

DB**

安徽省地方标准

DB**/*****-2018

全体外预应力节段拼装混凝土桥梁
设计与施工指南

The Guide for Design and Construction of Precast Segmental Concrete Bridges
with External Tendons

(征求意见稿)

2018-XX-XX发布

2018-XX-XX实施

安徽省质量技术监督局 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准提出单位：安徽省交通控股集团有限公司

本标准归口单位：安徽省交通运输厅

本标准起草单位：安徽省交通控股集团有限公司、同济大学、安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司、安徽省交通建设工程质量监督局。

本标准主要起草人：

全体外预应力节段拼装混凝土桥梁设计与施工指南

1 范围

本标准规定了体外预应力节段预制拼装桥梁的术语、符号、设计、施工、质量验收等要求。

本标准适用于公路全体外预应力节段拼装混凝土桥梁设计与施工，其他体外预应力与节段拼装桥梁工程可参照使用。

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。

JTG B01	公路工程技术标准
JTG D30	公路路基设计规范
JTG D60	公路桥涵设计通用规范
JTG D61	公路圬工桥涵设计规范
JTG D62	公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
JTG D63	公路桥涵地基与基础设计规范
JTG F50	公路桥涵施工技术规范
JTG F80	公路工程质量检验评定标准（第一册土建工程）
JTG/T B02	公路桥梁抗震设计细则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

体外预应力 external prestressing

一种布置在混凝土梁体截面之外，锚固在横梁上，通过张拉为结构提供预压应力的钢束。

3.2

节段 segment

桥梁沿结构长度方向划分后形成的预制单元，根据其功能不同可分为标准节段、转向块节段和横梁节段等。

3.3

标准节段 standard girder section

不含转向块和横梁等锚索结构的节段，具有统一的截面和长度。

3.4

转向块节段 deviator girder section

为体外束提供转向的节段，节段内可设置一个或多个转向块。

3.5

横梁节段 anchorage zone

位于墩顶位置，为体外束提供转向及锚固的节段。

3.6

胶接缝 epoxy joint

混凝土预制构件结合面涂抹环氧树脂胶后拼接的接缝。

3.7

转向块 deviator

预埋体外预应力转向装置，辅助体外预应力弯起、转向，承受体外预应力束转向产生径向力的肋式或块式结构。

3.8

减震装置 shock attenuation device

用于缓解体外索振动的辅助设施。

3.9

短线匹配预制 segment short-line matching method

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，逐段匹配、流水制作节段的预制施工方法。

3.10

匹配节段 matching segment

在短线匹配预制过程中，用于辅助待浇筑节段定位和制造的已完成节段。

3.11

预制台座 transition zone

提供节段预制操作的平台。

3.12

测量塔 survey tower

搭建在预制台座旁边，用于辅助节段预制定位测量的永久测站。

4 符号

下列符号适用于本标准。

$A_{pb,e}$ ——斜裂缝范围内体外弯起预应力钢筋的截面面积

$A_{p,e}$ ——体外预应力钢束的截面设计值

A_{sv} ——斜裂缝范围内一个间距内箍筋各肢的总截面面积

$f_{pd,e}$ ——体外预应力钢束的极限应力设计值

C_1 ——接缝影响系数

α_1 ——异号弯矩影响系数

λ ——体内外预应力配筋的影响系数

ϕ ——截面形状影响系数

C_1 ——接缝影响系数

ρ ——纵向配筋率

m ——剪跨比

C ——斜裂缝的水平投影长度

s_v ——斜裂缝范围内的箍筋间距

f_{sv} ——箍筋的抗拉强度设计值

$f_{pd,i}$ ——体内预应力钢筋的抗拉强度设计值

$A_{pb,i}$ ——斜裂缝范围内体内弯起预应力钢筋的截面面积

$\sigma_{pd,e}$ ——体外预应力钢筋的极限应力设计值

$h_{pu,e}$ ——体外预应力钢束合力点至截面受压边缘的距离

$A_{p,i}$ ——体内预应力钢束的截面面积

$f_{pd,i}$ ——体内预应力钢束的抗拉强度设计值

$h_{p,i}$ ——体内预应力钢束合力点至受压边缘的距离

A_s ——体内纵向受拉普通钢筋的面积

f_{sd} ——体内纵向受拉普通钢筋的抗拉强度设计值

h_s ——体内纵向受拉普通钢筋至截面受压边缘的距离

A'_s ——体内纵向受压普通钢筋的面积

f'_{sd} ——体内纵向受压普通钢筋的抗压强度设计值

h'_s ——体内纵向受压普通钢筋至截面受压边缘的距离

5 材料

5.1 混凝土

5.1.1 节段预制拼装混凝土构件用混凝土强度等级不应低于 C40。

5.1.2 节段预制拼装混凝土桥梁用混凝土材料性能应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》D62 的有关规定。

5.2 钢筋

5.2.1 节段预制拼装混凝土构件用普通钢筋宜采用采用 HPB300、HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500、RRB400 和 RRB500 钢筋，并应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢第 1 部分：热轧光圆钢筋》GB 1499.1、《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2、《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB 13014 的有关规定。

5.2.2 节段预制拼装混凝土构件用普通钢筋的抗拉强度标准值应具有不小于 95%的保证率。普通钢筋的抗拉强度标准值 f_{sk} 应按表 1 采用。

表1 普通钢筋抗拉强度标准值

钢筋种类	符号	公称直径 d (mm)	f_{sk} (MPa)
HPB300	Φ	6~22	300
HRB400	Φ	6~50	400
HRBF400	Φ^F		
RRB400	Φ^R		
HRB500	Φ	6~50	500
HRBF500	Φ^F		
RRB500	Φ^R		

5.2.3 节段预制拼装混凝土构件用普通钢筋的抗拉强度设计值 f_{sd} 和抗压强度设计值 f'_{sd} 应按表 2 采用。

表2 普通钢筋抗拉、抗压强度设计值

钢筋种类	公称直径 d (mm)	f_{sd} (MPa)	f'_{sd} (MPa)
HPB300	6~22	250	250
HRB400	6~50	330	330
HRBF400			
RRB400			
HRB500	6~50	415	400
HRBF500			
RRB500			

5.2.4 节段预制拼装混凝土桥梁采用不锈钢钢筋和环氧树脂涂层钢筋时，应符合现行行业标准《钢筋混凝土用不锈钢钢筋》YB/T 4362 和《环氧树脂涂层钢筋》JG 3042 的规定。

5.3 预应力

5.3.1 节段预制拼装混凝土桥梁用体内预应力相关材料性能应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》D62 的规定。

5.3.2 节段预制拼装混凝土桥梁用体外预应力应采用无粘结预应力钢绞线，相关技术指标应满足现行行业标准《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。

5.3.3 体外预应力用无粘结钢绞线可采用环氧涂层钢绞线或镀锌钢绞线，其材料性能及防腐特性应满足下列要求：

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 和《环氧涂层预应力钢绞线》JG/T387、《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行业标准《镀锌钢绞线》YB/T 5004 和《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》YB/T 152 的规定。

5.4 接缝连接材料

5.4.1 全体外预应力节段预制拼装混凝土桥梁宜采用环氧树脂胶接缝。

5.4.2 预制节段接缝采用环氧树脂胶时，其胶体性能及粘结能力应符合表 3 的规定。

表3 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	
	可粘结时间 (min)	≥60, 且≤240	GB/T 12954	
	固化速度 (低限温 度条件)	12 小时抗压强度 (MPa)	≥40	GB/T 17671
		24 小时抗压强度 (MPa)	≥60	
		7 天抗压强度 (MPa)	≥80	
	压缩弹性模量* (MPa)	瞬时	≥8000	GB/T 17671
		1 小时	≥6000	
	剪切弹性模量* (MPa)	瞬时	≥1500	
		1 小时	≥1200	
	在结构立面上无流挂现象的最大涂胶层厚度 (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 7 天的热变 形温度 (°C)	0°C ≤ 适用温度 < 10°C	45	GB/T 2793
10°C ≤ 适用温度 < 30°C		50		
30°C ≤ 适用温度 < 60°C		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%相对湿度的环境条件下老化 90d 后, 常温条件下钢-钢拉伸抗剪强度降低率	$\leq 10\%$	GB/T 50728
	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	$\leq 5\%$, 且不得有裂纹或脱胶	GB/T 50728

6 设计

6.1 一般规定

6.1.1 本指南采用极限状态设计方法, 桥梁结构的设计基准期为 100 年。

6.1.2 全体外预应力节段预制拼装混凝土桥梁的设计除应符合本标准的有关规定外, 尚应符合《公路桥涵通用设计规范》JTG D60, 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 及《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 等现行国家及行业标准的规定。

6.1.3 桥梁主体结构的设计使用年限不应低于 100 年。体外预应力钢索应可更换, 设计使用年限不应低于 25 年。

6.1.4 全体外预应力节段拼装混凝土桥属于特殊桥梁, 本指南只给出设计原则。

6.1.5 桥梁抗震设计除应符合本指南第 6.6 条的规定外, 尚应符合现行行业标准《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02。

6.1.6 节段预制拼装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。耐久性设计应包括下列内容:

- 1 确定结构和结构构件所处的环境类别及其作用等级;
- 2 提出对混凝土材料的耐久性基本要求, 以确保结构的耐久性;
- 3 明确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 采用有助于耐久性的结构构造, 便于施工、检修和维护管理; 采取适当的施工养护措施, 满足耐久性所需的施工养护的基本要求;

6.1.7 节段预制拼装混凝土桥梁应设置检修通道, 检修通道应满足检修、养护及部件更换的空间需求。

6.2 总体设计

6.2.1 设计基本原则

1 桥梁设计安全等级应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的相关规定;

2 桥梁应根据所处环境条件进行耐久性设计，具体要求应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的相关规定；

3 桥梁应综合考虑预制、拼装工艺，以设计、施工一体化为设计目标。

6.2.2 结构选型与跨径布置

1 桥梁总里程超过 3km 时，可采用全体外预应力节段预制拼装连续梁桥，以保证桥梁建设经济性；

2 节段梁桥应采用等高、等跨布置形式，以减少预制节段类型，保证工厂预制效率；

3 节段梁跨径应小于 100m，采用逐跨拼装工艺时，跨径应尽量选择 60m 以内，选择悬臂拼装工艺时，跨径应选在 50~100m 范围内。

6.3 构造设计

6.3.1 截面设计应符合下列规定：

1 全体外预应力节段梁截面设计宜采用斜腹板箱形截面，以减小底板自重。

2 节段预制拼装箱梁桥除横梁和转向块外，宜采用等截面设计，以提高标准化程度。

3 节段预制拼装箱梁顶板厚度及构造应满足纵向受力、横向受力及横向预应力钢筋布置要求，且厚度不宜小于 220mm。

4 节段预制拼装箱梁底板厚度及构造应满足纵向受力、横向受力要求，且厚度不宜小于 200mm。

5 节段拼装箱梁腹板厚度不宜小于 200mm。

6 箱梁翼缘板较宽时，可通过设置肋板，增加翼缘板刚度，改善结构横向受力。

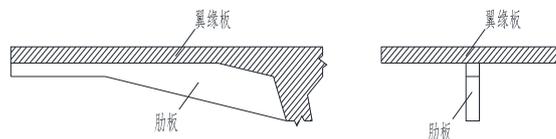


图1 带肋翼缘板示意图

6.3.2 节段设计应符合下列规定：

1 全体外预应力节段预制拼装梁桥节段可分为标准节段、转向块节段、横梁节段。

2 预制节段划分应综合考虑桥梁跨径、横梁尺寸、转向块位置等因素确定，标准节段长度宜为 3m。

3 转向块节段长度宜与标准节段保持一致，转向块距节段端部净距不宜小于 0.5m。

4 横梁节段长度应满足体外束锚固尺寸要求，单个横梁节段重量不宜大于标准节段重量的 1.5 倍，当不满足要求时，可分段设计。

5 横梁节段两侧应设置湿接缝，湿接缝宽度宜为 100mm~200mm。

6.3.3 转向块设计应符合下列规定：

1 全体外预应力节段预制拼装桥梁转向块宜采用肋式转向块。

2 当结构体外预应力较多时，体外预应力束可采用竖向双层布置形式，包括错层布置和平行布置。

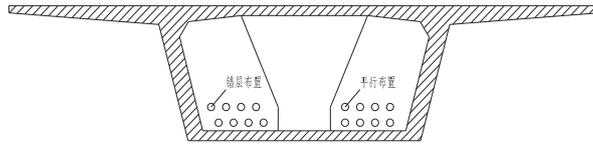


图2 转型管道双层布置

3 转向块内应设置内环筋和外封闭箍筋，参见图 3，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离宜不小于 25mm，直径 $\leq 20\text{mm}$ ；外封闭箍筋在竖向与内环筋的净距宜不小于 50mm。

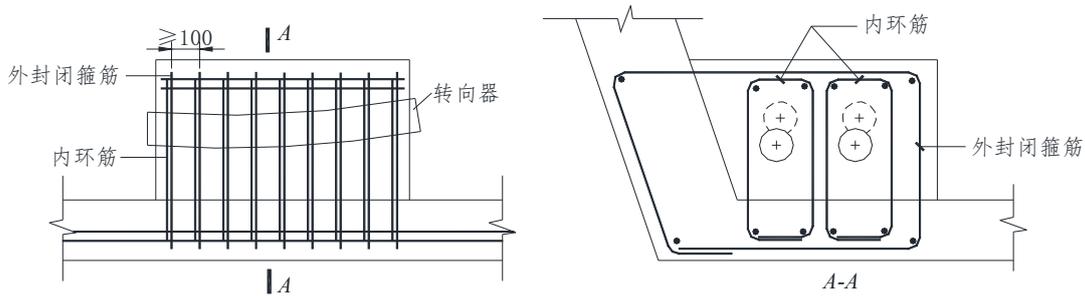


图3 转向块配筋构造示意图

6.3.4 锚固横梁设计应符合下列规定：

1 横梁厚度应通过受力计算确定，横梁厚度较大时，可采用分段设计。分段设计宜按照以下原则执行：

1) 中横梁可分为两个构造相同的预制节段，预制节段之间的顶、底板及腹板可通过匹配预制生产，横梁范围预留湿接槽（见图 4），湿接槽的宽度宜设置为 200mm~300mm。

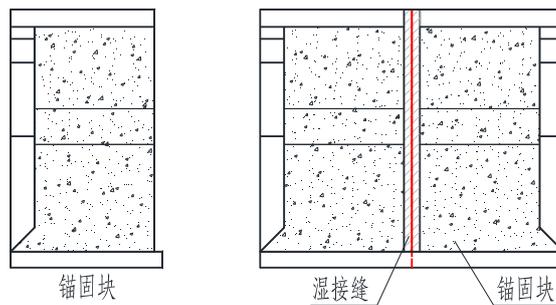


图4 中横梁分段设计示意

2) 端横梁应采用与中横梁相同构造的预制节段，如厚度不满足要求时，可设置加强节段，提高端横梁承载力，见图 5。预制节段与加强节段之间的连接方式与中横梁相同。

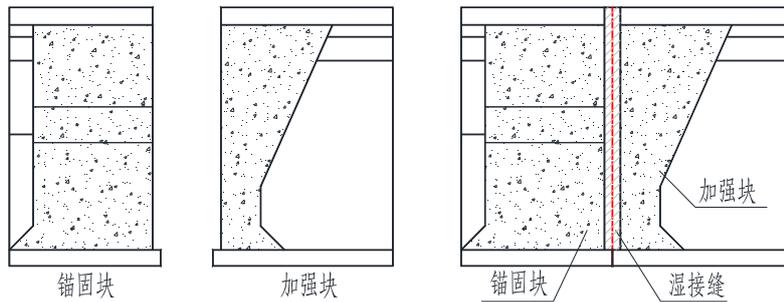


图5 端横梁构造示意图

3) 通过在标准节段内设置加强横梁, 形成加强节段; 加强节段的尺寸应通过受力分析确定, 加强横梁与顶板间宜设置大倒角, 缓解应力集中。

4) 中横梁分段设计仅适用于体外预应力束采用交叉锚固的中横梁。

2 横梁两侧与底腹板交接位置应设置加腋, 加腋尺寸不宜小于 $250\text{mm} \times 250\text{mm}$;

3 横梁需设置人孔, 人孔宜采用穿透式设计, 见图 6。

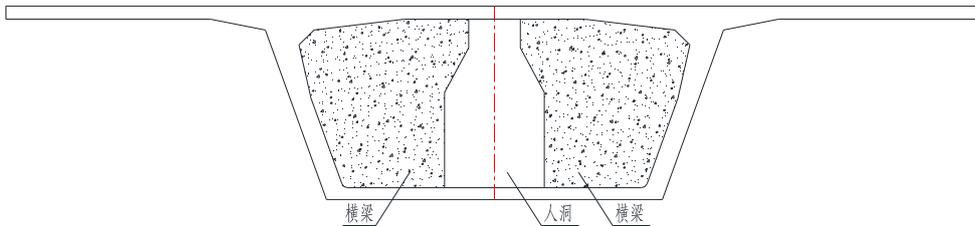


图6 穿透式人孔示意

4 横梁钢筋设计应考虑钢筋绑扎顺序, 钢筋连接形式, 预应力管道空间及定位的要求。

6.3.5 接缝设计应符合下列规定:

1 预制节段接缝处应均匀设置密接匹配的剪力键 (图 7), 剪力键的构造应满足下列规定:

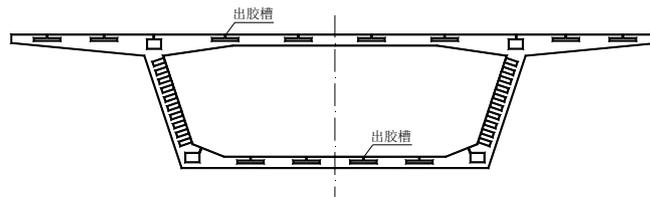


图7 节段剪力键 (键槽) 布置示意

1) 腹板内的剪力键应在腹板全高度范围布置, 剪力键的横向宽度宜为腹板宽度的 75%;

2) 键块 (槽) 应采用梯形或圆角梯形截面, 倾角约 45° , 高度应大于混凝土最大骨料粒径的 2 倍且不小于 40mm ; 顶、底板及腹板内;

3) 键块 (槽) 的高度与其平均宽度比可取为 1: 2;

4) 腹板与顶、底板结合区应设置剪力键;

5) 顶板和底板内的剪力键应设在板中间。

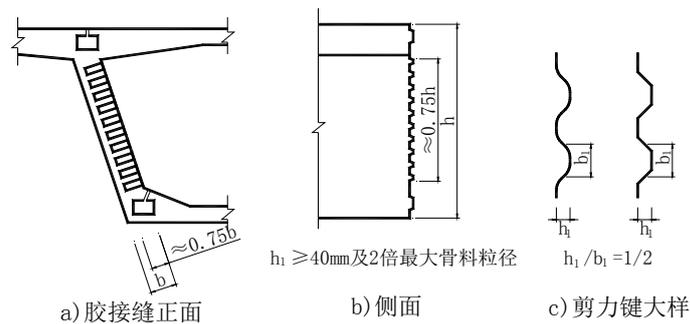


图8 剪力键构造尺寸示意

2 预制节段接缝应采用环氧胶接缝或现浇混凝土接缝,预制节段端面应配置直径不小于 10mm 的钢筋网。现浇混凝土接缝如不设纵向普通钢筋,其宽度不应大于 200mm。

6.4 体外预应力体系设计

6.4.1 体外束设计应符合下列规定:

1 体外预应力体系有四个基本部分组成:体外预应力索(简称体外索)、锚固系统、转向装置及减振装置(见图9);

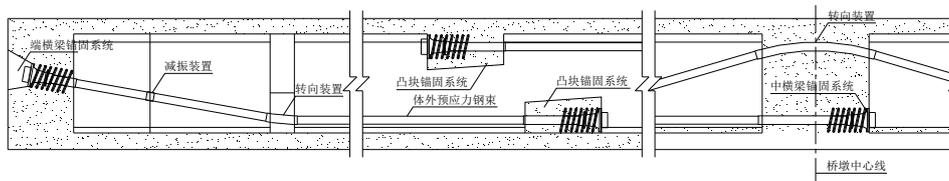


图9 体外预应力体系的基本组成

2 体外预应力线形宜简洁、统一;采用逐跨拼装工艺时,宜采用简支束,各跨预应力宜采用相同线形布置;

3 横梁锚固区体外预应力宜采用交叉锚固形式,见图 10,锚板及管道间距应满足构造要求。

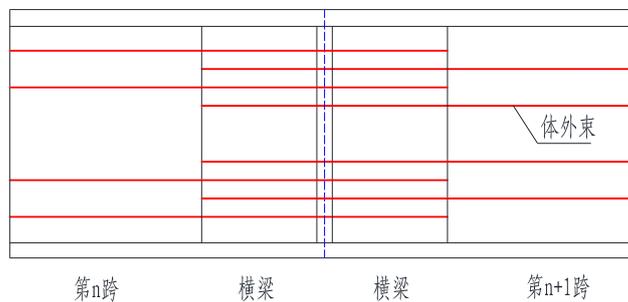


图10 交叉锚固平面示意

4 体外预应力宜采用“转弯”式锚固,以提高横梁节段抗剪承载力,便于体外预应力束张拉施工。

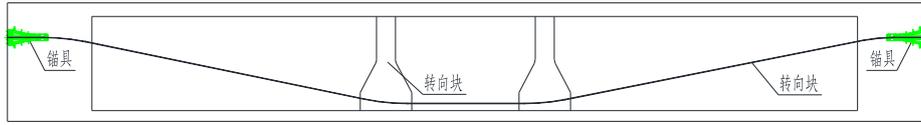


图11 “转弯”式锚固

6.4.2 转向器设计应符合下列规定：

- 1 根据体外索的构造、钢束材料及设计要求，体外索可采用集束式转向器或散束式转向器；
- 2 散束式转向器主要由导管、挡板、隔板、填充材料等组成（见图 12 b、e），运营期可补张、更换单根钢绞线，同时弯曲半径应满足表 4 的要求；

表4 体外索的最小弯曲半径（单位：mm）

钢束规格	最小弯曲半径
$7\phi^s 15.2$	2000
$12\phi^s 15.2$	2500
$19\phi^s 15.2$	3000
$27\phi^s 15.2$	3500
$37\phi^s 15.2$	4000

3 集束式转向器由无缝钢管弯制而成，内部可填充水泥浆、油脂等进行防腐（见图 12 c、d），运营期可补张、更换整束体外索，同时弯曲半径应满足表 1 的要求。

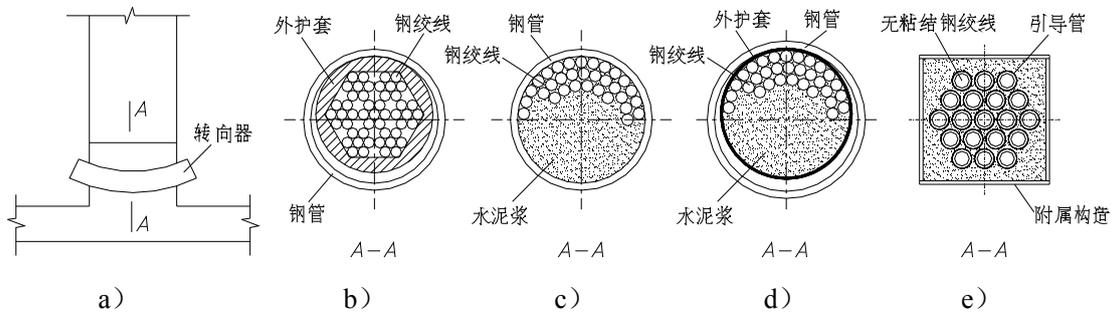


图12 转向器截面示意

6.4.3 锚具设计应符合下列规定：

- 1 体外索锚具选型及防腐措施选择应考虑运营期多次补张拉、更换的需求；
- 2 可更换和多次张拉的锚具，需预留张拉空间；
- 3 体外预应力锚具的主要性能应符合《预应力筋用锚具、夹具和连接器》（GB/T14370-2000）的有关规定。

6.4.4 减震装置设计应符合下列规定：

- 1 为了减小体外预应力钢束活载振动产生的不利影响，应对钢束设置减振装置。
- 2 减振装置间距按钢束段和梁体的竖向自振频率（基频）之比不小于 5 确定，若不做振动计算则间距取值应不大于三个标准节段的长度；
- 3 减振装置处钢束与护套间应用隔振材料填实。

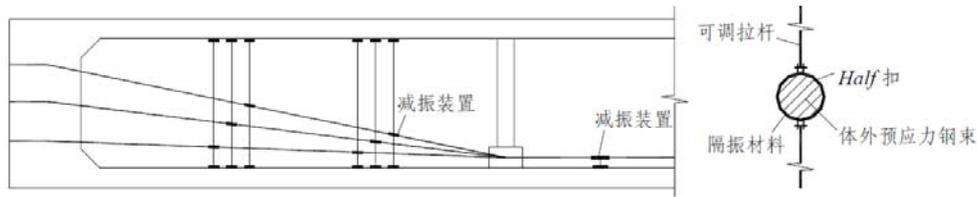


图13 体外预应力钢束减振装置示意

6.5 设计计算

6.5.1 全体外预应力节段梁设计计算应满足以下一般规定：

1 在进行主梁内力计算是宜采用桁架—梁单元结合的方式模拟计算，即主梁采用梁单元模拟，体外预应力构件采用桁架单元模拟，预应力损失通过调整桁架内力的方法进行模拟。

2 在全体外预应力节段梁内力计算时应考虑箱梁剪力滞效应的影响，断面的剪力滞特性需要根据截面形式和体外束配束形式计算确定。

3 桥面板的受力可参照 D62，在当悬臂加肋时，桥面板计算需要考虑加劲肋的影响。

4 锚固横梁的受力计算需要考虑施工过程的影响，需对单侧锚固状态下锚固横梁的受力性能进行验算。

6.5.2 抗弯承载能力计算

6.5.2.1 受压区高度小于或等于翼缘板厚度的矩形受压截面体外预应力混凝土梁，正截面抗弯承载力计算应符合下列规定：

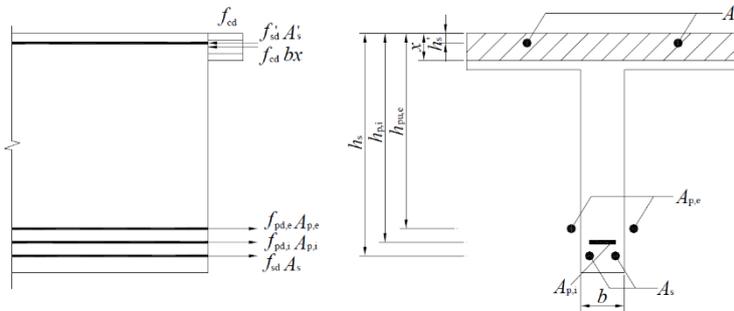


图14 矩形受压截面抗弯承载力计算图示

$$\gamma_0 M_d \leq f_{pd,e} A_{p,e} \left(h_{pu,e} - \frac{x}{2} \right) + f_{pd,i} A_{p,i} \left(h_{pi,i} - \frac{x}{2} \right) + f_{sd} A_s \left(h_s - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s \left(\frac{x}{2} - h'_s \right)$$

式 (6.5.1)

截面混凝土受压区高度 x 应按下式计算

$$f_{pd,e} A_{p,e} + f_{pd,i} A_{p,i} + f_{sd} A_s = f'_{sd} A'_s + f_{cd} b_f x$$

式 (6.5.2)

式中： γ_0 —— 结构重要性系数；

M_d —— 计算截面弯矩的组合设计值；

- $A_{p,e}$ —— 体外预应力钢束的截面设计值；
 $f_{pd,e}$ —— 体外预应力钢束的极限应力设计值；
 $h_{pu,e}$ —— 体外预应力钢束合力点至截面受压边缘的距离；
 x —— 截面混凝土受压区（矩形分布应力）高度；
 $A_{p,i}$ —— 体内预应力钢束的截面面积；
 $f_{pd,i}$ —— 体内预应力钢束的抗拉强度设计值；
 $h_{p,i}$ —— 体内预应力钢束合力点至受压边缘的距离；
 A_s —— 体内纵向受拉普通钢筋的面积；
 f_{sd} —— 体内纵向受拉普通钢筋的抗拉强度设计值；
 h_s —— 体内纵向受拉普通钢筋至截面受压边缘的距离；
 A'_s —— 体内纵向受压普通钢筋的面积；
 f'_{sd} —— 体内纵向受压普通钢筋的抗压强度设计值；
 h'_s —— 体内纵向受压普通钢筋至截面受压边缘的距离；
 f_{cd} —— 混凝土抗压强度设计值；
 b'_f —— 受压翼板的有效宽度，按《公预规》规定取用。

以上符号意义参见图 13。

截面受压区高度限制条件、受压区配筋时计算应力的计算规定均同《公路预应力混凝土及钢筋混凝土桥涵设计规范》JTG D62-2004 第 5.2.2 条相关规定。

6.5.2.2 体外预应力钢束的极限应力设计值按如下规定取值：

1 简支梁

$$f_{pd,e} = (\sigma_{pe,e} + \Delta\sigma_{pu,e}) \quad \text{式 (6.5.3)}$$

$$\Delta\sigma_{pu,e} = \alpha \left(2.25 - \frac{22}{L/h_{p,e}} \right) (407 - 1480\rho_p - 531\omega^2 + 492\omega) \quad \text{式 (6.5.4)}$$

$$0 \leq \Delta\sigma_{pu,e} \leq f_{py,e} - \sigma_{pe,e} \quad \text{式 (6.5.5)}$$

$$\rho_p = \frac{\sigma_{pe,e}A_{p,e} + \sigma_{pe,i}A_{p,i}}{f_{ck}A_c} \quad \text{式 (6.5.6)}$$

$$\omega = \frac{f_{pk,i}A_{p,i} + f_{sk}A_s}{f_{pk,i}A_{p,i} + f_{pk,e}A_{p,e} + f_{sk}A_s} \quad \text{式 (6.5.7)}$$

式中： $f_{pd,e}$ —— 体外预应力钢束的永存预应力；

$\Delta\sigma_{pu,e}$ —— 体外预应力钢束的极限应力增量；

α —— 体外预应力钢束极限应力增量的折减系数：无接缝构件 $\alpha=1.0$ ，环氧胶接缝和现浇混凝土接缝构件 $\alpha=0.95$ ；

L —— 梁的计算跨径；

$h_{p,e}$ —— 体外预应力钢束合力点至截面受压边缘的初始距离；

- ρ_p —— 预应力配筋指标；
- ω —— 体内有粘结受拉钢筋与体内外受拉钢筋之比；
- $f_{py,e}$ —— 体外预应力钢筋材料的抗拉条件屈服强度，取 $f_{py,e} = 0.85f_{pk,e}$ ；
- $\sigma_{pe,i}$ —— 体内预应力钢筋的永存预应力；
- f_{ck} —— 混凝土的轴心抗压强度标准值；
- $f_{pk,i}$ —— 体内预应力钢筋的抗拉强度标准值；
- f_{sk} —— 普通钢筋的抗拉强度标准值；
- $f_{pk,e}$ —— 体外预应力钢筋的抗拉强度标准值。

其余符号意义同前。

2 连续受弯构件

$$f_{pd,e} = \frac{1}{1.25}(\sigma_{pe,e} + 0.95\Delta\sigma_{pu,e}) \quad \text{式 (6.5.8)}$$

$$0 \leq \Delta\sigma_{pu,e} \leq f_{py,e} - \sigma_{pe,e} \quad \text{式 (6.5.9)}$$

符号意义同前。

3 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列公式计算：

$$h_{pu,e} = \eta\gamma \left(1.29 - 0.006 \frac{L}{h_{p,e}} - 0.746 \frac{S_d}{L} + 0.483\omega^2 - 0.469\omega \right) h_{p,e} \quad \text{式 (6.5.10)}$$

$$h_{pu,e} \leq h_{p,e} \quad \text{式 (6.5.11)}$$

式中： η —— 体外预应力二次效应的修正系数：简支受弯构件 $\eta = 1.0$ ；连续受弯构件 $\eta = 1.07$ ；

γ —— 接缝对二次效应的影响系数：无接缝构件 $\gamma = 1.0$ ；环氧胶接缝和现浇混凝土接缝构件 $\gamma = 1.02$ ；

L —— 构件的计算跨径；

$h_{p,e}$ —— 体外预应力钢筋合力点至截面受压边缘的初始距离；

S_d —— 计算截面处相邻转向（或定位）构造之间或转向（或定位）构造与相邻锚固构造之间的距离；

ω —— 体内有粘结受拉钢筋与体内外受拉钢筋之比，按式（6.5.7）计算。

若计算截面在转向（或定位）或锚固构造位置并有钢筋穿过该构造时，则相应钢筋至截面受压区边缘的极限距离应取为

$$h_{pu,e} = h_{p,e} \quad \text{式 (6.5.12)}$$

符号意义同前。

4 受压区高度大于翼板厚度的 T 形（受压区呈 T 形）截面的节段预制拼装受弯构件，正截面抗弯承载力计算应符合下列规定：

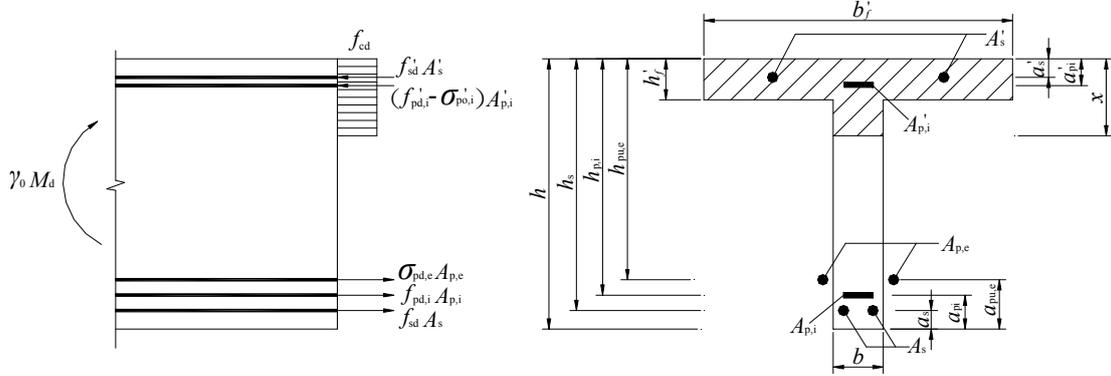


图15 受压区呈 T 形截面受弯构件的正截面抗弯承载力计算图示

$$\gamma_0 M_d \leq \phi_b \left\{ b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + (b'_f - b) h'_f \left(h_0 - \frac{h'_f}{2} \right) \right\} \left[f_{cd} + A'_s f'_{sd} (h_0 - a'_s) + A'_{p,i} (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) (h_0 - a'_{p,i}) - A_{p,e} \sigma_{pd,e} (h_0 - h_{p,e}) \right] \quad \text{式 (6.5.13)}$$

截面混凝土受压区高度 x 应按下式计算：

$$A_{p,e} \sigma_{pd,e} + A_{p,i} f_{pd,i} + A_s f_{sd} = A'_s f'_{sd} + A'_{p,i} (f'_{pd,i} - \sigma'_{p0,i}) + f_{cd} [bx + (b'_f - b)h'_f] \quad \text{式 (6.5.14)}$$

式中： b ——腹板的宽度；

h'_f ——受压翼板的厚度。

其余符号意义同前。

5 体外预应力钢筋合力点至截面受压边缘的初始距离，应按表 5 对钢筋转向引起的合力偏移进行修正。

表5 钢筋转向合力偏移修正值

转向器和钢筋种类	合力偏移修正值	注
集束式转向器穿光面钢绞线束	$0.45 R_d$	R_d 为转向管的内半径；
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	$R_d - r_c$	r_c 为成品索的外半径。
散束式转向器穿无粘结钢绞线束	0	

6.5.3 斜截面承载能力计算

1 斜截面抗剪承载能力可按照式 (6.5.15) 进行验算。

$$\gamma_0 V_d \leq 0.65 \times 10^{-3} C_1 \alpha_1 \lambda \phi \frac{\sqrt{f_{cu,k}} (C_2 + P) b h_0}{m} + 0.75 \times 10^{-3} \frac{C}{s_v} f_{sv} A_{sv} \quad \text{式 (6.5.15)}$$

$$+ 0.75 \times 10^{-3} f_{pd,i} \sum A_{pb,i} \sin \theta_i + 0.95 \times 10^{-3} \sigma_{pd,e} \sum A_{pb,e} \sin \theta_e$$

- 式中：
- γ_0 ——结构重要性系数；
 - V_d ——斜截面剪压端剪力的组合设计值 (KN)；
 - C_1 ——接缝影响系数：无接缝构件 $C_1=0.06$ ，环氧胶接缝和现浇混凝土接缝构件 $C_1=0.72$ ；
 - α_1 ——异号弯矩影响系数：简支受弯构件取 1.0；连续和悬臂受弯构件的中支点截面取 0.9，其它截面取 1.0；
 - λ ——体内外预应力配筋的影响系数：全体外配筋取 1.0；体内外混合配筋取 1.1；
 - ϕ ——截面形状影响系数， $\phi = (b h_0 + 2 h_f'^2) / b h_0$ ，其中 h_f' 为受压翼板的平均厚度；
 - $f_{cu,k}$ ——边长为 150mm 的混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa)，即混凝土的强度等级；
 - C_1 ——接缝影响系数：无接缝构件 $C_1=12.8$ ，环氧胶接缝和现浇混凝土接缝构件 $C_1=0.11$ ；
 - P ——纵向配筋率， $P = 100 \rho$ ， $\rho = (A_s + A_{p,i} + A_{pd,i} + A_{p,e} + A_{pb,e}) / b h_0$ ，其中， A_s 为纵向受拉普通钢筋的面积（接缝截面普通钢筋不连续时 A_s 取零）； $A_{p,i}$ 为体内直线预应力钢筋的截面面积； $A_{p,e}$ 为体外直线预应力钢筋的截面面积；当 $P > 2.5$ 时，取 $P=2.5$ ；其余符号意义见下说明；
 - b 、 h_0 ——分别为腹板宽度与截面有效高度（按受拉侧普通钢筋和体内有粘结预应力筋计算）(mm)；
 - m ——剪跨比， $m = M_d / (V_d h_0)$ ， M_d 为与 V_d 对应的弯矩的组合设计值；
 - C ——斜裂缝的水平投影长度 (mm)，取一个节段长度和 $C = 0.6 m h_0$ 的较小者；
 - s_v ——斜裂缝范围内的箍筋间距 (mm)；
 - f_{sv} ——箍筋的抗拉强度设计值 (MPa)；
 - A_{sv} ——斜裂缝范围内一个间距内箍筋各肢的总截面面积 (mm²)；
 - $f_{pd,i}$ ——体内预应力钢筋的抗拉强度设计值 (MPa)；
 - $A_{pb,i}$ ——斜裂缝范围内体内弯起预应力钢筋的截面面积 (mm²)；
 - θ_i 、 θ_e ——分别为体内和体外弯起预应力钢筋与构件轴线的夹角；
 - $\sigma_{pd,e}$ ——体外预应力钢筋的极限应力设计值 (MPa)， $\sigma_{pd,e} = 0.8 \sigma_{pe,e}$ ，其中

$\sigma_{pe,e}$ 为体外预应力钢筋的永存预应力；

$A_{pb,e}$ ——斜裂缝范围内体外弯起预应力钢筋的截面面积 (mm^2)。

2 斜截面抗剪承载能力同时应满足下式要求。

$$\gamma_0 V_d \leq 0.51 \times 10^{-3} \sqrt{f_{cu,k}} b h_0 (kN) + V_p \quad \text{式 (6.5.16)}$$

式中： V_p ——截面体外预应力钢筋合力设计值的竖向分力。

以上符号意义同前。

6.5.4 正常使用极限状态下，体外预应力混凝土受弯构件应按下列规定进行正截面和斜截面抗裂验算：

1 作用（或荷载）短期效应组合下，构件正截面抗裂性验算应满足式（6.5.17）的要求：

$$\sigma_{st} - 0.90 \sigma_{pc} \leq 0 \quad \text{式 (6.5.17)}$$

2 作用（或荷载）短期效应组合下，构件行斜截面抗裂性验算应满足式（6.5.18）的要求：

$$\sigma_{tp} \leq 0.4 f_{tk} \quad \text{式 (6.5.18)}$$

式中： σ_{st} —— 作用（或荷载）短期效应组合下截面边缘的混凝土拉应力；

σ_{pc} —— 永存预应力在截面边缘产生的混凝土压应力；

σ_{tp} —— 作用（或荷载）短期效应组合下的混凝土主拉应力；

f_{tk} —— 混凝土抗拉强度标准值。

6.5.5 体外预应力构件持久状况和短暂状况应力应按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的相关规定进行验算。

6.5.6 转向块和锚固横梁按照拉杆——压杆模型计算时，应符合下列规定：

1 转向块内环筋（拉杆）的抗拉承载力计算应满足式（6.5.19）的要求。

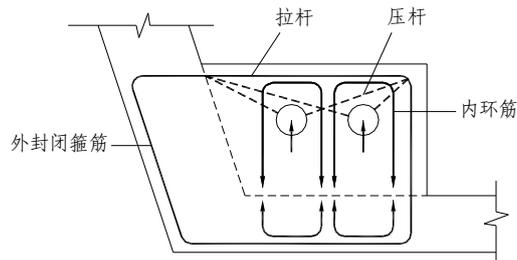


图16 转向块的拉杆—压杆计算模型

$$\gamma_0 N_d \leq f_s A_s \quad \text{式 (6.5.19)}$$

式中： γ_0 —— 结构重要性系数，取 1.1；

N_d —— 竖向拉力的组合设计值；

f_s —— 内环筋的抗拉强度，取抗拉强度设计值 f_{sd} 的 0.6 倍；

A_s ——内环筋的截面面积。

2 锚固横梁环筋（拉杆）的抗拉承载力计算应满足式（6.5.20）的要求。

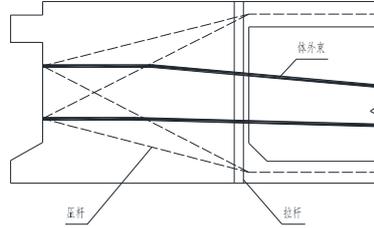


图17 锚固横梁的拉杆—压杆计算模型

$$\gamma_0 T_d \leq f_s A_s \quad \text{式 (6.5.20)}$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，取 1.1；

T_d ——竖向拉力的组合设计值；

f_s ——内环筋的抗拉强度，取抗拉强度设计值 f_{sd} 的 0.6 倍；

A_s ——钢筋的截面面积。

6.6 抗震设计

6.6.1 总则

1 全体外预应力节段拼装混凝土桥属于特殊桥梁，抗震设防类别应设为 A 类，应采用相应的抗震设防标准和设防目标。

2 抗震设防烈度为 6 度及 6 度以上地区的全体外预应力节段拼装混凝土桥，必须进行抗震设计。

6.6.2 基本要求

1 全体外预应力节段拼装混凝土桥梁的抗震设防目标应符合表 6 的规定。

表6 全体外预应力节段拼装混凝土桥梁的抗震设防目标

桥梁抗震设防类别	设防目标	
	E1 地震作用	E2 地震作用
A 类	一般不受损坏或不需修复可继续使用，节段梁的接缝断面应保持受压工作状态，不允许出现剪力键的脱离，即“接缝开口”现象；	可发生局部轻微损伤，不需修复或经简单修复可继续使用，允许节段梁的部分接缝断面出现少量剪力键的脱离，即“接缝开口”现象，但不允许同一跨所有节段接缝断面均发生剪力键的脱离现象。地震后，脱离的剪力键应能够再次结合即接缝闭合，节段梁仍能保证整体性。

2 全体外预应力节段拼装混凝土桥梁必须进行 E1 地震作用和 E2 地震作用下的抗震设计。

3 全体外预应力节段拼装混凝土桥梁的抗震设防标准，应符合下列规定：

1) 在不同抗震设防烈度下的抗震设防措施等级按表 7 确定。

表7 全体外预应力节段拼装混凝土桥梁抗震设防措施等级

抗震设防烈度	6	7		8		9
桥梁分类	0.05g	0.1g	0.15g	0.2g	0.3g	0.4g
A 类	7	8	9	9	更高, 专门研究	

2) 抗震重要性系数 C_i , 按表 8 确定。

表8 全体外预应力节段拼装混凝土桥梁的抗震重要性系数 C_i

桥梁分类	E1 地震作用	E2 地震作用
A 类	1.0	1.7

4 全体外预应力节段拼装混凝土桥梁抗震设防烈度和设计基本地震动加速度取值的对应关系, 应符合表 9 的规定。

表9 抗震设防烈度和水平向设计基本地震动加速度峰值 A

抗震设防烈度	6	7	8	9
A	0.05g	0.10(0.15)g	0.20(0.30)g	0.40g

5 作用效应组合

1) 全体外预应力节段拼装混凝土桥梁抗震设计应考虑以下作用:

- ①永久作用: 包括结构重力(恒载)、预应力、土压力、水压力。
- ②地震作用: 包括地震动的作用和地震土压力、水压力等。

2) 作用效应组合应包括永久作用效应+地震作用效应, 组合方式应包括各种效应的最不利组合。

6.6.3 地震作用

1 全体外预应力节段拼装混凝土桥梁结构的地震作用, 应按下列原则考虑:

1) 一般情况下, 抗震设防烈度为 6 度的地区, 可只考虑水平向地震作用, 直线桥可分别考虑顺桥向 X 和横桥向 Y 的地震作用。

2) 抗震设防烈度为 7 度的地区, 宜同时考虑顺桥向 X、横桥向 Y 和竖向 Z 的地震作用; 抗震设防烈度为 8 度和 9 度的地区, 应同时考虑顺桥向 X、横桥向 Y 和竖向 Z 的地震作用。

3) 桥址距有发生 6.5 级以上地震潜在危险的地震活动断层 30km 以内时, 应考虑近断裂效应包括上盘效应、破裂的方向性效应以及竖向地震作用对全体外预应力节段拼装混凝土桥梁地震响应的的影响。

2 地震作用可以用设计加速度反应谱、设计地震动时程和设计地震动功率谱表征, 具体可参考《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02。

6.6.4 建模与分析原则

1 全体外预应力节段拼装混凝土桥梁结构动力计算模型应对上部结构节段梁进行局部精细化建模, 从而能够正确反映桥梁上部结构、下部结构、支座和地基的刚度、质量分布及阻尼特性, 保证在 E1 和 E2 地震作用下引起的惯性力和主要振型能得到反映。一般情

况下，桥梁结构的动力计算模型应满足下列要求：

1) 计算模型中的全体外预应力节段拼装混凝土箱梁（包括横隔板和转向块等构件）可采用板单元模拟。

2) 节段接缝中的剪力键可采用连接单元模拟，以反映节段之间的接触力学行为，包括刚度分布和力学特性。接缝截面相近位置处的剪力键可进行合并处理，但应保证刚度分布和力学特性符合实际情况。

3) 体外预应力钢束可采用预应力钢束单元模拟。

4) 支座单元应反映支座的力学特性。进行非线性时程分析时，支承连接条件应采用能反映支座力学特性的单元模拟。

5) 混凝土结构的阻尼比可取为 0.05，进行时程分析时，可采用瑞利阻尼。

6) 计算模型应考虑相邻结构和边界条件的影响。

7) 进行非线性时程分析时，墩柱已进入非线性工作状态，可采用钢筋混凝土弹塑性空间梁柱单元模拟。

2 全体外预应力节段拼装混凝土桥梁的地震反应分析可采用时程分析法、多振型反应谱法或功率谱法。时程分析结果应与多振型反应谱法相互校核，线性时程分析结果不应小于反应谱法结果的 80%。

6.6.5 性能要求与抗震验算

1 在 E1 地震作用下，结构不发生损伤，保持在弹性范围内。节段梁的接缝断面应保持受压工作状态，不允许出现剪力键的脱离，即“接缝开口”现象。

2 在 E2 地震作用下，体外预应力钢束不发生损伤，允许部分节段梁的接缝断面出现少量剪力键的脱离，即“接缝开口”现象，但不允许同一跨所有节段接缝断面均发生剪力键的脱离现象，且同一个接缝断面发生脱离的剪力键数量不应超过该断面剪力键总数的三分之一。地震后，脱离的剪力键应能够再次结合即接缝闭合，节段梁仍能保证整体性，不致使梁体发生严重破坏。桥墩、基础等重要结构受力构件局部可发生可修复的损伤，但要求地震后基本不影响车辆的通行。

3 剪力键是否发生脱离可采用以下方法进行验算：

1) 验算时取节段梁受力最不利的接缝截面作为验算控制截面，验算节段间剪力键的工作状态按式（6.5.21）进行。

$$K = \frac{N_{ED}}{A} - \frac{M_{ED}}{W} \geq 0 \quad \text{式 (6.5.21)}$$

式中： $W = \frac{I}{y}$ 即截面抗弯模量；

N_{ED} 、 M_{ED} 分别为地震荷载和恒载最不利组合下的轴压力和弯矩；

A 为有效截面面积；

K 表征截面剪力键工作状态：当 $K \geq 0$ 时，表示验算控制接缝断面处于全截面受压工作状态，所有剪力键均未发生分离；当 $K < 0$ 时，表示验算控制接缝截面部分剪力键已发生分离，即出现“接缝开口”现象。

2) 当验算表明接缝截面发生开口现象时，可提取相应节段接缝断面中各剪力键的受力情况，以确定截面发生脱离的剪力键个数及位置。

4 对抗震设防烈度为 7 度及 7 度以上地区的大悬臂全体外预应力节段拼装混凝土箱梁，应进行横向倾覆验算。

6.6.6 抗震措施

1 体外预应力钢束对全体外预应力节段拼装混凝土箱梁的整体性及抗震性能影响显著，应保证体外预应力钢束的有效预应力水平及其耐久性满足设计要求。

2 对抗震设防烈度为 7 度及 7 度以上地区的大悬臂全体外预应力节段拼装混凝土箱梁，应采用适当的抗震构造措施防止横向倾覆落梁，例如采用抗拉支座等。

7 节段预制

7.1 预制场

- 7.1.1 预制场位置应结合道路规划、桥梁分布、预制构件数量和运输线路等因素确定。
- 7.1.2 预制场规模应基于模板数量、养生及存储面积等进行科学计算。以预制总量、预制工期、养生及存储周期、模板效率确定模板数量；以养生及存储周期、模板效率、模板数量、用地效率确定养生及存储面积；最终确定预制场的工、料、机数量和占地面积。
- 7.1.3 预制场布置应根据浇筑、养生、存储及运输统筹规划。预制厂应系统设置管理及生活区、存料及配料区、钢筋加工区、构件预制养生区、构件存放区、混凝土拌和站、场地运输通道等，并建立可靠的防排水系统。
- 7.1.4 预制场地地基应根据地质条件和功能区分布进行硬化处理，构件浇筑区、构件存放区台座及场内运输道路应具有足够的承载能力。
- 7.1.5 如采用工厂定制，预制场地也应满足 7.1.1~7.1.4 条规定的要求。

7.2 模板工程

- 7.2.1 模板系统强度、刚度及稳定性应满足使用要求。
- 7.2.2 模板系统设计应考虑模板周转使用的通用性和耐久性。
- 7.2.3 模板应采用专门设计制造的定型模板，模板主要有以下部分组成：侧模、底模胎车、芯模和截面端模，模板设计应满足以下要求：
- 1 模板各构件尺寸和位置准确，模板与节段连接紧密、无漏浆；
 - 2 模板系统应便于钢筋笼安装、混凝土浇筑及模板拆除；
 - 3 模板设计应考虑安装和修整的便利性。
- 7.2.4 截面端模分为固定端模和活动端模，固定端模应与预制台座固定牢靠，在节段预制过程中不应发生移位或变形；活动端模为可拆卸型模板，安装时应临时固定牢靠。
- 7.2.5 侧模与芯模的安装应采取措施降低对匹配梁的位置产生影响，侧模安装可采用以下顺序：
- 1 应先将两侧模板对称合拢至靠近匹配梁 5cm 位置；
 - 2 采用侧模分批调整的方法，精确调整侧模至其贴紧匹配梁止浆条；
 - 3 对称微调两侧侧膜，使其与止浆条处于挤紧状态，以防止漏浆。
- 7.2.6 节段浇筑前，应对模板系统及预埋件空间位置进行验收，合格后方可使用。

7.3 钢筋工程

- 7.3.1 钢筋及半成品应分类集中存放、保护。
- 7.3.2 钢筋宜采用数控机具加工；钢筋骨架应在胎架上制作，整体吊装入模。
- 7.3.3 钢筋骨架吊点布设应配合骨架入模姿态，并采用专用吊具，防止吊装变形。垫块配设应保证骨架定位，控制保护层厚度。
- 7.3.4 钢筋骨架绑扎应保证预应力管道、锚板等预埋构件定位准确，固定牢靠。
- 7.3.5 横梁节段钢筋绑扎顺序应满足预应力管道定位的要求，必要时可设置劲性骨架辅助定位，管道定位应符合下列规定：
- 1 锚板及导管的水平与竖向定位允许偏差为 10mm、导管扭角偏差允许值为 1°；
 - 2 转向器水平定位允许偏差为 10mm，竖向定位偏差允许值-10~5mm、导管扭角偏差

允许值为 1° 。

7.3.6 预留孔洞位置、孔洞直径、成型方式均应统一规整。

7.4 构件预制与养生

7.4.1 采用短线匹配预制法，构件浇筑之前应进行匹配定位，构件定位控制应满足以下要求：

- 1 定位精度不满足控制要求时，应通过调整匹配梁或活动端模，保证定位精度；
- 2 浇筑完成后，应测量匹配梁和预制梁定位控制点坐标，记录预制梁体线形，根据误差调整下一节段定位坐标；
- 3 匹配梁表面隔离剂应涂抹均匀，便于脱模。

7.4.2 混凝土布料应按一定厚度、顺序和方向分层进行。

7.4.3 混凝土浇筑宜按照先浇筑 $1/3\sim 1/2$ 腹板，后补齐底板混凝土，再补齐腹板混凝土，最后完成顶板浇筑的顺序进行，见图18。

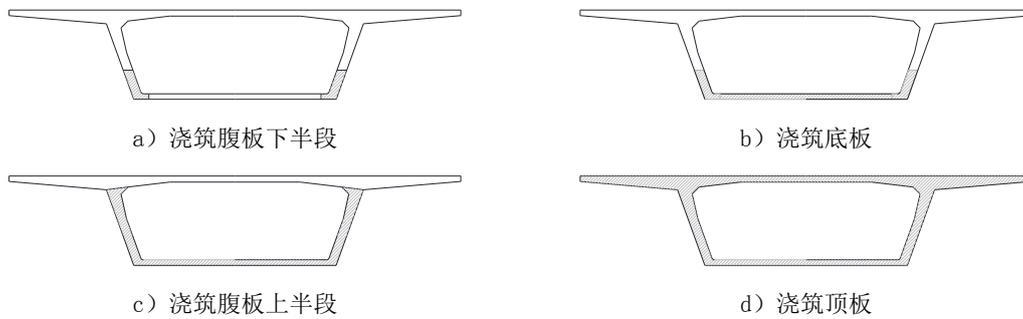


图18 节段浇筑顺序示意图

7.4.4 混凝土应振捣密实。混凝土振捣应采用插入式振捣器，侧模和底模可按需求设置附着式振捣器。

7.4.5 构件浇筑后养生应符合下列规定：

- 1 养生房内宜采用自动喷淋设备进行养生；
- 2 匹配梁养生过程中应在顶板匹配面 50cm 处布置一道土工布隔离带，防止养护水对匹配面的隔离剂造成损坏；
- 3 节段梁在房外养生期间，应使用土工布包裹，并洒水养护，保持箱梁表面湿润；
- 4 冬季施工应采用保温养生措施，宜选用蒸汽养生。

7.4.6 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 脱模宜按照芯模、侧模、匹配梁分离、端模分离的顺序进行拆除；
- 3 脱模或移动节段时，均应防止伤及梁体棱角和剪力键等部位；
- 4 节段脱模后应及时进行检查验收。

7.4.7 节段移出养生房后，应放置在整修台座上进行整修，整修主要内容如下：

- 1 匹配面隔离剂清理；
- 2 湿接缝两侧端面凿毛；
- 3 局部破损修补；
- 4 其他外观质量整修。

7.5 构件标志与存放

7.5.1 构件应进行标识。标识应包括下列内容：

- 1 构件编号；
- 2 构件重量；
- 3 厂名，厂址，批号，生产日期；
- 4 工程项目名称；
- 5 检验合格标识。

7.5.2 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。

7.5.3 节段存放层数应符合设计要求。设计无要求时，可采用单层或多层叠置方式存放，叠置不宜超过三层；采用多层叠置时，应对节段受力及地基承载力进行验算。

7.5.4 节段存放应采用三点支撑，支撑垫块宜选用枕木、橡胶板等对梁体无损伤的弹性支撑物，支撑应稳定可靠。

7.5.5 节段存放时间应满足设计规定，当设计文件无明确要求时，不宜小于 60 天。

7.6 质量检查与质量标准

7.6.1 各种材料、各工程项目和各工序应经常进行检查。检查的项目、频次应符合现行规范的有关规定。

7.6.2 质量标准除应符合现行《公路桥涵施工技术规范》TG/T F50 等规范的规定外，尚应符合本指南的有关规定：

- 1 浇筑前模板安装质量应符合表 10 的规定；

表10 浇筑前模板及预埋件安装质量验收标准

项次	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	内模尺寸	长度	-1, -3		3
		宽度	+3, -2		2
		高度	0, -2		4
5	轴线偏移量		2		2
6	匹配节段定位	纵轴线	2		1
		高程	±2		3

- 2 浇筑前预埋件安装质量应符合表 11 的规定；

表11 浇筑前预埋件安装质量验收标准

项次	项目		允许偏差 (mm)	检验频率		
				范围	点数	
1	预埋	剪力键	位置	2	每个剪力键	1
		平面高差	2	1		

	件	支座板、锚垫板等	位置	3	每个预埋件	1
		预埋钢板	平面高差	2		1
			螺栓、锚筋等	位置		10
						外露尺寸
2	吊孔		位置	2	每个预留孔洞	1
	预应力钢筋孔道位置		位置	节段端部 5		1

3 预制过程中应对节段质量进行检查，质量标准见表 12。

表12 节段预制质量检查

项次	检查项目		允许偏差	检查方法及检查频率
2	节段长度		±2mm	用尺测量，不小于 3 组
3	节段宽度		±5mm	用尺测量，不小于 3 组
4	梁高		-4, 2	用尺测量，不小于 3 组
5	厚度	顶、底板	+5, -3	用尺测量，每个断面单项不小于 3 组
		腹板		
		横隔板		
6	平整度		2mm	用 2m 以上钢直尺测量（拉毛，粗糙）

8 节段安装

8.1 节段出厂与运输

- 8.1.1 经检查满足要求的节段方可出厂，出厂时应合格证等资料随梁移交至安装单位
- 8.1.2 节段运输应根据场地地理位置，结合实际通道运输条件、节段尺寸、节段重量等因素制定合理的运输路线，选择合适的运输设备。
- 8.1.3 运输路线的选择应考虑以下因素：
- 1 应根据道路限高、限宽、限载条件及道路的最大纵坡等因素确定多条运输路线；
 - 2 节段沿选定路线运输前应与交通管理部门、桥梁管养单位等协商；
 - 3 应对沿线桥梁承载能力进行验算，确保运输安全。
- 8.1.4 节段运输路线的选择可优先选用梁上运梁，梁上运梁应考虑以下因素：
- 1 就近预制场设置提升站，提梁至桥面；
 - 2 梁上运梁车应满足自重小、承载力大、可双向行驶；
 - 3 运梁过程中已架设节段梁的受力满足梁上运梁要求。
- 8.1.5 节段提升和降落过程中应采取措施保证节段稳定性；节段运输过程中，应采取稳固可靠的临时固定措施。

8.2 节段安装

- 8.2.1 节段安装设备的选择宜符合下列规定：
- 1 直线桥梁和曲线半径较大的桥梁应选择架桥机进行吊装，架桥机适用半径应满足设计要求。桥梁平曲线半径较小时，节段梁桥宜采用支架拼装施工；
 - 2 全体外预应力节段梁应优先选择逐跨拼装施工工艺；
 - 3 墩顶节段采用预制拼装工艺时，宜优先选用下行式架桥机施工。
- 8.2.2 安装设备应符合下列规定：
- 1 架桥机应采用通过技术质量监督部门产品认证的专用架桥机，起重参数应能满足架梁的要求。吊架和吊具应专门设计。起重设备、吊架和吊具等应经试吊确认安全后方可用于正式施工，吊具应定期进行探伤检查。
 - 2 架桥机拼装完成后应进行荷载试验，检验其承载能力是否满足要求，同时应检查起重设备的荷载显示装置、刹车装置、钢丝绳缠绕装置、限位装置等是否正常工作。
 - 3 日常施工过程中应按照架桥机的操作手册、保养手册进行架桥机的维护保养。
- 8.2.3 节段起吊与悬挂应符合下列规定：
- 1 下行式架桥机宜采用尾部喂梁进行节段吊装；
 - 2 节段吊装应匀速、缓慢；
 - 3 节段起吊过程中设备的安全系数应不小于 2；
 - 4 起吊过程中，不得随节段吊运其他设备；
 - 5 节段悬挂后应避免节段间发生碰撞，同时需考虑节段调整的空间需求。
- 8.2.4 节段定位应符合下列规定：
- 1 节段定位应加强对首榀节段定位精度的控制，各节段的定位应逐块进行测量控制，使其轴线和高程满足控制要求；
 - 2 首榀节段定位完成后应采用临时装置将其与横梁节段锁定，后续节段调整过程中，首榀节段不得发生偏位；

3 对于节段重心不处于对称位置的特殊节段，在定位调整时需考虑重心偏移的影响，避免发生转动变形，造成碰撞损伤。

8.2.5 节段环氧胶接缝施工应符合下列规定：

- 1 环氧胶的配比应根据不同季节的使用环境通过试验确定；
- 2 环氧胶涂抹前应对节段匹配面进行清灰、除尘，匹配面湿度应满足环氧胶施工要求；
- 3 环氧胶涂抹应按照厂家提供说明书或操作指南进行施工，涂抹后环氧胶应均匀覆盖匹配面，厚度以 3mm 为宜；
- 4 临时预应力张拉后，匹配面环氧胶的厚度不宜超过 1.5mm；
- 5 环氧胶涂抹完成后，节段匹配面应选取不少于 5 处位置对环氧胶厚度进行测量；
- 6 环氧胶涂抹不均匀时，应及时进行修补，确保临时预应力施工在环氧胶操作时间范围内。

8.2.6 节段安装用临时预应力应符合下列规定：

- 1 临时预应力应通过临时预应力底座与节段锚固可靠；
- 2 应根据节段的断面形式均匀布置临时预应力，且应满足设计要求；
- 3 临时预应力钢筋的张拉力应符合设计要求，设计无要求时，临时预应力张拉后应保证节段拼接面混凝土平均压应力不小于 0.3Mpa；
- 4 接缝面临时预应力全部张拉完成后应检查是否有临时预应力筋松弛现象，如有明显松弛应进行补张；
- 5 临时预应力应在桥跨永久预应力张拉完成且体系转换之后，方可拆除。

8.3 湿接缝施工

8.3.1 湿接缝两侧节段的端面应凿毛，保证湿接缝混凝土与预制构件连接性能及结构的整体性。

8.3.2 湿接缝浇筑宜采用吊模施工，模板应规整、统一，模板刚度和强度应满足施工要求。

8.3.3 模板应与湿接缝两侧节段密贴，不得出现漏浆现象。

8.3.4 湿接缝浇注时，应严格控制浇注速度，保证混凝土振捣的均匀性。

8.3.5 湿接缝浇筑前，应将节缝两侧节段进行临时锁定。

8.3.6 湿接缝养护应符合下列规定：

- 1 湿接缝宜采用洒水养生，湿接缝顶面宜覆盖土工布，保证湿接缝湿度；
- 2 冬季施工时，应对湿接缝进行保温覆盖，确保混凝土温湿度满足要求；
- 3 冬季施工时，可选用电辅助加热模板、也可选用蒸汽养生进行施工。

8.4 体外预应力安装

8.4.1 体外预应力束安装过程中应采取保护措施，防止预应力束 PE 护套等损伤，影响构件耐久性。

8.4.2 体外预应力束张拉时，湿接缝的强度应满足设计要求。

8.4.3 体外预应力张拉用机具设备应符合下列规定：

- 1 体外预应力张拉宜选用单股千斤顶进行张拉；
- 2 张拉设备应定期进行标定，标定周期不宜大于 6 个月，标定后张拉设备张拉次数超过 300 次时应重新标定；
- 3 体外预应力张拉应采用防震油表，标定精度不宜小于 0.4 级，油表的精度不宜小于 0.4MPa；
- 4 张拉用千斤顶与压力表应配套标定、配套使用，并满足《公路桥涵施工技术规范》

(JTG/T F50-2011) 的相关规定。

8.4.4 体外预应力束张拉应符合下列规定：

- 1 体外束张拉前，施工现场应具备经批准的完整的体外预应力张拉施工作业指导书；
- 2 体外预应力张拉过程中应及时记录张拉情况，包括各钢绞线的张拉顺序、引伸量、油表读数、张拉时湿接缝的龄期、张拉时湿接缝强度等信息；
- 3 采用两台及以上千斤顶同步张拉预应力时，各千斤顶之间同步张拉力的允许误差不应小于±2%；
- 4 体外预应力张拉过程中应建立定人定岗制度，每台油泵的司泵员应为固定人员。

8.4.5 体外预应力张拉控制力应符合下列规定：

- 1 体外预应力束张拉控制力应满足设计要求；
- 2 应根据锚具厂家要求，确定限位槽深度，并明确锚具夹片回缩量，通过控制锚下张拉力，补偿锚具回缩引起的预应力损失；
- 3 体外预应力束应分级张拉，分级等级可按照 20%、80%和 100%进行控制。

8.5 质量检查与质量标准

8.5.1 节段安装完成后应及时检查验收，其质量标准应符合表 13 的规定。

表13 节段安装施工质量标准

项目		规定值或允许偏差 (mm)
湿接头混凝土强度		在合格标准内
轴线偏位 (mm)	L ≤ 50m	10
	L > 50m	L/5000
顶面高程 (mm)	L ≤ 50m	±20
	L > 50m	±L/2500
	相邻节段高差	10
同跨对称点高差 (mm)	L ≤ 50m	20
	L > 50m	L/2500
湿接缝两侧节段梁顶面高程差 (mm)		10

8.5.2 体外预应力安装完成后，应随机抽取部分预应力束进行检验，抽检比例不宜小于 20%，其质量标准应符合表 10 的规定。

表14 体外预应力施工质量标准

项目	规定值或允许偏差
单根钢绞线应力	±5%
钢绞线平均应力	±2%
预应力束均匀性	±3%

9 测量与施工控制

9.1 一般规定

9.1.1 节段预制拼装施工前，现场已具备经批准的预制测量与放样施工方案和架设测量与线形控制方案，方案应符合下列规定：

1 应包含预制拼装测量设备型号及性能要求、测量控制网布置方法、测控总体要求、现场工作流程等内容；

2 应明确节段预制和拼装过程中主要测量内容和测量控制精度要求；

3 应明确节段预制和拼装质量验收标准。

9.1.2 体外预应力节段预制拼装梁桥施工和控制应选择具有专业资质的单位进行施工。

9.2 预制施工测量

9.2.1 节段预制测量控制网应包括平面控制网和高程控制网，测控网布置应符合下列规定：

1 平面控制网的精度不宜低于四等精度。测量角度时每站观测不宜少于 12 个测回，测角误差不超过 $1''$ ；测边时，每边观测不宜少于 4 个测回，每测回读数不宜小于 4 次；

2 高程控制测量精度应满足二等水准测量要求。高程测量往返校差及闭合差应小于 1mm。

9.2.2 采用短线匹配预制工艺时，测量塔宜布置在预制台座 50m 范围内，测量塔应远离热源、振动，并具有良好的通视条件，见图 19。

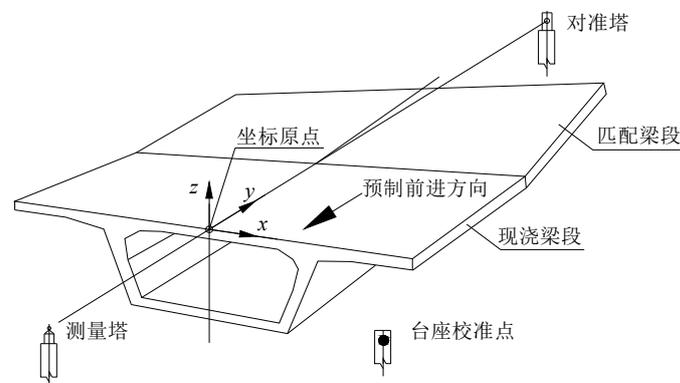


图19 测站布置示意图

9.2.3 控制点及台座高程点的高程应定期校核，校核应符合下列规定：

1 测量塔控制点高程校核点应设置在塔底承台或塔柱上，测点不宜少于四个；

2 台座高程校核点沿台座轴向以及垂向两侧布置，测点不少于 4 个；

3 控制点及台座高程应同步校核，校核周期以 30 天为宜。

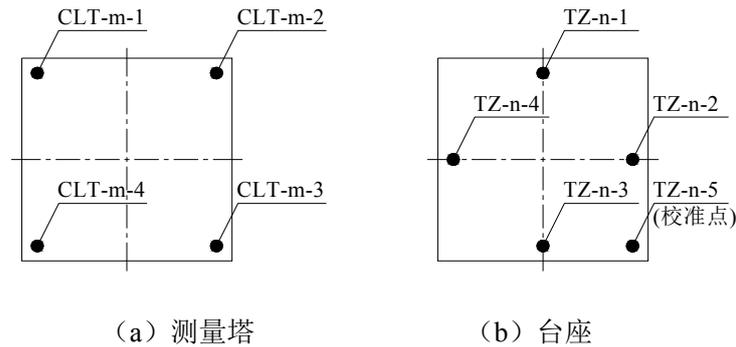


图20 高程测点布置示意图

9.2.4 节段预制定位测点布置应符合下列规定：

- 1 节段预制定位可采用六点测量法，测点布置见图 21；
- 2 节段预制轴线定位测点不应少于 2 个，测点宜采用 U 形圆钢，见图 21 中测点 FH、BH；
- 3 节段预制高程定位测点不应少于 4 个，测点宜采用镀锌十字头螺栓，见图 21 中测点 FL、BL、FR、BR。

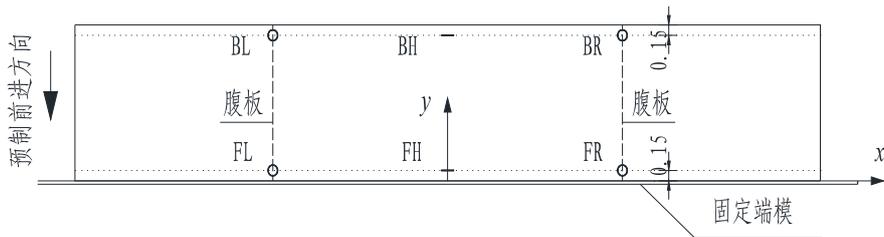


图21 断线匹配法测点平面布置示例

9.2.5 节段浇筑完成后，应测量预埋点平面坐标及高程，测量应符合下列规定：

- 1 首梁仅测量浇筑节段预埋测点，其他梁段应对测量浇筑节段和匹配节段预埋测点进行测量；
- 2 平面坐标及高程测量应单独进行两个测回的测量，两次测回的数据差值在 $\pm 1\text{mm}$ 以内认为合格，取两次测回的平均值作为最终测试结果，误差不满足要求时应进行复测。

9.3 架设施工测量

9.3.1 节段架设测量控制网应包括平面控制网和高程控制网，测控网布置应符合下列规定：

- 1 桥梁平面控制网宜分两级布设，一级控制网用于控制桥梁轴线，二级控制网用于梁段定位；二级控制网的精度不应低于一级控制网，一级控制网测量等级不应低于二等精度；
- 2 高程控制测量精度应满足三等水准测量要求，每公里误差不应大于 12mm。

9.3.2 节段架设过程中，预埋测点应采取保护措施，避免测点损伤。

9.3.3 预制节段安装过程测量内容应符合下列规定：

- 1 节段定位调整时，独立测量不宜少于 2 次，测量误差不宜大于 1mm；
- 2 节段定位调整时，应测量安装节段和前一节段定位点高程和平面坐标；
- 3 临时束张拉完成后，应及时测点节段定位点高程和平面坐标；

- 4 体外束张拉前和张拉后，应通测所有节段定位点高程及平面坐标。
- 9.3.4 节段平面定位精度应符合下列规定：
 - 1 基准块预埋测点平面定位误差应小于等于 2mm；
 - 2 轴线定位测点实测横桥向坐标与指令之间偏差不得为异号；
 - 3 节段轴线同侧测点实测纵桥向坐标与指令之间的偏差的差值不应大于±2mm。
- 9.3.5 节段高程定位精度应满足以下规定：
 - 1 基准块预埋常规测点高程定位误差应小于等于 2mm；
 - 2 节段轴线同侧测点实测高程与指令之间的校差不得异号。

9.4 施工控制

- 9.4.1 施工前应编制完整的施工控制方案，方案应包括节段预制施工控制、节段拼装施工控制和预应力安装及张拉控制。
- 9.4.2 施工控制应贯穿体外预应力节段梁桥施工的全过程中，除施工应按照规定程序进行外，对各类施工荷载应加强管理，并对施工过程中结构变形、应力和温度等参数进行监控测试，且采集的数据准确、可靠。
- 9.4.3 节段预制拼装混凝土桥梁体外预应力束张拉应满足张拉控制精度，线形宜通过提高预制定位控制精度、架设定位控制精度和线形微调措施进行控制。
- 9.4.4 全体外预应力节段预制拼装混凝土桥梁线形微调应符合下列规定：
 - 1 顺拼线形微调法选用应符合下列规定：
 - 1) 适用于中跨前三节段采用顺拼，中间梁段预制精度满足要求，且线形偏差较小；
 - 2) 调整方法：通过调整临时预应力张拉顺序，对平面及高程误差进行微调。

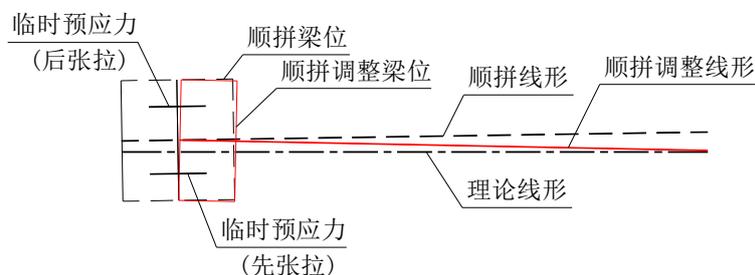


图22 顺拼线形微调法

- 2 垫片线形调整法选用应符合下列规定：
 - 1) 当线形调整不满足顺拼条件时，允许适当使用垫片进行调整，单次垫片厚度应小于 3mm；
 - 2) 一次环氧垫片法：通过已安装节段与第二片梁间设置环氧垫片，总体偏转预制线形，调整线形误差；

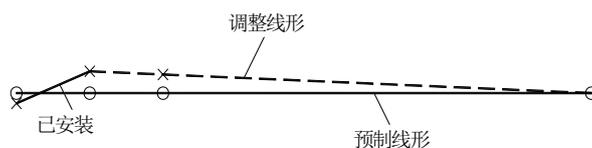


图23 一次环氧垫片调整

- 3) 多次环氧垫片法：通过多片梁接缝设置环氧垫片，调整线形误差，建议调整梁段小

于 3 片。

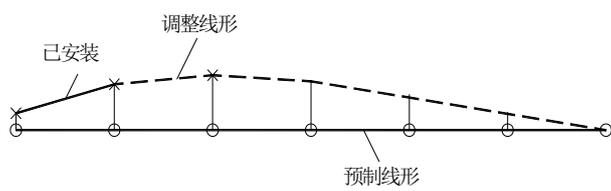


图24 多次环氧垫片调整

10 质量检验与评定

10.1 一般规定

10.1.1 体外预应力节段拼装梁桥施工的质量检验评定除应符合现行《公路工程质量检验评定标准（第一册 土建工程）》（JTG F80/1-2012）的有关规定外，尚应符合本规程有关质量标准的规定。

10.1.2 质量检验评定宜按具体情况对节段构件预制和节段拼装分别进行单位工程、分部工程和分项工程的划分。

10.1.3 构件预制工程划分可按下列分级次序进行：

- 1 构件预制；
- 2 同型号构件预制；
- 3 每批同型号构件的钢筋工程、构件浇筑。

10.1.4 节段拼装工程划分可按下列分级次序进行：

- 1 节段拼装；
- 2 单跨节段拼装；
- 3 每联节段运输、节段吊装、环氧树脂涂抹、预应力张拉。

10.1.5 体外预应力节段拼装混凝土梁桥的质量验收宜分为预制节段出厂、节段进场、节段拼装、架设完成后四个阶段。预制节段出厂检验的项目全部合格后方可出厂，项目不合格时，应分析原因，采取处理措施；节段进场时，应进行进场验收，梁体因吊装、运输等导致损伤时，需及时修补或返厂；节段拼装过程中检验项目不合格时，应分析原因，采取调整措施，待合格后方可继续施工；架设完成后的检验应与节段出厂、节段进场、节段拼装检验共同作为节段拼装质量评定和验收的依据。

10.2 钢筋工程

10.2.1 基本要求

- 1 钢筋的保护层厚度应满足设计要求。
- 2 钢筋安装时，必须保证设计要求的钢筋根数。
- 3 受力钢筋表面不得有裂纹或其他损伤。

10.2.2 检验项目

钢筋工程的质量检验实测项目应符合表 15 的规定。

表15 钢筋工程检查项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率	权值
1	受力钢筋间距 (mm)	两排以上排距	±5	尺量：每构件检查 2 个断面	3
		同排	±10		
2	箍筋间距		±10	尺量：每构件检查 5 个间距	2
3	钢筋骨架尺寸	长	±10	尺量：按骨架总数 30%抽查	1
		宽、高	±5		
4	弯起钢筋位置		±20	尺量：每骨架抽查 30%	2

5	保护层厚度	±5	尺量：每构件沿模板周边检查 8 处	3
---	-------	----	-------------------	---

10.2.3 外观鉴定

- 1 钢筋表面无铁锈及焊渣。不符合要求时减 1~3 分。
- 2 必须保证钢筋骨架施工刚度。不符合要求时减 1~3 分。

10.3 构件浇筑

10.3.1 基本要求

- 1 构件预制材料的质量规格应符合有关规范的要求，按规定的配合比施工。
- 2 预制构件不得出现露筋和空洞现象。

10.3.2 检验项目

钢筋工程的质量检验实测项目应符合表 16 的规定。

表16 节段浇筑检查项目

项次	检查项目	允许偏差	检查方法及检查频率	权值	
1	混凝土强度	满足设计要求	按 JTG F80/1-2012 附录 D 检查	3	
2	节段长度	±2mm	用尺测量，不小于 3 组	2	
3	节段宽度	±5mm	用尺测量，不小于 3 组	2	
4	梁高	-4, 2	用尺测量，不小于 3 组	2	
5	厚度	+5, -3	用尺测量，每个断面单项不小于 3 组	顶、底板	1
	腹板			1	
	横隔板			1	
6	平整度	5mm	用 2m 以上钢直尺测量（拉毛，粗糙）	1	
7	预埋件	5mm	用 2m 以上钢直尺测量	2	
8	预留孔位置	±5mm	用尺测量，包括横向及纵向相对位置	2	

10.3.3 外观鉴定

- 1 蜂窝麻面面积不得超过该面面积的 1%。不符合要求时，每超过 1%减 3 分。
- 2 增加量化指标，混凝土表面平整度不得超过 5mm。
- 3 胶接缝不得出现明显损伤。不符合要求时减 1~2 分。

10.4 节段拼装

10.4.1 基本要求

- 1 各接缝位置高程及平面位置准确，剪力键对接准确。
- 2 节段吊装过程应保持稳定，顶板保持水平，梁段出现转动、切斜时，应立即停止吊装，分析原因。
- 3 主梁拼装定位应按照本指南第 9.3 条规定执行。

10.4.2 检验项目

节段拼装的质量检验项目应符合表 12~表 14 的规定。

表17 墩顶节段检查项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法及检查频率	权值
1	轴线偏位	2	全站仪，不少于2处	2
2	四角顶面高程	±2	全站仪，不小于2组	2
3	纵向位置	5	全站仪，不少于3组	2

表18 普通节段检查项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	权值
1	轴线偏位 (mm)	3	全站仪：BH、FH 点	2
2	梁顶面高程(mm)	±3	全站仪：BR、FR、BL、FL 点	2
3	胶拼缝错台(mm)	±2	用游标卡尺量	2
4	相邻节段间顶面接缝高差 (mm)	2	用水准仪检查每条缝、直尺量	1
5	桥面平整度(mm)	≤3	按照路面平整度测量要求测量	1

表19 湿接缝两侧节段检查项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	权值
1	轴线横向偏位(mm)	5	全站仪：BH、FH 点	2
2	腹板处梁顶高程差(mm)	3	全站仪：BR、FR、BL、FL 点	2
3	翼缘板处梁顶高程差(mm)	5	用游标卡尺量	1
4	湿接缝宽度(cm)	±2	直尺量	1

10.4.3 外观评定

- 1 节段外壁顺直，胶接缝平整，无开裂和脱落现象。
- 2 外露混凝土表面平整，色泽一致。不符合要求时减 1~2 分。
- 3 施工完成后，桥面平顺。不符合要求时减 1~2 分。