

发泡聚乙烯包装系统冲击谱研究

李 军

(佳木斯大学, 佳木斯 154007)

摘要: 建立了发泡聚乙烯缓冲包装系统的缓冲模型,运用四阶变步长 Runge-Kutta 方法,计算出了此非线性系统在半正弦脉冲冲击下的冲击响应谱,并讨论了参数 λ_1, λ_2 和 λ_3 对冲击谱的影响规律。

关键词: 发泡聚乙烯; 缓冲包装; 冲击谱

中图分类号: TB485.1; TB487 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2012)09-0046-03

Study of Shock Response Spectrum of Expanded Polyethylene Packaging System

LI Jun

(Jiamusi University, Jiamusi 154007, China)

Abstract: Cushioning model of two degrees of freedom for expanded polyethylene cushioning packaging system was established. The shock response spectrum of the nonlinear system under the action of half-sine pulse was calculated using Runge-Kutta method. The influencing rule of parameter λ_1, λ_2 , and λ_3 on shock response spectrum was discussed.

Key words: expanded polyethylene; cushioning packaging; shock response spectrum

1968 年, R. E. Newton^[1]以几种常用脉冲的冲击谱为基础,得出了产品破损边界曲线,这一概念是缓冲包装的重要概念。国内对包装系统的缓冲冲击研究大多基于理想的模型,例如: Wang Zhen-lin^[2]研究了双线性非线性包装系统的破损边界曲线;卢富德^[3]研究了立方非线性包装系统在脉冲激励下的损坏边界曲线。高德^[4-5]基于包装产品质心不对称性的系统受到冲击后会发生转动现象,研究了平动与转动之间的耦合规律。很少有文献报道泡沫塑料包装系统冲击谱及破损边界曲线。发泡聚乙烯^[6]广泛运用于缓冲包装中,研究其在包装系统的冲击响应规律对指导包装结构设计具有重要意义。

1 发泡聚乙烯系统缓冲模型

图 1 为两自由度系统,上层产品与下层产品之间用缓冲材料 2,下层产品与外包装箱之间用缓冲材料 1,不考虑外包装箱的质量。 m_2, m_1 分别为上下层的质量, $f(x_2-x_1, \dot{x}_2-\dot{x}_1), f(x_1-u, \dot{x}_1-\dot{u})$ 分别为上下层之间的包装衬垫的恢复力函数。半正弦脉冲最

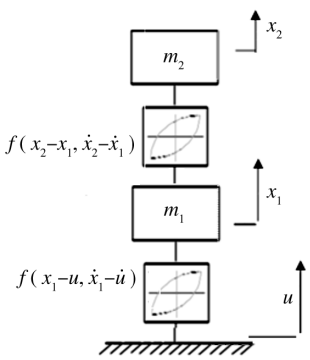


图 1 两自由度非线性包装系统示意图
Fig. 1 Sketch map of nonlinear packaging system with two degree of freedom

接近实际流通环境,因此文中研究系统在半正弦脉冲激励下的动力学响应特征。半正弦脉冲函数表达式为:

$$\ddot{u} = \ddot{u}_m \sin \frac{\pi t}{t_0} \Delta H(t, t_0) \tag{1}$$

恢复力函数 $f^{[7]}$ 为:

$$f(\epsilon) = d_1 \epsilon + d_2 \epsilon^2 + d_3 \epsilon^3 + d_4 \dot{\epsilon} + d_5 \dot{\epsilon}^2 + d_6 \dot{\epsilon}^3 \tag{2}$$

收稿日期: 2012-02-25

作者简介: 李军(1961—),男,山东菏泽人,佳木斯大学工程师,主要研究方向为包装工程。

式中: $d_1 = 322\ 800\ \text{N/m}^2$; $d_2 = 252\ 000\ \text{N/m}^2$; $d_3 = -3\ 176\ 000\ \text{N/m}^2$; $d_4 = 174\ \text{N} \cdot \text{s/m}^2$; $d_5 = -3.030\ 6\ \text{N} \cdot \text{s/m}^2$; $d_6 = -0.459\ 2\ \text{N} \cdot \text{s/m}^2$ 。

由牛顿定律得出缓冲系统动力学方程,即:

$$\begin{cases} m_2 \ddot{x}_2 + 322\ 800 \frac{A_2}{h_2} (x_2 - x_1) + 252\ 000 \frac{A_2}{h_2^2} (x_2 - x_1)^2 - 31\ 760\ 000 \frac{A_2}{h_2^3} (x_2 - x_1)^3 + 174 \frac{A_2}{h_2} (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - \\ 3.036\ 2 \frac{A_2}{h_2^2} (\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^2 - 0.459\ 2 \frac{A_2}{h_2^3} (\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^3 = 0 \\ m_1 \ddot{x}_1 + 322\ 800 \frac{A_1}{h_1} (x_1 - u) + 252\ 000 \frac{A_1}{h_1^2} (x_1 - u)^2 - 31\ 760\ 000 \frac{A_1}{h_1^3} (x_1 - u)^3 + 174 \frac{A_1}{h_1} (\dot{x}_1 - \dot{u}) - \\ 3.036\ 2 \frac{A_1}{h_1^2} (\dot{x}_1 - \dot{u})^2 - 0.459\ 2 \frac{A_1}{h_1^3} (\dot{x}_1 - \dot{u})^3 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式(3)的初始条件为: $x_{1,2}(0) = 0$; $\dot{x}_{1,2}(0) = 0$ 。

引入 $\delta_2 = \frac{x_2 - u}{h_2}$, $\delta_1 = \frac{x_1 - u}{h_2}$, $R = \sqrt{\frac{A_2}{m_2 h_2}}$, $T = 0.001\ 8 \frac{1}{R}$, $\lambda_1 = \frac{A_2}{A_1}$, $\lambda_2 = \frac{h_2}{h_1}$, $\lambda_3 = \frac{m_2}{m_1}$, $\tau = \frac{t}{T}$, $(\cdot)' = \frac{d(\cdot)}{d\tau}$, $(\cdot)'' = \frac{d^2(\cdot)}{d\tau^2}$,

把公式(3)化为无量纲形式,即:

$$\begin{cases} \delta_1'' + \frac{\lambda_3 \lambda_2}{\lambda_1} \delta_1 + 0.780\ 7 \frac{\lambda_3 \lambda_2^2}{\lambda_1} \delta_1^2 - 9.838\ 9 \frac{\lambda_3 \lambda_2^3}{\lambda_1} \delta_1^3 + 0.306\ 3 \frac{\lambda_3 \lambda_2}{\lambda_1} R \delta_1' - 3.036\ 2 \frac{\lambda_3 \lambda_2^2}{\lambda_1} R^2 \delta_1'^2 - \\ 260.896\ 7 \frac{\lambda_3 \lambda_2^3}{\lambda_1} R^3 = -U'' \\ \delta_2'' + (\delta_2 - \delta_1) + 0.780\ 7 (\delta_2 - \delta_1)^2 - 9.838\ 9 (\delta_2 - \delta_1)^3 + 0.306\ 3 R (\delta_2' - \delta_1') - 3.030\ 6 R^2 (\delta_2' - \delta_1')^2 - \\ 260.896\ 7 R^3 (\delta_2' - \delta_1')^3 = -U'' \end{cases} \quad (4)$$

初始条件变为: $\delta_{1,2}(0) = 0$; $\delta_{1,2}'(0) = 0$ 。

式中: $U'' = \eta \ddot{u}_m \sin\left(\frac{\pi \tau}{\tau_0}\right) \Delta H(\tau, \tau_0)$; $\tau_0 = \frac{t_0}{T}$ 。

定义 $\eta = \frac{T^2}{h_2}$ 为系统参数。

2 数值结果

2.1 面积比对冲击响应的影响

参数 λ_1 为 $0.2 \sim 3$, $\lambda_2 = 0.7$, $\lambda_3 = 0.8$, τ_0 为 $0 \sim 4$, $R = 0.2$, $\eta \ddot{u}_m = 0.1$, 在不同面积比条件下的冲击谱与破损边界曲面见图 2。随着面积比的增加,冲击谱减

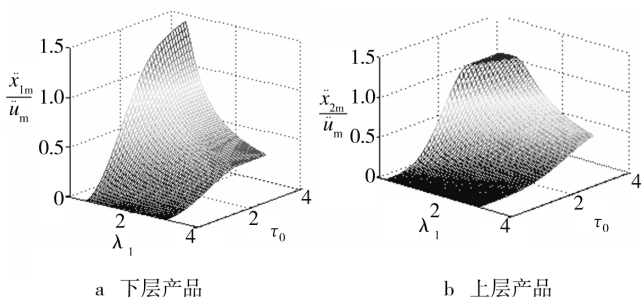


图 2 包装系统在不同面积比时的冲击谱

Fig. 2 Shock response spectrum of packaging system at different area ratio

小,当面积比增加到 2.1 时,冲击谱减小缓慢。

2.2 厚度比对冲击响应的影响

参数 $\lambda_1 = 0.6$, λ_2 为 $0.2 \sim 3$, $\lambda_3 = 0.9$, τ_0 为 $0 \sim 7$, $R = 0.4$, $\eta \ddot{u}_m = 0.05$, 在不同厚度比条件下的冲击谱与破损边界曲面见图 3。冲击谱随厚度比的增加而

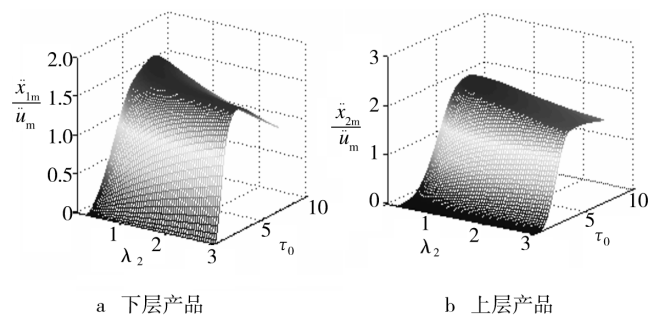


图 3 包装系统在不同厚度比时的冲击谱

Fig. 3 Shock response spectrum of packaging system at different thickness ratio

减小,当厚度比增大到 1.15 时,下层产品的冲击谱减小变缓,当厚度比增大到 2.21 时,上层产品的冲击谱减小才变缓慢,这说明厚度比对上层产品的冲击响应影响大。

2.3 质量比对冲击响应的影响

参数 $\lambda_1 = 0.6$, $\lambda_2 = 0.9$, λ_3 为 $0.2 \sim 3$, τ_0 为 $0 \sim 7$,

$R=0.4$, $\ddot{\eta}\ddot{u}_m=0.05$, 在不同质量比条件下的冲击谱与破损边界曲面见图 4。可见, 冲击谱随质量比的增加而减小。

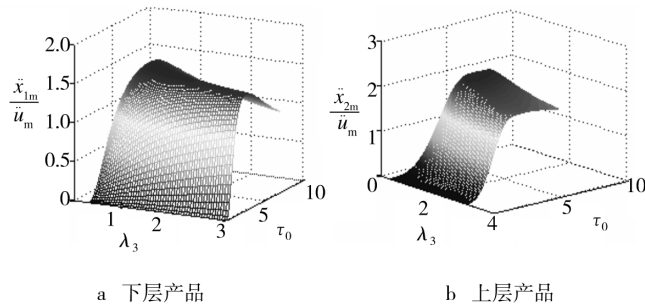


图 4 包装系统在不同质量比时的冲击谱

Fig. 4 Shock response spectrum of packaging system at different mass ratio

3 结语

建立了发泡聚乙烯两层缓冲包装的滞后性模型, 得到了系统在半正弦脉冲激励下的冲击谱与破损边界曲线, 讨论了衬垫的面积比、厚度比、质量比对冲击响应的影响。这对于更加深入地研究多自由度这样的复杂缓冲包装的机理, 更加科学地指导包装设计, 具有一定意义。

参考文献:

- [1] NEWTON R E. Fragility Assessment Theory and Practice[R]. Monterey Research Laboratory, Inc. Monterey, California, 1968.
- [2] WANG Z L, WU C F, XI De-chang. Damage Boundary of

Packaging System under Rectangular Pulse Excitation[J]. Packaging Techno Sci, 1998, 11: 189-202.

- [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.
- LU Fu-de, GAO De, LIANG Ai-feng. Study of Damage Boundary Curve of Cubic Non-linear Double Layer Package under Rectangular Pulse[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(12): 7-10.
- [4] 高德, 卢富德. 考虑转动的双曲正切与正切组合模型缓冲系统冲击响应研究[J]. 振动工程学报, 2012, 25(1): 6-11.
- GAO De, LU Fu-de. The Shock Response of Hyperbolic Tangent and Tangent Comprehensive Model on Cushion System Considering Rotary Motion[J]. J of Vibration Engineering, 2012, 25(1): 6-11.
- [5] 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): 131-138, 210.
- GAO De, LU Fu-de. Shock Response of a Nonlinear Tangent Packaging System with Rotation[J]. J of Vibration Engineering, 2010, 29(10): 131-138, 210.
- [6] 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]. J of Vibration Engineering, 2012, 31(3): 69-72.
- [7] 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 EPE[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11): 1-4.

(上接第 36 页)

- [8] NY 5029-2008, 无公害食品 猪肉[S].
- NY 5029-2008, Pollution-free Food—Pork Lion[S].
- [9] 蒋立凤, 叶扣贯. 猪肉在冻藏中挥发性盐基氮含量的变化[J]. 肉类工业, 2001(12): 17-18.
- JIANG Li-feng, YE Kou-guan. Changes of Volatile Basic

Nitrogen Content in Pork during Frozen Storage[J]. Meat Industry, 2001(12): 17-18.

- [10] GB 2707-2005, 鲜(冻)畜肉卫生标准[S].
- GB 2707-2005, Hygienic Standard for Fresh (Frozen) Meat of Livestock[S].