

纸浆模制波状结构填充物的设计及缓冲性能

李芸, 康勇刚, 付志强, 李军然, 苗函阁
(天津科技大学, 天津 300222)

摘要: **目的** 对纸浆模制波状结构形式的缓冲填充物进行结构设计与缓冲包装性能的测试。**方法** 设计并加工制备 2 种纸浆模制品波状缓冲结构填充物, 其中 A 组试样的高度均为 30 mm, 波状角度分别为 5° , 15° , 30° ; B 组试样确定的波状角度均为 5° , 高度变化分别为 10, 20, 30 mm。对 2 组试样分别进行了静态压缩、动态冲击和振动试验。**结果** 高为 30 mm, 波状角度为 5° , 15° , 30° 的波状结构最大静载荷分别为 1230, 1430, 1600 N, 波状角度为 5° , 高为 20 和 30 mm 的波状结构最大静载荷分别为 560, 1380 N。**结论** 静态压缩试验表明高度一定时, 纸浆模制缓冲结构的波状角度越大, 载荷能力越强, 波状角度一定时, 高度越高, 载荷能力越强; 动态冲击试验表明纸浆模制缓冲结构的波状角度、高度影响着结构体的缓冲应用范围; 振动试验表明在给定的载荷条件下试样避开了公路运输的共振频率。

关键词: 纸浆模制品; 波状结构; 缓冲性能

中图分类号: TB484.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)11-0011-05

Profiled Structure Design and Cushioning Performance of Molded Pulp

LI Yun, KANG Yong-gang, FU Zhi-qiang, LI Jun-ran, MIAO Han-ge
(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: This work aimed to design the structure of molded pulp with bi-wave cushioning and test the cushioning performance. Two different groups of the cushioning samples were designed, processed and prepared, group A with same the height of 30 mm and varying wave angles of 5° , 15° and 30° , respectively, while group B with the same wave angle of 5° and varying heights of 10, 20 and 30 mm, respectively. The performance was tested by static compression, dynamic impact and vibration tests. The maximum loads of group A samples with 30 mm height and 5° , 15° and 30° , were 1230, 1430 and 1600 N, respectively, while those of group B samples with 5° and 20, 30 mm height were 560 and 1380 N, respectively. The maximum loads became lager with increasing wave angle at constant height, and with increasing height at constant wave angle. The dynamic impact test showed that the height and wave angle impacted the cushioning application scope of the structure, and the result of vibration test proved that the profiled structure molded pulp could completely be used for highway transportation.

KEY WORDS: molded pulp samples; profiled structure; cushioning performance

纸浆模制波状缓冲结构是采用天然植物纤维或回收的纸类材料, 模制成为具有特定几何空腔结构和良好抗压缓冲能力的包装制品, 可对产品进行

全面包装和局部包装^[1]。纸浆模制品具有防静电、质量轻、透气性好、抗压强度大和易于回收等优点, 是一种典型的绿色包装产品^[2-3]。

收稿日期: 2015-11-10

作者简介: 李芸 (1987—), 女, 山东人, 天津科技大学硕士生, 主攻运输包装材料及技术应用。

通讯作者: 康勇刚 (1957—), 男, 辽宁人, 博士, 天津科技大学教授, 主要研究方向为运输包装材料及技术应用。

纸浆模制品的缓冲原理为结构缓冲,即通过自身结构的变形或破坏来吸收外力产生的能量,达到保护产品的目的^[4],因此纸浆模制品的性能取决于其结构与尺寸^[5]。近年来,随着纸浆模制品的大范围投入使用,许多学者对其进行了大量的研究。Marcondes J^[6]证明了纸浆模制品的缓冲机理是利用结构变形吸收外界冲击能量。Eagleton D G 等^[7]分析了不同跌落高度对特定结构纸浆模制品缓冲性能的影响。Hoffmaan J^[8-9]验证了纸浆模制品的结构形状与其缓冲性能的特定关系。王高升等^[10]以肋形单元为例,研究了纸浆模制品的单元形状、侧壁厚度及配浆浓度对最大压缩载荷的影响。康勇刚等^[11]分析了不同结构参数对纸浆模制品性能的影响规律。金国斌等^[12]对比分析了 4 种结构的纸浆模制品的跌落曲线差异。周防国等^[13]证实了纸浆模制品的承载能力与单元结构的侧壁有效周长成正比关系。田羽等^[14]得到了结构单元的静态载荷与单元数目成线性关系,且证明了其静态载荷与单元数目的线性方程系数与单元的几何形状有关。计宏伟等^[15]分析了不同加载条件下的纸浆模制品的力学特性。纸浆模制品的缓冲能力与单元结构密切相关,其结构造型、承载边长、支撑壁高度及制品的厚度均会影响单元结构的力学性能,纸浆模制品的单元结构直接影响其包装功能^[16]。

在此基础上设计了一种新型的波状结构填充物,并对其进行性能评价,结果表明该结构的纸浆模制品具有有效的缓冲保护作用。

1 波状缓冲结构的设计与制备

1.1 波状结构设计

纸浆模制波状缓冲结构的横截面是参考渐开线齿轮的截面形状而设计的,见图 1,考虑到纸浆模制品加工过程中成形、脱模等加工的方便性,及其受压条件下纸浆模制品的稳定性,同时考虑纸浆模制品运输时可以互相堆叠减少仓储及运输作业中所占据的空间。

根据纸浆模制品的结构要求及实验尝试,分别以高度和波状角度为变量制作 A 和 B 2 组纸浆模制品。A 组高度均为 30 mm,波状角度分别为 5°, 15°, 30°, 参考 A 组试样的性能测试结果,确定 B 组试样的波状角度为 5°,试样高度分别为 10, 20, 30 mm。不同角度和高度的纸浆模缓冲结构见

图 2, 2 组样品模型的有效承载面积均为 200 mm × 300 mm。

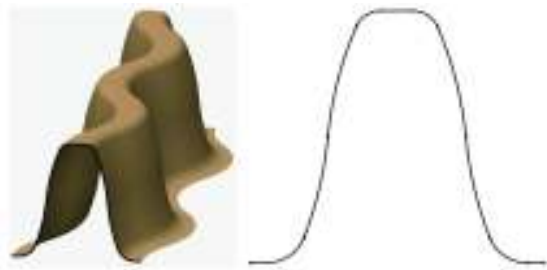


图 1 波状缓冲结构示意及其截面形状

Fig.1 Diagram of the profiled structure and its cross-sectional shape

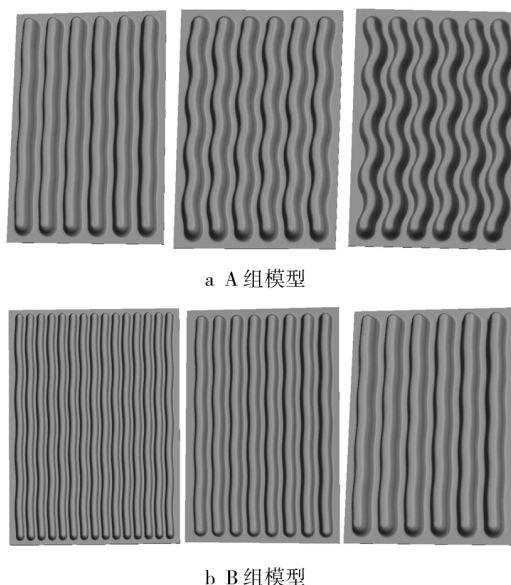


图 2 不同角度和高度的纸浆模缓冲结构

Fig. 2 Diagram of molded fiber cushioning structures with varying wave angle and height

1.2 波状结构试样制备

纸浆模制试样均为实验室加工制备,原料是废瓦楞纸板经水力碎浆后采用真空吸附成形的加工方法。样品成形后自然干燥,未经过热压定型。样品干燥后水分的实际质量分数为 12%,实际波状结构的填充物平均厚度为 1.5 mm,从试样中选取相对均匀平整的样品进行实验,最大程度地减少因试样本身的因素对实验结果造成的影响。纸浆模制波状缓冲结构试样见图 3。

2 缓冲测试

1) 静态缓冲性能测试。参照 GB/T 8168—2008 包装用缓冲材料静态压缩实验方法,进行纸浆模制缓冲结构的静态压缩实验。由于试样尺寸大于万能

材料实验机的压缩传感器台面尺寸,因此增加上下刚性板,以辅助完成静态压缩实验。按照标准,上压板速度设为 12 mm/min,实验前及结束后 3 min,分别测量试样的厚度,以计算试样的回弹率。

2) 动态缓冲性能测试。参照 GB/T 8167—2008 包装用缓冲材料动态压缩实验方法,对纸浆模制缓冲结构进行动态压缩实验。由于重锤的长边小于试样长度,重锤宽边大于试样有效宽度,因此受冲击的面积为试样有效宽度与重锤长边的乘积。

3) 振动测试。参照 GB/T 4857 运输包装件基本实验中的正弦变频振动实验方法,进行包装件的振动实验。将包装件水平地稳定在振动台上。设定振动台加速度,使之做垂直正弦振动,以每分钟 1/2 倍频程的扫频速率,在 3~100 Hz 频率之间进行往返 2 次的扫频实验,可得到被包装产品与缓冲材料的共振频率。

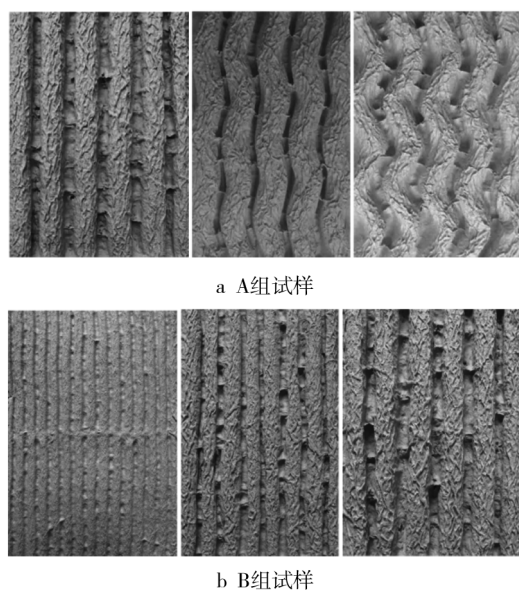


图 3 纸浆模制波状缓冲结构试样

Fig.3 Samples of the molded pulp with profiled cushioning structure

3 结果与讨论

3.1 静态缓冲性能分析

分别对 A 和 B 组试样进行静态压缩实验,得到的静态压缩载荷-位移曲线见图 4。

3.1.1 A 组试样的载荷-位移曲线分析

波状角度为 5° 的试样,在压缩位移小于 7.3 mm 区域内,平整的刚性压板将试样表面较粗糙或稍有变形的部分压至相对较平整的状态,所表现出的压缩位移变化相对较大,而压缩载荷只有

微小的增加;7.3~12.6 mm 区域内,侧壁承受主要压力,压缩载荷随压缩位移的增加有明显增加;12.6~18.8 mm 区域内,出现明显的平台区,此平台区是由于波状结构单元在受压过程中产生应力松弛,随压缩位移的增加,压缩载荷基本不变,维持在 1230 N,此阶段,试样吸收大量外界能量;大于 20 mm 区域内,试样的结构已经接近极限变形,此时随压缩位移的缓慢增加,其压缩载荷急剧增加,曲线急剧上升。曲线中平台区域的出现证明了截面结构设计的合理性,平台区域是结构体吸收外力能量的主要阶段。

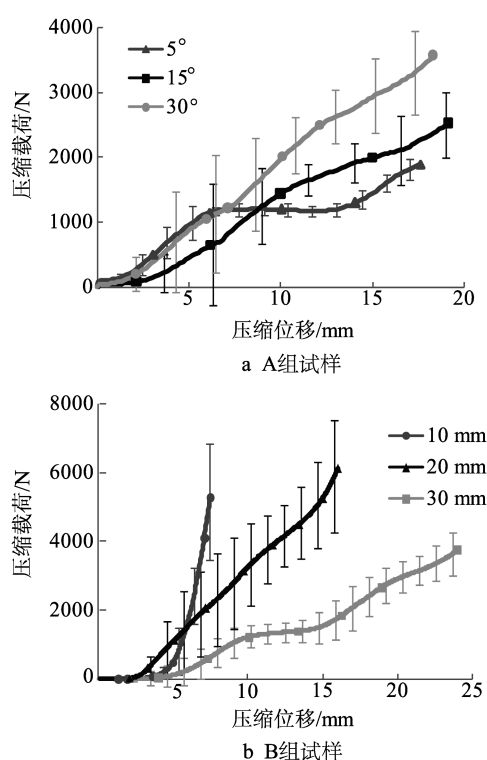


图 4 纸浆模制缓冲结构的静态压缩载荷-位移曲线
Fig.4 Static compression load-displacement curves of the molded pulp cushioning structures

与波状角度为 5° 的试样相比,15° 和 30° 试样的平台区域较小,但载荷能力在相同变形条件下均有增加。压缩载荷上升幅度随着角度及其结构变形的增大而均有增加,平台区范围随波状角度的增大而减小,载荷能力随波状角度的增大而增加。

3.1.2 B 组试样的载荷-位移曲线分析

高度为 30 mm 的试样,在 9~15 mm 区域内,出现 1 个明显的平台区,在波状结构受压过程中,结构体的压缩位移变化较大,抵抗变形的能力与相应的压缩载荷接近,维持在 1380 N,这一变形过程中试样能够吸收大量外界能量;大于 16 mm 区域,试样的结构已被压溃并产生重叠,使压力值急

剧上升。

高度为 10 和 20 mm 的试样与 30 mm 相比,无明显的平台区域。由于加工原因,这 2 个高度的试样厚度小,压缩时结构体在被压溃的初期便产生堆叠现象,限制了模体在低载荷条件下产生变形,使其载荷-位移曲线在短位移内载荷急剧增加。

3.2 动态缓冲性能分析

A 组纸浆模制波状缓冲结构的最大加速度-静应力曲线见图 5a,可知,波状角度为 5° 的试样最大加速度最低点的值约为 $50g$,对应的静应力为 0.9 kPa ,波状角度为 15° 的试样最大加速度最低点约为 $62g$,对应的静应力为 1.15 kPa ,波状角度为 30° 的试样最大加速度最低点约为 $75g$,对应的静应力为 1.35 kPa 。随着波状角度的增大,被测样品表现出的冲击加速度和静应力值均有所升高。

B 组纸浆模制缓冲结构的最大加速度-静应力曲线见图 5b,高度为 10 mm 的试样最大加速度最低点值约为 $125g$,对应的静应力为 1.3 kPa ,高度为 20 mm 的试样最大加速度最低点约为 $85g$,对应的静应力为 2.1 kPa ,高度为 30 mm 的试样最大加速度最低点约为 $58g$,对应的静应力为 1.8 kPa 。增加试样高度能够更加有效地吸收冲击能量,产生更小的加速度值。

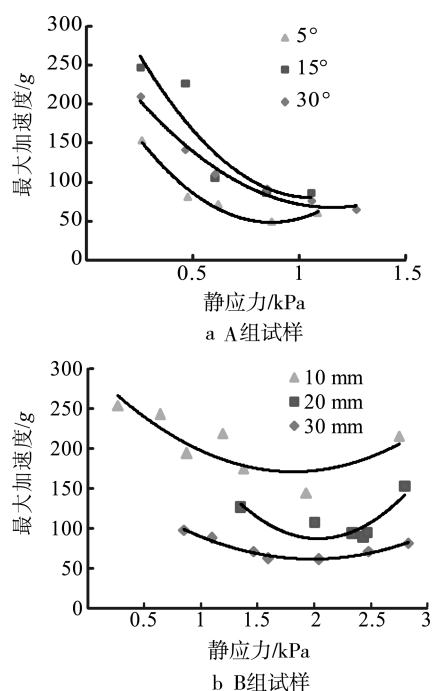


图5 纸浆模制缓冲结构的最大加速度-静应力曲线
Fig.5 Maximum acceleration-static stress curves of group A and B molded pulp cushioning structure samples

3.3 振动频率分析

考虑波状角度为 5° 时样品具有更好的能量吸收性能,对 B 组试样进行振动测试,测试结果见图 6,可以得出,B 组试样的共振频率大于 25 Hz ,避开了公路运输时的共振频率^[17]。

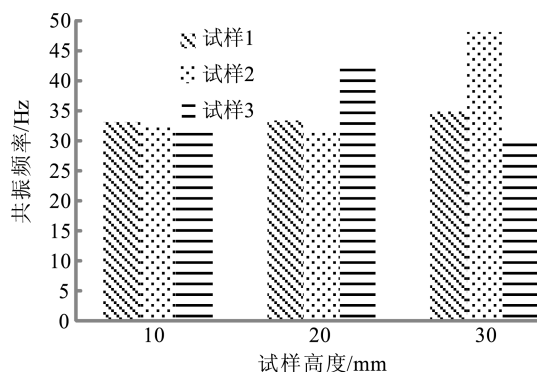


图6 B 组纸浆模制缓冲结构的共振频率
Fig.6 Resonance frequency of the molded pulp cushioning structure of group B

4 结语

纸浆模制缓冲结构的高度一定时,波状角度越大,载荷能力越强,缓冲应用范围越宽:对于 30 mm 高的试样,波状角度为 5° 时,所能承受的最大压缩载荷为 1230 N ;波状角度为 15° 时,最大压缩载荷为 1720 N ;波状角度为 30° 时,最大压缩载荷为 2000 N 。

纸浆模制波状缓冲结构的高度一定时,较小的波状角度能够吸收更大的冲击能量:对于 30 mm 高的试样,波状角度为 5° 时,最大加速度最低点值约为 $50g$;波状角度为 15° 时,最大加速度最低点约为 $62g$;波状角度为 30° 时,最大加速度最低点约为 $75g$ 。同时较小波状角度的结构体承受较低的静应力。

参考文献:

- [1] 李文彪,吴晓明.大尺寸液晶显示器纸浆模衬垫结构设计及优化[J].包装工程,2011,32(9):40—43.
LI Wen-biao, WU Xiao-ming. Structural Design and Optimization of Molded Pulp for Large-sized LCD[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9):40—43.
- [2] 汪再文.国内外纸浆模塑发展现状分析[J].中国包装工业,2006(6):25—26.
WANG Zai-wen. Analysis the Development Situation of Molded Pulp in the Domestic and Overseas[J]. China Packaging Industry, 2006(6):25—26.

- [3] 巩桂芬. 纸浆模塑制品在运输包装中的应用[J]. 中国包装工业, 2005(3):52—53.
GONG Gui-fen. Application in Transport Package of Molded Pulp Products[J]. China Packaging Industry, 2005(3):52—53.
- [4] 曹世普, 郭奕崇. 纸浆模塑工业包装制品缓冲机理研究及有限元模拟[J]. 中国包装工业, 2002(7):34—37.
CAO Shi-pu, GUO Yi-chong. Investigation on the Cushioning Mechanism of Molded Pulp and Simulation Through Finite Element Method[J]. China Packaging Industry, 2002(7):34—37.
- [5] 邓真, 康勇刚. 纸浆模制品的模体结构特征分类[J]. 包装工程, 2011,32(3):43—45.
DENG Zhen, KANG Yong-gang. Classification of Structural Character of Molded Pulp[J]. Packaging Engineering, 2011,32(3):43—45.
- [6] MARCONDES J, SCHUENMAN H. Molded Pulp Protecting High-Tech Production[C]// Proceedings of 11th IAPRI World Conference on Packaging, Singapore, 1999.
- [7] EAGLETON D G, MARCONDES. J A. Cushioning Properties of Molded Pulp[J]. Packaging Technology and Science, 1994, 7(2):65—72.
- [8] SORENSEN G, HOFFMANN J. Moisture-induced Effects on Stacking Strength of Molded-Fiber Packaging in varying Environmental Conditions[J]. Packaging Technology and Science, 2004, 17(5):257—265.
- [9] HOFFMANN J. Compression and Cushioning Characteristics of Molded Pulp Packaging[J]. Packaging Technology and Science, 2000, 13(5):211—220.
- [10] 王高升, 付春英, 金海鹰, 等. 纸浆模塑缓冲结构设计原理的研究[J]. 中国造纸, 2001, 20(4):25—28.
WANG Gao-sheng, FU Chun-ying, JIN Hai-ying, et al. Research the Design Principle of Molded Pulp Cushioning Structure[J]. China Pulp & Paper, 2001, 20(4):25—28.
- [11] 康勇刚, 何素春. 纸浆模包装制品的结构形成[J]. 中国包装, 2002, 22(3):86—88.
KANG Yong-gang, HE Su-chun. Structure Styles of Molded Pulp Packaging Products[J]. China Packaging, 2002, 22(3):86—88.
- [12] 金国斌, 胡奕君. 纸浆模塑制品的缓冲特性研究[J]. 中国包装工业, 2002(12):34—36.
JIN Guo-bin, HU Yi-jun. Investigation on the Cushioning Mechanism of Molded Pulp[J]. China Packaging Industry, 2002(12):34—36.
- [13] 周防国, 袁东亮, 张新昌. 纸浆模塑制品单元结构侧壁周长与承压能力的关系[J]. 包装工程, 2005, 26(4):12—14.
ZHOU Fang-guo, YUAN Dong-liang, ZHANG Xin-chang. The Relationship between Side Perimeters and Carrying Capacity of the Unit Structure in Molded Pulp Product[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(4):12—14.
- [14] 田羽, 曹国荣, 李仕杰, 等. 纸浆模塑衬垫缓冲结构单元静态载荷的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(5):6—7.
TIAN Yu, CAO Guo-rong, LI Shi-jie, et al. Study of static Load on Molded Pulp Buffering Structure Unit[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5):6—7.
- [15] 计宏伟, 邵文泉, 王和敏, 等. 纸浆模塑材料在不同加载条件下的力学特性[J]. 包装工程, 2007, 28(8):10—13.
JI Hong-wei, SHAO Wen-quan, WANG He-min. Mechanical Properties of Molded Pulp under Various Loading Conditions[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8):10—13.
- [16] 赵钊, 张晓川, 王佼, 等. 纸浆模塑托盘对角刚度的跌落试验测试[J]. 包装工程, 2012, 33(11):1—4.
ZHAO Zhao, ZHANG Xiao-chuan, WANG Jiao, et al. Drop Test of Molded Pulp Pallet and Diagonal Stiffness Analysis[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(11):1—4.
- [17] 彭国勋, 胡世俊, 金国斌, 等. 运输包装[M]. 北京: 印刷工业出版社, 1999.
PENG Guo-xun, HU Shi-jun, JIN Guo-bin, et al. Transport Package[M]. Beijing: Printing Industry Press, 1999.