

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2010 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2010〕43 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本标准。

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. 设计;6. 构造;7. 施工。

本标准由住房和城乡建设部负责管理,由广州地铁设计研究院股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送广州地铁设计研究院股份有限公司(地址:广州市环市西路 204 号,邮编:510010)。

本 标 准 主 编 单 位:广州地铁设计研究院股份有限公司
广州瀚阳工程咨询有限公司

本 标 准 参 编 单 位:上海公路桥梁(集团)有限公司
中铁二院工程集团有限责任公司
中国铁路设计集团有限公司
天津城建设计院有限公司
佛山轨道交通设计研究院有限公司

本标准主要起草人员:孙峻岭 史海欧 郭 敏 蒋海里
熊安书 周灿朗 芮斯瑜 雷文斌
李仪弟 陈 亮 翟利华 卢小莉
王会丽 阳发金 蒋化学 何永平
韦永美

本标准主要审查人员:陈宜言 刘 钊 梁立农 刘安双
宁平华 余 为 刘 斌 陆勤丰
郑凯锋 阙 孜 何维利

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	6
4	材料	7
5	设计	10
5.1	一般规定	10
5.2	强度计算	10
5.3	运营阶段结构计算	12
5.4	施工阶段结构计算	13
6	构造	15
6.1	预制节段与接缝	15
6.2	剪力键	15
6.3	预应力管道	16
6.4	其他构造要求	18
7	施工	19
7.1	一般规定	19
7.2	节段制造	19
7.3	节段运输	23
7.4	逐跨拼装	23
7.5	悬臂拼装	25
7.6	拼装设备	26
附录 A	环氧树脂胶粘剂可施胶时间与可粘结 时间的测定方法	27

附录 B 环氧树脂胶粘剂抗剪强度测定方法	29
附录 C 环氧树脂胶粘剂抗拉弯强度测定方法	31
本标准用词说明	33
引用标准名录	34

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	6
4	Material	7
5	Design	10
5.1	General Requirements	10
5.2	Strength Calculation	10
5.3	Structure Calculation in Operation Phase	12
5.4	Structure Calculation in Construction Phase	13
6	Structure	15
6.1	Precast Segmental and Joint	15
6.2	Shear Key	15
6.3	Prestressed Pipeline	16
6.4	Other Structural Requirements	18
7	Construction	19
7.1	General Requirements	19
7.2	Segment Manufacture	19
7.3	Segment Transportation	23
7.4	Span by Span Construction	23
7.5	Balanced Cantilever Construction	25
7.6	Assembly Equipment	26
Appendix A	Programme of Testing the Open Time of the Epoxy Bonding Agent	27

Appendix B	Programme of Testing the Shear Strength of the Epoxy Bonding Agent	29
Appendix C	Programme of Testing the Tensile Bending Strength of the Epoxy Bonding Agent	31
Explanation of Wording in This Standard		33
List of Quoted Standards		34

1 总 则

1.0.1 为使城市轨道交通预应力混凝土节段预制桥梁的设计、施工符合安全可靠、耐久适用、节能环保、绿色建筑、经济合理的要求，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于城市轨道交通预应力混凝土节段预制桥梁的设计、施工。

1.0.3 节段预制桥梁的设计、施工除应符合本标准外，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 节段 segment

用于拼装主梁或桥墩的混凝土预制段。

2.1.2 干接缝 dry joint

混凝土预制节段结合面直接接触的拼接缝。

2.1.3 胶接缝 epoxy joint

混凝土预制节段结合面涂环氧树脂胶粘剂的拼接缝。

2.1.4 湿接缝 wet concrete joint

混凝土预制节段结合面采用现浇混凝土形成的接缝。

2.1.5 剪力键 shear key

预制节段混凝土结构接缝表面用于凹凸匹配拼合、承担剪力等作用的多重键块和键槽。

2.1.6 匹配浇筑 match cast

利用已预制完成的节段作为相邻节段一侧端模的浇筑方式。

2.1.7 匹配节段 matching segment

节段匹配浇筑时，作为一侧端模的已预制完成节段。

2.1.8 短线法 short-line method

预制台座底模长度为一个节段长度，依此利用已预制完成节段作为后节段的一侧端模，固定的端模作为另一侧端模，逐段预制的方 法。

2.1.9 长线法 long-line method

预制台座底模长度为整跨梁长，将整跨结构分为若干段，在按线形设计的台座上匹配浇筑形成全部节段的方法。

2.1.10 短线法节段三维线形控制 three dimensional linear control of segmental short-line method

将节段预制桥梁成桥线形转换为预制节段间相对几何关系，在预制、架设过程中实现桥梁线形的精确测量和几何控制技术。

2.1.11 隔离剂 separant

为便于匹配浇筑的相邻两个节段脱离，在节段匹配面上涂布的涂层。

2.1.12 逐跨拼装 span by span construction

一跨接一跨地完成节段拼装梁的施工方法。

2.1.13 悬臂拼装 balanced cantilever construction

从桥墩开始，两侧对称拼装预制节段的施工方法。

2.1.14 临时预应力 temporary prestressing

节段拼装过程中，结构永久预应力施工之前，为使相邻节段紧密连接而施加的预应力。

2.1.15 上行式架桥机 overhead launching gantry

承重的主梁系统位于桥面上方的节段拼装架桥机。

2.1.16 下行式架桥机 underslung launching gantry

承重的主梁系统位于桥面下方的节段拼装架桥机。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

E_c —— 混凝土弹性模量；

f_c —— 混凝土抗压极限强度；

f_{ct} —— 混凝土抗拉极限强度；

$f_{cu,k}$ —— 混凝土 28d 立方体强度标准值；

f'_c —— 预加应力传力锚固阶段混凝土的抗压强度；

f_{pk} —— 预应力钢筋抗拉强度标准值；

f_s —— 箍筋抗拉计算强度；

f_{sv} —— 抗扭横向钢筋的抗拉计算强度。

2.2.2 荷载、荷载效应及计算强度

M —— 计算弯矩；

M_R —— 抗弯计算强度；

- P ——抗剪试验记录最大荷载；
 P_d ——预应力钢筋的张拉力设计值；
 T ——计算扭矩；
 T_R ——抗扭计算强度；
 V ——计算剪力；
 V_R ——抗剪计算强度；
 σ ——计算荷载在截面受拉边缘混凝土中产生的正应力；
 σ_c ——运营荷载及预应力钢筋有效预应力产生的正截面混凝土最大压应力；
 $\sigma_{c,c}$ ——扣除预应力损失后混凝土的压应力；
 σ_{con} ——预应力钢筋在锚下的控制应力；
 σ_{cp} ——按抗裂性计算主压应力；
 σ_{l1} ——预应力钢筋由于摩擦引起的应力损失；
 σ_{l2} ——预应力钢筋由于锚头变形、钢筋回缩和接缝压缩引起的应力损失；
 σ_{l4} ——预应力钢筋由于混凝土弹性压缩引起的应力损失；
 σ_p ——预应力钢筋的应力；
 σ_{pc} ——扣除相应阶段预应力损失后受拉边缘混凝土的预压应力；
 σ_{tp} ——按抗裂性计算主拉应力；
 $[\sigma_{tp-1}]$ ——有箍筋及斜筋时的容许主拉应力；
 τ ——抗剪强度。

2.2.3 几何参数

- A_c ——混凝土截面最外边线围成的面积；
 A_{cor} ——由最外连续闭合横向钢筋中心包围的截面核芯面积；
 A_{sv} ——同一截面内箍筋各肢总截面面积；
 A_{sv1} ——纯扭计算中最外连续闭合横向钢筋的截面面积；
 B_0 ——全截面抗弯刚度；
 b_e ——剪力流路径有效宽度；
 b_t ——垂直于弯矩作用平面的矩形截面宽度或箱形截面腹

板总宽度；

C_{in} —— 曲线平面内最小混凝土保护层厚度；

C_{out} —— 曲线平面外最小混凝土保护层厚度；

d_s —— 预应力管道外缘直径；

h_0 —— 平行于弯矩作用平面的矩形或箱形截面的有效高度；

I_0 —— 全部截面换算截面惯性矩；

r —— 预应力管道曲线半径；

S_0 —— 换算截面重心轴以下的面积对重心轴的面积矩；

S_v —— 纯扭计算中抗扭横向钢筋的纵向间距；

s_v —— 箍筋间距；

U_c —— 混凝土截面最外边线围成的周长；

W_t —— 截面受扭塑性抵抗矩。

2.2.4 计算系数及其他

K —— 强度安全系数；

K_f —— 抗裂安全系数；

α —— 系数；

β —— 应力影响系数；

γ —— 受拉区混凝土塑性影响系数；

ϕ_f —— 抗弯强度折减系数；

ϕ_v —— 抗剪扭强度折减系数。

3 基本规定

3.0.1 节段预制桥梁荷载、结构刚度限值应符合现行国家标准《城市轨道交通桥梁设计规范》GB/T 51234 的规定。

3.0.2 节段预制桥梁结构设计使用年限应为 100 年。

3.0.3 节段预制桥梁的结构耐久性设计除应符合本标准外，尚应符合现行行业标准《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005 的规定。

3.0.4 节段预制桥梁拼装施工除应符合本标准外，尚应符合现行行业标准《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 的规定。

3.0.5 节段预制桥梁可采用逐跨拼装法、悬臂拼装法施工。

4 材 料

- 4.0.1** 节段预制桥梁桥跨结构的混凝土强度等级不得低于 C40。
- 4.0.2** 封锚混凝土应使用补偿收缩高性能细石混凝土，其水胶比不得大于本体混凝土的水胶比，强度不得低于本体混凝土，且宜掺入阻锈剂。
- 4.0.3** 预应力钢绞线应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定。
- 4.0.4** 预应力螺纹钢筋应符合现行国家标准《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065 的规定。
- 4.0.5** 预应力管道应采用金属波纹管、高密度聚乙烯或聚丙烯塑料波纹管、橡胶抽拔管。金属波纹管及塑料波纹管应分别符合现行行业标准《预应力混凝土用金属波纹管》JG 225、《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529 的规定。
- 4.0.6** 锚具采用夹片式群锚体系的材质应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699 和《合金结构钢》GB/T 3077 的规定，锚固性能应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的规定。成套锚具的组件，各套间应能互换使用。
- 4.0.7** 节段预制桥梁接缝材料宜采用环氧树脂胶粘剂，胶粘剂性能指标应符合表 4.0.7 的规定。

表 4.0.7 胶粘剂性能指标

项目		性能指标
物理性能	可施胶时间 (min)	≥ 20
	可粘结时间 (min)	≥ 60
	触变指数	≥ 4.0

续表 4.0.7

项目			性能指标
物理性能	吸水率（%）		≤ 0.5
	水中溶解率（%）		≤ 0.1
	热变形温度（℃）		≥50
力学性能	抗剪强度（MPa）		≥12
	抗压强度（MPa） （适用温度下限条件 下固化速度）	12h	≥20
		24h	≥60
		7d	≥75
	抗拉弯强度（MPa）		开裂全部发生在混凝土之内
	钢对钢拉伸抗剪强度（MPa）		≥15
	钢对 C45 混凝土的正 拉粘结强度（MPa）		≥2.5，且为混凝土内聚破坏
不挥发 物含量	(105±2)℃、 (180±5) min		≥99%
耐湿热老化能力			经温度 50℃、湿度 98%恒定作用 90d 后，在常温下试件的钢对钢拉 伸抗剪强度的下降幅度不得超过参 比试件强度的 10%

4.0.8 胶粘剂的可施胶时间、可粘结时间、抗剪强度、抗拉弯强度应分别按本标准附录 A、附录 B、附录 C 测定。吸水率及水中溶解率应符合现行国家标准《塑料 吸水性的测定》GB/T 1034 的规定。

4.0.9 体内预应力管道压浆应采用管道压浆料或管道压浆剂。原材料性能指标应符合现行行业标准《铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》TB/T 3192 的规定。预应力管道压浆浆体性能指标应符合表 4.0.9 的规定。

表 4.0.9 预应力管道压浆浆体性能指标

技术指标		性能指标
凝结时间 (h)	初凝	≥ 4
	终凝	≤ 24
流动度 (s)	初始流动度	10~18
	30min 流动度	12~20
泌水率 (%)	24h 自由泌水率	0
	3h 毛细泌水率	≤ 0.1
压力泌水率 (%)	0.22MPa (当管道垂直高度小于等于 1.8m)	≤ 1
	0.36MPa (当管道垂直高度大于 1.8m)	≤ 2
充盈度		合格
7d 强度 (MPa)	抗折	≥ 6.5
	抗压	≥ 35
28d 强度 (MPa)	抗折	≥ 10
	抗压	≥ 50
24h 自由膨胀率 (%)		0~3
对钢筋锈蚀作用		对钢筋无锈蚀作用
含气量 (%)		1~3
氯离子含量 (%)		≤ 0.06

5 设 计

5.1 一 般 规 定

5.1.1 节段预制桥梁结构应按不允许出现拉应力的预应力混凝土构件设计。

5.1.2 节段预制桥梁结构的材料容许应力、结构安全系数和结构计算方法应符合现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定。

5.1.3 节段预制桥梁主梁挠度和转角可按弹性阶段计算。

5.1.4 桥墩和桥台设计应符合现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定。

5.2 强 度 计 算

5.2.1 节段预制桥梁结构正截面抗弯、斜截面抗弯和斜截面抗剪强度计算应按现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定执行，并应计入强度折减，强度折减系数应按表 5.2.1 的规定取值，且应满足下列公式的要求：

$$KM \leq \phi_f M_R \quad (5.2.1-1)$$

$$KV \leq \phi_v V_R \quad (5.2.1-2)$$

式中：K——强度安全系数，按现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定取值；

M——计算弯矩 (kN·m)；

V——计算剪力 (kN)；

M_R ——抗弯计算强度 (kN·m)；

V_R ——抗剪计算强度 (kN)；

ϕ_f ——抗弯强度折减系数；

ϕ_v ——抗剪强度折减系数。

表 5.2.1 强度折减系数

类型	折减系数	
	体内预应力体系	体外预应力体系
抗弯强度折减系数 (ϕ_f)	0.95	0.90
抗剪扭强度折减系数 (ϕ_v)	0.90	0.85

注：适用于混凝土湿接缝或环氧树脂接缝。

5.2.2 节段预制桥梁结构抗扭计算，应符合下列规定：

1 当矩形或箱形截面弯扭构件满足下列公式时，可不进行抗扭强度计算，但应按现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定配置横向构造钢筋：

$$KT \leqslant 1.67 \times 10^{-7} \phi_v \beta \sqrt{f_{cu,k}} A_{cor} b_e \quad (5.2.2-1)$$

$$\beta = \sqrt{1 + \frac{\sigma_{c,c}}{0.295 \sqrt{f_{cu,k}}}} \leqslant 2 \quad (5.2.2-2)$$

$$b_e = \frac{A_c}{U_c} \quad (5.2.2-3)$$

式中：T——计算扭矩 (kN·m)；

β ——应力影响系数；

$f_{cu,k}$ ——混凝土 28d 立方体强度标准值 (MPa)；

$\sigma_{c,c}$ ——扣除预应力损失后混凝土的压应力 (MPa)；

A_{cor} ——由最外连续闭合横向钢筋中心包围的截面核芯面积 (mm²)；

b_e ——剪力流路径有效宽度 (mm)；

A_c ——混凝土截面最外边线围成的面积 (mm²)；

U_c ——混凝土截面最外边线围成的周长 (mm)。

2 矩形或箱形截面弯扭构件的截面尺寸应满足下式要求：

$$\frac{V}{b_t h_0} + \frac{T}{W_t} \leqslant [\sigma_{tp-1}] \quad (5.2.2-4)$$

式中： b_t ——垂直于弯矩作用平面的矩形截面宽度或箱形截面腹板总宽度 (m)；

h_0 ——平行于弯矩作用平面的矩形或箱形截面的有效高度 (m);

W_t ——截面受扭塑性抵抗矩 (m^3), 按现行国家标准《城市轨道交通桥梁设计规范》GB/T 51234 的规定计算;

$[\sigma_{tp-1}]$ ——有箍筋及斜筋时的容许主拉应力 (kPa), 按现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 取值。

3 矩形或箱形截面受扭构件抗扭横向钢筋应满足下式要求:

$$KT \leqslant 1.7 \times 10^{-6} \phi_v \frac{f_{sv} A_{sv1} A_{cor}}{S_v} \quad (5.2.2-5)$$

式中: A_{sv1} ——纯扭计算中最外连续闭合横向钢筋的截面面积 (mm^2);

f_{sv} ——抗扭横向钢筋的抗拉计算强度 (MPa);

S_v ——纯扭计算中抗扭横向钢筋的纵向间距 (mm)。

5.2.3 构件端部锚固区局部承压强度的计算应符合现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定。

5.3 运营阶段结构计算

5.3.1 运营阶段结构计算应符合现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定。

5.3.2 节段预制桥梁结构截面应力计算应符合下列规定:

- 1 在管道压浆前, 应采用净截面。
- 2 在管道灌浆后, 应采用换算截面。
- 3 换算截面特性不应计普通钢筋。

5.3.3 正截面的抗裂性应满足下式要求:

$$K_i \sigma \leqslant \sigma_{pc} \quad (5.3.3)$$

式中: σ ——计算荷载在截面受拉边缘混凝土中产生的正应力 (MPa);

σ_{pc} ——扣除相应阶段预应力损失后受拉边缘混凝土的预压

应力 (MPa);

K_t ——抗裂安全系数,按现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定取值。

5.3.4 斜截面抗裂性应满足下列公式的要求:

$$\sigma_{tp} \leq f_{ct} \quad (5.3.4-1)$$

$$\text{主力组合: } \sigma_{cp} \leq 0.6f_c \quad (5.3.4-2)$$

$$\text{主+附组合: } \sigma_{cp} \leq 0.6f_c \quad (5.3.4-3)$$

式中: σ_{tp} ——按抗裂性计算主拉应力 (MPa);

σ_{cp} ——按抗裂性计算主压应力 (MPa);

f_{ct} ——混凝土抗拉极限强度 (MPa);

f_c ——混凝土抗压极限强度 (MPa)。

5.3.5 在运营荷载作用下,扣除全部应力损失后的正截面混凝土最大压应力应满足下列公式的要求:

$$\text{主力组合: } \sigma_c \leq 0.5f_c \quad (5.3.5-1)$$

$$\text{主+附组合: } \sigma_c \leq 0.55f_c \quad (5.3.5-2)$$

式中: σ_c ——运营荷载及预应力钢筋有效预应力产生的正截面混凝土最大压应力 (MPa)。

5.3.6 运营荷载作用下,扣除全部应力损失后正截面混凝土最小压应力不应小于 0.5MPa。

5.3.7 运营荷载作用下,预应力钢筋的拉应力应满足下式要求:

$$\sigma_p \leq 0.6f_{pk} \quad (5.3.7)$$

式中: σ_p ——预应力钢筋的应力 (MPa);

f_{pk} ——预应力钢筋抗拉强度标准值 (MPa)。

5.3.8 当进行变形计算时,全截面的抗弯刚度可按下式计算:

$$B_0 = 0.95E_cI_0 \quad (5.3.8)$$

式中: B_0 ——全截面抗弯刚度 ($\text{kN} \cdot \text{m}^2$);

E_c ——混凝土弹性模量 (MPa);

I_0 ——全部截面换算截面惯性矩 (m^4)。

5.4 施工阶段结构计算

5.4.1 施工阶段应按现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计

规范》TB 10092 的规定进行预制节段吊装、存放、运输、拼装和施加预应力、体系转换等计算。

5.4.2 当节段在吊装或运输时，构件自重应乘以动力系数，动力系数宜取 1.2。

5.4.3 施工阶段节段预制桥梁结构混凝土不应出现拉应力。当进行节段拼装时，匹配面的混凝土压应力不得小于 0.3MPa。临时预应力筋应在结构永久预应力施工完成后拆除。

5.4.4 在预加应力过程中，预应力钢筋锚下控制应力应满足下式要求：

$$\sigma_{\text{con}} \leqslant 0.75f_{\text{pk}} \quad (5.4.4)$$

式中： σ_{con} ——预应力钢筋在锚下的控制应力（MPa）。

5.4.5 在预加应力传力锚固时，预应力钢筋的应力应满足下式要求：

$$\sigma_{\text{p}} = \sigma_{\text{con}} - (\sigma_{\text{L1}} + \sigma_{\text{L2}} + \sigma_{\text{L4}}) \leqslant 0.65f_{\text{pk}} \quad (5.4.5)$$

式中： σ_{L1} ——预应力钢筋由于摩擦引起的应力损失（MPa）；

σ_{L2} ——预应力钢筋由于锚头变形、钢筋回缩和接缝压缩引起的应力损失（MPa）；

σ_{L4} ——预应力钢筋由于混凝土弹性压缩引起的应力损失（MPa）。

5.4.6 在预加应力传力锚固时，计入构件自重作用后，混凝土压应力应满足下式要求：

$$\sigma_{\text{c}} \leqslant \alpha f'_{\text{c}} \quad (5.4.6)$$

式中： α ——系数，C50～C60 混凝土取 0.75，C40～C45 混凝土取 0.70；

f'_{c} ——预加应力传力锚固阶段混凝土的抗压强度（MPa）。

5.4.7 当采用架桥机架梁时，应对架桥机通过的各种工况下的桥梁结构进行强度、抗裂性及混凝土应力检算。强度及抗裂安全系数应符合现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定。节段梁混凝土不应出现拉应力，最大压应力不应大于 $0.8f_{\text{c}}$ 。

6 构 造

6.1 预制节段与接缝

6.1.1 预制节段宜按标准节段、过渡节段、墩顶节段分类。

6.1.2 预制节段纵向尺寸应计入吊装、存放、运输、拼装等因素。

6.1.3 预制节段接缝应符合下列规定：

1 当采用湿接缝时，节段之间预留宽度不应小于 200mm，且应将非预应力钢筋连接，湿接缝应采用与节段本身等强度的混凝土填实。

2 当采用胶接缝时，接缝应密闭。

6.2 剪 力 键

6.2.1 预制节段剪力键应采用多键系统，且应均匀布置。

6.2.2 腹板内的剪力键或剪力槽的横向宽度不宜小于腹板宽度的 75%（图 6.2.2a）；剪力键或剪力槽应在腹板全高度布置，布

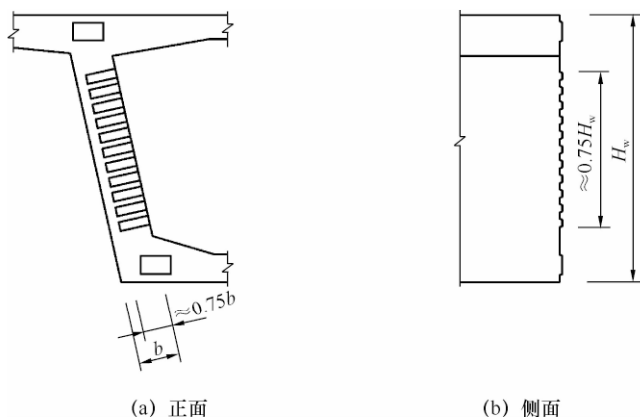


图 6.2.2 剪力键构造尺寸示意

H_w —节段梁腹板高度； b —腹板宽度

置范围宜为梁高的 75% (图 6.2.2b)。采用混凝土湿接缝的预制节段端面可不设剪力键。

6.2.3 顶板和底板应设置剪力键，其横向宽度宜为腹板剪力键横向宽度的 2 倍；位于腹板与顶板和底板结合区的剪力键或剪力槽的尺寸，可根据该处实际尺寸选定。

6.2.4 剪力键宜采用倾角 45° 的梯形或圆角梯形截面。单个剪力键或剪力槽厚度与其高度之比宜为 1 : 2 (图 6.2.4)。

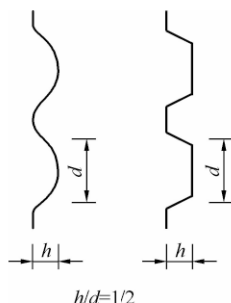


图 6.2.4 剪力键构造尺寸大样

d —剪力键高度； h —剪力键厚度

6.2.5 剪力键厚度不宜小于 2 倍最大骨料粒径和 32mm，且不宜大于 100mm。

6.2.6 腹板、顶板和底板剪力键布置应避开预应力管道，且单片腹板剪力键不宜少于 4 个。

6.3 预应力管道

6.3.1 预应力管道内径面积应符合现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定，并应大于 2 倍预应力钢筋面积。

6.3.2 预应力管道的净距和保护层厚度应符合现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定。

6.3.3 预应力管道定位钢筋间距不应大于 600mm，位于曲线段的定位钢筋应加密布置。

6.3.4 预应力管道的设置应符合下列规定:

1 外形呈曲线形且布置有曲线预应力钢筋的构件,其曲线平面内外管道的最小混凝土保护层厚度应符合下列规定:

1) 曲线平面内最小混凝土保护层厚度应满足下式要求:

$$C_{in} \geq \frac{5.547P_d}{r\sqrt{f_c}} - \frac{d_s}{2} \quad (6.3.4-1)$$

式中: C_{in} ——曲线平面内最小混凝土保护层厚度 (m);

P_d ——预应力钢筋的张拉力设计值 (MN), 可扣除锚固口摩擦、钢筋回缩及计算截面处管道摩擦损失后的张拉力乘以 1.2;

r ——预应力管道曲线半径 (m);

d_s ——预应力管道外缘直径 (m)。

2) 当计算所需的曲线平面内混凝土保护层厚度大于 50mm 时, 宜按本标准第 6.3.2 条规定设置最小混凝土保护层厚度, 并应在管道曲线段弯曲平面内设置箍筋。

3) 截面内箍筋各肢的总截面面积应满足下式要求:

$$A_{sv} \geq \frac{1.8P_d s_v}{r f_s} \quad (6.3.4-2)$$

式中: A_{sv} ——同一截面内箍筋各肢总截面面积 (m²);

s_v ——箍筋间距 (m);

f_s ——箍筋抗拉计算强度 (MPa)。

4) 曲线平面外最小混凝土保护层厚度应满足下式要求:

$$C_{out} \geq \frac{5.547P_d}{\pi r \sqrt{f_c}} - \frac{d_s}{2} \quad (6.3.4-3)$$

式中: C_{out} ——曲线平面外最小混凝土保护层厚度 (m)。

2 变高度节段梁在节段端部的底板预应力管道应设置局部加强钢筋。每根管道加强钢筋纵向不应少于 2 排, 钢筋形式宜设置为 U 形或闭合形。

3 当顶板和底板中设置密集的横向或纵向预应力管道时,

上下两层非预应力钢筋间应设置竖向连接钢筋。竖向连接钢筋的直径不宜小于 12mm，其间距在各个方向不应超过 450mm 或 1.5 倍板厚的较小值。

6.3.5 预制节段端部体内预应力孔道口应设置密封构造。

6.4 其他构造要求

6.4.1 预制节段应设置吊装点和临时预应力张拉构造。

6.4.2 进入孔、排水孔、通风孔的设置应符合现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定。

6.4.3 桥面临时孔洞应封堵密实可靠。

7 施 工

7.1 一 般 规 定

7.1.1 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。

7.1.2 根据节段架设设备及施工工艺，应在下部结构和节段上设置满足精度要求的预埋件与预留孔，且应对预埋件与预留孔采取保护措施。

7.1.3 应制定包含节段预制及架设全过程在内的测量控制方案。

7.1.4 短线法节段预制应根据理论六点坐标，按精密测量要求进行三维线形控制。

7.2 节 段 制 造

7.2.1 节段制造前应核查轨道交通各专业的图纸，且应核实永久结构的预埋件类型及位置。

7.2.2 节段预制场地内应建立导线控制网和水准控制网，应设置测量塔、标靶和固定水准点。测量控制点应远离热源和振动物源，并应配备备用的测量控制点。

7.2.3 预制节段的制造宜采用模块化可调节式的钢模板系统。模板设计应符合现行行业标准《建筑工程大模板技术标准》JGJ/T 74 的规定。内模宜采用液压折叠式整体模板。

7.2.4 模板的各部件承载力和刚度应满足节段外形尺寸控制要求，系统设计应拆装方便、易于清理，且应能循环使用。

7.2.5 长线法预制节段模板系统应符合下列规定：

1 长线法台座的底模应依据台座底模变形、设计预拱度设置底模反拱。

2 用于曲线节段预制的长线法台座在模板拼合部位应有补

槽、嵌缝或密封措施。

7.2.6 短线法预制节段模板系统应符合下列规定：

- 1 底模下方应设置可移动台车，并应设置三维调节装置。
- 2 每完成一块节段，应根据短线法节段三维线形控制结果，将该节段移动至匹配位置作为待浇节段端模，通过对该节段的调整形成桥梁线形并进行纠偏。

7.2.7 模板在加工完成后应经过单组试拼装和整体试拼装。模板进场后，模板单体验收和整体验收应按表 7.2.7 的规定进行。

表 7.2.7 模板单体验收和整体验收标准

序号	检验项目	允许偏差 (mm)	检验频率	
			范围	点数
1	模板高度	± 3	每个部件	4
2	模板宽度	± 3		4
3	模板长度	$+5$ 0		4
4	面板平整度	2		6

7.2.8 混凝土浇筑前应进行模板安装质量验收，模板安装质量标准应符合表 7.2.8 的规定。

表 7.2.8 模板安装质量标准

序号	检验项目		允许偏差 (mm)	检验频率	
				范围	点数
1	相邻两板表面高低差		2	每个节段	4
2	表面平整度		2		4
3	垂直度		$H/1000$ ， 且 ≤ 3		4
4	模内尺寸	长度	0 -3		3
		宽度	$+3$ -2		2
		高度	0 -2		4
5	轴线偏移量		2		1
6	匹配节段定位	纵轴线	2		1
		高程	± 2		4

注：H 为节段梁的高度。

7.2.9 节段钢筋制作应符合下列规定：

- 1 节段制造钢筋宜制成钢筋骨架整体放入模板。
- 2 当钢筋骨架进行整体吊运时，骨架应水平、稳定、不变形。
- 3 钢筋制作质量标准应符合表 7.2.9 的规定。

表 7.2.9 钢筋制作质量标准

序号	检验项目		允许偏差 (mm)	检验频率	
				范围	点数
1	受力钢筋间距	两排以上钢筋间距	±5	每个钢筋骨架	4
		同排钢筋间距	±5		4
2	箍筋、横向水平筋间距		±10		4
3	钢筋骨架尺寸	长度	±5		3
		宽度	+5 0		2
		高度	±5		4
4	弯起钢筋位置		±10		4
5	保护层厚度		±3		6

7.2.10 节段制作的预置件埋设应符合下列规定：

- 1 预应力管道可采用抽拔管成孔或预埋管的形式。管道定位钢筋宜采用钢筋环箍与普通钢筋连接的形式。
- 2 预置件质量标准应符合表 7.2.10 的规定。

表 7.2.10 预置件质量标准

序号	检验项目			允许偏差 (mm)	检验频率	
					范围	点数
1	预埋件	支座板、锚垫板 等预埋钢板	位置	10	每个 预埋件	1
			平面高差	5		1
		螺栓、锚筋等	位置	5		1
			外露尺寸	+10 0		1

续表 7.2.10

序号	检验项目		允许偏差 (mm)	检验频率	
				范围	点数
2	吊孔	位置	5	每个 预留孔洞	1
3	预应力管道	位置	节段端部 ± 5		1
		管径	+3 0		1

7.2.11 节段匹配面上使用的隔离剂应对混凝土无害且易于清洗，不应因残留隔离剂影响拼装接缝胶粘剂的粘结性能。

7.2.12 侧模与底模上宜设置附着式振捣器。当采用插入式振捣器时，应避免碰及预应力管道、剪力键模板、匹配节段的剪力键以及各类预埋件。

7.2.13 预制节段拆模时混凝土最小抗压强度应为 22MPa，节段吊离台座时混凝土最小抗压强度应为 26MPa。

7.2.14 当采用喷淋养护时，宜对预留的预应力孔道口进行防护。

7.2.15 同一跨内的节段龄期差不宜超过 30d。张拉永久预应力的龄期应以一跨内龄期最短的节段进行控制。

7.2.16 节段在预制场地内存放应符合下列规定：

1 存放场地应平整、排水畅通，地基应满足承载力和稳定性的要求。

2 临时支座应与存放节段的底表面吻合，且临时支座与节段底表面间应设缓冲层。

3 宜在节段的内表面设置有效的编号和浇筑日期标识。

4 多层堆放节段的支点位置设置应符合结构安全的要求。

5 节段出场外观质量标准应符合表 7.2.16 的规定。

表 7.2.16 节段出场外观质量标准

序号	检验项目		允许偏差 (mm)	检验频率	
				范围	点数
1	混凝土抗压强度		在合格标准内	每个节段	—
2	顶部表面平整度		5		4
3	长度		0 —2		3
4	断面尺寸	宽度	+5 0		2
		高度	±5		2
		壁厚	+5 0		8
5	剪力键	位置	2	每个 剪力键	1
		平面高差	2		1

7.3 节 段 运 输

7.3.1 当运输节段时，应根据节段重量和尺寸选择能满足道路运输条件的运输设备。

7.3.2 节段运输前，应对运输线路的坡道、桥梁、架空线路、交通量、道路交叉口转弯半径、空中障碍物等进行勘察。

7.3.3 运输节段的车辆应安装警示灯，并应悬挂警示标志。

7.3.4 运输工具的载货平台上应设置节段的临时支点，节段应安放平稳。载货平台上应采取限制节段纵横向移动的措施。横向限位装置宜设置在节段的腹板外侧。

7.4 逐 跨 拼 装

7.4.1 预制节段提升及悬挂应符合下列规定：

- 1 节段的提升应匀速。
- 2 悬挂状态下的节段之间应设置防止碰撞的垫块。

3 当采用上行式架桥机施工时,应验算节段永久预应力张拉后吊杆内力重分布工况,并应根据工况验算结果设定吊杆的安全系数。

7.4.2 节段拼接施工应符合下列规定:

1 节段拼接过程中,应逐段控制和复核节段梁的轴线和高程,并应符合设计线形的要求。

2 下行式架桥机应采取抵抗支承面倾斜时节段对支承系统产生水平分力的措施。

7.4.3 节段胶接缝施工应符合下列规定:

1 胶粘剂应采用机械拌和。胶粘剂应涂抹均匀,并应覆盖整个匹配面,涂抹厚度宜为 3mm。

2 当涂抹胶粘剂时,应采取对预应力孔道口进行防护的措施。

3 在施加临时预应力后,胶粘剂应能在全断面均匀挤出。

7.4.4 节段拼装临时预应力应符合下列规定:

1 应均匀布置临时预应力。

2 临时预应力的张拉力应符合设计要求。

3 临时预应力钢筋应满足反复多次张拉的作业要求。

7.4.5 永久预应力的施工应符合下列规定:

1 当后穿的预应力筋由多根钢丝或钢绞线组成时,宜预先编束并整束穿入孔道内。

2 应对成品体外预应力筋采取保护措施。

3 在张拉纵向永久预应力前,节段梁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,且混凝土应符合设计强度的要求。

7.4.6 后张预应力孔道的压浆应符合下列规定:

1 宜采用预拌压浆料或压浆剂配制的浆液进行压浆。

2 压浆料应采用高效减水剂,且应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 对高效减水剂一等品的规定,其减水率不应小于 20%。

3 用于浆液拌制的搅拌机的转速不应低于 1000r/min，其叶片的线速度不宜小于 10m/s，最高线速度宜限制在 20m/s 以内。

4 用于临时存储浆液的容器宜具有搅拌功能，且应设置网格尺寸不大于 3mm 的过滤网。

5 当采用真空辅助压浆工艺时，应在压浆前对孔道进行抽真空，且真空度宜稳定在 $-0.10\text{MPa}\sim-0.06\text{MPa}$ 。当真空度稳定后，应立即开启孔道压端的阀门，并应同时启动压浆设备进行连续压浆。

7.4.7 施工临时支座的安全系数不应小于 2.0。

7.4.8 单跨桥节段拼装质量标准应符合表 7.4.8 的规定。

表 7.4.8 单跨桥节段拼装质量标准

序号	检验项目	允许偏差 (mm)	检验频率	
			范围	点数
1	轴线偏移量	5	每跨	5
2	相邻节段间顶面接缝高差	3	每条接缝	2
3	梁长	$-20, +10$	每跨	3
4	支座轴线偏位	5	每个支座	2

7.5 悬臂拼装

7.5.1 悬臂拼装法施工中的节段提升、拼接作业、胶接缝、临时预应力、永久预应力施工等应符合本标准第 7.4 节的规定。

7.5.2 在进行悬臂拼装作业时，桥墩两侧的节段应对称提升，且桥墩两侧应平衡受力。

7.5.3 当节段提升、拼接作业采用桥面吊机或桥面提升架时，提升设备与节段的重量比不宜大于 0.4，且提升设备在提升、拼接、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。

7.6 拼 装 设 备

7.6.1 架桥机或其他起重拼装设备应满足施工所需的起重能力、跨越能力、弯桥施工时的偏转能力、架桥机整体和局部的承载能力及稳定性的要求。

7.6.2 拼接施工的架桥机，在安装和调试完成后，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，应分别进行 1.25 倍设计荷载的静荷试验，且荷载应平稳无冲击地加载。还应进行 1.1 倍设计荷载的动荷起吊试验。

附录 A 环氧树脂胶粘剂可施胶时间与可粘结时间的测定方法

A.1 仪器、设备

A.1.1 环氧树脂胶粘剂可施胶时间与可粘结时间测定试验应包括下列仪器设备：

- 1 电动搅拌机。
- 2 温度测量仪器。
- 3 抗拉弯试验所需的仪器设备。

A.1.2 电动搅拌机应符合下列规定：

- 1 宜使用带有混合转子的 350W、400rpm 手提电钻。
- 2 电动搅拌机转速不得超过 400rpm。

A.2 试验步骤

A.2.1 双组分环氧树脂胶粘剂的拌和应符合下列规定：

1 应使用电动搅拌机将 A 组分在包装桶中充分搅动 10s 或直至搅拌均匀，停止搅拌。

2 应按配合比往 A 组分包装桶中加入 B 组分，继续搅拌。当混合物颜色呈均匀的灰色时，应停止搅拌。搅拌时间不得超过 3min。

A.2.2 可施胶时间测定的步骤应符合下列规定：

1 在用电动搅拌机混合搅拌结束后，应将温度测量仪器插入在混合物中心并启动秒表。从开始混合到混合物达到计时终止温度之前的时间即为可施胶时间。

2 快速和中速反应的型号胶粘剂计时终止温度应为 40℃，慢速反应的型号胶粘剂计时终止温度应为 60℃。

A.2.3 可粘结时间测定的步骤应符合下列规定：

1 一对尺寸应为 $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的混凝土棱柱试件（图 A.2.3），混凝土抗压强度应同节段本体混凝土，且不应小于 40MPa 。在混凝土棱柱的端面应进行喷砂处理或气动凿毛处理，除去隔离剂、水泥浮浆等物质。

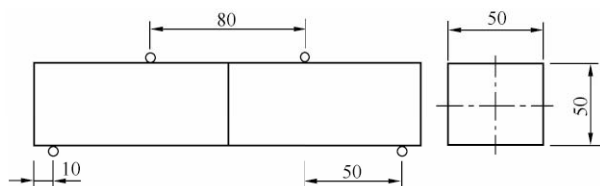


图 A.2.3 抗拉弯试验示意（单位：mm）

2 将按本标准第 A.2.1 条要求拌和后的胶粘剂涂敷在混凝土棱柱粘结面上，应单面涂敷，厚度应为 3mm 。

3 从搅拌胶粘剂开始，应在 10min 内将其涂敷在粘结面上。在不同的时间间隔内，如 30min 、 45min 、 50min 、 55min 、 60min 、 65min 和 70min ，将 2 个混凝土棱柱按压在一起，应施加 0.2MPa 压应力至其固化，并应在 2d 后进行拉弯曲试验。

4 每一项目每批次的样品应制作一组试件，每组试件数量不应少于 5 个。

5 抗拉弯试验应按本标准附录 C 执行。

6 抗拉弯试验破坏面发生在混凝土棱柱本体内的试件，应判定为合格，该试件的拼接时间即为可施胶时间。

附录 B 环氧树脂胶粘剂抗剪强度测定方法

B.1 仪器、设备

B.1.1 环氧树脂胶粘剂抗剪强度测定试验应包括下列仪器设备：

- 1 电动搅拌机。
- 2 75mm×75mm×150mm 矩形钢模。
- 3 现行国家标准《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567 压缩试验所需的仪器设备。

B.1.2 电动搅拌机应符合下列规定：

- 1 宜使用带有混合转子的 350W、400rpm 手提电钻。
- 2 电动搅拌机转速不得超过 400rpm。

B.2 试样制作

B.2.1 双组分环氧树脂胶粘剂的拌和应符合下列规定：

1 应使用电动搅拌机将 A 组分在包装桶中充分搅动 10s 或直至搅拌均匀，停止搅拌。

2 应按配合比往 A 组分包装桶中加入 B 组分，继续搅拌。当混合物颜色呈均匀的灰色时应停止搅拌。搅拌时间不得超过 3min。

B.2.2 试样制作应符合下列规定：

1 倾斜混凝土棱柱体的总尺寸应为 75mm×75mm×150mm (图 B.2.2)；试件混凝土强度不应低于预制节段混凝土构件。制作时，矩形钢模内与垂直面成 30°角的倾斜面可设置一钢隔板，也可用金刚锯将一个完整尺寸的棱柱体锯成两个试件。

2 试件应在水中养护 7d。试件从水中取出后，应对上下试件的粘结面进行喷砂处理或气动凿毛处理，除去隔离剂、水泥浮

浆等物质。

3 将按本标准第 B. 2. 1 条要求拌和后的胶粘剂涂敷在凿毛干燥处理后的倾斜混凝土棱柱体粘结面上，应单面涂敷，厚度宜为 3mm。

4 混凝土棱柱的粘结面涂敷完胶粘剂后，应采用一个夹紧力为 0. 2MPa 的夹具将两个棱柱夹在一起。夹具构造应能使试件垂直对中固定，不产生偏心和扭转作用。

5 测试试件在胶粘剂规定应用温度范围的下限温度环境中应存放 7d，随后进行测试。

B. 2. 3 每组有效试样不应少于 5 个。

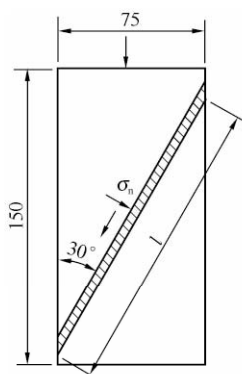


图 B. 2. 2 抗剪强度
——倾斜棱柱体
(单位：mm)

B. 3 试验结果

B. 3. 1 按本标准第 B. 2. 2 条试件固化 7 d 后，可按现行国家标准《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567 的程序进行压缩试验，直到试件破坏，记录最大荷载 P 。

B. 3. 2 抗剪强度应按下式进行计算：

$$\tau = 7.7 \times 10^{-5} P \quad (\text{B. 3. 2})$$

式中： τ ——抗剪强度 (MPa)；

P ——抗剪试验记录最大荷载 (N)。

B. 3. 3 应以 5 个试件为一组，试验结果应取算术平均值。

附录 C 环氧树脂胶粘剂抗拉弯强度测定方法

C.1 仪器、设备

C.1.1 环氧树脂胶粘剂抗拉弯强度测定试验应包括下列仪器设备：

- 1 电动搅拌机。
- 2 50mm×50mm×100mm 矩形钢模。
- 3 现行国家标准《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567

弯曲试验所需的仪器设备。

C.1.2 电动搅拌机应符合下列规定：

- 1 宜使用带有混合转子的 350W、400rpm 手提电钻。
- 2 电动搅拌机转速不得超过 400rpm。

C.2 试样制作

C.2.1 双组分环氧树脂胶粘剂的拌和应符合下列规定：

1 应使用电动搅拌机将 A 组分在包装桶中充分搅动 10s 或直至搅拌均匀，停止搅拌。

2 应按配合比往 A 组分包装桶中加入 B 组分，继续搅拌。当混合物颜色呈均匀的灰色时应停止搅拌。搅拌时间不得超过 3min。

C.2.2 试样制作应符合下列规定：

1 一对尺寸为 50mm×50mm×100mm 的混凝土棱柱试件（图 A.2.3）；试件混凝土强度不应低于预制节段混凝土构件。

2 试件应在水中养护 7d。试件从水中取出后，应对两试件的粘结面进行喷砂处理或气动凿毛处理，除去隔离剂、水泥浮浆等物质。

3 将按 C.2.1 要求拌和后的胶粘剂涂敷在凿毛干燥处理后

的混凝土棱柱体粘结面上，单面涂敷，厚度不应小于 2mm。

4 混凝土棱柱的粘结面涂敷完胶粘剂后，应用一个夹紧力为 0.2MPa 的夹具将两个棱柱夹在一起。夹具构造应能使试件垂直对中固定，不产生偏心和扭转作用。

5 可用保持潮湿状态的湿布包裹测试试件，在胶粘剂配方规定的使用温度范围的下限温度环境中养护 24h。

C.2.3 每组有效试样不应少于 5 个。

C.3 试验步骤

C.3.1 在 100%湿度和胶粘剂配方的规定使用温度范围下养护 24h 后，执行抗拉弯试验至破坏（图 A.2.3），观察并记录破坏发生部位。

C.3.2 当破坏形式为基材混凝土内聚破坏，可判为正常破坏。当破坏形式为胶粘剂与基材混凝土的界面破坏，应判为不正常破坏。

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的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《城市轨道交通桥梁设计规范》GB/T 51234
- 2 《优质碳素结构钢》GB/T 699
- 3 《塑料 吸水性的测定》GB/T 1034
- 4 《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567
- 5 《合金结构钢》GB/T 3077
- 6 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 7 《混凝土外加剂》GB 8076
- 8 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370
- 9 《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065
- 10 《预应力混凝土桥梁预制节段逐跨拼装施工技术规程》
CJJ/T 111
- 11 《建筑工程大模板技术标准》JGJ/T 74
- 12 《铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》TB/
T 3192
- 13 《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005
- 14 《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092
- 15 《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529
- 16 《预应力混凝土用金属波纹管》JG 225