

# 基于物联网技术的机电设备安装监测与维护研究

王 岩

泰达(天津)商业管理有限公司 天津 300202

**摘要:** 本文聚焦于物联网(IoT)技术,系统性地探讨其在机电设备安装过程实时监测与后期智能维护中的创新应用。研究首先剖析了传统模式下安装与维护面临的核心痛点,继而构建了一个涵盖感知层、网络层、平台层与应用层的四层物联网协同架构。在此基础上,深入阐述了如何利用多源异构传感器网络对安装关键参数(如位姿、应力、环境)进行精准采集,并通过先进的无线通信技术实现数据的可靠传输;进一步,重点论述了基于云端大数据分析机器学习算法的预测性维护模型,该模型能够通过设备运行状态的深度挖掘,实现故障的早期预警与精准诊断。研究表明,物联网技术的深度融合,不仅能够确保机电设备“一次安装成功”,更能将维护模式从“事后维修”和“定期检修”转变为“预测性维护”,从而显著提升设备综合效率(OEE),降低全生命周期成本,为构建智能化、数字化的现代工程管理体系提供坚实的技术支撑。

**关键词:** 物联网;机电设备;安装监测;预测性维护;传感器网络

## 引言

当今工业高度自动化智能化,机电设备成为集多技术于一体的复杂系统,其性能稳定对生产线运转、产品质量及企业竞争力至关重要。但在设备服役周期中,安装与维护是传统管理的薄弱环节。长期以来,机电设备安装质量依赖施工人员经验与事后抽检,缺乏全量程量化监控,微小安装偏差可能引发连锁反应,导致非计划停机。维护方面,“坏了再修”会造成生产损失,“到期就换”则浪费备件。物联网技术的兴起为破解难题提供新思路,通过在设备及安装环境部署智能传感器,构建“端-边-云”数据网络,可实现设备全生命周期透明化管理。本研究旨在系统梳理物联网技术在机电设备安装监测与智能维护领域的应用逻辑、关键技术和实施路径,为理论研究和工程实践提供参考。

## 1 传统机电设备管理的痛点与物联网赋能的必要性

### 1.1 安装阶段的挑战

一是过程不可见:安装过程是一个动态的物理操作过程,管理者无法实时掌握现场细节,如设备吊装时的姿态、螺栓紧固的扭矩序列、管道焊接的热影响区温度等。二是质量难量化:安装质量验收多依赖于最终的静态测量(如水平度、同轴度),难以追溯安装过程中的动态因素对最终结果的影响<sup>[1]</sup>。三是信息孤岛:设计图纸、采购清单、施工日志等信息分散在不同部门和载体上,无法形成统一的数据视图,不利于问题的快速定位与责任追溯。

### 1.2 维护阶段的困境

一是响应滞后:故障往往在造成严重后果后才被发

现,导致高昂的维修成本和生产损失。二是过度维护:基于固定时间间隔的预防性维护,忽略了设备的实际健康状况,造成了人力、物力的浪费。三是诊断困难:面对复杂的机电系统,故障根因分析(RCA)耗时耗力,高度依赖专家经验,知识难以沉淀和复用。

物联网技术通过其“全面感知、可靠传输、智能处理”的核心能力,恰好能对症下药。它将物理世界的设备状态转化为数字世界的海量数据流,并通过强大的计算能力从中提炼出有价值的洞察,从而实现从“经验驱动”向“数据驱动”的根本性转变。

## 2 基于物联网的机电设备全周期管理架构

为实现安装监测与智能维护的一体化,本文提出一个四层物联网协同架构。

### 2.1 感知层(设备与环境)

这是整个系统的数据源头。在机电设备本体及其安装基座、连接管线等关键位置,部署多类型、高精度的传感器:(1)位姿与形变传感器:如倾角传感器、激光位移传感器,用于实时监测设备在吊装、就位过程中的三维姿态及基础沉降。(2)力学传感器:如应变片、压力传感器、扭矩扳手,用于监控螺栓预紧力、管道内压、结构应力等,确保机械连接的可靠性。(3)环境传感器:如温湿度传感器、粉尘传感器,用于记录安装环境,为后续分析提供背景数据。(4)运行状态传感器:如振动加速度传感器(量程±50g,频响5-10kHz)、电流/电压互感器(精度0.5级)、红外热像仪,用于设备投运后的状态监测。

### 2.2 网络层(数据传输)

网络层肩负着将感知层采集到的海量数据安全、高效地传输至后端处理中心的重任。面对工业现场复杂多变的应用场景，通常采用一种混合组网的策略以兼顾灵活性与可靠性。对于在局部区域内密集分布的传感器节点，可以利用低功耗蓝牙（BLE）、Zigbee或LoRa等短距离、低功耗的无线通信协议，构建起一个稳定的局域传感网络。而对于需要长距离传输或承载高带宽数据流（如视频、热成像）的应用，则通过工业级的4G/5G网关或高速工业以太网（如PROFINET）将汇聚后的数据上传至云端数据中心<sup>[2]</sup>。特别是5G通信技术所具备的超高可靠低时延通信（uRLLC）特性，为那些对实时性要求极高的远程控制与即时报警场景提供了强有力的技术保障。

### 2.3 平台层（数据处理与智能分析）

平台层是整个物联网架构的“智慧大脑”，通常部署在功能强大的云端服务器或企业私有数据中心，其核心功能在于对来自网络层的原始数据进行深度处理与价值挖掘。该层首先包含一个可扩展的数据湖或数据仓库，用于存储海量、多源且格式各异的原始传感数据及经过初步处理的特征数据。为了减轻云端的计算负担并降低关键业务的响应延迟，在靠近数据源头的网络边缘还会部署边缘计算节点，它们能够执行数据清洗、噪声滤波以及基于简单规则的阈值判断等初步处理任务。而平台层最核心的部分则是其智能分析引擎，该引擎集成了多种先进的数据分析与机器学习算法，是实现从状态监测到预测性维护这一质变的关键所在。

### 2.4 应用层（业务价值实现）

应用层是物联网价值的最终体现，它面向终端用户，将平台层输出的复杂数据和智能洞察转化为直观、易用的业务功能与可视化界面。通过一个集成的数字孪生看板，项目管理者可以实时掌握设备的安装进度、各项关键参数的当前状态以及任何触发的告警信息，实现了对安装过程的全景式监控。在设备运维阶段，预测性维护工作台则成为工程师的核心工具，它不仅能提供设备当前的健康度评分和剩余使用寿命（RUL）预测，还能生成详细的故障根因分析报告，并主动推送最优的维护工单建议<sup>[3]</sup>。此外，配套的移动端APP使得现场工程师能够随时随地接收任务指令、录入现场信息、并调阅设备的历史数据与三维模型，极大地提升了工作效率和决策质量。

## 3 物联网在机电设备安装监测中的具体应用

### 3.1 安装过程的实时可视化与引导

物联网技术彻底改变了设备安装的可视化水平。在吊装作业开始前，工程师可以在BIM模型中预先标记出

所有需要监测的关键点位。当吊装启动后，安装在设备上的倾角传感器和UWB（超宽带）定位标签便会持续不断地将设备的实时空间坐标和三维姿态角回传至中央系统。这些动态数据随即与预先构建的BIM模型进行融合，在指挥中心的大屏幕上生成一个栩栩如生的“数字孪生”视图。当设备被缓缓吊运至设计位置附近时，系统能够自动计算出其与理想位置之间的毫米级偏差，并通过现场工人佩戴的AR（增强现实）眼镜，将虚拟的引导线或调整方向精准地投射到其真实视野中，从而指导工人进行精细的微调操作，确保设备能够一次性、高精度地就位成功，极大地减少了反复调整带来的时间和人力成本。

### 3.2 关键工艺参数的精准控制与记录

对于诸如螺栓紧固这类对设备长期安全运行至关重要的工艺环节，物联网技术实现了前所未有的精准控制与全程追溯。使用智能电动扭矩扳手替代传统手动工具，不仅可以精确地施加预设的扭矩值，更能完整记录下每一颗螺栓紧固过程中的全部数据，包括紧固开始与结束的时间戳、完整的扭矩-角度曲线、以及最终的旋转角度等。这些宝贵的过程数据会通过无线网络自动上传并永久存储在云端数据库中。管理者可以随时调阅任意一颗螺栓的详细紧固记录，确保其完全符合工程规范的要求，从根本上杜绝了因“凭感觉”或疏忽大意而导致的紧固不足或过载等安全隐患。同样的原理也适用于焊接作业，通过红外热像仪对焊缝区域进行全程温度场监控，可以确保热处理工艺严格达标，保证焊接接头的质量。

### 3.3 安装质量的自动化评估与追溯

在设备安装工作全部完成后，物联网系统能够自动汇总在整个安装期间由各类传感器采集到的所有数据，并自动生成一份内容详尽、数据翔实的“数字安装报告”。这份报告的价值远不止于记录最终的静态测量结果，它更完整地保存了从设备进场到最终调试完成这一动态过程中的所有关键指标。一旦该设备在未来的运行生涯中出现任何性能异常或故障，这份独一无二的数字报告将成为追溯问题根源的权威依据。通过比对安装时的状态数据与故障发生前的运行数据，可以清晰地判断问题是源于初始安装阶段的隐患，还是后期运维不当所致，从而有效厘清各方责任，为后续的改进提供精准的方向。

## 4 物联网驱动的机电设备预测性维护体系

### 4.1 从被动到主动：维护范式的革命

预测性维护（PdM）代表了设备维护理念的一场深刻革命，其核心思想在于“防患于未然”，即在故障实

际发生之前,就能准确地预测其可能发生的时间窗口。这一目标的实现,依赖于对设备“生命体征”的持续、无感监测。通过在设备上部署振动、温度、电流等传感器,系统能够不间断地采集其运行状态数据。借助强大的数据分析技术,可以从这些看似杂乱无章的数据流中,识别出那些极其微弱、但预示着未来潜在故障的异常模式或退化趋势,从而将维护工作从传统的、被动的“救火式”响应,彻底转变为前瞻性的、主动的预防策略。

#### 4.2 预测性维护的核心技术与算法

预测性维护的实现离不开一系列核心技术的支撑。首先,原始的传感器数据通常夹杂着大量噪声,必须经过严格的数据预处理,如采用小波变换或卡尔曼滤波等技术进行去噪和平滑,以提取出真实的信号特征。其次,特征工程是连接原始数据与智能模型的桥梁,需要从时域、频域乃至时频域等多个维度,精心提取出能够有效表征设备健康状态的特征量,例如振动信号的均方根值(RMS)、峭度系数,或是特定故障频率带的能量占比等<sup>[4]</sup>。最后,在建模与预测阶段,目前主流的方法是数据驱动的机器学习。一方面,可以利用支持向量机(SVM)、随机森林(Random Forest)等分类算法,对设备当前所处的健康状态(如正常、轻微磨损、严重故障)进行精准判别;另一方面,更前沿的做法是采用长短时记忆网络(LSTM)等深度学习模型,对设备的长期退化轨迹进行建模,从而预测其剩余使用寿命(RUL)。例如,一个经过充分训练的LSTM模型,能够根据过去数周内积累的振动频谱数据,科学地推算出轴承在未来三十天内发生失效的概率,为维护决策提供量化依据。

#### 4.3 闭环的智能维护流程

一个真正高效的预测性维护体系并非仅仅停留在发出预警层面,而是构建了一个完整的、自我优化的闭环流程。当系统通过分析检测到设备状态异常时,会自动生成一条包含风险等级和初步分析的预警工单。紧接着,系统会结合设备的历史运行数据、同类故障案例库以及内置的专家知识规则,为维修团队提供一份可能的

故障原因列表及其相应的置信度,辅助其进行快速诊断。维修主管在收到这些信息后,可以综合考虑生产线的排产计划和备件库存情况,做出最优的维修决策,确定最合适的维修时间和方案。维修人员则通过移动APP接收具体的工单任务,并能即时获取包含三维拆解动画、所需备件清单和标准作业程序在内的详细维修指导。最关键的是,在维修工作完成后,维修人员需将实际确认的故障原因、所采取的措施以及更换的部件等信息完整地反馈录入系统。这些宝贵的实战数据将被用于重新训练和优化后台的预测模型,使其在未来的判断中更加精准,从而形成一个“越用越聪明”的良性循环。

#### 5 结语

本文系统地研究了物联网技术在机电设备安装监测与维护领域的应用。研究表明,通过构建一个覆盖感知、传输、分析与应用的完整物联网架构,可以从根本上变革传统的管理模式。在安装阶段,物联网实现了对关键工艺参数的实时、精准、全流程监控,确保了安装质量的可量化、可追溯;在维护阶段,物联网驱动的预测性维护体系,通过大数据分析与机器学习,将维护工作从事后被动响应转变为事前主动预防,极大地提升了设备的可靠性与可用性。物联网技术的应用,不仅是技术层面的升级,更是管理理念的革新。它要求企业打破部门壁垒,建立以数据为中心的协同文化。随着技术的不断成熟和成本的持续下降,基于物联网的机电设备全生命周期智能管理,必将成为行业标配,为制造业的高质量发展注入强劲动力。

#### 参考文献

- [1]谭龙广,张济鸿,董会林.物联网技术支持下的机电安装工程监控系统分析[J].信息与电脑,2025,37(12):60-62.
- [2]刘军朋.基于物联网技术的机电安装工程监控系统设计与开发[J].中国高新科技,2024,(14):33-34+59.
- [3]张恒.智能传感技术赋能机电设备安装质量监测[J].新发现,2025,(19):94-96.
- [4]王旭.基于物联网的建筑机电安装支吊架安全监测方法[J].物联网技术,2025,15(01):56-58.