

滚筒式真空脉动干燥机设计*

高振江¹ 吴定伟¹ 张树阁² 王继承¹ 张泽俊¹ 娄正¹
(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 农业部农业机械化技术开发推广总站推广处, 北京 100079)

【摘要】 设计了一种滚筒式真空脉动干燥机。该干燥机由干燥滚筒、旋转接头、加热系统、控制系统、真空系统和传动系统组成。控制系统通过控制电磁阀可使干燥滚筒内的干燥压力在真空与常压之间有规律地变化。干燥滚筒在增加装料量的同时, 还可通过旋转使物料受热均匀, 提高机器的生产率。无核白鸡心葡萄的干燥试验表明, 在干燥压力为 7kPa, 一个循环内真空干燥 20 min, 常压干燥 4 min, 干燥温度为 60℃ 的条件下, 干燥 12 h, 葡萄含水率可降至 16.4% (湿基), 糖酸比达到 33.2。

关键词: 干燥机 滚筒 真空脉动干燥 设计
中图分类号: S226.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)03-0113-04

Design of Pulsed Vacuum Drum Dryer

Gao Zhenjiang¹ Wu Dingwei¹ Zhang Shuge² Wang Jicheng¹ Zhang Zejun¹ Lou Zheng¹
(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Department of Extension, Agriculture Machinery Technology Extension of Ministry of Agriculture, Beijing 100079, China)

Abstract

A pulsed vacuum drum dryer was designed. This machine consisted of a drying drum, heat system, rotary joint, control system, vacuum system and drive system. The pressure in the drying drum can be changed between vacuum and atmospheric pressure by opening or closing an electromagnetic valve. The drying drum can increase the load of materials, and at the same time can make heating more uniform by rolling. So, the efficiency of the machine can be increased. The experimental results of centennial seedless drying demonstrated that the machine could produce raisins with moisture content of 16.4% (w. b.) and acid-sugar ratio of 33.2 in 12 h. when the pressure was 7 kPa, vacuum drying was 20 min and atmospheric drying was 4 min for one cycle, drying temperature was 60℃.

Key words Dryer, Drying drum, Pulsed vacuum drying, Design

引言

干燥是许多农产物料及食物长期保藏的一种经济有效的方法, 同时它也是一种重要的加工工艺^[1~3]。传统的常压热风干燥虽然简单、成本低, 但对产品的品质有严重的影响 (如表面硬化、溶质散失等), 特别是干燥农产品、食品及生物制品^[4~5]。真空干燥和真空冷冻干燥可得到优质的产品, 但在真空干燥中由于压力保持在一定水平, 容易形成物料内外水蒸气分压的平衡, 限制了干燥速率的提

高^[6~7]。而真空冷冻干燥则因干燥成本高、生产能力有限, 目前主要用于一些具有高附加值的产品, 例如药品或生物制品等^[8~9]。

真空脉动干燥是国外近几年研究报道较多的一种加工技术, 研究表明它有助于提高果蔬、肉类等农产物料的脱水效率, 且能较好地保存果蔬产品的营养成分^[10]。但是研究中对物料的加热方式均采用平板式加热, 这种加热方式不能使物料均匀受热, 且装料量较小。而国内则无针对此种技术开发的专门设备。

收稿日期: 2009-03-13 修回日期: 2009-05-25
* 科技支疆资助项目 (2008ZJ28)
作者简介: 高振江, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品干燥研究, E-mail: zjgao@cau.edu.cn

针对热风干燥品质差、真空干燥速率低、真空冷冻干燥成本高及平板式加热不能使物料受热均匀等问题,本文设计一种滚筒式真空脉动干燥机,并用葡萄进行干燥试验验证。

1 整机结构与工作原理

1.1 整机结构

滚筒式真空脉动干燥机的总体结构如图 1 所示。该机器主要由干燥滚筒、旋转接头、加热系统、控制系统、真空系统和传动系统组成。

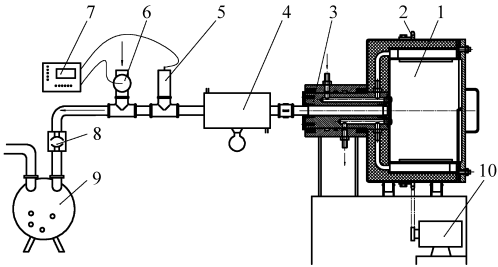


图 1 滚筒式真空脉动干燥机结构图

Fig.1 Schematic diagram of pulsed vacuum drum dryer
1. 干燥滚筒 2. 链传动装置 3. 旋转接头 4. 冷凝器 5. 压力传感器 6. 电磁阀 7. 控制装置 8. 逆止阀 9. 真空泵 10. 减速电动机

干燥滚筒在传动系统的带动下旋转,可以使物料受热均匀。旋转接头既是向干燥滚筒循环水道通入热水对物料进行加热,同时也是连通真空管道与滚筒的联接件。干燥滚筒内干燥压力的变化则由控制系统通过控制电磁阀的开闭来实现。真空系统在抽真空的同时还能将干燥室内的水蒸气带走。

整机技术参数如表 1 所示。

表 1 整机技术参数

Tab.1 Parameters of pulsed vacuum drum dryer	
部件	数值
干燥滚筒	φ240 mm × 160 mm
压力传感器	- 100 ~ 0 kPa/24 V
电磁阀	二位二通,220 V
真空泵	0.81 kW,0.45 m ³ /min
减速电动机	0.09 kW,1 440 r/min

1.2 工作原理

滚筒式真空脉动干燥机的工作原理:将物料放入干燥滚筒内以设定的温度进行加热,然后开启真空泵抽真空。当真空度达到设定值时,控制系统开始按设定的真空干燥时间进行倒计时。当真空干燥时间结束时电磁阀开启,干燥室内压力变为常压,此时按设定的常压干燥时间开始倒计时。常压干燥完

成后电磁阀关闭,进入真空干燥阶段。如此不断循环直至物料降至所需含水率为止。在干燥过程中真空泵一直处于工作状态,这样就能及时将物料蒸发出的水分带走。

2 关键部件结构

2.1 干燥滚筒结构

平板式加热,物料处于静止状态,受热不均匀,影响干燥速率,而且装料量十分有限。而滚筒式加热,可以通过滚筒的旋转使物料受热均匀。在滚筒中运动的物料可以重叠,所以在相同加热面积上可以加热更多物料,达到较大的装料量。干燥滚筒结构如图 2 所示。

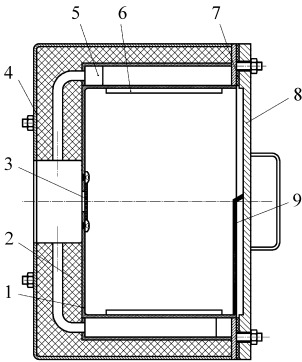


图 2 干燥滚筒结构图

Fig.2 Schematic diagram of drying drum
1. 滚筒内圈 2. 保温层 3. 滤网 4. 滚筒外圈 5. 循环水道 6. 搅动横棒 7. 密封圈 8. 滚筒门 9. 挡板

为了让物料能够得到充分的搅动,受热更加均匀,在滚筒内壁加装若干起搅动作用的横棒。在滚筒内圈底部抽气口处装有滤网,防止物料在真空干燥时被吸走。

滚筒前端装有半圆形挡板,在工作时能方便地装料与卸料,同时也能保证一定的装料量。由于挡板与滚筒门之间还有间隙,为防止物料掉入而影响干燥质量,在挡板上沿翻出一部分,使其能和滚筒门接触,挡住间隙。因真空干燥时的压力属于低真空范围,且滚筒直径较小,因此滚筒门采用平盖式,用螺栓固定,外侧焊有把手以方便装卸^[11]。

2.2 循环水道

滚筒对物料的加热方式是接触式传热,即通过循环水道中的热水对物料进行加热,这种加热方式可以方便地控制干燥温度。循环水道的结构如图 3 所示。

循环水道焊接在滚筒内圈的外壁,可以让加热水按一定方向流遍滚筒内圈的外壁对物料进行传导式加热。进水口与出水口分别在滚筒底部对称的两侧,由软管与旋转接头内套筒进出水口连接。

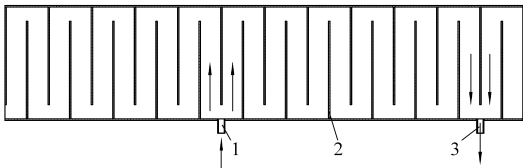


图 3 循环水道结构图

Fig. 3 Schematic diagram of circular channel

1. 进水口 2. 挡板 3. 出水口

2.3 旋转接头结构

旋转接头是本设计的重要部件,其作用是向滚筒的循环水道通入加热介质,同时,滚筒的抽真空操作也通过它进行。其结构如图 4 所示。

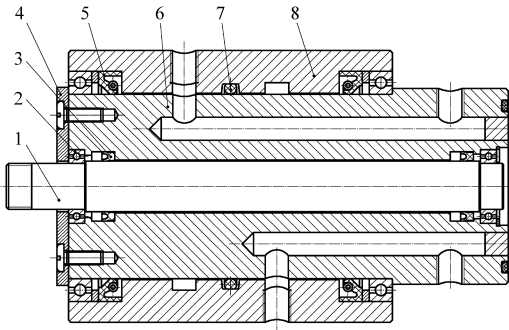


图 4 旋转接头结构图

Fig. 4 Schematic diagram of rotary joint

1. 轴 2. 轴承 3. Y 形密封圈 4. 端盖 5. 油封 6. 内套筒
7. O 型圈 8. 外套筒

工作时外套筒与轴静止,内套筒随干燥滚筒一起旋转。加热水从外套筒的进水口进入内套筒的水道,再由软管流入循环水道,完成循环之后由内套筒再经外套筒的出水口流出。

外套筒与内套筒、内套筒与轴都是相对运动的,为使运动平稳,在轴与内套筒的两端采用轴承支撑。在外套筒进、出水口的内侧有环形水槽,在内套筒旋转过程中,热水可以持续地进入内套筒中。环形水

槽外侧用油封密封,内侧则用 O 型圈。

轴与内套筒之间的密封是真空密封,由于是相对运动,因此用 Y 形密封圈进行密封。而内套筒与滚筒内圈底部之间是相对静止的,用 O 型圈密封。

2.4 真空管道结构

真空管道结构如图 5 所示。

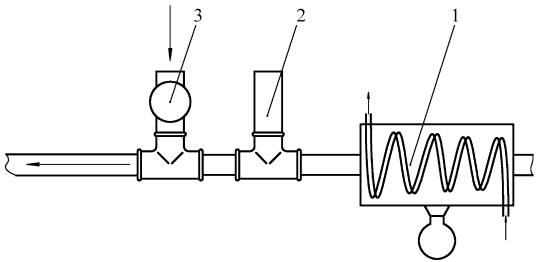


图 5 真空管道结构图

Fig. 5 Schematic diagram of vacuum pipeline

1. 冷凝器 2. 压力传感器 3. 电磁阀

真空管道的作用是改变干燥滚筒内的干燥压力。在真空干燥阶段电磁阀关闭,常压干燥阶段开启。冷凝器可以将滚筒内热空气中的水蒸气冷凝,避免电磁阀开启时水蒸气遇到冷空气冷凝回落到物料表面,影响干燥速率。

2.5 控制系统的设计

控制系统的作用是通过输入试验参数,如真空度、真空干燥时间、常压干燥时间,控制电磁阀的开闭,使干燥压力在真空与常压之间自动有规律地变化。控制系统如图 6 所示。

控制系统可分为 5 大模块:①主控模块:在系统中,完成信号采样、数据处理及测量结果显示等任务。②扩展模块:在系统中实现断电数据保存、上电掉电复位及电源电压监控等功能。③A/D 转换模块:可以实现温度、压力等模拟信号输入和信号的 A/D 转换。④输出控制模块:在软件设计中以通用

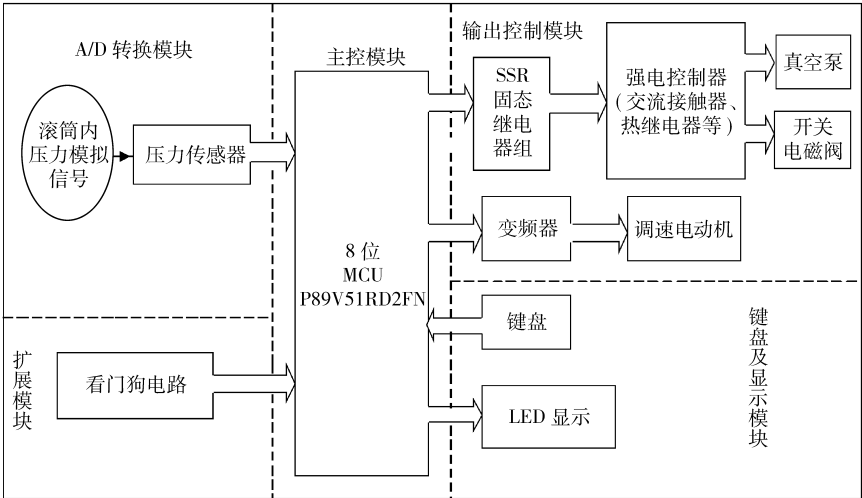


图 6 控制系统图

Fig. 6 Principle schematic of control system

I/O 接口结合内部定时器对 SSR 输入端施加有效的控制信号。⑤键盘及显示模块:用于接收数值和命令输入、显示数值及提示信息等。

3 试验

通过预试验,得出了葡萄真空脉动干燥的最佳工艺参数,以此参数进行验证试验。试验原料为产自新疆石河子市的无核白鸡心葡萄,含水率(湿基)为 $(81 \pm 2)\%$,糖度为 $16\% \sim 19\%$;试验前用清水冲洗葡萄表面的尘土。试验参数及结果如表 2 所示。

表 2 试验参数及结果
Tab.2 Experimental parameters and results

参数	数值
干燥温度/℃	60
真空干燥压力/ kPa	7
真空干燥时间/min	20
常压干燥时间/min	4
总干燥时间/h	12
产品含水率(湿基)/%	16.4
损失率/%	1.7
糖酸比	33.2
100 g 粒数	125

试验所得葡萄干色泽金黄,晶莹透明,有明显的葡萄特有的清香味,果肉有弹性,软硬适口,且甜酸适度。

传统金黄色葡萄干的生产在加工前都要先对原料进行熏硫处理,容易导致最终的产品硫含量超标,危害人体健康。

与葡萄干风味最密切的是糖酸比,即葡萄干中还原糖与滴定酸之间含量的比例。一般糖酸比在 33 以上的风味就比较优良,而经过熏硫处理所得的

金黄色葡萄干糖酸比为 $30^{[12]}$ 。

试验干燥曲线如图 7 所示。从曲线中可以看出,随着干燥时间的增加葡萄(干基)含水率不断降低。干燥的前 6 h,葡萄干基含水率从 4.95 降至 0.94,葡萄失重率达 67.4%。而在后 6 h 葡萄干基含水率则是从 0.94 降至 0.20,葡萄失重率仅为 12.3%。由此可看出,葡萄去水量中的 84.5% 是在前 6 h 去除的,即前半段的干燥速率要远大于后半段的。经过 12 h 的干燥得到含水率符合标准的葡萄干。

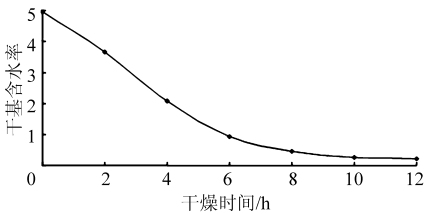


图 7 葡萄真空脉动干燥曲线

Fig.7 Curve of pulsed vacuum drying of grapes

而无促干剂处理的无核紫葡萄在用太阳能干燥装置干燥及晾晒干燥时所需的干燥时间分别为 12 d 和 37 d^[13]。

4 结论

(1)针对现有真空脉动干燥机在干燥生物物料时存在的物料受热不均匀、装料量少等问题设计了一台滚筒式真空脉动干燥机。机器主要包括干燥滚筒、旋转接头、加热系统、控制系统、真空系统和传动系统。

(2)滚筒式真空脉动干燥机干燥无核白鸡心葡萄的试验表明,使用该干燥方法可以在不经熏硫的情况下获得金黄色的葡萄干,且产品品质更好。

(3)采用真空脉动干燥技术可以在十几个小时内得到符合标准的葡萄干产品,与传统干燥方法的十几天相比可以缩短干燥时间,提高生产效率。

参 考 文 献

1 张海红. 脱水蔬菜干燥装置的研制及其干燥技术研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2005.

2 Chou S K, Chua K J. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs[J]. Trends in Food Science & Technology, 2001, 12(10): 359 ~ 369.

3 Long Wu, Takahiro Orikasa, Yukiharu Ogawa, et al. Vacuum drying characteristics of eggplants[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 83(3): 422 ~ 429.

4 徐成海,张世伟,关奎之. 真空干燥[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 2 ~ 3.

5 徐小东,崔政伟. 农产品和食品干燥技术及设备的现状和发展[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 171 ~ 174.

6 赵祥涛. 高水分玉米真空低温干燥工艺生产性试验研究[J]. 干燥技术与设备, 2007, 36(4): 202 ~ 205.

7 Chua K J, Chou S K. On the experimental study of a pressure regulatory system for bioproducts dehydration[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 62(2): 151 ~ 158.

8 Rakotozafy H, Louka N, Thérísod M, et al. Drying of baker's yeast by a new method: dehydration by successive pressure drops (DDS). Effect on cell survival and enzymatic activities[J]. Drying Technology, 2000, 18(10): 2 253 ~ 2 271.

参 考 文 献

1 Mujumdar A S. Handbook of industrial drying[M]. Marcel Dekker Inc. , 1995.

2 李保国,刘相东,曹崇文. 脉动燃烧干燥及传热特性研究[J]. 农业工程学报,2000,16(6):11~14.
Li Baoguo, Liu Xiangdong, Cao Chongwen. Research on pulse combustion drying and its characteristics of heat transfer[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(6): 11~14. (in Chinese)

3 杨德勇,谢翔燕,刘相东. 料液脉动燃烧尾气雾化试验[J]. 农业机械学报,2009,40(3):90~92.
Yang Deyong, Xie Xiangyan, Liu Xiangdong. Experiment on atomizing properties of Helmholtz pulse combustor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(3):90~92. (in Chinese)

4 Blomquist C A, Clinch J M, Chiu H H. Operational and heat transfer results from an experimental pulse-combustion burner [C]// Proceedings of Symposium on Pulse Combustion Applications, 1982(1): 1~22.

5 Al-Haddad A A, Coulman G A. Experimental and theoretical study of heat transfer in pulse combustion heaters [C]// Proceedings of Symposium on Pulse Combustion Application, 1982(5): 1~15.

6 Habib M A, Attya A M, Eid A L, et al. Convective heat transfer characteristics of laminar pulsating pipe air flow[J]. Heat and Mass Transfer, 2002, 38(3): 221~232.

7 胡玉生,曾丹苓,李友荣,等. 恒温下管内流体脉动流动对流换热的数值模拟[J]. 工业加热,2006,35(1):3~6.
Hu Yusheng, Zeng Danling, Li Yourong, et al. A numerical simulation on the influence of pulsating flow on convective heat transfer at constant wall temperature[J]. Industrial Heating, 2006, 35(1): 3~6. (in Chinese)

8 Moschandreu T, Zamir M. Heat transfer in a tube with pulsating flow and constant heat flux[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1997, 40(10): 2 461~2 466.

9 Dec J E, Keller J O. Pulse combustor tail-pipe heat-transfer dependence on frequency, amplitude and mean flow rate[J]. Combustion and Flame, 1989, 77(3~4): 359~374.

10 肖斌安,龚烈航,曾锐. 金属红外发射率的分析 and 仿真研究[J]. 红外技术,2008,30(6):105~112.
Xiao Bin'an, Gong Liehang, Zeng Rui. Analysis and simulation of metallic infrared emissivity[J]. Infrared Technology, 2008, 30(6): 105~112. (in Chinese)

11 Knudsen J G, Katz D L. Fluid dynamics and heat transfer[M]. N. Y.: McGraw Hill Co. , 1958.

(上接第 116 页)

9 杨薇,欧又成,张付杰,等. 蘑菇热风、微波对流和微波真空干燥的对比试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6): 102~104,112.
Yang Wei, Ou Youcheng, Zhang Fujie, et al. Comparative experiment on hot-air, microwave-convective and microwave-vacuum drying of mushroom[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6):102~104, 112. (in Chinese)

10 邓云,张庆钢,Zhao Yanyun. 脉冲真空和超声波对苹果渗透动力学和品质的影响[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 89~93.
Deng Yun, Zhang Qinggang, Zhao Yanyun. Effects of pulsed vacuum and ultrasound on mass transfer and quality of apples during osmodehydration [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 89~93. (in Chinese)

11 达道安,肖正祥. 真空设计手册[M]. 北京:国防工业出版社, 1991: 558.

12 晁无疾,管仲新,路苹,等. 我国葡萄干质量分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2005(6): 49~52.

13 张英丽,江英,沈卫强,等. 无核紫葡萄太阳能干燥技术的研究[J]. 食品科技, 2008, 33(8): 39~41.
Zhang Yingli, Jiang Ying, Shen Weiqiang, et al. Study on dry technology of solar dryer for seedless grape of purple[J]. Food Science and Technology, 2008, 33(8): 39~41. (in Chinese)