

ICS 93.080

P66

备案号: *****

DB32

江 苏 省 地 方 标 准

DB32/T 3564—2019

节段预制拼装混凝土桥梁设计与施工规范

Specification for Design and Construction of Segmental Precast Concrete Bridges

2019 - 04 - 08 发布

2019 - 04 - 30 实施

江苏省市场监督管理局 发布

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 2

 4.1 材料性能 2

 4.2 作用与作用效应 2

 4.3 几何参数 2

 4.4 其它符号 3

5 材料 3

 5.1 混凝土 3

 5.2 预应力材料 3

 5.3 粘结剂 3

6 结构设计 4

 6.1 基本规定 4

 6.2 一般规定 5

 6.3 持久状况承载能力极限状态计算 5

 6.4 持久状况正常使用极限状态计算 6

 6.5 短暂状况构件的应用 7

7 构造规定 7

 7.1 箱梁节段 7

 7.2 接缝与键齿剪力键 8

 7.3 体外预应力体系 9

 7.4 钢束转向和锚固区 10

8 节段制作 11

 8.1 一般规定 11

 8.2 预制厂（场） 12

 8.3 模板 12

 8.4 节段预制 12

9 节段的堆放与吊运 13

 9.1 节段的堆放 13

 9.2 节段的吊运 14

10 节段拼装 14

10.1 提升设备与架桥设备 14

10.2 节段提升与定位 14

10.3 逐跨拼装 15

10.4 悬臂拼装 15

11 预应力施工 15

11.1 临时预应力 15

11.2 永久预应力 15

11.3 孔道压浆 16

12 结构体系转换 16

附录 A （规范性附录） 预制拼装桥梁的施工质量验收要求..... 17

前 言

本标准按GB/T1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定编写。

本标准由江苏省交通运输厅提出并归口。

本标准主编单位：苏交科集团股份有限公司、东南大学

本标准参编单位：江苏省交通运输厅公路事业发展中心、江苏省交通工程建设局、南京工业大学、中交第二航务工程局。

本标准主要起草人：张建东、刘钊、贺志启、刘朵、陈胜武、高明生、徐剑、卓为顶、郑和晖、杨丙文、仝腾

节段预制拼装混凝土桥梁设计与施工规范

1 范围

本标准规定了节段预制拼装混凝土桥梁的设计和施工方法。
本标准适用于我省各级公路节段预制拼装混凝土桥梁的设计和施工。
节段预制拼装混凝土桥梁设计与施工除应符合本规范的规定外,还应符合国家和行业有关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 254 半精炼石蜡
GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线
GB/T 8162 结构用无缝钢管标准
GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
GB/T 18365 斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝索技术条件
GB/T 21073 环氧涂层七丝预应力钢绞线
GB/T 25823 单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线
GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准
GB 50720 建设工程施工现场消防安全技术规范
CJJ/T 111 预应力混凝土桥梁预制节段逐跨拼装施工技术规程
JG 161 无粘结预应力钢绞线
JG 3007 无粘结预应力筋专用防腐润滑剂
JGJ 46 施工现场临时用电安全技术规范
JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
JTG D60 公路桥涵设计通用规范
JTG E30 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
JTG E42 公路工程集料试验规程
JTG/T F50 公路桥涵施工技术规范
YB/T 152 高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

节段 segment

沿混凝土梁体纵向按一定长度划分的预制梁段。

3.2

体外预应力 external prestressing

在预制拼装混凝土梁体截面之外布置预应力钢束并施加预应力。

3.3

干接缝 dry joint

混凝土桥梁预制节段的结合面通过直接拼接形成的接缝。

3.4

键齿剪力键 tooth shear key

预制节段混凝土桥梁接缝表面用于匹配拼合、承担剪力等作用、凹凸密接匹配的多重键块和键槽。

3.5

节段逐跨拼装 span by span erection

将整孔的预制节段全部由架设设备承担，待张拉预应力将节段组成整体结构后，架设梁再前移至下一跨施工。待一联施工完毕后，再吊装或浇筑墩顶节段，进行结构体系转换。

3.6

节段悬臂拼装 segmental balanced cantilever erection

将桥墩两侧节段逐块、对称安装并张拉预应力，直至最大悬臂状态，再进行跨中合拢。

4 符号

4.1 材料性能

f_{ck} 、 f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；

f_{tk} 、 f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；

f_{sk} 、 f_{sd} ——普通钢筋抗拉强度标准值、设计值；

f_{pk} 、 f_{pd} ——预应力钢筋抗拉强度标准值、设计值；

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值；

f'_{ck} ——短暂状况施工阶段的混凝土轴心抗压强度标准值。

4.2 作用与作用效应

$\sigma_{con,e}$ ——体外预应力钢筋张拉控制应力；

σ_{pc} ——扣除全部预应力损失后的预加力在构件抗裂验算截面边缘产生的混凝土预压应力；

$\sigma_{pc,m}$ ——使用阶段扣除预应力损失后的有效预加力在构件截面形心处产生的混凝土预压应力；

σ_{st} ——在作用频遇组合下构件抗裂验算截面边缘混凝土的法向应力；

σ_{tp} ——由作用频遇组合和预加力产生的混凝土主拉应力；

σ_{cc}^t ——荷载作用下截面边缘法向压应力。

4.3 几何参数

- A_k ——接缝面腹板上所有键齿根部的面积；
 $A_{p,e}$ ——体外预应力钢束的截面面积；
 A_{sm} ——接缝面腹板上的竖直面接触面积；
 A_{sl} ——内环筋的截面面积；
 A_{sv} ——穿过接触面钢筋的截面面积；
 A_{st} ——充当拉杆的普通钢筋截面面积；
 A_w ——接缝面腹板截面面积；
 θ_e ——体外预应力钢束的竖弯角；
 β_e ——体外预应力钢束的平弯角；
 d_s ——剪力槽孔间距（mm）。

4.4 其它符号

- α ——胶接缝键齿抗剪承载力折减系数；
 μ ——接触面摩擦系数。
 γ_0 ——结构重要性系数；

5 材料

5.1 混凝土

- 5.1.1 节段预制拼装桥梁主梁的混凝土强度等级不宜低于 C50。
 5.1.2 节段预制拼装桥梁中的湿接缝、合龙段等所用混凝土应与预制节段等强，且在成形过程中具有补偿收缩功能。

5.2 预应力材料

- 5.2.1 预应力钢绞线的主要技术标准应符合 GB/T 5224 的相关规定，其中体外预应力钢绞线的主要技术标准应符合下列要求：
 - a) 镀锌钢绞线应符合 YB/T 152 的相关规定。
 - b) 环氧涂层钢绞线应符合 GB/T 25823 和 GB/T 21073 的相关规定。
 - c) 无粘结钢绞线应符合 JG 161 的相关规定。
 5.2.2 体外预应力成品索应符合 GB/T 18365 的相关规定。
 5.2.3 预应力锚具的锚固性能应符合 GB/T 14370 的相关规定。
 5.2.4 体外预应力钢束预埋管和密封筒宜采用无缝钢管，应符合 GB/T 8162 的相关规定。体外预应力钢束的集束式转向器应符合 GB/T 8162 的相关规定。
 5.2.5 体外预应力索灌浆料应符合 JG 3007、GB 254 的相关规定。

5.3 粘结剂

- 5.3.1 预制节段间胶接缝材料宜采用环氧树脂胶粘剂，应满足以下性能要求：
 - a) 为无溶剂、双组分、室温固化触变性环氧粘结剂。
 - b) 环氧树脂粘结剂应方便施工，立面和顶面施工无流淌。
 - c) 环氧树脂粘结剂具备高强度、高弹性模量的特点，胶结强度不低于梁体混凝土强度；胶体固化不受高湿环境的影响，固化后无收缩。
 - d) 环境适应能力强，能在潮湿和湿润的混凝土基面上施工。

e) 具备很强的防水和防化学腐蚀能力。

5.3.2 环氧树脂胶粘剂的材料性能指标，宜满足表 1 的要求：

表1 环氧树脂胶结剂的性能指标

项目		技术要求
物理性能	可施加时间（存罐时间）	在适用温度范围的高限温度条件下，可施加时间≥30 min
	可粘结时间（晾置时间）	在适用温度范围的高限温度条件下，可粘结时间≥60 min
	触变性（抗流挂性能）	在适用温度范围的高限温度条件下，在结构立面上涂层的厚度≥3 mm 时，无流挂
	挤出性	在构件施加压力的条件下，粘结剂能在粘结面上移动并形成均匀涂层；同时要保证有足够量的粘结剂保留在挤压后的接缝中
	固化速度	在适用温度范围的低限温度条件下，粘结剂强度发展应满足： 初步固化时间≥2 h 完全固化时间≤24 h
	吸水率和水溶解率	在适用温度范围的高限温度条件下，吸水率≤0.5%，水中溶解率≤0.1%
	耐热性	在适用温度范围的高限温度条件下，养护 7 d 的试件的热变形温度≥50℃
	颜色	与混凝土颜色接近，细腻均匀
化学性能	与混凝土接触的耐久性	在使用期间不能与碱性混凝土发生化学反应
	化学稳定性	经 50℃、95%湿度恒定作用 90 d 后，试件的金属粘结抗剪强度的下降幅度不得超过参比试件强度的 10%
力学性能	抗压强度	在适用温度范围的低限温度条件下，粘结剂的抗压强度发展应满足：12 h≥40 MPa；24 h≥60 MPa；7 d≥75 MPa
	抗压模量	瞬时抗压模量≥8000 MPa；1 h 的延期抗压模量≥6000 MPa
	与混凝土的正拉粘结强度	≥2.5 MPa，为混凝土内聚破坏
	抗剪强度	在适用温度范围的低限温度条件下，粘结剂的 7 d 抗剪强度≥12 MPa
	抗剪模量	瞬时抗剪模量≥1500 MPa；28 d 的延期抗剪模量≥1000 MPa
使用环境温度		-10℃~40℃
涂抹厚度		单面涂抹时，2~3 mm；双面涂抹时，1~1.5 mm
不挥发物含量（固体含量）		≥99%

6 结构设计

6.1 基本规定

6.1.1 综合桥位条件、桥梁规模、预制厂条件、运输条件、工期、环境影响等因素，考虑节段预制拼装方案的适用性。

6.1.2 节段预制拼装桥梁的结构体系、施工方案，应综合考虑建设条件、施工设备等。采用逐跨拼装方案时，桥梁跨径不宜大于 55 m；采用悬臂拼装施工方案时，桥梁跨径不宜小于 55 m。

6.1.3 节段预制拼装混凝土箱梁采用等高度梁时，梁高宜取跨径的 1/20~1/16；采用变高度箱梁时，梁底曲线宜采取折线或圆曲线形式。

6.1.4 节段预制拼装桥梁混凝土主梁应按全预应力混凝土构件设计。

- 6.1.5 节段预制拼装桥梁宜选用体内-体外混合配束体系。抗震设防烈度 8 度及以上地区的节段预制拼装桥梁，不应采用全体外预应力体系。
- 6.1.6 体外预应力钢束应按可更换构件设计，其设计使用年限不应低于 20 年。设计时应留有供体外预应力钢束维护、更换的空间和设备进出的通道。
- 6.1.7 根据构造、施工及环境等要求，节段预制梁段接缝面的连接方式可采用干接缝、胶接缝和湿接缝三类（表 2）。体内-体外混合配束的节段式箱梁，应采用胶接缝或湿接缝；在无冻融循环、无氯盐作用环境，全体外预应力箱梁可采用干接缝。

表2 三类接缝及其使用场合

接缝类型	干接缝	胶接缝	湿接缝
常用做法	不涂任何粘结材料而直接相拼的接缝	涂以环氧树脂胶，环氧树脂厚度一般为 0.8~3 mm	通过凿毛表面，然后填充环氧混凝土来实现连接，湿接缝的宽度一般为 20~30 cm
使用场合	环境侵蚀性小的桥位	使用广泛	梁跨合龙或拼装误差纠正处

6.2 一般规定

- 6.2.1 在对节段预制拼装桥梁进行持久状况正常使用极限状态计算和短暂状况构件的应力计算时，可忽略接缝的影响。在对节段预制拼装桥梁进行持久状况承载能力极限状态计算时，应考虑接缝对主梁抗弯和抗剪承载力的折减。
- 6.2.2 对配置体外预应力束的节段预制拼装桥梁主梁，可采用图 1 所示平面杆系模型进行弹性阶段的计算分析。

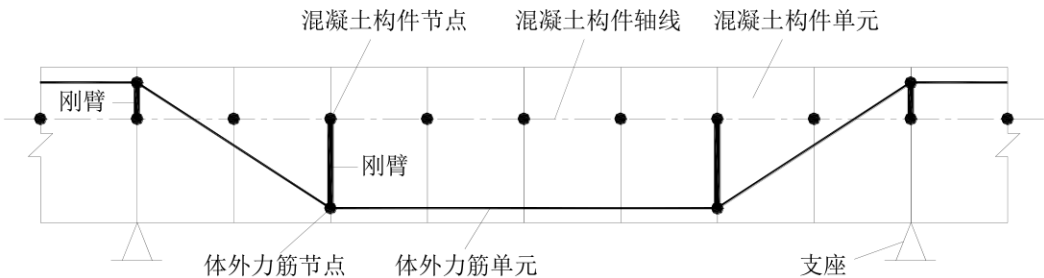


图1 配置体外预应力的节段预制拼装桥梁计算模型

- 6.2.3 节段预制拼装桥梁中的预应力锚固区和转向块应按应力扰动区（D 区）进行设计，可采用拉压杆模型或实体有限元模型进行计算。
- 6.3 持久状况承载能力极限状态计算
- 6.3.1 持久状况下节段预制拼装桥梁主梁受弯构件的正截面抗弯承载力和斜截面抗剪承载力参见 JTG 3362 的计算方法，并应符合下列规定：
- a) 不计入纵向普通钢筋的作用。
 - b) 体外预应力钢筋的应力取其使用阶段扣除预应力损失后的有效应力。
 - c) 考虑接缝引起的承载力折减，折减系数可按表 3 取值。

表3 承载力折减系数

系数	体内预应力体系	体内-体外混合预应力体系
抗弯承载力折减系数 ϕ_f	A 类接缝 0.95	A 类接缝 0.90
		B 类接缝 0.85
抗剪承载力折减系数 ϕ_v	A 类接缝 0.90	A 类接缝 0.85
		B 类接缝 0.85
注1：湿接缝或环氧树脂胶接缝为A类接缝，干接缝为B类接缝。		

6.3.2 键齿剪力键接缝的抗剪承载力计算应符合下列规定：

a) 干接缝

$$\gamma_0 V_d \leq (0.42 + 0.08\sigma_{pc,m}) A_k (f_{cu,k})^{2/3} + 0.6 A_{sm} \sigma_{pc,m} \dots\dots\dots (1)$$

b) 胶接缝

$$\gamma_0 V_d \leq \alpha(0.42 + 0.08\sigma_{pc,m}) A_w (f_{cu,k})^{2/3} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- γ_0 ——结构重要性系数，应按JTG D60规定取值；
- V_d ——接缝面剪力设计值（kN），按基本组合取用；
- A_k ——接缝面腹板上所有键齿根部的面积（m²），见图2；
- $f_{cu,k}$ ——混凝土的立方体抗压强度标准值（MPa）；
- A_{sm} ——接缝面腹板上的竖直面接触面积（m²）， $A_{sm} = A_w - A_k$ ；
- $\sigma_{pc,m}$ ——使用阶段扣除预应力损失后的有效预加力在构件截面形心处产生的混凝土预压应力（MPa）；
- α ——胶接缝键齿抗剪承载力折减系数，可取 $\alpha = 0.85$ ；
- A_w ——接缝面腹板截面面积（m²）。

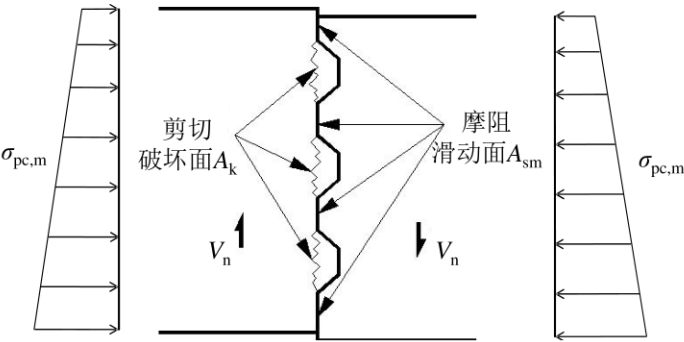


图2 键齿剪力键干接缝的抗剪承载力计算图示

6.4 持久状况正常使用极限状态计算

6.4.1 体外预应力钢筋的张拉控制应力值应符合下式规定：

$$\sigma_{con,e} \leq 0.7 f_{pk} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

f_{pk} ——预应力钢筋抗拉强度标准值。

6.4.2 计算预应力摩阻损失时，管道每米局部偏差对摩擦的影响系数 k 可取 0，体外预应力钢绞线与管道壁的摩擦系数 μ 按照表 4 取值。

表4 体外预应力钢绞线的 μ 值

体外预应力钢绞线类型	管道类型	μ 值
无粘结钢绞线	钢管	0.08~0.10
光面钢绞线	钢管	0.20~0.30
	高密度聚乙烯管	0.12~0.15

6.4.3 节段预制拼装混凝土桥梁主梁受弯构件应按下列规定进行正截面和斜截面抗裂验算：

a) 正截面混凝土拉应力应符合下式要求：

$$\sigma_{st} - 0.8\sigma_{pc} \leq 0 \dots\dots\dots (4)$$

b) 斜截面混凝土主拉应力应符合下式要求：

$$\sigma_{tp} \leq 0.4f_{tk} \dots\dots\dots (5)$$

式中：
 σ_{st} ——在作用频遇组合下构件抗裂验算截面边缘混凝土的法向应力；
 σ_{pc} ——扣除全部预应力损失后的预加力在构件抗裂验算截面边缘产生的混凝土预压应力；
 σ_{tp} ——由作用频遇组合和预加力产生的混凝土主拉应力；
 f_{tk} ——混凝土的抗拉强度标准值。

6.5 短暂状况构件的应力计算

6.5.1 对节段预制主梁的存放、移运、提升、架设安装、施加预应力、体系转换等各施工阶段，应按 JTG 3362 的相关规定进行短暂状况构件的应力计算。

6.5.2 节段预制拼装混凝土桥梁主梁受弯构件，在预应力和构件自重等施工荷载作用下截面边缘的法向应力应符合下列规定：

a) 压应力：

$$\sigma_{cc}^t \leq 0.7f'_{ck} \dots\dots\dots (6)$$

b) 拉应力（截面边缘不出现法向拉应力）：

$$\sigma_{ct}^t \leq 0 \dots\dots\dots (7)$$

式中：
 f'_{ck} ——短暂状况施工阶段的混凝土轴心抗压强度标准值。

6.5.3 节段预制拼装桥梁在各施工阶段，梁体间接缝面应处于受压状态，保证接缝面不张开。

7 构造规定

7.1 箱梁节段

7.1.1 箱梁的预制节段一般可以划分成标准节段、转向节段、锚固节段及墩顶节段等类型（如图 3 所示）。标准节段的长度可根据运输条件和吊装能力一般取为 2.0~4.0 m；转向与锚固节段可根据重量等限制条件调整长度。

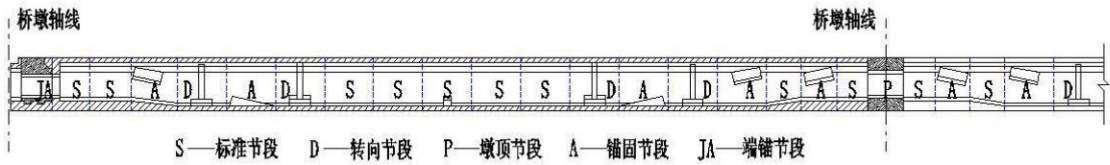


图3 预制节段梁的分类示意

7.1.2 节段预制箱梁位于平曲线和竖曲线时（如图 4 所示），可通过梁段上下缘长度不同形成竖曲线、箱梁左右外缘长度不同形成平曲线，梁段预制过程中宜保持一个端面为正交面。

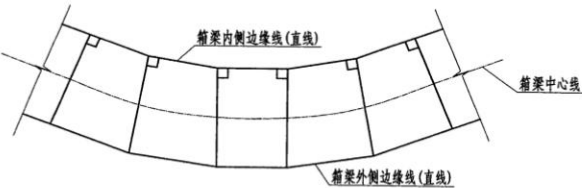


图4 位于平曲线上的梁段匹配预制示意

7.2 接缝与键齿剪力键

7.2.1 梁段接缝处预应力管道部位增设内套管、外垫圈等措施（图 5），以确保预应力管道的密闭性。



图5 节段接缝处纵向预应力管道的密封措施

7.2.2 节段预制拼装梁的键齿剪力键可根据所在截面位置可分为以下三类（图 6）：

- a) 腹板处的键齿剪力键：由多个矩形键块或键槽组成，主要承受正常使用阶段接缝截面的剪力；
- b) 顶（底）板的键齿剪力键：由多个矩形键块或键槽组成，主要用于节段拼装时对接定位；
- c) 加腋区的键齿剪力键：设置在腹板与顶（底）板结合区，主要用于节段拼装时对接定位。

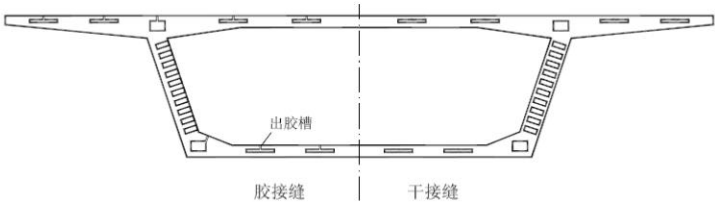


图6 键齿剪力键布置示意

7.2.3 键齿剪力键的尺寸应满足下列规定（图 7）：

- a) 腹板键齿剪力键的布置范围不宜小于梁高的 75 %，键齿剪力键横向宽度宜为腹板宽度的 75 %；
- b) 键齿剪力键应采用梯形（倾角接近 45°）或圆角梯形截面；键齿剪力键的高度应大于混凝土最大骨料粒径的 2 倍，不应小于 35 mm；顶板、底板和腹板内键齿剪力键的高度与其平均宽度比宜取为 1:2。

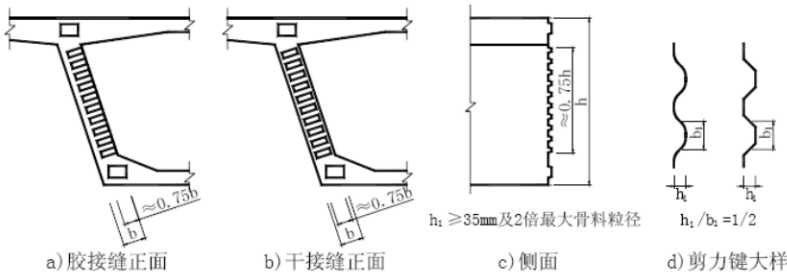


图7 键齿剪力键构造尺寸示意

7.3 体外预应力体系

7.3.1 体外预应力体系应包括五个基本部分（图 8）：体外预应力、体外预应力钢束锚具、转向装置、减振定位装置及防护系统。

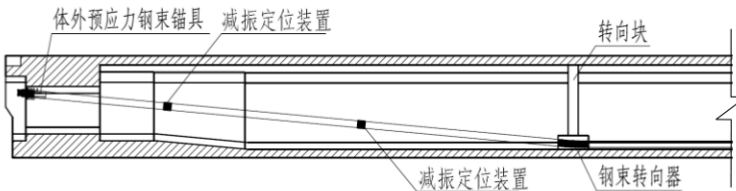


图8 体外预应力系统的组成部分示意

7.3.2 体外预应力体系的钢束转向装置、锚固系统、减振定位装置应方便进行钢束的单根安装、张拉及更换。

7.3.3 组成体外预应力钢束的各根钢绞线应各自独立且相互平行，转向装置可采用散束式转向器（图 9）。

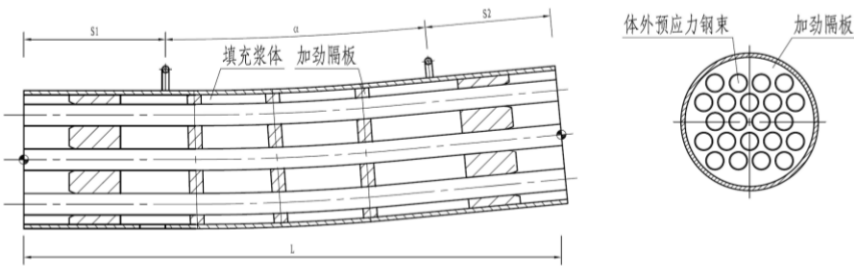


图9 散束式转向器构造示意

7.3.4 体外预应力体系的钢束宜采用防腐油脂、PE 护套、外套管等多重防护措施（图 10）。

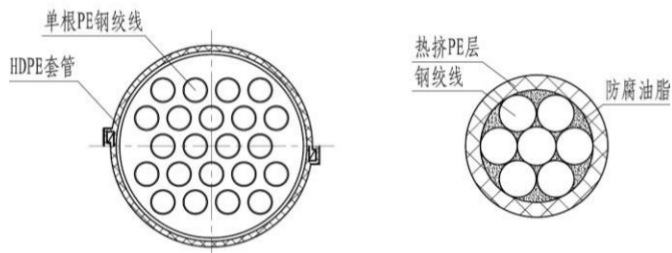


图10 体外预应力钢束的多重防护措施

7.3.5 成品体外索宜选用热挤 PE 护套，PE 护套表面应光滑、均匀，且对钢绞线包裹紧密，应具有良好的耐久性和极低的渗透性。PE 护套厚度应一致，厚度不宜小于 1.5 mm。

7.3.6 体外预应力钢束的锚具（图 11）应能满足分级张拉、补张拉、单根换索等要求，宜采用体外预应力专用锚具，并与锚具内腔和导管内灌注油脂或石蜡的防腐措施配合使用。

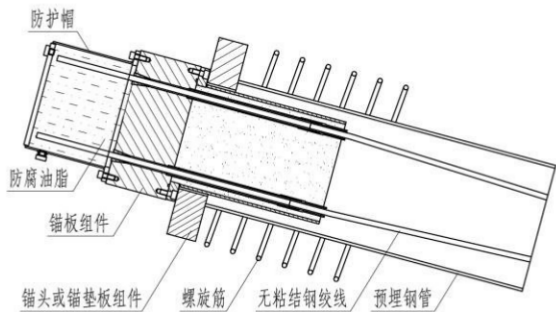


图11 体外预应力钢束的锚具构造示意

7.3.7 体外预应力钢束张拉端和锚固端应采取特殊的防护组件，可通过防护帽、密封器将剥去 PE 保护层的锚固段钢绞线完全保护起来，锚固区可通过灌注油脂将锚具、夹片、钢绞线全面浸泡在其中，不得灌注环氧砂浆等粘结材料。

7.3.8 体外预应力钢束应设置减振定位装置（图 12），使得钢束自由长度不超过 8 m。

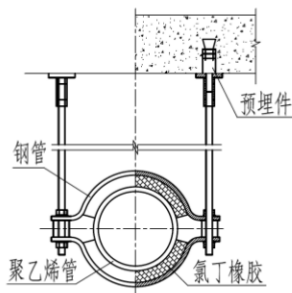


图12 体外预应力钢束减振定位装置示意

7.4 钢束转向和锚固区

7.4.1 体外预应力钢束的转向构造，可根据受力要求按下列规定选取：

- a) 转向块：用于转向钢束数量较少的情况，或用于两个转向构造之间钢束的定位，如图 13（a）；
- b) 转向横肋：用于横向转向力较大的情况，或两个转向构造之间钢束的定位，如图 13（b）；
- c) 转向竖肋：用于竖向转向力较大的情况，如图 13（c）；
- d) 转向横梁：用于横梁位置，如图 13（d）。

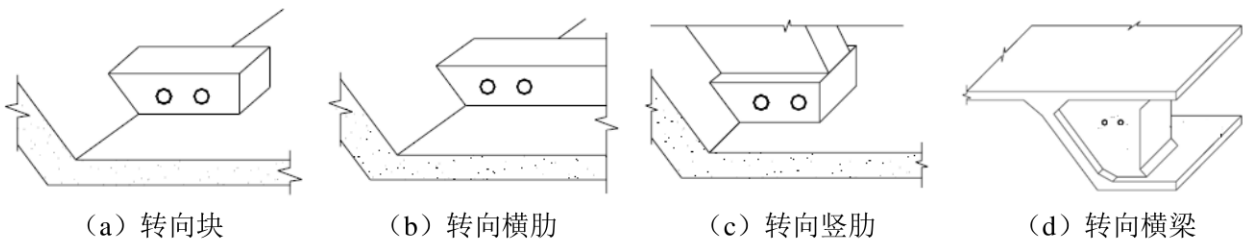


图13 束转向构造示意图

7.4.2 块式转向构造应设置内环箍筋和外环箍筋（图 14）：前者围住单个转向器，后者沿转向构造周边围住所有转向器。内环箍筋离距转向器上缘的距离不宜小于 25 mm，直径不宜小于 20 mm；内环箍筋和外环箍筋沿转向器纵向布置，纵向间距不宜小于 100 mm。

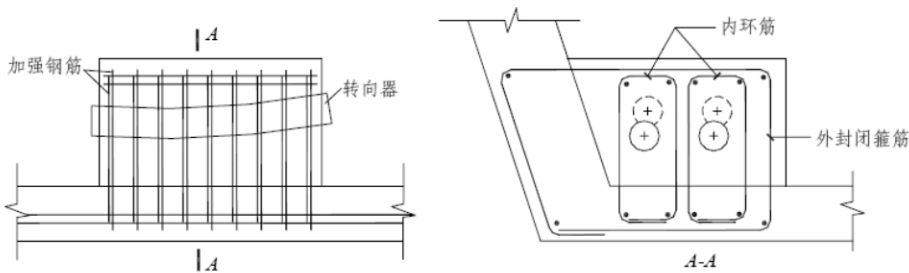


图14 转向块构造配筋示意

7.4.3 体外预应力钢束进入锚固构造后应适当转向，避免钢束拉力波动直接传至锚具夹片，并使张拉端处于施工便利的方位。

7.4.4 体外预应力钢束的锚固区（图 15）主要设置在横梁上，或设置在腹板与底板或顶板角隅处。当锚固力较小时，也可锚固在顶板或底板中部的凸块上。

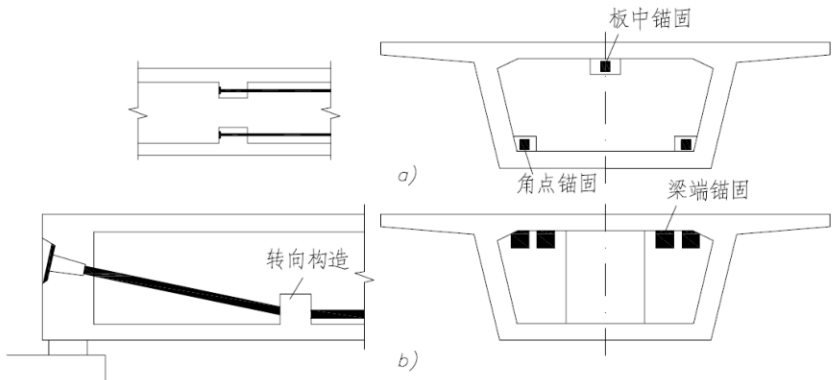


图15 体外预应力钢束锚固块的构造示意

7.4.5 锚固横梁的厚度应由锚具布置深度和钢束转向所需长度决定，一般情况下锚固横梁的厚度不小于 1m。锚固横梁的平面尺寸应由锚具布置尺寸、张拉空间尺寸等要求选定。

8 节段制作

8.1 一般规定

- 8.1.1 节段预制应综合考虑现场的实际条件和工期安排，设置或选择相应规模的预制厂。
- 8.1.2 节段预制前，施工单位应编写施工方案，明确预制过程中质量控制要点，确保最终成品满足设计图纸和相关规范的要求。
- 8.1.3 为满足节段施工的要求，自行设置的预埋件、预留孔洞、局部加强构件，均应取得设计单位及监理单位的认可。
- 8.1.4 节段预制时，宜采用信息化控制技术，应严格控制每一节段的误差。并及时计算整体误差，对其采取相应的纠正措施。
- 8.1.5 为保证梁段预制和安装的精确，应委托具有专业资质的监控单位，进行全过程施工监控测量及计算。

8.2 预制厂（场）

- 8.2.1 场地建设时，应先组织相关人员依据场地选址的要求进行现场勘查。场地的选择应先编制详细的选址方案，绘制预制场地总体平面布置图。
- 8.2.2 预制场地的布置以减少运距、节省运力、增加梁段存量、缩短工序时间、易于管理、满足架梁需要的生产能力为原则，场地选择时充分考虑水路、公路等运输条件。
- 8.2.3 场地平整后应进行混凝土硬化处理，场地的硬化按照四周低、中间高的原则进行，面层排水坡度不应小于 1.5%，必要时可以适当增加排水坡度，设置的排水系统还应包括场内排水沟槽和集水坑等。
- 8.2.4 场地四周应设置排水沟，做到雨天场地不积水、不泥泞，晴天不扬尘。
- 8.2.5 预制台座、存梁台座及场内道路，应具备足够的承载力，满足施工荷载要求。预制台座应考虑必要的刚度，节段梁预制前应进行预压。
- 8.2.6 预制场地内的测量控制点不仅要具有良好的视野条件，还应远离危险源。预制场内应设有靶标和测量塔，并有备用的测量控制点。
- 8.2.7 场地的消防设施应符合 GB 50720 的有关规定，场站内用电应符合 JGJ 46 的有关规定。

8.3 模板

- 8.3.1 模板宜采用钢模板，应与预制台座匹配。为了方便操作，模板系统需配置液压千斤顶与顶伸螺杆装置。钢模板系统宜委托专业厂家设计、制造。
- 8.3.2 模板系统包括固定端模、侧模、底模及内模，模板系统及其支撑的强度、刚度和稳定性应满足节段预制的要求外，还应符合下列规定：
 - a) 端模及侧模宜采用钢模板；
 - b) 固定端模安装要牢固，须保持竖向垂直并与预制单元中线成 90°，端模上缘宜保持水平，匹配节段移出就位时应根据预制线形精确定位，待浇梁段侧模、底模及内模均应符合预制线形要求；
 - c) 底模应水平安置并与固定端模下缘良好闭合；
 - d) 外侧模应与固定端模紧密结合，无漏浆；
 - e) 内模宜安装在可移动的台车支架上，且具有调整功能；
 - f) 匹配节段应具有可靠精确的空间调位装置；
 - g) 模板应与匹配节段连接紧密、无漏浆，并应满足反复使用的质量要求。
- 8.3.3 匹配节段应有可靠精确的空间调整装置，以便于移出就位时可以依据梁体曲线精确定位。
- 8.3.4 模板安装前，应在模板表面涂刷专用的脱模剂，保证节段混凝土浇筑后顺利脱模。
- 8.3.5 模板系统中各模板在预制台座拼装时，连接应紧密、牢靠、无漏浆。
- 8.3.6 节段浇筑前，应对模板的安装质量与空间位置、钢筋骨架的安装质量进行检查验收。

8.4 节段预制

- 8.4.1 梁段钢筋的制作,应采取先绑扎成型、再整体吊装入模的施工工艺。
- 8.4.2 钢筋骨架的制作应在胎架上完成,吊架的吊点布置要采用多点起吊的方式,避免钢筋骨架在吊装时变形。
- 8.4.3 严格按照附录 A 的要求设置所需的预埋件及孔洞,并于混凝土浇筑前进行复查,保证预埋位置的准确。
- 8.4.4 应按 JTG/T F50 的规定和设计图纸的要求,设计和验证混凝土配合比,进行混凝土浇筑前的检验,制作混凝土试块和养护,并进行后期混凝土强度和弹性模量的测定。
- 8.4.5 节段混凝土浇筑应满足如下规定:
- 混凝土下料要均匀、匀速,防止混凝土对预埋管件造成过大的冲击。
 - 按照从底板-腹板-顶板的顺序,分层进行浇筑。
 - 侧模及底模上宜设置附着式振捣器,腹板及顶板宜采用插入式振捣器。在振捣过程中,严禁振捣棒直接碰撞波纹管、预埋件、预埋管,防止预埋管件变位走形。
 - 浇筑过程中严格控制混凝土的塌落度,分层间隔浇筑时间,不得超过混凝土的初凝时间,且不得有色差或冷缝。
 - 夏季施工避开温度较高时段浇筑混凝土,宜在晚间或凉爽时段进行混凝土浇筑,混凝土入模温度不超过 30℃;冬季施工混凝土入模前,应测定温度、塌落度、含气量及泌水率等性能,混凝土入模温度应不低于 5℃。
- 8.4.6 节段混凝土养护要满足如下规定:
- 根据环境温度、水泥品种、外加剂、施工进度的要求,以及对混凝土性能的要求,提出详细合理的养护方案,报监理及设计单位最终确定。
 - 夏季宜采用洒水或养生液养护,且养护时间不少于 7 天。
 - 冬季宜采用蒸汽养护,养护分为静停、升温、恒温、降温四个阶段,具体要求如下:
 - 静停期间应保持环境温度不低于 5℃,混凝土浇筑结束 4~6 h,且混凝土终凝后,方可升温;
 - 升温速度不宜大于 10℃/h;
 - 恒温期间混凝土内部温度不宜超过 60℃,最大不得超过 65℃,恒温养护期间,应根据环境条件、混凝土配合比及构件强度要求等,通过试验确定脱模时间;
 - 降温速度不宜大于 10℃/h;
 - 在恒温状态,应保持 90%至 100%的相对湿度;
 - 蒸汽养护时温度的控制,应该与混凝土配合比设计同步进行。
- 8.4.7 节段脱模应符合如下规定:
- 若无特殊说明,当混凝土抗压强度达到设计值的 75%要求时,方可拆除内外模板。若节段需进行横向预应力张拉的,张拉前应拆除内模,松动外模板,方可进行张拉作业。
 - 节段移出台座时,龙门吊机起吊要缓慢移动,以免局部产生裂缝。
 - 节段移出后,应对其制作质量进行检查,检验标准见附录 A。

9 节段的堆放与吊运

9.1 节段的堆放

- 9.1.1 预制节段应按其安装的先后顺序编号存放;
- 9.1.2 节段吊离预制台座移至存梁场后应及时进行养护;

9.1.3 当节段多层叠放时，层与层之间宜采用枕木、橡胶板等弹性支撑物隔开，支撑位置应设在设计规定的支点处，上下层支撑应在同一条竖直线上；

9.1.4 节段叠放层数宜根据节段构件强度、台座地基承载力、支撑物强度及叠放稳定性等经计算确定，叠放层数宜为2层，不应超过3层；

9.1.5 节段应满足设计规定的存放时间。当设计无要求时，不宜超过3个月，特殊情况下不应超过5个月。

9.1.6 宜将混凝土临期相同（相近）的节段集中堆放，且节段拼装在同一桥跨内，保证外观均一性。

9.2 节段的吊运

9.2.1 梁段出梁前均需由专人检查，并进行标识或编号，经监理工程师确认合格后方可运输至拼装现场，主要检查内容如下：

- a) 预应力孔道位置及畅通情况，锚垫板型号及表面水泥浆清理情况。
- b) 预埋件规格、型号、位置及表面清理、防腐处理情况。
- c) 梁段混凝土缺陷修复情况。
- d) 匹配面隔离剂及杂物清理情况。
- e) 箱室内垃圾、箱梁外表面污染处理情况。

9.2.2 预制场内节段吊运，应符合如下规定：

- a) 节段吊离台座、转运时，混凝土要达到设计强度及满足架设的条件。
- b) 起吊时注意检查吊点孔是否有破损。
- c) 起吊采用专用的吊具，并注意检查所用钢丝绳有无破损等。
- d) 移运、吊放节段时，应匀速、缓慢。

9.2.3 预制场外运输，应符合如下规定：

- a) 应根据运输条件、节段重量、节段尺寸大小等因素，选择合适的场外运输设备。
- b) 预制节段采用陆路运输时，应合理选择运输路线，线路上经过的桥梁应满足运输要求，车辆行驶应缓慢匀速。
- c) 预制节段采用船舶运输时，应事先与气象、港监、水务等相关部门联系，确定运输时机。
- d) 节段在运输过程中，应采取保护、固定措施，避免节段晃动造成不必要的损伤；应根据运输线路上的最大纵横坡，设置纵横向限位装置。

10 节段拼装

10.1 提升设备与架桥设备

10.1.1 提升站提升设备除与运梁车配合完成节段提升作业外，还应配合架桥设备拼装与悬臂吊安装等作业。

10.1.2 架桥机的悬吊装置，应具备过载保护装置、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、避雷装置等。

10.1.3 提升设备与架桥设备在安装调试完成后，应按规定要求进行荷载试验，在使用前宜进行首节试吊。

10.1.4 起吊、移动、节段拼装与维护保养等作业时，应严格遵守设备操作规程、保养手册的有关规定，施工轮班间隙应加强对设备各系统的检查。

10.2 节段提升与定位

- 10.2.1 提升总重量应在设备安全起重范围内。
- 10.2.2 吊索与水平面的夹角应大于 45° ，吊索的安全系数应符合吊装规定。
- 10.2.3 节段提升速度应不大于 2 m/min ，且保持匀速。
- 10.2.4 节段之间应设置防碰撞垫块。
- 10.2.5 提升作业时节段须与吊具临时锚固，形成整体。
- 10.2.6 逐块吊装逐块定位，复核轴线与高程，加强每跨梁的整体线形测量控制。

10.3 逐跨拼装

- 10.3.1 整孔梁的各节段经起重天车起吊至桥面高度后停止，通过吊杆将各节段悬吊于架桥机上。
- 10.3.2 涂胶完成后，可利用架桥机将涂好胶的梁段，缓慢靠近该梁段的匹配梁。并通过吊具上的安装调位系统精确就位。
- 10.3.3 当一联的所有跨径梁段安装结束后，应及时进行墩顶湿接缝施工。当湿接缝混凝土强度达到设计要求后，张拉剩余预应力束，然后拆除临时锚固措施，完成体系转换。

10.4 悬臂拼装

- 10.4.1 节段拼装前，应核对梁段编号，清理与清洗梁段匹配面，检查与疏通各种预埋管（件）等。
- 10.4.2 应考虑混凝土抗拔、截面抗剪能力等，进行梁段吊点位置的设计计算。
- 10.4.3 预制梁段的顶、底板上应安装钢齿坎，用于锚固梁段拼装时张拉临时预应力钢筋。
- 10.4.4 自梁端至跨中，两侧应对称提升与拼装，节段的最大不平衡吊重，不得超一个节段重量。
- 10.4.5 考虑到环氧胶的时效性，在涂胶前进行试拼装，相邻节段间顶面高差应小于 3 mm ，立缝宽度不大于 3 mm ，拼装后应按设计要求，及时施加临时预应力。
- 10.4.6 如采用环氧胶进行拼装，其制备与涂刷应符合如下规定：
 - a) 应结合施工时段所处的环境温度和作业工人的操作熟练程度，根据设计的技术指标，选用不同型号的环氧胶。
 - b) 胶结剂材料进场后，应进行力学性能与作业性能试验。
 - c) 胶结剂的搅拌速度，应控制在 $400\sim 600\text{ r/min}$ ，搅拌时间不超过 5 min 。
 - d) 在环氧胶固化前，环氧胶应按照要求的厚度，快速、均匀地涂刷于待拼装梁段的端面，及时完成梁段的拼装和临时预应力张拉。
 - e) 环氧胶涂刷时应覆盖整个匹配面，厚度需控制在单面 $2\sim 3\text{ mm}$ ，双面 $1\sim 1.5\text{ mm}$ ，在临时预应力施加后，应有胶从接缝处被挤出。
 - f) 涂刷时严禁浮胶进入预应力孔道。

11 预应力施工

11.1 临时预应力

- 11.1.1 临时预应力筋的布置、张拉力应符合设计要求，其施工应符合 CJJ/T 111 的相关规定。
- 11.1.2 永久预应力施工完成前，不得拆除临时预应力束。
- 11.1.3 温差对线形的影响，宜通过调整临时预应力进行修正。

11.2 永久预应力

- 11.2.1 体内预应力的张拉，应采用张拉力和伸长量双控，技术要求符合 JTG/T F50 的相关规定，每端钢丝回缩量应控制在 6 mm 以内。

11.2.2 体外预应力的张拉应符合如下规定：

- a) 体外预应力锚具、转向器、减振装置预埋件，应按设计要求在节段梁预制时预埋。
- b) 体外预应力每端钢丝回缩量，应控制在 1 mm 以内。
- c) 张拉端的体外预应力钢绞线，必须采取特殊的防护组件，确保密封可靠。
- d) 体外预应力筋，应采用防腐涂层+油脂+PE 护套的多重防护体系，各材料性能要求，应符合 CJJ/T 111 的相关规定。

11.2.3 预应力张拉，应在湿接缝强度达到设计强度后进行。

11.2.4 永久预应力张拉完成后，底板内临时预应力应根据线形要求分批解除。

11.2.5 锚固端预应力筋外露长度，应不小于 3 cm。

11.3 孔道压浆

11.3.1 张拉工作完成后，孔道应尽早压浆。应在 24 h 内完成，否则应采取措施，确保预应力钢束不出现锈蚀。

11.3.2 压浆材料的性能及浆液的配合比设计，应符合 JTG/T F50 的要求。

11.3.3 宜采用真空辅助压浆，孔道的真空度控制在 $-0.08\sim-0.1$ MPa，压浆侧的最大压力宜为 0.5~0.7 MPa，节段间应采取密封措施保证压浆质量。

12 结构体系转换

12.1.1 预制节段拼装施工的桥梁，其支承转换应符合下列规定：

- a) 应根据设计规定，按设计要求进行体系转换，如设计无要求时，应制定详细的结构体系转换施工工艺；
- b) 现浇混凝土湿接缝施工前，应放置永久支座，其安装精度应符合设计要求；
- c) 支承转换的顺序应通过计算确定；
- d) 现浇湿接缝的混凝土结构的养护应符合国家现行相应标准的要求；
- e) 在纵向预应力及横向预应力张拉完成后，方可进行体系转换。
- f) 湿接缝混凝土的强度达到设计要求后，方可进行相关的预应力张拉；当设计无要求时，张拉强度不得低于其设计强度的 80 %；
- g) 根据桥梁结构设计体系形式，支承结构可采用永久支座或临时支座，支座转换前应使梁底与支座间接触，但不应使支座受压；
- h) 当采用上行式架桥机时，应在支承转换过程全部完成后，方可拆除节段在架桥机上的固定装置。

12.1.2 采用整跨吊装工法施工的桥梁，预制节段架设完成形成连续梁后，应进行结构体系转换，并应符合下列规定：

- a) 墩顶及相邻梁段采用现浇方式施工时，墩顶梁段宜全断面一次浇筑完成，当梁段过高一次浇筑完成难以保证质量时，可沿高度方向分两次浇筑，但宜将两次浇筑混凝土的龄期差控制在 7 d 以内，且应使其与预制梁段匹配良好；
- b) 预应力混凝土连续梁桥的墩顶梁段施工时，应按设计规定设置墩梁临时固结装置，且临时固结装置的结构和材料应满足方便、快速拆除的要求。

12.1.3 采用对称悬臂拼装工法施工的桥梁，当中跨、边跨合拢并张拉预应力合拢束后，形成连续结构，方能进行结构体系转换。

附 录 A
(规范性附录)
预制拼装桥梁的施工质量验收要求

A.1 原材料检验

A.1.1 普通钢筋、预应力钢绞线、精轧螺纹钢、预应力筋的锚具、夹具和连接器、波纹管等材料的力学性能及表面质量的允许偏差，应符合JTG/T F50的规定和设计图纸的要求，不合格材料严禁使用。

A.1.2 混凝土所用的原材料：水泥、粗细集料、拌合水、外加剂、掺合料均应符合JTG E42和JTG E30的有关规定。进场后应按规定对其有关的产品资料、产品材料分批进行验收、复验，并应有有效的鉴定证明。

A.2 模板检验

A.2.1 模板加工完成后，应进行整体拼装，检查是否完全接缝。模板加工质量应符合表A.1的要求。

表A.1 模板加工质量要求

序号	项目	规定值或允许偏差 (mm)	检查频率		检验方法
			范围	点数	
1	模板高度	±3	每个 部件	3	用尺量
2	模板宽度	±3		3	用尺量
3	模板长度	±5		3	用尺量
4	面板平整度	2		4	用 2m 直尺及塞尺量

A.2.2 模板的安装质量应符合表A.2的要求。

表A.2 模板安装质量要求

项次	实测项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	模板标高 (m)	固定端模	±0.002	检查 2 处
2	模板轴线偏位 (m)	固定端模	0.002	1 处
3	模板内部尺寸 (长度指端模之间或端模与匹配梁之间长度) (mm)	腹板厚	+5, 0	用尺量，测量变化处的代表值
		顶板厚	+5, 0	用尺量，测量变化处的代表值
		底板厚	+5, 0	用尺量，测量变化处的代表值
		长度	0, -10	用尺量，测量变化处的代表值
4	相邻板面高低差 (mm)		1	用尺量
5	模板表面平整度 (mm)		2	用 2 m 检测尺检查
6	匹配梁定位	高程 (m)	±0.002	匹配梁检查 4 处
		平面位置 (m)	0.002	4 个测点

A.3 钢筋骨架检验

A.3.1 钢筋骨架的安装质量应符合表A.3的要求。

表A.3 钢筋骨架安装质量要求

项次	检测项目			规定值或允许偏差	检验方法和频率
1	加工钢筋 (mm)	受力筋纵长		±10	用尺量查 5 个点
2		弯起筋各部分尺寸		±20	用尺量
3		箍筋各部分尺寸		±20	用尺量 5~10 个点
4	主筋级别/直径/根数				
5	两层以上受力筋层距 (mm)			±5	用尺量, 每构件检查 2 个断面
6	安装钢 筋 (mm)	同排受力筋间距		±10	用尺量, 每构件检查 2 个断面
7		弯起点位置		±20	用尺量 5~10 个点
8		箍筋及横向水平筋间距		±10	用尺量 5~10 个点
9		钢筋骨架尺寸	长	±10	用尺量 1~2 个点
10			宽; 高	±5	用尺量 1~2 个点
11		保护层厚度		0, +10	用尺量, 沿模板周边检查 8 处
12	主筋连接方式及接头错开长度			35 d	钢卷尺, 1 点/节
注1: d为主筋的直径。					

A.4 预埋件检验

A.4.1 模板拼装及钢筋骨架吊入后, 应对节段制作过程中所埋设的预埋件位置进行复查, 应符合如下规定:

- 预应力孔洞可采用预埋管或抽拔管的形式, 预埋管的定位应与钢筋的绑扎工序一致。
- 为了管件的精确定位, 宜采用钢筋环箍与结构筋连接的方式。
- 各类预埋件的检查验收应满足表 A.4 的要求。

表A.4 预埋件质量验收要求

序号	项 目		规定值或允许偏差 (mm)	检测频率		检验方法	
				范围	点数		
1	预埋件	键齿剪力键	位置	2	每个 键齿剪力 键	1	用尺量
			平面高差	2		1	用水准仪测量
		支座板、锚垫板 等预埋钢板	位置	3	每个 预埋件	1	用尺量
			平面高差	2		1	用水准仪测量
		螺栓、锚筋等	位置	5		1	用尺量
			外露尺寸	0, +10		1	用尺量
2	吊孔		位置	2	每个	1	用尺量
3	预应力筋孔道位置		位置	节段端部 10	预留孔洞	1	用尺量

A.5 节段混凝土质量验收

A.5.1 节段预制质量应符合表A.5的要求。

表A.5 预制节段质量验收要求

序号	检查项目			规定值或允许偏差 (mm)	检查方法
1	混凝土强度 (MPa)			在合格标准内	按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的要求进行
2	预制梁段长度			+0, -2	尺量, 每节段 3 处
3	断面尺寸 (mm)	高度		±5	尺量, 每节段 2 个断面
		顶板、底板宽度		+5, -0	
		厚度		+5, -0	尺量, 各 3 处
		翼缘长		±5	
4	端面平整度 (mm)			2	2 m 直尺: 检查竖直、水平两个方向, 每侧面测 1 处
5	顶面平整度 (mm)			2	2 m 直尺: 检查面板纵向, 测 3 处
6	横坡 (%)			±0.15	水准仪: 每节段检查 1-2 处
7	端面垂直度 (mm)			±5	经纬仪或全站仪: 检查端块端面 2 侧腹板
8	轴线偏移量	纵轴线		5	经纬仪
		横隔梁轴线		5	
8	预埋件	支承板、锚垫板等预埋	位置	5	尺量: 每件
9			高程	±5	水准仪: 每件
10		钢板	平面高差	5	水准仪: 每件
11		螺栓、锚筋等	位置	5	尺量: 每件
12	预留孔	吊孔	位置	5	尺量: 每孔
13		预应力孔道位置	位置	±3	尺量: 每孔
14			孔径	+3, -0	尺量: 每孔
15	横隔板厚度			+5, -0	尺量
16	转向块厚度			+5, -0	尺量
17	横隔板、转向块位置			±5	尺量

A.6 节段外观检查

A.6.1 混凝土表面平整, 色泽一致, 无明显施工接缝。

A.6.2 混凝土表面不得出现蜂窝、麻面, 如出现必须修整。

A.6.3 混凝土表面出现非受力裂缝宽度超过设计规定, 或设计未规定, 且裂缝宽度超过0.15 mm时必须按要求处理。

A.6.4 封锚混凝土, 应密实、平整。

A. 6. 5 节段之间的填缝，应平整密实。

A. 7 节段拼装施工质量验收

A. 7. 1 节段之间的填缝应平整密实，其质量应符合表A. 6的要求。

表A. 6 节段拼装施工质量验收要求

项 目		规定值或允许偏差
湿接头、合拢段混凝土强度（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
	$L > 50\text{ m}$	$L/2500$