

# 城市道路斜拉桥大跨度水中梁柱式支架现浇梁施工质量控制关键技术研究

文 / 税 毅 四川路桥桥梁工程有限责任公司

**摘要：**针对城市道路斜拉桥  $\pi$  型主梁（双肋板+横梁组合面）在大跨度水中环境下的现浇梁施工难题，结合遂宁涪江六桥（袁家坝渡改桥）工程实践，系统阐述了梁柱式支架设计、水中钢管支架稳定性、双肋板式主梁线形控制、横梁节点精细化施工等关键技术。旨在不断完善和发展大跨度梁柱式支架施工技术，充分保证梁体施工质量，为今后类似的工程提供重要借鉴意义。

**关键词：**城市道路斜拉桥； $\pi$  型主梁；大跨度；水中梁柱式支架；现浇梁；施工质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.062

## 引言

随着桥梁建设向大跨、复杂、智能化方向发展，仍存在进一步探索的空间。未来研究可聚焦于BIM技术与施工质量控制的深度融合，利用其可视化与模拟分析功能，实现施工全过程动态优化；同时，加强智能传感器与物联网技术的应用，构建实时、精准的施工监测预警系统，进一步提升质量控制的智能化水平。

### 一、工程概况与结构施工难点

遂宁涪江六桥（袁家坝渡改桥）位于遂宁市中心城区北部，西侧位于船山区老城区，东侧位于河东新区。该桥梁集成了装配式钢栈桥、深水桩基础、模架分离式索塔、复杂曲线钢混组合索塔、支架现浇法替代前支点挂篮法等重难点施工工艺，桥梁施工组织要求高，施工难度大。桥位区地层较为简单，上部覆盖层厚2.2~2.6m，主要为松散卵石，下伏基岩为侏罗系上统遂宁组强、中风化泥岩，其中中风化厚度较薄，揭露厚度0.8~1.7m，岩体较破碎；中风化层埋深3~4.7m，岩体较完整，岩芯一般呈柱状，工程性质良好，地基承载力高。

遂宁涪江六桥主桥采用双塔混凝土梁斜拉桥，跨径布置为60+118+338+118+60=694m，边中跨比0.527，主梁分幅布置，采用混凝土 $\pi$ 型双肋板+横梁组合式截面。主梁分幅结构设计，单幅梁顶宽21.5m，设2%横坡，梁高2.6m。标准段顶板厚0.28m，索塔区域通过两个节段先加厚至0.32m，再加厚0.4m。边肋标准段宽1.8m，索塔、辅助墩以及边跨区域加宽至2.2m，采用C55混凝土。水中施工区域水深2~4m，河床为砂卵石层，施工期最大流速为2.5m/s，通航等级为III级。

### 二、梁柱式支架设计与水中基础施工

#### （一）总体方案选定

施工前结合场地布局、施工进度控制、施工安全控制、施工质量控制、施工成本控制等多因素综合对比分析，对施工方案进行必选。

方案一：原设计采用挂篮悬浇。主梁S0#号梁

段采用墩旁托架现浇。主梁边跨BX01~BX12号梁段，BD01~BD12号梁段，中跨ZS01~ZS19号梁段采用前支点挂篮悬浇。主梁Z20号梁段采用吊架施工。

优点：①0#梁段浇筑完成后，只需要一对可行走的挂篮即可完成剩余梁段的浇筑，投入少，节约成本；②挂篮施工平台离河面有一定距离，可不考虑水文条件对支架的影响。

缺点：①挂篮悬浇每节段只能浇筑一个梁段，且下一梁段的施工须等挂篮纵向前移锚固在已浇筑梁段后方能进行，整个过程占用时间较长，工期得不到保证；②每节段梁体预应力施工结束后，斜拉索张拉前要完成临时受力体系转换为永久结构体系，工序较为复杂。

方案二：方案采用梁柱式支架现浇，钢管立柱采用 $\phi 720 \times 8\text{mm}$ 螺旋钢管通过引孔插入河床底，基础用细砂填充密实，横梁采用3拼56工字钢，主梁采用321型贝雷梁，分配梁采用25工字钢，支架采用盘口支架，待节段梁体斜拉索施工完成后拆卸上一节段的部分支架，用于周转使用。

优点：①引孔及支架搭设可优先于梁段施工，有利于加快施工进度保证工期；②可循环支架的较高初始成本通过3~4次重复使用即可分摊，有利于节约成本；③支架受力体系清晰明确，工序较为简单，安全风险可控。

缺点：①施工受水文环境影响大。在水中搭设支架，施工过程极易受到水流速度、水位变化、洪水等水文因素的影响；②施工成本高。水中支架的搭设需要大量的材料，如钢管、型钢、模板等，且这些材料在使用后可能存在一定损耗。③施工完成后，水中支架的拆除工作难度较大。

#### （二）支架设计

根据施工经验，结合 $\pi$ 型梁的结构尺寸、斜拉索的索锚区位置以及现场地形条件，通过结构验算，支架设计如下：

基础层：采用 $\phi 720 \times 8\text{mm}$ 螺旋钢管，插入中风化岩层2~3m，单幅支架横向共5排钢管，间距布置为

450cm+600cm+600cm+450cm, 钢管柱柱脚和柱顶均按设计要求设置加劲钢板, 保证支架的整体稳定性, 不失稳, 在立柱间设连接系, 连接系采用 [20 槽钢, 上下两根钢管采用法兰盘连接。

主梁层: 主梁下方采用三拼 56b 工字钢横梁 + 贝雷梁 + 盘扣架组合体系, 横梁长度为 2×1200cm, 上下翼缘板采用焊接连接, 接头留于中心立柱顶面, 在立柱顶面处布置 3 道加劲板, 板厚  $\delta=16\text{mm}$ , 间距 15cm, 贝雷梁在边肋位置设加强弦杆, 在与承重梁共截面的支点处竖腹杆旁边增加双拼 [10 作为加强竖腹杆, 验算偏载工况下支架最大应力为 145Mpa ( $<$  钢材容许应力 170Mpa), 跨中挠度 22mm ( $<$   $L/400=30\text{mm}$ )。

### (三) 水中钢管桩施工关键技术

#### 1. 定位工艺

采用“装配式浮箱 +GPS-RTK+ 导向架”三维定位, 首根桩平面位置偏差控制在 2cm 以内, 后续桩通过相邻桩间水平杆固定, 垂直度实时监测 (每沉桩 2m 测一次)。

#### 2. 首节段钢管桩下沉工艺

引孔达到设计标高后, 位于浮箱上的履带吊将抓斗沉入孔内进行清孔, 并提取出渣样送往试验室做承载力试验, 随后履带吊将首节段钢管沉入孔内, 并将钢管固定在导向架上, 然后用抓斗往孔内填满河沙, 填满后用插板机反复插打桩帽, 直到桩底不再下沉为止。

#### 3. 支架预压工艺

在支架结构安装完成并检查合格后进行预压。预压的目的之一是检查支架及地基的强度及稳定性, 消除混凝土施工前支架的非弹性变形 (消除整个地基的沉降变形及支架各接触部位的变形)。二是检验支架的受力情况和弹性变形情况, 测量出支架的弹性变形。

加载时按照最大施工荷载的 0 → 60% → 100% → 110% → 100% → 60% → 0 进行三级加载, 并监测各级荷载下的位移和变形。每级加载完 1 小时后进行支架的变形观测, 加载完毕 6 小时测量一次变形值。预压卸载时间以地基沉降变形稳定为原则确定, 最后两次沉落量观测平均值误差不大于 2mm 时, 可终止预压。

表 1 落地大钢管支架检查表

项次	检查项目	检查要求	检查方法
1	安全防护	(1) 安全通道、操作平台设置是否满足施工和规范要求;	查看
		(2) 安全警示标识布置是否完善;	查看
		(3) 临边防护设置是否满足施工和规范要求;	查看
2	钢管型号	(1) 钢管型号、尺寸满足施工需求;	尺量
		(2) 钢管有严重锈蚀、变形或裂缝不得使用;	查看
3	钢管连接	(1) 钢管坡口接缝、焊条型号、焊接质量满足施工规范要求;	查看、尺量
	连接加劲板	(2) 钢管高度满足施工要求;	尺量
4	立柱安装	(1) 加劲板尺寸、焊接质量满足施工和规范要求;	查看、尺量
		(1) 立柱位置、竖直度满足施工和规范要求;	查看、测量
		(2) 封头钢板焊接质量满足施工规范要求;	查看、尺量
5	横联安装	(3) 加强三角筋板尺寸、焊接质量满足施工和规范要求;	查看、尺量
		(1) 横联材料规格和尺寸满足施工要求;	查看、尺量
		(2) 横联螺栓孔开孔大小、位置满足施工规范要求;	查看、尺量
6	斜联安装	(3) 横联两端抱箍的水平度满足施工要求;	查看、尺量
		(1) 斜联材料规格和尺寸满足施工要求;	查看、尺量
7	横梁安装	(2) 斜联螺栓开孔大小、位置满足施工要求;	查看、尺量
		(1) 横梁型号、尺寸满足施工要求;	查看、尺量
		(2) 横梁组拼焊接质量满足施工规范要求;	查看、尺量
8	贝雷桁架安装	(3) 横梁安装位置、间距满足施工要求;	查看、尺量
		(1) 贝雷梁型号、尺寸满足施工要求;	查看、尺量
		(2) 贝雷桁架组拼和螺栓连接满足施工和规范要求;	查看、尺量
9	分配梁安装	(3) 贝雷桁架安装位置和间距满足施工要求;	查看、尺量
		(1) 分配梁型号和尺寸满足施工要求;	查看、尺量
		(2) 分配梁组拼和焊接质量满足施工和规范要求;	查看、尺量
		(3) 分配梁安装位置和间距满足施工要求;	查看、尺量

### 三、 $\pi$ 型主梁现浇施工关键质量控制技术

#### (一) 施工准备

所有投入施工生产的原材料进场时必须经过检验且合格后方能投入使用。钢材、钢铸件的品种、规格、性能要求等检查其质量合格证明文件、检验合格标志和检验报告等。型钢采用钢尺或游标卡尺检验其规格尺寸和偏差,符合其产品标准的要求。钢材表面有锈蚀、麻点或划痕等缺陷时,其深度不得大于钢材厚度负允许偏差的1/2,钢材端边或端口处无分层、夹渣等缺陷。

高强度连接螺栓按包装箱配套供应,包装箱上标明标号、规格、数量及生产日期。螺栓、螺母、垫圈外观表面涂油保护,不应出现生锈和沾染脏物,螺纹无损伤。

支架原材料及构配件进场后检验其材质、规格尺寸、焊缝质量、外观质量等,同时核查产品标识及产品质量合格证。重复使用的支架材料及构配件,经检查合格后方可使用,必要时通过荷载试验确定其实际承载能力。

#### (二) 安全防护设施安装

主跨在P38、P39主墩处设置上下通道,边跨在P37、P40处设置上下通道,梯笼与桥墩间采用10#角钢附墙。水平通道采用盘扣架搭设,上面铺3mm的钢板避免高空坠物伤人。纵向施工通道及操作平台采用在底模板的支架上铺设钢跳板,平台宽度1m,临边设置护栏,高度超过主梁顶板作业面1.2m,均采用盘扣架搭设。临边防护采用密目安全网进行封闭。

#### (三) 模板安装

木模安装时需根据预压数据,调整盘扣架顶面标高。木模背后采用10cm×10cm的方木作为背楞,在面板处纵向布置,间距为0.9m,在边肋处横向布置,间距为0.3m;木模与背楞采用铁钉连接;木模拼接时,接缝位置均设置在方木上,保证模板接缝控制在2mm以内,横梁侧模与面板底模接缝处用双面胶贴平,防止漏浆。

#### (四) 钢筋安装

钢筋绑扎前在底板上按图纸尺寸放样处钢筋的间距,使钢筋排放正确。 $\Phi 25$ 的钢筋接头采用直螺纹套筒连接, $\Phi 16$ 的钢筋接头采用焊接。钢筋切断面在钢筋加工厂内打磨平整,检查丝口无断丝和滑丝现象,套筒拧紧后丝头外露长度在1~2丝之间。焊接接头采用单面焊,焊接长度不小于10d。

#### (五) 预应力管道安装

梁体内预应力管道采用塑料波纹管。波纹管接长可采用大一号同型波纹管作为接头管,接头管长度不得小于30cm,且接头管两端采用密封胶封裹严密。孔道定位必须准确可靠,严禁波纹管上浮。直线段每0.8m,曲线段每0.5m设置一道定位钢筋。

#### (六) 索导管安装

索导管采用Q235B镀锌钢管,在钢结构加工厂加工完成,运到现场后检查其长度、直径以及锚垫板厚度。钢管内壁必须打磨平齐。在初步定位之后,进行精密定位测量,利用高精度的全站仪对索导管的上下口分别进

行复测。精密定位时将索导管上口控制点定位在索导管最上缘中心点位置,下口控制点定位在锚垫板最下缘位置,测量位置的实测三维坐标与理论坐标实测相比较求差值,如果差值大于10mm,施工现场进行微调,继续测量,直至精度满足要求,将索导管与定位钢筋固结。

#### (七) 混凝土浇筑

主梁混凝土设计标号为C55,边跨合拢段及中跨合拢段采用C55微膨胀混凝土。混凝土在拌合站集中拌合,为保证砼的质量,每盘砼搅拌完毕在砼拌合站取样检测坍落度,并观察拌合物的和易性和保水性,不合格的砼不得使用。混凝土浇筑采用泵车加泵管形式,采用多点对称布料,自低向高分层浇筑,分层厚度不大于30cm,水平往复、分层对称进行浇筑振捣,以防因不对称造成内模板支撑受力不均产生的偏移,上层砼必须在下层砼初凝前灌注完毕,拉索齿块优先浇筑,避免水泥浆积聚。

#### 结语

本研究紧密围绕城市道路斜拉桥 $\pi$ 型主梁大跨度水中梁柱式支架现浇梁施工质量控制展开,通过理论分析、技术创新与工程实践相结合,成功攻克了多项施工技术难题,形成了一套系统、有效的质量控制体系。在技术层面,针对 $\pi$ 型主梁结构特性与水中复杂环境,提出了一系列针对性解决方案。支架体系方面,创新落地大钢管+贝雷梁+盘扣组合支架体系及优化设计钢管桩纵向联系,实现了双肋板高精度线型控制及显著提升了水中支架稳定性;施工工艺上,采用多点对称布料,水平往复、分层对称进行浇筑振捣,保证了横梁节点混凝土的密实浇筑;监测手段中,建立全站仪与水准仪联合监测体系,确保施工偏差始终处于可控范围。工程实践数据表明,混凝土强度合格率达100%,线型偏差控制在极小范围内,工期大幅缩短,充分验证了本研究技术方案的有效性 & 可靠性。

从工程应用价值来看,本研究成果为同类复杂结构桥梁施工提供了重要的技术借鉴与实践范例。所提出的质量控制技术不仅保障了桥梁施工质量与安全,还通过缩短工期、降低成本,实现了良好的经济效益与社会效益,对推动城市景观桥梁建设技术进步具有积极意义。

综上所述,本研究在城市道路斜拉桥 $\pi$ 型主梁水中现浇梁施工质量控制领域取得了阶段性成果,但质量提升与技术创新永无止境。期望本研究能为后续桥梁工程建设提供有益参考,助力我国桥梁建设事业迈向更高发展阶段。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市桥梁工程施工与质量验收规范(CJJ 2-2023) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.
- [2] 王建国, 李宏伟. 大跨度斜拉桥施工控制技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
- [3] 张志强, 等. 水中支架抗冲刷设计与施工技术研究 [J]. 桥梁建设, 2022(4): 89-94.