

其中: l_2 按强度条件计算的跨距 (米), w 管子扣除腐蚀余量及负偏差后的截面系数 (立方厘米), q 每米管道的重量 (千克/米), $[\sigma]$ 管材在设计温度下的许用应力 (牛/平方毫米), 截面系数可以用下面公示进行计算;

$$w = \frac{\pi d^3 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]}{32} \quad 2-2$$

$$q = 0.25\pi\rho_1(D^2 - d^2) + 0.25\pi d^2\rho_0 \quad 2-3$$

$$[\sigma_t] = k\Phi\sigma_s \quad 2-4$$

D 为管道的外径 (米), d 为管道的内径 (米)。 ρ_1 钢材密度, ρ_0 管道中油的密度, K 设计系数, ϕ 焊缝系数, σ_s 最低屈服强度。将公式 2-2、2-3、2-4 带入公式 2-1 中, 可得到

$$l_2 = 0.707 \sqrt{\frac{k\phi\sigma_s d^3 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]}{8[\rho_1(D^2 - d^2) + \rho_0 d^2]}} \quad 2-5$$

从公式可以得出, 管道最大悬空长度与设计系数、焊缝系数、钢管的材质、壁厚相关, 同时还与输送流体相关。

2.2. 刚度计算

按照强度计算的最大悬空长度还应该按照刚度进行校核, 以保证满足挠度变形的要求。刚度计算公式如下:

$$L_1 = 0.265 \sqrt[4]{\frac{EI}{q}} \quad 2-6$$

其中: L_1 由刚度条件决定的跨距 (米), E 管材在设计温度下的弹性模量 (牛/平方毫米), I 管子扣除腐蚀裕度及负偏差后的截面矩 (4 次方厘米), q 每米管道的重量 (千克/米)。截面矩 I 计算公式如下, D 为管道的外径 (米), d 为管道的内径 (米)。

$$I = \frac{\pi D^4 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]}{64} \quad 2-7$$

将 2-7 带入 2-6, 推导出刚度计算公式如下:

$$L_1 = 0.265 \sqrt[4]{\frac{ED^4 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]}{16[\rho_1(D^2 - d^2) + \rho_0 d^2]}} \quad 2-8$$

3. 实际案例计算

某输油管道 DN600 管段, 材质 L415M, 设计系数 0.6,

直缝焊管道系数 0.8, 最低屈服强度 415 兆帕, 外径 610 米, 内径 601.2 米, DN500 管段外径 508 米, 内径 495 米, 钢的密度 7.85×10^3 千克/立方米, 油的密度 0.8×10^3 千克/立方米。DN600 管道按照强度进行计算最大悬空长度 20.16 米, 刚度计算为 18.92 米, DN500 强度计算最大悬空长度为 19.14 米, 刚度计算为 17.49 米。

某机场输油管道外径 323.9 毫米, 内径 316.9 毫米, 壁厚 7 毫米, 材质 X56 最小屈服强度 386 兆帕, 设计系数为 0.72, 按照强度计算最大悬空长度为 15.77 米, 刚度计算结果为 14.89 米。

外径 323.9 毫米, 内径 317.5 毫米, 壁厚 6.4 毫米, 材质 X52 最小屈服强度 358 兆帕。按照强度计算最大悬空长度为 16.84 米, 刚度计算结果为 14.65 米。

4. 一般工业管道计算

4.1 强度计算

在简明管道支架计算及构造手册里给出了一般工业管道的计算公式, 如下:

$$L_{\max} = 2.24 \sqrt{\frac{1}{q} w \phi [\sigma]} \quad 4-1$$

其中 q 管道单位长度计算荷载 (牛/米), w 管道界面抗弯系数 (立方厘米), ϕ 焊缝系数, $[\sigma]$ 钢管热态许用应力 (牛/平方毫米)。管道单位长度计算荷载等于单位长度管道质量与管道中液体质量之和乘以重力加速度, 悬空管道处于静止状态, 不考虑风阻。

4.2 刚度计算

刚度计算校核, 按照以下公式进行:

$$L_{\max} = 0.19 \sqrt[3]{\frac{100}{q} E I_i} \quad 4-2$$

其中: q 管道单位长度计算荷载 (牛/米), E 在计算温度下钢材的弹性模量 (牛/平方毫米) I 管道截面惯性矩 (4 次方厘米) i_o 管道放水坡度, 取 0.005。

将上述四种不同规格类型的管道带入进行计算, 结果如下: DN600 管道按照强度进行计算最大悬空长度