

纸浆模塑托盘对角刚度的跌落试验测试

赵 钊¹, 张晓川¹, 王 佼¹, 计宏伟², 陈金龙¹

(1. 天津大学, 天津 300072; 2. 天津商业大学, 天津 300134)

摘要: 通过跌落试验机对纸浆模塑平托盘进行对角线刚度试验, 分析了其从不同高度跌落后的变形, 校核了托盘的对角刚度, 并利用数字图像相关方法对高速摄像机采集的图像进行了定量分析, 得到了纸浆模塑材料的弹塑性力学特性, 从而可以定量评定托盘抗冲击变形能力及对货物的承载能力。为纸浆模塑托盘的设计提供了重要指导。

关键词: 纸浆模塑托盘; 跌落; 高速图像测量; 数字图像相关; 弹塑性变形

中图分类号: TB482.2; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)11-0001-04

Drop Test of Molded Pulp Pallet and Diagonal Stiffness Analysis

ZHAO Zhao¹, ZHANG Xiao-chuan¹, WANG Jiao¹, JI Hong-wei², CHEN Jin-long¹

(1. Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Tianjin Commerce University, Tianjin 300134, China)

Abstract: Drop tester was used for diagonal stiffness test of molded pulp pallet. The deformations of specimens in different drop height situations were analyzed to verify the diagonal stiffness. Digital images were obtained by high speed charge-coupled device (CCD) camera, and quantitative analysis the molded pulp pallet was carried out by using digital image correlation (DIC) method. Elastic-plastic mechanical characteristics of the molded pulp pallet was obtained, which was used for quantitative evaluation impact deformation resistance and carrying capacity of pallet. The purpose was to provide guidance for design of molded pulp pallet.

Key words: molded pulp pallet; drop process; high speed image measurement; digital image correlation (DIC); elastic-plastic deformation

纸浆模塑作为一种新型可降解环保材料, 目前已大量应用于产品的缓冲包装中^[1]。它主要依靠结构单元及其组合的不同几何形状结构来实现缓冲作用^[2], 而传统的 EPS 泡沫塑料是利用发泡材料受力以后自身的变形来吸收外界的能量, 达到缓冲的效果^[3]。随着纸浆模塑制品在包装领域中应用范围的扩大, 人们在纸浆模塑材料力学性能和本构模型建立方面也开展了许多研究工作^[4-8]。目前, 纸浆模塑制品朝着大尺寸、重承载方向发展, 其应用领域不断拓展, 如已开始用于物流平托盘的制造。对定量评定纸浆模塑托盘抗冲击变形及货物的承载能力的研究却很少, 一些研究也主要局限在静载荷作用下的力学行

为^[9], 而对其在更具有现实意义的跌落过程中的力学行为却少有研究, 后者往往是衡量纸浆模塑制品优劣的重要依据。

文中讨论纸浆模塑托盘从不同高度跌落后的变形情况, 并应用高速摄像机采集托盘跌落过程中的视频图像, 结合数字图像相关方法进行定量分析, 研究其在冲击过程中的弹性变形和塑性变形, 为纸浆模塑托盘的校核提供依据。

1 托盘对角刚度校核试验

通过垂直冲击跌落试验机对纸浆模塑纸托盘进

收稿日期: 2012-03-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11072176); 天津市自然科学基金(重点项目)资助项目(08JCZDJC16100)

作者简介: 赵钊(1988—), 男, 河北人, 天津大学硕士生, 主攻实验力学。

通讯作者: 计宏伟(1964—), 男, 辽宁人, 博士, 天津商业大学教授, 主要从事运输包装设计、复合材料力学行为研究。

行对角线刚度试验,模拟日常生活中可能会遇到的冲击跌落状况,对实验进行数据采集和分析,从而定量评定托盘的抗冲击变形。

1.1 原理

试验按角跌落试验方法进行。根据 GB/T 4996《联运通用平托盘试验方法》规定,试验托盘的同一角经 3 次跌落以后,所测得的对角线 y 值的变化最大不应超过 $0.04y_0$ 。试验方法见图 1。

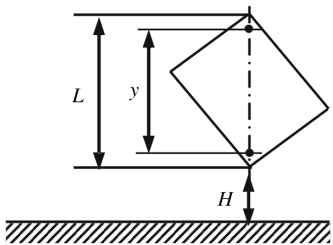


图 1 纸托盘角跌落试验方法
Fig.1 Schematic diagram of corner drop test of molded pulp pallet

将托盘沿对角线方向吊起,使其距离地面高度为 H ,然后跌落在一个平滑、坚硬的水平冲击面上。取 3 个相同的托盘,分别进行 3 次跌落试验,取平均值。在第 1 次跌落前后和第 3 次跌落之后,都应测量对角线的长度 y 。无论在吊起时或脱钩跌落之后,每个过程中都在同一点上进行测量。

1.2 试样、设备和条件

取纸浆模塑托盘试样 6 件(广东某纸浆模塑制品厂生产),分 2 组进行试验,一组在底端距离地面 1 m 的高度跌落,另一组在托盘底端距离地面 0.5 m 的高度跌落。

使用苏州东菱试验仪器厂的 PD-315A 型包装件跌落试验机,见图 2。环境温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 50%。

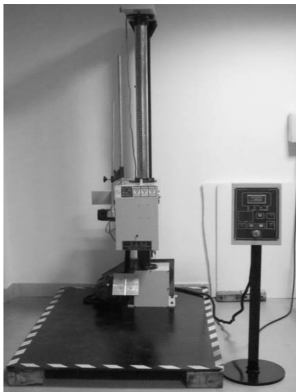


图 2 跌落试验机
Fig.2 Drop-tester

1.3 结果与分析

纸浆模塑托盘对角跌落冲击试验后的变形情况见图 3。由图 3 可以看出,跌落角边局部出现塑性变

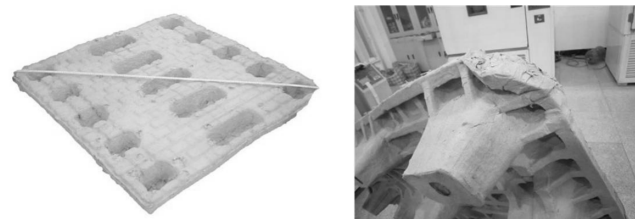


图 3 纸浆模塑托盘角跌落冲击的变形情况
Fig.3 Deformation of molded pulp pallet after corner drop test

形,其他地方无明显变形。说明纸浆模塑托盘对角跌落冲击时跌落角局部变形较大,对其他部分几乎没有影响。

对试验托盘对角线进行测量,试验前和 3 次跌落的对角线长度变化见表 1 和表 2。

表 1 跌落高度为 1 m 时纸浆托盘冲击跌落实验结果

Tab.1 Drop test results of the molded pulp pallet (drop height: 1 m)

试样 编号	对角线长度/mm				压缩变形量/mm	
	初始值	第 1 次	第 2 次	第 3 次	$ y_1 - y_0 $	$ y_3 - y_0 $
	y_0	跌落 y_1	跌落 y_2	跌落 y_3		
1	1 510	1 480	1 450	1 430	30	80
2	1 510	1 485	1 470	1 465	25	45
3	1 510	1 470	1 455	1 440	40	70
平均值	1 510	1 478	1 458	1 445	31.67	65

表 2 跌落高度为 0.5 m 时纸浆托盘冲击跌落实验结果

Tab.2 Drop test results of the molded pulp pallet (drop height : 0.5 m)

试样 编号	对角线长度/mm				压缩变形量/mm	
	初始值	第 1 次	第 2 次	第 3 次	$ y_1 - y_0 $	$ y_3 - y_0 $
	y_0	跌落 y_1	跌落 y_2	跌落 y_3		
1	1 515	1 497	1 485	1 475	18	40
2	1 511	1 495	1 487	1 480	16	31
3	1 498	1 483	1 475	1 470	15	28
平均值	1 508	1 492	1 482	1 475	16.3	33

根据 GB/T 4996,对跌高为 1 m 时托盘对角刚度进行校核:

$0.04y_0 = 60.4\text{ mm}$, $|y_3 - y_0| = 65 > 0.04y_0$,所以跌高 1 m 时该托盘对角刚度不足。

对跌高 0.5 m 时托盘对角刚度进行校核:

$0.04y_0=60.32\text{ mm},|y_3-y_0|=33<0.04y_0$,所以
从跌高为 0.5 m 时该托盘对角刚度满足国标要求。

2 托盘角跌落变形行为的高速图像测量分析

为研究托盘在跌落过程中的弹塑性变形行为,应用高速摄像机对托盘跌落过程进行图像采集,并结合数字图像相关方法进行分析,从而对托盘的整个跌落过程的变形行为进行研究。

2.1 试验方法

所用高速数字摄像机为德国 Optronis 公司的 CamRecord 600 型 CMOS 摄像机,图像在 640 像素×512 像素分辨率下图像采集帧频可达 1 000 帧/秒。实验时将高速摄像机镜头对准托盘跌落角正下方位置,高速摄像机采集频率设置为 500 帧/秒,从托盘释放瞬间开始采集图像,直到跌落过程完成。将跌落高度设置为 1 m 和 0.5 m,取不同托盘分别进行跌落试验。跌落试验装置见图 4。

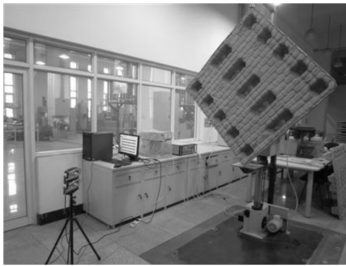


图 4 测试托盘跌落的高速摄像设备
Fig. 4 High speed camera system for drop test of pallet

2.2 数据处理与分析

从高速摄像采集的图像中可以看出,托盘在跌落至地面时跌落角发生严重的压缩变形,可认为此时的变形为弹塑性变形。当托盘冲击到最低点后,又被弹起,变形稍有恢复。可认为此时弹性变形恢复,只剩下不可恢复的塑性变形。

从采集的所有图像中选取 3 个时刻的图像:时刻 1,跌落角刚接触到地面,还未产生压力的作用;时刻 2,托盘冲击到地面最低点,达到最大压缩量;时刻 3,托盘被弹起,刚刚要离开地面。

跌落高度为 1 m 和 0.5 m,选取图像见图 5 和 6。
在未变形区域取一点进行标记,用数字图像相关法^[10]计算出该点在时刻 2 和时刻 3 相对于时刻 1 的竖直方向的位移。

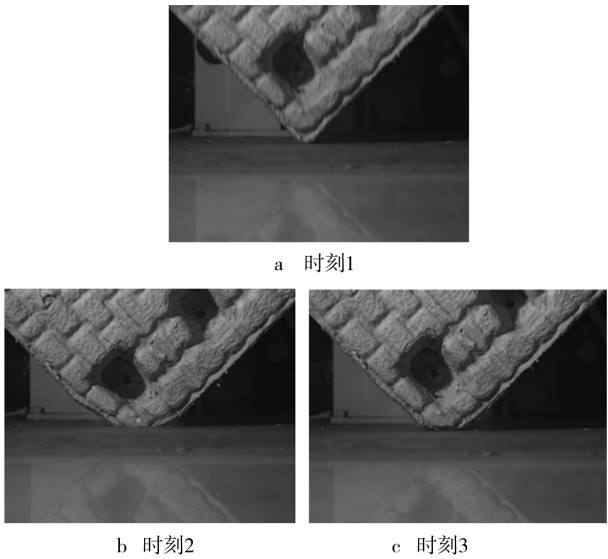


图 5 托盘跌落高度为 1 m 时各时刻图像
Fig. 5 The images of different time in 1 m drop height

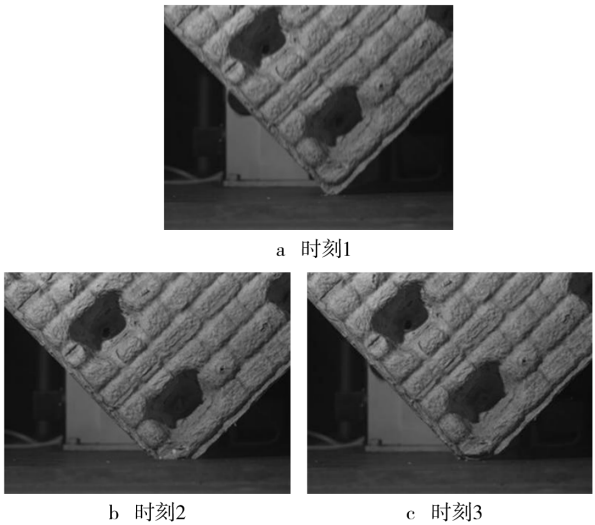


图 6 托盘跌落高度为 0.5 m 时各时刻的图像
Fig. 6 The images of different time in 0.5 m drop height

计算结果见表 3。时刻 2 相对于时刻 1 的竖直位

表 3 不同时刻托盘的变形量

Tab.3 Deformation of the pallet in different time

跌落高度	对角线初始长度	V_1		V_2	
1 m	1 510 mm	81.6	34 mm	60.4	25 mm
		像素	(2.25%)	像素	(1.7%)
0.5 m	1 515 mm	67.3	28 mm	48.2	20 mm
		像素	(1.8%)	像素	(1.3%)

移记为 V_1 ,时刻 3 相对于时刻 1 的竖直位移记为 V_2 。经测量高速摄像得到的图像放大率为:1 像素=10/24 mm。将测得的像素值换算成实际长度一同列入

下表,并计算出变形量 V 相对于对角线初始长度的百分比。

由表 3 中的数据可知,跌落高度为 1 m 时,托盘发生最大弹塑性变形时刻的变形量为 34 mm,跌落完成塑性变形量为 25 mm;跌落高度为 0.5 m 时,托盘发生最大弹塑性变形时刻变形量为 28 mm,跌落完成塑性变形量为 20 mm。

由以上结果可知,纸浆模塑托盘在跌落缓冲过程中主要发生塑性变形,跌落高度不同对材料弹性变形的影响不大,因此塑性变形可作为衡量纸浆模塑制品优劣的重要依据。在分析预测纸浆模塑制品的力学响应时,必须考虑其塑性。

3 结论

1) 纸浆模塑托盘第 3 次跌落的变形量约为第 1 次跌落变形量的 2 倍,因为托盘在跌落后局部被压实,所以再次跌落时变形量会逐渐减小,缓冲能力也相应减弱。

2) 纸浆模塑托盘样品在 0.5 m 高度跌落时变形满足国标对托盘对角刚度的要求,在 1 m 高度跌落时变形不满足国标对托盘对角刚度的要求。

3) 纸浆模塑托盘在跌落过程中主要发生塑性变形,因此为了准确预测托盘的力学响应,必须考虑材料的塑性。

参考文献:

- [1] 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 Modeled Pulp[J]. China Packaging Industry, 2002(12):34-36.
- [2] MARCONDES J, SCHUENMAN H. Molded Pulp Protecting High-tech Production[C]//Proceedings of 11th IAPRI World Conference on Packaging. Singapore, 1999: 564-571. (余不详)
- [3] 金国斌,张华良. 纸浆模塑制品结构强度与缓冲性能综合研究[J]. 包装工程,2004,25(2):1-3.
JIN Guo-bin, ZHANG Hua-liang. Research on Structural Strength and Cushioning Property of Molded Pulp Products[J]. Package Engineering, 2004, 25(2):1-3.
- [4] HOFFMANN J. Compression and Cushioning Characteristics of Molded Pulp Packaging[J]. Packaging Technology and Science, 2000, 13(5):211-220.
- [5] JI Hong-wei, WANG Huai-wen. Short Span Compressive Stress-strain Relation and Model of Molded Pulp Material[J]. Key Engineering Materials, 2011, 450:202-205.
- [6] 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):6-8.
TIAN Yu, CAO Guo-rong, LI Shi-jie, et al. Study of Static Load on Molded Pulp Buffering Structure Unit [J]. Package Engineering, 2006, 27(5):6-8.
- [7] 王宏涛,骆光林,郭彦峰,等. 纸浆模塑制品缓冲性能的实验研究[J]. 包装工程,2007,28(2):48-50.
WANG Hong-tao, LUO Guang-lin, GUO Yan-feng, et al. Experimental Research on Cushioning Performance of Pulp Molded Product[J]. Package Engineering, 2007, 28(2):48-50.
- [8] 宋妹妹,陈永铭,陈甘霖,等. 笔记本电脑纸浆模塑衬垫的对比试验[J]. 包装工程,2008,29(8):44-46.
SONG Zhu-mei, CHEN Yong-ming, CHEN Gan-lin, et al. Contrast Test on Molded Pulp Cushions for Notebook PC[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(8):44-46.
- [9] 尹恩强,李士才,张新昌. 新型纸浆模塑通用平托盘的结构与性能研究[J]. 包装工程,2009,30(8):10-11.
YIN En-qiang, LI Shi-cai, ZHANG Xin-chang. Research on Structure and Capability of New Molded Pulp Tray [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(8):10-11.
- [10] CHEN Jin-long, XIA Gan-min, ZHOU Ke-bin, et al. Two-step Digital Image Correlation for Micro-Region Measurement[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2005, 43(8):836-846.