

茶叶加工筛分装置及其加工方法的工艺创新研究

郑树立

浙江春江茶叶机械有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i12.8630

[摘要] 筛分在茶叶加工中衔接揉捻与干燥，是核心环节，技术水平直接关联茶叶品质与商品价值，当前主流振动筛、风选筛等装置有明显局限，振动筛常出现茶叶黏附筛面情况，需频繁停机清理，风选筛难以将杂质彻底分离，两类装置还普遍面临精度不足、适应性弱、效率与能耗失衡等困境。本研究从三方面推进创新，设计复合筛分结构并搭配智能检测模块，提升分级精度与杂质分离效果；开发自适应筛网及模块化装置，适配不同品类茶叶与不同规模生产需求；采用高效传动系统及自动化控制，优化装置效能，减少人力依赖，这些创新突破传统技术瓶颈，为茶叶筛分质量提升、加工效率改善提供有力支撑。

[关键词] 茶叶加工；筛分装置；工艺创新

Research on Technological Innovation of Tea Processing Screening Device and Its Processing Method

Zheng Shuli

Zhejiang Chunjiang Tea Machinery Co., Ltd.

[Abstract] Screening is the core link in tea processing, connecting rolling and drying. The technical level is directly related to the quality and commodity value of tea. Currently, mainstream vibrating screens, air selection screens and other devices have obvious limitations. Vibration screens often have tea sticking to the screen surface, requiring frequent shutdown and cleaning. Air selection screens are difficult to completely separate impurities. Both types of devices also generally face difficulties such as insufficient accuracy, weak adaptability, and imbalance between efficiency and energy consumption. This study promotes innovation from three aspects, designing a composite screening structure and combining it with an intelligent detection module to improve classification accuracy and impurity separation efficiency; Develop adaptive screening screens and modular devices to adapt to different types of tea and production needs of different scales; By adopting an efficient transmission system and automated control, optimizing device efficiency, and reducing human dependence, these innovations have broken through traditional technological bottlenecks, providing strong support for improving tea screening quality and processing efficiency.

[Key words] tea processing; Screening device; Process innovation

一、引言

当前行业内主流筛分装置仍有诸多不足，既难以满足多品类茶叶加工需求，又因频繁停机、杂质残留、能耗较高等问题，制约规模化生产效率，茶叶行业对加工品质与效率的要求持续提升，针对传统筛分装置的结构性缺陷，研发含高精度、强适应性、高效能的筛分技术，已成为突破产业发展瓶颈、推动茶叶加工升级的重要方向。

二、当前茶叶加工筛分装置的结构性缺陷分析

(一) 筛分精度不足的结构局限

当前茶叶筛分装置精度欠佳，核心症结在单一维度筛分结构的设计缺陷^[2]。主流振动筛仅靠固定孔径筛网完成分级，同粒径茶叶的品质差异无法区分，中小叶种茶叶加工里，同孔径筛网筛出的茶叶仍混有 15%-18% 老叶与嫩叶，优质茶检出率仅 72%-75%。筛面激振力分布不均的结构问题会加剧精度偏

差,多数振动筛的激振器装在筛体中部,边缘区域物料堆积厚度达 3~5cm,是中部的 2~3 倍,同一批次茶叶分级偏差率超 16%。杂质分离结构的单一性同样影响精度,传统风选筛仅靠 1~2 段固定风速分离杂质,密度接近茶叶的细小砂石、金属碎屑分离不彻底,杂质残留率维持 8%~10%,还需额外增加人工分拣工序,加工成本随之上升。

(二) 装置适应性差的结构短板

装置适应性差,根源是结构设计未兼顾多品类、多工况加工需求,茶叶品类适配中,条形茶与卷曲茶形态差异显著,传统振动筛用一体式筛网结构,更换适配不同品类的筛网需拆卸 12~15 个固定螺栓,耗时 35~40 分钟,更换过程还易让筛网变形,影响后续筛分精度。对茶叶含水率变化的适应性更弱,含水率升至 14%~16% 时,传统筛面无防黏附结构,茶叶易黏附在筛网孔径边缘形成堵塞,堵塞率达 20%~25%,需人工用毛刷清理,每小时要中断生产 1~2 次,加工规模适配方面,大型筛分装置占地面积超 12 m²,还需配套 380V 高压供电,难满足中小茶企作坊使用需求;小型装置又无法匹配大型茶厂日均 8~12 吨加工量,形成明显规模适配断层。

三、茶叶加工筛分装置及工艺的创新解决方法

(一) 基于多维度分级结构与智能检测的精度提升策略

1. 多维度分级结构的实践设计

筛分装置主体采用“双层渐变孔径筛网+双段可调速风选仓”复合结构^[4]。上层筛网选 304 不锈钢材质,厚度 1.2mm,沿物料输送方向按 1.5mm→1.2mm→0.8mm 阶梯式设孔径,每段孔径区域长 1.2m,确保不同粒径茶叶沿筛面梯度分离;底部均匀装 4 组偏心激振器,激振频率借调频电机在 30~35Hz 间调,振幅控在 5~8mm,配筛面两侧 10° 倾角导流板,避免物料堆积。表面喷涂 0.1mm 厚聚四氟乙烯防黏涂层,面对含水率 12%~15% 的茶叶,能将黏附率从传统装置 20% 以上降到 5% 以下,下层风选仓分前后两段,前段靠变频风机控风速 3~4m/s,分离茶梗、轻飘碎末粒径 <0.3mm;后段风速提至 5~6m/s,底部设 15° 倾角重力分选板,借茶叶密度 0.3~0.5g/cm³ 与砂石密度 2.5~3.0g/cm³ 的密度差,让重质杂质沿分选板滑落到独立收集盒,杂质分离率达 95% 以上。

2. 智能检测模块的集成与应用

筛分后输送环节,80cm 宽输送带两侧对称装 2 台 200 万像素高清工业相机,镜头焦距 16mm,拍摄帧率 30 帧/秒,镜头与输送带距 80cm,确保覆盖全输送面。相机连边缘计算模块,内置 ResNet50 算法训练的茶叶品质识别模型,经 50000 组不同品类、品质茶叶图像训练,识别准确率达 92% 以上,能实时区分嫩绿芽叶、深绿叶片与褐色老叶,还可判断芽叶断裂情况。检测到老叶占比超 5% 或断碎茶占比超 8% 时,模块自动触发输

送带侧边气动推杆,推力 50N,响应时间 0.2 秒,将不合格茶叶分拣至次级料仓。风选仓出口处装激光粒度传感器,采样频率 10 次/秒,实时监测茶叶粒径分布,数据传至中控屏,某粒径区间占比超设定范围,系统自动提示调整筛网激振频率或风选风速。

3. 精度校准与误差控制流程

建立定期精度校准机制,每周对筛分装置做 1 次全面校准,校准前备好 3 组标准粒径茶叶样本,规格分别是 1.2~1.5mm、0.8~1.2mm、<0.8mm,每组样本重 5kg,按顺序投入装置完成筛分,收集各粒径筛分产物,用电子天平称重,算实际筛分比例与标准比例的偏差,偏差超 3% 时,调整激振频率或风选风速,直到偏差控制在 3% 以内。智能检测模块每月需用 1000 组新茶叶图像更新识别模型,对比人工分拣结果与模型识别结果来修正模型参数,把识别误差从 8% 降到 5% 以下。装置进料口处设均匀布料器,采用螺旋输送结构,让茶叶在筛面宽度方向均匀分布,布料偏差控制在 ±5%,防止物料分布不均引发筛分误差。

(二) 依托自适应调节结构与模块化设计的适配优化策略

1. 自适应调节结构的具体实施

为适配多品类茶叶,研发卡扣式快速切换筛网模块。筛网框架两侧设 4 组弹簧卡扣,与筛体卡槽精准对接,更换时按压卡扣解锁,取下旧筛网后换对应品类筛网,1.2~1.5mm 适配条形茶、0.8~1.0mm 适配卷曲茶、0.5~0.7mm 适配碎茶,全程耗时控制在 5 分钟以内;筛网框架用 ABS 工程塑料,重量较传统金属框架减轻 30%,避免更换时变形。装置进料口装高频电容式湿度传感器,测量范围 5%~30%,精度 ±0.5%,实时检测茶叶含水率;含水率超 14% 时,系统自动启动筛面内置硅胶加热片-功率 500W,温度控制在 40~50°C,同时将激振频率从 30Hz 提至 35Hz,借加热除湿与高频振动双重作用,防止茶叶黏附筛网,堵塞率降至 5% 以下。

2. 模块化设计的规模适配方案

针对中小茶企需求,设计小型集成模块,模块整体尺寸为长 2.5m、宽 1.2m、高 1.8m,占地面积控制在 3 m² 以内,采用 220V 民用电供电,内置筛分、风选与初级检测功能,处理量达 250~300kg/h,配套移动轮组可承重 500kg,方便作坊内灵活移动。面向大型茶厂,开发规模化组合模块,单个筛分单元尺寸 3m×1.5m×2m,处理量 500kg/h,单元间借法兰式输送带连接,能依生产需求组合 2~4 个单元,形成 1000~2000kg/h 的连续式筛分线;每个单元配独立控制箱,支持集中中控,也保留单元手动操作功能,便于维护检修。模块衔接处用食品级橡胶密封垫,防止茶叶散落,散落率控制在 0.5% 以内。

3. 模块兼容性与扩展设计

考虑茶企后续产能升级需求,所有模块预留标准化接口。小型集成模块的进料口、出料口均采用 DN150 标准法兰,能直接对接后续干燥、包装设备,无需额外改造,规模化组合模块支持单元灵活增减,新增单元只需通过法兰式输送带与原有单元连接,在中控系统中添加单元参数,就能实现协同控制,扩展耗时控制在 2 小时以内。针对特殊茶叶品类加工需求,设计可拆卸式辅助模块,像针对紧压茶碎茶筛分的高频振动辅助模块,通过卡扣与主模块连接,振动频率可在 40~50Hz 间调节,适配紧压茶碎茶硬度高、不易筛分的特性,且辅助模块重量仅 15kg,单人可完成安装与拆卸,进一步提升装置对特殊品类茶叶的适配能力。

(三) 借助高效传动系统与自动化控制的效能优化策略

1. 高效传动系统的改造与能耗计算

动力传输环节用直驱式伺服电机替换传统皮带传动,电机型号选定 110ST-M06030,额定功率 3.5kW、扭矩 18N·m,借联轴器直接衔接激振器输入轴,传动效率从传统皮带传动的 82%~85% 提至 95% 以上,为量化改造后的能耗优化效果,引入筛分装置单位处理量能耗计算公式: $E = P/Q$ 式中, E 为单位处理量能耗,单位 $kW \cdot h/kg$; P 为装置运行实际功率,单位 kW ; Q 为装置实际处理量,单位 kg/h 。以处理量 300kg/h 的装置为例,传统皮带传动装置需配 5.5kW 电机,实际运行功率因传动损耗达 5.2kW,代入公式算得传统装置能耗 $E_1 = 5.2 \div 300 \approx 0.0173 kW \cdot h/kg$; 改造后直驱式传动装置实际运行功率 3.3kW,代入公式得 $E_2 = 3.3 \div 300 = 0.011 kW \cdot h/kg$, 能耗降低幅度为 $(0.0173 - 0.011) \div 0.0173 \times 100\% \approx 36.4\%$ 。筛体框架采用 6061 铝合金材质,经有限元分析优化结构,保证 500kg 最大承重的同时,重量较传统钢材框架减轻 40%,进一步减少激振力损耗,让电机实际负载稳定在额定功率的 85%~90%,避免过载能耗浪费,电机输出端装扭矩传感器,实时监测负载扭矩 T(单位 N·m),当 T 超额定扭矩 18N·m 的 10% 即 19.8N·m 时,系统自动将激振频率从 35Hz 降至 30Hz,通过负载与频率的动态匹配,维持能耗与效率的平衡。

2. 自动化控制系统的搭建与运行

PLC 智能控制系统搭建中,选用西门子 S7-1200CPU1214C,搭配 10 寸触摸屏实现人机交互,系统接入湿度传感器、激光粒度传感器、扭矩传感器等设备数据,内置 3 套基础工艺参数,分别对应绿茶、红茶、乌龙茶品类;操作人员选定茶叶种类后,系统会自动匹配筛网孔径、激振频率、风选风速等参数,也支持手动微调,且参数调整设有限定范围,像激振频率 30~40Hz、风速 3~6m/s,以此避免误操作。系统设在线清洁模块,筛网两侧与风选仓内壁装直径 2mm 的高压气流喷嘴,压力维持

0.4~0.6MPa,每小时自动清洁 1 次,每次时长 30 秒,同时配合筛网底部转速 60r/min 的振动清洁刷,可彻底清除残留茶叶;清洁废水经底部倾斜集水槽收集,再通过滤网过滤后排出,符合食品加工废水排放标准^[5]。此外系统带故障预警功能,传感器检测到参数异常时,触摸屏会弹出报警提示并显示故障点,同时自动停机,相比传统装置,日均有效生产时间从 6~7 小时提升至 10~12 小时。

3. 效能优化的工艺参数协同调整方案

结合装置结构改造,同步优化筛分工艺参数的协同逻辑,不同品类茶叶需设定专属参数组合,绿茶加工匹配 1.2~1.5mm 筛网孔径、32Hz 激振频率、3.5m/s 前段风速、5.2m/s 后段风速,芽叶完整度可超 90%;红茶加工调整为 0.9~1.1mm 筛网孔径、30Hz 激振频率、3.2m/s 前段风速、5.5m/s 后段风速,能兼顾碎茶控制与杂质分离。参数动态调整机制需建立,激光粒度传感器检测到某粒径茶叶占比波动超 ±5% 时,系统自动按预设算法微调参数,像粒径 > 1.2mm 茶叶占比不足 70% 时,激振频率降低 1Hz、后段风速提升 0.2m/s,借参数协同维持筛分稳定性,工艺参数要与处理量关联,处理量从 250kg/h 提升至 300kg/h 时,激振频率同步从 30Hz 增至 33Hz、风机功率从 1.5kW 增至 1.8kW,避免负载增加导致筛分精度下降,实现效能与精度的协同优化。

结语

本研究聚焦茶叶加工筛分装置核心痛点,借多维度创新构建更优筛分技术方案。复合结构与智能检测可解决传统装置精度不足问题,自适应设计与模块化布局能改善装置适配性,高效传动与自动化控制则优化加工效能,这些创新有效弥补传统筛分工艺短板,为茶企降低生产损耗、提升茶叶品质提供切实可行技术路径。未来可深化智能算法优化,探索筛分装置与其他加工环节协同联动,推动茶叶加工技术向更智能、更高效方向发展,为茶叶产业长远发展注入新动能。

[参考文献]

- [1]王方艳,王劲峰,王文龙,等.我国茶叶生产全程技术及机械化装备探析[J].现代农业装备,2025, 46 (04) : 1~10.
- [2]刘万学.智能一体化设备在茶叶加工机械装备中的应用研究[J].粮油与饲料科技,2025, (07) : 198~200.
- [3]邓楚鑫.智能电网与茶叶加工智能制造的结合与技术创新研究[J].贵茶,2024, (05) : 27~29+51.

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。