

卫星包装箱的随机隔振优化分析

中国科学院力学研究所 田千里 许滨

【摘要】 用钢丝绳隔振器将卫星包装箱支承在运输车上，将卫星与车辆简化为二自由度体系，优化分析了在随机路面上行驶时使包装箱响应最小之隔振参数。对实测得到的钢丝绳减振器的非线性迟滞性能作了描述，提出了统计线性化分析的方法。

关键词： 卫星 包装箱 隔振 优化

1 前 言

为防止卫星在运输过程中受到意外的冲击或剧烈振动而受损，通常要将卫星包装箱通过减振器装在运输车上，以往国内采用橡胶减振器，缺点是易于老化，在受剧烈振动与冲击时还会被撕裂，为此拟采用国外广泛采用的钢丝绳减振器^[1]。钢丝绳减振器是由多股钢丝拧成的钢丝绳绕制而成的，在承受振动时各股钢丝间发生摩擦，可以耗散能量、增大阻尼、衰减振动。它又具有大变形软化刚度特征，能很好的缓冲，因此在国外已被广泛用于工程隔振，特别是航空、航天领域之运输隔振，如美国的 Aeroflex 公司就生产了各种型号规格的航空用钢丝绳减振器，并有产品目录，附有它们的静态刚度特性曲线，但缺少动特性曲线，给设计带来一定困难。

卫星与包装箱的重量之和与车辆重量属同一量级，车辆本身又有自己的隔振装置（一般称为车辆之悬挂系统），故必须对组合系统进行动力分析，才能得到优化的隔振设计。为简化起见，将卫星、减振器及车辆、悬挂系统分别视为单自由度体系，综合起来作为二自由度体系进行分析。根据隔振防冲理论，一个二级隔振系统，如果它上部

系统之频率低于下部系统之频率，则其隔振、防冲效果都会优于一级隔振体系。一般车辆隔振体系之基频在 2 赫兹以下，因此如果能选取 1.0 赫兹以下的低频隔振器作为包装箱隔振器，就一定能保证有良好的隔振防冲效果，但这样一来隔振器的行程会很大。由于卫星体积庞大，重量可观，采用如此低频的隔振器在安装上是很难实现的，结构又不易稳定。

采用主动控制的隔振器可以克服这个缺点，但工艺复杂、价格昂贵，而且需要经常维护。所以只有让包装箱隔振器的固有频率高于车辆悬挂系统频率。我们对要进行改造的卫星运输车实测的结果给出基频为 1.8 赫兹，为避免包装隔振系统形成动力吸振器，包装箱隔振器频率应远离这一频率，但如果隔振器刚度太大则失去缓冲作用，因此对隔振器的刚度与阻尼参数有一个优化设计的问题。在动能情况下钢丝绳隔振器具有非线性滞迟性能，根据实测的钢丝绳动态性能，本文对简化的二自由度体系的随机响应进行了优化分析，钢丝绳非线性用等效线性化方法处理，提出了设计这种减振装置的近似分析方法。

◆ 本文于1991年元月7日收到

2 减振器的动态特性

钢丝绳的内摩擦有耗能、增加阻尼的作用,但其非线性滞迟性能也给分析带来了困难,隔振设计需要有一个描述这种性能的数学表达式,根据文[2][3]的实测结果,钢丝绳隔振器在稳态简谐激励时,其力-位移曲线有明显的滞迟非线性性能。

滞迟迴线 $f(x, \dot{x})$ 由对应于 $\dot{x} > 0$ 之 $n_1(x)$ 与对应于 $\dot{x} < 0$ 之 $n_2(x)$ 组成,可表达为

$$f(x, \dot{x}) = n_p(x) + n_q(x) s_{gn}(\dot{x}) \quad (1)$$

$$s_{gn}(\dot{x}) = \begin{cases} 1 & \text{当 } \dot{x} > 0 \\ 0 & \text{当 } \dot{x} = 0 \\ -1 & \text{当 } \dot{x} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$n_p(x) = \frac{1}{2} [n_1(x) + n_2(x)] \quad (3)$$

$$n_q(x) = \frac{1}{2} [n_1(x) - n_2(x)] \quad (4)$$

显然 $n_p(x)$ 为奇函数可用多项式表示

$$n_p(x) = kx + a_3x^3 + a_5x^5 = \bar{n}_p(x) + a_3x^3 + a_5x^5 \quad (5)$$

k 由 $n_p(x)$ 在 $x=0$ 处之斜率决定之

$$\text{即} \quad k = \bar{n}'_p(x)|_{x=0} \quad (6)$$

a_3, a_5 由另外两个条件

$$\text{即} \quad \bar{n}_p(x_m) = Y \quad (7)$$

$$n'_p(x_m) = \alpha = \text{tg}\theta \text{ 决定之} \quad (8)$$

$$\text{即} \quad a_3 = \frac{5Yx_m^{-1} - \alpha}{2} x_m^{-2} \quad (9)$$

$$a_5 = \frac{\alpha - 3Yx_m^{-1}}{2} x_m^{-4} \quad (10)$$

$n_q(x)$ 在 $0 < x < a, \dot{x} > 0$ 的第一象限为

$$n_2(x) = Y - (a_3x^3 + a_5x^5) \quad (11)$$

实验结果表明,在5~20Hz范围内, Y 不随响应幅度与激励频率而变,基本上是个常数, α 是随响应幅度 x_m 变化的,但它对计算结果影响不大,只可近似视为一常数,因此在一定频带范围内,只用 k, Y, α 这三个参数决定滞迟迴线之数学模型。由(1)~(11)

式可见虽然 $f(x, \dot{x})$ 可用三个参数决定,但它是具有滞迟的非线性性能,这里用统计线性化法^[5]求得它的等效刚度 k_{eq} 与阻尼 β_{eq} 。

$$\text{定义} \quad C(x_m) = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} \cos\theta f(x, \dot{x}) d\theta \quad (12)$$

$$S(x_m) = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sin\theta f(x, \dot{x}) d\theta \quad (13)$$

$$x = x_m \cos(\omega_{eq}t + \phi) \\ = x_m \cos\theta \quad (14)$$

$$\dot{x} = -\omega_{eq} x_m \sin\theta \quad (15)$$

由(1)(5)(9)(10)诸式可得

$$C(x_m) = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} n_p(x) \cos\theta d\theta \\ = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} (kx_m \cos\theta + a_3x_m^3 \cos^3\theta \\ + a_5x_m^5 \cos^5\theta) \cdot \cos\theta d\theta \\ = \left(k - \frac{\alpha}{16} \right) x_m + \frac{15}{16} Y \quad (16)$$

$$S(x_m) = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} n_q(x) \sin\theta d\theta \\ = -\frac{4}{\pi x_m} \int_0^{\pi/2} (Y - a_3 \cos^3\theta \\ - a_5 \cos^5\theta) d\cos\theta \\ = -\frac{1}{\pi} \left(\frac{5}{2} Y + \frac{\alpha}{6} x_m \right) \quad (17)$$

$$\beta_{eq} = - \left[\int_0^{\infty} x_m S(x_m) P(x_m) dx_m \right] \\ \cdot \left[\omega_{eq} \int_0^{\infty} x_m^2 P(x_m) dx_m \right]^{-1} \\ = \left[\int_0^{\infty} \frac{x_m^2}{\sigma^2 \pi} \left(\frac{5}{2} Y + \frac{\alpha}{6} x_m \right) \right. \\ \cdot \exp \left(-\frac{x_m^2}{2\sigma^2} \right) dx_m \left. \right] \times \\ \left[\omega_{eq} \int_0^{\infty} \frac{x_m^3}{\sigma^2} \exp \left(-\frac{x_m^2}{2\sigma^2} \right) \right. \\ \cdot dx_m \left. \right]^{-1} \\ = \frac{1}{\pi} \left(\frac{5}{2} Y \frac{\Gamma(3/2)}{\sqrt{2}\sigma} + \frac{\alpha}{\omega_{eq} \cdot 6} \right) \quad (18)$$

$$\begin{aligned}
 k_{eq} &= \left[\int_0^{\infty} x_m C(x_m) P(x_m) dx_m \right] \\
 &\quad \cdot \left[\int_0^{\infty} x_m^2 P(x_m) dx_m \right]^{-1} \\
 &= \left[\int_0^{\infty} \frac{x_m^2}{\sigma^2} \left[\frac{15}{16} Y + \left(k - \frac{a}{16} \right) x_m \right] \right. \\
 &\quad \cdot \exp \left(-\frac{x_m^2}{2\sigma^2} \right) dx_m \left. \right] \times \left[\int_0^{\infty} \frac{x_m^2}{\sigma^2} \right. \\
 &\quad \cdot \exp \left(-\frac{x_m^2}{2\sigma^2} \right) dx_m \left. \right]^{-1} \\
 &= \frac{15}{16} Y \frac{\Gamma(3)}{\Gamma(2)} \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} + k - \frac{a}{16}
 \end{aligned} \quad (19)$$

有了等效刚度与等效阻尼，便可按线性系统计算随机响应，只是 k_{eq} 与 β_{eq} 均为响应方差 σ 之函数，故须迭代求解。

3 随机响应

路面的不平坦度是随机的，车辆以不同速度行驶时会受到随机颠簸，产生随机响应。要计算随机响应就需要有路谱。这里取苏联学者给出的车辆在水泥路面上行驶的路谱

$$S_u(\omega) = \frac{aV}{b^2V^2 + \omega^2} \quad (20)$$

式中 $a=0.048$ $b=0.15$

V 为车辆水平行驶速度（公尺/秒）

ω 为圆频率

将包装箱加隔振器与车辆及悬挂系统用

简化之二自由度体系表示如图1所示。

$$\text{令 } R_\omega = m_1/m_2 \quad \omega_1^2 = m_1/k_1$$

$$\omega_2^2 = m_2/k_2 \quad \xi_1 = \frac{c_1}{2\sqrt{k_1 m_1}}$$

$$\xi_2 = \frac{c_2}{2\sqrt{k_2 m_2}} \quad u = u_0 \exp(i\omega t)$$

$m_1, m_2, c_1, c_2, k_1, k_2$ 分别代表卫星包装箱（含卫星）及其隔振器、车辆及悬挂系统之质量、阻尼与刚度，这里 k_2 要用前节之 k_{eq} ， c_2 要用前节之 β_{eq} 代入。系统之连动方

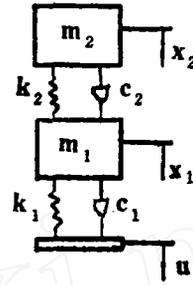


图1 简化的二自由度体模型

程为

$$m_2 \ddot{x}_2 = -k_2(x_2 - x_1) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \quad (21)$$

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 &= -k_1(x_1 - u) - c_1(\dot{x}_1 - \dot{u}) \\
 &\quad + k_2(x_2 - x_1) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)
 \end{aligned} \quad (22)$$

由之可得包装箱对基础位移激励之加速度响应传递函数

$$\begin{aligned}
 H_{\ddot{x}_2 u_0} &= [4\xi_1 \xi_2 \omega_1 \omega_2 (i\omega)^4 + (2\xi_1 \omega_1 \omega_2^2 + \\
 &\quad 2\xi_2 \omega_2 \omega_1^2)(i\omega)^3 + \omega_1^2 \omega_2^2 (i\omega)^2] / \Delta
 \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned}
 \text{其中 } \Delta &= (i\omega)^4 + [2\xi_1 \omega_1 + 2(1 \\
 &\quad + R_\omega)\xi_1 \omega_1] i\omega^3 + [(1 + R_\omega)\omega_1^2 \\
 &\quad + \omega_1^2 + 4\xi_1 \xi_2 \omega_1 \omega_2] (i\omega)^2 \\
 &\quad + (2\xi_1 \omega_1 \omega_2^2 + 2\xi_2 \omega_1^2 \omega_2) (i\omega) \\
 &\quad + \omega_1^2 \omega_2^2
 \end{aligned} \quad (24)$$

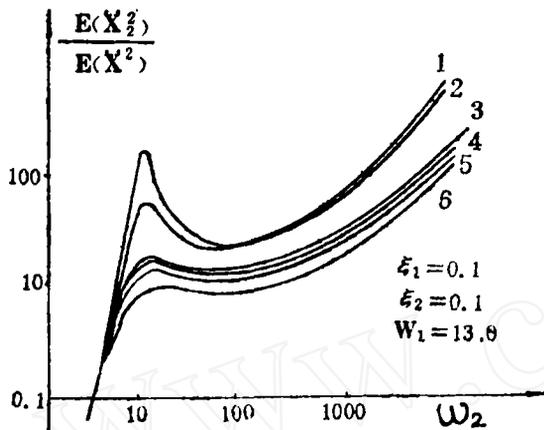
包装箱质量 m_2 之绝对加速度均方响应为

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\ddot{x}_2}^2 &= E(\ddot{x}_2^2) = \int_{-\infty}^{\infty} |H_{\ddot{x}_2 u_0}|^2 \cdot S_u(\omega) d\omega \\
 &= aV \frac{M_5}{N_5}
 \end{aligned} \quad (25)$$

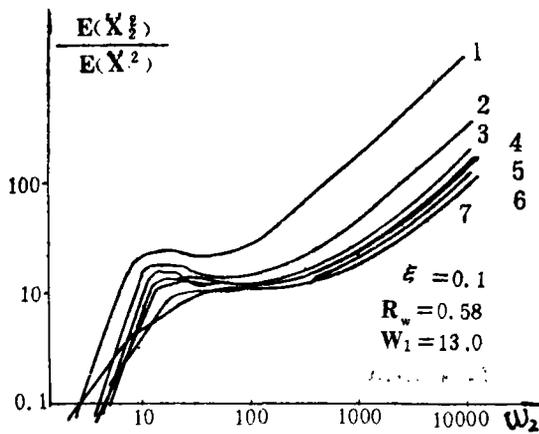
$$\begin{aligned}
 \text{式中 } M_5 &= \pi \{ A_0 B_1^2 (A_0 A_1^2 + A_1^2 A_4 \\
 &\quad - A_0 A_1 A_5 - A_1 A_2 A_3) \\
 &\quad + A_0 A_5 (2B_2 B_4 - B_1^2) (A_1 A_2 \\
 &\quad - A_0 A_3) + A_0 A_5 B_2^2 (A_0 A_5 \\
 &\quad - A_1 A_4) \}
 \end{aligned} \quad (25a)$$

$$\begin{aligned}
 N_5 &= A_0 A_5 (A_0^2 A_1^2 - 2A_0 A_1 A_4 A_5 \\
 &\quad - A_0 A_2 A_3 A_5 + A_1 A_2 A_5 \\
 &\quad + A_1^2 A_1^2 + A_0 A_1^2 A_4 \\
 &\quad - A_1 A_2 A_3 A_4)
 \end{aligned} \quad (25b)$$

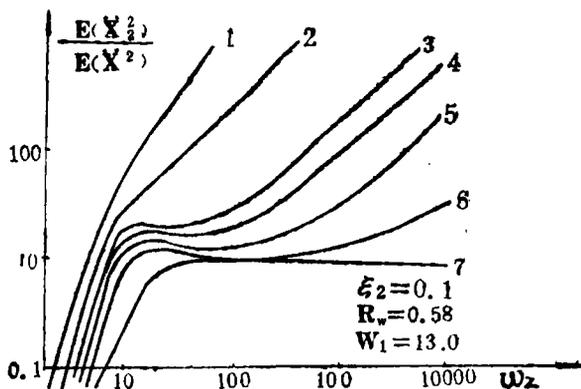
$$B_2 = \omega_1^2 \omega_2^2 \quad (25c)$$



- 1. $R_w=0.01$ 2. $R_w=0.1$ 3. $R_w=0.45$
- 4. $R_w=0.50$ 5. $R_w=0.58$ 6. $R_w=1.0$



- 1. $\xi_2=0.01$ 2. $\xi_2=0.05$ 3. $\xi_2=0.1$
- 4. $\xi_2=0.15$ 5. $\xi_2=0.2$ 6. $\xi_2=0.5$
- 7. $\xi_2=1.0$



- 1. $\xi_1=1.0$ 2. $\xi_1=0.5$ 3. $\xi_1=0.3$
- 4. $\xi_1=0.15$ 5. $\xi_1=0.1$ 6. $\xi_1=0.05$
- 7. $\xi_1=0.01$

图2 三种不同情况隔振效率曲线

$$B_3 = 2\xi_1\omega_1\omega_2^2 + 2\xi_2\omega_2\omega_1^2 \quad (25d)$$

$$B_4 = 4\xi_1\xi_2\omega_1\omega_2 \quad (25e)$$

$$A_0 = \omega_1^2\omega_2^2 6V \quad (25f)$$

$$A_1 = (2bV\xi_1\omega_1\omega_2^2 + 2bV\xi_2\omega_1^2\omega_2 + \omega_1^2\omega_2^2) \quad (25g)$$

$$A_2 = 2\xi_1\omega_1\omega_2^2 + 2\xi_2\omega_1^2\omega_2 + bV(1+R_w) \cdot \omega_2^2 + bV\omega_1^2 + 4bV\xi_1\xi_2\omega_1\omega_2 \quad (25h)$$

$$A_3 = (1+R_w)\omega_2^2 + \omega_1^2 + 4\xi_1\xi_2\omega_1\omega_2 + 2bV\xi_1\omega_1 + 2bV(1+R_w)\xi_2\omega_2 \quad (25i)$$

$$A_4 = 2\xi_1\omega_1 + 2(1+R_w)\xi_2\omega_2 + bV \quad (25j)$$

$$A_5 = 1 \quad (25k)$$

当 $k_2 \rightarrow \infty$ 时, 二自由度体系退化为单自由度体系, $m=m_1+m_2$, 在相同的路谱激励下, 质量 m 之绝对加速度均方响应为

$$E(x^2) = aV \frac{Q}{r} \quad (26)$$

式中 $Q = -\pi A'_0 A'_1 B_2'^2$
 $r = A'_0 A'_3 (A'_0 A'_3 - A'_1 A'_2)$

$$B_2' = \omega_0^2$$

$$A'_0 = bV\omega_0^2$$

$$A'_1 = 2\xi_0\omega_0 bV + \omega_0^2$$

$$A'_2 = 2\xi_0\omega_0 + bV$$

$$A'_3 = 1$$

$$\omega_0^2 = k_1/m, \quad \xi_0 = \frac{c_1}{2\sqrt{k_1 m}}$$

以 $E(x_2^2)/E(x^2)$ 为检验隔振效果的标志, 由 1 赫兹至 10 赫兹分别计算了 (1) $\xi_1=\xi_2=0.1$ 变质量比 R_w , (2) $\xi_2=0.1, R_w=0.58$ (实际卫星包装箱与车辆质量比), 变阻尼比 ξ_1 , (3) $\xi_1=0.1, R_w=0.58$ 变阻尼比 ξ_2 , 三种不同情况, 隔振效率随 ω_2 的变化曲线, 如图 2 所示。

由图 2 上可见 R_w 愈大, 隔振效果愈佳 (与 $E(x_2^2)/E(x^2)$ 成反比)。卫星加包装箱与运输车之质量比为 $R_w=0.58$, 比起小型仪器之运输隔振要有利一些。由图 2 中可见增大包装箱隔振器之阻尼有利于提高隔振效率, 钢丝绳隔振器具有较高的阻尼, 对隔离路面传至卫星之振动是有利的。由图 2 下可见运

输车阻尼增大对上层隔振产生不利影响, 这一点在设计双级隔振系统时应予注意, 由图2曲线族可以看出: 当 $\omega_2/\omega_1 > 1.0$ 后有一个区域 $E(x_2^2)/E(x^2)$ 可以达到最小, 设计隔振系统对应选择隔振器参数使 ω_2 落在该区域之内。

4 优化隔振器参数

令 $E(x_2^2)/E(x^2)$ 为目标函数, 由 (25) (26) 式有

$$E(x_2^2)/E(x^2) = \frac{M_5 r}{N_5 Q} \quad (27)$$

上式为 R_ω , ξ_1 , ξ_2 , ω_1 , ω_2 之函数。对这个具体问题来说 R_ω , ξ_1 , ω_1 是已定的, 故优化的设计变量仅为 ξ_2 , ω_2 , 即包装箱隔振器之阻尼与上部子结构之自然频率, 上部子结构重量已定后, 变量就是隔振器刚度。故优化问题可归纳为

$$\text{求 } \min \left(E(x_2^2)/E(x^2) = \frac{M_5 r}{N_5 Q} \right. \\ \left. (\xi_2, k_2) \right) \quad (28)$$

$$\text{在约束条件 } \begin{cases} k_2 > 0.0 \\ c_2 > 0.0 \\ \omega_2/\omega_1 > 1.0 \end{cases} \quad (29)$$

约束之下, 求优化设计变量 k_2 , ξ_2

用CMIN16程序首先用内罚函数法将上述约束优化问题转化为无约束优化问题, 再用变尺度法求优化解, 在实测的运输车参数及设计卫星包装箱重量已定的前提下, 求得包装箱隔振器最优频率为 $\omega_{2, opt} = 64.74$, $k_{2, opt} = 2.18 \times 10^7 \text{ N/m}$ 。这里求出的 k_2 是线性刚度, 但实际钢丝绳隔振器是滞迟非线性系统, 须要用前面推导的等效线性化法处理, 由(19)式可以计算出 k_{eq} 随 γ , α 及 $\sigma(y)$ 变化的趋势, 可以绘制一簇 $k_{eq}(\gamma, \alpha, \sigma)$ 曲线。通过对图1的二自由度体系的随机分析, 我们又可绘出另一组 $\sigma(y)$ 随 ω_2^2 或 k_2 的变化趋势曲线, 将这两组曲线绘在一张图上, 根据 $k_{2, opt}$ 与这两组曲线之焦点, 便可决定钢

丝绳隔振器之最优参数 Y_{opt} , α_{opt} , 因 α 对 σ 之影响较小, 故可固定 α 求 Y_{opt} , 下面给出 $\sigma(y^2) \sim k_2$ 的计算公式, 由图1, 令 $y = x_2 - x_1$ 可推导出相对位移传递函数

$$H_{y_0 u_0} = \frac{y_0(\omega)}{u_0(\omega)} \\ = \frac{-2\xi_1 \omega_1 (i\omega)^3 - \omega_1^2 (i\omega)^2}{\Delta} \quad (30)$$

相对位移之均方响应

$$\sigma_y^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |H_{y_0 u_0}|^2 S_u(\omega) d\omega \\ = aV \frac{M_5}{N_5} \quad (31)$$

$$M_5 = \pi \{ (-A_0 A_5 B_3^2) \cdot (A_1 A_2 - A_0 A_3) \\ + A_0 A_5 B_1^2 (A_0 A_5 - A_1 A_4) \}$$

$$B_2 = -\omega_1^2$$

$$B_3 = -2\xi_1 \omega_1$$

N_5 及 A_n , $n=0 \sim 5$ 见前面式(25)

在给定 ξ_2 , α 的情况下, 我们计算了 $k_{eq}(Y, \sigma)$ 及 $\sigma_y(k_{eq})$ 曲线, 由它与 $\sigma(k_{eq})k_{eq}(Y, \sigma)$ 之交点可以决定, 使 k_{eq} 达最优时, Y 应为 0.38×10^6 左右。

5 结 论

1. 钢丝绳隔振器强度大, 不老化, 耐油、耐火, 而且是工厂加工, 质量可以保证。调整钢丝绳之股数、直径、圈数与圈径可以生产出各种刚度特性之隔振器, 具有软化刚度, 高阻尼特性, 能很好的防冲、隔振。

2. 用钢丝绳隔振器将卫星包装箱支承在车辆上, 因为车辆本身已有悬挂系统, 故是一个二级隔振问题, 在 $\omega_2/\omega_1 > 1.0$ 的情况下, 对钢丝绳隔振器的参数有一个优化选择问题, 本文通过对钢丝绳隔振器的特性作等效线性化后, 提出了一个随机响应优化设计方法。

3. 计算结果表明, 在 $\omega_2/\omega_1 > 1.0$ 的约束下, 钢丝绳等效刚度有一个优化值, 设计

时应使隔振参数满足这一条件才能最优隔振。二级隔振系统当 $\omega_2/\omega_1 > 1.0$ 时,下部子结构之阻尼应尽量小,上部子结构之阻尼应尽量大,这也是在设计隔振系统时应予注意的。

4. 钢丝绳隔振器之性能十分复杂,但在一定频率范围内,可用少数几个参数近似地描述其性能,这一点对优化设计是很重要的。

The Stochastic Optimization Analysis for the Isolation of the Packaging Case for Satellite

Tian Qianli, Xu Bin

(Institute of Mechanics, the Chinese Academy of Sciences)

Wire-cable isolators are used to isolate the packaging case in satellite vehicle travelling over the road with random surface in order to reduce the vibration of a satellite. The satellite and its vehicle are simplified by a 2 D. O. F. system, and its response is to be minimized by an optimization analysis with respect to isolation parameters. The nonlinear hysteretic behavior of the wire-cable measured by experiments is described by a simple mathematic model and the overall system was analyzed by a statistically linearized method.

Keywords: satellite, packaging case, vibration, isolation, optimization

中国包装在德国

中国出口商品近几年来越来越多地打进了欧美市场,同时由于包装,尤其是运输包装的不合格,造成的经济损失是惊人的。下面是我亲眼看到的一些实例。

一批纺织机械由于包装用的木箱承压能力(动态承压)不够,而且对远洋运输的船仓情况不了解,不了解垂直堆放最大高度,到达汉堡港以后最下面的一层全毁坏了。

中国的弱不经水的纸盒,下没有托盘,上没有塑料薄膜包裹。所以中国出口的很多罐头之类的商品,很多被碰坏、碰伤,甚至破包。因为远洋运输天气炎热、潮湿,欧洲的气候又多雨,所以中国的瓦楞纸防水性能问题确实值得研究。

中国的铁桶、纸筒包装到汉堡以后,常常因损坏而没法再转运。我不止一次看到铁桶因本身强度不够,或者说在船上没有固紧好而碰得缺一角,瘪一块的。外国运输商趁机在转运过程中“换桶”,(换德国的桶。)这损失可想而知。

中国经常向欧美出口一些精美的艺术品。但往往因为草率的包装而引起损失。有一次,我去一个贸易公司访问,年轻的经理拿了好几张照片给我看。其中一张,是二只断了脑袋的木刻彩漆的公鸡。他说:“这么好的艺术品!多可惜呀!你们为什么包装得如此草率?”原因是:二个公鸡装在一个纸盒里,纸盒中只塞了些纸条,它们一路“打架”,一个咀碰另一个的脖子。难怪到了汉堡港就俩败俱伤。这种错误的包装造成的损失是严重的,因为整批货都受损失,几乎无一幸免,当然经济损失是相当大的,怪不得连那位外国经理也感到“心疼”。

直接用集装箱装运散装货物对于某些商品是经济的。但不能一概而论。我看见一批鱼粉由于远洋运输、因炎热,潮湿,长期颠簸而结块。到了汉堡港以后根本无法倒出来。鱼粉变质不说,还要额外付款清理集装箱,清理工作用机器还无法进行,在德国,人工费又贵,损失是可想而知的。(张雪梅)