

市政道桥施工中的装配式梁板预制与安装技术研究

文 / 王 芳 安徽水安建设集团股份有限公司

摘要：市政道桥工程规模持续扩大，使得传统现浇梁板施工模式面临诸多问题，像工期压力大、质量波动性强以及环境干扰显著等。以标准化预制与模块化安装实现施工流程再造的装配式梁板技术，已然成为提升市政交通基础设施建设效能的关键路径。针对当前技术应用里预制精度控制不足、现场装配协同性弱这类瓶颈，本文对梁板预制工艺与安装环节的核心技术要点展开系统剖析，目的在于构建标准化操作框架，为缩短工程周期、保障结构可靠性以及降低施工干扰，提供理论依据与实践指导。

关键词：装配式梁板；预制技术；安装工艺；市政道桥；质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.055

引言

日益迫切的市政道桥工程向工业化建造转型的需求下，因工厂化生产特性的装配式梁板技术，正逐步取代现场湿作业。依赖构件设计标准化、制造流程精益化与安装工艺精准化的该技术，显著提升结构质量均一性并减少资源消耗。作为保障构件几何精度与力学性能前提的，是对预制场地布局原则、原材料性能匹配度及模板工程协同机制的深入理解。同时，在安装过程中，直接决定结构体系最终受力状态的，是运输方案优化、吊装设备选型与实时监测措施。对实现全周期质量可控具有必要性的，是明确上述环节的技术逻辑与操作规范。

一、装配式梁板预制与安装技术概述

（一）装配式梁板的概念与分类

在工厂预制的混凝土或钢结构单元，经现场吊装拼接构成道桥主体承载体系的装配式梁板。其构件按传力路径，可分为简支梁、连续梁及悬臂梁等结构类型，材料选择涵盖普通钢筋混凝土、预应力混凝土以及钢-混组合截面等多种形式。鉴于工厂化生产模式对构件几何尺寸和配筋精度有更高要求，分类维度需兼顾结构功能适配性与工业化生产可行性，此为后续标准化制造奠定技术前提^[1]。

（二）预制与安装技术的原理和特点

预制与安装技术的本质，是一个把离散构件复合成连续结构的过程，其核心要点在于构件间连接界面的可靠传递。由于工厂环境有着温湿度可控、机械定位精准等优势，梁板的抗压强度以及表面平整度，相较于现浇工艺，有了明显的提升。现场的安装流程，高度依赖大型起重设备的工况适配性，所以，缩短工程周期并降低周边交通干扰，成了自然而然的结果。从质量控制的角度来看，混凝土振捣的密实度，借助固定台座振动系统，能够保持稳定输出，进而消除了人为操作所带来的质量离散风险。而环境效益，则源自施工扬尘和建筑垃圾在源头的减量，这与现代市政工程绿色施工的理念，形成了深层的呼应。

二、装配式梁板预制技术研究

（一）预制场地的规划与建设

首要评估区域地质承载能力与洪涝风险等级的预制场地选址，优先选项为基岩地层或经强夯处理的黏土地基，且场地边界需预留供重型拖车转弯半径所需的缓冲空间。因台座沉降控制直接决定预制构件起拱精度，不同跨度梁板生产线须对应设计具有独立基础刚度系数的基础，其间设置变形缝以阻断应力传递路径。遵循物料单向流动原则的区域布局，如设在西北上风以口以减少焊渣飘入浇筑区的钢筋加工棚，紧邻脱模工位便于循环利用周转器械的模板清洁区。鉴于蒸汽养护能耗占预制总成本四成以上，添加纳米气凝胶材料抑制热逸散的养护窑保温层，同时依据构件尺寸配置分档调节的温湿度探头。覆盖所有物料堆场并衔接各功能区的轨道式移动遮雨棚，即使突降暴雨亦能保障生产线连续运转，毕竟施工中中断导致混凝土初凝报废会引发严重资源浪费^[2]。

（二）原材料的选择与质量控制

对骨料级配的控制，要确保粗颗粒最大粒径不超过钢筋最小净距的三分之二，不然在振捣环节，保护层区域易形成空隙，从而影响耐久性。对于水泥供应商，确定之后应长期固定合作渠道，因为不同批次熟料的C3A活性存在差异，这会导致混凝土凝结时间漂移。当进场钢筋表面呈现片状锈斑时，必须进行退场处理，原因是其内部截面损失可能已超过结构安全余量。对于拌合水每周进行的氯离子检测数据，一旦接近规范上限，就需要启动反渗透装置实施脱盐作业，这样才能用于生产。对外加剂与水泥适应性试验，不能仅依赖出厂质保书，早强型聚羧酸减水剂的实际坍落度保持能力，必须通过现场模拟温度环境来验证。钢筋弯曲试验弯芯直径的选择，需匹配设计延性等级，要是试件弯折处出现肉眼可见裂纹，就应当追溯炼钢厂脱硫工艺的缺陷。所有原材料堆场，需要实施物理隔离措施，比如水泥筒仓呼吸孔，必须装配干燥过滤器，以阻断潮气侵入路径，避免因材料性能变异而引发连锁质量事故。

（三）模板工程

钢模板能有效抵抗高频振捣产生弯扭应力的面板厚度，应当达到六毫米以上；为防止局部应力过度集中，按等刚度原则均匀分布的是法兰连接螺栓孔。鉴于混凝土侧压力随浇筑高度递增，自下而上逐段加密且设置对拉螺杆以平衡水平荷载的，是模板竖肋间距。首次拼装前，必须用角磨机彻底清除焊接熔渣和浮锈，如此抛光后的模板内壁，才能涂布水性脱模剂形成致密隔离膜。拼缝密封条压缩率，须控制在设计值正负零点五毫米范围内，否则振捣棒的高频振动，会导致浆液沿缝隙渗出形成蜂窝麻面。脱模时机，取决于同条件养护试件的抗压强度读数，假如未达最低脱模强度而强行拆模，极可能造成边角脆性破损。每轮使用后，需及时修复变形的肋板结构并校准定位销孔位置，因为累计误差超过两毫米时，将显著降低模板拼接重复使用精度。长期存放的模板，必须涂抹防锈脂并覆盖防紫外线篷布，因阳光直射引发的温度变形，会永久性改变模板预设弧度参数，进而影响装配式梁板的线形控制质量。



图1 梁板混凝土施工图

（四）钢筋工程

主筋连接首选套筒挤压工艺避免焊接热影响区晶粒粗化，冷挤压作业前应当检测套筒内壁润滑脂涂抹是否完整覆盖螺纹齿槽。就弯曲加工来讲，依赖数控机床对回弹补偿角进行精确控制，特别是对于曲线梁，其矢高控制点定位误差必须小于两毫米，这样才能保证预应力管道顺畅穿越钢筋间隙。关于绑扎钢丝，其扭结末端必须全部折向构件内部，否则后期锈蚀产物体积膨胀会顶裂混凝土保护层，进而形成渗水通道。在预应力波纹管坐标方面，采用全站仪三维定位法施测，于安装阶段，每个定位架间距按管道直径的五倍加密设置，穿束前要用零点六兆帕压缩空气彻底清除管内潮气，以防冻胀失圆^[3]。对于所有钢筋交叉点，均采用十字交叉绑扎法固定，塑料保护层垫块的抗压强度需高于本体混凝土两个等级以上，如此振捣过程才能有效抵抗骨料冲击位移风险。

（五）混凝土工程

配合比设计需平衡强度与工作性能矛盾，胶凝材料总量提升有助于密实度增长，但随之而来的水化热高峰

会增大温度裂缝概率。搅拌环节采用分次投料顺序，先将粗骨料与三分之一用水量预拌十秒，此举能利用砂浆包裹效应减少叶片磨损。运输罐车转速维持在每分钟三转左右，当塌落度损失超过三十毫米必须作废料处理。浇筑过程采取斜向分层推进策略，相邻浇筑段间隔控制在混凝土初凝时间的一半以内。养护阶段重点监测芯部与表层温差，一旦超过二十摄氏度立即启动自动喷淋系统进行热交换调节。

表1 混凝土工程施工要素简表

工艺环节	技术控制要点	常见质量风险
配合比	胶材总量约束水化热峰值	自收缩裂缝生成
投料顺序	粗骨料预润湿降低裹浆阻力	搅拌机叶片异常磨损
运输控制	动态监测塌落度损失量	入模可塑性恶化
浇筑策略	层厚与初凝时间耦合管理	冷接缝界面弱化
养护调控	梯度温差实时反馈调节	表面龟裂扩散

（六）预制构件的质量检测与验收

构件脱模后，应即刻对表面缺陷开展扫描检查。对于深度超三十毫米的气泡孔洞，需用聚合物砂浆修补，以防止在荷载作用下出现应力集中。在几何尺寸验收方面，借助激光三维扫描仪对比设计模型点云数据，像支座垫石预埋件位置偏差允许值这类关键指标，要控制在两毫米以内，以此确保后期安装匹配精度。内部质量检测，优先选用双通道超声波探伤仪进行纵向扫查，当声速异常区域直径超三百毫米时，需用钻孔内窥镜验证是否存在因骨料离析形成的蜂窝区。预应力管道通畅性验证，采用柔性通孔器双向穿索测试，若任何弯道转角处阻滞感应超过设定阈值，就应启动高压水射流清孔流程，消除灌浆隐患。最终验收报告，必须附具主要受力钢筋保护层厚度电磁检测图谱，若出现非破损检测数值连续三个测点偏离设计值百分之十的情况，应当启动结构耐久性专项复核程序。

三、装配式梁板安装技术研究

（一）安装前的准备工作

装配式梁板安装的成功实施离不开全面细致的预先安排，其质量直接决定后续施工能否顺畅进行。首要任务是完成桥墩支座区域的精确测量与基面处理，确保支座垫石顶面标高及平面位置完全符合设计要求，这是梁体精准落位的基准条件。现场设备配置需要精心策划，所选用的起重设备最大起重量、起升高度、工作幅度等关键参数必须大于实际需求且有可靠裕度，设备在投入使用前应经过严格的功能测试与安全检验，尤其是钢索卡环这些受力部件必须确认无损伤且规格匹配。施工区域需要预先设立醒目的安全隔离带和作业警戒线，合理规划构件运输通道及临时堆放场地，堆放时要保证地面平整坚实并采取可靠的防倾倒支垫措施。针对本次安装涉及的特定梁板型号与技术难点，对所有参与作业的操作工、信号工、测量人员组织专项交底培训，明确各自

操作程序与协同配合要求,学习理解紧急状况的应对流程。同时构件在卸车前应再次核对标识信息并检查外观质量,消除任何可能影响安全安装的显著缺陷。上述工作缺一不可共同构筑了安装作业的牢固基础,避免了过程中可能出现的停滞与偏差^[4]。

(二) 安装方法的选择

选择恰当的安装方法本质上是一项结合工程实际条件的综合决策过程,没有一成不变的固定模式。对于施工团队而言,深入研究桥梁结构本身特点极为必要,像主梁跨度、设置曲线半径分布形态等几何参数,这些与吊点分布及受力平衡方案直接相关。现场环境的具体限制条件常常是决定性影响因素,比如作业场地可利用的实际范围大小、现场障碍物分布情况,以及桥梁下方是否需维持基本交通通行能力或者是否跨越水域等现实约束,这些因素常常促使决策者选用整体吊装,以便大幅缩短对周边环境的干扰周期。在施工空间极其狭窄或者吊装路线存在无法移除的障碍时,采用分块吊装再现场拼合的技术路径或许更具现实操作性,有利于化解空间限制矛盾。梁板构件的实际重量与外形尺寸划定了选择设备的能力下限,必须保证吊具具有足够的安全储备,以覆盖整个吊运过程的动态负载波动。工期控制指标和经济投入预算同样是不可忽略的重要考量方面,需要在效率与成本之间寻找最佳契合点。因此,选择方法的过程就是不断权衡技术可行性、环境可接受性、经济合理性与管理目标达成度等多个维度的复杂平衡,依此确定的具体方案为后续工艺实施提供了明确的框架指导。

(三) 安装工艺流程

装配式梁板安装过程,遵循严谨有序的操作链式流程,各环节紧密相连以保证最终定位精度。流程起始于构件起吊离车的初始阶段,吊车慢速起钩,待梁体悬停稳定后逐步提升,操作人员密切观察其姿态变化,使用辅助调平工具快速纠偏,确保其接近水平状态运行。当梁板吊运至桥墩盖梁上方预定位置附近,进入关键的精确定位阶段,此时吊机动作转换为低速微动模式,测量人员实时监控梁体控制点的三维坐标信息,通过无线通讯工具,同步指导吊车司机与地面调整人员协同操作,利用千斤顶或钢钎进行毫米级的空间位置微调。梁底锚固板与支座垫板初步对齐后,应立刻进行临时连接固定,通常采用插入高强螺栓或临时焊接点的方式,迅速限制构件自由晃动。相邻梁体单元就位并临时固定后,立即开展湿接缝或干接缝的封堵处理,通过预留注浆孔洞压注高性能水泥基浆料,充分填充缝隙间隙,确保后期整体性,这一密封连接步骤,直接影响着桥梁整体刚度与耐久寿命。随后,按照预定方案分阶段拆除所有临时支架结构,并清理作业现场。最后,对所有安装完成的梁体开展一次综合性的质量复测与外观检验,确认各项指标达标,标志着整个安装流程最终闭环完成。

(四) 安装过程中的监测与调整

在动态控制下的装配式梁板安装,其实是一个精密操作的全过程。以持续监测与即时纠偏作为保障结构最终精度的根本手段。在梁体从起吊直至固定完成的整个期间,都需实施不间断的跟踪测量^[5]。专业测量人员运用电子全站仪和水准仪,对梁体关键点位坐标及纵向平整度的实时数据进行频繁测量。一旦发现监测值偏离设计位置允许误差范围,监控系统便会在第一时间发出警示反馈。系统监控同样关注环境因素变化对安装精度的影响,像日照温度梯度变化导致的材料轻微变形趋势,或是突发强风干扰造成的荷载波动,这些均可能引起安装姿态的细微差异,需纳入调整分析。当测量数据确认超偏现象实际发生后,立即启动已制定好的纠正预案。常用的应对方法有通过微升吊钩重新调整空间姿态、局部启用千斤顶对构件实施托举移位,或者暂时停止作业,避开不利气象时段再操作等灵活手段。所有纠偏动作执行之后,必须进行复测复核,确认已将偏差控制回许可范围之内。另外,在永久连接措施完成之后,还需进行一次全面复测,以此作为最终验收依据,并根据结果,在需要时可实施局部补强注浆或者螺栓复紧,以提高连接部位的安全可靠性。

结语

装配式梁板预制需统筹场地规划、材料筛选与工艺控制,强化模板刚度设计与混凝土养护连续性以保证构件出厂质量。在安装环节,依托的是前期基础处理、设备适配性选型以及动态监测手段,要确保的是板的空间定位精度以及结构的整体性。未来的发展,需要对数字化建模技术的融合,以实现预制构件深化设计的优化,对智能传感器的推广,来实时反馈安装应力状态。还需深化的是轻量化材料在预制构件中的应用潜力,开发自适应吊装设备,以此减少现场环境的制约。通过对全产业链标准体系以及施工管理策略的完善,推动装配式技术朝着高效低耗的方向迭代。

参考文献

- [1] 谢昊. 市政道桥施工中的装配式梁板预制与安装技术研究[J]. 时代汽车, 2025, (15): 175-177.
- [2] 张苗苗. 循环移动台座预制梁板施工技术分析[J]. 安徽建筑, 2025, (09): 44-45.
- [3] 孙雨蒙, 傅晨曦, 吴亚坤, 等. 预制装配式桥梁检验标准研究分析[J]. 城市道桥与防洪, 2024, (12): 90-96+16.
- [4] 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.
- [5] 焦富涛. 桥梁工程梁板预制常见问题及解决措施研究[J]. 运输经理世界, 2024, (28): 80-82.