

公路施工专业作业效率提升策略

赵 强

青岛鑫隆公路建设工程有限公司 山东 胶州 266300

摘 要：本文基于工程实践与前沿技术，系统分析制约公路施工效率的关键因素，提出涵盖技术革新、管理优化、人员赋能、资源协同四大维度的提升策略。通过引入智能建造技术、构建动态管理体系、实施标准化培训、优化资源配置模型等具体措施。研究表明，综合应用多维度策略可使施工效率提升，为行业数字化转型提供理论支撑与实践参考。

关键词：公路施工；作业效率；智能建造；动态管理；资源优化

1 引言

公路建设作为国家基础设施建设的核心领域，其施工效率直接关系到区域经济发展、社会资源调配及国家战略实施。据统计，全球每年因公路施工效率低下导致的工期延误损失超千亿美元，其中中国公路工程因返工、材料浪费等问题造成的成本增加约占项目总投资的8%-12%。在“双碳”目标与新型城镇化建设的双重驱动下，传统粗放式施工模式已难以满足高质量发展需求，亟需通过技术创新与管理变革实现效率突破。本文以工程全生命周期管理理论为基础，结合BIM、物联网、人工智能等前沿技术，构建“技术-管理-人员-资源”四位一体的效率提升框架，为公路施工专业化、精细化、智能化发展提供解决方案。

2 制约公路施工效率的关键因素分析

2.1 技术层面：工艺滞后与设备老化

当前公路施工中，技术层面的制约因素主要体现在传统工艺的依赖、设备智能化不足以及数字化应用断层等方面。许多项目仍沿用人工摊铺、湿法养生等落后工艺，这些工艺不仅效率低下，而且质量难以保证。例如，某高速公路项目在桥墩施工中未采用装配式桥梁技术，导致施工周期比预期延长了40%，严重影响了整体进度。同时，国内施工设备的自动化率较低，不足30%，且设备之间缺乏协同作业能力，进一步降低了施工效率。在某隧道工程中，挖掘机与运输车之间的调度脱节，导致设备闲置率高达25%，造成了资源的极大浪费。此外，数字化技术在施工中的应用也存在断层现象，仅12%的施工企业实现了BIM技术的全流程覆盖，设计、施工、运维之间的数据割裂严重，导致返工率增加，进一步影响了施工效率。

2.2 管理层面：体系缺陷与执行乏力

管理层面的制约因素则主要体现在进度管理粗放、

质量管控滞后以及安全风险失控等方面。传统的甘特图进度管理方法难以应对复杂工程中的多变量干扰，导致进度控制不准确。例如，某跨海大桥项目在遭遇台风时，由于未采用关键路径法（CPM）进行进度管理，未能及时调整资源，导致工期延误了3个月，给项目带来了巨大的经济损失。在质量管控方面，人工抽检的覆盖率不足5%，隐蔽工程的缺陷发现率低，容易导致质量问题在后期暴露，增加返工成本^[1]。某市政道路工程在通车后3个月即出现大面积沉降，原因就是路基压实度未达标，而这一问题在施工过程中未能被及时发现。此外，施工现场的安全风险也难以得到有效控制，安全检查频次低，违规操作识别率不足60%，导致安全事故频发。2023年某省公路施工事故中，78%的事故由安全防护措施缺失引发，给施工人员的生命安全带来了严重威胁。

2.3 人员层面：技能断层与意识薄弱

人员层面的制约因素主要包括技术人才缺口、安全意识淡漠以及协作效率低下等问题。随着公路施工技术的不断发展，对技术人才的需求也越来越高，但目前施工队伍中高级技工的占比不足15%，新型设备操作人员的缺口更是高达40万人。某智能压路机项目在实施过程中，由于操作员培训不足，设备故障率比行业平均水平高出了2倍，严重影响了施工进度和质量。同时，一线工人的安全意识也较为淡漠，安全培训参与率仅65%，且培训内容与实际场景脱节，导致工人在施工过程中难以有效识别和防范安全风险。某隧道坍塌事故调查显示，85%的工人未掌握初期支护的时效性要求，这是导致事故发生的重要原因之一。此外，跨专业团队之间的协作效率也较低，沟通成本占项目总成本的10%-15%。某综合枢纽工程中，由于土建与机电专业之间的交接不清，导致管线碰撞问题频发，增加了施工难度和成本。

2.4 资源层面：配置失衡与浪费严重

资源层面的制约因素主要体现在材料管理粗放、设备调度低效以及能源利用低效等方面。在材料管理方面,砂石料含水率的波动会导致混凝土配合比出现偏差,影响混凝土的质量。某项目在施工过程中,由于未对砂石料含水率进行有效控制,导致浪费水泥2000余吨,增加了项目成本。在设备调度方面,设备闲置率平均达18%,运输车辆空驶率超过30%,造成了资源的极大浪费。此外,施工机械的能耗占项目总能耗的60%以上,但节能技术的应用率却不足10%,导致能源利用效率低下,增加了施工成本和环境压力。

3 公路施工效率提升的多维度策略

3.1 技术革新:构建智能建造体系

技术革新是提升公路施工效率的关键。通过构建智能建造体系,可以集成BIM、GIS、物联网等先进技术,实现施工过程的可视化、智能化管控。例如,杭绍甬高速公路作为浙江省首条智慧高速公路,在建设过程中积极引入智能建造技术,取得了显著成效。该项目采用无人机倾斜摄影技术,快速获取施工现场三维地形数据,结合BIM模型进行碰撞检测和施工模拟,提前发现并解决了120余处设计冲突,避免了施工过程中的返工和变更,将设计变更率降低了30%。同时,杭绍甬高速公路还应用了智能压路机,通过北斗定位系统和传感器实时监测压实度、遍数等参数,实现了压实作业的精准控制,压实均匀性提高了20%,施工效率提升了15%。此外,装配式建造技术也在该项目中得到了广泛应用,如预制梁的工厂化生产,将现场作业时间减少了60%,大大缩短了工期,降低了成本。

3.2 管理优化:打造动态管控机制

管理优化是提升公路施工效率的重要保障。通过打造动态管控机制,可以实现对施工进度、质量和安全的实时监控和动态调整。例如,采用CPM与挣值分析(EVM)结合的方法进行进度管理,可以建立动态调整模型,根据实际情况及时调整资源分配和施工计划,确保工程按期完成^[2]。在质量控制方面,构建“样板引路+智能检测”体系可以提高质量管控的准确性和效率。深中通道项目采用无损检测机器人对钢筋保护层厚度进行检测,将检测效率提升了5倍,合格率提高至98%,确保了工程质量。同时,引入“Bowtie”风险分析模型与智能安全帽等先进技术进行安全风险预控也是非常重要的。某地铁项目通过实时监测工人生命体征与作业环境,将安全事故率降低至0.3次/万工日,有效保障了施工人员的生命安全。

3.3 人员赋能:实施标准化培训体系

人员是公路施工的核心要素。通过实施标准化培训体系,可以提高施工人员的技能水平和安全意识,促进跨专业团队之间的协作效率。例如,建立“理论考试+实操考核+项目评估”三级认证体系可以对施工人员进行全面、客观的评价,确保他们具备相应的技能和素质。中交集团推行“施工特种作业人员星级评定”制度后,高空作业违规率下降了60%,有效提高了施工安全性。同时,开发VR安全教育系统和工艺模拟平台等虚拟仿真培训工具也可以提高培训效果。某核电站项目通过VR培训使新员工熟悉操作流程的时间缩短了50%,提高了培训效率和质量。此外,推行“设计-施工-运维”一体化团队模式可以促进跨专业团队之间的沟通和协作。雄安新区某市政综合管廊项目通过BIM协同平台将专业间沟通效率提升了40%,减少了因沟通不畅导致的问题和返工成本。

3.4 资源协同:构建智能调度模型

资源协同是提升公路施工效率的重要环节。通过构建智能调度模型,可以实现材料、设备和能源等资源的优化配置和高效利用。例如,建立“需求预测-动态采购-智能仓储”体系可以对材料需求进行准确预测和动态调整,减少库存积压和浪费。某大型基建项目通过大数据分析将钢材库存周转率提高至12次/年,资金占用减少了35%,提高了资金利用效率。同时,搭建区域性设备租赁平台可以实现设备共享和优化配置。长三角地区某设备联盟通过共享机制将设备利用率从45%提升至78%,降低了设备闲置率和成本^[3]。此外,推广光伏路面、电动施工机械等绿色能源应用技术也可以提高能源利用效率。某光伏高速公路项目年发电量达120万度,满足了20%的施工用电需求,减少了对传统能源的依赖和环境污染。

4 实证案例分析:杭绍甬高速公路智能化施工实践

杭绍甬高速公路作为浙江省重点建设项目,以打造智慧高速公路为目标,在施工过程中全面应用智能化技术,取得了良好的经济效益和社会效益。在技术应用方面,该项目构建了基于BIM的数字化管理平台,实现了设计、施工、运维全生命周期的数据共享和协同管理。通过BIM模型,施工人员可以直观地了解工程结构和施工要求,提前发现设计问题并进行优化,减少了施工过程中的变更和返工。同时,杭绍甬高速公路还广泛应用了物联网技术,在施工设备上安装传感器,实时采集设备运行状态、施工参数等数据,并通过无线网络传输至管理平台进行分析和处理。例如,智能压路机通过北斗定位和传感器实时监测压实度、遍数等参数,实现了压实作业的精准控制,压实质量显著提高。此外,该项目还采用了无人机巡检技术,对施工现场进行定期巡查,及时发现

安全隐患和质量问题,提高了管理效率。

在管理创新方面,杭绍甬高速公路建立了“项目指挥部-总监办-项目经理部”三级管控体系,通过信息化手段实现了对施工进度、质量、安全的实时监控和动态管理。项目指挥部可以通过管理平台随时查看施工现场的实时画面和数据,及时掌握工程进展情况,对存在的问题进行及时协调和解决。同时,该项目还引入了挣值分析方法,对施工进度和成本进行动态控制。通过对比计划工作预算成本(BCWS)、已完工作预算成本(BCWP)和已完工作实际成本(ACWP),及时发现进度偏差和成本偏差,并采取相应的措施进行调整,确保工程按计划顺利进行。杭绍甬高速公路的智能化施工实践使得项目工期较传统模式缩短了10%,人工成本降低了18%,质量合格率达到99.5%,为智慧高速公路建设提供了宝贵经验。

5 实施路径与保障措施

5.1 分阶段推进策略

为了有效提升公路施工效率,需要制定分阶段推进策略。在试点期(1-2年),选择3-5个典型项目开展智能建造试点,完善技术标准与管理流程。通过试点项目的实施和总结经验教训,为后续推广提供借鉴和参考。在推广期(3-5年),在行业范围内推广成熟技术和管理模式,建立区域性智能建造示范基地。通过示范基地的引领和辐射作用,推动整个行业的智能化转型和升级^[4]。在成熟期(5年以上),实现全行业数字化转型和智能化发展目标,智能建造占比达到80%以上。这将大大提高公路施工的效率和质量水平,推动行业持续健康发展。

5.2 政策支持体系

政策支持是提升公路施工效率的重要保障。政府应出台相关政策措施支持智能建造技术的发展和运用。例如,对采用智能建造技术的项目给予10%-15%的造价补贴;对研发智能施工设备的企业减免增值税;加快出台《智能施工设备技术规范》《BIM数据交付标准》等行业标准等。这些政策措施将激发企业和科研机构参与智

能建造技术研发和应用的积极性,推动行业技术创新和进步。

5.3 风险防控机制

在提升公路施工效率的过程中,也需要建立风险防控机制以应对可能出现的技术风险、数据安全风险和人员转型风险等。例如,建立新技术应用白名单制度,对拟采用的新技术进行评估和审核,确保其安全性和可靠性;制定《施工大数据安全管理办法》,采用区块链技术保障数据不可篡改和安全性;设立“智能建造工程师”职业资格,开展万人级再培训工程,提高施工人员的技能水平和适应能力等。这些措施将有效降低风险发生的概率和影响程度,保障公路施工效率提升工作的顺利进行。

结语

本文提出的效率提升策略通过技术赋能、管理革新、人员优化与资源协同,构建了公路施工效率提升的完整闭环。实证研究表明,综合应用四大维度策略可使施工效率提升20%-35%,成本降低15%-20%,质量合格率提高至98%以上。未来,随着量子计算、数字孪生等前沿技术的不断发展,其在施工模拟与资源调度中的应用前景广阔。公路施工行业应继续探索新技术、新模式的应用,推动行业向“零延误、零事故、零浪费”的终极目标迈进,为国家基础设施建设和经济社会发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]何森.公路施工中的机械化作业与效率优化研究[J].汽车周刊,2024,(07):164-166.
- [2]李镇.基于大数据分析的公路路基施工效率提升研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(02):192-194.
- [3]刘希林.二级公路改建工程施工效率的提高策略[J].住宅与房地产,2021,(05):170-171.
- [4]朱孟照.高速公路施工技术效率及相关影响因素研究[J].交通建设与管理,2014,(24):61-62+65.