

输气管道工艺计算

第一节 管内气体流动基础方程

1.1 气体管流基础方程

气体在管内流动时，沿着气体流动方向，压力下降，密度降低，流速不停增大，温度同时也在改变。在不稳定流动情况下，这些改变更为复杂。描述气体管流状态参数有四个：压力 P 、密度 ρ 、流速 v 和温度 T 。为求解这些参数有四个基础方程：连续性方程、运动方程、能量方程和气体状态方程。

1、连续性方程

连续性方程基础是质量守恒定律。科学实践证明，在运动速度低于光速系统中，质量不能被发明也不能被消亡，不管经过什么运动形式，其总质量是不变。气体在管内流动过程中，系统质量保持守恒。

对于稳定流，常见连续性方程为：

$$\rho v A = \text{常数} \quad \text{或} \quad \rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

2、运动方程

运动方程基础是牛顿第二定律。也就是控制体内流体动量改变等于作用该流体上全部力冲量之和：即

$$d(mv) = \sum N_i d\tau$$

式中： $d(mv)$ —— 动量改变量；

$\sum N_i d\tau$ —— 流体方向上力冲量

稳定流常见运动方程为：

$$\frac{dP}{dx} + \rho v \frac{dv}{dx} + g\rho \frac{ds}{dx} + \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2} \rho = 0$$

3、能量方程

能量方程基础是能量守恒定律。依据能量守恒定律，能量既不能被发明，也不能被消亡，而是从一个形式转变为另一个形式，在转换中能量总量保持不变。对任何系统而言，各项能量之间平衡关系通常可表示为：

进入系统能量 - 离开系统能量 = 系统储存能改变。

稳定流常见能量方程为：

$$\left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p \frac{dT}{dx} + \left(\frac{\partial h}{\partial p}\right)_T \frac{dp}{dx} + v \frac{dv}{dx} + g \frac{ds}{dx} = -\frac{dQ}{dx}$$

4、气体状态方程

$$PV = ZRT$$

$$P = \rho ZRT$$

由连续性方程、运动方程、能量方程、气体状态方程组成方程组能够用来求解管道中任一断面和任一时间气体流动参数压力 P、密度 ρ 、流速 v 和温度 T 因为这是一组非线性偏微分方程通常情况下没有解析解，所以只能在一定条件下以简化、线性化和数值化方法求得近似解。

1. 2 稳定流动气体管流基础方程

为了简化上述方程组，假设：

- (1) 气体在管道中流动过程为等温流动，即温度不变，T 为常数。
- (2) 气体在管道中作稳定流动，即在管道任一截面上，气体质量流量 M 为一常数，也就是说气体质量流量不随时间和距离改变而改变， $M = \rho v A = \text{常数}$ 。

等温流动则认为温度 T 已知，实际上是采取某个平均温度，这么就能够在方程组中除去能量方程，使求解简化；稳定流动则可从运动方程和连续性方程中舍去随时间改变各项。

这么假设和简化对输气管，尤其是长距离输气管能够认为是基础相符。

稳定流动运动方程：

$$\frac{dP}{dx} + \rho v \frac{dv}{dx} + g \rho \frac{ds}{dx} + \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2} \rho = 0$$

两边乘以 dx，并用 $\rho \frac{dv^2}{2}$ 替换 $\rho v dv^2$ 整理后得：

$$-dP = \rho \lambda \frac{dx}{D} \frac{v^2}{2} + \rho g ds + \rho \frac{dv^2}{2}$$

$$\text{或：} \quad -\frac{dP}{\rho} = \lambda \frac{dx}{D} \frac{v^2}{2} + g ds + \frac{dv^2}{2} \quad (2-1)$$

式中： P ——压力，Pa；

ρ ——气体得密度，kg/m³；

λ ——水力摩阻系数；

x ——管道得轴向长度, m;

D ——管道内径, m;

v ——管道内气体流速, m/s;

g ——重力加速度, m/s²;

s ——高程, m。

公式(2-1) 说明管道得压降由三部分组成: 消耗于摩阻得压降, 气体上升克服高差压降和流速增大引发压降。该式即为稳定气体管流基础方程, 也是推导输气管水力计算基础公式基础。

第二节 地形平坦地域输气管道基础公式

所谓地形平坦地域输气管道, 是指地形起伏高差 dS 小于 200m 管道。这种输气管道克服高差而消耗压降所占比重很小, 但还不足以影响计算正确性, 故可忽略不计, 可认为 $ds = 0$ 。所以这种管道可视为水平输气管道,

压力 P 、密度 ρ 、流速 v 三个变量, ρ 、 v 是随压力 P 而改变变量, 必需借助连续性方程和气体状态方程共同求解。

整理化简最终得:

$$M = \sqrt{\frac{(P_Q^2 - P_Z^2)A^2}{ZRT\left(\lambda \frac{L}{D} + 2\ln \frac{P_Q}{P_Z}\right)}} = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{(P_Q^2 - P_Z^2)D^4}{ZRT\left(\lambda \frac{L}{D} + 2\ln \frac{P_Q}{P_Z}\right)}}$$

式中: M ——天然气质量流量, kg/s;

P_Q ——输气管道计算段起点压力或上一压缩机站出站压力, Mpa;

P_Z ——输气管道计算段终点压力或下一压缩机站进站压力, Mpa;

D ——管道内径, m;

λ ——水力摩阻系数, 无因次;

Z ——天然气压缩系数, 无因次;

R ——天然气气体常数, m²/(s² · K);

T ——天然气平均温度, K;

L ——输气管道计算段长度或压缩机站站间距, m;

A ——输气管道断面面积, m²。

公式(2-5) 中 $2\ln \frac{P_Q}{P_Z}$

项表示输气管道沿线动能（速度）增加对流量 M 影响。下面我们以实例来说明这一项影响。

【例 2-1】有一条干线输气管道， $L=100\text{km}$ ， $D=1\text{m}$ ， $\lambda=0.01$ ， $P_Q=5\text{MPa}$ ， $P_Z=2.5\text{MPa}$ 。试说明 $2\ln\frac{P_Q}{P_Z}$ 项在公式（2-5）中影响。

$$\text{解： } \lambda \frac{L}{D} = 0.01 \times \frac{100 \times 1000}{1} = 1000$$

$$2\ln\frac{P_Q}{P_Z} = 2 \times \ln\frac{5}{2.5} = 1.386$$

两项数值相比，相差很大，这说明对于压降小、距离长输气管道，能够不考虑 $2\ln\frac{P_Q}{P_Z}$ 这一项影响。但对于距离短、压降大输气管道必需考虑这一项影响，这可用下面实例来说明。

【例 2-2】有一段长 1000m、直径 0.5m 输气管道，其起点压力 $P_Q=5\text{MPa}$ ，终点压力 $P_Z=0.25\text{MPa}$ ， $\lambda=0.01$ 。试说明 $2\ln\frac{P_Q}{P_Z}$ 项在公式（2-5）中影响。

$$\text{解： } \lambda \frac{L}{D} = 0.01 \times \frac{1000}{0.5} = 20$$

$$2\ln\frac{P_Q}{P_Z} = 2 \times \ln\frac{5}{0.25} = 6$$

由上例可看出，两项数值相比，相差不大，这说明必需考虑输气管道沿线动能增加对流量影响。

所以，对于平坦地域长距离输气管道，可简化为

$$M = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{(P_Q^2 - P_Z^2) D^5}{\lambda Z R T L}}$$

公式(2-6)是平坦地域输气管道质量流量公式。但在工程设计和生产上通常采取是在标准情况（ $P_0=1.1325 \times 10^5\text{Pa}$ ， $T_0=293.15\text{K}$ ）下体积流量。所以，必需把质量流量 M 换算成标准情况下体积流量。

得：

$$Q = \frac{\pi}{4} \frac{\sqrt{R_a T_0}}{P_0} \sqrt{\frac{(P_Q^2 - P_Z^2) D^5}{\lambda Z \Delta T L}}$$

设：

$$C = \frac{\pi}{4} \frac{\sqrt{R_a T_0}}{P_0}$$

$$\text{则: } Q = C \sqrt{\frac{(P_0^2 - P_z^2) D^5}{\lambda Z \Delta T L}} \quad)$$

式中 Q——天然气在标准情况下体积流量，标 m³/s；

C——常数，数值随各参数所得单位而定；

Ra——空气气体常数，m²/(s²·K)；

Δ——天然气相对密度，无因次。

上式是以体积流量表示水平输气管道基础公式。公式中常数 C 数值随所采取单位而定，

比如用国际单位制：P₀=1.1325 x 10⁵Pa，T₀=293.15K，Ra=287.1 m²/(s²·K)，则

$$C = \frac{3.14}{4} \cdot \frac{293}{101.3 \times 10^3} \sqrt{287.1} = 0.0384(m^2 \cdot s \cdot \sqrt{K} / kg)$$

如采取其它单位时，C 数值列于表 2—1 中。

表 2—1 常数 C 值

| 参 数 单 位 | | | | C |
|------------------------|------|------|--------------------|------------------------|
| 压力 P | 长度 L | 管径 D | 流量 Q | |
| Pa (N/m ²) | m | m | m ³ /s | 0.03848 |
| kgf/m ² | m | m | m ³ /s | 0.337 |
| kgf/cm ² | km | cm | m ³ /d | 103.15 |
| kgf/c m ² | km | mm | Mm ³ /d | 0.326×10 ⁻⁶ |
| 10 ⁵ Pa | km | mm | Mm ³ /d | 0.332×10 ⁻⁶ |

第三节 地形起伏地域输气管道基础公式

通常对高差不超出 100~200m、在地形比较平坦地域输气管道全部可按上一节推导公式 (2—11) 进行水力计算，这是因为天然气密度小，高差所引发能量损失也很小。但在地形起伏、高差较大情况下，不计高差和地形影响，会造成很大误差，尤其当输气管道压力较高时，误差更大 (ΔQ 可达 ±10%)。比如，当压力为 7.5MPa 时，ρ_{7.5} 近似为 52.5kg/m³，高差 1000m，就相当于 0.525MPa 压力，这么压力就不能忽略。所以，通常在输气管道线路上出现有比管路起点高或低 200m 点，就必需在输气管道水力计算中考虑高差和地形影响。这么输气管能够看作是不一样坡度直管段联接而成，每一直管段始点和终点就是线路上地形起伏较大特征点，特征点之间微小起伏则能够忽略，图 2—1 所表示。

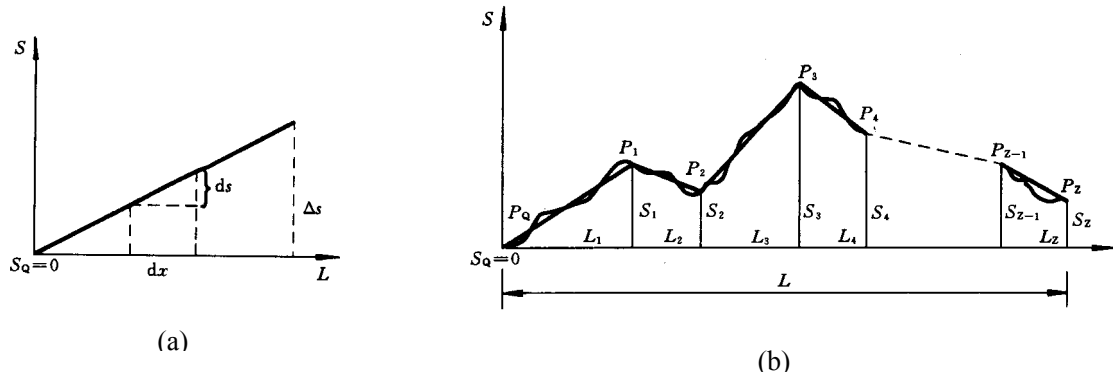


图 2-1 地形起伏输气管计算简图

(a) 同一坡度直管段

(b) 地形起伏输气管

图 2-1 (a) 表示一条坡度均匀向上输气管道，其起点高程 $S_Q=0$ ，终点和起点高程为 ΔS 。在该输气管道上取一小段 dx ，其高差用 ds 来表示。(b) 所表示输气管，起点压力为 P_Q ，终点压力为 P_Z ，中间各点压力对应为 P_1 、 P_1 、 P_2 、 P_3 …… P_{Z-1} 、距离为 L_1 、 L_2 、 L_3 …… L_Z ，各点高程为 S_1 、 S_2 、 S_3 …… S_Z 。

整理合并得：

$$M = \sqrt{\frac{P_Q^2 - P_Z^2(1 + aS_Z)}{bL \left[1 + \frac{a}{2L} \sum_{i=1}^Z (S_i + S_{i-1})L_i \right]}}$$

化为工程标准下体积流量，则：

$$Q = C \sqrt{\frac{[P_Q^2 - P_Z^2(1 + aS_Z)]D^5}{\lambda Z \Delta T L \left[1 + \frac{a}{2L} \sum_{i=1}^Z (S_i + S_{i-1})L_i \right]}}$$

式中： C ——同水平输气管，其值可查表；

S_Z ——管路终点和起点高程差；

S_i ——任意一点相对起点得高程；

L_i ——任一直管段长度。

公式即所谓地形起伏地域输气管道基础公式。

和水平输气管公式比较可看出：在公式分子上多了一项 $(1 + aS_Z)$ ，它表示输气管道终点和起点高差对流量影响， S_Z 越大，则 Q 越小；反之亦然；在分母上多了一项

$1 + \frac{a}{2L} \sum_{i=1}^z (S_i + S_{i-1})L_i$ ，它表示输气管道沿线地形对流量影响。由此可见，不仅终点和起

点高差影响输气管道能量损失，而且沿线地形也影响输气管道能量损失，这种对输气管道特有现象可解释为：因为输气管道沿线压力改变，气体密度也跟随改变，压力高，密度大；压力低，密度小。所以，消耗于克服上坡管段能量损失不能被在下坡管段中气体取得位能所赔偿。

从几何意义上来讲，公式中 $\frac{1}{2} \sum (S_i + S_{i-1})L_i$ 这一项就是经过线路起点 S_0 所画水平线和线路纵断面线所形成几何面积之和，即

$$A = \frac{1}{2} \sum (S_i + S_{i-1})L_i$$

把上式代入 (2-15) 得：

$$Q = C \sqrt{\frac{[P_Q^2 - P_Z^2(1 + aS_z)]D^5}{\lambda Z \Delta T L \left[1 + \frac{a}{L} A\right]}}$$

线路纵断面线和从起点开始所画水平线之间所包代数面积和。纵断面线高于水平线地方，面积取正值，低和水平线面积取负值。由式可知，当其它条件相同时，面积代数和小，则输气能力越大。图 2-2 所表示，输气管 1-2-3-4 输气能力小于长度一样、管径一样输气管 1-5，这不仅是因为 $S_4 > S_5$ ，而且是因为 $F_{1-5} = 0$ ，而 $F_{1-2-3-4} > 0$ 缘故。

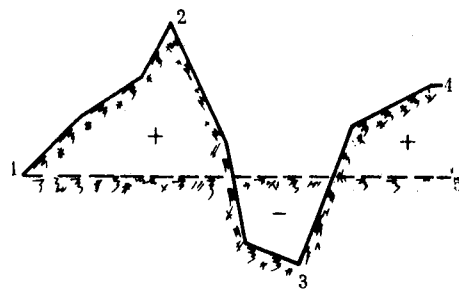


图 2-2 线路纵断面特征示意图

图 2-3 是含有相同起、终点高程且距离相等多个线路方案，总面积代数和 A 值最小输气管道，将有最大输气能力图 2-3 中 III 方案。若起、终点高程相同，则向下铺设管道就比向上铺设更有更大输气能力。

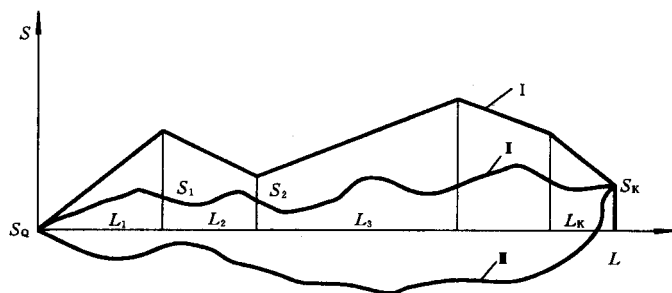


图 2-3 沿线不一样高程线路方案

I-I 方案沿线高程

II-II 方案沿线高程

III-III 方案沿线高程

第四节 水力摩阻系数和常见输气公式

4.1 水力摩阻系数

前两节推导了地形平坦地域、地形起伏地域输气管道基础公式。但在工程计算中却有很多不一样形式计算公式，这些公式大全部是从基础公式导出来，只是代入了不一样水力摩阻系数 λ 计算公式。所以，输气管道计算公式选得正确是否，还决定于水力摩阻系数 λ 计算公式选择是否正确。

水力摩阻系数 λ 和气体在管道中流态和管内壁粗糙度相关。

1、雷诺数

输气管道雷诺数可按以下公式计算

$$R_e = \frac{vD}{\nu} = \frac{Q}{A} \cdot \frac{D}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D^2} \cdot \frac{D}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} = \frac{4Q\Delta\rho_a}{\pi D\mu} = \frac{4M}{\pi D\mu} \quad (2-18)$$

式中 v ——气体流速，m/s；

ν ——气体运动粘度；

μ ——气体动力粘度；

ρ_a ——空气密度（在标准情况下： $\rho_a = 1.206 \text{kg/m}^3$ ）；

Δ ——天然气相对密度；

D ——管道内径；

Q ——输气管道流量；

M ——输气管道质量流量，kg/s。

如流量 Q 单位取 m^3/s ，管内径 D 取 m ，动力粘度 μ 取 $(\text{N}\cdot\text{s})/\text{m}^2$ 。由式 (2-18) 得：

$$R_e = 1.536 \frac{Q\Delta}{D\mu}$$

2、流态划分和边界雷诺数

流体在管道中流态划分为两大类：层流和紊流。

(1) $Re <$ ，流态为层流。层流特点是靠近管壁处有边界层存在，而且边界层很厚，完全盖住了管壁上粗糙凸起，流体质点平行于管轴作有规则运动。

(2) $Re > 3000$ ，流态为紊流。紊流又分为三个区：

1) $3000 < Re < R_{e1}$, 光滑区: 靠近管壁处有较薄层流边界层存在, 且能盖住管壁上粗糙凸起。 R_{e1} 为光滑区—混合摩擦区边界雷诺数, 或称第一边界雷诺数:

$$R_{e1} = \frac{59.7}{\left(\frac{2k}{D}\right)^{3/7}} \quad (2-19)$$

式中 k ——管壁当量粗糙度 (绝对粗糙度平均值), mm。

2) $R_{e1} < Re < R_{e2}$, 混合摩擦区: 管壁上部分粗糙凸起露出层流边界层。 R_{e2} 为混合摩擦区—阻力平方区边界雷诺数, 或第二边界雷诺数:

$$R_{e2} = 11 \left(\frac{2k}{D}\right)^{-1.5} \quad (2-20)$$

3) $Re > R_{e2}$, 阻力平方区: 层流边界层很薄, 管壁上粗糙凸起几乎全部露出层流边界层。

城市及居民区低压输气管道可能处于层流或紊流光滑区外, 中压和高压输气管道流态关键处于混合摩擦区和阻力平方区, 对干线输气管道来说, 基本上全部处于阻力平方区, 不满负荷时在混合摩擦区。所以, 关键是要知道从混合摩擦区进入阻力平方区边界雷诺数。相关这一边界雷诺数计算公式很多, 而且相互之间差异很大。式 (2-20) 是前苏联在工程计算中所采取确实定输气管道第二边界雷诺数公式。

如已知直径 D 和流量 Q , 可利用图 2-4 来确定干线输气管道中气体流态。

3、水力系数 λ 计算公式

水力摩阻对于气体和对于液体在本质上是一样, 所以计算水力摩阻系数 λ 公式对于输气管道和对于输油管在标准上没有什么区分。

(1) 光滑区

$$\lambda = \frac{0.1844}{R_e^{0.2}} \quad (2-21)$$

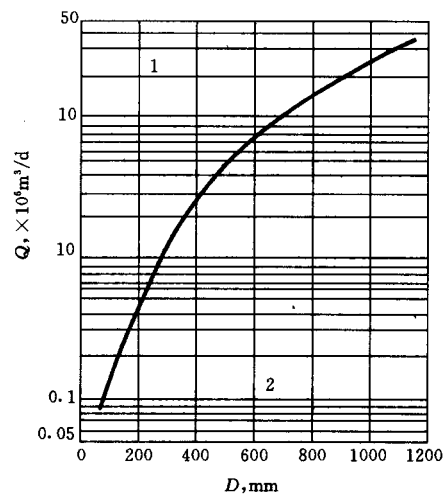


图 2-4 天然气在干线输气管道中流态

1—阻力平方区 2—过渡区

(2) 混合摩擦区

$$\lambda=0.067\left(\frac{158}{R_e}+\frac{2k}{D}\right)^{0.2} \quad (2-22)$$

$$\text{或: } \lambda=0.11\left(\frac{68}{R_e}+\frac{k}{D}\right)^{0.25}$$

(3) 阻力平方区

因为长距离输气管道中气体流态大多在阻力平方区，所以各国研究人员对输气管道 λ 计算公式研究也关键集中在这一区域。下面介绍五个在工程计算上曾广泛采取过 λ 计算公式。

1) 威莫斯 (Weymouth) 公式

$$\lambda=\frac{0.1844}{R_e^{0.2}} \quad (2-23)$$

式中管路内径 D 单位为 m 。

这一公式是威莫斯于 19 从生产实践中归纳出来，已不符合现代情况。当初情况是天然气管路输送还只是开始发展，其特点是管径小、输量小、天然气净化程度低，且制管技术差，管内壁表面很不光滑。威莫斯取管壁绝对粗糙度 $k=0.0508mm$ （现在美国取 $k=0.02mm$ 、前苏联取 $k=0.03mm$ ），并认为是一常数。这些情况比较符合输气管道发展早期条件，加之这个公式比较简单，所以，该公式适用于管径小、输量不大、净化程度较差矿场集气管网，仍有足够正确性。

2) 潘汉德尔 (Panhandle) A 式

$$\lambda=\frac{1}{11.81R_e^{0.1461}} \quad (2-24)$$

该式适用于管径从 168.3mm 到 610mm，雷诺数范围从 5×10^6 到 14×10^6 天然气管道。

3) 潘汉德尔 (Panhandle) B 式

$$\lambda=\frac{1}{68.03R_e^{0.0392}} \quad (2-25)$$

该式适用于管径大于 610mm 天然气管道。

从式 (2-24)、(2-25) 能够看出，潘汉德尔把输气钢管看作“光滑管”，所以水力摩阻系数仅表示为和雷诺数 Re 函数，这可了解为钢管内壁表面很光滑（现在在美国取管壁粗糙度 $k=0.02mm$ ），粗糙度很小，所以可不考虑其影响。

4)前苏天然气研究所早期公式

$$\lambda = \frac{0.383}{\left(\frac{D}{2k}\right)^{0.4}} \quad (2-26)$$

前苏联早期(20世纪50~60年代)在输气管道工艺计算中取管内壁粗糙度 $k=0.04\text{mm}$, 把此值代入上式, 得:

$$\lambda = \frac{0.0555}{D^{0.4}}$$

公式中 D 单位为 mm 。

5)前苏天然气研究所近期公式

$$\lambda = 0.067 \left(\frac{2k}{D}\right)^{0.2} \quad (2-27)$$

对于新设计输气管道, 前苏联取 $k=0.03\text{mm}$, 将此值代入上式, 得:

$$\lambda = \frac{0.03817}{D^{0.2}}$$

公式中 D 单位为 mm 。

(4) 适用于紊流三个区公式

柯列勃洛克公式

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{k}{3.7} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{\lambda}} \right) \quad (2-28)$$

4、局部摩阻

因为干线输气管道中气体流态通常总是处于阻力平方区, 所以, 局部阻力对输气管道流量影响较大。为此, 必需考虑因为焊缝、闸门、弯头、三通、孔板等引发局部摩阻。

在实际计算中, 通常是使水力摩阻系数 λ 增加 5% 作为对局部摩阻考虑。

4. 2 常见输气管道流量计算公式

1、威莫斯公式

$$\text{水平输气管: } Q = C_w D^{8/3} \left(\frac{P_Q^2 - P_Z^2}{Z \Delta T L} \right)^{0.5} \quad (2-29)$$

$$\text{地形起伏输气管: } Q = C_w D^{8/3} \left(\frac{P_Q^2 - P_Z^2(1 + aS_z)}{Z\Delta TL \left[1 + \frac{a}{2L} \sum_{i=1}^z (S_i + S_{i-1})L_i \right]} \right)^{0.5} \quad (2-30)$$

2、潘汉德尔修正公式

$$\text{水平输气管: } Q = C_p ED^{2.53} \left(\frac{P_Q^2 - P_Z^2}{Z\Delta^{0.961} TL} \right)^{0.51} \quad (2-31)$$

$$\text{地形起伏输气管: } Q = C_p ED^{2.53} \left(\frac{P_Q^2 - P_Z^2(1 + aS_z)}{Z\Delta^{0.961} TL \left[1 + \frac{a}{2L} \sum_{i=1}^z (S_i + S_{i-1})L_i \right]} \right)^{0.51} \quad (2-32)$$

3、前苏联早期公式:

$$\text{水平输气管: } Q = C_{sz} D^{2.7} \left(\frac{P_Q^2 - P_Z^2}{Z\Delta TL} \right)^{0.5} \quad (2-33)$$

$$\text{地形起伏输气管: } Q = C_{sz} D^{2.7} \left(\frac{P_Q^2 - P_Z^2(1 + aS_z)}{Z\Delta TL \left[1 + \frac{a}{2L} \sum_{i=1}^z (S_i + S_{i-1})L_i \right]} \right)^{0.5} \quad (2-34)$$

4、前苏联近期公式:

$$\text{水平输气管: } Q = C_{sj} a \varphi ED^{2.6} \left(\frac{P_Q^2 - P_Z^2}{Z\Delta TL} \right)^{0.5} \quad (2-35)$$

$$\text{地形起伏输气管: } Q = C_{sj} a \varphi ED^{2.6} \left(\frac{P_Q^2 - P_Z^2(1 + aS_z)}{Z\Delta TL \left[1 + \frac{a}{2L} \sum_{i=1}^z (S_i + S_{i-1})L_i \right]} \right)^{0.5} \quad (2-36)$$

上述公式中, C_w 、 C_p 、 C_{sz} 、 C_{sj} 值, 随公式中各参数单位不一样而不一样, 具体数值见表 2-2。

表 2-2 系数 C_p 、 C_w 和 C_{sj} 值

| 参 数 单 位 | | | | 系 数 值 | | | |
|-----------------------|------|------|-------------------|--------|---------|----------|----------|
| 压力 P | 长度 L | 管径 D | 流量 Q | C_w | C_p | C_{sz} | C_{sj} |
| N/m ² (Pa) | m | m | m ³ /s | 0.3967 | 0.3931 | 0.4102 | 0.3930 |
| Kgf/m ² | m | m | m ³ /s | 3.8870 | 4.0315 | 4.0191 | 3.8502 |
| Kgf/cm ² | km | cm | m ³ /d | 493.47 | 1077.58 | 437.5637 | 664.3641 |

| | | | | | | | |
|---------------------|----|----|--------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Kgf/cm ² | km | mm | Mm ³ /d | 1.063×10^{-6} | 4.191×10^{-6} | 0.873×10^{-6} | 1.6686×10^{-6} |
| 10 ⁵ Pa | km | mm | Mm ³ /d | 1.0825×10^{-6} | 4.2697×10^{-6} | 0.889×10^{-6} | 1.6994×10^{-6} |
| MPa | km | cm | m ³ /d | 5033 | 11522 | 4464.2 | 6775.6 |

式(2-35)、(2-36)中 a 为流态修正系数, 当流态处于阻力平方区时, a=1, 如偏离阻力平方区, a 按下式计算

$$a = \frac{1}{\left(1 + 2.92 \frac{D^2}{Q}\right)^{0.1}}$$

式中 D——管道内径, m;

Q——输气量, Mm³/d。

φ 为管道接口垫环修正系数。无垫环, $\varphi = 1$; 垫环间距 12m, $\varphi = 0.975$; 垫环间距 6m, $\varphi = 0.950$

在美国和前苏联近期公式中, 全部引入了输气管道效率系数 E, 这是出于对下述情况考虑: 当日然气中含有水分、尤其是当含有硫化氢时(会造成内腐蚀), 管壁粗糙度将逐步增加, 使水力摩阻系数增大; 另外, 在输气管道沿线部分低洼处, 凝析液和水分很轻易积聚, 这会使水力摩阻大大增加; 水化物形成对水力摩阻也有极大影响。因为以上这些原因, 使输气管道效率随时间不停地降低。为了说明运行中输气管道工作情况、管路脏度, 在生产上就引入了输气管道效率系数 E, 用以表示输气管道流量被降低程度或输气管道效率, 计算公式为:

$$E = \frac{Q_s}{Q} = \sqrt{\frac{\lambda_s}{\lambda}}$$

式中 Q_s ——输气管道实际流量;

Q——输气管道设计流量;

λ_s ——实测水力摩阻系数;

λ ——设计中采取水力摩阻系数。

输气管道效率系数 E 通常小于 1, E 越小, 表示输气管道越脏, 管内沉积物越多, 流量也就越小。所以, 必需定时测定 E 值, 以确定是否需要采取对应方法, 如发送清管球等, 以确保输气管道正常输量。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/795012022014011230>