

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2013.04.005

# 瓦楞纸箱强度的静态仿真分析及试验研究

戴晓莉, 王艳丽

(江西应用技术职业学院 机械电子工程系, 江西 赣州 341000)

**摘要:** 选用某B型单瓦楞纸箱, 将其切割成3段, 对各段分别进行抗压试验, 以探讨各段对整个纸箱强度的贡献度。考虑瓦楞纸箱的材料非线性和几何非线性, 采用ANSYS有限元分析软件对纸箱上段和中段以及整个纸箱进行抗压试验仿真分析, 以得到纸箱各段和整个纸箱的压缩变形结果、压溃力和压溃位移。结果表明: 仿真分析结果与抗压试验结果基本一致, 从而验证了所建模型的可行性, 且纸箱的强度基本上取决于横向皱褶。

**关键词:** 瓦楞纸箱; 抗压试验; 非线性分析

**中图分类号:** TB487

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2013)04-0020-05

## Static Finite Element Analysis and Experiment Research on the Strength of Corrugated Boxes

Dai Xiaoli, Wang Yanli

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Jiangxi College of Applied Technology, Ganzhou Jiangxi 341000, China)

**Abstract:** B-type single-corrugated boxes were selected as the research object. Corrugated boxes were cut into three segments and each segment was subjected to Box Compression Test (BCT) in order to determine the contribution of different parts to the strength of the overall box. Taking the corrugated boxes' material nonlinearity and geometric nonlinearity into account, the compression experiments of the upper and mid-corrugated box and the entire corrugated box were simulated by means of ANSYS finite element analysis software. Deformation results, crushing force and displacement of each section and the entire corrugated box were obtained. The results showed that the simulation results were basically in close accordance with the BCT results, the feasibility of the model was verified, and the strength of corrugated boxes essentially depending on horizontal folds.

**Key words** corrugated boxes; BCT; nonlinear analysis

## 0 引言

与传统的包装材料相比, 瓦楞纸箱具有质量轻、强度高、易加工成型、易折叠等优点, 故其需求量不断增加<sup>[1-2]</sup>。然而, 在运输过程中, 因内装物和周边纸箱产生的静载荷及纵向和横向加速度产生的动

载荷都会损坏纸箱, 故对纸箱的强度要求颇高<sup>[3-4]</sup>。为了能设计出更好的包装, 了解纸箱在静态载荷作用下的抗压能力是非常必要的。

本研究中, 拟选择B型单瓦楞纸箱进行研究。考虑瓦楞纸板的材料非线性和几何非线性, 建立瓦楞纸箱的三维有限元模型, 对纸箱的压缩试验进行仿

收稿日期: 2013-07-13

作者简介: 戴晓莉(1987-), 女, 江西赣州人, 江西应用技术职业学院教师, 硕士, 主要研究方向为有限元分析,

E-mail: aidai0797@163.com

真,以考查纸箱的压缩变形结果、压溃力和压溃位移、位移场和应力分布情况<sup>[5]</sup>。同时,对纸箱进行压缩试验,并将仿真分析结果与试验结果进行比较,以考查它们的一致性,验证模型的可行性。

## 1 瓦楞纸箱有限元模型的建立及求解

### 1.1 研究对象的确定

本研究中选择武汉某厂生产的B型单瓦楞纸箱作为研究对象,纸箱尺寸为345 mm × 230 mm × 218 mm。试验前,将纸箱切割成上、中、下3部分,各段的高度依次为80,68,70 mm,如图1所示。因为纸箱的下段与上段类似,故在ANSYS中只对纸箱的上段进行仿真分析。

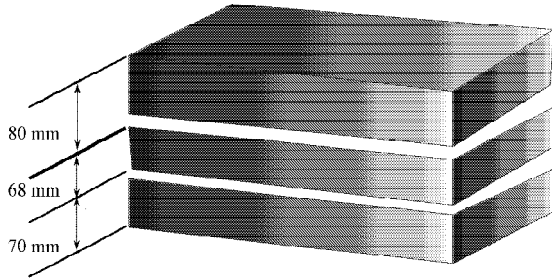


图1 B型瓦楞纸箱切割后示意图

Fig. 1 Diagram of B-type corrugated box after cutting

该型号瓦楞纸箱的材料属性如表1所示。

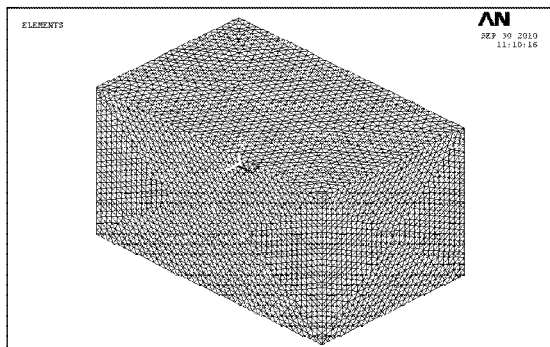
表1 瓦楞纸箱的材料属性

Table 1 Material properties of corrugated box

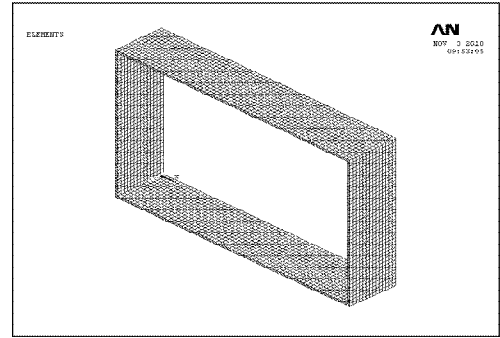
纸箱密度 $\rho$ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	弹性模量 $E_x$ MPa	剪切模量 $G_x$ MPa	主泊松比 PRXY	屈服应力 $F$ MPa
$5.5 \times 10^{-4}$	5	2	0.24	1.4

### 1.2 模型的建立

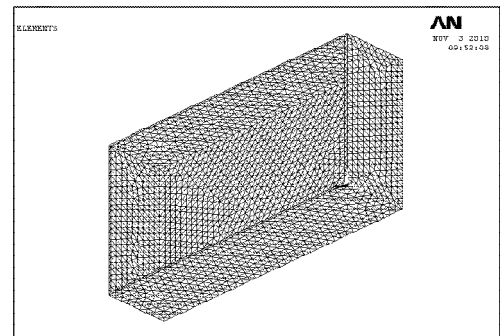
建模的基本思路是先忽略中间的瓦楞芯纸层,对瓦楞纸箱的结构进行一定的合理简化,再考虑瓦楞纸板的各向异性,在ANSYS中建模。瓦楞纸箱的网格划分单元选用构造三维固体结构的solid185六面体单元<sup>[6-7]</sup>。完成网格划分后的纸箱上段、中段和整个纸箱的模型如图2所示。



a) 整个纸箱



b) 纸箱中段



c) 纸箱上段

图2 瓦楞纸箱的网格划分模型

Fig. 2 Mesh model of corrugated box

由于瓦楞纸箱的上段和整个纸箱均为不规则形状,故采用自由网格进行划分,设置的单元尺寸为9 mm,单元形状为六面体;而纸箱的中段为规则形状,故采用映射网格,设置的单元尺寸为5 mm,单元形状也为六面体。

### 1.3 加载及求解的设定

本研究中,对B型单瓦楞纸箱整个纸箱、纸箱中段和纸箱上段分别施加位移载荷。即在Z方向的一个面上施加了位移约束,约束了所有的自由度 $U_x, U_y, U_z$ <sup>[8-9]</sup>;在Z方向上的另一个面上依次施加1~10 mm的位移载荷,位移增量为1 mm,整个纸箱的位移约束和载荷如图3所示。

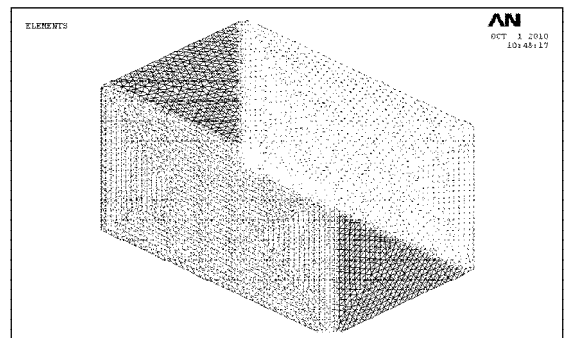


图3 施加载荷后的结果显示

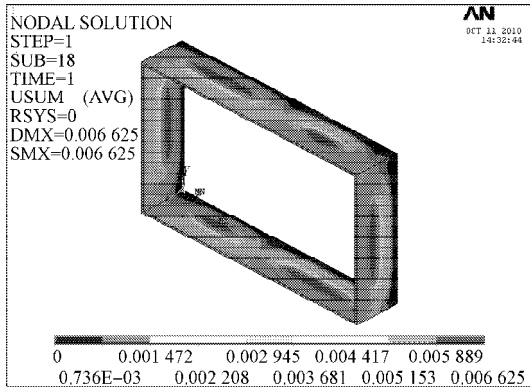
Fig. 3 Results of the applied load

## 2 瓦楞纸箱仿真结果分析

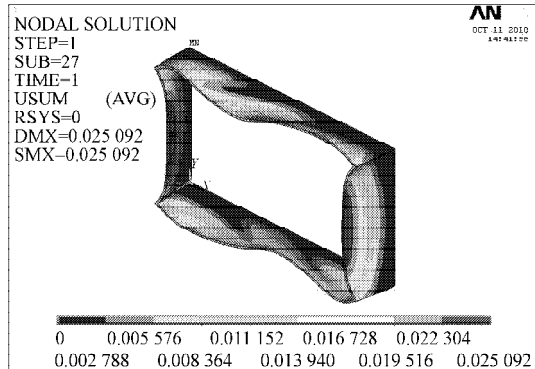
### 2.1 Z方向的位移分析

沿Z方向对瓦楞纸箱中段依次施加1~10 mm的位移载荷后,经仿真过程得知B型单瓦楞纸箱中段被压溃时的位移是6 mm,此时瓦楞纸箱中段所能承受的最大压溃力是1 567.51 N。

瓦楞纸箱中段被压缩3 mm和6 mm时,纸箱的位移场如图4所示。



a) 纸箱中段被压缩 3 mm



b) 纸箱中段被压缩 6 mm

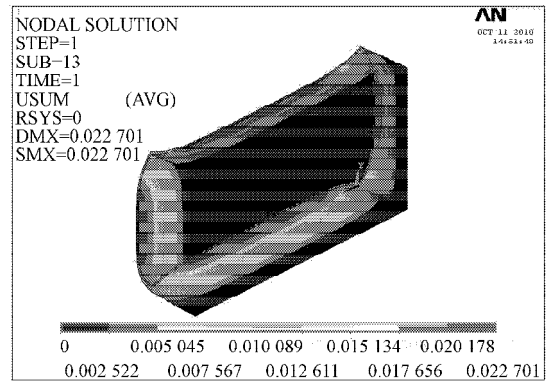
图4 纸箱中段的合位移等值线图

Fig. 4 Figure of the mid-box' s displacement isoline

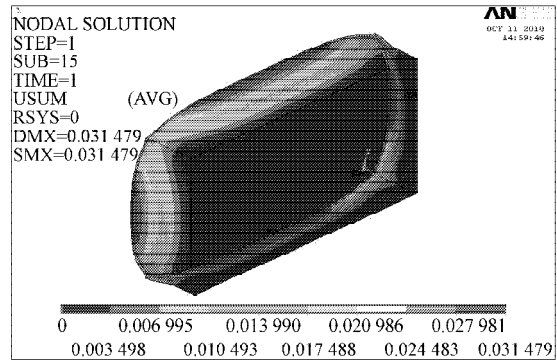
从图4中可以看出,纸箱未被压溃(即被压缩3 mm)时,纸箱中段的中间部位的位移变化量最大,为6.625 mm;而纸箱压溃(即被压缩6 mm)后,纸箱中段的端部受压处的位移变化量最大,为25.092 mm。

由仿真过程得知,B型单瓦楞纸箱上段被压溃时的位移是9 mm,此时瓦楞纸箱上段所能承受的最大压溃力是1 276.93 N。

瓦楞纸箱的上段被压缩5 mm和9 mm时,纸箱上段的合位移场如图5所示。从图5中可看出,纸箱未被压溃时和压溃后,均为纸箱上段端部的位移变化量最大,纸箱上段未被压溃(被压缩5 mm)时,其端部的位移变化量为22.701 mm;纸箱上段被压溃(被压缩9 mm)后,其端部的位移变化量为31.479 mm。



a) 纸箱上段被压缩 5 mm



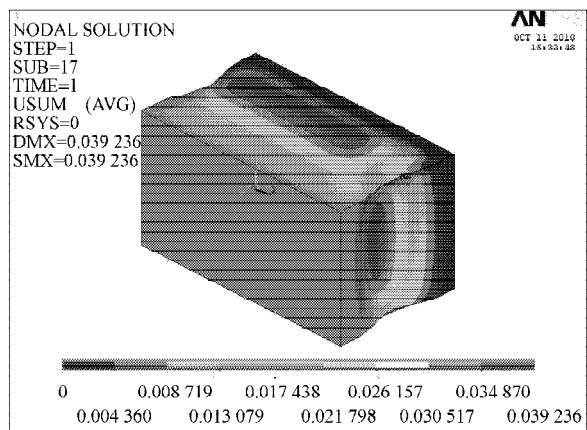
b) 纸箱上段被压缩 9 mm

图5 纸箱上段的合位移等值线图

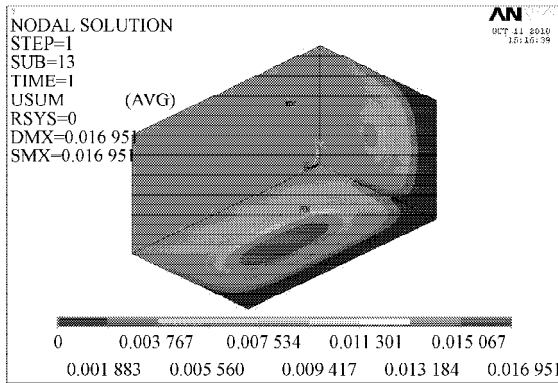
Fig. 5 Figure of the upper box' s displacement isoline

由仿真过程得知,整个B型单瓦楞纸箱被压溃时的位移是20 mm,此时纸箱所能承受的最大压溃力是1 116.483 N。

整个瓦楞纸箱被压缩5 mm和20 mm时,纸箱的合位移场如图6所示。从图6中可以看出,未被压溃时和被压溃后,均为纸箱中间位置处的位移变化量最大,被压缩5 mm时,纸箱中间位置处的位移变化量为16.951 mm,被压缩20 mm时,纸箱中间位置处的位移变化量为39.236 mm。



a) 整个纸箱被压缩 5 mm



b) 整个纸箱被压缩 20 mm

图 6 整个纸箱的合位移等值线图

Fig. 6 Figure of the entire box's displacement isoline

### 2.2 Z 方向压缩后的压力及变形量分析

仿真分析所得纸箱各段及整个纸箱 Z 方向压缩力与压缩位移的关系如图 7 所示。

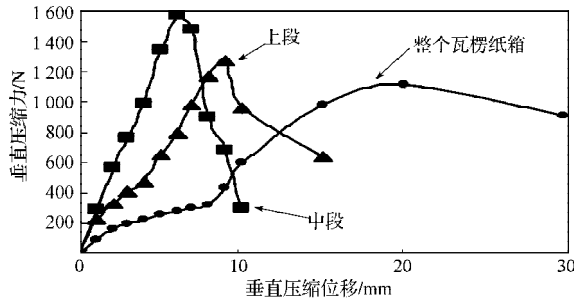


图 7 各样品 Z 方向压缩力与位移的关系

Fig. 7 The compression force and displacement relationship of Z direction with all samples

从图 7 中可看出, 所能承受压力最大的是纸箱中段, 其次是纸箱上段, 而整个纸箱所能承受的压力最小。从图 7 中可得出: 纸箱中段的强度约是整个纸箱的 1.4 倍, 纸箱上段的强度约是整个纸箱的 1.1 倍。

## 3 瓦楞纸箱的抗压试验及结果对比

### 3.1 瓦楞纸箱的抗压试验

采用抗压强度试验机分别对纸箱上段、中段及整个纸箱分组 (每组为 5 个纸箱) 进行压缩试验, 所选用的抗压强度试验机如图 8 所示。

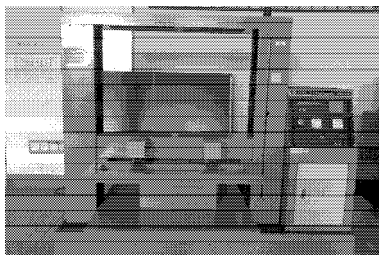
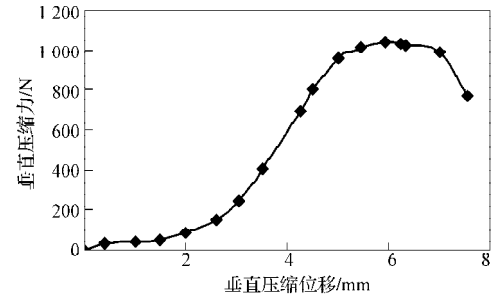


图 8 瓦楞纸箱抗压强度试验机

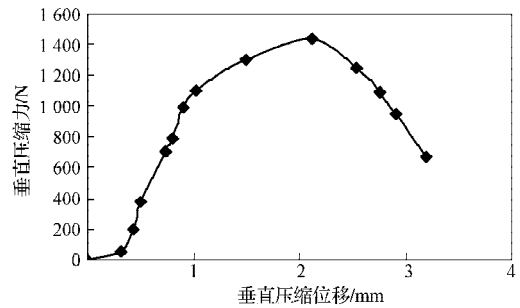
Fig. 8 Testing machine of compressive strength of corrugated boxes

所得试验结果用力 - 位移图表示, 以确定各部分对整体纸箱强度的贡献度。

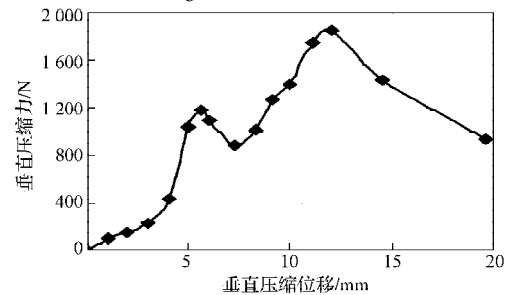
对试验所得数据进行处理, 得到所选用 B 型单瓦楞纸箱上段、中段和整个纸箱的压缩位移和压缩力的关系如图 9 所示。



a) 整个纸箱



b) 纸箱中段



c) 纸箱上段

图 9 B 型瓦楞纸箱的抗压强度实验

Fig. 9 BCT of B-type corrugated boxes

从图 9 中可以看出, 纸箱中段的抗压强度大约为整个纸箱的 1.4 倍, 纸箱上段的抗压强度是整个纸箱的 1.1 倍左右。

### 3.2 仿真与试验结果对比分析

表 2 所示为瓦楞纸箱上段、中段及整个纸箱的仿真结果与纸箱相应部分的抗压试验结果对比。

表 2 仿真结果与试验结果对比

Table 2 Comparison of simulation results with test results

项 目		纸箱中段	纸箱上段	整个纸箱
压溃位移/mm	仿真结果	6.000	9.000	20.000
	试验结果	4.518	5.560	5.925
压溃力/N	仿真结果	1 567.51	1 276.93	1 116.483
	试验结果	1 431.53	1 175.82	1 043.180
误 差		8.7%	7.9%	6.6%

通过表2数据的对比,可知仿真结果与实验结果基本一致,误差不超过9%。

由表2可看出,无论是纸箱中段、上段还是整个纸箱,仿真结果的压溃力与被压溃时的位移都比试验结果大。这是因为仿真时采用的纸板参数为理论值,而试验中用到的瓦楞纸箱样品经过压痕、折叠等多种工艺过程,对纸板本身的强度有一定影响;同时,温湿度及储存环境的不同对纸板的性能也有一定影响;再加上纸板本身的强度有所降低,故纸箱试验结果中的压溃力低于仿真值。

抗压强度试验结果验证了仿真分析结果的正确性,纸箱压溃过程中,其中段抗压强度最高,其次是纸箱上段,而整个纸箱的抗压强度是最低的。

#### 4 结语

对某B型单瓦楞纸箱进行了ANSYS有限元仿真分析和试验研究。所得结果表明,瓦楞纸箱中段的抗压强度比纸箱上段和整个纸箱的高。整个瓦楞纸箱的抗压强度之所以比较低,可能是因为纸箱上段和下段的强度比较低,即瓦楞纸箱的强度基本上取决于横向皱褶。

#### 参考文献:

- [1] Beldie Liliana, Sanderg Göran, Sanderg Lars. Paperboard Packages Exposed to Static Loads-Finite Element Modelling and Experiments[J]. Packaging Technology and Science, 2001, 14(4): 171-178.
- [2] Biancolini M E. Evaluation of Equivalent Stiffness Properties of Corrugated Board[J]. Composite Structures, 2005, 69(3): 322-328.
- [3] 戴晓莉. 瓦楞纸箱的有限元分析及实验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.  
Dai Xiaoli. Finit Element Analysis and Experiment Research of Corrugated Boxes[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2011.
- [4] 高博. 瓦楞纸箱成型过程仿真[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.  
Gao Bo. Shaping Process Simulation of Corrugated Boxes [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2009.
- [5] 闫琼. 瓦楞纸板压痕折叠过程的动态仿真分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.  
Yan Qiong. Dynamic Simulation Analysis on the Creasing and Folding Process of Corrugated Board[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007.
- [6] Gilchrist A C, Suhling J C, Urbanik T J. Nonlinear Finite Element Modeling of Corrugated Board[J]. Mechanics of Cellulosic Materials, 1999, 85(1): 101-106.
- [7] Henrik Bruzell. Simulation of the Conversion Process for Corrugated Board Boxes[D]. Lunds: Department of Design Sciences, Lunds University, 2005.
- [8] Biancolini M E, Brutti C. Numerical and Experimental Investigation of the Strength of Corrugated Board Packages [J]. Packaging Technology and Science, 2003, 16(2): 47-60.
- [9] Bunyawanicakul P, Castanié B, Barrau J J. Non-Linear Finite Element Analysis of Inserts in Composite Sandwich Structures[J]. Composites Part B: Engineering, 2008, 39(7/8): 1077-1092.

(责任编辑: 廖友媛)