

纸芯数量对蜂窝纸压溃强度的影响

吕君

(义乌工商职业技术学院, 义乌 322000)

摘要: 在蜂窝纸压溃的相关理论分析的基础上, 在有限元软件 MARC 中创建了 4 个代表性的模型; 以屈服理论和准静态分析为基础, 完成了轴向载荷的非线性压溃过程分析。在有限元分析时, 将该过程分为 4 个过程, 即线弹性、弹塑性、塑性坍塌和密实化过程。结果表明: 在纸芯数量较少的情况下, 随着纸芯数量的增加, 等效应力和剪应力不断提高。压溃过程通过实验得到了初步验证。

关键词: 轴向动态载荷; 抗压性; 纸芯数量

中图分类号: TB484.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)07-0051-03

Effect of Core-paper Quantity on Crush Performance of Honeycomb Paperboard

LV Jun

(Yiwu Industrial & Commercial College, Yiwu 322000, China)

Abstract: Four typical models were established in the finite element software MARC based on theoretical analysis of honeycomb paperboard crush. The analysis of nonlinear crush process subjected to axial load was carried out based on yielding theory and quasi-static analysis. The process was divided into four steps, linear elastic, elastically plastic, plastically collapsing, and densifying. The result showed that the equivalent stress in the models and shear stress constantly increases in response to the increase of core-paper quantity under the condition of less core-paper quantity. The crush process was verified by experiment.

Key words: axial dynamic load; compressive resistance; core-paper quantity

近几年来,各种纸托盘、缓冲衬垫、包装箱在各行各业应用很广泛,尤其是电子行业和运输业。蜂窝纸板具有非常好的抗压性和冲击吸收能力,另外还具有良好的结构成型性和成本低、无污染等特性,在包装材料领域占有一定地位。经过 10 多年的研究、开发、改进和完善,我国蜂窝纸板的技术水平和市场开发不断取得进展^[1-2]。

在蜂窝纸的制品开发中蜂窝纸的承载面积根据需要作出调整,这也关系到不同承载面积下的纸芯数量。目前还没有人提出数量是否对蜂窝纸板的抗压性能产生影响。前人对蜂窝纸板大量的试验研究后得出蜂窝纸的压缩特性,比如陈琼等^[3]提出了蜂窝纸板平压的有限元非线性分析,得到蜂窝纸压溃过程的几个阶段和实验分析结果;李鹏芳等^[4]研究了蜂窝纸板的静态压缩特性试验研究;王冬梅等^[5]将蜂窝纸压

溃过程分为线弹性、弹塑性、塑性坍塌、密实化 4 个过程。A. Petras 和 M. P. F. Sutcliffe^[6]在蜂窝纸结构和梁理论上得到了蜂窝纸板在 3 点约束下的屈服失效模式。另外台湾学者 Jin-Yuan Lin 和 Jong-Shin Huang^[7]提出了六边形蜂窝的蠕变屈曲分析。

1 压溃过程理论

蜂窝纸压溃过程可以分为线弹性、弹塑性、塑性坍塌和密实化 4 个过程。

1) 线弹性过程。在这个过程中蜂窝纸板的应力-应变关系符合胡克定律。当线弹性应力不断增加并达到屈曲临界载荷时,弹性屈曲应力峰值会出现在应力应变曲线中。

2) 弹塑性过程。蜂窝纸板产生微小的压缩应

收稿日期: 2011-10-08

作者简介: 吕君(1980—),女,浙江东阳人,义乌工商职业技术学院硕士生,主攻包装设计。

变,其压缩应力迅速下降。

3) 塑性坍塌过程。压溃载荷随压缩应变的增大按一定规律性地上下波动。

4) 密实化的应力-应变过程。其压缩应力随着应变的增加迅速增大^[8]。

整个过程的应力-应变曲线见图 1。

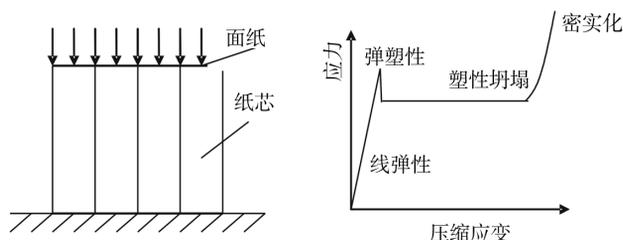


图 1 蜂窝纸压溃过程的应力-应变曲线

Fig. 1 Stress-strain curve of honeycomb paperboard in compressive crush process

2 有限元模型的建立与分析

2.1 模型的建立

在图 2 中建立 4 个有限元模型。纸芯数量分别

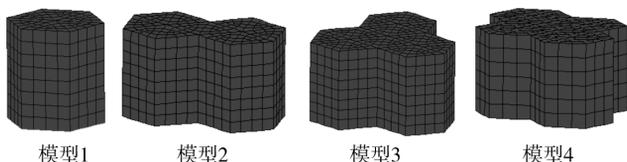


图 2 蜂窝纸有限元分析模型

Fig. 2 FEA models of honeycomb paperboard

为 1~4 个,纸芯六边形边长都定义为 10 mm,模型高度为 20 mm,材料参数见表 1。在有限元软件 MSC.

表 1 模型材料参数

Tab. 1 Material parameter of models

参数	面纸	纸芯
纵向弹性模量/GPa	2.32	2.82
横向弹性模量/GPa	1.36	1.23
密度/(g · mm ⁻²)	350	230
纸张厚度/mm	0.38	0.3
泊松比	0.325	0.278

MARC 中完成模型的建立,划分网格时以四边形壳单元。模型的边界条件定义如下:在蜂窝纸模型下表面的各点进行施加固定约束,上表面只允许轴向运动并施加轴向增量载荷,为获得计算精确性,施加的载

荷增量设置很小。非线性分析时采用 Newton-Raphson 法。

2.2 有限元分析

有限元分析的 3 个典型过程见表 2。分析发现在

表 2 各有限元分析模型的压溃阶段

Tab. 2 Crush stages of each model in finite element software MARC

模型	屈曲状态	塑性坍塌过程	密实化过程
纸芯数 1			
纸芯数 2			
纸芯数 3			
纸芯数 4			

弹性阶段压溃位移在载荷增量作用下变化微小,当达到临界状态时模型变得很不稳定、纸芯开始波动。当载荷继续增加进入塑性坍塌阶段,模型快速变形引起蜂窝纸失效。最后纸芯互相接触,高度已经明显降低,此时蜂窝纸芯的缓冲性能大大降低。随着载荷的增加,位移变化也越来越小,该过程为密实化阶段。这个过程与王冬梅^[8]的理论分析重合。

但是每个模型的临界屈曲点是不同的,根据等效应力分析结果可得,对于蜂窝芯数量为 1 的模型,其临界值为 45 972 MPa,蜂窝芯数量为 2 的模型为 53 523 MPa,蜂窝芯数量为 3 的模型为 60 271 MPa,蜂窝芯数量为 4 的模型为 147 611 MPa。结果发现随着纸芯个数增加,临界值的等效应力不断提高,见图 3。剪应力不足会导致包装产品的破损,分析发现每个模型有不同的剪应力临界点。只有 1 个蜂窝芯的模型临界值为 10 040 MPa,2 个蜂窝芯的模型为 13 580 MPa,3 个蜂窝芯的模型为 33 790 MPa,4 个蜂窝芯的模型为 53 660 MPa,见图 4。结果表明随着纸芯个数增加,临界值的剪应力不断提高。

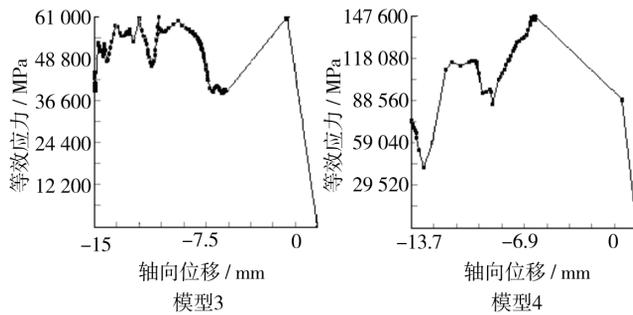
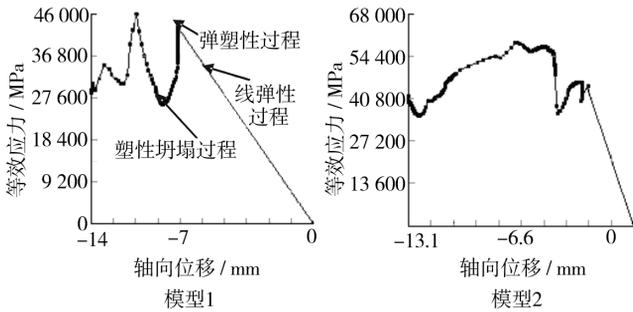


图3 各模型的等效应力曲线

Fig. 3 Equivalent stress curve of each model

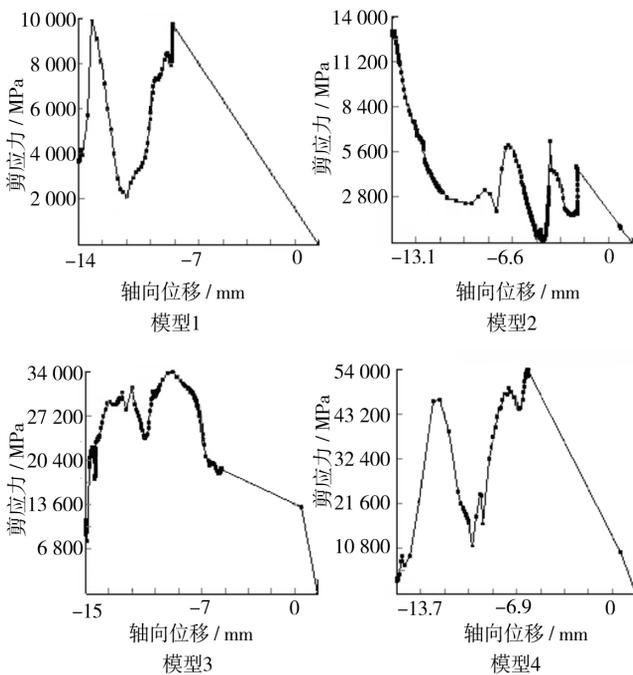


图4 各模型的剪应力曲线

Fig. 4 The shear-stress curve of each model

3 实验测试

建立实物模型后在压力机上测试,实验结果会比有限元偏大。主要原因为:1)有限元分析不考虑纸芯内部空气压力的影响;2)纸芯胶水增加屈曲值。图5

为模型在压溃中处于压溃临界状态。

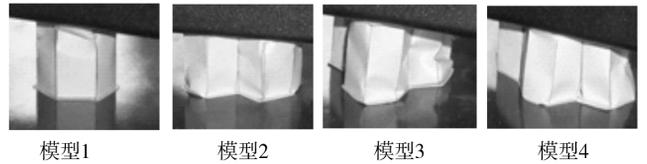


图5 实物验证

Fig. 5 Experimental verification

4 结论

在有限元分析软件 MSC. MARC 中建立了4个不同纸芯数量的蜂窝纸模型,并制作了实物模型。完成了有限元分析与实验初步分析。结果表明随着纸芯数量增加,等效应力与剪应力的临界点增加。

参考文献:

[1] 陈琼,吕原君.基于 FEA 的蜂窝纸振动分析[J].包装工程,2009,30(2):22-23.
CHEN Qiong, LV Yuan-jun. Vibration Analysis of Honeycomb Paperboard Based on FEA [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(2): 22-23.

[2] CHEN Qiong. Research on Compressive Performance of Honeycomb Paperboard[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 44: 2818-2821.

[3] CHEN Qiong, LV Yuan-jun. Drop Impact Behavior of Packaging System with Irregular Honeycomb Core[J]. Advanced Materials Research, 2011, 146: 127-133.

[4] 李鹏芳,张珏,卢朝晖,等.蜂窝纸板静态压缩试验研究及其模拟分析[J].包装工程,2010,31(1):34-37.
LI Peng-fang, ZHANG Jue, LU Zhao-hui, et al. Static Compression Test and Simulation Analysis of Honeycomb Paperboard [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(1): 34-37.

[5] GIBSON L J, ASHBY M F. Cellular Solids; Structure and Properties [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

[6] PETRAS A, SUTCLIFFE M P F. Failure Mode Maps for Honeycomb Sandwich Panels[J]. Composite Structures, 1999(44): 237-252.

[7] LIN Jin-yuan, HUANG Jong-shin. Creep-buckling of Hexagonal Honeycombs with Plateau Borders [J]. Composites Science and Technology, 2006, 66: 51-60.

[8] 王冬梅.蜂窝纸板压缩破坏机理研究[J].包装工程, 2006, 27(2): 37-39.
WANG Dong-mei. Compression Breakage Properties Research on the Honeycomb Fibreboard [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2): 37-39.