

# 太阳能集热与余热回收烤房的增温节能效果研究

黄宝瑞<sup>1</sup>,陈科<sup>1</sup>,陈毓贤<sup>1</sup>,杨在友<sup>2</sup>,易忠经<sup>2</sup>,艾复清<sup>1,3\*</sup>

(1. 贵州大学农学院,贵州 贵阳 550025; 2. 贵州绥阳县烟草分公司,贵州 绥阳 563000;  
3. 贵州省烟草品质研究重点实验室,贵州 贵阳 550025)

**摘要:**为探索太阳能集热与余热回收烤房的增温节能效果,以气流上升式密集烤房为对照,对比研究了余热回收烤房、太阳能集热烤房以及太阳能集热+余热回收烤房3种改造烤房的增温能力、节能效果及烤后烟叶等级质量。结果表明:3种改造烤房集温室集热效果明显,表现为太阳能集热+余热回收烤房>太阳能集热烤房>余热回收烤房>对照;余热回收烤房、太阳能集热烤房以及太阳能集热+余热回收烤房的节煤率较对照分别提高了8.7%~10.9%、12.9%~16.5%、21.7%~21.8%;改造烤房对烤后烟叶等级质量影响较小。可见,太阳能集热+余热回收烤房的增温节能效果表现最佳。

**关键词:**密集烤房;太阳能;余热回收;增温;节能

**中图分类号:**TS43      **文献标志码:**A      **文章编号:**1004-3268(2015)06-0151-05

## Effect of Solar Energy and Waste Heat Recovery Flue Curing Barn on Heating and Energy Saving

HUANG Baorui<sup>1</sup>,CHEN Ke<sup>1</sup>,CHEN Yuxian<sup>1</sup>,YANG Zaiyou<sup>2</sup>,YI Zhongjing<sup>2</sup>,AI Fuqing<sup>1,3\*</sup>

(1. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang 550025, China;  
2. Suiyang County Tobacco Company of Guizhou Province, Suiyang 563000, China;  
3. Guizhou Key Laboratory for Tobacco Quality Research, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** In order to search out effects of heating and energy saving in bulk curing barns applied solar energy and waste heat recovery system, influence of the modified barns on heating and energy saving and appearance quality of flue-cured tobacco were investigated between various curing barns. Results showed that these modified barns(heat recovery(T1), solar energy(T2), combined of heat and solar power(T3)) had an obvious effect on heating and the increasing effects were T3>T2>T1; Compared with the control (air rising bulk curing barn), the modified barns(T1, T2 and T3) saved 8.7%—10.9%, 12.9%—16.5% and 21.7%—21.8% of coals respectively; There was no significant effect on appearance quality of flue-cured tobacco. Therefore, the solar energy and heat recovery system of curing barn can increase the efficiency of energy using best.

**Key words:** bulk curing barns; solar energy; waste heat recovery; heating effect; energy conservation

烤房作为烟叶烘烤的专用设备,耗煤量大是一  
直以来存在的主要问题。据国家统计局统计,2013  
年全国烤烟总产量62 967万担,若按当前平均每千  
克干烟耗煤量1.8 kg计<sup>[1-3]</sup>,年耗煤量高达566万t,  
如果将耗煤量下降10%,则每年可节约烘烤用煤近57  
万t,这对于节能减排具有重要意义。近年来,不少  
学者分别从烤房设备、新能源利用方面进行节能研  
究,然而对火炉、散热器、烟卤等烤房设备的研究只

收稿日期:2015-02-26  
基金项目:中国烟草总公司贵州省烟草公司项目(201117)  
作者简介:黄宝瑞(1986-),男,广西北海人,在读硕士研究生,研究方向:工业原料作物生产。E-mail:89793407@qq.com  
\* 通讯作者:艾复清(1962-),男,贵州贵阳人,教授,硕士生导师,主要从事烟草栽培与调制教学和研究工作。  
E-mail:afq2006@sina.com

是在降低设备成本上具有一定成效,而未能在减煤节能上取得较好的突破<sup>[4-10]</sup>。以热管式、热泵、平板与真空集热为主的太阳能集热和以热风、烤房群共享为主的余热技术取得一定的节能效果<sup>[11-17]</sup>,但普遍存在设备改造成本高、操作控制不方便等问题,烟农不易接受,因此均未得到广泛推广<sup>[18-26]</sup>。鉴于此,研究了阳光板集热和热湿气体余热回收烘烤的增温及节能效果,旨在为太阳能集热与余热回收技术在烤烟节能烘烤上的应用提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况和供试材料

试验在贵州省遵义市绥阳县蒲场镇进行,海拔 866 m,常年平均气温 15.1℃,降雨量 1 140 mm,无霜期 250~300 d,日照数 1 114 h/a,前作空闲,土壤黄壤,肥力中等,大田供试面积 5.3 hm<sup>2</sup>。供试烤烟品种:南江三号。采用大棚漂浮育苗,2013 年 4 月下旬移栽,种植密度 18 000 株/hm<sup>2</sup>,大田施肥量为 N 105 kg/hm<sup>2</sup>,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:1:2.3,基肥 60%,追肥 40%,留叶数 20 片。成熟采收、散叶堆积烘烤。

密集烤房:烤房长 10.0 m、宽 2.7 m、高 3.3 m,装烟 3 层。

### 1.2 试验设计

试验设置 4 个烤房处理,即气流上升式密集烤房(CK)、余热回收烤房(T1)、太阳能集热烤房(T2)、太阳能集热+余热回收烤房(T3)。

余热回收烤房即在上升式密集烤房房顶上采用厚 5 cm 的不透光夹芯板材建一密闭棚(10 m×2.5 m×1.9 m),在棚内安装直径为 21 mm 的 8 根铝皮排湿散热管,进行热湿气体余热回收再利用。

太阳能集热烤房即在气流上升式卧式密集烤房房顶上采用厚 8 mm 的阳光板材建一集温棚(10 m×2.5 m×1.9 m),利用阳光板接收、吸收太阳辐射,集温棚内空气储存热能,增温后的热空气通过烤房进风口进入烤房。

太阳能集热+余热回收烤房即由余热回收和太阳能集热二者耦合改建而成。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 集温室内、外大气温度 烤烟烘烤过程采用酒精温度计每隔 4 h 记录 1 次集温室内温度、室外(大气)温度。

1.3.2 烤房烘烤能耗 统计各处理的单炕耗煤量、单炕烟叶干质量,计算每千克干烟耗煤量。每千克干烟耗煤量=单炕耗煤量/单炕干烟质量。

1.3.3 烟叶等级质量 按照 GB 2635—92 进行烟

叶分级,统计各处理烟叶上等烟比例、中上等烟比例、桔黄烟比例、杂色烟比例、均价(依据 2013 年当地收购价格)等。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同类型烤房集温室的增温效果

由于气流上升式密集烤房(CK)为常规密集烤房,其房顶没有加建集温室,因此大气温度实为 CK 烤房的房顶温度。从图 1 可以看出,T1 处理集温室温度高于大气温度,其增温趋势随着烘烤进程的推进而上升,烘烤变黄期、定色期、干筋期平均增温为:烘烤中部叶 1.6℃、4.6℃、6.9℃,烘烤上部叶 1.7℃、4.9℃、7.2℃;集温室增温效果呈波浪式上升趋势,即随着昼夜气温升降而升降,烘烤中、上部叶最低增温分别为 0.4℃、0.5℃,最高增温为 6.7℃、7.4℃。说明余热回收烤房具有集热增温的效果,且集热效果受大气温度、烘烤排湿气体温度及排湿量的影响。

由图 2 可见,T2 处理集温室温度高于大气温度。烘烤中部叶时,集温室增温从夜间 3:00 的 0.8℃逐渐上升至白天 11:00—15:00 的 5.4℃,然后逐渐下降至晚上 23:00 的 2.1℃,且集温室的增温情况每天均呈现出随昼夜变化而升降的波浪式曲线;但与 T1 处理不同的是,其增温效果虽随烘烤进程的推移而增加,但上升幅度较小:变黄期、定色期、干筋期平均增温分别为 3.4℃、3.6℃、4.4℃;烘烤上部叶时集温室的增温趋势与烘烤中部叶基本相似(图 2)。说明太阳能集热烤房具有集热增温效果,且集热效果主要受太阳辐射与光照强度的影响。

T3 处理耦合了 T1 与 T2 处理 2 种集热方式。从图 3 可以看出,T3 处理具有以下 2 个特点:其一是 T3 处理同时具有 T1 与 T2 处理的集热特点,即集温室温度随着昼夜交替而呈波浪式升降,且随着烘烤进程的推进总体呈现上升趋势;其二是 T3 处理集热具有 T1、T2 处理的叠加效果,烘烤中部叶时集温室最低增温 2.1℃,比 T1、T2 处理分别高出 1.7℃、1.3℃,最高增温 17.2℃,比 T1、T2 处理分别高出 10.3℃、11.8℃;烘烤变黄期、定色期、干筋期平均增温分别为 3.8℃、7.3℃、13.5℃,为比 T1 处理高出 2.2℃、2.7℃、6.6℃,比 T2 处理高出 0.4℃、3.7℃、9.1℃;烘烤上部叶时集温室的增温趋势与烘烤中部叶基本相似。说明太阳能集热+余热回收烤房的增温效果优于余热回收烤房、太阳能集热烤房,其集热效果既受太阳辐射与光照强度的影响,又受烘烤排湿气体温度及排湿量的影响。

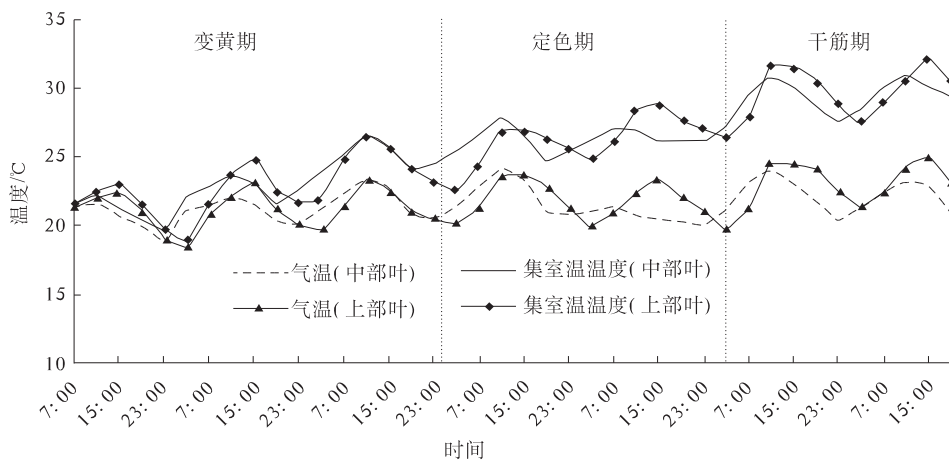


图 1 余热回收烤房集温室增温效果

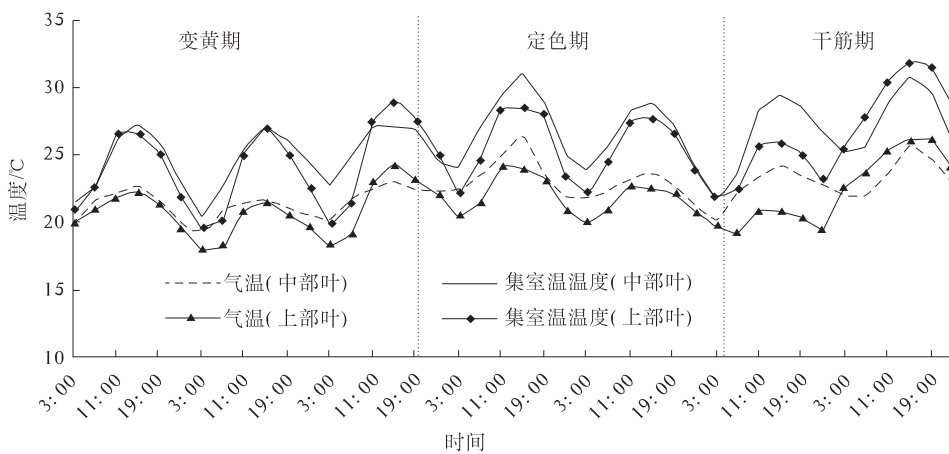


图 2 太阳能集热烤房集温室增温效果

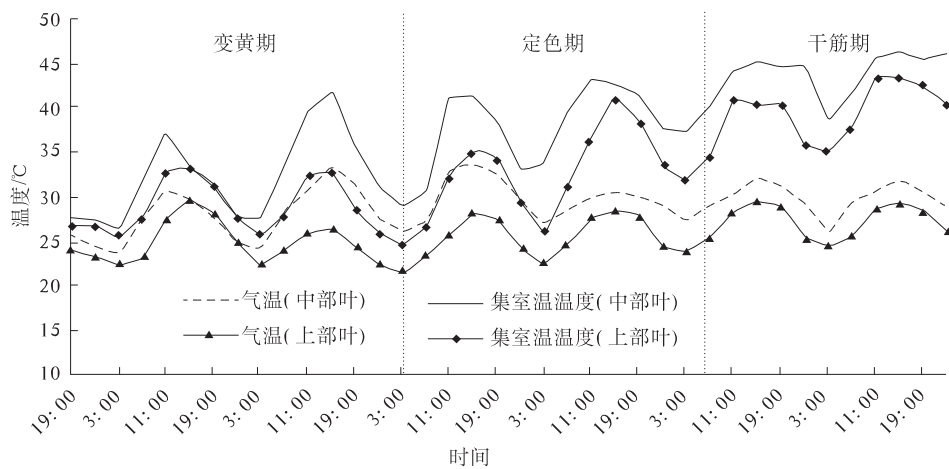


图 3 太阳能集热 + 余热回收烤房集温室增温效果

2.2 不同类型烤房的节能效果

从表 1 可知,烘烤中部叶,T1、T2、T3 处理每千克干烟耗煤量分别是 0.90 kg、0.88 kg、0.79 kg,较 CK 分别节煤 10.9%、12.9%、21.8%,各处理节煤效果表现为 T3>T2>T1>CK,且 T3 处理与 T1、T2 处理差异极显著,而 T1、T2 处理之间差异不显著。烘烤上部叶时,各处理的耗能趋势与烘烤中部叶一

致,但 T1 与 T2 处理之间差异极显著。由此可见,太阳能集热 + 余热回收烤房节能效果最佳。

2.3 不同类型烤房烤后烟叶的等级质量

由表 2 可以看出:CK、T1、T2、T3 处理中部叶的上等烟比例差异不显著;上部叶,T1、T2、T3 处理间上等烟率差异不显著,而 T1、T3 处理均显著高于 CK,分别较 CK 增加 1.45、1.26 个百分点。说明余

表 1 不同类型烤房能耗

部位	处理	单炕耗	单炕干烟	每千克干	较 CK 节
		煤量/kg	质量/kg	烟耗煤量/kg	煤/%
中部叶	CK	629	626	1.01	
	T1	565	629	0.90	10.9bB
	T2	555	628	0.88	12.9bB
	T3	501	632	0.79	21.8aA
上部叶	CK	751	654	1.15	
	T1	701	665	1.05	8.7cC
	T2	625	651	0.96	16.5bB
	T3	598	666	0.90	21.7aA

注:不同小、大写字母分别表示  $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 。

表 2 不同烤房烘烤烤后烟叶等级质量

部位	处理	上等烟比例/%	上中等烟比例/%	桔黄烟比例/%	杂色烟比例/%	均价/(元/kg)
中部叶	CK	51.63aA	81.93aA	61.22aA	18.05aA	23.84bA
	T1	52.31aA	82.24aA	61.27aA	17.92aA	23.95abA
	T2	52.44aA	82.35aA	61.24aA	17.84aA	24.08abA
	T3	52.42aA	82.41aA	62.35aA	17.66aA	24.16aA
上部叶	CK	47.56bA	74.12aA	69.46aA	24.81aA	20.46aA
	T1	49.01aA	74.16aA	69.86aA	24.67aA	20.52aA
	T2	48.29abA	74.15aA	70.18aA	24.78aA	20.47aA
	T3	48.82aA	74.13aA	69.54aA	24.76aA	20.49aA

注:同列不同小、大写字母分别表示同部位烟叶不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )、极显著( $P < 0.01$ )。

3 结论与讨论

本研究结果表明,余热回收烤房、太阳能集热烤房、太阳能集热 + 余热回收烤房集温室均有较好的集热增温效果。但从每天的增温效果来看,表现为白天相对较好,夜间相对较差,即增温效果呈现出随着白天气温升高而升高和夜间气温降低而降低的波浪式变化规律。各烤房烘烤中部叶过程中集温室变黄期、定色期、干筋期平均增温:余热回收烤房 1.6℃、4.6℃、6.9℃,太阳能集热烤房 3.4℃、3.6℃、4.4℃,太阳能集热 + 余热回收烤房 3.8℃、7.3℃、13.5℃,烘烤上部叶增温趋势基本相似。说明烘烤进程越往后推移,集热室增温效果越好,但余热回收烤房、太阳能集热 + 余热回收烤房较太阳能集热烤房集温室温度上升明显。综合 3 种改造烤房集温室每天的增温情况及烘烤不同阶段的增温情况,增温效果最好的是太阳能集热 + 余热回收烤房,其次为太阳能集热烤房,而余热回收烤房最差。

3 种改造烤房均具有明显的节煤效果,与对照烤房相比,余热回收烤房节煤率 8.7% ~ 10.9%,太阳能集热烤房节煤率 12.9% ~ 16.5%、太阳能集热 + 余热回收烤房节煤率 21.7% ~ 21.8%。节能效果表现为太阳能集热 + 余热回收烤房 > 太阳能集热烤房 > 余热回收烤房。3 种改造烤房对烤后烟叶等级质量影响较小,这可能是烤房改造未改变烟叶

热回收烤房、太阳能集热 + 余热回收烤房利于提高上部叶的上等烟比例,但效果较小。CK、T1、T2、T3 处理相同部位叶上中等烟比例、桔黄烟比例、杂色烟比例差异均不显著,说明改造烤房对烟叶上中等烟比例、桔黄烟比例、杂色烟比例没有影响。T1、T2、T3 处理中部叶的均价差异不显著,T3 处理与 CK 差异显著,较 CK 增加 0.32 元/kg;4 个处理上部叶的均价差异均不显著。可见,改造烤房对烤后烟叶等级质量的影响较小。

装烟方式及烘烤工艺。

虽烤房增温效果随昼夜交替而升降,但余热回收烤房与太阳能集热 + 余热回收烤房总体增温趋势均随着烘烤进程的推进而上升,其原因可能是,二者均具有余热回收集热特点,即烘烤过程温度逐渐上升的排湿汽体是导致集温室温度逐渐上升的主要原因;太阳能集热烤房烘烤各时期总体增温效果基本相似,其原因可能是,集温室集热效果主要来自太阳辐射与光照强度,烘烤期间天气稳定,每天集热增温效果相似。

与余热回收烤房相比,太阳能集热烤房烘烤前、中期增温效果相对较好,后期相对较差,原因可能是余热回收烤房烘烤前、中期排湿汽体温度较低,后期温度较高,而太阳能集热烤房烘烤各时期增温平稳且效果较好。本研究结果太阳能集热烤房增温节能效果略优于余热回收烤房,是由于本试验过程中天气晴朗,若在阴雨不良气候条件下,其增温节能效果如何有待进一步研究。

参考文献:

[1] 汪炳华,徐天养,肖华,等. 密集烤房的太阳能改造与应用研究[J]. 农学报,2011,1(5):40-43.

[2] 陈永安,徐增汉,罗红香,等. 我国利用太阳能辅助烘烤烟叶研究现状[J]. 中国农业科技导报,2012,14(6):122-127.

[3] 张家征,徐天养,向成高,等. 烤烟太阳能烤房与普通

- 密集烤房的烘烤对比试验[J]. 科技与产业, 2011(18):33-34.
- [4] 严显进,程联雄,艾复清,等. 节能炉具烤烟烤房的烘烤性能及效果[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(5):232-235.
- [5] 王怀珠,邱坤,李洪勋. 气流上升式普通烤房改为密集烤房试验[J]. 河南农业科学, 2011, 40(5):174-176.
- [6] 王国平,向鹏华. 密集烤房群余热利用对烟叶烘烤成本及烘烤质量影响的研究[J]. 作物研究, 2010, 24(4):348-350.
- [7] 宋朝鹏,贺帆,王战义,等. 提高烤房热能利用率的途径初探[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(18):7743-7744.
- [8] 汤明. 烤烟烘烤节能现状与展望[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(15):4549-4550.
- [9] 樊军辉,宫长荣,宋朝鹏,等. 烤烟调制节能技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(8):4013-4015.
- [10] 徐增汉,王能如,崔焰,等. 我国烟叶烤房的节能改革[J]. 安徽农业科学, 2000, 28(6):795-798.
- [11] 何建华,韦谊,艾复清. 真空集热太阳能辅助加热烤房节本增效效果[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(1):64-65.
- [12] 张之砚,施永斌,付继刚,等. 太阳能光伏发电烤房烤后烟叶等级质量及节本增效效果研究[J]. 山地农业生物学报, 2012, 31(5):446-449.
- [13] 杨树申. 太阳能在烟叶烘烤上的应用[J]. 河南农林科技, 1981(6):22-24.
- [14] 彭宇,王刚,马莹,等. 热泵型太阳能密集烤房烘烤节能途径探讨[J]. 河南农业科学, 2011, 40(8):215-218.
- [15] 孙培,王先伟,王法懿,等. 高温热泵烟叶烤房的研究与应用[J]. 现代农业科技, 2010(1):252-253, 256.
- [16] 王妮妮,王高杰,焦桂珍,等. 空气源热泵烤房与密集式烤房烤后烟叶质量对比[J]. 山西农业科学, 2014, 42(5):493-496.
- [17] 陈继峰,张兆元. TF式小型太阳能烘烤房[J]. 中国能源, 1993(12):38-39.
- [18] 李超. 密集烤房太阳能、热泵、排湿余热多能互补供热系统耦合方式研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2013.
- [19] 程联雄,李喜旺,张之砚,等. 节能改造烤房的烘烤效果及对烤后烟叶等级质量的影响[J]. 作物研究, 2013, 27(1):45-47.
- [20] 张保占,任红伟,谢德平,等. 冷热结合下排湿烤房烟叶烘烤对比试验初报[J]. 河南农业科学, 2005(12):27-29.
- [21] 宗树林,侯跃亮,杜传印,等. 余热共享密集烤房的开发[J]. 中国烟草科学, 2010, 31(4):56-58.
- [22] 陆永恒,徐天养,何兵,等. 太阳能密集型自控烤房的应用效果[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(23):4934-4936.
- [23] 陆新莉,徐增汉,吴邦元,等. 气流上升式太阳能密集烤房烘烤烟叶的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(15):9460-9461.
- [24] 蒋笃忠,骆君华,成勃松,等. 气流上升式连体密集烤房余热共享的设计及应用[J]. 中国农学通报, 2011, 27(30):258-261.
- [25] 钟浩,罗会龙,李志民,等. 烟叶密集烘烤余热回收利用的可行性分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(7):4037-4038.
- [26] 晏明,于军强,张立志. 烤烟房热湿回收利用研究进展[J]. 农机化研究, 2010(5):247-252.