

直线法测定泡沫塑料缓冲系数曲线

张慧¹, 谢宇坤², 王军²

(1. 盐城卫生职业技术学院, 盐城 224006; 2. 江南大学, 无锡 214122)

摘要: 缓冲材料的缓冲系数曲线测定是缓冲包装设计的基础。基于应力-能量法提出了直线法测定泡沫塑料缓冲系数的新思路, 所提出的方法具有需要数据少、试验时间短、快速预测、精度高等优点, 在缓冲系数曲线测定领域有较好应用前景和工程价值。

关键词: 应力-能量法; 缓冲系数; 模型; 泡沫塑料

中图分类号: TB484.3; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)03-0036-03

Determination of Cushioning Performance of Foam Using Improved Stress-energy Method

ZHANG Hui¹, XIE Yu-kun², WANG Jun²

(1. Health Vocational & Technical College, Yancheng 224006, China; 2. Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: An improved stress-energy method was proposed to determine the cushioning performance of close-celled foams. The method has the advantages of less data, shorter time, fast prediction, and high precision; it has good application prospect and engineering value for cushioning coefficient determination.

Key words: stress-energy method; cushioning coefficient; model; foam

自 Jansen^[1] 首先提出基于变形能的缓冲系数概念以来, 人们对缓冲材料缓冲性能的表征方法与测定技术广泛关注。1961 年, Franklin 和 Hatae^[2] 提出了最大加速度-静应力曲线, 根据这些曲线可方便地进行产品缓冲包装设计。目前国内外测定泡沫塑料缓冲曲线主要使用较传统的方法, 该方法为了得到一条缓冲曲线, 要求选择 5 种以上重锤质量, 对应于每种质量, 试样数量不应少于 5 件, 每一试样要冲击 5 次。取后 4 次最大加速度的平均值作为该试样的最大加速度; 把 5 个试样的最大加速度进行平均, 作为该重锤质量冲击(一定跌落高度、一定厚度试样)的最大加速度。为此, 至少需要 25 个试样, 冲击 125 次, 得到并处理这些数据, 得到 5 个离散点, 再由这 5 个离散点拟合出一条缓冲曲线。这种测定方法成本高、过程复杂, 且测定曲线范围有限。为此, 一些学者^[3-6] 从材料缓冲吸能机理、能量耗散物理机制与模型等角度, 提出了一些快速预测的方法。

美国 Matthew Daum^[7] 等人提出了测定泡沫塑料的缓冲曲线的应力-能量法。该法基于试验寻求动应力与动能量之间的数学关系, 并以此为基础得到可以预测不同跌落高度下、不同厚度缓冲材料的多组缓冲系数曲线, 从而大大节省试验时间和成本。笔者对这一方法进一步改进, 得到只需要 2 次试验就可以得到一系列缓冲系数曲线的简洁测试方法, 并以新型 EPO 缓冲包装材料为例, 对比分析新建立方法与试验测定值, 以证明所提方法的工程应用可行性。

1 应力-能量法

应力-能量法基于动应力与动能量成指数函数关系假设, 即:

$$G \cdot s = a e^{b \frac{sh}{t}} \quad (1)$$

其中: $G \cdot s$ 表示动应力(s 为静应力, G 为加速度值); sh/t 为动能量(h 为跌落高度, t 为缓冲材料厚

收稿日期: 2010-10-31

基金项目: 教育部科技项目(JUSRP11009)

作者简介: 张慧(1977-), 女, 江苏盐城人, 硕士, 盐城卫生职业技术学院讲师, 主要从事应用物理与包装力学研究。

度); a, b 为试验常数。

应用该法测试缓冲系数曲线的一般步骤如下:

1) 设置最大与最小吸收能量值。根据材料特性选择合适的范围。

2) 等分空间域。根据所设的能量域, 设定一个步长, 并以此来选取几个不同的能量值。

3) 设定一组不同的 s, h, t 值的组合。每一个能量值设置一组不同的 s, h, t 值的组合, 然后根据每个 s, h, t 组合测出对应的 G 值。

4) 建立应力-能量关系列表。根据所选参数和测出的 G 值建立一组动应力-动能量关系列表。

5) 将应力-能量值代入公式中求得公式常变量。根据关系列表建立坐标系, 拟合曲线并求出公式中的材料常数。

6) 预测不同高度和厚度下的缓冲系数曲线。

该方法所需材料数量由所划分的空间区域数量而定, 但是为了准确求得指数函数中的常变量 a 和 b , 一般所取的离散点不少于 5 个, 每个点需测定 5 次, 在整个试验过程中需冲击不少于 25 次, 但仍明显少于传统方法的 125 次。

2 直线法

根据应力-能量法的原理和公式, 将公式(1)进行适当变换(两边取对数), 即可得出直线法公式, 该方法的主要原理如下:

$$\ln(G \cdot s) = \ln a + b \frac{sh}{t} \quad (2)$$

类似地, 应用该法测试缓冲系数曲线, 其测试步骤如下:

1) 设置最大与最小吸收能量值。

2) 等分空间域。

3) 任取 h 或 t 中的一个为定值, 以另一个变量, 进行两次跌落试验, 测定动应力与动能量。

4) 将动应力与动能量值代入公式(2)中求得公式常变量。

5) 预测不同高度、厚度下的缓冲系数曲线。

相较于传统测定方法, 直线法最少只需要测量 2 个点(对应 2 个应力点, 每点测 5 次, 取平均), 每个点需测定 5 次, 在整个试验过程中需冲击不少于 10 次, 就可以完整确定试验对象的整个缓冲系数曲线簇, 具有省时、省材的明显优势。

3 EPO 缓冲系数的直线法测定

为验证直线法测定的有效性, 分析预测精度, 以 EPO 材料为研究对象, 应用直线法预测其缓冲系数曲线, 并与传统测试方法所测结果进行对比。

首先, 按照传统测定方法测量 EPO 材料在厚度为 0.05 m, 跌落高度为 0.61 m 的工况下缓冲系数曲线, 测量结果见表 1。

表 1 EPO 缓冲系数曲线测量值

Tab. 1 Test results of cushioning coefficient curve of EPO

t /m	h /m	s /kPa	G /g	Gs	$\ln Gs$	sh/t
0.05	0.61	3.45	46.55	160.60	5.08	42.09
0.05	0.61	4.83	45.85	221.46	5.40	58.93
0.05	0.61	6.21	47.99	298.02	5.70	75.76
0.05	0.61	7.59	51.54	391.19	5.97	92.60
0.05	0.61	8.28	53.63	444.06	6.10	101.02

取其中 2 组应力、能量值(4.83, 45.85)和(7.59, 51.54)(数据的选取使得对应的动能量尽可能在最小能量和最大能量之间, 得到的数据的综合误差最小)代入方程(2), 得到 $a = 77.58, b = 0.02$, 据此得到 EPO 材料在 0.61 m 高度下跌落时不同厚度的缓冲系数曲线见图 1。

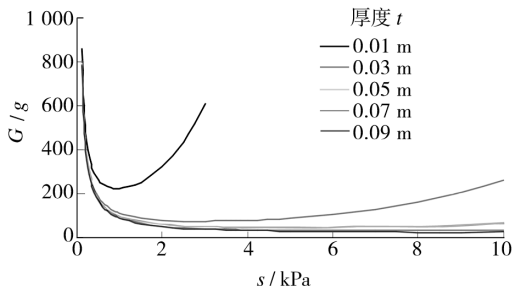


图 1 直线法预测的 EPO 缓冲系数曲线

Fig. 1 Prediction of cushioning coefficient curve of EPO with straight line method

为进一步分析直线法预测精度, 以厚度为 0.05 m 的 EPO 材料为例, 比较在跌落高度为 0.76 m 下的缓冲系数曲线的试验值和预测值, 比较结果见表 2。

由表 2 可知, 采用 2 点的直线法所预测的数据与实测数据非常接近, 平均误差百分比仅仅为 4.30%, 数据较为理想。相比于应力-能量法, 只使用了 2 个

表 2 EPO 材料缓冲系数曲线试验值与预测值的对比

Tab.2 Comparison of prediction and test results of EPO cushioning coefficient curve

t /m	h /m	s /kPa	G (实测)/g	G (预测)/g	G 的 误差/g	误差百 分比/%
0.05	0.76	3.45	57.05	55.72	1.33	2.33
0.05	0.76	4.83	59.54	57.21	2.33	3.91
0.05	0.76	6.21	65.05	63.96	1.09	1.68
0.05	0.76	7.59	72.01	75.23	3.22	4.47
0.05	0.76	8.28	75.78	82.68	6.90	9.11

试验点,试验过程中只需冲击 10 次,且具有较高预测精度,可以作为泡沫塑料缓冲系数曲线快速测试的一种方法。

参考文献:

- [1] JANSSEN R R. A Method for the Paper Selection of a Package Cushion Material and Its Dimensions[R]. North American Aviation,1952.
- [2] FRANKLIN P E, HATAE M T. Shock and Vibration Handbook. Packaging Design[M]. New York: McGraw-Hill Book Inc,1961.
- [3] ANSORGE T, NENDEL K. Calculation of Cushion Dia-

grams Using a Physical Model[J]. Packaging Technology & Science,1998,11:1-8.

- [4] SEK M, KIRPATRICK J. Prediction of Cushioning Properties of Corrugated Fiberboard from Static and Quasi-dynamic Compression Data[J]. Packaging Technology & Science, 1997(10):87-94.
- [5] SEK M. A New Method for Determination of Cushion Curves[J]. Packaging Technology & Science, 2000, 13: 249-255.
- [6] LYE S W, CHUCHOM S. Predictive Characterization Model for Impact Cushioning Curves: Configuring the Predictive Characterization Model[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 1997(6):209-214.
- [7] DAUM Matthew. A Simplified Process for Determining Cushion Curves: the Stress-energy Method [EB/OL]. [2010-07-10]. www.pdfbook4u.com/Curves.html.
- [8] 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):59-65.
- [9] 余本农, 平幼妹. 加载速度对聚苯乙烯缓冲材料静态压缩特性的影响[J]. 包装工程, 1995, 16(5):10-12.
- [10] 徐伟民, 孙国正, 曾山. 基于神经网络包装缓冲特性预测模型的研究[J]. 包装工程, 2004, 25(2):39-33.
- [11] 徐伟民. 缓冲特性曲线 BP 神经网络 MATLAB 上的方便实现[J]. 包装工程, 2004, 25(3):181-182.

(上接第 4 页)

- [3] 李新平, 索晓红. 纤维素纤维发泡缓冲包装材料的概述[J]. 包装工程, 2007, 28(4):182-184.
- [4] 高德, 常江, 巩雪. 玉米秸秆缓冲包装材料的研究[J]. 包装工程, 2007, 28(1):27-29.
- [5] SUN Y, CHENG J Y. Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production a Review[J]. Bioresource Technology, 2002, 83(1):1-11.
- [6] HENDRIKS A T W M, ZEEMAN G. Pretreatments to Enhance the Digestibility of Lignocellulosic Biomass[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(1):10-18.
- [7] ZHAO H B, KWAK J H, ZHANG Z C, et al. Studying Cellulose Fiber Structure by SEM, XRD, NMR and Acid Hydrolysis[J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 68(22):235-241.
- [8] 曹勇. 碱处理蔗渣纤维增强复合材料的生物降解[J]. 复合材料学报, 2006, 12(3):55-60.
- [9] HUANG Zu-qiang, LIANG Xing-tang, HU H Y, et al. Influence of Mechanical Activation on the Graft Copolymerization of Sugarcane Bagasse and Acrylic Acid[J].

Polymer Degradation and Stability, 2009, 94(10):1737-1745.

- [10] 黄祖强, 陈渊, 梁兴唐, 等. 机械活化对木薯淀粉的直链淀粉含量及抗性淀粉形成的影响[J]. 高校化学工程学报, 2007, 21(3):471-476.
- [11] 索晓红, 李新平. 纤维素纤维发泡缓冲包装材料制备工艺初探[J]. 包装工程, 2006, 27(6):116-118.
- [12] 黄祖强, 高利, 梁兴唐, 等. 机械活化甘蔗渣的结构和表征[J]. 华南理工大学学报, 2009, 37(12):75-80.
- [13] HUANG Zu-qiang, LIANG Xing-tang, GAO Li, et al. Graft Co-polymerization of Mechanically Activated Sugarcane Bagasse and Acrylic Acid(Sodium Acrylate)[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering(China), 2009, 60(6):1573-1580.
- [14] 王高升, 邵文泉, 王丽, 等. 农作物秸秆缓冲包装材料的研制[J]. 包装工程, 2001, 22(6):16-19.
- [15] 王立元, 王建清. 淀粉-纤维降解包装材料的性能研究[J]. 包装工程, 2005, 26(2):7-9.