

基于 Ansys 的缓冲材料结构单元

王章苹, 魏专

(长沙师范学院, 长沙 410010)

摘要: **目的** 研究纸浆模、EPE 材料的单元结构与组合结构, 以提高其缓冲性能。**方法** 通过 Ansys 仿真分析单元结构的静态压缩实验, 对比不同材料结构单元在静载时的承载能力, 在此基础上, 建立产品缓冲结构单元模型, 运用 Ansys/LS-DYNA 的 Drop Test 模块进行动态跌落实验, 比较不同材料结构单元与缓冲性能, 并通过试验验证。**结果** 验证了组合结构在静载和跌落冲击时的缓冲性能优于单个缓冲结构。**结论** 在缓冲包装中, 通过优化缓冲结构单元可提高结构的缓冲能力。

关键词: Ansys; 缓冲材料; 跌落实验; 缓冲性能

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)21-0052-05

Structural Unit of Cushioning Material Based on Ansys Software

WANG Zhang-ping, WEI Zhuan

(Changsha Normal University, Changsha 410010, China)

ABSTRACT: It aims to improve cushion performance by studying unit structure and composite structure of pulp mold and EPE materials. Ansys software was used to simulate analysis of static compression test of unit structure and compare static load bearing capacity of structural units made from different materials. Then the result was used to establish model of buffer structural unit. Drop test module of Ansys/LS-DYNA was used to complete dynamic drop test. Different structural units and cushion performance were compared with the experimental results of drop test and validated by tests. It was concluded that the cushion performance of composite structure in case of static load and drop impact was superior to that of single cushioning structure. In conclusion, the cushion performance of buffer material structure can be improved by optimizing the cushioning structure unit in cushioning packaging.

KEY WORDS: Ansys; cushion material; drop test; cushion performance

随着包装材料的发展, 缓冲包装越来越受人们重视, EPE 和纸浆模作为缓冲材料已经被广泛用于各类产品的包装。刘学^[1]在实验的基础上得到了发泡聚乙烯的应力-应变曲线, 描述了 EPE 材料的静态压缩力学性能, 从转化后的缓冲系数-最大应力曲线中获得最小缓冲系数及所对应的最大应力值。冯勇^[2]通过水平、竖直方向的压缩实验, 得出 EPE 竖直方向的缓冲性能优于水平方向。纸浆模塑材料的研究方面, 国内外学者^[3-7]主要研究了几何尺寸

变化对纸浆模塑承载能力的影响, 并提出提高其缓冲能力的相应措施。不论是纸浆模还是 EPE 的缓冲结构, 单一缓冲材料的局限性逐渐显现出来, 因此, 选择不同缓冲材料的组合结构, 更好地发挥材料的保护功能成为现代缓冲包装的一个重要研究内容。文中通过建立不同材料的单元结构模型, 分析结构在静态和动态时的缓冲性能, 在此基础上, 建立组合结构单元, 测试其缓冲性能, 为组合包装结构单元设计提供参考。

收稿日期: 2016-07-16

基金项目: 湖南省教育厅科学研究项目 (15C0098)

作者简介: 王章苹 (1979—), 女, 四川内江人, 硕士, 长沙师范学院讲师, 主要研究方向为包装印刷、缓冲包装。

1 单元模型的建立

在产品包装中，包装结构的形式呈多样化发展，不同的产品包装其结构也是变化的。为了解单元结构的缓冲性能，提取产品包装的主要结构单元，通过分析结构单元的性能来体现产品包装结构的缓冲功能。在 Ansys 中，选取材料类型与纸浆模塑、EPE 相接近的材料类型 Shell 181，建立结构单元模型。常用的结构单元有桶型、肋型、台阶型等，通过对基本结构单元的不同组合，可实现不同的结构模型。文中选取最具代表性的桶型单元，研究结构的缓冲性能，见图 1。组合结构模型是在总厚度不变的前提下，将纸浆模和 EPE 以粘合的形式（内层为 EPE，外层为纸浆模，且内外层厚度相同）建立桶型结构模型。

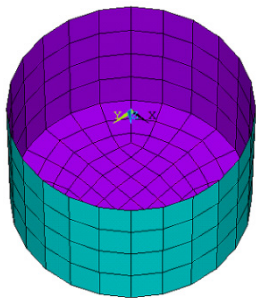


图 1 桶型结构
Fig.1 Bucket structure

2 静态压缩

2.1 纸浆模单元

建立底面半径为 20 mm，高为 25 mm 的桶型单元，通过查阅资料得到纸浆模塑的弹性模量为 50.5 MPa^[8]，泊松比为 0.01，剪切模量为 75 GPa，在 Ansys 中仿真分析结构单元在静载时的承载能力，通过后处理得到结构的载荷-位移曲线，见图 2。

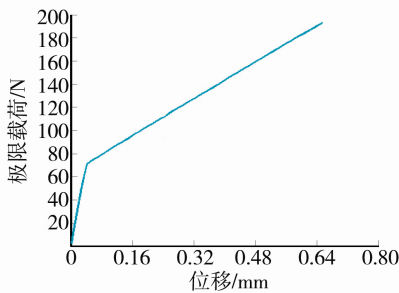


图 2 载荷-位移曲线
Fig.2 Load-displacement

在结构单元中，斜度是影响结构承载能力的一项重要因素。通过改变桶型的几何斜度(1°~13°)，观察结构承载能力的变化情况，获得模型的极限载荷与位移，见图 3。从图 3 可以看出，桶型结构在斜度为 7°时极限载荷取得最大值 153 N，随着斜度的增加，结构的承载能力整体呈下降趋势。结构在斜度变化时，位移量呈波动上升的趋势，在斜度为 4°~7°时相对稳定，在斜度为 13°时得到结构的最大变形量 4.011 mm。

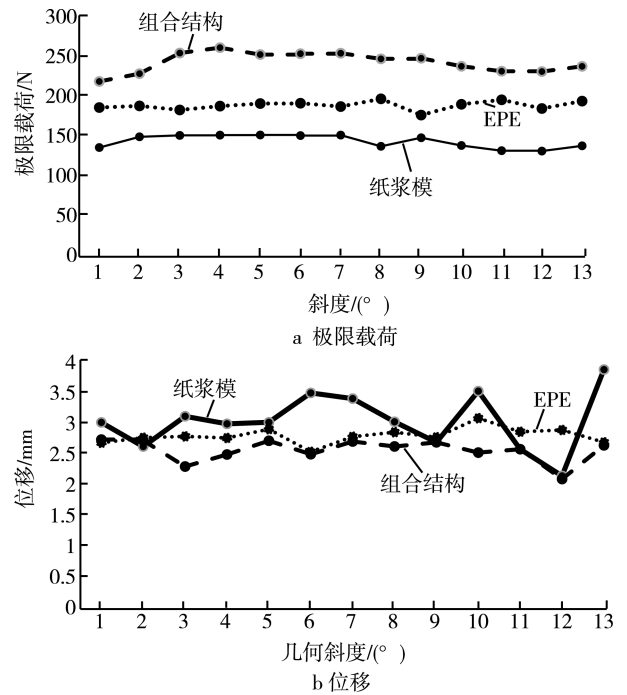


图 3 单元结构极限载荷和位移
Fig.3 Limit load and displacement

2.2 EPE 结构单元

建立尺寸与纸浆模塑相同的单元结构，设定相关参数，进行静态压缩实验，实验后得到结构的位移和极限载荷，如图 3。从静态压缩实验结果可知，EPE 单元结构在斜度变化时的变形量变化不明显，承载能力随斜度的变化震荡上升。从整体来看，EPE 单元结构的承载能力优于纸浆模塑的单元结构，且在达到极限载荷时，位移量相对较小，单元结构的变形量较小。

2.3 组合结构

将 EPE 和纸浆模材料通过粘合建立组合结构模型，进行静态压缩实验，实验结果如图 3。从单元结构的纸浆模、EPE 和组合结构的静态压缩实验可以看出，纸浆模材料结构能承受的最大载荷为

152 N, EPE 结构为 198 N, 组合结构为 268 N。组合结构通过将 EPE 和纸浆模塑材料进行组合, 承载能力得到提高。从几何斜度的变化来看, 不管是组合结构还是单元结构对载荷的影响均不明显。从位移量来看, 组合结构单元的位移变化规律与 EPE 和纸浆模塑的基本一致, 但组合结构在承载力提高的同时, 变形量却有所降低。组合结构在静载时, 其承载能力均优于单个材料的结构单元。

3 动态跌落

在静态实验仿真后, 为进一步分析不同材料结构单元的动态缓冲性能。选取易碎的玻璃罐为研究对象, 分别采用单个的纸浆模、EPE 和组合材料建立玻璃罐的缓冲包装结构。玻璃罐包括罐底、罐身和罐盖, 罐盖部分采用金属盖, 见图 4。将模型导入 Ansys/LS-DYNA 中, 纸浆模塑和 EPE 的材料模型选择 Shell 163 单元, 玻璃罐选择 Solid 164 实体单元^[8], 设定相关参数, 见表 1, 对模型进行网格划分。

表 1 模型结构参数
Tab.1 Parameters of model structure

结构模型	弹性模量/MPa	泊松比	密度/(kg·mm ⁻³)
纸浆模	50.5	0.01	3.75×10^{-5}
EPE	3	0.01	2.9×10^{-2}
玻璃罐	7.2×10^4	0.2	2.2×10^{-6}
地面	2.1×10^5	0.28	7.8×10^{-3}

在 Ansys/LS-DYNA 中打开 Drop Test 模块, 设置相应的参数, 分别选择 45°, 60°, 90°这 3 个方向进行跌落实验, 为使数据的收集更加方便, 玻璃罐缓冲包装结构设计为对称结构, 从而简化包装结构模型, 只对玻璃罐体的罐底和罐身进行缓冲包装, 产品包装跌落模块见图 5。

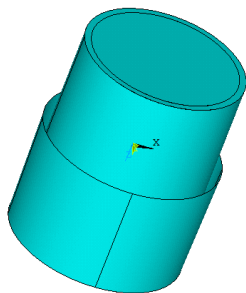


图 4 玻璃罐模型
Fig.4 Drop model



图 5 跌落模块
Fig.5 Drop test interface

利用 Ansys 的后处理器 General Post 对结果进行可视化, 提取玻璃罐在不同的包装材料结构单元时结构的极限应力, 见表 2。

表 2 模型的极限应力
Tab.2 Ultimate stress of model Pa

模型结构类别	跌落角度/(°)		
	45	60	90
玻璃	155.315	224.261	212.456
EPE	106.755	107.147	103.844
纸浆模	98.696	98.761	104.23
组合	92.563	93.755	93.76

通过 Time Variables 下的 Graph Variable 命令显示物体重心以及测试对象跌落前的最低点, 绘制出结构各个方向上的位移、速度、加速度曲线图, 观察每个子步的参数变化情况^[9-12]。玻璃罐结构在缓冲包装前和包装后最低点沿 z 向的加速度曲线见图 6。

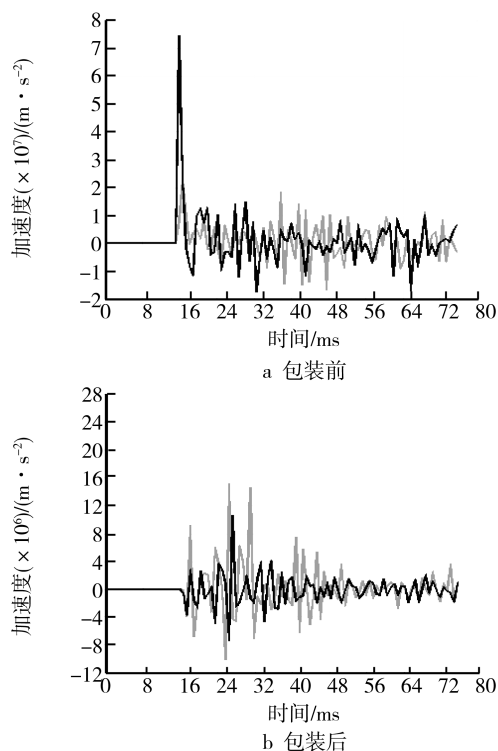


图 6 玻璃罐包装前后跌落最低点 z 向加速度曲线
Fig.6 Acceleration of z direction pre-packing and post-packing

从玻璃罐结构跌落前最低点的加速度曲线可知, 玻璃罐在缓冲包装前和包装后的参数变化符合基本的自由跌落过程, 模型跌落仿真与实际情况基本一致。同时, 从玻璃罐缓冲包装后模型的跌落实验中可看出, 在进行缓冲包装后, 缓冲结构明显对

玻璃罐起到了保护作用，发挥了结构的缓冲性能，总体而言，组合结构的缓冲性能优于单个结构单元。

4 试验验证

4.1 静载试验

试验采用纸浆模单元、EPE 单元和结合单元的桶型结构，通过 MTS 实验机测试静载条件下结构所能承受的最大载荷，按照 GB 8168—87，分别对 3 种结构进行试验^[13]，得到试样能承受的静态载荷，每组数据取平均值，试验结果见表 3。

表 3 单元结构的极限荷载
Tab.3 Limit load of unit structure

结构类型	极限载荷/N	最大变形量/mm
纸浆模塑	82.948	3.010 33
EPE	90.8348	3.051 94
组合结构	118.557	3.030 17

4.2 跌落试验

通过跌落实验机设定相关参数，选定质量为 0.25 kg 的玻璃罐体，分别采用纸浆模、EPE 和组合结构对其进行缓冲包装，在跌落高度为 1028 mm 时，进行 45°，60°，90°这 3 个方向的跌落试验，提取 3 种缓冲包装在跌落试验中的加速度曲线^[14]，见图 7，可以看出，3 种结构单元跌落试验的加速度曲线波形的冲击脉冲范围基本吻合，且组合包装结构的加速度峰值低于纸浆模和 EPE。

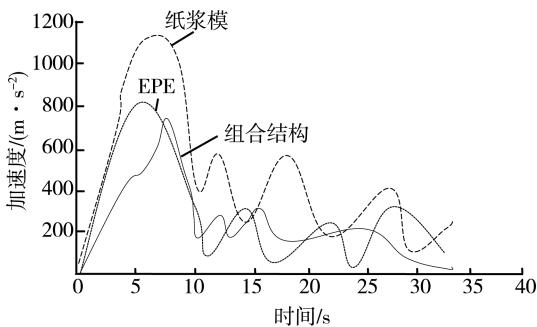


图 7 跌落试验加速度曲线
Fig.7 Acceleration curve of drop test

对比跌落实验和仿真发现，仿真曲线与跌落试验的曲线变化非常接近，在纸浆模型的实验中，结构模型在 5 ms 左右出现峰值，曲线的斜率发生变化，跌落试验的峰值加速度约为 712 m/s²，即 72.2g，与仿真曲线的峰值加速度相比(65.83g)，减小了

8.8%。另外，跌落试验与仿真在冲击脉冲之外的加速度曲线变化关联性不高，跌落试验曲线表现为振荡衰减^[15—16]，仿真曲线呈不同幅度的波动，这主要是因为仿真实验在设定参数时，在材料阻尼及空气阻力等方面与实际条件存在差异。

5 结语

通过选取缓冲结构中的单元结构为试验对象，可有效地简化缓冲包装结构，缩短建模时间，提高效率。利用 Ansys 进行静态压缩和跌落试验，得到了不同材料常用结构单元的极限载荷、位移、应力、速度与加速度响应等数据，结果表明，材料的几何参数对结构单元缓冲能力的影响较明显。结合对比静载试验、跌落试验与仿真分析，结果基本一致，说明仿真分析具有较高的模拟精度。利用 Ansys 对不同单元结构的缓冲性能分析，可有效地改善原有结构的缓冲性能，更好地保护产品，为结构单元的优化设计提供参考。通过对比纸浆模塑单元结构、EPE 单元结构和组合结构单元在静载和跌落冲击的相关结果可得出，组合结构单元无论在静载还是跌落冲击都体现出优越的缓冲能力。

参考文献：

[1] 刘学. 发泡聚乙烯包装系统动力学有限元分析[J]. 包装工程, 2011, 32(13): 11—13.
LIU Xue. Dynamic Finite Element Analysis of Foamed Polyethylene Packaging System[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 11—13.

[2] 冯勇. EPE 缓冲材料双向性能比较分析[J]. 中国包装工业, 2007(10): 47—48.
FENG Yong. A Comparative Analysis on Performance of EPE Bidirectional Buffer Material[J]. China Packaging Industry, 2007(10): 47—48.

[3] ZHONG C, SAITO K, KAWAGUCHI K. Improvement of Equivalent Drop Theory for Transport Packaging[J]. Packaging Technology & Science, 2013, 26(2): 67—81.

[4] SEK M, ROUILLARD V. A Study of Nonlinear Effects in a Cushion-Product System on Its Vibration Transmissibility Estimates with the Reverse Multiple Input-Single Output Technique[J]. Packaging Technology & Science, 2012(3): 125—135.

[5] OZTURK M, ANLAS G. Finite Element Analysis of Expanded Polystyrene Foam under Multiple Compressive Loading and Unloading[J]. Materials and Design, 2010(2): 773—780.

[6] KWAK M, PARK S, LEE J. Dynamic Responses of

- PCB under Product-level Free Drop Impact[J]. Microelectronics Reliability, 2010(7): 1028—1038.
- [7] 杨嫣红, 王志伟. 缓冲包装材料及其性能研究进展[J]. 包装工程, 2002, 23(4): 96—99.
YANG Yan-hong, WANG Zhi-wei. Research Progress in Cushioning Materials and Their Properties[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(4): 96—99.
- [8] 计宏伟, 余本农. 用数字相关测量方法研究纸浆模塑材料拉伸时的力学性能[J]. 包装工程, 2004, 25(4): 168—170.
JI Hong-wei, YU Ben-nong. Investigation of the Mechanical Properties of Molded Pulp with DICM[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(4): 168—170.
- [9] HAMOUDA H. Acetylated Starch-polylactic Acid Loose-fill Packaging Materials[J]. Industrial Crops & Products, 2005(22): 109—123.
- [10] MATUANA L, MENGELOGLU F. Microcellular Foaming of Impact-modified Rigid EPE/wood-flour Composites[J]. Journal of Vinyl & Additive Technology, 2001, 7(2): 67—75.
- [11] HOFFMANN J. Compression and Cushioning Characteristics of Moulded Pulp Packaging[J]. Packaging Technology & Science, 2008(13): 211—220.
- [12] LOW K. Drop-impact Cushion Effect of Electronics Products Formed by Plates[J]. Advances in Engineering Software, 2003, 34(1): 31—50.
- [13] 王怀文, 计宏伟, 苗惠, 等. 纸浆模塑材料压缩力学行为及其本构关系的研究[J]. 机械强度, 2009, 31(3): 382—386.
WANG Huai-wen, JI Hong-wei, MIAO Hui, et al. Research on Compression Mechanical Behaviors and Constitutive Relation of Moulded Pulp Material[J]. Mechanical Strength, 2009, 31(3): 382—386.
- [14] CHENG M, MAKRIS A. On Drop-tower Test Methodology for Blast Mitigation Seat Evaluation[J]. International Journal of Impact Engineering, 2010(12): 1180—1187.
- [15] 韩娟, 于江, 杨斌. 电子产品的纸浆模塑包装设计[J]. 包装工程, 2009, 30(2): 44—45.
HANG Juan, YU Jiang, YANG Bin. Packaging Design for Electronic Products with Paper-pulp[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(2): 44—45.
- [16] 李萌, 鲁宁. 工控设备缓冲包装跌落试验及其仿真分析[J]. 包装工程, 2015, 36(5): 74—78.
LI Meng, LU Ning. Drop Test of an Industrial Control Equipment Cushion Packaging and Its Simulation Analysis[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(5): 74—78.