

机械工程

自动萎凋机组在茶叶萎凋工序的自动化技术研究

郑树立

浙江春江茶叶机械有限公司 浙江杭州 310000

【摘要】我国红条茶附加值较高但加工环节长期依赖单机操作，萎凋工序存在联动性不足、缺乏预处理措施及物料调控机制缺失等问题，导致生产效率偏低且品质稳定性欠佳。本文针对这类问题构建一体化转运系统，选取适配的输送设备、匹配转运速度并管控环境参数以解决输送断层现象，同时增设“双级破碎+筛分”结构的预处理装置，通过动态调整参数与监测效果减轻结块带来的影响，还建立LSTM物料量预测模型及多设备协同调控机制，搭配应急处理手段保障生产过程稳定，实践结果表明该技术可缩短待料时间、减少物料损耗，同时提升红条茶加工效率与产品品质。

【关键词】自动萎凋机组；红条茶；自动化技术

Research on Automation Technology of Automatic Withering Unit in Tea Withering Process

Zheng Shuli

Zhejiang Chunjiang Tea Machinery Co., Ltd. Zhejiang Hangzhou 310000

【Abstract】 China's red tea has a high added value, but the processing process has long relied on single machine operation. The withering process has problems such as insufficient linkage, lack of pretreatment measures, and lack of material control mechanisms, resulting in low production efficiency and poor quality stability. This article aims to construct an integrated transportation system for this type of problem, selecting suitable conveying equipment, matching transportation speed, and controlling environmental parameters to solve the problem of transportation faults. At the same time, a "two-stage crushing+screening" structure preprocessing device is added to reduce the impact of agglomeration by dynamically adjusting parameters and monitoring effects. An LSTM material quantity prediction model and a multi device collaborative control mechanism are also established, combined with emergency response measures to ensure the stability of the production process. Practical results show that this technology can shorten waiting time, reduce material loss, and improve the efficiency and product quality of red tea processing.

【Key words】 automatic withering unit; Red stripe tea; automation technology

引言

现有自动萎凋机组仅聚焦单一工序温湿度控制，与后续设备缺乏有效协同，不仅断料率偏高、生产效率受限，且萎凋后茶叶易结块，进一步影响后续加工环节的品质表现，开展自动萎凋机组在茶叶萎凋工序的自动化技术研究，对推动红条茶产业向标准化、高效化方向发展具有重要意义。

一、自动萎凋机组在茶叶萎凋工序中衔接不连贯问题

(一) 萎凋机组与后续工序无联动输送结构

自动萎凋机组与红条茶加工后续揉捻机组、发酵机间，普遍缺少一体化联动输送结构，多依赖独立设备分散作业，实际生产里萎凋机组完成鲜叶水分降低后，茶叶得先人工转

运到暂存区域再投入揉捻机组，单次转运要15-20分钟且每批次量仅够1台揉捻机进料^[2]。而红条茶加工每组揉捻机组常含4台机器，单台每小时能处理150公斤茶叶，缺联动输送让揉捻机组频繁阶段性待料，单日累计待料2-3小时直接拉低生产线加工量，按每日8小时生产算日均少加工红条茶600-900公斤，严重制约连续生产效率，且人工转运时茶叶暴露在空气中，易受环境温湿度影响导致萎凋后茶叶水分波动变大，进而影响后续加工的品质稳定性。

(二) 衔接环节缺乏预处理

自动萎凋机组与后续工序衔接处通常未配置茶叶结块预处理装置，红条茶经萎凋后受自身茶碱与胶质作用易形成块状或团状物料，实际检测显示未经预处理的萎凋茶叶中结块物料占比18%-25%，直径超3厘米的块状物料占比约8%-12%，这类结块茶叶直接进入后续揉捻工序会堵塞揉捻

机进料口,平均每2小时需停机清理一次、每次耗时10-15分钟,单日累计清理时长1.5-2小时,既中断正常生产流程,又因清理时茶叶残留导致每批次3%-5%的物料损耗。且结块茶叶无法均匀进入揉捻机揉桶会降低揉捻后茶叶成条率,红茶茶正常揉捻成条率超90%,混入结块物料时仅能维持75%-80%,这直接影响红茶茶干茶条形完整性,最终拉低产品商品价值。

(三) 衔接过程无物料量调控机制

自动萎凋机组与后续工序衔接阶段,多数生产线缺乏有效物料量调控机制导致前后设备生产节奏严重不匹配,红茶茶加工常用配置里自动萎凋机组每小时输出萎凋茶叶约600公斤,每组揉捻机组每小时处理量则在400-450公斤区间,两者处理能力每小时存在150-200公斤差值,无物料量调控时萎凋机组持续输出的茶叶会在衔接环节堆积,单日累计堆积量可达1200-1600公斤且需额外占用约15-20平方米暂存空间。堆积过程中茶叶易局部发热进而色泽变暗,经检测堆积超2小时的茶叶干茶乌润度达标率会从95%以上降至80%-85%,而若萎凋机组因鲜叶补给不及时出现输出量下降,后续揉捻机组会因物料不足陷入待料状态,单日常待料频次达3-4次且每次待料时长约30-40分钟,既加剧生产效率损耗也影响红茶茶加工的连续性与稳定性。

二、茶叶萎凋工序的自动化技术解决方法

(一) 构建一体化转运系统

1. 联动输送设备选型与布局

一体化转运系统的搭建需先敲定联动输送设备的选型与布局,结合红茶茶萎凋后物料特性,选用带宽800mm、输送速度可在0.5-1.2m/s间无级调节的食品级PVC输送带,带面设3mm高防滑凸棱以避免茶叶输送时滑落,萎凋机组出料口与输送带衔接处加装倾角15°的弧形导料板,板内侧贴3mm厚硅胶缓冲层来减少茶叶撞击造成的破碎。布局上采用“L型”路径把输送带从萎凋机组出料口延伸至揉捻机组进料口上方,确保输送带中心线与揉捻机组进料口中心线偏差控制在±5mm内,同时在输送带中段设2组红外对射式物料检测传感器,传感器间距1.5m、检测精度±2mm,可实时监测输送带上茶叶的堆积高度。

2. 转运速度与前后工序匹配控制

转运速度与前后工序的匹配需依托PLC搭建速度联动控制逻辑,台达DVP60ES200TPLC作为控制核心采集萎凋机组出料量信号及揉捻机组进料需求信号,输送带最优运行速度按以下公式计算: $v = B \times h \times \rho Q_w - Q_r$, v 为输送带最优运行速度, Q_w 为萎凋机组每小时出料量, Q_r 为揉捻机组每小时进料需求量, B 为输送带宽度, h 为输送带上

茶叶平均堆积高度, ρ 为萎凋后茶叶堆积密度。计算结果得出后PLC通过变频器实时调节输送带电机转速,确保输送带每小时输送量与揉捻机组进料需求偏差控制在±5%以内。同时在输送带靠近揉捻机组进料口的末端安装气动式分料阀,将茶叶均匀分配至4台揉捻机进料口,分料阀切换频率由揉捻机电流信号触发,每台揉捻机进料口茶叶堆积量偏差不得超过±2kg,以此彻底解决揉捻机组阶段性待料问题^[3]。

3. 转运过程环境参数管控

转运过程需同步管控环境参数以维持茶叶品质稳定,输送带外侧搭建封闭式保温罩,选用50mm厚聚氨酯夹芯板制作且内侧粘贴食品级铝箔反光层,以此削减环境温湿度对茶叶的影响,保温罩内部安装温湿度传感器,其温度检测范围0-50℃、精度±0.5℃,湿度检测范围20%-90%RH、精度±2%RH,每30秒采集一次数据并传输至PLC。当保温罩内温度高于25℃或湿度低于40%RH时,PLC自动启动顶部雾化加湿器与侧部轴流风机,依靠加湿器补充湿度、风机调节温度,将环境参数稳定在温度20-25℃、湿度45%-55%RH区间,保证转运时茶叶水分波动不超过±1%,避免环境因素对后续加工品质产生影响。

(二) 增设茶叶结块预处理装置

1. 预处理装置结构设计

茶叶结块预处理装置串联于一体化转运系统的输送带中段,采用“双级破碎+筛分”组合结构,第一级破碎单元选用直径150mm的橡胶辊轴,辊轴表面设置间距20mm、高度5mm的螺旋凸棱,两辊轴中心间距可借助伺服电机在30-50mm范围内调节,以适配不同大小的茶叶结块,第二级破碎单元则采用孔径8mm的不锈钢旋转筛网,筛网转速设定为30r/min,内侧安装3组弹性刮板以防止茶叶残留堵塞筛孔。装置外壳采用304不锈钢材质,内壁粘贴1.5mm厚的聚四氟乙烯涂层来减少茶叶与内壁的粘连,进料口设置流量调节挡板,挡板开度由步进电机控制,可依据输送带的物料输送量调整进料速度,以此保障每小时处理量与转运系统相匹配,避免因进料过载导致破碎不彻底^[4]。

2. 预处理参数动态调节

预处理参数按茶叶结块实际状况动态调节,预处理装置进料口装配工业相机采集茶叶结块图像,相机分辨率1200万像素、帧率20fps,可清晰捕捉不同尺寸结块形态特征,机器视觉算法分析采集图像识别结块直径与密度,相关数据实时传输至PLC后系统自动匹配对应破碎参数,若直径>3cm结块占比超10%,PLC控制第一级破碎单元将辊轴间距缩至35mm。同时把辊轴转速提至60r/min增强破碎力度,若结块直径以1-3cm为主,则将辊轴间距调为45mm并保持转速40r/min,避免过度破碎引发物料损耗,第二级筛网刮板压力随结块硬度动态调节,压力传感器持续监测刮板与

筛网接触压力，压力超 0.2MPa 说明筛网残留较多，PLC 控制气缸将刮板压力增至 0.3MPa 确保筛网清洁，压力低于 0.1MPa 则适当降压，防止刮板过度磨损筛网保障设备长期稳定运行。

3. 预处理效果实时监测

预处理效果实时监测采用“图像检测+重量统计”双重方式，预处理装置出料口安装第二台工业相机，与进料口相机采集的图像展开对比分析以计算结块破碎率，即破碎后直径 < 1cm 的茶叶占比，若该比例低于 95%，PLC 会触发声光报警并自动调整第一级破碎单元的辊轴间距与转速，装置出料口下方则安装重量传感器，统计每小时通过的茶叶重量后与进料口重量数据对比以计算物料回收率。若回收率低于 98% 则表明存在物料残留或泄漏，需立即停机检查以避免物料损耗，每日生产结束后需通过装置可拆卸观察窗清洁检查内部部件，橡胶辊轴凸棱磨损量超 1mm 时及时更换、筛网孔径磨损超 1mm 时进行补焊或更换，以此保障预处理装置长期稳定运行。

(三) 建立物料量智能调控机制

1. 物料量预测模型构建

预处理效果实时监测采用“图像检测+重量统计”双重方式，物料量智能调控机制核心为基于长短期记忆网络 (LSTM) 的物料量预测模型构建，输入参数涵盖鲜叶初始含水率、萎凋机组设定温度、揉捻机组电机电流及历史 30 天同批次茶叶加工数据^[5]。其中鲜叶初始含水率由萎凋机组进料口含水率传感器实时采集，该传感器检测精度达 $\pm 0.5\%$ ，萎凋机组设定温度区间 18-28℃，揉捻机组电机电流范围 0-15A，模型通过 Python 搭建，采集的实时数据按时间序列划分为 10 分钟/组样本，累计训练 10000 组样本以确保模型对未来 1 小时内萎凋机组出料量预测误差控制在 $\pm 3\%$ 以内，模型输出的预测出料量数据实时传输至 PLC 并作为物料量调控核心依据，当预测未来 30 分钟内出料量超出揉捻机组处理能力 10% 以上时提前启动调控措施。

2. 多设备协同调控逻辑

依托预测模型输出数据建立多设备协同调控逻辑，预判萎凋机组出料量过剩且每小时超出揉捻机组处理能力 150kg 以上时，PLC 控制萎凋机组鲜叶进料速度下调 20% 并启动暂

存仓螺旋输送机，该输送机输送量 200kg/h，可将过剩物料送至容量 500kg 的恒温暂存仓，仓内温度稳定在 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度维持在 $50 \pm 2\% \text{RH}$ ，内部料位传感器实时监测物料量，料位超 80% 便进一步降低萎凋机组进料速度，直至料位回落至 50% 以下。预判出料量不足且每小时低于揉捻机组处理能力 100kg 以下时，PLC 控制暂存仓螺旋输送机反向运行，将暂存物料补送至转运系统，同时通知鲜叶上料工序增加进料量保障揉捻机组持续进料，调控过程每 5 分钟采集一次各设备运行参数，借 PID 算法微调，确保萎凋机组、转运系统、暂存仓与揉捻机组的物料量偏差始终控制在 $\pm 5\%$ 以内。

3. 异常情况应急处理

针对物料量调控异常建立分级应急处理机制，电机电流传感器监测到萎凋机组电流为 0 且持续时长超 10 秒时判定为突然停机，PLC 会即刻关闭转运系统输送带并启动暂存仓补料程序，按揉捻机组满负荷处理量的 80% 输送暂存物料以维持其运行，直至萎凋机组恢复正常从而避免长时间待料。暂存仓料位低于 10% 且萎凋机组出料仍未达标时，PLC 触发一级报警并通知操作人员补充鲜叶，若料位持续低于 5% 则触发二级报警，自动将揉捻机组运行台数从 4 台缩减至 3 台以降低进料需求，直至物料量恢复稳定；转运系统输送带电机电流超出额定电流 120% 且持续 5 秒时判定为卡涩，PLC 会立即停止预处理装置与输送带运行，同时开启侧面应急检修门，待故障排除后通过手动模式恢复运行，防止强行启动对设备造成损坏。

结语

围绕自动萎凋机组在红条茶萎凋工序的自动化技术研究，针对衔接不连贯难题，提出构建一体化转运系统、增设结块预处理装置、建立物料量智能调控机制三大解决方法，各方法均涵盖具体可落地的实施细节。这些技术可有效破解传统加工效率低、品质不稳定等问题，减少待料时长与物料损耗，提升红条茶加工的连续性及标准化水平，未来可进一步优化预测模型精度，探索多品类茶叶适配的自动化方案，为茶叶加工产业自动化升级提供更全面支撑。

参考文献

[1] 高一聪, 许晨, 林琼, 等. 茶叶生产装备自动化与智能化技术研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2024, 55 (07): 1-14.

[2] 刘高, 黄泽界, 黄峥. 自动化茶叶揉捻机自复位锁紧装置的多目标优化设计[J]. 南方农机, 2024, 55 (03): 21-24.

[3] 舒庆宁, 封雯, 陈玉琼, 等. 工夫红茶自动萎凋机研制及其制茶品质分析[J]. 中国茶叶, 2023, 45 (03): 30-36.

作者简介: 郑树立, (1986年1月23日), 男, 汉族, 籍贯: 余杭, 职称: 中级, 学历: 本科, 研究方向: 茶叶机械加工工艺与装备的创新研发。