

花生负压分级试验

Experimental study on negative pressure grading for peanut

尹双双 姜海勇 李娜 冯永飞

YIN Shuang-shuang JIANG Hai-yong LI Na FENG Yong-fei

(河北农业大学机电工程学院, 河北保定 071000)

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

摘要:基于拉瓦尔喷管结构设计一种结构简单、分级效果好、易操作的花生负压分级装置。通过 Fluent 对影响负压管内真空度的 5 个因素进行仿真试验,确定风道的结构尺寸;利用 CFD-DEM 耦合仿真软件,对体积相同密度相差较小的两类花生负压分选过程进行数值模拟,得出优质、次等花生的分选差异。在此基础上,通过搭建负压分选试验台,以分选高度、输送带速度以及风道进风速度为试验变量,对花生进行负压分级试验。试验证明基于拉瓦尔喷管结构的负压分选装置可以完成花生的负压分级作业。

关键词:花生;分级;负压分选;气固耦合;负压风道

Abstract: A peanut negative pressure grading device with simple structure, good grading effect and easy operation was designed based on Laval nozzle structure. Five factors affecting the vacuum degree in negative pressure tube were simulated and the structure size of air duct was determined based on Fluent. CFD-DEM coupled simulation software was used to simulate the negative pressure sorting of two kinds of peanuts with the same volume and small density difference, and the sorting differences of high quality and inferior grade peanuts were obtained. On this basis, taking the sorting height, conveyor belt speed and air inlet speed as experimental variables, the negative pressure grading experiment of peanut was carried out by setting up a negative pressure grading test bench. The experiment proves that the negative pressure sorting device based on Laval nozzle structure can complete the negative pressure sorting operation of peanuts.

Keywords: peanut; grading; negative pressure sorting; gas-solid coupling; negative pressure air duct

中国花生产量及出口量均居世界首位^[1]。自 1997 年以来,中国花生出口量迅速增加,然而出口价格却逐渐下降,比

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51305125);河北农业大学大学生创新创业训练计划资助项目(编号:2017zd03)

作者简介:尹双双,男,河北农业大学在读硕士研究生。

通信作者:姜海勇(1978—),男,河北农业大学副教授,硕士生导师,硕士。E-mail: jianghaiyong@hebau.edu.cn

收稿日期:2018-03-08

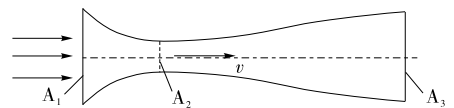
国际市场价格平均低 20%~30%,主要原因是中国对花生品质的评判多依靠人工,客观性、准确性较差,分级精度低^[2]。花生经清除除杂后仍会混有未成熟、破损、病虫害等不良品,严重影响了花生的商品价值。在发达国家,花生荚果分级机发展较为成熟^[3]。Blankenship 等^[3]根据带长、带速及喂料速度不同,发明了一种简易的发散式花生荚果分级机;Sandaram 等^[4]采用 VIS/NIR 光谱法,对未开壳的花生荚果进行检测,确定花生仁品质优劣;Blodor 等^[5]使用机器视觉系统设计了花生荚果分级设备。在中国几乎没有对花生机械化荚果分级技术的理论研究,而现有的花生荚果分级机,主要有振动式和滚筒式 2 种,使用过程中均存在问题,未能大规模推广^[1]。

国外花生荚果分级机虽发展成熟,效果良好,但其装置结构复杂、成本高且不易维修,在中国农业领域无法普及应用;目前中国还主要是依靠人工,采用过筛、手捡分级等方法,劳动强度大,生产效率低。因此本研究基于拉瓦尔喷管结构原理设计了一台结构简单、成本低、分选效果好、易操作的花生负压分级装置,该装置主要根据次等、优质花生在气流场中悬浮速度差异完成负压分级。

1 负压风道的设计

1.1 风道的机构原理

主风道部分基于拉瓦尔喷管结构进行设计,拉瓦尔喷管被广泛应用在航空航天领域,它巧妙地利用管道横截面积的变化,实现气流流速的控制,见图 1^[6-7]。设风道入口截面和喉管处的平均速度、平均压力和截面积分别为 v_1 、 P_1 、 S_1 和 v_2 、 P_2 、 S_2 ,空气密度为 ρ 。



A1. 进口截面 A2. 喉管截面 A3. 出口截面

图 1 拉瓦尔喷管结构

Figure 1 Laval nozzle structure

由伯努利定理和连续性方程,在同一等高流线上可得出:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = Q, \quad (1)$$

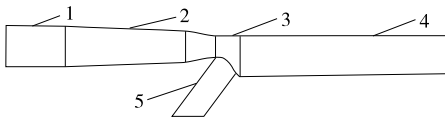
$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2. \quad (2)$$

由式(1)、(2)可得出: $v_1 < v_2, P_2 < P_1$ 。

因此,在喉管处外接一截管道,使管道内形成负压流场,对物体产生一定的吸力。

1.2 管内的流动能量损失

在管路结构设计时以减小流动能量损失为主要考虑因素,其中包括沿程与局部损失^[8]。减少能量损失关键在于防止或推迟流体与壁面的分离,因此该风道整体采用圆管设计。在风道的喉管三通部位,支管与合流管之间形成一定的夹角,以降低管道中的局部能量损失^[9]。基于拉瓦尔喷管结构与管内流动能量损失方式,设计并绘制负压分选风道的二维模型,见图2。



1. 风道进风管 2. 渐缩管 3. 喉道 4. 物料出风管 5. 负压进风管

图2 风道二维图

Figure 2 Two-dimensional diagram of air duct

1.3 负压风道各结构尺寸的确定

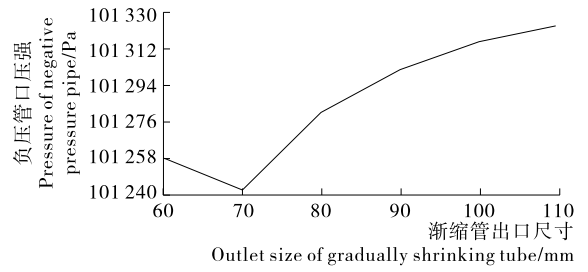
为保证进入风道的气流在喉管处产生更高的流速,以增加负压管内的真空度。分析风道结构,主要受5个因素影响:渐缩管出口尺寸、负压管直径、负压管与主风道夹角、物料出风管出口尺寸、物料出风管总长度。基于Fluent流体软件分别进行单因素仿真试验。给定5个因素的基本尺寸值:渐缩管出口尺寸80 mm、负压管直径90 mm、负压管与主风道夹角 55° 、物料出风管出口尺寸130 mm、物料出风管总长度700 mm。

经仿真分析得到5个因素对负压管内真空度的影响变化曲线见图3。

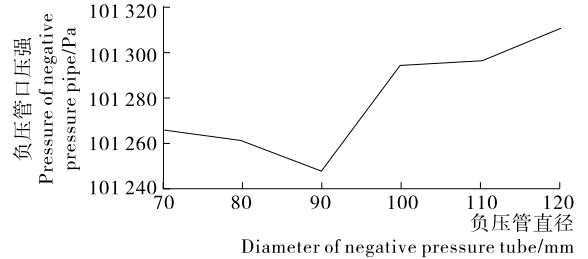
由图3得到了各因素下负压管口负压值的变化规律,为确定这5个因素对负压管真空度的综合影响,根据在单因素下选取的水平值,建立一组五因素三水平试验。基于Design-Expert软件中“BBD”法设计试验,分别对得到的46组试验组合进行仿真试验,仍以负压管口负压值为参照。根据仿真试验结果,得出风道的负压管口真空度达到最大时,5个因素尺寸的最佳组合方式:渐缩管出口尺寸75 mm,负压管直径85 mm,负压管与主风道夹角 57° ,物料出风管出口尺寸135 mm,物料出风管总长度700 mm。

2 基于气固耦合的数值模拟

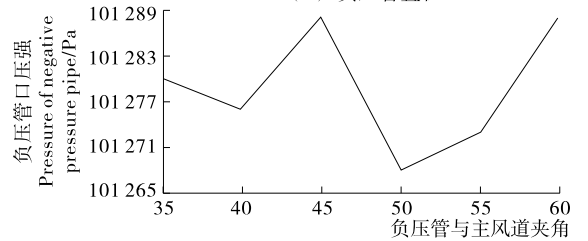
负压分选过程中花生颗粒的运动轨迹相对复杂,负压管内颗粒自身、颗粒与管壁之间的碰撞,颗粒的旋转等均将改变其运动轨迹,影响分级效果。因此利用CFD-DEM气固耦合的方法对花生负压分级情况进行分析讨论。



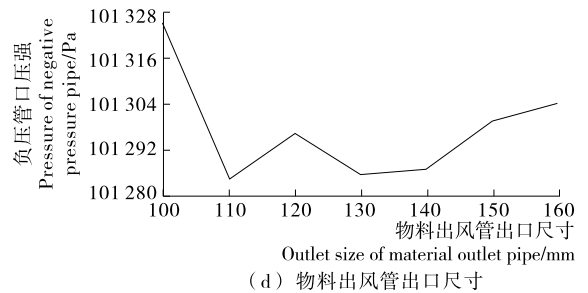
(a) 渐缩管出口尺寸



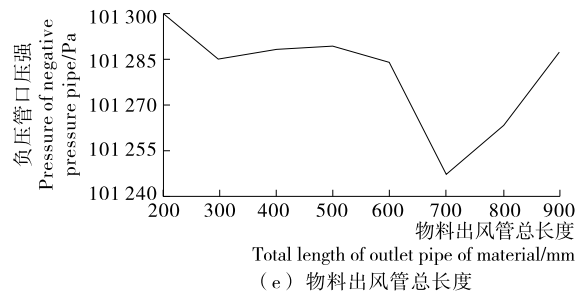
(b) 负压管直径



(c) 负压管与主风道夹角



(d) 物料出风管出口尺寸



(e) 物料出风管总长度

图3 5个因素对负压管口负压值的影响

Figure 3 Influence of five factors on negative pressure value of negative pressure nozzle

查阅相关文献^[10-11]得到花生与气道的材料属性以及花生与气道之间的接触系数如表1、2所示。

在EDEM中建立不规则的花生模型:① pro/E中建立花生三维模型;② 导入到EDEM软件中;③ 采用球体模型在花生模型内部进行填充。过程共使用12个球体颗粒模型,填充效果见图4^[12]。

表 1 材料属性

Table 1 Material properties

模型名称	泊松比	剪切模量/MPa	密度/(kg·m ⁻³)
优质花生	0.30	5.72	470
次等花生	0.25	5.00	330
气道	0.30	56 000.00	7 930

表 2 接触系数

Table 2 Contact coefficient

接触模型	恢复系数	静摩擦系数	滚动摩擦系数
优质花生—优质花生	0.20	0.42	0.06
优质花生—次等花生	0.20	0.42	0.06
次等花生—次等花生	0.20	0.42	0.06
优质花生—气道	0.17	0.51	0.03
次等花生—气道	0.17	0.51	0.03

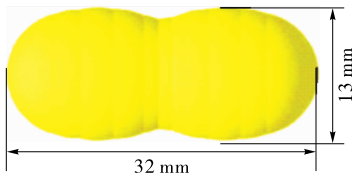


图 4 花生颗粒模型

Figure 4 Peanut particle model

利用 EDEM 中 API 接口完成 EDEM 与 Fluent 的数据同步,经耦合计算利用 EDEM 后处理工具对仿真数据进行分析,选取运动速度为因变量得到花生的速度—时间曲线见图 5。

由图 5 可知,两类花生的平均密度仅相差 0.14 g/mL,但在负压管内次等花生的最大速度比优质花生的大 1 m/s 左右,因此该分选装置可以完成花生的分级作业。

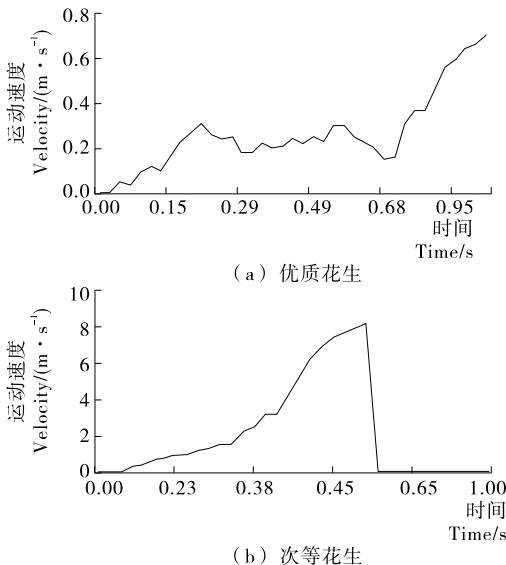


图 5 单颗优质花生与次等花生运动速度对比

Figure 5 Comparison of movement speed between single-grain high-quality peanut and inferior peanut

选取花生所受的合力为因变量,得到风选过程中花生所受合力与时间的变化曲线见图 6。

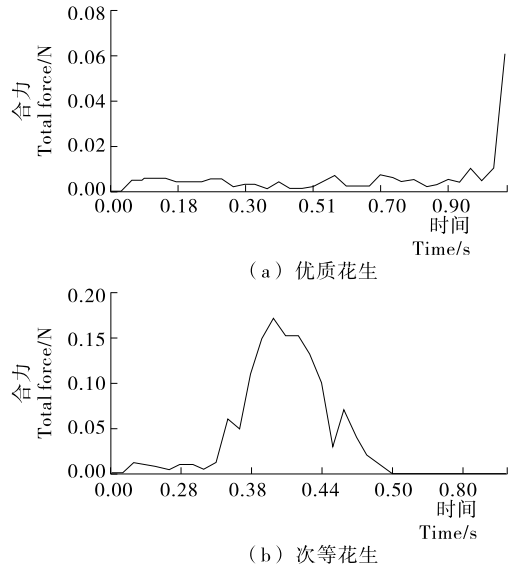


图 6 单颗优质花生与次等花生所受合力对比

Figure 6 Comparison of resultant force between single-grain high-quality peanut and second-grade peanut

由图 6 可知,次等花生所受合力约为 0.017 N,优质花生所受合力约为 0.006 N。在整个分选过程中受到的最大合力也未超过 0.170 N,因此该风选装置可实现花生的无损分选。

3 花生分级试验研究

3.1 试验前准备

通过搭建负压分级试验台对花生进行分级试验研究,每组试验共选取 100 颗(优质花生 50 颗,次等花生 50 颗)花生混杂在一起,依次将花生放置在输送带上进行负压分选,试验照片见图 7。输送带的输送速度通过上位机调节步进电机的转速进行控制。



1. 主风道 2. 负压分选管 3. 输送带 4. 联轴器 5. 步进电机
图 7 分选试验台

Figure 7 Sorting experiment table

3.2 输送速度与分选高度的影响

保持风机风速为 13.2 m/s,以输送带速度、花生分选高度为变量,验证花生分级效果。

分选高度指输送带上表面到负压管口的距离,分别选取 30, 35, 40 mm; 输送带速度给定 2 000, 3 000, 5 000,

7 000 mm/min。规定分选高度一定,改变带速进行试验,记录分选出去的花生个数,其中 A(优质花生)、B(次等花生),试验结果见表 3。

表 3 分选高度及带速对分选效果的影响

Table 3 Influence of sorting height and conveyor speed on sorting effect

分选高度/mm	2 000	3 000	5 000	7 000
	mm/min	mm/min	mm/min	mm/min
40	0A4B	0A5B	0A5B	0A7B
35	0A41B	1A37B	2A46B	4A42B
30	36A50B	37A50B	40A50B	42A50B

由表 3 可知,同一分选高度下,带速对试验结果影响不大;同一带速下,花生的分选高度对试验结果起主要作用,在进风风速为 13.2 m/s 时,分选高度为 35 mm,花生分级效果较好。

3.3 风机风速的影响

分选高度决定花生受到向上气流提升力的大小,不同的分选高度产生不同的气流提升力,同一分选高度下,风道的进风速度决定气流提升力的大小。以进风速度、分选高度为试验变量,分析花生的分级效果。

风道进风速度分别选取 13.2, 11.5, 10.0, 8.5 m/s;花生分选高度选取 17, 25, 30, 35 mm,考虑到花生的高度尺寸,17 mm 为最小分选高度。试验在一定风速下,改变花生分选高度进行负压分选,记录分选出去的花生个数,试验结果见表 4。

由表 4 可知,分选高度与进风风速呈线性关系,即每降低 1.5 m/s 的进风风速,最佳的分选高度相应下降 5 mm。

表 4 分选高度及风速对分选效果的影响

Table 4 Influence of sorting height and wind speed on sorting effect

分选高度/mm	13.2 m/s	11.5 m/s	10.0 m/s	8.5 m/s
35	2A46B	0A34B	0A6B	0A0B
30	40A50B	1A48B	0A17B	0A0B
25	50A50B	34A50B	2A50B	0A4B
17	50A50B	28A50B	0A24B	0A2B

而进风风速为 8.5 m/s 时,花生受到的负压提升力过小,无法完成分级作业。

4 结论

本研究基于拉瓦尔喷管结构原理设计了一种花生负压分级装置。利用仿真模拟,得到了该装置可以完成花生的品质分级;经试验验证,得到了风道的进风速度、花生的分选高度与输送带的速度对花生分级的影响。通过上述分析研究,该装置可完成悬浮速度相差较小的花生的无损分选;并且具有机械结构简单、分选精度高、成本低等优点,适用于中国小规模种植花生的清选分级。

参考文献

- [1] 薛然, 谢煊雄, 胡志超, 等. 花生荚果分级机械研究现状与发展建议[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(9): 426-428.
- [2] 陈红. 基于计算机视觉的花生仁外观品质无损检测方法的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 1-3.
- [3] BLANKENSHIP P D, DOWELL F E. A diverging belt screen for farmer stock peanuts[J]. Peanut Science, 1997, 24: 37-41.
- [4] SUNDARAM J, KANDALA C, BUTTS C L. Classification of in-shell peanut kernels nondestructively using VIS/NIR reflectance spectroscopy[J]. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 2010, 4(2): 82-94.
- [5] BOLDOR D, SANDERS T H, SWARTZEL K R, et al. Computer-assisted color classification of peanut pods[J]. Peanut Science, 2002, 29: 41-46.
- [6] 周文祥, 黄金泉, 周人治. 拉瓦尔喷管计算模型的改进及其整机仿真验证[J]. 航空动力学报, 2009, 24(11): 2 601-2 606.
- [7] 任鹏宇. 带拉瓦尔管的高压气体引射水泵特性实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008: 1-2.
- [8] 孙鸣仪. 气吸式红枣捡拾机的结构参数优化及试验分析[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2016: 25-28.
- [9] 王松岭. 流体力学[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 110-115.
- [10] 顾炳龙, 杨亚洲, 张玉虎, 等. 花生静摩擦系数刚度系数测量[J]. 农业与技术, 2017, 37(7): 30-32.
- [11] 顾炳龙, 杨亚洲, 张玉虎, 等. 密度碰撞恢复系数测量[J]. 农业与技术, 2017, 37(5): 50-52.
- [12] 王美美, 王万章, 杨立权, 等. 基于 EDEM 的玉米子粒建模方法的研究[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(1): 80-84, 103.

信息窗

绿茶和红酒中成分有望治疗遗传代谢疾病

一个国际研究团队日前发现,绿茶和红酒中的某些成分可以阻止有毒代谢物的形成,未来有望用于治疗苯丙酮尿症等遗传代谢疾病。

苯丙酮尿症是一种遗传性代谢缺陷病,患者体内特定氨基酸等无法正常代谢造成毒性淀粉样蛋白异常沉积,影响大脑及神经系统发育,导致智力严重低下。

以色列特拉维夫大学领导的一个国际研究团队在英国《通讯化学》杂志网络版发表论文说,他们用绿茶中的多酚类活性成分 EGCG 和红酒中的丹宁酸测试了苯丙酮尿症等遗传代谢疾病中的代谢物,这些代谢物与毒性淀粉样

蛋白的形成有关。结果显示,EGCG 和丹宁酸都能有效阻断此类蛋白的形成。

此前研究显示,上述两种成分还有助于防止一些老年疾病患者脑内的毒性淀粉样蛋白沉积,如阿尔茨海默病、帕金森病等。

研究人员表示,这项研究有助于了解代谢物在代谢性疾病、神经退行性疾病甚至癌症中的作用和重要性,未来有望开发出相关治疗方法帮助这些疾病患者。

(来源: <http://news.foodmate.net>)