

纸浆模塑托盘结构强度的实验测试分析

蒋雪枫¹, 计宏伟², 薛淞阳², 冯智劼¹

(1. 天津出入境检验检疫局, 天津 300201; 2. 天津商业大学, 天津 300134)

摘要: 实验研究了纸浆模塑托盘结构的力学性能, 测试分析了纸浆模塑托盘的承载能力, 包括纸浆模塑托盘支腿单元结构的抗压能力, 纸浆模塑托盘整体结构的抗压能力、抗弯性能。结果表明: 纸浆模塑托盘的抗弯能力相对较弱, 实验样品的平均抗弯载荷为 1.32 kN; 从抗压能力来看, 纸浆模塑托盘整体承载能力与各个支腿承载能力的总和相接近; 纸浆模塑托盘整体结构的抗压承载能力可达 47.80 kN。

关键词: 纸浆模塑托盘; 抗压性能; 抗弯性能

中图分类号: TB482.2; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)23-0001-05

Test and Analysis of Molded Pulp Pallet Structural Strength

JIANG Xue-feng¹, JI Hong-wei², XUE Song-yang², FENG Zhi-jie¹

(1. Tianjin Entry-exit Inspection and Quarantine Bureau of China, Tianjin 300201, China; 2. Tianjin Commerce University, Tianjin 300134, China)

Abstract: The mechanical properties of molded pulp pallet structure were studied experimentally. The bearing capacity of the molded pulp pallets was tested and analyzed, including the compressive capacity of the pallet outrigger unit, the compressive capacity of the overall structure of the molded pulp pallet, and the flexural performance of the overall structure of the molded pulp pallet. The results showed that the flexural strength of the molded pulp pallet is insufficient, and the flexural pressure is 1.32 kN; the overall compressive capacity of the molded pulp pallet is approximately equivalent to the sum of each pallet outrigger unit according to the compression capacity; the overall compressive capacity of the molded pulp pallet is 47.80 kN.

Key words: molded pulp pallet; compressive performance; flexural performance

纸浆模塑作为一种再生纸质包装材料, 由于其环境友好, 在中小型产品运输包装领域得到了广泛应用。纸浆模塑制品缓冲性能和结构单元承载能力的研究, 也随之得到了国内外学者和工业界的关注。从纸浆模塑材料的力学性能研究^[1-4], 到纸浆模塑制品结构单元的缓冲性能研究^[5-9], 积累了许多研究成果。随着研究的深入, 纸浆模塑制品在包装领域中的应用范围也在不断扩大, 研究热点正转向大型承载物流托盘领域。托盘作为物流运作过程中重要的装卸、储存和运输设备, 用于集装、堆放、搬运和运输所承载的货物和制品, 具有承担单元负荷能力, 因此纸浆模

塑托盘结构强度研究具有十分重要的工程应用价值。张粉娟等人^[10]应用 ABAQUS 有限元软件, 模拟分析了纸浆模塑托盘支腿在压缩载荷作用下的弹塑性行为和屈曲行为, 进而研究了纸浆模塑托盘支腿单元的承载能力。尹恩强等人^[11]研究了一种新型纸浆模塑通用平托盘的结构及其性能, 基于 ANSYS 有限元分析软件分析并确定了该托盘的结构要素; 并利用正交试验方法, 设计并优化了托盘的结构。计宏伟等人^[12]基于纸浆模塑材料的弹塑性力学特性, 利用有限元软件 ABAQUS, 对大型纸浆模塑平托盘在受压情况下的应力场和应变场进行了弹塑性分析, 对给定尺

收稿日期: 2012-10-05

基金项目: 国家质检总局科技计划项目(2012IK212)

作者简介: 蒋雪枫(1979-), 男, 天津人, 天津出入境检验检疫局工程师, 主要研究方向为包装检测及安全评价。

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和结构强度分析研究。

寸的某一纸浆模塑托盘的最大承受载荷进行了设计。赵钊等人^[13]通过跌落试验机对纸浆模塑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,从而定量评定托盘抗冲击变形的能力。这些研究工作主要局限在静载荷作用下的有限元模拟分析,以及托盘对角刚度试验,而对纸浆模塑托盘结构强度的试验测试分析研究还未见报道,后者往往是评价纸浆模塑托盘承载能力的重要手段。

笔者通过实验测试对纸浆模塑托盘的结构强度进行研究,分析与评价纸浆模塑托盘的力学性能和承载能力。测试内容包括纸浆模塑托盘支腿单元结构的抗压强度,纸浆模塑托盘整体结构的抗压强度、抗弯性能。

1 纸浆模塑托盘支腿抗压实验

实验用纸浆模塑托盘样品见图 1,分别进行单支

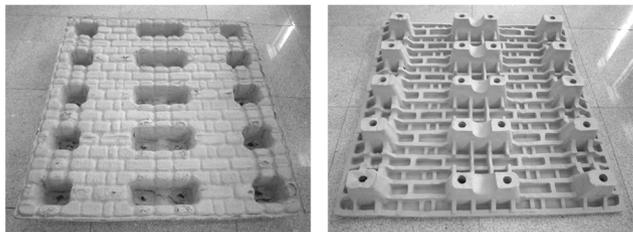


图 1 纸浆模塑托盘样品

Fig. 1 The molded pulp pallet samples

腿抗压实验和连体支腿抗压实验。

1.1 单支腿抗压实验

1.1.1 条件

从纸浆模塑平托盘上切取 3 个单支腿用作试样(选取试样 3 个),单支腿的几何形状为加筋台体构型,其壁厚为 4.5 mm,高度为 145 mm,平面外轮尺寸为 240 mm×194 mm,试样实物照片见图 2。压缩加载设备为岛津 AG-IC100 kN 型电子万能材料试验机,加载速度取为 10 mm/min;环境温度为 23 ℃,相对湿度为 41%。

1.1.2 结果与分析

3 个试样压缩时的载荷-位移曲线见图 3,压缩后得到的极限载荷值见表 1。



图 2 纸浆模塑托盘单支腿试样

Fig. 2 An outrigger of the molded pulp pallet

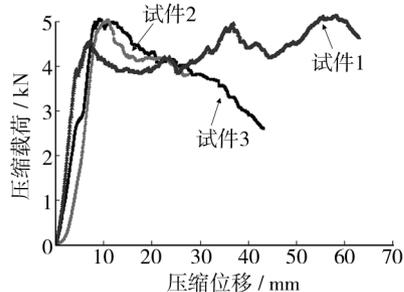


图 3 单支腿试样的压缩载荷-位移曲线

Fig. 3 Compressive load-displacement curves of the outriggers

表 1 纸浆模塑托盘单支腿抗压性能

Tab. 1 Compressive test results of the molded pulp outriggers

试样编号	极限载荷/ kN
1	3.21
2	3.15
3	2.97
平均值	3.11

结果显示,试样发生了很大的塑性变形,压缩后试样顶部内陷,四周的边缘向上翘起。结合图 3 和表 1 可以看出,不同支腿的载荷-位移曲线有一定的分散性,其原因在于不同支座内部的缺陷具有很大的随机性。计算得到单支腿抗压承载能力为 3.11 kN(平均值)。当支腿的承载能力达到最大值之前,载荷与变形间呈现出较好的线性关系;当支腿的承载能力达到最大值之后,其承载能力明显下降,支腿四周的部分出现褶皱、屈曲现象。随着实验的进行,支腿的承载能力又呈现增加的趋势,整个支腿四周的薄壁部分屈曲已经完成,并呈现出材料被压实现象。

1.2 连体支腿抗压实验

1.2.1 条件

像单支腿试样取样一样,从纸浆模塑托盘上切取

3个连体支腿用作试样(选取试样3个),连体支腿的几何形状见图4,其壁厚为4.5 mm,高度为145 mm,



图4 纸浆模塑托盘连体支腿试样

Fig.4 Conjoined outrigger of the molded pulp pallet

平面外轮尺寸为374 mm×194 mm。压缩加载设备为岛津AG-IC100 kN型电子万能材料试验机,加载速度为10 mm/min;环境温度为23 ℃,相对湿度为41%。

1.2.2 结果与分析

试样压缩后,也出现连体支腿塌陷现象。3个试样压缩时的载荷-位移曲线见图5,压缩后得到的极限载荷值见表2。

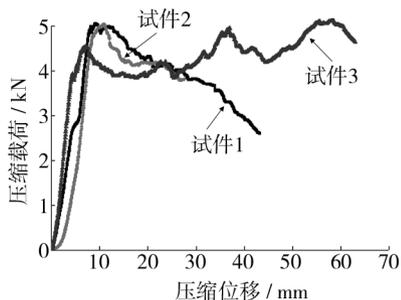


图5 连体支腿试样的压缩载荷-位移曲线

Fig.5 Compressive load-displacement curves of the conjoined outriggers

表2 纸浆模塑托盘连体支腿抗压性能

Tab.2 compressive test results of the molded pulp conjoined outriggers

试样编号	极限载荷 / kN
1	5.10
2	5.04
3	4.18
平均值	4.77

计算得到连体支腿抗压承载能力为4.77 kN(平均值)。结合图5和表2可以看出,不同支腿的载荷-位移曲线在开始阶段的直线段部分相差不大,载荷与变形间呈现出较好的线性关系。当达到最大载荷后,其承载能力明显下降,且有一定的分散性,原因与单支腿相类似。通过实验可以看出,当连体支腿的受压

载荷达到极限载荷之后,支腿出现褶皱、屈曲现象,承载能力下降;随后结构被压实,载荷又开始攀升。

2 纸浆模塑托盘整体结构强度测试

为研究托盘整体结构强度,分别进行整体结构压缩实验和弯曲实验。

2.1 纸浆模塑托盘整体结构的压缩实验

2.1.1 条件

选取3个纸浆模塑托盘作为测试样品,见图1,在常温常湿的环境下,按照GB/T 4857.4—1992《运输包装件压力试验方法》对其进行压缩实验。托盘高为150 mm,平面尺寸为1075 mm×1075 mm。实验在伺服控制纸箱耐压试验机上进行,其型号为GT-7001-DS,加载情况见图6。加载速度为10 mm/min,环境

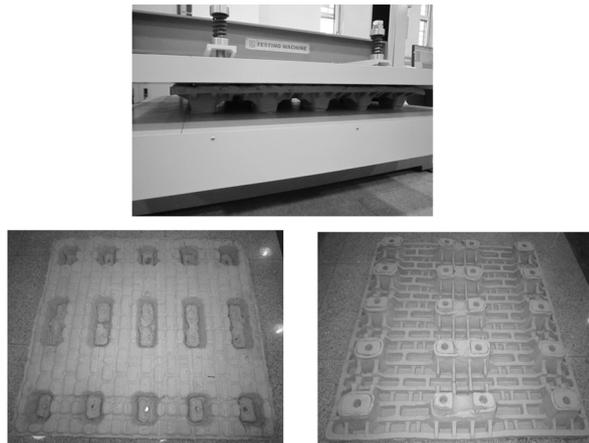


图6 纸浆模塑托盘压缩加载

Fig.6 Compressive loading of the molded pulp pallet

温度为23 ℃,相对湿度为41%。

2.1.2 结果与分析

纸浆模塑托盘整体结构受压过程中其载荷-位移曲线见图7。托盘抗压的极限载荷值见表3。

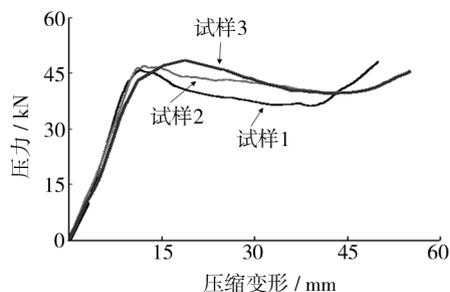


图7 纸浆模塑托盘试样的压缩载荷-位移曲线

Fig.7 Compressive load-displacement curves of the molded pulp pallets

表 3 纸浆模塑托盘抗压性能

Tab.3 Compressive test results of the molded pulp pallets

试样编号	极限载荷 / kN
1	46.52
2	47.38
3	49.51
平均值	47.80

从图 6 可以看出,托盘的支腿几乎完全内陷,发生了塑性变形。从图 7 和表 3 可以看出:①整个托盘的承载曲线经历了与单支腿和连体支腿实验相同的 3 个阶段,即弹性阶段、塑性阶段和压实阶段;②相对单支腿和连体支腿实验而言,曲线的塑性阶段较平缓,3 个试件的 3 条载荷-位移曲线分散性较小,其原因在于每个托盘有 10 个单支腿和 5 个连体支腿,15 个支腿间的相互作用减少了托盘中随机性缺陷对其承载能力的影响;③纸浆模塑托盘的平均抗压能力为 47.80 kN;④从单支腿、连体支腿和托盘整体的压缩实验结果来看,其承载能力的平均值分别为 3.11, 4.77, 47.80 kN,则各个支腿承载能力的总和与托盘整体承载能力间的差别为 7.12 kN。可以认为托盘的整体承载能力与各个支腿承载能力的总和接近。

2.2 纸浆模塑托盘整体结构的弯曲实验

2.2.1 条件

选取 6 个纸浆模塑托盘作为测试样品,尺寸如前所述。把试件随机分成 2 组,分别用 2 种不同加载方式进行试验,托盘弯曲试验加载方式见图 8。加载设

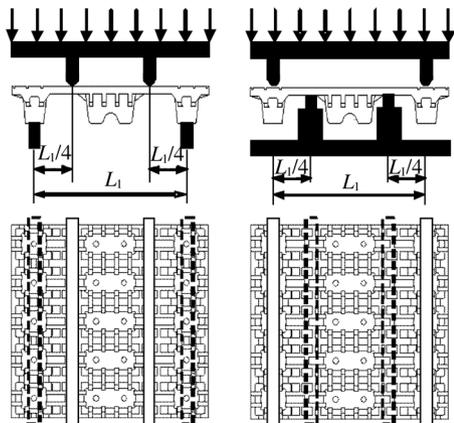


图 8 纸浆模塑托盘弯曲加载

Fig.8 Flexural loading of the molded pulp pallet

备为台湾高铁检测仪器有限公司的古特 GT-7001-DS 伺服控制纸箱耐压试验机。加载速度为 10 mm/min,环境条件为温度 23 ℃、相对湿度 41%。参照 ISO 8611—1

《货物联运通用平托盘试验方法》,按照图 8 的加载方式分别进行弯曲实验,当加载至托盘部分结构件发生破损时记录极限载荷 P_{max} 和变形 y_0 。

2.2.2 结果与分析

按 2 种加载方法进行实验测得的压缩载荷-位移曲线见图 9, 极限载荷值见表 4。从图 9 和表 4 可以

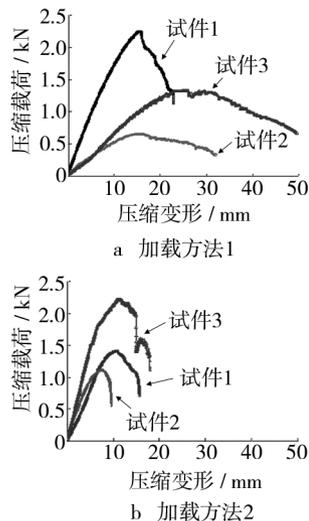


图 9 纸浆模塑托盘弯曲载荷-位移曲线
Fig.9 Flexural load-displacement curves of the molded pulp pallets

表 4 纸浆模塑托盘的抗弯性能

Tab.4 Flexural test results of the molded pulp pallets

试样编号	加载方法 1 的 极限载荷/kN	加载方法 2 的 极限载荷/kN
1	2.25	1.38
2	0.65	1.11
3	1.06	1.91
平均值	1.32	1.46

看出,加载方法 1 和 2 所承受的弯曲载荷相差不多。抗弯载荷相对较小,仅为 1.32 kN(0.132 t)。

3 结论

1) 纸浆模塑托盘单支腿的抗压能力可达 3.11 kN,连体支腿的抗压能力为 4.77 kN。支腿在受压开始阶段呈现出较好的线弹性,当承载能力达到最大值后,曲线呈现出下降的趋势,而后随着加载的进行,支腿的承载能力又出现逐渐回升的现象。原因是在支座的线弹性阶段,支座的承载能力逐渐加强;随着载荷的增加,支座四周的薄壁支撑部分已经完全失稳,

形成了褶皱,并逐渐被压实,因此出现承载能力又增加的现象。

2) 纸浆模塑托盘整体结构的抗压承载能力可达 47.80 kN;托盘整体抗压承载能力与各个支腿的抗压承载能力的总和相接近。

3) 纸浆模塑托盘整体结构的抗弯能力相对较弱,就本实验样品而言其平均抗弯载荷只有 1.32 kN 左右。

参考文献:

- [1] GURAV S P, BEREZNITSKI A, HEIDWEILLER A, et al. Mechanical Properties of Paper-pulp Packaging [J]. Composites Science and Technology, 2003, 63:1325-1334.
- [2] MARCONDES J, SCHUENMAN H. Molded Pulp Protecting High-tech Production [C]. Proceedings of 11th IAPRI World Conference on Packaging, Singapore, 1999: 564 - 571.
- [3] JI Hong-wei, WANG Huai-wen, CHEN Jin-long. Mechanical Behaviors of Molded Pulp Material [C]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2009.
- [4] 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.
- [5] HOFFMANN J. Compression and Cushioning Characteristics of Molded Pulp Packaging [J]. Packaging Technology and Science, 2000, 13(5):211-220.
- [6] 张新昌, 潘梦洁, 林冬鸣. 基于 ANSYS 模拟分析的纸浆模塑单元结构参数研究 [J]. 包装工程, 2007, 28(9):11-13.
ZHANG Xin-chang, PAN Meng-jie, LIN Dong-ming. Research on Structural Parameters of Molded Pulp Unit Using ANSYS Simulation [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(9):11-13.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] WANG Jiao, CHEN Jin-long, JI Hong-wei. Numerical Analysis for Load-bearing Capacity and Cushioning Performance of Structural Unit of Molded Pulp Product [C]. 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering, ICEICE 2011, Wuhan, China, IEEE Computer Society, 2011:3387-3390.
- [10] 张粉娟, 计宏伟, 王佼. 纸浆模塑托盘支腿单元承载能力的数值分析 [J]. 包装工程, 2012, 33(19):15-18.
ZHANG Fen-juan, JI Hong-wei, WANG Jiao. Numerical Analysis of Load-bearing Capacity of Outrigger Unit of Molded Pulp Pallet [J]. Package Engineering, 2012, 33(19):15-18.
- [11] 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.
- [12] JI Hong-wei, WANG Huai-wen, WANG Jiao, et al. Numerical Analysis for Load-bearing Capacity of Large-scaled Molded Pulp Pallet [C]. The 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE 2011), in Inner Mongolia, China, 2011:5937-5940.
- [13] 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]. Package Engineering, 2012, 33(11):1-4.