

# 蛋敲击激励后产生的振动特性

谢 灿 熊利荣

华中农业大学工学院, 武汉 430070

**摘要** 以鸡蛋为试验对象,进行不同的敲击材料、测点、敲击速度、质量、蛋壳强度情况下的敲击振动试验。用加速度传感器获取振动信号,并对该振动信号进行傅里叶变换,提取特征参数。结果表明:不同敲击材料、测点、敲击速度对主响应频率没有太大影响,而质量和蛋壳强度却对主响应频率有较显著的影响,随着质量的增加,主响应频率下降,随着蛋壳强度的增加,主响应频率增大。

**关键词** 蛋品加工; 蛋品检测; 蛋壳; 蛋壳强度; 蛋壳振动特性; 主响应频率

**中图分类号** TS 253.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)02-0133-04

蛋品加工企业在进行蛋品深加工前,都必须检测禽蛋质量,包括蛋大小、新鲜度以及蛋是否破损等。对于蛋壳裂纹检测,国内常采用人工检测手段,主要依靠人工在灯光下观察蛋体是否有明显裂纹,或者两枚蛋相互轻碰,听蛋壳发出的声音等方法识别和剔除破损蛋,工作效率低,准确性差。随着计算机技术的发展和测试技术手段的提高,国内外学者通过机器视觉技术<sup>[1-7]</sup>和声学技术<sup>[8-10]</sup>来检测蛋的破损,取得了很大进展,但是对于蛋壳的微小裂纹检测依然缺乏更好的技术手段。近年来,不少学者借助振动学理论,通过研究梨<sup>[11-13]</sup>、桃<sup>[14]</sup>、荔枝<sup>[15]</sup>、葡萄<sup>[16]</sup>等农产品的振动特性,检测其品质好坏,取得了一定的成果,证明了利用振动特性来检测农产品的品质好坏是切实可行的。笔者通过搭建振动测试系统,采用对蛋壳施加机械冲击的方法,研究蛋壳振动特性,从而确定影响蛋壳振动特性的因素,为检测禽蛋品质提供新的思路。

## 1 材料与试验方法

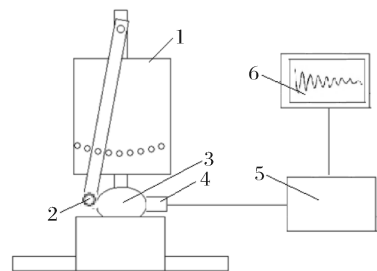
### 1.1 试验材料

试验所采用的新鲜鸡蛋来自于湖北省武汉市洪山区九峰山新亚养鸡场。测试系统的示意图如图1所示。该系统采用美国晶钻仪器动态信号分析测试仪器 coco-80(内含数据采集卡和电荷放大器),外接加速度传感器和计算机。加速度传感器的型号为美

国 PCB356A16。在平底座上固定鸡蛋,传感器用胶分别固定在蛋壳赤道位置和蛋的大头及小头。

### 1.2 试验方法

试验采用单点激励,多点响应的方法。试验过程:采用木质、塑料、钢等不同材料的激振器(力锤),以不同速度激励鸡蛋的赤道和蛋的大头及小头,co-co-80 将自动采集和存储加速度传感器传输的信号,获得时域数据后,对时域信号进行快速傅里叶变换,得到频域特征曲线。频域特征曲线最大幅值所对应的频率,称之为响应主频率。为观察试验的重复性,对每个测点,在同样状况下,进行4次采样,选取平均值。



1. 激振器 Vibration generator; 2. 激励球 Vibration ball; 3. 鸡蛋 Egg; 4. 加速传感器 Acceleration sensor; 5. 动态信号分析测试仪器 Signal analysis instrument coco-80; 6. 笔记本电脑 Note-book PC.

图1 测试系统示意图

Fig. 1 Test system

收稿日期: 2015-07-11

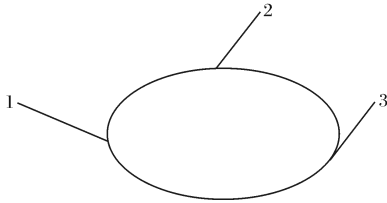
基金项目: 国家自然科学基金项目(51105160)

谢 灿, 硕士. 研究方向: 农业电气化与自动化. E-mail: 10238552@qq.com

通信作者: 熊利荣, 副教授. 研究方向: 农业电气化与自动化. E-mail: bearlgj@webmail. hzau. edu. cn

## 2 结果与分析

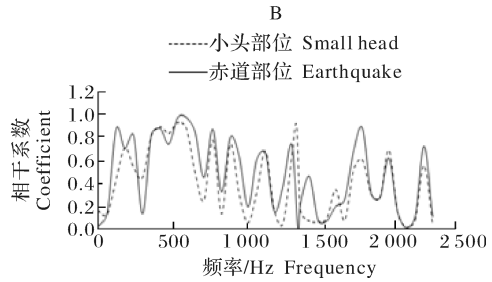
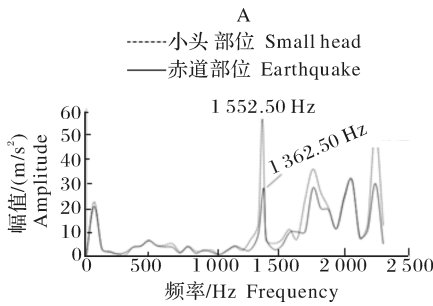
为了描述的方便,对蛋壳上的点进行数字标注(图 2)。1 点和 3 点分别为蛋壳大头和小头,2 点为赤道处。



1: 大头 Large head; 2: 赤道 Earthquake; 3: 小头 Small head.

图 2 三点示意图

Fig. 2 Three points diagram



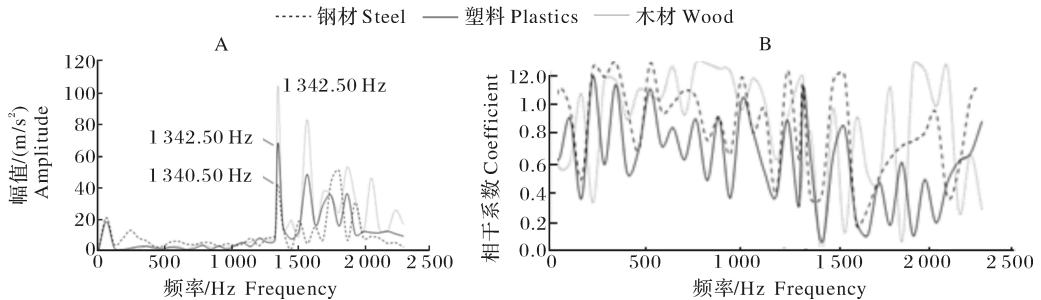
A: 频响曲线图 The diagram of frequency response; B: 相干曲线 Coherent curve.

图 3 不同测点的响应频谱图

Fig. 3 Different points of the response spectrum

2)不同敲击材料的响应特性。选择同样形状大小的钢、塑料、木材的力锤作为激振器,取 1 点作激励点,2 点作为测点,鸡蛋质量为 59.36 g,强度为 3.797 N,速度为 1.24 m/s,比较不同材料下的响应频率特征曲线,所得的响应曲线如图 4 所示。由图 4A 可知,3 种材料下,获得的响应曲线类似。不

同材质敲击,对蛋的响应频率没有大的影响,只是对幅值有影响。木材的加速度大于另外 2 种材料,这是因为木材的密度低于另外 2 种材料,相同形状情况下,质量小,与鸡蛋的接触时间短,所以加速度值大些。对应图 4B,响应主频率处对应相干系数接近 1.0,说明力锤和加速度传感器匹配性能较好。



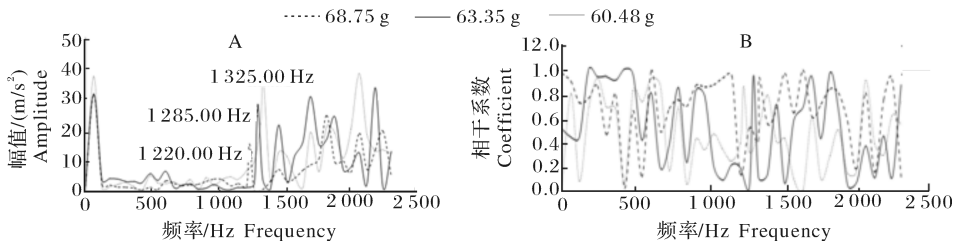
A: 频响曲线图 The diagram of frequency response; B: 相干曲线 Coherent curve.

图 4 不同材料的响应频谱图

Fig. 4 Response spectrum of different materials

3)不同质量对响应特性的影响。图 5 所示为塑料材质激振器,不同质量的鸡蛋响应特征频谱图,敲击强度为(3.736±0.050) N,敲击速度为 1.24 m/s。

由图 5 可知,随着质量的增加,响应主频率逐渐降低。质量小的鸡蛋,主频率相对较大,幅值也相对较大,反之,质量大的鸡蛋,主频率以及幅值相对较小。



A: 频响曲线图 The diagram of frequency response; B: 相干曲线 Coherent curve.

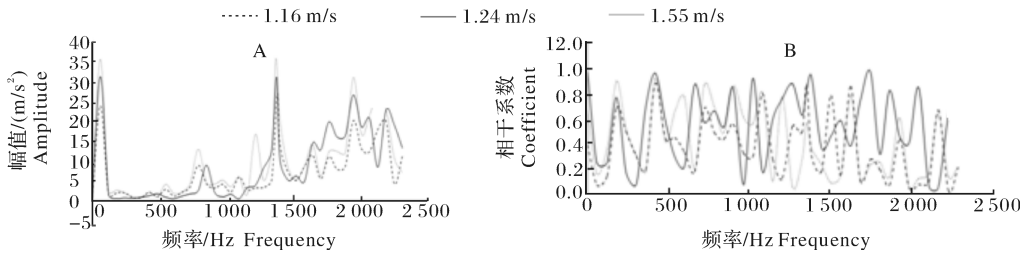
图 5 不同质量鸡蛋的响应频谱图

Fig. 5 Response spectrum of different mass

对应图 5B, 响应主频率处对应相干系数接近 0.9, 说明力锤和加速度传感器匹配性能较好。

4) 不同敲击速度对响应特性的影响。选择塑料材质激励器, 选取 1 点为激励点, 2 点和 3 点为测点, 鸡蛋质量为 60.23 g, 强度为 3.656 N, 考察不同

激励速度(通过改变摆角得到)对响应特性曲线的影响。由图 6 可知, 激励速度越大, 响应特征曲线的幅值越大, 但主频率的变化很小。对应图 6B, 响应主频率处对应相干系数接近 1.0, 说明力锤和加速度传感器匹配性能较好。



A: 频响曲线图 The diagram of frequency response; B: 相干曲线 Coherent curve.

图 6 不同速度下鸡蛋的响应频谱图

Fig. 6 Response spectrum of different speeds

### 2.2 响应主频率与物理参数的关系

以蛋的质量、蛋壳强度、蛋形指数、激励点、敲击材料、测点、摆角等为因子, 通过试验分析其对响应主频率影响的显著性。通过单因素方差分析出显著

水平, 见表 1。

从表 1 中可知, 蛋壳强度和蛋的质量对响应主频率有显著的影响 ( $P < 0.05$ ); 而蛋形指数、激励点、敲击材料、测点、敲击速度等几个因素对响应主

表 1 因素影响显著性分析

Table 1 The significant analysis of factors

因素 Factors	蛋壳强度 Eggshell strength	质量 Mass	蛋形指数 Index of egg	敲击材料 Impacting material	敲击速度 Impacting speed	激励点 Impacting point	测点 Detected point
$F$	2	2	2	2	2	2	2
$P$	0.000 1	0.009 6	0.223 2	0.407 1	0.381 5	0.588 1	0.657 2

注 Note:  $F$  为自由度 Degree of freedom.

频率的影响并不显著。

所示:

$$f = -7.981m + 1859.00 \quad (2)$$

1) 敲击响应主频率与蛋壳强度的关系, 如式(1)所示:

$$f = 3.504 F_i + 1235.00 \quad (1)$$

式(1)中  $f$  为响应主频率, Hz;  $F_i$  为蛋壳强度, N。相关系数  $R = 0.933 2$ , 说明蛋壳的强度与其响应主频率存在较好的线性正相关, 随着蛋壳强度的增加, 响应主频率也随之相应增加, 这是因为蛋壳强度大, 其厚度和密度也相应大, 即刚度也大, 受到激励时, 产生的振动自然频率和幅值相应高。

式(2)中,  $f$  为响应主频率, Hz;  $m$  为质量, g。相关系数  $R = -0.944 1$ , 表明响应主频率与质量呈线性负相关, 激励响应主频率随着质量的增加而下降。因此, 在分析响应主频率与蛋壳质量的关系时, 仅仅考虑蛋壳强度是不够的, 鸡蛋质量因素也应在考虑范围内。

### 3 讨论

本试验研究了蛋壳在不同试验条件下的振动特

2) 敲击响应主频率与蛋质量的关系, 如式(2)

性,揭示不同测点、敲击材料和激励速度以及物理参数对振动特性的影响。结果表明,测点、敲击材料和激励速度对鸡蛋的响应特征曲线的规律性和响应主频率影响不大,而与蛋质量和蛋壳强度有关。将贴片式传感器固定在蛋壳表面,克服了环境产生的干扰,使采集到的数据信号不失真,为下一步裂纹检测提供有力的理论依据。本试验所有结论都建立在定性分析的基础上,没有建立影响因素与响应主频率之间的定量关系,且试验没有考虑质量和强度对主频率交叉影响以及蛋壳密度和体积对主响应频率的影响。后续研究可从以下几方面进行改进:建立不同测点、不同材料以及不同激励速度与主响应频率之间的定量关系,为最优化的振动试验装置提供有力的依据;采用有限元分析方法,建立蛋壳密度和体积三维模型,进一步建立蛋壳密度和体积与主响应频率的数学模型;将上述研究成果,运用到好壳蛋和裂纹蛋的检测中去,提取表征好壳蛋和裂纹蛋的特征参数,进一步实现裂纹蛋的剔除。

### 参 考 文 献

- [1] MERTENS K, KETELAERE B D E, KAMERS B, et al. Dirt detection on brown eggs by means of color computer vision [J]. Poultry Science, 2005, 84(10): 1653-1659.
- [2] ZHAO Y, WANG J, LU Q J, et al. Pattern recognition of eggshell crack using PCA and LDA [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(3): 520-525.
- [3] 王巧华, 任奕林, 文友先. 基于 BP 神经网络的鸡蛋新鲜度无损

- 检测方法[J]. 农业机械学报, 2006, 37(1): 104-106.
- [4] 周维忠, 冯心海, 孙国基. 种蛋外形的计算机视觉识别研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 126-129.
- [5] PAN L Q, ZHAN G, TU K, et al. Eggshell crack detection based on computer vision and acoustic response by means of back-propagation artificial neural network [J]. European Food Research and Technology, 2011, 233(3): 175-179.
- [6] SUN L, BI X K, LIN H, et al. Online detection of eggshell crack based on acoustic resonance analysis [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(1): 240-245.
- [7] DENG X Y, WANG Q H, CHEN H, et al. Eggshell crack detection using a wavelet-based support vector machine [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 70(1): 135-143.
- [8] 潘磊庆, 屠康, 詹歌, 等. 基于计算机视觉和声学响应信息融合的鸡蛋裂纹检测 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 332-337.
- [9] 林颖, 赵杰文, 陈全胜, 等. 基于声学特性的鸡蛋蛋壳裂纹检测 [J]. 食品科学, 2010, 31(2): 199-202.
- [10] 王树才, 任奕林, 陈红, 等. 利用敲击声音信号进行禽蛋破损检测和模糊识别 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 130-133.
- [11] 王剑平, 王俊, 陈善锋, 等. 黄花梨的撞击力学特性研究 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 32-35.
- [12] 陆秋君, 王俊, 王剑平. 黄花梨果实的坚实度和糖度差异 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28(6): 679-684.
- [13] 王俊, 滕斌, 周鸣. 梨敲击激励后产生的动力学特性研究 [J]. 农业机械学报, 2004, 35(2): 65-68.
- [14] 王俊, 滕斌. 桃下落冲击动力学特性及其与坚实度的相关性 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 193-197.
- [15] 陈震, 徐凤英, 李长友, 等. 荔枝力学特性参数测试研究 [J]. 农机化研究, 2008(9): 128-131.
- [16] 王荣, 焦群英, 魏德强. 葡萄与番茄宏观力学特性参数的确定 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 45-57.

## Vibration characteristics of impact forces on eggshell

XIE Can XIONG Lirong

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** An experimental system was established under different conditions of impacting materials, detected points, excitation points, impacting velocities, mass and eggshell strengths for eggs. The domain signal was received by the acceleration sensor and analyzed. Results showed that the dominant frequency was not significantly affected by the different impacting materials, detected points, excitation points, impacting velocities. It was the significantly affected by the mass and eggshell strength. The dominant frequency increased with the decrease of the mass, and increased with the increase of the strength of eggshell.

**Keywords** egg processing; egg detection; eggshell; eggshell strength; vibration characteristics; main response frequency

(责任编辑:陆文昌)