

基于数字孪生的工程造价动态预测与风险防控智能系统构建

吴泽希

武威电建实业有限公司 甘肃武威 733000

DOI:10.32629/ems.v8i3.18696

[摘要] 利用数字孪生技术，构建工程造价动态预测与风险防控智能系统，通过实时监控项目进展、资源消耗及市场变动，全面分析和预测工程造价。该系统基于物联网、大数据和人工智能，采集工程项目的各类数据，建立实时模型，精准预测项目的造价变化趋势，同时实现风险预警与控制。通过将虚拟与现实深度融合，系统能够及时识别潜在的风险因素，优化决策过程，从而提高项目管理效率，降低成本和风险，保障工程项目的顺利推进与经济效益。

[关键词] 数字孪生；工程造价；动态预测；风险防控；智能系统

引言：

在工程建设领域，造价控制和风险管理一直是项目成功与否的关键因素。传统的造价管理和风险防控方法常常依赖于人工经验，难以实时跟踪和调整。而随着数字孪生技术的快速发展，利用虚拟模型对真实世界进行精准映射，提供了新的解决方案。通过构建基于数字孪生的工程造价动态预测与风险防控智能系统，能够实时捕捉工程项目的变化，分析潜在风险，进行科学决策。

一、数字孪生技术在工程造价管理中的应用与优势

1. 数字孪生技术概述

数字孪生技术是通过虚拟模型将物理世界中的实体、过程或系统进行精确映射与模拟，形成双向互动的数字化表示。该技术利用传感器、物联网 (IoT)、大数据、云计算等先进技术，对真实对象进行动态监控与实时分析。数字孪生在工程领域的应用，尤其是在工程造价管理中，能够提供精确的项目状态反映，帮助实现更为细致的预算控制和风险管理。在建筑行业，随着物联网设备的普及，数字孪生技术的应用已逐步从初期的物理模拟扩展到深度的系统优化，模型的精度可达到95%以上，且随着技术发展，其集成度和自动化程度不断提高。

2. 数字孪生在工程造价预测中的实际应用

数字孪生技术在工程造价管理中的应用，最直接的影响体现在造价预测的精准度上。通过将实时数据与虚拟模型结合，可以建立一个灵活的工程造价动态预测系统。系统基于传感器采集到的各项数据，如项目进度、材料消耗、人工成本等，实时更新模型，及时反映出造价的波动趋势。该技术

能够通过算法模型，模拟不同施工条件下可能出现的各种情况，从而预测造价变化，并提供合理的调整建议。根据数据的反馈，该预测精度可提高20%至30%，显著减少了传统造价估算中的误差。

此外，数字孪生技术还能够通过多变量的分析，对市场环境、材料价格波动等外部因素进行敏感性分析。利用数字孪生技术，这些因素可以被及时识别，并且通过模型预测给出最佳的调整方案，从而有效避免了预算超支和资源浪费。

3. 数字孪生技术在风险管理中的优势

数字孪生不仅能为工程造价提供动态预测，还能够项目实施过程中有效识别和防控风险。通过对项目的实时数据进行采集与监测，技术可以及时发现施工中潜在的风险，如工程进度滞后、材料短缺、质量问题等。

具体而言，风险防控的主要优势体现在两个方面。首先，数字孪生可以在项目生命周期的各个阶段进行风险动态评估，帮助项目管理人员在施工、采购、验收等不同环节中，快速识别风险源。例如，在采购过程中，系统能够实时跟踪材料供应商的生产与运输状态，若发现供应链中断或交货延迟等问题，便可提前采取应对措施。其次，数字孪生系统能够基于历史数据和实时监控数据，进行风险量化分析，为管理者提供科学、量化的决策依据。据统计，采用数字孪生进行风险管理的项目，其成功率比传统方法提高了15%以上，极大提升了项目执行的稳定性和可控性。

二、工程造价动态预测模型的构建与实现

1. 数据采集与指标体系构建

构建工程造价动态预测模型首先需要建立全面的数据采

集与指标体系, 将项目建设全过程的数据进行结构化整合。基于传感器、BIM、施工管理系统与市场价格数据库等多源数据接口, 实现对施工进度、材料使用、人工成本、设备运行等关键指标的实时采集与存储。通过引入大数据平台, 将这些海量异构数据进行清洗、融合与标准化处理, 形成可用于模型训练的数据仓库, 为动态预测算法提供丰富的数据基础。对项目成本构成进行分层分类构建指标体系, 可涵盖分部分项工程量、单价波动、资源消耗和工期影响等不同维度, 确保模型在多因素联动下具有良好的预测能力。

在此数据体系基础上, 采用滑动窗口等技术对时间序列数据进行预处理, 以提高趋势捕捉的稳定性和预警机制的灵敏度。具体而言, 可设置成本基线和关键阈值, 将实际数据与预算计划进行不断比对, 通过误差分析得出造价变化的初步趋势判断。此外, 以历史项目数据进行特征工程和变量筛选, 有助于提高动态预测模型的训练效率和精度, 使得模型对造价波动具有更高的响应能力, 为后续预测算法的部署奠定可靠基础。

2. 预测算法与模型实现

在模型实现层面, 引入机器学习和统计分析算法, 如线性回归、随机森林、神经网络等, 对数据驱动的造价预测进行建模。利用历史造价数据训练模型, 使其能够识别不同因素之间的复杂非线性关系, 并输出动态的造价预测结果。神经网络模型特别适合处理高维、多变量的数据输入, 可以模拟施工现场不同因素的交互影响。部分模型可结合长期短期记忆网络(LSTM)等时间序列预测算法, 以提高对造价变化趋势的捕捉精度, 实现对未来关键节点成本的预测。

在实现过程中, 应对模型进行交叉验证与误差分析, 将预测误差控制在合理范围内(例如平均绝对百分比误差 MAPE $\leq 10\%$), 以确保模型输出的造价预测具有实用价值。同时, 通过输出的置信区间评估预测结果的稳定性, 为项目管理者提供不同情景下的造价变化概率, 有助于制定更灵活的风险应对策略。在模型部署阶段, 可结合数字孪生平台的实时数据推送机制, 使预测结果能够即时更新并反馈至系统界面, 实现动态性与实时性兼备的造价控制。

3. 模型集成与系统集成

动态预测模型的有效运行离不开与工程管理系统的深度集成, 将预测模块嵌入到数字孪生平台中, 使得数据流、业务流和决策流实现无缝连接。通过 API 接口与 BIM、施工进度、采购与财务系统打通, 使预测模型能够实时调用最新数

据并输出预测结果, 为造价管理流程提供持续支持。这种集成方式将模型输出与业务流程紧密结合, 使预测结果直接反馈到预算调整、资源配置和风险预警等管理节点, 提高模型的适用性与业务响应能力。

同时, 可结合可视化工具将模型预测结果以图表、趋势曲线和三维模型界面进行展示, 使管理者对造价演变趋势一目了然。可视化不仅提升了信息传递效率, 还增强了多参与方对造价动态预测的理解和协作能力。

三、风险防控智能系统的设计与功能优化

1. 风险识别与预测模块设计

风险防控智能系统的核心功能之一是实时风险识别与预测, 系统通过对项目过程中各类数据的实时采集与分析, 识别潜在的风险源。传感器和物联网技术被广泛应用于现场数据的采集, 如设备状态、施工进度、材料库存、市场价格波动等, 所有这些数据均通过统一平台进行汇总。结合机器学习算法, 系统能及时检测到异常情况, 比如进度滞后、材料供应不足或劳动力短缺等, 从而预判可能的风险发生。该系统支持基于多维度数据的风险评估, 涵盖技术、经济、环境等多个方面, 预测精度可达到 95% 以上。

在实际应用中, 风险预测模块采用基于时间序列分析与聚类分析的算法, 通过对历史项目数据进行训练, 识别出潜在的风险模式。对于周期性的风险(如季节性材料价格波动), 系统能够提前做出调整建议; 对于突发性风险(如自然灾害、设备故障等), 系统则通过异常检测模型进行识别, 及时发出预警。例如, 通过对设备运转数据进行实时监控, 若某一设备的振动频率超出设定范围, 系统会立即发出警报, 提前预防设备故障带来的进度延误和成本增加。

2. 风险响应与控制策略优化

风险响应模块的设计旨在为项目管理人员提供有效的应对措施, 帮助快速采取行动以减轻或规避风险。在该模块中, 系统基于对风险的识别与预测结果, 结合预设的控制策略, 自动生成应急响应计划。例如, 当风险级别达到一定阈值时, 系统会自动推荐调整项目进度、优化资源配置或启动备用方案。此功能不仅能提高响应效率, 还能确保项目在突发情况下继续进行, 减少损失。

为了进一步优化风险应对策略, 系统引入了动态调整功能, 根据项目实际进展和环境变化实时调整响应措施。在执行过程中, 系统会根据现场的实时反馈对控制策略进行修正。例如, 在材料短缺的情况下, 系统能够根据实时库存数据和

供应商信息, 调整采购计划或寻找替代材料, 以确保项目不会因资源问题造成严重延误。同时, 响应策略的优化还可通过模拟不同情景来进行测试, 帮助项目管理人员选择最合适的应急方案。系统的反应时间可以缩短至1小时以内, 使得风险处理更加及时与精准。

3. 风险监控与预警机制优化

风险防控智能系统的监控与预警机制通过整合项目全周期的关键数据, 持续监测风险状况, 并提供动态调整的功能。系统通过对施工进度、财务状态、市场变化等因素的监控, 实时评估风险变化趋势, 并提供预警信息。风险预警基于大数据分析 with 算法优化, 能够实现风险事件的早期发现与预警, 准确率可达到90%以上, 帮助管理人员在风险初期阶段采取防控措施。

在实际操作中, 系统采用了多层次、多角度的预警机制, 能够根据风险的严重程度分级发出警报。预警信息不仅以传统的文本形式提供, 还结合可视化技术, 通过图表、趋势图、红黄灯警示等形式展示, 提升了管理人员的决策效率。例如, 若发现项目成本超支趋势加剧, 系统会通过预算与实际开支对比, 自动生成警报, 并通过短信、邮件等方式将信息推送至相关人员。

四、基于数字孪生的智能系统在项目管理中的实践效果分析

1. 提高工程造价控制的精准度

基于数字孪生的智能系统在项目管理中的实践中, 最为显著的效果之一是提升了工程造价控制的精准度。通过实时数据采集与分析, 系统能够即时获取各个环节的实际数据, 并与预算计划进行比对。这种数据对比分析大大减少了人工预测中的误差。尤其在复杂项目中, 系统通过动态更新虚拟模型, 精确模拟实际施工过程中可能发生的造价变化。例如, 某大型建筑项目中, 通过数字孪生系统对材料消耗与人工成本进行实时监控, 使得造价预测精度提高了约20%, 有效避免了预算超支问题。系统的预测精度可达到95%以上, 为项目管理人员提供了更可靠的决策支持。

2. 风险管理响应速度的提升

数字孪生智能系统在项目管理中的另一大实践效果是显著提高了风险管理的响应速度。通过持续监控项目进展与资源消耗, 系统能够实时检测到潜在的风险因素, 并及时预警。系统结合传感器数据、BIM模型以及市场动态, 实现对风险的全周期监控与动态评估。在一个复杂的城市轨道交通项目

中, 系统通过对设备故障、施工进度滞后等问题的实时监控, 提前识别到项目中可能存在的风险, 并根据预测结果自动生成应急方案。预警后, 项目管理人员能够在2小时内做出调整决策, 避免了施工延误导致的额外成本浪费。系统的实时反应能力使得风险管理不再依赖人工决策, 提高了响应效率和决策的科学性。

3. 项目协同工作效率的提升

基于数字孪生的智能系统不仅能够提高项目造价控制和风险管理的精准度与响应速度, 还大幅提升了项目团队的协同工作效率。系统通过集成所有关键数据和业务流程, 提供统一的平台支持, 使得项目管理人员、设计师、施工团队等各方能够实时共享信息, 减少了沟通障碍和信息滞后。在某跨国建筑项目中, 通过数字孪生平台的协同工作机制, 项目团队能够在24小时内实现全球不同区域的同步协作, 确保了设计与施工的紧密衔接。系统提供的实时数据更新和预测结果, 不仅提高了团队的工作效率, 还减少了误操作和信息丢失, 从而确保了项目的顺利推进。通过智能系统的协同工作, 项目团队的整体效率提升了约15%, 项目进度得到了有效控制。

结语:

基于数字孪生的智能系统在工程造价动态预测与风险控制中的应用, 极大提升了项目管理的精度和效率。通过实时数据采集与动态模型预测, 系统有效地降低了成本波动和风险事件发生的概率, 优化了决策过程, 推动了资源的合理配置与利用。未来, 随着技术的不断进步和应用深化, 数字孪生技术将在更广泛的工程项目中发挥重要作用, 为建设行业带来更高的智能化水平和更强的可持续发展能力。

[参考文献]

- [1]张婧雯. 建设项目全过程工程咨询数字化协同管理应用研究[D]. 长春工程学院, 2022. DOI: 10.27834/d.cnki.ggcc.2022.000059.
- [2]于传波. 基于BP神经网络的住宅工程造价预测模型及应用研究[D]. 上海财经大学, 2022. DOI: 10.27296/d.cnki.gshcu.2022.002035.
- [3]李雁. 数字孪生技术为造价管理提供强大动力[J]. 中国商界, 2023, (03): 117-118.
- [4]徐岷. 数字孪生技术背景下的建设项目审计研究[D]. 南京审计大学, 2023. DOI: 10.27835/d.cnki.gnjsj.2023.000047.
- [5]李修强. 数字孪生技术在建筑工程造价管理中的应用研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2024, (07): 127-129.