

智能建造技术在建筑工程管理中的应用

张 杨 张猛焱

呼和浩特市建设工程施工图审查中心有限公司 内蒙古 呼和浩特 010010

摘 要：智能建造技术的快速发展正在深刻重塑建筑工程管理的技术基础与运行逻辑。本文从工程管理的信息化转型需求出发，系统审视了建筑信息模型、物联网、人工智能、数字孪生、区块链等关键技术群对工程管理的赋能机制，剖析了当前应用中面临的数据标准不统一、管理流程适配滞后、人才结构错配与投入产出失衡等深层困境，进而从平台化集成、流程再造、决策智能化与安全韧性构建等维度提出深化应用的优化路径。研究认为，智能建造技术在工程管理中的应用绝非简单的工具替代，而是推动管理范式从“经验驱动”向“数据驱动”、从“被动响应”向“主动预测”转变的系统性变革，其价值释放程度取决于技术嵌入与组织变革的协同深度。

关键词：智能建造；建筑工程管理；BIM 技术；数字化转型；管理范式

引言

建筑工程管理长期面临工期延误、成本超支、安全事故频发和质量通病难以根治等系统性挑战。这些问题的深层根源在于传统管理模式下信息采集滞后、传递失真、处理低效——项目管理各方在信息不对称的环境中做决策，其不确定性和风险累积几乎贯穿工程全生命周期。智能建造技术的集中涌现，为破解这一困局提供了前所未有的技术条件。建筑信息模型（BIM）、物联网（IoT）、人工智能（AI）、数字孪生、区块链、5G 通信等技术正在从感知、分析、决策和执行四个层面重构工程管理的链条。然而，技术供给与管理需求之间并非自动匹配。大量企业引入智能建造技术后并未获得预期的管理效益，甚至出现“技术先进、管理依旧”的尴尬局面。这提示我们，智能建造技术在工程管理中的应用不是一个简单的技术部署问题，而是涉及管理理念、组织流程、人才结构和制度环境的系统性适配过程。

1 智能建造技术体系及其管理赋能机理

1.1 智能建造技术体系的层级结构

智能建造是由感知、数据、处理、交互、执行五层构成的技术能力体系。感知层通过物联网、无人机、三维扫描等实现现场全要素实时监测；数据层以 BIM 为载体整合几何、材料、进度、成本等信息，形成全生命周期数据底座；处理层利用人工智能进行风险识别、进度预测与资源优化；交互层借助数字孪生实现物理工地与虚拟模型的双向映射和方案推演；执行层由智能机械完成数据驱动的精准作业。五层形成“感知—传输—分析—决策—执行”闭环，构成对传统管理的赋能基础。

1.2 破解工程管理中的“信息稀缺”

传统管理困境源于信息稀缺——进度、质量、成本、安全等关键信息经层层报表传递后严重滞后和失真。智能建造的核心价值在于系统性缓解这一困境：以高时空密度采集现场数据，通过标准化格式实现跨专业共享，并以可视化降低认知门槛。当信息从稀缺走向充裕，管理决策便有了坚实的事实基础，管理行为也从经验估计转向数据研判，这不仅是工具升级，更是管理方式的质变。

1.3 技术赋能的三重逻辑：替代、增强与重构

赋能效应分为三重：替代——自动化监测、智能审图、机器人放线等取代重复性人工，释放管理人员的基础事务负担；增强——算法在数据中挖掘人难察觉的相关性与风险模式，深化感知深度和预见能力；重构——信息传递与决策方式的根本变化，倒逼组织架构、流程设计、协作模式的系统性调整，并引发沟通、审批、考核等机制变革。三重逻辑中，替代最易实现，增强需技术与业务深度融合，重构则是释放管理效益的关键，也是当前实践最薄弱的一环。

2 智能建造技术在工程管理中的典型应用场景

2.1 进度管理与资源调度的智能化

进度管理是智能建造技术应用最早也是成效最显著的领域之一。基于 BIM 的 4D 施工模拟（三维模型叠加进度计划）使施工顺序、空间冲突和资源需求在施工前即可进行可视化推演，施工方案的可行性验证从“现场试错”前移至“虚拟预演”。在施工过程中，通过无人机航拍或摄像头图像识别自动获取实际进度数据，并

与计划进度进行自动比对,偏差一旦超出阈值即触发预警^[1]。更进一步,当进度偏差被识别后,智能算法结合资源库存、劳动力供应和工序逻辑关系,自动生成可供选择的调整方案,辅助管理者做出最优决策。在资源调度方面,物联网追踪技术使工程材料和机械设备的实时位置和状态可感知,结合需求预测算法实现物料的精准配送和设备的动态调配,减少停工待料和设备闲置。

2.2 质量控制的数字化闭环

工程质量管理在传统模式下主要依赖事后检查和抽样检测,覆盖面有限且发现问题滞后。智能建造技术正在将质量管理转变为“过程数据留痕+异常自动识别+整改闭环追踪”的数字化 workflow。具体而言,通过三维扫描和点云模型比对,混凝土结构的平整度、垂直度和构件定位精度可实现全数检查而非抽样,偏差一目了然。隐蔽工程(钢筋绑扎、预埋件定位等)在覆盖前通过影像记录和传感器数据存档,形成可追溯的数字凭证。质量验收标准被录入系统后,AI 算法可自动比对现场图像与标准做法,识别露筋、蜂窝麻面、防水搭接不足等常见质量问题并自动生成整改通知单。整改过程在系统中闭环追踪,直至复验合格方可进入下一道工序。这一闭环机制的核心意义在于将质量控制从“末端抽检”推向“过程监控”,从“人工判断”推向“数据比对”,显著降低了质量缺陷漏检率和整改滞后率。

2.3 安全管理风险预控

安全生产是工程管理中压力最大、容错率最低的领域。智能建造技术对安全管理的提升主要体现在风险识别和预警的及时性上。在工地出入口、塔吊、临边洞口等重点区域部署 AI 视频监控系统,可自动识别未佩戴安全帽、未系安全带、闯入危险区域等违规行为并实时发出语音提醒。深基坑、高支模、隧道开挖等高风险工序中,布设应力应变、位移和地下水位等物联网传感器,监测数据连续采集并设定分级预警阈值,一旦超过警戒值系统自动通知相关责任人^[2]。从更宏观的层面,通过对历史安全事故数据的机器学习,可以识别出特定施工场景和工况下的风险因子组合,辅助安全管理人员在施工前即制定更具针对性的专项防护方案。安全管理的智能化转型使安全工作的重心从“事后追责”向“事前预防”前移,这是提升安全管理水平的根本出路。

2.4 成本管理与投资控制的动态化

工程造价管理在传统模式下是典型的“静态估算—过程失控—结算纠缠”路径。BIM 技术对工程量和造价的精确计算为成本控制提供了准确的基准。更重要的是,

当进度、质量和资源消耗数据实时更新时,项目的动态成本核算成为可能——管理者可随时掌握已完工作的实际成本与预算的偏差,识别超支风险出现的具体部位和原因,并及时采取纠偏措施。区块链技术在工程变更签证和资金支付中的应用,通过分布式账本的不可篡改特性,使每一笔变更费用的产生依据和审批流程具备高度可信的追溯性,从制度层面减少了合同纠纷。成本管理的动态化使项目经济绩效的控制从“事后算账”走向“过程中管控”,这是智能建造技术赋予工程管理的重要能力跃升。

3 智能建造技术应用中的深层困境

3.1 数据生态碎片化与标准缺失

智能建造依赖数据流通,但当前数据生态呈碎片化。BIM、项目管理、造价等软件格式不兼容,设计模型向施工、运维阶段传递时信息大量丢失或需重建;同一项目各方主体的信息系统缺乏统一交换标准,形成叠加的“信息孤岛”。数据不完整使智能算法无法支撑跨阶段全局优化^[3]。统一标准不仅是技术问题,更涉及数据主权、商业利益与协作意愿,推行难度远超技术层面。

3.2 技术工具与管理流程的排异

多数企业采用“在既有流程上加装工具”的模式,仅将部分环节电子化,未调整管理节奏。然而智能建造提供更快速精准的信息,需要管理流程同步响应——实时进度数据使周报、周例会决策滞后,物联网自动记录使人工验收成为瓶颈。这种排异导致技术被闲置、降级使用,或决策绕开技术路径,技术投入形同虚设。

3.3 人才结构错配与能力断层

应用智能建造亟需既懂工程管理又懂信息技术的复合型人才,但现状呈现错配:资深管理者缺乏技术理解,易抵触或盲从;年轻技术人员熟悉软件却缺乏现场经验和判断力,难以有效衔接技术与管理。高校多将智能建造设为选修而非核心课程,在职培训偏重操作技能,忽视数据思维与管理逻辑的深层建构,能力断层已成关键瓶颈。

3.4 投入产出预期失衡与推广阻力

智能建造需软件采购、硬件部署、系统集成和培训等高额初期投入,而效益释放缓慢,磨合期的效率损失和试错成本甚至短期降低绩效。回报滞后使利润率本已偏低的施工企业投资动力不足。更深层的是,业内缺乏公认的投入产出评价标准,企业难以进行科学的成本效益分析,进一步加剧“观望等待”心态。

4 深化智能建造工程管理应用的优化路径

4.1 以数据标准化驱动平台化集成

破解数据碎片化困境的关键在于建立统一的数据标准和基于标准的基础集成平台。政府主管部门应加快制定建筑行业数据交换标准,明确 BIM 模型在不同阶段的交付深度和信息格式要求,强制或引导各方在统一的数据架构下进行信息交换。企业层面则应构建集成化的项目管理数字平台——该平台不应是多个独立软件的简单拼装,而应在统一的数据模型之上整合进度、质量、安全、成本等各管理子系统的功能模块,使数据一旦录入即可在全平台流通复用。平台化集成不仅解决信息孤岛问题,更重要的是为后续智能化分析提供了完整的数据资产基础。

4.2 推动管理流程再造与组织适配

技术引入的同时必须同步推进管理流程的再造和组织结构的调整。具体而言,应从三个层面实施变革:在决策机制上,将基于实时数据的分级预警和快速响应纳入项目管理制度,压缩传统冗长的逐级汇报链条,赋予现场管理者基于数据的更大自主决策权。在工作流程上,重新设计信息流与业务流的耦合方式,例如将质量验收流程中的数据采集节点前置至施工过程中,使验收结论自动关联过程数据而非依赖事后抽样^[4]。在组织架构上,设立专门的数据管理岗位或数字化转型部门,负责技术系统的运维、数据分析报告的编制和数字化工具的持续优化,避免技术应用沦为兼职人员的附带工作。流程再造需要企业高层的坚定推动和持续投入,但其带来的管理效率提升往往是根本性和持续性的。

4.3 构建面向智能建造的人才能力体系

面向智能建造的工程管理人才培养应走“专业+数字”的融合路径。在高校培养环节,应将智能建造相关课程从选修提升为核心必修模块,教学内容除 BIM 操作和编程基础外,应重点强化数据思维、算法逻辑和人机协同决策能力的训练。在企业培训环节,应建立分级分类的培训体系——对高管层侧重数字战略与变革领导力培训,对项目管理层侧重数据分析解读与智能决策工具应用培训,对现场执行层侧重智能设备和移动终端的操作培训。尤为重要的是,应建立“数字化导师”制度,由既懂业务又懂技术的复合型骨干在项目一线指导技术应用,弥合技术团队与业务团队之间的认知鸿沟,加速

人才成长的传帮带进程。

4.4 完善标准体系、评价机制与安全治理

制度的完善是智能建造技术可持续应用的根本保障。标准建设方面,除数据标准外,还应加快制定智能建造技术在工程管理中的应用标准,明确各管理场景下技术应用的深度要求和质量基准。评价机制方面,建立面向工程管理数字化转型的效能评价体系,将进度控制精度、质量缺陷率、安全事故率、成本偏差率等可量化指标纳入评价框架,使企业能够客观评估技术投入的实际产出并据此优化应用策略。安全与治理方面,针对工程管理数据涉及工程结构信息、人员身份信息和财务数据等敏感内容的特点,应建立数据分级分类管理和安全审计制度,防范数据泄露和滥用风险。

5 结语

智能建造技术正在深刻改变建筑工程管理的信息基础、决策逻辑和协作方式。本文的分析表明,这一转型过程远非技术的线性应用所能概括——当前实践中的诸多困境恰恰说明,技术效能的释放有赖于数据环境、管理流程、人才结构和制度体系的系统性协同。任何单一维度的推进都难以取得预期的管理效益。因此,智能建造技术在工程管理中的深度应用,应当被视为一个“技术—组织—制度”三方协同演进的系统工程,而非单纯的信息化建设项目。对于行业而言,能否在技术工具不断迭代的同时推动管理思维的同步变革,将决定智能建造的投入能否真正转化为工程管理绩效的持续提升。未来应进一步关注智能建造技术在不同规模、不同类型工程项目中的差异化应用模式,以及人机协同管理过程中的组织行为变化等深层次问题,以推动理论研究与实践探索的共同深化。

参考文献

- [1] 丁烈云. 智能建造关键技术与工程管理创新 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(4): 1-8.
- [2] 王要武, 薛小龙. 建筑信息模型 (BIM) 在工程项目管理中的应用现状与发展趋势 [J]. 工程管理学报, 2023, 37(1): 1-6.
- [3] 刘刚, 李忠富. 物联网技术驱动下的施工现场智慧管理研究 [J]. 建筑经济, 2022, 43(8): 92-98.
- [4] 张建平, 余芳强. 数字孪生驱动的建筑全生命周期管理框架与方法 [J]. 土木工程学报, 2024, 57(3): 112-121.