

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 1576—2022

矩形钢管混凝土组合桁梁桥技术规范

**Technical code for composite truss bridges with concrete-filled rectangular steel
tubular members**

2 0 2 2 - 0 6 - 2 7 发 布

2022-07-27实施

陕西省市场监督管理局 发 布

目 次

前 言 II

1 范 围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 总则 4

5 材料 4

6 计算要求 5

7 承载能力极限状态计算 8

8 正常使用极限状态计算 24

9 结构构造 26

10 施工 32

11 检验验收 35

附录A（规范性） 轴心受压构件的稳定系数 36

附录B（规范性） 矩形钢管和矩形钢管混凝土节点刚度 37

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。

本文件由陕西省交通运输厅提出。

本文件由陕西省交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：长安大学、中交第二公路工程局有限公司、西安市政设计研究院有限公司、中国市政工程西北设计研究院有限公司、西安长安大学工程设计研究院有限公司、中建科工集团有限公司。

本文件主要起草人：刘永健、姜磊、赵桢远、刘彬、霰建平、闫标、刘江、龙刚、高中俊、王社平、蒲北辰、孟俊苗、段海、周玉利、亓建国、马印平、肖军、葛国库、赵亚东、赵鑫东、傅一晟。

本文件由长安大学负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：长安大学

电话：029-82334577

地址：西安市碑林区南二环中段

邮编：710064

矩形钢管混凝土组合桁梁桥技术规范

1 范围

本文件规定了矩形钢管混凝土组合桁梁桥的总则、材料、计算要求、承载能力极限状态计算、正常使用极限状态计算、结构构造、施工的要求，描述了检验验收的方法。

本文件适用于公路桥梁，城市桥梁可参照使用。

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 700 碳素结构钢
- GB/T 1228 钢结构用高强度大六角头螺栓
- GB/T 1229 钢结构用高强度大六角头螺母
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 3323.1 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 3323.2 焊缝无损检测射线检测第2部分：使用数字化探测器的X和伽玛射线技术
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5118 热强钢焊条
- GB/T 5313 厚度方向性能钢
- GB/T 5780 六角头螺栓—C级
- GB/T 5782 六角头螺栓
- GB/T 8110 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
- GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
- GB/T 11345 焊缝无损检测超声波检测技术、检测等级和评定
- GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50661 钢结构焊接规范
- JGJ/T 178 补偿收缩混凝土应用技术规程
- JGJ/T 283 自密实混凝土应用技术规程
- JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
- JTG/T-2231-01 公路桥梁抗震设计规范
- JTG/T 3360-01 公路桥梁抗风设计规范
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范
- JTG/T D64-01 公路钢混组合桥梁设计与施工规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准第一册土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

矩形钢管混凝土构件 concrete-filled rectangular steel tubular members

在矩形钢管内浇筑混凝土并由钢管和管内混凝土共同承担荷载的构件。

3.2

矩形钢管混凝土桁架 truss with concrete-filled rectangular steel tubular members

上、下弦杆长度方向全部或部分灌注混凝土的矩形钢管桁架。

3.3

矩形钢管混凝土组合桁梁桥 composite truss bridge with concrete-filled rectangular steel tubular members

矩形钢管混凝土桁架与混凝土板形成的组合结构桥梁。

3.4

平面钢管节点 plane steel tubular joints

所有腹杆与弦杆在同一平面内相互连接的节点。

3.5

空间钢管节点 spatial steel tubular joints

在不同平面内的腹杆与弦杆相连接而形成的管节点。

3.6

加劲型钢管节点 stiffened steel tubular joints

用局部增加壁厚、设置加劲肋等方法加强的管节点。

3.7

开孔钢板连接件 (Perfobondribs, 简称PBL加劲肋) 加劲型矩形钢管混凝土结构 rectangular concrete-filled steel tubular structures stiffened with PBL

在矩形钢管内壁设置纵向通长PBL加劲肋, 并灌注混凝土的结构。

3.8

自密实补偿收缩混凝土 shrinkage-compensating & self-compacting concrete

具有高流动度、不离析、均匀和稳定等特性, 浇筑时依靠其自重流动, 无须振捣而达到密实, 硬化时依靠膨胀剂及反应水作用, 使混凝土微量膨胀而补偿收缩的混凝土。

[来源: JTG/T D65-06-2015, 2.1.3]

3.9

微膨胀混凝土 micro expansion concrete

在普通的混凝土中添加一定的膨胀剂，使混凝土在水化期间能够依靠膨胀剂的作用而发生一定的膨胀，从而弥补混凝土的收缩，达到防治混凝土裂缝，提高混凝土性能的目的。

3.10**组合弹性轴压模量** composite compressive modulus of elasticity

钢管混凝土构件组合截面在轴心受压且其纵向名义应力与应变呈线性关系时，名义压应力与压应变的比值。

[来源：JTG/T D65-06-2015, 2.1.4]

3.11**组合弹性剪切模量** composite shear modulus of elasticity

钢管混凝土构件组合截面在受纯剪且其切向名义应力与应变呈线性关系时，名义剪应力与剪应变的比值。

[来源：JTG/T D65-06-2015, 2.1.5]

3.12**约束效应系数标准值** characteristic value of confinement coefficient

反映钢管混凝土组合截面的几何特征和组成材料的物理特性的综合参数标准值。

[来源：JTG/T D65-06-2015, 2.1.6]

3.13**约束效应系数设计值** design value of confinement coefficient

反映钢管混凝土组合截面的几何特征和组成材料的物理特性的综合参数设计值。

[来源：JTG/T D65-06-2015, 2.1.7]

3.14**脱空率** de-fill rate

脱空截面积与钢管混凝土组合截面积的比值。

[来源：JTG/T D65-06-2015, 2.1.9]

3.15**完整性设计** integrity design

在钢管结构材料、荷载、构造、制造、安装、维护等环节设计时，既规定构件的强度和刚度要求，又规定构件损伤容限和抗断裂要求，以保证达到结构的设计使用目标，具有系统性、整体性和综合性特点的设计。

[来源：JTG/T D65-06-2015, 2.1.17]

3.16**混凝土工作承担系数** percentage of load-carrying capacity shared by concrete

在矩形钢管混凝土轴心受压构件中，管内混凝土的抗压承载力占全部截面承载力的比例。

[来源：CECS 159-2004, 2.1.5, 修改]

3.17

效率系数 efficiency coefficient

荷载作用下杆件内力与杆件发生强度破坏时承载力的比值。

4 总则

- 4.1 采用以概率理论为基础的极限状态法设计，并进行承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。
- 4.2 根据不同种类的作用(或荷载)及其对桥梁的影响、桥梁所处的环境条件，考虑持久状况、短暂状况、偶然状况和地震状况设计。
- 4.3 矩形钢管混凝土组合桁梁桥中的钢结构构造细节应满足完整性设计的要求。
- 4.4 设计文件中应制定指导性的施工方案。
- 4.5 构件承载力计算时应计入钢管初应力和混凝土脱空的影响。
- 4.6 矩形钢管混凝土组合桁梁桥的设计与施工除应符合本文件外，尚应符合国家有关标准的规定。

5 材料

5.1 钢材

- 5.1.1 应符合GB 50017、GB/T 700 和 GB/T 1591的规定。
- 5.1.2 当钢管有防止层状撕裂的要求时，其材质应符合GB/T 5313的规定。
- 5.1.3 矩形钢管宜采用焊接直缝钢管或无缝钢管，当截面尺寸较大时，应采用四块板焊接形成的矩形钢管。
- 5.1.4 结构中钢筋混凝土构件的钢筋应符合 JTG 3362的规定。
- 5.1.5 结构中预应力钢筋混凝土构件的预应力钢筋应符合 JTG 3362的规定。

5.2 连接材料

- 5.2.1 用于矩形钢管混凝土构件的焊接材料应符合下列要求：
 - a) 手工焊接用的焊条，应符合GB/T 5117 或GB/T 5118的规定。焊条型号应与被焊钢材的力学性能相适应；
 - b) 自动或半自动焊接用的焊丝与焊剂应与被焊钢材相适应，并应符合GB/T 14957 的规定；
 - c) 二氧化碳气体保护焊接用的钢丝，应符合 GB/T 8110的规定；
 - d) 当两种不同钢材焊接时，应采用与强度较低的一种钢材相适用的焊条或焊丝。
- 5.2.2 用于矩形钢管混凝土构件的连接紧固件应符合下列要求：
 - a) 普通螺栓应符合GB/T 5780和 GB/T 5782的规定；
 - b) 高强度螺栓应符合GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231 或 GB/T 3632、GB/T 3633 的规定，其预应力和摩擦面的抗滑移系数应按GB/T 50017 选用；
 - c) 焊钉应符合GB/T 10433的规定，焊钉的钢材屈服强度不应低于235N/mm²。

5.3 管内混凝土

- 5.3.1 钢管内灌注的混凝土应采用自密实补偿收缩混凝土。
- 5.3.2 钢管与混凝土标号匹配符合下列要求：
 - a) Q235 受压钢管，宜配C40 级混凝土；
 - b) Q355 受压钢管，宜配不低于 C40 级的混凝土；

c) Q390、Q420 受压钢管，宜配不低于C50 级的混凝土。

5.3.3 自密实补偿收缩混凝土性能指标应符合JGJT 178的规定。

5.4 结构中非钢管内的普通混凝土材料应符合JTG 3362 的规定。

5.5 结构中的涂装材料应符合JT/T 722的规定。

6 计算要求

6.1 验算

6.1.1 弦杆、腹杆和桥面板应进行强度、刚度和稳定性验算。

6.1.2 节点应进行强度和疲劳验算。

6.1.3 矩形钢管混凝土桥墩(柱)应进行强度、刚度和稳定性验算。

6.1.4 施工过程应进行强度、刚度和稳定性验算；并对主桁拼接和连接处进行局部应力分析。

6.2 作用及作用效应组合

6.2.1 作用的分类、组合及结构重要性系数、汽车荷载冲击系数，应符合 JTG D60的规定。

6.2.2 地震效应的计算应符合JTG/T-2231-01 的规定。

6.2.3 计算体系温差引起的效应按当地极端最高和最低温度确定。当无桥位调查温度资料时，应按JTG D60 中的规定取值。

6.2.4 风荷载计算应符合JTG D60和 JTG/T 3360-01的规定。

6.3 作用效应计算

6.3.1 应按弹性方法进行计算，并计入结构的二阶效应影响。

6.3.2 应考虑施工方法及工序的影响。

6.3.3 应考虑混凝土开裂、收缩徐变等因素的影响。

6.3.4 计算徐变变形及其在超静定结构中产生的附加内力时，徐变系数可按照JTG 3362 规定和降温15℃两种情形计算，并取两者的最不利采用。

6.4 结构计算

6.4.1 应采用静力方法计算主梁的内力和变形。

6.4.2 施工阶段，矩形钢管内混凝土未达到设计强度的85%时，构件的承载力、变形和稳定应按钢结构计算。施工阶段的荷载应包括钢管和混凝土的自重、温度作用、风荷载及施工荷载等。

6.4.3 当杆件的节间长度或杆件长度与截面高度之比应不小于12(弦杆)和24(腹杆)时，分析桁架杆件内力时可将节点设为铰接。

6.4.4 当不满足6.4.3要求时，宜按刚接节点模型计算桁架内力。

6.4.5 当节点偏心不满足 $-0.55 \leq e/h \leq 0.25$ (图1)时，应考虑偏心弯矩对节点强度和杆件承载力的影响，可按图2和图3所示的模型进行计算。

6.4.6 对分配有弯矩的每一个腹杆应按照节点在腹杆轴力和弯矩共同作用下的相关公式验算节点强度。

6.4.7 对分配有弯矩的弦杆和腹杆按偏心受力构件进行验算。

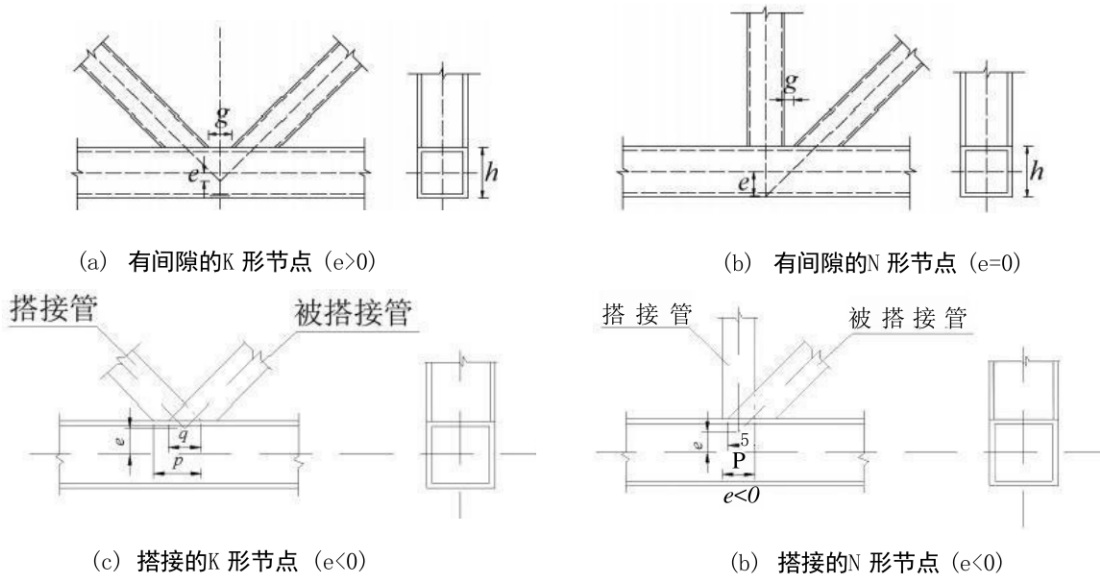


图 1 K 形 和 N 形管节点的偏心和间隙

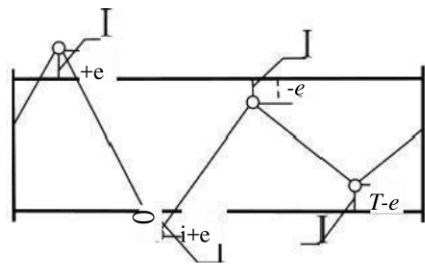


图 2 节点偏心的腹杆端铰
接桁架内力计算模型
I—刚性杆件

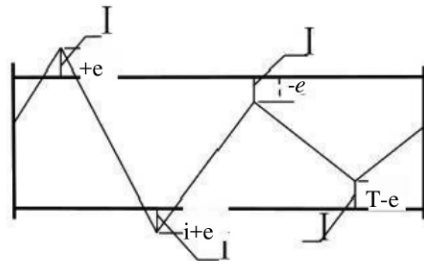


图 3 节点偏心的腹杆端刚
接桁架内力计算模型
II—刚性杆件

- 6.4.8 作为桥门架腿杆的主桁斜杆或竖杆计算应符合下列要求：
- a) 计算应考虑桥门架在横向力作用下产生的轴向力和弯矩；
 - b) 计算应视桥门架为下端固定的框架；
 - c) 由于风力作用使桥门架斜腿所产生的轴向力的水平分力，应计入下弦杆内力之中。
- 6.4.9 矩形钢管混凝土受压构件中混凝土工作承担系数 α 。应控制在 0.1~0.7 之间， α 可按式(1)计算：

$$\alpha_c = \frac{f_{cd} A_c}{f_d A_s + f_{cd} A_c} \quad (\dots\dots\dots) \quad \dots\dots \quad \dots\dots (1)$$

式中：

- f_{cd} ——混凝土抗压强度设计值 (N/mm²)；
- f_d —— 钢材抗压强度设计值 (N/mm²)；
- A_c —— 混凝土截面面积 (mm²)；
- A_s —— 钢管 截 面 面 积 (mm²)。

6.4.10 矩形钢管混凝土构件的刚度，应按式(2)~(3)计算：

受压轴向刚度:

$EA=EA+E。 A \dots\dots\dots (2)$

弯曲刚度:

$EI=EI_3 +0.8EJ \dots\dots\dots (3)$

式中:

- Es——钢材弹性模量 (N/mm²);
- Ec——混凝土弹性模量 (N/mm²);
- Is——钢管截面的惯性矩 (mm⁴);
- Ic——混凝土截面的惯性矩 (mm⁴)。

6.4.11 杆件的计算长度应按下列规定取值:

- a) 弦杆在主桁平面内的计算长度取主桁的节间长度;
- b) 弦杆在主桁平面外的计算长度取侧向支撑点的间距;
- c) 腹杆在任意平面的计算长度取0. 75倍腹杆几何长度。

6.4.12 矩形钢管混凝土墩(柱)的计算长度l。宜按表1取值, 对于复杂边界条件或变截面矩形钢管混凝土墩(柱)可采用有限元方法计算。

表 1 计算长度取值

边界条件	计算长度
两端简支	Lo=L
两端固定	Lo=0. 5L
一端固定、另一端自由	Lo=2. 0L
一端固定、另一端简支	Lo=0. 7L
注1:L——墩(柱)有效约束间的长度	

6. 4. 13组合桁梁的整体分析应符合下列规定:

- a) 混凝土板按全预应力混凝土或部分预应力混凝土A 类构件设计时, 应采用未开裂分析方法, 组合梁截面刚度取未开裂截面刚度Elun。
- b) 当混凝土板按部分预应力混凝土B 类或普通钢筋混凝土构件设计时, 应采用开裂分析方法, 中间支座两侧各0. 15L (L 为梁的跨度) 范围内组合梁截面刚度取开裂截面刚度EIer, 其余区段组合梁截面刚度取未开裂截面刚度Elun。

6.4.14 钢管混凝土界面剪切滑移本构关系应采用式 (4), 各参数按表2取值。

$$\tau=\begin{cases} G_s s & s \leq s_u \\ \tau_u & s > s_u \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- Gs——剪切模量 (N/mm²);
- Tu——剪切强度 (N/mm²);
- Su——达到剪切强度时对应的试件单位长度相对滑移量。

表 2 剪切-滑移剪切模量与剪切强度取值

构件类型	T_u (N/mm ²)	G_s (N/mm ²)
矩形钢管混凝土构件	0.462	165
PBL加劲型矩形钢管混凝土构件	1.1	500

7 承载能力极限状态计算

7.1 承载能力极限状态应按式 (5) 计算:

$$\gamma S \leq R \quad \text{..... (5)}$$

式中:

S ——作用效应的组合设计值;

R ——构件承载力设计值;

γ ——桥梁结构重要性系数, 取1.1。

7.2 构件承载力计算

7.2.1 矩形钢管混凝土受压构件承载力应满足式 (6)–(9) 要求:

$$\gamma N \leq N \quad \text{..... (6)}$$

$$N = k_f A + k_o f_a \quad \text{..... (7)}$$

$$k_s = 0.184 \ln \xi + 0.62 \quad \text{..... (8)}$$

$$k_o = 0.377 \ln \xi + 1.74 \quad \text{..... (9)}$$

式中:

N ——轴心压力设计值 (N);

N_u ——轴心抗压强度设计值 (N);

k_s ——钢管纵向容许应力折减系数;

k_o ——混凝土抗压强度提高系数;

ξ ——套箍指标, $\xi = f_a A_s / f_{ca} A_c$ 。

7.2.2 PBL加劲型矩形钢管混凝土受压构件承载力应按式 (10)–(13) 计算:

$$\gamma N \leq (k_s + 7) f_a A + k_o f_a \quad \text{..... (10)}$$

$$k_s = 0.184 \ln \xi + 0.62 \quad \text{..... (11)}$$

$$k_o = 0.426 \ln \xi + 2.00 \quad \text{..... (12)}$$

$$\eta = A_p B L / 4 \quad \text{..... (13)}$$

式中:

η ——考虑PBL 承担轴向荷载作用的系数;

A_{PBL} ——PBL 截面面积 (mm^2)。

7.2.3 当钢管截面有削弱时, 其净截面承载力应满足式(14)的要求:

$$\gamma N \leq k f_a A_m + k_o f_a \dots \dots \dots (14)$$

式中:

A_{sn} ——钢管的净截面面积 (mm^2)。

7.2.4 当 PBL加劲型矩形钢管有削弱时, 其净截面承载力应满足式(15)的要求:

$$\gamma N \leq (k_s + 7) f_y A_m + k f_a \dots \dots \dots (15)$$

7.2.5 受压构件的稳定性应满足式(16)要求:

$$\gamma N \leq 4 N \dots \dots \dots (16)$$

式(16)中的相关参数计算方式见式(17)~(20)

$$\varphi = \begin{cases} 1 - 0.65 \lambda_0^2 & \lambda_0 \leq 0.215 \\ \frac{1}{2 \lambda_0^2} [(0.965 + 0.3 \lambda_0 + \lambda_0^2) - \sqrt{(0.965 + 0.3 \lambda_0 + \lambda_0^2)^2 - 4 \lambda_0^2}] & \lambda_0 > 0.215 \end{cases} \dots \dots \dots (17)$$

$$\lambda_0 = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}} \dots \dots \dots (18)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{r_0} \dots \dots \dots (19)$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{I_s + I_c E_c / E_s}{A_s + A_c f_{cd} / f_d}} \dots \dots \dots (20)$$

式中:

Φ ——轴心受压构件的稳定系数, 可按附录A 查表;

f_y ——钢材的屈服强度 (N/mm^2);

λ_0 ——矩形钢管混凝土轴心受压构件的相对长细比;

λ ——矩形钢管混凝土轴心受压构件的长细比;

r_0 ——矩形钢管混凝土轴心受压构件截面的当量回转半径 (mm)。

7.2.6 矩形钢管混凝土受拉构件承载力按式(21)验算:

$$\gamma N_1 \leq f_a \dots \dots \dots (21)$$

式中:

N ——轴心拉力设计值 (N)。

7.2.7 矩形钢管混凝土构件压弯承载力应同时满足式(22)~(23)要求:

$$\gamma \left[\frac{N}{N_u} + (1 - \alpha_c) \frac{M}{M_u} \right] \leq 1 \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\gamma \left(\frac{M}{M_u} \right) \leq 1 \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$M = f [0.54(h - 2t - d) + bt(t + d)] \dots\dots\dots (24)$$

$$d_n = \frac{A_s - 2bt}{(b - 2t) \frac{f_{cd}}{f_d} + 4t} \quad \dots\dots\dots (25)$$

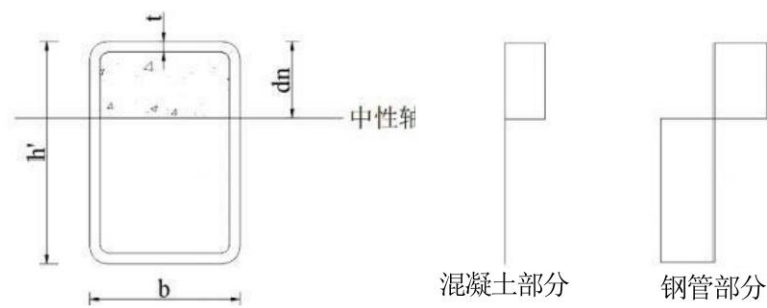


图 4 极限状态下的截面应力分布

式中：

- ac——混凝土工作承担系数，按式(1)计算；
- Mu——只有弯矩作用时净截面的受弯承载力设计值 (N • mm)；
- M——弯矩设计值 (N•mm)；
- t——钢管壁厚 (mm)；
- b、h——分别为矩形钢管截面平行、垂直于弯曲轴的边长 (mm)；
- dn——管内混凝土受压区高度 (mm)。

7.2.8 弯矩作用在一个主平面内的矩形钢管混凝土压弯构件，其稳定性应同时满足式(26)–(28)要求：

$$\gamma \left[\frac{N}{\varphi_x N_u} + (1 - \alpha_c) \frac{M_x}{\left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}} \right) M_{ux}} \right] \leq 1 \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$\gamma \left[\frac{M_x}{\left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}} \right) M_{ux}} \right] \leq 1 \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$\gamma \left(\frac{N}{\phi_y N_u} + \frac{M_x}{1.4 M_{ux}} \right) \leq 1 \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$N'_{Ex} = \frac{N_{Ex}}{1.1} \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$N_{Ex} = N_u \frac{\pi^2 E_x}{\lambda_c^2 f_d} \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中:

N_{Ex} ——欧拉临界力 (N);

ϕ_x ——弯矩作用平面内的轴心受压稳定系数;

ϕ_y ——弯矩作用平面外的轴心受压稳定系数;

M_{ux} ——绕 x 轴的截面受弯承载力设计值, 按式 (24) 计算 (N·mm);

λ_x ——矩形钢管混凝土弯矩作用平面内的长细比;

M_x ——绕主轴 x 轴作用的弯矩设计值 (N·mm)。

7.2.9 弯矩作用在一个主平面内的矩形钢管混凝土拉弯构件, 其承载力应式 (31) 验算:

$$\gamma \left(\frac{N}{f_d A_s} + \frac{M}{M_u} \right) \leq 1 \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中:

M_u ——按矩形空钢管受弯构件计算 (Nmm)。

7.2.10 弯矩作用在两个主平面内的双轴压弯矩形钢管混凝土构件, 其承载力应同时满足式 (32) - (33) 要求:

$$\gamma \left[\frac{N}{N_u} + (1 - \alpha_c) \frac{M_x}{M_{ux}} + (1 - \alpha_c) \frac{M_y}{M_{uy}} \right] \leq 1 \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$\gamma \left(\frac{M_x}{M_{ux}} + \frac{M_y}{M_{uy}} \right) \leq 1 \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:

M_y ——绕主轴 y 轴作用的弯矩设计值 (N · mm);

M_{uy} ——绕 y 轴的截面受弯承载力设计值, 按式 (24) 计算 (N·mm)。

7.2.11 双轴压弯矩形钢管混凝土构件绕主轴 x 轴的稳定性, 应同时满足式 (34) - (35) 的要求:

$$\gamma \left[\frac{N}{\phi_x N_u} + (1 - \alpha_c) \frac{M_x}{\left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}} \right) M_{ux}} + \frac{M_y}{1.4 M_{uy}} \right] \leq 1 \quad \dots\dots\dots (34)$$

$$\gamma \left[\frac{M_x}{\left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}}\right) M_{ux}} + \frac{M_y}{1.4 M_{uy}} \right] \leq 1 \quad \dots\dots\dots (35)$$

7.2.12 双轴压弯矩形钢管混凝土构件绕主轴 y 轴的稳定性，应同时满足式(36) - (37)的要求：

$$\gamma \left[\frac{N}{\phi_y N_u} + \frac{M_x}{1.4 M_{ux}} + (1 - \alpha_c) \frac{M_y}{\left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ey}}\right) M_{uy}} \right] \leq 1 \quad \dots\dots\dots (36)$$

$$\gamma \left[\frac{M_x}{1.4 M_{ux}} + \frac{M_y}{\left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ey}}\right) M_{uy}} \right] \leq 1 \quad \dots\dots\dots (37)$$

7.2.13 弯矩作用在两个主平面的双轴拉弯矩形钢管混凝土构件，其承载力应满足式(38)要求：

$$\gamma \left[\frac{N}{f_d A_s} + \frac{M_x}{M_{ux}} + \frac{M_y}{M_{uy}} \right] \leq 1 \quad \dots\dots\dots (38)$$

7.2.14 矩形钢弦杆和钢腹杆承载力应符合JTG D64的规定。

7.3 节点承载力计算

7.3.1 主桁节点可采用弦杆内未灌注混凝土的矩形钢管节点和弦杆内灌注混凝土的矩形钢管混凝土节点两种类型。按照节点的形状主要可为 T、Y、K、N 和 X 型节点，如图5所示。

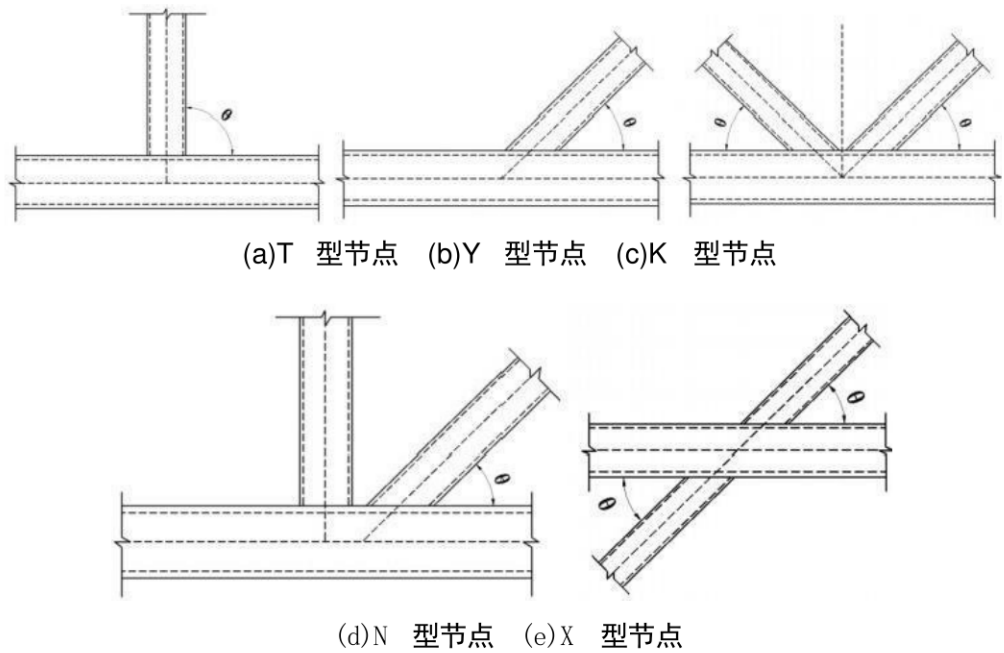


图5节点类型

7.3.2 矩形钢管 T、Y 和 X 型节点承载力应按下列公式计算。

a) 当 $\beta \leq 0.85$ 时, 矩形钢管节点承载力的设计值应按式 (39)~(41) 计算:

$$N_{ui} = 1.8 \left[\frac{h_i}{b_0(1-\beta)^{0.5} \sin \theta_i} + 2 \right] \frac{t_0^2 f_{ao}}{(1-\beta)^{0.5} \sin \theta_i} \psi_n \dots \dots \dots (37)$$

当弦杆受压时:

$$\psi_n = 1.0 - \frac{0.25 \sigma_0}{\beta f_{ai}} \dots \dots \dots (40)$$

当弦杆受拉时

$$\psi_n = 1.0 \dots \dots \dots (41)$$

式中:

N_{ui} ——矩形钢管节点承载力, $i=1$ 或 2 , 其中 1 代表受拉支管, 2 代表受压支管 (N);

h_i ——第 i 个腹杆的截面高度 (mm);

θ_i ——第 i 个腹杆和弦杆轴线间小于直角的夹角 ($^\circ$);

b_0 ——弦杆的截面宽度 (mm);

t_0 ——弦杆的截面厚度 (mm);

f_{ao} ——弦杆钢材的强度设计值 (N/mm^2);

β ——支管与主管宽度比;

σ_0 ——节点两侧弦杆轴心压应力的较大绝对值 (N/mm^2);

ψ_n ——参数, 按式 (40) 或 (41) 计算。

b) 当 $\beta = 1$ 时, 矩形钢管节点承载力设计值应按式 (42)~(47) 计算:

$$N_{ui} = \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + 10t_0 \right) \frac{t_0 f_k}{\sin \theta_i} \psi_n \dots \dots \dots (42)$$

其中, 对于 X 形节点, 当 $\theta < 90^\circ$ 且 $h_0 \geq h_i / \cos \theta_i$ 时, 应按下式计算:

$$N_{ui} = \frac{2h_0 t_0 f_k}{\sin \theta_i} \dots \dots \dots (43)$$

当腹杆受拉时:

$$f_k = f_o \dots \dots \dots (44)$$

当腹杆受压时:

——对于 T、Y 型节点:

$$f_k = 0.8 \phi f_{ao} \dots \dots \dots (45)$$

——对于 X 型节点:

$$f_k = (0.65 \sin \theta_i) \phi f_{ao} \dots \dots \dots (46)$$

$$\lambda = 1.73 \left(\frac{h_0}{t_0} - 2 \right) \sqrt{\frac{1}{\sin \theta_i}} \dots \dots \dots (47)$$

式中:

f_v ——弦杆钢材抗剪强度设计值 (N/mm^2);

f_k ——弦杆强度设计值 (N/mm^2);

ϕ ——长细比按式(47)确定的轴心受压构件的稳定系数。

c) 当 $0.85 < \beta < 1$ 时, 腹杆在节点处的承载力设计值按式(39)和式(42)所计算的值, 根据 β 进行线性插值计算。应小于式(48)~(49)计算值:

$$N = 2(h - 2t_i + b_o) t_i \dots\dots\dots (48)$$

$$b_o = \frac{10}{b_o/t_o} \cdot \frac{t_o f_{y0}}{t_i f_{yi}} \cdot b_i \leq b_i \dots\dots\dots (49)$$

式中:

f_{ai} ——腹杆钢材抗拉(抗压和抗弯)强度设计值 (N/mm^2);

b_i ——第 i 个腹杆的截面宽度 (mm);

t_i ——第 i 个腹杆的截面厚度 (mm);

f_{y0} ——弦杆钢材屈服强度 (N/mm^2);

f_{yi} ——腹杆钢材屈服强度 (N/mm^2)。

d) 当 $0.85 < \beta < 1 - 2t_o/b_o$ 时, 腹杆在节点处的承载力设计值应小于式(50)~(51)计算值:

$$N_w = 2 \left(\frac{h_i}{\sin \theta_i} + b'_i \right) \frac{t_o f_v}{\sin \theta_i} \dots\dots\dots (50)$$

$$b'_i = \frac{10}{t_o/b_o} \cdot b_i \leq b_i \dots\dots\dots (51)$$

7.3.3 矩形钢管K和N形间隙节点承载力应按下列公式计算:

a) 节点处任一腹杆的承载力设计值应取式(52)~(54)的较小值:

$$N_w = \frac{8}{\sin \theta_i} \beta \left(\frac{b_o}{2t_o} \right)^{0.5} t_o^2 f_{y0} \psi_n \dots\dots\dots (52)$$

$$N_w = \frac{A_i f_v}{\sin \theta_i} \dots\dots\dots (53)$$

$$N_w = 2 \left(h_i - 2t_i + \frac{b_i + b_o}{2} \right) t_i f_i \dots\dots\dots (54)$$

b) 当 $\beta < 1 - 2t_o/b_o$ 时, 矩形钢管节点承载力设计值应小于式(55)的计算值:

$$N_w = 2 \left(\frac{h_i}{\sin \theta_i} + \frac{b_i + b'_i}{2} \right) \frac{t_o f_v}{\sin \theta_i} \dots\dots\dots (55)$$

$$A_i = (2h + ab_o) \dots\dots\dots (56)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{3t_0^2}{3t_0^2 + 4a^2}} \dots\dots\dots (57)$$

式中：
 A_v ——弦杆的受剪面积 (mm²)；
 α ——参数，按式 (57) 计算；
 a ——桁架节间距 (m)。

c) 节点间隙处的弦杆轴心受力承载力设计值应按式 (58) - (60) 计算：

$$N = (A - a_v A_v) f_a \dots\dots\dots (58)$$

$$\alpha_v = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V}{V_p}\right)^2} \dots\dots\dots (59)$$

$$p = A \dots\dots\dots (60)$$

式中：
 α_v ——剪力对弦杆轴心承载力的影响系数；
 V ——节点间隙处弦杆所受的剪力，可按任一腹杆的竖向分力计算 (N)；
 A_v ——弦杆横截面面积 (mm²)。

7.3.4 矩形钢管混凝土T、Y 和 X 型节点承载力应按下式进行计算。

a) 受压腹杆的节点承载力设计值应参照图6按式 (61) - (68) 计算：

$$N_1 = (1 + k) \beta \beta_1 f_a A \dots\dots\dots (61)$$

$$k_s = \frac{3f_{y0}(\beta_c \beta_1 h_1/h_0)^2}{v_c f_{ck} (h_0/t_0)^2} \dots\dots\dots (62)$$

$$A_1 = b_1 h / \sin \theta \dots\dots\dots (63)$$

$$\beta_c = \frac{200 - f_{ck}}{150}, \text{ 且 } \beta_c \leq 1 \dots\dots\dots (64)$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \dots\dots\dots (65)$$

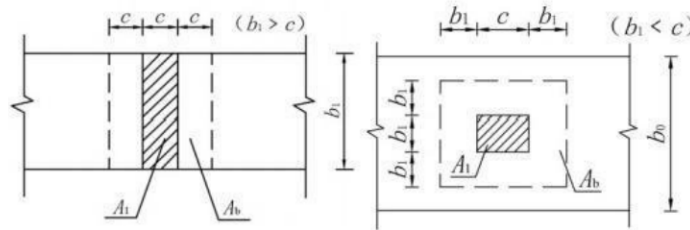
当 $b_1 \leq h_1 / \sin \theta_1$ 时：

$$A_s = m(h / \sin \theta + 2b) \dots\dots\dots (66)$$

$$m = \min\{3b, b\} \dots\dots\dots (67)$$

当 $h_1 / \sin \theta_1 < b$ 时：

$$A_b = m \cdot \frac{3h_1}{\sin \theta_1} \dots \dots \dots (68)$$

图 6 局部受压计算底面积 ($c=h_1/\sin \theta_1$)

式中:

N_{u1} ——矩形钢管混凝土受压腹杆节点承载力 (N);

k_x ——钢管参与横向局部承压工作系数;

A_1 ——局部受压面积 (mm^2);

ν_c ——混凝土的泊松比;

β_e ——混凝土强度影响系数;

β_1 ——管内混凝土局部受压强度提高系数;

f_{cu} ——边长150mm立方体混凝土试块强度 (N/mm^2);

f_{ek} ——混凝土抗压强度标准值 (N/mm^2);

A_b ——局部受压计算底面积 (mm^2)。

b) 受拉腹杆的节点承载力设计值可按式(69)~(73)计算:

当 $\beta \leq 0.85$ 时:

$$N_{u2} = \frac{f_d t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_2} \left[\frac{2h_2}{b_0 \sin \theta_2} + 4 \left(1 - \frac{b_2}{b_0} \right)^{0.5} \right] \dots \dots \dots (69)$$

当 $0.85 \leq \beta < 1$ 时: N_{u2} 取式(68)和式(69)的较小值。

$$N_2 = f_{a2} t_2 (2h_2 - 4t_2 + b_2 + b) \dots \dots \dots (70)$$

$$N_{u2} = \frac{\sqrt{3}}{3} f_{a2} t_2 (2h_2 / \sin \theta_2 + b_2 + b_{ep}) / \sin \theta_2 \dots \dots \dots (71)$$

$$b_{e2} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{f_{y2} t_0}{f_{y2}/t_2} \cdot b_2 \leq b_2 \dots \dots \dots (72)$$

$$b_{ep} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot b_2 \leq b_2 \dots \dots \dots (73)$$

7.3.5 矩形钢管混凝土K 和 N 型间隙节点承载力应按照下列公式进行计算:

a) 受压腹杆的节点承载力设计值可按式(61)计算;

b) 受拉腹杆的节点承载力设计值按下列方法确定:

—— $b_z/b_0 < 0.85$ 且 $g \geq 0.5b_0 \sqrt{1-b_2/b}$ 时, N_{n2} 可按式(69)进行计算;

—— $0.85 \leq b_z/b_0 \leq 1$ 或 $b_z/b_0 < 0.85$ 但 $g < 0.5b_0 \sqrt{1-b_2/b}$ 时, N_{u2} 可按式(70)和式(71)进行计

算,取两者中较小值。

7.3.6 PBL 加劲型矩形钢管混凝土节点应按下列公式验算受拉节点承载力:

- a) 当 $0.85 < \beta \leq 1$ 时, N_{u2} 可按矩形钢管混凝土Y 型受拉节点承载力进行计算;
b) 当 $0.6 \leq \beta \leq 0.85$, $t \leq 1.2$ 时, N_{u2} 可按式(74)进行计算:

$$N_{u2} = \frac{f_{y0} t_0^2}{3.1(1-\beta)\sin\theta_2} \left[2 \frac{h_2}{b_0 \sin\theta_2} + 4(1-\beta)^{0.5} \right] + \frac{f_{y0} t_0}{1.1\sqrt{3}\sin\theta_2} \left[\frac{h_2}{\sin\theta_2} + b_2 \right] + \frac{f_{y0} t_p h_2}{4} \dots\dots\dots (74)$$

- c) 当 $0.75 \leq \beta \leq 0.85$, $t > 1.2$ 时, N_{u2} 可按式(75)进行计算:

$$N_{u2} = \frac{f_{y0} t_0^2 \left[1 + 6(1.2/\tau)^2 \right]}{11.7(1-\beta)\sin\theta_2} \left[2 \frac{h_2}{b_0 \sin\theta_2} + 4(1-\beta)^{0.5} \right] + 1.43 \left[0.7 - \frac{1}{2}(\beta - 0.7)^{0.5} \right] \left(\frac{1.2}{\tau} \right)^{1.2} \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3}\sin\theta_2} \left[\frac{h_2}{\sin\theta_2} + b_2 \right] + \frac{f_{y0} t_p h_2}{4} \dots\dots\dots (75)$$

式中:

t_p —PBL 加劲肋的厚度 (mm);

T ——弦杆钢管壁厚与腹杆钢管壁厚的比值 (t_0/t_2);

f_{yp} ——PBL钢材屈服强度 (N/mm^2)。

7.4 连接件承载力计算

7.4.1 剪跨区的划分应以弯矩绝对值最大点及零弯矩点为界限逐段进行,按图7所示进行划分,剪跨区的纵向剪力 V_s 由下列公式确定:

- a) 位于正弯矩最大点到边支座区段,即 m_1 区段:

$$V = \min\{Af, b \cdot h \cdot f_a\} \dots\dots\dots (76)$$

- b) 位于正弯矩最大点到中支座(负弯矩最大点)区段,即 m_2 和 m_3 区段:

$$V_s = \min\{Afa, bh \cdot f_a + AJf\} \dots\dots\dots (77)$$

式中:

A_{st} ——负弯矩区混凝土桥面板有效宽度范围内的纵向钢筋截面面积 (mm^2);

f_{st} ——钢筋抗拉强度设计值 (N/mm^2);

h_{c1} ——桥面板厚度 (mm);

b_e ——板件有效宽度,按照JTG/T D64-01 规定计算 (mm)。

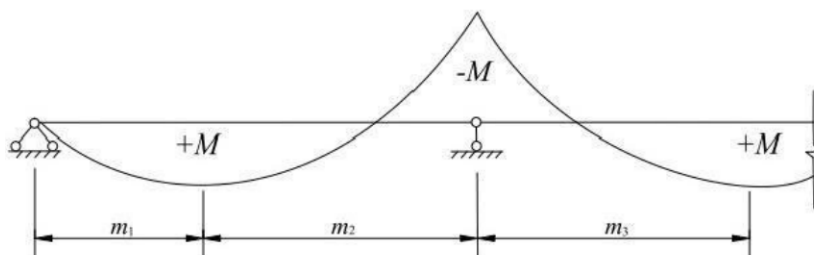


图7连续梁剪跨区划分图

7.4.2 位于负弯矩区段的抗剪连接件，其受剪承载力设计值 V_{sua} 应乘以折减系数 0.9（中间支座两侧）或 0.8（悬臂部分）。

7.4.3 单个连接件的受剪承载力设计值应按式 (78)–(79) 计算：

a) 圆柱头焊钉连接件

$$V_a = \min\{0.43A_1 \sqrt{EJ_a}, 0.74J_{fn}\} \quad \dots\dots\dots (78)$$

式中：

A_{s1} ——圆柱头焊钉连接件杆部截面面积 (mm^2)；

V_{sud} ——圆柱头焊钉连接件受剪承载力设计值 (N)；

f_{su} ——圆柱头焊钉极限抗拉强度最小值 (N/mm^2)。

b) PBL 开孔钢板连接件

$$p_{ua} = 1.4(a^2 - a^2)f_a + 1.2d^2f_a \quad \dots\dots\dots (79)$$

式中：

d ——开孔钢板的圆孔直径 (mm)；

V_{pud} ——开孔板连接件受剪承载力设计值 (N)；

d_s ——孔中贯通钢筋直径 (mm)；

f_{sd} ——孔中贯通钢筋抗拉强度设计值 (N/mm^2)。

对于有混凝土粗骨料数据时，可按式 (80)–(81) 计算：

$$p_{ua} = 1.38d_y \cdot f_d \quad \dots\dots\dots (80)$$

$$\gamma_c = 2.6 \frac{A_g}{A_{con}} + 0.3 \quad \dots\dots\dots (81)$$

式中：

γ_c ——混凝土粗骨料修正系数；

A_g ——受剪粗骨料的横截面面积 (mm^2)；

A_{con} ——开孔加劲肋的混凝土榉横截面面积 (mm^2)。

7.4.4 进行完全抗剪连接件设计时，每个剪跨区段内需要的连接件总数 n_f ，按式 (82) 计算：

$$n_e = V / V_s \quad \dots\dots\dots (82)$$

式中：

V_s ——每个剪跨区段内钢梁与混凝土桥面板交界面的纵向剪力 (N)。

7.5 组合桁梁承载力计算

7.5.1 矩形钢管混凝土组合桁梁破坏模式分为下弦杆破坏、腹杆破坏和混凝土桥面板破坏，如图8所示；承载力计算时应首先判定其破坏模式。

7.5.2 各个构件的效率系数K;可按式(83)进行计算，效率系数最大的构件首先发生破坏。

$$K=\{K_c, K_{sb}, K_w\}=\{N_c/R_c, N_{sb}/R_{sb}, N_w/R_w\} \dots \dots \dots (83)$$

式中:

- K_c, K_{sb}, K_w —— 分别为组合桁梁桥面板、下弦杆和腹杆的效率系数;
- N_c, N_{sb}, N_w —— 按铰接桁架计算得到的桥面板、下弦杆和腹杆的轴力设计值 (N);
- R_c, R_{sb}, R_w ——按铰接桁架计算得到的混凝土板、下弦杆和腹杆的轴心受压或轴心受拉承载力 (N)。

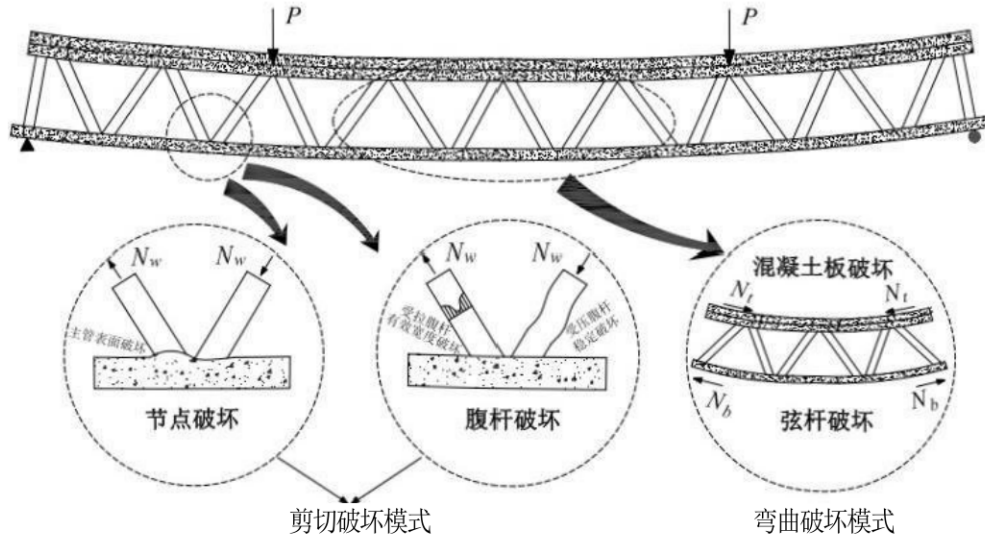


图 8 钢管混凝土组合桁梁破坏模式

其中矩形钢管混凝土桁架弦杆的受拉承载力 R_{sb} 按式(21)计算，腹杆的承载力 R_w 可按式(84)–(86)计算：

$$R_w=9enAf \dots \dots \dots (84)$$

$$4en=\min(\phi, 92) \dots \dots \dots (85)$$

$$\phi_2 = \frac{N_{ui}}{A_{ui}f_c} \dots \dots \dots (86)$$

式中:

- A_w ——腹杆截面面积 (mm²);
- ϕ_{efr} ——考虑节点破坏和腹杆杆件破坏的等效抗力折减系数;
- ϕ_1 ——受压腹杆的整体稳定折减系数，可按本规范7.2.5条规定进行;
- ϕ_2 ——发生节点破坏时腹杆的抗力折减系数;
- N_{ui} ——节点承载力，可按照本规范第7.3节中的节点承载力计算公式进行计算 (N)。

7.5.3 上承式组合桁梁应按表3进行其弦杆破坏、腹杆破坏和混凝土板破坏的破坏模式判定和承载力计算。

表 3 组合桁梁破坏模式判定及承载力计算(节点加载)

适用条件		破坏模式	受弯承载力计算
$\frac{\varphi A_s}{A_b} > \frac{f_y}{f_c} \left(\frac{N-n-0.5}{N-n} \right)$	$\frac{\varphi_{st} A_s}{A_b} > \frac{1}{\lambda_1 \sin \theta}$	下弦杆破坏	$M=A_3bf, H$
$\frac{\varphi_{st} A_s}{A_b} < \frac{1}{\lambda_1 \sin \theta}$	$\frac{\varphi_{st} A_s}{\varphi A_s} > \frac{f_c}{f_y} \frac{N-n}{n(N-n-0.5)} \frac{1}{2 \cos \theta}$	腹杆破坏	$M=9enAwf_{na} \sin \theta$
$\frac{\varphi A_s}{A_b} < \frac{f_y}{f_c} \left(\frac{N-n-0.5}{N-n} \right)$	$\frac{\varphi_{st} A_s}{\varphi A_s} < \frac{f_c}{f_y} \frac{N-n}{n(N-n-0.5)} \frac{1}{2 \cos \theta}$	混凝土板破坏	$M=\phi AfH$

注：其中A、A_s、A_b分别为上弦杆、下弦杆和腹杆的截面面积，A为混凝土板面积；a为节间距，H为桁架高度，j为剪跨比(2j=na/H)，N为组合桁梁节间数量，n为荷载作用点距离相近支座的节间数量(n≤N/2)

7.6 疲劳计算

- 7.6.1 对管-管相贯节点、管-管对接接头和剪力连接件构造细节，应进行疲劳验算。
- 7.6.2 钢管混凝土节点应采用热点应力法进行疲劳验算，亦可采用名义应力法。
- 7.6.3 钢管及钢管混凝土桁式节点的名义应力应计入弯矩的影响。
- 7.6.4 疲劳荷载计算模型 I 采用等效的车道荷载，集中荷载为0.7 P_k，均布荷载为0.3 q_k。P_k和 q_k应按现行JTG D60取值。疲劳荷载应加载在最不利的荷载位置，并按规定计算疲劳荷载的冲击系数作用。
- 7.6.5 疲劳荷载计算模型 II 采用双车模型，两辆模型车轴距与轴重相同，其单车的轴重与轴距布置如图9所示。加载时，两模型车的中心距不得小于40m。

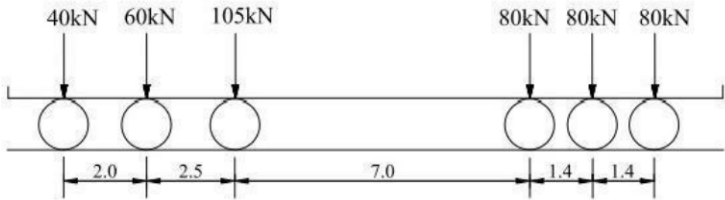


图 9 疲劳荷载计算模型 II (尺寸单位： m)

- 7.6.6 当构件和连接不满足疲劳荷载模型 I 验算要求时，应按模型 II 验算。
- 7.6.7 采用疲劳荷载计算模型 I 时应按式 (87) - (88) 验算：

$$\gamma_{ff} \Delta \sigma_p \leq \frac{\Delta \sigma_D}{\gamma_{Mf}} \dots\dots\dots (87)$$

$$\gamma_{ff} \Delta \tau_p \leq \frac{\Delta \tau_L}{\gamma_{Mf}} \dots\dots\dots (88)$$

式中：

YFf——疲劳荷载分项系数，取1.0；

7Mf——疲劳抗力分项系数，对重要构件取1.35, 对次要构件取1.15；

△o,——按疲劳荷载计算模型 I 计算得到的正应力幅 (N/mm²)；

△op——正应力常幅疲劳极限，如图10所示，根据表4对应的细节类型取用 (N/mm²)；

△t,——按疲劳荷载计算模型 I 计算得到的剪应力幅 (N/mm²)；

△T——剪应力幅疲劳截止限，如图11所示，根据表4对应的细节类型取用 (N/mm²)。

7.6.8 采用疲劳荷载计算模型 II 时应按式 (89) - (90) 验算：

$$\gamma_H \gamma \Delta \sigma_p \leq \frac{\Delta \sigma_c}{\gamma_{MF}} \dots \dots \dots (89)$$

$$\gamma_H \gamma \Delta \tau_p \leq \frac{\Delta \tau_c}{\gamma_{MF}} \dots \dots \dots (90)$$

式中：
y——损伤等效系数， $y=\gamma_1^{1/2} \gamma_3^{1/2} \gamma_4^{1/2} / y_{max}$ ，且 $y \leq y_{max}$ ，其中 γ_1 、 γ_2 、 γ_3 、 γ_4 和 y_{max} 应按JTG D64 计算；
 $\Delta \sigma_c$ 、 $\Delta \tau_c$ ——疲劳细节类别，如图10和图11所示，为对应于 2.0×10^6 次常幅疲劳循环的疲劳应力强度，根据表4取用（N/mm²）。

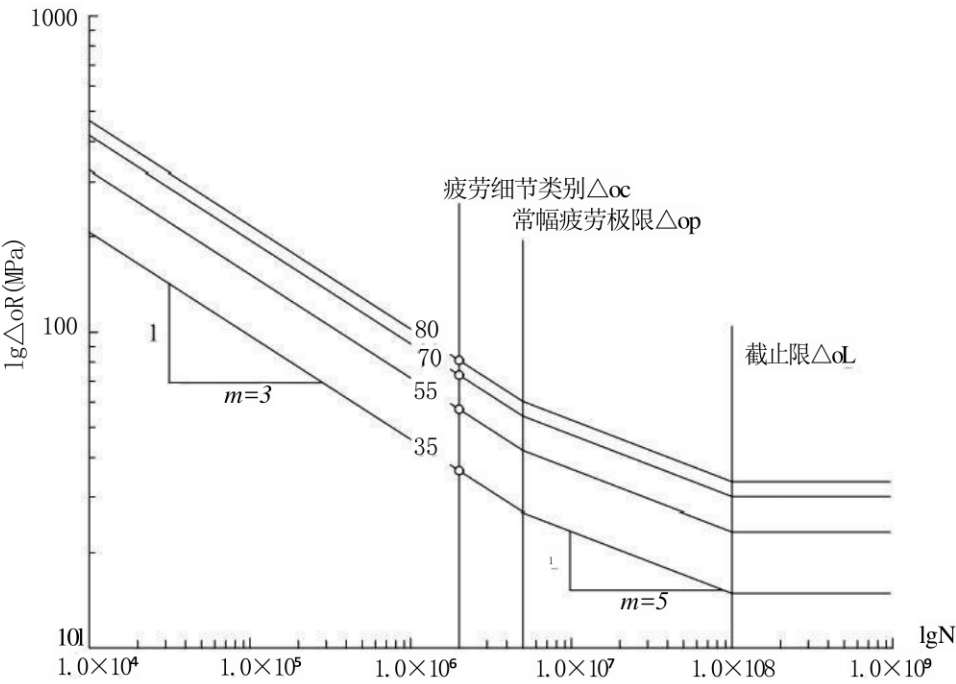


图 1 0 正应力幅疲劳强度曲线

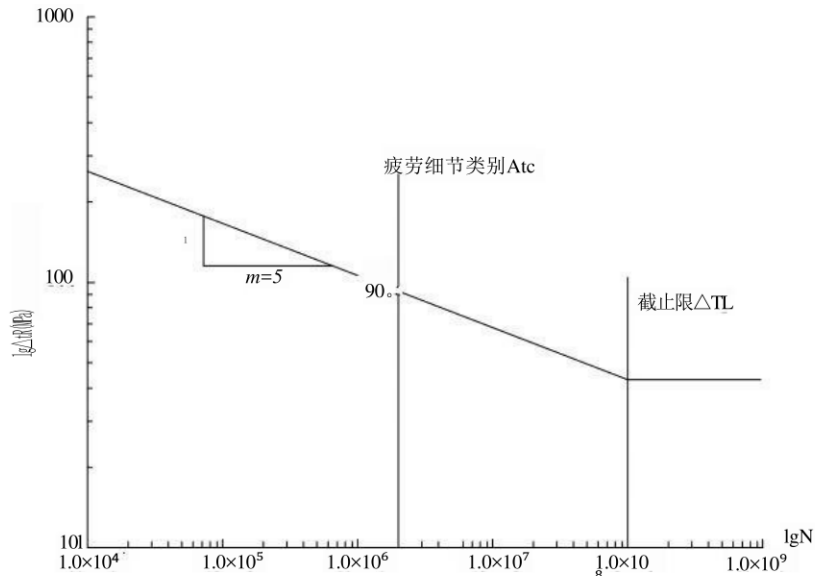


图11 剪应力幅疲劳强度曲线

7.6.9 节点及连接疲劳容许应力幅应满足表4和表5要求。

表 4 节点及连接疲劳容许应力幅

类别	节点及连接构造形式	加工质量要求	疲劳细节 (N/mm ²)	检算部位和 内容
1	T、Y、K、N相贯管节点	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B级检验I级合格	70 m=5 $\frac{t_0}{t} \geq 2$	非连接处腹杆正截面应力
2		to/t;的中间值按细节类别线性差值得到。	35 m=5 $\frac{t_0}{t} = 1$	
3	受拉空心钢管对接	方形管间端对端对接焊缝连接	55	接头处正截面应力
4	焊接剪力钉	剪力钉焊接在基材上	80	焊接剪力钉处正截面应力

7.6.10对于板桁连接采用PBL连接件的矩形钢管混凝土组合桁梁桥可不进行PBL连接件的疲劳验算。

7.6.11 对于部分节点形式，可通过杆件名义应力幅与相应的热点应力集中系数相乘的方法间接获取热点应力幅。桥梁结构中常用的K 型节点，可分为支管拉压平衡荷载、主管轴力和主管弯矩三种基本荷载工况，如图12所示，各工况下热点应力幅线性叠加得到总热点应力幅按式 (91) 计算：

$$S_{\square}=SCF_1 \cdot \sigma_1 + SCF_n \cdot \sigma_n + SCF_m \cdot \dots\dots\dots (91)$$

式中：

σ_1 、 σ_n 、 σ_m ——分别为支管拉压平衡荷载、主管轴力和主管弯矩三种基本荷载工况下名义应力幅 (N/mm²)；

SCF_1 、 SCF_n 、 SCF_m —— 分别为支管拉压平衡荷载、主管轴力和主管弯矩三种基本荷载工况下相应节点热点应力集中系数。

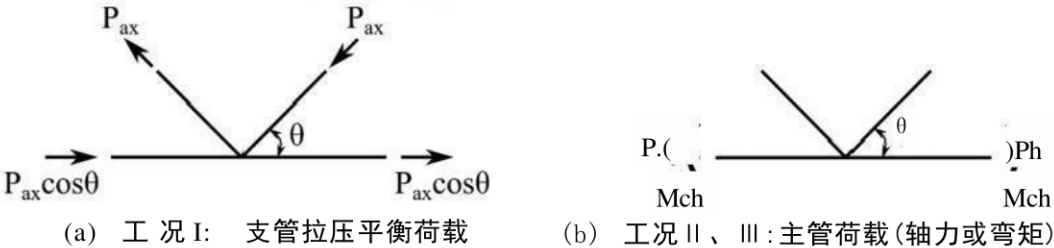


图12K 型节点基本荷载工况

7.6.12 矩形钢管混凝土K 型节点热点应力集中系数 (SCF) 按表6计算。

表 5 矩形钢管混凝土K 型节点SCF 参数公式

位置	SCF公式
荷载工况 (I) : 腹杆拉压平衡荷载	
●弦杆	$SCF=(0.437+0.121 \beta +0.046 \beta ^2)-(2)^{0.03-(g)^0-(\sin \theta)^{0.73}}$
●腹杆	$SCF=(0.529+0.646 \beta +0.131 \beta ^3) \cdot (2)^{0.950-0.01 \cdot (g)^0-(\sin \theta)^{0.420}}$
荷载工况 (II) : 弦杆轴力	
●弦杆	$SCF=(1.170+0.116 \beta -0.341 \beta ^2)(2)^{0.919-0.02(8)-(\sin \theta)^{1.9}}$
●腹杆	$SCF=0$
荷载工况 (III) : 弦杆弯矩	
●弦杆	$SCF=(2.048+0.495 \beta -0.852 \beta ^2)(2)^{0.9-0.057-(8)^0(\sin \theta)^{0.8}}$
●腹杆	$SCF=0$
适用范围： $10 \leq 2y_s \leq 35$; $0.25 \leq \beta \leq 1.0$; $0.4 \leq t \leq 1.0$; $30^{\circ} \leq \theta \leq 60^{\circ}$	
注： β 为支主管宽度比， $2y$ 为主管宽厚比， t 为支主管厚度比， θ 为支主管夹角	

7.6.13 采用疲劳荷载计算模型I 时应按式 (92) 验算：

$$\gamma_{ff} S_h \leq \frac{S_{h,D}}{\gamma_{Mf}} \dots\dots\dots (92)$$

式中:

YFf——疲劳荷载分项系数,取1.0;

YMf——疲劳抗力分项系数,对重要构件取1.35,对次要构件取1.15;

Sh——按疲劳荷载计算模型I 计算得到的正热点应力幅 (N/mm²);

Sh,D——正热点应力常幅疲劳极限,如图13所示,为5×10⁶次常幅疲劳循环循环时对应的热点应力幅,按式(94)~(95)计算(N/mm²)。

7.6.14 采用疲劳荷载计算模型II时应按式(93)验算:

$$\gamma_{FF}\gamma S_h \leq \frac{S_{b,c}}{\gamma_{MF}} \dots\dots\dots (93)$$

式中:

y——损伤等效系数, $y=71^{1/22} \cdot y_3' y_4 \cdot y_{max}$, 且 $y \leq y_{max}$, 其中 γ_1 、 γ_2 、 γ_3 、 γ_4 和 y_{max} 应按JTG D64 计算;

Sh,c——热点应力法疲劳细节类别,如图13所示,为2.0×10⁶次常幅疲劳循环时对应的热点应力幅,按式(94)~(95)计算(N/mm²)。

7.6.15 矩形钢管混凝土节点疲劳热点应力幅Sh-N 曲线如图13所示,按式(94)~(95)计算:

当10³<N<5×10⁶ 时,

$$\lg S_h = \frac{1}{3}(12.103 - \lg N) + 0.06 \lg N \cdot \lg\left(\frac{16}{t}\right) \dots\dots\dots (94)$$

当5×10⁶<N<10⁸ 时,

$$\lg S_h = \frac{1}{5}(15.706 - \lg N) + 0.402 \lg\left(\frac{16}{t}\right) \dots\dots\dots (95)$$

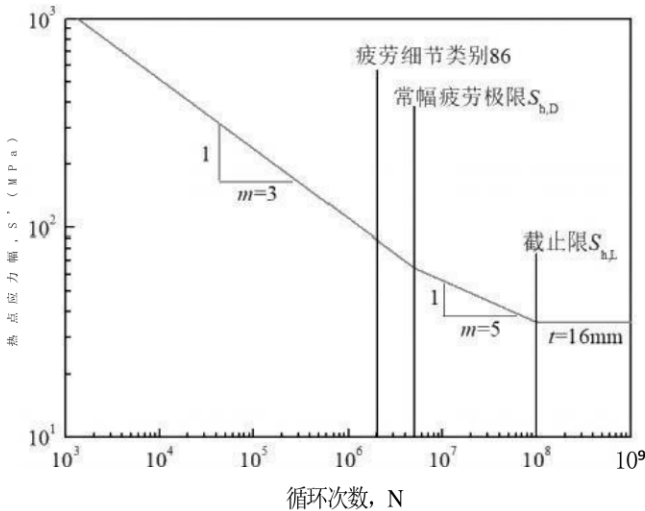


图 13 矩形钢管混凝土节点热点应力正应力幅疲劳强度曲线

7.7 混凝土桥面板应按JTG/T D64-01计算。

8 正常使用极限状态计算

8.1 一般要求

8.1.1 应采用作用的频遇组合、准永久组合，并进行矩形钢管、矩形钢管混凝土构件变形验算。

8.1.2 连续梁混凝土桥面板抗裂性应按JTG 3362规定验算。

8.1.3 钢管及钢管混凝土的应力计算应满足下列要求：

- a) 钢管混凝土桁式主梁，受拉钢管混凝土(含受拉腹杆)强度验算时，钢管累计应力不得超过0.45fy；受压钢管混凝土强度验算时，钢管累计应力不得超过0.6fy。钢管混凝土桁式主梁上缘采用钢管混凝土弦杆外包混凝土的桥面板时，钢管混凝土弦杆强度验算时，钢管累计应力应小于0.8fy。
- b) 钢管混凝土桁式墩(柱)受压强度验算时钢管累计应力应小于0.6fy。
- c) 钢管混凝土组合墩(柱)弦杆强度验算时钢管累计应力应小于0.8fy。
- d) 钢管及钢管混凝土焊接接头的剪应力不得超过0.65fvd。

8.2 变形及预拱度设置

8.2.1 上部结构采用整体式截面的梁桥在持久状况下结构体系不应发生改变，并按JTG 3362规定验算横桥向抗倾覆性能。

8.2.2 竖向挠度计算应采用不计冲击力的汽车车道荷载频遇值，频遇值系数为1.0。计算挠度不应超过JTG D64的规定。

8.2.3 矩形钢管混凝土组合桁梁桥的变形应根据线弹性理论的方法计算，对于采用间隙节点的桁架，可将铰接分析获得的桁架变形乘以1.15倍作为桁架的最大变形，也可采用考虑节点刚性的模型计算整体桁架的变形，其中钢管及钢管混凝土节点刚度可按式(96)进行计算。

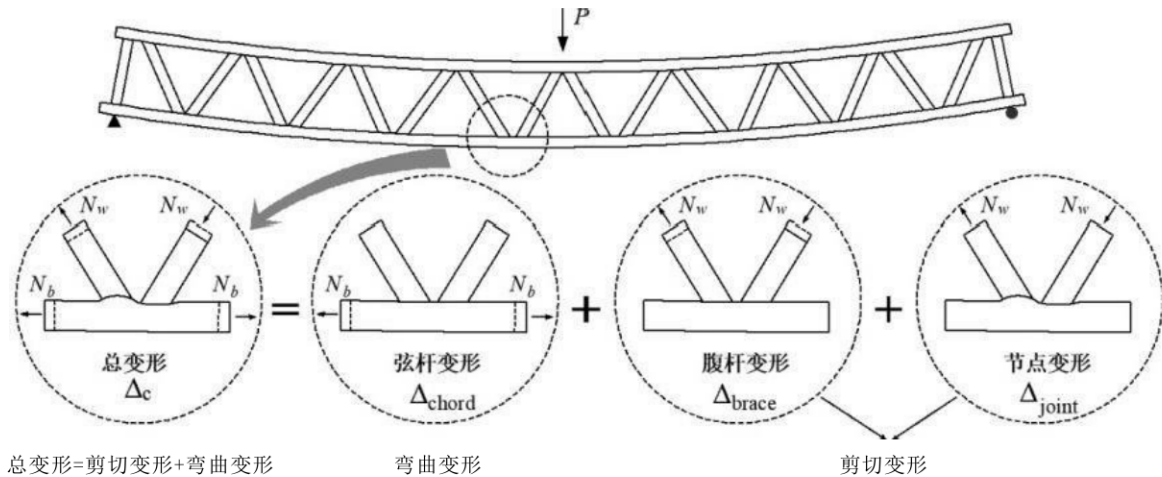


图14 节点变形组成

$$K = \frac{P}{\sum \frac{\bar{N}_t N_t}{E_s A_{st}} l_t + \sum \frac{\bar{N}_b N_b}{E_s A_{sb}} l_b + \sum \frac{\bar{N}_w N_w}{E_s A_{sw}} l_w + \sum \frac{\bar{N}_w N_w}{k_j}} \quad (96)$$

式中：

N_t 、 N_b ——分别为桁架上下弦杆轴力 (N)；

N_t 、 N_b ——分别为单位荷载作用下桁架上下弦杆轴力(N);

l_t 、 l_b ——分别为桁架上下弦杆节段长度(mm);

N_w ——桁架腹杆轴力(N);

N_w ——单位荷载作用下桁架腹杆轴力(N);

l_w ——桁架腹杆节段长度(mm);

k_j ——桁架节点轴向刚度,受压轴向刚度为 k_{je} ,受拉轴向刚度为 k_{jt} ,按附录B计算(N/mm)。

8.2.4 矩形钢管混凝土组合桁梁应设置预拱度,预拱度大小应视实际需要而定,宜为结构自重标准值加1/2车道荷载频遇值产生的挠度值,频遇值系数为1.0。预拱度应保持桥面曲线平顺。

8.2.5 矩形钢管混凝土组合桁梁桥的连接件应按式(97)~(101)进行正常使用极限状态下的滑移验算:

$$S_{\max} \leq 0.2\text{mm} \quad \dots\dots\dots (97)$$

a) 焊钉连接件

$$s_{\max} = \frac{V_{sd}}{k_{ss}} \quad \dots\dots\dots (98)$$

$$k = 13d\sqrt{Efk} \quad \dots\dots\dots (99)$$

b) 开孔板连接件

$$s_{\max} = \frac{V_{sd}}{k_{ps}} \quad \dots\dots\dots (100)$$

$$k_s = 23.4\sqrt{(d-d_0)dE_0 f_a} \quad \dots\dots\dots (101)$$

式中:

V_{sd} ——正常使用极限状态下的连接件剪力设计值(N);

$S_{\max}$ ——正常使用极限状态下结合面的最大滑移量(mm);

k_{ss} ——焊钉连接件的抗剪刚度(N/mm);

k_{ps} ——开孔板连接件的抗剪刚度(N/mm);

d_{ss} ——焊钉连接件杆部的直径(mm);

d_s ——孔中贯通钢筋直径(mm);

d ——开孔板件的圆孔直径(mm)。

9 结构构造

9.1.1 桁梁桥可分为上承式钢桁梁桥、下承式钢桁梁桥和中承式钢桁梁桥。

9.1.2 桁梁桥的总体布置应符合下列规定:

- a) 简支结构体系,其跨径不宜大于80m;连续结构体系,其跨径不宜大于150m;
- b) 两跨连续桁梁桥宜采用等跨布置;三跨及以上连续桁梁桥宜采用不等跨布置,边中跨比宜取0.6~0.8;

- c) 对于主跨在50m 以下的连续梁桥宜采用等梁高布置, 对于主跨在50m 以上的连续梁桥, 宜采用变梁高布置;
- d) 矩形钢管混凝土桁架的高跨比, 应根据建筑净空要求、荷载、材料等因素决定, 简支体系高跨比宜取 $1/8 \sim 1/12$, 连续体系高跨比宜取 $1/10 \sim 1/15$ 。

9.1.3 上承式矩形钢管混凝土组合桁梁桥宜采用四肢型断面布置(图15), 其上弦杆可直接埋入到混凝土桥面板中。

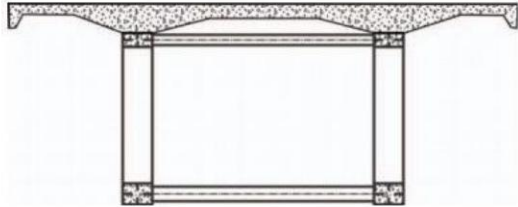


图15四肢型横断面

9.1.4 下承式简支梁的宽跨比、连续桁梁边中跨的宽跨比、连续桁梁的钢桁架中心线之间的距离与跨径的比值均不宜小于 $1/25$ 。

9.2 主桁构造

9.2.1 主桁的立面布置形式应根据结构受力、荷载等因素合理选择, 对于中小跨径的桁梁桥, 宜采用沃伦型、修正的沃伦型或普拉特型立面布置形式; 对于大跨径的桁梁桥, 宜采用双重腹杆型或K 型 桁布置形式。

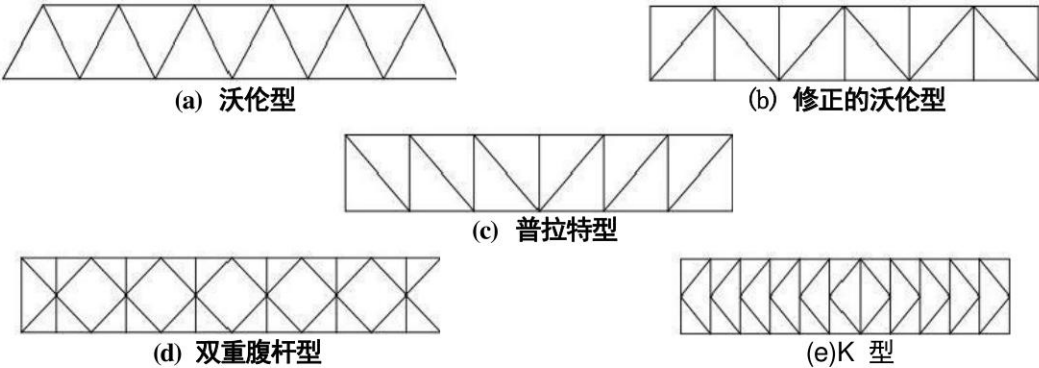


图16主桁立面布置形式

9.2.2 中等跨径矩形钢管混凝土组合桁梁桥的节间长度一般取3 m~6m, 大跨径的桁梁桥, 节间长度一般取8m~10m。

9.2.3 主桁腹杆倾角由主桁高度与节间长度的比值决定, 腹杆倾角应满足下列要求: 一般不应小于 45° , 且有竖杆的桁架的合理倾角约为 50° , 无竖杆的桁架的合理倾角约为 60° 。

9.3 桥面板及连接件构造

9.3.1 未设承托的桥面板, 下层横向钢筋距主桁上弦杆翼缘不应大于50 mm, 剪力连接件抗掀起端面高出下层横向钢筋的距离 h_c 不得小于30mm, 下层横向钢筋间距不应大于 $4h_{co}$ 且不应大于300 mm, 如图17所示。

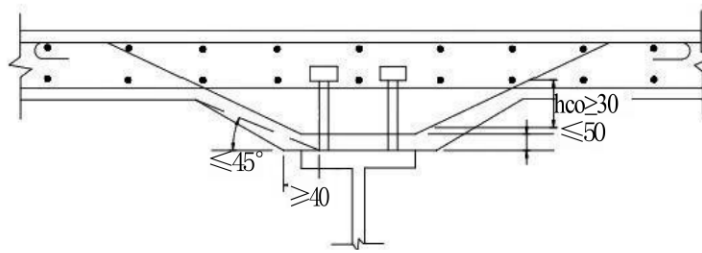


图17 承托构造(单位: mm)

9.3.2 当主梁间距较大时,桥面板可根据实际需要设置承托。设置承托时,应使界面剪力传递均匀、平顺,承托斜边倾斜度不宜过大。承托的外形尺寸及构造如图17所示,并应符合下列规定:

- a) 当承托高度在80 mm 以上时,应在承托底侧布置横向加强钢筋,横向加强钢筋的构造要求同本规范第9.3.1条关于下层横向钢筋的要求;
- b) 承托边至连接件外侧的距离不得小于40 mm,承托外形轮廓应在由最外侧连接件根部起的45°角线的界限以外。

9.3.3 组合梁桥面板的配筋应满足JTG/T D64-01的规定。

9.3.4 桥面板采用预制板时,宜采用纵向分块、横向不分块的划分方式,同时,宜以4m~6m 为一个装配单元,预制装配单元之间采用湿接缝连接,湿接缝混凝土应采用微膨胀混凝土。

9.3.5 桥面板湿接缝处连接钢筋宜采用环扣钢筋。

9.3.6 矩形钢管混凝土组合桁梁桥负弯矩区段的桥面板宜配置预应力钢束,在中支点左右各0.15L 范围内。

9.3.7 连接件应在剪跨区段内均匀布置,当在剪跨区段内有较大集中荷载作用时,应将连接件个数 n_f 按剪力图面积比例分配后再各自均匀布置。

9.3.8 组合梁的抗剪连接件宜采用圆柱头焊钉,亦可采用PBL 开孔钢板连接件或有可靠依据的其他类型连接件。

9.3.9 连续梁支点处宜采用局部释放作用的焊钉。

9.3.10 预制桥面板采用集束式布置焊钉,现浇桥面板宜采用均布式布置焊钉。

9.3.11 焊钉连接件的构造应符合下列要求:

- a) 焊钉连接件的间距不宜超过300 mm;
- b) 焊钉连接件剪力作用方向上的间距不宜小于焊钉直径的5倍,且不得小于100 mm, 剪力作用垂直方向的间距不宜小于焊钉直径的2.5倍,且不得小于50 mm。
- c) 焊钉连接件的外侧边缘与钢板边缘的距离不应小于25mm。

9.3.12 当板桁连接采用PBL 开孔钢板连接件时,其构造应符合下列要求:

- a) PBL 连接件多列布置时,相邻PBL 的间距不宜小于板高的3倍;
- b) PBL 连接件的钢板厚度不宜小于12mm;
- c) PBL 连接件孔径不宜小于骨料最大粒径;
- d) PBL 连接件的相邻两孔最小边缘间距 e 应满足式(102)的要求;
- e) PBL 连接件开孔边距不宜小于0.5倍 e ;

$$e > \frac{V_{pu}}{f_{yd}} \dots \dots \dots (102)$$

式中:

e ——开孔板连接件相邻两孔最小边缘间距 (mm);

V_{pu} ——承载能力极限状态下开孔板连接件抗剪承载力设计值 (N);

t——PBL连接件的板厚 (mm);
f_{vd}——钢板抗剪强度设计值 (N/mm²)。

9.3.13 当桥面板宽度，悬臂长度，板厚不断增加，使得混凝土上缘产生较大拉应力时，桥面板宜布置横向预应力钢筋。

9.4 杆件构造

9.4.1 矩形钢管混凝土构件的截面最小边尺寸不宜小于200mm，钢管壁厚不宜小于10mm，截面高宽比h/b 不宜大于2。当矩形钢管混凝土构件截面最大边尺寸大于800 mm 时，应采取在钢管内壁焊接焊钉、普通加劲肋、PBL 加劲肋等构造措施。

9.4.2 当矩形钢管混凝土杆件和节点的承载力和疲劳性能不满足要求时，可在管内设置 PBL 加劲肋。

9.4.3 矩形空钢管构件的管壁板件宽厚比应满足GB 50017的规定。空钢管作为腹杆使用时，腹杆壁厚不应大于弦杆壁厚。

9.4.4 矩形钢管混凝土构件管壁板件的宽厚比b/t、h/t，应不大于表7的规定限值，构件类型如图18所示。

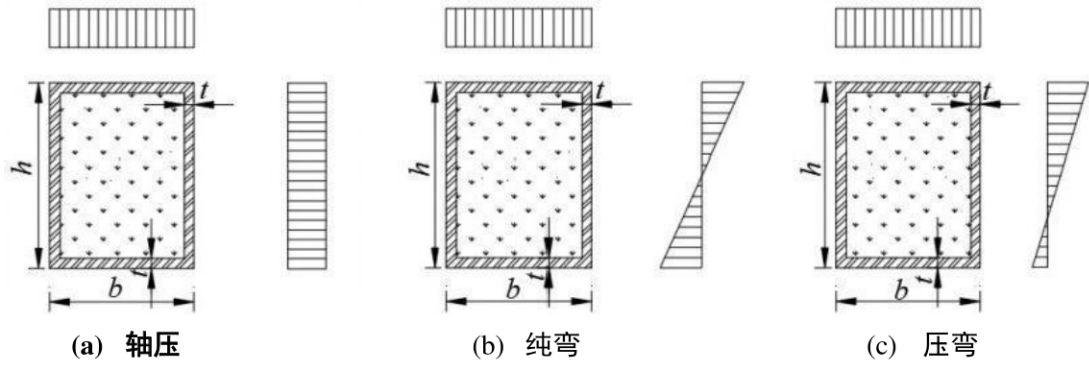


图18 矩形钢管截面板件应力分布

表 6 矩形钢管管壁板件宽厚比b/t、h/t限值

构件类型	b/t	h/t
轴压	70 ε	70 ε
纯弯	70 ε	70 ε
压弯	70c	30 (0.84y ² -1.73y+3.36) e

注1:表中e为钢号修正系数，其值为235与钢材牌号屈服点数值的比值的平方根
注2:表中 $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$, σ_1 和 σ_2 分别为板件最外边缘的最大、最小应力 (N/mm²), 压应力为正，拉应力为负

9.4.5 腹杆钢管的宽厚比宜介于15 ε ~35 ε 之间；同时，较大腹杆宽度不应大于较小腹杆宽度的1.5倍。

9.4.6 矩形钢管混凝土构件的长细比容许值，可按GB 50017的规定采用。

9.4.7 当钢管混凝土弦杆内设置PBL 时，其构造宜按下列要求取值：

- a) PBL 板厚不宜小于钢管壁厚；
- b) PBL 板高宜取1/4~1/3的钢管高度；
- c) PBL 的开孔孔径宜取1/2~3/4的PBL 板高；
- d) PBL 的开孔孔距 (孔间净距) 宜取PBL 板高；

9.4.8 宜在弦杆中部或三分点处设置 PBL。

9.5 节点构造

9.5.1 腹杆与弦杆的宽度比 β 应在下列范围:

- a) 对于T、Y 或 X 型节点 $0.5 \leq \beta \leq 1$;
- b) 对于K、N 型间隙节点 $0.5 \leq \beta \leq 1$ 。

9.5.2 矩形钢管混凝土桁架节点的构造应满足下列要求:

- a) 在弦杆与腹杆的连接处, 不得将腹杆穿入弦杆内;
- b) 对于 K、N 型间隙节点, 腹杆间的间隙 g 应满足 $0.5[b_0 - (b+b_2)/2] \leq 8$

$g \leq 1.5[b_0 - (b+b_2)/2]$, $g \geq t_1 + t_2$ 的要求。

9.5.3 可采用板加强方式增加节点承载力, 应满足以下要求:

- a) 弦杆表面塑性破坏起控制作用时, 可采用翼缘板加强的方法, 如图19所示, 板的宽度 b 宜与弦杆表面的宽度相等;

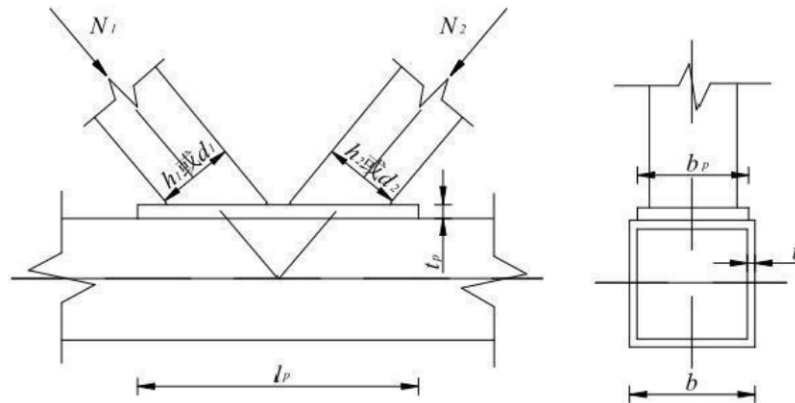


图19 用翼缘板加强节点

其中, 加强板最小宽度 l_p 按式 (103) - (104) 计算:

对 T、Y 和 X 型节点:

$$l_p \geq \frac{h_1}{\sin \theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)} \quad \dots\dots\dots (103)$$

对 K 型间隙节点:

$$l_p \geq 1.5 \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right) \quad \dots\dots\dots (104)$$

对受压的T、Y 和X 型节点, 当 $\beta_p \leq 0.8$ 时, 加强板的设计应满足 $l_p \geq 2b/\sin \theta_i$ 且 $t_p \geq 4t_1 - t_0$ 要求。

- b) 节点弦杆侧壁承载力不足时, 宜在弦杆两侧布置加强板提高节点承载力(图20)。

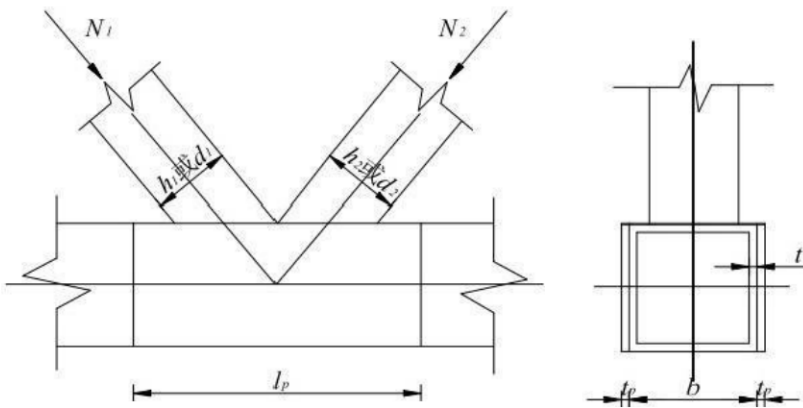


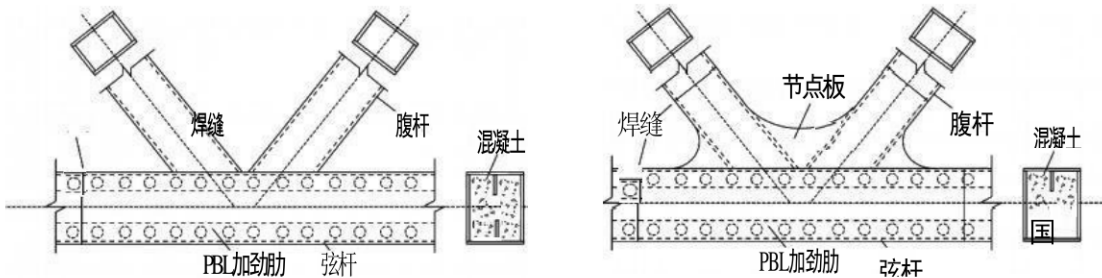
图20 用侧板加强节点

对T 和 Y 型节点，加强板最小长度lp按式(105)计算：

$$l_p \geq \frac{1.5h_1}{\sin \theta_1} \dots\dots\dots (105)$$

对于K 型间隙节点，侧壁加强板的最小长度 lp与翼缘板加强板相同。

9. 5. 4 当矩形钢管混凝土节点不满足节点静力或疲劳性能的要求时，应在管内设置PBL 加劲肋形成PBL 加劲型矩形钢管混凝土节点，如图21(a) 所示；亦可在弦杆和腹杆的侧板处设置整体节点板形成PBL加劲型矩形钢管混凝土整体节点，如图21 (b) 所示。



(a)PBL 加劲型矩形钢管混凝土相贯节点 (b)PBL 加劲型矩形钢管混凝土整体节点

图21 PBL 加劲型矩形钢管混凝土节点

9. 6 墩(柱)构造

9. 6. 1 矩形钢管混凝土墩(柱)构造应符合下列规定：

- a) 矩形钢管混凝土墩(柱), 其截面形式宜采用矩形钢管混凝土截面或中空夹层矩形钢管混凝土截面，如图22所示；
- b) 简支梁桥和连续梁桥跨度小于50m、 地震烈度7度及以下时，宜采用钢管混凝土桁式桥墩；钢管混凝土连续刚构桥跨度大于100m、 地震烈度高于7度时，宜采用钢管混凝土组合桥墩，如图23所示。



(a) 矩形钢管混凝土截面 (b) 中空夹层矩形钢管混凝土截面

图22矩形钢管混凝土墩(柱)截面形式

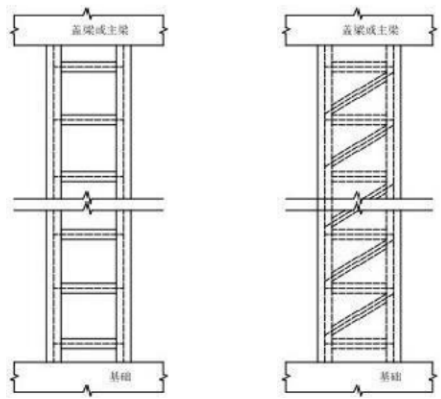


图23矩形钢管混凝土墩(柱)主要结构形式

- 9.6.2 矩形钢管混凝土墩(柱)的钢管对接接头应符合以下规定：
- a) 钢管对接接头应采用全熔透焊缝；
 - b) 钢管对接接头的外轮廓尺寸应相同、钢管壁厚差不宜超过6mm。
- 9.6.3 矩形钢管混凝土墩(柱)的横向连接撑可采用钢管桁式结构体系，其形式可采用单管、双管桁式、三角形桁式、四边形桁式和 K 形桁式等。
- 9.6.4 矩形钢管混凝土组合桁梁、墩(柱)的横向连接撑与弦杆的连接接头可采用螺栓连接、焊接连接或栓焊连接，焊接接头设计应遵循焊缝少、焊接操作性强的原则。
- 9.6.5 当矩形钢管混凝土墩(柱)的横向连接撑刚度不能满足结构横向整体要求时，可增加横撑弦杆壁厚、灌注横撑弦杆内混凝土或增加横撑数量。

10 施工

10.1 一般规定

- 10.1.1 钢管混凝土组合桁梁桥施工应符合 JTG/T 3650的规定。
- 10.1.2 钢桁钢管及主要辅助构件制造应开展焊接工艺试验和评定，应编制钢结构制造指导书，并符合 GB 50661 的规定。
- 10.1.3 钢桁钢管、辅助构件应针对桥位处环境作用影响和涂层体系保护年限，按 JT/T 722 的规定进行防腐涂装。
- 10.1.4 钢管内灌注混凝土宜采用压注工艺，其配合比应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55和《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283的规定。
- 10.1.5 钢管混凝土构件脱粘空隙厚度大于3mm 时，应对脱粘处进行钻孔压浆填充处理。
- 10.1.6 钢桁架设、混凝土灌注施工方案应进行专项施工组织设计。

10.2 钢桁制造、安装

10.2.1 钢桁制造

- 10.2.1.1 钢桁、钢墩柱制造单元应根据桥梁施工图设计文件，钢桁应计入预拱度影响，开展钢结构制造大样的工艺设计和评定。

- 10.2.1.2 应验算胎架的强度、刚度、稳定性，并按设计和规范要求对构件、桁片和节段的预拼装。
- 10.2.1.3 钢结构焊接过程中选用的气体保护焊、埋弧焊、栓钉焊等工艺方法及焊接工艺评定应符合GB 50661的规定。
- 10.2.1.4 钢管混凝土焊接节点和对接接头应满足设计要求，当无设计要求时应采用全熔透焊缝。
- 10.2.1.5 焊接完成后，应清理焊缝表面的熔渣及两侧的飞溅。所有的焊缝应在全长范围内进行外观检验，不得有裂纹、未熔合、夹渣和焊瘤等缺陷。焊缝的外观要求应符合设计要求及JTG/T 3650的规定。
- 10.2.1.6 焊缝外观检验合格的焊接件，应在焊接24h后进行无损检验。焊缝的超声波检测应符合GB/T 11345的规定；焊缝的射线探伤应符合GB/T 3323.1及GB/T 3323.2的规定。

10.2.2 钢桁安装

- 10.2.2.1 应根据相应的施工方案进行节段划分，各节段尺寸及重量差别不宜过大，安装单元划分数量不宜过多，宜在结构反弯点进行相邻节段的拼接。
- 10.2.2.2 采用顶推法安装钢桁时，导梁长度宜为顶推跨径的0.6倍~0.7倍，导梁的刚度宜选为主梁的1/9~1/5。
- 10.2.2.3 采用悬臂拼装法安装钢桁时，节段吊点的布置应综合考虑截面重心、钢桁位置等确定，节段悬拼设备应具备节段平面位置、高程、倾角的调整功能。
- 10.2.2.4 钢桁节段采用焊接时，可采用内置法兰+外圈焊接连接方式进行。

10.2.3 钢桁焊接工艺

- 10.2.3.1 腹杆和弦杆相贯焊接节点应采用全熔透焊缝，支管坡口形式可按图24和图25所示设置。

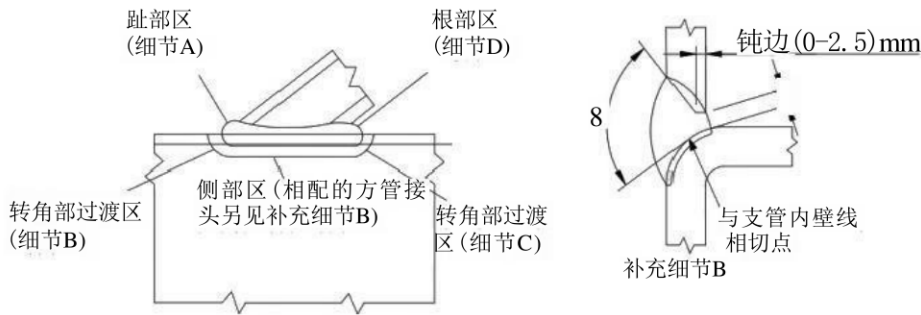
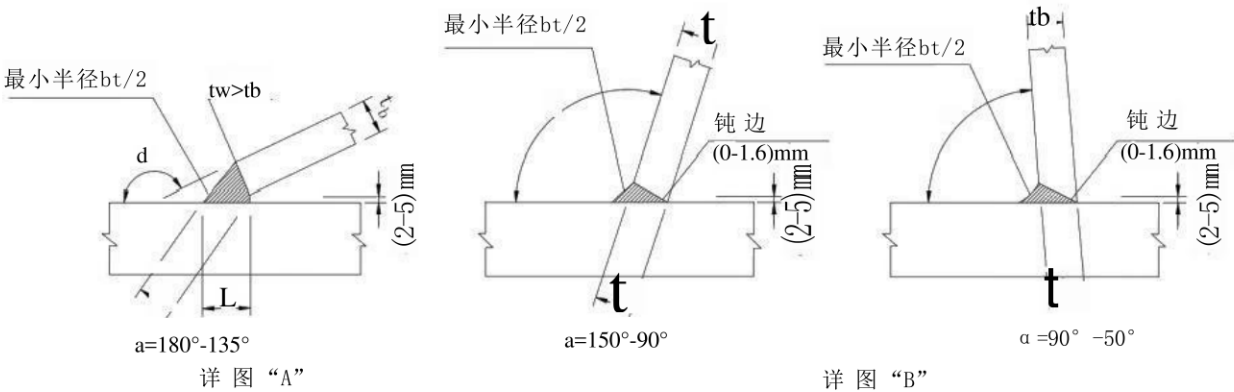


图24矩形钢管相贯节点焊缝分区



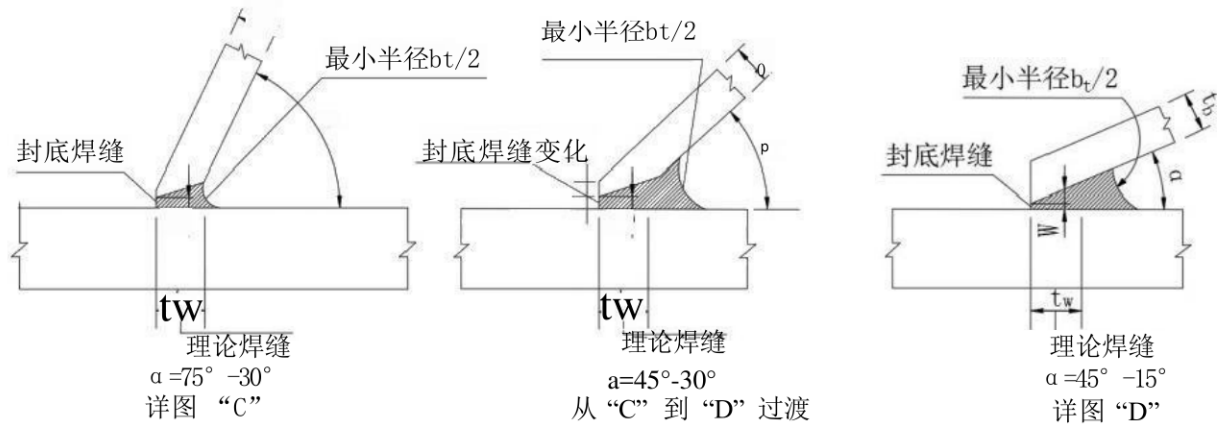


图25 全熔透焊缝坡口形式

10.2.3.2 钢管对接接头应采用全熔透焊缝，管端坡口可采用图26的形式。

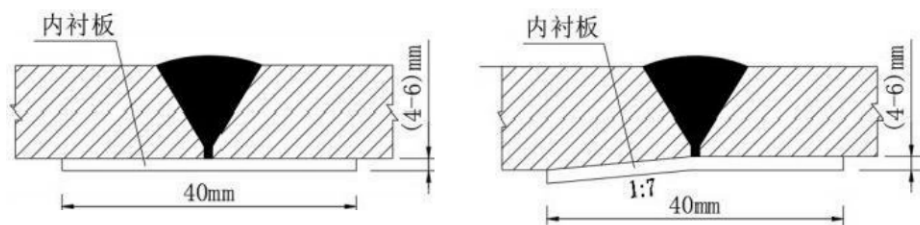


图26钢管对接坡口形式

10.2.3.3 腹杆与弦杆间的连接焊缝应沿腹杆四周连接焊接，并平滑过渡。腹杆与弦杆的连接焊缝宜采用角焊缝，也可部分采用角焊缝，部分采用对接焊缝，腹杆管壁与弦杆管壁之间夹角不小于120°的连接焊缝宜采用对接焊缝或带坡口的角焊缝。

10.2.3.4 腹杆与弦杆的连接焊缝应按GB 50017 的规定按角焊缝计算，腹杆与弦杆间连接焊缝的焊脚尺寸 h_e 不宜大于腹杆壁厚的2倍，也不宜小于腹杆壁厚的1.1倍。

10.2.3.5 当腹杆与弦杆的宽度相等，宜采用图27所示喇叭形坡口焊缝时，应符合GB 50017的规定进行焊缝强度计算。

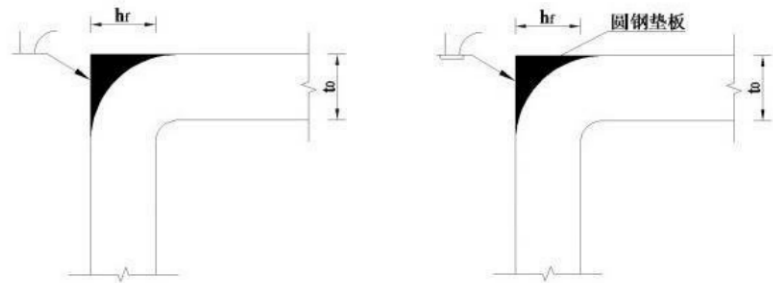


图27 喇叭形坡口焊缝

10.3 管内混凝土灌注

- 10.3.1 竖直钢管可采用高抛混凝土灌注工艺，斜管和水平管可采用泵送灌注工艺。
- 10.3.2 在施工现场可模拟灌注构件的位置进行足尺模型灌注工艺试验。
- 10.3.3 钢管混凝土灌注完成14d后，采用敲击法、超声波法和钻孔验证法检查管内混凝土的密实度。

10.4 混凝土桥面板施工

- 10.4.1 混凝土桥面板宜采用预制板，安装前宜存放6个月以上。
- 10.4.2** 桥面板宜采用先跨中、后支点的顺序来施工。

11 检验验收按照 JTG F80/1 的规定执行

附录 A
(规范性)
轴心受压构件的稳定系数 ϕ

A.1 轴心受压构件的稳定系数 ϕ 见表 A.1

表 A.1 轴心受压构件的稳定系数 ϕ

元 $\times 10^2$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.996	0.992	0.989	0.985
30	0.981	0.977	0.973	0.969	0.965	0.961	0.957	0.953	0.949	0.945
40	0.941	0.937	0.932	0.928	0.924	0.920	0.915	0.911	0.906	0.902
50	0.897	0.892	0.888	0.883	0.878	0.873	0.868	0.863	0.858	0.853
60	0.848	0.843	0.837	0.832	0.827	0.821	0.815	0.810	0.804	0.798
70	0.792	0.787	0.781	0.775	0.769	0.762	0.756	0.750	0.744	0.737
80	0.731	0.725	0.718	0.712	0.705	0.699	0.692	0.686	0.679	0.672
90	0.666	0.659	0.652	0.646	0.639	0.633	0.626	0.619	0.613	0.606
100	0.600	0.595	0.590	0.585	0.580	0.575	0.570	0.565	0.560	0.555
110	0.550	0.545	0.540	0.535	0.530	0.525	0.520	0.515	0.510	0.505
120	0.501	0.496	0.491	0.486	0.481	0.476	0.471	0.467	0.462	0.457
130	0.453	0.448	0.443	0.439	0.434	0.430	0.425	0.421	0.417	0.412
140	0.408	0.404	0.400	0.396	0.391	0.387	0.383	0.379	0.376	0.372
150	0.368	0.364	0.360	0.357	0.353	0.349	0.346	0.342	0.339	0.335
160	0.332	0.329	0.325	0.322	0.319	0.316	0.313	0.309	0.306	0.303
170	0.300	0.297	0.294	0.292	0.289	0.286	0.283	0.280	0.278	0.275
180	0.272	0.270	0.267	0.265	0.262	0.260	0.257	0.255	0.253	0.250
190	0.248	0.246	0.243	0.241	0.239	0.237	0.235	0.232	0.230	0.228
200	0.226	0.224	0.222	0.220	0.218	0.216	0.215	0.213	0.211	0.209
210	0.207	0.205	0.204	0.202	0.200	0.198	0.197	0.195	0.193	0.192
220	0.190	0.189	0.187	0.186	0.184	0.183	0.181	0.180	0.178	0.177
230	0.175	0.174	0.172	0.171	0.170	0.168	0.167	0.166	0.164	0.163
240	0.162	0.161	0.159	0.158	0.157	0.156	0.155	0.153	0.152	0.151
250	0.150	—	—	—	—	—	—	—	—	—

附 录 B
(规范性)

矩形钢管和矩形钢管混凝土节点刚度

B.1 矩形钢管和矩形钢管混凝土节点刚度见表B.1

表 B.1 矩形钢管节点刚度

节点类型	计算公式
┐型节点	$k_J = \begin{cases} \frac{E_s}{\frac{(b_0 - 2t_0 - b_1)^3}{4l_{eff}t_0^3} + \frac{h_0 - t_0}{2b_{eff}t_0}} & \beta < 0.85 \\ \frac{E_s(h_0 - t_0)}{2b_{eff}t_0} & \beta \geq 0.85 \end{cases}$ 式中：$1n=h(2-\beta)+1.25b(1-\beta)$， $b_{eff}=0.025\left(h_1(9\beta-1)+\frac{2.4b_0}{1.2-\beta}\right)$
⋈型节点	式中： $k_J = \begin{cases} \frac{E_s}{\sin^2\theta\left[\frac{(b_0 - 2t_0 - b_1)^3}{4l_{eff}t_0^3} + \frac{h_0 - t_0}{2b_{eff}t_0}\right]} & \beta < 0.85 \\ \frac{E_s(h_0 - t_0)}{2b_{eff}t_0\sin^2\theta} & \beta \geq 0.85 \end{cases}$ $l_{eff} = \frac{(17.34 + 2\gamma)}{\left(59.15 + 107.35\frac{g}{b_0}\right)} \left[(6.13 - 7.77\beta)b_0 + (0.85 - 0.58\beta)\frac{h_1}{\sin\theta} \right]$$b_{eff} = \frac{1}{\left(4.52 + 2.95\frac{g}{b_0}\right)} \left[\frac{(69.65 - 2\gamma)}{(3.40 + 9.92\beta)}b_0 + (-11.43 + 18.48\beta)\frac{h_1}{\sin\theta} \right]$

表 B.2 矩形钢管混凝土节点刚度

节点类型		计算公式	
支管受拉节点	T、V节点	$k_A = \begin{cases} \frac{2E_s}{\sin^2 \theta \left[\frac{(b_0 - t_0 - b_1)^3}{8l_{eff}t_0^3} + \frac{h_2 - t_2}{b_{eff}t_0} \right]} & \beta < 1 \\ \frac{2E_s b_{eff} t_0}{\sin^2 \theta (h_0 - t_0)} & \beta \geq 1 \end{cases}$	式中： $l_{eff} = \frac{(46.89 + 2\gamma)}{100} \left[(1.12 - 1.26\beta)b_0 + 0.21 \frac{h_1}{\sin \theta} \right]$ $b_{eff} = \frac{(159.62 - 2\gamma)}{100} (0.06 + 0.35\beta)b_0 + 0.98 \frac{\beta h_1}{\sin \theta}$
	⋈节点		式中： $l_{eff} = \frac{(57.2 + 2\gamma)}{(75.68 + 80.58g/b_0)} \left[(0.85 - 0.92\beta)b_0 + 0.15 \frac{h_1}{\sin \theta} \right]$ $b_{eff} = \frac{(318.36 - 2\gamma)}{(162.72 + 75.71g/b_0)} \left[\frac{0.83b_0}{(1206.87\beta - 826.44)} + 0.98 \frac{h_1}{\sin \theta} \right]$
支管受压节点	T、V节点	$k_{jc} = \begin{cases} \frac{l_{eff1} E_c b_1}{\sin^2 \theta (h_0 - t_0)} & \beta < 0.85 \\ \frac{l_{eff2} (E_c b_1 + 2E_s t_0)}{\sin^2 \theta (h_0 - t_0)} & 0.85 \leq \beta \leq 1 \end{cases}$	式中： $l_{eff1} = \frac{(131.35 - 2\gamma)}{100} \left[\frac{h_1}{\sin \theta} + (1.84 - 1.95\beta)b_0 \right]$ $l_{eff2} = \frac{(102.64 - 2\gamma)}{100} \left[\frac{0.74h_1}{\sin \theta} + (1.69 - 1.03\beta)b_0 \right]$
	⋈节点		$\beta \geq 0.6$ 且 $g/b \geq 0.3$ 时，式中： $l_{eff1} = \frac{(62.81 - 2\gamma)h_1/\sin \theta + (36.10 - 18.39\beta)b_0}{(34.36 + 7.04g/b_0)}$ $l_{eff2} = \frac{(104.12 - 2\gamma)[(0.17 + 2.01\beta)b_0 + h_1/\sin \theta]}{(175.5 + 93.15g/b_0)}$