

数字化技术在工程全过程管理中的融合应用探析

郑奇^{1,2} 张倩^{1,2}

1. 国家建筑工程技术研究中心 天津市 300000; 2. 中国建筑科学研究院天津分院 天津市 300000

DOI:10.32629/ems.v8i5.20220

[摘要] 在工程建设活动日益复杂、管理边界持续外延的背景下,单纯依赖分段控制与经验判断的传统模式,已难以适应质量、进度、成本与安全协同提升的现实要求。数字化技术嵌入工程全过程管理之后,项目各阶段之间的信息壁垒被不断打通,管理活动的感知能力、分析能力与响应能力也随之增强。依托模型构建、数据集成、智能识别与动态反馈等手段,工程管理由静态、离散走向连续、联动,既提升了过程控制的精度,也推动了资源配置与决策机制的优化,对工程项目综合效能提升具有明显促进作用。

[关键词] 数字化技术; 工程全过程管理; 融合应用; 智慧建造; 工程管理

工程项目链条长、环节多,前期决策稍有偏差,往往就会在设计深化、施工组织乃至后期运维中被不断放大,管理上的迟滞与割裂,也由此成为不少项目质效失衡的重要诱因。随着建设活动对精细管理、协同管理提出更高要求,数据要素开始加速进入工程领域,原本依附纸质资料、人工传递和经验统筹的管理方式,正被更加实时、可视、可追溯的运行机制所替代。数字化技术的价值,不只在工具更新,更在于借助信息贯通重塑全过程管理的内在逻辑,使工程管理从阶段性控制逐步转向全周期联动。

一、数字化技术融入工程全过程管理的现实基础与作用机理

(一) 工程全过程管理对数字化融合提出了内在要求

工程全过程管理并非若干环节的简单拼接,而是从前期策划、方案设计到施工实施、竣工交付及后续运维相互贯通的连续体系,任一节点的信息失真、响应滞后或协同失衡,都可能在后续阶段被放大,进而影响项目整体质量与综合效益。也正因如此,传统依赖纸质传递、人工对接和经验判断的管理方式,越来越难以适应现代工程对精细控制、动态调整和责任追溯的更高要求^[1]。数字化技术与全过程管理的结合,契合的正是这种系统性需求——借助数据贯通打破阶段分割,依托信息共享压缩沟通损耗,由此使工程管理从分散控制走向整体联动,也使项目运行状态能够被更及时地识别、更准确地研判。

(二) 数字化技术重塑了工程管理的运行逻辑

在工程管理场景中,BIM、物联网、大数据、云平台以及智能分析等技术的价值,并不止于效率工具的叠加,更关键

的,在于推动管理逻辑由静态、经验式判断转向动态、数据化决策。随着技术持续嵌入,工程信息的采集、传输、整合与反馈形成了更清晰的闭环,设计数据能够向施工环节延伸,施工过程中的质量、进度与成本信息也可被同步回传,由此带来的,不只是管理可视性的增强,更是管理边界与管理深度的同步拓展。换言之,数字化技术正在把原本碎片化的管理活动整合为可感知、可分析、可协同的运行体系,其作用机理,既体现为信息流的贯通,也体现为管理流程的再组织和决策机制的再优化,工程全过程管理因此获得了更稳定的技术支撑与更充足的升级空间。

二、数字化技术在工程全过程管理中的具体融合应用

(一) 数字化技术在工程前期策划与设计管理中的应用

工程前期看似处于建设活动之外,实则决定着后续管理效率与实施质量,策划不准、设计不实,往往会把问题提前埋入项目内部,待施工阶段集中显现^[2]。数字化技术嵌入这一阶段之后,项目基础资料、地理环境信息、投资边界条件与功能需求不再分散停留于不同主体手中,而是能够在统一的数据框架下被整合、比对与校核,项目决策由经验主导向数据支撑转变的趋势,也由此愈发清晰。借助BIM建模、GIS空间分析和参数化设计手段,设计单位可以在方案形成初期便完成体量测算、结构碰撞识别和施工可行性预判,使原本滞后的问题暴露环节前移,既减少了后续大范围变更的概率,也增强了前期投资控制的稳定性。

在不少大型公共建筑项目中,这种前置融合的效益已表现得相当明显。以某地综合服务中心建设项目为例,建设单位在立项后即建立三维协同模型,将建筑、结构、机电三专

业设计同步纳入同一平台,并将规划红线、地形高差、地下管网资料一并接入,设计阶段累计识别碰撞问题260余项,较传统二维会审模式提前近一个月发现关键冲突点,施工图阶段设计变更量下降约18.6%。更重要的是,项目团队依托前期数据联动,对材料用量、设备容量和施工组织条件进行了联审比选,初步测算误差控制在3%以内,预算编制的可信度显著提升。由此可见,数字化技术在工程前期并非只是“画得更清楚”,而是在项目尚未进入实体建设之前,已开始发挥风险过滤、资源校准和决策优化的综合作用,其价值基础,恰恰在于让后续全过程管理拥有了更稳固的起点。

(二) 数字化技术在施工阶段质量、进度与成本管理中的应用

施工阶段是工程全过程管理中最具动态性与复杂性的部分,作业面变化快,工序衔接紧,若缺乏实时、有效的信息支撑,现场管理很容易陷入“数据滞后于问题、措施慢于偏差”的被动局面。数字化技术与施工管理深度结合之后,质量巡检、进度更新、成本核算和资源调配之间逐步形成联动关系,项目管理从单点控制走向过程协同,现场运行状态由

模糊经验判断转向可量化、可追踪、可预警的精细治理。依托物联网传感器、移动终端巡检、BIM施工模拟和云端协同平台,材料进场、关键工序、机械运转、人员分布及隐患整改均可实现动态记录,管理者据此不但能够及时掌握现场变化,还能识别不同变量之间的传导关系,进而在偏差尚未扩大前完成干预。

这一变化在工期紧、专业多、交叉作业频繁的项目中尤为突出。某市政综合管廊工程施工期间,项目部将进度计划网、劳务实名制系统、混凝土浇筑记录与质量巡检模块统一接入数字平台,并在关键作业段布设传感设备,对沉降、温湿度和模板变形进行连续监测,平台每日自动生成偏差报告和工序风险提示。实施三个月后,现场质量整改闭环平均周期由原来的4.5天压缩至2.1天,主要节点进度兑现率稳定在95%以上,材料超耗率较同期同类项目下降约7.8%。这一案例说明,数字化施工管理的意义并不局限于“信息上屏”,更在于依托数据互通,把质量、进度与成本纳入同一治理逻辑,使原本彼此分离的管理事项形成反馈链条,进而提升项目现场的执行一致性与调控灵敏度。

表1 数字化技术在施工阶段主要管理环节中的应用表现

| 管理环节 | 主要数字化手段 | 融合应用表现 | 预期管理成效 |
|------|------------------|-----------------------|-------------------|
| 质量管理 | 移动巡检、影像采集、BIM校核 | 隐患实时上报、问题定位可视化、整改闭环留痕 | 提高质量问题发现效率,缩短整改周期 |
| 进度管理 | 云平台协同、施工模拟、计划预警 | 节点动态比对、工序冲突预判、资源调度优化 | 提升节点兑现率,减少工期拖延 |
| 成本管理 | 数据台账、物资追踪、智能核算 | 材料消耗动态统计、费用偏差及时识别 | 降低超耗与浪费,增强成本控制精度 |
| 安全管理 | 物联网监测、实名制管理、视频识别 | 风险区域识别、异常行为预警、设备运行监控 | 强化现场安全防控,降低事故发生概率 |

由表1可以看出,施工阶段数字化应用并非分散嵌入若干管理动作,而是围绕质量、进度、成本、安全四类核心目标形成了较为完整的支撑体系,其突出优势在于信息不再停留在局部,而是能够随着工序推进持续更新,并反向作用于管理决策。

(三) 数字化技术在竣工验收与运维管理中的延伸应用

长期以来,部分工程项目在竣工节点存在一个较为典型的问题,即建设阶段形成了大量技术资料与过程记录,但真正进入验收与运维环节后,这些资料往往难以高效调用,甚至出现档案分散、信息缺漏和责任界面不清的情况,导致后期管理重新回到经验判断和人工检索。数字化技术向竣工验收及运维阶段延伸之后,项目全过程中沉淀的数据资源得以被继续利用,建设成果不再止步于实物交付,而是转化为可调用、可追溯、可服务运维决策的数字资产^[3]。依托数字档

案、设备编码、智能监测和运维平台,工程实体、施工记录、材料信息、检测结果与维修历史之间形成映射关系,项目在竣工后的运行状态因此拥有了更高的透明度和可管理性。

这一点在机电系统复杂、后期维护要求高的工程中体现得尤为充分。某区域医院新建项目在竣工阶段同步建立设备数字档案库,将空调机组、供电系统、消防联动设备和给排水节点全部赋予唯一编码,并与施工过程中的安装记录、调试报告、隐蔽验收资料进行关联,运维人员借助移动终端即可查询设备位置、参数状态和维修履历。投入使用半年后,设备故障平均定位时间较原有人工查档模式缩短约42%,部分高频维护设备的停机时间下降近30%。更值得注意的是,医院管理方依托持续采集的运行数据,对重点区域能耗进行了分项分析,发现手术部与住院区部分设备存在低效运行现象,调整控制策略后月均综合能耗下降约6.4%。这表明,数

数字化技术进入后端管理环节之后,工程全过程管理才真正形成闭环,其价值已不仅是“把项目建成”,而是借助数据延续工程生命力,使建设管理成果能够在运营阶段继续转化为效率优势与质量优势。

(四) 数字化技术推动全过程管理由阶段协同走向系统联动

如果说前期策划与设计管理解决的是“起点是否科学”,施工阶段解决的是“过程是否受控”,竣工与运维管理对应的则是“成果能否持续增值”,那么数字化技术更深层的作用,正在于把这些原本相对分段的管理内容重新组织为一条连续的信息链和责任链。工程全过程管理的难点,不只在于各阶段任务不同,还在于阶段之间往往存在边界模糊、信息衰减和责任转移等现实问题;而数字化融合所带来的改变,在于以统一数据标准和平台逻辑贯穿项目全寿命周期,使前端形成的模型、中段积累的过程数据、后端产生的运行信息能够彼此映射、相互印证,由此构建起更稳定的系统联动机制。

三、数字化技术融入工程全过程管理的现实问题与优化路径

(一) 当前数字化融合应用中存在的主要问题

数字化技术在工程管理中的嵌入程度持续加深,但从整体推进情况看,仍存在“工具进入较快、体系成形偏慢”的现实特征,一些项目虽然配置了平台、模型和终端设备,实际运行中却未能形成全过程贯通的管理闭环,数据分散、标准不一、接口衔接不足等问题仍较突出^[4]。更值得注意的是,部分单位对数字化的理解仍停留于技术叠加层面,对其所对应的流程再造、岗位重构与协同机制优化重视不足,结果便容易出现系统建设与管理需求脱节、信息采集与决策应用脱节、阶段应用与全寿命管理脱节的情况,数字化应有的综合效能尚未被充分释放。

(二) 推动数字化技术与全过程管理深度融合的实施路径

要使数字化技术真正服务于工程全过程管理,关键不在单点突破,而在整体统筹。依托统一的数据标准和业务规则,打通策划、设计、施工、验收、运维各阶段之间的信息链条,应成为建设重点;围绕项目的核心目标,对平台功能、数据接口和责任边界进行协同设计,能够有效减少重复录入、信息失真和管理空转。与此同时,数字化能力建设还应向组织内部持续延伸,将复合型人才培养、制度规范完善、岗位

职责细化与平台建设同步推进,由此形成“技术支撑管理、管理牵引技术、制度保障运行”的协同格局,促使数字化从辅助工具逐步转化为工程治理能力的重要组成部分。

(三) 工程全过程管理数字化发展的未来趋势

随着人工智能、数字孪生、边缘计算和智能识别技术不断成熟,工程全过程管理正在由信息化积累阶段迈向智能化联动阶段,其发展方向已不再局限于资料电子化和过程可视化,而是更加强调实时感知、动态推演、预测预警与自主协同。未来的工程管理,将更加注重数据价值的持续挖掘和管理逻辑的系统重塑,借助模型驱动与算法支撑,项目运行状态能够被更早识别、管理偏差能够被更快修正、资源配置也将更加精准。由此形成的,不只是更高效的管理方式,更是覆盖全寿命周期、兼顾质量效益与治理韧性的现代工程管理新形态。

结语:

面向工程管理方式持续演进的新阶段,数字化融合所承载的,已不只是效率提升,更是治理理念、协同机制与价值创造方式的整体更新。谁能把数据贯通于全过程、把技术落实到管理细部,谁就更有可能在质量控制、资源统筹与长效运营中形成稳定优势;随着建设活动日益复杂,这种融合也将由可选路径渐渐转为内在要求。

[参考文献]

[1]魏永欣.数字化技术在工程项目全过程管理中的应用[J].数字技术与应用,2026,44(03):91-93.

[2]张洋.BIM技术在建筑工程造价数字化应用的探索与实践[J].城市开发,2026,(01):147-149.

[3]丁贞玉.生态环境领域重大工程全过程管理数字化应用与实践[J].中华环境,2024,(08):22-25.

[4]苏江波.城市建设中工程造价全过程管理优化策略[J].建筑工人,2026,47(03):46-48.

作者简介: 1.郑奇, 1992.9月,男,汉族,籍贯:天津市武清区,学历:本科,职称:工程师,主要研究方向:工程管理,工程全过程咨询及工程造价;

2.张倩, 1986.1月,女,汉族,籍贯:河北省唐山市,学历:本科,职称:工程师,主要研究方向:工程全过程咨询及工程造价。