

智能建造技术建筑施工管理中的应用与研究

包勇

玉门市天富新能源科技发展有限公司单位，甘肃省酒泉市玉门市，735211；

摘要：围绕工程项目的全周期协同与质量成本进度三目标，智能建造以数据为载体、以模型为枢纽、以算法为方法，将设计采购施工与运维贯通为一体化的生产系统。本文聚焦施工阶段的管理问题，构建由目标分解、数据治理、过程控制与绩效改进组成的分析框架，阐释模型驱动、感知反馈与闭环优化的运行机理，提出组织流程再造与指标体系联动的实施路径。研究强调标准统一与接口兼容在多主体协同中的基础地位，探讨复杂工况下的鲁棒控制与安全约束，力求为施工企业开展数字化升级与现场智能化管控提供方法依据与结构化参照。方法上以要素分解与流程闭环为主线，兼顾组织治理与技术落地的配适问题，并在标准化与可解释方面提出具体要求。

关键词：智能建造；建筑施工管理；数据治理；数字孪生；协同优化

DOI：10.69979/3060-8767.25.05.075

引言

建设工程在不确定性、规模化与复杂耦合条件下运行，传统粗放式管理难以适配对韧性与精细化的双重要求。传感网络、建模技术与计算能力的进步，使以数据与模型为核心的智能建造成为可能。施工阶段具有临时组织、环境动态与风险密集等特征，决策与执行之间存在显著时滞与信息断裂，形成进度漂移、成本失控与质量波动等管理痛点。本文围绕理论内涵、关键技术与管理方法展开讨论，旨在以体系化视角刻画施工阶段的智能化路径，给出可操作的流程重构思路，形成指标引导与闭环改进机制，为行业实践提供可复用的框架。与传统信息化不同，智能建造强调模型驱动的组织能力与闭环优化的运行秩序，关注从数据采集到决策执行的全链路一致。实现路径涉及标准与接口、算法与算力、组织与流程的协同升级，需要在可用性与成本之间取得平衡。

1 概念框架与技术体系

1.1 智能建造的内涵与要素模型

智能建造并非单点工具的叠加，而是以数据贯通与模型驱动为核心的生产组织方式。其目标不是替代人工，而是通过可计算的规则与自适应的机制，将经验性管理转化为可验证的流程与边界条件，从而提升决策的一致性与执行的可重复性^[1]。围绕这一目标，可将要素划分为对象模型、行为规则、状态数据与评价函数四个层面，对象模型承载构件、工序与资源的结构化表征，行为规则描述工艺约束与协同秩序，状态数据记录现场的时间序列与空间关系，评价函数用于权衡质量、进度、安全

与成本之间的权重关系。为避免目标漂移，需要在模型层固化约束与优先级，使每一项局部优化均受全局目标牵引。

在此基础上形成从计划到执行再到反馈的闭环。计划侧通过参数化与模板化实现快速组合与可追溯的口径一致，执行侧依托感知网络获取状态并完成边缘判断，反馈侧将偏差映射为规则修订与模型更新。若要素之间缺乏一致的编码与接口，将导致信息孤岛迁移为模型孤岛，智能化收益被显著稀释。因此需要以统一命名、属性词典与数据基线为抓手，建立跨阶段的语义对齐机制，使模型具有跨场景迁移能力与多任务复用能力。配合版本化与变更管理，形成知识的沉淀与再利用，使经验不断转化为标准并反馈到下一轮计划与执行之中。在复杂约束与动态环境条件下，模型还需要表达不确定性与容差，以区间与场景的方式定义可接受的范围，使优化结果具备鲁棒性。任务分解可采用自顶向下的目标拆解与自底向上的可行域收敛相结合的方式，确保计划既有方向也能落地。知识的可迁移依赖于案例的结构化表达与因果关系的清晰记录，只有当经验被抽象为可复用的规则与参数，系统才能在项目之间持续累积能力并降低启动成本。

1.2 建筑施工管理的智能化路径与边界

施工管理的智能化并不意味着全面自动化，而是以约束可计算、流程可监督与决策可解释为原则，分层推进计划协同、现场执行与资源配置的能力升级。路径可从模型牵引的计划协同入手，围绕构件拆解、工序依赖与场地占用生成具备冲突检测与资源平衡能力的计划

基线，并以滚动方式小步修正，确保计划与现场保持一致^[2]。进而构建感知融合的执行，将定位、识别与测量结果映射到模型空间，形成与现实一致的进度与质量状态，再以看板与阈值策略触发提醒与处置，使信息由被动上报转为主动推送。最终通过约束优化完成资源配置，在设备、人员与材料的时空冲突中寻求全局占优解，兼顾安全与效率的底线。

边界方面需要强调适配性与成本收益。某些工艺对自动化要求并不高，过度追求全面数字化会提高系统复杂度与维护负担。另一些场景受限于环境扰动与标准缺失，感知可靠性与模型精度难以满足闭环控制的稳定性。因而应遵循可用即优与迭代递进的原则，先实现数据可得与流程透明，再逐步引入预测、优化与自适应功能，并在每一阶段设置停表点与回滚点，以避免一次性建设带来的沉没成本与组织阻力。落地过程中需要处理多目标之间的权衡。进度压缩可能侵蚀质量与安全边界，资源集中可能造成现场拥堵与互相干扰。智能化路径应以约束为底线，以效率为导向，以风险为调节器，通过仿真与排程评估不同策略的影响，并用透明的规则向各方解释取舍依据。在组织层面设置跨专业协调角色，统一口径与节奏，让信息与决定沿同一时间轴推进，以减少扯皮与反复。

2 关键技术与协同机制

2.1 数字孪生与建筑信息模型的融合与数据治理

建筑信息模型侧重几何与语义的统一表达，数字孪生强调模型与现场状态的持续映射与对照。二者的融合关键在于时间维度的引入与数据治理的秩序构建。时间维度将构件从静态对象提升为带有生命周期刻度的过程载体，进而承接计划、执行与维护的多视图需求^[3]。数据治理需要从采集、标准、质量与权限四个方面建立可执行的规程。采集侧关注源头可追溯与最小必要，避免重复上报与无效累积。标准侧以统一的编码体系与属性词典保证跨系统的一致性。质量侧通过校验规则与抽样复核维持准确完整与时效。权限侧以角色与场景划分读写范围，兼顾合规与效率，并以审计记录支撑责任追踪。

融合机制上，可采用模型驱动接口定义方式，将数据对象与事件订阅绑定在同一语义层，使各类工具围绕统一语义进行交互。模型既是可视化载体，也是约束与算法的宿主，从而降低系统耦合度与重复建设。配合增量持久化与版本化管理，能够在变更频繁的施工阶段

维持稳定的基线。若缺乏上述治理与机制，数字孪生容易退化为静态展示，难以对偏差与风险形成及时的洞察与处置建议。为此还需建立主数据与参考数据的分层体系，并通过指标对齐与口径校核，消除多源数据之间的口径偏差。数据治理还涉及元数据与沿革记录。元数据描述数据的来源、口径与用途，沿革记录追踪每一次变更的原因与责任人，从而保障可追溯与可问责。为提升一致性，可设立数据评审例会，对关键对象的属性集合进行维护与冻结，并在重大里程碑前完成对账与校核。在平台层引入数据质量评分与告警，使问题在源头被发现与修正，避免错误在流程中放大。

2.2 物联网感知与现场执行的闭环控制

现场管理的核心在于将不可见的状态转化为可计算的信号，并以可执行的策略驱动行为。感知系统需覆盖定位、识别、测量与环境监测，重点在于跨设备与跨工种的互联互通^[4]。为降低噪声与漂移带来的不稳定，需要在边缘侧完成预处理、融合与健康诊断，使进入管理系统的数据具备足够的可信度。随后在规则引擎与调度机制的支撑下，以阈值、趋势与状态机描述触发条件与响应措施，确保现场事件能被快速识别与妥善处置，并将处置过程固化为可复用的模板。

闭环控制的稳定性取决于延迟、带宽与策略敏感度之间的配比。延迟过大会引发滞后纠偏，策略过于敏感会造成频繁震荡。可通过分级控制将快变量交由边缘处理，将慢变量交由中心协调，并以预测模型提供前瞻的缓冲动作。安全约束应内嵌于控制链路的每一环，任何超越边界的指令都应被拦截并记录，同时预置降级策略与人工接管通道，在异常条件下确保系统以可接受的方式退场。通过以上机制，现场执行从人驱动的信息传递逐步转向数据驱动的协同行动。现场组织还需建立跨角色的值守机制与信息梳理节奏，使告警从触发到闭环的路径被明确标绘。对重复出现的告警应触发规则优化与源头整改，不以人工背锅作为唯一办法。对高风险窗口设置前置预热与延时观测，确保控制动作产生的副作用被充分评估。通过标准化的记录表单与术语集，减少沟通歧义。

3 管理重构与实施方法

3.1 组织流程再造与风险管控方法

智能建造并非单靠技术即可达成，组织与流程的再造决定了成败。组织层面应确立由业务主导的数据责任，明确谁生成数据、谁维护质量、谁承担结果，并以角色

矩阵清晰界定边界与协同关系。流程层面要以端到端视角梳理触点与移交,将多部门的串行协同调整为可并行的里程碑管理,减少等待与返工。配套制度需要把数据质量、计划兑现与现场改进纳入绩效考核,使管理目标与一线行动保持一致,并通过例会节奏与标准化看板降低沟通成本。

风险管控强调前馈与反馈的结合。前馈侧基于历史知识与约束条件预设高风险场景,形成检查清单与应急预案,按阶段进行压力测试与桌面推演。反馈侧基于偏差识别与事件复盘,构建从原因到对策的闭环画像,并在模型与规则层完成固化。对于难以量化的风险,可引入专家经验与逻辑一致性校验,避免经验割裂与知识流失。结合培训与授权机制,让一线人员具备发现与处置问题的能力,管理者负责设定边界与分配资源,形成协同高效的治理结构。为支撑流程再造,可引入角色责任矩阵与界面模板。每一次移交都应附带完成定义与验收标准,未达标的工作不得流入下游。在跨区域与多项目情境中,通过共享的标准库与培训机制保持一致性,并以试点与扩散的方式降低变更阻力。信息化建设需要与制度同步推进,避免系统与流程割裂造成双轨运行。为提升变更响应速度,可设立轻量级的决策通道,对小范围试点与参数微调授予现场授权,并在事后统一归档。组织知识通过案例库、问答库与课程库沉淀,并与模型参数建立关联,保证经验能快速转化为系统能力。针对外部供应与分包管理,建立准入与评价机制,让协同各方在同一规则下运作。

3.2 评价指标体系与持续改进方法

评价体系需要服务于决策与改进,而非仅用于汇报。指标设计应遵循少而精与可行动的原则,以目标对齐为起点,以因果链条为线索,将投入、过程与产出三类指标连接起来。投入指标关注资源、能力与约束的准备度,过程指标刻画执行的稳定度与协同度,产出指标衡量质量、进度与成本的达成度。为避免指标过载与行为异化,应建立定期清理机制,剔除无法驱动行动的指标,并通过可视化看板降低理解成本,使不同角色都能基于同一事实达成共识。

持续改进依赖于事实与实验。事实来自稳定的数据管道与可信的统计方法,实验通过小步试点与对照比较检验策略有效性。改进活动应与版本管理相结合,每一项规则变更都需有来源与依据,并以结果进行回溯。当改进带来的收益不足以覆盖切换成本时,应果断停用并

恢复到先前稳定的基线,以降低系统波动。以此形成发现问题、提出假设、验证效果与固化经验的闭环,推动管理水平在迭代中稳步提升,并在跨项目迁移中复用成熟做法。在指标运用上应重视因果验证与反事实推断。若某项改进声称带来成本下降,需要在相同外部条件下对比未实施改进的基线表现,避免把周期波动误判为措施成效。对重要指标设定触发门槛与责任链条,一旦出现越界立即启动核查与纠偏。为防止短期优化损害长期目标,在指标体系中加入对韧性与稳定性的度量,并通过周期性的复盘调整权重。改进不仅发生在项目内部,还应在企业层面形成跨项目的经验汇聚。通过滚动评审梳理各项目的亮点与问题,把成熟做法上升为企业级标准,把失败教训转化为预警清单与培训素材。指标与改进活动的关系需要双向联动,指标发现问题,活动带来变化,再用指标验证变化是否稳固。

4 结语

本文以体系化视角阐明施工阶段的智能化路径,提出以数据与模型为核心的闭环机制,并从治理、协同与控制三方面给出可落地的方法。关键在于以统一标准与清晰责任构建语义对齐,以版本化与试点扩散降低变更风险,以指标与实验驱动持续改进。在约束明确与边界清晰的前提下,智能建造能够在复杂环境中形成稳定而高效的管理秩序。未来工作可围绕多源数据的一致性、复杂工况下的鲁棒控制与跨项目知识迁移展开,将标准、流程与工具共同演进,使智能建造由局部应用走向系统化常态化。

参考文献

- [1] 胡洁茹,王旭.绿色智能建造与智慧管理在建筑施工中的应用[J].城市建筑空间,2024,31(S1):206-207.
- [2] 负江华.大数据环境下基于BIM技术的高校综合建筑智能建造施工管理研究[J].工程技术研究,2024,9(10):162-164. DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2024.10.053.
- [3] 钟正飞.基于智能建造的建筑施工管理信息化创新[J].中国建设信息化,2024,(09):68-71.
- [4] 陈东,刘阳,何祥荣,等.BIM技术在装配式建筑智能建造施工过程管理中的应用研究[J].科技与创新,2023,(18):173-175. DOI:10.15913/j.cnki.kjycx.2023.18.050.