

# 苹果分级机输送与翻转机构设计

李晶 张东兴 刘宝

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

**【摘要】** 阐述了苹果定位和翻转的实现方法与原理。设计了一种苹果专用输送机构, 该机构在输送苹果的过程中完成苹果的定位, 并实现不同直径苹果以近似相同的角速度均匀翻转, 以便苹果分级机进行图像采集和处理。实验表明, 该机构能够完成苹果的定位和翻转, 图像采集结果能够满足分级要求。

**关键词:** 苹果 分级 输送翻转机构 定位 图像采集

**中图分类号:** S226.5

**文献标识码:** A

## Design of Conveyor and Turnover Mechanism of Apple Grader

Li Jing Zhang Dongxing Liu Bao

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

### Abstract

The method and principle of apple orientation and turnover were described. An apple conveyor and turnover mechanism were specially designed to accomplish the orientation of different diameter apples and turn them over by the approximately same angular speed in order to collect and process the images of apples for apple grading in next step. Experiment results indicate that the mechanism could accomplish apple orientation and turnover, image collection results can meet grading requirement.

**Key words** Apple, Grading, Conveyor and turnover mechanism, Orientation, Image collection

## 引言

目前, 国内外针对苹果外部质量的智能分级检测设备很多, 其输送翻转机构多为类圆形水果通用的双锥式滚子链结构<sup>[1~4]</sup>, 通过链的牵引和滚子的自转完成苹果前移和翻转, 从而为实现苹果外表面图像信息的实时采集提供条件。有学者对输送翻转机构的滚子外形和间距等进行优化处理, 能够实现不同直径的苹果滚动角速度基本一致, 以满足后续的图像采集需求<sup>[5]</sup>。但苹果在落入输送翻转机构上时并不能保证其果梗和果萼所成的轴与滚子轴线平行, 由于苹果果梗和果萼的存在, 会导致苹果翻转速度的不稳定, 造成获取的表面信息不准确, 出现图像信息重漏的现象; 并且当果梗或果萼落入摄像区时会增加计算机识别处理的难度, 从而影响系统的分级时间和质量。而将苹果定位后再进行输送和图像信息的采集可以避免以上问题<sup>[6~7]</sup>, 本文提出一种专门应用于苹果分级检测的输送翻转机构, 在输送的过程中完成苹果的定位和不同直径苹果的匀速翻转, 确保图像信息采集的全面准确。

## 1 苹果分级机整体结构和工作过程

对于基于计算机视觉的苹果自动分级系统来说, 苹果理想翻转运动为不同直径苹果沿果梗和果萼所构成的果轴以同一角速度匀速转动。而一般情况下, 喂入输送带的苹果姿态不能得到保证, 也就无法准确找到果轴的位置, 因此考虑通过苹果定位, 使不同姿态的苹果实现姿态统一。

苹果分级系统输送与翻转机构的结构示意图如图1所示。整个机构由环形传送链传动, 分体式果盘以一定间隔排列在链上。整个机构按功能可分为苹果喂入区A、定位区B、摄像区C和卸果区D。落入果盘的苹果在传动链的带动下进入定位区, 在定位区由于机构的作用, 使苹果在外力的作用下产生

运动,进而得到果梗、果萼垂直于水平面的苹果姿态并使其保持不变,完成苹果定位。定位后的苹果在传送链的带动下向前运动到摄像区,在机构的作用下苹果产生近似于绕自身果轴翻转的动作,从而由摄像机获取苹果的侧表面图像信息。这些信息传递给PC机进行信息处理,由卸果器按处理结果将苹果卸至对应的苹果收集栏内。

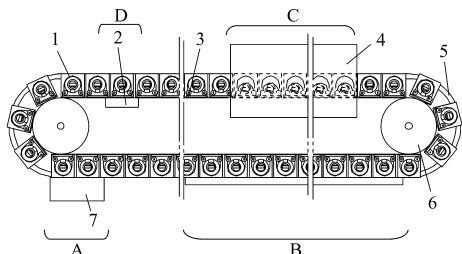


图1 苹果输送与翻转机构结构示意图

Fig. 1 Image of machine structure which is used to transport and turn over apples

- 1. 果盘 2. 卸果器 3. 传送链 4. 摄像室 5. 轨道
- 6. 旋转链轮 7. 喂果器

## 2 果盘的结构与功能

机构中果盘除完成托运水果的功能外,还要实现苹果的定位和翻转。因而根据 Throop 等采用的果盘结构<sup>[6]</sup>,加以改进后设计了如图2所示的果盘。其主要材料为PVC,分体式结构,内、外果盘单侧铰接,内果盘可相对外果盘向上翻转45°,且中部环形镂空并装有可自由旋转的定位轮。内果盘一侧装有2个小轴,小轴可自由旋转,上、下端分别安装旋转轮和摩擦轮。外果盘一侧与传送链连接,另一侧由滚动轮在轨道上支撑。为了解决不同直径苹果的不同同步旋转问题,首先采用锥台形旋转轮代替圆柱形旋转轮,其次将定位轮内孔和与其配合的轴的间隙放大至0.5 mm,采用这种大间隙配合来满足定位轮在定位区对苹果定位的有效性和在旋转区对苹果平移的无妨碍性,这两点内容在后述中进行补充说明。

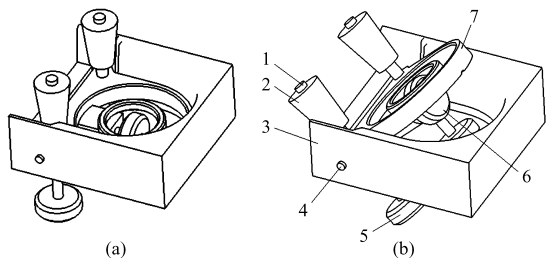


图2 果盘结构示意图

Fig. 2 Structure of compote

- (a) 内、外果盘平行 (b) 内果盘向上翻转45°

- 1. 小轴 2. 旋转轮 3. 外果盘 4. 销 5. 摩擦轮 6. 定位轮
- 7. 内果盘

## 3 苹果定位的方法和工作原理

### 3.1 定位区的关键结构

定位区在果盘传送带的下方装有定位摩擦带,上侧皮带与果盘的定位轮外缘紧密接触,目的是靠摩擦力驱动定位轮旋转,其结构如图3所示。从局部放大图中可以看到,定位轮外缘高出内果盘底面1.4 mm,当果盘运动至定位区时,定位轮被定位摩擦带顶起。定位轮旋转角速度为

$$\omega_d = \frac{\omega_m r_m + v_l}{r_d} \quad (1)$$

- 式中  $r_d$ ——定位轮半径
- $\omega_m$ ——定位摩擦带轮角速度
- $r_m$ ——定位摩擦带轮半径
- $v_l$ ——传送链速度

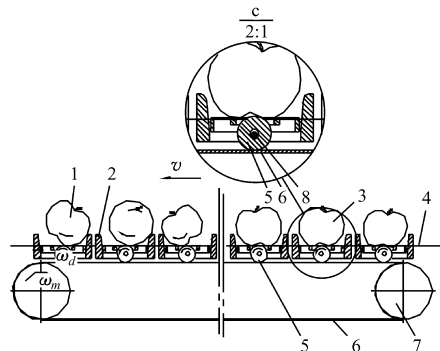


图3 定位区结构示意图

Fig. 3 Image of structure of locating area

- 1. 待定位的苹果 2. 果盘 3. 已定位的苹果 4. 传送链 5. 定位轮
- 6. 定位摩擦带 7. 定位摩擦带轮 8. 定位轮固定轴

### 3.2 苹果在定位区的受力分析与运动分析

通过在定位区的受力分析和运动分析来说明苹果在定位区实现定位的工作原理。苹果从喂入装置落入果盘时,某一瞬间与果盘相接触的点A、B一般分别落在位于果盘中部定位轮及外果盘上。当果盘运动到定位区时,定位轮在定位摩擦带的作用下开始旋转。此时苹果除重力外还受到接触点A、B的支持力和摩擦力。将作用于苹果上的力向质心合成,得到作用于A、B点力对质心的力矩矢量和 $M$ 以及通过质心的力矢量和 $F$ 。果盘上的苹果一方面随果盘向前运动,产生进给运动;另一方面,在合力矩 $M$ 和合力 $F$ 的作用下,作旋转运动和直线运动。此时由于运动后的苹果与果盘的接触点A、B发生变化,旋转角速度 $\omega$ 和直线速度 $v$ 的大小和方向也不断发生变化。直到苹果果梗或果萼的部分运动到摩擦小轮之上,由于这2个部位的凹陷形状,使运动的定位小轮与苹果不发生接触,苹果静止,定位完成。

## 4 苹果图像采集

### 4.1 摄像区的关键结构

在摄像区的果盘传送带下方装有一组内嵌摩擦带的侧向轨道,轨道工作平面与水平面呈45°,其上的摩擦带以一定速度运动。当果盘随传送链运动到摄像区时,果盘下方的摩擦轮被导入该轨道,内果盘和其上的苹果在轨道作用下向上翻起45°。已定位的苹果在重力作用下向上翻果盘的内侧移动。此时,定位轮上缘与内果盘底面的高度约差0.4 mm,基本不影响苹果的侧向移动。果盘下端的摩擦轮在摩擦带的作用下转动,带动整个小轴及小轴上方的旋转轮一起转动。此时,果盘中的已经定位的苹果在旋转轮的作用下产生运动。

### 4.2 苹果在摄像区的受力分析与运动分析

进入摄像区后,内果盘翻转45°,苹果由2个旋转轮和内果盘支撑。可将苹果在果盘中的受力情况简化,如图4所示,图中 $N_a$ 、 $F_a$ 、 $N_b$ 、 $F_b$ 分别为旋转轮对苹果作用力; $N_c$ 、 $F_c$ 为内果盘对苹果的作用力; $O$ 为苹果的质心; $M_a$ 、 $M_b$ 为摩擦轮对苹果的力矩矢量; $M_c$ 为内果盘对苹果的力矩矢量; $M$ 为 $M_a$ 、 $M_b$ 、 $M_c$ 的矢量和; $E$ 为 $M$ 的矢量方向; $F_m$ 为摩擦带对摩擦轮的摩擦力。苹果与果盘的接触点为两个旋转轮上的A点、B点和内果盘上的C点。由于摩擦轮在侧向导轨上的摩擦带作用下转动,带动整个小轴与轴上的旋转轮一起转动,此时,苹果受到来自2个旋转轮的作用力 $N_a$ 、 $F_a$ 、 $N_b$ 、 $F_b$ 和内果盘的作用力 $N_c$ 、 $F_c$ ,将作用于苹果的力向苹果质心 $O$ 合成,得到力矩矢量和 $M$ 和合力矢量 $F$ ,苹果以直线 $OE$ 为轴旋转,并以力矢量 $F$ 的方向作直线运动,由于苹果果萼凹陷处与定位轮相接近,以及整个果盘与旋转轴的结构,限制了苹果的直线运动,以及苹果的旋转轴 $OE$ 在苹果自身果轴附近的变化。因而苹果的运动可以看成近似以自身果轴为中心的旋转。

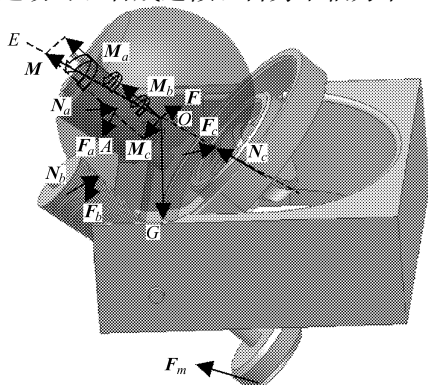


图4 摄像区苹果受力示意图

Fig.4 Image of apple force analysis in the photography room

### 4.3 不同直径苹果同步翻转实现

摄像机在摄像区拍摄图像的频率一定,因而不同直径苹果旋转需要满足同步要求。本机构中,根据果盘旋转轮的轮身母线形状来实现这一目的。

如图5所示,苹果的旋转动力来自于导轨摩擦带。导轨摩擦带以一定速度前进,通过摩擦力带动果盘下方的摩擦轮转动,通过与摩擦轮同轴的果盘上方的旋转轮带动苹果转动。导轨摩擦带速度为

$$v_1 = \omega_1 r_1 \tag{2}$$

式中  $r_1$ ——导轨摩擦带轮半径

$\omega_1$ ——导轨摩擦带轮角速度

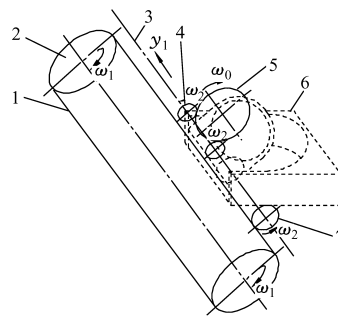


图5 摄像区苹果旋转示意图

Fig.5 Image of circumgyrating apple in the photography room

- 1. 导轨摩擦带 2. 导轨摩擦带轮 3. 传动链 4. 旋转轮 5. 苹果 6. 果盘 7. 摩擦轮

果盘传送链速度 $v_l$ 与导轨摩擦带速度方向相反,得出摩擦轮与旋转轮的角速度

$$\omega_2 = \frac{v_l + v_1}{r_2} \tag{3}$$

式中  $r_2$ ——摩擦轮半径

苹果的旋转角速度

$$\omega_0 = \frac{\omega_2 r_3}{r_0} = \frac{(v_l + \omega_1 r_1) r_3}{r_2 r_0} \tag{4}$$

式中  $r_0$ ——与旋转轮相切的苹果剖面半径

$r_3$ ——与苹果相切的旋转轮剖面直径

从式(4)中可以看出,当各轮半径为定值时,苹果的旋转角速度 $\omega_0$ 与 $r_0$ 成反比。而当 $\frac{r_3}{r_0}$ 为定值时,苹果的旋转角速度 $\omega_0$ 与 $r_0$ 无关。根据以上条件,确定出旋转轮轮身母线方程。沿果盘上小轴中心线和苹果中心线作剖面,在此剖面上,分别以内果盘底平面线与小轴中心线为 $x$ 、 $y$ 轴建立坐标,旋转轮轮身母线方程为 $y = x \tan \theta$ ,直径为60~100 mm的苹果与果盘和旋转轮所形成的状态如图6所示。可以判断出,不同直径苹果质心位置所构成直线为 $b = a \tan(\theta/2)$ 。从图中相似三角形关系中可以得出

$$\frac{r_3}{r_0} = \frac{x}{a-x} = \frac{a \cos \theta}{a - a \cos \theta} = \frac{\cos \theta}{1 - \cos \theta} \tag{5}$$

式中,当  $\theta$  为定值时,  $\frac{r_3}{r_0}$  为定值。将  $\frac{r_3}{r_0} = k$  代入式(4)中,则苹果的旋转角速度  $\omega_0 = k \frac{v_l + \omega_1 r_1}{r_2}$ ,可以判断,  $y = x \tan \theta$  作为旋转轮的轮身母线满足苹果的旋转速度与苹果直径大小无关的要求。

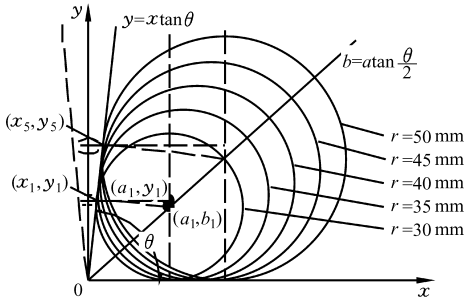


图6 果盘旋转轮与苹果支撑状态图

Fig.6 Image of apples supported by the rotating wheel

### 5 设计实例

在苹果分级输送机的设计中,总体链传动的速度为 0.2 m/s,链间距为 1 450 mm;定位摩擦带有效长度为 900 mm,果盘在其上行进 4.5 s,定位轮转速为 300 r/min;果盘外尺寸为 100 mm × 105 mm,内果盘外环直径为 75 mm,内环直径为 35 mm,定位轮直径为 28.6 mm,旋转摩擦轮采用  $\theta = 94^\circ$ ,上、下底直径分别为 15 mm 和 22 mm 的锥形圆台;侧向旋转轨道长度为 600 mm,果盘在其上行进约 3 s;采用松下 GP470 型摄像机,OK-30 系列图像采集卡,图像采集有效长度 500 mm。

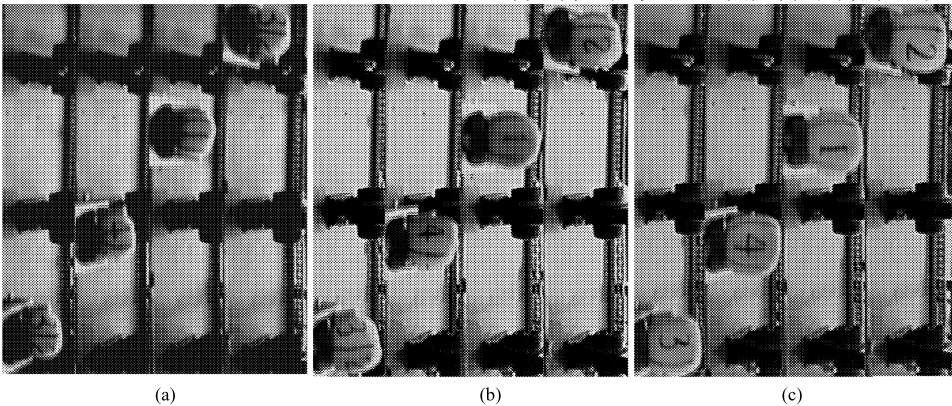


图7 采集不同直径苹果连续图像

Fig.7 Collected continuous image of apples with different diameter

(a) 直径 70 mm (b) 直径 80 mm (c) 直径 90 mm

隔,3个苹果转过的角度基本相同。因此,本机构基本实现了不同直径苹果的旋转角速度相同的要求。

### 7 结论

(1) 输送机通过果盘的设计和机构的作用实现了苹果在传送过程中完成自动定位的功能,实现了

## 6 实验及结果

### 6.1 定位性能实验

选择富士苹果为实验对象,取直径小于 70 mm、70~80 mm、80~90 mm、大于 90 mm 苹果各 20 个,随机喂入苹果输送机。结果有 76 个在 900 mm 定位区间完成定位,4 个定位失败。而失败的原因主要是:①苹果的外形奇特,侧表面有凹陷。②苹果太小,直径小于 60 mm 的苹果,由于其果萼梗部的凹陷与果盘中部的结构不完全符合,导致定位失败。根据中华人民共和国农业行业标准《苹果外观等级标准》对 12 种品种的苹果特等、一等、二等的质量界定,包括小果系嘎拉系和国光,14 种苹果二等果的最小质量是 120 g,通过密度换算和实际测定,可以判断出直径小于 60 mm 的苹果为等外品。因而,直径小于 60 mm 的苹果,可以不实现定位,直接判断进等外品的分栏中。本机构的果盘设计为针对直径大于 60 mm 的苹果实现其定位功能,小于 60 mm 的苹果仅做托运使用。

### 6.2 旋转性能实验

选择直径为 70、80 和 90 mm 左右的苹果各 1 个,将每个苹果表面用由果梗至果萼的线条分为 4 等份。在每个等份上分别标上数字“1”、“2”、“3”和“4”。将 3 个苹果喂入苹果输送机,定位后的苹果被输送至图像采集区,由置于果盘斜上方 45°角的摄像机每隔 0.66 s 左右采集一幅图像。图 7 为 3 个苹果的 4 幅原始连续图像,从图中可看出,在摄像机视场内,3个苹果基本旋转1周;并且在相同的时间间

果梗果萼的位置固定,便于下一步的苹果外部图像信息的采集和处理。

(2) 在图像采集时,采用锥台型摩擦滚动轮,实现不同直径的苹果以相同的角速度旋转,保证了苹果外表面信息采集的准确性。

- 10 Park R S, Agnew R E, Gordon F J, et al. The development and transfer of undried grass silage calibrations between near infrared reflectance spectroscopy instruments [J]. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1999, 78(3): 325~340.
- 11 Leion H, Folestad S, Josefson M, et al. Evaluation of basic algorithms for transferring quantitative multivariate calibrations between scanning grating and FT NIR spectrometers [J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2005, 37(1): 47~55.
- 12 Bergman E L, Brage H, Josefson M, et al. Transfer of NIR calibrations for pharmaceutical formulations between different instruments [J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2006, 41(1): 89~98.
- 13 赵龙莲. 近红外光谱定量分析数学模型的转移[D]. 北京: 中国农业大学, 1999.  
Zhao Longlian. Calibration transfer of near infrared spectroscopy quantitative analysis[D]. Beijing: China Agricultural University, 1999. (in Chinese)
- 14 褚小立, 袁洪福, 陆婉珍. 普鲁克分析用于近红外光谱仪的分析模型传递[J]. *分析化学*, 2002, 30(1): 114~119.  
Chu Xiaoli, Yuan Hongfu, Lu Wanzhen. Calibration transfer of spectra from near infrared spectrometers by Procrustes analysis[J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2002, 30(1): 114~119. (in Chinese)
- 15 刘全. 近红外光谱技术在中药生产过程质量分析中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.  
Liu Quan. Application of near infrared spectroscopy to process quality analysis of traditional Chinese medicine [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004. (in Chinese)
- 16 陈斌, 王豪. 专利算法在白酒酒精度近红外光谱分析模型转移中的应用[J]. *红外技术*, 2006, 28(4): 245~248.  
Chen Bin, Wang Hao. Calibration transfer between near-infrared spectrometric instrument for the determination of wine alcoholicity using shenk's algorithm[J]. *Infrared Technology*, 2006, 28(4): 245~248. (in Chinese)
- 17 De Boever J L, De Brabander D L, De Smet A M. Evaluation of physical structure. 2. maize silage [J]. *Journal of Dairy Science*, 1993, 76(6): 1624~1634.
- 18 褚小立, 袁洪福, 陆婉珍. 光谱多元校正中的模型传递[J]. *光谱学与光谱分析*, 2001, 21(6): 881~885.  
Chu Xiaoli, Yuan Hongfu, Lu Wanzhen. Model transfer in multivariate calibration [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2001, 21(6): 881~885. (in Chinese)
- 19 Sjöblom J, Svensson O, Josefson M, et al. An evaluation of orthogonal signal correction applied to calibration transfer of near infrared spectra [J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 1998, 44(1~2): 229~244.
- 20 牛智有, 韩鲁佳. 鱼粉中氨基酸近红外光谱定量分析[J]. *农业机械学报*, 2007, 38(5): 114~117.  
Niu Zhiyou, Han Lujia. Quantitative analysis of amino acid in fishmeal by near infrared reflectance spectroscopy [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, 38(5): 114~117. (in Chinese)

(上接第 161 页)

#### 参 考 文 献

- 1 曹乐平. 立式转鼓分级机输送及翻转机构设计[J]. *西北农业学报*, 2007, 16(4): 282~287.  
Cao Leping. Design of transportation and turning mechanism of the vertical drum-turning fruit sorter [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2007, 16(4): 282~287. (in Chinese)
- 2 Growe T G, Delwiche M J. Real-time defect detection in fruit—part I: design concepts and development of prototype [J]. *Transactions of the ASAE*, 1996, 39(6): 2299~2308.
- 3 应义斌, 徐惠荣, 蒋焕煜, 等. 能实现准球形水果自动成单列输送并均匀翻转的装置. 中国, 02136379. X[P]. 2003-02-05.
- 4 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.  
Xu Huirong, Ying Yibin, Gai Ling. Research on fruit feeding and rolling installation with bicone rollers [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2003, 34(6): 100~103. (in Chinese)
- 5 魏新华, 周杏鹏, 李法德, 等. 水果机器视觉分选机滚子式输送翻转机构优化设计[J]. *农业机械学报*, 2007, 38(9): 98~102.  
Wei Xinhua, Zhou Xingpeng, Li Fade, et al. Optimum design of fruits roller conveyor of machine vision grader [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, 38(9): 98~102. (in Chinese)
- 6 Throop J A, Aneshansley D J, Anger W C, et al. Quality evaluation of apples based on surface defects—an inspection station design [C]. 2003 ASAE Annual Meeting, 036161, 2003.
- 7 周钦红, 张东兴. 苹果分选定位机构的设计[J]. *中国农业大学学报*, 2005, 10(5): 36~39.  
Zhuo Qinrong, 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)