

鸡蛋缓冲包装设计及其力学性能分析

常江, 巩雪, 李丹婷, 孙智慧

(哈尔滨商业大学, 哈尔滨 150028)

摘要: **目的** 研究鸡蛋缓冲包装的结构及缓冲效果。**方法** 利用 Ansys/LS-DYNA 有限元分析软件, 对所设计的缓冲包装结构在 0.6 m 的跌落高度进行角跌落仿真, 得到鸡蛋和包装件在与地面接触瞬间、回弹瞬间及跌落结束瞬间的等效应力云图及危险点的加速度曲线, 模拟鸡蛋在流通过程中包装件受到冲击和振动时鸡蛋的应力变化, 以检验缓冲包装的缓冲效果。**结果** 在跌落过程中, 包装件与地面接触瞬间的等效应力最大, 为 0.784 MPa, 小于瓦楞纸板的极限应力; 危险点的最大加速度为 59g, 小于鸡蛋的脆值 60g。**结论** 设计的缓冲包装能够起到很好的缓冲效果, 可有效提高鸡蛋运输过程中的安全性。

关键词: 鸡蛋; 缓冲包装; 角跌落; 有限元分析

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)03-0055-04

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.03.011

Design and Mechanical Properties of the Cushioning Packaging of Egg

CHANG Jiang, GONG Xue, LI Dan-ting, SUN Zhi-hui

(Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

ABSTRACT: The work aims to study the cushioning packaging structure and cushioning effect of egg. The designed cushioning packaging structure carried out the angle drop simulation at the drop height of 0.6 m with the Ansys/LS-DYNA finite element analysis software to obtain the equivalent stress nephogram of the egg and package in contact with the ground, at the time of springback and at the end of drop, and the acceleration curve of the dangerous points, to simulate the egg stress change in the course of circulation of the egg when the package was subject to shock and vibration, so as to verify the cushioning effect of the cushioning packaging. The maximum equivalent stress of the contact between the package and the ground was 0.784 MPa, lower than the limit stress of the corrugated paperboard; the maximum acceleration of the dangerous point was 59g, smaller than the crisp value 60g of the egg in the process of dropping. Designed cushioning packaging can give good cushioning effect and effectively improve the safety of egg transport process.

KEY WORDS: egg; cushioning packaging; angle drop; finite element analysis

鲜鸡蛋营养价值较高, 是人体营养成分的主要来源, 随着人们生活水平的提高, 鸡蛋的需求量逐年增大, 成为生活的必需品之一^[1-2]。在流通过程中, 较薄的蛋壳在冲击载荷的作用下, 速度、位移、加速度等指标都会发生较大的改变, 引起鸡蛋破损^[3]。有裂纹的鸡蛋很快会受到微生物的分解开始腐烂, 不仅污染环境, 而且会使周围的新鲜鸡蛋携带细菌^[4], 导致鸡蛋货架期缩短, 特别是营养成分比较丰富的土鸡蛋、乌鸡蛋, 它们的价格较贵, 一旦破损, 会

造成较大的经济损失^[5]。鸡蛋作为一类常见的商品在市场进行流通时, 其破损率为 11%~14%, 而鸡蛋产出过程中的破损率仅为 2%~3%, 其余都是由运输和防护不当引起的^[6], 因此针对鸡蛋的力学特性, 结合运输过程中由于冲击和振动引起的作用力进行鸡蛋的缓冲包装设计, 可以有效降低鸡蛋的破损率, 提高鸡蛋运输过程中的安全性和可靠性, 防止微生物的腐蚀作用, 减少由破损引起的经济损失。

收稿日期: 2017-09-29

作者简介: 常江 (1982—), 男, 哈尔滨商业大学副教授, 主要研究方向为缓冲包装材料及技术。

1 鸡蛋的力学特性

1.1 基本特征分析

鸡蛋的形状为卵圆形,一头大一头小,钝端头大、锐端头小,在钝端蛋壳内有气室结构。鸡蛋壳的主要成分是碳酸钙,鸡蛋破损即蛋壳出现裂纹或遭到粉碎性破坏^[7]。通过调查研究,得出鸡蛋的规格见表1^[8]。文中力学分析以平均值为参考依据进行分析。

表1 鸡蛋的基本指标
Tab.1 The basic indexes of eggs

指标	质量/g	长径/mm	短径/mm	壳厚/mm	长度/mm
最大值	61.8	49.1	44.7	0.39	5.65
最小值	43.38	41.64	39.2	0.23	5.04
平均值	55.45	45.27	42.18	0.33	5.35

1.2 力学特性分析

根据研究测试可知,鸡蛋纵轴的抗破碎能力较强,横轴的抗破碎能力较弱^[9]。鸡蛋的最大变形与硬度和质量的关系不大,与破坏载荷之间的关系比较显著。刘信芳、吴守一^[10]针对不同包装材料进行了鲜蛋的跌落试验和冲击试验,提出了以能量为单位的动态负载效应,对新鲜的鸡蛋、检测设备以及加工设备设计进行了研究,指出短轴的鸡蛋比长轴的脆性大。

目前,国内外对鸡蛋的力学性能,尤其是对鸡蛋在冲击载荷作用下的力学行为、破损机理等方面的研究还较少。通过研究鸡蛋的力学特性,可以设计出更符合鸡蛋特性的缓冲包装,从而达到更好的缓冲效果,更好地保护鸡蛋,减少鸡蛋破损。

2 鸡蛋缓冲包装设计

2.1 包装要求

1) 合理的包装数量及组合形式。根据前文对鸡蛋的特征分析,得出鸡蛋的平均质量约60g左右,通常8个鸡蛋约500g。文中采用6枚鸡蛋作为一个内包装,即销售包装;36枚鸡蛋作为一个中包装,即礼盒包装。运输包装共216枚鸡蛋,质量比较合理,利于运输过程中的搬运装卸作业。

2) 合理的放置方向。鸡蛋为不规则的椭圆形球体,包装应能保证新鲜鸡蛋大头向上直立堆码,避免横放或倒放。这是因为蛋黄比蛋白轻,时间一长,蛋黄容易上浮而贴在蛋壳上,而鸡蛋大头部分有一气室,当大头向上直立存放时,大头的气室会避免蛋黄贴在蛋壳上的这种现象发生,利于鸡蛋的保鲜。

2.2 缓冲衬垫结构设计

鸡蛋缓冲包装选定具有一定切口的异形结构,内

装6枚鸡蛋。鸡蛋缓冲衬垫的立体效果见图1。利用切口制造出来的空隙对鸡蛋进行定位并起到缓冲的作用。

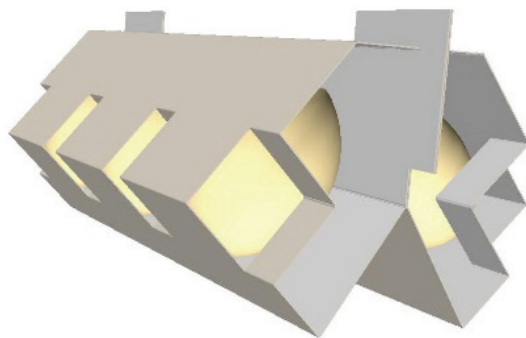


图1 缓冲包装立体效果

Fig.1 The three-dimensional renderings of cushioning packaging

2.3 内包装及运输包装设计

鸡蛋内包装选择B型瓦楞纸板为包装材料,采用礼盒式的包装结构,共放置6个缓冲包装,一共36枚鸡蛋。外包装瓦楞纸箱选择A型瓦楞纸板制成的0201瓦楞纸箱,内装6个内包装,共计216枚鸡蛋。

3 鸡蛋缓冲包装力学性能分析

3.1 有限元分析法及基本理论

对真实物理系统(几何和载荷工况)进行模拟,用有限数量的简单而又相互作用的元素(单元)去逼近无限未知量的真实系统^[11]。Ansys有限元分析软件是现代产品开发设计中比较常用的分析工具,它的设计和優化分析功能比较强大,可以进行非线性动态有限元分析,通常被广泛应用于各个行业来进行高度非线性瞬间动态问题的分析模拟^[12]。

3.2 有限元模型的建立

1) 实体模型导入。利用SolidWorks软件为所设计的鸡蛋缓冲包装建立模型,保存为PARA格式后直接导入Ansys/LS-DYNA,进行网格划分并生成有限元模型。

2) 参数的设定。鸡蛋的缓冲包装材料为各向异性的B型瓦楞纸板,在模拟分析过程中,为了简化计算过程,选择密度为 300 kg/m^3 ,弹性模量为 190 MPa ,泊松比为 0.15 ,极限应力为 0.884 MPa 的双线性各向同性模型^[13]。鸡蛋的密度为 2500 kg/m^3 ,弹性模量为 126 MPa ,泊松比为 0.25 ,极限应力为 46.7 MPa ,属于易碎产品,最大加速度为 $61\text{g} \sim 80\text{g}$ 。

3) 网格的划分。网格划分是影响模拟分析结果准确程度的重要步骤,其精确度与网格划分的大小和形状有关。缓冲包装及整体包装件网格划分的结果见图2。

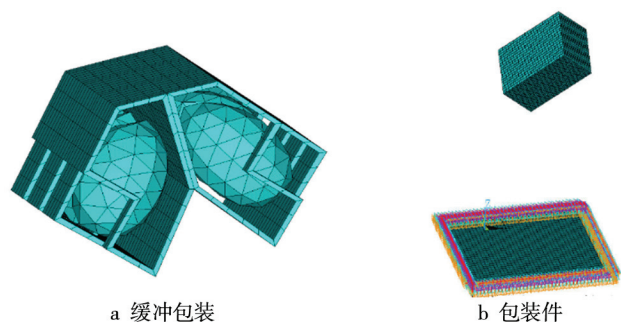


图 2 缓冲包装及包装件网格划分

Fig. 2 The cushioning packaging and package meshing

4) 定义接触方式。根据所设计的缓冲包装特点, 鸡蛋与内包装定义为点面接触, 内包装与外包装定义为点面接触, 外包装与地面的跌落接触定义为点面接触。

3.3 鸡蛋缓冲包装跌落仿真分析

3.3.1 跌落仿真环境设定

根据包装件在不同运输方式下不同质量与跌落高度之间的关系, 文中仿真分析设置为跌落高度 0.6 m、初速度为 0 的角跌落。该跌落仿真忽略表面摩擦, 在重力的作用下自由落体至地面^[14]。该仿真将包装箱跌落至混凝土地面, 混凝土地面属于刚性材料, 密度为 2750 kg/m³, 弹性模量为 30 GPa, 泊松比为 0.2。

3.3.2 跌落仿真结果与分析

3.3.2.1 跌落仿真应力分布云图

鸡蛋及包装件在跌落过程中的应力分布见图 3。根据应力分布云图, 可以清楚看出模型应力分布随时间的变化。

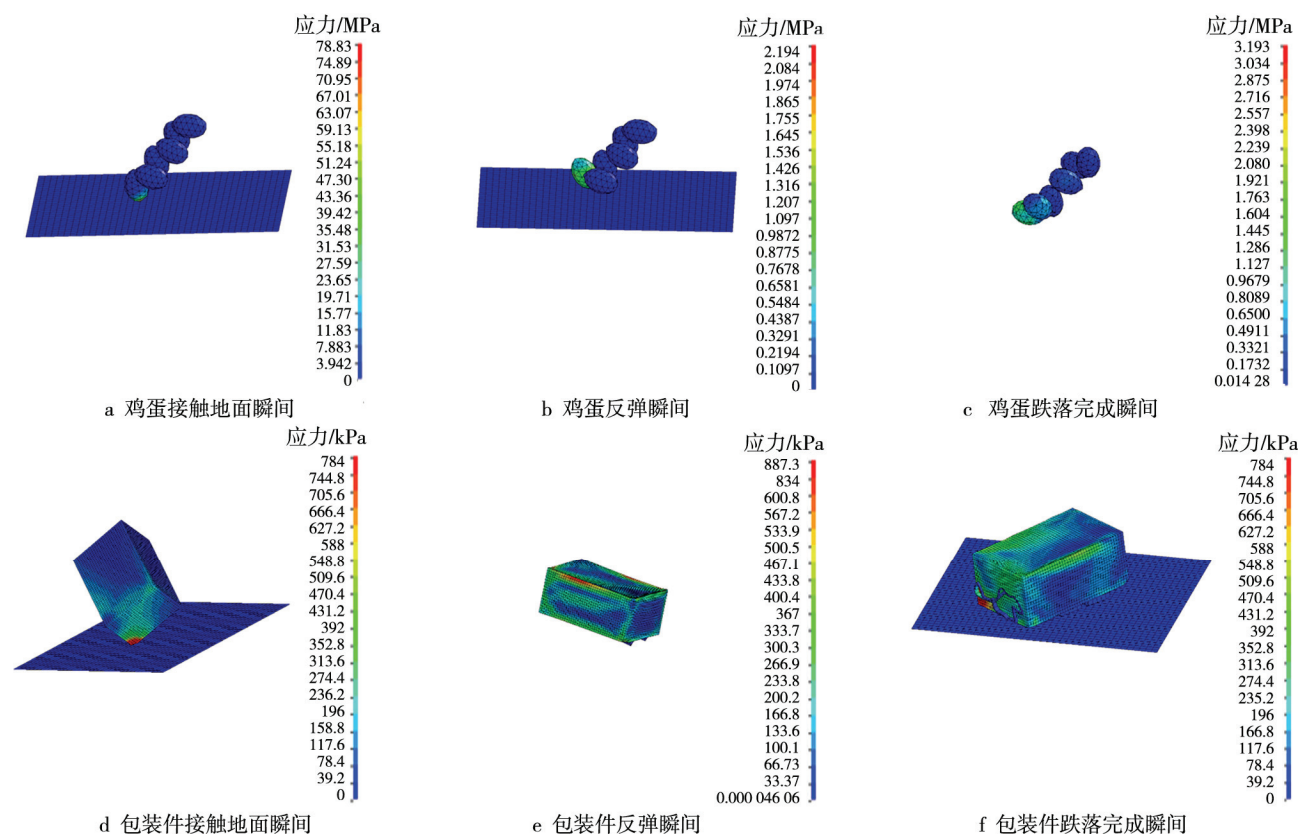


图 3 鸡蛋及包装件在跌落过程中的应力分布

Fig.3 The stress distribution of eggs and packages in the drop process

由图 3 可知, 当包装件与地面发生角跌落时产生塑性形变, 此时与接触点相连接的箱体变形量较大, 箱角有内凹的趋势, 见图 3a 和图 3d。箱子在重力作用下继续下落, 直至与地面完全接触, 见图 3b 和图 3e。由于瓦楞纸箱产生弹性形变, 接触后有轻微回弹现象, 见图 3c 和图 3f。最后, 箱体与地面发生轻微碰撞后逐渐静止, 完成跌落过程^[15]。包装件与地面产生角跌落瞬间的等效应力为 784 kPa, 小于瓦楞纸板的极限应力 884 kPa。

3.3.2.2 包装件的冲击加速度曲线

包装件跌落过程中, 鸡蛋与包装件接触点为鸡蛋的危险点, 分析危险点的加速度便可得知鸡蛋是否安全。危险点的时间加速度曲线见图 4, 可以看出, 鸡蛋的危险点最大加速度为 59g, 小于鸡蛋的脆值 61g~80g^[16], 因此该缓冲包装对鸡蛋起到了一定的保护作用。

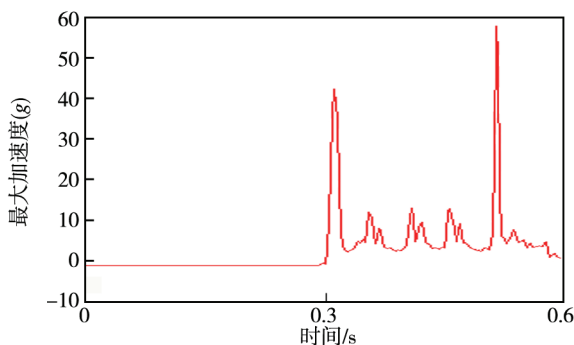


图4 危险点时间加速度曲线

Fig.4 The time acceleration curve of dangerous point

4 结语

根据鸡蛋的规格和力学特性设计了鸡蛋的缓冲包装,利用 SolidWorks 和 Ansys/LS-DYNA 软件建立了鸡蛋缓冲包装件的跌落仿真模型,确定了跌落高度为 0.6 m,并为仿真分析设定了相应的边界条件,采用角跌落的方式对鸡蛋的跌落过程进行模拟仿真分析,得到了由鸡蛋、缓冲包装衬垫、内包装及外包装构成的包装件在跌落过程中的应力、应变等响应云图,并对等效云图进行了分析。由分析结果可知,设计的鸡蛋缓冲包装结构在角跌落过程中,危险点的最大加速度为 59g,在鸡蛋脆值 61g~80g 所允许的范围,包装件比较安全,达到了保护鸡蛋的目的,起到了缓冲包装的作用。

参考文献:

- [1] 姜鲁萌, 鲍文强, 赵霞, 等. 鲜鸡蛋的缓冲兼销售包装设计[J]. 包装工程, 2016, 37(17): 123—128.
JIANG Lu-meng, BAO Wen-qiang, ZHAO Xia, et al. Cushioning and Selling Packaging Design of Fresh Eggs[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(17): 123—128.
- [2] 赵一夫, 秦富. 我国鸡蛋价格变动特点及规律分析[J]. 农业技术经济, 2013(1): 4—10.
ZHAO Yi-fu, QIN Fu. Analysis of Characteristics and Regularity of Egg Price Change in China[J]. Journal of Agro Technical Economics, 2013(1): 4—10.
- [3] 王育桥. 缓冲材料厚度对鸡蛋冲击特性的影响研究[J]. 农业科技与装备, 2012(12): 16—18.
WANG Yu-qiao. Effect of Cushioning Thickness on Impact Characteristics of Egg[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2012(12): 16—18.
- [4] 闫文杰, 臧勃超, 李兴民. UV 照射、乳清蛋白涂膜和薄膜包装对鸡蛋的保鲜效果[J]. 食品科技, 2015, 40(1): 30—35.
YAN Wen-jie, ZANG Bo-chao, LI Xing-min. Effects of UV Irradiation on Whey Protein Coating and Film Packaging on Egg Preservation[J]. Food Technology, 2015, 40(1): 30—35.
- [5] 马志浩. 抗震鸡蛋包装结构的设计方案[J]. 美术学刊, 2013(3): 78—79.
MA Zhi-hao. Design Scheme of Anti-shock Egg Packing Structure[J]. Art Journal, 2013(3): 78—79.
- [6] 裴朵. 鲜鸡蛋运输结构包装设计研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2014.
PEI Duo. Study on Packaging Design of Fresh Egg Transportation Structure[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2014.
- [7] 张亦农. 基于流固耦合的鸡蛋跌落冲击力学特性有限元分析[D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
ZHANG Yi-nong. Finite Element Analysis of Drop Impact Mechanical Properties of Eggs Based on Fluid Solid Symmetry[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2013.
- [8] 舒祖菊, 刘盛全, 李锐, 等. 鲜鸡蛋运输包装中缓冲结构的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(2): 311—314.
SHU Zu-ju, LIU Sheng-quan, LI Rui, et al. Study on Cushioning Structure of Fresh Egg Transport Package[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2012, 39(2): 311—314.
- [9] 崔志平. 鸡蛋静载特性分析及有限元研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2009.
CUI Zhi-ping. Static Load Characteristic Analysis and Finite Element Analysis of Egg[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2009.
- [10] 刘信芳, 吴守一. 鸡蛋力学特性试验分析[J]. 江苏工学院学报, 2002, 13(1): 7—13.
LIU Xin-fang, WU Shou-yi. Experimental Analysis of Mechanical Properties of Eggs[J]. Journal of Jiangsu Institute of Technology, 2002, 13(1): 7—13.
- [11] 王泽鹏, 胡仁喜. ANSYS 14.5/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
WANG Ze-peng, HU Ren-xi. ANSYS 14.5/LS-DYNA Nonlinear Finite Element Analysis Example Tutorial[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2011.
- [12] 张红松. ANSYS 10.0/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
ZHANG Hong-song. ANSYS 10.0/LS-DYNA Nonlinear Finite Element Analysis Example Tutorial[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2013.
- [13] 李兆元. 典型瓦楞纸板结构件的缓冲性能及其计算机仿真[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
LI Zhao-yuan. Cushioning Performance and Computer Simulation of Typical Corrugated Cardboard Structures[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [14] 陈振强, 陈志强, 杜敏. 解析小型运输包装件自由跌落试验标准[J]. 印刷技术, 2012(10): 41—43.
CHEN Zhen-qiang, CHEN Zhi-qiang, DU Min. Standard Test for Free Fall Test of Small Transport Packages[J]. Printing Technology, 2012(10): 41—43.
- [15] 张璐. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的瓦楞纸箱跌落仿真研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014.
ZHANG Lu. Research on Simulation of Corrugated Box Fall Based on ANSYS/LS-DYNA[D]. Xi'an: Shaanxi University of Technology, 2014.
- [16] 张融, 王树才, 梅志敏. 禽蛋聚氯乙烯弹性薄壁包装盒的设计与力学特性试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 252—257.
ZHANG Rong, WANG Shu-cai, MEI Zhi-min. Design and Mechanical Property Test of Polyvinyl Chloride Elastic Thin-wall Packing Box for Poultry Eggs[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2016, 32(7): 252—257.