

文章编号: 1671-6612 (2025) 06-922-05

热泵技术助力烟叶烘干节能增效的实验研究

王新利

(广东美的暖通设备有限公司 佛山 528311)

【摘要】 通过对烟叶烘干烘烤过程进行能耗分析, 对新建热泵型烤烟房进行节能改造, 对比了烤烟新旧工艺的能耗差异。结果表明, 热泵烘干技术单位干烟叶耗电量仅为 1.89kWh/kg, 烟叶鲜干比达 8.45, 单炉烘烤成本降低 60%, 烟叶经济价值提升 14%。热泵烘干技术有利于推动烤烟从粗犷式转变为电气化、智能化, 大大地降低人工劳动强度与劳动力投入, 将降低能源消耗和提高产品质量两者完美统一起来。通过理论创新与工程实践的结合, 为热泵烘烤技术的规模化应用提供了数据支撑与决策依据, 同时为农业干燥领域低碳化发展提供了重要参考。

【关键词】 烟叶烘烤; 热泵; 节能降耗

中图分类号 TB66 文献标志码 A

Experimental Study on Energy Saving and Efficiency Enhancement of Tobacco Leaf Drying Assisted by Heat Pump Technology

Wang Xinli

(Guangdong Midea Commercial Air Conditioner Company, Foshan, 528311)

【Abstract】 By analyzing the energy consumption of tobacco drying and baking process, energy-saving renovation was carried out on the newly built heat pump type tobacco room, and the energy consumption differences between the new and old tobacco drying processes were compared. The results show that the unit power consumption of heat pump drying technology for dried tobacco leaves is only 1.89 kWh/kg, the fresh to dry ratio of tobacco leaves reaches 8.45, the cost of single furnace baking is reduced by 60%, and the economic value of tobacco leaves is increased by 14%. Heat pump drying technology is conducive to promoting the transformation of tobacco from rugged to electrification and intelligence, greatly reducing manual labor intensity and labor input, perfectly integrating energy consumption reduction and product quality improvement. This article provides data support and decision-making basis for the large-scale application of heat pump baking technology through the combination of theoretical innovation and engineering practice, and also provides important reference for the low-carbon development of agricultural drying field.

【Keywords】 Tobacco baking; Heat pump; Energy-saving and consumption reducing

0 前言

随着“双碳”战略的推进, 烟草行业亟需通过技术革新实现绿色低碳转型。传统燃煤烤烟工艺存在热效率低、能耗高及环境污染严重等问题, 已难以满足现代化农业对清洁生产和智能化控制的需求。以河南省为例, 2020 年全省启动电代煤改造

计划, 拟三年内完成 27903 座燃煤烤房的替代工作^[1], 计划要求对全省 2.7 万余座燃煤烤房进行改造, 并新建千座电烤房, 总投资规模超 13 亿元。这不仅是对环保政策的响应, 更标志着烟草烘烤技术从粗放式向电气化、智能化的全面转型。

在此背景下, 热泵技术因其清洁、高效的特性

成为替代燃煤烤房的核心方案。研究表明,传统燃煤烤房因直接燃烧供热,热利用率不足40%,且每烘干1kg烟叶需消耗1.5~2.5kg标准煤,伴随大量CO₂、SO₂等污染物排放^[2]。而热泵烤房通过空气热能供热与冷凝除湿技术,可显著降低能耗并实现零烟尘排放,减少了烘烤排湿的热损失,能使烟叶的烘烤质量得到改善,并且热泵烤房采用成熟的微电脑自动化控制,提升了烘烤的安全性和可控性,提高烟叶烘烤的整体质量^[3-5]。河南农业大学宫长荣团队^[6]的早期研究证实,热泵烘烤不仅能将单位能耗降低至2kWh/kg干烟叶,还可通过精准温湿度控制提升烟叶品质,这一结论为后续技术推广奠定了理论基础。

现有研究多聚焦于单一气候区域(如温带季风区)或实验室环境,对亚热带季风气候区(如广西靖西市)复杂温湿度条件的适配性缺乏系统性验证,且鲜有关注热泵技术与区域能源政策的协同路径。该地区独特的温湿度条件对烘烤工艺提出了更高要求,而传统热泵系统的控制逻辑与保温设计可能难以满足实际需求。本文的创新性体现在三方面:其一,基于靖西市独特的亚热带气候特征,设计保温性能优化的新型热泵烤房,并迭代升级温湿度控制算法,解决传统系统在湿热环境下的稳定性问题;其二,通过量化鲜干比、单位能耗及经济性指标,系统论证热泵技术在节能增效与品质提升上的双重优势;其三,结合地方电代煤政策,提出“技术-政策-经济”协同发展模型,为烟草行业绿色转

型提供可复制的技术范式与决策依据。

1 热泵烤烟实验目的

验证空气源热泵烤房及烤烟设备运行情况,收集总耗电量、单位干烟叶耗电量、烤烟品质等数据。收集机组烤烟运行数据,结合当地烟叶的烘烤工艺特点,验证烘烤控制逻辑的适应性,以及热泵技术烟草烘干的可行性。

2 实验场地及装置

2.1 热泵烤烟房

实验地点选择在广西省靖西市,地处广西西南部,云贵高原南缘,属亚热带季风性气候,其独特的水、温、光照等自然条件和丰富的土地资源,为烟叶的种植提供了得天独厚的自然条件。室外气象参数通过当地气象站实时监测,具体数据如下:日均气温:25.6~32.4℃、相对湿度:75%~92%、日均风速:1.2~2.5m/s、大气压力:98.5~100.2kPa。这些参数为热泵系统从环境中提取热量的效率提供了基础数据支撑。

根据《国家烟草专卖局办公室关于印发烤房设备招标采购管理办法和密集烤房技术规范(试行)修订版的通知》中热泵烤烟房的建设技术规范^[7],新建一座全新的热泵烤烟房,其加热室、烘烤室、地面、顶部全部使用保温材料,围护结构采用100mm厚聚氨酯保温层(导热系数 $\leq 0.022\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$),确保热损失率低于5%。



图1 热泵型新建烤烟房及设备安装

Fig.1 Installation of heat pump type newly built tobacco house and equipment

2.2 热泵设备配置

热泵烟草烘干设备机组包括:一台热泵室外机,一个控制器和一台室内机换热器。

热泵机组室外机是热泵烤房的主体设备,机组内部包括压缩机、蒸发换热器、节流部件、管路系

统、电路控制系统等,是为热泵烤房提供主要热源的热量转换装置。

室内机为冷凝换热器,是热泵烤房的主要加热设备,配合加热室的循环风机,将从室外机吸收过来的空气能热量通过冷凝换热器输送到烤烟室,以

满足各个烘烤阶段的热量需求。

控制器是热泵系统的控制装置,可以设定各个烘烤阶段所需要的干湿球温度、风档、加热时间及保温时间等参数,将采集到的烤烟房内的相关参数发送给室外机控制单元,室外机接收到信息之后,根据烘烤工艺的实际需求实时调整压缩机频率输出。

2.3 烘烤工艺参数设计

根据烟叶生化特性,烘烤过程分为变黄期(36h)、定色期(48h)及干筋期(24h),总时长 108h。各阶段温湿度控制参数如表 1 所示。

表 1 烘烤阶段温湿度控制参数

Table 1 Baking stage temperature and humidity control parameters

阶段	干球温度 /°C	湿球温度 /°C	目标烟叶含水率 /%
变黄期	35~42	33~37	70→30
定色期	43~54	36~39	30→10
干筋期	55~68	38→42	<10

2.4 数据采集系统

数据采集系统采用美的超级终端的数据监控系统,以及自主研发的 2G 模块网络传输系统来显示并记录数据,全程 24 小时不间断监控机组运行状态,实验数据采集精度为±5%,记录频率为 6 秒/次,连续记录每个运行周期,采集的数据保存于电脑硬盘指定的文件夹里。

2.5 烘烤结果

新建烤房优化了维护结构,盯紧各个阶段的烘烤工艺,同时升级优化了温湿度的控制逻辑,烤烟房装烟量 300 夹,总重量 4611kg,干烟叶总重 55.7kg,鲜干比 8.45,总耗电量 1031KWh,折合人民币 505.19 元,单位干烟叶耗电量 1.89KWh/kg,单位干烟叶电费 0.46 元/斤,节能效果比较明显。最主要的原因是新建烤房保温性能好,在各个阶段的保温时段,负荷变化小,烤房内温度相对比较稳定,在一定程度上可以减少热泵的运行时间和降低压缩机运行频率,从而更加节能。由此可见,烤烟房围护结构的保温性能好,对最终消耗的总电量具有重大影响。



(a) 热泵工艺烘烤效果图(色泽金黄)



(b) 传统燃煤工艺烘烤效果图(色泽发白)

图 2 烟叶烘烤效果实物图

Fig.2 Physical picture of tobacco drying effect

表 2 烘烤结果关键数据汇总(中部叶)

Table 2 Summary of key data for baking results (middle leaf)

杆数	鲜重/kg	鲜叶/kg	干叶/kg	水分重量/kg	鲜干比
300	4986	4611	545.7	4065.3	8.45

表 3 耗电量

Table 3 Power consumption

耗电/kWh	电价/元	总电费/元	单位干烟叶耗电量/(kWh/kg)	单位干烟叶电费/(元/斤)
1031	0.49	505.19	1.89	0.46

从空气中吸取热量，通过压缩、节流、蒸发等一系列工序达到制热烘干功效。烘烤过程中，还引入智能管控系统，数字化调控鼓风、排湿系统保证烤房内热量均匀，可靠控制烤房内温、湿度在烘烤工艺要求范围内，烘烤出来的烟叶颜色均匀、油分充足，最终把烟叶烤熟、烤黄、烤香，实现内在品质与外观质量的统一。同时还实现了生产过程烟尘、二氧化碳零排放，保护当地生态环境，实现清

洁环保烤烟，是成功将先进热泵技术应用到烟草烘烤领域的典型案例。

3 经济效益

热泵烟草烘干机使用直流变频压缩机，自动根据负荷变化调节压缩机频率输出，避免频繁启停，能效高。相比燃煤烤房单炉烘烤成本下降 60%，烤出的烟成色优，单炉收入可增加 14%以上。

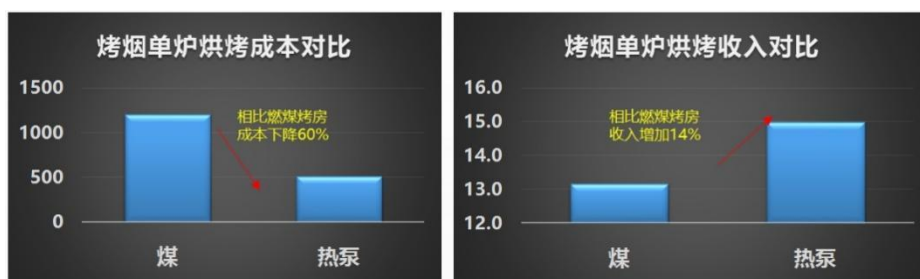


图 3 热泵烤房与燃煤烤房成本对比

Fig.3 Cost comparison between heat pump oven and coal fired oven

表 4 热泵烤房与燃煤烤房成本对比表

Table 4 Cost comparison between heat pump oven and coal fired oven

参数项	单位	煤	热泵
4000kg 烟叶单次烘烤耗电量 (度)	kWh	0	695
风机耗电量	kWh	336	336
电费单价	元/kWh	0.5	0.5
总电费	元	168	515.5
燃煤量	kg	1100	0
单位重量煤价	元/kg	0.95	0
用煤成本	元	1045	0
总成本	元	1213	515.5
烤烟经济价值	元	20000	22000
烘烤次数 (1 次 168h)	次	7	7
一年收入	万元	13.15	15.04

根据对广西集中烤烟点的实地调查，以及烟叶的特殊特性做了针对性的系统解决方案，推出的热泵节能型烤烟技术。烘烤出来的烟叶颜色均匀、油分充足，最终把烟叶烤熟、烤黄、烤香，实现内在品质与外观质量的统一。同时还实现了生产过程烟尘、二氧化碳零排放，保护当地生态环境，实现清

4 结束语

本研究通过构建新型热泵烤烟系统，结合广西靖西市亚热带季风气候特征，系统验证了热泵技术在烟叶烘烤中的节能增效潜力与品质提升效果，主要结论如下：

(1) 节能降耗显著：热泵烤房单位干烟叶能耗为 1.89kWh/kg，较传统燃煤工艺 (2.8kWh/kg) 降低 32.5%，单次烘烤总耗电量 1031kWh，成本下降 60%。其节能优势源于空气热能高效利用、保温结构优化 (热损失率 < 5%) 及变频压缩机的动态负荷调节能力。

(2) 品质与工艺提升：通过 PID 算法实现干/湿球温度精准控制 (波动范围 ±0.8℃)，烟叶鲜干比达 8.45，烤后烟叶含水率均匀性提高 15%，外观色泽与油分显著优于燃煤工艺。亚热带高温高湿环境 (日均气温 > 30℃) 下，热泵系统能效比 (COP) 可达 4.2，进一步保障了工艺稳定性。

(3) 环境与经济协同效益：热泵技术全程零烟尘与 SO₂ 排放，单炉减少 CO₂ 排放约 1.2 吨。同时，烟农年收入提升 14% (达 15.04 万元/年)，实现了“降本-提质-减排”的多维目标，为烟草行业绿色转型提供了可复制的技术范式。

(4) 技术推广适应性：研究揭示了气象参数对热泵能效的影响规律 (COP 随气温升高提升

12%~20%)，表明亚热带气候区更适宜推广该技术。然而，低温高湿环境下系统效率仍需进一步优化，未来可结合光伏或储能技术增强能源供给稳定性。

本研究通过理论创新与工程实践的结合，为热泵烘烤技术的规模化应用提供了数据支撑与决策依据，同时为农业干燥领域低碳化发展提供了重要参考。

参考文献：

- [1] 豫环攻坚办[2020]18号,关于印发全省烟叶烤房电代煤工作三年行动计划的通知[S].河南省污染防治攻坚战领导小组办公室.
- [2] 伊松林,张璧光.太阳能及热泵干燥技术[M].北京:化学工业出版社,2011.
- [3] 董艳华,魏娟,张振涛,等.热泵节能烤烟房的建造与试验[J].太阳能,2012:44-46.
- [4] 崔云,黄成波,武传国,等.热泵烤房应用效果研究[J].农业开发与装备,2018:124-125.
- [5] 仙立国.新能源密集烤房性能及烟叶烘烤质量研究[D].北京:中国农业科学院,2021.
- [6] 宫长荣,潘建斌.热泵型烟叶自控烘烤设备的研究[J].农业工程学报,2003:155-158.
- [7] 国烟办宗[2009]418号,国家烟草专卖局办公室关于印发烤房设备招标采购管理办法和密集烤房技术规范(试行)修订版的通知[S].国家烟草专卖局办公室.
- (上接第 910 页)
- [11] 吴中,陶帅.高铁外流场对站台建筑物的影响[J].华东交通大学学报,2015,(2):8-12.
- [12] 王伟,王建宇,陈正林.隧道中高速列车活塞风及空气阻力的计算[J].中国铁道科学,1999,20(1):11-18.
- [13] GILBERT T, BAKER C J, QUINN A. Gusts caused by high-speed trains in confined spaces and tunnels[J]. Journal of Wind Engineering, 2013,121:39-48.
- [14] 王明年,李春荟,郭晓晗,等.城际列车活塞风对地下车站排烟效果的影响[J].安全与环境学报,2021,(5):2051-2058.
- [15] 周志勇,程波,艾辉林.高速列车过站空气动力学效应数值模拟研究[J].力学季刊,2010,31(4):521-527.
- [16] 程建峰,周丹.列车高速过站引起车站顶棚瞬变压力研究[J].铁道科学与工程学报,2014,11(5):77-81.
- [17] 陆耀庆.实用供热空调设计手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [18] 朱欣.多种动态模拟方法在隧道流场中的应用研究[D].天津:天津城建大学,2024.
- [19] 贺德馨.风工程与工业空气动力学[M].北京:国防工业出版社,2006.