

基于缓冲材料选择的打印机防护包装设计

王妮睿, 陈景华, 尤飞, 田叶青
(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 提高打印机包装的缓冲性能, 避免打印机在流通过程中可能造成的外观性功能性损坏, 而造成不必要的损失。**方法** 通过缓冲材料动态压缩实验, 分析对比 EPE 和 EPS 的缓冲性能, 从而设计缓冲结构, 使整体包装具有优良的容装性、保护性和方便性。对包装件进行包装测试。**结果** 经过分析对比厚度相同的 EPE 和 EPS 可知, EPE 吸收的能量更多, 缓冲性能更强。A 瓦相较于 B、E 瓦的边压强度更高、缓冲强度更好。**结论** 选择 EPE 作为缓冲材料, A 型瓦楞纸板作为外包装材料设计打印机的整体运输包装。经震动测试加速度在许用范围之内时装载物并未受到损坏, 跌落测试下包装件未受到严重损坏, 因此打印机整体运输包装具有可行性。

关键词: 打印机; 整体包装; 缓冲结构; 包装测试

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)07-0126-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.07.023

Protective Package Design of Printer Based on Buffer Material Selection

WANG Ni-rui, CHEN Jing-hua, YOU Fei, TIAN Ye-qing
(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the buffer performance of the printer package, in order to avoid the fact that the printer may cause appearance and function damage in the circulation process, thus resulting in unnecessary losses. Through the dynamic compression test of buffer material, the buffer performance of EPE and EPS was analyzed and compared to design the buffer structure, so as to enable overall package to have excellent containment, protection and convenience. The packaging test was conducted on the packages. After the analysis and comparison of EPE and EPS of the same thickness, EPE absorbed more energy and had stronger buffer performance. Compared with B and E corrugated paperboards, A corrugated paperboard had higher edgewise compression strength and better buffer strength. With EPE as the buffer material and A corrugated paperboard as the outer packaging material, the printer's overall transportation package is designed. By vibration test, when the acceleration is within the allowable range, the loaded goods are not damaged, and the package is not seriously damaged in the drop test. Therefore, the overall transportation package of the printer is feasible.

KEY WORDS: printer; overall package; buffer structure; packaging test

打印机在流通过程中所受到碰撞、冲击等影响可能会导致设备的失灵或表面的划损, 所以做好防护缓冲包装刻不容缓。可发性聚苯乙烯 (EPS) 和可发性聚乙烯 (EPE) 泡沫塑料是最常用的 2 种缓冲材料, 市场上对于打印机的缓冲材料的选择绝大多数为

EPS, 但是 EPS 在使用过程中易掉渣, 易起静电, 容易划伤打印机表面^[1]。与此同时瓦楞纸板、蜂窝纸板、气囊等在打印机的缓冲包装中也有应用。据调查市面上大多数的外包装箱都是采用的 0201 型, 约有 60%, 使用其他型号瓦楞纸箱包装占调查总数的 40%。在包

收稿日期: 2017-09-17

基金项目: 上海市教委本科重点课程 (包装材料学) 项目; 上海市属高校应用型本科试点专业建设 (包装工程) 项目 (10-17-309-004)

作者简介: 王妮睿 (1994—), 女, 上海理工大学硕士生, 主攻包装技术。

通信作者: 陈景华 (1970—), 女, 博士, 上海理工大学副教授, 主要研究方向为包装印刷材料。

装用材上，B 型瓦楞纸箱是最为常用的外包装材
料^[2-3]。在结构上，其具有良好的防振、防冲击性能，
用在容易受损的结构进行加强防护。市面上有加厚缓
冲材料、更换防护性能更好的缓冲材料或者是一些特
殊的结构设计。文中选择较为典型的惠普黑白激光打
印机 1018 作为此次的研究对象，对缓冲材料性能进
行分析，设计性能更优的整体运输包装。

1 缓冲材料性能测试与分析

1.1 实验材料

塑料缓冲材料为 EPE 和 EPS。EPS：底面积为
100 mm×100 mm，厚度为 30, 45, 60 mm,平均质量为
3.4, 5.1, 6.8 g, $\rho \approx 0.0115 \text{ g/cm}^3$ 。EPE：底面积为 100
mm×100 mm，厚度为 20, 30, 40, 60 mm，平均质量为
3.42, 5.13, 6.84, 10.26 g, $\rho \approx 0.0115 \text{ g/cm}^3$ 。瓦楞纸板
为 A, B, E 这 3 种楞型。A, B, E 型瓦楞样本各准备尺
寸为 100 mm×25 mm 的矩形和半径 $R=50 \text{ mm}$ 圆形。

1.2 实验设备

缓冲泡沫材料动态压缩实验仪器有 HD-412 缓冲
材料动态压缩仪、AL104 型电子天平。瓦楞纸变强度测
试实验仪器有 ZYD-3A 型电子式压缩试验仪、YQ-Z-43
平压取样器、YQ-Z-44A 边压取样器。振动试验仪器有
W7000 振动仪。跌落实验仪器有 PDT80 臂式低落试
验机。

1.3 材料性能测试及分析

1.3.1 EPE 和 EPS 缓冲性能

在温度为 20 ℃，相对湿度为 45%的环境中，3
种厚度的 EPS 和 EPE 试样，跌落高度为 20 cm 进行
实验，拟合最大加速度-静应力曲线见图 1—2，实验
数据见表 1。

曲线呈近似开口向上抛物线，材料刚开始受到重
锤的冲击时，变形量增加，吸收势能转化能量增多，
重锤的最大加速度减小；当材料的形变达到极限时，
吸收能量最多，重锤的加速度也就是最小值；随着冲
击质量的继续增加，重锤传递给形变材料的能量一部
分被材料吸收，另一部分被传递回质量块，导致最大
加速度增加。相同厚度的 EPE 和 EPS 曲线对比可知，
EPE 比 EPS 的曲线偏下、偏右，也就是说在冲击加
速度相同的情况下，EPE 所能承受的冲击载荷越大，
可以吸收更多的冲击动能，因此缓冲性能更优^[4-9]。

对厚度为 30 mm，跌落高度为 20 cm 的 EPE 每
块材料完成每一次动态压缩实验的材料进行观察，并
在静置 1 min 后测量其残余厚度，并根据式（1）计
算弹性变形厚度。计算结果见表 2。

表 1 厚度不同时 EPS 的实验数据
Tab.1 The experimental data of EPS of different thicknesses

材料	厚度	组别	静应力/kPa	峰值加速	最大应力/kPa
EPS	30	1	4.90	11.70	42.99
		2	3.92	10.97	57.33
		3	2.94	10.53	30.47
		4	1.96	10.36	20.65
		5	0.98	10.94	10.73
	45	1	0.98	6.80	26.45
		2	1.96	5.40	43.10
		3	2.94	5.6	30.31
		4	3.92	7.25	20.26
		5	4.90	10.25	10.22
	60	1	0.98	6.81	6.68
		2	1.96	4.61	19.45
		3	2.94	4.42	24.00
		4	3.92	5.80	31.93
		5	4.90	9.93	25.18
EPE	20	1	0.98	10.69	10.48
		2	1.96	7.76	15.22
		3	2.94	9.82	28.88
		4	3.92	10.51	41.73
		5	4.90	10.64	51.50
	40	1	0.98	7.10	23.46
		2	1.96	5.40	6.96
		3	2.94	4.52	26.45
		4	3.92	6.02	28.08
		5	4.90	8.40	43.10
	60	1	0.98	4.36	4.28
		2	1.96	3.39	6.50
		3	2.94	3.32	9.98
		4	3.92	4.33	16.96
		5	4.90	5.29	25.94

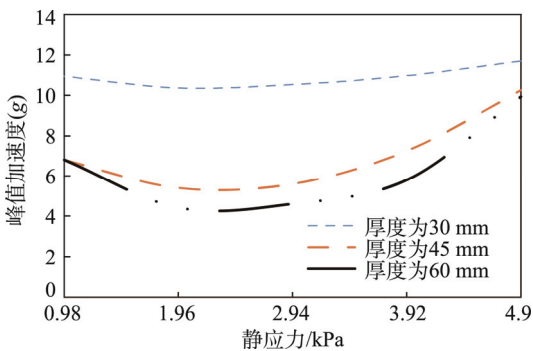


图 1 不同厚度的 EPS 的最大加速度-静应力曲线
Fig.1 Maximum acceleration-static stress curve of EPS of different thicknesses

受力后的变形量 EPE 小于 EPS。EPE 具有良好
的恢复性能，在受到冲击后变形 0.5 mm。在第 2 次
冲击时基本达到缓冲极限，且回弹速度快于 EPS。EPS
材料在第 1 次受到冲击时产生的形变较大，因此第 1

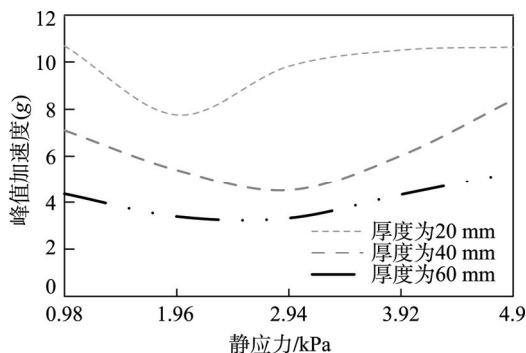


图 2 不同厚度的 EPE 的最大加速度-静应力曲线

Fig.2 Maximum acceleration-static stress curve of EPE of different thicknesses

表 2 发泡塑料的残余厚度

Tab.2 The residual thickness of the foamed plastic

材料	材料厚度 l_0 /mm	静置 1 min 后的残余厚度/mm					变形量/%
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	
EPS	30	28.7	28.3	27.9	27.8	27.8	7.3
EPE	30	29.8	29.7	29.6	29.6	29.5	1.7

次受到冲击时 EPS 的缓冲性能要好于 EPE, 但 EPS 回弹速度较慢, 在受到第 4 次, 第 5 次冲击时基本没有产生压缩, 说明在第 3 次冲击时材料已达到极限, 变形量为 2.2 mm, 因此在多次冲击下 EPE 的变形量更小, 回弹大, 缓冲性能好^[10-11]。

$$\delta = \frac{l - l_0}{l} \times 100\% \quad (1)$$

式中: δ 为发泡塑料的形变量; l 为静置 1 min 后的残余厚度 (mm); l_0 为材料原始厚度 (mm)。

通过实验以及性能研究, 将选取 EPE 为缓冲结构的主要材料, 其原因有: EPE 材料的缓冲性能优于 EPS; EPE 相对柔软, 不会刮伤打印机表面的印刷层或表面材料; 在使用过程中可以回收, 绿色环保, 是现代人所提倡的绿色材料; EPE 材料粘贴塑形, 便于非专业人员组装, 不需要专门的塑形机械。

1.3.2 外包装材料分析

现取 A 瓦、B 瓦、E 瓦 3 种瓦楞纸板进行边压平压性能测试, 测试结果见 3。

表 3 各种瓦楞纸板的力学性能

Tab.3 Mechanical properties of all kinds of corrugated paperboards

类型	边压强度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	平压强度/MPa
A 型瓦楞	1.62	0.25
B 型瓦楞	0.89	0.80
E 型瓦楞	1.52	0.85
分析比较	A>E>B	E>B>A

根据以上分析, 该次设计选用缓冲性能优良的 UV 型 3 层 A 瓦。A 瓦相比 B 瓦和 E 瓦, 边压强度高, 弹性好, 缓冲性能高, 可以很好地防护打印机这种易

损的电子产品。

2 印机整体运输包装设计

缓冲衬垫的结构将采用局部缓冲包装法, 采用 EPE 板材模切拼接成型结构和将衬垫直接粘贴在纸箱上相结合的方式, 这种方式节约了材料成本, 可以防止缓冲衬垫移动, 包装操作方便, 运输空间占用量小便于大批量生产。

2.1 打印机包装缓冲结构设计

2.1.1 缓冲材料的面积和厚度计算

在缓冲结构设计时, 应该选择适当的缓冲材料的厚度及大小, 这样才既能保证在流通过程中使包装件中的内装物不会受到损坏, 又能节约成本, 不会造成过度包装, 使环境增加负担。惠普 1018 打印机包装过程中已知的参数为, 打印机的质量为 5 kg, 底面尺寸为 370 mm×242 mm, 根据 ISTA-1A 跌落测试标准, 最高跌落高度为 762 mm。为了便于计算取等效跌落高度为 700 mm^[12], 产品脆值 G_c 为 60^[13], 聚乙烯泡沫塑料最小缓冲系数值 $C_{\min}=3.8$, 最大应力 $\sigma_{\max}=170$ kPa, 可得出缓冲衬垫厚度 $D \approx 4.33$ cm, 缓冲垫面积 $A \approx 173$ cm²^[14-15]。

2.1.2 打印机缓冲结构设计

选用密度 $\rho=20$ kg/m³, 厚度 $d=45$ mm 的 EPE 材料进行缓冲结构的设计, 使用 E 瓦将缓冲衬垫与箱体贴合。2 种材料的串联增加了缓冲性能, 提高了外箱的平压强度, 底部 EPE 衬垫三视图和立体图见图 3。EPE 底部衬垫整体尺寸为 434 mm×306 mm×75 mm, 在衬垫底部 4 个角粘贴了 4 片衬垫, 增加了包装件角的缓冲强度^[16-19]。

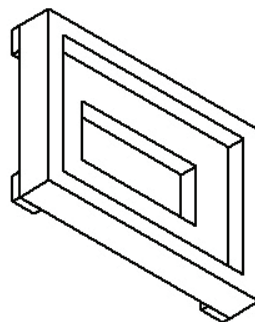


图 3 EPE 底部衬垫三视图

Fig.3 Orthographic view of EPE bottom pad

打印机内部顶部缓冲衬垫结构见图 4, 尺寸为 434 mm×306 mm×45 mm。凹槽的作用不仅为固定硒鼓和一系列打印机附属产品, 也可以用作间壁将打印机附件和硒鼓进行分隔, 可使两者不会发生碰撞冲击或者摩擦而出现损坏, 同时可以对打印机的顶部以及零部件进行缓冲保护。

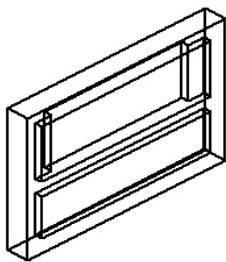


图 4 EPE 顶部衬垫三视图
Fig.4 Orthographic view of EPE top pad

2.2 打印机外包装

内尺寸就是所要容装的物品尺寸大小,内尺寸大小为 34 mm×311 mm×397 mm。经计算得出制造尺寸 $L_1=L_3=439$ mm, $B_3=311$ mm, $B_4=308.5$ mm, $H_5=414.5$ mm, $H_6=H_8=402$ mm, $H_7=407$ mm, 外纸箱平面图见图 5。

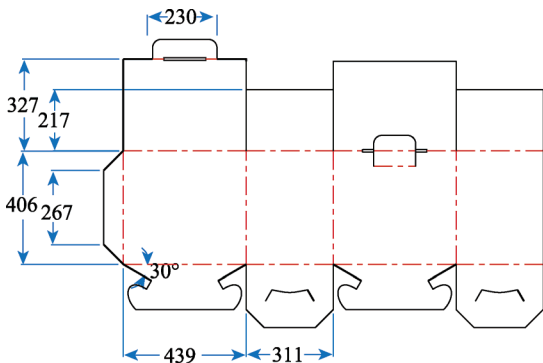


图 5 打印机外包瓦楞纸箱平面结构
Fig.5 Planar structure of printer's outer corrugated paperboard

插锁式作为盒盖结构,牢固可靠,又方便消费者开启和多次启用,见图 6。盒底采用 EAR HOOK DOUBLE LOCK 底,此结构虽然相较于一般纸箱较为复杂,但是承受力也比其他和低结构要结实,而且此结构无需采用胶带封底,可直接将“双耳”结构插入缝隙中得到^[20], 包装箱的组装见图 7。

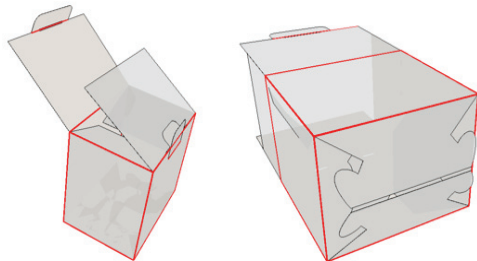


图 6 打印机外盒立体结构
Fig.6 The three-dimensional structure of the printer's outer box

3 包装测试

3.1 振动测试

测试采用 ISTA 1 标准:测试第 1 阶段频率为 2~5



图 7 缓冲包装组装
Fig.7 Buffer packaging assembly

Hz 的扫频,第 2 阶段进行频率为 2 Hz 的 14 200 的振动,持续时间 47 min。测试环境:温度为 20 ℃,相对湿度为 45%。测试结果:在 2~5 Hz 范围内,加速度在许用范围之内,加速度-频率曲线见图 8。由包装件实际振动后情况分析,打印机缓冲包装没有显著破损,打印机可以正常工作^[21-23]。

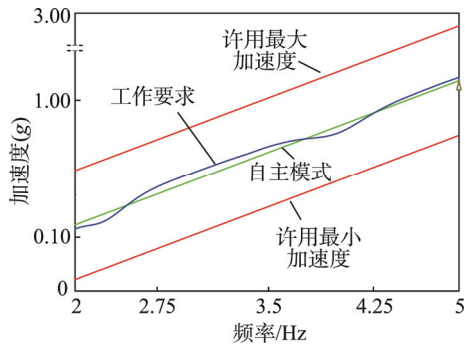


图 8 打印机振动试验加速度-频率曲线
Fig.8 Printer vibration test acceleration-frequency curve

3.2 跌落测试

测试标准为 ISTA 跌落标准,将采用“一角、三棱、六面”跌落方式来进行。测试环境为温度 20 ℃,相对湿度 45%。测试结果:经过 10 次跌落测试,检查外包装和内部打印机损坏程度,外包装瓦楞纸箱有部分出现形变现象,但是在跌落后的打印机可以正常工作。损坏程度列于表 4。

表 4 包装件跌落受损情况
Tab.4 Package fall damage

类型	跌落方向	包装损坏程度	打印机是否正常工作
面跌落	1 面	轻微形变	是
	2 面	未损坏	是
	3 面	轻微形变	是
	4 面	未损坏	是
	5 面	轻微形变	是
	6 面	未损坏	是
楞跌落	3-6 楞	轻微形变	是
	3-4 楞	轻微形变	是
	4-6 楞	中度形变	是
角跌落	3-4-6 角	中度形变	是

4 结语

通过缓冲材料压缩实验分析比对,厚度为 60 mm 的 EPE 和 EPS,当静应力为 2.94 kPa 时, EPS 和 EPE 的最大加速度分别为 4.42g 和 3.32g, EPE 比 EPS 的曲线偏下、偏右,因此 EPE 吸收的能量更多,缓冲性能更强。比较动态冲击下 EPE 和 EPS 的形变量, EPE 小于 EPS,且 EPE 恢复时间更短,因此选择动态压缩性能更优的 EPE 作为缓冲衬垫的材料。

在瓦楞纸板的性能测试中, A 瓦的边压强度为 1.62 kN/m, 平压强度为 0.25 MPa, 相比于 B, E 瓦边压强度高、平压强度低,说明 A 瓦的防护性能更高,因此外包装选择缓冲性能优良的 A 型瓦楞纸板。

缓冲衬垫的结构采用了局部缓冲包装法,采用 EPE 板材模切拼接成型结构和将衬垫直接粘贴在纸箱上相结合的方式。外包装以插锁式为盖,双耳钩锁合为底,增强了整个包装的防护性能。包装件通过振动实验,加速度在需用范围之内,跌落实验中也并未显示出包装件受到显著损坏,验证了该防护包装的可行性。

参考文献:

- [1] 肖俊芳,肖生苓,高献策. 发泡型植物纤维缓冲包装材料研究现状及发展趋势[J]. 森林工程, 2013, 29(2): 62—64.
XIAO Jun-fang, XIAO Sheng-ling, GAO Xian-ce. Research Status and Development Trends of Foam Plant Fiber Cushion Packaging Materials[J]. Forest Engineering, 2013, 29(2): 62—64.
- [2] 欧冠男. 瓦楞纸箱的应用现状和发展趋势[J]. 印刷质量与标准化, 2009(12): 20—21.
OU Guan-nan. Application Status and Development Trend of Corrugated Box[J]. Printing Quality & Standardization, 2009(12): 20—21.
- [3] 吴石. 纸箱包装现状及发展趋势[J]. 今日印刷, 2003(9): 5—10.
WU Shi. Present Situation and Development Trend of Carton Packaging[J]. Print Today, 2003(9): 5—10.
- [4] 王文瑶,高铭,何霞. 缓冲包装材料的开发应用[J]. 包装世界, 2012(6): 25—26.
WANG Wen-yao, GAO Ming, HE Xia. Development and Application of Buffer Packaging Materials[J]. Packaging World, 2012(6): 25—26.
- [5] 杨帅. EPE 缓冲性能的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.
YANG Shuai. Research on Cushioning Properties of EPE[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2015.
- [6] LU Fu-de, LIU Xiong-jian, GAO De. Compression Response of Composite Cushioning Materials in Series by Virtual Parameter Methods[J]. Packaging Technology & Science, 2015, 28(10): 901—914.
- [7] GAO De, WANG Yu, LU Fu-de. Cushioning Packaging Design of Article Based on Polyethylene Foam Constitutive Model[C]// Thirteenth National Conference on Packaging Engineering, 2010.
- [8] 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.
- [9] QI Ming-si, ZHANG Wen-dong, YANG Wei, et al. Shock-Cushioning and Energy Absorption Performance Research of Aluminum Foam-Polyurethane Composite[J]. Advanced Materials Research, 2011, 1334(287): 401—404.
- [10] 刘晶,刘乘. 动态冲击下 EPE、EPS 弹性变形的对比分析[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版), 2010, 28(6): 76—78.
LIU Jing, LIU Cheng. Comparative Study on Elastic Deformation of EPE and EPS under the Dynamic Impact[J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology(Natural Science Edition), 2010, 28(6): 76—78.
- [11] OZTURK U E, ANLAS G. MULTIPLE COMPRESSIVE LOADING AND UNLOADING BEHAVIOR OF POLYMERIC FOAMS: Journal of Polymer Engineering[J]. Journal of Polymer Engineering, 2007, 27(8): 607—619.
- [12] 赵郁聪,张丽娜,刘乘. 液晶电视跌落测试动态脆值分析[J]. 包装工程, 2013, 34(9): 40—42.
ZHAO Yu-cong, ZHANG Li-na, LIU cheng. Analysis of Dynamic Fragility of LCD TV in Drop Test[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(9): 40—42.
- [13] 邓瑶瑶. 棋盘式纸浆模塑制品结构研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2010.
DENG Yao-yao. Research on the Molded Pulp Product of Chessboard Structure[D]. Zhuzhou: Hunan University, 2010.
- [14] 刘毅. 基于缓冲曲线的液晶电视包装设计方法[J]. 电子世界, 2016(20): 139—141.
LIU Yi. Design Method of LCD TV Packaging Based on Buffer Curve[J]. Electronic World, 2016(20): 139—141.
- [15] 王婷婷,刘筱霞. 基于整体包装解决方案的振动送料设备的包装设计[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(1): 68—71.
WANG Ting-ting, LIU Xiao-xia. The Packaging Design of Vibration Feeding Equipment Based on the Finite Element Analysis[J]. Packaging and Food Machinery, 2012, 30(1): 68—71.
- [16] 孙文静,卓立,钱晓丽,等. 台式电脑整体式缓冲包装设计[J]. 中国包装, 2010, 30(5): 55—57.
SUN Wen-jing, ZHUO Li, QIAN Xiao-li, et al. Design of Integral Buffer Packaging Structure for Desktop Computer[J]. China Package, 2010, 30(5): 55—57.
- [17] 刘璐. 电热水器缓冲包装设计优化[D]. 株洲:

- 湖北工业大学, 2013.
- LIU Lu. Design and Optimize the Cushioning Packaging Structure for Electric Water Heater[D]. Zhuzhou: Hubei University of Technology, 2013.
- [18] WANG Ding, LI Jie. Physical Random Function Model of Ground Motions for Engineering Purposes[J]. Science China Technological Sciences, 2011, 54(1): 175—182.
- [19] 牛晟, 孔祥利, 李汉钧, 等. 基于一种冷风扇的包装优化设计[J]. 家电科技, 2013(5): 80—83.
- NIU Sheng, KONG Xiang-li, LI Han-jun, et al. Package Development of Cooler Fan[J]. Household Appliance Technology, 2013(5): 80—83.
- [20] 刘冰. 分体柜式空调机的纸质缓冲包装设计及其仿真分析[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- LIU Bing. Paper Cushion Packaging Design and Simulation Analysis of the Split-floor Type Air-conditioner[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [21] 柳菲, 王国亮, 孙璐. GIS 异响的振动信号特性[J]. 电子技术与软件工程, 2015(12): 137.
- LIU Fei, WANG Guo-liang, SUN Lu. Vibration Signal Characteristics of GIS Abnormal[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2015(12): 137.
- [22] 张卫红, 陈振强, 赵新伟. 运输包装振动试验方法的使用和选择[J]. 中国包装工业, 2015(9): 38—39.
- ZHANG Wei-hong, CHEN Zhen-qiang, ZHAO Xin-Wei. Use and Selection of Vibration Test Method for Transport Packaging[J]. China Packaging Industry, 2015(9): 38—39.
- [23] 聂保勇. 电子产品包装振动测试条件研究[J]. 电子世界, 2017(2): 104—105.
- NIE Bao-yong. Research on Vibration Test Conditions of Electronic Product Packaging[J]. Electronic World, 2017(2): 104—105.