

上海市工程建设规范

型钢混凝土组合桥梁设计标准

Standard for design of steel reinforced concrete composite bridges

DG/TJ 08-2299-2019

J 14878-2019

主编单位:上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司

上海勘测设计研究院有限公司

批准部门:上海市住房和城乡建设管理委员会

施行日期:2020年2月1日

同济大学出版社

2019 上海

上海市住房和城乡建设管理委员会文件

沪建标定〔2019〕586号

上海市住房和城乡建设管理委员会 关于批准《型钢混凝土组合桥梁设计标准》 为上海市工程建设规范的通知

各有关单位：

由上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司和上海勘测设计研究院有限公司主编的《型钢混凝土组合桥梁设计标准》，经我委审核，现批准为上海市工程建设规范，统一编号为 DG/TJ 08—2299—2019，自 2020 年 2 月 1 日起实施。

本规范由上海市住房和城乡建设管理委员会负责管理，上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司负责解释。

特此通知。

上海市住房和城乡建设管理委员会
二〇一九年九月二十六日

前 言

根据上海市住房和城乡建设管理委员会《关于印发〈2016 年上海市工程建设规范编制计划〉的通知》(沪建交〔2015〕871 号)的要求,由上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司和上海勘测设计研究院有限公司会同相关单位经深入调查研究,认真总结实践经验,并在广泛征求各方意见的基础上,制定了本标准。

本标准的主要内容有:总则;术语和符号;基本规定;材料;承载能力极限状态计算;正常使用极限状态验算;结合与连接设计;构造规定;耐久性与可维护设计。

各有关单位及相關人員在执行本标准过程中,如有意见或建议,请及时反馈至上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司(地址:上海市东方路 3447 号;邮编:200125;E-mail:guifanbianzhi@suedri.com),或上海市建筑建材业市场管理总站(地址:上海市小木桥路 683 号;邮编:200032;E-mail:hzglk@zjw.sh.gov.cn),以便修订时参考。

主 编 单 位:上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司
上海勘测设计研究院有限公司

参 编 单 位:同济大学
上海浦东建筑设计研究院有限公司
上海公路桥梁(集团)有限公司
中铁十二局集团有限公司

主要起草人:陆元春 胡晓静 刘玉擎 李雪峰 倪文全
周 良 张大伟 杨端俊 吴 钢 丁佳元
杨 飞 任东辉 郭卓明 王贤林 姜 磊

罗 晗 谢 涛 何晓光 成卫忠 蔡 亮
徐俊杰

主要审查人:徐利平 李国平 李 坚 张蓓雯 周文海
程为和 徐 彝 冀振龙 商国平

上海市建筑建材业市场管理总站
2019 年 5 月

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	2
3	基本规定	7
3.1	一般规定	7
3.2	作用及作用效应	8
3.3	结构设计计算原则	8
4	材 料	10
4.1	混凝土	10
4.2	钢 材	11
4.3	普通钢筋	13
4.4	预应力筋	14
5	承载力极限状态计算	17
5.1	一般规定	17
5.2	抗弯承载力计算	17
5.3	轴心受力承载力计算	25
5.4	抗拉弯、压弯承载力计算	26
5.5	抗剪承载力计算	32
6	正常使用极限状态验算	35
6.1	一般规定	35
6.2	抗裂验算	35
6.3	裂缝宽度验算	37
6.4	挠度验算	39

7 结合与连接设计	41
7.1 一般规定	41
7.2 抗剪连接件	41
7.3 构件的连接	43
8 构造规定	46
8.1 一般规定	46
8.2 结合与连接构造	47
9 耐久性与可维护设计	50
9.1 一般规定	50
9.2 耐久性设计	51
9.3 可维护设计	53
本标准用词说明	55
引用标准名录	56
条文说明	57

Contents

1	General	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Basic requirements	7
3.1	General requirements	7
3.2	Actions and combination of actions	8
3.3	Principles of structural design and calculation	8
4	Materials	10
4.1	Concrete	10
4.2	Structural steel	11
4.3	Reinforcing steel	13
4.4	Prestressing steel	14
5	Ultimate limit states	17
5.1	General requirements	17
5.2	Resistance of members in bending	17
5.3	Resistance of members in axial compression	25
5.4	Resistance of members in combined tension and bending or in combined compression and bending ---	26
5.5	Resistance of members in shear	32
6	Serviceability limit states	35
6.1	Serviceability limit states	35
6.2	Resistance of crack	35
6.3	Calculation of crack widths	37

6.4	Calculation of deflection	39
7	Design of combination and connection	41
7.1	General requirements	41
7.2	Shear connector for combination	41
7.3	Connection of members	43
8	Construction regulations	46
8.1	General requirements	46
8.2	Construction of combination and connection	47
9	Design of durability and maintainability	50
9.1	General requirements	50
9.2	Design of durability	51
9.3	Design of maintainability	53
	Explanation of wording in this code	55
	List of quoted standards	56
	Explanation of provisions	57

1 总 则

1.0.1 为使型钢混凝土组合桥梁的设计符合安全可靠、适用耐久、经济合理的要求,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于本市城市道路和公路中采用型钢混凝土组合构件的桥梁设计。

1.0.3 本市型钢混凝土组合桥梁的设计除应符合本标准外,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 型钢混凝土组合桥梁 steel reinforced concrete composite bridges

采用型钢混凝土组合构件作为主要受力构件的桥梁。

2.1.2 型钢混凝土组合构件 steel reinforced concrete composite members

混凝土内配置型钢(轧制或焊接成型)和钢筋,共同受力的构件。

2.1.3 换算截面刚度 transformed section stiffness

进行型钢混凝土组合构件计算时,将钢筋混凝土和钢材两种不同材料,换算成同一种材料的截面刚度。

2.1.4 型钢保护层厚度 concrete cover depth for steel section

型钢外包混凝土的厚度,即型钢外表面法向方向距混凝土外表面的最小距离。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

E_c ——混凝土弹性模量;

E_s ——型钢弹性模量;

E_s ——普通钢筋弹性模量;

E_p ——预应力钢筋弹性模量;

f_{ck}, f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值;

f_{ck}, f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；

f_{yk}, f_{yk} ——普通钢筋抗拉强度标准值、设计值；

f_{pk}, f_{pk} ——预应力钢筋抗拉强度标准值、设计值；

f'_{yk}, f'_{yk} ——普通钢筋、预应力钢筋抗压强度设计值；

f'_{td} ——型钢上翼缘材料抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_{td} ——型钢下翼缘材料抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_{wd} ——型钢腹板材料抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_{sv} ——箍筋强度设计值。

2.2.2 作用与作用效应

M_{sd} ——抗弯极限承载力设计值；

M_c ——混凝土截面抗裂弯矩；

M_n ——按荷载标准组合计算的弯矩值；

M_s ——按荷载频遇组合计算的弯矩值；

M_{σ} ——截面消压弯矩；

N_{ps} ——计算截面上混凝土法向应力等于零时，预应力钢筋及普通钢筋的合力；

N_{sd} ——轴心受拉极限承载力设计值；

N_v ——单个抗剪连接件抗剪承载力设计值；

V_b ——梁的抗剪承载能力设计值；

V_c ——混凝土部分抗剪承载能力；

V_{sv} ——箍筋部分抗剪承载能力；

V_s ——型钢部分抗剪承载能力；

V_p ——由预应力而提高的截面抗剪承载力；

σ_{ps} ——受拉区纵向预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时预应力钢筋的应力；

σ_{st} ——腹板顶部拉应力；

σ_{st} ——腹板顶部压应力；

σ_{st} ——型钢腹板底部应力；

σ_{st} ——受拉区普通纵向钢筋应力；

- σ_t ——由作用频遇或准永久组合下的截面边缘拉应力；
 σ_{tp} ——由作用频遇组合和预加力产生的混凝土主拉应力；
 σ_{pc} ——由预应力在截面边缘产生的压应力；
 σ_{sk} ——使用阶段钢筋应力值；
 $w_{\max}$ ——最大裂缝宽度。

2.2.3 几何参数

- A_s ——受拉区纵向普通钢筋的截面面积；
 A'_s ——受压区纵向普通钢筋的截面面积；
 A_{sv} ——同一截面内箍筋各肢的总截面面积；
 A_{sp} ——受拉区纵向预应力钢筋的截面面积；
 A'_{sp} ——受压区纵向预应力钢筋的截面面积；
 A'_{ef} ——型钢截面上翼缘面积；
 A_{ef} ——型钢截面下翼缘面积；
 A_{we} ——型钢截面腹板面积；
 A_c ——混凝土净截面积；
 A_{st} ——实际处于受压区的型钢面积；
 B_s ——型钢混凝土梁按荷载频遇组合作用下的短期刚度；
 B_0 ——未开裂的型钢混凝土梁按荷载频遇组合作用下的短期刚度；
 B_{ec} ——普通型钢混凝土梁按荷载频遇组合作用下的短期刚度；
 I_0 ——换算截面惯性矩；
 I_s ——型钢截面惯性矩；
 b ——截面宽度；
 h ——截面高度；
 s ——沿构件长度方向上箍筋间距；
 x ——按等效矩形应力图的计算混凝土受压区高度；

- a_1 ——型钢截面下翼缘板下边缘至截面近边距离；
 a_1' ——型钢截面上翼缘板上边缘至截面近边距离；
 a_s ——受拉区普通钢筋形心至受拉区截面边缘的距离；
 a_s' ——受压区普通钢筋形心至受压区截面边缘的距离；
 a_p ——受拉区预应力钢筋形心至受拉区截面边缘的距离；
 h_0 ——截面有效高度；
 h_0' ——受压侧有效高度；
 t_f ——型钢下翼缘板厚度；
 t_f' ——型钢上翼缘板厚度；
 t_w ——型钢腹板厚度；
 a_{f1} ——型钢下翼缘形心至截面下边缘距离；
 a_{f2} ——型钢上翼缘形心至截面上边缘距离；
 h_w ——型钢上翼缘形心至下翼缘形心距离；
 a_1 ——型钢截面下翼缘至截面下边缘距离；
 h_{s1} ——型钢上翼缘形心受拉但未屈服时，腹板临界屈服纤维距截面上缘的距离；
 h_{s2} ——型钢上翼缘形心受压但未屈服时，腹板临界屈服纤维距截面上缘的距离；
 h_{s3} ——截面中和轴距型钢腹板临界屈服纤维的距离；
 h_{s4} ——截面中和轴距型钢受压区临界屈服纤维的距离；
 l_{cr} ——平均裂缝间距；
 c ——混凝土保护层厚度；
 d_e ——受拉区钢材的等效钢筋直径；
 u_{s1} ——实际中和轴以下部分型钢周长；
 e ——初始偏心距；
 e_0 ——轴向力对截面重心轴的偏心距；
 e_s ——附加偏心距；
 e_s ——轴向力作用位置距离受拉侧普通纵向钢筋形心

距离；

e'_0 ——轴向力作用位置距离受压侧普通纵向钢筋形心距离；

e_1 ——预应力筋形心距截面形心的距离；

y_s ——截面重心距受拉钢筋受力点的距离；

l_0 ——受压构件的计算长度。

2.2.4 计算系数及其他

γ_0 ——桥梁结构重要性系数；

α_1 ——截面受压区矩形应力图的应力值与实际受压区极限压应力的比值；

β_1 ——截面受压区矩形应力图高度与实际受压区高度的比值；

β_2 ——混凝土强度影响系数；

φ ——轴压构件稳定系数；

η ——偏心距增大系数；

η_s ——使用阶段的轴向压力偏心距增大系数；

λ ——剪跨比；

ρ_s ——纵向受拉钢筋配筋率；

ρ_{se} ——按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率；

ψ ——考虑型钢翼缘作用的钢筋应变不均匀系数；

η_θ ——考虑长期效应组合对挠度的增长系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 本标准采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,按分项系数的设计表达式进行设计。

3.1.2 型钢混凝土组合桥梁应按下列两类极限状态进行设计:

1 承载力极限状态:对应于型钢混凝土组合桥梁或其构件达到最大承载能力,或出现不适于继续承载的变形或变位的状态。

2 正常使用极限状态:对应于型钢混凝土组合桥梁或其构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态。

3.1.3 型钢混凝土组合桥梁应根据下列设计状况进行相应的极限状态设计:

1 持久状况:桥梁建成后承受结构自重、车辆荷载等持续时间较长的状况,该状况应进行承载力极限状态和正常使用极限状态设计。

2 短暂状况:在型钢混凝土组合构件制作、运送和桥梁架设过程中承受临时荷载的状况,该状况应进行承载力极限状态设计,必要时进行正常使用极限状态设计。

3 地震状况:在桥梁使用过程中遭受地震时的状况,该状况应进行承载力极限状态设计。

4 偶然状况:在桥梁使用过程中偶然出现的状况,该状况只需进行承载力极限状态设计。

3.1.4 型钢混凝土组合桥梁的设计基准期应为 100 年。

3.1.5 型钢混凝土组合桥梁的设计使用年限应按表 3.1.5 采用。

表 3.1.5 型钢混凝土组合桥梁的设计使用年限

类别	设计使用年限(年)	桥梁类型
1	30	小桥
2	50	中桥、重要小桥
3	100	特大桥、大桥、重要中桥

注:对有特殊要求结构的设计使用年限,可在上述规定基础上经技术经济论证后予以调整。

3.2 作用及作用效应

3.2.1 型钢混凝土组合桥梁的荷载分类、效应组合与荷载计算应根据工程性质的不同,分别按现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 或《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 执行。

3.2.2 承载能力极限状态计算时,作用(或荷载)的效应(其中汽车荷载应计入冲击系数)应采用基本组合;结构材料性能采用其强度设计值。

3.2.3 正常使用极限状态计算时,作用(或荷载)的效应(其中汽车荷载不应计入冲击系数)应采用其标准组合。

3.3 结构设计计算原则

3.3.1 型钢混凝土桥梁承载能力极限状态计算,应采用下式:

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (3.3.1)$$

式中: γ_0 ——桥梁结构重要性系数;

S_d ——作用(或荷载)效应的组合设计值;

R_d ——构件承载力设计值。

3.3.2 型钢混凝土桥梁正常使用极限状态计算,应采用下式:

$$S_{sd} \leq C \quad (3.3.2)$$

式中: S_{sd} ——正常使用极限状态作用(或荷载)组合的效应设计值;

C ——结构构件达到正常使用要求所规定的变形、应力和

裂缝宽度等的限值。

3.3.3 型钢混凝土组合桥梁应按下列规定进行抗倾覆稳定性验算：

- 1 在作用基本组合下，单向受压支座应始终保持受压状态。
- 2 当整联只采用单向受压支座支承时，应符合下式要求：

$$\frac{\sum S_{sk,i}}{\sum S_{sk,i}} \geq k_{qd} \quad (3.3.3)$$

式中： k_{qd} ——抗倾覆稳定系数，取 $k_{qd}=2.5$ ；

$\sum S_{sk,i}$ ——梁体抗倾覆作用的基本组合（分项系数均为 1.0）的效应设计值；

$\sum S_{sk,i}$ ——使梁体倾覆作用的基本组合（分项系数均为 1.0）的效应设计值。

3.3.4 在进行结构内力计算时，型钢混凝土组合构件的换算截面刚度可按下列规定计算：

- 1 换算抗弯刚度

$$EI = E_c I_c + E_s I_s \quad (3.3.4-1)$$

- 2 换算轴向刚度

$$EA = E_c A_c + E_s A_s \quad (3.3.4-2)$$

- 3 换算抗剪刚度

$$GA = G_c A_c + G_s A_s \quad (3.3.4-3)$$

式中： EI, EA, GA ——型钢混凝土构件换算截面抗弯刚度、轴向刚度、抗剪刚度；

$E_c I_c, E_c A_c, G_c A_c$ ——钢筋混凝土部分的截面抗弯刚度、轴向刚度、抗剪刚度；

$E_s I_s, E_s A_s, G_s A_s$ ——型钢部分的截面抗弯刚度、轴向刚度、抗剪刚度。

3.3.5 型钢混凝土组合构件在正常使用极限状态应力计算时应计入施工顺序，以及混凝土徐变和收缩等作用的影响。

4 材 料

4.1 混凝土

4.1.1 混凝土强度等级应按边长为 150mm 立方体试件的抗压强度标准值确定。

4.1.2 型钢混凝土组合构件中混凝土强度等级应符合下列规定：

1 型钢混凝土组合构件不应低于 C30。

2 预应力型钢混凝土组合构件不应低于 C40。

4.1.3 混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 和轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 应按表 4.1.3 采用。

表 4.1.3 混凝土强度标准值 (MPa)

强度等级 强度种类	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2
f_{tk}	2.01	2.20	2.40	2.51	2.65	2.74	2.85	2.93	3.00	3.05	3.10

4.1.4 混凝土轴心抗压强度设计值 f_{cd} 和轴心抗拉强度设计值 f_{td} 应按表 4.1.4 采用。

表 4.1.3 混凝土强度标准值 (MPa)

强度等级 强度种类	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{cd}	13.8	16.1	18.4	20.5	22.4	24.4	26.5	28.5	30.5	32.4	34.6
f_{td}	1.39	1.52	1.65	1.74	1.83	1.89	1.96	2.02	2.07	2.10	2.14

4.1.5 混凝土受压或受拉时的弹性模量 E_c 应按表 4.1.5 采用。

表 4.1.5 混凝土的弹性模量 (MPa)

强度等级	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
$E_c (\times 10^4 \text{ MPa})$	3.00	3.15	3.25	3.35	3.45	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80

注:当采用引气剂及较高砂率的泵送混凝土且无实测数据时,表中 C50~C80 的 E_c 值应乘以折减系数 0.95。

4.1.6 混凝土的剪切模量 G_c 可按本标准表 4.1.5 数值的 0.4 倍采用;混凝土的泊松比 ν_c 可采用 0.2;混凝土的温度线膨胀系数 α_c 可取 $1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 。

4.2 钢 材

4.2.1 型钢混凝土组合构件的型钢材料可采用 Q235 钢、Q355 钢、Q390 钢、Q420 钢和 Q460 钢,其质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。钢材强度设计值应按表 4.2.1 采用。

表 4.2.1 型钢材料的强度设计值 (MPa)

钢材		抗拉、抗压和抗弯 f_{td}, f_{td}, f_{td}	抗剪 f_{vd}
牌号	厚度或直径 (mm)		
Q235 钢	≤ 16	190	110
	16~40	180	105
	40~63	170	100
Q355 钢	≤ 16	285	165
	16~40	275	160
	40~63	270	155

续表 4.2.1

钢材		抗拉、抗压和抗弯 f_{st}, f_{st}, f_{st}	抗剪 f_{st}
牌号	厚度或直径 (mm)		
Q390 钢	≤ 16	310	180
	16~40	295	170
	40~63	280	160
Q420 钢	≤ 16	335	195
	16~40	320	185
	40~63	305	175
Q460 钢	≤ 16	370	210
	16~40	355	205
	40~63	345	200

注:表中厚度系指计算点的钢材厚度,对轴心受拉和轴心受压构件系指截面中较厚板件的厚度。

4.2.2 型钢可采用焊接型钢和轧制型钢。当焊接型钢的钢板厚度大于或等于 50mm,并承受沿板厚方向的拉力作用时,其板厚方向的截面收缩率不应小于现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 中规定的 Z15 级的允许值。

4.2.3 型钢材料的物理性能指标应按表 4.2.3 采用。

表 4.2.3 型钢材料的物理性能指标

弹性模量 E_s (MPa)	剪切模量 G_s (MPa)	泊松比 ν_s	线膨胀系数 α_s (以每℃计)	质量密度 ρ_s (kg/m ³)
2.06×10^5	7.9×10^4	0.3	1.2×10^{-5}	7850

4.2.4 焊缝的强度设计值应按现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTJG D64 进行取值。

4.2.5 构件中设置的圆柱头焊钉应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的规定。圆柱头焊钉的力学性

能应符合表 4.2.5 的规定。

表 4.2.5 圆柱头焊钉的力学性能 (MPa)

钢号	屈服强度	抗拉强度
ML15、ML15Al	≥ 320	≥ 400

4.3 普通钢筋

4.3.1 普通钢筋宜选用 HPB300、HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 和 RRB400 钢筋,并应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第 1 部分:热轧光圆钢筋》GB 1499.1、《钢筋混凝土用钢 第 2 部分:带肋钢筋》GB 1499.2 或《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB 13014 的规定。

4.3.2 普通钢筋的抗拉强度标准值应具有不小于 95%的保证率。

普通钢筋的抗拉强度标准值 f_{sk} 应按表 4.3.2 采用。

表 4.3.2 普通钢筋抗拉强度标准值

钢筋种类	符号	公称直径 d (mm)	f_{sk} (MPa)
HPB300		6~22	300
HRB400		6~50	400
HRBF400			
RRB400			
2HRB500		6~50	500

4.3.3 普通钢筋的抗拉强度设计值 f_{sd} 和抗压强度设计值 f'_{sd} 应按表 4.3.3 采用。

表 4.3.3 普通钢筋抗拉、抗压强度设计值 (MPa)

钢筋种类	f_{sd}	f'_{sd}
HPB300	250	250
HRB400	330	330
HRBF400		
RRB400		
HRB500	415	400

注:1 钢筋混凝土轴心受拉和小偏心受拉构件的钢筋抗拉强度设计值大于 330MPa 时,应按 330MPa 取用;在斜截面抗剪承载力、受扭承载力和冲切承载力计算中垂直于纵向受力钢筋的箍筋或间接钢筋等横向钢筋的抗拉强度设计值大于 330MPa 时,应按 330MPa 取用。

2 构件中配有不同种类的钢筋时,每种钢筋应采用各自的强度设计值。

4.3.4 普通钢筋的弹性模量 E_s 应按表 4.3.4 采用。

表 4.3.4 普通钢筋的弹性模量(MPa)

钢筋种类	E_s
HPB300	2.1×10^5
HRB400, HRB500 HRBF400, HRBF500	2.0×10^5

4.4 预应力筋

4.4.1 预应力型钢混凝土组合梁中的预应力筋应选用钢绞线、钢丝;中、小型构件或横向预应力筋,也可选用预应力螺纹钢筋。

钢绞线应满足现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的要求;钢丝应满足现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223 的要求;预应力螺纹钢筋应满足现行国家标准《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065 的要求。

无粘结钢绞线应满足现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG 161 的要求;成品与非成品体外索的保护应满足相关规范的要求。

4.4.2 预应力筋的抗拉强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。

预应力筋的抗拉强度标准值 f_{pk} 应按表 4.4.2 采用。

表 4.4.2 预应力筋抗拉强度标准值 (MPa)

钢筋种类		符号	公称直径 d (mm)	f_{sk}
钢绞线	1×7	Φ ^p	9, 5, 12, 7, 15, 2, 17, 8	1720, 1860, 1960
			21, 6	1860
消除应力钢丝	光面 螺旋肋	Φ ^p	5	1570, 1770, 1860
			7	1570
		Φ ^p	9	1470, 1570
预应力螺纹钢筋		Φ ^p	18, 25, 32, 40, 50	785, 930, 1080

4.4.3 体内有粘结预应力筋的抗拉强度设计值 f_{pd} 和抗压强度设计值 f_{pd} 应按表 4.4.3 采用。

表 4.4.3 预应力筋抗拉、抗压强度设计值 (MPa)

钢筋种类	f_{pk}	f_{pd}	f_{pd}
钢绞线 1×7 (七股)	1720	1170	330
	1860	1260	
	1960	1330	
消除应力钢丝	1470	1000	410
	1570	1070	
	1770	1200	
	1860	1260	
预应力螺纹钢筋	785	650	400
	930	770	
	1080	900	

4.4.4 体外无粘结预应力筋的极限应力设计值 $\sigma_{p0.9}$ 应采用预应力的极限应力 σ_p 除以考虑材料性能、结构体系等因素的分项系数 γ_{ps} , γ_{ps} 可取 1.2。

4.4.5 预应力筋的弹性模量 E_p 应按表 4.4.5 采用。

表 4.4.5 预应力筋的弹性模量 (MPa)

钢筋种类	E_p
钢绞线	1.95×10^5
消除应力钢丝	2.05×10^5
预应力螺纹钢筋	2.00×10^5

5 承载能力极限状态计算

5.1 一般规定

5.1.1 型钢混凝土桥梁的设计应按承载能力极限状态的要求进行验算。

5.1.2 型钢混凝土桥梁应根据现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定选定设计安全等级。

5.2 抗弯承载力计算

5.2.1 型钢混凝土梁的截面抗弯承载力,按下列基本假定进行计算:

- 1 截面应变分布符合平截面假定。
- 2 不考虑混凝土的抗拉作用。

3 受压区边缘混凝土极限应变 ϵ_{cu} 取 0.003,相应的最大压应力取混凝土轴心抗压强度设计值 f_{cd} ,受压区应力图形简化为等效矩形应力图,其高度取实际受压区的 β_1 倍,矩形应力图的应力取为混凝土轴心抗压强度设计值的 α_1 倍;其值可按照现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定取用。

4 普通钢筋和型钢应力取其应变与其弹性模量的乘积,但不大于其强度设计值。

5 预应力钢筋应力取其应变与其弹性模量的乘积,但不大于其强度设计值。

5.2.2 型钢混凝土梁受弯截面用于判断截面受力状态的相对界限受压区高度按下列公式计算：



图 5.2.2 型钢混凝土梁截面尺寸

1 型钢上翼缘形心达到设计抗拉强度

$$\xi_1 = \frac{\alpha_m \beta_1}{h_0 \left(1 + \frac{f_{st}}{E_s \varepsilon_{cu}} \right)} \quad (5.2.2-1)$$

2 型钢上翼缘形心应力为零

$$\xi_2 = \frac{\alpha_m \beta_1}{h_0} \quad (5.2.2-2)$$

3 型钢上翼缘形心达到设计抗压强度

$$\xi_3 = \frac{\alpha_m \beta_1}{h_0 \left(1 - \frac{f_{st}}{E_s \varepsilon_{cu}} \right)} \quad (5.2.2-3)$$

式中： b ——截面宽度；

h ——截面高度；

β_1 ——截面受压区矩形应力图高度与实际受压区高度的比值（混凝土强度等级不超过 C50 时， β_1 取 0.8，混凝土强度等级为 C80 时， β_1 取 0.74，其间按线性内插法计算）；

a_1 ——型钢截面下翼缘板下边缘至截面近边距离；

- a'_1 ——型钢截面上翼缘板上边缘至截面近边距离;
 a_s ——受拉区普通钢筋形心至受拉区截面边缘的距离;
 a'_s ——受压区普通钢筋形心至受压区截面边缘的距离;
 a_p ——受拉区预应力钢筋形心至受拉区截面边缘的距离;
 h_0 ——截面有效高度, $h_0 = h - a_s$;
 t_f ——型钢下翼缘板厚度;
 t'_f ——型钢上翼缘板厚度;
 t_w ——型钢腹板厚度;
 a_{n1} ——型钢下翼缘形心至截面下边缘距离, $a_{n1} = a_f + \frac{t_f}{2}$;
 a_{n2} ——型钢上翼缘形心至截面上边缘距离, $a_{n2} = a'_f + \frac{t'_f}{2}$;
 h_w ——型钢上翼缘形心至下翼缘形心距离;
 f'_{sd} ——型钢上翼缘材料抗拉、抗压和抗弯强度设计值;
 E_s ——型钢弹性模量;
 ϵ_{cu} ——混凝土极限压应变。

5.2.3 型钢混凝土截面相对界限受压区高度按下列公式计算:

1 预应力钢筋达到设计抗拉强度

$$\xi_{s_1} = \frac{\beta_1}{1 + \frac{0.002}{\epsilon_{cu}} + \frac{f_{sd} - \sigma_{ps}}{\epsilon_{cu} E_p}} \left(\frac{h - a_p}{h_0} \right) \quad (5.2.3-1)$$

2 受拉区普通钢筋达到设计抗拉强度

$$\xi_{s_2} = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_{sd}}{E_s \epsilon_{cu}}} \quad (5.2.3-2)$$

3 型钢下翼缘达到设计抗拉强度

$$\xi_{s_3} = \frac{(h - a_f) \beta_1}{\left(1 + \frac{f_{sd}}{E_s \epsilon_{cu}} \right) h_0} \quad (5.2.3-3)$$

$$\xi_b = \min(\xi_{s_1}, \xi_{s_2}, \xi_{s_3}) \quad (5.2.3-4)$$

式中: f_{sd} ——预应力钢筋抗拉强度设计值;
 σ_p ——受拉区纵向预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时预应力钢筋的应力;
 E_p ——预应力钢筋弹性模量;
 f_{sd} ——普通钢筋抗拉强度设计值;
 E_s ——普通钢筋弹性模量;
 f_{sd} ——型钢下翼缘材料抗拉、抗压和抗弯强度设计值;
 E_s ——型钢弹性模量;
 a_s ——型钢截面下翼缘至截面下边缘距离。

5.2.4 型钢混凝土截面受弯构件,其正截面抗弯承载力计算应按下列公式计算:

1 型钢全截面达到设计抗拉强度时

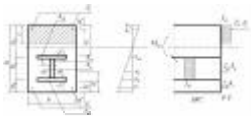


图 5.2.4-1 型钢全部受拉屈服计算模式

$$\begin{aligned}
 \gamma_c M_d \leqslant M_{ud} = & a_s f_{sd} b x \left(\frac{x}{\beta_1} - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s \left(\frac{x}{\beta_1} - a'_s \right) + \\
 & f_{sd} A_s \left(h_s - \frac{x}{\beta_1} \right) + f_{sd} A_{s2} \left(h - a_s - \frac{x}{\beta_1} \right) + A'_{sd} f'_{sd} \left(a_n - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\
 & A_{s2} f_{sd} \left(a_n + \frac{h_s}{2} - \frac{x}{\beta_1} \right) + A_{sd} f_{sd} \left(a_n + h_s - \frac{x}{\beta_1} \right)
 \end{aligned}
 \quad (5.2.4-1)$$

混凝土受压区高度 x 应按下列公式计算:

$$\alpha_1 f_{cd} b x + f'_{sd} A'_s = f_{sd} A_s + f_{sd} A_p + A'_{sd} f'_{sd} + A_{sd} f_{sd} + A_{sw} f_{sd} \quad (5.2.4-2)$$

解得 x 应满足

$$\frac{x}{h_0} \leq \xi_b \quad (5.2.4-3)$$

2 型钢上翼缘形心受拉但未屈服

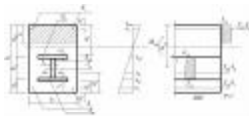


图 5.2.4-2 型钢上翼缘受拉未屈服计算模式

$$\begin{aligned} \gamma_s M_d \leq M_{sd} = & \alpha_1 f_{cd} b x \left(\frac{x}{\beta_1} - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s \left(\frac{x}{\beta_1} - a'_s \right) + \\ & f_{sd} A_s \left(h_0 - \frac{x}{\beta_1} \right) + f_{sd} A_p \left(h - a_p - \frac{x}{\beta_1} \right) + A'_{sd} \sigma_{sd} \left(a_n - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\ & (h - a_n - h_{sd}) t_w f_{sd} \left(\frac{h - a_n - h_{sd}}{2} + h_{sd} - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\ & A_{sd} f_{sd} \left(a_n + h_w - \frac{x}{\beta_1} \right) \end{aligned} \quad (5.2.4-4)$$

混凝土受压区高度 x 按下列公式计算:

$$\begin{aligned} & a_0 f_{\alpha\beta} h_{\gamma} + f'_{\alpha\beta} A'_{\gamma} - \sigma_{\alpha\beta} A'_{\gamma} + \\ & \left[f_{\alpha\beta} h_{\gamma} - \frac{(h_{\alpha\beta} - a_{\alpha\beta})(f_{\alpha\beta} - \sigma_{\alpha\beta})}{2} \right] t_{\gamma} + \Lambda_{\alpha\beta} f_{\alpha\beta} + f_{\alpha\beta} \Lambda_{\gamma} + f_{\alpha\beta} \Lambda_{\gamma} \end{aligned} \quad (5.2.4-5)$$

$$\sigma_{sl} = E_s \epsilon_{cv} \left(\frac{\beta_1 a_{\text{eff}}}{x} - 1 \right) \quad (5.2.4-6)$$

$$h_{\text{sat}} = \frac{x}{\beta_1} \left(\frac{f_{\text{sat}}}{E_{\text{se}}} + 1 \right) \quad (5.2.4-7)$$

解得 x 应满足

$$\xi_1 \leq \frac{X}{\beta} \leq \xi_2 \quad (5.2.4-8)$$

3 型钢上翼缘形心受压但未屈服

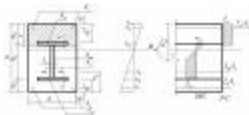


图 5.2.4-3 型钢上翼缘受压未屈服计算模式

$$\begin{aligned}
\gamma_0 M_d \leq & M_{ed} = a_1 f_{cd} b x \left(\frac{x}{\beta_1} - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s \left(\frac{x}{\beta_1} - a'_s \right) + \\
& f_{sd} A_s \left(h_0 - \frac{x}{\beta_1} \right) + f_{pd} A_p \left(h - a_p - \frac{x}{\beta_1} \right) + A'_d \sigma_{d2} \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{d2} \right) + \\
& (h - a_{d1} - h_{d2}) t_w f_{wd} \left(\frac{h - a_{d1} - h_{d2}}{2} + h_{d2} - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\
& A_{d2} f_{wd} \left(a_{d2} + h_w - \frac{x}{\beta_1} \right)
\end{aligned} \quad (5.2.4-9)$$

混凝土受压区高度 x 按下列公式计算:

$$\begin{aligned}
& a_1 f_{cd} b x + A'_s f'_{sd} + A'_d \sigma_{d2} = \\
& \left\{ f_{wd} \left[h_w - 2 \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{d2} \right) \right] - \left[h_{d2} - 2 \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{d2} \right) - a_{d2} \right] \frac{(f_{wd} - \sigma_{d2})}{2} \right\} t_w + \\
& A_{d2} f_{wd} + f_{pd} A_p + f_{sd} A_s
\end{aligned} \quad (5.2.4-10)$$

$$\sigma_{d2} = E_s \epsilon_{cs} \left(1 - \frac{\beta_1 a_{d2}}{x} \right) \quad (5.2.4-11)$$

$$h_{d2} = \frac{x}{\beta_1} \left(1 + \frac{f_{wd}}{E_s \epsilon_{cs}} \right) \quad (5.2.4-12)$$

解得 x 应满足

$$\xi_1 \leq \frac{x}{h_0} \leq \xi_2 \quad (5.2.4-13)$$

4 型钢上翼缘受压屈服

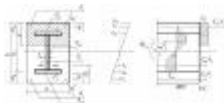


图 5.2.4-4 型钢上翼缘受压屈服计算模式

$$\begin{aligned}
\gamma_0 M_d \leq & M_{ad} - a_1 f_{ad} b x \left(\frac{x}{\beta_1} - \frac{x}{2} \right) + A'_s f'_{sd} \left(\frac{x}{\beta_1} - a'_s \right) + \\
& A'_s f'_{sd} \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{E1} \right) + A_s f_{sd} \left(h_0 - \frac{x}{\beta_1} \right) + A_s f_{sd} \left(h - a_s - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\
& A_{sd} f_{sd} \left(h - a_{E1} - \frac{x}{\beta_1} \right) + \left[\frac{\frac{x}{\beta_1} - a_{E1} - h_{E1}}{2} + h_{E1} \right] \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{E1} - h_{E1} \right) f_{sd} t_w + \\
& \left[\frac{h - a_{E1} - \frac{x}{\beta_1} - h_{E1}}{2} + h_{E1} \right] \left(h - a_{E1} - \frac{x}{\beta_1} - h_{E1} \right) f_{sd} t_w \quad (5.2.4-14)
\end{aligned}$$

混凝土受压区高度 x 按下列公式计算:

$$\begin{aligned}
a_1 f_{ad} b x + A'_s f'_{sd} + A'_{sd} f'_{sd} - A_s f_{sd} + A_{s1} f_{sd} + A_{sd} f_{sd} + \\
\left[h_w - 2 \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{E1} \right) \right] f_{sd} t_w \quad (5.2.4-15)
\end{aligned}$$

$$h_{E1} = \frac{f_{sd} x}{E_s \epsilon_{cu} \beta_1} \quad (5.2.4-16)$$

解得受压区高度 x 应符合

$$\frac{x}{h_0} \geq \xi_b \quad (5.2.4-17)$$

且受压区高度还应符合

$$x \leq \xi_b h_0 \quad (5.2.4-18)$$

当受压区配有纵向普通钢筋时,还应符合

$$x \geq 2a'_s \quad (5.2.4-19)$$

式中: γ_0 ——桥梁结构重要性系数,按照现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定取用;

M_d ——弯矩设计值;

M_{ad} ——抗弯极限承载力设计值;

a_1 ——矩形应力图的应力与混凝土轴心抗压强度的比值(当混

混凝土强度等级不超过 C50 时, α_1 取为 1.0, 当混凝土强度等级为 C80 时, α_1 取为 0.94, 期间按线形内插法确定);

A_s ——受拉区纵向普通钢筋的截面面积;

A'_s ——受压区纵向普通钢筋的截面面积;

A_p ——受拉区纵向预应力钢筋的截面面积;

A'_{st} ——型钢截面上翼缘面积;

A_{st} ——型钢截面下翼缘面积;

A_{sw} ——型钢截面腹板面积;

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值;

f'_{sd} ——普通钢筋抗压强度设计值;

f_{pd} ——预应力钢筋抗拉强度设计值;

f_{wd} ——型钢腹板材料抗拉、抗压和抗弯强度设计值;

h_w ——型钢上翼缘形心至下翼缘形心的距离;

x ——按等效矩形应力图的计算混凝土受压区高度;

σ_{s1} ——腹板顶部拉应力, 其值应小于 f'_{sd} ;

h_{s1} ——型钢上翼缘形心受拉但未屈服时, 腹板临界屈服纤维距截面上缘的距离;

σ_{s2} ——腹板顶部压应力, 其值应小于 f'_{sd} ;

h_{s2} ——型钢上翼缘形心受压但未屈服时, 腹板临界屈服纤维距截面上缘的距离;

h_{s3} ——截面中和轴距型钢腹板临界屈服纤维的距离。

5.3 轴心受力承载力计算

5.3.1 型钢混凝土轴心受拉构件的正截面抗拉承载力按下列公式计算:

$$\gamma_0 N_d \leq N_{td} = f_{td} A_s + f_{td} A_p + f'_{td} A'_{st} + f_{td} A_{st} + f_{td} A_{sw} \quad (5.3.1)$$

式中: N_d ——轴向力设计值;

N_{sd} ——轴心受拉极限承载力设计值。

5.3.2 型钢混凝土轴心受压构件的正截面抗压承载力按下列公式计算：

$$\gamma_0 N_d \leq 0.90 \varphi (f_{cd} A_c + f'_{sd} A'_s + A'_s f'_{sd} + A_{sd} f_{sd} + A_{sd} f_{sd}) \quad (5.3.2)$$

式中： φ ——轴压构件稳定系数，按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定采用；

A_c ——混凝土净截面积。

5.4 抗拉弯、压弯承载力计算

5.4.1 型钢混凝土构件其正截面偏心受力承载力计算的基本假定符合本标准第 5.2.1 条的规定。

5.4.2 型钢混凝土压弯构件截面相对受压区高度 ξ 按下列公式计算：

$$\xi = \frac{(h - a_1) \beta_1}{\left(1 + \frac{f_{sd}}{E_s \epsilon_{su}}\right) h_0} \quad (5.4.2)$$

当 $\xi \leq \xi_b$ 时，为大偏心受压构件；当 $\xi > \xi_b$ 时，为小偏心受压构件。

5.4.3 型钢混凝土截面大偏心受压构件正截面抗压承载力按下列公式计算：

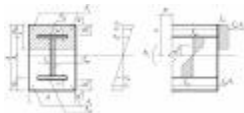


图 5.4.3 大偏心受压计算模式

$$\gamma_0 N_d \leq a_1 f_{cd} b x + \Lambda'_s f'_{sd} + \Lambda'_{sd} f'_{sd} - \Lambda_s f_{sd} - \Lambda_d f_{sd} - \left[h_w - 2 \left(\frac{x}{\beta_1} - a_0 \right) \right] f_{wd} t_w \quad (5.4.3-1)$$

$$\begin{aligned} \gamma_0 N_d e \leq & a_1 f_{cd} b x \left(\frac{x}{\beta_1} - \frac{x}{2} \right) + \Lambda'_s f'_{sd} \left(\frac{x}{\beta_1} - a'_s \right) + \Lambda'_{sd} f'_{sd} \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{sd} \right) + \\ & \Lambda_s f_{sd} \left(h_0 - \frac{x}{\beta_1} \right) + \Lambda_d f_{sd} \left(h - a_0 - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\ & \left[\frac{\frac{x}{\beta_1} - a_{sd} - h_{sd}}{2} + h_{sd} \right] \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{sd} - h_{sd} \right) f_{wd} t_w + \\ & \left[\frac{h - a_0 - \frac{x}{\beta_1} - h_{sd}}{2} + h_{sd} \right] \left(h - a_0 - \frac{x}{\beta_1} - h_{sd} \right) f_{wd} t_w \end{aligned} \quad (5.4.3-2)$$

混凝土受压区高度 x 按下列公式计算:

$$\begin{aligned} & a_1 f_{cd} b x \left(e - \frac{x}{\beta_1} + \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} \Lambda'_s \left(e - \frac{x}{\beta_1} + a'_s \right) + f'_{sd} \Lambda'_{sd} \left(e - \frac{x}{\beta_1} + a_{sd} \right) + \\ & f_{sd} \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{sd} - h_{sd} \right) \left[\frac{2e - \frac{x}{\beta_1} + a_{sd} - h_{sd}}{2} \right] t_w - f_{sd} A_s \left(e - \frac{x}{\beta_1} + h_0 \right) - \\ & f_{sd} \left[\frac{2e - \frac{x}{\beta_1} + h - a_0 + h_{sd}}{2} \right] \left(h - a_0 - \frac{x}{\beta_1} - h_{sd} \right) t_w = 0 \end{aligned} \quad (5.4.3-3)$$

$$e = \eta e_0 + e_s \quad (5.4.3-4)$$

式中: e ——初始偏心距;

e_0 ——轴力对截面重心轴的偏心距, $e_0 = M/N$, 其中 M 和 N 为截面实际承受的弯矩和轴力;

e_s ——附加偏心距, 取 20mm 和 偏心方向截面最大尺寸的 1/30 两种中的较大值;

h_{s0} ——截面中和轴距型钢腹板临界屈服纤维的距离,按本标准式(5.2.4-16)计算;

η ——偏心距增大系数,按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定采用。

5.4.4 型钢混凝土截面小偏心受压构件正截面抗压承载力按下式计算:

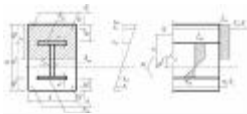


图 5.4.4 小偏心受压计算模式

$$\gamma_s N_d \leq a_1 f_{cd} b x + f'_{sd} A'_s + f'_{sd} A'_s + \left(\frac{x}{\beta_1} - h_{s0} - a_{s0} \right) f_{sd} t_w - \sigma_{s0} A_{s0} - \sigma_{s0} A_s \quad (5.4.4-1)$$

$$\begin{aligned} \gamma_s N_d e \leq & a_1 f_{cd} b x \left(\frac{x}{\beta_1} - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s \left(\frac{x}{\beta_1} - a'_s \right) + f'_{sd} A'_s \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{s0} \right) + \\ & f_{sd} t_w \left(\frac{x}{\beta_1} - h_{s0} - a_{s0} \right) \left[\frac{\frac{x}{\beta_1} - h_{s0} - a_{s0}}{2} + h_{s0} \right] - \\ & \sigma_{s0} A_{s0} \left[h - a_{s0} - \frac{x}{\beta_1} \right] - \sigma_{s0} A_s \left[h - a_s - \frac{x}{\beta_1} \right] \end{aligned} \quad (5.4.4-2)$$

混凝土受压区高度 x 按下式计算:

$$a_1 f_{cd} b x \left(\frac{x}{\beta_1} - e - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s \left(\frac{x}{\beta_1} - e - a'_s \right) +$$

$$\sigma_{st}\Lambda_{st}\left(h-a_{st}+\frac{x}{\beta_1}+e\right)+\sigma_{st}\Lambda_s\left(h-a_s-\frac{x}{\beta_1}+e\right)-f'_{st}\Lambda'_{st}\left(a_{st}-\frac{x}{\beta_1}+e\right)-f_{st}t_w\left(\frac{x}{\beta_1}-h_{st}-a_{st}\right)\left(\frac{a_{st}}{2}-\frac{x}{2\beta_1}+e-\frac{h_{st}}{2}\right)=0 \quad (5.4.4-3)$$

其中,

$$h_{st}=\frac{x f_{st}}{\beta_1 E_s \epsilon_{cs}} \quad (5.4.4-4)$$

$$\sigma_{st}=E_s \epsilon_{cs}\left[\frac{\beta_1(h-a_{st})}{x}-1\right] \quad (5.4.4-5)$$

$$\sigma_{st}=E_s \epsilon_{cs}\left[\frac{\beta_1(h-a_s)}{x}-1\right] \quad (5.4.4-6)$$

式中: h_{st} ——截面中和轴距型钢受压区临界屈服纤维的距离(当 $h_{st} \leq a_{st}$, 说明型钢已全截面屈服, 可按轴心受压构件计算);

σ_{st} ——型钢腹板底部应力(当计算为正, 则与图示中方向一致; 为负, 则方向相反);

σ_{st} ——受拉区普通纵向钢筋应力(当计算为正, 则与图示中方向一致; 为负, 则方向相反)。

5.4.5 型钢混凝土截面大偏心受拉构件正截面抗拉承载力的计算与正截面抗弯承载力计算类似, 按下列公式计算:

1 型钢全截面达到设计抗拉强度时

$$\gamma_0 N_d e \leq \alpha_1 f_{cd} b x \left(\frac{x}{\beta_1} - \frac{x}{2} \right) + f'_{st} \Lambda'_s \left(\frac{x}{\beta_1} - a'_s \right) + f_{st} \Lambda_s \left(h_s - \frac{x}{\beta_1} \right) + f_{st} \Lambda_s \left(h - a_s - \frac{x}{\beta_1} \right) + \Lambda'_{st} f'_{st} \left(a_{st} - \frac{x}{\beta_1} \right) + \Lambda_{st} f_{st} \left(a_{st} + \frac{h_{st}}{2} - \frac{x}{\beta_1} \right) + \Lambda_s f_{st} \left(a_s + h_s - \frac{x}{\beta_1} \right) \quad (5.4.5-1)$$

$$\gamma_0 N_d \leq \alpha_1 f_{cd} b x + f'_{st} \Lambda'_s - f_{st} \Lambda_s - f_{st} \Lambda_s - \Lambda'_{st} f'_{st} - \Lambda_{st} f_{st} - \Lambda_s f_{st} \quad (5.4.5-2)$$

x 应满足

$$\frac{x}{h_0} \leq \xi_1 \quad (5.4.5-3)$$

2 型钢上翼缘形心受拉但未达到设计抗拉强度

$$\begin{aligned} \gamma_0 N_d e &\leq \alpha_1 f_{cd} b x \left(\frac{x}{\beta_1} - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s \left(\frac{x}{\beta_1} - a'_s \right) + f_{sd} A_s \left(h_0 - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\ &f_{sd} A_p \left(h - a_s - \frac{x}{\beta_1} \right) + A'_{sd} \sigma_{sd} \left(a_{02} - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\ &(h - a_{01} - h_{s1}) t_w f_{sd} \left(\frac{h - a_{01} - h_{s1}}{2} + h_{s1} - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\ &A_{sd} f_{sd} \left(a_{02} + h_w - \frac{x}{\beta_1} \right) \quad (5.4.5-4) \\ \gamma_0 N_d &\leq \alpha_1 f_{cd} b x + A'_s f'_{sd} - \sigma_{sd} A'_{sd} - \\ &\left[f_{sd} h_w - \frac{(h_{s1} - a_{01})(f_{sd} - \sigma_{sd})}{2} \right] t_w - A_{sd} f_{sd} - f_{sd} A_p - f_{sd} A_s \end{aligned} \quad (5.4.5-5)$$

x 应满足

$$\xi_1 \leq \frac{x}{h_0} \leq \xi_2 \quad (5.4.5-6)$$

3 型钢上翼缘形心受压但未屈服

$$\begin{aligned} \gamma_0 N_d e &\leq \alpha_1 f_{cd} b x \left(\frac{x}{\beta_1} - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s \left(\frac{x}{\beta_1} - a'_s \right) + f_{sd} A_s \left(h_0 - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\ &f_{sd} A_p \left(h - a_s - \frac{x}{\beta_1} \right) + A'_{sd} \sigma_{sd} \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{02} \right) + \\ &(h - a_{01} - h_{s1}) t_w f_{sd} \left(\frac{h - a_{01} - h_{s1}}{2} + h_{s1} - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\ &A_{sd} f_{sd} \left(a_{02} + h_w - \frac{x}{\beta_1} \right) \quad (5.4.5-7) \\ \gamma_0 N_d &\leq \alpha_1 f_{cd} b x + A'_s f'_{sd} + A'_{sd} \sigma_{sd} - \\ &\left\{ f_{sd} \left[h_w - 2 \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{02} \right) \right] - \left[h_{s1} - 2 \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{02} \right) - a_{02} \right] \frac{(f_{sd} - \sigma_{sd})}{2} \right\} f_w - \\ &A_{sd} f_{sd} - f_{sd} A_p - f_{sd} A_s \end{aligned} \quad (5.4.5-8)$$

x 应满足

$$\xi_2 \leq \frac{x}{h_0} \leq \xi_3 \quad (5.4.5-9)$$

4 型钢上翼缘受压屈服

$$\begin{aligned} & \gamma_c N_d \leq \alpha_1 f_{cd} b x \left(\frac{x}{\beta_1} - \frac{x}{2} \right) + A'_s f'_{sd} \left(\frac{x}{\beta_1} - a'_s \right) + A'_{sd} f'_{sd} \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{s2} \right) + \\ & A_s f_{sd} \left(h_0 - \frac{x}{\beta_1} \right) + A_p f_{sd} \left(h - a_p - \frac{x}{\beta_1} \right) + A_{sd} f_{sd} \left(h - a_{s1} - \frac{x}{\beta_1} \right) + \\ & \left(\frac{\frac{x}{\beta_1} - a_{s2} - h_{s3}}{2} + h_{s3} \right) \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{s2} - h_{s3} \right) f_{sd} t_w + \\ & \left(\frac{h - a_{s1} - \frac{x}{\beta_1} - h_{s3}}{2} + h_{s3} \right) \left(h - a_{s1} - \frac{x}{\beta_1} + h_{s3} \right) f_{sd} t_w \quad (5.4.5-10) \end{aligned}$$

混凝土受压区高度 x 按下列公式计算:

$$\begin{aligned} & \gamma_c N_d \leq \alpha_1 f_{cd} b x + A'_s f'_{sd} + A'_{sd} f'_{sd} - A_s f_{sd} - A_p f_{sd} - \\ & A_{sd} f_{sd} - \left[h_w - 2 \left(\frac{x}{\beta_1} - a_{s1} \right) \right] f_{sd} t_w \quad (5.4.5-11) \end{aligned}$$

x 应符合

$$\frac{x}{h_0} \geq \xi_1 \quad (5.4.5-12)$$

此时,其中的 σ_{s1} , h_{s3} , σ_{s2} , h_{s2} , h_{s1} 按本标准第 5.2.4 条相关公式计算;截面受压区高度应符合本标准公式 (5.2.4-18) 和公式 (5.2.4-19) 的要求。

5.4.6 型钢混凝土截面小偏心受拉构件正截面抗拉承载力按下式计算：

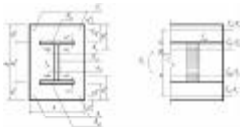


图 5.4.6 小偏心受拉正截面抗拉计算模式

$$\gamma_e N_d e_s \leqslant f'_{sd} A'_s (h_0 - a'_s) + f'_{sd} A'_{st} (h_0 - a_{st}) + f'_{sd} A'_s (h_0 - a'_s) + f_{sd} A_{sw} \left(h_0 - a_{st} - \frac{h_w}{2} \right) + f_{sd} A_s (a_s - a_s) + f_{sd} A_{st} (a_{st} - a_s) \quad (5.4.6-1)$$

$$\gamma_e N_d e'_s \leqslant f'_{sd} A_s (h'_0 - a_s) + f_{sd} A_{st} (h'_0 - a_{st}) + f_{sd} A_s (h'_0 - a_s) + f_{sd} A_{sw} \left(h'_0 - a_{st} - \frac{h_w}{2} \right) + f'_{sd} A'_s (a'_s - a'_s) + f'_{sd} A'_{st} (a_{st} - a'_s) \quad (5.4.6-2)$$

式中： e_s ——轴向力作用位置距离受拉侧普通纵向钢筋形心距离；

e'_s ——轴向力作用位置距离受压侧普通纵向钢筋形心距离；

h'_0 ——受压侧有效高度， $h'_0 = h - a'_s$ 。

5.5 抗剪承载力计算

5.5.1 型钢混凝土斜截面抗剪承载力计算，按下列公式计算：

$$\gamma_e V_d \leqslant V_c + V_{sw} + V_s + V_p \quad (5.5.1-1)$$

在均布荷载作用下

$$V_c = 0.08 f_{cd} b h_0 \quad (5.5.1-2)$$

$$V_{sv} = 1.25 f_{sv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (5.5.1-3)$$

$$V_s = 0.58 f_{sd} t_w h_w \quad (5.5.1-4)$$

$$V_p = 0.05 N_{p0} \quad (5.5.1-5)$$

在集中荷载作用下

$$V_c = \frac{0.2}{\lambda + 1.5} f_{cd} b h_0 \quad (5.5.1-6)$$

$$V_{sv} = 1.25 f_{sv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (5.5.1-7)$$

$$V_s = \frac{0.58}{\lambda} f_{sd} t_w h_w \quad (5.5.1-8)$$

$$V_p = 0.05 N_{p0} \quad (5.5.1-9)$$

其中: $N_{p0} = \sigma_{pe} A_p$ 且 $N_{p0} \leq 0.3 f_{cd} b h_0$, 当 $N_{p0} > 0.3 f_{cd} b h_0$ 时, 取 $0.3 f_{cd} b h_0$ 。

式中: V_d ——剪力设计值, 按斜截面剪压区对应正截面处取值;

V_b ——梁的抗剪承载力设计值;

V_c ——混凝土部分抗剪承载力;

V_{sv} ——箍筋部分抗剪承载力;

V_s ——型钢部分抗剪承载力;

V_p ——由预应力面提高的截面抗剪承载力;

N_{p0} ——计算截面上混凝土法向应力等于零时, 预应力钢筋及普通钢筋的合力;

f_{sv} ——箍筋抗拉强度设计值;

A_{sv} ——同一截面内箍筋各肢的总截面总面积;

s ——沿构件长度方向上箍筋间距;

λ ——剪跨比, 当 $\lambda < 1.4$ 时取 $\lambda = 1.4$, 当 $\lambda > 3$ 时取 $\lambda = 3$ 。

5.5.2 型钢混凝土梁受剪截面应符合下列规定:

$$V_{sd} \leq 0.45 \beta_c f_{cd} b h_0 \quad (5.5.2-1)$$

$$f_{wd}t_wk_w \geq 0.10\beta_c f_{cd}bh_s \quad (5.5.2-2)$$

式中: β_c ——混凝土强度影响系数。当混凝土强度等级不超过 C50 时,取 1.0;当混凝土强度等级为 C80 时,取 0.8;期间按线形内插法确定。

6 正常使用极限状态验算

6.1 一般规定

6.1.1 型钢混凝土桥梁按持久状况设计时,应按正常使用极限状态的要求,对构件的抗裂、裂缝宽度和挠度进行验算,确保不超过规定的限值。

6.1.2 体内预应力束的张拉控制应力及预应力损失,应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定计算。

6.1.3 预应力型钢混凝土构件可根据桥梁使用和所处环境的要求,进行下列构件设计:

1 全预应力混凝土构件。此类构件在作用频遇组合下控制的正截面受拉边缘不允许出现拉应力。

2 部分预应力混凝土构件。此类构件在作用频遇组合下控制的正截面受拉边缘可出现拉应力;当拉应力不超过规定限值时,为 A 类预应力混凝土构件;当拉应力超过规定限值时,为 B 类预应力混凝土构件。

6.2 抗裂验算

6.2.1 对于不允许开裂的型钢混凝土梁,应进行正截面和斜截面的抗裂验算。

6.2.2 型钢混凝土梁正截面混凝土拉应力验算,应符合下列要求:

1 全预应力构件,在作用(或荷载)频遇组合下,正截面抗裂

要求为
预制构件

$$\sigma_t - 0.85\sigma_{pc} \leq 0 \quad (6.2.2-1)$$

分段浇筑或砂浆接缝的纵向分块构件

$$\sigma_t - 0.80\sigma_{pc} \leq 0 \quad (6.2.2-2)$$

2 A类预应力构件,在作用(或荷载)频遇组合下,正截面抗裂要求为

$$\sigma_t - \sigma_{pc} \leq 0.7f_{tk} \quad (6.2.2-3)$$

在作用(或荷载)准永久组合下,正截面抗裂要求为

$$\sigma_t - \sigma_{pe} \leq 0 \quad (6.2.2-4)$$

式中: σ_t ——由作用频遇或准永久组合下的截面边缘拉应力;

σ_{pc} ——由预应力在截面边缘产生的压应力;

f_{tk} ——混凝土的抗拉强度标准值。

6.2.3 型钢混凝土梁斜截面混凝土主拉应力验算,应符合下列要求:

1 全预应力构件,在作用(或荷载)频遇组合下,斜截面抗裂要求为

预制构件

$$\sigma_w \leq 0.6f_{tk} \quad (6.2.3-1)$$

现场浇筑(包括预制拼装)构件

$$\sigma_w \leq 0.4f_{tk} \quad (6.2.3-2)$$

2 A类预应力构件,在作用(或荷载)频遇组合下,斜截面抗裂要求为

预制构件

$$\sigma_w \leq 0.7f_{tk} \quad (6.2.3-3)$$

现场浇筑(包括预制拼装)构件

$$\sigma_w \leq 0.5f_{tk} \quad (6.2.3-4)$$

式中: σ_w ——由作用频遇组合和预加力产生的混凝土主拉应力,
按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土

桥涵设计规范》JTG 3362 的规定计算。

6.3 裂缝宽度验算

6.3.1 型钢混凝土梁应验算裂缝宽度,最大裂缝宽度应按荷载的频遇组合并考虑长期效应组合的影响进行计算,裂缝宽度应满足本标准第 9.2 节的要求。

6.3.2 普通型钢混凝土梁,其平均裂缝间距可按下列公式计算:

$$l_{cr} = 1.9c + 0.08 \frac{d_e}{\rho_{te}} \quad (6.3.2-1)$$

$$d_e = \frac{4(A_s + A_{st} + A_{sl})}{u} \quad (6.3.2-2)$$

$$u = \pi \sum n_i v_i d_{si} + \pi \sum n_i v_i d_{sl} + 0.315 u_{sl} \quad (6.3.2-3)$$

$$\rho_{te} = \frac{A_s + A_{st} + A_{sl}}{0.5bh} \quad (6.3.2-4)$$

式中: l_{cr} ——平均裂缝间距;

c ——混凝土保护层厚度;

d_e ——受拉区钢材的等效钢筋直径;

u ——考虑粘结特性的受拉纵向钢筋和型钢周长之和;

n_i ——第 i 种纵向钢筋根数;

v_i ——第 i 种纵向钢筋的相对粘结特性系数,按表 6.3.2 采用;

A_{sl} ——实际处于受压区的型钢面积;

ρ_{te} ——按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率;

u_{sl} ——实际中和轴以下部分型钢周长。

表 6.3.2 钢筋的相对粘结特性系数

钢筋类别	普通钢筋		先张法预应力筋			后张法预应力筋		
	光面钢筋	带肋钢筋	带肋钢筋	螺旋肋钢丝	钢绞线	带肋钢筋	钢绞线	光面钢丝
ν_1	0.7	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	0.5	0.4

6.3.3 配有预应力钢筋的型钢混凝土矩形截面梁,其最大裂缝宽度可按下列公式计算:

$$w_{\max} = 2.1\psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} l_{cr} \quad (6.3.3-1)$$

$$\sigma_{sk} = \frac{N_{pe}(e_s - z)}{(\Lambda_s + \Lambda_p + \Lambda_{st})z} \quad (6.3.3-2)$$

$$e_s = \eta_s e_0 + y_s \quad (6.3.3-3)$$

$$z = \left[0.87 - 0.12 \left(\frac{h_0}{e_s} \right)^2 \right] h_0 \quad (6.3.3-4)$$

$$e_0 = \frac{M_k - N_{pe} e_1}{N_{pe}} \quad (6.3.3-5)$$

$$\eta_s = 1 + \frac{l}{4000 e_0 / h_0} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \quad (6.3.3-6)$$

$$\psi = 1.1(1 - M_c/M_s) \quad (6.3.3-7)$$

$$M_c = 0.235bh^2 f_{sk} \quad (6.3.3-8)$$

式中: $w_{\max}$ ——最大裂缝宽度;

ψ ——考虑型钢翼缘作用的钢筋应变不均匀系数(当 $\psi < 0.4$ 时,取 $\psi = 0.4$;当 $\psi > 1.0$ 时,取 $\psi = 1.0$);

σ_{sk} ——使用阶段钢筋应力值;

e_1 ——预应力筋形心至截面形心的距离;

l_0 ——受压构件的计算长度;

y_s ——截面重心至受拉钢筋受力点的距离;

η_s ——使用阶段的轴向压力偏心距增大系数,当 $l_0/h \leq 14$ 时,取 $\eta_s = 1.0$;

- M_c ——混凝土截面抗裂弯矩；
 M_s ——按荷载标准组合计算的弯矩值；
 M_{sc} ——按荷载频遇组合计算的弯矩值。

6.4 挠度验算

6.4.1 型钢混凝土梁在正常使用极限状态下的挠度，可根据构件的刚度用结构力学的方法计算。

6.4.2 型钢混凝土受弯构件的短期刚度可按下列公式计算：

1 普通型钢混凝土构件

$$B_s = \left(0.22 + 3.75 \frac{E_s}{E_c} \rho_s \right) E_c I_c + E_s I_s \quad (6.4.2-1)$$

2 预应力型钢混凝土构件

1) 全预应力混凝土和 A 类预应力混凝土构件

$$B_s = 0.95 E_c I_s \quad (6.4.2-2)$$

2) 允许开裂的 B 类预应力混凝土构件

在消压弯矩 M_0 作用下

$$B_s = 0.95 E_c I_s \quad (6.4.2-3)$$

在 $(M - M_0)$ 作用下

$$B_{sc} = \left(0.22 + 3.75 \frac{E_s}{E_c} \rho_s \right) E_c I_c + E_s I_s \quad (6.4.2-4)$$

其刚度为

$$B_s = \frac{B_0}{\left(\frac{M_0}{M} \right) + \left[\left(1 - \frac{M_0}{M} \right) \right] \frac{B_0}{B_{sc}}} \quad (6.4.2-5)$$

式中： B_s ——型钢混凝土梁按荷载频遇组合作用下的短期刚度；

B_0 ——未开裂的型钢混凝土梁按荷载频遇组合作用下的短期刚度；

B_{sc} ——普通型钢混凝土梁按荷载频遇组合作用下的短期刚度；

- E_c ——混凝土弹性模量；
 I_0 ——全截面换算截面惯性矩；
 M_0 ——截面消压弯矩；
 ρ_s ——纵向受拉钢筋配筋率； $\rho_s = A_s / bh_0$ 。

6.4.3 型钢混凝土受弯构件应考虑荷载长期效应的影响，可按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定计算频遇组合挠度值并乘以挠度长期增长系数 η_s 。

6.4.4 型钢混凝土和预应力型钢混凝土受弯构件计算的长期挠度值，由汽车荷载（不计冲击力）和人群荷载频遇组合在梁式桥主梁产生的最大挠度不应超过计算跨径的 $1/600$ ；梁式桥主梁的悬臂端产生的最大挠度不应超过悬臂长度的 $1/300$ 。

7 结合与连接设计

7.1 一般规定

7.1.1 型钢混凝土组合桥梁的结合与连接可分为截面的结合和构件的连接。截面的结合与构件的连接应满足承载能力极限状态及正常使用极限状态的受力要求。

7.1.2 实腹式型钢与外包混凝土的结合,当外包混凝土对型钢具有可靠约束时,可考虑混凝土与型钢截面之间的粘结力。受力较大的部位应设置抗剪连接件。

7.1.3 型钢混凝土组合桥梁结合与连接设计应综合考虑传力直接、安全耐久、施工方便等因素,选择合理型式,保证结构与构件连接过渡平稳可靠。

7.2 抗剪连接件

7.2.1 型钢混凝土组合桥梁截面结合的抗剪连接件可采用翼缘板设圆柱头焊钉、型钢腹板开孔,见图 7.2.1,当有可靠依据时,也可采用其他型式。

7.2.2 型钢混凝土组合桥梁结合的抗剪连接采用型钢腹板开孔的连接方式时,开孔截面处应按扣除孔洞面积后的型钢截面验算组合构件抗弯和抗剪承载力。

7.2.3 抗剪连接件可按下列原则进行受力计算:

1 型钢与外包混凝土可不考虑相对滑移。

2 当外包混凝土对型钢具有可靠约束时,可计入型钢与外包混凝土之间的粘结作用。



图 7.2.1 抗剪连接件形式

7.2.4 圆柱头焊钉的抗剪承载力设计值可按下列公式计算:

$$N_c = \min \left\{ 0.43 \eta A_{wd} \sqrt{E_c f_{cd}}, 1.19 A_{wd} f_{td} \left(\frac{E_c}{E_s} \right)^{0.2} \left(\frac{f_{td}}{f_{cd}} \right)^{0.1} \right\} \quad (7.2.4)$$

式中: N_c ——单个圆柱头焊钉抗剪承载力设计值;

A_{wd} ——圆柱头焊钉截面面积;

E_c, E_s ——混凝土和圆柱头焊钉的弹性模量;

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值;

f_{td} ——圆柱头焊钉的抗拉强度。当圆柱头焊钉为 4.6 级时,取 400MPa;

f_{cu} ——边长为 150mm 的混凝土立方体抗压强度;

η ——群钉效应折减系数。当 $6 < l_d/d < 13$ 时,对 C30~C40 混凝土, $\eta = 0.021 l_d/d + 0.73$ (l_d 为圆柱头焊钉纵向间距, d 为圆柱头焊钉直径,单位均为 mm); 对于 C45、C50 混凝土, $\eta = 0.016 l_d/d + 0.80$; 对于 C55、C60 混凝土, $\eta = 0.013 l_d/d + 0.84$; 当 $l_d/d \geq 13$ 时,不考虑群钉效应, $\eta = 1.0$ 。

7.2.5 腹板开孔连接方式的单孔抗剪承载力,可按下列公式计算:

$$N_c = 1.38(d^2 - d_o^2) f_{cd} + 1.24 d_o^2 f_{td} \quad (7.2.5)$$

式中: N_c^s ——腹板开孔连接方式的单孔抗剪承载力设计值;

d ——开孔直径;

d_s ——穿孔钢筋直径;

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值;

f_{sd} ——穿孔钢筋抗拉强度设计值。

7.2.6 抗剪连接件的疲劳性能可按国家现行标准《钢-混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 和现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的相关要求进行验算。

7.3 构件的连接

7.3.1 型钢混凝土构件的连接,可采用下列的连接方式:

1 型钢混凝土立柱与承台或盖梁的连接,立柱通过型钢节点锚固在承台或盖梁混凝土内。

2 型钢混凝土梁与其他构件的连接,梁通过型钢节点锚固在其他构件中。

3 型钢混凝土受拉弯作用的构件与其他构件的连接,构件通过型钢锚固在混凝土构件中。

7.3.2 型钢混凝土构件与混凝土构件的连接时,应在混凝土构件中设置型钢延伸过渡段,见图 7.3.2。型钢应锚入混凝土构件中。

7.3.3 型钢混凝土构件与钢构件刚性连接时,型钢与钢结构应等强度连接。节点区域钢与混凝土之间应根据不同的受力特点设置抗剪连接件,见图 7.3.3。

7.3.4 型钢混凝土构件与型钢混凝土构件连接时,各构件的型钢应等强连接形成刚性节点,各构件的主钢筋应穿过节点各自贯通,见图 7.3.4。

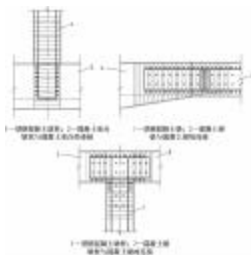


图 7.3.2 型钢混凝土构件与混凝土构件的连接

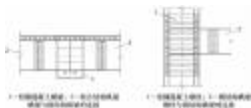


图 7.3.3 型钢混凝土构件与钢结构的连接

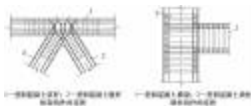


图 7.3.4 型钢混凝土构件之间的连接

7.3.5 构件连接节点的局部受力,应采用可靠的有限元模型进行精细化分析,并按现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的要求进行钢结构与混凝土的受力验算。

8 构造规定

8.1 一般规定

8.1.1 型钢混凝土组合构件中,纵向受力钢筋的直径不宜小于 16mm,纵筋与型钢的净间距不宜小于 30mm,其纵向受力钢筋的最小锚固长度、搭接长度应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)的要求。

8.1.2 型钢混凝土组合构件中纵向受力钢筋的混凝土保护层最小厚度应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)的规定。型钢保护层最小厚度,对梁不宜小于 100mm,且梁内型钢翼缘离两侧距离之和(b_1+b_2)不宜小于截面宽度的 1/3;对柱不宜小于 120mm。

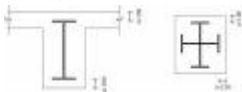


图 8.1.2 型钢保护层最小厚度

8.1.3 型钢混凝土组合构件中型钢钢板厚度不宜小于 6mm,其钢板宽厚比宜符合表 8.1.3 的规定。当满足宽厚比限值时,可不进行局部稳定验算。

表 8.1.3 型钢钢板宽厚比限值

钢号	梁		柱	
	b_H/t_H	b_W/t_W	b_H/t_H	b_W/t_W
Q235	<23	<107	<23	<96
Q355	<19	<91	<19	<81
Q390	<18	<83	<18	<75
Q420	<17	<80	<17	<71



图 8.1.3 型钢钢板宽厚比

8.1.4 型钢混凝土构件的箍筋,直径不宜小于 12mm,间距不宜大于 150mm。型钢截面中尺寸大于 500mm 的边,宜在型钢与箍筋之间设置拉筋。

8.1.5 型钢混凝土的梁、墩柱构件构造,应满足现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)以及《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64)对组合结构构件的规定。

8.2 结合与连接构造

8.2.1 型钢混凝土组合桥梁结合的抗剪连接应符合下列构造要求:

1 圆柱头焊钉应满足现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64)圆柱头焊钉连接件的构造规定。

2 腹板开孔连接应满足现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64)开孔板连接件构造规定,并应满足:

- 1) 当开孔位于离支座截面 $1/4$ 跨度以内时,孔径不宜大于 0.3 倍型钢混凝土组合构件截面高度,且不宜大于 0.5 倍型钢截面高度;
- 2) 当开孔位于离支座截面 $1/4$ 跨度以外时,孔径不宜大于 0.4 倍型钢混凝土组合构件截面高度,且不宜大于 0.7 倍型钢截面高度;
- 3) 开孔中心纵向两侧各 $1/2$ 倍组合构件截面高度范围内箍筋应加密,间距 100mm ,直径同原箍筋;
- 4) 型钢混凝土梁型钢腹板开孔时,在梁与型钢腹板平行的两侧应沿高度分别配置纵向构造腰筋,其间距不宜大于 100mm ,直径不小于 12mm ,且各不少于 2 根。

8.2.2 墩梁刚性连接节点应符合下列要求:

1 当墩梁均为型钢混凝土构件时,主梁内型钢应连续贯通,型钢拼接处应避免开支座,并应设在梁中内力较小处。主梁与墩柱各自型钢的腹板应布置在同一平面内,主梁型钢横向与墩柱型钢翼缘对应处应设置竖向加劲肋,厚度与墩柱型钢翼缘厚度相等,且不宜小于 12mm 。

2 当钢筋混凝土墩柱与型钢混凝土主梁连接时,墩柱内应设置型钢短柱与主梁型钢连接。型钢截面高度不小于 0.7 倍墩截面高度,伸入墩柱内长度不小于型钢截面高度的 2 倍。型钢短柱应设置抗剪连接。

3 当钢筋混凝土主梁与型钢混凝土墩柱连接时,主梁内应设置型钢短梁与墩柱型钢连接。型钢短梁高度不小于 0.7 倍主梁高,从立柱外侧延伸长度不小于型钢截面高度的 2 倍。型钢短梁应设置抗剪连接。

4 墩梁节点区箍筋应加密,加密范围应延伸至节点外 1.2 倍的型钢高度。

5 墩柱和主梁内型钢、型钢短柱、短型钢梁相互连接采用等强焊接,构造应符合现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》

JTG D64 的要求。

8.2.3 型钢混凝土梁与混凝土梁连接时,连接位置应选择弯矩较小处,型钢伸入混凝土梁内的长度应不小于型钢截面高度的 2 倍。型钢延伸段的上下翼缘应设置抗剪连接件。节点区域箍筋应加密,加密范围应延伸至节点外 1.2 倍的型钢高度。

8.2.4 型钢混凝土排架墩或排架式桥塔中,墩柱(塔柱)与盖梁的连接构造可按同刚接墩梁连接构造进行设计。

8.2.5 型钢混凝土墩柱与承台的连接应符合下列构造要求:

1 墩柱型钢的埋深不得小于柱型钢截面高度的 2.5 倍。

2 在型钢埋入部分的端部,应设置水平加劲板或隔板。若型钢为钢管,且钢管内灌注混凝土至基础顶部以上一倍钢管外径的高度时,水平加劲板可不设。

3 埋入式柱脚在基础中的埋深范围内,型钢周边应设置圆柱头焊钉,圆柱头焊钉的直径不小于 19mm,水平及竖向中心距不大于 200mm,且圆柱头焊钉至型钢翼缘板边缘的距离不大于 100mm。

4 埋入式柱脚中型钢保护层的最小厚度不应小于 250mm,边柱和角柱外侧的保护层厚度不应小于 400mm,见图 8.2.5。非埋入式柱脚型钢的保护层厚度不得小于 150mm。型钢柱底板侧边的保护层厚度不宜小于 100mm。



图 8.2.5 埋入式柱脚混凝土保护层

9 耐久性与可维护设计

9.1 一般规定

9.1.1 型钢混凝土组合桥梁应根据桥梁设计使用年限及其对应的极限状态、环境类别、环境作用等级,考虑施工方法的影响和桥梁运行过程中的维护条件,进行耐久性设计。同一结构中的不同构件或同一构件中的不同部位由于所处的局部环境条件有异,应根据实际情况采用不同的环境类别及其作用等级,分别进行耐久性设计。

9.1.2 型钢混凝土组合桥梁应在耐久性设计的基础上,根据运行维护需求、施工方法、养护条件、结构特点,进行可维护设计。

9.1.3 型钢混凝土组合桥梁耐久性设计应包括下列内容:

- 1 明确桥梁结构与构件的设计使用年限。
- 2 明确桥梁结构与构件所处的环境类别及其作用等级。
- 3 明确对主要结构材料的选控要求、耐久性指标和相关的参数。
- 4 选定符合耐久性要求的混凝土保护层、防水排水等结构构造。
- 5 明确混凝土裂缝宽度限值及运行维护要求。
- 6 进行桥梁结构的防腐蚀设计。对严重腐蚀环境条件下的型钢混凝土组合桥梁,提出应实施的防腐蚀附加措施。
- 7 提出耐久性所需的施工方法与质量验收要求。

9.1.4 型钢混凝土组合桥梁可维护设计应包括下列内容:

- 1 分析桥梁运行维护需求,设定维护工况。
- 2 确定维护条件及相应的设施、结构空间及必须的安全防

护要求。

3 确定可更换构件及更换原则与方法;提出构件更换工作空间、相关埋件要求。

4 对受力复杂的重要构件进行监测设计,明确监测目的、监测方法等要点。

9.1.5 桥梁施工图设计文件中应列出桥梁设计使用年限,并列出桥梁结构各个部件或部位使用年限的明细表,标明在结构的设计使用年限内需要大修或更换的结构部件或部位名称及其预期的修补或更换的期限。

9.2 耐久性设计

9.2.1 型钢混凝土组合桥梁结构与构件设计使用年限应符合下列规定:

1 不可更换的桥梁构件,设计使用年限同桥梁设计使用年限。桥梁设计使用年限应按本标准第 3.1.5 条采用。

2 可更换的桥梁构件,设计使用年限应在施工图设计文件中加以规定。

9.2.2 型钢混凝土组合结构及构件应根据其表面直接接触的环境按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 确定所处环境类别及作用等级进行耐久性设计。当结构和构件受多种环境类别共同作用时,应分别满足每种环境类别单独作用下的耐久性要求。

9.2.3 各类环境下混凝土强度等级应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的相关要求,型钢外保护层应满足本标准第 8.1.2 条的规定。

9.2.4 型钢混凝土抗裂性要求应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的相关要求。

一般环境中露天下不直接接触雨水的型钢钢筋混凝土构件的最大裂缝宽度限值可为 0.25mm。

9.2.5 海洋氯化物环境中设计使用年限不小于 50 年的桥梁工程,设计时应提出混凝土的抗氯离子侵入性指标,当混凝土保护层厚度取本标准第 8.1.2 条规定值时,混凝土的抗氯离子侵入性指标可按表 9.2.5 确定。

表 9.2.5 混凝土的抗氯离子侵入性指标

设计使用年限	100 年		50 年	
作用等级	D	E	D	E
侵入性指标				
8d 龄期氯离子扩散系数 $D_{RCM} (10^{-12} m^2/s)$	≤ 7	≤ 4	≤ 10	≤ 6

注:1 表中的 D_{RCM} 值适用于较大或大掺量矿物掺合料混凝土。对于胶凝材料主要成分为硅酸盐水泥的混凝土,应采取更为严格的要求。

2 如实际采用的保护层厚度高于本标准的规定,可对本表中数据作适当调整。

9.2.6 构件中的型钢埋入混凝土前须经除锈处理,表面不须作防腐涂装。外露钢结构、钢构件应按桥梁所处环境进行防腐涂装。外露钢构件与混凝土结构连接时,连接部位应进行有效的防腐处理。

9.2.7 预应力型钢混凝土的预应力筋应根据环境、气候具体情况采用防护措施;预应力锚固端应封闭或采用防护措施。

9.2.8 型钢混凝土桥梁的防水排水设计应符合下列规定:

1 桥面系应设置可靠的防水层及排水系统。梁顶面应设置排水横坡及落水口。落水口管道不得直接将水排向下部混凝土墩台表面。

2 桥梁外侧翼缘下沿应设置滴水槽、滴水沿或其他防止雨水流向混凝土侧面和底面的构造措施。

3 构件外形不得形成积水凹陷,顶面宜设置不小于 0.5% 的排水坡。

4 桥梁端部应设置有效的防水措施,防止雨水回流污染支

座和梁端表面。

5 伸缩装置应设置防水构造,以防止雨水渗流到梁端和桥台。

9.2.9 型钢混凝土构件的施工养护要求应符合表 9.2.9 的规定。处于 I-A、I-B 环境下的混凝土结构构件,其保护层厚度的施工质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。环境作用等级为 C、D、E、F 的混凝土结构构件,其保护层厚度的施工质量验收要求按现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB 50476 相关规定执行。

表 9.2.9 施工养护制度要求

环境作用等级	混凝土类型	养护制度
I-A、I-B、 I-C、 II-C、II-D、 III-C、	一般混凝土	加强养护至现场混凝土的强度不低于 28d 标准强度的 50%,且不少于 3d
	大掺量矿物掺合料混凝土	加强养护至现场混凝土的强度不低于 28d 标准强度的 50%,且不少于 7d
III-D、III-E	大掺量矿物掺合料混凝土	加强养护至现场混凝土的强度不低于 28d 标准强度的 50%,且不少于 7d。加强养护结束后应继续用养护砂浆或覆盖保湿、防风一段时间至现场混凝土的强度达到 28d 标准强度

注:1 表中要求适用于混凝土表面大气温度不低于 10℃ 的情况,否则应延长养护时间。

2 大掺量矿物掺合料混凝土在 I-A 环境中用于永久浸没于水中的构件。

9.3 可维护设计

9.3.1 型钢混凝土组合桥梁设计中应调研、分析运行维护需求,进行可维护设计,并在施工图设计说明中明确桥梁维护工况。

9.3.2 桥梁维护工况包括日常检修维护、辅助构件更换维护、主

受力构件更换维护。设计中应考虑维护设施、人员及相应荷载以及维护中桥梁结构约束条件、作用与效应的变化,进行相应维护工况的验算。

9.3.3 型钢混凝土组合桥梁施工图设计中应进行维护条件设计:

1 根据桥型特点和具体的运行维护需求,配置必要的维护工具和设施。

2 确保检修维护的可通达性,设置检修通道、爬梯和工作平台。

3 凡需要到达的部位和通道,应设护栏或采取有效的防护措施。

4 根据维护需要在桥梁上下部结构的相应部位预留预埋件。

5 必要时,应在桥梁结构的合理位置设置工程现场监测取样用的样板构件,其尺寸、材料、型钢与钢筋配置、施工以及环境条件等应与监测对象一致。

9.3.4 设计中应明确构件更换的条件、原则和程序,并布置预埋件,预留足够的工作空间。

9.3.5 对于结构静动力特性复杂的桥型,或对于特别重要的大型桥梁的重要构件宜设置全过程监测点,动态监测结构施工和运行期各类作用效应和实时反应。监测系统的监测数据应满足施工和运行维护的要求。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的用词:

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,在条件允许时首先这样做的用词:

正面词采用“宜”;

反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 标准中指定应按其他有关标准、规范执行时,写法为:“应按……执行”或“应符合……的规定”。

引用标准名录

- 1 《碳素结构钢》GB/T 700
- 2 《钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋》GB 1499.1
- 3 《钢筋混凝土用钢 第2部分:带肋钢筋》GB 1499.2
- 4 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 5 《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223
- 6 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 7 《厚度方向性能钢板》GB/T 5313
- 8 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433
- 9 《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB 13014
- 10 《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065
- 11 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 12 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476
- 13 《钢-混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917
- 14 《无粘结预应力钢绞线》JG 161
- 15 《城市桥梁设计规范》CJJ 11
- 16 《公路桥涵设计通用规范》JTG D60
- 17 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362
- 18 《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64