

ICS 93.040

CCS P 28

CAIEC

团 体 标 准

T/CAIEC 203—2025

预应力混凝土大悬臂盖梁模块化施 工技术规范

Technical specification for modular construction technology
of prestressed concrete cantilever beam

2025-12-11 发布

2026-01-09 实施

中国国际工程咨询协会 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 基本规定	2
4.1 施工原则	2
4.2 施工分级与适用条件	2
4.3 核心指标要求	3
4.4 责任主体与资质要求	3
5 施工准备	3
5.1 技术准备	3
5.2 现场准备	4
5.3 材料与设备准备	4
6 材料与设备	5
6.1 钢材	5
6.2 混凝土与压浆材料	5
6.3 钢筋与预应力筋	5
7 施工工艺	6
7.1 施工工艺流程	6
7.2 模块化支架安装工艺	6
7.3 钢筋工程工艺	7
7.4 模板与混凝土工程工艺	7
7.5 预应力工程工艺	8
8 质量控制	8
8.1 质量控制体系	8
8.2 关键工序质量控制要点	9
8.3 质量验收与问题处理	9
9 安全与环保	9
9.1 安全控制	9
9.2 环保控制	10
10 工程验收	10
10.1 验收阶段与内容	10
10.2 验收资料与争议处理	10

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。

本文件由中交路桥建设有限公司提出。

本文件由中国国际工程咨询协会归口。

本文件主要起草单位：中交路桥建设有限公司、深圳高速建设发展有限公司、中交路桥华南工程有限公司、广州大学、上海交通大学、东莞理工学院、中交一公局第六工程有限公司、中交一公局第七工程有限公司、中交一公局第四工程有限公司、中交一公局集团华中工程有限公司、中交路桥华东工程有限公司、中国建筑第八工程局有限公司、中建八局湾区建设发展有限公司、中建八局新型建设工程有限公司、中建八局第二建设有限公司、广州一建建设集团有限公司、陕西路桥集团有限公司、浙江大东吴集团建设有限公司、温州亿珈建设工程有限公司、新疆宏远建设集团有限公司、黑龙江省铁投预制构件有限公司、中国十九冶集团有限公司、中交第三公路工程局有限公司河北雄安交通轨道分公司、中交三公局第二工程有限公司、中交第三公路工程局有限公司工程总承包分公司、中国葛洲坝集团第一工程有限公司、中铁六局集团有限公司、中交二航局第四工程有限公司、新疆生产建设兵团建设工程(集团)有限责任公司、澄联芮合(北京)标准化技术服务有限公司、河北雄安澄芮技术服务有限责任公司。

本文件主要起草人：曹伟、吴健、陈传磊、邓成刚、赖祺宇、余翔、曾捷、温东昌、李渊涛、兰冰、任凤鸣、赖勉亨、陈满泰、莫金旭、王成伟、江财发、柴少强、闫东杰、金川、田世宽、杨乾、陈诗泉、徐策、李旭阳、赵锦元、刘橙、陈宵梅、叶剑明、刘承林、韦年达、梁铭贤、郭中祥、叶舟、谢意、曹佳欣、董涛、王云田、姚宣辰、宋琢、卢德辉、田时雨、张健、韩靖、张帅、武少帅、薛景瑞、谭明星、叶桢、潘琪斌、时晓龙、邓可欣、马晓薇、张奕玥、马一男、张宇、赵贺、孟祥龙、刘承权、宋雪梅、李星、杨继康、刘坤鹏、冯宇、唐世强、杨林波、张兆元、刘利军、李健、朱灿、郭先锋、高勇强、胡健、朱如俊、魏玉吉、杨波、刘义琛、吴悦、黄勇。

本文件为首次编制。

预应力混凝土大悬臂盖梁模块化施工技术规范

1 范围

本文件规定了预应力混凝土大悬臂盖梁模块化施工的基本规定、施工准备、材料与设备、施工工艺、质量控制、安全与环保及工程验收等内容，明确了模块化施工各环节的技术规范与质量管控要求。

本文件适用于公路、城市道路桥梁中采用落地钢管支架模块化施工的预应力混凝土大悬臂盖梁工程，尤其适用于涉路、净空、净宽受限场景下的施工。

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/T 706 热轧型钢

GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋

GB/T 1499.3 钢筋混凝土用钢 第3部分：钢筋焊接网

GB/T 1591 低合金高强度结构钢

GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线

GB 8978 污水综合排放标准

GB/T 20065 预应力混凝土用螺纹钢筋

JGJ 18 钢筋焊接及验收规程

JGJ/T 46 建筑与市政工程施工现场临时用电安全技术标准

JGJ 80 建筑施工高处作业安全技术规范

JGJ 107 钢筋机械连接技术规程

ISO 898-1 碳钢和合金钢制紧固件的机械性能 第1部分：规定性能等级的螺栓、螺钉和螺柱：粗牙和细牙螺纹

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

模块化施工 modular construction

将盖梁施工涉及的支架体系（钢管桩、承重梁、分配梁）、防护结构（防护棚架）、钢筋骨架等拆分为多个标准化模块，在工厂或现场地面完成预拼装，再通过吊装、一种特制新能源移运台车，实现模块整体安装、整体移运、整体拆除的施工方式，其核心是“工厂化预制、模块化作业”。

3.2

模块化支架 modular support

由钢管桩、承重梁、分配梁、防护棚架等组成的可整体拆装、移运的支架体系，各组成部分通过法兰、高强螺栓、销轴等连接，分为悬臂模块、悬臂模块连接件两部分，支持多次周转使用、无需重复散件安拆。

3.3

移运台车 transport trolley

用于整体移运模块化支架的专用设备，具备升降、横移、纵移、旋转、精调功能，由台车主体、调高桁架、液压系统、行走系统组成，可实现支架模块从已完工盖梁墩位到待施工墩位的整体转运，确保模块安装精度。

3.4

分配梁-防护棚一体化结构 integrated structure of distribution beam and protective shed

盖梁支架体系的分配梁与涉路施工的防护棚架采用一体化模块结构设计,分配梁承担盖梁施工荷载,防护棚架保护下方通行车辆与人员安全,减少单独安装防护棚架的工序,且能与支架体系整体转运,提升施工效率。

3.5

钢筋骨架分节段预制 segmental prefabrication of steel reinforcement cage

根据盖梁钢筋骨架设计尺寸,将骨架分为2~3个标准节段采用长线胎架法进行整体绑扎预制,预制完成后通过吊装设备分节段吊装入模,节段间通过套筒连接成为整体,该工艺可减少高空钢筋散拼作业及在盖梁主支架上再次搭设钢筋安装支架的工序,降低安全风险。

3.6

整体移运周转 integrated transport and turnover

盖梁施工完成后,解除悬臂模块间的连接件,通过特制新能源移运台车将模块化支架整体转运至下一待施工墩位,再通过移运台车的升降、横移、旋转等功能,使支架的标高、平面位置达到预定指标,从而实现悬臂模块与连接件之间群栓的精确对接,过程中无需再进行单构件的散拆散装,可达到支架“一次拼装、多次使用”的目的,免除支架的散件拆装,不占道、不影响社会交通,且大幅降低吊装风险。

3.7

质量监控点 quality monitoring point

在模块化施工各环节设置的关键质量控制位置,如支架整体标高、平面偏位、钢管桩垂直度、承重力梁拼接精度、螺栓扭矩值等,需按标准要求检测并记录,确保施工质量符合规范。

4 基本规定

4.1 施工原则

4.1.1 安全优先原则

涉路施工应制定专项交通疏解方案,设置清晰的交通警示标志,施工区域与通行车道采用物理隔离,确保社会车辆与施工人员安全;高空作业应符合JGJ 80要求,作业人员应佩戴安全带、安全帽。

4.1.2 模块化集成原则

支架体系、钢筋骨架应按“标准化模块、工厂化预制、整体化安装拆除”设计,模块拆分应满足运输、吊装条件,模块连接节点应可靠。

4.1.3 精度控制原则

模块化支架安装转运、钢筋骨架吊装等关键工序应采用相关设备仪器进行检测、监测,核心指标应符合本文件要求,偏差超限时应整改后方可继续施工。

4.1.4 效率与环保兼顾原则

通过模块化整体移运减少支架拆装时间,单座盖梁施工周期 ≤ 15 天(涉路场景);施工过程中应采取降噪、防尘措施,减少对周边环境的影响,符合环保要求。

4.2 施工分级与适用条件

根据盖梁悬臂长度、施工环境,可将预应力混凝土大悬臂盖梁模块化施工分为三级,各级别适用条件与技术要求应符合表1规定。

表1 施工分级及适用条件

施工级别	悬臂长度 (m)	施工环境特征	核心技术要求	适用场景
I 级	$8 \leq L < 12$	非涉路、净空充足 ($\geq 5\text{m}$)	支架模块可采用常规吊装,无需特殊交通疏解	郊外公路桥梁盖梁
II 级	$12 \leq L < 15$	涉路(车流量中等)、净空受限(4~5m)	需整体移运支架,设置临时交通导改	城市次干道跨线桥盖梁

表1 施工分级及适用条件（续）

施工级别	悬臂长度（m）	施工环境特征	核心技术要求	适用场景
III级	$L \geq 15$	涉路（车流量大）、净空紧张（ $< 4m$ ）	支架与防护棚一体化设计，采用三向移运台车实现一次搭设，多次整体化周转利用	城市主干道、高速公路互通立交盖梁

4.3 核心指标要求

预应力混凝土大悬臂盖梁模块化施工的核心技术指标需符合表2要求，确保结构安全与施工质量。

表2 核心技术指标要求

指标类别	指标名称	要求值	检测方法
支架体系	钢管桩垂直度	$\leq 1/500$	全站仪
	承重梁拼接高强螺栓扭矩	$\pm 3\%$ 设计值	液压扭矩扳手
	承重梁对接偏差	$\pm 5mm$	钢卷尺
钢筋工程	钢筋骨架预制尺寸偏差	长度 $\pm 10mm$ ，宽度/高度 $\pm 5mm$	钢卷尺、全站仪
	钢筋保护层厚度	$+10mm/-10mm$	钢筋保护层厚度检测仪
混凝土工程	混凝土强度	\geq 设计值90%（同条件试块，落架移运时）	压力试验机
	盖梁轴线位置偏差	$\leq 10mm$	全站仪
预应力工程	张拉应力控制偏差	$\pm 5\%$ 设计值	应力传感器、张拉设备压力表
	孔道压浆密实度	$\geq 95\%$	超声检测仪
移运精度	支架模块移运定位偏差	$\leq 5mm$	全站仪、台车自带定位系统

5 施工准备

5.1 技术准备

5.1.1 图纸会审与深化设计

5.1.1.1 图纸会审：施工前组织建设、设计、监理单位进行图纸会审，重点审查盖梁结构尺寸、支架设计、模块拆分方案，明确技术难点，形成会审纪要。

5.1.1.2 深化设计：

- a) 模块化支架深化：明确钢管桩、承重梁、分配梁的模块拆分尺寸、连接节点形式；
- b) 移运台车深化：根据盖梁净空、支架重量，确定台车高度、承载能力、调节行程（升降 $\pm 500mm$ ，横移 $\pm 300mm$ ）；
- c) 防护棚架深化：涉路施工时，防护棚架应满足车辆通行高度（ $\geq 4.5m$ ）、宽度（适配车道），采用型钢骨架+防护钢板结构，抗冲击能力 $\geq 5kN/m^2$ 。

5.1.2 施工方案编制与审批

5.1.2.1 方案内容：施工方案应包含工程概况、模块拆分与拼装方案、吊装与移运方案、交通疏解方案、质量控制措施、安全环保措施、应急预案等，其中III级施工方案应专项论证。

5.1.2.2 方案审批：方案经施工单位技术负责人审核后，应报监理单位总监理工程师审批；涉及危大工程的方案，应组织5名及以上专家论证，论证通过后方可实施。

5.1.2.3 技术交底：方案审批通过后，对施工班组进行分级安全技术交底（技术负责人或方案编制人员→工程管理人员→班组长→作业人员），交底内容应包含操作要点、质量标准、安全风险，交底记录签字存档。

5.1.3 现场勘察与测量放样

5.1.3.1 现场勘察：勘察施工场地地形地貌、地下管线位置，涉路施工需统计交通流量（高峰时段车流量、车型比例、行车高宽），确定支架基础位置与交通疏导路线。

5.1.3.2 测量放样：

- a) 平面控制：建立施工测量控制网，采用全站仪放样墩柱中心、支架基础位置，偏差 $\leq 5\text{mm}$ ；
- b) 高程控制：采用水准仪测量地面标高，确定钢管桩基础开挖深度、支架安装高度，确保盖梁底模标高符合设计要求（偏差 $\pm 5\text{mm}$ ）；
- c) 移运路径放样：涉路施工时，放样移运台车行走路径线（可采用激光标识路径线），行走路径直线度偏差 $\leq 3\text{mm}/10\text{m}$ 。

5.2 现场准备

5.2.1 场地清理与平整

5.2.1.1 清理要求：清除施工场地内杂物，涉路施工需清理车道内障碍物，确保施工区域无干扰。

5.2.1.2 场地平整：非涉路场地需平整压实，压实度 $\geq 90\%$ ；涉路场地需对支架基础位置进行硬化（采用 C30 混凝土，厚度 $\geq 150\text{mm}$ ），防止支架沉降。

5.2.2 临时设施搭建

5.2.2.1 交通疏导设施：涉路施工需设置围挡（高度 $\geq 2.5\text{m}$ ）、交通导向牌（距施工区域 $\geq 50\text{m}$ ）、限速标志（ $\leq 40\text{km/h}$ ），夜间设置警示灯（间隔 5m）。

5.2.2.2 施工临时设施：搭建钢筋加工棚（面积 $\geq 50\text{m}^2$ ，防雨防晒）、材料堆放区（分类堆放钢管桩、承重梁，设置标识牌）、临时办公区（距施工区域 $\geq 10\text{m}$ ）。

5.2.2.3 临时用电：按 JGJ 46 要求布置临时用电线路，采用三相五线制，设置三级配电、两级保护，配电箱防护等级 $\geq \text{IP}54$ ，避免雨水侵入。

5.2.3 安全防护设施

5.2.3.1 高空防护：支架顶部设置临边防护栏杆（高度 $\geq 1.2\text{m}$ ，横杆间距 $\leq 0.6\text{m}$ ）、安全平网（每隔 2 层设置 1 道），作业平台铺设脚手板。

5.2.3.2 涉路防护：防护棚架顶部铺设钢板（厚度 $\geq 5\text{mm}$ ），下方设置防撞护栏（高度 $\geq 1.2\text{m}$ ），防止施工杂物坠落砸伤车辆。

5.2.3.3 应急设施：配备急救箱（含止血药、绷带、担架）、灭火器（每 50 m^2 配置 2 具 4kg 干粉灭火器），设置应急通道（宽度 $\geq 1.2\text{m}$ ），确保应急通行。

5.3 材料与设备准备

5.3.1 材料准备与验收

材料准备与验收要求如下：

a) 钢材：

- 1) 钢管桩采用 Q235B 低合金高强度结构钢，规格符合设计要求，进场时需提供质量证明文件，抽检力学性能（抗拉强度、屈服强度），符合 GB/T 1591 要求；
- 2) 承重梁、分配梁采用工字钢，材质 Q235B，进场时检查截面尺寸（偏差 $\leq \pm 3\text{mm}$ ）、外观（无裂纹、锈蚀），抽检焊缝质量（超声波探伤）；
- 3) 高强螺栓采用 10.9 级摩擦型螺栓，规格如 M24 \times 80，进场时需提供扭矩系数检测报告，按每 300 套抽检 1 组进行扭矩系数测试，符合 ISO 898-1 要求。

b) 混凝土：

- 1) 盖梁混凝土强度等级 $\geq \text{C}55$ ，抗渗等级 $\geq \text{P}8$ （涉水环境），采用商品混凝土，进场时检查坍落度（ $180\pm 20\text{mm}$ ）、扩展度（ $\geq 500\text{mm}$ ），每 100 m^3 留置 1 组标准养护试块、2 组同条件试块；
- 2) 预应力孔道压浆采用专用压浆料，水胶比 ≤ 0.35 ，28d 抗压强度 $\geq 55\text{MPa}$ ，进场时抽检流动度（ $\geq 300\text{mm}$ ）、凝结时间（初凝 $\geq 4\text{h}$ ，终凝 $\leq 24\text{h}$ ）。

c) 钢筋与预应力筋：

- 1) 钢筋采用 HRB400E 螺纹钢, 规格如 $\Phi 25$ 、 $\Phi 20$, 进场时抽检屈服强度 ($\geq 400\text{MPa}$)、伸长率 ($\geq 16\%$), 符合 GB/T 1499.2 要求;
- 2) 预应力筋采用 $\Phi_s 15.2\text{mm}$ 钢绞线, 抗拉强度标准值 $\geq 1860\text{MPa}$, 进场时抽检破断拉力 ($\geq 260\text{kN}$)、弹性模量 ($\geq 1.95 \times 10^5\text{MPa}$), 符合 GB/T 5224 要求。

5.3.2 设备准备与调试

设备准备与调试要求如下:

- a) 吊装设备:
 - 1) 汽车吊: 选用 50t 汽车吊 (用于支架模块吊装)、25t 汽车吊 (用于辅助作业), 进场前检查吊车力矩限制器、制动系统, 空载试运行正常;
 - 2) 航吊: 钢筋加工棚内配备 16t 航吊, 用于钢筋骨架预制吊装, 轨道安装直线度偏差 $\leq 5\text{mm}$, 试运行时检查起升、行走功能。
- b) 移运设备:
 - 1) 移运台车: 采用 50t 三向移运台车, 配备升降油缸 (行程 $\geq 200\text{mm}$)、横移油缸 (行程 $\geq 300\text{mm}$)、水平油缸 (行程 $\geq 50\text{mm}$)、旋转装置 (角度 $\geq 90^\circ$), 空载试运行时各动作平稳, 定位精度 $\leq 5\text{mm}$;
 - 2) 调高桁架: 根据盖梁净空选用 0.5~2.2m 调高桁架, 与台车通过螺栓连接, 承重试验无变形。
- c) 检测设备:
 - 1) 全站仪 (测角精度 $2''$, 测距精度 $1\text{mm}+2\text{ppm}$)、水准仪 (精度 $\pm 2\text{mm}/\text{km}$), 用于测量放样与精度检测, 使用前校准;
 - 2) 液压扭矩扳手 (扭矩范围 $100\sim 3000\text{N}\cdot\text{m}$, 精度 $\pm 3\%$)、钢筋保护层厚度检测仪, 用于螺栓扭矩、保护层厚度检测, 定期校准。

6 材料与设备

6.1 钢材

- 6.1.1 钢管桩: 采用 Q235B 化学成分应满足 $C \leq 0.20\%$ 、 $Si \leq 0.55\%$ 、 $Mn \leq 1.60\%$ 、 $P \leq 0.035\%$ 、 $S \leq 0.035\%$; 力学性能为屈服强度 $\geq 345\text{MPa}$ 、抗拉强度 $450\sim 630\text{MPa}$ 、伸长率 $\geq 21\%$ 。采用无缝或螺旋焊管, 管端垂直度偏差 $\leq 1\text{mm}$, 法兰与钢管同轴度偏差 $\leq 0.5\text{mm}$, 埋弧焊焊缝高度不应小于钢管壁厚。
- 6.1.2 工字钢: 承重梁用 I90a (截面高 900mm、腹板厚 18mm), 分配梁用 I32a (截面高 320mm、腹板厚 9.5mm), 尺寸偏差应符合 GB/T 706; 表面无裂纹、折叠等缺陷, 腹板与翼缘板垂直度偏差 $\leq 1.5\%$ 翼缘板宽度。
- 6.1.3 高强螺栓: 规格为 M24 \times 80 (10.9 级), 螺纹精度 8g, 热浸镀锌层厚度 $\geq 50\mu\text{m}$; 力学性能需满足抗拉强度 $\geq 1040\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 940\text{MPa}$ 、断后伸长率 $\geq 9\%$ 。

6.2 混凝土与压浆材料

- 6.2.1 盖梁混凝土: 胶凝材料用量 $\geq 450\text{kg}/\text{m}^3$, 采用 P \cdot O 52.5R 水泥, 配聚羧酸系减水剂 (减水率 $\geq 25\%$); 性能要求为初凝 $\geq 6\text{h}$ 、终凝 $\leq 15\text{h}$, 28d 抗压强度 $\geq 55\text{MPa}$ 、弹性模量 $\geq 3.45 \times 10^4\text{MPa}$, 抗裂等级 $\geq \text{P8}$ 。
- 6.2.2 孔道压浆料: 水胶比 0.26~0.28, 干密度 $\geq 1800\text{kg}/\text{m}^3$; 初始流动度 $\geq 300\text{mm}$ 、30min 流动度 $\geq 250\text{mm}$, 24h 自由泌水率为 0, 7d 抗压强度 $\geq 45\text{MPa}$ 、28d 抗压强度 $\geq 55\text{MPa}$ 。

6.3 钢筋与预应力筋

6.3.1 钢筋:

- a) 采用 HRB400E 螺纹钢 ($\Phi 16\sim \Phi 32$), 公称直径偏差 $\pm 0.4\text{mm}$ 、横肋高偏差 $\pm 0.3\text{mm}$, 力学性能应符合 GB/T 1499.2 要求; 钢筋焊接遵循 JGJ 18 规定, 搭接焊焊缝长度 $\geq 10d$ (单面焊) 或 $\geq 5d$ (双面焊), 焊缝厚度 $\geq 0.3d$ 、宽度 $\geq 0.8d$, 无夹渣、气孔等缺陷;

- b) 直螺纹套筒连接执行 JGJ 107 标准, 套筒选用 45 号钢 (抗拉强度 $\geq 600\text{MPa}$), 连接后钢筋接头抗拉强度 $\geq 400\text{MPa}$, 接头等级达到 II 级及以上; 丝头加工需采用专用机床, 丝头长度偏差 $\pm 2\text{mm}$, 牙型饱满无破损, 安装时外露丝扣 2~3 扣;
 - c) 涉及预应力混凝土用螺纹钢筋时, 采用 GB/T 20065 规定的产品, 其屈服强度 $\geq 830\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\geq 1080\text{MPa}$, 伸长率 $\geq 7\%$, 用于支架锚固等关键部位时需逐根检测力学性能。
- 6.3.2 预应力筋与锚具: 钢绞线为 $\Phi_s 15.2\text{mm}$, 公称直径 15.2mm、每米重 1.101kg, 弹性模量 $1.95 \times 10^5\text{MPa}$, 1000h 应力松弛率 $\leq 2.5\%$; 锚具用 OVM15-4 型, 锚板硬度 HRC28~32、夹片硬度 HRC50~55, 锚固效率系数 ≥ 0.95 , 极限拉力总伸长率 $\geq 2.0\%$ 。

7 施工工艺

7.1 施工工艺流程

预应力混凝土大悬臂盖梁模块化施工遵循“施工准备→模块化支架安装→钢筋骨架预制与吊装→模板安装→混凝土浇筑→预应力施工→支架整体移运”核心流程。通过模块化支架整体安装与移运, 减少高空散拼作业; 钢筋骨架分节段预制吊装, 提升施工效率; 预应力施工严格把控张拉与压浆质量, 确保结构性能。

7.2 模块化支架安装工艺

7.2.1 支架模块拆分与预拼装

7.2.1.1 模块拆分:

- a) 悬臂模块: 由边墩钢管桩 ($\Phi 630 \times 8\text{mm}$, 4m 标准节)、悬臂段承重梁 (I90a, 17.65m)、平联 ($\Phi 426 \times 8$ 钢管) 组成, 单模块重量 $\leq 10.2\text{t}$;
- b) 中间模块: 由中墩钢管桩 ($\Phi 820 \times 10\text{mm}$, 调节段)、中间段承重梁 (I90a, 4.2m) 组成;
- c) 分配梁-防护棚一体化模块: 每 9 根 I32a 分配梁为 1 组, 与防护棚架 (8mm 厚钢板) 焊接, 单模块尺寸 6m \times 4m, 重量 $\leq 5\text{t}$ 。

7.2.1.2 地面预拼装:

- a) 在钢筋加工棚旁设置预拼装场地, 平整压实后铺设钢板 (厚度 $\geq 16\text{mm}$);
- b) 悬臂模块预拼装: 将钢管桩、承重梁、斜撑通过法兰、高强螺栓连接, 检查垂直度 ($\leq 1/500$)、尺寸偏差 ($\pm 5\text{mm}$);
- c) 分配梁-防护棚模块预拼装: 焊接分配梁与防护棚架, 确保分配梁间距偏差 $\pm 5\text{mm}$, 防护棚平整度 $\leq 3\text{mm/m}$ 。

7.2.2 支架首次安装步骤

7.2.2.1 边墩钢管桩基础施工:

- a) 涉路施工时, 选择夜间车流量少时临时封闭 1 条车道, 开挖基坑 (尺寸 1.2m \times 1.2m \times 1.0m);
- b) 浇筑 C30 混凝土扩大基础, 预埋钢板 (厚度 20mm), 基础顶面平整度 $\leq 5\text{mm}$;
- c) 养护 7d 后, 安装边墩钢管桩 ($\Phi 630 \times 8\text{mm}$), 采用全站仪校正垂直度 ($\leq 1/500$), 顶部焊接 4I25 垫梁。

7.2.2.2 中墩钢管桩调节段安装: 中墩以承台为基础, 安装 $\Phi 820 \times 10\text{mm}$ 钢管桩调节段, 高度按现场标高确定, 顶部法兰与承重梁匹配; 安装平联 ($\Phi 426 \times 8$ 钢管) 与斜撑, 增强支架稳定性。

7.2.2.3 悬臂模块吊装: 采用 50t 汽车吊, 在临时封闭交通时段, 将预拼装好的悬臂模块整体吊装至边墩与中墩调节段顶部; 模块对接后, 安装高强螺栓, 用液压扭矩扳手紧固至设计扭矩, 扭矩偏差 $\pm 3\%$; 重复上述步骤, 吊装另一侧悬臂模块。

7.2.2.4 中间模块安装: 吊装中间段承重梁 (4.2m), 与两侧悬臂模块拼接, 安装高强螺栓并紧固; 检查承重梁整体直线度, 超限时调整。

7.2.2.5 分配梁-防护棚一体化模块安装: 每侧悬臂段分 2 次吊装分配梁-防护棚模块, 模块与承重梁焊接连接 (焊缝高度 $\geq 8\text{mm}$); 安装完成后, 检查分配梁间距 ($\pm 5\text{mm}$)、防护棚平整度 ($\leq 3\text{mm/m}$)。

7.2.2.6 底模与桁架安装: 单悬臂段底模与桁架在地面拼装为 1 个模块, 整体吊装至分配梁上; 调整底模标高 (偏差 $\pm 5\text{mm}$), 固定底模桁架与分配梁, 安装临边防护栏杆。

7.2.3 支架整体移运工艺

7.2.3.1 移运准备:

- a) 盖梁预应力张拉压浆完成后, 测量放样移运台车行走轨道线(偏差 $\pm 3\text{mm}$), 可地面划线或采用激光线标记;
- b) 移运台车(50t)行驶至已完工盖梁支架底部, 通过横移油缸调整台车位置, 使调高桁架与承重梁对齐;
- c) 拆除支架平联、中墩调节段螺栓, 通过支架卸落块使支架落架 $8\sim 10\text{cm}$, 拆除中间段承重梁。

7.2.3.2 支架锚固与顶升: 用精轧螺纹钢将调高桁架与承重梁锚固(锚固力 ≥ 1.2 倍模块重量); 启动升降油缸, 顶升支架模块 $3\sim 5\text{cm}$, 使模块脱离边墩与中墩支撑。

7.2.3.3 整体横移与纵移: 启动横移油缸, 将支架模块横移 1.1m 至墩身外侧; 启动行走系统, 台车驮运支架模块沿轨道纵移至下一待施工墩位(N+1#), 行驶速度 $\leq 5\text{m}/\text{min}$ 。

7.2.3.4 模块精调与安装:

- a) 纵移到位后, 横移支架模块至设计位置, 通过水平油缸、升降油缸、旋转装置精调模块标高(偏差 $\leq 5\text{mm}$)、垂直度($\leq 1/500$);
- b) 安装中墩调节段螺栓、平联与斜撑, 固定支架模块, 拆除台车锚固装置;
- c) 吊装中间段承重梁, 与两侧悬臂模块拼接, 完成支架整体安装。

7.2.3.5 验收与移交: 检查支架螺栓扭矩、垂直度、标高, 合格后填写《支架安装验收记录》; 移运台车驶离, 进入下一循环移运。

7.3 钢筋工程工艺

7.3.1 钢筋骨架分节段预制

7.3.1.1 胎架制作: 在钢筋加工棚内制作长线法预制胎架, 胎架采用型钢(I20a)焊接, 顶面平整度 $\leq 2\text{mm}/\text{m}$; 按盖梁钢筋设计位置, 在胎架上焊接定位钢筋($\Phi 16$), 确保钢筋间距偏差 $\pm 5\text{mm}$ 。

7.3.1.2 钢筋绑扎:

- a) 盖梁钢筋骨架分 $2\sim 3$ 节段预制, 按“先主筋后箍筋、先底层后上层”顺序绑扎;
- b) 主筋连接采用直螺纹套筒, 套筒外露丝扣 $2\sim 3$ 扣, 绑扎箍筋与主筋交点采用双丝绑扎;
- c) 安装预应力孔道定位筋(间距 $\leq 1\text{m}$), 确保孔道位置偏差 $\pm 5\text{mm}$ 。

7.3.1.3 钢筋焊接: 采用钢筋焊接网时, 遵循GB/T 1499.3规定, 焊接网的纵向钢筋间距偏差 $\pm 10\text{mm}$, 横向钢筋间距偏差 $\pm 10\text{mm}$, 焊点抗剪力 $\geq 300\text{N}$, 不得有漏焊、虚焊现象; 焊接网在骨架中的安装位置偏差 $\leq 5\text{mm}$, 与其他钢筋的连接采用绑扎或焊接固定。

7.3.1.4 骨架加固: 每节段骨架设置 $2\sim 3$ 道劲性骨架($\angle 100\times 8$ 角钢), 防止吊装变形; 骨架两端焊接吊点($\Phi 20$ 圆钢), 吊点数量按吊装计算确定(≥ 4 个)。

7.3.1.5 预制验收: 检查骨架尺寸(长度 $\pm 10\text{mm}$, 宽度/高度 $\pm 5\text{mm}$)、钢筋间距($\pm 10\text{mm}$)、吊点牢固度; 验收合格后, 标注节段编号, 准备吊装。

7.3.2 钢筋骨架分节段吊装

7.3.2.1 吊装准备: 采用50t汽车吊, 配备专用吊具, 确保吊装时骨架水平(倾斜角度 $\leq 3^\circ$); 在底模两侧焊接限位槽钢($\angle 100\times 8$)与导向架($\Phi 25$ 圆钢), 引导骨架精准落模。

7.3.2.2 吊装过程:

- a) 第一节段骨架吊装: 吊机将骨架吊至盖梁上方, 缓慢下落, 通过导向架调整位置, 落模后临时固定;
- b) 节段拼接: 后续节段吊装就位后, 采用直螺纹套筒连接主筋, 拼接处箍筋加密(间距 $\leq 100\text{mm}$);
- c) 整体调整: 拼接完成后, 检查骨架轴线位置(偏差 $\leq 10\text{mm}$)、保护层厚度(+5mm/-5mm)。

7.3.2.3 验收记录: 填写《钢筋骨架安装验收记录》, 记录吊装时间、节段编号、偏差数据; 验收合格后, 方可进行模板安装。

7.4 模板与混凝土工程工艺

7.4.1 模板安装

7.4.1.1 侧模安装：侧模采用钢模板（厚度 $\geq 6\text{mm}$ ），面板平整度 $\leq 2\text{mm/m}$ ，模板拼接处粘贴密封胶条（厚度 10mm ），防止漏浆；采用螺栓将侧模与底模桁架连接，调整侧模垂直度（ $\leq 1/500$ ），采用斜撑固定；

7.4.1.2 预应力孔道安装：采用金属波纹管（内径 \geq 预应力筋外径 $+10\text{mm}$ ），接头处采用大一号波纹管套接（长度 $\geq 200\text{mm}$ ），密封胶带缠绕；孔道两端安装锚垫板，锚垫板与孔道轴线垂直（偏差 $\leq 1^\circ$ ）固定牢固。

7.4.1.3 模板验收：检查模板尺寸（盖梁长度 $\pm 10\text{mm}$ ，宽度/高度 $\pm 5\text{mm}$ ）、平整度（ $\leq 3\text{mm/m}$ ）、密封性；验收合格后，清理模板内杂物、积水，涂刷脱模剂（采用食用植物油，薄而均匀）。

7.4.2 混凝土浇筑

7.4.2.1 浇筑准备：检查混凝土坍落度（ $180\pm 20\text{mm}$ ），符合要求后方可浇筑；布置浇筑布料点，采用 56m 泵车布料，避免混凝土离析。

7.4.2.2 浇筑过程：

a) 分层浇筑：分层厚度 $\leq 300\text{mm}$ ，采用插入式振捣器振捣；

b) 浇筑顺序：从盖梁两端向中间对称浇筑，避免单侧荷载过大导致模板变形；

7.4.2.3 浇筑后处理：混凝土初凝前，采用木抹子抹平盖梁顶面，初凝后覆盖土工布保湿；按要求留置试块（标准养护、同条件养护），记录浇筑时间、方量、坍落度；

7.4.2.4 养护：采用喷淋养护（养护温度 $\geq 5^\circ\text{C}$ ），养护时间 $\geq 14\text{d}$ ；养护期间定期检查混凝土表面湿度，确保土工布湿润。

7.5 预应力工程工艺

7.5.1 预应力张拉

7.5.1.1 张拉准备：混凝土强度达到设计值 90% 、弹性模量达到设计值 80% 后，方可张拉；安装锚具、夹片，清理孔道内杂物，检查张拉设备已校准。

7.5.1.2 张拉顺序：按“先纵向后横向、先长束后短束”顺序张拉，对称张拉（左右对称、上下对称）；张拉控制：采用“应力控制为主、应变校核为辅”，张拉应力值按设计要求，实际伸长值与理论伸长值偏差 $\pm 6\%$ ；

7.5.1.3 张拉过程：

a) 初张拉：张拉至 10% 设计应力，持荷 2min ，记录伸长值；

b) 终张拉：张拉至设计应力，持荷 5min ，锚固夹片，记录最终伸长值；

c) 超张拉（必要时）：对于长束（ $\geq 20\text{m}$ ），超张拉至 105% 设计应力，持荷 5min 后回至设计应力。

7.5.1.4 张拉验收：检查张拉应力偏差（ $\pm 5\%$ 设计值）、伸长值偏差（ $\pm 6\%$ ），合格后填写《预应力张拉记录》；锚固后，切除多余钢绞线（外露长度 $\geq 30\text{mm}$ ），严禁采用电弧切割。

7.5.2 孔道压浆

7.5.2.1 压浆准备：张拉完成后 24h 内进行压浆，配制压浆料（水胶比 $0.26\sim 0.28$ ），搅拌时间 $\geq 3\text{min}$ ，流动度 $\geq 300\text{mm}$ ；安装压浆嘴、排气孔，检查压浆设备（压浆泵、压力表）正常。

7.5.2.2 压浆过程：

a) 从孔道低端压浆，高端排气，直至排气孔流出浓浆（与进浆浓度一致），关闭排气孔；

b) 稳压：压浆压力 $0.5\sim 0.7\text{MPa}$ ，稳压 $3\sim 5\text{min}$ ，确保孔道密实；

c) 压浆顺序：按孔道编号顺序压浆，避免漏压。

7.5.2.3 压浆验收：检查压浆密实度（采用超声检测仪，密实度 $\geq 95\%$ ），每孔道留置1组压浆试块；验收合格后填写《孔道压浆记录》，压浆后养护时间 $\geq 7\text{d}$ 。

8 质量控制

8.1 质量控制体系

建立“四级管控体系”：项目经理审批质量计划，技术负责人编制方案，质量检查员专职监督，班组自检互检。制定工序“三检”、质量例会、奖惩、追溯制度，确保各环节质量可控。

8.2 关键工序质量控制要点

8.2.1 支架体系控制

8.2.1.1 钢管桩：基础强度 $\geq 90\%$ 设计值，垂直度 $\leq 1/500$ ，法兰螺栓对角紧固（扭矩偏差 $\pm 3\%$ ），外露2~3扣。

8.2.1.2 承重梁与分配梁：高强螺栓接触面喷砂除锈（抗滑移系数 ≥ 0.45 ），拼接直线度 $\leq 10\text{mm}/39.5\text{m}$ ；分配梁间距 $\pm 5\text{mm}$ ，焊接牢固无虚焊。

8.2.1.3 验收：首次安装加载1.1倍设计荷载（持荷30min，沉降 $\leq 5\text{mm}$ ）；移运后检查标高 $\pm 5\text{mm}$ 、垂直度，合格后方可施工。

8.2.2 钢筋与混凝土控制

8.2.2.1 钢筋：切断长度偏差 $\pm 10\text{mm}$ ，弯曲尺寸 $\pm 5\text{mm}$ ；直螺纹丝头饱满，连接后扭矩达标；骨架预制尺寸 $\pm 10\text{mm}$ （长）、 $\pm 5\text{mm}$ （宽/高），吊装水平度偏差 $\leq 3^\circ$ ；垫块间距 $\leq 1\text{m}$ ，保护层 $+10\text{mm}/-5\text{mm}$ 。

8.2.2.2 混凝土：原材料检验合格，按砂石含水率调整配合比；分层振捣密实，无露筋、蜂窝（麻面 $\leq 0.1\%$ 表面积）；养护温度 $\geq 5^\circ\text{C}$ ，时间 $\geq 14\text{d}$ ，同条件试块强度 $\geq 95\%$ 设计值。

8.2.3 预应力控制

张拉时机严格把控，应力偏差 $\pm 5\%$ ，伸长值偏差 $\pm 6\%$ ，钢绞线回缩 $\leq 6\text{mm}$ （无滑丝/断丝）；压浆压力 $0.5\sim 0.7\text{MPa}$ ，稳压 $3\sim 5\text{min}$ ，密实度 $\geq 95\%$ ，不合格孔道返工。

8.3 质量验收与问题处理

8.3.1 验收标准与流程

工序验收：班组自检→互检→专检；分项验收：施工申请→监理核查记录+抽检；分部验收：建设组织，核查资料与实体，合格后备案。

8.3.2 常见问题处理

8.3.2.1 支架垂直度超标：千斤顶调整，偏差大时加斜撑，复验合格。

8.3.2.2 保护层不足：补装垫块，调整钢筋位置。

8.3.2.3 混凝土麻面 / 蜂窝：麻面用1:2水泥浆修补，蜂窝剔除松散部分，高一强度等级混凝土修补养护7d。

8.3.2.4 张拉伸长值偏差：重新计算理论值，检查孔道通畅性，必要时测摩阻调整参数。

8.3.2.5 质量事故需立即报告，组织专家调查，制定方案（重大事故需论证），实施后验收，编写报告归档。

9 安全与环保

9.1 安全控制

9.1.1 安全管理与专项方案

建立“项目经理-安全总监-安全员-班组”体系，涉路施工编制交通疏解方案（临时车道 $\geq 3.5\text{m}$ ，标志距施工区 $\geq 50\text{m}$ ，限速 $\leq 40\text{km/h}$ ）；高空作业方案明确平台满铺脚手板、防护栏杆 $\geq 1.2\text{m}$ 、安全平网隔层设；吊装方案验算吊车选型，划定警戒区；支架方案控制荷载（超载系数1.2），移运前查锚固。

9.1.2 检查与应急管理

9.1.2.1 日常检查：安全员每日巡查高空、吊装作业；每周专项查支架，每月查临时用电（JGJ 46，三级配电两级保护，配电箱IP54）。

9.1.2.2 培训与演练：人员进场培训 ≥ 8 学时，特种作业持证上岗；每日班前讲话 ≥ 10 分钟，告知风险；每季度应急演练（高处坠落、支架坍塌等），配备急救箱、灭火器、对讲机，每月检查应急物资。

9.1.2.3 发生事故立即启动预案，组织救援，上报部门，查明原因整改。

9.2 环保控制

9.2.1 环保措施

9.2.1.1 噪声控制：选用低噪设备，加装隔音罩；避免 22:00~6:00 施工，确需施工报备环保部门；监测场界噪声（昼 ≤ 70 dB，夜 ≤ 55 dB）。

9.2.1.2 扬尘与固废：围挡设喷淋（间隔 5m，每日 ≥ 3 次，30min/次）；场地硬化（ ≥ 150 mm 厚 C30）；渣土车加盖篷布，出场冲轮胎；建筑垃圾与生活垃圾分类，可回收送回收站，不可回收环卫清运。

9.2.1.3 废水处理：施工废水三级沉淀后用于喷淋，生活污水进化粪池清运，监测水质符合 GB 8978。

9.2.2 环保验收

施工完成后清理场地，恢复绿化；建设单位组织验收，核查措施落实与监测数据（噪声每季度、扬尘实时、废水每月），合格后方可交付。

10 工程验收

10.1 验收阶段与内容

10.1.1 分级验收要求

10.1.1.1 工序验收：每道工序完成后，施工与监理验收，合格进入下道工序。

10.1.1.2 分项验收：支架、钢筋、混凝土、预应力工程完工，施工申请，监理核查记录+抽检，合格签署记录。

10.1.1.3 分部验收：所有分项合格，建设组织施工、监理、设计验收，核查资料（图纸、方案、检测报告），实体检查尺寸（ ± 10 mm）、强度（回弹）、平整度（ ≤ 3 mm/m），合格备案。

10.1.1.4 竣工验收：工程完工，建设组织五方验收，核查质量、环保、安全，档案齐全规范，合格后备案，出具《竣工验收报告》。

10.2 验收资料与争议处理

10.2.1 资料要求

资料需完整规范：工程准备阶段（施工许可证、图纸会审）、施工过程（材料合格证、工序记录、检测报告）、验收阶段（分项/分部/竣工验收记录）；格式统一，数据真实无涂改，纸质装订、电子存储（保存 ≥ 5 年）。

10.2.2 争议处理

验收争议优先协商，协商无果委托第三方检测；重大争议（结构安全）组织5名以上专家论证；不合格项目整改后复验，直至合格。