

# 公路桥梁施工全过程中智慧施工的实践与探索

文 / 刘 威 徐州市铜山区公路管理站

**摘要:**在公路桥梁施工领域,采用智慧施工技术,达成了施工流程的智能化和精密度提升。施工单位依托BIM技术、物联网、大数据分析等创新手段,对施工现场各类数据进行实时监控,从而实现施工进度和质量管理的精准调控,实施智慧化施工措施,显著提高了施工过程的生产率,有效减少了材料消耗,有力保障了工程品质的提升及施工环境的安全。通过智慧技术的运用,施工流程得以高效优化,大幅降低了对人工的依赖,同时显著增强了决策的科学性和精准性,确保了施工项目的可持续性和长期发展。技术的进步,使得智慧施工在公路桥梁建设领域未来将扮演愈发关键的角色。

**关键词:**智慧施工;公路桥梁;施工技术创新;新技术;质量安全管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.067

## 引言

科技的飞速进步催生了智慧施工技术的广泛应用,而其在公路桥梁建设领域的融入,已成为提升工程质量与施工效能的关键途径。在传统施工过程中,施工周期延长、资源消耗巨大、安全风险加剧等问题日益突出,而智慧施工技术的应用为上述问题的解决提供了全新的途径。通过综合运用BIM技术、物联网、大数据分析等先进手段,施工环节实现了精细化控制与动态监督,从而显著提高了施工效率,同时也有效降低了潜在的风险和成本投入。公路桥梁施工行业采纳智慧施工推广策略,标志着行业朝智能化、绿色化与精细化方向发展,同时为工程建设的创新与发展开辟了广阔的空间与潜力。

## 一、智慧施工的概念与发展

### (一) 智慧施工的定义

建筑工程施工领域采用智慧施工模式,旨在通过运用信息技术和智能化工具,对施工现场、施工流程与施工质量进行实时监控与精准管理,从而实现智能化与自动化的施工管理目标。智慧施工的核心理念是技术的综合整合与全面应用,涵盖了物联网、人工智能以及大数据分析等前沿技术的深度融合。与传统模式相比,智慧施工技术显著提升了作业效率,减少了资源损耗,并显著增强了工程项目的品质与安全性。除了在施工现场进行智慧化监管外,桥梁施工领域中的智慧施工还包括工程设计、施工规划和质量监控等环节的全面智能化

### (二) 智慧施工的技术构成

要实现智慧施工,必须融合众多尖端技术,并确保它们高效协同运作。传感器与设备的互联互通,物联网技术实时掌握现场环境与施工设备的状况,为施工管理提供精准的数据支持。在施工过程中,海量数据通过大数据技术进行搜集、存储与分析,为管理者提供决策辅助和施工计划优化。在施工领域,人工智能通过不断优化算法调整施工流程,显著提高自动化程度,减少对人工操作的依赖,并提高施工的精确度与安全保障。桥梁

项目依托BIM(建筑信息建模)技术,通过数字化手段提供贯穿全生命周期的管理方案,旨在优化设计和施工策略,并实现施工进度的实时调整与资源分配的精准调配。无人机技术在诸多领域得到了广泛应用,尤其在现场巡检与施工监测方面,其功能得到了充分发挥。无人机实时抓取施工现场的变动信息,精确提供地形数据,从而帮助施工人员进行质量把控与安全评估。

### (三) 智慧施工的发展趋势

随着科技的进步,智慧施工技术在全球范围内得到了广泛的探讨与应用。在智慧施工的应用层面,国内外各具特色,展现了不同的技术风貌。然而,不谋而合的是,整体发展趋势正逐步迈向智能化与自动化。随着技术的发展,未来施工领域的自动化技术将更加广泛应用,显著减少对人工的依赖,同时提高施工的精确度与安全性。依托于大数据与人工智能技术的支持,智能化决策支持系统将帮助施工企业实现更精确的资源分配与风险预判。随着5G技术的迅猛发展,智能传感技术的广泛应用大幅提升了数据传输速率与可靠性,使得施工管理的实时性与准确性得到显著增强。未来,智慧施工将在提升施工效率、降低资源消耗和增强工程安全性方面发挥越来越重要的作用,引领建筑行业向智能化、环保和高效的方向发展。

## 二、公路桥梁施工中的智慧施工技术应用实践

### (一) BIM技术在桥梁设计与施工中的应用

在桥梁设计与施工领域,BIM技术的应用显著提升了设计方案的优化程度,降低了施工错误的发生率,并显著提高了施工效率。通过三维数字模型构建的BIM技术,显著增强了设计、施工与维护各阶段之间的协调性和信息交流效率。在跨江大桥的施工过程中,BIM技术的应用优化了设计,有效解决了施工前期设计与现场条件不匹配的问题。通过精确呈现桥梁结构特点的模型,施工团队能够预判并应对设计中的潜在问题。在施工流程中,BIM系统的应用确保了进度、成本与质量管理的有效执行。该项目通过BIM技术将设计变更的时间缩短了20%,施工进度提升了15%,成本控制也有了显著改

善。如表1所示。

表1 BIM技术在桥梁施工项目中的效益分析

项目	传统施工方式	BIM技术应用后	提升/改善百分比
设计变更时间	30天	24天	20%
施工进度	100天	85天	15%
成本控制	超预算10%	控制在预算内	-10%
工程质量	85%合格率	95%合格率	+10%

(二) 物联网与传感技术在施工现场的实时监控应用

桥梁施工领域依托物联网与传感技术的融合，得以实现全面、实时的数据监控功能。在桥梁结构上安装温度、湿度、应变等各类传感器，能够实时采集并传输施工现场数据，从而为施工管理提供精确的数据支撑。在该高速公路桥梁施工中，关键部位部署了应力传感器，借助物联网技术对桥梁荷载变动与结构状态进行持续监控。指挥中心可实时接收传感器数据，一旦系统监测到异常，便立即启动预警机制，向施工人员传递紧急处理信号。该项目通过传感器监控，在桥梁施工过程中实现了95%的实时数据采集率，提高了风险预警的准确性，降低了施工过程中突发问题的发生率。如表2所示。

表2 物联网与传感技术在施工现场的监控效果

项目	传统监控方式	物联网监控后	提升/改善百分比
数据采集率	60%	95%	58%
风险预警响应时间	48小时	2小时	96%
事故发生率	5次/年	1次/年	-80%

(三) 人工智能与机器学习在施工过程中数据分析的应用

在施工领域，人工智能与机器学习技术通过对数据的处理与智能预测，显著优化了施工计划的制定。AI技术在公路桥梁项目的施工过程中应用于对过往施工数据的深入学习与剖析，以此预测潜在施工延误的成因，并据此对施工方案进行即时调整。通过分析气候信息、设备运作及人员部署等多维度数据，机器学习算法能够自动调优施工计划与资源配置。经过系统优化后，施工项目计划调整的响应速度降低了30%，显著提升了施工效率与适应性。在施工过程中，AI技术的应用帮助识别并分析潜在风险，显著减少了施工意外事故的发生概率。

(四) 无人机与自动化设备在施工中的应用

在桥梁施工现场，引入无人机技术，其功能主要集中在图像采集、进度跟踪与质量检测等领域。在施工现场，无人机能够进行全方位航拍，实时监控施工进度和环境变化，显著提升了现场监控的效率。对于跨海大桥的施工项目，施工方运用无人机对桥墩进行实时监控，借助无人机拍摄的高清图像，精确掌握桥墩结构状况，迅速识别出潜在的裂缝隐患。同时，采用自动化浇筑与

吊装等设备，显著提升了施工过程的精度与效能。引入自动化设备后，浇筑作业误差率显著降低了15%，施工效率提升了25%。如图1所示。



图1 无人机技术在桥梁施工现场应用

(五) 施工过程中的智能化质量与安全管理

施工效率的飞跃得益于智慧施工技术的广泛应用，而在质量控制与安全管理层面，该技术亦彰显其举足轻重的作用。施工过程依托实时数据监测与预警系统，质量与安全管理得以实现高效防护。在山岭隧道桥梁施工项目中，施工单位借助物联网技术，通过传感设备对施工人员安全状况实施实时监控。当吊装作业进行时，传感器能够实时检测吊装重量及风速等环境要素。若监测数据超出安全阈值，系统便会自动中断作业流程，以确保施工安全无虞。在智能化质量管理系统辅助下，对材料与设备实施实时监控，既保障了工程质量，又有效减少了材料损耗。

三、智慧施工在公路桥梁施工中的优势与挑战

(一) 优势分析

1. 提高施工效率，缩短工期，降低施工成本

集成了BIM、物联网、大数据等先进技术的智慧施工，实现了施工过程的精细化管理，显著提升了施工效率。在施工阶段，实时监控与数据解析的应用使得施工进度能够实时调整，显著降低了因资源配置失误或现场管理疏漏所导致的时间损耗。例如，在某项公路桥梁工程实施中，通过运用BIM技术与物联网监测系统，相较于传统施工手段，工程进度提前了15%。借助智慧施工技术，依托自动化设备和施工方案的优化，显著减少了人工成本及物料损耗，进而大幅节约了施工成本。

2. 保障施工质量，减少施工过程中的人为错误

施工质量往往依赖于人工判断，传统施工方式容易因疏忽或误判而引发质量问题。通过精确的数据采集与分析手段，智慧施工技术能够成功规避由人工操作引发的各种错误。在施工过程中，BIM技术的应用能够预判潜在问题，虚拟仿真手段帮助规避设计与现场冲突，从而有效降低返工率。同时，物联网传感器与无人机等高科技手段可对建筑结构实施实时健康监测，迅速识别并预警潜在的质量隐患，从而实现了对施工质量的严格控制。

### 3. 增强施工安全性, 有效预防事故发生

施工安全始终是施工领域的首要任务, 智慧施工技术的融入显著提升了施工过程的安全保障水平。通过对施工现场实时环境因素(如温度、湿度、风速等)的监测, 能够及时捕捉到潜在的安全风险。例如, 在高速公路桥梁施工项目中, 物联网技术被应用于对施工设备的运行状态进行实时监控, 一旦设备发生故障或操作异常, 系统便会自动启动报警机制, 有效避免事故发生。高空作业的安全风险监测则通过无人机巡检技术得以高效实现, 从而确保施工人员的人身安全。

## (二) 面临的挑战与问题

### 1. 技术成熟度问题

在众多项目中, 智慧施工技术已展现出显著成效。然而, 许多新兴技术仍处于实验阶段, 尚未完全成熟。在使用一些高精度智能设备和传感器时, 现场可能出现数据不稳定以及兼容性差等问题。在一些技术发展相对滞后的区域, 智慧施工技术的推广与应用面临较大挑战。由于部分设备成本较高, 其在中小型项目中的应用和推广受到限制。

### 2. 数据安全与隐私保护

智慧施工技术的广泛应用使得施工中积累的数据资源日益成为重要资产。这些数据不仅包括施工进度和质量信息, 还涵盖施工人员的工作状况及安全记录等敏感资料。因此, 确保数据在存储、传输与使用过程中的安全性, 成为一个亟待解决的关键问题。如果发生数据泄露或滥用, 特别是涉及个人隐私和企业机密时, 可能带来法律风险和财务损失。

### 3. 技术推广难度

推广新型技术过程中, 首先面临的挑战是资金问题。许多施工企业, 尤其是中小型企业, 在高新技术导入阶段需要承担巨额的前期投资, 这给企业带来了巨大的经济压力。此外, 技术推广的另一大难题是技术人才的短缺。智慧施工技术领域的专业技术人员至关重要, 但当前该领域的从业人员技术水平参差不齐, 人才短缺问题尤为突出。在推广智慧施工技术的过程中, 亟需加强技术人才的培养, 并有效降低技术应用的经济负担, 从而加速技术的广泛应用。

## 四、智慧施工的未来发展方向

### (一) 技术融合与创新

迈向未来, 智慧施工领域将不断追求技术融合的更高层次与创新。融合人工智能与大数据技术, 施工过程将迎来智能化与精准化的飞跃。深度学习与预测分析作为AI技术的核心, 在施工领域得以应用, 旨在优化施工进度、资源分配及风险管理。与此同时, 大数据技术为施工现场提供实时信息, 助力施工管理者作出更为精准的决策。在技术持续演进的背景下, 施工技术与管理模式的高度融合, 构成了未来智慧化施工的核心要素。构建智能化的施工生态系统, 不仅显著提升了施工

作业效率, 也极大地强化了对施工品质与安全性的监管效能。

### (二) 智慧施工的产业化发展

在智慧施工技术日渐完善的背景下, 未来将助力相关产业链的拓展, 涵盖设备制造、技术研发、信息平台等领域的产业化实施。在智慧施工技术的广泛运用下, 商业模式的创新与产业机会的涌现将如雨后春笋般层出不穷, 涵盖建筑智能化硬件的生产制造、智慧施工软件平台的构建开发, 以及数据服务与技术咨询等多个领域。构建智能施工平台, 旨在实现信息共享与作业协同, 进而促进设计方、施工方及供应商等参与主体间的无缝连接, 显著提升项目管理效能与精确度。

### (三) 智能化施工的可持续发展

在全球深入推进可持续发展的背景下, 智慧施工领域在追求施工效率与安全保障的同时, 也需重视环境保护与绿色施工的落实。在未来的发展过程中, 以智能技术为核心的施工模式将在减少能源消耗、促进环境保护等关键领域扮演愈发关键的角色。施工现场借助智能化技术, 实时捕捉并分析能耗及污染物排放等关键数据, 从而实现资源的高效运用, 并显著降低对环境的影响。将绿色施工理念与节能技术相融合, 有效促进了可回收材料的应用及施工废弃物的科学管理。面向未来, 融合环保理念、节能措施及可回收技术, 智慧施工模式正朝着绿色发展的新方向演进, 旨在塑造更为环保与可持续的施工形态。

## 结语

智慧施工技术作为现代建筑行业的重要发展趋势, 在公路桥梁施工中展现出了显著的优势。集成应用BIM、大数据、物联网等技术, 不仅显著提高了施工效率, 减少了成本, 确保了工程质量, 而且大幅增强了施工安全, 并助力绿色施工的持续进步。尽管技术成熟度、数据安全与技术推广等方面仍面临诸多挑战, 这些困难不容忽视。技术融合创新持续推进, 智慧施工领域在产业化、智能化及可持续发展的多维向上实现更为显著的进展突破。通过进一步的技术优化与协同发展, 智慧施工将在推动建筑行业向高效、绿色、智能化转型中发挥更为重要的作用。

## 参考文献

- [1] 侯涛. 公路桥梁加固施工质量管理探析[J]. 工程抗震与加固改造, 2020, 42(06): 177.
- [2] 钱熙. 面向智慧公路的桥梁数据模型及其在施工中的应用研究[D]. 昆明理工大学, 2021.
- [3] 李治. 大数据背景下的市政公路桥梁智慧管养应用探讨[J]. 四川建材, 2021, 47(09): 144-145.
- [4] 兰桂芳. 计算机技术在公路桥梁工程施工中的应用[J]. 交通世界, 2021, (10): 3-4.
- [5] 齐福沛. 阐述高速公路桥梁施工中预应力施工技术的应用[J]. 居舍, 2021, (32): 69-71.