

基于屈曲准则的瓦楞纸板强度仿真分析

滑广军, 罗定提, 吴若梅

(湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412008)

摘要: 分别建立了典型的A、C、B楞型单瓦楞纸板的有限元模型, 计算了3种瓦楞纸板的临界屈曲载荷。以临界屈曲载荷为纸板抗压能力的判定准则, 定量分析了3种瓦楞纸板的抗压能力, 同时研究了材料与结构对瓦楞纸板抗压能力的影响及每种瓦楞纸板的材料抗压效率。分析结果表明, 大瓦楞有更好的抗压能力, 其抗压能力的提高主要是依靠其结构实现的, 约束条件能够极大地改变瓦楞纸板的抗压效率。

关键词: 瓦楞纸板; 屈曲分析; 抗压强度; 临界载荷; 有限元分析

中图分类号: TB485.3; TB487

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2010)01-0018-03

The Simulation Analysis of Corrugated Board Strength Based on Buckling Criteria

Hua Guangjun, Luo Dingti, Wu Ruomei

(College of Packaging & Material Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: The finite-element-models of the typical A-flute, B-flute and C-flute single corrugated board were established and the critical buckling loads of the corresponding finite-element-models were calculated. Taking the critical buckling load as the criteria of corrugated board compression capacity, the material compression efficiency, the structure and material contribution to each typical corrugated board on the compression strength were analyzed. The results show that the structure is the most crucial factor to improve the compression strength of the large flute corrugated board. Constraint conditions can greatly change the compression efficiency of corrugated paperboard.

Key words: corrugated board; buckling analysis; compression strength; critical load; finite element analysis

0 引言

纸质包装容器是目前最受推崇的包装容器, 瓦楞纸箱已成为目前国内外用量最大的包装容器。包装件进行仓储及运输时, 往往采用堆码的方式, 这就要求瓦楞纸箱具有恰当的抗压能力, 抗压能力太小不能够对内装物提供足够的保护, 而抗压能力太大则增加运输包装成本, 不符合企业追求利润最大化的宗旨^[1-2]。因此, 瓦楞纸箱及瓦楞纸板的抗压能力一直是纸箱生产企业及用户感兴趣的问题。

目前, 对于运输包装中常用的A、C、B楞型单瓦楞纸板的抗压能力方面的研究, 主要基于实验方法^[3], 一些科研人员利用有限元方法进行研究, 并与实验结

果进行对比分析, 成功地解决和解释了一些单纯实验方法难以解决的问题^[4-5]。

本文借助有限元软件, 采取屈曲分析的方法, 定量分析了材料、结构及约束条件对3种典型规格瓦楞纸板抗压强度的影响。

1 瓦楞纸板的屈曲分析

本研究中, 进行有限元分析时选定的瓦楞纸板试样规格为: $l \times h = 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 。有限元分析模型选用的纸板材料参数见表1^[5], 该纸板的定量 Q 为 200 g/m^2 。瓦楞规格取中国规格的上限值, A、C、B楞型分别为: 5 mm、4 mm、3 mm^[1]。表1中 E_x 、 E_y 、 E_z 为纸板3个方

收稿日期: 2009-07-10

基金项目: 湖南省科技厅重点基金资助项目(2007TP4029)

作者简介: 滑广军(1975-), 男, 湖南工业大学副教授, 博士研究生, 主要从事运输包装技术, 结构动力学, 测试与故障诊断等方面的教学与研究, E-mail: hgj757@yahoo.com.cn

向的弹性模量, V_{xy} 、 V_{xz} 、 V_{yz} 为泊松比, G_{xy} 、 G_{xz} 、 G_{yz} 为剪切弹性模量。

表1 纸板材料参数

Table 1 Material parameters of paperboard

弹性模量 /MPa			泊松比			剪切模量 /MPa			纸板厚
E_x	E_y	E_z	V_{xy}	V_{xz}	V_{yz}	G_{xy}	G_{xz}	G_{yz}	度 /mm
7 600	4 020	38	0.34	0.01	0.01	2 140	20	70	0.269

3种瓦楞纸板的楞形均选用U形, 则3种规格瓦楞纸板试样所使用的纸板质量可按式(1)进行计算:

$$G = Q \times h \times (2 \times l + c \times l) = 200 \times 0.2 (2 \times 0.2 + c \times 0.2) = 16 + 8c, \quad (1)$$

式(1)中: c 为瓦楞展开系数, A、C、B楞型展开系数分别为1.532、1.477、1.361。将展开系数分别代入式(1)可知, A、C、B各试样材料质量分别为28.3 g、27.8 g、26.9 g。

分别建立A、C、B楞型纸板有限元模型, 采取特征值屈曲分析方法进行分析。建模的思路为: 采取自底向上的建模方式, 先建立单个周期瓦楞的芯纸、面纸、底纸线模型, 利用瓦楞纸板结构的重复性生成整个试样的截面线模型, 对试样线模型进行拖拉生成纸板面模型。模型选用shell63单元^[6], 单元厚度参数为表1中的厚度, 即2层面纸与芯纸采取同样厚度的纸板, 以方便建模。对A、C、B楞型纸板有限元模型施加相同的载荷和约束, 为了比较约束对瓦楞纸板临界屈曲载荷的影响, 采取了2种约束方式, 第一种约束方式为: 全部约束模型底部节点6个自由度^[7], 在模型顶部每个节点施加0.1 N的向下载荷作为预加载荷。单元划分后A、C、B楞型纸板有限元模型顶部受载节点总数分别为: 763、753、870, 则总预加载荷分别为: 76.3 N、75.3 N、87 N。首先对模型进行预应力分析, 再进行屈曲分析。求得A、C、B瓦楞纸板模型的第一阶屈曲特征值分别为: 3.193、2.083、0.984。则利用预加载荷和屈曲特征值可计算得3个模型的屈曲载荷为: 243 N、167 N、85 N^[5]。第一种约束方式有限元模型见图1中a), 求解的第一阶屈曲模态见图2。A、C、B楞型纸板第一阶屈曲模态形状基本一致, 因此文中不再将每个模型的屈曲模态都列出来。

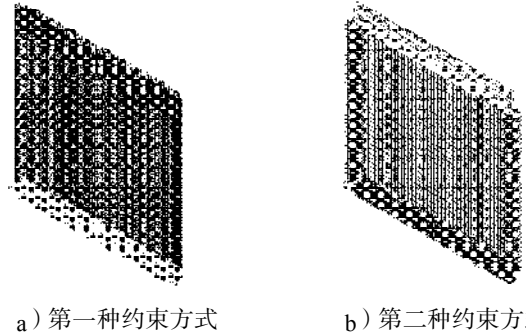


图1 纸板有限元模型

Fig.1 Finite-element-model of corrugated board

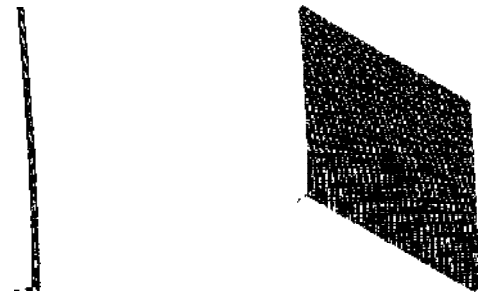


图2 纸板的第一阶屈曲模态

Fig.2 First buckling mode of corrugated board

第二种约束方式: 对有限元模型底边所有节点, 施加约束 $U_x=ROT_y=ROT_z=0$; 与Y轴平行的侧边约束 $U_x=ROT_y=ROT_z=0$; 在Y轴上的侧边约束 $U_z=ROT_x=0$ 。在模型顶部每个节点施加0.1 N的向下载荷作为预加载荷, 并求解。可得A、C、B楞型瓦楞纸板模型的第一阶临界屈曲载荷分别为: 488 N、449 N、397 N。仿真时对瓦楞纸板模型建立采用了简化的处理, 比如忽略了粘接剂强度的影响; 仿真模型中施加的边界条件是比较理想的, 模型中每个瓦楞形状都是完整的, 而实际的瓦楞纸板进行实验时很难做到。

2 材料、结构及边界条件对纸板抗压能力的影响分析

由图2可知, 试样的第一阶屈曲模态是纸板的整体屈曲模态, 而非局部模态, 因此第一阶屈曲特征值能够反映纸板的抗压能力。本文计算模型使用的瓦楞纸板的基本参数及计算结果数据见表2。

表2 瓦楞纸板的基本参数及计算结果数据

Table 2 The basic parameters and calculation data of corrugated paperboard

楞型	楞高/mm	样品质量/g	第一种约束方式		第二种约束方式	
			屈曲载荷/N	克重材料抗压效率/($N \cdot g^{-1}$)	屈曲载荷/N	克重材料抗压效率/($N \cdot g^{-1}$)
A	5	28.3	243	8.6	488	17.3
C	4	27.8	157	5.6	449	16.2
B	3	26.9	85	3.2	397	14.8

下面分别从结构、约束条件及单位材料抗压效率等角度分析对纸板抗压能力的影响。

2.1 结构对纸板抗压能力的影响

由表2可知,对于第一种约束方式,从A楞到C楞再到B楞,虽然3个模型样品质量差别不大,但是其屈曲载荷的差别显著。表明在第一种约束下材料对大瓦楞纸板抗压能力提高的贡献率不明显,大瓦楞纸板抗压能力提高主要是依靠其结构实现的。通过对3种楞型的结构分析可知,虽然3个模型样品质量差别不大,但3种楞型的楞高差别较大,无疑大的楞高会极大地改善瓦楞纸板受压时的稳定性,进而提高其临界载荷。

2.2 约束方式对纸板抗压能力的影响

在第二种约束方式下,A、C、B楞3种模型的屈曲载荷分别为488 N、449 N、397 N,都大于第一种约束方式下A、C、B楞模型的屈曲载荷(依次为243 N、167 N、85 N),这说明,改变纸板的约束能够极大地改变纸板抗压能力。

2.3 不同约束下单位材料的抗压效率

利用A、C、B楞型瓦楞纸板试样的质量及屈曲载荷,可以按式(2)计算单位材料每克质量的抗压能力,计算结果见表2。

$$\rho = P_c / M_c \quad (2)$$

式中: ρ 为每克质量材料抗压效率,单位为N/g;

P_c 为试样屈曲载荷,单位为N,参见表2;

M_c 为试样质量,单位为g,参见表2。

由表2可知,对于第一种约束方式,3种纸板的每克质量材料抗压效率分别为:8.6 N/g、5.6 N/g、3.2 N/g。这说明瓦楞数越大,材料的效率越高,这也是重型纸箱往往选择大瓦楞纸板的原因。第二种约束方式下A、C、B试样每克质量抗压效率分别为:17.3 N/g、16.2 N/g、14.8 N/g,比第一种约束方式抗压效率有较大的提高。

3 结论

本文采用有限元分析的方法,将材料与结构对瓦楞纸板的抗压能力的影响从众多的影响因素中解耦出

来,以特定规格试样及约束条件为对象进行了有限元分析,消除了实验时因为测试系统误差、环境温湿度等因素的干扰,定量地分析了A、C、B3种典型楞型瓦楞纸板的抗压能力。分析结果表明,大楞型瓦楞纸板具有更高的克质量抗压效率,约束条件的改变能够极大地改变瓦楞纸板的克质量抗压效率。

参考文献:

- [1] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2006.
Peng Guoxun. Logistic and Transport Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2006.
- [2] 张书彬, 冯学正. 瓦楞纸箱抗压强度的实验研究[J]. 包装工程, 2008, 29(9): 10-11.
Zhang Shubin, Feng Xuezheng. Experiment Research of Corrugated Boxes Compression Strength[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 10-11.
- [3] Jongkoo Han, Jong Min Park. Finite Element Analysis of Vent Hand Hole Designs for Corrugated Fiberboard Boxes[J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20: 39-47.
- [4] 朱文. 增强纸箱强度的几种方法[J]. 上海包装, 2005(3): 6.
Zhu Wen. Several Methods Enhancing Corrugated Box Compression Strength[J]. Shanghai Packaging, 2005(3): 6.
- [5] 刘伯. 瓦楞纸板力学性能的有限元分析[D]. 西安: 西安理工大学, 2004.
Liu Bo. Finite Element Analysis of Corrugated Board Mechanical Property[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2004.
- [6] 许红平. 基于MSC.Marc的蜂窝纸板抗压性能分析[J]. 杭州师范大学学报: 自然科学版, 2008, 7(6): 465-468, 480.
Xu Hongping. The Analysis on Resisting Compression of Honeycomb Paperboard on MSC MARC[J]. Journal of Hangzhou Normal University: Natural Science Edition, 2008, 7(6): 465-468, 480.
- [7] Vaneer Chonhenchob, S Paul Singh. A Comparison of Corrugated Boxes and Reusable Plastic Containers for Mango Distribution[J]. Packaging Technology and Science, 2003, 16: 231-237.

(责任编辑: 廖友媛)