

Design and application of dynamic early-warning system for project cost based on BIM and big data

Siwei Yu

Jiangxi Province Construction Engineering Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330046, China

Abstract

With the expansion and increasing complexity of construction projects, cost management faces unprecedented challenges. However, traditional methods relying on manual accounting and subjective judgment not only lead to fragmented data but also cause information delays, resulting in untimely detection of cost deviations and ultimately triggering risks such as project cost overruns and schedule delays. BIM technology, with its features like parametric modeling and information integration, provides a visual platform for cost management that enables full-process data correlation from design to construction. Combined with big data analytics, it can deeply mine massive engineering data to identify hidden cost risk patterns. Integrating these two technologies into dynamic cost early warning systems will inevitably break through the limitations of traditional management models, directly achieving an upgrade to “data-driven decision-making” management.

Keywords

BIM; big data; project cost; dynamic early warning system; cost control

基于 BIM 与大数据的工程造价动态预警系统设计与应用

喻思伟

江西省建工集团有限责任公司，中国·江西 南昌 330046

摘 要

随着建筑工程规模的扩大和复杂性提升，工程造价管理面临着前所未有的挑战。传统的工程造价管理依赖于人工核算和经验判断，容易导致数据分散和信息滞后，进而使造价偏差的发现不够及时，引发项目成本超支、进度延误等风险。而 BIM 技术以其参数化建模、信息集成化等特点，为工程造价管理提供了可视化的平台，能实现从设计到施工的全流程数据关联。加之大数据技术，则能够对海量工程数据进行深度挖掘，从中识别出隐藏的造价风险规律。若干将两者融合应用于工程造价动态预警，必然能够打破传统管理模式的局限性，直接实现“数据驱动决策”的管理升级。

关键词

BIM；大数据；工程造价；动态预警系统；成本控制

1 引言

在建筑行业快速发展的背景之下，工程造价的精准管控成为了项目成功的关键。传统工程造价管理模式存在着数据滞后、预警不及时等问题，难以适应复杂项目的动态变化。所以本文设计了一种基于 BIM 与大数据的工程造价动态预警系统，该系统整合了 BIM 技术的可视化建模能力与大数据的数据分析优势，可以实现工程造价的实时监控与动态预警。

2 系统架构设计与技术融合方法

基于 BIM 与大数据的工程造价动态预警系统需实现“数

据 - 模型 - 应用”的三层架构融合，即通过技术协同构建一体化的管理平台。此架构直接打破了传统工程造价管理中数据孤岛的局限，实现了从数据采集、处理到决策应用的全流程贯通。

基础层主要采用了 BIM 平台作为数据载体，再依托于 Revit、ArchiCAD 等建模软件建立起包含了造价信息的参数化模型。而参数化建模的核心在于将工程实体的几何特征与造价属性进行绑定，例如一根混凝土柱的模型不仅包含了直径、高度等几何参数，还关联着混凝土强度等级、钢筋配筋率、浇筑工艺等影响造价的关键信息。如果想要实现工程造价与实体构件的关联映射，就需要将工程量清单、材料价格、工序耗时等数据嵌入到 BIM 模型的构件属性之中，使每个构件都成为“信息单元”。以钢筋构件为例，其 BIM 模型中除了包含着材质（HRB400E）、规格（Φ25mm）等几何信息外，还关联了每吨钢材的市场价格（如 4800 元/吨）、

【作者简介】喻思伟（1993-），男，中国江西吉安人，本科，工程师，从事工程造价研究。

采购周期(7天)、安装人工成本(80元/工日)等造价数据。上述这些数据通过属性面板就能实时地进行查看,当市场价格波动时,只需更新属性值即可自动地关联后续的造价计算,进而为动态计算奠定了坚实的基础^[1]。

此时作为系统的“数据中枢”,大数据平台采用了Hadoop分布式架构以实现海量数据的存储与处理。该架构由HDFS(分布式文件系统)、MapReduce(分布式计算框架)和YARN(资源管理器)组成,HDFS在当中负责将海量数据分割成128MB的块,并存储在不同节点的服务器中,单节点的存储容量可达10TB以上,且支持PB级数据扩展。而为了满足动态预警的实时性需求,在系统当中引入了Spark计算框架,其基于内存的计算模式比传统MapReduce快10-100倍。

在技术融合层面,则通过API接口实现了BIM模型与大数据平台的双向交互。但这种交互并非简单的数据传递,而是建立在统一数据标准基础上的深度协同。一方面会开发基于IFC(工业基础类)标准的数据转换插件,该插件通过解析BIM模型的IFC文件,得以提取构件的ID、类型、几何参数、材质等信息,并且还会按照预设的数据字典转换为结构化数据,然后同步地至大数据平台的关系型数据库(如MySQL)和非关系型数据库(如MongoDB)。另一方面大数据平台的分析结果也可通过插件反馈至BIM模型,接着在Revit等软件中以颜色梯度标注造价超支区域,同时在属性面板中关联超支的原因分析,以此实现数据的可视化预警。

3 多维度数据采集与整合方法

数据的全面性与准确性是动态预警系统有效运行的前提,因此系统要通过多渠道、多类型的数据采集与整合方法,构建起完整的工程造价数据库^[2]。该过程如同为系统搭建“神经网络”一般,旨在确保每个环节的信息都能被精准地捕捉并有效利用。

就数据采集方面来说,建议采用“自动采集+人工录入”相结合的方式,能够兼顾效率与灵活性。此时建材市场价格、定额标准等结构化数据均能够经过Python编写的网络爬虫程序从行业网站(如中国建材网、造价通、广材网)实时抓取。为了确保数据的准确性,程序还会对同一材料的不同供应商报价进行加权平均(权重按供应商信誉度分配),并与前一天的价格比对,若波动幅度超过5%将标记为“价格异动”。之后这些数据统一通过ETL(抽取-转换-加载)工具自动地匹配至BIM模型对应的构件属性中,例如将 $\phi 12\text{mm}$ 圆钢的当日价格4680元/吨写入所有使用该型号钢筋的构件属性,且更新关联的造价计算式。

针对于施工过程数据,则利用了物联网(IoT)设备来实现全流程的自动采集。比如在塔吊上安装的北斗定位传感器,每30秒记录一次工作幅度、起重量和回转角度,再结

合预设的台班费标准(如800元/台班)自动地计算出机械使用费;而混凝土泵车的流量计每1分钟上传一次浇筑量数据,用于实时地统计各施工段的混凝土消耗。在建材跟踪方面,则采用的是RFID电子标签技术,即每批进场的钢筋、模板等材料都会粘贴有无源RFID标签(成本约0.5元/个),同时在施工现场入口、仓库门口安装RFID读卡器,当材料通过时便会自动地记录下进场时间、数量和规格。

除此之外,还有非结构化数据的采集,一般会聚焦于合同文本、变更签证、现场影像等资料,对此能够通过技术手段实现信息的结构化^[3]。以合同文本为例,借助OCR文字识别技术(识别准确率达98%)便能将纸质合同扫描件转换为可编辑的文本,再通过自然语言处理(NLP)的命名实体识别算法,从中提取合同金额、付款节点、变更条等关键信息,再存储至大数据平台的MongoDB文档数据。对于现场影像数据,可以每周三次利用大疆精灵4无人机对施工区域进行航拍,进而获取分辨率为0.05m/像素的高清照片,然后在Pix4D软件当中生成三维点云模型,再结合BIM模型的构件坐标,就能计算出各施工段的完成比例。

4 动态预警模型构建与阈值设定方法

系统的核心功能模块之一就是预警模型,经由融合统计分析与机器学习算法,就可以实现工程造价偏差的精准识别。该模型像系统的“大脑”一般,既能实时地监控当前造价状态,又能预测未来的风险。

4.1 预警模型采用挣值分析法(EVM)

基于时间维度的预警模型采用挣值分析法(EVM),这一方法通过三个关键指标的动态计算实现了进度与成本的联动监控。展开来说:已完成工作预算费用(BCWP)是指已完成工作按计划单价计算的费用,如某项目第3个月完成了480万元的工程量(按投标单价计算);计划工作预算费用(BCWS)则是指计划应完成工作的预算费用,该月计划完成500万元;而已完成工作实际费用(ACWP)是指已完成工作所花费的实际成本,为520万元。基于公式便能计算得出:成本偏差 $CV=BCWP-ACWP=480-520=-40$ 万元(负值表示超支),而进度偏差 $SV=BCWP-BCWS=480-500=-20$ 万元(负值表示滞后)。当CV的绝对值超过了预算的5%(即 $500 \times 5\%=25$ 万元)时,系统就会自动触发一级预警,并生成包含偏差率($-40/480 \approx -8.3\%$)、影响因素(如钢筋价格上涨3%、窝工2天)的分析报告,还会将报告推送至项目管理人员的工作台。

4.2 空间维度的预警模型

空间维度的预警模型则依托于BIM模型的构件分解能力,得以实现造价偏差的精准定位。此模型将项目按“单位工程(如商业楼)-分部工程(如主体结构)-分项工程(如梁、板、柱)”进行三级结构分解,其中的每个层级都会设置对应的预算造价。之后采用层次分析法(AHP)计算出各构件

的造价权重,再通过邀请5位资深造价工程师对不同构件的重要性进行打分,以此构建判断矩阵并计算权重值。一般在高层建筑之中,主体结构权重占比约60%(其中柱25%、梁20%、板15%),装饰工程占到20%左右,安装工程也占20%。若某一楼层5轴梁的实际造价为12万元,预算造价却为10万元,也就是超支20%(超过10%的预警线)时,系统就在BIM三维视图以红色高亮显示该梁,并经过关联的材料消耗数据和人工记录,分析出超支原因。

4.3 机器学习模型

实践中机器学习模型主要被用于预测造价偏差趋势,其采用了随机森林算法构建预测模型^[4]。通常模型的训练数据来自于过去5年的120个同类项目(如建筑面积8-15万m²的商业综合体),从中提取了15个特征变量,即工程量(万m³)、地质条件、工期(天)、主材价格波动指数、施工季节等等。接着经过10折交叉验证(将数据分为10组,轮流用9组训练、1组测试)来优化模型参数,最终确定决策树数量为200棵,叶子节点最小样本数为5,该模型预测的准确率达87.3%。不仅如此,模型每7天还会自动地进行一次更新,在更新时会采用滑动窗口机制纳入最新的30天数据。如果预测未来30天的造价偏差值会超过预警阈值时,将提前向相关人员发出趋势预警。

4.4 设定预警阈值

预警阈值的设定一般建议采用“动态调整”机制,如此才能兼顾行业标准与项目特性。而该机制需要根据《建设工程项目管理规范》(GB/T50326-2017),再结合项目类型的差异化进行设置,同时阈值还会随着施工阶段发生动态的变化。

5 系统功能实现与应用流程设计

系统经由模块化设计能够实现造价动态预警的全流程管理,其主要功能包括了模型构建、数据监控、预警处置和效果评估,且各个模块是既独立运行又协同联动的关系。

首先是在模型构建模块,提供了两种建模方式。一是导入CAD图纸自动建模,系统内置的图纸识别引擎可以解析AutoCAD等格式的图纸,从中提取轴网、墙体、柱等构件信息,并在10分钟内生成与BIM模型关联的工程量清单。以某办公楼项目为例,施工人员导入了一层平面图(含15个房间、8根柱)后,系统自动地计算出了混凝土用量28.5m³、砌筑工程量42m²,并且根据当地2023年三季度定额(如C30混凝土480元/m³)计算出分项造价,还生成了预算明细表。二是直接在系统内置的轻量化BIM编辑器中进行建模,该编辑器支持拖拽式操作,也提供了常用构件库(如标准柱、梁、板),用户只需要输入尺寸参数即可生成模型,且建模过程中会自动地关联造价数据库,为操作者实时地显示出构件造价。当模型建好后还支持版本管理,也就是每次修改都会生成新版本并记录变更的内容^[5]。

其次是在数据监控模块采用“实时看板+异常提醒”

的方式,旨在打造出可视化的管理中心。具体而言:系统首页左侧的BIM三维视图,会按“正常(绿色)-预警(黄色)-超支(红色)”显示各构件造价状态,还支持旋转、缩放和构件隔离,点击某根红色柱子即可查看详细的信息。右侧的数据看板则采用了ECharts图表展示20项核心指标,其中涵盖了累计造价趋势图、偏差率排行榜、材料损耗率饼图、机械利用率柱状图等等,相关的数据每5分钟就会自动地进行刷新。如果出现异常数据时,系统将通过三重渠道向施工人员推送预警信息:一是向项目总工的手机发送短信,二是在企业微信公众号推送预警通知,三是在系统客户端弹出提示窗口。

最后便是预警的处置流程,建议设计为“分级响应”机制,以此能够确保风险被快速化解。其中,一级预警(超支≥8%)由项目总工牵头成立处置小组,保障在24小时内提交整改方案;二级预警(5%≤超支<8%)则由造价工程师进行处理,务必在48小时内反馈结果。

6 结语

基于BIM与大数据的工程造价动态预警系统通过技术融合与流程优化,成功地实现了工程造价从“事后核算”向“事前预警、事中控制”的转变。该系统的核心价值在于,借助BIM的可视化与大数据的预测能力,打破了传统造价管理的信息壁垒,使造价风险能够被及时地识别、精准定位和有效处置。现阶段在实际应用之中,系统展现出三方面显著优势:一是数据处理效率提升60%以上,解决了海量数据处理的时效性问题;二是预警准确率达到85%以上,减少了无效预警对管理工作的干扰;三是通过提前干预,平均可降低项目造价偏差3%-5%,证明其经济效益显著。

未来该系统可进一步融合物联网、区块链等技术,以提升数据采集的自动化程度和信息可信度。同时还需与加强移动端应用开发,进而实现现场管理人员的实时协同,持续地推动工程造价管理朝向“智慧化、精细化”方向发展。

参考文献

- [1] 中诚诚信工程咨询集团股份有限公司.工程造价的实时动态跟踪方法及装置:CN116029547A[P/OL].2023-04-28[2025-07-31].
<https://www.cqvip.com/doc/patent/2705055715>.
- [2] 上海上咨协实工程顾问有限公司.工程结算全过程造价管理方法、系统、设备及存储介质:CN119477447A[P/OL].2025-02-18[2025-07-31].
<https://www.cqvip.com/doc/patent/3479282629>.
- [3] 昆明行列科技有限公司.一种工程造价数据计算管理系统及方法:CN119624559A[P/OL].2025-03-14[2025-07-31].
<https://www.cqvip.com/doc/patent/3481707624>.
- [4] 上海上咨工程造价咨询有限公司.一种基于BIM的工程造价动态风险预警系统:CN117557096A[P/OL].2024-02-13[2025-07-31].
<https://www.cqvip.com/doc/patent/3338657408>.
- [5] 龚雪.基于信息化技术的建筑工程成本控制机制研究[J].中小企业管理与科技,2024,(21):113-115.