

EBC 楞瓦楞纸板缓冲曲线研究

黄蜜¹, 吴淑芳², 杜启祥³

(1. 中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039; 2. 浙江长征职业技术学院, 杭州 310023; 3. 浙江大学应用力学研究所, 杭州 310027)

摘要: 瓦楞纸板因其可降解性、优良的缓冲性能和隔温性能, 常用于运输包装中。首先利用万能试验机得到了 EBC 楼瓦楞纸板静态应力-应变曲线, 结果表明瓦楞纸板应力-应变曲线具有非单调性的特点, 因此求解瓦楞纸板缓冲曲线需要分段处理。最后计算了 EBC 瓦楞纸板的缓冲系数-最大应力曲线, 并给出了使用缓冲曲线设计包装结构的算例。

关键词: EBC 瓦楞纸板; 应力-应变曲线; 缓冲曲线

中图分类号: TB484.1; TB487 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2011)13-0028-04

Cushion Curve Study of Corrugated Paperboard with EBC-flute

HUANG Mi¹, WU Shu-fang², DU Qi-xiang³

(1. No. 59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China; 2. Zhejiang Changzheng Vocational and Technical College, Hangzhou 310023, China; 3. Institute of Applied Mechanics, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Corrugated paperboard is used for transporting packaging, as it has reasonable degradation, cushion and thermal insulation properties. The stress-strain curves was obtained by using universal testing machine. The result showed that the stress-strain curve is not monotonous, so it needs to process separately for calculating cushion curve. The cushion coefficient verses maximum curve was calculated, and the example was given to guide the structure design of packaging.

Key words: corrugated paperboard with EBC-flute; stress-strain curve; buffer curve

振动与冲击是包装系统最常见的外界激励, 而表征振动与冲击最基本的量值是加速度。Mindlin^[1]首次提出了易损度概念, 认为产品破损失效与否主要取决于其承受的峰值加速度是否超过产品所能承受的极限值。瓦楞纸板具有比强度高、成本低等优点, 广泛用于商品的运输及储藏包装中。王志伟等人^[2]讨论了单自由度正切非线性包装系统的冲击响应, 得出了阻尼系数比、冲击加速度峰值对系统冲击谱及破损边界曲线的影响规律。卢富德等人^[3-5]对立方非线性和正切非线性双层包装件在矩形方波冲击下的破损边界曲线进行了研究; 高德等人研究了具有转动包装系统的正切非线性模型冲击响应^[6]。

以上文献, 不便于直接用于缓冲包装设计, 缓冲材料的缓冲曲线仍是最常用的包装设计方法。

目前, 缓冲曲线运用广泛, 也十分便于设计人员利用。由于瓦楞纸板应力-应变曲线较复杂, 现存缓冲数据里, 还没有瓦楞纸板缓冲曲线。笔者研究 EBC 楼瓦楞纸板应力-应变曲线, 给出求解非单调性应力-应变曲线的缓冲系数-最大应力曲线的一般步骤, 最后计算 EBC 楼瓦楞纸板缓冲曲线。

1 EBC 楼瓦楞纸板应力-应变曲线

试验用材料为 7 层 EBC 楼三瓦楞纸板, 实物见图 1。E 楼与 B 楼形状为 U 楼, 楼形结构尺寸见图 2。实验原理见图 3, 图中从上到下数字 1~8 分别为压头、外衬、E 楼芯纸、内衬、B 楼芯纸、内衬、E 楼芯纸、外衬。2 层外衬均为定量 140 g/m² 的 kraft 纸张, 2

收稿日期: 2011-04-17

作者简介: 黄蜜(1958—), 女, 四川成都人, 中国兵器工业第五九研究所工程师, 主要从事包装科技信息传播及期刊出版工作。

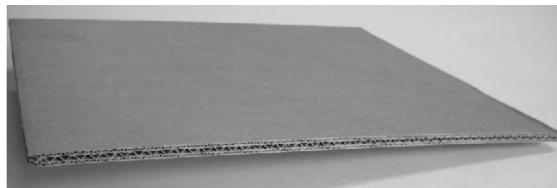


图 1 EBE 三瓦楞纸板实物

Fig. 1 Photo of EBE experimental material

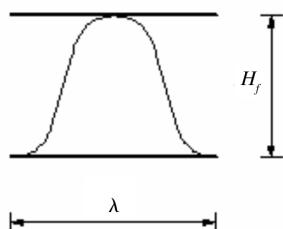


图 2 棱型结构

Fig. 2 Flute structure

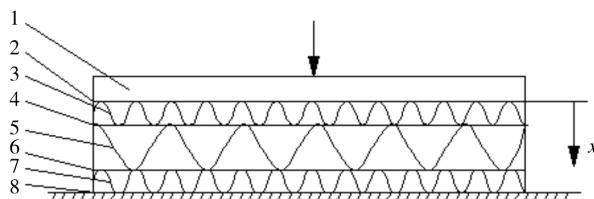


图 3 静压原理

Fig. 3 Schematic diagram of static compression

层内衬均为定量为 $112 \text{ g}/\text{m}^2$ SC(semi-chemical, 半化学)纸, 2 层 E 楼瓦楞芯纸均为定量 $105 \text{ g}/\text{m}^2$ 的 SC 纸张, 1 层 B 楼为定量 $130 \text{ g}/\text{m}^2$ 的 SC 纸, 7 层瓦楞纸板记为 140K/105SC/112SC/130SC/112SC/105SC/140K。上、下 2 层为 E 楼, 中间层为 B 楼, 其示意图见图 2, 基本参数见表 1, 7 层瓦楞纸板厚度 h 为 6.1 mm 。

表 1 7 层 EBE 瓦楞纸板棱形结构参数

Tab. 1 Parameters of flute structure

of EBE corrugated paperboard

棱形	波长 λ/mm	楞高 H_f/mm
E	3.0	1.4
B	5.8	2.7

测定瓦楞纸板静态应力-应变曲线, 在常规液压万能试验机(深圳市新三思材料检测有限公司,

CMT6103, 最大轴力 5 kN)上进行。实验用瓦楞纸板试样尺寸为: $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$, 瓦楞按 ISO 2233: 2000 标准预处理, 试验环境温度 23°C , 相对湿度 53%。

以压头与 EBE 楼瓦楞纸板刚接触的位置为坐标原点, 见图 3, 坐标方向向下, 鉴于瓦楞纸板材料结构的非均匀性和各向异性, 其应力视为名义应力:

$$\sigma(t) = F(t)/A \quad (1)$$

式中: $\sigma(t)$ 为名义应力; $F(t)$ 为平压力; A 为试样面积。

则其名义应变:

$$\epsilon(t) = x(t)/h \quad (2)$$

式中: $x(t)$ 为压缩变形量; h 为试样初始厚度。

由式(1)与(2)知, 在压缩过程中, 应力与应变的符号为正, 文中统一规定受压缩为正方向。

应力-应变曲线见图 4, 可以看出从应变 0.23 到

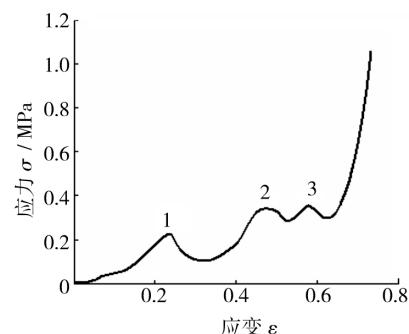


图 4 EBE 楼瓦楞纸板的应力-应变曲线

Fig. 4 Stress-strain of EBE-flute corrugated paperboard

0.33, 跨度 0.1, 伴随一层瓦楞的破坏; 应变从 0.47 到 0.51, 跨度 0.04, 伴随另一层瓦楞破坏; 应变从 0.58 到 0.62, 跨度 0.04, 伴随另一层瓦楞的破坏。跨度 0.1 最大, 即中间的 B 楼先破坏, 其它 2 个跨度相同, 都为 0.04, 与 2 个 E 楼破坏相对应。

2 EBE 楼瓦楞纸板缓冲系数-最大应力曲线

传统的缓冲材料, 例如发泡聚乙烯缓冲材料, 其应力-应变曲线为单调增^[7], 材料缓冲系数-最大应力曲线便于求解; 瓦楞纸板缓冲材料, 其应力-应变曲线有波动, 必须采用分段处理的方法。下面给出了求解非单调性缓冲材料缓冲系数-最大应力曲线的方法。

缓冲系数 C -最大应力 σ_m 曲线, 其定义为单位能量所能引起的最大应力。当 $0 < \epsilon_m < 0.24$, 瓦楞纸板

应力-应变曲线见图 5a, 其最大应力与最大应变处在同一个点, 计算应力-应变曲线的公式^[7]为:

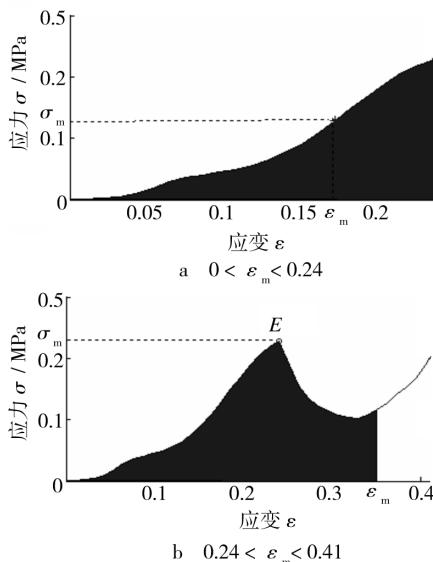


图 5 瓦楞纸板应力-应变曲线

Fig. 5 Stress-strain curve of EBE-flute corrugated paperboard

$$C = \frac{\sigma_m}{\int_0^{\epsilon_m} \sigma d\epsilon} \quad (3)$$

当 $0.24 < \epsilon_m < 0.41$, 最大应变与最大应力所处位置不再是同一个点, 见图 5b, 最大应力记为 E 点的值, 即 σ_E 。计算这一区域的缓冲系数:

$$C = \frac{\sigma_E}{\int_0^{\epsilon_m} \sigma d\epsilon} \quad (4)$$

对其他情况, 也按照上面的步骤进行分析。

计算得到的缓冲系数-最大应力曲线见图 6, 其不

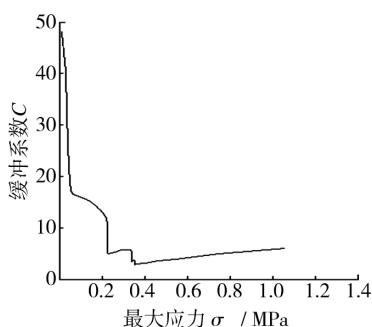


图 6 瓦楞纸板的缓冲系数-最大应力曲线

Fig. 6 Cushion coefficient-maximum stress of
EBE-flute corrugated paperboard

再是一一对应的关系, 例如在最大应力为 0.23 MPa 时, 其缓冲系数对应一条竖直线, 这是最大应变与最

大应力不处在同一点上造成的。

3 算例

被包装物质量 $m=15$ kg, 易损度 $G_m=40$, 跌落高度 $H=0.5$ m, 用 EBE 楔瓦楞纸板作为缓冲材料, 材料的厚度为 $h=0.0061$ m, 要求衬垫面积小于 0.03 m^2 , 应如何设计缓冲包装。

解: 先考虑用一块瓦楞纸板, 则缓冲系数:

$$C = \frac{hG_m}{H} = \frac{0.0061 \times 40}{0.5} = 0.488$$

$C=0.488$, 与图 6 曲线没有交点, 说明厚度不够, 取 7 块时:

$$C = \frac{7hG_m}{H} = \frac{0.0061 \times 40}{0.5} = 3.416$$

1) 在缓冲曲线中作 $C=3.416$ 水平线, 与曲线交于 2 点, 见图 7, 应取右边点(0.4487, 3.416)为设计

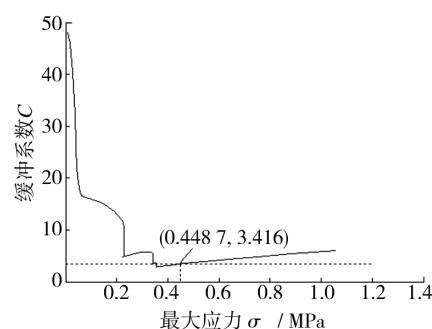


图 7 求解过程

Fig. 7 Procedure of calculation

点, 当应力较大时, 面积 $A=\frac{G_m mg}{\sigma_m}$ 会较小, 就越有利于材料的经济性, 所以最大应力 $\sigma_m=0.4487$ MPa。

2) 求出缓冲面积:

$$A = \frac{G_m mg}{\sigma_m} = 0.0131 \text{ } m^2 < 0.03 \text{ } m^2$$

使用 7 块 EBE 楔瓦楞纸板串联, 使用材料面积为 $0.0131 \text{ } m^2$, 可满足缓冲要求。

4 结论

1) 应变从 0.23 到 0.33, 跨度为 0.1, 伴随一层瓦楞的破坏; 应变从 0.47 到 0.51, 跨度为 0.04, 伴随另一层瓦楞的破坏; 应变从 0.58 到 0.62, 跨度为 0.04, 伴随另一层瓦楞的破坏。跨度 0.1 最大, 即中间的 B

楞先破坏,其余2个跨度相同,都为0.04,与2个E楞的破坏相对应。

2) 由于瓦楞纸板的应力-应变曲线具有非单调性,存在极大值点,缓冲曲线的最大应变与最大应力不处在一个点上,缓冲系数-最大应力曲线不再是一一对应的关系,例如在最大应力为0.23 MPa时,其缓冲系数对应一条竖直线。

参考文献:

- [1] MINDLIN R D. Dynamics of Package Cushioning[J]. Bell System Technical Journal, 1945, 24(3,4): 353—461.
- [2] 王志伟,武冬雁. 前锋锯齿脉冲激励下正切型非线性包

(上接第7页)

参考文献:

- [1] SCHOLLER D, VERGNAUD J M, BOUQUANT J, et al. Safety and Quality of Plastic Food Contact Materials. Optimization of Extraction Time and Extraction Yield, Based on Arithmetic Rules Derived from Mathematical Description of diffusion. Application to Control Strategies[J]. Packaging Technology and Science, 2003, 16(5):209—220.
- [2] Commission Directive 2002/72/EC of 6 August 2002 Relating to Plastic Materials and Articles Intended to Come into Contact with Foodstuffs[J]. Official Journal of the European Communities, 2002, 15(8):18—58.
- [3] Council Directive 78/142/EEC, On the Approximation of the Laws of the Member States Relating to Materials and Articles Which Contain Vinyl Chloride Monomer and are Intended to Come into Contact with Foodstuffs[S].
- [4] 郭春海,薄海波,贾海涛,等. 食品接触材料PVC中32种增塑剂在4种食品模拟物中的迁移规律研究[J]. 包装工程, 2011, 32(7):9—13.
- [5] 朱勇,王志伟. 食品包装用PVC膜增塑剂迁移的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(2):40—41.
- [6] 贾芳,李慧勇,王继才,等. 食品包装用PVC瓶盖垫片中增塑剂DEHP的迁移研究[J]. 包装工程, 2011, 32(1): 60—62.
- [7] 刘志刚,胡长鹰,王志伟. 3种聚烯烃抗氧剂迁移的试验分析及数值模拟[J]. 包装工程, 2007, 28(1):1—3.
- [8] 赵威威,胡长鹰,王志伟. HDPE膜中Irgafos168在脂肪食品模拟物中的迁移试验研究[J]. 包装工程, 2007, 28

装系统的冲击响应[J]. 包装工程, 1999, 20(4):1—3.

- [3] 卢富德,高德,梁爱锋. 立方非线性双层包装在矩形方波冲击下破损边界曲线的研究[J]. 包装工程, 2008, 29(12):7—10.
 - [4] 高德,卢富德. 两自由度正切非线性系统的冲击响应研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2010, 26(6):748—752.
 - [5] 高德,卢富德,王振林. 两自由度强滞后非线性系统梯形脉冲的冲击研究[J]. 包装学报, 2011, 3(1):11—14.
 - [6] 高德,卢富德. 具有转动包装系统的正切非线性模型冲击响应研究[J]. 振动与冲击, 2010, 29(10):131—136.
 - [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, Wuhan, 2010:51—55.
-
- (7):6—8.
 - [9] 林勤保,李小梅,宋欢. 聚乙烯塑料包装材料中4种抗氧化剂向脂肪食品模拟物迁移的研究[J]. 分析科学, 2010, 26(6):631—635.
 - [10] 艾连峰,郭春海,葛世辉,等. 超高效液相色谱法同时测定食品接触材料与食品模拟物中6种紫外吸收剂[J]. 分析测试学报, 2011, 30(1):13—17.
 - [11] GB/T 23296.1—2009, 食品接触材料 塑料中受限物质塑料中物质向食品及食品模拟物特定迁移试验和含量测定方法以及食品模拟物暴露条件选择的指南[S].
 - [12] Council Directive 82/711/EEC, Laying down the Basic Rules Necessary for Testing Migration of the Constituents of Plastic Materials and Articles Intended to Come into Contact with Foodstuffs[S].
 - [13] Council Directive 93/8/EEC, Amending Council Directive 82/711/EEC Laying Down the Basic Rules Necessary for Testing Migration of Constituents of Plastic Materials and Articles Intended to Come Into Contact with Foodstuffs[S].
 - [14] Council Directive 97/48/EC, Amending Annex II (Technical Regulations Standards Testing and Certification) to the EEA Agreement[S].
 - [15] Food and Drug Administration. Guidance for Industry: Preparation of Premarket Submissions for Food Contact Substances: Chemistry Recommendations [EB/OL]. (2011-05-05). <http://www.fda.gov/Food/Guidance-ComplianceRegulatoryInformation/GuidanceDocuments/FoodIngredientsandPackaging/ucm081818.htm>.