

公路桥梁预制梁板施工工艺与智能管控研究

彭薪，文方丙

浙江交工宏途交通建设有限公司，浙江杭州 311305

DOI:10.61369/UAIID.2025040042

摘要：公路桥梁作为交通基础设施的核心组成部分，预制梁板的施工质量与效率直接决定桥梁整体承载能力和使用寿命。本文围绕公路桥梁预制梁板施工全流程，系统分析模板工程、钢筋工程、混凝土工程及预应力施工等关键工艺要点，针对传统施工中质量管控滞后、效率偏低、资源浪费等问题，引入BIM技术、物联网、大数据等智能技术，构建涵盖设计优化、施工监控、质量追溯的全周期智能管控体系。希望为公路桥梁工程高质量建设提供技术支撑。

关键词：公路桥梁；预制梁板；施工工艺；智能管控；BIM技术；物联网；质量追溯

Research on Construction Technology and Intelligent Control of Prefabricated Beams and Slabs for Highway Bridges

Peng Xin, Wen Fangbing

Zhejiang Jiaogong Hongtu Transportation Construction Co., LTD, Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : As a core component of transportation infrastructure, the construction quality and efficiency of prefabricated beams and slabs of highway Bridges directly determine the overall load-bearing capacity and service life of the Bridges. This article focuses on the entire process of prefabricated beam and slab construction for highway Bridges, systematically analyzing key technological points such as formwork engineering, steel bar engineering, concrete engineering, and prestressed construction. In response to issues like lagging quality control, low efficiency, and resource waste in traditional construction, intelligent technologies such as BIM, the Internet of Things, and big data are introduced. Build a full-cycle intelligent control system covering design optimization, construction monitoring and quality traceability. It is hoped to provide technical support for the high-quality construction of highway bridge projects.

Keywords : highway bridges; precast beams and slabs; construction techniques; intelligent management and control; BIM technology; Internet of Things; quality traceability

前言

智能管控通过整合感知、传输、分析、决策等技术，实现施工过程的实时监控、精准调控和智能决策，已成为提升工程建设水平的核心手段。基于此，本文立足公路桥梁预制梁板施工实际，深入剖析关键施工工艺要点，探索智能管控技术的应用场景与实施路径，构建科学完善的施工工艺与智能管控一体化方案，以期为同类工程提供参考，助力公路桥梁工程实现质量、效率与安全的协同提升。

一、公路桥梁预制梁板施工工艺核心要点

(一) 模板工程施工工艺

模板作为预制梁板成型的基础，其刚度、强度、平整度和密闭性直接决定构件几何尺寸精度和外观质量。模板工程施工需重点把控以下要点：

1. 模板选型与设计：根据梁板类型（如T型梁、箱梁、空心板）选择钢模板，模板面板厚度应不小于6mm，龙骨采用型钢焊接，确保整体刚度满足施工要求，避免浇筑过程中出现变形。模板设计需预留预应力孔道、预埋件安装位置，转角处采用圆弧过

渡，减少应力集中导致的混凝土裂缝。

2. 模板加工与验收：模板加工采用数控切割、精密焊接工艺，保证面板平整度误差 $\leq 2\text{mm/m}$ ，相邻模板接缝间隙 $\leq 1\text{mm}$ ，错台 $\leq 0.5\text{mm}$ 。加工完成后进行试拼验收，检查几何尺寸、接缝密封性，试拼合格后方可投入使用。

3. 模板安装与固定：安装前清理面板并涂刷专用脱模剂，脱模剂涂刷均匀，避免漏刷或堆积。模板安装采用螺栓连接与支撑加固结合方式，支撑体系设置扫地杆、斜撑，确保纵向、横向垂直度偏差符合规范要求（垂直度偏差 $\leq 3\text{mm/m}$ ）。对预应力孔道模板（波纹管），需准确定位并固定牢固，防止混凝土浇筑时位

移，孔道轴线偏差控制在5mm以内。

4.模板拆除：拆除时间需根据混凝土强度确定，侧模在混凝土强度达到设计强度的50%以上，且表面及棱角不因拆除受损时拆除；底模在预应力张拉完成且压浆强度达到设计要求后拆除。拆除过程中避免硬撬硬砸，保护构件棱角和表面质量。

（二）钢筋工程施工工艺

钢筋是预制梁板的主要受力构件，钢筋加工与安装质量直接影响构件承载能力。钢筋工程施工需严格执行规范要求，重点把控以下环节：

1.钢筋原材料控制：钢筋进场时需查验出厂合格证、质量检验报告，按规定批次进行力学性能复试，复试合格后方可使用。钢筋存储需垫高防潮，避免锈蚀，锈蚀严重的钢筋不得用于工程。

2.钢筋加工：采用数控钢筋切断机、弯曲机进行标准化加工，钢筋切断长度偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内，弯曲角度偏差 $\leq 3^\circ$ 。受力钢筋的弯钩长度、箍筋的肢距和间距需符合设计要求，箍筋弯钩平直部分长度不小于 $10d$ (d 为箍筋直径)。对于钢筋焊接接头，优先采用闪光对焊或电弧焊，焊接接头需进行外观检查和力学性能试验，接头面积百分率、间距需满足规范规定。

3.钢筋安装：钢筋安装前搭设钢筋骨架支撑平台，确保骨架成型精度。受力钢筋的根数、规格、间距需严格按设计图纸布置，偏差控制在 $\pm 20\text{mm}$ 以内。钢筋保护层采用高强度砂浆垫块，垫块强度不低于混凝土设计强度，垫块布置间距不大于1m，确保保护层厚度偏差符合要求(板类构件 $\pm 3\text{mm}$ ，梁类构件 $\pm 5\text{mm}$)。预埋件(如支座预埋钢板、伸缩缝锚固钢筋)安装需准确定位，固定牢固，位置偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，避免影响后续安装施工。

（三）混凝土工程施工工艺

混凝土是预制梁板的主要组成材料，其配合比设计、浇筑、养护质量直接影响构件强度和耐久性。混凝土工程施工需重点关注以下要点：

1.混凝土配合比设计：根据梁板设计强度等级与工作性能要求，结合原材料性能优化配合比。选用级配良好的5~25mm碎石、含泥量 $\leq 3\%$ 的中粗砂，水泥采用强度等级不低于42.5级的普通硅酸盐水泥，掺入适量减水剂、缓凝剂改善工作性能、减少水化热。配合比需经试拌验证，确保坍落度120~160mm，28d抗压强度及抗渗、抗冻等耐久性指标符合规范。

2.混凝土搅拌与运输：采用强制式搅拌机搅拌，搅拌时间不少于90s。罐车运输时间控制在1.5h内，避免离析；如需调整坍落度，须在监理工程师见证下进行，严禁随意加水。

3.混凝土浇筑：浇筑前清理模板杂物、积水，核查钢筋与预埋件位置。分层浇筑厚度不超300mm，按一端向另一端顺序推进，插入式振捣器振捣间距约400mm，至表面泛浆无气泡即可，避免漏振、过振；箱梁等薄壁构件需控制浇筑速度，防止模板变形^[1]。

4.混凝土养护：浇筑后及时覆盖土工布或塑料薄膜保湿，初凝后洒水养护，常规混凝土养护不少于7d，掺外加剂混凝土不少

于14d。养护期严控环境温度，夏季防暴晒、冬季做保温，避免温度裂缝。

（四）预应力施工工艺

预应力施工是预制梁板受力性能的关键保障，直接影响构件抗裂性和承载能力，需严格把控张拉、压浆等核心环节：

1.预应力筋与锚具准备：预应力筋选用高强度低松弛钢绞线，进场时需进行力学性能试验，确保抗拉强度、弹性模量符合设计要求。锚具、夹具需具有出厂合格证，进场后进行外观检查和硬度试验，合格后方可使用。预应力筋下料长度根据构件长度、锚具厚度及张拉设备参数计算确定，下料采用砂轮切割，严禁气割。

2.预应力筋安装：预应力筋穿束前检查孔道是否通畅，采用卷扬机牵引穿束，穿束过程中避免钢绞线扭曲、损伤。钢绞线安装完成后，检查其在孔道内的位置，确保居中，避免与孔道壁摩擦导致预应力损失。

3.预应力张拉：张拉需在混凝土强度达到设计强度的85%以上且龄期不少于7d后进行，张拉设备(千斤顶、压力表)需定期校验，确保精度。采用“双控法”张拉，即控制张拉力和伸长值，张拉力按设计要求确定，伸长值偏差控制在 $\pm 6\%$ 以内。张拉顺序按设计规定进行，通常采用对称张拉，避免构件受力不均。张拉过程中实时监测钢绞线伸长值，若出现异常需立即停止张拉，排查原因并处理后方可继续。^[2]

4.孔道压浆：张拉完成后24h内完成孔道压浆，压浆材料采用水泥浆，水胶比控制在0.26~0.28，掺入适量压浆剂改善流动性和凝结性能。压浆采用真空辅助压浆工艺，先抽真空至孔道内真空度 $\geq -0.08\text{MPa}$ ，再加压注浆，注浆压力控制在0.5~0.7MPa，确保孔道内水泥浆饱满、无空隙。压浆完成后及时封堵锚具，防止腐蚀。

二、公路桥梁预制梁板施工智能管控技术体系

（一）智能管控总体架构

预制梁板施工智能管控体系以“数据驱动、精准管控”为核心，构建“感知层—传输层—平台层—应用层”四层架构：

1.感知层：通过部署各类传感器、智能设备，实现施工过程中关键参数的实时采集。包括钢筋加工精度检测仪、模板垂直度传感器、混凝土温度湿度传感器、预应力张拉应力应变传感器、构件定位GPS等，全面获取施工过程中的几何参数、力学指标、环境数据等。

2.传输层：采用5G、Wi-Fi、LoRa等无线通信技术，结合有线网络，构建高速、稳定的数据传输通道。将感知层采集的各类数据实时传输至管控平台，确保数据传输的及时性和完整性。

3.平台层：作为智能管控的核心，整合BIM模型、数据库、算法模型等资源，实现数据的存储、处理、分析与共享。平台集成数据管理模块、BIM可视化模块、智能分析模块、预警报警模块等，为应用层提供数据支撑和功能服务。

4.应用层：面向施工管理、技术人员、监理单位等不同用

户，提供设计优化、施工监控、质量追溯、进度管理等应用服务。通过可视化界面展示施工状态，实现智能预警、决策支持，提升管控效率。^[3]

(二) 关键智能管控技术应用

1.BIM技术在预制梁板施工中的应用

BIM技术以三维数字化模型为核心，实现施工全过程的可视化、协同化管理：

设计阶段：基于BIM模型进行预制梁板构件深化设计，优化钢筋布置、预应力孔道走向，检查构件与预埋件的碰撞冲突，提前规避设计缺陷。通过BIM模型生成钢筋加工图、模板加工图等施工图纸，提高设计精度和施工指导性。

施工阶段：将BIM模型与施工进度计划关联，生成4D施工模拟动画，直观展示施工流程和进度安排，优化施工方案。通过移动终端将BIM模型推送至施工现场，施工人员可随时查看构件尺寸、钢筋位置等信息，指导现场施工。同时，将感知层采集的施工数据与BIM模型关联，实现构件施工质量的可视化监控，例如通过钢筋定位数据在BIM模型中标记钢筋实际位置，对比设计值判断是否存在偏差。^[4]

验收阶段：基于BIM模型构建构件数字档案，将施工过程中质量检测数据、试验报告、影像资料等关联至BIM模型，实现质量追溯。验收时通过BIM模型核对构件几何尺寸、预埋件位置等关键参数，提高验收效率和准确性。

2.物联网技术在施工过程监控中的应用

物联网技术通过各类传感器实现施工过程关键参数的实时感知与动态监控：

钢筋工程监控：采用钢筋加工智能检测设备，实时监测钢筋切断长度、弯曲角度等加工参数，数据自动上传至管控平台，若超出允许偏差则自动报警，确保钢筋加工精度。在钢筋安装过程中，通过激光测距传感器检测钢筋间距、保护层厚度，实时反馈至现场终端，指导施工人员及时调整。

混凝土工程监控：在混凝土浇筑过程中，部署温度传感器、湿度传感器实时监测混凝土内部温度和环境湿度，数据通过物联网传输至平台，平台根据预设阈值生成养护建议，自动提醒管理人员采取洒水、覆盖等养护措施。同时，采用混凝土工作性传感器监测浇筑过程中混凝土坍落度，确保混凝土施工性能符合要

求。^[5]

预应力施工监控：在预应力张拉过程中，采用智能张拉设备，实时采集张拉力、钢绞线伸长值等数据，设备自动按设计要求控制张拉流程，避免人工操作误差。数据实时上传至管控平台，平台自动计算伸长值偏差，若超出允许范围则立即停止张拉，并生成异常分析报告，指导技术人员排查原因。

3.大数据与人工智能在质量管控中的应用

通过收集预制梁板施工全过程数据，利用大数据分析和人工智能算法，实现质量隐患预警和智能决策：

质量隐患预警：构建质量隐患数据库，整合历史施工数据、质量缺陷案例等信息，通过机器学习算法建立质量预警模型。实时分析施工过程中的钢筋间距、混凝土温度、预应力张拉参数等数据，识别潜在质量隐患，提前发出预警信号，例如当混凝土内部温度梯度超过25℃时，预警可能产生温度裂缝，提醒采取降温措施。

质量追溯与分析：建立预制梁板全生命周期数字档案，记录原材料进场检验、施工过程参数、质量检测结果等所有数据，实现“一物一档”。当出现质量问题时，通过大数据分析追溯问题根源，例如构件出现裂缝时，可通过查询混凝土养护数据、预应力张拉记录等，分析裂缝产生的原因，为后续整改提供依据。

施工方案优化：基于历史施工数据和实时监测数据，利用人工智能算法优化施工方案，例如根据混凝土强度增长曲线，智能调整预应力张拉时间；根据天气预测数据，优化混凝土浇筑时间和养护措施，提高施工效率和质量。^[6]

三、结语

公路桥梁预制梁板施工工艺的标准化与精细化是保障构件质量的基础，而智能管控技术的应用则为施工过程的精准调控提供了核心支撑。本文通过分析模板、钢筋、混凝土、预应力等关键施工工艺要点，构建了基于BIM、物联网、大数据的智能管控体系，实现了施工全过程的实时感知、可视化监控、质量追溯和智能决策。工程实例验证表明，该体系能够有效解决传统施工中的质量管控滞后、效率偏低等问题，显著提升预制梁板施工质量和效率，降低工程成本。

参考文献

- [1] 孙一星,薛文,邓涵潇,等.智慧梁场30m预制T梁流水生产线施工技术研究[J].浙江交通科技,2025,51(2):45-49.
- [2] 陈培根.公路桥梁工程预制梁施工管理探讨研究与实践[J].城市建设理论(电子版),2020(20):77-78.
- [3] 部军.智慧化制梁场在桥梁智能建造中的研究及应用[J].居业,2025,30(3):16-18.
- [4] 姚宁.桥梁预制T梁施工技术要点研究[J].四川建材,2025,51(1):163-166.
- [5] 王光艳.公路桥梁工厂化预制T梁蒸养技术研究[J].交通世界,2024,31(21):137-139.
- [6] 叶健强.高寒区域预制梁冬季施工保温及养护措施浅论[J].工程机械与维修,2024,28(8):119-121.