

辊轴式大枣自动分级机的研制

Research of automatic classification technology and equipment for Jujube

文怀兴 王春普 周改梅

WEN Huai-xing WANG Chun-pu ZHOU Gai-mei

(陕西科技大学机电工程学院, 陕西 西安 710021)

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an, Shanxi 710021, China)

摘要: 设计了大枣自动分级设备。对大枣机构特性进行分析, 对大枣自动分级设备工作原理进行研究, 设计由振动器、料斗、料斗内侧挡板组成的上料机构; 圆柱形筛条轴、锥形筛条轴、隔板组成分级机构; 步进电机、锥齿轮、传动带组成传动机构; 储料斗、出料通道组成储料装置。对分级设备分级筛条的变形进行有限元分析, 确保分级机构能准确运行。

关键词: 大枣; 分级; 辊轴分级法; 有限元分析

Abstract: An automatic grading equipment of jujube was designed, and its mechanism characteristics and working principle of automatic grading were analyzed in this study. This design consisted of feed mechanism for the composition of vibrator, hopper, hopper inside baffle, and the grading mechanism for the composition of cylindrical sieve shaft, conical sieve axis, a baffle plate, transmit mechanism for the composition of stepping motor, bevel gear, belt drive; storage device for the composition of a storage hopper and a discharging channel. The grading equipment of deformation finite element was analyzed, ensuring the classification mechanism ran correctly. Moreover, the finite element of the deformation of the grade bar was analyzed to ensure the accurate operation of the grading mechanism.

Keywords: jujube; classification; classified method of the roller type; the finite element analysis

中国是世界上最大的枣生产国, 95% 以上的枣产品均产自中国^[1]。大枣食品生产过程中要进行储存、加工、运输、销售等环节^[2], 而分级是其中必不可少的步骤。目前中国研发的大枣分级设备可以分为机械式和智能式两类, 其中智能式分级设备主要是指基于图像处理即机器视觉技术的新型分

级设备^[3]。目前机器视觉技术已应用到大枣大小、颜色、缺陷的检测上, 设计了以机器视觉为基础来实现大枣自动分级的设备^[4]。由于机器视觉设备造价高, 且技术不太完善, 目前还没有进入大规模应用阶段。机械式分级方法主要有滚筒栅条式分级法、辊轴分级法, 例如 6ZF-0.5 型大枣分级机^[5]、6FG-900 型核桃分级机^[6]、5BF-3 型水果分级机^[7]等。滚筒栅条式分级法优点是造价低, 结构简单^[8]。但分级时大枣容易卡在筛条之间, 造成大枣堆积, 导致分选效率降低, 容易划伤大枣表皮^[9], 不利于大枣的分级。传统的辊轴式分机的辊轴为圆柱形, 而采用锥形筛条轴与圆柱形筛条轴相间安装, 可以保证辊轴轴心相互平行, 且更容易分级。分级机构包括圆柱形筛条轴、锥形筛条轴、隔板和分级底层挡板。分级原理: 分级筛条轴是由锥形筛条轴与圆柱形筛条轴相间设置组成, 每根锥形筛条轴的直径从左至右逐渐缩小, 相邻的圆柱形筛条轴与锥形筛条轴之间形成的分级间隙从左至右依次变大, 即可将枣分级到不同的落料斗里。本试验拟设计一种成本低, 结构较为简单, 分级效率高, 无损大枣表皮, 适合一些中小型企业使用的分级设备, 并进行有限元分析、实验验证。

1 大枣机构特性分析

1.1 大枣直径分布范围

选用灵武大枣为大枣样本, 测量工具为精度 0.02 mm 的游标卡尺, 剔除其中形状怪异的大枣, 随机选取 100 粒大枣作为检测样本, 测量大枣直径 D 并把测量结果分成 10 组。用直方图对数据进行分析, 画出大枣直径频度分布图见图 1, 由图 1 可知, 大枣直径分布范围比较大, 分布比较分散, 但都有一个集中区域, 大多集中在 25~28 mm 的范围内, 所占百分比为 54%, 所以在对大枣进行分级时, 可以把大枣按直径大小分为三级, 分别为 20~25, 25~28, 28~31 mm。

1.2 大枣摩擦系数分析

大枣的静摩擦系数是一项重要的物理参数, 与筛条轴的

基金项目: 陕西省科学技术研究与发展计划项目 (编号: 2016NY-158)

作者简介: 文怀兴 (1957—), 男, 陕西科技大学教授, 博士。

E-mail: wenhx@sust.edu.cn

收稿日期: 2016-11-28

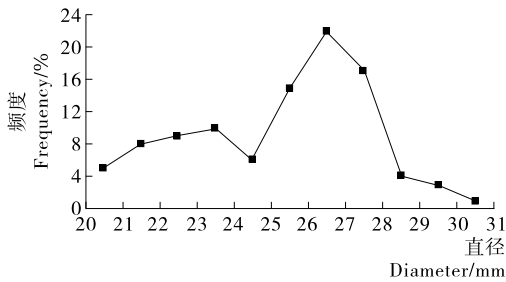


图1 大枣直径分布图

Figure 1 Distribution of jujube's diameter

材料有关^[10]。不计分级筛条轴对大枣向前的推力,对分级筛条上的大枣进行受力分析见图2,较大的大枣约为30 g,从受力分析可以看出大枣从倾斜的排序板上下滑时所受到的阻力主要为大枣与排序板之间的摩擦力。由受力平衡条件得:

$f = G \sin \alpha$, (1)

$N = G \cos \alpha$, (2)

$f = \mu N$, (3)

式中:

N ——排序板对大枣的支持力,N;

G ——大枣自身的重力,N;

α ——排序板的倾斜角,(°);

μ ——大枣与排序板之间的摩擦系数;

f ——排序板表面对大枣的摩擦力,N。

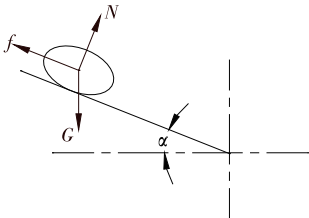


图2 大枣的受力分析图

Figure 2 Force analysis diagram of jujube

联立式(1)~(3)得:

$\mu = \tan \alpha$ 。 (4)

在此选择铝合金、45钢、不锈钢3种材料进行试验,根据式(4)可知,通过试验测定大枣在该材料上的摩擦角 α ,确定大枣的静摩擦系数 μ 。将大枣分别放到3种材料的面板上,然后抬高面板的一侧,测定大枣刚好滑下时,面板远离水平面的角度,这个角度就是大枣与该材料的摩擦角 α ,每种材料进行多次测量,至少3次,取平均值并记录见表1。

利用试验测定新鲜的大枣在铝合金、45钢、不锈钢3种

表1 大枣的静摩擦系数

Table 1 Static friction coefficient of jujube

材料	摩擦角 $\alpha/(^{\circ})$	静摩擦系数 μ
铝合金	15	0.212 4
45 钢	18	0.324 7
不锈钢	10	0.176 1

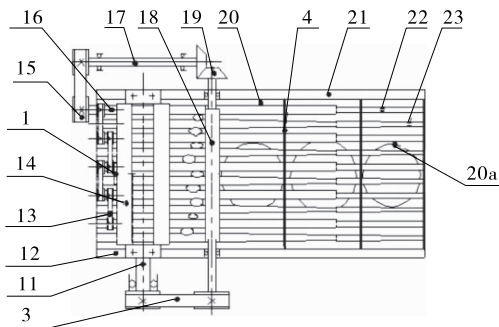
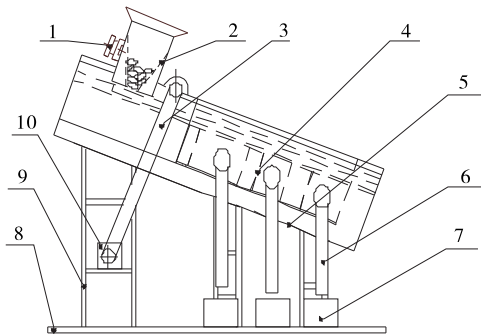
材料上的静摩擦系数分别为0.176 1,0.324 7,0.212 4。由于45钢的静摩擦系数最大,枣更容易在辊轴上滚动。故选用45钢作为筛条轴的材料,辊轴的倾斜角应大于18°。

2 总体方案的设计及分析

2.1 方案设计

大枣自动分级设备的主要功能是实现大枣的有序上料,平稳传动,有序分级等功能^[11]。根据这一基本要求,设计了如图3所示的设计方案。

具体的工作过程:大枣通过料斗14进入排序板上的排序轴16中,电机10通过带传动3带动毛刷轴18转动,进而通过锥齿轮19带动锥齿轮轴17转动,带传动15的两端分别连接着锥齿轮轴17和排序轴16,动力间接传递到排序轴16上。排序轴16和圆柱形筛条轴22及锥形筛条轴23之间均用刚性联轴器连接,圆柱形筛条轴22通过带传动带动,处于持续运转的状态,并且圆柱形筛条轴表面用3 mm厚的黏性比较强的自黏型胶条以螺旋状缠绕一层,以保证圆柱形筛条轴22在转动的同时带动大枣向前运行。当电源接通时,在大枣分级设备中,一方面毛刷转动保证通过分级区域的大枣为单层,另一方面圆柱形筛条轴转动带动大枣在改变姿态的同时向前运行。由于倾斜和振动的作用,大枣顺着凹形槽的排序轴16下滑,到达安装毛刷轴18的位置时,毛刷持续旋转保证进入分级筛条轴的大枣为单层,并且均为纵向进入。分级筛条轴是由锥形轴23与圆柱轴22相间安装的,



1. 振动器 2. 料斗内侧挡板 3. 带传动 a 4. 隔板 5. 安装板 6. 出料通道 7. 储料斗 8. 机架 9. 倾斜支架 10. 电机 11. 带传动轴 12. 分级左侧板 13. 带传动 b 14. 料斗 15. 带传动 c 16. 排序轴 17. 锥齿轮轴 18. 毛刷轴 19. 锥齿轮 20. 分级底层挡板 20a. 出料孔 21. 分级右侧板 22. 圆柱形筛条轴 23. 锥形筛条轴

图3 分级方案示意图

Figure 3 Schematic diagram of the grading scheme

每根锥形轴的直径从左至右变小,相邻两根圆柱轴与锥形轴之间形成的间隙从左至右依次变大,从而达到分级的作用。大枣通过出料口 20a 分别落入对应的储料斗 7 中。

2.2 主要部件的设计及分析

2.2.1 分级机构的设计 测定大枣分级机构的分级精度的指标是分级合格率^[12],按照 GB/T 5667—2008 农业机械生产试验方法中所规定的内容得知,对于某等级大枣分级合格的直径范围可以用式(5)表示。对于该分级机构,影响分级精度的因素有大枣的喂入量、圆柱形分级筛条轴的转速、分级筛条轴的倾斜角度。在大枣分级过程中,增大大枣的喂入量可以提高分级机构的效率,但同时会增加分级误差,降低分级精度。所以需要确定合理的大枣分级方案,对其具体机构进行设计,找到分级效率与分级精度之间的平衡点,可以保证在达到一定的分级精度的同时,有很高的分级效率。

$$X_1 - 0.5 \times (X_2 - X_1) \leq X \leq X_2 + 0.5 \times (X_2 - X_1), \tag{5}$$

式中:

- X ——某一等级大枣直径合格范围,mm;
- X_1 ——某一等级大枣直径合格下限值,mm;
- X_2 ——某一等级大枣直径合格上限值,mm。

2.2.2 分级机构倾斜角的设计 通过式(4)可知,滑槽与水平面之间的夹角大于大枣与滑槽之间的静摩擦角时,大枣的运动可以通过倾斜的排序板自动实现,这样可以节省动力。

选择分级筛条轴的材料为 45 钢,根据 1.2 的内容,大枣与 45 钢之间的摩擦角为 18° ,则分级筛条轴与水平面之间的夹角 $\alpha > 18^\circ$,在此,选择 $\alpha = 20^\circ$,整体分级机构的倾斜角也设定为 20° 。

2.2.3 筛条轴的有限元分析

(1) 筛条轴的变形分析:筛条轴由转动的圆柱形轴和静止的锥形轴构成,圆柱形轴和锥形轴相互交替安装,当动力传递到圆柱形轴时,圆柱形轴转动,大枣在改变姿态的同时向前移动。

该分级机构的原理就是根据圆柱形轴和锥形轴所形成的分级间隙的变化进行分级,若筛条轴在稳定状态下变形太大,将严重影响筛条轴的正常转动,对分级精度也有影响,图 4 为筛条轴在稳定状态下的变形对分级精度的影响情况。

由图 4 可得:

$$D_2 = \sqrt{D_1^2 + (\Delta d_1 - \Delta d_2)^2}, \tag{6}$$

式中:

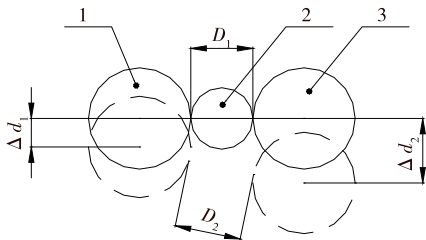


图 4 筛条轴的变形分析

Figure 4 Deformation analysis of grading shaft

Δd_1 ——锥形筛条轴在稳定状态下的最大变形量,mm;
 Δd_2 ——圆柱形筛条轴在稳定状态下的最大变形量,mm;

D_1 ——理论上该分级间隙处可以通过的大枣的最大直径,mm;

D_2 ——实际上该分级间隙处可以通过的大枣的最大直径,mm。

(2) 筛条轴的有限元分析:用 ANSYS 软件对圆柱形筛条轴和锥形筛条轴进行静力学分析,该机构中的锥形筛条轴和圆柱形筛条轴相当于处于空载的状态。将模型导入 ANSYS 内,定义材料的属性,密度为 $7.85E+03 \text{ kg/m}^3$,弹性模量为 $2.0E+11 \text{ Pa}$,泊松比为 0.3。用 ANSYS Workbench 12.0 对单根轴进行有限元分析比较简单,主要包括网格的划分、载荷的加载和最终求解,查看其在稳定状态的变形情况。

锥形筛条轴是静止的,相当于只承受自身重力,对模型施加完载荷和边界条件后进行求解,得到用云图的方式显示的锥形筛条轴的总变形见图 5。

圆柱形筛条轴是转动的,对于不加任何负载的轴转动时相当于空转,只需要给一个启动扭矩就可以实现,该轴的质量约为 17 kg,回转半径按最大半径 22.5 mm 计算,则它的转动惯量 $J = mr^2/2 = 0.005\,312\,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$,设定轴在 3 s 恒转速为 30 r/min,则它的角加速度为 6.67 rad/s^2 ,则轴的转动扭矩为 $T = J\alpha = 0.035\,435 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。对圆柱形筛条轴施加完载荷和边界条件后进行求解,得到圆柱形筛条轴的总变形见图 6。

由图 5、6 可以看出,锥形筛条轴和圆柱形筛条轴的最大变形分别为 0.696 58,1.984 70 mm,并且其最大变形都出现在轴的中间位置处,即 $\Delta d_1 = 0.696\,58 \text{ mm}$, $\Delta d_2 = 1.984\,7 \text{ mm}$,该位置处红枣的分级直径范围为 25~28 mm,即 $D_1 = 25 \sim 28 \text{ mm}$,由式(6)得 $D_2 \approx 25.055 \sim 28.049 \text{ mm}$,红枣的最大直径的差值 $\Delta D = D_2 - D_1 = 0.055 \sim 0.049 \text{ mm}$,这个差值很

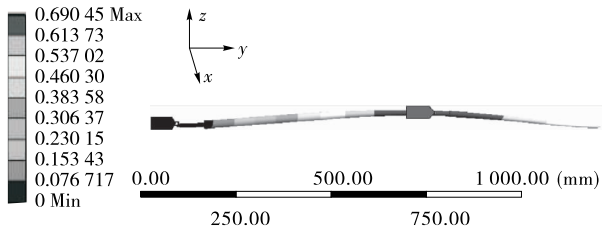


图 5 锥形筛条轴总变形

Figure 5 Deflection of tapering shaft

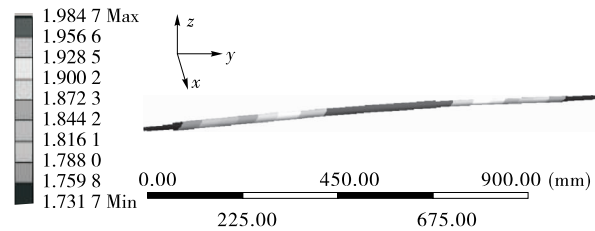


图 6 圆柱形筛条轴总变形

Figure 6 Deflection of cylindrical shaft

小,不影响分级精度,也不影响圆柱形筛条轴的正常运转,所以圆柱形筛条轴和锥形筛条轴的变形都在允许范围内,不需要额外加支撑。

3 实验验证

3.1 实验方案

实验所用的大枣为灵武大枣,直径为20~31 mm。选500枚大枣作为试验总样本,分为5组,每组100枚。实验所用的测量工具为德国美耐特公司生产的MNT-150型游标卡

尺300 mm/0.02 mm。记录实验数据见表2。

3.2 结果与分析

由表2可知,直径20~25 mm的枣全部落入一号储料斗,分级效率为100%;25~28 mm的枣个别落入一号储料斗,绝大部分落入二号储料斗,无落入三号储料斗,分级效率为98.5%;28~31 mm的枣无落入一号储料斗,个别落入二号储料斗,绝大部分落入三号储料斗,分级效率为98%。综合分级率在98%以上。实验证明该设备满足企业生产要求。

表 2 实验数据
Table 2 Experiment data

组号	一号储料斗			二号储料斗			三号储料斗		
	20~25 mm	25~28 mm	28~31 mm	20~25 mm	25~28 mm	28~31 mm	20~25 mm	25~28 mm	28~31 mm
1	30	1	0	0	39	0	0	0	30
2	30	0	0	0	40	2	0	0	28
3	30	2	0	0	38	0	0	0	30
4	30	0	0	0	40	0	0	0	30
5	30	0	0	0	40	1	0	0	29

4 结论

(1) 本试验所设计的大枣自动分级设备具分级效率高、平稳性能好、结构简单的特点,同时避免了滚筒栅条式划伤枣皮的问题。

(2) 通过试验统计大枣的直径范围,确定大枣分级层次。通过静摩擦系数的试验,选出最佳辊轴材料以及合适的辊轴倾斜角,解决了根据个人经验选辊轴材料、倾斜角问题。

(3) 对于形状过圆的枣该设计可能会产生串级现象。如何避免该串级现象,将是下一步研究的重点。

参考文献

[1] 毕金峰. 高新技术在枣加工中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 164-167.
[2] 王玉英. 受欢迎的大枣生食品种——冬枣[J]. 北京农业, 1997(5): 23.
[3] 施健, 何建国. 基于计算机视觉鲜枣大小分级系统研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 134-137.

[4] 田绪顺. 基于机器视觉的红枣双面检测分级装置设计[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 138-140.
[5] 李湘萍. 6ZF-0.5型红枣分级机的实验研究[J]. 山西农机学术报, 2000(14): 3-5.
[6] 何鑫, 史建新. 6FG-900型核桃分级机的原理与实验[J]. 新疆农业大学学报, 2010, 33(3): 268-271.
[7] 周晓蓉. 5BF-3型水果分级机的试验研究及机理分析[D]. 广西: 广西大学, 2006: 7-19.
[8] 张惠, 贾首星, 郑炫, 等. 红枣各阶段分级设备应用现状[J]. 江苏农业科学, 2014(2): 341-343.
[9] 李整民, 陈琼花. 滚筒式咖啡剥皮机对咖啡豆的损伤机理[J]. 食品与机械, 1993(2): 30-31.
[10] 马利平, 赵艳平. 滚筒式分级机摩擦滚轮模糊可靠性设计[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 122-125.
[11] BAIETTO M, WILSON A D. Electronic-Nose Applications for Fruit Identification, Ripeness and Quality Grading[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2015, 1(15): 899-931.
[12] 崔保健, 王泽河, 李志强. 大枣分选机设计[J]. 中国农机化学报, 2014(1): 212-215.

(上接第69页)

[8] 张六一, 付川, 杨复沫, 等. 微波消解 ICP-OES 法测定 PM2.5 中金属元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2014(11): 3 109-3 112.
[9] 袁波, 徐红斌, 孙凯峰, 等. 水提法提取—电感耦合等离子体质谱法测定婴幼儿配方奶粉中的碘[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 130-133.
[10] 徐伟, 李育珍, 段太成, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定高纯二氧化锡电极材料中痕量金属杂质离子[J]. 分析化学, 2015(9): 1 349-1 352.
[11] 成勇, 袁金红, 肖军, 等. 微波消解—电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定矿石中金和银[J]. 中国无机分析化学, 2012, 2

(1): 51-54.
[12] 高燕, 张英新, 徐锁平, 等. 硝酸铅沉淀/ICP-MS 法测定高纯铅中 18 种杂质[J]. 分析实验室, 2013(3): 111-114.
[13] 陈雪, 王军, 冯流星, 等. 同位素稀释-电感耦合“冷”等离子体质谱法准确测定人血清中钾、钙、镁的含量[J]. 质谱学报, 2016, 37(1): 31-36.
[14] 程秀花, 王海蓉, 黎卫亮, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定硒时多元素干扰的碰撞/反应研究及其在地质样品中的应用[J]. 冶金分析, 2015, 35(12): 5-9.
[15] 董喆, 李梦怡, 潘炜娟, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定化妆品中的 37 种元素[J]. 日用化学品科学, 2015, 38(6): 20-25.