

基于 AKIMA 插值法的箱式烤房热流场 温度与风速分析及烤房优化*

宋宗昊¹, 毛 岚², 白 涛², 马 力², 李生栋²,
王 涛², 李凤丽³, 遆晋松¹, 张豹林^{2**}

(1. 河南农业大学 烟草学院, 河南 郑州 450046; 2. 云南省烟草公司曲靖市公司, 云南 曲靖 655000;
3. 云南省烟草公司文山州公司, 云南 文山 663000)

[摘 要] 为研究箱式烤房热流场, 掌握烘烤各时期烤房环境状况, 采用 AKIMA 插值法对箱体温度及风速梯度进行计算, 再结合数据制作云图插入建模, 使得烤房热流场可视化. 热场分析结果显示: 1) 箱体不同位置的热流场差异较大: 箱体下部 > 中部 > 上部; 2) 烘烤不同时期热流场差异较大, 具体表现在干筋期叶间隙风速均保持较高水平, 同时温度分布均匀, 整体温差不超过 6 ℃, 而在变黄期、定色期叶间隙风速则相对较小, 温度分布不均, 整体温差达到 8 ~ 10 ℃. 根据以上结果, 结合实际生产情况, 提出箱式烘烤优化建议: 1) 采用变频风机, 箱式烘烤过程中可采用前 120 h 高风速档位 (8#循环风机 45 ~ 50 Hz), 120 h 后低风速档位 (8#循环风机 35 ~ 40 Hz) 的方法保证烟叶烤透率的同时保留原有的香气; 2) 在每个箱体下方安放与地面夹角依次增大的分风板, 保证各个箱体的进风量. 在不同烘烤阶段, 箱式烤房及箱体不同位置的热流场分布不均, 但整体差距会随着烘烤进程进入干筋期逐渐变小, 根据研究结果合理调整烤房设备和箱式烘烤工艺, 可改善箱式烘烤的烘烤质量.

[关键词] 箱式烘烤; 热流场; AKIMA 插值法; 数值分析

[中图分类号] TS44+1

[文献标志码] A

[文章编号] 1674-5639 (2024) 06-0011-07

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2024.06.002

进入 21 世纪后, 劳动力缺失和劳动成本提高制约着烟叶生产水平的提高^[1], 烟农种烟积极性下降^[2], 我国烟叶生产面临着优质烟田和烟农队伍流失的问题^[3]. 为应对上述问题, 中国烟草总公司于 2021 年印发了《构建宜机化烟草农业标准体系促进农机农艺融合发展三年行动方案》^[4], 以促进烟草机械化发展.

烟叶烘烤是烟叶生产中的重要环节. 相较于我国, 欧美国家广泛应用箱式烘烤技术^[5], 其高度机械化的烘烤过程可有效减少烟叶烘烤的人工投入和消耗成本^[6]. 然而, 由于其独特的装烟方式, 箱式烘烤具有装烟量大、装烟密度高等特点^[7], 其烤房内部的环境相较于传统的挂杆、烟夹等烤房更为复杂. 因此, 研究箱式烤房内部热流场的分布特征对改进烤房结构、优化烘烤工艺意义重大. 关于传统密集烤房的热流场研究已较为广泛并取得了一定成果: 刘兆宇等^[8,9]对定色期和干筋期密集烤房的热湿环境进行了分析, 并细化了烘烤时期; 陈鑫杰等^[10]对新型雪茄晾棚的温湿度场进行了分析, 提出了一种适宜于调制雪茄烟叶温湿度的标准; 郑劲民等^[11]为提高烟叶烘烤试验箱内流热场分布的均匀性, 对其流热场进行了数值模拟. 但当前尚未见对箱式烤房环境的模拟研究. 由于烤房内部高密度装烟及复杂的烟叶堆积情况, 其内部环境较传统设施更为复杂, 也导致了箱体内部温度等指标监测的困难, 可见, 对箱式烤房热流场环境数值分析存在难度.

AKIMA 于 1970 年提出一种基于局部插值光滑曲线的拟合方法. 与样条函数等其他插值法相比, AKI-

* [收稿日期] 2024-01-20

[作者简介] 宋宗昊, 男, 河南郑州人, 河南农业大学在读硕士研究生, 研究方向为烟草种植和烟叶加工工艺.

** [通信作者] 张豹林, 男, 河南信阳人, 云南省烟草公司曲靖市公司农艺师, 研究方向为烟叶生产技术与推广, E-mail: 13987482855@139.com.

[基金项目] 中国烟草总公司云南省公司资助项目 (2021530000241036).

MA 插值法考虑了要素导数值的效应,边提供数据点边进行内插,因其节省时间,提升效率而沿用至今. 由于其在数据插值方面的优势,AKIMA 插值法已在各领域被广泛应用. 王云宏^[12]等通过 AKIMA 插值法校正了 GPS 授时地震仪的晶振走时误差;汪菲^[13]等利用 AKIMA 插值法对 U 形渠道温度场数值进行模拟,揭示了整体式 U 形混凝土渠道渠基土温度场的分布和变化特征;文献 [14, 15] 研究了 AKIMA 插值法在测量、测绘方面的应用. 对烤房热场模拟而言,AKIMA 插值法在拟合曲线时可考虑数据点之间的曲率变化,从而可以更好地模拟烟叶烘烤过程中热流场数据变化的特点. 因此,本试验拟使用 AKIMA 插值法建立一种计算烤房热流场数值梯度的方法,以弥补真实环境中试验测点和条件的不足^[13];同时结合数据制作云图插入建模的方法,使烤房热流环境可视化,更准确地掌握烘烤各时期箱式烤房环境状况,以期为箱式烤房结构的改良、烘烤工艺的优化提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验地点与设备

于 2022—2023 年在河南省襄城县许昌市现代烟草产业园开展试验,箱式烘烤在当地已有近 5 年烘烤实践记录,烤后烟叶质量符合当地优质烟叶生产要求. 采用电加热气流上升式箱式烤房,装烟室内室长 8 000 mm、宽 2 780 mm、高 2 850 mm,烤房采用 8# 风机,供试型号为 Y2001.

1.2 监测方法

在整个烘烤时期,通过传感器对烤房整体及箱体内部温度与风速进行监测. 在箱体内部合理选择 27 个监测点,其中监测点 1~9 位于上部烟叶区域 $Z_1=300\text{ mm}$ 平面,监测点 10~18 位于中部烟叶区域 $Z_2=900\text{ mm}$ 平面,监测点 19~27 位于下部烟叶区域 $Z_3=1\,500\text{ mm}$ 平面,由于箱体两侧及前后监测点对称分布,因此在 2、3、5、6、11、12、14、15、20、21、23、24 共 12 个监测点布置传感器,监测点如图 1 所示. 相同的监测点分布在 1~10 号箱体内 (图 2). 传感器参数如表 1 所示.

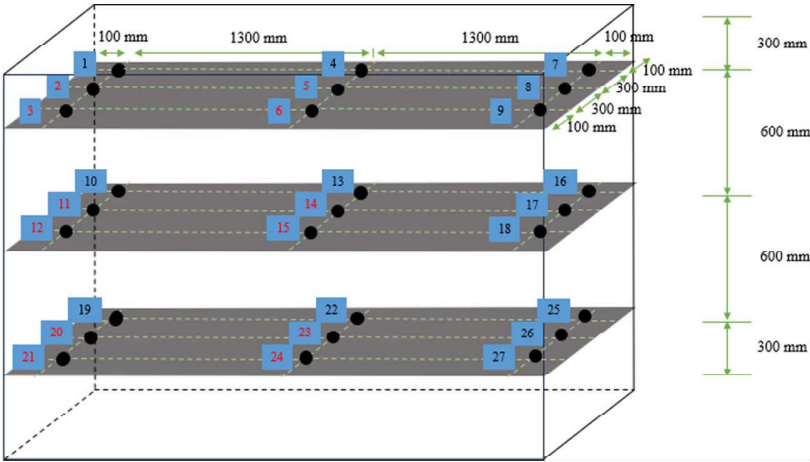


图 1 箱体监测点布置图

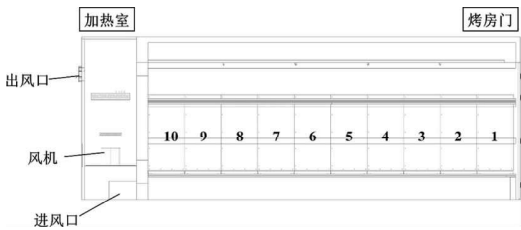


图 2 烤房内箱体位置与编号

表 1 测试仪器参数

传感器类型	品牌及参数
温度传感器	南京华龙电子; 型号 (DS18B20 RS485) 测量范围: $-55\sim125\text{ }^{\circ}\text{C}$; 测量精度: $\pm0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
全向风速传感器	北京京计; 型号 (RS485) 测量范围 $0\sim25\text{ m/s}$; 测量精度: $\pm0.02\text{ m/s}$

1.3 基于 AKIMA 插值法的热流场数值计算

选取所有传感器在监测期连续 40 次的观测数据,数值计算采用 AKIMA 插值法,即根据实测数据在 2 个监测点之间进行数据的内插,同时还需得知与之相邻 4 个监测点的数值^[13]. 设已知数据点 (d_i, t_i) ,

现在要找到一条光滑曲线 $t=f(d)$, 使其满足 $t_i=f(d_i)$, 如图 3 所示. 所谓光滑是指 $f(d)$ 具有连续的一阶导数^[13], 在本研究中此导数为伴随烘烤时序性变化的温度、风速数据.

设三次多项式为:

$$t=k_0+k_1(d-d_3)+k_2(d-d_3)^2+k_3(d-d_3)^3, \quad (1)$$

式中: d 为烘烤进程的时间段; t 为不同时间处的温度或风速; k_0, k_1, k_2, k_3 为待定系数, 计算式为:

$$k_0=d_3, \quad (2)$$

$$k_1=u_3, \quad (3)$$

$$k_2=[3(t_4-t_3)/(d_4-d_3)-2u_3-u_4]/(d_4-d_3), \quad (4)$$

$$k_3=[-2(t_4-t_3)/(d_4-d_3)+u_3+u_4]/(d_4-d_3)^2, \quad (5)$$

式中: u_3 和 u_4 分别为 3 号、4 号实测点的斜率, 计算式为:

$$u_3=(|m_4-m_3|m_2+|m_2-m_1|m_3)/(|m_4-m_3|+|m_2-m_1|), \quad (6)$$

$$u_4=(|m_5-m_4|m_3+|m_3-m_2|m_4)/(|m_5-m_4|+|m_3-m_2|), \quad (7)$$

其中, m_i 表达式为:

$$m_i=(t_{i+1}-t_i)/(d_{i+1}-d_i). \quad (8)$$

在曲线的开始与结束处, 根据已知点的斜率来估计端点上的斜率, 以此得出烘烤多个时间点的温度、风速数据. 而插值出的点需要在公式 (1) 抛物线曲线上^[13], 此抛物线曲线则为伴随烘烤时序性变化的温度、风速数据, 且设 $x_5-x_3=x_4-x_2=x_3-x_1$, 由此可得 4 个端点表达式为:

$$m_{-1}=2m_0-m_1, \quad (9)$$

$$m_{-2}=2m_{-1}-m_0, \quad (10)$$

$$m_n=2m_{n-1}-m_{n-2}, \quad (11)$$

$$m_{n+1}=2m_n-m_{n-1}. \quad (12)$$

结合上式与处理后的热流场数据, 利用 AKIMA 插值法计算所得区间内的三次多项式, 将上述过程多次重复可获得多组时间点的温度和风速, 因此可扩充测量所得数据量, 进一步求得不同时间的温度和风速梯度^[13]并且确保后续云图绘制的准确性.

1.4 箱式烤房内环境可视化处理

1.4.1 数据整合

选取 AKIMA 插值后箱体各监测点的温度与风速数值进行整合, 使用 Origin 2021 中数据矩阵化工具将其矩阵化, 最后将矩阵化数据绘制形成对应时间点的分布云图.

1.4.2 可视化处理

将处理后的箱式烤房装烟室内每 30 h 变化一次的分布云图插入立方体模型中, 形成 3D 立体的可视化热流场模型.

1.5 数据处理

本研究采用 Origin 2021 对数据进行分析, 使用 Space Claim 2022 R1 对箱式烤房建模.

2 结果与分析

2.1 基于 AKIMA 插值法的热流场数值计算

2.1.1 温度变化

选取 1~10 号箱体内部各个监测点的温度平均值进行分析, 如图 4 所示: 整体箱体内温度随着烘烤进程的推进呈现逐渐变大的趋势. 烘烤过程中箱体不同位置的温度在 0~60 h 差异较大, 随着烘烤进行差异开始缩小, 120 h 后基本一致. 箱体上部位点 2、3、5、6 在烘烤 20~40 h 温度变化出现剧烈波动, 而在变黄期处于低温区域; 箱体中下部位点虽有波动但整体波动幅度小于上部. 由于装烟室内各箱体中的 5 号与 15 号监测点处于箱体中上部中心位置, 装烟密度高、烟叶间空隙小湿气不易排出, 会形成低温区域, 出现内部烟叶

与外部相差 $8 \sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的现象. 随着温度梯度上升加之烟叶因失水形变, 烟叶间空隙增大, 箱体整体温度趋于一致, 在定色期内外温度差为 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. 当烘烤进行 $160 \sim 180\text{ h}$, 到达干筋时期, 由于烟叶基本完成失水, 叶片完全皱缩, 气流增大, 温度出现波动现象, 但整体温度保持在 $62 \sim 66\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间.

2.1.2 风速梯度变化

选取 1~10 号箱体内部各个监测点的风速平均值进行分析, 由图 5 可知: 在箱式烘烤过程中, 不同位置监测点的叶间隙风速具有明显差异. 箱体中上部各监测点风速均相对较小, 尤其是位点 14 (箱体中部) 的叶间隙风速在整个烘烤过程中均处于 0.25 m/s 以下, 在变黄后期与定色中后期阶段, 12、14、15 位点的风速也明显低于箱体上下部位点的风速.

而箱体下层位点 20、21、23、24 叶间隙风速均相对较高, 尤其在变黄后期与定色中后期阶段, 当箱体中下部位点风速仅为 0.05 m/s 左右时, 4 个下层位点风速可达 0.1 m/s 以上, 其中的位点 23 在定色后期至干筋期风速达到 0.3 m/s 以上. 从图 5 中还可看出, 箱体中上部位点在 $20 \sim 30\text{ h}$ 均出现了明显的风速下降现象. 分析烘烤监控图片 (图 6) 结合烤后烟叶状态, 发现在此时期箱体上部烟叶由于烘烤前期的快速失水, 加之上部扦插固定不牢固而出现了明显的塌陷现象, 导致烟叶间空隙变小, 气流不畅, 风速降低. 从箱体整个烘烤阶段的风速变化分析来看, 在 $120 \sim 150\text{ h}$ 期间, 叶间隙风速维持在较高水平; 而在 120 h 之前, 风速则相对较小. 出现这种情况的原因主要是不同烘烤阶段需求变化和风机操作调整. 例如, 初期可能为了烟叶均匀加热变黄而设置较低风速, 后期则为了迅速排出湿气和优化烟叶干燥过程, 而加大风速.

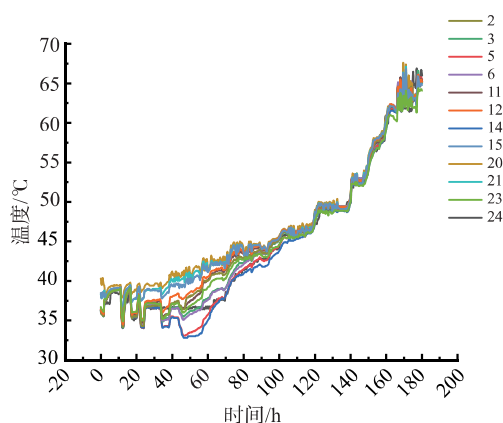


图 4 装烟室内不同监测点温度随时间的变化

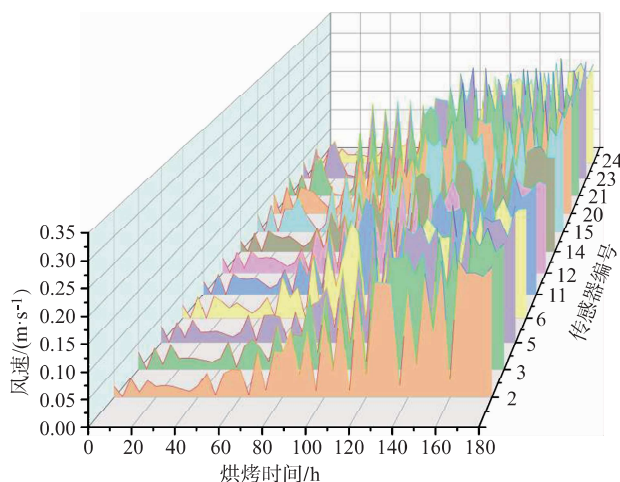


图 5 装烟室内风速大小变化



(a) 烘烤 20 h 箱体上部

(b) 烘烤 30 h 箱体上部

图 6 不同时段烤房监控图片

2.2 箱式烤房内环境可视化处理结果分析

2.2.1 装烟室箱体温度场结果分析

选取装烟室内底面中心处 YZ 截面以及 2、8 两箱体底面中心处 XZ 截面的温度场分布云图进行分析. 由图 7 可知, 整个烘烤进程装烟室内不同箱体之间的温度差异较同一箱体中更加明显, 装烟室内各箱体中下部的烟叶在水平方向上的温度差异主要体现在同一水平面的箱体中心装烟室内各箱体中下部的烟叶在水平方向上的温度差异主要体现在同一水平面的箱体中心部分与上下外层烟叶之间, 即中心部分的烟叶与外层烟叶之间的温度存在明显差异; 而在上层烟叶区域, 水平方向温度分布变化不明显, 相较于中下部基本处于低温状态. 在变黄阶段, 随着烘烤进程, 叶片失水加快, 在烘烤 90 h 时, 出现烟叶塌陷现象导致内部空隙发生变化, 且由于采用气流上升式烤房, 气体从箱体下部吹向箱体, 因此在下层形成大面积高温区域. 在定色阶段 (60 ~ 90 h), 由于箱体中层烟叶大量失水, 加之装烟密度高, 排湿受阻, 烟叶堆积区域水平面温度梯度变化增大. 箱体底部两角处气流相对较弱, 多依靠箱体金属架构进行热传递, 热量难以伴随气流, 进而形成高温区域. 同时由图 7 可见, 箱体内外温差在变黄期, 尤其是 90 h 时达到最大, 随后逐渐缩小, 在停火时达到最小值. 上述温差变化说明随着烘烤进程, 烟叶失水伴随着形态皱缩, 使得烟叶间空隙慢慢增大, 气流逐渐通畅, 热量可更快地传递到箱体的整个区域, 温度分布得更均匀. 以上结论与 2.1.1 中插值计算所得的温度梯度变化规律基本一致. 而整个烤房内不同箱体之间温差较明显, 从 10 号到 1 号, 箱体内外部的温差逐渐减小.

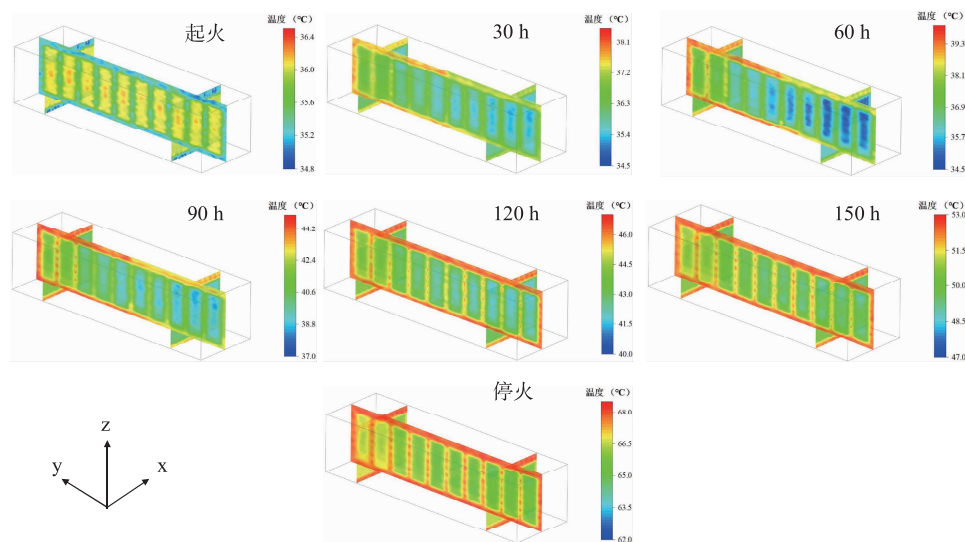


图 7 装烟室内温度分布云图

2.2.2 装烟室内风速场结果分析

选取装烟室内底面中心处 YZ 截面以及 2、8 两个箱体底面中心处 XZ 截面的风速场分布云图 (图 8) 可知, 热气流在进风口风机作用下进入箱体后迅速向底部区域扩散, 形成高风速区域, 同时热空气进入烟叶堆积区域. 由于烟叶本身的阻隔作用, 热空气动能损失较大, 进而风速迅速减小. 烟叶堆积区域的气流在进出口压力差作用下, 向箱体上部流动, 通过烟叶堆积区域时所受阻碍明显降低, 动能迅速增大, 从回风口流出. 在 150 h 及停火时期由于烟叶完全形变的缘故, 整体烤房内部的风速较为均匀. 烟叶堆积区域的气流分布总体上呈现箱体中层风速略小于上下层风速, 这与 2.1.2 中分析箱体内气流变化结果一致. 烤房内箱体之间的风速分布并不均匀, 随着箱体与出风口的距离增大风速明显变小.

3 讨论

本文利用 AKIMA 插值法, 结合实际烘烤过程中有限的监测点数据, 计算出了整个烘烤过程中烤房内温度和风速分布, 改善了监测点数据不足, 无法全面覆盖整个烘烤时期的问题.

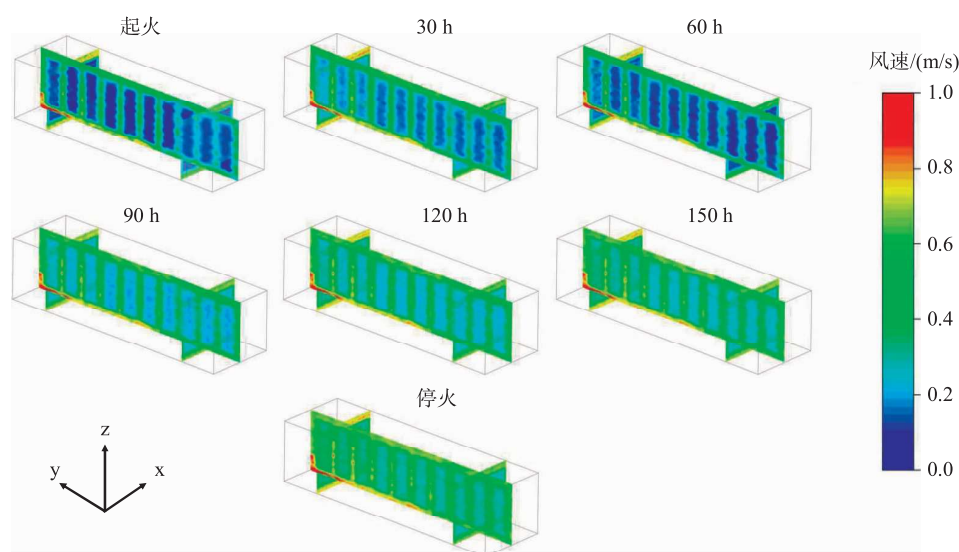


图 8 装烟室内风速分布云图

结合前人研究表明,箱式烤房与常规的挂杆、烟夹烤房环境存在较大差异:箱式烤房装烟室内整体低温位点位于箱体的中上部,随着烘烤的进行,低温位点不会向烤房其他位置移动,而是出现装烟室各个箱体内外温差逐渐减小的情况.而单倩^[16]对同为气流上升式的常规挂杆烤房的研究结果表明,随烘烤进程的推进,装烟室内的高温位点由底棚后端向前移动,并主要稳定在底棚中段,变黄期低温位点主要位于顶棚后端,定色期和干筋期低温位点分布在二棚前端.且实际监测数据表明在烘烤过程中箱式烤房内部温度差最大可达 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,而对比挂杆烤房内部温度差仅在 $4\sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[17].造成这种差异的原因在于箱体内部的温度及风速分布受到大密度装烟影响.尤其在变黄期,气流难以携带热量进入箱体内部,导致箱体内外温差增大,而与之相比,挂杆烤房的装烟密度较箱式烤房小,整个烤房内风速分布则较为均匀.因此过伟民等^[18]通过延长变黄期烘烤时间的手段来保证大密度装烟箱体内部烟叶的烤透率.箱式烘烤在进行 $20\sim 30\text{ h}$ 时,由于烟叶大量失水产生形变,进而导致箱体上层烟叶整体塌陷,使得箱体内部烟叶之间的空隙变小,排湿更加困难,进一步增加了烘烤难度.这也导致了箱式烘烤容易出现烤后烟叶夹层、油分差、柔软度不足、厚度相对较薄等情况.

气流上升式烤房箱体下部温度及风速大于箱体中上部,因此,整房烤烟的经济性状会受到严重影响,这与张锐新^[19]对散叶堆积烘烤的研究结果一致.烟叶区域越接近箱体外整体温度变化越平缓,这与贺帆^[20]对电烤烟的研究结果一致.同时,随着箱体与出风口的距离变大,箱体内部温度与风速明显变小,这与热空气的动能损失有关,可通过在箱体底部不同位置加装分风板,改变热空气流入箱体的角度,以此增加箱体内部的进风量,改善烤房不同位置箱体烟叶烘烤的质量.

由于箱式烤房内热湿环境不断发生动态变化,刘旭东^[21]、王英浩等^[22]在对整体式 U 形渠道进行数值分析时将动态的环境视为一个整体,因此本研究在对烤房热流场进行数值分析时也将箱体及烤房视为一个整体,将烟叶区域视为多孔介质.而在我国各大烟区广泛应用的挂杆、烟夹等常规烤房与箱式烤房的差异也可利用本研究的方法进一步探究.

4 结 论

本文应用 AKIMA 插值法,结合实际监测数据,计算并分析了箱式烤房及内部烤箱在整个烘烤过程中的温度和风速分布,得到结论如下:

1) 箱体不同位置温度及风速变化量大小为:箱体下部 > 中部 > 上部.此外由于上层烟叶受到温度和风速的作用,失水皱缩,叶间孔隙变小,而发生塌陷,导致底层出现多片烟叶抱团挤压的现象.

2) 整个烘烤阶段箱体温度及风速变化:在 $120\sim 150\text{ h}$ 箱内风速均保持较高水平,且温度分布均匀,整体温差不超过 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$;在 120 h 前箱内风速则相对较小,温度分布不均,温差最大可达 $8\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

根据以上结论结合实际生产情况,提出箱式烘烤优化建议:①采用变频风机,烘烤过程中可采用 120 h 前高风速档位(8#循环风机 45~50 Hz),120 h 后低风速档位(8#循环风机 35~40 Hz)的方法保证烟叶烤透率;②在每个箱体下方安放由 10 号箱体到 1 号箱体与地面夹角依次增大的分风板,使得各个箱体的进风量较为一致。

[参考文献]

- [1] 余昊浩森,刘伦,曾繁如,等.基于大数据应用的我国“三农”问题研究进展[J].西南农业学报,2022,35(9):2212-2219.
- [2] 王军,田俊岭,刘兰,等.施肥水平对烤烟的干物质、养分积累及分配的影响[J].中国农学通报,2022,38(22):8-14.
- [3] 张富强,张建祥.提升烟叶病虫害绿色防控水平的建议[J].乡村科技,2018(19):97-98.
- [4] 吉蕾,王玉.奋力推动农机农艺深度融合[N].东方烟草报,2023-09-08(4).
- [5] 李朋发.散叶烘烤自动装烟机的设计与应用[D].泰安:山东农业大学硕士学位论文,2017.
- [6] 朱国兵,姜滨,黄择祥,等.箱式密集烘烤过程中烟叶化学成分的变化动态及其对烤后烟质量的影响[J].中国烟草学报,2022,28(1):58-67.
- [7] 张成双,王玉华,闫凯,等.不同烟叶烘烤方式烘烤效果对比[J].现代农业科技,2022(8):189-191.
- [8] 刘兆宇,陈颐,罗会龙,等.烟叶烘烤定色期密集烤房热湿环境数值分析[J].西南农业学报,2021,34(11):2518-2524.
- [9] 刘兆宇,罗会龙,陈颐,等.烟叶烘烤干筋期密集烤房热湿环境数值分析[J].江苏农业科学,2021,49(1):160-165.
- [10] 陈鑫杰,赵宇,向欢,等.基于 CFD 的新型雪茄烟叶晾棚温湿度场分析[J].中国烟草学报,2023,29(4):135-144.
- [11] 郑劲民,陈广晴,刘剑君,等.烟叶烘烤试验箱内流热场数值模拟与导流板参数优化[J].科学技术与工程,2022,22(17):6920-6926.
- [12] 王云宏,江浩,王盼,等.GPS 授时地震仪走时误差校正[J].煤田地质与勘探,2015,43(3):91-94.
- [13] 汪菲,唐少容,王红雨.基于 AKIMA 插值法的整体式 U 形渠道温度场数值模拟[J].灌溉排水学报,2021,40(8):81-87.
- [14] 李东升,苏永涛,滕丽娜.直线度测量数据的阿克玛插值法平滑处理[J].计量技术,1999(5):17-18.
- [15] 何桂芳,刘民士,费立凡.基于改进 AKIMA 算法的等高线山顶点提取[J].测绘科学技术学报,2019,36(4):400-405.
- [16] 单倩.密集烤房烘烤过程中温度分布特点研究[D].合肥:安徽农业大学硕士学位论文,2015.
- [17] 单倩,凌平,王能如,等.不同烟叶夹持方式对密集烤房空间温度分布的影响[J].河南农业大学学报,2017,51(6):763-766.
- [18] 过伟民,郑劲民,常乃杰,等.基于温湿度时序数据的烟叶烘烤工艺特征分析[J].中国烟草学报,2022,28(5):56-63.
- [19] 张锐新,姚源,杨昌鹤,等.装烟密度对抚州烤后烟叶品质的影响[J].安徽农业科学,2023,51(10):153-155.
- [20] 贺帆,王涛,赵华武,等.密集烘烤过程中烤烟电特性和主要化学成分变化[J].烟草科技,2014,47(2):76-80.
- [21] 刘旭东,王正中,闫长城,等.基于数值模拟的双层薄膜防渗衬砌渠道抗冻胀机理探讨[J].农业工程学报,2011,27(1):29-35.
- [22] 王英浩,司娜.U 形玻璃钢渠道抗冻胀效果数值模拟[J].内蒙古科技大学学报,2014,33(4):409-412.

(下转第 55 页)

2008, 29 (6): 509-512.

- [19] ZHOU Z, DAI G, RU S, et al. Highly selective and efficient olefin epoxidation with pure inorganic-ligand supported iron catalysts [J]. Dalton Transactions, 2019, 48 (37): 14201-14205.
- [20] NAYAK P, NAYAK M, MEENA K, et al. Oxo (corrolo) vanadium (IV) catalyzed epoxidation: oxo (peroxo) (corrolo) vanadium (V) is the true catalytic species [J]. New Journal of Chemistry, 2022, 46 (10): 4634-4646.
- [21] SUN J, ZHAO X, SUN G, et al. Thermodynamic and kinetic study on the catalytic epoxidation of allyl chloride with H_2O_2 by new catalyst $[(\text{C}_{18}\text{H}_{37})_2(\text{CH}_3)_2\text{N}]_3\{\text{PO}_4[\text{W}(\text{O})(\text{O}_2)_2]_4\}$ [J]. Chemical Engineering Journal, 2020, 398: 125051.

Synthesis and Catalysed Cyclohexene Epoxidation of Three Schiff Base Molybdenums

XU Chunpeng¹, WANG Jialu¹, MAN Chang², LI Xiangli¹, WANG Jinfeng¹, LI Jun³, QIAO Yongfeng¹

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214;

2. School of Physical Science and Technology, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214;

3. R&D Center of Yunnan Tin Group (Holding) Limited Liability Company, Kunming, Yunnan, China 650299)

Abstract: In order to investigate the performance of molybdenum complexes in the catalytic epoxidation of cyclohexene, three Schiff base molybdenum complexes with different electronic effects were synthesised and characterised by a range of analytical techniques, including infrared spectroscopy, UV-visible spectroscopy, X-ray single-crystal diffraction and thermogravimetric analysis. The cyclohexene epoxidation reaction was conducted using a Schiff base molybdenum complex $(\text{L}_1)_2\text{-Mo}$ as the catalyst and hydrogen peroxide as the oxidant. Under optimal conditions, the reaction yielded 81.75% conversion and 94.25% selectivity. The experimental results demonstrated that the incorporation of electron-pushing groups into the Schiff base molybdenum complexes could enhance the catalyst activity.

Key words: Schiff base; molybdenum complex; cyclohexene; epoxidation

(责任编辑: 陈伟超)

(上接第 17 页)

Temperature and Wind Speed in Heat Flow Field and Optimization of Box-type Curing Barn Based on AKIMA Interpolation

SONG Zonghao¹, MAO Lan², BAI Tao², MA Li², LI Shengdong², WANG Tao², LI Fengli³, TI Jinsong¹, ZHANG Baolin²

(1. College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan, China 450046;

2. Qujing City Company of Yunnan Tobacco Company, Qujing, Yunnan, China 655000;

3. Wenshan City Company of Yunnan Tobacco Company, Wenshan, Yunnan, China 663000)

Abstract: In order to study the heat flow field of the box-type curing barn, the environmental condition of the curing barn in each period of baking is mastered. AKIMA interpolation method is used to calculate the temperature and wind velocity gradient of the box, and then the cloud image is inserted into the model to visualize the heat flow field of the curing barn. 1) The heat flow field of different positions of the box is greatly different; lower part of the box > middle part > upper part. 2) The heat flow field in different periods of baking is very different, i. e. in the dry stiffening stage, the wind speed in the interleaf interval is maintained at a high level, while the temperature distribution is uniform, and the overall temperature difference does not exceed 6 °C; in yellowing stage and fixed color stage, the wind speed between leaves was relatively small, the temperature distribution was uneven, and the overall temperature difference reached 8 ~ 10 °C. According to the above results and combined with the actual production situation, the optimization suggestions of box baking are put forward. 1) Frequency conversion fan is used, since in the box baking process, high wind speed gear (45 ~ 50 Hz of circulating fan 8# fan) can be used before 120 h, and low wind speed gear (35 ~ 40 Hz of circulating fan 8# fan) can be used after 120 h to ensure the permeability of tobacco while retaining the original aroma. 2) An air distribution plate with an increasing angle is placed under each box to ensure the air intake of each box. The thermal field distribution of box-type curing barn in different baking stages and different positions of the box is uneven, but the overall gap becomes smaller as the baking process enters the drying stage. According to the research results, the baking equipment and box-type baking process are reasonably adjusted to improve the baking quality of box-type baking.

Key words: box-type flue-curing; heat flow field; AKIMA interpolation; numerical analysis

(责任编辑: 陈伟超)