



CECS 140:2002

中国工程建设标准化协会标准

**给水排水工程
埋地管芯缠丝预应力混凝土管
和预应力钢筒混凝土管管道
结构设计规程**

**Specification for structural design of buried
prestressed concrete pipeline of water supply and
sewerage engineering**

2003 北京

中国工程建设标准化协会标准

**给水排水工程
埋地管芯缠丝预应力混凝土管
和预应力钢筒混凝土管管道
结构设计规程**

**Specification for structural design of buried
prestressed concrete pipeline of water supply and
sewerage engineering**

CECS 140:2002

主编部门：北京市市政工程设计研究总院

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：2003年3月1日

2003 北京

前 言

本规程的内容原属于《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 中的第七章。为了逐步与国际接轨，并便于工程应用和今后修订，现按照中国工程建设标准化协会（94）建标协字第 11 号《关于下达推荐性标准编制计划的函》的要求进行修订，并独立成本。

本规程系根据国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 和《工程结构可靠度设计统一标准》GBJ 153 规定的原则，采用以概率理论为基础的极限状态设计方法编制，并与有关的结构专业设计规范协调一致。

本规程在修订过程中，总结了近十多年来原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 的工程实践经验，吸取了国外相关标准的内容，并经中国工程标准化协会管道结构委员会多次讨论，使内容有了充实和完善。

根据国家计委计标[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求，现批准协会标准《给水排水工程埋地管芯缠丝预应力混凝土和预应力钢筒混凝土管管道结构设计规程》，编号为 CECS 140—2002，推荐给工程建设设计、施工、使用单位采用。

本规程第 3.1.1、3.1.3、3.2.1、3.3.1、5.2.2、5.2.4、5.2.5、5.3.1、7.1.1、7.1.3 条建议列入《工程建设标准强制性条文》。

本规程由中国工程建设标准化协会管道结构委员会 CECS/TC17（北京西城区月坛南街乙二号 北京市市政工程设计研究总院，邮编：100045）归口管理，并负责解释。在使用中如发现需要修改或补充之处，请将意见和资料径寄解释单位。

主编单位：北京市市政工程设计研究总院

主要起草人：翟荣申 刘雨生 沈世杰 潘家多

中国工程建设标准化协会

2002 年 12 月 25 日

目 录

前 言.....	3
1 总 则.....	6
2 主要符号.....	7
3 材 料.....	9
3.1 管芯混凝土.....	9
3.2 预应力钢丝.....	9
3.3 钢 筒.....	9
3.4 砂浆保护层.....	10
4 管道结构上的作用.....	11
4.1 作用分类和作用代表值.....	11
4.2 永久作用标准值.....	11
4.3 可变作用标准值、准永久值系数.....	14
5 基本设计规定.....	15
5.1 一 般 规 定.....	15
5.2 承载能力极限状态计算规定.....	16
5.3 正常使用极限状态验算规定.....	17
6 管道结构计算.....	18
6.1 承载能力极限状态计算.....	18
6.2 正常使用极限状态验算.....	20
7 构 造 规 定.....	24
7.1 管 体.....	24
7.2 管道基础和沟槽回填.....	24
7.3 管 道 接 头.....	24
7.4 管 件.....	25
附录 A 管顶竖向土压力标准值.....	26
附录 B 侧向土压力标准值.....	27

附录 C 地面车辆荷载对管道的作用标准值.....	28
附录 D 预应力钢筒混凝土管弹性抵抗矩折算系数.....	30
附录 E 圆形刚性管道在荷载作用下的弯矩系数.....	31
本规程用词说明.....	32

1 总 则

1.0.1 为了在给水处理工程埋地预应力（管芯缠丝工艺）混凝土管和预应力钢筒混凝土管管道结构设计中贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于管芯缠丝预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管管道的结构设计。

1.0.3 本规程是根据现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 规定的原则制定的。

1.0.4 对于建设在地震区、湿陷性黄土或膨胀土等特殊条件地区的预应力（管芯缠丝工艺）混凝土管和预应力钢筒混凝土管管道的结构设计，除应执行本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 主要符号

2.0.1 管道上的作用和作用效应

$F_{ep,k}$ ——管侧被动土压力标准值；

$F_{fw,k}$ ——浮托力标准值；

F_{pk} ——管侧被动土压力标准值；

$F_{sv,k}$ ——管道单位长度上管顶竖向土压力标准值；

F_{wk} ——管道的工作压力标准值；

$F_{wd,k}$ ——管道的设计内水压力标准值；

M_{\max} ——组合作用下管壁截面上的最大弯矩；

N ——组合作用下管壁截面上的轴向力；

Q_{vk} ——地面车辆的单个轮压标准值；

q_{mk} ——地面堆积荷载标准值；

q_{vk} ——地面车辆轮压产生的管顶处单位面积上竖向压力标准值；

σ_{pe} ——环向预应力钢丝的有效预加应力。

2.0.2 材料

$f_{mc,k}$ ——砂浆抗压强度标准值；

$f_{mt,k}$ ——砂浆抗拉强度标准值；

E_m ——砂浆的弹性模量；

E_c ——混凝土的弹性模量；

ε_{mt} ——砂浆出现可见裂缝时的应变量。

2.0.3 几何参数

A_{c0} ——管芯混凝土截面面积；

A_{sc} ——钢筒截面面积；

A_{cm} ——管壁截面（含管芯混凝土、钢丝和砂浆保护层）的折算面积；

A_n ——管壁截面（含管芯混凝土、钢丝、钢筒和砂浆保护层）的折算面积；

A_p ——环向预应力钢丝截面面积；

a ——单个车轮着地分布长度；

b ——单个车轮着地分布宽度；

D_1 ——圆管外壁直径；

H_s ——管顶至设计地面的覆土高度。

2.0.4 计算系数

C_c ——埋式土压力系数；

C_d ——开槽施工土压力系数；

C_j ——不开槽施工土压力系数；

α_{ct} ——混凝土拉应力限制系数；

r ——矩形截面抵抗距的塑性系数；

μ_d ——动力系数；

ω ——管壁截面受拉边缘的弹性抵抗矩折算系数。

3 材 料

3.1 管芯混凝土

3.1.1 管芯混凝土设计强度等级不得低于 C40。

3.1.2 管芯混凝土的抗拉强度标准值、弹性模量等力学性能指标，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用。离心成型的管芯混凝土强度，可按现行国家标准《预应力混凝土输水管（管芯缠丝工艺）》GB 5696 的规定提高 25% 采用。

3.1.3 管芯混凝土的碱含量应符合现行中国工程建设标准化协会标准《混凝土碱含量限值标准》CECS 53 的规定。

3.1.4 混凝土配制中采用的外加剂，应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定，并应通过检验确定其适用性及相应的掺量。

3.2 预应力钢丝

3.2.1 预应力钢丝应采用高强度碳素钢丝，直径不得小于 4mm，其物理力学性能指标除应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T5223 的规定外，尚应满足下列抗扭试验的规定：

1 采用由钢丝盘卷端直接剪下的钢丝作为试样。试样在扭转机和两夹具间的长度为 200mm。在相当于 0.5% ~ 2.0% 的钢丝最低断裂强度的轴向力作用下，试样断裂时的扭转圈数，对直径为 4mm、5mm 的钢丝不应少于 8 圈，对直径为 6mm、7mm 的钢丝不应少于 6 圈。

2 试样的扭断裂面上不应出现沿试样长度方向延伸的螺旋形（纵向）裂缝。如经肉眼观察或手指触摸发现存在此类裂缝，则该卷钢丝应重新进行试验。重新试验时，试样长度不应小于 200mm，以每 200mm 长扭转 3 圈的比例进行扭转试验，并使用 5 倍放大镜检测裂缝。如见到环向、螺旋形（纵向）裂缝，则应判该卷钢丝为不合格。

3.2.2 普通钢筋和预应力钢丝的强度标准值及弹性模量，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用。

3.3 钢 筒

3.3.1 钢筒用钢板的厚度不得小于 1.5mm，其物理力学性能指标应符合现行国家标准《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板及钢带》GB/T912 的规定。

3.3.2 钢筒用钢板的强度设计值和弹性模量应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB

50017 的规定采用。

3.4 砂浆保护层

3.4.1 砂浆的抗拉强度标准值应符合下列要求：

$$f_{mt,k} = 0.58\sqrt{f_{mc,k}} \quad (3.4.1)$$

式中 $f_{mt,k}$ ——砂浆的抗拉强度标准值 (MPa)；

$f_{mc,k}$ ——砂浆的抗压强度标准值 (MPa)，根据生产厂提供的数据采用或设计指定由生产厂家满足要求。

3.4.2 砂浆的弹性模量 E_m (MPa) 应按下式确定：

$$E_m = 8247(f_{mc,k})^{0.3} \quad (3.4.2)$$

3.4.3 管体砂浆保护层相应于砂浆抗拉强度的应变 ε_{mt} ，应按下式确定：

$$\varepsilon_{mt} = \frac{f_{mt,k}}{E_m} \quad (3.4.3)$$

4 管道结构上的作用

4.1 作用分类和作用代表值

4.1.1 管道结构上的作用分为永久作用和可变作用两类。

1 永久作用应包括管自重、竖向土压力和侧向土压力、管道内水重、预加应力、地基不均匀沉降；

2 可变作用应包括地面堆积荷载、地面车辆荷载、管道内静水压力及地下水压力。

4.1.2 管道结构设计时，对不同性质的作用应采用不同的代表值。作用标准值为作用的基本代表值。

对永久作用，应采用标准值作为代表值。对可变作用，应根据设计要求采用标准值、组合值或准永久值作为代表值。可变作用组合值应为可变作用标准值乘以作用的组合系数；可变作用准永久值应为可变作用标准值乘以作用的准永久值系数。

4.1.3 当管道结构承受两种或两种以上可变作用，按承载能力极限状态的作用效应基本组合进行设计或按正常使用极限状态的作用效应标准组合进行设计时，可变作用应采用标准值和组合值作为代表值。

4.1.4 当按正常使用极限状态的作用效应准永久组合进行设计时，可变作用应采用准永久值作为代表值。

4.2 永久作用标准值

4.2.1 管自重和水重的标准值可按管道的设计尺寸与相应材料单位体积的自重标准值计算确定。常用材料单位体积的自重标准值可按表 4.2.1 采用。

表 4.2.1 常用材料单位体积的自重标准值 (kN/m³)

材料	钢筋混凝土	水泥砂浆	钢丝	钢筒	水
自重标准值	25	22	78.5	78.5	10

4.2.2 作用在单位长度管道上的竖向土压力标准值 $F_{sv,k}$ ，应根据管道埋设方式按附录 A 确定。

4.2.3 作用在单位长度管道上的侧向土压力标准值 $F_{ep,k}$ 、 F_{pk} ，应按附录 B 确定。

4.2.4 施加在管道上的预加应力标准值 σ_{pe} ，应为预应力钢丝的张拉控制应力值 σ_{con} 扣除相应张拉工艺的各项应力损失值。预应力钢丝的张拉控制应力值不宜超过其强度标准值的 75%。

4.2.5 相应预应力张拉工艺的各项预应力损失，应按表 4.2.5 的规定计算，并应符合下列要求：

表 4.2.5 各种管型的预应力损失组合表

管型 应力损失类型	管芯缠丝预 应力管环向 预应力	管芯缠丝预 应力管纵向 预应力	衬筒式钢筒 预应力管环 向预应力	埋筒式钢筒 预应力管环 向预应力
张拉锚具变形 σ_{s1}	—		—	—
钢丝应力松弛 σ_{s2}				
混凝土收缩徐变 σ_{s3}				

注：表中，有 的项目表示应计算的预应力损失。

1 张拉锚具变形引起的预应力损失 σ_{s1} ，应按下式确定：

$$\sigma_{s1} = \frac{\lambda}{l} E_s \quad (4.2.5-1)$$

式中 λ ——张拉端锚具的变形值 (mm)，可按 1.0mm 计算；

l ——张拉端至锚固端之间的距离 (mm)；

E_s ——钢丝的弹性模量 (N/mm²)，可取 1.8×10^5 N/mm²。

2 钢丝应力松弛引起的预应力损失 σ_{s2} ，应按下式确定：

$$\sigma_{s2} = \sum \sigma_{s2,i} \quad (4.2.5-2)$$

$$\sigma_{s2,i} = 0.08 \sigma_{con} \phi_t \phi_{ni} \quad (4.2.5-3)$$

式中 $\sigma_{s2,i}$ ——第 i 层钢丝松弛引起的预应力损失 (N/mm²)；

σ_{con} ——预应力钢丝的张拉控制应力；

ϕ_t ——管芯制管工艺影响系数，当立式浇注时应取 1.0；当离心机成型时宜取 1.2；

ϕ_{ni} ——对第 i 层钢丝的配筋影响系数，对单层配筋应取 1.0；对双层配筋的第一层钢丝，当其配筋率 $\rho_1 \geq 1.0\%$ 时应取 0.7， $\rho_1 < 1.0\%$ 时宜取 1.0；对双层配筋的第二层钢丝，当其配筋率 $\rho_2 \geq 1.0\%$ 时应取 1.0， $\rho_2 < 1.0\%$ 时宜取 1.1。

注：当作初步估算时， ϕ_n 可采用加权平均值，即 $\phi_n = \frac{\phi_1 A_{p1} + \phi_2 A_{p2}}{A_{p1} + A_{p2}}$ ， A_{p1} 、 A_{p2} 分别为第

一、二层钢丝的截面面积（ mm^2/m ）。

3 混凝土收缩徐变引起的预应力损失 σ_{s3} ，应按表 4.2.5-3 的规定采用。

表 4.2.5-3 混凝土收缩徐变引起的预应力损失（ N/mm^2 ）

$\frac{\sigma_p}{f'_{cu}}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
预应力混凝土管和埋置式预应力钢筒 混凝土管环向预应力钢丝	20	30	40	50	60	90
预应力混凝土管的纵向预应力钢丝	28	38	48	58	68	105

注：表中 σ_p 为管壁环向截面上的法向预压应力，此时预应力损失仅考虑混凝土预压前的损失； f'_{cu} 为施加预应力时的混凝土立方体抗压强度。

管壁环向截面上的法向预压应力 σ_p 应符合下式要求：

$$\sigma_p = \sigma_{p1} + \sigma_{p2} \leq 0.75 f'_{ck} \quad (4.2.5-4)$$

$$\sigma_{p1} = \frac{A_{p1}(\sigma_{con} - \sigma_{s2.1})}{A_{cy} + nA_{p1}} \quad (4.2.5-5)$$

$$\sigma_{p2} = \frac{A_{p2}(\sigma_{con} - \sigma_{s2.2})}{A_{cy} + n(A_{p1} + A_{p2})} \quad (4.2.5-6)$$

式中 σ_p ——管壁环向截面上的法向预压应力（ N/mm^2 ）；

σ_{p1} ——单层筋或第一层预应力钢丝对管壁环向截面的法向预压应力（ N/mm^2 ）；

σ_{p2} ——第二层预应力钢丝对管壁环向截面的法向预压应力 (N/mm²) ;

$\sigma_{s2.1}$ 、 $\sigma_{s2.2}$ ——第一层、第二层预应力钢丝松弛引起的预应力损失 (N/mm²)

A_{p1} 、 A_{p2} ——第一、二层预应力钢丝的截面面积 (mm²) ;

A_{cy} ——单层配筋时,管芯和钢筒的截面折算面积 (mm²) ;

A'_{cy} ——双层配筋时,管芯、钢筒和内层钢丝砂浆保护层的截面折算面积 (mm²) ;

f'_{ck} ——对管壁施加预应力时,管芯混凝土的轴心抗压强度 (N/mm²)。

4.2.6 地基不均匀沉降的标准值,应按《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定计算确定。

4.3 可变作用标准值、准永久值系数

4.3.1 地面车辆荷载对管道产生的竖向压力标准值 q_{vk} ,可按附录 C 确定,其相应的准永久值系数可取 0.5。

4.3.2 地面堆积荷载的标准值 F_{mk} 可取 10kN/m²,其相应的准永久值系数可取 0.5。

4.3.3 管道内的静水压力标准值应按设计内水压力确定。设计内水压力标准值 $F_{wd,k}$ 可按下式计算:

$$F_{wd,k} = 1.4F_{wk} \quad (4.3.3)$$

式中 F_{wk} ——管道的工作压力标准值 (MPa)。

设计内水压力的准永久值系数可取 0.7,但设计内水压力的准永久值不得小于运行的工作压力标准值。

4.3.4 埋设在地下水水位以下的管道,应计算作用在管道上的地下水压力(含浮托力),其标准值和准永久值系数应按下列规定确定:

1 地下水水位,可接近期内的统计数据和对设计使用周期内补给发展趋势的分析判断确定其可能出现的最低水位和最高水位。据此计算管道结构的相应作用效应。

2 地下水作用的准永久值系数,当采用最高地下水水位时,可取平均水位与最高水位的比值;当采用最低水位时,应取 1.0。

5 基本设计规定

5.1 一般规定

5.1.1 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标度量管道结构的可靠度。除对管道整体稳定验算外，均采用分项系数设计表达式进行设计。

5.1.2 管芯缠丝预应力混凝土管管道和预应力钢筒混凝土管管道结构，应按下列两种极限状态进行设计：

1 承载能力极限状态：管道结构达到最大承载能力，管体因材料强度被超过而破坏；管道结构整体失去平衡（横向滑移、上浮）。

2 正常使用极限状态：管道结构出现超过使用要求的裂缝。

5.1.3 对承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算，计算工况的作用组合应按表 5.1.3 的规定采用。

表 5.1.3 计算工况的作用组合

计算 工况	计算 项目	永久作用					可变作用		
		(1) 管自重 G_1	(2) 管内水重 G_w	(3) 竖向土压力 F_{sv}	(4) 侧向土压力 F_{ep} F_p	(5) 预加应力 σ_{pe}	(1) 设计内水压力 F_{wd}	(2) 车辆或堆积荷载 q_v, q_m	(3) 地下水压力 (浮力) q_{gw}
抗浮 稳定		G_{1k}	—	$F_{sv,k}$	—	—	—	—	$q_{gw,k}$
抗推 力稳定		G_{1k}	G_{wk}	$F_{sv,k}$	$F_{ep,k}$ F_{pk}	—	$F_{wd,k}$	—	—
管体 强度		$1.2G_{1k}$	$1.27G_{wk}$	$1.27F_{sv,k}$	$1.0F_{ep,k}$	—	$1.4F_{wd,k}$	$1.4q_v$ $1.4q_{mk}$	—

注：1. 车辆荷载和地面堆积荷载不需同时计入，取其中较大者；

2. 计算工况 管体强度计算中给出的 1.2 等系数为相应作用的分项系数。

5.1.4 管芯缠丝预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管管道的结构内力应按弹性体系计算，不考虑非弹性变形引起的内力重分布。

5.1.5 当管道地基土质或管顶覆土有显著变化时，应计算地基不均匀沉降对管道结构的影响，采取相适应的构造措施或地基处理。

5.2 承载能力极限状态计算规定

5.2.1 管道结构按承载能力极限状态进行强度计算时，结构上的各种作用均采用作用设计值。作用设计值应为作用分项系数与作用代表值的乘积。

5.2.2 对管道结构进行强度计算时，应满足下式要求：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (5.2.2)$$

式中 γ_0 ——管道的重要性系数，取 1.1 当设计为双线或设有调蓄设施时，可取 1.0；

S ——作用效应组合的设计值；

R ——管道结构抗力设计值，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定确定。

5.2.3 管道结构进行强度计算时，作用效应的基本组合设计值应按下式确定：

$$S = \gamma_{G1} C_{G1} G_{1k} + \sum_{i=2}^m \gamma_{Gi} C_{Gi} G_{ik} + \psi_c \sum_{j=1}^n \gamma_{Qj} C_{Qj} Q_{jk} \quad (5.2.3.1)$$

式中 γ_{G1} ——管自重分项系数，当作用效应对管道结构不利时取 1.2，有利时取 1.0；

γ_{Gi} ——除管自重外，第 i 个永久作用分项系数，当作用效应对管道结构不利时均取 1.27；当有利时均取 1.0；

γ_{Qj} ——第 j 个可变作用分项系数，均取 1.40；

C_{G1} ——管自重的作用效应系数；

C_{Gi} ——除管自重外，第 i 个永久作用效应系数；

C_{Qj} ——第 j 个可变作用效应系数；

G_{1k} ——管自重标准值；

G_{ik} ——除管自重外其他永久作用标准值；

Q_{jk} ——第 j 个可变作用标准值；

ψ_c ——可变作用的组合系数，取 0.9。

注：作用效应系数为管道结构中作用产生的效应（内力、应力等）与该作用的比值，可按结构力学方法确定。

5.2.4 对埋在地下水水位以下的管道，应根据最高地下水位和管顶覆土条件验算抗浮稳定性。验算时，各种作用应采用标准值。并应满足抗浮稳定性抗力系数 K_f 不低于 1.1 的要求。

5.2.5 在管道敷设方向改变处应采取抗推力措施（重力式支墩、打桩等）并进行抗滑稳定验算，其抗滑稳定性抗力系数不应小于 1.5。

5.3 正常使用极限状态验算规定

5.3.1 对正常使用极限状态，管道结构应分别按作用效应的标准组合和准永久组合进行验算，并应保证管壁截面和砂浆保护层不出现裂缝，以及应力计算值不超过规定的限值。

5.3.2 管道结构按正常使用极限状态验算时，作用效应均应采用作用代表值计算。

5.3.3 正常使用极限状态按标准组合验算时，作用效应组合设计值应按下列式计算：

$$S_d = C_{G1}G_{1k} + \sum_{i=2}^m C_{Gi}G_{ik} + \psi_c \sum_{j=1}^n C_{Qj}Q_{jk} \quad (5.3.3)$$

式中 S_d ——变形、裂缝等作用效应的设计值。

5.3.4 正常使用极限状态按准永久组合验算时，作用效应组合设计值应按下列式计算：

$$S_d = C_{G1}G_{1k} + \sum_{i=2}^m C_{Gi}G_{ik} + \sum_{j=1}^n C_{Qj}\psi_{qj}Q_{jk} \quad (5.3.4)$$

式中 ψ_{qj} ——第 j 个可变作用的准永久值系数，按本规程第 4.3 节的有关规定采用。

6 管道结构计算

6.1 承载能力极限状态计算

6.1.1 抗浮稳定验算应满足下式要求：

$$\frac{G_{1k} + F_{sv,k}}{F_{fw,k}} \geq K_f \quad (6.1.1)$$

式中 $F_{sv,k}$ ——管道单位长度上管顶竖向土压力标准值 (kN/m)；

$F_{fw,k}$ ——管道单位长度上浮托力标准值 (kN/m)；

K_f ——抗浮稳定性抗力系数，按本规程第 5.2.4 条的规定采用。

6.1.2 管道敷设方向改变处的抗推力稳定验算应满足下列要求：

1 当采用重力式支墩抗推力时，应满足下式要求：

$$\frac{F_{pk} - F_{ep,k} + F_{fk}}{F_{wp,k}} \geq K_s \quad (6.1.2-1)$$

$$p \leq f_a \quad (6.1.2-2)$$

$$p_{\min} \geq 0 \quad (6.1.2-3)$$

$$p_{\max} \leq 1.2 f_a \quad (6.1.2-4)$$

式中 F_{pk} ——作用在支墩抗推力一侧的被动土压力标准值 (kN)，按附录 B 计算；

$F_{ep,k}$ ——作用在支墩迎推力一侧的主动土压力标准值 (kN)，按附录 B 计算；

F_{fk} ——支墩底部滑动平面上摩擦力标准值 (kN)；

$F_{wp,k}$ ——在设计内水压力作用下，管道承受的推力标准值 (kN)；

K_s ——抗滑稳定性抗力系数，按本规程第 5.2.5 条的规定采用；

p ——支墩作用在地基土上的平均压力 (kN)；

p_{\min} ——支墩作用在地基土上的最小压力 (kN)；

p_{\max} ——支墩作用在地基土上的最大压力 (kN)；

f_a ——经过深度修正的地基土承载力特征值 (kN)，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定确定。

2 当采用桩基抗推力时，应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定验算。

6.1.3 管芯缠丝预应力混凝土管的环向预应力钢丝截面面积，应针对管侧截面计算并满足下式要求：

$$A_p = \frac{\lambda_y}{f_{py}} \left(N^1 + \frac{M_{\max}^1}{d_0} \right) \quad (6.1.3-1)$$

$$N^1 = \psi_c \gamma_{Q1} F_{wd,k} \gamma_0 - 0.5 (F_{sv,k} + \psi_c q_{vk} D_1) \quad (6.1.3-2)$$

$$M_{\max}^1 = \gamma_0 \left[k_{vm} (\gamma_{G3} F_{sv,k} + \psi_c \gamma_{Q2} q_{vk} D_1) + k_{hm} \gamma_{G4} F_{ep,k} D_1 + k_{wm} \gamma_{G2} G_{wk} + k_{gm} \gamma_{G1} G_{lk} \right] \quad (6.1.3-3)$$

式中 A_p ——环向预应力钢丝截面面积 (mm²/m)；

N^1 ——设计内水压力及管顶荷载作用下，管侧截面上的轴拉力(N/m)；

M_{\max}^1 ——在组合作用下，管侧截面上的最大弯矩 (N·mm/m)；

d_0 ——预应力钢丝中心至管壁截面重心的距离 (mm)；

f_{py} ——预应力钢丝的强度设计值 (N/mm²)，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用；

λ_y ——钢丝强度调整系数，可取 0.8~0.9；

γ_0 ——管壁截面的计算半径，取管中心至管壁截面重心的距离 (mm)；

k_{vm} 、 k_{hm} 、 k_{wm} 、 k_{gm} ——分别为竖向、侧向压力和管内水重、管自重作用下，管壁截面上弯矩的弯矩系数，可根据管基形式按附录 E 确定，其中 k_{gm} 应按管基中心角为 20° 的数据采用；

D_1 ——管外径 (mm)；

γ_{Gi} 、 γ_{Qj} ——第 i 个永久作用、第 j 个可变作用的分项系数；

q_{vk} ——地面车辆轮压引起的竖向压力标准值 (N/m²)，当小于地面堆积荷载 $F_{m,k}$ 时，应取 $F_{m,k}$ 计算；

G_{wk} ——管内水重标准值 (N/m) ;

G_{lk} ——管自重标准值 (N/m) ;

$F_{wd,k}$ ——设计内水压力标准值 (N/m) 。

$F_{sv,k}$ 和 $F_{ep,k}$ 的量纲单位应采用 N/m 和 N/m²。

6.1.4 预应力钢筒混凝土管的环向预应力钢丝截面面积，应符合下式要求：

$$A_p = \frac{\lambda_y}{f_{pv}} \left(N^1 + \frac{M_{\max}^1}{d_0} - A_{sc} f \right) \quad (6.1.4)$$

式中 A_{sc} ——钢筒的截面面积 (mm²/m) ;

f ——钢筒的材料抗拉强度设计值 (N/mm²)，按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用。

6.1.5 管芯缠丝预应力混凝土管的管壁截面纵向有效预压应力值 σ_{pc1} ，不应低于环向有效预压应力值的 20%。相应纵向预应力钢筋的配筋截面面积应符合下式要求：

$$A_{p1} = A_{co} \frac{\sigma_{pc1}}{\sigma_{pe1}} \quad (6.1.5-1)$$

$$\sigma_{pe1} = \sigma_{con} - \sum \sigma_{s1} \quad (6.1.5-2)$$

式中 A_{p1} ——纵向预应力钢筋的截面面积 (mm²/m) ;

σ_{pe1} ——纵向预应力钢丝和扣除应力损失后的有效预加应力 (N/mm²) ;

σ_{pc1} ——管壁截面上的纵向有效预压应力 (N/mm²) ;

$\sum \sigma_{s1}$ ——纵向预应力损失的和 (N/mm²) ;

A_{co} ——管芯混凝土截面面积 (mm²) 。

6.2 正常使用极限状态验算

6.2.1 管芯缠丝预应力混凝土管在正常使用条件下，其环向预应力钢丝的截面面积，应符合下式要求：

$$A_p \left(\alpha_{cp} \sigma_{ss} - f_{tk} \frac{A_{cm}}{\sigma_{pe}} \right) \quad (6.2.1-1)$$

$$\sigma_{ss} = \frac{N_{ps}}{A_{cm}} + \frac{M_{pms}}{\gamma W_{cm}} \quad (6.2.1-2)$$

$$N_{ps} = \psi_c F_{wd,k} \gamma_0 \quad (6.2.1-3)$$

$$M_{pms} = \gamma_0 [k_{vm} (F_{sv,k} + \psi_c q_{vk} D_1) + k_{hm} F_{ep,k} D_1 + k_{wm} G_{wk} + k_{gm} G_{1k}] \quad (6.2.1-4)$$

式中 A_{cm} ——管壁截面(含钢丝和砂浆保护层)的折算面积 (mm^2/m) ;

M_{pms} ——在标准组合下,管壁顶、底截面上的最大弯矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) ;

N_{ps} ——在内水压力标准值作用下,管壁上的轴向拉力 (N/m) ;

W_{cm} ——管芯截面(含钢丝和砂浆保护层)受拉边缘的折算弹性抵抗矩(mm^3/m) ;

f_{tk} ——管芯混凝土的抗拉强度标准值 ;

α_{cp} ——预压效应系数,取 1.25 ;

γ ——受拉区混凝土的塑性影响系数,取 1.75 ;

σ_{pe} ——环向预应力钢丝扣除应力损失后的有效预加应力 (N/mm^2) ;

σ_{ss} ——在作用效应标准组合下,管壁顶、底计算截面上的边缘最大拉应力(N/mm^2)。

6.2.2 预应力钢筒混凝土管在正常使用条件下,其环向预应力钢丝的截面面积,应符合下式要求 :

$$A_p \left(\sigma_{ss} - \lambda_c f_{tk} \right) \frac{A_n}{\sigma_{pe}} \quad (6.2.2-1)$$

$$\sigma_{ss} = \frac{N_{ps}}{A_n} + \frac{M_{pms}}{\gamma \omega W_p} \quad (6.2.2-2)$$

式中 A_n ——管芯混凝土、砂浆、钢筒和钢丝的截面折算面积 (mm^2/m) ;

λ_c ——混凝土材料强度调整系数,取 1.5。

W_p ——管壁(含管芯混凝土、钢筒、钢丝、砂浆保护层)矩形截面未经折算的受拉边缘弹性抵抗矩 (mm^3/m) ;

ω ——管壁截面受拉边缘弹性抵抗矩的折算系数，按附录 D 确定。

6.2.3 在标准组合下，管体的环向预应力钢丝截面面积，尚应符合下列要求：

1 管芯缠丝预应力混凝土管

$$A_p = \left(\sigma_{ss}^l - \alpha_m \varepsilon_{mt} E_c \right) \frac{A_{cm}}{\sigma_{pe}} \quad (6.2.3-1)$$

$$\sigma_{ss}^l = \frac{N^l}{A_{cm}} + \frac{M_{\max}^l}{\gamma W_{cm}} \quad (6.2.3-2)$$

$$N_{ps}^l = \psi_c F_{wd,k} r_0 - 0.5 (F_{sv,k} + \psi_c q_{vk} D_1) \quad (6.2.3-3)$$

$$M_{pms}^l = r_0 \left[k_{vm} (F_{sv,k} + \psi_c q_{vk} D_1) + k_{hm} F_{ep,k} D_1 + k_{wm} G_{wk} + k_{gm} G_{1k} \right] \quad (6.2.3-4)$$

式中 σ_{ss}^l ——在作用效应标准组合下，管体两侧计算截面边缘的最大拉应力(N/mm²)；

N^l ——在作用效应标准组合下，管体两侧计算截面上的轴向拉力(N/m)；

M_{\max}^l ——在作用效应标准组合下，管体两侧计算截面上的最大弯矩(N·mm/m)；

E_c ——管芯混凝土的弹性模量(N/mm²)；

ε_{mt} ——管体砂浆保护层相应于抗拉强度的应变变量，按本规程第 3.4.3 条采用；

α_m ——砂浆保护层应变变量设计参数，取 1.5。

2 预应力钢筒混凝土管

$$A_p = \left(\sigma_{ss}^l - \alpha_m \varepsilon_{mt} E_c \right) \frac{A_n}{\sigma_{pe}} \quad (6.2.3-5)$$

$$\sigma_{ss}^l = \frac{N^l}{A_n} + \frac{M_{\max}^l}{\gamma \omega W_p} \quad (6.2.3-6)$$

6.2.4 在准永久组合下，管体的环向预应力钢丝截面面积，应符合下列要求：

1 管芯缠丝预应力混凝土管

$$A_p = \left(\sigma_{1s}^l - \varepsilon_{mt} E_c \right) \frac{A_{cm}}{\sigma_{pe}} \quad (6.2.4-1)$$

$$\sigma_{1s}^l = \frac{N^l}{A_{cm}} + \frac{M_{\max}^l}{\gamma W_{cm}} \quad (6.2.4-2)$$

$$N^l = \psi_{qw} F_{wd,k} r_0 - 0.5(F_{sv,k} + \psi_{qv} q_{vk} D_1) \quad (6.2.4-3)$$

$$M_{\max}^l = r_0 [k_{vm} (F_{sv,k} + \psi_{qv} q_{vk} D_1) + k_{hm} F_{ep,k} D_1 + k_{wm} G_{wk} + k_{gm} G_{lk}] \quad (6.2.4-4)$$

式中 σ_{1s}^l ——在作用效应准永久组合下，管体两侧计算截面边缘的最大拉应力 (N/mm²)；

N_{p1}^l ——在作用效应准永久组合下，管体两侧计算截面上的轴向拉力 (N/m)；

M_{pm1}^l ——在作用效应准永久组合下，管体两侧计算截面上的最大弯矩 (N·mm/m)；

ψ_{qw} 、 ψ_{qv} ——内水压力、地面车辆荷载产生的竖向压力的准永久值系数。

2 预应力钢筒混凝土管

$$A_p = (\sigma_{1s}^l - \varepsilon_{mt} E_c) \frac{A_n}{\sigma_{pe}} \quad (6.2.4-5)$$

$$\sigma_{1s}^l = \frac{N^l}{A_n} + \frac{M_{\max}^l}{\gamma \omega W_p} \quad (6.2.4-6)$$

7 构造规定

7.1 管 体

7.1.1 管芯缠丝预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管的环向预应力钢丝直径不得小于4mm。同一层钢丝的中到中间距，对埋筒管不得小于钢丝直径的2倍，对衬筒管不得小于钢丝直径的2.75倍；最大间距不得大于38mm。当衬筒管配置直径大于6mm粗钢丝时，其最大间距不应大于25mm。

7.1.2 在管芯缠丝预应力混凝土管两端40~50cm长度范围内，宜放置非预应力构造钢筋网，其钢筋直径不应小于4mm，钢筋网格间距不应大于200mm。

7.1.3 环向预应力钢丝外缘的保护层砂浆净厚度不应小于20mm。

7.1.4 配置双层钢丝时，内层钢丝的水泥砂浆覆盖层厚度不应小于钢丝直径。

7.2 管道基础和沟槽回填

7.2.1 管芯缠丝预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管宜采用土弧基础。土弧基础的支承角 2α 值，应根据作用在管道上的外压荷载确定。通常，设计支承角 2α 可采用90和120两种，施工安装时宜另加15。

7.2.2 当管道上作用的外压荷载很大，采用土弧基础不能满足承载能力要求时，可采用混凝土基础。管道采用混凝土基础时，支承角 2α 可采用135。

7.2.3 当管道敷设在一般素土平基原状或经回填压实的砂性土或粘性土上时，土弧基础的设计支承角 2α 可采用20。

7.2.4 对沟埋式管道的沟槽回填土，应分区域采用不同的压实密度。管两侧至槽边范围，管顶以上500mm区域内回填土的压实系数不得低于0.9；管道宽度范围管顶以上500mm区域内回填土的压实系数可取0.8；在上述区域以上，回填土的压实系数可按该地区对管道上部地面的要求确定。

7.2.5 填埋式管道两侧回填土的宽度，在管道水平中心线每侧不得小于2倍管外径。在此宽度范围，管顶以上500mm区域内回填土的压实系数不得低于0.9，并应与其外侧土的回填同时进行。

7.3 管道接头

7.3.1 管芯缠丝预应力混凝土管应采用橡胶密封圈柔性接头。橡胶密封圈可采用圆形实心滚入式安装。

7.3.2 预应力钢筒混凝土管应采用钢制承插口橡胶密封圈接头。钢制承插口必须与管身钢筒焊接，并应留有设置橡胶密封圈的凹槽。橡胶密封圈应采用实心滑入式安装。

7.3.3 在预应力钢筒混凝土管道的接头处，对内、外部缝隙，应根据输送水质及环境防腐条件，采用水泥砂浆或其他柔性材料嵌填严实。

7.3.4 接头用橡胶密封圈的规格和尺寸，必须符合国家现行有关标准的规定，并由管材生产厂配套供应。

7.4 管 件

7.4.1 管件可采用钢板卷制拼装或钢管切割成斜口短管后焊接成型的钢筒制造。

7.4.2 钢制管件成型后，应采用水泥砂浆、混凝土或其他有效材料做管件内衬和外防腐层。内外水泥砂浆或混凝土防腐层应配置增强焊接钢丝网。钢丝网设置应符合下列规定：

- 1 外防腐层内焊接钢丝网的尺寸应为 50mm × 100 mm，钢丝直径不得小于 2.3 mm；
- 2 外防腐层内的钢丝网，应放在离钢制管件外表面 10 mm 处；
- 3 水泥砂浆内衬中的钢丝网，可焊在钢制管件内表面上；
- 4 钢制管件水泥砂浆内外防腐层的厚度应与管件内径成比例，但内衬厚度不得小于 10 mm，外防腐层厚度不得小于 25 mm。

7.4.3 管件钢筒最小厚度可按表 7.4.3 的规定采用。

表 7.4.3 管件钢筒最小厚度

管件内径 (mm)	钢筒壁厚 (mm)
500	4
600 ~ 900	5
1000 ~ 1200	7
1300 ~ 1500	8

7.4.4 管道与管件的连接可采用焊接或承插式接头。管道与闸门等设施的连接可采用法兰连接。

附录 A 管顶竖向土压力标准值

A.0.1 开槽施工的管道，其管顶竖向压力标准值应按下列式计算：

$$F_{sv,k} = C_d \gamma_s H_s D_1 \quad (\text{A.0.1})$$

式中 $F_{sv,k}$ ——每沿米管道上管顶竖向土压力标准值 (kN/M)；

C_d ——开槽施工土压力系数，可取 1.2；

H_s ——管顶至设计地面的覆土高度 (m)；

D_1 ——管道外径 (m)；

γ_s ——回填土单位体积的自重标准值，可取 18kN/m³。

A.0.2 当设计地面高于原状地面，管顶覆土为填埋式时，管顶竖向土压力标准值可按下列式计算：

$$F_{sv,k} = C_c \gamma_s H_s D_1 \quad (\text{A.0.2})$$

式中 C_c ——填埋式土压力系数，可取 1.4。

附录 B 侧向土压力标准值

B.0.1 对埋设在地下水水位以上的管道，作用在管道上的侧向主动土压力标准值，应按下列下式确定：

$$F_{ep,k} = \frac{1}{3} \gamma_s Z \quad (\text{B.0.1})$$

式中 $F_{ep,k}$ ——管侧主动土压标准值 (kN/m²)；

Z ——自地面至计算截面处的深度 (m)。

B.0.2 对埋设在地下水水位以下的管道，作用在管道上的侧向主动土压力标准值，应按下列下式确定：

$$F_{ep,k} = \frac{1}{3} [\gamma_s Z_w + \gamma'_s (Z - Z_w)] \quad (\text{B.0.2})$$

式中 γ_s ——地下水水位以下回填土的有效单位体积自重标准值，可取 10kN/m³；

Z_w ——自地面至地下水位的距离 (m)。

B.0.3 作用在管侧的被动土压力标准值，可按下列下式计算：

$$F_{pk} = \gamma_s z t g^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (\text{B.0.3})$$

式中 ϕ ——土的内摩擦角，应根据试验确定；当无试验数据时，可取 30°。

附录 C 地面车辆荷载对管道的作用标准值

C.0.1 作用在管道上的车辆荷载标准值 q_{sk} ，应根据地面车辆的运行条件和地面至管顶的深度（图 C.0.1）确定。

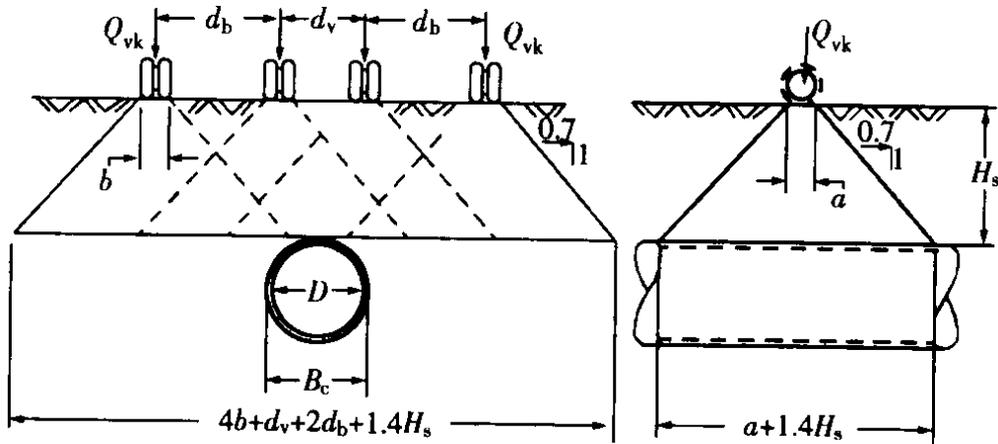


图 C.0.1 地面车辆荷载作用标准值的确定

C.0.2 单个轮压作用在管顶上的竖向压力标准值，可按下式计算：

$$q_{vk} = \frac{\mu_d Q_{vk}}{(a + 1.4H_s)(b + 1.4H_s)} \quad (\text{C.0.2})$$

式中 q_{vk} ——车辆轮压产生的管顶处单位面积上竖向压力标准值 (kN/m^2)；

μ_d ——动力系数，按本附录表 C.0.3 采用；

Q_{vk} ——地面车辆的单个轮压标准值，后轮轮压对汽 20 重车取 60kN，对汽超 20 重车取 70kN；

a ——单个车轮着地分布长度 (m)；

b ——单个车轮着地分布宽度 (m)；

H_s ——设计管顶至地面的深度 (m)。

C.0.3 双排 8 个轮压作用在管顶上竖向压力标准值，可按下式计算：

$$q_{vk} = \frac{8\mu_d Q_{vk}}{(2a + 2d_a + 1.4H_s)(4b + d_v + 2d_b + 1.4H_s)} \quad (\text{C.0.3})$$

式中 d_a ——沿车轮着地分布长度方向，相邻两个车轮的净距，取 1.2m；

d_b ——沿车轮着地分布宽度方向，同一辆车相邻两个车轮的净距，取 1.2m；

d_v ——沿车轮着地分布宽度方向，相邻两车车轮最短净距，取 1.7m。

表 C.0.3 动力系数 μ_d

地面至管顶深度 H_s	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
动力系数 μ_d	1.30	1.25	1.20	1.15	1.05	1.00

C.0.4 刚性混凝土路面下埋设的管道，可不考虑地面车辆荷载对管道的影响。但应考虑路基施工时运料车辆和碾压机械对管道的作用，其计算公式同本附录式 (C.0.2) 或式 (C.0.3)。

C.0.5 地面车辆荷载对管道侧向压力的标准值，可取竖向压力标准值的 1/3。

附录 D 预应力钢筒混凝土管弹性抵抗矩折算系数

预应力钢筒混凝土管的管壁截面受拉边缘弹性抵抗矩折算系数，根据管的类别和管径，可按表 D 采用。

表 D 弹性抵抗矩折算系数 ω

管内径 (mm)	管类别	系数 ω	管内径 (mm)	管类别	系数 ω
600	衬筒	1.0012	1000	埋置	1.0011
700	衬筒	1.0209	1200	埋置	1.0174
800	衬筒	1.0380	1400	埋置	1.0136
900	衬筒	1.0527	1600	埋置	1.0192
1000	衬筒	1.0651	1800	埋置	1.0187
1200	衬筒	1.0844	2000	埋置	1.0225
—	—	—	2200	埋置	1.0218
—	—	—	2400	埋置	1.0218
—	—	—	2600	埋置	1.0238
—	—	—	2800	埋置	1.0226
—	—	—	3000	埋置	1.0223
—	—	—	3600	埋置	1.0206

附录 E 圆形刚性管道在荷载作用下的弯矩系数

圆形刚性管道在各种荷载作用下弯矩系数，可根据管基构造按表 E 采用。

表 E 管道在荷载作用下的最大弯矩系数

荷载类别	管基型式		土弧基础			混凝土管基
	系数	管基中心 计算部位	20	90	120	135
竖向土压力	k_{vm}	管底	+0.266	+0.178	+0.155	—
		管顶	+0.150	+0.141	+0.136	+0.065
		管侧	-0.154	+0.145	-0.138	—
侧向土压力	k_{hm}	管底	-0.125	-0.125	-0.125	—
		管顶	-0.125	-0.125	-0.125	-0.052
		管侧	+0.125	+0.125	+0.125	—
管内水重	k_{wm}	管底	+0.211	+0.123	+0.100	—
		管顶	+0.079	+0.071	+0.066	+0.053
		管侧	-0.090	-0.082	-0.072	-0.059
管自重	k_{gm}	管底	+0.211	+0.123	+0.100	—
		管顶	+0.079	+0.071	+0.066	+0.080
		管侧	-0.090	-0.082	-0.072	-0.091

注：1 正号表示管内壁受拉；负号表示管外壁受拉。

2 混凝土管基的基础宽度不应小于管径加 5 倍壁厚；管底基础厚度不应小于 2 倍管壁厚度。

本规程用词说明

一、为便于在执行本规程条文时区别对待，对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 对表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

二、条文中指定应按其他有关标准执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行。”