

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.11.027

# 板栗激光划口机设计\*

肖红伟<sup>1</sup> 林海<sup>2</sup> 高振江<sup>1</sup> 张林泉<sup>3</sup> 庞昌乐<sup>1</sup> 王海蓬<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 石河子大学机械与电气工程学院, 石河子 832003;

3. 广东省农业机械研究所, 广州 510630)

**【摘要】** 将激光切割技术应用于板栗的划口生产工艺,设计了一种板栗划口机。该机主要由振动给料器、“V”字形板栗定位及输送带、电动机传动系统、激光发生器、激光反射和聚焦镜、控制面板等组成。板栗激光划口和爆壳试验表明:划口板栗的爆壳率随着激光功率的增加而提高,随着板栗输送速度的提高而降低;当激光功率为80 W,板栗输送速度为0.12 m/s(即每秒划3~4个板栗)时,划口板栗的爆壳率在98%以上,划口质量最好。

**关键词:** 板栗 划口机 激光 爆壳率

**中图分类号:** S226 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)11-0138-04

## Design of Chestnut Shell-cutting Machine Using Laser

Xiao Hongwei<sup>1</sup> Lin Hai<sup>2</sup> Gao Zhenjiang<sup>1</sup> Zhang Linquan<sup>3</sup> Pang Changle<sup>1</sup> Wang Haipeng<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Machinery and Electricity Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China

3. Guangdong Agricultural Machinery Research Institute, Guangzhou 510630, China)

### Abstract

The laser cutting technique was applied to chestnut shell-cutting process. The chestnut shell-cutting machine was consisted of a vibration feeder, V-shaped belt for chestnut positioning and conveying, motor drive system, laser generator, mirrors for laser reflection and focusing, control panel etc. The experiments of chestnut shell-cutting and shell puffing using laser indicated that the shell puffing rate of chestnut cut increased with increasing of the laser power or decreased with increasing of chestnut delivery speed. When the laser power is 80 W and the chestnut delivery speed is 0.12 m/s (means that 3 or 4 chestnuts shell could be cut per second) the shell puffing rate of chestnut cut is above 98% and its cutting quality is the best.

**Key words** Chestnut, Shell-cutting machine, Laser, Shell puffing

### 引言

制约我国板栗深加工产业发展的主要技术障碍是板栗的脱壳去红衣问题<sup>[1~2]</sup>,板栗划口技术是解决脱壳去红衣问题的关键。传统的板栗划口主要依靠人工划口,不仅劳动强度高、生产效率低,而且产品不卫生。采用机械刀具切割板栗外壳的划口技术<sup>[3~7]</sup>,则不同程度地存在下列问题:①对板栗(或

锥栗)的大小、形状要求较高,一般需要先分级后才能进行划口,生产工艺繁琐。②板栗一般通过螺旋输送机输送,常致使板栗因过度挤压而大量破碎。③只有当螺旋输送机和划口刀辊或刀具之间的距离满足一定条件时才会有好的划口效果,操作繁琐使用不方便。④高速旋转的切割刀具常伤及栗仁。

针对板栗划口存在的问题,本文将激光切割技术应用于板栗的划口,设计一种全新的板栗划口机

收稿日期:2009-12-15 修回日期:2010-01-05

\* 广东省教育部产学研结合资助项目(2007A090302085)和浙江省科技厅资助项目(2008C12042)

**作者简介:** 肖红伟,讲师,博士,主要从事农产品加工技术与装备研究,E-mail: hwxiao82@gmail.com

**通讯作者:** 高振江,教授,博士生导师,主要从事农产品加工技术与装备研究,E-mail: zjgao@cau.edu.cn

械,并进行板栗激光划口和爆壳试验以检验划口效果,优化划口工艺。

## 1 理论依据

激光发散角小,具有高单色性和相干性,理论上可以聚焦到尺寸与光的波长相近(微米甚至亚微米)的小斑点上,加上本身的高强度,可以使焦点处的功率密度达到  $10^7 \sim 10^{12} \text{ W/cm}^2$ ,温度可达到  $10\ 000\text{ }^\circ\text{C}$  以上<sup>[8]</sup>。本文利用激光的上述特点将其应用于板栗划口,即利用经过聚焦后的高功率、高密度激光束照射板栗,板栗外壳在被照射之处迅速烧蚀熔化,从而在板栗外壳上形成一道激光切割的痕迹。

## 2 整机结构与工作原理

板栗激光划口机的总体结构如图 1 所示。该机

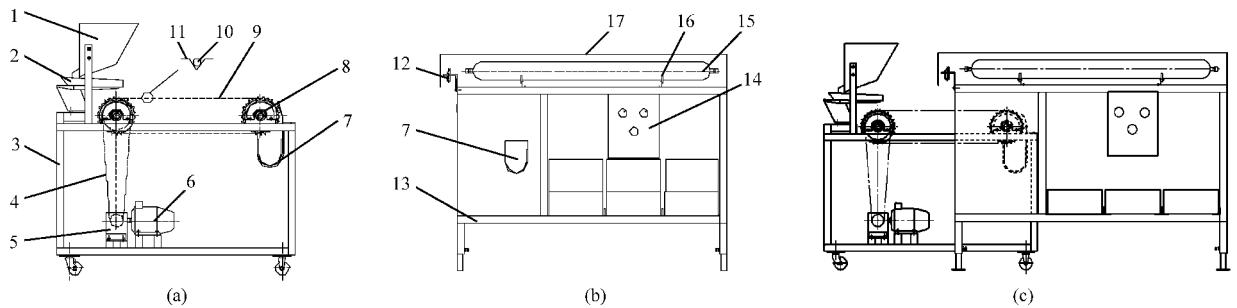


图 1 板栗激光划口机结构图

Fig. 1 Schematic of chestnut shell cutting machine using laser

(a) 板栗输送及定位系统 (b) 激光产生及控制系统 (c) 板栗激光划口机装配图

1. 给料仓 2. 振动给料器 3. 下机架 4. 链条 5. 减速器 6. 驱动电动机(含变频器) 7. 卸料斜槽 8. 输送带链轮 9. 输送链条 10. 板栗 11. “V”字形板栗定位板 12. 激光反射和聚焦镜 13. 上机架 14. 控制面板 15. 激光发生器 16. 激光器固定支座 17. 安全罩

板栗激光划口机的工作原理为:①将大小、形状不同的板栗或锥栗放入给料仓 1 中。②打开板栗定位及输送装置的驱动电动机 6 和振动给料器 2,板栗或锥栗就在给料器的振动作用下,沿着倾斜的料槽滑入“V”字形板栗定位板及输送带的“V”字形沟槽中。③通过与驱动电机相连的变频器和减速器 5 来调节“V”字形输送带输送板栗或锥栗的速度,使其既能使振动式给料装置中的板栗或锥栗不拥堵在给料装置出料口,又使板栗或锥栗平稳地在“V”字形定位板输送带沟槽中向前输送。④通过激光反射和聚焦镜 12 调节激光反射镜的位置,使从激光发生器 15 产生的水平方向激光经过反射镜后与“V”字形板栗沟槽的中心线重合。⑤通过控制面板 14 上的激光切割强度调节旋钮来调节激光的出光强度,使其既能够划开板栗壳而又不伤及栗仁。⑥在完成以上调试操作后,就可进行板栗或锥栗的划口加工。在板栗激光划口机的设计中所选用的标准件及其参数如表 1 所示。

主要由振动给料器、“V”字形板栗定位及输送带、驱动电机、激光发生器、激光反射和聚焦镜、控制面板、上机架和下机架等组成。振动给料器实现板栗的单层、连续给料。“V”字形板栗定位及输送带是保证不同大小和形状的板栗能够始终处在“V”字形定位板输送带沟槽的中央,实现对板栗的定位和输送。电动机传动系统为板栗输送带提供动力并能够通过调节驱动电机转速来调节板栗的输送速度。激光发生器能够产生足够强度的激光,相当于用于板栗划口的刀。激光反射和聚焦装置是将激光发生器发出的激光反射并聚集到一点,从而能够形成切割板栗的能量强度。控制面板能够实现激光强度以及板栗输送速度的调节和开关控制。下机架上装有带刹车的脚轮,上机架可以通过其下部的螺栓调节自身高度,以达到与下机架最佳的配合状态。

表 1 标准件的技术参数

Tab. 1 Technical parameters of the standard parts

部件	参数
振动给料器	振幅 1.5 ~ 2.5 mm, 频率 3 000 次/min, 振角 20°
驱动电动机	功率 0.75 kW, 转速 1 390 r/min
减速器	减速比 20, 转矩 120 N·m
变频器	功率 0.75 kW, 电压 380 V
输送带链轮	齿数 29, 分度圆直径 176 mm, 齿顶圆直径 185 mm, 齿根圆直径 164 mm

## 3 关键部件结构

### 3.1 “V”字形板栗定位及输送带

板栗激光划口技术的关键是如何使大小形状不同的板栗在划口之前进行有序的排列和定位。通过对板栗形态特征的研究,设计了“V”字形板栗定位及输送带,如图 2 所示。它主要由若干个“V”字形板栗定位板及输送链条组成,每个板栗定位板安装在输送链条上,组成完整的“V”字形板栗定位及输

送带,使板栗能够始终处在“V”字形定位板输送带沟槽的中央。定位板的宽度为46 mm左右,“V”字形板栗沟槽的上口宽度为35~50 mm,“V”字形夹角为40°~50°。考虑到激光的强度,为防止激光将“V”字形板栗定位板击穿或烧蚀熔化,定位板采用金属材料制成。

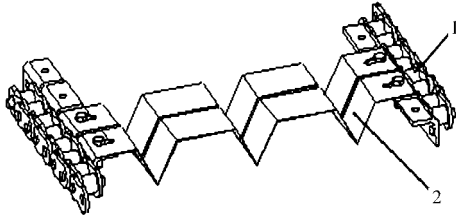


图2 “V”字形板栗定位及输送带

Fig.2 V-shaped belt for chestnut positioning and conveying

1. 输送链条 2. “V”字形板栗定位板

### 3.2 激光发生器

激光发生器是使光源中的粒子受到激励而产生受激辐射跃迁,实现粒子数反转,然后通过受激辐射而产生光放大的装置。按照激光工作物质来划分,通常将激光器分为:气体激光器、固体激光器、液体激光器、半导体激光器、化学激光器和自由电子激光器等。其中气体激光器是种类最多、应用最广泛的一类激光器。据统计,目前气体激光器占世界激光市场的60%。气体激光器具有输出光束质量高(方向性及单色性好)、连续输出功率大等特性,其器件结构简单、造价低廉<sup>[8]</sup>。本文选择额定功率为80 W的CO<sub>2</sub>激光发生器,激光光束直径为5 mm、波长为10.6 μm。

### 3.3 激光反射和聚焦透镜

反射镜是激光加工光路系统中的重要元件,利用反射镜可以使激光按照预定的线路和方向进行反射。反射镜有金镜和铜镜两种。金镜是由镀金膜制成的,反射率较高,新镜片能达到98%以上。金镜的镀膜质量决定其使用寿命,在擦拭时镀膜很易脱落和磨损,而且金镜不适合在恶劣的环境中工作。铜镜是用铜片抛光制成的,表面硬而不易磨损,没有镀膜和碎裂的问题,在清理表面时也不易损伤,适合于易污染反射镜的环境,反射率比金镜稍低,能达到97%左右。本文选用铜镜,因为激光在切割板栗外壳时,镜片经常受到切割板栗壳所产生烟雾的污染,而铜镜适合在恶劣环境下工作,耐磨、使用寿命长。

激光聚焦光路图如图3所示,其中 $d$ 为聚焦后激光光斑的直径,而保持聚焦后激光光斑直径相对不变的那段距离 $b$ 称为焦深。

激光聚焦光斑直径 $d$ 、焦深 $b$ 以及焦点处的功率密度可分别表示为<sup>[9]</sup>

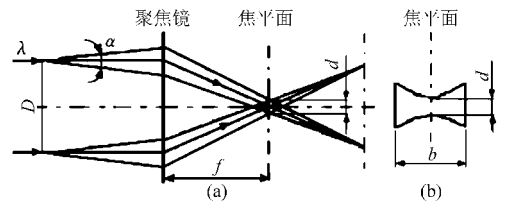


图3 激光聚焦光路图

Fig.3 Diagram of laser focusing

(a) 光路与束腰 (b) 束腰示意图

$$d = 4\lambda f / (\pi D) = 1.27\lambda f / D \quad (1)$$

$$b = 6.5df / D \quad (2)$$

$$P_f = P / (0.785d^2) \quad (3)$$

式中  $f$ ——透镜焦距, m  $\lambda$ ——激光波长, m

$D$ ——激光束直径, m  $P$ ——激光功率, W

$P_f$ ——激光焦点处的功率密度, W/m<sup>2</sup>

由所选择的CO<sub>2</sub>激光发生器可知,激光波长为 $1.06 \times 10^{-5}$  m,激光束直径为 $5 \times 10^{-3}$  m,激光功率为80 W。

激光只有在焦点处时其能量密度最大,离焦点越远其能量密度越小。而对板栗或锥栗进行划口时,其切割面不是一个平面,而是随其外形轮廓变化的一个曲面,同时板栗或锥栗的大小也不一致。因此,要使经过聚焦后的激光能够划开其外壳,就必须使其焦深足够长。本文选用焦距为80 mm的聚焦透镜,根据式(1)~(3)计算出其聚焦后激光光斑直径、焦深和激光焦点功率密度分别为 $2.15 \times 10^{-4}$  m、 $2.24 \times 10^{-2}$  m和 $2.2 \times 10^9$  W/m<sup>2</sup>。

激光焦点处的功率密度 $2.2 \times 10^9$  W/m<sup>2</sup>,远高于太阳表面的功率密度( $(5 \sim 7) \times 10^7$  W/m<sup>2</sup>)。如此高的能量强度足以使板栗外壳烧蚀掉。另一方面不同大小和形状的板栗其直径差异绝大部分小于2 cm,2.24 cm的焦深能够解决不同直径和形态板栗的划口工艺问题。

## 4 验证和工艺优化试验

为了验证板栗激光划口机的划口质量、优化激光划口工艺,进行了板栗激光划口试验。影响板栗激光划口质量的主要因素是激光强度和板栗的输送速度。因此选取激光强度(40、60和80 W)和板栗输送速度(0.06、0.12和0.18 m/s)进行单因素试验和正交试验,以确定板栗划口的最佳工艺。将划口后的板栗在气体射流冲击烤箱内进行爆壳试验<sup>[10]</sup>,板栗从划口处裂开为有效爆壳,没有裂开或者不是从划口处裂开的都为无效爆壳,以爆壳率作为划口效果的评判指标。参照文献[11]的研究成果,选取爆壳温度为180℃、气流速度为8 m/s、爆壳时间为5 min作为爆壳工艺条件,板栗激光划口和爆壳效果

如图 4~5 所示。

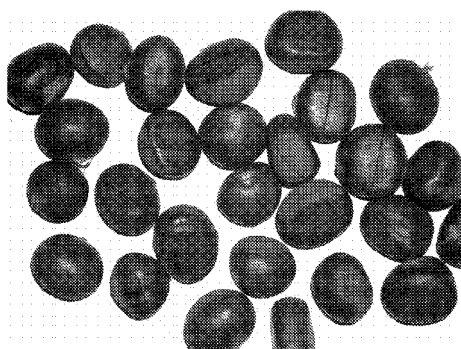


图 4 激光划口后的板栗

Fig. 4 Chestnut cut by laser

单因素试验结果表明:激光功率和板栗的输送速度对划口板栗的爆壳率均有显著影响;划口板栗的爆壳率随着激光功率的增大而提高,随着板栗输送速度的提高而降低。这是因为当输送速度一定时,在不伤及栗仁的前提下,激光功率越大,划口的深度越深,爆壳的效果越好,爆壳率越高;当激光功率一定时,输送速度越快,划口时激光与板栗接触的时间越短,划口深度越浅,爆壳的效果越差,爆壳率越低。正交试验表明:当激光功率为 80 W,板栗输送速度为 0.12 m/s(即每秒划 3~4 个板栗)时,划

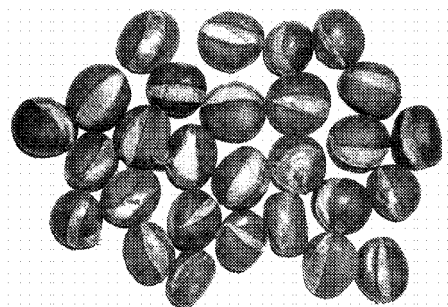


图 5 激光划口板栗的爆壳图

Fig. 5 Shell puffing picture of chestnut cut by laser

口板栗的爆壳率在 98% 以上,划口质量最好。

## 5 结论

(1)设计了一种基于激光切割技术的板栗划口机械,其主要由振动给料器、“V”字形板栗定位及输送带、电动机传动系统、激光发生器、激光反射和聚焦镜和控制面板等组成。

(2)激光划口和爆壳试验表明:板栗的爆壳率随着激光功率的增大而提高,随着板栗输送速度的提高而降低;当激光功率为 80 W,板栗输送速度为 0.12 m/s 时,划口板栗的爆壳率在 98% 以上,划口质量最好。

## 参 考 文 献

- 党新安,白晓峰,卢裕. 揉搓式板栗脱壳设备的研制与开发[J]. 轻工机械,2004(4):94~96.  
Dang Xin'an, Bai Xiaofeng, Lu Yu. Research and development on flexible shell-peeling equipment [J]. Light Industry Machinery, 2004(4):94~96. (in Chinese)
- 郑传祥. 新型组合式板栗脱壳技术研究及经济分析[J]. 农业工程学报,2000,16(6):144~146.
- 杨巧绒. 板栗脱壳工艺及其设备的设计[J]. 包装与食品机械,1999,17(2):12~13.  
Yang Qiaorong. Technology of Chinese chestnut shelling and design of sheller [J]. Packaging and Food Machinery, 1999, 17(2):12~13. (in Chinese)
- 郑传祥. 锥栗脱壳去衣技术及设备的开发[J]. 农业工程学报,2003,19(1):165~167.
- 张素梅. 锥栗果外壳划口机的设计分析[J]. 福建林学院学报,2001,21(3):276~278.  
Zhang Sumei. Design and analysis on the *Castanea henryi* shelling machine [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2001, 21(3):276~278. (in Chinese)
- 张素梅. 锥栗果外壳划口机的扩展设计[J]. 林业机械与木工设备,2006,34(10):26~27,33.  
Zhang Sumei. Improved design of the *Castanea henryi* shelling machine [J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2006,34(10):26~27,33. (in Chinese)
- 杨雪银,齐延兴. 机械式板栗脱壳技术研究初探[J]. 农业装备与车辆工程,2006(5):42~44.  
Yang Xueyin, Qi Yanxing. Research on mechanic shelling technique for Chinese chestnut [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2006(5):42~44. (in Chinese)
- 阎吉祥. 激光原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [日]浜崎正信. 实用激光加工[M]. 陈敬之,译. 北京:机械工业出版社,1992.
- 中国农业大学. 水平式气体射流冲击烤箱:中国,02238211.9[P]. 2003-05-07.
- 林海,高振江. 响应曲面法优化气体射流冲击锥栗脱壳工艺[J]. 农业机械学报,2006,37(4):71~75,67.  
Lin Hai, Gao Zhenjiang. Optimization of air-impingement shelling for *Castanea henryi* using response surface methodology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(4):71~75,67. (in Chinese)