

用于文物包装的无酸瓦楞纸盒性能测试

李志强¹, 梁佩¹, 李文怡², 李俊¹

(1.陕西科技大学, 西安 710021; 2.陕西历史博物馆, 西安 710061)

摘要: **目的** 该研究依据国标规定的包装件试验方法及理论, 对用于文物包装的无酸瓦楞纸盒进行各项性能测试, 并确定最优方案。**方法** 参考运输包装件基本试验标准, 通过抗压、堆码、跌落和振动试验, 对比分析 5 组试样的各项性能。**结果** 抗压试验时, 5 组试样载荷-变形曲线形态基本相似, B 楞折叠纸盒的抗压性能优于 E 楞折叠纸盒, 天地盖式折叠纸盒的抗压性能优于摇盖式折叠纸盒, 粘贴纸盒的抗压性能优于折叠纸盒; 堆码和跌落试验时, 确定了堆码高度为 500 mm, 堆码层数为 9 层; 正弦变频振动试验时, 确定了每组试样的共振频率。**结论** 在博物馆存储、运输工作中, 建议选用 E 楞天地盖式折叠纸盒作为古代钱币的最终包装方案。

关键词: 无酸瓦楞纸盒; 抗压强度; 堆码高度; 跌落高度; 共振频率

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)21-0040-06

Performance Testing of the Acid-free Corrugated Cartons for Cultural Relic Packaging

LI Zhi-qiang¹, LIANG Pei¹, LI Wen-yi², LI Jun¹

(1.Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China; 2.Shaanxi History Museum, Xi'an 710061, China)

ABSTRACT: This study analyzes the performance testing of the acid-free corrugated cartons for cultural relic packaging according to the national standard test methods and theories of packages and determines the optimal proposal. With reference to basic test standards for transport packages, the properties of five types of cartons were compared and analyzed through compression test, stacking test, drop test and sinusoidal vibration test. When compression test was performed, patterns of load-deformation curves for five groups of specimen were similar; compression performance of B flute folding carton was superior to E flute; heaven and earth covered folding carton was superior to the shake cover folding cartons; the paste cartons was superior to the folding carton. When stacking test and dropping test were performed, the maximum stacking height was determined at 500 mm and stacking layers at 9. When sinusoidal vibration test was performed, the resonant frequencies were determined. In conclusion, it is suggested to select E flute heaven and earth covered folding carton as the final program for the packaging ancient coins in storage and transportation in the museum.

KEY WORDS: acid-free corrugated carton; compressive strength; stacking strength; drop height; resonant frequency

文物包装是为了使文物在运输、装卸、搬运、储存、展览、保管等环节中最大限度地保持文物原始状态的包装, 文物的不可再生及其自身十分脆弱等特性, 决定了其包装与一般意义的包装不同。文物包装在包装容器的设计、材料的选择以及操作程

序等方面有更为严格的要求, 从而确保文物的绝对安全。目前我国大量学者致力于研究文物包装原则、包装材料等方面^[1-4], 对于文物包装纸盒性能等方面的研究较少。赵昆根据文物包装工作的规律以及长期的工作实践中总结出来的经验, 得到文物包装

收稿日期: 2016-07-19

作者简介: 李志强 (1976—), 男, 山西侯马人, 陕西科技大学副教授, 主要研究方向为包装测试、信号采集与虚拟仪器等。

的原则,即安全性原则、真实性原则、选择性原则、科学性原则、环保性原则;徐文娟、吴来明等对符合文物包装要求的无酸纸进行综合研究,并在此基础上研发自制的符合我国文物包装要求的无酸纸,无酸纸作为文物保护包装的重要包装材料,有着广阔的发展空间;李文怡、杨洁等人为探讨博物馆文物保存方法,做好文物保护工作,进行了无酸纸板对文物保存环境的调节与改善研究,采用现代纸板打样机床进行制作无酸纸质囊盒的方法,结合文物保管技术的要求,总结出文物纸质囊盒制作工艺流程,为改善文物小环境及促进文物防腐包装的发展提供了经验和思路。文中的研究通过试验寻求模拟条件下陕西历史博物馆古代钱币包装盒的抗压、堆码、跌落及振动性能,经试验对比分析找出适合博物馆存储工作的包装方案,为文物保管、参展及运输等相关工作提供依据。

1 试验

1.1 材料及设备

试验采用日本东海株市生产的单层无酸瓦楞纸板,其瓦楞形状为UV形,具体参数见表1。无酸纸是由植物纤维纸浆采取特殊处理(消除其中存在的有机酸)后,在造纸机上抄造而成,这种纸的pH值一般在7.5以上,而且不含磨木浆,因此具有较高的强度和较高的纸张性能,适合人们进行长时间的使用和保存。与其他包装材料相比,无酸纸

板具有不含活性酸、纸质强度高、化学性能稳定、可阻止酸性物质迁移等优点,是一种保存性能优异的安全的文物包装材料^[5]。与普通瓦楞纸板相比,无酸瓦楞纸板表面平滑、柔韧结实、折叠和切割性能好、质量轻、强度高(强度为普通瓦楞纸板的2~3倍),主要用于制作文物等贵重物品的包装盒、隔板、背板、衬板等。

抗压及堆码试验设备为静态压缩试验机(CMT9504-BZ),工作时,下压板固定不动,上压板通过电动机驱动和机械传动,以预定的速度向下匀速移动对试验样品施加压力,该试验机最大压力为5 t,台面尺寸为1.5 m×1.5 m;跌落试验设备为零跌落试验机(DLJ-150)、冲击信号测量采集与处理系统和高速摄像机;振动试验设备为振动试验机(DY-300-2)。

表 1 材料参数
Tab.1 Parameters of material

试验项目	厚度/mm	定量/(g·m ⁻²)	耐破度/kPa	戳穿强度/J	边压强度/(N·m ⁻¹)
B楞	3.2	681.3	2425.6	46.258	8592
E楞	1.69	480.1	2177.1	29.325	1599

1.2 试样制备

按试验要求将无酸瓦楞纸板打样裁切,折叠粘接制成所需试验样品。试验样品内装物高于内部隔板100 mm,距纸盒盖板内表面8 mm。根据国标要求,每组取5个试样进行试验。

表 2 试样
Tab.2 List of test samples

试样序号	盒型	楞型	成型方式	楞向	规格/mm	质量/g
第1组	天地盖	E楞	折叠纸盒	纵向	216×166×52	142
第2组	摇盖式	E楞	折叠纸盒	纵向	216×154×53	85
第3组	天地盖	B楞	折叠纸盒	纵向	225×175×54	173
第4组	天地盖	E楞	粘贴纸盒	纵向	212×172×55	152
第5组	天地盖	E楞	折叠纸盒	横向	216×166×52	142

1.3 性能测试

测试前参照GB/T 4857.2—2005《温湿度调节处理》,对试验样品进行预处理^[6]。

1) 试验参照GB/T 4857.4—2008《采用压力试验机进行抗压和堆码试验方法》的原理和试验步骤进行测试。每组纸盒选取5个试样进行空盒试验,

试验设置预载荷为220 N,压力试验机的压板以10 mm/min的加载速度对试验样品施加载荷,直至试样被压溃。堆码试验时,采用1元硬币模拟试验,加载速度为10 mm/min,保载时间为3600 s^[7]。

2) 试验参照GB/T 4857.5—1992《跌落试验方法》的原理和试验步骤进行测试。分别进行面、棱、角跌落试验,采用1元硬币模拟试验^[8]。

3) 试验参照 GB/T 4857.10—2005《正弦变频振动试验方法》的原理和试验步骤进行测试。采用 1 元硬币模拟试验, 传感器固定在纸盒中心位置的硬币上, 以保证传感器上感受到的加速度尽可能接近产品整体的实际加速度^[9]。

2 结果与讨论

2.1 抗压性能分析

通过静态压缩试验, 求取 5 组纸盒的载荷-变形曲线见图 1, 试验数据见表 3。

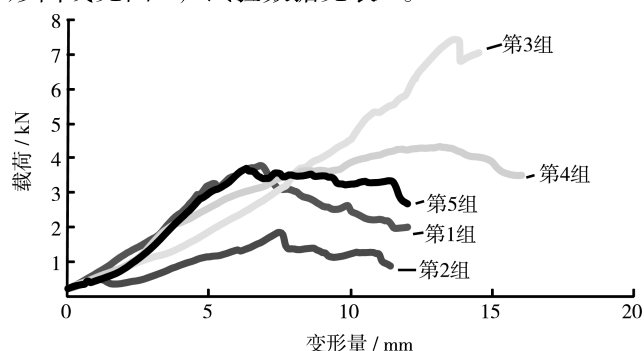


图 1 抗压试验载荷-变形曲线

Fig.1 The load-deformation curve of compression

表 3 抗压试验数据
Tab.3 Data of compression test

试样序号	抗压强度/kN	最大变形量/mm
第1组	3.78	6.79
第2组	1.82	7.46
第3组	7.42	13.66
第4组	4.31	13.27
第5组	3.70	6.32

1) 盒型对比(第 1 组和第 2 组)。如图 1 中的第 1 组、第 2 组曲线及表 3 中的试验数据, 摇盖式 E 楞折叠纸盒的抗压强度小于天地盖式折叠纸盒。在施加 220 N 预载荷的情况下, 天地盖式折叠纸盒上盖整体承受载荷, 压力增大时, 2 个端板首先发生变形, 随着压力的不断增大, 前板和后板也逐渐开始变形, 直到压力达到峰值 3.78 kN 后迅速下降, 变形量迅速增加, 纸盒被压溃, 见图 2a; 摇盖式折叠纸盒 2 个端板高度明显高于纸盒盖板, 试验时, 2 个端板首先承受全部载荷, 压力增大时端板首先发生变形, 直至端板变形至盖板高度, 纸盒盖板整体承受载荷, 前板与后板开始变形, 当压力达到最大峰值 1.82 kN 后迅速下降, 变形快速增加, 纸盒

被压溃, 见图 2b。

2) 楞型对比(第 1 组和第 3 组)。如图 1 中的第 1 组、第 3 组曲线及表 3 中的试验数据, B 楞天地盖式折叠纸盒的抗压强度明显大于 E 楞天地盖式折叠纸盒。在施加 220 N 预载荷的情况下, 2 种楞型的纸盒变形情况相似, B 楞天地盖式折叠纸盒厚度大、强度高, 压力达到峰值 7.42 kN 后迅速下降, 变形量也快速增大, 纸盒被压溃, 但随着变形量的继续增大, 压力呈逐渐上升的趋势, 这是由于 B 楞的折叠纸盒较厚, 纸盒变形达到一定程度, 端板被严重压缩后起到支撑的作用, 致使抗压强度继续增大, 见图 2c。

3) 成型方式对比(第 1 组和第 4 组)。如图 1 中的第 1 组、第 4 组曲线及表 3 中的试验数据, 粘贴纸盒的抗压强度明显大于折叠纸盒的抗压强度。由于粘贴纸盒的结构不同于折叠纸盒, 其组成端板、前板与后板的 2 层纸板是粘贴在一起的, 且楞向相同, 在施加 220 N 预载荷的情况下, 前板、后板及 2 个端板同时发生变形, 压力逐渐增大至峰值 4.31 kN 后迅速下降, 变形量快速增大, 纸盒被压溃, 见图 2d。

4) 楞向对比(第 1 组和第 5 组)。如图 1 中的第 1 组、第 5 组曲线及表 3 中的试验数据, 2 种楞向的折叠纸盒的抗压强度基本相同, 由于端板与前后板楞向相反, 抗压强度不同, 所以纸盒变形情况也不同。在施加 220 N 预载荷的情况下, 横向折叠纸盒时首先前板与后板发生变形, 在很短的时间内 2 个端板也发生变形, 在压力增大至 3.7 kN 时, 变形量快速增大, 纸盒被压溃, 见图 2e; 纵向折叠纸盒的变形情况正好相反^[10]。

2.2 堆码性能分析

采用压力试验机进行加载及保载, 考虑到包装件贮存期和贮存条件, 结合抗压试验数据, 设置试验程序。试验中所施加的实际压力值为 $P=KG(H_0-h)/h$, 其中 K 为强度安全系数(储存期少于 30 d, K 值取 1.6; 储存期多于 100 d, K 值取 2; 介于两者之间时, K 值取 1.65), G 为包装件的重量, H_0 为堆码高度, h 为包装件高度。其堆码层数为 $N_{\max}=(H_0-h)/h+1$, 在加载速度为 10 mm/min 条件下, 得到其实际施加压力值见表 4, 所得堆码层数等试验数据见表 5^[11-13]。

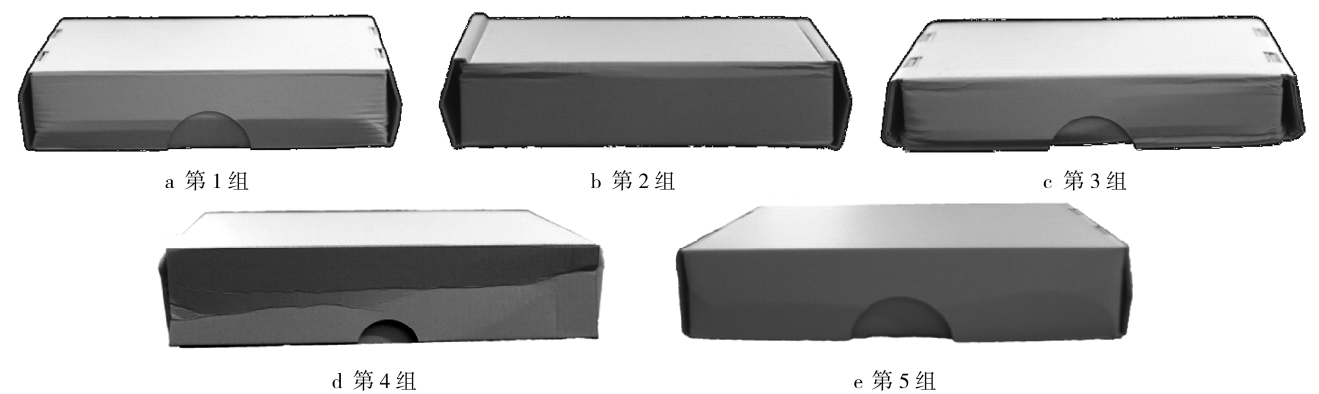


图 2 试验样品
Fig.2 Experimental samples

表 4 试验时施加的压力值
Tab.4 Data of the compression

试样 序号	试验时施加的 压力/N	保载 时间/s	平均 变形量/mm
第1组	2820	3600	1.04
第3组	4134	3600	2.08
第4组	3000	3600	2.20
第5组	2820	3600	1.94

表 5 堆码试验数据结果
Tab.5 Data of the stacking test

强度安全 系数K	试样 序号	堆码 载荷/N	堆码 层数	堆码 高度/m
1.6	第1组	1750	44	2.288
	第3组	2584	65	3.510
	第4组	1875	47	2.585
	第5组	1750	44	2.288
1.65	第1组	1709	43	2.236
	第3组	2505	63	3.042
	第4组	1818	46	2.530
	第5组	1709	43	2.236
2	第1组	1410	36	1.872
	第3组	2067	52	2.808
	第4组	1500	38	2.090
	第5组	1410	36	1.872

堆码试验中，B 楞天地盖式折叠纸盒的堆码载荷、堆码层数以及堆码高度大于 E 楞天地盖式折叠纸盒，粘贴纸盒的堆码性能优于折叠纸盒，2 种楞向的折叠纸盒的堆码性能基本相同，与压力试验结果相符。由表 5 试验数据可知，由于堆码时间的增加，其强度安全系数增大，从而导致其所能承受的载荷减小，因此，同一组试验样品，堆码时间增大，其堆码层数减小。

2.3 跌落性能分析

选取第 1 组试样分别进行面跌落、棱跌落、角跌落试验。跌落高度从 300 mm 开始，以 100 mm 为间隔增加高度至 600 mm。面、棱、角跌落试验后，内装物均没有被损坏，纸盒轻微变形。在棱、角跌落中，跌落高度增大到 500 mm 时，纸盒内隔板变形严重，影响纸盒性能，见图 3，因此确定跌落高度为 500 mm。

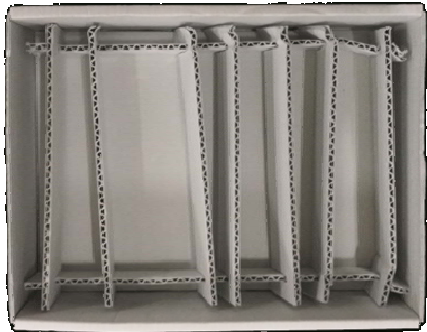


图 3 试样破损情况
Fig.3 Breakage of the samples chart

2.4 正弦变频振动性能分析

按国标要求频率范围设置为 3 ~ 200 Hz，扫速率为每分钟 1/2 个倍频程，选择最大加速度为 5 m/s² 进行试验，确定其共振频率和放大系数。试验后，第 1，3，4，5 组试样，包装件的固有频率分别为 110，132，133 和 143 Hz，相对应的放大系数分别为 3.86，4.12，3.60 和 2.77。

2.5 试验总结

5 组纸盒性能测试的试验数据见表 6，通过抗

压试验数据对比分析,第2组(E楞摇盖式折叠纸盒)抗压性能最差,因此对其他4组进行堆码试验。由试验数据分析可知,4组堆码高度均大于1.872 m,堆码性能较好。由于第3组(B楞天地盖式折叠纸盒)抗压和堆码性能过高,属于过度包装;第4组(E楞天地盖式粘贴纸盒)制造工艺、纸盒成型过程复杂,因此选定第1组(E楞天地盖式折叠纸盒)进行跌落试验。由试验数据可知,跌落高度为500 mm。综合以上试验数据,确定存储堆码高度为500 mm,堆码层数为9层。

表6 综合试验数据
Tab.6 The comprehensive test data

试样 序号	抗压强 度/kN	堆码高度/m			固有频 率/Hz
		K=1.6	K=1.65	K=2	
第1组	3.78	2.288	2.236	1.872	110
第2组	1.82	—	—	—	—
第3组	7.42	3.510	3.042	2.808	132
第4组	4.31	2.585	2.530	2.090	132
第5组	3.70	2.288	2.236	1.872	143

3 结语

经试验分析,E楞天地盖式折叠纸盒具有良好的抗压性能,能够承受3.78 kN的压力,且具有良好的堆码性能,K=2时,其最大堆码高度为1.872 m,堆码层数为36层,但在存储、运输过程中,需要考虑到跌落、振动冲击的影响,因此确定最终方案为E楞天地盖式折叠纸盒,建议存储堆码高度为500 mm,堆码层数为9层,其单件包装折叠纸盒固有频率为110 Hz,放大系数为3.86。由于实际运输是堆码存放的,其运输方式的不同,激振频率范围的不同,最大堆码层数的不同,这些都会导致包装件的固有频率不同,因此需要通过扫频振动试验确定各层纸盒的固有频率与堆码高度的关系,在实际运输前根据不同堆码层数选择不同运输方式,尽量避免共振,达到保护文物的目的^[14—16]。由于纸盒内隔板结构设计不合理,横向隔板未设计卡槽,导致纵向隔板沿横向滑动,隔板强度较低,在棱、角跌落试验时,纸盒内隔板严重变形,影响纸盒性能。此外,E楞天地盖式粘贴纸盒并非完全不能使用,其各向性能均符合要求,即使工艺复杂,但仍

能够满足小批量生产的使用要求。

参考文献:

- [1] 赵昆. 文物包装概述[J]. 文博, 2006(6): 85—88.
ZHAO Kun. Review of Relics Package[J]. Relics and Museol, 2006(6): 85—88.
- [2] BACHMANN K. Conservation Concerns: a Guide for Collectors and Curators[M]. Washington DC: Smithsonian Books, 1992.
- [3] 李文怡, 杨洁. 文物无酸纸质囊盒制作[J]. 文物保护与考古科学, 2014(2): 105—108.
LI Wen-yi, YANG Jie. The Manufacture of Acid-free Paper Boxes for Storage of Cultural Relics[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2014(2): 105—108.
- [4] 徐文娟, 吴来明, 解玉林, 等. 无酸纸的发展及其在文物保护中的应用[J]. 文物保护与考古科学, 2009, 21(S): 76—78.
XU Wen-juan, WU Lai-ming, XIE Yu-lin, et al. Development and Application of Acid-free Paper in Conservation of Cultural Relics[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2009, 21(S): 76—78.
- [5] 徐文娟, 吴来明, 戴红旗. 馆藏文物包装用无酸纸的性能研究[J]. 文物保护与考古科学, 2014, 36(4): 26—29.
XU Wen-juan, WU Lai-ming, DAI Hong-qi. Studies on Acid-free Paper for Packaging and Storage of Cultural Relics[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2014, 36(4): 26—29.
- [6] GB/T 4857.2—2005, 包装 运输包装件基本试验, 温湿度调节处理[S].
GB/T 4857.2—2005, Packaging-Basic Tests for Transport Packages: Temperature and Humidity Conditioning[S].
- [7] GB/T 4857.4—2008, 包装 运输包装件基本试验, 采用压力试验机进行的抗压和堆码试验方法[S].
GB/T 4857.4—2008, Packaging-Basic Tests for Transport Packages: Compression and Stacking Tests Using a Compression Tester[S].
- [8] GB/T 4857.10—2005, 包装 运输包装件基本试验, 正弦变频振动试验方法[S].
GB/T 4857.4—2005, Packaging-Basic Tests for Transport Packages: Sinusoidal Vibration Test Method Using at Variable Vibration Frequency[S].
- [9] GB/T 4857.5—2008, 包装 运输包装件基本试验, 跌落试验方法[S].
GB/T 4857.4—2005, Packaging-Basic Tests for Transport Packages: Vertical Impact Test Method by Dropping[S].
- [10] 刘慧. 折叠纸盒强度的理论分析与试验研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
LIU Hui. The Strength of Folding Carton of Theoretical Analysis and Experimental Research[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [11] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012.

- PENG Guo-xun. Logistics Transportation Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [12] 山静民. 包装测试技术[M]. 北京: 印刷工业出版社, 1999.
- SHAN Jing-min. Packaging Testing Technology[M]. Beijing: Printing Industry Press, 1999.
- [13] 计宏伟. 包装工程实验教程[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012.
- JI Hong-wei. Experimental Course of Packaging Engineering[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [14] ZHOU R, SU S Q, YAN L P, et al. Effect of Transport Vibration Levels on Mechanical Damage and Physiological Responses of Huanghua Pears[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 46(1): 20—28.
- [15] 张连文, 杨传民. 圣女果运输包装件振动冲击性能实验研究[J]. 振动工程学报, 2011, 24(1): 73—77.
- ZHANG Lian-wen, YANG Chuan-min. Vibration and Impact Performance Tests of Saint Fruit Transport Packages[J]. Journal of Vibration Engineering, 2011, 24(1): 73—77.
- [16] 张鸣宇, 张连文, 骆紫晨, 等. 库尔勒香梨物流堆码运输包装件振动传递试验研究[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(4): 13—17.
- ZHANG Ming-yu, ZHANG Lian-wen, LUO Zi-chen, et al. Research on Vibration Transmissibility Tests of Korla Pear Transporting Stacking Package[J]. Packaging and Food Machinery, 2012, 30(4): 13—17.