

# 基于温湿环境调控的卷烟加香加料工艺优化与品质提升

付天祥 杨石只 肖懿 李帮勇 孙颖涵

四川中烟工业有限责任公司西昌卷烟厂

**摘要:** 针对卷烟加香加料过程中受温湿环境波动影响而导致香气不稳定、品质波动大的问题,本文以某中型卷烟厂为研究对象,设计并实施了一套温湿耦合控制系统,并结合喷雾参数优化对其工艺进行全面提升。通过现场调研、系统改造、正交试验与感官评测等方法,分析温度、湿度与香精喷雾压力对香气保留率、烟丝含水率与吸阻稳定性的影响。结果表明,在30℃、65%RH、0.3MPa条件下,香气保留率可达92.4%,吸阻波动显著降低,感官质量全面提升。系统实施后有效减少返工批次,提高生产一致性和经济效益,具有良好的可复制性和推广价值。本文为卷烟加工工艺的环境适应性改进提供了可行路径,同时也为未来实现烟草工业智能化、精细化发展提供了技术支撑。

**关键词:** 卷烟加香; 温湿调控; 香气保留率

在当前烟草工业竞争日益激烈的背景下,卷烟产品的香气质量已成为衡量其市场认可度的关键因素之一。然而,传统加香加料工艺在实际生产过程中常受到环境温湿度波动的影响,导致香气挥发不稳定、香精利用率低、吸阻波动大等问题,进而影响产品的一致性与消费体验。特别是在南方高温高湿地区,香精因过度吸湿或热降解而造成香气减弱、回味变淡的情况屡见不鲜。为此,构建一种能够适应不同环境条件的温湿度调控系统,并与加香加料工艺形成联动机制,成为优化卷烟品质的突破口。本文以某中型卷烟厂为研究对象,通过现场诊断、系统改造与参数优化,探究在不同温湿环境下加香加料工艺对卷烟品质的影响机制,进而提出一套具有可复制性的温湿度调控优化路径,旨在提升卷烟香气稳定性和整体感官质量,为行业提供现实可行的技术参考。

## 1 温湿度耦合调控的理论基础与文献评述

温湿度条件对卷烟加香加料工艺的影响具有显著性和复杂性。香精香料作为高度挥发性和热敏感性的物质,其在烟丝上的吸附、渗透与留存效果受环境因素制约较大。当车间温度过高时,部分芳香物质如酯类、醛类、醇类会发生提前挥发,致使成品香气浓度降低;而湿度过高则可能导致烟丝表面水膜厚度增加,抑制香精的均匀扩散,形成局部堆积,影响后续燃烧与吸食均衡性。因此,在传统加香模式中,未能系统考虑环境温湿联合作用常成为造成品质波动的主因之一。

从机理上来看,水分与香精在烟丝表面的传递过程可视作双向耦合的物理吸附与蒸发动力学过程,涉及挥发、扩散、再吸附等环节。研究表明,烟丝含水率若控制在11.8%–12.3%区间时,既能保持良好的

柔韧性,又有利于香精稳定吸附;但若相对湿度高于75%,则香精中部分亲水组分会迅速向空气中迁移,降低香气保留率。另一方面,车间环境温度每上升1℃,香精在烟丝上的吸附效率可能下降约2%,这在夏季车间日间最高温接近35℃的情形下尤为明显。

国内已有部分学者开始关注这一问题。如张某等人(2020)研究表明,卷烟调香工艺中温湿变化会显著改变香精喷雾粒径和挥发速率,但研究多集中在单因素影响,缺乏对温湿联合作用下参数协同调整的深入探讨。国外研究则更注重香精材料本身的控释性能,如美国某烟草公司采用微胶囊包埋技术提升香精稳定性,但对生产环境本体调控关注较少。这一差距也反映出国内研究在工艺系统联动性、现场实际可操作性方面仍有较大发展空间。

为弥补上述研究空白,本文提出以“温湿度耦合精准控制+喷雾参数同步调整”为核心的新型加香加料工艺路径。在文献整理与机理分析基础上,设定以温度、湿度与香精雾化特性为关键变量,构建系统性实验模型,并通过实际工厂样本试验加以验证。通过这一思路,期望不仅提升加香效率和香气保留率,更重要的是建立起一套适用于大规模工业化生产的环境适应性加香模型,为后续工艺改进提供可靠支撑。

### 1.1 温湿度耦合调控的理论基础与文献评述

温湿度条件对卷烟加香加料工艺的影响具有显著性和复杂性。香精香料作为高度挥发性和热敏感性的物质,其在烟丝上的吸附、渗透与留存效果受环境因素制约较大。当车间温度过高时,部分芳香物质如酯类、醛类、醇类会发生提前挥发,致使成品香气浓度降低;而湿度过高则可能导致烟丝表面水膜厚度增加,抑制

香精的均匀扩散,形成局部堆积,影响后续燃烧与吸食均衡性。因此,在传统加香模式中,未能系统考虑环境温湿联合作用常成为造成品质波动的主因之一。

从机理上来看,水分与香精在烟丝表面的传递过程可视为双向耦合的物理吸附与蒸发动力学过程,涉及挥发、扩散、再吸附等环节。研究表明,烟丝含水率若控制在11.8%~12.3%区间时,既能保持良好的柔韧性,又有利于香精稳定吸附;但若相对湿度高于75%,则香精中部分亲水组分会迅速向空气中迁移,降低香气保留率。另一方面,车间环境温度每上升1℃,香精在烟丝上的吸附效率可能下降约2%,这在夏季车间日间最高温接近35℃的情形下尤为明显。

国内已有部分学者开始关注这一问题。如张某等人(2020)研究表明,卷烟调香工艺中温湿变化会显著改变香精喷雾粒径和挥发速率,但研究多集中在单因素影响,缺乏对温湿联合作用下参数协同调整的深入探讨。国外研究则更注重香精材料本身的控释性能,如美国某烟草公司采用微胶囊包埋技术提升香精稳定性,但对生产环境本体调控关注较少。这一差距也反映出国内研究在工艺系统联动性、现场实际可操作性方面仍有较大发展空间。

为弥补上述研究空白,本文提出以“温湿耦合精准控制+喷雾参数同步调整”为核心的新型加香加料工艺路径。在文献整理与机理分析基础上,设定以温度、湿度与香精雾化特性为关键变量,构建系统性实验模型,并通过实际工厂样本试验加以验证。通过这一思路,期望不仅提升加香效率和香气保留率,更重要的是建立起一套适用于大规模工业化生产的环境适应性加香模型,为后续工艺改进提供可靠支撑。

## 2 温湿环境精准调控系统的设计与实施

### 2.1 生产现状与问题诊断

为明确温湿度对卷烟加香加料工艺的实际影响,首先对某中型卷烟厂现有生产线进行系统诊断。现场监测发现,该厂调香加料车间的温度在夏季昼夜波动较大,白天最高可达34℃,最低降至26℃,相对湿度则在50%RH至80%RH之间频繁波动。这种环境条件对香精喷雾的雾化状态、传输效率以及烟丝的吸附能力产生明显干扰。通过对603 kg切丝样品的检测,含水率变异系数高达0.95%,严重影响成品卷烟的吸阻稳定性与感官一致性,表明现有环境调控系统存在明显缺陷。

### 2.2 温湿度控制系统的构建

针对上述问题,本文设计了一套基于“温湿耦合+智能调节”的精准控制系统。该系统以PID算法结合模糊逻辑控制为核心,实现对车间温度与湿度的实

时反馈调节。设备配置方面,采用一台5kW蒸发式加湿器,布置于车间对角位置,配合风道形成环形送风,保证加湿均匀性;配置一台7kW热泵式除湿机用于高湿气候下的快速除湿;同时引入NDIR非接触式烟丝在线水分检测仪,实现对关键工艺指标的动态监控与反馈。系统设置的控制目标为:温度28~32℃,湿度60~68%RH,并可根据外部天气变化自动调整运行模式。

### 2.3 加香加料模块的优化改造

在环境调控系统稳定运行的基础上,对加香模块同步进行了技术优化。将原 $\phi 0.6\text{mm}$ 单流体喷头更换为 $\phi 0.4\text{mm}$ 双流体喷头,喷雾粒径由 $20\mu\text{m}$ 优化至约 $15\mu\text{m}$ ,显著提升了香精的渗透和均匀性;喷射角度由 $45^\circ$ 调整为 $60^\circ$ ,配合环境风速场形成合理的雾化覆盖路径。香精罐外加恒温水套,保持输出温度在 $35^\circ\text{C}$ 左右,以防止香精黏度变化造成喷射不稳定。工艺参数方面,将香精投料比设定为0.95%,糖浆配比设定为3.2%,为感官协调性提供稳定支撑。

### 2.4 实施步骤与系统调试

该系统的实施采用“三阶段法”推进,确保工艺过渡平稳。第一阶段为空载调试,主要测试系统控制逻辑及响应时间;第二阶段为低负荷测试(200 kg/h),逐步优化PID参数,最终确定 $P=1.3, I=0.07, D=0$ ;第三阶段为满负荷运行(600 kg/h),持续收集系统运行数据并进行性能评估。在连续72小时运行中,共采集温湿度数据64800组,系统波动性控制在 $\pm 1.2^\circ\text{C}$ 和 $\pm 3.5\%RH$ 以内,性能明显优于改造前。整个施工周期共12天,其中停机时间仅2天,未影响主生产计划,投入与收益控制在可接受范围。

## 3 工艺参数优化与品质提升效果分析

为了进一步明确温湿环境控制对卷烟加香加料工艺的具体影响,并优化关键工艺参数以实现品质提升,本文在章构建的温湿调控系统基础上,设计并实施了系统性实验,通过多批次试制与数据分析,对温度、湿度和喷雾压力三个核心变量进行了优化评估,进而验证其对香气保留率、烟丝含水率、吸阻波动等关键指标的作用效果。

### 3.1 试验设计与参数设定

研究采用正交试验设计方法,选择温度(27℃、30℃、33℃)、相对湿度(55%RH、65%RH、75%RH)和香精喷雾压力(0.2MPa、0.25MPa、0.3MPa)为三个自变量,设定三水平,构建 $L_9(3^3)$ 正交表,以香气保留率、卷烟吸阻稳定性和主流烟气中CO释放量作为主要响应指标。试验中所用香精为常规烘烤型

中性烟香配方,控制香精投料比为0.95%,糖浆比例为3.2%,所有试验在新建温湿控制系统环境下开展,环境波动控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 4\%\text{RH}$ 以内。

### 3.2 试验结果与数据分析

通过对九组实验数据的汇总分析发现,在温度为 $30^{\circ}\text{C}$ 、湿度为65%RH、喷雾压力为0.3MPa的条件下,香气保留率达到92.4%,为全组最高;而最低值为86.7%,出现在温度 $33^{\circ}\text{C}$ 、湿度55%RH、喷雾压力0.2MPa的组合条件下,表明各参数组合对香精留存性能影响显著。通过极差分析法可知,湿度对香气保留率的影响最为显著,其极差为4.2%,占总影响的46%;其次为温度,占比34%;喷雾压力影响相对较小,占比约20%。此外,在吸阻测试中发现,适中湿度下的喷雾压力提升能有效抑制烟丝局部过湿问题,使吸阻波动值从原先的 $\pm 26\text{Pa}$ 下降至 $\pm 12\text{Pa}$ ,改善了成品的吸食顺畅性与一致性。

在主流烟气CO释放量的对比中,优化参数组的CO释放量相比基线组平均下降了6.3%,这主要得益于香精与烟丝分布的均匀性提升,改善了燃烧热解过程,使烟气释放更稳定,进一步印证了工艺调整对燃烧性能的正向影响。

### 3.3 品质验证与感官评测

在完成参数优化后,选取最优组合条件下连续生产6000条卷烟产品,并组织工厂专业评吸组开展盲评测试。感官数据表明,优化组卷烟在香气丰满度、醇和感、余味干净度三项指标上平均评分分别提高了0.8、1.1和0.9分(满分为10分),综合评分提升1.1分,体现出香气稳定性与层次感的增强。评吸组专家指出,卷烟在吸食过程中香气传递更流畅,前段爆香、中段厚实、后段干净,留香时间由原47分钟延长至63分钟,符合消费趋势对“长效留香”的偏好。

烟丝理化指标方面,含水率稳定在 $12.1\% \pm 0.25\%$ ,

香精吸附分布均匀,极少出现局部积聚或干香现象。吸阻标准差控制在4.1Pa以内,远低于工艺标准上限,表明产品一致性显著提升。

### 3.4 成本效益评估与应用前景

本次系统改造及优化实施的总投资约42万元人民币,主要用于温湿控制设备、喷头更换与管道改造等内容。根据实际统计,在系统运行后的半年时间内,该厂卷烟返工批次减少了68%,质量投诉量下降超过50%,可直接节约返工与退货造成的损失约18万元/年。同时,通过优化加香效率与减少香精损耗,每年可降低香精使用量约2.7%,合计节约原料成本约9万元。此外,系统稳定运行后卷烟合格率提升至98.6%,同比提高2.3个百分点,产能利用率显著提高,投资回报率(ROI)估算为21%,预计两年内可收回全部投资。

### 参考文献:

- [1] 赵巨堂.增香型植物精油、浸膏的筛选及其在卷烟加香中的应用[D].南昌大学,2022.
- [2] 蔡培良,李明,华卫,等.基于物联网大数据分析的卷烟包装工艺参数自优化研究[J].机械设计与制造工程,2020,49(06):117-120.
- [3] 王倩玉.低次烟叶浸膏、精油的制备及其在卷烟加香中的应用研究[D].南昌大学,2022.
- [4] 张崇崇.制丝加香过程数字化分析及预测[D].昆明理工大学,2021.
- [5] 李达,李晓科,张涛,等.卷烟挥发性香气成分测定及烟丝加香工艺优化[J].食品与机械,2020,36(03):84-90.
- [6] 李兆波.关于卷烟制丝加料加香和混丝掺配工艺过程的稳定度控制的探讨[J].科技风,2018,(16):234+237.
- [7] 石运茜.XX卷烟厂质量管理模式优化研究[D].西北农林科技大学,2022.
- [8] 赵忠帅,赵新,张琪,等.卷烟工艺空调运行稳定性探讨[J].中国设备工程,2022,(11):105-106.