

张凌皓, 丁羽, 李述刚. 新疆南疆太阳能红枣保湿制干装置设计[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(4): 384–386.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.04.109

新疆南疆太阳能红枣保湿制干装置设计

张凌皓¹, 丁羽^{1,3}, 李述刚^{2,3}

(1. 塔里木大学机械电气化工程学院, 新疆阿拉尔 843300; 2. 塔里木大学生命科学学院, 新疆阿拉尔 843300;

3. 塔里木大学南疆特色农产品深加工兵团重点实验室, 新疆阿拉尔 843300)

摘要:为充分利用新疆南疆地区充足的太阳能光热资源, 结合红枣保湿干制新工艺, 设计了太阳能与电能联合作用红枣保湿干制系统及设备, 阐述了太阳能换热器相关参数的选择、太阳能集热面积以及太阳能热水器水箱容积确定, 结果表明: 使用太阳能加热, 可以确保制干室正常的温度需求, 辅助电加热可在极端天气情况下工作确保干燥室全天候正常运行。太阳能与电能联合作用红枣保湿干制系统对于升级产业结构、节能降耗具有重要意义。

关键词:太阳能; 电能; 红枣; 保湿干制

中图分类号: S226.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)04-0384-03

新疆维吾尔自治区具有发展红枣产业得天独厚的自然条件和气候资源, 特别是近年来随着新疆农业产业结构调整, 红枣产业已成为南疆地区经济发展的支柱产业之一, 截至 2013 年年底, 红枣栽培面积已突破 46.67 万 hm^2 , 产量已突破 130 万 t; 但目前新疆红枣加工主要以干制为主, 干制过程中主要以燃煤为主, 消耗了大量煤炭资源并造成环境污染, 因此, 改进干燥技术, 降低能源消耗, 提高干制品品质, 采用清洁能源等对于南疆红枣产业发展具有重要意义^[1-2]。新疆地区太阳能资源丰富, 全年日照时数为 2 550 ~ 3 500 h, 日照百分率为 60% ~ 80%, 年辐射总量达 5 430 ~ 6 670 MJ/m^2 , 年辐射照度总量比我国同纬度地区高 10% ~ 15%, 比长江中下游地区高 15% ~ 25%, 居全国第二位, 仅次于西藏高原, 全年日照大于 6 h 的有 250 ~ 325 d, 日照气温高于 10 $^{\circ}\text{C}$ 的普遍在 150 d 以上。基于这一得天独厚的自然资源, 可以将太阳能引入到红枣干制装置中, 以降低污染物排放, 具有显著的经济、社会、生态等综合效益^[3]。相对于普通的热风干燥, 高温高湿干燥可以降低物料内部的水分梯度, 改善干燥过程中物料水分扩散特性, 有效提高物料干燥速度, 减少干燥过程中物料收缩和表面壳化现象, 有利于干制品保持风味物质和营养成分。

1 干燥系统整体结构组成

1.1 系统结构组成^[4]

本装置采用以太阳能为主、电能为补充的联动加热方式, 为水果保湿制干室提供持续稳定的热量, 在加热的同时, 通过湿度控制装置使制干室保持一定湿度。本系统主要由太阳能

热水器集成循环加热系统、电能加热系统、温度控制系统、湿度控制系统、PLC 自动控制系统组成, 结构组成如图 1 所示。

1.2 加热制干装置的工作过程

当制干室中温度低于设定值且太阳能充足, 太阳能热水器水箱温度达到设定值时, 电磁阀 1 和电磁阀 2 打开, 电磁阀 3 关闭, 循环泵启动, 热水由太阳能热水器组的水箱经电磁阀 1、循环泵、制干室换热器、电磁阀 2 回到太阳能热水器, 热水在循环的过程中通过制干室换热器, 为制干室提供热能, 此时电加热系统停止工作。当制干室中的温度低于设定值且太阳能不足, 太阳能热水器水箱的温度低于设定值时, 电磁阀 1 和电磁阀 2 关闭, 循环泵停止工作, 电磁阀 3 打开, 电加热系统启动, 安装在制干室内的电热装置直接为制干室提供热量。

当制干室中温度高于设定值时, 循环泵停止工作, 电加热装置同时停止。太阳能补水装置: 在太阳能热水箱中安装有水位仪, 当水位低于设定值时, 可通过电磁阀 4 自动补水, 确保水位恒定。湿度控制系统: 制干室内装有湿度传感器, 当湿度低于设定值时, 安装在制干室底部的加湿装置启动, 提高湿度, 当湿度达到设定值时停止加湿。装置使用 PLC 智能控制系统, PLC 使用西门子 S7-200 系列小型 PLC (Micro PLC), CPU 型号为 226, 模拟量扩展模块选用 4 输入/1 输出的 EM235, CPU226 可扩展多达 7 个 EM 模块。触摸屏选用 M21 公司的 TOP 触摸屏, 具有串行、并行通信口以及高速图形控制器, 实现了显示、实时监控、参数设定、设备控制等功能。

2 太阳能加热装置主要技术参数的确定

2.1 换热器设计计算^[5-9]

本装置试验所用干燥箱的有效容积为 750 mm × 600 mm × 500 mm, 换热器主要由制干室中排列分布的铜管组成, 换热器主要计算在一定温度下, 单位时间向制干室传递的热量, 即传热速率 Q , 以及在一个干燥周期中传递的总热量 Q_{Σ} 。如果太阳能热水器的温度保持在 85 $^{\circ}\text{C}$ 以上, 制干室内的平均温度保持在 60 $^{\circ}\text{C}$, 换热管的材料为铜, 因铜管 $l \gg d$, 则单位管长的导热热阻 (R) 计算公式为:

收稿日期: 2015-9-30

基金项目: 国家农业科技成果转化资金 (编号: 2014G41000043); 塔里木大学校长基金成果转化与科技服务项目 (编号: TDZKTG201401); 新疆生产建设兵团第一师科技计划 (编号: 2014GJJ04)。

作者简介: 张凌皓 (1988—), 男, 新疆五家渠人, 硕士研究生, 从事农产品加工研究。E-mail: 499948909@qq.com。

通信作者: 丁羽, 副教授, 硕士生导师, 从事农产品加工研究。E-mail: dyandlsl@sohu.com。

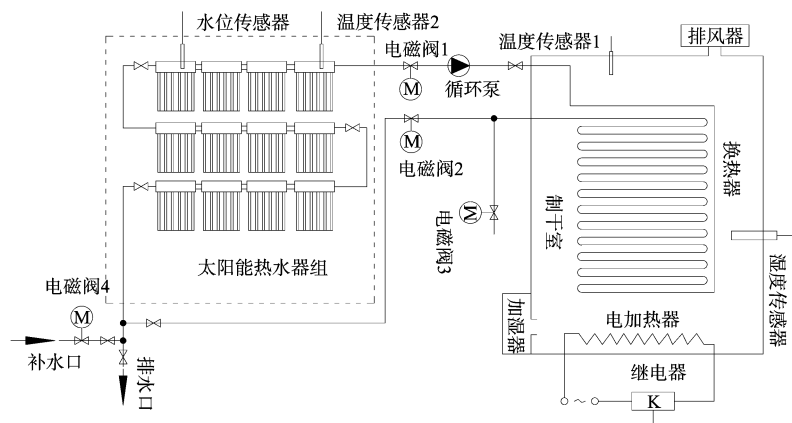


图1 系统结构组成

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i}$$

式中: d_i 为加热管内径; d_o 为加热管外径; λ 为导热系数。

换热装置的加热过程: 热水—换热管—制干室, 考虑到换热管内水流较快, 管径较细, 制干室为相对密闭空间, 则单位时间内通过管壁热流量(传热速率) Q 可直接用下式计算:

$$Q = \frac{(t_{wi} - t_{wo})l}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{\pi d_o \alpha_o}}$$

式中: t_{wi} 为加热管壁内温度; t_{wo} 为加热管壁外温度; d_i 为加热

管内径; d_o 为加热管外径; λ 为导热系数; l 为加热管长度; α_o 为空气自然对流换热系数。

红枣干燥时间取 10 h, 则在 1 个干燥周期内换热管向制干室中传递的总热量 $Q_{\text{总}}$ 为:

$$Q_{\text{总}} = Q \times 3\ 600 \times 10。$$

本装置中换热器相关的参数取值及计算结果如表 1 所示。由表 1 可知: 根据换热器单位时间传递的热量 Q 以及系统实际工作时所需的热量, 可确定换热管的尺寸是否满足换热要求, 如果换热器传递的热量小于系统所需的热量, 可通过增加管径、管长以及安装散热片等方式增加散热面积。

表 1 换热器相关参数及计算结果

λ [W/(m·K)]	α_o [W/(m ² ·K)]	t_{wi} (℃)	t_{wo} (℃)	d_i (m)	d_o (m)	l (m)	Q (W)	$Q_{\text{总}}$ (kJ)
383.8	5	85	60	0.021	0.022	150	1 295.24	46 628.64

2.2 系统所需太阳能热水器组集热面积的计算

太阳能热水器组集热面积的选择将影响太阳能热水器每天吸收的热量, 进而影响到加热的效果和时间, 不同面积制干室所需的太阳能集热面积不同, 太阳能在直接加热下的集热面积 A_c 计算公式如下:

$$A_c = \frac{Q_w}{J_T \eta_{cd} (1 - \eta_L)}$$

式中: A_c 为集热总面积, m²; Q_w 为每日需要收集的总热量, kJ; J_T 为年均太阳辐照量, kJ/m²; η_{cd} 为集热器的平均集热效率; η_L 为储水箱和管路的热损失率。

南疆地区年平均日太阳辐照量 J_T 为 23 014 kJ/m²; η_{cd} 的具体取值应根据集热产品的实际测试结果而定, 根据经验可取 30%~50%; η_L 根据经验可取 15%~55%, 本装置中使用家用太阳能热水器串联, 集热效率高, 水箱及管路的保温效果较好, 管路的热损失率较低, 因此 η_{cd} 取 50%, η_L 取 20%。 Q_w 为每日所需的总热量, 即制干设备提供的总能量, 在本系统中考虑到整个装置的经济性, 设计太阳能装置时能够满足 2 个干燥周期的供热(提供 1 个阴天的热量), 因此 Q_w 取 1 个干燥周期总热量 $Q_{\text{总}}$ 的 2 倍。本装置在新疆南疆地区太阳能热水器组集热面积的计算参数如表 2 所示。

2.3 太阳能热水器水箱容积

太阳能热水器的水箱储存热能, 在夜晚或阴天时为制干

表 2 集热面积计算参数

Q_w (kJ)	J_T (kJ/m ²)	η_{cd} (%)	η_L (%)	A_c (m ²)
$2Q_{\text{总}}$	23 014	50	20	10.13

室提供热能, 其体积大小决定了储存能量多少。太阳能水箱总容积为 V_1 , 日间水温取 95℃, 晚间或阴天最低工作水温设为 80℃, 则太阳能热水器水箱的容积 V_1 计算公式为:

$$V_1 = \frac{Q_s}{c_2 \times \rho \times (T_1 - T_2)}$$

式中: Q_s 为太阳能热水器储备温度在晚间或阴天为制干室提供的热量(kJ); c_2 为水的定压比热容; ρ 为水的密度; T_1 为太阳能热水器的热水温度(℃); T_2 为太阳能热水器在阴天所设定的最小工作温度。考虑到南疆地区以晴天为主, Q_s 取提供阴天 1 个干燥周期的供热, 具体的计算参数值如表 3 所示。

表 3 水箱计算参数

Q_s (kJ)	c_2 [kJ/(kg·℃)]	ρ (kg/m ³)	T_1 (℃)	T_2 (℃)	V_1 (m ³)
$Q_{\text{总}}$	4.174	992.2	95	80	0.75

3 装置试验

3.1 试验装置及试验条件

试验装置如图 2 所示, 将普通电加热烘箱经改装安装太

阳能热水循环换热器及湿度控制装置,烘箱的有效容积为 750 mm×600 mm×500 mm;换热器为细铜管,总长为 150 m;试验当天天气条件为:晴,室外温度 13~30℃,放置 10 kg 新疆骏枣红枣。



图2 太阳能加热烘干试验装置

3.2 红枣保湿干制工艺图

依据课题组前期进行相关试验,得出骏枣高温保湿干制最佳工艺条件为:55℃干燥 1 h,升温至 60℃保持 1 h,升温至 65℃开始加湿,相对湿度 62%,保湿时间为 10 min,继续在 65℃下干燥 170 min,升温至 70℃干燥 3 h,降温至 60℃保持 1 h,降温至 55℃保持 1 h,温度变化曲线如图 3 所示,此条件下干制的骏枣最终含水量为 22.07%,骏枣色泽鲜艳,口感松软,外形饱满美观。

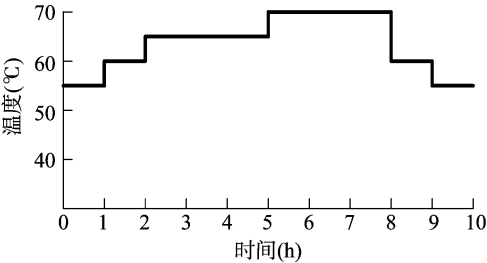


图3 红枣干燥温度曲线

3.3 温控仪温度设置

烘箱初始温度为上一个干燥周期结束时的 55℃,干燥初始在加入红枣后为使温度能尽快恢复至 55℃,将温控仪的温

度设为 60℃,并保持 10 min,将温度调至 55℃,在后续的干燥过程中升温时,将温控仪提前 10 min 设置为所需的温度,即升温时间提前 10 min 开始加热;降温时提前 5 min 设置温控仪开始降温,温控仪的设置如图 4 所示。

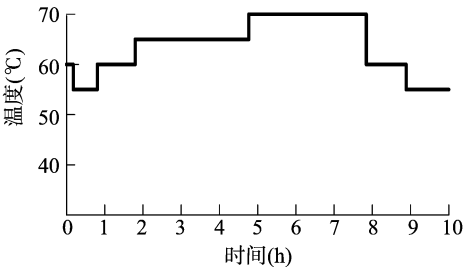


图4 温控仪温度设置曲线

3.4 试验结果

完全使用太阳能加热,将温控仪的温度变化按图 4 进行设置时,其烘箱内的温度变化近似曲线如图 5 所示,基本与红枣干燥的温度曲线(图 3)趋势接近。

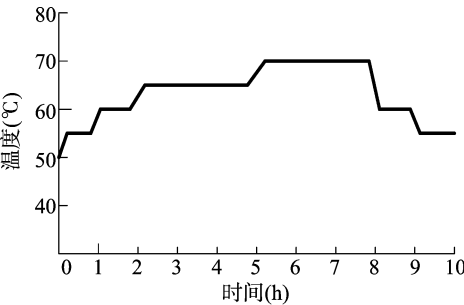


图5 太阳能加热烘箱温度变化近似曲线

为检验本试验装置的制干效果,分别选取新疆南疆当前主栽制干之一的骏枣为试验原料,测得其各项指标如表 4 所示。由表 4 可以得出:采用太阳能保湿干制、普通变温干制 2 种方式,骏枣的含水量差别不大,这 2 种干制工艺的骏枣制干脱水效果都很好。但太阳能保湿干制后的骏枣,无论是其果实变形程度,还是糖酸比、还原糖含量、维生素 C 含量等指标均优于普通干制。

表 4 骏枣普通变温干制与太阳能保湿干制结果比较

干制方式	感官评分(分)	水分含量(%)	糖酸比	还原糖含量(%)	维生素 C 含量(%)	比容比
普通变温干制	78.56	22.88	7.653	20.635	0.614 0	0.788
太阳能保湿干制	89.33	22.07	8.871	22.787	0.856 3	0.896

5 结论

采用本装置,选取合适的换热器、太阳能集热器面、太阳能水箱容积,完全可以满足干燥室干燥过程中的加热及温度维持,在个别连续阴天以及需要快速加热时可以启动电加热辅助加热,确保干燥过程正常进行,太阳能在干燥系统中的引入,可以改善新疆南疆地区目前主要靠燃煤进行干燥的状况,对于节省能源、减轻环境污染具有现实意义。

参考文献:

[1]陶雪英. 新疆红枣产业发展现状及对策建议[J]. 新疆农业科技,2011(4):2-3.
[2]张璧光. 太阳能干燥技术概况及应用前景[J]. 太阳能,2007

(7):21-25.
[3]霍志臣,罗振涛. 中国太阳能热利用年度发展研究报告[J]. 太阳能,2012(1):6-10.
[4]施 阁,付存谓,陆 伟,等. 太阳能热水工程系统热能计量与监测方法[J]. 农业工程学报,2013,29(1):189-195.
[5]李长友,钱东平. 工程热力学与传热学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2004:124-208.
[6]张 奕,郭恩震. 传热学[M]. 南京:东南大学出版社,2003:230-265.
[7]袁家谱. 太阳能热水系统手册[M]. 北京:化学工业出版社,2008.
[8]罗运俊,陶 桢. 太阳热水器及系统[M]. 北京:化学工业出版社,2008.
[9]林艺锋. 二次换热式太阳能热水器的应用研究[D]. 广州:广东工业大学,2011.