易碎文物包装用新型囊匣的设计与防护性能研究

奚国栋,陈平,张珊,王海莹,潘惠,徐长妍 (南京林业大学,南京 210037)

摘要:采用瓦楞纸板代替传统囊匣用硬纸板,分别制作了瓦楞硬囊匣和瓦楞软硬囊匣等瓦楞纸板新型囊匣包装系统,并以振动传递率、产品磨损率、跌落冲击平均加速度为指标,全面评估了新型囊匣包装系统和传统灰纸板囊匣包装系统(灰纸板硬囊匣、灰纸板软硬囊匣和灰纸板软囊匣)的性能。结果标明,新型瓦楞纸板囊匣的缓冲防震性能和抗磨损性能明显优于传统灰纸板囊匣。

关键词: 文物; 囊匣; 振动传递率; 磨损率; 跌落冲击平均加速度

中图分类号: TB482.2; TB487 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2011)21-0068-05

Design and Protection Performance Research of Corrugated Cardboard Box for Fragile Historical Relic Packaging

XI Guo-dong, CHEN Ping, ZHANG Shan, WANG Hai-ying, PAN Hui, XU Chang-yan (Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Corrugated cardboard was used to produce a new type of packaging box for historical relic in substitution of traditional used chipboard. Vibration transmissibility, rate of wear, and average acceleration of drop impact of the new packaging box and the traditional packaging box (gray paperboard hard box, gray paperboard hard & soft box, gray paperboard soft box) were tested to evaluate their performance. The results showed that the new type of corrugated cardboard box was better than the gray paper board box in cushion performance and wear resistance.

Key words: cultural relic; packaging box; vibration transmissibility; rate of wear; average acceleration of drop impact

文物是人类宝贵的文化遗产,是不可再生的历史资源,在运输过程中极易受损,失去原有的收藏和研究价值。目前文物包装[1]以传统囊匣为主,按内囊形式可分为硬囊囊匣、软囊囊匣和软硬囊囊匣3类[2-3],以纸板和天然纤维织物为主导材料[4],保护性能一般,破损率高,而当前关于文物包装的研究主要局限于囊匣的种类和制作工艺两方面,对于囊匣的改进设计鲜有涉足。笔者采用瓦楞纸板代替传统囊匣用硬纸板,分别制作瓦楞硬囊匣和瓦楞软硬囊匣等瓦楞纸板新型囊匣包装系统,并全面评估了新型囊匣包装系统和传统灰纸板囊匣包装系统的性能,为易碎文物的囊匣包装优化设计提供参考依据。

1 试验

1.1 材料

试验用玻璃高脚杯、灰纸板、丝绸、硬纸板、瓦楞纸板、棉絮、石膏,均为市购。玻璃高脚杯表面光滑无缺陷,灰纸板表面平整,厚度为 3 mm,硬纸板表面平整无折痕,瓦楞纸板为 E 型单层 V 瓦楞,棉絮片定量为 $100\sim500~g/m^2$ 。

1.2 设备

设备:DY-200-2 电动振动试验系统,苏州试验仪器总厂; DL-750Scope Corder 示波记录仪,日本YOKOGAWA电子公司; AS-100A 加速度传感器,

收稿日期: 2011-05-08

作者简介: 奚国栋(1990-),男,江苏人,南京林业大学包装工程专业本科生。

通讯作者:徐长妍(1967-),女,士家族,宜昌人,南京林业大学副教授、硕士生导师,主要研究方向为运输包装和包装工艺。

深圳市现代豪方科技有限公司;三向加速度传感器:扬州晶明科技有限公司;DHF-10 放大器:秦皇岛市协力科技开发有限公司;JJ500 型电子天平:常熟市双杰测试仪器厂;DJ-100D型跌落试验机及产品易损性能测试系统:陕西科技大学;HWS-250L型恒温恒湿箱:上海精弘实验设备有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 试验准备及预处理

1) 囊匣制作。

传统硬囊、传统软硬囊和传统软囊的制作工艺分别见图 1-3。 瓦楞硬囊和瓦楞软硬囊[5] 的制作工艺



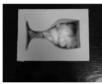




图 1 传统硬囊的制作工艺

Fig. 1 Manufacturing process of traditional hard box



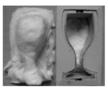




图 2 传统软硬囊的制作工艺

Fig. 2 Manufacturing process of traditional hard & soft box





图 3 传统软囊的制作工艺

Fig. 3 Manufacturing process of corrugated traditional soft box

见图 4 和 5。

2) 杯体及囊匣预处理。

清洗试验用高脚玻璃杯,贴号并使用 JJ500 型电子天平称重,将石膏粉末加水混合均匀后涂抹在杯体表面。根据 GB/T 4857.18《包装运输包装件温湿度调节处理》将测试用高脚杯置于恒温恒湿箱中,以温度为 20 ℃,相对湿度为 65%的条件进行预处理,24 h后再次称重。

按照 GB/T 4857. 2-2005《运输包装件基本试





图 4 瓦楞硬囊的制作工艺 Fig. 4 Manufacturing process of corrugated cardboard hard box







图 5 瓦楞软硬囊的制作工艺

Fig. 5 Manufacturing process of corrugated cardboard soft box

验温湿度》的要求,取对应试验所用到的6种囊匣分别置于温度为30℃、相对湿度为85%的恒温恒湿箱中预处理24h。

3) 囊匣及传感器固定。

为减小囊匣在振动过程中与振台的相对移动,制作木架,尺寸均与囊匣尺寸相符,用六角螺丝将木架固定在振台上,振动试验前,将测试囊匣放入木架内,加盖,并用透明胶带固定^[6]。

为防止传感器的移动及损坏,振动试验前,将一传感器用透明胶带固定在高脚杯体内侧,另一传感器则直接用双面胶固定在振台表面。跌落试验前,将传感器用透明胶带按跌落方向不同,分别垂直地面固定于杯体内部。

1.3.2 定频试验

- 1) 试验参数的确定。根据 GB/T 4857.7-1992 《包装运输包装件正弦频率振动试验方法》可确定振动持续时间基本值为 20 min,范围为 10~60 min,为更贴近实际运输环境,取振动持续时间为 30 min,根据《物流运输包装设计》中的货船振动数据确定振动频率为 25 Hz^[7]。
- 2) 步骤。根据 GB/T 4857.7-1992《包装运输包装件正弦定频振动试验方法》在系统控制箱上键入频率为 25 Hz,时间为 30 min,开始试验;待波形稳定后,使用示波器保存波形图样及数据;实验结束,取出高脚杯,称得质量;再另取 3 只高脚杯依次放入同一

囊匣中重复以上试验;其他囊匣依次重复上述步骤。 1.3.3 跌落试验

- 1) 跌落高度的确定。根据 GB/T4857.18-1992 《包装运输包装件编制性能试验大纲》确定跌落高度的基本值为 800 mm,为更贴近实际运输环境,故以基本值为下限,分别以高度为 800,1200,1 500 mm 进行跌落试验。
- 2) 步骤。将传感器固定在杯中,放入预处理后的囊匣之中,再将囊匣放入振台上的木制模具,加盖并密封;依次按800,1200,1500 mm高度进行试验,同一高度按顶面(top),底面(bottom),侧面(left)分3次跌落,记录并保存实验数据;再取3只不同的高脚杯放入同一囊匣重复以上试验;其他囊匣依次重复上述步骤。

2 数据处理及分析讨论

在文物包装运输过程中,振动传递率(25 Hz)、磨损率、跌落冲击平均加速度^[8]是衡量包装件保护性能好坏的重要指标,按照传统分类方式将试验用囊匣分为硬囊类(A 传统硬囊、C 瓦楞硬囊)、软囊类(D 传统软囊)和软硬囊类(B 传统软硬囊、O 瓦楞软硬囊)。通过这 3 项指标先对硬囊和软硬囊类中的传统和新型囊匣进行对比分析,再对所有囊匣进行整体对比分析,以验证新型材料在囊匣包装中的可应用价值,为进一步完善文物的运输包装提供理论参考。

2.1 内囊结构对囊匣振动传递率的影响

囊匣在频率为 25 Hz 的定频振动试验中的振动传递率见表 1。

表 1 内囊结构对囊匣振动传递率的影响

Tab. 1 The Vibration transmissibility of Packaging box

囊匣种类	A 传统	C瓦楞	B传统	0 瓦楞	D传
	硬囊	硬囊	软硬囊	软硬囊	统软囊
响应加速度	9.015	7. 892	7.957	7.527	13.018
$/(m \cdot s^{-2})$	9.013	1.032	1.931	1.521	13.010
激励加速度	14.609	14.590	14.414	14.458	14.437
$/(m \cdot s^{-2})$					
振动	0.617	0.541	0. 552	0. 521	0.902
传递率/%	0.017	0.341	0.332	0.021	0.502

可见,在外部振动条件相同的前提下,硬囊类囊匣中,新型瓦楞硬囊的振动传递率为传统硬囊的87.7%,降低了12.3%,这说明较传统硬囊而言,瓦

楞硬囊具有更强的振动能量吸收性。而在软硬囊类囊匣中,新型瓦楞软硬囊的振动传递率要明显低于传统软硬囊,为传统软硬囊的94.4%,降低了5.6%,这说明较传统软硬囊而言,瓦楞软硬囊的振动能量吸收性能更优,能更好的保护文物。

新型瓦楞囊匣具有更低的振动传递性,因为相较传统的灰纸板和硬纸板而言,瓦楞纸板中的空气提高了它的缓冲性能,使其能更好地吸收外界的冲击能量,有效延长包装物承受脉冲的作用时间,具有更好的缓冲性能[9]。

2.2 内囊结构对内装物磨损率的影响

囊匣在频率为 25 Hz 的定频振动试验中,高脚杯的表面磨损率见表 2。

表 2 内囊结构对内装物磨损率的影响

Tab. 2 The wear rate of internal packaging box to packaged substance

囊匣种类	A传统	C瓦楞	B传统	O瓦楞	D传
	硬囊	硬囊	软硬囊	软硬囊	统软囊
原始质量/g	3.199	2.455	2.431	2.905	1.691
磨损质量/g	0.416	0.035	0.336	0.145	0.044
磨损率/%	13.004	1.426	13.821	4.991	2.602

可见,在外部振动条件相同的前提下,硬囊类囊匣中的新型瓦楞硬囊的振动磨损率仅为传统硬囊的11.0%,降低了89.0%,说明较传统硬囊而言,瓦楞硬囊中的文物外壁所受的摩擦更少。而在软硬囊类囊匣中,新型瓦楞软硬囊的振动磨损率为传统囊匣的36.1%,降低了63.9%,这说明较传统软硬囊而言,瓦楞软硬囊中的文物外壁所受的摩擦更少,能更好地保护文物。

新型瓦楞囊匣具有更好的抗磨损性能,瓦楞纸板中的楞状的原纸通过黏合剂与表层黏合,形成中层空心结构,使材料本身具有更好的弹性和延展性,在一定程度上降低了囊匣对其内装物表面的磨损,且瓦楞纸板还有节约用纸、降低成本、轻量化等优点[10]。

2.3 内囊结构对内装物冲击平均加速度的影响

硬囊类囊匣在跌落冲击试验中的跌落冲击平均加速度见图 6。通过观察传统硬囊的跌落曲线发现,侧面跌落最易使内装物破损,而硬囊类囊匣中的新型瓦楞硬囊的侧面跌落冲击平均加速度为传统硬囊的66.2%,降低了33.8%。从总体变化趋势上来分析,在相同的跌落条件下,瓦楞硬囊顶面与底面跌落时的

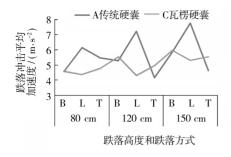


图 6 硬囊类囊匣跌落冲击平均加速度

Tab. 6 The average drop impact acceleration of hard box

冲击平均加速度与传统硬囊相近,这说明在相同的跌落条件下,瓦楞硬囊吸收冲击能量的能力要比传统硬囊更强,能更有效地防止文物的损坏。

软硬囊类囊匣在跌落冲击试验中的跌落冲击平均加速度见图 7。从总体变化趋势上来分析,当跌落

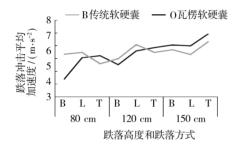


图 7 软硬囊类囊匣跌落冲击平均加速度

Tab. 7 The average drop impact acceleration of soft box

高度在 1 200 mm 以下时,对比瓦楞软硬囊与传统软硬囊的冲击平均加速度,并没有明显的规律,但随着跌落高度增加到 1 500 mm 时,瓦楞软硬囊的跌落冲击平均加速度为传统软硬囊的 91.4%,降低了 8.6%,这说明瓦楞软硬囊吸收冲击能量的能力要比传统软硬囊更强,能更有效地防止文物机械损坏。

瓦楞硬囊具有更强的缓冲性能是因为相较传统的灰纸板和硬纸板而言,瓦楞纸板中的空气提高了它的缓冲性能,使其能更好地吸收外界的冲击能量,具有更好的缓冲性能[11]。试验所用的 E 型瓦楞楞高为1.1~1.4 mm,30 cm 内的楞数在(96±4),是一种应用较为广泛的微型瓦楞纸板,这种微型瓦楞纸板与相同定量的折叠纸板相比,具有更强的堆码强度和防震性能[12]。

2.4 试验囊匣内囊结构对囊匣的影响

2.4.1 传递率

全部试验囊匣在频率为 25 Hz 的定频振动试验中

的振动传递率对比(按升序排列)见图 8。可见外部振

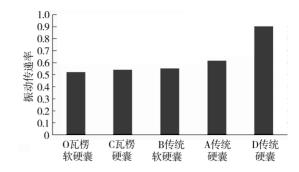


图 8 囊匣的振动传递率

Tab. 8 The vibration transmissibility of packaging box

动条件相同的前提下,硬囊类囊匣与软硬囊类囊匣的振动传递率相近,而软囊类囊匣的振动传递率要明显偏高,说明3类囊匣中软硬囊吸收振动的能力最强,对文物的防震包装效果最好,硬囊稍弱,软囊最次。

2.4.2 磨损率

在频率为 25 Hz 的定频振动试验中,高脚杯表面的磨损度(按升序排列)见图 9。可见在相同的外部

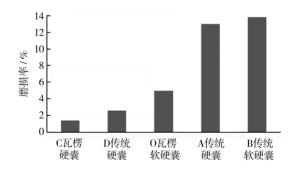


图 9 囊匣的磨损率

Tab. 9 The wear rate of packaging box

振动条件下,软硬囊类囊匣的振动磨损率要明显高于 软囊类和硬囊类囊匣,而在3类囊匣中硬囊类囊匣的 抗磨损性能最好,对文物表面的保护性能最佳,软囊 类稍弱,软硬囊类最弱。

2.4.3 冲击平均加速度

全部试验囊匣在跌落试验中的跌落冲击平均加速度变化见图 10。从总体变化趋势的角度分析,软囊类囊匣的冲击平均加速度普遍高于软硬囊类和硬囊类囊匣,而软硬囊和硬囊类囊匣在跌落面不同时的缓冲性能互有高低,总的来说硬囊类囊匣的冲击平均加速度偏低,尤其在侧面跌落时明显优于软硬囊类。这说明在跌落过程中硬囊类囊匣吸收冲击能量的能

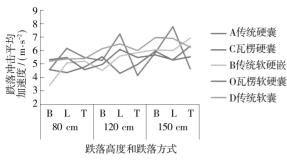


图 10 囊匣的跌落冲击平均加速度 Tab. 10 The average drop impact acceleration of packaging box

力最强,对文物的保护作用最明显,软硬囊类稍弱,软囊类最次。

3 结语

综合对比所有试验用囊匣的性能,发现使用新型瓦楞材料制作的囊匣的缓冲防震性能明显优于传统囊匣,且抗磨损性能较传统囊匣也有显著提高,可以预测瓦楞纸板的应用必将给文物囊匣包装设计带来新的发展。

(上接第63页)

$$\theta_{u^{2}x=\pm\frac{l}{2}} = \left| \frac{\partial \omega_{u^{2}}}{\partial x} \right|_{x=\pm\frac{l}{2}} =$$

$$\mp \sum_{i} \frac{\alpha_{i} \sin(\beta_{i}l) + \beta_{i} \sin h(\alpha_{i}l)}{4\alpha_{i}\beta_{i} \left(\cos^{2}\frac{\beta_{i}l}{2} + \sinh^{2}\frac{\alpha_{i}l}{2}\right)} \cdot \frac{H_{i}}{D_{u}} \sin \frac{\pi y}{b} \qquad (10)$$

由式(9)和(10)可得钢索在 $0 \sim \frac{b}{2}$ 范围内进行吊装时顶盖力学模型的挠度表达式和转角表达式,并且在边缘 $x=\pm l/2$ 处顶盖的挠度和转角取得最大值,从而可在实际生产中找到箱板各结构的最大挠度值所在的位置,能预测出快装箱的危险区域,避免生产浪费。

3 结语

快装箱在起吊过程中,承受来自钢丝绳的水平挤压的作用,利用叠加法及三角级数法^[8]建立了快装箱顶盖力学模型,得到了顶盖受力时的挠度表达式及转角表达式。该研究健全了国内快装箱统一的力学标准,为快装箱的结构设计计算提供一定的技术理论依

参考文献:

- [1] 赵昆. 文物包装概述[J]. 文博,2006(6): 85-87.
- [2] 王海红.传统手工艺——囊匣[J].紫禁城,2007(1):96-109.
- [3] 郭思洁.囊匣的用途、种类和工艺[J]. 北方文物,1989 (1),111-112.
- [4] 王金生. 文物囊匣的制作与研究[J]. 包装工程,2007,28 (7):174-176.
- [5] 彭国勋. 瓦楞包装设计[M]. 北京:印刷工业出版社, 2007.
- [6] 苏远,汤伯森. 缓冲包装理论基础与应用[M]. 北京:化学 工业出版社,2006.
- [7] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京:印刷工业出版社, 2008
- [8] 智秀娟,周林森. 浅谈振动理论在缓冲防振包装中的应用[J]. 水利电力机械,2005,27(4):41-43.
- [9] 潘幸珍,李大纲. 复合瓦楞纸板结构性能的研究[C]. 南京:南京林业大学论文集,2007.
- [10] 罗光林. 包装材料学[M]. 北京:印刷工业出版社,2006.
- [11] 向明,许文才. 瓦楞纸板缓冲垫的动态性能[J]. 包装工程,1997,18(5):23-25.
- [12] 张改梅,严亮. 备受推崇的微型瓦楞纸板[J]. 中国印刷物 资商情, 2006(4):24-25.

据,使快装箱设计更加系类化和标准化,有利于加快其在包装领域的推广和应用。

参考文献:

- [1] 汪如红,丁毅,许曼. 快装箱连接件舌扣受力分析与研究 [J]. 包装工程,2010,31(5):62-65.
- [2] 舒祖菊. 快装箱有限元仿真与优化设计[D]. 西安: 陕西科技大学, 2009.
- [3] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京:印刷工业出版社, 2008.
- [4] 王仁. 力学模型及其局限性[J]. 力学与实践,2001,23 (5):70-72.
- [5] 殷华敏,霍锦霞. 叠加法求常系数 n 阶非齐次线性微分方程的解[J]. 甘肃高师学报,2010,2(8):70-72.
- [6] 单辉祖. 材料力学(第2版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2004.
- [7] 同济大学应用数学系. 微积分(上册)[M]. 北京:高等教育出版社,1999.
- [8] 里德. 数值分析与科学计算[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.