

DB36

江西省地方标准

DB36/T 1473—2021

公路桥梁混凝土 T 梁和箱梁预制标准化施工技术规范

Technical specification for standardized construction of precast concrete T-beam and box beam of highway bridge

2021 – 09 – 03 发布

2022 – 03 – 01 实施

江西省市场监督管理局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 施工准备 2

5 钢筋工程 5

6 模板工程 8

7 混凝土工程 10

8 预应力施工 15

9 移梁和存梁 17

10 质量评价 18

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江西省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：江西省交通建设工程质量监督管理局、江西省交通投资集团有限责任公司、苏交科集团股份有限公司、江西赣粤高速公路工程有限责任公司、浙江交工集团股份有限公司、中国铁建大桥工程局集团有限公司、中铁十一局集团有限公司、中铁十一局集团第二工程有限公司、中铁四局集团第四工程有限公司、浙江鼎盛交通建设有限公司、青岛公路建设集团有限公司。

本文件主要起草人：余俊、樊文胜、孙宏、陈刚、李玉生、肖敏、梅淑明、徐远明、郭捷菲、刘兵、钱宇峰、邹涛、刘军、熊道红、王健、程伟、王文松、郭文、翁贤杰、钟天赐、周杨、刘开琼、彭建胜、曾炎、刘新起、汪祥国、范亚峰、石昊、汪飞飞、葛其宝。

公路桥梁混凝土 T 梁和箱梁预制标准化施工技术规范

1 范围

本文件规定了江西省公路桥梁混凝土T梁和箱梁预制标准化施工的施工准备、钢筋工程、模板工程、混凝土工程、预应力施工、移梁和存梁、质量评价的要求。

本文件适用于江西省内新建、改建和扩建公路桥梁混凝土T梁和箱梁预制施工。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 1499.1 钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋
- GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋
- GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线
- GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- GB/T 20065 预应力混凝土用螺纹钢筋
- GB/T 35014 建筑施工机械与设备 预应力用自动压浆机
- GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
- JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
- JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
- DB36/T 1153 公路水运工程混凝土用机制砂生产与应用技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

标准化施工 **standardized construction**

为实现桥梁构件预制生产的通用化、系列化、流水化，借鉴工业生产标准化理念，对构件预制生产各要素建立完善的标准化体系并按标准要求施工，一般包括施工管理标准化、施工流程标准化和施工工艺标准化。

3.2

超市化管理 supermarket management

在施工物资管理过程中模拟“超市”运作，建立物资信息平台，进行标准化和精细化管理。

3.3

钢筋模块 Reinforcement module

预制构件中，根据钢筋骨架结构、成型工艺等特点，经模块化设计而确定的具有特定功能的钢筋组合体，可有效提升钢筋骨架成型的效率和质量。

4 施工准备

4.1 场站的选址与布置

4.1.1 预制厂选址遵循“安全第一、科学规划、因地制宜、永临结合、经济适用、绿色环保”的原则，应符合下列规定：

- a) 应根据预制数量、工期要求和存梁时间等合理规划场地面积；
- b) 不宜设在受水位变化和易受自然灾害影响的地带，应避开水库、水塘、高压线、危险爆炸物生产区；
- c) 应远离居民区和村庄集镇；
- d) 应考虑交通、用电、用水、通讯等要求，应临近既有公路、施工便道、码头等区域，道路应满足运输制梁、提梁、运梁设备通行的要求；
- e) 宜位于工程用地红线内，且宜设置于桥梁集中地段和挖方路基地段。

4.1.2 预制厂布置和建设应符合下列规定：

- a) 应采用封闭式管理，围挡可采用通透式围栏或封闭式围挡板，并设置信息化门禁系统；
- b) 应按功能区布局，设置钢筋加工区、钢筋绑扎安装区、制梁区、存梁区、出梁区和生产保障区等，各功能区按照流水生产线方式布置；
- c) 预制生产线（钢筋绑扎安装区、制梁区）宜和拌和厂集中布置，未集中布置时混凝土运输到场时间宜在 15min 内；
- d) 钢筋加工区、钢筋绑扎安装区、制梁区宜采用全封闭厂房，厂房净高应高于门式起重机全高 1m 以上，并设置避雷、抗风等保护措施；
- e) 预制厂布置应专门设计，并有详细的临场建设方案，应包含平面布置图、功能分区细部图、场区硬化结构型式图、排水系统和水管布置图、临时用电和电缆管布置图、消防设施布置图、污水处理系统布置图等；
- f) 预制厂入口处明显位置应设置指路牌，厂内相应位置应设置预制厂平面布置图、工艺流程图、工程概况牌、管理人员名单及监督电话牌、安全生产牌、消防保卫（防火责任）牌、文明施工和环境保护牌等；
- g) 制梁区、存梁区等生产区域应设置指示标牌。预应力张拉时梁两端应设置封闭式防护挡板和全警示标识；
- h) 预制厂边坡防护和防排水设施等应先于预制厂建设完成。预制厂设置在填方场地时，应对场地分层碾压密实，制梁台座、存梁台座应进行地基检算和荷载计算；
- i) 应合理规划供电、给排水等通道，减少架空线路和明铺水电管线，供电和给排水等主要管线应下埋过孔；

- j) 应设置完善的排水系统，厂内设置纵横向排水，所有水沟应设置 1%以上的纵坡，确保排水通畅。厂外设置废水沉淀池；
- k) 主要作业区、厂内道路等应采用水泥混凝土硬化处理，路面的硬化厚度应根据荷载的不同分区浇筑。行走重车的道路宜采用 C30 水泥混凝土浇筑，厚度不小于 20cm；
- l) 厂内道路宽度应不小于 6m，台座纵向间距宜不小于 8m，横向间距（中对中间距）应根据模板尺寸确定，应保证相邻台座预制梁同时生产的操作空间。

4.1.3 钢筋加工区应符合下列规定：

- a) 应设置原材料存放区、钢筋下料区、加工制作区、检测区、半成品（成品）存放区、废料临时存放区；
- b) 场地面积应根据钢筋（材）加工量、工期等要求设置，宜不低于表 1 规定。

表 1 钢筋加工区推荐面积

规模	加工总量（t）	场地面积（m ² ）
大	$t > 10000$	3500
中	$6000 \leq t \leq 10000$	2000
小	$3000 < t < 6000$	1500

注：如受场地限制，可适当调整场地面积大小，但功能分区布局应科学、合理。

4.1.4 钢筋绑扎安装区应符合下列规定：

- a) 宜与制梁区设置在同一个封闭式厂房内；
- b) 宜平行于制梁区台座，便于门式起重机整体吊装；
- c) 应设置胎架区、钢筋半成品存放区、工器具存放区；
- d) 胎架区应设置专用钢筋绑扎安装台座，胎架数量应满足生产需求。

4.1.5 制梁区应符合下列规定：

- a) 台座数量应与预制构件的类型、数量、工期相适应，并考虑一定的富余；
- b) 台座强度应满足混凝土浇筑和预应力张拉要求。台座应设置于地质较好的地基上，在不良地段应先进行地基处理。定期对台座进行沉降观测，发现不均匀沉降应及时采取加固措施；
- c) 台座基础应进行专项设计，应满足强度、刚度和稳定性等指标要求；
- d) 在边梁预制台座的两侧设置可调节长度斜撑杆，保证边梁支撑稳定；
- e) 应设置自动喷淋养生系统，做到全覆盖、无死角养护，养护水应循环利用。

4.1.6 存梁区应符合下列规定：

- a) 存梁台座数量应根据制梁设备配置状况、制梁工序、制梁周期及架设速度等确定，宜按照与预制台座数量的 5 倍以上设置；
- b) 存梁区应设置专用检验台座；
- c) 存梁台座优先选择条形基础或扩大基础；
- d) 同一孔和同一座桥的梁片应集中放置。

4.2 材料准备

4.2.1 应建立原材料质量管理专项制度和材料进场质量报检制度。

4.2.2 所使用材料、半成品、成品应在自检和监理工程师抽检合格后方可使用，检验合格材料与未检验材料应分别堆放，不合格材料不得入库。

4.2.3 应建立试验台账，记录取样送检日期、代表数量、检测单位、检测结果、报告日期及不合格材料的处理情况等内容。

4.2.4 所使用材料、半成品、成品可采用二维码等信息化形式进行记录和过程传递，形成构件预制全过程的信息化管理。

4.3 机具准备

4.3.1 根据实际生产需要配备足够数量的机具设备，门式起重机的安装与拆除应委托有相应资质的单位施工，且安装完成后需检测合格方可使用。张拉、压浆设备应经检测单位标定合格后方可使用。进场设备应填写进场设备报验单，经专业监理工程师检查验收后投入使用。

4.3.2 应淘汰如预制梁板钢筋无胎架现场绑扎、预应力孔道橡胶抽拔管成孔、非智能预应力张拉工艺、预应力管道水泥净浆压浆、预应力管道普通活塞式或风压式压浆泵压浆、预制梁板人工洒水养护、门式起重机卷盘式电缆、板岩母材混凝土等落后工艺、工法、设备和材料。

4.3.3 宜推广应用如钢筋数控加工、焊接机器人、钢筋制安胎架、剪力筋铺设台车、预应力张拉与压浆智能化设备、自动喷淋养护、液压不锈钢组合模板等工装机具、设备。

4.3.4 基本生产设备和工艺工装应满足表2的规定。

表2 预制厂生产设备和工艺工装要求

类别	名称	要求	备注
生产设备	钢筋加工机械设备	钢筋数控加工设备、桁车起重机等	—
	混凝土浇筑设备	专用布料机	—
	养护设备	智能喷淋系统	—
	张拉设备	智能张拉设备	—
	压浆设备	智能压浆设备	—
	门式起重机	额定起吊能力满足最大使用荷载的需要	—
	提梁/移梁设备	额定起吊能力满足最大使用荷载的需要	采用提梁机时可租赁
	发电机	备用发电机，功率应满足停电时继续生产、办公、试验室试验	—
工艺工装	制梁台座及配套装备	基础牢固，数量满足施工工期的需要	—
	存梁台座	基础牢固，不产生不均匀沉降	—
	模板	底模、侧模、端模、内膜	推荐侧模采用液压不锈钢模板
	梁体钢筋绑扎安装胎架	底、腹板绑扎胎架，顶板绑扎胎架，整体绑扎胎架	—
	吊具	满足吊装需求	—
	混凝土养护装置	保温设施（蒸养罩、棚、房）	蒸汽养护时
注1：基本生产设备和工艺工装可与上述设备名称不同，但应满足上述设备的功能、性能要求。			
注2：可租赁的必备设备和工装，租赁时间须满足生产许可证发证周期的要求。			

4.4 施工人员准备

4.4.1 根据梁预制工作分工不同，应设立模板班、钢筋班、混凝土班、张拉和压浆班、移梁安装班等工作班组。模板班负责模板的打磨、涂油、安装和拆除；钢筋班负责钢筋的卸料、断料、半成品加工、安装和钢筋骨架的整体吊装；混凝土班负责混凝土的浇筑、振捣、拆模后的养护；张拉和压浆班负责预应力筋的断料、穿束、张拉和压浆；移梁安装班负责梁的吊装、移梁、存梁和梁板安装。

4.4.2 施工人员应持证上岗，施工前班组长应根据工作任务进行合理分工，明确质量、安全责任人。

4.5 施工技术准备

4.5.1 施工前应核对平面图、详图、技术文件的各部分之间有无矛盾和错误，在几何尺寸、坐标、高程、说明等方面是否一致，并与现场情况进行核对。

- 4.5.2 根据设计文件提供的桥墩里程桩号、设计跨径、墩顶连续段宽度、桥位所在线路半径、预制梁布置方式等计算梁板长度，并进一步根据技术要求和施工条件，确定施工工艺。
- 4.5.3 应向监理工程师报送开工报告、首件施工方案和相关安全专项施工方案。
- 4.5.4 各种原材料应取样送检，满足设计及规范要求方可进场，并进行混凝土配合比设计。
- 4.5.5 根据批准的实施性施工组织设计及相关技术和安全方案，由项目总工组织编制专项交底文件，逐级对管理人员、施工班长、一线员工进行交底，确保全体人员充分了解施工方案及控制要点。
- 4.5.6 为明确和统一施工组织（人员、机械配置和组合）、材料和施工工艺要求，达到标准化、程序化和规范化施工和管理，应按照“首件施工方案→首件开工报告→首件实施→首件验收→首件总结→首件提升”程序完成首件。未经首件工程认可的分项工程，不得批量生产。

5 钢筋工程

5.1 钢筋制作、安装工艺流程

- 5.1.1 钢筋制作流程包括材料进场检验、材料堆放、钢筋下料、钢筋弯曲、钢筋车丝或焊接。
- 5.1.2 钢筋模块制作包括模块划分、模块胎架制作、焊接设备选型、钢筋模块焊接。
- 5.1.3 钢筋安装包括钢筋定位、钢筋连接、预埋件安装、保护层垫块安装、钢筋骨架验收和吊运、钢筋骨架安装。

5.2 进场检验

- 5.2.1 钢筋进场时，应有出厂合格证和出厂检验报告，检验应符合 GB/T 1499.1、GB/T 1499.2、GB/T 5224 和 GB/T 20065 中的规定。
- 5.2.2 应对各类检验状态的钢筋进行标识并分区存放。

5.3 钢筋堆放

- 5.3.1 钢筋进场后应存放于厂房内，不允许露天堆放，堆放时间不宜超过 6 个月，逾期存放需重新检验，合格后方可使用。
- 5.3.2 直条钢筋进场后应分类放置在存放架上，存放架宜采用不小于 16# 的工字钢焊接制成，存放架高度不大于 1.5m，钢筋堆放不应高出存放架；存放架底部支垫高度不小于 30cm，钢筋堆放离地高度不小于 30cm。
- 5.3.3 盘条钢筋进场后应分类放置在专用台座上，采用竖向放置。台座宜采用不小于 16# 的工字钢焊接成长方形框架结构，框架宽度参照盘条外径，长度按实际存放量确定。钢筋堆放不应超过两层。
- 5.3.4 存放架应进行编号分类，应设置标识牌，标明钢筋型号、批次、进场时间、数量、检验状态等相关信息。
- 5.3.5 存放架之间应设置宽度不小于 60cm 的人行通道。
- 5.3.6 应采取措施保持厂房内干燥，防止雨水对钢筋的侵蚀。

5.4 钢筋加工

- 5.4.1 钢筋下料应符合下列规定：
- a) 按设计图纸确定钢筋规格、尺寸、下料长度，形成配料单，由技术负责人复核确认后下发；
 - b) 对钢筋较复杂、较密集处实地放样，找到与相邻钢筋的关系后，再确定钢筋加工尺寸，保证加工准确；
 - c) 钢筋顺长度方向加工后的全长允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ ；

- d) 钢筋的表面应洁净、无损伤，使用前应将表面的油渍、漆皮、鳞锈等清除干净，带有颗粒状或片状老锈的钢筋不得使用；当除锈后钢筋表面有严重的麻坑、斑点伤蚀截面时，应降级使用或剔除不用。除锈可采用人工除锈或机械除锈，禁止采用化学除锈剂除锈，以避免减少钢筋截面；
- e) 钢筋应平直、无局部弯折，成盘的钢筋和弯曲的钢筋均应调直；
- f) 钢筋切断时，切口断面应与钢筋轴线垂直，不得有马蹄形或挠曲，不得用气割切断；
- g) 钢筋切断完成后，需按照不同规格分类、分架堆放，并编号。

5.4.2 钢筋弯曲应符合下列规定：

- a) 应采用先进数控加工设备进行钢筋切割、车丝、打磨、弯曲等工作；
- b) 钢筋的形状、尺寸应按设计规定进行加工。加工后的钢筋表面不应有削弱钢筋截面的伤痕；
- c) 对各类弯曲钢筋均应先试弯，检查其弯曲质量是否与设计要求相符，经调整优化后再进行成批生产；
- d) 钢筋的弯制和端部弯钩应符合设计要求，设计未要求时应符合JTG/T 3650中的规定；
- e) 钢筋弯制应制作标准件以作为快速对比验收依据，每工作班首件均需与标准件进行对比验收，合格后方可成批生产；
- f) 弯起钢筋各部分尺寸允许偏差为 $\pm 20\text{mm}$ ，箍筋、螺旋筋各部分尺寸允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ 。

5.4.3 钢筋车丝应符合下列规定：

- a) 宜采用钢筋切割、车丝、打磨一体机进行主筋的切割、车丝；
- b) 钢筋端部应采用带锯、砂轮锯或带圆弧形刀片的专用钢筋切断机切平；
- c) 墩粗头不应有与钢筋轴线相垂直的横向裂纹；
- d) 车丝的质量和精度应符合 JTG/T 3650 中的规定。

5.4.4 钢筋模块加工应符合下列规定：

- a) 宜采用焊接机器人进行钢筋模块加工；
- b) 依据图纸、施工工艺划分钢筋模块：
T 梁钢筋模块化施工包括（不限于）：顶板钢筋模块、腹板钢筋模块、波纹管定位钢筋模块、负弯矩齿块钢筋模块、预埋件钢筋模块；
箱梁钢筋模块化施工包括（不限于）：顶板钢筋模块、腹板和底板钢筋模块、波纹管定位钢筋模块、负弯矩齿块钢筋模块，预埋件钢筋模块。
- c) 钢筋模块施工采用模块胎架，胎架宜在专业厂家生产加工，加工完成后运输至现场拼装、焊接，并依据图纸用专用量具检测精度；
- d) 钢筋模块焊接前需先进行试焊，确定焊接参数，焊接质量应符合设计要求和 JTG/T 3650 中的规定。

5.5 半成品验收、存放和配送

- 5.5.1 宜设置半成品钢筋标准件检验台，加工完成的半成品钢筋与标准件对比检查验收。
- 5.5.2 钢筋半成品应按 JTG/T 3650 和 JTG F80/1 中关于半成品钢筋加工的相关要求进行检测、验收。
- 5.5.3 半成品验收完成后应分类进行捆绑打包、编号，放置于对应的存货架上。捆绑时应整齐有序，同类钢筋存在长度级差时应按级差顺序进行堆放打捆。
- 5.5.4 宜对打包好的半成品制作二维码标识牌进行信息化标识。
- 5.5.5 半成品钢筋存储宜采用货架式存放和“超市化”管理。
- 5.5.6 半成品钢筋出库应有出库登记制度，宜采用物联网等信息管理技术进行收发料管理。
- 5.5.7 宜以单片梁钢筋量为单位进行配送。
- 5.5.8 半成品钢筋长距离运输可采用平板运输车，短距离运输可采用叉车，箍筋、剪力筋等小尺寸钢筋半成品可放在铁皮箱中配送。

5.5.9 大尺寸的半成品钢筋可使用桁车起重机吊装至平板车，平板车两侧应加装护栏避免半成品钢筋掉落，配送过程中避免半成品发生碰撞、挤压、变形等。

5.6 钢筋定位

5.6.1 钢筋安装应在专用胎架上进行。

5.6.2 钢筋胎架应进行专项设计，包括：

- a) 绘制总体框架设计图、钢筋定位卡槽布置图、细部结构详图；
- b) 编制总体框架与定位卡槽需要使用的钢材规格、品种与数量明细表；
- c) 制定钢筋骨架的吊运方案、安全措施等；
- d) 制定胎架的周转使用方式与计划；
- e) 编写钢筋工程胎架法施工说明书及验收标准。

5.6.3 钢筋定位胎架槽口必须与梁板模板槽口一致，底部宽度宜为“钢筋直径+2mm”，上部宽度宜为“钢筋直径+4mm”；两侧应设置顶板钢筋横向挡板，以确保翼缘板钢筋纵向线形顺直；端部应设置纵向钢筋定位挡板，以确保顶板纵向外露钢筋长度一致。

5.6.4 梁板顶板剪力筋安装应采用“剪力筋铺设台车”或焊接机器人焊制。焊接机器人应根据钢筋模块组合图纸，由专业厂家进行专项设计；焊接胎架根据钢筋组合和焊接机器人型号，由机器人厂家设计制作；机器人安装到位后应先进行试焊，确定相关焊接参数，焊接质量经检测符合设计和规范要求后方可正式生产。

5.6.5 波纹管定位筋应采用“斜立式波纹管定位钢筋胎架”制作。

5.6.6 钢筋胎架制作完成后应按照专项设计图纸组织验收，验收合格后方可投入使用。

5.6.7 首件骨架成型后应对尺寸、精度进行检验，以验证胎架是否满足使用要求。

5.6.8 施工过程中应定期对胎架尺寸、变形等进行检测。

5.7 钢筋连接

5.7.1 绑扎接头的末端距钢筋弯折处的距离，不应小于钢筋直径的 10 倍，接头不应位于构件的最大弯矩处。

5.7.2 钢筋绑扎时钢筋交叉点应绑扎牢固，必要时可用点焊加固。

5.7.3 钢筋接头应按规范错开搭接，绑扎牢固，扎丝丝头朝内，保证底部钢筋不触及底板上的脱模油，以避免影响钢筋与混凝土的粘结力，同时严禁碰伤、刮花模板面板。

5.7.4 钢筋焊接时应保证焊缝饱满、焊渣清除到位、焊接长度符合要求，粗直径钢筋焊接进行预弯。焊接宜采用 CO₂ 气体保护焊。应制作焊接标准件，便于现场比对检验；在波纹管定位筋焊接时应采取防护措施，防止烧伤波纹管。

5.7.5 主筋连接采用直螺纹套筒连接。钢筋机械连接件的最小混凝土保护层厚度，应符合设计受力主筋混凝土保护层厚度的规定，且不得小于 20mm；连接件之间或连接件与钢筋之间的横向净距宜不小于 25 mm。

5.7.6 对直螺纹接头的连接安装可采用管钳扳手施拧紧固，被连接钢筋的端头应在套筒中心位置相互顶紧，标准型、正反丝型、异径型接头在安装后其单侧外露螺纹宜不超过 $2p$ (p 为螺纹的螺距)；对无法对顶的其他直螺纹连接接头，应附加锁紧螺母、顶紧凸台等措施紧固；安装完成后，应采用扭力扳手校核其拧紧扭矩，最小拧紧扭矩值应满足 JTG/T 3650 中的规定。

5.8 预埋件安装

5.8.1 应对各类预制构件编制预埋件专用清单和专用图册，并制作预埋专用限位胎具。

5.8.2 梁端的预留钢筋不应贴模预制后再扳起，端模、端部侧模应根据设计规定的钢筋位置、间距进行开槽、开孔。

5.8.3 护栏预埋筋、剪力筋等预埋钢筋应与钢筋骨架进行绑扎或点焊连接，并设置定位钢筋，确保预留的位置、角度准确；绑扎完成后与浇筑过程中加强现场检查，对不符合要求的预留钢筋及时调整。

5.8.4 支座预埋钢板应进行热浸镀锌防锈处理，宜在钢筋绑扎安装前采用树脂等材料粘贴在底模上，防止在混凝土浇筑时上浮、移位。

5.8.5 预埋钢筋或预留钢筋外露部分不宜超过一个月。当预埋钢筋或预留钢筋外露时间较长且环境湿度较大时，宜进行临时性防腐。

5.9 保护层垫块安装

5.9.1 保护层垫块采用不低于结构本体混凝土强度的高强砂浆或混凝土制作。垫块的制作厚度不应出现负误差，正误差应不大于 1mm。

5.9.2 用于重要工程或有防腐蚀要求的混凝土结构或构件中的垫块，宜采用专门制作的定型产品，且该类产品的质量同样应符合本条第 1 款的规定。

5.9.3 腹板保护层垫块宜采用圆形垫块，梁底、顶板保护层垫块宜采用梅花形或锥形垫块。垫块呈梅花形布置，并尽量靠近钢筋交叉点处，数量应不少于 4 个/ m^2 ，重要部位宜适当加密。

5.9.4 垫块应在钢筋骨架加工制作时同步安装，严禁在模板安装后再安装垫块；腹板保护层垫块宜安装在主筋上；梁底、顶板保护层垫块宜安装在纵向与横向钢筋交叉处；腹板两侧均应安装保护层垫块。

5.9.5 垫块应与钢筋绑扎牢固，且绑丝及其丝头不应进入混凝土保护层内。

5.9.6 混凝土浇筑前，应对垫块的位置、数量和紧固程度进行检查，不符合要求时应及时处理，应保证钢筋的混凝土保护层厚度满足设计要求和 JTG/T 3650 的规定。

5.10 钢筋骨架吊运

5.10.1 钢筋骨架起吊应采用专用吊具，对吊具应进行专项设计，宜采用多点吊装方式，吊具应有足够的刚度，吊点布置应满足吊具设计要求，防止钢筋骨架在吊运中产生变形。

5.10.2 应对吊点附近的钢筋绑扎点进行加强，如点焊连结、增加绑线根数并加入短钢筋等。

5.10.3 钢筋骨架起吊前应仔细调整各吊点钢丝绳长度使其松紧程度一致，钢筋骨架吊离胎架 100mm 时再次检查并调整使各吊点受力均匀。

5.11 钢筋骨架安装

5.11.1 吊装就位前应先在钢筋骨架上标注纵向中心线，同时在模板内标注梁端线及纵向中心线，据此控制钢筋骨架的安装。

5.11.2 入模前检查保护层垫块，检查无误后将钢筋骨架下放到位。

5.11.3 钢筋骨架应匀速下放，避免上下震动造成钢筋骨架变形。

5.11.4 安装后应及时检查骨架标注线与模板标注线是否重合。

5.11.5 钢筋骨架入模后应再次检查各处保护层垫块，及时扶正倾斜垫块，更换破坏垫块。

5.11.6 钢筋骨架安装后应对安装质量进行检查验收。

6 模板工程

6.1 模板设计

- 6.1.1 应综合考虑结构尺寸、结构形式、模块划分、连接方式、材质选型、安装调整系统等进行模板模块化设计。应对模板强度、刚度和稳定性进行验算论证。模板制造设计图纸应经施工、监理、建设单位逐级审批。
- 6.1.2 顶板上的负弯矩张拉槽口模板应与主梁模板同体设计、制作。
- 6.1.3 宜采用不锈钢或复合不锈钢模板，侧模宜采用整体式液压模板。整体式液压模板包括液压油缸、横移台车、行走轨道等，可快速完成梁板侧模整体一次性安装和拆除。
- 6.1.4 对模板周转次数要求高的工程(20次以上)，宜选用全钢大模板。
- 6.1.5 预制梁模板两侧应设置带有栏杆的操作平台。
- 6.1.6 模板设计制作应考虑横坡调节，非齿块处模板可采用铰接式配合丝杆进行横坡调节，齿块处模板可采用整体更换方法进行横坡调节。
- 6.1.7 模板设计应充分考虑特殊部位安拆需求，如梁底端头采用倒角、T梁横隔板底模与侧模分块设计、端头模板采用分体组合端模、负弯矩齿块张拉端进行内外斜口加工、梁体棱角进行圆角或倒角处理等。
- 6.1.8 模板主立柱设计制作应避开外露翼缘板钢筋。
- 6.1.9 侧模加劲竖梁底部应预留千斤顶支撑位置且采用机械千斤顶支撑，避免混凝土高频振捣引起模板轻微偏移进而影响梁体尺寸。
- 6.1.10 小箱梁、T梁的端模应采用分体组合端模（即顶板端模与腹板端模组合而成的端模）；T梁伸缩缝端的腹板端模，应在锚板位置设置张拉锚盒，锚盒尺寸宜略大于张拉机具尺寸。
- 6.1.11 预制台座应采用混凝土或钢结构形式，台座作为梁体底模板应采用不锈钢或复合不锈钢，梁底预埋钢板坡度调节应采用铰接式调坡工装。台座宜采用工字钢制作，便于设置反拱及布设养护管线。
- 6.1.12 底模板两侧用槽钢等进行包边并内嵌橡胶条，橡胶条接头处以斜边搭接，确保不漏浆。
- 6.1.13 各梁型预留反拱值及预留压缩量，待生产10件及首件梁体终张拉完成30d后进行确认，通过数理统计分析梁长和反拱值的变化，对反拱值和预留压缩量进行相应调整。

6.2 模板制作

- 6.2.1 模板应由专业厂家生产，几何尺寸、面板平整度、焊接质量等指标应满足设计及规范要求。
- 6.2.2 施工单位应派专人驻厂监督制造。制作完成后应进行试拼装，经施工单位和监理单位验收合格后方可出厂。
- 6.2.3 模板出厂前的验收包括但不限于以下内容：
- 模板的材料是否满足相关设计和规范要求；
 - 模板尺寸、重量、数量是否满足要求；
 - 出厂合格证明是否齐全；
 - 试拼，并按JTG/T 3650检查模板安装质量。

6.3 模板安装与验收

- 6.3.1 模板进场后应进行试拼装，检查整体线型及结构尺寸。
- 6.3.2 模板安装前，应进行彻底清理，并检查验收。模板清理应采用机械打磨抛光、高压水冲洗。
- 6.3.3 应对专用脱模剂效果进行验证比选，模板表面干燥并处于清洁状态方可涂刷脱模剂。
- 6.3.4 模板接缝处应采用有效的止浆措施。
- 6.3.5 模板安装完成后应由施工单位和监理单位按JTG/T 3650进行检查、验收。

6.4 模板拆除

- 6.4.1 模板的拆除时机和拆除程序等应严格按照设计要求进行。设计未要求时，应根据结构物特点、模板部位和混凝土所应达到的强度要求确定。
- 6.4.2 拆模顺序宜按照模板组成和拼装特点确定。
- 6.4.3 拆模时应保证构件表面及棱角不受损坏。
- 6.4.4 在炎热和大风干燥季节，应逐段拆模，同时进行覆盖。
- 6.4.5 拆模过程中严禁使用撬杆猛撬，不得用重锤击打模板，拆除后的模板应及时保养、维修。

6.5 脱模剂选择和使用

- 6.5.1 脱模剂的选择应符合下列要求：
 - a) 脱模剂应满足混凝土表面质量的要求，不引起混凝土表面起粉和产生气泡，不改变混凝土表面的本色，且不污染和锈蚀模板；
 - b) 脱模剂应具有改善混凝土表面质量效果的功能，且容易脱模、涂刷方便、保护模板光洁、易干燥和便于用后清理；
 - c) 脱模剂的选用应考虑模板的种类、所要求的混凝土表面效果和现场施工条件，相同构件宜选用同种脱模剂；
 - d) 钢模板宜选用水性脱模剂，低温或负温施工可选用油类脱模剂。
- 6.5.2 脱模剂的使用应符合下列要求：
 - a) 脱模剂使用前应对模板表面质量进行检查，应在确认表面质量符合要求后开始施工，与混凝土接触的模板内表面不得有任何污损；
 - b) 脱模剂的使用可采用喷涂或刷涂，涂层应薄而均匀，无漏刷、无流挂；
 - c) 涂过脱模剂的模板应避免接触雨水、露水等，失效后必须补涂；
 - d) 脱模剂涂刷施工时必须避免脱模剂涂刷在钢筋、预埋件上；
 - e) 同一视觉面工程应采用相同的脱模剂。

7 混凝土工程

7.1 原材料选用

- 7.1.1 水泥的选用应符合下列规定：
 - a) 采用质量稳定的硅酸盐水泥(P·II)或普通硅酸盐水泥(P·O)，其强度宜选择 42.5 级，若混凝土设计强度等级较高，可采用 52.5 级水泥，其质量应符合 GB 175 中的规定；
 - b) 对于环境作用等级为 D 级及以上的混凝土结构，宜采用硅酸盐水泥或低热水泥；对于有抗渗要求的混凝土结构，宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；处于潮湿环境的混凝土结构，当采用碱活性集料时，宜采用低碱水泥；
 - c) 选用水泥时，应考虑水泥的颜色、水化热、碱含量的影响，水泥熟料中的铝酸三钙(C₃A)含量不宜超过 8%，水泥比表面积不宜超过 350m²/kg，碱含量(按 Na₂O 量计)不宜超过 0.6%。大体积混凝土宜采用硅酸二钙(C₂S)含量相对较高的水泥；
 - d) 同一工程同类构件宜选用同一生产厂家、同一品种、同一强度等级、同一混合材料的水泥；
 - e) 夏季施工不宜使用早强型水泥。
- 7.1.2 混凝土构件宜选用优质粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等矿物掺合料或复合矿物掺合料，矿物掺合料的选用应符合下列规定：
 - a) 宜采用 F 类 I 级粉煤灰；

- b) 粒化高炉矿渣粉的比表面积宜为 $350 \text{ m}^2/\text{kg} \sim 450 \text{ m}^2/\text{kg}$ ，需水量比不宜大于 100%，烧失量不应大于 1%；
- c) 硅灰中的二氧化硅含量不宜小于 85%，比表面积宜大于 $18000 \text{ m}^2/\text{kg}$ 。硅灰宜与其他矿物掺合料复合使用，掺量不超过胶凝材料总量的 10%。硅灰宜与高效减水剂配合使用。

7.1.3 集料的选用应符合下列规定：

- a) 粗集料应采用质地坚硬、洁净、级配合理、粒形良好、吸水率小的碎石或碎卵石；
- b) 粗集料的颗粒级配，宜采用连续级配或连续级配与单粒级混合使用；
- c) 粗集料的压碎值应不大于 20%，含泥量应不大于 1.0%，泥块含量应不大于 0.2%，针片状颗粒总含量应不大于 10%；
- d) 宜选择级配良好、细度模数为 2.3~3.0 的洁净天然中砂，且颜色一致；
- e) 细集料应严格控制含泥量与泥块含量，其中含泥量应不大于 3%，泥块含量应不大于 1.0%；
- f) 细集料采用机制砂时，其级配、石粉含量、泥含量等指标应符合 DB36/T 1153 中的规定；
- g) 粗、细集料不应具有潜在碱活性；
- h) 同一工程应选用同一料源的粗、细集料。

7.1.4 外加剂的选用应符合下列规定：

- a) 混凝土使用的外加剂应符合 GB 8076 中的规定；
- b) 减水剂宜采用优质缓凝、消泡、引气、保坍及增塑组分与聚羧酸母液进行科学复配，调整聚羧酸成品减水剂的气-固、气-液界面能，提高混凝土的工作性能、耐久性能和外观质量。减水剂的减水率不应低于 25%，引气量宜不大于 3%，且应与所用水泥、集料之间具有良好的相容性；
- c) 外加剂中的氯离子总含量不得大于混凝土中胶凝材料总质量的 0.02%；
- d) 同一工程同类型施工部位所用的减水剂应来自同一厂家。

7.1.5 混凝土拌和用水和养护用水应无色无味，并应符合 JGJ 63 中的规定。

7.2 混凝土配合比设计

7.2.1 混凝土配合比除应满足混凝土拌合物工作性能、硬化混凝土力学性能和耐久性的设计要求外，还应使混凝土具有良好的表面色均性。

7.2.2 混凝土配合比的性能设计指标应符合下列规定：

- a) 混凝土配制强度标准差的取值、配制强度的确定按 JGJ 55 中的规定执行；配制的混凝土实际强度不应超过设计强度的 1.5 倍；强度换算值变异系数宜在 10% 以内，不应超过 15%；
- b) 混凝土拌合物应具有符合施工要求的流动性，1.5h 的坍落度经时损失值宜不大于 30mm；
- c) 混凝土拌合物的凝结时间应满足运输、浇筑和养护工艺的要求及混凝土早期性能要求；
- d) 对于有抗裂要求的混凝土，宜适当降低胶凝材料用量与浆骨比，应通过混凝土早期抗裂性能试验和收缩性能试验确定配合比；
- e) 对于有抗渗、抗冻、抗碳化、抗氯离子侵蚀和抗硫酸盐腐蚀等耐久性要求的混凝土，其耐久性指标应满足设计文件要求；
- f) 无抗冻要求的混凝土含气量应不大于 3.0%；当混凝土有抗冻要求时，混凝土的含气量应根据抗冻等级的要求，宜在 4.0%~5.5% 范围经试验确定。

7.2.3 混凝土的配合比设计应遵循低水泥用量、低用水量、水胶比适当、集料堆积密度最大的原则，配合比设计基本参数应符合下列规定：

- a) 在满足各项性能要求的前提下，宜采用较低的胶凝材料用量和适宜的水胶比。不同强度等级混凝土的最大水胶比、胶凝材料用量应符合表 3 的规定；

表 3 混凝土的最大水胶比和胶凝材料用量

混凝土强度等级	最大水胶比	最小水泥用量 (kg/m ³)	最大胶凝材料用量 (kg/m ³)
C40	0.45	320	450
C45	0.40	340	
C50	0.36	360	480
C55	0.32	380	500
C60	0.30	400	530
注1: 表中数据适用于集料最大粒径为20mm的情况, 粒径较大时可适当降低胶凝材料用量, 粒径较小时可适当增加胶凝材料用量; 注2: 大掺量矿物掺合料混凝土的水胶比应不大于0.42; 注3: 预应力混凝土的胶凝材料用量应大于350kg/m³; 注4: 对自密实混凝土, 胶凝材料的最大用量可适当超过相应级别的规定值。			

- b) 不同环境类别中的混凝土中矿物掺合料用量应符合 JTG/T 3310 中的规定。应通过试验确定矿物掺合料的具体掺量;
- c) 为保证混凝土的耐久性, 混凝土的用水量宜不大于 180kg/m³;
- d) 当采用天然砂时, 砂率范围宜为 36%~42%; 当采用机制砂时, 砂率范围宜为 42%~48%。在满足施工性能的前提下, 尽量提高粗集料含量, 一般不宜小于 1000kg/m³;
- e) 减水剂宜选用聚羧酸系减水剂;
- f) 为确保混凝土结构整体颜色均匀一致, 必须严格把控混凝土工作性能关口, 重点关注混凝土的匀质性, 有泌水、离析倾向及流动性不足的混凝土配合比不得申报。
- 7.2.4 混凝土配合比的计算、试配、调整与确定应符合 JGJ 55 中的规定。
- 7.2.5 为获得预制构件混凝土表面较好的外观效果, 应控制混凝土拌合物状态。混凝土拌合物可参考下列要求进行控制:
- a) 出机后拌合物颜色应均匀, 呈现良好的粘聚性和保水性, 不得有泛黄的水泥稀浆浮于表层;
- b) 观测铁锹翻拌后拌合物自然流落状态, 以无水泥稀浆泌出为佳。当局部有水泥稀浆泌出时, 泌出稀浆的外边缘至邻近粗集料的距离不应超过 5mm;
- c) 混凝土拌合物的坍落度宜在 160mm~200mm 范围内, 1.5h 的坍落度经时损失值宜不大于 30mm, 坍落过程中拌合物不应出现“戴帽”现象;
- d) 倒置坍落度筒排空试验过程中, 坍落度筒应缓慢提起, 用时应为 5s~10s。
- 7.2.6 混凝土配合比初步确定后, 宜在现场进行足尺模型或缩尺模型样板构件试验, 观察表面色泽、气泡分布是否符合对混凝土表面效果的要求。根据试验情况进一步优化混凝土配合比, 最终确定混凝土施工配合比。

7.3 混凝土原材料计量

- 7.3.1 现场拌和计量控制应配备完善的软、硬件系统, 拌和机的计量精度宜每 0.5 年~1 年检定一次。
- 7.3.2 拌和混凝土前, 应严格测定粗、细集料的含水率, 准确测定因天气变化引起的粗、细集料含水量的变化, 以便及时调整施工配合比。一般情况下粗、细集料的含水量应每班抽测两次; 若为连续施工, 每 100m³ 抽测不少于 1 次; 在降雨的情况下, 应测试现场料堆的实际含水率, 并相应增加测定次数。一般每日开工前应测定粗、细集料含水率, 以后每隔 4h 再测定一次, 如因下雨或其他原因致含水率发生变化时, 应立即测定。
- 7.3.3 混凝土的各组成材料均应按质量计, 水及外加剂溶液可按质量折算成体积计。各组成材料按质量计的计量偏差不得超过表 4 的规定。

表 4 混凝土各组分计量的允许偏差

组分	水泥	集料	水	外加剂	掺合料
允许偏差 (%)	±1	±2	±1	±1	±1

7.4 混凝土拌和

- 7.4.1 混凝土应采用强制式搅拌机拌和。
- 7.4.2 应通过试验确定投料顺序、数量及分段搅拌的时间等工艺参数。生产时应根据实际情况调整到适宜的拌和时间，保证拌和均匀，宜控制在 60s~90s，强度等级较高的混凝土和塑性混凝土可取上限范围。液体外加剂宜滞后于水和水泥投料；粉状外加剂宜溶解后再投料。拌合物的搅拌时间应比普通混凝土延长 10s~20s。
- 7.4.3 拌制第一盘混凝土时，可增加水泥和砂子用量 10%，并保持水灰比不变，以利于搅拌机挂浆。
- 7.4.4 夏季施工时，可采用低温水搅拌混凝土或在晚间搅拌混凝土等措施，保证混凝土拌合物的入模温度不高于 30℃。对于温度过高的状况，也可采用水冲洗冷却的方法，冲水后应增加集料含水率的测定频率，或采用投放冰块的方式对拌和水进行降温处理，降温过程宜通过分批次投放冰块的方法实现，保证拌和水持续低温，水温以≤20℃为宜。
- 7.4.5 同一构造物所用混凝土原材料应保持一致，拌合物的制备环境和拌和要求应一致。

7.5 混凝土运输

- 7.5.1 预制厂内设置有拌和厂，混凝土运输宜采用轨道平车运输方法，平车运料斗至台座附近用门式起重机吊运浇筑。如无拌和设备，应用罐车运输混凝土至场内用门式起重机浇筑。
- 7.5.2 罐车装料前罐内必须清洗干净并排净积水，应以 2r/min~4r/min 慢速搅动；混凝土卸料前，罐车应高速旋转 20s 以上方可卸料，保证混凝土不分层、不离析。
- 7.5.3 混凝土拌合物从搅拌结束至入模前的时间不宜超过 2h，严禁向混凝土拌合物中添加配合比以外的水。
- 7.5.4 在运输供应混凝土的台班内，运输车不得穿插运输其他规格的混凝土。

7.6 混凝土浇筑

- 7.6.1 预制 T 梁混凝土浇筑应满足下列规定：
 - a) 预制 T 梁混凝土浇注采用纵向分段、水平分层的方法进行浇筑；
 - b) 可参考以下浇筑顺序：第一次浇筑到梁肋马蹄斜面 1/2 高度位置以便振捣时马蹄斜面位置混凝土气泡排出，混凝土布料从梁的一端向另一端方向进行，每次布料至一个横隔板处进行振捣后再继续向前布料，浇筑至另一端最后一个横隔板位置时，布料从另一端向横隔板方向布料完成第一层混凝土浇筑→第二次浇筑至梁肋 1/2 高度位置，布料从第一层布料起始端向另一端进行布料，至倒数第二个横隔板位置，布料由另一端向倒数第二个横隔板方向布料完成第二层混凝土浇筑→第三次浇筑至梁肋顶位置，布料方向和第一次浇筑布料相同，完成第三层混凝土浇筑→第四次浇筑顶板混凝土，布料方向和第二次浇筑布料相同，完成第四层顶板混凝土浇筑；
 - c) 层与层间接头处交叉确保混凝土在接头位置浆液集中的地方相互错开，避免浆液集中在同一断面上，浇筑过程中注意下层混凝土未振捣密实，严禁再浇筑混凝土；
 - d) 翼缘板混凝土采用插入式振捣器振捣。施工时振动棒不能碰到管道，也不能用振捣棒移动混凝土，尽量避免碰撞钢筋。梁体混凝土浇筑完毕后，对顶面混凝土进行收浆，拉毛，深度不小于 2mm，保证顶面的整体美观；
 - e) 附着式振捣器宜采用大功率的高频振捣器，按梅花形布置，间距不大于 2m。振捣时间根据现场混凝土入模温度及坍落度视情况而定，应勤振、短振，一次振捣时间宜 30s~40s。

7.6.2 预制箱梁混凝土浇筑应满足下列规定：

- a) 浇筑原则通常采用全断面一次浇筑成型，浇筑应在 6h 内完成。振捣以内部插入振动为主，外部侧振为辅。混凝土浇筑采用分层下料工艺，以阶梯状由一侧向另一侧推进；
- b) 混凝土浇筑顺序：采用分段、分层浇筑，应由下向上、由低向高进行。采用分层浇筑时，每层应按 30cm~50cm，混凝土振捣应先周边后中间，即按梅花形布设振动点，每振捣点间距 50cm，振捣应快插慢拔，当混凝土表面不再下陷，或无气泡翻起时，应缓慢抽出振动棒。振捣应捣固密实，不得漏振、重振和过振；
- c) 混凝土浇筑应保持连续性和严密性，防止各层之间出现“冷缝”；
- d) 梁长大于 20m 的箱梁，应由梁两端同时向跨中浇筑混凝土，先底板混凝土浇筑长度约 8m~10m 后，开始阶梯式从梁两端向跨中浇筑腹板、顶板混凝土。当腹板混凝土的分层坡脚到达底板 8m~10m 位置后，底板再向前浇筑 8m~10m 位置，以此类推浇筑至跨中合拢；
- e) 混凝土的振捣采用附着式振捣、插入振捣和人工振捣相结合的方法进行，在模板外侧安装附着式振捣器，宜布置于腹板外侧，左右对称安装，在距端头 0.5m~1m 处开始布设；中间部位布置间距可在 1.5m~2m，距底板顶面为 0.5m~0.7m；
- f) 构件端头和底板处混凝土采用插入式振捣器振捣，腹板下料时，用人工插捣下料，同时配以附着式振捣器振捣。箱梁顶板采用插入式振捣器振捣，并采用“二次振捣”的工艺，防止出现混凝土“松顶”的现象，混凝土振捣密实后，进行压抹整平，最后作拉毛处理。

7.6.3 锚垫板处钢筋密集，混凝土振捣困难，应有专人负责，加强振捣，使用技术熟练的振捣工，确保工程质量。严禁振动棒触动钢束、波纹管、锚垫板、钢筋、模板。混凝土浇筑过程中检查内模是否上浮、波纹管是否有进浆，发现问题立即处理。浇筑混凝土期间，设专人检查支架、模板等稳固情况，如发现变形、移位时及时处理。梁板混凝土浇筑完毕后，由专人对梁板顶面混凝土进行修整、抹平，待定浆后再抹第二遍并拉毛。

7.6.4 浇筑混凝土时应认真如实填写混凝土浇筑施工记录，每片梁留混凝土试块不少于 3 组。

7.6.5 夏季气温较高，尽量避开高温时段浇筑。

7.7 混凝土拆模

7.7.1 非承重侧模板应在混凝土抗压强度达到 2.5MPa，且能保证其表面及棱角不致因拆模而受损坏时方可拆除，拆模时应保证施工安全。

7.7.2 拆模时，结构混凝土内部与表层混凝土之间的最大温差、表层混凝土与周边气温的最大温差均不应大于 15℃，大风或气温急剧变化时不宜拆模，避免混凝土温度应力过大危害混凝土结构。

7.7.3 拆模后采用电动、气动凿毛机及时画线凿毛。

7.8 混凝土养护

7.8.1 混凝土浇筑完成后在预制梁顶板上覆盖土工布配合自动喷淋养护系统进行养护。

7.8.2 宜采用自动喷淋养护系统，使整个养护过程处在一个自动循环的环境。增压管道系统主要是通过增压泵对自来水增加压力，使喷头能喷出雾状水。主水管应预埋，提前设置在台座基础内。万向喷头可调节喷水角度。

7.8.3 自动喷淋养护系统应有完善的场地排水和沉淀池配合使用，养护水经水沟流入沉淀池，沉淀后可重复利用，形成用水循环系统。

7.8.4 冬期养护时，为保证混凝土质量，提高混凝土早期强度，宜采用锅炉蒸汽养生，梁板外侧采用油布制作保温棚。保温棚内放置蒸汽养护管，蒸汽由锅炉提供，蒸汽养护分静停、升温、恒温、降温四个阶段。静停期间应保持环境温度不低于 5℃，混凝土浇注完 4h~6h 后方可升温，升温、降温速度不

大于 10℃/h，恒温期间混凝土内部温度不宜超过 60℃，最高不大于 65℃。蒸汽养护结束后应及时采取措施，继续对混凝土进行保温保湿自然养护。

7.8.5 混凝土强度达到 2.5MPa 之前，不得使其承受行人、运输工具、模板、支架及脚手架等荷载。

7.8.6 对混凝土应施以相同的养护条件，以保证混凝土表面色均性。

8 预应力施工

8.1 工艺流程

预应力施工工艺流程应包括材料进场检验、材料堆放、预应力管道安装、预应力筋穿束、预应力张拉、压浆、封锚。

8.2 进场检验

8.2.1 预应力施工所采用的材料（水除外）和设备均应有检验合格证书。

8.2.2 压浆材料宜采用专业厂家生产的预应力孔道压浆料。

8.2.3 预应力筋应符合 GB/T 5224 和 GB/T 20065 中的规定，锚、夹具应符合 GB/T 14370 中的规定。

8.2.4 锚具应有清晰的、永久性的生产厂家标识及批号。

8.2.5 锚板最外侧锥孔大口外边缘到锚板外边缘最小尺寸应符合表 5 的规定。

表 5 锚板最外侧锥孔大口外边缘到锚板外边缘最小尺寸

锚板的孔数	锚板最外侧锥孔大口外边缘到锚板外边缘最小尺寸 a (mm)
1~5	11.0
6~12	13.0
13~17	15.0
18~21	17.0
22~27	20.0
>27	23.0

8.3 材料堆放

8.3.1 预应力筋进场后应存放在仓库内，仓库的环境条件应符合产品说明书的要求，存放时间不宜超过 6 个月（从生产日期起算），超过 6 个月的应重新检验合格后方可使用。

8.3.2 压浆料包装应完好无损，应存放于仓库，仓库的环境条件应符合产品说明书的要求。存放时间不宜超过 3 个月（从生产日期起算），超过 3 个月的应重新检验合格后方可使用。

8.3.3 应设置钢绞线、波纹管、预应力专用材料、水泥压浆料专用材料库房。库房应为封闭式轻型彩钢棚，搭设高度需满足装卸及转运设备的正常进出。材料库房内应设置支撑架或平台。

8.4 预应力管道安装

8.4.1 预应力筋的孔道宜由浇筑在混凝土中的刚性或半刚性管道构成，或采取钢管抽芯、胶管抽芯及金属伸缩套管抽芯等方法进行预留。

8.4.2 设置于混凝土中的刚性或半刚性管道不应有漏浆现象，且应具有足够的强度和刚度，应能在建筑混凝土重力的作用下保持原有的性状，并能按要求传递黏结应力。

8.4.3 管道应按设计规定的坐标位置进行安装，并应采用定位钢筋固定，使其能牢固地置于模板内的设计位置，且在混凝土浇筑期间不产生位移。

8.4.4 管道与普通钢筋重叠时，应移动普通钢筋，不得改变管道的设计坐标位置。

- 8.4.5 管道安装应采用“井”字型钢筋定位，“井”字型钢筋采用专用胎架模块化制作。定位钢筋的间距，对钢管宜不大于1.0m，波纹管宜不大于0.8m，位于曲线上的管道和扁平波纹管应适当加密。
- 8.4.6 定位后的管道应平顺，其端部的中心线应与锚垫板相垂直。
- 8.4.7 管道接长接头宜采用热缩管接头形式，波纹管与锚垫板连接宜采用卡槽式专用连接器，确保孔道与锚垫板轴线重合不偏位，张拉过程不产生过大的预应力损失。
- 8.4.8 所有管道均应在每个顶点设排气孔，以及需要时在每个低点设排水孔，在每个顶点和两端设检查孔。
- 8.4.9 管道安装完毕后，端口宜采用橡胶式止水塞等措施临时封堵，防止水或其他杂物进入。

8.5 穿束

- 8.5.1 预应力筋应在混凝土养生完成后进行穿束。
- 8.5.2 在穿钢绞线前应对孔道进行清孔，用高压气流清除孔道内杂物和水分。
- 8.5.3 预应力筋应按设计孔道长度加上工作端的加长值进行下料。
- 8.5.4 预应力筋应用砂轮切割机切断。
- 8.5.5 预应力筋应整体梳编、穿束。编束时将钢丝或钢绞线逐根理顺，防止缠绕，并每隔1.0m~1.5m捆绑一次，绑扎应牢固、顺直。
- 8.5.6 应保持预应力筋顺直，不得扭转。穿入端应用胶带纸包裹以便于穿孔。
- 8.5.7 穿筋宜采用机械方式。

8.6 预应力张拉、压浆

- 8.6.1 预应力张拉时，构件混凝土的强度、弹性模量（或龄期）应符合设计规定。
- 8.6.2 智能化张拉、压浆系统应成套校正、检验和标定，合格后方可使用。
- 8.6.3 智能压浆设备应符合GB/T 35014中的规定，且经试验梁验证合格后，方能使用。
- 8.6.4 张拉压浆施工宜采用型钢制作的整体式张拉压浆支架平台。平台尺寸应满足沿预应力张拉方向长度不小于2m、横向边缘距最外侧预应力束不小于1m。作业平台和张拉、压浆设备应安装牢固。
- 8.6.5 预应力张拉工艺试验应满足下列规定：
 - a) 钢绞线的实际截面积、弹性模量在工艺试验之前应进行抽检验证；
 - b) 钢绞线的长度应考虑构件的孔道长度和工作长度；
 - c) 应通过工艺试验确定预应力孔道摩阻系数、锚口损失系数，检验张拉和压浆设备的可靠性，验证制浆工艺，确定浆液的最佳配合比。
- 8.6.6 预应力张拉工艺应满足下列规定：
 - a) 预应力管道的规格、尺寸应符合设计规定，且其内横截面积应不小于预应力筋净截面积的2倍。禁止采用抽拔棒成孔工艺；
 - b) 后张法预应力构件在混凝土浇筑前不宜穿束，应在管道内穿芯棒或硬塑料管，确保孔道成形质量。芯棒或硬塑料管的直径宜小于管道内径1cm。端部负弯矩预应力波纹管预留长度宜为5cm~10cm，不得过长或过短，并包裹保护，以便吊装后进行连接；
 - c) 预应力筋的张拉顺序应符合设计规定；设计未规定时，可采取分批、分阶段的方式两端对称同步张拉；两端对称同步张拉时两端千斤顶升降压、画线、测伸长等工作应基本一致；
 - d) 预应力筋在实施张拉或放张作业时，应有放张方案和记录。应采取有效的安全防护措施，预应力筋两端的正面不应站人和穿越。
- 8.6.7 预应力压浆工艺应满足下列规定：
 - a) 预应力筋张拉锚固后，压浆应在24h内完成；
 - b) 预应力压浆宜采用循环压浆和真空辅助压浆工艺，应进行工艺试验验证压浆工艺和浆体质量；

- c) 预应力压浆设备可设置在预制区外固定位置。若设置在预制区内，需采取隔离措施，防止废弃浆液溢流；
- d) 宜采用二次保障压浆工艺，避免压浆后泌水锚下产生空洞；
- e) 压浆过程中需制作浆液试块，并根据试块泌水情况判断浆液性能；
- f) 锚垫板安装时，注浆孔应置于上部；
- g) 压浆泵与预应力孔道压浆口之间的压浆管管路应采用硬管，管路之间应采用定型金属连接件连接；
- h) 压浆宜从低处注浆孔压入；压浆过程中，应实时记录灌入每个孔道的浆液总量和排出孔道的浆液总量。压浆饱满度应不小于 100%，当小于 100%，应立即查明原因，改进工艺后进行补浆处理；
- i) 压浆完毕后，宜保持一个不小于 0.5MPa 的稳压期，该稳压期保持时间宜为 3 min ~5min；
- j) 安装在压浆端及出浆端的控制阀应在压浆料失去流动性后拆除。

8.7 封锚

8.7.1 压浆后，切割端头的预应力筋，切割时应采用砂轮锯，不应采用电弧进行切割，同时不得损伤锚具。切割后预应力筋的外露长度不应小于 30mm，且不应小于 1.5 倍预应力筋直径；应及时对外露的预应力筋和锚具进行防腐和防锈处理，宜采用混凝土完全包裹外露的预应力筋和锚具，并浇筑成规整形状。

8.7.2 应按设计要求设置钢筋网并浇筑封端混凝土，封端混凝土应采用与结构或构件相同强度等级的微膨胀混凝土。

8.7.3 夏季封锚前，为使封锚混凝土与梁体混凝土更好的粘结，应在浇筑封锚混凝土前对梁端混凝土用清水充分湿润。

8.7.4 封锚混凝土振捣应密实，严禁振动棒直接撞击、损坏锚环。

8.7.5 封端混凝土初凝后带模浇水养护。

9 移梁与存梁

9.1 移梁

9.1.1 后张预应力混凝土梁压浆浆体强度达到设计强度 80%方可移运。

9.1.2 梁体转运前应将梁体吊运至检验台座模拟梁体安装后工况，检验梁底预埋钢板与支座契合情况，并对梁体进行外观、结构尺寸检验。

9.1.3 预制梁在压浆完成前不得进行移运，吊移过程中不得对梁产生任何冲击和碰撞。

9.1.4 预制梁运转前应详细调查运输路线（平整度、车流量、转弯半径、限高限宽）和存放、使用区域可能存在的影响因素，原则上按照构件预制先后顺序依次运转。

9.1.5 转运过程中应提前在各接触点做好柔性保护，起吊、运输、放置过程中应严格控制速度、保证平稳，运输过程中应至少采取两种锚固措施，避免发生磨损、碰撞、倾覆，必要时安排专车开道或交通管制避免交通拥堵。

9.1.6 梁的运输应按高度方向竖立放置，并应有防止倾倒的固定措施；装卸梁时，必须在支撑稳妥后，方可卸除吊钩。

9.1.7 采用平板拖车或超长拖车运输大型梁板时，车长应能满足支点间的距离要求，支点处应设活动转盘防止搓伤构件混凝土；运输道路应平整，如有坑洼而高低不平时，应事先处理平整。

9.1.8 移梁过程中应注意对成品梁的保护，对钢丝绳与梁板接触位置应采用钢板包边处理，防止钢丝绳直接接触梁板致使梁板棱角混凝土破坏。

9.1.9 对后张预应力混凝土梁、板，在施加预应力后可将其从预制台座吊移至场内的存放台座上后再进行孔道压浆，同时应符合下列规定：

- a) 从预制台座上移出梁、板仅限一次，不得在孔道压浆前多次倒运；
- b) 吊移的范围必须限制在预制厂内的存放区域，不得移往他处；
- c) 吊移过程中不得对梁、板产生任何冲击和碰撞。

9.1.10 后张预应力混凝土梁压浆浆体强度达到设计强度 80%方可移运。

9.2 存梁

9.2.1 存梁台座应进行加固处理，存梁基础可根据实际地质情况可采取换填宕渣等处理形式，确保不得积水以防止造成地基下沉，处理后在基础上浇筑钢筋混凝土底座。

9.2.2 存梁时，构件堆放应采用刚性支撑，支点上宜放置硬橡胶垫，厚度不小于 20mm。

9.2.3 箱梁存放时，宜采用四点支撑。

9.2.4 可通过可调节斜撑杆有效保证支撑稳定。

9.2.5 相邻梁板之间可以用钢筋焊接，增加横向稳定性。

9.2.6 存梁层数可视具体情况而定，不应超过 2 层，层与层之间应以垫木隔开，并设置在吊点处。

9.2.7 梁存放时间宜不超过 3 个月，特殊情况下应不超过 5 个月。

9.2.8 每月定时观测台座及梁存放情况。

10 质量评价

10.1 外观质量

10.1.1 预制构件外观质量应按表 6 中的规定进行单项评定。外观质量分值为各单项分值之和。

表 6 桥梁预制梁外观质量评价方法

项次	项目	扣分方式	分值	检查方法
1	颜色	颜色不一致、色泽不均匀、存在明显色差、光洁度不佳扣 1 分~5 分。	25	距离混凝土表面 1m 外观察
		存在污染、斑迹、冷接缝一处扣 1 分。		在 50cm×50cm 以内算 1 处
2	表面损伤	蜂窝面积≤5cm×5cm 一处扣 1 分；5cm×5cm<蜂窝面积≤10cm×10cm 一处扣 2 分；10cm×10cm<蜂窝面积≤20cm×20cm 一处扣 4 分；20cm×20cm<蜂窝面积≤30cm×30cm 一处扣 9 分；蜂窝面积>30cm×30cm 蜂窝，表面损伤单项得分为 0。	25	—
		存在砂线、缺角、掉块、麻面、漏浆、刮痕、修补一处扣 1 分。		在 50cm×50cm 以内算 1 处
		出现收缩裂缝一处扣 1 分~5 分，出现严重裂缝（宽度超过 0.2mm）则表面损伤单项得分为 0。		—
3	表面气泡	气泡数量大于 30 个一处扣 0.5 分。	5	在 100cm×100cm 以内算 1 处
		最大气泡直径大于 5mm、深度大于 5mm 一个扣 0.5 分。		—

表6 桥梁预制梁外观质量评价方法（续）

项次	项目	扣分方式	分值	检查方法
4	翼缘板线形	错台超过 5mm，直线度偏差大于 10mm 一处扣 1 分。	5	通长检查
5	平整度	混凝土表面突变、错台超过 3mm、缝宽超过 2mm、顶面平整度偏差大于 8mm 一处扣 1 分。	15	3m 直尺连续 5 尺
6	外露钢筋线形和位置	防撞墙预埋钢筋错位超过 10mm、顶板剪力筋错位超过 10mm 一处扣 0.5 分；横隔板钢筋错位超过 20mm 一处扣 1 分。	15	防撞墙预埋钢筋错位、顶板剪力筋错位采用 3m 直尺连续检测 3 尺
		预埋筋缺失一处扣 1 分。		-
7	凿毛拉毛	凿毛范围不符合要求一处扣 3 分	10	每个面
		凿毛不均匀、边线不顺直、骨料外露不佳每个面扣 1 分，横隔板每个面扣 0.5 分。		
		梁顶收浆压边不整齐、留有死角、拉毛整体不均匀、深度不满足要求一处扣 0.5 分~2 分。		
合计			100	-

10.1.2 预制构件外观质量评定根据外观质量分值划分为三个等级：A 级（优）：≥85 分；B 级（良）：≥75，<85 分；C 级（较差）：<75 分。

10.2 混凝土耐久性

10.2.1 应按 GB/T 50082 和 JTG 3420 中规定的方法进行混凝土耐久性试验。

10.2.2 应按设计提出的项目进行混凝土耐久性测试，在确定配合比时每个检验项目至少进行一组试验。在施工过程中，相同配合比连续生产浇筑的混凝土每个耐久性检验项目至少进行一组试验，相同配合比非连续生产浇筑的混凝土每 300m³ 或不足 300m³ 的每个重要结构及构件每个耐久性检验项目至少进行一组试验。

10.2.3 混凝土抗裂性能评价主要考虑早期抗裂性能，单位开裂面积宜不大于 700mm²/m²。

10.2.4 混凝土收缩性能要求宜为：对于强度等级≤C50 混凝土，360d 干燥收缩率≤490×10⁻⁶，180d 自收缩率≤250×10⁻⁶；对于强度等级>C50 混凝土，360d 干燥收缩率≤550×10⁻⁶，180d 自收缩率≤350×10⁻⁶。

10.2.5 高性能混凝土 28d 碳化深度不宜超过 10mm。

10.2.6 对于除冰盐等氯化物环境下的混凝土结构，混凝土抗氯离子渗透性能应满足表 7 的规定。其他环境下，抗渗性能也可用电通量法和氯离子扩散系数法进行表征。

表 7 混凝土抗氯离子渗透性能

氯离子渗透性能指标	环境作用等级					
	100 年			50 年		
	D	E	F	D	E	F
氯离子扩散系数 D_{CM} （28d 龄期）（10 ⁻¹² m²/s）	<8	<5	<4	<10	<7	<5
电通量值（56d 龄期）（C）	<1200	<800	<800	<1500	<1000	<800
注1：其中环境作用等级按照JTG/T 3310中的规定确定。						

10.2.7 混凝土应避免碱集料反应。
