



CECS 15 : 90

中国工程建设标准化协会标准

埋地输油输气钢管道 结构设计规范

**SPECIFICATION OF BURIED OIL & GAS
STEEL PIPELINE STRUCTURE DESIGN**

WWW.SINOAEC.COM

中国建筑资讯网

**CHINA ASSOCIATION FOR ENGINEERING
CONSTRUCTION STANDARDIZATION**

中国工程建设标准化协会标准

埋地输油输气钢管道
结构设计规范

CECS 15 : 90

主编单位:中国石油天然气总公司管道局

批准单位:中国工程建设标准化协会

批准日期:1990年9月25日

1991 北 京

前 言

埋地输油输气钢管道的建设在国内已日益增多。为满足埋地输油输气钢管道的结构设计要求,确保质量,特制订本规范。本规范在参照国内外有关规范及我国油气管道建设实践经验的基础上,征求了有关专家及单位的意见,经全国管道结构标准技术委员会组织审定。

现批准《埋地输油输气钢管道结构设计规范》,编号为 **CECS 15:90**,并推荐给各工程建设设计单位使用。在使用过程中,请将意见及有关资料寄交北京月坛南街乙 2 号全国管道结构标准技术委员会(邮政编码:100045)。

中国工程建设标准化协会
1990 年 9 月 25 日

中国建筑资讯网

WWW.SINOPEC.COM

目 录

主要符号	(1)
第一章 总 则	(1)
第二章 基本规定	(2)
第三章 强度计算	(5)
第一节 管道强度计算	(5)
第二节 穿越公路及铁路	(7)
第三节 管件计算	(10)
第四章 管刚度及管道轴向稳定性验算	(14)
第五章 结构措施	(17)
附录一 荷尔系数	(18)
附录二 弯头的热胀弯矩	(19)
附录三 填土的变形模量 E_0 、粘聚力 C 和内摩擦角 ϕ	(21)
附录四 计算曲率半径	(22)
附录五 补偿器尺寸选择	(24)
附录六 锚固墩尺寸选择	(27)
附录七 本规范用词说明	(29)
附加说明	(30)

中国建筑资讯网
WWW.SINAEC.COM

主要符号

荷载和内力

- G_L ——机车重量；
- G_V ——汽车的单轮轮压；
- M ——弯头的热胀弯矩；
- N ——温差、内压产生的轴向力；
- N_A ——作用在锚固墩上的总推力；
- N_{cr} ——失稳临界力；
- P_f ——锚固墩的摩擦力；
- P_s ——锚固墩后背的被动土压力；
- W ——单位长度管道上的总竖向荷载；
- W_c ——地面汽车荷载传递到单位长度管道上的竖向压力；
- W_p ——单位长度管子和管内介质重量；
- W_r ——地面铁路荷载传递到单位长度管道上的竖向压力；
- W_s ——单位长度管道上的竖向土压力；
- P ——管通的设计内压；
- q_{cr} ——管道轴向位移时土的临界阻力；
- q_{crh} ——管道水平位移时土的临界阻力；
- q_{cru} ——管道朝上位移时土的临界阻力；
- q_{hc} ——管道水平位移时土的临界支承力；
- q_{hu} ——管道朝上位移时土的临界支承力；
- q_w ——单位长度管道上的压重物或锚栓拉力；
- $[\sigma]$ ——管道的许用应力；
- σ_b ——管材的强度极限；
- σ_{bm} ——三通主管的强度极限；

- σ_{ts} ——三通支管的强度极限；
 σ_c ——组合应力；
 σ_{cL} ——补偿器中的轴向应力；
 σ_o ——当量应力；
 σ_{cb} ——弹性弯曲时的弯曲应力；
 σ_h ——由内压产生的环向应力；
 σ_{hmax} ——由热胀弯矩产生的最大环向应力；
 σ_L ——由内压、温差、弹性弯曲产生的轴向应力；
 σ_m ——由外荷载和内压引起的最大环向弯曲应力；
 σ_{mh} ——热胀弯矩引起的环向应力；
 σ_p ——内压引起的波桑应力；
 σ_s ——管材的屈服极限；
 σ_t ——温度应力。

材 料 指 标

- C ——回填土的粘聚力；
 E ——管材的弹性模量；
 E_0 ——回填土的变形模量；
 e_s ——锚固墩后背土的弹性模数；
 γ ——回填土的密度；
 ψ ——回填土的内摩擦角。

几 何 特 性

- D ——管道的外径；
 D_s ——三通支管外径；
 D_m ——三通主管外径；
 F ——管壁横截面积；
 I ——管子横截面惯性矩；
 I_b ——弯头横截面惯性矩；

I_w ——单位管长管壁截面惯性矩；

L_1 ——补偿器的臂长；

L_2 ——补偿器的翼缘宽度；

R ——弯头(或弯管)曲率半径；

R_e ——管道弹性弯曲的曲率半径；

R_0 ——计算的曲率半径；

d ——管道的内径；

d_r ——异径管大端内径；

r ——钢管半径；

r_b ——弯头半径；

δ ——管道的计算壁厚；

δ_b ——弯头的壁厚；

δ_m ——三通主管壁厚；

δ_n ——管道实际采用的壁厚；

δ_r ——异径管壁厚；

δ_s ——三通支管壁厚；

θ ——管道的转角；

θ_e ——弯头的角度。

计 算 系 数

C_k ——荷尔系数；

C_L ——回填土的侧抗力系数；

C_n ——土的法向阻力综合系数；

C_p ——土的卸荷系数；

C_s ——土的剪切系数；

D_L ——管变形滞后系数；

j_c, j_k ——冲击系数；

κ ——弯头的柔性系数；

κ_b ——弯曲系数；

κ_f ——基座系数；
 n_0 ——超载系数；
 n_s ——安全系数；
 Y ——设计系数；
 α ——管材的线膨胀系数；
 β_h ——弯头的环向应力集中系数；
 β_L ——弯头的轴向应力集中系数；
 ξ ——变形模量降低系数；
 η ——三通壁厚增大系数；
 η_b ——弯头壁厚增大系数；
 V ——钢的波桑系数；
 V_0 ——土的波桑系数；
 ζ ——土对管道的约束系数；
 Ψ ——焊缝系数。

其 它 参 数

A ——锚固墩的长度；
 B ——锚固墩的宽度；
 B_b ——管堤底宽；
 B_t ——管堤顶宽；
 H ——锚固墩的高度；
 H_1 ——锚固墩顶面的埋深；
 H_2 ——锚固墩底面的埋深；
 h ——管顶覆土厚度；
 h_b ——地面至管底的距离；
 h_0 ——地面至管轴心的距离；
 L ——机车车头长度；
 L ——管道的失稳波长；
 l ——枕木长度；

l_e ——弯头到锚固墩的距离；

s_n ——补偿器的刚度；

t_1 ——管道的安装温度；

t_2 ——管道的工作温度；

μ ——锚固墩的位移量；

Δ_c ——补偿器的允许位移；

Δ_L ——管道的轴向位移；

Δ_x ——钢管水平直径方向的最大变形；

λ ——弯头的参数；

η_k ——补偿器参数。

WWW.SINOAEC.COM

中国建筑资讯网

第一章 总 则

第 1.0.1 条 为了在埋地输油、输气钢管道结构设计中,做到技术先进、经济合理、安全适用,特制订本规范。

第 1.0.2 条 本规范适用于输送原油、成品油、天然气以及天然气凝液的油气田埋地集输和长输管道的结构设计和计算;不适用于沼泽、沙漠、永冻土区的输油、输气管道以及气田的酸性气体集输管道的结构设计和计算。管道通过地震区时,应符合地震区的油气管道设计规范。

第 1.0.3 条 在使用本规范时,对钢管检验、防腐、焊接、试压等要求,均应按现行的有关标准执行。

WWW.SINOPEC.COM

中国建筑资讯网

第二章 基本规定

第 2.0.1 条 本规范所用的钢管应根据输送压力、输送介质以及管径,选用符合石油天然气输送用的无缝钢管、直缝钢管、螺旋焊缝钢管。

管径小于或等于 500mm,制管用钢宜采用镇静碳素钢;管径小于或等于 1020mm,宜采用热轧低合金钢;管径小于或等于 1420mm,宜采用微合金控轧钢。

制管用钢的屈服强度与极限强度之比应不超过 0.9。碳当量 C_e 应不大于 0.45。氢致冷裂纹系数 ρ_{cm} 应不大于 0.2。

管材的力学性能和含碳量宜符合屈强比(屈服强度/极限强度)不大于 0.85,延伸率不小于 15%,含碳量不大于 0.28%,碳当量不大于 0.45 的规定。

第 2.0.2 条 输气管道的韧性指标应根据使用要求确定,且不宜低于表 2.0.2 中的值。

管材韧性指标

表 2.0.2

管 道 参 数		在温度等于运行时管壁最低温度时的值	
管 径 (mm)	工作压力 (Mpa)	夏比冲击值 CVN (J/cm ²)	断口剪切面积 DWTT (SA%)
<500	≤10	25	—
500~600	≤10	30	—
700~800	≤10	30	50
1000	7.5~10	39~59	60
1220	7.5~10	59~78	70~80
1420	7.5~10	78~108	80~85

注:管径 1000~1420mm,低压对应低值、高压对应高值。

输油管道的运行温度应高于按夏比冲击试验确定的,与断口剪切面积 80%相对应的转变温度。

第 2.0.3 条 管道的设计荷载应结合具体工程条件,考虑下列各项荷载:

一、恒载:管道自重、土压力(竖向和侧向)。

二、活载:设计内压力、油品重、地面车辆荷载(穿越公路和铁路时)。

三、其它荷载:温度变化荷载、管道弹性弯曲荷载、施工临时荷载等。

第 2.0.4 条 各类管道的结构设计均应进行强度计算,必要时尚应根据管径、管壁厚度、地面车辆荷载、以及内压和温差等荷载,验算管道的刚度和轴向稳定性。

第 2.0.5 条 集输管道的最小结构壁厚,不宜低于表 2.0.5 中的规定。

管道的最小结构壁厚

表 2.0.5

管外径 $D(\text{mm})$	最小结构壁厚 (mm)
89	2.5
108	3.0
159~273	3.5
335	4.5
377	5.0
426~529	5.5

第 2.0.6 条 管道的埋设深度应根据沿线的地质、地形、地面荷载、保温以及稳定性等要求,进行综合分析后确定。一般场地土区,最小埋深不宜小于 0.8m;岩石区不宜小于 0.45m。

第 2.0.7 条 管道穿越铁路干线和 I、II 级公路时,宜设保护套管,穿越铁路专用线和 III、IV 级公路时,可不设套管。

第 2.0.8 条 管道穿越公路时,管道或套管管顶距路面埋深应大于 1.0m;穿越铁路干线时,管道或套管管顶至路肩不应小于

1.7m,至自然地面不应小于 1.0m。

第 2.0.9 条 埋管沟槽的回填应符合下列要求:

一、位于岩石上的管沟槽应先平铺 0.2m 厚的细砂垫层,下管后用砂或土回填至管顶以上 0.2~0.3m 后才允许用其他土石回填。

二、管道上凸段,穿越公路及铁路的管段以及出土段,回填土应分层夯实。

三、不通车辆地区回填土应高出原地面 0.3m。

WWW.SINOAEC.COM

中国建筑资讯网

第三章 强度计算

第一节 管道强度计算

第 3.1.1 条 管道一般应按内压进行强度计算,确定计算壁厚。强度计算要否考虑外荷载,应视工程具体情况确定。

第 3.1.2 条 油气管道直线段的计算壁厚应按下式确定:

$$\delta = \frac{pD}{2[\sigma]} \quad (3.1.2-1)$$

$$[\sigma] = Y \cdot \sigma_s \cdot \Psi \quad (3.1.2-2)$$

式中 δ ——管道的计算壁厚(m);

p ——管道的设计内压(MPa);

D ——管道的外径(m);

$[\sigma]$ ——管道的许用应力(MPa);

Y ——设计系数,应按表 3.1.2 取值;

σ_s ——管材的屈服极限(MPa);

Ψ ——焊缝系数,应符合石油天然气输送管道用钢管,可取

$$\Psi=1.0。$$

①管道实际采用的公称壁厚 δ_n 应不小于计算壁厚 δ 。

②长输管道可根据沿程压力降低的情况,分段计算管壁厚度或选用不同强度等级的管材。

③油气田的集输管道,经过论证可计入腐蚀裕量,腐蚀裕量一般可取 1~2mm。

设计系数 Y

表 3.1.2

地 区	乡村荒地	穿越 I、II 级公路 及铁路干线	泵站、压缩机站 及储罐库区
设计系数 Y	0.72	0.60	0.50

注:若水压试验采用屈服试验,并经过论证后设计系数在乡村荒地可提高到 0.8。

第 3.1.3 条 管道中任一点的设计内压力不应小于该处的最高稳态操作压力。输送油品的管道由于水击造成的瞬时上升压力，应采取控制措施予以控制，使管道中任一点的瞬时上升压力，不超过设计内压的 10%。

第 3.1.4 条 输送热介质(油或气)的管道，按 3.1.2 条求得壁厚后，尚应按管壁中的环向应力和轴向应力组合成的当量应力进行验算，并应满足下列条件：

$$\sigma_e < 0.9\sigma_s \quad (3.1.4-1)$$

$$\sigma_e = \sigma_h - \sigma_1 \quad (3.1.4-2)$$

$$\sigma_h = \frac{pd}{2\delta_n} \quad (3.1.4-3)$$

式中 σ_e ——当量应力(MPa)；

σ_h ——由内压产生的环向应力(MPa)；

d ——管道的内径(m)；

δ_n ——管道公称壁厚(m)；

σ_1 ——由内压、温差、弹性、弯曲产生的轴向应力(MPa)，应按第 3.1.5 条和第 3.1.6 条确定。

注：计算应力时，拉应力为正号，压应力为负号。

第 3.1.5 条 受温差和内压作用的直线管道，轴向应力可按下列公式计算：

$$\sigma_1 = \sigma_t - \sigma_p \quad (3.1.5-1)$$

$$\sigma_t = \xi E \alpha (t_1 - t_2) \quad (3.1.5-2)$$

$$\sigma_p = \nu \sigma_h \quad (3.1.5-3)$$

式中 σ_t ——温度应力(MPa)；

E ——管材的弹性模量(MPa)；

α ——管材的线膨胀系数(1/°C)；

t_1 ——管道的安装温度(°C)；

t_2 ——管道的工作温度($^{\circ}\text{C}$);

ξ ——土对管道的约束系数,取 $\xi=0.75$;

σ_p ——内压引起的波桑应力(MPa);

ν ——波桑系数,可取 $\nu=0.3$ 。

第 3.1.6 条 弹性弯曲管段由内压、温差和弹性弯曲产生的轴向应力,可按下列公式计算:

$$\sigma_1 = \sigma_i + \sigma_p + \sigma_{eb} \quad (3.1.6 - 1)$$

$$\sigma_{eb} = \pm \frac{ED}{2R_e} \quad (3.1.6 - 2)$$

式中 σ_{eb} ——弹性弯曲时的弯曲应力(MPa);

R_e ——管道弹性弯曲的最小曲率半径(m);

第 3.1.7 条 弹性弯曲的最小曲率半径应按强度和变形两个条件确定,并取下列两式中的较大值。

一、按强度条件:

$$R_e = \frac{ED}{2\{[\sigma] + \nu \frac{pd}{2\delta_n} + \xi E \alpha (t_1 - t_2)\}} \quad (3.1.7 - 1)$$

二、按变形条件(下凹弹性弯曲):

$$R_e = 1.34 \times 10^2 \sqrt[3]{\frac{EI}{W_p \sin^2 \frac{\theta}{2}}} \quad (3.1.7 - 2)$$

式中 $[\sigma]$ ——许用应力(MPa), $[\sigma] = 0.9\sigma_s$;

I ——管子横截面惯性矩(m^4);

W_p ——单位长度管子和管内介质重量(N/m);

θ ——管道转角($^{\circ}$);

第二节 穿越公路及铁路

第 3.2.1 条 无套管穿越公路及铁路路基的管道,强度计算

时的荷应包载组合应括内压、土压力及地面辆车荷载,其组合满力应足下列条件:

$$\sigma_c \leq [\sigma] \quad (3.2.1-1)$$

$$\sigma_c = \sigma_h + \sigma_m \quad (3.2.1-2)$$

$$\sigma_m = \frac{3\kappa_b W E D \delta_n}{E \delta_n^3 + 3\kappa_f p D^3} \times 10^{-6} \quad (3.2.1-3)$$

式中 σ_c ——组合应力(MPa);

σ_m ——由外荷载和内压引起的最大环向弯曲应力(MPa);

κ_b ——弯曲系数,升槽敷管时, $\kappa_b=0.235$,钻孔敷管时, $\kappa_b=0.157$;

κ_f ——基座系数,开槽敷管时, $\kappa_f=0.108$,钻孔敷管时, $\kappa_f=0.096$;

W ——单位长度管道上的总竖向荷载(N/m)。

第 3.2.2 条 单位长度管道上的总竖向荷载,应按下列规定确定:

一、当管道穿越公路路基时,按下式计算:

$$W = W_s + W_c \quad (8.2.2-1)$$

二、当管道穿越铁路路基时,按下式计算:

$$W = W_s + W_r \quad (3.2.2-2)$$

式中 W ——单位长度管道上的总竖向荷载(N/m);

W_s ——单位长度管道上的竖向土压力(N/m);

W_c ——地面汽车荷载传递到单位长度管道上的竖向压力(N/m);

W_r ——地面铁路荷载传递到单位长度管道上的竖向压力(N/m)。

第 3.2.3 条 单位长度管道上的竖向土压力可按下式计算:

$$W_s = \gamma h D \quad (3.2.3)$$

式中 γ ——回填土的密度(N/m³);

h ——管顶覆土厚度(m)。

第 3.2.4 条 单位长度管道上,地面汽车传递的竖向压力可按下式计算:

$$W_c = 0.4775 \frac{j_c G_v}{h^2} D \quad (3.2.4)$$

式中 G_v ——汽车的单轮轮压(N),按道路或桥梁设计所规定的车辆载重等级取值;

j_c ——冲击系数,可按表 3.2.4 采用。

冲击系数 j_c

表 3.2.4

路面 埋深 h (m)	路面	
	土路面	沥青水泥路面
$h < 0.5$	1.6	1.2
$0.5 \leq h \leq 0.8$	1.4~1.2	1.1
$h > 0.8$	1.0	1.0

第 3.2.5 条 单位长度管道上,地面铁路荷载传递的竖向压力可按下式计算:

$$W_r = \frac{G_1}{L \cdot l} \cdot j_r \cdot C_k \cdot D \quad (3.2.5)$$

式中 G_1 ——机车重量应按中一活载(1975)取值,即 $G_1 = 193 \times 10^4$ (N);

L ——机车车头长度,即 $L = 18.75$ (m);

l ——枕木长度,即 $l = 2.5$ (m);

j_r ——冲击系数,可取 $j_r = 1.75$;

C_k ——荷尔系数,可根据 α 、 b 值按附录一确定。

$$a = \frac{l}{2h}; \quad b = \frac{L}{2h}.$$

第 3.2.6 条 采用套管穿越公路或铁路的油气管道,钢套管应按第 4.0.2 条的规定验算刚度,其它材料套管的壁厚应符合有关规范的规定。

第三节 管件计算

第 3.3.1 条 埋地油气管道所用的弯头(或弯管)在场地条件允许时,其曲率半径宜大于管道外径的 3 倍。

第 3.3.2 条 承受内压的弯头(或弯管),其壁厚应按下式计算:

$$\delta_b = \eta_b \delta \quad (3.3.2 - 1)$$

式中 δ_b ——弯头的壁厚(m);

δ ——管道的计算壁厚(m);

η_b ——弯头壁厚增大系数,应按表 3.3.2 采用。

弯头壁厚增大系数 η_b

表 5.3.2

R/D	1.5	2.0	2.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10
η_b	1.25	1.17	1.13	1.07	1.06	1.05	1.03	1.03

注:表中 R 为弯头(或弯管)曲率半径(m)。

第 3.3.3 条 承受内压和温差作用的管道,如受条件限制必须采用小曲率半径的弯头(或弯管)时,应按下式验算环向应力:

$$\sigma_c \leq \sigma_s \quad (3.3.3 - 1)$$

$$\sigma_c = \frac{pd}{2\delta_b} + \frac{1}{3}\sigma_{hmax} \quad (3.3.3 - 2)$$

式中 σ_c ——在内压和温差作用下弯头的组合应力(MPa);

σ_{hmax} ——由热胀弯矩产生的最大环向应力(MPa),可取

$$\sigma_{hmax} = \beta_h \sigma_{mh};$$

β_h ——弯头的环向应力集中系数,可取 $\beta_h = 1.8(1/\lambda)^{2/3}$;

λ ——弯头的系数,可取 $\lambda = \frac{R\delta_b}{r_b^2}$;

r_b ——弯头的半径(m);

σ_{mh} ——热胀弯矩引起的环向应力(MPa),即

$$\sigma_{mh} = \frac{Mr_b}{I_b} \times 10^{-6};$$

M ——弯头的热胀弯矩(N—m),可按附录二计算;

I_b ——弯头横截面惯性矩(m⁴)。

第 3.3.4 条 油气管道连接支管宜采用热挤压三通、局部补强三通或整体加强三通。三通型式可按表 3.3.4 选用。

三通型式选用表

表 3.3.4

管道设计环向应力 与屈服极限的比值	支管公称直径与管道公称直径的比值		
	≤20	20 ~50	>50
≤20	I	I	Ⅲ、Ⅳ
20 ~50	I	Ⅱ	Ⅲ、Ⅳ
>50	I、Ⅱ	Ⅲ、Ⅳ	Ⅲ、Ⅳ

注: I——可直接在管道上开孔,此时操作压力不应超过 0.7MPa;

Ⅱ——局部补强三通(见图 3.3.4-1);

Ⅲ——整体加强三通(见图 3.3.4-2);

Ⅳ——热挤压三通(见图 3.3.4-3)。

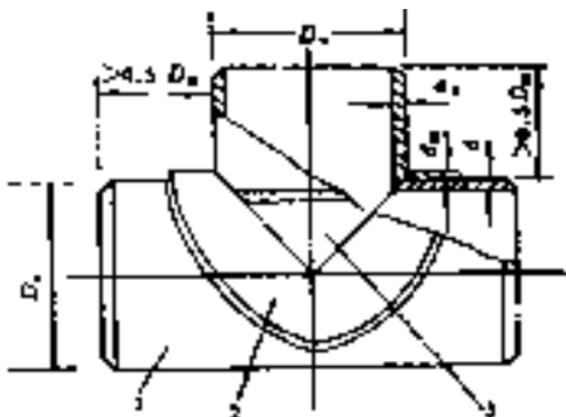


图 3.3.4-1 局部补强三通

1—主管;2—局部补强;3—支管

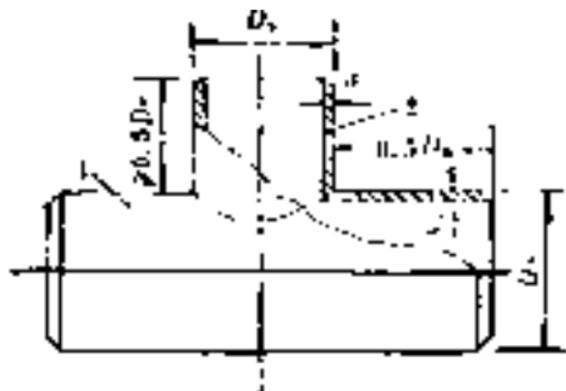


图 3.3.4-2 整体加强三通
1—主管;2—支管

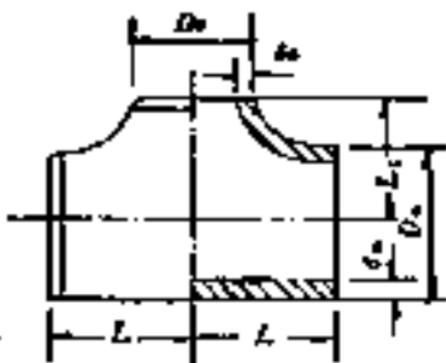


图 3.3.4-3 热挤压三通

第 3.3.5 条 热挤压三通、局部补强三通、整体加强三通的主管壁厚可按式计算:

$$\delta_m = \frac{\eta \delta_n \sigma_b}{\sigma_{bm}} \quad (3.3.5-1)$$

$$\delta_s = \delta_m \frac{\sigma_{bm} \cdot D_s}{\sigma_{bs} \cdot D_m} \quad (3.3.5-2)$$

式中 δ_m ——三通主管壁厚(m);
 δ_s ——三通支管壁厚(m);
 δ_n ——与三通主管相连的管道实际采用的壁厚(m);
 η ——三通壁厚增大系数,可按图 3.3.5 确定;
 σ_b ——管材的强度极限(MPa);
 σ_{bm} ——三通主管的强度极限(MPa);
 σ_{bs} ——三通支管的强度极限(MPa);
 D_s ——三通支管外径(m);
 D_m ——三通主管外径(m)。

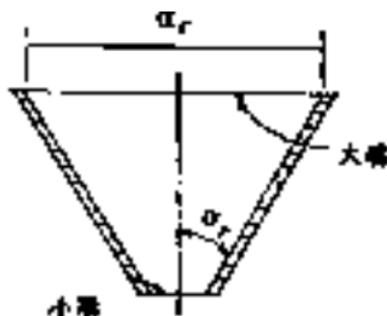


图 3.3.5 壁厚增大系数

1—局部补强三通；2—热挤压三通；3—整体加强三通

第 3.3.6 条 异径管的锥顶半角(α_r)，一般应不大于 15° (见图 3.3.6)，两端可采用同一壁厚并按下式计算：

$$\delta_r = \frac{pd}{2[\sigma]} \quad (3.3.6)$$

式中 δ_r ——异径管壁厚(m)；
 d_r ——异径管大端内径(m)。

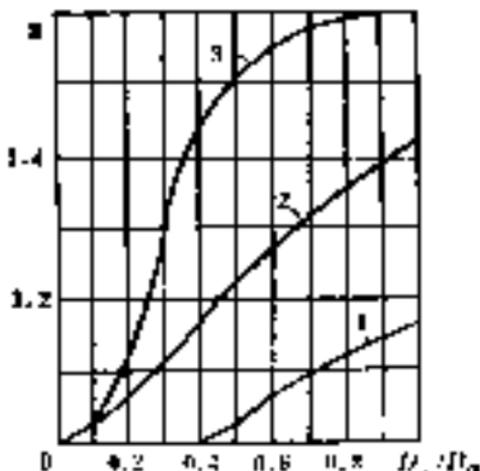


图 3.3.6 异径管

第四章 管刚度及管道轴向稳定性验算

第 4.0.1 条 对管径与壁厚之比大于 120 的管道及低压集输管道, 应进行刚度验算。

第 4.0.2 条 管刚度验算的荷载组合应包括竖向土压力、地面车辆荷载, 并应满足下列条件:

$$\Delta_x = 0.03D \quad (4.0.2-1)$$

$$\Delta_x = \frac{D_L \kappa_f W r^3}{EI_w + 0.061E_0 r^3} \times 10^{-4} \quad (4.0.2-2)$$

式中 Δ_x ——钢管水平直径方向的最大变形(m);

D_L ——管变形滞后系数, 可取 1.25;

r ——钢管半径(m);

I_w ——单位管长管壁截面惯性矩, 即 $I_w = \delta_n^3 / 12 (\text{m}^4/\text{m})$;

E_0 ——回填土的变形模量(MPa), 一般应在现场实测, 当无资料时可按附录三取值。

第 4.0.3 条 对加热输送原油和气体温度较高的集输或长输管道, 特别是加压站附近的出站管段, 应验算管道的轴向稳定性。

第 4.0.4 条 对管道进行轴向稳定性验算的荷载组合应包括: 内压、土压力、温度荷载、土抵抗管子位移的临界阻力, 并应满足下列条件:

$$N \leq n_s N_{cr} \quad (4.0.4-1)$$

$$N = [\xi d E (t_1 - t_2) + 0.2\sigma_h] F \times 10^6 \quad (4.0.4-2)$$

式中 N ——由温差、内压产生的轴向力(N);

F ——管壁横截面积(m^2);

n_s ——安全系数, 可取 0.6~0.75;

N_{cr} ——失稳临界力(N)

第 4.0.5 条 埋地的直线管道,其轴向失稳临界力可按下式计算:

$$N_{cr} = 2 \times 10^6 \sqrt{C_n D E I} \quad (4.0.5 - 1)$$

$$C_n = \frac{0.12 E_0 \xi}{(1 - \nu_0^2) \sqrt{L_0 D}} (1 - e^{-2h_0/D}) \quad (4.0.5 - 2)$$

式中 C_n ——土的法向阻力综合系数(MPa/m);

ξ ——填土变形模量降低系数,可取 0.3~0.6;

ν_0 ——土的波桑系数,砂土可取 0.2~0.25,亚粘土可取 0.15~0.30,粘土可取 0.3~0.5;

L_0 ——管道单位长度($L_0=1m$);

h_0 ——地面至管轴心的距离(m)。

第 4.0.6 条 对埋地上凸弯曲管道,其轴向失稳临界力可按下列公式计算:

$$N_{cr} = 0.375 q_{cru} R_0 \quad (4.0.6 - 1)$$

$$q_{cru} = W_p + q_w + \eta_0 q_{uc} \quad (4.0.6 - 2)$$

$$q_{uc} = rD(h_0 - 0.39D) + rh_0^2 \tan 0.7\phi + 0.7C \cdot h_0 / \cos 0.7\phi \quad (4.0.6 - 3)$$

式中 R_0 ——计算的曲率半径(m),其取值应按附录四确定;

q_{cru} ——管道朝上位移时土的临界阻力(N/m);

q_w ——单位长度管道上的压重物或锚栓拉力(N/m);

η_0 ——超载系数,可取 1.0~1.2;

q_{uc} ——管道朝上位移时土的临界支承力(N/m);

C ——回填土的粘聚力(N/m²);应根据现场试验确定,如无条件进行试验时,可按附录三采用;

ϕ ——回填土的内摩擦角(°)。

第 4.0.7 条 埋在土堤中的水平弯曲管道,其失稳临界力按下式计算:

$$N_{cr} = 0.21 q_{crk} R_0 \quad (4.0.7 - 1)$$

$$q_{crh} = f + \pi_0 q_{hc} \quad (4.0.7 - 2)$$

$$q_{hc} = rtg \varnothing [D h_b / 2 + (B_t + B_b) h_b / 4 - D^2] + c(B_b - D) / 2 \quad (4.0.7 - 3)$$

- 式中 q_{crh} ——管道水平位移时土的临界阻力(N/m);
 q_{hc} ——管道水平位移时土的临界支承力(N/m);
 f ——单位长度管道上的摩擦力(N/m),可取 $f = W_t \tan \varphi$;
 B_t ——管堤顶宽(m);
 B_b ——管堤底宽(m);
 h_b ——地面至管底的距离(m)。

WWW.SINOAEC.COM

中国建筑资讯网

第五章 结构措施

第 5.0.1 条 当设计计算温差较大的埋地管道时,为了减少出土段的纵向位移,在与压气站、输油站、配气站衔接处,以及与截止阀、清管收发装置、穿跨越管段等连接处,可采用各种形式的补偿器(或锚固墩)。

补偿器尺寸的选择可按附录五确定。

第 5.0.2 条 对管壁厚度进行验算时,若当量应力 σ_e 超过 $0.9\sigma_s$,可选取增加管壁厚度,采用半约束结构作中间补偿,加大弯曲管段的曲率半径,提高埋管时的温度等措施减小当量应力。

第 5.0.3 条 经验算管道轴向稳定不符合要求时,应采取增加埋深,提高回填土的密实度,减小弯曲管段的转角,设置锚固墩或锚栓等措施。

第 5.0.4 条 在管道接支管的三通处,环向应力不能满足第 3.3.3 条要求的小曲率半径弯头两侧,应设置锚固墩。

锚固墩尺寸的选择可按附录六确定。

第 5.0.5 条 补偿器所用弯头的曲率半径不应小于 5 倍管径。补偿器四周应回填对管道位移阻力较小的松软土。锚固墩四周的回填土应严格分层夯实。

附录一 荷尔系数

荷 尔 系 数

附表 1.1

$\frac{C_k}{a}$ \ b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	2.0	5.0
0.1	0.019	0.037	0.053	0.067	0.079	0.089	0.097	0.103	0.108	0.112	0.117	0.121	0.124	0.128
0.2	0.037	0.072	0.103	0.131	0.155	0.174	0.187	0.202	0.211	0.219	0.229	0.238	0.244	0.248
0.3	0.053	0.103	0.149	0.190	0.224	0.252	0.274	0.292	0.306	0.318	0.333	0.345	0.355	0.360
0.4	0.067	0.131	0.190	0.241	0.284	0.302	0.349	0.373	0.391	0.405	0.425	0.440	0.454	0.461
0.5	0.079	0.155	0.224	0.284	0.336	0.378	0.414	0.441	0.463	0.481	0.505	0.525	0.540	0.548
0.6	0.089	0.174	0.252	0.320	0.379	0.428	0.467	0.499	0.524	0.544	0.572	0.596	0.613	0.624
0.7	0.097	0.189	0.274	0.349	0.414	0.467	0.511	0.546	0.574	0.597	0.628	0.650	0.674	0.688
0.8	0.103	0.202	0.292	0.313	0.441	0.499	0.546	0.584	0.615	0.637	0.674	0.703	0.725	0.740
0.9	0.108	0.211	0.306	0.391	0.408	0.524	0.574	0.615	0.647	0.673	0.711	0.742	0.766	0.784
1.0	0.112	0.219	0.318	0.405	0.481	0.544	0.597	0.639	0.673	0.701	0.740	0.774	0.800	0.816
1.2	0.117	0.229	0.333	0.425	0.505	0.512	0.628	0.674	0.711	0.740	0.783	0.820	0.849	0.868
1.5	0.121	0.238	0.345	0.440	0.525	0.536	0.650	0.703	0.748	0.774	0.820	0.861	0.894	0.916
2.0	0.124	0.244	0.355	0.454	0.540	0.513	0.674	0.725	0.766	0.800	0.849	0.894	0.930	0.956

中国建筑资讯网

附录二 弯头的热胀弯矩

当水平弯头两侧没有锚固墩时,其热胀弯矩可按下列公式计算:

$$M = \frac{\left[a \Delta t E F \cdot 10^6 + \frac{1}{2} f Z \left[\sqrt{1 + \frac{2a \Delta t E F \cdot 10^6}{f Z}} - 1 \right] \right] t g \left(\frac{\theta_e}{2} \right)}{K \left[1 + \frac{1}{C_m} \right] \left[1 + \left[\sqrt{1 + \frac{2a \Delta t E F \cdot 10^6}{f Z}} - 1 \right]^{-1} - 1 \right]} \quad (\text{附 2.1})$$

$$Z = \frac{F t g^2 \left(\frac{\theta_e}{2} \right)}{2 \sigma_0^3 I (1 + C_m)} \quad (\text{附 2.2})$$

$$C_m = \frac{1}{1 + C_0 E R \theta_e (I / I_L)} \quad (\text{附 2.3})$$

$$\sigma_0 = \sqrt[4]{\frac{D C_L}{4 E I \cdot 10^6}} \quad (\text{附 2.4})$$

式中 M ——弯头的热胀弯矩($N \cdot m$);

Δt ——温差($^{\circ}C$),即 $\Delta t = (t_2 - t_1)$;

F ——管壁横截面积(m^2);

θ_e ——弯头的角度($^{\circ}$)

I_b ——弯头截面的惯性矩(m^4)

I ——管子截面面积惯性矩(m^4)

K ——弯头的柔性系数, $K = 1.65, \lambda$

G_L ——回填土侧抗力系数(N/m^3)。新填松土(密实度 < 80 , $C_L = (3 \sim 6) \times 10^6 (N/m^3)$);自然压密土(密实度 $80 \sim 85$), $C_L = (8 \sim 12) \times 10^6 (N/m^3)$);人工夯实土(密实度 $85 \sim 95$), $C_L = (20 \sim 40) \times 10^6 (N/m^3)$);机械夯实土(密实度 > 95), $C_L = (50 \sim 100) \times 10^6 (N/m^3)$);

R_c ——弯头曲率半径(m)。

附录三 填土的变形模量 E_0 、粘聚力 C 和内摩擦角 ϕ

填土的变形模量 E_0 、粘聚力 C 和内摩擦角 ϕ

附表 3.1

土的力学性能指标 土的种类	变形模量 E_0 (MPa)	粘聚力 C Pa	内摩擦角 ϕ (°)
砾砂和粗砂	12		33
中 砂	8		27
细 砂	6		12
粉 砂	5		10
轻亚粘土	5.5	1000	8
亚 粘 土	5	10.000	6
粘 土	2.5	24.000	5

中国建筑资讯网
WWW.SINOAEI.COM

附录四 计算曲率半径

公式(4.0.6-1)及公式4.0.7-1)中的计算曲率半径 R_0 应按下列规定计算确定:

一、弹性弯曲时($R_0 > 1000D$): $R_0 = R_e$ (附4.1)

二、冷弯弯管($R = (18 \sim 80)D$):

$$R_0 = \frac{2L_{cr}^2 \cos \frac{\theta}{2}}{\pi^2 \left[L_{cr} \sin \frac{\theta}{2} - 2R \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \right]} \quad (\text{附 4.2})$$

三、弯头($R < 5D$):

$$R_0 = \frac{2L_{cr}}{\pi^2 t g \frac{\theta}{2}} \quad (\text{附 4.3})$$

式中 L_{cr} ——管道失稳的波长(m)。

对于上弯曲管道:

$$L_{cr}^2 = \frac{265 \times 10^6 EI}{q_{cru} R_0 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{80EI\sigma_p}{q_{cru}^2 R_0^2} \cdot 10^6} \right]} \quad (\text{附 4.4})$$

对于水平弯曲管道:

$$L_{cr}^2 = \frac{93.5 \times 10^6 EI}{q_{crl} R_0 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{80EI\sigma_p}{q_{crl}^2 R_0^2} \cdot 10^6} \right]} \quad (\text{附 4.5})$$

式中 R_0 ——弹性弯曲或冷弯弯管的曲率半径(m);

σ_p ——土的卸荷系数,取 $\sigma_p = q_{uc}/H$ 。

采用公式(附 4.1)或(附 4.2)计算时,应先假定 $L_{cr} = (40 \sim 70)D_0$, 求出 R_0 , 再将 R_0 代人(附 4.4)或(附 4.5)式中求 L_{cr} , 其值应与先前假定的 L_{cr} 值接近(采取逐步近似法), 以差值不超过 2% 时的 R_0 作计算值。

中国建筑资讯网

WWW.SINOAEC.COM

附录五 补偿器尺寸选择

补偿器尺寸选择应满足：

$$\Delta_L < \Delta_C \quad (\text{附 5.1})$$

计算 Δ_L 的判据：

$$\frac{N\varepsilon}{q_{cr}[1 + s_n/EF\varepsilon \cdot 10^6]} \leq 1 \quad (\text{附 5.2})$$

$$N = [\xi d E (t^1 - t^2) + 0.2\sigma_n] F \cdot 10^6 \quad (\text{附 5.3})$$

$$\varepsilon = \sqrt{\pi D C_s / EF \cdot 10^6} \quad (\text{附 5.4})$$

$$q_{cr} = W_p t g \varnothing + 2(2r C_s \pi D^2 t g \varnothing + 0.6 \pi D C_s) \times 10^6 \quad (\text{附 5.5})$$

$$S_n = \frac{EI \cdot 10^6}{\eta_k} \quad (\text{附 5.6})$$

当满足条件(附 5.2)时：

$$\Delta_L = \frac{N}{EF\varepsilon \cdot 10^6 + S_n} \quad (\text{附 5.7})$$

当不满足条件(附 5.2)时：

$$\Delta_L = A [1 - \sqrt{1 - (A/B)^2}] \quad (\text{附 5.8})$$

$$A = \frac{N}{S_n} + \frac{EF q_{cr}}{S_n^2} \cdot 10^6 \quad (\text{附 5.9})$$

$$B^2 = \left[\frac{N}{S_n} \right]^2 + \left[\frac{q_{cr}}{\varepsilon S_n} \right]^2 \quad (\text{附 5.10})$$

当 $B/A < 0.1$ 时：

$$\Delta_L \approx \frac{1}{2} \cdot B^2/A \quad (\text{附 5.11})$$

当补偿器的刚度忽略不计， $s_n = 0$ 时， Δ_L 可按(附 5.12)和(附 5.13)式计算。

$$\Delta_L = N / (EF\varepsilon \cdot 10^6) \quad (\text{附 5.12})$$

$$\Delta_L = \frac{1}{2EF \cdot 10^6} \left(\frac{N^2}{q_{cr}} + \frac{q_{cr}}{\varepsilon^2} \right) \quad (\text{附 5.13})$$

满足条件 $N\varepsilon/q_{cr} \leq 1$ 时,取(附 5.12)式;不满足时,取(附 5.13)式。

式中 Δ_L ——管道的轴向位移(m);

Δ_c ——补偿器的允许位移(m);

N ——管道在温差和内压作用下的轴向力(N);

q_{cr} ——管道轴向位移时土的临界阻力(N/m);

C_s ——土的剪切系数(MPa/m),砂土 $C_s = 0.21 \sim 0.27$,粘土 $C_s = 0.03 \sim 0.035$;

S_n ——补偿器的刚度(N/m)。

补偿器的允许位移 Δ_c 按下列公式计算。

Γ 形补偿器:

$$\Delta_c = \frac{2\sigma_{cL}}{EDL_1} \eta_k \quad (\text{附 5.14})$$

Z 形补偿器:

$$\Delta_c = \frac{2\sigma_{cL}}{EDL_1\beta_L} \eta_k \quad (\text{附 5.15})$$

Π 形补偿器:

$$\Delta_c = \frac{2\sigma_{cL}}{EDL_1\beta_L} \eta_k \quad (\text{附 5.16})$$

$$\sigma_{cL} = [\sigma] - 0.5\sigma_s \quad (\text{附 5.17})$$

式中 σ_{cL} ——补偿器中的轴向应力(MPa);

L_1 ——补偿器的臂长(m);

β_L ——弯头的轴向应力增大系数,可取 $\beta_L = 0.9/\lambda^{2/3}$;

η_k ——补偿器参数(m³)。

对 Γ 形补偿器:

$$\eta_k = L_1^3/3 \quad (\text{附 5.18})$$

对 Z 形补偿器:

$$\eta_k = \frac{1}{K}(\pi R L_1^2 - 2.28R^2 L_1 + 1.4R^3) + 0.67L_1^3 - 2RL_1^2 + 2R^2 L_1 - 1.33R^3 \quad (\text{附 5.19})$$

对 II 形补偿器:

$$\eta_k = \frac{1}{K}(\pi R L_1^2 - 2.28R^2 L_1 + 1.4R^3) + 0.67L_1^3 + L_2 L_1^2 - 4RL_1^2 + 2R^2 L_1 - 1.33R^3 \quad (\text{附 5.20})$$

式中 K ——弯头的柔性系数,可取 $K=1.65/\lambda$;

L_2 ——补偿器的翼缘宽度(m);

R ——弯头的曲率半径(m)。

由于管道轴向位移是补偿器刚度的函数,即其线性尺寸的函数,所以需用递次求近法。开始取补偿器刚度 $S_n=0$,并按公式(附 5.12)或(附 5.13)计算轴向位移。确定补偿器的尺寸后,求出补偿器的刚度,接着按公式(附 5.7)或(附 5.8)求位移的精确值。根据该值重新精确地确定补偿器的尺寸,通常两次求近就够了。

附录六 锚固墩尺寸选择

一、作用在锚固墩上的推力按下式计算：

$$N_A = \left(\frac{m}{1+m} \right) N - \left[\frac{EF\mu_a \cdot 10^6}{(1+m)L_0} + 10^3 \sqrt{2EFfu_a} \right] - \left(\frac{0.5+m}{1+m} \right) fl_e \quad (\text{附 6.1})$$

$$m = \frac{Ftg^2 \left(\frac{\theta_e}{2} \right)}{2C_0^3 l_e I} \left[1 - \frac{1}{2 + C_0 L_r R_e [\delta/\delta_b]} \right] \quad (\text{附 6.2})$$

$$L_r = \frac{1.65(r^2/R\delta_e)}{1 + 6(pr/E\delta_b)(r/\delta_b)^{4/3}(R/r)^{1/2}} \quad (\text{附 6.3})$$

二、锚固墩应具有摩擦力按下式计算：

$$P_f = N_A - e_s \mu_a \quad (\text{附 6.4})$$

$$e_s = P_s / 0.02H_2 \quad (\text{附 6.5})$$

$$P_s = \frac{Br}{2} (H_2^2 - H_1^2) tg^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (\text{附 6.6})$$

根据 P_f 值，即可设计锚固墩的尺寸。

三、锚固墩尺寸的优先选择范围：

H 可取 $(2D+0.4\text{m}) \sim (2D+0.7\text{m})$ ；

B 可取 $0.5(2D+0.4\text{m}) \sim 2.4(2D+0.7\text{m})$ ；

A 可取 $1.5(2D+0.4\text{m}) \sim 3.0(2D+0.7\text{m})$ 。

式中 N_A ——作用在锚固墩上的总推力(N)；

N ——锚固墩所承受的管道推力(N)；

A ——锚固墩的长度(m)；

B ——锚固墩的宽度(垂直于管轴)(m)；

H ——锚固墩的高度(m)；

l_a ——弯头到锚固墩的距离(m);

μ ——锚固墩的位移量(m),可取 0—0.02m;

P_s ——锚固墩后背的被动土压力(N);

e_s ——锚固墩后背土的弹性模数(N/m);

H_2 ——锚固墩底面的埋深(m);

H_1 ——锚固墩顶面的埋深(m)。

附录七 本规范用词说明

执行本规范时,对要求严格程度的用词说明如下,以便区别对待

一、表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。

二、表示严格,在正常情况下均应这样做的词:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。

三、表示允许稍有选择,在条件许可时首先应该这样做的词:

正面词采用“宜”或“可”;反面词采用“不宜”。

WWW.SINOAEQ.COM

中国建筑资讯网

附加说明

本规范起草单位和主要起草人名单

起草单位和主要起草人：

中国石油天然气总公司管道局 肖 冶 陈国彬

审查单位：

全国管道结构标准技术委员会

WWW.SINOAEC.COM

中国建筑资讯网