

## 气动卡扣打结器的设计与试验

耿浩,张姬,崔桐瑞,耿爱军,李汝莘\*

山东农业大学机械与电子工程学院,山东省园艺机械与装备重点实验室,山东泰安 271018

**摘要:** 针对国产打结器可靠性差且大多依赖进口的问题,在研制机械式卡扣打结器的基础上,通过简化拨绳装置和改进打卡装置,研制了一款气动打卡的方草捆打结器。打结器安装在底板上,在打结器主轴的驱动下,由拨绳装置完成拨绳,卡扣输送装置将U型卡扣输送给打结器,行程开关控制气动装置完成打卡动作。针对打结器安装空间狭小的特点,在满足卡扣受力条件下,选择TN25-30双杆气缸,并对打结器关键部件进行结构设计及优化,制作了气动卡扣打结器样机,进行3因素3水平正交试验。在设定工况下,台架试验的成结率在99%以上,满足设计要求。气动卡扣打结器具有结构简单、可靠性高、使用维护方便等优点,与D型打结器相比可降低加工难度和成本。

**关键词:** 打结器;气动;卡扣;正交试验;成结率

**中图分类号:** S226.7;S220.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2016)05-0726-05

## Design and Experiment of the Pneumatic Buckle Knotter

GENG Hao, ZHANG Ji, CUI Tong-ru, GENG Ai-jun, LI Ru-xin\*

Shandong Provincial Key Laboratory of Horticultural Machinery and Equipment, College of Mechanical and Electronic Engineering/Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

**Abstract:** In view of the problems that the domestic knotters have a poor reliability and most of the knotters rely on imports. On the basis of the developed mechanical buckle knotter, by simplifying the toggling device and improving the extruding device, we developed a square bale knotter of using pneumatic device to extrude buckles. The knotter is installed on the floor, by the drive of the knotter bearing, the delivering device sending the U-buckle to the knotter, the overtravel-limit switch controlling the pneumatic device and the pneumatic device completing the action of extruding buckles. According to the characteristic of narrow knotter installation space, under the condition of meeting the buckle stress. We choose the TN 25-30 double pole cylinder, and developed a pneumatic buckle knotter through designing and optimizing to the structure of the knotter's key parts, and 3 factors and 3 levels orthogonal test was carried out. Under the setting conditions, the knotting rate of the knotter bench test is over 99%, meeting the design requirement. The pneumatic buckle knotter has many advantages, such as simple structure, high reliability, convenient in use and maintenance, etc. Compared with D-type knotter, it can reduce processing difficulty and cost.

**Keywords:** Knotter, pneumatic; buckle; orthogonal test; knotting rate

打结器是方草捆打捆机的核心部件<sup>[1]</sup>,目前国内普遍使用的D型打结器,由于其结构复杂、制造工艺及精度要求高,国产打结器可靠性差,难以满足生产需要,而进口打结器价格昂贵,导致使用成本增加,从而影响了机械化的快速发展。为了解决打结器这一技术瓶颈,在前期研制的机械式卡扣打结器的基础上,设计了气动卡扣打结器,由气缸提供打卡动力,通过挤压铝制U型卡扣实现锁紧捆绳的目的。经过初步台架试验,已取得了比较满意的效果。

### 1 气动卡扣打结器组成与工作原理

气动卡扣打结器如图1所示,是在D型打结器的基础上<sup>[2-4]</sup>开发而成的。去掉了原有的打结钳嘴、小锥齿轮及其在扇形齿凸轮盘上相应的扇形齿,改进了拨绳装置,保留了夹绳及割绳装置,增加了U型卡扣输送装置、气动系统和打卡装置等。另外还保留了原有的草捆长度调节装置、打捆针及送绳机构等打结器辅助机构<sup>[5,6]</sup>。

草捆达到设定的长度后即开始打捆,此时捆绳被输送到夹绳及割绳装置的上方,通过夹绳盘的转动夹住捆绳,同时,拨绳机构将两股捆绳拨进打卡装置的卡槽内,并且由拨绳拉杆触动复合行程开关,控制气动系统的气缸活塞杆伸出执行打卡动作,使卡扣输送装置提供的U型卡扣将捆绳扣紧。

**收稿日期:** 2015-03-10

**修回日期:** 2015-04-14

**基金项目:** “十二五”农村领域国家科技计划课题(2011BAD20B04-03)

**作者简介:** 耿浩(1988-),男,山东省淄博市人,机械工程专业硕士生。E-mail:303516354@qq.com

**\*通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:rxli@sdau.edu.cn

打卡完成后, 割刀割断捆绳, 各装置回位, 即完成一次打结过程。

## 2 气动卡扣打结器关键部件设计

### 2.1 夹绳及割绳装置

夹绳及割绳装置如图2所示, 主要由割刀、割刀臂、基座、扇形齿凸轮盘、蜗杆小锥齿轮、蜗杆、蜗轮和夹绳盘等组成, 主要完成夹绳和割断捆绳的动作。

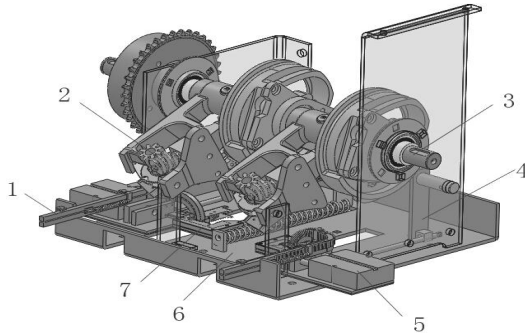


图 1 气动卡扣打结器

Fig.1 The pneumatic buckle knotter

1. 卡扣输送装置; 2. 夹绳及割绳装置; 3. 打结器主轴;  
4. 拨绳曲柄; 5. 双杆气缸; 6. 底板; 7. 打卡装置  
1. Delivering device; 2. Clamping and cutting device;  
3. Spindle of the knotter; 4. Toggling crank;  
5. Double rod cylinder; 6. Floor; 7. Extruding device

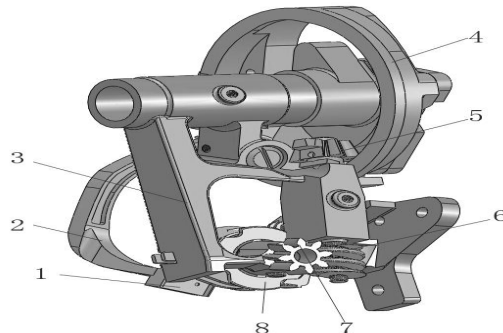


图 2 夹绳及割绳装置

Fig.2 Clamping and cutting device

1. 割刀; 2. 割刀臂; 3. 基座; 4. 扇形齿凸轮盘;  
5. 蜗杆小锥齿轮; 6. 蜗杆; 7. 蜗轮; 8. 夹绳盘  
1. Cutter; 2. Cutter arm; 3. Mount; 4. Fan shape teeth cam disc;  
5. Small bevel gear of worm axis; 6. Worm; 7. Worm gear;  
8. Clipping rope disc

扇形齿凸轮盘是在 D 型打结器扇形齿凸轮盘的基础上<sup>[7-9]</sup>进行了改进, 去掉了原来靠外沿的一道扇形齿, 使结构更简单。夹绳及割绳装置由打结器主轴提供动力, 带动扇形齿凸轮盘转动, 通过凸轮盘上的一道扇形齿与蜗杆小锥齿轮啮合, 带动蜗轮蜗杆转动, 从而驱动夹绳盘夹住捆绳。扇形齿凸轮盘内表面与割刀臂上的滚轮接触, 带动割刀臂绕销轴转动, 在打卡动作完成之后割刀割断捆绳, 完成割绳动作。

### 2.2 拨绳装置

拨绳装置<sup>[10-12]</sup>如图3所示, 主要由打结器主轴、凸轮、滚轮、驱动摆杆、拨绳传动轴、拨绳曲柄、拨绳拉杆、传动V形杆、连接杆、拨绳板及拨绳回位弹簧等组成。

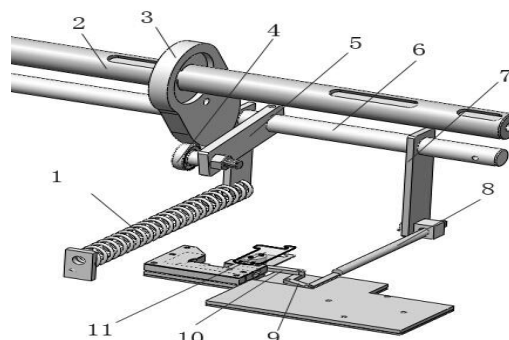


图 3 拨绳装置

Fig.3 Toggling device

1. 拨绳回位弹簧; 2. 打结器主轴; 3. 凸轮; 4. 滚轮; 5. 驱动摆杆; 6. 拨绳传动轴; 7. 拨绳曲柄; 8. 拨绳拉杆; 9. 传动V形杆; 10. 连接杆; 11. 拨绳板  
1. Toggling return spring; 2. Spindle of the knotter; 3. Cam; 4. Roller; 5. Driving swing rod; 6. Toggling transmission shaft; 7. Toggling crank;  
8. Toggling pull rod; 9. Driving V shape rod; 10. Connecting rod; 11. Toggling plate

如图4所示, 拨绳板的初始位置与拨绳拉杆平行(由图4中实线表示), 捆绳能够顺利进入打卡装置的卡槽内。打卡扣结时, 由打结器主轴提供动力, 带动凸轮转动, 通过滚轮和驱动摆杆带动拨绳传动轴和拨绳曲柄一起旋转, 使拨绳拉杆拉动传动V形杆绕轴转动, 通过连接杆推动拨绳板闭合(由图4中虚线表示), 将捆绳收拢, 以备打卡。当捆绳打完卡扣结并由割刀割断捆绳之后, 在拨绳回位弹簧的作用下, 拨绳板等相关杆件再回到初始位置。

经仿真试验, 拨绳板的旋转角度为 $107.2^\circ$ , 在空间有限的情况下, 优先确定拨绳装置的设计尺寸,

然后确定 $AC=AB=20.6\text{ mm}$ ， $\angle BAC=44.64^\circ$ ，由正弦定理定理得出拨绳拉杆运动距离：

$$\begin{aligned} BC &= 2 \times AB \times \sin(44.64^\circ/2) \\ &= 2 \times 20.6 \times 0.3798 \\ &= 15.65\text{ mm} \end{aligned}$$

根据拨绳拉杆的位移、驱动摆杆和拨绳曲柄长度、凸轮转速以及拨绳时间等参数，最终确定凸轮的轮廓线和有效转角。

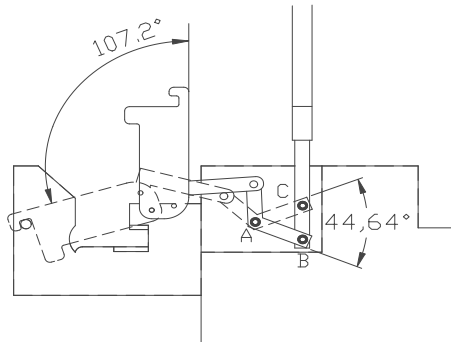


图 4 拨绳装置简图

Fig.4 Diagram of the toggling device

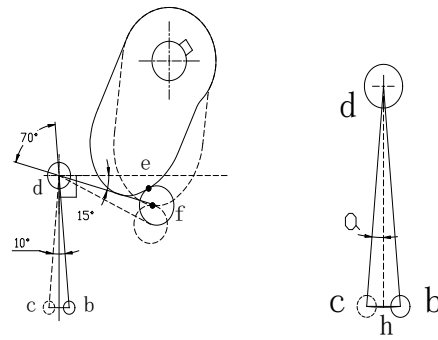


图 5 凸轮传动简图

Fig.5 Diagram of the cam transmission

如图5所示， $bc=BC=15.648\text{ mm}$ ，即为拨绳装置拨绳拉杆运动的距离，拨绳曲柄 $dc=db=90\text{ mm}$ ，拨绳拉杆在竖直方向的位移可忽略，由正弦定理得：

$$\sin\alpha = ch/cd$$

$$\alpha = \arcsin(ch/cd)$$

其中  $ch=bc/2=7.824\text{ mm}$        $dc=90\text{ mm}$

所以  $\angle\alpha=4.987^\circ\approx 5^\circ$

$$\angle cdb = 5^\circ \times 2 = 10^\circ$$

图5中的e、f点是凸轮与驱动摆杆上的滚轮相切的点，由位置及角度关系可以得出：

$$\angle bdf = 90^\circ - 15^\circ - 10^\circ + 5^\circ = 70^\circ$$

即驱动摆杆和曲柄之间的固定角度为 $70^\circ$ 。

### 2.3 气动系统

气动系统<sup>[13]</sup>如图6所示，主要由空气压缩机、胶管、三通接头、二位五通电磁阀、直流电源、双杆气缸、复合行程开关等组成，两个气缸A、B分别为两个打卡装置提供动力。

气动系统由空气压缩机作为气源，通过二位五通电磁阀和三通接头分别为A和B两个气缸提供压缩空气。当拨绳拉杆触动复合行程开关时，二位五通电磁阀的正动作线圈通电并接通正动作气流通道，气缸活塞伸出，完成打卡动作；当拨绳拉杆回位后，二位五通电磁阀的反动作线圈通电并接通反动作气流通道，实现气流换向，控制气缸活塞回位。

选用的卡扣为S740U型铝制标准卡扣<sup>[14]</sup>，卡扣所用铝丝直径 $d=2r^1=2\text{ mm}$ ，长度 $L=11.7\text{ mm}$ ，许用应力 $420\text{ MPa}$ 。通过计算和实验验证，将卡扣扣紧需要 $350\text{ N}$ 左右的力，打卡装置安装在夹绳盘的斜下方，安装空间有限，设计了 $30\text{ mm}$ 的打卡行程，选用TN25-30双杆气缸<sup>[15-17]</sup>。气缸输出力：

$$\begin{aligned} F &= 2 \pi r^2 p \eta \\ &= 2 \times 3.14 \times 0.0125^2 \times 0.5 \times 85\% \times 10^6 \\ &= 417\text{ N} \end{aligned}$$

式中  $p$ -空压机输出气压，MPa

$\eta$ -气缸的效率，%

### 2.4 卡扣输送装置

卡扣输送装置如图7所示，主要由导轨固定座、卡扣、上导轨、下导轨、导轨紧固件、卡扣推进弹簧、弹簧固定座、弹簧顶块等组成。

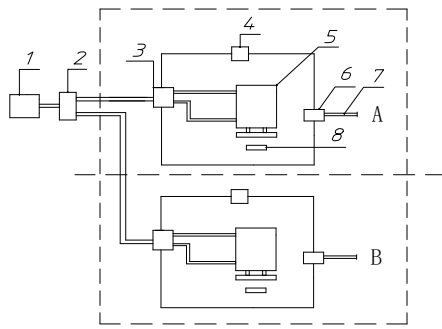


图 6 气动系统简图

Fig.6 Diagram of the pneumatic system

- 1.空气压缩机; 2.三通接头; 3.二位五通电磁阀; 4.直流电源;
- 5.双杆气缸; 6.复合行程开关; 7.拨绳拉杆; 8.卡扣推块固定板
- 1.Air compressor; 2.Three pass joint; 3.Two position five way solenoid valve; 4.DC power supply; 5.Double rod cylinder; 6.Composite switch;

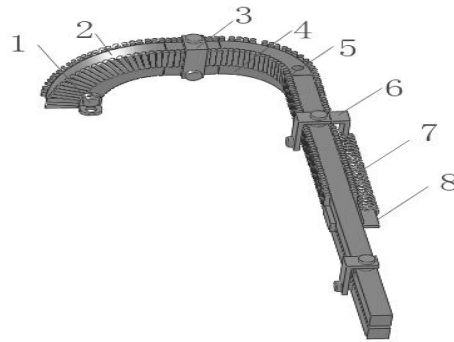


图 7 卡扣输送装置

Fig.7 Delivering device

- 1.导轨固定座; 2.上导轨; 3.导轨紧固件; 4.下导轨;
- 5.卡扣; 6.弹簧固定座; 7.卡扣推进弹簧; 8.弹簧顶块
- 1.Rail fixed seat; 2.Upper guide; 3.Guide fastener; 4.Lower guide; 5.Buckle; 6.Spring fixed seat; 7.Buckle advancing spring; 8.Spring top block

卡扣输送装置通过导轨固定座安装在打卡装置上，卡扣上导轨和下导轨通过导轨紧固件固定在一起，导轨间的距离为2.2 mm，这样既可以使卡扣在两导轨之间自由移动又不使卡扣滑出。工作时，在卡扣推进弹簧的作用下，卡扣沿着导轨移动，被连续输送至打卡装置。

### 2.5 打卡装置

打卡装置如图8所示，主要由下面板、上面板、轨道下固定板、砧块挡板、砧块、卡扣下导轨、卡扣上导轨、打卡推杆、轨道上固定板、拨绳板及轨道、打卡推杆连接板等组成。

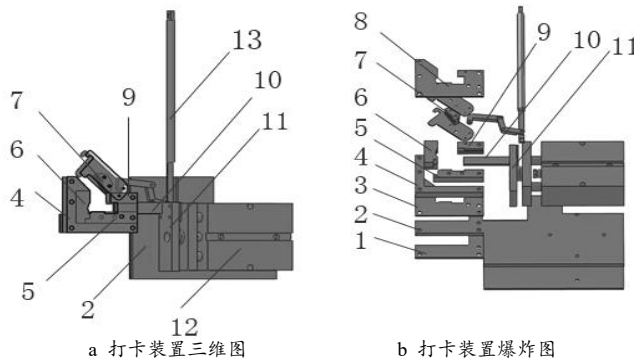


图 8 打卡装置

Fig.8 Extruding device

- 1.下面板; 2.上面板; 3.轨道下固定板; 4.砧块挡板; 5.卡扣下导轨; 6.砧块; 7.拨绳板及轨道; 8.轨道上固定板; 9.卡扣上导轨; 10.打卡推杆;
- 11.打卡推杆连接板; 12.双杆气缸; 13.拨绳拉杆
- 1.Lower plate; 2.Upper plate; 3.Guide lower fixed plate; 4.Anvil block; 5.Buckle lower guide; 6.Anvil; 7.Toggling plate and guide; 8.Guide upper fixed plate;
- 9.Buckle upper guide; 10.Extruding buckle push rod; 11.Connecting plate of the extruding buckle push rod; 12.Double rod cylinder; 13.Toggling pull rod

当捆绳被拨入打卡装置的卡槽内后，气动系统控制气缸活塞伸出，推动打卡推杆在卡扣上导轨、卡扣下导轨和拨绳板上的导轨共同组成的导轨内运动，并在砧块的配合下使卡扣产生弯曲，直至扣紧捆绳，完成打卡动作。然后，拨绳板和打卡推杆分别在回位弹簧和气动系统的双杆气缸作用下回到原位。

### 3 试验结果及分析

为验证气动卡扣打结器的适用性，在自制的打结器试验台上<sup>[18]</sup>，利用类草捆模型进行了3因素3水平的正交试验，找出最优方案，并求出成结率，以评判是否达到要求。

参照方草捆打捆机工作参数，确定主轴转速为90 r/min，以空压机输出气体气压、捆绳种类和卡扣尺寸作为试验材料参数（如表1所示），每组重复试验1000次，打结2000个，并记录成结数，试验结果及分析如表2所示。通过极差分析，选出最优方案为A2B1C2，即空压机输出气体气压为0.5 MPa、塑料绳和2.0 x 11.7 mm的铝质卡扣的组合，求出此方案下的成结率为99.15%，满足实用要求。

**表 1 试验参数**  
Table 1 Parameters in test

因素 Factor	水平 Level		
	1	2	3
A 气压 P/MPa	0.4	0.5	0.6
B 捆绳/种类	塑料绳	尼龙绳	麻绳
C 卡扣尺寸/mm	1.9 x 10.4	2.0 x 11.7	2.1 x 13.4

**表 2 试验结果及分析**  
Table 2 Test results and analysis

因素 Factor	1	2	3	成结个数 (个)	成结个数减去 1850
水平 Level	A	B	C		
编号 No.					
1	1	1	1	1917	67
2	1	2	2	1924	74
3	1	3	3	1862	12
4	2	1	2	1983	133
5	2	2	3	1904	54
6	2	3	1	1900	50
7	3	1	3	1922	72
8	3	2	1	1866	16
9	3	3	2	1897	47
K <sup>1</sup>	153	272	133		
K <sup>2</sup>	237	144	254		
K <sup>3</sup>	135	109	138		
k <sup>1</sup> (K <sup>1</sup> /3)	51	90.7	44.3		
k <sup>2</sup> (K <sup>2</sup> /3)	79	48	84.7		
k <sup>3</sup> (K <sup>3</sup> /3)	45	36.3	46		
极差	34	54.4	40.4		
最优方案	A2	B1	C2		

#### 4 结论

(1) 设计的气动卡扣打结器, 由夹绳割绳装置、气动装置、拨绳装置、打卡装置、卡扣输送装置等组成, 便于拆卸和检修, 且具有结构简单、可靠性强等优点, 降低了加工难度和成本。

(2) 按照国家颁布的方草捆压捆机打结器可靠性考核方法进行相应的台架试验, 成结率为 99.15%, 满足设计要求。

#### 参考文献

- [1] 杨世昆,苏正范.饲草生产机械与设备[M].北京:农业出版社,2009:259-263
- [2] 尹建军,李 双,李耀明.D型打结器及其辅助机构运动仿真与时序分析[J].农业机械学报,2011,42(6):103-107
- [3] 万其号,布 库,张志毅,等.D型打结器的结构及运动分析[J].农机化研究,2009,4:17-19
- [4] 黄 伟,张志毅,刘智强,等.D型打结器Pro/Engineer仿真及动作功能分析[J].农机化研究,2009,9:58-60
- [5] 万其号,布 库,张国瑞.方草捆捡拾压捆机打结器控制系统运动分析[J].农机化研究,2009,9:39-41
- [6] 李 双,尹建军,李耀明.D型打结器及其辅助机构的运动特性[J].机械设计与研究,2011,27(1):18-21
- [7] 李 慧,王庆杰,何 进,等.打结器驱动齿盘打结性能对比试验研究[J].农业工程学报,2012,28(7):27-33
- [8] 任德志,王春光,李晓阳,等.D型打结器驱动齿盘模态分析研究[J].农机化研究,2014,5:58-61
- [9] 李 慧,李洪文,何 进,等.方草压捆机D型打结器驱动齿盘重建与优化[J].农业工程学报,2010,26(5):96-102
- [10] Yu Hongnian. Modeling and control of hybrid systems-a five bar mechanism case[J]. Internal Journal of Automation and computing, 2006,3(3):235-243
- [11] 杨可桢,程光蕴,李仲生.机械设计基础[M].第五版.北京:高等教育出版社,2006
- [12] 中国农业机械化研究院.农业机械设计手册[M].北京:中国农业科学技术出版社,2007
- [13] 许福玲,陈尧明.液压与气压传动[M].第3版.北京:机械工业出版社,2007
- [14] 孙贵斌,李明利,孟 炜,等.卡扣式方草捆打结器的设计[J].农业机械学报,2008,39(12):210-212
- [15] 李 慧,何 进,李洪文,等.方草捆压捆机打结器空间参数研究[J].农业机械学报,2013,44(8):99-105
- [16] 苏 刚,史建新,程新平.逆向工程在方草捆打捆机打结器设计中的运用[J].农机化研究,2006,7:177-179
- [17] 苏 刚,史建新,葛 炬.基于逆向工程的方捆机打结器空间角度测量[J].农业机械学报,2008,39(6):81-83
- [18] 布 库,万其号,李 岩,等.打结器试验台的设计[J].机械设计与制造,2010,8:37-39