

Fault Prediction and Operation Optimization of Tobacco Machinery Based on Big Data and Intelligent Algorithm

Jingheng Lu Jun Zhang Peiyong Li

Shaanxi Zhongyan Industrial Co., Ltd. Baoji Cigarette Factory, Baoji, Shaanxi, 721013, China

Abstract

Cigarette factories' cigarette rolling, packaging, and tobacco processing units are characterized by high rotational speeds, strong coupling, and continuous feeding. Failures typically manifest as frequent quality drift and short-term shutdowns, eventually escalating to complete machine disassembly. In recent years, multiple cigarette manufacturers have installed online monitoring points for vibration, temperature rise, current, and negative pressure on equipment. These data are integrated into centralized systems for PLC alarms, process parameters, rejection quantities, and work order records, forming traceable machine profiles to identify failure modes and predict failure windows. This paper explores actionable approaches for equipment fault prediction and operational optimization in tobacco machinery, focusing on data governance, feature construction, and algorithm implementation.

Keywords

Cigarette factory; Big data; Intelligent algorithm; Tobacco machinery equipment; Fault prediction; Operation optimization

基于大数据与智能算法的烟机设备故障预测与运行优化

卢竞恒 张军 李培勇

陕西中烟工业有限责任公司宝鸡卷烟厂, 中国·陕西 宝鸡 721013

摘要

卷烟工厂的卷接包与制丝机组具有高转速、强耦合与连续供料特征, 故障往往以质量漂移和短停频发的方式先出现, 再演化为停机解体。近年多家卷烟厂在设备侧加装振动、温升、电流与负压等在线采集点, 并把PLC报警、工艺参数、剔除量与工单记录统一入湖, 形成可追溯的机台画像, 用于识别失效模式与预测窗口。本文从实践出发, 围绕数据治理、特征构建与算法落地, 讨论烟机设备故障预测与运行优化的可操作路径。

关键词

卷烟厂; 大数据; 智能算法; 烟机设备; 故障预测; 运行优化

1 引言

烟机设备从单机自动化走向产线互联后, 故障信息不再只来自维修报修, 而是提前体现在过程数据的微小偏移上。与此同时, 卷接包机组的传感器类型、采样频率与控制逻辑差异较大, 若缺乏统一编码和事件切片, 模型容易被换牌、换批与环境波动干扰而失真^[1]。对此, 本文就基于大数据与智能算法的烟机设备故障预测与运行优化展开探讨, 以供参考。

2 基于大数据与智能算法的烟机设备故障预测

2.1 成形负压链路波动故障

卷接成形段的负压系统承担供丝、除尘与成形稳定三

重任务, 负压衰减或波动放大时, 最先表现为烟支重量与圆周密度的慢性漂移, 而非立即停机。数据上通常可见风机电流均值上移、负压传感器的周期性波动加深, 以及随生产速度变化的相位滞后, 伴随在线称重的标准差扩大和剔除量结构改变。进一步追踪成形槽、吸丝嘴与滤网压差时, 会出现压差阶跃式抬升或泄漏型突降, 两类形态对应堵塞与密封老化。若回潮烟丝含水偏高或粉尘负荷增加, 负压通道局部积尘会使波动频带向低频迁移, 模型可通过负压谱能量比、供丝电机电流峰谷差、成形带张力波动与烟支重量短窗偏度联合判别其由工艺扰动转向设备通道异常的趋势。当阀组响应迟缓时, 负压闭环会出现过冲并触发频繁补偿, 停机前往往已有多次短停与低效运行记录。

2.2 切刀系统磨损失衡故障

高速切刀与砧座配合决定烟支定长与端面平整度, 刀口磨钝或动平衡变差时, 故障常以长度分布拉宽、端面掉丝增多和爆口率上升的形式出现, 现场容易被误认为原料或胶液因素。其先兆在数据侧更明显, 表现为切刀主轴振动在倍

【作者简介】卢竞恒(1992-), 男, 陕西省宝鸡市人, 本科, 助理工程师, 主要从事电气自动化、烟机设备、机械原理研究。

频附近能量抬升、轴承温升缓慢上行，驱动电机电流出现周期性脉动，同时 PLC 报警由偶发的定长误差逐步转为连续短停。切刀相位依赖编码器与伺服同步，若联轴器微量松动，跟随误差会在速度爬升段被放大，出现以换班、换牌为节点的重复性长短波^[2]。结合声发射或高频加速度信号的冲击计数、刀轴转速波动率与端面缺陷分级数据，可在刀口崩刃前识别由轻微偏磨转向结构性失衡的阶段，并指向刀盘紧固、轴承间隙或相位漂移等失效部位。此类趋势通常跨越数万支产量并具有可重复的演化轨迹。

2.3 接装供棒同步失配故障

接装段的滤棒供给与卷烟纸带、接装纸带同步关系紧密，一旦供棒鼓轮真空不足、送料通道阻力上升或伺服同步漂移，故障会以缺嘴、插接偏位和搭口不良等质量缺陷先行显现。过程数据上，滤棒料仓料位波动与上料节拍不稳定性会导致鼓轮抓棒失败率抬升，伴随真空曲线在取棒窗口内出现凹陷，剔除闲动作次数与缺嘴报警逐步增多。对国产高速机组而言，部分缺陷发生在加速段或换牌后稳态建立期，表现为接装伺服跟随误差短时超限与插接深度分布偏移。若传感器标定漂移，光电到位信号会出现抖动与延迟，导致胶辊触发时序改变并带来搭口宽度离散。将鼓轮真空、伺服误差、到位信号抖动率、缺陷类别与停机原因进行序列对齐，可预测由偶发供棒掉落转向连续缺嘴停机的临界点。

3 基于大数据与智能算法的烟机设备故障运行优化

3.1 成形负压链路的状态化运维

围绕卷烟成形机负压供丝回路的稳态能力，状态化运维应以数据闭环把故障处置前移。第一，在线采集成形负压、风机电流与转速、调压阀位反馈、滤网压差、吸丝嘴波动幅值及管路漏风信号，按机台、速度档、烟丝含水区间分层计算负压稳定度指数，指数由均值偏移、波动系数与尖峰占比构成，并与短停分钟数、重量标偏、圆周密度离散度在同一班次口径联表，通过趋势斜率与变点识别退化，换牌换批作为事件标签切片剔除原料切换引起的假异常，形成一机一档健康基线。第二，将风机、调压阀组、滤网、吸丝嘴、管路按回路编制作业包，模型触发后按风险排序自动下发工序清单，先做滤网压差复测与清理，再做管路负压保持与接口密封复核，随后完成阀位响应时间与回差测试，最后对吸丝嘴磨损量与同心度复测并校准设定值，现场以二维码扫码记录每一步完成时刻，工单关闭时回写复测曲线、替换件编码与照片证据，用于样本增量与阈值再校准^[3]。第三，备件耗材以指数阈值驱动更换而非日历周期，滤芯、密封圈、阀芯的触发值由稳定度下降速率和压差增长速率联合判定，并把采购到货周期、库存下限、班组领用频次纳入自适应规则，触发时自动锁定库位与备件批次并推送领料指令，系统按 BOM 自动关联替换件清单，拣料时校验条码一致性并记

录批次追溯，领用与装复结果回写到设备台账与工单消耗字段，同步修正该件失效分布参数与预测阈值。第四，在排产侧为高风险机台设置可插拔短维窗口，窗口优先挂接换牌、换批与交接班前后停机间隙，MES 接收风险等级后自动给出可执行窗口与最长占用时长，并将窗口计划同步到值班看板，班组按窗口完成点检签认并回填维护耗时、复机后负压稳定度恢复率与当班产量损失，复机后未达稳定度门限则限制提速并继续复测。第五，数据侧由班组在交接班前对负压传感器零点与采样管堵塞做快速核验，系统按分钟对缺失、跳变与漂移自动打标并触发复测，复测通过后才纳入稳定度指数计算。而算法侧在机台边缘端计算负压谱能量比、阀位响应滞后与风机电流相位差，并用滑动窗口对比健康基线生成三档预警，预警同时给出优先检查部位与可用备件批次。第六，处置后由质检员复核重量标偏与剔除量结构，系统自动对比维护前后稳定度恢复率，若恢复不足则下调速度档并安排二次窗口复查。同时工程师每周对报警命中与误报样本进行复盘，更新阈值与作业包顺序，并把典型波形、现场原因与处置结果写入知识库，供同型号机台迁移应用。

3.2 切刀系统的寿命计量与放行控制

为将切刀系统由经验换刀转为数据驱动的故障运行优化，可在卷烟厂 MES、EAM 与边缘采集体系中建立寿命计量与放行控制闭环。第一，寿命计量以刀盘累计转数为索引，同步采集轴承座振动、轴承温升与驱动电流，按转速档提取 1X、2X 倍频能量及包络谱特征，并与定长误差率、切口毛边比例做时间对齐，换牌与停启机事件作为切片标签用于剔除工况切换造成的假异常，采用分机台标定的加权评分生成健康分值，边缘侧分钟级滚动计算并入库并留存原始波形，阈值按同牌号同速度档的趋势斜率分位数动态调整，避免单点超限误判。第二，风险触发后系统自动下发标准作业卡，作业卡覆盖换刀、动平衡校核、轴承间隙复测与编码器零位校准，现场按步骤记录刀片批次、紧固顺序、扭矩与预紧复核值，关键步骤以二维码扫码确认完成时间并上传复测曲线，动平衡以残余不平衡量、端面跳动与振动复测作为放行判据，更换件编码随工单闭环回写，任一指标不合格即升级深度检修并锁定机台^[4]。第三，备件由刀片扩展为联轴器、紧固件与轴承组合包，组合包入库时绑定物料批次与适配机型，领用必须与风险工单关联以便追溯，结合健康分值估算的剩余寿命对组合包实施预占用与到货预警，同时把外协动平衡档期、量具校验到期与关键工序缺口纳入周计划看板，使拆装、校准与复检在同一停机窗口内完成并回填耗用数据。第四，在生产计划层面为高速度牌号与高掉丝敏感配方设置切刀状态门槛，健康分值、倍频能量或定长误差率未满足门槛时，系统禁止提速并提示切换低速档或备用机台，速度提升申请需在 MES 端形成审批记录，且自动提高该班次质量抽检频次，抽检以长度分布、端面缺陷分级与掉丝事件为主。第五，EAM 中建立切刀组件 BOM 与复测台账，

换下刀盘进入复测工位,记录刀口磨耗宽度、端面跳动、砧座间隙和残余不平衡量,并回写健康模型用于批次对比。边缘侧对倍频能量与包络冲击计数做去噪,遇到换牌停启先冻结评分并在稳态窗口复算,避免工况扰动拉偏放行判据。第六,质量端将长度分布、端面缺陷分级与掉丝事件与相位、跟随误差对齐,异常跨两班仍存在时,系统下发编码器零位复核与联轴器紧固复检清单并双人签收。另外,还须以周计划按剩余寿命排序安排动平衡与量具校验,库存不足时预占用组合包并给出降速或换机方案,放行后24小时补采基线波形用于回归验证。

3.3 接装供棒链路的节拍约束与模块化替换

围绕接装供棒链路这一类高节拍、强耦合单元,运行优化应把故障风险转化为可执行的节拍约束与可替换的维护动作。第一,在数据侧以鼓轮取棒成功率、到位信号丢脉冲率、真空曲线缺口率与伺服跟随残差为主特征,按速度档与换牌阶段分层建基线,边缘侧分钟级滚动生成班次风险等级并回写MES或EAM,风险升高时参数表自动下发至PLC,依次收紧限速曲线与允许加速斜率,并把剔除阀补偿阈值从固定提前量改为随真空恢复时间与取棒失败簇集度自适应修正,确保稳态未建立前不进入高速区。第二,全链路追溯先做统一时间基准与批次编码,将料仓补料时刻、上料皮带电机电流负载、分棒计数差、鼓轮真空与旋转接头压降、插接深度与偏位判定同码关联,当缺嘴或偏位发生,系统自动回溯前若干秒至数分钟的波形片段,按段落评分把异常定位到补料、分棒、取棒、传递或插接环节,并同步生成对应点检与复测清单。第三,光电与位置传感器标定纳入在线自检,利用空载循环或换牌间隙采集基准波形与触发时序,计算抖动率、延迟漂移、重复触发与上升沿畸变,超过控制限即生成校准工单,校准后自动比对缺陷占比、短停次数与伺服残差改善幅度,形成可追溯的闭环评价,用于识别反复失效点位。第四,对掉棒高发机台实行接装关键部件预装配与序列化更换,滤棒鼓轮密封圈、真空旋转接头、真空管汇与关键伺服模块按机型建立组合包,入库即绑定序列号、寿命计数与安装位置,并按风险等级对组合包实施预

占用与补货触发。模型判定进入工区时按作业卡执行快速换装,现场只完成真空泄漏测试、插接深度复核与伺服回零整定,故障件封存返修并在离线工位开展密封磨耗、接头偏磨与真空通道污染的分解分析,结论回写到失效字典和特征库,同时在排产系统冻结该机台高敏感牌号直至复测合格。第五,在控制侧,系统按速度档与换牌阶段对鼓轮真空缺口率和取棒失败簇集度设门限,风险上升时PLC依次下调限速、加速斜率与剔除阀补偿,并把胶辊触发提前量改为随到位信号延迟漂移自适应修正,避免稳态未建立即冲入高速区^[5]。在线追溯以统一时标对齐料仓补料、分棒计数差、真空与伺服残差,缺嘴或偏位触发后自动回放前30秒至3分钟波形并定位到补料、取棒或插接环节,同时生成清理通道、复测真空与校准光电的工单。第六,维修侧对高发机台采用组合包快速换装,现场完成真空泄漏测试、插接深度复核与伺服回零整定,故障件封存返修并把密封磨耗、接头偏磨与污染结论回写特征库。

4 结语

综上所述,烟机故障预测的关键不在算法新颖,而在于把信号、机理与现场动作绑定在同一数据口径下,使预警可解释、可验证、可复用。围绕负压、切刀以及接装三条典型故障链,将模型输出落到作业包、备件与排产约束后,短停可由被动处置转为计划化消解。后续工作可进一步完善跨机型迁移与多工序耦合约束建模,以提升全线运行稳定度。

参考文献

- [1] 张文杰.基于工业物联网和大数据分析技术的设备故障智能预测系统研究[D].郑州大学[2026-01-05].
- [2] 张锐.基于大数据和LSTM的设备故障预测方法研究[J].科学大众:科技创新,2021.
- [3] 左旭涛,李世明,程中国,等.基于大数据的机电设备故障模型研究[J].现代城市轨道交通,2021(6):4.
- [4] 李杰,赵磊.制丝车间烟机设备机械故障预防措施研究[J].工程技术研究,2025(13).
- [5] 于洪涛.烟机振动值上升原因分析与优化[J].锅炉制造,2021(4):3.DOI:10.3969/j.issn.1674-