 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v3i8.11541

Operation Monitoring and Fault Analysis of Cigarette Packaging Machines Based on Neural Networks

Xuefeng Gao Rui Liu

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

Abstract

Cigarette packaging machines are multi-station continuous rhythm processing systems where processes such as cigarette handling, bundling, film application, heat sealing, cutting, and material conveying are interdependent. Single-point alarms often fail to directly identify the actual fault source. Field data exhibit characteristics including inconsistent sampling frequencies, strong noise interference, frequent operational transitions, and dispersed manifestations of similar faults, rendering traditional threshold-based and empirical diagnostic methods unstable across shifts, formulations, and speed variations. The key application of neural networks in such equipment lies not in replacing control logic, but in reorganizing multi-source signals according to process semantics to represent operational quality, load variations, and coupling relationships in a learnable format, thereby transforming model outputs into verifiable evidence chains for maintenance purposes. Based on this, this paper conducts an in-depth investigation into operational monitoring and fault diagnosis for cigarette packaging machines utilizing neural networks as a reference.

Keywords

neural network; cigarette packaging machine; operation monitoring; fault diagnosis

基于神经网络的卷烟包装机运行监测与故障分析

高雪峰 刘瑞

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

卷烟包装机属于多工位连续节拍设备，理烟、成束、上膜、热封、切刀与输送环节相互牵连，单点报警往往难以直接对应真实故障源。现场数据具有采样频率不一致、噪声冲击强、工况切换频繁、同类故障表现分散等特点，导致传统阈值与经验判别在跨班次、跨配方与跨速度条件下稳定性不足。神经网络在该类设备中的应用关键不在于替代控制逻辑，而在于把多源信号按工序语义重新组织，使动作质量、负载变化与耦合关系以可学习的形式被表达，并将模型输出转化为检修可复核的证据链。基于此，本文将基于神经网络的卷烟包装机运行监测与故障展开深入探讨，以供参考。

关键词

神经网络；卷烟包装机；运行监测；故障

1 引言

在卷烟生产过程中，非计划停机时间、包装机定期维护所需要的时间、劳动力和维护成本是阻碍工厂生产效率的主要因素。在出现非计划故障停机时，未解决硬件故障将会导致产品延迟供应，进而使得生产效率过低。因此，本文提出了一种基于神经网络的卷烟包装机运行监测与故障分析方法，旨在卷烟包装机故障发生之前对故障进行估计并提前进行预测维护。

2 神经网络在设备监测中的基本原理

神经网络用于卷烟包装机运行监测时，核心在于以历史运行数据为依据建立输入与状态表征之间的非线性映射。监测对象通常覆盖振动、温度、压力、真空度、电流、电压及转速等多源信号，先在采集端完成时间对齐与去噪，再按设备节拍进行分段，提取均值、峰值、峭度、频带能量等统计与频域特征，必要时引入工况标签以区分速度、负载与环境变化。前馈网络通过多层权重叠加学习特征组合关系，循环网络与门控结构适合处理连续序列，可刻画传送链抖动、刀座周期性冲击等时序相关性，卷积结构则通过局部感受野捕捉波形形态差异。

3 基于神经网络的卷烟包装机的运行监测

3.1 关键工序运行状态的神经网络识别与判别

关键工序状态识别以包装机的工序节拍为对齐基准，将理烟、成束、上膜、热封、切刀和输送等环节的信号统一到同一时间轴上。采集内容包括伺服位置与速度、驱动电机

【作者简介】高雪峰（1969–），男，中国陕西韩城人，本科，高级工程师，从事设备管理研究。

电流与扭矩、气路压力与真空、热封温度、振动信号以及光电到位信号等，并用滑动窗口把连续数据切分成可输入模型的时序片段[1]。数据进入网络前先做去噪、归一化和缺失补齐，同时在每个窗口内计算更直观的特征，如负载波动幅度、温升变化速度、振动主频能量、到位延时以及动作持续时间等，让不同工位的状态差异更清晰。

3.2 多源运行数据融合下的包装机工况在线监测

在卷烟包装机的工况在线监测中，多源数据融合首先要把不同系统的信号对齐到同一时间基准。可将伺服驱动报警码、主电机电流与转矩变化、关键轴承振动与温升、真空度与气源压力、光电计数与剔除次数、视觉检测的缺陷标签等数据，统一整理到同一数据帧中。数据进入模型前，先在边缘端完成时间戳校正、明显异常点剔除和缺失值补齐，再用滑动窗口提取更易识别的特征，如频谱幅值、冲击指标、节拍波动、启停过渡的变化规律等。

神经网络结构可采用两段式设计，第一段负责从振动、电流等连续信号中提取时序特征，可用一维卷积或循环网络进行编码；第二段把第一段的结果与报警码、剔除事件、视觉缺陷标签等离散信息合并，输出当前工况类别和健康度评分，并给出主要影响因素的贡献度。这样既能识别卡纸、供膜不稳、热封温控偏离、剔除灵敏度不匹配等状态，也便于将报警与部件定位同步完成。

3.3 运行参数偏移的神经网络实时预警与提示

运行参数偏移预警可分为两类来处理，一类是参数缓慢偏离，另一类是参数突然跳变。模型以正常工况的历史数据为样本，训练自编码器或 LSTM 预测模型。系统运行时，把当前的速度、真空度、封口温度、拉带张力等参数一起输入模型，得到重构误差或预测残差，再结合参数间的相关关系计算综合偏移指数，用它来判断偏移程度。阈值不采用固定上限，而是用滑动窗口持续更新基线和正常波动范围，同时加入持续时间条件，避免瞬时噪声触发报警。为减少误报，可设置一致性校验，例如电机电流上升同时伴随振动能量增加时，才提升预警等级。预警按三级输出，一级提示已出现偏离并标明偏移方向，二级进一步提示可能关联的部件或环节，如供纸、热封、传动同步或传感器零点，三级触发联动策略，如降速或保持节拍并要求人工复核。

4 基于神经网络的卷烟包装机的故障分析

4.1 卷烟包装机故障特征提取

卷烟包装机的故障特征提取应从工序链的动态耦合入手，把理烟、成束、上膜、热封、切刀、输送等环节的可观测量统一到同一分析框架。采集侧优先选用伺服位置与速度、电机电流与扭矩、气路压力与真空、热封温度、振动加速度以及光电到位信号等，确保每个信号带有明确的工位标识与时间戳。对多源数据先做时钟漂移校正与重采样，将不同采样率的数据对齐到工序节拍或主轴角度坐标，再进行异常点剔除、带通或小波去噪、缺失段插补与幅值归一，避免尺度差异把网络训练引向偏差[2]。特征构造不宜停留在单点量值，应在滑动窗口内提取能反映机械负载与动作质量的组合指标。时域侧关注电流均方根、扭矩峰谷差、速度跟随误差、位移超调量、到位延时、动作持续时间与真空建立时间等，用以刻画卡滞、打滑、泄漏与节拍紊乱。频域侧对振动信号做谱能量分布与包络解调，提取主频能量、倍频侧带、冲击峭度与谱熵，用于识别轴承磨损、齿轮啮合异常及间隙增大。

例如热封工位出现封口虚封，现场往往先表现为温度显示正常但封口强度下降。特征提取时可同时使用热封温度曲线的稳态波动幅度、升温到设定值的斜率、加热回路电流的脉动成分，并叠加输送速度的瞬时下降与到位信号的延时量。若温度波动不大但加热电流高频脉动增加，同时振动包络在固定倍频处能量抬升，通常更符合加热块接触不良或传动间隙变化引起的瞬态热量供给不稳，这类组合特征比单看温度更容易被网络稳定捕捉。

4.2 典型工位异常状态的神经网络识别分析

在完成关键工序运行状态的判别后，进一步需要把异常落到具体工位与具体动作上，才能把同一类报警背后的差异拉开。典型工位异常识别通常以理烟、成束、上膜、热封、切刀、输送为对象，将伺服位置与速度、电机电流与扭矩、真空与气压、热封温度、振动及光电到位信号按节拍对齐，按工位动作窗口切片，保留动作起止、到位延迟、负载峰值、稳态电流均值、温升斜率、振动主频能量、真空回升时间等可复核指标。对缺失点采用工位内插与邻窗约束修补，对噪声用带通或小波抑制，再用同机台同批次的标定段做归一化，避免跨班次漂移把正常样本推成异常。在网络建模上，常把异常分成可操作的多类别标签，如卡烟与叠烟、缺包与空包、膜张力波动、虚封与封口偏斜、切刀不到位、输送打滑或堆包等。输入端采用多通道一维卷积提取冲击尖峰与周期纹理，后接门控循环或注意力结构刻画前后动作耦合，输出工位异常类别及置信度，同时保留中间特征用于定位异常来源。判定时不只看单窗结果，而是引入连续多窗一致性与置信度稳定性规则，遇到临界状态通过阈值分级给出疑似与确认两档，降低瞬时波动造成的误报[3]。

例如热封工位出现虚封时，温度设定未必突变，但可观察到加热回路占空比上升、封辊电流均值抬高、真空保持时间缩短，且在连续数个节拍内封口到位延迟略有拉长，网络会将这组弱变化组合成稳定的异常指纹并指向热封压力或贴膜走向的偏差，从而完成典型工位异常状态的神经网络识别分析。

4.3 卷烟包装关键部件失效模式的智能判别

在完成工位异常状态的识别后，故障分析还需要进一步追溯到关键部件层面，明确是性能衰退还是结构性失效，从而把处置对象从工位转到零部件。卷烟包装关键部件

失效模式的智能判别通常以切刀机构、热封组件、上膜张紧与纠偏机构、伺服电机与减速传动、真空发生与气路执行元件、输送带与滚筒轴承等为主线建立失效模式库，并将现象量与机理量一一对应。数据侧除控制器自带的电流、扭矩、位置速度、温度、压力真空外，还应引入振动与声学、封辊表面温度分布、张力或摆臂位移、阀岛动作响应等外部信号，按部件动作周期对齐后形成部件级序列样本，保证同一部件在不同工况下可比。

特征构建强调从“可观测变化”映射到“失效类型”。如轴承磨损与润滑劣化往往表现为高频振动能量上升、温升斜率加大且电机稳态电流缓慢抬升；联轴器松动更容易出现低频侧带、启停段冲击峰值增大并伴随位置跟随误差抖动；切刀刃口钝化常见为切刀电流峰值增大、回程时间延长、切口相关的光电到位延迟波动；热封加热管老化或热电偶漂移会带来温控输出占空比异常、温度回稳时间拉长与封口质量相关指标的周期性偏离；膜路张紧衰退或纠偏传感器污染可见张力摆动增大、纠偏动作频次上升且膜速与主轴节拍出现细小相位差。为避免把生产配方变化误判为失效，需用同机台同品牌规格的基准段做归一化，并将速度、负载、温度设定等工艺量作为条件变量一并输入。

模型侧可采用“分层判别”策略，先用一维卷积或时序注意力网络完成部件健康与异常的粗分，再在异常分支上用多任务网络输出失效模式类别、衰退程度评分与剩余可用窗口的区间估计。训练阶段把维修记录、备件更换时间、点检测温测振结果与报警日志进行时间对齐，按更换前的衰退段构造弱标签样本，并通过类别重加权处理少样本失效。在线判别时引入连续多周期一致性与阈值回滞，结合工位异常触发的关联规则，形成部件级可复核的判据链，最终落到卷烟包装关键部件失效模式的智能判别。

4.4 基于模型输出的故障原因关联与定位方法

在完成故障状态识别与特征提取之后，模型输出就不应只停留在类别标签，而要进一步转化为可落到部件与工序的原因线索。具体做法是把网络的概率分布、置信度波动、注意力权重或关键特征贡献度一起读取出来，并与工序时间轴对齐，形成故障发生前后若干个节拍窗口的证据序列。对同一窗口内的多源信号，可用特征贡献排序或梯度归因法找出最敏感的变量组，再按设备结构把变量组映射到伺服轴、热封、供膜、真空与气路、切刀与输送等功能单元，避免仅凭单一传感器做主观判断。为了把“相关”进一步推到“原因链”，需要引入约束规则与因果先验，例如利用工序拓扑与联锁逻辑建立故障传播有向图，将模型给出的高风险工序作为起点，沿着物料流与动作链追溯上游触发点，同时用时延一致性检验过滤掉被动响应量，如振动上升但先于电流突增的情形更可能指向机械卡滞。定位阶段采用候选原因分级，第一层锁定单元，第二层细化到部件与参数，结合报警码、维护记录与备件更换周期做交叉核验，输出带置信区间的原因排名与检查顺序。举例来说，模型对上膜与热封段给出持续低置信度并提示热封温度斜率、真空波动贡献度靠前，同时切刀到位延时在两到三个节拍后出现，则可优先排查热封加热回路与真空漏点，再检查薄膜张力与导辊阻滞，按传播路径逐项验证直至定位到具体故障源，这就是基于模型输出完成故障原因关联与定位的方法。

5 结语

总而言之，基于神经网络的卷烟包装机运行监测与故障分析应以工序节拍为主线，把伺服、驱动、气路、热控、振动与到位信号等多源数据在同一时间坐标下进行一致化处理，并通过时序建模实现对工况变化与异常征兆的稳定识别。通过数据处理规则、模型判别结果与现场检修逻辑的衔接，能够使监测结论具备可追溯性与可操作性，从而为卷烟包装机的连续稳定运行提供一致的技术路径与方法体系。

参考文献

[1] 张廷龙.卷烟厂包装机智能化监控系统设计与实现[J].中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术, 2023(011):000.

[2] 樊柄宏,刘清,周国彬,等.基于模糊神经网络的一体化监测设备可靠性评价[J].现代矿业, 2024, 40(3):230-234.

[3] 贺雯静.基于卷积神经网络的IT设备运行故障自动化监测技术[J].电子设计工程, 2025, 33(17):80-84.