

前 言

根据住房和城乡建设部关于印发《2012年工程建设标准规范制订、修订计划》的通知（建标〔2012〕5号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，吸取有关科研成果，参考国外先进标准，在广泛征求意见的基础上，修订了本标准。

本标准的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 材料；5 持久状况承载能力极限状态计算；6 持久状况正常使用极限状态和应力计算；7 短暂状况应力计算；8 构造设计；9 主梁节段预制；10 主梁节段拼装；11 墩柱、盖梁预制与拼装。

本标准是对《预应力混凝土桥梁预制节段逐跨拼装施工技术规范》CJJ/T 111-2006的修订，原标准适用于预应力混凝土桥梁预制节段逐跨拼装的施工，修订后适用范围扩大，修订的主要技术内容是：

1. 增加了相关材料的规定；
2. 增加了设计方面的规定；
3. 增加了对墩柱与盖梁的施工规定；补充了主梁悬臂拼装的施工规定。

本标准由住房和城乡建设部负责管理。

本标准主编单位：上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司（地址：上海市杨浦区中山北二路901号，邮编：200092）

上海公路桥梁（集团）有限公司

本标准参编单位：同济大学

中交第二航务工程局有限公司

同济大学建筑设计研究院（集团）

有限公司

北京市市政一建设工程有限责任公司

本标准主要起草人员：卢永成 邵长宇 蒋海里 李国平
张春雷 黄虹 颜海 罗喜恒
王会丽 倪文全 王炎炎 张鸿
马少军 张剑英 沈殷 柳惠芬
张永涛 王敏 谢正元 姜海西
许树壮 郑本辉 戴平志 靳利军
本标准主要审查人员：韩振勇 刘旭锴 孙峻岭 何维利
周良 郑凯锋 管小军 汪建刚
刘钊 陈双全

住房城乡建设部
浏览专用

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	15
4	材料	17
4.1	主要材料	17
4.2	连接材料	18
5	持久状况承载能力极限状态计算	22
5.1	一般规定	22
5.2	受弯构件	22
5.3	受压构件	33
5.4	受扭构件	46
5.5	其他构件	51
6	持久状况正常使用极限状态和应力计算	54
6.1	一般规定	54
6.2	预应力损失计算	55
6.3	应力计算	56
6.4	抗裂、裂缝宽度及变形验算	57
7	短暂状况应力计算	59
7.1	一般规定	59
7.2	应力计算	59
8	构造设计	62
8.1	一般规定	62
8.2	主梁构造	62

8.3	体外预应力体系	67
8.4	墩柱与盖梁	70
8.5	其他构造及附属设施	73
9	主梁节段预制	75
9.1	一般规定	75
9.2	预制场地规划与布置	75
9.3	预制测量控制	76
9.4	模板系统	76
9.5	钢筋及预埋件工程	77
9.6	混凝土施工	78
9.7	节段的存放及出场验收	79
9.8	节段的运输	81
10	主梁节段拼装	82
10.1	一般规定	82
10.2	拼装设备	82
10.3	逐跨节段拼装施工	83
10.4	悬臂拼装施工	84
10.5	结构体系转换	85
10.6	拼装测量控制	86
10.7	拼装验收	87
11	墩柱、盖梁预制与拼装	89
11.1	一般规定	89
11.2	构件预制	89
11.3	墩柱、盖梁拼装及验收	91
	本标准用词说明	94
	引用标准名录	95

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	4
3	Basic Requirements	15
4	Materials	17
4.1	Main Materials	17
4.2	Connection Materials	18
5	Ultimate Limit State Design for Persistent Situation	22
5.1	General Requirements	22
5.2	Flexural Members	22
5.3	Compression Members	33
5.4	Torsion Members	46
5.5	Other Members	51
6	Serviceability Limit State Design and Stress Calculation for Persistent Situation	54
6.1	General Requirements	54
6.2	Loss of Prestress	55
6.3	Stress Calculation	56
6.4	Checking of Crack Resistance, Crack Width and Deflection	57
7	Stress Calculation for Transient Situation	59
7.1	General Requirements	59
7.2	Stress Calculation	59
8	Detailing Requirements	62
8.1	General Requirements	62

8.2	Girders	62
8.3	External Prestressing of Girders	67
8.4	Pier Columns and Caps	70
8.5	Other Details and Ancillary Facilities	73
9	Precasting of Segmental Girders	75
9.1	General Requirements	75
9.2	Layout of Precast Yard	75
9.3	Measurement	76
9.4	Templates	76
9.5	Reinforcing Bars and Embedded Attachments	77
9.6	Concreting	78
9.7	Storage and Pre-delivery Acceptance	79
9.8	Transportation of Segments	81
10	Installation of Segmental Girders	82
10.1	General Requirements	82
10.2	Equipments	82
10.3	Span by Span Construction	83
10.4	Balanced Cantilever Construction	84
10.5	Transformation of Structure System	85
10.6	Measurement	86
10.7	Acceptance of Installation	87
11	Precasting and Installation of Pier Columns and Caps	89
11.1	General Requirements	89
11.2	Precasting of Components	89
11.3	Installation and Acceptance of Pier Columns and Caps	91
	Explanation of Wording in This Standard	94
	List of Quoted Standards	95

1 总 则

1.0.1 为在节段预制混凝土桥梁设计、施工及验收中，做到安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理、环保节能、确保质量，促进桥梁现代工业化建造和装配式技术发展，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于地震基本烈度 7 度及以下地区的新建城市道路混凝土梁式桥梁的设计、施工及验收。

1.0.3 节段预制混凝土桥梁的设计、施工及验收除应符合本标准的规定外，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 节段 segment

混凝土墩柱、盖梁或上部结构梁体等构件被划分成的柱段或梁段等。

2.1.2 节段预制混凝土桥梁 precast segmental concrete bridge

由工厂或现场预先制作的混凝土节段，通过可靠的连接方式拼装而成的混凝土桥梁。

2.1.3 剪力键 shear keys

混凝土构件预制节段接缝表面用于承担剪切等作用、密接匹配的凸块和凹槽。

2.1.4 环氧胶接缝 epoxy joint

混凝土构件预制节段的结合面采用涂抹环氧树脂胶的接缝。

2.1.5 砂浆填充接缝 mortar joint

混凝土构件预制节段的结合面经水泥基砂浆填充后压密的接缝。

2.1.6 现浇混凝土接缝 cast-in-place concrete joint

混凝土构件的预制节段之间采用现浇混凝土连接的窄缝。

2.1.7 匹配预制 match casting

混凝土构件沿纵向划分成若干节段，将已浇筑好的节段作为相邻节段的端模，逐段制作节段的预制施工方法。

2.1.8 短线法预制 short-line method precasting

混凝土构件沿纵向划分成若干节段，在台座上用固定的模板，依次将已浇筑好的节段作为匹配节段，逐段流水制作节段的预制施工方法。

2.1.9 长线法预制 long-line method precasting

混凝土构件沿纵向划分成若干节段，以构件长度作为预制台座长度，在台座上按一定次序逐段匹配制作的预制施工方法。

2.1.10 钢筋灌浆套筒连接 rebar splicing by grout-filled coupling sleeve

在金属套筒的两端分别插入钢筋并压注水泥基灌浆料的钢筋连接方式。

2.1.11 钢筋灌浆波纹钢管锚固连接 rebar anchor splicing by grout-filled corrugated steel pipe

混凝土预制构件伸出的预埋钢筋插入另一构件的预埋波纹钢管并压注水泥基灌浆料的钢筋锚固连接方式。

2.1.12 超高性能混凝土 ultra-high performance concrete

具有超高力学性能和抗渗性能的纤维增强水泥基复合材料，由水泥、矿物掺合料、细石英砂、高性能纤维等组成。

2.1.13 体外预应力 external prestressing

在混凝土构件截面之外布置预应力钢筋、施加预应力。

2.1.14 体外预应力钢筋的极限应力 ultimate stress of external prestressing tendon

体外预应力混凝土构件达到极限承载力时，体外预应力钢筋达到的应力。

2.1.15 体外预应力二次效应 secondary effect of external prestressing

体外预应力钢筋的位移与构件变形不一致而引起的附加预应力效应。

2.1.16 体外预应力钢束的转向器 deviator of external prestressing tendon

使体外预应力钢束集中弯转的器件。

2.1.17 逐跨拼装法 span-by-span construction method

预制混凝土节段通过专用设备逐跨拼装、逐跨施加预应力的施工方法。

2.1.18 悬臂拼装法 balanced cantilever construction method

自桥墩两侧往跨中方向，平衡逐段悬臂拼装预制混凝土节段、施加预应力的施工方法。

2.1.19 界面粗糙化 concrete surface roughening

对预制混凝土构件的结合面进行处理，达到凹凸不平且骨料显露。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

E_p 、 E_s —— 预应力钢筋或钢丝、普通钢筋的弹性模量；

f_{cd} 、 f_{td} —— 混凝土的轴心抗压、抗拉强度设计值；

f_{ck} 、 f_{tk} —— 混凝土的轴心抗压、抗拉强度标准值；

f'_{ck} 、 f'_{tk} —— 施工阶段混凝土的轴心抗压、抗拉强度标准值；

$f_{cu,k}$ —— 边长为 150mm 的混凝土立方体抗压强度标准值；

$f_{pd,e}$ 、 $f_{pk,e}$ —— 体外预应力钢筋的抗拉强度设计值、标准值；

$f_{pd,i}$ 、 $f'_{pd,i}$ —— 体内预应力钢筋的抗拉、抗压强度设计值；

$f_{pk,i}$ —— 体内预应力钢筋的抗拉强度标准值；

f_{sd} 、 f'_{sd} —— 普通钢筋的抗拉、抗压强度设计值；

$f_{sr,d}$ —— 内环钢筋的抗拉强度设计值；

$f_{su,d}$ —— U 形钢筋的抗拉强度设计值；

$f_{sv,d}$ —— 箍筋的抗拉强度设计值；

$f_{sv,k}$ —— 穿过可能剪切开裂面钢筋或核心混凝土加强钢筋的抗拉强度标准值。

2.2.2 作用与作用效应

$F_{p,e}$ —— 体外预应力钢束的计算拉力；

M_{cr} —— 受弯构件接缝截面的开裂弯矩值；

M_d —— 弯矩设计值；

$M_{spd,c}$ —— 受压构件全部纵向普通钢筋和预应力钢筋的拉压力对截面受压边缘的力矩设计值；

- $M_{\text{spd,cc}}$ ——圆形截面受压构件全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋合力产生的抗弯力矩设计值；
- $M_{\text{spd,cr}}$ ——环形截面受压构件全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋合力产生的抗弯力矩设计值；
- M_{ud} ——受弯构件接缝截面的抗弯承载力设计值；
- N_{cr} ——受压构件接缝截面的开裂轴向压力值；
- N_{d} ——轴向压力设计值；
- N_{p0} ——计算截面混凝土法向应力为零时全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的合力；
- $N_{\text{spd,c}}$ ——受压构件纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的合力设计值；
- $N_{\text{spd,cc}}$ ——圆形截面纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的合力设计值；
- $N_{\text{spd,cr}}$ ——环形截面纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的合力设计值；
- $N_{\text{spd,f}}$ ——受弯构件纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的合力设计值在接缝截面法向的分力；
- N_{ud} ——大偏心受压构件接缝截面的抗压承载力设计值；
- P_{d} ——竖向拉力设计值；
- T ——钢束的拉力；
- T_{d} ——T形、I形或带翼板箱形构件截面的扭矩设计值；
- T'_{fd} 、 T_{fd} ——由受压和受拉翼板截面承担的扭矩设计值；
- T_{sd} ——计算截面的扭矩设计值；
- T_{wd} ——由肋板或箱体截面承担的扭矩设计值；
- V_{d} ——剪力设计值；
- V_{k} ——施工阶段计入动力系数作用标准组合在接缝截面产生的剪力；
- $V_{\text{pb,d}}$ ——弯起预应力钢筋拉力设计值在与构件轴线垂直方向的分力；

- V_{pd} ——弯起预应力钢筋拉力设计值在接缝截面切向的分力；
- V_{pe} ——弯起预应力钢筋的永存预加力在与构件轴线垂直方向的分力；
- \bar{V}_{ud} ——截面抗剪承载力上限值；
- $\Delta f_{p,e}^f$ ——预应力钢绞线的疲劳应力幅限值；
- σ_c ——剪压区混凝土的压应力设计值；
- σ_{cc} ——使用阶段接缝截面混凝土的最大压应力；
- σ_{cc}^t ——施工阶段接缝截面边缘混凝土的最大压应力；
- $\sigma_{cc,d}$ ——转向器与混凝土之间承压面混凝土的容许压应力；
- $\sigma_{con,e}$ 、 $\sigma_{con,i}$ ——体外、体内预应力钢筋的锚下张拉控制应力；
- σ_{cp} ——使用阶段接缝位置混凝土的最大主压应力；
- σ_{ct}^t ——施工阶段接缝截面边缘混凝土的最大拉应力；
- σ_{lt} ——作用准永久组合下接缝截面边缘混凝土的拉应力；
- $\sigma_{p,e}$ ——体外预应力钢筋的最大拉应力；
- $\Delta\sigma_{p,e}^f$ ——体外预应力钢绞线的应力幅；
- $\sigma_{p,i}$ ——体内预应力钢筋的最大拉应力，或截面受拉侧或受压较小侧体内预应力钢筋的应力；
- $\sigma_{p0,i}$ ——截面受拉区体内预应力钢筋合力点处混凝土正应力等于零时体内预应力钢筋的应力，或圆形或环形截面体内预应力钢筋合力点处混凝土正应力等于零时体内预应力钢筋的应力；
- $\sigma_{p0i,i}$ ——第 i 层体内预应力钢筋合力点处混凝土正应力等于零时体内预应力钢筋的应力；
- $\sigma'_{p0,i}$ ——截面受压区或受压较大侧体内预应力钢筋合力点处混凝土正应力等于零时体内预应力钢筋的应力；

- σ_{pc} ——永存预加力在接缝截面边缘产生的混凝土压应力，或扣除全部预应力损失的预应力钢筋和纵向连续普通钢筋的合力在接缝截面抗裂边缘产生的预压应力，或全部预应力钢筋在受拉区内预应力钢筋合力点产生的预压应力；
- σ'_{pc} ——全部预应力钢筋在截面受压区内预应力钢筋合力点产生的预压应力；
- $\sigma_{pc,a}^t$ ——施工阶段接缝全截面的平均压应力；
- $\sigma_{pd,e}$ ——体外预应力钢筋的极限应力设计值；
- $\sigma_{pe,e}$ 、 $\sigma_{pe,i}$ ——体外预应力钢筋、截面受拉区内预应力钢筋的永存预应力；
- $\sigma'_{pe,i}$ ——截面受压区内预应力钢筋的永存预应力；
- $\sigma_{pi,i}$ ——截面受拉侧或受压较小侧第 i 层体内预应力钢筋的应力；
- $\sigma_{pu,e}$ ——体外预应力钢筋的极限应力；
- $\Delta\sigma_{pu,e}$ ——体外预应力钢筋的极限应力增量；
- σ_s ——截面受拉侧或受压较小侧纵向连续普通钢筋的应力；
- σ_{si} ——截面受拉侧或受压较小侧第 i 层纵向连续普通钢筋的应力；
- σ_{st} ——作用频遇组合下接缝截面边缘混凝土的拉应力；
- σ_{tp} ——预加力和作用频遇组合下接缝位置混凝土的主拉应力；
- σ_{tp}^t ——施工阶段构件中心轴处接缝位置混凝土的主拉应力；
- τ_c ——剪压区混凝土的剪应力设计值；
- τ_{cj}^t ——施工阶段接缝界面的剪应力；
- τ_{ck}^t ——施工阶段剪力键根部截面混凝土的剪应力；
- ε_{cu} ——非均匀受压时混凝土的极限压应变。

2.2.3 几何参数

- a ——截面受拉侧或受压较小侧纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的合力点至截面受拉侧边缘或受压较小侧边缘的距离；
- a' ——截面受压区或受压较大侧纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的合力点至截面受压较大侧边缘的距离；
- a_{\min} ——T形截面剪压区高度最小时压力合力作用点至截面受压边缘的距离；
- $a_{p,i}$ ——截面受压较小侧体内预应力钢筋合力点至截面受压较小侧边缘的距离；
- $a'_{p,i}$ ——截面受压区或受压较大侧体内预应力钢筋合力点至截面受压较大侧边缘的距离；
- $a_{pu,e}$ ——体外预应力钢筋合力点至截面受压较小侧边缘的距离；
- a_s ——截面受压较小侧纵向连续普通钢筋合力点至截面受压较小侧边缘的距离；
- a'_s ——截面受压区或受压较大侧纵向连续普通钢筋合力点至截面受压较大侧边缘的距离；
- A_b ——换算截面的面积；
- A_c ——圆形或环形截面的面积；
- A_{ej} ——接缝的截面面积；
- $A_{ck,i}$ ——第 i 个键块根部的截面面积；
- A_{cor} ——计算截面内抗扭箍筋所围的核心截面面积；
- A_{cv} ——可能开裂面的截面面积或 U 形钢筋交错重叠部分所围核心混凝土投影平面的净面积；
- $A_{p,e}$ ——体外预应力钢筋的截面面积，或圆形或环形截面全部体外预应力钢筋的截面面积；
- $A_{pb,e}$ 、 $A_{pb,i}$ ——体外、体内弯起预应力钢筋的截面面积；
- $A_{p,i}$ ——截面受拉区、受拉侧或受压较小侧体内预应力钢筋的截面面积，或圆形或环形截面全部体内

预应力钢筋的截面面积；

$A'_{p,i}$ —— 截面受压区或受压较大侧体内预应力钢筋的截面面积；

A_s —— 截面受拉区、受拉侧或受压较小侧纵向连续普通钢筋的截面面积，或接缝截面受拉区纵向连续普通钢筋的截面面积，或圆形或环形截面全部纵向连续普通钢筋的截面面积；

A'_s —— 截面受压区或受压较大侧纵向连续普通钢筋的截面面积；

A_{sr} —— 内环钢筋的截面面积；

A_{st} —— 计算截面内沿周边对称分布的全部纵向普通钢筋截面面积；

A_{su} —— 一个 U 形钢筋双肢总截面面积；

A_{sv} —— 穿过可能剪切开裂面钢筋的计算截面面积，或核心混凝土加强钢筋的截面面积，或斜截面范围内配置在同一截面的抗剪箍筋各肢截面面积之和；

A_{sv1} —— 计算截面内抗扭箍筋的截面面积；

b —— 矩形截面的宽度、带翼板截面的肋板或腹板垂直于构件弯曲平面的宽度，或现浇接缝的宽度；

b_d —— 转向器与混凝土之间承压面的计算宽度；

b_e —— 矩形截面的有效宽度、带翼板截面的肋板或腹板沿厚度方向的有效宽度，或箱体截面各腹板沿厚度方向的有效宽度之和。取扣除 1/2 后张预应力孔道直径后高度 h_w 内的最小宽度；

b_f —— 带翼板截面受压较小侧翼板的有效宽度，或受拉翼板截面的宽度；

b'_f —— 矩形截面的宽度或带翼板截面受压较大侧翼板的有效宽度，或受压翼板截面的宽度；

$b'_{f,s}$ —— 矩形截面的宽度或带翼板截面受压翼板的抗剪

有效宽度；

b'_h —— 受压翼板承托或加腋的宽度；

b_t —— 矩形截面的宽度、带翼板截面的肋板或腹板沿厚度方向的宽度，或箱体截面各腹板沿厚度方向的宽度之和；

B —— 矩形截面、肋板或箱体截面的宽度或短边；

C —— 斜截面的水平投影长度；

d —— 预应力钢绞线中钢丝的最大直径；

D —— U形钢筋双肢轴线的间距；

e —— 轴向压力作用点至截面受拉侧或受压较小侧的纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋合力点的距离；

e' —— 轴向压力作用点至截面受压较大侧纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋合力点的距离；

e_0 —— 轴向压力对换算截面形心轴的初始偏心距；

e_{p0} —— 全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的合力点至换算截面重心轴的距离；

h —— 构件截面高度；

h_0 —— 截面受拉区、受拉侧或受压较小侧纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的合力点至截面受压边缘或受压较大侧的距离；

h'_0 —— 截面受压较小侧边缘至截面受压较大侧纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋合力点的距离；

h_c —— 减去受拉侧纵向普通钢筋保护层厚度的截面抗剪有效高度；

h_f 、 h'_f —— 截面受压较小侧、受压较大侧翼板有效宽度内的平均厚度，受拉和受压翼板有效宽度内的平均厚度；

$h_{p,e}$ —— 体外预应力钢筋合力点至截面受压边缘的初始距离；

- $h_{p,i}$ —— 截面受拉区或受拉侧体内预应力钢筋合力点至截面受压边缘的距离；
- $h_{pi,i}$ —— 第 i 层体内预应力钢筋合力点至截面受压较大侧边缘的距离；
- $h_{pu,e}$ —— 体外预应力钢筋合力点至截面受压边缘的极限距离；
- h_s —— 截面受拉区纵向连续普通钢筋合力点至截面受压边缘的距离；
- h_{si} —— 第 i 层纵向连续普通钢筋合力点至截面受压较大侧边缘的距离；
- $h_{spd,f}$ —— $N_{spd,f}$ 的作用点至截面受压边缘的距离；
- h_w —— 矩形截面的高度、带翼板截面扣除上下翼板厚度的肋板净高度或扣除顶底板厚度的腹板净高度；
- H —— 矩形截面、肋板或箱体截面的高度或长边；
- l —— 相邻 U 形钢筋的交错长度；
- Δl —— 接缝压密值；
- L —— 构件的计算跨径；
- L_1 —— 体外预应力钢筋在构件跨内的长度；
- L_2 —— 体外预应力钢筋锚具之间的长度；
- r —— 圆形截面的半径；
- r_1 、 r_2 —— 环形截面的外、内半径；
- r_c —— 成品索截面的半径；
- r_s —— 圆形或环形截面纵向连续普通钢筋所在圆周线的半径；
- r_p —— 圆形或环形截面体内预应力钢筋所在圆周线的半径；
- R —— 转向器的弯曲半径；
- ΔR —— 转向器弯曲半径的增量；
- R_d —— 转向器孔道的半径；

- s —— 相邻交错 U 形钢筋的轴线间距；
 S_0 —— 换算截面形心轴以上或以下部分的截面对形心轴的静矩；
 s_t —— 计算截面内抗扭箍筋的间距；
 s_v —— 斜截面范围内的抗剪箍筋间距；
 t_1 —— 箱体截面长边方向两侧板壁厚度的较小值；
 t_2 —— 箱体截面短边方向两侧板壁厚度的较小值；
 U_{cor} —— 计算截面内抗扭箍筋所围核心截面的周长；
 W_0 —— 换算截面抗裂边缘的截面模量；
 W_t —— T 形、I 形或带翼板箱形构件截面的受扭塑性抵抗矩；
 W'_{tf} 、 W_{tf} —— 受压和受拉翼板截面的受扭塑性抵抗矩；
 W_{ts} —— 计算截面的受扭塑性抵抗矩；
 W_{tw} —— 肋板或箱体截面的受扭塑性抵抗矩；
 x —— 截面受压区高度或接缝截面剪压区的高度；
 x_{min} —— 矩形截面剪压区的最小高度；
 y 、 y' —— 换算截面形心轴至受拉侧或受压较小侧边缘、受压较大侧边缘的距离；
 α —— 接缝两侧相邻 U 形钢筋圆端头连线与 U 形钢筋轴线的夹角；
 θ_e 、 θ_i —— 体外、体内弯起预应力钢筋的合力与构件轴线的夹角，或体外、体内弯起预应力钢筋的合力与接缝截面法向的夹角。

2.2.4 计算系数及其他

- c 、 c_i —— 混凝土、接缝连接材料界面的粘结强度；
 K —— 混凝土界面的极限剪切强度；
 k_{ep0} —— 预应力对抗扭承载力的影响系数；
 k_t —— 施工阶段接缝连接材料界面粘结强度的折减系数；
 k_{sc} —— 体外预应力钢筋极限应力增量的修正系数；

- m ——剪跨比；
- P ——截面受拉区纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的配筋率；
- α_c ——对应截面受压区混凝土的圆心角 (rad) 与 2π 的比值；
- α_1 ——异号弯矩影响系数；
- α_{tc} ——圆形截面受拉纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的截面面积与全部纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的截面面积之比；
- α_{tr} ——环形截面受拉纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的截面面积与全部纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的截面面积之比；
- α_{EP} ——体内预应力钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比；
- α_s ——截面形状影响系数；
- β ——截面受压区混凝土压应力矩形图的高度与实际受压区高度的比值；
- β_a ——箱体截面有效壁厚折减系数；
- β_N ——偏心轴向力对截面抗裂边缘应力的影响系数；
- β_t ——剪扭构件混凝土抗扭承载力的降低系数；
- ϕ ——受压翼板影响系数；
- ϕ_c ——接缝对抗压承载力的折减系数；
- ϕ_f ——接缝对抗弯承载力的折减系数；
- ϕ_j ——接缝对混凝土抗剪强度的折减系数；
- ϕ_s ——接缝对截面抗剪承载力上限值的折减系数；
- ϕ_{st} ——接缝对纵向普通钢筋受力的影响系数；
- ϕ_t ——接缝对抗剪扭承载力的折减系数；
- γ ——截面受拉区混凝土的塑性影响系数；
- γ_0 ——结构重要性系数；
- η ——偏心受压构件轴向压力的偏心距增大系数；

- η_s —— 体外预应力二次效应的修正系数；
- λ —— 体内与体外配筋的影响系数；
- μ —— 预应力孔道摩擦系数或混凝土界面的摩擦系数；
- ω —— 构件受拉侧纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋占受拉侧全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的等效配置比；
- ξ_b —— 截面相对界限受压区高度；
- ζ —— 计算截面纵向普通钢筋与箍筋的配筋强度比。

3 基本规定

3.0.1 节段预制混凝土桥梁的建造，应全过程协调设计、制作、运输、安装等各方关系，并加强各方合作。

3.0.2 节段预制混凝土桥梁的设计与施工宜采用信息化辅助手段。

3.0.3 节段预制混凝土桥梁结构应按现行强制性工程建设规范《城市道路交通工程项目规范》GB 55011 规定的极限状态设计方法进行设计。

3.0.4 桥梁结构应根据在制作、运输、安装和使用过程中的作用影响，进行持久状况、短暂状况、偶然状况和地震状况等四种设计状况的极限状态设计。四种设计状况均应进行承载能力极限状态设计；对持久状况还应进行正常使用极限状态设计；对短暂状况及地震状况，可根据需要进行正常使用极限状态设计；对偶然状况，可不进行正常使用极限状态设计。

3.0.5 桥梁结构的设计安全等级应按现行强制性工程建设规范《城市道路交通工程项目规范》GB 55011 的规定确定。

3.0.6 桥梁主体结构的设计使用年限不应低于 100 年。体外预应力钢束应可更换，设计使用年限不应低于 20 年。

3.0.7 桥梁结构设计采用的作用、作用分类、代表值和作用效应组合应符合现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 和《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的规定。

3.0.8 桥梁结构的抗震设计应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的规定。

3.0.9 节段预制混凝土桥梁应根据结构特点、使用年限、环境条件、施工条件等进行耐久性设计。耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的规定，并应

包括下列内容：

- 1 确定结构所处的环境类别；
- 2 提出对混凝土材料的耐久性基本要求；
- 3 确定构件中钢筋的混凝土保护层厚度；
- 4 不同环境条件下的耐久性技术措施；
- 5 接缝部位的耐久性技术措施；
- 6 提出施工质量验收要求；
- 7 提出结构使用阶段的检测与维护要求，设计中可更换的

混凝土构件应按照规定更换，结构出现耐久性缺陷时，应及时进行处理。

3.0.10 节段预制混凝土桥梁的预制构件设计应满足标准化、模数化的要求，并应满足构件的制作、运输、安装等要求。

3.0.11 节段预制混凝土桥梁施工前，应根据技术条件和特点编制施工组织设计和专项施工技术方案，内容应包括构件制作、运输、安装的施工方案、质量管理及安全措施等。

3.0.12 节段预制混凝土桥梁的竣工验收应按现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的规定执行。

4 材 料

4.1 主要材料

4.1.1 节段预制混凝土桥梁构件的混凝土、钢筋、预应力钢筋的力学性能指标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。

4.1.2 节段预制桥梁构件的混凝土强度等级应符合下列规定：

- 1 钢筋混凝土不应低于 C30；
- 2 预应力混凝土不应低于 C40。

4.1.3 钢筋混凝土及预应力混凝土构件中的普通钢筋宜采用 HPB300、HRB400、HRB500 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/T 1499.1 和《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2 的规定。

4.1.4 当节段预制混凝土桥梁采用环氧树脂涂层钢筋时，应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502 的规定。

4.1.5 预应力混凝土构件中的钢绞线、钢丝和精轧螺纹钢应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224、《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223 和《预应力混凝土用螺纹钢》GB/T 20065 的规定。

4.1.6 当预应力混凝土结构采用环氧涂层钢绞线、镀锌钢绞线时，应符合下列规定：

1 环氧涂层钢绞线应符合国家现行标准《环氧涂层七丝预应力钢绞线》GB/T 21073、《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》GB/T 25823、《环氧涂层预应力钢绞线》JG/T 387 和《填充型环氧涂层钢绞线体外预应力束》JT/T 876 的规定。

- 2 镀锌钢绞线应符合现行国家标准《预应力热镀锌钢绞线》

GB/T 33363 的规定。

4.1.7 无粘结钢绞线应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG 161 和《无粘结钢绞线体外预应力束》JT/T 853 的规定。

4.2 连接材料

4.2.1 用于钢筋灌浆套筒连接的套筒应符合现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398 的规定，钢筋伸入套筒的锚固长度尚应符合本标准第 8.4.5 条的规定。

4.2.2 用于钢筋灌浆波纹管锚固连接的波纹管，宜采用外形规则的波浪状钢管（图 4.2.2）。波纹管应符合下列规定：

1 波纹钢管的管材应采用符合现行国家标准《直缝电焊钢管》GB/T 13793 的直缝电焊钢管或《结构用无缝钢管》GB/T 8162 的无缝钢管；

2 波纹钢管的壁厚 t 不应小于 2mm；

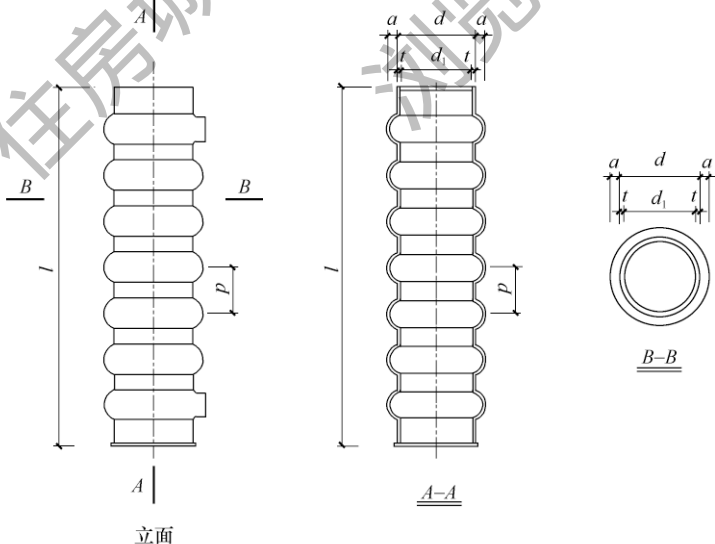


图 4.2.2 灌浆波纹管外形示意

3 波纹钢管的内径 d_1 应大于被连接钢筋直径，且两者差值不应小于 35mm；

4 波纹钢管的波高 a 不应小于 3mm；

5 波纹钢管的波距 p 不应大于 32mm。

4.2.3 钢筋灌浆套筒和灌浆波纹钢管锚固连接采用的灌浆料应符合表 4.2.3 的规定，并应符合国家现行标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 和《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408 的规定。

**表 4.2.3 钢筋灌浆套筒和灌浆波纹钢管锚固
连接用灌浆料的技术性能**

项目（性能指标单位）		性能指标
流动性（mm）	初始	≥ 300
	30min	≥ 260
抗压强度（MPa）	1d	≥ 35
	3d	≥ 60
	28d	≥ 100
竖向膨胀率（%）	3h	≥ 0.02
	24h 与 3h 差值	0.02~0.50
氯离子含量（%）		≤ 0.03
泌水率（%）		0

4.2.4 当预制墩柱节段接缝采用砂浆填充层时，应采用高强无收缩水泥基砂浆，28d 抗压强度不应小于 60MPa 且高出被连接构件强度等级不应小于 10MPa，28d 竖向膨胀率应控制在 0.02%~0.10%。

4.2.5 当预制节段接缝采用环氧树脂胶时，其胶体主要性能应符合表 4.2.5 的规定。

表 4.2.5 环氧树脂胶主要性能要求

性能项目		性能要求	试验方法标准	
物理性能	可施胶时间 (min)		≥20 GB/T 7123.1	
	可粘结时间 (min)		≥60, 且 ≤240 GB/T 12954.1	
	固化速度 (低限温度 度条件)	12h 抗压强度 (MPa)	≥40	GB/T 17671
		24h 抗压强度 (MPa)	≥60	
		7d 抗压强度 (MPa)	≥80	
	压缩弹性模量 * (MPa)	瞬时	≥8000	GB/T 17671
		1h	≥6000	
	剪切弹性模量 * (MPa)	瞬时	≥1500	—
		1h	≥1200	—
	在结构立面上无流挂现象的 涂胶层厚度 (mm)		≥3	—
	不挥发物含量 (固体含量) (%)		≥99	GB/T 2793
	吸水率 (高限温度条件) (%)		≤0.5%	—
	水中溶解率 (高限温度条件) (%)		≤0.1%	—
	高限温度条件 固化 7d 的 热变形温度 (C)	0℃≤适用温度<10℃	45	GB/T 2793
10℃≤适用温度<30℃		50		
30℃≤适用温度<60℃		60		
伸长率 (%)		≥1.0	GB/T 2567	
力学性能	抗压强度 (MPa)		≥80 GB/T 17671	
	钢-钢拉伸抗剪强度标准值 (MPa)		≥14 GB/T 7124	
	与混凝土的正拉粘结强度 (MPa)		≥3.0, 且为混凝土 内聚破坏	JG/T 157
化学性能	耐湿热 老化性	50℃温度、95%相对湿度 的环境下老化 90d 后, 常温条件下钢-钢拉伸 抗剪强度降低率	≤10% GB 50728	

续表 4.2.5

性能项目		性能要求	试验方法标准
化学性能	耐盐雾性	5%氯化钠溶液、喷雾压力 0.08MPa、试验温度 (35±2)℃、每 0.5h 喷 雾一次、每次 0.5h、 作用持续时间 90d, 到期 钢-钢拉伸抗剪强度降低率	≤5%, 且不得有 裂纹或脱胶 GB 50728

- 注: 1 表中所列指标均为胶体在适用温度范围内的。
2 当环氧树脂胶的蠕变对结构性能的影响不可忽略时, 应满足表中带 * 项目的性能要求。
3 对在寒冷地区使用的环氧树脂胶, 应满足耐冻融性能要求。

4.2.6 当预制节段接缝采用超高性能混凝土时, 其主要性能应符合表 4.2.6 的规定。超高性能混凝土中的水泥、矿物原材料、骨料等应符合国家现行标准《通用硅酸盐水泥》GB 175、《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046、《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 和《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定。化学外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的规定。钢纤维的抗拉强度不应小于 2000MPa, 并应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定。

表 4.2.6 超高性能混凝土主要性能要求

性能项目		性能要求	试验方法标准
抗压强度 (MPa)	3d	≥80	GB/T 31387
	28d	≥120	GB/T 31387
弹性极限抗拉强度 (MPa)		≥7	—
极限抗拉强度/弹性极限抗拉强度		≥1.1	GB/T 50081
极限拉应变 (με)		≥1500	—
氯离子扩散系数 (10 ⁻⁸ mm ² /s)		≤15	GB/T 50082
弹性模量 (MPa)		40×10 ³ ~50×10 ³	GB/T 31387
28d 收缩率 (10 ⁻⁶)		≤250	GB/T 50082
初始坍落扩展度 (mm)		≥650	GB/T 50080

5 持久状况承载能力极限状态计算

5.1 一般规定

5.1.1 节段预制混凝土桥梁的持久状况设计应按承载能力极限状态要求对构件进行承载力计算。当进行承载能力极限状态计算时，作用效应应采用其组合设计值，汽车荷载应计入冲击影响。

5.1.2 节段预制混凝土构件应计入接缝对其承载力的不利影响，并应对接缝截面或位置进行相应作用效应的承载力验算。

5.1.3 节段预制混凝土构件接缝截面的承载力计算可采用平面假定，受压混凝土的应力图形应简化为等效矩形，可不计混凝土的抗拉作用，截面各种材料的应力应取其相应的设计值。

5.1.4 当计算节段预制混凝土构件接缝截面的抗弯承载力和抗压承载力时，正截面受压区混凝土压应力等效矩形图的高度与实际受压区高度的比值 β ，应按表 5.1.4 采用。

表 5.1.4 系数 β 值

混凝土强度等级	C50 及以下	C55	C60	C65	C70	C75	C80
β	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74

5.1.5 节段预制混凝土构件无接缝区段截面的持久状况承载能力极限状态计算应符合国家现行有关标准的规定。

5.2 受弯构件

5.2.1 当受弯构件接缝截面的纵向受拉钢筋达到抗拉强度设计值、受压区混凝土边缘同时达到极限压应变设计值时，正截面相对界限受压区高度 ξ_b 应按表 5.2.1 采用。

表 5.2.1 正截面相对界限受压区高度 ξ_b

钢筋种类	混凝土强度等级			
	C50 及以下	C55、C60	C65、C70	C75、C80
HPB300	0.58	0.56	0.54	—
HRB400、HRBF400、RRB400	0.53	0.51	0.49	—
HRB500、HRBF500	0.49	0.47	0.46	—
预应力钢绞线、钢丝	0.40	0.38	0.36	0.35
预应力螺纹钢筋	0.40	0.38	0.36	—

注：1 截面受拉区内配置不同种类钢筋时， ξ_b 值应选用其中各种钢筋的最小值。
 2 $\xi_b = x_b/h_0$ ， x_b 为截面纵向受拉钢筋达到抗拉强度设计值、受压区混凝土边缘同时达到极限压应变时的受压区高度。

5.2.2 受压区为矩形的受弯构件接缝截面（图 5.2.2），抗弯承载力计算应符合下列规定：

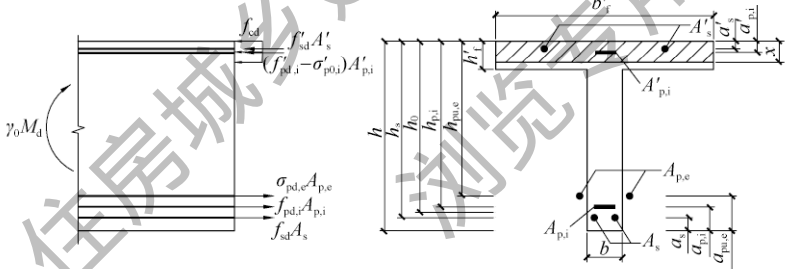


图 5.2.2 受压区为矩形的受弯构件接缝截面抗弯承载力计算图示

1 基本公式：

$$\begin{aligned} \gamma_0 M_d \leq & \phi_f \left[f_{cd} b'_f x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s (h_0 - a'_s) \right. \\ & + (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} (h_0 - a'_{p,i}) \\ & \left. - \sigma_{pd,e} A_{p,e} (h_0 - h_{pu,e}) \right] \end{aligned} \quad (5.2.2-1)$$

截面受压区高度 x 应按下列下式计算：

$$f_{sd} A_s + f_{pd,i} A_{p,i} + \sigma_{pd,e} A_{p,e} = f_{cd} b'_f x + f'_{sd} A'_s + (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} \quad (5.2.2-2)$$

截面受压区高度应满足下式要求：

$$x \leq \xi_b h_0 \quad (5.2.2-3)$$

截面受压区内预应力钢筋合力点处混凝土正应力等于零时的体内预应力钢筋应力应按下列式计算：

$$\sigma'_{p0,i} = \sigma'_{pe,i} + \alpha_{EP} \sigma'_{pe} \quad (5.2.2-4)$$

2 当截面受压区配置纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋且体内预应力钢筋受压、受压区高度 $x < 2a'$ 时，接缝截面抗弯承载力应满足下列式要求：

$$\begin{aligned} \gamma_0 M_d \leq & \phi_f [f_{sd} A_s (h_s - a') + f_{pd,i} A_{p,i} (h_{p,i} - a') \\ & + \sigma_{pd,e} A_{p,e} (h_{pu,e} - a')] \end{aligned} \quad (5.2.2-5)$$

3 当截面受压区仅配置纵向连续普通钢筋或同时配置体内预应力钢筋且体内预应力钢筋受拉、受压区高度 $x < 2a'_s$ 时，接缝截面抗弯承载力应满足下列式要求：

$$\begin{aligned} \gamma_0 M_d \leq & \phi_f [f_{sd} A_s (h_s - a'_s) + f_{pd,i} A_{p,i} (h_{p,i} - a'_s) \\ & + \sigma_{pd,e} A_{p,e} (h_{pu,e} - a'_s) \\ & - (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} (a'_{p,i} - a'_s)] \end{aligned} \quad (5.2.2-6)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，按本标准第 3.0.5 条的规定采用；

M_d ——弯矩设计值 (N·mm)；

ϕ_f ——接缝对抗弯承载力的折减系数，取 0.95；

f_{cd} ——混凝土的轴心抗压强度设计值 (MPa)，取接缝两侧强度较低者；

b'_f ——矩形截面的宽度或带翼板截面受压翼板的有效宽度 (mm)；

x ——截面受压区高度 (mm)；

h_0 ——截面受拉区纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的合力点至受压边缘的距离 (mm)，当无跨接缝体

内钢筋时取 $h_{pu,e}$ ；

f'_{sd} ——普通钢筋的抗压强度设计值 (MPa)；

A'_s ——截面受压区纵向连续普通钢筋的截面面积 (mm^2)；

a'_s ——截面受压区纵向连续普通钢筋合力点至受压边缘的距离 (mm)；

$f'_{pd,i}$ ——体内预应力钢筋的抗压强度设计值 (MPa)；

$\sigma'_{p0,i}$ ——截面受压区体内预应力钢筋合力点处混凝土正应力等于零时的体内预应力钢筋应力 (MPa)；

$A'_{p,i}$ ——截面受压区体内预应力钢筋的截面面积 (mm^2)；

$a'_{p,i}$ ——截面受压区体内预应力钢筋合力点至受压边缘的距离 (mm)；

$\sigma_{pd,e}$ ——体外预应力钢筋的极限应力设计值 (MPa)，按本标准第 5.2.4 条的规定采用；

$A_{p,e}$ ——体外预应力钢筋的截面面积 (mm^2)；

$h_{pu,e}$ ——体外预应力钢筋合力点至截面受压边缘的极限距离 (mm)，按本标准第 5.2.5 条的规定采用；

f_{sd} ——普通钢筋的抗拉强度设计值 (MPa)；

A_s ——截面受拉区纵向连续普通钢筋的截面面积 (mm^2)；

$f_{pd,i}$ ——体内预应力钢筋的抗拉强度设计值 (MPa)；

$A_{p,i}$ ——截面受拉区体内预应力钢筋的截面面积 (mm^2)；

$\sigma'_{pe,i}$ ——截面受压区体内预应力钢筋的永存预应力 (MPa)；

α_{EP} ——体内预应力钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比；

σ'_{pc} ——全部预应力钢筋在截面受压区体内预应力钢筋合力点产生的预压应力 (MPa)；

a' ——截面受压区纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的合力点至受压边缘的距离 (mm)；

h_s ——截面受拉区纵向连续普通钢筋合力点至受压边缘的距离 (mm)；

$h_{p,i}$ ——截面受拉区体内预应力钢筋合力点至受压边缘的距离 (mm)。

5.2.3 受压区为 T 形的受弯构件接缝截面 (图 5.2.3), 抗弯承载力应满足下列公式要求:

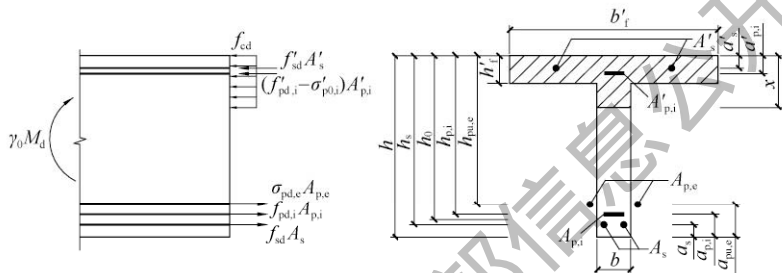


图 5.2.3 受压区为 T 形的受弯构件接缝截面抗弯承载力计算图示

$$\begin{aligned} \gamma_0 M_d \leq \phi_f \left\{ f_{cd} \left[bx \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + (b'_f - b) h'_f \left(h_0 - \frac{h'_f}{2} \right) \right] \right. \\ \left. + f'_{sd} A'_s (h_0 - a'_s) + (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} (h_0 - a'_{p,i}) \right. \\ \left. - \sigma_{pd,e} A_{p,e} (h_0 - h_{p,u,e}) \right\} \quad (5.2.3-1) \end{aligned}$$

截面受压区高度 x 应按下式计算:

$$\begin{aligned} f_{sd} A_s + f_{p,i} A_{p,i} + \sigma_{pd,e} A_{p,e} = f_{cd} [bx + (b'_f - b) h'_f] + f'_{sd} A'_s \\ + (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} \quad (5.2.3-2) \end{aligned}$$

式中: b ——带翼板截面的肋板或腹板垂直于构件弯曲平面的宽度 (mm);

h'_f ——截面受压区翼板有效宽度内的平均厚度 (mm)。

5.2.4 体外预应力钢筋的极限应力设计值应按下列公式计算:

$$\sigma_{pd,e} = \sigma_{pe,e} + k_{sc} \Delta \sigma_{pu,e} \frac{L_1}{L_2} \quad (5.2.4-1)$$

$$\sigma_{pe,e} \leq \sigma_{pd,e} \leq 0.9 f_{pd,e} \quad (5.2.4-2)$$

$$\Delta \sigma_{pu,e} = (80\omega + 85) \left(2.25 - 22 \frac{h_{p,e}}{L} \right) \quad (5.2.4-3)$$

$$\omega = \frac{f_{sd} A_s + f_{pd,i} A_{p,i}}{f_{sd} A_s + f_{pd,i} A_{p,i} + \sigma_{pe,e} A_{p,e}} \quad (5.2.4-4)$$

式中: $\sigma_{pe,e}$ ——体外预应力钢筋的永存预应力 (MPa);

- k_{ξ} ——体外预应力钢筋极限应力增量的修正系数：当计算简支受弯构件时取 1.0；当计算连续受弯构件时取 0.92；
- $\Delta\sigma_{pu,e}$ ——体外预应力钢筋的极限应力增量 (MPa)；
- L_1 ——体外预应力钢筋在构件跨内的长度 (mm)；
- L_2 ——体外预应力钢筋锚具之间的长度 (mm)；
- $f_{pd,e}$ ——体外预应力钢筋的抗拉强度设计值 (MPa)；
- ω ——构件受拉区纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋占受拉区全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的等效配置比；
- $h_{p,e}$ ——体外预应力钢筋合力点至截面受压边缘的初始距离 (mm)，按本标准第 5.2.6 条的规定计入合力偏移量；
- L ——构件的计算跨径 (mm)。

5.2.5 体外预应力钢筋合力点至截面受压区边缘的极限距离应按下式计算：

$$h_{pu,e} = \eta_s h_{p,e} \quad (5.2.5)$$

式中： η_s ——体外预应力二次效应的修正系数：当计算简支受弯构件时取 0.9；当计算连续受弯构件时取 0.95；当计算截面处设置转向或定位构造且体外预应力钢筋穿过该构造时取 1.0。

5.2.6 体外预应力钢筋合力点至截面受压边缘的初始距离，应计入该钢筋受拉后合力往转向器曲线孔道圆心方向偏移的影响，钢筋合力偏移量应按表 5.2.6 采用。

表 5.2.6 体外预应力钢筋合力偏移量

转向器和体外预应力钢筋种类	合力偏移量 (mm)
集束式转向器穿光面钢绞线束	$0.45 R_d$
集束式转向器穿无粘结钢绞线束	$0.4 R_d$
集束式转向器穿钢绞线成品索	$R_d - r_c$
散束式转向器穿无粘结钢绞线束	0
不设置转向器的各类钢束	0

注： R_d 为转向器孔道的半径 (mm)； r_c 为成品索的半径 (mm)。

5.2.7 受弯构件截面抗剪承载力上限值应满足下列公式要求：

$$\gamma_0 V_d \leq \bar{V}_{ud} \quad (5.2.7-1)$$

$$\bar{V}_{ud} = 0.23\alpha_s \phi_s f_{cd} b_c h_e + V_{pe} \quad (5.2.7-2)$$

$$\alpha_s = \left(\frac{b_t}{h_w} \right)^{0.14} \quad (5.2.7-3)$$

$$V_{pe} = 0.95(\sigma_{pe,i} A_{pb,i} \sin\theta_i + \sigma_{pe,e} A_{pb,e} \sin\theta_e) \quad (5.2.7-4)$$

式中： V_d ——剪力设计值 (N)；

\bar{V}_{ud} ——截面抗剪承载力上限值 (N)；

α_s ——截面形状影响系数，当 $b_t/h_w > 1.0$ 时取 $b_t/h_w = 1.0$ ，当 $b_t/h_w < 0.1$ 时取 $b_t/h_w = 0.1$ ；

ϕ_s ——接缝对截面抗剪承载力上限值的折减系数：当无纵向连续普通钢筋且构件腹部无跨接缝体内预应力钢筋时取 0.85；当有纵向连续普通钢筋或构件腹部有跨接缝体内预应力钢筋时取 0.90；当无接缝时取 1.0；

b_c ——矩形截面的有效宽度、带翼板截面的肋板或腹板沿厚度方向的有效宽度 (mm)，取扣除 1/2 后张预应力孔道直径后高度 h_w 内的最小宽度；

h_e ——减去受拉侧纵向普通钢筋保护层厚度的截面抗剪有效高度 (mm)；

V_{pe} ——弯起预应力钢筋的永存预加力在与构件轴线垂直方向的分力 (N)；

b_t ——矩形截面的宽度、带翼板截面的肋板或腹板沿厚度方向的宽度 (mm)；

h_w ——矩形截面的高度、带翼板截面扣除上下翼板厚度的肋板净高度或扣除顶底板厚度的腹板净高度 (mm)，当肋板或腹板倾斜时取斜向尺寸；

$\sigma_{pe,i}$ ——体内预应力钢筋的永存预应力 (MPa)；

$A_{pb,i}$ 、 $A_{pb,e}$ ——体内、体外弯起预应力钢筋的截面面积 (mm²)；

θ_i 、 θ_e ——体内、体外弯起预应力钢筋的合力与构件轴线的夹角 (°)。

5.2.8 受弯构件接缝位置斜截面（图 5.2.8）抗剪承载力应满足下列公式要求：

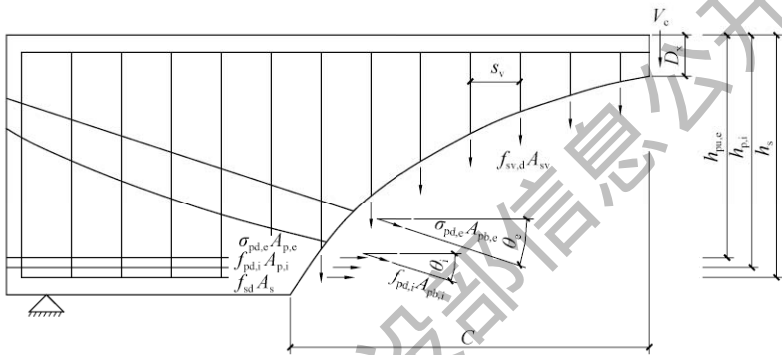


图 5.2.8 受弯构件接缝位置斜截面抗剪承载力计算图示

$$\gamma_0 V_d \leq 0.35 \alpha_1 \phi \lambda (0.11 + P) \frac{\sqrt{f_{cu,k}}}{m} b_i h_e + 0.45 \frac{C}{s_v} f_{sv,d} A_{sv} + V_{pb,d} \quad (5.2.8-1)$$

$$\phi = \frac{bh_e + 2h_f'^2}{bh_e} \quad (5.2.8-2)$$

$$P = 100 \frac{A_s + A_{p,i} + A_{pb,i} + A_{p,e} + A_{pb,e}}{bh_e} \quad (5.2.8-3)$$

$$m = \frac{M_d}{h_e V_d} \quad (5.2.8-4)$$

$$V_{pb,d} = 0.95 (0.8 f_{pd,i} A_{pb,i} \sin \theta_i + \sigma_{pd,e} A_{pb,e} \sin \theta_e) \quad (5.2.8-5)$$

式中： V_d ——斜截面剪压端剪力设计值（N）；

α_1 ——异号弯矩影响系数：当计算截面在简支和连续受弯构件的近边支点区段时取 1.0；当计算截面在连续等受弯构件的近中支点区段时取 0.9；

ϕ ——受压翼板影响系数，计算矩形截面时取 $h_f' = 0$ ；

λ ——体内与体外配筋的影响系数：当采用全体外配筋时取 1.0；当采用全体内配筋或体内、体外混合配

筋时取 1.1；

P ——截面受拉区纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的配筋率，当 $P > 2.5$ 时取 2.5；

$f_{cu,k}$ ——边长为 150mm 的混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa)，当剪压区位于接缝时，取接缝两侧强度较低者；

m ——剪跨比，当 $m < 1.5$ 时取 1.5；

b_t ——剪压区对应正截面处，矩形截面的宽度、带翼板截面的肋板或腹板沿厚度方向的宽度 (mm)；

C ——斜截面的水平投影长度 (mm)，取一个节段长度和 $C = 0.6mh_c$ 的较小者，当 $m > 3.0$ 时取 $m = 3.0$ ；

s_v ——斜截面范围内的抗剪箍筋间距 (mm)；

$f_{sv,d}$ ——箍筋的抗拉强度设计值 (MPa)；

A_{sv} ——斜截面范围内配置在同一截面的抗剪箍筋各肢截面积之和 (mm^2)；

$V_{pb,d}$ ——弯起预应力钢筋拉力设计值在与构件轴线垂直方向的分力 (N)；

M_d ——与 V_d 工况对应的弯矩设计值 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)；

$\sigma_{pd,e}$ ——受弯构件抗剪承载力计算时体外预应力钢筋的极限应力设计值 (MPa)，取 σ_{pe} 。

5.2.9 剪压区为矩形的受弯构件接缝截面 (图 5.2.9)，抗剪弯承载力计算应符合下列规定：

1 当剪弯比符合下列条件之一时，可不进行抗剪弯承载力计算：

$$\frac{V_d}{M_d} \leq \frac{V_{pd}}{\phi_f N_{spd,f} \left(h_{spd,f} - \frac{x_{\min}}{2} \right)} \quad (5.2.9-1)$$

$$\frac{V_d}{M_d} \geq \frac{0.17\phi_j f_{cd} b'_f s h_c + V_{pd}}{\phi_f N_{spd,f} \left(h_{spd,f} - \frac{h_c}{2} \right)} \quad (5.2.9-2)$$

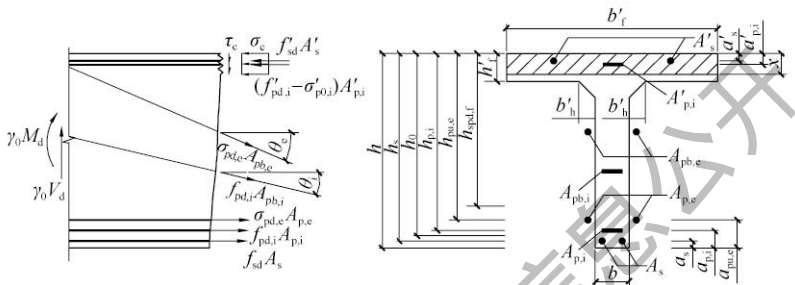


图 5.2.9 剪压区为矩形的受弯构件接缝截面抗剪弯承载力计算图示

2 当剪弯比同时不符合式 (5.2.9-1) 和式 (5.2.9-2) 的条件时, 抗剪弯承载力应满足下列公式要求:

$$\gamma_0 V_d \leq 0.95 \tau_c b'_{f,s} x + V_{pd} \quad (5.2.9-3)$$

$$\gamma_0 M_d \leq \phi_f \left[\sigma_c b'_f x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) - N_{spd,f} (h_0 - h_{spd,f}) \right] \quad (5.2.9-4)$$

$$N_{spd,f} = \sigma_c b'_f x \quad (5.2.9-5)$$

$$\frac{\tau_c}{f_{cd}} = \phi_f \sqrt{0.009 + 0.095 \frac{\sigma_c}{f_{cd}} - 0.104 \left(\frac{\sigma_c}{f_{cd}} \right)^2} \quad (5.2.9-6)$$

$$\frac{V_d}{M_d} = \frac{0.95 \tau_c b'_{f,s} x + V_{pd}}{\phi_f \left[\sigma_c b'_f x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) - N_{spd,f} (h_0 - h_{spd,f}) \right]} \quad (5.2.9-7)$$

$$V_{pd} = 0.95 (0.8 f_{pd,i} A_{pb,i} \sin \theta_i + \sigma_{pd,e} A_{pb,e} \sin \theta_e) \quad (5.2.9-8)$$

$$\begin{aligned} N_{spd,f} - f_{sd} A_s + f_{pd,i} (A_{p,i} + 0.8 A_{pb,i} \cos \theta_i) \\ + \sigma_{pd,e} (A_{p,e} + A_{pb,e} \cos \theta_e) - f'_{sd} A'_s \\ - (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} \end{aligned} \quad (5.2.9-9)$$

$$x_{\min} = \frac{N_{spd,f}}{f_{cd} b'_f} \quad (5.2.9-10)$$

$$b'_{f,s} = b + 2b'_h \quad (5.2.9-11)$$

式中： M_d ——与 V_d 工况对应的弯矩设计值 ($N \cdot mm$)；

V_{pd} ——跨接缝弯起预应力钢筋拉力设计值在接缝截面切向的分力 (N)；

$N_{spd,f}$ ——受弯构件全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋合力设计值在接缝截面法向的分力 (N)；

$h_{spd,f}$ —— $N_{spd,f}$ 的作用点至截面受压边缘的距离 (mm)；

x_{min} ——矩形截面剪压区的最小高度 (mm)；

ϕ_f ——接缝对混凝土抗剪强度的折减系数：当为设剪力键的环氧胶接缝时取 0.85，当为不设剪力键的环氧胶接缝或设剪力键的现浇混凝土接缝时取 0.7，当界面粗糙化处理后现浇混凝土或填充砂浆时取 0.6；当界面不粗糙化处理现浇混凝土或填充砂浆时取 0.3；

$b'_{f,s}$ ——矩形截面的宽度或带翼板截面受压翼板的抗剪有效宽度 (mm)；

τ_c ——剪压区混凝土的剪应力设计值 (MPa)；

x ——受弯构件接缝截面剪压区的高度 (mm)，当 $x > h_e$ 时取 h_e ；

σ_c ——剪压区混凝土的压应力设计值 (MPa)；

θ_i 、 θ_e ——跨接缝体内、体外弯起预应力钢筋的合力与接缝截面法向的夹角 ($^\circ$)；

b'_h ——受压翼板承托或加腋的宽度 (mm)，不论有无承托或加腋，取值均不小于翼板根部厚度的 2 倍。

5.2.10 剪压区为 T 形的受弯构件接缝截面 (图 5.2.10)，抗剪弯承载力计算应符合下列规定：

1 当剪弯比符合下列条件之一时，可不进行抗剪弯承载力计算：

$$\frac{V_d}{M_d} \leq \frac{V_{pd}}{\phi_f N_{spd,f} (h_{spd,f} - a_{min})} \quad (5.2.10-1)$$

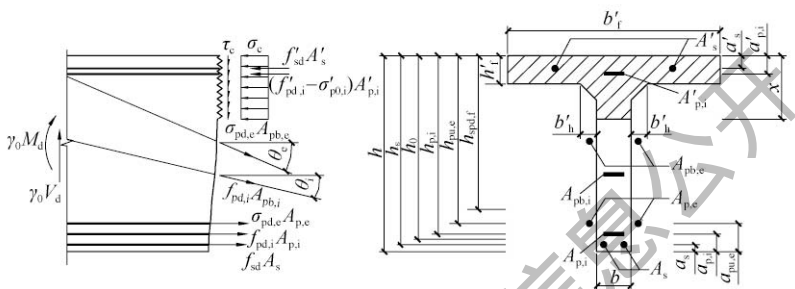


图 5.2.10 剪压区为 T 形的受弯构件接缝截面抗剪弯承载力计算图式

$$\frac{V_d}{M_d} \geq \frac{0.17\phi_1 f_{cd} [bh_c + (b'_f - b)h'_f] + V_{pd}}{\phi_f N_{spd,f} \left(h_{spd,f} - \frac{h_c}{2} \right)} \quad (5.2.10-2)$$

2 当剪弯比同时不符合式 (5.2.10-1) 和式 (5.2.10-2) 的条件时, 抗剪弯承载力应满足下列公式要求:

$$\gamma_0 V_d \leq 0.95\tau_c [bx + (b'_{f,s} - b)h'_f] + V_{pd} \quad (5.2.10-3)$$

$$\gamma_0 M_d \leq \phi_f \left\{ \sigma_c \left[bx \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + (b'_f - b)h'_f \left(h_0 - \frac{h'_f}{2} \right) \right] - N_{spd,f} (h_0 - h_{spd,f}) \right\} \quad (5.2.10-4)$$

$$N_{spd,f} = \sigma_c [bx + (b'_f - b)h'_f] \quad (5.2.10-5)$$

$$\frac{V_d}{M_d} = \frac{0.95\tau_c [bx + (b'_{f,s} - b)h'_f] + V_{pd}}{\phi_f \left\{ \sigma_c \left[bx \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + (b'_f - b)h'_f \left(h_0 - \frac{h'_f}{2} \right) \right] - N_{spd,f} (h_0 - h_{spd,f}) \right\}} \quad (5.2.10-6)$$

$$a_{\min} = \frac{N_{spd,f}}{2bf_{cd}} + h'_f \frac{b'_f - b}{b} \left(\frac{b'_f h'_f f_{cd}}{2N_{spd,f}} - 1 \right) \quad (5.2.10-7)$$

式中: a_{\min} —— T 形截面剪压区高度最小时压力合力作用点至截面受压边缘的距离 (mm)。

5.3 受压构件

5.3.1 偏心受压构件的接缝截面应以相对界限受压区高度 ξ_b 作

为判断其大小偏心受压的条件, ξ_b 应按下列规定确定:

1 钢筋混凝土偏心受压构件的 ξ_b 值应按本标准表 5.2.1 采用。

2 预应力混凝土偏心受压构件的 ξ_b 值应按下列公式计算:

1) 预应力螺纹钢筋:

$$\xi_b = \frac{\beta}{1 + \frac{f_{pd,i} - \sigma_{p0,i}}{E_p \epsilon_{cu}}} \quad (5.3.1-1)$$

2) 预应力钢绞线、钢丝:

$$\xi_b = \frac{\beta}{1 + \frac{0.002}{\epsilon_{cu}} + \frac{f_{pd,i} - \sigma_{p0,i}}{E_p \epsilon_{cu}}} \quad (5.3.1-2)$$

$$\sigma_{p0,i} = \sigma_{pe,i} + \alpha_{EP} \sigma_{pc} \quad (5.3.1-3)$$

式中: $\sigma_{p0,i}$ ——截面受拉区体内预应力钢筋合力点处混凝土正应力等于零时的体内预应力钢筋的应力 (MPa);

E_p ——预应力钢筋的弹性模量 (MPa);

ϵ_{cu} ——非均匀受压时混凝土的极限压应变: 混凝土强度等级为 C50 及以下时, $\epsilon_{cu} = 0.0033$; 混凝土强度等级为 C80 时, $\epsilon_{cu} = 0.003$; 中间强度等级的混凝土 ϵ_{cu} 按直线内插计算;

$\sigma_{pe,i}$ ——受拉区体内预应力钢筋的永存预应力 (MPa);

σ_{pc} ——全部预应力钢筋在受拉区体内预应力钢筋合力点产生的预压应力 (MPa)。

5.3.2 小偏心受压构件位于接缝截面受拉侧或受压较小侧的每层钢筋, 其应力可按下列公式计算:

1 普通钢筋:

$$\sigma_{si} = \epsilon_{cu} E_s \left(\frac{\beta h_{si}}{x} - 1 \right) \quad (5.3.2-1)$$

$$-f'_{sd} \leq \sigma_{si} \leq f_{sd} \quad (5.3.2-2)$$

当 σ_{si} 为拉应力且其值大于 f_{sd} 时, 取 $\sigma_{si} = f_{sd}$; 当 σ_{si} 为压应力且其绝对值大于 f'_{sd} 时, 取 $\sigma_{si} = -f'_{sd}$ 。

2 体内预应力钢筋:

$$\sigma_{pi,i} = \epsilon_{cu} E_p \left(\frac{\beta h_{pi,i}}{x} - 1 \right) + \sigma_{p0i,i} \quad (5.3.2-3)$$

$$- (f'_{pd,i} - \sigma_{p0i,i}) \leq \sigma_{pi,i} \leq f_{pd,i} \quad (5.3.2-4)$$

当 $\sigma_{pi,i}$ 为拉应力且其值大于 $f_{pd,i}$ 时, 取 $\sigma_{pi,i} = f_{pd,i}$; 当 $\sigma_{pi,i}$ 为压应力且其绝对值大于 $(f'_{pd,i} - \sigma_{p0i,i})$ 时, 取 $\sigma_{pi,i} = - (f'_{pd,i} - \sigma_{p0i,i})$ 。

式中: σ_{ξ_i} —— 截面受拉侧或受压较小侧第 i 层纵向连续普通钢筋的应力 (MPa);

E_s —— 普通钢筋的弹性模量 (MPa);

h_{ξ_i} —— 第 i 层纵向连续普通钢筋的截面形心至截面受压较大侧边缘的距离 (mm);

$\sigma_{pi,i}$ —— 截面受拉侧或受压较小侧第 i 层体内预应力钢筋的应力 (MPa);

$h_{pi,i}$ —— 第 i 层体内预应力钢筋的截面形心至截面受压较大侧边缘的距离 (mm);

$\sigma_{p0i,i}$ —— 第 i 层体内预应力钢筋截面形心处混凝土正应力等于零时的体内预应力钢筋的应力 (MPa)。

5.3.3 受压区为矩形的偏心受压构件接缝截面 (图 5.3.3), 抗压承载力计算应符合下列规定:

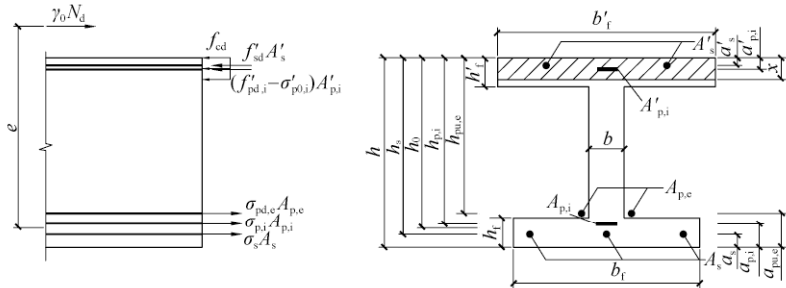


图 5.3.3 受压区为矩形的偏心受压构件接缝截面
抗压承载力计算图式

1 基本公式:

$$\gamma_0 N_d \leq \phi_c [f_{cd} b'_f x + f'_{sd} A'_s + (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} - \sigma_{p,i} A_{p,i} - \sigma_s A_s - \sigma_{pd,e} A_{p,e}] \quad (5.3.3-1)$$

$$\gamma_0 N_d e \leq \phi_c \left[f_{cd} b'_f x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s (h_0 - a'_s) + (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} (h_0 - a'_{p,i}) - \sigma_{pd,e} A_{p,e} (h_0 - h_{pu,e}) \right] \quad (5.3.3-2)$$

$$e = \eta e_0 + y - a \quad (5.3.3-3)$$

$$e_0 = \frac{M_d}{N_d} \quad (5.3.3-4)$$

$$a = h - h_0 \quad (5.3.3-5)$$

2 大偏心、小偏心受压构件的界定、截面受拉侧和受压较小侧的 σ_s 和 $\sigma_{p,i}$ 取值应按下列规定:

- 1) 当 $\xi \leq \xi_b$ 时为大偏心受压构件, $\sigma_s = f_{sd}$, $\sigma_{p,i} = f_{pd,i}$, $\xi = x/h_0$ 为截面相对受压区高度。
- 2) 当 $\xi > \xi_b$ 时为小偏心受压构件, σ_s 和 $\sigma_{p,i}$ 应按本标准第 5.3.2 条的规定计算。

3 当小偏心受压构件的轴向压力作用在受压较大侧的钢筋合力点与受压较小侧的钢筋合力点之间时, 抗压承载力计算尚应满足下列公式要求:

$$\gamma_0 N_d e' \leq \phi_c \left[f_{cd} b'_f h \left(h'_0 - \frac{h}{2} \right) + f'_{sd} A'_s (h'_0 - a_s) + (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} (h'_0 - a_{p,i}) - \sigma_{pd,e} A_{p,e} (h'_0 - a_{pu,e}) \right] \quad (5.3.3-6)$$

$$e' = y' - e_0 - a' \quad (5.3.3-7)$$

式中: N_d —— 轴向压力设计值 (N);

ϕ_c —— 接缝对抗压承载力的折减系数: 大偏心受压时取 0.95, 其他情况取 1.0;

b'_f —— 矩形截面的宽度或带翼板截面受压较大侧翼板的有效宽度 (mm);

- A'_s ——截面受压较大侧纵向连续普通钢筋的截面面积 (mm^2);
- $\sigma'_{p0,i}$ ——截面受压较大侧体内预应力钢筋合力点处混凝土正应力等于零时体内预应力钢筋的应力 (MPa);
- $A'_{p,i}$ ——截面受压较大侧体内预应力钢筋的截面面积 (mm^2);
- $\sigma_{p,i}$ ——截面受拉侧或受压较小侧体内预应力钢筋的应力 (MPa);
- $A_{p,i}$ ——截面受拉侧或受压较小侧体内预应力钢筋的截面面积 (mm^2);
- σ_s ——截面受拉侧或受压较小侧纵向连续普通钢筋的应力 (MPa);
- A_s ——截面受拉侧或受压较小侧纵向连续普通钢筋的截面面积 (mm^2);
- $\sigma_{pd,e}$ ——受压构件抗压承载力计算时体外预应力钢筋的极限应力设计值 (MPa), 取 $\sigma_{pe,e}$;
- e ——轴向压力作用点至截面受拉侧或受压较小侧的纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋合力点的距离 (mm);
- h_0 ——截面受拉侧或受压较小侧纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的合力点至截面受压较大侧边缘的距离 (mm);
- a'_s ——截面受压较大侧纵向连续普通钢筋合力点至截面受压较大侧边缘的距离 (mm);
- $a'_{p,i}$ ——截面受压较大侧体内预应力钢筋合力点至截面受压较大侧边缘的距离 (mm);
- η ——偏心受压构件轴向压力的偏心距增大系数;
- e_0 ——轴向压力对换算截面形心轴的初始偏心距 (mm);
- y ——换算截面形心轴至受拉侧或受压较小侧边缘的距离 (mm);

- a ——截面受拉侧或受压较小侧纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的合力点至受拉侧边缘或受压较小侧边缘的距离 (mm);
- M_d ——与 N_d 工况对应的弯矩设计值 (N·mm);
- h ——构件截面高度 (mm);
- e' ——轴向压力作用点至截面受压较大侧纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋合力点的距离 (mm);
- h'_0 ——截面受压较小侧边缘至截面受压较大侧纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋合力点的距离 (mm);
- a_s ——截面受压较小侧纵向连续普通钢筋合力点至截面受压较小侧边缘的距离 (mm);
- $a_{p,i}$ ——截面受压较小侧体内预应力钢筋合力点至截面受压较小侧边缘的距离 (mm);
- $a_{p,e}$ ——体外预应力钢筋合力点至截面受压较小侧边缘的距离 (mm);
- y' ——换算截面形心轴至受压较大侧边缘的距离 (mm);
- a' ——截面受压较大侧纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋合力点至截面受压较大侧边缘的距离 (mm)。

5.3.4 受压区为 T 形的偏心受压构件接缝截面 (图 5.3.4), 抗压承载力计算应符合下列规定:

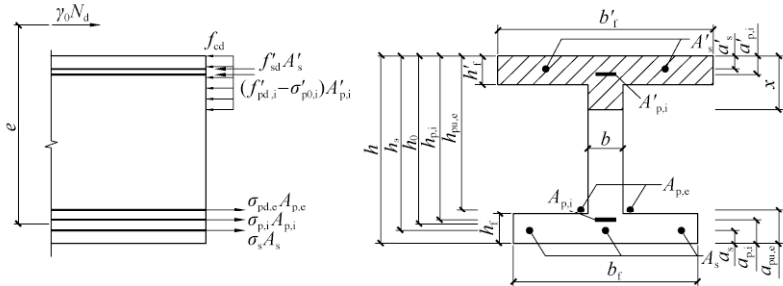


图 5.3.4 受压区为 T 形的偏心受压构件
接缝截面抗压承载力计算图式

1 基本公式:

$$\gamma_0 N_d \leq \phi_c \left\{ f_{cd} [bx + (b'_f - b)h'_f] + f'_{sd} A'_s + (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} - \sigma_{p,i} A_{p,i} - \sigma_s A_s - \sigma_{pd,e} A_{p,e} \right\} \quad (5.3.4-1)$$

$$\gamma_0 N_{de} \leq \phi_c \left\{ f_{cd} \left[bx \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + (b'_f - b)h'_f \left(h_0 - \frac{h'_f}{2} \right) \right] + f'_{sd} A'_s (h_0 - a'_s) + (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} (h_0 - a'_{p,i}) - \sigma_{pd,e} A_{p,e} (h_0 - h_{pu,e}) \right\} \quad (5.3.4-2)$$

式中: h'_f —— 受压较大侧翼板有效宽度内的平均厚度 (mm)。

2 当轴向压力作用在受压较大侧的钢筋合力点与受压较小侧的钢筋合力点之间时:

1) 翼板位于截面受压较大侧的小偏心受压构件尚应满足下式要求:

$$\gamma_0 N_d e' \leq \phi_c \left\{ f_{cd} \left[bh \left(h'_0 - \frac{h}{2} \right) + (b'_f - b)h'_f \left(\frac{h'_f}{2} - a' \right) \right] + f'_{sd} A'_s (h'_0 - a_s) + (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} (h'_0 - a_{p,i}) - \sigma_{pd,e} A_{p,e} (h'_0 - a_{pu,e}) \right\} \quad (5.3.4-3)$$

2) 翼板位于截面受压较小侧的小偏心受压构件尚应满足下式要求:

$$\gamma_0 N_d e' \leq \phi_c \left\{ f_{cd} \left[bh \left(h'_0 - \frac{h}{2} \right) + (b_f - b)h_f \left(h'_0 - \frac{h_f}{2} \right) \right] + f'_{sd} A'_s (h'_0 - a_s) + (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} (h'_0 - a_{p,i}) - \sigma_{pd,e} A_{p,e} (h'_0 - a_{pu,e}) \right\} \quad (5.3.4-4)$$

式中: b_f —— 带翼板截面受压较小侧翼板的有效宽度 (mm);

h_f —— 截面受压较小侧翼板有效宽度内的平均厚度 (mm)。

5.3.5 受压区为弓形的圆形和环形截面偏心受压构件接缝截面 (图 5.3.5), 抗压承载力应满足下列公式要求:

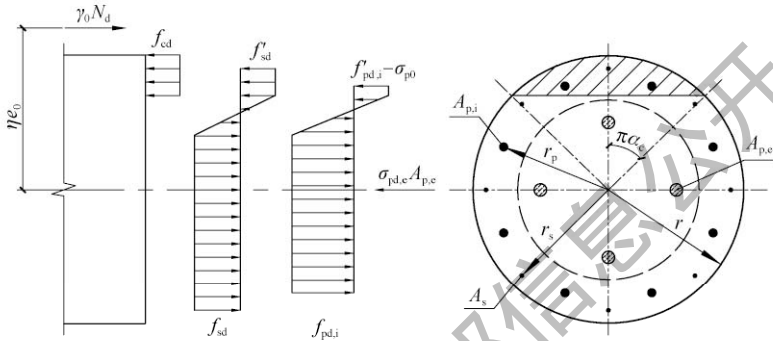


图 5.3.5 受压区为弓形的圆形和环形截面偏心受压构件接缝截面抗压承载力计算图示

$$\gamma_0 N_d \leq \phi_c \left[\alpha_c f_{cd} A_c \left(1 - \frac{\sin 2\pi\alpha_c}{2\pi\alpha_c} \right) + N_{spd,cc} \right] \quad (5.3.5-1)$$

$$\gamma_0 N_d \eta e_0 \leq \phi_c \left(f_{cd} A_c r \frac{2 \sin^3 \pi\alpha_c}{3\pi} + M_{spd,cc} \right) \quad (5.3.5-2)$$

$$\eta e_0 = \frac{f_{cd} A_c r \frac{2 \sin^3 \pi\alpha_c}{3\pi} + M_{spd,cc}}{\alpha_c f_{cd} A_c \left(1 - \frac{\sin 2\pi\alpha_c}{2\pi\alpha_c} \right) + N_{spd,cc}} \quad (5.3.5-3)$$

$$N_{spd,cc} = \alpha_c (f_{sd} A_s + f'_{pd,i} A_{p,i}) - \alpha_{tc} [f_{sd} A_s + (f_{pd,i} - \sigma_{p0,i}) A_{p,i}] - \sigma_{p0,i} A_{p,i} - \sigma_{pd,e} A_{p,e} \quad (5.3.5-4)$$

$$M_{spd,cc} = (f_{sd} A_s r_s + f'_{pd,i} A_{p,i} r_p) \frac{\sin \pi\alpha_c}{\pi} + [f_{sd} A_s r_s + (f_{pd,i} - \sigma_{p0,i}) A_{p,i} r_p] \frac{\sin \pi\alpha_{tc}}{\pi} \quad (5.3.5-5)$$

$$\alpha_{tc} = 1.25 - 2\alpha_c \quad (5.3.5-6)$$

式中： α_c ——对应截面受压区混凝土的圆心角 (rad) 与 2π 的比值；

A_c ——圆形截面的面积 (mm^2)，当计算环形截面时取 $A_c = \pi r^2$ ；

- $N_{\text{spd,cc}}$ —— 圆形截面受压构件全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋合力设计值 (N);
- r —— 圆形截面的半径或环形截面的外半径 (mm);
- $M_{\text{spd,cc}}$ —— 圆形截面受压构件全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋合力产生的抗弯力矩设计值 (N·mm);
- A_s —— 圆形或环形截面全部纵向连续普通钢筋的截面面积 (mm²), 沿周边均布且不应少于 6 根钢筋;
- $A_{p,i}$ —— 圆形或环形截面全部体内预应力钢筋的截面面积 (mm²), 沿周边均布且不应少于 6 根;
- α_{tc} —— 圆形截面受压构件受拉纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的截面面积与全部纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的截面面积之比, 当 $\alpha_{\text{tc}} > 0.625$ 时取 $\alpha_{\text{tc}} = 0$;
- $\sigma_{p0,i}$ —— 圆形或环形截面体内预应力钢筋合力点处混凝土正应力等于零时的体内预应力钢筋的应力 (MPa);
- $A_{p,e}$ —— 圆形或环形截面全部体外预应力钢筋的截面面积 (mm²), 合力应位于圆心;
- r_s —— 圆形或环形截面纵向连续普通钢筋所在圆周线的半径 (mm);
- r_p —— 圆形或环形截面体内预应力钢筋所在圆周线的半径 (mm)。

5.3.6 受压区非弓形的环形截面偏心受压构件接缝截面 (图 5.3.6), 抗压承载力应满足下列公式要求:

$$\gamma_0 N_d \leq \phi_c (\alpha_c f_{\text{cd}} A_c + N_{\text{spd,cr}}) \quad (5.3.6-1)$$

$$\gamma_0 N_d \eta e_0 \leq \phi_c \left[0.5 f_{\text{cd}} A_c (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha_c}{\pi} + M_{\text{spd,cr}} \right] \quad (5.3.6-2)$$

$$\eta e_0 = \frac{0.5 f_{\text{cd}} A_c (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha_c}{\pi} + M_{\text{spd,cr}}}{\alpha_c f_{\text{cd}} A_c + N_{\text{spd,cr}}} \quad (5.3.6-3)$$

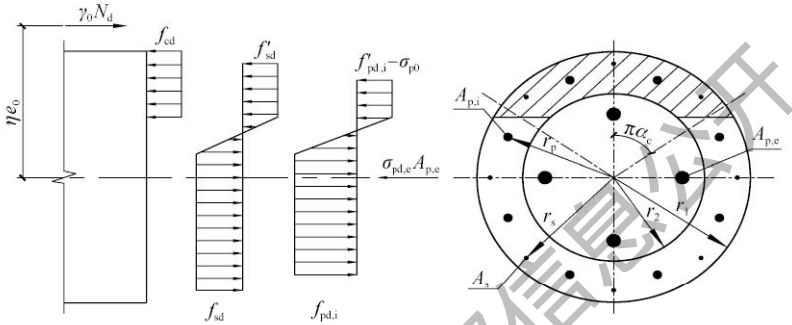


图 5.3.6 受压区非弓形的环形截面偏心受压构件
接缝截面抗压承载力计算图式

$$N_{\text{spd,cr}} = \alpha_c (f_{\text{sd}} A_s + f'_{\text{pd},i} A_{\text{p},i}) - \alpha_{\text{tr}} [f_{\text{sd}} A_s + (f_{\text{pd},i} - \sigma_{\text{p}0,i}) A_{\text{p},i}] - \sigma_{\text{p}0,i} A_{\text{p},i} - \sigma_{\text{pde}} A_{\text{p},e} \quad (5.3.6-4)$$

$$M_{\text{spd,cr}} = (f_{\text{sd}} A_s r_s + f'_{\text{pd},i} A_{\text{p},i} r_p) \frac{\sin \pi \alpha_c}{\pi} + [f_{\text{sd}} A_s r_s + (f_{\text{pd},i} - \sigma_{\text{p}0,i}) A_{\text{p},i} r_p] \frac{\sin \pi \alpha_{\text{tr}}}{\pi} \quad (5.3.6-5)$$

$$\alpha_{\text{tr}} = 1 - 1.5 \alpha_c \quad (5.3.6-6)$$

当 $\alpha_c < \arccos[2r_2/(r_1 + r_2)]/\pi$ 时，抗压承载力应按本标准第 5.3.5 条的规定计算。

式中： A_c —— 环形截面的面积 (mm^2)；

$N_{\text{spd,cr}}$ —— 环形截面受压构件全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋合力设计值 (N)；

r_1 、 r_2 —— 环形截面的外、内半径 (mm)， $r_2/r_1 \geq 0.5$ ；

$M_{\text{spd,cr}}$ —— 环形截面受压构件全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋合力产生的抗弯力矩设计值 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)；

α_{tr} —— 环形截面受压构件受拉纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的截面面积与全部纵向连续普通钢筋和体内预应力钢筋的截面面积之比，当 $\alpha_c > 0.667$ 时取 $\alpha_{\text{tr}} = 0$ 。

5.3.7 剪压区为矩形的大偏心受压构件接缝截面（图 5.3.7），抗剪弯承载力应满足下列公式要求：

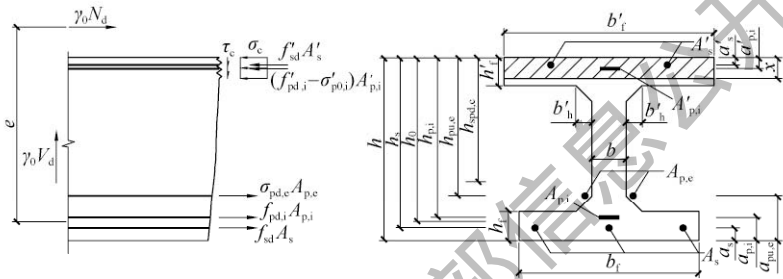


图 5.3.7 剪压区为矩形的大偏心受压构件
接缝截面抗剪弯承载力计算图式

$$\gamma_0 V_d \leq 0.95 \tau_c b'_f x \quad (5.3.7-1)$$

$$\gamma_0 N_d e \leq \phi_c \left[\sigma_c b'_f x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + M_{spd,c} - N_{spd,c} h_0 \right] \quad (5.3.7-2)$$

$$\frac{V_d}{N_d} = \frac{0.95 \tau_c b'_f x}{\phi_c (\sigma_c b'_f x - N_{spd,e})} \quad (5.3.7-3)$$

$$e = \frac{\sigma_c b'_f x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + M_{spd,c} - N_{spd,c} h_0}{\sigma_c b'_f x - N_{spd,c}} \quad (5.3.7-4)$$

$$N_{spd,c} = f_{sd} A_s + f_{pd,i} A_{p,i} + \sigma_{pd,e} A_{p,e} - f'_{sd} A'_s - (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) A'_{p,i} \quad (5.3.7-5)$$

式中： x ——受压构件接缝截面剪压区的高度（mm），当 $x > h_0$ 时取 $x = h_0$ ；

N_d ——与 V_d 对应工况的轴向压力设计值（N）；

$N_{spd,c}$ ——受压构件全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的合力设计值在接缝法向的分力（N）；

$M_{spd,c}$ ——受压构件全部纵向连续的普通钢筋和预应力钢筋对截面受压边缘的力矩设计值（N·mm）；

$\sigma_{pd,e}$ ——受压构件抗剪承载力计算时体外预应力钢筋的极限

应力设计值 (MPa), $\sigma_{pd,e} = \sigma_{pe,e}$ 。

5.3.8 剪压区为 T 形的大偏心受压构件接缝截面 (图 5.3.8), 抗剪弯承载力应满足下列公式要求:

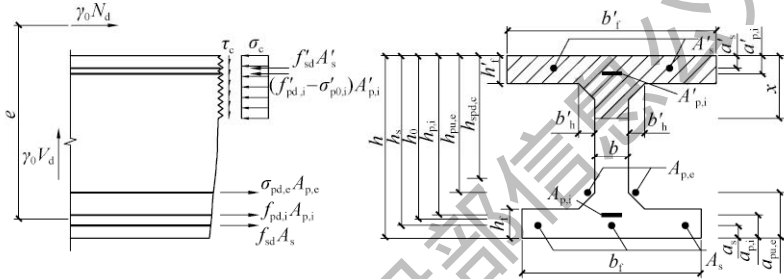


图 5.3.8 剪压区为 T 形的大偏心受压构件
接缝截面抗剪弯承载力计算图示

$$\gamma_0 V_d \leq 0.95 \tau_c [bx + (b'_{f,s} - b)h'_f] \quad (5.3.8-1)$$

$$\gamma_0 N_d e \leq \phi_c \left\{ \sigma_c \left[bx \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + (b'_f - b)h'_f \left(h_0 - \frac{h'_f}{2} \right) \right] + M_{spd,c} - N_{spd,c} h_0 \right\} \quad (5.3.8-2)$$

$$\frac{V_d}{N_d} = \frac{0.95 \tau_c [bx + (b'_{f,s} - b)h'_f]}{\phi_c \{ \sigma_c [bx + (b'_f - b)h'_f] - N_{spd,c} \}} \quad (5.3.8-3)$$

$$e = \frac{\sigma_c \left[bx \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + (b'_f - b)h'_f \left(h_0 - \frac{h'_f}{2} \right) \right] + M_{spd,c} - N_{spd,c} h_0}{\sigma_c [bx + (b'_f - b)h'_f] - N_{spd,c}} \quad (5.3.8-4)$$

5.3.9 剪压区为弓形的圆形和环形截面大偏心受压构件接缝截面 (图 5.3.9), 抗剪弯承载力应满足下列公式要求:

$$\gamma_0 V_d \leq 0.95 \alpha_c \tau_c A_c \left(1 - \frac{\sin 2\pi \alpha_c}{2\pi \alpha_c} \right) \quad (5.3.9-1)$$

$$\gamma_0 N_d \eta e_0 \leq \phi_c \left(\sigma_c A_c r \frac{2 \sin^3 \pi \alpha_c}{3\pi} + M_{spd,cc} \right) \quad (5.3.9-2)$$

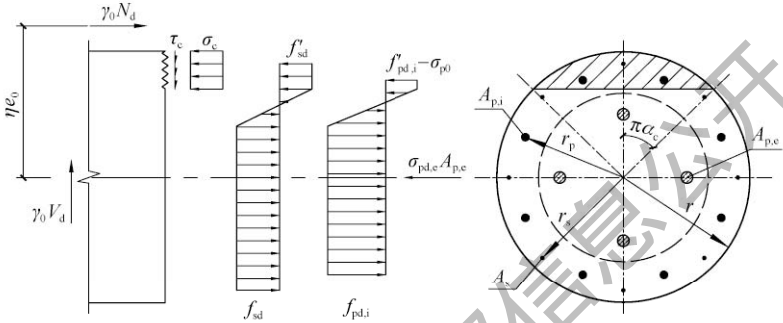


图 5.3.9 剪压区为弓形的圆形和环形截面大偏心受压构件接缝截面抗剪弯承载力计算图示

$$\frac{V_d}{N_d} = \frac{0.95\alpha_c\tau_cA_c\left(1 - \frac{\sin 2\pi\alpha_c}{2\pi\alpha_c}\right)}{\phi_c\left[\alpha_c\sigma_cA_c\left(1 - \frac{\sin 2\pi\alpha_c}{2\pi\alpha_c}\right) + N_{\text{spd,cc}}\right]} \quad (5.3.9-3)$$

$$\eta e_0 = \frac{\sigma_cA_cr\frac{2\sin^3\pi\alpha_c}{3\pi} + M_{\text{spd,cc}}}{\alpha_c\sigma_cA_c\left(1 - \frac{\sin 2\pi\alpha_c}{2\pi\alpha_c}\right) + N_{\text{spd,cc}}} \quad (5.3.9-4)$$

5.3.10 剪压区非弓形的环形截面大偏心受压构件接缝截面 (图 5.3.10), 抗剪弯承载力应满足下列公式要求:

$$\gamma_0 V_d \leq 0.95\alpha_c\tau_cA_c \quad (5.3.10-1)$$

$$\gamma_0 N_d \eta e_0 \leq \phi_c \left[0.5\sigma_cA_c(r_1 + r_2) \frac{\sin\pi\alpha_c}{\pi} + M_{\text{spd,cr}} \right] \quad (5.3.10-2)$$

$$\frac{V_d}{N_d} = \frac{0.95\alpha_c\tau_cA_c}{\phi_c(\alpha_c\sigma_cA_c + N_{\text{spd,cr}})} \quad (5.3.10-3)$$

$$\eta e_0 = \frac{0.5\sigma_cA_c(r_1 + r_2) \frac{\sin\pi\alpha_c}{\pi} + M_{\text{spd,cr}}}{\alpha_c\sigma_cA_c + N_{\text{spd,cr}}} \quad (5.3.10-4)$$

当 $\alpha_c < \arccos[2r_2/(r_1 + r_2)]/\pi$ 时, 抗剪弯承载力应按本标

准第 5.3.9 条的规定计算。

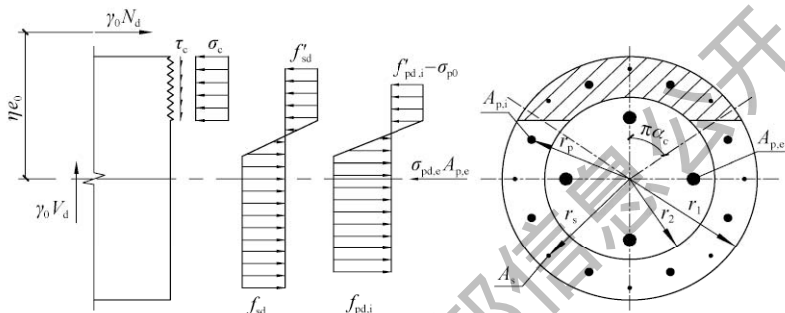


图 5.3.10 剪压区非弓形的环形截面大偏心受压构件
接缝截面抗剪弯承载力计算图式

5.4 受扭构件

5.4.1 受扭构件的截面承载力应符合下列规定：

1 T形、I形及带翼板箱形构件，应将截面划分为肋板或箱体及翼板等几种周边为矩形的计算截面（图 5.4.1），各计算截面的扭矩设计值应按下列公式计算：

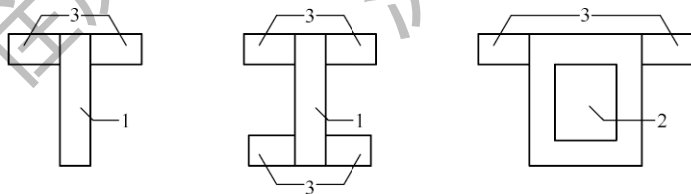


图 5.4.1 受扭构件截面划分示意

1—肋板；2—箱体；3—翼板

$$T_{wd} = \frac{W_{lw}}{W_t} T_d \quad (5.4.1-1)$$

$$T'_{fd} = \frac{W'_{lf}}{W_t} T_d \quad (5.4.1-2)$$

$$T_{fd} = \frac{W_{if}}{W_t} T_d \quad (5.4.1-3)$$

$$T_d = T_{wd} + T'_{fd} + T_{fd} \quad (5.4.1-4)$$

$$W_t = W_{tw} + W'_{if} + W_{if} \quad (5.4.1-5)$$

式中： T_{wd} ——由肋板或箱体截面承担的扭矩设计值（ $N \cdot mm$ ）；

T'_{fd} 、 T_{fd} ——由受压和受拉翼板截面承担的扭矩设计值（ $N \cdot mm$ ）；

T_d ——T形、I形或带翼板箱形构件截面的扭矩设计值（ $N \cdot mm$ ）；

W_{tw} ——肋板或箱体截面的受扭塑性抵抗矩（ mm^3 ）；

W'_{if} 、 W_{if} ——受压和受拉翼板截面的受扭塑性抵抗矩（ mm^3 ）；

W_t ——T形、I形或带翼板箱形构件截面的受扭塑性抵抗矩（ mm^3 ）。

2 受纯扭的矩形构件、肋板或箱体及翼板均应进行截面抗扭承载力计算；受剪扭的矩形构件、肋板或箱体应进行截面抗剪扭承载力计算，翼板应按纯扭构件进行截面抗扭承载力计算；受弯剪扭的矩形构件、肋板或箱体应进行抗剪扭截面计算。

3 当采用本标准进行受扭构件截面承载力计算时，肋板宽度与其净高度之比应满足 $B/h_w \geq 0.15$ 、箱体壁厚与其对应边长之比应满足 $t_1 > H/10$ 和 $t_2 > B/10$ （图 5.4.2）的要求。

5.4.2 构件截面的受扭塑性抵抗矩（图 5.4.2），应按下列公式计算：

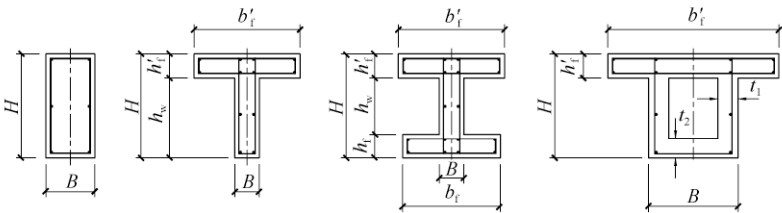


图 5.4.2 截面受扭塑性抵抗矩计算的尺寸示意

1 矩形截面、肋板截面:

$$W_{tw} = \frac{B^2}{6}(3H - B) \quad (5.4.2-1)$$

2 箱体截面:

$$W_{tw} = \beta_a \left\{ \frac{B^2}{6}(3H - B) - \frac{(B - 2t_1)^2}{6} [3(H - 2t_2) - (B - 2t_1)] \right\} \quad (5.4.2-2)$$

式中: B —— 矩形截面、肋板或箱体截面的宽度或短边 (mm),
当截面的宽度大于其高度时取高度为短边;

H —— 矩形截面、肋板或箱体截面的高度或长边 (mm),
当截面的高度小于其宽度时取宽度为长边;

β_a —— 箱体截面有效壁厚折减系数, 取 $\beta_a = 4t_1/H$ 和 $\beta_a = 4t_2/B$ 的较小值, $\beta_a > 1.0$ 时取 1.0;

t_1 —— 箱体截面长边方向两侧板壁厚度的较小值 (mm);

t_2 —— 箱体截面短边方向两侧板壁厚度的较小值 (mm)。

3 翼板截面:

$$W'_{if} = \frac{h'_f}{2}(b'_f - B) \quad (5.4.2-3)$$

$$W_{if} = \frac{h_f}{2}(b_f - B) \quad (5.4.2-4)$$

式中: b'_f 、 h'_f —— 受压翼板截面的宽度和平均厚度 (mm), 取值应符合 $b'_f \leq B + 6h'_f$;

b_f 、 h_f —— 受拉翼板截面的宽度和平均厚度 (mm), 取值应符合 $b_f \leq B + 6h_f$ 。

5.4.3 纯扭构件接缝位置的抗扭承载力应满足下列公式要求:

$$\gamma_0 T_{sd} \leq \left(0.35f_{td} + 0.05k_{ep0} \frac{N_{p0}}{A_0} \right) W_{ts} + 1.2\sqrt{\zeta} \frac{f_{sv}A_{svl}A_{cor}}{s_t} \quad (5.4.3-1)$$

$$\zeta = \frac{\phi_{st} f_{sd} A_{st} s_t}{f_{sv} A_{svl} U_{cor}} \quad (5.4.3-2)$$

式中: T_{sd} —— 计算截面的扭矩设计值 (N·mm);

- f_{td} ——混凝土的轴心抗拉强度设计值 (MPa)，取接缝两侧强度较低者；
- k_{ep0} ——预应力对抗扭承载力的影响系数：钢筋混凝土构件 $k_{ep0} = 0$ ；对于预应力混凝土构件，当 $e_{p0} \leq h/6$ 且 $\zeta \geq 1.7$ 时取 $k_{ep0} = 1$ ，当 $e_{p0} > h/6$ 时取 $k_{ep0} = 0$ ；
- e_{p0} ——全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的合力至换算截面重心轴的距离 (mm)；
- N_{p0} ——计算截面混凝土法向应力为零时全部纵向连续普通钢筋和预应力钢筋的合力 (N)，当 $N_{p0} > 0.3f_{cd}A_0$ 时取 $0.3f_{cd}A_0$ ；
- A_0 ——构件的换算截面面积 (mm^2)；
- W_{ts} ——计算截面的受扭塑性抵抗矩 (mm^3)；
- ζ ——计算截面纵向普通钢筋与箍筋的配筋强度比，当 $\zeta > 1.7$ 时取 $\zeta = 1.7$ ，钢筋混凝土构件满足 $\zeta \geq 0.6$ 的要求；
- f_{sv} ——抗扭箍筋的抗拉强度设计值 (MPa)；
- A_{svl} ——计算截面内抗扭箍筋的截面面积 (mm^2)，矩形截面、肋板截面取箍筋单肢截面面积，箱体截面采用对全截面形成闭合环的各环钢筋截面面积之和；
- A_{cor} ——计算截面内抗扭箍筋所围的核心截面面积 (mm^2)；
- s_t ——计算截面内抗扭箍筋的间距 (mm)；
- ϕ_{st} ——接缝对纵向普通钢筋受力的影响系数：当有纵向连续普通钢筋时取 $\phi_{st} = 1.0$ ，当无纵向连续普通钢筋时取 $\phi_{st} = 0.80$ ；
- A_{st} ——计算截面内沿周边对称分布的全部抗扭纵向普通钢筋截面面积 (mm^2)，计入不跨接缝的纵向普通钢筋；
- U_{cor} ——计算截面内抗扭箍筋所围核心截面的周长 (mm)。

5.4.4 受剪扭构件接缝位置的抗剪扭承载力应满足下列公式要求：

$$\gamma_0 V_d \leq (1.5 - \beta_t) V_{ud} \quad (5.4.4-1)$$

$$\gamma_0 T_{wd} \leq \beta_t \left(0.35 f_{td} + 0.05 \frac{N_{p0}}{A_0} \right) W_{tw} + 1.2 \phi_t \sqrt{\xi} \frac{f_{sv} A_{sv1} A_{cor}}{s_t} \quad (5.4.4-2)$$

$$\beta_t = \frac{1.5}{1 + 0.5 \frac{V_d W_{tw}}{T_d b_c h_c}} \quad (5.4.4-3)$$

式中： β_t ——剪扭构件混凝土抗扭承载力的降低系数：当 $\beta_t < 0.5$ 时取0.5；当 $\beta_t > 1.0$ 时取1.0；

V_{ud} ——接缝位置斜截面抗剪承载力（N），按本标准式（5.2.8-1）的右边项计算；

ϕ_t ——接缝对抗剪扭承载力的折减系数：当无纵向连续普通钢筋且构件腹部无跨接缝体内预应力钢筋时取0.55；当有纵向连续普通钢筋时取0.9；当无纵向连续普通钢筋但构件腹部有跨接缝体内预应力钢筋时取0.70；当无接缝时取1.0；

b_t ——对应构件弯曲平面，矩形截面的宽度、肋板截面沿厚度方向的宽度或箱体截面各腹板沿厚度方向的宽度之和（mm）。

5.4.5 受弯剪扭构件的抗剪扭截面应满足下式要求：

$$\frac{\gamma_0 V_d}{b_c h_c} + \frac{\gamma_0 T_d}{W_t} \leq 0.23 \alpha_s \phi_s f_{cd} \quad (5.4.5)$$

式中： b_c ——对应构件弯曲平面，矩形截面的有效宽度、肋板截面沿厚度方向的有效宽度或箱体截面各腹板沿厚度方向的有效宽度之和（mm），取扣除1/2后张预应力孔道直径后高度 h_w 内的最小宽度。

5.4.6 受弯剪扭构件应按抗弯、抗剪及抗扭的截面承载力计算规定，分别确定普通钢筋的截面面积，并应符合下列规定：

1 矩形、T形、I形及带翼板箱形构件应按抗弯和抗剪承

载力要求，计算相应的纵向普通钢筋和箍筋的截面面积；

2 矩形构件、肋板及箱体应按截面抗剪扭承载力要求，计算相应的纵向普通钢筋和箍筋的截面面积；

3 翼板应按纯扭构件截面承载力要求，计算相应的纵向普通钢筋和箍筋的截面面积。

5.5 其他构件

5.5.1 当体外预应力钢筋的转向块采用拉杆-压杆模型（图 5.5.1）计算时，内环筋的抗拉承载力应满足下式要求：

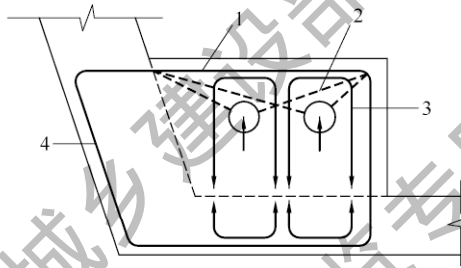


图 5.5.1 转向块的拉杆-压杆计算模型

1—拉杆；2—压杆；3—内环钢筋；4—外封闭箍筋

$$\gamma_0 P_d \leq f_{sr,d} A_{sr} \quad (5.5.1)$$

式中： P_d ——竖向拉力设计值（N）；

$f_{sr,d}$ ——内环钢筋的抗拉强度设计值（MPa），取 $0.6f_{sd}$ ；

A_{sr} ——内环钢筋的截面面积（ mm^2 ）。

5.5.2 体外预应力钢筋转向块的可能开裂面应作为剪切滑移的界面，其抗剪承载力计算应符合下列规定：

1 基本公式：

$$\gamma_0 V_d \leq 0.65(cA_{cv} + \mu f_{sv,k} A_{sv}) \quad (5.5.2-1)$$

2 穿过开裂面钢筋计算取值条件：

$$A_{sv} \leq \frac{(0.25f_{ck} - c)}{\mu f_{sv,k}} A_{cv} \quad (5.5.2-2)$$

$$A_{sv} \leq \frac{(K-c)}{\mu f_{sv,k}} A_{cv} \quad (5.5.2-3)$$

式中: V_d ——可能开裂面的剪力设计值 (N);

c ——混凝土界面的粘结强度 (MPa), 转向块混凝土与梁体一起浇筑、界面粗糙化处理后二次浇筑, 分别取 2.8MPa、1.7MPa;

A_{cv} ——可能开裂面的截面面积 (mm^2);

μ ——混凝土界面的摩擦系数, 转向块混凝土与梁体一起浇筑、界面粗糙化处理后二次浇筑, 分别取 1.4、1.0;

A_{sv} ——穿过可能开裂面钢筋的截面面积 (mm^2);

$f_{sv,k}$ ——穿过可能开裂面钢筋的抗拉强度标准值 (MPa), 当 $f_{sv,k} > 400\text{MPa}$ 时取 400MPa;

f_{ck} ——转向块混凝土的抗压强度标准值 (MPa), 当采用分次浇筑时强度取较低者;

K ——混凝土界面的极限剪切强度 (MPa), 转向块混凝土与梁体一起浇筑、界面粗糙化处理后二次浇筑, 均取 10.3MPa。

5.5.3 当构件采用 U 形钢筋交错布置现浇混凝土接缝 (图 5.5.3) 时, 在满足相应截面承载力计算要求的同时, 还应符合下列规定:

1 U 形钢筋屈服条件:

$$f_{su,d} A_{su} \leq 1.3(cA_{cv} + 1.4f_{sv,k} A_{sv} \cos^2 \alpha) \quad (5.5.3-1)$$

2 U 形钢筋所围核心混凝土加强钢筋计算取值条件:

$$A_{sv} \leq \frac{0.25f_{ck} - c}{1.4f_{sv,k} \cos^2 \alpha} A_{cv} \quad (5.5.3-2)$$

$$A_{sv} \leq \frac{K - c}{1.4f_{sv,k} \cos^2 \alpha} A_{cv} \quad (5.5.3-3)$$

式中: $f_{su,d}$ ——U 形钢筋的抗拉强度设计值 (MPa);

A_{su} ——一个 U 形钢筋双肢总截面面积 (mm^2);

c ——混凝土的粘结强度 (MPa), 取 2.8MPa;

A_{cv} ——U 形钢筋交错重叠部分所围核心混凝土投影平面的净面积 (mm^2);

$f_{sv,k}$ ——核心混凝土加强钢筋的抗拉强度标准值 (MPa), 当 $f_{sv,k} > 400\text{MPa}$ 时取 400MPa ;

A_{sv} ——核心混凝土加强钢筋的截面面积 (mm^2);

α ——接缝两侧相邻 U 形钢筋圆端头连线与 U 形钢筋轴线的夹角 ($^\circ$);

f_{ck} ——接缝混凝土的抗压强度标准值 (MPa);

K ——混凝土界面的极限剪切强度 (MPa), 取 10.3MPa 。

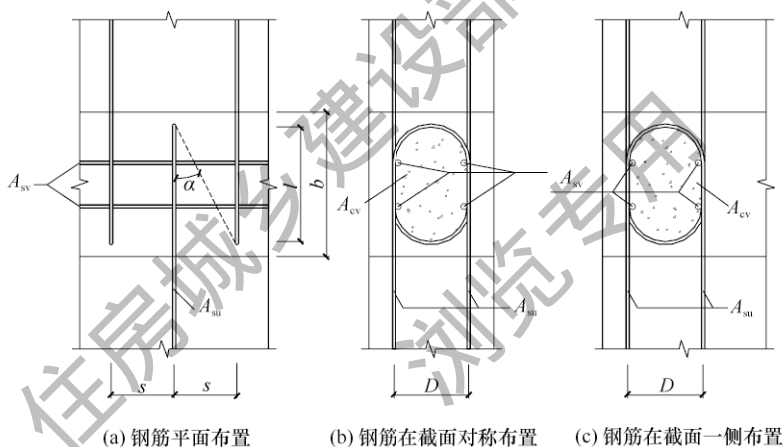


图 5.5.3 U 形钢筋交错布置现浇混凝土接缝的计算参数示意

s —相邻交错 U 形钢筋的轴线间距; l —相邻 U 形钢筋的交错长度;

b —现浇接缝的宽度; D —U 形钢筋双肢轴线的间距

6 持久状况正常使用极限状态和应力计算

6.1 一般规定

6.1.1 节段预制混凝土桥梁的持久状况设计应按正常使用极限状态的要求，采用作用（或荷载）频遇组合、准永久组合或作用频遇组合并计入长期效应的影响，对构件的抗裂性能、裂缝宽度和变形进行验算。在各种组合中，汽车荷载效应不应计冲击影响。

6.1.2 当节段预制预应力混凝土桥梁进行使用阶段设计时，应将作用按标准值组合，验算构件正截面混凝土的法向压应力、受拉区预应力钢筋的拉应力和斜截面混凝土的主压应力。汽车荷载效应应计入冲击影响。

6.1.3 当节段预制混凝土桥梁进行正常使用极限状态和使用阶段应力计算时，预应力钢筋对结构施力作用对应的荷载分项系数应取 1.0。超静定结构应计入由预应力、收缩、徐变、温度等作用引起的次效应。

6.1.4 节段预制预应力混凝土构件不应按 B 类预应力混凝土设计，当无纵向连续普通钢筋时应按全预应力混凝土设计。

6.1.5 预应力钢筋的锚下张拉控制应力应满足下列要求：

1 体内预应力钢绞线、钢丝：

$$\sigma_{\text{con},i} \leq 0.75f_{\text{pk},i} \quad (6.1.5-1)$$

2 体内预应力螺纹钢筋：

$$\sigma_{\text{con},i} \leq 0.85f_{\text{pk},i} \quad (6.1.5-2)$$

3 体外预应力钢绞线、钢丝：

$$\sigma_{\text{con},e} \leq 0.70f_{\text{pk},e} \quad (6.1.5-3)$$

式中： $\sigma_{\text{con},i}$ ——体内预应力钢筋的锚下张拉控制应力（MPa）；

$\sigma_{\text{con},e}$ ——体外预应力钢筋的锚下张拉控制应力（MPa）；

$f_{pk,e}$ ——体外预应力钢筋的抗拉强度标准值 (MPa)。

4 当采取超张拉时,体内和体外预应力钢筋的锚下最大张拉控制应力的增量分别不应大于 $0.05f_{pk,i}$ 和 $0.05f_{pk,e}$ 。

6.1.6 当计算节段预制预应力混凝土构件弹性阶段的应力或其他效应时,预应力钢筋对截面几何特征的影响应符合下列规定:

1 全体内和体内与体外混合的后张法预应力混凝土构件,体内预应力钢筋孔道压浆前应采用净截面,体内预应力钢筋与混凝土粘结后应采用换算截面。

2 全体外预应力混凝土构件应采用毛截面。

6.1.7 节段预制混凝土构件无接缝区段截面的持久状况正常使用极限状态及应力计算应符合国家现行有关标准的规定。

6.2 预应力损失计算

6.2.1 预应力作用计算,应计入预应力钢筋与孔道间摩擦、节段间接缝压密、锚具变形与钢筋回缩、混凝土弹性压缩、预应力钢筋应力松弛及混凝土收缩和徐变等因素引起的预应力损失,并应同时计入预应力钢筋与锚圈口之间摩擦等因素引起的其他预应力损失。

6.2.2 体外预应力钢筋的预应力损失计算应计入转向器偏转角安装误差引起的预应力损失,每个转向器的偏转角安装误差当无实测数据时可取 0.04rad 。

6.2.3 体外预应力钢筋与转向器孔道壁之间的摩擦系数 μ 可按表 6.2.3 采用。

表 6.2.3 摩擦系数 μ

管道种类	μ	
	钢绞线、钢丝束	无粘结钢绞线
钢管	0.25	0.09
高密度聚乙烯管	0.13	0.09

注:孔道局部偏差引起的摩擦不计。

6.2.4 预应力钢筋张拉锚固后的接缝压密值 Δl 可按表 6.2.4 采用。

表 6.2.4 接缝压密值 Δl

接缝类型	Δl (mm)
环氧胶接缝	0.05
砂浆填充接缝	0.10
现浇混凝土接缝	0.10

注：表中数值为每个接缝的压密值。

6.3 应力计算

6.3.1 节段预制预应力混凝土构件在使用阶段作用标准值组合下，接缝位置混凝土的压应力应满足下列要求：

- 1 接缝截面混凝土的最大压应力：

$$\sigma_{cc} \leq 0.50 f_{ck} \quad (6.3.1-1)$$

- 2 接缝位置混凝土的最大主压应力：

$$\sigma_{cp} \leq 0.60 f_{ck} \quad (6.3.1-2)$$

式中： σ_{cc} ——使用阶段接缝截面混凝土的最大压应力 (MPa)；

σ_{cp} ——使用阶段接缝位置混凝土的最大主压应力 (MPa)；

f_{ck} ——混凝土的抗压强度标准值 (MPa)，取接缝两侧强度较低者。

6.3.2 节段预制预应力混凝土构件在使用阶段作用标准值组合下，预应力钢筋的拉应力应满足下列要求：

- 1 体内预应力钢绞线、钢丝的最大拉应力：

$$\sigma_{p,i} \leq 0.65 f_{pk,i} \quad (6.3.2-1)$$

- 2 体内预应力螺纹钢筋的最大拉应力：

$$\sigma_{p,i} \leq 0.75 f_{pk,i} \quad (6.3.2-2)$$

- 3 体外预应力钢筋钢绞线、钢丝的最大拉应力：

$$\sigma_{p,e} \leq 0.60 f_{pk,e} \quad (6.3.2-3)$$

式中： $\sigma_{p,i}$ ——体内预应力钢筋的最大拉应力 (MPa)；

$\sigma_{p,e}$ ——体外预应力钢筋的最大拉应力 (MPa)。

6.4 抗裂、裂缝宽度及变形验算

6.4.1 节段预制预应力混凝土构件的接缝位置应按下列规定进行抗裂验算：

1 接缝截面边缘混凝土的拉应力：

1) 全预应力混凝土构件在作用频遇组合下：

$$\sigma_{st} - 0.8\sigma_{pc} \leq 0 \quad (6.4.1-1)$$

2) A类预应力混凝土构件在作用频遇组合下：

$$\sigma_{st} - \sigma_{pc} \leq 0.5f_{tk} \quad (6.4.1-2)$$

3) A类预应力混凝土构件在作用准永久组合下：

$$\sigma_{lt} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (6.4.1-3)$$

2 接缝位置混凝土的主拉应力：

1) 全预应力混凝土构件在作用频遇组合下：

$$\sigma_{tp} \leq 0.4f_{tk} \quad (6.4.1-4)$$

2) A类预应力混凝土构件在作用频遇组合下：

$$\sigma_{tp} \leq 0.5f_{tk} \quad (6.4.1-5)$$

式中： σ_{st} ——作用频遇组合下接缝截面边缘混凝土的拉应力 (MPa)；

σ_{pc} ——永存预加力作用下接缝截面边缘混凝土的压应力 (MPa)；

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值 (MPa)，取接缝两侧强度较低者；

σ_{lt} ——作用准永久组合下接缝截面边缘混凝土的拉应力 (MPa)；

σ_{tp} ——预加力和作用频遇组合下接缝位置混凝土的主拉应力 (MPa)。

6.4.2 节段预制钢筋混凝土构件应采用作用频遇组合验算计入长期效应影响的裂缝宽度。

6.4.3 节段预制钢筋混凝土构件接缝截面最大裂缝宽度限值应

符合现行《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。

6.4.4 节段预制混凝土受弯构件和大偏心受压构件应计入接缝对其挠度增大的影响，增大系数可取 1.1。

6.4.5 节段预制混凝土受弯构件在使用阶段的挠度值应符合现行《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。

7 短暂状况应力计算

7.1 一般规定

7.1.1 节段预制混凝土桥梁的短暂状况设计应根据制作、运输、安装、维护等工况的结构自重和施工荷载的标准值组合，计算构件正截面和斜截面混凝土应力，使其不超过本标准规定的限值。预应力钢筋对混凝土构件施力作用对应的荷载分项系数应 1.0，超静定结构应计入由预应力等作用引起的次效应。

7.1.2 当进行构件或节段运输和安装计算时，构件或节段的自重应乘以动力系数，并应根据对结构有利或不利动力系数分别取 0.85 或 1.20。

7.1.3 当预制构件或节段采用桥面输送安装时，应对已建结构进行承载能力极限状态计算，机车的动力影响系数应取 1.15。

7.1.4 节段预制混凝土构件无缝区段截面的短暂状况应力计算应符合国家现行有关标准的规定。

7.2 应力计算

7.2.1 节段预制混凝土构件在施工阶段作用标准组合下接缝截面边缘混凝土的最大压应力应满足下列要求：

1 预应力混凝土构件：

$$\sigma_{cc}^t \leq 0.65 f'_{ck} \quad (7.2.1-1)$$

2 钢筋混凝土构件：

$$\sigma_{cc}^t \leq 0.70 f'_{ck} \quad (7.2.1-2)$$

式中： σ_{cc}^t ——施工阶段接缝截面边缘混凝土的最大压应力 (MPa)；

f'_{ck} ——施工阶段混凝土的轴心抗压强度标准值 (MPa)，取接缝两侧强度较低者。

7.2.2 节段预制预应力混凝土构件，在施工阶段作用标准组合下接缝截面边缘混凝土的最大拉应力应满足下列要求：

1 当受拉区跨接缝体内钢筋的配筋率大于 0.4% 时：

$$\sigma_{ct}^t \leq 0.80 f'_{tk} \quad (7.2.2)$$

式中： σ_{ct}^t ——施工阶段接缝截面边缘混凝土的最大拉应力 (MPa)；

f'_{tk} ——施工阶段混凝土的轴心抗压强度标准值 (MPa)，取接缝两侧强度较低者。

2 当受拉区跨接缝体内钢筋的配筋率在 0.2% 和 0.4% 之间时， σ_{ct}^t 的限值应取 $0.50 f'_{tk}$ 和 $0.80 f'_{tk}$ 之间的线性插值。

3 当受拉区跨接缝体内钢筋的配筋率小于 0.2% 时，不得出现拉应力。

4 全体外预应力混凝土构件不得出现拉应力。

7.2.3 节段预制钢筋混凝土构件，在施工阶段作用标准组合下中心轴处接缝位置混凝土的主拉应力应满足下式要求：

$$\sigma_{tp}^t \leq 0.70 f'_{tk} \quad (7.2.3)$$

式中： σ_{tp}^t ——施工阶段构件中心轴处接缝位置混凝土的主拉应力 (MPa)。

7.2.4 设置剪力键的环氧胶接缝，当环氧胶固化前接缝无临时抗剪措施时，在施工阶段作用标准组合下剪力键根部截面混凝土的剪应力应满足下式要求：

$$\tau_{ck}^t = \frac{1.5V_k^t}{\sum_i A_{ck,i}} \leq 0.7 f'_{ck} \sqrt{0.009 + 0.095 \frac{\sigma_{pc,a}^t}{f'_{ck}} - 0.104 \left(\frac{\sigma_{pc,a}^t}{f'_{ck}} \right)^2} \quad (7.2.4)$$

式中： τ_{ck}^t ——施工阶段剪力键根部截面混凝土的剪应力 (MPa)；

V_k^t ——施工阶段计入动力系数作用标准组合在接缝截面产生的剪力 (N)；

i ——剪力键较薄弱侧键块的序号；

$A_{ck,i}$ ——第 i 个键块根部的截面面积 (mm^2)，位于顶板和底板上的键块计入范围限于抗剪有效宽度之内；

$\sigma_{pc,a}^t$ ——施工阶段接缝全截面的平均有效预压应力 (MPa)。

7.2.5 不设剪力键或仅设少量定位键的接缝，在施工阶段作用标准组合下，其连接材料界面的剪应力应满足下式要求：

$$\tau_{cj}^t = 1.5 \frac{V_k}{A_{cj}} \leq 0.7k_t c_i \quad (7.2.5)$$

式中： τ_{cj}^t ——施工阶段接缝界面的剪应力 (MPa)；

A_{cj} ——接缝的截面面积 (mm^2)；

k_t ——施工阶段接缝连接材料界面粘结强度的折减系数，取 0.75；

c_i ——接缝连接材料界面的粘结强度 (MPa)；当为设剪力键的环氧胶时取 2.3MPa；当为不设剪力键的环氧胶或设剪力键的现浇混凝土时取 2.0MPa；当界面粗糙化处理后现浇混凝土或填充砂浆时取 1.7MPa；当界面不粗糙化处理现浇混凝土或填充砂浆时取 0.5MPa。

8 构造设计

8.1 一般规定

8.1.1 按延性抗震设计的构件，受力钢筋宜采用现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2中牌号带E的热轧带肋钢筋。

8.1.2 当地震作用下节段预制混凝土桥梁接缝位置出现塑性铰时，设计应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166的规定。

8.1.3 对预制构件运输、安装过程中的重要受力部位，如吊点或吊孔、临时预应力锚固块等，应根据施工过程的受力要求进行构造设计。

8.1.4 预制构件中钢筋及其金属连接、锚固构件的混凝土保护层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。

8.1.5 节段预制混凝土桥梁构造设计除应符合本标准规定外，尚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。

8.2 主梁构造

8.2.1 预制节段的尺寸和重量应由吊装、运输等限制条件确定，构造设计应利于标准化制作。

8.2.2 节段预制箱梁顶板、底板的厚度及构造应满足纵向受力、横向受力及体内预应力钢筋布置的要求，且厚度不应小于200mm。

8.2.3 节段预制箱梁腹板的厚度应符合下列规定：

- 1 当腹板内不布置纵向和竖向预应力钢筋时，腹板厚度不

宜小于 200mm;

2 当腹板内只布置纵向或竖向预应力钢筋时, 腹板厚度不宜小于 300mm;

3 当腹板内同时布置纵向和竖向预应力钢筋时, 腹板厚度不宜小于 380mm。

8.2.4 箱梁预制节段的接缝应采用环氧胶接缝或现浇混凝土接缝, 接缝处应均匀设置剪力键。

8.2.5 箱梁预制节段环氧胶接缝处应均匀设置密接匹配的剪力键 (图 8.2.5-1), 剪力键的构造应符合下列规定:

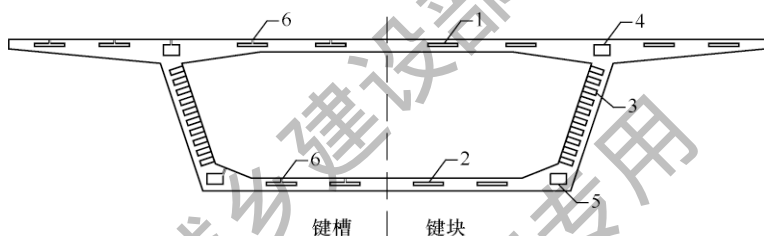


图 8.2.5-1 箱梁预制节段剪力键布置示意

- 1—顶板剪力键; 2—底板剪力键; 3—腹板剪力键;
4—腹板与顶板结合区剪力键; 5—腹板与底板结合区剪力键; 6—出胶槽

1 腹板内的剪力键应在腹板全高度范围布置, 布置范围不宜小于梁高 h 的 75% (图 8.2.5-2), 剪力键的横向宽度 b_1 宜为腹板厚度 b 的 75%。

2 键块 (槽) 应采用梯形或圆角梯形截面, 倾角宜为 45°, 厚度 (深度) h_1 应大于混凝土最大骨料粒径的 2 倍且不小于 40mm; 顶板、底板及腹板内键块 (槽) 的厚度 (深度) h_1 与其平均宽度 b_2 之比可取为 1:2 (图 8.2.5-2c)。

3 腹板与顶、底板结合区如无体内预应力钢筋通过, 应设置剪力键 (图 8.2.5-1 和图 8.2.5-2a)。

4 每个箱室的顶板和底板内的剪力键各不宜少于 3 个, 每侧悬臂板内的剪力键不宜少于 2 个。

5 采用环氧胶接缝时键槽应设置出胶槽。

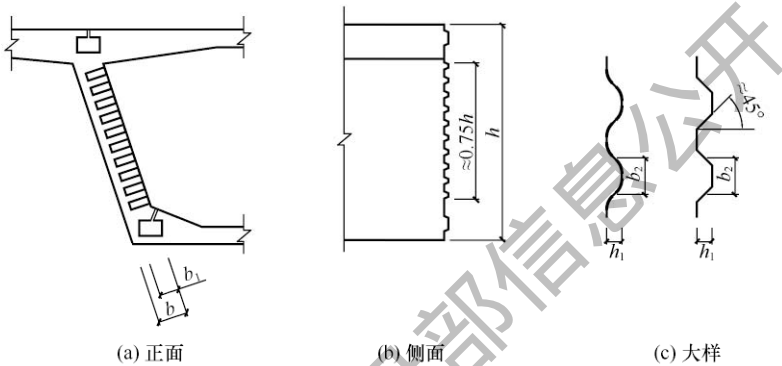


图 8.2.5-2 箱梁预制节段剪力键构造尺寸示意

8.2.6 箱梁预制节段现浇混凝土接缝的构造应符合下列规定：

1 现浇接缝两侧构件的端面应设置剪力键，剪力键构造应符合本标准第 8.2.5 条的规定。

2 当接缝宽度不大于 200mm 时，可不设纵向普通钢筋。

8.2.7 承受正弯矩的箱梁预制节段接缝两侧顶板与腹板结合区内的横向钢筋，应通过焊接形成封闭钢筋（图 8.2.7-1）；承受负弯矩的箱梁预制节段接缝两侧底板与腹板结合区内的横向钢筋，也应通过焊接形成封闭钢筋（图 8.2.7-2）。接缝两侧结合区内的封闭钢筋每侧不应少于 3 层。

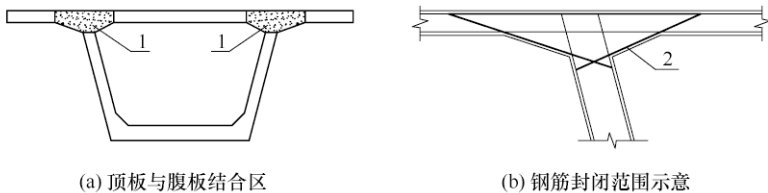


图 8.2.7-1 承受正弯矩的箱梁预制节段顶板与腹板结合区及钢筋封闭范围示意

1—顶板与腹板结合区；2—钢筋封闭范围

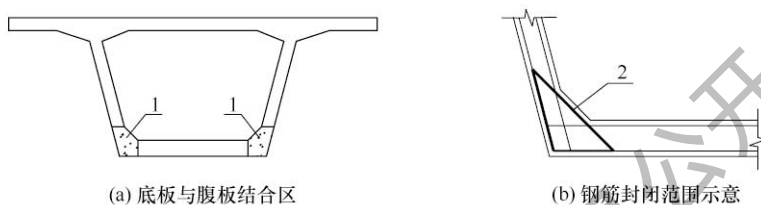


图 8.2.7-2 承受负弯矩的箱梁预制节段底板与腹板结合区及钢筋封闭范围示意

1—底板与腹板结合区；2—钢筋封闭范围

8.2.8 在距离支座中心线 3 倍梁高范围内，箱梁各节段端部腹板的 3 道箍筋间距不应大于 100mm，直径不应小于 16mm (图 8.2.8)。

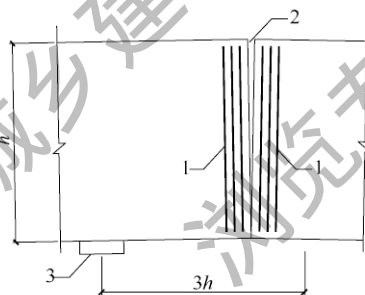


图 8.2.8 距离支座 3 倍梁高范围内接缝处箱梁腹板箍筋加密示意

1—加密箍筋；2—接缝；3—支座

8.2.9 箱梁预制节段端部各板两面的纵向普通钢筋，应通过 U 形钢筋成对连接成封闭，或直接将对应位置的纵向普通钢筋连续弯折成封闭。

8.2.10 节段预制预应力混凝土受弯构件接缝截面的最小配筋率应满足下列公式要求：

$$\frac{M_{wl}}{M_{cr}} \geq 1.0 \quad (8.2.10-1)$$

$$M_{cr} = (\sigma_{pc} + 0.7\gamma f_{tk})W_0 \quad (8.2.10-2)$$

$$\gamma = 2 \frac{S_0}{W_0} \quad (8.2.10-3)$$

式中： M_{ud} ——受弯构件接缝截面的抗弯承载力设计值(N·mm)，按本标准第 5.2.2、5.2.3 条有关公式的右边项计算；

M_{cr} ——受弯构件接缝截面的开裂弯矩值 (N·mm)；

σ_{pc} ——扣除全部预应力损失的预应力钢筋和纵向连续普通钢筋的合力在接缝截面抗裂边缘产生的预压应力 (MPa)；

γ ——截面受拉区混凝土的塑性影响系数；

S_0 ——换算截面形心轴以上 (或以下) 部分的截面对形心轴的静矩 (mm^3)；

W_0 ——换算截面抗裂边缘的截面模量 (mm^3)。

8.2.11 当构件采用 U 形钢筋交错布置现浇混凝土接缝时，接缝构造应符合下列规定 (图 8.2.11)：

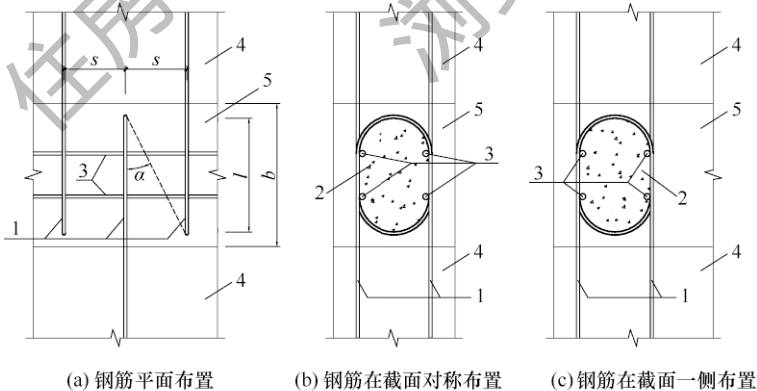


图 8.2.11 U 形钢筋交错布置现浇混凝土接缝构造示意

1—U 形钢筋；2—核心混凝土；3—加强钢筋；

4—构件；5—现浇接缝

1 接缝现浇混凝土的强度等级不应小于 C50，且不应小于被连接预制构件的混凝土强度等级。

2 接缝宽度 b 不应小于 300mm。

3 交错布置 U 形钢筋的间距 s 不应大于 100mm，交错长度 l 不应小于 250mm 和 12.5 倍 U 形钢筋的直径。

4 核心混凝土加强钢筋不应少于 4 根，直径不应小于 12mm。

8.3 体外预应力体系

8.3.1 体外预应力体系应包括体外预应力钢束、锚固系统、转向装置及减振装置四个部分（图 8.3.1）。

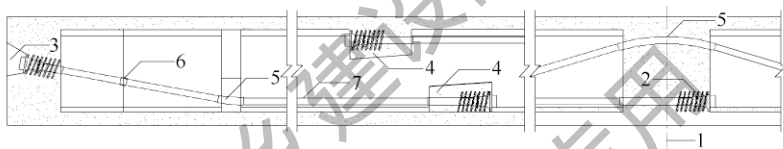
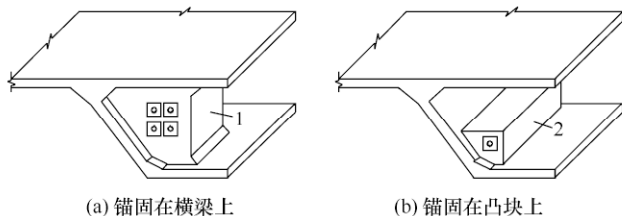


图 8.3.1 体外预应力体系的基本组成

1—桥墩中心线；2—中横梁锚固系统；3—端横梁锚固系统；4—凸块锚固系统；5—转向装置；6—减振装置；7—体外预应力钢束

8.3.2 体外预应力钢束宜有外护套，钢绞线、锚具等应有防腐措施。

8.3.3 体外预应力钢束宜锚固在箱梁的横梁上（图 8.3.3a）或顶、底板与腹板内角处凸块（图 8.3.3b）上，锚固横梁的厚度、锚固凸块的长度均不宜小于 1000mm。



(a) 锚固在横梁上

(b) 锚固在凸块上

图 8.3.3 体外预应力钢束锚固构造示意

1—锚固横梁；2—锚固凸块

8.3.4 梁体在可变作用下挠度较大的区段，应设置体外预应力钢束定位装置。

8.3.5 体外预应力钢束的转向器（图 8.3.5）可采用集束式转向器或散束式转向器。体外预应力钢束穿过转向器时的最小弯曲半径应符合下列规定：

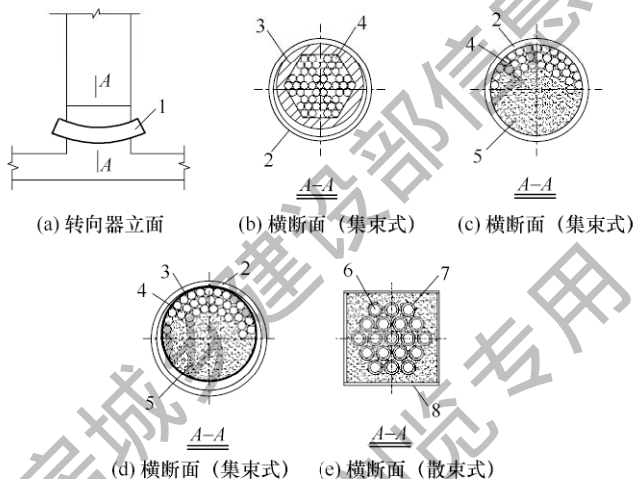


图 8.3.5 转向器截面示意

1—转向器；2—钢管；3—外护套；4—钢绞线；5—水泥浆；
6—无粘结钢绞线；7—引导管；8—附属构造

1 灌注水泥浆的钢绞线集束式转向器的弯曲半径应同时满足表 8.3.5 和下列公式要求：

$$R \geq \frac{F_{p,e}}{\sigma_{cc,d} b_d} \quad (8.3.5-1)$$

$$F_{p,e} = 0.65 A_{p,e} f_{pk,e} \quad (8.3.5-2)$$

式中： R ——转向器的弯曲半径（mm）；

$F_{p,e}$ ——体外预应力钢束的计算拉力（N）；

$\sigma_{cc,d}$ ——转向器与混凝土之间承压面混凝土的容许压应力 (MPa), $\sigma_{cc,d} = 0.35f_{ck}$;

b_d ——转向器与混凝土之间承压面的计算宽度 (mm), 取承压面投影宽度的 75%。

表 8.3.5 转向器的弯曲半径 (mm)

钢束规格	中间转向器	锚固构造处转向器
7 ϕ^s 15.2	2000	3000
12 ϕ^s 15.2	2500	3500
19 ϕ^s 15.2	3000	4000
27 ϕ^s 15.2	3500	4500
37 ϕ^s 15.2	4000	5000

2 钢绞线散束式转向器的弯曲半径应满足下式要求:

$$R \geq \frac{d}{2} \cdot \frac{E_p}{\Delta f_{p,e}^I - \Delta \sigma_{p,e}^I} + \Delta R \quad (8.3.5-3)$$

式中: d ——预应力钢绞线中钢丝的最大直径 (mm);

E_p ——预应力钢绞线中钢丝的弹性模量 (MPa);

$\Delta f_{p,e}^I$ ——预应力钢绞线的疲劳应力幅限值 (MPa), 无试验资料时可取 195MPa;

$\Delta \sigma_{p,e}^I$ ——体外预应力钢绞线的应力幅 (MPa), 可取 25MPa;

ΔR ——转向器弯曲半径的增量 (mm), 锚固构造处转向器取 1000, 中间转向器取 0。

3 工厂制作带外护套的钢绞线成品索集束式转向器的弯曲半径 (图 8.3.5b), 应同时满足式 (8.3.5-1)~式 (8.3.5-3) 及表 8.3.5 的要求。

8.3.6 体外预应力钢束转向块内应设置内环筋和外封闭箍筋 (图 8.3.6), 内环筋和外封闭箍筋沿转向器长度方向的间距不宜小于 100mm, 内环筋与转向器上缘之间的净距不宜小于 25mm, 外封闭箍筋在竖向与内环筋的净距不宜小于 50mm。

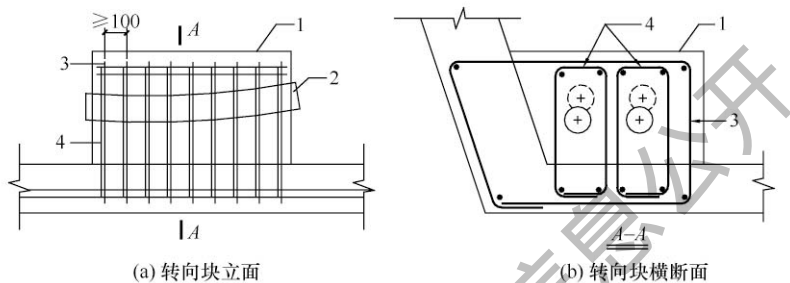


图 8.3.6 转向块构造配筋示意

1—转向块；2—转向器；3—外封闭箍筋；4—内环筋

8.3.7 体外预应力结构应预留体外预应力钢束更换施工的空间。

8.3.8 当体外预应力钢束自由段与梁体的竖向自振频率（基频）之比小于 5 时，应设置减振装置。

8.4 墩柱与盖梁

8.4.1 节段预制墩柱可采用现浇混凝土接缝、环氧胶接缝或砂浆填充接缝。

8.4.2 当墩柱预制节段与盖梁采用砂浆填充接缝时，宜将墩柱纵向受力钢筋伸出，在盖梁内设置灌浆套筒或灌浆波纹钢管的钢筋锚固连接构造。

8.4.3 当墩柱预制节段与承台采用砂浆填充接缝时，可采用下列两种钢筋锚固连接构造：

1 将墩柱纵向受力钢筋伸出，在承台内设置灌浆套筒或灌浆波纹钢管的钢筋锚固连接构造。

2 在承台上预留钢筋伸出，在墩柱内设置灌浆套筒连接构造。

8.4.4 现浇混凝土接缝可采用普通混凝土或超高性能混凝土。当采用普通混凝土时，接缝处纵向普通钢筋应采用机械连接接头或焊接接头，钢筋机械连接接头应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定；当采用超高性能混凝土时，钢

筋连接可采用搭接，具体构造尺寸宜根据试验确定。

8.4.5 墩柱钢筋的锚固连接应符合下列规定：

1 当墩柱钢筋与承台、盖梁采用灌浆波纹管或灌浆套筒锚固连接时，承台和盖梁的混凝土强度等级不应低于 C40。

2 当墩柱钢筋与承台或盖梁采用灌浆波纹管锚固连接时，钢筋伸入波纹管的锚固长度不应小于被连接钢筋直径的 24 倍，若波纹管的净距小于其外径，则锚固长度应增加 50%；当墩柱钢筋采用灌浆套筒连接时，钢筋伸入套筒的锚固长度不应小于被连接钢筋直径的 10 倍（图 8.4.5）。

3 墩柱伸入承台或盖梁的锚固连接钢筋应与承台或盖梁的轴线相交，并应满足节点受力要求。

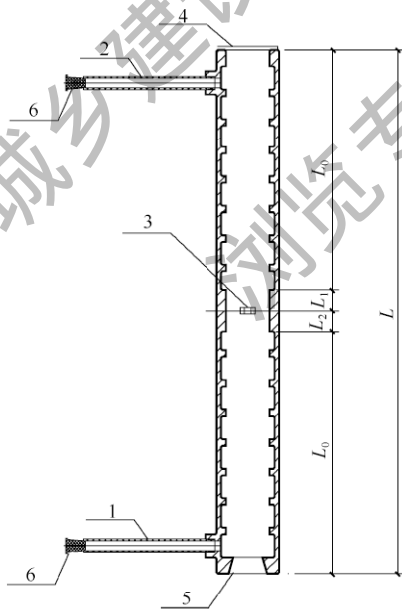


图 8.4.5 灌浆套筒示意

1—灌浆管；2—出浆管；3—钢筋限位挡块；
4—端盖；5—密封环；6—堵头；

L —灌浆套筒总长； L_0 —锚固长度； L_1 —预制端预留钢筋安装调整长度；
 L_2 —现场装配端预留钢筋安装调整长度

8.4.6 当墩柱钢筋采用灌浆套筒或灌浆波纹管锚固连接时，套筒或波纹管之间的净距不宜小于骨料最大粒径的 1.3 倍，且不宜小于 50mm。

8.4.7 当墩柱钢筋采用灌浆套筒连接时，应符合下列规定：

1 套筒与高强无收缩灌浆料组合体系性能应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 中 I 级接头要求。

2 套筒压浆口下缘处应设一道箍筋，该箍筋距离套筒端部不应大于 50mm。

3 套筒外侧箍筋的混凝土保护层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，并不应小于 25mm。当受拉区主筋的混凝土保护层厚度大于 50mm 时，宜对保护层采取有效的抗裂构造措施。

4 当柱顶或柱底处在抗震塑性铰区时，箍筋加密区长度应取抗震设计要求长度与套筒长度之和（图 8.4.7）。

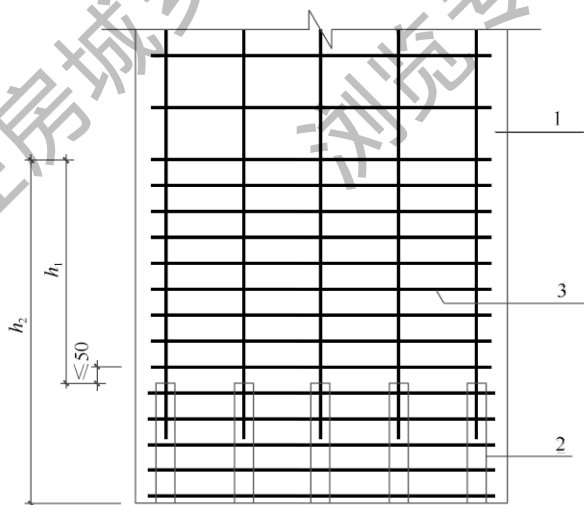


图 8.4.7 灌浆套筒连接处箍筋加密区的构造示意（单位：mm）

1—预制墩柱；2—灌浆套筒；3—加密区箍筋；

h_1 —抗震设计要求的箍筋加密区长度； h_2 —箍筋加密区长度

8.4.8 砂浆填充接缝的厚度宜为 20mm，相邻节段端面应粗糙化处理，粗糙面的凹凸深度不应小于 6.5mm。

8.4.9 节段预制预应力混凝土大偏心受压构件的接缝截面，最小配筋率应符合下列规定：

1 接缝截面受拉侧配筋率应满足下列公式要求：

$$\frac{N_{\text{ud}}}{N_{\text{cr}}} \geq 1.0 \quad (8.4.9-1)$$

$$N_{\text{cr}} = (\sigma_{\text{pc}} + 0.7\gamma f_{\text{tk}}) \beta_{\text{N}} A_0 \quad (8.4.9-2)$$

$$\beta_{\text{N}} = \frac{W_0}{W_0 - e_0 A_0} \quad (8.4.9-3)$$

式中： N_{ud} ——大偏心受压构件接缝截面的抗压承载力设计值 (N)，按本标准第 5.3.3、5.3.4 条有关公式的右边项计算；

N_{cr} ——接缝截面的开裂轴向压力值 (N)；

β_{N} ——偏心轴向力对截面抗裂边缘应力的影响系数；

e_0 ——轴向压力对换算截面形心轴的偏心距 (mm)；

A_0 ——换算截面的面积 (mm^2)。

2 采用全体外预应力钢筋的部分预应力构件，接缝截面受拉区纵向连续普通钢筋的配筋率不应小于 0.3%，并应满足下式要求：

$$\frac{A_s f_{\text{sk}}}{A_s f_{\text{sk}} + A_{\text{pe},e} \sigma_{\text{pu},e}} \geq 0.25 \quad (8.4.9-4)$$

式中： $\sigma_{\text{pu},e}$ ——体外预应力钢筋的极限应力 (MPa)，取 $\sigma_{\text{pe},e}$ 。

8.5 其他构造及附属设施

8.5.1 箱梁每个箱室的最低处应设置排水孔。

8.5.2 箱梁各腹板沿纵向应均匀布置通气孔。

8.5.3 上部结构外边檐应设置滴水构造。

8.5.4 节段预制混凝土桥梁的桥面铺装应设置防水层，并应符

合现行行业标准《城市桥梁桥面防水工程技术规程》CJJ 139 的规定。

8.5.5 应对环境类别Ⅲ类及以上地区的节段预制混凝土桥梁接缝部位的混凝土表面采取附加防腐措施。

8.5.6 节段预制混凝土桥梁应根据结构特点设置检修通道，检修通道应有检修、养护以及部件更换所需的空間。

9 主梁节段预制

9.1 一般规定

9.1.1 主梁节段预制施工前，应根据预制工艺制定施工方案和监控方案。构件生产前应制定技术标准、工艺流程和质量验收标准。

9.1.2 主梁节段应根据预制场地条件、设计要求、施工工艺等，确定采用短线法预制或长线法预制。

9.1.3 主梁预制节段上设置的施工预埋件、预留孔及局部加固构件、临时预应力锚固块等，应经设计单位的确认。

9.1.4 工厂生产的节段应设置包含构件编号、制作日期、合格状态、生产单位等内容及符合信息化管理要求的标识。

9.1.5 主梁节段预制前，应建立水平控制网和高程控制网，并进行线形控制。当采用短线法预制主梁节段时，前一节段产生的线形偏差应在后续节段预制时进行修正。

9.1.6 预制主梁节段出场前，应对构件的质量进行检查验收。

9.2 预制场地规划与布置

9.2.1 预制场地应根据拼装设备的施工能力、节段预制的生产效率合理规划与布置，并应划分各区的功能。

9.2.2 预制场地内应建立导线控制网和水准控制网，并应设置测量塔、标靶和固定水准点。

9.2.3 预制场地应符合下列规定：

1 场地布置应便于节段移运、存放、养护及出运。

2 场地应平整、坚实，应配有给水排水、电气、热力等管网和养护系统。

3 预制台座、修整区台座、存梁台座及场内移运道路应具

有足够的承载力。

- 4 预制台座区域应采取遮阳、防雨等措施。

9.3 预制测量控制

9.3.1 节段预制测量控制点应符合下列规定：

- 1 测量控制点应具有保护装置。
- 2 测量控制点应具有良好的通视条件。
- 3 测量控制点应定期复核。
- 4 应配备备用的测量控制点。

9.3.2 测量塔应采取有效措施控制其沉降。

9.3.3 用于节段测量控制的预埋件应采取有效的防护措施。

9.3.4 当节段采用短线法预制时，应根据已浇筑节段的实测成果，调节后续节段的空间姿态与尺寸。

9.4 模板系统

9.4.1 模板系统的强度、刚度和稳定性除应满足施工要求外，还应符合下列规定：

- 1 端模及侧模应采用钢模板。
- 2 内模宜安装在可移动的台车支架上，宜采用液压折叠式整体模板。

3 模板应根据节段外形的要求，具备调节空间姿态的功能。

- 4 模板应与节段连接紧密、无漏浆。

9.4.2 模板系统应具备通用性和耐久性。

9.4.3 模板在出厂前应进行拼装验收，质量应合格，且应符合使用要求。

9.4.4 节段浇筑前，应对安装完的模板系统进行质量验收，验收标准应符合表 9.4.4 的规定。

表 9.4.4 模板制作、安装质量验收标准

项目		允许偏差 (mm)
相邻两板表面高低差		2
表面平整度		2
垂直度		节段高度/1000, 且 ≤ 3
模内尺寸	长度	$-3, 0$
	宽度	$0, +2$
	高度	$0, +3$
轴线偏移量		2
匹配节段定位	纵轴线	2
	高程	± 2
剪力键	位置	2
	平面高差	2

9.5 钢筋及预埋件工程

9.5.1 节段钢筋骨架制作应符合下列规定：

- 1 节段梁钢筋应加工成钢筋骨架后放入模板。
- 2 钢筋骨架的制作宜在胎架上完成。
- 3 钢筋骨架应采用多点起吊。

9.5.2 预应力钢筋管道的安装应符合下列规定：

- 1 管道可采用抽拔管或预埋管的形式。
- 2 定位钢筋宜采用环箍钢筋与普通钢筋相连接的形式。
- 3 抽拔管或预埋管的定位钢筋间距不应大于 500mm。
- 4 预埋的管道口应设置临时密封装置。

9.5.3 节段的预埋件应有定位并固定。

9.5.4 节段浇筑前，应对钢筋及预埋件空间位置进行质量验收，验收标准应符合表 9.5.4 的规定。

表 9.5.4 钢筋及预埋件空间位置验收标准

项目		允许偏差 (mm)	
受力钢筋间距	两排以上钢筋间距	±5	
	同排钢筋间距	±5	
箍筋、横向水平钢筋间距		±10	
钢筋定位		5	
弯起钢筋位置		±10	
保护层厚度		0, +5	
预埋件	支座板、锚垫板等 预埋钢板	位置	3
		平面高差	2
	螺栓、钢筋等	位置	5
		外露尺寸	±5
吊孔	位置	2	
预应力钢筋管道	位置	节段端部 5	

9.6 混凝土施工

9.6.1 节段混凝土浇筑前宜在节段的匹配面及端模板表面均匀涂刷对混凝土无害并便于清洗的脱模剂。

9.6.2 节段混凝土浇筑应符合下列规定：

1 混凝土下料应均匀，并应分层浇筑，分层浇筑厚度不宜大于 300mm。

2 混凝土应振捣密实，振捣宜采用插入式振捣器，侧模及底模可按需设置附着式振捣器。

3 混凝土浇筑过程中，应控制混凝土坍塌度。

9.6.3 节段混凝土养护应根据环境条件、水泥品种、外加剂、施工进度要求以及混凝土性能等因素，制定具体的养护方案。

9.6.4 当节段混凝土采用蒸汽养护时，应符合下列规定：

1 从节段混凝土全部浇筑完毕后开始计时，静停时间不应小于 2h，且不宜多于 6h。

- 2 加热应均匀。
- 3 升温、降温速率控制值应符合表 9.6.4 的规定。

表 9.6.4 升温、降温速率控制值

表面系数 (m^{-1})	升温速度 ($^{\circ}C/h$)	降温速度 ($^{\circ}C/h$)
≥ 6	15	10
< 6	10	5

- 4 恒温节段蒸汽养护温度宜为 $50^{\circ}C \sim 65^{\circ}C$ 。
- 5 恒温状态相对湿度应为 $90\% \sim 100\%$ 。
- 6 预制节段在养护过程中，应进行温度测量。拆除养护设施时，外界气温与节段表面温差不得大于 $15^{\circ}C$ 。
- 7 混凝土配合比试验应与蒸汽养护温度控制试验同步进行。

9.6.5 节段脱模应符合下列规定：

- 1 脱模时间应符合设计要求。当设计无要求时，宜在混凝土抗压强度达到设计强度标准值的 75% 后拆除内外模板。
- 2 脱模或移动节段时，应防止伤及梁体棱角和剪力键等部位。
- 3 节段脱模后应及时进行检查验收。

9.6.6 节段预制过程中取样制成的混凝土试块数量除应满足标准养护需求外，尚应满足同条件养护、测定混凝土阶段性强度的要求。

9.7 节段的存放及出场验收

9.7.1 预制节段吊离预制台座、移运、存放时，混凝土的强度不应低于设计要求。

9.7.2 预制节段在预制场内移运、装车时，宜采用跨式搬运机、龙门起重机等移动起吊装置。

9.7.3 预制节段存放应符合下列规定：

- 1 节段吊离预制台座移至存梁场后应及时进行养护。
- 2 节段存放宜采用枕木、橡胶板等弹性支撑物支承，支点

位置应符合设计要求。

3 节段叠放层数应符合设计要求。当设计无要求时，堆叠层数不宜超过 3 层，并应对节段受力及存梁台座地基承载力进行验算。

4 节段存放时间应符合设计要求。当设计无要求时，自浇筑完成后不得少于 28d。

9.7.4 预制节段出场前应进行质量验收，验收标准应符合表 9.7.4 的规定。

表 9.7.4 节段预制质量验收标准

项目		规定值或允许偏差	
混凝土抗压强度 (MPa)		在合格标准内	
顶部表面平整度 (mm/2m)		5	
长度 (mm)		0, -2	
断面尺寸 (mm)	顶板宽度	±5	
	底板宽度	±3	
	高度	±5	
	板壁厚度	0, +5	
轴线偏移量 (mm)	纵轴线	2	
	横隔梁轴线	2	
剪力键 (mm)	位置	2	
	平面高差	2	
预埋件 (mm)	支座板、锚垫板等 预埋件	位置	10
		高程	±5
		平面高差	5
	螺栓、钢筋等	位置	5
		外露尺寸	±5
预留孔 (mm)	吊孔	位置	5
	预应力钢筋管道	位置	节段端部 5
		孔径	0, +3

9.8 节段的运输

9.8.1 预制节段运输应根据预制场地理位置、运输通道条件、节段重量、节段尺寸等因素选择合适的运输设备。

9.8.2 预制节段在运输过程中，应采取保护、固定措施，并应符合下列规定：

1 节段支撑点的设置应避免运输设备振动对节段产生不利影响。

2 应根据运输线路上的最大纵横坡，设置纵横向限位装置。

3 节段装车时，应根据节段拼接方位和运输路线等情况，选取相应的放置方式。

9.8.3 预制节段陆路运输时，应符合下列规定：

1 应根据道路限高、限宽、限载条件及道路的最大纵坡等选择合理的运输路线。

2 应对沿线桥涵的承载力、抗倾覆稳定性等指标进行复核。

3 运输车辆行驶应设置警示标识和警示灯。

9.8.4 预制节段水路运输时，应符合下列规定：

1 应结合水文条件勘查、复核运输线路上的桥孔通航限高条件。

2 应确认气象、水文条件满足运输船舶出航的要求。

10 主梁节段拼装

10.1 一般规定

10.1.1 预制节段拼装作业前，应在专项施工方案中明确各项工序的技术要求、措施及应急预案，并应进行技术、质量、安全与文明施工交底。

10.1.2 用于预制节段拼装的起重设备的检验、检测应符合特种设备安全技术标准的有关规定。

10.1.3 预制节段拼装作业前，应根据施工设备及工艺，对各施工工况下的桥梁上下部结构的安全性进行验算。

10.2 拼装设备

10.2.1 拼装设备、支撑等临时结构的安装、调试、使用、拆除等，应编制专项施工技术专项方案和专项安全技术方案。

10.2.2 节段拼装可采用架桥机、桥面吊机、起重机、龙门吊等架设设备。

10.2.3 架桥机的拼装、移动等施工顺序及工况，应在桥梁下部结构和主梁节段预制施工前确定。

10.2.4 架设设备的起吊装置必须具备过载保护装置、卷扬机的过缠绕和欠缠绕保护装置、限位及缓冲装置、风速报警装置等。

10.2.5 当架桥机进行节段拼装、移动就位、维护保养等作业时，必须按架桥机操作手册、保养手册的有关规定进行操作。

10.2.6 架桥机在安装、调试完成后，应进行荷载试验，并应符合下列规定：

1 逐跨拼装架桥机应悬挂不小于整跨最大架设重量 1.1 倍的荷载。

2 提升单个节段的起吊设备，应进行 1.25 倍设计荷载的静载试验，静载试验加载应平稳、无冲击；还应进行 1.1 倍设计荷载的动载起吊试验。

10.2.7 当主梁采用支架法拼装施工时，宜采用模块化的支架体系，并应符合下列规定：

1 搭设的支架应进行预压。

2 支架支撑系统范围内的地基承载力应满足桥梁拼装施工时总荷载的要求。

3 支架的构造应满足节段安装后的防滑移要求以及预应力张拉作业后落架拆除的要求。

10.3 逐跨节段拼装施工

10.3.1 预制节段的提升及悬挂应符合下列规定：

1 节段的提升应缓慢、匀速。

2 节段和提升附属装置的总重量应在起重设备的安全范围内。

3 节段悬吊体系及装置的安全系数不应小于 2.0。

4 悬挂状态下的节段之间应采取防止碰撞的保护措施。

10.3.2 节段拼装施工应符合下列规定：

1 节段拼装过程中，应逐块控制、复核节段梁的轴线和高程。

2 节段拼接施工时，架桥机的主梁应处在有约束的状态。

3 节段接缝处的孔道口应设置密封构造，密封构造的设置不应影响接缝的密贴。

4 当采用下行式架桥机施工时，应采取措施防止支承面倾斜导致装载小车产生滑移。

5 当采用上行式架桥机施工时，应对节段梁预应力钢筋张拉引起悬吊体系内力重分布后的安全系数进行验算。

10.3.3 节段拼装的环氧胶接缝施工应符合下列规定：

1 环氧胶应根据性能要求、使用环境、施工环境，通过试

验确定。

2 环氧胶应采用机械拌和。

3 环氧胶涂抹前应应对节段梁匹配面进行清洁处理，并应保持干燥。

4 环氧胶的涂抹方式应根据产品特性确定，涂抹应均匀并覆盖整个匹配面，涂抹厚度不应小于 3mm；节段梁施加临时预应力后，环氧胶应在全断面均匀挤出。

5 当环氧胶涂抹及节段梁施加临时预应力时，应采取措施防止环氧胶进入预应力钢筋管道。

6 节段拼装后，除顶面外的结构外露表面挤出的环氧胶应清除。

10.3.4 用于节段拼装的临时预应力施工应符合下列规定：

1 临时预应力应在节段梁断面上均匀布置。

2 临时预应力钢筋的张拉力应符合设计要求，且节段拼接面的混凝土平均压应力不应小于 0.3MPa，并应满足反复多次张拉的作业要求。

3 临时预应力应在桥跨内主梁永久预应力张拉完成且支承在下部结构上之后，才能拆除。

10.3.5 永久预应力施工应符合下列规定：

1 在运输及施工过程中，应对成品体外预应力钢束护套进行保护。

2 张拉永久预应力前，节段梁的混凝土指标应符合设计要求。当设计无要求时，混凝土龄期不应小于 28d，且混凝土强度应达到设计强度等级。

10.3.6 施工临时支座的安全系数不应小于 2.0。

10.4 悬臂拼装施工

10.4.1 悬臂拼装施工中节段提升、拼装施工、环氧胶接缝施工、临时预应力施工等应按本标准第 10.3 节的有关规定执行。

10.4.2 悬臂拼装施工时，墩顶节段可采用现场浇筑的方法施

工，也可采用工厂预制、现场安装的方法施工。

10.4.3 悬臂拼装施工应符合下列规定

- 1 应采取有效的墩梁临时固结措施，悬臂结构整体应稳定。
- 2 桥墩两侧的节段应对称、平衡提升。
- 3 施工过程中，悬臂两侧最大不平衡作用应满足设计要求和墩梁临时固结措施要求。

10.4.4 悬臂拼装施工时，宜在待拼节段的端面外侧设置预应力钢筋张拉作业平台。

10.4.5 当节段提升、拼装施工采用桥面吊机或桥面提升架时，提升设备与节段重量比应满足设计要求。当设计无要求时，重量比不宜大于0.4。提升设备在提升、拼装、行走时的抗倾覆安全系数、自锚固系统的安全系数均不应小于2.0。

10.5 结构体系转换

10.5.1 预制节段拼装施工的桥梁，其支承转换应符合下列规定：

- 1 支承转换的顺序应通过计算确定。
- 2 当架桥机不具备支承转换功能时，应通过千斤顶顶升完成支承转换。
- 3 当采用上行式架桥机时，应在支承转换完成后，拆除节段悬吊体系。

10.5.2 主梁合龙和体系转换施工应符合下列规定：

1 合龙施工前应对两端悬臂节段的轴线和节段的偏移值进行观测，根据实际观测值进行合龙施工的计算，确定合龙程序和调整参数。

2 预应力钢筋管道连接应在合龙施工前进行，并应封堵管道与节段间缝隙。

3 合龙完成后，应按设计文件规定的程序完成结构体系转换。

4 合龙混凝土接缝处永久预应力钢筋张拉施工的时机应符

合设计规定。

5 对于需要浇筑混凝土的合龙接头，应设置可靠的临时连接措施固结合龙接头两侧的结构。

10.6 拼装测量控制

10.6.1 当采用逐跨拼装法施工时，应根据设计图纸确定每跨首节段的平面位置及高程，首节段安装质量验收标准应符合表 10.6.1 的规定。

表 10.6.1 逐跨拼装法每跨首节段安装质量验收标准

项目	允许偏差
立面高程 (mm)	±2
中心线偏位 (mm)	±2
横向坡度	±0.001
纵向坡度	±0.001

10.6.2 当采用逐跨拼装法施工时，每个节段拼装完成后，应及时监测节段的高程与轴线，节段安装质量验收标准应符合表 10.6.2 的规定。

表 10.6.2 逐跨拼装法节段安装质量验收标准

项目	允许偏差
立面高程 (mm)	±10
中心线偏位 (mm)	±10
纵向长度 (mm)	±10
横向坡度	±0.001
纵向坡度	±0.003
拼缝错台 (mm)	3

10.6.3 当采用悬臂拼装法施工时，应根据设计图纸确定每跨墩顶节段的平面位置及高程，墩顶节段安装质量验收标准应符合表 10.6.3 的规定。

表 10.6.3 悬臂拼装法墩顶节段安装质量验收标准

项目	允许偏差
立面高程 (mm)	±5
中心线偏位 (mm)	±5
横向坡度	±0.001
纵向坡度	±0.003

10.6.4 当采用悬臂拼装法施工时，每对节段对称拼装完成后应及时复测节段的高程与轴线，节段安装质量验收标准应符合表 10.6.4-1 的规定，且合龙段两侧节段允许偏差应符合表 10.6.4-2 的规定。

表 10.6.4-1 悬臂拼装法节段安装质量验收标准

项目	允许偏差
立面高程 (mm)	±10
中心线偏位 (mm)	10
纵向长度 (mm)	±10
横向坡度	±0.001
纵向坡度	±0.003
拼缝错台 (mm)	3

表 10.6.4-2 悬臂拼装法合龙段两侧节段允许偏差

项目	允许偏差 (mm)
立面高程	±20
中心线偏位	±10

10.7 拼装验收

10.7.1 采用逐跨拼装法施工的每联连续箱梁或每跨简支箱梁拼装完成后，应及时进行检查验收，验收标准应符合表 10.7.1 的规定。

表 10.7.1 逐跨拼装施工质量验收标准

项目		规定值或允许偏差
湿接头、合龙段混凝土强度 (MPa)		在合格标准内
轴线偏位 (mm)	$L \leq 50\text{m}$	10
	$L > 50\text{m}$	$L/5000$
顶面高程 (mm)	$L \leq 50\text{m}$	± 20
	$L > 50\text{m}$	$\pm L/2500$
	相邻节段高差	10
同跨对称点高差 (mm)	$L \leq 50\text{m}$	20
	$L > 50\text{m}$	$L/2500$

注：表中 L 表示跨径。

10.7.2 采用悬臂拼装法施工的每联连续箱梁或每跨简支箱梁拼装完成后，应及时进行检查验收，验收标准应符合表 10.7.2 的规定。

表 10.7.2 悬臂拼装施工质量验收标准

项目		规定值或允许偏差
湿接头、合龙段混凝土强度 (MPa)		在合格标准内
轴线偏位 (mm)	$L \leq 100\text{m}$	10
	$L > 100\text{m}$	$L/10000$
顶面高程 (mm)	$L \leq 100\text{m}$	± 20
	$L > 100\text{m}$	$\pm L/5000$
	相邻节段高差	10
同跨对称点高差 (mm)	$L \leq 100\text{m}$	20
	$L > 100\text{m}$	$L/5000$

注：表中 L 为跨径。

11 墩柱、盖梁预制与拼装

11.1 一般规定

11.1.1 构件预制拼装施工应编制包含构件预制阶段及构件拼装阶段在内的全过程测量控制方案。

11.1.2 预制构件上设置的施工预埋件、预留孔及局部加固构件等应符合设计要求。

11.1.3 工厂生产的预制构件应设置包含构件编号、制作日期、合格状态、生产单位等内容且符合信息化管理要求的标识。

11.1.4 预制构件的运输与拼装设备应满足节段重量、运输条件、架设安装工艺等要求。

11.1.5 采用钢筋灌浆套筒或灌浆波纹管锚固连接的结构，在拼装施工时应保留灌浆、压浆过程的影像资料。

11.1.6 承台施工时，应控制墩柱与承台拼接面坐标、标高和平整度。墩柱安装前应对拼接面的坐标、标高和平整度进行复核，其精度应符合下列规定：

- 1 坐标及标高允许偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。
- 2 当采用环氧胶接缝时，平整度允许偏差应为 $\pm 2\text{mm/m}$ 。
- 3 当采用砂浆填充接缝时，平整度允许偏差应为 $\pm 3\text{mm/m}$ 。

11.1.7 构件运输前应编制构件运输方案和专项保护方案，并应报送有关主管部门审批。方案应包含构件放置方向、支承点设置、吊点设置、构件翻身处理、外露钢筋保护等内容。构件运输其他要求应按照本标准第 9.8 节的有关规定执行。

11.2 构件预制

11.2.1 墩柱与盖梁的预制台座、修整区台座及存放台座应具备足够的地基承载能力，且不应产生不均匀沉降。

11.2.2 预制构件混凝土浇筑前，应对灌浆套筒或灌浆波纹管位置进行检查，同时应对台座、模板、预埋件及预留孔等进行复测，模板及预埋件安装质量验收标准应符合表 11.2.2 的规定。

表 11.2.2 混凝土浇筑前模板及预埋件安装质量验收标准

项目		允许偏差	
灌浆套筒或灌浆波纹管定位 (mm)		2	
台座平面高差 (mm)		2	
模板表面平整度 (mm/2m)		2	
墩柱模板垂直度		0.1%，且 $\leq 3\text{mm}$	
模板尺寸 (mm)		± 3	
用于灌浆套筒或灌浆波纹管锚固连接的主筋 (mm)	位置	2	
	预留长度	-2, 0	
匹配节段定位 (mm)	纵轴线	2	
	高程	± 2	
预埋件 (mm)	支座板等预埋钢板	位置	3
		平面高差	2
	螺栓及其他预埋件	位置	5
		外露尺寸	± 5
吊孔 (mm)		位置	2

11.2.3 当预制构件拼接面设置剪力键时，相邻构件应匹配预制。

11.2.4 灌浆套筒长度范围内设置的箍筋应采用绑扎连接，不得采用焊接连接。

11.2.5 灌浆套筒或灌浆波纹管腔内应通畅，应无水、泥浆等杂物。

11.2.6 预制构件出场前应进行质量验收，验收标准应符合表 11.2.6 的规定。

表 11.2.6 构件预制质量验收标准

项目		规定值或允许偏差	
混凝土抗压强度 (MPa)		在合格标准内	
构件尺寸 (mm)	长度	±3	
	宽度	±3	
	高度	-3, 0	
灌浆套筒或灌浆波纹管 (mm)	位置	2	
用于灌浆套筒或灌浆波纹管锚固连接的主筋 (mm)	位置	2	
	预留长度	-2, 0	
预埋件 (mm)	支座板等预埋件	位置	10
		平面高差	5
	螺栓及其他预埋件	位置	5
		外露尺寸	±5
吊孔 (mm)	位置	5	

11.3 墩柱、盖梁拼装及验收

11.3.1 墩柱、盖梁拼装施工前应复测、加密原测量控制网，建立满足拼装精度要求的施工测量控制网。

11.3.2 预制构件接缝采用砂浆垫层时，应采用高强无收缩水泥基砂浆，其性能指标应满足本标准第 4.2.4 条的有关规定，初凝时间不应小于 2h。砂浆宜选用质地坚硬、级配良好的中砂，砂子的细度模数不应小于 2.6，含泥量不应大于 1%，且不应含有泥块。

11.3.3 当预制墩柱与承台、盖梁采用钢筋灌浆套筒或灌浆波纹管锚固连接时，应符合下列规定：

- 1 构件拼装施工前应进行试拼装。
- 2 构件拼装前，应将拼接面充分湿润，承台或墩柱顶面设置调节垫块，铺设砂浆垫层，砂浆垫层厚度应大于调节垫块高度。

3 拌制垫层砂浆时，对应每个台班应制取不少于 3 组的试件。

4 拼装过程中，砂浆垫层拼接面处应一次完成坐浆，坐浆后不得调整构件姿态。

5 构件生产前，钢筋锚固连接所用材料供应商应提交所有规格接头的有效型式检验报告和出厂质量检验报告。

6 灌浆套筒或灌浆波纹管进厂（场）时，应对外观质量、标识和尺寸偏差等进行抽检，并应对灌浆套筒或灌浆波纹管及与之匹配的灌浆料制作对中连接接头试件，进行抗拉强度检验，每种规格的连接接头试件数量不应少于 3 个。灌浆套筒检验结果应符合现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 和《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398 的规定。

7 灌浆套筒或灌浆波纹管在储存和运输过程中，应采取防止锈蚀、沾污和损伤的措施。

11.3.4 当预制构件采用预应力连接时，应符合下列规定：

1 拼装构件时，应在预应力钢筋管道口处采取临时密封措施。

2 环氧胶接缝施工应符合本标准第 10.3.3 条的规定。

11.3.5 钢筋灌浆套筒或灌浆波纹管锚固连接施工时，灌浆料拌制及灌注应符合下列规定：

1 灌浆料宜在拼装前一天进行 1d 龄期抗压强度测试，且应符合本标准表 4.2.3 的规定。

2 灌浆料拌制时采用的搅拌机转速不应小于 1000r/min，搅拌桶容量不宜大于 50L，一次拌制量不宜大于 30L，浆料在规定时间内应搅拌均匀。

3 灌浆设备宜采用高压灌浆泵，压力不应大于 3MPa，排量不应小于 2L/min。

4 灌浆施工时，环境温度应符合灌浆料产品使用说明书要求。当环境温度低于 5℃时，不宜施工；当环境温度高于 30℃时，应采取降低灌浆料拌合物温度的措施。

5 灌浆料每批次应制取不应少于 3 组的试件。

11.3.6 墩柱、盖梁拼装完成后应进行质量验收，验收标准应符合表 11.3.6 规定。

表 11.3.6 墩柱、盖梁拼装质量验收标准

项目	规定值或允许偏差
灌浆材料、砂浆垫层、环氧胶抗压强度 (MPa)	在合格标准内
倾斜度	0.1‰, 且 $\leq 6\text{mm}$
节段间错台 (mm)	2
轴线偏位 (mm)	3
顶面高程 (mm)	± 3
相邻墩、柱间距 (mm)	± 5

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：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

引用标准名录

- 1 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
- 2 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 3 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 4 《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448
- 5 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
- 6 《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728
- 7 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 8 《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1
- 9 《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2
- 10 《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567
- 11 《胶粘剂不挥发物含量的测定》GB/T 2793
- 12 《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223
- 13 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 14 《多组分胶粘剂可操作时间的测定》GB/T 7123.1
- 15 《胶粘剂 拉伸剪切强度的测定（刚性材料对刚性材料）》
GB/T 7124
- 16 《混凝土外加剂》GB 8076
- 17 《结构用无缝钢管》GB/T 8162
- 18 《建筑胶粘剂试验方法 第1部分：陶瓷砖胶粘剂试验方法》
GB/T 12954.1
- 19 《直缝电焊钢管》GB/T 13793
- 20 《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671
- 21 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 22 《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065
- 23 《环氧涂层七丝预应力钢绞线》GB/T 21073

- 24 《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》GB/T 25823
- 25 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690
- 26 《活性粉末混凝土》GB/T 31387
- 27 《预应力热镀锌钢绞线》GB/T 33363
- 28 《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2
- 29 《城市桥梁设计规范》CJJ 11
- 30 《城市桥梁桥面防水工程技术规程》CJJ 139
- 31 《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166
- 32 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 33 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107
- 34 《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221
- 35 《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355
- 36 《建筑外墙用腻子》JG/T 157
- 37 《无粘结预应力钢绞线》JG 161
- 38 《环氧涂层预应力钢绞线》JG/T 387
- 39 《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398
- 40 《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408
- 41 《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502
- 42 《无粘结钢绞线体外预应力束》JT/T 853
- 43 《填充型环氧涂层钢绞线体外预应力束》JT/T 876
- 44 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362