

PET 光栅包装结构设计及安全性能试验

阳培翔, 刘坤宏, 陈莉, 彭琪, 彭丽霞

(四川省宜宾普什集团 3D 有限公司, 四川 宜宾 644007)

摘要: **目的** 开发一种具有双重防伪功能的双开式聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 光栅包装结构, 并研究其在运输振动、耐压堆码、垂直跌落翻滚过程中的安全性能。 **方法** 以 PET 光栅为盒体材料, 通过双重防伪结构模切和内贴兑奖防伪码, 采用模拟运输振动、抗压堆码及水平垂直跌落翻滚的方式进行安全性能试验, 并对包装的正弦振动、抗压强度、跌落速度变化量进行分析验证。 **结果** 对此包装在开启防伪结构、抗冲击力等方面进行了优化设计, 整体包装件达到安全性能的要求, 在一定程度上提升了包装安全防伪水平及消费者开启体验感等。 **结论** 该包装通过双重撕裂开启结构, 达到包装不可循环使用、防伪标识可兑奖等功能, 具有极强的防伪功能和保护作用。

关键词: PET 光栅包装盒; 双重防伪结构; 运输振动; 抗压堆码; 垂直跌落; 抗冲击力

中图分类号: TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)23-0258-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.23.038

The Structural Design of PET Lenticular Carton and Its Safety Performance Test

YANG Pei-xiang, LIU Kun-hong, CHEN Li, PENG Qi, PENG Li-xia

(Sichuan Yibin Push Group 3D Co., Ltd., Yibin 644007, China)

ABSTRACT: The work aims to develop a double-open PET lenticular carton with dual anti-counterfeiting function, and to study its safety performance during their transportation vibration, compressive stacking, and vertical dropping and rolling. The carton was formed with PET lenticular sheet by means of die cutting, and then a label with anti-counterfeiting code was stuck on the inner side of the sheet. The variation of the carton's sinusoidal vibration, compressive strength and dropping speed was analyzed and verified by means of simulated transportation vibration, compressive stacking, and dropping and rolling at horizontal and vertical directions. The package was optimized in terms of opening anti-counterfeiting structure and impact strength. The whole package met the requirements of safety performance and improved its security level and consumers' opening experience to a certain extent. The package stuck with the label with anti-counterfeiting code and redeemable number on the inner side cannot be re-used, because it cannot be opened without tearing its cutting line. It has extremely strong anti-counterfeiting function and protective effect.

KEY WORDS: PET lenticular carton; dual anti-counterfeiting structure; transportation vibration; compressive stacking; vertical drop; impact strength

现有的包装安全性较差, 包装的信息传递停留在纸质上, 缺少最新的数码化应用, 商品包装缺乏有效

的防伪手段, 不具备商品溯源、追踪、信息推广等功能^[1-3], 假冒伪劣产品趁机进入市场。同时, 在物流

收稿日期: 2019-10-20

作者简介: 阳培翔 (1978—), 男, 硕士, 四川省宜宾普什集团 3D 有限公司高级工程师, 主要研究方向为高分子材料新型加工工艺及设备, 酒类包装新材料、工艺应用。

通信作者: 刘坤宏 (1978—), 男, 硕士, 四川省宜宾普什集团 3D 有限公司工程师, 主要研究方向为 3D 光栅包装结构、工艺设计及应用。

运输过程中，跌落和冲击是造成包装件破损和白酒泄漏的重要原因^[4]，给消费者带来了不利影响。为了保护消费者的权益和商家的经济利益，怎样将产品完好无损地运往世界各地消费者手中，已成为运输包装件产品的热点问题^[5]。避免产品在流通过程中损坏的一个有效手段是提高其运输包装的可靠性^[6]，而振动和冲击是损坏最主要的原因^[7-8]，其中跌落所造成的冲击，容易超出产品的固有脆值，使产品损坏^[9-10]。

在市场经济高速发展的今天，对包装防伪性能的要求越来越高，文中设计一种不可重复使用，又具有双重防伪功能的双开式新型 PET 光栅包装结构。该设计方案采用中层顶盖开启和铆钉防伪区域开启 2 种新型方式，为消费者提供了特有的开启体验感，而且任意一种开启方式都彻底破坏盒体，使得包装盒无法重复使用，具有很强的防伪功能和保护作用。同时，充分利用中层顶盖内侧作为兑奖区域，满足消费者的兑奖乐趣与溯源需求。

1 PET 光栅包装结构设计

1.1 双重防伪功能结构

不可重复使用双重防伪功能的双开式光栅防伪包装盒（以下简称光栅包装），使用 0.6 mm 75 lpi PET 柱镜光栅片材轧制而成，包括盒体、盒底和盒盖三部分，见图 1。内置物封装完成后，依次将 2 个相对的侧翼防尘顶盖 212 和 217、中层顶盖 213、半圆形顶盖 210 往内折叠成 90°，同时半圆形顶盖 210 上的上铆钉孔 510 与中层顶盖 213 上的下铆钉孔 511 相对应后，使用铆枪插入铆钉。完整的铆钉包括铆枪受力区 1、有色铆钉外部 2 和铆钉固定区 3，见图 2。将铆钉的 2 以下部分插入铆钉孔，以铆枪受力区 1 朝上对铆枪加压后，铆枪受力区 1 脱落，2 以下区域变形爆开后铆住下铆钉孔 511。

消费者在拆封的过程中有 2 种开启方式：向上

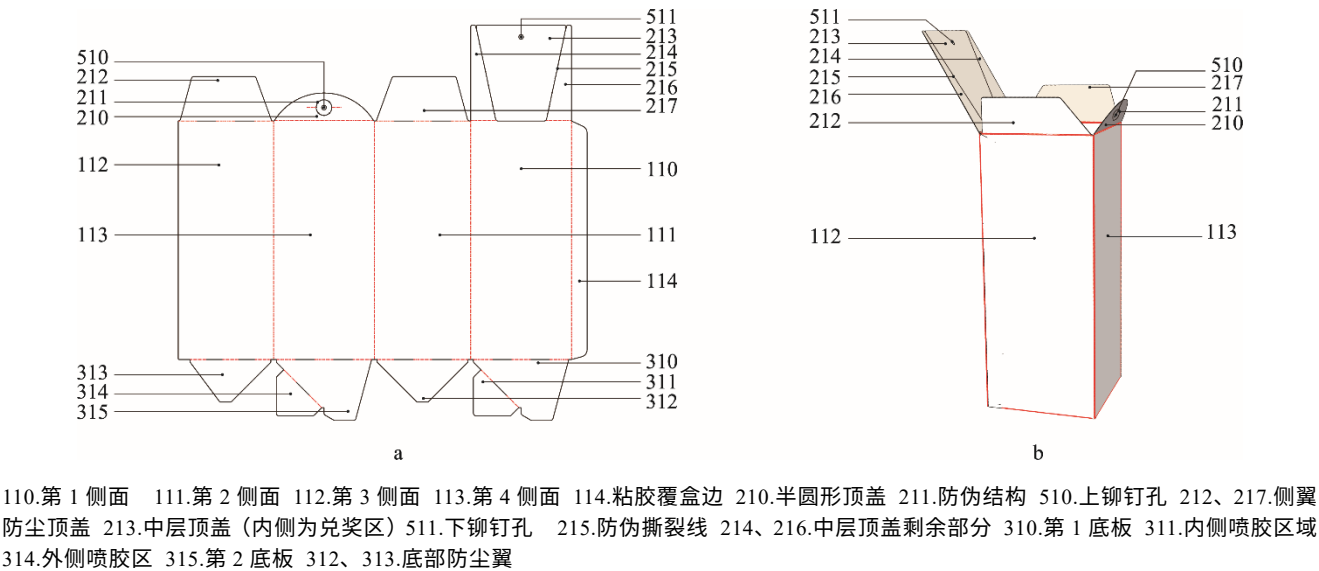


图 1 不可循环使用包装盒展开状态及结构
Fig.1 The unfolding state and structure of a non-reusable carton

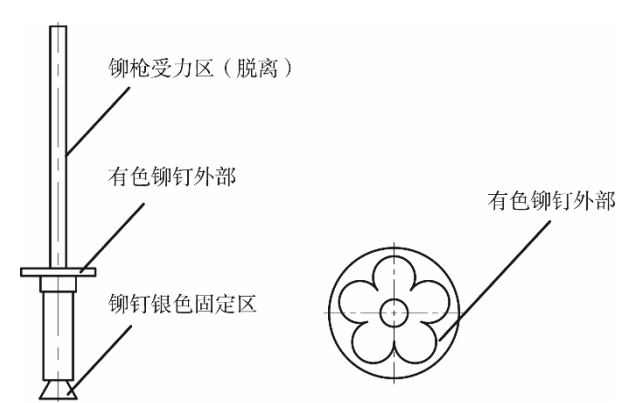
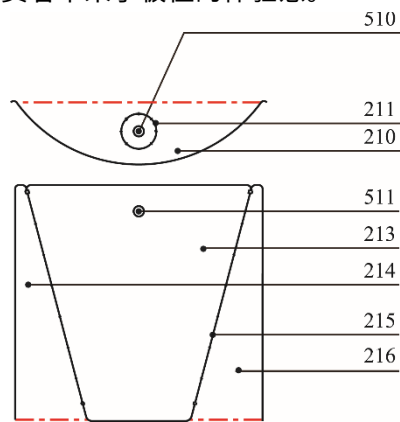


图 2 铆钉结构
Fig.2 Rivet structure

拉起 210，破坏防伪结构 211 及上铆钉口 510，将 210 剥离 213，再掀开 213 和 214、216 即打开封装，取出盒内的物品；手捏撕裂口 213 沿防伪撕裂线 215 撕开，从而使得 213 与中层顶盖 214、216 部分分开，破坏防伪结构 211 及上铆钉口 510，213 随即脱落，此时将 210 和 214、216 打开，即可取出盒内产品。在未开箱前，消费者可通过观察防伪撕裂线 215 和铆钉是否完整来判断盒体是否被开启过。在防伪撕裂线 215 完整的情况下，想要在不破坏盒体的情况下取出内装物，则需要将 210 与 213 分离，由于 210 与 213 通过铆钉连接，因此只有将铆钉破坏才能分离 210 和 213，才能取出内装物，见图 3。综上所述，防伪撕裂线 215 和防伪结构 211 中任一被破坏，则说明包装

盒在封箱后曾被打开过,因此,不论是哪种开启方式,都可以通过观察包装盒的完整性来判断它是否被打开过,具有较强的防伪性能,而且新颖的双重开启方式也给消费者带来了极佳的体验感。



210.半圆形顶盖 211.防伪结构 213.中层顶盖（内侧为兑奖区）
214、216.中层顶盖剩余部分 215.防伪撕裂线 510上铆钉口 511.下铆钉口

图3 不可循环使用包装盒的展开完整状态

Fig.3 Expansion of the non-reusable carton at closed state

1.2 开启力与舒适性

图1中半圆形顶盖210内,防伪结构211是由点

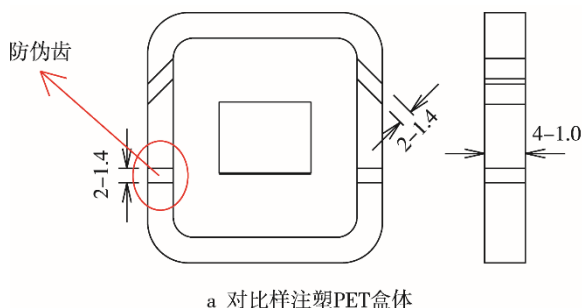


图4 防伪结构

Fig.4 Anti-counterfeiting structure

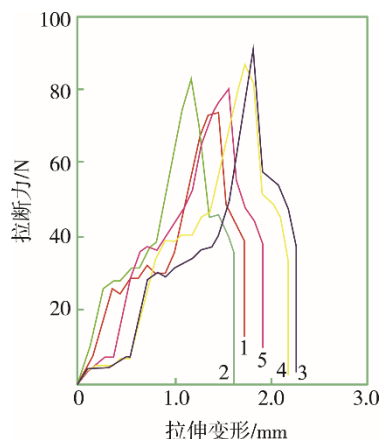


图5 防伪撕裂结构连接点的拉断力-形变曲线

Fig.5 Break force-deformation curve of the link point on the anti-counterfeiting structure

状撕裂线构成。所谓点状撕裂线是指通过若干个连接点间隔形成。根据防伪区域的大小以及预设的施力极限,通常设置酒类包装盒的优选连接点的数量为6~8个。为了良好的开启体验,防伪结构211等分点中选取7个直径相同的等分点设置连接点,见图4。未设置连接点的是距离上层顶盖连接侧最远端点,此时开启时受力位置集中在防伪结构的上部,杠杆效应更加强烈,开启更容易,极易成为被撕裂开的第一处,并由此依次撕开防伪区域,开启更加便利。其他白酒防伪包装也具有类似的设计,见图4a和b。

设计制作不同宽度的防伪撕裂结构连接点,采用XLW(L)-PC型智能电子拉力机,进行开启力测试,拉伸速度为50 mm/min,结果见图5。不同材质制作的盒体,不同连接点宽度的撕裂结果见表1。可以看出连接点太窄,在运输、搬运过程中易断齿;过宽,开启费力。为兼顾盒体结构强度,又要保证客户开启体验,测量了某知名白酒每年5000万个以上用量的透明PET注塑盒体,其防伪撕裂结构的开启力为76.9~82.8 N,注塑聚丙烯(PP)内盖撕裂开启力由150~180 N降低到70~100 N,用户体验好感得到大幅提升。参照这些结果,光栅包装最终采用宽度为0.71 mm的连接点,开启力大小适中,有好的强度也有好的开启体验感。

2 PET光栅包装安全性能分析

2.1 试验过程

在物流运输环境中,光栅包装要经过多次的搬运、运输、存放堆积等环节,最后才能到达消费者手中。在这个过程中,运输振动、堆码载荷、垂直跌落翻滚等危害因素,都会引起光栅包装的破损,因此,模拟包装运输测试对于光栅包装的防护性能、结构设计的改进及提高包装质量都有重要的作用。试验样品为每个运输包装箱500 mL,白酒毛质量为8.2 kg。

1) 运输振动测试。参照GB/T 4857.7《包装运输包装件正弦振动(定频)试验方法》进行。将1箱产品按正常生产方式置于运输包装中封箱,放置于VTR-100模拟运输试验台(生产厂家:锦辉试验设备

表 1 不同结构开启力
Tab.1 Open force of various structures

样品	防伪齿宽/mm	开启力/N				
		PET光栅盒	PET光面盒	纸盒	注塑PET盒体	注塑PP内盖
样品1	0.3	46~95	45~49	3~13		
样品2	0.5	46~96	54~57	6~12		
样品3	0.71	73~90	64~67	10~16	76.9~82.8	70~100
样品4	0.9	78~90	75~80	15~28		
样品5	1.05	85~100	84~90	27~59		

注：350 g/m²纸厚度为 0.49 mm，PET 光面片、PET 光栅片厚度为 0.6 mm

制造厂)上。试验样品要尽量接近台面中心,调整保护设施的位置,使试验样品在任意水平方向上有大约 1.6 mm 的振动距离。将试验样品的正弦振动(定频)试验振幅调整在 3 Hz 的频率下振动,并逐渐提高频率达到 5 Hz,持续振动不同时间,模拟包装件底部所受到的振动情况。

2) 堆码载荷测试。根据 GB/T 4857.4—2008《包装运输包装件基本试验第 4 部分:采用压力试验机进行的抗压和堆码试验方法》^[11—12]要求,将试验包装件按预定状态置于水平面上,使它均匀与平板接触,以保证载荷的重心处于包装件顶面中心的上方。压板以 (10±3) mm/min 的速度施加压力,随着压力的增加,包装件承受的负荷也会增大,到达一定压力值时,测量其尺寸并计算相应的变形量。

3) 跌落、翻滚测试^[13—16]。参照 GB/T 4857.5《包装运输包装件跌落试验方法》、GB/T 4857.14《包装运输包装件倾翻试验方法》,在双翼跌落试验机 XL-2000A(深圳市信立计量技术有限公司)上进行。到目前为止,关于在运输过程中对货物冲击的影响情况已有大量试验研究,其中一个发现就是与跌落高度有关^[17]。倾斜包装箱直至重力线通过底菱,自然失去平衡,使其正面和侧面倾翻到预定的冲击面上,分别达到 1 周后,包装箱正面朝上,检查包装箱内物件是否完好。

4) 高低温试验。在环境为 60℃的恒温箱内放置 72 h,立即进行模拟振动试验,迅速返回 60℃恒温箱内放置 8 h,再即刻进行跌落试验;在-20℃的环境内存放 24 h,立即进行模拟振动试验,再返回-20℃环境 8 h,即刻进行跌落试验,观察试验样品的变化。

2.2 理论分析

2.2.1 定频振动

模拟包装件在实际运输过程中可能经受各种振动,特别是汽车在公路上飞驰时,通过凹凸不平的路面、变速、转向、紧急制动等因素,都将会引起内装物的冲击力,需要检测包装件是否对内装物起到减震的保护作用。

正弦定频振动试验原理是,将 1 箱完整的运输试验样品,放在模拟运输振动台上,在预定的时间内将包装件在规定的振动加速度和不同的频率下进行振动,其振动状态的物理方程见式(1)。

$$\alpha=A\omega^2 \tag{1}$$

式中:α为振动加速度(cm/s²);A为振幅(cm);ω为振动角速度,ω=2πf;f为振动频率(Hz)。

由此可知,振动加速度、振幅、振动频率中任何 2 个已知量,就可得到第 3 个未知量。

2.2.2 抗压强度

堆码试验是模拟包装件在流通过程中较长时间内的静力压载,检验各种包装体、纸箱耐压强度及包装件的承载能力,目的是检测包装件能否承受预定的堆码载荷强度及在堆码载荷强度下,包装件底部和顶部的承载能力及包装物之间的堆码抗压强度。

包装件要求有一定的耐压强度,是因为包装商品后在贮运过程中堆码在最低层的包装件受到上部包装件的压力,为了不至于压溃,测定底层包装件及内部件的变形量,进而研究堆码时间和堆码强度的关系,其抗压强度按式(2)计算。

$$p=\frac{km g}{n-1}=\frac{km g}{H/h-1} \tag{2}$$

式中:p为包装件耐压强度(N);m为包装件质量(kg);n为包装件最大堆码层数(n=H/h);H为包装件最大堆码高度(mm);h为单个包装件高度(mm);k为受环境影响的堆码安全系数,流通时间小于 1 d,k取 1.0,流通时间为 1~3 d,k取 1.2,流通时间为 3~6 d时,k取 1.5,流通时间>6 d时,k取 2.0。

2.2.3 跌落冲击

包装产品在运输、搬运期间可能受到的自由跌落冲击。机械结构系统在受到瞬态外部激励时其力、位移、速度或加速度发生急剧变化,加速度在短时间内(一般为 20 ms)迅速增大,然后在极短的时间内迅速减小^[18]。包装件只有在此过程中经得起不同的冲击响应,包装产品才能得到有效的保障。

不同的产品表现出不同的产品脆值^[19-20],是产品的固有特性,是产品承受冲击能力的综合反映。脆值 G 是跌落冲击时的临界加速度。 G_m 来表示最大的加速度 a 与重力加速度 g 的比值,只有包装件跌落冲击的强度在 $G_m \leq G$ 条件下,产品才能不被破坏。

$$G_m = a/g \quad (3)$$

式中: a 为产品加速度; g 为重力加速度(一般取值 9.8 m/s^2)。

3 试验结果

将光栅盒在 $3 \sim 5 \text{ Hz}$ 的频率下做定频试验,振动加速度是 $(0.75 \pm 0.25) g$,按正弦振动波形进行垂直振动 20 min ,历经 $14\ 200$ 次振动,也就是 90 min 左右的测试,无论是高、低温以及冷热循环后,包装盒和标牌、徽标的变化没有任何异常。这一运输模拟测试结果,相当于在正常运输公路上进行了 1500 km 以上的运输测试,见表 2。受试验条件的限制,运输模拟试验只能在常温下进行。

表 2 公路运输时的振动持续时间
Tab.2 Vibration duration during highway transportation

振动 时间/min	路程/km	
	正常运输条件	恶劣运输条件
10	运输时间小于 1 h	正常运输条件时间 值的 2 倍
40	$1000 \sim 1500 \text{ km}$ 以内	
60	超过 1500 km	

一般来说,瓦楞纸箱包装件堆码高度通常在 450 cm 左右,贮存时间少于 30 d ,安全系数 $k=1.6$;贮存时间 $30 \sim 100 \text{ d}$,安全系数 $k=1.65$;贮存时间 100 d 以上,安全系数 $k=2$,纸箱抗压强度必须大于堆码载荷,包装物才不会产生变形、破损等现象。影响堆码试验的抗压强度的因素是堆码高度和持续时间,在基本的环境下有一定的范围,见表 3。光栅盒包装箱堆码高度在 450 cm 左右,贮存时间少于 24 h 测试,没有任何异常。

表 3 堆码试验持续时间及其堆码高度
Tab.3 Duration of stacking test and stacking height

贮存方式	基本值	适用范围
公路	1 d , 2.5 m	$1 \sim 7 \text{ d}$, $1.5 \sim 3.5 \text{ m}$
储存	$1 \sim 7 \text{ d}$, 3.5 m	$1 \sim 28 \text{ d}$, $1.5 \sim 7 \text{ m}$

在跌落过程中,按照表 4 的规定,光栅包装盒的最大跌落高度为 80 cm ,水平翻滚 1 周,无论是高、低温以及冷热循环后,包装盒和白酒瓶上的标牌、徽标的变化没有任何异常。

表 4 不同质量规格包装箱跌落高度
Tab.4 Drop height of lenticular cartons of different weights

包装质量/kg	跌落高度/cm	产品最大速度变化/ $(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
$0 \leq m < 10$	107	915
$10 \leq m < 19$	92	848
$19 \leq m < 28$	76	772
$28 \leq m < 45$	61	691

4 结语

针对市场的不同需求和现有光栅包装的结构,设计的结构具有双重开启功能,并且任意一种开启方式都会破坏箱体,不能重复使用包装产品,同时具有良好的开启体验感。经运输模拟、 80 cm 跌落与翻滚试验以及 450 cm 包装箱堆码,光栅包装表面无明显划伤脱落,箱体与瓶卡不破裂,撕裂线不自裂,防震垫不塌陷,酒瓶在盒内状态紧固、不跳瓶、不打转,盒内标准物件完好无损。说明光栅包装具有很强的防伪功能,同时具有一定的可靠性。

参考文献:

- [1] 邵誉铭. 一种新型包装箱: 中国, 201621172418.1[P]. 2016-10-26.
SHAO Yu-ming. A New Type of Packing Carton: China, 201621172418.1[P]. 2016-10-26.
- [2] 贾旭光. 一种新型可循环利用快递包装箱设计[J]. 物流技术, 2017, 36(4): 94—96.
JIA Xu-guang. An Innovative Design of Recyclable Logistical Packaging Carton[J]. Logistics Technology, 2017, 36(4): 94—96.
- [3] 李明富, 何宸. 智能型产品包装箱设计[J]. 成都航空职业技术学院学报, 2014, 30(1): 50—52.
LI Ming-fu, HE Chen. Design of Intelligent Product Packing Carton[J]. Journal of Chengdu Aeronautic Polytechnic, 2014, 30(1): 50—52.
- [4] 祖景平, 薛澄岐. 手机跌落破坏仿真分析研究[J]. 中国制造业信息化, 2006, 35(11): 68—70.
ZU Jing-ping, XUE Cheng-qi. Simulation Analysis of Mobile Phone Drop Failure[J]. China Manufacturing Informatization, 2006, 35(11): 68—70.
- [5] 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.
ZHANG Lu, DING Yi. Dropping Simulation Analysis of Corrugated Cartones Based on Ansys/LS-DYNA[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science & Technology, 2014.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 苏红波. 瓦楞纸箱及组成原料物理性能检测[J]. 上海包装, 2015(3): 53—55.
SU Hong-bo. The Physical Properties Test of the Materials and Corrugated Carton[J]. Shanghai Packaging, 2015(3): 53—55.
- [12] 李洪贵. 一种异形多边形瓦楞纸箱抗压性能研究[J]. 包装工程, 2013, 34(13): 52—55.
LI Hong-gui. Research on the Compression Performance of a Profile Polygon Corrugated Carton[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(13): 52—55.
- [13] 电工电子产品环境试验国家标准汇编(第2版) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
Compilation of National Standards for Environmental Testing of Electrical and Electronic Products (2nd Edition)[S]. Beijing: China Standards Press, 2001.
- [14] 孟立凡, 郑宾. 传感器原理及技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
MENG Li-fan, ZHENG Bin. Sensor Principle and Technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005.
- [15] 祝诗平. 传感器与检测技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
ZHU Shi-ping. Sensors and Detection Technologies[M]. Beijing: China Forestry Press, 2006.
- [16] 王怀奥, 计宏伟. 包装工程测试技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
WANG Huai-ao, JI Hong-wei. Packaging Engineering Testing Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [17] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2006.
PENG Guo-xun. Logistics Transportation Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2006.
- [18] 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, 2007.
WANG Chun-lin. Computer Stress Simulation of Drop Impact of Liquid Storage Vessel[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [19] 宋宝丰. 产品脆值理论与应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2002.
SONG Bao-feng. Theory and Application of Product Brittleness[M]. Changsha: National Defense University of Science and Technology Press, 2002.
- [20] 李建华, 黄雪. 产品的脆值及其测定方法探析[J]. 北京: 北京印刷学院学报, 2013, 11(4): 8—10.
LI Jian-hua, HUANG Xue. Brittleness of Products and Its Determination Method[M]. Journal of Beijing University of Printing, 2013, 11(4): 8—10.