

深圳市工程建设地方标准

SJG

SJG 217 - 2026

## 装配式桥梁技术规程

Technical specification for prefabricated bridges

2026-02-05 发布

2026-04-01 实施

深圳市住房和建设局  
深圳市交通运输局

联合发布

深圳市工程建设地方标准

装配式桥梁技术规程

Technical specification for prefabricated bridges

**SJG 217 - 2026**

2026 深圳

# 前 言

根据《深圳市住房和建设局关于发布 2020 年深圳市工程建设标准制订修订计划项目的通知》（深建标〔2020〕10 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，结合深圳市的实际，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准主要技术内容是：1.总则；2.术语与符号；3.基本规定；4.材料；5.上部结构设计；6.下部结构设计；7.附属设施设计；8.抗震要求；9.构件预制与制作；10.构件运输与安装；11.结构耐久性；12.验收。

本标准由深圳市住房和建设局、深圳市交通运输局联合发布，由深圳市交通运输局业务归口管理，深圳市交通公用设施建设中心、上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司等编制单位负责技术内容的解释。本标准实施过程中如有意见或建议，请寄送上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司（地址：深圳市福田区车公庙泰然大厦 D 座 5 楼，邮编：518042），以供今后修订时参考。

本标准某些内容可能涉及专利，本标准发布机构不承担识别责任。

本标准主编单位：深圳市交通公用设施建设中心

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

本标准参编单位：中交第二航务工程局有限公司

上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司

深圳市交通工程质量监督站

深圳市交通工程试验检测中心有限公司

中国中铁大桥局集团有限公司

同济大学

本标准主要起草人员：陈福斌 卢永成 李保军 李桂强 李福鼎  
朱 骏 谭啸峰 闫兴非 李洁文 刘辉喜  
苏爱武 祁恒远 罗志强 武银锋 黎木平  
周世浩 周 浩 王 敏 李雪峰 王 猛  
杜修荣 郭 济 王志强 辛荣亚 严 搏  
陈 超 张 涛 田 飞 肖 林 于洪奎  
张小琼 陈南宁  
本标准主要审查人员：陈宜言 薛锡芝 余祥亮 贺晓彬 梁汇伟  
林晚兰 刘雪峰

# 目 次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	4
3 基本规定.....	6
4 材料.....	7
4.1 混凝土.....	7
4.2 钢材.....	7
4.3 连接材料.....	8
5 上部结构设计.....	13
5.1 一般规定.....	13
5.2 预应力混凝土梁.....	13
5.3 钢梁.....	16
5.4 钢-混组合梁.....	18
6 下部结构设计.....	22
6.1 一般规定.....	22
6.2 桩基.....	22
6.3 承台.....	22
6.4 墩柱.....	22
6.5 盖梁.....	23
6.6 桥台.....	23
6.7 构件连接.....	23
7 附属设施设计.....	28
7.1 一般规定.....	28
7.2 防撞栏杆.....	28
7.3 桥面铺装.....	28
7.4 桥面排水.....	29
7.5 其它.....	29
8 抗震要求.....	30
9 构件预制与制作.....	32
9.1 一般规定.....	32
9.2 场地要求.....	32
9.3 混凝土构件预制.....	33
9.4 钢构件制作.....	37
9.5 质量控制与检验.....	39
10 构件运输和安装.....	44
10.1 一般规定.....	44
10.2 构件吊装与运输.....	44
10.3 基础安装.....	45

10.4 墩柱及盖梁安装.....	45
10.5 混凝土梁安装.....	47
10.6 钢梁安装.....	49
10.7 钢混组合梁安装.....	50
10.8 附属设施安装.....	51
10.9 质量控制与检验.....	51
11 结构耐久性.....	56
11.1 一般规定.....	56
11.2 结构耐久性设计.....	56
11.3 结构耐久性措施.....	57
12 验收.....	58
12.1 一般规定.....	58
12.2 分部分项工程验收.....	58
12.3 工程质量检查与验收.....	59
附录 A 高性能混凝土.....	61
附录 B 水泥基材料强度评定.....	67
附录 C 灌浆套筒无损检测方法.....	69
附录 D 单位、分部及分项工程的划分.....	73
本规程用词说明.....	74
引用标准名录.....	75
附：条文说明.....	79

# Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Term.....	2
2.2	Symbols.....	4
3	Basic Requirements.....	6
4	Materials.....	7
4.1	Concrete.....	7
4.2	Steel.....	7
4.3	Connecting Materials.....	8
5	Design of Superstructure Elements.....	13
5.1	General Requirements.....	13
5.2	Prestressed Concrete Beam.....	13
5.3	Steel Beam.....	16
5.4	Steel-concrete Composite Beam.....	18
6	Design of Substructure Elements.....	22
6.1	General Requirements.....	22
6.2	Pile Foundation.....	22
6.3	Cushion Cap.....	22
6.4	Pier Column.....	22
6.5	Cap Beam.....	23
6.6	Abutment.....	23
6.7	Component Connection.....	23
7	Design of Accessory Facilities.....	28
7.1	General Requirements.....	28
7.2	Anti-collision Railing.....	28
7.3	Bridge Deck Pavement.....	28
7.4	Bridge Deck Drainage.....	29
7.5	Other.....	29
8	Seismic Requirements.....	30
9	Prefabrication and Production of Bridge Elements.....	32
9.1	General Requirements.....	32
9.2	Site Requirements.....	32
9.3	Prefabrication of Concrete Elements.....	33
9.4	Production of Steel elements.....	37
9.5	Quality control and Inspection.....	37
10	Transportation and Installation of Bridge Elements.....	44
10.1	General Requirements.....	44
10.2	Lifting and Transportation.....	44
10.3	Foundation Installation.....	44
10.4	Pier Column and Cap Beam Installation.....	45

10.5 Concrete Beam Installation.....	45
10.6 Steel Beam Installation.....	48
10.7 Steel-concrete Composite Beam Installation.....	49
10.8 Accessory Facilities Installation.....	50
10.9 Quality control and Inspection.....	51
11 Structural Durability.....	55
11.1 General Requirements.....	56
11.2 Structural Durability Design.....	56
11.3 Structural Durability Measures.....	57
12 Construction Acceptance.....	58
12.1 General Requirements.....	58
12.2 Sub Projects Acceptance.....	58
12.3 Construction Quality Inspection and Acceptance.....	59
Appendix A High Performance Concrete.....	61
Appendix B Non destructive Testing Methods for Grouting Sleeves.....	67
Appendix C Division of Units, Sub Projects.....	73
Appendix D Strength Evaluation of Cement-based Materials.....	67
Explanation of Wording in This Code.....	74
List of Quoted Standards.....	75
Addition: Explanation of Provisions.....	79

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范深圳市装配式桥梁的设计、施工及验收，提高装配式桥梁工程的安全和质量，推动深圳桥梁建设绿色环保和工业化发展，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于深圳市新建和改扩建工程中装配式梁桥的设计、施工及验收。

**1.0.3** 装配式桥梁设计、施工及验收除应符合本规程外，尚应符合现行国家、行业、广东省、深圳市有关标准的有关规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 装配式桥梁 assembled bridge

由预制构件或部件通过各种可靠的方式连接组合成整体的桥梁。

#### 2.1.2 节段 segment

混凝土墩柱、盖梁或上部结构梁体等构件被划分成的柱段或梁段等。

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

在金属套筒内插入钢筋并压注水泥基等灌浆料的钢筋连接方式。

#### 2.1.4 钢筋灌浆波纹管锚固连接 rebar splicing by grout-filled corrugated steel pipe

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

#### 2.1.5 承插式连接 socket connection

将预制构件一端插入相接构件的预留槽内，通过浇筑灌浆料填实预留孔内间隙，使构件连接成整体的连接构造。

#### 2.1.6 预应力连接 prestressed reinforcement connection

通过施加预应力将构件连接成整体的连接方式。

#### 2.1.7 插槽式连接 grouted pocket connection

将预制构件伸出的竖向受力钢筋整体插入相接构件的预留孔内部，通过浇筑混凝土或其它灌浆料填实预留孔内间隙，使两者连接成整体的连接构造。

#### 2.1.8 湿接缝连接 cast-in-place joint connection

构件间采用现浇混凝土等材料连成整体的连接构造。

#### 2.1.9 剪力键 shear keys

混凝土构件预制节段接缝表面用于承担剪切等作用、密接匹配的凸块和凹槽。

#### 2.1.10 环氧胶接缝 epoxy joint

混凝土构件预制节段的结合面采用涂抹环氧树脂胶的接缝。

#### 2.1.11 砂浆填充接缝 mortar joint

混凝土构件预制节段的结合面经水泥基砂浆填充后压密的接缝。

#### 2.1.12 匹配预制 match casting

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

#### 2.1.13 短线法预制 short-line method precasting

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

#### 2.1.14 长线法预制 long-line method precasting

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

#### 2.1.15 高性能混凝土 high performance concrete

采用混凝土的常规材料、常规工艺，在常温下，以低水胶比、大掺量优质掺合料和严格的质量控制措施制作的，具有良好的施工工艺性能且硬化后具有高耐久性、高尺寸稳定性及高强度的

混凝土。

**2.1.16 超高性能混凝土 ultra-high performance concrete**

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

**2.1.17 体外预应力 external prestressing**

在构件截面之外布置预应力钢筋、施加预应力。

**2.1.18 临时预应力 temporary prestress**

施工过程中用于临时连接构件的预应力。

**2.1.19 永久预应力 permanent prestress**

永久存在于结构中的预应力。

**2.1.20 节段预制混凝土箱梁悬臂拼装法 segment beam balanced cantilever erection method**

自桥墩两侧平衡地逐段向跨中悬臂拼装预制混凝土节段、施加预应力的施工方法。

**2.1.21 节段预制混凝土箱梁整孔拼装法 segment beam span-by-span construction method**

将预制混凝土节段利用专用设备整孔进行拼装、整孔施加预应力的施工方法。

**2.1.22 印模 impression**

分节段预制墩柱预制过程中，印有墩柱端面键齿的钢或混凝土模板。

## 2.2 符 号

- $S$ ——U形钢筋间距；  
 $LT$ ——钢板梁桥面宽度；  
 $L$ ——钢板梁腹板间距；  
 $LS$ ——钢板梁底板宽度；  
 $D$ ——墩柱直径或较长边长；  
 $K$ ——延性安全系数；  
 $H$ ——悬臂柱的高度或塑性铰截面到反弯点的距离；  
 $Dz$ ——桩径（或边长）；  
 $E_c$ ——立柱的混凝土弹性模量；  
 $M_y$ ——立柱屈服弯矩；  
 $L_p$ ——等效塑性铰长度；  
 $A_e$ ——核心混凝土面积；  
 $A_g$ ——立柱塑性铰区域截面全面积；  
 $P_c$ ——立柱截面最小轴压力；  
 $A_{sp}$ ——螺旋箍筋面积；  
 $A_v$ ——计算方向上箍筋面积总和；  
 $D'$ ——螺旋箍筋环的直径；  
 $I_{eff}$ ——立柱有效截面抗弯惯性矩；  
 $V_{c0}$ ——剪力设计值；  
 $a$ ——波纹钢管波高；  
 $p$ ——波纹钢管波距；  
 $b$ ——接缝宽度；  
 $l$ ——U形钢筋交错长度；  
 $t$ ——波纹钢管壁厚；  
 $s$ ——箍筋的间距；  
 $h$ ——梁高或立柱截面高度；  
 $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值；  
 $f_{cu,i}$ ——第*i*组混凝土试件的立方体抗压强度代表值；  
 $d_l$ ——波纹钢管内径；  
 $l_d$ ——锚固长度；  
 $l_f$ ——超高性能混凝土中钢纤维的长度；  
 $b_s$ ——矩形截面的短边尺寸或圆形截面直径；  
 $f_y$ ——纵向钢筋抗拉强度标准值；  
 $d_s$ ——纵向钢筋的直径；  
 $f_{cd}$ ——混凝土抗压强度设计值；  
 $f_{kh}$ ——箍筋抗拉强度标准值；  
 $b_l$ ——剪力键的横向宽度；  
 $h_l$ ——键块（槽）的高度；  
 $b_2$ ——键块（槽）的平均宽度。

$e_0$ ——轴力对截面重心的偏心距；  
 $h_{c0}$ ——剪力连接件抗掀起端底面高出下层横向钢筋的距离；  
 $l_0$ ——承插式连接插入长度；  
 $h_0$ ——核心混凝土受压边缘至受拉侧钢筋重心的距离；  
 $\delta$ ——灌浆套筒的断后伸长率；  
 $\Phi_y$ ——等效屈服曲率；  
 $\theta_p$ ——E2 地震作用下潜在塑性铰区域的塑性转角；  
 $\theta_u$ ——塑性铰区域的最大容许转角；  
 $\Delta_d$ ——E2 地震作用下柱顶的位移；  
 $\Delta_u$ ——立柱容许位移；  
 $\phi_y$ ——截面的等效屈服曲率；  
 $\phi_u$ ——极限破坏状态的曲率能力；  
 $\mu_{\Delta}$ ——立柱位移延性系数；  
 $\phi$ ——抗剪强度折减系数。

### 3 基本规定

- 3.0.1 装配式桥梁应遵循“安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理、环境协调”的原则进行设计。
- 3.0.2 装配式桥梁应采用标准化设计、工业化生产和机械化安装。
- 3.0.3 装配式桥梁构件应进行标准化、模数化和轻型化设计。
- 3.0.4 装配式桥梁应根据建设条件、结构受力情况、耐久性要求、施工条件、经济性、运营养护条件等因素，确定结构形式、跨径布置、截面构造、接缝形式与接缝位置。
- 3.0.5 装配式桥梁应根据结构受力，构件预制、运输和安装，以及拼装接头的施工条件等因素，确定预制构件的节段尺寸和重量。
- 3.0.6 装配式桥梁设计和施工过程中应采用信息化技术。
- 3.0.7 抗震设计应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01的有关规定。
- 3.0.8 装配式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。
- 3.0.9 装配式桥梁施工前应根据技术特点和建设条件编制施工组织设计和专项施工方案，内容应包括构件制作、运输、安装的施工方案、质量管理及安全措施等，应对施工中可能存在的风险进行分析评估，提出相应对策，制订相应的安全生产应急预案。
- 3.0.10 预制构件在生产时应实行首件制，首件验收合格后方可大批量生产，预制构件验收合格后方可出厂，出厂前应在明显位置进行标识。
- 3.0.11 装配式桥梁的竣工验收除应符合本规程规定外尚应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2和《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1的有关规定。

## 4 材 料

### 4.1 混 凝 土

4.1.1 装配式桥梁构件宜采用高性能或超高性能混凝土，强度等级不宜小于 C40，对于振捣困难的构件可采用自密实混凝土，高性能混凝土技术要求应符合本规程附录 A 的规定。

4.1.2 后浇筑湿接缝宜采用补偿收缩混凝土，技术指标应符合现行行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178 的有关规定，并应严格控制混凝土限制膨胀率。

4.1.3 混凝土中可掺入纤维提高混凝土抗裂性能，聚丙烯腈纤维各项技术指标应符合现行行业标准《公路工程水泥混凝土用纤维》JT/T 524 的有关规定，钢纤维各项技术指标应符合现行行业标准《钢纤维混凝土》JG/T 472 的有关规定。

4.1.4 装配式桥梁构件采用超高性能混凝土时，材料及性能应符合表 4.1.4 的有关规定。

表 4.1.4 超高性能混凝土材料及性能要求

性能项目		性能要求	试验方法标准
抗压强度 (MPa)	3d	≥80	GB/T 31387
	28d	≥120	GB/T 31387
弹性极限抗拉强度 (MPa)		≥7	-
极限抗拉强度/弹性极限抗拉强度 (MPa)		≥1.1	GB/T 50081
极限拉应变 (με)		≥1500	-
氯离子扩散系数 (10 <sup>-8</sup> mm <sup>2</sup> /s)		≤15	GB/T 50082
弹性模量 (MPa)		40x10 <sup>3</sup> ~50 x10 <sup>3</sup>	GB/T 31387
初始坍落扩展度 (mm)		≥650	GB/T 50080
28d 收缩率 (10 <sup>-6</sup> )		≤250	GB/T 50082

注：超高性能混凝土材料由水泥、矿物掺合料、细石英砂、高性能纤维等组成。

4.1.5 水泥、矿物原材料、骨料等应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175、《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046、《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 2769、现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的有关规定；化学外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的有关规定；钢纤维的抗拉强度应大于等于 2000MPa，并应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的有关规定。

4.1.6 水泥基材料强度评定应符合本规程附录 B 的有关规定。

### 4.2 钢 材

4.2.1 钢筋混凝土及预应力混凝土构件中的普通钢筋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 的有关规定，宜采用 HPB300、HRB400、HRB500 钢筋。

4.2.2 装配式桥梁采用环氧树脂涂层钢筋时，应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502 的有关规定。

4.2.3 装配式桥梁主体结构钢材应分别符合现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的有关规定，宜采用桥梁用结构钢或低合金高强度结构钢。

4.2.4 附属结构钢材应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的有关规定，宜采用碳素钢和低合金高强度结构钢。

4.2.5 预应力混凝土构件中的钢绞线、钢丝和精轧螺纹钢应符合现行国家标准《预应力混

土用钢绞线》GB/T 5224、《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223 和《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065 的有关规定。

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

1 环氧涂层钢绞线应符合现行国家标准《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 和行业标准《环氧涂层预应力钢绞线》JG/T 387、《填充型环氧涂层钢绞线体外预应力束》JT/T 876 的有关规定；

2 镀锌钢绞线应符合现行国家标准《预应力热镀锌钢绞线》GB/T 33363 的有关规定；

3 预应力锚具的锚固性能应符合现行国家标准《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》GB/T 18365 的有关规定。

4.2.7 体外预应力钢束采用的无粘结钢绞线应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161 和《无粘结钢绞线体外预应力束》JT/T 853 的有关规定。

### 4.3 连接材料

4.3.1 灌浆连接套筒宜采用高强球墨铸铁、优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢或合金结构钢制作，材料和技术指标应符合现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398 的有关规定。

4.3.2 灌浆套筒按钢筋连接方式可分为全灌浆套筒和半灌浆套筒，半灌浆套筒宜采用机械加工灌浆套筒。

4.3.3 铸造灌浆套筒宜采用球墨铸铁，球墨铸铁灌浆套筒的材料性能应符合表 4.3.3 和现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398 和《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 的有关规定。

表 4.3.3 球墨铸铁灌浆套筒的材料性能

项目	性能指标
抗拉强度 (MPa)	≥600
断后伸长率 (%)	≥5
球化率 (%)	≥85
硬度 (HBW)	180~250

4.3.4 机械加工灌浆套筒采用优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢或合金结构钢制造，机械加工灌浆套筒的材料性能应符合表 4.3.4 和现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699、《低合金高强结构钢》GB/T 1591、《合金结构钢》GB/T 3077、《结构用无缝钢管》GB/T 8162 的有关规定。

表 4.3.4 机械加工灌浆套筒的材料性能

项目	性能指标
屈服强度 (MPa)	≥355
抗拉强度 (MPa)	≥600
断后伸长率 (%)	≥14

4.3.5 用于机械加工灌浆套筒的冷轧精密无缝钢管，应进行退火处理。机械加工灌浆套筒采用冷压或冷轧加工加肋和缩口成型后，应再次进行退火处理。机械加工灌浆套筒成品热处理质量与检验应符合现行国家标准《冷拔或冷轧精密无缝钢管》GB/T 3639 的有关规定。

4.3.6 全灌浆套筒宜一端为预制安装端，另一端为现场拼装端，套筒中间应设置钢筋限位挡板；预制安装端及现场拼装端用于钢筋伸入锚固的长度均不应小于 $10d_s$ ；套筒下端应设置压浆口，套筒上端应设置出浆口，压浆口下缘与端部净距应大于30mm，不宜大于50mm；安装时套筒方向

应正确放置。全灌浆套筒尺寸宜满足表4.3.6要求。

表4.3.6 全灌浆套筒尺寸参数表

主筋直径 (mm)	套筒尺寸 (mm)							
	最小内径	灌(出)浆口内径	球墨铸铁灌浆套筒			机械加工灌浆套筒		
			外径	最小壁厚	长度	外径	最小壁厚	长度
16	32	20	54	4	330	42	3	330
20	44	20	62	4	410	55	3	410
25	48	20	67	4.5	510	60	3.5	510
28	51	20	70	5	570	64	4	570
32	55	20	77	5.5	650	70	4.5	650
36	60	20	85	6.5	730	78	5.5	730
40	65	20	95	7	810	89	6	810

注：表内套筒尺寸为采用HRB400级热轧钢筋连接时的推荐值，可根据实际生产条件在不影响套筒性能的前提下做适当调整。

4.3.7 半灌浆套筒的钢筋机械连接端宜为预制安装端，另一端为现场拼装端；现场拼装端用于钢筋伸入锚固的长度不应小于 $10d_s$ ；现场拼装端下端应设置压浆口，上端应设置出浆口，压浆口下缘与端部净距应大于30mm，不宜大于50mm。半灌浆套筒尺寸宜满足表4.3.7要求。

表4.3.7 半灌浆套筒尺寸参数表

主筋直径 (mm)	套筒尺寸 (mm)							
	最小内径	灌(出)浆口内径	球墨铸铁灌浆套筒			机械加工灌浆套筒		
			外径	最小壁厚	长度	外径	最小壁厚	长度
16	27	20	54	4	220	39	3	206
20	29	20	62	4	260	43	3	251
25	36	20	67	4.5	320	52	3.5	310
28	43	20	70	5	350	60	4	348
32	55	20	77	5.5	390	70	4.5	394
36	60	20	81	6.5	430	78	5.5	440
40	65	20	95	7	475	89	6	480

注：表内套筒尺寸为采用HRB400级热轧钢筋连接时的推荐值，可根据实际生产条件在不影响套筒性能的前提下做适当调整。

4.3.8 灌浆套筒尺寸负偏差均应满足现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398的有关规定，正偏差不做限定。

4.3.9 钢筋灌浆套筒和波纹钢管锚固连接用灌浆料的技术性能除应符合表4.3.9所列技术性能指标外，还应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448和行业标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408的有关规定。灌浆套筒无损检测方法应符合本规程附录C的有关规定。

表 4.3.9 钢筋灌浆套筒和波纹钢管锚固连接用灌浆料的技术性能

项目（性能指标单位）		性能指标
流动性（mm）	初始	$\geq 300$
	30 min	$\geq 260$
抗压强度（MPa）	1 d	$\geq 35$
	3 d	$\geq 60$
	28 d	$\geq 100$
竖向膨胀率（%）	3 h	$\geq 0.02$
	24 h 与 3 h 差值	0.02~0.5
氯离子含量（%）		$\leq 0.03$
泌水率（%）		0

4.3.10 用于钢筋灌浆波纹钢管锚固连接的波纹钢管应采用外形规则的波浪状钢管，可见图 4.3.10，并应符合下列规定：

1 波纹钢管应符合现行国家标准《直缝电焊钢管》GB/T 13793 或《结构用无缝钢管》GB/T 8162 的有关规定；

2 波纹钢管的壁厚  $t$  不应小于 2mm；

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

4 波纹钢管的波高  $a$  不应小于 3mm；

5 波纹钢管的波距  $p$  不应大于 32mm。

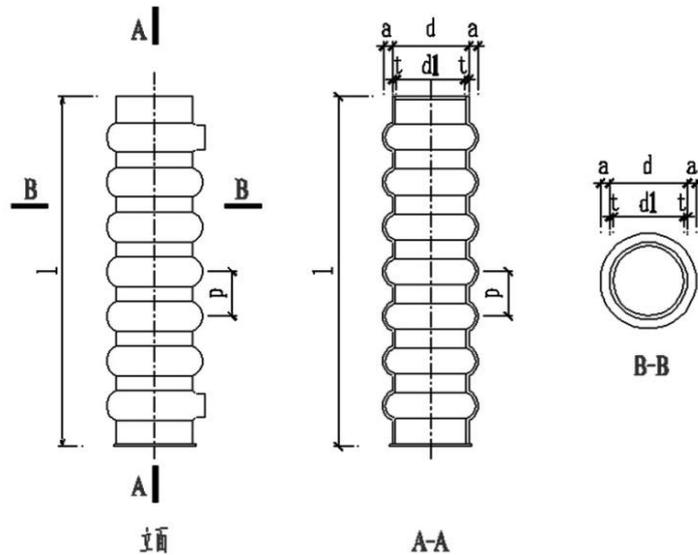


图 4.3.10 波纹钢管外形示意图

4.3.11 当预制墩柱节段接缝采用砂浆填充层时，应采用无收缩水泥基砂浆，28d 抗压强度不应小于 60MPa 且高出被连接构件强度等级不应小于 10MPa，28d 竖向膨胀率应控制在 0.02%~0.1%。

4.3.12 用于钢筋连接的锥套应符合 I 级接头的强度及变形性能要求。

4.3.13 当预制节段接缝采用环氧树脂胶时主要性能要求应符合表 4.3.13 的有关规定。

表 4.3.13 环氧树脂胶主要性能要求

性能项目		性能要求	试验方法标准	
物理性能	可施胶时间 (min)	≥20	GB/T 7123.1	
	可粘结时间 (min)	≥60, 且 ≤240	GB/T 12954.1	
	固化速度 (低限温度条件)	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°C 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	≤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)°C、每 0.5h 喷雾一次、每次 0.5h、作用持续时间 90d, 到期钢-钢拉伸抗剪强度降低率	≤5%, 且不得有裂纹或脱胶 GB/T 50728	

注: 1 本条文中所列指标均为胶体在适用温度范围内的;

2 当环氧树脂胶的蠕变对结构性能的影响不可忽略时, 应满足表中带“\*”项目的性能要求。

4.3.14 自锁式预应力锚固体系应由张拉端锚具、固定端 (自锁式) 锚具、索体等组成, 可见图 4.3.14, 自锁式锚固体系尺寸参数宜满足表 4.3.14 要求。

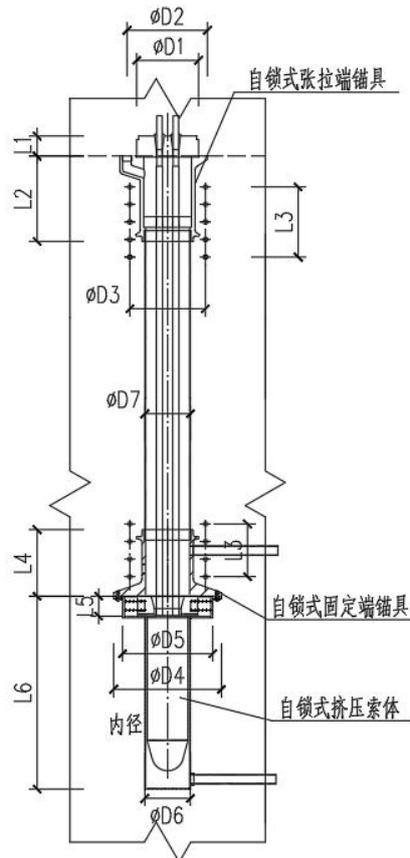


图 4.3.14 自锁式锚固体系示意图

表 4.3.14 自锁式锚固体系尺寸参数表 (单位: mm)

型号	工作锚板		张拉端锚垫板		螺旋筋		固定端锚垫板		保护罩				预埋钢管
	D1	L1	D2	L2	D3	L3	D4	L4	D5	L5	D6	L6	
15-3	100	50	148	125	130	200	195	125	161	50	75	440	80x3
15-4	110	50	158	125	140	200	205	125	171	50	85	440	89x3
15-5	126	50	172	160	155	200	215	160	179	55	93	510	102x4
15-6	126	52	172	160	172	200	215	160	179	55	93	510	102x4
15-7	132	53	178	170	200	200	215	160	179	55	93	510	102x4
15-9	175	60	225	230	214	300	305	240	255	62	125	600	133x4
15-12	175	60	225	230	214	300	305	240	255	62	125	600	133x4
15-15	206	68	265	290	290	360	330	300	293	75	158	680	168x4
15-19	206	75	285	290	290	360	330	300	293	82	158	680	168x4

## 5 上部结构设计

### 5.1 一般规定

5.1.1 装配式桥梁应根据建设条件、路线形和结构受力特性等因素合理选择装配式桥梁上部构件形式，装配式梁桥上部构件适用范围可见表 5.1.1 所示。

表 5.1.1 装配式梁桥上部构件适用范围

名称	推荐适用范围	推荐跨径 (m)	常用标准跨径 (m)
预应力混凝土小箱梁	市区高架桥、山区桥梁	20~40	20、25、30、35、40
预应力混凝土空心板梁	地面辅道桥	10~16	10、13、16
预应力混凝土双 T 梁	地面辅道桥、山区桥梁	10~30	10、13、16、18、20、22、25、30
预应力混凝土 T 梁	山区桥梁	20~40	20、25、30、35、40
节段预制混凝土箱梁	等宽、异形变宽桥梁	30~50	30、35、40、45、50
钢箱梁	大跨度、异形变宽、小半径桥梁	30~150	30、35、40、45、50、55、60、65、70 等
钢板组合梁	等宽桥梁	20~70	20、24、28、32、36、40 等
钢箱组合梁	大跨度、异形变宽桥梁	30~100	30、35、40、45、50、55、60、65、70 等

5.1.2 装配式桥梁宜采用常用标准跨径，跨径调整应在标准跨径基础上按模数倍数增减。

### 5.2 预应力混凝土梁

#### I 一般规定

5.2.1 预应力混凝土小箱梁、空心板梁、T 梁和双 T 梁等应按 A 类预应力混凝土构件设计，节段预制混凝土箱梁应按全预应力混凝土构件设计。

5.2.2 预应力混凝土小箱梁、预应力混凝土空心板梁和节段预制混凝土箱梁混凝土强度等级不宜小于 C50。

5.2.3 节段预制混凝土桥箱梁构造设计应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《公路装配式混凝土桥梁设计规范》JTG/T 3365-05 和《节段预制混凝土桥梁技术标准》CJJ/T 111 的有关规定。

5.2.4 节段预制混凝土箱梁的预制构件应进行标准化、模数化设计。

5.2.5 节段预制混凝土箱梁节段预制完成后应采集关键几何参数，建立数字孪生模型，进行数字模拟拼装。

#### II 预应力混凝土小箱梁

5.2.6 预应力混凝土小箱梁应采用广东省高速公路设计标准化成果中装配式预应力混凝土箱梁通用图和参考图，并满足耐久性设计要求。

5.2.7 预应力混凝土小箱梁宜采用先简支后桥面连续和先简支后结构连续两种结构体系；35m 及以下跨度小箱梁宜采用先简支后桥面连续结构体系，35m 以上跨度小箱梁宜采用先简支后结构连续结构体系。

5.2.8 预应力混凝土小箱梁 30m 跨径及以下不可设置跨中横隔板，35m 及以上跨径宜设置一道跨中横隔板。

5.2.9 预应力混凝土变宽小箱梁横向布置宜采用以下两种方式，湿接缝宽度不应小于 0.35m。

1 箱梁等宽度预制，湿接缝变宽现浇；

2 箱梁变宽度预制，湿接缝等宽现浇。

5.2.10 预应力混凝土小箱梁采用等宽湿接缝时，宜采用等宽窄缝，采用 C60 及以上高性能混凝土浇筑。

5.2.11 端横梁和中隔板位置梁体腹板内预埋钢筋宜采用机械套筒连接方式，梁体预制完后应对梁体钢筋进行接长形成钢筋骨架。

5.2.12 先简支后结构连续预应力混凝土小箱梁负弯矩区钢束宜采用圆锚锚具。

### III 节段预制混凝土箱梁

5.2.13 节段预制混凝土箱梁的跨径选择应考虑桥墩高度、地质情况、吊装运输条件、景观效果等因素。

5.2.14 节段预制混凝土箱梁中心线曲线半径不宜小于 100m，曲线半径小于 250m 时应考虑弯扭耦合效应。

5.2.15 节段预制混凝土箱梁应全过程协调设计、制作、运输、安装等各个环节，并应加强各环节之间的配合。

5.2.16 预制箱梁宽度和节段长度应根据吊装、运输等施工条件确定，可分为标准节段、过渡节段和墩顶节段等。

5.2.17 节段箱梁预制应根据预制场地条件、结构形式、工期等要求宜采用短线法预制。

5.2.18 节段预制混凝土箱梁宜采用体内体外混合钢绞线体系或全体外钢绞线体系，不宜采用全体内钢绞线体系。

5.2.19 节段预制构件运输、安装过程中的重要受力部位，应根据施工过程的受力要求进行构造设计。

5.2.20 节段预制混凝土箱梁顶板、底板厚度及构造应满足纵向受力、横向受力及预应力钢束布置要求，且厚度不应小于 200mm。

5.2.21 节段预制混凝土箱梁腹板厚度宜符合下列要求：

1 腹板内不布置体内纵向和竖向预应力钢筋时，腹板厚度不宜小于 200mm；

2 腹板内只布置体内纵向或竖向预应力钢筋时，腹板厚度不宜小于 300mm；

3 腹板内布置体内纵向和竖向预应力钢筋时，腹板厚度不宜小于 380mm。

5.2.22 节段预制混凝土箱梁腹板、底板、顶板厚度变化时，宜采用阶梯突变的方式。

5.2.23 预制节段接缝应采用环氧胶接缝或现浇混凝土接缝，接缝处应均匀设置剪力键；现浇湿接缝的宽度不宜小于 100mm；湿接缝宽度取值 100mm~150mm 时，节段间普通钢筋不得连续，湿接缝宽度大于 150mm 时，节段间普通钢筋应通长连续。

5.2.24 预制节段环氧胶接缝处应均匀设置密接匹配的剪力键，剪力键构造尺寸示意可见图 5.2.24 所示，并应满足下列规定：

1 腹板内的剪力键应在腹板全高全宽范围布置，布置范围不宜小于梁高  $h$  的 75%，剪力键的横向宽度  $b_1$  宜为腹板厚度  $b$  的 75%；

2 键块（槽）应采用梯形或圆角梯形截面，倾角宜  $45^\circ$ ，高度  $h_1$  应大于混凝土最大骨料粒径的 2 倍且不得小于 40mm；顶、底板及腹板内键块（槽）的高度  $h_1$  与其平均宽度  $b_2$  之比可取为 1:2；

3 腹板与顶、底板结合区如无体内预应力钢筋通过，应设置剪力键；

4 顶板和底板内的剪力键应设在板中间；

5 采用环氧胶接缝时键槽应设置出胶槽。

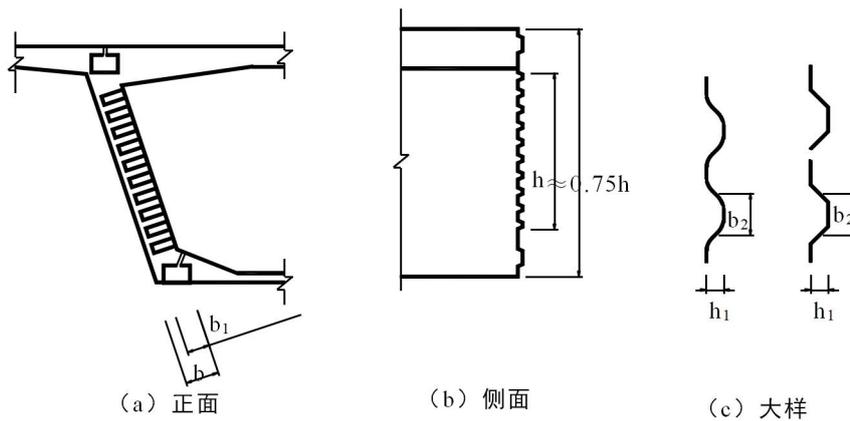
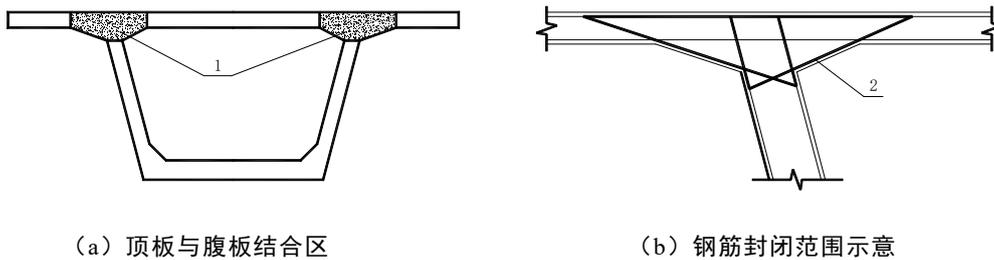


图 5.2.24 剪力键构造尺寸示意

5.2.25 预制节段拼接面处应配置直径不小于 10mm 的钢筋网，钢筋网格间距不宜大于 150mm。

5.2.26 承受正弯矩的预制节段接缝两侧顶板与腹板结合区内的横向钢筋应通过焊接形成封闭钢筋，正弯矩区顶板与腹板结合区及钢筋封闭范围示意可见图 5.2.26-1。承受负弯矩的预制节段接缝两侧底板与腹板结合区内的横向钢筋应通过焊接形成封闭钢筋，封闭钢筋不应少于 3 层，负弯矩区底板与腹板结合区及封闭钢筋范围示意可见图 5.2.26-2。

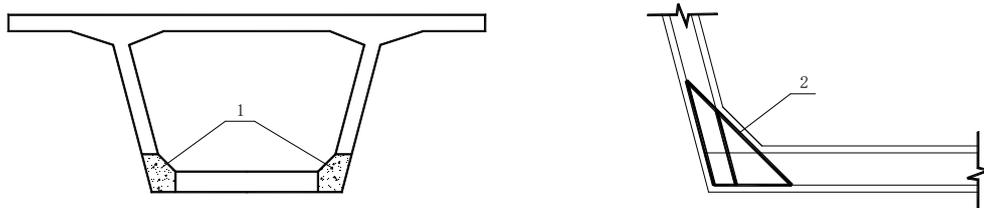


(a) 顶板与腹板结合区

(b) 钢筋封闭范围示意

图 5.2.26-1 正弯矩区顶板与腹板结合区及钢筋封闭范围示意图

1—顶板与腹板结合区；2—钢筋封闭范围



(a) 底板与腹板结合区

(b) 钢筋封闭范围示意

图 5.2.26-2 负弯矩区底板与腹板结合区及封闭钢筋范围示意

1—底板与腹板结合区；2—钢筋封闭范围

5.2.27 构件采用 U 形钢筋交错布置现浇混凝土接缝时，应符合下列规定：

- 1 接缝混凝土的强度等级不应小于 C50；
- 2 接缝宽度  $b$  不应小于 300mm；
- 3 交错后 U 形钢筋的间距  $S$  不应大于 100mm，交错长度  $l$  不应小于 240mm；
- 4 核心混凝土加强钢筋不应少于 4 根，直径不应小于 12mm。

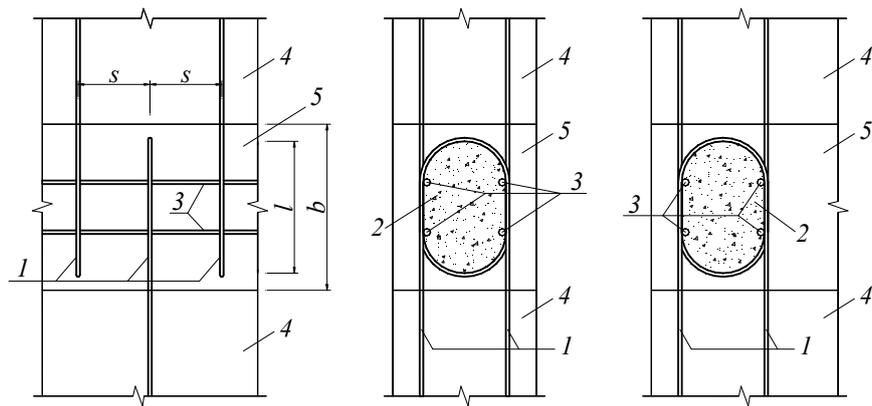


图 5.2.27 U 形钢筋交错布置现浇混凝土接缝

1—U 形钢筋；2—核心混凝土；3—加强钢筋；4—构件；5—现浇接缝

5.2.28 体外预应力应考虑索体更换方便，并应预留桥梁运营期间养护作业更换施工空间。按整束钢绞线可更换设计的非成品体外索，可采用集束式转向器；按单根钢绞线可更换设计的非成品体外索，应采用散束式转向器及无粘结钢绞线束。

5.2.29 体外索自由段索体与梁体的竖向自振频率（基频）之比小于 5 时，应设置减振装置；减振装置及定位构造的间距应以节段长度为模数。

5.2.30 环境类别为Ⅲ类时应对接缝部位的混凝土采取附加防腐蚀措施。体内预应力管道在接缝处应考虑有效的防腐措施。

5.2.31 节段拼装时临时锚固措施应考虑安装、拆卸方便，同时应考虑对景观和耐久性的影响，不宜在箱梁翼缘板和底板开孔。

5.2.32 设计阶段应明确节段预制混凝土箱梁架梁方案，常规施工条件下应采用架桥机或桥面吊机架设方案，特殊施工条件下可采用支架法架设方案。

5.2.33 变宽节段预制混凝土箱梁箱室变宽宜通过顶底板等厚段、箱室间后浇带或者挑臂设置平直段变宽，保证腹板和顶底板加腋处不变，可见图 5.2.33。

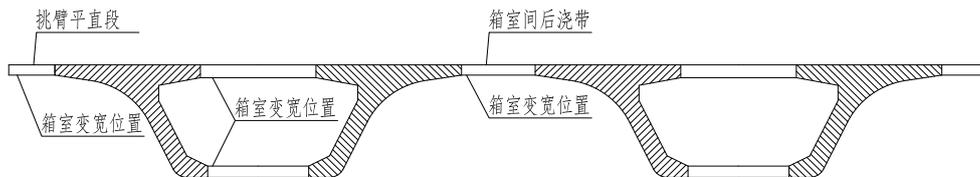


图 5.2.33 箱室变宽示意图

5.2.34 节段预制混凝土箱梁采用箱室内顶底板等厚段变宽时，每一跨宜按统一变宽率进行变宽。

## 5.3 钢 梁

### I 一般规定

5.3.1 钢梁主要受力构件钢材强度等级不宜低于 Q345qC 或 Q355C。

5.3.2 钢箱梁分段应结合起重、运输工具的能力、道路状况和建筑限界等要求确定，分段构件长度不宜超过 25m，构件宽度不宜超过 4.5m，构件重量不宜超过 80t。

5.3.3 钢梁构造设计应满足养护维修空间要求，对于受到水、潮湿空气或其它腐蚀性物质侵蚀的部位，应从构造上预留检查、养护及维修空间和条件，难以到达的部位，应焊接密闭。

- 5.3.4 钢结构桥梁板件组装应在工厂完成，应减少现场工作量，现场连接宜采用高强螺栓连接。
- 5.3.5 钢桥面正交异性板宜采用刚性组合铺装方案。
- 5.3.6 钢箱梁的端部梁高、腹板斜率和底板总宽宜与相邻梁段协调统一。

## II 钢箱梁

- 5.3.7 钢箱梁高跨比宜取  $1/20\sim 1/28$ ，高跨比宜随着跨径的减小而增加。
- 5.3.8 钢箱梁梁高不宜小于 1.5m，主跨不大于 50m 时，宜采用等梁高设计，主跨大于 50m 时，宜采用变梁高设计。
- 5.3.9 桥宽小于 10m 钢箱梁桥，宜采用单箱结构；桥宽较大或单箱结构尺寸过大，制作、运输、安装与架设有困难，宜采用双箱或多箱结构。
- 5.3.10 钢梁顶、底、腹板在板厚变化时，宜采用外轮廓线对齐，加劲肋和横隔板宜采用中心线对齐。
- 5.3.11 钢梁板厚分段设置原则应符合下列规定：

- 1 钢梁板厚分段示意图可见图 5.3.11，边跨板厚分段可按照中跨设置，可减少分段次数；

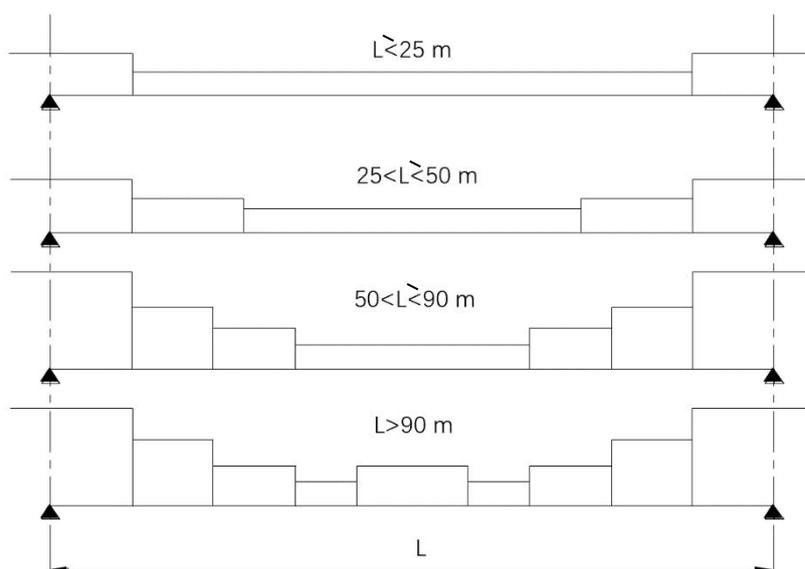


图 5.3.11 钢梁板厚分段示意图

- 2 腹板及底板在中支点两侧第一次变厚位置宜设置在  $0.1L\sim 0.15L$  处；
  - 3 腹板及底板在中支点两侧第二次变厚位置宜设置在  $0.2L\sim 0.25L$  处；
  - 4 腹板及底板在中支点两侧第三次变厚位置宜设置在  $0.3L\sim 0.35L$  处；
  - 5 主跨大于 90m 时，底板可跨中弯矩较大位置处变厚。
- 5.3.12 车行道桥面板厚度不宜小于 16mm，腹板、底板厚度不宜小于 12mm，隔板、加劲板厚度不宜小于 10mm。
- 5.3.13 腹板宜避开行车轮迹带，设置在车道中部或车道线处。
- 5.3.14 支点处横隔板与底板应采用全熔透，与顶板宜采用全熔透或部分熔透焊缝；非支点处横隔板与顶底板和腹板可采用角焊缝。
- 5.3.15 钢梁纵向 U 肋的现场接头宜采用高强度螺栓摩擦型连接。
- 5.3.16 钢箱梁内最低点位置应设置单向阀泄水孔。
- 5.3.17 曲线钢梁纵向 U 肋应以直代曲适应平面线形，直线长度不宜小于 6m，曲线半径较小时可采用球扁钢或板肋代替 U 肋。

## 5.4 钢-混组合梁

### I 一般规定

5.4.1 钢梁主要受力构件钢材强度等级不宜低于 Q345qC 或 Q355C；混凝土强度等级不应低于 C40。

5.4.2 钢-混组合梁的钢梁宜采用工字形、槽形或箱形截面等形式；混凝土桥面板宜采用现浇混凝土桥面板、预制混凝土桥面板、叠合混凝土桥面板钢-混组合桥面板等形式。

5.4.3 钢-混组合梁尺寸和构造应保证具有合理的抗弯、抗扭刚度，梁截面中性轴宜位于钢梁截面范围内。

5.4.4 跨径钢-混组合梁混凝土桥面板可采用强配筋限制负弯矩裂缝宽度；大跨度钢-混组合梁应采用下列方法改善中支点桥面板受力：

- 1 桥面板施加预应力的支点升降法；
- 2 减小中支点负弯矩的间断浇筑法；
- 3 将钢梁预先反弯处理的预弯梁法；
- 4 中支点负弯矩区设置预应力钢束等。

5.4.5 桥面板构造以及配筋应满足桥梁第一体系和第二体系受力要求。

5.4.6 预制桥面板与钢主梁间应设置可压缩垫条，宜采用橡胶垫条或橡塑共混高分子垫条，垫条厚度宜 30mm~35mm。

### II 钢板组合梁

5.4.7 根据主梁间距以及主梁间的横梁是否支承桥面板，钢板组合梁桥可分为小横梁钢板组合梁和大横梁钢板组合梁，可见图 5.4.7。

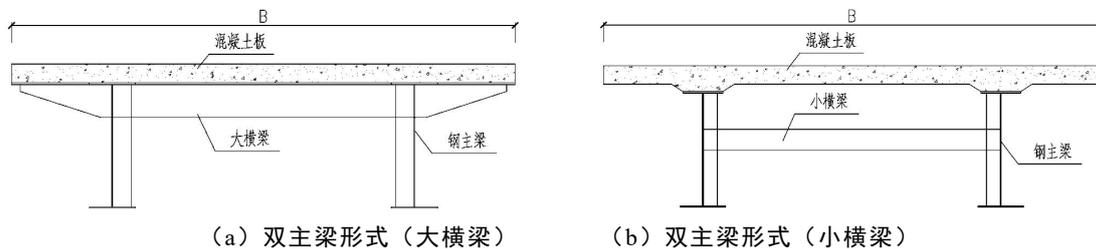


图 5.4.7 钢板组合梁断面形式

5.4.8 根据主梁的数量，钢板组合梁桥可分为双主梁体系、多主梁体系（三主梁及以上）。双主梁体系可用于桥宽不大于 15m 桥梁，两根主梁间距宜取 4.5m~8.5m；多主梁体系可用于桥宽大于 15m 桥梁，主梁间距宜取 2.0m~5.0m 之间。

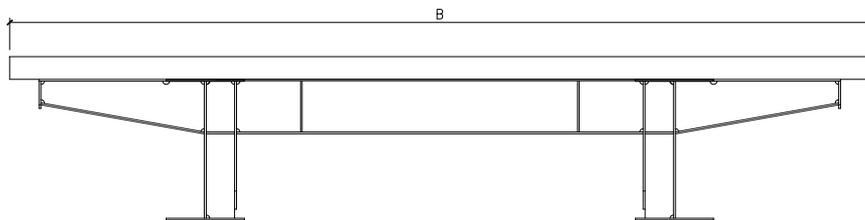


图 5.4.8-1 双主梁体系断面

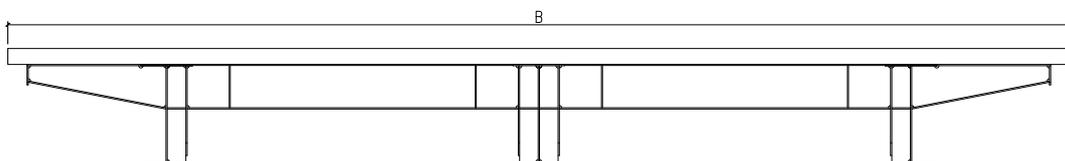


图 5.4.8-2 多主梁体系断面

- 5.4.9 钢主梁梁高与跨径之比宜取  $1/18\sim 1/28$ ，组合梁高与跨径之比宜取  $1/15\sim 1/22$ 。
- 5.4.10 小横梁钢板组合梁的横梁不应与桥面板组合，桥面板为支承在主梁上的单向板，小横梁间距不宜超过 8m。
- 5.4.11 大横梁钢板组合梁的横梁与桥面板组合，桥面板是由主梁和横梁共同支承的单向板或双向板，横梁宜按 4m 等间距布置，跨径可优化为大横梁间距的倍数关系。
- 5.4.12 双主梁钢板组合梁两片钢主梁腹板的中心距约为桥面宽度的 0.55，对于大横梁无悬臂支撑横肋时，可以按照混凝土桥面板悬臂长度 2m 左右进行钢梁间距设置。
- 5.4.13 钢板组合梁不宜用于小半径曲线段布置，曲线段钢板组合梁单跨中心角度不宜大于  $5^\circ$ ，对于常规 30m 跨钢板梁曲线半径不宜小于 350m。
- 5.4.14 钢梁的上翼缘板厚度不应小于 16mm；宽度不宜小于 250mm，并不宜大于其厚度的 24 倍。
- 5.4.15 边梁腹板加劲宜在内侧设置。
- 5.4.16 钢主梁纵向节段连接时，上翼缘宜采用熔透对接焊缝，腹板和下翼缘可采用焊接或高强度螺栓摩擦型连接。
- 5.4.17 钢横梁与主梁连接可采用焊接或高强度螺栓摩擦型连接。
- 5.4.18 设计阶段应复核施工期间钢主梁稳定性，可设置临时纵向联结系，施工完后应拆除。

### III 钢箱组合梁

- 5.4.19 钢混组合箱梁桥可采用单主梁、双主梁和多主梁断面形式，单片主梁根据箱子宽度可区分为宽箱室和窄箱室（图 5.4.19-1~图 5.4.19-3）。

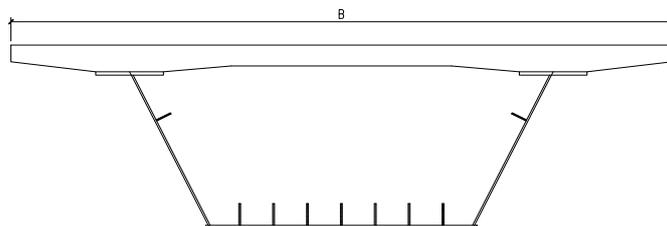


图 5.4.19-1 单主梁宽箱钢箱组合梁断面示意图

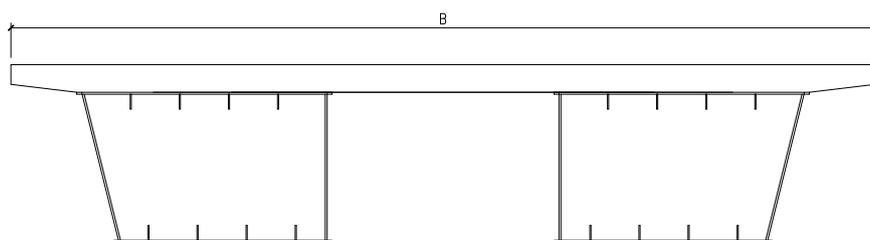


图 5.4.19-2 双主梁窄箱钢箱组合梁断面示意图

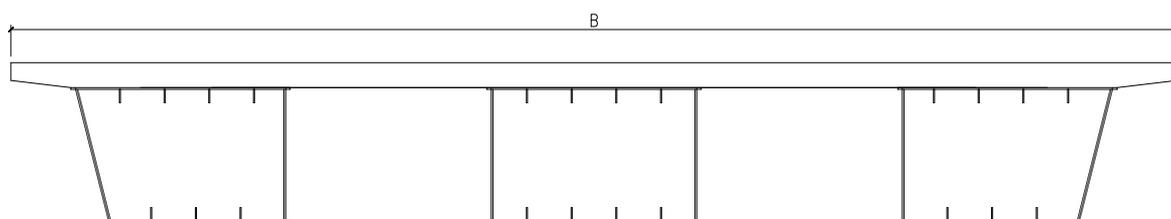


图 5.4.19-3 三主梁窄箱钢箱组合梁断面示意图

- 5.4.20 小半径曲线段钢箱组合梁宜采用闭口断面钢主梁。
- 5.4.21 主跨不大于 50m，宜采用等梁高设计，主跨大于 50m，宜采用变梁高设计。
- 5.4.22 等高梁的高跨比宜取  $1/16\sim 1/25$ ，变高梁的高跨比支点宜取  $1/18\sim 1/23$ ，跨中宜取

1/32~1/47。

**5.4.23** 窄箱钢箱组合梁单片钢主梁宽度不宜大于 3.5m，不宜小于 1.0m，箱室内部净高不宜小于 1.5m。

**5.4.24** 钢主梁箱内支点应设置实腹式隔板，跨中宜采用实腹式、空腹式或桁架式隔板。

**5.4.25** 窄箱钢箱组合梁横向联结系与主梁的连接可采用焊接或高强度螺栓摩擦型连接。

**5.4.26** 钢主梁的上翼缘板厚度不应小于 16mm；两侧挑臂宽度不宜大于其厚度的 12 倍。

**5.4.27** 钢主梁腹板厚度不应小于 12mm；当采用斜腹板时，腹板平面与铅垂面的夹角宜小于 20°，腹板与上下翼缘宜采用熔透 T 形焊缝。

**5.4.28** 窄箱钢箱组合梁单片主梁梁端支点和中支点横向可设置单支座或双支座。

#### IV 混凝土桥面板

**5.4.29** 混凝土桥面板宜按钢筋混凝土构件设计，当设置预应力时宜按预应力 A 类构件设计。

**5.4.30** 混凝土桥面板板厚不宜小于 180mm，桥面厚度常规取值如下：

1 钢板组合梁应符合下列规定：

1) 大横梁双主梁和多主梁桥面板宜采用等厚设计，厚度取值 250mm~280mm；

2) 小横梁双主梁桥面板宜采用变高度设计，厚度与桥面宽度 LT、钢板梁腹板间距 L 有关，可采用下列公式估算；小横梁多主梁桥面板宜采用等厚设计，厚度取值宜为 250mm~280mm。

$$(1) \text{ 支点承托厚度: } \quad 130 + (LT - L) / 26 \quad (5.4.30-1)$$

$$(2) \text{ 跨中厚度: } \quad 130 + L / 50 \quad (5.4.30-2)$$

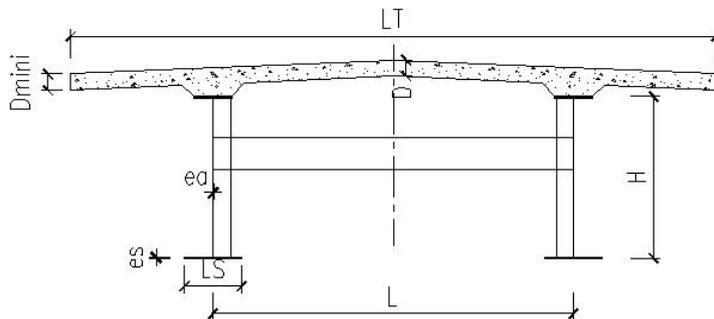


图 5.4.30 小横梁双主梁桥面板厚度参数示意图（单位：mm）

2 钢箱组合梁应符合下列规定：

1) 窄箱室主梁桥面板宜采用等厚设计，厚度取值宜为 250mm~280mm；

2) 宽箱室主梁桥面板有横肋支撑时，可采用等厚设计，厚度取值宜为 250mm~280mm；无横肋支撑时，跨中可采用等厚设计，取值宜为 220mm~250mm，支点设置承托，厚度根据桥面板横向受力确定。

**5.4.31** 桥面板混凝土达到其设计强度的 85%，可考虑桥面板与钢梁组成组合截面共同受力。

**5.4.32** 桥面板承托设置应符合下列要求：

1 承托构造应符合图 5.4.32 的有关规定：

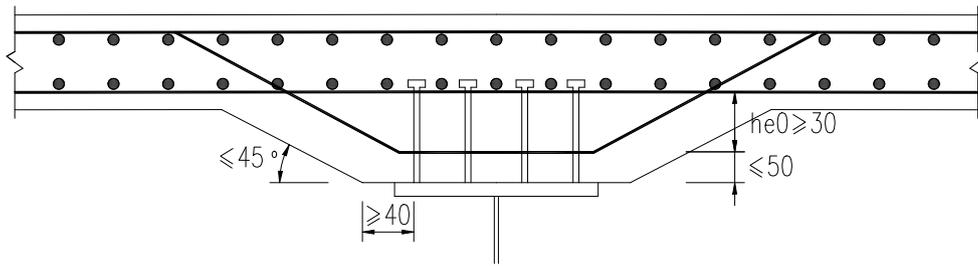


图 5.4.32 承托构造图 (单位: mm)

2 承托高度在 80 mm 以上时, 应在承托底侧布置横向加强钢筋;

3 承托边至连接件外侧的距离不得小于 40 mm, 承托外形轮廓应在由最外侧连接件根部起的  $45^\circ$  角线的界限以外。

5.4.33 未设置承托桥面板下层横向钢筋距钢梁上翼缘不应大于 50mm, 剪力连接件抗掀起端底面, 高出下层横向钢筋的距离  $h_{e0}$  不得小于 30mm, 下层横向钢筋间距不应大于  $4h_{e0}$  且不应大于 300mm。

5.4.34 当桥面板采用叠合混凝土板或预制混凝土板时, 应采取有效措施保证新老混凝土可靠结合。

5.4.35 钢筋混凝土桥面板采用预制混凝土板时, 预制板安装前宜存放 6 个月以上。

5.4.36 桥面板纵向接缝应采用 U 形钢筋交错布置, 接缝宽度不应小于 300mm; 接缝混凝土强度等级不宜小于 C50, 其余要求应符合本规程第 5.2.27 条的规定。

5.4.37 中支点桥面板内设置纵向预应力时, 桥面板宜全宽断面整体预制, 焊钉集束式布置。

## V 连接件

5.4.38 钢-混组合梁在钢主梁与混凝土交界面应设置连接件, 宜采用焊钉、开孔板连接件和型钢连接件等。

5.4.39 焊钉连接件应符合下列规定:

1 焊钉连接件长度不应小于 4 倍焊钉直径, 当有直接抗拔力作用时不宜小于焊钉直径的 10 倍。焊钉直径不宜大于 1.5 倍连接处钢板厚度;

2 焊钉外边缘与钢梁翼缘边缘的距离不应小于 25mm, 焊钉外边缘至混凝土面板边缘的距离不应小于 100mm;

3 焊钉连接件最大中心间距不宜大于 3 倍混凝土板厚度且不宜大于 300mm;

4 在剪力作用方向上, 焊钉间距不应小于 100mm, 且不宜小于 5 倍的焊钉直径; 在垂直于剪力作用方向上, 焊钉间距不应小于 80mm, 且不宜小于 4 倍的焊钉直径;

5.4.40 焊钉连接件可采用均布式或集束式布置。

5.4.41 开孔板连接件应符合下列规定:

1 制作开孔板连接件钢材的基本性能指标应符合国家现行标准《钢-混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 的有关规定;

2 开孔板连接件的钢板厚度不宜小于 12mm。当开孔板连接件多列布置时, 相邻开孔板间的距离宜大于板高的 3 倍;

3 开孔板连接件的孔径不宜小于贯通钢筋直径与骨料最大粒径之和;

4 开孔板连接件贯通钢筋宜采用直径不小于 12mm 的螺纹钢筋, 且宜居中设置。

## 6 下部结构设计

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 装配式下部结构拼接缝不宜设置于水位变动区及浪溅区。
- 6.1.2 装配式混凝土下部结构接缝截面的承载力计算可采用平截面假定，受压混凝土的应力图形可简化为矩形，不计混凝土的抗拉作用，截面各种材料的应力取其相应的设计值。
- 6.1.3 装配式混凝土下部结构进行承载能力极限状态计算、正常使用极限状态计算以及构件应力计算时，均应计入接缝对受力性能的影响。
- 6.1.4 构件的分段应考虑运输、存放、吊装、架设等因素，采用陆运下部构件时，断面宽度不宜大于 5m，高度不宜大于 3.5m，运输重量不宜大于 150t。

### 6.2 桩 基

- 6.2.1 预制桩可采用钢筋混凝土桩、预应力混凝土桩、钢桩及钢管混凝土管桩。
- 6.2.2 预制混凝土桩的混凝土强度等级不宜低于 C40；预应力混凝土桩和钢管混凝土管桩的混凝土强度等级不应低于 C60。
- 6.2.3 钢筋混凝土桩现常用结构形式为方形桩，设计应符合现行行业标准《预制钢筋混凝土方桩》JC/T 934 的有关规定。
- 6.2.4 预应力混凝土桩按截面形状可分为方桩、管桩，设计应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476、现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406、《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197 以及现行广东省标准《预应力混凝土管桩基础技术规程》DBJ 15-22 的有关规定。
- 6.2.5 钢桩按外形可分为钢管桩、H 型桩，设计应符合现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 的有关规定。
- 6.2.7 钢管混凝土管桩的设计应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476 和现行行业标准《预制高强混凝土薄壁钢管桩》JG/T 272 的有关规定。
- 6.2.8 预制桩基础的结构验算和技术性能指标应符合现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 和现行广东省标准《建筑地基基础设计规范》DBJ 15-31 的有关规定。

### 6.3 承 台

- 6.3.1 预制承台宜采用整体预制方式，重量不宜大于 150t。
- 6.3.2 预制承台与墩柱及桩基的连接方式应与墩柱及桩基的类型和预制方式相匹配。
- 6.3.3 预制承台的设计应计入预留孔洞对承台结构的不利影响。
- 6.3.4 预制承台的结构验算应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定。
- 6.3.5 预制承台受力钢筋的布置应与预制桩基础连接构造相协调，在预留孔洞处不得切断。
- 6.3.6 非整体预制构件承台，钢筋宜采用部品化钢筋，工厂制作。

### 6.4 墩 柱

- 6.4.1 装配式混凝土墩柱应进行接缝位置正截面抗压弯承载力和接缝截面抗剪弯承载力计算。

- 6.4.2 灌浆连接套筒布置在预制立柱中时，应考虑套筒对立柱刚度及相关构造的影响。
- 6.4.3 空心墩柱结构中运营阶段有撞击风险的部位，宜设置后填充混凝土。
- 6.4.4 采用分节预制拼装的立柱，在分节安装时，立柱节段间应均匀受力，压应力不宜小于0.15MPa。
- 6.4.5 预制墩柱应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《节段预制混凝土桥梁技术标准》CJJ/T 111和《公路装配式混凝土桥梁设计规范》JTG/T 3365-05规定：

1 当矩形、T形和I形截面偏心受压立柱构件满足式(6.4.5-1)或圆形截面偏心受压构件满足式(6.4.5-2)时，可不对接缝层进行特殊处理：

$$e_0/h \leq 0.55 \quad (6.4.5-1)$$

$$e_0/r \leq 0.55 \quad (6.4.5-2)$$

2 当立柱受力状态不满足本条第一款要求时，当在作用(荷载)的频遇组合和荷载准永久组合下接缝处正截面受拉边缘出现拉应力，但拉应力小于预制构件材料和接缝界面材料的允许设计拉应力时，可不对接缝层进行特殊处理；

3 当立柱受力状态不满足本条第一款和第二款要求时，但按频遇组合并考虑长期作用影响时计算的裂缝宽度不超过规范规定的最大裂缝宽度限值时，可采用合适方式将受拉边缘拉应力控制到预制构件材料和接缝界面材料的相应允许设计拉应力，或将接缝层埋入承台结构内部50mm以上，同时接缝层外包承台混凝土应满足设计强度、刚度、耐久性的要求。

## 6.5 盖 梁

- 6.5.1 装配式混凝土盖梁应进行接缝位置正截面抗弯承载力、斜截面抗剪承载力及接缝截面抗剪弯承载力等计算。
- 6.5.2 采用沿长度方向分段预制拼装的盖梁，应按全预应力构件设计。
- 6.5.3 装配式分段盖梁应符合现行行业标准《节段预制混凝土桥梁技术标准》CJJ/T 111和《公路装配式混凝土桥梁设计规范》JTG/T 3365-05的有关规定。
- 6.5.4 盖梁分段安装时，应按短暂状况进行构件的应力计算，盖梁节段间应均匀受力，节段间压应力不宜小于0.3MPa。

## 6.6 桥 台

- 6.6.1 装配式桥台可采用桩柱式桥台、悬臂式桥台、扶壁式桥台、肋板式桥台等结构形式。
- 6.6.2 桩柱式桥台背墙、耳墙宜与台帽整体预制。
- 6.6.3 悬臂式桥台、扶壁式桥台、肋板式桥台可将台帽、背墙、耳墙、肋板等部件在工厂分开单独预制，再现场组装成整体。

## 6.7 构 件 连 接

- 6.7.1 预制拼装混凝土桥墩可采用灌浆套筒、灌浆波纹管、承插式、插槽式、混凝土湿接缝、后张预应力、钢板、铰缝等连接形式，常用连接方式及适用范围可见表6.7.1确定。

表 6.7.1 常用连接方式及适用范围

连接方式	推荐适用范围
灌浆套筒连接	墩柱与盖梁、墩柱与承台、墩柱节段间、桥台台身与承台
灌浆波纹管连接	墩柱与承台、墩柱与盖梁
承插式连接	桩与承台、墩柱与承台
插槽式连接	桩与承台、墩柱与盖梁
湿接缝连接	墩柱与承台、墩柱节段间、盖梁节段间
后张预应力连接	墩柱与盖梁、墩柱与承台、墩柱节段间、盖梁节段间
钢板连接	扶壁式桥台台身、肋板式桥台肋板与基础或承台连接，墩柱与承台
铰缝连接	悬臂式桥台台身与扶壁式桥台立壁的纵向连接

注：灌浆套筒、灌浆波纹管等连接件可布置于同一截面。

6.7.2 塑性铰区域不应使用半灌浆套筒。

6.7.3 设计的施工工序应避免高强无收缩水泥灌浆料在凝固过程中产生破坏，应满足下列规定：

1 灌浆套筒连接和灌浆波纹管连接能在进入下一工序后保持受压时，进入相应工序前内部填充的高强无收缩水泥灌浆料强度应大于 35MPa；

2 当灌浆套筒连接和灌浆波纹管连接不能在进入下一工序后保持受压时，进入相应工序前内部填充的高强无收缩水泥灌浆料强度应大于 60MPa。

6.7.4 采用灌浆套筒连接的装配式墩柱应符合下列规定：

1 预制墩柱中纵向钢筋宜采用大直径钢筋，纵向钢筋之间的中心距不宜大于 200mm，且至少每隔一根宜用箍筋或拉筋固定；

2 灌浆套筒之间净距宜大于 25mm 和被连接纵向钢筋直径  $d_s$  的最大值；

3 灌浆套筒的预制安装端以及现场拼装端钢筋伸入长度均不应小于  $10d_s$ ；

4 预制构件的灌浆套筒压浆口下缘应设置一道箍筋；

5 灌浆套筒的保护层厚度不宜小于 30mm，最外侧钢筋的混凝土保护层厚度应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定；当预制构件中，预埋灌浆套筒后导致纵向主筋保护层过大时，宜在纵向主筋的保护层内增设钢筋网片；

6 套筒压浆口应设置止浆阀，出浆口应设置 L 型连接管，管口应高于出浆口 150mm 以上；

7 灌浆套筒与箍筋应采用绑扎连接。

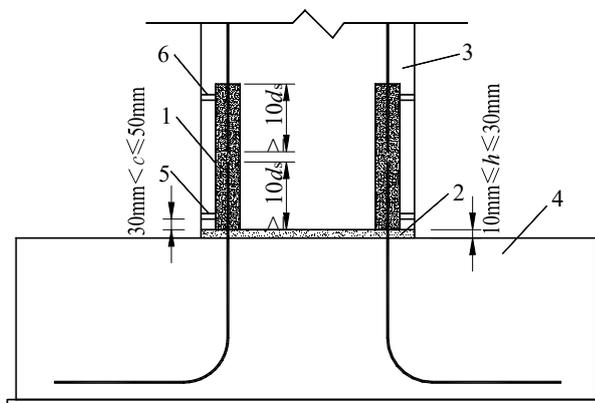


图 6.7.4 墩柱与承台灌浆套筒连接

1-灌浆套筒；2-砂浆垫层；3-预制墩柱；4-承台；5-压浆管；6-出浆管

6.7.5 采用灌浆波纹管连接的装配式墩柱应符合下列规定：

1 灌浆波纹管之间净距大于 50mm，且大于灌浆波纹管外径时，灌浆波纹管的长度不

应小于  $24d_s$ ，且不得拼接；

2 灌浆波纹管之间净距的净距小于其外径时，灌浆波纹管的长度不应小于  $36d_s$ ，且不得拼接；

3 灌浆波纹管的内径不宜小于  $d_s+40\text{mm}$ ，壁厚不应小于  $2\text{mm}$ ；

4 应在预制构件中灌浆波纹管压浆口下缘处设置一道箍筋；

5 灌浆波纹管的保护层厚度不宜小于  $30\text{mm}$ ；当预制构件中，预埋灌浆波纹管后导致纵向主筋保护层过大时，宜在纵向主筋的保护层内增设钢筋网片；

6 灌浆波纹管与箍筋应采用绑扎连接。

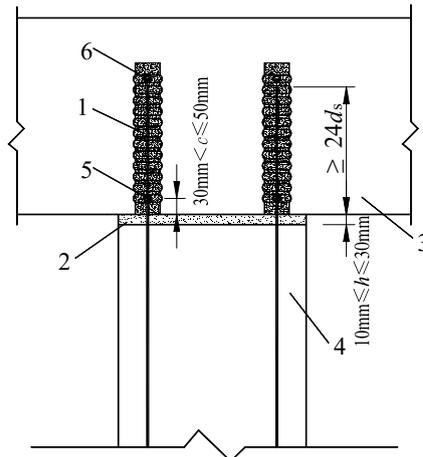


图 6.7.5 墩柱与盖梁灌浆波纹管连接

1—灌浆波纹管；2—砂浆垫层；3—预制盖梁；4—预制墩柱；5—压浆管；6—出浆管

6.7.6 采用承插式连接的装配式墩柱应符合下列规定：

1 预制墩柱的埋深不应小于  $0.9D$ ；

2 预制墩柱与承台接缝之间，应设置剪力键；

3 承台插槽底板厚度不应小于  $300\text{mm}$ ，并应配置纵筋以及抗剪和抗冲切钢筋；

4 预制墩柱与承插孔壁的最小间隙宽度不宜小于  $50\text{mm}$ ，其间可采用高强灌浆料或者超高性能混凝土填充密实；

5 采用承插式连接承台混凝土强度等级不宜小于 C40。

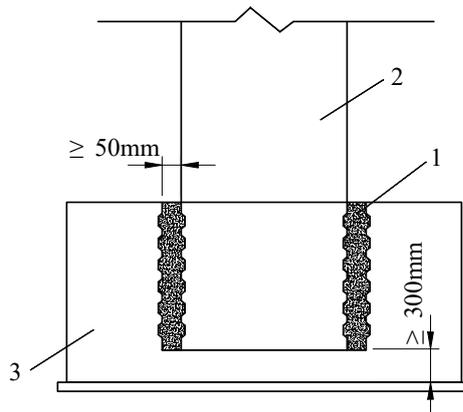


图 6.7.6 墩柱与承台承插式连接

1—高强灌浆料；2—预制墩柱；3—承台

6.7.7 采用插槽式连接的装配式墩柱结构应符合下列规定：

1 插槽内壁应配置钢波纹管或设置剪力键；

2 插槽孔内宜填充高强混凝土，并宜掺入膨胀剂。高强混凝土强度等级不应低于盖梁及预制构件混凝土强度；

3 插槽内预制墩柱预留的钢筋长度应满足最小锚固长度的要求。

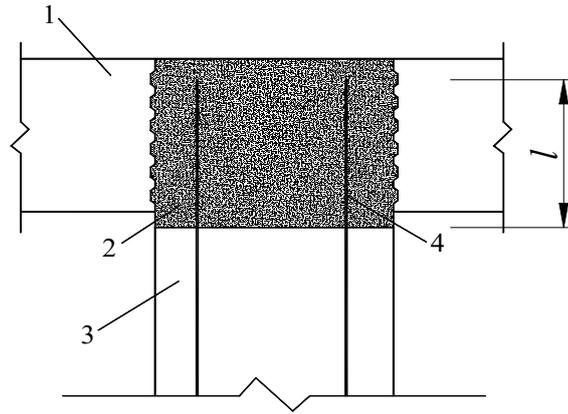


图 6.7.7 墩柱与盖梁插槽式连接

1—预制盖梁；2—高强度混凝土；3—预制墩柱；4—预制节段伸出钢筋

6.7.8 采用超高性能混凝土湿接缝连接的下部结构应符合下列规定：

1 钢筋的连接可采用机械连接或搭接连接；

2 搭接宜采用 U 型筋的搭接形式，搭接长度应大于  $12d$ ；相互搭接的 U 型筋净距不宜小于  $1.5l_f$ ， $l_f$  为超高性能混凝土中钢纤维的长度；U 型筋至超高性能混凝土内外表面的净距不宜小于 30mm；

3 搭接可采用直端、弯钩端或墩头端钢筋搭接，直端钢筋搭接长度应大于  $20d$ ，弯钩端或墩头端钢筋搭接长度应大于  $15d$ 。

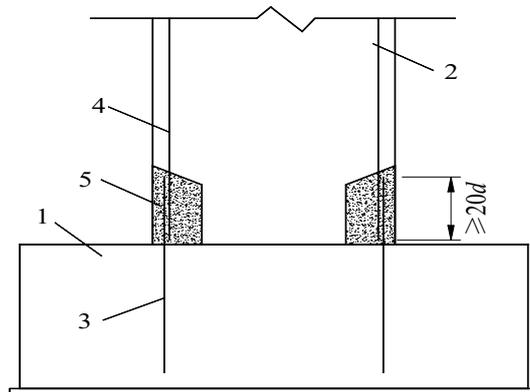


图 6.7.8 墩柱与承台超高性能混凝土连接

1—承台；2—预制墩柱；3—承台伸出钢筋；4—墩柱伸出钢筋；5—超高性能混凝土

6.7.9 实心桩桩顶与预制承台的连接应满足下列要求：

1 采用插槽式连接时，受力纵筋进入承台的锚固长度  $l_d$  应满足：带肋钢筋不应小于 35 倍钢筋直径，不设弯钩；受力纵向钢筋应于连接钢板双面焊接，焊缝长度不得小于锚固筋直径的 5 倍，连接钢板宜采用 Q235B，厚度不应小于 10mm，应与端板满焊，并应避开端板孔口；

2 采用承插式连接时，当桩径（或边长） $D_z$  小于 0.6m 时，插入长度  $l_0$  不应小于  $2D_z$ ；当桩径（或边长） $D_z$  为 0.6m~1.2m 时，插入长度  $l_0$  不应小于 1.2m；当桩径（或边长） $D_z$  大于 1.2m 时，插入长度  $l_0$  不应小于  $D_z$ ；

3 承台预留孔洞内宜填充补偿收缩混凝土，3h 竖向膨胀率大于 0.1%，24h 与 3h 差值 0.02%~0.5%，其强度等级不应低于承台自身混凝土强度，填筑前应清除内部杂物。

6.7.10 采用后张预应力连接的下部结构应符合下列规定：

1 采用预应力连接的装配式墩柱宜采用单端锚固形式，张拉端宜置于墩柱顶端，锚固端宜置于承台内；

- 2 节段墩柱之间宜设置剪力键匹配施工；
- 3 运营阶段有撞击风险的节段墩柱之间应设置剪力键，剪力键中宜布置抗剪钢筋；
- 4 节段盖梁之间应均匀设置剪力键，剪力键布置范围不宜小于梁高的 75%，且不宜小于梁宽的 75%；
- 5 预制节段端部应配置直径不小于 10mm 的钢筋网；
- 6 装配式预应力混凝土受弯构件应按 A 类或全预应力混凝土设计，当构件无纵向连续普通钢筋时应按全预应力混凝土设计。

**6.7.11** 采用钢板连接的下部结构应符合下列规定：

- 1 预埋件的钢板采用焊接连接时，应对预埋件及焊缝的承载力进行验算，并应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017和《钢结构焊接规范》GB 50661等的有关规定；
- 2 受力预埋件的锚筋直径不宜小于8mm，不宜大于25mm；
- 3 钢板防腐处理应符合现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722的有关规定。

## 7 附属设施设计

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 桥梁附属设施应包含防撞栏杆、伸缩缝、桥面铺装、桥面排水和人行道等内容。
- 7.1.2 桥梁附属设施宜采用装配式构件。
- 7.1.3 装配式桥梁附属设施设计应满足运营期检测、维修和更换要求。
- 7.1.4 装配式桥梁附属构件与主体结构之间应采用可靠耐久、施工方便的连接形式。
- 7.1.5 装配式桥梁附属构件应采用标准化、模数化设计，并应能适应道路平面线形变化。
- 7.1.6 装配式桥梁附属预埋件应在预制厂提前预埋，钢预埋件和预制构件外露钢筋应做防腐处理。

### 7.2 防撞栏杆

- 7.2.1 装配式防撞栏杆形式和尺寸应符合现行国家标准《城市道路交通设施设计规范》GB 50688 和现行行业标准《公路交通安全设施设计规范》JTG D81 的有关规定。
- 7.2.2 防撞栏杆宜与桥址环境相适应，宜采用的防撞栏杆包含混凝土防撞栏杆、钢防撞栏杆和钢-混组合防撞栏杆等，可见图 7.2.2。

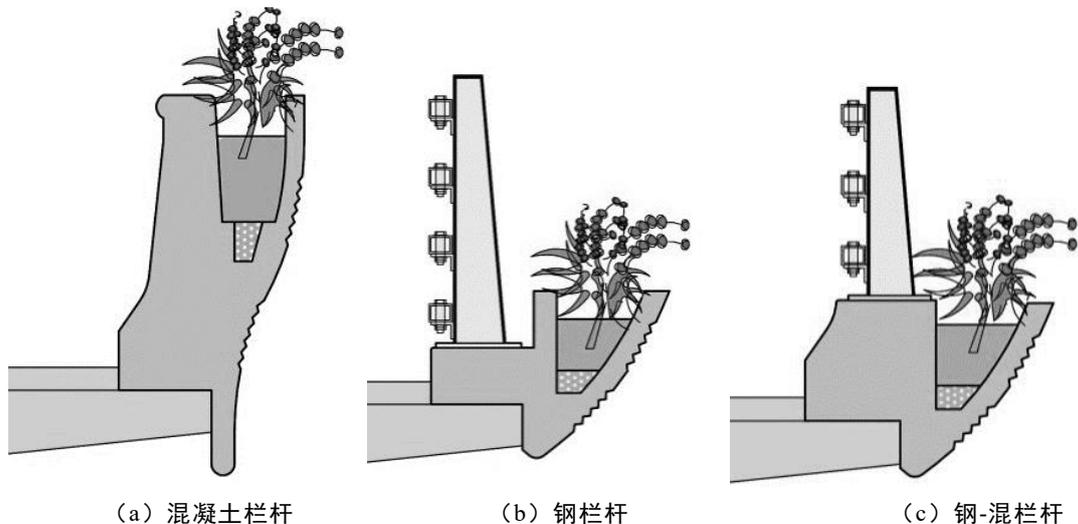


图 7.2.2 防撞栏杆断面示意图

- 7.2.3 城市桥梁防撞栏杆考虑绿化种植时宜采用花槽式栏杆。
- 7.2.4 装配式防撞栏杆宜采用部分预制、节段预制和整体预制三种方式。
- 7.2.5 整体预制栏杆与主体结构连接采用现浇湿接缝形式，宜采用高性能混凝土或超高性能混凝土。
- 7.2.6 装配式防撞栏杆混凝土强度等级不宜小于 C40。
- 7.2.7 防撞栏杆设置花槽时，应对花槽中的给水和排水进行专项设计，且应符合现行深圳市标准《立体绿化管养技术规程》DB4403/T 177 的有关规定。

### 7.3 桥面铺装

- 7.3.1 钢结构正交异性桥面板铺装应采用刚性铺装，宜采用超高韧性混凝土或纤维混凝土，超

高韧性混凝土应符合现行广东省标准《超高性能轻型组合桥面结构技术规程》GDJTG/T A01 的有关规定。

**7.3.2** 桥面防水等级采用 I 级，防水层使用年限不应小于 15 年，防水层应符合现行行业标准《城市桥梁桥面防水工程技术规程》CJJ 139 和现行深圳市标准《建设工程防水技术标准》SJG 19 的有关规定。

**7.3.3** 节段预制箱梁或预制桥面板未设置混凝土调平层时，宜增加一层水泥基渗透结晶型防水层或浇筑式沥青层。

**7.3.4** 装配式桥梁沥青铺装层宜与道路沥青路面层相统一。

## 7.4 桥面排水

**7.4.1** 城区内桥梁宜采用隐形排水系统，应包含主梁纵向排水和墩台竖向排水系统。

**7.4.2** 主梁纵向排水系统宜采用桥面集中排水槽加纵向排水管或桥面纵向线形排水沟二种布置形式，排水槽的尺寸和间距以及排水管和排水沟的尺寸应由桥面宽度、纵横坡、雨水强度设计年限等综合确定。

**7.4.3** 主梁纵向排水管宜预埋在箱体内或隐藏在挑臂下，桥墩竖向排水管宜预埋在立柱内或设置深槽口隐藏。

**7.4.4** 混凝土箱梁和桥墩内预埋排水管宜采用不锈钢管或 UPVC 管材，不锈钢管应符合现行国家标准《结构用不锈钢无缝钢管》GB/T 14975 和《钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 17395 的有关规定，PVC-U 管材和管件应符合现行国家标准《建筑排水用硬聚氯乙烯（PVC-U）管材》GB/T 5836.1 和《建筑排水用硬聚氯乙烯（PVC-U）管件》GB/T 5836.2 的有关规定。

**7.4.5** 钢结构箱梁内预埋排水管应采用不锈钢管，并应与钢结构主体结构同步施工。

**7.4.6** 桥墩内置排水管应设置检查和疏通孔。

**7.4.7** 桥面出水口宜设置不锈钢滤网。

**7.4.8** 桥面人行道板下应进行防水和排水设计。

## 7.5 其 它

**7.5.1** 附属设施的预埋件应与主体结构一次安装完成，并应采取相应防腐措施。

**7.5.2** 桥梁应避免位于道路竖曲线凹曲线段，不可避免时应加强排水措施。

## 8 抗震要求

**8.0.1** 装配式桥墩抗震设计、分析计算、验算和延性构造应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01的有关规定。

**8.0.2** 塑性铰区域的最大容许转角应根据极限破坏状态的曲率能力，按下式计算：

$$\theta_u = L_p(\phi_u - \phi_y)/K \quad (8.0.2-1)$$

式中：

$\phi_y$ ——截面的等效屈服曲率（1/cm），可按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166第7.3.8条的有关规定计算；

$\phi_u$ ——极限破坏状态的曲率能力（1/cm），可按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166第7.3.6条的有关规定计算；

$K$ ——延性安全系数，灌浆套筒位于墩身潜在塑性铰区域时取2.5，灌浆套筒或灌浆波纹管位于承台或盖梁内时取2.2；

$L_p$ ——等效塑性铰长度（cm），可取下两式计算结果的较小值：

$$L_p = 0.08H + 0.022f_y d_s \geq 0.044f_y d_s \quad (8.0.2-2)$$

$$L_p = \frac{2}{3}b_s \quad (8.0.2-3)$$

式中：

$H$ ——悬臂柱的高度或塑性铰截面到反弯点的距离（cm）；

$b_s$ ——矩形截面的短边尺寸或圆形截面直径（cm）；

$f_y$ ——纵向钢筋抗拉强度标准值（MPa）；

$d_s$ ——纵向钢筋的直径（cm）。

**8.0.3** 灌浆套筒连接应满足下列规定：

1 预制拼装桥墩的纵筋宜延伸至盖梁顶面和承台底面，盖梁和承台内的套筒外露钢筋长度不应小于 $20d_s$ 。当盖梁或承台内的套筒净保护层厚度小于150mm时，墩柱的纵筋应延伸至盖梁顶面和承台底面，且纵筋的锚固和搭接长度应在《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362要求的基础上增加 $10d_s$ ；

2 灌浆套筒位于墩身潜在塑性铰区域内时，应使用全灌浆套筒，箍筋加密区长度不应小于套筒高度加 $5d$ ；

3 灌浆套筒位于盖梁或承台内时，墩柱箍筋延伸长度不宜小于墩柱长边尺寸的1/2或500mm，并不应小于套筒的高度；

4 套筒上端第一个箍筋距离套筒顶部不应大于50mm，在套筒高度范围内，墩柱箍筋的混凝土保护层厚度不应小于20mm，箍筋与套筒的连接应采用绑扎，不应采用焊接。

**8.0.4** 灌浆波纹管连接应满足下列规定：

1 预制拼装桥墩波纹管净保护层厚度不宜小于150mm；

2 波纹管位于承台内时，墩柱主筋伸入波纹管内的长度不应小于 $30d_s$ ，且不得拼接；

3 波纹管位于盖梁内时，墩柱主筋伸入波纹管内的长度不应小于盖梁高度的一半，且不得拼接；

4 墩柱箍筋延伸至盖梁或承台内的距离不宜小于墩柱长边尺寸的 1/2 或 500mm，并不应小于波纹管的高度，且箍筋与波纹管的连接应采用绑扎，不应采用焊接。

**8.0.5** 预制墩柱与承台采用承插式连接时，墩柱插入深度不应小于  $45d_s$ （ $d_s$  为墩柱受力主筋直径），界面应设置剪力键，预留孔洞周围应设置必要的箍筋。

**8.0.6** 预制墩柱与盖梁采用插槽式连接时，应满足下列规定：

1 预制墩柱伸入孔洞高度 50mm~100mm 时，墩身纵筋应延伸至盖梁顶面和承台底面附近，纵向钢筋的锚固长度应在现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 要求的基础上增加  $10d_s$ ；

2 盖梁预留孔洞尺寸不小于墩身对应尺寸加 100mm，盖梁预留孔洞周围应设置必要的螺旋箍筋或采用壁厚不小于 3mm 的金属波纹管成孔。

**8.0.7** 超高性能混凝土（UHPC）连接应包括等截面尺寸连接和扩大头连接，连接段应满足下列规定：

1 湿接缝连接段应采用能力保护设计，在地震下不得损伤；

2 纵筋在 UHPC 中的最小保护层厚度应大于等于钢筋直径；

3 配箍率应满足塑性铰区域最小配箍率的要求；

4 纵筋直径大于 32mm 时，应进行抗震专题研究。

**8.0.8** 主筋采用 HRB500 及以上的钢筋或连接构造不满足本节要求的预制拼装桥墩，应进行抗震专题研究，并通过抗震专项论证后方可采用。

**8.0.9** 预制拼装混凝土桥墩中采用后张有粘结预应力钢绞线或预应力螺纹钢筋时，墩身箍筋设置应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的有关规定。

**8.0.10** 预制拼装混凝土桥墩的锚具应满足现行行业标准《预应力混凝土结构抗震设计标准》JGJ/T 140 的抗震性能要求。

## 9 构件预制与制作

### 9.1 一般规定

- 9.1.1 预制构件的生产应符合设计文件的有关规定。
- 9.1.2 生产企业应具备保证产品质量要求的生产工艺设施、试验检测条件，宜运用信息化技术，建立完善的质量管理体系。
- 9.1.3 预制构件生产前，应进行施工交底和图纸会审。
- 9.1.4 预制构件生产前，应编制生产方案，预应力构件尚应编制专项方案。
- 9.1.5 构件预制用钢筋笼胎架、钢筋笼定位板、预制台座、模板、吊具等设备应根据具体预制工艺和精度要求进行专项设计。
- 9.1.6 预制构件生产应建立模具验收制度和首件验收制度。

### 9.2 场地要求

- 9.2.1 预制场选址应充分考虑厂内、外运输条件。
- 9.2.2 预制场场地面积应根据工程量、工程进度等因素综合考虑。
- 9.2.3 预制场场地地基处理应充分考虑预制台座、存放台座、机械设备和其他生产工具的荷载大小，应具有足够的承载能力。
- 9.2.4 预制场地规划和布置应进行专项设计，并应考虑预制构件的预制、运输和吊装工艺，设置钢筋加工车间、混凝土拌合系统、大吨位起重设备、预制台座、混凝土浇筑养护系统、存放台座、运输道路、给排水设施及供电系统等。
- 9.2.5 预制场地布置应满足下列要求：
  - 1 应根据安装设备的施工能力、预制构件生产效率合理布置预制场地，并清晰划分各功能区；
  - 2 场地应平整、坚实，不满足要求时应对地基进行加固处理，并应配有排水、排污和养护设施；
  - 3 预制构件移运、出运应方便快捷。
- 9.2.6 预制场地内应建立精密的平面控制网和高程控制网，并应符合下列规定：
  - 1 应远离热源、振动源，并应设置保护装置；
  - 2 应具有良好的通视条件；
  - 3 测量控制点基础应稳固可靠；
  - 4 应复核，应保证测量精度；
  - 5 应有备用的测量控制点；
  - 6 采用长线法预制时，预制台座两端应有观测塔，上面应设置梁轴线强制定位基准点和高程定位基准点，可调节控制节段预制混凝土箱梁模板的纵、横轴线和标高，实现节段预制混凝土箱梁的预制匹配定位。
- 9.2.7 预制场根据构件制作要求宜划分为钢筋加工区、构件制作区、构件存放区、试验检测区等功能分区。
- 9.2.8 预制构件台座的设置应符合下列要求：
  - 1 台座设置数量应根据预制构件的类型、大小、数量、预制场的生产规模及进度综合考虑

确定；

2 预制台座地基应具有足够的承载力、稳定性和抗变形能力，必要时采取加固及换填措施，确保地基不发生不均匀沉降；

3 台座应具有足够的强度、刚度及稳定性，应能满足各阶段施工荷载和施工工艺的要求。应具有对梁底的支座预埋钢板或楔形垫块进行角度调整的功能，并应在预制施工时严格按设计要求的角度进行设置；

4 底模应根据设计时的要求设置预拱度；

5 墩柱预制台座应进行专项设计，应满足构件重量、密封性的要求，变形钢筋骨架及模板的翻转要求；

6 采用长线法预制时，台座必须建在坚固的基础上，应严格控制台座沉降。

9.2.9 混凝土拌合区的平面布置应结合预制场平面规划、混凝土供应区域规划、拌合区配套机械设备参数等因素，满足运料、上料、出料等搅拌作业要求，并应符合现行国家标准《建筑施工机械与设备混凝土搅拌站（楼）》GB/T 10171 和现行行业标准《工厂预制混凝土构件质量管理标准》JG/T 565 的有关规定。

9.2.10 钢结构加工厂应符合下列要求：

1 钢结构临时厂房应采用半封闭式；厂房空间应满足一次可预拼 N+1 段钢箱梁；

2 场地应按使用功能进行场地硬化处理，对软弱地基应进行换填处理，应保证地基承载力；全场应按横向 2%、纵向 0.5% 设置排水坡，场地硬化应按中间高四周低原则进行；

3 钢构件加工厂宜按原材料存放区、构件下料区、构件加工区、成品和半成品存放区、试验检测区、废品存放区等进行功能分区；

4 应根据现场制造内容，在桥位附近设置生产区、设钢梁总拼临时厂房、除锈涂装临时厂房。

9.2.11 钢构件加工厂设备的安装、调试、验收应符合下列要求：

1 应适应工艺流程的需要；

2 应方便工件的存放、运输和现场的清理；

3 设备及附属装置的外尺寸与运动部件的极限位置应保持安全距离；

4 厂房应与设备工作相匹配，设备应满足安装、维修、操作安全的要求。

9.2.12 钢构件加工厂应做好生产防尘、防锈、防污染工作，对易燃、易爆、腐蚀性有害物品等应采取隔离防护措施。

### 9.3 混凝土构件预制

9.3.1 预制构件模板系统设计应进行专业设计，并应满足现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定。

9.3.2 拼接缝处的构件表面在浇筑完成后应凿毛至完全露出新鲜密实混凝土的粗集料，并应用洁净水冲洗干净。

9.3.3 应根据混凝土性能制定具体养护方案，构件预制完成后应洒水养护，养护时间不应小于 7d，不得采用海水或含有害物质的水。

#### I 墩柱与盖梁

9.3.4 墩柱、盖梁钢筋笼制作应满足下列要求：

1 构件钢筋笼应在专用胎架上制作加工成型，钢筋胎架应有足够的强度、刚度和精度；

2 墩柱及盖梁钢筋骨架制作时，应对灌浆套筒、灌浆波纹管及预应力管道采取固定措施；

3 采用灌浆套筒连接或灌浆波纹管连接时，与箍筋应采用绑扎连接，不得采用焊接连接；

- 4 构件钢筋笼应安装成品吊装所需的吊点、现场调节装置、支座等各类预埋件；
- 5 构件钢筋笼应分析吊装工况下的受力及变形，必要时设置劲性骨架。
- 9.3.5 构件模板宜采用钢模板，模板系统除应满足刚度、承载能力、稳定性的要求外，尚应符合下列要求：
- 1 应满足构件生产工艺、模具组装与拆卸、周转次数等要求；
  - 2 应满足预制构件预留孔洞、预埋件安装定位要求。
- 9.3.6 墩柱、盖梁混凝土浇筑前，应对灌浆套筒或灌浆波纹管、预应力管道定位进行检查，同时应对台座、模板、预埋件及预留孔等进行复测，浇筑前模板及预埋件安装质量验收要求应满足表 9.3.6 中的规定。

表 9.3.6 浇筑前模板及预埋件安装质量验收要求

项目		允许偏差	检查方法	
灌浆波纹管定位 (mm)		2	尺量	
预应力管道定位 (mm)		10	尺量	
模板、模具预留孔洞中心位置	吊环、预留孔洞 (mm)	3	尺量	
	预埋螺栓、螺母中心线 (mm)	2	尺量	
	灌浆套筒中心线 (mm)	1	尺量	
台座水平度	水平度 (mm/m)	1	尺量	
模板表面平整度 (mm/m)		2	尺量	
模板垂直度 (mm)		0.1 % L, 且 ≤3	垂直度测量仪测不少于 3 处	
模板侧向弯曲 (mm)		l/1500L 且小于 5	用全站仪或者全站仪测不少于 3 处	
模板尺寸 (mm)	长度	±2	尺量	
	宽度	±2	尺量	
	高度	±3	尺量	
钢筋定位 (mm)	灌浆套筒主筋	定位筋	2	尺量
		预留长度	-2, 0	尺量
	其他主筋		4	尺量
预埋件 (mm)	剪力键模具	位置	2	尺量
		平面高差	2	尺量
	支座板等预埋钢板	位置	3	尺量
		平面高差	2	尺量
	螺栓及其他预埋件	位置	5	尺量
		外露尺寸	±5	尺量

注：L 为墩柱高度或者盖梁长度。

9.3.7 当预制构件拼接面设置剪力键时，相邻构件宜匹配浇筑。采用竖向匹配预制工艺时，应满足下列要求：

- 1 节段内预埋的管道应与匹配节段的各预留孔顺接，并宜穿入加强芯棒。抽拔管应贯穿整个节段长度并伸入匹配节段的预留孔内，伸入长度不宜小于 200mm；
- 2 采用钢模翻模时，钢模应进行专项设计，墩柱浇筑过程中钢模局部变形应小于 2mm；
- 3 采用二次翻模技术进行竖向匹配预制时，印模混凝土应采取减小收缩徐变；翻模过程中应对预埋孔道位置进行控制，连接应平顺。

9.3.8 墩柱、盖梁混凝土浇筑应满足下列要求：

1 墩柱宜竖向预制；

2 墩柱、盖梁混凝土宜一次性浇筑完成，浇筑时宜先行浇筑灌浆套筒或灌浆波纹管、预应力装置范围内混凝土；

3 应根据混凝土的品种、工作性、预制构件的规格形状等因素，制定合理的振捣成型工艺。混凝土应采用强制式搅拌机搅拌，且预制构件底部混凝土宜采用机械振捣，中上部机械宜辅助人工振捣，分层厚度不宜大于 500mm；

4 混凝土入模温度不应低于 5℃，且不得高于 28℃。当日平均气温达到 30℃以上时应按高温施工要求采取措施。

9.3.9 预制构件脱模和起吊时强度应符合设计规定；设计未规定时，承重模板宜在混凝土抗压强度达到设计强度的 75%后拆模，起吊时混凝土抗压强度不应低于设计强度的 80%。

9.3.10 预制构件出厂前应检查并清理灌浆套筒或灌浆波纹管内腔及进出浆口，并应对进出浆口进行临时封堵。

9.3.11 预制构件应满足设计规定的存放时间；当设计无要求时，自混凝土浇筑完成后起算至安装的时间不应少于 14d。

9.3.12 墩柱采用立式存放时，应对墩柱进行抗倾覆验算，抗倾覆系数不应小于 1.5。抗倾覆验算时应考虑风荷载、地基不均匀沉降引起的倾覆荷载。

9.3.13 当施工方案要求墩柱由立式放置改为水平放置时，支点位置及数量应满足承载力及裂缝限值要求，并报设计和监控等相关单位复核，宜制定详细操作流程，宜设置专门翻身吊架，翻身作业不得对墩柱造成损坏。

## II 节段预制混凝土箱梁

9.3.14 模板系统设计应进行专业设计，具备足够的强度和刚度，并考虑模板使用的通用性及模板周转方便，且满足下列要求：

1 端模及侧模应采用钢模板；

2 匹配节段箱梁宜安放在可调节空间姿态的底模台车上，并应根据预制线形精确定位；

3 底模应水平安置并与固定端模下缘良好闭合；

4 内模宜安装在可移动的台车支架上；

5 固定端模应保持竖向垂直并与预制单元中线成 90°，且端模上缘应保持水平，偏差量应小于 1mm；

6 模板应与匹配节段箱梁连接紧密、无漏浆；

7 模板在出厂前应进行拼装验收，合格后方可使用。

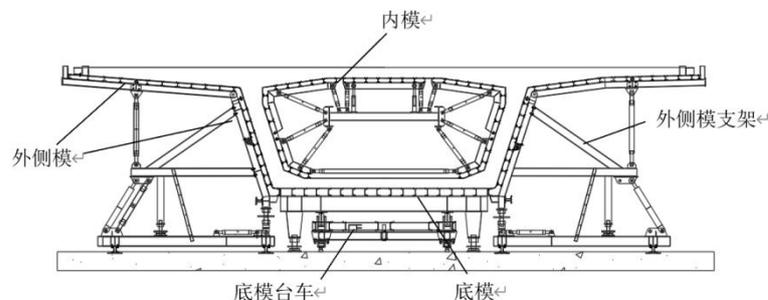


图 9.3.14 模板系统

9.3.15 浇筑前模板及预埋件安装质量验收要求应符合表 9.3.15 的要求：

表 9.3.15 浇筑前模板及预埋件安装质量验收要求

项目		规定值或允许偏差 (mm)	检查方法	
相邻两板表面高低差		2	尺量	
表面平整度		2	2m 靠尺和塞尺	
模板之间拼接缝隙		1	尺量	
垂直度		H/1000, 且≤3	全站仪或吊线、尺量	
内模尺寸	长度	-1, -3	尺量	
	顶宽	±5	尺量	
	底宽	+3, 0	尺量	
	高度	0, -2	尺量	
轴线偏移量		2	尺量	
预埋件	剪力键	位置	2	尺量
		平面高差	2	尺量
	支座板、锚垫板等预埋钢板	位置	3	尺量
		平面高差	2	钢尺和塞尺
	螺栓、锚筋等	位置	10	尺量
		外露尺寸	±10	尺量
	转向器	位置	20	尺量
		转向角	±0.5°	钢尺和量角器
吊孔	位置	2	尺量	
预应力筋孔道位置	位置	≤3	尺量	

注：H 为节段预制混凝土箱梁高度 (mm)。

9.3.16 模板安装前，应在匹配面及模板表面均匀涂刷对混凝土无害且便于清洗的脱模剂，性能不得影响结构胶的粘结性能。

9.3.17 节段预制混凝土箱梁混凝土浇筑应满足下列要求：

1 混凝土下料应均匀，并按一定厚度、顺序和方向分层浇筑，分层厚度不宜大于 300mm。环境温度高时混凝土入模温度不应超过 28℃，在温度高时应有预冷等降温措施；环境温度较低时混凝土入模温度不应低于 5℃，并应有保温措施，且满足设计和相关规范要求；

2 侧模及底模上宜按需要设置附着式振捣器。腹板部位混凝土振捣可采用插入式振捣器，振捣时应避免碰及管道、钢筋、模板、混凝土剪力键及预埋件；

3 浇筑前应测量混凝土坍落度，使其满足工作性能要求；

4 混凝土的运输、浇筑及间歇的全部时间不应超过混凝土的初凝时间。

9.3.18 节段预制混凝土箱梁混凝土养护应满足下列要求：

1 应根据环境温度、水泥品种、外加剂、施工进度要求以及对混凝土性能的要求，确定养护方案；

2 采用常规养护时，不间断养护总时间不宜少于 7d；

3 对节段预制混凝土箱梁的外立面混凝土宜采用喷雾等方式进行养护；

4 采用蒸汽养护时，应符合下列要求：

1) 从节段预制混凝土箱梁混凝土全部浇筑完毕后开始计时，静停时间不应小于 2h，且不宜多于 6h；

2) 加热应均匀；

3) 升温、降温速率控制值应符合表 9.3.18 的要求;

表 9.3.18 升温、降温速率控制值

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

注: 表面系数指结构冷却面积 ( $m^2$ ) 与结构体积 ( $m^3$ ) 的比值。

- 4) 恒温阶段蒸汽养护温度宜控制在  $55^{\circ}C\sim 65^{\circ}C$  之间;
- 5) 恒温状态相对湿度控制在  $90\%\sim 100\%$ ;
- 6) 节段预制混凝土箱梁在养护过程中, 应进行温度测量, 当外界与节段预制混凝土箱梁表面温差不大于  $15^{\circ}C$  时, 方可拆除养护设施, 并采用喷湿方式进行养护;
- 7) 混凝土配合比试验应与蒸汽养护温度控制的试验同步进行。

9.3.19 节段预制混凝土箱梁脱模应满足下列要求:

- 1 混凝土强度达到设计强度的 75% 后方可脱模并拆除;
- 2 脱模或移动节段预制混凝土箱梁时, 应防止伤及梁体棱角和剪力键等部位;
- 3 节段预制混凝土箱梁脱模后进行检查验收。

9.3.20 节段预制混凝土箱梁预制混凝土浇注过程中应按照要求取样制成试块, 每批次取样不应少于 3 组, 数量除应满足标准养护要求外, 还应满足同条件养护、测定混凝土阶段性强度的要求。

9.3.21 节段预制混凝土箱梁修整应符合下列要求:

- 1 节段预制混凝土箱梁表面应进行修整和清理, 确保箱梁外侧面和底面平整;
- 2 除胶接面严重破损的情况外, 节段预制混凝土箱梁胶接面不宜进行修补。

9.3.22 节段预制混凝土箱梁吊离预制台座、移运、堆存时, 混凝土的强度不应低于设计强度的 80%。

9.3.23 节段预制混凝土箱梁出场时, 外观应满足下列要求:

- 1 混凝土表面应平整、颜色一致, 应无明显施工接缝;
- 2 与湿接缝相邻端面应凿毛处理, 凿毛最小深度不应小于 8mm。

9.3.24 节段预制混凝土箱梁存放应满足下列要求:

- 1 节段预制混凝土箱梁应按其安装的先后顺序合理存放;
- 2 节段预制混凝土箱梁吊离预制台座移至存梁场后应进行养护;
- 3 当节段预制混凝土箱梁多层叠放时, 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, 宜采用三点支撑的形式存放;
- 4 节段预制混凝土箱梁叠放层数宜根据其构件强度、台座地基承载力、支撑物强度及叠放稳定性等经计算确定, 且不宜超过 2 层;
- 5 节段预制混凝土箱梁的存放时间应满足设计要求, 且不宜少于 28d。

## 9.4 钢构件制作

9.4.1 钢结构在制造前, 制造厂应对设计图进行工艺性审查, 且应绘制加工图, 编制制造工艺。

9.4.2 制造钢结构桥梁所用材料的品种、规格、性能应符合设计文件的要求和现行国家标准的有关规定。进场材料除应有生产厂家的质量证明书外, 制造厂还应按相关标准的有关规定对其进行抽样检验, 检验合格后方可使用。

9.4.3 高强度螺栓连接副材料的质量及检验要求应符合表 9.4.3 所列标准规定。

表 9.4.3 高强度螺栓连接副材料的质量及检验要求

名称	标准
钢结构用高强度大六角头螺栓	GB/T 1228-2006
钢结构用高强度大六角螺母	GB/T 1229-2006
钢结构用高强度垫圈	GB/T 1230-2006
钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件	GB/T 1231-2006
钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副	GB/T 3632-2008

9.4.4 普通螺栓技术指标应满足图纸要求，图纸未规定，应符合现行国家标准《六角头螺栓》GB/T 5782、《六角厚螺母 B 级》GB/T 6170、《平垫圈 C 级》GB/T 95 的有关规定。

9.4.5 圆柱头焊钉、焊接瓷环质量标准及检验应符合设计文件要求及现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T10433 的有关规定，圆柱头焊钉采用 ML15AL 或 ML15 钢材。

9.4.6 钢结构焊接宜采用自动焊接，应按工艺评定的焊接工艺参数执行。焊缝的尺寸偏差、外观质量和内部质量等应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 及《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定。

9.4.7 钢梁加工应满足下列要求：

- 1 钢梁加工前应制订详细的制造工艺；
- 2 钢材进场经材料复验合格后，方可对钢板进行预处理；
- 3 制造前应进行焊接工艺评定，并根据评定报告制定焊接工艺规程；
- 4 钢梁制作过程中应进行加工工序的检验；
- 5 制造及验收应使用经检定合格的计量器具，并按有关规定进行操作，验收应该满足国家现行相关标准的规定。

9.4.8 采用埋弧焊焊接的焊缝，应在焊缝的端部加装引板，引出板的材质、厚度、坡口应与所焊件相同，其长度不应小于 100mm。

9.4.9 施焊时母材的非焊接部位严禁焊接引弧，焊接后应清除熔渣及飞溅物。多层焊接时宜连续施焊，逐层逐道清渣，应在清除药皮、熔渣、溢流和其他缺陷后，再焊下一层，发现焊接缺陷清除，焊接接头应错开 50mm 以上。且应控制层间温度，最低层间温度不得低于预热温度，最大层间温度不宜超过 250℃。

9.4.10 焊接缺陷修补时，预热温度应按焊接工艺的有关规定再加 30℃~50℃，预热范围应为缺陷周围不小于 100mm 的区域。返修的焊缝应修磨匀顺，并按原质量要求进行复检。返修次数不宜超过两次。

9.4.11 钢构件应进行厂内试拼装，试拼装应满足下列要求：

- 1 试拼装应具有足够面积的拼装场地和配套的起吊设备，拼装场地应平整坚实，拼装胎架应有足够的刚度，试拼装过程不发生支点下沉；
- 2 工字组合梁、钢桁梁应按照图纸及工艺文件要求对首批杆件进行试拼装：工字组合梁应按整孔试拼装，钢桁梁采用平面试拼装，简支梁试拼装长度不宜小于半跨，连续桁梁应包括所有变化节点；
- 3 试拼装时应使板层密贴，冲钉不宜少于螺栓孔总数的 10%，螺栓不宜少于螺栓孔总数的 20%；有磨光顶紧要求的构件，应有 75% 以上面积密贴，采用 0.2mm 的塞尺检查时，其塞入面积不应超过 25%；
- 4 未经试拼装检验合格，不得成批生产。

9.4.12 钢构件涂装前应进行结构表面除油、除盐、除锈、除尘处理，表面处理完成后 4h 内进

行涂装，当所处环境的相对湿度不大于 60%时，可以适当延时，但最长不应超过 12h；若表面出现返锈现象，应重新除锈。

## 9.5 质量控制与检验

### I 钢筋模块制作

9.5.1 胎架与钢筋模块制作实测应符合表 9.5.1 的有关规定。

表 9.5.1 胎架与钢筋模块制作实测项目

检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
胎架尺寸 (mm)		±2	钢卷尺：每次组装检查 3 个断面的长、宽、高
主筋间距 (mm)		±2	钢卷尺：首次组装逐个实测
箍筋、拉结筋、螺旋筋间距 (mm)		±10	钢卷尺：每个模块抽检 30%
弯起钢筋位置 (mm)		±5	钢卷尺：每个模块检查 10 处
连接件、定位板、预埋件位置 (mm)		±2	钢卷尺：每件纵横方向各测 1 点
波纹管坐标 (mm)	梁长方向	±5	钢卷尺：每根检查 10 点
	梁高方向	±5	
波纹管间距 (mm)	同排	±5	钢卷尺：每根检查 5 点
	上下层	±5	
主要受力钢筋下料长度 (mm)		±2	钢卷尺：抽查 10%

9.5.2 外观鉴定应符合下列要求：

- 1 胎架应平顺整齐，无变形、破损等缺陷；
- 2 吊点位置及加固应符合设计要求；
- 3 钢筋连接应平顺、无缺陷；
- 4 保护层垫块应安放整齐，数量应符合设计要求。

### II 钢筋模块安装

9.5.3 钢筋模块安装实测项目应符合表 9.5.3 的有关规定。

表 9.5.3 钢筋模块安装实测项目

检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
钢筋连接	焊缝尺寸 (mm)	符合设计要求	钢卷尺：抽检 30%
	机械连接扭矩 (N·m)	符合设计要求	扭力扳手：抽测 20%
接头区域内的箍筋、横向水平钢筋、螺旋钢筋	根数	符合设计要求	目测：全数检查
	间距 (mm)	±10	钢卷尺：每个连接检查 2 处

9.5.4 外观鉴定应符合下列要求：

- 1 接头区域内钢筋连接应平顺、无缺陷；
- 2 接头区域内保护层垫块数量应符合要求。

### III 桥墩与盖梁制作

9.5.5 桥墩与盖梁制作应符合下列要求：

- 1 灌浆连接套筒、金属波纹管、预应力筋及锚具组装件应符合规定和设计要求，经检测合格后方可使用；
- 2 灌浆连接套筒、金属波纹管及其配件不应锈蚀、沾污、损伤，灌浆连接套筒、金属波纹管现场浇筑端应采用定位板定位；

3 灌浆连接套筒、金属波纹管与箍筋连接应绑扎，灌浆连接套筒、金属波纹管及压浆管、出浆管应连接牢固、不变形、不移位；

4 桥墩构件在制作、运输和安装过程中不应出现损伤；

5 桥墩构件成品应验收合格后挂牌出厂。

9.5.6 墩柱制作实测项目应符合表 9.5.6 的有关规定。

表 9.5.6 墩柱制作实测项目

检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率	
混凝土抗压强度 (MPa)		符合设计要求	按本规程附录 B 检查	
立柱表面平整度 (mm)		≤3	2m 直尺：每构件测 2 处	
立柱高度 (mm)		0, -2	钢卷尺：每构件测 2 点	
立柱断面尺寸 (mm)		±5	钢卷尺：每构件测 2 断面	
预埋件 (mm)	灌浆套筒、金属波纹管、锚垫板位置	≤2	钢卷尺： 每预埋件检查 1 点	
	锚筋	位置		≤2
		外露尺寸		≤2
	支座垫石	位置	≤2	钢卷尺：2 点
尺寸		≤2	钢卷尺：全数检查	

9.5.7 盖梁制作实测项目应符合表 9.5.7 的有关规定。

表 9.5.7 盖梁制作实测项目

检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率	
混凝土抗压强度 (MPa)		符合设计要求	按本规程附录 B 检查	
盖梁表面平整度 (mm)		≤3	2m 直尺：每构件测 2 处	
盖梁断面尺寸 (mm)		±5	钢卷尺：每构件测 2 断面	
预埋件 (mm)	灌浆套筒、金属波纹管、锚垫板位置	≤2	钢卷尺： 每预埋件检查 1 点	
	锚筋	位置		≤2
		外露尺寸		≤2
	支座垫石	位置	≤2	钢卷尺：2 点
尺寸		≤2	钢卷尺：全数检查	

9.5.8 外观鉴定应符合下列要求：

1 混凝土表面应平整、棱角线顺直；

2 混凝土表面应光洁、无明显色差。

#### IV 节段预制混凝土箱梁制作

9.5.9 节段预制混凝土箱梁应符合下列要求：

1 节段预制混凝土箱梁采用可拆卸内模施工时，应采取措施防止内模上浮；

2 节段预制混凝土箱梁在吊离台座时，混凝土强度应符合设计要求。

9.5.10 节段预制混凝土箱梁制作实测项目应符合表 9.5.10 的有关规定。

表 9.5.10 节段预制混凝土箱梁制作实测项目

检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率	
混凝土抗压强度 (MPa)		在合格标准内	按本规程附录 B 检查	
梁长度 (mm)		±5	钢卷尺: 每梁	
宽度 (mm)	端横梁	±10	钢卷尺: 检查 3 处	
	梁	顶宽		±10
		底宽		+5, 0
梁高度 (mm)		±4	钢卷尺: 检查 2 处	
断面尺寸 (mm)	顶板厚	+8, 0	钢卷尺: 检查 2 个断面	
	底板厚			
	腹板或梁肋			
梁 (mm)	垂直度	≤4	吊垂线: 每梁每侧检查 2 处	
	预埋件位置	±5	钢卷尺: 每件	
平整度 (mm)		≤5	2m 直尺: 每侧面每梁长测 1 处	
横系梁及预埋件位置 (mm)		±5	钢卷尺: 每件	

9.5.11 外观鉴定应符合下列要求:

- 1 混凝土表面应平整、色泽一致、无明显施工缝;
- 2 混凝土表面应无蜂窝麻面;
- 3 混凝土表面应无贯穿性裂缝和宽度不大于 0.15mm 的结构裂缝;
- 4 梁体内应无建筑垃圾、杂物、临时预埋件等。

V 钢构件制作

9.5.12 钢构件制作应遵循下列原则:

1 焊接完毕且待焊缝冷却至环境温度后,应对所有焊缝进行外观检查,焊缝经外观检查合格后方可进行无损检测。无损检测应在焊接 24h 后进行,对板厚大于 40mm 的焊缝应在焊接 48h 后再次进行无损检测;

2 射线探伤应符合现行国家标准《金属熔化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323 的有关规定;超声波探伤应符合现行国家标准《焊缝无损检测超声检测技术、检测等级和评定》GB/T 11345 的有关规定;磁粉探伤应符合现行国家标准《焊缝无损检测磁粉检测》GB/T 26951 的有关规定;

3 采用超声波和磁粉探伤的焊缝,当发现裂纹时,应将该条焊缝的探伤范围延伸至全长;采用射线探伤的焊缝,当发现超标缺陷时应加倍检验。经检验为不合格的焊缝,应进行焊缝缺陷修补并重新检验;缺陷修补的次数不得超过 2 次。

9.5.13 钢板梁制作实测项目应符合表 9.5.13 的有关规定。

表 9.5.13 钢板梁制作实测项目

检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
梁高 h (mm)	h ≤ 2m	±2	钢卷尺: 测两端腹板处高度
	h > 2m	±4	
	纵梁	±1.0	
	横梁	±1.5	
跨度 (mm)		±8	全站仪或钢卷尺: 测两支座中心距离

续表 9.5.13

检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
梁长 (mm)	全长	±15	全站仪或钢卷尺:测中心线处
	纵梁长度	+0.5, -1.5	
	横梁长度	±1.5	
纵、横梁旁弯 (mm)		≤3	拉线、钢直尺:梁立置时在腹板一侧距主焊缝 100mm 处测中部 1 点
拱度 (mm)	主梁拱度	不设拱度	拉线、钢直尺:梁卧置时,在下盖板外侧中部测 1 处
		设拱度	
两片主梁拱度差		≤4	分别测两片主梁拱度,求差值
平面度 (mm)	主梁腹板平面度	≤h/500 且≤8	2m 直尺及塞尺:每梁中部测 2 处
	纵横梁腹板平整度	≤h/500 且≤5	
主梁、纵横梁盖板对腹板的垂直度 (mm)		有孔部位	直角尺:每 2m 测 1 次
		其余部位	
连接	焊缝尺寸 (mm)	符合设计要求	焊缝检验尺:检查全部
	焊缝探伤	符合设计要求	超声:检查全部 射线:按设计规定,设计未规定时按 10%抽查
	高强度螺栓连接副的扭矩 (N·m)	±10%	测力扳手:检查 5%,且不少于 2 个

9.5.14 钢箱梁制作实测项目应符合表 9.5.14 的有关规定。

表 9.5.14 钢箱梁制作实测项目

检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
梁高 h (mm)	h≤2m	±2	钢卷尺:测两端腹板处高度
	h>2m	±4	
跨度 L (mm)		±8	全站仪或钢卷尺:测两支座中心距离
全长 (mm)		±15	全站仪或钢卷尺:每构件测 1 次
腹板中心距 (mm)		±3	钢卷尺:测相邻两腹板中心距
横断面对角线差 (mm)		≤4	钢卷尺:测两端端面对角线差
旁弯 (mm)		≤(3+0.1L)	拉线、钢直尺:每构件跨中测 1 次
拱度 (mm)		+10,-5	拉线、钢尺:每构件跨中测 1 次
腹板平面度 (mm)		≤h/350 且≤8	平尺及塞尺:每构件测 4 次
扭曲 (mm)		≤0.1%, 且每段≤8	钢卷尺:置于平台,四角中有三角接触平台,测另一角与平台间隙
连接	焊缝尺寸 (mm)	符合设计要求	焊缝检验尺:检查全部
	焊缝探伤	符合设计要求	超声:检查全部 射线:按设计规定,设计未规定时按 10%抽查
	高强度螺栓连接副的扭矩 (N·m)	±10%	测力扳手:检查 5%,且不少于 2 个

注:项次 6 中 L 为跨度,以“m”计。

9.5.15 外观鉴定应符合下列要:

- 1 钢梁内外表面应平整,不应有凹陷、划痕、毛刺等缺陷;

**2** 焊缝应成形良好，外观应连续、均匀、饱满，不应有裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑、漏焊、焊瘤、焊疤等缺陷及超出要求的气孔、咬边、焊波等。

## 10 构件运输和安装

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 构件在脱底模、移运、存放、吊装时，混凝土强度不应低于设计文件规定的吊装强度；设计文件未规定时不应低于设计强度的80%。

**10.1.2** 构件安装前，应根据构件大小、重量选择合理的吊装设备及运输车辆，运输前应对路线实地勘察并优选运输路线。

**10.1.3** 构件安装前应检查支承结构和预埋件的尺寸、标高及平面位置；支承结构的强度应满足设计要求。

**10.1.4** 构件安装采用临时结构时，应对临时结构自身在不同受力状态下的强度、刚度和稳定性进行验算。

**10.1.5** 预制构件安装设备应根据构件尺寸、吊重、现场场地条件等进行选型，且架桥机、吊机等大型吊装设备应进行专项检测并应出具与安全使用相关的许可证明文件。

**10.1.6** 安装设备的选用应符合施工方案要求，应具备适应性、先进性、经济性，所需的各种设备组合应合理；应有足够的安全系数，应对环境影响小。选择安装设备宜进行通用性与专用性比较，施工过程中应对安装设备实行全过程动态管理。

### 10.2 构件吊装与运输

#### I 吊 装

**10.2.1** 各类钢筋笼、各类构件的吊装方案应进行专项设计。

**10.2.2** 吊具、吊架应进行探伤检查和维护。

**10.2.3** 吊装设备应符合使用要求，使用前应检查机具的维修使用、检验记录。

**10.2.4** 运输前应进行试吊装。

#### II 运 输

**10.2.5** 构件运输前应编制详细的构件运输方案和专项保护方案，并应包含构件放置方向、支承点设置、吊点设置、构件翻身处理、外露钢筋保护等内容，运输方案必要时应报送有关主管部门审批。

**10.2.6** 预制构件的陆上运输应符合下列规定：

- 1 在陆地上运输预制构件时，宜采用专用运输台车，或采用经改装能适应构件运输的车辆；
- 2 运输线路的路面应平坦，路基或桥涵应有足够的承载能力；
- 3 预制构件的支点设置应满足设计要求，当设计无规定时，应通过计算确定，合理设置支点，并应在支点处设置缓冲材料，使构件的受力均匀；
- 4 应根据运输线路上的最大纵横坡，设置纵横向限位装置。

**10.2.7** 预制构件的水上运输应符合下列规定：

- 1 水运预制构件时，宜采用自航式运输驳船；
- 2 运输前，应按装载和运输条件下的各种工况，对船舶的强度进行核算和加固计算，并应对船体进行必要的加固处理；同时应对船舶的稳定性进行验算；
- 3 在运输船上装载预制构件时，应采用型钢设计用于固定预制构件的专用支架和底座；
- 4 应符合海事和航道管理部门对水上运输的相关规定。

**10.2.8** 如需进行梁上运梁，应经设计认可后实施。

**10.2.9** 钢梁运输应满足下列要求：

- 1 运输过程中，应做好钢梁防护，保护焊钉，避免焊钉受到触碰导致脱落；
- 2 钢梁运输过程中，应加强支撑、固定牢固，防止变形或倾覆；
- 3 槽形钢箱构件运输过程中，应在箱内设置剪刀撑，防止腹板变形；工字梁运输应采用辅助撑架，防止变形或倾倒。

### 10.3 基础安装

**10.3.1** 沉桩施工前应具备工程地质、水文等资料，并应制订专项施工方案，配置合理的沉桩设备；沉桩施工过程中如发现实际地质情况与勘测报告出入较大时，宜补充地质钻探。

**10.3.2** 沉桩方法的选用应根据具体的地质条件、工程需求、场地施工条件及挤土、施工振动、噪声等对周边环境的影响等因素决定，并应符合下列规定：

- 1 静压法沉桩可用于较厚且均匀的坚硬土层、密实碎石层和砂层、全风化或强风化岩层作桩端持力层的地基，宜采用液压式压桩机；
- 2 锤击法沉桩不可用于在硬土和软土中；
- 3 振动法沉桩可用于沉钢板桩、钢管桩及长度在 15m 内的钢筋混凝土预制桩；
- 4 植入法沉桩可用于地质状况复杂、施工条件限制、挤土效应显著、其他沉桩方法难以达到设计桩端持力层的场地；
- 5 中掘法沉桩可用于桩端持力层为黏性土层、粉土层、砂土层、碎石类土层、强风化基岩等地质情况。

**10.3.3** 管桩基础应减少接桩数量，接头宜位于非污染土层中，可采用焊接或机械接桩。位于污染土层中的桩接头，接桩钢零件应涂刷防腐耐磨涂层或增加钢零件厚度，腐蚀裕量不小于 2mm 时，也可采用热收缩聚乙烯套膜保护。

**10.3.4** 桩的连接接头强度不得低于桩截面的总强度。钢桩接桩处纵向弯曲矢高不得大于桩长的 0.2%。

### 10.4 墩柱及盖梁安装

**10.4.1** 安装墩台身和盖梁应制订专项施工方案，施工方法、施工工艺、临时设施和设备等应根据结构的构造特点和施工环境条件综合确定，宜对施工中使用的受力装置和受力临时结构应进行专门设计和验算。

**10.4.2** 墩柱、盖梁安装前应做好施工准备工作，并应满足下列要求：

- 1 安装吊具应进行专门设计；
- 2 应根据构件的特点及连接方式特点制定作业指导书；
- 3 安装前应对节段拼接缝进行表面处理，清除尘土、油脂等污染物及松散混凝土与浮浆，确保表面无油、无水无灰尘，需坐浆的接缝表面宜进行凿毛处理。

**10.4.3** 墩柱安装前应对下部构件拼接面的坐标、高程和平整度以及预埋钢筋定位等进行复核，应满足下列要求：

- 1 坐标及高程允许误差应为  $\pm 2\text{mm}$ ；
- 2 采用结构胶处理接缝时，平整度允许误差应为  $\pm 1\text{mm/m}$ ；
- 3 采用砂浆处理接缝时，平整度允许误差应为  $\pm 2\text{mm/m}$ 。

**10.4.4** 拼装前应对预制节段间拼接缝进行表面处理，确保表面无油、无水、无可见灰粉，同时应对灌浆套筒、波纹钢管、预应力管道等预埋件孔道内进行清理，确保内腔通畅无杂质。

**10.4.5** 采用砂浆垫层拼缝施工时，应满足下列要求：

1 不同类型构件拼接缝间的垫层砂浆，应采用高强补偿收缩砂浆，在同尺寸试块加载试验下，28d 抗压强度不应小于 60MPa，且应高出被连接构件强度 5MPa，28d 竖向膨胀率应控制在 0.02%~0.10%；

2 垫层砂浆初凝时间不应小于 2h，且宜选用质地坚硬、级配良好的中砂，砂子的细度模数不应小于 2.6，含泥量不应大于 1%，且不应含有泥块；

3 构件安装前，应将拼接面充分湿润后，设置调节装置及调节垫块，铺设砂浆垫层，砂浆铺设厚度应大于垫块高度 5mm；

4 在拌制砂浆垫层时，对应每一批次砂浆应取不少于 3 组的试件，标准养护 28d 后进行抗压强度试验；

5 在安装过程中，砂浆垫层连接处宜一次坐浆完成安装，构件调节及安装完成时应保证浆液饱满。

**10.4.6** 钢筋灌浆套筒连接或钢筋灌浆波纹管连接施工时，灌浆料拌制及灌注应满足下列要求：

1 灌浆前应再次检查灌浆套筒或灌浆波纹管，应确保内腔通畅无杂质；

2 在压浆之前压浆口和出浆口应采取临时封堵措施，灌浆操作时出浆口高度应高于灌浆套筒顶部 100mm 以上，且连续冒浆时方可停止注浆，并能成功进行封堵和保压，冒浆及封堵检验覆盖率应为 100%，且应做好灌浆全过程的视频记录；

3 灌浆施工应保持连续，现场应配备应急发电设备及高压水枪等清理设施；

4 灌浆完成后应清理残留在构件上的多余浆体；

5 套筒及波纹管灌浆料试验方法尚应符合现行行业标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408 的有关规定；

6 完成灌浆作业后，应对所有构件进行灌浆质量及密实度检测，单个构件检测的接头数量不得少于构件接头总数的 15%，且不得少于 3 个。

**10.4.7** 当构件采用承插式或钢筋插槽式连接时，应满足下列要求：

1 墩柱安装前应清理槽口，并应在承台槽口内设置 20mm 厚的砂浆垫层找平，砂浆的厚度应均匀，且应一次性浇筑完成；

2 湿接头内的钢筋设置应符合设计规定；

3 构件安装就位后应采用调位装置对其进行三维调节、精确定位，并应启用锁定装置将其锁定；

4 湿接缝应采用符合设计规定的混凝土，配合比应进行专门设计并经试验验证。对连接面混凝土应进行严格凿毛处理，并应将连接界面清理干净，浇筑前应采用淡水充分湿润或涂刷界面剂。湿接头混凝土宜在一天中气温相对较低的时段在无水状态下浇筑，浇筑后的保湿养护时间不应少于 14d。

**10.4.8** 采用胶接缝分节段安装墩身构件时，应符合下列规定：

1 安装前应在适宜位置设置操作平台；

2 结构胶应符合设计规定的质量和力学性能要求；

3 墩身节段起吊安装就位后，应立即检查复核其平面位置、高程与竖直度，不符合要求时应进行调整，安装应保证节段之间的剪力键（槽）密贴；

4 墩身节段安装完成并经检测其平面位置与竖直度符合要求后，起吊墩身节段进行涂胶施工，涂胶施工完成后下放并应进行临时固定，并按设计的有关规定对预应力钢束施加预应力，同时应对胶接缝进行挤压；

5 整个施工过程应保持孔道密封，防止外部结构胶、砂浆、杂物等进入；

6 预应力张拉和孔道压浆的施工应符合设计的要求，设计未要求的应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定。孔道压浆完成后应按设计要求浇筑封锚混凝土；

7 当采用预应力精轧螺纹钢连接墩柱构件时，预应力宜进行超张拉及二次张拉。

**10.4.9** 当采用预应力钢绞线连接墩柱时，应满足下列要求：

1 安装前应检查各构件中的预埋管位置是否准确，是否有过大变形，内孔应清理干净；

2 穿索前应确认索号是否正确，在每根钢绞线尾部做好编号，编号应与工作锚板锥孔一一对应；

3 预应力张拉施工应满足现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定；

4 张拉完成后应灌浆，灌浆宜采用水泥浆，强度不应小于 45MPa。

**10.4.10** 盖梁的安装施工应符合下列规定：

1 安装盖梁预制构件前，应先检查盖梁预留槽（孔）的位置是否与墩身的相应位置一致，有偏差时应采取适当的措施进行调整；

2 盖梁预制构件安装就位后应采用调位装置对其进行空间位置调节；

3 应采取可靠的临时固定措施，在构件精确就位后对其进行临时固定，未固定之前不得将起重机的吊钩松脱；

4 分节段匹配安装盖梁预制构件时，节段拼接面的正压应力宜为 0.3MPa；预应力张拉和孔道压浆的施工应符合设计和现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定。

**10.4.11** 构件安装定位固定后，临时施工措施拆除应满足下列要求：

1 采用灌浆套筒或波纹钢管连接时，灌浆料强度应大于 35MPa 后方可拆除并进行下一道工序施工，对于进入下一工序套筒或波纹钢管出现拉应力的构件，套筒或波纹钢管内灌浆料强度宜大于 60MPa；设计有规定时，应按设计要求执行；

2 采用预应力连接时，永久预应力施工完毕方可拆除临时施工措施；

3 采用承插式或者插槽式连接时，湿接头混凝土应达到设计规定的强度等级，未规定时，不应低于设计强度的 80% 方可拆除临时施工措施；

4 盖梁分节段安装施工时，临时预应力应在永久预应力张拉完成且波纹管内灌浆料达到设计要求强度之后，才能拆除。

## 10.5 混凝土梁安装

### I 简支梁安装

**10.5.1** 简支梁、板的安装应符合下列规定：

1 安装前应制订专项施工方案，安装的方法及设备应根据构件的结构特点、重力及施工环境条件等综合确定；对安装施工中的各种临时受力结构和安装设备的工况应进行必要的安全验算，所有施工设施均宜进行试运行和荷载试验；

2 安装前应对墩台的施工质量进行检验，并应对支座或临时支座的平面位置和高程进行复测，合格后方可进行梁、板等构件的安装；

3 采用架桥机进行梁、板构件的安装作业时，抗倾覆稳定系数不应小于 1.3。架桥机过孔时，应将起重小车置于对稳定最有利的位臵，且抗倾覆稳定系数不应小于 1.5；不得采用将梁、板吊挂在架桥机后部配重的方式进行过孔作业；

4 采用起重机吊装构件时，如采用一台起重机起吊，则应在吊点位置的上方设置吊架或起

吊扁担；如采用两台起重机抬吊，则应统一指挥，协调一致，使构件的两端同时起吊、同时就位；

5 采用缆索吊机进行安装时，应事先对缆索吊机进行 1.2 倍最大设计荷载的静力试验和设计荷载下的试运行，全面验收合格后方可使用；

6 梁、板安装施工期间及架桥机移动过孔时，严禁行人、车辆和船舶在作业区域的桥下通行；

7 梁、板就位后，应设置锁定装置或支撑将构件临时固定，对横向自稳性较差的 T 形梁和 I 形梁等，应与先安装的构件进行可靠的横向连接，防止倾倒；

8 安装在同一孔跨的梁、板，其预制施工的龄期差不宜超过 10d，特殊情况不应超过 30d。梁、板上有预留相互对接的预应力孔道的，中心应在同一轴线上，偏差不应大于 4mm。梁、板之间的横向湿接缝，应在整孔梁、板全部安装完成后方可进行施工；

9 对弯、坡、斜桥的梁、板，其安装的平面位置、高程及几何线形应符合设计要求；

10 当安装条件与设计规定的条件不一致时，应对构件在安装时产生的内力进行复核。

## II 节段预制混凝土箱梁拼装施工

10.5.2 节段预制混凝土箱梁拼装前应做好施工准备，并满足下列要求：

1 当采用移动式临时支座时，在使用前，应对其进行预压试验，应保证临时支座固结安全可靠；

2 永久支座安装应在支座垫石施工完毕并验收通过后进行；

3 应在节段预制混凝土箱梁安装前完成架设设备安装验收并取证等准备工作。

10.5.3 墩顶节段预制混凝土箱梁设置墩梁临时锚固应符合下列要求：

1 临时锚固可采用 U 型钢绞线锚固或精扎螺纹钢等措施，临时锚固设置的强度、规格、数量应通过计算确定；

2 采用 U 型钢绞线临时锚固时，墩身预埋宜采用 U 形镀锌钢管或不锈钢管，钢管两端应采用胶带封堵，钢管预埋偏差不应大于 5mm。

10.5.4 墩顶节段预制混凝土箱梁采用预制壳体或分段、分层预制时，二次浇筑应采用与预制梁体标号相同的补偿收缩混凝土，且应考虑混凝土水化热的影响，必要时增设冷却水管等温控设施。

10.5.5 应根据各种工况下需要承载的节段预制混凝土箱梁设计重量和现场条件，充分考虑施工荷载选定架梁设备。

10.5.6 拼装过程中涉及的节段预制混凝土箱梁提升环节，均应满足下列要求：

1 应根据设计要求选择节段预制混凝土箱梁提升方式，当设计无要求时，应根据现场施工环境、结构特征选择合理的节段预制混凝土箱梁提升方式，并取得设计认可后方可实施；

2 节段预制混凝土箱梁提升应缓慢、匀速，提升速度宜限制在 2m/min 内；

3 提升或旋转作业时，应暂时封闭作业影响范围内的道路交通或水路通航开放交通时，节段预制混凝土箱梁底部最低点应满足净空要求；

4 采用上行式架桥机施工时，节段预制混凝土箱梁宜错层悬挂，错层的节段预制混凝土箱梁个数及纵向间距应满足拼装工艺的要求。

10.5.7 临时预应力施工，应符合下列规定：

1 应根据节段梁断面形式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；当设计无要求时，临时预应力在梁段拼缝截面产生的正压应力不宜小于 0.3Mpa；

3 临时预应力筋材料宜采用预应力精轧螺纹钢，张拉时应拧紧张拉螺母；

4 施工过程中发现临时预应力筋、锚具有损伤或有疑问时，应立即停止施工，并予以调换；

5 临时预应力筋应在当前节段梁永久预应力束张拉完成后方可拆除。

10.5.8 吊装孔等临时孔洞应在使用完毕后清理，并采用符合设计要求的灌浆料填补。

10.5.9 用于施工控制的理论数据应满足下列要求：

1 应根据设计图纸、预拱度编制几何控制点理论数据库，指导节段预制混凝土箱梁预制；

2 预拱度计算应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定。计算过程中涉及的结构参数，宜采用现场实测值，无实测值时，可采用设计值。

10.5.10 宜采用牢固的定制测点，当测点为测量钉时，测量钉距离节段划分面的最短距离不宜小于 10cm。

10.5.11 节段预制混凝土箱梁拼装过程中，应根据理论安装线形及线形误差对后续安装梁段采取纠偏措施。

## 10.6 钢 梁 安 装

10.6.1 钢梁安装前的准备工作应符合下列规定：

1 临时支架应满足本规程第 10.1.4 条的要求，支承、吊车等临时结构和钢梁结构本身在不同受力状态下的强度、刚度和稳定性应进行验算；

2 安装前应按构件明细表核对进场的杆件和零件，应查验产品出厂合格证、钢材质量证明书；

3 应对杆件进行全面质量检查，对装运过程中产生缺陷和变形的杆件，应进行矫正；

4 安装前应对桥台、墩顶面高程、中线及各孔跨径进行复测，误差在允许偏差内方可安装；

5 安装前应根据跨径大小、河流情况、起吊能力选择安装方法。

10.6.2 钢梁安装可采用支架上分段安装、整孔安装、分段顶推、拖拉及杆件悬臂拼装等。

10.6.3 钢梁安装应符合下列规定：

1 钢梁安装前应清除杆件上的附着物，摩擦面应保持干燥、清洁。安装中应采取防止杆件产生变形的措施；

2 支架上分段安装钢梁时，钢梁安装宜减少分段，宜从简支梁的一端向另一端顺序安装，并应纠偏调整，避免误差累积；应严格控制其平面精度和高程，钢梁与设计位置的偏差不得超过 5mm；拼装过程中应减少相邻梁段接缝偏差在纵、横向及高度方向的拼接错口不宜大于 2mm；

3 整孔安装钢梁时，吊点应设置在支承或横隔板的位置处，梁上吊点宜为 4 个；应严格控制其平面精度和高程，钢梁与理论位置的允许偏差应为  $\pm 5\text{mm}$ ；

4 用悬臂和半悬臂法安装钢梁时，应严格控制预拱度及轴线偏差，轴线允许偏差应为  $\pm 10\text{mm}$ ；应施工混凝土桥面板，浇筑湿接缝形成整体。

10.6.4 钢梁顶推施工应符合下列规定：

1 钢梁顶推安装应根据钢梁的结构特点确定，应并制订专项方案，顶推施工宜根据梁体长度、顶推跨度、桥墩所能承受的水平推力等条件选择顶推方式，宜进行顶推期间结构验算，宜包括强度、整体稳定性、局部稳定性等；

2 采用单点或多点水平千斤顶方式顶推时，顶推滑道的长度应大于水平千斤顶行程加滑块的长度，宽度应为滑板宽度的 1.2~1.5 倍；相邻墩滑道顶面高程的允许偏差宜为  $\pm 2\text{mm}$ ，同墩两滑道高程的允许偏差宜为  $\pm 1\text{mm}$ ；滑动装置的摩擦系数宜经试验确定；

3 采用单点或多点水平千斤顶方式顶推时，实际总顶推力不应小于计算顶推力的 2 倍；采用单点或多点拉杆方式顶推时，拉杆的截面积和根数应满足顶拉力的要求，拉锚器的锚固和放松

应方便、快速，设置在各墩顶的反力台应牢固且应满足顶拉反力的要求。多点顶推（拉）时，各点的水平千斤顶应同步运行；

4 宜在墩台上设置导向装置。顶推过程中，宜对梁体的轴线位置、墩台的变形、主梁及导梁控制截面的挠度和应力变化等进行施工监测；发生异常情况时，应停止顶推，查明原因并处理后方可继续施工；

5 顶推时至少应在两个墩上设置保险千斤顶。如遇顶推故障需采用竖向千斤顶将梁顶高时，最大顶升高度不得超过设计规定或不得大于 10mm，起顶的反力值不得大于计算反力的 1.1 倍；

6 平曲线连续梁顶推施工时，预制台座的平面及梁体均应按设计线形设置成圆弧形；导梁宜设置成直线形，但与主梁连接处应偏转一定角度，应使导梁前端的中心落在设计线形的中线上。顶推应使梁体沿圆弧曲线前进；

7 竖曲线连续梁顶推施工时，预制台座的底模板顶面应符合设计竖曲线的曲率；所需水平顶推力的大小，应考虑正负纵坡的影响；

8 采用步履式顶推时，垫梁应有足够的长度和刚度，且应与梁体底部完全接，应保证梁体腹板可靠受力。顶推过程中竖向顶升和水平顶推各墩的同步精度应控制在 5mm 以内，同墩两侧同步精度应控制在 4mm 以内。

## 10.7 钢混组合梁安装

10.7.1 装配式钢混组合梁施工工艺和要求除应满足本规范外，还应满足现行行业标准《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定。

10.7.2 装配式组合梁按钢混组合时机可分为先安装构件后形成钢混组合、先钢混组合后安装两种形式。施工前应根据组合梁结构受力特性和设计确定的施工方法确定钢混组合形式。

10.7.3 装配式钢混组合梁桥施工时，应对构件制造安装等关键施工过程进行施工监测。

10.7.4 预制桥面板安装时，剪力槽和湿接缝施工要求应符合下列规定：

1 剪力槽、湿接缝宜采用补偿收缩混凝土，配合比应进行专门设计；剪力槽、湿接缝的浇筑时机和浇筑顺序应符合设计和施工控制的要求；

2 剪力槽、湿接缝在浇筑混凝土之前，应对在安装过程中变形的连接钢筋予以校正和调直，应对损坏的连接件和剪力钉等应进行修复，并应按设计要求进行连接钢筋的绑扎或焊接；

3 连接湿接缝处的预应力管道应保证其顺直、无弯折，对接头处的管道应包缠严密，使之不漏浆；

4 浇筑湿接缝混凝土时，应对其进行充分振捣；湿接缝混凝土的顶面宜比预制安装桥面板高出 2mm~3mm；浇筑完成后，应对混凝土的顶面进行拉毛或采取其他增加粗糙度的处理；

5 剪力槽、湿接缝浇筑完成后，应对暴露在大气中的混凝土表面进行覆盖养护膜、涂刷养护剂或其他保湿养护措施，养护期不应少于 14d；对于负弯矩区的剪力槽、湿接缝，宜同时采用覆盖保温被等保温养护措施；

6 桥面板预应力钢束的张拉宜在湿接缝混凝土龄期达设计要求后进行；

7 湿接缝混凝土的强度在未达到设计强度等级的 85%之前，不得在桥面上通行车辆、堆放材料或进行影响其受力的其他施工作业。

10.7.5 装配式组合梁的钢梁采用少支架法安装时应符合下列要求：

1 用于安装的支架应进行专项设计；

2 支架宜根据其结构形式、所用材料和地基情况的不同，在施工前确定是否进行预压，支

架预压应满足现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定。

#### 10.7.6 装配式组合梁的钢梁采用整跨安装时应符合下列要求：

1 整跨安装施工所用桥面吊机、提升系统应进行专项设计，桥面吊机、架桥机应由有资质的专业厂家制造，并应有出厂合格证；

2 用于提升的桥面吊机、提升系统使用前应进行全面安全技术检查，并应进行 1.25 倍设计荷载的静荷和 1.1 倍设计荷载的动荷起吊试验，经验收合格后方可使用；

3 整跨安装宜在一天内完成，当天无法完成时，宜采取加固措施。

#### 10.7.7 装配式组合梁的钢梁采用顶推安装时应符合下列要求：

1 顶推施工制定方案时应应对顶推施工过程进行分析计算，应保证桥墩、梁体及临时墩受力满足顶推施工要求，同时应对桥墩变位进行实时观测，应保证桥墩变位在设计规定范围内；

2 在主体工程墩顶上设置顶推设备时，应将墩顶的竖向力和水平力提供给主体结构设计单位，应对桥墩变位及裂缝宽度等进行复核；

3 顶推应保证对称同步性，顶推过程中，应纠正横向和竖向偏差，应力和变形不得超过设计和监控允许的范围；

4 顶推过程中应对桥墩变位进行实时观测，应保证桥墩变位在设计规定范围内。

10.7.8 预制桥面板在钢梁上的安装顺序应按设计要求确定，当设计无要求时，应根据结构受力要求确定。对于钢混组合连续梁，宜采用先跨中后支点的施工流程进行预制桥面板安装，以改善中墩负弯矩区混凝土桥面板受力。

### 10.8 附属设施安装

10.8.1 支座安装宜在桥梁墩柱施工完毕后进行施工，也可根据需要安排与梁体架设时同步安装。安装完成后应位置准确，不得有偏歪、不均匀受力或脱空现象。

10.8.2 伸缩缝应通过焊接连接与钢梁形成一个整体，连接方式应符合设计要求。

10.8.3 桥梁上的护栏可分为三种形式：钢筋混凝土护栏、组合式、金属梁柱式。钢筋混凝土护栏、组合式可用于现场现浇的方式施工，也可采用工厂集中预制现场安装的方式施工。

10.8.4 金属梁柱式应在工厂内完成制造的下料、组拼、焊接、涂装、试拼装，在工地现场与提前焊接在钢梁梁上的底座进行连接。

### 10.9 质量控制与检验

#### I 墩柱及盖梁安装

##### 10.9.1 墩柱盖梁安装应符合下列要求：

1 桥墩构件进入现场后应检查出厂合格证，边缘、棱角应无损伤，外露钢筋应无弯曲，构件外观应无裂缝和变形；

2 立柱安装前应对立柱与承台接触面范围内的承台顶面标高及平整度进行测量及处理；

3 灌浆连接套筒中使用高强无收缩水泥灌浆料时，高强低收缩砂浆、环氧粘合剂的性能、拌制及质量验收应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定及设计要求。

##### 10.9.2 桥墩构件安装实测项目应符合表 10.9.2 的有关规定。

表 10.9.2 桥墩构件安装实测项目

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
低收缩砂浆抗压强度 (MPa)	在合格标准内	按本规程附录 B 检查
灌浆材料抗压强度 (MPa)	在合格标准内	按本规程附录 B 检查
垂直度 (mm)	0.1%柱高, 且 $\leq 2$	经纬仪: 双向检查 4 处
节段间错台 (mm)	$\leq 2$	尺量: 每节检查 4 处
轴线偏位 (mm)	$\leq 2$	全站仪或经纬仪: 纵横各测 2 点
顶面高程 (mm)	$\pm 3$	水准仪: 检查 4 处
相邻墩、台柱间距 (mm)	$\pm 5$	全站仪: 检查 3 处
承台顶面标高 (mm)	$\pm 5$	水准仪: 检查 4 处
承台顶面平整度 (mm)	$\pm 5$	靠尺测量: 每个承台顶面测 4 点

10.9.3 外观鉴定应符合下列要求:

- 1 混凝土表面应平整、棱角线顺直、接缝处无错台;
- 2 安装接触面的凿毛应符合设计要求。

II 混凝土梁安装

10.9.4 混凝土梁安装应符合下列要求:

- 1 安装前, 梁段应检验合格, 墩、台支座垫板应稳固, 梁段与支承结构的强度应满足设计要求;
- 2 梁段安装就位后, 梁体两端支座应对位, 梁底与支座以及支座底与垫石顶应密贴, 临时支撑应稳固;
- 3 胶拼前, 应清除胶拼面上浮浆、杂质、隔离剂, 并保持干燥;
- 4 胶拼前应先试拼装, 检查并调整高程、轴线, 满足设计要求后方可拼装;
- 5 节段间接缝胶结材料的类型、规格应符合设计要求, 技术性能应经检验满足使用要求, 接缝填充密实。

10.9.5 采用整孔拼装工艺施工的箱梁安装实测项目:

- 1 每跨首块安装验收要求应符合表 10.9.5-1 的规定;

表 10.9.5-1 每跨首块安装验收要求

项目	验收要求
立面高程 (mm)	同向 $\pm 3$
中心线偏位 (mm)	同向 3
横向坡度 (rad)	$\pm 0.001$
纵向坡度 (rad)	$\pm 0.003$

注: 同向是指单榀节段预制混凝土箱梁上某测量项目的不同测点偏差值正负号相同或偏向同一方向。

- 2 其他节段预制混凝土箱梁安装验收要求应符合表 10.9.5-2 的规定;

表 10.9.5-2 其他节段预制混凝土箱梁安装验收要求

项目	验收要求
立面高程 (mm)	±10
中心线偏位 (mm)	10
纵向长度 (mm)	±20
横向坡度 (rad)	±0.001
纵向坡度 (rad)	±0.003
拼缝错台 (mm)	3

10.9.6 采用对称悬拼工艺施工的箱梁安装实测项目:

1 墩顶块安装验收要求应符合表 10.9.6-1 的规定;

表 10.9.6-1 墩顶块安装验收要求

项目	验收要求
立面高程 (mm)	同向±3
中心线偏位 (mm)	同向 3
横向坡度 (rad)	±0.001
纵向坡度 (rad)	±0.003

2 其他节段预制混凝土箱梁安装验收要求应符合表 10.9.6-2 的规定;

表 10.9.6-2 其他节段预制混凝土箱梁安装验收要求

项目	验收要求
立面高程 (mm)	±10
中心线偏位 (mm)	10
纵向长度 (mm)	±10
横向坡度 (rad)	±0.001
纵向坡度 (rad)	±0.003
拼缝错台 (mm)	3

3 合龙口两侧允许误差应符合表 10.9.6-3 的规定。

表 10.9.6-3 合龙口两侧允许误差

项目	允许误差 (mm)
立面高程	同向±20
中心线偏位	同向 20

10.9.7 对称悬臂拼装施工节段预制混凝土箱梁质量要求应符合表 10.9.7 的有关规定。

表 10.9.7 对称悬臂拼装施工节段预制混凝土箱梁质量要求

实测项目		规定值或允许偏差	方法及频率
湿接缝或合龙段混凝土强度 (MPa)		在合格标准内	按本规程附录 B 的规定检查
轴线偏位 (mm)	$L \leq 50m$	$\leq 10$	全站仪：每节段测 2 处
	$L > 50m$	$\leq L/2500$ 且不大于 30	
顶面高程 (mm)	$L \leq 50m$	$\pm 20$	水准仪：每节段测 2 处
	$L > 50m$	$\leq L/2500$ 且不大于 $\pm 30$	
合龙后同跨对称点高程差 (mm)	$L \leq 50m$	$\leq 20$	水准仪：每跨梁底对称点测 6 处
	$L > 50m$	$\leq L/2500$	
相邻梁段间错台 (mm)	顶面	$\leq 5$	尺量：每条接缝测顶底面和每侧面错台最大处
	底面、侧面	$\leq 3$	
节段拼装立缝宽度 (mm)		$\leq 4$	尺量：每条接缝测 3 处
锚下有效预应力		符合设计要求	每跨抽检 10% 的钢束，且不少于 2 束

注：L 为跨径，计算规定值或允许偏差时以 mm 计。

10.9.8 整跨节段预制混凝土箱梁拼装施工每联连续箱梁或每跨简支箱梁完成后，应进行检查验收，整跨拼装施工节段预制混凝土箱梁质量要求应符合表 10.9.8 的规定。

表 10.9.8 整跨拼装施工节段预制混凝土箱梁质量要求

实测项目		规定值或允许偏差	方法及频率
湿接缝混凝土强度 (MPa)		在合格标准内	按附录 B 检查
轴线偏位 (mm)	$L \leq 50m$	10	全站仪：每节段测 2 处
	$L > 50m$	$L/5000$	
顶面高程 (mm)	$L \leq 50m$	$\pm 20$	水准仪：每节段测 2 处
	$L > 50m$	$L/2500$	
相邻节段间接缝错台 (mm)	顶面	$\leq 5$	尺量：每条接缝测顶底面和每侧面错台最大处
	底面、侧面	$\leq 3$	
节段拼装立缝宽度 (mm)		$\leq 4$	尺量：每条接缝测 3 处
支承中心偏位 (mm)		$\leq 5$	尺量：每支承中心
锚下有效预应力		满足设计要求	抽查 10% 的桥跨每束检查，每桥不少于 1 跨。

注：1 L 为跨径，计算规定值或允许偏差时以 mm 计；

2 当节段预制混凝土箱梁位于半径小于 250m 平面曲线上时，轴线容许偏差可增加 10mm。

10.9.9 节段预制混凝土箱梁拼装观感质量应符合下列规定：

- 1 节段间接缝胶结材料不得存在脱落和开裂现象；
- 2 湿接缝混凝土应密实、无空洞，新老混凝土接缝处应严密、无漏浆；
- 3 拼装完成后，梁体应无异常折变、整体线形应流畅。

### III 钢结构桥梁安装

10.9.10 钢结构桥梁安装应符合下列要求：

1 钢结构桥梁的分段尺寸、吊点设置、临时支撑及落梁工艺等应根据桥梁受力状态、运输条件和起重能力等因素综合确定。吊耳的设计计算、制作及与母材的焊接应符合标准要求；

2 采用悬臂吊机等桥面起重设备进行安装时，应对钢结构桥梁进行施工荷载的验算，还应进行施工监控以确保桥梁的受力状态及线形符合设计要求；

3 采用汽车吊或履带吊等起重设备进行安装时，施工单位应进行地基承载力验算作为地基

处理的依据。汽车吊或履带吊的设备选型应满足最不利工况下起重能力的要求，安装过程中的回转半径不得超出规定值。

**10.9.11 钢梁安装实测项目应符合表 10.9.11 的有关规定。**

**表 10.9.11 钢梁安装实测项目**

检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
钢梁中线 (mm)		≤10	钢卷尺或全站仪：每钢梁 5 处
两跨相邻横梁中线相对偏差 (mm)		≤5	钢卷尺：每横梁 2 处
两跨相邻横梁相对高差 (mm)		≤5	钢卷尺：每横梁 2 处
梁顶高程 (mm)		±10	水准仪：每梁 5 处
支座中心偏位 (mm)		≤5	钢卷尺：每支承处
支座与梁底面接触率 (%)		≥95	0.5mm 塞尺：每支座支承面周边
连接	焊缝尺寸 (mm)	符合设计要求	焊缝检验尺：检查全部
	焊缝探伤	符合设计要求	超声：检查全部 射线：按设计规定，设计未规定时按 10% 抽查
	高强度螺栓连接副的扭矩 (N·m)	±10%	测力扳手：检查 5%，且不少于 2 个

**10.9.12 实测项目应符合下列要求：**

- 1 钢梁应线形平顺，不应出现异常弯折、变形；
- 2 焊缝应成形良好，外观应连续、均匀、饱满，不应有裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑、漏焊、焊瘤、焊疤等缺陷及超出要求的气孔、咬边、焊波等；
- 3 终拧后的高强度螺栓连接副的丝扣应外露 2~3 扣。

#### IV 附属设施安装

**10.9.13 附属设施安装应符合下列要求：**

- 1 混凝土护栏浇筑实测项目应符合表 10.9.13-1 的规定；

**表 10.9.13-1 混凝土护栏浇筑实测项目**

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	符合水泥混凝土抗压强度评定
平面偏位 (mm)	≤4	全站仪、钢尺：每道护栏每 200m 测 5 处
断面尺寸 (mm)	±5	尺量：每道护栏每 200m 测 5 处
竖直度 (mm)	≤4	铅锤法：每道护栏每 200m 测 5 处
预埋件位置 (mm)	≤5	尺量：测每件

- 2 钢护栏安装实测项目应符合表 10.9.13-2 的规定。

**表 10.9.13-2 钢护栏安装实测项目**

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
平面偏位 (mm)	≤4	全站仪、钢尺：每 200m 测 5 处
立柱中距 (mm)	±10	尺量：抽检 10%
立柱纵、横桥向竖直度 (mm)	≤2	铅锤法：抽检 10%
横梁高度 (mm)	±5	尺量：抽检 10%
与底座连接焊缝探伤	满足设计要求	按设计要求的方法检查，设计未要求时采用超声波探伤：抽检 20%，且不小于 3 条

## 11 结构耐久性

### 11.1 一般规定

11.1.1 装配式桥梁应根据使用年限、环境条件、施工条件等进行耐久性设计。

11.1.2 装配式桥梁耐久性设计和耐久性措施应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 和现行行业标准《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 和《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722 的有关规定。

11.1.3 装配式桥梁耐久性设计应包括下列内容：

- 1 结构所处的环境类别和环境作用等级；
- 2 桥梁结构各构件的设计使用年限；
- 3 混凝土材料的耐久性基本要求；
- 4 混凝土的耐久性防护措施；
- 5 钢材的耐久性防护措施；
- 6 钢筋的混凝土保护层厚度要求；
- 7 附属结构的耐久性技术措施；
- 8 结构使用阶段的检测和养护要求；
- 9 特殊环境条件下的耐久性技术措施；
- 10 关键结构部位的特殊耐久性技术措施。

11.1.4 氯化物环境中的装配式桥梁混凝土构件应根据环境作用等级采取附加防腐蚀措施，并应符合下列规定：

- 1 应采用高性能混凝土；
- 2 构件表面应进行防腐涂装；
- 3 构件表面应进行憎水处理；
- 4 应采用环氧涂层钢筋或不锈钢钢筋；
- 5 混凝土内应添加钢筋阻锈剂；
- 6 应采用电化学保护；
- 7 混凝土中应掺入疏水化合孔栓物等。

### 11.2 结构耐久性设计

11.2.1 混凝土构件应根据环境作用等级对混凝土强度等级、最大水灰比、最小水泥含量、水泥种类、氯离子含量、碱含量、氯离子扩散系数、钢筋净保护层等耐久性关键参数提出相关技术要求。

11.2.2 海洋氯化物环境中混凝土桥梁构件应采用海工混凝土，并应符合现行行业标准《水运工程结构防腐蚀施工规范》JTS/T 209 的有关规定。

11.2.3 桥梁钢结构的防腐与涂装应采用保护年限在 30 年以上的长效涂装体系，涂装体系应符合现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722 的有关规定。

11.2.4 桥梁钢表面宜采用冷喷锌涂装，或石墨烯富锌底漆涂装；面层采用氟碳面漆或聚硅氧烷面漆。

**11.2.5** 氯化物环境中的桥面板湿接缝、钢-混组合梁负弯矩区、预制墩柱间湿接缝连接区宜采用高性能混凝土或超高性能混凝土（UHPC）等材料。

**11.2.6** 附属结构应采取防腐措施，不可更换的钢预埋件、支座垫板等宜采用耐候钢或进行热浸锌处理，干膜厚度不应小于 80um。

**11.2.7** 桥面排水应进行精细化设计，应加强伸缩缝处排水设计，应防止伸缩缝处积水和渗漏。

### **11.3 结构耐久性措施**

**11.3.1** 构件支承点位置和保护、构件翻身处理、接缝齿块保护、外露钢筋保护、钢结构涂装保护应编制构件运输方案和专项保护方案。

**11.3.2** 施工中混凝土构件外露钢筋可采用涂刷掺胶水泥浆或涂料，再缠绕保护胶带保护措施。

**11.3.3** 桥墩与承台接缝采用砂浆填充时，宜采用设置后浇钢筋混凝土包脚带或承台顶设置 50mm~100mm 凹槽。

**11.3.4** 预制墩台构件运输和存放期间，应对灌浆套筒或灌浆波纹管接口和进出浆口进行临时封闭处理，拼装前应对内部进行高压水枪清洗。

**11.3.5** 装配式桥梁构件应进行检查和维修，对于难以达到的位置应设置附加检修设施。

**11.3.6** 节段预制箱梁应在梁端和梁内预留体外束检修和更换空间，梁底应预留体外束穿束孔。

## 12 验 收

### 12.1 一 般 规 定

**12.1.1** 开工前，建设单位应组织施工、监理单位将工程划分为单位工程、分部工程、分项工程和检验批。

**12.1.2** 建设单位招标文件确定的每一个独立合同应为一个单位工程。当合同文件包含的工程内容较多，或工程规模较大，或由若干独立设计组成时，宜按工程部位或工程量、每一个独立设计，将单位工程分成若干子单位工程。

**12.1.3** 工程质量验收可分为检验批质量验收、分项工程（含隐蔽工程）质量验收、分部工程质量验收、单位工程质量验收、工程竣工质量验收等五种。

**12.1.4** 各种验收的组织及参加人员应符合下列规定：

- 1 检验批及分项工程应由专业监理工程师组织施工单位项目技术负责人等进行验收；
- 2 分部工程应由总监理工程师组织施工单位项目负责人和技术负责人、专业监理工程师等进行验收；
- 3 单位工程质量验收应由建设单位项目负责人组织建设单位有关人员、项目设计负责人、总监理工程师和专业监理工程师、施工单位项目负责人等进行验收，应通知设施运行管理单位参加验收；
- 4 工程竣工质量验收应由建设单位组织验收组进行。验收组应由建设、勘察、设计、施工、监理、设施管理等单位的有关负责人组成。验收组组长应由建设单位相关负责人担任。

### 12.2 分部分项工程验收

**12.2.1** 单位工程、分部工程、分项工程的划分应符合本规程附录 D 的有关规定。

**12.2.2** 检验批的质量验收应符合下列规定：

- 1 主控项目的质量应经抽样检验合格；
- 2 一般项目的质量应经抽样检验合格；当采用计数检验时，除有专门要求外，一般项目的合格率应达到 80%及以上，且不合格点的最大偏差值不得大于规定允许偏差值的 1.5 倍；
- 3 检验批的质量验收应具有完整的施工原始记录和质量检查记录。

**12.2.3** 分项工程的质量验收应符合下列规定：

- 1 分项工程所含检验批均应符合合格质量的有关规定；
- 2 分项工程所含检验批的质量验收记录应完整。

**12.2.4** 分部工程的质量验收应符合下列规定：

- 1 分部工程所含分项工程的质量均应验收合格；
- 2 质量控制资料应完整；
- 3 涉及结构安全和使用功能的质量应验收合格；
- 4 外观质量验收应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 和《公路工程质量检验评定标准》JTGF 80/1 的有关规定。

**12.2.5** 单位工程质量验收合格应符合下列规定：

- 1 单位工程所含分部工程的质量均应验收合格；
- 2 质量控制资料应完整；

- 3 单位工程所含分部工程中有关安全和功能的控制资料应完整；
- 4 影响桥梁安全使用和周围环境的参数指标应符合设计文件的有关规定；
- 5 外观质量验收应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 和《公路工程质量检验评定标准》JTGF 80/1 的有关规定。

#### 12.2.6 施工过程质量控制、过程检验和验收应符合下列规定：

- 1 工程采用的主要材料、半成品、成品、构配件、器具和设备应按相关专业质量标准进行进场检验和使用前复验。现场检查验收和复验结果应经监理工程师检查认可；
- 2 各分项工程应按本规程进行质量控制，各分项工程完成后均应在施工单位自检、交接检验评定合格并形成文件，经监理工程师检查确认后，方可进行下个分项工程的施工；
- 3 工程施工质量应符合本规程和相关专业验收规范的有关规定；
- 4 工程施工应符合工程勘察、设计文件的有关规定；
- 5 隐蔽工程在隐蔽前，应由施工单位通知监理工程师和有关单位人员进行隐蔽验收，应确认合格，并应形成隐蔽验收文件；
- 6 监理工程师应按规定对涉及结构安全的试块、试件和现场检测项目，进行平行检测、见证取样检测并应确认合格；
- 7 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收；
- 8 对涉及结构安全和使用功能的分部工程应进行抽样检测；
- 9 承担复验或检测的质量检测单位应由建设单位委托；
- 10 工程外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

### 12.3 工程质量检查与验收

#### 12.3.1 工程竣工质量验收应具备下列条件：

- 1 应完成工程设计文件和施工承包合同约定的各项内容；
- 2 施工单位在工程完工后应对工程质量进行自检，应确认工程质量符合有关标准的规定，符合设计文件及合同要求，并提出工程竣工报告。工程竣工报告应已经过项目负责人和施工单位有关负责人审核签字；
- 3 监理单位应对工程质量评估合格，应具有完整的监理资料，并提出工程质量评估报告。工程质量评估报告应已经过总监理工程师和监理单位有关负责人审核签字；
- 4 勘察、设计单位对勘察、设计文件及施工过程中由设计单位签署的设计变更通知书应进行检查，并提出质量检查报告。质量检查报告应已经过本项目勘察、设计负责人和勘察、设计单位有关负责人审核签字；
- 5 应具备完整的技术档案和施工管理资料。竣工质量验收前，应已提交各分项、分部、单位工程质量验收合格的资料和完整工程竣工资料；
- 6 应具备工程使用主要建筑材料、建筑构配件的进场试验报告；
- 7 应具备施工单位签署的工程质量保修书；
- 8 应具备检测机构出具的功能性检测资料和工程实体质量检测资料。

#### 12.3.2 工程竣工质量验收的程序应符合下列规定：

- 1 工程完工后，施工单位应向建设单位提交工程竣工报告，申请工程竣工质量验收；
- 2 建设单位收到工程竣工报告后，应按本规程第 12.1.4 条规定成立验收组，制定验收方案；
- 3 建设单位应在工程竣工质量验收 7 个工作日前将验收的时间、地点及验收组名单和竣工

质量验收方案通知质量监督机构；

**4 建设单位应按下列程序组织工程竣工质量验收：**

- 1) 建设、勘察、设计、施工、监理单位应分别汇报工程合同履约情况和在工程建设各个环节执行标准的情况；
- 2) 应审阅建设、勘察、设计、施工、监理单位的工程档案资料；
- 3) 应审阅检测机构提供的功能性检测资料和工程实体质量检测资料，并应实地查验各单位工程实体外观质量；
- 4) 应对工程设计、施工和各管理环节等方面作出全面评价，应形成经验收组人员签署意见的工程竣工质量验收报告；
- 5) 当参加验收各方对工程质量验收意见不一致时，应由政府行政主管部门协调解决。

**12.3.3 工程竣工验收内容应符合下列规定：**

**1 桥下净空不得小于设计文件的有关规定，并应符合下列规定：**

- 1) 检查数量：全数检查；
- 2) 检验方法：用水准仪测量或用钢尺量。

**2 单位工程所含分部工程有关安全和功能的检测资料应完整，并应符合下列规定：**

- 1) 检查数量：全数检查；
- 2) 检验方法：检查工程组卷资料，按规定进行工程实体抽查或对相关资料抽查。

**3 桥梁实体检测允许偏差应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2和《公路工程质量检验评定标准》JTGF 80/1的有关规定。**

**12.3.4 桥梁实体外形检查应符合下列规定：**

- 1 墩台混凝土表面应平整、色泽均匀，外形轮廓应清晰，不得有明显错台、蜂窝麻面；
- 2 砌筑墩台表面应平整，砌缝应无明显缺陷，勾缝应密实坚固、无脱落，线角应顺直；
- 3 桥台与挡墙、护坡或锥坡衔接应平顺，应无明显错台；沉降缝、泄水孔设置应正确；
- 4 混凝土梁体表面应平整、色泽均匀、轮廓清晰、无明显缺陷；全桥整体应线形平顺、梁缝基本均匀；
- 5 钢梁安装线形应平顺，防护涂装色泽应均匀，不得有漏涂、划伤、起皮，涂膜裂纹等缺陷；
- 6 桥梁附属结构应稳固，线形应直顺。混凝土材质附属结构应无明显错台、无缺棱掉角；钢制或铁质附属结构，需要防护涂装的，防护涂装应色泽均匀，不得有漏涂、起皮、涂膜裂纹等缺陷，并应符合下列规定：
  - 1) 检查数量：全数检查；
  - 2) 检验方法：观察。

## 附录 A 高性能混凝土

### A.1 一般规定

**A.1.1** 高性能混凝土在常温下应通过低水胶比、大掺量优质掺合料和严格的质量控制措施制作。

**A.1.2** 本附录适用于高性能混凝土的原材料选用、配合比设计、拌制、运输和泵送、浇筑和养护施工等。

### A.2 原材料选用

**A.2.1** 高性能混凝土的原材料和配合比应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 和《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310 的有关规定。近海环境或海洋氯化物环境的高性能混凝土除上述规定外，宜按《海港工程高性能混凝土质量控制标准》JTS-257-2 的相关规定。

**A.2.2** 配制高性能混凝土时，应选用优质水泥和级配良好的优质集料，同时应掺加与水泥相匹配的高性能减水剂或高效减水剂及优质掺合料。

**A.2.3** 水泥宜选用品质稳定、标准稠度需水量低、强度等级不低于 42.5 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，近海环境或海洋氯化物环境不低于 52.5 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，不宜采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥，不宜采用早强水泥。用于近海环境或海洋氯化物环境的，普通酸盐水泥和硅酸盐水泥在熟料中铝酸三钙含量宜为 6%~12%。水泥技术要求除应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定外，尚应符合表 A.2.3 的有关规定。

表 A.2.3 水泥技术要求

项目	技术要求	检验要求
比表面积 (m <sup>2</sup> /kg)	≤350 (硅酸盐水泥、抗硫酸盐硅酸盐水泥)	现行国家标准《水泥比表面积测定方法-勃氏法》GB/T 8074
游离氧化钙含量 (%)	≤1.5	现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176
碱含量 (%)	≤0.60	现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 检验后计算求得
熟料中 C <sub>3</sub> A 含量 (%)	≤8；海水环境下≤5	
氯离子含量 (%)	≤0.03	现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176

**A.2.4** 细集料宜选用级配良好、质地均匀坚固、吸水率低、空隙小、细度模数 2.6~3.2 的洁净天然中粗河砂或符合要求的机制砂，不得使用山砂和海砂。细集料的技术要求除应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定外，细集料中有害物质含量限值尚应符合表 A.2.4 的有关规定。

表 A.2.4 细集料中有害物质含量限值

项目	有害物质含量限值		
	混凝土强度等级		
	<C30	C30~C45	≥C50
含泥量 (%)	≤3.0	≤2.5	≤2.0
泥块含量 (%)	≤0.5		
云母含量 (%)	≤0.5		
轻物质含量 (%)	≤0.5		

续表 A. 2. 4

项目	有害物质含量限值		
	混凝土强度等级		
	<C30	C30~C45	≥C50
氯离子含量 (%)	<0.02		
有机物含量	合格		
硫化物及硫酸盐含量 (按 SO <sub>3</sub> 质量计, %)	≤0.5		

注：对可能处于干湿循环、冻融循环下的混凝土，细集料的含泥量应小于 1.0%。

**A. 2. 5** 粗集料宜选用质地均匀坚硬、粒形良好、级配合理、线胀系数小的洁净碎石或卵石，应采用连续两级配或连续多级配，不宜采用砂岩加工成的碎石。粗集料的技术要求除应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 第 6.4 节的有关规定外，压碎指标尚不应大于 10%，坚固性试验结果失重率对钢筋混凝土结构应小于 8%，对预应力混凝土结构应小于 5%。粗集料的吸水率应小于 2%，当用于干湿循环、冻融循环下的混凝土时应小于 1%。除大体积混凝土外，粗集料的最大粒径不得超过保护层厚度的 2/3，且不宜超过 26.5mm。粗集料中有害物质含量的限值应符合表 A. 2. 5 的有关规定。

表 A. 2. 5 粗集料中有害物质含量限值

项目	有害物质含量限值		
	混凝土强度等级		
	<C30	C30~C45	≥C50
含泥量 (%)	≤1.0		≤0.5
泥块含量 (%)	≤0.25		
针片状颗粒含量 (%)	≤7		
硫化物及硫酸盐含量 (按 SO <sub>3</sub> 质量计, %)	≤0.5		
氯离子含量 (%)	<0.02		
有机物含量 (比色法)	合格		

**A. 2. 6** 外加剂应选用高性能减水剂、高效减水剂或复合减水剂，并应选择减水率高、坍落度损失小、适量引气、与水泥之间具有良好的相容性、能明显改善或提高混凝土耐久性能且质量稳定的产品。引气剂或引气型外加剂应有良好的气泡稳定性。用于提高混凝土抗冻性的引气剂、减水剂和复合外加剂中均不得掺有木质磺酸盐组分，且不得采用含有氯盐的防冻剂。外加剂性能指标应符合表 A. 2. 6 的有关规定。

表 A. 2. 6 外加剂性能指标

项目	指标	检验标准	
硫酸钠含量 (%)	≤5.0	现行国家标准《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB/T 8077	
碱含量 (Na <sub>2</sub> O+0.658K <sub>2</sub> O, %)	≤10.0		
氯离子含量 (%)	≤0.02	现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076	
减水率 (%)	≥25		
常压泌水率比 (%)	≤20		
压力泌水率比 (%)	≤90	现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080	
抗压强度比	3d	≥160	现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076
	7d	≥150	
	28d	≥140	
收缩率比 (%)	≤10		
相对耐久性指标 (200 次, %)	≥80		

注：1 表中压力泌水率比仅适用于泵送混凝土用外加剂；

2 高性能混凝土用外加剂，应保证配制的混凝土具有适宜施工的坍落度保留值与凝结时间，满足混凝土耐久性要求的含气量。

**A. 2. 7** 矿物掺合料应选用品质稳定、来料均匀的粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和硅灰等。所用掺合料的技术要求除应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定外，尚

应符合表 A. 2. 7-1~3 的有关规定。

表 A. 2. 7-1 粉煤灰技术要求

项目	技术要求		检验标准
	C50 以下混凝土 (II 级粉煤灰)	C50 及以上混凝土 (I 级粉煤灰)	
细度 (%)	≤25	≤12	现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
需水量比 (%)	≤105	≤95	
含水率 (%)	≤1.0		
烧失量 (%)	≤8.0	≤5.0	现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176
SO <sub>3</sub> 含量 (%)	≤3.0		
CaO 含量 (%)	≤10		
游离 CaO 含量 (%)	F 类粉煤灰≤1.0 C 类粉煤灰≤4.0		
氯离子含量 (%)	≤0.06		
活性指数 (%)	7d	≥75	
	28d	≥85	≥90
安定性 (雷氏夹沸煮后增加距离, mm)	C 类粉煤灰≤5.0		现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346

注: 1 粉煤灰中的 CaO 含量大于 5% 时, 应经试验证明其安定性合格;

2 预应力高性能混凝土或浪溅区的钢筋混凝土应采用 I 级粉煤灰或烧失量不大于 5%、需水量比不大于 100% 的 I 级粉煤灰。

表 A. 2. 7-2 粒化高炉矿渣粉技术要求

项目	技术要求	检验标准
比表面积 (m <sup>2</sup> /kg)	350~450	现行国家标准《水泥比表面积测定方法-勃氏法》GB/T 8074
需水量比 (%)	≤100	现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736
含水率 (%)	≤1.0	现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
烧失量 (%)	≤3.0	现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176
SO <sub>3</sub> 含量 (%)	≤4	现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176
MgO 含量 (%)	≤14	
氯离子含量 (%)	≤0.06 (近海或海洋环境≤0.02)	
28d 活性指数 (%)	≥95	现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046

表 A. 2. 7-3 硅灰技术要求

项目	技术要求	检验标准	
比表面积 (m <sup>2</sup> /kg)	≥15000	现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736	
需水量比 (%)	≤125		
含水率 (%)	≤3.0		
烧失量 (%)	≤6.0	现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176	
氯离子含量 (%)	≤0.10		
SiO <sub>2</sub> 含量 (%)	≥85	现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736	
活性指数 (%)	3d		≥90
	7d		≥95
	28d	≥115	

### A. 3 配合比设计

A. 3. 1 高性能混凝土的配合比应根据原材料品质、设计强度等级、耐久性以及施工工艺对工作性能的要求, 通过计算、试配和调整等步骤确定。

**A. 3.2** 对不同强度等级混凝土的胶凝材料总量应进行控制，C40 以下不宜大于  $400\text{kg}/\text{m}^3$ ；C40~C50 不宜大于  $450\text{kg}/\text{m}^3$ ；C60 及以上的非泵送混凝土不宜大于  $500\text{kg}/\text{m}^3$ ，泵送混凝土不宜大于  $530\text{kg}/\text{m}^3$ ；且胶凝材料浆体体积不宜大于混凝土体积的 35%。

**A. 3.3** 水胶比应根据混凝土的配制强度、抗氯离子渗透性能、抗渗性能和抗冻性能等要求确定。在满足混凝土工作性能的前提下，宜降低用水量，并控制在  $130\text{kg}/\text{m}^3\sim 160\text{kg}/\text{m}^3$ 。

**A. 3.4** 混凝土中宜适量掺加优质的粉煤灰、粒化高炉矿渣粉或硅灰等矿物掺合料，掺量宜根据混凝土的性能要求通过试验确定，且不宜小于胶凝材料总量的 20%。当混凝土中粉煤灰掺量大于 30% 时，混凝土的水胶比不得大于 0.45；在预应力混凝土及处于冻融环境的混凝土中，粉煤灰的掺量不宜大于 30%，且粉煤灰的含碳量不宜大于 2%。对暴露于空气中的一般构件混凝土，粉煤灰的掺量不宜大于 20%，且单方混凝土胶凝材料中的硅酸盐水泥用量不宜小于 240kg。

**A. 3.5** 对耐久性有要求的混凝土结构，试配时应进行混凝土和胶凝材料抗裂性能的对比试验，并应从中选择抗裂性能良好的混凝土原材料和配合比。

**A. 3.6** 混凝土中宜掺加符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 表 6.15.7 规定的外加剂，且宜选用质量可靠稳定的多功能复合外加剂。

**A. 3.7** 处于近海环境或海洋、除冰盐等其他氯化物环境下的混凝土结构，混凝土抗氯离子渗透性能应符合现行行业标准《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310 的有关规定。

**A. 3.8** 对混凝土中游离氯离子的总含量控制应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定。

**A. 3.9** 对混凝土中总碱含量的控制应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定。

**A. 3.10** 混凝土的坍落度宜根据施工工艺的要求确定条件允许时宜选用低坍落度的混凝土。

## A. 4 拌 制

**A. 4.1** 高性能混凝土的施工对原材料的质量应严格控制，并应保证配料设备称量准确。所有混凝土原材料，除水可按体积计外，其余均应按质量进行称量，集料称量的允许偏差应为 $\pm 2\%$ ，其他原材料称量的允许偏差应为 $\pm 1\%$ 。

**A. 4.2** 高性能混凝土的搅拌应采用搅效率高且均质性好的卧轴式、行星式或逆流式强制式搅拌机。搅拌时，宜先投入细集料和掺合料干拌均匀，再加水泥和部分水和用水搅拌，最后加入粗集料、外加剂溶液及余额水和用水，搅拌至均匀为止。上述每一阶段的搅拌时间均不应少于 30s，总搅拌时间应比常规混凝土延长 40s 以上。混凝土中掺加钢筋阻锈剂溶液时，拌合物的搅拌时间应延长 1min，采用粉剂时应延长 3min。

## A. 5 运输和泵送

**A. 5.1** 高性能混凝土的运输设备应符合下列规定：

- 1 采用混凝土搅拌车运输高性能混凝土时，罐体的转速应满足相应的技术要求；
- 2 在运输距离较近的地方可使用料斗、吊罐。料斗、吊罐的活门应开启方便、关闭严密，不得漏浆。吊罐的装料量宜为其容积的 90%~95%；
- 3 夏天气温高时，应对运输工具采取覆盖、浇水等降温措施。

**A. 5.2** 混凝土拌合物运送到浇筑地点时，不应出现离析或分层，并应具有施工所要求的稠度。

**A. 5.3** 混凝土的运输时间应能保证浇筑点混凝土的凝结时间，稠度、入模温度等应满足相关标准规定。

**A. 5.4** 混凝土从搅拌机卸出后到浇筑完毕的延续时间应通过试验确定。

**A. 5.5** 预拌混凝土的运送应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的有关规定。

**A. 5.6** 采用泵送混凝土时，供应的混凝土量应能保证混凝土泵连续工作。

## **A. 6 浇筑和养护**

**A. 6.1** 高性能混凝土浇筑前，应根据工程特点和施工环境条件确定浇筑方案，并应检查钢筋的混凝土保护层垫块的位置、数量及其紧固程度。在结构或构件侧面和底面所布设的垫块数量不应少于 4 个/m<sup>2</sup>，用于绑扎垫块和钢筋的绑丝头不得伸入混凝土保护层内。垫块的尺寸应能保证混凝土保护层厚度的准确性，形状宜为工字形或截头锥形且应有利于钢筋的定位；高性能混凝土的结构或构件中不得采用普通砂浆垫块。当采用细石混凝土制作时，抗腐蚀的能力和强度应高于结构或构件本体混凝土，且水胶比不应大于 0.40。对钢筋的净混凝土保护层厚度，施工的允许误差应为正偏差，对现浇结构其最大允许误差不应大于 10mm，对预制构件不应大于 5mm。

**A. 6.2** 高性能混凝土的入模温度不宜超过 28℃，新浇混凝土与已浇并硬化混凝土或岩土介质之间的温差不应大于 20℃，混凝土表面的接触物与混凝土表面温度之差不应大于 15℃。高性能混凝土的浇筑应连续进行，在振捣过程中应控制混凝土的均匀性和密实性，同时应在浇筑及静置过程中采取防止裂缝的有效措施，对混凝土的沉降及塑性干缩产生的表面裂纹，应予以处理。混凝土的振捣应采用高频振捣器，且宜采用二次振捣及二次抹面的方式施工；每点的振捣时间不宜超过 30s，并应防止过振和过度抹面，严禁通过洒水辅助抹面。

**A. 6.3** 高性能混凝土施工前应根据结构尺寸类型配筋情况环境条件等因素对混凝土可能产生的裂缝类型、程度进行分析采取防裂措施。

**A. 6.4** 高性能混凝土应采取下列防裂措施：

1 应选用与胶凝材料匹配且减水率高的高效减水剂，宜降低混凝土拌合物用水量和胶凝材料用量；

2 在保证混凝土工作性满足要求的前提下应选择较低的坍落度；

3 应使用合适的混凝土搅拌时间，应使混凝土拌合物具有良好的均匀性；

4 混凝土初凝前应进行二次抹面并覆盖，终凝后应立即潮湿养护。

**A. 6.5** 新浇筑的混凝土应及早养护，并应减少暴露时间，应防止表面水分的蒸发。终凝后，应立即开始对混凝土进行持续潮湿养护。洒水养护时不得采用海水，应采用淡水。缺乏淡水时可采用养护剂喷涂养护，养护剂应符合现行国家标准《水泥混凝土养护剂》JC/T 901 的有关规定。持续潮湿养护在养护期内不应间断，且不得形成干湿循环，在常温下养护不应少于 14d，气温较低时应延长潮湿养护的时间。

## **A. 7 其 它**

**A. 7.1** 大体积高性能混凝土除上述要求外，尚应满足下列要求：

1 胶凝材料应由水化热较低的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉等组成；

2 必要时可掺入适量缓凝剂；

3 骨料应选用级配良好的洁净中砂和孔隙率较小的粗骨料；

4 在设计允许的条件下宜采用 60d 或 90d 强度作为混凝土验收强度进行配合比设计；

5 在满足设计和施工要求的前提下，宜提高合料及骨料的用量，宜降低水泥用量；

6 配合比确定后宜进行胶凝材料水化热的测定或验算；

7 混凝土入模温度，天施工不应大于 30℃，冷天施工不应小于 5℃；混凝土内表温差不应大于 25℃，混凝土块体降温速率不应大于 2℃/d；采取防止混凝土表面温度骤降的措施，混凝土表

层与大气温差不应大于 20℃；混凝土表面与养护水的温差不应大于 15℃；控制浇筑程序，应采取分块分段或分层施工；不得在混凝土内部最高温度出现前拆模，拆模后应保温，应避免降温速度过快；必要时可在收缩应力最大部位增配构造筋。

**A. 7. 2** 近海或海洋氯化物环境的高性能混凝土除应进行常规的质量检验外，尚应对其耐久性质量进行检验。耐久性质量应根据不同要求和处于不同环境作用下的工程，对混凝土的拌合物及实体结构分别进行相应的检验。质量检验的结果应符合设计的有关规定，同时应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关规定；当质量检验评定结果不合格时，应委托专门的咨询机构就其耐久性质量进行评价，并应按其评价结论采取措施进行处理。耐久性的质量检验应符合下列规定：

**1** 对高性能混凝土的拌合物，宜进行抗渗、抗冻和电通量等耐久性指标的检验；对引气混凝土，尚应抽检其含气量。抗渗、抗冻和电通量检验的试验方法应符合现行行业标准《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG 3420 的有关规定，高性能混凝土的 56d 龄期电通量不应大于 1000C。检验结果应满足设计和经批准的施工配合比的要求；

**2** 实体结构在拆模且养护结束后，应对钢筋的混凝土保护层厚度，应保护层混凝土的密实性、渗透性等进行检验。必要时，可从实体结构的混凝土中取芯制作试件，测定混凝土的含气量和气泡间距系数、抗冻等级或耐久性指数、氯离子扩散系数等指标；

**3** 高性能混凝土的保护层厚度，宜采用专用的钢筋保护层厚度检测仪进行无损检测；当对保护层厚度检测结果有怀疑时，可采用局部破损的方法进行复核，但复核结束后应对破损部位进行修复；

**4** 保护层混凝土的密实性宜采用标准预埋件的拔出试验或回弹仪试验，通过测定表层混凝土的强度并间接估计其质量。测定宜在达到 28d 龄期时进行，测得的强度平均值不应低于预先规定的数值。采用回弹仪测定时，应在试验室内通过标定对比试验确定；

**5** 高性能混凝土的渗透性检验宜采用混凝土渗透性测试仪，测定结构物表层混凝土的抗渗性，结果不应低于设定值。

## 附录 B 水泥基材料强度评定

### B.1 水泥基浆体抗压强度评定

**B.1.1** 除设计另有规定，评定水泥基浆体强度，应以标准养生 28d 的试件为准。试件尺寸应为 40mm×40mm×160mm 的棱柱体，应以 3 个试件为 1 组，制取组数应符合下列规定：

- 1 不同强度等级及不同配合比的水泥浆体应分别制取试件，试件应随机制取，不得挑选；
- 2 每一工作班应取 1 组，如用量超过 30t，则应按每 30t 取 1 组；
- 3 对桩基压浆，每次每桩应取 1 组；
- 4 对预应力管道压浆，每孔桥应至少 1 组；
- 5 对桥墩结构预制拼装高强无收缩水泥灌浆料，每个拼装部位应至少 1 组。

**B.1.2** 试验及计算方法应符合现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》GB/T 17671 的有关规定，应确定每组 6 个抗压强度测定值。

**B.1.3** 水泥基浆体强度的合格标准应符合下列规定：

- 1 同强度等级试件强度测定值的算术平均强度不应低于设计强度等级；
- 2 任意一组中试件的强度最低值不应低于设计强度等级的 90%。

**B.1.4** 检查项目中，水泥基浆体强度评为不合格时相应分项工程应为不合格。

### B.2 水泥混凝土抗压强度评定

**B.2.1** 评定水泥混凝土的抗压强度，应以标准养生 28d 龄期的试件，在标准试验条件下测得的极限强度为准。试件应为边长 150mm 的立方体，应以 3 个试件为 1 组，制取组数应符合下列规定：

- 1 不同强度等级及不同配合比的混凝土应在浇筑地点或拌和地点分别随机制取试件；
- 2 浇筑一般体积的结构物时，每一单元结构物应制取 2 组；
- 3 连续浇筑大体积结构时，每 80m<sup>3</sup>~200m<sup>3</sup> 或每一工作班应制取 2 组；
- 4 桥梁上部结构各主要构件，长 16m 以下应制取 1 组，16m~30m 应制取 2 组，31m~50m 应制取 3 组，50m 以上的不应少于 5 组；
- 5 小型构件每批或每工作班至少应制取 2 组；
- 6 应根据施工需要，另制取几组与结构物同条件养生的试件，作为拆模、吊装、张拉预应力、承受荷载等施工阶段的强度依据。

**B.2.2** 水泥混凝土抗压强度的合格标准应符合下列规定：

- 1 试件大于等于 10 组时，应以数理统计方法按下述条件评定：

$$mf_{cu} \geq f_{cu,k} + \lambda_1 \cdot S_{f_{cu}} \quad (\text{B.2.2-1})$$

$$f_{cu,min} \geq \lambda_2 \cdot f_{cu,k} \quad (\text{B.2.2-2})$$

$$S_{f_{cu}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - nm^2_{f_{cu}}}{n-1}} \quad (\text{B.2.2-3})$$

式中：

$mf_{cu}$ ——同一检验批混凝土立方体抗压强度的平均值（MPa）；

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值（MPa）；

$S_{f_{cu}}$ ——同一检验批混凝土立方体抗压强度的标准差（MPa），精确到 0.01MPa；当计算值小于 2.50MPa 时，应取 2.50MPa；

$f_{cu,min}$ ——同一检验批  $n$  组混凝土立方体抗压强度的最小值 (MPa), 精确到 0.1MPa;

$N$ ——本检验期内的样本数量;

$f_{cu,i}$  ——第  $i$  组混凝土试件的立方体抗压强度代表值 (MPa), 精确到 0.1MPa;

$\lambda_1, \lambda_2$  ——混凝土抗压强度统计方法合格判定系数, 按表 B. 2. 2-1 取用。

表 B. 2. 2-1 混凝土抗压强度统计方法合格判定系数 $\lambda_1, \lambda_2$

$n$	10~14	15~19	$\geq 20$
$\lambda_1$	1.15	1.05	0.95
$\lambda_2$	0.90	0.85	

2 当同批混凝土试件小于 10 组时, 可用非统计方法按下述条件进行评定:

$$mf_{cu} \geq \lambda_3 \cdot f_{cu,k} \quad (\text{B.2.2-4})$$

$$f_{cu,min} \geq \lambda_4 \cdot f_{cu,k} \quad (\text{B.2.2-5})$$

式中:

$\lambda_3, \lambda_4$ ——混凝土抗压强度非统计方法合格判定系数, 按表 B. 2. 2-2 取用。

表 B. 2. 2-2 混凝土抗压强度非统计方法合格判定系数 $\lambda_3, \lambda_4$

混凝土强度等级	<C60	$\geq C60$
$\lambda_3$	1.15	1.10
$\lambda_4$	0.95	

**B. 2. 3** 检查项目中水泥混凝土抗压强度评为不合格时, 相应分项工程应为不合格。

### B. 3 水泥砂浆强度评定

**B. 3. 1** 评定水泥砂浆的强度, 应以标准养生 28d 的试件为准。试件应为边长 70.7mm 的立方体, 试件应为 6 个 1 组, 制取组数应符合下列规定:

- 1 不同强度等级及不同配合比的水泥砂浆应分别制取试件, 试件应随机制取, 不得挑选;
- 2 重要及主体砌筑物, 每工作班制取 2 组。

**B. 3. 2** 水泥砂浆强度的合格标准应符合下列规定:

- 1 同强度等级试件的平均强度不低于设计强度等级;
- 2 任意一组试件的强度最低值不低于设计强度等级的 75%。

**B. 3. 3** 检查项目中, 水泥砂浆强度评为不合格时相应分项工程应为不合格。

## 附录 C 灌浆套筒无损检测方法

### C.1 内窥镜法

C.1.1 内窥镜法可用于灌浆前套筒内部异物或坐浆料倒灌的检测。

C.1.2 套筒灌浆前采用内窥镜检测时应符合下列规定：

1 灌浆前内窥镜法检测应沿构件四周进行查看，应根据外侧的目视检测情况确定抽检的套筒位置；

2 内窥镜开机后，应根据现场情况选择内窥镜镜头补光的光源；

3 内窥镜的镜头应从套筒进浆口缓慢伸入，直到内部钢筋位置，然后调整镜头向上和向下进行查看套筒和钢筋之间是否通畅，并应拍摄对应的照片。

C.1.3 检测设备应符合下列规定：

1 采用内窥镜法检测时，内窥镜应包括内窥镜主机和内窥镜镜头；

2 内窥镜镜头应符合下列规定：

1) 内窥镜头应具备自主方向调节和自动聚焦功能；

2) 内窥镜镜头应具备自动补光功能和光源可调，最大光源的照度不应低于 8000lx。

3 内窥镜主机应具备录视频和现场照片拍摄，像素不应低于 100 万 px。

C.1.4 检测方法应符合下列规定：

1 内窥镜检测前应进行下列准备工作：

1) 应检查设备和相关检测系统是否正常使用，仪器设备是否正常；

2) 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，修整或返工的结构构件部位应有实施施工前后的文字及图像记录资料。

2 套筒灌浆前抽样应具有代表性，抽检数量不宜少于该连接部位套筒数量的 5%，且不宜少于 3 个；

3 应在套筒灌浆前检测。

C.1.5 评定应符合下列规定：

1 应对采集到的内窥镜照片进行构件和套筒位置的编号；

2 套筒灌浆前内窥镜法检测评定应符合下列规定：

1) 应检查套筒内钢筋和套筒壁之间是否存在坐浆料的倒灌或石子，混凝土块等其他异物；

2) 对内窥镜法检测套筒存在的异物，应进行处理，并应在处理后使用内窥镜再次检测；

3) 异物尺寸占灌浆套筒进浆口的面积比例小于 25%且不影响正常灌浆，可不进行处理；若占灌浆套筒进浆口的面积比例大于 25%，应进行疏通保证正常灌浆。

### C.2 预埋钢丝拉拔法

C.2.1 预埋钢丝拉拔法可用于施工及验收阶段检测套筒灌浆饱满度。

C.2.2 检测设备应符合下列规定：

1 采用预埋钢丝拉拔法检测时，检测设备应包括拉拔仪、钢丝及相关配件；

2 拉拔仪应符合下列规定：

1) 拉拔仪量程不宜小于 5kN，且不宜大于 15kN，最小分辨率不应低于 0.1kN；

2) 拉拔仪每年应至少校准一次。

3 钢丝及相关配件应符合下列规定：

- 1) 钢丝应采用光圆高强不锈钢钢丝，抗拉强度不应低于 600MPa，直径应为 5.0mm±0.1mm，钢丝应包括锚固段、隔离段和拉拔段；
- 2) 钢丝锚固段长度应为 30.0mm±0.5mm；钢丝隔离段应与灌浆料浆体有效隔离；钢丝拉拔段长度应满足拉拔仪要求。

#### C.2.3 检测方法应符合下列规定：

##### 1 采用预埋钢丝拉拔法检测套筒灌浆饱满度前的准备工作应符合下列规定：

- 1) 应保证检测设备正常；
- 2) 应记录工程基本信息、执行标准、构件编号、灌浆套筒编号、检测设备信息、检测人员信息等。

##### 2 采用预埋钢丝拉拔法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

- 1) 应根据预制构件表面的出浆口到套筒内靠近出浆孔一侧的钢筋表面的垂直距离，以及钢丝锚固段的长度，应确定钢丝隔离段的长度和位置；
- 2) 应将钢丝配件沿套筒出浆孔插入并固定，应确保钢丝锚固长度符合要；
- 3) 灌浆结束时检查钢丝锚固长度和是否处于水平状态；
- 4) 灌浆结束后预埋钢丝的灌浆节点应采用自然养护方式进行，养护期间应做好现场防护工作，应确保钢丝不被损坏；
- 5) 灌浆构件养护 3d 且不低于 60°C/d 后，应采用预埋钢丝拉拔法进行灌浆套筒饱满度检测；
- 6) 拉拔时，拉拔仪应与预埋钢丝对中连接，加载方向应与钢丝轴线方向重合，加载速度应控制在 0.15kN/s~0.50kN/s，应连续均匀施加荷载直至钢丝被完全拔出，并应记录极限拉拔荷载值，精确至 0.1kN。

3 预埋钢丝拉拔法，单个连接抽检的套筒数量不得少于该连接部位套筒数量的 5%，且不得少于 3 个，抽样应具有代表性。

4 套筒灌浆前应预埋钢丝，套筒灌浆结束 3d 后应进行检测。

#### C.2.4 评定应符合下列规定：

##### 1 采用预埋钢丝拉拔法检测套筒灌浆饱满度的评定准则应符合下列规定：

- 1) 应取同一批测点极限拉拔荷载值中 3 个最大值的平均值，该平均值的 60%记应为 a，该平均值的 40%记为应 b；当测点极限拉拔荷载值大于 a 且不小于 1.5kN 时，应判定测点对应套筒灌浆饱满；当测点数据在 a~b 之间时，应进一步用其他检测方法进行校核；当测点极限拉拔荷载值小于 b 或小于 1.0kN 时，应判定测点对应套筒灌浆不饱满；
- 2) 其他情况应进一步结合内窥镜校核结果进行判定。

##### 2 对预埋钢丝拉拔法检测灌浆不饱满的套筒，应进行注射补灌。

### C.3 芯片法

C.3.1 芯片法可用于施工阶段检测套筒灌浆饱满度。

#### C.3.2 检测设备应符合下列规定：

- 1 采用芯片法检测时，检测设备应包括封装芯片和芯片检测仪；
- 2 芯片应符合下列规定：
  - 1) 封装芯片应为具有独立可识别性的唯一编码，应具有无源的独立接收和发射信号功能；
  - 2) 芯片应根据现场套筒抽检位置进行统一编号。
- 3 芯片检测仪应符合下列规定：

- 1) 芯片检测仪发射功率不应低于 30dBm，发射天线不应小于 4dBi，使用环境温度应为 -5°C~60°C，相对湿度不应大于 90%；
- 2) 芯片检测仪应进行计量检定或校准，应具有产品合格证书；
- 3) 芯片检测仪应具备足够强的发射能量，保证芯片能接受信号；
- 4) 芯片检测仪的发射与接收宜具有方向性。

**C.3.3 检测方法应符合下列规定：**

- 1 采用芯片法检测套筒灌浆饱满度前应进行以下准备工作：
  - 1) 应检查设备是否正常；
  - 2) 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，修整或返工的结构构件部位应有实施施工前后的文字及图像记录资料。
- 2 采用芯片法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：
  - 1) 芯片的安装装置应预先进行组装，并应检查是否有异常；
  - 2) 待现场吊装完成，应采用专用工具通过套筒的出浆口位置将芯片装置安装至钢筋与套筒之间；
  - 3) 应将芯片装置固定在出浆口易产生空洞的区域，应保证芯片侧向外，灌浆时不应被浆液冲出；
  - 4) 灌浆过程中，灌浆料流动速度宜保持一致，浆体应具有良好的流动性；
  - 5) 灌浆结束 15min-30min 后，应通过检测设备检测各芯片的信号能量值，并应做好记录。
- 3 灌浆套筒抽样应具有代表性，抽检数量不宜少于该连接部位套筒数量的 50%，且不宜少于 15 个；
- 4 套筒灌浆前应预埋芯片，套筒灌浆结束后 15min~30min 应进行检测。

**C.3.4 评定应符合下列规定：**

- 1 采用芯片法检测套筒灌浆饱满度的判定准则应符合下列规定：
  - 1) 当在出浆口区域能够扫查到芯片信号，则应判定该测点灌浆饱满度不合格；
  - 2) 当在出浆口区域扫查不到芯片信号，则应判定该测点灌浆饱满度合格。
- 2 单个构件一个检验批中灌浆饱满度首次检测符合性评定应符合表 C.3.4 的有关规定。

**表 C.3.4 灌浆质量批量检测符合性判定规则**

抽样数量	合格判定数	不合格判定数
2~7	0	1
8~13	1	2
20	2	3
32	3	4
50	5	5
80	7	8
125	10	11
200	14	15
315	21	22
>500	33	34

注：1 当单个构件一个检测批中不合格数量为合格判定数及以下时，该批可判为合格；当连接节点一个检测批中不合格数量为不合格判定数及以上时，该批判为不合格；

2 当单个构件一检验批抽检数量非上表中的数值时，“合格判定数”按差值计算，其中“合格判定数”小数点后的数字略去不计，不合格判定数=合格判定数+1。

- 3 单个构件一个检验批中灌浆饱满度首次检测满足表 C.3.4 符合性规则时，应对灌浆不饱

满套筒进行补灌浆处理，并应进行复测，要求检测合格率应为 100%，并应在原始记录表备注栏中做好复测记录；

4 单个构件一个检验批中灌浆饱满度首次检测不满足表 C.3.4 符合性规则时，应对这个构件中所有灌浆套筒进行补灌浆处理，并应进行复测，要求检测合格率应为 100%，并应在原始记录表备注栏中做好复测记录。同时应停止后续其余构件的灌浆工作，核查灌浆饱满度合格率不达标原因，提出整改意见，并报监理、设计和业主确认后方可进行后续灌浆工作。

#### C.4 压力传感器法

C.4.1 压力传感器法可用于施工阶段检测套筒灌浆饱满度。

C.4.2 采用压力传感器法检测时，压力传感器检测仪应符合以下规定：

1 检测范围不应低于 100kpa，测量准确度不宜低于 0.2%，使用的环境温度应为-5℃~60℃，外壳防护等级应为 IP56；

2 压力传感器应进行计量检定或校准，专用压力传感器应具有相关的技术认证。

C.4.3 检测方法应符合下列规定：

1 采用压力传感器法检测套筒灌浆饱满度前应进行以下准备工作：

1) 应检查设备和相关检测系统是否正常使用，仪器设备密封性是否正常；

2) 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，修整或返工的结构构件部位应有实施施工前后的文字及图像记录资料。

2 采用内置压力传感器法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

1) 应采用专用工具通过套筒的出浆口位置将传感器装置安装至套筒底部内壁与钢筋之间；

2) 现场安装应压力计和导管，并应测试其完备性；

3) 现场应通过进浆口缓慢灌浆，压力设备应记录连续的信号变化，应形成压力-时间变化曲线；

4) 现场应对压力-时间曲线进行记录，并应进行判断。

3 采用外置压力传感器法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

1) 现场应安装压力计和导管，并应测试其完备性；

2) 现场应通过进浆口缓慢灌浆，待出浆口流出浆液后，应采用外置传感器封堵进浆口，应形成压力-时间变化曲线；

3) 现场应对压力-时间曲线进行记录，并应进行判断。

4 抽样应具有代表性，单个连接抽检的套筒数量不应少于该连接部位套筒数量的 50%，且不宜少于 15 个；

5 套筒灌浆前应预埋压力传感器，套筒灌浆结束后 15min~30min 应进行检测。

C.4.4 评定应符合下列规定：

采用压力传感器法检测套筒灌浆饱满度的判定准则应符合下列规定：

1 对单个构件同一检验批且灌浆高度相同的压力值应取平均值，单个测点压力实测值小于平均值的 90%，则应判定测点灌浆饱满度不合格；

2 对单个构件同一检验批且灌浆高度相同的压力值取平均值，单个测点压力实测值大于等于平均值的 90%，则应判定测点灌浆饱满度合格。

## 附录 D 单位、分部及分项工程的划分

**D.0.1** 单位、分部及分项工程的划分应符合表 D.0.1 的有关规定。

**表 D.0.1 单位、分部及分项工程的划分**

单位工程	分部工程	分项工程
桥梁工程	基础及下部结构	立柱、盖梁胎架与钢筋模块制作, 立柱、盖梁钢筋模块安装, 立柱制作, 盖梁制作, 桥墩构件 (立柱、盖梁) 安装
	上部结构预制和安装	胎架与钢筋模块制作, 混凝土梁制作, 混凝土梁安装, 钢板梁制作, 钢箱梁制作, 钢桁梁节段制作, 钢梁安装, 涂装
	桥面系及附属工程	防撞护栏胎架与钢筋模块制作, 防撞护栏制作, 防撞护栏安装

**D.0.2** 项目单位、分部及分项工程应根据现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 及本规程 D.0.1 的有关规定划分。

## 本规程用词说明

- 1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：  
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用词：  
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用词：  
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用词，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关的标准执行的写法为“应符合……的有关规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 2 《钢筋混凝土用钢第 1 部分：热轧光圆钢筋》 GB 1499.1
- 3 《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》 GB 1499.2
- 4 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 5 《先张法预应力混凝土管桩》 GB 13476
- 6 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 7 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205
- 8 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 9 《城市道路交通设施设计规范》 GB 50688
- 10 《平垫圈 C 级》 GB/T 95
- 11 《优质碳素结构钢》 GB/T 699
- 12 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 13 《桥梁用结构钢》 GB/T 714
- 14 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 15 《合金结构钢》 GB/T 3077
- 16 《金属熔化焊焊接接头射线照相》 GB/T 3323
- 17 《冷拔或冷轧精密无缝钢管》 GB/T 3639
- 18 《预应力混凝土用钢丝》 GB/T 5223
- 19 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224
- 20 《六角头螺栓》 GB/T 5782
- 21 《建筑排水用硬聚氯乙烯（PVC-U）管材》 GB/T 5836.1
- 22 《建筑排水用硬聚氯乙烯（PVC-U）管件》 GB/T 5836.2
- 23 《六角厚螺母 B 级》 GB/T 6170
- 24 《结构用不锈钢无缝钢管》 GB/T 14975
- 25 《结构用无缝钢管》 GB/T 8162
- 26 《建筑施工机械与设备混凝土搅拌站（楼）》 GB/T 10171
- 27 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》 GB/T 10433
- 28 《焊缝无损检测超声检测技术、检测等级和评定》 GB/T 11345
- 29 《预拌混凝土》 GB/T 14902
- 30 《钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》 GB/T 17395
- 31 《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》 GB/T 17671
- 32 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
- 33 《直缝电焊钢管》 GB/T 13793
- 34 《预应力混凝土用螺纹钢筋》 GB/T 20065
- 35 《环氧涂层七丝预应力钢绞线》 GB/T 21073
- 36 《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》 GB/T 25823
- 37 《焊缝无损检测磁粉检测》 GB/T 26951
- 38 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
- 39 《预应力热镀锌钢绞线》 GB/T 33363

- 40 《水泥基灌浆材料应用技术规范》 GB/T 50448
- 41 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
- 42 《水泥混凝土养护剂》 JC/T 901
- 43 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
- 44 《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》 JGJ 355
- 45 《城市桥梁工程施工与质量验收规范》 CJJ 2
- 46 《城市桥梁桥面防水工程技术规程》 CJJ 139
- 47 《城市桥梁抗震设计规范》 CJJ 166
- 48 《节段预制混凝土桥梁技术标准》 CJJ/T 111
- 49 《预应力混凝土结构抗震设计标准》 JGJ/T 140
- 50 《补偿收缩混凝土应用技术规程》 JGJ/T 178
- 51 《预应力混凝土空心方桩》 JG/T 197
- 52 《纤维混凝土应用技术规程》 JGJ/T 221
- 53 《预制高强混凝土薄壁钢管桩》 JG/T 272
- 54 《预应力混凝土管桩技术标准》 JGJ/T 406
- 55 《无粘结预应力钢绞线》 JG/T 161
- 56 《钢筋连接用灌浆套筒》 JG/T 398
- 57 《钢筋连接用套筒灌浆料》 JG/T 408
- 58 《钢纤维混凝土》 JG/T 472
- 59 《环氧树脂涂层钢筋》 JG/T 502
- 60 《环氧涂层预应力钢绞线》 JG/T 387
- 61 《工厂预制混凝土构件质量管理标准》 JG/T565
- 62 《公路桥梁抗震设计规范》 JTG/T 2231-01
- 63 《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》 JTG/T 3310
- 64 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 JTG 3362
- 65 《公路桥涵地基与基础设计规范》 JTG 3363
- 66 《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》 JTG 3420
- 67 《公路桥涵施工技术规范》 JTG/T 3650
- 68 《公路装配式混凝土桥梁设计规范》 JTG/T 3365-05
- 69 《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》 JTG/T D64
- 70 《公路交通安全设施设计规范》 JTG D81
- 71 《公路工程质量检验评定标准》 JTG F80/1
- 72 《公路工程水泥混凝土用纤维》 JT/T 524
- 73 《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》 JT/T 722
- 74 《无粘结钢绞线体外预应力束》 JT/T 853
- 75 《填充型环氧涂层钢绞线体外预应力束》 JT/T 876
- 76 《海港工程高性能混凝土质量控制标准》 JTS-257-2
- 77 《预制钢筋混凝土方桩》 JC/T 934
- 78 《超高性能轻型组合桥面结构技术规程》 GDJTG/T A01
- 79 《预应力混凝土管桩基础技术规程》 DBJ 15-22
- 80 《建筑地基基础设计规范》 DBJ 15-31
- 81 《立体绿化管养技术规程》 DB4403/T 177



深圳市工程建设地方标准

装配式桥梁技术规程

**SJG 217-2026**

条文说明

## 制 订 说 明

本规程是编制组为贯彻住房和城乡建设部和深圳市委市政府工作部署,深入推进“标准+”战略,构建工程建设领域国际化、高质量的“深圳标准”体系,标准编制组借鉴国内外装配式桥梁建设的成功经验和“标准化设计、工厂化制造、装配化施工、智能化运营”的绿色建筑发展理念,经充分研究,总结实践经验,参考有关标准,并在广泛征求各方意见和专家审查后编制而成。

为便于设计、施工、管理和维护单位的相关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定,编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

# 目 次

1 总则.....	81
3 基本规定.....	82
4 材料.....	83
4.1 混凝土.....	83
4.3 连接材料.....	83
5 上部结构设计.....	84
5.1 一般规定.....	84
5.2 预应力混凝土梁.....	84
5.3 钢梁.....	84
5.4 钢-混组合梁.....	84
6 下部结构设计.....	85
6.3 承台.....	85
6.4 墩柱.....	85
6.6 桥台.....	85
6.7 构件连接.....	86
7 附属设施设计.....	88
7.1 一般规定.....	88
7.2 防撞栏杆.....	88
7.3 桥面铺装.....	88
7.4 桥面排水.....	88
7.5 其它.....	88
8 抗震设计.....	89
9 构件预制与制作.....	90
9.2 场地要求.....	90
9.3 混凝土构件预制.....	90
10 构件运输和安装.....	92
10.2 构件吊装与运输.....	92
10.4 墩柱及盖梁安装.....	92
10.5 混凝土梁安装.....	92
10.6 钢梁安装.....	96
10.7 钢混组合梁安装.....	96
10.9 质量控制与检验.....	98
11 结构耐久性.....	99
11.3 结构耐久性措施.....	99

# 1 总 则

**1.0.1** 装配式桥梁施工速度快、施工质量好、对环境影响小、综合经济成本较低，符合节能减排，双碳目标要求，为了规范装配式桥梁的设计、施工及验收，统一设计和施工技术要求，保证装配式桥梁工程的安全和质量，制定本规程，推动深圳桥梁建设绿色环保和工业化发展。

**1.0.2** 本规程主要适用于深圳市域范围内市政和公路工程中新建和改扩建梁桥。

### 3 基本规定

**3.0.3** 桥梁构件标准化、轻型化、模块化是装配式桥梁的主要设计原则和发展方向，设计阶段需要根据项目特点、运输和安装条件进行相应的研究和专项设计。

**3.0.6** 随着技术的发展，特别是信息技术的日新月异，各种数字化、自动化和信息化的手段不断增多，BIM 技术、三维建模、智能装备以及工业机器人已在工程建设领域中越来越多地得到应用，本规范鼓励和提倡在装配式桥梁的建造中积极推广应用这些先进的技术、工艺和设备，以提高效率、保证工程质量。

**3.0.8** 耐久性设计需符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 和行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D3362、《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310、《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722 的有关规定。

**3.0.11** 本规程适用于市域内的市政和公路工程，装配式桥梁的竣工验收需要采用相对应的行业验收标准和规范。

## 4 材 料

### 4.1 混 凝 土

**4.1.1** 装配式桥梁构件是在构件预制厂进行预制，采用自拌混凝土，为了提高混凝土质量和耐久性，推荐采用高性能混凝土，高性能混凝土需符合本规程附录 A 的有关规定。

**4.1.2** 由于后浇湿接缝的位置和受力情况不同，补偿收缩混凝土需提出明确的技术指标，严格控制混凝土的限制膨胀率。

### 4.3 连 接 材 料

**4.3.6、4.3.7、4.3.14** 本条款中连接材料的尺寸参数是结合目前常见厂商的产品尺寸给出的建议值。

## 5 上部结构设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 根据运输、安装条件和景观要求等，将桥梁划分为山区桥梁和市区桥梁、市政高架和地面辅道桥等。山区桥梁景观要求较低，上部结构的选择需重点考虑装配式构件的运输和安装的适宜性，小箱梁、T梁和双T梁是较为合适的方案；城区内特别是城市核心区内的桥梁需重点考虑景观性，大箱梁如节段预制箱梁、钢箱梁、箱梁组合梁是较为合适的方案；预应力空心板梁由于跨越能力不足，目前常用于地面辅道桥；钢板组合梁特别是少主梁体系适应变宽能力不足，目前常用于等宽段桥梁。

### 5.2 预应力混凝土梁

**5.2.9** 小箱梁湿接缝采用等宽窄缝方案，具有现场工作量少，湿接缝外观美观等优点。

**5.2.14** 节段预制混凝土箱梁采用以直代曲短线法预制可适应平面曲线，但需考虑平曲线对箱梁结构受力和预制架设的影响。对于常规35m左右跨径节段预制箱梁，当曲线半径小于250m时，弯扭耦合效应导致的附加扭矩较大，且曲线半径越小，弯扭耦合效应越明显，弯扭耦合效不可忽略。

**5.2.19** 节段预制构件运输、安装过程中的重要受力部位指吊点或吊孔、临时预应力锚固块等。

**5.2.33、5.2.34** 节段预制箱梁宽度变化幅度较小时采用后浇带变宽或者挑臂变宽方式，变化幅度较大时采用箱室内顶底板等厚段变宽方式，无论采用哪种方式，腹板的斜率和加腋倒角等位置不宜变化。箱室内变宽时宜采用统一的变宽率，保证段模和腹板的角度不变，方便模板制作和安装。

### 5.3 钢 梁

**5.3.8** 考虑到钢梁制作和后期养护，封闭钢箱梁箱室高度不建议小于1.5m。

**5.3.16** 目前钢箱梁的检修时发现箱内存在积水的情况，分析原因，除了桥面漏水可能性之外箱内空气的冷凝水也是积水的来源之一，因此参考混凝土箱梁在箱内最低点设置泄水孔。

**5.3.17** 曲线钢箱梁U肋采用以直代曲是常采用的处理方案；当曲线半径很小时，为了U肋布置均匀，直线长度就要减小，U肋纵向接头变多，因此可以采用球扁钢肋板或者板肋代替U肋，方便施工。

### 5.4 钢-混组合梁

**5.4.6** 橡塑共混高分子垫条承载能力高，可直接承受桥面板和各种施工荷载，压变性能好，压缩贴合紧密，密封性好，采用卡条固定不会发生滑移与倾覆。

## 6 下部结构设计

### 6.3 承 台

**6.3.6** 钢筋部品是指将钢筋按照标准和规范进行加工和组装，形成标准化的构件，以便在施工现场快速拼装。钢筋部品化有助于提升钢筋加工质量和加快施工速度。部分承台构件尺寸大、重量重，不便于开展整体预制，可通过采用钢筋部品，提高施工效率和质量。

### 6.4 墩 柱

**6.4.2** 灌浆套筒布置在预制立柱中时，由于灌浆套筒的刚度大，会使立柱在套筒范围内整体的刚度增大。由于截面与配筋形式多样，难以给出统一的影响系数。局部区域刚度增大后，对于桥墩高度较矮的桥墩，会使桥墩整体刚度有明显提升，对于其他桥墩，也会导致桥墩在极限状态时，变形能力变差。

**6.4.4** 在节段间的环氧树脂胶固化过程中，匹配面的混凝土需处于受压状态，主要是提供全截面上相当均匀的压力缩小各个节段之间的拼缝，并使环氧树脂胶压缩均匀，促进各个节段之间临时联结。预制立柱拼装工况受力状态简单，不易在施工过程中出现应力扰动，相比预制节段盖梁和系梁，可将压应力值降低为 0.15MPa。立柱架设时，较强的风荷载作用易对界面应力的影响需重点考虑。

**6.4.5** 为确保预制桥墩满足当前我国规范对桥梁的耐久性要求，条文对预制立柱从材料、施工质量及受力状态等做出了相关的有关规定。采用灌浆连接套筒或灌浆波纹管连接的预制混凝土桥墩，其耐久性主要考虑预制立柱节段自身以及拼接缝垫层的耐久性，预制立柱节段自身的耐久性与传统现浇混凝土桥墩类似，故可以采用相同的有关规定。对于拼接缝垫层耐久性，条文中根据不同的情况进行了规定，主要目的是在接缝层暴露在外时，确保拼接缝不开裂；接缝层埋入承台中时，接缝裂缝宽度不超标。当设计的桥墩力学性能不满足款 1、2、3 要求时，可采取增加配筋、配置压重、布置竖向预应力、改变桥墩尺寸等方式使结构满足要求。

### 6.6 桥 台

**6.6.3** 装配式桥台结构的施工最为关键的是要保证各个结构部分连接性能合格，保证连接部门的牢固性与稳定性，不能存在结构松散等问题。本条给出桥台各预制部件可采用的连接方式，连接示意图可见图 1、2、3。预制耳墙与预制帽梁连接时，预制耳墙需要布置两道挡块，预制帽梁则需要和挡土板同时进行整体预制制作，然后将其放置在挡块所组合而成的凹槽结构内，并且要浇筑高强度无收缩材料。预制背墙与预制帽梁连接时，预制背墙需要设置两道挡块，在准确的放置到预制帽梁上部挡块所组合而成的凹槽上，然后浇筑强度高无收缩的混凝土材料。预制耳墙与预制背墙之间连接，可采用湿接缝进行连接。当采用普通混凝土湿接缝时，接缝的位置内二者的钢筋需要焊接；当采用超高性能混凝土湿接缝时，接缝的位置内二者的钢筋可不进行焊接，仅需要搭接。

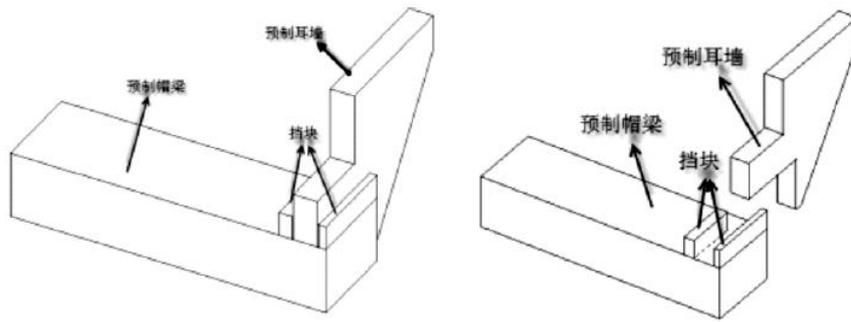


图 1 预制耳墙与预制台帽连接示意图

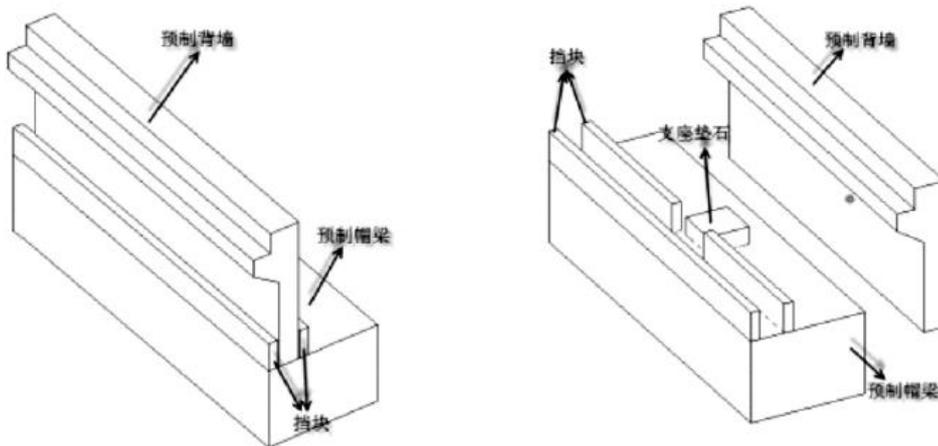


图 2 预制背墙与预制台帽连接示意图

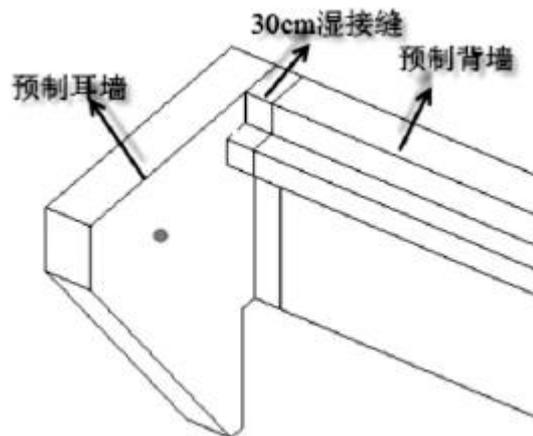


图 3 预制耳墙和预制背墙连接示意图

## 6.7 构件连接

6.7.1 目前国内外采用的预制拼装混凝土桥墩连接方式有灌浆套筒、灌浆波纹管、承插式、插槽式、混凝土湿接缝、预应力、组合型外包钢板、焊接连接等多种形式。灌浆套筒连接是目前应用最成熟的一种连接方式，可用于墩柱与盖梁、墩柱与承台、墩柱节段间的连接。灌浆套筒连接的锚固性能及延性良好，但对公差要求高，需要有配套的灌浆设备，操作人员需要高的专业技能。灌浆波纹管连接也是目前较常采用的一种连接方式，较常用于墩柱与盖梁的连接，对公差要求相对较低，锚固性能及延性能满足工程的需要，同样需要有配套的灌浆设备，操作人员需要

高的专业技能。承插式连接对公差要求最低，灌浆作业简单，但对插入深度有一定要求，尤其是在高地震烈度地区，可结合设置抗剪措施减少插入深度，常用于墩柱与承台的连接。插槽式连接对公差要求也相对较低，连接的锚固性能和延性也较好，但需要较为复杂的灌浆作业，常用于墩柱与盖梁的连接。对于湿接缝连接，当采用普通混凝土的湿接缝时，预留的钢筋需要进行连接，此时对施工公差要求高，施工略显麻烦；但采用超高性能混凝土湿接缝时，可利用超高性能混凝土的性能实现钢筋的握裹锚固，钢筋可以不用连接，施工简单，容差较大；采用湿接缝连接时，需要控制湿接段的混凝土收缩，避免出现裂缝。预应力连接是通过后张预应力筋联接构造实现节段预制桥墩的建造，可采用钢绞线或精轧螺纹钢等高强度钢筋，桥墩节段之间可设置钢筋连接，也可不设置钢筋连接；国外较早采用的是 U 型预应力钢绞线连接，在墩顶锚固，此时构造预应力筋在承台里的弯曲半径小，穿束难度大，目前国内较常采用自锁式预应力锚固体系，施工便捷。

**6.7.4** 装配式桥墩的连接方式有多种类型。灌浆套筒连接是通过高强无收缩灌浆料填充在钢筋与连接套筒间隙，硬化后形成接头，将一根钢筋中的力传递至另一根钢筋的连接构造。根据 HRB400 钢筋接头试验研究，对于全灌浆套筒，为保证钢筋、灌浆料及套筒体系可靠，套筒一端钢筋锚固长度不能小于  $10d_s$  ( $d_s$  为被连接纵向钢筋直径)；为保证压浆质量，压浆顺序需由下至上，并保证在压浆口下缘布置一道箍筋，套筒出浆口需连接 L 型连接管，连接管上端需高于出浆口 100mm 以上。由于全灌浆套筒分现场拼装端和预制安装端，安装时需特别注意。

**6.7.5** 灌浆波纹管研究，为确保灌浆波纹管连接可靠，本条文对波纹管的长度、直径、肋高等做出了一系列的有关规定。我国现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D3362 及《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 规定，对受拉直筋锚固于强度大于 C40 管应有足够强度和刚度确保施工浇筑振捣等工况作用下波纹管不破损、不变形。可借鉴现行行业标准《预应力混凝土用金属波纹管》JG 225 的相关规定选用灌浆波纹管。根据试验混凝土，建议锚固长度大于  $30d_s$ ，考虑抗震影响，建议增加  $10d_s$ 。考虑到预制立柱中灌浆波纹管灌浆料强度可达 100MPa，可将纹管中钢筋的锚固长度可适当缩短，参考国内外已有的试验成果，可缩短至  $24d_s$ 。考虑到抗震构造要求，波纹管预埋在盖梁或承台中时，需在  $24d_s$  的基础上增加  $10d_s$ 。如果盖梁或承台混凝土强度低于 C40，需通过试验研究确定锚固长度。

**6.7.6** 本条给出承插式连接的要求。预制拼装混凝土墩柱预制节段墩柱与承台间采用承插式连接时，在承台内预留槽口，可在墩柱表面刻槽口，以提高墩柱与承台的整体性。槽口可采用梯形槽口，顶口大、底口小。

## 7 附属设施设计

### 7.1 一般规定

7.1.4 装配式桥梁附属构件与主体结构的连接是关键构造，要保证传力可靠、耐久适用，同时要考虑施工方便性。

### 7.2 防撞栏杆

7.2.6 混凝土防撞栏杆存在碳化、氯离子侵蚀等原因导致的退化，提高混凝土强度等级是提升混凝土栏杆的耐久性的有效手段。

### 7.3 桥面铺装

7.3.3 节段箱梁由于接缝较多，施工临时孔洞较多，如果桥面未设置混凝土调平层时，建议增加一层水泥基渗透结晶防水层或采用浇筑式沥青，提高桥面防水性能。

### 7.4 桥面排水

7.4.1、7.4.3 城区内桥梁为了提高景观性，建议采用隐形排水系统，将排水管布置在梁体和桥墩内，或者采取措施将排水管进行隐藏。

### 7.5 其它

7.5.2 深圳雨水较多，桥梁总体布置时需避免位于道路竖曲线凹曲线段，避免桥上存在排水低点，导致桥面积水。如果无法避免时，需增加附加排水措施，如在最低点设置排水口，设置反向排水水管将桥面积水排至桥墩位置地面。

## 8 抗震设计

**8.0.1 ~ 8.0.10** 装配式桥墩与现浇桥墩一致，其抗震设计和构造要求，以及相关符号符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的有关规定。

**8.0.2** 塑性铰区域最大容许转角的计算公式与《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 第 7.3.6 条一致，只是延性安全系数有所不同，其取值是由桥墩与盖梁和承台间的连接形式确定。考虑到灌浆套筒和灌浆波纹管对墩柱的延性有一定影响，因此取值提高到 2.5 和 2.2，其余连接形式对应的延性安全系数和现浇桥墩一样，采用 2.0。

**8.0.8** 目前装配式桥墩的抗震主筋采用 HRB400，采用 HRB500 及以上的装配式桥墩的设计和抗震研究较少，需开展相关的专题研究。

## 9 构件预制与制作

### 9.2 场地要求

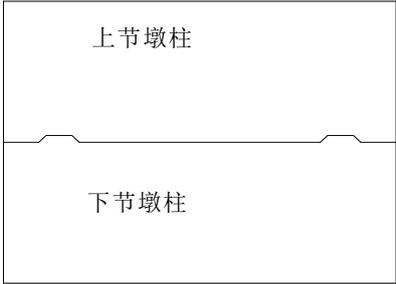
**9.2.6** 长线法适合几何线形复杂、变截面节段箱梁预制。长线法发展较早，工艺比较成熟、全桥线形

控制简单，接缝面匹配很好，误差不会累积，对于已制块件形成的偏差可以通过下一个块件调整，而且还可以多点同时匹配预制，加快施工进度，构造简单施工生产过程比较容易控制，脱模后不必立即把梁段转运到贮放地。缺点是相对于短线法预制场地较大、台座必须建筑在坚固的基础上，沉降要求较小、工作效率低，弯桥还需形成所需曲度，浇筑、养生等设备都是移动式的。由于场地需求面积大，场地要求高，目前应用较少，多采用短线法预制节段预制混凝土箱梁。

**9.2.8** 长线法制梁所需设备较少，台座构造较简单，在预制时节段的线形控制比较简单。长线法预制节段预制混凝土箱梁，节段预制胶接拼装箱梁施工原理是把整孔箱梁按纵向分割成若干节段，每节单独用混凝土浇筑，长线法的节段间的制作误差可按需要调整，避免误差积累。采用此法预制节段可以解决以下问题：保证箱梁节段安装后相邻梁段间的拼缝严密；保证箱梁安装完成后的整体线形。首先预制梁段时以相邻的已制好的梁端面为端模可以解决第一个问题；长线台座制梁是在一个整跨的台座上进行，台座顶面的线型完全按设计的梁底预制线型设置，每段梁在台座上预制的位置与架设成桥后的位置完全对应一致。每节梁段匹配预制，即前一段已预制节段的端面作为后一节段的端模，梁端涂刷隔离剂，按顺序预制，预制的两个梁的端面完全匹配重合，便于胶拼贴合，也便于线型控制。前一块件出现的偏差可以通过后一块件得到调整，不至于积累偏差，因而能很好地保证成桥线型。但该法需要较大的预制场地，另外由于底模的线型关系到桥梁的最终线型，这就要求台座不能有大的沉降，其基础必须十分坚固，所有梁段在同一个台座上预制。

### 9.3 混凝土构件预制

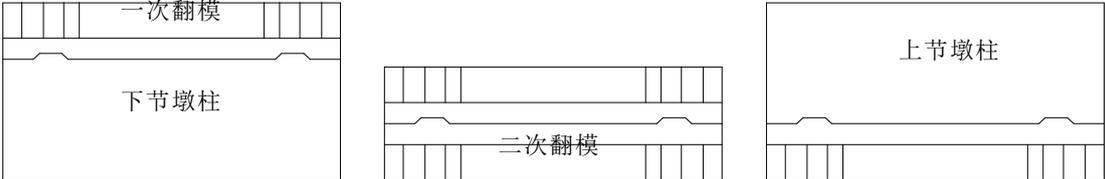
**9.3.7** 竖向匹配预制常用三种方法（如图4）：（1）对于单节段高度较小的墩柱，通常采用匹配预制；（2）对于自重较大、高度高的节段，通常采用钢模翻模浇筑，即采用相互匹配的2个钢模作为下节墩柱的顶模和上节墩柱底模。（3）二次翻模技术也能满足自重较大、高度高节段的匹配预制，即在下节墩身达到一定强度后，在其顶面涂刷隔离剂，通过两次印模混凝土浇筑及翻转，实现对下节墩身顶面的复制，上节墩柱以下节墩柱顶面印模作为底模。在这个过程中，印模混凝土收缩徐变过大会引起墩柱安装时匹配困难，管道无法直接使用加强芯棒连接，需要特别注意其连接的平顺性。



(a) 竖向匹配浇筑



(b) 钢模翻模浇筑



(c) 二次翻模匹配浇筑

图 4 墩柱竖向匹配浇筑

## 10 构件运输和安装

### 10.2 构件吊装与运输

10.2.1 各类构件包括吊具、吊架、吊点等。

### 10.4 墩柱及盖梁安装

10.4.6 钢筋灌浆套筒连接或钢筋灌浆波纹钢管连接施工时，灌浆料每批次需制取不少于3组的试件。该处的“每批次”指同一天同一台班的施工时，与施工部位无关，灌浆料制取不少于3组试件。灌浆套筒灌浆质量检验难度较大，施工中须严格按照操作流程进行灌浆，并100%记录灌浆过程的冒浆及封堵情况。与此同时，采用一些新方法如“微重力流补浆”，能提升灌浆质量。即在出浆口上方布置透明容器，堵塞灌浆口之后维持透明容器中灌浆料液面高度，补浆，可帮助套筒排气（图5）。

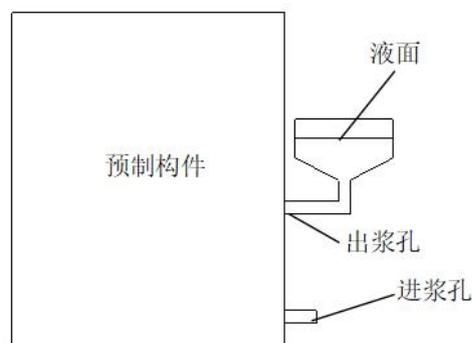


图5 微重力流补浆示意图

### 10.5 混凝土梁安装

10.5.3 墩顶节段预制混凝土箱梁临时锚固如图6所示，考虑预埋在墩身内部的U型管道刚度以及穿束，通常采用钢管作为预应力管道以便于施工。

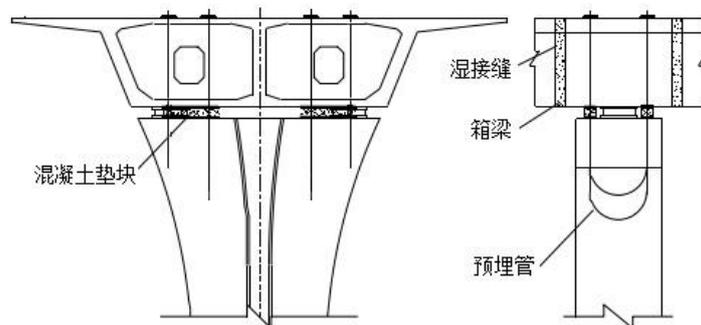


图6 墩顶节段预制混凝土箱梁临时锚固示意图

10.5.5 架梁设备有上行式架桥机、下行式架桥机、桥面吊机、地面起重设备（履带式起重机、汽车式起重机、门式起重机等）、水中起重船等选择，要综合考虑环境条件、造价、箱梁结构设计、气候等多种因素，因地制宜选择最合适的类型。

上行式架桥机的承载主梁位于混凝土桥跨的上方，如图7所示。通常架桥机自带卷扬机等起重设备，用于节段预制混凝土箱梁的提升、移动和拼装。在节段预制混凝土箱梁拼装时，所有的

节段预制混凝土箱梁通过悬吊杆悬挂在承载主梁的下方，对地面社会交通的影响较小，也可在河谷、海洋等环境下不依赖辅助设施进行施工。

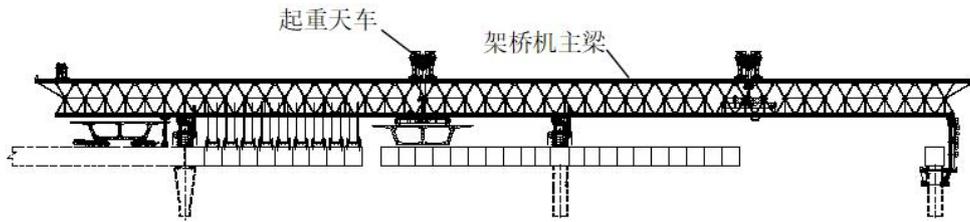


图 7 上行式架桥机

下行式架桥机的承载主梁是位于节段预制混凝土箱梁下方的导梁，如图 8 所示。这类架桥机需要辅助起重设备的配合，所有的节段预制混凝土箱梁都放置在导梁上完成拼装。下行式架桥机不需要悬吊杆体系，更为安全，抗风性能更好；架桥机的承载主梁采用油压千斤顶支承节段预制混凝土箱梁，便于调整节段预制混凝土箱梁的倾斜角度。

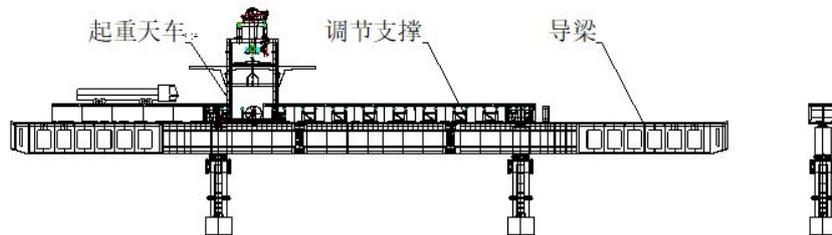


图 8 下行式架桥机

桥面吊机适用于大跨度悬臂拼装且无边跨悬臂合龙的桥梁，但对于梁跨较多的结构需要多次安装拆除。桥面吊机如图 9 所示。

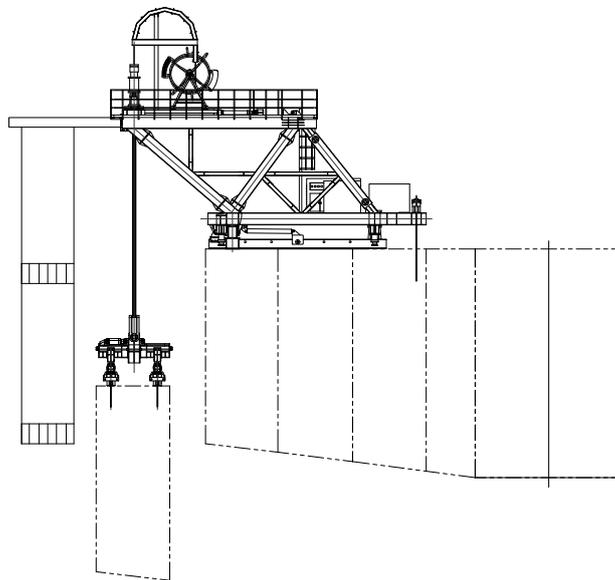


图 9 桥面吊机

地面起重设备主要包括履带式起重机和汽车式起重机、门式起重机等。履带式起重机安装节段预制混凝土箱梁如图 10 所示。

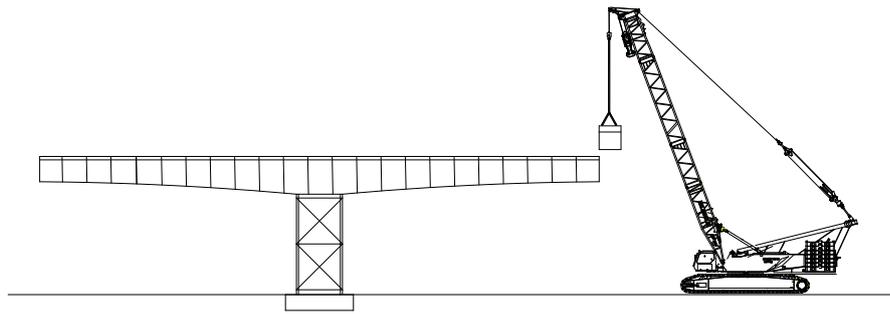


图 10 履带式起重机

10.5.6 结合节段预制混凝土箱梁及吊具重量，选择合适的起吊设备，提升须匀速缓慢进行。节段预制混凝土箱梁吊点需根据梁段重量、梁体结构尺寸、配筋等情况计算确定。通过在梁段上预埋吊装孔，可安装精轧螺纹钢筋作为吊杆，吊点布置可参考图 11。

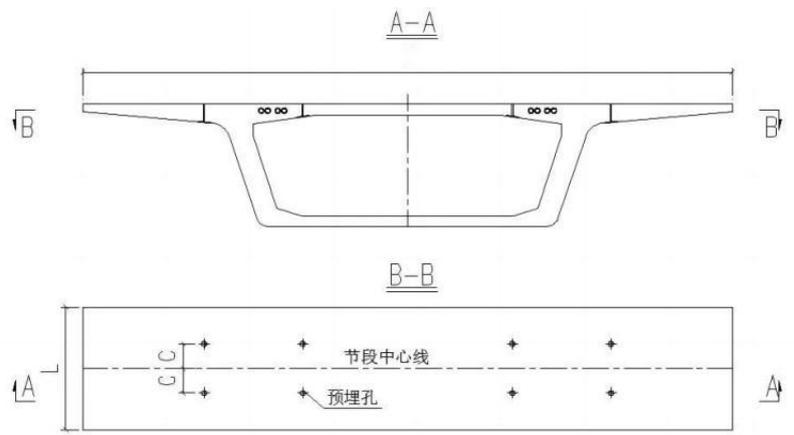


图 11 梁段吊装吊点布置示意图

用于梁段吊装的吊具须具备多向调节功能，以满足梁段拼装时精确调位需要，常见吊具结构型式见图 12。

拼装吊具的吊点设置须具备多样性或可调性，以满足所有梁段的吊装要求。对梁段与吊具间的吊杆需施加一定预应力，使吊具与梁段形成整体。

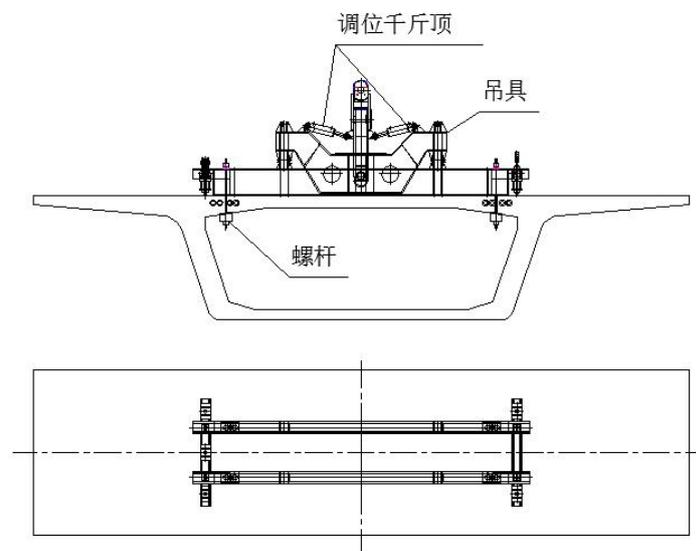


图 12 梁段吊装吊具示意图

10.5.7 临时预应力主要通过设置在梁段顶、底板上的钢齿坎或剪力锥结构传递给梁段。剪力

锥及钢齿坎布置如图 13 所示。

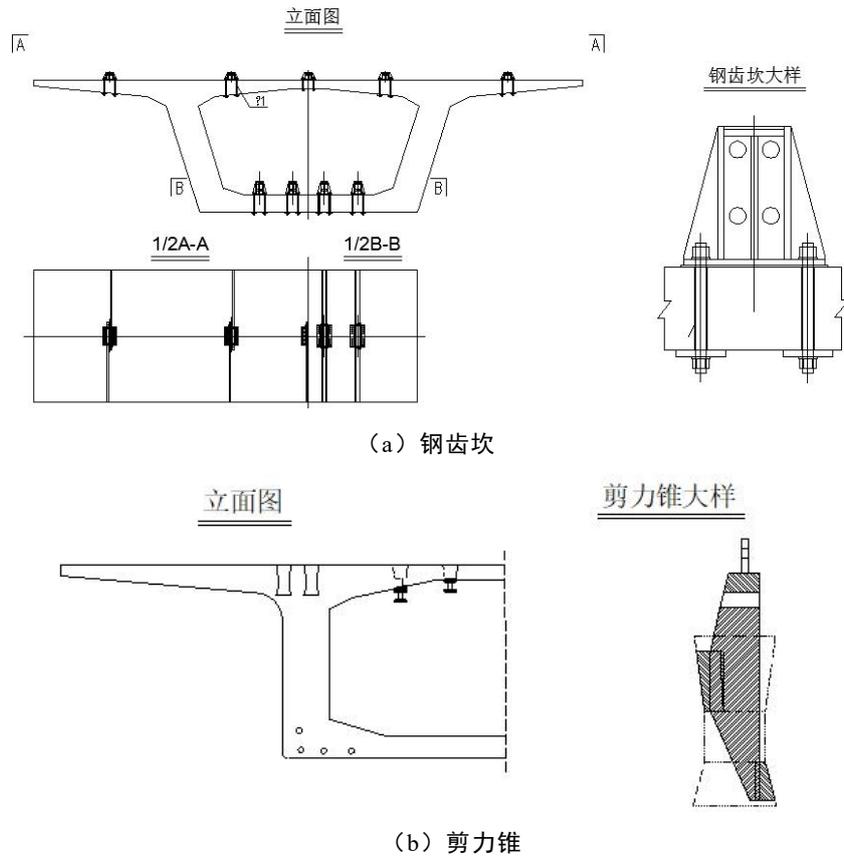


图 13 剪力锥及钢齿坎布置图

**10.5.10** 根据以往施工经验，便于施工控制实施，每榀预制节段预制混凝土箱梁设置 6 个几何控制点（如图 14），沿节段预制混凝土箱梁中心线的两个测点（FH&BH）用来控制平面位置，而沿腹板设置的四个测点（FL，FR，BL&BR）用以控制高程。沿腹板位置布置高程控制点是为减小或杜绝高程控制点在施工过程中发生局部变形，影响控制实施。对于不方便布置 6 个测点的结构，如 U 型梁，也可仅沿腹板设置的 4 个测点（FL，FR，BL&BR）。

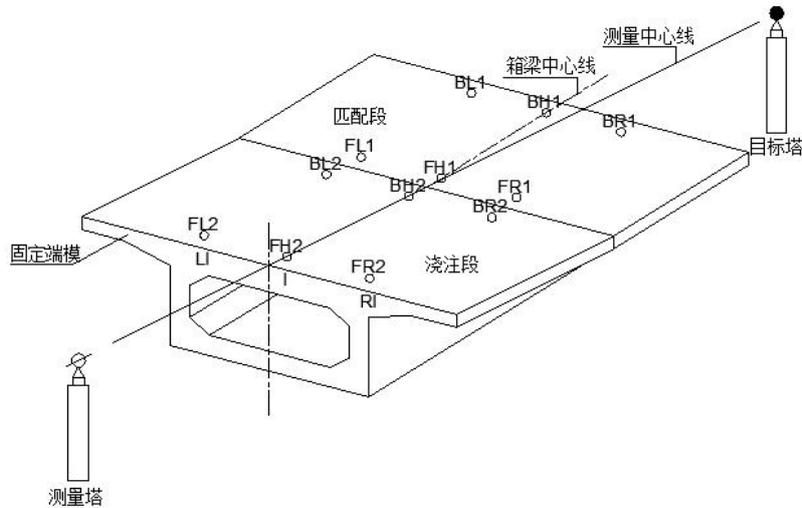


图 14 测点布置图

## 10.6 钢梁安装

10.6.4 采用步履式顶推时，垫梁可垫50mm厚橡胶垫与梁体底部完全接触。

## 10.7 钢混组合梁安装

10.7.2 先安装构件后形成钢混组合、先钢混组合后安装组合形式示意如图15所示。

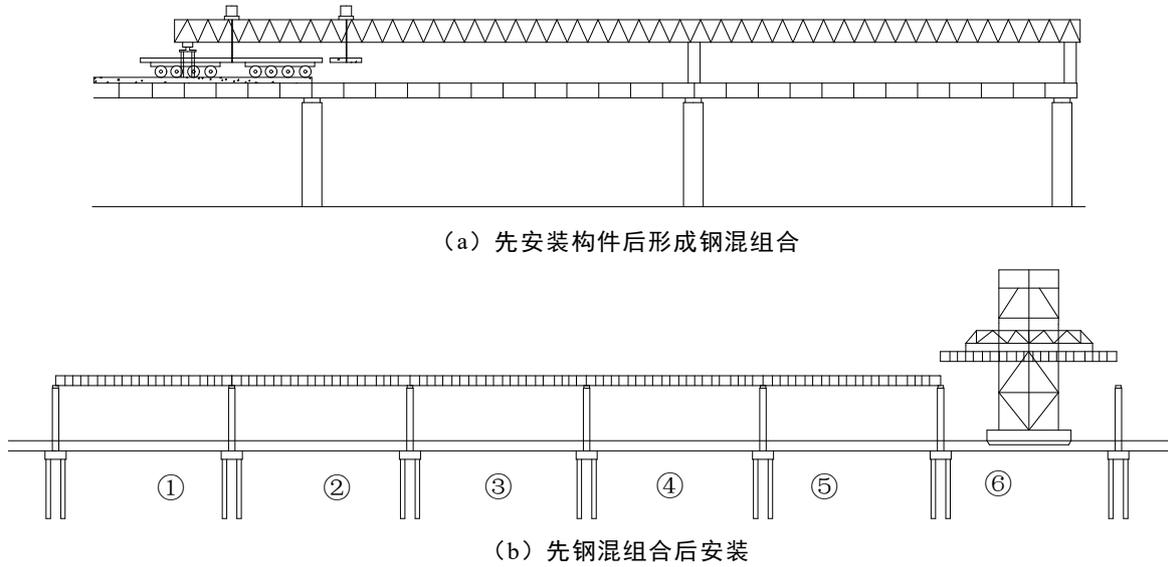


图 15 装配式组合梁不同组合形式

10.7.4 预制板桥面板安装前，采用橡胶条牢固粘贴在钢梁上翼缘的外侧，如图 16 所示。

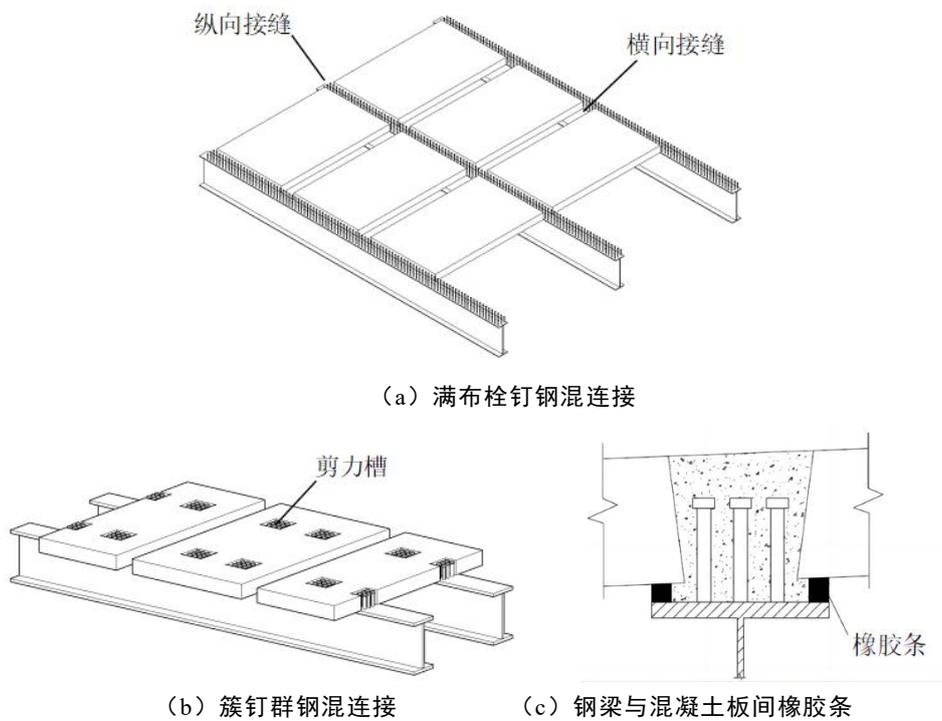
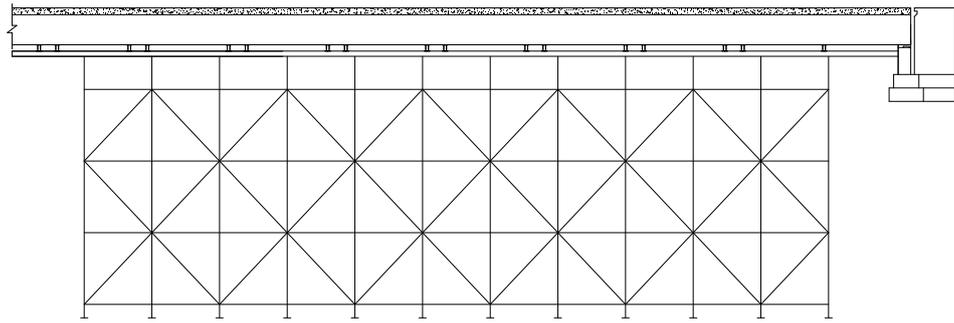
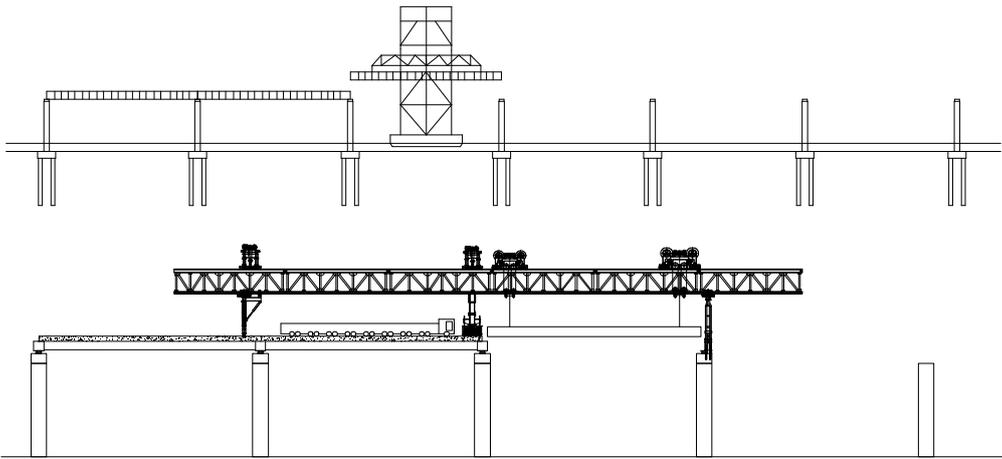


图 16 钢混结合面处理

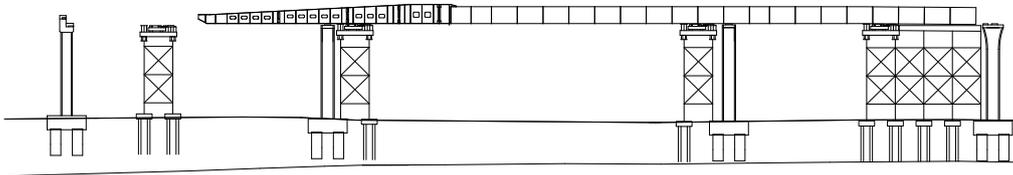
10.7.5~10.7.7 支架法安装、整跨安装、顶推安装等三种施工工艺示意如图17，其中整跨安装工艺也常采用汽车吊或者履带吊施工。



(a) 支架法拼装钢梁



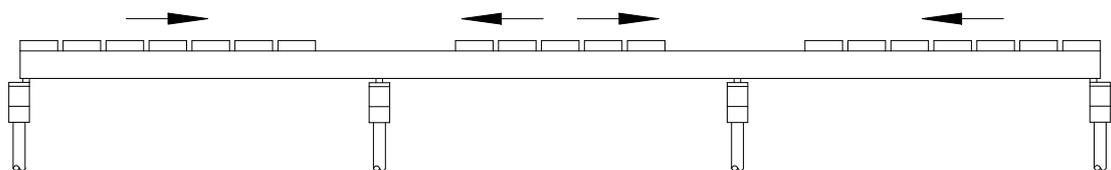
(b) 整跨安装钢梁



(c) 顶推安装钢梁

图 17 装配式组合梁施工工艺

**10.7.8** 预制桥面板的安装可分为顺序安装和间断安装。采用顺序法浇筑桥面板时，后期浇筑的跨中桥面板荷载会在支座处产生负弯矩，此处已与钢梁结合的桥面板因此而受拉。跨度较小的组合结构梁桥，可以采用顺序法浇筑混凝土以方便施工。采用间断安装，能够改善桥面板受力，缺点是桥面板的施工不连续。钢混组合连续梁桥的桥面板铺设等关键施工顺序，可参考图18。先铺设正弯矩桥面板，再铺设负弯矩区桥面板，沿桥纵向对称铺设；桥面板铺设完成后，检查桥面板之间接缝尺寸及相邻桥面板的高差，再浇筑接缝，接缝浇筑次序与桥面板铺设顺序相同；浇筑剪力件槽孔，负弯矩区的槽孔最后浇筑，使该区的桥面板与钢梁最后形成组合结构，减少施工荷载及恒载在混凝土板内产生的拉应力。



(a) 正弯矩区桥面板铺设

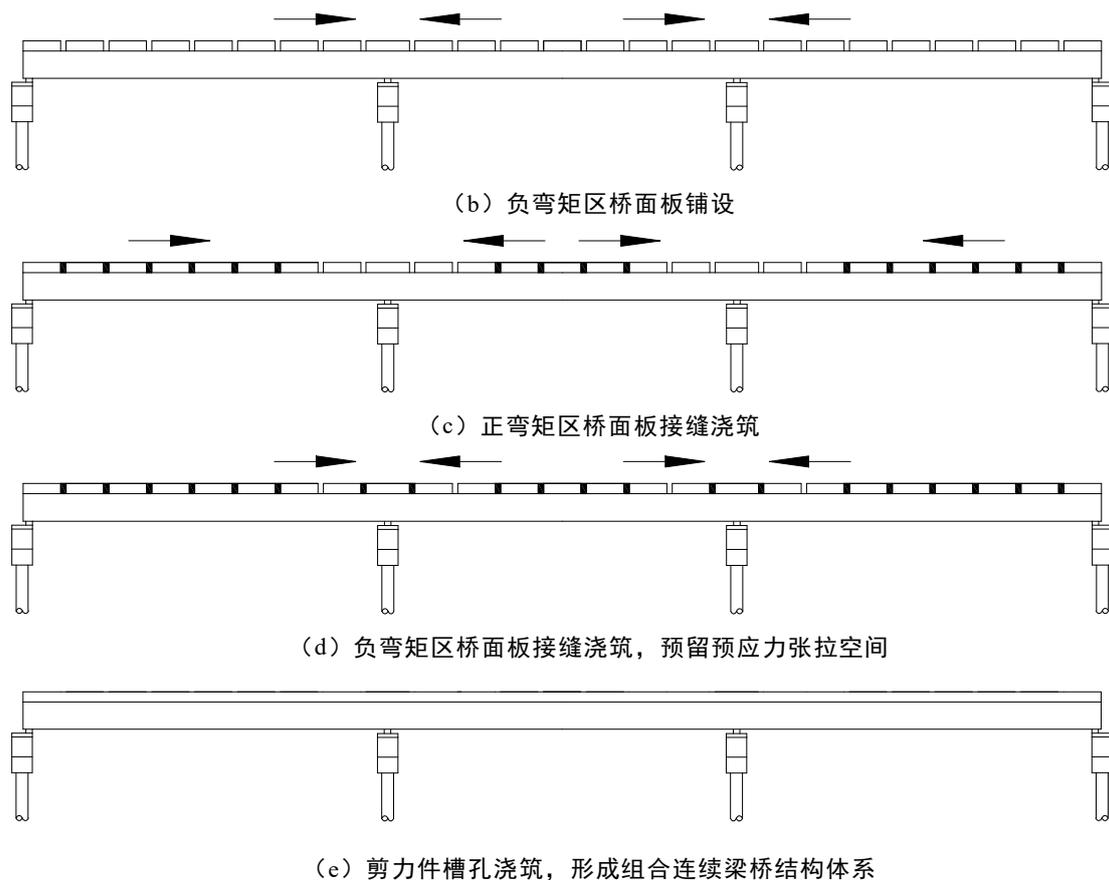


图 18 钢混组合连续梁桥预制桥面板铺设顺序示意

## 10.9 质量控制与检验

**10.9.1** 墩柱盖梁安装立柱安装前需对立柱与承台接触面范围内的承台顶面标高及平整度进行测量及处理, 如设置调节垫块等, 以确保安装精度。

## 11 结构耐久性

### 11.3 结构耐久性措施

**11.3.3** 桥墩立柱与承台拼接时常设置 20mm 砂浆层，采用座浆施工工艺，20mm 砂浆层的外边缘密实度较差，为了提高接缝处耐久性，宜设置混凝土包脚带或承台设置凹槽，凹槽内填满砂浆。

**11.3.4** 采用灌浆套筒连接预制构件，构件在运输和存放期间，由于套筒内未采用防腐工艺，容易锈蚀，因此在安装前需将套筒的开口位置密封，且在正式拼装前对内部进行高压水枪冲洗，将杂物和锈迹等清洗干净。