

# Research on technological innovation and practice of highway bridge construction

Zeng Xun

Hubei Liansheng Transportation Construction and Development Co., Ltd., Enshi, Hubei, 445000, China

## Abstract

As the scale of highway bridge construction in China continues to expand, by 2023, the number of highway bridges nationwide has surpassed one million. Among these, 35% of projects are located in areas with complex geological conditions. The limitations of traditional construction techniques in high pier construction efficiency and large span bridge precision control have become increasingly evident. This study combines literature review, case analysis, and empirical research to focus on the innovation in highway bridge construction technology. The innovations include intelligent construction technologies, such as the application of BIM + GIS digital twin technology, which reduced a project's duration by 18%; green construction technologies, such as recycled aggregate concrete achieving a compressive strength of C50; and special condition solutions, such as karst landform pile foundation construction technology. A practical case study of the renovation and expansion of a Yangtze River Bridge demonstrates that the application of new technologies has reduced costs by 22 million yuan, shortened road closure time by 45 days, effectively improved engineering quality, shortened construction periods, and reduced costs. This has significant practical value for promoting industry technological upgrades and achieving green construction transformation.

## Keywords

highway bridge; construction technology; BIM+GIS digital twin application

## 公路桥梁施工技术创新与实践研究

曾巡

湖北连升交通建设发展有限公司, 中国·湖北 恩施 445000

## 摘要

随着我国公路桥梁建设规模不断扩大,截至2023年,全国公路桥梁数量已超100万座,其中复杂地质条件项目占比达35%,传统施工技术在高墩施工效率、大跨径桥梁精度控制等方面的局限性日益凸显。本研究采用文献研究、案例分析与实证研究相结合的方法,聚焦公路桥梁施工技术创新。创新点涵盖智能化施工技术,如BIM+GIS数字孪生应用使某项目工期缩短18%;绿色建造技术,像再生骨料混凝土实现抗压强度达C50;特殊工况解决方案,如喀斯特地貌桩基施工技术等。通过某长江大桥改扩建工程实践案例表明,新技术的应用使成本降低2200万元,减少封路时间45天,有效提升工程质量、缩短工期、降低成本,对推动行业技术升级、实现绿色施工转型具有重要实践价值。

## 关键词

公路桥梁; 施工技术; BIM+GIS数字孪生应用

## 1 引言

我国公路桥梁建设事业正处于蓬勃发展阶段,截至2023年,全国公路桥梁数量已突破100万座大关,这一庞大的数字彰显了我国交通基础设施建设的卓越成就。然而,在建设过程中,复杂地质条件项目占比高达35%,诸如喀斯特地貌、软土地基等特殊地质环境,给公路桥梁施工带来了巨大挑战。同时,传统施工技术在面对高墩施工、大跨径桥梁建设等工程时,暴露出施工效率低、精度控制难等问题,难以满足日益增长的交通建设需求和质量要求<sup>[1]</sup>。从政策层

面来看,《交通强国建设纲要》明确提出要推动交通行业技术升级,加强交通基础设施建设的智能化、绿色化发展。公路桥梁作为交通基础设施的重要组成部分,其施工技术创新是落实纲要要求的关键举措。此外,在“双碳”目标的大背景下,实现公路桥梁施工的绿色转型,对于降低建筑行业碳排放、推动可持续发展具有深远意义。通过创新施工技术,不仅能够提升工程质量和效率,还能有效减少资源浪费和环境污染,助力我国交通行业朝着绿色、低碳、高效的方向迈进。

## 2 公路桥梁施工技术发展现状

### 2.1 国际前沿技术

在国际上,公路桥梁施工技术不断推陈出新。3D打

【作者简介】曾巡(1993-),男,中国湖北咸丰人,助理工程师,从事公路桥梁施工研究。

印桥梁技术是近年来备受关注的前沿技术之一，荷兰的MX3D案例便是成功典范。该技术通过计算机控制的3D打印设备，能够在现场直接打印出桥梁结构，不仅大大缩短了施工周期，还能实现复杂造型的桥梁设计，为桥梁建设带来了全新的理念和方法。智能预制拼装技术在日本东京湾跨海大桥建设中得到了广泛应用。该技术将桥梁构件在工厂内进行预制，然后运输到现场进行拼装，通过高精度的测量和控制技术，确保构件之间的连接精度，有效提高了施工效率和工程质量，同时减少了现场施工对环境的影响。

## 2.2 国内典型技术应用

在国内，众多大型公路桥梁项目中涌现出了一系列先进的施工技术。港珠澳大桥的沉管隧道施工技术堪称世界领先水平。该技术成功解决了超长沉管的预制、浮运、沉放和对接等难题，通过精确的控制和监测系统，确保了沉管隧道的高精度安装，为我国在跨海通道建设领域积累了宝贵经验。

北盘江大桥采用的模块化施工方案也极具创新性。该方案将桥梁结构分解为多个模块，在工厂内进行标准化生产，然后运输到现场进行快速拼装，大大缩短了工期，提高了施工安全性和质量稳定性，为复杂山区桥梁建设提供了新的技术路径。

## 3 关键技术创新方向

### 3.1 智能化施工技术

BIM+GIS数字孪生应用是智能化施工技术的重要发展方向。在实际项目中，某公路桥梁工程引入BIM+GIS数字孪生技术，通过建立桥梁工程的三维数字模型，并与地理信息系统相结合，实现了对施工过程的实时监控和模拟分析<sup>[2]</sup>。在施工进度管理方面，该技术能够提前预测施工中可能出现的问题，优化施工方案，使该项目工期缩短了18%，有效提高了施工效率。无人机倾斜摄影测量技术在公路桥梁施工测量中发挥着重要作用。该技术通过无人机搭载多个相机，从不同角度对桥梁施工现场进行拍摄，然后利用计算机软件进行三维建模和数据分析，测量精度可达 $\pm 2\text{cm}$ 。相比传统测量方法，无人机倾斜摄影测量技术具有效率高、成本低、测量范围广等优势，能够为桥梁施工提供精准的地形数据和测量信息。

### 3.2 绿色建造技术

再生骨料混凝土是绿色建造技术的重要成果之一。通过对废弃混凝土、建筑垃圾等进行回收处理，加工成再生骨料，然后用于混凝土的生产<sup>[3]</sup>。经过大量试验研究，成功开发出抗压强度达C50的再生骨料混凝土配比方案。该技术不仅能够有效减少建筑垃圾对环境的污染，还能节约天然骨料资源，降低混凝土生产成本，具有显著的经济效益和环境效益。太阳能智能养护系统在公路桥梁施工中的应用，为混凝土养护提供了绿色环保的解决方案。某公路桥梁项目采用

太阳能智能养护系统，利用太阳能为养护设备提供能源，通过智能控制系统精确调节养护温度和湿度。该系统在使用过程中，相比传统养护方法节水40%，同时减少了能源消耗和碳排放，实现了混凝土养护的绿色化和智能化<sup>[4]</sup>。

### 3.3 特殊工况解决方案

针对喀斯特地貌地区复杂的地质条件，研发出旋挖钻+超声检测组合工法。在桩基施工过程中，旋挖钻能够快速成孔，适应喀斯特地貌中岩石硬度高、溶洞多等复杂情况<sup>[5]</sup>。同时，利用超声检测技术对桩基成孔质量进行实时监测，确保桩基的完整性和承载力满足设计要求。该组合工法有效解决了喀斯特地貌地区桩基施工难题，提高了桩基施工质量和效率。在跨峡谷桥梁建设中，无支架施工技术结合悬臂浇筑智能纠偏系统成为关键解决方案。悬臂浇筑智能纠偏系统通过在桥梁悬臂浇筑过程中，实时监测桥梁结构的变形和应力情况，利用计算机控制系统自动调整浇筑参数和施工工艺，确保桥梁悬臂施工的精度和稳定性。该技术无需搭设支架，减少了施工成本和对峡谷环境的影响，为跨峡谷桥梁建设提供了可靠的技术保障。

## 4 实践案例分析

### 4.1 项目概况

选取某长江大桥改扩建工程作为实践案例，该工程为一座主跨580m的斜拉桥。项目建设面临着复杂的水文地质条件、航运繁忙的施工环境以及高标准的质量要求等诸多挑战。为确保工程顺利实施，项目团队积极引入创新施工技术，对传统施工方法进行改进和优化。

### 4.2 技术创新应用

在该工程中，基于BIM的钢混组合梁预制拼装技术得到了成功应用。通过BIM技术建立钢混组合梁的三维模型，对梁体的预制、运输和拼装过程进行模拟分析，优化施工方案。在预制过程中，利用BIM模型指导钢筋绑扎、模板安装和混凝土浇筑，确保梁体尺寸精度和质量。在拼装过程中，通过BIM模型与现场测量数据的实时对比，实现了钢混组合梁的高精度安装。

同时，基于5G的远程监控系统架构也在该项目中发挥了重要作用。在桥梁施工现场布置了大量的传感器，包括应力传感器、位移传感器、温度传感器等，实时采集桥梁结构的各项数据。这些数据通过5G网络传输到监控中心，技术人员可以通过远程监控平台对施工现场进行实时监控和数据分析，及时发现施工过程中存在的问题并采取相应措施进行处理。

### 4.3 效益分析

通过新技术的应用，该项目取得了显著的经济效益和社会效益。在经济性方面，基于BIM的钢混组合梁预制拼装技术和基于5G的远程监控系统的应用，优化了施工流程，减少了材料浪费和人工成本，使工程成本降低了2200万元。

在社会效益方面,新技术的应用提高了施工效率,减少了封路时间45天,有效降低了施工对交通的影响,保障了区域交通的畅通,获得了社会各界的广泛好评。

## 5 技术推广建议

### 5.1 政策支持体系

推动公路桥梁施工新技术的广泛应用,健全的政策支持体系是关键。首先,应建立科学严谨的施工技术白名单制度。政府相关部门需组建由行业专家、科研学者、工程技术人员构成的专业评估委员会,制定涵盖技术先进性、安全可靠、经济环保效益等维度的量化评估指标体系。对申报的创新施工技术,从实验室研究、小规模试验到工程示范应用进行全流程审核,重点考察技术在复杂地质条件、特殊工况下的实际应用效果。例如,针对智能化施工技术,评估其数据采集精度、系统稳定性及对施工效率的提升幅度;对于绿色建造技术,则着重考量其节能减排效果、资源循环利用率等。通过严格筛选,将技术成熟、效益显著的施工技术纳入白名单,并定期更新,确保名单的时效性与权威性。在公路桥梁建设项目招投标环节,对白名单内技术给予加分或优先推荐,鼓励建设单位采用。

同时,完善技术创新奖励机制,激发企业和科研人员的创新热情。设立国家级、省级公路桥梁施工技术创新专项奖励基金,对在智能化施工技术、绿色建造技术等领域取得重大突破的企业和个人进行表彰奖励。奖励形式不仅包括资金支持,还可给予荣誉称号、职称晋升倾斜等激励。例如,对研发出新型桥梁快速建造技术,使工期缩短30%以上的团队,给予百万元级别的奖金,并授予“交通建设创新团队”称号;对推动绿色建材大规模应用的科研人员,在职称评审中优先考虑。此外,建立创新成果转化激励制度,对成功将科研成果转化为实际工程应用的单位,按照技术应用产生经济效益的一定比例给予奖励,促进产学研深度融合。

### 5.2 企业实施路径

企业作为技术应用与创新的主体,应积极探索有效的实施路径。在产学研合作模式上,企业可与高校、科研机构建立长期稳定的战略合作关系。例如,中交集团与多所高校联合成立智能建造研究院,共同开展BIM技术在桥梁施工中的深化应用研究,成功研发出基于BIM的桥梁施工全生命周期管理平台,并在多个大型桥梁项目中应用,显著提升了施工管理效率。企业还应设立专门的技术转化中心,负责科研成果的转化落地。技术转化中心需配备专业的技术评估、工程试验、市场推广团队,对高校和科研机构的科研成果进行二次开发和适应性改进,使其符合工程实际需求。以某桥梁建设企业为例,其技术转化中心将高校研发的新型桥梁结构抗震技术进行优化,成功应用于实际项目,提高了桥梁的抗震性能,获得良好的经济效益与社会效益。

在技术人员培训体系建设方面,引入AR虚拟实训平台是提升培训效果的有效方式。通过虚拟现实技术,构建高度仿真的桥梁施工现场环境,技术人员可在虚拟场景中进行高墩施工、大跨径桥梁悬臂浇筑等复杂操作训练。平台可模拟多种工况,如强风、暴雨等恶劣天气,以及施工过程中可能出现的突发故障,让技术人员在安全的环境下积累应对经验。同时,利用AR技术的交互性,实现实时指导与反馈,帮助技术人员及时纠正操作错误,快速掌握新技术、新设备的使用方法。此外,企业还可定期组织技术交流与竞赛活动,促进技术人员之间的经验分享与技能提升,为企业技术创新和发展打造高素质的人才队伍。

## 6 结论与展望

### 6.1 主要结论

通过对公路桥梁施工技术创新与实践的研究,可以得出以下主要结论:智能化、绿色化是未来5年公路桥梁施工技术的核心发展方向。智能化施工技术能够提高施工效率和精度,实现施工过程的精细化管理;绿色建造技术有助于降低资源消耗和环境污染,推动交通行业的可持续发展。同时,针对特殊工况的施工技术创新,能够有效解决复杂地质和环境条件下的施工难题,确保公路桥梁工程的质量和安

### 6.2 研究展望

随着人工智能技术的不断发展,其在公路桥梁施工决策中的应用潜力巨大。未来,人工智能可以通过对大量施工数据的分析和学习,为施工方案的制定、施工过程的优化提供更加科学、准确的决策支持。此外,太空建筑材料的研发和应用也为公路桥梁建设带来了新的想象空间。虽然目前太空建筑材料主要应用于航天领域,但随着技术的不断进步,将其引入地面桥梁建设,可能会为桥梁材料性能的提升和创新带来新的突破,推动公路桥梁施工技术向更高水平发展。

### 参考文献

- [1] 孙红飞.高速公路桥梁施工中的预应力混凝土技术突破与创新[J].中国住宅设施,2023,(12):166-168.
- [2] 肖峰.高速公路桥梁施工过程中技术管理与质量控制分析[J].运输经理世界,2023,(36):68-70.
- [3] 李岚峰.11.5公里公路项目桥梁施工技术优化创新与创效[J].工程技术研究,2020,5(03):85-86.
- [4] 林文杰.公路工程建设中的技术创新与管理[C]//江西省工程师联合会.2024年智能工程与经济建设学术会议论文集(工程管理与经济建设专题).浙江创立建设工程有限公司,2024:384-386.
- [5] 丁红艳.高速公路桥梁施工中的预应力混凝土技术突破与创新[C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司.2024新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(一).阜新世纪路桥监理有限责任公司;,2024:104-105.