

田螺脱壳清洗机振动筛的设计与试验

高英武¹, 陈振宇², 高兴宇², 李志红¹, 邓春香¹

(1. 湖南农业大学工学院, 长沙 410128; 2. 湘潭大学信息工程学院, 湘潭 411105)

摘要: 为减轻田螺脱壳清洗的劳动强度, 设计研制了一种结构简单、操作方便的振动式的田螺脱壳清洗机。通过对振动筛曲柄摇杆机构的尺度综合分析, 以传动角最大为寻优目标计算出机构的曲柄、连杆、摇杆长度分别为 8、180、220 mm; 通过机构运动分析和试验研究, 得出曲柄转速在 600 r/min 左右时, 脱净率可达 96%。

关键词: 田螺脱壳; 振动筛; 曲柄摇杆机构; 转速

中图分类号: S375

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2007)5-0121-05

高英武, 陈振宇, 高兴宇, 等. 田螺脱壳清洗机振动筛的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 121-125.

Gao Yingwu, Chen Zhenyu, Gao Xingyu, et al. Design and experiment of vibrating screen of shelling washer for field-snail [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 121-125. (in Chinese with English abstract)

0 引言

田螺是一种软体动物, 在全国大部分湖区、河畔, 甚至田边、小溪都广泛生长繁殖, 产量很大。笔者在湖南益阳洞庭湖区, 田螺生产旺季做试验时, 看到一对农民夫妇早出晚归一天就捞到了将近 500 kg 田螺。近年来, 乌鲁木齐、阿克苏等西北地区都有田螺出售^[1]。田螺肉鲜嫩可口, 风味独特, 且含有丰富的蛋白质和维生素, 以及磷、钙、铁、镁等人体所需的微量元素, 是一种深受消费者亲睐的营养食品^[2]。无论大小城市、乡村的丰盛宴席上或饮食大排挡摊位, 风味独特的田螺食品都占有一席之地^[3]。田螺除鲜食外, 还可制成螺干或罐头。螺壳含有大量可消化的钙质, 磨碎后可做禽饲料添加剂。由于田螺繁殖能力强, 生长速度快, 单位产量高, 易于饲养管理等优点, 近年养殖螺业已成为部分农民发家致富的新门路。据对福建宁德地区 20 多家养殖户调查, 养 667 m² 田螺可收获 2000 kg 田螺^[4]。湖南生物机电职业技术学院开发研究了田螺真空软罐头生产技术^[5], 南昌大学食品工程学院开发出了田螺方便食品^[6], 使广大市民能在生产淡季吃到各种风味的田螺肉。河南南部淮河流域产的田螺, 粗加工为速冻田螺肉销往日本、韩国以及中国上海、青岛等地^[7]。

田螺有一层硬壳不能食用, 在广大农村和田螺深加

工企业将田螺壳肉分离清洗的通常措施是: 先用开水烫煮 2~3 min, 再用针从螺壳中挑出螺肉, 然后清洗。整个工序依靠人工, 费工、费时、劳动强度大。同时大量田螺在短时间收集后, 往往不能及时处理而大量死亡, 严重影响肉质鲜嫩度。洞庭湖畔田螺生产旺季, 湖南、湖北地区有农民为了抢季节利用一些简单的器具压壳清洗, 其工作流程为先压碎, 后筛洗。但往往螺壳脱净率达不到要求不能食用, 只能做禽饲料; 而且这些器具仍是以手工操作为主, 效率低; 加工后的螺壳堆积在住房前后的路边, 污染环境。笔者查证, 至今还没有一种机器能代替人工进行挑肉、脱壳、清洗工作。因此设计一种结构简单, 既方便进行田螺脱壳、清洗, 又能及时处理螺壳的机器对开发这类营养食品 and 进行深加工具有重要的意义。

1 脱壳清洗机整体结构和工作流程

田螺脱壳清洗机试验样机整机结构如图 1 所示。

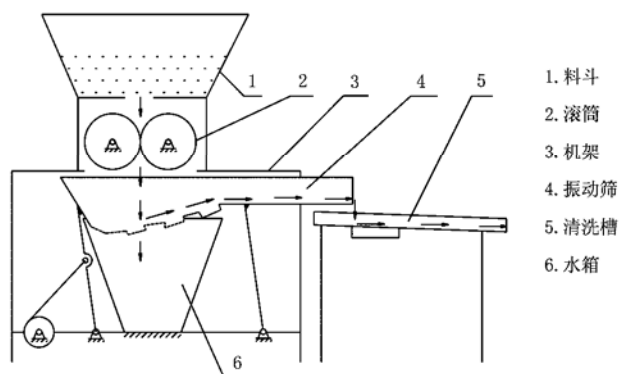


图 1 田螺壳肉分离清洗机结构简图

Fig. 1 Structural diagram of washer for separating shell and meat of field-snail

收稿日期: 2006-08-15 修订日期: 2007-01-06

基金项目: 湖南省科技厅科技计划资助项目(2006NK3112); 湖南省教育厅科研基金资助项目(02C552)

作者简介: 高英武(1952-), 女, 教授, 主要从事机械设计教学和农业机械创新设计与试验研究工作。长沙 湖南农业大学工学院, 410128。Email: gyw1952@sohu.com

连杆 BC 与从动件 CD 之间所夹锐角称为连杆机构

的传动角 γ , γ 角越大机构的传力效果越好。在机构的整个运动过程中 γ 角是变化的, γ 角的大小与各杆的长度直接相关。因此以传动角 γ 角最大为寻优目标, 进行优化设计, 取设计变量: $X = \{X_1, X_2, X_3\} = \{m, n, l\}$ 。

目标函数为

$$f(X) = \arccos \frac{X_1^2 + X_2^2 - (X_3 - 1)^2}{2X_1X_2}$$

$$= \arccos \frac{m^2 + n^2 - (l - 1)^2}{2mn}$$

约束条件为

$$\begin{cases} -X_1 < 0 \\ -X_2 < 0 \\ -X_3 < 0 \\ 1 + X_3 - X_1 - X_2 \leq 0 \\ 1 - X_1 < 0 \\ 1 - X_2 < 0 \\ 1 - X_3 < 0 \\ (1 + X_1)^2 - X_2^2 - X_3^2 + 1.414X_2X_3 = 0 \\ (X_1 - 1)^2 - X_2^2 - X_3^2 + 1.532X_2X_3 = 0 \end{cases}$$

采用外点惩罚函数法^[13] 可求得最优解为: $X = (X_1, X_2, X_3) = (22.5, 27.5, 32.5)$, 即 $m = 22.5, n = 27.5, l = 32.5$ 。

取偏心轮的偏心距 $L_1 = 8$, 则求得其余杆长为: $L_2 = 180, L_3 = 220, L_4 = 260$ 。

偏心轮的角 θ_1 变化范围在 $0 \sim 2\pi$ 之间, 可求得: $\theta_3 = 134.832^\circ \sim 139.059^\circ$ 。

3 曲柄转速的确定

3.1 机构运动分析

田螺对筛面的相对运动由筛体运动传递。筛体机构运动原理简图如图 3。摇杆和连杆长度相对曲柄半径较长, 摇杆的摆角 θ_3 范围很小 (4.227°), 曲柄中心 A 与连杆 BC 和摇杆 DC 连接点 C 所在的连线 AC 与摇杆 ED 接近于垂直。以筛子的中心作为平衡位置, 把振动筛的运动看作振幅为 $2r$ 的往复直线运动^[13-15] (图 4), 取振动方向为 ζ 轴的正向, ζ 轴与 x 轴正向的夹角为 ϵ , 振动筛底与 x 轴夹角为 α 。如果以曲柄垂直于 ζ 轴位置作为筛子的位移和时间的起始相位, 曲柄的速度为 ω , 则筛子的位移、速度和加速度与时间的关系为:

$$\text{位移 } \xi = r \cos \omega t;$$

$$\text{速度 } v_\xi = \frac{d\xi}{dt} = r\omega \sin \omega t;$$

$$\text{加速度 } a_\xi = \frac{d^2\xi}{dt^2} = r\omega^2 \cos \omega t。$$

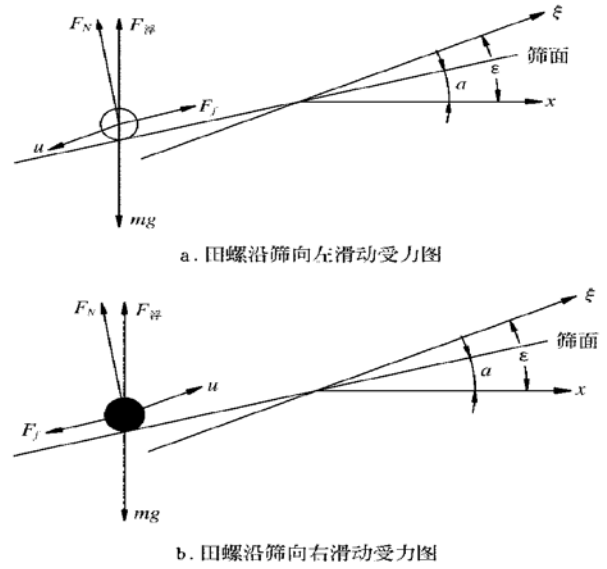


图 4 振动筛运动分析简图

Fig. 4 Kinematic analysis of vibrating screen

3.2 曲柄转速的确定

为了确定曲柄的转速, 对田螺进行动力学分析。田螺在筛面上运动很复杂, 为简单起见, 本研究不考虑田螺间的摩擦, 而以单粒田螺为对象作分析^[8-10]。水的黏度很小, 也不考虑。田螺受力和运动简图如图 4^[16,17]。当曲柄 AB 位于 I、IV 象限时加速度为负值, 惯性力沿 ζ 轴正向, 田螺有沿筛面向右滑动的趋势; 当曲柄 AB 位于 II、III 象限时加速度为正值, 惯性力沿 ζ 轴负向, 田螺有沿筛面向左滑动的趋势。田螺左右滑动时, 压碎的田螺松散, 壳肉分离。向右滑动时螺肉能抛离筛面就能越过阶梯, 而螺壳不离开筛面就会掉入水底。由田螺受力图可得:

田螺向左滑动的极限条件为:

$$u \cos(\epsilon - \alpha) + mg \sin \alpha - F_{\text{浮}} \sin \alpha = F_f \quad (6)$$

式中 u ——惯性力, $u = m\omega^2 r \cos \omega t$; F_f ——摩擦力, $F_f = F_N \tan \varphi$, φ ——摩擦角; F_N ——法向反力, $F_N = u \sin(\epsilon - \alpha) + mg \cos \alpha - F_{\text{浮}} \cos \alpha$; $F_{\text{浮}}$ ——浮力, 田螺肉的浮力: $F_{\text{肉浮}} = \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{肉}}} mg$, 田螺壳的浮力: $F_{\text{壳浮}} = \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{壳}}} mg$ 。

将 $u, F_f, F_N, F_{\text{肉浮}}, \varphi_{\text{肉}}, \varphi_{\text{壳}}, F_{\text{壳浮}}$ 代入 (6) 式得田螺肉向左滑动的极限条件:

$$\frac{\omega^2 r \cos \omega t}{g(1 - \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{肉}}})} = \frac{\sin(\varphi_{\text{肉}} - \alpha)}{\cos(\epsilon - \alpha + \varphi_{\text{肉}})} \quad (7)$$

因 $|\cos \omega t| \leq 1$ 即得螺肉向左滑动的极限条件为

$$\frac{\omega^2 r}{g(1 - \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{肉}}})} > \frac{\sin(\varphi_{\text{肉}} - \alpha)}{\cos(\epsilon - \alpha + \varphi_{\text{肉}})} \quad (8)$$

螺壳向左滑动必满足:

$$\frac{\omega^2 r}{g(1 - \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{壳}}})} > \frac{\sin(\varphi_{\text{壳}} - \alpha)}{\cos(\epsilon - \alpha + \varphi_{\text{壳}})} \quad (9)$$

田螺向右滑的极限条件:

$$u \cos(\epsilon - \alpha) - mg \sin \alpha + F_{\text{浮}} \sin \alpha = F_f$$

即螺肉向右滑动必满足:

$$\frac{\omega^2 r}{g(1 - \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{肉}}})} > \frac{\sin(\varphi_{\text{肉}} + \alpha)}{\cos(\epsilon - \alpha - \varphi_{\text{肉}})} \quad (10)$$

螺壳向右滑动必满足:

$$\frac{\omega^2 r}{g(1 - \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{壳}}})} > \frac{\sin(\varphi_{\text{壳}} + \alpha)}{\cos(\epsilon - \alpha - \varphi_{\text{壳}})} \quad (11)$$

螺肉向右滑动时被抛离筛面的条件是:

$$F_N = mg \cos \alpha - u \sin(\epsilon - \alpha) - F_{\text{肉浮}} \cos \alpha < 0$$

$$\frac{\omega^2 r}{g(1 - \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{肉}}})} > \frac{\cos \alpha}{\sin(\epsilon - \alpha)} \quad (12)$$

螺壳不脱离筛面的条件是:

$$F_N = mg \cos \alpha - u \sin(\epsilon - \alpha) - F_{\text{壳浮}} \cos \alpha > 0$$

$$\frac{\omega^2 r}{g(1 - \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{壳}}})} > \frac{\cos \alpha}{\sin(\epsilon - \alpha)} \quad (13)$$

由于结构需要取 $ED = 275 \text{ mm}$, 则: $r = L_1 \frac{ED}{CD} =$

$$8 \times \frac{275}{220} = 10 \text{ mm}, \text{ 机构中 } \epsilon = 45^\circ, \alpha = 10^\circ.$$

为了确定田螺脱壳清洗机振动曲柄的转速范围, 采用地处洞庭湖畔野生的圆田螺进行试验, 由试验测得: 田螺个体横向平均对径 24.2833 mm , 纵向平均对径 25.56 mm 。平均质量约 20 g , 其力学参数为:

$$\rho_{\text{肉}} = 1.34 \text{ g/cm}^3, \rho_{\text{壳}} = 2.52 \text{ g/cm}^3, \varphi_{\text{肉}} = 45.02^\circ, \varphi_{\text{壳}} = 15.33^\circ$$

将以上实测数据分别代入(8)~(13)式得:

螺肉向左滑动的转速 $> 273.9 \text{ r/min}$

螺壳向左滑动的转速 $> 88.6 \text{ r/min}$

螺肉向右滑动的转速 $> 153.57 \text{ r/min}$

螺壳向右滑动的转速 $> 137.3 \text{ r/min}$

螺肉抛离筛面的转速 $> 197.2 \text{ r/min}$

螺壳不脱离筛面的转速 $< 304.0 \text{ r/min}$

综上所述, 要达到使田螺脱壳松散, 壳肉都能在筛面上左右滑动, 螺壳不离筛面, 掉入筛底, 而螺肉能抛离筛面, 越过筛底阶梯向右输送的条件, 可以确定田螺脱壳清洗机激振机构的振动曲柄的转速范围为 $273.9 \sim 304.0 \text{ r/min}$ 。

4 脱壳清洗试验及结果

试验地点为湖南省洞庭湖区益阳市注南湖村, 试验

机的振动筛底部为宽 240 mm , 长 1200 mm 的长条槽形, 栅格用 $\varnothing 6 \text{ mm}$ 的圆钢焊接而成, 间距为 10 mm , 如图 2, 阶梯高差也为 10 mm 。两个碾压滚筒直径为 130 mm , 长为 240 mm , 中心距为 140 mm 可调。调速电动机功率 1.5 kW , 调速范围为 $12 \sim 1200 \text{ r/min}$ 。试验用的田螺为地处洞庭湖畔野生的圆田螺。试验时间为 2006 年 7 月。结果如表 1。

表 1 脱壳清洗试验结果

| 序号 | 滚筒转速 /r · min ⁻¹ | 曲柄转速 /r · min ⁻¹ | 田螺质量 /kg | 脱净率 /% |
|----|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------|
| 1 | 400 | 300 | 5 | 70.65 |
| 2 | 400 | 400 | 5 | 82.33 |
| 3 | 400 | 500 | 5 | 90.06 |
| 4 | 400 | 600 | 5 | 96.23 |
| 5 | 400 | 700 | 5 | 92.82 |
| 6 | 400 | 800 | 5 | 86.84 |

由试验结果可知, 在分析设计基础上设计的试验机作相关转速试验, 曲柄转速为 600 r/min 时, 田螺脱净率最高, 达 96.23% 。

田螺脱壳清洗的最佳转速高于理论计算确定的范围, 原因是:

1) 计算时取的是 $\cos \alpha$ 的最大值, 而实际上这只是极限情况, 大部分时间是小于这个值的;

2) 为了计算的简化, 没有考虑田螺间的摩擦、黏连等情况。所以实际转速要高于理论计算值。

5 结论与讨论

1) 把田螺用开水烫过, 然后用双滚筒碾压, 振动筛脱壳清洗的工作原理设计的田螺脱壳清洗机, 结构简单, 操作方便;

2) 通过振动筛曲柄摇杆机构的尺度分析和优化计算, 得出了合理的杆件长度;

3) 通过振动筛曲柄摇杆机构的运动分析和试验研究, 得出在本试验机振动筛尺寸条件下合理的转速; 在曲柄转速为 600 r/min 时, 可使田螺脱净率达 96% 以上;

4) 田螺脱壳清洗机的结构和工作原理, 除了圆田螺, 也会适合其他类型的田螺脱壳清洗, 甚至会适合很多与圆田螺有类似特性的硬壳软体动物的脱壳清洗, 应该说其应用前景还是非常乐观的。

[参 考 文 献]

- [1] 茅家梁. 田螺说[J]. 兵团工运, 1994, 8: 35.
- [2] 张孔海, 吴 斌, 王 欣. 田螺肉的营养保健功能与开发研究[J]. 食品与机械, 2005, 5: 55- 56.

- [3] 严昭金. 秦淮河畔螺肉香[J]. 烹调知识, 1994, 4: 16– 17.
- [4] 郭津伍. 人工养殖田螺[J]. 农家顾问, 1995, 2: 32– 33.
- [5] 姜小清, 何建明. 麻辣田螺真空软罐头生产技术的研
究[J]. 内陆水产, 2003, 28(6): 32– 33.
- [6] 秦 园. 值得开发的田螺方便食品[J]. 资源开发与市场,
1995, 11(5): 242.
- [7] 高英武, 刘毅君, 任述光. 振动喷淋式蔬菜清洗机的研制
[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 92– 95.
- [8] 王志伟, 孟玲琴, 刘 丹, 等. 振动筛选机的优化设计[J].
农业机械学报, 2006, 37(5): 67– 71.
- [9] 彭三河. 莲藕清洗装置的试验研究[J]. 包装与食品机械,
2005, 23(5): 6– 7, 11.
- [10] 杨红兵, 丁为民, 陈坤杰. 新型蔬菜清洗机的研制[J]. 农业
工程学报, 2005, 21(1): 92– 96.
- [11] 高英武, 任述光, 汤兴初. 步进式水稻钵苗摆植机送秧机构
的研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(2): 37– 39.
- [12] 魏文军, 高英武, 张云文. 机械原理[M]. 北京: 中国农业大
学出版社, 2005: 85– 100.
- [13] 孙靖民. 机械优化设计[M]. 北京: 北京机械工业出版社,
2000: 141– 147.
- [14] 李 革. 倾斜气流清选装置中物料的动力学特性、轨迹和
分离研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 22– 25.
- [15] 邓春香, 陶栋材, 高静萍. 气流清选风车中谷物的动力学特
性和影响因素的研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 121
– 125.
- [16] 汤楚宙, 谢方平, 孙松林. 水稻联合收割机原理与设计
[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2002: 60– 64.
- [17] 邓春香, 向建化, 陶栋材. 谷物清选风车中振动筛的曲柄转
速和半径优选[J]. 湖南农业大学学报, 2006, 32(4): 199–
202.

Design and experiment of vibrating screen of shelling washer for field-snail

Gao Yingwu¹, Chen Zhenyu², Gao Xingyu², Li Zhihong¹, Deng Chunxiang¹

(1. College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: In order to relieve the working intensity of field-snail shelling and washing, a kind of field-snail washing machine with simple structure and convenience operation was designed. After analyzing the dimension of crank rocker mechanism for vibrating screen and maximizing the drive angle for optimization object, it is obtained that the length of crank, connection rod and rocker are 8 mm, 180 mm and 220 mm, respectively. Through movement analysis of mechanism and experimental study, it is concluded that the rotation speed of crank is approximately 600 r/min, the threshing rate can reach 96%.

Key words: field-snail-shelling; vibrating screen; crank rocker mechanism; rotation speed