

定向挤压试验下核桃单粒破壳装置的研究

王周梅,王应彪,张超宇,刘梦迪,周丹,张兆顺

(西南林业大学机械与交通学院,昆明 650224)

摘要:为提高破壳整仁效果,对云南漾濞大泡核桃进行几何特征的测定,利用万能试验机进行核桃破壳定向挤压试验,探究平头式、凹槽式和V型槽挤压头对不同加载方向上核桃破壳效果的影响,拟合了核桃受压过程中破壳力与位移的关系曲线图,并通过有限元进行对比分析,另外,对核桃单粒破壳设备进行了设计。结果表明:云南漾濞大泡核桃为扁圆球形;在加载速率0~60 mm/min范围内,破壳率与加载速率成正比;结合有限元分析表明核桃在沿纵径方向用凹槽式挤压头挤压,壳体破裂完全且具有一定程度的核桃仁保护作用;结合核桃破壳定向挤压与仿真试验结果设计了一次破壳与二次破壳相继进行的核桃单粒定向敲击式破壳装置,可为核桃破壳装备的开发提供理论依据与新思路。

关键词:核桃;破壳;有限元;定向挤压

中图分类号:TS223;TS202

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2024)10-0137-08

Single walnut shell breaking device under directional extrusion test

WANG Zhoumei, WANG Yingbiao, ZHANG Chaoyu,
LIU Mengdi, ZHOU Dan, ZHANG Zhaoshun

(School of Machinery and Transportation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: In order to improve the effect of shell breaking, Yangbi big bubble walnuts from Yunnan for the determination of geometric characteristics, and walnut shell breaking directional extrusion test using universal testing machine to explore the flat extrusion head, groove extrusion head and V-groove extrusion head on walnuts in different loading direction of the walnut shell breaking effect, the compression process the curve of the shell breaking force in relation to the displacement in the compression of walnut was fitted, and the finite element was used to analyze the forces during the walnuts compression process. In addition, a single walnut shell breaking device was designed. The results showed that Yangbi big bubble walnuts were the flat round spherical, when the loading rate was 0-60 mm/min, the shell breaking rate was proportional to the loading rate; combined with the finite element results showed that compressing walnuts along the longitudinal diameter with the groove extrusion head, shell rupture was complete and the head structure had a certain degree of protection of the kernel. According to the test directional extrusion and simulation test results, a primary shell breaking and secondary shell breaking successive single walnut directional percussion shell breaking device was designed. The research can provide a theoretical basis and new ideas for the development of walnut shell breaking equipment.

Key words: walnut; shell breaking; finite element; directional extrusion

收稿日期:2023-06-04;修回日期:2024-07-01

基金项目:国家自然科学基金项目(52165038);云南省教育厅科学研究基金项目(2022Y574);云南省教育厅科学研究基金项目(2023Y0767)

作者简介:王周梅(1998),女,硕士研究生,研究方向为农业机械化工程研究(E-mail)1982751981@qq.com。

通信作者:王应彪,副教授,博士(E-mail)wybjob@163.com。

近年来我国核桃产量稳居世界第一,不仅因为核桃仁具有较高的食用价值和医用价值^[1],也与核桃壳的工业价值日益凸显有关^[2]。核桃产业的飞速发展对核桃加工的要求也日益提高,目前加工设备种类虽日益增多,但难以同时兼顾加工成本、加工效率、碎仁率以及成品食用标准等方面^[3]。通过对

云南各核桃加工中心的走访调研发现,云南核桃取仁主要采用人工砸取和手工挑选的方法,虽然所得到的核桃仁完整率较好,但成本高、效率低,造成市场上出售的核桃仁价格偏高。此外,核桃因为季节性原因在每年九、十月份会大量集中收获,而人工破壳的规模和产量比较小,不易实现核桃的规模化深加工,容易发生原料积压,进而造成一定的经济损失^[4]。2022年9月30日云南省人民政府办公厅印发的《云南省林草产业高质量发展行动方案(2022—2025年)》,将核桃产业发展作为重点任务之一,但原本的核桃生产加工方式在一定程度上限制了云南核桃产业的发展,因此提高核桃产业加工技术,尤其是适合云南核桃使用的破壳专用设备的研发迫在眉睫。

近年来,国内研究人员从核桃预处理角度对核桃破壳过程进行了研究,如:张恩铭等^[5]通过正交试验研究了划口预处理对核桃破壳特性的影响,发现划口预处理后核桃更易破壳;郑霞等^[6]研究发现,核桃划口预处理相比未处理核桃的破壳力和破壳形变量明显减小,整仁率明显增加,对于固定间隙的核桃破壳,核桃进入破壳机的姿态对破壳率和露仁率有很大影响。在破壳时对核桃的姿态进行定向处理,将会很大程度提高核桃的露仁率和整仁率,从而提高核桃的经济效益^[7-8]。机械破壳法的破壳方式都是多果同时破壳,由于集中力作用区域面积比较小,并且两点受力很容易加载到核桃的棱部,而核桃缝合线位置结合力小,施加载荷时核桃容易沿着缝合线直接裂开,不利于壳仁分离,往往需要二次破壳,进而增大破壳成本,而且二次破壳时容易碰到裸露在外面的核桃仁,使核桃仁受到二次损伤,难以保证核桃的破壳质量^[9]。特别是核桃壳体表面不规则,存在各种沟壑,在挤压面接触位置变形较大,其他部位受力、变形极小,因此需要增加集中力的数量来使核桃外壳多点破碎^[10-11]。本研究通过万能试验机试验与有限元仿真对比探究平头式、凹槽式和V型槽挤压头对核桃不同加载方向上核桃破壳效果的影响,以及加载速率对核桃破壳效果的影响,以期提高核桃深加工产品的产量和质量。

1 材料与方法

1.1 试验材料

漾濞大泡核桃,购买于云南大理漾濞县。WDW3100微控电子万能试验机,精度0.02 mm游标卡尺。

1.2 试验方法

1.2.1 核桃几何特征的测定

在设计核桃破壳机时应尽量减小核桃仁的损

失,故研究其几何特征可以较好地达到破壳要求^[12]。取100颗云南漾濞大泡核桃,利用游标卡尺分别测量其横径、纵径和棱径。

为了更加明确漾濞大泡核桃外观特征,通过建立椭圆方程来计算核桃的球度^[13],其方程见式(1)。

$$\begin{cases} \left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1 \\ b^2 + c^2 = a^2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: a 为椭圆的半长轴(即1/2纵径); b 为椭圆的半短轴(即1/2横径或棱径); c 为焦距。

核桃的外形特征可用偏心率(e)表示,其是椭圆扁平程度的一种量度,当 $e=0$ 时是圆,当 $e=1$ 时是直线段。按式(2)计算偏心率。

$$e = \frac{c}{a} (0 < e < 1) \quad (2)$$

将漾濞大泡核桃沿棱径方向投影与沿横径方向投影的两个面分别当作两个椭圆进行计算,其两个投影的偏心率分别为 e_1 和 e_2 ,沿棱径方向投影与沿横径方向投影图如图1所示。

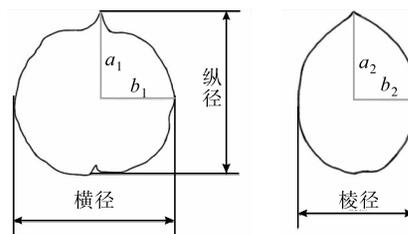


图1 沿棱径方向投影(左)与沿横径方向(右)投影图

Fig. 1 Projection along the edge diameter (left) and the transverse diameter (right)

1.2.2 加载速率对核桃破壳效果的影响试验

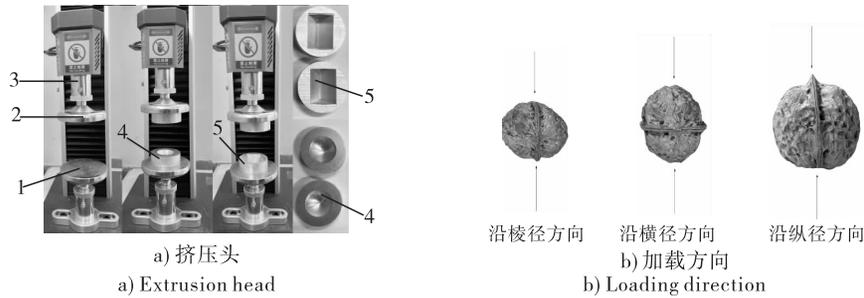
采用万能试验机的平头式压头对核桃进行挤压。取同一批次大小相同的核桃,采用沿横径方向的加载方式,设置不同的加载速率对核桃进行加载直至破裂,每个水平各进行10次试验,记录未露仁率和整仁率(整仁率包括完整破壳、1/2仁以及1/4仁)。

1.2.3 挤压头和加载方向对核桃破壳效果的影响试验

随机选取同一批次含水率基本一致的核桃共120颗,采用凹槽式挤压头、V型槽挤压头与压力机原本的挤压头(平头式挤压头)进行测试。3种挤压头通过3个加载方向对核桃进行挤压(图2),设定加载速率为15 mm/min,挤压行程为5 mm。手动调整万能试验机使上挤压头与核桃接触,启动万能试验机,当挤压行程达到5 mm时自动停机。以核桃裂纹扩展情况以及壳体脱落情况为测试指标,将破

壳效果分为3个等级:a级为核桃沿缝合线破裂或破裂成两半;b级为核桃表面裂纹较少,壳体不容易剥落或剥落较少(壳体剥落情况小于或等于整

体面积的1/4);c级为核桃表面裂纹较多,壳体易自然剥落或剥落较多(壳体剥落情况大于整体面积的1/4)。



注:1. 固定板; 2. 平头式挤压头; 3. 传感器; 4. 凹槽式挤压头; 5. V型槽挤压头

Note: 1. Fixed plate; 2. Flat extrusion head; 3. Sensor; 4. Groove extrusion head; 5. V-groove extrusion head

图2 不同挤压头及加载方向示意图

Fig. 2 Schematic diagram of different extrusion heads and loading directions

2 结果与分析

2.1 核桃几何特征

云南漾濞大泡核桃三径尺寸分布如表1所示。

表1 云南漾濞大泡核桃三径尺寸分布

Table 1 Size distribution of three diameters of Yangbi big bubble walnut in Yunnan province

| 项目 | 分布 | | | | 均值/mm |
|----|------------|----------------|----------------|-------------|-------|
| | [0, 30 mm) | [30 mm, 35 mm) | [35 mm, 40 mm) | [40 mm, +∞) | |
| 纵径 | 0 | 5 | 73 | 22 | 38.70 |
| 横径 | 0 | 27 | 71 | 2 | 36.16 |
| 棱径 | 51 | 48 | 1 | 0 | 29.72 |

由表1可知,核桃的纵径尺寸大部分不小于35 mm,横径尺寸大部分在30 ~ 40 mm之间,棱径尺寸均小于40 mm,可见核桃三径尺寸的分布为三个区间阶段,基本符合正态分布。通过椭圆方程计算核桃的球度,结果表明:该品种核桃沿棱径方向投影偏心率(e_1)为0.36,在此方向上更接近于圆形;沿横径方向投影偏心率(e_2)较大,为0.64,在此方向上更接近于椭圆。根据各投影面的偏心率,以及纵径和横径与棱径的极差都较大,可将云南漾濞大泡核桃定义为扁圆球形。

研究发现,大部分破壳设备在外观特性分析中都将核桃近似成球体来进行分析,不仅未考虑核桃外观的凹凸特性,还未考虑扁圆球形的核桃。扁圆球形核桃的集中力作用区域面积比球形核桃作用区域面积小,并且在自由状态下大部分处于棱径向上的状态,核桃受力时很容易加载到核桃的棱部,由于棱部缝合线位置结合力小,施加载荷时核桃容易沿着缝合线直接裂开,不利于核仁分离^[14],此问题在云南漾濞大泡核桃上尤为显著,这也是导致该品种

核桃在大部分核桃破壳设备上无法达到很好的破壳效果的主要原因。

2.2 加载速率对核桃破壳效果的影响

加载速率对核桃未露仁率和整仁率的影响结果见图3。

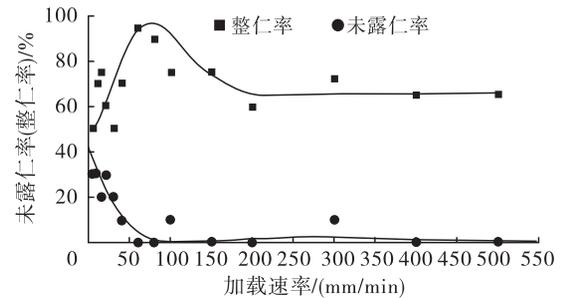


图3 核桃破壳状况随加载速率变化趋势图

Fig. 3 Trend of walnut shell breaking with loading rate

由图3可知:当加载速率从5 mm/min增加到60 mm/min时,整仁率随着加载速率的增加总体变大,未露仁率随着加载速率的增加总体减小;当加载速率从60 mm/min增加到200 mm/min时,对未露仁率的影响不大,整仁率则随加载速率的增加而减小;当加载速率从200 mm/min增加到500 mm/min时,未露仁率与整仁率稳定在一定的水平,说明加载速率超过200 mm/min以后,核桃破壳率接近100% (即未露仁率接近0),加载速率对核桃仁的损伤效果也接近最大,反映了加载速率对核桃仁的损伤是有限的,并不会随加载速率的提升而增大。为保证核桃的高露仁率,加载速率应不低于80 mm/min。

2.3 挤压头和加载方向对核桃破壳效果的影响

挤压头和加载方向对核桃破壳效果的影响如表2所示。

表2 不同试验条件下挤压破壳试验结果
Table 2 Results of extrusion shell breaking test under different test conditions

| 挤压头 | 加载方向 | a 级 | b 级 | c 级 |
|---------|------|-----|-----|-----|
| 平头式挤压头 | 棱径 | 10 | 0 | 0 |
| | 横径 | 3 | 5 | 2 |
| | 纵径 | 4 | 5 | 1 |
| | 总计 | 17 | 10 | 3 |
| 凹槽式挤压头 | 棱径 | 1 | 10 | 4 |
| | 横径 | 0 | 9 | 6 |
| | 纵径 | 3 | 8 | 4 |
| | 总计 | 4 | 27 | 14 |
| V 型槽挤压头 | 棱径 | 0 | 11 | 4 |
| | 横径 | 0 | 9 | 6 |
| | 纵径 | 4 | 7 | 4 |
| | 总计 | 4 | 27 | 14 |

由表2可知:平头式挤压头主要表现为破壳率低,大部分沿缝合线破裂成两半,不利于后续破壳;凹槽式挤压头和V型槽挤压头的各等级破壳核桃数量总数相同,但通过试验观察,凹槽式挤压头主要

表现为壳体裂纹中等但壳体碎块较小,V型槽挤压头主要表现为壳体裂纹较多但碎块较大。

将压力机试验数据经 Origin 处理后得到核桃破壳力与挤压行程(位移)的关系曲线,如图4所示。

由图4可知,3种挤压头最大挤压力平均值为凹槽式挤压头>V型槽挤压头>平头式挤压头。平头式挤压头挤压力和变形量开始呈线性增长,到达最大峰值(最大峰值只有一个)时核桃瞬间发生破碎,之后挤压力急速下降,最终达到一定水平后保持小幅波动。凹槽式挤压头有多个较大的挤压力峰值且所有峰值呈现逐渐递增的趋势,其平均挤压力较大,核桃仁基本无损伤,在此情况下增加挤压行程可让壳体进一步破碎,验证试验结果也如此,核桃仁保存完整,推测凹槽式挤压头结构具有一定程度的破壳保护作用。V型槽挤压头的挤压力也有多个峰值,但基本处于同一水平。

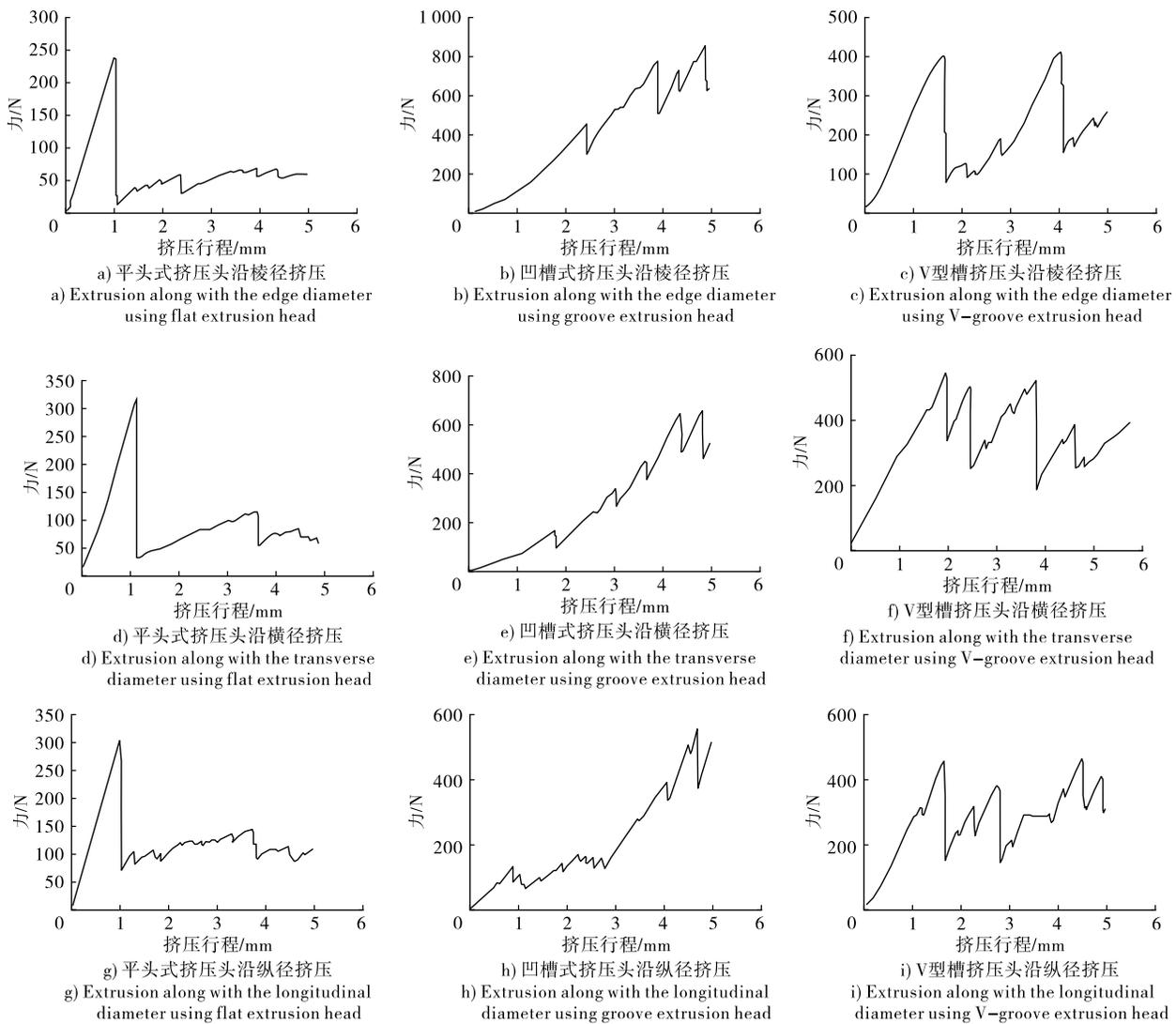


图4 核桃破壳力与位移的关系曲线

Fig. 4 Curve of walnut shell - breaking force versus displacement

2.4 核桃在不同挤压头下的有限元分析

有限元方法可直观显示核桃被挤压后复杂的应力和应变情况^[15],通过有限元法找出核桃裂纹扩展规律,并将有限元模拟结果与试验结果进行比较,可验证核桃在压缩过程中有限元模拟结果的可行性^[16]。由于核桃表面凹凸及其不规则性,为了模拟真实条件下核桃受力情况,采用3D扫描仪进行三维建模,并将核桃抽壳,然后将模型导入ANSYS软件建立有限元模型,通过查阅相关文献^[17]对核桃壳体参数取值,如表3所示。

表3 核桃力学参数

Table 3 Mechanical parameters of walnut

| 弹性模量/GPa | 泊松比 | 密度/(kg/m ³) |
|----------|-----|-------------------------|
| 0.18 | 0.3 | 470 |

核桃在不同挤压头下所需的加载力不同,因此以挤压试验中核桃破裂力的平均值作为有限元模拟的施加载荷,3种挤压头不同挤压方向加载力的平均值如表4所示。

表4 挤压头不同挤压方向加载力

Table 4 Loading force of extrusion head in different extrusion directions

| 挤压方向 | N | | |
|------|--------|--------|--------|
| | 平头式挤压头 | 凹槽式挤压头 | V型槽挤压头 |
| 棱径 | 136 | 829 | 331 |
| 横径 | 217 | 625 | 414 |
| 纵径 | 261 | 829 | 519 |

核桃在不同挤压方向和挤压头下的有限元模拟结果主要由等效应力分布图表示,如图5所示。

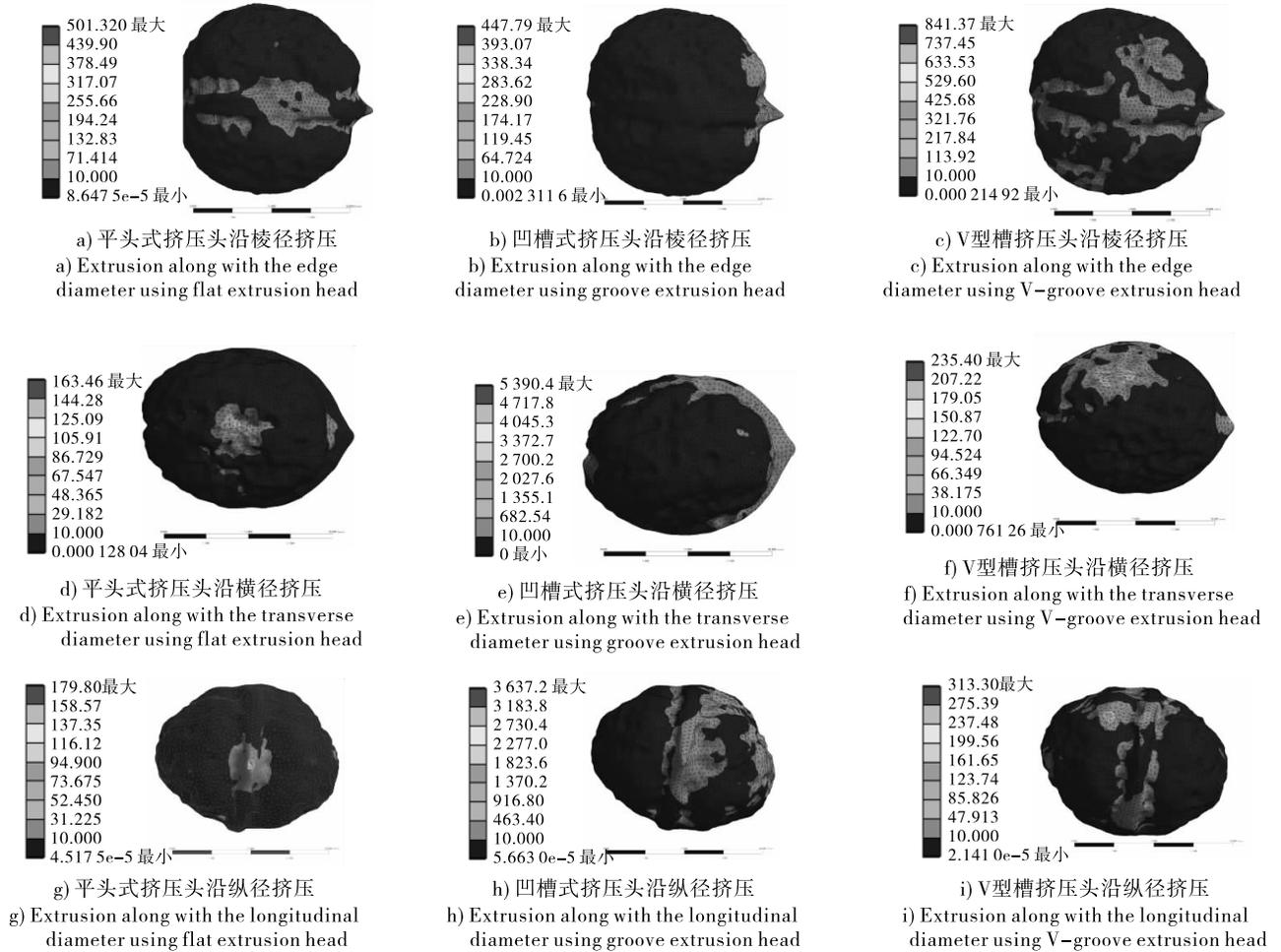


图5 核桃在不同挤压方向和挤压头作用下的有限元模拟等效应力分布图

Fig.5 Equivalent force distribution of walnut under different extrusion directions and extrusion heads in finite element simulation

由图5a、5d、5g可知,平头式挤压头下等效应力分布集中于一个接触点,壳体受到集中力,其断裂形式从加载中心向壳体周围展开,由于壳体的延展性较差,发生局部破裂,且核桃仁容易在破裂局部受到

损伤。

由图5c、5f、5i可知,V型槽挤压头下等效应力主要产生在核桃与V型槽部分的接触中,呈线性接触,应力分布无明显的方向性,且多集中于缝合线方

向,壳体裂纹均匀但无脱落,预测裂纹扩展情况与实际试验相符。

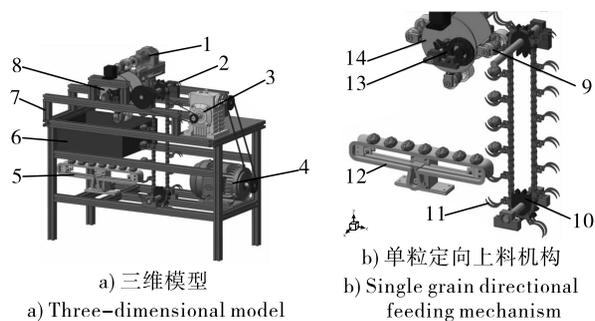
由图 5b、5e、5h 可知,凹槽式挤压头等效力分布较均匀且近似于环形区域,沿纵径方向看,等效力分布较为均匀且扩展区域面积较大,由于凹槽式挤压头与核桃实现多点接触,壳体多处破裂并向周围展开,裂纹扩展趋势明显,该挤压头下的核桃壳破裂碎块较小且破裂均匀,壳体直接脱落,这是破壳的最优选择^[18-20]。

综上,凹槽式挤压头与 V 型槽挤压头破壳效果较好,在挤压试验中也发现这两种挤压头优缺点的不同,凹槽式挤压头破壳效果好但所需加载力较大, V 型槽挤压头破壳效果次之但所需加载力较小,这与仿真结果一致。

3 核桃单粒破壳设备的设计

3.1 整机工作原理

基于上述挤压试验结果和仿真结果对破壳设备进行设计,主要采用冲击式与挤压式相结合的破壳方式,关键破壳力来源于冲击破壳。冲击破壳虽破壳率高但对核桃仁的损伤也较大,该损伤主要由于冲击通过壳体传导到核桃仁,使核桃仁受到震动而破裂,为解决这一问题,根据核桃的脆性断裂准则^[21],采用先挤压使壳体表面高度紧张,再施加一定的冲击力使壳体破裂的方式,该方式下核桃壳体 2/3 的面积被挤压头包裹,使冲击力产生的震动最大化传导到壳体上,在壳体充分破碎的同时又可以很好地保护核桃仁。整机设计如图 6 所示。



注:1. 挤压机构;2. 链传动上料机构;3. 减速器;4. 动力机构;5. 带传送运输机构;6. 下料仓;7. 机架;8. 工位转换机构;9. 挤压头;10. 链轮;11. 喂料勾;12. 凹槽型输送带;13. 外槽轮机构;14. 转盘

Note: 1. Extrusion mechanism; 2. Chain drive loading mechanism; 3. Reducer; 4. Power mechanism; 5. Belt conveyor transport mechanism; 6. Discharge hopper; 7. Frame; 8. Workstation changeover mechanism; 9. Extrusion head; 10. Sprockets; 11. Feeding hooks; 12. Groove conveyor belts; 13. Outer grooved wheel mechanism; 14. Turntable

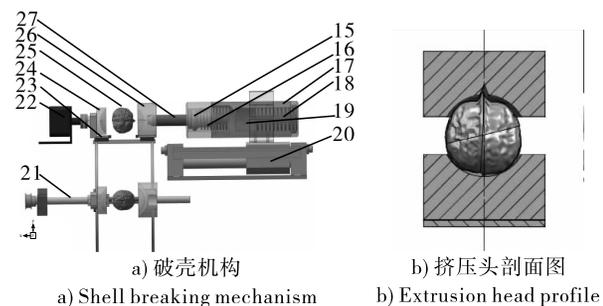
图 6 核桃单粒定向破壳装置

Fig. 6 Walnut single grain directional shell breaking device

由图 6 可知,核桃单粒破壳设备工作时,一个工作循环中每个工位只进行单粒破壳。在设计中,定向好的核桃将通过凹槽型输送带进行运输,凹槽型的设计则保证了定向好的核桃在运输过程中姿态稳定,核桃喂料采用双侧单孔直板链传动机构,每两个对应的直板上连接有月牙形弯钩,两个弯钩的设计不仅方便输送带上核桃的落入,而且在保证喂料姿态的同时给予挤压头充分的夹持空间,使核桃按照预定姿态进入挤压头中。对于不同尺寸的核桃,设计夹持行程和挤压行程可调节的装置进行输送破壳与下料,将上下挤压头固定于气缸滑块轨道上,可稳固夹持不同尺寸的核桃;上料机构中的转盘采用外槽轮机构实现停歇的单向周期性转动,槽轮中装有圆柱销的主动拨盘转动一周,槽轮带动转盘转 1/4 圆周,双侧单孔直板链向转盘输送一粒核桃,完成一次喂料,同时转盘旋转 90° 转换工位至破壳工位进行破壳;当转盘进行下一次上料与破壳时,再一次转换工位对上一次破壳工位的核桃进行下料,至此完成一次完整的工作循环^[22-25]。

3.2 破壳机构设计

破壳机构主要由挤压头和压力臂两部分组成。图 7 为破壳机构示意图和挤压头剖面图。



注:15. 击锤轴;16. 定位弹簧;17. 套筒;18. 钢弹簧;19. 撞击锤;20. 无杆气缸;21. 转盘轴;22. 步进电机;23. 滑动台气缸;24. 下挤压头;25. 核桃;26. 上挤压头;27. 传导轴

Note: 15. Hammer shaft; 16. Positioning spring; 17. Sleeve; 18. Steel spring; 19. Impact hammer; 20. Rodless cylinder; 21. Turntable shaft; 22. Stepping motor; 23. Sliding table cylinder; 24. Lower extrusion head; 25. Walnut; 26. Upper extrusion head; 27. Conducting axis

图 7 破壳机构示意图和挤压头剖面图

Fig. 7 Schematic diagram of the shell breaking mechanism and section of the extrusion head

由图 7 可知,破壳机构工作时,下挤压头固定,在不受力的情况下,压力臂中击锤轴在定位弹簧的作用下为倾斜状摆放,当气缸带动压力臂对核桃进行挤压时,首先定位弹簧压缩,击锤轴挤压推动撞击锤,撞击锤与击锤轴接触一侧有 20 mm 深的通孔,倾斜状态下的击锤轴直接挤压撞击锤孔壁,致使撞

击锤不断压缩钢弹簧,当定位弹簧在此过程中不断压缩并到达两圆心重合,同时定位弹簧也矫正击锤轴使其与撞击锤的通孔同心,击锤轴头部从侧面接触撞击锤被强制推入撞击锤中心孔洞瞬间,处于压缩状态下的钢弹簧即刻伸展,撞击锤与击锤轴发生撞击,同时在传导轴的作用下对核桃产生瞬时冲击力,致使核桃破裂。由于一次破裂后还有个核桃或一些部位未完全脱壳,因此需进行二次破壳或通过使裂纹进一步扩展的方式使壳体脱落。破壳机构压力臂冲击后下挤压头在步进电机的带动下转动一定角度,上下挤压头的相对旋转产生的扭力作用可以使先前破裂的壳仁进一步分离^[26],下挤压头主要通过相对摩擦使裂纹进一步扩展。

根据挤压试验可知,凹槽式挤压头结构具有一定程度的破壳保护作用,因此以凹槽式挤压头为基础进行改进设计,除沿横径方向挤压,其余两个方向挤压时最先接触的地方为核桃的棱部,会造成核桃沿棱部破裂成两半,但V型槽挤压头刚好避免了这一状况,因此可尝试将凹槽式挤压头内部开槽避开核桃棱部,使之挤压时最先接触的部位为横径方向的位置,且试验表明V型槽挤压头沿纵径方向挤压裂纹最多且分布均匀,该情况下核桃的作用区域也为核桃非棱部位,将此运用于凹槽式挤压头,很大程度上可增大作用区域面积且不挤压到核桃棱部,避开了较为坚硬的棱部凸起,另外可以减小凹槽式挤压头的挤压力。如图7b所示,由于核桃的特殊状态,要将其以直立方式放置难以固定,但核桃尖端对应的底部有一条凹缝,可将其沿棱向进行固定,此时核桃以直立姿态位于挤压头中,尖端置入上挤压头V型槽中,下挤压头凸起置入核桃尾端凹陷处,可保证核桃在固定方向进行挤压破壳。

3.3 传动机构设计

传动机构以电机为驱动并用减速器减速后引入喂料勾转轴,一方面带动转盘运动,另一方面通过链传动带动喂料勾上料^[27]。整机传动机构示意图如图8所示。

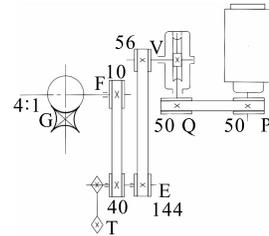
由图8可知,整个传动系统主要分为两个部分,含五级传动。

第一部分:一级传动为电机输出轴到减速器输入轴,二级传动为减速器输入轴到减速器输出轴,三级传动为减速器输出轴到喂料勾转轴,四级传动为喂料勾转轴到同步带轮输出轴,五级传动为同步带轮输出轴到槽轮轴。故有下列关系式。

$$i_1 = i_{PQ} \times i_{QV} \times i_{VE} \times i_{EF} \times i_{FG} \quad (3)$$

式中: i_1 为电动机输出轴到槽轮轴的减速比; i_{PQ}

为电动机输出轴与减速器输入轴传动比; i_{QV} 为减速器传动比; i_{VE} 为减速器输出轴与喂料勾转轴传动比; i_{EF} 为喂料勾转轴与同步带轮输出轴传动比; i_{FG} 为同步带轮输出轴与槽轮轴传动比。



注:P. 电机输出轴;Q. 减速器输入轴;V. 减速器输出轴;E. 喂料勾转轴;F. 同步带轮输出轴;G. 槽轮轴;T. 链轮输出轴

Note: P. Motor output shaft; Q. Reducer input shaft; V. Reducer output shaft; E. Feeding hook rotating shaft; F. Synchronous belt pulley output shaft; G. Grooved wheel shaft; T. Sprocket output shaft

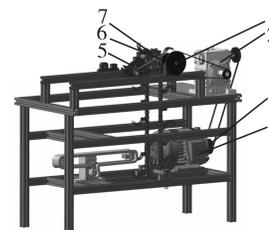
图8 整机传动机构示意图

Fig. 8 Schematic diagram of the transmission mechanism of the whole machine

按照山核桃破壳的加工要求,设定工作效率10 kg/h,则槽轮轴转速约为42 r/min,则取 i_1 为35,为了保持传动平稳,在分配传动比时,一级传动、二级传动、三级传动、四级传动与五级传动分别设为1:1、14:1、2.5:1、1:4与4:1,即 $i_{PQ} = 1$, $i_{QV} = 14$, $i_{VE} = 2.5$, $i_{EF} = 0.25$, $i_{FG} = 4$ 。

根据计算结果,如图9整机传动机构所示,一级传动(P—Q)选用的是直径相等的带传动,二级传动(Q—V)选用的是减速比为14的涡轮蜗杆减速器,三级传动(V—E)选用的是直径比为2.5:1的带传动,四级传动(E—F)选用的是1:4的同步带传动,五级传动(F—G)为4:1的槽轮传动。

第二部分:由电机引出到链轮喂料机构,四级传动从喂料勾转轴到链轮输出轴,为链传动并设定传动比为1:1。



注:1. 带传动(V—E);2. 减速器;3. 带传动(P—Q);4. 电机;5. 槽轮;6. 同步带传动;7. 链传动

Note: 1. Belt drive (V—E); 2. Reducer; 3. Belt drive (P—Q); 4. Motor; 5. Grooved wheel; 6. Synchronous belt drive; 7. Chain drive

图9 整机传动机构

Fig. 9 Drive mechanism of the whole machine

4 结 论

本研究分析了云南漾濞大泡核桃外观特性,采用挤压试验结合对应状态下的静力学仿真分析研究了核桃在不同加载方向以及不同挤压头下的破壳效果,提出了一种基于定向前提下,将一次破壳与二次破壳相结合的单粒核桃破壳方式,主要结论如下。

(1)云南漾濞大泡核桃为扁圆球形;在装备设计中将其看作球体设计无法达到很好的破壳效果,需注重其外观特性进行适应性设计。

(2)加载速率对云南漾濞大泡核桃仁的损伤是有限的,加载速率超过 200 mm/min 以后,核桃破壳率已经接近 100%,加载速率对核桃仁的损伤效果也接近最大损伤效果,并不会随加载速率的提升而增大。

(3)针对核桃破壳方向与挤压头适应性进行试验分析与仿真分析发现,凹槽式挤压头与核桃实现多点接触,壳体裂纹密集分布均匀,且结构具有一定程度的破壳保护作用,结合 V 型槽挤压头避开缝合线的优点设计了一款新型挤压头,更适应核桃外观特性。

(4)本研究设计的核桃破壳机构通过一次破壳与二次破壳相继进行,采用气缸带动压力臂的驱动方式针对大小不同的核桃适应性更强,并建立了整机的三维实体模型,根据模型进行结构分析。

本研究为核桃破壳设备的设计提供了具有创新意义的理论支撑,为核桃加工提供了一种新的破壳理论及方法(采用气动冲击破壳与扭搓破壳相结合的方式破壳)。

参考文献:

[1] 徐梦婷,李俊,郝艳宾,等.核桃膳食化:从膳食结构需求角度浅析核桃仁全利用[J].食品与发酵工业,2023,49(16):362-368.

[2] 燕翔,张少飞,王都留,等.核桃壳活性炭的改性及其在重金属离子废水处理中的研究进展[J].粮食与油脂,2022,35(9):10-13.

[3] 张会娟,谢焕雄,王建楠,等.我国核桃脱壳设备概况与发展探析[J].中国农机化学报,2022,43(9):95-101.

[4] 沟睿.核桃高产种植赋能乡村振兴[J].河南农业,2022(23):16-18.

[5] 张恩铭,郑霞,丑维新,等.基于划口预处理的不同品种核桃破壳分析研究[J].农机化研究,2019,41(12):22-29,36.

[6] 郑霞,张恩铭,坎杂,等.适宜核桃壳划口位置改善其破壳特性提高整仁率[J].农业工程学报,2018,34(19):300-308.

[7] 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.

[8] 王维,贺功民,王亚妮.核桃的力学特性及有限元分析[J].中国农机化学报,2013,34(6):103-106.

[9] 刘佳,沈晓贺,杨莉玲,等.核桃破壳技术与装备研究进展[J].食品与机械,2020,36(9):223-227,232.

[10] 彭美乐.冲击力下山核桃裂纹产生与扩展规律的实验研究[D].合肥:安徽农业大学,2021.

[11] 刘甲振,耿爱军,栗晓宇,等.国内外核桃破壳技术与装备研究进展[J].中国果树,2019(1):16-20,26.

[12] 李康,李长河,刘明政,等.多工位定向挤压鲜核桃破壳装置设计与试验[J/OL].石河子大学学报(自然科学版):1-9[2023-04-22].https://doi.org/10.13880/j.cnki.65-1174/n.2023.21.008.

[13] 周军.气爆式核桃破壳方法的试验研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.

[14] 祝兆帅.斜齿对辊挤压式杏核破壳机的设计与试验[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2021.

[15] GÜNER M, DURSUN E, DURSUN I G. Mechanical behaviour of hazelnut under compression loading [J]. Biosyst Eng, 2003, 85(4): 485-491.

[16] 闫茹,高警,郑甲红,等.基于 Workbench 的核桃破壳力学特性分析[J].农机化研究,2014,36(10):38-41.

[17] 史建新,赵海军,辛动军.基于有限元分析的核桃脱壳技术研究[J].农业工程学报,2005,21(3):185-188.

[18] DINTWA E, VAN ZEEBROECK M, RAMON H, et al. Finite element analysis of the dynamic collision of apple fruit [J]. Postharvest Biol Technol, 2008, 49(2): 260-276.

[19] 彭美乐.冲击力下山核桃裂纹产生与扩展规律的实验研究[D].合肥:安徽农业大学,2021.

[20] ZHANG R R, LI X Y, WANG W, et al. Analysis of mechanical properties of Chinese chestnut cracking based on the FEM [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9): 84-88.

[21] 王超.新型多点挤压式核桃破壳机的设计与试验研究[D].西安:陕西科技大学,2021.

[22] 马秋成,陈强,卢安舸,等.核桃定向破壳装置设计及试验[J].江西农业大学学报,2022,44(2):473-485.

[23] 霍俊,王焱清,孙记委,等.多通道高速削刮式油茶果破壳机设计与试验[J].湖北工业大学学报,2023,38(1):1-4.

[24] 沈柳杨.冲压式核桃破壳机的设计及试验研究[D].新疆阿拉尔:塔里木大学,2017.

[25] 崔功佩,王京峥,文双涛,等.采后甘蓝单体排序定向输送装置设计与试验[J].农业机械学报,2021,52(6):351-360.

[26] 吐鲁洪·吐尔迪,阿依木妮莎·拜克热.新型巴旦木破壳机的设计[J].农村科技,2021(2):67-69.

[27] 蒋兰,曹成茂,谢承健,等.山核桃破壳机敲击臂凸轮机构的设计与试验[J].机械设计,2018,35(6):54-59.