

后峰锯齿波激励下立方非线性包装结构的损坏边界

吴浩然

卢方

(杭州广播电视大学, 杭州 310009)

(浙江广播电视大学, 杭州 310012)

摘要 本文从立方非线性包装结构在后峰锯齿波冲击时的响应(冲击谱)及安全区域出发,讨论了非线性因素、结构易损度变化对包装结构损坏边界的影响

式中, $g = \frac{r}{k} = \frac{r_0}{k_0} L^2$ 为非线性影响量, 其值大小反映了系统的非线性影响程度

关键词 后峰锯齿波, 非线性, 结构易损度, 损坏边界曲线

式(4)是一个二阶非线性常微分方程, 本文通过建立增量方程, 用三次B样条函数配点法, 编制了计算机程序求解, 求得包装系统的冲击谱和损坏边界曲线

引言

2 冲击谱及损坏边界

结构受冲击时的安全问题, 在包装工程领域日益受到重视 1968年R. E. Newton^[1]提出用损坏边界来描述包装结构的安全性后, 已有多人^[2,3]计算和讨论了各种波形下的线性包装系统的损坏边界 但实际的包装系统表现为非线性, 为此文献^[4, 5]讨论了具有立方非线性包装结构在矩形波加速度冲击和半正弦加速度冲击下的损坏边界问题 本文继续讨论在后峰锯齿波加速度冲击时的损坏边界 包装结构的损坏边界曲线是用两条边界围成的, 沿纵坐标(最大冲击加速度 \ddot{U}_m) 方向的曲线, 称为临界速度线, 沿横坐标(速度变化量 $V = \int_0^{t_0} u(t) dt$) 方向的曲线称为临界加速度线 两条边界曲线所围区域为产品的破损区, 破损区以外区域为安全区^[3].

不同后峰锯齿波幅值 \ddot{U}_m 及不同非线性影响量 g 包装系统的冲击谱如图1所示

1 数学模型的建立

对承受冲击载荷的系统, 在工程中主要考虑控制结构的最大反应, 可忽略阻尼的影响^[6], 系统的数学模型为^[4]

$$m \ddot{x}_1 + f(y_1) = 0 \quad (1)$$

式中, m 为产品质量, y_1, x_1 分别是产品的相对和绝对位移, $f(y_1)$ 为包装材料的弹性力

对具有立方非线性特性的材料, 有

$$f(y_1) = k_0 y_1 + r_0 y_1^3 \quad (2)$$

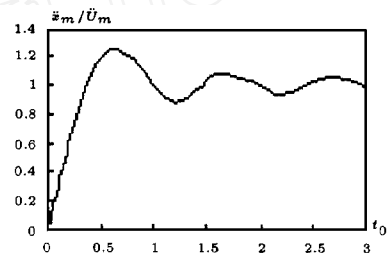
当外激励为后峰锯齿波时

$$\ddot{u}(t) = \begin{cases} \frac{\ddot{U}_m}{t_0} t & (0 < t \leq t_0) \\ 0 & (t > t_0) \end{cases} \quad (3)$$

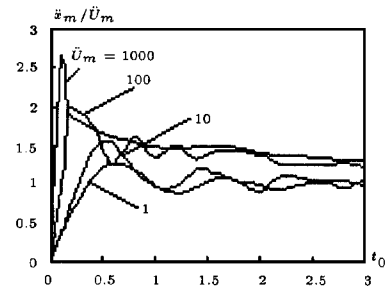
式中, $t_0 = \frac{T_0}{2}$, 其中 T_0 为后峰锯齿波加速度外激励时间, $\ddot{U}_m = \frac{T_0^2}{L} \ddot{u}_{bm}$ 为后峰锯齿波加速度幅值, 其中 \ddot{u}_{bm} 为 t_1 时间域的后峰锯齿波加速度幅值

各量无量纲化, 见文献^[4], 得到无量纲化方程

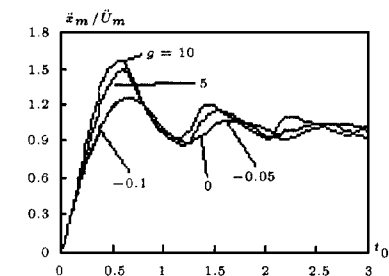
$$\ddot{y} + k(y + gy^3) = -\ddot{u} \quad (4)$$



(a) 不同加速度幅值激励下线性包装系统 ($g = 0$) 的冲击谱

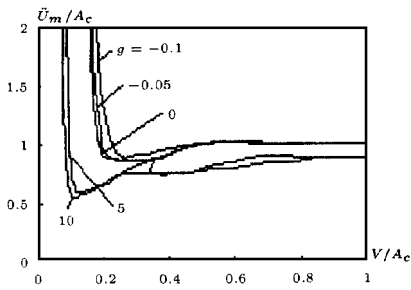


(b) 非线性影响量 $g = 10$ 、不同加速度幅值激励下的冲击谱

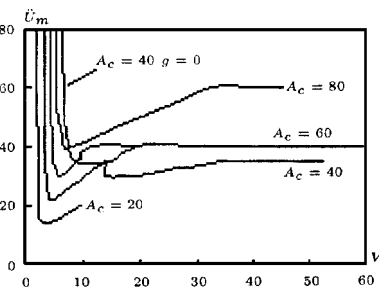


(c) 加速度幅值 $\ddot{U}_m = 10$ 、不同非线性影响量 g 下的冲击谱
图1 冲击谱

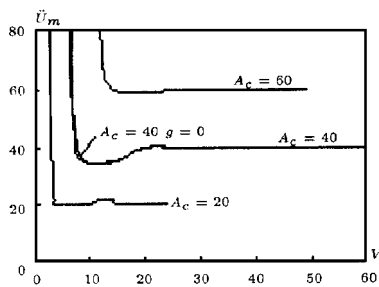
由图 1 可以看到非线性包装结构的冲击谱不仅是 $t_0 = \tau_0/T_0$ 的函数, 还与非线性影响量 g , 外激励幅值 U_m^0 有关 仍采用线性包装结构的损坏边界曲线来描述结构的易损性, 将受到上述因素的影响 表现在作非



(a) 易损度 $A_c = 40$, 不同非线性影响量 g 下的损坏边界曲线



(b) 非线性影响量 $g = 10$, 不同 A_c 下的损坏边界曲线



(c) 非线性影响量 $g = -0.05$, 不同 A_c 下的损坏边界曲线
图 2 损伤边界

线性包装结构的损坏边界曲线的方法上与线性时有两点不同:

- (1) 不能由冲击谱图通过简单的坐标变换^[3]而得到
- (2) 不同包装结构的损坏边界将受激励幅值范围的不同而变化

为此, 作非线性结构的损坏边界曲线所采用的方法是: 给定一个最大加速度响应幅值(数值上为其结构的易损度), 在非线性包装结构的冲击谱中搜索具有相同易损值的点, 这些点连成的曲线即为该结构的损坏边界曲线 此曲线是包装结构的安全与非安全区域的分界线, 供包装系统设计时参考

按上述方法, 本文作出了不同易损度 A_c 、不同非线性影响量 g 时包装结构的损坏边界曲线, 如图 2 所示

3 结论

通过对上述计算结果分析不难推得下面结论:

具有立方非线性包装结构的损坏边界, 受硬非线性(正非线性)、软非线性(负非线性)和结构易损度的影响 同一结构, 负非线性材料包装时安全区最大, 易损度大的结构, 还应注意较低外激励幅值冲击引起的破损

参 考 文 献

- 1 Newton R E. Fragility Assessment Theory and Test Procedure. Monterey Calif: Monterey Research Laboratory, Inc, 1968
- 2 汤伯森. 后峰锯齿脉冲的产品破损边界曲线方程. 振动工程学报, 1994 (40)
- 3 佟富强, 刘宝璋. 三种典型冲击波的破损边界曲线的计算. 第四次全国包装设计学术会议论文集, 1992
- 4 吴浩然, 卢方. 立方非线性产品包装损坏边界的三维曲面表示. 宁波大学学报, 1996, 9 (2): 34~ 39
- 5 吴浩然, 王振林, 应祖光等. 半正弦波冲击时立方非线性产品包装损坏边界曲线. 包装工程, 1996, 17 (4): 5~ 8
- 6 克劳夫 K W 等著. 王光远译. 结构动力学. 北京: 科学出版社, 1983 59

(1996 年 8 月 21 日收到第 1 稿
1996 年 11 月 16 日收到修改稿)