

基于数据感知与可视化决策的卷包设备精准维保系统构建及应用

马俊 龚占鹏 周雪萍 刘宗强

红塔烟草(集团)有限责任公司昭通卷烟厂 云南 昭通 657000

【摘要】：传统卷烟设备维保模式普遍面临停机数据记录粒度不足、多源信息孤岛化、维护策略粗放均一等系统性挑战。本研究以卷包车间为对象，提出并实施了一套涵盖数据治理、效率评价与决策支持的数据驱动精准维保方案。通过构建设备综合净效率(PCI)模型，统一停机损失分析框架；设计并部署集成设备状态与产品质量数据的ETL治理流水线；基于Tableau与FineReport平台开发了集故障智能诊断与缺陷多维溯源于一体的可视化决策支持系统。实践表明，该体系实现了维保模式从“定期普保”向“数据精保”的转型，显著降低了非计划停机时间，提升了设备综合效率与产品质量稳定性，为卷烟工业设备管理的数字化转型提供了系统化、可落地的技术路径。

【关键词】：卷烟设备；精准维修；数据采集；可视化分析；预测性维护

DOI:10.12417/2705-0998.25.24.020

1 引言

在“中国制造2025”与工业互联网深度融合的背景下，制造业的数字化转型正向设备运维等核心环节纵深推进。卷烟工业作为典型的流程制造业，其核心卷接包机组具有结构精密、连续作业性强、工艺耦合度高等特点，设备运行的稳定性与效率直接决定了生产效益与产品质量。

张洁^[1]等根据数据处理流程，总结了融合处理、关联分析、性能预测与优化决策四位一体的方法体系。围绕边缘层、平台层和应用层设计大数据平台，介绍了大数据驱动智能制造的使能技术；从智能设计、计划调度、质量优化、设备运维四个角度，综述工业大数据驱动的智能制造应用现状；沈保明等^[2]从深度学习在机械装备故障预测与健康管理应用中的基本流程入手，分析PHM深度神经网络的输入特征及其主要类型和特点，对比了PHM应用中常见的4类神经网络模型与其对应的模型训练算法，对深度学习在PHM应用的国内外研究进展进行了归纳总结，并展望了深度学习在PHM应用中的发展方向；周桂等^[3]归纳并总结了基于SVD理论的机械故障诊断的研究成果，最后分析了目前奇异值分解理论在机械故障诊断应用中面临的问题与挑战，以期研究人员提供参考；姚倩等^[4]从提升员工的设备保全意识和技能、建立设备部件定期更换制度、加强备件管理、成立专项改善小组、制定相应标准指导文件等方面提升设备管理水平。为提高板式家具封边机综合效率提供了依据，同时为板式家具生产线整线设备效率提升提供了参考。然而，当前多数企业仍沿用基于固定周期与经验判断的传统维保模式，普遍存在三个突出矛盾：一是“数据孤岛”与“决策需求”之间的矛盾，设备状态数据与质量数据彼此割裂；二是“粗放记录”与“精细分析”之间的矛盾，短时高频故障未被有效采集；三是“统一标准”与“个体差异”之间的矛盾，维保策略难以适配单台设备的实际健康状态。

随着卷烟工厂高端卷烟专线建设推进，设备新旧迭代加速、故障模式日趋复杂、质量指标持续提升，上述矛盾进一步

凸显，成为制约设备综合效率(OEE)持续优化的关键瓶颈。为此，本研究以某卷烟厂卷包车间为实践场景，组建跨部门攻关团队，系统构建并实施了一套以数据为驱动、以分析为核心、以决策为导向的精准维保技术体系。本文旨在系统阐述该体系的整体架构、关键模块设计与实施成效，以期为行业设备智能化运维提供可复制的参考范式。

2 问题诊断与系统设计目标

2.1 多维问题剖析

通过对历史维保记录、停机日志、质量报表及现场流程的全面审计，当前维保体系的短板可归纳为以下三个层面：

(1) 数据层：采集缺失与系统异构

设备运行数据仅记录超过15分钟的停机事件，而大量短时停机(如瞬时卡烟、堵塞等)虽单次影响小，但累计损失可达总停机时长的50%以上，却长期处于“不可见”状态。同时，停机原因分类缺乏统一标准(如机械、电气、工艺等)，数据可利用性低。此外，烟支全外观检测系统独立运行，其生成的缺陷类别、位置、剔除时间等海量数据未能接入工厂数据平台，形成典型的数据孤岛。

(2) 分析层：工具缺位与洞察滞后

缺乏集成化的数据分析平台，管理人员依赖手工报表与经验判断，难以从离散数据中快速识别故障模式、定位瓶颈机台或预警潜在风险。维保计划制定高度依赖集团统一标准，未能结合设备历史故障谱、性能衰减曲线及实时质量数据进行动态建模与个性化调整。

2.2 系统设计目标

为系统性解决上述问题，通过确立以下核心目标进行实现：

构建统一评价体系：建立涵盖时间、性能、质量三维度的设备综合净效率(PCI)模型，标准化停机损失分类与统计逻辑

辑，为数据采集与绩效评估提供量化基准。

打通多源数据链路：实现设备控制系统（PLC/SCADA）、在线质量检测系统与生产执行系统（MES）间的数据互联，搭建覆盖采集、清洗、存储、治理全流程的 ETL 数据流水线。

开发智能决策看板：面向设备管理员、工艺员、维修工等多角色，开发集故障分布、缺陷溯源、效率趋势分析于一体的可视化交互看板，支撑数据驱动的精准维保决策。

3 数据驱动精准维保系统构建

3.1 PCI 评价模型与数据采集体系设计

为统一设备效能评价标准，项目组构建了设备综合净效率（PCI）模型，其计算公式为：

$$PCI = \text{时间开动率} \times \text{性能开动率} \times \text{合格品率}$$

其中：时间开动率 = 开动时间 / (日历时间 - 故障停机时间)

性能开动率 = (理论加工周期 × 实际加工数量) / 开动时间

合格品率 = 合格品数量 / 总加工数量

围绕 PCI 模型，项目组对卷包设备停机损失进行了系统分解，形成标准化分类体系，为数据采集点的梳理与绩效分析提供了明确框架。

PCI 卷包环节损失时间指标分解表

一级分类	二级分类	具体表现/原因
管理停机	计划保养	周保、月保、深度保养
	工艺调整	换牌、调试、胶辊更换
	物料准备	原辅料更换、纸盘拼接
故障停机	机械故障	搓板阻塞、传动部件磨损、同步带断裂
	电气故障	传感器失灵、PLC 通讯中断、电机过载
	工艺/质量故障	烟支空松、滤嘴错位、装接纸偏移
	短时高频故障 (<15 分钟)	瞬时卡烟、堵塞、跑条

基于该分类，项目组系统梳理了卷包机组的关键数据采集点，涵盖设备运行状态（如转速、温度、振动）、工艺参数（如胶量、压力）及质量检测信号（如缺陷类型、剔除位置）等，为后续数据集成奠定了基础。

3.2 多源数据集成与治理流水线实施

针对某牌号专线生产，进一步采用以下三阶段数据工程建设：

(1) 网络集成与数据接入

将原先独立运行的烟支全外观检测系统通过部署工业网线、配置统一 IP 策略，安全接入车间生产网络，打通了质量数据回传通道。

(2) ETL 流程设计与实施

设计了数据采集与治理 ETL 流程。该流程通过接口解析程序从设备 PLC 与质量检测系统实时抽取数据，利用 Kettle 工具进行清洗、对齐、转换与聚合，最终将治理后的结构化数据加载至数据平台，并同步至 MySQL 业务数据库，形成服务于维保分析的主题数据仓库。实现从多源异构数据到标准化、可分析数据的自动化流水线。

[数据源层]→[接口解析/抽取]→[Kettle 清洗转换]→[数据平台存储]→[MySQL 业务库]

标准化报表开发：基于 FineReport 平台，开发“专线烟支外观缺陷统计报表”。该报表支持按机台、班组、时间区间等多维度查询与导出，可实时展示缺陷总数、分类统计及趋势对比，为现场质量监控提供了即时工具。（图 1：专线烟支外观缺陷统计报表界面示意）



图 1 专线烟支外观缺陷统计报表界面示意

[查询条件区]：机台选择、时间范围、缺陷类别筛选

[数据展示区]：缺陷总数、产量、剔除率、分类缺陷数量与占比列表

[趋势图区]：按班次/日期的缺陷率变化曲线

3.3 可视化分析看板开发与应用

(1) 设备故障精准分析看板

利用 Tableau 开发了设备故障分析看板，其核心视图包括：（图 2：包装机具体故障时长及排名：）



图 2 包装机具体故障时长及排名：

以柱状图展示故障类别及其累计停机时长，直观定位高频

故障类型。

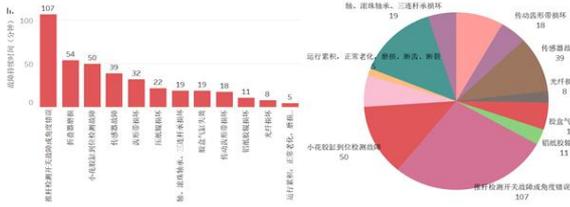
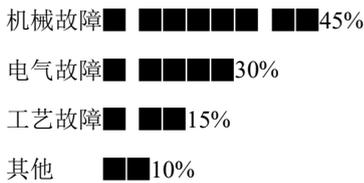


图3 故障时间统计及故障原因占比

通过饼图与堆积柱状图，展示机械/电气/工艺故障的分布与趋势。

该看板首次将15分钟以下短时停机纳入统计，通过多维度下钻分析，帮助管理人员快速识别故障模式，为制定预防性保养计划提供依据。

故障类别	停机时长(min)	排名
搓板阻塞	125	1
传动带松动	98	2
传感器故障	76	3
...



(3) 烟支缺陷溯源分析看板

基于 FineReport 开发“专线烟支外观缺陷分析看板”（如图4示意），集成实时数据管道，动态展示：



图4 专线烟支外观缺陷分析看板示意图

各机台上个班次的产量、缺陷剔除总数与剔除率；八大关

参考文献：

[1]张洁, 高亮, 秦威. 大数据驱动的智能制造[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(1): 1-15.
 [2] 沈保明,陈保家,赵春华,等. 深度学习在机械设备故障预测与健康管理中的研究综述[J]. 机床与液压,2021,49(19):162-171.
 [3] 周桂,李华,黄涛,等. 基于奇异值分解理论的机械故障诊断方法综述[J]. 现代制造工程,2022(12):144-151.
 [4] 姚倩,李荣荣,龚建钊. 基于设备综合效率的板式家具封边机生产效率分析与评价[J]. 木材科学与技术,2022,36(3):26-32.

键缺陷类别（如定位不良、卷烟纸长度、滤嘴缺陷等）的剔除数量与占比；单机台各类缺陷的横向对比与历史趋势。

该看板实现了质量数据与设备状态的关联分析，指导维修人员针对高发缺陷进行精准调校与专项检修。

机台：YJ17-01|班次：甲班|产量：12.8万支|总剔除数：356|剔除率：0.28%

缺陷类别	剔除数	占比
定位不良	128	36%
卷烟纸长度	89	25%
滤嘴缺陷	56	16%
...

4 实施效果评估与分析

4.1 维保模式向质量牵引转型

通过缺陷数据与设备状态的深度融合，维保重心从“保障设备连续运行”转向“以产品质量为导向的精准干预”。例如，根据看板提示的“水松纸长度缺陷”高发机台，维保团队针对性调整搓接机构压力与导轨位置，在消除质量隐患的同时优化了设备运行状态。

4.2 数据驱动决策机制落地

基于单台设备的实时数据与历史表现，维保计划实现了个性化动态生成。各机台依据自身的故障谱、性能衰减曲线与缺陷发生模式，生成差异化的保养任务清单，显著提高了维保资源的配置效率。

5 结论与展望

本研究针对卷包设备传统维保体系的痛点，构建了一套以数据为驱动、以PCI模型为评价基准、以可视化分析为决策支撑的精准维保系统。通过统一数据标准、打通信息孤岛、开发智能看板，实现了维保活动从固定周期维护向状态预测维护的范式转移。

实践表明，该系统可有效提升设备可用性、质量稳定性与运维管理精细化水平，具备在卷烟工业及类似流程制造业中推广的潜力。未来研究将聚焦于引入机器学习算法，实现故障预测、剩余寿命评估等智能分析功能，推动设备维保向自适应、智能化方向持续演进。