

圆仓滑模智能监测与应用研究

黄亮 侯郑敏 皮森林 闫勇 丁相儒
中国建筑第四工程局有限公司 广东 广州 510000

摘要: 本文聚焦圆仓滑模智能监测与应用研究。分析了滑模施工关键问题与监测需求, 阐述工艺风险点及智能监测系统功能需求。介绍了系统设计, 包括总体架构、关键技术和硬件选型部署。随后说明系统在施工前、中、后的应用要点。还构建基于机器学习的风险预警模型, 涵盖数据预处理、模型构建与验证优化。旨在为圆仓滑模施工提供安全保障与技术支持, 推动施工智能化发展。

关键词: 圆仓滑模; 智能监测; 动态预警

引言: 圆仓滑模施工凭借高效连续等优势, 广泛应用于大型储粮、储煤工程。然而, 该工艺施工复杂, 受多种因素影响, 存在模板倾斜、液压系统故障等诸多风险点, 易引发安全事故与质量缺陷。传统监测方式难以满足实时、准确、智能化的需求。在此背景下, 开展圆仓滑模智能监测与应用研究, 构建智能监测系统, 实现动态预警与风险管控, 对保障施工安全、提升施工质量具有重要意义。

1 圆仓滑模施工关键问题与监测需求分析

1.1 滑模施工工艺与风险点

圆仓滑模施工是一种高效连续的现浇混凝土施工工艺, 核心是通过液压提升系统带动模板沿着已浇筑混凝土表面匀速滑动, 同步完成钢筋绑扎、混凝土浇筑和模板提升作业, 具有施工速度快、结构整体性好、人力成本低等优势, 广泛应用于大型储粮、储煤圆仓工程。但该工艺施工过程复杂, 受施工参数、环境条件和操作水平等多种因素影响, 存在诸多风险点^[1]。主要风险包括模板倾斜、扭转变形, 易导致仓体结构偏心、壁厚不均; 液压系统故障, 如油压不稳、提升速度失衡, 可能引发模板卡顿或突发性坠落; 混凝土浇筑质量缺陷, 如浇筑速度与提升速度不匹配导致的蜂窝、麻面、露筋等; 施工过程中风力、温度变化等环境因素, 也可能加剧结构应力集中, 引发仓体裂缝, 严重时甚至导致施工安全事故, 因此需明确各风险点的影响范围和危害程度, 为后续监测工作奠定基础。

1.2 智能监测系统功能需求

针对圆仓滑模施工监测的实时性、准确性和智能化需求, 智能监测系统需具备数据采集、传输、处理、分析、预警和存储六大核心功能。数据采集功能需实现多参数、多测点的同步采集, 支持自动采集与手动采集切换, 采集频率可根据施工阶段灵活调整, 确保数据的连

续性和完整性; 数据传输功能需采用无线与有线结合的方式, 实现监测数据的实时上传, 具备抗干扰、低延迟特性, 避免数据丢失或传输滞后; 数据处理功能可完成数据降噪、异常值剔除和格式标准化, 保障数据质量; 数据分析功能需结合施工工况, 对监测数据进行趋势分析、对比分析, 及时识别数据异常; 预警功能需根据预设阈值, 针对不同异常程度发出分级预警, 支持短信、声光等多种预警方式, 确保相关人员及时响应; 存储功能需实现监测数据的长期安全存储, 支持数据查询、导出和追溯, 为施工后复盘、工艺优化和后续工程参考提供数据保障。

2 圆仓滑模智能监测系统的设计

2.1 系统总体架构

圆仓滑模智能监测系统采用“分层架构、集中管控、分布式部署”的设计思路, 整体分为感知层、传输层、数据层和应用层四层, 各层协同工作, 实现施工全过程智能监测。感知层作为系统的“感知终端”, 由各类监测传感器组成, 包括倾斜传感器、位移传感器、应力传感器、油压传感器、温湿度传感器等, 负责完成各监测参数的现场采集, 直接对接施工设备和仓体结构; 传输层作为“数据通道”, 整合无线传输模块、有线传输接口和数据网关, 将感知层采集的监测数据实时传输至数据层, 同时支持指令下发, 实现监测设备的远程控制^[2]。数据层作为“数据中枢”, 由数据库服务器、数据处理模块组成, 负责完成监测数据的存储、备份、降噪、融合和标准化处理, 为应用层提供高质量的数据支撑; 应用层作为“操作终端”, 包括电脑客户端、移动端APP和现场监控终端, 实现监测数据可视化展示、数据分析、预警管理、设备管理等功能, 为施工管理人员提供直观、便捷的操作界面, 实现施工监测的集中管控和远程监管。

2.2 关键技术研究

圆仓滑模智能监测系统的稳定运行依赖于多项关键技术的突破,重点开展四大核心技术研究。一是多源数据协同采集技术,解决不同类型传感器采集频率不一致、数据格式不统一的问题,实现结构变形、力学参数、环境参数和设备运行参数的同步采集与数据融合,提升数据的关联性和完整性;二是无线抗干扰传输技术,针对施工现场电磁环境复杂、遮挡严重的特点,优化无线传输协议,增强信号穿透力和抗干扰能力,降低数据传输延迟和丢失率,确保监测数据实时上传;三是数据智能分析技术,结合施工工艺特点,构建多参数关联分析模型,实现监测数据的实时解读、异常识别和趋势预判,避免单一参数分析导致的误判;四是远程协同管控技术,实现现场监测设备与远程监控平台的无缝对接,支持多终端同步查看监测数据、接收预警信息,实现施工管理人员、技术人员和现场作业人员的协同联动,提升风险处置效率,确保施工安全。

2.3 硬件选型与部署方案

硬件选型需遵循可靠性、适用性、耐候性和经济性原则,结合圆仓滑模施工的现场环境和监测需求,完成各类硬件设备的选型与合理部署。传感器选型方面,倾斜传感器选用精度不低于 0.01° 的光纤倾斜传感器,位移传感器采用分辨率 0.01mm 的激光位移传感器,应力传感器选用适应施工现场环境的应变片式传感器,液压传感器选用耐高压、抗振动的扩散硅式传感器,温湿度和风力传感器选用防水、防尘的户外型传感器。数据采集终端选用高性能工业级采集器,支持多通道接入和多种传输方式,具备抗高低温、抗电磁干扰能力。部署方案方面,将传感器按监测点位均匀部署在模板支撑体系、仓体钢筋和液压提升设备上,其中倾斜和位移传感器部署在模板顶部和中部,应力传感器绑定在钢筋关键受力部位,液压传感器安装在液压泵站和提升油缸上;数据采集终端和网关部署在现场临时控制室,确保信号稳定;服务器部署在远程监控中心,实现监测数据的集中存储和统一管理,硬件部署需兼顾施工便利性和监测准确性。

3 智能监测系统在圆仓滑模施工中的应用

3.1 施工前准备阶段

施工前准备阶段是智能监测系统有效应用的基础,核心是完成监测系统的调试、监测点位的布设和相关参数的预设,确保系统与施工进度同步衔接。首先,完成硬件设备的安装与调试,对各类传感器、数据采集终端、传输设备和服务器进行逐一检测,校准传感器精度,测试数据传输稳定性,排查设备故障,确保所有硬件设备正常运行;其次,结合圆仓设计图纸、施工方案和风险

点分析,确定监测点位的数量、位置和布设方式,明确各监测点位对应的监测参数,确保监测点位覆盖所有关键风险区域,无监测盲区;然后,预设各监测参数的预警阈值和预警等级,结合工程施工规范和设计要求,区分一般预警、较重预警和严重预警,明确不同预警等级的处置流程和责任分工;最后,对施工管理人员和现场作业人员进行系统操作培训,讲解监测系统的功能、操作方法、预警信息识别和应急处置措施,确保相关人员能够熟练操作系统,及时响应预警信息,同时完成系统与施工设备的联动调试,为施工中动态监测做好充分准备^[3]。

3.2 施工中动态监测与控制

施工中动态监测与控制是智能监测系统应用的核心阶段,重点实现施工全过程的实时监测、数据解读和风险管控,确保施工安全和施工质量。施工过程中,系统按照预设频率自动采集各监测点位的参数数据,包括模板倾斜度、位移量、钢筋应力、液压系统油压、环境温湿度和风力等,通过传输层实时上传至数据层进行处理分析。管理人员通过应用层终端实时查看监测数据的可视化展示,包括数据曲线、数值变化和异常提示,及时掌握模板运行状态、结构受力情况和设备运行参数。当监测数据接近预警阈值时,系统发出一般预警,提醒管理人员加强巡查;当数据达到或超过预警阈值时,系统立即发出对应等级的预警信息,同步推送至相关管理人员的移动端和现场声光报警器。管理人员接到预警后,立即启动对应处置流程,如调整液压提升速度、校正模板位置、停止高空作业、排查设备故障等,同时记录处置过程和数据变化,实现施工风险的动态管控,确保滑模施工连续、安全、有序进行,避免安全事故和质量缺陷的发生。

3.3 施工后数据分析与优化

施工后数据分析与优化是智能监测系统应用的延伸,核心是通过施工全过程监测数据的复盘分析,总结施工经验,优化施工工艺和监测方案,为后续同类工程提供参考。滑模施工完成后,系统自动导出全过程监测数据,管理人员结合施工日志、质量检测报告,对监测数据进行全面复盘,包括各施工阶段的参数变化趋势、异常数据的产生原因、预警处置效果等,分析监测数据与施工质量、施工安全的关联性。针对施工过程中出现的监测数据异常、预警响应不及时、工艺不合理等问题,深入排查原因,提出针对性的优化措施,如调整监测点位布设、优化预警阈值、改进液压提升工艺、完善应急处置流程等。同时,对监测系统的运行效果进行评估,总结系统应用中的优势和不足,优化系统硬件选型、数据传

输方式和数据分析模型,提升系统的智能化水平和实用性。另外,将整理后的监测数据、分析报告和优化方案归档存储,建立工程数据库,为后续圆仓滑模施工的监测系统设计、施工工艺优化提供数据支撑和经验借鉴。

4 基于机器学习的滑模施工风险预警模型

4.1 数据预处理与特征工程

数据预处理与特征工程是构建滑模施工风险预警模型的基础,核心是提升数据质量、提取有效特征,为模型训练提供高质量的数据支撑。首先,对施工过程中采集的原始监测数据进行预处理,针对数据缺失、异常值、噪声等问题,采用插值法填补缺失数据,通过 3σ 准则剔除异常值,利用小波分析方法降低数据噪声,确保数据的完整性和准确性;同时,对不同维度、不同量级的监测数据进行标准化处理,消除量纲影响,使数据能够用于模型训练。其次,开展特征工程,结合滑模施工工艺和风险点特点,从预处理后的监测数据中提取有效特征,包括时域特征(如均值、方差、峰值)和频域特征(如频率峰值、频谱能量),重点提取与模板倾斜、结构应力、设备故障相关的关键特征;通过相关性分析剔除冗余特征,降低模型复杂度,提升模型训练效率和预警精度,最终形成用于模型训练的特征数据集。

4.2 预警模型构建

结合圆仓滑模施工监测数据的特点和风险预警需求,选取合适的机器学习算法,构建分层级的滑模施工风险预警模型。模型整体采用“特征输入-模型训练-风险输出”的架构,选取随机森林算法作为核心算法,该算法具有抗过拟合、处理高维数据能力强、可解释性好的优势,能够有效处理滑模施工中多参数、非线性的监测数据^[4]。首先,将特征工程得到的特征数据集划分为训练集和测试集,其中训练集占比70%,用于模型训练,测试集占比30%,用于模型初步验证;其次,设置模型超参数,包括决策树数量、最大深度、节点分裂阈值等,通过网格搜索法优化超参数,提升模型性能;然后,将训练集输入随机森林算法中,进行模型训练,建立监测特征与施工风险等级之间的映射关系,模型输出结果为一般风险、较重风险和严重风险三个等级;同时引入注意力机制,强化关键监测特征(如模板倾斜度、钢筋应力)对

预警结果的影响,进一步提升模型的预警精度,最终构建出兼顾准确性和实用性的滑模施工风险预警模型。

4.3 模型验证与优化

模型验证与优化是提升预警模型可靠性和适用性的关键,通过多维度验证和持续优化,确保模型能够准确识别滑模施工中的各类风险。采用测试集数据对构建的预警模型进行初步验证,计算模型的准确率、召回率和F1值,评估模型的预警精度和泛化能力,若模型存在预警误判、漏判等问题,分析原因并调整模型超参数;引入实际工程案例数据进行验证,选取不同规模、不同工况的圆仓滑模施工监测数据,输入模型进行预警测试,对比模型预警结果与实际施工风险情况,验证模型在不同场景下的适用性,针对模型在特定工况下预警精度不足的问题,补充对应场景的训练数据,优化模型结构。建立模型持续优化机制,结合后续滑模施工的监测数据和风险处置情况,定期更新模型训练数据集,调整模型超参数和特征权重,不断提升模型的预警精度和泛化能力,确保模型能够适应不同施工工况的需求,为圆仓滑模施工风险防控提供可靠的技术支撑。

结束语

圆仓滑模智能监测与应用研究,通过设计智能监测系统,实现了施工全过程的实时监测、数据分析与动态预警,有效提升施工安全与质量。基于机器学习的风险预警模型,进一步提高风险识别的准确性与及时性。未来,随着技术发展,智能监测系统将不断完善,为圆仓滑模施工提供更强大的技术支撑,推动行业向智能化、安全化方向持续发展。

参考文献

- [1]马亚豪,俞荫州,郑义,等.浅谈浅圆仓滑模装置设计及施工[J].江西建材,2023(1):208-209,212.
- [2]冯波.大直径浅圆仓滑模施工技术研究[J].价值工程,2024,43(19):150-153.
- [3]王鹏慧.镇江苏南储备粮浅圆仓滑模施工技术研究[J].山西建筑,2025,51(2):112-114,128.
- [4]李维维.大型钢筋混凝土浅圆仓滑模施工技术应用[J].建筑机械化,2023,44(12):101-103.