

# 自动包馅鱼丸机切边机构的优化

吴黄懿<sup>1</sup>, 曾绍峰<sup>1,2</sup>, 罗敏峰<sup>1,2</sup>

(1.福建工程学院机械与汽车工程学院,福建福州350118;2.福建省数字化装备重点实验室,福建福州350118)

**摘要:**从自动包馅鱼丸机切边机构入手,分别对压杆装置和切刀分离装置进行优化设计。以切边机构的速度和加速度曲线为优化参数,对压杆装置进行形状拓扑优化设计并提升了机械的传动精度,结果表明,连杆尺寸在132~142 mm,压杆装置的力学性能最好。此外,对切刀分离装置进行结构优化,在保证切刀分离装置性能的前提下,使刀盘的质量减少21%。

**关键词:**鱼丸机;自动包馅;优化设计

中图分类号: TG502.14

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2017)03-0243-04

## Optimization of the cutting mechanism of automatic filling fishball machine

Wu Huangyi<sup>1</sup>, Zeng Shaofeng<sup>1,2</sup>, Luo Mingfeng<sup>1,2</sup>

(1. College of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Fujian Key Laboratory of Digitalized Equipment, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** Starting from the margin-cutting mechanism, the design of the press rod and cutter separation device of automatic-filling fishball machine was optimized. The velocity and acceleration curves of the margin-cutting mechanism were taken as the optimized parameters. The shape of the press rod was topologically optimized and the mechanical transmission precision of the fishball machine was improved. The results indicate that the mechanical performance of the press rod reaches the best when the size of the linking rod is 132~134 mm. In addition, a structural optimization of the cutter separation device was performed on the prerequisite of ensuring the performance of the device to reduce the mass of the blade by 21%.

**Keywords:** fishball machine; automatic filling; optimization design

鱼丸,又名“水丸”,古时称“余鱼丸”,是浙闽粤一带经常烹制的传统风味食品。这一地域的鱼丸习惯包馅,但传统人工包馅鱼丸生产效率较低,不利于批量外销。自动包馅鱼丸机解决了鱼丸批量化生产的问题,但存在馅小、破馅、变形和留尾等问题,鱼丸质量与纯手工制作存在一定差距。

许多学者对鱼丸的配方制作工艺进行研究。常志娟等<sup>[1]</sup>将红薯加入鱼肉,以凝胶强度数值为评价参数,得到“每20 g的鱼肉中添加红薯3 g,

口感最佳”的结论。何洁等<sup>[2]</sup>尝试将豆渣加入鱼肉,通过添加低于15%的豆渣改善鱼丸品质,得到弹性较好的米白色鱼丸。申硕等<sup>[3]</sup>研制了香菇鱼丸的工艺,得到香菇含量9%、猪肥肉含量5%、马铃薯含量10%的配方。杨明举等<sup>[4]</sup>以土豆和鱼肉为原料制作土豆鱼丸,经质量测评,收到较好效果。当前,鱼丸制作工艺的研究主要集中在配方工艺方面,关于自动鱼丸加工机械的研究较少。

收稿日期: 2017-03-15

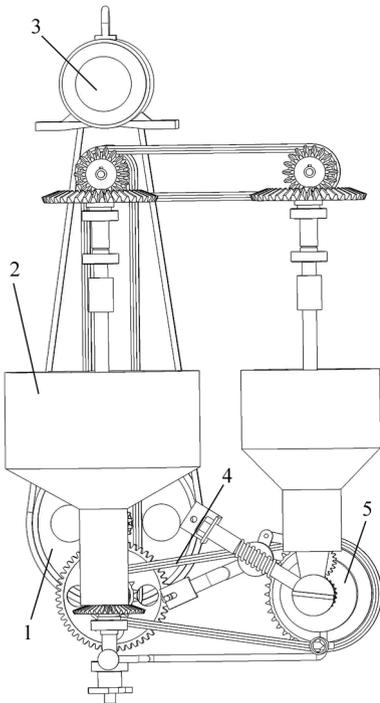
基金项目: 福建省自然科学基金(2014J01168);福建工程学院青年基金(GY-Z13008)

通讯作者: 吴黄懿(1981-),女,福建福州人,助理研究员,硕士,主要研究方向:机械设计及理论。

本文以自动包馅鱼丸机为研究分析对象,对于批量自动化生产鱼丸存在的破馅、变形、留尾等问题,从自动包馅鱼丸机的切边机构入手,采用数字化设计的方法和手段,得到自动包馅鱼丸机的切边机构的特性参数,为今后进行类似产品的设计和打基础。

## 1 自动包馅鱼丸机的结构

如图 1,自动包馅鱼丸机主要包括传动系统、成型输送机构、切刀机构等。成型输送机构由鱼丸皮输送机构和鱼丸馅输送机构组成,双机构均包括浆料螺旋机构和搅拌叶片。出口连接偏心柱塞泵,柱塞顶部连接摆动杆,而摆动杆轴心与传动机构相连。在前一颗鱼丸完成切边动作之前,送浆料斗暂停送浆,等待成型输送机构发出的动作信号;等前一颗鱼丸完成切制动作之后,送浆料斗收到成型输送机构发出的动作信号,下一颗鱼丸立即进入制作流程。



1.切刀机构 2.丸皮送料斗 3.电机 4.成型输送机构  
5.传动系统

图 1 自动包馅鱼丸机的结构图

Fig.1 Schematic of automatic filling fishball machine

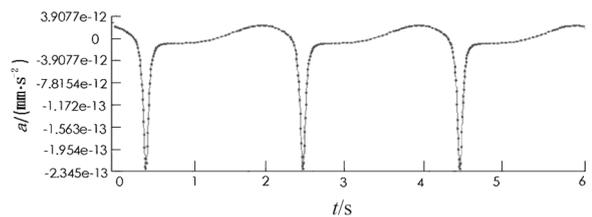
结构优化设计的大致思想是采用优化理论把问题归结为一个或者多个自变量的优化问题,优化目标函数可以使结构的性能更加稳定、材料最

少或者造价最低,优化的约束条件则是满足设计及性能等各方面的要求,而且映射出的结构不允许超过许用的范围。针对自动包馅鱼丸机存在馅小、破馅、变形、留尾等问题,需要对切边机构进行优化设计,优化的核心零部件则是压杆装置和切刀分离装置。

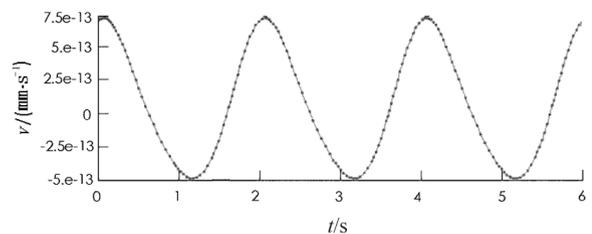
## 2 压杆装置的优化分析

压杆装置尺寸(长×宽×高)为 2 362.2 mm×1 117.6 mm×1 117.6 mm,对建立好的参数化模型建模,网格划分,然后进行施加载荷与约束,最后求解。鱼丸的模型分离装置采用不锈钢材料,杨氏模量为  $2 \times 10^8$  MPa,泊松比 0.3,密度  $7 850$  kg/m<sup>3</sup>。

按原有鱼丸机 30°的装配角度施加约束模拟运动仿真分析,在压杆装置的加速度(图 2(a))与速度(图 2(b))运动节拍图中,加速度的曲线在 2 s 周期内的 1、3、5 s 处曲率都存在变形点,使得曲线不连续变化,且根据物理学牛顿第二定律分析(不考虑阻力因素)得出处于变加速运动,加速度的变化会导致速度时大时小,周而复始的运动过程中,加速度与速度不断的变化会引起力的变化从而导致压感装置工作过程的振动,降低了自动包馅鱼丸机切边装置的传动精度。



(a) 加速度曲线



(b) 速度曲线

图 2 优化前的数据

Fig.2 The velocity and acceleration curves of automatic filling fishball machine before optimization

通过 Ansys Workbench 软件进行形状优化(如图 3)。将 Pro/e 的三维模型导入,然后在 Ansys Workbench 的 Rigid Dynamics 模块中,通过设置各个部件间的运动副及固定约束进行求解,通过观察机构间节拍的曲线(如图 4),改善机构的传动精度,切边机构的稳定性能提升。表 1 是连杆尺寸从 146 mm 减小到 124 mm 过程中,压杆

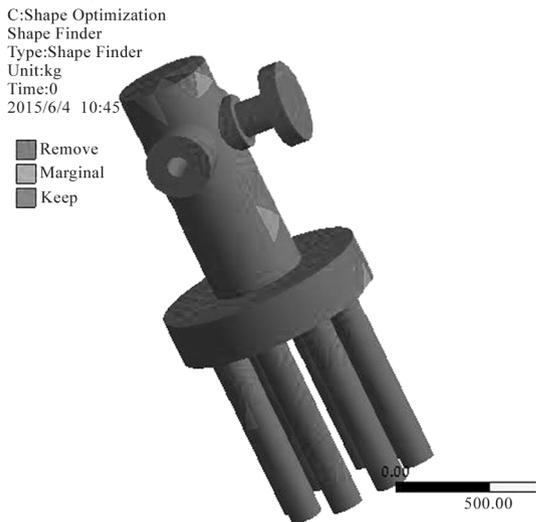
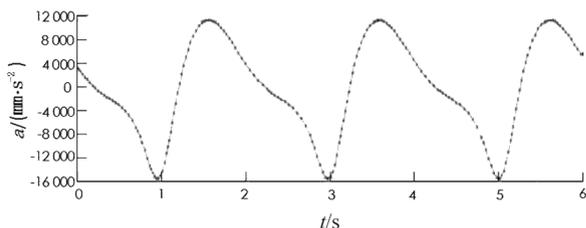
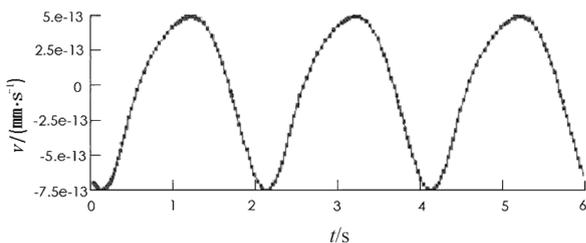


图 3 形状优化设置

Fig.3 Shape optimization setting



(a) 加速度曲线



(b) 速度曲线

图 4 优化后的数据

Fig.4 Velocity and acceleration curves of automatic filling fishball machine after optimization

装置的数据变化,当尺寸减少,速度与加速度开始变化比较大,在 132~142 mm 时,加速度与速度的变化比较平稳,当杆长继续下降,曲线发生较大的变化,从而性能逐渐下降,因此其最佳的尺寸为 132~142 mm。

表 1 连杆尺寸变化对压杆装置的影响

Tab.1 The change of linking rod size on the press rod (compressive bar) device

参数	连杆尺寸/mm					
	146	142	138	132	128	124
加速度/ ( $\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$ )	1.23	1.09	1.81	4.55	2.49	2.31
速度/ ( $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	2.84	2.78	4.56	11.68	6.09	5.66

### 3 切刀分离装置的优化分析

切刀分离装置总装尺寸 5 486.44 mm × 4 521.2 mm × 254 mm, 底板厚度 200 mm, 切刀厚度 54 mm, 总质量 15.1 kg, 材料的杨氏模量为  $2 \times 10^{11}$  Pa, 泊松比 0.3, 密度 7 850  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

在 Ansys Workbench 的 model 模块进行模态分析, 得出其 1~6 阶的固有频率顺序为 6.648、15.289、28.472、64.85、194.19 和 231.19 Hz。切刀分离装置在工作过程激振频率 2.167 Hz, 计算出来的最大激振频率小于一阶固有频率 6.648 Hz, 因而在切刀分离装置的运动过程中, 不会产生共振。而机器产生馅小、破馅、变形、留尾等问题, 主要还是形状和部件尺寸的问题。利用 Ansys Workbench 中的形状最优化 (shape optimization) 模块, 对切刀分离装置划分网格, 施加机构运动间的约束及载荷, 进行运算求解。在 Ansys Workbench 的 DM 模块中不断修改模型参数, 采用梯度的求解过程, 然后在 shape optimization 模块中求得最佳优化值。通过 5 组实验数据曲线图得出优化后的结构, 如表 2。

通过数据对比, 经过形状优化、去除材料后的刀片分离装置总质量减少 21%, 而其强度仍较好。修改后的方案, 不仅提高了机器的传动精度, 而且使核心部件在减少重量的同时, 还提升了工作性能。

表 2 形状变化对切刀分离装置的影响

Tab.2 The influence of the shape of press rod on cutter separation device

底板厚度/ mm	最大位移/ mm	最大等效应力/ MPa	频率/ Hz	质量/ kg
216	0.004 47	3.448	3.39	15.1
212	0.004 68	3.652	3.43	14.5
208	0.004 55	3.948	4.51	13.6
204	0.004 18	4.652	4.65	13.1
200	0.004 55	7.415	5.20	12.7

## 4 结论

1) 利用 Ansys 优化模块对压杆装置进行优化仿真。通过设定连接杆的长度参数,在减少振动的同时,提升机构的稳定性。

2) 提高了压杆的传动精度,实验得出连杆尺寸在 132~142 mm 时压杆装置的力学性能最好。

3) 对于切刀分离装置的优化,不仅提升了性能而且减少底板的质量,达到了优化的目的。

## 参考文献:

- [1] 常志娟,张培旗,刘永玲.红薯鱼丸的加工工艺研究[J].食品科技,2015,40(7):126-131.
- [2] 何洁,陈军,苏键.豆渣鱼丸的研制[J].轻工科技,2013(9):7-9.
- [3] 申硕,万国栋,万刚.香菇保健鱼丸的加工工艺研究[J].肉类工业,2011(4):31-33.
- [4] 杨明举,赵凤,吴丹,等.土豆鱼丸的制作工艺[J].贵州畜牧兽医,2016(4):51-53.

(责任编辑:陈雯)