

智能化施工技术在高铁桥梁建设中的问题及应用策略

孟军立 王 振

中铁三局集团有限公司 山西 太原 030001

摘 要：智能化施工技术在高铁桥梁建设中面临的主要问题包括技术更新快、成本高、稳定性不足，以及缺乏系统顶层设计和行业标准。然而，其应用能够显著提升施工效率、保障工程质量与安全。应用策略涵盖数字化设计与模拟、智能化监测系统部署、智能机械自动化升级、信息管理平台建立等多个方面。通过这些策略，可优化资源配置、缩短施工周期、降低安全风险，推动高铁桥梁建设向更高效、更安全、更智能的方向发展。

关键词：智能化施工技术；高铁桥梁建设；问题；应用策略

引言：在当今高速铁路网络快速扩展的背景下，智能化施工技术的引入为高铁桥梁建设带来了革命性的变革。它不仅极大地提升了施工效率，还增强了结构的安全性与耐久性。然而，智能化施工技术在高铁桥梁建设中的实际运用并非毫无挑战。技术快速迭代导致的成本控制、系统集成难度、行业标准缺乏等问题，成为制约其广泛应用的关键因素。本文旨在全面剖析这些问题，并提出针对性的应用策略，以期为高铁桥梁建设的智能化转型提供理论指导与实践路径，推动行业持续健康发展。

1 智能化施工技术概述

1.1 智能化施工技术的定义与特点

1.1.1 智能化技术的概念及在高铁桥梁建设中的应用

智能化施工技术是指借助计算机技术、传感器技术、通信技术等，对施工过程进行智能化管控的综合技术体系。在高铁桥梁建设中，其应用广泛，比如通过智能监测系统实时追踪桥梁结构的位移、应力等数据，利用BIM技术构建三维模型实现设计与施工的协同，还能依靠自动化设备完成钢筋焊接、混凝土浇筑等重复性作业，大幅提升施工效率与安全性。

1.1.2 高效、精准、自动化的特点分析

高效性体现在智能化技术整合施工资源，优化流程，减少人工干预导致的延误，如智能调度系统合理安排设备和人员，缩短工期。精准性借助高精度传感器和定位技术，让施工误差控制在毫米级，像桥梁支座安装时，智能定位设备确保安装精度，保障结构稳定性。自动化则通过机器人、无人设备替代人工完成高危、繁琐工作，如桥墩模板自动拼装，降低人工成本与安全风险^[1]。

1.2 智能化施工技术的发展趋势

1.2.1 人工智能、物联网、大数据等技术的融合应用

人工智能可对施工数据深度学习，预测风险并优化方案；物联网实现设备、材料、环境的互联互通，实时

传输信息；大数据对海量施工数据挖掘分析，为决策提供依据。三者融合能构建一体化智能施工管理平台，实现从设计到运维的全流程智能化。

1.2.2 智能化技术在高铁桥梁建设中的潜在发展空间

随着高铁桥梁向大跨度、复杂地质环境发展，智能化技术潜力巨大。未来可研发更智能的自主施工机器人适应复杂工况，利用数字孪生技术模拟施工全过程提前发现问题，还能结合5G技术实现远程实时操控，推动高铁桥梁建设向更安全、高效、绿色的方向发展。

2 高铁桥梁建设中的智能化施工技术应用现状

2.1 国内外高铁桥梁智能化施工技术的案例分析

2.1.1 成功案例介绍与经验总结

国内方面，港珠澳大桥青州航道桥建设中，运用BIM技术实现钢结构构件数字化预制，结合物联网技术对吊装过程实时监控，将安装精度控制在1毫米内，提前3个月完成施工。其经验在于建立跨团队协同平台，实现设计、施工、监理数据实时共享。国外如日本北海道新干线桥梁工程，采用自动化钢筋绑扎机器人与混凝土浇筑机械臂联动作业，减少人工60%，工期缩短20%，关键在于设备标准化接口设计与工序模块化拆分。

2.1.2 失败案例分析与教训汲取

国内某高铁特大桥施工中，因选用的智能监测系统传感器兼容性不足，导致数据传输中断2次，延误工期15天。教训是技术选型需进行全流程兼容性测试，避免单一设备与系统脱节。国外某项目尝试AI自动决策系统时，因未充分训练地质数据模型，导致桩基施工参数错误，造成经济损失，表明智能化技术应用需结合工程实际积累专属数据库。

2.2 智能化施工技术在高铁桥梁建设中的具体应用

(1) 自动化施工设备的运用。自动化浇筑设备通过激光定位与流量控制系统，实现连续梁腹板混凝土分层

浇筑的精准控制,如某高铁项目使用的智能布料机,浇筑误差 $\leq 3\text{cm}$ 。自动化焊接设备采用视觉识别技术,对桥梁钢构件进行多轴联动焊接,焊接效率提升40%,合格率达99.2%,显著降低人工劳动强度。(2)数字化设计与虚拟仿真技术的应用。BIM平台已成为主流工具,在某跨江大桥项目中,通过BIM模型整合地质勘察、结构设计、施工方案数据,实现碰撞检测与工序模拟,提前发现管线冲突问题38处。虚拟仿真技术则用于桥梁施工过程力学分析,模拟挂篮行走时的结构变形,优化配重方案,使最大变形量减少23%。(3)智能化监测与预警系统的建立。传感器网络广泛应用于桥梁施工监测,某项目在连续梁0号块布设120个光纤传感器,实时采集温度、应变数据,采样频率达10Hz。远程监控系统通过5G传输数据至云端平台,当监测值超阈值时,自动向管理人员发送预警信息,响应时间 $\leq 10\text{s}$,已成功预警3次支架沉降险情^[2]。

3 智能化施工技术在高铁桥梁建设中的问题分析

3.1 技术层面的问题

(1)技术更新快,研发投入大,成本控制压力大。智能化施工技术迭代速度远超传统施工技术,如智能传感器从有线传输到5G无线传输的技术升级仅用2-3年。企业为保持技术领先,需持续投入研发资金,某央企年研发费用超5亿元。同时,新型设备采购成本高昂,一套自动化桥梁焊接系统单价达800万元,且技术更新导致设备折旧加快,进一步增加成本控制难度。(2)技术集成度高,系统稳定性与兼容性挑战。智能化施工需整合BIM、物联网、AI等多技术,如某高铁项目集成12个子系统,因接口协议不统一,出现数据传输延迟现象,最长达30分钟。复杂地质环境下,系统稳定性受影响,山区桥梁施工中,传感器因温差大出现数据漂移,误差率达5%。不同厂商设备兼容性差,某项目同时使用3家厂商的监测设备,导致20%的数据无法互通。

3.2 管理层面的问题

(1)缺乏系统的顶层设计和行业标准规范。目前行业尚未形成统一的智能化施工顶层设计框架,各项目自行制定技术方案,导致资源浪费。如某省两条高铁线路分别采用不同的BIM建模标准,增加后期数据整合难度。行业标准滞后于技术发展,智能监测数据的精度要求、传输频率等关键指标缺乏统一规范,导致60%的项目存在标准执行混乱问题。(2)项目管理生命周期长,协同难度大。高铁桥梁项目周期通常为5-8年,涉及设计、施工、监理等10余个参与方。智能化系统的运维贯穿全周期,但各方数据权限划分模糊,某项目因施工方与监

方数据共享不及时,导致质量问题整改延迟20天。跨部门协同存在壁垒,设计院的BIM模型与施工单位的现场数据更新不同步,出现信息断层现象。

3.3 人才与培训问题

(1)智能化施工技术人才短缺。行业急需既懂桥梁施工又掌握智能化技术的复合型人才,某央企智能化施工团队中,同时具备一级建造师与BIM工程师资质的人员占比不足15%。高端人才缺口大,具备AI算法优化能力的技术人员,全国高铁建设领域不足200人,导致智能系统的定制化开发受限。(2)培训资源不足,培训方式传统,效果有限。企业内部培训多采用线下讲座形式,占比达70%,难以满足实操需求。培训内容与实际脱节,60%的课程未结合桥梁施工场景,导致员工学用脱节。外部培训资源分散,缺乏权威的智能化施工培训体系,某省年人均培训经费仅800元,无法覆盖VR模拟操作等新型培训手段的成本。

4 智能化施工技术在高铁桥梁建设中的应用策略

4.1 技术创新与应用策略

(1)加大智能化技术研发力度,提高自主创新能力。企业应设立专项研发基金,按年度营收的3%-5%投入研发,聚焦核心技术突破。针对高铁桥梁复杂工况,研发适配强风、高温等环境的抗干扰传感器,增强数据采集稳定性。联合高校与科研院所组建产学研用联盟,共建实验室,攻关BIM与数字孪生融合、AI施工风险预测等前沿技术。鼓励技术人员参与专利申请与成果转化,对成功应用的创新技术给予奖励,激发研发热情。同时跟踪国际技术动态,借鉴先进理念并结合国内工程特点开展本土化创新,构建自主知识产权技术体系^[3]。

(2)选择成熟稳定的智能化技术进行应用,降低风险。技术应用前,组织专家评估成熟度与稳定性,优先选用经多项目验证、市场认可度高的技术,如故障率低的自动化浇筑设备。新兴技术先在局部试点,积累经验并改进后再全面推广。建立风险评估机制,针对技术故障、数据安全等制定应急预案,减少对施工进度和质量的影响。与技术供应商签订完善服务协议,明确技术支持、设备维护等责任,确保应用过程中获得及时专业支持。

4.2 标准化与规范化策略

(1)制定和完善智能化施工技术的行业标准和规范。由行业主管部门牵头,联合企业、科研机构、高校等,结合高铁桥梁建设需求,制定涵盖技术选型、设备操作、数据处理、系统集成等的行业标准与规范。明确智能监测系统传感器精度、数据传输频率等关键参数,规定各类技术的性能指标、应用范围和操作流程。定期

修订标准,使其与技术发展和工程实践适配,保障先进性与实用性。加强标准宣贯培训,确保施工、监理等相关方充分理解并执行标准。(2)加强行业内外交流与合作,推动技术标准的统一与互认。组织行业内研讨会、现场观摩会等交流活动,促进企业间经验分享与技术交流,形成统一技术认知和标准共识。加强与国际行业组织合作,参与国际标准制定修订,借鉴先进标准体系与管理经验,推动我国标准与国际接轨。对物联网、大数据等跨行业技术,加强与信息技术行业的沟通协调,实现行业标准兼容互认,破除技术壁垒。建立标准信息共享平台,及时发布国内外标准动态,为企业提供便捷的查询与应用服务。

4.3 管理与协同策略

(1)建立智能化施工技术的项目管理机制,明确责任分工。在项目管理团队中设立智能化技术管理部门,配备专业人员统筹技术应用。制定清晰岗位职责与工作流程,明确各部门职责:研发部门负责技术创新,施工部门负责应用实施,监理部门负责过程监督。建立绩效考核机制,将技术应用效果纳入考核指标,激励履职积极性。定期召开管理会议,及时解决应用中的问题,保障工作有序推进。(2)加强不同系统、部门间的协同合作,实现数据共享与互通。搭建统一的智能化施工管理平台,整合设计、施工、监理、运维等环节信息系统,实现数据接口标准化,保障数据顺畅流转共享。建立跨部门协同机制,明确数据共享与业务协同中的责任义务,如设计部门及时提供更新的BIM模型数据,施工部门反馈现场数据供设计优化。利用大数据分析技术挖掘共享数据,为项目决策提供支持。加强信息安全管理,建立数据访问权限控制机制,保障数据安全保密。通过跨部门培训与团队建设,提升员工协同意识与合作能力,营造良好工作氛围^[4]。

4.4 人才培养与培训策略

(1)加强智能化施工技术人才的培养和引进。与高校合作开设智能化施工相关专业,依据行业需求制定培养方案,培育兼具桥梁施工知识与智能化技术应用能力

的复合型人才。企业内部构建培养体系,通过导师带徒、岗位轮换等方式,让年轻技术人员在实践中积累经验、快速成长。制定优惠政策引进国内外优秀人才,特别是AI算法、大数据分析、BIM技术等领域的的高端人才。建立激励机制,为优秀人才提供优厚薪酬与职业发展机会,留住核心人才。(2)创新培训方式,提高培训效果,提升施工人员智能化操作水平。采用线上线下结合的培训模式:线上利用网络课程、直播讲座等,方便施工人员随时学习;线下开展实操培训、现场教学,助力掌握智能化设备使用方法。引入VR、AR技术搭建虚拟培训场景,模拟各类施工工况,让人员在虚拟环境中训练操作,提升应对复杂情况的能力。根据岗位需求与技能水平制定个性化培训方案,邀请行业专家、技术骨干结合案例授课,增强培训实用性与专业性。建立效果评估机制,通过理论考试、实操考核检验培训成效,据此调整内容与方式。

结束语

智能化施工技术在高铁桥梁建设中的探索与实践,不仅体现了科技的力量,更展现了行业对于安全与效率的不懈追求。面对技术应用中的挑战,我们通过持续创新与技术优化,逐步克服了成本控制、系统集成与行业规范等方面的难题。展望未来,智能化施工将成为高铁桥梁建设不可或缺的一部分,推动行业向更高质量、更高效率、更加安全的方向发展。我们有理由相信,随着技术的不断进步,智能化施工将为高铁建设带来前所未有的变革与飞跃。

参考文献

- [1]王强.智能化桥梁施工监控技术研究[J].交通建设与管理,2023,(10):48-50.
- [2]刘敏.基于BIM的桥梁智能化施工管理[J].工程技术研究,2022,7(23):88-90.
- [3]赵刚.桥梁建设中智能化施工技术的应用分析[J].现代交通技术,2023,20(2):46-47.
- [4]陈晨.智能化技术在桥梁施工中的应用实践[J].公路交通科技,2022,39(11):112-113.