

# 差速式三通道鲜杏动态定向输送装置设计与试验

刘向东<sup>1,2</sup> 王学农<sup>2,3</sup> 王春耀<sup>4</sup> 刘小龙<sup>2</sup> 杨会民<sup>2,3</sup> 高连兴<sup>1</sup>

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110866; 2. 新疆农业科学院农业机械化研究所, 乌鲁木齐 830091;  
3. 农业部林果棉与设施农业装备技术科学观测实验站, 乌鲁木齐 830013; 4. 新疆大学机械工程学院, 乌鲁木齐 830046)

**摘要:** 针对杏干加工过程中鲜杏切瓣劳动强度大、效率低、质量差和卫生难以保障等问题, 在对鲜杏几何特性及空间三轴旋转转动惯量研究基础上, 提出了基于空间几何最小作用量原理的差速带式鲜杏动态定向输送原理, 确定了样机的总体结构方案; 进行了差速式鲜杏定向输送机理分析和关键工作部件的结构设计, 设计了相应的鲜杏动态定向输送装置; 以赛买提鲜杏为试验对象, 以定向带/夹持带速比、定向带上口间隙和鲜杏尺寸为试验因素, 定向准确率和切割准确率为试验指标, 进行了鲜杏动态定向输送装置的性能试验; 通过正交试验分析表明: 定向带与夹持带速比为 6.52, 定向带上口间隙为 15 mm, 鲜杏横径尺寸为 32.1~35.0 mm 时, 鲜杏在输送过程中的定向准确率为 87.4%, 切割准确率为 85.6%。

**关键词:** 鲜杏; 输送装置; 动态; 定向; 设计; 试验

**中图分类号:** S662.2; S226.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)10-0035-09

## Design and Test of Apricot Dynamic Orientation and Conveying Device with 3-path Differential Belts

Liu Xiangdong<sup>1,2</sup> Wang Xuenong<sup>2,3</sup> Wang Chunyao<sup>4</sup> Liu Xiaolong<sup>2</sup> Yang Huimin<sup>2,3</sup> Gao Lianxing<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

2. Institute of Agricultural Mechanization, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China

3. Scientific Observing and Experimental Station of Forest Fruit, Cotton Equipment and Facility Agriculture, Ministry of Agriculture, Urumqi 830013, China

4. School of Mechanical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** Apricot is a very important fruit for production and trade in Xinjiang, China. Xinjiang is the largest apricot producer in total annual production and planted area. However, the fresh apricot is very liable to become putrid and perished during storing and transporting. And the losses of apricot perished in total annual amount accounted for about 20% during transporting, marketing and storing after harvest. Thus, it is clear that fresh apricot processing, especially in the planted sites has become the most important measure and the major bottleneck for apricot industry in Xinjiang. Traditionally, fresh apricots can be processed into various special flavor apricot products, including dried apricot slices, preserved apricots, canned apricots and apricot jams, which are very favorable. One among the apricot products is the dried apricot slices, represent of the local color apricot products processed. Based on the combination theory of agricultural machinery and agronomy as well as the related basic study, this research was conducted to determine the optimal structure and design parameters of the dynamic orientation device for fresh apricots in the light of study of the physical and mechanical properties of apricot during transporting

收稿日期: 2015-12-21 修回日期: 2016-05-10

**基金项目:** “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD27B02-05-03)、国家自然科学基金项目(51165042)和新疆自治区科技计划项目(201130102-4-1-2)

**作者简介:** 刘向东(1980—),男,博士生,新疆农业科学院副研究员,主要从事农产品加工技术与装备研究,E-mail: iceast@foxmail.com

**通信作者:** 高连兴(1958—),男,教授,博士生导师,主要从事农产品收获与加工机械研究,E-mail: lianxing\_gao@126.com

and segueing, and to develop the dynamic orientation device for fresh apricot. And self-orientation mechanism was proposed based on principle of least action principle and apricot's physical properties. The differential speed conveying mechanism and interaction of friction with belt for fresh apricot were analyzed. The apricot's orientation position can be adjusted by orientation belt and clamp belt during conveyance process. Structure of apricot orientation device was schemed, including clamp belt, orientation belt, slope plate, clamp gap adjustment component, belt tension adjustment components and other auxiliary components. All those components created orientation channel. The clamp gap and belt tension can be changed by adjusting the adjustment components. Line speed of clamp belt and orientation can be controlled by adjusting the current frequency of converter. Saimaiti apricot was taken as research object. Orthogonal test was designed. The test factors were speed ratio of orientation belt to clamp belt, gap between two paralleled clamp belt and size of apricot. Test indexes included orientation rate and cutting rate. Experimental results showed that the best combination level can be as follow: speed ratio of orientation belt to clamping belt was 6.52, clamp belt gap was 15 mm, interval size of apricot short-axis diameter was 32.1 ~ 35.0 mm. The orientation accuracy rate was 87.4% and cutting accuracy was 85.6% accordingly. The results provided a reference for dynamic orientation research which based on belt conveyance for apricot.

**Key words:** fresh apricot; conveying device; dynamic; orientation; design; experiment

## 引言

杏干是主要的鲜杏加工品,其重要加工环节是鲜杏切瓣与去核,去核后的杏瓣干燥时间较带核整杏干燥时间缩短 1/3 以上,并且杏干品质好。然而,由于加工技术与设备落后,大部分还是采用整杏熏硫、摊晒的传统方法,不但耗时长、效率低且卫生条件差;少量的鲜杏切瓣去核仍由人工作业,生产效率低、人工成本高。

用机械代替人工进行鲜杏的切分与去核,首先要解决定向切分问题,即沿鲜杏自身的骑缝线定向切分,以使杏瓣完整且杏肉与杏核容易彻底分离;其次是保证切分杏肉的同时要保持杏核的完整。发达国家于 20 世纪 50 年代开始水果定向去仁(核)的研究<sup>[1-10]</sup>。国内相关学者针对果品品质检测及加工过程的需要,根据不同果品的外形特征设计了相应的定向装置,并对其稳定性进行了分析与验证<sup>[11-22]</sup>。国外的鲜杏定向切分去核技术研究取得了实质性的进展,其中,美国 Pacific Engineering Company 研制了一种五通道鲜杏去核设备,采用振动输送将鲜杏分行排列,配合 V 型布置的输送带和带有拨齿的链条速度差,实现鲜杏的定向;美国 CTI 公司针对黏核鲜杏特性,设计了一种托杯式定向、扭转式去核机械;意大利奥米帕(OMIP)公司也研制出一种五通道鲜杏自动定向切分去核机。国外的鲜杏切分去核机械结构复杂,机型庞大,造价高且实行严格的专利保护,无论经济上和规模上均难以适应我国鲜杏加工企业。本文针对新疆鲜杏生产实际需

要,设计一种基于最小作用量原理的差速带式鲜杏自动定向输送装置并进行性能试验与参数优化。

## 1 总体结构方案

本文研究的三通道差速式鲜杏动态定向输送装置总体构成如图 1 所示,将排序输送装置送来的鲜杏向前输送的同时,使鲜杏自动调整至骑缝线所在平面(骑缝面)铅垂且平行于前进方向,以便切分装置的圆盘刀对准鲜杏骑缝线切分。该装置由 3 个相同的定向通道构成,每个定向通道主要由各自的夹持带传动系统(图 2)、定向带传动系统(图 3)和辅助机构(图 1)构成,辅助机构包含鲜杏导流板、切割间隙调节装置和浮动配重块。

夹持带传动系统如图 2 所示,主要由 2 对转向相反且轴线铅垂的夹持带主动和从动辊、4 对分布于夹持带两侧的惰轮、7 对具有弹力的夹持间隙调整机构、1 个防跳板、1 个鲜杏辅位机构构成,1 对铅垂断面呈“八字”形夹角的夹持带,在定向输送段等速、同方向运动以实现等速夹持;通过调节机构可调节夹持间隙和夹持带之间铅垂断面的夹角。

与夹持带传动系统配合工作的定向带传动系统如图 3 所示,主要由 1 对定向带且轴线水平的主动与从动胶带轮、胶带惰轮、张紧轮、导向轨等构成。导向轨上加工有滑槽,使 1 对定向带在滑槽中滑行,既起到定向作用又起到支撑作用。鲜杏在定向输送终了阶段,在鲜杏辅位机构作用下进入切分区进行切分。定向带的动力由套在圆盘刀轴上的主动胶带轮驱动,同时完成定向带和圆盘刀的驱动。

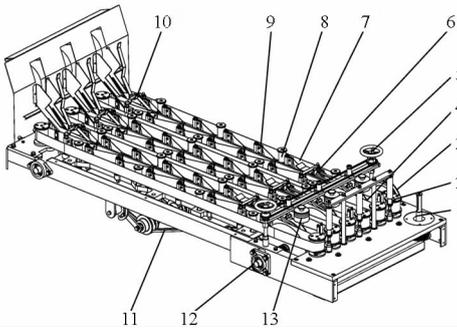


图 1 差速带式动态定向输送装置总体结构图

Fig. 1 Structure of orientation device based on differential speed during transportation

1. 夹持带主动轴 2. 夹持带主动辊 3. 定向带主动轮 4. 圆盘切刀 5. 切割间隙调整装置 6. 鲜杏辅位机构 7. 夹持带 8. 夹持带惰轮 9. 夹持带间隙调整机构 10. 鲜杏防跳杆 11. 定向带 12. 定向带主轴 13. 浮动配重块

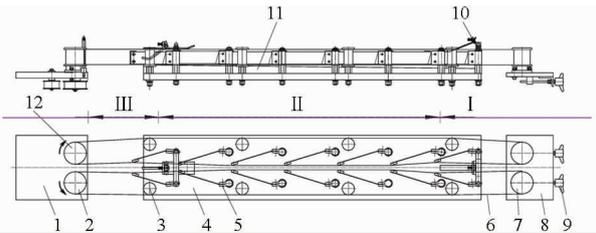


图 2 夹持带传动系统构成简图

Fig. 2 Schematic of clamp belt transportation system

- 1, 8. 夹持带主、从动辊座 2. 夹持带主动辊 3. 夹持带惰轮 4. 定向带间隙调整座板 5. 夹持带间隙调整机构 6. 夹持带 7. 夹持带被动辊 9. 张紧机构 10. 防跳板 11. 定向带导向轨 12. 同步带轮主动辊 I. 鲜杏入口调整区 II. 鲜杏动态定向区 III. 鲜杏切分区

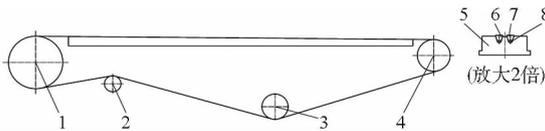


图 3 定向带传动系统构成简图

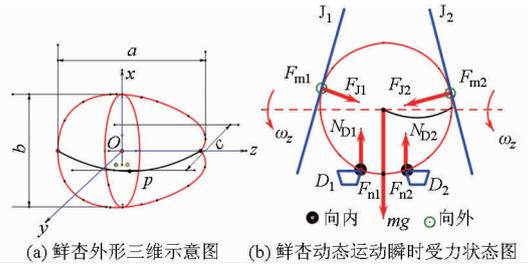
Fig. 3 Schematic of orientation belt transportation system

1. 主动双槽胶带轮 2. 胶带惰轮 3. 张紧轮 4. 从动双槽胶带轮 5. 定向带导向轨 6, 7. 定向带 8. 导轨滑槽

## 2 差速式鲜杏动态定向输送原理

差速式鲜杏动态定向输送装置原理是利用鲜杏自身三轴尺寸差异大且沿沟缝面对称特点(图 4a), 当其做一定的刚体运动时即符合“空间几何最小作用量原理”, 运动过程中受到“最小空间”的约束会不断地自动调整姿态。为方便分析鲜杏差速带定向输送原理, 截取通过鲜杏几何中心并与输送方向铅垂的断面, 以鲜杏为分离体, 进行受力分析(图 4b)。定向输送时, 除鲜杏重力  $mg$  外, 构成定向通道的“八字”形对置夹持带  $J_1$ 、 $J_2$  对鲜杏的作用力分别为正压力  $F_{J1}$ 、 $F_{J2}$  和摩擦力  $F_{m1}$ 、 $F_{m2}$ , 位于导向轨滑槽

且水平的定向带  $D_1$ 、 $D_2$  对鲜杏的作用力分别为正压力  $N_{D1}$ 、 $N_{D2}$  和摩擦力  $F_{n1}$ 、 $F_{n2}$ 。重力和所有正压力均作用在断面内, 而摩擦力均沿输送方向。



(a) 鲜杏外形三维示意图 (b) 鲜杏动态运动瞬时受力状态图

图 4 鲜杏三轴旋转示意图

Fig. 4 Schematics of three axes rotation for apricot

定向带与夹持带同向运动且速度比为  $\lambda$ , 当鲜杏运动到动态定向区与切分区(图 2)内, 夹持带始终对鲜杏表面保持一定夹持压力。当定向带与夹持带线速度相等即  $\lambda = 1$  时, 鲜杏与夹持带和定向带未发生相对运动, 其静摩擦力对其体心的合力矩为零, 因而不产生自转运动; 当夹持带速度大于定向带速度即  $\lambda < 1$  时, 夹持带和定向带对鲜杏的摩擦力  $F_{m1}$ 、 $F_{m2}$  和  $F_{n1}$ 、 $F_{n2}$  分别指向输送方向和相反方向, 从而形成了力矩, 使鲜杏水平运动的同时还做向前滚动; 相反, 若夹持带速度小于定向带速度即  $\lambda > 1$  时, 鲜杏向后滚动。鲜杏能否滚动以及是否纯滚动, 主要取决于夹持带和定向带对鲜杏的摩擦力、二者对鲜杏体心的力矩和对鲜杏的转动阻力矩等。由于夹持带和定向带构成的特殊定向通道断面形状及其鲜杏型特征的匹配性、夹持带对称向下倾斜的夹持力约束以及鲜杏自身重力的综合作用, 基于空间几何最小作用量原理, 鲜杏在以定向带为瞬时轴滚动过程中不断自动调整姿态, 以适应定向通道的断面形状即骑缝面铅垂并平行于前进方向并不断保持该姿态。其定向过程如图 5 所示。

根据鲜杏差速带定向输送原理分析发现, 影响鲜杏自动调整姿态的主要因素有: 定向带与夹持带构成的通道断面形状、二者的线速度比  $\lambda$ 、夹持带之间的宽度、定向带与夹持带分别对鲜杏的摩擦因数, 夹持带对鲜杏的夹持作用力。

## 3 关键部件结构与参数设计

当鲜杏从单体排序输送装置的导料板开始进入定向通道时, 两夹持带的断面夹角呈“倒八字”, 以便鲜杏顺利落入定向通道; 为防止鲜杏进入定向通道瞬间因两夹持带对其无垂直方向约束而跳出, 在定向通道喂入口处的夹持带上方设有弹性防跳板; 进入定向通道的鲜杏在同向运动的夹持带和定向带作用下向前输送的同时, 由于夹持带  $J_1$ 、 $J_2$  运动速度

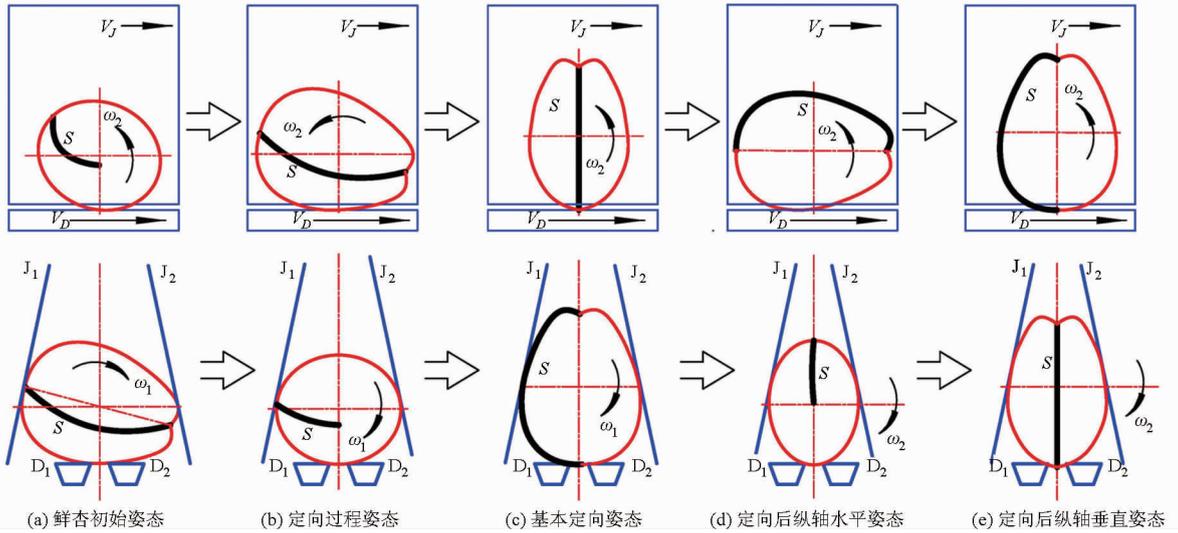


图5 鲜杏在定向通道中的定向过程示意图

Fig. 5 Schematics of orientating situation of apricot in orientation channel

低于底部的定向带  $D_1$ 、 $D_2$  运动速度,而且夹持带  $J_1$ 、 $J_2$  与鲜杏摩擦因数远小于定向带  $D_1$ 、 $D_2$  与鲜杏的摩擦因数,从而为鲜杏提供了非对称力矩的转动力和支撑滚动;“八字”形对置的夹持带产生了对鲜杏的正压力  $F_{J1}$ 、 $F_{J2}$  和下压的分力,一方面增大了定向带与鲜杏的摩擦力  $F_{n1}$ 、 $F_{n2}$ ,使鲜杏的旋转动力增强,同时约束鲜杏在旋转滚动过程中不能跳出定向通道,也为鲜杏自转提供了虚旋转轴支撑点。鲜杏在定向通道中由初始无序状态至定向完成后的运动状态如图5所示,其中图5a、图5b和图5c分别表示鲜杏在定向通道中初始运动、定向过程不稳定和基本完成定向的姿态;图5d和图5e分别表示经过姿态调整后,鲜杏处于稳定定向状态时纵轴水平和垂直时的瞬间姿态,完成定向的鲜杏在随夹持带、定向带向前输送的同时,仍绕骑缝线所在平面垂直轴线滚动旋转。

### 3.1 定向夹持输送通道断面结构

基于鲜杏外形尺寸(图4a、表1)及定向姿态参数控制的定向输送通道断面结构(图4b)确定主要参数(图6):夹持带的断面“八字”形夹角角度  $\theta$ 、形成的断面上口宽度  $L_1$ 、下口宽度  $L_2$ 、夹持带宽  $L_5$ 、定向带之间的距离  $L_3$ 、定向带宽度  $L_4$ 。

表1 主栽杏品种外形三维尺寸测量结果

Tab.1 3D size of dominant apricot variety

品种	杏外形三维尺寸			测定结果	
	长径	横径	骑径	球形度	骑径/横径
	$a/\text{mm}$	$b/\text{mm}$	$c/\text{mm}$	均值	均值 $c/b$
黄赛买提	32.1~51.4	25.7~35.2	26.1~46.6	0.944	1.10
红赛买提	36.4~3.6	26.9~36.1	27.9~45.7	0.947	1.09
胡安娜	29.7~42.8	23.3~34.4	24.5~40.1	0.951	1.07
黑叶杏	26.2~39.7	21.3~30.4	25.8~38.9	0.982	1.05

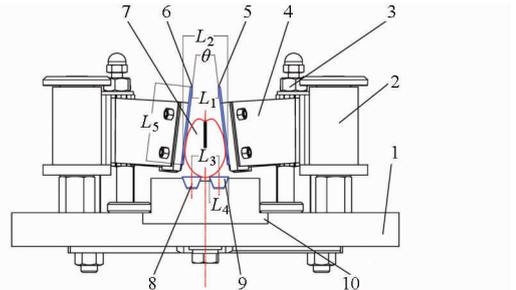


图6 输送通道断面图

Fig. 6 Section of transport channel

1. 定向带间隙调整座板
2. 夹持带惰轮
3. 夹持间隙调整紧固螺母
4. 夹持板簧
- 5、6. 夹持带
7. 鲜杏
- 8、9. 定向带
10. 定向带导向轨

### 3.2 夹持带输送通道断面结构参数及传动系统

夹持带传动系统(图2)是鲜杏自动定向输送装置的核心部件之一,作为鲜杏定性通道重要构成部分之一,其在水平和铅垂2个方向约束鲜杏稳定在定向通道中的同时,也为鲜杏的空间瞬时转轴提供了支撑面。若夹持带之间的夹持间隙与鲜杏横径尺寸不匹配时,过大的鲜杏因夹持带夹持力增大而导致摩擦阻力大于定向带的摩擦力,鲜杏在定向通道中无法做动态滚动与自转运动;鲜杏过小,则鲜杏的瞬时转动轴长度小于支撑面能够提供的支撑点距离,鲜杏动态滚动状态不平稳,会导致定向失败。因而,夹持带夹持间隙、线速度及其铅垂断面倾角在一定程度上决定着鲜杏能否定向准确,直接影响着后续的切分去核作业效果。基于鲜杏外形尺寸的差异,采用柔性的夹持带和夹持间隙弹性调整装置,使一定尺寸范围内的鲜杏均可实现准确定向。

根据鲜杏在位于不同定向通道区段的运动姿态需要,两夹持带断面“八字”形夹角不同(图5),为

使一定尺寸范围内的鲜杏在定向通道中均保持合理的夹持和约束作用,夹持带两外侧采用一定刚度的板簧贴与其紧接触,夹持带材料采用 3 mm 厚、60 mm 宽的 PVC 带(图 7c),与夹持带辊接触面为毛面,与鲜杏接触面为光面。根据鲜杏横径差异范围和夹持力变化范围综合考虑,确定板簧与夹持带前进方向夹角为  $17^\circ$ ,同时为了防止鲜杏从夹持带与定向带之间挤出,确定夹持带下边缘与定向带上表面的距离为 10 mm,夹持带宽度按可加工鲜杏最大长轴的 1.5 倍选取,取整为 60 mm。在鲜杏入口调整区 I 和鲜杏切分区 III,由于安装了卸料版与切割间隙调整机构,同时因靠近夹持带辊(图 2 中部件 7 和部件 12),夹持带在带辊作用力下呈自然拉伸状态,其等效挠度较小,在夹持簧片的弹簧作用力下,变形较小,使得 2 根夹持带为近似平行状态,夹角  $\theta$  近似为  $0^\circ$ ,夹持带通道断面上口宽度  $L_1$  与下口宽度  $L_2$  近似相等,根据鲜杏可加工长径最大长轴尺寸为 40 mm,确定夹持带上下口宽度  $L_1 = L_2 = 45$  mm,此时由于没有铅垂方向约束的鲜杏在定向带作用力下容易跳出通道,为避免此种情况,分别在 I 区与 II 区设有防跳机构和鲜杏辅位机构;在鲜杏动态定向区 II,相对两端带辊中心距离变大,其等效挠度逐渐变大,在夹持板簧的弹性压紧作用力下,2 根夹持带紧贴板簧端线,夹持带在板簧压紧作用下断面通道横截面呈“八字”形夹角,其角度为  $14^\circ$ ,根据可加工的鲜杏横径最小尺寸为 25 mm,则夹持带断面取上口宽度  $L_1 = 12$  mm,下口宽度  $L_2 = 25.5$  mm。因此,夹持带“八字形”角度  $\theta$  变化区间为  $0^\circ \sim 14^\circ$ ,其上口  $L_1$  的变化区间为 12 ~ 45 mm,下口  $L_2$  的变化区间为 25.5 ~ 45 mm。

根据王春耀等针对定向机构中的夹持带的弹簧夹持片在定向过程中的夹持力研究<sup>[22]</sup>可知,弹簧夹持片的夹持力变化区间为 1.6 ~ 70 N,为了便于计算分析,假设鲜杏外形为规则对称,夹持带对于鲜杏的摩擦因数测定及计算如表 2 所示,可通过夹持带两外侧的夹持间隙调整机构进行调整,以保证鲜杏顺利喂入定向通道,同时可根据鲜杏外形尺寸改变定向通道空间和夹持效果。

表 2 夹持带与定向带相对鲜杏的摩擦因数及摩擦力

Tab. 2 Friction coefficient and force between belt and fresh apricot

项目	夹持带(光面)	定向带(光面)	定向带(网格纹)
	对鲜杏滑动	对鲜杏滑动	面对鲜杏滑动
无水状态摩擦因数	0.298	0.304	0.614
有水状态摩擦因数	0.274	0.283	0.602
摩擦力有水状态/N	0.438 ~ 19.18	0.07 ~ 4.54	0.702 ~ 20.625

参照黄春阳等<sup>[22]</sup>鲜杏空间定向有效距离观察测定结果,确定鲜杏定向输送最小有效距离为 1.16 m;鲜杏进入定向通道调整区为 0.16 m,鲜杏进入切分区为 0.64 m,则定向通道的总长定为 1.96 m;为减少相邻鲜杏干扰,保证鲜杏定向可靠,要求进入定向通道中的鲜杏之间保持一定间隔,参照梁勤安等<sup>[16]</sup>对鲜杏有效距离的试验结果,确定定向通道内相邻鲜杏之间的距离控制范围为 147 ~ 205 mm;结合定向输送之前的单体排序输送装置性能参数,综合选取夹持带线速度大于 0.22 m/s。

### 3.3 定向带输送通道断面结构参数及传动系统

定向带传动系统(图 3)是鲜杏自动定向输送装置的另一核心部件。作为鲜杏定向通道重要构成部分之一,其主要为鲜杏在定向通道内的空间瞬时转动定向提供摩擦转动动力,使鲜杏在输送过程中调整姿态,以便在切分区骑缝线对准圆盘刀进行定向切分。因此,定向带不仅要与鲜杏表面应具有较大的摩擦因数(表 2),而且应具有较好的水平、支撑刚度,以便鲜杏在定向通道中稳定运动。采用定向带材料为聚氨酯 A 型带(图 7a,7b),其与滑槽、主动从动双槽胶带轮接触表面为光面,与鲜杏接触面为粗糙的网纹结构(其对鲜杏摩擦因数及摩擦力如表 2 所示),以增加对鲜杏的摩擦作用;定向通道下部设有定向带导向轨,通过导向轨滑槽对定向带起到导向和支撑作用,使其表面水平且具有一定的支撑刚度,避免鲜杏进入定向通道后受惯性和振动作用而影响姿态调整。

为保证定向输送终了的鲜杏能准确沿骑缝面切分,两定向带的间隙应尽可能小;同时考虑到切分鲜杏时圆盘刀会深入定向带之间一定距离,圆盘刀两侧加装的压盘直径不可过大,过大则鲜杏容易偏摆,圆盘刀无法准确地完成沿骑缝线切割,故压盘间距定为 40 mm,略大于鲜杏最大横径尺寸即可,2 根定向带在通道关于轴线对称,其对鲜杏施力均衡,则定向带间距定为 20 mm,边缘间隙定位 3.2 mm。为了保证定向带与夹持带产生速度差,由此产生一定的定向摩擦动力,定向带线速度需远大于夹持带线速度,使其定向带作用于鲜杏的力主要是滑动摩擦力,试验时取大于 2 倍的夹持带线速度即可。定向带导向轨长度需大于定向通道有效定向区间的长度,外加鲜杏 I 鲜杏入口调整区与 III 鲜杏切分区的长度,取值 1 230 mm 即可。

## 4 鲜杏定向输送装置性能试验

### 4.1 试验样机及主要参数

本文设计的差速带式三通道鲜杏动态定向输送

装置及鲜杏自动定向切分去核机整机如图8所示, 其主要技术参数见表3。

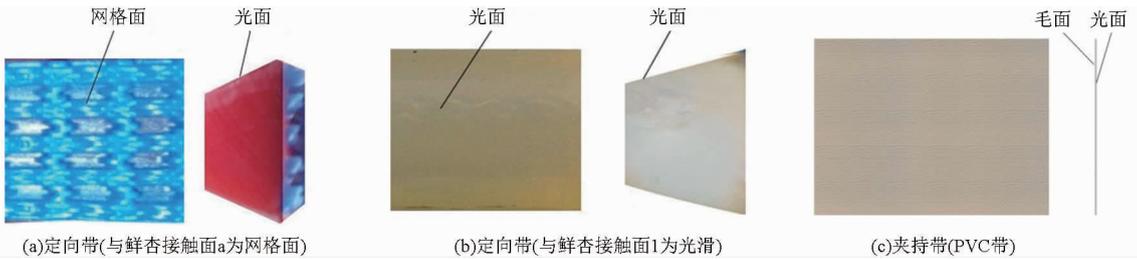


图7 定向带与夹持带

Fig.7 Orientation belt and clamp belt

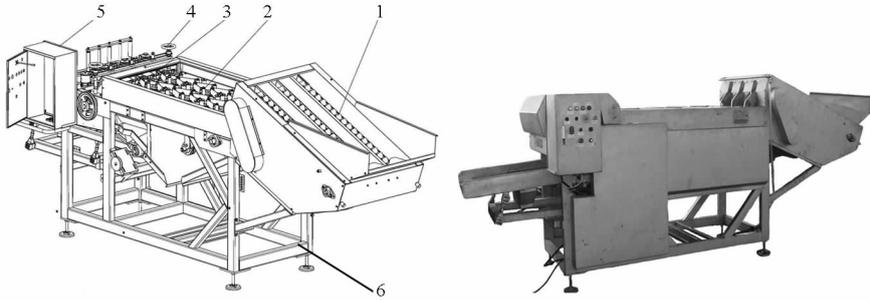


图8 鲜杏自动定向切分去核机结构简图与物理样机

Fig.8 Schematic and prototype of apricot orientation and cutting machine

1. 排序输送机构 2. 定向输送机构 3. 鲜杏切分机构 4. 振动分离装置 5. 电控系统 6. 机架

表3 差速带式动态定向装置主要参数

Tab.3 Parameters of dynamic orientation device

参数	长×宽×高/ (mm×mm×mm)	夹持间隙调整 机构/个	通道数×长度/ (个×mm)	夹持带夹角/ (°)	导向轨倾角/ (°)	夹持带上端间隙/ mm
数值	2 200×310×200	7	3×1 960	14	0.5	5~20

## 4.2 试验材料与仪器设备

试验在新疆农业科学院农业机械化研究所林果棉装备工程中心进行, 试验材料为黄赛买提杏和红赛买提杏, 来自新疆英吉沙县杏树资源圃, 成熟度中等, 横径 27~37 mm, 试验前人工测量并分级标号, 选出过熟果和虫蛀等异形果; 每次试验取各品种 100 个, 试验重复 3 次, 将试验结果取平均值。试验设备为自行研制的鲜杏自动定向切分去核机(定向带输送系统、夹持带输送系统各带一变频器, 以控制其各自的线速度)、Phantom 公司的 V3 高速摄像机、SFY60 型红外线快速水分测定仪、DT2236 型数显转数表、双杰牌电子秤、游标卡尺等。

## 4.3 试验因素与方案设计

以鲜杏定向准确率(图像观察)与切割准确率(切割后观察)为试验指标考察样机的定向性能。定向准确率的判定主要依靠高速摄像机观察(图9), 将鲜杏骑缝线用黑色墨笔线标记, 与骑缝线所在平面呈 90°的表面用红墨笔线标记, 并标明数字序号。如图2所示鲜杏动态定向区 II, 人为观察判定鲜杏定向是否成功, 判定规则为如果黑色墨笔线持续滚

动偏摆幅度较小且始终可见黑色墨线, 则判定为定向成功, 如果黑线偏摆剧烈, 且红线与黑线交替出现, 则判定定向失败, 累计计数统计定向准确率。切割准确率的判定主要依靠鲜杏通过图2所示 III 鲜杏切分区后, 观察鲜杏是否沿骑缝线切开, 如果沿骑缝线切开或者平行偏离骑缝线尺寸小于 2 mm 切开(图10), 则判定切割准确, 反之则判定切割不准确, 统计并计数。



图9 鲜杏定向动态观察

Fig.9 Dynamic observation of fresh apricot orientation based on high speed imaging technology

通过试验观察并综合分析, 确定定向带夹持带线速度比、夹持带上口间隙、鲜杏横径尺寸为试验因素<sup>[23]</sup>(表4)。通过观察切割后鲜杏切口痕迹并借



图 10 鲜杏切割后

Fig. 10 Apricot cutting after orientation

助高速摄像机分析定向切分质量;用变频器输出频率比值换算为线速度比,调节间隙调整机构的压紧力来调节其上口宽度,鲜杏横径尺寸按照区间分为 3 个等级。每次定向试验完毕后,用清水冲洗清理定向通道。采用正交试验方法,选取  $L_9(3^4)$  正交表来安排各次试验。夹持带最低线速度设定为 0.49 m/s,对应的变频器输出电流频率为 35 Hz,调整定向带的控制变频器输出电流频率,计算出对应的速比。

表 4 试验因素与水平

Tab.4 Factors and levels of test

水平	试验因素		
	速度比	夹持间隙/	鲜杏尺寸/
		mm	mm
1	3.76(定向带变频器 20 Hz)	13	28.0 ~ 30.0
2	6.52(定向带变频器 35 Hz)	15	30.1 ~ 32.0
3	9.41(定向带变频器 50 Hz)	17	32.1 ~ 35.0

#### 4.4 试验结果与分析

从试验结果(表 5,表中 A、B、C 为因素编码值)可知,各因素水平下的定向准确率为 71.4% ~ 87.8%;极差分析表明,影响定向准确率的主次顺序为速度比 A、鲜杏尺寸 C 和夹持间隙 B,其中 A 因素中最大值为  $k_2 = 85.07$ ,B 因素中最大值  $k_2 = 83.13$ ,C 因素中最大值  $k_2 = 85.07$ ,各因素分析得优水平分别为  $A_2$ 、 $B_2$ 、 $C_2$ ,故最优水平组合为  $A_2B_2C_2$ ,该组合在正交试验表中无对应项;同理得到切割准确率的主次顺序为 A、C、B,即速度比、鲜杏尺寸、夹持间隙,分析得最优组合为  $A_2B_2C_3$ ,该组合在正交试验表中有对应项,将 2 个最优组合再次进行对比试验,最优组合  $A_2B_2C_2$  下的定向准确率为 82.4%,切割准确率为 81.1%,最优组合  $A_2B_2C_3$  下的定向准确率为 87.4%,切割准确率为 85.6%。

表 5 试验方案与结果

Tab.5 Scheme and result of test

试验序号	速度比 A	夹持间隙 B	鲜杏尺寸 C	空列	定向准确率/%	切割准确率/%	
1	1	1	1	1	73.2	66.7	
2	1	2	2	2	74.3	69.2	
3	1	3	3	3	71.4	68.4	
4	2	1	2	3	81.2	82.6	
5	2	2	3	1	86.7	88.2	
6	2	3	1	2	87.3	87.2	
7	3	1	3	2	80.2	82.7	
8	3	2	1	1	87.8	84.2	
9	3	3	2	3	86.1	76.4	
定向准确率			$K_1$		218.90	234.60	248.30
			$K_2$		255.20	249.40	255.20
			$K_3$		254.10	244.20	238.30
			$k_1$		72.97	78.20	82.77
			$k_2$		85.07	83.13	85.07
			$k_3$		84.70	81.40	79.43
			极差		12.10	4.93	5.63
			优方案		$A_2$	$B_2$	$C_2$
切割准确率			$K_1$		204.30	232.00	238.10
			$K_2$		258.00	240.60	228.20
			$K_3$		243.30	233.00	239.30
			$k_1$		68.10	77.33	79.37
			$k_2$		86.00	80.20	76.07
			$k_3$		81.10	77.67	79.77
			极差		17.90	2.87	3.70
			优方案		$A_2$	$B_2$	$C_3$

分析各试验因素对鲜杏定向准确率和切割准确率的影响趋势(图 11)发现:定向准确率变化与切割准确率变化基本一致,说明前者是后者的决定因素;速度比从 3.76 增至 9.41 时,定向准确率与切割准确率呈上升趋势,当速度比在 6.52 时,定向准确率与切割准确率出现最大值,当速度比从 6.52 增至 9.41 时,切割准确率呈下降趋势;夹持间隙从 13 mm 增至 17 mm 时,定向准确率与切割准确率呈先升后降的趋势,但变化趋势不明显;鲜杏横径尺寸逐渐变大时,定向准确率与切割准确率呈先降后升趋势,但总体来说变化趋势不明显。

查表得出:  $F_{0.05}(2,2) = 19$ ,  $F_{0.1}(2,2) = 9$ ,从 F 值和临界值的比较看出,由表 6、7 可得因素 A 对鲜杏的定向准确率和切割准确率存在显著影响,因素

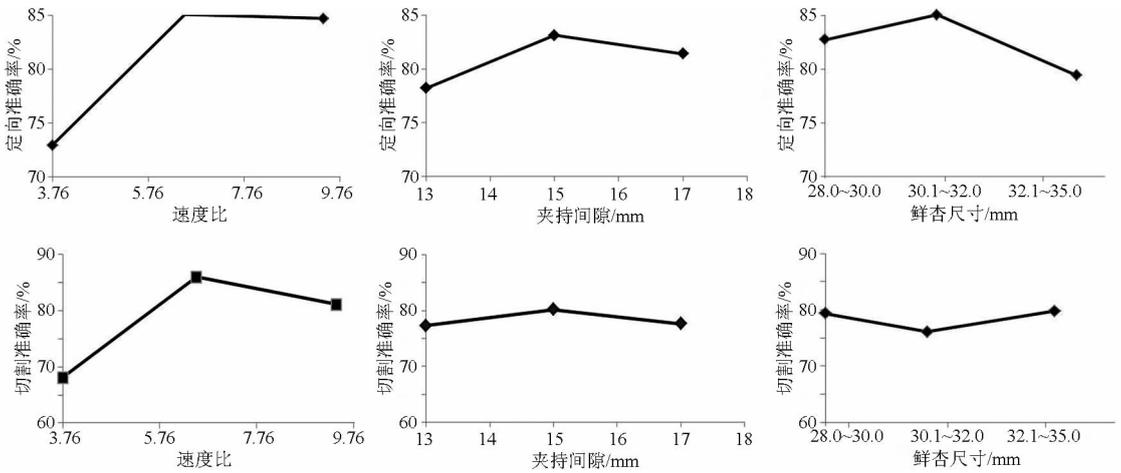


图 11 鲜杏定向合格率与切割准确率变化趋势

Fig. 11 Change trend charts of orientation rate and cutting rate of apricot

表 6 鲜杏定向准确率方差分析

Tab. 6 Variance analysis of fresh apricot orientation rate

方差来源	离差平方和 $S$	自由度 $f$	均方 $S/f$	$F$ 值	显著性
A	284.216	2	142.108	36.990	*
B	33.721	2	16.860	4.389	
C	13.448	2	6.724	1.750	
误差 E	7.684	2	3.842		
总和 T	342.929	8			

表 7 鲜杏切割准确率方差分析

Tab. 7 Variance analysis of fresh apricot cutting rate

方差来源	离差平方和 $S$	自由度 $f$	均方 $S/f$	$F$ 值	显著性
A	513.420	2	256.710	118.518	*
B	26.288	2	13.144	6.068	
C	36.281	2	18.141	8.375	
误差 E	4.332	2	2.166		
总和 T	568.780	8			

从大到小的顺序为  $A_2B_2C_2$ , 结合极差分析法得最优方案为  $A_2B_2C_3$ 。

## 5 结论

(1) 在对鲜杏的外形特征、空间三轴旋转转动惯量和表面摩擦特性研究基础上, 基于最小作用量原理, 提出了鲜杏在差速摩擦力作用下的空间动态自定向原理, 进行了鲜杏在定向通道内的差速定向机理分析。

(2) 设计了差速带式三通道鲜杏动态定向输送装置, 该装置中夹持带为鲜杏的空间自转提供瞬时支撑点, 定向带为鲜杏的空间自转调整提供摩擦动力, 较好地实现了鲜杏在动态输料过程的同时, 骑缝线与刀盘平面的对齐定位。

(3) 以鲜杏定向准确率和切割准确率为试验指标, 以定向带和夹持带线速度比、夹持带上口间隙、鲜杏横径尺寸为试验因素, 对差速带式三通道鲜杏动态定向输送装置进行试验, 结果表明, 定向装置的差速比为 6.52、夹持带上口间隙为 15 mm、鲜杏横径尺寸在 32.1 ~ 35.0 mm 时, 定向装置的定向准确率与切割准确率综合指标最优, 定向准确率为 87.4%, 切割准确率为 85.6%。

## 参考文献

- 1 REHKUGLER G E, THROOP J A. Apple sorting with machine vision[J]. Transactions of the ASAE, 1985, 29(5): 1388 - 1395.
- 2 THROOP J A, ANESHANSLEY D J, ANGER W C, et al. Quality evaluation of apples based on surface defects: development of an automated inspection system[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 36(3): 281 - 290.
- 3 WHITELOCK D P, BRUSEWITZ G H, STONE M L. Apple shape and rolling orientation[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2005, 22(1): 87 - 94.
- 4 NARAYANAN P, LEFCOURT A M, TASCH U, et al. Theoretical aspects of orienting fruit using stability properties during rotation[C]//2006 ASABE Annual Meeting, ASABE Paper 061144, 2006.
- 5 NARAYANAN P, LEFCOURT A M. Tests of the ability to orient apples using their inertial properties[C]//2007 ASABE Annual Meeting, ASABE Paper 076246, 2007.
- 6 LEFCOURT A M, NARAYANAN P, TASCH U, et al. Algorithms for parameterization of dynamics of inertia-based apple orientation[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2008, 24(1): 123 - 129.
- 7 LEFCOURT A M, NARAYANAN P, TASCH U, et al. Orienting apples for imaging using their inertial properties and random

- apple loading[J]. *Biosystems Engineering*, 2009,104(1): 64-71.
- 8 NARAYANAN P, LEFCOURT A M, TASCH U, et al. Theoretical analysis of stability of axially-symmetric rotating objects with regard to orienting apples[J]. *Transactions of the ASABE*, 2008,51(4): 1353-1364.
- 9 MOTABAR P, LEFCOURT A M, TASCH U, et al. Use of inertial properties to orient tomatos[J]. *Transactions of the ASABE*, 2011,54(2): 517-525.
- 10 BIAGIO C. Apparatus for positioning multiple-lane fruit, especially peaches:US,8973732[P]. 2015-03-10.
- 11 周钦红,张东兴. 苹果分选机输送定位机构的设计[J]. *中国农业大学学报*, 2005,10(5):36-39.  
ZHOU QinHong, ZHANG Dongxing. Study on conveying and orientating section of an apple sorter[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2005,10(5):36-39. (in Chinese)
- 12 徐惠荣,应义斌,盖玲. 双锥式滚子水果输送翻转机构的研究[J]. *农业机械学报*, 2003,34(6):100-103,111.  
XU Huirong, YIN Yibin, GAI Ling. Research on fruit feeding and rolling installation with biconerollers[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2003,34(6):100-103,111. (in Chinese)
- 13 王春耀,梁勤安,闵磊,等. 水果输送过程中定向机理的分析与试验[J]. *农业工程学报*, 2012,28(20):95-98.  
WANG Chunyao, LIANG Qin'an, MIN Lei, et al. Analysis and test for orientation mechanism in fruit transportation[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012,28(20):95-98. (in Chinese)
- 14 王跃东,王春耀,梁勤安,等. 基于高速摄像水果定向理论及试验[J]. *新疆农业科学*, 2013,50(8):1501-1506.  
WANG Yuedong, WANG Chunyao, LIANG Qin'an, et al. The theory of fruits orientation based on high-speed camera and it's test [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2013,50(8):1501-1506. (in Chinese)
- 15 黄春阳,王春耀,张红梅,等. 四元数在杏果定向输送过程中的应用与研究[J]. *农机化研究*, 2015(4):32-35.  
HUANG Chunyang, WANG Chunyao, ZHANG Hongmei, et al. Application and research apricots of directional transport process using quaternion[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2015(4):32-35. (in Chinese)
- 16 梁勤安,刘向东,张杰,等. 杏果自动定向工作部件设计与试验[J]. *现代食品科技*, 2011,27(3):283-286.  
LIANG Qin'an, LIU Xiangdong, ZHANG Jie, et al. Design and experiment of an automatic orientation component for apricot[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2011, 27(3):283-286. (in Chinese)
- 17 李长友,马兴灶,程红胜,等. 荔枝定向去核剥壳机设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2014,45(8):93-100.  
LI Changyou, MA Xingzao, CHENG Hongsheng, et al. Design and experiment of litchi denucleating and decorticating machine [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014,45(8):93-100. (in Chinese)
- 18 王春耀,梁勤安,蒋维栋,等. 单轴对称水果输送过程定向机理的试验研究[J]. *新疆大学学报:自然科学版*, 2012,29(4):395-398.  
WANG Chunyao, LIANG Qin'an, JIANG Weidong, et al. Test study of the orientation mechanism about the mono-symmetrical fruit conveying process[J]. *Journal of Xinjiang University:Natural Science Edition*, 2012,29(4): 395-398. (in Chinese)
- 19 梁勤安,杨军,冯斌,等. 一种水果自动定向切分去核装置:中国,ZL200710004169.4[P]. 2008-07-09.
- 20 梁勤安,杨军,刘小龙,等. 制干番茄自动定向切分机:中国,ZL200810072994.2[P]. 2010-06-06.
- 21 梁勤安,王春耀,刘向东,等. 单通道水果定向去核机:中国,ZL201210355967.2[P]. 2015-03-11.
- 22 丁湘燕,王春耀,罗建清,等. KMT 动应变测量系统在水果定向中的应用[J]. *农机化研究*, 2015(6):146-150.  
DING Xiangyan, WANG Chunyao, LUO Jianqing, et al. KMT dynamic strain measurement system application in fruit orientation [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2015(6):146-150. (in Chinese)
- 23 陈魁. 试验设计与分析[M]. 北京:清华大学出版社,2005.