

基于大数据的工程监理质量控制方法研究

刘 川

南漳玉印建设项目管理有限公司, 湖北 襄阳 441500

[摘要]工程建设监理作为工程项目管理的重要环节,其质量控制效能直接影响工程质量与投资效益。传统监理模式受限于抽样检查与经验决策,难以满足现代工程全生命周期、全要素质量管控需求。大数据技术的 5V 特征为工程监理提供了全量数据分析能力,推动监理工作从事后验收向事前预控、事中动态管控转型。研究系统梳理大数据技术与工程监理质量控制的理论融合机制,分析传统监理模式在数据采集、信息传递、决策支持等方面的局限性,提出基于大数据的工程监理质量控制四层架构体系。重点探讨工程质量数据智能分析方法、施工过程实时监测与动态控制方法、质量风险预测与预警方法三类关键技术。研究表明,融合物联网、BIM 与机器学习技术的监理质量控制体系,能够实现质量问题的实时发现与主动预警,显著提升监理工作的科学性与效率。

[关键词]工程监理; 质量控制; 大数据; 智能分析

DOI: 10.33142/sca.v9i6.19810

中图分类号: TU712.4

文献标识码: A

Research on Quality Control Methods for Engineering Supervision Based on Big Data

LIU Chuan

Nanzhang Yuyin Construction Project Management Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441500, China

Abstract: As an important part of project management, engineering construction supervision has a direct impact on the quality control effectiveness of engineering and investment benefits. The traditional supervision mode is limited by sampling inspection and empirical decision-making, making it difficult to meet the requirements of modern engineering's full life cycle and all factor quality control. The 5V feature of big data technology provides comprehensive data analysis capabilities for engineering supervision, promoting the transformation of supervision work from post acceptance to pre control and dynamic control during the process. Research the theoretical integration mechanism of big data technology and engineering supervision quality control, analyze the limitations of traditional supervision mode in data collection, information transmission, decision support, etc., and propose a four layer architecture system for engineering supervision quality control based on big data. The focus is on exploring three key technologies: intelligent analysis methods for engineering quality data, real-time monitoring and dynamic control methods for construction processes, and quality risk prediction and warning methods. Research has shown that a supervision quality control system that integrates Internet of Things, BIM, and machine learning technologies can achieve real-time detection and proactive warning of quality issues, significantly improving the scientificity and efficiency of supervision work.

Keywords: engineering supervision; quality control; big data; intelligent analysis

引言

工程建设质量同人民生命财产安全和投资效益密切相关,监理是工程质量管理的重要主体,对工程质量实行控制、进度实施管理、安全进行监督、成本予以协调。随着工程项目规模变大,技术复杂度提高,传统依靠人工巡检、抽样检测、经验判断的监理方式,在数据处理能力、信息传递效率和决策科学性等方面都存在着明显的不足。施工现场大量的非结构化文本资料、传感器实时数据、

BIM 模型信息等由于缺少系统性的整合和智能分析工具,不能被用来支持监理决策。大数据技术迅速发展给破解上述困境赋予了技术支撑,促使监理质量把控由被动应对变为主动预控。

1 大数据与工程监理质量控制的相关理论

1.1 大数据技术内涵与特征

大数据是指那些无法被常规的软件工具所捕获、管理和处理的数据集合,它的主要特点可以用 5V 模型来概括。

大数据的5V特点成为技术选择的主要依据。从体量上看，PB级的数据存储需求促使分布式文件系统的发展，某视频平台使用的是对象存储架构，并且用纠删码技术把存储成本降低了40%。速度上系统要具有微秒级的延迟处理能力，某证券交易所使用低延迟的消息队列对订单进行处理，订单处理延迟不超过50μs。多样性维度是由非结构化数据而产生的多模态分析技术，某医疗影像平台用自然语言处理提取电子病历文本特征，用卷积神经网络分析CT影像，使得疾病诊断准确率提高了18%。

表1 传统数据与大数据特征对比

对比维度	传统数据	大数据
数据规模	MB/GB级	PB/EB级
数据类型	结构化为主	结构化为主
处理方式	集中式处理	分布式并行处理
分析模式	抽样分析	全量分析
时效要求	批处理（小时/天级）	实时/准实时

从技术演进的角度看，大数据处理架构由原来的批处理、实时处理和智能处理这三个阶段构成。批处理阶段以Hadoop生态系统为主，进行TB级数据的离线处理；实时处理阶段以Lambda架构为代表，把批处理和流处理结合起来；智能处理阶段是人工智能和大数据深度整合的表现。该演化脉络给工程监理领域大数据的应用赋予了技术途径参照。

1.2 工程监理质量控制基本理论

工程监理质量控制是以工程建设标准、设计文件和合同约定为依据，采用巡视、旁站、平行检验等手段，对施工过程及工程实体质量进行监督的活动。建设工程质量同工程的实用价值、投资效果以及人民群众的生命财产安全密切相关，对建设工程质量实施有效的控制，是监理工程师开展项目管理的主要任务之一。监理质量控制的理论依据有全面质量管理理论和PDCA循环方法论。全面质量管理重视全员参与、全过程控制和全要素管理，把监理工作由原来的单个质量检查扩大到设计、采购、施工、验收的全部环节。PDCA循环给监理质量控制赋予了持续改善的方法论架构，经由计划设定质量目标和控制标准，执行落实监理措施和过程记载，检查对比实际成效和预期差异，处理因问题而产生的原因并制订纠正预防措施，塑造起螺旋式上升的质量改进途径。

2 工程监理质量控制现状及问题分析

2.1 传统监理质量控制模式的局限性

传统的监理质量控制依靠人工巡检、定点抽检和经验判断，形成了项目监理机构驻场、专业监理工程师分头负

责的组织形式。该模式对于规范工程建设行为起到了历史性的推动作用，但是随着工程规模的扩大和技术复杂度的提高，其内在的不足也逐渐暴露。传统的监理模式在效率、精度、协调性方面存在着很多问题，在数据处理、信息传递、决策支持等方面，传统的方法已经不能满足需要。

表2 传统监理模式与大数据监理模式对比

对比维度	传统监理模式	大数据监理模式
数据来源	人工记录、现场抽检	物联网传感器、无人机、BIM
检查方式	定点定时抽检	实时连续监测
决策依据	个人经验、抽样结果	数据驱动、全量分析
问题发现时效	事后或事中滞后	事前预警、实时发现
信息传递方式	纸质报告、逐级上报	平台共享、实时推送

以BIM为基础的监理数字化管理，最大的优点就是把工程的整个生命周期的数据集中到三维可视化模型当中，从而使得监理工作由传统的“事后控制”转变为“事前预防”和“事中监管”，最终达到提高效率的目的。施工图审查中出现的不同专业图纸之间碰撞的情况，一般会在施工过程中才被发现，造成返工和工期延误，但是使用BIM技术创建三维模型之后，可以在设计过程中就发现并修正出错的地方以及管线的交叉情况，从而有效地控制投资费用。

2.2 监理数据采集与应用存在的问题

监理工作中数据问题可以从采集端和应用端两方面进行分析。采集端面临的核心挑战是数据来源碎片化与非结构化。监理人员在施工现场处理大量的非结构化文本数据，即监理日志、整改通知单、检验批记录等，虽然其中包含有丰富的经验信息，但是由于没有进行系统的整理，因此不能被有效地利用。由于个人风格、行文方式的不同，在部分文本中出现了不严谨的标点符号使用情况，使得单条文本不能准确地对应到一个具体的工程问题上，监理资料部分缺失或者手续不完整的现象在实际工作中比较常见。应用端的困境表现在数据孤岛和价值埋没这两个方面。不同参建单位使用的异构信息系统造成设计、施工、监理、检测等各方面的数据不能互相流通共享。目前监理人员在施工场所面对的大量非结构化文本数据中，虽然包含着丰富的经验信息，但是由于缺乏系统的整理，因此不能被有效地利用起来。即使拥有大量的数据，但是如果缺乏健全的数据治理制度以及智能分析手段，数据资产也很难转化成监理决策的支持。

3 基于大数据的工程监理质量控制体系构建

3.1 大数据质量控制总体架构设计

基于大数据的工程监理质量控制体系用分层架构设

计,自下而上分为感知层、数据层、分析层和应用层四个层次。感知层是质量数据的来源地,有物联网传感器、无人机、视频监控、移动终端等多种类型的采集终端;数据层对各种不同的数据进行存储、清洗、整合和治理;分析层用数据挖掘、机器学习等智能算法对质量特征进行提取和模式识别;应用层根据监理业务场景给出质量监控看板和风险预警推送等功能。四层架构以数据为驱动来做出决策。感知层采集到的原始数据经过数据层的标准化处理之后,再传送到分析层中执行模型运算,最后通过应用层呈现出来。平台依靠 BIM、GIS、无人机这些技术构建立体采集网络,达成数据一次采集、多端复用的目的,塑造起结构化监理知识库和项目数据库。

3.2 工程监理数据采集与整合机制

工程监理质量数据按照结构特征可以分为三类,结构化数据为检验批验收记录、材料进场台账等,半结构化数据为监理日志、整改通知单等文本资料,非结构化数据为现场照片、视频监控录像。采用文本聚类算法对监理文本数据进行信息挖掘,得到结构化、有条理的描述。以监理整改通知单为例,同一个问题会用钢筋间距偏大、钢筋间距超标等不同的表述,文本聚类可以将这些表述归为同一个类别。数据整合机制的关键就是创建统一的监理数据标准体系。不同的来源、不同的格式的数据要经过提取、转换、加载的过程进入数据平台。数据质量保障体系分为数据采集层用区块链技术保证设备数据不可篡改、数据存储层用数据血缘分析追踪数据演变过程、数据应用层建立数据质量评估模型自动识别异常值三个层次。

3.3 质量风险识别与预警模型构建

质量风险识别与预警模型属于监理质量控制体系的主要智能驱动。施工时,带有智能预警算法的平台可以自动发现地层突变、垂直度超标、钻进异常等状况并加以分级预警,并且可以实现多方数据共享和远程协同管理,把质量监督由事后检测变成过程实时干预。质量风险预测用多层感知机等机器学习模型来对施工质量进行分类预测。经过研究得知,多层感知机模型的质量预测准确率为 94.1%, F1 分数为 0.902,说明机器学习可以用来做施工质量预测。模型训练要依靠历史数据作为监督信号,给出已有的质量问题类型和严重程度。训练完毕之后模型可以实时给新的施工参数评分,得到质量等级预测和主要风险因素排序。文本挖掘技术也可以用来做质量风险识别,检索增强生成模型可以快速找到规范条文,产生标准化的解决方案,把非公开的监理经验变成结构化的知识。

4 基于大数据的工程监理质量控制关键方法

4.1 工程质量数据智能分析方法

工程质量数据智能分析方法有描述性分析、诊断性分析、预测性分析和处方性分析这四个递进的层次。描述性分析回答了发生了什么问题,诊断性分析探究了为什么会这样发生,预测性分析预判了将要发生的问题,处方性分析给出了相应的解决办法。文本挖掘技术可以用来对监理文本资料进行分析、标准化整合,用科学的分类、科学的描述把零散的文本资料变成描述标准化的体系^[1]。监督式机器学习分类器在施工质量预测上表现出色,利用数据集中各种缺陷类别的系统评价,多层感知机模型对于质量分类预测的准确率达到了 94.1%。特征重要性分析可以量化地看出具体缺陷对质量退化、工期延误的影响程度,给检查重点、资源分配提供依据。根据这个可以对有限的资源进行分配到高风险工序、关键的质量节点上。

4.2 施工过程实时监测与动态控制方法

施工过程实时监测以物联网感知层为依托,在施工机械和作业面上布置传感器,对施工状态进行全方位的参数采集^[2]。动态控制依靠实时监测创建起偏差检测体系,偏差超出限定范围的时候就会发出控制命令,促使质量把控由离散抽检变成持续监测。桩基施工属于实时监测技术应用的典型范例。CFG 桩基施工时,地基数智化系统把物联网传感器当作核心感知层,钻机工作时可以及时获取钻进速度、电流、垂直度、深度这些重要的参数,并把这些数据经由无线网络传送到云端分析平台。在传统的模式下发现问题之后,就不能再进行修复了,在钻进过程中实时监测系统能及时发现偏差并立即调整参数,从而防止不合格桩出现。信息化技术加入之后,动态监理机制可以实时采集数据、智能分析数据和全流程监控数据,从而达到对新技术进行深度整合以及流程改善的目的。

4.3 质量风险预测与预警方法

质量风险预测和预警方法的本质是把被动应对转变为主动预控。预测方法分为统计预测和机器学习预测两种。统计预测是根据历史数据趋势进行外推,适合于质量指标有稳定规律的情况;机器学习预测可以处理高维非线性关系,在复杂的工程环境下有更强的适应能力^[3]。对施工质量及进度的准确预估应在各个项目阶段开展,保证施工项目能够及时、高质量地完成,机器学习模型可以很好地处理施工项目数据的非线性特征以及多变量的相关性。预警机制的设计要协调好灵敏度和特异性的矛盾。分级预警策略可以很好地解决这个矛盾,蓝色预警注意,黄色预警检查,橙色预警处理,红色预警停产。将机器学习同传统失

效模式和影响分析结合起来,就能创建起混合风险评价模型。使用随机森林回归法对风险优先级进行预测,得到较好的拟合优度。此方法把专家经验同数据驱动的分析融合起来,给工程监理领域的风险评价赋予了可以参照的方法论架构。

5 结语

本文主要对基于大数据的工程监理质量控制方法进行系统的论述。从理论上讲,对大数据 5V 特征同工程监理质量控制理论融合的机制进行梳理,剖析传统监理模式的不足。从体系上设计了四个层次的监理质量控制体系。从方法上提出了工程质量数据智能分析、施工过程实时监测和动态控制、质量风险预测和预警这三种主要的方法。大数据驱动的监理质量控制方法本质就是数据、信息、知识、智慧的逐步转化。该转化链条的达成,让监理质量把控由

经验依附变成数据引领,由随机抽检变成全面剖析,由事后查验转为事先预控。研究的局限主要是由实证数据的获取所造成的,后续的研究可以从联邦学习隐私计算、大语言模型文本生成、数字孪生系统创建等方向进行深入的研究。

[参考文献]

- [1]邹群山.大数据时代信息系统监理质量控制模型与评价体系构建[J].无线互联科技,2024,21(21):91-93.
- [2]马烨栋.文本挖掘驱动的工程监理智能诊断研究[J].土木建筑工程信息技术,2025,17(1):23-28.
- [3]朱林,郑骅,唐建亚,等.交通工程领域的智慧质监平台设计与应用[J].现代信息科技,2024,8(6):158-161.

作者简介:刘川(1989—),男,湖北襄阳南漳人,工程师,湖北文理学院土木工程专业毕业,现就职于南漳玉印建设项目管理有限公司,从事工程监理工作。