

## PET 光栅包装盒跌落安全性

刘坤宏<sup>1</sup>, 周立权<sup>1</sup>, 刘从军<sup>2</sup>, 陈莉<sup>1</sup>, 熊长友<sup>1</sup>, 朱菊红<sup>1</sup>

(1.四川省宜宾普什集团 3D 有限公司, 四川 宜宾 644007;

2.宜宾五粮液股份有限公司, 四川 宜宾 644007)

**摘要:** **目的** 研究整体包装件跌落时内装 PET 光栅包装盒的安全性, 根据跌落过程中力的传递方式和受力部位进行有效缓冲防护, 达到节约包装成本的目的。**方法** 将质量为 10 kg 的包装件在高度 0.61 m 下进行跌落冲击试验, 基于试验数据获得包装盒、泡沫衬垫的冲击加速度、跌落变形量参数。**结果** 得到了包装盒、泡沫衬垫在跌落冲击过程中冲击力的变化规律, 泡沫衬垫吸收了大量冲击, 延长了冲击脉冲接触时间, 减少了传递到包装盒上的冲击力。**结论** 包装件发生跌落时, 泡沫衬垫开始被压缩、吸收外部冲击力, 保护内部包装盒, 在反弹阶段包装盒遭受的损害大于碰撞初期。结果显示, 在泡沫衬垫和外瓦楞纸箱的缓冲保护作用下, 包装盒在 0.61 m 的高度进行跌落是安全可靠的。

**关键词:** 跌落高度; 加速度; 变形量; 泡沫衬垫

**中图分类号:** TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)17-0174-05

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.17.023

## Safety of PET Lenticular Carton in Drop Impact Test

LIU Kun-hong<sup>1</sup>, ZHOU Li-quan<sup>1</sup>, LIU Cong-jun<sup>2</sup>, CHEN Li<sup>1</sup>, XIONG Chang-you<sup>1</sup>, ZHU Ju-hong<sup>1</sup>

(1.Sichuan Yibin Push Group 3D Co., Ltd., Yibin 644007, China; 2.Yibin Wuliangye Co., Ltd., Yibin 644007, China)

**ABSTRACT:** To study the safety of the PET lenticular carton (hereinafter referred to as the carton) when the whole package (hereinafter referred to as the package) is dropped, effective buffer protection is carried out according to the force transmission method and the force-bearing part during the fall process, so as to save the packaging cost. A 10 kg package was subjected to a drop impact test at a drop height of 0.61 m. Based on the test data, the impact acceleration and drop deformation parameters of the carton and foam cushion were obtained. As a result, the changing law of the impact force of the carton and foam cushion during the drop impact process is obtained. The foam cushion absorbs a large amount of impact, prolongs the impact pulse contact time, and reduces the impact force transmitted to the carton. When the package is dropped, the foam cushion begins to be compressed, absorbs the external impact force, and protects the inner carton. The damage to the carton during the rebound stage is greater than that at the beginning of the collision. All these prove that under the cushioning protection of the foam cushion and the outer corrugated box, the PET lenticular carton is safe and reliable to drop at a height of 0.61 m.

**KEY WORDS:** drop height; acceleration; deformation; foam cushion

随着国内外贸易的蓬勃发展, 品种繁多的网购平台也日益成熟, 在物流运输环节对外包装的要求越来越高。如何将产品完好无损地运往消费者手中, 已成

为运输包装的研究热点<sup>[1]</sup>。为了避免产品在流通过程中损坏, 可以提高产品运输包装的可靠性<sup>[2]</sup>。在实际应用中, 振动和冲击是运输和搬运过程造成产品损坏

收稿日期: 2021-01-09

作者简介: 刘坤宏 (1978—), 男, 工程师, 主要研究方向为 PET 光栅包装结构、表面印刷工艺、3D 图案设计及应用。

最主要的原因<sup>[3-4]</sup>，产品包装就是为了缓冲和减震，使得响应不超出极限破坏强度，达到产品完好无损的目的。目前，国内外主要使用发泡聚苯乙烯（EPS）、聚乙烯（EPE）等作为缓冲材料应用于现代包装工业中，已有比较成熟的理论和经验。发泡塑料和瓦楞纸箱在产品流通过程中起着减少或降低外界冲击、保护产品的重要作用。EPS 是目前市场上较为廉价的缓冲保护材料，广泛应用于物流行业<sup>[5-7]</sup>。在物流运输过程中，跌落和冲击是造成包装件破损的主要原因之一<sup>[8-9]</sup>。据统计，有近 80% 的产品损坏来自跌落冲击<sup>[10-11]</sup>。PET 光栅包装是近十余年来不断扩大应用领域的新型包装，文中主要研究其在运输环境条件下的冲击性能。

## 1 实验

### 1.1 材料

主要材料：PET 光栅包装盒，密度为  $1.37 \text{ g/cm}^3$ ，四川省宜宾普什集团 3D 有限公司；EPS 泡沫，密度为  $15 \text{ kg/m}^3$ ，厚度为 25 mm，重庆天马塑料制品有限公司；5 层瓦楞纸箱，BC 楞，厚度为 5 mm，四川省宜宾环球集团有限公司；玻璃瓶，密度为  $2.7 \text{ g/cm}^3$ ，容量为 500 mL，四川省宜宾格拉斯股份有限公司。

### 1.2 仪器设备

主要仪器设备：悬臂式跌落试验机，DT-315，苏州东岭振动仪器有限公司；高速数据采集器，K-8523，北京科瑞兴业科技有限公司；多轴加速度计，3000DE，深圳耐特恩科技有限公司；冲击力传感器，LSZ-F03A，苏州奥巴特自动化设备有限公司；智能信号采集处理分析仪，INV306U，北京东方振动和噪声技术研究所。

### 1.3 方法

按照 GB/T 4857.5—1992《包装运输包装件跌落试验方法》进行跌落试验研究。包装件底面跌落装配示意图见图 1。根据包装件底面跌落在运输过程中出现概率最高的特点进行跌落冲击试验，见图 2，将质量为 10 kg 的包装件放在可以升降的试验机平台上，将跌落高度提升到 0.61 m 对包装件的底面进行跌落试验。把传感器连接固定在试验机台面上，按下跌落控制按钮，包装件由于失去依托而沿垂直方向进行自由落体运动，包装件底面与连接有传感器的台面发生碰撞。采用冲击激励自触发进行数据采集、存储、信号传输，从而完成跌落冲击试验测试。观察包装件、包装盒的破损情况，研究分析包装盒、泡沫衬垫的跌落冲击加速度、变形量。

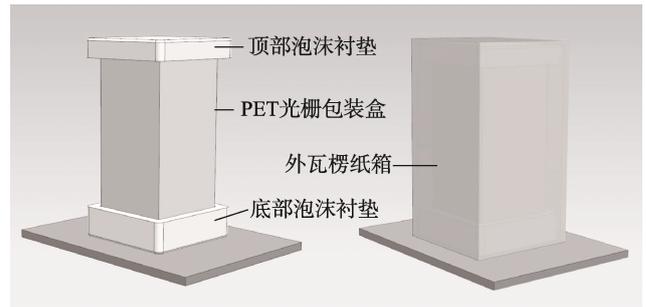


图 1 包装件底面跌落装配  
Fig.1 Schematic diagram of the bottom surface of the package for drop impact testing

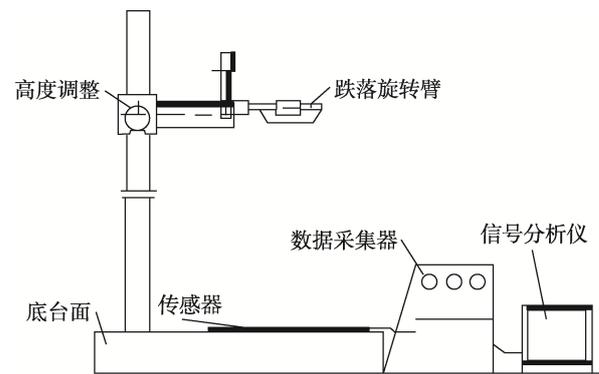


图 2 包装件跌落冲击试验系统  
Fig.2 Drop impact test system

## 2 跌落理论分析

### 2.1 冲击传递过程

纵坐标为包装件的抗冲击性能加速度，横坐标为触地瞬间算起的脉冲作用时间，见图 3。包装件在跌落终止时，外瓦楞纸箱由于突然减速而产生加速度。其中，从外瓦楞纸箱传递到包装盒的加速度，是由于泡沫衬垫的缓冲作用而被缩小，泡沫衬垫吸收大量冲击能量，加速度响应大幅度减少，延后了加速度峰值

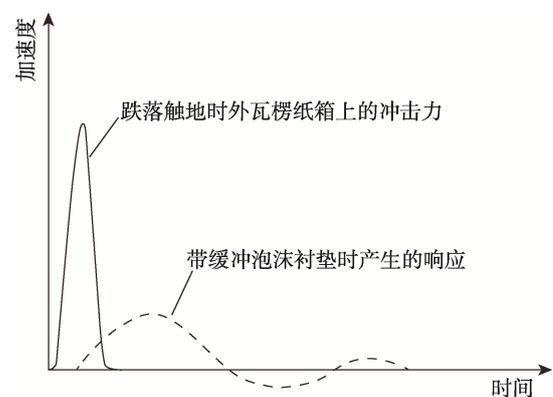


图 3 冲击脉冲传递过程  
Fig.3 Shock pulse transmission process

时间,包装件跌落加速度峰值与泡沫衬垫被压缩变形量值相吻合,有利于保护包装盒。

### 2.2 跌落冲击原理

包装件跌落接触地面的瞬间,受到地面向上的作用力,包装件由于惯性继续向下运动,外瓦楞纸箱受到的力传递到泡沫衬垫,又从泡沫衬垫传递到包装盒,泡沫衬垫在冲击下发生明显的压缩变形,见图4。由图4可知,在变形阶段初期,包装件继续受到向下的合力  $F$ ,包装件向下冲击速度继续增大,当合力  $F=0$  时,包装件达到最大的速度值。地面和泡沫衬垫对包装件的冲击合力  $F$  向上,包装件开始减速,向下运动的速度逐渐降低到 0,此时泡沫衬垫变形量达到最大,储存的能量达到最多。存储在泡沫衬垫内的能量逐渐释放,静止的包装件逐渐向上加速运动,泡沫衬垫的变形量逐渐恢复,包装件在合力的作用下开始向上加速运动,速度方向向上,其值不断增大。当泡沫衬垫变形完全恢复,即将离开地面的临界状态,包装件的跌落速度为  $v_1$ ,在重力作用下,  $v_1$  逐渐减小,当速度为 0 时,包装件的跌落高度为  $h_1$ 。包装件在惯性力和恢复力的交替作用下,直至包装件速度逐渐减少到 0 而停止运动。在高速跌落的过程中采用泡沫衬垫来减缓冲击载荷,吸收冲击能量,保护包装件的内装物在极端运输环境下不易被破损。

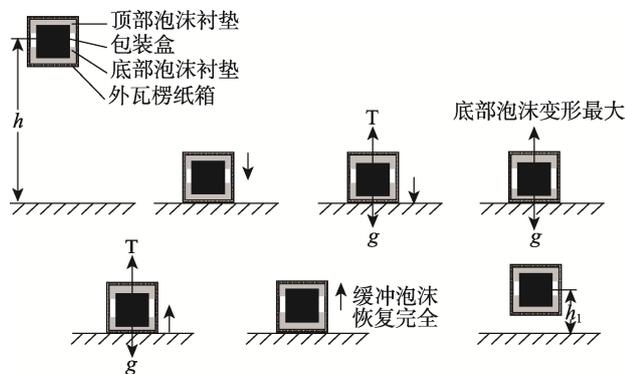


图4 包装件跌落惯性力及恢复力过程  
Fig.4 Process of inertial force and restoring force of the package when dropping

### 2.3 跌落冲击速度理论

质量为  $m$  的包装件,从高度为  $h$  处自由跌落到刚性地面上,取向上为正方向,包装件自由跌落到地面碰撞瞬间,加速度在短时间内迅速增大,然后在极短的时间内迅速减小<sup>[12]</sup>。跌落冲击造成的变形和破坏主要在与地面发生接触后,在跌落过程中的受力和变形不会发生变化。跌落造成的速度变化等于脉冲速度和回弹速度的代数和。

$$v = (1 + e)\sqrt{2gh} \tag{1}$$

取其极限值  $e=1$ , 则有:

$$v = 2\sqrt{2gh} \tag{2}$$

式中:  $h$  为跌落高度 (m);  $v$  为冲击时的瞬时速度 (m/s);  $e$  为回弹系数。

跌落冲击对产品所造成的冲击较大,容易超出产品的固有脆值(易损度),使产品损坏<sup>[13-14]</sup>。包装件跌落冲击具有跌落破损临界高度,当跌落高度大于破损临界高度时,包装盒将产生破损。依据 ISTA 1A、2A (国际包装安全运输协会标准),当质量为 10 kg 的包装件在高度 0.61 m 下进行水平跌落时,垂直向下的初速度按  $v = \sqrt{2gh}$  计算,则到达地面时的速度为 3.457 m/s,与理论计算值一致。

## 3 结果与讨论

### 3.1 包装盒跌落冲击加速度分析

包装盒上盖边角节点 A、中间节点 B 的加速度分布见图 5—6。由图 5—6 可知,在整个跌落过程中包装盒的最大加速度分布在包装盒上盖的 4 个边角部位,其中,包装盒上盖中间节点 B 比边角节点 A 加速度值小很多。由于 PET 光栅包装盒是控制玻璃瓶旋转和位移的,在反弹过程中有较大的冲击能量通过玻璃瓶集中传递到包装盒上盖的 4 个边角,边角节点 A 加速度值在跌落撞击初期冲击并不大,但在反弹期却出现了加速度峰值。同样,中间节点 B 的加速度峰值也出现在反弹期,2 点均在 3.16 ms 时加速

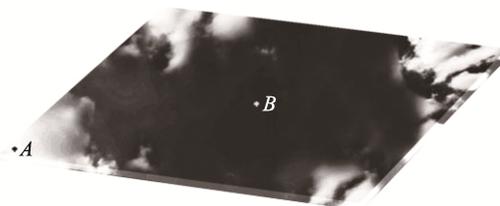


图5 包装盒上盖节点 A 和 B 加速度  
Fig.5 Acceleration of nodes A and B on the upper cover of the box

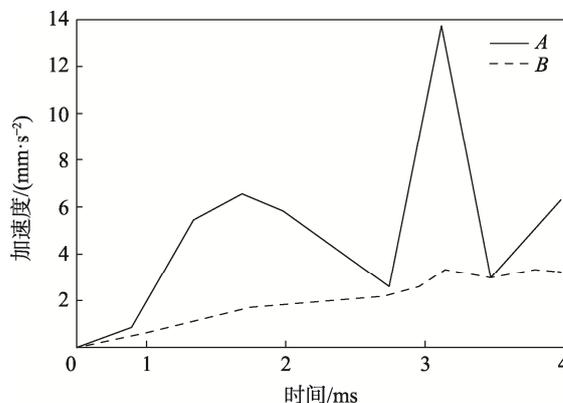


图6 包装盒上盖中间和边角节点加速度曲线  
Fig.6 Acceleration curve of the middle and corner nodes of the upper cover of the packaging box

度达到最大值，说明包装件在发生跌落时，包装盒上盖在反弹阶段会遭受更大的冲击，反弹阶段大于碰撞初期的破损。

### 3.2 泡沫衬垫跌落冲击加速度分析

包装件泡沫衬垫底部中间节点 C 加速度变化见图 7—8。由图 7—8 可知，该节点的加速度在 1.66 ms 时达到最大值，泡沫衬垫加速度的最大值发生在跌落过程初期，在反弹阶段加速度值变化不大。结果表明，在跌落过程中泡沫衬垫吸收了大量的冲击能量，起到缓冲保护内装包装盒的作用。

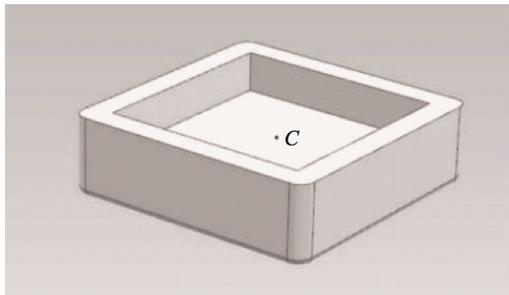


图 7 泡沫衬垫底部节点 C 加速度  
Fig.7 Acceleration of node C at the bottom of the foam cushion

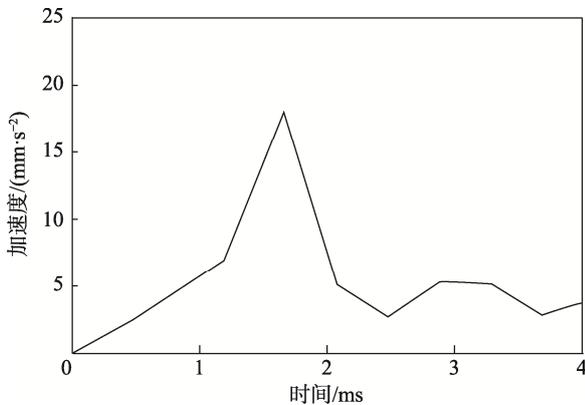


图 8 泡沫衬垫底部节点加速度曲线  
Fig.8 Acceleration curve of the bottom node of the foam cushion

### 3.3 包装盒跌落变形量分析

包装盒上盖变形量情况见图 9。由图 9 可知，包装盒上盖 4 个边角部位变形量最大，包装盒底部变形量比包装盒上盖变形量小，冲击指在短暂且强烈的动态力作用下，物体的运动状态发生的剧烈变化<sup>[15]</sup>。表明包装件底面与刚性台面接触时，瞬间剧烈的冲击和反弹过程中玻璃瓶产生的冲击能量集中传递到包装盒上盖。同时，缓冲泡沫下部比上部采用的缓冲泡沫材料多，能够吸收更多的冲击能量，达到保护包装盒的作用。

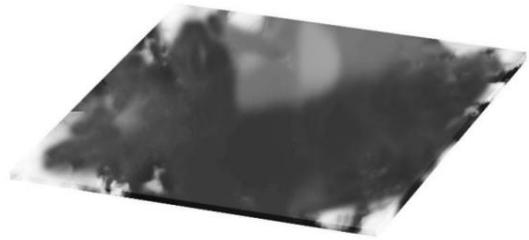


图 9 包装盒上盖变形量  
Fig.9 Distribution of deformation of the lid of the PET lenticular carton

### 3.4 泡沫衬垫跌落变形量分析

泡沫衬垫底部中间节点 C 变形量曲线见图 10。由图 10 可知，在 0~0.75 ms 时间段，包装件向下冲击对外瓦楞纸箱进行压缩，瓦楞纸箱开始变形，该节点以较小的变形量速度继续增加；在 0.75 ms 时，位移达到 2.42 mm，此时外瓦楞纸箱被压缩到最小值，变形量达到最大值；在 0.75~1.65 ms 时间段，该节点变形量减小，说明泡沫衬垫开始被压缩，吸收外部冲击能量，保护内装包装盒；在 1.66 ms 时，位移降低到 1.25 mm，泡沫衬垫被压缩到最小，变形量达到最大；在 1.66 ms 后，泡沫衬垫进入反弹阶段，此时被压缩的泡沫衬垫逐步回弹；在 3.16 ms 时，位移增加到 2.95 mm，在惯性力和恢复力的交替作用下，泡沫衬垫释放最大的冲击能量，包装盒在反弹阶段的破坏力比碰撞初期阶段的破坏力更大。

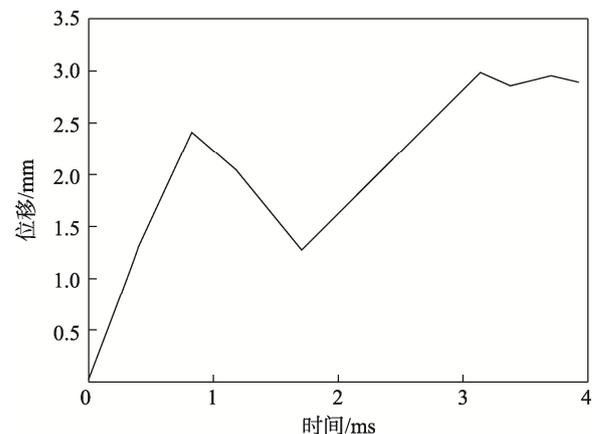


图 10 泡沫衬垫变形量曲线  
Fig.10 Deformation curve of the foam cushion

## 4 结语

基于 1 箱 (500 mL×6) 质量为 10 kg 的白酒包装件，在高度 0.61 m 下进行跌落冲击试验，对包装盒、泡沫衬垫的冲击响应进行对比分析，获得数据。

结果显示，包装盒在泡沫衬垫及外瓦楞纸箱的保护作用下，包装盒上盖的 4 个边角部位容易出现破

损。由此可知, 泡沫衬垫吸收了大多数的冲击能量, 外瓦楞纸箱吸收了其中小部分, 泡沫衬垫延长了冲击脉冲接触时间, 减少了传递到包装盒上的冲击力, 显示了泡沫衬垫对内装包装盒的保护作用。跌落冲击破损程度越大, 跌落过程中包装件的加速度、变形量响应越明显。包装件的跌落安全性研究为缓冲包装系统的设计及优化提供了一定的科学根据。

#### 参考文献:

- [1] 张璐, 丁毅. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的瓦楞纸箱跌落仿真研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014: 1.  
ZHANG Lu, DING Yi. Dropping Simulation Analysis of Corrugated Boxes Based on ANSYS/LS-DYNA[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science & Technology, 2014: 1.
- [2] 朱霞, 顾景喜, 陈永安, 等. JG3 军用合成制动液运输包装跌落仿真分析[J]. 包装工程, 2015, 36(9): 64—65.  
ZHU Xia, GU Jing-xi, CHEN Yong-an, et al. Dropping Simulation Analysis of the Transport Package for JG3 Military Synthetic Brake Fluid[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(9): 64—65.
- [3] 张沙, 钱怡. 电磁炉包装件的振动特性仿真[J]. 包装工程, 2012, 33(23): 56—60.  
ZHANG Sha, QIAN Yi. Simulation Analysis of Vibration Characteristics of Induction Cooker Package[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(23): 56—60.
- [4] SCHELL E H. Evaluation of a Fragility Test Method and Some Proposals for Simplified Method[J]. The Shock and Vibration Bull, 1969, 40(6): 56—62.
- [5] 高德, 卢富德. 聚乙烯缓冲材料多自由度跌落包装系统优化设计[J]. 振动与冲击, 2012, 31(3): 69—72.  
GAO De, LU Fu-de. Optimization Design of Multi-Freedom Drop Packaging System for Polyethylene Cushioning[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(3): 69—72.
- [6] 叶翀, 庄文娟, 陈婷. 我国物流包装的发展现状及问题初探[J]. 物流工程与管理, 2012, 34(5): 3—5.  
YE Chong, ZHUANG Wen-juan, CHEN Ting. Study on the Current Situation and Problems of Logistics Packaging in China[J]. Logistics Engineering and Management, 2012, 34(5): 3—5.
- [7] 董文亮. 物流包装在汽车制造业入厂物流中的应用研究[J]. 中国包装工业, 2016(4): 147—149.  
DONG Wen-liang. Study on the Application of Logistics Packaging in Logistics into Auto Industry[J]. China Packaging Industry, 2016(4): 147—149.
- [8] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012: 66—70.  
PENG Guo-xun. Logistics and Transport Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012: 66—70.
- [9] 马国鹭. 长虹某型电视机的跌落仿真分析[J]. 噪声与振动控制, 2008, 20(6): 168—170.  
MA Guo-lu. Drop Simulation Analysis of the Special Changhong TV[J]. Noise and Vibration Control, 2008, 20(6): 168—170.
- [10] 李杨, 陈曲. 基于 ANSYS 的打印机全瓦楞缓冲包装设计[J]. 包装学报, 2012, 4(2): 37—41.  
LI Yang, CHEN Qu. Design of Full Corrugated Cardboard Cushioning Packaging for Printer Based on ANSYS[J]. Journal of Package, 2012, 4(2): 37—41.
- [11] 张璐, 丁毅. 古瓷瓶文物的运输包装设计[J]. 包装工程, 2013, 34(7): 25—27.  
ZHANG Lu, DING Yi. Transport Packaging Design for Ancient Porcelain Vase[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(7): 25—27.
- [12] 王春霖. 贮液容器跌落冲击的计算机应力仿真[D]. 杭州: 浙江大学航空航天学院, 2007: 12.  
WANG Chun-lin. Computer Stress Simulation of Drop Impact of Liquid Storage Vessel[D]. Hangzhou: Zhejiang University Aviation Academy of Astronautics, 2007: 12.
- [13] 王军, 卢立新, 王志伟. 产品破损评价及防护包装动力学研究[J]. 振动与冲击, 2010, 29(8): 43—45.  
WANG Jun, LU Li-xin, WANG Zhi-wei. Kinetics of Product Damage Assessment and Protective Packaging[J]. Journal of Vibration and Shock, 2010, 29(8): 43—45.
- [14] 丁毅, 董顺兰, 杨冠波. 基于包装件脆值的模糊推理方法的研究[J]. 包装工程, 2008, 29(1): 61—62.  
DING Yi, DONG Shun-lan, YANG Guan-bo. Study of Fuzzy Reasoning Methods Based on Packaging Fragility[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 61—62.
- [15] 张彬, 高强. 笔记本电脑跌落测试仿真分析与研究[J]. 计算机辅助设计, 2014, 34(5): 11—12.  
ZHANG Bin, GAO Qiang. Free Fall Test Simulation Analysis and Research Based on Laptop Abstract[J]. Computer Aided Design, 2014, 34(5): 11—12.