

数字孪生技术驱动下建筑项目全面预算动态管控体系构建

张 璐

沈阳运为市政建设工程有限公司，辽宁 沈阳 110027

[摘要]在建筑行业数字化转型的浪潮中，传统建筑项目全面预算管控模式面临预算编制滞后、执行过程失控、动态调整不及时等问题，难以满足项目精细化管理需求。数字孪生技术凭借其虚实映射、实时交互、全生命周期协同的特性，为建筑项目全面预算动态管控提供了全新解决方案。本文首先分析传统建筑项目全面预算管控的痛点，随后阐述数字孪生技术在预算管控中的应用优势，进而从体系架构设计、核心功能模块开发、关键技术集成三个维度，构建数字孪生技术驱动的建筑项目全面预算动态管控体系，并结合实际案例验证体系的可行性与有效性，最后提出体系推广应用的保障措施，为建筑企业提升预算管控水平、实现降本增效提供理论支撑与实践参考。

[关键词]数字孪生技术；建筑项目；全面预算；动态管控；体系构建

DOI: 10.33142/mem.v6i5.17888

中图分类号: U491

文献标识码: A

Construction of a Comprehensive Budget Dynamic Control System for Construction Projects Driven by Digital Twin Technology

ZHANG Lu

Shenyang Yunwei Municipal Construction Engineering Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110027, China

Abstract: In the wave of digital transformation in the construction industry, the traditional comprehensive budget control mode for construction projects faces problems such as lagging budget preparation, out of control execution process, and untimely dynamic adjustments, which are difficult to meet the needs of refined project management. Digital twin technology, with its characteristics of virtual real mapping, real-time interaction, and full lifecycle collaboration, provides a new solution for comprehensive budget dynamic control of construction projects. This article first analyzes the pain points of comprehensive budget control in traditional construction projects, and then elaborates on the application advantages of digital twin technology in budget control. From three dimensions: system architecture design, core functional module development, and key technology integration, a digital twin technology driven dynamic budget control system for construction projects is constructed. The feasibility and effectiveness of the system are verified through practical cases. Finally, guarantee measures for the promotion and application of the system are proposed, providing theoretical support and practical reference for construction enterprises to improve budget control level and achieve cost reduction and efficiency improvement.

Keywords: digital twin technology; construction projects; comprehensive budget; dynamic control; system construction

引言

随着我国建筑行业从“高速增长”向“高质量发展”转型，项目管理的精细化、数字化要求不断提升。全面预算作为建筑项目成本控制的核心手段，贯穿项目投资决策、设计、施工、竣工结算全生命周期，其管控效果直接影响项目的经济效益与市场竞争力。然而，传统全面预算管控模式以静态编制、事后核算为主，依赖人工统计与经验判断，存在预算与实际施工脱节、数据更新不及时、风险预警滞后等问题。数字孪生技术作为新一代信息技术与实体经济深度融合的关键技术，通过构建物理实体的虚拟镜像，实现物理空间与数字空间的实时数据交互、状态同步与协同优化。因此，研究数字孪生技术驱动下建筑项目全面预算动态管控体系的构建，具有重要的理论价值与现实意义。

1 传统建筑项目全面预算管控的痛点分析

1.1 预算编制精准度不足

传统预算编制主要依据设计图纸、定额标准与历史经

验数据，采用“自上而下”或“自下而上”的静态编制方法。一方面，设计阶段的图纸信息往往不够细化，部分施工工艺与材料选型尚未明确，导致预算编制存在“估算”成分；另一方面，历史数据更新不及时，难以反映当前市场价格波动与技术革新，造成预算与实际成本偏差较大。

1.2 预算执行过程管控滞后

在施工阶段，传统预算管控依赖人工填报进度与成本数据，数据收集周期长，且存在数据失真、遗漏等问题。项目管理人员无法实时掌握施工进度与预算消耗的匹配关系，当出现“超进度消耗”或“进度滞后但成本超支”等异常情况时，难以及时发现并采取干预措施。此外，设计变更、现场签证等动态因素发生后，预算调整流程繁琐，需要多个部门审批，导致调整方案滞后于实际施工需求，进一步加剧预算失控风险。

1.3 全生命周期预算协同性差

传统预算管控模式下，各参与方的数据存储在独立的

信息系统中,数据标准不统一、信息共享不畅,导致预算信息在项目全生命周期内难以有效传递与协同。例如,在设计阶段,设计单位关注的重点是设计方案的可行性与创新性,对成本控制的考虑相对不足,其产生的设计变更可能未充分考虑对预算的影响;施工单位在施工阶段,为追求施工进度或简化施工流程,可能擅自变更施工方案,而这些变更未及时反馈给预算管理部门,造成预算与实际施工脱节。

1.4 预算风险预警能力薄弱

传统预算管控的风险预警主要依赖人工经验判断,缺乏科学的数据分析与模型支撑。项目管理人员往往只能在预算超支发生后,通过成本核算数据发现问题,无法提前识别潜在风险,即使设置了风险预警阈值,也因数据更新不及时、预警指标单一,难以对复杂多变的预算风险进行全面、精准的预警。

2 数字孪生技术在建筑项目全面预算管控中的应用优势

2.1 实现预算编制的精准化与可视化

数字孪生技术通过构建建筑项目的全要素虚拟模型,能够整合设计图纸、BIM 模型、市场价格数据、历史项目数据等多源信息,为预算编制提供精准的数据支撑。一方面,基于虚拟模型的参数化设计,可自动计算各分部分项工程的工程量,避免人工计算误差;另一方面,通过接入实时市场价格数据库,可动态更新材料、设备、人工的价格,确保预算编制与市场行情同步。

2.2 提升全生命周期预算的协同性

数字孪生平台作为建筑项目全生命周期的“数据中枢”,能够统一数据标准,整合各参与方的信息系统,实现数据的实时共享与协同交互,通过数字孪生平台,各参与方可以在同一虚拟空间中开展预算协同工作,设计单位在设计阶段即可通过平台实时获取成本数据,对设计方案进行成本优化;施工单位在施工阶段发生的变更,能够即时反馈至预算管理部门,预算部门可快速评估变更对预算的影响,并调整预算方案;建设单位、监理单位等也能通过平台实时掌握项目预算动态,实现全生命周期的预算协同管控,有效避免因信息孤岛导致的预算与实际施工脱节问题。

3 数字孪生技术驱动下建筑项目全面预算动态管控体系构建

3.1 体系架构设计

物理感知层作为体系的数据采集基础,通过部署在施工现场的各类物联网传感器,如进度传感器、成本传感器、质量传感器等,实时采集施工过程中的进度、成本、质量等多维度数据,为后续的数据传输与处理提供原始数据支撑。数据传输层则利用有线或无线通信技术,将物理感知层采集到的数据快速、稳定地传输至数字孪生层,确保数

据的实时性与完整性。数字孪生层是体系的核心,它基于物理实体构建虚拟模型,将传输过来的数据进行整合与分析,实现物理空间与数字空间的实时映射与状态同步,为预算管控提供精准的决策依据。应用服务层则根据数字孪生层提供的数据与分析结果,开发出一系列预算管控应用功能,如预算编制、执行监控、动态调整、风险预警等,满足项目全面预算管控的多样化需求。用户交互层则提供友好的人机交互界面,使项目管理人员能够方便地访问与应用服务层的功能,实时掌握项目预算动态,进行决策与操作。

3.2 核心功能模块开发

3.2.1 预算编制模块

预算编制模块依托数字孪生技术构建的虚拟模型,实现了预算编制流程的全面革新。该模块首先通过集成 BIM 模型的几何信息与属性数据,自动提取各分部分项工程的精确工程量,结合实时接入的市场价格数据库,动态计算材料、设备、人工等成本要素的当前价格,从而生成基于实时市场数据的预算基准。同时,模块内置智能算法库,可根据项目特征自动匹配历史类似项目数据,通过机器学习模型预测潜在成本波动风险,为预算编制提供风险调整建议。此外,预算编制模块支持多方案比选功能,设计单位可在虚拟模型中模拟不同设计方案的成本构成,直观展示各方案的成本差异,辅助设计优化决策;施工单位也可基于模块提供的成本数据,制定更合理的施工组织计划,确保预算编制与施工实际紧密衔接。

3.2.2 预算执行监控模块

预算执行监控模块借助数字孪生技术包括进度数据、成本数据、资源消耗数据等,并将这些数据实时传输至数字孪生平台。在数字孪生平台上,物理施工过程与虚拟模型实现同步映射,管理人员可以直观地看到预算执行情况与实际施工情况的对比。模块内置了预算执行分析模型,能够自动计算实际成本与预算成本的偏差,并生成偏差分析报告。同时,该模块还支持对预算执行情况进行多维度分析,如按时间维度分析预算执行进度,按成本要素维度分析成本构成及变化趋势等,为管理人员提供全面的预算执行信息,助力其做出科学决策。

3.2.3 动态调整模块

动态调整模块是数字孪生技术驱动下建筑项目全面预算动态管控体系中的关键环节,其核心功能在于根据预算执行监控模块反馈的实时数据,结合项目内外部环境变化,对预算进行及时、精准的动态调整。该模块通过数字孪生平台实时接收来自施工现场的进度、成本、资源消耗等多维度数据,并利用内置的智能分析算法,对预算执行情况进行深度剖析。当发现实际成本与预算成本出现偏差,或项目环境发生重大变化时,模块会自动

触发预算调整机制。

3.2.4 风险预警模块

风险预警模块基于数字孪生技术的强大分析能力,构建了一套全面、精准的预算风险预警体系。该模块首先整合了预算执行监控模块采集的实时数据,以及来自市场、政策、环境等多渠道的外部信息。这些指标不仅涵盖成本超支、进度滞后等传统风险,还纳入材料价格波动、政策调整、自然灾害等潜在风险因素,实现风险识别的全面性。此外,风险预警模块还支持风险演化模拟功能,管理人员可以在虚拟模型中模拟不同风险情景下的预算执行情况,提前制定应对策略,有效降低预算风险对项目整体效益的影响。

3.2.5 协同管理模块

协同管理模块依托数字孪生平台构建的统一数据中枢,实现了建筑项目全生命周期各参与方的高效协同。该模块整合建设单位、设计单位、施工单位、监理单位及材料供应商等各方的信息系统,实现预算信息、施工进度、质量数据等多源信息的实时共享与交互。设计单位可通过协同管理模块实时获取成本数据与施工可行性反馈,在保证设计质量的同时优化成本构成;建设单位可基于模块提供的多方案比选功能,直观对比不同设计方案的成本效益,辅助决策。监理单位通过模块实时监控预算执行与施工进度,当发现超支风险或进度偏差时,可立即协调各方采取纠正措施。

3.3 关键技术集成

3.3.1 BIM 与数字孪生融合技术

BIM 技术为数字孪生虚拟模型的构建提供了几何基础与属性信息,通过将 BIM 模型与数字孪生平台融合,实现虚拟模型的精细化与动态化。具体而言,利用 BIM 技术构建项目的三维几何模型,并将模型中的构件信息与预算数据关联,形成“模型-数据”一体化的虚拟镜像。同时,通过 BIM 技术的碰撞检测功能,在设计阶段提前发现图纸冲突,减少施工阶段的设计变更,降低预算调整风险。

3.3.2 物联网与大数据分析技术

物联网技术实现施工现场数据的实时采集,为预算管控提供“实时数据源”;大数据分析技术则对采集的海量数据进行深度挖掘,提取有价值的信息。物联网技术通过在施工现场部署各类传感器,如温度传感器、湿度传感器、压力传感器、位移传感器等,能够实时采集施工过程中的多种关键数据。这些传感器如同项目的“神经末梢”,将施工现场的每一个细微变化都转化为可量化的数据信号,并通过有线或无线通信网络,将这些数据快速、准确地传输至数字孪生平台。大数据分析技术则扮演着“智慧大脑”的角色,它对物联网采集的海量数据进行清洗、整合、分析与挖掘。

3.3.3 人工智能与仿真技术

人工智能技术用于构建预算风险预警模型与智能决策支持系统,实现预算管控的“智能化”。例如,利用机器学习算法对历史项目数据进行训练,构建材料价格预测模型,实现材料价格的精准预测;利用自然语言处理技术对设计变更文件、现场签证单进行文本分析,自动提取变更内容与成本影响信息,减少人工处理工作量。仿真技术则通过数字孪生虚拟模型模拟不同预算方案的执行效果,为管理人员提供决策参考,实现预算管控的“前瞻性”。

4 体系推广应用的保障措施

4.1 技术保障

加强数字孪生技术与建筑行业的深度融合研发,突破 BIM 模型与数字孪生平台的无缝对接、海量数据实时处理等关键技术瓶颈。建立行业统一的数据标准与接口规范,推动物联网设备、传感器等硬件设备的标准化适配,确保不同项目、不同参与方的数据互通共享。搭建行业级数字孪生预算管控云平台,提供模块化、可定制的技术服务,降低中小企业技术应用门槛。

4.2 制度保障

建筑企业应建立健全数字孪生技术应用相关的管理制度,明确各部门在预算管控体系中的职责分工、工作流程与考核标准。制定数据安全规范,加强施工现场数据采集、传输、存储过程中的安全防护,防止数据泄露、篡改。建立预算管控体系应用的激励机制,对在技术应用、成本节约等方面表现突出的团队或个人给予奖励,激发全员参与积极性。

4.3 人才保障

构建“高校-企业-行业”三位一体的人才培养体系,高校增设数字孪生技术、建筑预算管理等交叉学科课程,培养复合型专业人才;企业开展内部培训,组织员工学习数字孪生平台操作、数据分析等技能,提升现有人员专业素养;行业协会搭建交流平台,举办技术研讨会、技能竞赛等活动,促进人才交流与能力提升。同时,引进国内外高端技术人才与管理人才,充实人才队伍,为体系推广应用提供智力支持。

5 结语

数字孪生技术驱动下建筑项目全面预算动态管控体系的构建,为建筑行业预算管理带来了革命性变革。该体系通过深度融合数字孪生、BIM、物联网、大数据、人工智能等前沿技术,实现了预算编制精准化、执行监控实时化、动态调整智能化、风险预警前瞻化以及协同管理高效化,有效解决了传统预算管控中存在的诸多痛点问题。在实际应用中,该体系不仅显著提升了建筑项目的预算管控水平,增强了项目的抗风险能力,还通过全生命周期的协同管控,促进了项目各参与方之间的高效沟通与协作,为

建筑项目的高质量实施与整体经济效益提升提供了有力保障。

[参考文献]

- [1]李忠.建筑工程成本的影响因素及控制策略[J].销售与管理,2024(29):117-119.
- [2]胡文麟.建筑工程施工中的造价成本控制策略分析[J].中国招标,2024(10):163-165.
- [3]邓捷.房屋建筑工程成本控制策略研究[J].房地产世界,2024(11):101-103.
- [4]李鹏,仇海云.建筑工程成本优化及控制策略[J].新城建科技,2024(4):180-182.

作者简介：张璐（1988—），女，汉族，辽宁沈阳人，大学本科，会计师，沈阳运为市政建设工程有限公司，研究方向：数字孪生赋能建筑预算动态管控。