公路工程施工管理中的技术创新与应用研究

汪　攀

新疆兵团水利水电工程集团有限公司　新疆　乌鲁木齐　830000

摘　要：随着我国交通强国战略持续推进，公路基础设施建设规模不断扩大，施工环境日益复杂，工程建设对质量、安全、进度、环保及精细化管理提出了更高标准。当前公路工程施工管理现状，结合工程实际阐述 BIM 技术、智慧工地系统、智能摊铺碾压、物联网监测、建筑垃圾再生利用等创新技术的应用优势与实施要点，分析当前技术创新落地过程中存在的成本、人才、标准、协同管理等制约因素，并针对性提出完善技术应用体系、强化人才队伍建设、健全行业标准、推进数据协同共享、构建创新激励机制等优化对策。研究结果表明，通过技术创新与施工管理深度融合，能够有效提升公路工程施工精细化、智能化、绿色化管理水平，显著降低施工风险、节约建设成本、提升工程质量与施工效率，可为同类公路工程项目施工管理优化提供参考与借鉴。

关键词：公路工程；施工管理；技术创新；智慧施工；BIM；技术；绿色施工

1 引言

公路交通作为综合交通运输体系的基础核心，是国民经济发展的重要命脉，在区域经济联动、城乡融合发展、民生保障等方面发挥着不可替代的作用。近年来，我国公路建设逐步从平原常规路段建设转向山区复杂地形、高边坡、长大纵坡、软土路基、特殊地质路段建设，工程施工难度大幅提升，自然环境制约因素增多，传统粗放型施工管理模式的弊端日益凸显。在现代化工程建设背景下，绿色施工、智能建造、数字管控已成为公路工程发展的主流趋势，单纯依靠人工管控、传统工艺施工的模式，已无法满足新时代公路工程高标准、高质量、高效率、低能耗的建设要求。

2 公路工程传统施工管理现状及存在问题

2.1 信息化管理水平滞后

现阶段部分中小型公路工程项目仍沿用传统人工管理模式，施工数据记录、资料整理、进度统计、质量验收多依赖纸质台账，信息化、数字化程度极低。施工过程中人员、机械、材料、工序、质量、安全等数据分散杂乱，缺乏统一的数据采集、存储、分析平台，各参建单位之间信息沟通不畅，存在严重的信息孤岛问题。工程变更、隐蔽工程施工、工序验收等关键环节记录不规范、数据追溯难度大，极易出现资料与现场施工脱节、数据失真、记录遗漏等问题，不仅增加资料整理工作量，还会影响工程质量验收与后期运维管理。

2.2 施工工艺精细化程度不足

传统公路路基、路面施工多依靠施工人员经验开展作业，人工拉线找平、传统碾压、粗放摊铺的施工方式普遍存在。施工过程中摊铺厚度、路面横坡、碾压速度、碾压遍数难以精准把控，容易出现路基压实度不足、路面平整度差、局部沉降、裂缝、坑槽等质量通病。同时，传统施工工艺对特殊地质、复杂路段的适配性较差，软土路基、高边坡路段施工工艺老旧，加固、排水、防护措施不完善，导致工程稳定性不足，后期道路病害频发，大幅缩短公路使用寿命，增加后期养护成本。

2.3 安全风险管控模式被动

公路工程施工存在露天作业、高空作业、机械作业、深基坑作业等高危施工场景，施工环境复杂、危险源数量多、风险隐蔽性强。传统安全管理以人工巡查、事后整改为主，安全隐患排查依靠管理人员经验，巡查范围有限、频次不足，无法实现施工现场全方位、全天候动态监管。边坡位移、基坑沉降、机械违规操作、人员未佩戴防护用具、夜间施工违规作业等安全隐患无法及时预警，安全管理存在严重滞后性，极易引发安全事故，威胁施工人员生命财产安全。

2.4 绿色施工落实不到位

传统公路施工过程中环保管控意识薄弱，绿色施工技术应用普及率低。土方开挖、材料运输、现场作业产生大量扬尘、噪音污染，施工废水、废渣随意排放，建筑垃圾、废旧建材回收率极低，大多直接外运填埋，造成土地资源占用和生态环境破坏。同时，传统施工能耗较高，大型机械设备能耗浪费严重，水土保持、生态修复措施落实不规范，无法满足当前生态环保、双碳政策下的绿色施工要求，与现代化绿色公路建设理念严重不符。

3 公路工程施工管理核心技术创新及具体应用

3.1 数字化智能管理技术创新应用

3.1.1 BIM 全生命周期施工管理技术

BIM 技术是公路工程数字化施工的核心创新技术，通过构建道路、桥梁、边坡、管网三维可视化模型，实现工程设计、施工、验收、运维全周期智能化管理。在施工准备阶段，利用 BIM 模型开展图纸会审、碰撞检测、施工方案模拟，提前排查设计漏洞、管线冲突、结构不合理等问题，优化施工组织设计，减少工程变更与返工。在施工过程中，将 BIM 模型与施工进度、质量、成本数据联动，构建 4D、5D 施工管理模型，实时对比计划施工进度与实际施工进度，动态把控工程建设节奏。同时，依托 BIM 技术实现隐蔽工程可视化验收，精准记录施工数据，实现工程数据全程可追溯，有效解决传统资料管理混乱、验收不规范的问题，大幅提升施工精细化管理水平。

3.1.2 智慧工地一体化管控平台

智慧工地系统融合物联网、大数据、视频监控、北斗定位、环境监测等现代化技术，构建施工现场“一屏统管”数字化管理体系。系统可实时采集施工现场人员考勤、机械运行、施工进度、扬尘噪音、温湿度、基坑沉降、边坡位移等数据，通过云端大数据分析实现数据实时预警、智能研判。针对人员违规作业、设备超时运行、扬尘超标、沉降异常等问题，系统自动报警，管理人员可第一时间处置隐患，实现安全质量风险前置管控。智慧工地平台打破了传统人工监管的局限性，实现施工现场全方位、全天候、无死角智能化监管，大幅提升施工管理效率。

3.1.3 物联网智能监测技术

针对公路工程高边坡、深基坑、桥梁桩基、路基沉降等关键风险点位，布设物联网传感监测设备，实时采集结构变形、沉降位移、应力变化、水位变化等数据，24 小时不间断动态监测。相较于传统人工定点监测，物联网监测技术数据精度更高、时效性更强，能够及时捕捉微小结构变化，提前预判坍塌、沉降、滑坡等安全风险，为施工安全管控提供精准数据支撑，有效规避重大施工安全事故。

3.2 路面路基施工工艺创新应用

3.2.1 3D 智能摊铺施工技术

传统人工拉线摊铺精度低、误差大，容易导致路面厚度不均、平整度不达标。3D 智能摊铺技术依托高精度北斗定位系统和自动控制系统，直接导入道路设计线形、高程、横坡数据，无需人工拉线，设备可自动调整熨平板高度、摊铺厚度和行走速度，实现毫米级精准摊铺。该技术不受地形、坡度影响，适配山区公路、长距离路段施工，能够有效提升路面摊铺均匀度和平整度，减少路面后期裂缝、坑槽病害，大幅提升路面施工质量。

3.2.2 无人智能碾压施工技术

无人碾压技术是现代公路路面压实施工的重要创新，通过北斗导航系统预设碾压路径、碾压速度、碾压遍数，无人压路机可自动完成路基、沥青路面碾压作业，搭配智能避障系统，保障施工安全。相较于人工碾压，无人碾压能够彻底杜绝漏压、过压、碾压不均匀等问题，压实度合格率显著提升，施工质量稳定性更强。同时，无人设备可适应高温、夜间、高危边坡等恶劣施工环境，降低人工劳动强度，规避人工安全风险，有效提升碾压施工效率与质量。

3.2.3 软土路基改良创新工艺

针对公路工程常见的软土路基承载力不足、沉降量大的问题，新型真空预压联合堆载、新型固化剂改良、碎石垫层加筋等创新工艺得到广泛应用。通过改良软土路基结构、提升土体强度和稳定性，有效解决软土路基不均匀沉降问题，提升路基整体承载能力，适配复杂地质路段施工，大幅提升路基工程使用寿命。

3.3 绿色低碳施工技术创新应用

3.3.1 建筑垃圾再生利用技术

公路施工会产生大量铣刨旧料、废弃混凝土、隧道弃渣等建筑垃圾，传统处理方式多为外运填埋，资源浪费严重。通过破碎、筛分、净化工艺，将废旧建材加工为再生骨料，可直接用于路基填筑、便道硬化、基层铺装，实现建筑垃圾循环再利用。该技术不仅减少建筑垃圾排放、节约天然石材资源，还能降低材料采购成本，兼具环保效益与经济效益。

3.3.2 低污染绿色施工技术

施工现场全面推广湿法作业、封闭围挡、喷淋降尘、雾炮除尘等抑尘技术，有效控制施工扬尘污染。施工废水设置沉淀池净化处理后循环利用，杜绝污水直排。边坡施工采用喷播植草、生态格构、植生混凝土等生态防护技术，替代传统硬质护坡，在保障边坡稳定性的同时，修复施工现场生态环境，实现工程建设与生态保护协同发展。

3.3.3 节能型施工设备改造

对沥青拌合站、发电机组、大型碾压设备进行节能

改造，加装余热回收、降噪除尘、节能控制系统，降低设备能耗和污染物排放，减少施工噪音、废气污染，符合绿色公路、低碳施工的建设要求。

3.4 施工管理模式与制度创新

在技术创新的同时，同步推进管理制度创新，构建精细化、标准化、数字化施工管理体系。建立技术交底标准化制度、质量巡检常态化制度、安全隐患闭环整改制度、材料损耗管控制度，规范施工全流程操作。依托数字化平台实现施工进度、质量、安全、成本动态管控，根据施工现场天气、地质、施工进度实时调整施工计划，优化人、机、料资源配置，杜绝窝工、浪费、工期滞后等问题，全面提升施工管理规范化水平。

4 当前公路施工技术创新应用存在的问题

4.1 创新技术应用成本偏高

BIM 设备、智慧工地系统、智能摊铺碾压设备、物联网监测设备等智能化技术前期采购、安装、运维成本较高，对于中小型施工企业和普通县乡公路项目而言，资金投入压力大，导致智能化、数字化技术难以全面普及，多数项目仅能实现局部简单应用，无法发挥技术创新的最大价值。

4.2 专业技术人才储备不足

现代化智能施工技术对管理人员、技术人员、一线作业人员的专业能力要求较高，需要掌握 BIM 建模、数字化平台操作、智能设备运维、数据统计分析等专业技能。目前施工现场多数从业人员仍依赖传统施工经验，数字化、智能化技术操作能力薄弱，专业技术人才缺口较大，导致创新技术落地执行不到位，存在设备闲置、技术应用不规范等问题。

4.3 行业技术标准体系不完善

目前公路工程智能摊铺、无人碾压、数字化验收、智慧工地管控等新型技术的行业统一标准、验收规范尚未完全完善，部分创新工艺缺乏标准化施工流程和质量评定依据。施工过程中技术应用不统一、验收标准不清晰，导致创新技术应用规范性不足，不利于技术规模化推广。

5 推进公路工程施工技术创新落地的优化对策

5.1 分级推广创新技术，降低应用成本

结合项目规模、工程等级差异化推广创新技术，高速、重点干线公路全面落地 BIM、智慧工地、智能施工全套技术；县乡普通公路优先推广低成本、高实效的创新工艺，如建筑垃圾再生利用、湿法降尘、简易物联网监测等技术。同时推动设备租赁、技术共享模式，降低中小企业技术投入成本，扩大创新技术普及范围。

5.2 强化人才队伍专业化建设

建立常态化培训机制，定期组织管理人员、技术人员开展 BIM 技术、智慧工地操作、智能设备应用、绿色施工工艺等专项培训，提升从业人员专业技能。引进数字化、智能化专业技术人才，组建专业技术创新团队，负责施工现场新技术落地、技术指导、问题整改，保障创新技术规范应用。

5.3 健全行业技术标准与规范

结合工程实践经验，不断完善智能施工、数字化验收、绿色施工的行业标准、施工规范和质量评定体系，明确新型工艺的施工流程、技术参数、验收标准。统一技术应用标准，规范施工现场创新技术操作，为技术规模化、标准化推广提供制度依据。

结束语

在交通基建高质量发展的大背景下，技术创新已经成为公路工程施工管理转型升级的核心驱动力。传统粗放式施工管理模式已无法适配现代公路工程建设需求，通过引入 BIM 数字化管理、智慧工地智能管控、智能摊铺碾压、物联网监测、绿色低碳施工等创新技术，能够有效解决传统施工管理中质量管控不严、安全风险较高、施工效率偏低、资源浪费严重、环保效果差等突出问题，全面提升公路工程施工精细化、智能化、绿色化管理水平。

当前公路施工技术创新应用仍存在成本较高、人才不足、标准不完善、数据协同差等问题，制约了创新技术的普及落地。通过分级推广创新技术、强化人才培养、健全行业标准、搭建数据共享平台、完善创新激励机制等措施，能够有效破解技术创新落地难题，推动新技术、新工艺、新管理模式与公路施工深度融合。

未来，公路工程施工管理将持续朝着智能化、数字化、绿色化、精细化方向发展，持续深化技术创新与管理创新融合，不断优化施工工艺、完善管理体系、提升建设品质，为我国公路交通基础设施高质量、可持续发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

[1] 王浩. 公路工程施工管理中的智能化技术应用研究 [J]. 工程技术研究,2023,8(11):156-158.

[2] 李建军. 绿色施工理念下公路工程施工技术创新探析 [J]. 交通世界,2024(08):132-134.

[3] 张磊. BIM 技术在公路工程全生命周期施工管理中的应用 [J]. 工程建设与设计,2023(16):145-147.

[4] 陈峰. 智慧工地系统在公路施工安全管理中的应用 [J]. 西部交通科技,2023(09):189-191.