

技术专论

基于有限元法的缓冲材料力学性能分析

宋晓利, 张改梅, 王灿, 王俊程, 郑永龙

(北京印刷学院, 北京 102600)

摘要: **目的** 基于有限元法对发泡聚乙烯(EPE)缓冲包装材料的力学性能进行分析。**方法** 基于有限元法研究缓冲材料的厚度、压板的施压速度对EPE缓冲包装材料的应力分布及应力应变曲线的变化情况。**结果** 随着缓冲材料厚度的增加,最大应力从1.646 kPa逐渐减小到0.624 kPa,材料屈服点的应力从41.700 Pa逐渐降低到14.727 Pa。随着施压速度的增加,压板与EPE接触边缘的最大应力由1.646 kPa逐渐增大到8.617 kPa,应力上升开始点的应力从23.497 Pa逐渐增大到144.978 Pa。**结论** 应力主要分布在压板与缓冲材料接触边缘。随着缓冲材料厚度的增加,最大应力逐渐减小。随着施压速度的增加,压板与EPE接触边缘最大应力逐渐增大,且EPE缓冲材料内部受力区域逐渐增大。

关键词: 有限元分析; 缓冲材料; 力学性能; 应力

中图分类号: TB484.3; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)19-0025-04

Analysis of Mechanical Properties for Cushioning Materials Based on Finite Element Method

SONG Xiao-li, ZHANG Gai-mei, WANG Can, WANG Jun-cheng, ZHENG Yong-long

(Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: Objective The mechanical properties of expanded polyethylene (EPE) were analyzed based on the finite element method. **Methods** The stress distribution and the stress-strain variation curves of EPE for different thickness and velocity were explored based on the finite element approach. **Results** With the increase of thickness of EPE, the maximum stress was reduced from 1.646 kPa to 0.624 kPa and the stress of the yield point was reduced from 41.700 Pa to 14.727 Pa. With the increase of velocity, the maximum stress on the contact edge between the plate and EPE increased gradually from 1.646 kPa to 8.617 kPa and the stress of the rising point increased gradually from 23.497 Pa to 144.978 Pa. **Conclusion** The stress was mainly distributed on the contact edge between the plate and EPE. With the increase of thickness, the maximum stress decreased gradually. With the increase of velocity, the maximum stress on the contact edge between the plate and EPE increased gradually, and the internal stress region of EPE also increased gradually.

KEY WORDS: finite element analysis; cushioning material; mechanical properties; stress

在运输及装卸过程中,包装产品难免受到机械冲击、振动等作用,如果包装不善,很容易造成产品破损,给客户带来巨大的经济损失。在机械力作用下,缓冲包装材料能够吸收冲击所产生的能量,从而有效

地保护商品,避免商品的损坏^[1-3]。为了减少运输及装卸过程中商品的损坏,缓冲包装材料在现今包装中被大量使用。由于发泡聚乙烯(EPE)具有质轻、无毒、耐酸碱、良好的减振和抗冲击等优良性能,被广泛用于

收稿日期: 2014-01-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(51305038); 北京市委组织部优秀人才项目(2013D0050040070003); 北京印刷学院校级科技重点项目(F-a-2013-16)

作者简介: 宋晓利(1979—),女,河南人,硕士,北京印刷学院讲师,主要研究方向为包装技术与方法、包装印刷。

精密仪器仪表、玻璃、陶瓷等商品的缓冲包装^[4-5]。Abaqus是一套功能强大的工程模拟有限元软件,其解决问题的范围从相对简单的线性分析到许多复杂的非线性问题。Abaqus包括一个丰富的、可模拟任意几何形状的单元库,并拥有各种类型的材料模型库,可以模拟典型工程材料的性能。作为通用的模拟工具,Abaqus除了能解决大量结构(应力/位移)问题,还可以模拟其他工程领域的许多问题,既节省了大量实验经费,又可以得出很清楚的数据,给工程设计人员提供了有效的参考。相对于其他软件,Abaqus软件在求解非线性问题时具有非常明显的优势。由于EPE为非线性材料,所以选用Abaqus软件对材料的力学性能进行分析。

为了更好地应用缓冲包装材料,不断提高和完善缓冲包装设计,减少因流通过程中的振动、冲击等作用而造成的经济损失,因此借助于Abaqus软件。文中基于有限元法对EPE的力学性能进行分析,分析在施压过程中缓冲包装材料的受力状态及变化情况,为缓冲包装材料的使用提供更有力的力学依据。

1 缓冲包装材料有限元模型的建立

在Abaqus中,线性问题是通过求解单一系统的方程求解,非线性问题Abaqus/standard应用Newton-Raphson算法解答,它将分析过程划分为一系列的载荷增量步,在每个增量步内进行多次迭代,得到合理的解后,再求解下一个增量步,所有增量相应的综合就是非线性分析的近似解。由于文中涉及到的材料EPE为非线性问题,所以在分析过程中主要使用Abaqus/standard模块。运用Abaqus对EPE缓冲材料进行仿真,主要分为创建部件,创建材料,定义和赋予截面特性,定义装配,设置分析步,定义边界条件和载荷,划分网格等步骤^[6]。

在EPE的有限元分析中,建立尺寸为170 mm×30 mm的可变形二维模型,见图1。EPE的密度为29 kg/m³,弹性模量为3 MPa,泊松比为0.01。在材料属性的定义中,利用Abaqus材料库中弹性泡沫模型Hyperfoam定义材料属性^[7],见表1。

在建模过程中,对于所分析的二维模型,CPS4I的双线性非协调单元计算代价较小,相对精度较高。由此,采用QUad(四边形)的形状、Structured(结



图1 缓冲材料静态压缩二维模型

Fig.1 A two-dimensional model of static compression for cushioning material

表1 EPE应力-应变数据
Tab.1 Stress-strain data of EPE

应力/kPa	应变	应力/kPa	应变
0.000	0.000	55.179	0.500
9.934	0.100	97.063	0.600
20.203	0.200	190.05	0.700
30.301	0.300	260.055	0.800
40.041	0.400	298.741	0.840

构化)的划分技术及CPS4I的双线性非协调单元进行网格划分^[8],见图2。泡沫塑料在压缩过程中,变形较大,因此在Step中Nlgeon选项更改为On。

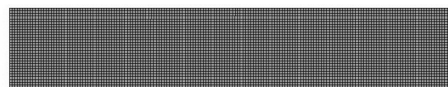


图2 网格划分后的模型

Fig.2 Meshed model

有限元分析时,模拟EPE和刚体的接触为面-面接触对,其中主动面(Master surface)为刚体,EPE为从动面(Slave surface)^[9]。设置材料最下面的边为ENCASER全约束。在压板上施加向下的速度(15 mm/min)。参考GB/T 8168—2008《包装用缓冲材料静态压缩试验方法》中规定的A法试验以及实际的试验过程,压板的压力为2 kN。

2 分析及讨论

2.1 厚度对EPE应力分布的影响

在施压相同速度的条件下,保持接触面积不变,更改EPE的厚度,得到应力分布见图3。

由图3可知,应力主要集中在压板与缓冲材料接触边缘。随着缓冲材料厚度的增加,最大应力从1.646 kPa逐渐减小到0.624 kPa,说明对于缓冲材料,随着厚度的增加,抗压能力增加。

沿着缓冲材料的纵向作路径,从create xy data工

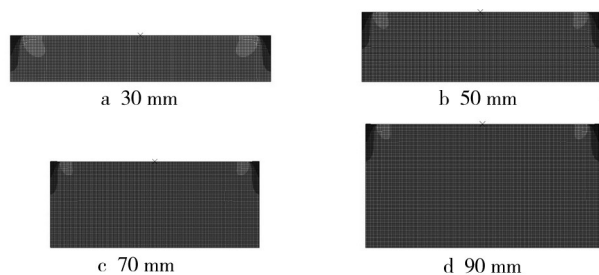


图3 厚度不同的EPE应力分布

Fig.3 Stress distribution of EPE with different thickness

具中,通过路径作出应力-应变曲线,见图4。

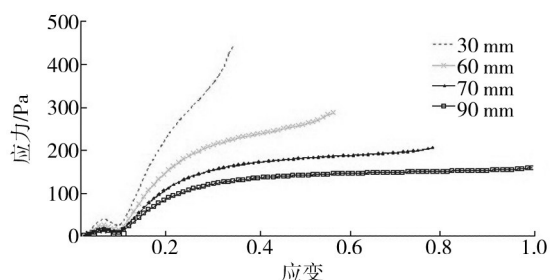


图4 厚度不同的EPE应力-应变曲线

Fig.4 Stress-strain curve of EPE with different thickness

由图4可知,在线弹性阶段,随着EPE厚度的增加,曲线的斜率降低,原因是EPE厚度越大,材料的刚性越差,强度越低,因而容易被压变形。在塑性坍塌阶段,随着EPE厚度的增加,材料屈服点的应力从41.700 Pa逐渐降低到14.727 Pa,即材料的厚度越厚,在受到外力作用时越容易达到屈服阶段,对产品的缓冲效果越好。在密实化阶段,随着EPE厚度的增加,应力上升开始点的应力从23.497 Pa逐渐降低到9.123 Pa,同样变形程度下,EPE的厚度越薄,越容易形成厚的致密层,试样较早变硬,使压溃应力较大^[10-15]。

2.2 施压速度对EPE应力分布的影响

保持EPE的接触面积及厚度不变,更改压板施压速度,得到应力分布见图5。

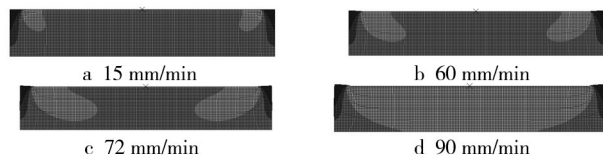


图5 不同施压速度下EPE的应力云图

Fig.5 Stress contour of EPE at different compression rate

由图5可知,随着施压速度的增加,压板与EPE接触边缘的最大应力由1.646 kPa逐渐增大到8.617 kPa,且EPE缓冲材料内部的应力逐渐扩散。

沿着材料的纵向做路径,从create xy data工具中,选择路径作出应力-应变曲线见图6。

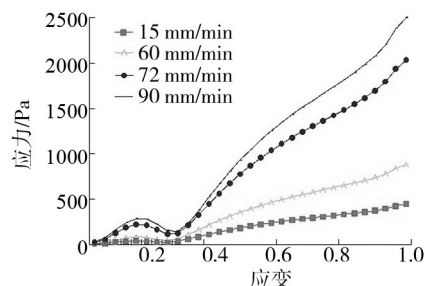


图6 不同施压速度下EPE应力-应变曲线

Fig. 6 Stress-strain curve of EPE at different compression rate

由图6可知,在线弹性阶段,随着施压速度的增加,曲线的斜率增大,其原因是施压速度越快,材料压变形的速度越快。在塑性坍塌阶段,随着施压速度的增加,材料屈服点的应力从41.700 Pa逐渐增大到285.534 Pa,即施压速度越快,越难达到屈服阶段,对产品的缓冲效果越差。在密实化阶段,随着施压速度的增加,应力上升开始点的应力从23.497 Pa逐渐增大到144.978 Pa,在变形程度相同的条件下,施压速度越快,越容易形成厚的致密层,使试样较早变硬,压溃应力较大^[10-15]。

3 结语

运用有限元分析软件Abaqus对EPE的静态压缩试验进行了仿真,并分析了其力学性能。利用有限元仿真来评价缓冲材料的力学性能具有快捷方便的特点,可以对大量的实验条件进行仿真计算,对实际缓冲包装有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 刘永辉,张银. 基于有限元分析的洗衣机跌落冲击仿真及改进设计[J]. 振动与冲击, 2011, 30(2): 164—166.
- LIU Yong-hui, ZHANG Yin. Dropping Simulation and Design Improvement of a Washing Machine Based on FE Analysis[J]. Journal of Vibration and Shock, 2011, 30(2): 164—166.
- [2] 宋庭新,刘么和,朱若燕. 基于动态性能测试和正交试验的

- 缓冲包装结构优化设计[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 56—63.
- SONG Ting-xin, LIU Yao-he, ZHU Ruo-yan. Structural Optimization Design of Cushion Packaging Based on Dynamic Property Test and Orthogonal Design[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 56—63.
- [3] 张改梅, 仵季红, 郭福宾. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的易拉罐跌落研究[J]. 包装工程, 2011, 32(5): 4—5.
- ZHANG Gai-mei, WU Ji-hong, GUO Fu-bin. Drop Analysis of Pop Can Based on ANSYS/LS-DYNA[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(5): 4—5.
- [4] WILKES C E, YUSOK C S. Investigation of Domain Structure in Urethane Elastomer by X-ray and Thermal Methods[J]. J Macromol Sci: Phys Ed, 1973, B7(1): 157.
- [5] 李俊. 发泡聚乙烯缓冲性能的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- LI Jun. A Study of Cushioning Performance for Expanded Polyethylene[D]. Hanzhou: Zhejiang University, 2010.
- [6] 石亦平, 周玉蓉. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- SHI Yi-ping, ZHOU Yu-rong. Detailed Examples of the Finite Element Analysis Based on ABAQUS[M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [7] 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. Finite Element Analysis of Dynamic Properties of EPE Cushion Packaging System[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 11—13.
- [8] 庄茁, 由小川, 廖剑晖, 等. 基于 ABAQUS 的有限元分析和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- ZHUANG Zhuo, YOU Xiao-chuan, LIAO Jian-hui, et al. Finite Element Analysis and Application Based on ABAQUS [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.
- [9] 王鹤腾, 高德, 常江. 基于非线性有限元的瓦楞纸板静态压缩性能仿真研究[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 1—3.
- WANG He-teng, GAO De, CHANG Jiang. Research on Simulation of Static Compression Performance of Corrugated Board Via Nonlinear Finite Element Method[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 1—3.
- [10] 张改梅, 胡玉玲. 不同规格蜂窝纸板缓冲性能的研究[J]. 包装工程, 2008, 29(10): 77—79.
- ZHANG Gai-mei, HU Yu-ling. Study of the Performance of Honeycomb Paperboard with the Different Size[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(10): 77—79.
- [11] OZTURK U E, ANLAS G. Multiple Compressive Loading and Unloading Behavior of Polymeric Foams[J]. Journal of Applied Polymer Engineering Science, 2007, 27(8): 607—619.
- [12] MILTZ J, GRUENBAUM G. Evaluation of Cushion Properties of Plastic Foams Compressive Measurements[J]. Polymer Engineer, 1981, 21(15): 1010—1014.
- [13] SERIGHT R S. The Effects of Mechanical Degradation and Viscoelastic Behavior on Injectivity of Polyacrylamide Solutions[R]. SPE, Exxon Production Research Co, 1983.
- [14] YOSHIHIRO M, TANG K C, MASASHI M. ID Simulation of Polymer Flooding Including the Viscoelastic Effect of Polymer Solution[J]. SPERE, 1992(2): 247—252.
- [15] 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. Research on Cushioning Property and Simulation of Typical Corrugated Board Structure[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.

(上接第 17 页)

- 定芦丁与槲皮素的方法研究[J]. 分析测试学报, 2011, 30(4): 457—460.
- SHANG Yong-hui, LI Hua, SUN Jia-juan, et al. Simultaneous Determination of Rutin and Quercetin by Partial Least Squares-Spectrophotometry[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2011, 30(4): 457—460.
- [21] 车京梅, 马超, 金莉莉, 等. 紫外分光光度法测定水红花子中槲皮素的含量[J]. 时珍国医国药, 2006, 17(3): 369—369.
- CHE Jing-mei, MA Chao, JIN Li-li, et al. Determination of the Content of Quercetin in Fructus Polygoni Orientalis by Spectrophotometry[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2006, 17(3): 369—369.
- [22] 施瑛, 孟花, 李加祝, 等. 云南野樱桃中槲皮素提取方法的研究[J]. 玉溪师范学院学报, 2013, 29(8): 61—63.
- SHI Ying, MENG Hua, LI Jia-zhu, et al. Extraction of Quercetin from Wild Cherry of Yunnan Province[J]. Journal of Yuxi Normal University, 2013, 29(8): 61—63.