

G/E 材料动态力学性能的应力波实时测定

孙雪坤 张继栋

(哈尔滨工业大学 复合材料研究所)

摘要 线性粘弹性复合材料的动态力学性能测定不同于弹性材料静态力学性能的测定,而应力波方法又是不同于其它测定粘弹性本构的方法.本文用纵波沿 G/E 长杆中的传播,测出了它的拉压复模量,同时也引建了一套完善的应力波实时测定系统.

关键词 复合材料, 力学性能, 应力波, 测试

1. 前言

具有内摩擦效应的材料,例如:树脂基复合材料,必须用粘弹性理论进行描述,而用的最为广泛的是线性粘弹性理论.对这些粘弹性复合材料的精确分析,需要我们已知其动态力学性能.在这方面已进行了许多理论的实验工作,例如:用杆和梁的振动实验测粘弹性^[1-2];高应变率的冲击实验^[3];给定粘弹性模型的应力波方法^[4].

1980年, Sogabe 等人^[5]用纵波的方法测出 PMMA 材料的拉压复模量,这是一种在频域中考虑粘弹性的方法.其实,用复模量表征粘弹性的方法,应用很广,在振动分析、波动分析中广泛采用.

本文的工作是采用和 Sogaba 相同的方法测出工程中应用十分广泛的 G/E 材料的动态力学性能,并已将所测结果用于层合板柱面波分析^[6],计算结果表明,所测拉压复模量可靠,同时也说明我们所采用的应力波实时测试系统可靠,可以广泛采用.

2. 分析测试原理

纵波沿杆的传播属于一维问题,设 x 为沿杆轴的坐标,由基本的动力学运动方程得知:

$$\frac{\partial^2 \sigma(x, t)}{\partial x^2} = \rho \frac{\partial^2 \epsilon(x, t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

而线性粘弹性本构关系可以表示如下:

$$P(D)\sigma(x, t) = Q(D)\epsilon(x, t) \quad (2)$$

D 为微分算子 $\partial/\partial t$, $P(D)$ 、 $Q(D)$ 为 D 的多项式.对公式(1)、(2)分别进行单侧 Fourier 变换得到:

$$\frac{d^2 \bar{\sigma}(x, \omega)}{dx^2} = -\rho \omega^2 \bar{\epsilon}(x, \omega) \quad (3)$$

$$P(i\omega)\bar{\sigma}(x, \omega) = Q(i\omega)\bar{\epsilon}(x, \omega) \quad (4)$$

将公式(4)代入(3)中得到:

$$\left\{ \frac{d^2}{dx^2} + \rho \omega^2 J(\omega) \right\} \bar{\epsilon}(x, \omega) = 0 \quad (5)$$

其中 $J(\omega)$ 为拉压复柔量,其表达式为

$$J(\omega) = J_1(\omega) - iJ_2(\omega) = \frac{P(i\omega)}{Q(i\omega)} \quad (6)$$

方程(5)的波动解型式可写为

$$\bar{\epsilon}(x, \omega) = \bar{\epsilon}(0, \omega) e^{-(\alpha + if)x} \quad (7)$$

其中 α 、 f 分别为阻尼系数和相速度系数,可由实测分析得到.

将公式(6)、(7)代入公式(5)中整理得到:

$$\left. \begin{aligned} J_1(\omega) &= \frac{f^2 + \alpha^2}{\rho \omega^2} \\ J_2(\omega) &= \frac{\partial \alpha f}{\rho \omega^2} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

而复模量 $E(\omega) = E_1(\omega) + iE_2(\omega) = \frac{1}{J(\omega)}$, 其中 $E_1(\omega) = J_1(\omega)/|J(\omega)|$ 、 $E_2(\omega) = J_2(\omega)/|J(\omega)|$, 由此可得到复模量.

3. 实验系统及测试结果

实验分析中我们用到两点测量公式 [7]:

$$\left. \begin{aligned} \alpha(\omega) &= \frac{-\ln[F_2(x, \omega)/F_1(x, \omega)]}{x_2 - x_1} \\ c(\omega) &= \frac{\omega(x_1 - x_2)}{\theta_1 - \theta_2 + 2n\pi} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

其中, $F_i(x, \omega)$ 为第 i 点信号在 ω 下的幅值.
 $\theta_i(x, \omega)$ 为第 i 点信号在 ω 下的相位. 且速度系数 $f = c(\omega)/\omega$.

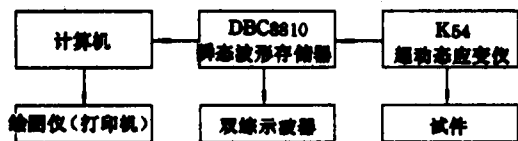


图 1 实验设备及布置

应力波实时测定系统见图 1. 试件是由哈尔滨飞机制造公司制备的, 尺寸: $2000 \times 11 \times 11$ 的 G/E 材料方杆. 实验时将杆水平悬挂, 一端用小钢球撞击, 杆上间隔 10cm 贴 1 片, 共 4 片应变片, 最近的贴片距撞击端 30cm. 信号经超动态应变仪放大后存贮在波形存贮器中, 然后经数据采集进计算机进行数据处理. 应力波信号可以由双踪示波器瞬态监视, 从而保证所取信号是较真实、完整的纵波信号. 计算机的分析计算结果经绘图仪 (打印机) 输出, 从而结束整个实验.

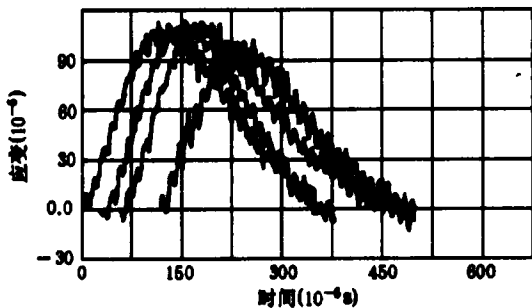


图 2 时程曲线

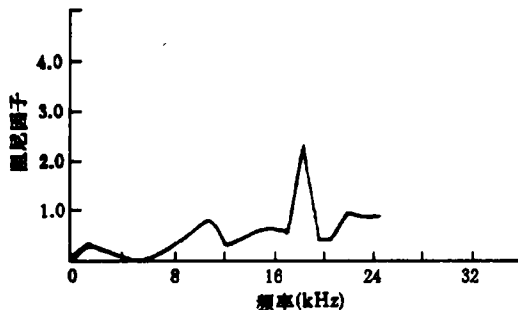


图 3 阻尼谱

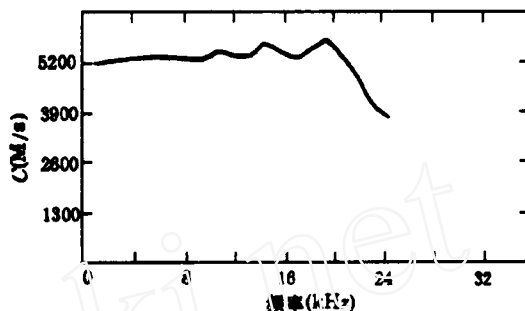


图 4 相速度谱

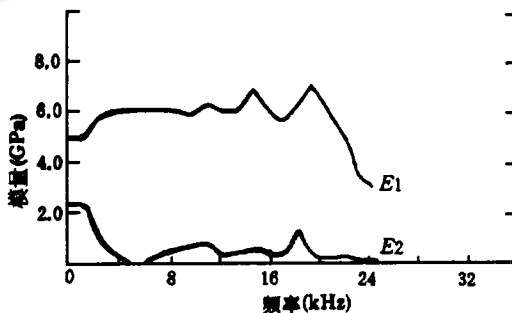


图 5 拉压复模量

图 2 是所测纵波时程曲线, 图 3 为阻尼谱, 图 4 为相速度谱, 图 5 为分析计算后的拉压复模量. 由实测可知, G/E 材料为弱阻尼, 其拉压复模量数据详见表 1, 可供实际计算参考.

综上所述, 我们给出了 G/E 材料拉压复模量的实测结果, 同时也提供了一种完善的应力波实时测定系统, 更多的工作有待进一步进行.

表 1 G/E 材料的拉压复模量应力波实验测定结果

频率 (Hz)	E1- 模量 (Pa)	E2- 模量 (Pa)
1221.00	.48696E+11	.23598E+11
2442.00	.57223E+11	.87088E+10
3663.00	.59559E+11	.25267E+10
4884.00	.60610E+11	.73516E+08
6105.01	.60115E+11	.20647E+09
7326.01	.59558E+11	.35321E+10
8547.01	.59850E+11	.54315E+10
9768.01	.58269E+11	.71014E+10
10989.01	.62960E+11	.85202E+10
12210.01	.60140E+11	.22053E+10
13431.01	.60020E+11	.38898E+10
14652.02	.68487E+11	.54160E+10
15873.02	.60741E+11	.41717E+10
17094.02	.56135E+11	.29008E+10
18315.02	.62506E+11	.14275E+11
19536.02	.71279E+11	.28447E+10
20757.02	.60890E+11	.19226E+10
21978.02	.51366E+11	.35415E+10
23119.02	.35310E+11	.17594E+10
24420.02	.30792E+11	.13607E+10

参 考 文 献

- [1] Norris D. M. Jr. and Young W. C. *Exp. Mech.* 1970, 10(2):93.
- [2] Forrester M. J. and Sagarets M. J. *J. Appl. Mech.* 1975, 42(1):205.
- [3] Sackman J. L. and Kaya I. *J. Mech. Phys. Solids.* 1968, 16(2):121.
- [4] Yuji. Sogabe, etc. *Bull. of JSME.* 1982, 25(201):321.
- [5] Yuji. Sogabe, etc. *Bull. of JSME.* 1986, 29(254):2410.
- [6] Ji Dong Zhang and Xue Kun Sun. 2nd ISCMS, 1992.
- [7] Sato Y. *Bull. of Earth. Res. Inst.* 1955, 33.

(本文于 1992 年 7 月 5 日收到)

铁摩辛科梁的动态稳定

王克林

(西安冶金建筑学院, 西安 710055)

摘要 本文把伽辽金法和傅里叶级数相结合, 用以分析自由的铁摩辛科梁一端有受控跟随力作用的动态稳定.

关键词 梁, 剪切变形, 颤振, 伽辽金法

1. 引言

弹性系统从稳定状态到非稳定状态的转变的一个动态过程, 应当据此进行分析, 然而在许多情况下这种转变形成一系列平衡的非平凡状态, 因此对这类问题的研究仅用静态是可行的.

正如过去人们都用欧拉提出的方法研究弹性体的稳定那样, 近几十年来, 人们才认识到从更一般的意义上来说弹性系统的稳定应该从动态角度去研究. 因为非保守力的存在, 使得弹性系统根本就不能假定为非平凡静态平衡状态, 其失稳形式可能是颤振. 所谓颤振就是其振幅一直增大的振动, 这只能用动态来描述. 非保守力是不具有力势的力, 跟随力就是非保守的, 这种力常出现在气动和水动弹性力学中.