

EPE 泡沫塑料在多次冲击下的缓冲性能

苗红涛

(河南牧业经济学院, 郑州 450046)

摘要: **目的** 预测并分析多次冲击下 EPE 缓冲材料的缓冲性能。**方法** 应用应力-能量法得到并分析多次冲击下的缓冲曲线, 评价 EPE 缓冲材料的缓冲性能变化。**结果** EPE 试样在经受多次冲击后, 厚度会减小, 缓冲性能会下降。**结论** 在缓冲包装设计中, 要充分考虑环境因素, 根据物流环境条件适当增加缓冲垫厚度, 使产品得到充分防护。

关键词: EPE; 多次冲击; 应力-能量法; 缓冲曲线

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)05-0111-04

EPE Foam Cushioning Performance under Repeated Dropping Shocks

MIAO Hong-tao

(Henan Institute of Animal Husbandry Economy, Zhengzhou 450046, China)

ABSTRACT: The work aims to predict and analyze the cushioning performance of EPE cushion material under repeated dropping shocks. Stress-energy method was used to obtain and analyze the cushioning curves under repeated dropping shocks. Then, the change in cushioning performance of EPE cushion material was evaluated. After the EPE samples were subject to multiple dropping shocks, the thickness decreased and the cushioning performance reduced. In the process of designing the cushion packages, the environmental factors should be taken into full consideration. To sufficiently protect the products, the cushion thickness should be added properly according to the conditions of logistics environment.

KEY WORDS: EPE; repeated dropping shocks; stress-energy method; cushioning curve

缓冲包装在包装中的地位十分重要, 在设计包装的时候加入缓冲材料, 这样使得产品在受到振动、冲击时, 不会吸收全部的能量, 确保产品的安全。现在的缓冲材料非常多, 而泡沫塑料^[1-3]是应用最广泛的缓冲材料之一, 因其具有良好的缓冲性能和吸振性能而被广泛使用。物流过程中, 产品在运输时往往会经受多次的振动和冲击, 然而目前还没有缓冲材料在多次冲击下的缓冲性能研究, 因此研究多次冲击下材料缓冲性能的变化具有重要的工程价值。

缓冲材料的缓冲性能主要由缓冲曲线来表示, 传统测定缓冲曲线的方法^[4]虽然准确, 但是耗时耗力, 且得出的曲线范围有限。美国 Hewlett-Packard 公司研发中心 Matthew Datum 等从能量耗散物理机制、材料缓冲吸收机能和模型分析等角度出发, 提出了测定泡沫塑料缓冲曲线的快速预测法——应力-能量法^[5],

得到了广泛关注和推广。张波涛^[6]对传统泡沫塑料缓冲材料缓冲曲线测定方法与应力-能量法进行了对比, 证明了应力-能量法的方便性与实用性。刘乘^[7]等将应力-能量法与传统测试法进行了对比分析, 得出了各自的优缺点。张慧^[8]在应力-能量法的公式基础上, 提出了一种新的快速测试缓冲曲线的方法——直线法。文中将以其为研究对象, 研究在不同厚度、不同跌落高度及不同冲击次数下的缓冲性能变化, 并采用应力-能量法绘制发泡聚乙烯塑料(EPE)缓冲曲线, 进行对比分析, 为缓冲包装设计提供新的科学依据。

1 应力-能量法

应力-能量法测定泡沫塑料缓冲材料的缓冲曲线是依靠能量守恒定律, 并假设在整个冲击过程中没有发生能量损失, 即重锤在整个跌落过程所产生的势能

全部被缓冲材料吸收,则缓冲材料的变形能可表示为:

$$E = \frac{mgh}{Ad} = \frac{sh}{d} \quad (1)$$

式中: E 为动能量(kN/m^2); m 为重锤质量(kg); g 为重力加速度(m/s^2); h 为跌落高度(m); A 为缓冲材料表面积(m^2); s 为静应力(kPa); d 为缓冲材料的厚度(m)^[9]。

动应力与最大加速度关系为:

$$\sigma = Gs \quad (2)$$

式中: σ 为动应力(kPa); G 为加速度值(g)。

应力-能量法是基于动应力与动能量成指数关系的假设,即动应力与动能量的数学关系式为:

$$Gs = ae^{\frac{bsh}{d}} \quad (3)$$

式中: a 和 b 为材料常数,是由缓冲材料特性决定的常量。容易得出加速度表达式为:

$$G = \frac{ae^{\frac{bsh}{d}}}{s} \quad (4)$$

采用应力-能量法获取的最大加速度-静应力曲线^[11-14]是在实际的测试数据下通过科学的理论公式推导得出的,其预测范围十分广泛,且只需通过一次测定就可以得出任意高度和厚度下某种缓冲材料的最大加速度-静应力曲线,耗时短、成本低,且方便快捷。

2 EPE 的冲击压缩试验

试验材料选取 EPE 泡沫塑料,样品尺寸为 $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$,厚度为 3 cm 和 5 cm 。分别对跌落高度为 50 cm 、厚度为 3 cm 和跌落高度为 60 cm 、厚度为 5 cm 的 EPE 试样在冲击试验台上进行多次冲击^[15],冲击次数为 20 次,分别在冲击 5 次、10 次、15 次、20 次后测量其厚度并记录,重复上面的步骤对跌落高度为 60 cm 、厚度为 5 cm 的 EPE 试样进行冲击并记录,得到的数据见表 1。

表 1 不同厚度 EPE 试样的冲击试验结果
Tab.1 The dropping shocks results of different EPE specimen

样品类型	冲击次数	厚度/mm	变形量/mm
厚度为 3 cm	5	28.70	1.42
	10	28.20	1.92
	15	28.12	2
	20	28.10	2.02
厚度为 5 cm	5	48.82	1.42
	10	48.10	2.14
	15	47.98	2.26
	20	47.94	2.3

由表 1 可以看出,EPE 的厚度随着冲击次数的增加而越来越小,即变形量随着冲击次数的增加而越来越大,但变形量增大的速率越来越小。在被冲击 10 次之前,EPE 试样厚度减小的速度很快,被冲击 10 次之后,EPE 试样的厚度变化不明显。

由式(1)可知,在跌落高度 h 和静应力 s 一定的情况下,单位面积的变形能 E 随着厚度 d 的减小而增大。试样在多次冲击下,其厚度减小,那么相应的应变能会增加。根据做功原理,试样产生同样变形量时,随着冲击次数的增加,动应力会增大,即单位时间内传递的冲击加速度随着冲击次数的增多而增大。文中将通过试验加以验证。

3 多次冲击下的缓冲曲线

在对试验样品的 20 次重复冲击过程中,记录每次冲击的加速度-时间历程。每 5 次冲击记为一组,取每组 5 次冲击的最大加速度的平均值作为该组的最大加速度,并整理得出多次冲击下 EPE 试样的动应力-能量拟合曲线,见图 1。

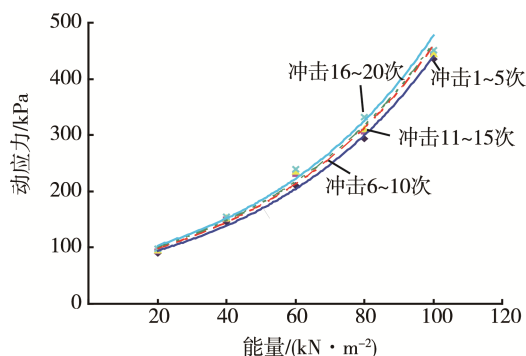


图 1 多次冲击下 EPE 试样的动应力-能量拟合曲线
Fig.1 Dynamic stress-energy fitting curve of EPE for several shocks

冲击 1~5 次的拟合曲线方程为 $y=64.366e^{0.0192x}$, $R^2=0.9963$; 冲击 6~10 次的拟合曲线方程为 $y=66.997e^{0.0192x}$, $R^2=0.9915$; 冲击 11~15 次的拟合曲线方程为 $y=69.033e^{0.019x}$, $R^2=0.9901$; 冲击 16~20 次的拟合曲线方程为 $y=70.84e^{0.0191x}$, $R^2=0.9917$ 。

根据曲线拟合得出的 a 值和 b 值,可以确定最大加速度与静应力的关系式,从而确定任意高度和厚度下静应力值 s 所对应的最大加速度值 G ,即可预测任意高度和厚度下的缓冲系数曲线。将各组的 a , b 值,代入式(4),可分别得到第 1~5 次、第 6~10 次、第 11~15 次、第 16~20 次冲击的最大加速度-静应力关系式。由此可得到合理的跌落高度和厚度的 EPE 缓冲材料在多次冲击下的缓冲曲线,其中 80 cm 跌落高度下的不同厚度 EPE 缓冲材料的缓冲曲线见图 2。

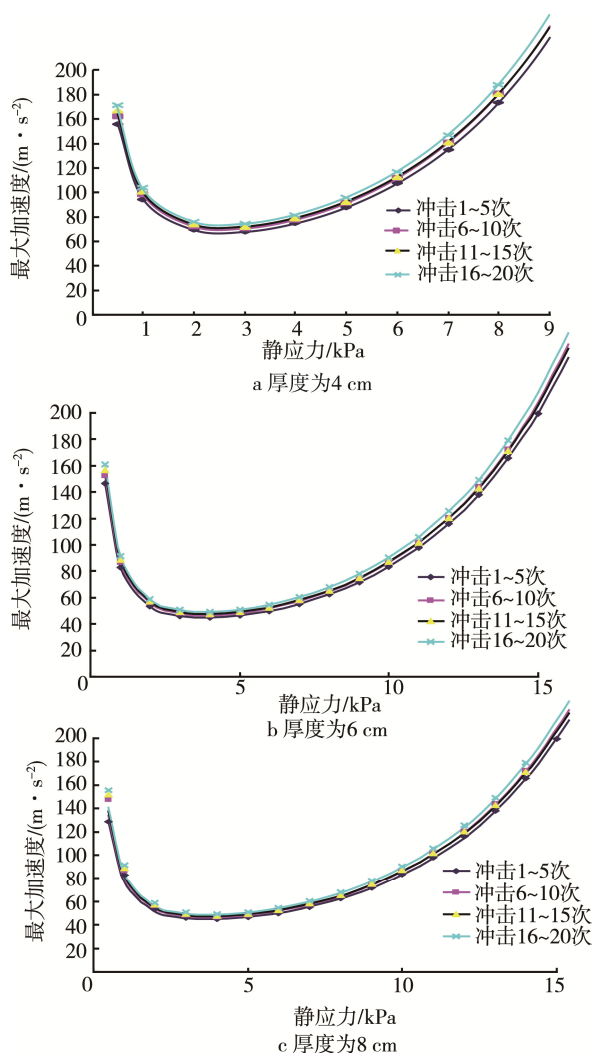


图2 80 cm 跌落高度下的不同厚度 EPE 缓冲材料的缓冲曲线

Fig.2 The cushioning curve of EPE specimen under repeated shocks at 80 cm dropping height

观察不同冲击次数下的缓冲曲线,可以知道:随着冲击次数的增加,一定静应力下的最大冲击加速度值也随之变大,材料的缓冲性能下降;图2中4条曲线的位置从上到下分别为第16~20次、11~15次、6~10次和1~5次,说明随着冲击次数的增多,缓冲曲线位置将上移,产品将承受更大的冲击力。在根据缓冲曲线进行产品防护包装设计时,要充分考虑物流环境与条件,适当地增大缓冲衬垫厚度,将会更有效地降低产品的破损率。

4 结语

物流过程中,包装产品可能会经历多次跌落冲击。研究发现,缓冲材料在经受多次冲击后,其厚度会变小,那么,产品与外包装之间便会出现间隙并呈扩大趋势,产品不再稳定,在运输过程中的外界激励下,振动便会越来越严重。同时,经受多次冲击后,

缓冲性能下降,在脆值一定的情况下,产品很有可能在多次跌落后被损坏。在实际运输包装设计中,要充分考虑环境的影响来进行缓冲包装设计。如果产品在物流中不可避免的跌落较多,那么应该增加缓冲衬垫的厚度,使产品得到充分的防护。

参考文献:

- [1] 刘乘, 王宝霞. 几种常用缓冲材料的性能研究[J]. 包装工程, 2005, 26(6): 85—86.
LIU Cheng, WANG Bao-xia. Research on Properties of Several Cushion Materials[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(6): 85—86.
- [2] 路冰琳. 发泡聚乙烯缓冲材料的静态压缩缓冲曲线研究[J]. 包装工程, 2007, 28(2): 42—44.
LU Bing-lin. Research on Static Compression Cushion Curve of EPE Polyethylene Foaming Material[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(2): 42—44.
- [3] 刘文华. 泡沫塑料在缓冲包装上的应用及设计[J]. 塑料科技, 2015(12): 62—65.
LIU Wen-Hua. Application and Design of Foamed Plastics in Cushion Packaging[J]. Plastics Science and Technology, 2015(12): 62—65.
- [4] 罗兰. 常用缓冲材料动态压缩特性研究[J]. 包装工程, 1996, 27(5): 10—13.
LUO Lan. Research on the Dynamic Compression Property of Usual Cushion Materials[J]. Packaging Engineering, 1996, 27(5): 10—13.
- [5] DAUM M. Simplified Presentation of the Stress-Energy Method for General Commercial Use[J]. Journal of Testing and Evaluation, 2008, 36(1): 488.
- [6] 张波涛. 应力-能量法在测定泡沫塑料缓冲曲线中的应用[J]. 包装工程, 2008, 29(1): 59—61.
ZHANG Bo-tao. Application of the Stress-Energy Method in Determining Cushion Curves of Foam Materials[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 59—61.
- [7] 刘乘, 刘晶. 应力-能量法在求取包装材料最大加速度-静应力曲线方面的应用分析[J]. 包装工程, 2011, 32(1): 74—75.
LIU Cheng, LIU Jing. Application of Stress-energy Method in Determination of Packaging Material's Buffer Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(1): 74—75.
- [8] 张慧, 谢宇坤, 王军. 直线法测定泡沫塑料缓冲系数曲线[J]. 包装工程, 2011, 32(3): 36—38.
ZHANG Hui, XIE Yu-kun, WANG Jun. Determination of Cushioning Performance of Foam Using Improved Stress-energy Method[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 36—38.

- [9] 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—45.
E Yu-ping, WANG Zhi-wei. Study on the Energy Absorption Characteristics of Paper Buffer Material[J]. Vibration and Shock, 2010, 29(5): 40—45.
- [10] MILTZ J, RAMON O. Energy Absorption Characteristics of Polymeric Foams Used as Cushioning Materials[J]. Polymer Engineering & Science, 2010, 30(2): 129—133.
- [11] LIU J, SHI Y B, MA Y C. Experimental Analysis of Cushion Material in the Over Loading Test[J]. Journal of North China Institute of Technology, 2005, 8(2): 28—33.
- [12] JARIMOPAS B, SINGH S P, SAYASOONTHORN S, et al. Comparison of Package Cushioning Materials to Protect Post-harvest Impact Damage to Apples[J]. Packaging Technology & Science, 2007, 20(5): 315 —324.
- [13] 李琛, 李姊静. 瓦楞纸板托盘承载能力与缓冲性能[J]. 科技导报, 2015(7): 61—66.
LI Chen, LI Zi-jing. Carrying Capacity and Cushioning Performance of Multi-layer Corrugated Pallets[J]. Science & Technology Review, 2015(7): 61—66.
- [14] 卢立新, 孙聚杰, 王军. 疲劳振动效应对瓦楞纸板承载能力与缓冲性能的影响[J]. 振动与冲击, 2012, 31(2): 43—46.
LU Li-xin, SUN Ju-jie, WANG Jun. Impact Fatigue Vibration Effect of Bearing Capacity and Cushioning Performance of Corrugated Cardboard[J]. Vibration and Shock, 2012, 31(2): 43—46.
- [15] 卢富德, 陶伟明, 高德. 瓦楞纸板串联缓冲系统动力学响应[J]. 振动与冲击, 2012, 31(21): 30—32.
LU Fu-de, TAO Wei-ming, GAO De. Corrugated Cardboard Series Buffer System Dynamic Response[J]. Vibration and Shock, 2012, 31(21): 30—32.