

Q/CCCC

中国交通建设股份有限公司企业标准 Q/CCCC GL202—2016

短线匹配法节段预制拼装 预应力混凝土箱梁设计 施工技术规范

Technical Specification for Design and Construction by Short-Line Matching Method
of Precast Segment in Prestressed Concrete Box Girder

2016-12-28 发布

2017-01-01 实施

中国交通建设股份有限公司发布

中国交通建设股份有限公司企业标准

**短线匹配法节段预制拼装
预应力混凝土箱梁设计施工技术规范**

**Technical Specification for Design and Construction by Short-Line
Matching Method of Precast Segment in Prestressed Concrete Box
Girder**

Q/CCCC GL202—2016

主编单位：中交第二航务工程局有限公司

批准单位：中国交通建设股份有限公司

实施日期：2017 年 01 月 01 日

**中国交通建设股份有限公司关于发布
《短线匹配法节段预制拼装预应力混凝土箱梁设计
施工技术规范》的通知**

各单位，各事业部、直属项目部：

现发布《短线匹配法节段预制拼装预应力混凝土箱梁设计施工技术规范》（Q/CCCC GL202—2016），自 2017 年 1 月 1 日起施行。

《短线匹配法节段预制拼装预应力混凝土箱梁设计施工技术规范》（Q/CCCC GL202—2016）的管理权和解释权归中国交通建设股份有限公司科学技术部，日常解释和管理工作中由中交第二航务工程局有限公司负责。

请各有关单位在应用中注意总结经验，及时将发现的问题和修改意见函告中交第二航务工程局有限公司（地址：湖北省武汉东西湖区金银湖路 11 号，邮编：430040），以便修订时研用。

特此通知。

中国交通建设股份有限公司

2016 年 12 月 28 日

前 言

根据中国交通建设股份有限公司《关于资助 2012 年中国交建企业技术标准编制工作的通知》（中交股科字〔2012〕763 号）要求，由中交第二航务工程局有限公司作为主编单位、中交公路规划设计院有限公司作为参编单位承担《短线匹配法节段预制拼装预应力混凝土箱梁设计施工技术规范》的编写工作。

目前我国尚无短线匹配法节段预制拼装预应力混凝土箱梁设计施工专用规范，编写组经广泛调查研究，认真总结实践经验，吸取国内外有关科研成果和施工经验，在广泛征求意见的基础上，制定本规程，用于规范、指导短线匹配法节段预制拼装预应力混凝土箱梁的设计和施工。

本规程主要包括：总则、术语及符号、材料、基本规定、结构分析、持久状况的极限状态计算和应力计算、短暂状况的承载能力极限状态计算和应力计算、构造规定、节段预制施工、预制节段拼装施工、架设设备、施工控制及附录。

本规程中以黑体字标识的条文为强制性条文，必须严格执行。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规程日常管理组，联系人：李鉴（地址：湖北省武汉市东西湖区金银湖路 11 号，邮编：430040，电话：027-83920602，电子邮箱：33423681@qq.com），以便修订时研用。

主编单位：中交第二航务工程局有限公司

参编单位：中交公路规划设计院有限公司

主 编：张 鸿

参编人员：张喜刚 张永涛 刘 高 王 敏 杨炎华 冯 茷

李会驰 黄 跃 田 唯

目 次

1 总则	1
2 术语及符号	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	2
3 材料	6
3.1 一般规定.....	6
3.2 体外预应力.....	6
3.3 结构胶.....	10
4 基本规定	14
4.1 一般规定.....	14
4.2 耐久性设计.....	19
5 结构分析	20
6 持久状况的极限状态计算和应力计算	22
6.1 一般规定.....	22
6.2 承载能力极限状态计算.....	22
6.3 正常使用极限状态计算.....	29
6.4 应力计算.....	31
7 短暂状况的承载能力极限状态计算和应力计算	33
7.1 一般规定.....	33
7.2 承载能力极限状态计算.....	33
7.3 应力计算.....	34
8 构造规定	36
8.1 一般规定.....	36
8.2 箱梁节段构造.....	37
8.3 节段接缝构造.....	40
8.4 体外预应力系统构造.....	41
9 节段预制施工	46
9.1 一般规定.....	46

9.2	预制场地规划与布置.....	47
9.3	模板系统设计及安装.....	49
9.4	钢筋工程施工.....	51
9.5	混凝土浇筑施工.....	52
9.6	场内修整、转运、存放.....	55
9.7	节段出运.....	56
9.8	预制场内的测量控制.....	56
10	预制节段拼装施工	57
10.1	一般规定.....	57
10.2	节段安装施工准备.....	58
10.3	节段提升.....	58
10.4	整跨节段拼装施工.....	61
10.5	对称悬臂拼装施工.....	63
10.6	预应力施工.....	64
10.7	合龙施工.....	66
10.8	结构体系转换.....	67
10.9	拼装现场的测量控制.....	69
11	架设设备.....	71
11.1	一般规定	71
11.2	性能要求.....	72
11.3	荷载试验.....	74
12	施工控制	76
12.1	一般规定.....	76
12.2	施工监控实施.....	76
12.3	控制标准.....	78
附录 A	结构胶性能检测方法.....	81
A.1	结构胶物理性能检测方法.....	81
A.2	结构胶化学性能检测方法.....	84
A.3	结构胶力学性能检测方法.....	84

A.4 结构胶温度相关性能.....	85
本规程用词用语说明	86

1 总则

1.0.1 为指导短线匹配法节段预制拼装预应力混凝土箱梁的建设，使其符合安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理、环保节能的要求，制订本规程。

条文说明

短线匹配法节段预制拼装预应力混凝土箱梁（简称短线法箱梁）广泛应用于我国越江跨海通道非通航孔桥和城市桥梁建设，具备预制用地少、施工速度快、控制精度高等特点，对周边环境的影响小，资源利用率高，有利于环境保护和节约资源，体现了现代桥梁工厂化、大型化、机械化、标准化的发展趋势。

1.0.2 本规程适用于新（改、扩）建的、短线法箱梁的设计和施工。

1.0.3 短线法箱梁的设计、施工除应符合本规程的要求外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

条文说明

短线法箱梁的设计、施工，除满足本规程的要求外，还应符合《工程结构可靠性设计统一标准》（GB50153）；《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）；《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）；《公路工程抗震规范》（JTG B02）等规范的规定。短线法箱梁的材料要求、施工工艺、工程质量，除满足本规程的要求外，还应符合《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1）和《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）等规范的要求。

2 术语及符号

2.1 术语

2.1.1 短线匹配法 short-line match

利用预制完成的前一节段作为后一节段一侧端模，逐段预制，采用架桥机进行节段拼装的施工方法。

2.1.2 节段 segment

按箱梁纵向划分的梁段。

2.1.3 胶接缝 epoxy joint

节段结合面涂以结构胶后再拼接的接缝。

2.1.4 干接缝 dry joint

节段结合面直接拼接的接缝。

2.1.5 湿接缝 wet joint

节段间采用现浇混凝土结合的接缝。

2.1.6 复合剪力键 multiple shear key

位于节段接缝，承担剪力等作用的、凹凸密接匹配的键块和键槽组。

2.1.7 结构胶 construction gum

在胶接缝处，用于节段间粘结及封闭的胶粘剂。

2.2 符号

2.2.1 材料性能有关符号

f_{ck} 、 f_{cd} —— 混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；

f_{tk} —— 混凝土轴心抗拉强度标准值；

f'_{ck} 、 f'_{tk} —— 短暂状况施工阶段的混凝土轴心抗压、抗拉强度标准值；

f_{sk} 、 f_{sd} —— 普通钢筋抗拉强度标准值、设计值；

f_{pk} —— 预应力钢筋抗拉强度标准值；

E_c —— 混凝土弹性模量；

E_s 、 E_p —— 普通钢筋、预应力钢筋的弹性模量。

2.2.2 作用和作用效应有关符号

M_d —— 弯矩组合设计值；

V_d —— 剪力组合设计值；

V_{pe} —— 接缝截面处，使用阶段体内预应力钢筋和体外预应力钢筋的有效应力的竖向分力；

$V_{pe,e}$ —— 接缝截面处，使用阶段体外预应力钢筋的有效应力的竖向分力；

V_k^t —— 按短暂状况计算的最不利剪力设计值；

$T_{pe,i}$ —— 接缝截面处，使用阶段体内预应力钢筋的有效拉力；

$T_{pe,e}$ —— 接缝截面处，使用阶段体外预应力钢筋的有效拉力；

N_{vd} —— 体外索转向引起的竖向力设计值；

N_{hd} —— 体外索转向引起的水平力设计值；

N_p —— 体外索的拉力设计值；

σ_{pe} —— 体内纵向预应力钢筋的有效预应力；

$\sigma_{pe,ex}$ —— 体外预应力钢筋的有效预应力；

σ_p —— 按作用效应标准组合计算的预应力钢筋拉应力；

σ_{pc} —— 由预加力产生的混凝土法向预压应力；

σ_{pt} —— 由预加应力产生的混凝土法向拉应力；

σ_{kc} 、 σ_{kt} —— 由作用（或荷载）标准值产生的混凝土法向压应力、拉应力；
 σ_{st} —— 在作用（或荷载）效应频遇组合下，构件抗裂边缘混凝土的法向拉应力；
 σ_{cc} 、 σ_{ct} —— 按短暂状况计算的混凝土最大压应力和最大拉应力；
 σ_{tp} 、 σ_{cp} —— 构件混凝土中的主拉应力、主压应力；
 σ_c —— 接缝截面剪压区混凝土的压应力设计值；
 $\sigma_{pc,a}$ —— 预应力作用在接缝截面产生的平均压应力；
 $\sigma_{pc,a}^t$ —— 施工阶段预应力作用下接缝截面的平均有效压应力；
 τ_c —— 接缝截面剪压区混凝土的剪应力设计值；
 τ_k^t —— 施工阶段剪切破坏面上键块混凝土的极限剪应力。

2.2.3 几何参数有关符号

b —— T 形或 I 形截面腹板宽度，或箱形截面腹板宽度之和；
 b_f 、 b'_f —— T 形或 I 形截面受拉区、受压区的有效翼缘宽度；
 $b'_{f,s}$ —— 受压翼缘的抗剪有效宽度；
 h_f 、 h'_f —— T 形或 I 形截面受拉区、受压区的翼缘厚度；
 h'_h —— 翼缘平均厚度；
 A_{cf} —— 抗剪有效宽度内键块剪切面的面积；
 A_{ks} —— 抗剪有效宽度内非键块接触摩擦面的面积；
 θ_e —— 体外索的竖弯角；
 β_e —— 体外索的平弯角。

2.2.4 计算系数及其他有关符号

μ —— 光滑混凝土表面之间或整体浇筑混凝土剪切面之间的摩擦系数；
 k'_f —— 受压翼缘抗剪有效宽度范围内键块剪切面面积与非键块接触摩擦面面积的比值；

k_w ——腹板高度范围内键块剪切面面积与非键块接触摩擦面面积的比值。

条文说明

本章仅将有关短线法箱梁的特殊术语和新定义符号列出。由于我国尚无短线法箱梁方面的规范术语，本规程的术语仅概括性的反映其涵义。

3 材料

3.1 一般规定

3.1.1 混凝土箱梁的强度等级不宜低于 C50。

条文说明

对于短线法箱梁，混凝土箱梁的强度等级多采用 C50 及以上，如表 3.1.1-1。

表 3.1.1-1 短线法箱梁中混凝土箱梁的强度等级

桥梁	混凝土箱梁强度等级	桥梁	混凝土箱梁强度等级
苏通大桥引桥	C50	南京四桥引桥	C55
厦门集美大桥	C55	厦漳大桥引桥	C55
上海长江大桥引桥	C55	嘉绍大桥引桥	C55
江苏崇启大桥引桥	C55		

3.1.2 混凝土箱梁的普通钢筋宜选用 HPB300、HRB400、HRB500、HRBF400 和 RRB400 钢筋，箍筋应选用其中的带肋钢筋，按构造要求配置的钢筋网可采用冷轧带肋钢筋。

3.1.3 混凝土箱梁的预应力钢筋应选用钢绞线、钢丝；中、小型构件或竖、横向预应力钢筋，也可选用精轧螺纹钢。

3.1.4 混凝土、普通钢筋、预应力钢筋的强度标准值、强度设计值、弹性模量应按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的规定选用。

3.2 体外预应力

3.2.1 体外预应力用钢绞线应满足下列要求：

- 1 普通钢绞线应满足《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T 5224）的要求；
- 2 镀锌钢绞线应满足《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》（YB/T 152）的

要求；

3 环氧涂层钢绞线应满足《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》（GB/T 25823）或《环氧涂层七丝预应力钢绞线》（GB/T 21073）的要求；

4 无粘结钢绞线应满足《无粘结预应力钢绞线》（JG161）的要求。

3.2.2 S-I 型和 S-II 型体外索用 HDPE 套管的材料应满足《建筑缆索用高密度聚乙烯塑料》（CJ/T 3078）的要求。

3.2.3 S-III 体外索应满足《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝索技术条件》（GB/T 18365）的要求。

3.2.4 灌浆料应满足《无粘结预应力筋专用防腐润滑剂》（JG 3007）、《半精炼石蜡》（GB 254）的要求。

条文说明

3.2.1~3.2.4 体外预应力体系的基本组成如图 3.2.1-1 所示，其提供完整的受力系统，并建立可靠的防护系统。该体系的详细部件及各个部件的作用如表 3.2.1-1 所示。

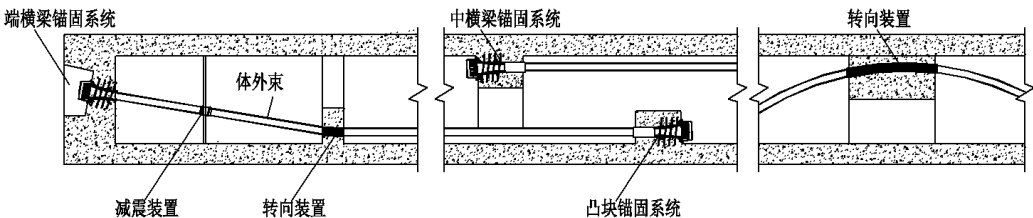


图 3.2.1-1 体外预应力体系的基本组成

体外索由预应力钢束、灌浆料、外护套组成，基本类型如图 3.2.1-2，各类索体的基本构造组成如表 3.2.1-2。



a) S-I 型



b) S-II 型



c) S-III 型

图 3.2.1-2 体外索的基本类型

表 3.2.1-1 体外预应力体系的组成及功能划分

项目		作用
体外索	预应力钢束	采用普通钢绞线时，仅提供受力作用；采用环氧涂层或无粘结钢绞线时，兼有防护作用
	灌浆料	防护作用
	外护套	防护作用
体外预应力锚固系统	锚具	钢绞线的锚固和防护作用
	锚固构造	钢绞线的锚固力传递至箱梁
体外预应力转向装置	转向器	钢绞线的转向和防护作用
	转向构造	钢绞线的转向力传递至箱梁
体外索的减振装置	定位部件	防护作用
	隔振材料	

表 3.2.1-2 体外索的基本构造组成

索体型号	S-I 型	S-II 型	S-III 型
预应力钢束	普通钢绞线、镀锌钢绞线、环氧涂层钢绞线	无粘结钢绞线	无粘结成品索
外护套	HDPE 套管	哈弗式 HDPE 套管	热挤 HDPE
灌浆料	水泥浆、油脂、石蜡等	自由段属无灌浆型	自由段属无灌浆型
类型	非成品索		成品索

S-II 型体外索由多根无粘结钢绞线组成，与散束式转向器配套使用，可实现单根张拉、换束。为防止动物啮咬或人为破坏 PE 层，外加护套作整体防护，考虑体外索的穿索施工，推荐采用哈弗式外护套。S-II 型和 S-III 型体外索自由段内均不需要灌注灌浆料，其防护主要依靠钢绞线自身的防腐性能来保证。在箱梁运营期间，可以随时检验索体的使用情况。体外索的索体类型应根据环境条件，经功能与经济性等因素综合比较确定。结构处于干湿交替环境或侵蚀性的恶劣环境时，优先采用防护性能优良的 S-II 型和 S-III 型体外索。

3.2.5 体外预应力钢束用锚具应满足《预应力钢束用锚具、夹具和连接器》（GB/T 14370）的要求；预埋管和密封筒采用无缝钢管，应满足《结构用无缝钢管标准》（GB/T 8162）的要求。

条文说明

体外预应力钢束的锚具分为 M-I 型、M-II 型、M-III 型和 M-IV 型，基本构造如图 3.2.5。

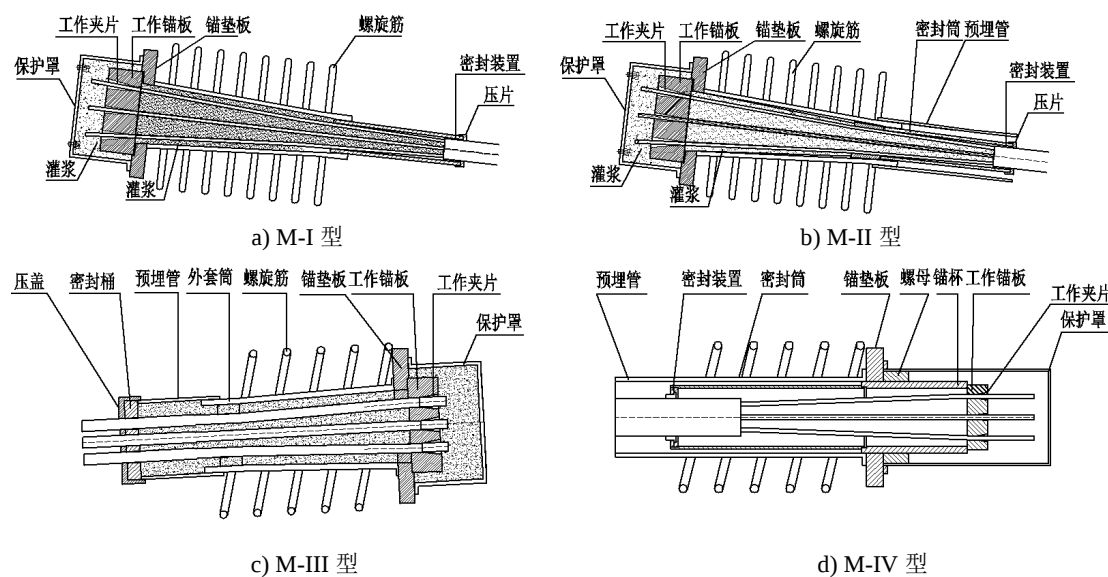


图 3.2.5 体外预应力钢束的锚具示意图

体外预应力钢束锚具的多次张拉和更换要求如表 3.2.5。

表 3.2.5 体外预应力钢束锚具的多次张拉和更换要求

锚具类型	M-I 型	M-II 型	M-III 型	M-IV 型
特殊构造	锚具内无隔离衬套	锚具内设置隔离衬套	锚具内无隔离衬套	锚具内无隔离衬套，锚板外设调节螺帽
锚具内灌浆料	油脂	油脂或水泥浆	油脂	油脂
更换方式	整根更换	整根更换	单根更换	整根更换
可否二次张拉	否	否	否	可

3.2.6 体外预应力钢束的集束式转向器应符合《结构用无缝钢管标准》（GB/T 8162）的要求。

条文说明

体外预应力转向器分为集束式转向器和散束式转向器，如图 3.2.6-1 所示。

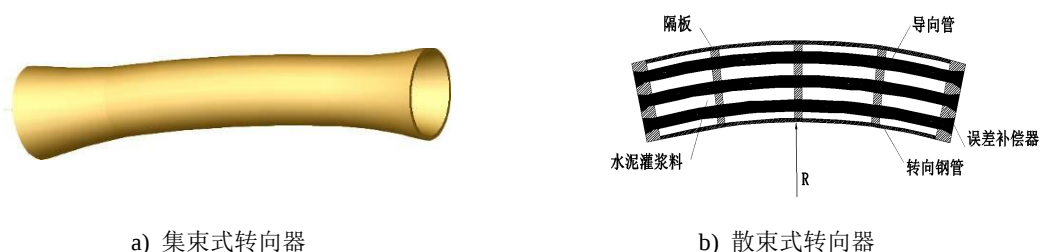


图 3.2.6-1 转向器示意图

集束式转向器可用于成品或非成品体外索。采用集束式转向器的非成品索，钢束张拉后应在转向段内灌注水泥浆，如图 3.2.6-2 c)所示；可在转向器内设置

内衬管，实现钢束的整根更换，如图 3.2.6-2 d) 所示。

散束式转向器适用于非成品体外索。当采用散束式转向器和无粘结钢绞线非成品索时，可实现钢绞线的单根更换，如图 3.2.6-2e) 所示。

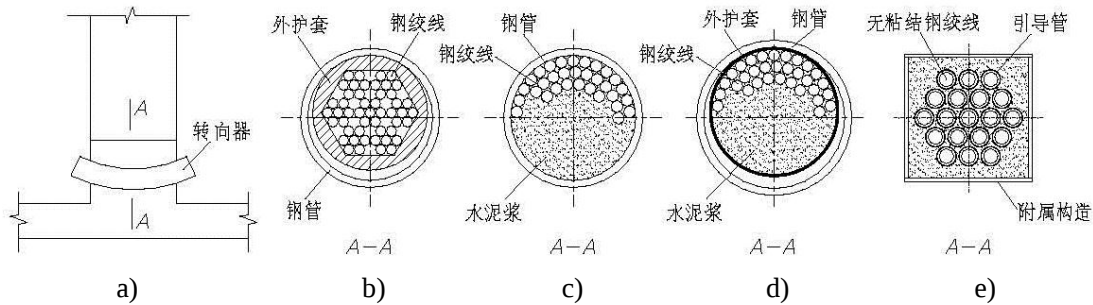


图 3.2.6-2 转向器的截面示意图

3.2.7 减振装置的定位部件宜采用钢材，隔振材料宜采用工程橡胶。

条文说明

体外索的减振装置由定位部件和隔振材料组成，基本构造如图 3.2.7。

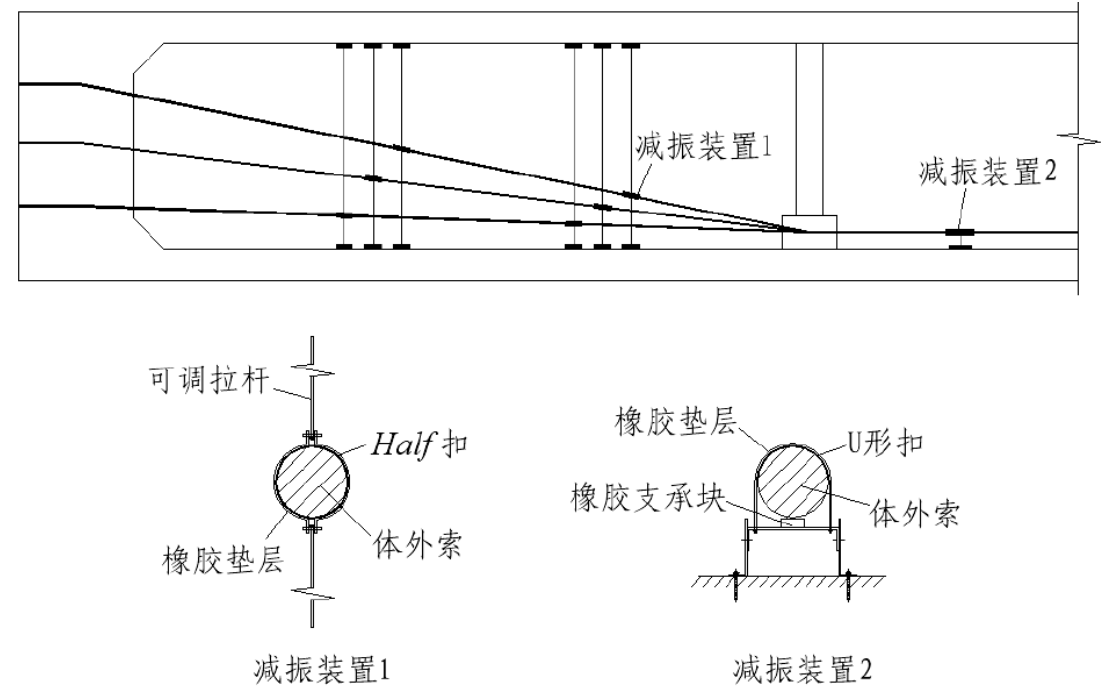


图 3.2.7 体外索的减振装置示意图

3.3 结构胶

3.3.1 节段预制拼装施工中，结构胶应满足下列要求：

- 1 预制混凝土构件结构胶在构件间应能传递压应力与剪切应力，在某些特定

条件下应具备传递拉应力的能力；

2 结构胶强度发展应满足节段连接拼装要求，并应具备定位调整时所需的缓冲与润滑特性；

3 结构胶应具有防水、防气、防化学腐蚀特性。

条文说明

混凝土箱梁节段工厂预制、现场拼装已成为大跨度预应力混凝土箱梁的先进施工方法。为确保拼装后箱梁具有良好的整体性，需在箱梁混凝土节段拼装过程中在节段之间涂抹结构胶，使相邻的两个节段粘合成一体，同时在两个节段间起密封作用。

3.3.2 结构胶物理性能应满足下列要求：

1 在各型号结构胶适用温度范围的高限温度条件下，凝胶时间宜 ≥ 20 min，可粘接时间宜 ≥ 60 min；

2 当结构胶涂抹于垂直的混凝土结合面时，须保持静止不流动状态，即厚度最薄为 3mm 时应无流挂现象；

3 在所指定应用温度范围的下限，结构胶形成物的表面积在所指定的挤压力下应满足下表要求：

表 3.3.2-1 挤压力与表面积对应关系

挤压力 (kN)	表面积 (mm ²)
0.15	3000
2	7500
4	10000

4 结构胶适用温度范围内的低限温度条件下，结构胶强度发展应符合下列要求：

表 3.3.2-2 结构胶固化速度

时间	抗压强度 (MPa)
12小时	≥ 20
24小时	≥ 40
7天	≥ 75

5 结构胶抗压和抗剪弹性模量应满足以下要求：

表 3.3.2-3 结构胶抗压和抗剪弹性模量

项目	规定值 (MPa)
瞬间抗压弹性模量 (E_i)	≥ 8000
延滞抗压弹性模量 ($E_d, 1h$)	≥ 6000
瞬间抗剪弹性模量 (G_i)	≥ 1500
延滞抗剪弹性模量 ($G_d, 1h$)	≥ 1200
延滞抗剪弹性模量 ($G_d, 28d$)	≥ 1000

6 结构胶在适用温度范围内的高限温度条件下，吸水率应 $\leq 0.5\%$ ，水中溶解率应 $\leq 0.1\%$ ；

7 结构胶适用温度范围内的高限温度条件下，养护 7 天试件的耐热温度应 $\geq 50^\circ\text{C}$ ，热变形温度应 $\geq 50^\circ\text{C}$ ；

8 凝固后的结构胶颜色宜与预制节段混凝土表面颜色相似；

9 结构胶物理性能检测方法见附录 A 结构胶性能检测方法。

3.3.3 结构胶化学性能应满足下列要求：

- 1 在预期的使用寿命中，结构胶应保持化学稳定性；
- 2 结构胶在全桥使用寿命中，不能与混凝土的碱性环境发生化学反应。

3.3.4 结构胶力学性能应满足下列要求：

- 1 结构胶压缩弹性模量应 $\geq 8000\text{MPa}$ ；
- 2 结构胶适用温度范围内的低限温度条件下，24 小时抗压强度应 $\geq 60\text{MPa}$ 、7 天抗压强度应 $\geq 75\text{MPa}$ ；
- 3 结构胶适用温度范围内的低限温度条件下，24 小时湿度为 100%时，断裂破坏应全部发生在混凝土内部，不得有发生在结构胶内部的破坏出现，抗拉强度应 $\geq 12\text{MPa}$ ；
- 4 结构胶适用温度范围内的低限温度条件下，7 天抗剪强度应 $\geq 12\text{MPa}$ ；
- 5 结构胶力学性能检测方法见附录 A 结构胶性能检测方法。

3.3.5 结构胶老化测试应符合《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013）A 级胶的要求。

条文说明

根据《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013）规范 4.4 节“结构加固用胶粘剂”相关要求，箱梁节段拼装用的结构胶应采用 A 级胶。关于 A 级胶的安全性能指标参考《混凝土结构加固设计规范》中表 4.4.3 中的相关规定执行。

3.3.6 结构胶的试验检测方法，除应满足本规程的要求外，还应符合《树脂浇铸体性能试验方法》（GB/T 2567）的规定。

4 基本规定

4.1 一般规定

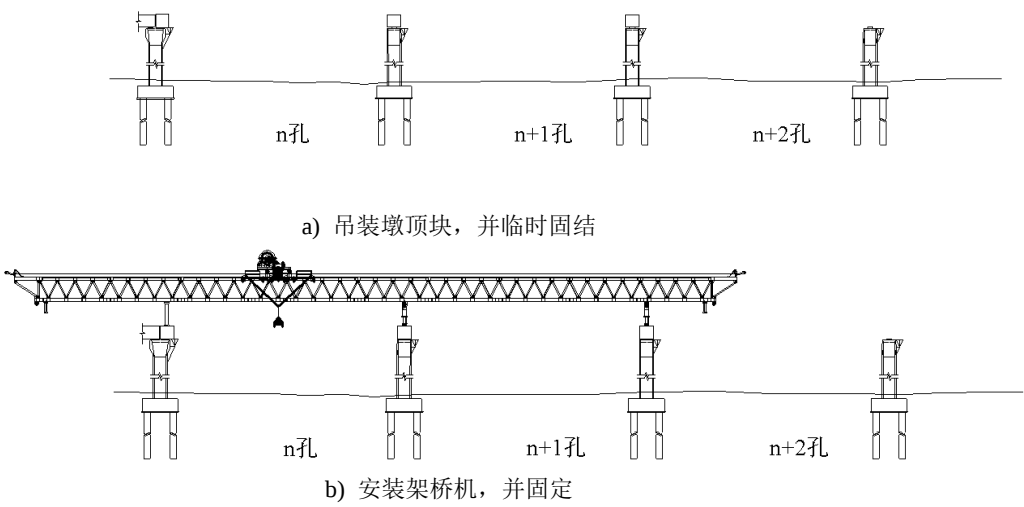
4.1.1 短线法箱梁的结构体系和施工方法应综合考虑建设条件和施工设备等因素。当跨径不大于 50m 时，短线法箱梁宜采用整跨拼装；当跨径大于 50m 时，短线法箱梁宜采用悬臂拼装。

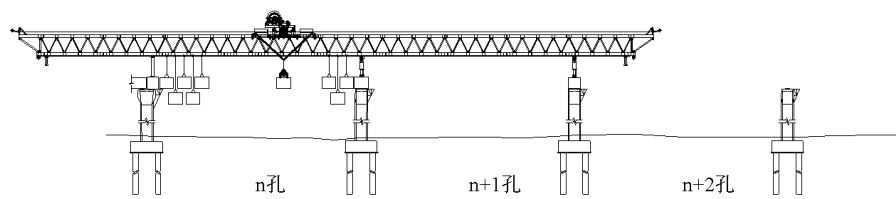
条文说明

我国已建短线法箱梁的节段拼装方式如表 4.1.1 所示，分为整跨拼装和悬臂拼装两种，其典型施工流程分别如图 4.1.1-1 和图 4.1.1-2 所示。

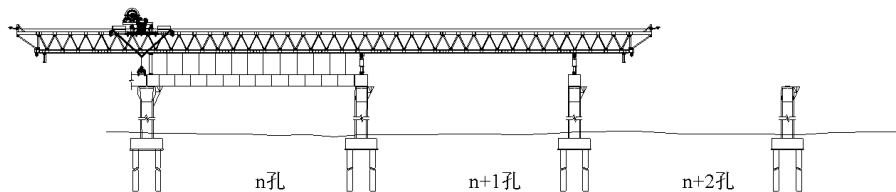
表 4.1.1 我国已建短线法箱梁的施工方法

序号	箱梁	最大跨径（m）	施工方法
1	苏通大桥引桥	75	悬臂拼装
2	厦门集美大桥	100	悬臂拼装
3	上海长江大桥引桥	60	悬臂拼装
4	江苏崇启大桥引桥	50	整跨拼装
5	南京四桥引桥	65	整跨拼装
6	厦漳大桥引桥	70	悬臂拼装
7	嘉绍大桥引桥	70	悬臂拼装

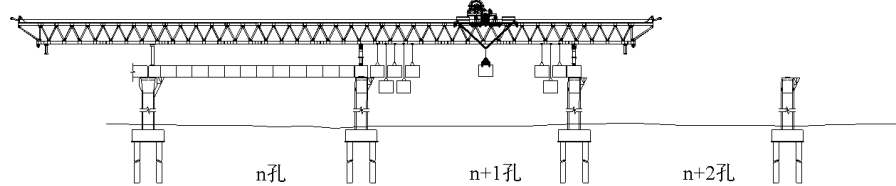




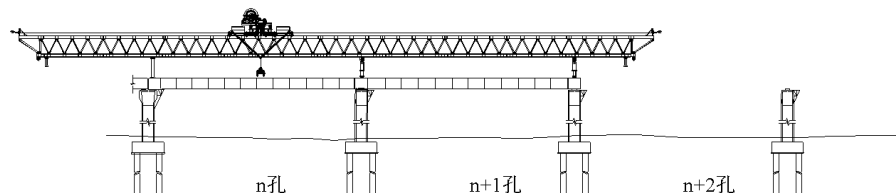
c) 吊装第 n 孔预制节段



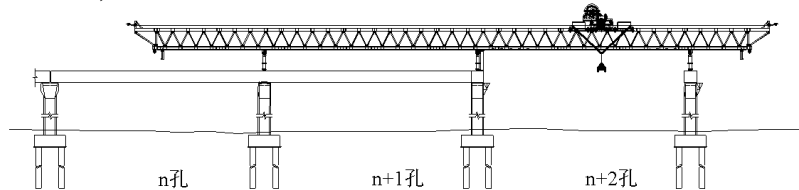
d) 拼装第 n 孔预制节段，浇筑湿接缝，张拉预应力



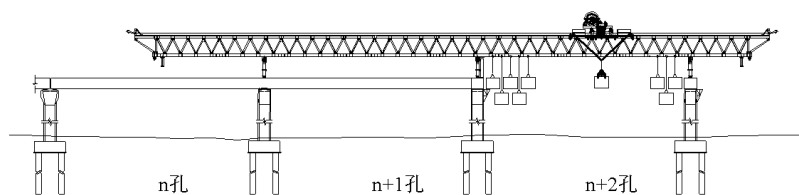
e) 吊装第 $n+1$ 孔预制节段



f) 拼装第 $n+1$ 孔预制节段，浇筑湿接缝，张拉预应力

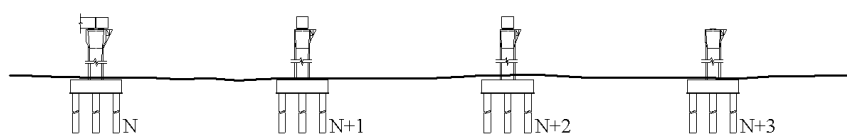


g) 移动架桥机，并固定



h) 吊装第 $n+2$ 孔预制节段

图 4.1.1-1 整跨拼装施工流程示意图



a) 吊装墩顶块，并临时固结

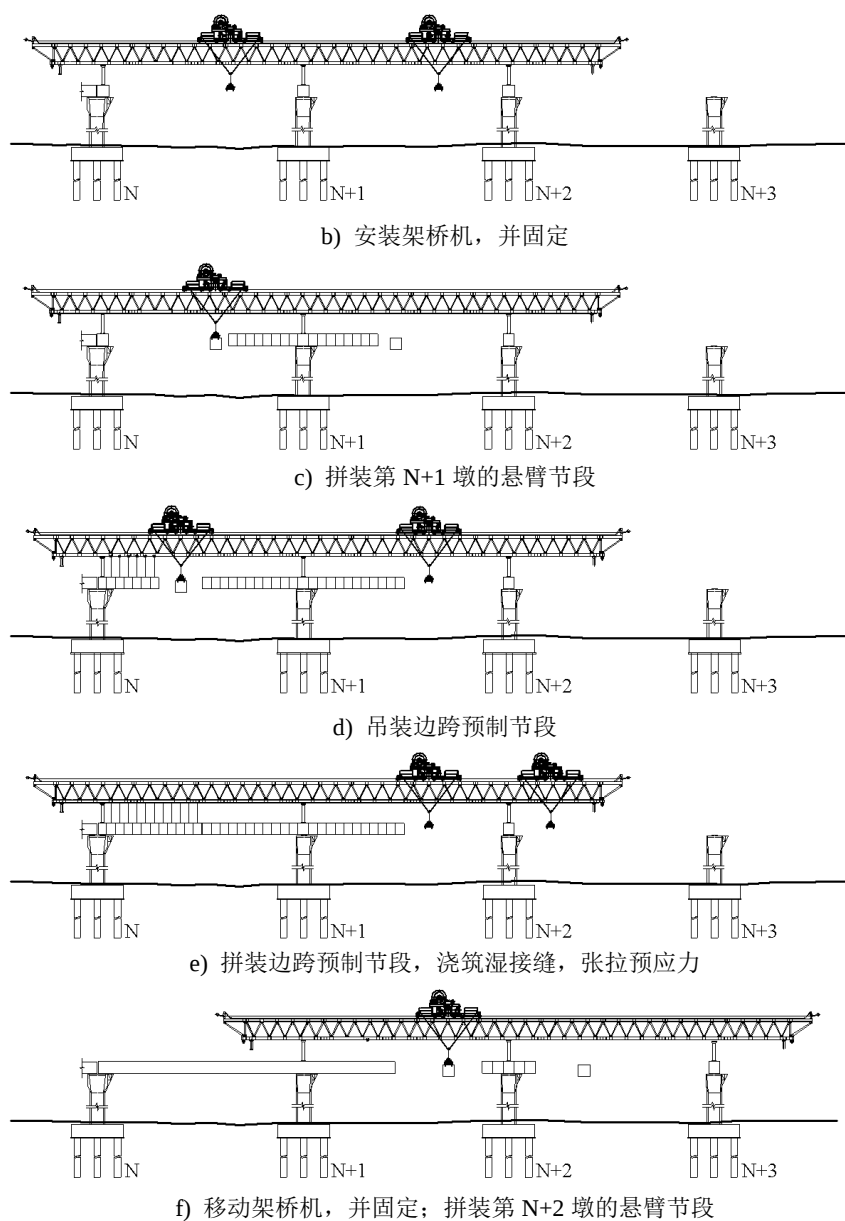
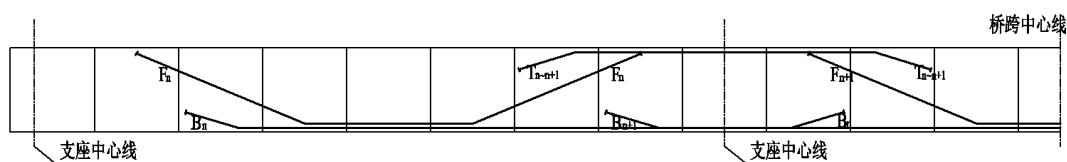


图 4.1.1-2 悬臂拼装施工流程示意图

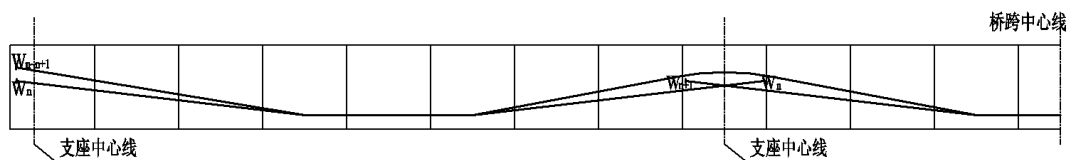
4.1.2 采用整跨拼装时，箱梁的典型预应力布置宜如图 4.1.2-1 所示；采用悬臂拼装时，箱梁的典型预应力布置如图 4.1.2-2 所示。

条文说明

体内-体外混合配束时，体内束-体外束比例可根据受力需要、施工可行性和构造要求确定。如采用悬臂施工时，体内预应力应可以平衡由悬臂节段自重以及挂篮等临时施工设备引起的荷载。随着节段拼装的进行，短线法箱梁的预应力张拉顺序如表 4.1.2 所示。

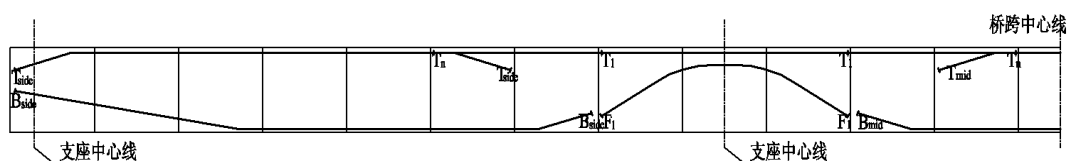


a) 体内预应力布置

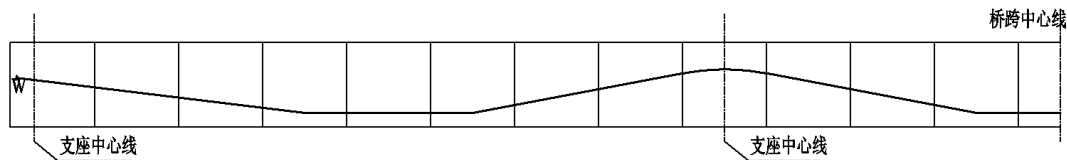


b) 体外预应力布置

图 4.1.2-1 整跨拼装时，典型预应力布置示意



a) 体内预应力布置



b) 体外预应力布置

图 4.1.2-2 悬臂拼装时，典型预应力布置示意

表 4.1.2 短线法箱梁的预应力张拉顺序

施工方法	施工阶段	张拉的预应力钢束编号
整跨拼装	拼装第 n 孔预制节段	腹板束 F_n 、体外束 W_n
	拼装第 $n+1$ 孔预制节段	腹板束 F_{n+1} 、体外束 W_{n+1} 、体外束 W_{n-n+1} 、底板束 B_n 、顶板束 T_{n-n+1}
		
悬臂拼装	拼装悬臂节段	顶板束 $T1$ 、腹板束 $F1$
		
		顶板束 T_n
		
	边跨合龙	边跨底板束 B_{side} 、顶板束 H_{side}
	中跨合龙	中跨底板束 B_{mid} 、顶板束 H_{mid}
	张拉体外预应力钢束	体外束 W

4.1.3 箱梁采用体内体外预应力混合配束时，节段接缝应采用胶接缝或湿接缝；箱梁采用全体外预应力配束时，节段接缝可采用干接缝。

条文说明

箱梁采用体内-体外混合配束时，接缝应采用胶接缝，保证接缝密闭。

在无冻融循环环境、无氯化物环境中，混凝土箱梁可采用全体外预应力配束，箱梁接缝采用干接缝。由于箱梁内无预应力孔道，无需考虑孔道定位等问题，可提高箱梁预制速度；由于无体内预应力钢束穿过接缝，无需考虑接缝处钢筋的防腐问题，采用干接缝以最大限度的提高节段拼装速度。

在下列情况下，应设置湿接缝，如图 4.1.3 所示：

- 1 箱梁合龙时留出的接缝；
- 2 节段拼装过程中针对拼装误差的调整缝。

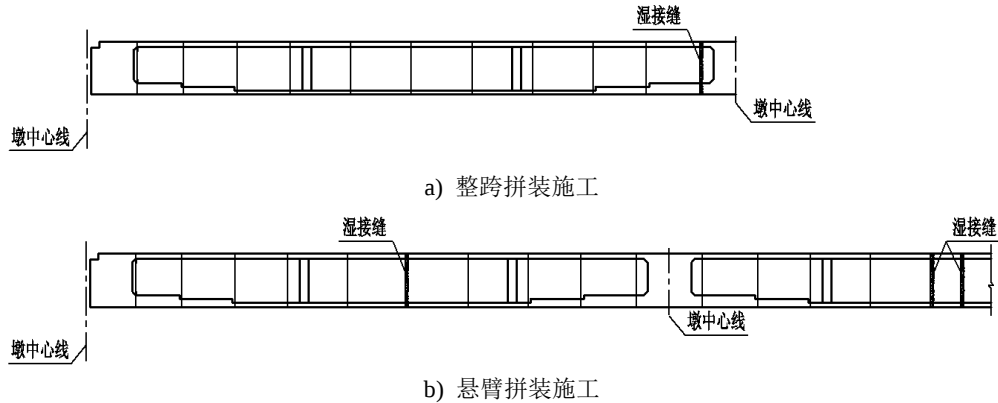


图 4.1.3 湿接缝设置示意图

4.1.4 采用全体外预应力配束的箱梁不宜用于抗震设防烈度 8 度及以上地区。

条文说明

全体外预应力、节段式混凝土箱梁在体内无连续钢筋通过接缝截面；当接缝裂缝开展较大（如墩旁接缝），或因墩梁刚结引起墩旁接缝裂缝上下反复开展时，箱梁会发生直接剪切破坏。因此，这种结构不适用于抗震设防烈度大于等于 8 度地区。

4.1.5 短线法箱梁宜针对体外预应力体系进行监测。

4.2 耐久性设计

4.2.1 短线法箱梁应根据设计使用年限和所处环境及作用等级进行耐久性设计。混凝土材料耐久性基本要求、耐久性技术措施和相应的施工工艺要求应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）和《公路工程混凝土结构耐久性设计细则》的规定。

4.2.2 体外预应力应按可更换构件设计，其设计使用年限不应低于 20 年。混凝土箱梁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。

5 结构分析

5.0.1 箱梁应进行持久状况和短暂状况的极限状态计算和应力计算。

条文说明

箱梁分析计算的主要内容包括：

1 持久状况

1) 承载能力极限状态计算：箱梁的抗弯承载力、抗剪承载力和抗扭承载力，应力扰动区的承载力；

2) 正常使用极限状态计算：箱梁的抗裂性和挠度；

3) 使用阶段应力计算：正截面混凝土的法向压应力、预应力钢筋的拉应力和斜截面混凝土的主压应力。

2 短暂状况

1) 承载能力极限状态计算：箱梁的抗弯承载力、抗剪承载力和抗扭承载力；

2) 施工阶段应力计算：正截面混凝土的法向压应力、预应力钢筋的拉应力和斜截面混凝土的主压应力。

预应力混凝土构件由于施加预应力以后截面应力状态较为复杂，除计算构件承载力外，还要计算弹性阶段的构件应力。这些应力包括正截面混凝土的法向压应力、钢筋的拉应力和斜截面混凝土的主压应力。应力计算实质上是强度计算，是对承载力计算的补充。

5.0.2 箱梁的荷载及其组合应符合《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60) 的规定。

5.0.3 箱梁整体受力分析时，宜采用如下基本假定：

1 忽略体外预应力二次效应对结构受力的影响；

2 忽略节段接缝对箱梁整体受力的影响；

3 体外索与转向器粘结良好，满足变形协调条件。

条文说明

体外预应力的二次效应，指体外预应力钢束的位移与箱梁变形不一致而引起的附加预应力效应。在施工阶段和正常使用阶段，体外预应力混凝土梁处于弹性

受力状态，结构受力满足弹性小位移理论。因此，设计计算可以忽略结构变形对结构受力的影响，包括体外预应力的二次效应。

个别试验反映接缝会增大预制节段式箱梁在使用荷载下的变形，但大部分试验没有得到这种结果，总体来看接缝对梁整体受力性能的影响很小，故在施工阶段和使用阶段的设计计算时可以不计这种影响。

试验研究和理论研究表明：正常使用阶段体外预应力钢束的应力变化幅度一般在 20MPa 以下，体外索滑移对该应力幅度的影响约为 5MPa，对混凝土梁体的影响可以忽略。

6 持久状况的极限状态计算和应力计算

6.1 一般规定

6.1.1 在进行持久状况的承载能力极限状态计算时，作用效应应按基本组合（汽车荷载计入冲击系数）取值计算，箱梁材料性能采用其强度设计值。

6.1.2 在进行持久状况的正常使用极限状态计算时，作用效应按频遇组合、准永久组合（汽车荷载不计冲击系数）取值计算。

6.1.3 在进行持久状况的箱梁应力计算时，作用效应按标准组合（汽车荷载计入冲击系数）取值计算。

条文说明

6.1.1~6.1.3 作用效应取值方法按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定执行。

6.2 承载能力极限状态计算

6.2.1 箱梁节段的抗弯承载力、抗剪承载力和抗扭承载力计算应满足现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定。

6.2.2 胶接缝处箱梁的斜截面抗剪承载力（如图 6.2.2）应按下列规定计算：

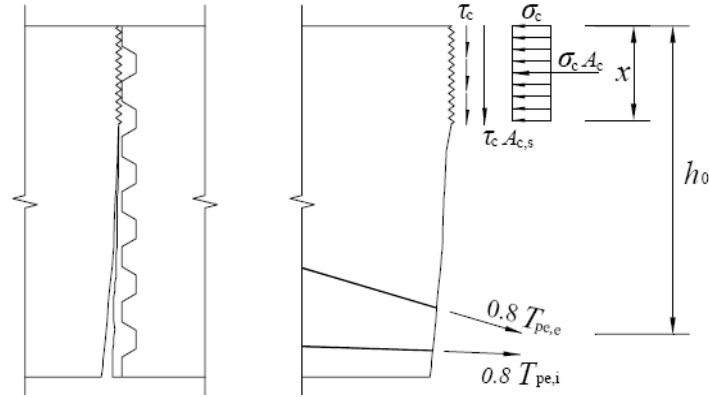


图 6.2.2 胶接缝处箱梁的斜截面抗剪承载力计算图示

$A_{c,s}$ ——抗剪有效宽度内的截面面积

1 当剪压区高度 x 不大于翼缘平均厚度 h'_h 时，斜截面抗剪承载力应满足下式要求：

$$\gamma_0 V_d \leq \tau_c b'_{f,s} x + 0.8 V_{pe} \quad (6.2.2-1)$$

其中， x 和 τ_c 满足下列要求：

$$\frac{M_d}{V_d} = \frac{0.8(T_{pe,i} + T_{pe,e})(h_0 - 0.5x)}{\tau_c b'_{f,s} x + 0.8 V_{pe}} \quad (6.2.2-2)$$

$$0.8(T_{pe,i} + T_{pe,e}) = \sigma_c b'_f x \quad (6.2.2-3)$$

$$\frac{\tau_c}{f_{cd}} = \sqrt{0.009 + 0.095 \frac{\sigma_c}{f_{cd}} - 0.104 \left(\frac{\sigma_c}{f_{cd}} \right)^2} \quad (6.2.2-4)$$

2 当剪压区高度 x 大于翼缘平均厚度 h'_h 时，斜截面抗剪承载力应满足下式要求：

$$\gamma_0 V_d \leq \tau_c [bx + h'_h(b'_f - b)] + 0.8 V_{pe} \quad (6.2.2-5)$$

其中， x 和 τ_c 满足下列要求：

$$\frac{M_d}{V_d} = \frac{\sigma_c [bx(h_0 - 0.5x) + h'_h(b'_f - b)(h_0 - 0.5h'_h)]}{\tau_c [bx + h'_h(b'_f - b)] + 0.8 V_{pe}} \quad (6.2.2-6)$$

$$0.8(T_{pe,i} + T_{pe,e}) = \sigma_c [bx + h'_h(b'_f - b)] \quad (6.2.2-7)$$

$$\frac{\tau_c}{f_{cd}} = \sqrt{0.009 + 0.095 \frac{\sigma_c}{f_{cd}} - 0.104 \left(\frac{\sigma_c}{f_{cd}} \right)^2} \quad (6.2.2-8)$$

式中 V_d ——胶接缝处箱梁的剪力组合设计值；

M_d ——相应于剪力组合设计值的弯矩组合设计值；

τ_c ——胶接缝处截面剪压区的混凝土剪应力设计值；

σ_c ——胶接缝处截面剪压区的混凝土压应力设计值；

f_{cd} ——混凝土的轴心抗压强度设计值；
 x ——胶接缝处截面剪压区的高度；
 h'_h ——翼缘平均厚度；
 h_0 ——胶接缝处截面的有效高度，自纵向受拉钢筋合力点至受压边缘的距离；
 b ——箱形截面腹板宽度总和；
 $b'_{f,s}$ ——受压翼缘的抗剪有效宽度，取 $b'_{f,s} = b + b'_h$ ， b'_h 为腹板内侧承托或加腋的宽度总和；
 b'_f ——受压翼缘的有效宽度；
 V_{pe} ——胶接缝处使用阶段体内预应力钢筋和体外预应力钢筋的有效应力的竖向分力；
 $T_{pe,i}$ ——胶接缝处使用阶段体内预应力钢筋的有效拉力；
 $T_{pe,e}$ ——胶接缝处使用阶段体外预应力钢筋的有效拉力。

6.2.3 干接缝处箱梁的斜截面抗剪承载力应按下列规定计算：

1 $m > 1$ 的弯剪受力段（计算图示如图 6.2.3-1）

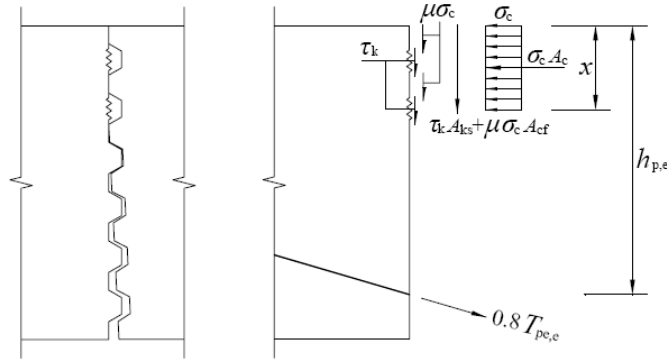


图 6.2.3-1 弯剪受力段，干接缝处箱梁的抗剪承载力计算图示

A_{ks} 、 A_{cf} ——抗剪有效宽度内键块剪切面和非键块接触摩擦面的面积

1) 当剪压区高度 x 不大于翼缘平均厚度 h'_h 时，斜截面抗剪承载力应满足下式要求：

$$\gamma_0 V_d \leq b'_f x [k'_f \tau_k + \mu \sigma_c (1 - k'_f)] + 0.8 V_{pe,e} \quad (6.2.3-1)$$

其中， x 、 τ_k 和 σ_c 满足下列要求：

$$\frac{M_d}{V_d} = \frac{0.8 T_{pe,e} (h_{p,e} - 0.5x)}{b'_{f,s} x [k'_f \tau_k + \mu \sigma_c (1 - k'_f)] + 0.8 V_{pe,e}} \quad (6.2.3-2)$$

$$0.8T_{pe,e} = \sigma_c b'_t x \quad (6.2.3-3)$$

$$\frac{\tau_k}{f_{cd}} = \sqrt{0.009 + 0.095 \frac{\sigma_c}{f_{cd}} - 0.104 \left(\frac{\sigma_c}{f_{cd}} \right)^2} \quad (6.2.3-4)$$

2) 当剪压区高度 x 大于翼缘平均厚度 h'_h 时, 斜截面抗剪承载力应满足下式要求:

$$\gamma_0 V_d \leq b'_{fs} h'_h [k'_f \tau_k + \mu \sigma_c (1 - k'_f)] + b(x - h'_h) [k_w \tau_k + \mu \sigma_c (1 - k_w)] + 0.8V_{pe,e} \quad (6.2.3-5)$$

其中, x 、 τ_k 和 σ_c 满足下列要求:

$$\frac{M_d}{V_d} = \frac{\sigma_c [bx(h_{pe} - 0.5x) + h'_h(b'_f - b)(h_{pe} - 0.5h'_h)]}{b'_{fs} h'_h [k'_f \tau_k + \mu \sigma_c (1 - k'_f)] + b(x - h'_h) [k_w \tau_k + \mu \sigma_c (1 - k_w)] + 0.8V_{pe,e}} \quad (6.2.3-6)$$

$$0.8T_{pe,e} = \sigma_c [bx + h'_h(b'_f - b)] \quad (6.2.3-7)$$

$$\frac{\tau_k}{f_{cd}} = \sqrt{0.009 + 0.095 \frac{\sigma_c}{f_{cd}} - 0.104 \left(\frac{\sigma_c}{f_{cd}} \right)^2} \quad (6.2.3-8)$$

式中 τ_k ——键块剪切面混凝土的剪应力设计值;

μ ——光滑混凝土表面之间的摩擦系数, 取 0.6;

k'_f ——受压翼缘抗剪有效宽度范围内键块剪切面面积与非键块接触摩擦面面积的比值;

k_w ——腹板高度范围内键块剪切面面积与非键块接触摩擦面面积的比值;

$h_{pe,e}$ ——接缝截面处自体外预应力钢筋合力点至受压边缘的距离;

$V_{pe,e}$ ——接缝截面处, 使用阶段体外预应力钢筋的有效应力的竖向分力。

其余符号意义同 6.2.2 条。

2 $m \leq 1$ 的纯剪受力段 (计算图示如图 6.2.3-2), 斜截面抗剪承载力应满足下列要求:

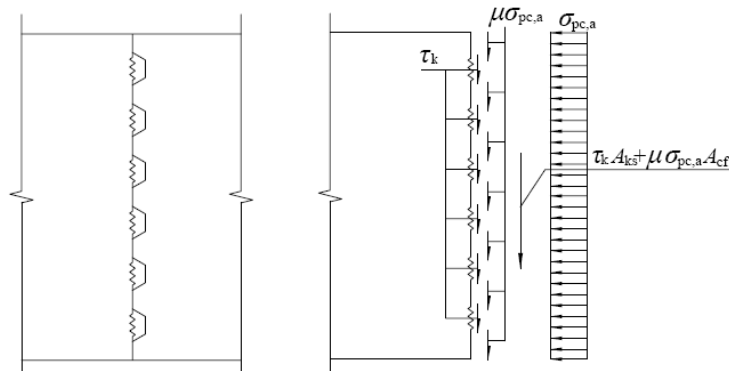


图 6.2.3-2 纯剪受力段, 干接缝处箱梁的抗剪承载力计算图示

A_{ks} ——抗剪有效宽度内键块剪切面的面积

$$\gamma_0 V_d \leq 0.8 \mu \sigma_{pc,a} A_{cf} + \tau_k A_{ks} \quad (6.2.3-9)$$

$$\frac{\tau_k}{f_{cd}} = \sqrt{0.009 + 0.095 \frac{\sigma_{pc,a}}{f_{cd}} - 0.104 \left(\frac{\sigma_{pc,a}}{f_{cd}} \right)^2} \quad (6.2.3-10)$$

式中 $\sigma_{pc,a}$ ——预应力作用在接缝截面产生的平均压应力；

A_{cf} ——抗剪有效宽度内键块剪切面的面积；

A_{ks} ——抗剪有效宽度内非键块接触摩擦面的面积。

其余符号意义同前。

条文说明

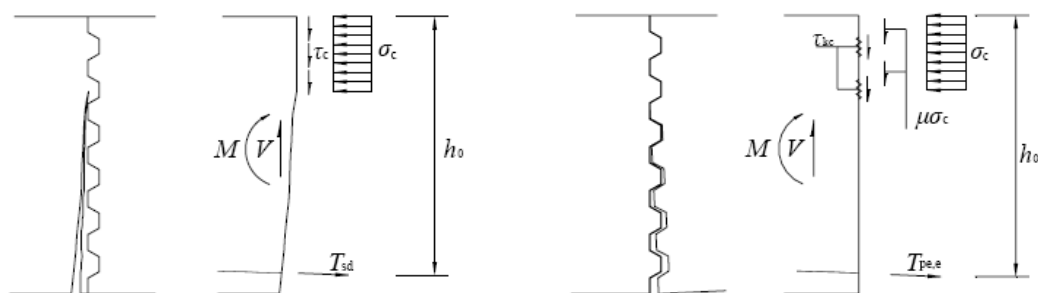
6.2.2、6.2.3 相关试验研究表明：在剪力和弯矩共同作用下，预制节段式体外预应力梁的接缝可能消压而开展；接缝一旦开展到一定高度后，斜裂缝就不再发生、发展而成为破坏裂缝，如图 6.2.2-1。因此，预制节段式体外预应力混凝土梁可能以接缝开展的形式发生弯剪破坏。根据胶接缝和干接缝节段式梁的试验数据、混凝土剪-压复合强度简化准则（适用剪跨比 $m=1\sim6$ ）以及混凝土表面剪切摩阻原理，采用图 6.2.2-2 的计算图式，分别推出胶接缝和干接缝的计算公式。



a) 胶接缝

b) 干接缝

图 6.2.2-1 节段式箱梁的斜裂缝剪切破坏



a) 胶接缝

b) 干接缝

图 6.2.2-2 节段式箱梁接缝的抗剪承载力计算图示

计算公式采用混凝土剪-压复合强度准则，其本身有一定的保证率，而计算截面顶板（悬臂板）或底板的抗剪有效宽度仅考虑承托或加腋范围，故公式的计算结果与试验数据对比有一定的安全储备。当计算得到的 $\sigma_c \geq f_{cd}$ 时，相应的接缝

截面抗剪承载力计算公式已不适用，说明该接缝由抗弯承载力控制。

在边墩旁或弯矩变号区 ($m < 1$)，干接缝节段式梁可能出现直接剪切破坏，沿接缝的受压接触面首先发生摩阻滑动，紧随发生键块剪-压破坏，如图 6.2.2-3。根据干接缝节段式梁的试验数据、混凝土剪-压复合强度准则，以及混凝土表面剪切摩阻原理，提出了计算公式 (6.2.3-9)、(6.2.3-10)。

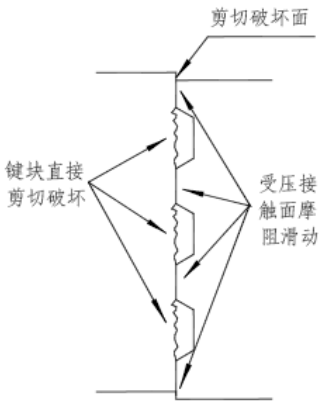


图 6.2.2-3 干接缝的直接剪切破坏

文献《预制节段式预应力混凝土梁接缝截面抗剪承载力计算方法》(李国平)给出了胶接缝抗剪承载力的迭代计算方法，如图 6.2.2-4，供参考使用。

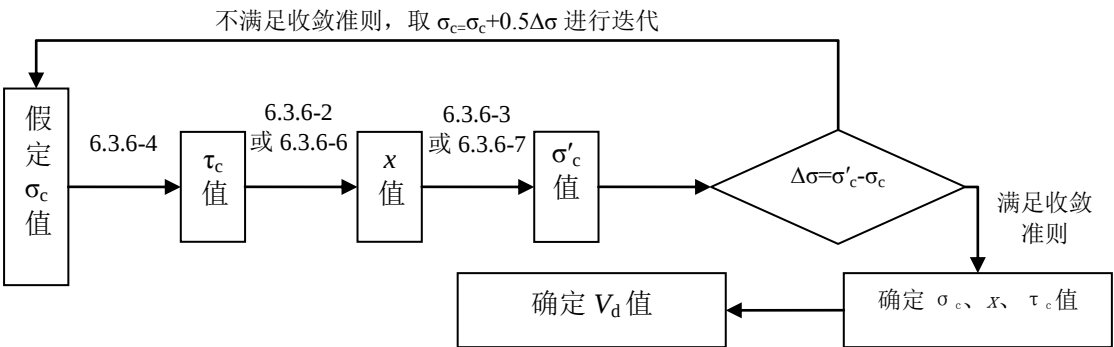


图 6.2.2-4 胶接缝抗剪承载力的迭代计算方法

6.2.4 体内无连续纵向普通钢筋的湿接缝，其斜截面抗剪承载力按第 6.2.3 条计算。

6.2.5 支座处横隔梁和体内预应力锚固区的计算应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62) 的规定。

6.2.6 块式转向构造宜进行抗拉承载力和抗剪承载力验算，并采用如下基本假定：

- 1 承载力计算时忽略混凝土抗力的影响；
- 2 体外索转向引起的竖向力和水平力由内环箍筋承担。

6.2.7 转向构造处，体外索转向引起的竖向力和水平力设计值按下列规定计算：

$$N_{vd} = N_p \sin \theta_e \quad (6.2.7-1)$$

$$N_{hd} = N_p \sqrt{1 - 2 \cos \theta_e \cos \beta_e + \cos^2 \theta_e} \quad (6.2.7-2)$$

式中 N_{vd} ——体外索转向引起的竖向力设计值；

N_{hd} ——体外索转向引起的水平力设计值；

N_p ——体外索的拉力设计值，取 1.2 倍张拉时的最大拉力；

θ_e ——体外索的竖弯角；

β_e ——体外索的平弯角。

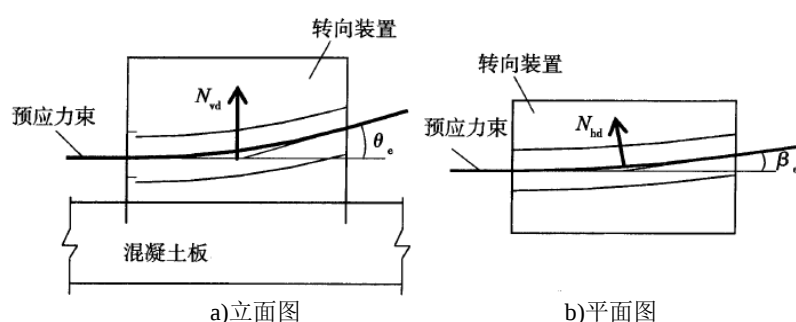


图 6.2.7 体外索转向引起的竖向力和水平力计算示意图

条文说明

本条参照《公路桥梁加固设计规范》(JTG/T J22-2008)第 8.2.3 条编写。

6.2.8 块式转向构造的抗拉承载力应符合下列规定：

$$\gamma_0 N_{vd} \leq f_{sd} A_s \quad (6.2.8)$$

式中 f_{sd} ——内环筋的抗拉强度设计值；

A_s ——内环筋的截面面积。

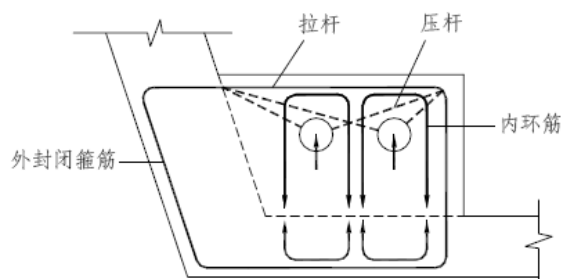


图 6.2.8 块式转向构造的抗拉承载力计算模型

6.2.9 块式转向构造的抗剪承载力应符合下列规定：

$$\gamma_0 N_{hd} \leq \mu(f_{sd} A_s - N_{vd}) \quad (6.2.9)$$

式中 f_{sd} ——内环筋的抗拉强度设计值；

A_s ——穿过开裂面的内环筋的截面面积；

μ ——摩擦系数，整体浇筑混凝土的开裂面可取 1.4。

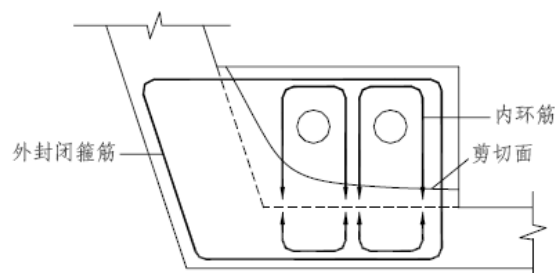


图 6.2.9 块式转向构造的抗剪承载力计算模型

6.3 正常使用极限状态计算

6.3.1 箱梁应按全预应力混凝土构件设计。

条文说明

节段式箱梁的接缝，因超载等原因开展后，可能会影响其使用要求，因此规定节段式箱梁按全预应力混凝土构件设计。

6.3.2 箱梁在正常使用极限状态计算中，应考虑由下列因素引起的预应力损失：

预应力钢筋与管道壁之间的摩擦 σ_{l1}

锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩 σ_{l2}

混凝土的弹性压缩 σ_{l3}

预应力钢筋的应力松弛 σ_{l4}

混凝土的收缩和徐变 σ_{l5}

σ_{l1} 、 σ_{l3} 、 σ_{l4} 、 σ_{l5} 按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62) 的规定计算。由锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩引起的预应力损失可按下式计算：

$$\sigma_{l2} = \frac{\sum \Delta l}{l} E_p \quad (6.3.2)$$

式中 Δl ——张拉端锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩值(mm)，按表 6.3.2 采用；

l ——张拉端至锚固端之间的距离(mm);

E_p ——体外预应力钢筋的弹性模量。

表 6.3.2 锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩值 (mm)

锚具、接缝类型		Δl	锚具、接缝类型	Δl
夹片式 锚具	有顶压时	4	干接缝	1.5
	无顶压时	6	胶接缝	1.0
带螺帽锚具的螺帽缝隙		1~3	湿接缝	0.5

注：带螺帽锚具采用一次张拉锚固时， Δl 宜取 2~3mm，采用二次张拉锚固时， Δl 可取 1mm。

6.3.3 箱梁的正截面混凝土拉应力应符合下列要求：

$$1 \text{ 预制节段} \quad \sigma_{st} - 0.85\sigma_{pc} \leq 0 \quad (6.3.3-1)$$

$$2 \text{ 受拉侧配置体内预应力钢筋的胶接缝截面、配置体内钢筋（普通钢筋或预应力钢筋）的湿接缝截面} \quad \sigma_{st} - 0.80\sigma_{pc} \leq 0 \quad (6.3.3-2)$$

$$3 \text{ 干接缝截面、受拉侧无体内预应力钢筋的胶接缝截面、无连续体内钢筋（普通钢筋或预应力钢筋）的湿接缝截面} \quad \sigma_{st} - 0.75\sigma_{pc} \leq 0 \quad (6.3.3-3)$$

式中 σ_{st} ——在作用效应频遇组合下构件抗裂验算截面边缘混凝土的法向拉应力；

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

注： σ_{st} 、 σ_{pc} 按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62)的规定计算。

6.3.4 混凝土箱梁的斜截面混凝土主拉应力 σ_{tp} 应符合下列要求：

$$\text{预制节段内} \quad \sigma_{tp} \leq 0.6f_{tk} \quad (6.3.4-1)$$

$$\text{节段接缝处} \quad \sigma_{tp} \leq 0.4f_{tk} \quad (6.3.4-2)$$

式中 σ_{tp} ——由作用效应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。

注： σ_{tp} 按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62)的规定计算。

条文说明

6.3.3、6.3.4 参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62)编写。干接缝截面、受拉侧无体内预应力钢筋的胶接缝截面、无连续体内钢筋（普

通钢筋或预应力钢筋)的湿接缝截面,由于无连续体内钢筋通过接缝、接缝开展后存在应力集中问题,在计算正截面混凝土的拉应力时,对施加预应力产生的预压力进行了适当折减。

6.3.5 进行挠度计算时,箱梁的刚度可按下式计算:

$$B_0 = 0.95E_c I_0 \quad (6.3.5)$$

式中 B_0 ——全截面的抗弯刚度;

I_0 ——全截面换算截面惯性矩。

6.3.6 由汽车荷载(不计冲击力)和人群荷载频遇组合在箱梁产生的最大挠度不应超过计算跨径的 $1/600$;在箱梁悬臂端产生的最大挠度不应超过悬臂长度的 $1/300$ 。

6.4 应力计算

6.4.1 使用阶段箱梁受压区正截面混凝土的压应力,应符合下列规定:

预制节段、受拉侧配置体内预应力钢筋的胶接缝截面、配置体内钢筋(普通钢筋或预应力钢筋)的湿接缝截面 $\sigma_{kc} + \sigma_{pt} \leq 0.50f_{ck}$ (6.4.1-1)

干接缝截面、受拉侧无体内预应力钢筋的胶接缝截面、无连续体内钢筋(普通钢筋或预应力钢筋)的湿接缝截面 $\sigma_{kc} + \sigma_{pt} \leq 0.45f_{ck}$ (6.4.1-2)

式中 σ_{kc} ——按作用效应标准组合计算的混凝土法向压应力;

σ_{pt} ——由预加力产生的混凝土法向拉应力。

注: σ_{kc} 、 σ_{pt} 按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62)的规定计算。

6.4.2 使用阶段箱梁受拉区预应力钢筋的拉应力,应符合下列规定:

体内预应力钢绞线、钢丝 $\sigma_{pe} + \sigma_p \leq 0.65f_{pk}$ (6.4.2-1)

体外预应力钢绞线 $\sigma_{pe,ex} \leq 0.60f_{pk}$ (6.4.2-2)

预应力螺纹钢筋 $\sigma_{pe} + \sigma_p \leq 0.75f_{pk}$ (6.4.2-3)

式中 σ_{pe} ——体内预应力钢筋的有效预应力;

σ_p ——按作用效应标准组合计算的预应力钢筋拉应力;

$\sigma_{pe,ex}$ ——使用阶段体外预应力钢筋扣除预应力损失后的有效应力。

注： σ_{pe} 、 σ_p 、 $\sigma_{pe,ex}$ 按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62) 的规定计算。

6.4.3 使用阶段混凝土箱梁斜截面混凝土的主压应力应符合下列规定：

预制节段、受拉侧配置体内预应力钢筋的胶接缝截面、配置体内钢筋（普通钢筋或预应力钢筋）的湿接缝截面 $\sigma_{cp} \leq 0.60f_{ck}$ (6.4.3-1)

干接缝截面、受拉侧无体内预应力钢筋的胶接缝截面、无连续体内钢筋（普通钢筋或预应力钢筋）的湿接缝截面 $\sigma_{cp} \leq 0.55f_{ck}$ (6.4.3-2)

式中 σ_{cp} ——由作用(或荷载)标准值和预加力产生的混凝土主压应力，按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62)的规定计算。

条文说明

6.4.1~6.4.3 参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62) 编写。干接缝截面、受拉侧无体内预应力钢筋的胶接缝截面、无连续体内钢筋（普通钢筋或预应力钢筋）的湿接缝截面，由于无连续体内钢筋通过接缝、接缝开展后存在应力集中问题，其正截面混凝土的压应力限值和斜截面混凝土的主压应力限值进行了适当折减。

7 短暂状况的承载能力极限状态计算和应力计算

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土箱梁在制作、运输、吊装等施工阶段和体外预应力更换时，由自重、施工荷载等引起的正截面应力不应超过本章规定的限值。结构自重和施工荷载采用标准值，当有组合时，组合系数取 1.0。

7.1.2 采用悬臂拼装时，箱梁干接缝的直接剪切承载力应满足第 7.2 节的要求。结构自重和施工荷载采用标准值，当有组合时，组合系数取 1.0。

条文说明

由于纵向预应力水平较低且可能有吊机等施工荷载作用，采用悬臂拼装施工的干接缝节段式梁位于悬臂端的接缝应进行直接剪切承载力验算。节段采用胶接缝时，接缝一般施加临时预压应力且在胶体固化前不承担荷载，故通常不进行直接剪切承载力验算。

7.1.3 箱梁节段由机车桥面输送安装时，应对已建部分进行承载力和应力验算。承载力验算时，作用效应按结构自重和施工荷载的基本组合取值，其中机车荷载的分项系数取 1.15，承载力按本规程第 6.2 节的规定计算。

7.1.4 当进行构件运输和安装计算时，构件自重应乘以动力系数。动力系数应按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)的规定采用。

7.2 承载能力极限状态计算

7.2.1 箱梁的承载力采用施工阶段的混凝土轴心抗压强度设计值，按第 6.2 节的规定计算。

7.2.2 采用悬臂拼装时，干接缝处箱梁的直接剪切承载力应满足下式要求：

$$V_k^t \leq 0.65(\mu\sigma_{pc,a}^t A_{tf} + \tau_k^t A_{ks}) \quad (7.2.2-1)$$

$$\frac{\tau_k^t}{f_{ck}'} = \sqrt{0.009 + 0.095 \frac{\sigma_{pc,a}^t}{f_{ck}'} - 0.104 \left(\frac{\sigma_{pc,a}^t}{f_{ck}'} \right)^2} \quad (7.2.2-2)$$

式中 V_k^t ——按短暂状况计算的最不利剪力设计值；

$\sigma_{pc,a}^t$ ——施工阶段预应力作用下接缝截面的平均有效压应力，按全截面计算；

τ_k^t ——施工阶段剪切破坏面上键块混凝土的极限剪应力；

f_{ck}' ——施工阶段的混凝土轴心抗压强度标准值。

其他符号意义同第 6.2.3 条。

条文说明

干接缝直接剪切破坏时，沿接缝的受压接触面首先发生摩阻滑动，紧随发生键块剪-压破坏。根据干接缝节段式梁的试验数据、混凝土剪—压复合强度准则，以及混凝土表面剪切摩阻原理，提出了计算公式（7.2.2-1）。该公式采用具有一定的保证率的混凝土剪—压复合强度准则，故公式的计算结果与试验数据对比有一定的安全储备。

7.3 应力计算

7.3.1 混凝土的正截面最大压应力应满足下列要求：

1 预制节段、受拉侧配置体内预应力钢筋的胶接缝截面、配置体内钢筋（普通钢筋或预应力钢筋）的湿接缝截面，其混凝土的最大应力应满足下式要求：

$$\sigma_{cc} \leq 0.70 f_{ck}' \quad (7.3.1-1)$$

2 干接缝截面、受拉侧无体内预应力钢筋的胶接缝截面、无连续体内钢筋（普通钢筋或预应力钢筋）的湿接缝截面，其混凝土的最大应力应满足下式要求：

$$\sigma_{cc} \leq 0.65 f_{ck}' \quad (7.3.1-2)$$

条文说明

本条参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62)编写。干接缝截面、受拉侧无体内预应力钢筋的胶接缝截面、无连续体内钢筋（普通钢

筋或预应力钢筋)的湿接缝截面,由于无连续体内钢筋通过接缝、接缝开展后存在应力集中问题,其正截面混凝土的压应力限值进行了适当折减。

7.3.2 混凝土的正截面最大拉应力应满足下列要求:

- 1 当截面的预拉区纵向钢筋配筋率小于 0.2%时,该截面不允许出现拉应力;
- 2 当 $\sigma_{ct} \leq 0.70 f'_{tk}$ 时,预拉区应配置其配筋率不小于 0.2%的纵向钢筋;
- 3 当 $\sigma_{ct} = 1.15 f'_{tk}$ 时,预拉区应配置其配筋率不小于 0.4%的纵向钢筋;
- 4 当 $0.70 f'_{tk} < \sigma_{ct} < 1.15 f'_{tk}$ 时,预拉区应配置的纵向钢筋配筋率按第 2 项和第 3 项直线内插取用。

式中 σ_{cc} 、 σ_{ct} ——按短暂状况计算的混凝土最大压应力和最大拉应力;

f'_{ck} 、 f'_{tk} ——施工阶段的混凝土轴心抗压强度标准值和抗拉强度标准值。

7.3.3 胶接缝拼接时,在接缝结构胶固化前,接缝截面应保持最小 0.3MPa 的临时压应力。

条文说明

保证结构胶粘结性能、接缝密闭。

8 构造规定

8.1 一般规定

8.1.1 箱梁应按标准节段、非标准节段分类。非标准节段包括转向节段、锚固节段、合龙节段、墩顶节段和端部节段，与标准节段的尺寸差异、重量差异宜控制在 30%以内。

条文说明

箱梁应按标准节段、转向节段、锚固节段、合龙节段、墩顶节段和端部节段分类。节段的尺寸差异、重量差异控制在 30%以内，以便于工厂化生产以及设备配置。当采用整跨拼装施工时，节段布置如图 8.1.1-1；当采用悬臂拼装施工时，节段布置如图 8.1.1-2。

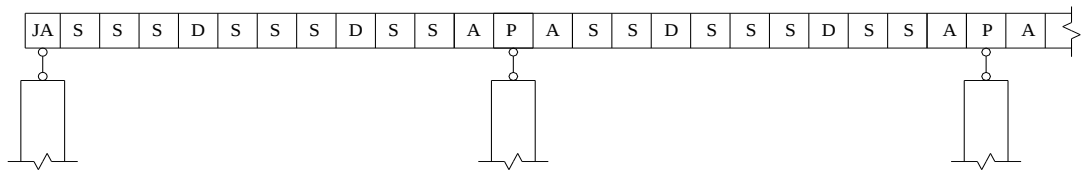


图 8.1.1-1 整跨拼装施工的箱梁节段布置示意图

JA-端部节段；S-标准节段；D-转向节段；A-锚固节段；P-墩顶节段

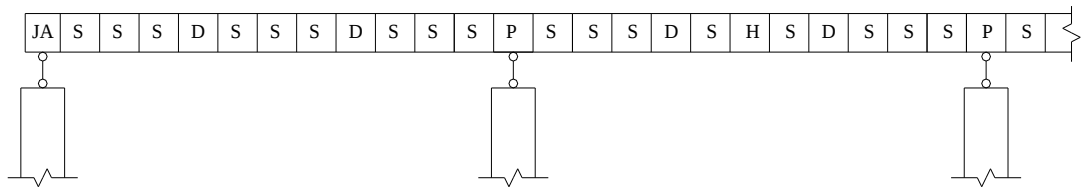


图 8.1.1-2 悬臂拼装施工的箱梁节段布置示意图

JA-端部节段；S-标准节段；D-转向节段；H-合龙节段；P-墩顶节段

8.1.2 节段长度应根据施工设备的运输和吊装能力确定。

条文说明

已建短线法箱梁的节段长度如表 8.1.2 所示。

表 8.1.2 已建短线法箱梁的节段长度

箱梁	节段长度 (m)	箱梁	节段长度 (m)
苏通大桥引桥	3.0~4.0	南京四桥引桥	2.0~4.0
厦门集美大桥	2.6~3.5	厦漳大桥引桥	3.1~4.0
上海长江大桥引桥	3.0~4.0	嘉绍大桥引桥	3.5~4.2
江苏崇启大桥引桥	2.6~3.4		

8.2 箱梁节段构造

8.2.1 箱梁宜取等高度，等高度箱梁的梁高宜取跨径的 $1/20 \sim 1/16$ ；变高度箱梁梁底曲线宜取折线形式，其梁高在跨中宜取跨径的 $1/28 \sim 1/22$ ，在支点宜取跨径的 $1/20 \sim 1/16$ 。

条文说明

已建短线法箱梁的箱梁高度如表 8.2.1 所示。变高度箱梁一般在支点-1/4 跨设置梁高变化，1/4 跨-3/4 跨的中间部分按等高度箱梁布置，箱梁的跨中高度较采用现浇施工连续梁、连续刚构取值偏大。

表 8.2.1 已建短线法箱梁的箱梁高度

序号	箱梁	箱梁形式	箱梁高度 (m)	高跨比
1	苏通大桥引桥	等高度	4.0	1/18.75
2	厦门集美大桥	变高度	3.6 (中)、5.8 (支)	1/27.78 (中)、1/17.24 (支)
3	上海长江大桥引桥	等高度	3.6	1/16.67
4	江苏崇启大桥引桥	等高度	3.0	1/16.67
5	南京四桥引桥	等高度	3.0	1/16.67
6	厦漳大桥引桥	等高度	3.8	1/18.42
7	嘉绍大桥引桥	等高度	4.0	1/17.50

8.2.2 箱梁宜取单箱单室截面，跨中段截面尺寸（如图 8.2.2）满足下列要求：

- 1 悬臂翼缘长度 L 宜为箱梁宽度 B 的 $1/5 \sim 1/4$ ；
- 2 悬臂翼缘端部厚度 d_{h1} 宜取 180~220mm，悬臂翼缘承托根部厚度 d_{h2} 宜取悬臂翼缘长度 L 的 $1/8 \sim 1/6$ ；
- 3 顶板厚度 d_t 宜取 220~280mm；

- 4 腹板厚度 d_f 宜满足下列要求：
- 1) 无体内预应力钢筋时， $d_f \geq 320\text{mm}$ ；
 - 2) 布置体内预应力钢筋时， $d_f \geq 350\text{mm}$ ，并满足预应力钢筋锚固要求；
- 5 底板厚度 d_b 宜取 220~280mm。

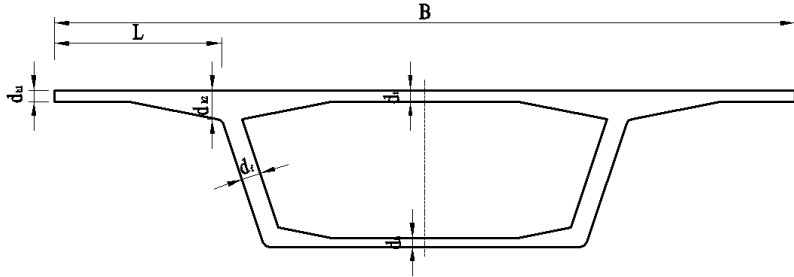


图 8.2.2 箱梁截面尺寸示意图

条文说明

典型短线法箱梁的箱梁截面尺寸如表 8.2.2。

表 8.2.2 典型短线法箱梁的箱梁截面尺寸（m）

序号	箱梁	B	翼缘			顶板、底板和腹板		
			L	d_{h1}	d_{h2}	d_t	d_b	d_f
1	苏通大桥引桥	17.00	3.95	0.18	0.50~0.80	0.25	0.25	0.40
2	厦门集美大桥	12.75	3.00	0.22	0.50	0.28	0.30	0.50
3	上海长江大桥引桥	17.15	4.00	0.20	0.55	0.28	0.25	0.40
4	江苏崇启大桥引桥	15.80	3.80	0.20	0.55	0.28	0.25	0.40
5	南京四桥引桥	15.80	4.00	0.18	0.50	0.27	0.25	0.38
6	泉州湾引桥	16.30	3.53	0.20	0.50	0.28	0.27	0.45

8.2.3 在箱梁的跨中区段，接缝两侧顶板内钢筋布置（如图 8.2.3）应满足下列要求：

- 1 在顶板内，应设置约束顶板上下层横向分布钢筋的竖向扣筋，承托区域纵横向分布钢筋每个交叉点均设置，其它区域梅花状间隔设置；
- 2 在顶板与腹板的结合区，应设置封闭箍筋；
- 3 扣筋和封闭箍筋的直径不宜小于 12mm。

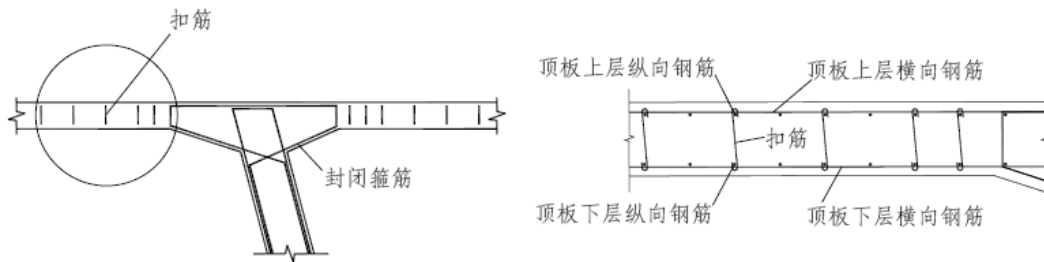


图 8.2.3 跨中区段接缝两侧的加强钢筋示意图

8.2.4 在箱梁的近支点区段，接缝两侧底板内钢筋布置（如图 8.2.4）应满足下列要求：

- 1 在底板内，应设置约束底板上下层横向分布钢筋的竖向扣筋；
- 2 在底板与腹板的结合区，应设置封闭箍筋；
- 3 扣筋和封闭箍筋的直径不宜小于 12mm。

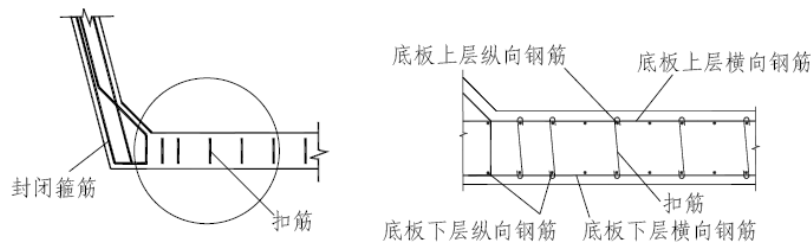


图 8.2.4 近支点区段接缝两侧的加强钢筋示意图

条文说明

在混凝土箱梁的跨中区段，顶板与腹板结合部为主要承剪区，如图 8.2.4-1 所示。在混凝土箱梁的近支点区段，底板与腹板结合部为主要承剪区，如图 8.2.4-2 所示。在这些区段，设置加强钢筋是为防止接缝开展后受压区混凝土横向开裂而失去剪力传递能力，尤其是腹板与顶、底板结合区。施工图设计时应注意把扣筋扣在外层横向钢筋上，否则其将起不到加强效果。

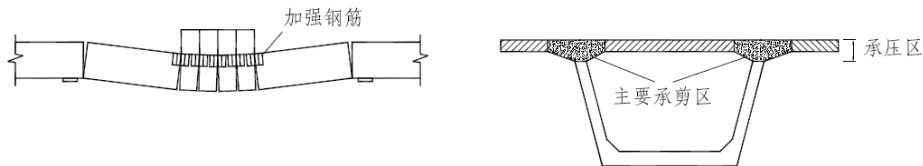


图 8.2.4-1 跨中区段，箱梁截面受力示意图

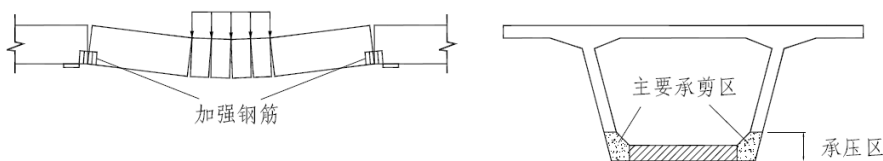


图 8.2.4-2 近支点区段，箱梁截面受力示意图

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/278117011045006041>