以降低管线压力,同时在下游闸井处进行放散或用户用气,最终实现降压的目的。由于燃气管道降压时间的计算没有现成的方法,为了避免管道内压力过低引起空气导入,上游的压力调节常采用阶梯式降压方法试探进行,导致降压时间长,大大加长了整个带气作业抢修时间,影响了下游用户的用气需求。

## 2 模型建立与计算分析

为了缩短燃气管道带气作业时间,需要获取管道压力随时间变化的规律,从而优化带气作业降压工艺。由于燃气管道放散过程受管道长度、直径、弯头等的影 响,其放散时间的计算是一个复杂的多变过程<sup>[5]</sup>,很难进行解析表达。为了工程应用的方便,本文忽略管道的具体形状,将其转化为固定容积的容器,如图1所示。



图1 燃气管道放气降压简化模型图

一般情况下,维修作业通常选择在夜间进行,下游用户的用气量也相对较小,而泄露孔的尺度相对于

放散口很小,对于放散时间的影响可忽略不计,本文的降压时间计算仅考虑放散孔。降压过程中,管道容积保持不变,该系统可视为等温过程<sup>[6]</sup>。其中管道部分流导远大于放散孔处流导。根据文献<sup>[7]</sup>放散孔处流导可由下述公式近似得到:

$$U \approx 220S \quad (1)$$

式中:  $U$ —管道流导,  $\text{m}^3/\text{s}$

$S$ —放散孔截面积,  $\text{m}^2$

则管内压强为  $P$  时,流量  $Q$  可以表示为:

$$Q = U(P - P_0) \quad (2)$$

式中:  $P$ —管道压力, Pa

$P_0$ —大气压强, 101 325 Pa

$Q$ —管道流量,  $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

在  $\Delta t$  时间内,管内气体减少了:

$$\Delta V = \frac{Q \Delta t}{P} \quad (3)$$

经过等温膨胀到管容积  $V$ , 可得:

$$P \left( V - \frac{Q \Delta t}{P} \right) = (P + \Delta P) V \quad (4)$$

整理可得

$$\Delta t = \frac{V}{U} \frac{-\Delta P}{P - P_0} \quad (5)$$

代入初始条件  $t=0, P=P_s$  积分可得:

$$t = \frac{V}{U} \left( \ln(P_s - P_0) - \ln(P - P_0) \right) \quad (6)$$

式中:  $P_s$ —容器内初始压力, Pa

$P$ —任意  $t$  时刻容器压力, Pa

$V$ —容器体积,  $\text{m}^3$

计算实例: 现有一实验管道,初始压力  $P_s=301\text{kPa}$  (绝压),容器长度  $L=1\ 500\text{m}$ ,直径  $D=500\text{mm}$ ,放散孔直径  $d=80\text{mm}$ ,根据式(6)可得  $P-t$  曲线如图2所示,此管道从  $301\text{kPa}$  (表压  $0.2\text{MPa}$ ) 降压到  $102\text{kPa}$  (表压  $800\text{Pa}$ ) 的时间约为  $1\ 400\text{s}$  左右。

## 3 FLUENT仿真模拟

基于上述燃气管道放散模型,利用 ANSYS FLUENT 软件建立放气降压模型<sup>[8]</sup>,对于管道压力为  $301\text{kPa}$  实验工况下,其压力随时间变化关系仿真结果如图3所示。

仿真结果表明,管线经过  $1\ 500\text{s}$  左右管内平均压

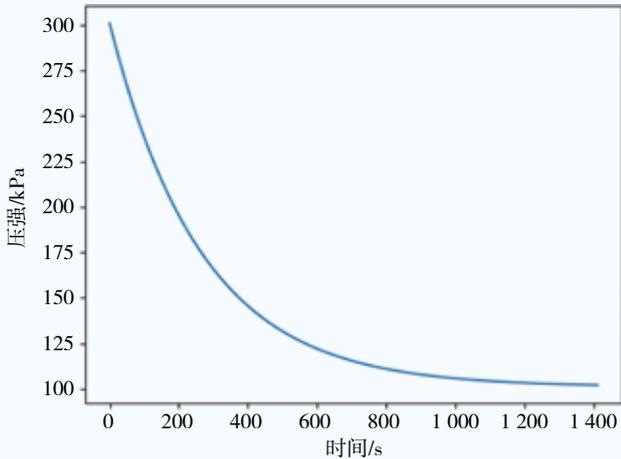


图2 压力-时间计算结果曲线

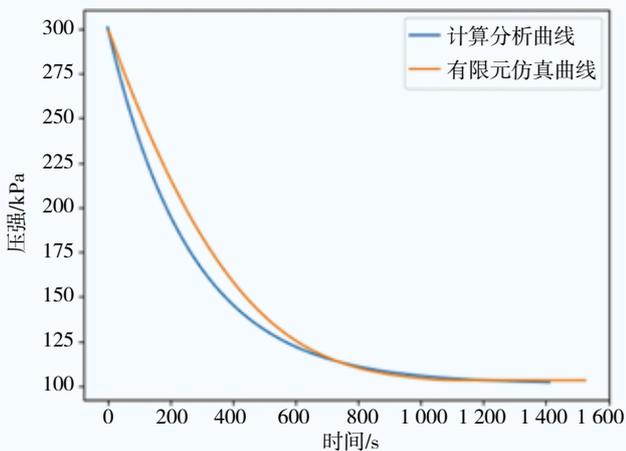


图3 FLUENT仿真管道压力-时间结果曲线

力降为102kPa（表压800Pa），计算结果和上图的曲线都表明公式（6）和仿真结果基本一致。

#### 4 现场实验验证

某次高压管线出现腐蚀漏气，需要进行现场放散降压作业，管道全程1 500m，管道内压力为301kPa（绝压），管道直径为500mm，放散口直径为80mm，管线放散现场如图4所示。现场实验将管道内燃气放散至102kPa（表压800Pa），所用时间约为26min即1 560s。

分析计算结果表明压力降到102kPa（表压800Pa）用时为1 400s左右，模拟仿真所得结果为1 500s，都比实际放散时间要短。其原因如下：公式（6）和模拟仿真都未考虑管道形状的影响，且将放气降压过程作为等温过程，而实际过程是一个复杂的多变过程，



图4 燃气管道放散实验现场图

且管道并不是理想的直管，诸多因素造成实际管道放气降压时间较长。但是计算结果的误差在10%左右，通过增加矫正系数，能够满足燃气管道现场降压时间计算的需要。

#### 5 结论

本文建立了有限容积燃气管道放气模型，提出了一种放气时间的计算方法，进行了FLUNET仿真和试验验证，结果表明该方法符合燃气管道实际放气过程，能够用于燃气管道带气作业的降压时间的估算。

由于可以利用该方法对管道降压时间进行较为准确的计算，故可对燃气管道带气作业降压工艺进行优化，将原有的阶梯式降压工艺进行改进，通过切断上游进气一定时间，然后将阀门部分打开，这样即可实现快速降压，又不会对下游用气产生太大的影响。

#### 参考文献

- 1 贺勇. 北京郊区无煤化渐行渐近[N]. 人民日报, 2016-03-19 (009)
- 2 陈思奇. 城市燃气管道小孔泄漏数值仿真研究[J/OL]. 云南化工, 2017; 44 (06): 31-34 (2017-08-01) [2017-09-20]
- 3 邓桂芳. 探密燃气管道泄漏带气抢修及其安全防护概要[J]. 上海煤气, 2017; 01: 26-31, 36

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2018.04.004

# 供热锅炉用燃气调压器运行特性分析

□ 北京市燃气集团有限责任公司 (100035) 吴波 齐晓琳 何少平 孙建民

**摘要:** 通过分析正弦型及实际热负荷输出下的供热负荷特点, 基于热量输出特性要求, 结合燃烧器开关量控制及档位控制的方法, 针对给定的正弦型及实际热负荷曲线数据, 建立了相应的供热调节方法, 同时面向燃气调压器内部动态过程分析, 给出了燃气调压器运行、维护及保养等建议, 为优化调压器调节给出合理化建议, 避免相关操作降低调压器的工作寿命。

**关键词:** 供热锅炉 燃气调压器 热负荷

## Operational Characteristics Analysis of Gas Regulator for Heating

Wu Bo, Qi Xiaolin, He Shaoping, Sun Jianmin Beijing Gas Group Co., Ltd

**Abstract:** Through the analysis of the characteristics of heating load under sinusoidal and actual thermal load, based on the requirements of heat output characteristics, combined with the control method of burner switch quantity and gear control, for given sine and actual thermal load curve data, the corresponding heating regulation method is established. At the same time, in connection with the dynamic analysis of the internal process of the gas regulator, the suggestion of operation and maintenance of the gas regulator is given, the regulator adjustment is optimized the regulator to avoid the related operation, It can also avoid related operations reducing the working life of the regulator.

**Keywords:** heating boiler gas regulator heating load

4 郝永梅, 徐明, 严欣明等. 城市燃气管道泄漏数值模拟和实验分析[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2017; 29(01): 79-85 [2017-09-25]

5 李超, 梁浩, 王飞等. 容器放气性能研究[J]. 机械科学与技术, 2011; 30(01): 163-165, 172

6 杨钢, 徐小威, 高隆隆等. 高压气体定容积充放气的

特性[J]. 兰州理工大学学报, 2010; 36(03): 42-46

7 达道安. 真空设计手册(第3版)(精)[M]. 国防工业出版社, 2004

8 蒋洪, 蒋俊杰, 李宏玉. 燃气输配管网调峰过程的动态模拟分析[J]. 管道技术与设备, 2011; 06: 9-12, 15 [2017-09-25].