

电脑主机缓冲包装结构缓冲效果的高速摄像评价

张粉娟, 计宏伟, 张思盟

(天津商业大学, 天津 300134)

摘要: 为了评价电脑主机缓冲结构的缓冲效果, 利用高速摄像测量方法, 对电脑主机运输包装件冲击实验进行了冲击响应分析, 研究了电脑主机包装件中 EPE 缓冲垫对电脑主机的防护作用。实验中分别取 5, 10, 15 cm 3 个跌落高度, 利用跌落冲击瞬间缓冲垫、主机、水平滑台三者冲击作用的瞬态图像, 通过采集图像进行处理和分析, 得到了电脑主机的位移-时间、加速度-时间曲线以及水平滑台的加速度峰值和衬垫冲击传递率。结果表明, 随着冲击高度的增加, 电脑主机加速度响应随之增大, 缓冲垫的冲击传递率达到 50% 左右, 显示出 EPE 缓冲结构具有显著的缓冲效果。

关键词: 电脑主机; 发泡聚乙烯衬垫; 高速摄像; 冲击跌落; 冲击传递率

中图分类号: TB484.9; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)21-0001-05

Cushioning Effect Evaluation of Cushion Packaging Structure of Personal Computer by High Speed Photography

ZHANG Fen-juan, JI Hong-wei, ZHANG Si-meng

(Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

Abstract: In order to evaluate the cushioning effect of host computer cushion structure, impact test was carried out on personal computer package by using high speed camera photography, and the protective performances of EPE cushion were investigated. Experiments were carried out with three drop heights of 5, 10, 15 cm. A high-speed camera was employed to capture high-speed digital images of the cushion, host, and sliding table during impact tests. The shock displacements and response accelerations of host and sliding table were analyzed using digital image processing technique. The displacement-time and acceleration-time curves of host computer, peak acceleration of sliding table, and shock transmissibility of cushion was obtained. The research results showed that the response accelerations of the host computer increase with the increase of drop height; the shock transmissibility of cushion is at about 50%, which indicates that the EPE cushioning structure has outstanding cushioning performance.

Key words: computer host; EPE cushion; high speed photography; drop impact test; shock transmissibility

产品从生产到目的地, 要经历装卸、搬运、运输、储存等环节。运输引起的振动和装卸引起的冲击, 都极易导致电脑主机这类精密产品发生损坏。由此, 对电脑主机缓冲包装结构的缓冲效果进行评价是十分必要的。

工业界和学术界在缓冲包装防护效果的测试评价方面进行了大量的研究工作, 解决了许多实际应用

问题^[1-11], 但现有测试评价研究工作大多依赖于电测方法^[1,3-11], 即往往基于压电加速度计分析产品的响应, 从而分析缓冲包装的防护效果。由于这种测量方法不能直接测量缓冲衬垫的变形, 无法监测冲击瞬间产品与缓冲衬垫的相互作用和破坏过程, 有时还存在加速度传感器不易固定或加速度传感器自重影响测试结果等问题, 因此这种评价方法的应用具有一定的

收稿日期: 2013-09-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(11072176)

作者简介: 张粉娟(1988-), 女, 陕西西安人, 天津商业大学硕士生, 主攻运输包装。

通讯作者: 计宏伟(1964-), 男, 辽宁锦州人, 博士, 天津商业大学教授, 主要研究方向为运输包装。

局限性。高速摄像测量方法在材料与结构的动态变形和断裂行为分析及其他超高速运动领域研究中得到了广泛应用^[2,12-15],它可以毫秒、微秒瞬间捕捉,甚至更短的时间来计算瞬态过程,是研究高速运动过程行之有效的方法。笔者应用高速摄像测量方法,测量电脑主机在冲击载荷作用下的动力学响应及衬垫冲击传递率,最终评价缓冲包装结构的缓冲效果。

1 实验

1.1 测试样品

实验样品选用的是市场上常见的电脑主机,机箱的尺寸为 455 mm×185 mm×395 mm,其缓冲包装形式见图 1,缓冲衬垫材料为发泡聚乙烯(EPE)。电脑主机底部衬垫面积 A_1 为 14 800 mm²,厚度 T_1 为 50 mm。电脑主机侧面衬垫面积 A_2 为 20 800 mm²,厚度 T_2 为 60 mm。

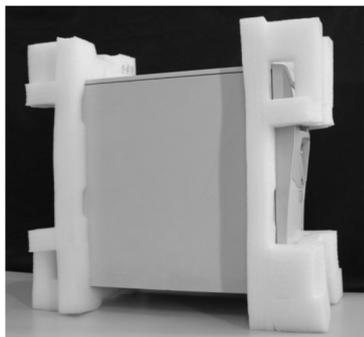


图 1 电脑主机包装件

Fig. 1 Computer host package

1.2 方法

实验所采用的测试系统见图 2。为了评价电脑主机缓冲结构的缓冲效果,该实验利用高速摄像测量方法对电脑主机运输包装件冲击试验进行冲击响应

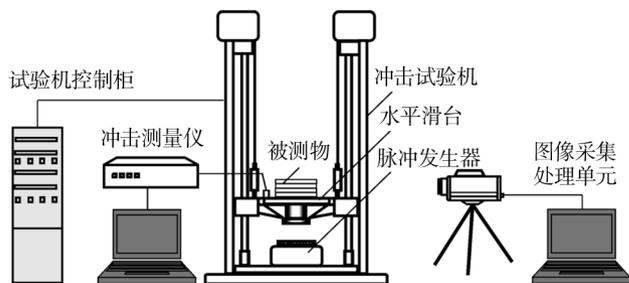


图 2 冲击试验测试系统

Fig. 2 Configuration of the shock test system

分析,研究电脑主机包装件中 EPE 缓冲垫对电脑主机的防护作用。实验设计了由冲击试验机和高速摄像机及图像采集与处理软件构成的运输包装件缓冲性能评价测试系统。冲击试验机用于对包装件施加冲击载荷,高速摄像机用于采集记录冲击过程的瞬态图像。该实验系统能够有效地跟踪冲击实验过程中包装件动态图像上的目标,定量测量测试对象给定点的位移、速度及加速度,能够实时观测冲击瞬间产品、缓冲衬垫和试验机水平平台的运动状态,具有实时、非接触、全场测量等优点,能够对运输包装件缓冲效果进行有效评价,为缓冲包装设计提供了一种新的性能评价方法。

1.3 冲击试验台

冲击试验台由苏州实验仪器总厂生产,型号为 CL-200,最大负载为 200 kg,最大跌落高度为 1000 mm,脉冲峰值加速度在 100~2000 m/s² 之间,脉冲持续时间 3~20 ms,波形为半正弦波。

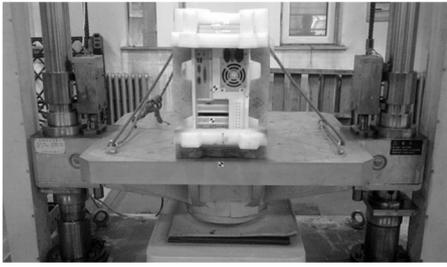
1.4 高速摄像机及图像处理软件

高速数字摄像机为美国 Integrated design tools 公司的 IDTY4S2-16G 型 Motion 高速摄像分析仪,摄像头的缓存为 16 G,图像在 1024×1024 像素分辨率下采集帧频可达 4500 帧/秒,实验中采用的帧频为 2500 帧/秒,采集时间为 1 min。该实验采用了美国 SAI (Sensors Applications Incorporated) 公司开发的 Image Express 专业图像处理软件,用于对采集到的图像序列进行跟踪分析,计算标记点的位移、速度、加速度等运动参量。

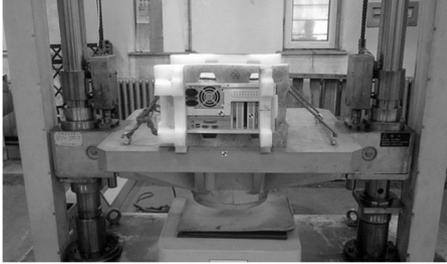
1.5 过程

为检验缓冲衬垫对主机的缓冲效果,设计了 3 个不同冲击高度的实验项目,分别为 5, 10, 15 cm 3 个跌落高度,然后将试验样品先后正立和横立固定在冲击试验机的水平滑台上进行测试,见图 3。

实验过程中,将装配好缓冲衬垫的电脑主机放置在试验机水平滑台上,主机尽量放置在滑台中心附近,并用绳索固定好实验样品。在电脑主机表面贴好标志,将高速数字摄像机正对固定好的电脑主机,调整摄像机成像镜头的焦距以及照明灯光,使得摄像机能够准确清晰地看到标志位置及形状,为后期的图像处理做好准备。同时设置好图像采集的空间分辨率和帧频,做好采集瞬态变形图像的各项准备工作,该实验将摄像机的采集分辨率设置为 1024×1024 像素,帧频设置为 2500 帧/秒。然后,按不同跌落高度和样



a 电脑主机正立放置



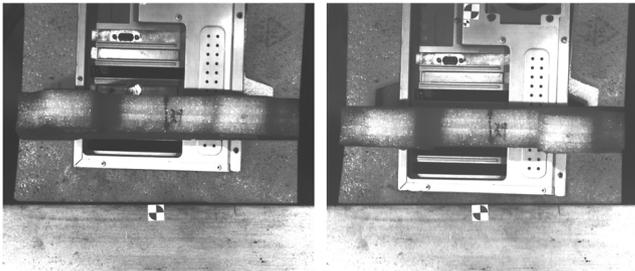
b 电脑主机横立放置

图3 固定在试验台上的电脑主机

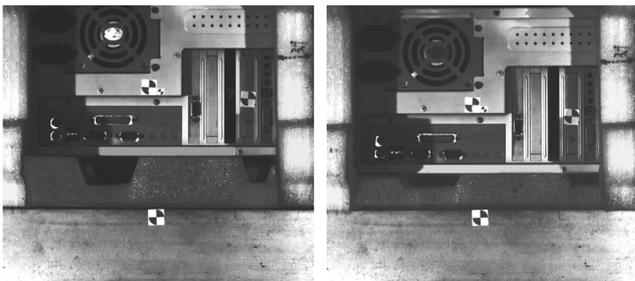
Fig. 3 The host computer fixed on experiment set-up

品放置方式依次进行冲击试验,记录水平滑台和实验样品在冲击过程中的瞬态变形图像序列。

水平滑台撞击到脉冲发生器后电脑主机包装件受冲击过程的图像序列见图4,由于篇幅限制,图4中



a 电脑主机正立放置



b 电脑主机横立放置

图4 $h=15$ cm 时冲击过程中试样瞬态图像Fig. 4 Transient images of the specimen in impact process under $h=15$ cm

只给出了跌落高度 $h=15$ cm 时撞击初始瞬时和衬垫受压达到最大变形瞬时2个状态的图像。

2 结果分析

应用美国 SAI 公司 Image Express 高速图像处理软件对实验中采集到的瞬态图像序列进行定量分析,可以得到冲击台峰值加速度和冲击脉冲持续时间以及试样(计算机主机)正立放置和横立放置条件下冲击过程的位移-时间($y-t$)曲线和加速度-时间($a-t$)曲线。

实验测得冲击台冲击脉冲持续时间分别为 9.5 (跌高为 5 cm), 10 (跌高为 10 cm), 11 ms (跌高为 15 cm)。试样正立时冲击台峰值加速度分别为: 25.16 g (跌高为 5 cm), 41.37 g (跌高为 10 cm), 55.03 g (跌高为 15 cm)。试样横立时冲击台峰值加速度分别为: 24.49 g (跌高为 5 cm), 40.16 g (跌高为 10 cm), 56.66 g (跌高为 15 cm)。

当试样正立放置在试验机水平滑台上时,计算机主机的冲击响应计算结果见图5和图6。

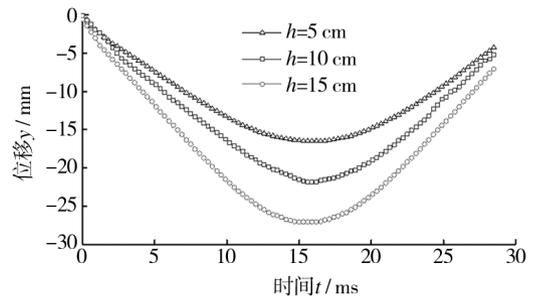
图5 主机正立 $y-t$ 曲线

Fig. 5 Displacement-time curves of the stand computer

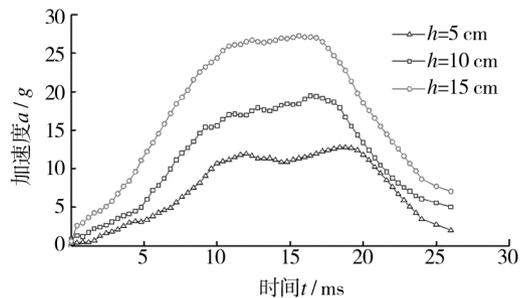
图6 主机正立 $a-t$ 曲线

Fig. 6 Acceleration-time curves of the stand computer

当试样横立放置在试验机水平滑台上时,计算机

主机的冲击响应计算结果见图 7 和图 8。

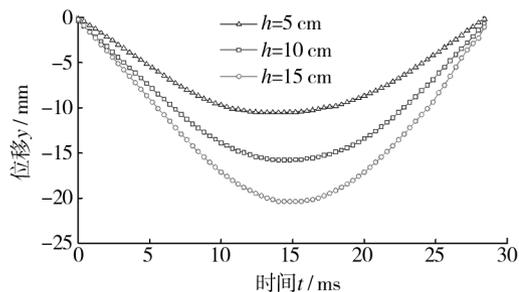


图 7 主机横立 y-t 曲线

Fig. 7 Displacement-time curves of the horizontal computer

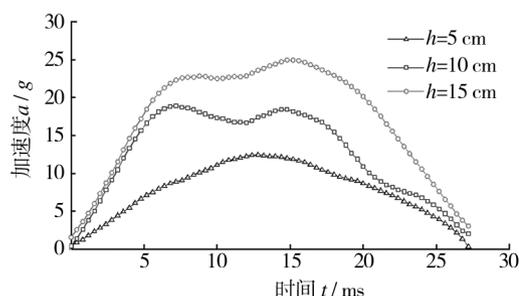


图 8 主机横立 a-t 曲线

Fig. 8 Acceleration-time curves of the horizontal computer

同样应用美国 SAI 公司 Image Express 高速图像处理软件计算得到试验机水平滑台的冲击加速度峰值。为了方便实验结果分析,这里把水平滑台的冲击加速度峰值和计算机主机的加速度峰值见表 1 中。表 1 中包含了不同跌落高度、正立与横立放置条件下水平滑台和计算机主机的峰值加速度,同时也计算出表征衬垫缓冲效果的冲击传递率(传递率=主机峰值加速度÷水平滑台峰值加速度)。

1) 由图 4 看出,通过采集到的高速瞬态图像可以直接观测缓冲衬垫的变形分布状态,监测冲击过程中产品与缓冲衬垫的相互作用特征。从图 4a 可发现电脑主机在正立放置冲击过程中,缓冲衬垫的变形明显不均匀,右侧压缩变形较大,说明计算机主机的重心偏向右侧。

2) 由图 5-8 看出,电脑主机正立与横立时的冲击响应随着跌落高度的增加依次增大,且正立工况下主机的位移和加速度峰值大于横立放置时相应的响应峰值。

3) 由表 1 可知,各个工况条件下冲击传递率保

持在 50% 左右,说明 EPE 缓冲衬垫具有很好的能量吸收能力,可以很好地保护主机,缓冲性能良好。

表 1 不同跌落高度下水平滑台和计算机主机加速度峰值 ($g=9.81 \text{ m/s}^2$)

Tab. 1 Peak acceleration of sliding table and host computer under different drop height

实验方式	跌落高度/cm	主机峰值加速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	滑台峰值加速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	传递率
试样正立	5	12.67	25.16	0.50
	10	21.64	41.37	0.52
	15	27.92	55.03	0.51
试样横立	5	12.22	24.49	0.50
	10	19.68	40.16	0.49
	15	26.97	56.66	0.48

3 结语

1) 将缓冲包装件样品放置于冲击试验机或跌落试验机的工作平台上,按预定的冲击强度对缓冲包装件进行冲击,利用高速摄像机实时监测冲击瞬间产品与缓冲衬垫的相互作用过程,并记录冲击过程的图像序列。最后通过图像处理与测量技术分析产品的响应和衬垫的变形,从而评价缓冲包装的防护效果。这种光学测试手段与传统电测方法相比,是一种非接触式、全场性、实时的高精度测量方法。能够准确跟踪被测物上点与点之间的运动,同步实时测量多个被测点的多个参数(如位移、挠度、变形、速度、加速度等),也可对拍摄的视频图像进行后续处理,对被测物进行更为详细的分析。能够对缓冲包装结构的缓冲性能进行全面分析,为缓冲包装设计提供了一种全新的评价手段。

2) 应用高速图像测试系统,对电脑主机运输包装件冲击试验进行冲击响应分析,测量了电脑主机的位移-时间、速度-时间、加速度-时间曲线,以及水平滑台的峰值加速度和衬垫冲击传递率。结果表明,随着冲击高度增加,电脑主机加速度响应随之增大;缓冲垫的冲击传递率达到 50% 左右,显示出 EPE 缓冲结构具有显著的缓冲效果。

参考文献:

[1] 邵文全,计宏伟,李砚明,等. 信号采集仪运输包装件缓

- 冲性能研究[J]. 包装工程,2008,29(3):11-14.
- SHAO Wen-quan, JI Hong-wei, LI Yian-ming, et al. Research on Cushioning Properties of the Signal Acquisition Instrument Package [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3):11-14.
- [2] 计宏伟,王心宇,王佼,等. 硒鼓缓冲气柱包装冲击响应与变形行为的图像测量分析[J]. 振动与冲击,2012,31(19):151-155.
- JI Hong-wei, WANG Xin-yu, WANG Jiao, et al. Shock Response and Deformation Behavior Analysis for a Toner Air-cushion Package with Drop Impact Tests and High-speed Digital Photography [J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(19):151-155.
- [3] JARIMOPAS B, SINGH S P, SAYASOONTHORN S, et al. Comparison of Package Cushioning Materials to Protect Post Harvest Impact Damage to Apple[J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20:315-324.
- [4] SEK M, ROUILLARD V, TARASH H, et al. Enhancement of Cushion Performance with Paperboard Crumple Inserts [J]. Packaging Technology and Science, 2005, 18: 273-278.
- [5] 何艳萍,陈永铭,谢卫东,等. 笔记本电脑纸浆模塑缓冲包装设计及其测试[J]. 包装工程,2009,30(1):109-111.
- HE Yan-ping, CHEN Yong-ming, XIE Wei-dong, et al. Structural Design and Test on the Molded Pulp Packaging of Notebook [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 109-111.
- [6] 朱翼超,高成,李炎新. 基于 Model 1221 的小型加速度测量系统[J]. 爆炸与冲击,2010,30(3):333-336.
- ZHU Yi-chao, GAO Cheng, LI Yan-xin. Design and Realization of an Acceleration Measurement System by Using Model 1221 [J]. Explosion and Shock Waves, 2010, 30(3): 333-336.
- [7] 王璐璐,刘美华,张连文,等. 果品物流运输包装件堆码振动传递性能的实验研究[J]. 包装工程,2012,33(19):5-10.
- WANG Lu-lu, LIU Mei-hua, ZHANG Lian-wen, et al. Research on Vibration Transmission Property of Fruit Logistics Packaging [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(19): 5-10.
- [8] 张连文,杨传民,孟宪文. 水晶梨运输包装件振动冲击性能实验研究[J]. 包装工程,2010,31(11):34-38.
- ZHANG Lian-wen, YANG Chuan-min, MENG Xian-wen. Experimental Research on Vibration and Impact Performance of Crystal Pears Transport Packages [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11):34-38.
- [9] 言利容,谢勇. 蜂窝纸板/EPE 组合材料的动态缓冲性能[J]. 包装工程,2010,31(19):13-16.
- YAN Li-rong, XIE Yong. Dynamic Cushioning Properties of Combination of Honeycomb Paperboard and EPE [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19):13-16.
- [10] 赵德坚. 充气量对充气缓冲包装垫缓冲性能的影响研究[J]. 包装工程,2011,32(13):32-34.
- ZHAO De-jian. On Influence of Gas Volume on Cushioning Property of Air Cushion [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13):32-34.
- [11] 孙东哲,徐鹏,张红艳. 车载信息记录仪硬盘减振缓冲的研究[J]. 振动与冲击,2011,30(2):192-195.
- SUN Dong-zhe, XU Peng, ZHANG Hong-yan. Vibration and Shock Isolation for a Hard Disk in an Information Recorder Loaded in a Vehicle [J]. Journal of Vibration and Shock, 2011, 30(2):192-195.
- [12] ZHANG Q B, ZHAO J. Determination of Mechanical Properties and Full-field Strain Measurements of Rock Material under Dynamic Loads [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2013, 60:423-439.
- [13] ZHU Y C, ZENG W D, ZHANG F S, et al. A New Methodology for Prediction of Fracture Initiation in Hot Compression of Ti40 Titanium Alloy [J]. Materials Science and Engineering (A), 2012, 553:112-118.
- [14] BRYNK T, LAPTEV A, TOLOCHYN O, et al. The Method of Fracture Toughness Measurement of Brittle Materials by Means of High Speed Camera and DIC [J]. Computational Materials Science, 2012, 64:221-224.
- [15] FURUMOTO T, ALKAHARI M R, UEDA T, et al. Monitoring of Laser Consolidation Process of Metal Powder with High Speed Video Camera [J]. Physics Procedia, 2012, 39:760-766.