

连续梁桥施工关键技术与质量控制

卢晓刚

中铁北京工程局集团城市轨道交通工程有限公司, 中国·安徽 合肥 230088

摘要: 连续梁桥因跨越能力强、受力性能优、行车平顺性好等特点, 在公路桥梁工程中应用广泛。挂篮悬臂浇筑法作为连续梁桥主桥施工的核心工艺, 其技术水平与质量控制直接决定桥梁工程的安全性和耐久性。本文结合杭埠河特大桥(80+150+85)m预应力混凝土矮塔斜拉桥施工实践, 系统阐述连续梁桥施工关键技术, 包括挂篮施工、悬臂浇筑、预应力施工、合拢段施工等核心环节, 同时提出针对性的质量控制措施和安全保障体系, 为同类工程施工提供参考。

关键词: 连续梁桥; 挂篮悬臂浇筑; 质量控制

Key Technology and Quality Control of Continuous Beam Bridge Construction

Lu Xiaogang

China Railway Beijing Engineering Bureau Group Urban Rail Transit Engineering Co., Ltd., China Anhui Hefei 230088

Abstract: Continuous beam bridges are widely used in highway bridge engineering due to their strong span capacity, excellent load-bearing performance, and smooth traffic flow. The hanging basket cantilever casting method, as the core construction technique for main bridges of continuous beam bridges, directly determines the safety and durability of bridge projects through its technical level and quality control. Based on the construction practice of the Hangbu River Extra-large Bridge (80+150+85) m prestressed concrete low-pylon cable-stayed bridge, this paper systematically elaborates on key construction technologies for continuous beam bridges, including hanging basket construction, cantilever casting, prestressing construction, and closure segment construction. It also proposes targeted quality control measures and safety assurance systems, providing a reference for similar engineering projects.

Keywords: Continuous beam bridge; Hanging basket cantilever casting; Quality control

1 工程概况

杭埠河特大桥全长 862m, 主桥采用(80+150+85)m 预应力混凝土矮塔斜拉桥结构, 全长 315m。杭埠河为 III 级通航河道, 施工便桥搭设至 2#、3# 主墩位置。区域地层主要为第四系填土层、冲积层及白垩系砂质泥岩, 地下水类型为第四系孔隙潜水, 对混凝土结构具微腐蚀性。气候属亚热带季风气候, 四季分明, 降雨集中在 5-8 月, 年均降水量 1214.2mm, 极端最高气温 41.3℃, 极端最低气温 -13.7℃, 对施工组织和质量控制影响显著。

2 连续梁桥施工关键技术

2.1 挂篮施工技术

挂篮作为悬臂浇筑施工的核心设备, 其选型、拼装、预压、行走及拆除直接影响施工安全和梁体线形。

2.1.1 挂篮选型与结构特性

结合本工程最大梁段长度 4.0m、梁高 4.0~5.6m、梁面宽 34.5m 的特点, 选用菱形挂篮。该挂篮为整体移动式结构, 由主桁系统、悬吊系统、锚固系统、行走系统、平台系统及模板系统组成, 具有外形简洁、受力明

确、拆装便捷等优势^[1]。主桁系统采用节点板与矩形杆件通过销轴连接形成菱形桁架, 多榀桁架通过横联及前横梁连成整体; 悬吊系统采用 Q345 钢吊带配合千斤顶调节标高; 锚固系统采用 4 根 $\Phi 32$ 精轧螺纹钢(标准强度 785MPa)通过箱梁预留孔位锚固, 确保挂篮抗倾覆稳定性。

2.1.2 挂篮拼装与预压

挂篮拼装严格遵循“轨道安装→主桁架吊装→横联及前横梁安装→底篮及模板系统安装→防护平台搭设”的顺序。拼装前需对钢支撑找平, 轨道安装横桥向高差不超过 2mm, 中心线误差 ≤ 5 mm。拼装完成后必须进行超载预压, 目的是消除非弹性变形、获取弹性变形值作为预拱度调整依据, 并检验挂篮安全性。预压采用混凝土预制块对称加载, 加载分级为最大节段重量的 10%、50%、100%、120%, 每级加载后静停 6h 观测变形, 当 12h 沉降量平均值小于 2mm 时方可继续加载, 最终按 100%、50%、10%、空载分级卸载。本工程 5# 节段为最重节段(557.3t), 预压最大重量为 668.76t。

2.1.3 挂篮行走与拆除

挂篮行走需在当前梁段纵向预应力张拉及压浆完成后进行,行走前解除所有锚固约束,通过行走油缸顶推前移,速度控制在80mm/min,确保各主桁架同步移动,轴线偏差 $\leq 20\text{mm}$ 。行走到位后立即锚固主桁架后锚点,调节前支点承重座受力,使滑船脱离轨道^[2]。挂篮拆除分边跨和中跨两种场景:边跨利用吊车配合拆除,中跨需船舶辅助,拆除顺序为“底模平台→侧模→主桁架”,拆除过程中采用倒链及钢丝绳临时固定,防止构件失稳坠落。

2.2 悬臂浇筑施工技术

悬臂浇筑施工需遵循“对称、平衡、同步”原则,确保梁体线形和受力均衡,核心工序包括钢筋加工安装、模板工程、混凝土浇筑等。

2.2.1 钢筋与模板施工

钢筋加工采用工厂集中加工、现场绑扎方式,受力钢筋接头采用焊接连接,双面焊缝长度不小于5d,单面焊缝不小于10d,同一截面焊接接头面积不超过50%。钢筋安装时需保证保护层厚度,底板、腹板保护层3.5cm,顶板3.0cm,垫块按不小于4个/ m^2 梅花形布置。模板系统中,侧模和底模采用6mm定型钢模,内模采用18mm竹胶板配合方木及碗扣架支撑,模板拼接平整度偏差 $\leq 1\text{mm}$,安装后梁高允许偏差0~+10mm,梁段纵向旁弯 $\leq 10\text{mm}$ 。

2.2.2 混凝土施工

混凝土采用拌和站集中拌制,罐车运输,地泵对称泵送入模,浇筑顺序为“底板→腹板→顶板”,横桥向从跨中向两侧推进,顺桥向从上一节段向下一节段浇筑。底板浇筑通过内模预留窗口下料,腹板浇筑分层厚度 $\leq 30\text{cm}$,两侧同步对称进行,顶板浇筑后压实收光至少2次。混凝土浇筑时间控制在6h内,避免超过初凝时间,入模温度夏季不高于28℃,冬季不低于5℃。养护采用覆盖无纺土工布洒水养护,普通混凝土养护不少于14d,大体积混凝土不少于28d。

2.3 预应力施工技术

本工程采用三向预应力体系,纵向及横向预应力筋为 $\phi_s 15.2$ 钢绞线(标准强度1860MPa),竖向为 $\Phi 16$ 无粘结预应力钢棒,预应力施工质量直接影响梁体承载能力和耐久性。

2.3.1 预应力管道与锚具安装

预应力管道采用塑料波纹管,安装时通过定位网片固定,坐标偏差 $\leq 5\text{mm}$,管道接头用胶布密封防止漏浆。锚具进场需检验外观质量及锚固性能,千斤顶与压力表配套标定,使用300次或6个月后可重新标定。竖向预应力钢棒张拉端预留5.5cm螺纹工作长度,锚垫板与钢束轴线垂直,螺旋筋安装位置准确,避免振捣移位。

2.3.2 张拉与压浆工艺

预应力张拉需在混凝土强度达到设计强度90%且龄期不少于7d后进行,张拉顺序为“纵向→横向→竖向”,同一类型预应力束先长束后短束、先腹板束后顶板束。张拉采用“双控”原则,以张拉力控制为主,伸长值校核为辅,实际伸长值与理论伸长值误差控制在 $\pm 6\%$ 以内^[3]。纵向预应力束张拉程序为 $0 \rightarrow 0.1\sigma_{\text{con}} \rightarrow 0.2\sigma_{\text{con}} \rightarrow 1.0\sigma_{\text{con}}$ (持荷5min);竖向预应力钢棒采用二次张拉工艺,控制张拉力185.5kN,以弥补有效预应力损失。张拉完成后24h内进行孔道压浆,采用真空压浆工艺,浆液抗压强度不低于55MPa,压浆过程中确保孔道内空气排尽,压浆压力控制在0.5~0.7MPa。

2.4 合拢段施工技术

合拢段施工是连续梁桥体系转换的关键环节,需严格控制合拢温度、配重平衡及锁定工艺,本工程按“先边跨后中跨”的顺序施工。

2.4.1 合拢段准备与配重

合拢段长度2m,混凝土体积66.7 m^3 ,采用吊架施工(利用挂篮底篮及模板改造)。合拢前清除梁体多余荷载,确保悬臂端相对高差 $\leq 15\text{mm}$,轴线偏差 $\leq 7.5\text{mm}$ 。配重采用水袋对称加载,边跨每侧压重84t,中跨每侧压重87t,混凝土浇筑过程中同步卸载,保持悬臂端受力平衡。

2.4.2 合拢锁定与混凝土浇筑

合拢锁定遵循“又拉又撑”原则,包括劲性骨架焊接和临时预应力张拉。劲性骨架采用16根[40b槽钢组拼,顶板、底板各8根,焊接需在15℃左右的低温时段进行,4h内完成,焊缝长度不少于60cm,确保形成刚接约束。混凝土浇筑选择夜间低温时段(气温 $15 \pm 3\text{℃}$)进行,2~3h内完成浇筑,采用微膨胀混凝土减少收缩变形,浇筑后覆盖养护,确保强度增长满足张拉要求。

2.4.3 体系转换与预应力张拉

合拢段混凝土强度达到设计强度100%且龄期 $\geq 5\text{d}$ 后,解除临时劲性骨架,按设计顺序张拉合拢段预应力束,完成体系转换。张拉完成后及时压浆封锚,拆除吊架及模板,确保梁体受力稳定。

3 质量控制措施

3.1 原材料质量控制

建立“进场验收→抽样复检→存储管理”全流程管控体系。水泥、钢筋、钢绞线等主要材料进场需核查质量证明书,按规范抽样复检,合格后方可使用;混凝土原材料按“三低二掺一高”原则设计配合比,即低砂率、低坍落度、低水胶比,掺加高效减水剂和高性能引气剂,提高粉煤灰掺量,生产抗裂混凝土;砂石料堆场进行硬化处理,分区堆放并设置排水设施,防止含水率波动影响混凝土性能。

3.2 关键工序质量控制

3.2.1 混凝土质量控制

混凝土搅拌采用电子计量系统,严格控制配合比偏差,夏季采用加冰降温措施,冬季对原材料加热,确保入模温度符合要求。振捣采用插入式高频振动棒,避免碰撞预应力管道及模板,振捣至混凝土停止下沉、表面泛浆无气泡为止,杜绝漏振、过振。浇筑完成后及时覆盖保湿,大体积混凝土预埋冷却水管降温,控制内部最高温度不大于75℃。

3.2.2 预应力施工质量控制

预应力筋张拉前校验张拉设备,确保张拉力精度;张拉过程中专人记录张拉力及伸长值,若出现滑丝、断丝,总数不得超过该断面钢丝总数的1%,且每束不超过1根,否则需换束重新张拉。孔道压浆采用专用压浆料,压浆前用高压水冲洗孔道并吹干,压浆过程连续均匀,确保孔道密实,压浆后按规范制作试块,检验抗压强度。

3.2.3 线形控制

聘请专业监控单位进行全过程线形监控,在0#段设置基准控制点,各梁段腹板外侧预埋高程观测点,监测工况包括“立模后→混凝土浇筑后→预应力张拉后→挂篮行走后”。测量时间选择在日出后1h内(温度稳定时段),采用水准仪和全站仪进行高程及轴线测量,根据监测数据调整下一节段立模标高,确保合拢前两悬臂端相对高差 $\leq 15\text{mm}$,轴线偏差 $\leq 15\text{mm}$ 。

3.3 特殊季节施工质量控制

3.3.1 夏期施工

原材料采取遮阳降温措施,砂石料喷水降温,拌和水加冰处理;混凝土浇筑安排在傍晚或夜间,浇筑后及时覆盖保湿;运输车辆加装隔热设施,缩短运输时间,确保入模温度 $\leq 30\text{℃}$ 。

3.3.2 雨季施工

钢筋、水泥等材料堆放时垫高30cm并覆盖防雨布;混凝土浇筑前收听天气预报,避开大雨天气,小雨浇筑时搭设雨棚,控制坍落度;雨后检查钢筋锈蚀情况,除锈合格后方可使用;加强施工现场排水,防止基坑积水影响地基稳定性。

3.3.3 冬季施工

混凝土拌制时掺加引气剂提高抗冻性,原材料加热优先考虑拌和水,再考虑集料;混凝土入模温度 $\geq 5\text{℃}$,浇筑后采用棉被+电热毯覆盖养护,强度达到设计强度40%及5MPa前不得受冻;钢筋焊接在室内进行,室外焊接需采取防风防雪措施,最低温度不低于 -20℃ 。

4 安全保障体系

4.1 安全管理体系

建立“项目经理为第一责任人、安全总监监督、专职

安全员现场管控”的三级安全管理体系,层层签订安全责任书。制定安全技术交底制、安全培训制、安全检查制和安全奖惩制,高风险工序实行领导带班制,每月进行一次安全大检查,专职安全员不定期巡查,及时消除安全隐患。

4.2 专项安全技术措施

4.2.1 高空与水上作业安全

高空作业人员必须佩戴安全帽、安全带,作业平台满铺脚手板并设置1.2m高护栏及密目安全网;水上作业配备救生衣、救生圈等救生设备,施工便桥及作业平台设置防护栏杆,夜间悬挂警示灯;遇六级及以上大风、大雨等恶劣天气,停止高空及水上作业。

4.2.2 起重与用电安全

起重设备(塔吊、汽车吊)需经检验合格后方可使用,操作人员持证上岗,严格执行“九不吊”原则;吊装作业划定警戒区,设专人指挥,吊索具定期检查更换。施工用电采用三相五线制,实行“一机一闸一漏一箱”,配电箱防雨防尘并加锁,专业电工持证上岗,定期检查线路绝缘情况,高大设备安装避雷装置。

4.3 应急预案

制定机械伤害、触电、高处坠落、坍塌、水上淹溺等专项应急预案,成立应急救援领导小组,配备急救车、抢险机械、医药箱、救生设备等应急物资。定期组织应急演练,提高应急处置能力,事故发生后按“报告→抢险→救治→调查”流程处置,最大限度减少人员伤亡和财产损失。

5 结语

杭埠河特大桥施工实践表明,通过科学选型挂篮并严格执行拼装预压程序、遵循对称平衡浇筑原则、采用预应力“双控”工艺、精准控制合拢温度和配重平衡,可有效保证梁体线形和工程质量。本文总结的施工技术和质量控制措施,对同类大跨度连续梁桥施工具有重要的参考价值。在今后工程中,还需进一步结合智能化监测技术,提高施工过程的精准控制水平,推动连续梁桥施工技术向更高效、更安全、更优质的方向发展。

参考文献:

- [1] 曾炬. 悬臂浇筑法连续梁桥预应力张拉端施工质量控制技术[J]. 国防交通工程与技术. 2021, 19(S1): 101-103.
- [2] 张瑞兵. 大跨度预应力混凝土连续梁桥施工技术及其质量控制[J]. 工程机械与维修. 2022(06):270-272.
- [3] 徐韬. 高速铁路连续梁桥的施工技术及其质量控制研究[J]. 工程机械与维修. 2024(02):200-202.

作者简介:卢晓刚(1994.02-),男,汉族,陕西宝鸡人,工程师,本科,研究方向:从事桥梁工程技术管理工作。