

运行中天然气管道输气公式的研究

郑 清 高

西南石油学院(四川省南充市 637000)

提 要 利用两条运行管道(一条输送净化气,一条输送原料气)的实测值,分析拟合出其水力摩阻系数计算公式,从而得到了适合这两条管道的输气公式。该公式不仅适合于实测值用于拟合公式的那个月份的有关计算,而且能够应用于其它月份的水力计算。

主题词 输气管道 天然气 摩阻系数 计算公式

天然气管道的输气能力是管道的基本指标和工艺计算的主导参数。它不仅与管道的尺寸、起终点压力有关,而且与管道内壁状况以及气体流态有关。由后面两个因素确定的摩阻系数计算公式不同,导出了不同的管道内气体流动能力计算公式,如威莫斯公式、潘汉德尔公式以及前苏联天然气研究所的早期和近期公式。这些公式的计算结果不同,差别最大达 15%。这些公式都与一定的管道输送工艺水平和特点相联系。

不同管道建设的历史背景(管子的制造技术和安装技术、管径的计算和选择)不同,各条管道内输送气体处理水平、操作条件以及内壁清扫处理的差异,决定了某一个常用计算公式不可能适合所有运行管道的工艺计算。而在实际生产中,生产单位希望得到比较准确的管道输气计算公式,以便了解和认识

(2)九 8 区毛油在 20~80℃ 的温度范围内呈现屈服假塑性体的特征,在 80℃ 以后,依然不呈现牛顿流体特征。净化油在 50℃ 前呈现屈服假塑性体的特征,50℃ 后基本呈牛顿流体。

(3)在 40℃ 前,九 8 区毛油在低温时呈现震凝性流体的特征。即:在恒剪切速率下,

管道的潜力,考核和管理天然气管道的运行。

现今实践倾向于按实际条件选择和确定合适的水力摩阻系数计算公式,导出相应的输气公式。本文以实际运行的两条管道(一条输送净化气,一条输送原料气)为例,利用其实测数据,对比输气能力计算值与常用公式计算值,运用最小二乘法原理,研究实测值与计算值、摩阻系数与输送水平和内壁粗糙度的相关性和规律,找出了适合这两条管道的输气公式。

1 常用公式计算值与实测值的比较

表 1 和表 2 分别列出了两条管道某个月实测值和常用公式计算值的比值及其相对误差。从表 1 可以看出,对于输送净化气的管道,所有公式的计算的结果偏大。其中,威莫斯公式计算与实测值的相对误差最小,其值

剪切应力随时间的延续而增加。45~55℃ 为触变体。当温度大于 60℃ 后,九 8 区毛油的触变性不明显。在 30℃ 前,九 8 区净化油呈现震凝性流体的特征。当温度大于 30℃ 后,九 8 区净化的触变性不明显。

(收稿日期:1993-01-07)

在3.2%~15%之间;前苏联天然气研究所近期公式计算值与实测值的相对误差居中,其值在4.6%~20.4%之间;潘汉德尔公式计算值与实测值相对误差最大,其值在

26.0%~45.4%之间。并且威莫斯公式计算值与实测值的相对误差多数大于5%。由此可见,输送净化气的管道(简称A线)不能直接采用常用公式进行有关计算。

表1 A线常用公式计算值与实测值的比较

日期 1990.9	$\frac{Q_m}{Q_w}$	$\frac{Q_w - Q_m}{Q_m}$	$\frac{Q_m}{Q_p}$	$\frac{Q_p - Q_m}{Q_m}$	$\frac{Q_m}{Q_s}$	$\frac{Q_s - Q_m}{Q_m}$
1	0.934	0.071	0.741	0.350	0.889	0.125
2	0.944	0.060	0.748	0.336	0.898	0.114
3	0.955	0.047	0.758	0.319	0.909	0.100
4	0.939	0.065	0.745	0.343	0.893	0.120
5	0.945	0.058	0.750	0.334	0.899	0.112
6	0.948	0.055	0.752	0.330	0.902	0.108
7	0.946	0.057	0.750	0.334	0.900	0.111
8	0.951	0.052	0.754	0.326	0.905	0.105
9	0.949	0.054	0.751	0.331	0.903	0.107
10	0.926	0.080	0.733	0.365	0.881	0.135
11	0.940	0.064	0.744	0.344	0.894	0.118
12	0.958	0.043	0.756	0.322	0.912	0.096
13	0.945	0.058	0.743	0.346	0.899	0.112
14	0.948	0.055	0.747	0.339	0.902	0.109
15	0.955	0.048	0.754	0.327	0.908	0.101
16	1.005	-0.005	0.794	0.260	0.956	0.046
17	0.943	0.060	0.746	0.341	0.898	0.114
18	0.943	0.060	0.746	0.340	0.898	0.114
19	0.944	0.059	0.746	0.340	0.898	0.113
20	0.945	0.059	0.747	0.338	0.899	0.112
21	0.949	0.054	0.751	0.332	0.903	0.108
22	0.949	0.054	0.751	0.332	0.903	0.108
23	0.969	0.032	0.766	0.306	0.922	0.084
24	0.942	0.061	0.746	0.341	0.897	0.115
25	0.951	0.051	0.753	0.328	0.905	0.105
26	0.943	0.060	0.746	0.340	0.897	0.114
27	0.932	0.073	0.739	0.354	0.887	0.127
28	0.944	0.059	0.747	0.339	0.898	0.113
29	0.873	0.146	0.688	0.454	0.831	0.204
30	0.940	0.064	0.742	0.348	0.894	0.118

注: Q_m —实测值; Q_w —威莫斯公式计算值; Q_p —潘汉德尔公式计算值; Q_s —前苏联近期公式计算值。

表 2 B 线常用公式计算值与实测值的比较

日 期	$\frac{Q_m}{Q_w}$	$\frac{Q_w - Q_m}{Q_m}$	$\frac{Q_m}{Q_P}$	$\frac{Q_P - Q_m}{Q_m}$	$\frac{Q_m}{Q_s}$	$\frac{Q_s - Q_m}{Q_m}$
1989.12						
1	0.615	0.626	0.436	1.292	0.558	0.791
2	0.636	0.573	0.451	1.216	0.577	0.733
3	0.635	0.575	0.451	1.219	0.576	0.736
4	0.609	0.643	0.432	1.315	0.553	0.810
5	0.631	0.584	0.448	1.230	0.573	0.745
6	0.651	0.536	0.463	1.161	0.591	0.692
7	0.623	0.604	0.442	1.260	0.566	0.768
8	0.624	0.602	0.443	1.256	0.567	0.765
9	0.585	0.709	0.415	1.410	0.531	0.882
10	0.572	0.749	0.405	1.468	0.519	0.927
11	0.574	0.741	0.407	1.457	0.521	0.918
12	0.581	0.723	0.412	1.430	0.527	0.898
13	0.586	0.707	0.416	1.406	0.532	0.880
14	0.587	0.703	0.416	1.401	0.533	0.876
15	0.604	0.655	0.429	1.332	0.549	0.823
16	0.608	0.644	0.432	1.317	0.552	0.811
17	0.586	0.705	0.416	1.405	0.532	0.879
18	0.597	0.676	0.423	1.362	0.542	0.846
19	0.585	0.711	0.414	1.413	0.531	0.885
20	0.600	0.667	0.425	1.350	0.544	0.837
21	0.833	0.200	0.595	0.680	0.756	0.322
22	0.829	0.206	0.592	0.689	0.752	0.329
23	0.819	0.220	0.585	0.709	0.744	0.344
24	0.810	0.235	0.578	0.730	0.735	0.361
25	0.825	0.212	0.589	0.698	0.749	0.336
26	0.829	0.206	0.592	0.689	0.753	0.329
27	0.834	0.200	0.595	0.680	0.757	0.322
28	0.840	0.190	0.600	0.667	0.763	0.311
29	0.827	0.210	0.590	0.694	0.750	0.333
30	0.894	0.119	0.639	0.565	0.811	0.233

从表 2 可以看出:对于输送原料气的管道,所有常用公式计算结果偏大,其中威莫斯公式计算值与实测值的相对误差最小,其值在 11%~75%之间。与输送净化气管道相比,常用公式计算值比实测值偏大更多。因此,输送原料气的 B 线也不能采用常用公式进行有关计算。

2 数据处理及其分析

如前所述,摩阻系数的确定是管道实际工艺的基础,合适的摩阻系数确定之后,就可以进行相应的计算。下面我们对实测数据进行处理,寻找其规律。

2.1 作 $\lambda-t$ 曲线

根据管道以往运行的实测数据,可以反

算出摩阻系数。清管以后每一天反算的摩阻系数随管道运行时间的变化是否有一定规律,而可以预测未来某一天的摩阻系数?为此,我们取两条管道的输量、起终点压力反算摩阻系数,所作摩阻系数随时间的变化曲线见图 1。其中净化气管道的摩阻系数随时间变化不大,而原料气管道的摩阻系数随时间的变化复杂。因此,对于原料气管道拟合摩阻系数随时间变化关系曲线难以用来预测未来某一天的摩阻系数值。

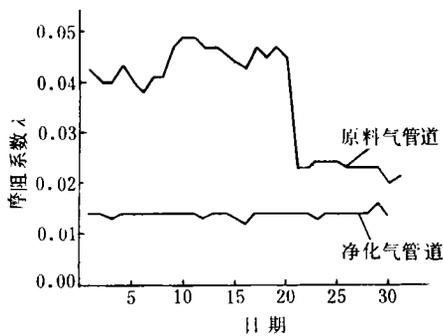


图 1 摩阻系数在某月内的变化曲线

2.2 作 $K_{\text{当}}-t$ 曲线

实际运行的管道内壁状况在一条管道前后不尽相同,精确确定它随管长的变化规律非常困难。如能比较准确地定出某一天管内壁的当量绝对粗糙度,就可以计算出摩阻系数。

我们知道,一次清管后到下次清管前这段时间内(称为一个运行周期),气体中所携带的凝析油、水、硫,以及机械杂质不断进入输气管内,引起管道内壁的腐蚀,凝析液和腐蚀产物不断聚积,还要局部堵塞或缩小管道内截面积,增大内壁的粗糙度。那么,上述因素决定的管道内壁当量粗糙度随时间的变化是否有一定规律?为此,我们利用实测值,反算 $K_{\text{当}}$ (当量绝对粗糙度),寻找 $K_{\text{当}}$ 随时间的变化规律。依据的公式是科尔布鲁克(C. F. Colebrook)总结的适于实际管道紊流所有

区域的摩阻系数计算公式:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.0 \lg \left(\frac{K/D}{3.7065} + \frac{2.52}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right),$$

它是目前最为精确的公式^[1],反算所得的 $K_{\text{当}}$ 见图 2。由计算的数据或图中曲线可以看出:净化气管道 $K_{\text{当}}$ 随时间变化有一定规律,其值在算术平均值上下波动;而原料气管道的 $K_{\text{当}}$ 随时间的变化没有一定规律。对于原料气管道,即使流量相同(雷诺数 Re 不变),反算的 $K_{\text{当}}$ 随 λ 变化而变化。当量绝对粗糙度不是随时间推移简单地增加,它与输送条件(起终点压力)、输送量有关,即与一定的流动状况有关。

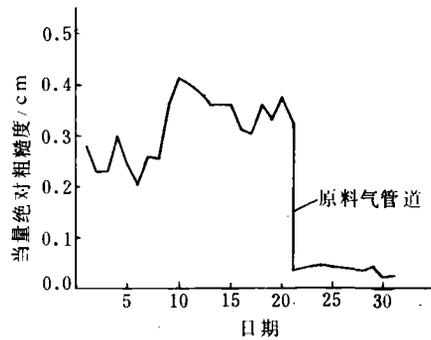


图 2 当量绝对粗糙度在某月内的变化曲线

2.3 摩阻系数计算公式的模拟

水力摩阻系数是雷诺数和相对粗糙度的函数,即 $\lambda = f(Re, \varepsilon)$ (其中 $\varepsilon = K_{\text{当}}/D$)。前面我们已经讨论过,对于原料气管道由于在两次清管之间的运行期间,当量绝对粗糙度在上述时间内变化复杂,规律难以确定。即使有摩阻系数的准确计算公式,由于 $K_{\text{当}}$ 变化复杂。取值困难而不便使用。由前面的分析可知,反算的当量绝对粗糙度与操作条件和输量有关。输量接近时,起终点压力不同,邻近时间反算的摩阻系数也不同。由于管道起终点压力不同,同一条管道同一位置的流动速度不相同,引起管内当量粗糙度差异。微观的局部变化比较复杂,我们难以预测其变化。如果能够将时间接近、输量相同、起终点压力有

差别的两种情况,归结为相同当量绝对粗糙度,摩阻系数的差异由起终点压力的不同来体现,使得当量绝对粗糙度的变化有一定规律,即在一段较长时间(如一个月)内 $K_{\text{当}}$ 可看作常数而便于确定。这样,摩阻系数就是 $K_{\text{当}}、Q、P_H、P_K$ 的函数。为此,用已有实测值寻找 $\lambda=f(Q, P_H, P_K, \epsilon_{\text{当}})$ 的具体表达式,然后推广应用到管道将来某一时期。

参照用于紊流三个区摩阻系数综合公式,考虑各参数对摩阻系数的不同影响,选择了下面几种模型形式:

$$\lambda = \left[\frac{A}{Re} + B \frac{P_H^2 - P_K^2}{D \cdot \Delta} \right]^C \quad (1)$$

$$\lambda = \lambda_0(1 + B \cdot KP) \quad (2)$$

$$\lambda = \lambda_0(1 + A/Q + B \cdot KP) \quad (3)$$

$$\lambda = \lambda_0(1 + A/Q^2 + B \cdot KP) \quad (4)$$

式中 $A、B、C$ ——模拟参数;

$$\lambda_0 = 0.254 \times (K_{\text{当}}/D)^{1/3};$$

$$KP = \frac{P_H^2 - P_K^2 - 0.18P_H \cdot P_K}{(P_H + P_K)/2}$$

$K_{\text{当}}$ ——科氏公式反算的一月内当量绝对粗糙度的算术平均值。

对以上几种形式用某一个月的实测数据,按最小二乘法原理确定模拟参数,然后推广计算其它月份的摩阻系数和输量,比较确定模型形式。

3 输气公式及其验证

通过前面的工作,我们提到了两条管道的摩阻系数计算公式:

净化气管道

$$\lambda = 0.254(0.0072/D)^{1/3}$$

原料气管道

$$\lambda = 0.254 \left(\frac{K_{\text{当}}}{D} \right)^{1/3} \cdot \left(1 - \frac{109709.4}{Q} + 7.015 \times 10^{-3} \times KP \right)$$

将摩阻系数计算公式代入输气基本公

式:

$$Q = [(P_H^2 - P_K^2) \cdot D^5 / (\Delta \cdot Z \cdot T \cdot L \cdot \lambda)]^{1/2}$$

就可得到适合两条管道水力计算公式。

其中 $P_H、P_K$ ——管道起终点压力,MPa;

Q ——输气量, m^3/d ;

D ——管道内径, cm ;

L ——管道长度, km ;

T ——输气平均温度, K ;

Δ ——天然气的相对密度;

Z ——天然气压缩性系数。

3.1 回归方程显著性检验^[2]

$$L_{\lambda\lambda}' = \sum_{i=1}^N (\lambda_i - \bar{\lambda})^2$$

$$U_0' = \sum_{i=1}^N (\hat{\lambda}_i - \bar{\lambda})^2$$

$$Q_0' = L_{\lambda\lambda}' - U_0'$$

对于原料气管道,取 $\alpha=0.01$,查 F 分布得: $F_{0.01}(2, 27) = 5.49$

$$\hat{F} = \frac{U_0'/m}{Q_0'/(n-m-1)}$$

$$\hat{F} = 5.681 > 5.49$$

可见回归方程高度显著。

其复相关系数 $R_0 = \sqrt{\frac{U_0'}{L_{\lambda\lambda}'}}$

得 $R_0 = 0.787$

取 $\alpha=0.05$,查得 $R_{0.05}(28) = 0.361$

即 $R_0 > R_{0.05}(28)$

可见线性关系是很强的。

3.2 公式的具体应用

对于净化气管道,将公式应用于其它运行周期的 13 个月,计算结果表明:无论是清管后不久,还是下一次清管前夕,计算值与实测值相对误差小于 5%。

对于原料气管道,将某一运行周期拟合出的输气公式(包括 $K_{\text{当}}$ 取值规律)应用到其它两个运行周期,计算值与实测值吻合较好。

地上不保温成品油管道 冰堵的实验研究

王为民 申龙涉 王树立 吴明

抚顺石油学院(辽宁省抚顺市 113001)

提 要 在冬季的寒冷地区进行成品油管道输送时,由于多种原因存在于油中的水会在管内壁上结成冰,严重时会造成冰堵,影响输送。为此对冰堵问题进行了实验研究,探讨了成品油管输中的结冰机理,并提出了防冰堵的措施。

主题词 长输管道 冰堵 成品油 输送 研究

随着我国石油工业的发展,用铁路运输成品油已不再适应形势的需要,成品油的管道输送将不可避免地提到议事日程。然而,由于多数成品油的凝点都很低,即使在冬季寒冷地区也不需要采用加热输送的方式,更没有必要对管道进行保温。但是,由于成品油在进入管道前有可能脱不净水,或者有一部分以乳化状态存在的水分,会在油品输送过程中分离出来,当环境温度较低时,这部分水就会在管道内壁结冰。严重时会造成管道的局部冰堵,导致全线运行停止。我国现已建成的成品油管道中,曾多次发生过类似事故。为

避免冰堵事故的发生和寻求解决该问题的具体措施,在抚顺成品油南输指挥部的大力支持下,展开了实验研究。通过室外500多米输油管道系统的多次实验及对实验数据的整理分析,摸索到了一些结冰规律。本文仅就长距离地上不保温成品油管道的结冰机理和结冰过程等问题进行讨论。

1 实验工艺流程及主要设备

实验系统是在实验室原有的泵到泵工艺流程的基础上经改装后形成。其流程如图1所示。

4 结 论

通过前面分析,我们可以得出如下结论:

(1)对于这两条管道,采用威莫斯公式计算并不保守。对于净化气管道,只需将威莫斯公式中 $K_{\text{当}} = 0.0508 \text{ mm}$ 换成 $K_{\text{当}} = 0.072 \text{ mm}$ 即可进行有关计算;对于原料气管道,威莫斯公式计算值偏大更多,需要对摩阻系数计算公式进行修正。

(2)根据拟合分析我们知道,用于拟合公式参数的那个月的运行数据(实测值)有一定变化幅度,推广应用到其它运行周期,计算值与实测值吻合较好。

参 考 文 献

- 1 阿尔特舒尔. 水力摩阻. 1982, 32
- 2 朱燕堂主编. 应用概率统计方法. 西北工业大学出版社, 1986, 4

(收稿日期:1993-01-29)