

UDC

中华人民共和国行业标准

TB

P

TB 10127 — 2020
J 2871 — 2020

铁路桥梁钢管混凝土结构设计规范

Code for Design of Concrete-filled Steel Tubular
Structures of Railway Bridge

2020-12-02 发布

2021-03-01 实施

国 家 铁 路 局 发 布

前 言

随着我国大规模铁路建设的快速发展,桥梁建造技术取得了举世瞩目的成就,钢管混凝土结构在铁路桥梁建设中得到了大量应用,主要桥式为连续梁拱组合桥和简支组合拱桥。水柏铁路北盘江大桥、莞惠城际铁路东莞水道桥、郑焦(京广)铁路跨黄河大堤组合拱桥等一批艰险山区及跨河钢管混凝土结构桥梁成功建设,标志着铁路钢管混凝土结构桥梁建造技术取得重大突破,达到世界先进水平,为制定铁路桥梁钢管混凝土结构技术标准积累了丰富经验,奠定了坚实基础。

为统一铁路桥梁钢管混凝土结构设计要求,提高桥梁设计水平,本规范在全面总结我国铁路钢管混凝土结构桥梁建设运营实践经验和科研成果的基础上编制而成。本规范贯彻安全优先的原则,强化质量安全、节约资源、保护环境等要求,并结合我国国情、社会经济发展水平、环境条件等因素,同时与现行高速铁路、城际铁路、客货共线和重载铁路等相关标准统筹协调,系统规定了铁路桥梁钢管混凝土结构关键技术参数和主要设计原则,为铁路桥梁钢管混凝土结构设计提供技术支撑。

本规范共分 10 章,包括总则、术语和符号、材料、基本设计参数、结构体系与分析、构件强度计算、节点连接设计、疲劳计算、构造要求、施工要求,另有 3 个附录。

本规范主要技术内容如下:

1. 明确了本规范的编制目的、适用范围和钢管混凝土结构设计总体性要求。

2. 统一了钢管混凝土结构的材料要求和基本力学参数。
3. 规定了钢管混凝土结构设计的基本设计参数。
4. 明确了钢管混凝土结构体系的基本要求和分析方法。
5. 规定了钢管混凝土构件的强度计算方法。
6. 统一了钢管混凝土结构常用连接节点的一般规定和强度计算方法。
7. 提出了管管对接、板管连接、管管连接的疲劳计算方法。
8. 明确了钢管混凝土结构的构造要求。
9. 规定了钢管混凝土结构的施工要求。

在执行本规范过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验,积累资料。如有需要修改和补充之处,请及时将意见及有关资料寄交中铁工程设计咨询集团有限公司(北京市丰台区广安路15号中铁设计大厦,邮政编码:100055),并抄送国家铁路局规划与标准研究院(北京市西城区广莲路1号,邮政编码:100055),供今后修订时参考。

本规范由国家铁路局科技与法制司负责解释。

主编单位:中铁工程设计咨询集团有限公司。

参编单位:中铁二院工程集团有限责任公司、清华大学、北京交通大学、兰州交通大学。

主要起草人:徐升桥、任为东、邹永伟、程慧林、简方梁、戴胜勇、聂鑫、韩冰、张戎令、余鹏、李辉、杨喜文。

主要审查人:吴少海、盛黎明、陈良江、薛吉岗、刘珣、杨鹏健、陈宝春、范振合、张玉玲、盛兴旺、李小和、张雷、王新国、刘振标、文功启、李黎、刘椿、何志军、牟廷敏。

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	2
3	材 料	5
3.1	混 凝 土	5
3.2	钢 材	5
4	基本设计参数	7
5	结构体系与分析	9
5.1	结构体系	9
5.2	结构分析	9
6	构件强度计算	11
6.1	轴心受压、纯弯构件	11
6.2	压弯构件	12
6.3	局部受压构件	13
6.4	应力与稳定计算	15
7	节点连接设计	16
7.1	一般规定	16
7.2	板管节点连接	16
7.3	管管节点连接	18
8	疲劳计算	22

8.1	管管对接	22
8.2	板管连接	25
8.3	管管连接	27
9	构造要求	29
9.1	管管对接	29
9.2	板管连接	30
9.3	管管连接	30
9.4	柱 脚	31
10	施工要求	33
10.1	一般规定	33
10.2	钢管构件制作	33
10.3	钢管桁架组装	36
10.4	管内混凝土灌注	38
附录 A	钢管混凝土结构计算参数表	39
附录 B	实腹式哑铃型钢管混凝土构件纯弯强度计算	50
附录 C	疲劳计算的应力集中系数	65
	本规范用词说明	71
	《铁路桥梁钢管混凝土结构设计规范》条文说明	72

1 总 则

1.0.1 为适应铁路桥梁建设需要,统一铁路桥梁钢管混凝土结构设计技术要求,满足铁路桥梁钢管混凝土结构设计安全可靠、先进成熟、经济适用的要求,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于铁路桥梁的圆钢管混凝土结构设计。

1.0.3 采用本规范设计时,桥梁基本构造、设计荷载、结构刚度、行车安全性平稳性及舒适度指标应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的有关规定;结构抗震设计应符合《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 的有关规定。

1.0.4 铁路桥梁钢管混凝土主体结构的设计使用年限应为100年。

1.0.5 铁路桥梁钢管混凝土结构应按施工阶段和运营阶段分别进行结构计算。

1.0.6 钢管管节宜采用钢板卷制直缝焊接,焊接钢管应采用自动焊接工艺。当钢管直径比较小时,可采用符合国家和行业现行有关标准的热轧无缝管。

1.0.7 钢结构涂装应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的有关规定。

1.0.8 铁路桥梁钢管混凝土结构设计应符合国家节能、节地、节水、节材和保护环境等有关要求。

1.0.9 铁路桥梁钢管混凝土结构设计采用新工艺、新技术、新材料、新设备时,应符合国家及行业有关规定。

1.0.10 铁路桥梁钢管混凝土结构设计除应符合本规范外,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** 钢管混凝土构件 concrete-filled steel tubular member
在钢管内灌注混凝土且两种材料共同受力的构件。
- 2.1.2** 钢管混凝土结构 concrete-filled steel tubular structure
以钢管混凝土构件为主要受力构件的结构。
- 2.1.3** 管管对接 butt welding of steel tubulars
相同轴线钢管的对接焊连接。
- 2.1.4** 板管连接 welded joint of plate and tubular
节点板与钢管的焊接连接。
- 2.1.5** 管管连接 welded joint of steel tubulars
不同轴线钢管的相贯焊连接。
- 2.1.6** 套箍系数 constraining coefficient
反映钢管混凝土构件截面几何特征和组成材料物理特性的综合参数。
- 2.1.7** 脱粘空隙 debonding gap
钢管和混凝土结合处的径向脱粘厚度值。
- 2.1.8** 节点板放大系数 amplification of joint plate
节点板焊接段焊缝理论长度在垂直受力方向投影长度与腹杆翼缘宽度之比。

2.2 符 号

- 2.2.1** 内力
 M ——计算弯矩

· 2 ·

N ——计算轴向力

2.2.2 材料性能

E_c ——混凝土弹性模量

$E_c A_c$ ——混凝土单元的轴压刚度

$E_c I_c$ ——混凝土单元的抗弯刚度

E_s ——钢材弹性模量

$E_s A_s$ ——钢管单元的轴压刚度

$E_s I_s$ ——钢管单元的抗弯刚度

f_c ——混凝土轴心抗压极限强度

f_s ——钢材屈服强度

G_c ——混凝土剪切变形模量

G_s ——钢材剪切模量

$[\sigma_0]$ ——钢构件或连接的疲劳容许应力幅

$[\sigma_c]$ ——混凝土中心受压容许应力

$[\sigma_b]$ ——混凝土弯曲受压及偏心受压容许应力

$[\sigma_s]$ ——钢材轴向容许应力

$[\tau]$ ——钢材剪切容许应力

2.2.3 几何特性

A_c ——钢管内混凝土的截面面积

A_L ——混凝土的局部受压面积

A_s ——钢管的截面面积

D ——钢管直径

e ——两腹杆交点与弦杆形心的距离

g ——节点内两腹杆的间隙值

I_c ——混凝土截面惯性矩

I_s ——钢管截面惯性矩

L ——几何长度

L_0 ——构件的计算长度

t ——钢管的壁厚

θ ——腹杆同弦杆的夹角

2.2.4 计算系数

C_0 ——钢管混凝土抗压强度系数

C_1 ——钢管混凝土轴压强度系数

K_1 ——钢管混凝土结构弹性稳定安全系数

α ——钢管混凝土构件截面的含钢率, $\alpha = A_s/A_c$

α_c ——混凝土的温度线膨胀系数

α_s ——钢的温度线膨胀系数

λ ——长细比, 圆钢管混凝土构件, $\lambda = 4L_0/D$

φ ——钢管混凝土压杆稳定系数

ξ ——钢管混凝土截面套箍系数, $\xi = A_s f_s / (A_c f_c)$

γ_m ——钢管混凝土截面抗弯塑性发展系数

ζ_0, η_0, c ——钢管混凝土压弯强度系数

η_A ——钢管混凝土结构轴压刚度计算系数

η_1 ——钢管混凝土结构抗弯刚度计算系数

β ——节点内腹杆与弦杆的直径比

γ ——节点内弦杆半径与壁厚比

τ ——节点内腹杆与弦杆的壁厚比

3 材 料

3.1 混 凝 土

3.1.1 钢管混凝土采用的混凝土强度等级不应低于 C40。

3.1.2 混凝土原材料、配合比等指标应符合《铁路混凝土》TB/T 3275 的有关规定,宜采用粗骨料粒径不大于 25 mm、水胶比不大于 0.35 的混凝土。

3.1.3 混凝土的抗压极限强度、容许应力、弹性模量、剪切变形模量应符合表 3.1.3 的规定,温度线膨胀系数 α 可取 1.0×10^{-5} ,泊松比可取 0.2。

表 3.1.3 混凝土的设计指标(MPa)

种 类	符号	混凝土强度等级				
		C40	C45	C50	C55	C60
轴心抗压 极限强度	f_c	27.0	30.0	33.5	37.0	40.0
中心受压 容许应力	$[\sigma_c]$	10.8	12.0	13.4	14.8	16.0
弯曲受压及偏心 受压容许应力	$[\sigma_b]$	13.5	15.0	16.8	18.5	20.0
弹性模量	E_c	3.40×10^4	3.45×10^4	3.55×10^4	3.60×10^4	3.65×10^4
剪切变形模量	G_c	1.46×10^4	1.48×10^4	1.52×10^4	1.54×10^4	1.56×10^4

3.2 钢 材

3.2.1 钢材可采用 Q345q、Q370q、Q420q 和 Q500q,交货技术条件应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的有关规定。钢

材的质量等级(D、E)应根据桥址处历年极端最低气温减 5℃选用。

3.2.2 钢材的基本容许应力应符合表 3.2.2 的规定。弹性模量 E_s 可取 2.1×10^5 MPa, 剪切模量 G_s 可取 8.1×10^4 MPa, 温度线膨胀系数 α_s 可取 1.8×10^{-5} , 泊松比可取 0.3。

表 3.2.2 钢材的基本容许应力 (MPa)

应力种类	符 号	钢 材 牌 号			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
屈服强度	f_s	345	370	420	500
轴向容许应力	$[\sigma_s]$	200	210	240	285
剪切容许应力	$[\tau]$	120	125	145	170

注: Q345q 容许应力与《桥梁用结构钢》GB/T 714 中板厚 $t \leq 50$ mm 的屈服强度相对应, 当 $t > 50$ mm 时, 容许应力可按屈服点的比例予以调整。

4 基本设计参数

4.0.1 钢管直径不宜小于 400 mm 且不宜大于 2 000 mm,壁厚不宜小于 10 mm,受弯构件的钢管径厚比 D/t 尚不应大于 $50f_s/235$ 。钢管混凝土构件截面的含钢率 α 、套箍系数 ξ 应符合下列规定:

$$\alpha \geq 0.05 \quad (4.0.1-1)$$

$$0.5 \leq \xi \leq 3.0 \quad (4.0.1-2)$$

4.0.2 钢管混凝土构件的长细比 λ 不应大于 100。

4.0.3 施工阶段钢管内混凝土终凝前,钢管混凝土构件的强度、变形和稳定性应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的有关规定。

4.0.4 钢管混凝土构件的钢管应力在主力、主力+附加力组合下不应大于 $1.25[\sigma_s]$,且在钢管内混凝土灌注后终凝前不宜大于 $0.5[\sigma_s]$ 。

4.0.5 成桥后拱肋顶部钢管内混凝土脱粘空隙 b 不应大于钢管直径 D 的 0.8%,且不应大于 5 mm。

4.0.6 钢管混凝土拱桥合龙温度宜取灌注管内混凝土时的月平均气温,体系升温温差宜取月平均最高气温与合龙温度的差值,体系降温温差宜取合龙温度与月平均最低气温的差值加 5℃;钢管与混凝土之间的温差宜取 +5℃。

4.0.7 混凝土收缩产生的内力可按混凝土降温 10℃ 计算。

4.0.8 钢管混凝土结构在抗震计算时,阻尼比在罕遇地震、多遇地震下宜分别取 0.05、0.03。

4.0.9 钢管混凝土拱桥动力系数可按下列公式计算:

$$1 + \mu = 1 + (0.052 + 0.085f) \quad (4.0.9)$$

式中 f ——钢管混凝土拱桥的一阶竖向频率(Hz)。

4.0.10 钢管混凝土压杆稳定系数 φ 、钢管混凝土截面套箍系数 ξ 、钢管混凝土抗压强度系数 C_0 、钢管混凝土轴压强度系数 C_1 、钢管混凝土截面抗弯塑性发展系数 γ_m 以及钢管混凝土压弯强度系数 ζ_0 、 η_0 、 c 宜按本规范附录 A 采用。

4.0.11 钢管混凝土结构在各种荷载组合作用下的强度安全系数 K 应符合下列规定：

- 1 仅受主力时, K 应大于等于 2.0。
- 2 主力 + 附加力时, K 应大于等于 1.8。
- 3 仅受施工临时荷载时, K 应大于等于 1.8。
- 4 主力 + 特殊荷载时, K 应大于等于 1.6。

5 结构体系与分析

5.1 结构体系

5.1.1 钢管混凝土构件可用于拱肋、索塔和墩柱等以受压为主的桥梁结构。

5.1.2 钢管混凝土结构可与钢结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢与混凝土组合结构等混合使用,形成组合结构体系。

5.1.3 直接承受动力荷载的桁架节点不应采用管管连接形式。

5.1.4 钢管混凝土桁架结构的弦杆与腹杆宜采用节点板连接形式,腹杆宜采用型钢。节点板与弦杆应采用焊接,腹杆与节点板宜采用栓接。

5.1.5 钢管混凝土结构的弹性稳定系数不应小于4.0,非线性稳定系数施工阶段不应小于1.8,运营阶段不应小于2.0。

5.2 结构分析

5.2.1 钢管混凝土结构的内力及变形计算应根据施工步骤分阶段进行,混凝土强度达到设计值后,按钢管混凝土结构计算,其截面刚度计算参数 η_A 、 η_I 宜按表5.2.1采用。

表 5.2.1 钢管混凝土结构截面刚度计算参数

钢材	混凝土	C40		C45		C50		C55		C60	
	含钢率 α	η_A	η_I	η_A	η_I	η_A	η_I	η_A	η_I	η_A	η_I
Q345q	0.050	0.72	0.44	0.78	0.51	0.84	0.58	0.91	0.66	0.96	0.72
	0.100	0.85	0.31	0.91	0.39	0.97	0.48	1.04	0.56	1.10	0.63
	0.150	1.01	0.24	1.08	0.33	1.14	0.42	1.21	0.51	1.27	0.59
	0.200	1.22	0.22	1.28	0.32	1.34	0.42	1.41	0.52	1.47	0.61

续表 5.2.1

钢材	混凝土	C40		C45		C50		C55		C60	
	含钢率 α	η_A	η_I	η_A	η_I	η_A	η_I	η_A	η_I	η_A	η_I
Q370q	0.050	0.70	0.43	0.76	0.49	0.81	0.56	0.88	0.63	0.93	0.69
	0.100	0.84	0.31	0.90	0.38	0.95	0.46	1.02	0.54	1.08	0.61
	0.150	1.02	0.24	1.08	0.32	1.13	0.41	1.20	0.50	1.25	0.58
	0.200	1.23	0.24	1.29	0.33	1.34	0.43	1.41	0.53	1.47	0.61
Q420q	0.050	0.67	0.40	0.73	0.46	0.78	0.52	0.84	0.59	0.89	0.64
	0.100	0.83	0.30	0.89	0.37	0.94	0.44	1.00	0.52	1.05	0.58
	0.150	1.03	0.26	1.09	0.34	1.13	0.42	1.20	0.50	1.24	0.57
	0.200	1.27	0.29	1.32	0.37	1.37	0.46	1.43	0.55	1.48	0.62
Q500q	0.050	0.65	0.37	0.70	0.43	0.74	0.48	0.80	0.55	0.84	0.60
	0.100	0.84	0.31	0.89	0.37	0.93	0.43	0.99	0.50	1.03	0.56
	0.150	1.08	0.31	1.12	0.38	1.16	0.45	1.22	0.52	1.26	0.59
	0.200	1.35	0.38	1.40	0.46	1.43	0.53	1.48	0.62	1.53	0.68

5.2.2 混凝土徐变产生的内力重分布宜采用《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 徐变公式法计算,徐变终极系数宜取 2.0,也可采用将混凝土弹性模量进行折减的方法计算。

5.2.3 采用徐变公式法计算钢管混凝土结构的徐变效应时,钢管和混凝土单元的轴压刚度、抗弯刚度宜分别取 $E_s A_s$ 、 $\eta_A E_c A_c$ 、 $E_s I_s$ 、 $\eta_I E_c I_c$;采用混凝土弹性模量折减法计算钢管混凝土结构的徐变效应时,钢管和混凝土单元的轴压刚度、抗弯刚度宜分别取 $E_s A_s$ 、 $0.3\eta_A E_c A_c$ 、 $E_s I_s$ 、 $0.3\eta_I E_c I_c$ 。

5.2.4 计算钢管混凝土结构成桥阶段的结构稳定性时,钢管和混凝土单元的轴压刚度、抗弯刚度宜分别取 $E_s A_s$ 、 $0.5\eta_A E_c A_c$ 、 $E_s I_s$ 、 $0.5\eta_I E_c I_c$ 。

5.2.5 计算钢管混凝土结构成桥阶段的动力特性和活载效应时,钢管和混凝土单元的轴压刚度、抗弯刚度宜分别取 $E_s A_s$ 、 $\eta_A E_c A_c$ 、 $E_s I_s$ 、 $\eta_I E_c I_c$ 。

6 构件强度计算

6.1 轴心受压、纯弯构件

6.1.1 轴心受压构件的强度应按下列公式计算。

$$KN \leq N_u \quad (6.1.1-1)$$

$$N_u = \varphi(A_s f_s + C_1 A_c f_c) \quad (6.1.1-2)$$

$$C_1 = (1 + \alpha) C_0 \xi \quad (6.1.1-3)$$

$$C_0 = 1.14 + 1.02\xi \quad (6.1.1-4)$$

式中 K ——强度安全系数,按本规范第4.0.11条采用;

N ——计算轴向力(MN);

N_u ——构件轴压强度(MN);

f_s ——钢材屈服强度(MPa);

f_c ——混凝土轴心抗压极限强度(MPa);

A_s ——钢管的截面面积(m²);

A_c ——钢管内混凝土的截面面积(m²);

φ ——钢管混凝土压杆稳定系数,按本规范附录A采用;

C_1 ——钢管混凝土轴压强度系数,按本规范附录A采用;

C_0 ——钢管混凝土抗压强度系数,按本规范附录A采用;

α ——钢管混凝土构件截面的含钢率;

ξ ——钢管混凝土截面套箍系数。

6.1.2 单管截面纯弯构件的强度应按下列公式计算:

$$KM \leq M_u \quad (6.1.2-1)$$

$$M_u = \gamma_m W_m C_0 f_c \quad (6.1.2-2)$$

式中 M ——计算弯矩(MN·m);

M_u ——构件纯弯强度($\text{MN} \cdot \text{m}$)；

γ_m ——钢管混凝土截面抗弯塑性发展系数,按本规范附录 A 采用；

W_m ——钢管混凝土构件截面的抗弯模量(m^3)。

6.1.3 实腹式哑铃型截面纯弯构件的强度应按下式计算：

$$KM \leq M_u \quad (6.1.3)$$

式中 M ——计算弯矩($\text{MN} \cdot \text{m}$)；

M_u ——纯弯强度($\text{MN} \cdot \text{m}$)，按本规范附录 B 计算。

6.2 压弯构件

6.2.1 压弯构件的强度计算应符合下列规定：

1 当 $N/N_u \geq 2\varphi^3\eta_0$ 时,按式(6.2.1—1)计算：

$$\frac{KN}{\varphi N_u} + \frac{a}{d} \cdot \frac{KM}{M_u} \leq 1 \quad (6.2.1-1)$$

2 当 $N/N_u < 2\varphi^3\eta_0$ 时,按式(6.2.1—2)计算：

$$\frac{b \cdot (KN)^2}{N_u^2} - \frac{c \cdot KN}{N_u} + \frac{1}{d} \cdot \frac{KM}{M_u} \leq 1 \quad (6.2.1-2)$$

$$a = 1 - 2\varphi^2\eta_0 \quad (6.2.1-3)$$

$$b = \frac{\zeta_0 - 1}{\varphi^3 \cdot \eta_0^2} \quad (6.2.1-4)$$

$$d = 1 - 0.4 \frac{N}{N_E} \quad (6.2.1-5)$$

$$N_E = \frac{\pi^2 (E_s A_s + 0.5 E_c A_c)}{\lambda^2} \quad (6.2.1-6)$$

式中 ζ_0, η_0, c ——钢管混凝土压弯强度系数,按本规范附录 A 采用。

6.2.2 格构式立柱或桁架式拱肋的强度计算应符合下列规定：

1 由双肢或多肢钢管混凝土柱组成的格构柱,应计算单肢强度和整体强度。

2 格构柱的受压、受弯单肢构件应按本规范第 6.1 节和第 6.2.1 条的规定进行计算,受拉肢的强度应按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的规定进行计算。

3 格构柱的整体截面强度应按本规范第 6.1 节的规定进行计算,压杆稳定系数 φ 是采用换算长细比 λ 根据附录 A 计算所得。

6.3 局部受压构件

6.3.1 无端板钢管混凝土局部受压构件[图 6.3.1(a)]的强度应按下列公式计算。

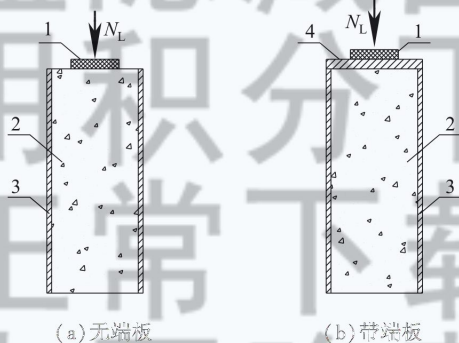


图 6.3.1 钢管混凝土局部受压构件

1—局部承压板;2—混凝土;3—钢管;4—端板

$$KN_L \leq N_{uL} \quad (6.3.1-1)$$

$$N_{uL} = \Phi N_u \quad (6.3.1-2)$$

$$\Phi = A\beta + B\beta^{0.5} + C \quad (6.3.1-3)$$

$$A = (-0.18\xi^3 + 1.95\xi^2 - 6.89\xi + 6.94) \times 10^{-2} \quad (6.3.1-4)$$

$$B = (1.36\xi^3 - 13.92\xi^2 + 45.77\xi - 60.55) \times 10^{-2} \quad (6.3.1-5)$$

$$C = (-\xi^3 + 10\xi^2 - 33.2\xi + 150) \times 10^{-2} \quad (6.3.1-6)$$

$$\beta = A_L/A_c \quad (6.3.1-7)$$

式中 N_L ——计算局部轴向力；

N_{uL} ——局压强度；

N_u ——构件轴压强度；

Φ ——局压强度折减系数；

β ——局压面积比；

A_L ——局压荷载作用面积；

A_c ——核心混凝土横截面面积；

ξ ——钢管混凝土截面套箍系数,按本规范附录 A 采用。

6.3.2 带端板钢管混凝土局部受压构件[图 6.3.1(b)] 的强度应按式(6.3.1—1)和式(6.3.1—2)计算,但式中 Φ 应按下列公式计算:

$$\Phi = (A\beta + B\beta^{0.5} + C)(A_1 n_r^2 + B_1 n_r + 1) \quad (6.3.2-1)$$

$$A = (-0.17\xi^3 + 1.9\xi^2 - 6.84\xi + 7) \times 10^{-2} \quad (6.3.2-2)$$

$$B = (1.35\xi^3 - 14\xi^2 + 46\xi - 60.8) \times 10^{-2} \quad (6.3.2-3)$$

$$C = (-1.08\xi^3 + 10.95\xi^2 - 35.1\xi + 150.9) \times 10^{-2} \quad (6.3.2-4)$$

$$A_1 = (-0.53\beta - 54\beta^{0.5} + 46) \times 10^{-2} \quad (6.3.2-5)$$

$$B_1 = (6\beta + 62\beta^{0.5} - 67) \times 10^{-2} \quad (6.3.2-6)$$

$$n_r = \frac{(D_w/D_k)^{\frac{1}{4}}}{D/2} \quad (6.3.2-7)$$

$$D_w = \frac{E_s t_s^3}{12(1 - \gamma_s^2)} \quad (6.3.2-8)$$

$$D_k = \frac{E_s A_s + 0.5\eta_A E_c A_c}{(A_s + A_c)D} \quad (6.3.2-9)$$

式中 n_r ——相对刚度半径,且 $0 \leq n_r \leq 1$;

D_w ——钢管混凝土端板的抗弯刚度;

D_k ——端板下钢管混凝土刚度系数；
 γ_s, t_s ——端板的泊松比和厚度；
 D ——钢管截面外径。

6.4 应力与稳定计算

6.4.1 钢管混凝土构件作为钢管和混凝土两种材料单元,构件满足平截面假定,钢管应力、混凝土应力应分阶段采用叠加法计算,并应符合本规范第3.1.3条和第4.0.4条的规定。

6.4.2 钢管混凝土结构应进行稳定计算,钢管和混凝土单元的轴压刚度、抗弯刚度应符合本规范第5.2.4条的规定。

7 节点连接设计

7.1 一般规定

7.1.1 钢管混凝土桁架体系节点连接形式包括板管连接和管管连接(图 7.1.1)。

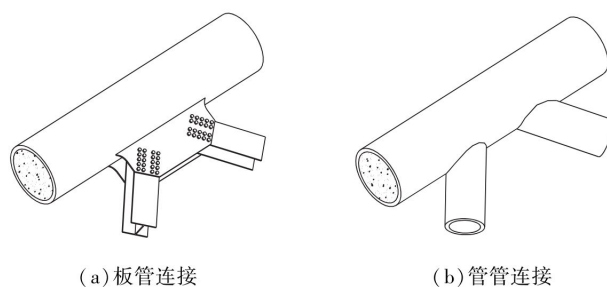


图 7.1.1 节点连接形式

7.1.2 节点连接焊缝的强度不应小于连接杆件强度。

7.1.3 承受动荷载的节点除应按本章规定计算外,尚应符合本规范第 8 章的有关规定。

7.2 板管节点连接

7.2.1 板管节点连接的节点板应沿纵向焊接在圆管上,根据节点板布置可分 T 形与 X 形(图 7.2.1);腹杆与节点板的连接及节点板的强度计算应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的有关规定。

7.2.2 板管节点连接的节点强度应符合下列规定:

1 T 形节点应符合下列规定:

• 16 •

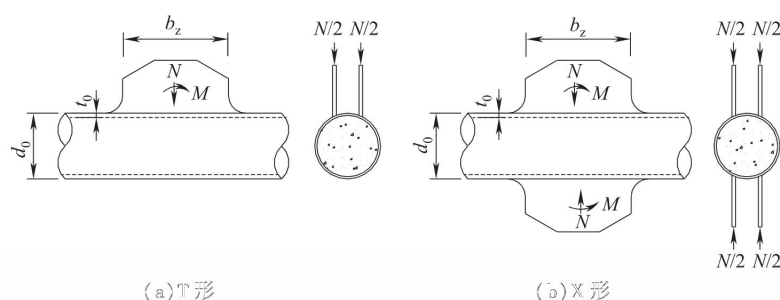


图 7.2.1 板管节点连接

- 1) 当节点板受压时,节点轴向荷载作用下的截面强度应按下列公式计算:

$$KN_e \leq N_{uc} \quad (7.2.2-1)$$

$$N_{uc} = 2(\gamma^{0.2} + 1.5\beta_1\gamma^{-0.1})t_0^2 f_s \quad (7.2.2-2)$$

- 2) 当节点板受拉时,节点轴向荷载作用下的截面强度应按下列公式计算:

$$KN_t \leq N_{ut} \quad (7.2.2-3)$$

$$N_{ut} = 0.27\gamma^{0.6}N_{uc} \quad (7.2.2-4)$$

- 3) 节点抗弯时的截面强度应按下列公式计算:

$$KM \leq M_u \quad (7.2.2-5)$$

$$M_u = 2.92b_z \left(\gamma^{0.2} + 1.5 \frac{\beta_1}{2} \gamma^{-0.1} \right) t_0^2 f_s \quad (7.2.2-6)$$

式中 N_e, N_t, M ——节点处计算轴向压力(MN)、轴向拉力(MN)及弯矩(MN·m);

N_{uc}, N_{ut}, M_u ——节点处截面轴向抗压强度(MN)、轴向抗拉强度(MN)及抗弯强度(MN·m);

γ ——主管半径同壁厚之比, $\gamma = d_0/(2t_0)$;

β_1 ——节点板板宽与主管直径的比值, $\beta_1 = b_z/d_0$ 。

- 2 X形节点应符合下列规定:

- 1) 当节点板受压时,节点轴向荷载作用下的截面强度应按下列公式计算:

$$KN_c \leq N_{uc} \quad (7.2.2-7)$$

$$N_{uc} = 8.5(\gamma^{-0.1} + 0.55\beta_1\gamma^{-0.3})t_0^2 f_s \quad (7.2.2-8)$$

- 2) 当节点板受拉时,节点轴向荷载作用下的截面强度应按下列公式计算:

$$KN_t \leq N_{ut} \quad (7.2.2-9)$$

$$N_{ut} = 0.91\gamma^{0.2}N_{uc} \quad (7.2.2-10)$$

- 3) 节点抗弯时的截面强度应按下列公式计算:

$$KM \leq M_u \quad (7.2.2-11)$$

$$M_u = 8b_z \left(\gamma^{-0.1} + 0.55 \frac{\beta_1}{2} \gamma^{-0.3} \right) t_0^2 f_s \quad (7.2.2-12)$$

式中 N_c, N_t, M ——节点处计算轴向压力(MN)、轴向拉力(MN)及弯矩(MN·m);

N_{uc}, N_{ut}, M_u ——节点处截面轴向抗压强度(MN)、轴向抗拉强度(MN)及抗弯强度(MN·m)。

- 7.2.3** 板管节点连接的冲剪强度应按式(7.2.3)计算:

$$\left(\frac{KN}{A_1} + \frac{KM}{W_1} \right) t_1 \leq 1.36 t_0 f_s \quad (7.2.3)$$

式中 N, M ——节点板计算轴力(MN)及弯矩(MN·m);

t_1 ——节点板板厚(m);

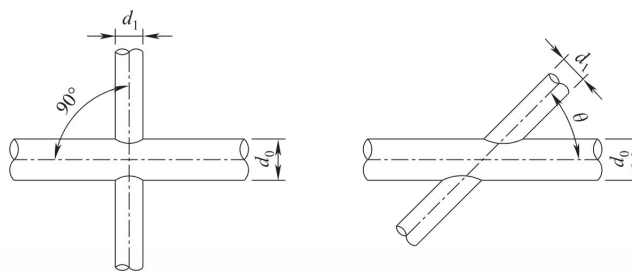
A_1 ——节点板横截面面积(m²);

W_1 ——节点板与管相交处的抗弯截面模量(m³)。

7.3 管管节点连接

- 7.3.1** 根据桁架类型,可采用不同的节点类型,即 X、T、Y、N、K 形(图 7.3.1)。

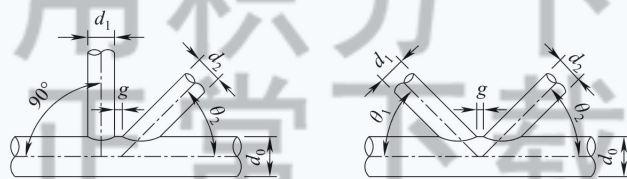
- 7.3.2** 本节各项计算公式,其适用范围应符合表 7.3.2 的规定。



(a) X形节点



(b) T、Y形节点



(c) N、K形节点

图 7.3.1 管管节点连接

表 7.3.2 管管节点连接几何参数的适用范围

$\beta = d_1/d_0$	$\gamma = d_0/(2e_0)$	d_1/t_1	θ	g	e/d_0
$0.2 \leq \beta \leq 1.0$	$\gamma \leq 25$ 或 $\gamma \leq 20$ (X形节点)	$\leq 30 (f_s = 345 \text{ MPa})$ $\leq 28 (f_s = 370 \text{ MPa})$ $\leq 25 (f_s = 420 \text{ MPa})$ $\leq 21 (f_s = 500 \text{ MPa})$	$30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	$\geq t_1 + t_2$	$-0.55 \leq e/d_0 \leq 0.25$

注:1 d_0 、 t_0 为弦杆(主管)直径、壁厚。

2 d_1 、 t_1 为腹杆(支管)直径、壁厚。

3 g 为 N、K 形节点两腹杆的间隙值。

4 θ 为腹杆与弦杆的夹角,K 形节点两腹杆与弦杆的夹角分别为 θ_1 和 θ_2 。

5 e 为腹杆、弦杆的形心交点偏心距。

6 对于 X、T、Y 形节点, $\beta = d_1/d_0$;对于 N、K 形节点, $\beta = (d_1 + d_2)/(2d_0)$ 。

7.3.3 承受轴向力作用的节点,其强度应符合下列规定:

1 平面 X 形节点应符合下列规定:

1) 受压支管在节点处的截面强度应按下列公式计算:

$$KN_c \leq N_{uc} \quad (7.3.3-1)$$

$$N_{uc} = \frac{6.41}{(1 - 0.81\beta) \sin \theta} \varphi_n t_0^2 f_s \quad (7.3.3-2)$$

$$\varphi_n = 1 - 0.3 \frac{\sigma}{f_s} - 0.3 \left(\frac{\sigma}{f_s} \right)^2 \quad (7.3.3-3)$$

式中 N_c ——受压支管的计算轴力(MN);

N_{uc} ——受压支管的轴向强度(MN);

K ——强度安全系数,按本规范第4.0.11条采用;

f_s ——主管钢材的屈服强度(MPa);

φ_n ——参数,当节点两侧或一侧主管受拉时,取 $\varphi_n = 1$,其余情况按式(7.3.3-3)计算;

σ ——节点两侧主管压应力的较小绝对值(MPa)。

2) 受拉支管在节点处的截面强度应按下列公式计算:

$$KN_t \leq N_{ut} \quad (7.3.3-4)$$

$$N_{ut} = 0.92 \left(\frac{d_0}{t_0} \right)^{0.2} N_{uc} \quad (7.3.3-5)$$

式中 N_t ——受拉支管的计算轴力(MN);

N_{ut} ——受拉支管的轴向强度(MN)。

2 平面 T、Y 形节点应符合下列规定:

1) 受压支管在节点处的截面强度应按下列公式计算:

$$KN_c \leq N_{uc} \quad (7.3.3-6)$$

$$N_{uc} = \frac{13.54}{\sin \theta} \left(\frac{d_0}{t_0} \right)^{0.2} \varphi_n \varphi_d t_0^2 f_s \quad (7.3.3-7)$$

式中 N_c ——受压支管的计算轴力(MN);

N_{uc} ——受压支管的轴向强度(MN);

φ_d ——参数,当 $\beta \leq 0.7$ 时, $\varphi_d = 0.069 + 0.93\beta$; 当 $\beta > 0.7$

时, $\varphi_d = 2\beta - 0.68$ 。

2) 受拉支管在节点处的截面强度应按下列公式计算:

$$KN_t \leq N_{ut} \quad (7.3.3-8)$$

当 $\beta \leq 0.7$ 时:

$$N_{ut} = 1.6N_{uc} \quad (7.3.3-9)$$

当 $\beta > 0.7$ 时:

$$N_{ut} = 1.1(2 - \beta)N_{uc} \quad (7.3.3-10)$$

式中 N_t ——受拉支管的计算轴力(MN);

N_{ut} ——受拉支管的轴向强度(MN)。

3 平面 T、X 形节点应符合下列规定:

1) 受压支管在节点处的截面强度应按下列公式计算:

$$KN_c \leq N_{uc} \quad (7.3.3-11)$$

$$N_{uc} = \frac{13.5}{\sin \theta_c} \left(\frac{d_0}{t_0} \right)^{0.2} \varphi_1 \varphi_d \varphi_2 t_0^2 f_s \quad (7.3.3-12)$$

$$\varphi_2 = 1 + \frac{2.19}{1 + 7.5 \frac{E}{d_0}} \left(1 - \frac{20.1}{6.6 + \frac{d_0}{t_0}} \right) (1 - 0.77\beta) \quad (7.3.3-13)$$

式中 N_c ——受压支管的计算轴力(MN);

N_{uc} ——受压支管的轴向强度(MN);

θ_c ——受压支管与主管夹角。

2) 受拉支管在节点处的截面强度应按下列公式计算:

$$KN_t \leq N_{ut} \quad (7.3.3-14)$$

$$N_{ut} = 1.1 \frac{\sin \theta_c}{\sin \theta_t} N_{uc} \quad (7.3.3-15)$$

式中 N_t ——受拉支管的计算轴力(MN);

N_{ut} ——受拉支管的轴向强度(MN);

θ_t ——受拉支管与主管夹角。

8 疲劳计算

8.1 管管对接

8.1.1 焊接构件及连接均应进行疲劳检算,当构件应力均为压应力时,可不进行疲劳检算。

8.1.2 焊接构件及连接的疲劳检算应符合下列规定:

1 疲劳应力为拉—拉或以拉为主的拉—压时,即 $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \geq -1$,其疲劳检算应符合下式规定:

$$\gamma_d \gamma_{sc} \gamma_t \gamma_n (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \leq [\sigma_0] \quad (8.1.2-1)$$

式中 $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ ——最大、最小应力,拉应力为正,压应力为负;

$[\sigma_0]$ ——疲劳容许应力幅,取值应符合表 8.1.2 的规定;

γ_d ——多线系数,按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 采用;

γ_{sc} ——应力集中系数,按本规范附录 C 计算;

γ_t ——壁厚系数,取值应符合表 8.1.2 的规定,当 $t \leq 25$ mm 时, $\gamma_t = 1.0$;

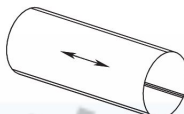
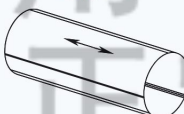
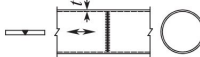
γ_n ——疲劳损伤修正系数,按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 采用。

2 疲劳应力为以压为主的拉—压时,即 $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} < -1$,其疲劳检算应符合下式规定:

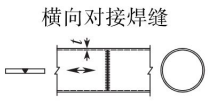
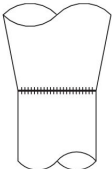
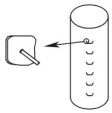
$$\gamma_d \gamma_{sc} \gamma_t \gamma_n \sigma_{\max} \leq \gamma_p [\sigma_0] \quad (8.1.2-2)$$

式中 γ_p ——应力比修正系数,按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 采用。

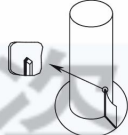


表 8.1.2 构件或管管对接基本形式及疲劳容许应力幅

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅 $[\sigma_0]$ (MPa) 及板厚系数 γ_t	检算部位
1	母材 	非焊接构件。构件边缘刨边处理,表面粗糙度 R_a 不应大于 $25\text{ }\mu\text{m}$;精密切削表面粗糙度 R_a 不应大于 $12.5\text{ }\mu\text{m}$	$[\sigma_0] = 160$ $\gamma_t = 1.0$	非连接部位母材
2	自动焊接的纵向对接焊缝 	(1) 焊缝应一次连续施焊完成,如果特殊情况而中途停焊时,焊前、焊后需处理。用原定预热温度及施焊工艺继续施焊。焊缝表面要顺受力方向磨修平整,不应有超出《铁路桥梁钢结构设计规范》中规定的凹凸不平现象。 (2) 焊缝两侧不应有大于 0.3 mm 的咬边或直径大于 1 mm 的气孔,每米不多于3个,间距不小于 20 mm 。 (3) 埋弧自动焊应在距杆件端 80 mm 以外的引弧板上起、熄弧	$[\sigma_0] = 140$ $\gamma_t = 1.0$	管件的纵向对接焊缝
3	横向对接焊缝 	打磨光滑的双面环形对接焊缝,质量要求同类别2的(1)、(2),管件偏心不大于 2 mm	$[\sigma_0] = 112$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.15}$	正截面对接焊缝接头位置
4		双面环形对接焊缝,质量要求同类别2的(1)、(2),管件偏心不大于 2 mm	$[\sigma_0] = 90$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.20}$	

续表 8.1.2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅 $[\sigma_0]$ (MPa)及板厚系数 γ_t	检算部位
5	 <p>横向对接焊缝</p>	现场焊接的双面环形对接焊缝,质量要求同类别2的(1)、(2),管件偏心不大于2 mm	$[\sigma_0] = 80$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.20}$	正截面对接焊缝接头位置
6		有垫板的单面环形对接焊缝,质量要求同类别2的(1)、(2),管件偏心不大于2 mm	$[\sigma_0] = 71$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.25}$	
7		无垫板的单面环形对接焊缝,管件偏心不大于2 mm	$[\sigma_0] = 56$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.25}$	
8		打磨光滑双面焊接的管状与圆锥形截面间的环形对接焊缝	$[\sigma_0] = 112$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.15}$	正截面对接焊缝接头位置
9		双面焊接的管状与圆锥形截面间的环形对接焊缝	$[\sigma_0] = 90$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.20}$	
10		现场双面焊接的管状与圆锥形截面间的环形对接焊缝	$[\sigma_0] = 80$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.20}$	
11		有垫板的单面焊接的管状与圆锥形截面间的环形对接焊缝	$[\sigma_0] = 71$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.25}$	
12		无垫板的单面焊接的管状与圆锥形截面间的环形对接焊缝	$[\sigma_0] = 56$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.25}$	
13		管件外壁附属构件的焊接。焊趾不应有咬肉、裂纹,应成形良好	$[\sigma_0] = 63$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.25}$	附属构件与管件之间的焊接位置

续表 8.1.2

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅 $[\sigma_0]$ (MPa) 及板厚系数 γ_t	检算部位
14		用完全熔透焊缝焊接的加劲肋连接。焊缝端部至管件表面应勾顺过渡;对起、熄弧处进行磨修;管件不应有咬肉;加劲肋端部 100 mm 内焊趾处锤击	$[\sigma_0] = 90$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.20}$	竖向加劲肋与管件连接焊缝的端部
15		用角焊缝焊接的加劲肋连接。质量要求同类别 14	$[\sigma_0] = 71$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.25}$	
16		用角焊缝焊接的管内隔板。采用成形良好的手工焊、CO ₂ 气体保护焊施焊;焊趾处不允许有咬肉	隔板厚 ≤ 25 mm: $[\sigma_0] = 80$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.20}$ 隔板厚 > 25 mm: $[\sigma_0] = 71$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.25}$	管状构件与隔板连接处母材
17		用角焊缝焊接的管内加劲板。采用成形良好的手工焊、CO ₂ 气体保护焊施焊;焊趾处不允许有咬肉	隔板厚 ≤ 25 mm: $[\sigma_0] = 80$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.20}$ 隔板厚 > 25 mm: $[\sigma_0] = 71$ $\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.25}$	角焊缝连接部位的管件母材

8.2 板管连接

8.2.1 板管连接应进行疲劳检算,当疲劳应力均为压应力时,可不进行疲劳检算。

8.2.2 板管连接的疲劳检算应符合下列规定：

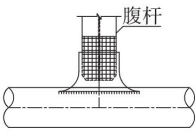
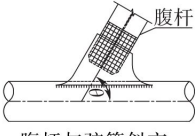
1 疲劳应力为拉—拉或以拉为主的拉—压时，即 $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \geq -1$ ，其疲劳检算应符合下列公式规定：

$$\gamma_d \gamma_{sc} \gamma_t \gamma_n (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \leq [\sigma_0] \quad (8.2.2-1)$$

$$\gamma_t = \left(\frac{t}{25}\right)^{0.25} \quad (8.2.2-2)$$

式中 $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ ——最大、最小应力，拉力为正，压力为负；
 $[\sigma_0]$ ——疲劳容许应力幅，取值应符合表 8.2.2 的规定；
 γ_d ——多线系数，按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 采用；
 γ_{sc} ——应力集中系数，按本规范附录 C 计算；
 γ_t ——壁厚系数，当 $t \leq 25$ mm 时， $\gamma_t = 1.0$ ；
 γ_n ——疲劳损伤修正系数，按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 采用。

表 8.2.2 板管连接基本形式及疲劳容许应力幅

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅 [σ_0] (MPa)	检算部位
1	 腹杆与弦管正交	板管 T 形接头采用坡口全熔透焊缝，节点板两端范围按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的要求打磨匀顺	[σ_0] = 100	连接腹杆正截面
2	 腹杆与弦管斜交， $\theta \geq 30^\circ$	板管 T 形接头采用坡口全熔透焊缝，节点板两端范围按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的要求打磨匀顺	[σ_0] = 100	连接腹杆正截面

2 疲劳应力为以压为主的拉—压时,即 $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} < -1$,其疲劳检算应符合下式规定:

$$\gamma_d \gamma_{sc} \gamma_t \gamma_n \sigma_{\max} \leq \gamma_p [\sigma_0] \quad (8.2.2-3)$$

式中 γ_p ——应力比修正系数,按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 采用。

8.3 管 管 连 接

8.3.1 管管连接应进行疲劳检算,当疲劳应力均为压应力时,可不进行疲劳检算。

8.3.2 管管连接的疲劳检算应符合下列规定:

1 疲劳应力为拉—拉或以拉为主的拉—压时,即 $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \geq -1$,其疲劳检算应符合下列公式规定:

$$\gamma_d \gamma_{sc} \gamma_t \gamma_n (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \leq [\sigma_0] \quad (8.3.2-1)$$

$$\gamma_t = \left(\frac{t}{25} \right)^{0.23} \quad (8.3.2-2)$$

式中 $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ ——最大、最小应力,拉应力为正,压应力为负;
 $[\sigma_0]$ ——疲劳容许应力幅,其值及相应质量要求见表 8.3.2;
 γ_d ——多线系数,按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 采用;

γ_{sc} ——应力集中系数,按本规范附录 C 计算;

γ_t ——壁厚系数,当 $t \leq 25$ mm 时, $\gamma_t = 1.0$;

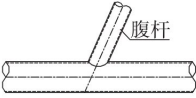
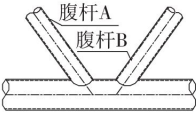
γ_n ——疲劳损伤修正系数,按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 采用。

2 疲劳应力为以压为主的拉—压时,即 $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} < -1$,其疲劳检算应符合下式规定:

$$\gamma_d \gamma_{sc} \gamma_t \gamma_n \sigma_{\max} \leq \gamma_p [\sigma_0] \quad (8.3.2-3)$$

式中 γ_p ——应力比修正系数,按《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 采用。

表 8.3.2 管管连接基本形式及疲劳容许应力幅

类别	构件或连接形式简图	加工质量及其他要求	疲劳容许应力幅 [σ_0] (MPa)	检算部位
1		采用相贯线切割机开制相贯线坡口,全熔透焊缝连接,焊趾处需焊后修磨,超声波探伤等级为B级,质量等级为I级	[σ_0] = 90	连接腹杆正截面
2		采用相贯线切割机开制相贯线坡口,全熔透焊缝连接,焊趾处需焊后修磨,超声波探伤等级为B级,质量等级为I级	[σ_0] = 90	连接腹杆正截面

9 构造要求

9.1 管管对接

9.1.1 钢管的环焊缝、纵焊缝不宜十字交叉,焊缝间距(图 9.1.1)应满足下列要求:

- 1 环焊缝间距 L 大于 500 mm。
- 2 纵焊缝沿弧长方向的错缝间距 b 不小于 5 倍钢管壁厚且不小于 200 mm。

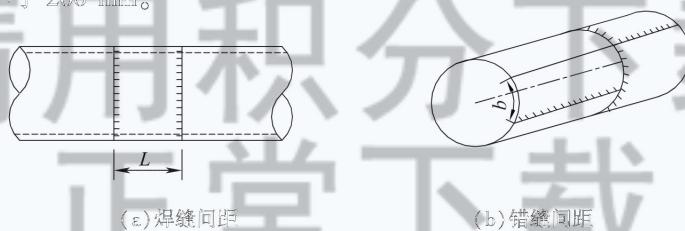


图 9.1.1 钢管焊缝的间距

9.1.2 拱肋接头焊接时,临时定位连接宜采用管外肋板连接(图 9.1.2—1),也可采用内法兰盘连接(图 9.1.2—2),临时定位后再进行对接焊完成最终的连接。

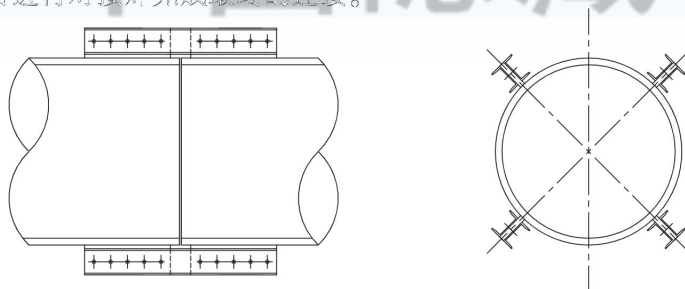


图 9.1.2—1 外接肋板连接形式

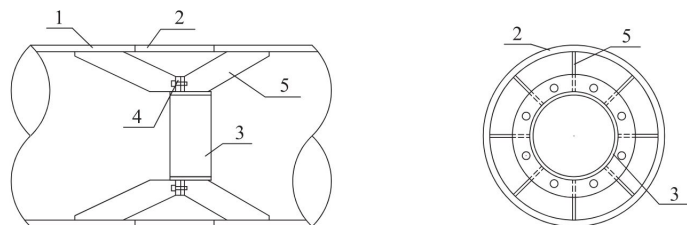


图 9.1.2—2 内法兰盘连接形式
1—弦管;2—对接管;3—内衬管;4—法兰盘;5—肋板

9.2 板 管 连 接

- 9.2.1 腹杆与弦杆夹角 θ 不宜小于 40° 。
- 9.2.2 板管节点上不应采用插入式焊缝连接腹杆的构造形式。
- 9.2.3 节点板与弦杆应采用坡口全熔透焊缝焊接。
- 9.2.4 节点板末端应采用过渡圆弧构造,过渡圆弧半径不应小于 600 mm,节点板放大系数不应小于 1.7。
- 9.2.5 节点板构造尚应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的有关规定。

9.3 管 管 连 接

- 9.3.1 管管连接的节点焊缝宜避开焊缝交叉(图 9.3.1),相贯焊缝与弦杆环焊缝、纵焊缝的间距不应小于 80 mm。

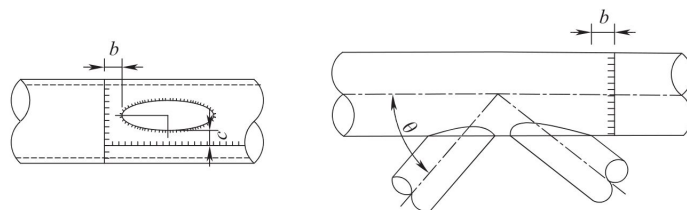


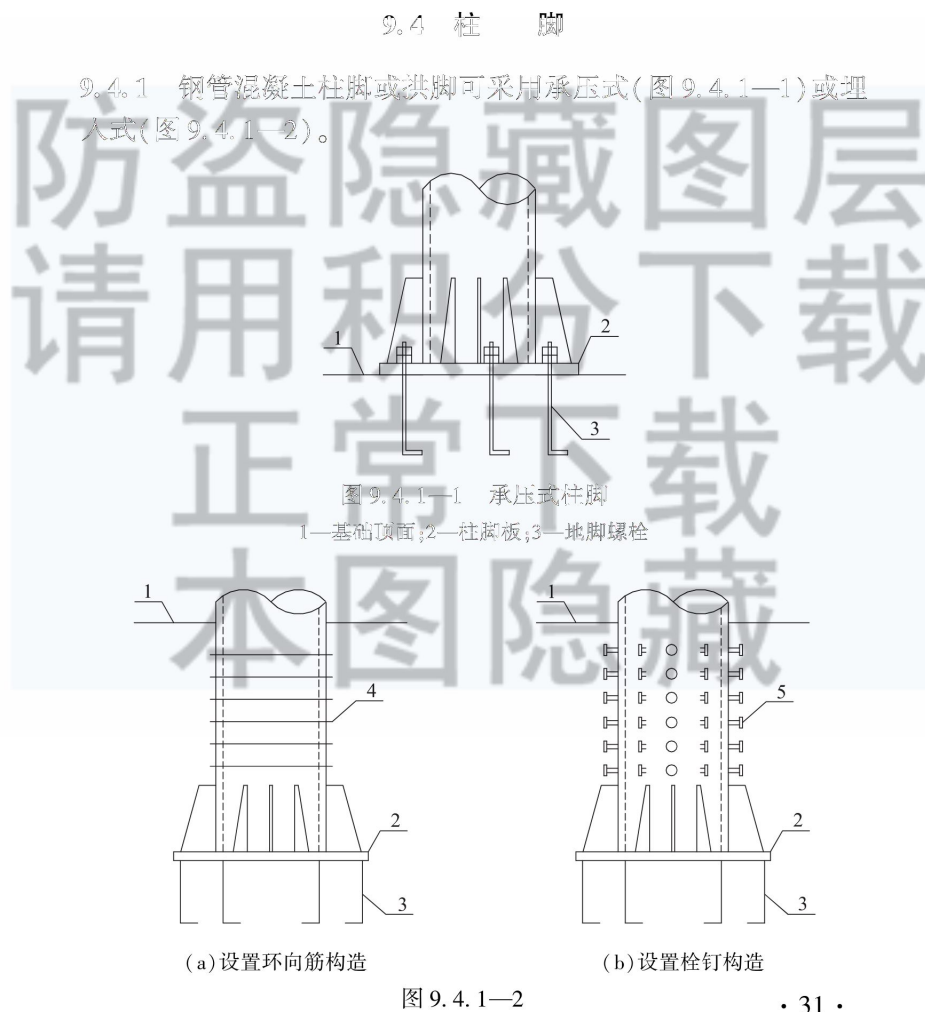
图 9.3.1 管管连接焊缝的间距要求

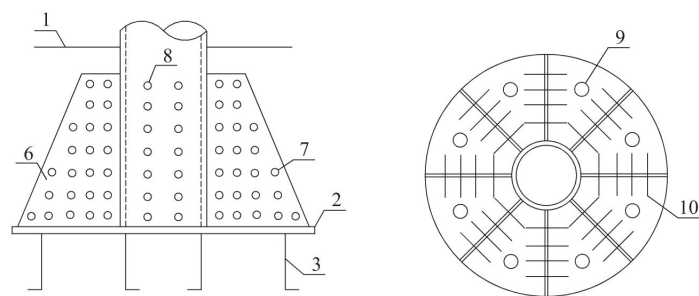
9.3.2 管管连接的节点构造应符合下列规定：

- 1 弦杆的直径和壁厚应大于腹杆的直径和壁厚。
- 2 弦杆和腹杆以及两腹杆间的夹角不应小于 30° 。
- 3 腹杆同弦杆的连接焊缝,应沿全周连续焊接并平顺过渡,宜采用全熔透焊缝。

9.4 柱 脚

9.4.1 钢管混凝土柱脚或拱脚可采用承压式(图 9.4.1—1)或埋入式(图 9.4.1—2)。





(c) 设置开孔板连接件构造

图 9.4.1—2 埋入式柱脚

1—基础顶面;2—底板;3—锚筋;4—贴焊钢筋;5—栓钉;
6—肋板;7—肋板开孔;8—管壁开孔;9—底板开孔;10—穿孔钢筋

9.4.2 承压式柱脚构造应符合下列规定:

- 1 柱脚板的厚度不宜小于钢管壁厚的 1.5 倍,且不应小于 20 mm。
- 2 柱脚板的外伸宽度不宜小于钢管壁厚的 10 倍,且不应小于 200 mm。
- 3 加肋板的厚度不应小于钢管壁厚,肋高不宜小于柱脚板外伸宽度的 2 倍,肋距不应大于柱脚板外伸宽度的 4 倍。

9.4.3 锚栓应采用双螺母拧紧或其他防止松动的措施,锚栓埋入深度不应小于其直径的 25 倍,锚栓底部应有弯钩或锚板,锚板厚度宜大于 1.3 倍锚栓直径。

9.4.4 埋入式柱脚的埋入深度不宜小于 1 倍管径,且不应小于 1 m,并应根据受力需要设置环向筋、栓钉或开孔板连接件等锚固措施。

10 施工要求

10.1 一般规定

10.1.1 钢管混凝土结构制作前,应根据施工图设计文件和施工详图的要求编制制作工艺,包括制作所依据的标准、施工操作要点、质量保证措施等。

10.1.2 钢结构制造前应根据设计要求进行焊接工艺评定试验,并根据试验评定制定相应的焊接工艺或方案。

10.1.3 大型复杂钢管混凝土结构可在正式灌注混凝土前进行管内混凝土灌注工艺试验。

10.1.4 灌注钢管内混凝土应在钢结构安装并验收合格后进行。

10.1.5 钢管混凝土结构的施工除应符合本规范外,尚应符合现行国家标准和行业标准的有关规定。

10.2 钢管构件制作

10.2.1 厚度大于 20 mm 的钢板应进行超声波探伤,钢板质量分级应按《厚钢板超声检测方法》GB/T 2970 中的Ⅱ级执行。

10.2.2 钢管构件焊接包括施工现场焊接,应按工艺文件规定的焊接方法、工艺参数、施焊顺序进行。

10.2.3 所有焊缝均应进行外观检查,经外观检查合格的焊缝方能进行无损检验。焊缝质量除应符合设计文件要求以外,尚应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的规定。

10.2.4 焊缝超声波探伤内部质量分级应符合表 10.2.4—1 的规定,探伤范围和检验等级应符合表 10.2.4—2 的规定,探伤方法和探伤结果分级应符合《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级

和评定》GB/T 11345 的规定。

表 10.2.4—1 焊缝超声波探伤内部质量等级

焊缝质量等级	适 用 范 围
I	拱肋纵、横向对接焊缝;腹杆节点板同弦杆间的熔透角焊缝
II	相贯线焊缝;其余焊缝

表 10.2.4—2 焊缝超声波探伤范围和检验等级

焊缝质量级别	探伤比例	探 伤 部 位	检验等级
I 级对接焊缝	100%	全长	B
II 级对接焊缝	100%	全长	B
II 级角焊缝	100%	相贯线的趾部和侧部,其他 II 级角焊缝的两端和中间各 1 m 区域	A

10.2.5 表 10.2.4—2 中的 I 级对接焊缝,还应按接头数量的 10%(不少于一个焊接接头)进行射线探伤。探伤范围为焊缝两端各 250 mm ~ 300 mm,焊缝长度大于 1 200 mm 时,中部加探 250 mm ~ 300 mm。工厂焊缝的内部质量应达到表 10.2.5 中的 I 级,工地焊缝的内部质量应达到表 10.2.5 中的 II 级,探伤方法和探伤结果应符合《焊缝无损检测 射线检测 第 1 部分:X 和伽玛射线的胶片技术》GB/T 3323.1 的规定。

表 10.2.5 对接焊缝射线探伤内部质量要求

焊缝质量等级	板厚 T (mm)	评定区 (mm)	质 量 要 求			
			气孔允许点数	裂纹、未熔合、未焊透	单个条形缺陷长度 (mm)	条形缺陷总长
I	10 ~ 15	10 × 10	2	不允许	不允许	不允许
	15 ~ 25	10 × 10	3			
	25 ~ 50	10 × 20	4			

续表 10.2.5

焊缝质量等级	板厚 T (mm)	评定区 (mm)	质 量 要 求			
			气孔允许点数	裂纹、未熔合、未焊透	单个条形缺陷长度 (mm)	条形缺陷总长
II	10 ~ 15	10 × 10	6	不允许	最小可为 4, 最大可为 $T/3$	在任意直线上, 相邻两缺陷间距不超过 $6L$ 的任何一组缺陷, 其累积长度在 $12T$ 范围内不大于 T
	15 ~ 25	10 × 10	9			
	25 ~ 50	10 × 20	12			


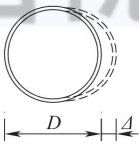
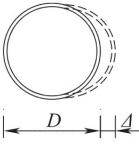
注: L 为该组缺陷中最长者的长度。

10.2.6 钢管构件应根据施工详图进行放样。放样与号料应预留焊接收缩量和切割、端铣等加工余量以及弹性压缩量。

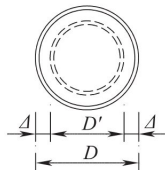
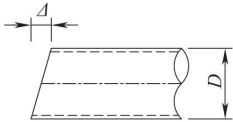

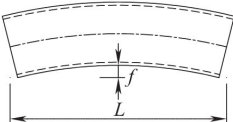
10.2.7 进行边缘加工的零件, 宜采用精密切割。焊接坡口应采用机加工或精密切割, 并应用样板控制坡口角度和尺寸。

10.2.8 钢管制作完成后, 其外形尺寸的允许偏差应符合表 10.2.8 的规定。

表 10.2.8 钢管构件外形尺寸允许偏差

序 号	项 目	图 例	允许偏差(mm)
1	相贯线切口		± 2
2	钢管椭圆度 (钢管端部)		$\Delta/D \leq \pm 1.5/1\ 000$, 且不大于 1.5
3	钢管椭圆度 (中间部位)		$\Delta/D \leq \pm 2/1\ 000$, 且不大于 2

续表 10.2.8

序 号	项 目	图 例	允许偏差 (mm)
4	直径		$\Delta/D \leq \pm 2/1\,000$, 且不大于 2
5	管端面垂直度		$\Delta/D \leq \pm 2/1\,000$, 且不大于 3
6	端部局部不平整度		$f \leq \pm 0.5$
7	弯曲矢高		$f/L \leq 1/1\,500$, 且不大于 3

10.2.9 钢管构件制作完毕后应清除钢管内的杂物,并应采取措施保持管内清洁、防止表面锈蚀,钢管内表面应保持干净,不应有油渍等污物。

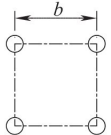
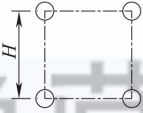
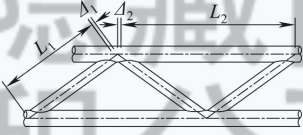
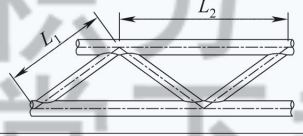
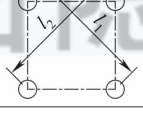
10.2.10 钢管构件在吊装时应控制吊装荷载作用下的变形,吊点的设置应根据钢管构件本身的承载力和稳定经验算后确定,必要时采取临时加固措施。

10.3 钢管桁架组装

10.3.1 钢管结构应在工厂内进行试拼装,钢管接头错边量应小于 0.1 倍壁厚,且不应大于 2 mm。

10.3.2 钢管结构工厂节段组装后的尺寸允许偏差应符合表 10.3.2 的规定。

表 10.3.2 钢管桁架组装外形尺寸允许偏差

序 号	项 目	图 例	允许偏差 (mm)
1	桁架宽度		± 3
2	桁架高度		$\begin{matrix} +3 \\ -1 \end{matrix}$
3	腹杆组合误差		$\Delta_1/L_1 \leq \pm 1/1\ 000$ $\Delta_2/L_2 \leq \pm 1/1\ 000$
4	腹杆中心距		± 3
5	桁架节段端面 扭曲偏差		每米1,节段最大 不超过5
6	桁架断面 对角线偏差		$ d_1 - d_2 \leq 4$
7	桁架节段轴线 竖向偏差	—	± 3
8	桁架节段轴线 横向偏差	—	± 3
9	桁架节段轴线 弧长偏差	—	± 10

10.3.3 工地分段安装桁架节段时,节段间钢管接缝错边量应小于 0.1 倍壁厚,且不应大于 2 mm,合龙段不应大于 3 mm。

10.4 管内混凝土灌注

10.4.1 钢管内混凝土的灌注方式宜采用泵送顶升法。大跨度桥梁宜采取真空辅助措施。

10.4.2 钢管内混凝土的灌注应在最初灌入的混凝土初凝时间内完成,在分仓或分段范围内混凝土应连续一次灌注。

10.4.3 钢管内混凝土的质量检查应采用以超声波检测为主、人工敲击为辅的检测方法,条件具备时也可采用光纤监测技术。

10.4.4 拱肋顶部钢管内混凝土脱粘空隙 h 大于钢管直径 D 的 0.8%或大于 5 mm 时,应在钢管上钻孔压浆补强,压注浆液强度应高于钢管内混凝土强度,压浆补强后将钻孔塞焊补平。

附录 A 钢管混凝土结构计算参数表

A.0.1 钢管混凝土压杆稳定系数 φ 宜按表 A.0.1—1 和表 A.0.1—2 采用。

表 A.0.1—1 钢管混凝土压杆稳定系数 φ (Q345q、Q370q)

λ	α	Q345q					Q370q				
		C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
10	0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0.10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0.15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0.20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	0.05	0.964	0.958	0.951	0.945	0.939	0.965	0.959	0.952	0.945	0.940
20	0.10	0.968	0.962	0.955	0.949	0.944	0.970	0.963	0.956	0.950	0.945
20	0.15	0.971	0.965	0.958	0.952	0.947	0.972	0.965	0.959	0.953	0.948
20	0.20	0.973	0.967	0.960	0.954	0.949	0.974	0.968	0.962	0.955	0.950
30	0.05	0.916	0.905	0.894	0.884	0.877	0.916	0.906	0.895	0.885	0.878
30	0.10	0.924	0.914	0.904	0.894	0.887	0.927	0.917	0.906	0.896	0.888
30	0.15	0.930	0.920	0.910	0.900	0.892	0.933	0.923	0.912	0.902	0.894
30	0.20	0.935	0.925	0.914	0.904	0.897	0.938	0.928	0.916	0.906	0.898
40	0.05	0.865	0.852	0.839	0.827	0.817	0.867	0.854	0.840	0.828	0.818
40	0.10	0.880	0.867	0.853	0.841	0.831	0.883	0.869	0.855	0.843	0.833
40	0.15	0.888	0.875	0.862	0.849	0.839	0.892	0.878	0.864	0.851	0.841
40	0.20	0.895	0.882	0.868	0.855	0.845	0.899	0.885	0.871	0.858	0.848
50	0.05	0.816	0.801	0.786	0.772	0.761	0.818	0.803	0.787	0.773	0.761

续表 A.0.1—1

λ	α	Q345q					Q370q				
		C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
50	0.10	0.834	0.819	0.803	0.789	0.778	0.838	0.822	0.805	0.790	0.779
50	0.15	0.845	0.830	0.814	0.799	0.788	0.849	0.833	0.816	0.801	0.790
50	0.20	0.853	0.837	0.821	0.807	0.795	0.857	0.841	0.824	0.809	0.797
60	0.05	0.767	0.751	0.734	0.719	0.707	0.769	0.753	0.735	0.720	0.707
60	0.10	0.788	0.771	0.754	0.738	0.726	0.791	0.774	0.756	0.740	0.727
60	0.15	0.801	0.784	0.766	0.750	0.738	0.804	0.786	0.768	0.752	0.739
60	0.20	0.810	0.792	0.774	0.758	0.746	0.813	0.795	0.777	0.760	0.747
70	0.05	0.719	0.702	0.684	0.669	0.656	0.720	0.703	0.685	0.669	0.656
70	0.10	0.741	0.724	0.705	0.689	0.677	0.743	0.725	0.706	0.690	0.677
70	0.15	0.755	0.737	0.718	0.702	0.689	0.757	0.739	0.719	0.702	0.689
70	0.20	0.764	0.746	0.727	0.711	0.697	0.767	0.748	0.729	0.712	0.698
80	0.05	0.671	0.654	0.636	0.621	0.608	0.671	0.654	0.636	0.620	0.607
80	0.10	0.694	0.676	0.658	0.642	0.629	0.694	0.676	0.658	0.641	0.628
80	0.15	0.708	0.689	0.671	0.654	0.641	0.708	0.690	0.671	0.654	0.641
80	0.20	0.717	0.699	0.680	0.663	0.650	0.718	0.699	0.680	0.663	0.650
90	0.05	0.624	0.607	0.590	0.575	0.563	0.622	0.605	0.588	0.573	0.561
90	0.10	0.646	0.629	0.611	0.595	0.583	0.644	0.627	0.609	0.593	0.581
90	0.15	0.659	0.642	0.624	0.608	0.595	0.657	0.640	0.622	0.606	0.593
90	0.20	0.669	0.651	0.633	0.616	0.604	0.666	0.649	0.631	0.614	0.602
100	0.05	0.552	0.537	0.522	0.509	0.498	0.536	0.522	0.507	0.494	0.484
100	0.10	0.571	0.556	0.540	0.527	0.516	0.555	0.540	0.525	0.511	0.501
100	0.15	0.583	0.568	0.552	0.537	0.526	0.566	0.551	0.535	0.522	0.511
100	0.20	0.591	0.576	0.560	0.545	0.534	0.574	0.559	0.543	0.529	0.518

表 A.0.1—2 钢管混凝土压杆稳定系数 φ (Q420q、Q500q)

λ	α	Q420q					Q500q				
		C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
10	0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0.10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0.15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0.20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	0.05	0.967	0.960	0.953	0.946	0.940	0.968	0.961	0.953	0.946	0.940
20	0.10	0.972	0.965	0.958	0.951	0.946	0.974	0.967	0.959	0.952	0.946
20	0.15	0.975	0.968	0.961	0.955	0.949	0.978	0.971	0.963	0.956	0.950
20	0.20	0.977	0.971	0.964	0.957	0.952	0.980	0.974	0.966	0.959	0.953
30	0.05	0.919	0.909	0.897	0.887	0.878	0.922	0.910	0.898	0.886	0.877
30	0.10	0.931	0.920	0.908	0.898	0.889	0.935	0.923	0.911	0.899	0.890
30	0.15	0.938	0.927	0.915	0.905	0.896	0.943	0.931	0.919	0.907	0.898
30	0.20	0.943	0.932	0.920	0.910	0.901	0.949	0.937	0.924	0.913	0.903
40	0.05	0.871	0.857	0.842	0.829	0.819	0.878	0.858	0.842	0.828	0.817
40	0.10	0.888	0.874	0.858	0.845	0.834	0.892	0.877	0.860	0.846	0.834
40	0.15	0.898	0.883	0.868	0.855	0.844	0.903	0.888	0.871	0.856	0.844
40	0.20	0.905	0.891	0.875	0.861	0.851	0.911	0.896	0.879	0.864	0.852
50	0.05	0.822	0.805	0.788	0.773	0.761	0.822	0.805	0.787	0.770	0.758
50	0.10	0.842	0.826	0.808	0.792	0.780	0.845	0.827	0.808	0.791	0.778
50	0.15	0.855	0.838	0.820	0.804	0.792	0.858	0.840	0.821	0.804	0.791
50	0.20	0.864	0.846	0.828	0.812	0.800	0.868	0.849	0.830	0.813	0.799
60	0.05	0.771	0.754	0.735	0.719	0.706	0.769	0.750	0.731	0.714	0.700
60	0.10	0.794	0.776	0.757	0.740	0.727	0.793	0.774	0.754	0.736	0.723
60	0.15	0.808	0.789	0.770	0.753	0.740	0.808	0.788	0.768	0.750	0.736
60	0.20	0.818	0.799	0.780	0.762	0.749	0.819	0.799	0.778	0.760	0.746

续表 A.0.1—2

λ	α	Q420q					Q500q				
		C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
70	0.05	0.720	0.702	0.683	0.667	0.654	0.713	0.694	0.675	0.658	0.645
70	0.10	0.744	0.725	0.706	0.689	0.675	0.738	0.718	0.698	0.681	0.667
70	0.15	0.758	0.739	0.719	0.702	0.688	0.752	0.733	0.713	0.694	0.681
70	0.20	0.769	0.749	0.729	0.711	0.698	0.763	0.743	0.723	0.704	0.690
80	0.05	0.668	0.650	0.632	0.616	0.603	0.643	0.626	0.609	0.593	0.581
80	0.10	0.691	0.673	0.654	0.637	0.624	0.666	0.648	0.630	0.614	0.601
80	0.15	0.705	0.686	0.667	0.650	0.637	0.680	0.662	0.643	0.626	0.613
80	0.20	0.715	0.696	0.677	0.660	0.646	0.689	0.671	0.652	0.635	0.622
90	0.05	0.591	0.575	0.559	0.545	0.534	0.544	0.530	0.515	0.502	0.492
90	0.10	0.612	0.596	0.579	0.564	0.552	0.564	0.549	0.533	0.519	0.509
90	0.15	0.624	0.608	0.591	0.576	0.564	0.575	0.560	0.544	0.530	0.519
90	0.20	0.633	0.617	0.599	0.584	0.572	0.584	0.568	0.552	0.538	0.527
100	0.05	0.507	0.493	0.479	0.467	0.457	0.467	0.454	0.442	0.430	0.421
100	0.10	0.525	0.511	0.496	0.484	0.474	0.483	0.470	0.457	0.445	0.436
100	0.15	0.535	0.521	0.506	0.493	0.483	0.493	0.480	0.467	0.454	0.445
100	0.20	0.543	0.529	0.514	0.501	0.490	0.500	0.487	0.473	0.461	0.452

A.0.2 钢管混凝土截面套箍系数 ξ 宜按表 A.0.2—1 和表 A.0.2—2 采用。

表 A.0.2—1 钢管混凝土截面套箍系数 ξ (Q345q, Q370q)

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.050	0.639	0.575	0.515	0.466	0.431	0.685	0.617	0.552	0.500	0.463
0.075	0.958	0.863	0.772	0.699	0.647	1.028	0.925	0.828	0.750	0.694

续表 A.0.1—2

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.100	1.278	1.150	1.030	0.932	0.863	1.370	1.233	1.104	1.000	0.925
0.125	1.597	1.438	1.287	1.166	1.078	1.713	1.542	1.381	1.250	1.156
0.150	1.917	1.725	1.545	1.399	1.294	2.056	1.850	1.657	1.500	1.388
0.175	2.236	2.013	1.802	1.632	1.509	2.398	2.158	1.933	1.750	1.619
0.200	2.556	2.303	2.060	1.865	1.725	2.741	2.467	2.209	2.000	1.850

表 A.0.2—2 钢管混凝土截面系数 S (Q420q、Q500q)

α	Q420q					Q500q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.050	0.778	0.703	0.627	0.568	0.525	0.926	0.833	0.746	0.676	0.625
0.075	1.167	1.053	0.943	0.851	0.788	1.389	1.250	1.119	1.014	0.938
0.100	1.556	1.400	1.254	1.135	1.050	1.852	1.667	1.493	1.351	1.250
0.125	1.944	1.750	1.567	1.419	1.313	2.315	2.083	1.866	1.689	1.563
0.150	2.333	2.100	1.881	1.703	1.575	2.778	2.500	2.239	2.027	1.875
0.175	2.722	2.450	2.194	1.986	1.838	3.241	2.917	2.612	2.365	2.188
0.200	3.111	2.800	2.507	2.270	2.100	3.704	3.333	2.985	2.703	2.500

A.0.3 钢管混凝土抗压强度系数 C_0 、轴压强度系数 C_1 宜按表 A.0.3—1~表 A.0.3—4 采用。

表 A.0.3—1 钢管混凝土抗压强度系数 C_0 (Q345q、Q370q)

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.050	1.792	1.727	1.665	1.616	1.580	1.839	1.769	1.703	1.650	1.612
0.075	2.118	2.020	1.928	1.853	1.800	2.188	2.084	1.985	1.905	1.848

续表 A.0.3—1

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.100	2.443	2.313	2.190	2.091	2.020	2.538	2.398	2.267	2.160	2.084
0.125	2.769	2.606	2.453	2.329	2.240	2.887	2.713	2.548	2.415	2.319
0.150	3.095	2.900	2.716	2.567	2.460	3.237	3.027	2.830	2.670	2.555
0.175	3.421	3.193	2.978	2.804	2.680	3.586	3.342	3.111	2.925	2.791
0.200	3.747	3.486	3.241	3.042	2.900	3.936	3.656	3.393	3.180	3.027

表 A.0.3—2 钢管混凝土抗压强度系数 C_0 (Q420q、Q500q)

α	Q420q					Q500q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.050	1.933	1.854	1.779	1.719	1.676	2.084	1.990	1.901	1.829	1.778
0.075	2.330	2.211	2.099	2.008	1.943	2.557	2.415	2.282	2.174	2.096
0.100	2.727	2.568	2.419	2.298	2.211	3.029	2.840	2.662	2.518	2.415
0.125	3.123	2.925	2.739	2.587	2.479	3.501	3.265	3.043	2.863	2.734
0.150	3.520	3.282	3.058	2.877	2.747	3.973	3.690	3.424	3.208	3.053
0.175	3.917	3.639	3.378	3.166	3.014	4.446	4.115	3.804	3.552	3.371
0.200	4.313	3.996	3.698	3.456	3.282	4.918	4.540	4.185	3.897	3.690

表 A.0.3—3 钢管混凝土轴压强度系数 C_1 (Q345q、Q370q)

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.050	1.242	1.238	1.234	1.230	1.228	1.246	1.241	1.236	1.233	1.230
0.075	1.318	1.309	1.300	1.293	1.288	1.325	1.315	1.305	1.298	1.292
0.100	1.410	1.394	1.380	1.368	1.359	1.421	1.404	1.389	1.376	1.367
0.125	1.518	1.495	1.472	1.454	1.442	1.535	1.510	1.486	1.467	1.453

续表 A.0.3—3

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.150	1.643	1.609	1.578	1.553	1.535	1.667	1.631	1.598	1.571	1.551
0.175	1.783	1.739	1.697	1.663	1.639	1.816	1.768	1.723	1.687	1.661
0.200	1.940	1.883	1.829	1.786	1.754	1.982	1.921	1.863	1.816	1.782

表 A.0.3—4 钢管混凝土轴压强度系数 C_1 (Q420q、Q500q)

α	Q420q					Q500q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.050	1.252	1.247	1.242	1.237	1.234	1.263	1.256	1.250	1.245	1.241
0.075	1.338	1.327	1.316	1.308	1.301	1.360	1.346	1.334	1.323	1.316
0.100	1.444	1.425	1.407	1.392	1.382	1.480	1.457	1.436	1.419	1.407
0.125	1.569	1.541	1.514	1.492	1.476	1.624	1.590	1.558	1.532	1.513
0.150	1.715	1.674	1.636	1.606	1.583	1.792	1.744	1.698	1.662	1.635
0.175	1.880	1.826	1.775	1.734	1.704	1.983	1.918	1.858	1.809	1.774
0.200	2.066	1.995	1.938	1.877	1.838	2.198	2.115	2.037	1.973	1.928

A.0.4 钢管混凝土截面抗弯塑性发展系数 γ_m 应按表 A.0.4—1 和表 A.0.4—2 采用。

表 A.0.4—1 钢管混凝土截面抗弯塑性发展系数 γ_m (Q345q、Q370q)

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.050	0.955	0.911	0.867	0.827	0.796	0.984	0.940	0.895	0.855	0.824
0.075	1.127	1.082	1.034	0.992	0.960	1.158	1.112	1.064	1.022	0.989
0.100	1.254	1.207	1.159	1.115	1.082	1.285	1.238	1.189	1.146	1.112
0.125	1.354	1.306	1.257	1.213	1.179	1.386	1.338	1.288	1.244	1.210

续表 A.0.4—1

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.150	1.437	1.389	1.339	1.294	1.259	1.469	1.421	1.370	1.326	1.291
0.175	1.507	1.459	1.409	1.364	1.328	1.539	1.491	1.441	1.395	1.360
0.200	1.569	1.520	1.470	1.424	1.389	1.601	1.552	1.502	1.456	1.421

表 A.0.4—2 钢管混凝土截面抗弯塑性发展系数 γ_m (Q420q、Q500q)

α	Q420q					Q500q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.050	1.037	0.993	0.947	0.906	0.874	1.112	1.067	1.020	0.978	0.946
0.075	1.213	1.167	1.119	1.076	1.043	1.291	1.244	1.195	1.152	1.118
0.100	1.342	1.295	1.245	1.201	1.167	1.421	1.373	1.323	1.279	1.244
0.125	1.443	1.395	1.345	1.301	1.266	1.523	1.475	1.424	1.379	1.344
0.150	1.527	1.478	1.428	1.383	1.348	1.607	1.559	1.508	1.462	1.427
0.175	1.598	1.549	1.499	1.453	1.417	1.679	1.630	1.579	1.533	1.497
0.200	1.660	1.611	1.560	1.514	1.478	1.741	1.692	1.641	1.595	1.559

A.0.5 钢管混凝土压弯强度系数 ζ_0 、 η_0 、 c 宜按表 A.0.5—1 ~ 表 A.0.5—6 采用。

表 A.0.5—1 钢管混凝土压弯强度系数 ζ_0 (Q345q、Q370q)

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.050	1.301	1.340	1.386	1.433	1.474	1.278	1.314	1.356	1.399	1.437
0.075	1.189	1.213	1.242	1.272	1.297	1.174	1.197	1.224	1.251	1.274
0.100	1.136	1.153	1.174	1.195	1.213	1.125	1.141	1.161	1.180	1.197
0.125	1.105	1.119	1.135	1.151	1.165	1.097	1.109	1.124	1.139	1.152

续表 A.0.5—1

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.150	1.085	1.096	1.109	1.122	1.134	1.079	1.089	1.101	1.113	1.124
0.175	1.071	1.081	1.091	1.102	1.112	1.066	1.074	1.084	1.095	1.103
0.200	1.061	1.069	1.078	1.088	1.096	1.056	1.064	1.072	1.081	1.089

表 A.0.5—2 钢管混凝土压弯强度系数 ζ_b (Q420q、Q500q)

α	Q420q					Q500q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.050	1.240	1.271	1.308	1.345	1.378	1.197	1.222	1.252	1.283	1.309
0.075	1.151	1.170	1.193	1.217	1.237	1.123	1.139	1.158	1.177	1.194
0.100	1.108	1.122	1.139	1.156	1.170	1.089	1.100	1.114	1.127	1.139
0.125	1.084	1.095	1.107	1.120	1.132	1.069	1.077	1.088	1.099	1.108
0.150	1.068	1.077	1.087	1.098	1.107	1.056	1.063	1.071	1.080	1.087
0.175	1.057	1.064	1.073	1.082	1.089	1.047	1.053	1.060	1.067	1.073
0.200	1.049	1.055	1.063	1.070	1.077	1.040	1.045	1.051	1.057	1.063

表 A.0.5—3 钢管混凝土压弯强度系数 η_b (Q345q、Q370q)

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0.050	0.304	0.323	0.344	0.366	0.384	0.292	0.310	0.331	0.351	0.368
0.075	0.245	0.259	0.274	0.289	0.302	0.237	0.249	0.264	0.278	0.290
0.100	0.214	0.224	0.237	0.248	0.259	0.207	0.217	0.229	0.240	0.249
0.125	0.194	0.203	0.213	0.223	0.231	0.189	0.197	0.207	0.216	0.224
0.150	0.181	0.189	0.197	0.206	0.213	0.176	0.184	0.192	0.200	0.206

续表 A. 0. 5—3

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0. 175	0. 171	0. 178	0. 185	0. 193	0. 199	0. 167	0. 173	0. 180	0. 187	0. 193
0. 200	0. 164	0. 170	0. 176	0. 183	0. 189	0. 160	0. 166	0. 172	0. 178	0. 184

表 A. 0. 5—4 钢管混凝土压弯强度系数 η_0 (Q420q、Q500q)

α	Q420q					Q500q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0. 050	0. 273	0. 289	0. 307	0. 325	0. 341	0. 249	0. 263	0. 279	0. 295	0. 308
0. 075	0. 223	0. 234	0. 247	0. 260	0. 271	0. 206	0. 216	0. 227	0. 238	0. 248
0. 100	0. 197	0. 206	0. 216	0. 226	0. 234	0. 183	0. 191	0. 200	0. 209	0. 216
0. 125	0. 180	0. 187	0. 196	0. 204	0. 211	0. 169	0. 176	0. 183	0. 190	0. 196
0. 150	0. 169	0. 175	0. 182	0. 190	0. 196	0. 159	0. 165	0. 171	0. 177	0. 183
0. 175	0. 160	0. 166	0. 172	0. 179	0. 184	0. 152	0. 157	0. 162	0. 168	0. 173
0. 200	0. 154	0. 159	0. 165	0. 170	0. 175	0. 147	0. 151	0. 156	0. 161	0. 165

表 A. 0. 5—5 钢管混凝土压弯强度系数 c (Q345q、Q370q)

α	Q345q					Q370q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0. 050	1. 983	2. 107	2. 242	2. 367	2. 468	1. 902	2. 024	2. 156	2. 279	2. 377
0. 075	1. 542	1. 651	1. 769	1. 879	1. 968	1. 473	1. 578	1. 693	1. 801	1. 888
0. 100	1. 269	1. 366	1. 471	1. 570	1. 651	1. 208	1. 301	1. 404	1. 500	1. 578
0. 125	1. 080	1. 167	1. 263	1. 353	1. 427	1. 025	1. 109	1. 202	1. 289	1. 360
0. 150	0. 941	1. 020	1. 107	1. 190	1. 258	0. 891	0. 967	1. 051	1. 132	1. 197
0. 175	0. 833	0. 906	0. 987	1. 063	1. 126	0. 788	0. 857	0. 935	1. 009	1. 070
0. 200	0. 748	0. 815	0. 890	0. 961	1. 020	0. 706	0. 770	0. 842	0. 910	0. 967

表 A. 0. 5—6 钢管混凝土压弯强度系数 c (Q420q、Q500q)

α	Q420q					Q500q				
	C40	C45	C50	C55	C60	C40	C45	C50	C55	C60
0. 050	1. 761	1. 878	2. 005	2. 123	2. 218	1. 577	1. 687	1. 807	1. 918	2. 008
0. 075	1. 352	1. 452	1. 562	1. 664	1. 748	1. 196	1. 289	1. 391	1. 487	1. 565
0. 100	1. 102	1. 190	1. 286	1. 378	1. 452	0. 966	1. 047	1. 136	1. 220	1. 289
0. 125	0. 930	1. 009	1. 096	1. 178	1. 246	0. 811	0. 882	0. 961	1. 036	1. 098
0. 150	0. 806	0. 876	0. 955	1. 030	1. 092	0. 698	0. 761	0. 833	0. 901	0. 957
0. 175	0. 710	0. 774	0. 846	0. 915	0. 972	0. 612	0. 670	0. 734	0. 797	0. 848
0. 200	0. 634	0. 693	0. 760	0. 823	0. 876	0. 545	0. 597	0. 657	0. 714	0. 760

附录 B 实腹式哑铃型钢管混凝土构件纯弯强度计算

B.0.1 实腹式哑铃型截面的纯弯强度计算,宜不计受拉区混凝土作用,且构件符合平截面假定。

B.0.2 实腹式哑铃型截面(图 B.0.2—1)的纯弯强度可按下列方法计算:

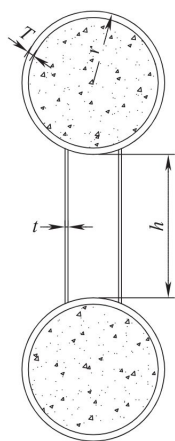


图 B.0.2—1 实腹式哑铃型截面

1 判断中性轴位置的特征值为 h_1 、 h_2 ,其值按下列公式计算:

$$h_1 = A_s / (2\xi t) - (r - 0.5T) T / t \quad (\text{B.0.2—1})$$

$$h_2 = A_s / (2\xi t) \quad (\text{B.0.2—2})$$

式中 A_s ——钢管的截面面积(m^2);
 ξ ——钢管混凝土截面套箍系数;
 t ——连接上下钢管的腹板板厚(m);
 T ——钢管的壁厚(m)。

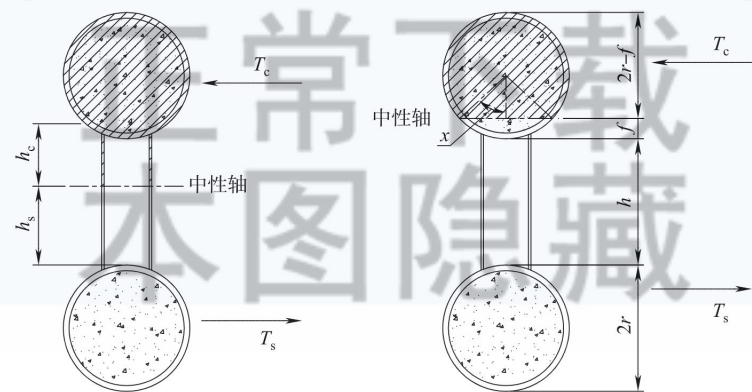
2 当 $h \geq h_2$ 时,中性轴位于腹板内[图 B.0.2—2(a)],纯弯强度按下列公式计算:

$$M_u = (r + h_c)A_c f_c + [t(h_c^2 + h_s^2) + (2r + h)A_s]f_s \tag{B.0.2—3}$$

$$h_c = 0.5h - A_s / (4\xi t) \tag{B.0.2—4}$$

$$h_s = 0.5h + A_s / (4\xi t) \tag{B.0.2—5}$$

式中 M_u ——纯弯强度(MN·m);
 f_s ——钢材屈服强度(MPa);
 f_c ——混凝土轴心抗压极限强度(MPa);
 h_c ——中性轴与受压钢管净距(m);
 h_s ——中性轴与受拉钢管净距(m);
 A_c ——钢管内混凝土的截面面积(m²);
 h ——上下钢管间的净距(m);
 r ——钢管半径(m)。



(a) 中性轴位于腹板内 (b) 中性轴位于钢管内

图 B.0.2—2 中性轴位置示意图

T_c —受压部分的压力; T_s —受拉部分的拉力

3 当 $h < h_2$ 时, 中性轴位于钢管内[图 B. 0. 2—2(b)], 纯弯强度按下列公式计算:

$$M_u = A_s(r+h+f)f_s + 2ht(0.5h+f)f_s + 2x(r-0.5T)Ty_3f_s + 2(\pi-x)(r-0.5T)Ty_4f_s + (A_c-A_f)y_2f_c \quad (\text{B. 0. 2—6})$$

$$A_f = 0.5(r-T)^2[2x - \sin(2x)] \quad (\text{B. 0. 2—7})$$

$$y_1 = (r-T)\left(\frac{4}{3}\frac{\sin^3 x}{2x - \sin(2x)} - \cos x\right) \quad (\text{B. 0. 2—8})$$

$$y_2 = \frac{A_c(r-f) - A_f y_1}{A_c - A_f} \quad (\text{B. 0. 2—9})$$

$$y_3 = (r-0.5T)\left(\frac{\sin x}{x} - \cos x\right) \quad (\text{B. 0. 2—10})$$

$$y_4 = \frac{A_s(r-f) - 2x(r-0.5T)Ty_3}{2(\pi-x)(r-0.5T)T} \quad (\text{B. 0. 2—11})$$

式中 f ——中性轴与钢管受拉边缘的距离(m);

x ——受拉圆弧半角(rad);

A_f ——钢管内受拉部分混凝土的面积(m^2)。

受拉圆弧半角 x 通过下式求解:

$$A + Bx = \sin(2x) \quad (\text{B. 0. 2—12})$$

$$A = \frac{4htf_s - 2A_c f_c}{(r-T)^2 f_c} \quad (\text{B. 0. 2—13})$$

$$B = \frac{8T(r-0.5T)f_s + 2(r-T)^2 f_c}{(r-T)^2 f_c} \quad (\text{B. 0. 2—14})$$

当 $h < h_2$ 且 $h > h_1$ 时, 可采用以下近似公式计算受拉圆弧半角 x :

$$x = \frac{4htf_s - 2A_c f_c}{-8T(r-0.5T)f_s} \quad (\text{B. 0. 2—15})$$

B. 0. 3 铁路桥梁常用实腹式哑铃型钢管混凝土构件的纯弯强度可按表 B. 0. 3—1 ~ 表 B. 0. 3—9 采用。

表 B.0.3—1 D800 哑铃型截面钢管混凝土构件纯弯强度 M_u (腹板厚 16 mm)

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
0.8	40	61.66	65.75	73.93	86.98
	36	56.73	60.48	67.93	79.82
	32	51.75	55.13	61.87	72.59
	28	46.68	49.72	55.73	65.27
	24	41.54	44.22	49.51	57.87
	20	36.28	38.63	43.22	50.39
	16	30.28	31.98	34.38	41.32
1.0	36	64.74	69.04	77.62	91.28
	32	59.14	63.03	70.79	83.14
	28	53.48	56.96	63.88	74.91
	24	47.74	50.81	56.90	66.59
	20	41.92	44.58	49.84	58.18
	16	36.00	38.75	43.50	50.00
	12	30.00	31.25	35.00	40.00
1.2	40	79.30	84.65	95.24	112.00
	36	73.15	78.04	87.76	103.07
	32	66.92	71.56	80.17	94.05
	28	60.63	64.60	72.50	84.92
	24	54.27	57.77	64.75	75.69
	20	47.83	50.87	56.91	66.36
	16	41.40	43.50	48.75	56.25
1.4	40	88.69	94.62	106.37	124.99
	36	81.93	87.37	98.15	115.19
	32	75.09	80.04	89.82	105.27
	28	68.17	72.62	81.41	95.25
	24	61.17	65.12	72.90	85.11
	20	54.09	57.54	64.29	74.86
	16	47.00	49.00	54.00	62.50

续表 B.0.3—1

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度(MN·m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1.6	40	98.30	104.82	117.78	138.31
	36	90.94	96.93	108.82	127.62
	32	83.50	88.95	99.75	116.82
	28	75.97	80.88	90.58	105.89
	24	68.35	72.71	81.32	94.85
	20	60.65	64.46	71.94	83.68

注:管内混凝土为 C50。

表 B.0.3—2 D800 哑铃型截面钢管混凝土构件纯弯强度 M_u (腹板厚 20 mm)

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度(MN·m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
0.8	40	62.58	66.73	75.01	88.19
	36	57.68	61.46	69.02	81.05
	32	52.71	56.14	62.96	73.83
	28	47.69	50.75	56.84	66.53
	24	42.60	45.30	50.64	59.14
	20	37.43	39.77	44.38	51.68
1.0	40	71.66	76.44	85.91	100.90
	36	66.14	70.51	79.18	92.89
	32	60.55	64.52	72.37	84.78
	28	54.90	58.45	65.49	76.57
	24	49.18	52.32	58.53	68.28
	20	43.41	46.12	51.49	59.90
1.2	40	81.14	86.50	97.14	114.02
	36	75.01	79.93	89.68	105.12
	32	68.81	73.28	82.13	96.12
	28	62.55	66.56	74.50	87.02
	24	56.21	59.76	66.78	77.82
	20	49.80	52.89	58.98	68.52

续表 B.0.3—2

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1.4	40	90.88	96.85	108.71	127.53
	36	84.16	89.64	100.52	117.76
	32	77.36	82.35	92.23	107.87
	28	70.48	74.97	83.84	97.87
	24	63.53	67.51	75.37	87.76
	20	56.49	59.95	66.80	77.54
1.6	40	100.91	107.50	120.62	141.45
	36	93.59	99.63	111.69	130.79
	32	86.18	91.79	102.66	120.01
	28	78.69	83.64	93.52	109.12
	24	71.12	75.54	84.29	98.10
	20	63.46	67.33	74.95	86.96

注:管内混凝土为 C50。

表 B.0.3—3 D800 哑铃型截面钢管混凝土构件纯弯强度 M_u (腹板厚 24 mm)

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
0.8	40	63.47	67.67	76.01	89.22
	36	58.57	62.41	70.63	82.10
	32	53.62	57.09	63.99	74.89
	28	48.61	51.71	57.88	67.61
	24	43.54	46.27	51.70	60.24
	20	38.42	40.77	45.45	52.80
1.0	40	72.92	77.70	87.21	102.29
	36	67.41	71.80	80.50	94.29
	32	61.85	65.83	73.72	86.20
	28	56.22	59.79	66.86	78.02
	24	50.52	53.68	59.92	69.74
	20	44.77	47.51	52.90	61.38

续表 B. 0. 3—3

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1. 2	40	82. 69	88. 09	98. 81	115. 85
	36	76. 59	81. 54	91. 37	106. 97
	32	70. 42	74. 92	83. 85	97. 98
	28	64. 18	68. 22	76. 23	88. 90
	24	57. 87	61. 45	68. 54	79. 72
	20	51. 49	54. 61	60. 76	70. 44
1. 4	40	92. 80	98. 83	110. 82	129. 88
	36	86. 10	91. 64	102. 65	120. 12
	32	79. 33	84. 37	94. 38	110. 25
	28	72. 48	77. 01	86. 02	100. 27
	24	65. 55	69. 58	77. 56	90. 18
	20	58. 54	62. 06	69. 02	79. 98
1. 6	40	103. 23	109. 92	123. 23	144. 39
	36	95. 94	102. 09	114. 32	133. 76
	32	88. 56	94. 17	105. 31	123. 00
	28	81. 10	86. 16	96. 20	112. 12
	24	73. 56	78. 06	86. 99	101. 12
	20	65. 93	69. 87	77. 68	90. 00

注:管内混凝土为 C50。

表 B. 0. 3—4 D1000 哑铃型截面钢管混凝土构件纯弯强度 M_u (腹板厚 16 mm)

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1. 0	44	107. 28	114. 40	128. 55	151. 06
	40	99. 42	105. 99	119. 03	139. 73
	36	91. 45	97. 48	109. 41	128. 29
	32	83. 35	88. 84	99. 68	116. 75
	28	75. 10	80. 07	89. 82	105. 09
	24	66. 66	71. 12	79. 81	93. 30

续表 B.0.3—4

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1.2	44	119.01	126.92	142.69	167.82
	40	110.40	117.70	132.23	155.35
	36	101.69	108.38	121.67	142.77
	32	92.86	98.95	111.00	130.08
	28	83.90	89.40	100.22	117.27
	24	74.78	79.70	89.32	104.35
1.4	44	131.10	139.85	157.31	185.20
	40	121.73	129.81	145.90	171.58
	36	112.26	119.66	134.38	157.84
	32	102.69	109.42	122.76	143.98
	28	93.00	99.06	111.03	130.00
	24	83.18	88.58	99.19	115.91
1.6	44	143.89	153.22	172.45	203.00
	40	133.44	142.33	160.07	188.27
	36	123.20	131.35	147.59	173.41
	32	112.86	120.26	134.99	158.41
	28	102.42	109.08	122.29	143.28
	24	91.85	97.78	109.48	128.02
1.8	44	156.48	167.03	188.02	221.12
	40	145.55	155.30	174.71	205.28
	36	134.52	143.46	161.27	189.30
	32	123.40	131.52	147.72	173.17
	28	112.17	119.48	134.04	156.90
	24	100.84	107.33	120.23	140.48

注:管内混凝土为 C50。

表 B.0.3—5 D1000 哑铃型截面钢管混凝土构件纯弯强度 M_u (腹板厚 20 mm)

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度(MN·m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1.0	44	108.87	116.04	130.32	153.09
	40	101.07	107.68	120.83	141.77
	36	93.17	99.23	111.25	130.35
	32	85.17	90.68	101.58	118.83
	28	77.05	82.03	91.81	107.21
	24	68.78	73.24	81.92	95.49
1.2	44	121.13	129.15	145.14	170.65
	40	112.57	119.96	134.70	158.20
	36	103.92	110.69	124.16	145.64
	32	95.18	101.33	113.53	132.96
	28	86.34	91.87	102.81	120.17
	24	77.38	82.30	91.98	107.27
1.4	44	133.88	142.79	160.57	188.65
	40	124.54	132.76	149.18	175.09
	36	115.11	122.65	137.68	161.40
	32	105.60	112.44	126.08	147.60
	28	95.99	102.14	114.37	133.67
	24	86.29	91.75	102.56	119.61
1.6	44	147.14	156.96	176.38	207.06
	40	137.01	146.10	164.06	192.38
	36	126.79	135.14	151.62	177.57
	32	116.48	124.08	139.08	162.63
	28	106.08	112.92	126.42	147.56
	24	95.59	101.66	113.65	132.36

续表 B.0.3—5

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1.8	44	160.79	171.44	192.52	225.86
	40	149.91	159.77	179.27	210.07
	36	138.92	147.99	165.90	194.14
	32	127.83	136.10	152.41	178.07
	28	116.64	124.11	138.80	161.86
	24	105.35	112.00	125.07	145.50

注:管内混凝土为 C50。

表 B.0.3—6 D1000 矩形截面钢管混凝土构件纯弯强度 M_u (腹板厚 24 mm)

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1.0	44	110.36	117.59	132.03	155.04
	40	102.59	109.26	122.55	143.74
	36	94.74	100.84	112.99	132.34
	32	86.81	92.35	103.34	120.83
	28	78.78	83.77	93.61	109.22
	24	70.64	75.08	83.79	97.51
1.2	44	123.16	131.30	147.60	173.09
	40	114.62	122.12	137.07	160.67
	36	105.99	112.86	126.55	148.14
	32	97.29	103.62	115.34	135.51
	28	88.51	94.10	105.24	122.76
	24	79.64	84.60	94.43	109.89
1.4	44	136.56	145.57	163.41	191.61
	40	127.24	135.57	152.05	178.08
	36	117.83	125.48	140.60	164.43
	32	108.33	115.30	129.04	150.66
	28	98.75	105.03	117.38	136.77
	24	89.08	94.66	105.62	122.76

续表 B. 0. 3—6

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1. 6	44	150. 35	160. 20	179. 72	210. 61
	40	140. 27	149. 39	167. 44	195. 97
	36	130. 10	138. 48	155. 05	181. 20
	32	119. 83	127. 47	142. 55	166. 30
	28	109. 47	116. 36	129. 93	151. 27
	24	99. 02	105. 15	117. 21	136. 10
1. 8	44	164. 48	175. 19	196. 43	230. 10
	40	153. 64	163. 56	183. 23	214. 34
	36	142. 70	151. 83	169. 90	198. 45
	32	131. 67	139. 99	156. 45	182. 42
	28	120. 53	128. 05	142. 89	166. 24
	24	109. 30	116. 00	129. 20	149. 92

注:管内混凝土为 C50。

表 B. 0. 3—7 D1200 哑铃型截面钢管混凝土构件纯弯强度 M_u (腹板厚 16 mm)

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1. 2	48	169. 76	181. 07	203. 48	239. 02
	44	158. 20	168. 74	189. 58	222. 52
	40	146. 48	156. 25	175. 52	205. 89
	36	134. 56	143. 58	161. 30	189. 10
	32	122. 40	130. 68	146. 88	172. 14
	28	109. 95	117. 50	132. 22	154. 99
1. 4	48	185. 00	197. 33	221. 80	260. 67
	44	172. 56	184. 04	206. 78	242. 81
	40	159. 96	170. 60	191. 62	224. 82
	36	147. 18	156. 99	176. 30	206. 68
	32	134. 19	143. 18	160. 80	188. 38
	28	120. 93	129. 12	145. 10	169. 90

续表 B.0.3—7

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1.6	48	200.60	213.98	240.57	282.90
	44	187.26	199.71	224.43	263.67
	40	173.78	185.31	208.14	244.30
	36	160.13	170.75	191.71	224.79
	32	146.28	156.00	175.11	205.12
	28	132.90	141.04	158.33	185.29
1.8	48	216.55	231.03	259.83	305.73
	44	202.32	215.78	242.54	285.13
	40	187.94	200.40	225.11	264.37
	36	173.40	184.87	207.54	243.45
	32	158.68	169.17	189.82	222.39
	28	143.75	153.27	171.93	201.17
2.0	48	232.90	248.50	279.58	329.19
	44	217.74	232.25	261.13	307.19
	40	202.45	215.87	242.55	285.03
	36	187.01	199.35	223.83	262.72
	32	171.40	182.68	204.95	240.24
	28	155.60	165.83	185.94	217.61

注:管内混凝土为 C50。

表 B.0.3—8 101210 哑铃型截面钢管混凝土构件纯弯强度 M_u (腹板厚 20 mm)

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1.2	48	172.29	183.65	206.21	242.05
	44	160.84	171.43	192.39	225.60
	40	149.26	159.06	178.43	209.03
	36	137.51	146.55	164.34	192.32
	32	125.56	133.85	150.09	175.47
	28	113.37	120.93	135.65	158.47

续表 B. 0. 3—8

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1. 4	48	188. 18	200. 61	225. 32	264. 67
	44	175. 85	187. 41	210. 36	246. 84
	40	163. 38	174. 09	195. 28	228. 89
	36	150. 77	160. 63	180. 08	210. 80
	32	137. 99	147. 01	164. 73	192. 57
	28	125. 01	133. 21	149. 23	174. 21
1. 6	48	204. 52	218. 05	245. 02	288. 05
	44	191. 28	203. 87	228. 91	268. 83
	40	177. 92	189. 56	212. 69	249. 48
	36	164. 42	175. 13	196. 34	229. 99
	32	150. 78	160. 56	179. 86	210. 36
	28	136. 96	145. 84	163. 24	190. 59
1. 8	48	221. 32	236. 01	265. 34	312. 02
	44	207. 15	220. 83	248. 08	291. 46
	40	192. 88	205. 52	230. 68	270. 75
	36	178. 47	190. 09	213. 17	249. 87
	32	163. 94	174. 54	195. 52	228. 85
	28	149. 25	158. 84	177. 75	207. 67
2. 0	48	238. 61	254. 52	286. 28	336. 40
	44	223. 50	238. 31	267. 87	314. 49
	40	208. 29	221. 98	249. 31	292. 42
	36	192. 95	205. 54	230. 62	270. 19
	32	177. 49	188. 97	211. 79	247. 79
	28	161. 90	172. 27	192. 82	225. 22

注:管内混凝土为 C50。

表 B.0.3—9 D1200 哑铃型截面钢管混凝土构件纯弯强度 M_u (腹板厚 24 mm)

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度(MN·m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
1.2	48	174.64	186.07	208.80	244.98
	44	163.28	173.92	195.01	228.55
	40	151.80	161.64	181.12	212.00
	36	140.19	149.25	167.11	195.32
	32	128.41	136.71	152.98	178.53
	28	116.45	123.99	138.70	161.60
1.4	48	191.15	203.70	228.69	268.57
	44	178.89	190.56	213.76	250.76
	40	166.52	177.30	198.72	232.82
	36	154.03	163.94	183.57	214.75
	32	141.41	150.46	168.30	196.54
	28	128.63	136.83	152.90	178.20
1.6	48	208.21	221.94	249.34	292.75
	44	195.03	207.79	233.24	273.59
	40	181.73	193.53	217.03	254.30
	36	168.33	179.16	200.71	234.86
	32	154.82	164.69	184.26	215.27
	28	141.17	150.09	167.70	195.55
1.8	48	225.86	240.84	270.56	317.41
	44	211.73	225.66	253.35	296.91
	40	197.49	210.38	236.00	276.25
	36	183.15	194.98	218.52	255.45
	32	168.70	179.48	200.91	234.49
	28	154.13	163.86	183.18	213.38

续表 B.0.3—9

钢管净距 h (m)	钢管壁厚 T (mm)	不同钢材的纯弯强度 (MN · m)			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
2.0	48	244.13	260.27	292.19	342.54
	44	229.05	244.11	273.85	320.70
	40	213.85	227.83	255.37	298.69
	36	198.54	211.42	236.76	276.52
	32	183.12	194.88	218.00	254.19
	28	167.60	178.23	199.11	231.69

注:管内混凝土为 C50。

附录 C 疲劳计算的应力集中系数

C.0.1 钢管母材、纵向对接焊缝位置、用熔透焊缝焊接的竖向加劲肋的焊缝端部分别对应表 8.1.2 的类别 1、2、14,应力集中系数 $\gamma_{sc}=1.0$ 。

C.0.2 角焊缝焊接的竖向加劲肋的焊缝端部对应表 8.1.2 的类别 15,应力集中系数 $\gamma_{sc}=1.27$ 。

C.0.3 附属构件与管件之间的焊接位置对应表 8.1.2 的类别 13,应力集中系数 $\gamma_{sc}=1.43$ 。

C.0.4 管管对接焊缝(图 C.0.4)对应表 8.1.2 的类别 3~7,应力集中系数 γ_{sc} 应按式(C.0.4—1)计算。

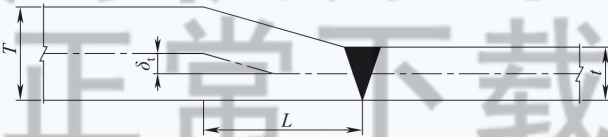


图 C.0.4 不等厚钢管对接焊缝

$$\gamma_{sc}=1+\frac{6(\beta_1+2-0.1\beta)\cdot\exp(-\alpha)}{1+\left[1+\left(\frac{L}{t}\right)^\beta\right]} \quad (\text{C.0.4—1})$$

$$\alpha=\frac{1.82L}{\sqrt{Dt}}\cdot\frac{1}{1+\left(\frac{T}{t}\right)^\beta} \quad (\text{C.0.4—2})$$

$$\beta=1.5-\frac{1.0}{\lg\left(\frac{D}{t}\right)}+\frac{3.0}{\left[\lg\left(\frac{D}{t}\right)\right]^2} \quad (\text{C.0.4—3})$$

式中 T,t ——钢管壁厚(mm)；

D ——钢管直径(mm)；

L ——斜坡过渡的长度(mm)。

C.0.5 锥形过渡段对接焊缝(图 C.0.5)对应表 8.1.2 的类别 8~12,应力集中系数 γ_{sc} 应按式(C.0.5—1)和式(C.0.5—2)计算。

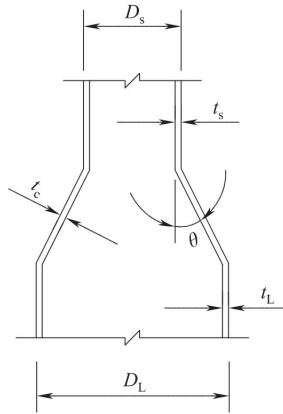


图 C.0.5 锥形钢管过渡对接焊缝

$$\text{圆管侧 } \gamma_{sc} = 1 + \frac{0.6t\sqrt{D_j(t+t_c)}}{t^2} \cdot \tan \theta \quad (\text{C.0.5—1})$$

$$\text{锥体侧 } \gamma_{sc} = 1 + \frac{0.6t\sqrt{D_j(t+t_c)}}{t_c^2} \cdot \tan \theta \quad (\text{C.0.5—2})$$

式中 D_j ——连接处的圆管直径,图 C.0.5 中的 D_s 、 D_L ；

t ——钢管壁厚,图 C.0.5 中的 t_s 、 t_L ；

t_c ——锥体壁厚；

θ ——锥体倾斜角。

C.0.6 钢管内采用加劲圆环对应表 8.1.2 的类别 16,应力集中系数 γ_{sc} 应按式(C.0.6—1)计算。

$$\gamma_{sc} = 1 + \frac{0.54}{\alpha} \quad (\text{C. 0. 6—1})$$

$$\alpha = 1 + \frac{1.56t \sqrt{rt}}{A_r} \quad (\text{C. 0. 6—2})$$

式中 A_r ——不计圆管本身的加劲隔板面积；

r ——圆管半径；

t ——圆管壁厚。

C. 0. 7 带加劲环的锥形过渡段连接处(图 C. 0. 7)对应表 8. 1. 2 的类别 17, 应力集中系数 γ_{sc} 应按式(C. 0. 7—1) ~ 式(C. 0. 7—3) 计算。

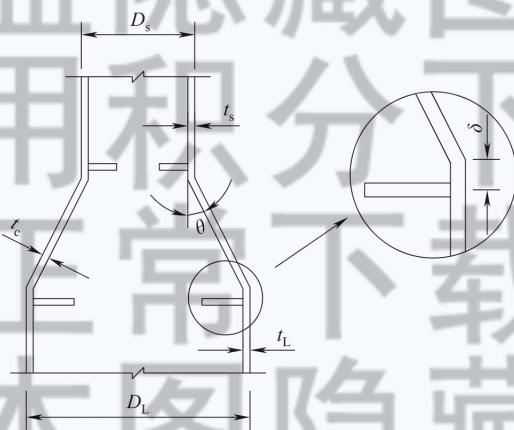


图 C. 0. 7 带加劲环的锥形过渡段连接

$$\text{较小直径端} \quad \gamma_{sc} = 1 + \left(0.54 + \frac{0.91D_i t}{A_r} \cdot \tan \theta \right) \cdot \frac{1}{\beta} \quad (\text{C. 0. 7—1})$$

$$\text{较大直径端} \quad \gamma_{sc} = 1 + \left(0.54 - \frac{0.91D_i t}{A_r} \cdot \tan \theta \right) \cdot \frac{1}{\beta} \quad (\text{C. 0. 7—2})$$

$$\beta = 1 + \frac{1.10t\sqrt{D_j t}}{A_r} \quad (\text{C. 0. 7—3})$$

式中 A_r ——不计圆管本身的加劲隔板面积。

如果加劲环设置在距相贯线 δ 处,尚应计入由于该偏心所造成的附加应力集中系数,并按下式计算:

$$\gamma_{sc} = 1 + 3 \frac{\delta}{t} \cdot \tan \theta \quad (\text{C. 0. 7—4})$$

C. 0. 8 板管连接对应表 8. 2. 2 的类别 1、2,应力集中系数 γ_{sc} 应取 1. 25。

C. 0. 9 T、Y 形管管连接(图 C. 0. 9)对应表 8. 3. 2 的类别 1,应力集中系数 γ_{sc} 应按式(C. 0. 9—1)~式(C. 0. 9—4)计算。

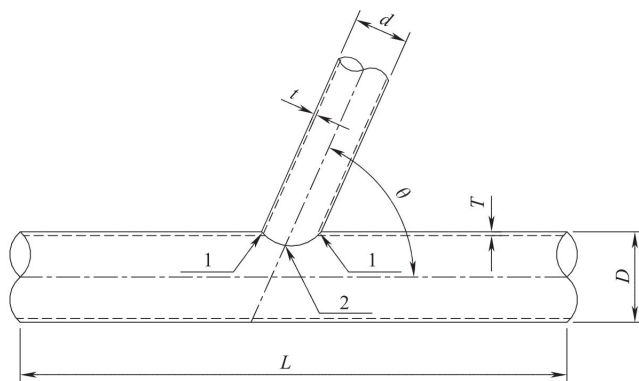


图 C. 0. 9 T、Y 形管管节点

1—冠点; 2—鞍点

$$\begin{aligned} \text{弦杆鞍点 } \gamma_{sc} = & \gamma \tau^{1.1} [1.11 - 3(\beta - 0.52)^2] (\sin \theta)^{1.6} + \\ & C_1 (0.8\alpha - 6) \tau \beta^2 (1 - \beta^2)^{0.5} (\sin 2\theta)^2 \end{aligned} \quad (\text{C. 0. 9—1})$$

$$\begin{aligned} \text{弦杆冠点 } \gamma_{sc} = & \gamma^{0.2} \tau [2.65 + 5(\beta - 0.65)^2] + \tau \beta (C_2 \alpha - 3) \sin \theta \end{aligned} \quad (\text{C. 0. 9—2})$$

$$\text{腹杆鞍点 } \gamma_{sc} = 1.3 + \gamma \tau^{0.52} \alpha^{0.1} [0.187 - 1.25\beta^{1.1}(\beta - 0.96)^2] (\sin \theta)^{(2.7-0.01\alpha)} \quad (\text{C. 0. 9—3})$$

$$\text{腹杆冠点 } \gamma_{sc} = 3 + \gamma^{1.2} [0.12e^{(-4\beta)} + 0.011\beta^2 - 0.045] + \beta \tau (C_3 \alpha - 1.2) \quad (\text{C. 0. 9—4})$$

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (\text{C. 0. 9—5})$$

$$\alpha = \frac{2L}{D} \quad (\text{C. 0. 9—6})$$

$$\gamma = \frac{D}{2T} \quad (\text{C. 0. 9—7})$$

$$\tau = \frac{\rho}{T} \quad (\text{C. 0. 9—8})$$

$$C_1 = 2(C - 0.5) \quad (\text{C. 0. 9—9})$$

$$C_2 = C/2 \quad (\text{C. 0. 9—10})$$

$$C_3 = C/5 \quad (\text{C. 0. 9—11})$$

式中 L ——钢管节段长度,可取左右节间长度之和的一半;

C ——杆端约束参数,可取 0.7。

C. 0. 10 K、N 形管管连接(图 C. 0. 10)对应表 8. 3. 2 的类别 2,应力集中系数 γ_{sc} 应按式(C. 0. 10—1)和式(C. 0. 10—2)计算。

弦杆

$$\gamma_{scx} = \tau^{0.9} \gamma^{0.5} (0.67 - \beta^2 + 1.16\beta) \sin \theta \left(\frac{\sin \theta_{\max}}{\sin \theta_{\min}} \right)^{0.30} \left(\frac{\beta_{\max}}{\beta_{\min}} \right)^{0.30} [1.64 + 0.29\beta^{-0.38} \arctan(8\beta)] \quad (\text{C. 0. 10—1})$$

腹杆

$$\gamma_{sc} = 1 + (1.97 - 1.57\beta^{0.25}) \tau^{-0.14} (\sin \theta)^{0.7} \gamma_{scx} \quad (\text{C. 0. 10—2})$$

$$\beta_A = \frac{d_A}{D}$$

$$\beta_B = \frac{d_B}{D}$$

$$\tau_A = \frac{t_A}{T}$$

$$\tau_B = \frac{t_B}{T}$$

$$\gamma = \frac{D}{2T}$$

$$\zeta = \frac{g}{D}$$

τ, β, θ 与被考虑的腹杆相关, \arctan 的单位为弧度。

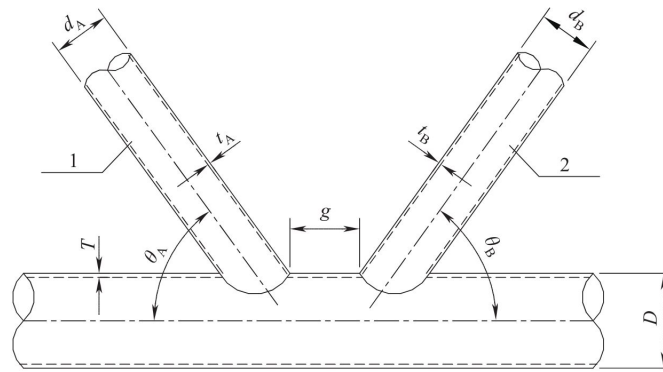


图 C. 0. 10 K、N 形管管节点

1—腹杆 A; 2—腹杆 B

C. 0. 11 对于弦杆内填充混凝土的节点构造, 在计算腹杆及弦杆的鞍点应力集中系数时, 弦杆壁厚应采用等效弦杆壁厚, 并按下式计算:

$$T_e = (5D + 134T)/144 \quad (\text{C. 0. 11})$$

式中 D ——弦杆直径;

T ——弦杆壁厚。

本规范用词说明

执行本规范条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

(1)表示很严格,非这样做不可的用词。

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况下均应这样做的用词。

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用词。

正面词采用“宜”;

反面词采用“不宜”。

(4)表示允许有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。