

桥梁施工技术创新发展对策研究

张 海

(新政建设集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 为解决桥梁施工技术创新中的发展瓶颈问题, 以智能化施工、绿色技术和模块化建造为例, 对技术创新面临的实施障碍展开系统分析。研究揭示了技术应用失衡、研发能力不足和标准滞后等核心问题, 提出分级标准体系、多元化资金投入和跨学科人才培养三项关键对策。针对风险管理环节, 构建了包含技术验证、市场监测和组织优化的防控框架, 以期为提升桥梁施工技术创新效能提供实践参考。

关键词 桥梁施工; 技术创新; 智能化建造; 绿色施工; 风险管理

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.24.035

0 引言

我国桥梁建设正处于新一轮技术变革的关键期, 数字技术与绿色发展的双重驱动对施工工艺提出更高要求。随着“十四五”规划对基础设施智能化的战略部署, 桥梁施工领域的技术创新已从单纯追求效率转向质量、安全、环保的多维提升。然而, 在实际推进过程中, 技术创新面临着应用断层、标准滞后、人才短缺等现实问题。这些问题在山区桥梁、跨海通道等复杂工程中表现得尤为突出, 直接影响着我国基建技术的国际竞争力。本研究立足于行业最新发展动态, 系统剖析技术创新面临的瓶颈问题, 探索智能化、绿色化转型的有效路径, 为促进桥梁施工技术高质量发展提供实践参考。

1 桥梁施工技术创新存在的问题

1.1 技术应用水平参差不齐

不同施工主体对先进技术的采纳能力存在显著分化。大型工程集团通常具备完善的研发投入和人才储备, 能够快速整合智能监测系统、自动化施工设备等新兴技术。相比之下, 中小型施工企业受制于资金链压力和人力资源缺口, 往往停留在传统工艺阶段。这种分化不仅导致同类项目的工程质量波动, 更可能引发行业生态的恶性循环——技术滞后者因竞争力下降进一步丧失创新资源。技术落差的另一根源在于区域基础设施的配套差异。经济发达地区更容易获得高精度传感器、三维建模软件等技术载体的支持, 而偏远地区的施工团队即使掌握方法论, 也常因硬件缺失难以实施。例如: 基于北斗系统的实时形变监测技术需要配套通信网络支持, 但部分山区项目仍面临信号盲区问题。这种客观条件限制使得技术推广无法通过单

一的政策引导实现均衡。更深层的问题在于技术标准与现场实践的脱节。部分创新成果在实验室环境中表现优异, 却未能针对复杂地质条件或极端气候场景进行适应性调整。当施工团队机械套用标准化方案时, 往往遭遇预期外的地基沉降或材料疲劳问题。

1.2 技术创新瓶颈制约发展

核心技术自主研发能力的不足构成首要障碍。在桥梁抗震设计、大跨度结构计算等关键领域, 国内施工方仍依赖进口软件和专利技术。这种依赖性不仅推高建设成本, 更导致技术迭代受制于人。当国外更新算法标准时, 国内项目往往需要重新采购设备或支付高额升级费用。这种被动局面本质上源于基础理论研究与工程应用研究的衔接断裂。创新风险的分担机制缺失进一步抑制了技术突破动力。桥梁施工具有明显的不可逆特征, 任何新工法的试验都可能带来数千万级的经济风险^[1]。当前行业缺乏针对创新失败的保险产品或政策兜底, 致使施工方更倾向采用保守方案。这种风险规避倾向与BIM技术推广初期的困境类似——尽管全生命周期管理理念已被广泛认同, 但实际应用仍集中在设计阶段而非施工全流程。人才结构失衡则从操作层面阻碍了技术转化。现场工程师对传统工艺的路径依赖, 与年轻技术人员的先进知识体系之间常出现断层。例如: 某跨海大桥项目曾出现无人机巡检数据因无人解读而闲置的情况, 暴露出技术工具与人力资本的不匹配。

2 施工技术创新的核心方向

2.1 智能化施工技术的突破

工程现场的数据采集方式正在发生根本转变。毫米波雷达与激光扫描的组合应用, 使结构变形监测从

离散点测量升级为全断面连续扫描。这种变化让施工团队能够捕捉到传统手段无法发现的微小位移趋势，为及时调整施工方案提供依据。智能算法的引入则使数据处理效率产生质的飞跃，原本需要数小时的分析工作现在可以实时完成。施工机械的自动化升级面临环境适应性的考验。虽然无人摊铺机在试验场表现出色，但实际工地上的物料波动和天气变化仍会影响作业精度。为解决这个问题，新一代控制系统开始整合气象数据和材料特性参数，建立动态调整模型。塔吊智能防碰撞系统则通过建立三维作业空间模型，将误判率控制在万分之一以下。

2.2 绿色施工技术的应用推广

材料革新正在改变传统的施工环保范式。新型矿物掺合料的应用使混凝土的氯离子扩散系数降低了一个数量级，大幅提升结构耐久性的同时减少了维护频次。施工废水的电化学处理装置能在现场完成净化循环，其运行能耗仅为传统方法的十分之一。太阳能薄膜与施工临时设施的集成设计，使部分项目的临时用电自给率达到30%以上。这种分布式能源模式特别适合偏远地区的桥梁建设。这些技术突破使绿色施工从单纯的环保要求转变为具有经济竞争力的选择。能源管理系统的智能化升级带来新的节能空间。基于负荷预测的电力调配系统可以优化施工现场的能源使用节奏，避开用电高峰期的同时保证关键工序的电力供应^[2]。

2.3 模块化与装配式技术的深化

结构分解逻辑的革新推动着模块化发展。将桥梁分解为运输单元时，不再简单按结构划分，而是综合考虑运输条件、吊装能力和连接便利性。这种系统思维使山区项目的构件重量控制在直升机吊装范围内，解决了传统方法的运输瓶颈。节点设计的标准化程度直接影响施工效率，新型插销式连接的安装时间比焊接缩短80%。质量管控体系需要与装配式技术同步进化。工厂预制阶段引入的机器视觉检测系统，能够识别肉眼难以发现的微小缺陷。现场拼装时使用的智能校准装置，可将误差控制在0.5毫米以内。这些技术进步使装配式结构的质量稳定性首次超越现浇结构，为技术推广扫除了关键障碍。

3 技术创新发展的保障措施

3.1 完善技术标准与规范体系

现有技术标准对新工艺的包容性不足成为首要障碍。传统规范主要针对现浇混凝土结构制定，当面对3D打印桥梁构件或智能张拉系统时，往往缺乏对应的验收条款。这种情况导致创新技术在实际应用中面临

合规性困境，即便其技术性能已经过充分验证。标准更新机制的僵化问题尤为突出，从新技术出现到被纳入规范通常需要三到五年周期，严重滞后于工程实践需求。分级分类的标准体系可能是解决问题的有效途径。可以参照医疗设备的管理模式，建立桥梁技术的风险等级划分制度。对于非承重部位的创新工法，适当放宽审批要求；而对主要受力构件的革新，则维持严格的认证程序。同时需要建立规范的快速修订通道，对于经过试点验证的新技术，缩短标准更新流程至一年以内^[3]。这种差异化管理既能保证工程安全，又为技术创新留出空间。标准国际化对接是另一个亟待加强的领域。随着“一带一路”项目的推进，我国桥梁企业经常面临与欧美标准体系的冲突。建立中外标准等效性认证机制，组织专业力量开展标准对比研究，这些工作都能显著提升中国技术的国际认可度。

3.2 资金投入与资源配置

创新资金的投入结构存在明显失衡。目前大部分研发资金集中在施工设备采购环节，而对基础理论研究和转化的投入严重不足。这种重硬件轻软件的倾向导致许多核心技术难以突破，只能停留在表面改进层面。建立多元化的资金投入机制势在必行，应当区分基础研究、应用研究和产业化推广不同阶段的资金需求特点，制定差异化的支持政策。风险投资机制在工程建设领域的缺失制约了技术创新。相比其他行业，桥梁施工的技术创新具有周期长、投入大、风险高的特点，传统金融资本往往望而却步。设立专业化的工程技术创新基金，引入保险机构分担研发风险，建立政企风险共担机制，这些措施都能有效降低创新门槛。特别是对于中小企业的技术创新，更需要建立专门的融资渠道和担保体系。资源配置的碎片化问题也需要引起重视。当前各个施工企业的研发活动往往各自为政，导致重复投入和资源浪费。建立行业级的创新资源共享平台，推动关键设备的租赁共用，组织联合攻关团队，这些措施都能显著提升资源利用效率。

3.3 人才培养与团队建设

工程技术人才的培养模式面临转型升级。传统土木工程教育过于侧重结构计算和施工工艺，对数字化技术和新材料科学的涉及严重不足。高校课程体系需要重构，增加BIM技术、智能算法、绿色材料等新兴领域的教学内容。同时要打破学科壁垒，促进土木工程与计算机、材料、机械等学科的交叉融合。现场技术人员知识更新机制亟待完善。许多资深工程师对新兴技术存在认知鸿沟，而年轻技术人员又缺乏工程

经验。建立常态化的技术培训体系,组织创新技术现场观摩,设立导师制培养机制,这些措施都能促进技术传承与创新。特别是对于智能建造装备的操作和维护,需要建立专门的资格认证体系^[4]。创新团队的组建方式也需要革新。传统的部门分割模式不利于跨专业协作,应当建立以项目为导向的矩阵式管理结构。组建由设计、施工、科研人员组成的联合团队,实施全过程协同创新。特别是在技术攻关阶段,更需要打破组织边界,建立灵活高效的工作机制。

4 技术创新的风险管理与应对策略

4.1 技术风险的识别与防控

技术可行性验证是风险防控的基础环节。新型施工工艺在工程应用前,应当完成实验室模拟、缩尺试验和专家论证三级验证流程。数字孪生技术的引入为风险预判提供了新途径,通过建立虚拟施工场景,可以模拟复杂地质条件下的结构响应。对于涉及主体结构安全的关键技术创新,必须设置独立的技术评审委员会,采用盲审方式评估技术方案的可靠性。技术标准适配性风险需要特别关注。当创新技术超出既有规范框架时,可能面临验收障碍。建立新技术临时许可制度具有现实必要性,由行业协会组织专家团队开展专项评估,出具限定范围和时间的应用许可。同步推进技术创新保险机制建设,开发针对首台套应用的专属保险产品,通过风险分摊降低企业创新成本。在跨海桥梁等重大项目中,可以考虑设立技术创新风险准备金,为试验性工法提供资金保障。

4.2 市场风险的预警与规避

市场需求变化构成持续性风险。技术研发前应当开展系统的市场调研,分析不同区域、类型桥梁建设的技术需求特征。建立市场动态监测平台,定期收集业主单位的技术偏好信息,及时调整研发方向。对于长周期研发项目,建议采用模块化开发策略,根据市场反馈灵活调整技术路线,避免资源浪费。技术迭代风险具有突发性特点^[5]。智能建造领域的快速发展使得技术生命周期明显缩短。研发团队需要建立竞争技术跟踪机制,定期评估自身技术的领先优势。保持核心技术架构的开放性,预留接口兼容未来升级需求。在专利布局方面,应当形成核心专利与外围专利的组合保护,构建多层次的技术壁垒。对于可能被替代的技术方案,提前制定转型预案,降低沉没成本损失^[6]。

4.3 组织风险的化解与协调

跨部门协作需要机制创新。技术创新涉及设计、施工、监理等多方主体,传统的线性管理模式效率低下。

矩阵式项目组织能够有效整合各方资源,设立专职的技术协调岗,负责进度跟踪和问题解决^[7]。建立定期技术协调会制度,采用问题清单化管理,确保协作障碍及时消除。在重大技术创新项目中,可以考虑组建实体化的联合创新中心,实现人员、设备和数据的深度融合。人才流动风险威胁技术延续性。核心技术骨干的流失可能导致项目中断。完善人才保留机制尤为重要,实施技术骨干的股权激励机制,设计清晰的职业发展通道。建立技术文档的标准化管理体系,采用区块链技术确保研发过程的可追溯性。推行导师制人才培养模式,形成老中青结合的技术梯队。对于涉及商业秘密的核心技术,应当签订竞业限制协议,保护企业的创新成果^[8]。

5 结束语

桥梁施工技术创新正处于转型升级的关键阶段,智能化、绿色化和工业化的发展方向已形成行业共识。技术标准体系的完善为创新活动提供了制度保障,而风险防控机制的建立则确保了技术转化的稳定性。人才培养模式的革新和资源配置的优化,从根本上解决了创新动力不足的问题。这些系统性对策的实施,不仅能够提升单个项目的施工质量,更有助于推动整个行业的技术进步,为基础设施建设高质量发展奠定坚实的基础。

参考文献:

- [1] 江家宝.高速公路桥梁施工技术创新与实践研究[J].运输经理世界,2024(28):127-129.
- [2] 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.
- [3] 李飞虎.高架大跨度桥梁施工工艺与技术创新[J].运输经理世界,2023(33):101-103.
- [4] 梁沁强.市政桥梁施工技术的管理以及创新思路探究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(25):73-75.
- [5] 李炜.桥梁施工中的钢筋混凝土结构施工技术创新[J].交通世界,2020(25):112-115.
- [6] 王小伟.基于绿色理念的公路桥梁施工技术研究[J].运输经理世界,2024(27):43-45.
- [7] 代勤飞.高速公路后张法预应力混凝土桥梁施工技术与应用[J].科技创新与应用,2024,14(22):193-196.
- [8] 吕灵敏.市政道路桥梁施工中的绿色施工技术应用[C]//中国智慧工程研究会.2024工程技术应用与施工管理交流论文集(下).浙江丰家建设有限公司,2024.