

埋地管道弹性敷设竖向转角临界值的计算

张 箭 啸 *

(西安长庆科技工程有限责任公司)

张箭啸:埋地管道弹性敷设竖向转角临界值的计算,油气储运,2002,21(8) 15~17。

摘 要 对埋地油气管道弹性敷设计算公式中的竖向转角进行了分析,提出在曲率半径一定的条件下,存在一个临界值,对该临界值进行了求解,得出了简化计算公式。由于该临界值在分别用于油、气管道时存在较大差异,为此对两部规范中的两种计算管道曲率半径的公式进行了比较,根据钢结构梁的挠性原理,推导出了适用于所有埋地钢质管道弹性敷设竖向转角临界值的简化计算公式。运用该简化计算公式可以方便快捷地进行埋地管道的设计计算,计算结果满足工程要求。

主题词 埋地管道 弹性敷设 竖向转角 计算公式

一、前 言

除特殊地段外,油气集输管道都应采用埋地敷设方式,因为这种方式受气温变化影响很小,有利于

集输管道的平稳运行,同时埋地管道不影响交通和耕作,可避免意外损伤或遭受人为破坏,运行安全,维修管理方便。在绵延起伏的戈壁沙漠和沟壑纵横的黄土丘陵地区,弹性敷设是埋地管道改变线路走向的一种简便方式,既可以加快敷设施工进度,又可

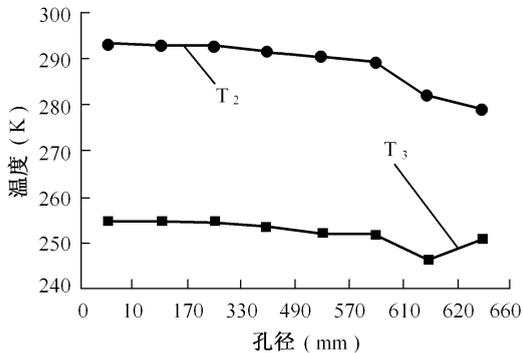


图 6 管内温度与孔径的关系

四、结 论

根据上述计算结果可知,当管道破坏的尺寸较小时,新模型与孔模型计算结果一样;当管道断裂时,与管道模型结果相近;当孔径大于小孔而小于管径时,则三种模型的计算结果差别较大,应采用新模型计算泄漏率。可以认为新模型是包含了孔模型和管道模型的一个通用模型,适用于任何孔径的计算。

由于该模型在求解泄漏率时,需要借助于计算机采用迭代法求解,比较复杂,因此,为简化计算,当孔径较小时,可采用孔模型近似计算泄漏率,当孔径较大接近于管径时,可采用断裂模型求解。

参 考 文 献

1. Levenspiel, O. et al. : Engineering Flow and Heat Exchange, Plenum Press, New York, 1986.
2. Woodward, J. L. and Mudan, K. S. : Liquid and gas discharge rates through holes in process vessels, Loss Prev. in Process. Ind., 1991, 4 (4) 161.
3. Crowl, D. A. and Louvar, J. F. : Chemical Process Safety, Fundamentals with Applications, Prentice-Hall, NJ, 1990.
4. Cochran, T. W. : Calculate pipeline flow of compressible fluids, Chem. Eng., 1996, 103(2) 115.
5. 傅秦生等: 热工基础, 西安交通大学出版社(西安), 1990.
6. Montiel, H. et al. : Mathematical modeling of accidental gas releases, J. Hazard. Mater., 1998 (59) 211.
7. 王福明 贺正辉等: 应用数值计算方法, 科学工业出版社(北京), 1992.

(收稿日期:2002-01-28)

编辑:刘春阳

以节约大量资金。

二、管道转角的两种计算公式

1、输气管道计算公式及其简化

现行国家标准 GB50251—94《输气管道工程设计规范》明确规定,输气管道在采用弹性敷设时,对曲率半径的要求是,“弹性敷设管道的曲率半径应满足管子强度要求,且不得小于钢管外直径的 1 000 倍。垂直面上弹性敷设管道的曲率半径尚应大于管子在自重作用下产生的挠度曲线的曲率。”,即应同时满足下列两式的要求:

$$R \geq 1\,000\,D \tag{1}$$

$$R \geq 3\,600 \sqrt[3]{(1 - \cos(\beta/2))D^2/\beta^3} \tag{2}$$

式中 R ——管道的曲率半径,m;

D ——钢管外径,m;

β ——管道的转角,(°)。

对于式(2), $R=F(\beta)$ 是减函数,当管道转角(β)大时,管道的曲率半径(R)值偏小,不能满足(R) $\geq 1\,000\,D$ 的要求;若管道转角(β)减小时,管道的曲率半径(R)增大,则可以满足(R) $\geq 1\,000\,D$ 的要求,其中存在一个能同时满足式(1)和式(2)条件的管道转角临界值(β_{max})。利用余弦函数的展开式来求解该临界值(β_{max}):

$$\cos\beta = 1 - \frac{\beta^2}{2!} + \frac{\beta^4}{4!} - \dots(-1)^N \frac{\beta^{2N}}{(2N)!} + \dots \tag{3}$$

式中 β ——弧度,rad。

令 β 为度(°),并取其近似值,则:

$$\cos(\beta/2) = 1 - (\pi\beta/360)^2/2 \tag{4}$$

将式(4)代入式(2),并与式(1)联解,得到:

$$\beta_{qmax} \cong 42.1D^{-0.5} \tag{5}$$

β_{qmax} 即为 GB50251—94《输气管道工程设计规范》中式(2)所得出的输气管道转角临界值(β_{max})。对于 $\phi 457$ 钢管, $\beta_{qmax} \cong 6.21^\circ$,但该式忽略了钢管壁厚的影响。

2、输油管道计算公式及其简化

文献[1]对管道弹性敷设条件的要求是,弹性弯曲的曲率半径不宜小于钢管外直径的 1 000 倍,并应满足管道强度的要求。按变形条件,弹性曲线的曲率半径应满足下式要求:

$$R = 683 \sqrt[3]{EJ(1 - \cos(\beta/2))/q\beta^3} \tag{6}$$

式中 R ——弹性曲线的曲率半径,m;

D ——钢管外直径,m;

β ——管道的转角,rad;

E ——钢材弹性模量,MPa;

J ——钢管截面惯性矩,m⁴;

q ——单位长度管子重力,N/m。

同样,利用余弦函数的展开式,并代入相关数值与式(1)联解,得到:

$$\beta_{ymax} \cong 0.081\,2[(D^2 + d^2)/D^3]^{0.5} \tag{7}$$

若 β_{max} 以度(°)计, D 、 d 以厘米计,则管道转角临界值(β_{ymax})的表达式为:

$$\beta_{ymax} \cong 46.5[(D^2 + d^2)/D^3]^{0.5} \tag{8}$$

β_{ymax} 即为文献[1]中式(6)所得出的输油管道转角临界值(β_{max})。例如,对于 $\phi 457 \times 9$ 钢管, $\beta_{ymax} \cong 9.54^\circ$,对于 $\phi 457 \times 11$ 钢管, $\beta_{ymax} \cong 9.50^\circ$,可见钢管壁厚对 β_{ymax} 有一定的影响。

三、两种公式计算结果的比较

对于埋地管道弹性敷设竖向转角临界值(β_{max}),GB50251—94《输气管道工程设计规范》与文献[1]中两种公式的计算结果存在较大的差异,见表 1。

表 1 两种公式计算结果的差异

钢管规格 (mm)	输气管道		输油管道		$\beta_{qmax}/\beta_{ymax}$
	β_{qmax} (°)	R (m)	β_{ymax} (°)	R (m)	
$\phi 219 \times 7$	9.00	218.71	13.61	219.01	0.662
$\phi 457 \times 9$	6.21	458.15	9.54	457.02	0.651
$\phi 457 \times 11$	6.21	458.15	9.50	458.30	0.654
$\phi 1\,016 \times 21$	4.18	1\,016.22	6.41	1\,016.58	0.652

从表 1 可以看出,两种简化计算公式的计算结果与原公式的计算结果相近,误差极小,完全可以满足设计计算的要求。但是两种公式的计算结果却有较大的差异,前者数值较小,而后者数值较大,其比值 $\beta_{qmax}/\beta_{ymax} \cong 0.655$ 。由此可以看出,两部规范虽然对弹性敷设条件的要求相同,即都是为了在管道敷设过程中使管道靠自重与管沟紧密接触,以防止管道悬空而增加管道的附加应力,从而保证管道的施工质量,但是对弹性敷设临界角的要求有所不同。在尊重原规范的前提下,应了解产生这种差异的原因,以权衡利弊,使设计更合理,更符合实际。

四、管道弹性敷设的数学模型及回归计算

1、数学模型

在埋地管道弹性敷设过程中,钢管依靠自重产生的弹性变形与管沟接触,除弯曲管段的曲率半径应满足管子的强度要求,且不得小于钢管外径的 1 000 倍以外,尚应使其弦高等于钢管由自重产生的挠度。因而以均布载荷的钢结构梁的挠度计算公式作为钢质管道弹性敷设临界变形条件的数学模型为:

$$R(1 - \cos(\beta/2)) = (x/384) \times qL^4/EJ \quad (9)$$

式中 $x/384$ ——挠度系数。

2、输气管道的回归计算

联解式(9)与式(2),得到:

$$x_q = 2.878 \ 3 \quad (10)$$

联解式(10)与式(9),得到:

$$\beta_{qmax} \cong 30.1[(D^2 + d^2)/D^3]^{0.5}$$

令钢管的厚径比 $(D-d)/2D=1/50$,则 $\beta_{qmax} \cong 42.1D^{-0.5}$,与上述推导相吻合。

3、输油管道的回归计算

联解式(9)与式(6),得到:

$$x_y = 1.205 \ 2 \quad (11)$$

联解式(11)与式(8),得到 $\beta_{ymax} \cong 46.5[(D^2 + d^2)/D^3]^{0.5}$,与上述推导相吻合。

令钢管的厚径比 $(D-d)/2D=1/50$,则 $\beta_{ymax} \cong 65.1D^{-0.5}$ 。显然,在条件相同的情况下,两种公式的计算结果不同,这是由于挠度系数取值不同所致。

五、挠度系数的取值

挠度系数的取值,也就是 x 值的取值范围,是影响输气管道和输油管道弹性敷设竖向转角临界值(β_{max})的主要因素,也即是影响所有埋地钢质管道弹性敷设竖向转角临界值(β_{max})的主要因素。为此,应对 x 值作进一步的探讨。在 GB50251—94《输气管道工程设计规范》中,挠度系数是取简支梁和两端嵌固梁挠度系数的平均值,在文献[1]中,挠度系数是取五跨连续梁的最大挠度系数值,对于这两者的理论推导都需要在管道敷设实践中加以验证,目前不宜妄下结论。但两种计算公式在油气集

输管道领域多年并行使用,可以说是经过了实践验证的, x 在 1.2~2.8 的范围内都是可行的,但 GB50251—94《输气管道工程设计规范》中的计算公式留有较大的余地。

在输油管道的具体设计中,既要继续执行原设计规范,也要结合具体情况,按照其纵向转角的变化趋势进行埋地管道纵断面图设计,并在输油、输气管道施工实践中不断加以完善,为埋地钢质管道弹性敷设断面图设计提供依据。目前,假设以 x_q 和 x_y 的中值,即 $x=2$ 进行计算,则可以使用以下计算公式:

$$\beta_{max} \cong 36.1[(D^2 + d^2)/D^3]^{0.5} \quad (12)$$

$$\beta_{max} \cong 50.5 D^{-0.5} \quad (13)$$

式(12)考虑了管道壁厚的影响,而式(13)则按管道厚径比为 1:50 作了进一步的简化,两者都可以满足工程设计的要求。

参 考 文 献

1. 中国石油天然气总公司编:《石油地面工程设计手册第四部分:原油长输管道工程设计》,1995。

(收稿日期:2001-12-22)

编辑:刘春阳

下 期 要 目

依靠科学技术发展我国

管道工业 潘家华

建立国家战略石油储备和企业商业

储备的建议 韩志国等

惠宁输油管道增输改造工艺的

优化设计 鲁文霞等

镇杭成品油管道投运及航煤质量

动态控制 俞仁明等

大港油田原油加剂输送

技术研究 魏玉莲等

管道水面穿越装置及穿越段

强度计算 蒲家宁等

顺序输送管道变流速下混油量的

计算方法 陈 峰等

液化石油气降压时的过热与

沸腾延迟 林文胜等

冻土区阴极保护用参比

电极 刘玲莉等

罐底板外壁阴极保护电位测量

方法的研究 熊信勇等