

# 输气管道稳态模拟及调峰计算

贾雪松<sup>1\*</sup>, 徐东<sup>2</sup>, 范欣<sup>1</sup>, 檀伟<sup>1</sup>

(1. 中国石油天然气管道工程有限公司天津滨海分公司, 天津 300457;

2. 中国石油天然气管道局, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** 首先介绍了输气管道计算的基本公式, 以及基于此的仿真模拟软件, 通过实际现场的运行数据对软件进行了验证; 而后通过软件对输气管道调峰进行了动态计算。

**关键词:** 输气管道; 数值模拟; TGNET; 调峰

中图分类号: TE832

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2015)11-0191-02

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2015.11.048

## Steady state simulation and peak shaving calculation of natural gas pipeline

JIA Xue-song<sup>1\*</sup>, XU Dong<sup>2</sup>, FAN Xin<sup>1</sup>, TAN Wei<sup>1</sup>

(1. China Petroleum Pipeline Bureau Tianjin Design Institute, Tianjin 300457, China;

2. CNPC China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang 065000, China)

**Abstract:** The basic formulae for calculation of natural gas pipeline is introduced. The simulation software is employed and verified by the actual operation data. The transient analysis of peak shaving of natural gas pipeline is also conducted.

**Key words:** gas pipeline; analysis; TGNET; peak shaving

随着管道仿真模拟技术的发展, 组成管流元件模型的严密性和准确度也不断提高, 在要求实时计算和跟踪管道沿线流体性质的场合, 瞬态模型取代了稳态模型, 能量流动方程替代等温模型, 用以计算流体温度变化。在仿真管道模拟中, 由状态方程通过压力和温度求解密度, 可用来管道充填量计算、流量计标定、压力降计算; 计算热力学参数可用来热力学建模、压缩机计算或气液平衡计算。但是, 在输气管道的设计阶段, 必须先对输气管道进行静态数值模拟, 来得到稳态时的工作压力输气量等参数以便对整个管网系统进行总体规划。

## 1 模型的建立

根据流体力学基本原理推导而来的连续性方程、动量方程以及能量方程可用来建立输气管道动态数学模型。

连续性方程:

$$\partial \rho / \partial t + \partial (\rho v) / \partial x = 0 \quad (1)$$

运动方程:

$$\begin{aligned} & \partial (\rho v) / \partial t + \partial (\rho v^2) / \partial x = \\ & -g \rho \sin \theta - \partial P / \partial x - [(\lambda / D)(v^2 / 2)] \rho \end{aligned} \quad (2)$$

能量方程:

$$\begin{aligned} -\rho v (\partial Q / \partial x) = & (\partial / \partial t) [\rho (u + v^2 / 2 + g s)] + \\ & (\partial / \partial x) [\rho v (h + v^2 / 2 + g s)] \end{aligned} \quad (3)$$

式中,  $\rho$  为气体密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $v$  为气体的流速,  $\text{m}/\text{s}$ ;  $t$  为时间变量,  $\text{s}$ ;  $x$  为沿管长变量,  $\text{m}$ ;  $\theta$  为管道与水平面间的倾角,  $\text{rad}$ ;  $\lambda$  为水力摩阻系数;  $D$  为管道内径,  $\text{m}$ ;  $P$  为管道中气体压力,  $\text{Pa}$ ;  $Q$  为单位质量气体向外界放出的热量,  $\text{J}/\text{kg}$ ;  $u$  为气体内能,  $\text{J}/\text{kg}$ ;  $h$  为气体的焓,  $\text{J}/\text{kg}$ 。

对于稳态计算, 流动参数不随时间变化, 为了便于分析, 将式(1)~式(3)重新表示为以下形式:

$$\begin{cases} a_{11} (dT/dx) + a_{12} (dP/dx) + a_{13} (dm/dx) = b_1 \\ a_{21} (dT/dx) + a_{22} (dP/dx) + a_{23} (dm/dx) = b_2 \\ a_{31} (dT/dx) + a_{32} (dP/dx) + a_{33} (dm/dx) = b_3 \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $a_{11} = 0$ ;  $a_{12} = 0$ ;  $a_{13} = 0$ ;  $a_{21} = (m^2/A^2 \rho^2) (\partial \rho / \partial T)_P$ ;  $a_{22} = -1 [1 - (m^2/A^2 \rho^2) (\partial \rho / \partial T)_P]$ ;  $a_{23} = 0$ ;  $a_{31} = (\partial h / \partial T)_P$ ;  $a_{32} = [(\partial h / \partial T)_P - 1/\rho]$ ;  $a_{33} = 0$ ;  $b_1 = 0$ ;  $b_2 = \lambda m^2 / 2 D A^2 \rho^2 - [4K(T - T_0)A] / D m_0$ 。

通过选用四阶龙格-库塔法(Runge-Kutta)求解一阶微分方程组(4), 得到各变量增值后的值为:

$$\begin{cases} T_{i+1} = T_i + (h/6) \times [(dT/dx)_1 + 2(dT/dx)_2 + \\ 2(dT/dx)_3 + (dT/dx)_4] \\ P_{i+1} = P_i + (h/6) \times [(dP/dx)_1 + 2(dP/dx)_2 + \\ 2(dP/dx)_3 + (dP/dx)_4] \\ m_{i+1} = m_i + (h/6) \times [(dm/dx)_1 + 2(dm/dx)_2 + \\ 2(dm/dx)_3 + (dm/dx)_4] \end{cases} \quad (5)$$

通过反复进行以上计算,可求出管路从始端到末端各截面的参数。

## 2 输气管道的稳态和瞬态仿真软件

基于上述输气管道的基本方程以及其他相关方程,可以建立出输气管道稳态和瞬态的仿真模型,选用特征法或中心隐式差分法等算法求解模型,开发出输气管道仿真软件。TGNET 是 20 世纪 90 年代中期 ESI 公司开发的一款仿真软件,目前在市场上占有较大的份额,行业上普遍比较认可。

## 3 软件的验证

以“西气东输二线洛阳支线管道工程”为例,起点为西气东输二线洛阳分输站,终点为位于伊川县大庄的洛阳末站。全线位于河南省伊川县境内,线路宏观走向为从南向北,线路长度约 24.64 km,管径 DN500。洛阳末站目前共有 2 路分输用户,1 路经计量后直接向河南煤业供气,另 1 路经计量后直接向洛阳市供气,根据洛阳分输站现场提供的 2012 年 1 月 4 日数据,洛阳分输站出站压力 5.0 MPa,流量 45.6 万 m<sup>3</sup>/d,温度 -7℃(洛阳末站的地势高于洛阳分输站地势),和软件计算结果对比表如表 1。

表 1 对比表

洛阳现场数据	软件计算数据
洛阳分输站 压力 5.02 MPa,温度 11.8℃	压力 5.019 MPa,温度 11.7℃

由表 1 可看出,应用 TGNET 软件对输气管道的水力、热力计算是比较准确的。

## 4 调峰工况分析

在一段时间内,一个供气系统的气源供气量与用户需求量是总量平衡的,但在该时段内的各个时刻往往供需不平衡,这种不平衡主要源于气源供气的相对平衡性与用户用气流量的不均匀性。为了最大限度地满足用气需求,需要对供气系统采取各种

调峰措施强制性地使供气系统的总供气量与用气量维持动态平衡的过程称为供气调峰。在大多数供气系统的设计和运行管理过程中,调峰是一项必不可少的重要内容。目前常用的调峰方式主要有管道自身调峰、地下储气库调峰、LNG 调峰以及其他调峰方式。一般,季节性的大型调峰会选择地下储气库、LNG 的方式来进行用气高峰期的调峰,而短时期的日调峰则会利用管道自身的末端储气进行调峰。

仍以前面提到的“西气东输二线洛阳支线管道工程”为例,2020 年,洛阳末站的 2 个分输用户年平均用气总量为 28.5 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a,2 个分输用户的需求压力不低于 4.0 MPa,参考洛阳市城市居民用气特点、生活习惯、消费水平确定本管道典型周城市燃气不均匀系数,采用 TGNET 软件在高峰月对管道进行 1 个星期 168 h 动态调峰分析,论证依靠管道自身储气是否能够满足洛阳末站用户日调峰需要。

计算结果如图 1,洛阳分输站的平均分输流量是 407 550 m<sup>3</sup>/h,分输压力是 6.0 MPa,洛阳末站用户的用气量是 370 870.5 ~ 468 682.5 m<sup>3</sup>/h,压力是 3.90 ~ 4.91 MPa,不能满足洛阳末站分输用户最小 4.0 MPa 的供气压力需求,因此利用管道自身储气 2020 年将不能满足高峰月管道沿线用户的日调峰需求量,需要考虑其他方式进行用气调峰。

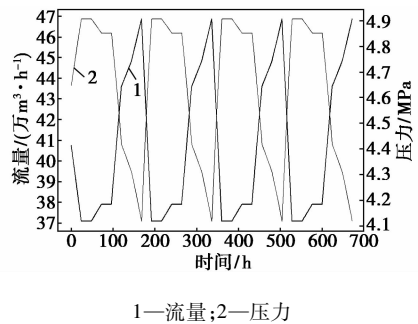


图 1 672 h 洛阳末站压力、流量变化曲线图

## 5 结论

(1) 基于流体力学公式建立起来的软件 TGNET 稳态模拟结果和现场运行情况基本相符,验证了软件的准确性。

(2) 输气管道自身具有一定的容积,在输气过程中,由于压力原因,管存量是不可忽略的。利用输气管道自身储气调峰方式简单,易操作。缺点是管道储气量有限,调峰时间短。■