

中华人民共和国行业标准

城 镇 直 埋
供热管道工程技術規程

**Technical specification for directly buried
heating pipeline engineering in city**

CJJ/T 81—98

1998 北 京

中华人民共和国行业标准

城镇直埋供热管道工程技术规程

**Technical specification for directly buried
heating pipeline engineering in city**

CJJ/T 81—98

主编单位：唐山市热力总公司
批准部门：中华人民共和国建设部
施行日期：1999年6月1日

1998 北京

关于发布行业标准《城镇直埋供热 管道工程技术规程》的通知

建标[1998]266号

根据建设部《关于印发1993年工程建设行业标准制订、修订项目计划(建设部部分第一批)的通知》(建标[1993]285号)要求,由唐山市热力总公司主编的《城镇直埋供热管道工程技术规程》,经审查,批准为推荐性行业标准,编号CJJ/T81—98,自1999年6月1日起施行。

本标准由建设部城镇建设标准技术归口单位建设部城市建设研究院负责管理,由唐山市热力总公司负责具体解释。

本标准由建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版。

中华人民共和国建设部

1999年1月4日

前 言

根据建设部建标[1993]285号文的要求,标准编制组在广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际和国内先进标准,并多方征求意见的基础上,制定了本规程。

本规程的主要技术内容是:1. 总则;2. 术语和符号;3. 管道的布置和敷设;4. 管道受力计算与应力验算;5. 固定墩设计;6. 保温及保护壳;7. 工程测量及土建工程;8. 管道安装;9. 工程验收。

本规程由建设部城镇建设标准技术归口单位建设部城市建设研究院归口管理,授权由主编单位负责具体解释。

本标准主编单位是:唐山市热力总公司(地址:河北省唐山市煤医道 21 号;邮政编码:063000)。

本标准参加单位是:北京市煤气热力工程设计院、哈尔滨建筑大学、沈阳热力工程设计研究院、中建二局安装公司、鸡西热力公司、哈尔滨热力公司、中国矿业大学。

本标准主要起草人员是:刘领诚、姚约翰、张立华、尹光宇、王钢、肖锡发、郭华、陈永鹤、黄崇国、马健、张兴业、驾孟彰、李武勇、王莹君。

目 次

1	总则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	管道的布置和敷设	(4)
3.1	管道布置	(4)
3.2	敷设方式	(5)
3.3	管道附件	(6)
4	管道受力计算与应力验算	(7)
4.1	一般规定	(7)
4.2	管壁厚度的计算	(8)
4.3	直管段的轴向力和热伸长	(10)
4.4	转角管段的应力验算	(12)
4.5	三通加固	(14)
4.6	管道竖向稳定性验算	(15)
5	固定墩设计	(16)
5.1	管道对固定墩的推力	(16)
5.2	固定墩结构	(16)
6	保温及保护壳	(19)
6.1	一般规定	(19)
6.2	保温计算	(20)
7	工程测量及土建工程	(21)
7.1	工程测量	(21)
7.2	土方工程	(21)
7.3	构筑物	(22)

8	管道安装	(23)
8.1	一般规定	(23)
8.2	管道安装	(23)
8.3	接口保温	(24)
8.4	试压、清洗及试运行	(25)
9	工程验收	(26)
附录 A	直埋供热管道预处理	(27)
A.1	一般规定	(27)
A.2	管道预处理	(27)
A.3	覆土后预热应力计算	(28)
附录 B	钢材性能	(30)
附录 C	直埋供热管道转角管段弹性抗弯铰解析计算法 ...	(31)
C.1	直埋水平转角管段计算	(31)
C.2	直埋竖向转角管段计算	(34)
C.3	弯头参数	(36)
附录 D	可选择的焊制三通加固方案	(38)
附录 E	直埋供热管道固定墩推力计算	(41)
	本规程用词说明	(45)

1 总 则

1.0.1 为统一我国城镇直埋供热管道工程的设计、施工及验收标准,促进直埋管道技术的发展和推广,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于供热介质温度小于或等于 **150℃**、公称直径小于或等于 **DN500mm** 的钢制内管、保温层、保护外壳结合为一体的预制保温直埋热水管道。

1.0.3 在地震、湿陷性黄土、膨胀土等地区应遵守《室外给水排水和煤气热力工程抗震设计规范》(GB50032)、《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25)、《膨胀土地区建筑地基技术规范》(GBJ112)的规定。

1.0.4 直埋供热管道工程设计、施工和验收除应符合本规程外,尚应符合《城市热力网设计规范》(CJJ34)、《城市供热管网工程施工及验收规范》(CJJ28)等国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 屈服温差 **temperature difference of yielding**

管道在伸缩完全受阻的工作状态下,钢管管壁开始屈服时的工作温度与安装温度之差。

2.1.2 固定点 **fixpoint**

管道上采用强制固定措施不能发生位移的点。

2.1.3 活动端 **free end**

管道上安装套筒、波纹管、弯管等能补偿热位移的部位。

2.1.4 锚固点 **natural fixpoint**

管道温度变化时,直埋直线管道产生热位移管段和不产生热位移管段的自然分界点。

2.1.5 驻点 **stagnation point**

两侧为活动端的直埋直线管段,当管道温度变化且全线管道产生朝向两端或背向两端的热位移,管段中位移为零的点。

2.1.6 锚固段 **fully restrained section**

在管道温度发生变化时,不产生热位移的直埋管段。

2.1.7 过渡段 **partly restrained section**

一端固定(指固定点或驻点或锚固点),另一端为活动端,当管道温度变化时,能产生热位移的直埋管段。

2.1.8 单长摩擦力 **friction of unit lengthwise pipeline**

沿管道轴线方向单位长度保温外壳与土壤的摩擦力。

2.1.9 过渡段最小长度 **minimum friction length**

直埋管道第一次升温到工作循环最高温度时受最大单长摩擦力作用形成的由锚固点至活动端的管段长度。

2.1.10 过渡段最大长度 **maximum friction length**

直埋管道经若干次温度变化,单长摩擦力减至最小时,在工作循环最高温度下形成的由锚固点至活动端的管段长度。

2.2 符 号

- A ——钢管管壁的横截面积(m^2);
- D_c ——预制保温管外壳的外径(m);
- D_i ——钢管内径(m);
- D_o ——钢管外径(m);
- E ——钢材的弹性模量(MPa);
- F_{\max} ——管道的最大单长摩擦力(N/m);
- F_{\min} ——管道的最小单长摩擦力(N/m);
- g ——重力加速度(m/s^2);
- H ——管顶覆土深度(m);
- L_{\max} ——管道的过渡段最大长度(m);
- L_{\min} ——管道的过渡段最小长度(m);
- P_d ——管道的计算压力(MPa);
- t_0 ——管道计算安装温度($^{\circ}\text{C}$);
- t_1 ——管道工作循环最高温度($^{\circ}\text{C}$);
- t_2 ——管道工作循环最低温度($^{\circ}\text{C}$);
- ΔT_y ——管道的屈服温差($^{\circ}\text{C}$);
- α ——钢材的线膨胀系数($\text{m/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$);
- δ ——钢管公称壁厚(m);
- μ ——摩擦系数;
- ν ——钢材的泊松系数;
- ρ ——土壤密度(kg/m^3);
- $[\sigma]$ ——钢材在计算温度下的基本许用应力(MPa);
- σ_b ——钢材在计算温度下的抗拉强度最小值(MPa);
- σ_t ——管道内压引起的环向应力(MPa);
- σ_s ——钢材在计算温度下的屈服极限最小值(MPa)。

3 管道的布置和敷设

3.1 管道布置

3.1.1 直埋供热管道的布置应符合国家现行标准《城市热力网设计规范》(CJJ34)的有关规定。管道与有关设施的相互水平或垂直净距应符合表 3.1.1 的规定。

表 3.1.1 直埋供热管道与有关设施相互净距

名称		最小水平净距 (m)	最小垂直净距 (m)
给水管		1.5	0.15
排水管		1.5	0.15
燃气管道	压力 $\leq 400\text{kPa}$	1.0	0.15
	压力 $\leq 800\text{kPa}$	1.5	0.15
	压力 $> 800\text{kPa}$	2.0	0.15
压缩空气或 CO_2 管		1.0	0.15
排水盲沟沟边		1.5	0.60
乙炔、氧气管		1.5	0.25
公路、铁路坡底脚		1.0	—
地铁		5.0	0.80
电气铁路接触网电杆基础		3.0	—
道路路面		—	0.70
建筑物基础	公称直径 $\leq 250\text{mm}$	2.5	—
	公称直径 $\geq 300\text{mm}$	3.0	—
电缆	通讯电缆管块		1.0
	电力及控制电缆	$\leq 35\text{kV}$	2.0
		$\leq 110\text{kV}$	2.0

注：热力网与电缆平行敷设时，电缆处的土壤温度与月平均土壤自然温度比较，全年任何时候对于电压 10kV 的电力电缆不高出 10°C ，对电压 $35\sim 110\text{kV}$ 的电缆不高出 5°C ，可减少表中所列距离。

3.1.2 直埋供热管道最小覆土深度应符合表 3.1.2 的规定，同时

尚应进行稳定验算。

表 3.1.2 直埋敷设管道最小覆土深度

管 径(mm)	50~125	150~200	250~300	350~400	450~500
车行道下(m)	0.8	1.0	1.0	1.2	1.2
非机动车道下(m)	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9

3.1.3 直埋供热管道穿越河底的覆土深度应根据水流冲刷条件和管道稳定条件确定。

3.2 敷 设 方 式

3.2.1 直埋供热管道的坡度不宜小于 2‰, 高处宜设放气阀, 低处宜设放水阀。

3.2.2 管道应利用转角自然补偿, 10°~60°的弯头不宜用做自然补偿。

3.2.3 管道平面折角小于表 3.2.3 的规定和坡度变化小于 2% 时, 可视为直管段。

表 3.2.3 可视为直管段的最大平面折角(°)

管道公称直径 (mm)	循 环 工 作 温 差 (t_1-t_2)(°C)					
	50	65	85	100	120	140
50~100	4.3	3.2	2.4	2.0	1.6	1.4
125~300	3.8	2.8	2.1	1.8	1.4	1.2
350~500	3.4	2.6	1.9	1.6	1.3	1.1

3.2.4 从干管直接引出分支管时, 在分支管上应设固定墩或轴向补偿器或弯管补偿器, 并应符合下列规定:

1 分支点至支线上固定墩的距离不宜大于 9m。

2 分支点至轴向补偿器或弯管的距离不宜大于 20m。

3 分支点有干线轴向位移时, 轴向位移量不宜大于 50mm, 分支点至固定墩或弯管补偿器的最小距离应符合本规程公式(4.4.2-1)计算“L”型管段臂长的规定, 分支点至轴向补偿器的距

离不应小于 12m。

3.2.5 三通、弯头等应力比较集中的部位,应进行验算,验算不通过时可采取设固定墩或补偿器等保护措施。

3.2.6 当需要减少管道轴向力时,可采取设置补偿器或对管道进行预处理等措施。当对管道进行预处理时,应符合本规程附录 A 的规定。

3.2.7 当地基软硬不一致时,应对地基做过渡处理。

3.2.8 埋地固定墩处应采取可靠的防腐措施,钢管、钢架不应裸露。

3.2.9 轴向补偿器和管道轴线应一致,距补偿器 12m 范围内管段不应有变坡和转角。

3.3 管道附件

3.3.1 直埋供热管道上的阀门应能承受管道的轴向荷载,宜采用钢制阀门及焊接连接。

3.3.2 直埋供热管道变径处(大小头)或壁厚变化处,应设补偿器或固定墩,固定墩应设在大管径或壁厚较大一侧。

3.3.3 直埋供热管道的补偿器、变径管等管件应采用焊接连接。

4 管道受力计算与应力验算

4.1 一般规定

- 4.1.1** 直埋敷设预制保温管道的应力验算采用应力分类法。
- 4.1.2** 本章适用于整体式预制保温直埋热水管道；同时，钢制内管材质应具有明显的屈服极限。
- 4.1.3** 直埋敷设预制保温管道在进行受力计算与应力验算时，供热介质参数和安装温度应符合下列规定：

1 热水管网供、回水管道的计算压力应采用循环水泵最高出口压力加上循环水泵与管道最低点地形高差产生的静水压力。

2 管道工作循环最高温度，应采用室外采暖计算温度下的热网计算供水温度；管道工作循环最低温度，对于全年运行的管网应采用 30°C ，对于只在采暖期运行的管网应采用 10°C 。

3 计算安装温度取安装时当地的最低温度。

- 4.1.4** 单位长度直埋敷设预制保温管的外壳与土壤之间的摩擦力，应按下式计算：

$$F = \pi \rho g \mu (H + D_c/2) \cdot D_c \quad (4.1.4)$$

式中 F ——轴线方向每米管道的摩擦力(N/m)；

H ——管顶覆土深度(m)；当 $H > 1.5\text{m}$ 时， H 取 1.5m 。

- 4.1.5** 保温管外壳与土壤之间的摩擦系数，应根据外壳材质和回填料的不同分别确定。对于高密度聚乙烯或玻璃钢的保温外壳与土壤间的摩擦系数，可按表 4.1.5 采用。

- 4.1.6** 管道径向位移时，土壤横向压缩反力系数 C 宜根据当地土壤情况实测或按经验确定。管道水平位移时， C 值宜取 $1 \times 10^6 \sim 10 \times 10^6 \text{N/m}^3$ ；对于粉质粘土、砂质粉土回填密实度为 $90\% \sim 95\%$ 时， C 值可取 $3 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6 \text{N/m}^3$ 。管道竖向向下位移时， C 值变化范围为 $5 \times 10^6 \sim 100 \times 10^6 \text{N/m}^3$ 。

表 4.1.5

保温管外壳与土壤间的摩擦系数

摩擦系数		回填料		粉质粘土或砂质粉土	
		中	砂	最大摩擦系数 μ_{max}	最小摩擦系数 μ_{min}
保温管 外壳材质		最大摩擦系数 μ_{max}	最小摩擦系数 μ_{min}	最大摩擦系数 μ_{max}	最小摩擦系数 μ_{min}
		高密度聚乙烯或玻璃钢	0.40	0.20	0.40

4.1.7 直埋供热管道钢材的基本许用应力,应根据钢材有关特性,取下列两式中的较小值:

$$[\sigma] = \sigma_s / 3 \quad (4.1.7-1)$$

$$[\sigma] = \sigma_s / 1.5 \quad (4.1.7-2)$$

常用钢材的基本许用应力 $[\sigma]$ 、弹性模量 E 和线膨胀系数 α 值应符合本规程附录B的规定。

4.1.8 直埋预制保温管的应力验算,应符合下列规定:

1 管道在内压、持续外载作用下的一次应力的当量应力,不应大于钢材在计算温度下的基本许用应力 $[\sigma]$ 。

2 管道由热胀、冷缩和其它因位移受约束而产生的二次应力及由内压、持续外载产生的一次应力的当量应力变化范围,不应大于钢材在计算温度下基本许用应力 $[\sigma]$ 的3倍。

3 管道局部应力集中部位的一次应力、二次应力和峰值应力的当量应力变化幅度不应大于钢材在计算温度下基本许用应力 $[\sigma]$ 的3倍。

4.2 管壁厚度的计算

4.2.1 管道的理论计算壁厚应按下式计算:

$$\delta_t = \frac{P_d D_o}{2[\sigma]\varphi + P_d} \quad (4.2.1)$$

式中 δ_t ——管道理论计算壁厚(m);

φ ——基本许用应力修正系数。

4.2.2 基本许用应力修正系数(φ)的取用应符合下列规定:

1. 钢管基本许用应力修正系数应按表 4.2.2-1 取用。

表 4.2.2-1 钢管基本许用应力修正系数

焊缝形式	φ
无缝钢管	1.0
双面自动焊螺旋焊缝钢管	1.0
单面焊接的螺旋焊缝钢管	0.6

2. 纵向焊缝钢管基本许用应力修正系数应按表 4.2.2-2 取用。

表 4.2.2-2 纵缝焊接钢管基本许用应力修正系数

焊接方法	焊缝形式	φ
手工电焊 或气焊	双面焊接有坡口的对接焊接	1.00
	有氩弧焊打底的单面焊接有坡口对接焊接	0.90
	无氩弧焊打底的单面焊接有坡口对接焊接	0.75
熔剂层下的 自动焊	双面焊接对接焊缝	1.00
	单面焊接有坡口对接焊缝	0.85
	单面焊接无坡口对接焊缝	0.80

4.2.3 管道的取用壁厚,应按下列方法确定:

1 管道的计算壁厚按下式计算:

$$\delta_c = \delta_t + B \quad (4.2.3-1)$$

式中 B ——管道壁厚附加值(m)。

2 管道壁厚附加值按下式计算:

$$B = \chi \delta_t \quad (4.2.3-2)$$

式中 χ ——管道壁厚负偏差系数,按表 4.2.3 取用。

表 4.2.3 管道壁厚负偏差系数

管道壁厚偏差(%)	0	-5	-8	-9	-10	-11	-12.5	-15
χ	0.050	0.105	0.141	0.154	0.167	0.180	0.200	0.235

当焊接管道产品标准中未提供壁厚允许负偏差百分数时,壁厚附加值可采用下列数据:

理论壁厚为 $5.5 \times 10^{-3} \text{m}$ 及以下者, $B = 0.5 \times 10^{-3} \text{m}$;
 理论壁厚为 $6 \times 10^{-3} \sim 7 \times 10^{-3} \text{m}$ 者, $B = 0.6 \times 10^{-3} \text{m}$;
 理论壁厚为 $8 \times 10^{-3} \sim 25 \times 10^{-3} \text{m}$ 者, $B = 0.8 \times 10^{-3} \text{m}$ 。

3 管道取用壁厚应采用大于或等于计算壁厚的最小公称壁厚。

4.3 直管段的轴向力和热伸长

4.3.1 管道的屈服温差应按下式计算:

$$\Delta T_y = \frac{1}{\alpha E} [n\sigma_s - (1-\nu)\sigma_t] \quad (4.3.1-1)$$

$$\alpha_t = \frac{P_d D_i}{2\delta} \quad (4.3.1-2)$$

式中 n ——屈服极限增强系数, n 取 1.3;

ν ——泊松系数, 对钢材 ν 取 0.3。

4.3.2 直管段的过渡段长度, 应按下式计算:

1 过渡段最大长度

$$L_{\max} = \frac{[\alpha E (t_1 - t_0) - \nu \sigma_t] A \cdot 10^6}{F_{\min}} \quad (4.3.2-1)$$

当 $t_1 - t_0 > \Delta T_y$ 时, 取 $t_1 - t_0 = \Delta T_y$ 。

2 过渡段最小长度

$$L_{\min} = \frac{[\alpha E (t_1 - t_0) - \nu \sigma_t] A \cdot 10^6}{F_{\max}} \quad (4.3.2-2)$$

当 $t_1 - t_0 > \Delta T_y$ 时, 取 $t_1 - t_0 = \Delta T_y$ 。

4.3.3 管道工作循环最高温度下, 过渡段内任一截面上的最大轴向力和最小轴向力应按下列公式计算:

1 最大轴向力

$$N_{t, \max} = F_{\max} l + F_t \quad (4.3.3-1)$$

当 $l \geq L_{\min}$ 时, 取 $l = L_{\min}$ 。

2 最小轴向力

$$N_{t, \min} = F_{\min} l + F_t \quad (4.3.3-2)$$

式中 $N_{t, \max}$ ——计算截面的最大轴向力(N);

l ——过渡段内计算截面距活动端的距离(m);

F_f ——活动端对管道伸缩的阻力(N);

$N_{t,\min}$ ——计算截面的最小轴向力(N)。

4.3.4 管道工作循环最高温度下,锚固段内的轴向力应按下式计算:

$$N_a = [\alpha E (t_1 - t_0) - \nu \alpha_i] A \cdot 10^6 \quad (4.3.4)$$

当 $t_1 - t_0 > \Delta T_y$ 时,取 $t_1 - t_0 = \Delta T_y$ 。

式中 N_a ——锚固段的轴向力(N)。

4.3.5 对于直管段的当量应力变化范围应进行验算,并应满足下列表达式的要求:

$$\sigma_j = (1 - \nu) \alpha_i - \alpha E (t_2 - t_1) \leq 3[\sigma] \quad (4.3.5-1)$$

式中 σ_j ——内压、热胀应力的当量应力变化范围(MPa)。

当不能满足(4.3.5-1)式的条件时,管系中不应有锚固段存在,且设计布置的过渡段长度应满足下列表达式的要求:

$$L \leq \frac{[3[\sigma] - \alpha_i] A}{1.6 F_{\max}} \cdot 10^6 \quad (4.3.5-2)$$

式中 L ——设计布置的过渡段长度(m)。

4.3.6 两过渡段间驻点位置 Z 应按下式确定(图4.3.6):

$$l_1 = \left[L - \frac{F_{f1} - F_{f2}}{F_{\min}} \right] / 2 \quad (4.3.6)$$

式中 L ——两过渡段管线总长度(m);

l_1 (或 l_2)——驻点左侧(或右侧)过渡段长度(m);

F_{f1} (或 F_{f2})——左侧(或右侧)活动端对管道伸缩的阻力(N)。

当 F_{f1} 或 F_{f2} 的数值与过渡段长度有关,采用迭代计算时, F_{f1} 或 F_{f2} 的误差不应大于 10%。

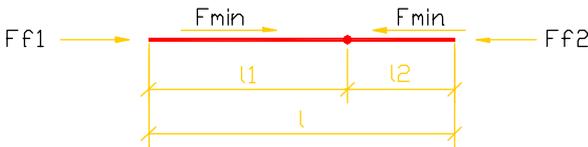


图 4.3.6 计算驻点位置简图

4.3.7 管段伸长量应根据该管段所处的应力状态按下列公式计算:

1 当 $t_1 - t_0 \leq \Delta T_y$ 或 $L \leq L_{\min}$, 整个过渡段处于弹性状态工作时

$$\Delta l = \left[\alpha(t_1 - t_0) - \frac{F_{\min} L}{2EA \cdot 10^6} \right] L \quad (4.3.7-1)$$

2 当 $t_1 - t_0 > \Delta T_y$ 且 $L > L_{\min}$, 管段中部分进入塑性状态工作时

$$\Delta l = \left[\alpha(t_1 - t_0) - \frac{F_{\min} L}{2EA \cdot 10^6} \right] L - \Delta l_p \quad (4.3.7-2)$$

$$\Delta l_p = \alpha(t_1 - \Delta T_y - t_0)(L - L_{\min}) \quad (4.3.7-3)$$

式中 Δl ——管段的热伸长量(m);

L ——设计布置的管段长度(m);当 $L \geq L_{\max}$ 时, L 取 L_{\max} ;

Δl_p ——过渡段的塑性压缩变形量(m)。

4.3.8 过渡段内任一计算点的热位移应按下列步骤计算:

1 计算整个过渡段的热伸长量;

2 以计算点到活动端的距离作为一个假设的过渡段,计算该段的热伸长量;

3 整个过渡段与假设过渡段热伸长量之差即为计算点的热位移量。

4.3.9 采用套筒、波纹管、球型等补偿器对过渡段的热伸长或分支三通位移进行补偿,当过渡段一端为固定点或锚固点时,补偿器补偿能力不应小于过渡段热伸长量(或分支三通位移)的 1.1 倍;当过渡段的一端为驻点时,应乘以 1.2 的系数,但不应大于按过渡段最大长度计算出的伸长量的 1.1 倍。

4.4 转角管段的应力验算

4.4.1 直埋水平弯头和纵向弯头升温弯矩及轴向力可采用弹性抗弯铰解析法或有限元法进行计算。当采用弹性抗弯铰解析法时,应符合本规程附录 C 的规定。

计算弯头弯矩变化范围时,管道的计算温差应采用工作循环最高温度与工作循环最低温度之差;计算转角管段的轴向力时,管道的计算温差应采用工作循环最高温度与计算安装温度之差。

4.4.2 采用弹性抗弯铰解析法进行计算时,“L”型管段的臂长应符合下列规定:

$$l_1(\text{或 } l_2) \geq 2.3/k \quad (4.4.2-1)$$

$$k = \sqrt[4]{\frac{D_o C}{4EI_p \cdot 10^6}} \quad (4.4.2-2)$$

式中 $l_1(\text{或 } l_2)$ ——“L”型管段两侧的臂长(m);

k ——与土壤特性和管道刚度有关的参数

(1/m);

C ——土壤横向压缩反力系数(N/m³)。

4.4.3 “Z”型、“Π”型补偿管段可分割成两个“L”型管段,并可采用弹性抗弯铰解析法进行弯头弯矩及轴向力的计算。分割时应使:“Z”型管段以垂直臂上的驻点将管段分为两个“L”型管段;对于两侧转角相同的“Z”型管段,驻点可取垂直臂中点。“Π”型管段自外伸臂的顶点起将两个外伸臂连同两侧的直管段分为两个“L”型管段。

4.4.4 直埋弯头在弯矩作用下的最大环向应力变化幅度应按下式计算:

$$\sigma_{bt} = \frac{\beta_b M r_{bo}}{I_b} \cdot 10^{-6} \quad (4.4.4-1)$$

$$\beta_b = 0.9(1/\lambda)^{2/3} \quad (4.4.4-2)$$

$$\lambda = R_o \delta_b / (r_{bm})^2 \quad (4.4.4-3)$$

$$r_{bm} = r_{bo} - \delta_b / 2 \quad (4.4.4-4)$$

式中 σ_{bt} ——弯头在弯矩作用下最大环向应力变化幅度(MPa);

β_b ——弯头平面弯曲环向应力加强系数;

M ——弯头的弯矩变化范围(N·m);

r_{bo} ——弯头的外半径(m);

I_b ——弯头横截面的惯性矩(m⁴);

λ ——弯头的尺寸系数；

R_c ——弯头的计算曲率半径(m)；

δ_b ——弯头的公称壁厚(m)；

r_{tm} ——弯头横截面的平均半径(m)。

4.4.5 直埋弯头的强度验算应满足下列条件：

$$\sigma_{bt} + 0.5\sigma_{pt} \leq 3[\sigma] \quad (4.4.5-1)$$

$$\sigma_{pt} = \frac{P_d D_{bt}}{2\delta_b} = \frac{P_d r_{bt}}{\delta_b} \quad (4.4.5-2)$$

式中 D_{bt} ——弯头内径(m)；

r_{bt} ——弯头内半径(m)；

σ_{pt} ——直埋弯头在内压作用下弯头顶(底)部的环向应力(MPa)。

4.5 三通加固

4.5.1 直埋供热管道的焊制三通应根据内压和主管轴向荷载联合作用进行强度验算。三通各部分的一次应力和二次应力的当量应力变化范围不应大于 $3[\sigma]$ ；局部应力集中部位的一次应力、二次应力和峰值应力的当量应力变化幅度不应大于 $3[\sigma]$ 。当不能满足上述条件时应进行加固。

4.5.2 三通加固应采取下列一项或几项措施进行：

1 加大主管壁厚，提高三通总体强度(包括采用不等壁厚的铸钢或锻钢三通)；

2 在开孔区采取加固措施(包括增加支管壁厚)，抑制三通开孔区的变形；

3 在开孔区周围加设传递轴向荷载的结构。

4.5.3 对三通加固方案应进行应力测定或用有限元法计算，以检验加固措施是否满足本规程第 4.5.1 条的规定。

当不进行应力测定和计算时，可按本规程附录 D 中的规定进行加固。

4.6 管道竖向稳定性验算

4.6.1 直埋直管段上的垂直荷载应符合下式要求:

$$Q \geq \frac{\gamma_s \cdot N_{p.\max}^2}{E \cdot I_p} f_0 \quad (4.6.1)$$

式中 Q ——作用在单位长度管道上的垂直分布荷载(N/m);

γ_s ——安全系数, γ_s 取 1.1;

$N_{p.\max}$ ——管道的最大轴向力,按本规程(4.3.3-1)式和(4.3.4)式计算(N);

f_0 ——初始挠度(m);

I_p ——直管横截面惯性矩(m⁴)。

4.6.2 初始挠度应按下式计算:

$$f_0 = \frac{\pi}{200} \sqrt{\frac{EI_p}{N_{p.\max}}} \quad (4.6.2)$$

当 $f_0 < 0.01\text{m}$ 时, f_0 取 0.01m。

4.6.3 垂直荷载应按下式计算:

$$Q = G_w + G + S_F \quad (4.6.3-1)$$

$$G_w = \left[H \cdot D_c + \frac{(4-\pi)}{8} D_c^2 \right] \rho g \quad (4.6.3-2)$$

$$S_F = \rho g \left(H + \frac{D_c}{2} \right)^2 \cdot K_0 \cdot \tan \quad (4.6.3-3)$$

$$K_0 = 1 - \sin \quad (4.6.3-4)$$

式中 G_w ——每米长管道上方的土层重量(N/m);

G ——每米长预制保温管自重(包括介质在内)(N/m);

S_F ——每米长管道上方土体的剪切力(N/m);

K_0 ——土壤静压力系数;

——土壤的内摩擦角。

4.6.4 当竖向稳定性不满足要求时,应采取下列措施:

- 1 增加管道埋深或管道上方荷载;
- 2 降低管道轴向力。

5 固定墩设计

5.1 管道对固定墩的推力

5.1.1 管道对固定墩的作用力,应包括下列三部分:

- 1 管道热胀冷缩受约束产生的作用力;
- 2 内压产生的不平衡力;
- 3 活动端位移产生的作用力。

5.1.2 固定墩两侧管段作用力合成时,应按下列原则进行:

1 根据两侧管段摩擦力下降造成的轴向力变化的差异,按最不利情况进行合成;

2 两侧管段由热胀受约束引起的作用力和活动端作用力的合力相互抵消时,荷载较小方向力应乘以 0.8 的抵消系数;当两侧管段均为锚固段时,抵消系数取 0.9。两侧内压不平衡力的抵消系数取 1。

5.1.3 推力可按本规程附录 E 所列公式计算或采用计算不同摩擦力工况下两侧推力(考虑抵消系数)最大差值的方法进行。

5.2 固定墩结构

5.2.1 直埋固定墩必须进行下列稳定性验算:

1 抗滑移验算(图 5.2.1)

$$K_s = \frac{KE_p + f_1 + f_2 + f_3}{E_a + T} \geq 1.3 \quad (5.2.1-1)$$

式中 K_s ——抗滑移系数;

K ——固定墩后背土压力折减系数,取 0.4~0.7;

E_p ——被动土压力(N);

f_1 、 f_2 、 f_3 ——固定墩底面、侧面及顶面与土壤产生的摩擦力(N);

E_a ——主动土压力(N),当固定墩前后为粘性土时 E_a 可略去;

T ——供热管道对固定墩作用力(N)。

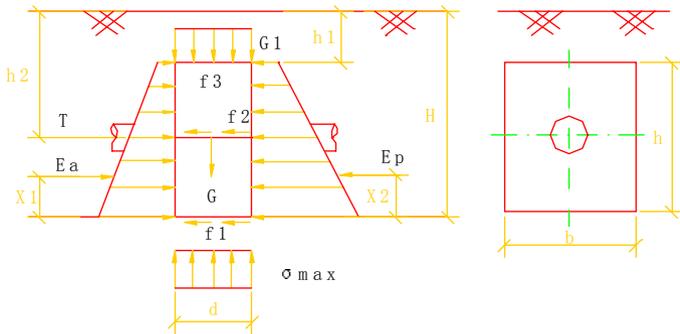


图 5.2.1 固定墩受力简图

2 抗倾覆验算(图 5.2.1)

$$K_{ov} = \frac{KE_p X_2 + (G + G_1)d/2}{E_a X_1 + T(H - h_2)} \geq 1.5 \quad (5.2.1-2)$$

$$\sigma_{max} \leq 1.2f \quad (5.2.1-3)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \rho g b h (h_1 + H) \operatorname{tg}^2 \left[45^\circ + \frac{\alpha}{2} \right] \quad (5.2.1-4)$$

$$E_a = \frac{1}{2} \rho g b h (h_1 + H) \operatorname{tg}^2 \left[45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right] \quad (5.2.1-5)$$

式中 K_{ov} ——抗倾覆系数;

X_2 ——被动土压力 E_p 作用点至固定墩底面距离(m);

X_1 ——主动土压力 E_a 作用点至固定墩底面距离(m);

G ——固定墩自重(N);

G_1 ——固定墩上部覆土重(N);

σ_{max} ——固定墩底面对土壤的最大压应力(Pa);

f ——地基承载力设计值(Pa);

b, d, h ——固定墩几何尺寸(宽、厚、高)(m);

h_1 、 h_2 、 H ——固定墩顶面、管孔中心和底面至地面的距离(m)；
——回填土内摩擦角，砂土取 30° 。

5.2.2 回填土与固定墩的摩擦系数 μ_m 应按表 5.2.2 取用。

表 5.2.2 回填土与固定墩的摩擦系数

土 壤 类 别		摩 擦 系 数
粘 性 土	可塑性	0.25~0.30
	硬 性	0.30~0.35
	坚硬性	0.35~0.45
粉 土	土壤饱和度 < 0.5	0.30~0.40
中砂、粗砂、砾砂		0.40~0.50
碎 石 土		0.6

5.2.3 固定墩强度及配筋计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GBJ10)的规定。

5.2.4 制作固定墩所用混凝土强度等级不应低于 **C20**，钢筋直径不应小于 **8**，其间距不应大于 **250mm**。钢筋应采用双层布置，保护层不应小于 **30mm**。

5.2.5 供热管道穿过固定墩处，孔边应设置加强筋。

6 保温及保护壳

6.1 一般规定

6.1.1 直埋供热管道的保温结构是由保温层与保护壳组成。保护壳应连续、完整和严密。保温层应饱满,不应有空洞。保温结构应有足够的强度并与钢管粘结为一体。

6.1.2 直埋供热管道与管件的保温结构设计,应按国家现行标准《设备及管道保温技术通则》(GB4271)、《设备及保温设计导则》(GB8175)、《城市热力网设计规范》(CJJ34)和本规程的规定执行。

6.1.3 聚氨酯泡沫塑料预制保温管性能应符合国家现行标准《聚氨酯泡沫塑料预制保温管》(CJ/T 3002)的规定。

6.1.4 直埋供热管道保温层除应具有良好保温性能外,还应符合表 6.1.4 的规定。

表 6.1.4 直埋供热管道保温层耐热性及强度指标

项 目	指 标
耐 热 性	不低于设计工作温度
抗 压 强 度	$\geq 200\text{kPa}$
剪切强度(含与内管和外壳粘结)	$\geq 120\text{kPa}$

6.1.5 直埋供热管道及管件应在工厂预制,现场只进行接口施工。

6.1.6 在贮存、运输期间,预制保温管、管件的保温端面必须有良好的防水漆面,管端应有保护封帽。

6.1.7 保温层内设置报警线的保温管,报警线之间、报警线与钢管之间的绝缘电阻值应符合产品标准的规定。

6.2 保温计算

6.2.1 直埋供热管道保温层应满足工艺对供热介质温度降、保温管周围土壤温度场等的技术要求,当经济保温层厚度能满足技术要求时,取经济保温层厚度,但最小厚度应满足制造工艺要求。

6.2.2 经济保温厚度、技术保温厚度和管道热损失计算中有关参数,应符合国家现行标准《城市热力网设计规范》(CJJ34)的规定。

7 工程测量及土建工程

7.1 工程测量

7.1.1 直埋供热管道工程测量,应符合国家现行标准《城市测量规范》(CJJ8)、《城市供热管网工程施工及验收规范》(CJJ28)及本规程的规定。

7.1.2 施工时,直埋供热管道全部管线都应进行平面位置测量和高程测量,并应符合设计要求。

7.1.3 直埋供热管道工程应进行详细竣工测量,主要内容应包括:

1 平面测量:管线始末点、转角点的坐标和与永久性建筑物的相对位置(条件不允许时可只取其中一种),直埋阀门、补偿器、固定墩、变径管和交叉管线的位置。

2 高程测量:所有的变坡点、转角点和沿线每隔 50m 的管顶高程,其它交叉管线的高程。

7.2 土方工程

7.2.1 沟槽的土方开挖宽度,应根据管道外壳至槽底边的距离确定。管周围填砂时该距离不应小于 100mm;填土时,该距离应根据夯实工艺确定。

7.2.2 沟槽、检查室经工程验收合格、竣工测量后,应及时进行回填。

7.2.3 沟槽因填前应先 will 槽底清除干净,有积水时应先排除。

7.2.4 沟槽胸腔部位应填砂或过筛的细土,回填料种类由设计确定。填砂时,回填高度应符合设计要求;填土时,筛土颗粒不应大于 20mm,回填范围为保温管顶以上 150mm 以下的部位。

7.2.5 回填料应分层夯实,各部位的密实度应符合国家现行标准《城市供热管网工程施工及验收规范》(CJJ28)的规定。

7.3 构筑物

7.3.1 直埋供热管道的检查室施工时,应保证穿越口与管道轴线一致,偏差度应满足设计要求,并按设计要求做好管道穿越口的防水、防腐。

7.3.2 固定墩混凝土浇筑前应检查与混凝土接触部位的管道及卡板防腐层,防腐层应完好,有损坏时应修补。

7.3.3 内嵌式固定墩应待固定墩两侧供热管道连接调整就位后,且在安装补偿器之前进行混凝土浇筑。

8 管道安装

8.1 一般规定

8.1.1 进入现场的预制保温管、管件和接口材料,都应具有产品合格证及性能检测报告,检测值应符合国家现行产品标准的规定。

8.1.2 进入现场的预制保温管和管件必须逐件进行外观检验,破损和不合格产品严禁使用。

8.1.3 预制保温管应分类整齐堆放,管端应有保护封帽。堆放场地应平整,无硬质杂物,不积水。堆高不宜超过**2m**,堆垛离热源不应小于**2m**。

8.2 管道安装

8.2.1 管道安装前应检查沟槽底高程、坡度、基底处理是否符合设计要求。管道内杂物及砂土应清除干净。

8.2.2 管道运输吊装时宜用宽度大于**50mm**的吊带吊装,严禁用铁棍撬动外套管和用钢丝绳直接捆绑外壳。

8.2.3 等径直管段中不应采用不同厂家、不同规格、不同性能的预制保温管,当无法避免时,应征得设计部门同意。

8.2.4 预制保温管可单根吊入沟内安装,也可**2**根或多根组焊完后吊装。当组焊管段较长时,宜用两台或多台吊车抬管下管,吊点的位置按平衡条件选定。应用柔性宽吊带起吊,并应稳起、稳放。严禁将管道直接推入沟内。

8.2.5 安装直埋供热管道时,应排除地下水或积水。当日工程完工时应将管端用盲板封堵。

8.2.6 有报警线的预制保温管,安装前应测试报警线的通断状况和电阻值,合格后再下管对口焊接。报警线应在管道上方。

8.2.7 安装预制保温管道的报警线时,应符合产品标准的规定。在施工中,报警线必须防潮;一旦受潮,应采取预热、烘烤等方式干燥。

8.2.8 安装前应按设计给定的伸长值调整一次性补偿器。施焊时两条焊接线应吻合。

8.2.9 直埋供热管道敞口预热应分段进行,宜采取 **1km** 为一段。预热介质宜采用热水,预热温度应按设计要求确定。

8.3 接口保温

8.3.1 直埋供热管道接口保温应在管道安装完毕及强度试验合格后进行。

8.3.2 管道接口处使用的保温材料应与管道、管件的保温材料性能一致。

8.3.3 接口保温施工前,应将接口钢管表面、两侧保温端面和搭接段外壳表面的水分、油污、杂质和端面保护层去除干净。

8.3.4 管道接口使用聚氨酯发泡时,环境温度宜为 **20℃**,不应低于 **10℃**;管道温度不应超过 **50℃**。

8.3.5 对 **DN200** 以上管道接口不宜采用手工发泡。

8.3.6 管道接口保温不宜在冬季进行。不能避免时,应保证接口处环境温度不低于 **10℃**。严禁管道浸水、覆雪。接口周围应留有操作空间。

8.3.7 发泡原料应在环境温度为 **10~25℃** 的干燥密闭容器内贮存,并应在有效期内使用。

8.3.8 接口保温采用套袖连接时,套袖与外壳管连接应采用电阻热熔焊;也可采用热收缩套或塑料热空气焊,采用塑料热空气焊应用机械施工。

8.3.9 套袖安装完毕后,发泡前应做气密性实验,升压至 **20kPa**,接缝处用肥皂水检验,无泄漏为合格。

8.3.10 对需要现场切割的预制保温管,管端裸管长度宜与成品管一致,附着在裸管上的残余保温材料应彻底清除干净。

8.3.11 硬质泡沫保温物质应充满整个接口环状空间,密度应大于 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 。

8.3.12 对采用玻璃钢外壳的管道接口,使用模具作接口保温时,接口处的保温层应和管道保温层顺直,无明显凹凸及空洞。

8.3.13 接口处,玻璃钢防护壳表面应光滑顺直,无明显凸起、凹坑、毛刺,防护壳厚度不应小于管道防护壳厚度;两侧搭接不应小于 80mm 。

8.4 试压、清洗及试运行

8.4.1 直埋供热管道工程试压、清洗及试运行应符合国家现行标准《城市供热管网工程施工及验收规范》(CJJ28)的规定。

9 工程验收

9.0.1 直埋供热管道工程在单项、分部、分项工程验收合格后,进行总体验收。

9.0.2 直埋供热管道工程的单项、分部、分项工程质量验收除应遵守《城市供热管网工程施工及验收规范》(CJJ28)的有关规定外,还应包括下列内容:

- 1 管道地基处理、胸腔回填料、回填土高度和回填密实度;
- 2 回填前预制保温管外壳完好性;
- 3 预制保温管接口及报警线;
- 4 预制保温管与固定墩连接处防水防腐及检查室穿越口处理;
- 5 管道轴线偏差;
- 6 预拉预热伸长量、一次性补偿器预调整值及焊接线吻合格率;
- 7 防止管道失稳措施。

附录 A 直埋供热管道预处理

A.1 一般规定

A.1.1 在满足本规程(4.3.5-1)式条件的前提下,调整管道中的轴向力可采用预拉伸、敞沟预热、设置一次性补偿器覆土后预热等预处理方法。

A.1.2 本附录中所列公式适用于预处理管段未发生屈服的情况。

A.1.3 循环中间温度 t_m 根据工艺要求确定或按下式计算:

$$t_m = 0.5 \times (t_1 + t_2) \quad (\text{A.1.3})$$

式中 t_m ——中间温度,即管段内平均应力为零(未计入内压影响)的温度(°C)。

A.1.4 预处理管段伸长量应按下式计算:

$$\Delta L = \alpha(t_m - t_i)L_{pr} \quad (\text{A.1.4})$$

式中 ΔL ——预处理管段伸长量(m);

t_i ——预处理管段初始应力为零时管道温度(°C);

L_{pr} ——预处理管段长度(m)。

A.2 管道预处理

A.2.1 敞沟预热宜选用充水预热方式,亦可采用电加热。

A.2.2 预拉伸处理和敞沟预热时,应在保证管道伸长量符合设计值并且保持不变时进行覆土夯实。

A.2.3 当大型管网采用分段预处理,在下一管段进行预拉伸或敞沟预热时,上一管段回缩的长度应一并补足。

A.2.4 覆土后预热管道分段长度应符合下式要求:

$$L_s \leq \frac{2AE\alpha(t_{p,\max} - t_m)}{F} \times 10^6 \quad (\text{A. 2. 4})$$

式中 L_s ——一次性补偿器到固定点或驻点的距离,即管道分段长度(m);

$t_{p,\max}$ ——最高预热温度(℃), $t_{p,\max}$ 应取小于或等于 t_1 ;

F ——预热段土壤对管道的摩擦力(N/m)。

A. 2. 5 覆土后预热管段外宜包裹塑料薄膜,摩擦系数应采用首次升温时的值。

A. 2. 6 使用一次性补偿器进行覆土后预热时,预热宜与热网试运行合并进行;预热段与相邻非预热段应用固定墩隔开。

A. 2. 7 使用一次性补偿器进行覆土后预热时,一次性补偿器的补偿量应在预热前调整为设计值,并应在伸长量到位后将一次性补偿器焊接成整体。

A. 2. 8 一个预热段设置多个一次性补偿器时,一次性补偿器应均布;管段总热伸长应符合设计值。

A. 2. 9 一个预热段设置多个一次性补偿器时,预热段长度应符合下式规定:

$$L \leq 2nL_s \quad (\text{A. 2. 9})$$

式中 L_s ——管道分段长度(m);

L ——预热段长度(m);

n ——设置的一次性补偿器数量。

A. 3 覆土后预热应力计算

A. 3. 1 管段计算预热温度应按下式计算:

$$t_{qp} = t_m + \frac{L_c F}{2AE\alpha} \times 10^{-6} \quad (\text{A. 3. 1})$$

式中 t_{qp} ——计算预热温度(℃);

L_c ——计算的管段长度(m)。

A. 3. 2 覆土后预热的管段初运行时,工作循环最高温度下压应力应按下式计算:

1. 一次性补偿器处:

$$\sigma_{c1} = E\alpha(t_1 - t_{dp}) \quad (\text{A. 3. 2-1})$$

2. 管段与一次性补偿器相对应的另一端:

$$\sigma_{c2} = E\alpha[t_1 - t_{dp}] + FL_c/A \quad (\text{A. 3. 2-2})$$

A. 3. 3 覆土后预热的管段初运行时,工作循环最低温度下拉应力应按下列公式计算:

1 一次性补偿器处:

$$\sigma_{d1} = E\alpha(t_{dp} - t_2) \quad (\text{A. 3. 3-1})$$

2 管段与一次性补偿器相对应的另一端:

$$\sigma_{d2} = E\alpha[t_{dp} - t_2] - FL_c/A \quad (\text{A. 3. 3-2})$$

A. 3. 4 管段内应力均布后,最大压应力和最大拉应力应按下列公式计算:

1 最大压应力:

$$\sigma_{c, \max} = E\alpha[t_1 - t_m] \quad (\text{A. 3. 4-1})$$

2 最大拉应力:

$$\sigma_{d, \max} = E\alpha[t_m - t_2] \quad (\text{A. 3. 4-2})$$

式中 t_{dp} ——计算管段的计算预热温度(°C)。

附录 B 钢材性能

B. 0. 1 常用钢材的基本许用应力应符合表 B. 0. 1 的规定。

表 B. 0. 1 常用钢材的基本许用应力 $[\sigma]$ (MPa)

钢 号	10	20, 20g	Q235
σ_b	333. 5	402. 2	375
σ_s	206. 0	215. 8	235
计算温度 20~200℃	111. 1	134. 1	125

B. 0. 2 常用钢材的弹性模量 E 和线膨胀系数 α 值应符合表 B. 0. 2 的规定。

表 B. 0. 2 常用钢材的弹性模量和线膨胀系数

钢材物理特性		弹性模量 $E(10^4\text{MPa}, 10^{10}\text{N/m}^2)$			线膨胀系数 $\alpha(10^{-6}\text{m/m} \cdot ^\circ\text{C})$		
		10	20, 20g	Q235	10	20, 20g	Q235
计算温度 (℃)	20	19. 8	19. 8	20. 6			
	100	19. 1	18. 2	20. 0	11. 9	11. 2	12. 2
	150	18. 6	18. 0	19. 6	12. 3	11. 6	12. 6
	200	18. 1	17. 6	19. 2	12. 6	12. 1	13. 0

注 Q235 是替代 A3, A3g 的新钢号。

附录 C 直埋供热管道转角管段弹性抗弯铰解析算法

C.1 直埋水平转角管段计算

C.1.1 水平转角管段的过渡段长度应按下列公式计算：

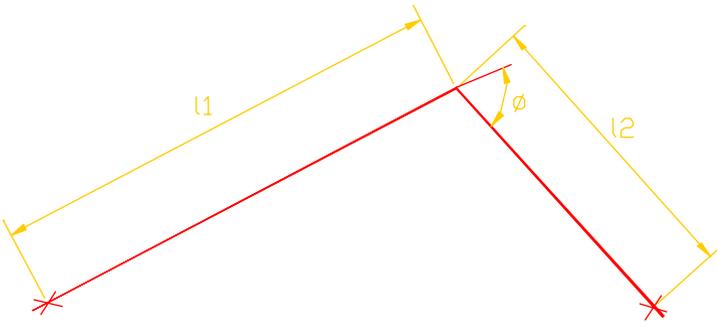


图 C.1.1 水平转角管段示意图

$$l_{t, \max} = \sqrt{Z^2 + \left[\frac{2Z}{F_{\min}} \right] \cdot N_a} - Z \quad (\text{C.1.1-1})$$

$$l_t = \sqrt{Z^2 + \left[\frac{Z}{F_{\min}} \right] \cdot N_b} - Z \quad (\text{C.1.1-2})$$

$$Z = \frac{A \cdot \text{tg}^2(\varphi/2)}{2k^3 I_p (1 + C_M)} \quad (\text{C.1.1-3})$$

$$k = \sqrt[4]{\frac{D_c \cdot C}{4EI_p \cdot 10^6}} \quad (\text{C.1.1-4})$$

$$C_M = \frac{1}{1 + K \gamma R_c (I_p / I_0)} \quad (\text{C.1.1-5})$$

$$\lambda = \frac{R\delta_b}{r_{bm}^2} \quad (\text{C. 1. 1-6})$$

$$N_a = [\alpha E(t_1 - t_0) - \nu\alpha_1]A \cdot 10^6 \quad (\text{C. 1. 1-7})$$

当 $t_1 - t_0 > \Delta T_y$ 时, 取 $(t_1 - t_0) = \Delta T_y$ 。

$$N_b = [\alpha E(t_1 - t_2) - \nu\alpha_1]A \cdot 10^6 \quad (\text{C. 1. 1-8})$$

式中 $l_{t.\max}$ —— 水平转角管段的过渡段最大长度(m);

l_t —— 水平转角管段循环工作状态下的过渡段长度(m);

C —— 土壤横向压缩反力系数(N/m³);

K —— 弯头的柔性系数;

R_c —— 弯头的计算曲率半径(m);

—— 转角管段的折角(弧度);

I_b —— 弯头横截面的惯性矩(m⁴);

I_p —— 直管横截面的惯性矩(m⁴);

λ —— 弯头的尺寸系数;

δ_b —— 弯头壁厚(m);

r_{bm} —— 弯头横截面的平均半径(m)。

C. 1. 2 水平转角管段弯头弯矩变化范围计算

1 水平转角管段的计算臂长 l_{c1} 、 l_{c2} 和平均计算臂长 l_{cm} 应按下列方法确定:

当 $l_1 \geq l_2 \geq l_t$ 时, 取 $l_{c1} = l_{c2} = l_t$;

当 $l_1 \geq l_t \geq l_2$ 时, 取 $l_{c1} = l_t$, $l_{c2} = l_2$;

当 $l_t \geq l_1 \geq l_2$ 时, 取 $l_{c1} = l_1$, $l_{c2} = l_2$;

$$l_{cm} = \frac{l_{c1} + l_{c2}}{2} \quad (\text{C. 1. 2-1})$$

式中 l_1 、 l_2 —— 设计布置的转角管段两侧臂长(m)。

2 弯头的弯矩变化范围按下列公式计算:

$$M = \frac{C_M [\alpha E A (t_1 - t_2) \cdot 10^6 - F_{\min} l_{cm}] \operatorname{tg}(\angle / 2)}{k \left[1 + C_M + \frac{A \operatorname{tg}^2(\angle / 2)}{2\kappa^3 I_p l_{cm}} \right]} \quad (\text{C. 1. 2-2})$$

式中 M —— 转角管段的弯矩变化范围(N · m)。

C. 1. 3 水平转角管段弯头的升温轴向力计算应符合下列规定：

1 水平转角管段的计算臂长 l_{c1} 、 l_{c2} 和平均计算臂长 l_{cm} 应按下列方法确定：

当 $l_1 \geq l_2 \geq l_{t, \max}$ 时，取 $l_{c1} = l_{c2} = l_{t, \max}$ ；

当 $l_1 \geq l_{t, \max} \geq l_2$ 时，取 $l_{c1} = l_{t, \max}$ ， $l_{c2} = l_2$ ；

当 $l_{t, \max} \geq l_1 \geq l_2$ 时，取 $l_{c1} = l_1$ ， $l_{c2} = l_2$ ；

$$l_{cm} = \frac{l_{c1} + l_{c2}}{2} \quad (\text{C. 1. 3-1})$$

式中 l_1 、 l_2 ——设计布置的转角管段两侧臂长(m)。

2 弯头的轴向力应按下列公式计算：

当计算臂长 $l_{c1} = l_{c2} = l_{cm}$ 时

$$N = \frac{(1 + C_M) [\alpha E A (t_1 - t_0) \cdot 10^6 - 1/2 F_{\min} l_{cm}]}{1 + C_M + \frac{A \text{tg}^2(\ /2)}{2k^3 I_p l_{cm}}} \quad (\text{C. 1. 3-2})$$

当计算臂长 $l_{c1} \neq l_{c2}$ 时

$$N_1 = \frac{B + Q \cdot n_1}{U} \quad (\text{C. 1. 3-3})$$

$$N_2 = \frac{B + Q \cdot n_2}{U} \quad (\text{C. 1. 3-4})$$

$$B = (1 + C_M) \left[\alpha E A (t_1 - t_0) \cdot 10^6 - \frac{F_{\min}}{2} \left(\frac{l_{c1}^2 + l_{c2}^2}{l_{c1} + l_{c2}} \right) \right] \quad (\text{C. 1. 3-5})$$

$$Q = \text{tg}^4 \frac{1}{2} \left[\alpha E A (t_1 - t_0) \cdot 10^6 - \frac{F_{\min}}{2} (l_{c1} + l_{c2}) \right] \quad (\text{C. 1. 3-6})$$

$$U = 1 + C_M + \frac{A \text{tg}^2(\ /2)}{k^3 I_p (l_{c1} + l_{c2})} \quad (\text{C. 1. 3-7})$$

$$n_1 = \frac{l_{c1} - l_{c2}}{l_{c1} + l_{c2}} \quad (\text{C. 1. 3-8})$$

$$n_2 = \frac{l_{c2} - l_{c1}}{l_{c1} + l_{c2}} \quad (\text{C. 1. 3-9})$$

式中 N ——弯头两侧计算臂长相等时的轴向力(N)；
 N_1 ——弯头两侧计算臂长不等时， l_{a1} 侧的轴向力(N)；
 N_2 ——弯头两侧计算臂长不等时， l_{a2} 侧的轴向力(N)。

C. 2 直埋竖向转角管段计算

C. 2. 1 竖向转角管段分为两类，一类为弯头在下(曲率中心在上)，其内力计算与水平转角管段相同，应按本规程第 C. 1 节规定进行，土壤压缩反力系数取较大值。另一类为弯头在上(曲率中心在下)，弯头两侧管道所受土壤压力近似等于顶起的土体重力，不随位移的增加而增大，计算方法应按本节规定进行。

C. 2. 2 竖向转角管段的过渡段长度 l_t 及变形段长度 l_{td} 应按下列公式计算：

$$l_{td} = \frac{(1+\xi)r_m}{4tg^{3/2}(\ /2)S_2} \left[\sqrt{1+S_1S_2N_1} - 1 \right] \quad (C. 2. 2-1)$$

$$S_1 = \frac{16tg^{5/2}(\ /2)}{(1+\xi)^2 P r_m} \quad (C. 2. 2-2)$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{(0.5-\xi)F_{min}}{3P}} \quad (C. 2. 2-3)$$

$$\xi = \frac{l_{td}}{3[l_{td} + KR_c (I_p/I_b)]} \quad (C. 2. 2-4)$$

N_1 按下式计算：

$$N_1 = [\alpha E (l_1 - l_0) - \nu \sigma_t] A \cdot 10^6 \quad (C. 2. 2-5)$$

当 $l_1 - l_0 > \Delta T_y$ 时，取 $l_1 - l_0 = \Delta T_y$ 。

式中 l_{td} ——竖向转角管段臂长为过渡段长度 l_t 时的变形段长度(m)；

P ——土压力，取变形段管顶平均覆土重(N/m)；

r_m ——管子的平均半径(m)。

用迭代法可解出 l_{td} 值(l_{td} 设定值与计算值相差 2% 以下即可

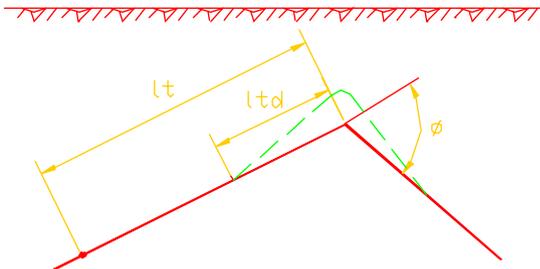


图 C. 2. 2 竖向转角管段示意图

停止迭代)。

过渡段长度 l_t , 在变形段长度 l_{td} 确定后用下式计算:

$$l_t = \left[\frac{l_{td}^2}{r_m} \right] \sqrt{\frac{(0.5 - \xi)P}{3F_{\min}}} \operatorname{tg}(\ /2) \quad (\text{C. 2. 2-6})$$

C. 2. 3 当竖向转角管段臂长 $l < l_t$ (图 C. 2. 2) 时, 变形段长度 l_d 应按下列公式计算:

$$\left(\frac{l_d}{l} \right)^4 = \frac{6r_m^2}{l^2(0.5 - \xi)\operatorname{tg}^2(\ /2)}$$

$$\left[\left(\frac{\alpha EA (t_1 - t_0) \cdot 10^6 - 0.5F_{\min}l}{Pl} \right) \operatorname{tg}(\ /2) - \frac{1}{2}(1 + \xi) \left(\frac{l_d}{l} \right) \right] \quad (\text{C. 2. 3-1})$$

$$\xi = \frac{l_d}{3[l_d + KR_c (I_p/I_b)]} \quad (\text{C. 2. 3-2})$$

l_d 值可用迭代法解出(计算精度 2%)。

C. 2. 4 竖向转角管段的计算变形长度 l_{td} 应按下列方法确定:

当 $l \geq l_t$ 时, 取 $l_{td} = l_{td}$;

当 $l < l_t$ 时, 取 $l_{td} = l_d$ 。

C. 2. 5 竖向转角管段弯头的弯矩变化范围、轴向力和横向位移应按下列公式计算:

$$M = \frac{1}{2} \xi Pl_{td}^2 \quad (\text{C. 2. 5-1})$$

$$N = \frac{Pl_{td}}{2\operatorname{tg}(\ /2)(1 + \xi)} \quad (\text{C. 2. 5-2})$$

$$a = \frac{P l_{\text{ad}}^4}{72 E I_p} \left[\frac{l_{\text{ad}} + 3 K R_c}{l_{\text{ad}} + K R_c} \left(\frac{I_p}{I_b} \right) \right] \quad (\text{C. 2. 5-3})$$

式中 M ——弯头的弯矩变化范围(N·m);

N ——弯头的升温轴向力(N);

a ——直管臂弯头端的横向位移(m)。

C. 3 弯头参数

C. 3. 1 光滑弯头的计算曲率半径等于弯头的实际曲率半径,即:

$$R_c = R \quad (\text{C. 3. 1})$$

C. 3. 2 焊制弯头的计算曲率半径,依焊制弯头的结构形式,应按下列方法确定(图 C. 3. 2):

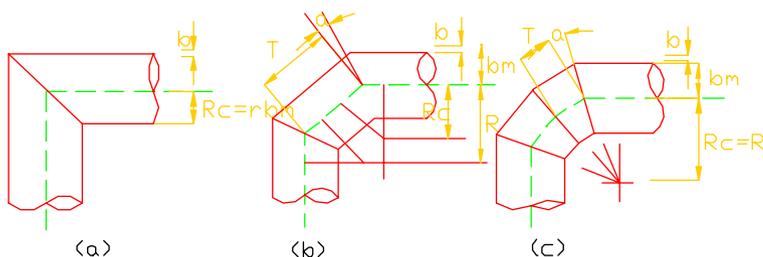


图 C. 3. 2 焊制弯头结构形式

(a)单斜接缝;(b)稀缝;(c)密缝

对于单斜接缝焊制弯头:

$$R_c = r_{\text{bm}} \quad (\text{C. 3. 2-1})$$

对于稀缝焊制弯头,即 $T \geq r_{\text{bm}}(1 + \text{tg} \alpha)$ 时:

$$R_c = r_{\text{bm}}(1 + \text{ctg} \alpha)/2 \quad (\text{C. 3. 2-2})$$

对于密缝焊制弯头,即 $T < r_{\text{bm}}(1 + \text{tg} \alpha)$ 时:

$$R_c = (T \times \text{ctg} \alpha)/2 \quad (\text{C. 3. 2-3})$$

式中 T ——焊制弯头扇形节中心线长度(m);

α ——焊制弯头扇形节夹角之半。

C. 3. 3 光滑弯头的柔性系数应按下式计算：

$$K=1.65/\lambda \quad (\text{C. 3. 3-1})$$

式中 λ ——弯头的尺寸系数。

$$\lambda=R_c\delta_b/r_{bm}^2 \quad (\text{C. 3. 3-2})$$

C. 3. 4 焊制弯头的柔性系数应按下式计算：

$$K=1.52/\lambda^{5/6} \quad (\text{C. 3. 4})$$

附录 D 可选择的焊制三通加固方案

D. 0. 1 焊制三通加固方案的适用范围应为：

管径小于或等于 **DN500**；主管相对壁厚(δ/DN)大于或等于 **1. 6%**；内压小于或等于 **1. 4MPa**；工作循环温差小于或等于 **120℃**；工作管段为锚固段。

D. 0. 2 加固方案类型宜按表 **D. 0. 2** 选取(图 **D. 0. 2-1**、图 **D. 0. 2-2**、图 **D. 0. 2-3**)。

表 **D. 0. 2** 加固方案类型选择表

支管公称直径 主管公称直径	DN									
	500	450	400	350	300	250	200	150	125	100
DN500										
DN450									I	
DN400				II			II			
DN350										
DN300										
DN250										
DN200										
DN150										I
DN125										
DN100										

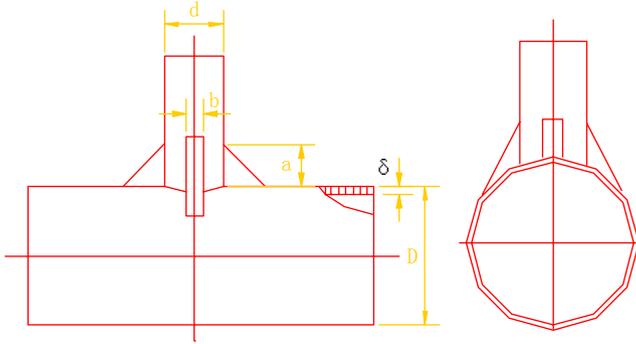


图 D.0.2-1 I 型加固方案

$$a=0.7d \quad b=2.5\delta$$

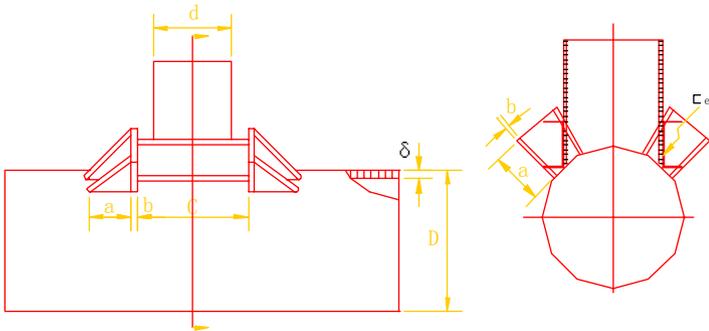


图 D.0.2-2 II 型加固方案

$$a \text{ 视 } [e] \text{ 尺寸而定} \quad b=2.5\delta \quad c=d+100$$

$[e]$ 的横截面积 \approx 主管开孔挖去的管壁横截面积之半

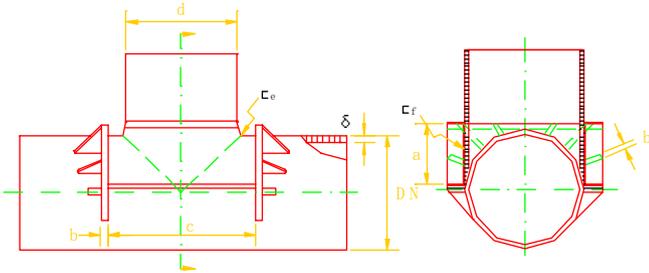


图 D. 0. 2-3 III型加固方案

$$a = [f \text{ 高度} + 20\text{mm}] \quad b = 2.5\delta \quad c = d + 2[e \text{ 高度}]$$

$$[e: \text{主管 } D \geq 400 \text{ 时为 } [8]$$

$$D = 350, 300 \text{ 时为 } [6.3]$$

$$D \leq 250 \text{ 时为 } [5]$$

$[f$ 横截面积 \approx 主管开孔挖去的管壁横截面积之半

附录 E 直埋供热管道固定墩推力计算

E. 0. 1 本附录按 5. 1 节规定原则,对常见的管道布置形式中的固定墩提出推力计算公式。当实际工程中出现不同的布置形式时,可参考相似形式的计算原则确定计算公式。计算公式不考虑固定墩位移的影响。

E. 0. 2 各种管道布置形式的计算应按表 E. 0. 2 所列公式计算。

E. 0. 3 表 E. 0. 2 中的推力系数 Ψ 和综合抵消系数 η 是按表 E. 0. 3 中所列摩擦力下降规律得出的(图 E. 0. 3-1 和图 E. 0. 3-2)。

表 E. 0. 3 摩擦力下降规律

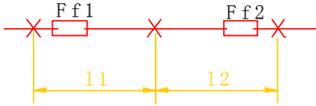
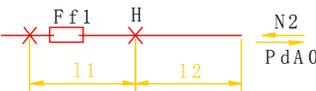
升温次数	1	2	3	4	5	6	7	8
$\frac{\text{本次摩擦力}}{\text{首次升温摩擦力}} \rightarrow \%$	100	43	40	39	38	38	38	38

E. 0. 4 判别值 \bar{l}_1 、 \bar{l}_2 用下列方法求出:

$$\bar{l}_1 = \frac{l_1 - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}};$$

$$\bar{l}_2 = \frac{l_2 - l_{t, \min}}{l_{t, \max} - l_{t, \min}}$$

表 E.0.2 等径等壁厚管道各种布置形式的固定墩推力

1		<p>(1) $l_1 \geq l_2 \geq L_{max}$ $H = 0.1 \cdot N_a$</p> <p>(2) $l_1 \geq L_{max} > l_2$ $H = N_a - 0.8(F_{min} l_2 + F_{f2})$</p> <p>(3) $L_{max} > l_1 \geq l_2 \geq L_{min}$ $H = \Psi \cdot N_a - 0.8F_{f2}$</p> <p>(4) $L_{max} > l_1 \geq L_{min} > l_2$ $H = N_a - \eta F_{max} l_2 - 0.8F_{f2}$</p> <p>(5) $L_{min} \geq l_1 \geq l_2$ $H = F_{max}(l_1 - 0.8l_2) + F_{f1} - 0.8F_{f2}$ $= F_{max} l_1 + F_{f1} - 0.8(F_{max} l_2 + F_{f2})$</p>
2		<p>(1) $l_1 \geq L_{max}; l_2 \geq l_{t,max}$ $H = 0.1 \cdot N_a$</p> <p>(2) $l_1 \geq L_{max}; l_{t,max} > l_2$ $H = N_a - 0.8(F_{min} l_2 + N_2) + P_d A_0$</p> <p>(3) $l_2 \geq l_{t,max}; L_{max} > l_1$ $H = N_a - 0.8(F_{min} l_1 + F_{f1})$</p> <p>(4) $L_{max} > l_1 \geq L_{min}; l_{t,max} > l_2 \geq l_{t,max}$ 当 $l_1 > l_2$ 时 $H = \Psi' \cdot N_a - 0.8N_2 + P_d A_0$ 当 $l_2 > l_1$ 时 $H = \Psi'' \cdot N_a - 0.8F_{f1}$</p> <p>(5) $L_{max} > l_1 \geq L_{min}; l_{t,min} \geq l_2$ $H = N_a - \eta F_{max} l_2 - 0.8N_2 + P_d A_0$</p> <p>(6) $l_{t,max} > l_2 \geq l_{t,min}; L_{min} \geq l_1$ $H = N_a - \eta F_{max} l_1 - 0.8F_{f1}$</p> <p>(7) $L_{min} \geq l_1; l_{t,min} \geq l_2$ 当 $F_{max} l_1 + F_{f1} > F_{max} l_2 + N_2 - P_d A_0$ 时 $H = F_{max} l_1 + F_{f1} - 0.8(F_{max} l_2 + N_2) + P_d A_0$ 当 $F_{max} l_1 + F_{f1} < F_{max} l_2 + N_2 - P_d A_0$ 时 $H = F_{max} l_2 + N_2 - 0.8(F_{max} l_1 + F_{f1}) - P_d A_0$</p>

3		$l \geq l_{t, \min}$ $H = N_s - 0.8F_t$ $l < l_{t, \min}$ $H = F_{\max} l + N - 0.8F_t - P_d A_0$
4		$l \geq L_{\min}$ $H = N_s - 0.8F_{r1}$ $l < L_{\min}$ $H = F_{\max} l + F_{r2} - 0.8F_{r1}$
5		$l \geq L_{\min}$ $H = N_s$ $l < L_{\min}$ $H = F_{\max} l + N$
6		$l \geq L_{\min}$ $H = N_s + P_d A_0$ $l < L_{\min}$ $H = F_{\max} l + F_f + P_d A_0$

注 1. $l_{t, \max}$ 、 $l_{t, \min}$ 为转角管段的过渡段最大长度和过渡段最小长度。 $l_{t, \max}$ 可由式 (C. 1. 1-1) 求出；

$l_{t, \min}$ 亦可由式 (C. 1. 1-1) 求出，但式中 F_{\min} 应改为 F_{\max} ；

2. Ψ' 为按 Ψ 曲线将横坐标改为 \bar{l}_1/\bar{l}_2 查出的 Ψ 值；

3. Ψ'' 为按 Ψ 曲线将横坐标改为 \bar{l}_2/\bar{l}_1 查出的 Ψ 值；

4. η' 为按 η 曲线将横坐标改为 $l_2/l_{t, \min}$ 查出的 η 值；

5. A_0 为管道流通面积。

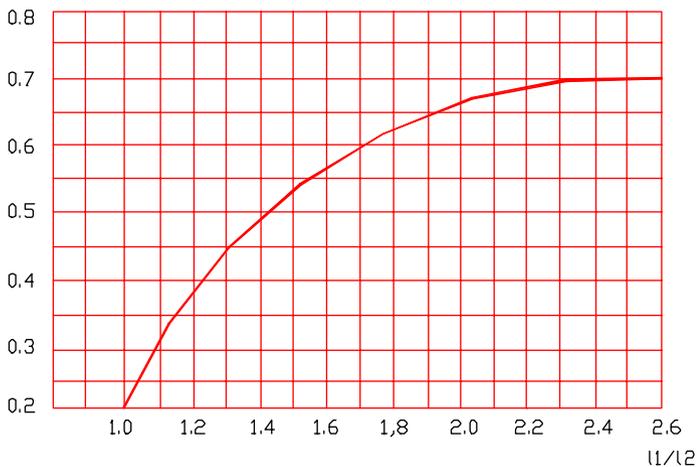


图 E. 0. 3-1 推力系数 Ψ 曲线 ($\Psi-l_1/l_2$ 曲线)

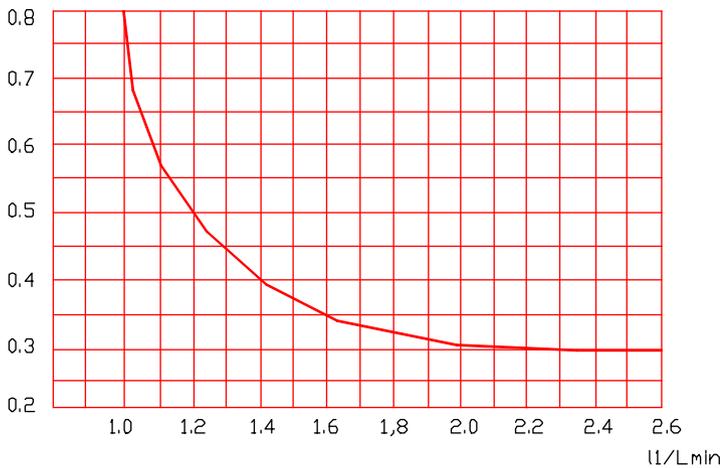


图 E. 0. 3-2 综合抵消系数 η 曲线 ($\eta-l_1/L_{min}$ 曲线)

本规程用词说明

1.0.1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对于要求严格程度不同的用词说明如下:

1 表示很严格,非这样做不可的

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

2 表示严格,在正常情况下均应这样做的

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的

正面词采用“宜”;

反面词采用“不宜”。

4 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

1.0.2 条文中指明应按其它有关标准执行的写法为:“应按……执行”或“应符合……的规定(或要求)”。