

基于物联网的机械设备实时监控系统构建研究

熊志宏

中铁六局集团有限公司长沙路桥分公司 湖南 长沙 410007

【摘要】：基于物联网的机械设备实时监控系统构建，是实现工业设备智能化管理的重要途径。该系统通过传感器节点采集设备运行参数，依托无线通信网络实现数据实时传输，结合云平台完成数据存储、分析与预警，可全面掌握设备运行状态。其构建能及时发现设备异常，提前预警故障风险，减少停机时间，提升设备利用效率与生产安全性。同时，为设备维护提供数据支撑，推动维护模式从被动抢修向主动预防转变，为工业生产的高效稳定运行提供技术保障。

【关键词】：物联网；机械设备；实时监控系统；系统构建；设备管理

DOI:10.12417/2705-0998.25.15.019

引言

在工业生产中，机械设备的稳定运行直接关乎生产效率与作业安全。传统设备监控方式存在数据滞后、故障发现不及时等问题。物联网技术的发展为解决这些难题提供了可能，基于物联网构建的实时监控系统可实现设备状态的精准感知与动态管理。探究该系统的构建，对提升工业设备管理水平、降低运营风险具有重要意义，也为推动工业智能化转型提供有力支持。

1 传统机械设备监控模式的局限性及物联网技术应用的必要性

1.1 传统监控模式数据采集存在滞后性

传统机械设备监控模式依赖人工巡检与定点采样，数据采集存在显著的时间间隔与空间局限。巡检人员需按固定周期记录设备运行参数，难以捕捉瞬时性异常波动，如电机转速骤变、轴承温度突升等关键信号可能在两次巡检间隙被遗漏，导致故障预警错失最佳时机。定点采样仅能覆盖设备表面或易观测部位，对于封闭腔体内部构件、深埋地下的传动系统等隐蔽位置的状态参数，缺乏有效监测手段，形成数据盲区，无法全面反映设备整体运行状态。这种滞后与片面的采集方式，使得设备潜在风险难以被及时发现，为生产安全埋下隐患。

1.2 传统监控模式数据传输的低效率

传统模式下，数据传输多依赖人工记录后录入系统，或通过有限的有线网络进行局部传递，效率低下且易产生误差。人工录入过程中，数据错填、漏填现象频发，导致信息失真；有线网络布线成本高、扩展性差，难以实现大规模设备的集中监控，各区域、各类型设备的运行数据被分割在独立系统中，形成“信息孤岛”。数据无法实时共享与汇总分析，管理层难以掌握全局设备状态，跨部门协同决策缺乏数据支撑，在应对系统性故障时，往往因信息传递滞后而延误处置时机。

1.3 传统监控模式数据分析的被动性

传统监控以数据记录与简单比对为主，缺乏深度分析能力。系统仅能判断参数是否超出预设阈值，无法挖掘数据间的

关联关系，如振动频率与温度变化的耦合效应、负载波动对设备寿命的影响等深层规律，难以实现故障的早期预测与根因诊断。分析过程多为事后追溯，即设备停机后才对历史数据进行复盘，属于被动响应模式，无法在故障发生前采取预防性措施，导致设备维护始终处于“救火式”的被动局面，增加了非计划停机时间与维修成本。

1.4 传统监控模式维护管理的经验依赖性

传统设备维护决策高度依赖技术人员的个人经验，缺乏客观数据支撑。维护周期多按固定时长设定，未考虑设备实际运行负荷与老化程度的个体差异，可能导致过度维护或维护不足。过度维护会造成人力、物力资源的浪费，维护不足则无法及时排除隐患，加速设备性能衰减。同时，由于缺乏设备全生命周期的状态记录，维护历史与故障关联数据断裂，难以形成标准化的维护方案，新入职人员难以快速掌握复杂设备的维护要点，影响维护质量的稳定性。

1.5 物联网技术应用的必要适配性

物联网技术的分布式感知、泛在互联与智能分析特性，能够精准破解传统监控模式的固有局限。其通过部署多类型传感器实现设备全维度、高密度的数据采集，覆盖从核心部件到辅助系统的运行参数，消除监控盲区；依托无线通信网络构建实时数据传输链路，打破信息孤岛，实现跨区域、跨设备的数据融合；借助边缘计算与云计算技术，对采集的数据进行实时分析与深度挖掘，建立设备故障预测模型，推动维护模式从被动抢修向主动预防转型。物联网技术与工业设备监控的需求高度契合，其应用不仅能提升设备管理的精准性与效率，更能为工业生产的智能化升级提供底层数据支撑，是适应现代工业发展的必然选择。

2 基于物联网的机械设备实时监控系统的核心架构

2.1 感知层：设备状态信息的全域采集机制

感知层作为系统与机械设备的直接交互界面，承担着原始数据采集的核心功能，其技术选型与部署策略直接决定系统监控的全面性与精准度。针对不同类型机械设备的运行特性，需

配置多维度传感器矩阵，如在旋转机械的轴承座安装压电式振动传感器，捕捉微米级振动位移信号；在液压系统的油路管道嵌入压力传感器，监测动态压力波动；在电机定子绕组内置热电偶传感器，采集绕组温度变化。这些传感器采用工业级封装设计，具备抗电磁干扰、耐高低温、防油污腐蚀等特性，可适应复杂工业环境的长期稳定运行。

2.2 网络层：异构环境下的可靠传输架构

网络层负责将感知层采集的数据安全、实时地传输至后端处理平台，其核心在于构建适应工业环境的异构通信网络。近距离通信采用工业无线传感器网络技术，如基于 IEEE 802.15.4 标准的 ZigBee 协议，支持多跳路由与自组织网络，可在设备密集区域实现低功耗、低速率的数据传输；对于远距离、高带宽需求场景，采用 4G/5G 工业模组，通过切片技术保障数据传输的时延与可靠性，满足实时监控对通信质量的严苛要求。

边缘网关作为网络层的关键设备，承担着数据汇聚、协议转换与边缘计算的功能。通过集成多种通信接口，边缘网关可接入不同类型传感器与设备控制系统，将 Modbus、Profinet 等工业总线协议转换为 MQTT、HTTP 等物联网协议，实现异构设备的互联互通。同时，边缘网关内置的数据预处理模块可对原始数据进行滤波、降噪与特征提取，减少上传至云端的数据量，缓解网络传输压力。为应对工业环境的通信干扰，网络层需具备动态路由优化能力，通过实时监测信道质量，自动选择最优传输路径，确保数据传输的连续性与完整性。

2.3 数据层：海量信息的智能化处理中枢

数据层是系统实现深度分析与决策支持的基础，其核心功能包括数据存储、清洗、融合与挖掘。针对机械设备监控产生的海量时序数据，需构建分布式数据存储架构，采用时序数据库存储高频采集的运行参数，如 InfluxDB、TimescaleDB 等，支持毫秒级数据写入与高效的时间范围查询；采用关系型数据库存储设备基础信息、维护记录等结构化数据，确保数据关联的完整性；采用分布式文件系统存储传感器原始波形、设备图像等非结构化数据，满足全量数据回溯需求。数据预处理技术是提升数据质量的关键环节，通过异常值检测算法识别并剔除传感器故障导致的跳变数据，采用插值法填补因通信中断产生的数据缺失，利用平滑滤波消除环境噪声对信号的干扰。

2.4 应用层：面向决策的功能实现载体

应用层通过可视化界面与功能模块，将数据层的分析结果转化为直观的监控信息与操作指令，为用户提供全方位的决策支持。实时监控模块采用组态化设计，可自定义设备拓扑图与参数仪表盘，通过色彩变化、动态曲线等方式直观展示设备运行状态，支持多设备、多参数的并行监测与快速切换。故障预警模块基于预设的阈值模型与智能诊断算法，当检测到异常参数或故障特征时，自动触发多级报警机制，通过声光报警、短

信通知、系统弹窗等方式推送预警信息，并附故障位置、可能原因与处理建议。

2.5 集成技术：跨层级协同的系统支撑体系

集成技术贯穿于系统架构的各层级，是保障系统高效协同运行的关键。硬件集成方面，需实现传感器、网关、服务器等设备的电气兼容与机械适配，如采用标准化接口设计简化传感器安装与更换，通过导轨式安装结构提高网关部署的灵活性。软件集成方面，采用面向服务的架构设计，将各功能模块封装为独立服务，通过统一的服务总线实现跨模块调用与数据交互，提高系统的可扩展性与可维护性。

安全集成技术是系统稳定运行的重要保障，需在数据采集、传输、存储、应用全流程实施安全防护。在感知层采用传感器身份认证与数据加密技术，防止未经授权设备接入与数据篡改；在网络层部署防火墙与入侵检测系统，构建安全通信边界；在数据层实施访问权限管理与数据脱敏处理，保护敏感信息；在应用层采用安全审计与漏洞扫描技术，及时发现并修复安全隐患。通过构建多层次、全方位的集成技术体系，实现系统各层级的无缝协同，充分发挥物联网技术在机械设备实时监控中的应用价值。

3 提升基于物联网的机械设备实时监控系统效能的优化策略

3.1 感知层的精准化优化

感知层的效能提升需从传感器布局与数据采集精度入手。依据设备运行的动力学特性，结合故障模式分析结果，对传感器布点进行动态调整，将监测重点聚焦于故障高发部件与关键性能参数，减少冗余监测点以降低数据干扰。采用自适应采样技术，根据设备运行状态自动调节采样频率，在设备启停、负载突变等关键阶段提高采样密度，在稳定运行阶段降低频率，实现数据采集的精准化与高效化。同时，引入传感器自校准机制，通过定期比对基准信号消除漂移误差，确保长期运行中数据采集的稳定性，为系统提供高质量的原始数据输入。

3.2 网络层的传输效率增强

网络层的优化核心在于提升数据传输的实时性与可靠性。针对工业环境中多设备并发传输的场景，采用时分多址接入技术分配通信信道，避免信号冲突导致的传输延迟。引入边缘计算节点分担数据处理压力，在本地完成数据过滤与特征提取，仅将关键信息上传至云端，减少传输数据量以降低网络负载。建立通信链路质量动态评估机制，实时监测信号强度、丢包率等指标，当检测到链路劣化时自动切换至备用通信通道，保障数据传输的连续性。通过网络切片技术为监控数据传输划分独立信道，隔离其他业务数据干扰，确保关键参数的优先传输。

3.3 数据处理的智能化升级

数据层的效能优化需强化数据挖掘与分析能力。构建基于深度学习的设备状态评估模型,利用历史运行数据与故障案例训练神经网络,提升对设备早期故障特征的识别精度,实现从阈值判断向趋势预测的升级。采用联邦学习框架,在保护数据隐私的前提下,联合多设备的运行数据进行模型训练,增强算法对不同工况的适应性。引入知识图谱技术整合设备型号、维护记录、故障模式等多维度信息,建立参数关联规则库,当监测数据出现异常时,可快速追溯潜在诱因,提高故障诊断的准确性与效率。通过数据压缩算法对历史数据进行无损压缩,在减少存储占用的同时,保证数据回溯分析的完整性。

3.4 应用层的功能适配性完善

应用层的优化需提升功能模块的实用性与场景适配性。开发模块化的功能组件库,企业可根据设备类型、生产流程等个性化需求,灵活组合实时监控、故障预警、维护调度等功能模块,避免功能冗余。设计多终端适配的交互界面,针对管理人员、维护人员等不同用户角色,定制差异化的信息展示内容,管理人员侧重全局状态概览,维护人员聚焦具体设备的故障细节与处理指引。引入数字孪生技术构建设备虚拟映射模型,将实时监测数据与三维模型融合,通过可视化仿真直观展示设备内部状态变化,辅助复杂故障的分析与决策。建立用户反馈闭环机制,根据实际使用过程中发现的功能缺陷与需求缺口,持

续迭代优化应用功能。

3.5 安全防护的动态化强化

安全体系的优化需构建动态响应的防护机制。采用零信任架构重构访问控制策略,所有接入系统的设备与用户均需经过持续身份验证与权限评估,避免单一认证失效导致的安全漏洞。部署蜜罐技术模拟传感器节点与通信接口,诱捕恶意攻击行为并分析攻击特征,为防护策略更新提供依据。建立安全态势感知平台,实时监测系统各层级的异常行为,通过关联分析识别潜在攻击链,在威胁扩散前触发应急响应机制。定期开展 penetration testing (渗透测试),模拟黑客攻击路径检测系统漏洞,结合工业场景特点优化防火墙规则与入侵检测算法,提升对新型攻击手段的识别能力。通过安全组件的模块化设计,实现防护功能的快速升级与扩展,适应网络安全威胁的动态变化。

4 结语

传统机械设备监控模式存在明显不足,难以满足工业智能化需求。基于物联网构建实时监控系统,通过核心架构搭建与关键技术应用,可实现设备状态精准把控。借助优化策略提升系统效能,能及时预警故障、提高管理效率,推动维护模式转型,为工业生产高效稳定运行提供保障,助力工业智能化转型进程。

参考文献:

- [1] 陈明亮,赵丽娜.物联网感知层传感器优化布局与精度提升研究[J].仪器仪表学报,2023,44(2):102-108.
- [2] 王海涛,林晓峰.工业物联网网络层传输效率增强技术应用[J].计算机应用,2024,44(5):1567-1573.
- [3] 张志强,刘敏.深度学习在设备状态评估中的算法优化[J].自动化学报,2023,49(8):1456-1463.
- [4] 黄秀丽,吴建国.工业监控系统应用层功能模块化设计与实现[J].计算机集成制造系统,2024,30(3):890-897.
- [5] 赵雪峰,孙佳琪.物联网安全防护动态化机制构建研究[J].通信学报,2023,44(6):78-85.