

发泡聚乙烯缓冲包装设计

钟声标

(江西科技学院, 南昌 330098)

摘要: **目的** 探讨由应力-应变曲线推导最大加速度-静应力曲线, 进行发泡聚乙烯缓冲包装设计的方法。**方法** 利用发泡聚乙烯的应力-应变曲线推导得到最大加速度-静应力关系, 结合算例验证方法的可行性。**结果** 得到了符合设计要求的缓冲材料的最小厚度值。**结论** 此方法丰富了包装动力学的基本理论, 方便了缓冲包装设计。

关键词: 发泡聚乙烯; 缓冲包装; 结构设计

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)21-0142-03

Cushion Packaging Structure Design of Polyethylene Foamed

ZHONG Sheng-biao

(Jiangxi University of Technology, Nanchang 330098, China)

ABSTRACT: The work aims to design the cushion packaging structure of foamed polyethylene by means of exploring the maximum acceleration-static stress curve induced by stress-strain curve. The maximum acceleration-static stress relationship was induced by stress-strain curve of foamed polyethylene and the feasibility of the method was validated in combination with example verification. The minimum thickness of cushion materials conforming to the design requirements was obtained. This method has enriched the basic theory on dynamics of packaging and facilitated the design of cushion packaging structure.

KEY WORDS: foamed polyethylene; cushion packaging; design of structure

最大加速度-静应力曲线常被用于缓冲包装设计。一般由应力-应变曲线可以推导得到在各种跌落高度下的最大加速度-静应力曲线, 所以材料的应力-应变曲线法是缓冲设计的一个简便方法^[1-6]。常规测试最大加速度-静应力曲线的方法利用跌落试验^[7-13]得到最大加速度与静应力之间的关系, 没有考虑应力-应变曲线, 因此较繁琐。文中探讨由应力-应变曲线推导最大加速度-静应力曲线的方法, 为生成更多的缓冲曲线奠定基础。

聚乙烯试样的应力-应变曲线, 见图 1。

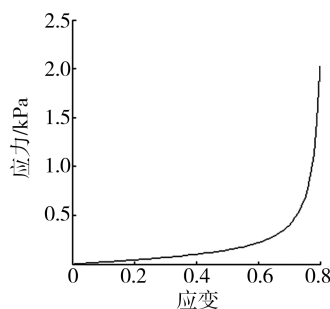


图 1 发泡聚乙烯的应力-应变曲线

Fig.1 Stress-strain curve of foamed polyethylene

应力-应变曲线的本构函数为^[7]:

$$\sigma = 0.038\varepsilon + 0.0894 \tan(1.91\varepsilon) \quad (1)$$

1 最大静应力-能量曲线建模

由静态压缩实验获得密度为 0.02 g/cm^3 的发泡

收稿日期: 2016-08-16

作者简介: 钟声标 (1978—), 男, 南昌人, 硕士, 江西科技学院讲师, 主要研究方向为工业设计。

应力-应变曲线与横坐标围成的面积为材料吸收的能量, 所以有 $E_d = \int_0^{\varepsilon} \sigma d\varepsilon$, 可获得最大静应力-能量曲线。经拟合得到最大静应力的本构函数为:

$$\sigma_m = p_1 + p_2 E_d + p_3 E_d^2 + p_4 E_d^3 \quad (2)$$

式中: $p_1 = -0.003\ 924$, $p_2 = 9.0592$, $p_3 = 139.783$, $p_4 = 1072.28$ 。实验值与理论值对比见图 2。

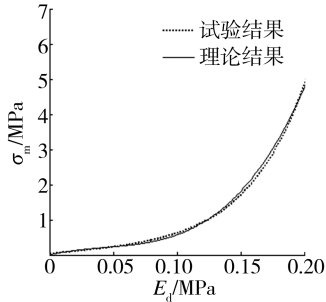


图 2 最大静应力-能量曲线

Fig.2 Curve of maximum static stress-energy

2 最大加速度-静应力函数

在动态冲击中, 利用应力-能量法的目的是得出缓冲材料的 $G_m - \sigma_{st}$ 曲线。此方法基于大量实验后给出动能量公式为:

$$E_d = \frac{\sigma_{st} h}{t} \quad (3)$$

式中: E_d 为动能量; σ_{st} 为静应力; h 为跌落高度; t 为材料厚度。静应力公式为:

$$\sigma_{st} = \frac{W}{A} \quad (4)$$

式中: W 为重锤重量; A 为材料的底面积。

动应力公式为:

$$\sigma_m = G_m \sigma_{st} \quad (5)$$

式中: σ_m 为动应力; G_m 为最大加速度; σ_{st} 为静应力。

可得最大加速度-静应力关系式为:

$$G_m = \frac{\sigma_m}{\sigma_{st}} = \frac{p_1 + p_2 E_d + p_3 E_d^2 + p_4 E_d^3}{\sigma_{st}} = \frac{p_1 + p_2 \frac{\sigma_{st} h}{t} + p_3 \left(\frac{\sigma_{st} h}{t} \right)^2 + p_4 \left(\frac{\sigma_{st} h}{t} \right)^3}{\sigma_{st}} \quad (6)$$

利用式(6), 调用 Matlab 软件, 保持跌落高度与材料厚度之比不变, 模拟重锤质量不同时的最大加速度-静应力曲线, 结果见图 3。

在缓冲包装材料动态冲击试验中获得的最大冲击加速度-静应力曲线可直接用于表征缓冲包装材料的动态缓冲性能, 能够反映该材料最适合包装

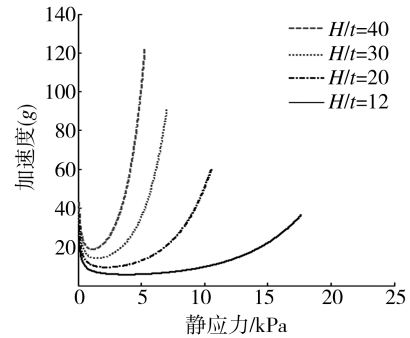


图 3 最大加速度-静应力曲线

Fig.3 Curve of maximum acceleration-static stress

的产品类型和在最佳动态缓冲性能附近所能承受的重量, 这是用于产品缓冲包装设计的主要依据。缓冲包装设计则是以包装件的质量、形状及自身的易损程度和在流通过程中经受的振动及跌落高度为基础数据, 根据缓冲材料动态冲击条件下的缓冲性能, 来设计出所需的材料厚度和接触面积等缓冲包装技术参数^[3]。

3 数值算例

已知产品重量 $W=200\text{ N}$, 底面尺寸为 $50\text{ cm} \times 40\text{ cm}$, 等效跌落高度 $h=50\text{ cm}$, 产品脆值 $G_m=15\text{ g}$, 求发泡聚乙烯缓冲垫的厚度 t 。计算静应力 $\sigma_{st} = W/A \times 10^4 = 1\text{ kPa}$, 与 $G_m=15\text{ g}$ 的交点恰好在 4 条曲线最低点附近。以 $G_m=15\text{ g}$ 作一条水平线, 与 $H/t=20$ 和 $H/t=12$ 有交点。其中以 $\sigma_{st}=5\text{ kPa}$, 与 $H/t=20$ 的交点进行设计最为节省材料, 所需的承载面积 $A_d = W/\sigma_{st} \times 10^4 = 400\text{ cm}^2$ 。最低点为 $H/t=20$ 与 $\sigma_{st} = W/A \times 10^4 = 1\text{ kPa}$ 的交点, 所需承载面积 $A_e = W/\sigma_{st} \times 10^4 = 2000\text{ cm}^2$, 这是最安全的方案, 材料厚度 $t=25\text{ mm}$ 。

4 结语

提出了一种由应力-应变曲线推导最大加速度-静应力曲线的方法, 这种方法可避免跌落破坏性试验, 减少经济损失, 并可迅速高效地进行缓冲结构设计, 为生成更多的缓冲曲线奠定了基础。

参考文献:

- [1] 卢富德, 高德. 蜂窝纸板-维动态本构关系及应用[J]. 振动工程学报, 2016, 29(1): 38—44.

- LU Fu-de, GAO De. One-dimension Constitutive Relationship and Its Application for Honeycomb Paperboard[J]. Journal of Vibration Engineering, 2016, 29(1): 38—44.
- [2] 卢富德, 高德. 考虑蜂窝纸板箱缓冲作用的产品包装系统跌落冲击研究[J]. 振动工程学报, 2012, 25(3): 335—341.
- LU Fu-de, GAO De. Study on Drop Impact of Packaging System Considering the Cushioning Action of Honeycomb Paperboard Box[J]. Journal of Vibration Engineering, 2012, 25(3): 335—341.
- [3] 卢富德, 陶伟明, 高德. 串联缓冲结构压缩响应虚拟质量分析[J]. 浙江大学学报(工学版), 2012, 46(8): 1431—1436.
- LU Fu-de, TAO Wei-ming, GAO De. Compression Responses of Series Cushioning Structures by a Virtual Mass Method[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2012, 46(8): 1431—1436.
- [4] 卢富德, 刘雄建, 高德. 多胞缓冲材料本构模型与应用进展[J]. 浙江大学学报(工学版), 2014, 48(7): 1336—1344.
- LU Fu-de, LIU Xiong-jian, GAO De. Review of Constitutive Model and Its Application of Cellular Cushioning Material[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2014, 48(7): 1336—1344.
- [5] 卢富德, 高德. 功能梯度泡沫动力学响应分析[J]. 振动与冲击, 2014, 33(15): 54—57.
- LU Fu-de, GAO De. Dynamic Response of a Functionally Graded Foam Structure[J]. Journal of Vibration and Shock, 2014, 33(15): 54—57.
- [6] 卢富德, 高德. 冲击碰撞试验台在中应变率压缩试验中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(9): 50—53.
- LU Fu-de, GAO De. Application of Collision Impact Tester in Compressive Experiment under Moderate Strain Rate Loading Condition[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2015, 34(9): 50—53.
- [7] 高德, 卢富德. 聚乙烯缓冲材料多自由度跌落包装系统优化设计[J]. 振动与冲击, 2012, 31(3): 69—72.
- GAO De, LU Fu-de. Optimization Design of MDOF Package Cushioning System Made of Polyethylene[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(3): 69—72.
- [8] 卢富德, 许晨光, 高德, 等. 悬臂梁易损部件在矩形加速度脉冲激励下的动力学响应与有限元分析[J]. 振动与冲击, 2016, 35(5): 191—195.
- LU Fu-de, XU Chen-guang, GAO De, et al. Shock Response and Finite Element Analysis of Critical Component with Cantilever Beam under the Action of Rectangular Acceleration Pulse[J]. Journal of Vibration and Shock, 2016, 35(5): 191—195.
- [9] LU Fu-de, LIU X J, GAO De. Compression Response of Composite Cushioning Materials in Series by Virtual Parameter Methods[J]. Packaging Technology and Science, 2015, 28(10): 901—914.
- [10] LU Fu-de, GAO De. Quasi-static and Impact Responses of Multi-layered Corrugated Paperboard Cushion by Virtual Mass Method[J]. Packaging Technology and Science, 2014, 27(11): 867—881.
- [11] LU Fu-de, TAO Wei-min, GAO De. Virtual Mass Method for Solution of Dynamic Response of Composite Cushion Packaging System[J]. Packaging Technology and Science, 2013, 26(S1): 32—42.
- [12] 卢富德, 张绍云, 杜启祥. 发泡聚乙烯隔振性能研究[J]. 包装工程, 2011, 32(11): 1—4.
- LU Fu-de, ZHANG Shao-yun, DU Qi-xiang. Study of Vibration Isolation Performance of Cone Structure[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11): 1—4.
- [13] 李光, 阮丽, 高德, 等. 非线性运输包装系统动力学建模研究进展[J]. 包装工程, 2015, 36(19): 1—6.
- LI Guang, RUAN Li, GAO De, et al. Research Progress of Dynamic Modeling of Nonlinear Transport Packaging System[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(19): 1—6.