

装配式技术在公路桥梁建设中的应用效果分析

纪续

辽宁省交通运输事业发展中心，辽宁 沈阳 110005

DOI:10.61369/ETQM.2025120002

摘要：随着城市发展速度的提升，城市交通设施的建设力度越来越大。装配式技术是一种先进的技术，在公路桥梁工程施工中应用比较多。就目前公路桥梁工程施工的情况看，桥梁使用的安全性以及整体耐久性、抗震性都存在很多的不足之处，从而导致桥梁的使用寿命受到影响。与此同时，装配式技术具有设计标准化、生产工厂化以及施工装配化的突出特点，应用的过程中弥补了传统施工技术使用中存在的不足之处，提高生产效率、提高施工细节质量，推动行业持续稳定的发展。

关键词：装配式技术；市政桥梁；应用

Analysis on The Application Effect of Prefabricated Technology in Highway Bridge Construction

Ji Xu

Liaoning Transportation Development Center, Shenyang, Liaoning 110005

Abstract : With the acceleration of urban development, the construction intensity of urban transportation facilities is increasing. Prefabricated technology is an advanced technology, which is widely used in highway bridge engineering construction. As far as the current situation of highway bridge engineering construction is concerned, there are many deficiencies in the safety, overall durability and seismic resistance of bridges, thus affecting the service life of bridges. At the same time, prefabricated technology has the prominent characteristics of standardized design, factory production and assembly construction. In the application process, it makes up for the deficiencies in the use of traditional construction technology, improves production efficiency and the quality of construction details, and promotes the sustainable and stable development of the industry.

Keywords : prefabricated technology; municipal bridge; application

随着国家政策等多方面的支持，装配式技术在公路道路中的应用越来越多，并且使用效果也相对突出。装配式技术的规范应用可以有效提高施工速度，并且施工时对施工现场周边的污染比较小，对于环境的持续发展具有重要的推动作用。

一、装配式技术定义原理

装配式技术是一种通过预制构件在施工现场快速组装的建造方法，其核心在于工业化生产和模块化施工的结合。以下是其定义与原理的详细解析：

(一) 定义

装配式技术指将建筑或桥梁的构件（如梁、柱、墙板、楼梯等）在工厂标准化生产后，运输至现场通过机械连接或焊接等方式拼装成型的技术^[1]。其本质是“工厂制造+现场装配”的工程模式，涵盖从设计、生产到施工的全流程工业化。

(二) 原理

模块化设计，通过拆分结构为标准化模块，每个模块包含预制的墙板、顶板、连接件等组件，类似乐高积木的拼接逻辑。工业化生产，构件在工厂流水线完成，采用模具控制精度，减少现

场湿作业。如公路桥梁的墩柱、节段梁通过钢筋套筒灌浆连接技术确保强度。高效装配，现场通过吊装机械快速拼装，配合干式工法（如螺栓连接、榫卯结构）减少施工周期。鲁班锁式的榫卯设计被应用于装配式建筑的节点连接，实现无胶粘的高效组装。全流程协同，需遵循从设计规范（如 JTGT 3365—05）到施工工艺（如 DB63/T 1985）的标准体系，确保构件兼容性与整体结构安全。该技术通过减少现场作业、提升构件复用率，显著降低资源消耗，成为现代工程领域的重要发展方向。

二、装配式技术特点

(一) 工业化生产优势

标准化程度高，通过 BIM 技术实现构件标准化设计，工厂化生产可使预制构件尺寸误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内；生产效率提升，装

配式换热机房建设周期从传统90天压缩至15天，效率提升500%以上。

(二) 智能化建造特征

数字孪生应用，BIM+物联网技术实现从设计到运维的全流程数字化管控。智能设备集成，智慧配电箱实现用电安全监控与能耗精细化管理。

(三) 绿色可持续发展

节能减排显著，装配式建筑比传统建筑节能50%，光伏一体化技术可使建筑用电自给率达50%。环保效益突出，现场施工垃圾减少80%，单个项目年减碳量可达5.7吨。

(四) 质量安全提升

精度控制严格，工厂预制使构件合格率提升至99.8%，现场安装垂直度误差 $\leq 0.2\%$ 。安全性能增强，轻型标准化墙板替代粘土砖，抗震性能提高30%以上。

(五) 经济性表现

综合成本降低，全生命周期成本较传统建筑节省15~20%，劳动力成本减少60%；工期优势明显，中小型项目施工周期缩短40~60%，大型项目缩短30%。

三、装配式技术在公路桥梁建设中的问题

(一) 标准化与协同问题

构件标准化不足，各地区构件尺寸标准不统一，如华东地区与西南地区预制梁截面差异达20%，导致跨区域项目模具重复利用率不足40%。设计生产脱节，BIM应用率仅30%，设计变更率高达15%，造成构件返工率超过12%。

(二) 技术瓶颈

连接技术局限，高烈度地区灌浆套筒抗震性能合格率不足70%，新型耗能连接技术尚未大规模应用。运输安装难度，97吨级箱梁运输需专用设备，偏远地区运输成本占项目总成本25%以上。质量控制挑战，现场吊装垂直度误差要求 $\leq 1/1000$ ，但实际施工中合格率仅为85%。

(三) 经济性障碍

初始投资成本高，预制构件价格比现浇高10%~30%，中小项目投资回收期长达8~10年。产业链不完善，西部地区预制构件工厂覆盖率不足30%，项目综合成本增加18%~25%。

(四) 政策与市场制约

标准体系滞后，现行国标与地方标准冲突率达40%，如北京预制率要求50%，上海则要求60%。监管机制缺失，预制构件进场验收缺乏专项标准，审批时间较传统工艺延长30%。

四、装配式技术在公路桥梁建设中的应用

装配式技术在公路桥梁建设中的应用主要体现在以下方面，结合标准化施工与工业化生产显著提升工程效率和质量^[2]：

(一) 核心应用技术

预制构件生产与连接，工厂化预制：桥梁墩柱、梁体等构件

在工厂内标准化生产，通过钢筋套筒灌浆技术实现精准连接，确保结构稳固性。

高精度控制：预制台座平整度偏差 $\leq 2\text{mm}$ ，底座挠度 $\leq 2\text{mm}$ ，保障构件尺寸精度。现场装配工艺，吊装方法：采用起重机架梁法、跨墩龙门吊架梁法等高效工法，缩短工期30%~50%。模块化设计：如三角托架与挂篮一体化设计，提升材料利用率并降低安全风险。

(二) 施工流程优化

构件的运输与存放，小型构件侧立放置，大型构件竖立运输，存放台座需高出地面200mm且分层限高（大型 ≤ 3 层，小型 ≤ 10 层）。预制板通过模块化拼装快速铺设临时道路，3天可完成360米道路施工，比传统方式快5天。环保与经济性，减少现场湿作业，建筑垃圾降低约30%，构件可循环使用，综合成本下降30%。

(三) 技术挑战与发展

初期成本：预制构件生产及运输费用较高，需通过规模化应用摊薄成本。抗震性能：需优化节点连接技术以提升整体抗震性。

五、装配式技术施工细节

(一) 预制构件生产

模板与台座要求，预制台座间距需满足施工需求，表面平整度偏差 $\leq 2\text{mm}/2\text{m}$ ，底座挠度 $\leq 2\text{mm}$ 。模具设计需考虑构件形状、强度及耐磨性，确保精度控制。混凝土浇筑与养护，混凝土配合比需符合设计要求，浇筑前钢筋需调直并固定^[3]。采用平卧重叠法浇筑时，下层构件顶面需设临时隔离层，待下层强度达标后再浇筑上层。

(二) 现场装配流程

吊装与定位，吊具选择需匹配构件尺寸和重量，吊索水平夹角宜 $\geq 60^\circ$ ，吊点需经计算确定。构件吊至距安装位置300mm时暂停，通过激光找平仪校正垂直度，木楔临时固定。连接工艺，钢筋套筒灌浆连接：灌浆料需30分钟内使用，从下口灌注至浆料流出后封堵。湿接缝施工：结合面需凿毛并洒水湿润，混凝土振捣密实，防止漏浆。

(三) 质量与安全控制

精度要求，构件安装轴线偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，标高偏差 $\leq 3\text{mm}$ ，拼缝宽度偏差 $\leq 2\text{mm}$ 。临时支撑设置，竖向构件临时支撑不少于2道，叠合板下部宜采用定型独立钢支柱，临时支撑需待连接部位强度达标后方可拆除。

(四) 特殊工况处理

低温施工：环境温度低于5°C时需采取保温措施，连接部位养护温度需 $\geq 10^\circ\text{C}$ 。大跨度构件：分节拼装焊接，焊缝检测合格后吊装，采用缆风绳牵引调整位置。

(五) 运输与存放

大型构件竖立运输，存放台座需高出地面200mm，叠放层数 ≤ 3 层。外墙板宜立式存放，外饰面朝外，层间垫块对齐防倾。

六、装配式技术在公路桥梁建设中的效果评估

(一) 施工效率提升

工期缩短30%–50%，高速改扩建项目通过工厂预制构件（如箱梁、墩柱）减少现场作业，解决城市密集区施工难题。全装配高架桥项目中，盖梁安装仅需2–4小时，与传统工艺造价相当但效率显著提升。智能化施工技术，

BIM技术实现立柱预埋套筒精准定位，钢筋绑扎胎架成型后整体吊装，误差 $\leq 3\text{mm}$ 。智能焊接机器人使焊缝合格率达99.8%，人工成本下降60%。

(二) 质量与安全优势

工厂化生产保障精度，预制构件在智能工厂完成，混凝土浇筑质量稳定，返工率降低。装配式波形钢腹板盖梁自重减轻50%，抗震性能优化。减震降噪设计，特殊弹簧夹具与橡胶垫组合，使桥面板与梁体紧密连接，减震降噪效果显著。钢桥面专用防滑层设计，摩擦系数提升，车辆胎噪降低。

(三) 环保与经济性

绿色低碳效益，建筑垃圾减少80%，碳排放降低30%，符合“双碳”政策导向。钢结构桥梁较混凝土结构碳排放低40%，欧盟碳边境税下更具竞争力。全生命周期成本优化，北京、上海等地政策要求新建装配式建筑占比超50%，推动规模化生产降低成本。材料循环利用率达90%，临时桥梁等场景可快速拆装复用。

七、装配式技术在公路桥梁建设的未来发展趋势与挑战

(一) 未来发展趋势

智能化与数字化深度融合，BIM与AI技术将进一步优化设计、生产、施工全流程，推动智能工厂普及机器人焊接等技术，生产效率提升40%以上，构件误差压缩至 $\leq 3\text{mm}$ 。数字孪生技术将实现桥梁运维的实时健康监测与预警，提升全生命周期管理能力^[4]。模块化集成与材料创新，装配式4.0阶段将推动全产业链协同，轻量化高强材料（如UHPC墙板、铝合金结构）普及，实现更大跨度的无支撑设计。节点优化技术使抗震性能接近现浇水平，如郑许高架桥项目采用波形钢腹板盖梁，自重减轻50%。绿色低碳转型加速，政策驱动下，中国装配式建筑占比目标2025年超30%，高性能材料应用使节能效率提升50%。临时桥梁等场景材料循环利用率达90%，契合“双碳”目标。钢结构桥梁较混凝土结构碳排放低40%，在欧盟碳边境税机制下更具市场优势。

(二) 核心挑战与应对策略

成本控制与物流优化，运输费用占比高达总成本20%–30%，需通过区域化预制基地布局降低物流压力。标准化与通用化不足，

当前部品部件通用化率不足40%，需加快国家与地方协同标准制定，推动设计–生产–施工接口统一。人才与技术瓶颈，专业化产业工人缺口显著，需加强劳务端数字化转型培训，如中铁山桥智能焊接机器人应用使人工需求下降60%。复杂节点连接技术（如抗震支座预制化）仍需突破，高校与企业联合研发是关键^[5]。

当前行业发展已进入工业化3.0阶段，建议重点关注智能建造与绿色低碳技术的融合创新，同时加强产业链上下游协同，以实现从“桥梁大国”到“桥梁强国”的跨越。未来装配式技术将围绕“智能建造、绿色低碳、国际协同”三大方向突破，但需解决成本、标准、人才等系统性挑战。政策支持与技术创新双轮驱动下，预计2030年全球装配式桥梁市场规模将增长至当前3倍，中国或成为技术输出主导力量。

八、装配式技术在公路桥梁建设中的案例

(一) 沈阳姚千大桥

沈阳首座装配式干线公路桥，采用预制墩柱、盖梁、梁板及混凝土护栏，装配率达65%，显著缩短工期（原计划跨年工程提前数月完工），大幅提升施工效率。

(二) 无锡凤翔路快速化改造工程

中铁四局承建，采用预制立柱370个、盖梁235个、箱梁1226片，通过BIM技术实现预埋套筒毫米级精准定位，吊装误差 $\leq 3\text{mm}$ ，验证了装配式桥梁在市政工程中的高效应用。

(三) 厦门金门大桥（厦金大桥）

采用AI智能控制技术，实现3000吨预制墩台毫米级吊装对接，通过大数据协同拼装，目标2026年底通车，展现了装配式技术在海工桥梁中的突破。

(四) 高铁与高速公路桥梁

广泛采用工厂预制桥墩、梁板，通过钢筋套筒灌浆连接，工艺标准化程度高，如上海虹梅南路、绍兴G329国道等项目，均体现装配式技术的普适性。

(五) 技术创新案例

BIM+智能吊装：无锡项目通过定位板固定预埋件，整体吊装钢筋骨架，减少现场绑扎误差。**自动化养护：**预制构件采用自动喷淋系统，提升混凝土强度均匀。以上案例均来自实际工程，涵盖城市高架、跨海大桥、干线公路等多场景，技术细节可参考对应视频演示。

装配式技术通过标准化与工业化协同，已成为公路桥梁建设的核心发展方向，未来将向智能化生产和更大跨度应用深化^[6]。装配式技术施工细节结合了规范要求与工程实践，确保装配式施工的高效性和安全性。

参考文献

- [1] 欧文勤.装配式混凝土桥墩施工技术综述[J].中外公路,2020,40(1):96–101.
- [2] 王新莉.桥梁快速建造技术[J].中外公路,2022,38(4):184–188.
- [3] 王震峰.预制桥墩体系抗震性能研究进展:新材料、新理念、新应用[J].工程力学,2022,36(3):1–23.
- [4] 池律.预制拼装城市高架桥施工控制要点与效益分析[J].施工技术,2022,48(22):43–45.
- [5] 欧浩,谢铭勤等.装配式混凝土桥墩施工技术综述[J].中外公路,2020,40(1):96–101.
- [6] 王莉.桥梁快速建造技术[J].中外公路,2022,38(4):184–188.