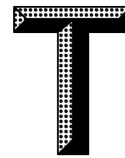


ICS 91.100.30
CCS C 302



团 体 标 准

T/CI 947—2025

薄壁钢筒混凝土压力管结构设计规范

Design specification for thin-walled steel cylinder concrete pressure
pipes structure

2025-04-01 发布

2025-04-01 实施

中国国际科技促进会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	2
5 材料	3
5.1 管芯内衬	3
5.2 钢板	4
5.3 钢筋	4
5.4 保护层水泥砂浆	4
5.5 接头型钢	4
5.6 橡胶密封圈	5
6 管道结构荷载	5
6.1 荷载分类	5
6.2 荷载计算	5
7 管道结构设计	6
7.1 一般规定	6
7.2 结构设计	6
8 构造要求	9
9 管道防腐	9
附录 A (资料性) 管道下垫层厚度及垫层分类	10
附录 B (资料性) 车辆荷载	11
附录 C (资料性) 计算案例 1 和计算案例 2	14
参考文献	18

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由青龙管业集团股份有限公司提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：青龙管业集团股份有限公司、新疆国统管道股份有限公司、广西七星管材有限公司、山东龙泉管业股份有限公司、中国电建集团山东电力管道工程有限公司、陕西东泽高科实业有限公司、青岛中禹管业有限公司。

本文件主要起草人：崔卫祥、王荣、胡敬元、孙芹先、宁靖华、刘兴科、赵学栋、刘莉。

引 言

本文件的发布机构提请注意,声明符合本文件时,可能涉及复合钢管的设计方法相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺,他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款或条件下,就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得:

本文件的发布机构提请注意,声明符合本文件时,可能涉及以下与“复合钢管的设计方法”的专利的实用。

专利号	专利名称	专利持有人
CN113076612A	复合钢管的设计方法	宁夏青龙管业集团股份有限公司

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺,他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下,就专利授权许可进行谈判,该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可通过以下联系方式获得。

专利持有人姓名:宁夏青龙管业集团股份有限公司

地址:宁夏回族自治区青铜峡市峡西街 002 号宁夏青龙管业集团股份有限公司

邮政编码:751600

联系人:张宪伟,电话 15378968955

请注意除上述专利外,本文件的某些内容仍可能涉及专利,本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

薄壁钢筒混凝土压力管结构设计规范

1 范围

本文件规定了薄壁钢筒混凝土压力管的材料、管道结构荷载、管道结构设计、构造要求、管道防腐等内容。

本文件适用于管道直径为 DN600-DN 2000, 工作压力不超过 3.0 MPa 的薄壁钢筒混凝土压力管的结构设计。

本文件适用于城市给水排水、工业输水、农田灌溉等工程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中, 注日期的引用文件, 仅该日期对应的版本适用于本文件; 不注日期的引用文件, 其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 699 优质碳素结构钢
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB 1499.2 钢筋混凝土用钢 第 2 部分: 热轧带肋钢筋
- GB/T 3274 碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 11253 碳素结构钢冷轧钢板及钢带
- GB 13788 冷轧带肋钢筋
- GB/T 15345 混凝土输水管试验方法
- GB/T 17219 生活饮用水输配水设备及防护材料的安全评价标准
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB/T 50046 工业建筑防腐蚀设计标准
- GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
- GB 50212 建筑防腐蚀工程施工规范
- GB/T 50224 建筑防腐蚀工程施工质量验收标准
- JC/T 748 预应力与自应力混凝土管用橡胶密封圈
- JC/T 749 预应力与自应力混凝土管用橡胶密封圈试验方法
- JC/T 1091 混凝土管接头用型钢
- JC/T 2833 薄壁钢筒混凝土压力管
- JGJ/T 70 建筑砂浆基本性能试验方法标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

薄壁钢筒混凝土压力管 thin walled steel cylinder concrete pressure pipe

在钢管内侧衬砌水泥砂浆或混凝土制作成管芯, 然后在管芯外侧再以一定张力缠绕冷轧或热轧带肋钢筋并制作水泥砂浆保护层制成的管子。

3.2

工作压力 working pressure

不包括水锤压力在内,由水力梯度产生于某段管线或某个管子内的最大内水压。

3.3

覆土深度 covered depth

埋地管线管体外侧顶部至地表面之间的垂直距离。

3.4

设计压力 design pressure

作用于管道内壁上的最大瞬时压力。

注:为管道工作压力与水锤压力之和。

4 符号

下列符号适用于本文件。

H —— 自车行地面至管顶的深度(m);

W —— 管道单位长度上管顶外部总荷载值;

N —— 轮压数量;

k —— 管道基数,对于细粒料垫层,压实度不低于 90%,可取 0.090;对于粗粒料垫层,压实度不低于 85%,可取 0.085;

r —— 管外壁的平均半径,计算按 $0.5(D_0+t)$ 计算,其中 D_0 为管道公称内径, t 为管壁厚度;

t —— 管壁厚度;

A_s —— 包括钢筒在内的环向总配筋面积,取大值;

C_c —— 竖向土压力系数,开槽施工管道取 1.2,填埋式取 1.4;

D_c —— 管体外径;

H_s —— 覆土深度;

P_d —— 设计压力,当业主未提供水锤压力时, $P_d=1.4P_w$ 或 $P_w+0.276$ MPa,取大值;当业主提供有水锤压力时, $P_d=P_w$ +水锤压力(MPa);

P_w —— 工作压力;

W_e —— 管道单位长度上管顶竖向土荷载值;

W_d —— 管道最大允许外部荷载计算值;

W_1 —— 管道上的动荷载,单位为千牛每平方米(KN/m^2);

W_p —— 管自重,单位为千牛每米(kN/m);

W_w —— 管内水重,单位为千牛每米(kN/m);

D_0 —— 管道公称内径;

D_1 —— 挠度滞后系数;

f_s —— 工作压力下钢材设计强度,取值为钢板屈服强度的 50%;

γ_p —— 管容重, $\gamma_p=25$ kN/m^3 ,单位为千牛每立方米(kN/m^3);

γ_s —— 回填土的容重;

γ_w —— 水容重, $\gamma_w=10$ kN/m^3 ,单位为千牛每立方米(kN/m^3);

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);

D_{yi} —— 钢筒内径;

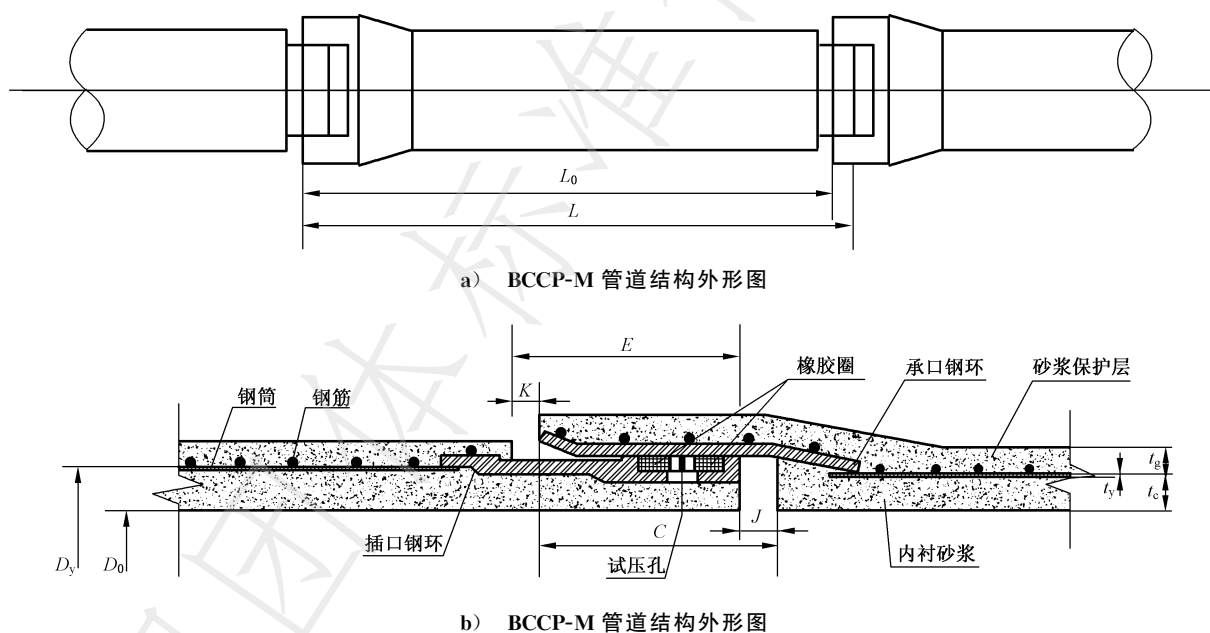
f_{st} —— 设计压力下钢材设计强度,取值为钢板屈服强度的 75%;

- q_{vk} —— 轮压传递到管顶处的竖向压力标准值(kN/m^2)；
- $Q_{vi,k}$ —— 车辆的单个轮压值标准值(kN)；
- μ_d —— 车辆荷载的动力系数,应按表 1 的规定取值；
- E' —— 土壤反力模量；
- μ_a —— 车辆荷载的动力系数；
- Δx —— 管道水平挠度；
- EI —— 管壁刚度,单位为牛·平方毫米每毫米($N \cdot mm^2/mm$),其中 E 为水泥砂浆或混凝土材料弹性模量；
- I —— 管壁截面横向惯性矩。

5 材料

5.1 管芯内衬

5.1.1 薄壁钢筒混凝土管内衬材料分为水泥砂浆内衬薄壁钢筒管(产品代号:BCCP-M)和混凝土内衬薄壁钢筒管(产品代号:BCCP-C),管道结构外形及管道接头型式分别见图 1 和图 2。



标引符号说明：

- L —— 管节长度；
- L_0 —— 管节有效长度；
- t_c —— 管芯厚度；
- t_g —— 水泥砂浆保护层厚度；
- t_y —— 钢筒厚度；
- D_0 —— 公称内径；
- D_y —— 钢筒外径,由设计确定；
- $C、E、J、K$ —— 管节接口细部尺寸。

图 1 水泥砂浆内衬薄壁钢筒管(BCCP-M)管道结构外形及管道接头示意图

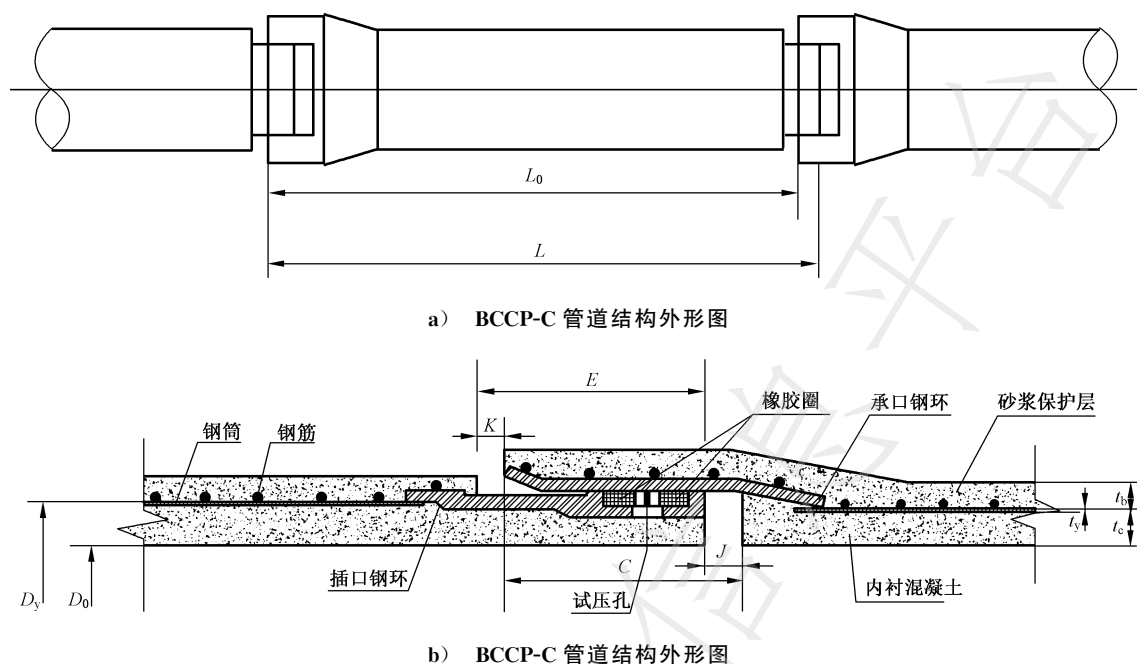


图2 混凝土内衬薄壁钢管(BCCP-C)管道结构外形及管道接头示意图

5.1.2 管芯内衬水泥砂浆时,内衬水泥砂浆抗压强度不宜低于 C40,水泥砂浆抗压强度应按 JGJ/T 70 确定。

5.1.3 管芯内衬混凝土时,内衬混凝土设计强度等级不宜低于 C50,混凝土抗压强度应按 GB/T 50081 确定。

5.1.4 混凝土采用的外加剂,应符合 GB 8076 的规定,并应通过试验确定其适用性及掺入量。

5.2 钢板

5.2.1 制造钢管用钢板厚度不应小于 2.0 mm。

5.2.2 钢管用钢板的应符合 GB/T 699、GB/T 700、GB/T 3274 和 GB/T 11253 的规定,钢板的屈服强度不应低于 235 MPa。

5.2.3 钢板的力学性能和弹性模量取值应符合 GB 50017 的规定。

5.3 钢筋

5.3.1 制管用钢筋直径不应小于 6 mm。

5.3.2 制管用钢筋宜采用热轧带肋钢筋或冷轧带肋钢筋,其性能应分别符合 GB 1499.2、GB 13788 的规定,热轧带肋钢筋的最小屈服强度不应低于 400 MPa;冷轧带肋钢筋不应低于 CRB650。

5.4 保护层水泥砂浆

5.4.1 保护层水泥砂浆抗压强度试验方法应符合 GB/T 15345 的规定。

5.4.2 保护层水泥砂浆的抗压强度标准值不应低于 45 MPa。

5.5 接头型钢

承插口接头钢环用型钢应符合 JC/T 1091 的规定,钢材的最小抗拉强度标准值不应低于 235 MPa。

5.6 橡胶密封圈

接头用橡胶密封圈应采用圆形截面的实心胶圈,胶圈的尺寸和体积应与承插口钢环的胶槽尺寸和配合间隙相匹配。橡胶密封圈的基本性能和质量要求应符合 JC/T 748 的规定。橡胶密封圈的性能试验应遵循 JC/T 749 的规定。

6 管道结构荷载

6.1 荷载分类

6.1.1 管道结构上的作用分为永久作用和可变作用两类。

6.1.2 永久作用应包括管自重、竖向土压力和侧向土压力、管内水重、预加应力和地基不均匀沉降。

6.1.3 可变荷载作用包括地面堆积荷载、地面车辆荷载、管道内静水压力和地下水压力。

6.2 荷载计算

6.2.1 管内水重计算见公式(1)计算:

$$w_w = \frac{\pi}{4} D_0^2 \gamma_w \dots\dots\dots (1)$$

式中:

w_w ——管内水重,单位为千牛每米(kN/m);

γ_w ——水容重, $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$,单位为千牛每立方米(kN/m³);

6.2.2 管自重计算见公式(2)计算:

$$w_p = \pi \times t (D_0 + t) \gamma_p \dots\dots\dots (2)$$

式中:

w_p ——管自重,单位为千牛每米(kN/m);

γ_p ——管容重, $\gamma_p = 25 \text{ kN/m}^3$,单位为千牛每立方米(kN/m³);

t ——管壁厚度,单位为米(m);

D_0 ——管道公称内径,单位为米(m)。

6.2.3 覆土荷载。

管顶竖向土荷载值应按公式(3)计算:

$$W_e = \gamma_s H_s C_e D_c \dots\dots\dots (3)$$

式中:

W_e ——管道单位长度上管顶竖向土荷载值,单位为千牛每米(kN/m);

γ_s ——回填土的容重,单位为千牛每立方米(kN/m³);

C_e ——竖向土压力系数,开槽施工管道取 1.2,填埋式取 1.4;

H_s ——覆土深度,单位为米(m);

D_c ——管道外径,单位为米(m)。

6.2.4 附加荷载。

6.2.4.1 管道上的动荷载 W_1 应包括汽车荷载和地面堆积荷载,二者不同时计入,取大值。

6.2.4.2 地面堆积荷载应不小于 10 kN/m^2 。车辆荷载见附录 B。

7 管道结构设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 钢筋配筋面积不应超过总配筋面积的 60%，且配筋面积不应小于 487 mm²/m。
- 7.1.2 钢筋的净间距不应小于所使用的钢筋直径，且钢筋的中心间距不应超过 50 mm。
- 7.1.3 单位长度上的钢筋配筋面积在数值上应至少等于管道内径的 83%，管道内径单位为毫米(mm)。
- 7.1.4 薄壁钢筒管的结构设计示例参照附录 C。
- 7.1.5 薄壁钢筒混凝土压力管结构设计采用允许应力法，产品制作、检验依据 JC/T 2833 执行。

7.2 结构设计

7.2.1 分别计算在工作压力和设计压力下所需的总配筋面积，见公式(4)和公式(5)。

$$A_s = 500P_w D_{yi} / f_s \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$A_s = 500P_d D_{yi} / f_{st} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

A_s ——包括钢筒在内的环向总配筋面积，取大值，单位为平方毫米每米(mm²/m)；

P_w ——工作压力，单位为兆帕(MPa)；

P_d ——设计压力， $P_d = 1.4P_w$ 或 $P_w + 0.276$ MPa，取大值，单位为兆帕(MPa)；

D_{yi} ——钢筒内径，单位为毫米(mm)；

f_s ——工作压力下钢材设计强度，取值为钢板屈服强度的 50%，单位为兆帕(MPa)；

f_{st} ——设计压力下钢材设计强度，取值为钢板屈服强度的 75%，单位为兆帕(MPa)。

7.2.2 依据本文件表 2 的规定选取最小钢筒厚度并计算钢筒截面面积(A_y)，再通过选择合适的钢筋直径(db)和钢筋间距将总配筋面积(A_s)扣除钢筒截面面积(A_y)后余下配筋面积转化为钢筋的配筋面积(A_b)。

7.2.3 实际外部总荷载 W 根据公式(6)计算得出。

$$W = W_e + W_1 D_e \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

W ——管道单位长度上管顶外部总荷载值，单位为千牛每米(kN/m)；

W_e ——管道单位长度上管顶竖向土荷载值，单位为千牛每米(kN/m)；

W_1 ——管道上的动荷载，单位为千牛每平方米(kN/m²)；

D_e ——管道外径，单位为米(m)。

7.2.4 最大容许外荷载可以通过表 1 查表或根据公式(7)计算得出，满足任意条件即可。

表 1 薄壁钢管混凝土压力管允许的最小等级外荷载

内径 D_o / mm	管等级 / MPa	最小钢管 厚度 / mm	钢筋尺寸 / mm	钢筋面积 / mm^2 / m	1 类垫层 E' 取 1.38			2 类垫层 E' 取 2.76			3 类垫层 E' 取 4.83			4 类垫层 E' 取 6.89		
					W_d / kN/m	H_T / m	H_E / m	W_d / kN/m	H_T / m	H_E / m	W_d / kN/m	H_T / m	H_E / m	W_d / kN/m	H_T / m	H_E / m
600	0.9	2.0	6	508.0	65	3.0	3.0	73	4.5	3.3	84	6.4	3.9	94	8.8	4.5
700	0.78	2.0	7	635.0				71	3.3	2.7	85	4.5	3.3	98	6.0	3.9
800	0.74	2.2	7	698.5				68	3.0	2.4	84	3.9	3.0	99	5.4	3.6
900	0.79	2.2	7	762.0				66	2.7	2.1	84	3.6	2.7	101	4.8	3.3
1 000	0.79	2.5	7	889.0							87	3.3	2.4	109	4.5	3.0
1 100	0.75	2.5	7	952.5							89	3.0	2.4	114	4.5	3.0
1 200	0.72	2.8	7	1 016.0							93	3.0	2.4	120	4.5	3.0
1 300	0.83	2.8	7	1 079.5							97	3.0	2.4	127	4.5	3.0
1 400	0.80	3.0	7	1 143.0							101	3.0	2.4	135	4.5	3.0
					H_p, m											
1 500	0.77	3.0	7	1 206.5							112	3.3	3.3	142	4.5	4.5
1 600	0.80	3.5	8	1 270.0							122	3.6	3.6	156	4.8	4.8
1 700	0.90	3.5	10	1 397.0							127	3.3	3.3	164	4.5	4.5
1 800	0.83	3.8	10	1 524.0							129	3.0	3.0	169	4.2	4.2
2 000	—	—	—	—							—	—	—	—	—	—

注：垫层分类见附录 A。
 W_d ——管道最大允许外部荷载计算值；
 H_T ——沟槽安装的覆盖深度；
 H_E ——路堤（正投影）装置的覆盖深度；
 H_p ——土壤设计棱柱的覆盖深度。

对于本文件规范的管子,属于半刚性管。其最大允许外部荷载设计值 W_d 应大于实际外部总荷载值 W ,结构设计通过。

$$W_d = \frac{D_0^2 (EI + 0.061E'r^3)}{101\ 600kr^3} \dots\dots\dots (7)$$

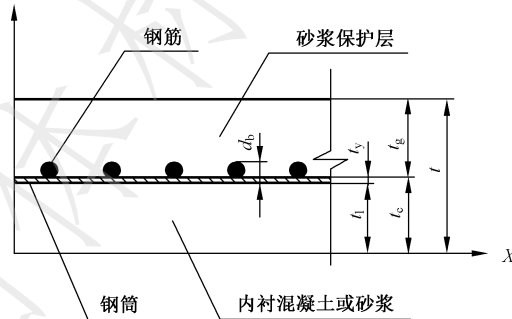
式中:

- k ——管基常数,对于细粒料垫层,压实度不低于 90%,可取 0.090;对于粗粒料垫层,压实度不低于 85%,可取 0.085;
- r ——管外壁的平均半径,单位为毫米(mm),计算为按 $0.5(D_0 + t)$ 计算,其中 D_0 为管道公称内径,单位为毫米(mm), t 为管壁厚度,单位为毫米(mm)。
- E' ——土壤反力模量,根据垫层类别取值,垫层类别见附录 1,无资料时可取 4.83,单位为兆帕(MPa);
- EI ——管壁刚度,单位为牛·平方毫米每毫米($N \cdot mm^2/mm$),其中 E 为水泥砂浆或混凝土材料弹性模量,宜取值为 27 580 MPa; I 是管壁截面横向惯性矩,取值为组合惯性矩(I_x)的 25%,单位为四次方毫米每毫米(mm^4/mm)。
- W_d ——管道最大允许外部荷载计算值,单位为千牛每米(kN/m);
- D_0 ——管道公称内径,单位为毫米(mm)。

假如最大允许外部荷载不能满足要求时,可以通过改进管基垫层材料或压实度来保证管道的承载能力;也可以通过调整配筋面积、钢筋直径或增加保护层厚度,用以增加管壁截面有效惯性矩来保证管道的承载能力。

7.2.5 计算组合截面惯性矩(I_x)。

管壁截面示意图见图 3。组合惯性矩(I_x)计算列表见表 2。



标引符号说明:

- t ——管壁厚度;
- t_c ——管芯厚度;
- t_g ——保护层厚度;
- t_y ——钢筒厚度;
- t_1 ——内衬厚度;
- d_b ——钢筋直径。

图 3 截面示意图

表 2 组合惯性矩(I_x)计算列表

组成	折算面积 A mm^2/m	距离 Y mm	折算面积-距离 AY mm^3/m	惯性矩 I_x mm^4/m
管壁	$1\ 000t$	$0.5t$	$500t^2$	$4\ 000t^3/12$
钢筒	$(n-1)A_y$	$Y_y = t_1 + 0.5t_y$	$(n-1)A_y Y_y$	$(n-1)A_y Y_y^2$
钢筋	$(n-1)A_b$	$Y_b = t_1 + t_y + 0.5d_b$	$(n-1)A_b Y_b$	$(n-1)A_b Y_b^2$
合计	ΣA	—	ΣAY	ΣI_x
$\bar{Y} = \Sigma AY / \Sigma A$		$\bar{I}_x = (\Sigma I_x - \bar{Y}^2 \Sigma A) / 1\ 000$		
注： n 为钢筒、钢筋对水泥砂浆的弹性模量比； Y 为不同组成形心至 X 轴的距离。				

8 构造要求

8.1 内衬材料的缠筋强度不应低于 28 d 标准强度的 70%。

8.2 内衬水泥砂浆时,其缠筋钢筋张拉应力应为 55 MPa~60 MPa;内衬混凝土时,其缠筋钢筋张拉应力应为 100 MPa~160 MPa。

9 管道防腐

9.1 与生活饮用水直接接触的防腐材料应符合 GB/T 17219 要求。

9.2 管子承插口钢环的外露部分应采用有效的防腐材料加以保护,饮水工程管道用防腐材料应符合相应卫生标准。

9.3 当成品管道用于输送具有腐蚀性的污水或海水、或用于含有腐蚀性介质的土壤环境中或露天铺设时,管体内壁或管体外壁水泥砂浆保护层应进行防腐设计,内防腐设计应遵循 GB/T 50046 的规定。外涂覆防腐材料应遵循 GB 50212 的规定,防腐施工的质量应按 GB/T 50224 的规定进行评定。

附录 A

(资料性)

管道下垫层厚度及垫层分类

管道下垫层厚度见图 A.1;管道垫层分类见图 A.2。

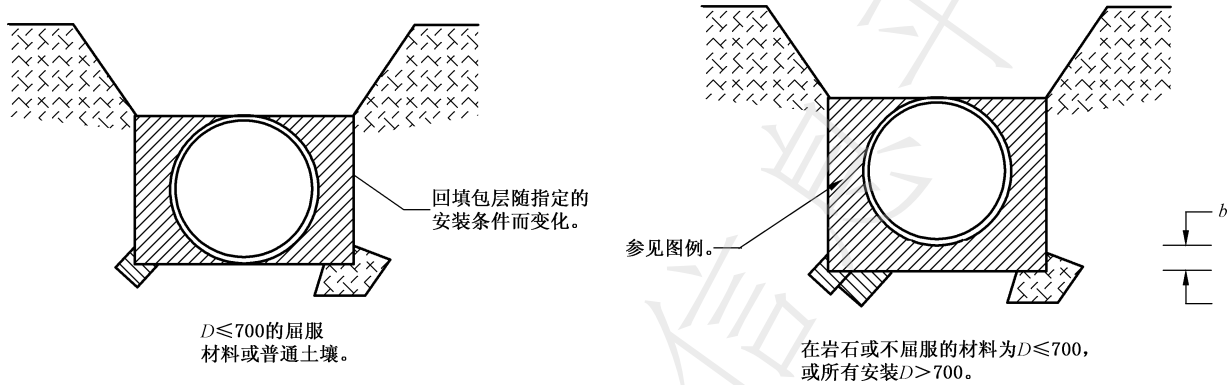


图 A.1 管侧下垫层厚度

图 A.2 垫层分类

表 A.1 管道下垫层厚度表

内径 ID/mm	垫层厚度最小值/mm
700 及以下	76
700~1 600	102
1 600 及以上	153

注: b 包括管道下方 1 mm 厚的松散材料。

表 A.2 管道垫层分类及 k 取值表

垫层类别	定义	管基常数 k 值
S1 垫层	细粒、低塑性回填。不含大于 $b/4$ 的大块土块或岩石,轻轻固结以清除大孔隙。土壤密度小于 85% 标准普氏硬度(GB/T 50123)。(不建议用于大于 DN600 的管道)	0.105
S2 垫层	细粒、低塑性回填。不含大于 $b/4$ 的大块土块或岩石,以轻至中等压实度铺设。最小密度=85%标准普氏硬度(GB/T 50123)。(不建议用于大于 DN1000 的管道)	0.098
S3 垫层	细粒、低塑性回填。不含大于 $b/4$ 的大块土块或岩石,用中等至重度压实进行铺设。最小密度=90%标准普氏硬度(GB/T 50123)	0.090
S4 垫层	细粒、低塑性回填。不含大于 $b/4$ 的大块土块或岩石,用中等至重度压实进行铺设。最小密度=95%标准普氏硬度(GB/T 50123)	0.085

注: $b/4$ 表示垫层材料中允许的最大土块或岩石尺寸不能超过管道下垫层厚度的四分之一。

附录 B
(资料性)
车辆荷载

B.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。车辆荷载的动力系数见表 B.1。

B.2 作用在管道上的地面车辆荷载,应按公式(B.1)计算。

$$q_{vk} = \frac{\mu_d Q_{vi,k}}{(a_i + 1.4H)(b_i + 1.4H)} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- q_{vk} —— 轮压传递到管顶处的竖向压力标准值(kN/m²);
- μ_d —— 车辆荷载的动力系数,应按表 B.1 的规定取值;
- $Q_{vi,k}$ —— 车辆的单个轮压值标准值(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)。

表 B.1 动力系数

覆土深度/m	≤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

B.3 地面车辆的传递分布可分单个轮胎顺轮胎着地宽度方向的压力分布见图 B.1 和单个轮胎顺轮胎着地长度方向的压力分布见图 B.2。

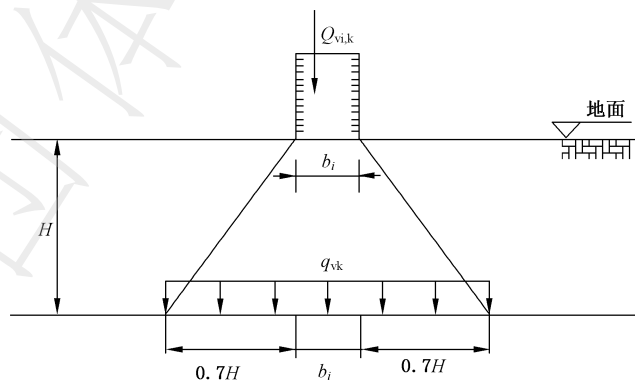


图 B.1 单个轮胎顺轮胎着地宽度方向的压力分布图

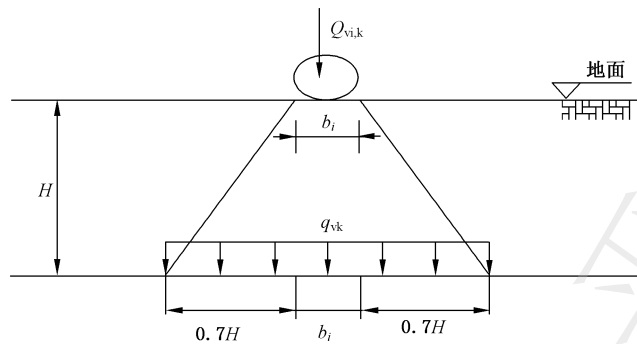


图 B.2 顺轮胎着地长度方向的压力分布

B.4 两个以上单排轮压综合影响传递到管顶处的竖向压力可按公式(B.2)计算：

$$q_{vk} = \frac{\mu_d n Q_{vi,k}}{(a_i + 1.4H) \left(nb_i + \sum_{j=1}^{n-1} d_{bj} + 1.4H \right)} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

N —— 车轮的数量；

D_{bj} —— 沿车轮着地分布宽度方向，相邻两个车轮间的净距 m 。

B.5 地面车辆两个以上单排轮压综合影响的传递分布分顺轮胎着地宽度方向的压力分布见图 B.3 和顺轮胎着地长度方向的压力分布见图 B.4。

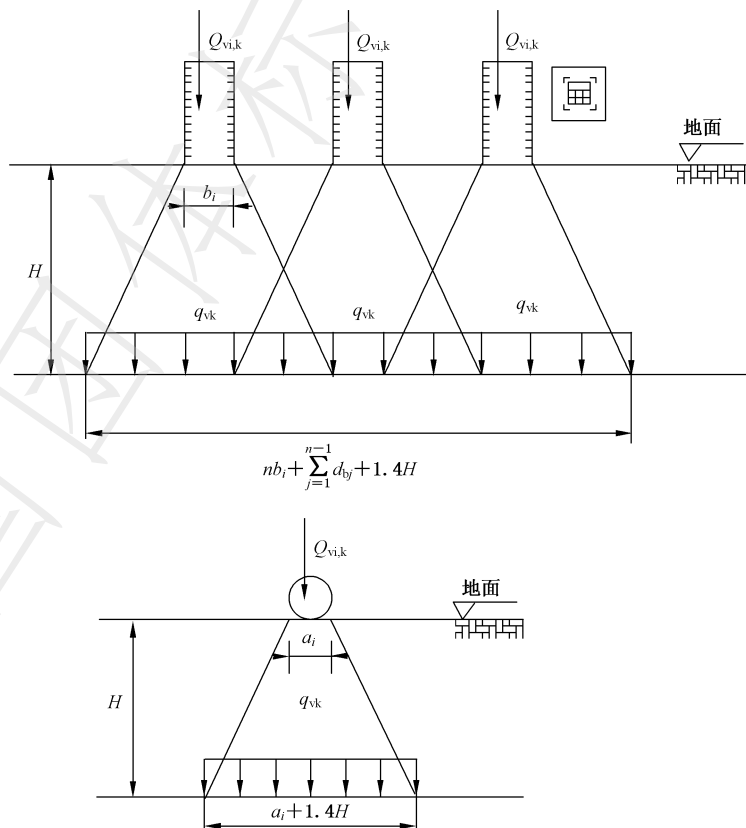


图 B.3 顺轮胎着地宽度方向的压力分布图

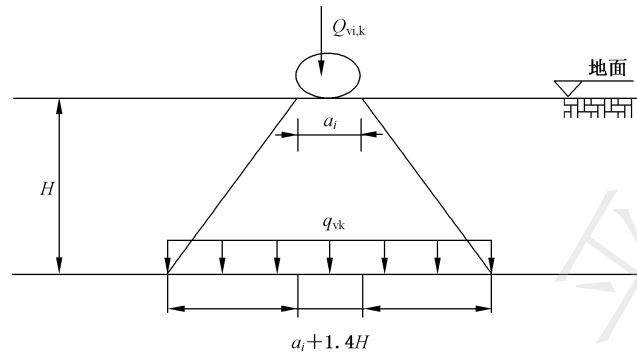


图 B.4 顺轮胎着地长度方向的压力分布图

B.6 地面运行车辆的载重、车轮布局,运行排列等规定,按 JTG D60 的规定采用。

附 录 C
(资料性)
计算案例 1 和计算案例 2

C.1 计算案例 1

C.1.1 设计工况及参数

- C.1.1.1 管道内径: $D_0 = 1\ 000\ \text{mm}$ 。
 C.1.1.2 工作压力: $P_w = 1.0\ \text{MPa}$ 。
 C.1.1.3 设计压力: $P_d = 1.4\ \text{MPa}$ 。
 C.1.1.4 土壤容重: $\gamma_s = 18\ \text{kN/m}^3$ 。
 C.1.1.5 垫层类型: 3 类, $E' = 4.83\ \text{MPa}$ 。
 C.1.1.6 覆土深度: $H_s = 4\ \text{m}$ 。
 C.1.1.7 管基常数 $k = 0.090$ 。
 C.1.1.8 钢管内径: $D_{yi} = 1\ 050\ \text{mm}$ 。
 C.1.1.9 管道外径: $D_c = 1.115\ \text{m}$ 。
 C.1.1.10 砂浆内衬厚度: $t_1 = 25\ \text{mm}$ 。
 C.1.1.11 砂浆保护层厚度: $t_g = 30\ \text{mm}$ 。
 C.1.1.12 钢管厚度: $t_y = 2.5\ \text{mm}$ 。
 C.1.1.13 钢管屈服强度 $f_y = 235\ \text{MPa}$, $f_s = 117.5\ \text{MPa}$, $f_{st} = 176.25\ \text{MPa}$ 。
 C.1.1.14 钢筋直径 $d_b = 7\ \text{mm}$ 。
 C.1.1.15 管道上的动荷载 $W_1 = 10\ \text{kN/m}^2$ 。

C.1.2 第一步: 计算总配筋面积

根据公式(4)和公式(5)分别计算在工作压力和设计压力下所需的总配筋面积(A_s)。

$$\begin{aligned} A_s &= 500P_w D_{yi} / f_s \\ &= 500 \times 1.0 \times 1\ 050 / 117.5 \\ &= 4\ 468\ \text{mm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= 500P_d D_{yi} / f_{st} \\ &= 500 \times 1.4 \times 1\ 050 / 176.25 \\ &= 4\ 170\ \text{mm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

因为 $4\ 468 > 4\ 170$, 所以所需的总配筋面积为 $4\ 468\ \text{mm}^2/\text{m}$ 。

C.1.3 第二步: 计算钢筋配筋面积(A_b)

$$\begin{aligned} A_s &= A_y + A_b \\ A_b &= A_s - A_y \\ &= 4\ 468 - 2.5 \times 1\ 000 \\ &= 1\ 968\ \text{mm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

A_b 钢筋的配筋面积满足 7.1 的规定, 其中 A_y 表示钢筒配筋面积。

C.1.4 第三步: 计算钢筋的间距 c—c

选用 7 mm 直径的钢筋, 计算直径 7 mm 钢筋的间距 c—c (钢筋截面面积 $38.5\ \text{mm}^2$), 使用 $A_b = 1\ 968\ \text{mm}^2/\text{m}$

$c-c=1\ 000\times 38.5/1\ 968=19.55<50\text{ mm}$,符合要求。

C.1.5 第四步:计算实际外部总荷载

根据公式(6)计算实际外部总荷载 W 。

$$\begin{aligned} W &= W_e + W_1 D_c \\ &= \gamma_s H_s D_c + W_1 D_c \\ &= 18 \times 4 \times 1.115 + 10 \times 1.115 \\ &= 91.43\text{ kN/m} \end{aligned}$$

C.1.6 第五步:计算最大允许荷载是否满足

$W=91.43\text{ kN/m}$ 大于表 2 中 87 kN/m ,但是对于 $P=1.0\text{ MPa}$ 的 DN1000 的 BCCP 管道,允许的外部荷载可能已经足够。

根据表 C.1 可以计算得出: $\bar{I}_x=16\ 072.2\text{ mm}^4/\text{mm}$

表 C.1 组合惯性矩(I_x)计算列表

组成	折算面积 A mm^2/m	距离 Y mm	折算面积-距离 AY mm^3/m	惯性矩 I_x mm^4/m
管壁	57 500	28.75	1 653 125	63 369 791.67
钢筒	16 250	25.5	414 375	10 566 562.5
钢筋	12 792	31	396 552	12 293 112
合计	86 542		2 464 052	86 229 466.17
$\bar{Y}=28.47$		$\bar{I}_x=16\ 072.2\text{ mm}^4/\text{mm}$		
注: n 为钢筒、钢筋对水泥砂浆的弹性模量比=7.5; Y 为不同组成形心至 X 轴的距离。				

$$\begin{aligned} EI &= 27\ 580 \times 0.25 \times \bar{I}_x \\ &= 27\ 580 \times 0.25 \times 16\ 072.2 \\ &= 110\ 817\ 649.3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r &= 0.5(D_0 + t) \\ &= 0.5 \times (1\ 000 + 25 + 2.5 + 30) \\ &= 528.75\text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_d &= \frac{D_0^2(EI + 0.061E'r^3)}{101\ 600kr^3} \\ &= 1\ 000^2 \times (110\ 817\ 649.3 + 0.061 \times 4.83 \times 528.75^3) / (101\ 600 \times 0.090 \times 528.75^3) \\ &= 114.2\text{ kN/m} > 91.43\text{ kN/m}, \text{符合要求。} \end{aligned}$$

设计用于 $P_w=1.0\text{ MPa}$ 的 DN1000 的 BCCP 管道在安装 S3 类土壤垫层($E' \geq 4.83\text{ MPa}$)时,至少能承受 4 m 的覆土。

C.2 计算案例 2

C.2.1 设计工况及参数

C.2.1.1 管道内径: $D_0=1\ 800\text{ mm}$ 。

- C.2.1.2 工作压力: $P_w = 1.0$ MPa。
 C.2.1.3 设计压力: $P_d = 1.4$ MPa。
 C.2.1.4 土壤容重: $\gamma_s = 18$ kN/m³。
 C.2.1.5 垫层类型: 3类, $E' = 4.83$ MPa。
 C.2.1.6 覆土深度: $H_s = 4$ m。
 C.2.1.7 管基常数 $k = 0.090$ 。
 C.2.1.8 钢管内径: $D_{yi} = 1\ 850$ mm。
 C.2.1.9 管道外径: $D_c = 1.918$ m。
 C.2.1.10 砂浆内衬厚度: $t_1 = 25$ mm。
 C.2.1.11 砂浆保护层厚度: $t_g = 30$ mm。
 C.2.1.12 钢管厚度: $t_y = 4.0$ mm。
 C.2.1.13 钢管屈服强度 $f_y = 235$ MPa, $f_s = 117.5$ MPa, $f_{st} = 176.25$ MPa。
 C.2.1.14 钢筋直径 $d_b = 10$ mm。
 C.2.1.15 管道上的动荷载 $W_1 = 10$ kN/m²。

C.2.2 第一步: 计算总配筋面积

根据公式(4)和公式(5)分别计算在工作压力和设计压力下所需的总配筋面积(A_s)。

$$\begin{aligned} A_s &= 500P_w D_{yi} / f_s \\ &= 500 \times 1.0 \times 1\ 850 / 117.5 \\ &= 7\ 872 \text{ mm}^2 / \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= 500P_d D_{yi} / f_{st} \\ &= 500 \times 1.4 \times 1\ 850 / 176.25 \\ &= 7\ 348 \text{ mm}^2 / \text{m} \end{aligned}$$

因为 $7\ 872 > 7\ 348$, 所以所需的总配筋面积为 $7\ 872 \text{ mm}^2 / \text{m}$ 。

C.2.3 第二步: 计算钢筋配筋面积(A_b)

$$\begin{aligned} A_s &= A_y + A_b \\ A_b &= A_s - A_y \\ &= 7\ 872 - 4 \times 1\ 000 \\ &= 3\ 872 \text{ mm}^2 / \text{m} \end{aligned}$$

A_b 钢筋的配筋面积满足本文件 7.1 条的规定, 其中 A_y 表示钢管配筋面积。

C.2.4 第三步: 计算钢筋的间距 $c-c$

选用 10 mm 直径的钢筋, 计算直径 10 mm 钢筋的间距 $c-c$ (钢筋截面面积 78.5 mm^2), 使用 $A_b = 3\ 872 \text{ mm}^2 / \text{m}$

$$c-c = 1\ 000 \times 78.5 / 3\ 872 = 20.29 \text{ mm} < 50 \text{ mm}, \text{符合要求。}$$

C.2.5 第四步: 计算实际外部总荷载

根据公式(6)计算实际外部总荷载 W 。

$$\begin{aligned} W &= W_e + W_1 D_c \\ &= \gamma_s H_s D_c + W_1 D_c \\ &= 18 \times 4 \times 1.918 + 10 \times 1.918 \\ &= 157.28 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

C.2.6 第五步:计算最大允许荷载是否满足

$W=157.28$ kN/m 大于表 2 中 129 kN/m,但是对于 $P=1.0$ MPa 的 DN1800 的 BCCP 管道,允许的外部荷载可能已经足够。

根据表 C.2 可以计算得出: $\bar{I}_x=18\ 039.80$ mm⁴/mm

表 C.2 组合惯性矩(I_x)计算列表

组成	折算面积 A mm ² /m	距离 Y mm	折算面积-距离 AY mm ³ /m	惯性矩 I_x mm ⁴ /m
管壁	59 000	29.5	1 740 500	68 459 666.67
钢筒	26 000	25.5	663 000	16 906 500
钢筋	25 168	34	855 712	29 094 208
合计	110 168		3 259 212	114 460 374.7
$\bar{Y}=29.58$		$\bar{I}_x=180\ 39.80$ mm ⁴ /mm		
注: n 为钢筒、钢筋对水泥砂浆的弹性模量比=7.5; Y 为不同组成形心至 X 轴的距离。				

$$EI = 27\ 580 \times 0.25 \times \bar{I}_x$$

$$= 27\ 580 \times 0.25 \times 18\ 039.80$$

$$= 124\ 384\ 359$$

$$r = 0.5(D_0 + t)$$

$$= 0.5 \times (1\ 800 + 25 + 4 + 30)$$

$$= 929.5 \text{ mm}$$

$$W_d = \frac{D_0^2(EI + 0.061E'r^3)}{101\ 600kr^3}$$

$$= 1\ 800^2 \times (124\ 384\ 359 + 0.061 \times 4.83 \times 929.5^3) / (101\ 600 \times 0.090 \times 929.5^3)$$

$$= 159.28 \text{ kN/m} > 157.28 \text{ kN/m}, \text{符合要求。}$$

设计用于 $P_w=1.0$ MPa 的 DN 1800 的 BCCP 管道在安装 S3 类土壤垫层($E' \geq 4.83$ MPa)时,至少能承受 4 m 的覆土。

参 考 文 献

- [1] GB/T 50123 土工试验方法标准
 - [2] JTG D60 公路桥涵设计通用规范
-