

烟叶真空回潮不均匀性的成因与解决思路

秦绍勇 杨 莲

红塔烟草(集团)有限责任公司昭通卷烟厂 云南昭通 657000

摘要: 烟叶真空回潮工序处理均匀性与后续加工质量与产品稳定性有密切关系。本研究从设备硬件、运行状态、工艺设定、操作执行及原料特性等方面分析导致该问题的成因,以此为基础,从设备、工艺、管理、操作、数据应用等方面提出系统性解决思路。研究旨在为解决这一共性问题提供分析框架与可行的改进方向,为实现精细化加工、提升品质均质化水平提供参考。

关键词: 烟叶真空回潮不均匀性;成因;解决思路

卷烟生产中,真空回潮是预处理的步骤之一,需要通过这一步骤快速提升烟叶的含水率与温度,恢复加工韧性。相关研究显示,经真空回潮工序单周期处理的烟叶随着贮叶时间的延长,水分在4h时达到最低,之后水分回升,随着贮叶时间的延长,烟气浓度开始增加,但香气量损失较大,香气质开始平淡,通畅感降低,刺激、杂气开始显露。感官评吸结果显示,贮叶2h梯度的样品最优。经真空回潮工序双周期处理的烟叶随着贮叶时间的延长,水分在16h时达到最低,之后缓慢回升,相比较未经真空处理及单周期处理的样品,双周期处理的样品在16h时烟叶透发感较好,香气较好,烟气细腻程度较优。感官评吸结果显示,贮叶16h梯度的样品最优^[1]。但在实际生产中,烟叶容易出现回潮不均匀现象,即使是同一批次的烟叶,也可能出现局部过湿或偏干现象。此现象会对后续切丝、烘丝、加料工序造成影响,增加原料损耗,影响消费者体验。因此,有必要剖析不均匀性的原因,探索改善路径。

一、真空回潮的基本工作原理与过程

烟叶真空回潮是基于传热传质原理通过物理方法增湿增温的工艺,通常分为抽真空(将筒内绝对压力降至8~15kPa)、蒸汽回潮(注入0.3~0.6MPa的饱和蒸汽)、保湿平衡(维持2~5min)和破空四个阶段。先使用真空泵组大幅抽出回潮筒体内的空气,使筒内形成负压,降低水沸点以及烟叶细胞间隙的空气压力,再向高真空的筒体内注入饱和蒸汽,此时,因为筒内的压力很低,受压差影响,蒸汽会快速涌入桶内,高速穿透烟叶组织孔隙和细胞间隙,与烟叶热交换、湿交换,快速升温、增加含水率。在停止供汽后,为让烟叶内部的

水分和温度进一步趋于均匀,继续保持负压或常压状态一段时间,最后破除真空。整个过程中,通常单周期处理总时间15~25min,蒸汽喷射阶段筒内压力回升值20~40kPa。

二、均匀性对后续工序及产品质量的影响

若烟叶水分、温度不均,在切丝时,若烟叶出口含水率波动超过 $\pm 0.5\%$,含水率高的部分会切出连梗、跑片,干燥部分则会产生碎末,可能使出丝率下降1~3个百分点,对切丝质量和出丝率造成严重负面影响;在烘丝与加料工序,来料不均匀会影响干燥速率、料液吸收率,导致局部过干或过湿,香味物质无法均匀分布,影响工艺控制精度。物理上,烟丝结构均匀性差会影响卷制后烟支的单重、硬度及吸阻,可能导致单支重量标准差增大10~20mg,吸阻波动增加30~50Pa,影响机台运行效率;化学感官上,水分不均匀会导致烟叶内部生化反应程度不一,会增强烟气的粗糙感、刺激性,弱化香气特征甚至导致香气特征紊乱,对产品感官质量造成严重影响。

三、真空回潮不均匀性的主要成因

1. 设备硬件方面

真空回潮不均匀与回潮筒体内部形状、蒸汽喷射管与喷嘴安装位置与布局方式均有关系。例如,采用传统单侧蒸汽喷嘴布局的情况下,对侧区域可能蒸汽覆盖不足,温差可达5~10℃。循环风机可为蒸汽和热空气混合提供帮助,如果功率不足或设计的气流路径有问题,在加工过程中就难以有效搅动筒内环境,进而出现在空间上温度与湿度分布不均的现象。设备长期使用后,内壁隔热性能可能受影响,导致冷壁效应,局部温差可达

3~5℃, 内部构件也可能发生变形, 即使变化微小, 也会不同程度干扰预定工艺效果, 进而产生差异。

2. 系统运行方面

如果门封、阀件等部位老化、磨损, 会导致空气泄漏, 若泄漏率大于 $5\text{Pa}\cdot\text{L/s}$, 设备的真空度就会受到影响, 难以满足工艺要求, 导致蒸汽渗透动力不足。蒸汽与水的供应系统如果压力、流量、温度波动, 如主蒸汽管网压力波动超过 $\pm 0.1\text{MPa}$, 则输入回潮筒内的介质条件也会相应发生变化, 批次内、批次间处理效果就会出现差异^[2]。如果控制生产过程的自动化系统控制程序逻辑不完善, 气动阀门等执行机构动作迟缓, 实际执行就可能出现问題, 响应时间超过 2s , 无法达到理想的控制效果。

3. 工艺参数方面

工艺参数合理性与均匀性直接关联。不同产地、等级、初始状态的烟叶特性不同, 设定的生产参数也需要相应调整, 否则会影响均匀性。回潮过程的步骤曲线设计也会影响均匀性。如果只设计一次蒸汽喷射且为固定时间, 实际生产中可能位于表面的烟叶已充分回软, 但内部烟把核心仍然干燥发脆。如果真空度波动超过 $\pm 1\text{kPa}$ 、蒸汽压力波动超过 $\pm 0.05\text{MPa}$ 也会对单批次内和批次间的处理效果产生显著影响。

4. 操作执行方面

在装料环节, 如果操作人员装车时未严格执行堆放密度、高度要求、紧实度差异明显, 在烟叶内部就可能形成有不同阻力的气流通道, 受此影响, 蒸汽在疏松的地方更容易通过, 紧密的区域则很少进入, 引发局部差异。操作设备时, 如果未按规程先进行各项检查就注入蒸汽, 很可能当批次工艺不满足标准要求。操作人员对同一事物的理解不同, 工作习惯不同, 生产操作上会有一些差异, 也可能引发不均匀问題。

5. 原料物理特性方面

烟叶原料是植物的一部分, 不同产地、品种、部位的烟叶吸收水分以及热量的速度、容量会有差异, 不同植株本身物理性质也存在差异, 所以同一批原料的初始含水量、温度也不均匀, 来料烟包间含水率波动范围常达 $2\% \sim 3\%$, 处理时, 同样的处理流程、处理参数会有不同的反应。烟叶的力学性能——韧性、弹性等也有差异, 在相同的真空和蒸汽作用下, 表现为一些叶片舒展, 一些叶片卷曲, 相较于舒展的叶片, 卷曲的叶片更不容易回潮。

6. 原料形态规格方面

在打叶复烤后, 烟叶片大小并非一致, 而是大体上在一个区间内, 通常 $>25.4\text{mm}$ 的大片率控制在 $30\% \sim 50\%$, $<3\text{mm}$ 碎片率需小于 3% , 且是大片叶、小片叶、长梗、短梗混合的状态。堆积在回潮车中时其孔隙结构复杂, 蒸汽流动自然会受影响。烟把的规格也会影响均匀性, 采用不同方式将烟把打包成捆, 大小、松紧程度也会有差异。如果烟把松散, 密度低于 150kg/m^3 , 则内部空隙大, 更容易进入蒸汽; 如果烟把紧实, 密度高于 220kg/m^3 , 则内部密度高, 蒸汽就难以穿透把芯。

四、解决回潮不均匀性的思路

1. 改进设备硬件

采用更符合流体力学原理的卵形或特定曲率的筒体结构, 结合优化布置内部导流板, 引导蒸汽与气流无扰动、螺旋式或层流式均匀推进, 彻底消除角落与中心区域的压力与流量差, 使筒内各点压力差小于 0.5kPa , 温度差小于 2°C 。采用基于计算流体动力学模拟验证的立体矩阵式喷射方案, 在筒体轴向、径向上多排布置喷嘴, 喷射角度 $30^\circ \sim 150^\circ$, 要求喷嘴孔径 $2 \sim 4\text{mm}$ 可调, 根据真空室的三维模型在不同高度、不同角度布置不同孔径、喷射特性的喷嘴, 使蒸汽射流交叉覆盖、相互补充, 等量、等压地将介质供给每一个装载位置, 从源头保证输入均匀性。升级循环动力系统为具有更高效率、更低湍流特性的后向离心风机或多点分布式风机, 循环风速可调范围 $0.5 \sim 1.5\text{m/s}$, 采用流线型风道设计, 提高回潮与保压阶段循环气流的平稳度。

2. 强化系统运行保障

首先, 加强状态监测维护, 建立基于传感器网络的全周期设备健康档案, 持续监测真空泵的抽速与极限真空度, 要求 30min 内真空度可从常压抽至 8kPa 以下、密封圈泄漏率要求小于 $2\text{Pa}\cdot\text{L/s}$, 同时持续监测气动与电动执行器响应精度与重复性等性能参数, 利用大数据分析预测发展趋势, 进行预防性维护, 及时更换或调整部件, 减少设备自身波动对工艺的影响。其次, 建立独立的高响应速度的介质供给控制单元, 精准、稳定供给介质。例如, 在蒸汽供给系统中集成高精度压力、温度、流量传感器, 压力控制精度 $\pm 0.02\text{MPa}$, 温度控制精度 $\pm 2^\circ\text{C}$, 配合使用带有前馈—反馈功能的PID调节阀, 控制进入真空室的每一股蒸汽, 减少厂区总管网压力波动带来的干扰^[3]。

3. 优化工艺参数

首先,对于原料初始差异导致的回潮速率不一的问题,可在原料特性的基础上建立工艺参数预测模型,以原料的初始状态为输入变量,如初始含水率(X_1 , %)、叶片结构(X_2)、温度(X_3 , $^{\circ}\text{C}$),通过机器学习或多元回归分析实现智能推荐最优工艺参数组合功能。其次,引入更精细的复合程序。例如在首次蒸汽喷射后再短暂抽空,二次抽空压力可设定为12~18 kPa,时间30~60s,通过此步骤抽取叶表自由水,使内部水分向表层迁移,之后二次、三次补充加湿处理,促使水分渗透进烟把内部、叶片细胞,解决“外湿内干”问题。最后,将每次成功的生产数据记录到初始预测模型中,让模型分析,不断学习、迭代优化。通过长期积累,使模型具备预测不同参数对均匀性影响的功能,给出相应置信区间,智能推荐参数,实现工艺设定智能化。

4. 提高操作标准化水平

首先,制定并推行标准作业程序,量化、可视化各项操作,用图片、视频或三维动画演示,从物理输入端最大限度保证一致性。明确规定每车装载量误差不超过 $\pm 5\%$,料层厚度1.0~1.2m,松紧度必须均匀。其次,数字化监控全过程关键参数,实现记录可追溯。所有操作都必须在MES系统上由操作员电子确认并绑定该批次号。实际运行工艺曲线、设备状态、操作时间戳等信息由系统自动记录下来。任何偏离标准流程的操作必须有相应解释记录,有相应授权。

5. 针对原料特性强化前处理

在投料前,利用近红外光谱、图像识别等技术快速检测烟叶的初始含水率、叶片尺寸分布、颜色等物理指标进行检测,基于检测数据以及智能算法,优化不同特性烟叶的配比与混合,改善烟叶进入回潮筒前的状态。对于特别难以处理的情况,在回潮前可额外设置“预回潮”或“预平衡”工序。例如,采用温度40~50 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度65~75%RH的循环空气对烟叶预平衡处理20~30min,烟叶初始状态差异大可能导致回潮速率悬殊,对过于干燥或结块的烟叶,可采用低温低湿循环空气使之松散,初步加湿平衡,提高统一度,以此降低后续加工难度^[4]。

6. 以数据驱动强化管控

在真空回潮设备的内部以及进出口关键点位部署

高精度传感器,如在筒体上、中、下、左、右、前、后布置至少8个精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的温度传感器和4个精度 $\pm 2\%\text{RH}$ 的湿度传感器,对温度、压力、含水率进行监测;引入红外热像仪,对筒内壁及烟叶表面温度场分布情况进行监测;利用微压差传感器对气流分布情况展开监测。实时获取以上数据流,掌握均匀性形成过程。基于机器学习技术,建立均匀性预测与诊断分析模型。利用以往积累的海量数据进行训练,建立复杂预测模型,关联设备参数、原料特性、操作变量与最终均匀性指标,据此实时预测当前批次产品的均匀性结果,诊断分析均匀性不佳的原因,定位问题的主因,实现快速诊断^[5]。集成模型输出、过程控制系统、制造执行系统,实现根据预测结果自动微调工艺参数,根据诊断建议自动预警。

结束语

综上所述,烟叶真空回潮不均匀性与多种因素有关,受设备、工艺、操作及原料等多因素共同作用影响。要解决这一问题,必须建立系统思维,改良硬件、优化参数,加强标准化管理,积极应用智能技术优化生产。未来,可尝试将在线检测、智能控制与物联网技术融合,在提升均匀性的同时促进制丝线智能化发展,提高均质化加工水平。

参考文献

- [1]段海涛,钟良,张渝婕,等.真空回潮对烟叶品质的影响[J].食品工业,2019,40(5):124-127.
- [2]陈家鼎,蒋宸光,史龙飞,等.初烤烟叶回潮过程传质模拟与均匀性分析[J].中国烟草科学,2024,45(5):104-113.
- [3]姬江涛,朱越,王俊,等.基于热力学的烟叶回潮机优化设计试验研究[J].农机化研究,2019,41(3):34-39.
- [4]刘畅,吕勇,张斌,等.烟叶加工中松散回潮机加水供给系统优化应用[J].南方农业,2022,16(7):218-221.
- [5]王发勇,潘志玲,王玉真,等.不同增温增湿工序处理烟叶化学成分及其均匀性评价指标的筛选[J].贵州农业科学,2024,52(1):118-124.