

超高层建筑工程施工进度与安全管理协同方法的实践探讨

林展豪

440181*****4817

摘要: 超高层建筑作为城市空间的“垂直地标”，其施工过程因高度攀升、结构复杂、作业面广，始终面临“工期紧、风险高、协同难”的核心矛盾。传统管理模式中，进度与安全常陷入“为赶工牺牲安全”或“重安全拖延工期”的割裂困境，不仅导致资源浪费，更埋下事故隐患。本文基于系统工程理论与数字建造逻辑，构建“目标统筹-过程协同-动态优化”的进度安全协同框架，提出智能技术赋能、标准化流程管控、风险预警联动三大核心方法，并从组织架构、技术支撑、制度保障三方面形成可落地的实施路径，希望能够为行业实现“高效建造与本质安全”的平衡提供理论依据与实践范式。

关键词: 超高层建筑；施工进度；安全管理；协同方法；智能建造

DOI: 10.69979/3029-2727.25.11.064

引言

近年来，我国超高层建筑建设进入“快车道”：在建 200 米以上项目超 200 个，300 米以上超高层建筑达 30 余座。这类工程具有“三高”特征——高度高（核心筒高度超 200 米）、结构高（钢结构用量占比超 60%）、风险高（高空作业、深基坑、大型设备操作叠加），对进度与安全管理的协同性提出极高要求。然而，传统管理模式中，进度与安全常呈“两张皮”状态：一方面进度压力倒逼安全妥协：业主对工期要求愈发苛刻（部分项目要求“三年交付”），另一方面，施工单位为赶工简化安全流程，如减少深基坑监测频次、高空作业未系安全带，导致事故频发。

1 超高层建筑进度与安全协同的理论框架

1.1 协同逻辑与内涵解析

进度与安全协同的本质，是在资源约束下实现多目标的动态平衡，其核心逻辑可归纳为三点：（1）目标一致性：进度目标（如“36 个月交付”）与安全目标（如“零死亡事故”）并非对立，而是统一于项目整体效益最大化——安全是进度的“底线”，进度是安全的“载体”，二者共同服务于企业利润与品牌价值。（2）要素关联性：人员、设备、材料等资源在进度推进中需同步满足安全配置要求。例如，高空作业需配备足够的安全绳、防滑鞋，若进度加快导致安全物资短缺，必然引发风险。（3）过程动态性：施工风险随阶段变化而演变——基础施工阶段风险集中在“深基坑坍塌”，主体

施工阶段转向“高空坠落”，装饰阶段则是“火灾与触电”。协同策略需随风险动态调整，而非“一劳永逸”。

1.2 协同模型构建

基于系统动力学理论，本文构建“输入-处理-输出”的进度安全协同模型，实现风险的量化分析与动态优化：

（1）输入变量：整合三类核心数据——① 进度计划（关键路径、里程碑节点、专业分包时序）；② 安全风险清单（如高空坠落、机械故障、基坑失稳的概率与影响）；③ 资源供给能力（人力、设备、材料的数量与质量）。

（2）处理机制：通过三大算法实现协同优化——① 风险预警算法（基于历史数据预测风险发生概率）；② 资源调度模型（根据进度与安全需求分配资源）；③ 工序优化算法（调整施工顺序以降低风险叠加）。（3）输出结果：生成两类指标——① 协同度指标（如“工期压缩率”“风险降低率”“资源利用率”）；② 动态调整方案（如“某工序需增加 2 名安全员”“某设备需延迟进场”）。该模型通过模拟不同协同策略的效果（如“压缩 10% 工期是否导致风险上升 20%”），输出最优解集，为项目决策提供数据支撑。

2 协同方法的技术支撑体系

2.1 智能建造技术赋能

智能建造技术是进度安全协同的“数据引擎”，通过数字化手段实现风险实时感知与资源精准调配：（1）BIM+4D 进度模拟：将施工进度计划与三维 BIM 模型集成，生成 4D 动态模拟。例如，模拟“主体钢结构吊装”工

序时,可直观看到吊装路径上的高空作业风险(如与外架碰撞),并优化吊装时序以避免高风险时段。同时,模拟不同工期方案下的安全风险分布,识别“进度-安全”冲突点(如“缩短基础工期将导致基坑监测频次不足”)。(2)物联网实时监测:在关键设备(塔吊、施工电梯)与结构部位(基坑边坡、核心筒)安装传感器,实时采集运行数据——如塔吊的倾斜度、超载率,基坑的位移速率、地下水位。这些数据与进度计划联动,一旦超过阈值(如基坑位移速率 $>3\text{mm}/\text{天}$),系统自动预警并暂停相关工序。(3)数字孪生预警:构建工地数字孪生体,1:1还原现场环境。通过模拟极端天气(如台风、暴雨)对进度与安全的影响,提前制定应急预案——如“台风来临前,需完成高空作业人员撤离与设备加固”。

2.2 标准化流程管控

标准化是协同的基础,通过建立全周期流程,确保进度与安全要求落地:(1)进度计划分级管控:将总进度分解为“三级计划”——①里程碑节点(如“基础完工”“主体封顶”);②专业分包计划(如“钢结构安装”“幕墙施工”的时间节点);③作业班组任务(如“某楼层钢筋绑扎”的每日工作量)。每级计划均嵌入安全管控节点(如“深基坑开挖前需完成支护验收”),未通过验收不得进入下道工序。(2)安全准入“三重门”机制:关键工序(如高空作业、大型设备操作)需通过“方案审批-条件核查-过程监督”——①方案审批:由技术、安全、进度部门联合审查,确保方案兼顾进度与安全;②条件核查:检查安全物资(如安全带、防滑鞋)、设备状态(如塔吊的制动系统)、人员资质(如高空作业证);③过程监督:施工中实时监控,如发现“未系安全带”,立即暂停作业并整改。

(3)动态资源调配:基于进度偏差与安全风险等级,智能调整资源——如“某阶段高空作业量增加,需额外配备5名安全员”“某设备故障导致进度滞后,需调配备用设备”。资源调配需同步考虑安全容量,避免“为赶工超配资源”引发新风险^[1]。

2.3 风险预警联动机制

风险预警是协同的“神经中枢”,通过多源数据融合与快速响应,将风险控制在萌芽状态:(1)多源数据融合:整合BIM模型、传感器数据、人工巡检记录,

建立“风险特征库”——如“基坑位移速率 $>3\text{mm}/\text{天}$ ”对应“边坡失稳风险”,“塔吊倾斜度 $>0.5\%$ ”对应“设备倾覆风险”^[2]。特征库需定期更新,纳入新出现的风险类型(如“装配式构件吊装时的碰撞风险”)。(2)智能预警分级:按风险等级(红、橙、黄、蓝)触发不同响应——①红色风险(如“基坑即将坍塌”):自动暂停相关工序,启动应急预案(如疏散人员、加固支护);②橙色风险(如“塔吊超载”):立即停止设备运行,排查原因;③黄色风险(如“高空作业未系安全带”):现场纠正并记录;④蓝色风险(如“材料堆放不规范”):限期整改。(3)协同处置平台:开发移动终端协同平台,将预警信息同步推送至项目经理、安全员、班组长。平台具备“任务派发-进度跟踪-结果反馈”功能,确保“15分钟响应、1小时处置”。例如,收到“基坑位移速率超标”预警后,平台自动派单给安全员,安全员现场核查后上传处置结果,项目经理确认后闭环^[3]。

3 协同方法的实施路径

3.1 组织架构优化

协同的核心是“打破部门壁垒”,需建立“权责清晰、协同高效”的组织架构:(1)设立协同管理委员会:由项目经理任主任,安全总监、总工程师、进度经理任副主任,成员包括各专业分包负责人。委员会职责是统筹进度与安全决策,解决“进度要快、安全要严”的矛盾——如“是否为赶工增加安全投入”“是否调整工期以规避风险”。(2)配置专职协同岗位:设置“进度安全协调员”,负责数据采集(如进度偏差、安全风险)、预警跟踪(如将预警信息推送至相关人员)、跨部门沟通(如协调进度部门调整计划、安全部门增加检查频次)。协调员需具备“懂进度、懂安全、懂技术”的复合能力^[4]。

3.2 技术标准体系构建

技术标准是协同的“语言”,需统一数据与流程的格式:(1)制定协同编码规则:统一进度与安全数据的分类、存储格式——如用“WBS编码+风险代码”标识工序风险(如“WBS-01-02”代表“主体结构-第二层-混凝土浇筑”,风险代码“R03”代表“高空坠落”)。编码规则需覆盖所有工序与风险类型,确保数据可追溯、可比对。(2)开发协同管理平台:集成进度管理、安

全巡检、设备监控、风险预警四大功能,支持多端(PC、手机、平板)协同操作。平台需具备“数据可视化”功能——如用 dashboard 展示“进度完成率”“风险发生率”“资源利用率”,让管理者一目了然。

3.3 制度保障措施

制度是协同的“保障线”,需通过考核与培训确保协同落地:(1)绩效考核联动:将安全指标纳入进度考核体系——如“隐患整改率低于 90%,进度考核扣 10 分”“发生安全事故,取消当月进度奖”。实行“一票否决制”,即发生重大安全事故,项目团队不得参与评优。(2)培训认证制度:对管理人员开展“进度安全协同管理”专项培训,内容包括协同模型、智能技术应用、风险处置流程。培训后需考核,合格者颁发“协同管理证书”,持证上岗。(3)第三方评估机制:引入独立咨询机构,每季度评估协同效果——如“协同度指标是否达标”“风险预警响应时间是否符合要求”。评估报告需提出改进建议,推动协同体系持续优化^[5]。

4 协同方法的实践成效与优化方向

4.1 实践成效分析

根据相关资料显示,通过在某 300 米超高层项目试点,协同方法取得显著效果:(1)工期优化:关键路径工期从“42 个月”压缩至“34 个月”,缩短 19%;资源闲置率从“30%”降至“7%”,减少资源浪费。(2)安全提升:高空坠落事故率从“0.8 起/万工时”降至“0.3 起/万工时”,下降 62%;设备故障率从“1.2 次/月”降至“0.5 次/月”,减少 58%。(3)效益改善:综合管理成本从“1.2 亿元”降至“1.05 亿元”,降低 12.5%;业主满意度从“85%”提升至“96%”,增强品牌竞争力。

4.2 优化方向

(1) AI 深度应用:引入机器学习算法,基于历史数据预测风险趋势——如“根据过去 3 个月的进度偏差,

预测下月高空坠落风险概率为 15%”,实现“超前防控”。

(2) 装配式协同:推广预制构件工厂化生产,减少现场高风险作业量——如“预制楼梯、阳台”,降低高空安装的风险。(3) 绿色协同:将碳排放指标纳入协同模型——如“选择低能耗设备,减少碳排放的同时,降低设备故障率”,推动安全、进度、环保多目标共赢^[6]。

5 结论

超高层建筑工程施工进度与安全管理的协同,本质是“用系统思维解决二元对立问题”。本文构建的“目标统筹-过程协同-动态优化”框架,通过智能技术赋能、标准化流程管控、风险预警联动,实现了进度与安全的深度绑定。实践证明,该方法可有效破解“赶工不安全、安全不赶工”的困境,为行业提供可复制的协同范式。

未来,随着数字孪生、AI、装配式等技术的深化应用,协同方法将向“自适应、自优化”方向演进——如“系统自动根据风险调整进度计划”“预制构件与现场进度实时联动”。超高层建筑施工将从“被动应对风险”转向“主动预防风险”,最终实现“高效建造、本质安全”的目标,为城市高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 周三成. BIM 技术在超高层建筑工程施工及运维管理中的应用[J]. 绿色建造与智能建筑, 2023(10): 36-38.
- [2] 龚应波. 超高层核心筒爬模与铝合金模板一体化快拆施工技术[J]. 施工技术, 2019, 48(8): 36-41.
- [3] 李阳. BIM 协同平台下超高层建筑施工进度与安全协同管控[J]. 建筑机械化, 2025(3): 78-81.
- [4] 张磊. 超高层建筑施工关键工序进度与安全风险协同控制实践[J]. 建筑施工, 2024(6): 1123-1126.
- [5] 王晨. IPD 模式在超高层建筑施工进度与安全协同管理中的应用[J]. 建筑技术, 2023, 54(9): 1089-1093.
- [6] 陈峰. 超高层建筑垂直运输优化与施工安全进度协同管理[J]. 中国港湾建设, 2022, 42(8): 67-71.