

# 埋地油管的温度计算

范 椿

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

**摘要** 研究石油工程中埋地油管的温度, 利用对流传热理论, 给出了定量的计算方法。

**关键词** 对流传热, 埋地油管, 壁面温度

迄今为止在石油工程中对埋地油管温度计算都假定管壁是绝热的, 这样大大简化了计算。但实际上, 油管是向土地输出热量的, 并非绝热。这样的简化公式与壁面温度无关<sup>[1]</sup>。这在工程中也有不利的一面, 因实际测量不能测管道内部的油温, 而只能测出管壁的温度和第一加热站的出站介质温度以及第二加热站的进站介质温度<sup>[1]</sup>。文献[1]根据第一加热站出站介质温度和壁面温度相差 1.5°C~3.5°C 来定性的类推其他各测温点的介质温度。

本文利用流体对流传热的理论<sup>[2]</sup>, 将管道横截面的平均温度和管道壁面温度区分开, 考虑管道介质向管壁输送热量, 根据壁面温度分布计算出介质平均温度沿轴向的分布。

为简单起见我们只考虑具有充分发展的速度与温度剖面的圆管<sup>[2]</sup>。此处之速度分布已达到定常状态, 其平均速度  $U_m$  不随轴向坐标  $z$  而变化。采用混合平均流体温度  $T_m$  的对流传热系数  $h$  也不随  $z$  而变化。

由管道内  $dz$  段的能量平衡<sup>[3,4]</sup>可得如下方程式

$$\frac{dT_m}{dz} = -\frac{h}{\rho C_p U_m} \frac{4}{D} [T_m - T_w(z)] \quad (1)$$

其中  $\rho$  是流体密度,  $C_p$  是流体的比热,  $D$  是管道的直径,  $T_w(z)$  是壁面温度。

$$\text{令} \quad H = 4h / (\rho C_p U_m D) \quad (2)$$

壁面温度分布用指数曲线近似

$$T_w(z) = T_0 + \exp[\alpha(z_0 - z)] \quad (3)$$

其中  $T_0$  是当  $z = \infty$  时油温  $T_m(\infty)$ , 即土地温度。  $\alpha$ ,  $z_0$  分别是由第一、二加热站的出、进站壁面温度实测数据确定的待定参数。

将方程 (3) 代入方程 (1) 可得方程 (1) 的解为

$$T_m(z) = e^{-Hz} \left[ T_0 e^{Hz} + \frac{He^{\alpha z_0}}{H - \alpha} e^{(H - \alpha)z} + c \right] \quad (4)$$

将边界条件  $z = 0$  时,  $T_m = T_H$  代入 (4), 其中  $T_H$  是原油在第一个加热站的出站温度, 可确定出任意常数  $c$ , 再代入方程 (4) 可得

$$T_m = T_0 + \left( T_H - T_0 - \frac{He^{\alpha z_0}}{H - \alpha} \right) e^{-hz} + \frac{He^{\alpha z_0}}{H - \alpha} e^{-\alpha z} \quad (5)$$

如用在第一个加热站的出站壁面温度  $T_{wH}$ , 和第二个加热站的进站壁面温度  $T_{wK}$ , 作为

确定方程 (3) 中的待定参数  $\alpha$ ,  $z_0$ , 即如下边界条件

$$\left. \begin{array}{l} \text{当 } z = 0 \text{ 时,} \\ \text{当 } z = L \text{ 时,} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_W = T_{WH} \\ T_W = T_{WK} \end{array} \quad (6)$$

将 (6) 代入 (3) 可得

$$T_{WH} - T_0 = e^{\alpha z_0} \quad (7)$$

$$\alpha = (1/L) \ln[(T_{WH} - T_0)/(T_{WK} - T_0)] \quad (8)$$

将 (7), (8) 代入 (3) 可得

$$T_W(z) = T_0 + (T_{WH} - T_0)[(T_{WK} - T_0)/(T_{WH} - T_0)]^{z/L} \quad (9)$$

将方程 (7) 代入方程 (5) 可得

$$T_m(z) = (T_H - T_0)e^{-Hz} + \frac{H}{H - \alpha}(T_{WH} - T_0)(e^{-\alpha z} - e^{-Hz}) + T_0 \quad (10)$$

其中  $H$ ,  $\alpha$  分别有方程 (2), (8) 给出。

本文解决了文献[1]测量出管道壁温后无法计算出管道内的温度分布, 只能根据第一加热站出站介质温度和壁面温度定性类推管内介质的温度。本文则给出了一种定量的计算方法。首先根据量出的各点壁面温度, 用指数曲线方程 (3) 近似, 并由实测数据确定  $\alpha$  和  $z_0$ , 再根据方程 (5) 即可正确的 (工程范围内) 计算出各横截面处的平均温度。

### 参 考 文 献

- 1 罗塘湖. 原油流变学与输油工艺. 北京: 石油工业出版社, 1995. 143~152
- 2 凯斯, 克拉福特. 对流传热与传质. 陈熙, 翟殿春译. 北京: 科学出版社, 1986. 103~105
- 3 卓宁, 孙家庆. 工程对流换热. 北京: 机械工业出版社, 1982. 53
- 4 Sparrow EM, Patankar SV. *J Heat Transfer*, 1977, 99: 483~485