

机电安装工程中混凝土泵车输送管道堵塞预警系统设计与施工效率研究

李宗泰

131127*****5517

摘要: 机电安装工程混凝土施工中,混凝土泵车输送管道易堵塞,导致施工中断、资源浪费、成本增加及安全质量隐患,传统人工监测响应滞后、误判率高。为此,本文研究该管道堵塞预警系统设计与施工效率。系统设计以实时监测预警等为目标,依相关原则构建设备层架构:监测层用四类传感器采参数,传输层以“有线+无线”传数据,控制预警层处理数据并发布预警;软件架构含三类软件,还设计特定算法分三级风险提升准确性。管道堵塞从三方面制约施工效率,预警系统多维度提升效率,明确三大应用要点,案例验证其效益显著。该系统可解传统监测弊端,适合中小型工程推广,未来升级后能推动施工智能化。

关键词: 机电安装工程; 混凝土泵车; 输送管道堵塞; 预警系统设计; 传感器融合

DOI: 10.69979/3060-8767.25.09.076

引言

在机电安装工程混凝土施工中,混凝土泵车是连接搅拌站与浇筑点的关键设备,对保障进度和质量至关重要。但输送管道堵塞频发,不仅需投入人力物力清理、导致施工中断及经济损失,还可能引发管道爆裂、混凝土离析等安全质量隐患,制约施工效率。

当前,管道堵塞监测多依赖操作人员经验判断,这种被动模式响应滞后、误判率高,难满足现代工程要求。因此,研发实时准确的堵塞预警智能系统并分析其对施工效率的提升机制,是推动混凝土施工智能化的重要课题,具有理论与实践价值。

1 混凝土泵车输送管道堵塞预警系统设计

1.1 系统设计目标与原则

1.1.1 设计目标

系统首要目标是实现混凝土泵车输送管道内混凝土流动状态的实时动态监测,精准捕捉堵塞前兆信号并提前预警,为操作人员预留处置时间,避免堵塞完全形成,突破传统经验判断的滞后性,保障施工连续性。

其次,需具备全周期数据管理能力,实时采集泵压、流速、管道振动频率、外壁温度等关键参数,完成数据存储与算法分析,生成可视化报表与趋势曲线,为施工管理决策提供支撑,例如优化浇筑时间与设备调配。

再者,要满足多场景适配需求,通过参数配置适配不同型号泵车与输送距离,同时支持与智慧工地管理平台对接,实现数据共享,如预警时同步信息至搅拌站调整混凝土供应,避免材料积压。

最后,需保障复杂环境下的稳定运行,应对施工现场粉尘、振动、高低温等恶劣条件,确保系统故障率低、

平均无故障工作时间长,避免监测中断引发堵塞风险。

1.1.2 设计原则

可靠性优先原则: 核心硬件选用工业级元器件,经抗振动、抗电磁干扰、高低温适应性测试;软件采用模块化设计,各功能模块具备自动备份与故障自恢复能力,防止数据丢失与系统瘫痪。

精准性原则: 通过多传感器融合技术,结合数据滤波算法剔除干扰,还原真实数据。例如压力上升时,需结合流量、振动数据综合判断,避免单一传感器误判,确保预警准确率高、误报率低。

易用性原则: 操作界面采用中文可视化设计,以直观图表呈现数据,关键信息用颜色标注;预警信号通过声光报警器、手机APP、现场LED屏多渠道发布,操作人员经短期培训即可掌握。

经济性原则: 优先选用高性价比元器件与成熟技术,简化非必要功能;兼顾后期维护便利,传感器采用卡扣式安装,软件支持远程升级,降低运维成本,确保中小型项目可推广。

1.2 系统硬件设计

硬件采用“监测层-数据传输层-控制与预警层”三层架构,各层协同实现数据采集、传输、处理与预警。

1.2.1 监测层

作为数据源头,核心为四类传感器,选型与安装贴合施工场景:

压力传感器: 选用应变式,安装于泵车出料口与管道关键节点(弯头、变径处),确保探头与管道内壁平齐且防水密封。堵塞前兆时混凝土流动阻力增大,压力呈阶梯式上升,传感器可快速捕捉该信号。

流量传感器: 采用非接触式超声波类型,安装于管

道平直段（远离阀门、弯头），清理外壁确保信号稳定。堵塞时流速降低甚至断流，传感器通过流速变化反映管道通畅状态。

振动传感器：压电式加速度类型，安装于管道靠近泵车端与浇筑端，通过弹性支架紧密贴合管道。正常输送时振动频率稳定，局部堵塞时流动状态改变，振动频率与振幅异常，传感器可捕捉该变化。

温度传感器：选用铂电阻类型，安装于管道靠近浇筑端外壁。堵塞前兆时混凝土滞留时间长，水泥水化热导致管道温度升高，传感器辅助判断滞留状态，降低单一参数误报率。

1.2.2 数据传输层

采用“有线+无线”双模式，确保数据传输稳定及时：

有线传输：适用于泵车与控制箱距离近、布线便利场景。传感器与现场数据采集终端用屏蔽双绞线连接（抗电磁干扰），采集终端与现场控制柜用工业以太网连接（支持多数据并行传输，抗振动、粉尘）。

无线传输：适用于泵车移动范围大、布线困难场景。通过工业路由器实现采集终端与远程平台连接，覆盖广、延迟低；配备备用无线模块（低功耗、远距离传输），信号弱时自动切换，保障数据不中断。

1.2.3 控制与预警层

作为系统“大脑”，包含三类核心设备：

现场控制柜：内置工业级 PLC 与触摸屏。PLC 具备强逻辑运算能力，可实时运算监测数据并判断是否预警；触摸屏显示参数趋势曲线、管道三维模拟图（标注传感器位置与节点状态），支持手动设置预警阈值与传感器校准。

远程监控平台服务器：采用高性能工业服务器，配置多核处理器、大容量存储，运行稳定操作系统。安装数据库管理系统（存储历史数据并建立索引）与数据可视化软件（生成多维度报表），同时部署预警算法，对现场数据二次校验，提升预警准确性。

预警终端：现场声光报警器安装于操作室与浇筑点附近，预警时灯光闪烁、蜂鸣；手机 APP 支持主流系统，推送预警信息并允许查看数据、反馈处置进度；LED 屏安装于现场显眼位置，滚动显示泵车管道运行状态。

1.3 系统软件设计

软件采用“现场控制软件-远程监控软件-移动端 APP”架构，基于主流语言开发，通过标准化协议通信，实现功能协同。

1.3.1 现场控制软件

运行于现场控制柜 PLC 与触摸屏，含四大模块：

数据采集与预处理：按设定频率接收传感器原始数

据，通过滤波算法去噪声，识别剔除异常数据（如传感器断线数值突变），转换为标准格式传输至远程平台。

实时监测与显示：以折线图展示参数变化趋势，颜色标注状态；显示管道三维模拟图（标注传感器与节点通畅状态），同时呈现泵车编号、施工部位等基础信息。

本地预警：按预设阈值判断实时数据，达到阈值时触发现场声光报警，触摸屏弹出弹窗（显示风险位置、等级与处置建议），支持“确认/忽略”操作并记录处置时间。

参数设置与校准：支持手动调整传感器采样频率、预警阈值、数据传输间隔；提供传感器校准功能，输入标准信号自动修正误差。

1.3.2 远程监控软件

运行于远程服务器，含四大模块：

数据接收与存储：接收现场软件传输数据，解析后存入数据库，定时备份至异地服务器并建立数据冗余；数据库支持多维度索引，可按条件快速查询并导出数据。

多维度数据分析：趋势分析生成参数变化曲线，识别输送规律与风险；关联分析参数相关性优化预警逻辑；故障溯源分析堵塞前后数据，定位原因（如坍落度超标、管道磨损）。

远程预警与管理：二次校验现场数据，结合多传感器融合算法提升准确性，疑似预警仅推送管理人员 APP；确认风险时推送预警并标注泵车位置，支持远程下达指令；具备用户权限管理，区分角色设置访问权限。

报表生成与导出：自动生成日/周/月运行报表，包含施工部位、输送量、参数统计、预警次数等信息，支持主流格式导出。

1.3.3 移动端 APP

提供远程监控便利，含四大功能：

实时数据查看：以仪表盘展示参数数值与状态，支持查看变化曲线。

预警信息推送：预警时弹窗通知（含类型、风险位置、建议措施），支持反馈处置进度。

历史数据查询：按时间范围查询历史数据与预警记录，查看堵塞处理案例。

设备管理：查看现场泵车在线状态、编号、维护记录，实现信息化管理。

1.4 堵塞预警逻辑与算法设计

1.4.1 预警等级划分

按堵塞风险分为三级：

一级预警（轻微风险）：单一传感器参数异常，判断为局部轻微阻力增大（如坍落度波动、少量积料），黄色预警，建议关注参数、调整泵车排量。

二级预警（中度风险）：两个及以上传感器参数异

常，判断为局部堵塞前兆，橙色预警，建议降低排量、反向泵送清理积料。

三级预警（严重风险）：所有传感器参数显著异常，判断为即将完全堵塞或已局部堵塞，红色预警，建议停止泵车、组织管道清理。

1.4.2 预警算法设计

采用“特征提取+多传感器融合+阈值判断”三级模型：

特征提取算法：提取压力上升速率、流量衰减率、振动频率标准差、温度变化趋势等特征，通过滑动窗口算法实时计算，避免瞬时干扰误判。

多传感器融合算法：以加权平均法计算综合风险指数（按传感器敏感度赋权），按指数范围触发对应预警；引入神经网络算法，用历史数据训练模型，提升复杂工况预警准确性。

动态阈值调整算法：根据施工前输入的混凝土配合比、输送距离、管道直径等参数，自动调整传感器预警阈值，匹配实际工况，降低误报率。

2 施工效率研究

2.1 混凝土泵车输送管道堵塞对施工效率的影响

在机电安装工程混凝土施工中，输送管道堵塞是制约施工效率的关键因素，主要影响体现在三方面：一是施工进度延误，堵塞会导致施工中断，操作人员需耗时排查、拆管、清理与重装，若在设备基础浇筑等关键节点堵塞，还可能引发施工缝，需后期补强，进一步延长工期；二是资源浪费，管道内滞留混凝土因初凝或离析需废弃，清理过程还消耗大量水、电与辅助材料，且需额外投入人力，造成资源闲置；三是施工成本增加，工期延长会提升管理与资金占用成本，材料浪费与额外人力、机械消耗也会直接推高成本，降低项目效益。

2.2 堵塞预警系统对施工效率的提升机制

系统通过三大核心作用提升施工效率：一是提前预警，实时监测压力、流量等参数，在堵塞前兆时预警，操作人员可及时调整泵车排量、优化混凝土坍落度等，大幅降低堵塞发生率，减少施工中断；二是精准处置，借助多传感器融合技术定位堵塞风险位置与等级，提供明确处置指引，避免逐段排查，缩短故障处理时间，减少处置失误；三是数据支撑，远程平台存储的历史数据可优化混凝土配合比与泵车调度，生成的报表还能为绩效考核与设备维护提供依据，推动管理从“经验驱动”向“数据驱动”转型。

2.3 系统施工应用要点

需关注三方面应用要点：一是传感器安装与校准，避开焊缝等干扰部位，确保压力传感器与管道内壁平齐、

振动传感器紧密贴合，安装后结合工况校准，验证预警逻辑；二是系统与施工流程协同，施工前录入混凝土配合比等参数，施工中安排专人监控数据、建立沟通机制，施工后复盘参数波动原因；三是人员培训与应急演练，开展系统操作与堵塞处置培训，定期模拟不同预警场景演练，提升团队协同处置能力。

2.4 系统应用效果评估

以某机电安装工程为案例，对比应用系统前后效果：施工进度上，中断次数与时长显著减少，进度达标率大幅提升；资源消耗上，混凝土与辅助材料浪费量明显降低；施工成本上，额外人工、机械租赁成本及管理成本均有所节省，项目经济效益显著提升。

3 结论与展望

3.1 研究结论

混凝土泵车输送管道堵塞预警系统，以“监测-数据传输-控制预警”硬件架构搭配“现场+远程+移动端”软件架构，可实时监测管道状态、精准预警，解决传统经验监测滞后、误判率高的问题。其通过提前预警、精准处置、数据支撑，从进度、资源、成本维度提升施工效率，且遵循“四性”原则，硬件用工业级元器件，软件模块化兼容，适配不同泵车与复杂环境，成本可控，适合中小型机电安装工程大规模推广。

3.2 未来展望

技术上，可引入AI优化预警模型、融合自动驾驶系统，实现“预警-处置”自动化；场景上，拓展至房建、市政等领域，结合BIM建管道数字孪生模型；行业层面，需建立系统技术标准，明确传感器选型、安装规范等指标，规范流程，助力混凝土施工智能化。

参考文献

- [1]易培,谭智娟,张余力.一种泵车防堵管装置:CN202020870487.X[P].CN212453673U[2025-10-02].
- [2]机械工程.混凝土泵车输送管布局优化及弯管磨损研究[D].2021.
- [3]吴丹.基于WPT-DDT-SVM的混凝土泵车液压泵故障诊断研究[D].湖南大学,2011.DOI:10.7666/d.y2066142.
- [4]杨希宁,马洪秋,李杰.混凝土泵车及监控系统,监控方法:CN201210404776.0[P].CN102945012A[2025-10-02].
- [5]芦华晟,江文,艾东波,等.混凝土泵车安全工作预警系统:CN201210464258.8[P].CN103821367A[2025-10-02].