



CECS 140 : 2011

中国工程建设协会标准

给水排水工程埋地预应力  
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 and prestressed concrete cylinder pipeline  
of water supply and sewerage engineering

中国计划出版社



中国工程建设协会标准

给水排水工程埋地预应力  
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 and prestressed concrete cylinder pipeline  
of water supply and sewerage engineering

CECS 140 : 2011

主编单位：北京市市政工程设计研究总院

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2012年1月1日

中国计划出版社

2011 北京

中国工程建设标准化协会

给水排水工程埋地预应力  
混凝土管和预应力钢筒混凝土管  
管道结构设计规程

中国工程建设协会标准  
给水排水工程埋地预应力  
混凝土管和预应力钢筒混凝土管  
管道结构设计规程

CECS 140 : 2011

☆

北京市市政工程设计研究总院 主编

中国计划出版社出版

(地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码:100038 电话:63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

850×1168 毫米 1/32 3 印张 74 千字

2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—5100 册

☆

统一书号:1580177·734

定价:25.00 元

## 中国工程建设标准化协会公告

第 93 号

### 关于发布《给水排水工程埋地预应力 混凝土管和预应力钢筒混凝土管 管道结构设计规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2008 年工程建设协会标准制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标协字〔2008〕98 号)的要求,由北京市市政工程设计研究总院等单位全面修订的《给水排水工程埋地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》,经本协会管道结构专业委员会组织审查,现批准发布,编号为 CECS 140 : 2011,自 2012 年 1 月 1 日起施行。原《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》CECS 140 : 2002 和《预应力混凝土输水管结构设计规范(震动挤压工艺)》CECS 16 : 90 同时废止。

中国工程建设标准化协会

二〇一一年九月二十八日

# 中国工程建设标准化协会公告

第 111 号

## 关于《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》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2008 年工程建设协会标准制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标协字〔2008〕98 号)的要求,由北京市市政工程设计研究总院会同有关单位共同对《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》CECS 140:2002 及《预应力混凝土输水管结构设计规范(震动挤压工艺)》CECS 16:90 进行合并修订。本规程系根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 和《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 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。

中国工程建设标准化协会  
二〇一一年十二月十八日

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2008 年工程建设协会标准制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标协字〔2008〕98 号)的要求,由北京市市政工程设计研究总院会同有关单位共同对《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》CECS 140:2002 及《预应力混凝土输水管结构设计规范(震动挤压工艺)》CECS 16:90 进行合并修订。

本规程系根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 和《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 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。

本规程共分 7 章和 6 个附录,包括总则、术语和符号、材料、管道结构上的作用、基本设计规定、管道结构计算和构造规定等内容。

本规程修订增加的内容主要有:更改合并修订后规程的名称;增加“一阶段”预应力混凝土管结构设计相关内容;完善钢筋强度综合调整系数;修改完善预应力混凝土管抗裂计算公式;增加管道内外防腐的内容;增加管道的水平、纵向支墩计算及限制接头计算;补充与预应力钢筒混凝土管配套的各种管件的计算及构造;增加实算例题。

根据原国家计委计标〔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,推荐给工程建设设计、施工等使用单位及工程技术人员采用。

本规程由中国工程建设标准化协会管道结构专业委员会  
CECS/TC17(北京市海淀区西直门北大街32号3号楼,北京市市  
政工程设计研究总院,邮政编码:100082)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,请将意见和资料寄交解释  
单位。

主编单位:北京市市政工程设计研究总院

参编单位:上海市市政工程设计研究总院

中国市政工程华北设计研究总院

北京市市政工程研究院

新疆国统管道股份有限公司

北京韩建河山管业股份有限公司

天津万联管道工程有限公司

深圳市卓成管道有限公司

宁夏青龙管业股份有限公司

山东电力管道工程公司

天津市泽宝水泥制品有限公司

主要起草人:程渡 代春生 范民权 陈湧城 王光明

王贯明 李世龙 刘江宁 张亮 何勇

宋克军 宁靖华 郭俊贵

主要审查人:沈世杰 郭天木 苏发怀 周质炎 王长祥

张建华 杨涛 刘志刚 萧岩 贺鸣

吴悦人

## 目次

1 总 则 .....	( 1 )
2 术语和符号 .....	( 2 )
2.1 术语 .....	( 2 )
2.2 符号 .....	( 3 )
3 材料 .....	( 6 )
3.1 混凝土 .....	( 6 )
3.2 预应力钢丝 .....	( 6 )
3.3 钢筒 .....	( 7 )
3.4 砂浆保护层 .....	( 7 )
4 管道结构上的作用 .....	( 8 )
4.1 作用分类和作用代表值 .....	( 8 )
4.2 永久作用标准值 .....	( 8 )
4.3 可变作用标准值、准永久值系数 .....	( 13 )
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 .....	( 17 )
5.3 正常使用极限状态验算规定 .....	( 18 )
6 管道结构计算 .....	( 20 )
6.1 承载能力极限状态计算 .....	( 20 )
6.2 正常使用极限状态计算 .....	( 23 )
7 构造规定 .....	( 28 )
7.1 管体 .....	( 28 )
7.2 管道基础及沟槽回填 .....	( 29 )
7.3 管道接头 .....	( 30 )

7.4 管件 .....	(30)
7.5 管道防腐 .....	(32)
附录 A 管顶竖向土压力标准值 .....	(33)
附录 B 侧向土压力标准值 .....	(34)
附录 C 地面车辆荷载对管道的作用标准值 .....	(35)
附录 D 预应力钢管混凝土管弹性抵抗矩折算系数 .....	(38)
附录 E 圆形刚性管道在荷载作用下的弯矩系数 .....	(46)
附录 F 管道支墩和限制接头推力标准值 及抗推力标准值 .....	(47)
本规程用词说明 .....	(50)
引用标准名录 .....	(51)
附:条文说明 .....	(53)

## Contents

1 General provisions .....	(1)
2 Terms and symbols .....	(2)
2.1 Terms .....	(2)
2.2 Symbols .....	(3)
3 Materials .....	(6)
3.1 Concrete .....	(6)
3.2 Prestressing wire .....	(6)
3.3 Steel cylinder .....	(7)
3.4 Coating mortar .....	(7)
4 Actions on the pipe structure .....	(8)
4.1 Actions type and representative value of actions .....	(8)
4.2 Characteristic value of permanent action .....	(8)
4.3 Characteristic value of variable action, coefficient of quasipermanent value .....	(13)
5 Fundamental design requirements .....	(15)
5.1 General requirement .....	(15)
5.2 Design requirement for calculation of ultimate limit states .....	(17)
5.3 Design requirement for checking calculation of serviceability limit states .....	(18)
6 Calculation of pipe structure .....	(20)
6.1 Calculation of ultimate limit states .....	(20)
6.2 Checking calculation of serviceability limit states .....	(23)
7 Stipulation for detailing requirements .....	(28)

7.1	Pipe structure .....	(28)
7.2	Pipe foundation and trench backfill .....	(29)
7.3	Pipe joints .....	(30)
7.4	Tubings .....	(30)
7.5	Anticorrosion design of pipe structure .....	(32)
Appendix A	Characteristic value of vertical earth pressure above top of the pipe .....	(33)
Appendix B	Characteristic value of lateral earth pressure .....	(34)
Appendix C	Characteristic value of vehicular load .....	(35)
Appendix D	Reduced coefficient of elastic sectional resistance moment of prestressed concrete cylinder pipe .....	(38)
Appendix E	Moments coefficient of the loads on round rigid pipeline .....	(46)
Appendix F	Characteristic value of thrust force and antithrust force on the buttress and restrained joint .....	(47)
	Explanation of wording in this specification .....	(50)
	List of quoted standards .....	(51)
	Addition; Explanation of provisions .....	(53)

## 1 总 则

**1.0.1** 为了在给水排水工程埋地预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管的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** 本规程适用于埋地敷设的预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管管道的结构设计。其埋设条件为素土平基、人工土弧基础及混凝土基础。

**1.0.3** 预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管的产品质量应分别符合现行国家标准《预应力混凝土管》GB 5696 和《预应力钢筒混凝土管》GB/T 19685 的要求。

**1.0.4** 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。

**1.0.5** 对于建设在地震区、湿陷性黄土或膨胀土等特殊地区的预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管管道的结构设计,除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

- 2.1.1 预应力混凝土管** prestressed concrete pipe  
在混凝土管壁内建立有双向预应力的预制混凝土管,包括一阶段管和三阶段管。
- 2.1.2 一阶段管** single-stage pipe  
采用震动挤压工艺生产的预应力混凝土管。
- 2.1.3 三阶段管** three-stage pipe  
采用管芯缠丝工艺生产的预应力混凝土管。
- 2.1.4 预应力钢筒混凝土管** prestressed concrete cylinder pipe  
在带有钢筒的混凝土管芯外侧缠绕环向预应力钢丝并制作水泥砂浆保护层而制成的管子。包括内衬式预应力钢筒混凝土管和埋置式预应力钢筒混凝土管。
- 2.1.5 内衬式预应力钢筒混凝土管** lined-cylinder pipe  
钢筒在混凝土管芯外侧的预应力钢筒混凝土管。
- 2.1.6 埋置式预应力钢筒混凝土管** embedded-cylinder pipe  
钢筒在混凝土管芯内部的预应力钢筒混凝土管。
- 2.1.7 管件** tubings  
包括配件和异形管。
- 2.1.8 配件** fittings  
以钢板作为主要结构材料并在钢板的内外侧包覆钢筋(丝)网水泥砂浆或混凝土保护层的管子。
- 2.1.9 异形管** special pipe  
采用与预应力钢筒混凝土管相同工艺制造的非标准直管。

- 2.1.10 限制接头** restrained joint

用机械连接或焊接连接在一起的相邻管道的接头。

- 2.1.11 工作压力** working pressure

管道系统在正常工作状态下,作用在管内壁上的最大持续运行压力。

- 2.1.12 设计压力** design pressure

管道系统在运行中,作用在管内壁上的最大瞬时压力。为管道工作压力与残余水锤压力之和。

- 2.1.13 土弧基础** arc shaped soil bedding

用砂砾土回填或原土开挖而成,用于支撑管道结构的弧型基础。由管底基础层和管下腋角两部分组成。

- 2.1.14 混凝土基础** arc shaped concrete bedding

用混凝土浇筑而成用于支撑管道结构的弧型基础。

- 2.1.15 基础支承角** bedding angle

基础与管道相接处的两顶点对应的管截面圆心角。用  $2\alpha$  表示。

### 2.2 符号

- 2.2.1 管道上的作用和作用效应**

$F_{ep,k}$ ——管侧主动土压力标准值;

$F_{fw,k}$ ——管道单位长度上浮托力标准值;

$F_{pk}$ ——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;

$F_k$ ——重力式支墩或限制接头抗推力标准值;

$F_{wp,k}$ ——推力标准值;

$M_{max}^I$ ——在基本组合作用下,管侧截面上的最大弯矩;

$N^I$ ——设计内水压力及管顶荷载作用下,管侧截面上的轴



向拉力；

$Q_{vi,k}$ ——车辆的第  $i$  个车轮承担的单个轮压标准值；

$q_{mk}$ ——地面堆积荷载标准值；

$q_{vk}$ ——轮压传递到管顶处的竖向压力标准值。

### 2.2.2 材料指标

$f_{mc,k}$ ——砂浆的抗压强度标准值；

$f_{ml,k}$ ——砂浆的抗拉强度标准值；

$f_{cu,k}$ ——混凝土的立方体抗压强度标准值；

$E_m$ ——砂浆保护层的弹性模量；

$E_c$ ——混凝土的弹性模量；

$E_s$ ——钢丝的弹性模量；

$\nu$ ——混凝土泊松比；

$\varepsilon_{ml}$ ——管体砂浆保护层相应于抗拉强度的应变值。

### 2.2.3 应力

$\sigma_{con}$ ——预应力钢丝的张拉控制应力；

$\sigma_{pe}$ ——环向预应力钢丝扣除应力损失后的有效预应力；

$p$ ——支墩作用在地基土上的平均压力；

$\sigma_w$ ——纵向弯曲拉应力；

$\sigma_y$ ——泊松应力。

### 2.2.4 几何参数

$A_{co}$ ——管壁混凝土环向截面面积；

$A_{sc}$ ——钢筒的截面面积；

$A_{cm}$ ——管壁截面(含钢丝和砂浆保护层)的折算面积；

$A_n$ ——管壁截面(含钢丝、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；

$d_0$ ——预应力钢丝中心至管壁折算截面重心的距离；

$a$ ——张拉端锚具的变形值；

$a_i$ ——第  $i$  个车轮着地分布长度；

$b_i$ ——第  $i$  个车轮着地分布宽度；

$D_1$ ——管外径；

$H_s$ ——管顶至设计地面的覆土高度；

$W_p$ ——管壁矩形截面未经折算的受拉边缘的弹性抵抗矩。

### 2.2.5 计算系数

$\rho_y$ ——环向预应力钢丝配筋率；

$\rho_l$ ——纵向预应力钢丝配筋率；

$C_s$ ——生产条件调整系数；

$C_c$ ——埋式竖向土压力系数；

$C_d$ ——开槽施工竖向土压力系数；

$\gamma$ ——受拉区混凝土的塑性影响系数；

$\mu_d$ ——动力系数；

$\omega_c, \omega_m$ ——管壁内、外侧截面受拉边缘的弹性抵抗矩折算系数；

$\lambda$ ——预应力混凝土管综合调整系数；

$\lambda_y$ ——预应力钢筒混凝土管综合调整系数；

$K$ ——受拉区混凝土的影响系数；

$Q_w$ ——弯曲拉应力系数。

### 3 材 料

#### 3.1 混 凝 土

3.1.1 三阶段管和预应力钢筒混凝土管管芯混凝土设计强度等级不得低于 C40;一阶段管管体混凝土的强度等级不得低于 C50。

3.1.2 混凝土的强度标准值、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 的规定执行。离心成型的管芯混凝土强度及震动挤压成型的混凝土强度,可按现行国家标准《预应力混凝土管》GB 5696 的规定,分别提高 25% 和 50% 采用。

3.1.3 混凝土的碱含量应符合现行协会标准《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,并通过试验确定其适用性及掺入量。

#### 3.2 预 应 力 钢 丝

3.2.1 预应力混凝土管预应力钢丝宜采用冷拉钢丝、消除应力低松弛钢丝、热处理钢筋或钢绞线;预应力钢筒混凝土管预应力钢丝应采用冷拉钢丝。其物理力学性能指标应分别符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223、《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3 和《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定。

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 钢筒用钢板的物理力学性能指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板及钢带》GB 912 和《碳素结构钢冷轧薄钢板及钢带》GB/T 11253 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按下式计算:

$$f_{mt,k} \geq 0.52 \sqrt{f_{mc,k}} \quad (3.4.1)$$

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),不得低于 45MPa。

3.4.2 砂浆的弹性模量  $E_m$  应按下式计算:

$$E_m = 7713(f_{mc,k})^{0.3} \quad (3.4.2)$$

式中:  $E_m$ ——砂浆的弹性模量(MPa)。

3.4.3 管体砂浆保护层相应于砂浆抗拉强度的应变变量  $\epsilon_{mt}$ , 应按下式计算:

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

式中:  $\epsilon_{mt}$ ——管体砂浆保护层相应于抗拉强度的应变变量。

## 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、预加应力和地基不均匀沉降；

2 可变作用应包括地面堆积荷载、地面车辆荷载、管道内静水压力和地下水压力。

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时，按承载能力极限状态的作用效应基本组合进行设计或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 的规定确定。

表 4.2.1 常用材料单位体积的自重标准值(kN/m<sup>3</sup>)

材料	钢筋混凝土	水泥砂浆	钢丝	钢筒	水
自重标准值	25.0	22.0	78.5	78.5	10.0

4.2.2 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 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 预应力钢丝的有效预应力标准值  $\sigma_{pe}$ 、 $\sigma_{pel}$  应为预应力钢丝的张拉控制应力值  $\sigma_{con}$  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  $\sigma_{con}$  不宜超过表 4.2.4 规定的张拉控制应力限值。

表 4.2.4 张拉控制应力限值

钢筋种类	张拉控制应力限值
冷拉钢丝、消除应力钢丝、钢绞线	$0.75 f_{pk}$
热处理钢筋、纵向预应力钢筋	$0.70 f_{pk}$

注： $f_{pk}$  为预应力钢丝强度标准值，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用。

4.2.5 相应预应力张拉工艺的各项预应力损失值应按本规程第 4.2.6~4.2.10 条的规定计算，预应力损失组合应符合表 4.2.5 的规定：

表 4.2.5 各管型的预应力损失组合表

预应力损失类型	管型及部位				
	一阶段管环向预应力	一阶段管纵向预应力	三阶段管环向预应力	三阶段管纵向预应力	预应力钢管环向预应力
张拉锚具变形 $\sigma_{s1}$	—	✓	—	✓	—
钢丝应力松弛 $\sigma_{s2}$	—	✓	✓	✓	✓
混凝土收缩徐变 $\sigma_{s3}$	✓	✓	✓	✓	✓

续表 4.2.5

预应力 损失类型	管型及部位				
	一阶段管 环向 预应力	一阶段管 纵向 预应力	三阶段管 环向 预应力	三阶段管 纵向 预应力	预应力钢 筒管环向 预应力
蒸养阶段钢筋应力松弛 $\sigma_{s4}$	√	—	—	—	—
混凝土弹性压缩(环向) $\sigma_{s5}$ 、 $\sigma_{s7}$	√	—	√	—	√
混凝土弹性压缩(纵向) $\sigma_{s6}$	—	√	—	√	—

注:表中有√的项目表示应计算的预应力损失。

4.2.6 张拉锚具变形引起的预应力损失  $\sigma_{s1}$ ,应按下式计算:

$$\sigma_{s1} = \frac{a}{l} E_s \quad (4.2.6)$$

式中: $a$ ——张拉端锚具的变形值(mm),应根据试验确定,无试验资料时,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/mm<sup>2</sup>),按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定采用。

4.2.7 钢丝应力松弛引起的预应力损失  $\sigma_{s2}$ ,应符合下列规定:

1 对三阶段管和预应力钢筒混凝土管,钢丝应力松弛引起的环向预应力损失  $\sigma_{s2}$ 应按下式计算:

$$\sigma_{s2} = 0.08 \sigma_{con} \phi_1 \phi \quad (4.2.7-1)$$

$$\phi = \frac{\phi_1 A_{p1} + \phi_2 A_{p2}}{A_{p1} + A_{p2}} \quad (4.2.7-2)$$

式中: $\sigma_{s2}$ ——钢丝松弛引起的预应力损失(N/mm<sup>2</sup>);

$\sigma_{con}$ ——预应力钢丝的张拉控制应力(N/mm<sup>2</sup>);

$\phi_1$ ——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;

$\phi$ ——配筋影响系数;

$\phi_1$ 、 $\phi_2$ ——分别为第一层、第二层钢丝的配筋影响系数。对单层配筋应为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,当  $\rho_1 < 1.0\%$  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;

$A_{p1}$ 、 $A_{p2}$ ——第一层、第二层预应力钢丝的截面面积(mm<sup>2</sup>/m)。

2 预应力混凝土管纵向钢筋的应力松弛损失,应按下列公式计算:

$$\sigma_{s2} = 0.07 \sigma_{con} \quad (4.2.7-3)$$

4.2.8 混凝土收缩徐变引起的预应力损失  $\sigma_{s3}$ 应符合下列规定:

1 混凝土收缩徐变引起的预应力损失  $\sigma_{s3}$ 的取值应按表4.2.8的规定确定。

表 4.2.8 混凝土收缩徐变引起的预应力损失(N/mm<sup>2</sup>)

$\frac{\sigma_p}{f'_{cu}}$ 或 $\frac{\sigma_{pe1}}{f'_{cu}}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
三阶段管和预应力钢筒混凝土管环向预应力钢丝	20	30	40	50	60
一阶段管环向预应力钢丝和预应力混凝土管纵向预应力钢丝	28	38	48	58	68

注:1 表中  $\sigma_p$ 、 $\sigma_{pe1}$ 分别为管壁环向截面上的法向预压应力和管壁混凝土在相应阶段的纵向预压应力;

2  $f'_{cu}$ 为施加预应力时的混凝土立方体抗压强度,可取  $0.7f_{cu,k}$ ;  $f_{cu,k}$ 为管芯混凝土的立方体抗压强度标准值(N/mm<sup>2</sup>)。

2 三阶段管和预应力钢筒混凝土管道的管壁环向截面上的法向预压应力  $\sigma_p$ 应按下列公式计算:

$$\sigma_p \leq 0.5 f'_{cu} \quad (4.2.8-1)$$

$$\sigma_p = \sigma_{p1} + \sigma_{p2} \quad (4.2.8-2)$$

$$\sigma_{p1} = \frac{A_{p1} \sigma_{con}}{A_{cy} + n_s A_{p1}} \quad (4.2.8-3)$$

$$\sigma_{p2} = \frac{A_{p2} \sigma_{con}}{A'_{cy} + n_s (A_{p1} + A_{p2})} \quad (4.2.8-4)$$

$$n_s = \frac{E_s}{E_c} \quad (4.2.8-5)$$

式中:  $n_s$ ——预应力钢丝弹性模量与混凝土弹性模量的比值;

$E_c$ ——管芯混凝土的弹性模量(N/mm<sup>2</sup>);

$\sigma_p$ ——管壁环向截面上的法向预压应力(N/mm<sup>2</sup>);

$\sigma_{p1}$ ——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<sup>2</sup>);

$\sigma_{p2}$ ——第二层预应力钢丝对管壁环向截面的法向预压应力(N/mm<sup>2</sup>);

$A_{cy}$ ——单层配筋时,管芯和钢筒的截面折算面积(mm<sup>2</sup>);

$A'_{cy}$ ——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(mm<sup>2</sup>).

3 一阶段管的管壁环向截面上的法向预压应力  $\sigma_p$  应按下式计算:

$$\sigma_p = \rho_y [\sigma_{con} - (\sigma_{s4} + \sigma_{s5})] \leq 0.5 f'_{cu} \quad (4.2.8-6)$$

式中:  $\rho_y$ ——环向预应力钢丝配筋率(%);

$\sigma_{s4}$ ——蒸养阶段预应力损失(MPa);

$\sigma_{s5}$ ——混凝土弹性压缩引起的环向预应力损失(MPa)。

4 预应力混凝土管管壁混凝土在相应阶段的纵向预压应力,应按下式计算:

$$\sigma_{pcl} = \rho_l [\sigma_{con} - (\sigma_{s1} + \sigma_{s2})] \leq 0.5 f'_{cu} \quad (4.2.8-7)$$

式中:  $\sigma_{pcl}$ ——管壁混凝土在相应阶段的纵向预压应力(MPa);

$\rho_l$ ——纵向预应力钢丝配筋率(%).

4.2.9 一阶段管管体蒸养阶段预应力损失(包括钢丝应力松弛损失)应按下式计算:

$$\sigma_{s4} = 0.3 C_s \sigma_{con} \quad (4.2.9)$$

式中:  $C_s$ ——生产条件调整系数,  $C_s$  取 0.7~1.0。

注:当实际的钢丝张拉应力达不到设计要求时,公式(4.2.9)中  $\sigma_{con}$  应按实际取值。

4.2.10 预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管混凝土弹性压缩引起的预应力损失应符合下列规定:

1 一阶段管管体混凝土弹性压缩引起的环向预应力损失应

按下列公式计算:

$$\sigma_{s5} = n_s \sigma_{pc} \frac{r_0^2}{r_a^2} \quad (4.2.10-1)$$

$$\sigma_{pc} = \rho_y (\sigma_{con} - \sigma_{s4}) \quad (4.2.10-2)$$

式中:  $r_a$ ——环向预应力钢丝圆环半径(m);

$r_0$ ——管道平均半径(m);

$\sigma_{pc}$ ——管壁混凝土在相应阶段的环向预压应力(MPa)。

2 预应力混凝土管管体混凝土弹性压缩引起的纵向预应力损失,应按下式计算:

$$\sigma_{s6} = n_s \sigma_{pcl} \quad (4.2.10-3)$$

式中:  $\sigma_{s6}$ ——混凝土弹性压缩引起的纵向预应力损失值(MPa)。

3 三阶段管和预应力钢筒混凝土管混凝土弹性压缩引起的环向预应力损失  $\sigma_{s7}$  应按下式计算:

$$\sigma_{s7} = 0.5 n_s \rho_y \sigma_{con} \quad (4.2.10-4)$$

式中:  $\sigma_{s7}$ ——混凝土弹性压缩引起的环向预应力损失值(MPa)。

### 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的标准值  $q_{vk}$  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  $q_{mk}$  可取 10kN/m<sup>2</sup>,其相应的准永久值系数可取 0.5。

4.3.3 管道的设计内水压力标准值  $F_{wd,k}$  可按下列公式计算:

$$F_{wd,k} = \begin{cases} 1.5 F_{wk}, & F_{wk} < 0.8 \text{ MPa} \\ 1.4 F_{wk}, & F_{wk} \geq 0.8 \text{ MPa} \end{cases} \quad (4.3.3)$$

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 0.72。

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符合下列规定:

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。

2 地下水作用的准永久值系数,当采用最高地下水位时,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,均采用分项系数的设计表达式进行设计。

5.1.2 预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管管道的结构设计使用年限为 50 年。

5.1.3 预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管管道的结构,应按下列两种极限状态进行设计:

1 承载力极限状态:管道结构达到最大的承载能力,管体或连接构件因材料强度被超过而破坏;管道结构整体失去平衡(横向及纵向滑移、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;超过正常使用的变形量限值。

5.1.4 对承载力极限状态计算和正常使用极限状态验算时,计算工况的作用组合应按表 5.1.4 的规定确定。

表 5.1.4 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		
		管自重 $G_1$	管内水重 $G_w$	竖向土压力 $F_{sv}$	侧向土压力 $F_{ep}, F_p$	预加应力 $\sigma_{pe}$	设计内水压力 $F_{wd}$	车辆或堆积荷载 $q_v, q_m$	地下水压力(浮力) $q_{gw}$
I	抗浮稳定	$G_{1k}$	—	$F_{sv,k}$	—	—	—	—	$q_{gw,k}$
II	抗推力稳定	$G_{1k}$	$G_{wk}$	$F_{sv,k}$	$F_{ep,k}$ $F_{pk}$	—	$F_{wd,k}$	—	$q_{gw,k}$

续表 5.1.4

计算工况	计算项目	永久作用					可变作用		
		管自重 $G_1$	管内水重 $G_w$	竖向土压力 $F_{sv}$	侧向土压力 $F_{ep}, F_p$	预加应力 $\sigma_{pe}$	设计内水压力 $F_{wd}$	车辆或堆积荷载 $q_v, q_m$	地下水压力(浮力) $q_{gw}$
Ⅲ	管体强度	1.20 $G_{1k}$	1.27 $G_{wk}$	1.27 $F_{sv,k}$	1.00 $F_{ep,k}$	—	1.40 $F_{wd,k}$	1.40 $q_{vk}$ 1.40 $q_{mk}$	—
Ⅳ	控制开裂标准组合	$G_{1k}$	$G_{wk}$	$F_{sv,k}$	$F_{ep,k}$	$\sigma_{pe}$	$F_{wd,k}$	$q_{vk}$ $q_{mk}$	—
Ⅴ	控制开裂准永久组合	$G_{1k}$	$G_{wk}$	$F_{sv,k}$	$F_{ep,k}$		$F_{wd,k}$	$q_{vk}$ $q_{mk}$	—

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Ⅲ管体强度计算中给出的 1.20 等系数为相应作用的分项系数;  
3 计算工况Ⅳ砂浆控制开裂标准组合计算中不含  $\sigma_{pe}$ 。

5.1.5 预应力混凝土管管道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,不考虑非弹性变形所引起的塑性内力重分布。

5.1.6 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进行地基处理。

5.1.7 配件设计应符合现行国家标准《给水排水管道工程结构设计规范》GB 50332 及其他相关标准的规定。

5.1.8 配件结构强度计算可采用现行协会标准《给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程》CECS 141 规定的方法,对采用水泥砂浆、混凝土内衬和外保护层管件的钢板可不计腐蚀厚度。

5.1.9 T形三通、Y形三通、十字形四通应进行补强计算,可采用增加钢板厚度或加固梁系统等方法。

5.1.10 当弯管中心线半径大于或等于 2.5 倍管道外径时,钢板

厚度可采用直管段结构计算方法确定。弯管中心线半径小于 2.5 倍管道外径时,应进行补强计算增加钢板的厚度。

## 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,应按下式计算:

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

式中: $\gamma_0$ ——管道结构的重要性系数,取 1.1。当设计为双线或设有调蓄设施时可取 1.0;当用作排水管时可取 1.0;

$S$ ——作用效应组合的设计值;

$R$ ——管道结构抗力的设计值。

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:

$$S = \gamma_{G1} C_{G1} G_{1k} + \sum_{i=2}^m \gamma_{Gi} C_{Gi} G_{ik} + \psi_c \sum_{j=1}^n \gamma_{Qj} C_{Qj} Q_{jk} \quad (5.2.3)$$

式中: $\gamma_{G1}$ ——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;

$\gamma_{Gi}$ ——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应取 1.27;当有利时均应取 1.0;

$\gamma_{Qj}$ ——第  $j$  个可变作用分项系数,当作用效应对管道结构不利时均应取 1.4;当有利时均应取 1.0;

$C_{G1}$ ——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;

$G_{1k}$ ——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;

$\psi_c$ ——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 对埋设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。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  $K_f$  不小于 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,验算时,各种作用应采用标准值,其抗滑稳定性抗力系数  $K_s$  不应小于 1.5;限制接头抗滑稳定性抗力系数  $K_j$  不应小于 1.1。

### 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,以及应力应变计算值不超过规定的限值。管件应控制影响正常使用的变形量。

5.3.2 管道结构按正常使用极限状态验算时,作用效应均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: $\psi_{qj}$ ——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。

5.3.5 采用水泥砂浆、混凝土做内衬和外保护层的管件刚度计算宜采用半刚性管模型分析计算,管件最大竖向变形不宜大于  $D^3/100000$  和  $0.02D$  ( $D$  为公称直径),取二者较小值。



## 6 管道结构计算

### 6.1 承载力极限状态计算

6.1.1 抗浮稳定验算应按下列式计算:

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

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符合下列要求:

1 当管道采用重力式支墩或由限制接头连接的管段抗推力时应按下列公式计算:

$$\frac{F_k}{F_{wp,k}} \geq K_s \quad (6.1.2-1)$$

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

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

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

$$V < 0.9 \sum G \quad (6.1.2-5)$$

式中:  $F_{wp,k}$ ——在设计内水压力作用下,管道承受的推力标准值(kN)。按本规程附录 F.0.1 计算;

$F_k$ ——重力式支墩或限制接头抗推力标准值(kN)。按本规程附录 F.0.2 计算;

$K_s$ ——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/m<sup>2</sup>)。指管

道支墩底面以上的有效重量  $\sum G$  产生地基上的压力;对管道纵向向上弯头尚应包括内水压力引起的向下垂直力;

$f_a$ ——经过深度修正的地基土承载力特征值(kN/m<sup>2</sup>)。

按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定采用。

$p_{\min}$ ——支墩作用在地基土上的最小压力(kN/m<sup>2</sup>);

$p_{\max}$ ——支墩作用在地基土上的最大压力(kN/m<sup>2</sup>);

$V$ ——管道纵向支墩受内水压力引起的垂直力标准值(kN)。按本规程附录 F.0.1 计算;

$\sum G$ ——包括支墩、管体、管内水、支墩以上覆土等各项有效重量标准值之和(kN)。

2 对限制接头管段钢筒及连接件应进行强度计算,并符合《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

3 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 的规定确定。

6.1.3 预应力混凝土管的环向预应力钢丝截面面积,应按下列公式计算:

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

$$N^I = \gamma_0 [\psi_c \gamma_{Q1} F_{wd,k} r_0 \times 10^{-3} - 0.5 (F_{sv,k} + \psi_c q_{vk} D_1)] \quad (6.1.3-2)$$

$$M_{\max}^I = \gamma_0 r_0 [k_{vm} (\gamma_{G3} F_{sv,k} + \psi_c \gamma_{Q2} q_{vk} D_1) + k_{hm} \gamma_{G4} F_{ep,k} D_1 + k_{wm} \gamma_{G2} G_{wk} + k_{gm} \gamma_{G1} G_{1k}] \quad (6.1.3-3)$$

式中:  $A_p$ ——环向预应力钢丝截面面积(mm<sup>2</sup>/m);

$N^I$ ——设计内水压力及管顶荷载作用下,管侧截面上的轴向拉力(N/m)。以受拉为正;

$M_{\max}^I$ ——在基本组合作用下,管侧截面上的最大弯矩(N·mm/m)。计算结果为负值,表示管外壁受拉,

代入配筋公式时取正值;

$d_0$ ——预应力钢丝中心至管壁折算截面重心的距离 (mm),可按本规程附录 D 确定;

$f_{py}$ ——预应力钢丝的强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>),按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用;

$\lambda$ ——预应力混凝土管综合调整系数,三阶段管可取 0.9,一阶段管可取 1.0;

$r_0$ ——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,管侧截面上弯矩的弯矩系数,可根据管基形式按附录 E 确定,其中土弧基础的  $k_{gm}$  应按管基支承角为 20° 的数据采用;

$D_1$ ——管外径 (m);

$\gamma_{Gi}$ 、 $\gamma_{Qi}$ ——第  $i$  个永久作用,第  $j$  个可变作用的分项系数;

$q_{vk}$ ——轮压传递到管顶处的竖向压力标准值 (kN/m<sup>2</sup>),当小于地面堆积荷载  $q_{mk}$  时,应取  $q_{mk}$  计算;

$G_{wk}$ ——管内水重标准值 (N/m);

$F_{wd,k}$ ——管道的设计内水压力标准值 (N/m<sup>2</sup>)。

注:  $G_{1k}$ 、 $F_{sv,k}$  和  $F_{ep,k}$  的量纲单位采用 N/m、N/m 和 N/m<sup>2</sup>。

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按下式计算:

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

式中:  $\lambda_y$ ——预应力钢筒混凝土管综合调整系数。内衬式预应力钢筒混凝土管取 1.1;埋置式预应力钢筒混凝土管:管径大于 1600mm 时,取 0.9;管径小于或等于 1600mm 时,取 1.0;

$A_{cm}$ ——钢筒的截面面积 (mm<sup>2</sup>/m);

$f$ ——钢筒的材料抗拉强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>)。按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用。

## 6.2 正常使用极限状态计算

6.2.1 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按下列公式计算:

$$A_p \geq (\sigma_{ss} - K \gamma f_{tk}) \frac{A_{cm}}{\sigma_{pe}} \quad (6.2.1-1)$$

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

$$N_{ps} = \psi_c F_{wd,k} r_0 \times 10^{-3} \quad (6.2.1-3)$$

$$M_{pms} = r_0 [k_{vm} (F_{sv,k} + \psi_c q_{vk} D_1) + k_{hm} F_{ep,k} D_1 + k_{wm} G_{wk} + k_{gm} G_{1k}] \quad (6.2.1-4)$$

对于一阶段管:

$$K = 1 - 0.1429 \frac{\sigma_{ss}}{f_{tk}} \quad (6.2.1-5)$$

对于三阶段管:

$$K = 0.5714 - 0.1429 \frac{N_{ps}}{A_{cm} f_{tk}} + 0.1633 \frac{M_{pms}}{W_{cm} f_{tk}} \quad (6.2.1-6)$$

式中:  $A_{cm}$ ——管壁截面(含钢丝和保护层)的折算面积 (mm<sup>2</sup>/m);

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

$N_{ps}$ ——在内水压力标准值作用下,管壁上的轴向拉力 (N/m);

$W_{cm}$ ——管壁截面(含钢丝和保护层)受拉边缘的折算弹性抵抗矩 (mm<sup>3</sup>/m);

$f_{tk}$ ——管芯混凝土的抗拉强度标准值,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用;

$K$ ——受拉区混凝土的影响系数;

$\gamma$ ——受拉区混凝土的塑性影响系数,取 1.75;

$\sigma_{pe}$ ——环向预应力钢丝扣除应力损失后的有效预应力(N/mm<sup>2</sup>);

$\sigma_{ss}$ ——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<sup>2</sup>);

$k_{vm}$ 、 $k_{hm}$ 、 $k_{wm}$ 、 $k_{gm}$ ——分别为竖向、侧向压力和管内水重、管自重作用下,管顶和管底截面上弯矩的弯矩系数,可根据管基形式按附录 E 确定,其中土弧基础的  $k_{gm}$  应按管基支承角为 20° 的数据采用。

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按下列公式计算:

$$A_p \geq (\sigma_{ss} - K\gamma f_{tk}) \frac{A_n}{\sigma_{pe}} \quad (6.2.2-1)$$

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

$$K = 0.2449 \frac{M_{pms}}{\omega_c W_p f_{tk}} + 0.5714 \quad (6.2.2-3)$$

式中:  $A_n$ ——管壁截面(含钢筒、钢丝、砂浆保护层)折算面积(mm<sup>2</sup>/m);

$W_p$ ——管壁矩形截面(含钢筒、钢丝、砂浆保护层)未经折算的受拉边缘弹性抵抗矩(mm<sup>3</sup>/m);

$\omega_c$ ——管壁内侧截面受拉边缘弹性抵抗矩的折算系数,按本规程附录 D 确定。

6.2.3 在标准组合作用下,三阶段管和预应力钢筒混凝土管环向钢丝的砂浆保护层应力应按下列公式计算:

$$\sigma_{ss}^1 \leq \alpha_m \epsilon_{mt} E_m \quad (6.2.3-1)$$

1 三阶段管砂浆保护层应力应按下列公式计算:

$$\sigma_{ss}^1 = \frac{N_{ps}^1}{A_{cm}} + \frac{M_{pms}^1}{W_{cm}} \quad (6.2.3-2)$$

$$N_{ps}^1 = \psi_c F_{wd,k} r_0 \times 10^{-3} - 0.5 (F_{sv,k} + \psi_c q_{vk} D_1) \quad (6.2.3-3)$$

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

式中:  $\sigma_{ss}^1$ ——在作用效应标准组合下,管侧截面边缘的最大拉应力(N/mm<sup>2</sup>);

$N_{ps}^1$ ——在作用效应标准组合下,管侧截面上的轴向拉力(N/m)。以受拉为正;

$M_{pms}^1$ ——在作用效应标准组合下,管侧截面上的最大弯矩(N·mm/m)。计算结果为负值,表示管外壁受拉,代入应力公式时取正值;

$\epsilon_{mt}$ ——管体砂浆保护层相应于抗拉强度的应变值,按本规程第 3.4.3 条的规定采用;

$\alpha_m$ ——砂浆保护层应变值设计参数,取 5.0;

$E_m$ ——砂浆保护层的弹性模量(N/mm<sup>2</sup>)。

2 预应力钢筒混凝土管砂浆保护层应力应按下列公式计算:

$$\sigma_{ss}^1 = \frac{N_{ps}^1}{A_n} + \frac{M_{pms}^1}{\omega_m W_p} \quad (6.2.3-5)$$

式中:  $\omega_m$ ——管壁外侧截面受拉边缘弹性抵抗矩的折算系数,按本规程附录 D 确定。

6.2.4 在准永久组合作用下,三阶段管和预应力钢筒混凝土管环向钢丝的砂浆保护层应力应按下列公式计算:

$$\sigma_{ss}^1 \leq \alpha'_m \epsilon_{mt} E_m \quad (6.2.4-1)$$

1 三阶段管环向钢丝的砂浆保护层应力应按下列公式计算:

$$\sigma_{ss}^1 = \frac{N_{pl}^1}{A_{cm}} + \frac{M_{pml}^1}{W_{cm}} \quad (6.2.4-2)$$

$$N_{pl}^1 = \psi_{qw} F_{wd,k} r_0 \times 10^{-3} - 0.5 (F_{sv,k} + \psi_{qv} q_{vk} D_1) \quad (6.2.4-3)$$

$$M_{pml}^1 = r_0 [k_{vm} (F_{sv,k} + \psi_{qv} q_{vk} D_1) + k_{hm} F_{ep,k} D_1 + k_{wm} G_{wk} + k_{gm} G_{1k}] \quad (6.2.4-4)$$

式中:  $\sigma_{ss}^1$ ——在作用效应准永久组合下,管侧截面边缘的最大拉应力

力(N/mm<sup>2</sup>);

$N_{pl}^I$ ——在作用效应准永久组合下,管侧截面上的轴向拉力(N/m)。以受拉为正;

$M_{pml}^I$ ——在作用效应准永久组合下,管侧截面上的最大弯矩(N·mm/m)。计算结果为负值,表示管外壁受拉,代入应力公式时取正值;

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

$\alpha'_m$ ——砂浆保护层应变设计参数,取4.0。

2 预应力钢筋混凝土管环向钢丝的砂浆保护层应力应按下列公式计算:

$$\sigma_{ls}^I = \frac{N_{pl}^I}{A_n} + \frac{M_{pml}^I}{\omega_m W_p} \quad (6.2.4-5)$$

6.2.5 预应力混凝土管纵向预应力钢筋的截面面积应按下列公式计算:

$$A_{pl} \geq A_{co} \frac{\sigma_{pel}}{\sigma_{pel}} \quad (6.2.5-1)$$

$$\sigma_{pel} = \sigma_{con} - \sum \sigma_{sl} \quad (6.2.5-2)$$

式中: $A_{pl}$ ——纵向预应力钢筋的截面面积(mm<sup>2</sup>/m);

$\sigma_{pel}$ ——相应阶段纵向预应力钢筋扣除应力损失后的有效预应力(N/mm<sup>2</sup>);

$\sigma_{con}$ ——管壁混凝土截面上的纵向有效预压应力(N/mm<sup>2</sup>);

$\sum \sigma_{sl}$ ——纵向预应力损失的和(N/mm<sup>2</sup>);

$A_{co}$ ——管壁混凝土环向截面面积(mm<sup>2</sup>)。

6.2.6 一阶段管管壁截面纵向有效预压应力值 $\sigma_{pel}$ 应按下列公式计算并不应小于2.0MPa。

$$\sigma_{pel} = (\sigma_w + \sigma_y) - K\gamma f_{tk} \quad (6.2.6-1)$$

当 $\sigma_w \geq f_{tk}$ 时:

$$K = 0.7 - 0.1429 \frac{\sigma_w + \sigma_y}{f_{tk}} \quad (6.2.6-2)$$

当 $\sigma_w < f_{tk}$ 时:

$$K = 0.1633 \frac{\sigma_w}{f_{tk}} - 0.1429 \frac{\sigma_y}{f_{tk}} + 0.4 \quad (6.2.6-3)$$

式中: $\sigma_w$ ——纵向弯曲拉应力(MPa);

$\sigma_y$ ——泊松应力(MPa)。

1 制造阶段,环向预应力钢筋放张时产生的纵向弯曲拉应力,应按下列公式计算:

$$\sigma_w = Q_w \sigma_{pe} \rho_y \frac{r_0}{r_a} \quad (6.2.6-4)$$

$$\sigma_{pe} = \sigma_{con} - (\sigma_{s4} + \sigma_{s5}) \quad (6.2.6-5)$$

式中: $Q_w$ ——弯曲拉应力系数,可按表6.2.6的规定取值。

2 环向压缩泊松应力,应按下列公式计算:

$$\sigma_y = \nu \rho_y \sigma_{pe} \quad (6.2.6-6)$$

式中: $\nu$ ——混凝土泊松比,取0.2。

表 6.2.6 弯曲拉应力系数

管径(mm)	φ400	φ500	φ600	φ700	φ800	φ900
$Q_w$	0.7038	0.5906	0.4621	0.4035	0.3401	0.2719
管径(mm)	φ1000	φ1200	φ1400	φ1600	φ1800	φ2000
$Q_w$	0.2408	0.2082	0.1575	0.1256	0.09706	0.07734

6.2.7 三阶段管管壁截面纵向有效预压应力值 $\sigma_{pel}$ 不应小于环向有效预压应力值的20%且不应小于2.0MPa。

## 7 构造规定

### 7.1 管 体

7.1.1 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。配置双层或多层钢丝时,内层钢丝的水泥砂浆覆盖层厚度不应小于钢丝直径。

7.1.2 一阶段管管体构造应满足下列要求:

1 纵向预应力钢筋采用不低于 550MPa 冷拔低碳钢丝时,其最小配筋率不应小于 0.35%;

2 纵向预应力钢筋单根配筋时,最大净距不应大于 120mm;成对配筋时,最大净距不应大于 180mm;

3 环向预应力钢丝的净距不宜大于 35mm;除管端外,净距不宜小于集料的最大粒径;

4 环向预应力钢丝的净保护层厚度不应小于 15mm。

7.1.3 三阶段管管体构造应满足下列要求:

1 管两端 400mm~500mm 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;

2 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 预应力钢筒混凝土管管体构造应满足下列要求:

1 同层钢丝的中心距,对埋置式预应力钢筒混凝土管不得小于钢丝直径的 2 倍,对内衬式预应力钢筒混凝土管不得小于钢丝直径的 2.75 倍;最大间距不得大于 38mm。当内衬式预应力钢筒混凝土管配置直径大于或等于 6mm 的粗钢丝时,其最大间距不应大于 25.4mm;

2 环向预应力钢丝外缘的保护层砂浆净厚度不应小于 20mm;

3 钢筒用钢板的厚度不得小于 1.5mm。

### 7.2 管道基础及沟槽回填

7.2.1 预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管宜采用土弧基础。土弧基础设计支承角  $2\alpha$  值,应根据作用在管道上外压荷载确定。设计支承角应在计算支承角基础上另加  $20^\circ\sim 30^\circ$ 。

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,应按承载能力大小选用相应支承角的混凝土基础,支承角  $2\alpha$  可采用  $135^\circ$ 。混凝土基础尺寸应按表 7.2.2 的规定取值,混凝土基础的强度等级不应小于 C15。

表 7.2.2 混凝土基础尺寸

基础支承 $2\alpha$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
基础宽度	$\geq D_1 + 2h$	$\geq D_1 + 5h$	$\geq D_1 + 5h$
管底基础厚度	$\geq 2h$	$\geq 2h$	$\geq 2h$

注:  $D_1$  为管道外径,  $h$  为壁厚。

7.2.3 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,自槽底到管顶以上 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 区域回填土压实系数可取 0.8;在上述区域范围以上,回填土的压实系数可按该地区管道上部地面要求确定。

7.2.4 埋置式管道两侧回填土的宽度,在管道水平中心线处每侧不得小于 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。

7.2.5 预应力钢筒混凝土管限制接头管段范围内的回填土压实系数均不得低于 0.95。

7.2.6 预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管管顶的覆土不宜小于0.7m,并不应低于标准冻深且满足抗浮要求。

### 7.3 管道接头

7.3.1 预应力混凝土管应采用橡胶密封圈柔性接头。橡胶密封圈可采用滚入式或滑入式安装。

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条件,采用水泥砂浆或柔性材料嵌填严实。

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

### 7.4 管 件

7.4.1 配件可采用钢板卷制焊接制成,并在端部焊接接口钢圈;应采用水泥砂浆、混凝土或其他材料做内衬和外保护层。

7.4.2 配件焊缝质量等级、焊缝射线照相和超声波探伤检验数量、方法应符合现行国家标准《工业金属管道工程施工规范》GB 50235、《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》GB 50236 的规定。

7.4.3 配件与管道的连接可采用焊接或承插式接口,配件与阀门等设备的连接可采用法兰连接。

7.4.4 配件钢板厚度应通过计算确定,但最小厚度应符合表7.4.4规定。

表 7.4.4 配件钢板最小厚度

公称直径	钢板壁厚(mm)
400~500	4.0
600~900	5.0

续表 7.4.4

公称直径	钢板壁厚(mm)
1000~1200	6.0
1400~1600	8.0
1800	10.0
2000~2200	12.0
2400~2600	14.0
2800~3000	16.0
3200~3600	18.0
3800~4000	20.0

注:配件公称直径>4000mm时,钢板最小厚度可由设计、生产厂家共同商定。

7.4.5 弯管可采用钢筒斜管片制作,单节角度不应大于22.5°。

7.4.6 出口配件与管体连接处应采用衬圈套板加固。

7.4.7 预应力混凝土管配件可按预应力钢筒混凝土配件的规定制作或满足设计要求。

7.4.8 配件的水泥砂浆、混凝土内衬和外保护层应配制焊接钢丝网,且应符合下列规定:

1 焊接钢丝网的尺寸不应大于50mm×100mm,钢丝的最小直径不应小于2.3mm。

2 配件筒体外侧钢丝网应固定在距离筒体表面10mm的位置;配件筒体内侧钢丝网应布置在靠近筒体一侧的水泥砂浆或混凝土厚度的1/3处,或直接焊接在管件钢板的表面上。

3 配件内衬水泥砂浆或混凝土厚度应与管内径成比例,其中最小厚度不得小于10mm;管件外侧水泥砂浆或混凝土保护层至少应为25mm。

4 配件在制作水泥砂浆、混凝土内衬或外保护层之前,应将钢板表面的铁屑、浮锈、油脂等物质清理干净。

7.4.9 异型管的结构设计方法、制管工艺与预应力钢筒混凝土管

标准管相同。在异型管的接口钢圈和开孔部位应进行补强计算加固。

7.4.10 斜口管与钢筒相连的插口钢圈,斜角角度不应大于 $5^{\circ}$ 。

7.4.11 选用异形管作为T形三通管、Y形三通管的支管最大直径应小于主管管径的 $1/2$ 。

7.4.12 选用异形管作为T形三通管、Y形三通管的钢板开孔处应采取补强加固措施,开孔边缘与钢筒外端最小距离应大于 $0.5\text{m}$ 。

## 7.5 管道防腐

7.5.1 管道防腐设计应遵循预防为主和防护结合的原则,可按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046的有关规定执行。

7.5.2 预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管及管件的内外受腐蚀介质作用时,应根据环境条件、腐蚀介质的性质、腐蚀性等级进行防腐设计。

7.5.3 管道结构混凝土的氯离子含量不得大于胶凝材料用量的 $0.06\%$ 。

7.5.4 管道的内防腐应符合下列规定:

1 给水工程输送饮用水管道的内防腐材料应符合现行国家标准的饮用水卫生标准,确保对人体健康无害。

2 污水工程输水管道的内防腐做法可按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046的有关规定执行。

7.5.5 管道的外防腐应根据埋管区域的地下水和土中腐蚀介质的性质、含量及环境条件确定腐蚀性等级,可按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046的有关规定执行。

7.5.6 预应力钢筒混凝土管道的钢制接头防护,应根据腐蚀介质的性质、腐蚀性等级及检查维修难易程度,采取有效的防护措施。

## 附录 A 管顶竖向土压力标准值

A.0.1 开槽施工的管道,其管顶竖向土压力标准值应按下列公式计算:

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

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

$C_d$ ——开槽施工竖向土压力系数,一般可取 $1.2$ ;

$H_s$ ——管顶至设计地面的覆土高度(m);

$D_1$ ——管道外径(m);

$\gamma_s$ ——回填土单位体积的自重标准值,可取 $18\text{kN/m}^3$ 。

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公式计算:

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

式中, $C_c$ ——填埋式竖向土压力系数,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,应按下列式计算:

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

式中:  $F_{ep,k}$ ——管侧主动土压力标准值( $\text{kN}/\text{m}^2$ );

$Z$ ——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,应按下列式计算:

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

式中:  $\gamma'_s$ ——地下水水位以下回填土的有效单位体积自重标准值,可取  $10\text{kN}/\text{m}^3$ ;

$Z_w$ ——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,可按下列式计算:

$$F_{pk} = \gamma_s Z \text{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi_c}{2} \right) \quad (\text{B.0.3})$$

式中:  $\phi_c$ ——土的等效内摩擦角,应根据试验确定;当无试验数据时,可取  $30^\circ$ 。

## 附录 C 地面车辆荷载对管道的作用标准值

**C.0.1** 地面车辆荷载对管道上的作用,包括地面行驶的各种车辆,其载重等级、规格型式应根据地面运行要求确定。

**C.0.2** 地面车辆荷载传递到埋地管道顶部的竖向压力标准值,可按下列方法确定:

1 单个轮压传递到管道顶部的竖向压力标准值(图 C.0.2-1)可按下列式计算:

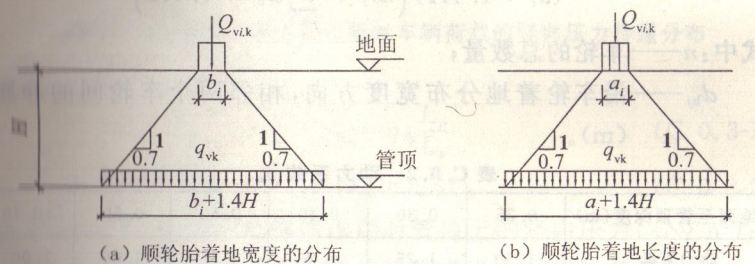


图 C.0.2-1 单个轮压的传递分布图

$$q_{vk} = \frac{\mu_d Q_{vi,k}}{(a_i + 1.4H)(b_i + 1.4H)} \quad (\text{C.0.2-1})$$

式中:  $q_{vk}$ ——轮压传递到管顶处的竖向压力标准值( $\text{kN}/\text{m}^2$ );

$Q_{vi,k}$ ——车辆的第  $i$  个车轮承担的单个轮压标准值( $\text{kN}$ );

$a_i$ ——第  $i$  个车轮的着地分布长度(m);

$b_i$ ——第  $i$  个车轮的着地分布宽度(m);

$H$ ——自车行地面至管顶的深度(m);

$\mu_d$ ——动力系数,可按表 C.0.2 采用。

2 两个以上单排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力



标准值(图 C. 0. 2-2),可按下式计算:

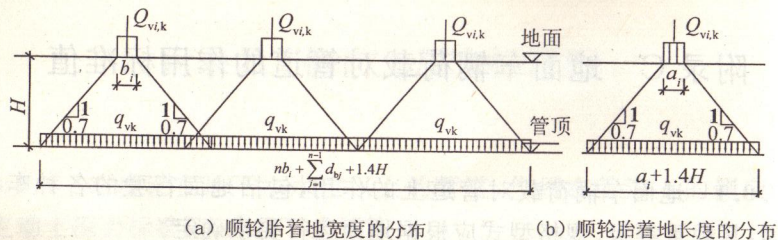


图 C. 0. 2-2 两个以上单排轮压综合影响的传递分布

$$q_{vk} = \frac{\mu_d n Q_{vi,k}}{(a_i + 1.4H) (nb_i + \sum_{j=1}^{n-1} d_{bj} + 1.4H)} \quad (\text{C. 0. 2-2})$$

式中:  $n$ ——车轮的总数量;

$d_{bj}$ ——沿车轮着地分布宽度方向,相邻两个车轮间的净距(m)。

表 C. 0. 2 动力系数  $\mu_d$

地面至管顶深度(m)	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	$\geq 0.70$
动力系数 $\mu_d$	1.30	1.25	1.20	1.15	1.05	1.00

3 多排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力标准值,可按下式计算:

$$q_{vk} = \frac{\mu_d \sum_{i=1}^n Q_{vi,k}}{(\sum_{i=1}^{m_a} a_i + \sum_{j=1}^{m_a-1} d_{aj} + 1.4H) (\sum_{i=1}^{m_b} b_i + \sum_{j=1}^{m_b-1} d_{bj} + 1.4H)} \quad (\text{C. 0. 2-3})$$

式中:  $m_a$ ——沿车轮着地分布宽度方向的车轮排数;

$m_b$ ——沿车轮着地分布长度方向的车轮排数;

$d_{aj}$ ——沿车轮着地分布长度方向,相邻两个车轮间的净距(m)。

C. 0. 3 当刚性管道为整体式结构时,地面车辆荷载的影响应考虑结构的整体作用,此时作用在管道上的竖向压力标准值(图 C. 0. 3)可按下式计算:

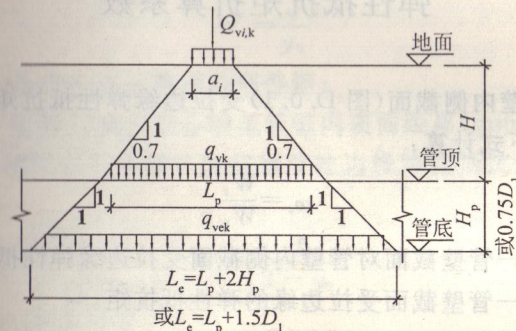


图 C. 0. 3 考虑结构整体作用时车辆荷载的竖向压力传递分布

$$q_{vek} = q_{vk} \frac{L_p}{L_e} \quad (\text{C. 0. 3-1})$$

$$L_e = L_p + 1.5D_1 \quad (\text{C. 0. 3-2})$$

式中:  $q_{vek}$ ——考虑管道整体作用时管道上的竖向压力(kN/m<sup>2</sup>);

$L_p$ ——轮压传递到管顶处沿管道纵向的影响长度(m);

$L_e$ ——管道纵向承受轮压影响的有效长度(m)。

C. 0. 4 当地面设有刚性混凝土路面时,可不计地面车辆轮压对下部埋设管道的影响,但应计算路基施工时运料车辆和碾压机械的轮压作用影响,可按公式(C. 0. 2-1)或公式(C. 0. 2-2)计算。

C. 0. 5 地面运行车辆的载重、车轮布局、运行排列等规定,应按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的规定采用。

## 附录 D 预应力钢筒混凝土管 弹性抵抗力矩折算系数

**D.0.1** 管壁内侧截面(图 D.0.1)受拉边缘弹性抵抗力矩的折算系数  $\omega_c$  应按下列公式计算:

$$\omega_c = \frac{W_c}{W_p} \quad (D.0.1)$$

式中:  $W_c$ ——管壁截面对管壁内侧截面受拉边缘弹性抵抗力矩;  
 $W_p$ ——管壁截面受拉边缘的弹性抵抗力矩。

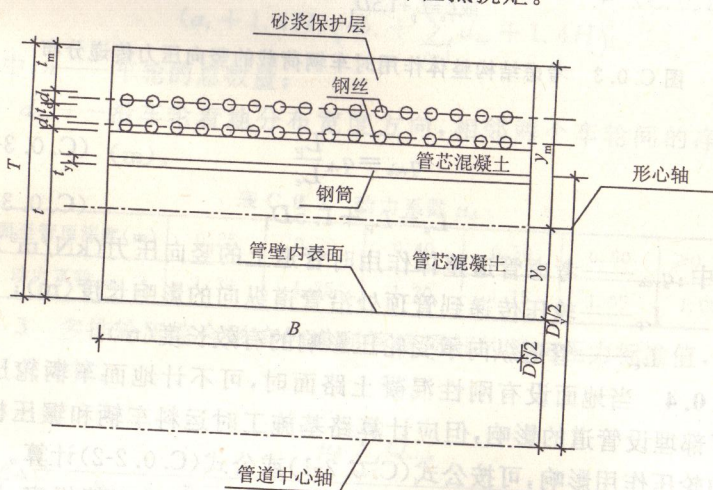


图 D.0.1 预应力钢筒混凝土管管壁截面示意图

**D.0.2** 管壁外侧截面(图 D.0.1)受拉边缘弹性抵抗力矩的折算系数  $\omega_m$  应按下列公式计算:

$$\omega_m = \frac{W_m}{W_p} \quad (D.0.2)$$

式中:  $W_m$ ——管壁截面对管壁外侧截面受拉边缘弹性抵抗力矩。

**D.0.3** 管壁截面对管壁内侧截面受拉边缘弹性抵抗力矩  $W_c$  应按下列公式计算:

$$W_c = \frac{I}{y_0} \quad (D.0.3)$$

式中:  $I$ ——管壁折算后截面的惯性矩;

$y_0$ ——折算后截面形心轴至管壁内表面距离(mm)。

**D.0.4** 管壁截面对管壁外侧截面受拉边缘弹性抵抗力矩  $W_m$  应按下列公式计算:

$$W_m = \frac{I}{T - y_0} \quad (D.0.4)$$

式中:  $T$ ——管壁厚度。

**D.0.5** 管壁截面对管壁内、外表面受拉边缘未经折算的弹性抵抗力矩  $W_p$  应按下列公式计算:

$$W_p = \frac{BT^2}{6} \quad (D.0.5)$$

式中:  $B$ ——计算截面宽度,取 1000mm。

**D.0.6** 折算后截面形心轴至管壁内表面距离  $y_0$  应按下列公式计算:

$$y_0 = \frac{S_n}{A_n} \quad (D.0.6-1)$$

$$S_n = \frac{Bt^2}{2} + (n_y - 1)Bt_y \frac{(D_y - D_0 - t_y)}{2} + (n_s - n_m) \sum_{j=1}^n A_{pj} \left[ t + (j-1)(d + t_d) + \frac{d}{2} \right] + n_m B(T-t) \left( \frac{T-t}{2} + t \right) \quad (D.0.6-2)$$

$$A_n = Bt + (n_y - 1)Bt_y + (n_s - n_m) \sum_{j=1}^n A_{pj} + n_m B(T-t) \quad (D.0.6-3)$$

式中:  $S_n$ ——管芯混凝土、砂浆、钢管及钢丝截面对管壁内表面的

折算面积矩( $\text{mm}^3/\text{m}$ );

$A_n$ ——管芯混凝土、砂浆、钢筒及钢丝的截面折算面积( $\text{mm}^2/\text{m}$ );

$t$ ——管芯混凝土厚度(含钢筒厚度)(mm);

$t_y$ ——钢筒厚度(mm);

$t_d$ ——钢丝层间砂浆厚度(mm);

$d$ ——钢丝直径(mm);

$n$ ——钢丝配置层数;

$n_y$ ——钢筒弹性模量与混凝土弹性模量的比值;

$n_m$ ——砂浆保护层弹性模量与混凝土弹性模量的比值。

**D.0.7** 管壁对折算后截面形心轴  $y_0$  惯性矩应按下列式计算:

$$I = I_c + I_y + I_s + I_m \quad (\text{D.0.7})$$

式中:  $I_c$ 、 $I_y$ 、 $I_s$ 、 $I_m$ ——分别为混凝土、钢筒、钢丝、砂浆折算截面对折算后截面形心轴  $y_0$  的惯性矩。

**D.0.8** 管芯混凝土对折算后截面形心轴  $y_0$  惯性矩应按下列公式计算:

$$I_c = \frac{Bt^3}{12} + Bt \left( \frac{t}{2} - y_0 \right)^2 \quad (\text{D.0.8})$$

**D.0.9** 钢筒对折算后截面形心轴  $y_0$  惯性矩应按下列式计算:

$$I_y = \frac{(n_y - 1)Bt_y^3}{12} + (n_y - 1)Bt_y \left( \frac{D_y - D_0 - t_y}{2} - y_0 \right)^2 \quad (\text{D.0.9})$$

**D.0.10** 钢丝对折算后截面形心轴  $y_0$  惯性矩应按下列式计算:

$$I_s = \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{(n_s - n_m)A_{pj}d^2}{16} + (n_s - n_m)A_{pj} \left[ \frac{d}{2} + t + (j-1)(d + t_d) - y_0 \right]^2 \right\} \quad (\text{D.0.10})$$

**D.0.11** 砂浆截面对折算后截面形心轴  $y_0$  惯性矩应按下列式计算:

$$I_m = \frac{n_m B(T-t)^3}{12} + n_m B(T-t) \left( \frac{T-t}{2} + t - y_0 \right)^2 \quad (\text{D.0.11})$$

**D.0.12** 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.0.12-1~表 D.0.12-4 采用。

表 D.0.12-1 内衬式管单层配筋时弹性抵抗矩折算系数

管内径(mm)	管芯厚度(mm)	钢筒外径(mm)	$\omega_c$	$\omega_m$
400	40	480	0.9200	0.8812
			0.9246	0.9420
500	40	580	0.9200	0.8812
			0.9246	0.9420
600	40	680	0.9200	0.8812
			0.9246	0.9420
700	45	790	0.9269	0.8997
			0.9357	0.9696
800	50	900	0.9341	0.9160
			0.9467	0.9934
900	55	1010	0.9411	0.9302
			0.9570	1.0137
1000	60	1120	0.9476	0.9426
			0.9664	1.0309
1200	70	1340	0.9589	0.9626
			0.9824	1.0576
1400	90	1580	0.9756	0.9890
			1.0049	1.0896

注:1 表中  $\omega_c$  和  $\omega_m$  数据系为计算参数 C40, M45, 钢丝直径  $d=4\text{mm}$  的数据;  
2 上下行分别为最小、最大配筋时的弹性抵抗矩折算系数;  
3 表中数值可采用内插法。

表 D. 0. 12-2 内衬式管双层配筋时弹性抵抗矩折算系数

管内径(mm)	管芯厚度(mm)	钢筒外径(mm)	$\omega_c$	$\omega_m$
400	40	480	0.9184	0.8524
			0.9294	0.9508
500	40	580	0.9184	0.8524
			0.9294	0.9508
600	40	680	0.9184	0.8524
			0.9294	0.9508
700	45	790	0.9209	0.8674
			0.9366	0.9788
800	50	900	0.9248	0.8815
			0.9452	1.0041
900	55	1010	0.9293	0.8945
			0.9542	1.0268
1000	60	1120	0.9342	0.9063
			0.9631	1.0468
1200	70	1340	0.9437	0.9266
			0.9795	1.0797
1400	90	1580	0.9598	0.9562
			1.0054	1.1228

注:1 表中  $\omega_c$  和  $\omega_m$  数据系为计算参数 C40, M45, 钢丝直径  $d=4\text{mm}$  的数据;  
 2 上下行分别为最小、最大配筋时的弹性抵抗矩折算系数;  
 3 表中数值可采用内插法。

表 D. 0. 12-3 埋置式管单层配筋时弹性抵抗矩折算系数

管内径(mm)	管芯厚度(mm)	钢筒外径(mm)	$\omega_c$	$\omega_m$
1400	100	1506	0.9699	0.9122
			1.0168	1.0412

续表 D. 0. 12-3

管内径(mm)	管芯厚度(mm)	钢筒外径(mm)	$\omega_c$	$\omega_m$
1600	100	1706	0.9699	0.9122
			1.0168	1.0412
1800	115	1906	0.9839	0.9225
			1.0332	1.0509
2000	125	2106	0.9919	0.9292
			1.0418	1.0561
2200	140	2316	0.9932	0.9357
			1.0430	1.0590
2400	150	2516	0.9989	0.9409
			1.0485	1.0618
2600	165	2716	1.0060	0.9480
			1.0550	1.0651
2800	175	2926	1.0033	0.9497
			1.0515	1.0638
3000	190	3146	0.9977	0.9514
			1.0445	1.0610
3200	200	3346	1.0010	0.9546
			1.0472	1.0617
3400	220	3556	1.0023	0.9588
			1.0468	1.0607
3600	230	3766	1.0009	0.9599
			1.0445	1.0593
3800	245	3976	1.0008	0.9622
			1.0433	1.0580
4000	260	4186	1.0007	0.9641
			1.0420	1.0567

注:1 表中  $\omega_c$  和  $\omega_m$  数据系为计算参数 C40, M45, 钢丝直径  $d=6\text{mm}$  的数据;  
 2 上下行分别为最小、最大配筋时的弹性抵抗矩折算系数;  
 3 表中数值可采用内插法。

表 D.0.12-4 埋置式管双层配筋时弹性抵抗矩折算系数

管内径(mm)	管芯厚度(mm)	钢筒外径(mm)	$\omega_c$	$\omega_m$
1400	100	1506	0.9815	0.9260
			1.0448	1.1277
1600	100	1706	0.9815	0.9260
			1.0448	1.1277
1800	115	1906	0.9942	0.9371
			1.0625	1.1422
2000	125	2106	1.0012	0.9437
			1.0717	1.1492
2200	140	2316	1.0018	0.9495
			1.0738	1.1525
2400	150	2516	1.0068	0.9545
			1.0797	1.1557
2600	165	2716	1.0130	0.9612
			1.0864	1.1586
2800	175	2926	1.0101	0.9624
			1.0833	1.1563
3000	190	3146	1.0043	0.9634
			1.0767	1.1517
3200	200	3346	1.0073	0.9664
			1.0793	1.1515
3400	220	3556	1.0082	0.9700
			1.0789	1.1483
3600	230	3766	1.0066	0.9708
			1.0765	1.1456

续表 D.0.12-4

管内径(mm)	管芯厚度(mm)	钢筒外径(mm)	$\omega_c$	$\omega_m$
3800	245	3976	1.0063	0.9726
			1.0750	1.1423
4000	260	4186	1.0060	0.9743
			1.0734	1.1391

注:1 表中  $\omega_c$  和  $\omega_m$  数据系为计算参数 C40, M45, 钢丝直径  $d=6\text{mm}$  的数据;  
 2 上下行分别为最小、最大配筋时的弹性抵抗矩折算系数;  
 3 表中数值可采用内插法。

D.0.13 预应力钢丝中心至管壁截面重心的距离  $d_0$  (mm) 应按下式计算:

单层配筋时:

$$d_0 = t + \frac{d}{2} - y_0 \quad (\text{D.0.13-1})$$

双层配筋时:

$$d_0 = t + d + \frac{t_d}{2} - y_0 \quad (\text{D.0.13-2})$$

## 附录 E 圆形刚性管道在荷载作用下的弯矩系数

E.0.1 圆形刚性管道在各种荷载作用下的弯矩系数,可根据管基构造按表 E.0.1 采用。

表 E.0.1 管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数

荷载类别	计算系数	部位	管基中心角					
			土弧基础			混凝土管基		
			20°	90°	120°	90°	135°	180°
竖向土压力	$k_{vm}$	管底	0.266	0.178	0.155	—	—	—
		管顶	0.150	0.141	0.136	0.105	0.065	0.047
		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	-0.078	-0.052	-0.04
		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	0.077	0.053	0.044
		管侧	-0.090	-0.082	-0.072	-0.075	-0.059	-0.048
管自重	$k_{gm}$	管底	0.211	—	—	—	—	—
		管顶	0.079	—	—	—	—	—
		管侧	-0.090	—	—	—	—	—

注:正号表示管内壁受拉;负号表示管外壁受拉。

## 附录 F 管道支墩和限制接头推力标准值及抗推力标准值

F.0.1 管道支墩承受的内水推力标准值计算应符合下列要求:

1 水平向管道支墩承受的内水推力标准值应符合下列几种类型要求:

1) 水平弯头处支墩承受的内水推力标准值应按下式计算:

$$F_{wp,k} = 2F_{wd,k} A \sin(\alpha/2) \quad (F.0.1-1)$$

2) 三通及端头处支墩承受的内水推力标准值应按下式计算:

$$F_{wp,k} = F_{wd,k} A \quad (F.0.1-2)$$

3) 叉管处支墩承受的内水推力标准值应按下式计算:

$$F_{wp,k} = F_{wd,k} A \sin \alpha \quad (F.0.1-3)$$

4) 双叉管处支墩承受的内水推力标准值应按下式计算:

$$F_{wp,k} = F_{wd,k} [2A_2 \cos(\alpha/2) - A_1] \quad (F.0.1-4)$$

5) 渐缩管处支墩承受的内水推力标准值应按下式计算:

$$F_{wp,k} = F_{wd,k} (A_1 - A_2) \quad (F.0.1-5)$$

式中:  $F_{wd,k}$ ——管道的设计内水压力标准值(kN/m<sup>2</sup>);

$A$ ——管道承口内截面面积(m<sup>2</sup>);

$A_1$ ——主管承口内截面面积(m<sup>2</sup>);

$A_2$ ——支管承口内截面面积(m<sup>2</sup>);

$\alpha$ ——弯头的角度(°)。

2 纵向管道弯头处支墩承受内水产生的水平力标准值及垂直力标准值应按下列公式计算:

$$F_{wp,k} = H \quad (F.0.1-6)$$

$$H = F_{wd,k} A (1 - \cos \alpha) \quad (F.0.1-7)$$

$$V = F_{wd,k} A \sin \alpha \quad (F.0.1-8)$$

式中:  $H$ ——管道纵向支墩承受内水压力引起的水平力标准值(kN)。

**F.0.2** 管道的重力式支墩抗推力标准值计算应符合下列规定:

1 管道水平敷设方向改变处采用重力式支墩抗推力标准值应按下列公式计算:

$$F_k = F_{pk} - F_{ep,k} + F_{fk} \quad (\text{F.0.2-1})$$

$$F_{fk} = \sum G f_c \quad (\text{F.0.2-2})$$

式中:  $F_{fk}$ ——支墩底部滑动平面上的摩擦力标准值(kN);

$F_{pk}$ ——作用在支墩抗推力一侧的被动土压力标准值的合力(kN),按本规程附录 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的合力(kN),按本规程附录 B 计算;

$f_c$ ——支墩底部与土壤间的摩擦系数,应根据试验确定,当缺乏试验资料时,可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定采用。

2 管道纵向敷设方向改变处重力式支墩抗推力标准值,应按下列情况分别计算:

1) 管道纵向向上弯头支墩抗推力标准值:

$$F_k = F_{pk} + F_{fk} \quad (\text{F.0.2-3})$$

$$F_{fk} = (\sum G + V) f_c \quad (\text{F.0.2-4})$$

2) 管道纵向向下弯头支墩抗推力标准值:

$$F_k = (\sum G - V) f_c \quad (\text{F.0.2-5})$$

**F.0.3** 预应力钢筒混凝土管采用限制接头承受的内水推力标准值应符合下列规定:

1 水平弯管及纵向弯管每侧管道方向的内水推力标准值应按下式计算:

$$F_{wp,k} = F_{wd,k} A \sin(\alpha/2) \quad (\text{F.0.3-1})$$

2 堵头处的内水推力标准值应按下式计算:

$$F_{wp,k} = F_{wd,k} A \quad (\text{F.0.3-2})$$

**F.0.4** 预应力钢筒混凝土管采用限制接头抗推力标准值应符合下列规定:

1 水平弯管及堵头一侧管道自重抗推力标准值应按下式计算:

$$F_k = L(2G_e + G_p + G_w) f_p \quad (\text{F.0.4-1})$$

2 纵向弯管一侧管道自重抗推力标准值应按下式计算:

$$F_k = L(G_e + G_p + G_w) \cos(\phi - \alpha/2) \quad (\text{F.0.4-2})$$

式中:  $G_e$ ——管顶以上覆土荷载标准值(kN/m);

$G_p$ ——管体自重荷载标准值(kN/m);

$G_w$ ——管中水重荷载标准值(kN/m);

$L$ ——弯管每一侧限制管道的长度(m);

$f_p$ ——管道与土壤间的摩擦系数,应根据土质、基础型式试验确定;

$\phi$ ——管道与水平面的夹角( $^\circ$ )。

## 本规程用词说明

1 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) 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”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《钢结构设计规范》GB 50017
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046
- 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 《工业金属管道工程施工规范》GB 50235
- 《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》GB 50236
- 《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板及钢带》GB 912
- 《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3
- 《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223
- 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 《预应力混凝土管》GB 5696
- 《碳素结构钢冷轧薄钢板及钢带》GB/T 11253
- 《预应力钢筒混凝土管》GB/T 19685
- 《公路桥涵设计通用规范》JTG D60
- 《混凝土碱含量限值标准》CECS 53
- 《给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程》CECS 141



中国工程建设协会标准

# 给水排水工程埋地预应力 混凝土管和预应力钢筒混凝土管 管道结构设计规程

CECS 140 : 2011

## 条文说明

(15)  
(16)  
(17)  
(18)  
(19)  
(20)  
(21)  
(22)  
(23)  
(24)  
(25)  
(26)  
(27)  
(28)  
(29)  
(30)  
(31)  
(32)  
(33)  
(34)  
(35)  
(36)  
(37)  
(38)  
(39)  
(40)  
(41)  
(42)  
(43)  
(44)  
(45)  
(46)  
(47)  
(48)  
(49)  
(50)  
(51)  
(52)  
(53)  
(54)  
(55)  
(56)  
(57)  
(58)  
(59)  
(60)  
(61)  
(62)  
(63)  
(64)  
(65)  
(66)  
(67)  
(68)  
(69)  
(70)  
(71)  
(72)  
(73)  
(74)  
(75)  
(76)  
(77)  
(78)  
(79)  
(80)  
(81)  
(82)  
(83)  
(84)  
(85)  
(86)  
(87)  
(88)  
(89)  
(90)  
(91)  
(92)  
(93)  
(94)  
(95)  
(96)  
(97)  
(98)  
(99)  
(100)

中国市政工程学会  
 水利水运工程学会  
 中国市政工程学会  
 中国市政工程学会

CECS 140: 2011

条文说明

## 目次

1 总 则 .....	(57)
2 术语和符号 .....	(58)
2.1 术语 .....	(58)
2.2 符号 .....	(58)
3 材 料 .....	(60)
3.1 混凝土 .....	(60)
3.2 预应力钢丝 .....	(60)
3.3 砂浆保护层 .....	(61)
4 管道结构上的作用 .....	(62)
4.1 永久作用标准值 .....	(62)
4.2 可变作用标准值、准永久值系数 .....	(63)
5 基本设计规定 .....	(64)
5.1 一般规定 .....	(64)
5.2 正常使用极限状态验算规定 .....	(66)
6 管道结构计算 .....	(67)
6.1 承载能力极限状态计算 .....	(67)
6.2 正常使用极限状态计算 .....	(68)
7 构造规定 .....	(80)
7.1 管体 .....	(80)
7.2 管道基础及沟槽回填 .....	(80)
7.3 管道接头 .....	(81)
7.4 管件 .....	(81)
7.5 管体防腐 .....	(82)
附录 D 预应力钢筒混凝土管弹性抵抗矩折算系数 .....	(84)
附录 E 管道支墩和限制接头推力标准值及 抗推力标准值 .....	(85)

# 目 录

(12)	.....	.....	.....
(22)	.....	.....	.....
(23)	.....	.....	.....
(24)	.....	.....	.....
(25)	.....	.....	.....
(26)	.....	.....	.....
(27)	.....	.....	.....
(28)	.....	.....	.....
(29)	.....	.....	.....
(30)	.....	.....	.....
(31)	.....	.....	.....
(32)	.....	.....	.....
(33)	.....	.....	.....
(34)	.....	.....	.....
(35)	.....	.....	.....
(36)	.....	.....	.....
(37)	.....	.....	.....
(38)	.....	.....	.....
(39)	.....	.....	.....
(40)	.....	.....	.....
(41)	.....	.....	.....
(42)	.....	.....	.....
(43)	.....	.....	.....
(44)	.....	.....	.....
(45)	.....	.....	.....
(46)	.....	.....	.....
(47)	.....	.....	.....
(48)	.....	.....	.....
(49)	.....	.....	.....
(50)	.....	.....	.....
(51)	.....	.....	.....
(52)	.....	.....	.....
(53)	.....	.....	.....
(54)	.....	.....	.....
(55)	.....	.....	.....
(56)	.....	.....	.....
(57)	.....	.....	.....
(58)	.....	.....	.....
(59)	.....	.....	.....
(60)	.....	.....	.....
(61)	.....	.....	.....
(62)	.....	.....	.....
(63)	.....	.....	.....
(64)	.....	.....	.....
(65)	.....	.....	.....
(66)	.....	.....	.....
(67)	.....	.....	.....
(68)	.....	.....	.....
(69)	.....	.....	.....
(70)	.....	.....	.....
(71)	.....	.....	.....
(72)	.....	.....	.....
(73)	.....	.....	.....
(74)	.....	.....	.....
(75)	.....	.....	.....
(76)	.....	.....	.....
(77)	.....	.....	.....
(78)	.....	.....	.....
(79)	.....	.....	.....
(80)	.....	.....	.....
(81)	.....	.....	.....
(82)	.....	.....	.....
(83)	.....	.....	.....
(84)	.....	.....	.....
(85)	.....	.....	.....
(86)	.....	.....	.....
(87)	.....	.....	.....
(88)	.....	.....	.....
(89)	.....	.....	.....
(90)	.....	.....	.....
(91)	.....	.....	.....
(92)	.....	.....	.....
(93)	.....	.....	.....
(94)	.....	.....	.....
(95)	.....	.....	.....
(96)	.....	.....	.....
(97)	.....	.....	.....
(98)	.....	.....	.....
(99)	.....	.....	.....
(100)	.....	.....	.....

# 1 总 则

1.0.1 本规程是对原《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》CECS 140:2002 及《预应力混凝土输水管结构设计规范(震动挤压工艺)》CECS 16:90进行合并修订。故本条增加了震动挤压预应力混凝土管(俗称一阶段预应力混凝土管),该管在我国还有不少生产企业,其产品也在工程中应用。

1.0.2 本条明确了本规程适用于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 本条是明确预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管的产品质量均要符合现行国家标准《预应力混凝土管》GB 5696 和《预应力钢筒混凝土管》GB/T 19685 中的各项要求。管道工程所用的管材、管道连接材料、密封圈等必须符合国家现行有关产品标准的规定,并具有产品出厂合格证等有效证明文件。

1.0.4 本规程主要根据现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 规定的原则制定。预应力钢筒混凝土管的工艺、设备系自美国引进,在国内有许多生产企业已大量生产这种管材,可提供各地工程建设应用。相应于这种管材的美国标准为 ANSI/AWWA C304。该标准对管体结构的设计、荷载的确定、内力分析和截面计算模式等,均与我国标准的规定不尽相同。对此,本规程在修订时作了大量的对比验算,拟定了符合我国结构设计模式的管体设计方法,同时也与 ANSI/AWWA C304 标准作了必要的协调,以使引进的制管工艺与我国的工程应用条件相融合。

1.0.5 对于兴建在地震区、湿陷性黄土或膨胀土等特殊地区的工程,本条明确尚应按照相应标准的要求进行专门设计。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

本节是本规程新增的内容,主要是根据现行国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ 132、《建筑结构术语和符号标准》GB/T 50083 及现行协会标准《管道工程结构常用术语》CECS 83 等给出的。

**2.1.2** 一阶段管指采用震动挤压工艺生产的预应力混凝土管。包括传统的一阶段管(管子代号:YYG)和一阶段逊他布管(管子代号:YYGS),管子的外保护层为混凝土,管子的结构形式为整体式。

震动挤压工艺指首先向安放有钢筋骨架(已实施纵向张拉)的管模内灌注新拌混凝土,然后在养护台位上向内模的橡胶套内注入符合设计要求的压力水,对新成型的混凝土管壁实施挤压排水使混凝土密实,同时实施环向预应力钢丝张拉,再经养护、卸压、脱模而制作的一种制管方法。

**2.1.3** 三阶段管是采用管芯缠丝工艺生产的预应力混凝土管。包括传统的三阶段管(管子代号:SYG)和三阶段罗可拉管(管子代号:SYGL),管子的外保护层为水泥砂浆,管子的结构形式为复合式。

管芯缠丝工艺指首先采用离心成型工艺或悬辊成型或立式振动成型工艺制作带有纵向预应力的混凝土管芯,经养护、脱模后再以螺旋方式在管芯外表面缠绕环向预应力钢丝——在管壁混凝土内建立环向预应力,最后在缠丝管芯外表面制作水泥砂浆保护层而制作管子的一种制管方法。

### 2.2 符号

本节列出的本规程采用的主要符号,系根据下列原则确定:

1 在现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50318中采用的符号,本规程一律采用,以方便工程设计应用。

2 本规程需要的专门符号,在 ANSI/AWWA C304 中已列出的按现行国家标准《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083 规定的原则,重新作了一些调整。

### 3 材 料

#### 3.1 混 凝 土

3.1.1 本条规定的混凝土强度等级是根据国内制管厂的产品标准和工程应用实际情况制定的。

3.1.2 本条明确对于管芯混凝土的强度标准值、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;对离心成型的管芯以及震动挤压成型的混凝土,考虑成型工艺不同,其混凝土强度可按《预应力混凝土管》GB 5696的规定分别提高 25%、50%采用。

3.1.3 我国不少地区,在混凝土采用的砂、石骨料中含有碱活性矿物,在混凝土固化后与游离的钾、钠发生化学反应,在潮湿环境下吸水膨胀,导致混凝土从内向外开裂而损坏。针对给水排水工程结构所处的环境条件,对碱骨料反应要严加控制,为此本条提出,管芯混凝土中的碱含量应符合《混凝土碱含量限值标准》CECS 53的规定,以保证管材的耐久性和使用年限。

3.1.4 目前,混凝土配制时多采用各种外加剂。为此,本条要求所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,并通过试验确定其适用性和合理掺入量。

#### 3.2 预 应 力 钢 丝

3.1.1、3.1.2 这两条对预应力混凝土管用预应力钢丝品种作了规定,主要是根据实际产品的规格和工程应用情况拟定。同时明确了预应力钢丝的物理力学性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223、《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3 和《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 和《混凝土结构设计规范》

GB 50010 的规定。其中,冷拉钢丝和消除应力低松弛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中消除应力钢丝的规定采用。

#### 3.4 砂 浆 保 护 层

本节对砂浆保护层的力学性能作了规定。这种砂浆保护层的成型工艺不同于建筑用砂浆,其强度要高得多,因此砂浆抗拉强度和弹性模量确定的方法,系参照 ANSI/AWWA C304 的规定给出,相应的应变量为砂浆未产生裂缝的数值。同时规定砂浆保护层的立方体抗压强度标准值不得低于 45MPa 的要求。这是与我国目前实际生产使用情况和产品标准相适应的。

砂浆立方体抗压强度标准值系指按照标准方法制作、与管子砂浆保护层同条件养护的边长为 25mm 的立方体试件,在 28d 龄期用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度。

## 4 管道结构上的作用

本章第 4.1~4.2 节的条文内容,均系根据现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的规定给出。其中,施加在管道上的预应力标准值,为预应力钢丝的张拉控制应力值扣除相应张拉工艺的各项应力损失值。对预应力钢丝的张拉控制应力限值按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定执行。

由于本次修订将原 CECS 16:90 合并进来,故在条文中增加了一阶段管环向及纵向钢丝预应力损失值计算方法。

### 4.2 永久作用标准值

4.2.7 对三阶段管和预应力钢筒混凝土管由于钢丝松弛引起的预应力损失值按 ANSI/AWWA C304 的规定作了调整,以 8% 钢丝张拉应力控制值为基础,计入了双层钢丝缠绕时不同配筋率的影响,基本上与 ANSI/AWWA C304 的规定取得了协调。

4.2.8 本条对混凝土收缩徐变引起的  $\sigma_{s3}$  作出了规定,对管壁环向截面上的法向预压应力  $\sigma_p$  应小于  $0.5f'_{cu}$  的规定,以保证混凝土收缩徐变是收敛的。

一阶段管混凝土收缩徐变引起的预应力损失  $\sigma_{s3}$  仍按原《预应力混凝土输水管结构设计规范》(震动挤压工艺)CECS 16:90 中的损失值表取值。

对三阶段管及预应力钢筒混凝土管混凝土收缩徐变引起环向及纵向的预应力损失  $\sigma_{s3}$  仍按原《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》CECS 140:2002 中的损失值表取值。

本规程给出的  $\sigma_{s3}$  是根据水管所处的环境条件拟定的,通常管体施加预应力后至运行所间隔的时间不会太长,因此管体所处的环境条件不同于一般的民用建筑结构。根据现有的试验资料,收缩徐变的过程耗时较长,两年后才趋于稳定。当给水排水工程的预应力混凝土管道可能长时间未通水运行时,预应力管道混凝土收缩和徐变引起的预应力损失值,可根据配筋率、预加力时混凝土龄期、截面厚度、相对湿度、预加力后至通水前延续的时间等因素,按现行国家标准的相关规定确定。

4.2.10 本条给出了预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管混凝土弹性压缩引起的预应力损失的计算方法。

对于一阶段管,沿用了原《预应力混凝土输水管结构设计规范》(震动挤压工艺)CECS 16:90 的相关规定。对于三阶段管管体混凝土弹性压缩引起的纵向预应力损失按一阶段管的规定采用。

新增了三阶段管和预应力钢筒混凝土管混凝土弹性压缩引起的纵向预应力损失  $\sigma_{s7}$ , 其原因是缠丝时相当于分批张拉,应考虑后续缠丝所产生的混凝土弹性压缩对已缠钢丝的影响,本条第 3 款给出了由于分批张拉引起的平均预应力损失值的计算方法。

### 4.3 可变作用标准值、准永久值系数

4.3.3 本条公式中的取值是与现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 及《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 协调的结果,其原则是设计内水压力标准值尚应包括施工阶段的试验压力。

管素面, 随取时书杀表不的似预管水器测量, 的出余野州本  
 的仅测科管其因, 斗太会不同和的期间流行至以立应耐感耐科  
 的, 排空能知由音康 5 基本设计规定 干同不判杀耐不  
 的管工本管水能管, 致解于自下司平两, 斗对和清器以由变解能  
 土路器直管代空野, 即管器水能未同种斗前伊基管土路器代空野

## 5 基本设计规定

本章系根据国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332的规定拟定。条文内容主要有以下几个方面：

- 1 对承载能力极限状态, 需计算管体强度和抗浮稳定。在管道改变走向处, 尚应计算内水压力作用下管道的抗滑稳定性。
- 2 对正常使用极限状态, 由于内水压力的作用管体截面多属小偏心受拉, 因此需进行控制开裂的验算。
- 3 对管体结构的内力分析, 条文明确应按弹性体系计算, 不考虑非弹性变形引起的内力重分布。这是考虑到, 埋地的给水排水管道所处的环境条件较为不利, 必须保证管体结构具有可靠的耐久性。
- 4 本规程表 5.1.4 列出了管体计算时需考虑的作用组合工况, 供工程应用。
- 5 第 5.2.5 条给出了限制接头抗滑稳定性抗力系数  $K_s$ 。不应小于 1.1。限制接头完全是靠管体抗滑的摩擦力来抵抗推力的, 故条文给出了限制接头抗滑稳定抗力系数  $K_s$ 。取 1.1。

### 5.1 一般规定

5.1.2 预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管在国外应用已有数十年的经验, 实践证明, 按产品标准生产, 按规范设计、施工, 埋地预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管的使用寿命不低于 50 年是可以保证的。

5.1.7 本条规定了预应力钢筒混凝土管配件设计应符合《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332。同时也阐明可参照其他相关规范, 这主要指美国 AWWA M9 手册、《钢制压力容器》GB 150、

《板式平焊钢制管法兰》GB/T 9119、《对焊钢制管法兰》GB/T 9116。

5.1.8 本条规定了配件强度计算方法。《给水排水埋地钢管道结构设计规程》CECS 141 规定强度计算公式：

$$\eta \sigma_0 \leq f \quad (1)$$

$$\gamma_0 \sigma \leq f \quad (2)$$

式中,  $\sigma_0$ ——钢管管壁截面的最大环向应力(MPa);  
 $\sigma$ ——钢管管壁截面的最大组合折算应力(MPa);  
 $\eta$ ——应力折算系数, 可取 0.9;  
 $f$ ——钢管管材或焊缝的强度设计值(MPa)。

美国 AWWA M9 手册规定应先按工作内压进行强度计算, 然后核对其外荷载承受能力。要求承受更大外部荷载时, 可增加配件钢板厚度或增加辅助加固措施。

配件钢板厚度可按下式计算：

$$T_r = \frac{P_w D_{yi}}{2f_s} \quad (3)$$

式中,  $T_r$ ——所需配件钢板厚度(mm);  
 $P_w$ ——工作压力(MPa);  
 $D_{yi}$ ——钢筒内径(mm);  
 $f_s$ ——钢筒允许环向应力, 不得大于 114MPa。

5.1.9 本条规定 T 形三通、Y 形三通、十字形四通应进行补强计算和可采用增加钢板厚度或加固梁系统补强的规定。T 形三通、Y 形三通、十字形四通补强计算可采用《钢制压力容器》GB 150 或美国 AWWA M9 手册推荐的公式。

5.1.10 本条规定了弯管结构计算方法。当弯管中心线半径大于或等于 2.5 倍管径时, 钢板厚度计算可采用直管段的计算值, 但届时由于弯管长度可能大于标准管的长度, 应考虑进行稳定计算。

当弯管中心线半径小于 2.5 倍管径时应进行补强计算。AWWA M9 手册推荐计算公式：

$$T_r = \frac{P_w D_{y0}}{2f_s} \times \frac{\left(\frac{R}{D_{y0}}\right)^{-0.167}}{\left(\frac{R}{D_{y0}}\right)^{-0.500}} \quad (4)$$

式中： $D_{y0}$ ——钢筒外径(mm)；

$R$ ——弯管中心线半径(mm)。

### 5.3 正常使用极限状态验算规定

**5.3.5** 本条规定了采用水泥砂浆、混凝土内衬和外保护层的管件刚度验算的原则。采用水泥砂浆、混凝土内衬和外保护层的管件采用半刚性管模型分析计算，刚度验算应考虑管件钢板及内外层水泥砂浆或保护层的组合刚度，相当于水泥砂浆(混凝土)的内衬和外保护层及钢板组成三层状态的管环的组合刚度。刚度计算公式可按现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332的规定执行。

在进行管件刚度验算不满足要求时可采用增加水泥砂浆(混凝土)内衬和外保护层厚度或者对管件增加肋板。如果外保护层厚度超过50mm时，应采用双层钢丝网片，两层网片间距离应大于20mm。

## 6 管道结构计算

### 6.1 承载能力极限状态计算

**6.1.1** 本条给出了满足抗浮稳定的计算表达式。式中对抗浮的荷载，只计入作用在管顶的土压力和管道自重。实际上，在出现上浮失稳时，管顶土的破坏棱体重量要大于管顶土压力，同时还存在管壁与土体间的摩擦力。无疑，所给出的计算公式中，对抗浮荷载的估计是偏小的，但工程应用较方便，因此相应的抗浮稳定性抗力系数 $K_f$ ，规定取不小于1.1。这是两者相匹配的设计方法，可以满足工程应用要求。

**6.1.2** 本条给出了管道敷设方向改变处，包括管道水平敷设方向改变处、管道纵向敷设方向改变处采用重力式支墩和采用限制接头的抗推力稳定计算。对抗推力采用了被动土压力，但考虑到抗推力真正达到被动土压时管道将产生较明显的滑动(位移)，因此原抗滑稳定性抗力系数 $K_s$ 为1.5，实质上就是对被动土压力给予适当的限制，以达到避免或尽量减少管道位移的目的。采用限制接头时 $K_s$ 为1.1。另外，当附加荷载较大时应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定对管道地基沉降量进行计算。

**6.1.3、6.1.4** 条文分别给出了预应力混凝土管、预应力钢筒混凝土管的管体截面强度计算公式。对此，需要说明以下几点：

1 在进行强度计算时，不考虑混凝土参加工作，管体截面上在组合作用下产生的拉力，完全由钢丝和钢筒承担，为此，核算截面应针对管体的起拱点。

2 管体的截面面积，对预应力混凝土管取管体混凝土、钢筋和砂浆保护层的折算面积计算；对预应力钢筒混凝土管则考虑了



管芯混凝土、钢筋、钢筒和砂浆保护层的折算面积。

3 公式(6.1.3-1)和公式(6.1.4)中的综合调整系数  $\lambda$  和  $\lambda_y$  的取值是考虑美国 AWWA M9 及 ANSI/AWWA C304 与我国现行规范在钢丝强度设计值、覆土荷载计算等方面明显不同,在进行了大量测算后给出的。现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的碳素钢丝的强度设计值仅为其极限抗拉强度的 0.71;而 ANSI/AWWA C304 则直接采用钢丝的屈服强度,取值为其极限抗拉强度的 0.85,两者取值相差很大。为此,条文中引入系数  $\lambda_y$ ,以便与 ANSI/AWWA C304 取得协调。当制管工艺和钢丝材料性能与 ANSI/AWWA C304 标准相符时,对内衬式预应力钢筒混凝土管,取 1.1;对埋置式预应力钢筒混凝土管,管径大于 1600mm 时,取 0.9;管径小于或等于 1600mm 时,取 1.0。

由于增加了一阶段管的强度计算公式,通过与一阶段管原规范配筋结果的对比,确定一阶段管  $\lambda$  值可取 1.0。

## 6.2 正常使用极限状态计算

6.2.1、6.2.2 条文分别给出了控制管道混凝土开裂的计算公式。

需要说明以下几点:

1 条文给出的计算公式系管道混凝土控制开裂的核算,因此,应核算管底或管顶的截面,此时外荷载对截面轴向力的影响较小,在给出的计算公式中未计入。

2 为了统一预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管控制开裂计算公式,对原计算公式进行了调整,分别引入了受拉区混凝土的影响系数  $K$ 。

3 三阶段管受拉区混凝土的影响系数  $K$  的推导如下:

令新旧公式  $A_p$  相等,可得:

$$K = \frac{1 - \alpha_{cp}}{\gamma} \frac{N_{ps}}{A_{cm} f_{tk}} + \frac{\gamma - \alpha_{cp}}{\gamma^2} \frac{M_{pms}}{W_{cm} f_{tk}} + \frac{1}{\gamma}$$

令  $\alpha_{cp} = 1.25, \gamma = 1.75$  代入得:

$$K = 0.5714 - 0.1429 \frac{N_{ps}}{A_{cm} f_{tk}} + 0.1633 \frac{M_{pms}}{W_{cm} f_{tk}}$$

4 对于一阶段管,新公式保证管体在正常使用极限状态下满足抗裂安全的要求,引入了受拉区混凝土的影响系数  $K$ ,新公式选择了与原控制开裂较安全的抗裂公式进行推导。式中用  $f_{tk}$  直接替代了  $f_t$ ,稍偏于安全,这也综合考虑了以往在工程实践中发生过爆管事故,为此对条文稍作了调整, $f_{tk}$  不再给予修正,基本上保持了《预应力混凝土输水管结构设计规范(震动挤压工艺)》(GB 19830)的规定,保证了结构安全可靠。

阶段管受拉区混凝土的影响系数  $K$  的推导如下:

令新旧公式  $A_p$  相等,可得:

$$K = \frac{1 - \alpha_{cp} \sigma_{ss}}{\gamma f_{tk}} + 1$$

令  $\alpha_{cp} = 1.25, \gamma = 1.75$  代入得:

$$K = 1 - 0.1429 \frac{\sigma_{ss}}{f_{tk}}$$

以上一阶段管和三阶段管的抗裂计算公式采用了工程校核法,保持了原公式计算的一致性,保证了管道结构安全可靠。

8 预应力钢筒混凝土管新公式中引入了受拉区混凝土的影响系数  $K$ ,该抗裂计算公式采用了工程校核法,保持了与原公式计算的一致性,保证了管道结构安全可靠。

预应力钢筒混凝土管受拉区混凝土的影响系数  $K$  的推导如下:

令新旧公式  $A_p$  相等,可得:

$$K = \frac{\gamma - 1}{\gamma^2} \frac{M_{pms}}{\omega_c W_p f_{tk}} + \frac{\lambda_c}{\gamma}$$

令  $\gamma = 1.75, \lambda_c = 1.0$  代入得:

$$K = 0.2449 \frac{M_{pms}}{\omega_c W_p f_{tk}} + 0.5714$$

经测算,采用此公式计算结果与 ANSI/AWWA C304 结果进

行过对比,最终配筋量接近。

**6.2.3、6.2.4** 条文给出了控制砂浆保护层开裂的计算公式。此时应对管体两侧起拱点处截面进行核算。公式(6.2.3-1)~(6.2.3-5)系针对作用效应标准组合,公式(6.2.4-1)~(6.2.4-5)系针对作用效应准永久组合。

条文对砂浆保护层的开裂控制较为严格,因为这是避免钢丝锈蚀的重要措施。在第6.2.3条计算公式(6.2.3-1)和第6.2.4条计算公式(6.2.4-1)中分别引入了砂浆保护层应变量设计参数 $a_m=5.0$ 、 $a'_m=4.0$ ,主要是依据国内试验资料综合确定的。实际上,此时砂浆的弹性模量也会有所降低,但考虑到砂浆层微裂时弹性模量下降有限,因此未予计入,即假设砂浆层的变形与管芯混凝土的变形协调一致。

**6.2.5** 本条对预应力混凝土管纵向钢筋计算作出了规定。

**6.2.6** 本条对原CECS 16:90中的经验系数法的公式按照本规程以概率理论为基础的极限状态设计方法要求给出的,同时增加了一阶段管的管壁截面纵向有效预压应力值不小于2.0MPa,这是为了保证管壁截面纵向有效预压应力值不能太小,以免发生环裂,这也与产品标准的要求是一致的。

一阶段管受拉区混凝土的影响系数 $K$ 的推导如下:

令新旧公式相等,可得:

当 $\sigma_w \geq f_{tk}$ 时:

$$K = \frac{1 - \alpha_{cp} \sigma_w + \sigma_y}{\gamma f_{tk}} + 0.7$$

令 $\alpha_{cp}=1.25$ , $\gamma=1.75$  代入得:

$$K = 0.7 - 0.1429 \frac{\sigma_w + \sigma_y}{f_{tk}}$$

当 $\sigma_w < f_{tk}$ 时:

$$K = \frac{\gamma - \alpha_{cp} \sigma_w}{\gamma^2 f_{tk}} + \frac{1 - \alpha_{cp} \sigma_y}{\gamma f_{tk}} + \frac{0.7}{\gamma}$$

令 $\alpha_{cp}=1.25$ , $\gamma=1.75$  代入得:

$$K = 0.1633 \frac{\sigma_w}{f_{tk}} - 0.1429 \frac{\sigma_y}{f_{tk}} + 0.4$$

**6.2.7** 本条对三阶段管的规定基本沿用了原CECS 140:2002的要求。同时增加了预应力混凝土管的管壁截面纵向有效预压应力值不小于2.0MPa,这是为了保证管壁截面纵向有效预压应力值不能太小,以免发生环裂,这也与产品标准的要求是一致的。

为了方便使用者对本章的理解,以下列出了预应力钢筒混凝土管的算例。

1 计算条件:

1) 几何条件:

管道内径 $D_0=2.0\text{m}$ ;管芯厚度 $t=0.125\text{m}$ ;

砂浆厚度 $t_1=0.02\text{m}$ ;钢丝直径 $d=0.006\text{m}$ ;

管壁厚 $T=0.151\text{m}$ ;

管材重力密度 $\gamma_G=25\text{kN/m}^3$ 。

2) 覆土条件:

管顶覆土高度 $H=3\text{m}$ ;

回填土的重力密度标准值 $\gamma_s=18\text{kN/m}^3$ 。

3) 活荷载条件:

汽车荷载不考虑;

地面堆积荷载的标准值: $q_{mk}=10\text{kN/m}^2$ 。

4) 内压条件:

工作压力标准值 $F_{wk}=0.8\text{MPa}$ ;

设计内水压力标准值 $F_{wd,k}=1.4F_{wk}$ ;

水的重力密度 $\gamma_w=10\text{kN/m}^3$ 。

5) 钢丝:

钢丝强度标准值 $f_{ptk}=1570\text{N/mm}^2$ ;

钢丝强度设计值 $f_{py}=1110\text{N/mm}^2$ ;

钢丝弹性模量 $E_s=205000\text{N/mm}^2$ ;

$$n_s = \frac{E_s}{E_c} = 6.308$$

6) 钢筒:

钢筒内径  $D_y = 2.106\text{m}$  钢筒强度设计值  $f_y = 215\text{N/mm}^2$ ;  
钢筒厚度  $t_y = 0.0015\text{m}$ ; 钢筒弹性模量  $E_y = 206000\text{N/mm}^2$ ;

$$n_y = \frac{E_y}{E_c} = 6.338$$

7) 混凝土:

混凝土强度等级 C40; 抗拉强度标准值  $f_{ty} = 2.39\text{N/mm}^2$ ;  
混凝土弹性模量  $E_c = 32500\text{N/mm}^2$ 。

8) 砂浆:

砂浆强度等级 C45; 抗压强度标准值  $f_{mc,k} = 45\text{N/mm}^2$ ;  
砂浆的弹性模量  $E_m = 7713 f_{mc,k}^{0.3} = 24165\text{N/mm}^2$ ;

$$n_m = E_m / E_c = 0.7435$$

9) 重要性系数:

重要性系数  $\gamma_0 = 1$ 。

10) 计算单位:

计算单位为  $\text{N}\cdot\text{mm}$ 。

2 预应力损失计算:

1) 钢丝应力松弛引起的预应力损失  $\sigma_{s2}$ , 按公式(4.2.7-1)计算:

$$\sigma_{s2} = 0.08 \sigma_{con} \phi_1 \phi$$

$$\sigma_{con} = 0.75 f_{ptk} = 0.75 \times 1570 = 1177.5\text{N/mm}^2$$

对立式浇注时, 工艺影响系数  $\phi_1 = 1$ ;

对单层筋  $\phi = 1$ 。

因此,  $\sigma_{s2} = 0.08 \times 1177.5 \times 1 \times 1 = 94.2\text{N/mm}^2$ 。

2) 混凝土收缩徐变引起的预应力损失  $\sigma_{s3}$ 。

先假定预应力钢丝的截面面积:

$$A_{pl} = 1557\text{mm}^2/\text{m} = 0.001557\text{m}^2/\text{m}$$

计算管壁环向截面上的法向预压应力  $\sigma_p$ , 按公式(4.2.8-3)计算:

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{A_{pl} \sigma_{con}}{A_{vy} + n_s A_{pl}} \\ &= 1557 \times 1177.5 / [125 \times 1000 + (6.338 - 1) \times 1000 \\ &\quad \times 1.5 + 6.308 \times 1557] \\ &= 1833367.5 / 142828.56 \\ &= 12.83614\text{N/mm}^2 < 0.5 \times f'_{cu} \\ &= 0.5 \times 0.7 \times 40 = 14\text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

计算施加预应力时混凝土的立方体强度  $f'_{cu}$ , 可取立方体强度的 70%。

$$f'_{cu} = 0.7 \times 40 = 28\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_p / f'_{cu} = 12.83614 / 28 = 0.458$$

按  $\sigma_p / f'_{cu}$  的比值, 查表 4.2.8 得:

$$\sigma_{s3} = 55.79\text{N/mm}^2$$

3) 混凝土弹性压缩引起的预应力损失  $\sigma_{s7}$ , 按公式(4.2.10-4)计算:

$$\sigma_{s7} = 0.5 n_s \rho_s \sigma_{con} = 0.5 \times 6.308 \times 1.2456\% \times 1177.5 = 46.26\text{N/mm}^2$$

4) 预应力总损失:

$$\sigma_s = \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s7} = 94.2 + 55.79 + 46.26 = 196.25\text{N/mm}^2$$

3 荷载计算:

作用在管道结构上的荷载为: 管顶竖向土压力、侧向土压力、地面堆积荷载、管自重及管内水重。

1) 管顶竖向土压力标准值按公式(A.0.1)计算:

$$\begin{aligned} F_{sv,k} &= C_d \gamma_s H_s D_1 \\ &= 1.2 \times 18 \times 3 \times (2.0 + 2 \times 0.151) \\ &= 149.17\text{kN/m} \end{aligned}$$

2) 侧向土压力标准值按公式(B.0.1)计算:

$$F_{ep,k} = \frac{1}{3} \gamma_s \left( H_s + \frac{D_1}{2} \right)$$

$$= \frac{1}{3} \times 18 \times [3 + (2.0 + 2 \times 0.151) / 2]$$

$$= 24.91 \text{ kN/m}^2$$

3) 可变荷载可取地面堆积荷载, 其标准值  $q_{mk} = 10 \text{ kN/m}^2$ 。

4) 管自重:

$$\begin{aligned} G_{1k} &= \pi \gamma_G (D_0 + T) T \\ &= 3.1416 \times 25 \times (2.0 + 0.151) \times 0.151 \\ &= 25.51 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

5) 管内水重:

$$\begin{aligned} G_{wk} &= \frac{\gamma_w \pi D_0^2}{4} \\ &= 10 \times 3.1416 \times 2.0 \times 2.0 / 4 \\ &= 31.42 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

4 按承载力极限状态计算钢筋面积:

1) 在基本组合作用下管侧截面上的最大弯矩设计值按公式(6.1.3-3)计算:

$$\begin{aligned} M_{\max}^I &= \gamma_0 r_0 [k_{vm} (\gamma_{G3} F_{sv,k} + \psi_c \gamma_{Q2} q_{vk} D_1) + k_{hm} \gamma_{G4} F_{ep,k} D_1 \\ &\quad + k_{wm} \gamma_{G2} G_{wk} + k_{gm} \gamma_{G1} G_{1k}] \\ &= 1 \times 1.076 \times [-0.145 \times (1.27 \times 149.17 + 0.9 \times 1.4 \\ &\quad \times 10 \times 2.302) + 0.125 \times 1.0 \times 24.91 \times 2.302 - 0.082 \\ &\quad \times 1.27 \times 31.42 - 0.09 \times 1.2 \times 25.51] \\ &= -32.86 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

计算结果为负值, 表示管外壁受拉, 代入配筋公式时取正值。

2) 在基本组合作用下管侧截面上的最大轴向拉力设计值, 按公式(6.1.3-2)计算:

$$\begin{aligned} N^I &= \gamma_0 [\psi_c \gamma_{Q1} F_{wd,k} r_0 \times 10^{-3} - 0.5 (F_{sv,k} + \psi_c q_{vk} D_1)] \\ &= 1 \times [0.9 \times 1.4 \times 1120 \times 1076 \times 10^{-3} - 0.5 \\ &\quad \times (149.17 + 0.9 \times 10 \times 2.302)] \\ &= 1433.51 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

3) 计算参数:

管芯混凝土、砂浆、钢筒及钢丝的截面折算面积, 按公式(D.0.6-3)计算:

$$\begin{aligned} A_n &= Bt + (n_y - 1) Bt_y + (n_s - n_m) \sum_{j=1}^n A_{pj} + n_m B(T - t) \\ &= 1 \times 0.125 + (6.338 - 1) \times 0.0015 + (6.308 - 0.7435) \\ &\quad \times 0.001556 + 0.7435 \times 1 \times (0.151 - 0.125) \\ &= 0.160996 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

预应力钢丝中心至管壁截面重心的距离, 按公式(D.0.6-2)计算:

$$\begin{aligned} s_n &= \frac{Bt^2 + (n_y - 1) Bt_y \frac{(D_0 - D_0 - t_y)}{2} + (n_s - n_m)}{A_n} \\ &\quad \left[ \frac{t}{2} (1 + (j-1)(d+t)) + \frac{d}{2} \right] \\ &\quad + n_m B(T - t) \left( \frac{T - t + t}{2} \right) \\ &= 1 \times 0.125 \times 0.125 / 2 + (6.338 - 1) \times 1 \times 0.0015 \times \\ &\quad (0.106 - 0.0015) / 2 + (6.308 - 0.7435) \times \\ &\quad 0.001557 \times (0.125 + 0.006 / 2) + 0.7435 \times 1 \times (0. \\ &\quad 151 - 0.125) \times [(0.151 - 0.125) / 2 + 0.125] \\ &= 0.012 \text{ m} \end{aligned}$$

折算后截面形心轴至管壁内表面距离  $y_0$  按公式(D.0.6-1)计

$$\begin{aligned} y_0 &= \frac{s_n}{A_n} \\ &= 0.012 / 0.161 \\ &= 0.07453 \\ d_0 &= t + \frac{d}{2} - y_0 \\ &= 0.125 + 0.006 / 2 - 0.07453 \\ &= 0.05347 \text{ m} \end{aligned}$$

4) 配筋计算,按公式(6.1.4):

$$A_p \geq \frac{\lambda_y}{f_{py}} \left( N^1 + \frac{M_{\max}^1}{d_0} - A_{sc} f \right)$$

$$= 0.9 \times (1433.51 + 32.86/0.05347 - 0.0015 \times 215000) / 1110000$$

$$= 0.001399 \text{ m}^2/\text{m} = 1399 \text{ mm}^2/\text{m}$$

5 在标准组合下管芯混凝土抗裂度验算(按正常使用极限状态验算):

1) 管底截面上的最大弯矩计算,按公式(6.2.1-4):

$$M_{pms} = r_0 [k_{vm} (F_{sv,k} + \psi_c q_{vk} D_1) + k_{hm} F_{ep,k} D_1 + k_{wm} G_{wk} + k_{gm} G_{1k}]$$

$$= 1.076 \times [0.178 \times (149.17 + 0.9 \times 10 \times 2.302) - 0.125 \times 24.91 \times 2.302 + 0.123 \times 31.42 + 0.211 \times 25.51]$$

$$= 34.78 \text{ kNm/m}$$

2) 在内水压力标准值作用下,管壁上的轴向拉力计算,按公式(6.2.1-3)计算:

$$N_{ps} = \psi_c F_{wd,k} r_0 \times 10^{-3}$$

$$= 0.9 \times 1120 \times 1.076$$

$$= 1084.61 \text{ kN/m}$$

3) 管壁(含钢筒、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,按公式(D.0.5)计算:

$$W_p = \frac{BT^2}{6}$$

$$= 1 \times 0.151 \times 0.151 / 6$$

$$= 0.0038 \text{ m}^2/\text{m}$$

4) 在标准组合作用下,管底截面上的边缘最大拉应力,按公式(6.2.2-2)计算:

配筋率  $\rho = 1557 / (1000 \times 125) = 1.2456\%$ ,查表 D.0.12-3,内插得  $\omega_c = 1.017, \omega_m = 0.9932$

$$\sigma_{ss} = \frac{N_{ps}}{A_n} + \frac{M_{pms}}{\omega_c W_p}$$

$$= 1084.61 / 0.161 + 34.78 / (1.017 \times 0.0038)$$

$$= 15736 \text{ kN/m}^2$$

$$= 15.736 \text{ N/mm}^2$$

8) 纵向预应力钢丝扣除应力损失后的有效预加应力:

$$\sigma_{pe} = \sigma_{con} - \sigma_s$$

$$= 1177.5 - 196.25$$

$$= 981.25 \text{ N/mm}^2$$

8) 受拉区混凝土的影响系数,按公式(6.2.2-3)计算:

$$K = 0.2449 \frac{M_{pms}}{m W_c / \lambda} + 0.5714$$

$$= 0.2449 \times 34.78 / (0.0038 \times 1.017 \times 2.302 \times 1000) + 0.5714 = 1.49358$$

9) 配筋计算,按公式(6.2.2-1)计算:

$$A_s \geq (\sigma_{pe} - K) / \lambda \frac{A_n}{\sigma_{pe}}$$

$$= (15.736 - 1.49358 \times 1.75 \times 2.302) \times 161000 / 981.25$$

$$= 1557 \text{ mm}^2/\text{m}$$

8 在标准组合下砂浆保护层应力验算:

1) 管体两侧截面的最大弯矩计算,按公式(6.2.3-4):

$$M_{pm} = r_0 [k_{vm} (F_{sv,k} + \psi_c q_{vk} D_1) + k_{hm} F_{ep,k} D_1 + k_{wm} G_{wk} + k_{gm} G_{1k}]$$

$$= 1.076 \times [-0.145 \times (149.17 + 0.9 \times 10 \times 2.302) + 0.125 \times 24.91 \times 2.302 - 0.082 \times 31.42 - 0.09 \times 25.51]$$

$$= -24.04 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

计算结果为负值,表示管外壁受拉,代入应力公式时取正值。

2) 在内水压力标准值作用下,管体两侧截面上的轴力计算,按公式(6.2.3-3):

$$N_{ps} = \psi_c F_{wd,k} r_0 \times 10^{-3} - 0.5 (F_{sv,k} + \psi_c q_{vk} D_1)$$

$$= 0.9 \times 1120 \times 1.076 - 0.5 \times (149.17 + 0.9 \times 10 \times 2.302)$$

$$= 999.66 \text{ kN/m}$$

3) 在标准组合作用下,管底截面上的边缘最大拉应力,按公式(6.2.3-5)计算:

$$\begin{aligned}\sigma_{ss}^I &= \frac{N_{ps}^I}{A_n} + \frac{M_{pms}^I}{\omega_m W_p} \\ &= 999.66/0.161 + 24.04/(0.9932 \times 0.0038) \\ &= 12579 \text{ kN/m}^2 \\ &= 12.58 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

4) 砂浆保护层的抗拉强度标准值计算,按公式(3.4.1)计算:

$$\begin{aligned}f_{m,t,k} &\geq 0.52 \sqrt{f_{mc,k}} \\ &= 0.52 \times \sqrt{45} = 3.488 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

砂浆保护层的应变计算,按公式(3.4.3)计算:

$$\begin{aligned}\epsilon_{mt} &= \frac{f_{m,t,k}}{E_m} \\ &= 3.488/24165 \\ &= 0.0001443\end{aligned}$$

5) 砂浆保护层的抗拉强度计算,按公式(6.2.3-1)计算:

$$\begin{aligned}\sigma_{ss}^I &\leq \alpha_m \epsilon_{mt} E_m \\ &= 5 \times 0.0001443 \times 24165 \\ &= 17.44 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{ss}^I = 12.58 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

7 在准永久组合作用下砂浆保护层应力验算:

1) 管体两侧截面的最大弯矩计算,按公式(6.2.4-4)计算:

$$\begin{aligned}M_{pml}^I &= r_0 [k_{vm} (F_{sv,k} + \psi_{qv} q_{vk} D_1) + k_{hm} F_{ep,k} D_1 + k_{wm} G_{wk} + k_{gm} G_{1k}] \\ &= 1.076 \times (-0.145 \times (149.17 + 0.5 \times 10 \times 2.302) + 0.125 \\ &\quad \times 24.91 \times 2.302 - 0.082 \times 31.42 - 0.09 \times 25.51) \\ &= -22.60 \text{ km/m}\end{aligned}$$

计算结果为负值,表示管外壁受拉,代入应力公式时取正值。

2) 在内水压力准永久值作用下,管体两侧截面上的轴力计算,按公式(6.2.4-3)计算:

$$N_{pl}^I = \psi_{qw} F_{wd,k} r_0 \times 10^{-3} - 0.5 (F_{sv,k} + \psi_{qv} q_{vk} D_1)$$

$$\begin{aligned}&= 0.78 \times 1120 \times 1076 \times 10^{-3} \\ &= 0.5 \times (149.17 + 0.5 \times 10 \times 2.302) \\ &= 787.35 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

3) 在作用效应准永久组合作用下,管体两侧计算截面边缘的最大拉应力,按公式(6.2.4-5)计算:

$$\begin{aligned}\sigma_{ss}^I &= \frac{N_{pl}^I}{A_n} + \frac{M_{pml}^I}{\omega_m W_p} \\ &= 787.35/0.161 + 22.60/(0.9932 \times 0.0038) \\ &= 10878.46 \text{ kN/m}^2 \\ &= 10.88 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

4) 砂浆保护层的抗拉强度计算,按公式(6.2.4-1)计算:

$$\begin{aligned}\sigma_{ss}^I &\leq \alpha'_m \epsilon_{mt} E_m \\ &= 4 \times 0.0001443 \times 24165 \\ &= 13.952 > \sigma_{ss}^I = 10.88 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

上述计算结果均满足要求。

## 7 构造规定

### 7.1 管 体

7.1.1~7.1.4 条文的内容系沿用原《给水排水工程埋地管芯钢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》CECS 140:2002 及《预应力混凝土输水管结构设计规范(震动挤压工艺)》CECS 16:90 的有关规定,并参照美国 ANSI/AWWA C304 标准对预应力钢筒混凝土管的有关要求。

条文还对预应力钢筒混凝土管内的钢筒规定了最小厚度,这是根据实际产品的规格和工程应用中需要承受的内压力确定的。

### 7.2 管道基础及沟槽回填

7.2.1 预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管一般属于刚性管,其外压承载能力较大,通常都采用土弧基础。土弧基础的计算支承角,一般都采用  $90^\circ$  或  $120^\circ$  作为设计条件。考虑到在实际施工时对管道的稳管定位、纠正偏差等因素,施工采用的土弧基础支承角  $2\alpha$  ( $\alpha$  为自管中线至一侧土弧支承面外缘的角度)宜适当留有余地,即比计算支承角增大  $20^\circ\sim 30^\circ$ 。设计人员应根据土质条件、管径、施工配套技术等因素综合考虑,并应在施工图纸上注明。

7.2.2 本条指出,当管道承受的外压荷载很大,而土弧基础不能满足管道承载力要求时,可采用混凝土基础提高其承载力。当采用混凝土基础时,应按承载力能力大小选用相应支承角的混凝土基础,并给出各支承角  $2\alpha$  的混凝土基础尺寸明细表,同时规定混凝土基础的强度不应小于 C15。

7.2.3 本条明确了沟埋式管道四周回填土密实度的要求。埋地管道的受力状态不完全取决于管体本身的结构性能,而与周围土

体密切相关(对柔性管的影响更甚)。条文提出了回填土的分区密实要求,使管道顶部的填土处于中等密实状态,可产生一定的拱效应,同时对管道也加强了两侧土体的支承作用,使其受力得到改善,可充分发挥管体的承载能力。

7.2.4 本条对埋地式管道的回填土密实度提出了要求。规定埋地式管道两侧的填土压实系数不得低于 0.9,每侧的填土宽度不得小于 3 倍管外径,这样才能使管体获得有效的侧向支持。并且,在施工时,应与此范围外的填土同时回填,否则很难保证要求范围内填土的密实度。

7.2.5 本条对管道管顶最小覆土厚度作了规定。为了减少动荷载对管道冲击震动的影响和防冻、耕地的因素对管道的损害以及管道上浮的要求,管道管顶的最小覆土不宜小于 0.7m。

### 7.3 管道接头

7.3.1~7.3.4 条文的内容主要依据工程应用经验及目前制管工艺条件,是一些行之有效的规定。关于接头缝隙的处理,对于预应力钢筒混凝土管直接影响钢制承插口的耐久性,因此条文指出,应根据输送水质及外部环境条件选择合适的填缝材料。同时,应优先选择柔性填缝材料,以使管道接头有适应一定变位的能力,这对埋设在地震区或软土地基上的管道尤为重要。

### 7.4 管 件

管件包括配件和异形管。预应力钢筒混凝土管配件的范围,主要依据《预应力钢筒混凝土管》GB/T 19685,参考美国 AWWA M30 手册和国内预应力钢筒混凝土管生产厂家的技术资料制定的。预应力钢筒混凝土管件包括:弯管、T 形三通、Y 形三通、十字形四通,连接设备和其他管道的配件;连接支管、人孔、排气阀、泄水阀的出口管件。

7.4.2 本条规定了管件焊缝质量等级及焊缝射线照相和超声波

探伤检验数量、方法。本条规定与《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的要求一致。

7.4.4 本条规定了管件钢板的最小厚度。钢板最小厚度参考了《预应力钢筒混凝土管》GB/T 19685 及国内预应力钢筒混凝土管生产厂的技术资料确定的。

7.4.8 本条规定了管件的内外表面应配置焊接钢筋网及采用水泥砂浆、混凝土内衬和外保护层的技术要求。管件内衬和外保护层多采用水泥砂浆,砂浆强度等级可采用 M30;也可以采用细石混凝土,其强度等级应不低于 C30。

7.4.9 异型管包括斜口管、T 形三通管、Y 形三通管、短管等。异型管的结构设计方法和制管工艺与标准管相同。异型管的斜口管钢制承插口与标准管不同,对于工作压力大的斜口管钢制承插口应考虑补强。T 形三通管、Y 形三通管的开孔部位必须采取补强加固。

7.4.10 斜口管的插口倾斜角度不能大于  $5^\circ$ 。其中半斜口管采用倾斜角一般为  $2^\circ$  和  $2.4^\circ$ ;全斜口管倾斜角一般为  $4^\circ$  和  $4.8^\circ$ 。

7.4.11 出口管件支管管径一般不超过 1000mm,且支管管径不应超过主管管径的 1/2。

## 7.5 管体防腐

7.5.1 管道防腐“以预防为主”是指采用先进制作工艺,科学的技术措施,避免或减轻管道生产制作时的建筑材料中可能产生的腐蚀性程度。而“防护结合”是腐蚀性介质、地下水和土中的硫酸根离子浓度、氯离子浓度和含盐量等不可避免地对管道混凝土有腐蚀作用时,防腐设计应根据腐蚀介质的性质、含量、作用程度和防护作用年限等因素,因地制宜,经济、安全、可靠地采用保护性措施。对于污水管可按 V 类环境,采取提高混凝土强度等级、减小水灰比以及增加保护层厚度等措施,以提高污水工程输水管道的混凝土自身防腐耐久性能。

7.5.2 本条系根据《工业建筑防腐设计规范》GB 50046 的规定编制的。

7.5.3 根据管道结构的特征,管道混凝土内表面的保护涂料是按《工业建筑防腐设计规范》GB 50046—2008 中表 5.2.2 及第 7.10 节的相关规定,选用较为常用的防护涂料。给水工程输送饮用水管道的内防腐材料常用的防腐涂料为环氧饮水(舱)和聚氨酯饮水舱涂料。污水工程输水管道的内防腐做法常用的防腐涂料为聚氨酯类、环氧类、环氧沥青类、聚氨酯沥青类等。

7.5.4 本条对管道结构的外防腐作了原则规定。工程实践中往往有很多防护方法,拟通过今后的大量工程实践和总结,进行不断补充和完善。目前常用的五种较为成熟的防护措施如下:

- 1 外包二布二油环氧煤沥青和纤维布。
- 2 外包环氧沥青或聚氨酯沥青贴玻璃布,按强、中、弱腐蚀性等级,其防护厚度分别为  $\geq 1\text{mm}$ 、 $\geq 500\mu\text{m}$ 、 $\geq 300\mu\text{m}$ 。
- 3 管道外喷涂聚合物水泥砂浆,按强、中、弱腐蚀性等级,其防护厚度分别为  $\geq 15\text{mm}$ 、 $\geq 10\text{mm}$ 、 $\geq 5\text{mm}$ 。
- 4 喷涂氯磺化聚乙烯、高氯化聚乙烯、环氧改性丙烯酸、丙烯酸聚氨酯及氟醚等常用外防腐涂料。

5 根据埋管区域腐蚀土的腐蚀性等级,腐蚀土分布及厚度,也可采取选用无腐蚀性回填土,隔离埋管区域的腐蚀介质。

7.5.6 管道结构的钢制管件和接头的防腐十分重要,应重点加以防护,确保管道工程的正常而安全地运行。目前常用的防腐措施有:

- 1 采用树脂或聚合物水泥混凝土包裹,混凝土的厚度为 30mm~50mm。
- 2 采用树脂或聚合物水泥砂浆抹面,砂浆的厚度为 10mm~20mm。
- 3 采用防腐涂层防护、涂层的厚度为  $200\mu\text{m}$ ~ $320\mu\text{m}$ 。



## 附录 D 预应力钢筒混凝土管弹性 抵抗矩折算系数

**D.0.1~D.0.11** 条文给出了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  $\omega_e$  和  $\omega_m$  详细的计算公式。

图 D.0.1 中  $t_m$  为最外层钢丝的砂浆保护层厚度。

公式(6.2.2-2)、(6.2.3-5)、(6.2.4-5)中管壁矩形截面折算后的受拉边缘弹性抵抗矩是以未经折算的截面抵抗矩乘以折算系数来获得的。由于折算系数不仅取决于管壁厚度,还与钢丝的面积、钢筒的位置及砂浆保护层厚度等因素有关,折算系数计算公式是根据材料力学中组合截面的惯性矩计算方法导出的。

本规程第 D.0.12 条的折算系数表中上下行数值分别为最小、最大配筋率时的弹性抵抗矩折算系数;当配筋率在其之间时表中数值可以采用内插法计算。

**D.0.13** 本条给出预应力钢丝中心至管壁截面重心的距离  $d_0$  (mm) 计算公式。

## 附录 E 管道支墩和限制接头推力标准值 及抗推力标准值

**E.0.1** 条文给出了管道支墩承受的内水推力标准值的计算方法,其中包括了管道弯头的各种形式和三通、堵头、渐缩管、叉管等结构的支墩承受水平和纵向水压合力标准值的计算公式。

**E.0.2** 条文给出了管道的重力式支墩抗推力标准值计算方法。管道重力式支墩的水平及纵向底部滑动平面上的摩擦力标准值是作为重力式支墩抗力的一部分。

**E.0.3、E.0.4** 条文给出了预应力钢筒混凝土管采用限制接头承受的内水推力标准值及抗推力标准值的计算公式。计算公式参考了美国 AWWA M9 的规定。