

城镇燃气管网动态分析研究

杨毅 (四川川港燃气有限责任公司, 四川 成都 610000)

胡力 (成都简州新城华港燃气有限责任公司, 四川 成都 610000)

谭菲 (四川川港燃气有限责任公司成都分公司, 四川 成都 610000)

摘要: 本文主要针对城镇燃气管网输配过程中, 压力、流量动态分析方面的原理的研究。文中详细阐述了对任意中、高压燃气管网水力计算的理论基础、计算模型、具体算法、软件构架等, 最后对某市中压燃气管网进行了模拟分析, 实现了对任意燃气高、中压环网、枝线的水力计算和存储功能, 对燃气管网规划、设计及运行管理提供了理论依据。

关键词: 燃气管网; 动态分析; 计算模型

0 引言

随着城镇燃气气化率的持续增高, 对燃气的需求持续增加, 特别是冬季, 用户对燃气的需求成倍增长, 往往出现高峰期, 管网末端或城区局部压力低, 供气困难的情况。对燃气经营企业在燃气管道运行管理中, 如何根据管网基础数据, 模拟分析管网的流通能力, 掌握在各区域用气负荷发生变化时, 对管网关键节点压力的影响, 及时发现管网运行中的瓶颈和薄弱环节, 及时改造, 保证燃气的高效供给, 尤为重要。另一方面, 在燃气管道项目规划、设计中, 既要满足供气需求, 又应节约建设成本, 选取符合工艺要求和生产安全的材质、通径的管道至关重要。

使用怎样的方法来支撑燃气经营企业科学决策, 达到既经济又实用的要求呢? 对燃气管网进行动态模拟分析是一个解决方案。而对管网动态分析, 其核心就是水力计算。对管网的水力计算是一组复杂的计算过程, 随着管网结构的复杂度增加, 求解更加繁琐, 几乎无法通过手工计算实现, 利用稳定、可靠的电脑程序来完成这项工作, 是本文的研究目的所在。

1 燃气管网水力计算的依据及理论基础

燃气管网水力计算方程组选至《城镇燃气设计规范》GB50028-2006(以下简称《城镇燃气设计规范》), 公式推导见相关书籍。

1.1 管道计算流量的确定

根据《城镇燃气设计规范》规定, 城镇燃气管道的计算流量按月的小时最大用气量确定。而小时计算流量按(1)式确定:

$$Q_h = \frac{1}{n} Q_a \quad (1)$$

式中: Q_h —燃气小时计算流量 (m^3/h); Q_a —年燃气用量 (m^3/a); n —燃气最大负荷利用小时数 (h)。

上式中 n 由(2)式确定:

$$n = \frac{365 \times 24}{K_m K_d K_h} \quad (2)$$

式中: K_m —月高峰系数; K_d —日高峰系数; K_h —小时高峰系数。

以上高峰系数应根据城镇用气量历年实际统计资料确定, 一般情况下 K_m 、 K_d 、 K_h 、取值范围分别为 1.1~1.3、1.05~1.2、2.2~3.2。

1.2 燃气管网水力计算公式的确定

燃气管网水力计算公式组如下:

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{L} = 1.27 \times 10^{10} \lambda \frac{Q^2}{d^5} \rho \frac{T}{T_0} Z \quad (3)$$

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{K}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \quad (4)$$

$$Re = 1.54 \times 10^6 \frac{Q_n G_n}{d \mu} \quad (5)$$

式中: P_1 —燃气管道起点绝对压力, 单位: kPa; P_2 —燃气管道终点绝对压力, 单位: kPa; L —燃气管道长度, 单位: Km; Z —压缩因子, 绝对压力小于 1.0MPa 时, 取 1.0; d —管道内径, 单位: mm; Q —天然气小时流量, 单位: Nm^3/h ; K —管道内壁粗糙度, 单位: mm; Re —雷诺数; Q_n —管道秒流量, 单位: Nm^3/s ; G_n —天然气真实相对密度; μ —天然气运动粘度, 单位: MPa.s, 一般取 0.011。

2 燃气管道水力计算的数学模型

燃气管网的水力计算, 是反复迭代运算, 最终收敛, 得出符合要求的近似值的过程。

2.1 燃气管网水力计算的常用方法

2.1.1 解环方程法

反复迭代求解各管段流量,使各环的压降的代数和为零或接近零,达到工程计算的精度,该方法为解环方程法。

2.1.2 解节点方程法

反复迭代求解各节点压力,使各节点的流入、流出量代数和为零或接近于零,达到工程计算精度,该方法为解节点方程法。

2.2 解节点方程法

2.2.1 作燃气管网图

根据实际管网作出管网示意图,并在管网图中为各节点编号,注明各管段参数及节点集中负荷;确定管网中起始点与终点;确定各管段中气流方向,以图1为例。

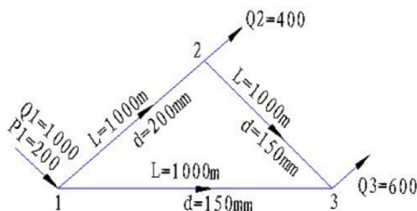


图1 管网示意图

2.2.2 初拟管段流量

在计算开始时,管网(环网)中各管段的流量是未知的,而整个电算迭代循环过程(后面将阐述)需要管段流量来驱动,所以需要初设各管段流量值。对管网中的各管段初始秒流量根据公式(6)而定。

$$Q = VS = \frac{R_e \mu}{d} S = \frac{R_e \mu}{d} \times \frac{\pi d^2}{4} = \frac{R_e \mu \pi d}{4} \quad (6)$$

式中: V —管道中燃气流速,单位 m/s ; S —管道横截面面积, m^2 ; R_e —雷诺数; μ —天然气运动粘度,单位: m^2/s ; d —燃气管道直径,单位: m 。

用该式计算初始管段流量时,对于中压燃气管网, R_e 取 1×10^5 , μ 取 25×10^{-6} , 因为对于中压管,一般情况下 R_e 实际值与该值相近,且该取值只是管段的初设值,仅影响循环迭代次数,并不左右最终迭代结果。以图1为例,可得管段 1-2、1-3、2-3 的初始小时流量分别为: $Q_{1-2}=1413m^3$ 、 $Q_{1-3}=1060m^3$ 、 $Q_{2-3}=1060m^3$ 。

2.2.3 求各节点压力平方值

将管段流量值带入公式(3)、(4)、(5)可求出各节点的压力平方值(之所以是求节点压力平方值,而不是不求节点压力值,是因为在整个迭代计算中仅需要节点压力平方值)。以图1为例,根据 2.2.2 节

中结果可得到节点 2.2.3 的压力平方值为: $P_2^2=38955 (kPa)^2$ 、 $P_3^2=37501 (kPa)^2$ 。

2.2.4 压损公式线性化

根据公式(3)可知,压力与流量参数间的关系是非线性的,这不利于方程组求解,在工程计算中,通常的做法是将其转化为线性方程,通过设计的迭代法不断迭代,最终得到原方程的近似解。本次研究的具体做法如下:

将各公式中的节点压力平方视为一参数,即作如下转换 $p^2 \rightarrow P$, 进而再作变化 $P_1-P_2 \rightarrow \Delta P$, 则公式(3)变为:

$$\frac{\Delta P}{L} = 1.27 \times 10^{10} \lambda \frac{Q^2}{d^5} \rho \frac{T}{T_0} Z \quad (7)$$

再将公式(7)简化为:

$$\Delta P = \alpha Q^2 \quad (8)$$

再将以上公式中参数的非线性关系转化为线性关系:

$$Q = \beta \Delta P \quad (9)$$

于是根据上两节求出的 Q 、 P 值,可得出燃气管网中每一管段的系数 β 值。

以图1为例,管段 1-2、1-3、2-3 的 β 系数值分别为 $\beta_{1-2}=1.3526$ 、 $\beta_{1-3}=0.4243$ 、 $\beta_{2-3}=0.7292$ 。

2.2.5 列节点方程组

根据前文论述,对于燃气管网中任意节点,流进和流出它的流量的代数和为零,根据该定律,可逐一列出管网节点方程。

以图1为例,对节点 2、3 列节点方程组如下:

$$Q_{1-2} - Q_{2-3} - Q_2 = 0 \quad (10)$$

$$Q_{2-3} + Q_{1-3} - Q_3 = 0 \quad (11)$$

将公式(9)带入(10)、(11)两式,得到方程组:

$$\beta_{1-2}(P_1 - P_2) - \beta_{2-3}(P_2 - P_3) = Q_2 \quad (12)$$

$$\beta_{2-3}(P_2 - P_3) + \beta_{1-3}(P_1 - P_3) = Q_3 \quad (13)$$

将以上方程组变形后得:

$$(\beta_{1-2} + \beta_{2-3})P_2 - \beta_{1-2}P_1 - \beta_{2-3}P_3 = -Q_2 \quad (14)$$

$$(\beta_{1-3} + \beta_{2-3})P_3 - \beta_{1-3}P_1 - \beta_{2-3}P_2 = -Q_3 \quad (15)$$

带入求得的 β 系数值及 Q 值,解(14)和(15)方程组可得各节点压力平方值。以图1为例: $P_2^2=39519 (kPa)^2$ 、 $P_3^2=39176 (kPa)^2$ 。

2.2.6 计算管段流量

再将管段 β 系数及以上求得的节点压力平方值,带入公式(9)中,进而求得各管段流量。

以图 1 为例: $Q_{1-2}=1032\text{m}^3$; $Q_{1-3}=705\text{m}^3$; $Q_{2-3}=655\text{m}^3$ 。

2.2.7 进入迭代循环

跳转至本节 2.2.3 处, 进入第一次循环。如此反复迭代计算, 直到前后两次管段流量的计算结果充分接近, 达到工程计算的要求为止(注意: 迭代计算完成后, 将各节点压力平方值开方, 便得到各节点压力值)。整个迭代过程如图 2 所示:

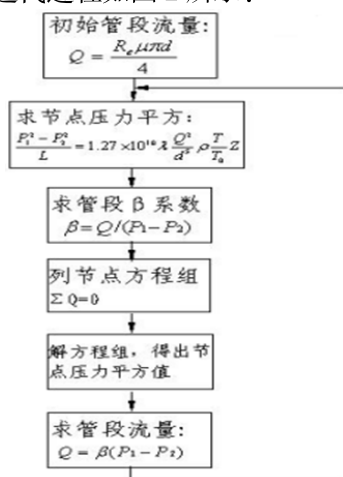


图 2 迭代流程图

以图 1 为例, 经过反复迭代, 最终结果为: $Q_{1-2}=643\text{m}^3$; $Q_{1-3}=357\text{m}^3$; $Q_{2-3}=243\text{m}^3$ 。

3 燃气管网水力计算软件设计

经过以上的分析, 已经得出可行的计算模型, 但实际遇到的问题要复杂得多, 让我们考虑以下问题:

3.1 软件的主要需求分析

管网水力计算应解决以下基本问题: ①能反映、存储任意燃气管网特征数据的数据结构; ②在给定条件下, 能够稳定、准确、高效计算出燃气管网中各节点压力及各管段计算流量; ③对燃气管网参数、计算结果具有存储及导出功能。

3.2 软件框架设计

本软件包含数据输入、水力计算、数据存储、数据导出等主要模块, 具体框图见图 3。

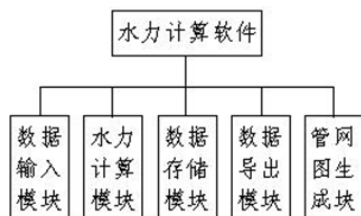


图 3 功能模块图

3.3 软件的实现

本节讲述燃气管网水力计算的实现, 其中包括数据结构、算法的设计等。

数据结构: 正如本章开头提到的那样, 软件应适用于任意高、中压燃气管网。在数据结构的理论中, 有向图的概念与本专题的燃气管网的几何特性正好相符, 能够很好的解决管网的动态性问题。图 1 中 1、2、3 节点与 1-2、2-3、1-3 有向边本身就构成了一个有向图。能准确表达有向图的数据结构有邻接表和邻接矩阵两种, 他们的结构见图 4 (图中边上的数字代表边的属性值, 如边长、边宽等), 由此可见, 无论是邻接表还是邻接矩阵均能反映出有向图中节点个数、节点间相互位置、边条数、边属性等重要信息, 正是表现任意燃气管网特性的数据结构, 其中邻接表更能灵活表现任意管网的动态性。本次研究所使用的两种数据结构的具体内容及表现形式如图 5。

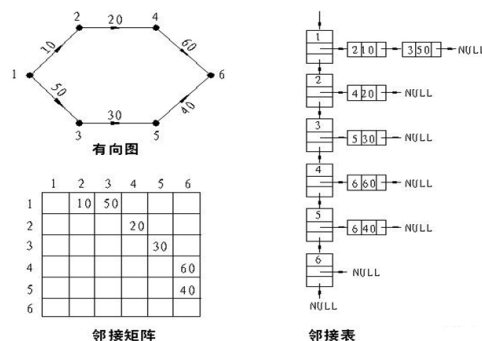


图 4 邻接表等数据结构示意图

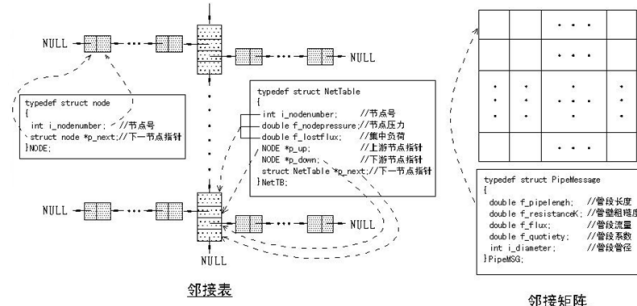


图 5 数据结构对照图

4 结束语

由于时间原因, 本次研究未加入低压燃气管网、其他流体管网的水力计算模块, 但由之前相关章节介绍可知, 本软件所采用架构使得这些模块的加入很容易实现。

参考文献:

- [1] GB 50028-2006. 城镇燃气设计规范 [S]. 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2016.
- [2] GB/T 21446-2008. 用标准孔板流量计测量天然气流量 [S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2008.