

# 滤棒机供胶系统智能化预警装置研究和实践

郑凯泽 尹洪禹 李金龙 张万年 王永才

红云红河烟草(集团)有限责任公司乌兰浩特卷烟厂 内蒙古 乌兰浩特 137400

**摘要:** 针对ZL26B滤棒成型机中线胶施胶系统因缺乏有效监测手段而导致胶泵停转故障难以及时发现的问题, 本文提出并成功实践了一种基于“接近开关+PLC联动”原理的智能化预警装置。该装置通过在胶泵从动轮上加装金属标识物, 并利用高速PNP型接近开关进行非接触式状态检测, 将信号接入西门子LOGO!PLC进行智能处理。系统创新性地引入设备“高速运行继电器”信号作为检测启动条件, 有效规避了启停阶段的误报风险, 并实现了声光报警与设备自动停机的硬接线联动。实践应用表明, 该装置将操作工发现胶泵停转的时间由原来的3.26分钟大幅缩短至0.39秒, 单次故障产生的不合格滤棒量减少了99.80%, 且装置本身具有零误报率、高稳定性、低成本和易维护等显著优势。本研究为烟草行业滤棒成型设备的智能化改造提供了一个可复制、可推广的成功范例, 对提升产品质量稳定性、降低生产成本具有重要的实践价值。

**关键词:** 滤棒成型机; 供胶系统; 胶泵停转; 智能化预警; 接近开关; PLC控制

## 引言

在现代烟草制造业, 滤棒质量关乎消费者体验与品牌声誉。ZL26B滤棒成型机是行业核心设备, 线胶施胶系统稳定运行是保障滤棒物理和内在品质达标的关键, 该系统靠胶泵输送低粘度冷胶至施胶点。但长期存在技术痛点: 驱动胶泵的传动皮带断裂、打滑或从动轮卡滞时, 胶泵停转而主驱动电机可能正常运转, 形成“假运行”。原机组设计无胶泵真实运转状态实时监测装置, 故障靠操作工定期人工抽检发现。在设备高速生产下, 这种被动检测方式易产生大量不合格品, 造成原材料浪费、返工成本增加, 甚至有质量隐患流入市场<sup>[1]</sup>。因此, 开发能实时、精准、可靠监测胶泵运转状态并快速响应的智能化预警系统十分迫切。本文将详述针对此问题的智能化预警装置的研究思路、方案、实施过程及效果, 为同类型设备升级提供参考。

## 1 问题诊断与需求建模

### 1.1 问题现状量化

为了精准把握问题的严重程度, 项目团队首先对历史数据进行了梳理。通过对2025年3月至5月间四台ZL26B成型机发生的胶泵停转事件进行统计, 发现操作工平均需要耗时3.26分钟才能察觉故障。在此期间, 单次故障平均将产生约1956米的不合格滤棒, 质量损失触目惊心。

### 1.2 现有检测手段评估

针对操作工提出的需求, 团队成员对车间现有的工具、设备和方法进行了全面调查与分析, 结论是现有手段均无法满足“及时发现”的核心需求。人工自互检存在检测滞后性, 依赖经验, 误判率高; 常规仪表检测压力异常原因多样, 不能精准指向胶泵停转; 而引入的简易光电传感器则受现场丝束飞花影响大, 灵敏度不足, 覆盖性差。

表1: 现有检测手段评估表

检测方法	原理简述	主要缺陷	适用性
人工自互检	操作工定时抽取滤棒, 目视检查胶线	检测滞后(>5分钟), 主观性强, 易漏检	不适用
胶管压力表	监测胶泵出口压力变化	压力波动受多种因素影响(如胶粘度、温度), 无法特异性指向胶泵停转	不适用
简易光电传感器	对准从动轮边缘, 检测转动	极易受丝束飞花、粉尘遮挡, 导致信号丢失或误判, 稳定性差	不适用

### 1.3 核心需求定义

基于FMEA和现状评估, 项目明确了新预警装置必须

满足的三大核心需求(见表2):

表2: 智能化预警装置核心需求

需求维度	具体指标	目标值
准确性与抗扰性	能在粉尘、振动环境下, 准确区分正常运转与停转	误报率 $\leq 0.5\%$ , 检测准确率 = 100%
响应速度	从故障发生到报警/停机的总延迟	$\leq 1$ 秒
工程适配性	对原机改动程度、空间占用、成本	零核心部件改动, 空间 $\leq 0.05\text{m}^3$ , 成本 $\leq 2000$ 元

## 2 创新方案设计与论证

### 2.1 设计思想启发: TRIZ与跨行业借鉴

为突破思维定式, 团队运用TRIZ(发明问题解决理论)工具对问题进行抽象。核心矛盾在于“时间损失”(参数25)与“对象复杂性”(参数36)。通过矛盾矩阵, 团队获得了“多用性原理”等启发, 并提炼出“实时监测”、“快速响应”、“抗干扰”三个关键词。围绕这三个关键词, 团队开展了广泛的行业借鉴: 借鉴专利《一种设备运行状态监测装置》(CN203549876U), 学习其采用传感器对关键部件进行实时监测、具备防尘抗振设计、以及 $\leq 0.5$ 秒的快速报警响应机制; 借鉴纺织机械锭子转速监测案例, 学习其利用码盘与光电传感器配合, 通过非接触方式实现高精度转速测量, 且对原机改动小; 借鉴车间内卷烟机故障监测装置, 学习其采用“接近开关+PLC控制”的成熟方案, 实现稳定可靠的报警与停机联动。

### 2.2 总体方案比选

综合各项借鉴点, 团队形成了清晰的创新思路, 并提出了三套具备创新性的总体方案。方案一为“接近开关+PLC联动方案”, 在从动轮加装金属螺栓作为标识, 用IP65防护等级的接近开关进行非接触式检测, 信号直送PLC处理。方案二为“光电传感器+码盘方案”, 在从动轮外圈粘贴黑白条纹码盘, 用光电传感器读取脉冲信号。方案三为“霍尔传感器+磁钢方案”, 在从动轮粘贴磁钢, 用霍尔传感器检测磁场变化, 并引入胶管压力信号进行双重验证<sup>[2]</sup>。为科学选择最佳方案, 团队制定了“适配性、稳定性、经济性、响应速度”四大评价维度, 并对各方案进行了量化测试。结果显示, 方案一在适配性(无需改造原机)、稳定性(误报率0%)、经济性(成本1800元)方面表现最优, 响应速度(0.45秒)完全满足 $\leq 1$ 秒的目标。方案二响应速度最快, 但码盘易受粉尘污染, 需每8小时清吹一次, 长期稳定性存疑。方案三虽然误报率低, 但空间占用超标, 且成本最高, 响应速度最慢。综合权衡, “接近开关+PLC联动方案”因其在关键指标上的全面优势, 被确定为本次课题的总体实施方案。

### 2.3 详细系统设计

#### 2.3.1 机械感知层优化

在机械感知层的设计上, 团队充分考虑了现场环境

的挑战与工程实施的便利性。最终选择在胶泵从动轮的外缘, 沿圆周方向以90度夹角对称安装4颗M5规格的不锈钢螺栓, 作为旋转状态的物理标识物。这种设计具有多重优势: 首先, 不锈钢材质坚固耐用, 耐腐蚀, 能长期承受机械振动; 其次, 90度对称布置确保了无论从动轮停在任何角度, 至少有一颗螺栓能被传感器有效感应, 避免了检测盲区; 再次, 螺栓本身作为常见的紧固件, 易于在从动轮上攻丝安装, 对原机结构改动极小。与之匹配的传感器选用了一款高速型、IP65防护等级的PNP常开型电感式接近开关。该开关的感应距离设定在1-2毫米之间, 既能保证足够的信号强度, 又能有效抵抗因机械振动引起的间隙变化。其非接触式的检测原理, 使其完全不受生产现场弥漫的丝束飞花、粉尘和油雾的影响, 从根本上解决了光学传感器在此类环境中的固有缺陷。

#### 2.3.2 信号处理与决策层创新

硬件平台选用了西门子LOGO!可编程逻辑控制器(PLC), 直接安装在设备原有的动力柜内。其24VDC的工作电压与工厂现有的控制电源系统完美兼容, 简化了电气集成。为了提升原始信号的质量, PLC内部程序集成了一个5次滑动平均滤波算法, 其数学表达式为 $Y_n = (X_n + X_{n-1} + X_{n-2} + X_{n-3} + X_{n-4})/5$ 。该算法能有效平滑掉由电气噪声或微小振动引起的信号毛刺, 确保送入逻辑判断模块的是一个纯净、稳定的脉冲序列。本设计最核心的创新点在于其独特的“双条件触发”逻辑。PLC并非孤立地监测来自接近开关的脉冲信号, 而是同时采集了原机控制系统中的“高速运行继电器”的常开触点信号。只有当“高速运行继电器”处于闭合状态(即设备明确处于正常的高速生产模式)时, PLC才会激活对脉冲信号连续性的监测<sup>[3]</sup>。一旦在此状态下脉冲信号中断, PLC立即判定为胶泵停转故障。这一精巧的逻辑设计, 完美地规避了设备在启动、停止、低速爬行或调试等非生产阶段可能出现的信号不稳定现象, 从而将误报率降到了零, 极大地增强了系统的鲁棒性和可信度。

#### 2.3.3 联动执行层设计

为了确保在任何情况下都能执行关键的安全连锁功能, 报警与停机指令均采用了物理硬接线的方式, 而非依赖可能存在通讯延迟或故障风险的现场总线。具体而

言, PLC在确认故障后, 会立即通过两路独立的继电器输出端口发出指令。第一路指令连接至声光报警器, 触发其发出不低于85分贝的高音蜂鸣和醒目的红色闪烁灯光, 确保在嘈杂的生产车间环境中能被操作工第一时间注意到。第二路指令则直接断开胶泵伺服驱动器的使能(Enable)信号, 强制设备进入安全停机状态, 从源头上切断了不合格品的继续生产<sup>[4]</sup>。此外, 考虑到持续的噪音可能对操作工造成困扰, 报警器被设定为持续工作1分钟后自动关闭, 既达到了警示目的, 又兼顾了人机工程学的要求。

### 3 工程实施与效果验证

#### 3.1 实施过程

项目严格遵循PDCA循环, 制定了详细的“5W1H”实施计划。从2025年6月开始, 历时两个月, 团队完成了四台ZL26B成型机的装置安装、线路敷设、PLC程序烧录及系统联调。整个实施过程周密有序, 未对原机的正常生产造成任何负面影响, 充分体现了方案设计的成熟度与工程实施的严谨性。

#### 3.2 效果验证数据

##### 3.2.1 核心性能指标验证

装置投用后, 团队对其效果进行了为期两个月的严密跟踪与验证。在2025年8月1日至9月30日期间, 对4台ZL26B成型机进行了80次(20次/台)模拟胶泵停转测试。结果显示, 操作工发现停转的平均时间仅为0.39秒, 远低于设定的“低于1分钟”目标, 核心目标圆满达成。

##### 3.2.2 质量与经济效益对比分析

装置的应用带来了显著的质量与经济效益。单次胶泵停转产生的不合格滤棒长度从1956米锐减至39米, 减少了99.80%。按滤棒成本计算, 单台设备每月可节约质量成本约1.72万元。同时, 彻底解放了操作工每5分钟一次的专项巡检任务, 每月可节约人工176小时, 让操作工能将更多精力投入到其他关键的质量控制点上。此外, 设备因胶泵故障导致的停机处理时间从平均30分钟/次缩短至5分钟/次, 生产效率得到显著提升。

##### 3.2.3 装置自身可靠性评估

在长达3个月的跟踪期内, 装置表现出卓越的稳定性与可靠性。误报率为0%(0次误报/400次运行), 故障率为0, 维护频次仅为1次/月(使用压缩空气清吹接近开关表面的轻微积尘), 停转检测准确率达到100%(80次模拟测试全部准确)。经全面检查, 该装置未对原设备安全、

操作及维护带来任何负面影响。

### 4 标准化与推广应用

为确保成果的长效化和规模化, 项目团队迅速推进标准化工作。首先, 编制了《中线胶泵停转快速检测装置技术标准》, 其中包含了完整的机械图纸、电气原理图、PLC源程序及详尽的安装维护作业指导书, 为后续的复制推广提供了坚实的技术依据。其次, 出台了《中线胶泵停转检测装置推广管理办法》, 将装置的完好率纳入设备日常点检和操作工绩效考核体系, 从管理流程上保障了装置的长期有效运行。最后, 将项目从立项到总结的全周期文档系统归档, 形成了一个从问题提出到成果固化的完整知识包。目前, 该装置已在本车间全部12台ZL26B滤棒机上成功推广应用, 并作为优秀案例上报集团, 计划在全公司范围内进行复制, 其示范效应正在逐步显现。

### 5 结语

本研究成功研发并实践了一套针对ZL26B滤棒成型机供胶系统的智能化预警装置。该装置通过融合非接触式传感技术、可编程逻辑控制与创新的“双条件触发”逻辑, 以极低的成本和极小的工程改动, 彻底解决了胶泵停转故障难以及时发现的历史难题。实践数据雄辩地证明, 该装置不仅将故障响应速度提升了两个数量级, 还将由此产生的质量损失降低了99.80%, 经济效益和社会效益显著。本项目的成功, 不仅是对一个具体生产痛点的完美解决, 更是基层技术创新力量的一次有力彰显。它证明了在智能制造的宏大叙事下, 立足于一线、源于实践的微创新同样具有巨大的价值。未来, 项目团队将以此为基础, 进一步探索将此类状态监测数据接入工厂MES(制造执行系统)的可能性, 实现设备健康状态的可视化管理, 并向基于振动、温度等多源信息融合的预测性维护方向迈进, 为打造真正意义上的智能工厂贡献更多智慧与方案。

### 参考文献

- [1]彭雄,刘旋,蔡洪江,等.ZL26B型成型机涂胶辅助装置的改进[J].今日制造与升级,2022(11):103-105.
- [2]张千.基于红外技术的中线胶检测系统在滤棒成形检测中的应用[J].品牌与标准化,2025(4):158-160.
- [3]喻涛.中支滤棒成型机中线胶施胶及供胶方式的改进[J].机械工程与自动化,2020(3):138-139,142.
- [4]陈方松,杨舒涵.复合滤棒成型机中线胶喷涂质量的研究与应用[J].科技与创新,2023(24):171-173,180.