

EPE 和 EVA 发泡缓冲材料吸能特性表征

叶晨炫^{1,2}, 王志伟^{1,2}

(1. 暨南大学 包装工程研究所, 珠海 519070; 2. 广东省普通高校产品包装与物流重点实验室, 珠海 519070)

摘要: 研究了 EPE 和 EVA 两种发泡缓冲材料在动态冲击下的吸能特性。将落锤冲击试验得到的载荷位移数据进行处理, 绘制得到了动态应力-应变曲线和动态能量吸收曲线, 并重点讨论了材料厚度、密度和多次冲击等因素影响下的曲线特征。结果表明, 密度和多次冲击对吸能特性影响显著。研究结论为产品包装材料合理选择和优化设计提供科学依据。

关键词: 发泡塑料; 动态曲线; 多次冲击; 吸能表征

中图分类号: TB484.3; TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)01-0040-06

Energy Absorption Characteristics of EPE and EVA Foam

YE Chen-xuan^{1,2}, WANG Zhi-wei^{1,2}

(1. Packaging Engineering Institute, Jinan University, Zhuhai 519070, China; 2. Key Laboratory of Product Packaging and Logistics of Guangdong Higher Education Institutes, Zhuhai 519070, China)

Abstract: The energy absorption characteristics of EPE and EVA were investigated under action of dynamic impact. The load and displacement data of impact test was processed and the dynamic compression stress-strain curves and energy absorption curves were plotted. The effect of material thickness, density and repeated impact on the curves was discussed. It was showed that the density and repeated impact are noticeable. The purpose was to provide reference for selection of packaging materials and optimization design.

Key words: foamed plastic; dynamic curve; repeated impact; energy absorption characteristics

物流运输过程中的振动和冲击是引起产品破损的主要因素, 产品包装的防护效果主要取决于缓冲材料或结构的吸能特性。国内外学者对缓冲材料的吸能特性进行了大量的研究。Throne^[1-2]研究了低密度闭孔泡沫塑料的应力-应变曲线及动态特性。Totter^[3]等人研究了多次冲击对闭孔泡沫塑料缓冲性能的影响。Kurauchi^[4]等人研究了硬质聚氨酯泡沫塑料在压缩下的能量吸收问题。Zhang 和 Ashby^[5-6]讨论了用于包装和能量吸收泡沫塑料的力学选择问题。奚德昌^[7]等人综述了泡沫塑料的本构关系模型。刘乘^[8]等对泡沫塑料的冲击振动性能进行测试, 得到缓冲系数和性能曲线。王冬梅^[9]将能量吸收图用于

表征蜂窝纸板和瓦楞纸板缓冲性能。鄂玉萍^[10-12]研究了不同相对湿度对蜂窝纸板吸能特性的影响。王志伟^[13]采用分段函数的方法建立了静态压缩条件下蜂窝纸板能量吸收与环境湿度及蜂窝结构参数之间的关系模型。目前, 常用于表征材料缓冲吸能特性的方法是缓冲曲线(如压缩应力应变 $\sigma-\epsilon$ 曲线, 最大无量纲加速度 G 与物体受到的单位面积静应力 σ_{st} 之间的曲线等)、能量吸收曲线及能量吸收图 3 种^[7,14]。

聚乙烯泡沫塑料(EPE)和乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)是 2 种环保发泡缓冲材料, 缓冲性能优于聚苯乙烯泡沫等传统缓冲材料, 常用于 IT 电子产品、家用电器、精密仪器和高档家私等产品的包装。在 EPE

收稿日期: 2011-09-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(50775100)

作者简介: 叶晨炫(1987—), 男, 浙江人, 暨南大学硕士生, 主攻运输包装研究。

通讯作者: 王志伟(1963—), 男, 江苏人, 博士, 暨南大学教授, 主要从事运输包装和食品药品包装研究。

和 EVA 动态缓冲性能的研究方面,国内外学者只有刘晶^[15]等人对 EPE 在动态冲击作用下的力学性能进行了研究,其利用冲击试验机进行动态压缩试验,得到了一定跌高下 EPE 的静压力-最大加速度曲线。笔者选取 EPE 和 EVA 2 种材料分别进行落锤冲击试验,对比不同条件下动态应力-应变曲线和能量吸收曲线,得出 2 种材料的动态吸能特性。

1 试验

1.1 材料和方法

试验样品为 EPE 和 EVA 发泡塑料(珠海市铭丰震垫包装制品有限公司提供),设备为落锤冲击试验机(DYNATUP 9250HV)。将试样裁切成 100 mm×100 mm 尺寸的直方体形状,试样规格见表 1。

表 1 试样规格
Tab.1 Sample specifications

试样名称	EPE	EVA
密度/(kg·m ⁻³)	20,25,30	95,135,145
厚度/mm	35,40,50	11,14,17
冲击高度/cm	50,65,80	55,70,85
固体模量/(MN·m ⁻³)	150	100

试样在 GB/T 4857.2—2005^[16] 标准环境条件(20℃,相对湿度为 65%)下处理 24 h 后,参照 GB/T 8167—2008^[17] 试验方法进行试验。为降低一次试验的不稳定性和偶然性,每组 3 个试样,每个试样进行 5 次冲击,每组结果取平均值。规定 A 表示第 1 次冲击,B 表示后 4 次平均冲击,如试样组编号 EPE—20—30—50—A 表示该组 EPE 试样密度为 20 kg/m³,厚度 30 mm,冲击高度为 50 cm,冲击类型为第 1 次冲击。

1.2 数据处理

经过冲击试验,将数据采集软件得到的试样的载荷、位移等数据转化成应力-应变关系。对应力-应变关系作离散点积分处理,转化成单位体积吸收的能量-应力曲线,即材料的能量吸收曲线。

2 EPE 的动态吸能表征

2.1 不同厚度的 EPE 试样冲击吸能比较

标准环境条件下,密度为 20 kg/m³ 的 3 种不同厚度 EPE 试样分别进行高度为 50,65 和 80 cm 的冲击。由于 3 种冲击高度情况下曲线呈现相同的趋势,

故选择一种情况进行说明。冲击高度为 80 cm 第 1 次冲击与后 4 次平均冲击的动态应力-应变曲线和动态能量吸收曲线见图 1 和 2。不同厚度下,EPE 动态

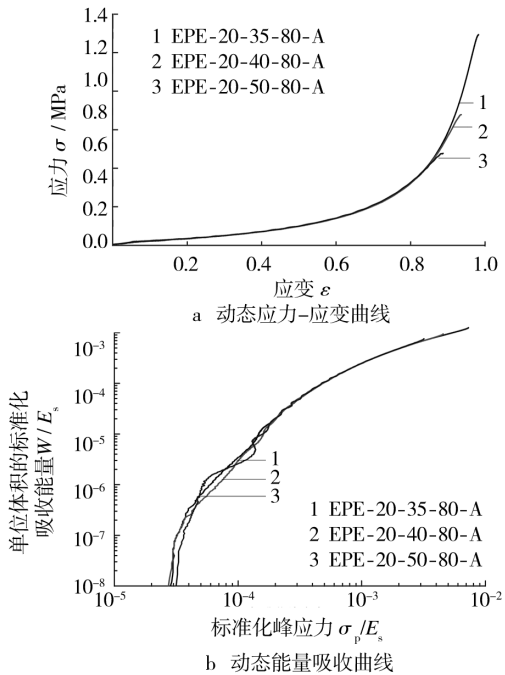


图 1 不同厚度 EPE 的吸能特性比较(第 1 次冲击)
Fig.1 Comparison of energy absorption characteristic of EPE with different thickness (1st impact)

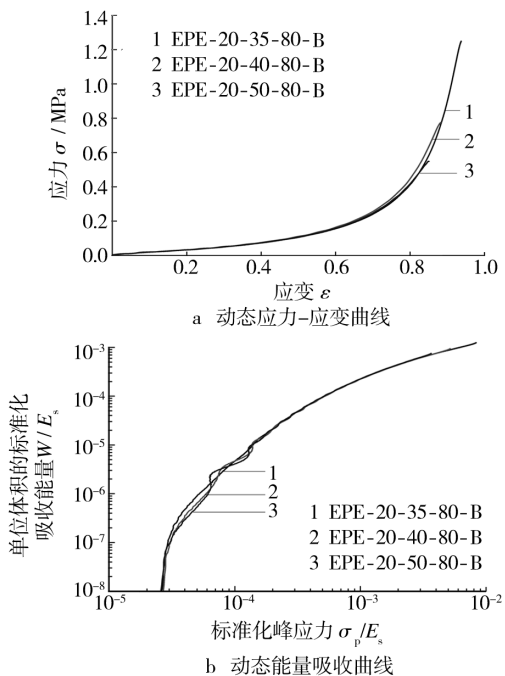


图 2 不同厚度 EPE 的吸能特性比较(后 4 次冲击平均值)
Fig.2 Comparison of energy absorption characteristic of EPE with different thickness (Avg. 4 impact)

应力-应变曲线和动态能量吸收曲线基本重合,说明两者都不随厚度的变化而变化。

2.2 不同密度的 EPE 试样冲击吸能比较

标准环境条件下,厚度为 35 mm 的 3 种不同密度 EPE 试样分别进行高度为 50,65,80 cm 的冲击。冲击高度为 50 cm 第 1 次冲击与后 4 次平均冲击的动态应力-应变曲线和动态能量吸收曲线见图 3 和 4。

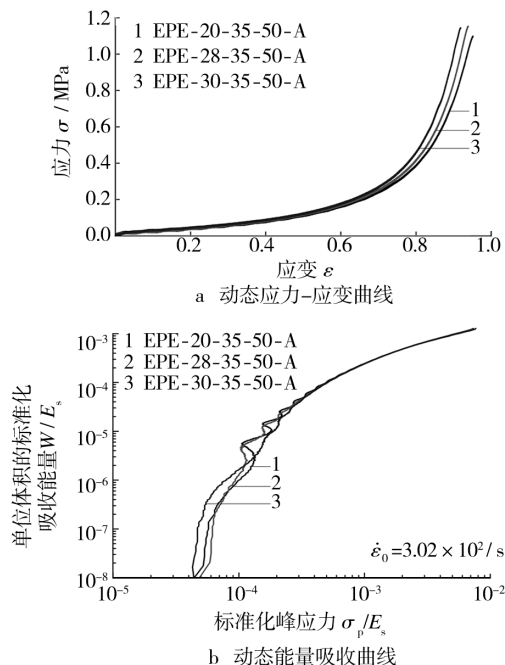


图 3 不同密度 EPE 的吸能特性比较(第 1 次冲击)

Fig. 3 Comparison of energy absorption characteristic of EPE with different density (1st impact)

随着密度的增大,EPE 材料在同一应变下对应的应力增大,说明密度对其动态缓冲性能的影响较显著。

2.3 一次与多次冲击下 EPE 的吸能比较

将同种 EPE 试样第 1 次和后 4 次平均冲击的动态应力-应变曲线和能量吸收曲线绘制在一起,对比其在一次和多次冲击下的吸能特性。密度为 20 kg/m^3 ,厚度为 35 mm 的 EPE 试样进行高度为 50 cm 的冲击,得到的曲线见图 5。多次冲击后,同种 EPE 材料内部结构破坏,有较明显硬化现象。

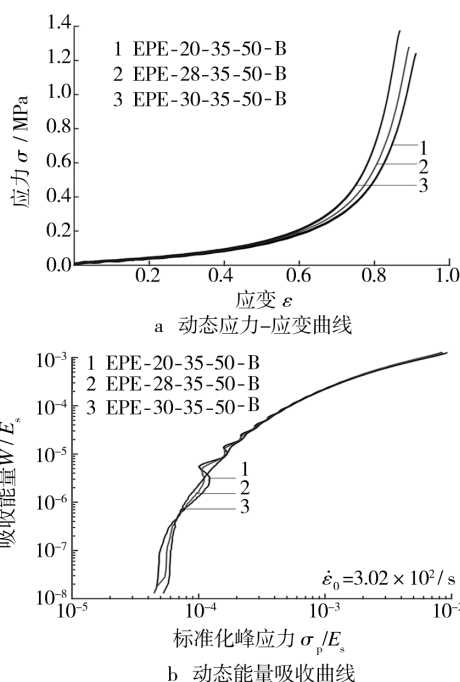


图 4 不同密度 EPE 的吸能特性比较(后 4 次平均值)

Fig. 4 Comparison of energy absorption characteristic of EPE with different density (Avg. 4 impacts)

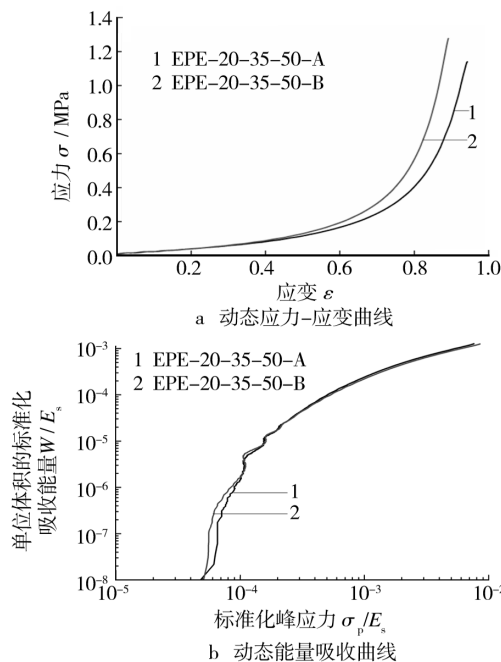


图 5 同种 EPE 的吸能特性比较(第 1 次和后 4 次平均值)

Fig. 5 Comparison of energy absorption characteristic of the same kind of EPE (1st impact and Avg. 4 impacts)

3 EVA 的动态吸能表征

3.1 不同厚度的 EVA 试样冲击吸能比较

标准环境条件下,密度为 95 kg/m^3 的 3 种不同厚度 EVA 试样,分别进行高度为 55,70,85 cm 的冲击。

冲击高度为 55 cm 第 1 次冲击与后 4 次平均冲击的动态应力-应变曲线和动态能量吸收曲线见图 6 和 7。EVA 动态应力-应变曲线在线弹性和非线弹性

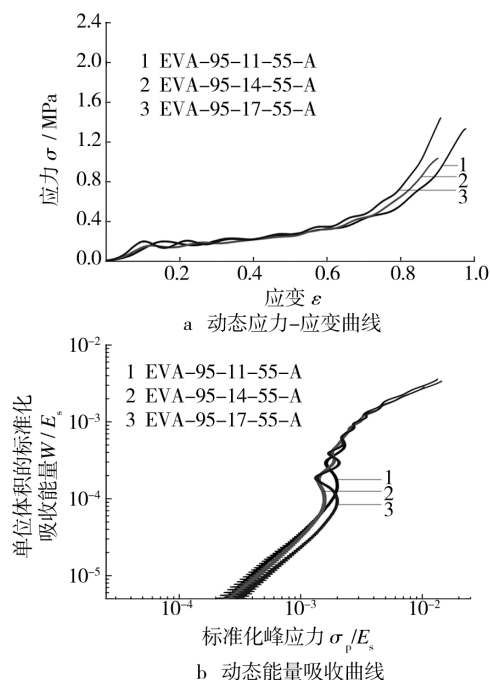


图6 不同厚度 EVA 的吸能特性比较(第1次冲击)
Fig. 6 Comparison of energy absorption characteristic of EVA with different thickness (1st impact)

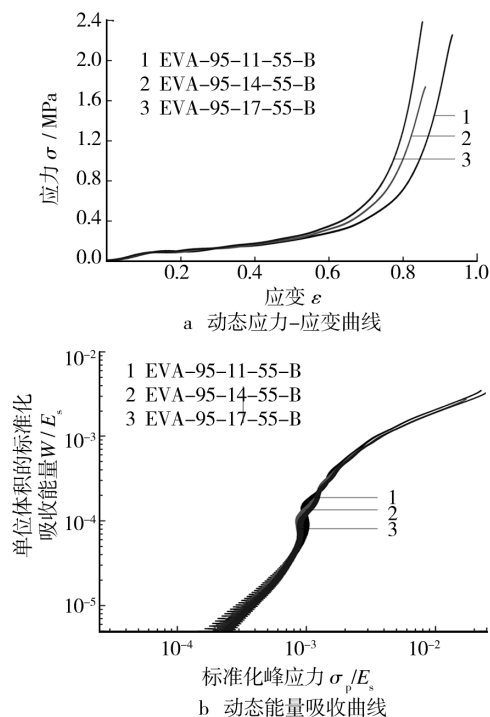


图7 不同厚度 EVA 的吸能特性比较(后4次冲击平均值)
Fig. 7 Comparison of energy absorption characteristic of EVA with different thickness (Avg. 4 impacts)

力随着厚度的增加而增大。由于材料结构的破坏,后4次平均冲击的应力-应变曲线最大压缩应力明显增大,曲线更平滑,符合正切型曲线特征。能量吸收曲线基本重合,说明其不随材料厚度的变化而变化;经过4次冲击后,曲线上升阶段的抖动降低。

3.2 不同密度的 EVA 试样冲击吸能比较

标准环境条件下,厚度为 11 mm 的 3 种不同密度 EVA 试样分别进行高度为 55, 70, 85 cm 的冲击。冲击高度为 55 cm 第1次冲击与后4次平均冲击的动态应力-应变曲线和动态能量吸收曲线见图8和9。

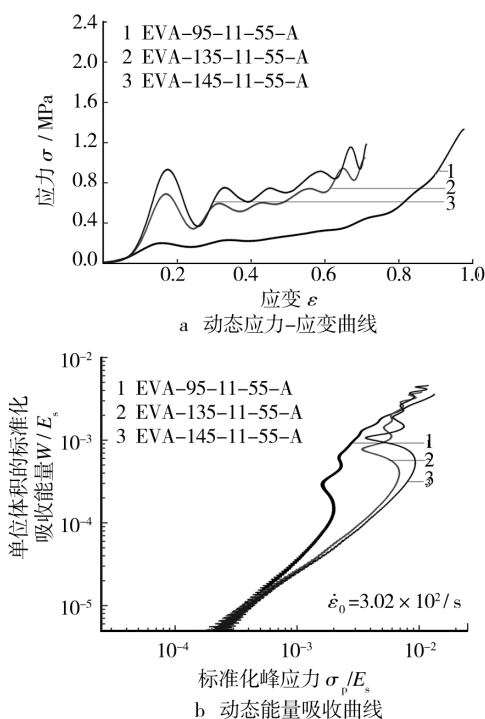


图8 不同密度 EVA 的吸能特性比较(第1次冲击)
Fig. 8 Comparison of energy absorption characteristic of EVA with different density (1st impact)

EVA 材料的动态应力-应变曲线随密度的增大,在同一应变对应的应力越大,曲线的波动越大。经过4次冲击后,两曲线变得相对光滑,抖动减小,呈现正切型特征;在压实硬化阶段,动态应力-应变曲线的应力明显增大;动态能量吸收曲线在相同应力下吸收的能量减小。

3.3 一次与多次冲击下 EVA 的吸能比较

将同种 EVA 试样第1次和后4次平均冲击的动态应力-应变曲线和能量吸收曲线绘制在一起,对比其在一次和多次冲击下的吸能特性。密度为 95 kg/m³,厚度为 14 mm,冲击高度为 55 cm 时,第1次冲

阶段几乎重合;在压实硬化阶段,同一应变对应的应

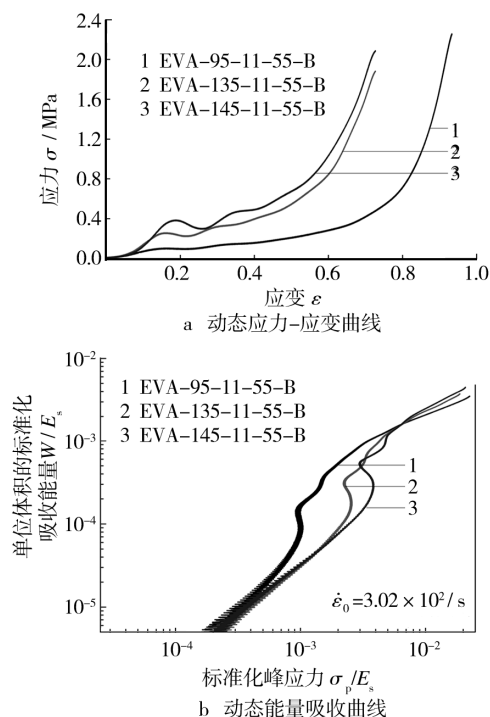


图9 不同密度EVA的吸能特性比较(后4次冲击平均值)
Fig. 9 Comparison of energy absorption characteristic of EVA with different density (Avg. 4 impacts)

击和后4次平均冲击的曲线见图10。由于材料结构

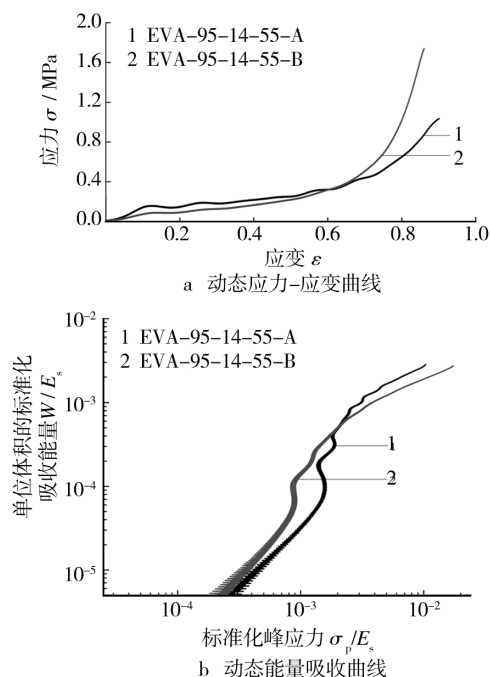


图10 同种EVA的吸能特性比较
(第1次和后4次冲击平均值)

Fig. 10 Comparison of energy absorption characteristic of the same kind of EVA (1st impact and Avg. 4 impacts)

破坏,多次冲击后,EVA 的动态应力-应变曲线在非线弹性阶段应力减小;压实硬化阶段提前,最大压缩应力明显增大;曲线更平滑,符合正切型曲线特征。能量吸收曲线向左移动,抖动减小,吸能降低。

4 结论

1) 在不同厚度条件下,EPE 和 EVA 动态应力-应变曲线的差异主要体现在压实硬化阶段,即随着材料厚度的增加,最大压缩应变减小。EPE 和 EVA 的能量吸收曲线基本重合,与厚度关系不大。

2) 在不同密度条件下,随着材料密度的增加,EPE 和 EVA 达到同一应变时对应的应力越大。经过多次冲击后,能量吸收曲线趋近,密度对其影响降低。与 EPE 不同的是,EVA 曲线呈现波纹状抖动,密度越大,抖动越明显,经过多次冲击后,曲线变得相对光滑平缓。

3) 多次冲击后,EPE 和 EVA 的动态应力-应变曲线符合正切型曲线特征,压实硬化阶段提前,最大压缩应力增大;动态能量吸收曲线左移,抖动减小,吸能降低。

参考文献:

- [1] THRONE J L, PROGELHOF R C. Closed Cell Foam Behavior under Dynamic Loading—I. Stress-strain Behavior of Low Density Foams[J]. Journal of Cellular Plastics, 1984, 20(6): 437—442.
- [2] THRONE J L, PROGELHOF R C. Closed Cell Foam Behavior under Dynamic Loading—II. Stress-strain Behavior of Low Density Foams[J]. Journal of Cellular Plastics, 1985, 21(1): 43—50.
- [3] TOTTEN T L, BURGESS G J, SINGH S P. The Effects of Multiple Impacts on the Cushioning Properties of Closed-cell Foams[J]. Packaging Technology and Science, 1990, 3(2): 117—122.
- [4] 卢子兴,赵明洁. 泡沫塑料力学性能研究进展[J]. 力学与实践, 1998, 20(2): 1—9.
LU Zi-xing, ZHAO Ming-jie. Foam Plastic Mechanical Properties Research Progress[J]. Mechanical and Practice, 1998, 20(2): 1—9.
- [5] ZHANG J, ASHBY M F. Mechanical Selection of Foams and Honeycombs Used for Packaging and Energy Absorption [J]. Journal of Materials Science, 1994, 29(1):

- 157—163.
- [6] 王军,卢立新,王志伟.产品破损评价及防护包装力学研究[J].振动与冲击,2010,29(8):43—45.
WANG Jun, LU Li-xin, WANG Zhi-wei. Product Evaluation and Protective Packaging Mechanical Damage Research[J]. Vibration and Impact, 2010, 29(8): 43—45.
- [7] 奚德昌,高德.缓冲包装材料的本构模型研究进展[J].包装工程,2011,32(1):1—4.
XI De-chang, GAO De. Cushion Packaging Material Constitutive Model Research Progress [J]. Packaging Engineering, 2011, 20(1): 1—4.
- [8] 刘乘,任亚东.几种常用缓冲材料的性能研究[J].包装工程,2010,31(7):117—119.
LIU Cheng, REN Ya-dong. Some Commonly Used to Study the Performance of Cushioning Material[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(7): 117—119.
- [9] 王冬梅.蜂窝纸板和瓦楞纸板缓冲性能及其表征研究[D].无锡:江南大学,2007.
WANG Dong-mei. The Honeycomb Cardboard Corrugated Cardboard and Buffer Performance and Characterizations Research[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [10] 鄂玉萍,王志伟.纸质缓冲材料能量吸收特性研究进展[J].振动与冲击,2010,29(5):40—44.
E Yu-ping, WANG Zhi-wei. Paper Cushioning Material Absorption Characteristics of Energy Research Progress [J]. Vibration and Impact, 2010, 29(5): 40—44.
- [11] E Yu-ping, WANG Zhi-wei. Plateau Stress of Paper Honeycomb as Response to Various Relative Humidities [J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(4): 203—216.
- [12] E Yu-ping, WANG Zhi-wei. Effect of Humidity on Energy Absorption Properties of Honeycomb Paperboards [J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(8): 471—483.
- [13] WANG Zhi-wei, E Yu-ping. Mathematical Modeling of Energy Absorption Property for Paper Honeycomb in Various Ambient Humidities[J]. Materials and Design, 2010, 31(9): 4321—4328.
- [14] GIBSON L J, ASHBY M F. 多孔固体结构与性能(第2版)[M].北京:清华大学出版社,2003.
GIBSON L J, ASHBY M F. Porous Solid Structure and Performance (Second Edition)[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [15] 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,2010,28(6):76—78.
LIU Jing, LIU Cheng. Dynamic Impact EPE, EPS Elastic Deformation of Comparative Analysis [J]. Journal of Shanxi University of Science and Technology, 2010, 28(6): 76—78.
- [16] GB/T 8167—2008,包装用缓冲材料动态压缩试验方法[S].
GB/T 8167—2008, Packaging Dynamic Compression Test Method of Cushion Material[S].
- [17] GB/T 4857.2—2005,包装—运输包装—温湿度处理条件[S].
GB/T 4857.2—2005, Packaging—Transport Package—the Temperature and Humidity Processing Conditions [S].

(上接第 39 页)

- [12] STEEN B. A Systematic Approach to Environmental Strategies in Product Development(EPS): Version 2000—Models and Data of the Default Methods[R]. Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems. Chalmers University of Technology, Technical Environmental Planning, 1999.
- [13] WENZEL H, HAUSCHILD M, ALTING L. Environmental Assessment of Products. Volume 1 (Methodology, Tools and Case Studies in Product Development) [M]. London: Chapman and Hall, 1997.
- [14] HAUSCHILD M, WENZEL H. Environmental Assessment of Product. Volume 2 (scientific background) [M]. London: Chapman and Hall, 1998.
- [15] <http://www.boustead-consulting.co.uk>. (余不详)
- [16] INDIRA N. Life Cycle Analysis and Green Design: A Context for Teaching Design, Environment, and Ethics [J]. Journal of Engineering Education, 1998, 87(4): 489—494.
- [17] KLAUSNER M, GRIMM W, HORVATH A. Life Cycle Inventory Combining Input-output Techniques and Conventional Process Models—A Case Study of a Fuel-injection System[C]. Proceedings of 1999 SAE Conference & Exposition, Detroit, MI, 1999: 167—172.
- [18] GB/T 19855—2005,月饼[S].
GB/T 19855—2005, Moon Cake[S].