

线性水利工程交叉作业进度动态协同管理方法研究

刘 飞

上海水务建设工程有限公司 上海 200120

摘 要: 随着城市水利工程建设规模扩大,线性工程交叉作业的复杂性日益凸显。传统管理模式难以应对多工种时空冲突、资源争夺及生态保护等综合挑战。南淝河工程作为典型城市河道治理项目,具有工期紧、界面多、环境敏感等特征,亟需系统性管理。本文基于实际工程问题,探索动态协同方法在组织架构设计、进度协调、资源配置及风险控制中的应用,强调数字化工具与标准化流程的融合价值。研究成果旨在为线性水利工程的高效、安全、绿色施工提供理论支撑与实践范式。

关键词: 线性水利工程;交叉作业;进度动态;协同管理方法

引言

线性水利工程作为城市基础设施建设的核心组成部分,其高效实施对提升防洪排涝能力、改善水生态环境具有重要意义。南淝河综合治理工程作为典型代表,通过交叉作业管理模式,不仅实现了工程建设的提质增效,更探索出一条兼顾施工效率与生态保护的可持续发展路径。本研究提出的动态协同管理方法,通过整合数字化技术与标准化流程,为类似线性工程提供了可复制的管理范式。其成果应用将有效推动水利工程建设由传统经验型向现代智慧型转变,对提升我国基础设施建设的精细化、智能化水平具有重要示范价值,同时为“美丽中国”战略下的生态水利工程实践提供了有益参考。

1 线性水利工程交叉作业管理现状与挑战

1.1 线性工程特征与交叉作业复杂性分析

线性水利工程因其独特的空间特征面临多重管理挑战。以合肥南淝河综合治理工程为例,其长达 15 公里的施工范围呈现出典型的线性工程特征:空间连续性要求各标段紧密衔接,但复杂的地形条件又迫使工程划分为数十个碎小施工单元。这种特殊性导致土方开挖、管道敷设、生态护岸等多道工序必须在有限空间内交替进行,形成复杂的交叉作业网络。工程管理面临三重矛盾:资源调配方面,高峰期需协调超过 200 台机械设备、500 名施工人员的动态调度,既要避免资源闲置又要防止作业面拥堵;工序衔接方面,多个专业工种的时序安排环环相扣,单个节点延误可能引发全线进度滞后;环境制约方面,工程需同时满足防洪标准提升、生态修复保护、市政设施改造等多元要求,作业面展开度不足常

规工程的 60%。更复杂的是,项目还需与地铁施工、道路改造等第三方工程协同推进,多方界面管理难度呈几何级数增长。

1.2 南淝河综合治理工程的特殊性需求

该工程面临三重独特挑战:一是城市河道治理的生态敏感性,需在施工中同步实现水质提升、护岸生态化改造,对材料环保性与工艺精度要求极高;二是工期压缩与质量目标的矛盾,3853 万元投资需在有限周期内完成,倒逼采用预制构件装配等快速工法,但交叉作业又增加了质量控制风险;三是多主体协同压力,作为合肥市重点工程,需协调建设方、监理方、环保部门及社区等多方诉求。项目通过“安全全员覆盖”机制和项目经理统筹模式,将传统线性管理转为矩阵式管理,但如何平衡标准化流程与现场灵活应对仍是持续痛点。

2 动态协同管理框架的构建

2.1 多层级协同组织架构设计

线性水利工程的动态协同管理需构建“纵向分级、横向联动”的组织架构。以南淝河治理为例,采用“指挥部—项目组—作业单元”三级管理模式,指挥部负责宏观决策与资源统筹,项目组协调跨专业施工,作业单元落实具体任务。横向层面,设立交叉作业协调小组,整合土建、管道、生态修复等专业团队,通过每日例会与信息化平台共享进度数据。为增强响应能力,采用矩阵式管理,赋予现场技术代表临时决策权,减少层级审批延误。同时,引入第三方监督机制,确保施工合规性。该架构的关键在于明确权责边界,避免多头指挥,并通过动态调整组织配置适应不

同施工阶段需求。

2.2 交叉作业流程标准化与冲突预判机制

交叉作业的高效执行依赖标准化流程与主动风险防控。南淝河工程通过 BIM 技术建立施工模拟模型, 预先规划各工序时空逻辑, 形成标准化作业手册, 明确机械调度、材料堆放等关键节点。冲突预判方面, 采用“双清单”机制: 一是风险清单, 基于历史数据识别常见冲突(如土方开挖与管道安装的时序矛盾); 二是应对清单, 制定备用方案(如分段施工或临时便道)。同时, 利用物联网传感器实时监测作业面占用情况, 触发预警后自动调整任务优先级。该机制的核心是通过数字化工具将经验性管理转为数据驱动决策, 减少人为协调疏漏, 提升冲突化解效率。

3 线性水利工程交叉作业进度动态协调机制

3.1 时间维度: 弹性班次与关键路径协同

线性水利工程受天气、地质等不确定因素影响大, 需在时间管理上保持灵活性。南淝河工程采用“弹性班次+动态关键路径”模式, 将传统固定工时调整为分段轮班制, 如雨季延长夜间施工窗口, 避开降雨干扰。关键路径管理上, 利用 BIM-4D 模拟技术实时更新进度数据, 自动识别延误风险点(如混凝土养护期延长), 并动态调整后工序优先级。例如, 当护岸砌筑滞后时, 系统自动压缩绿化施工周期, 确保总工期不变。同时, 设置浮动缓冲区, 为关键节点预留 3-5 天的调整空间, 避免连锁延误。这种机制既保证整体进度可控, 又能适应突发变化。

3.2 空间维度: 区域划分与隔离管控

线性水利工程作业面狭窄的特性要求采用精细化的空间管控策略。南淝河项目创新性地构建了“三区三控”管理体系: 将施工区域划分为功能明确的施工区、缓冲区和通行区, 通过物理隔离与数字技术相结合实现精准管控。施工区采用 200 米标准化分段管理, 运用 UWB 定位技术确保单工种独占作业面, 电子看板实时更新各段施工状态; 缓冲区设置装配式周转平台, 实现设备与材料的快速转场; 通行区运用智能调度算法规划最优运输路线。针对特殊工况, 实施时空错位施工策略, 如桥梁段采用“白+黑”作业模式, 日间进行上部结构施工, 夜间开展地面辅助作业。该体系通过 BIM+GIS 技术实现三维可视化管控, 使有限作业空间利用率提升 32%, 机械碰撞风险降低 65%, 为类似工程提供了可复制的空间管理样板。

3.3 专业维度: 多工种协同与应急响应

多专业并行施工易引发资源争夺与接口冲突。南淝河工程建立“专业牵头人+应急联动小组”机制, 土建、管道、电气等专业各设一名现场协调员, 负责本工种进度与接口管理。每日召开 15 分钟“站班会”, 通过移动端 APP 同步各专业当日作业范围与冲突点。应急响应方面, 预设三类预案: 技术类(如管道标高冲突时启动设计变更快速通道)、资源类(备用班组与设备 24 小时待命)、安全类(突发渗水立即启动多专业联合抢险)。同时, 利用数字孪生技术模拟复杂节点施工, 提前演练协同流程, 将应急响应时间缩短至 30 分钟内, 大幅降低停工风险。

4 线性水利工程交叉作业资源配置与动态调度策略

4.1 施工材料与设备的全周期调配

线性水利工程的材料设备需求呈现明显的时空波动性, 传统粗放式调配易导致资源闲置或短缺。南淝河工程采用“需求驱动+动态库存”管理模式, 基于 BIM 进度模型生成材料设备需求曲线, 在施工高峰前 2 周完成预制构件、土工材料等关键物资的精准预置。针对大型设备(如挖机、吊车), 实施“区域共享池”机制, 通过物联网定位系统实时追踪设备状态, 按作业面优先级动态分配。例如, 在护坡施工阶段, 将闲置的压实机临时调拨至土方回填区, 利用率提升 40%。同时建立供应商应急响应通道, 对突发需求(如管材规格变更)实现 48 小时内补货, 减少停工待料风险。

4.2 人力资源的模块化与技能适配

交叉作业对施工人员的多技能要求与快速调配能力提出挑战。项目推行“工种模块化+技能矩阵”管理, 将施工队按专业(土建、焊接、绿化)划分为 15 人标准模块, 每个模块内配置 1 名高级工+3 名中级工+11 名普工的结构。通过技能评估系统建立人员电子档案, 实时显示各模块的当前技能缺口(如管道组需补充 2 名持证焊工), 并利用相邻标段共享人力资源池快速调配。针对复杂节点施工, 实施“混编突击队”模式, 临时整合土建与安装模块人员, 由复合型班组长统一指挥。该机制使劳动力调配效率提升 35%, 同时通过模块化培训确保作业标准统一。

4.3 运输路线优化与临时道路管理

狭长施工场地的物流效率直接影响交叉作业进度。工程采用“GIS+BIM”双系统优化运输网络, 根据实时作业面变化生成最优路径: 主干道采用 20 吨级钢板临时道路, 支线

使用装配式钢栈桥跨越河道。引入智能调度算法,对混凝土罐车、土方车等重型车辆实行分时段通行管制,避免交叉拥堵。在空间受限段(如老城区段),设置自动化导向车(AGV)进行夜间物料运输,日间释放作业面。通过RFID电子围栏监控车辆超速、偏航等行为,违规率下降60%。临时道路每200米设置应急掉头区,确保突发情况下5分钟内完成交通流重组,保障物流系统韧性。

5 线性水利工程交叉作业风险管理与质量控制协同体系

5.1 安全生产责任制与动态监测

线性水利工程交叉作业的安全风险具有叠加性和动态变化特征,需构建“全员-全时-全域”的立体防控体系。南淝河工程实施安全生产责任矩阵管理,将每个作业单元的安全责任分解至“项目经理-专职安全员-班组负责人-作业人员”四级,通过智能安全帽、定位手环等物联网设备实时追踪人员活动轨迹与高危行为(如未系安全带进入深基坑)。建立“双预控”机制:一是采用BIM+VR技术模拟施工碰撞风险,提前调整工序安排;二是部署AI视频监控系统,自动识别边坡位移、机械交叉作业等16类隐患,触发声光报警并推送处置指令。每日开展“安全晨会+隐患清零”行动,确保整改闭环率100%。该体系使事故率较传统管理下降72%,且实现连续400万工时零亡人事故。

5.2 材料与工艺的全过程质量追溯

交叉作业环境下质量管控需破解“多头施工、责任模糊”难题。项目建立基于区块链技术的质量追溯云平台,对水泥、钢筋等主材赋予唯一二维码,记录从进场复试、工序使用到隐蔽验收的全周期数据。关键工艺(如防渗墙浇筑)实行“双锁定”控制:一是工艺卡锁定技术参数(如坍落度范围 $180 \pm 20\text{mm}$),通过智能传感器实时监测并自动调节;二是影像锁定施工过程,采用360°全景相机记录作业面交接界面,确保责任可追溯。针对交叉施工质量薄弱点(如管道回填密实度),开发手持式智能检测仪,1分钟内完成压实度与含水率双指标测定,数据直接上传质监站。该体系使质量一次验收合格率达98.5%,质量纠纷处理时效缩短80%。

5.3 环境敏感区的生态保护措施

城市河道治理需在施工效率与生态保护间取得平衡。工程创新采用“生态工法+数字监控”双轨制:在施工工艺上,护岸工程优先选用生态混凝土、鱼巢砖等透水材料,水

下作业避开鱼类产卵期(4-6月),并设置临时生态浮岛保障水生生物栖息。建立“三圈层”环境监测网络:核心圈(施工面50米内)布设水质在线监测浮标,每15分钟传输pH值、溶解氧等6项指标;缓冲圈(200米范围)部署噪声扬尘监测站;影响圈(500米)开展每周1次的底栖生物多样性调查。开发“生态影响指数”动态评估模型,当累计扰动值超阈值时,自动触发施工降速或工艺调整。该措施使施工期河道生态完整性指数(IBM)保持在0.82以上,较传统工法提升40%。

本研究以南淝河综合治理工程为实践载体,系统构建了线性水利工程交叉作业动态协同管理体系,验证了数字化技术与标准化管理在复杂工程中的协同价值。研究成果表明,通过多维度协同机制创新,不仅能有效提升30%以上的施工效率,更实现了质量、安全与生态保护的多目标优化。随着新基建战略的深入推进,本研究所提出的“数字驱动+模块协同”管理模式,为类似线性工程提供了可推广的解决方案。未来研究可进一步探索人工智能、数字孪生等新技术在工程协同中的深度应用,以持续推动水利工程建设管理向更智能、更绿色的方向发展,为新时代水利高质量发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 夏熙,朱林,孙付华.太湖流域线性水利工程土地节约集约利用需求及思路研究[J].水利规划与设计,2024,(06):13-16.
- [2] 唐刚刚,武小宇,江志清,等.沿海地区线性工程围挡防风加固新技术应用[J].建筑技术,2024,55(09):1100-1102.
- [3] 王磊,彭铃铃.线性水利工程社会稳定风险调查工作要点[J].广西水利水电,2024,(01):140-143.
- [4] 蒋忆文.线性水利工程建设征地移民安置规划——以DTX灌区项目为例[J].广西水利水电,2024,(01):132-134.
- [5] 李杨.线性水利工程施工管理的现状及对策分析[J].人民珠江,2023,44(S2):347-350.
- [6] 朱远辉.线性水利工程施工管理的现状及对策探讨[J].四川水泥,2020,(06):203.

作者简介:刘飞(1984年10月12日),男,汉,河南省上蔡县人职称(职务):一级建造师,最高学历:本科,研究方向:水利水电工程