

瓦楞纸板横向边压强度有限元分析

廖泽顺, 滑广军, 谢勇, 邵珍珠

(湖南工业大学, 株洲 412008)

摘要: **目的** 基于有限元软件Ansys建立A,C,B,E型瓦楞纸板的有限元模型,对其横向边压强度进行屈曲分析,同时研究试样裁切位置对瓦楞纸板横向边压强度的影响。**方法** 有限元分析方法将结构对纸板边压强度的影响从众多因素中解耦,消除其他因素对结果的影响。**结果** A,C,B,E型纸板平均抗压能力比为5:4:2:1,仅裁切位置不同对纸板横向抗压能力的影响达到16%。**结论** 大瓦楞有更好的横向抗压能力,楞高是影响瓦楞纸板横向抗压能力的主要因素,裁切位置的不同也会影响瓦楞纸板的横向抗压能力。

关键词: 瓦楞纸板; 横向边压强度; 屈曲分析; 临界载荷; 有限元

中图分类号: TB484.1; TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)13-0056-05

Finite Element Analysis on Transverse Compressive Strength of Corrugated Board Edge

LIAO Ze-shun, HUA Guang-jun, XIE Yong, SHAO Zhen-zhu

(Hunan University of Technology, Zhuzhou 412008, China)

ABSTRACT: **Objective** Based on Ansys, the finite element model of A, C, B, E type corrugated cardboard was established and buckling analysis was carried out on the model. The influence of sample cutting position on the transverse compression strength of corrugated board was also studied. **Methods** The effects of structure on the compression strength of corrugated board were decoupled from a number of factors by finite element analysis, which eliminated the influence of other factors on the experimental results. **Results** The calculated result showed that the ratio of A, C, B, E type cardboard average compressive strength was 5:4:2:1. The effects of different cutting position on the cardboard transverse compressive capacity reached up to 16%. **Conclusion** The result showed that large flute had better transverse compressive ability. The height of flute was the major factor affecting the transverse compressive strength of corrugated board. Sample cutting position also affected the transverse compressive strength of corrugated board.

KEY WORDS: corrugated cardboard; transverse compression strength; buckling analysis; critical load; finite element

瓦楞纸箱在运输包装中占有很大的比重,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良好的抗压能力^[1-3]。为更好地利用瓦楞纸板,业内专家对其结构及应用进行了大量的研究。一些学者通过实验、有限元或2种技术相结合的方法,对不同楞型瓦楞纸板纵向边压强度进行了研究。

目前对瓦楞纸板的纵向边压强度认识比较统一^[4-8]。对相同材质、不同楞型的瓦楞纸板横向抗压强度的研究还不够充分^[9-10]。有些箱型结构需要瓦楞横向抗压,由此为充分利用纸板的横向承载能力,有必要对瓦楞纸板横向抗压能力进行研究。

文中借助有限元分析软件,采用屈曲分析方法,

收稿日期: 2014-04-02

基金项目: 国家自然科学基金(61170101)

作者简介: 廖泽顺(1989—),男,湖南永州人,湖南工业大学硕士生,主攻运输包装。

将结构对纸板横向边压强度的影响从众多影响因素中解耦,分析A,C,B,E型瓦楞的横向边压强度,同时研究试样裁切位置对纸板横向抗压能力的影响。

1 瓦楞纸板的横向边压强度屈曲分析

大尺寸规格试样更接近瓦楞纸板实际使用状

态。A,C,B,E型瓦楞纸板试样规格为 $H \times L = 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}$,楞形均为U形,瓦楞高度取GB/T 6544—2008瓦楞纸板上限值,A,C,B,E高度分别为0.005,0.004,0.003,0.002 m^[11]。瓦楞纸板的面纸与芯纸选择同一种材料,材料的基本参数见表1^[12—13]。

瓦楞纸板为周期性结构,试样的取样位置不同,试样也有差别。为了研究裁切位置对横向抗压强度

表1 瓦楞纸板材料基本参数
Tab.1 Material parameters of paperboard

弹性模量/MPa			剪切模量/MPa			泊松比			纸板厚度	纸板定量
E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{xz}	G_{yz}	ν_{xy}	ν_{xz}	ν_{yz}	/mm	/(g·m ⁻²)
7600	4020	38	2140	20	70	0.34	0.01	0.01	0.269	200

的影响,分别对A,C,B,E型瓦楞纸板建立2种不同裁切方式的有限元模型:A1,A2;C1,C2;B1,B2;E1,E2。2种裁切方式局部示意图1,图1a与图1b试样端部的局部结构是不同的。

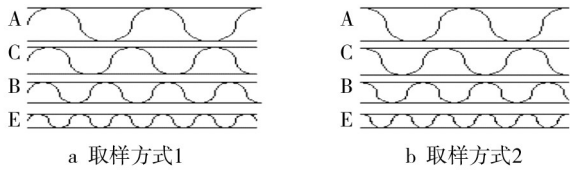


图1 取样方式
Fig.1 Sampling Patterns

瓦楞纸板模型采取自底向上建模方法,单元选用shell63单元,厚度参见表1^[14]。有限元模型见图2,对模型全部约束底部节点6个自由度,在模型顶部每个节点施加1 N的向下载荷作为预加载荷。单元边长设为0.0015 m^[15],划分单元后A,C,B,E型纸板有限元模型顶部受载节点总数及总预加载荷见表2。仿真分析对瓦楞纸板模型的建立采用简化处理,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。

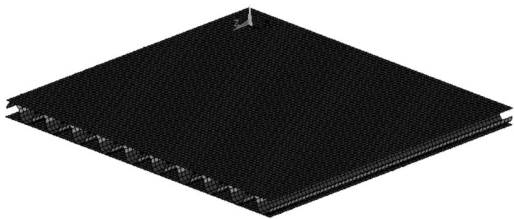


图2 瓦楞纸板有限元模型
Fig.2 Finite element model of corrugated board

表2 受载节点数及总预加载荷
Tab.2 Total pre-load and number of nodes under load

楞型	预加载荷/N	取样方式1		取样方式2	
		节点数	总预加载荷/N	节点数	总预加载荷/N
A	1	204	204	140	140
C	1	204	204	140	140
B	1	204	204	140	140
E	1	204	204	140	140

屈曲分析可计算得到各试样在第1—15阶的模式参数,各阶模式的屈曲特征值见表3。以A1试样为

表3 前15阶屈曲特征值
Tab.3 Top 15 order buckling eigenvalues

楞型 阶数	A		C		B		E	
	A1	A2	C1	C2	B1	B2	E1	E2
1	0.647	0.979	0.979	1.874	1.059	1.640	0.514	0.771
2	0.682	1.359	1.033	2.043	1.774	3.461	2.590	4.113
3	0.775	1.541	1.132	2.210	1.846	3.578	3.654	6.115
4	0.900	1.686	1.265	2.414	1.966	3.883	3.905	7.227
5	1.064	1.871	1.434	2.627	2.032	3.928	3.923	7.262
6	1.276	2.082	1.645	2.868	2.200	4.160	4.277	8.143
7	1.392	2.328	1.796	3.038	2.406	4.401	4.370	8.338
8	1.417	2.621	1.906	3.138	2.662	4.689	4.606	8.725
9	1.528	2.970	2.158	3.432	2.969	5.009	4.793	8.792
10	1.550	3.385	2.228	3.774	3.334	5.369	4.892	9.081
11	1.763	3.766	2.241	4.166	3.712	5.771	5.140	9.375
12	1.900	3.873	2.461	4.616	3.765	6.221	5.480	9.767
13	2.206	3.933	2.476	5.132	3.822	6.722	5.866	10.150
14	2.336	3.918	2.620	5.720	4.172	7.285	6.312	10.590
15	2.550	4.033	2.790	6.075	4.187	7.912	6.508	10.680

例,其第1—15阶模态见图3。通过对A1各阶模态变形图分析可知,第15阶模态为整体屈曲模态,其他模态为局部变形模态,故A1的第15阶模态可以反映出纸板的抗压强度。



图3 前15阶屈曲模态

Fig.3 Top 15 order buckling modals

2 瓦楞纸板横向屈曲载荷计算及结果分析

2.1 屈曲载荷计算

分析A,C,B,E楞纸板屈曲变形图可知,A1第15阶模态,A2的第11阶;C1的第7阶,C2的第7阶;B1的第1阶,B2的第1阶;E1的第1阶,E2的第1阶,为整体屈曲模态,代表试样的整体抗压能力。根据总预加载

荷和各试样整体屈曲模态特征值可计算得到试样的屈曲载荷,见式(1)。

$$P=P_0 \lambda \quad (1)$$

式中: P 为纸板屈曲载荷,N; P_0 为总预加载荷,N; λ 为整体屈曲模态对应的屈曲特征值。由式(1)可得各试样屈曲载荷,见表4。

2.2 结构对纸板横向抗压能力的影响

A,C,B,E瓦楞纸板展开系数分别为1.532,1.477,

表4 瓦楞纸板的基本参数及计算结果数据

Tab. 4 Basic parameters and calculation results of corrugated board

楞型	楞高/mm	样品质量/g	取样方式1		取样方式2		屈曲载荷偏差/%
			屈曲载荷/N	克重材料抗压效率/(N·g ⁻¹)	屈曲载荷/N	克重材料抗压效率/(N·g ⁻¹)	
A	5	7.064	520.2	73.6	527.2	74.6	1.3
C	4	6.954	366.4	52.7	425.3	61.2	16.0
B	3	6.722	216.0	32.1	229.6	34.2	6.3
E	2	6.576	104.9	16.0	107.9	16.4	3.0

1.361, 1.288, 可计算出每个试样的质量分别为 7.064, 6.954, 6.722, 和 6.576 g^[9]。由分析表 4 的数据可知, 依次从 A 楞到 E 楞, 模型样品质量差别不大, 其屈曲载荷依次减小。由此可知, 大的楞高会增加瓦楞纸板横向受压时的稳定性, 提高其临界抗压能力。

2.3 受载截面不同对纸板横向抗压能力的影响

对相同楞型不同受载截面分析可知, 取样方式 1 的横向抗压能力比为 5.2:3.7:2.1:1, 取样方式 2 抗压能力比为 4.9:3.9:2.1:1。利用试样质量及屈曲载荷, 可按式(2)计算单位材料每克质量抗压能力, 结果见表 4。

$$P=P_c/m_s \tag{2}$$

式中: P 为每克质量材料抗压效率, N/g; P_c 为试样屈曲载荷, N; m_s 为试样质量, g。

由表 4 可知, 2 种取样方式都随着 A, C, B, E 楞型高度的减小, 克重材料抗压效率依次递减, 说明瓦楞的高度越大, 克重材料抗压能力越强。楞型相同, 取

样方式 2 横向抗压效率高于取样方式 1, 表明试样的裁切位置会影响瓦楞纸板的抗压能力, 仅裁切位置不同对纸板横向抗压能力的影响达到 16%。

3 横向边压实验测试

为了验证仿真结果, 对 C, B, E 楞型纸板进行横向边压强度测试。按 GB/T 6546—1998^[16]进行实验。取 C, B, E 楞型纸板瓦楞方向为短边的矩形试样, 尺寸为 25 mm × 100 mm, 各楞型切取 12 个试样。实验仪器为 ZSO-3 型电子压缩强度试验仪。实验结果见表 5, 由表 5 可知, 随着楞型减小, 横向抗压载荷依次降低, 规律与仿真结果基本一致; C, B, E 型瓦楞纸板横向边压强度实验偏差分别为 46.1%, 94.4%, 7.2%, 远超仿真结果的偏差值, 这是因为实验偏差是由式样裁切不齐、试样裁切位置误差、试样材料的不均匀性等多因素耦合作用的结果, 而仿真分析中取样方式 1 和取样方式 2 的偏差是由裁切位置不同造成的。

表5 瓦楞纸板实验结果

Tab. 5 The experimental results of corrugated board

楞型	横向抗压载荷/N													平均值/N	实验偏差/%
C	476.8	336.8	456.7	400.2	450.5	467.8	435.2	440.6	397.5	435.2	483.6	492.3	410.5	46.1	
B	285.4	176.0	237.8	284.3	268.5	256.9	243.2	248.7	146.8	269.3	215.7	269.4	209.7	94.4	
E	107.6	187.8	138.7	105.9	100.7	107.3	121.2	99.8	147.4	96.5	95.2	109.5	137.9	97.2	

4 结语

文中采用有限元分析方法, 以大尺寸规格试样(0.1 m × 0.1 m)的 A, C, B, E 楞型瓦楞纸板横向抗压能力为对象, 进行了有限元屈曲分析。采用大尺寸规格的试样更接近纸板的实际使用状态, 同时消除了实验时因为测试系统误差、环境温湿度、试样材质、试样加

工成形及裁切误差等因素对分析结果的干扰。分析结果如下所述。

- 1) A, C, B, E 楞型瓦楞纸板, 在面纸及芯纸材质相同的情况下, 裁切截面 1 与裁切截面 2 的平均抗压能力比为 A:C:B:E=5:4:2:1。说明大楞型瓦楞纸板具有更高的克重材料横向抗压效率, A, C, B, E 瓦楞纸板横向边压强度的大小随着瓦楞的减小依次减小。
- 2) 不同裁切截面横向抗压能力之比为 A1:A2=

1:1.01, C1:C2=1:1.16, B1:B2=1:1.06, E1:E2=1:1.03, 仅裁切位置不同对纸板横向抗压能力的影响达到16%,说明裁切截面的改变能够影响瓦楞纸板的横向抗压能力。

3) C, B, E型瓦楞纸板横向抗压载荷依次降低,规律与仿真结果基本一致;其横向边压强度实验偏差分别为46.1%, 94.4%, 97.2%,超过了仿真结果的偏差值,这是由于实验测试存在多种误差的原因。

4) 仿真分析与实验试样大小是不同的,这是因为大规格尺寸的试样很难进行实验操作,由此进行仿真分析与实验手段相结合,发挥2种技术手段的优点,是很有必要的。

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 Guo-xun. Logistics and Transport Packaging Design [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2006.
- [2] GB—T 8166—1987, 缓冲包装设计方法[S].
GB—T 8166—1987, Package Cushioning Design Method[S].
- [3] 梅林玉. 缓冲包装设计浅析[J]. 中国包装, 2007(6): 7—9.
MEI Lin-yu. Analysis of Package Cushioning Structure Design [J]. China Packaging, 2007(6): 7—9.
- [4] NORDSTRAND T M, CARLSSON L A. Evaluation of Transverse Shear Stiffness of Structure Core Sandwich Plates[J]. Composite Structures, 1997, 37: 145—153.
- [5] NORDSTRAND T M, ALLEN H G, CARLSSON L A. Transverse Shear Stiffness of Structural Core Sandwich[J]. Composite Structure, 1994, 27: 317—329.
- [6] 刘伯, 刘志鹏. 有限元法在瓦楞纸板性能分析中的应用[J]. 中国包装, 2003(3): 70—71.
LIU Bo, LIU Zhi-peng. The Application of Finite Element Method in the Corrugated Board Performance Analysis[J]. Chinese Packaging, 2003(3): 70—71.
- [7] 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. Corrugated Board Mechanical Properties of Finite Element Analysis[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2004.
- [8] 滑广军, 罗定提, 吴若梅. 基于屈曲准则的瓦楞纸板强度仿真分析[J]. 包装学报, 2010(1): 18—20.
HUA Guang-jun, LUO Ding-ti, WU Ruo-mei. Based on the Criteria of Buckling Strength of Corrugated Board Simulation Analysis[J]. Packaging Journal, 2010(1): 18—20.
- [9] 熊宏智, 耿敏. 瓦楞结构与蜂窝结构刚度比较[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2001(3): 42—46.
XIONG Hong-zhi, GENG Min. The Rigidity Comparison of Corrugated Structure and Honeycomb Structure[J]. Beijing Technology and Business University (Natural Science), 2001(3): 42—46.
- [10] 言利容, 谢勇. 菱形蜂窝纸板的成型工艺[J]. 包装学报, 2011(2): 45—48.
YAN Li-rong, XIE Yong. Diamond Honeycomb Molding Process[J]. Packaging Journal, 2011(2): 45—48.
- [11] 赵振, 陈黎敏. 瓦楞纸板和蜂窝纸板力学性能研究[J]. 包装工程, 2005, 26(3): 5—7.
ZHAO Zhen, CHEN Li-min. Corrugated Board and Mechanical Properties of Honeycomb[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(3): 5—7.
- [12] 张维莉, 蒋海云, 黄道军, 等. 填充型瓦楞纸板的力学性能研究[J]. 包装学报, 2012(1): 5—8.
ZHANG Wei-li, JIANG Hai-yun, HUANG Dao-jun, et al. The Research on Mechanical Properties of Filled Corrugated Board[J]. Packaging Journal, 2012(1): 5—8.
- [13] 李杨, 陈曲. 基于ANSYS的打印机全瓦楞缓冲包装设计[J]. 包装学报, 2012(2): 37—41.
LI Yang, CHEN Qu. Based ANSYS Printer Full Corrugated Packaging Design[J]. Packaging Journal, 2012(2): 37—41.
- [14] 刘跃军, 江太君, 曾广胜, 等. 基于ANSYS的新型瓦楞纸板结构的有限元分析[J]. 包装工程, 2010, 31(13): 11—13.
LIU Yue-jun, JIANG Tai-jun, ZENG Guang-sheng, et al. Based on ANSYS Finite Element Analysis of New Corrugated Board Structure[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(13): 11—13.
- [15] 索世磊. 有限元分析软件ANSYS分析简单结构力学静力问题讨论[J]. 考试周刊, 2012, 57: 107.
SUO Shi-lei. The Issues Discussed of Finite Element Analysis Software ANSYS on Simple Structural Mechanics Static Analysis[J]. Exams Weekly, 2012, 57: 107.
- [16] GB/T 6546—1998, 瓦楞纸板边压强度的测定法[S].
GB/T 6546—1998, Corrugated Fibreboard—Determination of Edgewise Crush Resistance[S].