

桥梁预制箱梁施工技术及质量控制要点研究

文 / 冯浩轩 广东潮汕环线高速公路有限公司

摘要：针对桥梁施工中传统现场浇筑工艺存在的工期较长等问题，本文结合某工程实例，对预制箱梁的施工工艺及质量管控要点展开研究。通过从原材料选择、钢筋施工、模板施工、混凝土浇筑养护、预应力筋张拉、箱梁运输吊装及安装等多个环节制定详细技术方案与质量控制措施，研究结果表明：采用工厂化预制、标准化生产及精细化施工方法，能够有效提高预制箱梁结构受力的合理性与施工效率。预制箱梁凭借施工便捷、耐久性良好等优势，成功解决了复杂气候条件下桥梁工程的施工难题，为桥梁工程的工业化建设提供了有力的技术支撑。

关键词：预制箱梁；施工技术；质量控制；桥梁工程

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.056

引言

传统桥梁施工多采用现场浇筑工艺，需在露天环境下进行模板安装、钢筋绑扎及混凝土浇筑，存在工序繁琐、受气候影响大、施工周期长等问题，在高温、高湿或温差显著地区，现场混凝土易因水化热集中、养护不当产生裂缝，影响结构耐久性。随着建筑工业化的发展，预制箱梁凭借工厂化生产优势逐渐成为主流方案，其箱形截面设计可充分发挥材料力学性能，工厂内标准化制作来精准控制混凝土配合比、振捣及养护工艺，确保构件质量均匀；相较于传统工艺，预制箱梁不仅提升了施工效率与结构安全性，还为复杂气候条件下的桥梁建设提供可靠的解决方案。

一、工程概况

某工程位于亚热带季风气候区，该区域季节变化显著，昼夜温差大，对高强混凝土施工提出了严峻挑战，混凝土在此气候条件下容易因湿湿度的变化产生开裂，进而影响预制构件的长期耐久性。本工程采用预制装配式标准箱梁结构，通过工厂化预制、现场装配的方式提高施工效率与工程质量。

二、某桥梁预制箱梁施工技术及质量控制要点

(一) 原材料选择与钢筋施工

1. 混凝土配合比参数与原材料技术指标

该工程针对 C50 混凝土强度等级要求，通过多组试配确定每立方米混凝土材料用量为：水泥 391kg、粉煤灰 57kg、矿粉 39kg、砂 700kg、碎石 1076kg、水 163kg、外加剂 6.1kg。原材料选用严格遵循以下标准：水泥采用宣城海螺水泥厂 P. II52.5 型号，控制水化热总量以减少温致裂缝；粉煤灰需达到 II 级品质要求，矿粉 7 天活性指标大于 75%，二者复掺以优化胶凝体系性能；细骨料选用含泥量低于 0.8% 的河砂，粗骨料采用粒径 5~25mm 的连续级配碎石，确保骨架密实性；外加剂为聚羧酸高性能减水剂，用于调节混凝土工作性。材料储存需分类堆放，水泥储存期不超过 3 个月，砂石料仓需具备通风排水设施，使用前需复核称料误差，严格按配合比执行拌制流程。

2. 钢筋加工安装与质量验收规范

钢筋施工采用“场外预制、整体吊装”工艺，具体流程包括：根据设计图纸编制下料单，精确控制钢筋尺寸偏差；在台座外完成钢筋骨架绑扎，采用专用绑扎丝固定交叉点，钢筋绑扎率应达到 95% 以上，保护层厚度不得小于 20mm，确保骨架稳定性；通过龙门吊将成型骨架整体吊装至台座，减少现场作业误差。质量控制要点包括：钢筋进场需进行力学性能试验及外观检查，绑扎时保证种类、尺寸符合设计要求，避免露天堆放导致锈蚀变形；安装后需检查钢筋间距、保护层厚度及连接质量，焊接或机械连接接头需通过力学性能检测。

(二) 模板施工及质量控制

1. 模板结构设计及材料处理

模板系统采用定型钢模整体设计（示意图见图 1 所示），框架结构通过螺栓连接形成刚性体系，表面经机械抛光处理后达到镜面光洁度。接缝处采用双层密封措施，内侧填充弹性密封胶条，外侧加装连接法兰并用对拉装置加固。模板支撑体系由可调式钢支架与横向稳定杆组成，支架底部设置可调节底座以适应台座平整度差异。内模采用模块化设计，通过伸缩机构实现安装与拆除，面板选用高强度合金钢板，边缘进行倒角处理以避免混凝土浇筑时产生挂浆现象。脱模剂选用专用水性脱模剂，施工前需进行兼容性测试，确保与混凝土成分无化学反应且易脱模。

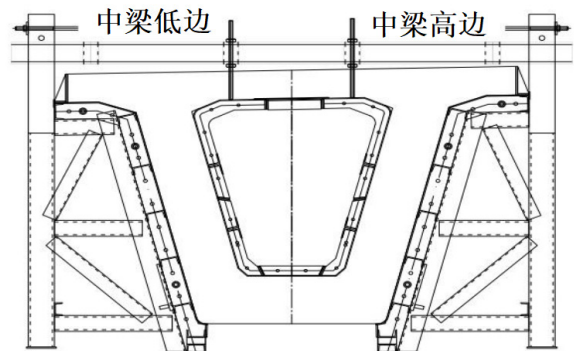


图 1 箱梁模板示意图

2. 安装工艺与精度控制

立模施工遵循“三线控制”原则：以墩台轴线为基准线，以支座垫石中心线为控制线，以梁体设计轮廓线为校核线。安装前对模板进行预拼装，检查接缝吻合度与整体刚度，预拼装偏差超过规范要求时采用机械加工修正。侧模安装时通过斜向支撑与侧向拉杆形成稳定三角形结构，拉杆与模板接触部位加装钢垫片分散应力。内模吊装采用四点平衡吊具，入模后通过调节丝杆校准垂直度，顶部设置防上浮限位装置。安装完成后进行三维坐标扫描，重点检测梁体纵轴线性、腹板厚度变化率及预埋件相对位置，扫描数据与设计模型对比偏差需控制在规范允许范围内。自检环节采用全站仪按每5m一个断面进行连续测量，确保模板几何形态与设计一致。

(三) 混凝土浇筑养护控制

1. 混凝土力学性能测试与浇筑

混凝土浇筑前需同步制作立方体与棱柱体试块，试块分为两组实施差异化养护：一组采用标准养护方式，置于恒温恒湿环境中；另一组则与梁体同条件养护，全程暴露于施工环境的温湿度变化中。在规定龄期对两类试块进行抗压强度及弹性模量测试，通过对比分析不同养护条件下混凝土力学性能的发展规律，为浇筑工艺参数调整提供依据。浇筑时采用分层连续布料方式，布料厚度根据振捣器有效作用范围确定，振捣操作严格遵循“快插慢拔”原则，振捣棒移动间距控制在有效半径的1.5倍以内，每个振点持续振捣至混凝土表面泛浆且无明显

下沉。浇筑过程中需实时监测混凝土坍落度（坍落度宜控制在 $180\pm 20\text{mm}$ 范围内），按批次取样检测工作性能，确保其流动性与黏聚性符合施工要求。

2. 智能养护系统配置

在桥梁构件的养护作业中，混凝土结构常因环境温湿度变化出现裂缝问题。温度波动会引发混凝土内部温度应力，当该应力突破材料抗拉强度限值时，结构便会产生裂隙。此外，混凝土胶凝物质的水化反应需持续水分供给，因此模板拆除后必须对梁体进行周期性洒水养护，以维持表面湿润状态，确保水化过程充分完成。为应对特定地域气候与施工条件，本项目引入智能自动喷淋养护系统（构造详见图2、图3）。现场按养护规范配备足额喷淋设备，确保梁体各区域养护均匀性。养护用水需经过滤处理，防止杂质堵塞管路及喷嘴。

该系统技术要点包括：一是通过整合温湿度、时间等参数，实现喷淋区域、时长及周期的全自动调控；二是台座底部预埋进水管连接喷淋装置，梁体侧面采用台座内置可伸缩喷管——标准箱梁间距5米布设，横隔板位置需加密；三是梁体顶部及端部采用摇摆式喷头，通过软管连接台座预埋管路；四是箱梁内部优先采用自动喷淋，亦可选择蓄水养护；五是采用金属材质中等尺寸喷雾嘴确保水分雾化效果，严格控制喷淋间隔，在前次水分未完全蒸发前启动下次喷淋，保障养护期表面湿度达标；六是合理控制同步工作支路数量，通常以6片梁体为一组进行养护，避免支路过多导致系统压力骤降。

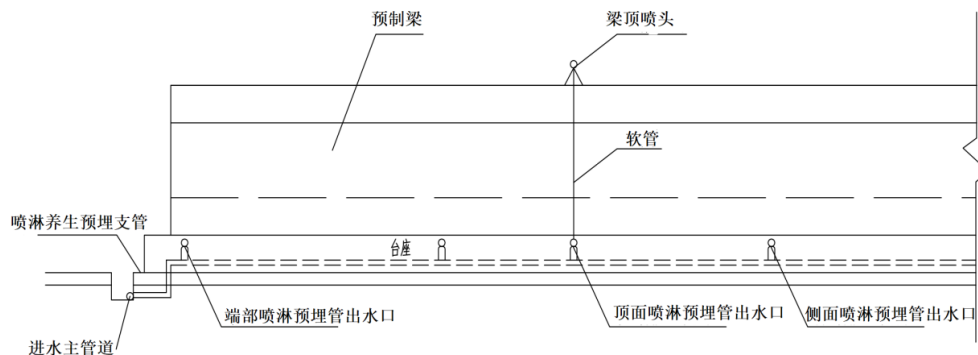


图2 自动喷淋系统立面布置示意图

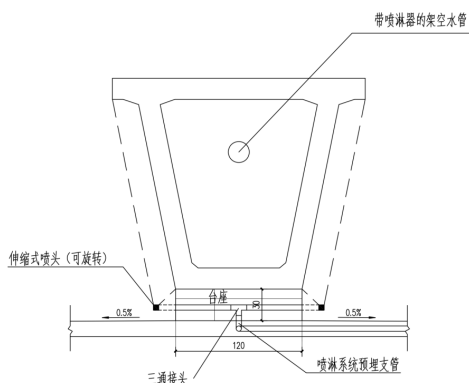


图3 自动喷淋系统侧面布置示意图

(四) 预应力筋张拉施工质量控制

在预制箱梁施工中，预应力筋张拉环节需注重施工状态与理论设计状态的契合度。混凝土强度需达到设计强度的75%以上，或明确要求达到85%且龄期不小于7天后方可张拉；张拉过程采用应力与伸长量双控，实际伸长值与理论值误差严格控制在 $\pm 6\%$ 以内；张拉顺序需对称、分批进行，避免结构扭转或侧弯；千斤顶的吨位不得小于张拉力的1.2倍且不大于2倍，有效期不超过6个月或300次使用；孔道压浆需在张拉后48小时内完成，孔道压浆宜采用强度等级不低于42.5级的普通硅酸盐水泥配制的水泥浆且水泥浆强度不低于30MPa，

且压浆时结构混凝土温度不得低于 5℃ 或高于 35℃；封锚前预应力筋外露长度不宜小于 30mm，切割严禁使用电弧焊；张拉完成后需检查断丝、滑丝数量，后张法构件同一截面断丝率不得超过 3%，每束钢丝断丝不超过 1 根。

（五）箱梁运输与吊装

1. 运输路径与箱梁稳固

箱梁运输前需对路径进行全面勘察，重点评估道路宽度、转弯半径及地基承载能力，对局部狭窄路段和软弱地基区域进行针对性处理，通过换填改良等方式增强路基稳定性。选用专用运梁车辆，其承载能力需与箱梁重量匹配，运输时采用多点支撑方式，确保箱梁重心平衡。箱梁与运梁车之间通过钢带捆绑固定，并在接触部位设置柔性缓冲垫层，防止运输过程中因颠簸产生位移或结构损伤。运输前与相关部门协调，对关键路段实施临时交通管制，避免会车干扰，同时配备引导车辆在前开路，实时监测路况并调整行驶速度，确保箱梁在长距离运输中保持结构完好。

2. 吊装设备调试与安装

吊装前对架桥机进行系统性检查，包括钢轨铺设平整度、起重钢丝绳磨损状况及液压系统运行性能，确保设备处于正常工作状态。吊装作业平台采用块石填筑并分层压实，面层铺设废矿渣料形成硬化处理，周边开挖排水沟防止积水影响地基稳定性。箱梁吊装按照预设编号顺序进行，由专人使用指挥信号统一调度，吊装过程中实时监测箱梁姿态，避免与墩台或其他构件发生碰撞。临时支座安装前需完成预压试验，根据实测下沉量调整安装高度，支座底部通过钢板连接形成整体结构，确保箱梁落位后与永久支座顶面平齐，安装完成后立即检查支座中心线与垫石轴线的对齐精度，通过环氧树脂填充缝隙实现稳固连接。

（六）箱梁安装

1. 临时支座安装与预压处理

在箱梁安装前，需先完成临时支座的设置以确保施工过程中的结构稳定。临时支座采用钢砂筒结构，外部为特定规格的钢管，内部填充粗砂，支撑面则由混凝土钢管构成。每个梁底需安装两个临时支座，并通过底部钢板连接形成整体。安装前必须进行预压试验以确定下沉量，实际安装时需将预设下沉量计入高度调整，通过控制钢管内砂量来确保梁体安装后与永久支座顶面平齐。

2. 箱梁进场验收与强度检测

箱梁进场前需通过第三方检测单位的复检及外观检测，重点核查混凝土强度、预应力张拉数据及孔道压浆质量。吊装前需确认混凝土强度达到设计要求，其中箱梁本身及支撑结构的强度需分别满足特定标准，孔道水泥浆强度也需符合规定。同时，需检查箱梁在运输、存放过程中是否出现损伤或变形，确保构件外观完好。进

场验收时还需核对箱梁的几何尺寸、预埋件位置等关键参数，只有全部指标符合设计要求的箱梁方可进入吊装流程，严禁不合格构件用于工程安装。

3. 安装施工准备与设备调试

施工准备阶段需完成多项关键工作：首先进行设计图纸审核与现场测量复核，包括墩台线、水准点、支座十字线及垫石标高的校验，并用墨线标记支座中心线作为安装基准。盆式支座安装前需彻底清洁部件，确保水平平衡及上下构件对齐，并采取隔热措施保护内部材料。架桥机安装按特定顺序进行，包括前支腿、横移轨道、主梁、提升小车等部件的组装调试，同时检查钢丝绳、枕木等辅助设备的性能与数量。

4. 安装质量控制与特殊工况应对

安装过程中需严格遵循专项方案及技术交底要求，构件起吊时控制悬挑长度并设置水平支撑点，运输时用钢丝绳牢固捆绑。吊装前标记梁体位置线，检查挡块强度及支座间隙，确保符合规范。支座安装时通过环氧树脂固定，保证中心线对齐。针对特殊气候条件，雨季需安排专人维护施工便道，雨天及风力超过 6 级时停止吊装作业。安装完成后需检查箱梁位置、标高及支座受力状态，确保符合设计标准，为后续湿接缝施工及体系转换奠定基础。

结语

综上所述，桥梁预制箱梁施工技术通过严格筛选原材料、精细化钢筋施工、模板施工标准化、混凝土浇筑养护智能化、预应力筋张拉精准化及运输吊装与安装规范化的系统控制，提升预制箱梁的施工质量与效率。某工程的应用实践证明，科学合理的施工技术与严格的质量控制措施，不仅能增强箱梁的结构性能与耐久性，还能保障桥梁整体的安全稳定运行，为类似工程提供了宝贵经验。

参考文献

- [1] 王鼎鑫. 公路桥梁预制箱梁施工技术应用 [J]. 中国水运, 2025, (09): 121-124.
- [2] 李杰涛. 预制箱梁安装施工技术在市政桥梁工程中的应用研究 [J]. 现代工程科技, 2024, 3(22): 99-102.
- [3] 陈敏霞. 公路桥梁预制箱梁施工技术及其质量控制 [J]. 汽车画刊, 2024, (10): 122-124.
- [4] 徐丹. 桥梁预制箱梁施工及架设技术 [J]. 运输经理世界, 2023, (33): 104-106.
- [5] 李凌云. 桥梁预制箱梁安装施工技术探析 [J]. 江西建材, 2023, (06): 297-298+301.

作者简介：冯浩轩（1998.01--），男，湖南省衡阳市人，硕士研究生，主要研究方向为桥梁工程。