

精益建造视角下智能施工计划动态优化研究

俞宇航

杭州滨江城建发展有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i4.21744

[摘要] 智能建造技术加速融入项目管理,传统施工计划编制方式难以适应工序波动及现场扰动。本文采用文献分析法和系统分析法,从精益建造视角出发,探索智能施工计划动态优化机理、障碍因素以及改进策略。研究表明,拉动式计划、多源信息获取和智能算法能够形成需求牵引、状态监测和滚动调整链条,但还存在计划层级衔接松散、数据来源分散、扰动预警滞后和资源配置不合理等问题,仍制约优化成效,细化多级计划、整合施工数据、强化扰动预警以及资源管控,能够提高调整时效与执行匹配度。构建感知、决策、执行、反馈相衔接的闭环机制,是实现计划动态优化与精益管控协同运行的关键。

[关键词] 精益建造; 智能施工计划; 动态优化; 滚动调整

中图分类号: TU722 **文献标识码:** A

Research on Dynamic Optimization of Intelligent Construction Planning from the Perspective of Lean Construction

Yuhang Yu

Hangzhou Binjiang Urban Construction Development Co., Ltd.

[Abstract] Intelligent construction technology is accelerating its integration into project management. The traditional construction planning methods are unable to adapt to process fluctuations and on-site disturbances. This paper adopts the methods of literature analysis and system analysis, from the perspective of lean construction, to explore the dynamic optimization mechanism, obstacle factors, and improvement strategies of intelligent construction plans. The research shows that pull-based planning, multi-source information acquisition, and intelligent algorithms can form a chain of demand traction, status monitoring, and rolling adjustment. However, there are still problems such as loose connection between planning levels, scattered data sources, lagging disturbance warning, and unreasonable resource allocation, which still restrict the optimization effect. Refining multi-level plans, integrating construction data, strengthening disturbance warning, and resource control can improve the adjustment timeliness and execution matching degree. Building a closed-loop mechanism that connects perception, decision-making, execution, and feedback is the key to achieving the coordinated operation of dynamic optimization of plans and lean management.

[Key words] Lean Construction; Intelligent Construction Plan; Dynamic Optimization; Rolling Adjustment

引言

随着工程建设数字化推进,施工计划管理由静态编制转向实时感知与动态管控。2025年住房和城乡建设部印发《智能建造技术导则(试行)》,提出推进智能建造技术在工程建设全生命周期应用,为施工组织优化提供依据。国外研究多关注末位计划系统、计划可靠性与算法调度。国内研究方向则以BIM协作、进度预测为主,缺乏对精益拉动、多源数据获取、扰动预警、资源配置与执行反馈协同机制的具体探讨。本文围绕运行逻辑、现实障碍和优化对策展开叙述,重点探讨计划分解、状态识别、扰动

响应、资源协调等问题,为完善智能施工计划闭环管理、提高计划可靠性与调整时效提供参考。

1 精益建造视角下智能施工计划动态优化的运行逻辑

1.1 拉动式计划明确动态优化目标

拉动式计划以现实工程需求为出发点,通过后续工序向前工序工序传递作业条件与资源需求,使项目筹划由进度指令转向需求导向^[1]。其核心在于明确可靠交付,减少等待和控制任任务数量等动态优化目标,并将总进度计划逐级分解为阶段计划、

周计划和日作业安排。每个层次的项目计划都根据任务完成标准、资源准备情况和场地限制实时修正,避免过量下达或盲目生产。通过对承诺完成情况与实际完工状态进行持续对比,可及时识别计划偏差,为后续滚动调整提供清晰目标和调整依据。

1.2 多源感知支撑施工状态识别

准确掌握施工现场的实时状态,是计划动态优化得以实施的重要基础^[2]。多源感知通过物联网传感系统、视频监控、人员定位、机械运行记录及BIM模型,持续获取人员到场状态、材料进场信息、机械设备利用率、工序完成度及环境变化等数据资料。不同来源的数据经过清洗、关联与校验,可形成与项目工作相关的状态数据库,识别实际工作速率、资源占用及作业约束。基于现场状态与计划基准的动态比对,管理平台可及时发现进度偏差、资源冲突及潜在停工风险,为计划重算和工序调整提供可靠依据。

1.3 智能算法驱动计划滚动调整

当工程进度、资源供应或作业条件发生变化时,智能算法可依据最新状态数据重新计算施工任务的优先级与日程安排,并将工序逻辑、空间占用、人员配置、材料供应和设备能力转化为约束条件,再以工期偏差、资源冲突和方案连续性为优化目标,对不同调整方案进行快速求解与比较。优选方案可更新近期作业计划,并保留后续任务的调整空间,使计划根据现场变化持续校正,减少人工调度中的决策延迟和局部冲突。

2 精益建造视角下智能施工计划动态优化的现实障碍

2.1 计划分解粗放,层级衔接不够紧密

施工计划能否实现动态优化,关键在于不同层级的任务能否形成清晰明确的信息传递关系^[3]。部分建设项目仅将整体进度目标分解到单体工程或专业工程,未进一步落实到具体工作过程、工作环节、实施单位及资源需求,导致月度施工计划、周施工计划及每日施工安排之间缺少统一的任务编码和约束关系。上层计划强调节点完成,下层计划侧重现场安排,任务界限、完成标准和交付条件难以对应。

2.2 施工数据离散,现场状态识别偏差

现场状态识别依赖连续、完整且口径统一的施工数据,但部分项目的数据仍分散于进度控制、物料采购、机械监控、人员出勤及质量检查等独立系统。不同系统采用的任务编码、统计周期和刷新规则均不相同,人员到岗、物资供应、机械运行及工序进度信息难以准确关联,部分重要数据仍需人工录入,容易出现信息录入滞后、内容缺失和重复记录,现场变化无法及时反馈至计划管理系统。数据离散还会割裂进度、资源和作业条件之间的联系,使系统难以准确判断工序的实际完成程度和剩余工作量,造成状态识别与现场实际不符,影响后续扰动分析及方案修正的准确性。

2.3 扰动识别滞后,计划调整缺乏时效

材料滞后、机器损坏、规划更改、工作区域矛盾及恶劣气

候等扰动具有突发性和传导性,容易破坏既定施工节奏。部分项目仍依赖现场巡查、班组上报和定期会议发现异常,缺少对进度偏差、资源变动和环境变化的持续监测,扰动信息往往在影响扩大后才进入计划管理环节。异常识别规则不完善,也使局部延误难以及时关联后续环节、关键节点及所需资源,无法准确判断影响范围与持续时间。待管理人员完成信息核实,方案讨论和审批后,原有调整窗口可能已经错失,造成计划修订落后于现场变化,停工、窝工、抢工的现象增加,削弱滚动调整的时效性。

2.4 资源协同不足,执行反馈链路不畅

人员、材料、机械、作业空间与技术条件之间缺少协同安排,容易造成施工计划与资源供给相互脱节。部分建设项目在调整工序顺序和作业时间时,仅关注进度节点变化,未同步核算劳动力负荷、物料到达速率、工具利用率以及场地占用情况,导致预设方案难以实施。现场施工进度信息又分散在班组记录、工具清册及物料报表中,任务完成度、资源消耗量、偏差原因等信息未能及时反馈至计划系统。计划部无法依据实际执行情况调整相关参数,资源部也无法提前响应新增任务需求,造成计划下发、资源分配、现场执行与偏差事实信息反馈之间出现断层,中断动态优化过程。

3 精益建造视角下智能施工计划动态优化的改进策略

3.1 细化计划分解,贯通多级计划体系

多计划贯通的关键是将总体目标分解为可识别、可度量、可追踪的任务单元。项目可按照“总进度计划—阶段计划—月计划—周计划—日工作”建立分解链条,以楼栋、楼层、施工区段、工序、班组为主要维度设置统一的任务编码,并标注前置条件、规定时限、资源需求、完成标准及移交边界。上层节点变化应反馈至下层任务,下层执行偏差应反馈至上层计划,并据此修正阶段目标和任务分解。依托BIM模型及计划管理平台,可将构件、作业面与时间点关联,形成任务逻辑关系和约束清单,为滚动优化提供数据基础^[4]。

以某装配式住宅项目主体施工为例,原计划仅按楼栋编制月度进度,预制墙板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑工序间缺少细化衔接。工程将单栋任务拆分至楼层和流水段,为每道工序配置独立编码,并将墙板到场、塔吊占用、人员配置及检查完成设为开工条件。某栋楼墙板运输发生延迟后,系统依据任务关联识别受影响的两个流水段,将未受影响部分的钢筋绑扎提前,并调整塔吊时段和班组进场顺序。计划修订由整栋延期转为局部滚动调整,月计划、周计划及日工作保持一致,减少了各环节的等待周期,也增强了节点控制效果。

3.2 整合多源数据,校准现场施工状态

施工状态校准需要将进度、人员、材料、设备、质量、环境等信息汇入统一数据链,项目可建立以任务编码为核心的数据关联规则,将BIM构件、施工区段、作业工序与劳务考勤、材料进场、机械设备运转及检测记录逐项对应。数据录入系统后,应按统一时间尺度进行清洗、去重和跨域校验,并确定完成量、

人工工时、设备工时和材料消耗等状态参数。对于人工填报与自动采集数据不一致的情况,可通过影像资料、地理信息、查验凭证进行复核,使计划完成率能够真实反映现场进度。

以某城市轨道交通车站机电安装项目为例,原有进度数据由班组每日汇报汇总,风管安装记录、材料领用信息和检验结果相互分离,部分区段虽填报完成,实际仍存在接口未接和验收未通过现象。项目将二维码巡检、材料出库、人员考勤和质量验收数据接入进度平台,并与施工区段和专业工序建立关联。当系统发现某区段风管领用达到设定值,但质量验收记录缺失且作业人员停留时长不足时,自动将该任务标记为待审核状态。经现场复核确认完成率偏高后,平台重新计算剩余工程量,并调整后续保温和设备接驳计划。

3.3 强化扰动预警,实施计划滚动调整

扰动预警应由事后发现转向过程监测,并与计划调整规则直接衔接。项目可围绕材料供应情况、机械设备运行状态、作业环境、设计变更和工序偏差设置预警指标,结合历史资料确定阈值与影响等级。监测数据触及阈值后,系统应沿工序逻辑追踪受影响工作,并评估对关键路径、资源和完工日期的影响程度。一般扰动可通过调整近期任务顺序与作业时段。重大扰动则需重新计算关键路径和资源配置。滚动调整宜采用定期更新与异常触发修订相结合的方式,保留已完成任务,重点优化尚未开展或正在实施的作业任务,避免因频繁更改造成现场混乱。

以某市政桥梁工程箱梁架设施工为例,连续降雨导致运梁通道承载力下降,气象监测和路基含水率数据先后超过预警阈值。系统预警分析出原定两日内需安装的三片箱梁运输将受到影响,与之相关联的吊机作业、支座安装及湿接头施工也需作出相应调整。项目据此决定暂停三个危险作业,并提前安排桥下防护、支座复核和钢筋预制,将后续工作顺延至通道检测合格后实施。滚动计划仅优化受影响活动及相关资源安排,未改动总体节点目标。雨季结束后,现场试验结果反馈至平台,计划再次更新,减少设备闲置和人员等待,避免了强行施工造成的二次停工。

3.4 协同资源配置,健全执行反馈闭环

资源配置应随施工计划变化进行动态核查,形成任务需求、资源供给与施工落实相互联动的管理链条^[5]。项目可依据工序工程量、作业强度和时间窗口,测算人员、材料、机械设备及作业空间需求,并将班组负荷、库存数量、设备可用时段和运输容量纳入计划优化模型。新方案确定后,应同步下达至劳务、物料和设备管理环节,并明确到场时间、使用范围以及责任人。现场

通过移动终端记录任务进度、实际消耗、完成工程量、资源消耗和异常原因,系统根据目标值和实际值偏差情况修正工效、消耗指标及设备产能参数,为下一轮计划调整提供可靠依据。

以某大型工业厂房钢结构安装项目为例,屋面桁架吊装需要两台履带吊协同作业,但原安排与设备检修、构件运输及高空作业班组进场时间存在冲突。项目管理系统综合构件到货、起重设备状态、现场占用率及班组负荷,重新安排吊装作业顺序,将具备安装条件的东侧桁架吊装作业提前,并调整运输车辆的进厂频次。作业完成后,设备运行时长、构件等待时间和班组实际工效通过终端回传。系统发现单榀桁架安装工时高于计划值,进一步核查出临时支柱拆装耗时偏长,随后修正工序参数并增加支撑预拼装安排。资源配置由单次调度转为持续校准,计划执行偏差得到及时反馈和修正。

4 结语

研究表明,智能施工计划动态优化并非单一算法的局部应用,而是牵引式方案设计、多源信息处理、滚动决策、资源配置与现场执行反馈共同作用的系统过程。贯通作业程序分解、状态识别、扰动响应和资源配置等环节,可减少工序等待和计划偏差,提高施工组织的安全性和鲁棒性。受案例数量、项目类型及数据条件限制,现阶段提出的方案尚不能明确其应用边界及其效果评价指标。后续应根据不同工程项目情形完善扰动传导模型、资源耦合原则和算法评价指标,推动动态优化由阶段性调整向全过程闭环管控延伸。

[参考文献]

- [1]唐正实.建筑工程施工进度管理的影响因素及优化措施研究[J].智库时代,2025(3):192-194.
- [2]胡培婉.基于精益建造理念的土建工程项目进度与成本协同管理研究[J].安家,2025(9):0262-0264.
- [3]王敏.精益建造下工程项目进度管理优化研究[J].城市开发,2025(15):171-173.
- [4]梁正康.基于精益建造的10kV配电施工工序优化及资源配置智能化决策技术研究[J].科学与信息化,2025(20):85-87.
- [5]陈旭明.精益建造技术在建设项目施工管理中的应用[J].中国厨卫,2025,24(12):392-394.

作者简介:

俞宇航(1989--),男,汉族,浙江杭州人,本科,高级工程师,研究方向:建筑工程管理。