

太阳能饲草干燥设备中空气集热器改进设计^{*}

杜建强¹ 杨世昆¹ 刘贵林¹ 郭志平²

(1. 中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院, 呼和浩特 010010; 2. 内蒙古工业大学机械学院, 呼和浩特 010051)

【摘要】 在太阳能饲草干燥设备改进过程中,为提高设备生产率,从太阳能饲草干燥设备的关键部件入手,研究空气集热器的结构和工作原理,进而对空气集热器进行改进,提高空气集热器的集热效率。进行了设备改进的性能对比试验,得出装有蜂窝结构空气集热器的太阳能饲草干燥设备,生产率提高约20%,改进后的空气集热器集热效率提高约50%。

关键词: 太阳能 饲草 干燥 集热器 热效率
中图分类号: S375; S818.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0227-04

Improved Design of Air Collector in Solar Energy Forage Drying Equipment

Du Jianqiang¹ Yang Shikun¹ Liu Guilin¹ Guo Zhiping²

(1. Huhhot Branch, Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Huhhot 010010, China
2. College of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Huhhot 010051, China)

Abstract

In the improved process of solar energy forage drying equipment, the key component of solar energy forage drying equipment was air heat collector. In order to improve equipment productivity, the structure and working principle of air heater were analyzed. Air heat collecting efficiency was improved. Through the performance experiment, the honeycomb structure of the air collector was very important in the solar energy forage drying equipment. Productivity increased by 20%. The air collector efficiency increased by 50%.

Key words Solar, Forage, Dry, Heat collector, Thermal efficiency

引言

收获和制备干草过程中,饲草田间干燥工艺一直是我国干草制备的主体工艺。然而在饲草收获季节,饲草在田间干燥期间干物质损失严重,营养成分保持率较低。根据农业部有关部门统计,我国每年损失贮草大约在3亿t^[1],其损失十分巨大,饲草干燥已成为制备优质干草的制约瓶颈,先进的饲草干燥设备的开发改进与完善已迫在眉睫。太阳能饲草干燥设备以其干燥后饲草品质高、成本低、经济效益

显著的优势已在干燥设备中占有重要的地位^[2]。本文在太阳能饲草干燥设备改进过程中,针对进一步提高设备生产率的核心问题,从太阳能饲草干燥设备关键部件入手,研究空气集热器的结构和工作原理,进而对空气集热器进行改进,以提高空气集热器的集热效率,最终达到设备优化的目的。

1 太阳能饲草干燥设备主要结构与干燥原理

1.1 主要结构

太阳能饲草干燥设备主要由干燥仓、自动控制

收稿日期: 2012-06-01 修回日期: 2012-07-26
^{*} 内蒙古自治区自然科学基金资助项目(2010Zd20)
作者简介: 杜建强,高级工程师,博士生,主要从事太阳能干燥技术及装备研究,E-mail: djq968@163.com
通讯作者: 杨世昆,研究员,博士生导师,主要从事太阳能利用技术及干燥装备研究,E-mail: yskun001@sohu.com

系统、饲草装卸设备等组成。其技术特征及主要工作部件为:采用自行研制的由透明盖板、吸热板、保温板和箱体等主要部件组成的太阳能转换用板式集热器;采用有空气分配筛的热风吹送系统;采用由8个单元组成的干燥仓,可实现依次装仓—干燥—卸草的流水作业;饲草干燥控制系统全程实现计算机控制,提高了自动化水平^[2]。

1.2 干燥原理

先将割倒的苜蓿草进行田间晾晒,水分降到40%左右时进行捡拾,然后通过太阳能干燥设备进一步干燥处理。太阳能饲草干燥设备在作业时,先将待干燥的苜蓿草均匀地堆放在干燥仓内,起动风机,由太阳能集热器加热的空气通过风道进入空气分配筛,在风压的作用下,热空气透过草层并从草层上部释出进入大气,热风通过草层时饲草中的水分被带走,即达到干燥的目的。其干燥原理如图1所示。

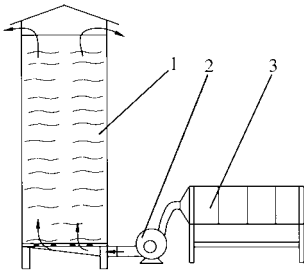


图1 太阳能饲草干燥设备原理图
Fig.1 Equipment structure of solar energy forage drying
1. 饲草 2. 风机 3. 太阳能集热器

2 空气集热器结构改进与集热效率分析

空气集热器是太阳能饲草干燥设备的热源,其性能的好坏直接关系到设备的生产效率,因此,对空气集热器结构进行研究并改进,使其集热效率得到提高,为干燥仓提供高效的干燥空气,对设备整体性能的提升具有重要作用。

2.1 普通平板空气集热器基本原理

普通平板空气集热器主要由透明盖板、吸热板、保温层、箱体等组成。其中吸热板安装在箱体内,箱体由透明盖板、槽形壳体、支座和支耳组成,透明盖板固定在槽形壳体上面,吸热板支架固定在箱体内支座上。箱体两端开口空气可流通;在箱体里面包有保温板;吸热板上涂有太阳能吸热涂料^[3]。

其工作过程如图2所示,阳光透过盖板,照射吸热板,吸热板表面吸收太阳能温度升高,空气从箱体的一端流过吸热板,从另一端流出将吸热板上的热量带走。

2.2 空气集热器改进机理分析

提高平板太阳能集热器的集热效率主要从两方

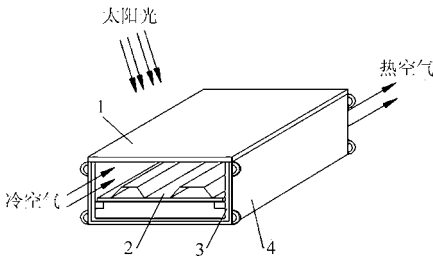


图2 普通平板空气集热器结构示意图
Fig.2 Structure diagram of ordinary flat air collector
1. 盖板 2. 吸热板 3. 保温板 4. 箱体

面着手:提高有效透过率和吸收率;减小集热器的散热损失^[4]。前者的提高是有限的,且已有相应措施。

平板太阳能集热器的总损失系数 U_L 主要由顶部损失系数 U_t 和底部损失系数 U_b 构成,即

$$U_L = U_t + U_b \tag{1}$$

其中底部损失系数 U_b 可通过采取适当的绝热保温措施而减至很小,因此问题集中到如何有效地减小顶部损失系数 U_t 上。根据图3可求得集热器的单位有效集热面积顶部传热阻。图中 t_p 为吸热板温度, t_g 为对流温度, t_a 为透明盖板上方的环境温度。

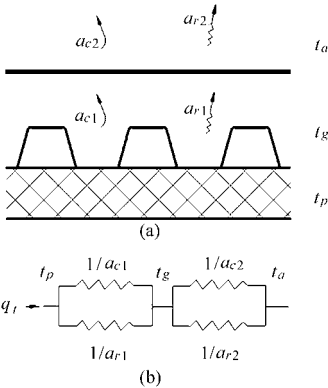


图3 集热器分析模型
Fig.3 Analysis model of collector
(a) 集热器物理模型 (b) 集热器数学模型

通过模型得到

$$U_t^{-1} = (a_{c1} + a_{r1})^{-1} + (a_{c2} + a_{r2})^{-1} \tag{2}$$

式中 a_c 表示对流换热系数, a_r 为辐射换热系数。由式(2)可知,减小4个换热系数中的任何一个都可达到减小 U_t 的目的。 a_{c2} 和 a_{r2} 在很大程度上取决于外界环境,而 a_{c1} 和 a_{r1} 则是可改变的,基于此开发蜂窝结构平板集热器,蜂窝结构如图4所示。

由理论分析可知,集热板与透明盖板之间的自然对流换热系数是蜂窝的高径比 L/D 和集热器倾

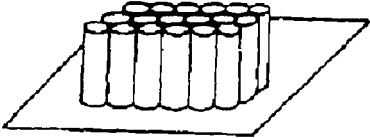


图4 蜂窝结构示意图
Fig.4 Structure diagram of honeycomb

角 β 等参数的函数。在一定的 β 下, L/D 值愈大,努塞尔数 Nu 愈趋近于1,即蜂窝中的自然对流愈难形成。另一方面,蜂窝对太阳辐射线起着“陷井”或“二极管”的作用。太阳射线一旦进入蜂窝,经蜂窝薄壁多次反射和透过,直抵吸热板。而吸热板的长波红外辐射,则以漫射的形式进行,由于遭受蜂窝壁面多次反射,也很少有机会射离蜂窝。这两者的综合结果可以减少集热器上部的散热损失^[5]。

2.3 集热器结构改进与性能对比

2.3.1 集热器结构改进

减小集热与透明盖板之间的对流换热系数 a_{cl} 和长波辐射换热系数 a_{rl} 是行之有效的方法。在普通平板集热器的吸热板和透明盖板之间加一透明蜂窝结构(图5)。

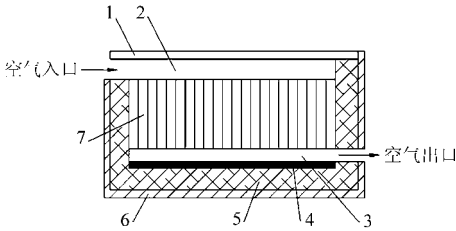


图5 改进后集热器结构示意图

Fig.5 Structure diagram of improved heat collector

1. 透明盖板 2. 入风道 3. 出风道 4. 吸热板
5. 保温板 6. 箱体 7. 蜂窝结构

2.3.2 蜂窝平板空气集热器工作原理

当太阳辐射能透过带蜂窝结构的透明盖板后,其热量被涂有选择性涂层的吸热板吸收,并转换成热能,然后将热量传递给传热工质,使传热工质(空气)的温度升高,作为集热器的有用能量输出。蜂窝平板太阳能空气集热器结构简单,无运动部件,工作可靠。该集热器启动快,灵敏度高,还有二极管效应,当太阳辐照较低时可减少加热工质向周围环境的散热,由于工质是空气,长期使用,可以避免集热器中结垢等缺点。当太阳能集热器工作时,太阳辐射穿过透明盖板后,投射到吸热板上,辐射热被吸热板吸收,同时,温度升高后的吸热板不可避免地通过传导、对流和辐射向周围散热。

2.3.3 有、无蜂窝集热器集热温度对比

试验采用两套集热装置,尺寸均为 $600\text{ mm}\times 600\text{ mm}$,一套用双层盖板,另一套在双层盖板间夹 $\phi 60\times 25\text{ mm}$ 圆柱形透明蜂窝。集热器 45° 放置,环境温度 $24\sim 28^\circ\text{C}$ 。时间在2012年6月1日,天气晴,最大太阳辐射强度为 966 W/m^2 。经过连续4 h测量,集热器出口处板面温度如图6所示。

由试验得知,有蜂窝的集热器最高温度达 99°C (13:00时),平均温度比无蜂窝集热器约高 5°C 。

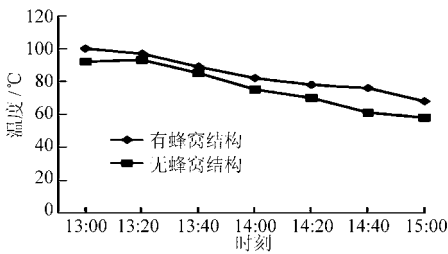


图6 有蜂窝集热器与无蜂窝集热器温度曲线

Fig.6 Honeycomb heat collector vs no cellular collector

2.3.4 蜂窝平板集热器与普通平板集热器集热效率及设备生产率对比

尽管蜂窝结构具有吸收及向外反射的能力,会使到达吸热板的太阳辐射强度有所减弱,不过这种减小是较少的。因此,总的效果是提高了集热器的热效率。在结构、尺寸相同情况下的蜂窝集热器和普通平板集热器的瞬时效率对比试验结果如图7所示。图中 I 为太阳辐射强度。

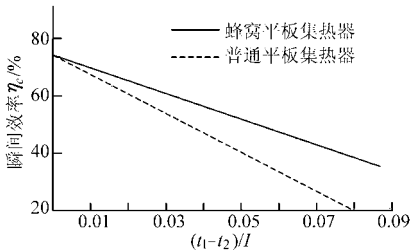


图7 蜂窝平板集热器与普通平板集热器瞬时效率对比曲线

Fig.7 Honeycomb plate heat collector vs ordinary flat collector instantaneous efficiency

由图7可看出,当集热器的温度 t_1 接近环境温度 t_2 时,两种集热器的性能基本相同。这说明蜂窝结构造成的太阳透过率减小是极微的。随着集热器温度的升高,蜂窝结构的集热器性能要比普通平板集热器的性能优得多。

在进口工质温度 70°C 、气温 19°C 、风速 $0.5\sim 3\text{ m/s}$ 、倾角 15° 条件下,初始含水率为50%的饲草,干燥结束后含水率为20%以下。两种同尺寸集热器的干燥设备性能对比如表1所示。

表1 干燥设备性能对比

Tab.1 Performance comparison of drying equipment

性能参数	集热器类型	
	蜂窝平板集热器	普通平板集热器
日累积有用能/ $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$	10 400	5 076
日集热效率/%	64	40.4
干燥设备生产率/ $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$	616	496

蜂窝空气集热器具有良好的热性能,其日平均集热器效率达64%,比普通平板集热器效率提高了约50%,设备生产率提高了约20%。

3 结 论

- (1)装有蜂窝结构空气集热器的太阳能饲草干燥设备,生产率有了显著提高,改进后的空气集热器集热效率明显提升,改进效果良好。
- (2)在普通平板太阳能集热器的集热板和透明盖板之间,插置一个设计适当的蜂窝结构,则在 60 ~

120℃ 的运行温度范围内能显著提高集热器的集热性能,即使 60℃ 以下的运行温度,其效率也有所提高。有蜂窝的集热器对流热损失小,即使在寒冷多风的季节或地区,也比普通平板集热器运行好。

(3)为使蜂窝集热器效率高、成本低,蜂窝结构太阳能集热器的最佳运行温度($t_1 - t_2$) 范围是 60 ~ 100℃ 。

参 考 文 献

1 董宽虎,沈益新. 饲草生产学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.

2 杨世昆,苏正范. 饲草生产机械与设备[M]. 北京:中国农业出版社,2009.

3 杨世昆,刘贵林,贾红燕,等. 梯形板式太阳能空气集热器:中国,ZL200520104433.8 [P]. 2005-08-12.

4 袁卫星,袁修干,杨春信,等. 蜂窝平板太阳能集热器研制及闷晒性能实验[J]. 北京航空航天大学学报,1997,23(5): 627 ~ 631.

Yuan Weixing, Yuan Xiugan, Yang Chunxin, et al. Honeycombed plate solar collector and the development of sunning performance experiment[J]. Journal of Beihang University,1997,23(5):627 ~ 631. (in Chinese)

5 叶宏,葛新石,庄双勇,等. 带透明蜂窝的太阳空气加热器的实验研究[J]. 太阳能学报,2003,24(1):27 ~ 31.

Ye Hong, Ge Xinshi, Zhuang Shuangyong, et al. Experimental investigation on solar air heaters with honeycomb panel [J]. Acta Energiae Solaris Sinica,2003,24(1):27 ~ 31. (in Chinese)

6 杨世昆,刘贵林,杜建强,等. 太阳能草捆干燥设备:中国,ZL200710300870.0 [P]. 2007-12-29.

7 何月娥,杨孝文,张梧邨. 农机试验设计[M]. 北京:机械工业出版社,1986.

8 罗运俊,何梓年,王长贵. 太阳能利用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

9 潘永康. 现代干燥技术[M]. 北京:化学工业出版社,1998.

10 高彩霞,王培. 收获期和干燥方法对苜蓿干草质量的影响[J]. 草地学报,1997,5(2):113 ~ 116.

Gao Caixia, Wang Pei. Effect of various harvest time and drying methods on nutritive value of alfalfa hay[J]. Acta Agrestia Sinica,1997,5(2):113 ~ 116. (in Chinese)

11 赛义夫 A A M[沙特阿拉伯]. 太阳能工程[M]. 北京:科学出版社,1984.

12 Ong K S. Thermal performance of solar air heaters;mathematical model and solution procedure[J]. Solar Energy, 1995, 55(2):93 ~ 110.

13 Grupp M, Beergler H, Jeanpierre Bertrand, et al. “Convective”flat plate collectors and their applications[J]. Solar Energy, 1995, 55(3):195 ~ 208.

14 James A,Stewart R. Moisture migration during storage of preserved, high moisture grains[J]. Transactions of the ASAE, 1975,18(2):387 ~ 393, 400.

15 Arum S,Mujumdar. Drying technology in agriculture and food sciences[M]. New York:Science Publishers, Inc. ,2000:191 ~ 211.

16 Shahab Sokhansank,Patil F T. Kinetics of dehydration of green alfalfa[J]. Drying Technology,1996,14(5):1 197 ~ 1 234.

(上接第 221 页)

10 张建军,王海霞,马永昌,等. 辣椒热风干燥特性的研究[J]. 农业工程学报, 2008,24(3):298 ~ 301.

Zhang Jianjun, Wang Haixia, Ma Yongchang, et al. Study on the optimization extraction technology of almond oil by supercritical CO₂ method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008,24(3):298 ~ 301. (in Chinese)

11 丁筑红,韩江雪,谭书明,等. 辣椒色素单体组分的分离及其热稳定性研究[J]. 贵州农业科学, 2010,38(4):187 ~ 190.

Ding Zhuhong, Han Jiangxue, Tan Shuming, et al. Study on isolation for monomer components of capsochrome (paprika pigment) and their thermostability[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010,38(4):187 ~ 190. (in Chinese)

12 李利华. 陕西凤翔辣椒红色素的色度稳定性研究[J]. 陕西理工学院学报:自然科学版, 2008,24(4):57 ~ 60.

Li Lihua. Studies of the stabilities of capsorubin pigment's chroma[J]. Journal of Shaanxi Institute of Technology:Natural Science Edition, 2008,24(4):57 ~ 60. (in Chinese)