

城市燃气管网水力计算软件的开发

刘 伟* 唐文芳 连家秀 石 虎 王洁清

(中原油田勘察设计研究院)

刘 伟 唐文芳等:城市燃气管网水力计算软件的开发,油气储运,2002,21(1) 25~27。

摘 要 在城市燃气管网的设计过程中,水力计算是最关键的环节。以往采用传统的手算平差法,存在计算周期长、误差大、计算结果保守的缺点。采用 Visual Basic5.0 开发了城市燃气管网水力计算软件,采用的节点线性逼近法比平差法的方程阶数增多,收敛速度令人满意,计算结果具有较高的经济性。

主题词 城市燃气管网 水力计算 软件开发

一、水力计算软件开发背景

随着我国石油工业的高速发展,我国的城市燃气事业近年来发展很快,许多城市新建了液化石油气和天然气的供应设施。过去以人工煤气为主要气源的城市,现已逐步使用人工煤气、液化石油气和天然气等多种气源。

在城市燃气管网的设计过程中,燃气管网的水力计算是最重要的环节,其计算过程是根据燃气的计算流量和允许的压力损失来计算管道直径,以确定整个工程的管道投资和金属耗量。因此,正确进行水力计算对整个城市燃气管网的设计尤为重要。

长期以来,燃气管网的水力计算沿用的是传统的平差手算方法。这种方法需要假设初始流量和管径,并需要进行多次校正,在多气源情况下还需要增设虚环。不断重复繁琐、复杂的手工计算,不仅延长了设计周期,而且极易出错。尤其是多气源多环的大型管网,计算一种工况就需要花一周的时间,而且往往只能计算一、两种工况,管径的选择趋于保守,取值一般偏大,在一定程度上增大了工程投资。在这种背景下,开发了城市燃气管网的水力计算软件。

二、软件编制方法与原理

在管网水力计算时,常用一个由点、线和回路构

成的计算草图来表达所计算的管网。草图中每根线有两个端点,线上标有箭头表示方向,并且假定线的正方向是由线的始端指向末端,这样一个计算图在图论中称为有向线性图。图 1 为一个简单的有向线性图。

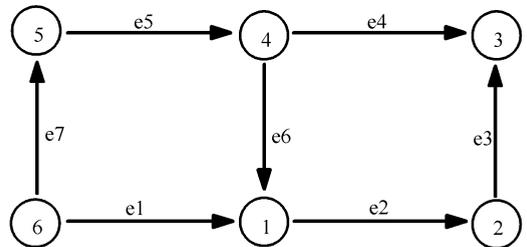


图 1 有向线性图

一个有向线性图的全连接矩阵是以节点编号代表行,枝的编号代表列,用数值+1、-1、0 的元素所排列的一个 $n \times b$ 阶的全矩阵(b 为枝的根数, n 为节点的个数)。它的各个元素 a_{ij} 是按节点和枝间的下列关系来确定的,即

$$a_{ij} = \begin{cases} 0 & (\text{节点 } i \text{ 在枝线 } e_j \text{ 上}) \\ 1 & (\text{节点 } i \text{ 在枝线 } e_j \text{ 的末端}) \\ -1 & (\text{节点 } i \text{ 在枝线 } e_j \text{ 的始端}) \end{cases}$$

为了使图 1 能表达一般管网水力计算所用的计算图,选用气源节点作为压力基准点,如图 1 中的节点 6,并用其它节点上指向外向的箭头来表示节点流量 q_j ,在各管段上注有相应的阻耗值 s_j 和管段流量 Q_j 。这样便得到如图 2 所示的网络计算图。

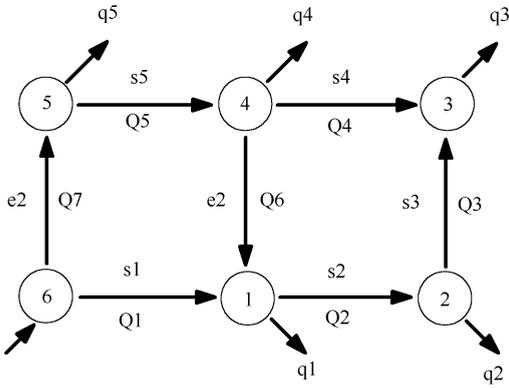


图 2 网络计算草图

从全连接矩阵划去基准点一行后所得到的矩阵称为连接矩阵,简称 A 矩阵。再将 A 矩阵的行转置后变为列,这样得到的矩阵为转置矩阵,记作 A^T 。这样可以得到矩阵代数表达式:

$$A \cdot Q = q \tag{1}$$

式中 A ——连接矩阵;
 Q ——管段流量列向量(未知量);
 q ——节点流量列向量(已知量)。

$$A^T \cdot p = P \tag{2}$$

式中 A^T ——连接矩阵 A 的转置矩阵;
 p ——对应于基准点的节点压力平方差;
 P ——代表管段压力降列向量。

因此,得到非线性方程组:

$$\begin{cases} A \cdot Q = q \\ A^T \cdot p = P \end{cases}$$

采用线性逼近的方法来解决此方程组。

首先,将管段流量与管段压力平方差的关系式 $P=S \cdot Q^n$ 改写成 $P=SQ|Q|^{n-1}$,然后将式中的 $S \cdot |Q|^{n-1}$ 作为已知量来处理,用 S' 代替它的值,因此 $P=S' \cdot Q$,即管段压力降 P 和管段流量 Q 之间的关系由原来的非线性关系转化为线性关系。通过不断修正 S' 值来进行迭代求解 Q ,使方程组前后两次解出的 Q 值逐步逼近,直至满足所需要达到的精度为止。

关系式 $P=S' \cdot Q$ 还可进一步改写为 $Q=P/S'$ 。 $1/S'$ 在线性网络图中称为导纳,用 G 代表管段的导纳,这样 $Q=G \cdot P$ 。将 $Q=G \cdot P$ 代入上面得到的非线性方程组,消去 Q 和 P ,得到未知量 p 的线性方程组:

$$A \cdot G \cdot A^T \cdot p = q \tag{3}$$

式(3)中, $A \cdot G \cdot A^T$ 是一个 $n_0 \times n_0$ 阶矩阵,其

中 G 是对角线矩阵,称之为节点导纳矩阵。式(3)是由 n_0 个方程组成的线性方程组,能够解出 n_0 个未知值 p 。

从方程组解得 p 以后,应用式(2)求出管段压力平方差 P ,再从关系式 $Q=G \cdot P$ 得到管段流量 Q ,计算 $S'=S \cdot Q^{n-1}$,组成新的节点导纳矩阵。这样经过多次求解(即节点线性逼近求解),直至满足前后两次解出的 Q 值之差小于 10^{-2} ,最后得到计算结果(燃气管网各节点压力、管段流量、管段的压力平方差)。本软件计算流程框图见图 3。

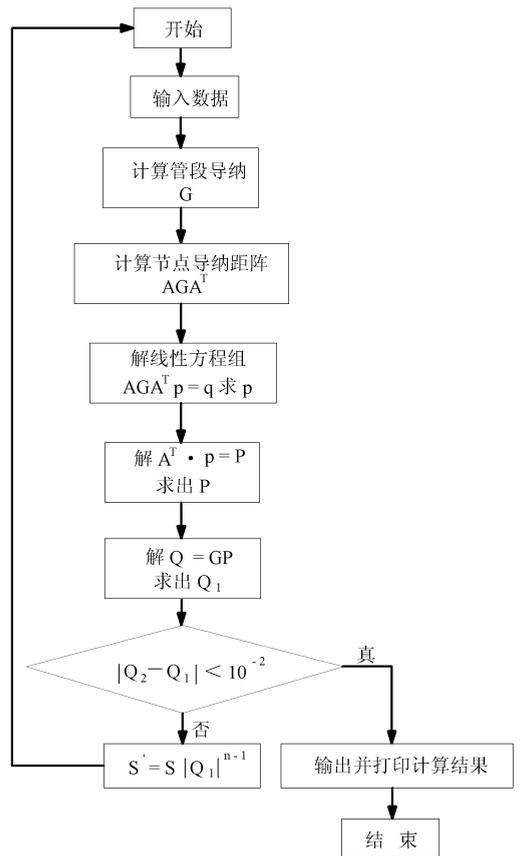


图 3 水力软件计算流程框图

三、水力计算软件特点

(1)水力计算软件采用 Visual Basic5.0 开发而成,在 Window95 或 Window98 操作环境下运行。

(2)软件采用图形用户界面(GUI),界面友好,可实现人机对话,使用户和软件之间的相互交流更直接、简捷。

(3)利用开放式数据访问(ODBC)技术,实现输入、输出数据与数据库的动态连接,可以把输入数据、输出数据以数据库的形式保存起来。一般中小型城市燃气环状管网的输入数据达几百个,数据只要输入一次后,下次只需改动必要的数据,即可再次进行计算。

(4)计算软件在计算方法上采用节点线性逼近法,同过去手算一直采用的各环逐个平差的传统方法(流量校正法)比较,方程阶数增多,收敛速度令人满意,在反映管网水力工况方面更为直观。

(5)该软件计算迅速、准确。对于 80 个节点、100 根管段的中型管网,全部计算时间(包括数据的输入及计算结果的输出)仅需 5 min 左右,比手工计算快将近 100 倍,且闭合差不超过 1%(手算闭合差 $\leq 10\%$),计算精度很高。这就有可能在较短的时间内迅速对精度较高的多种方案进行比较,从中选择符合供气规划要求、技术可行、经济合理的最佳方案,从而缩短工程设计周期,提高工程设计的质量。

四、应用情况及经济效益

本计算软件先后成功应用于濮阳市开发区经贸区天然气工程、兴平市天然气城市气化工程、山东禹城市天然气工程建设规划等项目,应用效果良好。同手工计算比较,设计周期大大缩短,在较短的时间内完成了多种方案的对比,确定了最经济可靠的管径,节约了工程投资。以吐哈油田哈密基地液化气供气管网为例,将该软件的应用与以往的手算进行

了比较(见表 1)。

表 1 软件电算与手算工作效率的比较

计算方式	节点数	管段数	工况	计算时间	闭合差
				(min)	%
手算	16	16	3	1 800	3.80
电算	16	16	6	18	0.05

从表 1 中可以看出,采用计算机电算后,工作效率明显提高,手工计算的时间约是电算的 100 倍,而电算的工况增加了 1 倍,计算精度同时也大大提高了。计算管径与工程投资的比较结果见表 2。

表 2 计算管径与工程投资的比较结果

公称管径 (mm)	计算长度(km)		投资($\times 10^4$ 元)	
	手算	电算	手算	电算
350	1.92	0	103	0
300	3.77	1.35	178	64
250	1.12	2.78	45	111
200	1.77	4.13	58	136
150	2.93	3.25	66	73

从表 2 可以看出,软件电算的管径更加经济合理,一次性节约工程投资约 66×10^4 元。本例燃气管网为中小型管网,计算的燃气管网规模越大,节约工程投资的效果将越明显。

(收稿日期:2001-08-31)

编辑:刘春阳

俄罗斯打通石油出海口

俄罗斯于 2000 年和 2001 年先后开始修建自己的波罗的海输油管道和绕过乌克兰的苏霍多利—罗季奥诺夫输油管道,俄罗斯波罗的海输油管道一期工程长 270 km,2000 年破土动工。俄罗斯“以创记录的速度”建设这个石油管道,只用 8 个月就完成了原本需要 40 个月的工期,新管道的年输油能力为 $1\ 200 \times 10^4$ t。计划中的二期工程,将把输油能力提高到 $1\ 800 \times 10^4$ t。管道终端位于列宁格勒州北部、芬兰湾沿岸的普里莫尔斯克港口,油轮可从这里直接进入波罗的海,将石油运往欧洲,因此俄媒体称这条管道“打开了又一扇通往欧洲的大门”。

俄罗斯新建的绕过乌克兰的苏霍多利—罗季奥诺夫输油管道长 259 km,一期工程的年输油能力为 $2\ 600 \times 10^4$ t,2001 年秋天已投入使用。这使俄罗斯大大增加了在黑海的石油出口能力。

张彦敏译自《Pipeline news》