

制丝车间烟机设备机械故障预防的信息化平台构建 与数据应用研究

贺文懂 廖综岑

红塔烟草（集团）有限责任公司昭通卷烟厂 云南昭通 657000

摘要：为提升制丝车间烟机设备运行可靠性，从被动维修向主动预测转变，本文尝试构建一个采用分层架构，集数据感知、智能分析与决策支持于一体的信息化平台，规划数据采集、故障预警、维护管理及可视化等核心功能模块，探讨基于多源数据融合与机器学习的故障预测模型应用，为设备预测性维护提供参考。

关键词：烟机设备；故障预防；信息化平台；预测性维护；数据分析

当前，烟草制造业向智能化、数字化转型升级，而制丝车间是关键的生产环节，烟机设备保持稳定运行尤为重要，对设备可靠性、维护成本也有了更高要求，在此情况下，仅采用计划维修、事后维修难以满足现实需要。因此，有必要以预防烟机设备机械故障为目标建立一个高性能的信息化平台，尝试深度应用设备运行数据，向主动预测性维护转变，进一步确保生产连续性，降低维护成本，提高设备管理决策的科学性。

一、制丝车间烟机设备故障预防现状

当前，计划维修依然占据较大比例，而此类维修易产生“维修不足”或“过度维修”问题，一方面难以高水平控制突发故障，另一方面也会增加维护消耗。事后维修是完全被动的维修模式，故障发生后非计划停机、抢修均会严重影响生产，使维修成本增加，也可能引发次生质量风险。尽管一些设备可以通过人机交互界面显示基础的运行参数，具备报警功能，但各类数据多分散、孤立存在，未系统性采集、整合数据，也缺乏深度分析。对于设备管理者而言，更多是以个人经验判断设备状态，严重影响故障预防精准性、前瞻性^[1]。

二、构建信息化平台实现预测性维护的必要性与目标

为突破传统维护模式的瓶颈，有必要从“预防”向“预测”转型升级，构建集数据感知、智能分析与决策支持于一身的信息化平台。建设该平台是应对复杂设备系统可靠性要求的必然选择，信息化平台实时监测设备运行状态，可以提前发现潜在故障；构建信息化平台是实现精益管理、降本增效的良好助力，可以进一步优化维修策略，减少非计划停机，优化备件使用；信息化平台也可以积累设备知识资产，为实现智慧决策提供重要

基础性支持，可将个人经验转化为可复用的数据模型，充分发挥经验的价值。目标是建立一个可以全面感知设备状态、智能预警故障风险、指导维护决策的一体化信息管理系统，实时采集、集中监控关键设备运行参数，监控振动、温度等状态量；基于数据分析构建故障预测模型，早期预警、初步智能诊断各类故障；实现全流程数字化维护管理，以数据为基础，为优化维修策略、科学管理备件提供决策支持，最终目标是提升设备的综合效率。

三、烟机设备故障预防信息化平台整体构建方案

1. 平台设计目标与原则

设计本信息化平台是为实现烟机设备预测性维护，建立一套稳定、高效、可扩展的数字化支撑系统。要求平台具备全面感知功能，能够可靠接入多源异构设备数据并将之整合；具备智能预警功能，利用内置算法模型早期识别故障，实现风险分级报警；支撑报警触发、维修响应到效果评估全流程线上化管理；具备决策支持功能，通过可视化、分析多维数据，为优化设备管理提供直观依据。为实现以上目标，在设计平台时遵循以下基本原则：

（1）数据采集与传输稳定可靠，满足实时状态监控要求。

（2）考虑未来接入新设备、新数据源或扩展新功能模块需求，采用模块化、松耦合设计。

（3）考虑易用性，界面设计必须贴近用户实际工作习惯，功能设置需切实为解决现场问题设计，确保平台好用、用户愿用。

（4）保障数据存储、传输的安全性，系统架构必须具备足够的容错能力，服务必须持续可用。

2. 平台总体架构设计

为确保系统稳定性、可扩展性与可维护性，平台采用分层、解耦的总体架构，具体架构设计如下表所示：

表1 平台总体架构设计

架构层级	核心组成	主要功能与描述
感知层	智能传感器、设备PLC/DCS数据接口	数据源头，实时采集设备物理状态信号以及运行工艺参数，数字化感知设备状态。
网络层	工业以太网、工业无线网络、边缘网关	构建可靠、低时延的车间内网，将感知层数据安全、高效地传输至平台层，完成协议转换，初步聚合数据。
平台层	微服务框架、时序/关系数据库、数据处理引擎、算法模型库	承担系统“大脑”的功能，汇聚、清洗、存储、管理、分析计算数据。为模型训练、服务编排、API接口等提供技术支持。
应用层	设备监控、预警诊断、维护管理、可视化分析等Web/移动应用	为设备管理员、维修工程师等角色提供业务功能界面，转化数据价值为可操作的洞察与决策。

3. 平台核心功能模块规划

(1) 设备数据采集与监控模块

该模块主要工作为全方位、自动化感知、集中化监视设备运行状态。数据采集方面，可为预测性维护提供重要参考的振动加速度、速度、位移、温度等机械状态量通过部署在设备关键部位的无线或有源智能传感器高频采样获取；电机电流、电压、转速、工艺温度、压力等运行参数通过OPC UA、MQTT等标准协议实时从车间现有的PLC、DCS等控制系统中获取。采集到的多源异构数据先经过边缘网关初步统一格式、同步时间，进行滤波处理，之后统一上传至平台。监控层面，由平台提供实时监控看板，要求集中、可定制，各设备的实时运行参数与状态以流程图、趋势曲线、数字面板等形式动态展示，设置基础报警，覆盖超限、突变等情形，为操作与管理人员提供统一的设备运行全景视图，7x24小时不间断感知设备健康状况。

(2) 故障预警与诊断模块

模块内置故障预测模型库，由数据驱动。以旋转机械高发的轴承、齿轮故障为例，先构建基于振动频谱分析、包络解调等方法的特征提取流程，利用机器学习算法或深度学习模型建立健康状态评估与故障分类模型。之后模型实时接收数据采集模块获取的数据流，模型自

动计算设备的健康度指标、故障概率或剩余使用寿命^[2]。如果模型输出超过预设预警阈值，此时系统会自动触发多级报警，相关人员通过高亮看板、短信、APP推送消息等途径收到通知。模块自动关联历史相似故障案例，提供初步诊断辅助功能，展示当前故障特征频谱图，分析故障原因，提出处置建议。

(3) 维护管理与决策支持模块

当故障预警模块触发报警后，维护管理模块生成预防性/预测性维修工单，根据规则为相应的维修班组或人员指派任务。维修人员在移动终端上接收工单，查看故障详情、历史记录与处置建议，到现场检查、维修设备，更换零部件，使用终端反馈维修过程、耗用备件、耗时等信息。模块构建设备维护知识库，不断积累故障案例、维修方案以及备件清单。在决策支持层面，模块基于积累的设备运行数据、维修历史以及备件消耗数据建立分析性报表、模型，方便管理者分析关键绩效指标、核算维修成本，提出优化备件库存的建议，为设备更新改造提供决策支持。

(4) 数据可视化与分析报告模块

提供高度可配置的仪表盘，允许用户自由拖拽组合各类图表组件，建立从车间全景到单台设备详情的多级可视化视图。支持多维度、下钻式交互分析历史数据，例如，对比分析在不同时段、不同工况下同型号设备的振动趋势或者关联分析工艺参数变化与设备状态异常。在报告层面，提供自动化、模板化报表生成功能，允许使用者按日、周、月、年或自定义周期一键生成设备运行报告、故障统计报告、维护绩效报告等文件，允许导出分发。

4. 关键技术选型与应用

为使该平台稳定运行，发挥智能分析功能，需审慎选型关键技术。在数据感知与接入层需加强关键机械状态监测，对此，可选用高性能IEPE振动加速度传感器及红外温度传感器。部署OPC UA统一架构服务器，从既有PLC/DCS中安全获取过程参数。数据传输层以有线传输为主，无线传输为辅，通过工业以太网连接核心设备与服务器，构成可靠骨干，旋转部件等点位布线困难，采用无线传输方式，使用高抗干扰的工业Wi-Fi或5G专用模组，边缘侧部署智能网关，要求具备协议解析与边缘计算能力。平台数据层方面，针对时序数据海量、高并发的特点，选用TDengine或InfluxDB等时序数据库高效存储，快速查询；设备档案、工单等关系型数据采用PostgreSQL。分析与算法层方面，依托Python生态构建故障预测模型，服务化部署模型。应用开发层采用前后端

分离架构，后端微服务使用Java或Go语言构建，前端响应式可视化采用Vue.js/React等框架实现，整体部署在容器化平台，确保弹性和可维护性。

四、平台数据应用与故障预测模型研究

1. 设备运行数据采集与标准化处理

全面、准确采集设备运行数据是准确预测故障的基石。平台采集的数据主要可分为机械状态量、过程与电气参数两类。需要在切丝机刀辊轴承、风机、电机等关键旋转部件安装振动加速度传感器、温度传感器，以此实时监测部件振动频谱、幅度、温度等数据，这些机械状态量可以直接反映机械的健康状态。对接设备PLC控制系统可以获取电机电流、电压、转速、各工艺段的温度、压力、流量等运行参数，采集到的原始数据体量大、频率高，入库前需要先清洗数据、对齐、同步时间戳、规范化数据，提取关键特征，通过以上处理流程转化原始“数据”，生成标准化“信息”用于后续分析，为建模提供支持^[3]。

2. 多源数据融合与特征工程

复杂设备的运行状态难以通过单一数据源全面刻画，因此有必要融合多源数据，由平台将各种异构数据时空对齐、关联。在此基础上进行深入的特征工程，从原始数据中提炼出对故障敏感、判别性强以下特征指标：

(1) 提取时/频/时频域特征：从振动信号中提取均方根、峰值因子、脉冲因子等时域统计特征以及频谱重心、幅值谱特征频率等频域特征；采用小波分析提取非平稳信号的时频特征。

(2) 构建工况关联特征：结合工艺参数与设备状态之间的关系构建工况归一化特征，解决生产变化带来的干扰现象。

(3) 序列与趋势特征：计算在一定时间窗口内振动有效值等关键参数的滑动均值、斜率、波动性等，据此捕捉性能退化趋势。

多源融合与精细的特征工程可以构建高质量、高维度的特征集，后续建立预测模型时，这些工作可以提供丰富且有效的输入。

3. 构建基于数据驱动的故障预测模型

以切丝机刀辊主轴轴承故障预警和烘丝机工艺参数异常关联预警为例，轴承故障可采用基于振动频谱分析与机器学习相结合的方法。首先，对采集的振动信号进行快速傅里叶变换得到频谱图，提取各特征频带的幅值

作为特征；再利用历史数据训练分类模型，使分类模型具备根据实时提取的频谱特征识别轴承早期故障类型的能力。采用基于长短时记忆网络的时序预测模型学习历史振动特征序列的模式可以更广泛地预测性能退化趋势，预测未来一段时间内特征值的变化趋势，以此对剩余使用寿命做出较准确的估算。烘丝机等工艺设备可构建多变量统计过程控制模型，通过模型对关键工艺参数之间的正常耦合关系进行分析，实时计算 T^2 和SPE统计量。当发现实时参数偏离正常关联模型时，即便未超过单点限值也会触发预警^[4]，提醒及时检查设备是否存在效率下降情形或存在隐性异常现象。

4. 预警阈值设定

采用静态阈值与动态自适应阈值相结合的方式设置预警阈值，有明确物理或安全限值的参数采用静态阈值即可，振动烈度、特征频率幅值等状态量需设置动态自适应阈值，设定时考虑其历史基线以及设备工况，模型输出的健康度评分或者故障概率本身也可作为预警依据。报警机制设计为“注意”“警告”“严重”三级，其中“注意”级提示多加关注，单一参数轻微偏离基线即可触发；“警告”级提示需安排检查，当多个关联参数出现异常或模型预测的故障概率达到中级阈值时均触发；“严重”级需立即停机检修，判断有极高概率发生故障或者已经出现明确的故障特征时触发。

结束语

制丝车间烟机设备管理中，集成平台化，基于数据驱动，可实时感知设备状态，实现智能预警，提高维护决策科学性。未来，可进一步探索人工智能算法的深入应用方式，探索与平台同企业其他系统的深度融合方法，进一步提高故障预防有效性。

参考文献

- [1] 保锐元, 虎恩才. 制丝车间烟机设备信息化协同管理研究[J]. 工程技术研究, 2025, 7(14): 69-71.
- [2] 张恒, 陈恩向. 烟机设备电气故障AI诊断策略研究[J]. 工程技术研究, 2025, 7(13): 203-205.
- [3] 李家贵. 烟机设备故障智能诊断与维护[J]. 设备管理与维修, 2022(12): 73-75.
- [4] 孟祥策, 王如璇. 烟草机械设备故障诊断技术及其智能化发展[J]. 机械与电子控制工程, 2025, 7(4).