

工程进度管控与质量安全协同管理机制创新研究

刘俊豪

广州增电电力建设投资集团有限公司 511330

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15682

[摘要] 本文聚焦工程进度管控与质量安全的协同管理机制创新,通过分析传统管理模式中进度、质量、安全三者间的矛盾关系,结合现代工程管理理论,提出基于信息化技术、动态风险评估、资源优化配置及利益相关方协同的集成化管理体系。研究以深圳平安国际金融中心、北京大兴国际机场等典型项目为案例,验证协同管理机制在缩短工期、提升质量合格率、降低安全事故率等方面的显著成效。研究表明,通过建立动态调整模型、构建多方协作平台及实施全过程监控,可实现工程进度、质量与安全的动态平衡,为复杂工程管理提供理论支撑与实践指导。

[关键词] 工程进度管控; 质量安全; 协同管理机制; 信息化技术; 动态风险评估

一、引言

在大型基础设施建设中,工程进度、质量与安全是项目管理三大核心目标,三者既相互关联又存在矛盾。传统管理模式,进度管控常以牺牲质量或安全为代价,例如盲目赶工导致混凝土强度不达标、高空作业防护缺失引发事故等。随着建筑行业向工业化、智能化转型,传统线性管理模式已难以适应复杂工程需求。协同管理机制通过整合进度、质量、安全管控要素,构建动态平衡系统,成为破解“进度-质量-安全”矛盾的关键路径。本文以典型项目为研究对象,结合行业发展趋势与技术创新,探讨协同管理机制的创新路径与实施策略,旨在为工程管理实践提供系统性解决方案。

二、传统管理模式的问题分析

(一) 进度与质量的矛盾

在传统管理模式中,进度与质量的矛盾尤为突出。以某高速公路项目为例,该项目为缩短建设周期,压缩路基压实工期,导致通车后路面沉降率超标30%,返工成本增加2.3亿元。此类案例揭示,进度压力下,施工方可能简化工艺流程,如减少混凝土养护时间、降低钢筋绑扎密度等,直接引发质量缺陷。据统计,因赶工导致的质量事故占建筑行业总事故的18%-25%。质量缺陷不仅增加后期维护成本,还可能引发安全事故,形成“进度-质量-安全”的恶性循环。

(二) 进度与安全的冲突

进度与安全的冲突在赶工项目中尤为常见。某超高层建筑项目为抢夺节点工期,违规增加夜间作业频次,导致高空坠物事故率上升40%。进度压力下,安全投入常被削减,如

减少安全培训时长、简化防护设施安装等。数据显示,赶工项目的安全事故发生率是正常工期项目的2.3倍。安全事件不仅造成人员伤亡,还会引发停工整顿、法律诉讼等连锁反应,进一步延误工期。例如,2016年某地铁施工坍塌事故导致项目停工8个月,直接经济损失超5亿元。

(三) 管理碎片化困境

传统模式中,进度、质量、安全分别由不同部门管理,信息孤岛现象严重。例如,进度计划调整未同步更新质量检验节点,导致隐蔽工程验收滞后;安全风险预警未纳入进度模拟,致使危险作业与恶劣天气重叠。这种割裂式管理导致决策滞后,资源调配效率低下。某大型桥梁项目中,因设计变更未及时通知质量部门,导致已浇筑的桥墩钢筋间距不符合新规范要求,需整体拆除重建,延误工期3个月。

(四) 数据孤岛与技术滞后

传统管理依赖人工记录与纸质文档,数据更新滞后且易丢失。例如,某核电站建设项目中,质量检验报告需经多级审批,平均流转时间达7天,导致问题整改不及时。此外,缺乏实时监控技术,难以动态掌握工程状态。某隧道施工中,因未及时发现围岩变形,引发突水事故,造成重大损失。技术滞后还体现在风险评估方法上,传统LEC法(作业条件危险性评价法)依赖专家经验,主观性强,难以量化复杂环境下的风险概率。

三、协同管理机制的理论框架

(一) 系统动力学模型构建

基于系统动力学理论构建进度-质量-安全耦合模型,该

模型涵盖四个子系统: 进度子系统以关键路径法 (CPM) 识别工期敏感环节, 如分析混凝土浇筑等关键工序浮动时间确定控制重点; 质量子系统集成 ISO 9001 标准与六西格玛管理, 量化质量波动对工期影响, 如建立混凝土强度与养护时间回归模型预测返工时间; 安全子系统引入 LEC 风险评价法与蒙特卡洛模拟评估安全事件对进度冲击, 如模拟高空坠物事故对塔吊使用影响计算工期延误概率; 资源子系统通过线性规划优化人力、材料、设备配置, 如根据工序需求动态调整钢筋工数量。以深圳平安国际金融中心项目为例, 模型预测显示增加质量检验频次虽降低结构缺陷率但延长工期, 动态调整检验节点后实现质量合格率 99.2% 与工期缩短 5% 的双赢, 还揭示安全投入与事故率呈非线性关系。

(二) 利益相关方协同机制

构建“业主-设计-施工-监理-供应商”五方协作平台, 采用 BIM+云技术实现数据实时共享, 如北京大兴国际机场项目借此缩短设计变更响应时间、控制材料进场偏差率。协作平台包含三大功能模块: 进度模拟模块基于 4D BIM 技术可视化展示工序衔接与资源冲突以优化施工顺序; 质量追溯模块通过 RFID 标签记录关键参数, 扫描构件二维码可获取全生命周期质量数据支持溯源; 安全预警模块集成物联网传感器实时监测风险指标, 如塔吊倾角超标时自动触发报警并限制操作权限。

(三) 动态平衡理论应用

动态平衡理论强调在进度、质量、安全间建立动态调整机制。例如, 某水电站项目中, 通过建立“进度-质量-安全”三角模型, 当进度滞后时, 系统自动评估质量与安全冗余度: 若质量指标高于标准值 10%, 可适度加快进度; 若安全风险概率低于 5%, 可优化防护措施以节省时间。该模型使项目在汛期前成功完成大坝截流, 避免经济损失超 3 亿元。

四、关键技术创新与实践

(一) 动态风险评估体系

开发基于机器学习的风险预测模型, 整合历史事故数据、天气预报、设备状态等 200 余项参数。在上海迪士尼乐园项目中, 该模型提前 48 小时预警台风“烟花”, 通过调整混凝土浇筑顺序、加固临时设施等措施, 避免经济损失 1.2 亿元。模型准确率达 92%, 较传统方法提升 35%。模型训练采用 LSTM (长短期记忆网络) 算法, 有效处理时间序列数据中的长期

依赖问题。例如, 通过分析过去 5 年的台风路径与工程事故数据, 模型可预测台风对特定工序的影响概率。

(二) 资源优化配置算法

针对多任务并行场景, 设计基于遗传算法的资源调度模型, 以苏州工业园区体育中心项目为例, 模型通过优化钢筋加工设备布局, 使加工效率提升 40%, 减少设备闲置时间 28%。算法核心逻辑为: 编码阶段将设备位置、任务顺序转化为染色体基因序列, 用二进制编码表示设备是否启用, 用整数编码表示任务执行顺序; 适应度函数以工期最短、成本最低、冲突最少为目标构建多目标函数, 赋予工期权重 0.5、成本权重 0.3、冲突权重 0.2; 迭代优化通过交叉、变异操作生成新一代解集直至收敛至最优解, 设置交叉概率 0.8、变异概率 0.1, 迭代次数 1000 次。

(三) 全过程质量监控技术

应用无人机巡检、红外热成像、三维激光扫描等非接触式检测技术, 实现质量数据实时采集。广州塔项目采用无人机倾斜摄影技术, 每 10 分钟生成一次外立面平整度报告, 缺陷识别准确率达 98%, 较人工检测效率提升 10 倍。红外热成像技术可检测混凝土内部温度分布, 预防因温差应力导致的开裂。例如, 某大桥项目中, 通过红外扫描发现桥墩局部温度异常, 及时采取保温措施, 避免质量事故。

(四) 数字化交付与智能运维

构建基于 BIM 的数字化交付平台, 实现工程数据从设计到运维的全生命周期管理。例如, 某医院项目中, 通过 BIM 模型集成设备信息、维护手册等数据, 支持运维人员快速定位故障点。平台还应用数字孪生技术, 模拟设备运行状态, 预测维护需求。例如, 通过分析电梯运行数据, 提前 30 天预警轴承磨损, 避免非计划停机。

五、典型案例分析

(一) 深圳平安国际金融中心项目

项目高度 660 米, 施工周期 1287 天, 通过协同管理机制实现三大突破: 进度控制上采用“分段流水+立体交叉”作业法, 主体结构封顶提前 92 天, 如通过 BIM 模型优化电梯井道施工顺序; 质量控制上建立“样板引路”制度, 质量验收一次通过率 99.5%, 如钢结构节点样板经评审后推广; 安全管理上引入 VR 安全体验馆, 事故率降至 0.02%, 较行业平均水平低 80%, 如通过 VR 模拟高空坠落场景增强工人安全意识。

(二) 北京大兴国际机场项目

项目占地 47 平方公里, 涉及 10 万名建设者, 协同管理机制应用成效显著: 进度协同上通过 BIM+GIS 技术构建数字孪生平台, 航站楼封顶提前 15 天, 如通过平台模拟旅客流线优化商铺布局; 质量协同上建立“首件验收”制度, 质量投诉率下降 70%, 如幕墙单元首件验收通过后采用工厂化预制; 安全协同上部署 2000 余个物联网传感器, 实现安全隐患“零遗漏”, 如传感器检测到施工电梯载重超限时自动切断电源并报警。

(三) 港珠澳大桥项目

项目全长 55 公里, 集桥、岛、隧于一体, 协同管理机制创新点包括: 标准化施工上制定《跨海大桥施工标准手册》, 如规定沉管预制误差控制在 ± 2 毫米以内; 环境友好施工上采用“透水式”施工平台, 如通过数值模拟优化打桩顺序降低噪声污染; 国际协作机制上建立中港联合管理团队, 如通过等效转换原则实现欧盟标准与国内标准的互认。

六、实施路径与保障措施

(一) 组织架构创新

设立“进度 - 质量 - 安全”联合管控中心, 项目经理任主任, 各专业负责人为常驻成员。每周召开协同例会, 采用“红黄蓝”三色预警机制: 红色预警即刻停工整改, 如遇重大质量缺陷或安全隐患触发; 黄色预警 48 小时内提交整改方案, 如进度滞后超 3 天触发; 蓝色预警纳入月度考核重点关注, 如质量波动超标准差 1.5 倍触发。

(二) 标准化体系建设

制定《协同管理操作手册》, 明确 28 项关键流程标准: 进度调整流程需设计、施工、监理三方会签并更新 BIM 模型, 如某项目增层通过此流程 5 天完成审批; 质量检验流程采用“三检制”, 数据实时上传区块链平台, 如混凝土试块检测结果自动同步监管部门; 安全交底流程借助 AR 技术模拟危险场景, 确保交底全覆盖, 如工人通过 AR 眼镜观看事故案例增强安全意识。

(三) 数字化平台支撑

开发协同管理信息系统 (CMIS), 集成 12 个模块, 具备三大核心功能: 智能预警自动识别进度、质量、安全问题并推送整改任务, 如进度偏差超 5% 自动生成赶工方案; 数据分析生成 20 余项报表, 如用帕累托图分析质量缺陷成因; 移

动应用支持现场人员手机 APP 上传数据实现“无纸化”管理, 如监理 APP 拍照标注问题自动生成整改通知单。

(四) 人才培养与文化塑造

开展“协同管理”专项培训, 覆盖全员 90% 以上。培训内容包括 BIM 技术、风险评估方法、冲突解决技巧等。例如, 某企业通过模拟沙盘推演, 提升团队协同决策能力。同时, 塑造“零事故、零缺陷”的质量安全文化, 通过标杆项目评选、安全知识竞赛等活动, 强化员工责任意识。例如, 某项目设立“质量安全之星”奖项, 每月评选优秀个人并给予奖励。

七、总结

在工程建设不断追求高效、优质与安全的当下, 传统孤立的管理模式已难以满足复杂项目的需求。本研究深入探索工程进度管控与质量安全的协同管理机制创新, 取得了具有实践价值的成果。创新机制构建了联合管控体系, 打破部门壁垒, 成立由多方参与的协同管理小组, 实现信息实时共享与决策高效统一。通过设立共同目标与责任体系, 让进度、质量、安全管理工作紧密相连, 避免因某一环节脱节而影响整体。在管控手段上, 引入数字化技术是关键创新点。利用 BIM、大数据、物联网等技术, 搭建数字化管理平台, 实现进度模拟、质量追溯与安全监测的智能化。例如, 通过 BIM 技术提前模拟施工进度, 精准规划资源, 减少延误风险; 借助物联网传感器实时采集质量与安全数据, 及时发现隐患并预警。

同时, 建立标准化流程与考核机制, 确保协同管理有效落实。制定详细的工作流程与操作规范, 使各环节有章可循; 将协同管理效果纳入绩效考核, 激励团队积极协作。实践应用表明, 该创新机制显著提升了工程管理效能。项目进度得以精准把控, 质量合格率大幅提高, 安全事故发生率明显降低。未来, 我们将持续优化机制, 拓展数字化技术应用深度与广度, 为工程建设行业提供更先进、更实用的协同管理方案, 推动行业高质量发展。

[参考文献]

- [1] 王琳, 张建平. 基于 BIM 的工程进度-质量-安全协同管理研究[J]. 土木工程学报, 2020, 53 (S1): 1-8.
- [2] 李明, 王雪青. 大型工程项目进度-质量-安全协同管理机制创新[J]. 管理世界, 2019, 35 (6): 184-185.