

蛇形间歇式大功率微波干燥设备的设计与研究

Design and research of serpentine high power intermittent microwave drying equipment to the capsicum

陈建东^{1,2} 张茜³ 蔡咏梅⁴

CHEN Jian-dong^{1,2} ZHANG Qian³ CAI Yong-mei⁴

(1. 新疆石河子职业技术学院, 新疆 石河子 832000; 2. 石河子市东神农业机械研发中心, 新疆 石河子 832000; 3. 石河子大学机械电气工程学院, 新疆 石河子 832001; 4. 新疆财经大学计算机科学与工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830012)

(1. Xinjiang Shihezi Vocational College, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 2. Dongshen Agricultural Machinery Research and Development Center, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 3. College of Mechanical and Electric Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832001, China; 4. College of Computer Science and Engineering, Xinjiang University of Finance and Economic, Urumqi, Xinjiang 830012, China)

摘要:采用由 PLC 控制可调节间歇式微波干燥方式, 根据物料原始水分调节间歇的速度, 来提高板椒干燥的品质。微波干燥箱采用旋转抛物面导波设计, 可使腔内微波加热更加均匀; 每个微波干燥腔内微波的功率为 4 kW; 一个微波干燥箱与一个物料冷却箱设计为一个加工单元, 可以按生产线的需要灵活地增加或减少加工单元, 整个生产线设计成蛇形隧道式结构, 这种蛇形结构使设备结构紧凑、减少场地占有面积; 其控制系统采用 PLC 与光纤温控系统控制, 可实现自动化连续生产; 通过对板椒的加工生产试验得出, 板椒的干燥品质良好, 成品率达到 98% 以上, 达到了设计要求。

关键词:微波干燥; 板椒; 蛇形; 间歇式

Abstract: The intermittency of the microwave drying speed can be modulated according to the initial moisture content of capsicum by using PLC. The microwave's desiccators can be heated evenly using a rotating parabolic guided wave design. Each processing unit is composed of a microwave's desiccator and a cooling pipe, which can be flexibly added or reduced according to the need. The entire product line is designed as a serpentine tunnel structure, making the device structure more compact and reducing the occupied area. The PLC and optical fibre temperature controller are the main controlling system, which can realize the production automation. The experimental results show that, the drying efficiency and quality are greatly improved with a yield of over 98%, which fulfills the experimental requirement.

Keywords: microwave drying; capsicum; serpentine; intermittent

板椒果实呈长羊角形, 果面平滑, 皮厚, 果皮暗红, 高温干燥时果实表面易开裂, 色泽变暗淡, 主要营养成分也会严重损失; 低温干燥时, 干燥时间长易产生霉变、腐烂^[1]。目前, 国内外对辣椒干燥工艺方法的研究有很多, 有太阳能干燥、热泵干燥、微波干燥、真空干燥、热风与微波组合干燥等工艺方法^[2]。在热风干燥方面, 宋树民等^[3]研制了 JH-500 型辣椒干燥设备, 但成本高、污染大、温度很难控制。微波加热同时具有热效应和生物效应, 能在较低的温度下杀灭霉菌和细菌, 最大限度地保持物料的活性和食品的维生素、色泽和营养成分^[2]。微波干燥板椒具有速度快、温度易控制、可在低温下快速干燥, 但初期投资大。目前用微波干燥板椒的相关研究还较少, 用大功率微波干燥板椒的工业化干燥设备的研究更是未见。因为微波在连续干燥板椒温度上升很快, 易达到高温, 从而破坏板椒的营养成分, 因此, 在干燥温度过高时要停下来降温后再干燥, 即采用间歇干燥法。本研究在对板椒大功率微波干燥工艺研究的基础上, 提出一种无污染、效率高、经济上可行、可连续工作的板椒蛇形隧道式微波干燥设备设计方案, 该方案有效解决了对板椒表面蜡质层的自动破坏和由 PLC 控制的自动间歇式传送及自动温控等技术难点, 并间接地实现了对大功率微波的间歇式工作的干燥工艺要求。

1 微波干燥设备的整机结构和工作原理

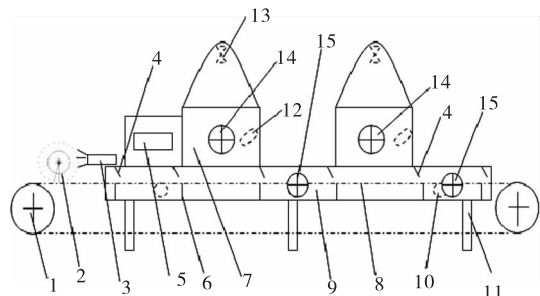
1.1 微波干燥设备的整机结构

根据微波干燥板椒的工艺要求和微波加热的基本原理, 该设备整体结构设计成蛇形连续金属隧道式, 结构紧凑, 占地面积少, 且物料装卸方便, 便于连续生产。微波干燥装置主要有: 板椒冲孔系统、微波发生器、微波加热干燥腔、物料传动系统、排湿系统、物料冷却腔、控制系统以及微波抑制系统等部分组成, 见图 1。

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 1360399)

作者简介: 陈建东(1972—), 男, 新疆石河子职业技术学院副教授, 硕士。E-mail: cjdw01@sina.com

收稿日期: 2015-09-30

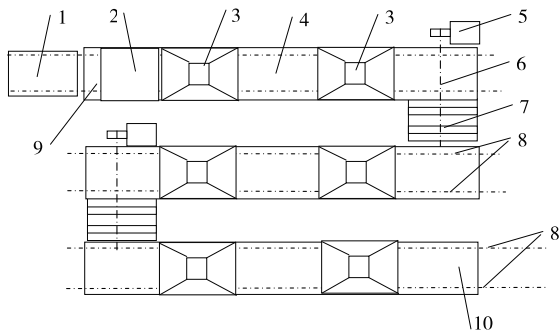


1. 大链轮 2. 穿孔辊轮 3. 挡料刷 4. 上挡盖板 5. 电控箱 6. 下挡盖板 7. 微波干燥箱 8. 主传送链条 9. 物料冷却腔 10. 小链轮 11. 支架 12. 温度传感器 13. 磁控管 14. 干燥腔进气扇与排湿风扇 15. 冷却腔进气扇与排湿风扇

图1 蛇形微波干燥设备(主视图)

Figure 1 Structure of serpentine microwave drying equipment (front view)

考虑到实验室电线的负荷及场地的要求,整机设备选了6组微波发生器同时工作。将6个4 kW磁控管分别安装于6个微波干燥箱内。每个工作单元由微波加热腔与板椒冷却腔(见图2)组成,其长度比为1:1,传送带载料链在6个工作单元串联成的蛇形管中穿过,管道全长18 m,每个单元的微波干燥区与物料冷却区都设有抽风装置。传送带采用由PLC控制的可调节拍的间歇式链传动,并在传送带出料段与进料端之间设有金属屏蔽挡板以防微波泄露伤害人体。试验时从鲜板椒状态开始干燥,以实际连续生产线的情况,核查微波加热的效果。



1. 进料盘 2. 电控箱 3. 微波干燥箱 4. 物料冷却腔 5. 气泵 6. 无杆气缸 7. 传送辊轮 8. 主传送链条 9. 进料口 10. 出料口

图2 蛇形微波干燥设备(俯视图)

Figure 2 Structure of serpentine microwave drying equipment (top view)

1.2 微波干燥设备的工作原理

新鲜的板椒中含有大量的水分,在足够高频率的微波场的作用下,水分子在极短的时间内发生强烈的摩擦,使分子运动加剧,温度升高,同时以蒸气的形式蒸发出来。在板椒表面,由于蒸发冷却的缘故,使板椒表面温度略低于里层温度,同时由于板椒内部产生热量,以至于内部蒸气迅速产生,形成压力梯度。板椒的初始含水率很高,板椒内部的压力迅速升高,则水分可能在压力梯度的作用下从板椒中排除。初始含水率越高,压力梯度对水分排除的影响越大,即有一种“泵”效应,驱使水分流向表面,加快干燥速度。这就是微波加热的工作原理^[4]。

板椒原料干燥时,物料宜单层铺放于物料托盘内,对板椒表面穿孔,由链条传送带输送,在传输带的一端进料,另一端出料;在整个干燥隧道内,采用大功率微波干燥腔与冷却腔相间并在传送带上均点分布方式,使板椒在整个干燥隧道内达到加热—冷却—再加热—再冷却的间歇式干燥过程。整个干燥过程可以连续干燥。间歇干燥的目的是防止板椒连续干燥的时间过长,温度过高,当大于80℃时,会造成板椒“煮沸”现象的发生^[5],使干燥质量大大降低。在板椒表面穿孔,是为了破坏板椒表面的蜡质层,加快板椒内水分的排出。

2 设备各组成部分的设计

2.1 微波发生器

单个微波发生器选用微波工作频率为2 450 MHz,微波输出功率为4 kW。6个微波发生器的设计都相同。微波发生器的作用是产生微波,使板椒在微波的作用下产生高温,进而起到干燥的作用。

2.2 微波干燥腔

根据微波能量的分布特点,微波干燥腔上部采用旋转抛物面的设计,类似于汽车前大灯的设计^[4],微波发生器安装在旋转抛物面的焦点处,下部是方形箱体结构(方形有利于传输带通过),这样设计能使微波射线经过旋转抛物面的反射而尽可能地垂直向下且分布均匀,大大减少微波的泄露,提高微波的利用率。

微波干燥腔,由镀锌白铁皮制成^[6],下部方形腔体的设计尺寸为1.5 m×1.5 m×0.6 m。上部旋转抛物面腔体的下端直径为2.1 m,在腔体顶部开有耦合口,供装反射器输入微波;在下部方形腔体后侧开有排湿口,在排湿口上安装有排气扇,在下部方形腔体前侧开有进气口,在进气口上安装有进气扇,在进气口旁设有观察窗,观察内部物料的运行情况,底端铺有链条导轨。这种干燥腔内的微波射线比较集中,物料升温较快,可连续不间断工作,特别适合蔬菜类物料的加热干燥。

2.3 板椒冷却腔

板椒冷却腔,也由镀锌白铁皮制成,为方形腔体设计,其尺寸为1.5 m×1.5 m×0.4 m。板椒冷却腔体的前侧与后侧的中间位置也各设计了一个排湿口,并安装了排气扇,以提高腔体内的空气流动速度,从而提高对板椒的降温效率。一个“微波干燥腔”与一个“板椒冷却腔”构成了一个工作单元,6个工作单元连接在一起形成一个蛇形的隧道腔即组成了本研究的微波干燥设备(见图2)。

2.4 物料输送系统

在蛇形结构的3条隧道腔(见图2)的底部设置物料输送链条,链条上放置物料托盘,托盘底部用橡胶辊轮支撑,通过内圆轨道导轮定位,采用电机通过小链轮和与物料输送托盘铆接在一起的链轨带动托盘运动,根据被干燥板椒的厚度和微波功率采用PLC控制电机按照1:1的时间,间歇式地启动、停止。在两个传送带相连处的箱体内存装有一个无杆气缸,由PLC控制无杆气缸推动物料托盘输送到下一个传送带上。物料托盘尺寸设计为1.50 m×1.40 m×0.06 m,其材料为树脂,托盘的底面打有均布小孔。

2.5 排湿装置

干燥腔内的空气湿度也是影响干燥效率的重要因素。

本设计是在每个微波干燥腔下部方形腔体后侧开有排湿口、在排湿口上安装有排气扇,在下部方形腔体前侧开有进气口、在进气口上安装有进气扇,同时每个板椒冷却腔体的前侧与后侧的中间位置也各设计了一个排湿口,并安装了排气扇,以提高空气的干燥度和物料周围空气流动速度,从而提高干燥效率。并在每个排扇外侧都安装了带小孔的金属罩,这样既防止微波泄露,同时保证水蒸气的顺利排除。

2.6 微波抑制器

为了防止微波泄漏对身体的损害,如图 1 所示,将传送带的裁料区置于一段金属管道内,形成一个蛇形加热隧道,在管道内每隔一段都安装有上下金属挡波板,并在每个排气扇的外侧都安装了多小孔的金属防护罩等方法用来防止微波泄露。同时在微波干燥腔上部采用旋转抛物面的设计使微波射线的绝大部分垂直向下,也减少了绝大部分微波的泄露。

2.7 温度传感器的选用

由于热电偶容易受电磁、微波、射频等干扰,不能实现实时测量,采集的温度数据可用性不高,而红外测量虽然能实时监测,但是它受很多因素干扰(特别是水蒸气),而且测量精度也不满足研究要求,所以两种方法都不能很好地解决温度测量问题,给研究工作带来很多不便^[7-8]。而光纤传感器是非接触物料,也不受电磁等影响,它很好地解决了实时温度测量问题,所以本系统选用了加拿大 Opsens 公司的 OTG-A 光纤温度传感器。

2.8 控制系统

该微波干燥装置控制系统主要完成物料冲孔、微波干燥、物料托盘输送、温度控制等功能。为了使板椒干燥后的质量和品质得到保证^[9-11],必须对干燥装置内的温度进行有效地控制。物料输送托盘由电机通过链轮驱动,其由 PLC 控制 3 个电机来调节三段链轮的传输。根据板椒不同干燥时间段,其需干燥温度也不同的干燥特性,本设计分成三段干燥:第 1 段,由于板椒水分含量大,起温慢,干燥的时间长;第 2 段,由于板椒水分含量比较大,但起温快,易产生“煮沸”现象,干燥的时间短;第 3 段,由于板椒水分含量比较少,但起温不快,干燥的时间长。在两个传送带的相联处箱体内部安装有一个无杆气缸,由 PLC 控制无杆气缸推动物料托盘输送到下一个传送带上。当光纤测温系统监控到干燥中的板椒温度过高时,由 PLC 控制微波发生器停止工作^[12-13]。

干燥控制过程:板椒装入物料托盘后,放在物料传输链条上,接通电源,设备开始工作,PLC 启动电机带动链条,链条带动物料托盘从入料口进入,经过冲孔圆辊,将板椒表面冲孔,并送到第 1 个微波干燥腔内后,停止传送并在干燥腔体内由微波加热 3 min 后,PLC 再次启动电机带动链条将板椒送到第 1 个板椒冷却腔内,停止传送并在冷却腔体内冷却 3 min 后(这个过程的同时在第 1 个微波干燥腔内又可以放入新的物料),PLC 再启动电机带动链条将板椒送到第 2 个微波干燥腔内后,又停止传送并在干燥腔体内由微波加热 3 min 后,PLC 再启动电机带动链条将板椒送到第 2 个板椒冷却腔内,停止传送并在冷却腔体内冷却 2.5 min 后,PLC 启动无杆气缸将板椒托盘推送到下级的物料传送链条上,依次干燥下去,至板椒从出物料口出来,干燥完成。

3 微波干燥装置的试验与分析

本试验采用薄层干燥法,干燥物料为板椒,主要测试板椒的干燥特性。选择新鲜、色泽良好且无机械损伤的板椒,将其在水中全面冲洗,去除泥沙等杂质,沥干水分^[14],以免外来水分对试验产生影响,然后将其表面冲孔破坏其表面蜡质层。

通过对原样机的小批量试验分析后得出:板椒在微波功率为 4 kW、微波加热方式为 180 s/180 s 间歇加热、板椒处理方式在板椒表面冲孔、干燥总时间为 24 min 的加工后,板椒干燥的品质良好,成品率达到 98% 以上,达到了设计要求。

4 结论

本设计的微波干燥箱采用了旋转抛物面形导波设计,使腔内微波加热更加均匀;一个微波干燥箱与一个物料冷却箱组合在一起设计为一个加工单元,可以按生产的需要灵活地增加或减少加工单元来延长或缩短生产线;每个微波干燥腔内微波的功率为 4 kW;设备整条加工生产线设计为蛇形隧道式结构,这可使其结构紧凑、体积小、占场地面积少;本设计采用 PLC 控制可调节拍间歇式干燥方式,可根据板椒的原始水分调节间歇的速度,来提高板椒干燥的品质。该设备控制系统采用 PLC 与光纤温控系统控制,可实现自动化生产;在微波干燥设备的两端采用微波吸收器与每个单元内部上下金属挡波板的组合,使微波的泄露量大大减少,以免对人体造成危害;通过对板椒的加工生产试验得出,该设备对板椒干燥均匀,干燥品质好,自动化程度高,运行稳定可靠,能够满足对果蔬类农产品的干燥。

参考文献

- [1] 张茜,杨旭海,王丽红,等.辣椒干燥技术研究进展[J].食品科技,2011,36(10):79-83.
- [2] 杨旭,刘俊杰,杨存志.微波干燥设备的性能特点及其市场前景分析[J].农机化研究,2007(1):41-42.
- [3] 宋树民,余小明,邓永骊,等.辣椒干燥加工技术及设备的研究与示范[J].现代农业装备,2012(3):53-54.
- [4] 葛新锋,刘存祥.金银花环形微波干燥装置的设计与研究[J].食品科技,2010,35(1):116-119.
- [5] 何明奕,彭增华,赵晓军.小功率磁控管微波干燥线的可行性试验[J].食品工业科技,2002(7):63-65.
- [6] 刘存祥,霍治军,邵海泉,等.20 kW 圆环形微波干燥设备的研制及试验[J].农机化研究,2009(7):182-184,188.
- [7] 邹建,饶程,顾兴志.光纤温度传感器在微波场测温中的应用[J].激光杂志,2003(5):72-74.
- [8] 莫愁,陈霖,陈懿,等.微波干燥恒温控制系统的设计[J].食品与机械,2011,27(2):77-79.
- [9] 陈燕,陈羽白.微波干燥龙眼的特性及工艺研究[J].农机化研究,2004(4):142-144.
- [10] 章斌,侯小桢.热风与微波联合干燥香蕉片的工艺研究[J].食品与机械,2010,26(2):97-99,142.
- [11] 肖宏儒,王立富,曹曙明.微波—气流式干燥菊花的研究[J].食品与机械,1999(5):26-27.
- [12] 郭文川,朱新华.微波干燥技术在食品工业中的应用[J].食品科技,1997(2):13-14.
- [13] 张浩栋,张燕,曾小英,等.基于 PLC 的香蕉秸秆自动打包机的设计和控制研究[J].食品与机械,2013,29(4):115-117,121.
- [14] 张建军,马永昌,王海霞,等.辣椒热风干燥的工艺优化试验[J].农业机械学报,2007,38(12):223-224.