

基于有限元法的果蔬保鲜包装箱通风孔设计

董 静

(哈尔滨商业大学, 哈尔滨 150028)

摘要: 通过建立不同通风孔设计的果蔬保鲜包装箱有限元模型,模拟分析了其应力分布云图,探讨了果蔬保鲜包装箱通风孔设计的主要参数。分析结果表明,长圆形、靠近纸箱中部且对称分布的偶数个通风孔设计,能有效减少应力集中,避免纸箱压缩强度的大幅下降。为实际应用中果蔬保鲜包装箱通风孔结构设计提供参考。

关键词: 通风孔; 果蔬保鲜; 有限元法; 压应力

中图分类号: TB482.2; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)03-0036-03

Design of Packaging Box Vent Hole for Fruit & Vegetable Preservation Based on Finite Element Analysis

DONG Jing

(Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: A FE model of fruit & vegetable preservation packaging box with various designs of ventilation holes were established with respect to stress distribution. The principal design parameters of ventilation holes of fruit & vegetable preservation packaging box were discussed. The result showed that the appropriate pattern with oblong-shaped, close to carton middle, even hole number with symmetrical distribution can minimize stress concentration, which avoids considerably decrease in compression strength of the box. The purpose was to provide reference for structural design of ventilation holes of fruit & vegetable preservation packaging box.

Key words: vent hole; fruit & vegetable preservation; FEM; compression stress

瓦楞纸板作为一种经济、环保、具有良好力学性能的材料,被广泛应用于商品运输、储存的各个环节。瓦楞纸箱在果蔬保鲜包装箱中的应用也日益广泛。目前,果蔬保鲜物流的发展要求外包装容器堆码更多层数,这就意味着外包装容器既要有通风结构又要具有合理的压缩强度。通风孔的主要作用是保证包装容器内外空气流通,从而增强包装容器的保鲜功能。在包装箱上设计通风孔会降低纸箱的强度,通风性和强度的变化主要与通风孔的几何位置、形状和尺寸有关。据报道,水果包装箱上通风孔几何位置和形状对纸箱强度的影响比通风孔尺寸的影响大 9% ~ 20%^[1],因此果蔬保鲜包装箱通风孔设计日趋重要。

目前,果蔬保鲜包装箱通风孔的设计没有统一标准,主要依靠工人的经验来设计。不合理的通风孔设计会大幅降低纸箱压缩强度,为保证强度,就要求生产商使用高质量的面纸和芯纸,从而增加了包装箱的

生产成本。近年来,国内外学者用有限元法对容器设计和性能分析进行了一系列研究^[2-7]。文中针对具有不同几何位置和形状通风孔的果蔬保鲜包装用瓦楞纸箱,应用有限元方法模拟分析了纸箱的压缩性能,仿真分析结果用于确定通风孔设计的合理参数,并用实际压缩试验验证了有限元分析的有效性。

1 通风孔设计有限元分析

有限单元法最初是作为处理固体力学问题的方法出现并伴随着电子计算机的发展而发展起来的一种现代计算方法^[8]。随着计算机技术的不断发展,将有限元法用于产品的开发、设计、分析与制造,已成为近代工业所采用的主要方法。

有限元法通过划分单元求解有限个数值来近似模拟真实环境的无限个未知量^[9],具有精度高、适应

收稿日期: 2012-09-05

作者简介: 董静(1981-),女,广西人,硕士,哈尔滨商业大学讲师,主要从事包装工程的教学与研究。

性强及处理过程简明等优点。

1.1 有限元建模

使用 AB 型双瓦楞纸板制成的常用果蔬保鲜包装箱进行分析。瓦楞纸板材料属性参照文献[8],弹性模量 $E_x = 7600 \text{ MPa}$, $E_y = 4020 \text{ MPa}$, 泊松比 $\nu = 0.34$ 。采用四节点四面体壳单元进行网格划分。为使模拟分析更具实效,瓦楞纸箱有限元模型简化为无襟片结构。纸箱在实际堆码过程中,承受的轴向载荷在制品上下面,计算轴压载荷作用时,在上沿口环面上施加垂直向下的压力,换算轴向载荷为 5.3 MPa ,约束底面的所有自由度以限制其刚体位移。

1.2 有限元分析结果

建立 12 种不同通风孔设计的瓦楞纸箱模型,进行有限元应力分析以确定合适的通风孔形状和位置。为了满足通风保鲜功能,通风孔尺寸固定为表面积约占纸箱侧板表面积的 2%。模拟分析应力分布见图 1。无通风孔的完整的瓦楞纸箱应力分布见图 2。对

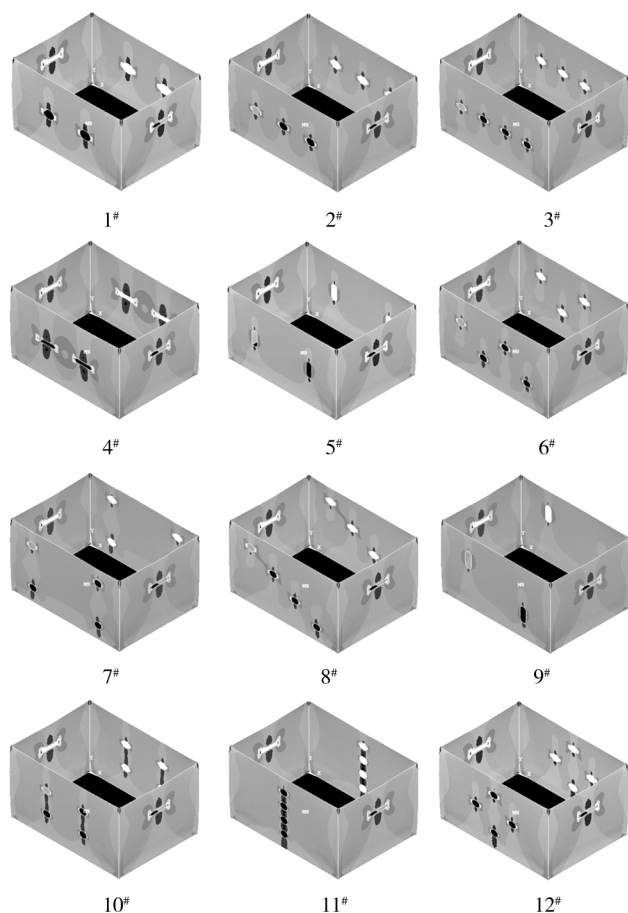


图 1 含通风孔瓦楞纸箱的应力分布

Fig. 1 Stress distribution of corrugated fiberboard boxes with holes

比图 1、图 2 可知,无通风孔的纸箱应力集中产生在 4

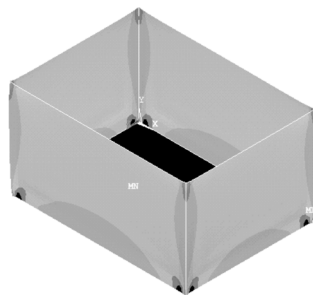


图 2 无孔瓦楞纸箱应力分布

Fig. 2 Stress distribution of intact corrugated fiberboard box

个角上,而有通风孔的纸箱最大应力和应力集中主要发生在开孔处。模拟分析结果表明,通风孔位置、尺寸、形状对纸箱压缩强度影响很大。模拟分析结果显示:通风孔数量越少,并呈对称分布,纸箱应力分布越均匀,应力越小。例如:图 1 中,1#,2#,3#箱分别有 2,3,4 个圆形孔,其对应最大应力分别为 $0.143, 0.149, 0.162 \text{ GPa}$ 。1#,4#,5#箱分别有 2 个圆形、水平方向长圆形、竖直方向长圆形孔,其对应最大应力分别为 $0.143, 0.152, 0.136 \text{ GPa}$ 。其中竖直方向长圆形开孔的纸箱不仅最大应力最小,应力集中面积率也最小,在压缩轴向载荷作用下结构最稳定。有限元分析表明从纸箱各角沿着对角线方向应力集中明显。在靠近 4 个角或对角线上设计通风孔如 6#,7#,8#和 9#箱压缩强度大幅减小。

2 实验验证

2.1 压缩实验

将具有与有限元分析相同通风孔设计的包装箱样本用于压缩实验,以验证有限元模拟分析结果。按照 GB 450—79 对包装箱试样进行预处理,在温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度为 50% 的环境中放置 48 h。将试样置于压缩试验仪的两压板之间,上压板以 $(12.5 \pm 2.5) \text{ mm/min}$ 的速度持续运动对试样施加压力,直至试样压溃为止。初始压力为 450 N ,测定每一试样所能承受的最大压力。每个试样实验重复 3 次,取平均值。

2.2 实验与有限元模拟结果对比

不同通风孔引起的压缩强度降低的情况见图 3,左边第 1 个柱形图为没有通风孔的包装箱压缩强度。有限元分析结果表明,应力集中发生在包装箱各个角上并沿对角线传递,这与实验吻合。压缩试验过程中

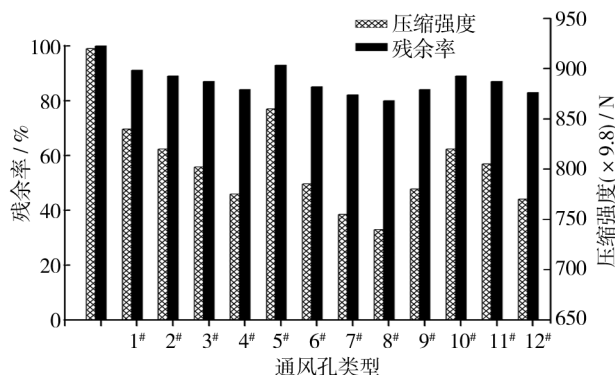


图3 不同类型通风孔的纸箱压缩强度

Fig. 3 Compression strength of corrugated fiberboard box with different ventilation hole types

6#, 7#, 8#, 9#等4种将通风孔设计在对角线上,压缩强度降低较多,而1#, 5#, 10#将通风孔设计在中心位置,并呈对称分布,压缩强度降低较少。压缩实验测试结果和有限元分析结果大体一致。为了实现纸箱强度降低最小化,通风孔设计应考虑以下因素:孔的长度应小于纸箱高度的1/4;孔的长宽比最好在1/3.5~1/2.5之间;最好设计对称分布的偶数个孔;尽量不要设计在对角线上。

3 结论

针对12种不同通风孔设计的瓦楞纸箱有限元模型,通过相应的应力分布云图分析了通风孔设计对果蔬保鲜包装箱力学性能的影响,初步探讨了满足通风要求的前提下开孔的最佳参数。结果表明,在满足通风要求的前提下开孔越少越好,通风孔最好设计成长圆形,成对称分布,最好不要设计在对角线上,应设计在纸箱靠近中间位置,使纸箱压缩强度降低最小化。有限元仿真分析结果与实验结果吻合。有限元分析方法的应用将结束依靠经验设计纸箱通风孔的历史,为实际应用中结构设计提供参考。

参考文献:

[1] LEE M H, PARK J M. Flexural Stiffness of Selected Corrugated Structures[J]. Packag Technol Sci, 2004, 17: 275-286.

[2] 祖景平,薛澄岐. 手机跌落破坏仿真分析研究[J]. 中国制造业信化, 2006, 5(11): 68-73.
ZU Jing-ping, XUE Cheng-qi. The Simulation and Investigation for Free-drop of Mobile Phone[J]. Manufacture Information Engineering of China, 2006, 5(11): 68-73.

[3] 杜振杰,宁浩,张彦军. 基于MSC. Dytran的医疗箱空投跌落计算机仿真[J]. 机械设计与制造, 2004(3): 42-43.
DU Zhen-jie, NING Hao, ZHANG Yan-jun. The Drop-fall Computer Simulation of the Medical Kit Based on MSC Dytran[J]. Machinery Design & Manufacture, 2004(3): 42-43.

[4] 高德,刘壮,董静. 瓦楞纸板包装材料的性能及其发展前景[J]. 包装工程, 2005, 26(1): 1-4.
GAO De, LIU Zhuang, DONG Jing, et al. The Property and Prospect of the Corrugated Paper Board[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(1): 1-4.

[5] 熊建友,辛勇,揭小平,等. ANSYS/LS-DYNA在跌落仿真中的应用[J]. 计算机辅助工程, 2003(2): 46-49.
XIONG Jian-you, XIN Yong, JIE Xiao-ping, et al. Application of ANSYS/LS-DYNA in Drop Simulation[J]. Computer Aided Engineering, 2003(2): 46-49.

[6] NORDSTRAND Tomas. Analysis and Testing of Corrugated Board Panels into the Post-buckling Regime[J]. Composite Structures, 2004, 63(2): 117-125.

[7] GAO De, XI De-chang. Dynamic Modeling of the Corrugated Board and Parameter Identification[C]//11th IAPRI World Conference on Packaging, 1999.

[8] 王小燕. 基于有限元方法的瓦楞纸筒非线性屈曲分析[J]. 包装工程, 2011, 32(21): 51-53.
WANG Xiao-yan. Nonlinear Buckling Analysis of Corrugated Column Based on Finite Element Method[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21): 51-53.

[9] 刘壮,高德. 基于有限元玉米秸秆纤维缓冲包装材料性能分析[J]. 包装工程, 2010, 31(9): 46-49.
LIU Zhuang, GAO De. Investigation of Cushioning Performance Produced by Corn Stalk Fibers Based on the Finite Element Analysis[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(9): 46-49.