

智能建造背景下建筑施工工程的新趋势与挑战

周杰

新疆雯景项目咨询管理有限公司 新疆 哈密 839000

【摘要】：智能建造加快建筑施工数字化、自动化和协同化转型，BIM、物联网、人工智能及智能装备逐步嵌入施工全过程。当前仍存在数据分散、系统接口不统一、技术应用深度不足、复合型人才缺乏等问题。依托数字建造平台整合设计、进度、质量、安全及资源信息，完善智能装备应用、数据协同机制和人员能力配置，可提升施工决策精度、现场管控效率及工程建造质量，形成适应智能建造要求的新型施工组织模式。

【关键词】：智能建造；建筑施工；数字化施工；BIM 技术；智能装备

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.066

引言

建筑施工正在经历由人工经验控制向数字感知、模型驱动和智能决策转变，BIM、物联网、人工智能、机器人及数字孪生逐渐进入施工组织、质量检查、安全监测和资源调度环节。技术进入现场并不等于管理模式已经完成升级，数据孤岛、平台兼容不足、设备利用层次偏低、专业人员能力结构不匹配等情况仍会削弱智能技术的实际价值。如何把分散的技术工具转化为贯穿施工全过程的协同体系，并使技术体系、组织机制和现场作业形成稳定衔接，成为建筑施工转型需要解决的核心问题。

1 智能建造驱动建筑施工模式重构

1.1 数字模型推动施工策划前移

数字模型介入施工准备阶段后，施工策划不再局限于二维图纸会审和经验性工序安排，而是依托 BIM 模型完成场地布置、构件关系、施工顺序、资源投入及专业碰撞的前置校核。模型可将设计信息、进度计划、工程量及机械配置进行关联，使施工方案由静态文本转向可视化、可计算的动态载体。策划环节能够提前识别空间冲突、工序衔接不合理和资源配置失衡等问题，并据此调整施工段划分、作业面组织及材料进场节奏，减少现场临时变更。施工管理由事后协调逐渐转向事前推演，有利于提高方案可执行性和项目整体组织精度。

1.2 智能装备改变现场作业方式

智能装备进入施工现场后，传统依赖人工操作和经验判断的作业方式逐步转向机械感知、自动控制和精准执行。测量机器人、智能塔机、无人巡检设备、自动化施工机械等装备可接收模型参数和作业指令，对位置、姿态、运行轨迹及施工精度进行实时控制，减少复杂工况下的人为偏差[1]。设备运行数据还可同步反映负载、工时、能耗及异常状态，为机械调度和维护决策提供依据。施工组织也因此发生变化，设备配置不再只看数量，而要结合工序节拍、作业半径、场地条件及数据接口统筹安排，使机械资源利用更加精准，现场作业呈现少人化、连续化和标准化特征。



图1 智能装备协同作业与数字化施工现场示意图

1.3 实时数据重塑施工管控机制

实时数据接入施工管理体系后，现场控制由阶段性检查转向连续感知和动态修正。人员定位、机械运行、环境监测、质量检测、材料消耗及进度完成情况可依托物联网终端持续采集，并与计划数据和模型信息进行比较，形成更具时效性的施工状态判断。管理节点由固定周期汇报转向异常即时触发，进度偏差、设备故障、安全风险和质量波动能够更早进入处理流程。数据积累还可形成施工过程数据库，为班组调度、资源调整、质量追溯及成本核算提供统一依据，使管理决策从经验判断逐步转向数据证据支撑，增强施工过程的透明度、可追溯性和协同控制能力。

2 建筑施工智能化转型面临的关键制约

2.1 多源施工数据存在信息壁垒

施工现场形成的数据来源复杂，设计模型、进度计划、质量检测、设备运行、材料供应和安全监测往往分散于不同系统，编码规则、数据格式及接口标准缺乏统一，造成信息难以连续传递。部分数据仍依赖人工录入和重复整理，更新速度滞后于现场变化，模型信息与实际施工状态容易产生偏差。项目参与主体之间的数据权限边界也较为模糊，信息共享深度不足，使施工决策难以获得完整的数据支撑，智能平台的协同价值受到

限制。

2.2 智能技术现场应用层次偏浅

部分智能建造技术停留于单项工具应用阶段，BIM 模型更多承担展示和碰撞检查功能，物联网设备偏重数据采集，人工智能算法与施工决策之间缺少稳定连接。技术系统未充分嵌入进度控制、质量验收、资源调度和风险预警等核心业务，形成“有设备、少联动”“有数据、弱决策”的应用状态[2]。现场工序变化频繁，复杂环境对设备识别精度、通信稳定性和算法适应能力提出更高要求，技术成果难以直接转化为施工生产效率。

2.3 人员能力难以适配技术升级

智能建造对岗位能力结构提出复合化要求，传统施工管理人员熟悉工艺流程和现场组织，但数字模型操作、数据分析及智能设备协同能力相对不足；信息技术人员掌握平台和算法，却可能缺少施工工序知识，造成技术方案与现场需求衔接不紧。企业培训仍偏重软件操作和单项技能，缺乏面向真实施工任务的数据判断、系统协同和异常处置训练。岗位职责、考核方式及职业能力标准未同步更新，也会削弱数字技术向施工管理深层渗透的速度。

3 施工数据贯通基础上的数字平台建设

3.1 统一数据标准打通业务接口

数据标准统一需要从施工业务对象、信息编码和交换规则三个层面同步推进，将构件、材料、设备、人员、工序及质量验收等信息建立统一标识，使设计端、施工端、供应端产生的数据能够按照相同逻辑进入数字平台。针对不同软件系统数据格式不一致的问题，应明确模型交付格式、字段命名、数据精度、更新频率和接口协议，利用标准化 API 完成进度管理、物资管理、设备监控及质量安全系统的数据交换。数据进入平台前设置完整性校验、重复值识别和异常值核查规则，避免低质量信息进入决策链。权限体系则按照岗位职责和业务范围配置读取、修改及审核权限，并保留数据版本、更新时间和操作记录，使跨专业信息传递具有明确来源，减少重复录入造成的数据冲突，为后续模型集成和智能分析提供可靠的数据底座。

3.2 依托 BIM 模型集成施工信息

BIM 模型应从几何表达载体转变为施工信息组织核心，以构件编码作为关关节点，将施工进度、工程量、材料批次、质量检查、设备配置及作业状态映射到对应模型对象。模型深化阶段需依据施工工序补充构件属性、施工区段、计划时间和技术参数，使设计信息能够直接服务现场组织。施工阶段将实际完成量、材料到场状态及质量验收结果持续写入模型，通过计划状态和实际状态的关联识别工序延误、资源冲突及作业面占用问题[3]。针对机电、结构、装饰等专业信息，可采用统一模型坐标和分类规则进行轻量化整合，避免模型体量过大影响现

场调用效率。移动终端同步调用模型后，技术交底、施工检查和问题定位能够直接对应具体构件，实现施工信息从图纸、表单分散查询向模型化集中管理转变。

3.3 建立动态数据反馈控制机制

动态反馈机制应把现场感知、平台分析和指挥指令连接成连续控制链，使施工数据不只承担记录功能，还能够参与生产状态调整。物联网终端持续采集设备负载、人员位置、环境参数、材料消耗和工序完成量，平台按照设定周期与计划值、控制阈值及历史数据进行比对，对进度偏离、设备异常和质量风险形成分级提示。异常信息触发后自动关联责任工序、作业区域及相关资源，并生成待处理事项，处理结果重新写入数据库，形成“识别—处置—复核—更新”的闭环记录。对于重复出现的异常，可结合历史项目数据修正预警阈值和资源配置参数，使控制规则能够根据施工状态持续调整。数据看板同步呈现关键指标变化和待办事项，减少信息逐级传递造成的时间损耗，使施工管理由周期性统计转向动态响应。

4 智能技术落地基础上的施工管理优化

4.1 智能装备配置匹配施工场景

智能装备配置不能简单以设备先进程度作为判断依据，应结合施工阶段、作业空间、工序连续性、机械负荷及安全条件进行适配。基础施工、主体结构、机电安装等环节对设备精度、运行范围和数据交互能力存在明显差异，配置方案需要依据工程量、作业节拍和现场通行条件确定设备类型及数量。设备接入数字平台后，可同步获取任务指令、作业位置和运行参数，减少人工调度造成的等待时间与资源闲置。对于高频重复、危险程度较高或质量精度要求严格的工序，可提高自动化设备介入比例，并根据施工进度动态调整设备投入。机械运行状态、能耗水平和故障信息还应纳入设备全寿命管理，根据利用率和维护周期优化调度策略，使智能装备真正嵌入施工组织，而不是停留于单点展示和局部替代。



图2 智能装备施工场景协同配置布局图

4.2 人工智能辅助现场风险识别

人工智能用于施工现场风险识别,需要建立以图像、视频、传感器数据和施工记录为基础的多源分析机制。现场摄像设备可持续捕捉作业状态,算法对人员行为、临边防护、机械运行轨迹及危险区域进入情况进行识别,再结合环境监测和设备参数判断风险等级[4]。单纯依赖视觉识别容易受到遮挡、光照和复杂作业背景影响,因此应把算法判断结果与施工计划、作业许可和设备状态进行交叉校验,降低误报率。风险信息触发后,应直接关联作业区域、施工班组、责任岗位和整改时限,并通过移动终端推送处置任务。历史风险数据可用于修正识别阈值,持续优化高风险工序的预警规则,使安全管理由定期巡查转向连续识别、快速响应和闭环复核。

4.3 复合人才培养适应岗位转型

岗位转型背景下,人员能力建设需要从单一专业技能训练转向施工技术、数字工具和数据分析协同培养。项目管理岗位不仅要掌握进度、质量、安全和成本控制,还需具备 BIM 应用、平台操作、设备数据读取及异常信息判断能力;技术岗位则应理解施工流程和现场约束,避免数字方案脱离实际工况。培养内容可按照岗位任务拆分能力模块,将模型应用、智能设备协同、数据分析、平台调度和风险处置纳入培训体系,并设置基于真实业务流程的考核标准。企业内部还应建立数字技术岗位和传统施工岗位之间的轮岗协作机制,使技术人员熟悉施工逻辑,现场管理人员掌握数据工具。岗位评价同步增加数字化应用成效、协同处理效率和数据质量等指标,促使人才结构与智能建造模式形成匹配。

5 智能建造模式应用后的施工效能提升

5.1 协同调度提高施工组织效率

智能建造模式下,施工计划、机械运行、材料供应和作业面状态能够进入同一调度体系,传统依靠人工报送和层级协调的组织方式得到压缩。平台依据工序完成情况及时修正资源投入和作业顺序,使不同专业之间的衔接更加紧密,减少等待、窝工和交叉作业冲突。进度信息与现场实际状态保持同步后,

参考文献:

- [1] 李忠.智能建造背景下建筑施工智能化技术应用研究[C]//中国企业评价协会科研成果出版与交流专业委员会.“首届新技术应用与企业发展”学术交流会论文集.2026:850-852.
- [2] 甄圣威.智能建造背景下建筑地产钢结构施工质量控制[J].中国建筑金属结构,2026,25(5):109-111.
- [3] 朱涛涛.智能建造技术在装配式建筑施工中的应用[J].城市开发,2026,(3):89-91.
- [4] 高玉梅.智能建造在绿色建筑施工中的应用[C]//江西省汽车工程学会.第二届工程技术与新能源经济学术研讨会论文集.2026:208-210.
- [5] 罗文飞.智能建造技术在建筑施工中的应用与发展趋势[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛——绿色智造·采购革新专题.2025:667-671.

管理节点能够由固定周期调整转向动态响应,关键线路上的资源优先级更加清晰。材料进场、机械使用及班组作业也可按照施工节拍进行匹配,施工组织由相对分散的局部安排转为面向整体进度的协同控制,现场连续作业能力和计划兑现程度得到提高。

5.2 数字监测增强质量安全控制

数字监测将质量检查和安全管理由离散抽查转变为持续采集、自动比对和异常触发。施工过程中的关键参数、设备状态、环境信息及作业行为可以形成连续记录,系统依据技术标准和预设阈值识别偏差,使质量缺陷和安全风险更早进入处置环节。问题信息与具体施工区域、工序节点和责任岗位建立关联后,可减少人工传递造成的信息遗漏,并保留整改、复核和验收全过程记录[5]。历史数据还能形成质量追溯链和风险数据库,为高频问题识别、工序优化及安全预警规则调整提供依据,质量安全管理因此更加精细,控制方式也由事后处理逐步转向过程预控。

5.3 精细配置改善项目综合效能

精细配置强调按照实际施工需求统筹人员、材料、机械、资金和能源投入,避免资源配置长期依赖固定计划和经验估算。数字平台持续汇集工程量变化、材料消耗、设备利用率和进度偏差,可据此调整采购批次、设备投入及劳动力配置,减少材料积压、机械闲置和无效等待。成本控制也由事后核算前移至施工过程,通过资源消耗与完成工程量的动态匹配及时发现异常支出。能源使用和设备运行数据纳入管理后,还可识别高耗能环节,优化施工节奏及机械组合,使项目管理兼顾进度、成本、质量和绿色建造要求,综合资源利用水平得到改善。

6 结语

智能建造正在重塑建筑施工的组织方式和管理边界。施工数据贯通、数字平台集成、智能装备适配及复合人才培养,可促进技术能力真正嵌入现场生产。依托动态监测和协同调度强化过程控制,能够降低信息割裂造成的管理损耗,使施工质量、安全水平、资源利用及项目综合效能获得持续改善。