

三角型瓦楞纸板衬垫的静态压缩性能与结构模型研究

段青山, 陆晓丹, 黄崇杏, 吴敏

(广西大学, 南宁 530004)

摘要: 通过正交和单因素试验, 分析了三角型瓦楞纸板衬垫结构的失效形式, 研究了各结构参数对静态压缩性能的影响, 构建了该种衬垫的结构模型, 为瓦楞纸板衬垫的优化设计和包装开发提供支持。

关键词: 三角型; 瓦楞纸板衬垫; 静态压缩性能; 结构模型

中图分类号: TB487; TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)05-0050-03

Research on Static Compression Performance and Structure Model of Triangle Type Corrugated Paperboard Cushion

DUAN Qing-shan, LU Xiao-dan, HUANG Chong-xing, WU Min

(Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Through orthogonal and single factor experiment, the structure failure modes of the triangle type corrugated paperboard cushion and the influence of structure parameters on static compression performance was analyzed. Structure model of the cushion was constructed. The purpose was to provide support for optimization design and packaging development of corrugated paperboard cushion.

Key words: triangle type; corrugated paperboard cushion; static compression performance; structure model

三角型瓦楞纸板衬垫是一种在折成矩形的瓦楞纸板结构内, 包含三角形结构的瓦楞纸板衬垫, 该三角形的底边为矩形的底边, 顶点位于矩形顶边的中点; 其承载能力较强, 具有良好的缓冲能力。与三角型结构有关的结构参数主要有长度、宽度与高度。对于瓦楞纸板缓冲衬垫的缓冲性能, 许文才等人^[1]测试和分析了瓦楞纸板衬垫的缓冲性能, 并应用阻尼最小二乘法对缓冲衬垫的物理参数进行了优化。何慧君等人^[2]制作了垫块、护角等瓦楞纸板衬垫, 并利用动态压缩试验分析了瓦楞纸板衬垫垂直和平面方向的动态压缩特性。刘功等人^[3]设计了 4 种瓦楞纸板缓冲结构形式, 并进行静态缓冲性能测试, 得到了 σ - ε 曲线和 C - σ 曲线。马宴苹^[4]、郭彦峰^[5]等研究了弹力型、折叠型双瓦楞纸板衬垫的动态缓冲性能, 得到了 G_m - σ_s 曲线及其经验公式。宋超等人^[6]研究了折叠三角形瓦楞纸板衬垫结构的缓冲能力, 通过简化力学模型探讨了该种衬垫的缓冲能力与截面尺寸、结构折叠层数的关系。文中通过试验, 分析了三角型瓦楞纸板衬垫结构的失效形式及其各结构参数对静态压

缩性能的影响, 构建了该种衬垫的结构模型, 为瓦楞纸板衬垫的优化设计和包装开发提供支持。

1 静态缓冲性能测试及分析

实验根据 GB 8168—2008《包装用缓冲材料静态压缩试验方法》进行, 在温度为 23 ℃, 相对湿度为 50% 的条件下, 进行静态压缩实验, 压缩速度为 10 mm/min。

试验表明, 三角型瓦楞纸板衬垫(见图 1, 内部支

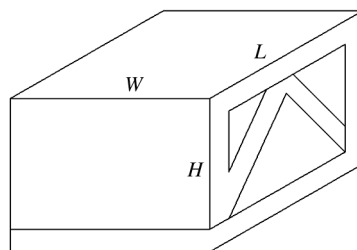


图 1 三角型瓦楞纸板衬垫

Fig. 1 The triangle type corrugated paperboard cushion

收稿日期: 2013-01-14

作者简介: 段青山(1980-), 男, 湖北石首人, 硕士, 广西大学讲师, 主要研究方向为包装机械 CAD/CAM、运输包装。

撑2块板的夹角在 $0^{\circ}\leq\alpha\leq120^{\circ}$ 时)在承受压力载荷开始阶段,衬垫结构的变形不大,当压力载荷继续增加至一定量时,其外侧的竖直瓦楞纸板逐渐向外产生弯折,而后其内侧三角型的瓦楞纸板也发生向外屈曲,最后外侧的竖直瓦楞纸板连同内侧三角型的瓦楞纸板均被压溃失效^[7],三角型结构常见的失效形态见图2。纸板的失效形式主要为剪切皱折,其次是芯纸压溃。

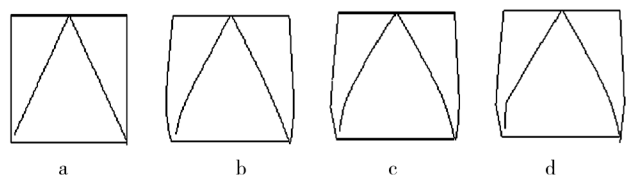


图2 三角型结构失效形态

Fig. 2 The failure shapes of triangular structure

为了寻求良好的结构参数,分析各结构参数的主次顺序,以及结构参数与最大承载载荷的规律,安排了关于结构单元的正交试验^[8],各参数见表1。

表1 因素和水平

Tab.1 The experimental factors and levels

因素	L/mm	W/mm	H/mm
水平1	150	100	75
水平2	175	120	90
水平3	200	140	110

根据表2中的数据,绘制各因素的水平趋势,见

表2 试验结果

Tab.2 The test result

	L/mm	W/mm	H/mm	最大载荷 F/N
1	150	100	75	732.943
2	150	120	90	1077.47
3	150	140	110	1208.42
4	175	100	90	652.407
5	175	120	110	783.355
6	175	140	75	1079.24
7	200	100	110	358.295
8	200	120	75	654.170
9	200	140	90	998.703
I	3018.833	1743.654	2466.353	
II	2515.002	2514.995	2728.58	
III	2011.168	3286.363	2350.07	
极差	1007.665	1542.709	378.51	

图3。因为结构件所能承受的最大载荷越大越好,所

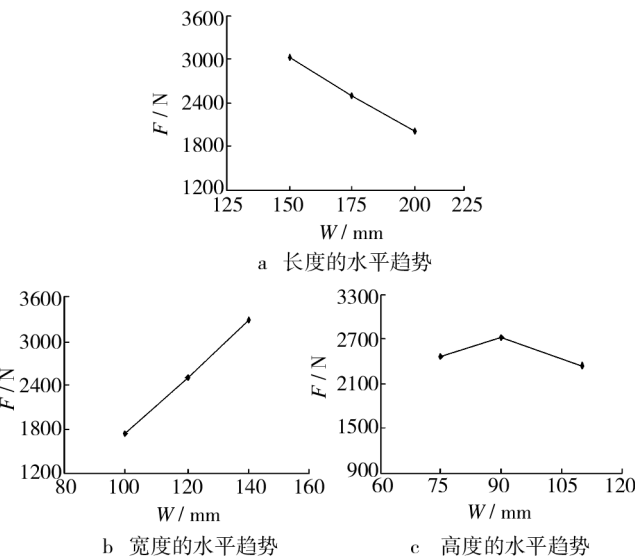


图3 各因素的水平趋势

Fig. 3 The level trend of each factor

以最大载荷之和大的水平较好。由图3可知,表2中长度因素中水平I之和要大,所以 L_1 较好;同理可得宽度因素中, W_3 较好;高度因素中, H_2 较好。将这3个水平结合在一起,即长度为150 mm,宽度为140 mm,高度为90 mm,称为全体水平组合中关于最大承载载荷最好的水平组合。通过试验,确定各因素的主次顺序为:宽度>长度>高度。

为了更清晰地了解各因素对最大承载载荷的影响,利用单因素实验,分别对结构件的长度、宽度和高度3个方向进行静态压缩实验,得到三角型构件3个方向上的最大承载载荷,见图4。

由图4a可知,随着长度的增大,三角型结构的最大承载载荷逐渐减小。这是因为长度方向越大,两折叠板所成角度越大,使底端水平受力越大;又由于左底端与侧板、底板的接触面少,故最容易造成左底端压溃。

由图4b可知,随着宽度的增大,三角型结构的最大承载载荷逐渐增大。这是由于主要承受压力的瓦楞横截面面积增大,使得其单位面积受力减小,故最大压溃力随宽度增加而增大。

由图4c可知,在特定范围时,随着高度的增大,三角型结构的最大承载载荷逐渐增大;而超过某个值后,随着高度的增大,三角型结构的最大承载载荷呈下降趋势。这是由于在特定范围时,高度方向越大,两折叠板所成角度越小,使底端水平受力越小,造成

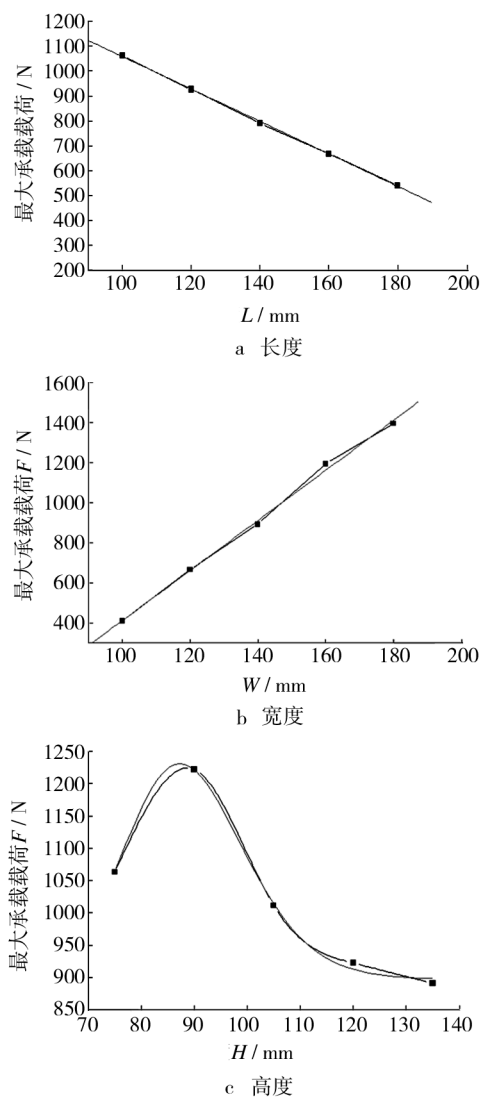


图4 三角型结构长度、宽度、高度与最大承载载荷的关系
Fig. 4 The relationship among structural unit length, width, height, and maximum load of triangle type

底端越不容易压溃;超过该范围后,瓦楞纸板发生总体屈曲,容易导致压溃。

2 结构模型的建立

为了量化各因素对结构承载能力的影响,采用 Origin 软件拟合得到曲线方程。长、宽度方向采用 Fit Liner 模块,高度方向采用非线性最小二乘拟合(NFLS)中的对数正态模型(Log Normal)拟合得到曲线,可分别得到各结构参数与最大承载载荷的拟合曲线方程,各方程相关系数的平方(R^2)均大于 0.99,说明模型显著。由上述分析可知,长度、宽度与结构件

最大承载载荷呈线性关系,高度与结构件最大承载载荷的关系呈对数正态模型关系。拟定长度、宽度、高度和结构件最大承载载荷的回归模型为:

$$F=P_1L+P_2W+\frac{P_3}{\sqrt{2\pi}P_4H}e^{-\left(\frac{\ln\frac{H}{P_5}}{P_4}\right)^2/(2P_4^2)}+P_5 \quad (1)$$

采用非线性最小二乘拟合(NFLS)曲线模型,定制式(1)为回归模型,设置相关系数,根据实验所得的所有数据,得到三角型结构瓦楞纸板静态压缩的结构模型,如式(2)。因为有 5 个未知参数(P_1, P_2, P_3, P_4 及 P_5)的误差累计,故相关系数的平方(R^2)为 0.9773,也可称之为该模型显著。

$$F=-6.717\ 66L+12.855\ 94W+\frac{26\ 800.639\ 33}{0.259\ 45\sqrt{2\pi}H}e^{-\frac{\left(\ln\frac{H}{95.226\ 72}\right)^2}{2\times0.259\ 45^2}}+95.226\ 72 \quad (2)$$

3 结语

试验发现了三角型结构的失效形式,各结构参数的影响主次顺序为宽度、长度、高度。经过单因素试验及数据分析,发现三角型结构缓冲衬垫的长度 L 、宽度 W 与最大承载载荷 F 呈线性关系,高度 H 与最大承载载荷 F 的关系符合对数正态模型。利用 Origin 软件拟合得到了三角型结构瓦楞纸板静态压缩的结构模型。以上结论对实际生产中瓦楞纸板缓冲衬垫的设计具有一定的指导意义,可以避免盲目设计。比如三角型结构左侧竖直瓦楞纸板比较容易压溃,那么在设计时就应该把衬垫放在不容易被压到的一头。又比如最大承载载荷随长度的增大而减小,随宽度的增大而增大,那么在设计衬垫时应尽量使长度较小,宽度较大,而高度则尽量在 90 mm 左右。

参考文献:

- [1] 许文才,张文凯,李华,等.瓦楞纸板衬垫的缓冲性能及物理参数优化[J].包装工程,2003,24(2):6-12.
XU Wen-cai,ZHANG Wen-kai,LI Hua,et al.The Cushioning Performance and Physical Parameter Optimization on Corrugated Board Cushion[J].Packaging Engineering,2003,24(2):6-12.
- [2] 何慧君,曾仁侠,黄湘冰,等.瓦楞纸板衬垫缓冲性能的研究[J].包装工程,1999,20(3):20-22.

求,追踪并解决其使用过程中暴露出的质量问题,将为中型散装容器的质量优化和设计改进提供借鉴。

参考文献:

- [1] The UN Economic and Council ~ Committee of Experts on Sub-committee of Expert on the Transport of Dangerous Goods (TDG), Recommendations on the Transport of Dangerous Goods-Model Regulations[Z]. 17th revised edition, United Nations; New York and Geneva, 2011.
- [2] 赵晓鹏. 中型散装容器的发展[J]. 集装箱化, 2008(2): 29-31.
ZHAO Xiao-peng. The Development of Intermediate Bulk Containers[J]. Containerization, 2008(2): 29-31.
- [3] International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code[Z]. IMO, 2010.
- [4] The International Civil Aviation Organization Technical Instructions on the Safe Transport of Dangerous Goods by Air [Z]. ICAO, 2011-2012.
- [5] Regulations Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (RID) [Z]. OCTI, Bern (in German and French), 2011.
- [6] European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) [Z]. United Nations;

New York and Geneva, 2011.

- [7] 周建伟, 王振林. 危险品包装的安全监督与检测技术[J]. 包装工程, 2007, 28(8): 52-55.
ZHOU Jian-wei, WANG Zhen-lin. Safety Supervision and Detection Technology of Dangerous Goods Packaging[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8): 52-55.
- [8] 陆文正. 复合中型散装容器的市场和发展[J]. 塑料包装, 2008, 6(18): 12-18.
LU Wen-zheng. The Markets and Developments of Composite IBCs[J]. 塑料包装, 6(18): 12-18.
- [9] 国务院令 591 号, 危险化学品安全管理条例[Z].
Decree No. 591 of the State Council of the People's Republic of China, Regulations on the Control over Safety of Dangerous Chemicals[Z].
- [10] GB/T 22410—2008, 包装 危险货物运输包装 塑料相容性试验[S].
GB/T 22410—2008, Packaging: Transport Packaging For dangerous Goods: Plastics Compatibility Testing[S].
- [11] SN/T 0890—2000, 海运出口危险货物塑编集装袋性能检验规程[S].
SN/T 0890—2000, Rules for the Inspection of Performance Test of Woven Plastic Flexible Intermediate Bulk Containers Used for Exported Dangerous Goods by Sea Transport[S].

(上接第 52 页)

- HE Hui-jun, ZENG Ren-xia, HUANG Xiang-bing, et al. The Buffer Property Study of the Corrugated Board Cushion[J]. Packaging Engineering, 1999, 20(3): 20-22.
- [3] 刘功, 刘占胜, 宋海燕. 瓦楞纸板缓冲包装结构的缓冲性能研究[J]. 中国包装, 2003(6): 95-96.
LIU Gong, LIU Zhan-sheng, SONG Hai-yan. The Research on the Cushion Performance of Corrugated Cardboard as Package Structure[J]. China Packaging, 2003(6): 95-96.
- [4] 马宴苹, 骆光林, 郭彦峰, 等. 弹力型双瓦楞纸板衬垫动态缓冲性能的试验研究[J]. 包装工程, 2006, 27(6): 92.
MA Yan-ping, LUO Guang-lin, GUO Yan-feng, et al. Experimental Research on Dynamic Cushioning Performance of the Elastic-type Double Corrugated Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 92.
- [5] 郭彦峰, 付云岗, 马宴苹. 折叠型双瓦楞纸板衬垫动态缓冲特性的试验研究[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 1-3.
GUO Yan-feng, FU Yun-gang, MA Yan-ping. Experimental Research on Dynamic Cushioning Property of Folded-type

Double-wall Corrugated Paperboard Cushion[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 1-3.

- [6] 宋超, 王振林, 奚德昌. 折叠三角形瓦楞纸板衬垫结构缓冲能力的探[J]. 包装工程, 2002, 23(5): 113-115.
SONG Chao, WANG Zhen-lin, XI De-chang. Exploration in the Cushion Ability of the Gasket Structure with Triangle Fold Way Cardboard[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(5): 113-115.
- [7] 张涛. 瓦楞纸板缓冲件的结构模型及其参数研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
ZHANG Tao. The Research on Structure Analysis Model and Structural Parameters of the Corrugated Cardboard Cushion[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [8] 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 Cushion Property and Simulation of Typical Corrugated Board Structure[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.