

预压缩多层钙塑瓦楞纸板隔振性能研究

武剑锋^{1,2}, 许富华^{1,2}, 高德²

(1. 太原科技大学, 太原 030024; 2. 浙江大学宁波理工学院, 宁波 315100)

摘要: **目的** 对不同预压程度下多层钙塑瓦楞纸板隔振特性进行研究。**方法** 通过对不同预压程度下的钙塑瓦楞纸板进行振动试验,发现压缩率为50%的钙塑瓦楞纸板有很好的隔振效果。然后基于材料的粘弹性理论建立压缩率为50%钙塑瓦楞纸板的本构模型,并用最小二乘法识别参数,根据车辆运输包装系统建立基于1/4车辆运输模型条件下的含易损件的二自由度非线性产品包装系统模型,得到动力学方程并数值求解,并通过一个算例说明该模型可直接用于包装隔振设计。**结果** 无量纲加速度值一般随着隔振材料面积的增大而减小,随着材料层数的增加呈现先增大后减小的变化。**结论** 为进一步研究钙塑瓦楞纸板的隔振性以及相关包装设计提供一定的理论基础。

关键词: 易损件; 预压钙塑瓦楞纸板; 本构模型; 隔振

中图分类号: TB485.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2015)19-0027-06

Vibration Isolation Performance of Pre-compression Multi-layer Calcium Plastic Corrugated Board

WU Jian-feng^{1,2}, XU Fu-hua^{1,2}, GAO De²

(1. Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to study the vibration isolation characteristics of multi-layer calcium plastic corrugated board with different levels of pre-compression. Through a series of vibration tests with calcium plastic corrugated plate under different levels of pre-compression, we found that calcium plastic compressed corrugated board with 50% pre-compression ratio had good vibration isolation effect. The nonlinear dynamics constitutive relation of preloading calcium plastic corrugated plate was then established based on the cushioning viscoelastic theory. A nonlinear packaging system model with two degrees of freedom under 1/4 vehicle transport model was established based on vehicle transport packaging system using least squares identification parameters, and then dynamic equation as well as the corresponding results were obtained. The feasibility of the model in packaging vibration isolation design was illustrated through a numerical example. The study found that the dimensionless acceleration value generally increased as the area of vibration isolation material was reduced and first increased and then decreased with the increase of the number of layers. This study can provide theoretical basis for the vibration isolation performance of calcium plastic corrugated board and the related packaging design.

KEY WORDS: critical component; pre-compressed calcium plastic corrugated board; constitutive model; vibration isolation

在包装产品的流通过程中,缓冲隔振材料对包装件起到隔振效果,达到保护产品的作用。目前常用的缓冲隔振材料有瓦楞纸板、泡沫聚乙烯、金属橡胶等。由于瓦楞纸板性能优良、结构性能好、质量轻,具

有较高的力学强度,耐压和弯曲性能好,且受力时有抵抗变形和保持原来形状的能力,易于印刷,而且可回收再使用,已经越来越多地取代泡沫塑料作为包装件的缓冲衬垫。随着近些年来社会各方面对瓦楞纸

收稿日期: 2015-06-04

作者简介: 武剑锋(1988—),男,山西太原人,硕士,主要研究方向为机械设计与理论。

板缓冲性能的研究日益成熟^[1],在充分利用其缓冲性能优点的同时,有关多层瓦楞纸板的隔振理论及实验研究已成为企业和科研院所研究的热点。国内关于多层瓦楞纸板的研究已经有了进展,付云岗、郭彦锋等^[2]通过实验研究双层叠置AB型瓦楞纸板的冲击与振动特性,给出这种复合型纸板的最大加速度-静应力曲线及其特征系数和经验公式,振动传递率-频率曲线;潘幸珍^[3]研究了多层叠置时上下两层纸板瓦楞交错位置对多层瓦楞纸板缓冲特性及抗压强度的影响;刘晔、高德^[4-5]等以多层组合瓦楞纸板为研究对象,根据组合瓦楞板在温湿度控制下缓冲性能的动力学测试数据,建立了动态缓冲性能首次冲击模型,并且由实验曲线归纳出了瓦楞纸板缓冲性能研究的3个基本特征,并依据已建立瓦楞纸板衬垫非线性粘弹性塑性模型,对实测数据用优化方法识别了多层瓦楞纸板非线性数学模型参数;王冬梅^[6]等通过研究建立了多层瓦楞纸板的能量吸收曲线,以及根据多层瓦楞纸板的动态缓冲特性曲线构建了相应的能量吸收图;M.A.V Rouillard 和 M.A.Sek 等^[7]对冲击载荷下的多层瓦楞纸板的缓冲系统的性能进行了研究,认为将未经压缩的多层瓦楞纸板与压缩后的多层瓦楞纸板进行叠置后,可在很大程度上保护产品不受流通时外部的机械冲击和振动的影响;Minett 等^[8]研究发现,采用预压缩处理后的多层瓦楞纸板衬垫的静态应力-应变曲线与未处理过的试样相比明显平滑,并且平台区起伏较小,进行动态冲击时,获取的峰值加速度也明显降低,缓冲能力有明显的提高。在建模方面,大多数关于多层瓦楞纸板的研究主要集中于对瓦楞纸板缓冲性能的研究^[9-12],而对有关多层钙塑瓦楞纸板隔振方面的研究却相对较少,多数主要以发泡聚乙烯、金属橡胶等材料为主,卢富德等^[13]研究了发泡聚乙烯的隔振性能,建立了发泡聚乙烯多项式动力学模型,同时运用 Runge-Kutta 法和重构恢复力-位移曲线,证明了模型的正确性,最后运用相同的方法,得出了其他工况下的参数识别结果。文中基于以上研究成果,研究预压缩的多层瓦楞纸板在受到重复振动时的隔振性能,讨论预压处理后多层瓦楞纸板的隔振力学特性,建立隔振系统理论模型,为缓冲隔振包装设计 & 包装工业生产提供有利途径。

1 实验

预压纸板振动特性试验系统见图1,该试验系统由振动试验台、不同预压程度钙塑纸板试样(压缩率

分别为5%,25%,50%)、刚性质量块、传感器和数据采集系统构成。试验环境温度为20℃,相对湿度为54%。实验中2个加速度传感器型号分别为DL-100 12032和DL-100 12240,将它们分别安装在质量块与振动台上。通过电荷放大器和动态数据采集器进行数据采集,所得信号经过动态数据采集器的数字化后,记录到计算机中。



图1 实验振动台
Fig.1 Vibration bench

振动传递率由 $T = \frac{|\dot{x}|}{|\dot{y}|}$ 求得,其中 $|\dot{x}|$ 、 $|\dot{y}|$ 分别表示包装系统在稳态时的振动输出和输入加速度。利用定频实验方法,采用半正弦波对钙塑瓦楞材料的振动特性进行测试,其中脉冲宽度为12ms,脉冲幅值为50 m/s²,由公式对实验结果进行计算可得出各预压程度下 T - f 曲线。由图2可知,压缩率为50%的隔振材料振动传递率比其他预压缩程度(5%,25%)的都小,与未压缩的传递率相比接近且也小于未压缩隔振材料,说明压缩率50%的钙塑瓦楞纸板有很好的隔振特性。

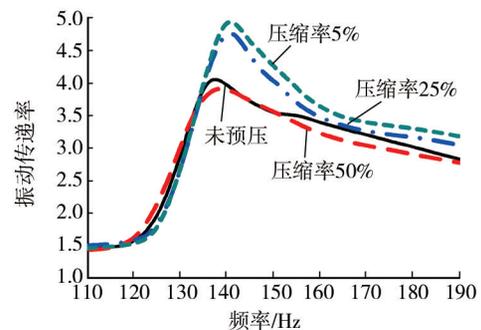


图2 各预压程度下振动传递率曲线

Fig.2 Vibration transmissibility curves under different pre-compression levels

2 建立压缩率50%钙塑瓦楞纸板隔振本构模型

根据上面的试验方法得压缩率为50%的缓冲材

料的加速度-时间曲线,经计算得到相对加速度-时间曲线,分别进行一次和二次积分计算得到相对速度-时间曲线和相对位移-时间曲线,见图3—6。

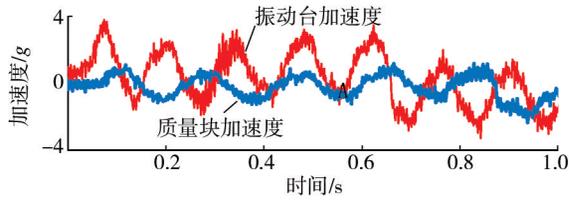


图3 加速度-时间曲线
Fig.3 The $a-t$ curves

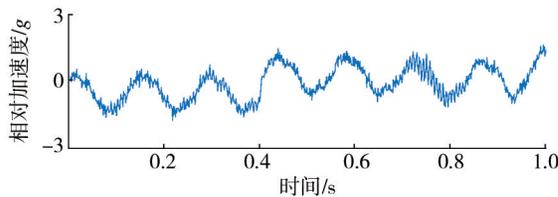


图4 相对加速度-时间曲线
Fig.4 The $a'-t$ curves

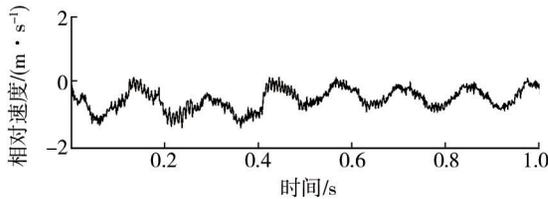


图5 相对速度-时间曲线
Fig.5 The $v-t$ curves

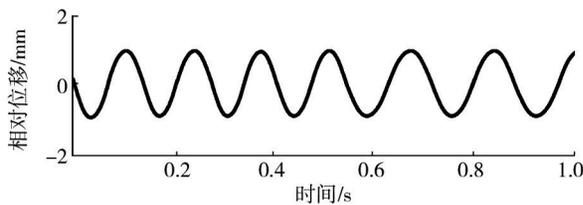


图6 相对位移-时间曲线
Fig.6 The $s-t$ curves

隔振材料应力-应变曲线计算过程如下所述。

由牛顿第二定律可得:

$$m\ddot{x}(t) + F(t) = 0 \quad (1)$$

式中: m 为质量块质量(kg); $F(t)$ 为隔振衬垫的弹性力(N); $\ddot{x}(t)$ 为系统响应加速度。

隔振材料受振动产生的应力:

$$\sigma = \frac{F(t)}{A} \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)得:

$$\sigma = -\frac{\sigma_0 \ddot{x}}{g} \quad (3)$$

式中: σ_0 为静应力, $\sigma_0 = \frac{mg}{A}$; m 为质量块质量;

\ddot{x} 为系统响应加速度。

由材料的几何关系可得应变 ε :

$$\varepsilon = \frac{x}{h} \quad (4)$$

式中: x 为隔振材料的变形量(m); h 为隔振材料的厚度(m)。

应变率 $\dot{\varepsilon}$ 为:

$$\dot{\varepsilon}(t) = \frac{\dot{x}}{h} \quad (5)$$

由图4—6和式(2)—(5)得预压钙塑瓦楞纸板应力-应变曲线^[8-12],见图7。

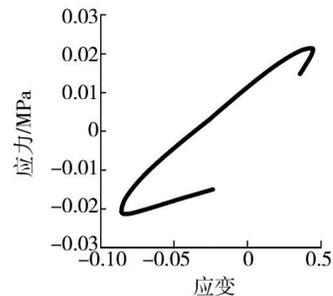


图7 隔振材料应力-应变曲线

Fig.7 The $\sigma-\varepsilon$ curve of the vibration isolation material

由图7可知,因预压缩瓦楞纸板材料具有初始压缩量,应力-应变初值不为0,根据实际压缩量进行修正,用初始压缩应力 a_0 项作为初始应力修正项;同时考虑材料内部摩擦会耗散能量,出现应力-应变滞后现象,根据实测数据得出应力-应变曲线趋势。建立非线性预压钙塑瓦楞纸板的数学隔振模型:

$$\sigma = a_0 + a_1\varepsilon + a_2\varepsilon^2 + a_3\varepsilon^3 + a_4\dot{\varepsilon} + a_5\varepsilon\dot{\varepsilon} + a_6\varepsilon^2\dot{\varepsilon} + a_7\tan(a_8\varepsilon) \quad (6)$$

式中: a_0 — a_8 为待识别参数。利用最小二乘法对参数进行识别得到: $a_0=0.005\ 34$ MPa, $a_1=2168.237$ MPa, $a_2=-2169.114$ MPa, $a_3=4.378$ MPa, $a_4=0.000\ 95$ MPa/s, $a_5=0.033\ 81$ MPa/s, $a_6=0.2115$ MPa/s, $a_7=-3556$ MPa, $a_8=0.9$ MPa。

利用式(4)重构隔振材料的应力-应变曲线,预压钙塑瓦楞纸板材料的隔振应力-应变曲线理论值和实验值比较见图8。材料的隔振应力-应变曲线的理论计算值见图8中的实线。为了进一步计算分析理论值的可行性,参考式(7)进行误差计算。

$$e = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \left[\frac{\sigma_c(i) - \sigma_c(i)}{\sigma_c(i)} \right]^2} \quad (7)$$

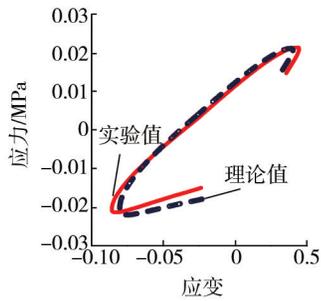


图8 隔振材料动态应力-应变理论值与实验值

Fig.8 The comparison between calculated and measured values of stress-strain curves of the vibration isolation material

由图8可知,理论值与实验值吻合程度较高,由式(7)得两者相对误差为7.9%。

3 考虑随机激励车辆运输动力学模型

3.1 建立车辆模型

文中研究含线弹性易损件的运输包装产品在车辆运输过程中,受路面不平度因素影响时运输包装产品出现的振动现象。将车辆运输系统简化为1/4系统的两自由度车辆运输模型,道路随机激励下车辆运输隔振包装系统动力学模型见图9,图中 m_1 为车轮的簧下质量; m_2 为车身质量; m 为被隔振包装产品的质量; k_1 为轮胎的垂直刚度(N/m); k_2 为悬架的刚度(N/m); c_1 为轮胎的平均阻尼(N·s/m); c_2 为悬架减震器的平均阻尼(N·s/m); $f(t)$ 为车轮受到垂直方向上的激励,这里假设为正弦波 $f(t)=x_0e^{j\omega t}$; x_1 为车轮的簧下质量在垂直方向上的位移(m); x_2 为车身质量在垂直方向上的位移(m)。

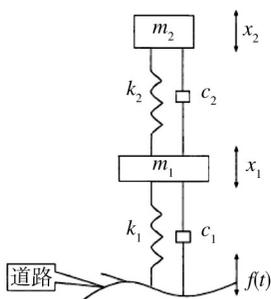


图9 道路不平顺激励下车辆运输非线性包装系统动力学模型
Fig.9 Dynamic model of transport nonlinear packaging system under uneven road excitation

根据动力学理论,得到两自由度运输车辆系统的动力学方程为:

$$\begin{cases} m_2 \ddot{x}_2 + k_2(z_2 - z_1) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0 \\ m_1 \ddot{x}_1 + k_1(x_1 - f(t)) + c_1(\dot{x}_1 - \dot{f}(t)) - k_2(x_2 - x_1) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

根据文献[14]的结果,车辆受到的由路面不平度产生的随机激励时域数学模型用式(9)描述。

$$\dot{Z}(t) = F_w Z(t) + B_0 W_1(t) \quad (9)$$

式中: $Z(t)$ 为车轮受到的路面位移激励; $W_1(t)$ 为零均值白噪声过程; F_w 为状态参量, $F_w=-av$, a 为路面不平度的路面常数, v 为车速; $B_0=1$,为状态参量。式(7)是以 $W_1(t)$ 为输入, $Z(t)$ 为输出的线性系统微分方程,是关于 $Z(t)$ 的状态方程,所得出的输出 $\dot{Z}(t)$ 为滤波白噪声。

3.2 考虑易损件隔振包装动力学模型

考虑到内装产品中易损零件经受外界振动和冲击激励时更容易损坏,通常将包装件简化为二自由度,考虑含线弹性易损件包装产品的动力模型,其简图见图10。

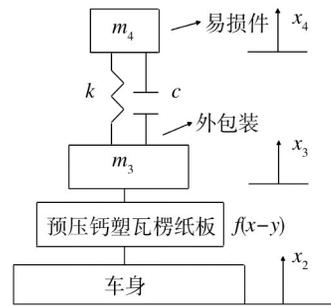


图10 预压纸板隔振模型

Fig.10 Vibration isolation model of the pre-compressed paperboard

由牛顿第二定律可知,考虑易损件运输包装产品的动力学方程为:

$$\begin{cases} m_4 \ddot{x}_4 + k(x_4 - x_3) + c(x_4 - x_3) = 0 \\ m_3 \ddot{x}_3 + f(x_3 - x_2) - k(x_4 - x_3) - c(x_4 - x_3) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

式中: m 为包装产品质量; m_1 为易损件质量; y 为运输车辆车身位移; x 为包装产品位移; x_1 为易损件位移; k 为易损件刚度系数; $f(x-y)$ 为隔振材料弹性力。

根据钙塑瓦楞纸板隔振数学模型,计算隔振材料的弹性力为:

$$f(x - y) = A \left[a_0 + a_1 \left(\frac{x_3 - x_2}{h} \right) + a_2 \frac{(x_3 - x_2)^2}{h^2} + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & a_4 \frac{\dot{x}_3 - \dot{x}_2}{h} + a_5 \frac{(x_3 - x_2)(\dot{x}_3 - \dot{x}_2)}{h^2} + \\
 & a_6 \frac{(x_3 - x_2)^2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2)}{h^3} + a_7 \tan(a_8 \frac{x_3 - x_2}{h}) \quad (11)
 \end{aligned}$$

将式(11)代入式(10)可得非线性运输包装产品动力学方程为:

$$\begin{cases} m_4 \ddot{x}_4 + k(x_4 - x_3) + c(x_4 - \dot{x}_3) = 0 \\ m_3 \ddot{x}_3 + f(x - y) - k(x_4 - x_3) - c(x_4 - \dot{x}_3) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

4 计算结果及分析

根据上述数值计算模型和分析理论,假设车辆运行在B级公路以20 m/s的速度行驶,对引起的振动进行仿真研究。包装产品质量 $m=10$ kg,易损件质量 $m_0=10$ g,易损件固有频率 $f=50$ Hz,易损件弹性刚度 $k=493.5$ N/m,易损度 $G_m=20g$ 。车辆参数根据参考文献[15]取值, $m_{1i}=40$ kg, $m_{2i}=400$ kg, $k_{5z}=k_{6z}=158$ kN/m, $k_{3z}=k_{4z}=158$ kN/m, $c_3=c_4=3550$ N·s/m,轮胎名义阻尼系数 $c_5=c_6=100$ N·s/m。分别计算得到路面激励响应(见图11),车身竖向位移响应(见图12),产品、易损件加速度响应(见图13)。

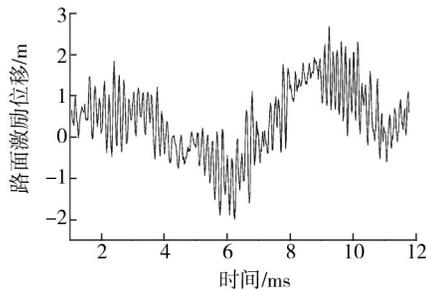


图11 路面激励响应谱

Fig.11 Road excitation response spectrum

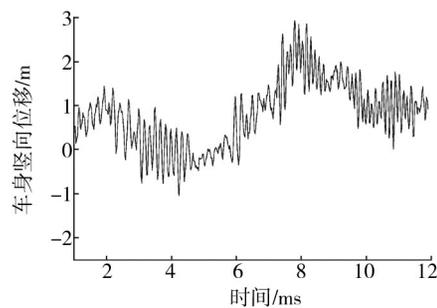


图12 车身竖向位移响应谱

Fig.12 Vertical displacement response spectrum of the vehicle

由图13可知,运输包装产品在整个运输过程中,产品加速度响应做大幅度衰减振动,易损件加速度响应近似完整的正弦波,且做小幅度衰减振动。这是由

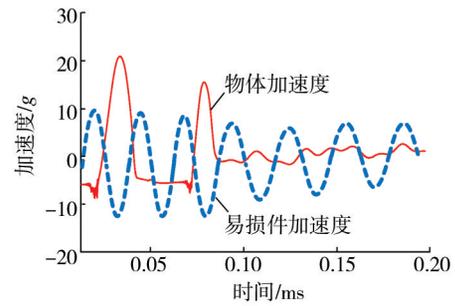


图13 产品加速度与易损件加速度

Fig.13 Acceleration response curves of a goods and a critical part

于钙塑瓦楞纸板材料具有强非线性阻尼性,导致产品加速度响应快速衰减,而易损件在自身固有频率的作用下衰减幅度较小。易损件加速度响应的前半部分呈现高低起伏的运动状态,这是在初始时刻由于钙塑瓦楞纸板衬垫的粘弹性造成产品在此时刻内的加速度响应较大。

隔振包装系统的优化设计引入 $\delta = \frac{x_{i+1} - x_i}{L}$,
 $\tau = \frac{t}{T}$, 并令 $T = \sqrt{\frac{m}{k}}$, $L = \frac{mg}{k}$, $w = \sqrt{\frac{k}{m}}$,
 $\zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$, 对式(9)进行无量纲化后进行计算得到图14。

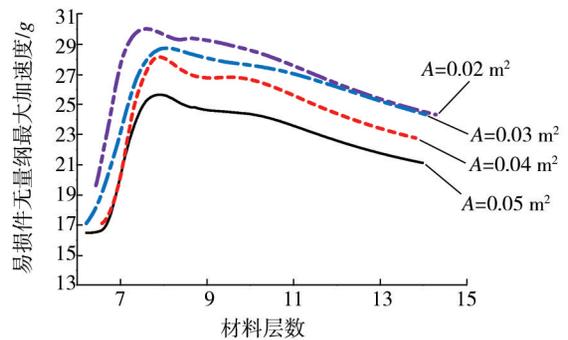


图14 易损件无量纲最大加速度

Fig.14 The dimensionless maximum acceleration curve of the critical part

由图14可知,隔振材料的面积和层数对无量纲加速度有较大影响,无量纲加速度的最大值一般随着隔振材料的面积增大而减小,随着材料层数的增加呈现先增大后减小的变化趋势。

利用阈值法构造无量纲图形

$$y_i = \begin{cases} \frac{x_i}{x_m} y_m, 0 \leq x_i \leq x_m \\ y_m + \frac{x_i - x_m}{x_{imax} - x_m} (1 - y_m), x_i > x_m \end{cases}, \text{并运用}$$

龙格库塔法,算出面与对应的无量纲加速度最小值,见图15。在点(0.0881,17),系统无量纲最大加速度响应值为17g,未超出加速度无量纲最大加速度允许值 $G_m=20g$,所以瓦楞纸板优化面积为 0.0881 m^2 。

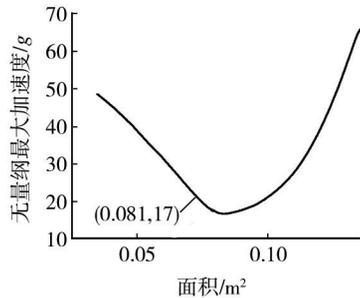


图15 无量纲最大加速度与隔振材料面积关系曲线

Fig.15 Relationship between dimensionless maximum acceleration and vibration isolation material area

5 结语

文中对不同预压程度的钙塑瓦楞纸板进行振动试验,通过振动传递率图像发现压缩率为50%的钙塑瓦楞纸板有很好的隔振效果。基于材料的粘弹性理论建立了预压钙塑瓦楞纸板的本构模型,基于1/4车辆运输模型建立了考虑产品易损件包装隔振动力学方程。通过计算得到易损件在衬垫作用下的振动响应,分析了隔振衬垫的厚度和面积对易损件的影响。通过一个算例说明该模型可直接用于钙塑瓦楞纸板隔振包装系统的结构设计,得到优化后隔振材料的面积,克服了设计包装结构需要大量试验数据的弊端,为隔振包装设计提供有效的方法。

参考文献:

[1] 张志刚. 4层复合瓦楞纸板及其成型机械的效益空间[J]. 包装工程,2004,25(1):156—157.
ZHANG Zhi-gang. Benefits Molding Machinery Space of Four-layer Composite Corrugated Board[J]. Packaging Engineering,2004,25(1):156—157.

[2] 付云岗,郭彦峰,骆光林. 双层叠置AB型双瓦楞纸板的冲击与振动特性[J]. 中国包装工业,2004(6):66—68.
FU Yun-gang, GUO Yan-feng, LUO Guang-lin. The Shock and Vibration Characteristics of Double Stacked AB Double Corrugated Cardboard[J]. Chinese Packaging Industry, 2004(6):66—68.

[3] 潘幸珍. 复合瓦楞纸板结构性能的研究[D]. 南京:南京林业大学,2007.
PAN Xing-zhen. Study on Structural Properties of Corrugated

Cardboard Composites[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University,2007.

[4] 刘晔,高德. 多层瓦楞纸板动态缓冲性能首次冲击模型的建立[J]. 包装工程,2005,26(3):10—19.
LIU Ye, GAO De. Establishment of the Dynamic Cushioning Properties Model at the First Impact of Triple Wall Corrugated Fiber Board[J]. Packaging Engineering,2005,26(3):10—19.

[5] 刘晔,王振林. 三重组合瓦楞纸板压缩承载规律的实验研究[J]. 包装工程,2003,24(3):43—45.
LIU Ye, WANG Zhen-lin. An Experimental Study of the Compressive Intensity Rule of Trip Wall Corrugated Fiber Board[J]. Packaging Engineering,2003,24(3):43—45.

[6] 王冬梅. 蜂窝纸板和瓦楞纸板缓冲性能及表征研究[D]. 无锡:江南大学,2007.
WANG Dong-mei. The Study of Honeycomb and Corrugated Board Cushioning Performance and Characterization[D]. Wuxi: Jiangnan University,2007.

[7] ROUILLARD V, SEK M A. Behaviour of Multi-layered Corrugated Paperboard Cushioning Systems under Impact Loads [J]. Applied Mechanics and Materials,2007,43:345—347.

[8] MINETT M, SEK M A. Behaviour of Corrugated Fiberboard as a Cushioning Material[C]// Proceedings of 11th IAPRI World Conference on Packaging.Singapore,1999:591—601.

[9] 卢富德,高德. C楞瓦楞纸板动态缓冲模型及应用[J]. 功能材料,2012,43(1):39—41.
LU Fu-de, GAO De. Cushion Model and Its Application of C-flute Corrugated Paperboard[J]. Journal of Functional Materials,2012,43(1):39—41.

[10] 卢富德,陶伟明,高德. 瓦楞纸板串联缓冲系统动力学响应[J]. 振动与冲击,2012,31(21):30—32.
LU Fu-de, TAO Wei-ming, GAO De. Dynamic Response of a Series Cushioning Packaging System Made of Multi-layer Corrugated Paperboard[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012,31(21):30—32.

[11] 高德,王振林,陈乃立,等. B楞双层瓦楞纸板衬垫平压缓冲动态性能建模[J]. 振动工程学报,2001,14(2):172—177.
GAO De, WANG Zhen-lin, CHEN Nai-li, et al. The Dynamic Modeling of Flat Compression Cushion Made up of B-flute Double-wall Corrugated Fibreboard[J]. Journal of Vibration Engineering,2001,14(2):172—177.

[12] SEK M, ROUILLARD V, et al. Enhancement of Cushioning Performance with Paperboard Crumple Inserts[J]. Packaging Technology and Science,2005,1(5):273—278.

[13] 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.

量大小有关,这是今后要进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] 杨开吉,苏文强,陈京环.多功能抗菌纸的开发与应用[J].中国造纸,2007,26(9):44—46.
YANG Kai-ji, SU Wen-qiang, CHEN Jin-huan. Development and Application of Multifunctional Antibacterial Paper[J]. China Pulp & Paper, 2007, 26(9): 44—46.
- [2] 黄崇杏,鲍若璐,段丹丹.抗菌纸的研究进展[J].包装学报,2009,1(1):34—37
HUANG Chong-xing, BAO Ruo-lu, DUAN Dan-dan. Advances in Researches of Antibacterial Paper[J]. Packaging Journal, 2009, 1(1): 34—37.
- [3] 钟泽辉,李婷.载银沸石的制备及其在牛皮纸上的应用研究[J].包装工程,2012,33(1):49—53.
ZHONG Ze-hui, LI Ting. Research on Preparation of Silver-loaded Zeolite and Its Application on Kraft Paper[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 49—53.
- [4] 马滢,刘鹏涛,刘忠.羧甲基壳聚糖的制备及其在抗菌纸中的应用[J].功能材料,2010,41(4):648—651.
MA Ying, LIU Peng-tao, LIU Zhong. Preparation of Carboxymethyl Chitosan and Its Application in Antibacterial Paper[J]. Journal of Functional Materials, 2010, 41(4): 648—651.
- [5] 隆泉,郑保忠,等.新型纳米无机抗菌剂的抗菌性能研究[J].功能材料,2006,37(2):274—276.
LONG Quan, ZHENG Bao-zhong, et al. Study on the Antimicrobial Activities of Nanometer Inorganic Antibacterial Agents [J]. Journal of Functional Materials, 2006, 37(2): 274—276.
- [6] ANITHA A. Synthesis, Characterization, Cytotoxicity and Antibacterial Studies of Chitosan, O-carboxymethyl and N, O-carboxymethyl Chitosan Nanoparticles[J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 78(4): 336—345.
- [7] 杨中文,刘西文.高阻隔纳米抗菌包装膜的研制与应用[J].工程塑料应用,2010,38(10):55—57.
YANG Zhong-wen, LIU Xi-wen. Development and Application of Nano-antibacterial and High Barrier Packaging Film [J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(10): 55—57.
- [8] 汤建新,邓靖,等.纸质基材抗菌包装及性能研究[J].湖南工业大学学报,2011,25(5):6—8.
TANG Jian-xin, DENG Jing, et al. Research on Paper Substrate Antimicrobial Package and Its Performance[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25(5): 6—8.
- [9] MARQUES M R, ALBUQUERQUE L M B, XAVIER-FILHO J. Antimicrobial and Insecticidal Activities of Cashew Tree Gum Exudates[J]. Annuals of Applied Biology, 1992, 121(2): 371—377.
- [10] 洪英,钟泽辉,等.季铵盐壳聚糖抗菌纸的性能研究[J].包装工程,2013,34(19):34—36.
HONG Ying, ZHONG Ze-hui, et al. Research on Antibacterial Paper Properties with Quaternary Ammonium Salt of Chitosan Spraying[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19): 34—36.
- [11] 郝喜海,罗洁.聚乙烯醇制备载银沸石抗菌包装纸及其力学性能研究[J].包装工程,2013,34(19):37—41.
HAO Xi-hai, LUO Jie. Preparation and Mechanical Performance of Silver Zeolite Antibacterial Wrapping with Polyvinyl Alcohol[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19): 37—41.
- [12] 李伟静.季铵化壳聚糖/TiO₂抗菌膜的制备及力学性能研究[D].南京:南京理工大学,2013.
LI Wei-jing. Preparation and Mechanical Performance of Chitosan Quaternary Ammonium Salt/TiO₂ antibacterial Membranes[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2013.
- [13] 冯超.羧甲基壳聚糖纳米微粒的制备及其对瘢痕疙瘩成纤维细胞增殖的影响[D].青岛:中国海洋大学,2012.
FENG Chao. Preparation of Carboxymethyl-chitosan Nanoparticles and the Effect on Proliferation of Keloid Fibroblasts[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [14] XIE Yi-hui, ZHANG Yu-tian, HUANG Xiu-zhen, et al. Preparation of Carboxymethyl Chitosan Magnetic Nanoparticles and Separation of Chinese Medicines Components[C]// The 2014 International Conference on Materials Science and Engineering Technology, Shanghai, 2014: 298—303.
- [15] ANITHA A, CHENNAZHI K R, NAIR S V, et al. 5-Fluorouracil Loaded N.O-carboxymethyl Chitosan Nanoparticles as an Anticancer Nanomedicine for Breast Cancer[J]. Journal of Biomedical Nanotechnology, 2012, 8(1): 29—42.

(上接第32页)

- [14] 张永林,钟毅芳.车辆路面不平度输入的随机激励时域模型[J].农业机械学报,2004,35(2):9—12.
ZHANG Yong-lin, ZHONG Yi-fang. Time Domain Model of Road Undulation Excitation to Vehicles[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2004, 35(2): 9—12.
- [15] 郑玲,邓兆祥,李以农.汽车半主动悬架的滑模变结构控制[J].振动工程学报,2003,16(4):457—462.
ZHENG Ling, DENG Zhao-xiang, LI Yi-nong. The Sliding Model Control with Varying Structure for Semiactive Suspensions in Vehicle[J]. Journal of Vibration Engineering, 2003, 16(4): 457—462.