

浅析精准生产线节能控制与生产效率的研究与应用

陈 明 陈建华 方 鑫

湖北中烟工业有限责任公司三峡卷烟厂 湖北 宜昌 443100

摘 要：针对烟草制丝生产线传统连续运行模式存在的空载能耗冗余问题，本文设计了以制丝生产线ZS12工段为研究，定义停机、正常生产、精准启停机械设备三种工作状态，增设空载预运行测试机制弥补精准模式的异常检测短板，分别设计差异化的精准启停控制逻辑，设备空载运行时降低能耗，提升生产效。

关键词：精准启停；空载能耗；节能控制。

引言

随着工业企业智能化、绿色化转型的推进，烟草生产企业加速推进节能降耗，如何在不影响生产效率与产品质量的前提下，实现设备的按需启停，成为制丝生产线节能改造的核心问题^[2]。制丝环节能耗占烟草生产总能耗的40%以上，为保障生产连续性与稳定性，设备空载运行能耗（电能）占企业制丝环节总能耗的25%-30%^[1]。本文聚焦贮柜出料、切丝机单元的能耗，设计了一套基于精准启停的节能控制方案，通过精细化的状态管理与逻辑控制，以达到生产稳定与能耗降低的双平衡。

1 系统总体设计

1.1 设计目标

围绕生产过程中“节能控制与生产效率”为核心原则，以用电节能与生产兼容性，节能精准性，异常保障性，操作便捷性，满足卷烟加工制丝环节连续性、智能化生产管控要求^[3]。具体如下：

1.1.1 生产兼容性：兼容原有正常生产模式，两种模式可灵活切换且互不干扰，确保生产过程连续性。

1.1.2 节能精准性：根据物料输送状态精准控制设备启停，最大程度减少空载运行时间。

1.1.3 异常保障性：弥补精准启停模式下无料异常检测的不足，增设空载预运行测试机制。

1.1.4 操作便捷性：与原操作流程高度兼容，降低操作人员学习成本，避免误操作风险。

1.2 工作状态定义

为实现生产与节能的动态平衡，系统定义了三种独立且可以相互切换的工作状态，借鉴工业设备多模式控制成熟思路，各状态的核心特征如下：

1.2.1 停机状态：设备单元未接收“线启动”信号，所有电机设备控制没有启动信号，处于完全静止状态，对应设备的基础待机或断电状态。此状态下能耗为零，

仅在设备检修、长时间停产时启用。

1.2.2 正常生产状态（正常模式）：即生产线原有控制模式，启动“线启动”信号后，设备电机按底层程序设定的顺序（电机编号从大到小）逐级启动。该模式可在无料空载阶段检测设备异常（如电机异响、输送带卡顿等），便于及时排查故障，保障生产稳定性，但存在空载能耗高的问题。

1.2.3 精准启停用生产状态（节能模式）：设备根据现场物料检测开关信号及预设输送带延时时间控制电机启停，仅在有料输送时运行，无料时自动停机。该模式可大幅降低空载能耗，但牺牲了没有来料阶段的异常预检测能力，因此需配套空载预运行测试机制。

1.3 工作状态的实现

1.3.1 编写专用模块FC2001，约定设备启停条件；

1.3.2 将约定的启停用条件加入原有程序中，使设备按约定条件运行。

1.3.3 按下模式切换开关，系统进入空跑测试状态。

1.3.4 空跑20s测试完毕，未检测到系统故障，则进入待机状态。

1.3.5 待机5s后（系统缓冲时间），进入节能模式，待物料到来，各设备开始依次运行。

1.4 两种生产模式性能对比

为弥补精准启停用模式在异常预检测方面不足，系统设计了空载预运行测试环节，该方法在制丝生产线辅助设备节能控制中已得到验证。在启用精准启停用模式时，对应单元设备在预设时间内空载运行，模拟正常模式的无料状态，以便操作人员检测设备是否存在异常。其中，贮柜出料单元空载测试时贮柜底带保持静止，避免误动作浪费原料；切丝单元需满足切丝机所有交互条件（如刀具状态正常、润滑系统运行正常）后，方可启动空载测试，确保测试过程的安全性。

表1 两种生产模式性能对比

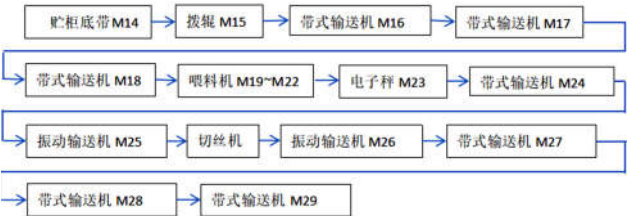
对比维度	正常生产模式	精准启停用生产模式
能耗水平	较高,空载运行时长占比约25%	较低,空载运行时长占比降至5%以下
异常预检测能力	强,无料空载阶段可直接检测设备故障	弱,无料时设备停机,无法实时检测异常
设备磨损程度	较大,长期空载加剧轴承、输送带损耗	较小,减少不必要的空载运行,降低磨损
生产适应性	适用于连续大批量、物料输送间隔短的场景	适用于间歇式生产、物料输送间隔长的场景

2 核心功能模块实现

制丝生产工艺由以下四段工序组成,各工段在生产过程中顺次独立运行,控制方式相似:



现根据切丝烘丝工段的切丝机单元进行研究,对精准启停用进行分析,切丝段工艺流程如下:



2.1 贮柜出料设备单元精准启停控制

贮柜出料单元负责将两个贮柜中的烟丝原料通过带式输送机汇集至长皮带输送机,是物料输送的起始环节。其精准启停控制流程包含空载预运行测试、节能模式运行、正常模式切换、尾料处理四个核心阶段。

2.1.1 空载预运行测试机制

在中控界面点击“模式切换”按钮(按钮变绿表示切换成功)后,贮柜出料单元立即进入空载预运行测试阶段。测试时长预设20秒,此阶段贮柜底带保持静止,仅仅启动了拨辊、带式输送机电机(M15-M18)空载运行。操作人员可通过中控界面的电机运行参数(电流、转速)及现场巡检,判断设备是否存在过载、异响、卡顿等异常。若检测到故障,系统立即触发声光报警并停止测试,待故障排除后重新启动;若测试无异常,系统自动从正常模式切换至节能模式,进入生产准备状态。

2.1.2 精准启停与模式自动切换逻辑

在节能模式下,贮柜出料单元的启动触发条件为物料检测信号:在两个贮柜下方带式输送机与长皮带输送机的交接处,各安装一对对射式物料检测光电开关。当光电开关检测到物料掉落至输送机时,系统根据预设的输送带延时启动时间(结合输送带长度、物料输送速度设定为5秒),按M15→M16→M17→M18的顺序启动电机,确保物料到达长皮带输送机时,所有输送设备已处

于运行状态,避免物料堆积或卡滞。

当M15-M18中的四台电机全部启动完成后,系统自动从节能模式切换至正常模式,后续设备运行逻辑与原有生产模式一致:跟随着喂料机设备1208的“允许喂料机直接进料设备”信号实时启停。此设计的核心逻辑为:物料连续输送阶段采用正常模式,保障生产连续性;无料等待阶段采用节能模式,降低空载能耗,实现生产与节能的动态平衡。

2.1.3 尾料阶段智能控制

当贮柜内物料逐渐减少,贮柜中贮料位传感器触发“料空信号”时,系统判定贮柜内物料所剩无几,自动从正常模式切换回节能模式,进入尾料处理阶段。此时,M15-M18电机的启停用完全由物料检测开关信号控制:若检测到物料,保持运行;若物料检测信号消失并持续超过预设时间阈值(10秒),则判定贮柜内物料已完全输送完毕,系统自动停止贮柜拨辊与底带的运行,同时控制M15-M18电机继续运行至输送带上的尾料完全输送完毕后停机,避免了不必要的空载运行。

2.2 切丝机单元精准启停控制

切丝机单元是烟草制丝的非常重要加工环节,其运行逻辑受切丝机的要料信号主导,因此精准启停控制流程与贮柜出料单元存在差异,主要包含空载预运行测试、节能模式信号交互、下游设备按需启停三个环节。

2.2.1 空载预运行测试机制

切丝机单元的空载预运行测试条件更为严格:需满足切丝机的所有交互条件(如切丝机刀具间隙正常、润滑系统压力达标、物料通道畅通)后,方可启动空载测试。测试时长预设40秒,此阶段所有电机(M20-M27)空载运行,操作人员需确认切丝机进刀、磨刀系统等正常、各项参数与工艺标准一致、输送设备无卡顿等。测试无异常后,系统从正常模式切换至节能模式,等待切丝机的要料信号。

2.2.2 节能模式下的信号交互逻辑

节能模式下,切丝机单元的所有电机仅保持一层启动信号,实际了启停用完全由切丝机的“允许设备进料”信号控制,包括电子秤在内的所有环节均需响应该信号。当接收到切丝机的“允许设备进料”信号时,系统立即启动切丝机上游设备(M20、M21、M22、M23、M24、M25)与下游设备(M26、M27),以及仓式喂料机布料车和输送带。其中,M23(电子秤电机)设置1-2秒的延时启动,目的是让上游物料稳定进入电子秤后再启动称重,确保称重数据的准确性,避免因物料波动导致的计量误差。

2.2.3 下游设备按需启停控制

为进一步降低切丝机单元的空载能耗,在M27出料口位置安装物料检测开关,用于控制下游M28、M29电机的启停。当M27出料口检测到物料时,系统按顺序逐级启动M28、M29电机;当物料检测信号消失时,M28、M29电机继续运行至输送带上的物料完全输送完毕后自动停机,避免了下游设备在无料时的空载运行,降低该环节能耗。

3 操作流程与异常保障机制

3.1 模式切换与启停用操作流程

精准启停用模式启动流程:操作人员在中控设备控制界面点击“模式切换”按钮,待按钮区域变为绿色(表示精准启停用模式启用成功);现场巡检确认设备无异常后,将信息反馈给操作人员,操作人员在中控设备控制界面点击“线启动”按钮,设备依次完成空载预运行测试、状态切换,进入对应模式运行。

3.2 精准启停用模式停机流程

点击“线停止”按钮,设备停止生产运行,若下一批物料无需启用精准启停模式,点击“模式切换”按钮,待按钮区域变为灰色(表示切换至正常模式)即可;若下一批物料仍需使用精准启停模式,则无需再次点击“模式切换”按钮,保持绿色状态即可;若生产过程中出现异常(如物料卡、滞、电机过载),直接点击“线停止”按钮,设备立即停止运行,模式状态保持不变;待故障排除后,可根据需求继续按对应模式启动。

3.3 异常保障机制

为确保精准启停用模式下的生产安全性与稳定性,系统设计了三重异常保障机制:

空载测试异常锁止:若空载测试过程中检测到电机过载、传感器故障等异常,系统立即停止测试并触发报警,禁止进入生产阶段,直至故障排除;

模式切换互锁逻辑:未完成模式切换(按钮未变绿)时,无法触发精准启停用模式下的线启动操作;设备运行过程中,模式切换按钮锁定,避免误操作导致状态异常;

传感器故障兜底:若物料检测传感器故障,系统自动切换至正常模式运行,避免因传感器故障导致设备启动和停止,保障生产连续性。

4 节能效益分析

4.1 能耗降低测算

在生产过程中,物料在每段工序从源头(入料处)到末端(进入贮柜)需30分钟,即在每批次生产过程

中,设备有30分钟处于空转运行。每批次生产时间(从开始生产到全部物料完全进入本工段贮柜中的时间)是2小时,因此,正常模式下,设备的空载率为25%,相应地,采用精准启停用模式后,消除了25%的空载率,亦即可以降低25%的能耗,节能效果符合工业电机系统优化水平。按1天生产工作16小时测算,设备可少运行4小时左右。生产设备总功率为500Kw,则1天估算可节约用电 $4 \times 500 = 2000\text{Kwh}$,按工业用电0.8元/Kwh计算,1天可节约1600元。每年节约43.2万元。

4.2 生产效率影响评估

精准启停用模式下的生产效率与正常模式基本一致,空载预运行测试仅增加约2分钟的准备时间,相对于每天16小时的生产时长,对整体生产效率的影响可忽略不计。

5 系统测试与验证

5.1 模式切换可靠性

2025年11月改造完成后,设备切换成功率为100%,按钮颜色标识与实际设备状态完全匹配,未出现切换失败或状态异常情况。

5.2 空载测试有效性

系统均在2秒内检测到故障并触发报警,有效避免了带故障生产。

5.3 精准启停逻辑准确性

电机启动时间与物料到达时间的匹配度为98%,未影响生产。

6 结论

针对ZS12烟草制丝生产线贮柜出料单元与切丝单元的能耗,设计了这套基于精准启停的节能控制应用。通过定义三种工作状态、增设空载预运行测试机制、设计差异化的单元控制逻辑,实现了正常生产与节能模式的灵活切换,有效降低了设备空载能耗,提升精准启停的智能化水平,提升了生产效率。

参考文献

- [1]张亚凯,赵静,李伟锋等。制丝线分段启停节能模式的设计与实现[J]。电子测试,2022(10):15-17
- [2]和玉贵,金云英。浅谈烟草制丝线顺启顺停的精准控制方式[J]。自动化技术与应用,2020,39(10):110-114;
- [3]胡林胜,张宏巍,冯泉等。烟草制丝线流量匹配性控制方式研究与应用[J]。科技创新与应用,2024,14(33):173-177,182