

# 工程质量检测数据的智能化分析与 风险预警机制研究

张钰敏

(浙江科宇检测有限公司金华分公司, 浙江 金华 321000)

**摘要** 工程质量检测数据是控制工程安全和耐久性的重要依据, 传统的分析方式存在效率低下的缺陷以及风险预判滞后的问题。本文以当前智能化技术的发展趋势为背景, 对工程质量检测数据智能化分析的技术基础进行系统阐述, 建立风险识别和评价体系, 建立科学完善的预警机制, 探究智能化系统实现途径及应用价值。通过融合机器学习、边缘计算、数字孪生等技术, 改进数据处理和分析流程, 实现对工程质量风险准确识别、动态评价、及时预警的目的, 以期为工程质量管控提供技术参考, 进而推动建筑业质量管控从传统经验驱动模式向智慧化主动防控模式转型。

**关键词** 工程质量检测; 智能化分析; 风险预警; 机器学习; 云边协同架构

**中图分类号**: TU712.3

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.14.010

## 0 引言

随着建筑业向着智慧建造迈进, 工程质量检测数据具有了海量、多源、实时化的特征, 传统的依靠人工分析、凭经验判断的质量控制方式已经不能适应行业发展的需要。工程质量隐患具有较强的隐蔽性和滞后性, 极易诱发质量事故, 造成重大人员伤亡与财产损失。因此, 建立以智能化技术为依托的质量检测数据分析及风险预警体系具有十分重要的意义。当前, 机器学习、物联网、数据可视化等技术的成熟应用给检测数据的深度挖掘和风险提前预警赋予了可能。

## 1 工程质量检测数据智能化分析技术基础

### 1.1 数据采集与预处理技术

数据采集和预处理是智能化分析的前提条件, 数据的质量决定了分析结果的可靠性。目前已经形成多源异构数据融合体系, 采用分布式无线传感网等技术对工程各个方面进行实时采集。选择传感设备时要根据工程场景进行布置, 在关键受力部位、混凝土浇筑环节设置相应的传感器, 采用无线传输技术保证数据的稳定传输。预处理采用边缘计算与云端协同架构, 边缘节点对采集数据进行实时滤波去噪、初步清洗, 有效降低云端数据处理压力与传输延迟; 云端则依托机器学习算法开展深度预处理, 通过智能修复缺失值、

精准处理异常值并保留有价值信息等操作, 为后续数据分析工作提供高质量数据支撑<sup>[1]</sup>。

### 1.2 智能化分析方法与模型

智能化分析方法和模型是数据挖掘的核心, 用算法优化来准确把握质量的规律、预测趋势。机器学习算法在工程质量检测数据分析中使用较多, 分类算法用来识别质量缺陷的种类, 回归算法用来预测质量指标的发展趋势, 聚类算法用来挖掘出潜在的质量隐患。常用的模型有随机森林等, 不同的模型在精度、效率、适用场景上有所不同, 要根据数据的特征来决定使用哪种模型。时序数据分析技术对动态数据进行STL分解、DTW算法优化来提高特征选择的准确性, 从而降低推理延迟。深度学习模型适合于对图像进行检测, 集成学习模型提高复杂数据的分析稳定性。各种模型的特点和适用场景可以比较明确地匹配起来, 形成适配逻辑。

## 2 工程质量风险识别与评估体系构建

### 2.1 风险识别方法与流程

工程质量风险识别要依靠智能化技术来实现全方位、无死角地发现隐患, 以克服传统人工识别所存在的不足。用知识图谱和机器学习相结合的方法来建立工程质量风险知识库, 收集历史质量事故案例、规范标准、检测数据等, 并利用知识图谱对风险因素进行关联分析和语义检索<sup>[2]</sup>。

**作者简介**: 张钰敏(1998-), 女, 本科, 助理工程师, 研究方向: 工程质量检测。

识别流程按照数据驱动、模型匹配、风险定位的顺序来走，首先对预处理好的检测数据做特征提取，再用施工进度、环境条件等辅助数据去匹配风险识别模型，模型通过比较知识库中已有的风险模式来识别出潜在的风险因素，即材料性能不符合标准、施工工艺有违规行为、结构受力不合理等；然后利用数字孪生模型确定风险发生的部位，确定风险的影响范围，得到风险识别报告。风险识别过程是动态更新的，在检测数据不断积累的时候，不断地修正风险模式库，提高风险识别的准确性、全面性，保证隐蔽性的风险和潜在的风险可以及时地被发现。

### 2.2 风险评估模型设计

风险评估模型以多源异构数据为输入，通过量化分析科学判定风险等级，为预警机制的精准设计提供可靠依据。模型采取层次化的构造方式，底层指标层选择材料强度这类重要的评价指标，用熵权法来确定权重避免主观偏见；中间准则层用模糊综合评价法综合分析各个维度的指标，融合定性与定量指标；顶层目标层给出的是整个风险等级。通过使用 LGBM、CatBoost 等机器学习算法来对历史风险数据进行训练，得到风险指标与后果映射之间的关系，从而可以准确地预测出风险等级。此模型具有动态调节的能力，可以根据施工阶段以及检测的数据及时地改变指标的权重大于评价的逻辑，并且能够适应工程全周期的风险评估需求，而且可以实现多场景适配，在不同的工程中修改评估指标体系。

### 2.3 风险等级划分与标准制定

风险等级的划分要遵照科学性、实用性原则，按照工程类型、结构重要性和安全规范来量化标准，保证风险等级判断的一致性可比性。按照四级标准划分，低风险、中风险、高风险、极高风险，各个等级对应具体量化指标范围和处置要求<sup>[3]</sup>。

低风险是指指标的波动在允许范围之内，不需要进行专项处理，只做常规监测即可；中风险是指指标超过预警值但是未能危及结构的安全性，需要制定出整改方案并且加强监测；高风险指的是存在明显的质

量隐患，有可能造成结构的不稳定，需要停止相关的施工工序，并且马上进行整改；极高风险属于重大质量隐患，有可能会造成结构坍塌这样的严重事故，必须全面停工，并且启动应急预案。标准的制定要按照现行规范（《建筑工程施工质量验收统一标准》）来执行，并将智能化分析的数据纳入其中，确定各个指标的临界值和判定规则，同时建立起标准动态更新机制，依照技术的发展以及工程实践反馈而对等级划分的标准进行改善，保证标准具有时效性和适应性。

## 3 工程质量风险预警机制设计

### 3.1 预警阈值设定方法

预警阈值是风险预警的核心参数，需要根据工程特性、规范标准和历史数据来科学地设置，避免因阈值定得太高而造成预警迟钝或者太低而引起误警。使用动静结合的方法来设定阈值，静态阈值根据国家规范、行业标准来定出核心指标的基准临界值，作为基本预警依据，动态阈值则用机器学习算法对历史检测数据以及质量事故案例进行分析，并结合施工阶段、环境等因素来建立动态调整模型，实时优化阈值范围。对时序检测的数据采用滑动窗口算法计算指标的变化率，并设置速率阈值来发现指标突变的风险，对于多指标耦合的场景，使用联合阈值设定的方法，利用相关性分析找出指标之间的关联关系，然后根据多个指标的联合阈值来设定预警条件。不同的阈值设定方式适应的场景、特性不同，需要根据实际情况组合使用（见表 1）。

### 3.2 预警信息生成与传递

预警信息的生成要实现精准化、结构化，保证信息传递效率高并且有针对性。根据风险评价的结果，自动产生预警信息，包括风险等级、发生部位、影响范围、风险原因、建议处置措施等主要部分的内容，用文本、图表、模型标注等形式表现出来，使不同的角色可以很快地理解。

采用多渠道协同的方式，利用云端平台、移动端 APP 以及现场声光报警器等手段来传递信息是十分明智的。该模式采用云端平台、移动端 APP、现场声光报警

表 1 工程质量风险预警阈值设定方法对比表

设定方法	设定逻辑	适用场景	误警率控制
静态阈值法	依据规范标准确定固定临界值	常规指标基础预警	中等（8% ~ 12%）
动态阈值法	结合变量实时优化阈值范围	时序数据动态监测	低（3% ~ 5%）
联合阈值法	多指标耦合关联设定条件	复杂风险场景预警	低（2% ~ 4%）
速率阈值法	基于指标变化速率设定阈值	突变风险识别	中等（6% ~ 9%）

器多渠道协同传递模式,依据风险等级实施差异化信息推送,确保重要紧急预警信息快速触达相关责任人并得到及时处置。这种多渠道协同方式能够帮助不同角色快速、准确解读复杂预警信息,显著提升信息传递的效率与精准度。

### 3.3 预警响应与处置流程

预警响应和处置流程建立闭环管理机制,保证风险得到有效控制,防止风险扩大。建立分级响应机制,按照不同的风险等级采取不同的处置办法,低风险启动常规响应,由现场监理人员进行核实,加强监测的频率;中风险启动专项响应,施工单位制定整改方案,监理单位全程监督整改,整改完毕后组织复核;高风险启动紧急响应,立刻停止相应的工序,成立专门的处置小组,制订出应急处置方案,整改完毕之后需要经过第三方检测机构来验证;极高风险启动最高的响应级别,全面停工并且启动应急预案,向行业监管部门汇报,并且召集专家对处理方式做出评价<sup>[4]</sup>。

处置流程依靠智能化平台来完成全程的控制,从预警发出、任务派发、整改实施到复核销号,所有的环节都在线记载下来,形成一个闭环管理系统,系统自动跟踪整改进度,并对整改滞后的情况发出二次预警,保证处置工作真正落实到位。

## 4 智能化分析与预警系统的实现与应用

### 4.1 系统架构设计与技术选型

系统采用的是云边协同的方式,分为感知层、边缘层、云端层、应用层四大部分,实现数据采集、处理、分析、应用全过程的协同。感知层布置各种类型的智能传感器、无人机、激光扫描仪等设备,实现多源数据采集的目的;边缘层布置边缘计算节点,对实时预处理后的数据做本地分析、即时报警,在保证实时性的条件下满足一些场景的需求;云端层采用分布式的形式,由大数据存储平台和智能分析引擎构成,利用Hadoop、Spark等技术对大量的数据进行存储,并开展深入的分析工作,经过机器学习模型训练和调优来提高分析的准确率,应用层给可视化交互、预警管理、协同办公等提供功能模块,满足不同角色不同的需求。

技术选择遵照稳定性、扩展性和兼容性的准则,后端使用SpringCloud微服务架构,有利于各个模块的独立部署和弹性扩展;数据库用TiDB分布式关系型数据库来承载大量的数据,并且保证高效的查询;前端采用Vue.js加ElementUI创建一个可视化界面,以改善用户体验;安全技术采用等保三级认证、HTTPS加密传输、入侵检测系统,保证数据以及系统的安全。

### 4.2 系统功能模块划分

系统分为五大部分功能模块,各个模块互相配合来实现智能化分析和预警。数据采集模块负责多源数据的自动采集和传输,可以采用传感器数据实时接入、BIM模型数据导入、移动端手动录入等方式进行数据采集,并对采集的数据进行标准化处理及格式转换;智能分析模块集成为各种机器学习算法,具备数据预处理、特征提取、风险识别、趋势预测等功能,能够实现模型的自我优化;预警管理模块完成预警阈值设定、预警信息产生、多种途径发送、响应处置追踪等全过程的管理,可设置预警规则自定义配置;可视化交互模块创建三维数字孪生模型以及多维度看板,达到数据可视化展现、模型交互、数据钻取剖析的目的;协同管理模块联结起建设方、施工方、监理方、监管部门等各方主体,给予任务派发、问题报告、资料提交、进度跟踪等各方面的协作效劳,达成质量控制各个部分协作。各个模块采用的是模块化的设计,可以实现功能的扩展和定制化开发,适应各种工程类型的需要<sup>[5]</sup>。

## 5 结束语

随着建筑业不断向智慧化转型,工程质量检测数据智能分析及风险预警体系成为保证工程安全和质量的重要力量。依靠融合机器学习、边缘计算、数字孪生等先进的技术手段,创建包含数据采集、智能分析、风险评价、预警响应的全过程智能化控制流程,不但可以达到对工程质量风险精确识别和动态防控的目的,而且能促使质量管控方式由被动应对转变为主动预防,进而推进质量管控由被动应对向主动防范转变,为行业的数字化转型提供了一个可以复制、可以推广的技术范式,对于提高工程质量的整体水平、保证人民群众的生命财产安全有着深远的实践价值以及战略意义。

### 参考文献:

- [1] 胡舒慧.建筑工程质量检测中的无损检测技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(28):100-102.
- [2] 程曦,刘瑞全,周雄.无损检测在隧道工程质量管理中的应用[J].工程建设与设计,2024(18):248-250.
- [3] 吕永强.水利工程质量检测中超声波检测技术运用研究[J].水上安全,2024(17):21-23.
- [4] 刘朋.大数据时代公路工程试验检测数据应用与发展[J].大众标准化,2024(17):157-159.
- [5] 赖东平.建筑结构工程质量检测中的无损检测技术探究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(25):175-177.