

机电设备的智能运维与全生命周期管理技术研究

胡华

湖州善迁机电科技有限公司 浙江湖州 313000

【摘要】在工业系统中，机电设备运转强度很高，容易产生维护效率低下、运行状态难以可视等难题，对设备寿命及资源利用效率形成影响，本文针对传统运维方式显现的信息孤岛和响应滞后现象，创建融合实时监控、故障预测及健康评估的智能运维模式，且建立依托唯一标识码的数字化档案系统，集成不同管理平台以实现数据闭环。采用智能控制跟高效驱动设备的协作运用，实现设备负载适配及能耗动态的优化，大幅提升运行的稳定性及资源利用效率，拥有可复制推广的工程价值。

【关键词】机电设备；智能运维；状态监测；故障预测；全生命周期管理

Research on intelligent operation and maintenance and full life cycle management technology of mechanical and electrical equipment

Hu Hua

Zhejiang Shanqian Electromechanical Technology Co., LTD. Zhejiang Huzhou 313000

【Abstract】In industrial systems, the operation intensity of electromechanical equipment is very high, making it prone to issues such as low maintenance efficiency and difficulty in visualizing operational status, which affect equipment lifespan and resource utilization efficiency. This paper addresses the information silos and response delays that arise from traditional operation and maintenance methods by creating an intelligent O&M model that integrates real-time monitoring, fault prediction, and health assessment. A digital archive system based on unique identification codes is established to integrate different management platforms, achieving a data loop. By employing intelligent control in conjunction with efficient equipment operation, this approach optimizes load adaptation and dynamic energy consumption, significantly enhancing operational stability and resource utilization efficiency, with engineering value that can be replicated and promoted.

【Key words】mechanical and electrical equipment; intelligent operation and maintenance; condition monitoring; fault prediction; whole life cycle management

引言

在高强度的实际工况里，传统依赖经验加上周期性维护的模式，难以满足高可靠性与低成本的运维期望，造成故障不断发作、维修响应滞后以及资源浪费，当下设备生命周期的不同阶段出现数据割裂与管理不衔接现象，迫切需要搭建贯穿设计、运行、维护直至退役全流程的信息系统。具备智能化的运维技术及生命周期管理机制，探索聚焦运行状态精准觉察、健康度评定和管理平台协同的体系化解决途径，进而提升设备管理科学性与工程实施效益。

1 机电设备运维现状分析

1.1 运维模式与存在问题

应对现代生产环境里设备状态的复杂多变，反应显得迟缓，有响应滞后、故障难以察觉和维护方式消极被动等问题

^[1]。鉴于没有对设备实时运行状态的持续把握，设备运行时潜在故障无法即刻显露，造成非计划性停机事件频繁冒头，影响到生产的连贯开展。运维活动跟设备负载特征彼此脱节，部分设备处于非理想运行情形，能源消耗与运行成本上升，传统模式当中维护资源分配欠均匀，未能依照设备健康状况实施动态调整，出现部分设备维护过度、部分设备维护匮乏的情形，进而对设备运行整体的可靠与稳定状态产生影响。

1.2 生命周期管理短板

在设备从设计、采购、安装、运行、维护直至退役的各个阶段，缺少有效的数据贯通与协同机制，引起设备信息孤立、操作过程脱节的问题，由于在生命周期各阶段未形成闭环管控体系，设备状态、历史工况、故障记录等关键数据未在各管理模块中统一使用，对维护策略的精确制定以及资源调度效率造成了制约。一些管理系统未构建设备全生命周期的唯一标识及信息档案，造成信息重复、丢失以及更新滞后

的现象,影响了管理连续性与完整性的实现,处于设备频繁更新替换的环境,既有的管理办法难以适应大规模设备信息处理及动态维护需要,实时监控与分析机制在生命周期管理流程中缺失,无法开展设备状态的动态跟踪及寿命评鉴,最终引发资源利用效率变低、运维决策缺乏有效依据以及设备使用周期未充分拉伸。

2 智能运维关键技术

2.1 多源数据融合与状态监测

多源数据含电流、电压、温度、压力、振动频率、运行时间、能耗指标等,数据采集由多类型传感器完成,像电流互感器、热电偶、压力变送器和加速度传感器等^[2]。各传感器经 IO-LINK、CAN、Profibus 等工业总线或以太网与边缘控制单元通信,采集频率通常设为 1Hz~10Hz,满足状态变化响应要求。数据统一传至中央控制系统(DCS/PLC/SCADA)或工业网关,再由数据处理平台做格式标准化、时间同步与噪声滤除,形成结构化监测数据集。

融合处理环节通过多维特征比对实现异常识别。以电机状态监测为例,可构建 P-Q-T 三维数据空间(P 为功率, Q 为无功功率, T 为温度)进行特征聚类,并利用卡尔曼滤波方法对数据进行动态修正,提升状态估算的稳定性。在状态监测逻辑中,通过实时采集运行电流值 I_{load} ,与额定电流 I_{rated} 进行比对,计算当前功率 $P_{adjusted}$ 可得公式:

$$P_{adjusted} = P_{rated} \times \left(\frac{I_{load}}{I_{rated}} \right)^2$$

该算法可在负载变化时快速调整功率状态,判定是否处于超负荷或轻载区间,监测数据需经数据中心与历史数据库比对,识别趋势偏移、负载波动等状态异常,振动信号频谱分析通过快速傅里叶变换(FFT)提取特征频率,定位轴承损伤或机械松动等故障源头。状态监测平台设报警阈值区间,压力波动超出 $\pm 0.3\text{MPa}$ 、电机温升高于 80°C 时自动触发报警信号,系统结合现场控制逻辑,将实时反馈信号传回执行器,动态调节运行状态,保障设备长周期稳定运行。

2.2 故障预测与健康评估

预测过程首先需构建设备运行状态数据库,包括运行电压、电流、功率、温度、压力、冷却效率、振动频率等关键参数的时序记录,数据样本数量至少达到 10^4 量级以满足训练精度要求。根据设备类型与故障特性,选用合适的多变量函数拟合模型,典型方法包括灰色预测模型(GM)、ARIMA 时间

序列模型、支持向量回归(SVR)等。其中灰色模型适用于样本数量较少且变化趋势明确的设备,适合初期应用部署。

健康评估系统通过构建状态评分模型,对设备当前状态进行量化分析。评分模型以健康度 H 为输出指标,设定参考阈值区间 $[0, 1]$,其中 $H=1$ 表示设备状态完全正常, $H<0.4$ 表示需立即维护。评分函数通常基于归一化处理后的状态变量向量 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$,与标准工况向量 S 进行欧氏距离计算:

$$H = 1 - \frac{\|X - S\|}{\|S\|}$$

其中, $\|\cdot\|$ 为 L2 范数运算。该模型通过偏离标准状态的程度判断设备健康状态,实现定量评估。在实际应用中,预测系统设定滑动窗口机制,每日自动读取最新 24 小时运行数据进行预测更新。若连续 3 次预测结果显示健康值下降速率超过设定阈值,则系统自动生成维护建议,并推送至运维终端。为提升预测精度,系统引入温升与振动双因子联动诊断,设定振动均方根(RMS)值大于 6.5mm/s ,且温度日均升高速率超过 $3.2^\circ\text{C}/\text{天}$ 时作为高风险预警触发条件。

3 生命周期全流程管理体系

3.1 信息模型与数字化建档

凭借唯一设备标识码(UID)进行数字化建档,这一标识贯穿于设备设计、制造、安装、运行、维护、改造以及报废等各个阶段^[3]。开启模型创建时需先定义设备结构层级关联,信息结构按主机系统、子模块、关键部件分为三级,进而为各个层级打造适配的数据字段,字段内容以设备型号、制造编号、额定电压、电机功率、运行转速、安装时间、首检时间、累计运行小时、维保记录、故障次数等基础参数为主,有 30 项以上,系统采用统一的编码规则生成标识码,好比按“机种-区域-编号-序号”的结构予以命名,“PMSM-QZ01-690-023”写成“PMSM/QZ01, 690, 023”,保证信息唯一且具备追溯性。

数据录入工作采用专用的数据录入模板实施,模板借由 Excel 或数据库表单达成字段的结构化,依靠扫描枪、二维码等方式开展信息录入,为实现数据完整的要求,系统采用了字段校验机制,录入部分关键参数,像电机额定功率、最大负载电流,需在规定的数值区间范围内,要是违背了,系统就禁止进行提交,待建档操作结束后,全部设备信息存于本地数据库及云端平台,进而设定定期备份的频次(7 天进行一次全量备份,24 小时实施一次增量备份,用以预防数据

缺失。

在模型构建的过程里,得建设静态模型跟动态模型共同存在的机制,用静态模型来描述设备的基本属性及初始配置,动态模型展现设备运行过程中各个阶段产生的状态数据与历史事件。系统借助 API 接口与运行监测系统实现实时对接,自动把设备运行数据如压力变化曲线、电流波动轨迹、温升趋势图推送至建档系统,实现静态数据和动态状态的集中管理。

3.2 管理平台集成与协同机制

集成平台通常包含 ERP (企业资源计划)、EAM (设备资产管理)、MES (制造执行系统) 及 SCADA (监控与数据采集系统) 四类核心模块。集成采用标准化接口协议,常见为 RESTful API 或 OPC UA,数据同步周期设为 30 秒~60 秒,确保各系统间状态同步不超过 1 分钟。平台通过设备唯一标识码匹配设备条目,避免数据冗余与遗漏。

协同机制在任务调度层面体现,各设备于 MES 系统中注册运行状态,监测系统判断设备出现波动超限状态(如功率偏离额定值 $\pm 8\text{kW}$ 、振动频率异常超过 15Hz) 时,自动向 EAM 平台推送维保任务指令,任务推送后,ERP 系统自动核对设备维保计划与工单执行状态,未达维保周期标准则将任务分类为“预警性排查”;设备状态超过阈值范围则自动归类为“紧急检修”。平台间形成闭环流程,状态识别、任务触发、人员派工、物料调度、记录归档全过程均由系统联动完成。

各平台数据经统一数据中台整合,中台采用多维数据结构 (Multidimensional OLAP),支持按设备类型、维护周期、能耗表现、故障频率等维度分析。每台设备设独立管理主表,记录结构含 100 项以上字段,涵盖静态信息、运行记录、维保日志、故障编号等。系统支持任意字段查询、过滤、排序操作,便于运维人员快速定位问题,实际运行中,为保障协同机制高效执行,系统设自动数据校验程序,每日凌晨 2 点运行一次,对前一日平台间同步数据开展字段一致性、数据完整性和同步延迟时间比对。

参考文献

- [1]储小渝,盛武.煤矿智能运维技术发展态势知识图谱分析[J].华北科技学院学报,2025,22(02):59-64.
 - [2]周枫淇.多源数据融合技术在轨道交通机电设备智能运维中的应用研究[J].运输经理世界,2025,(05):16-19.
 - [3]胡烈诚,黄月红,李健勇.城市轨道交通给排水专业智能运维应用[J].现代信息科技,2024,8(24):116-120+126.
 - [4]赵华,蔡洋涛,陈璠,等.基于物联网的车辆段机电装备智能运维平台构建及应用[J].物联网技术,2024,14(10):75-77.
- 作者简介:胡华,出生年月:1982 年 12 月 28 日,男,汉族,籍贯:江苏省阜宁县,学历:本科,职称:工程师,研究方向:机电。

4 价值分析与实践意义

4.1 效益提升路径

配套伺服驱动系统能依据出口压力、电流等信号动态调整输出功率,防止恒速运行造成的能耗浪费^[4]。连续工况下,改造后的除盐水泵年耗电量从 1441637kWh 减至 1124520kWh ,节电 317117kWh ,运行电压由 690V 优化为 380V ,系统稳定性提高。结合闭式循环冷却系统,冷却液流量控制在每分钟 $15\sim 20\text{L}$,液温控制在 30°C 以下,有效减少冷却波动,系统监测数据显示,年碳排放量从 1196t 降至 933t ,能耗指标与运行负载同步调节,提升运行匹配度并降低冗余能量消耗。

4.2 推广与应用意义

管理平台可基于统一标识码构建设备模型,设备编码规则长度控制在 20 字符以内,系统识别响应时延低于 0.5 秒,契合工业现场动态调度需求。设备运行数据经边缘采集单元上传至云端平台,单通道数据处理能力达 2MB/s ,能支撑超 200 台设备并行运行监控。健康评估算法依托滑动窗口机制每 12 小时更新一次评分,动态调整维修优先级,确保高风险设备优先干预。集成平台日均数据同步量约 500 万条记录,任务触发与执行流程实现自动闭环,可在多工厂、多部门、跨系统间同步推广,满足复杂生产组织结构下的协同运维需要。

结语

多源数据融合、故障预测与生命周期建模,实现机电设备运行状态动态掌控与风险预警,推动运维策略从静态计划转向智能决策,系统集成平台构建全流程协同机制,提升运维响应效率与信息透明度。数字化档案与健康评估模型支撑设备全生命周期资源调度与性能优化,为复杂工况下设备稳定运行与工程能效提升提供可实施路径。该技术体系具备良好的扩展性与行业推广基础。