

# 金属/高聚物夹层阻尼板的阻尼特性及其应用\*

堵永国 杨广 张为军 张家春 黄维湘

(国防科技大学材料工程与应用化学系 长沙 410073)

**摘要** 本文在制备出金属/高聚物夹层阻尼板的基础上,分析了影响夹层阻尼板损耗因子的一些因素,结果表明,温度和阻尼层厚度等对阻尼板损耗因子有较大的影响;另外在直流接触器中,将衔铁进行了阻尼处理,并讨论了衔铁吸合时的振动特性。

**关键词** 夹层阻尼板, 阻尼特性, 振动

**分类号** TB331

## The Damping Characteristic and Application of the Damping Metal-polymer Sandwich Plate

Du Yongguo Yang Guang Zhang Weijun Zhang Jiachun Huang Weixiang

(Department of Materials Engineering and Applied Chemistry, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** In the paper, the damping metal-polymer sandwich plate is prepared, and the effect of various factor of the sandwich plate is studied. Experimental results show that the loss factor is greatly influenced by the temperature and thickness of the viscoelastic layer. The armature switching is treated as damping in a relay, the vibration characteristics of the armature switching are discussed.

**Key words** the damping sandwich plate, damping characteristic, vibration

不少工业发达国家在利用粘弹阻尼技术控制振动、冲击和噪音的研究实验工作方面,取得了很大的进展,并已应用于航天航空工业、机械动力工业、交通运输工业等<sup>[1]</sup>。利用高聚物材料所具有的阻尼特性,使之与金属板复合制得约束型阻尼夹层板,从而将振动动能转变成热能耗散出去,达到阻尼减振的目的。一般用损耗因子 $\eta$ 来表征阻尼夹层板的阻尼性能,本文就温度、阻尼层的厚度等因素对夹层阻尼板损耗因子的影响进行了一些讨论。另外,在一些有触点的电器产品中,都有一个触点振动的问题,这不容忽视,它会影响到触点的磨损,触点振动严重时可能发生熔焊,从而直接影响到电器的寿命及其可靠性,对此本文就如何减少振动作了初步的尝试,将制备的阻尼板替代直流接触器上的衔铁,进行吸合振动试验。

## 1 试验

### 1.1 试样材料

试验使用DT<sub>4</sub>电工纯铁作为结构层材料,用氯丁胶、酚醛树脂-氯丁胶(自配)、以及HF90阻尼胶(购置)作为阻尼层材料。

### 1.2 试样制备

金属/树脂夹层阻尼板的结构,如图1所示,它包括约束层、阻尼层、基层。铁板厚度为1.5mm,阻尼层厚度从0.05mm到0.4mm,阻尼复合板在室温下加压制得,其工艺流程图,如图2。

制备夹层阻尼板的工艺流程:

### 1.3 损耗因子 $\eta$ 的测定

对阻尼板阻尼特性的研究,利用振动测量装置(装置图略)测试夹层板的影响函数 $H(f)$ ,采用半功率法测取某阶模态频率 $f$ 附近对应于 $1/\sqrt{2} H_{\max}$ 值的频率 $f_1$ 及 $f_2$ ,其阻尼损耗因子 $\eta$ 表示为:

\* 1998年5月15日收稿

第一作者:堵永国,男,1959年生,副教授

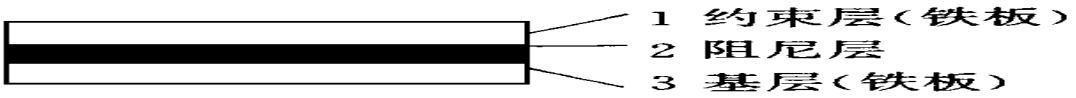


图1 金属/树脂夹层阻尼板的结构示意图

Fig.1 Structure of the damping metal-polymer sandwich plate

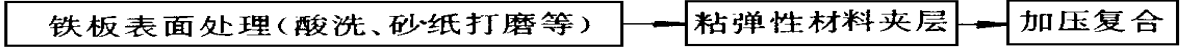


图2 夹层阻尼板的工艺流程图

Fig.2 Flowing chart of fabrication of sandwich plate

$$\eta = \frac{\Delta f}{f} \quad (\text{式中: } \Delta f = f_1 - f_2, f_1, f_2 \text{ 是模态频率 } f \text{ 对应的幅值下降 } 3\text{dB} \text{ 时 (半功率点) 所对应的频率})$$

### 1.4 直流接触器振动试验

选用国产 CZ19-40-10 型直流接触器, 将夹层阻尼板替代原装衔铁, 在振动试验机上进行吸合振动试验, 振动测试框图如 3 所示。

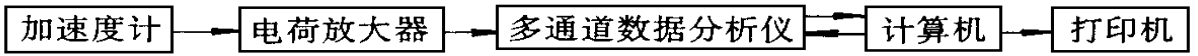


图3 振动测试方框图

Fig.3 Test system of the vibration

## 2 试验结果及分析

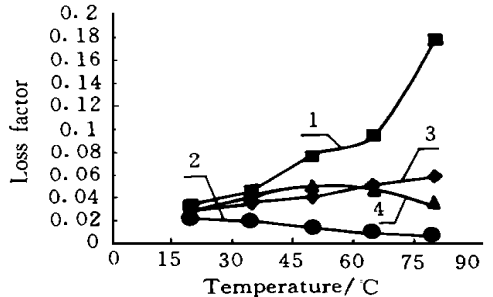
### 2.1 影响夹层阻尼板损耗因子 $\eta$ 的因素

#### 2.1.1 温度对损耗因子 $\eta$ 的影响

温度与损耗因子的关系如图 4, 由图可见, 随温度的升高, 使用酚醛树脂-氯丁胶复合的阻尼夹层板,  $\eta$  上升较大; 而仅用氯丁胶复合的阻尼夹层板,  $\eta$  下降, 使用 HF90 系列阻尼胶复合的阻尼夹层板, 未加填料时, 随温度的升高,  $\eta$  降低, 加入填料后,  $\eta$  却略有上升。

温度对阻尼夹层板损耗因子的影响主要体现在对中间夹层聚合物粘弹材料的影响。粘弹材料一般为高聚物材料, 而具有良好阻尼特性的高聚物材料随温度变化出现三种力学状态<sup>[1]</sup>: 玻璃态、高弹态、粘流态。通常说的阻尼材料就是其玻璃态转变区与使用温度相重合的聚合物材料, 当高聚物由玻璃态转变为高弹态的温度范围内, 部分链段能够作协同运动, 高聚物的弹性模量大幅度降低, 并伴随着明显的阻尼特性变化, 这时, 高聚物具有高的阻尼因子, 能够吸收大量的振动能量<sup>[2]</sup>, 而在玻璃态和高弹区时, 高聚物的阻尼因子较小。

氯丁橡胶, 其玻璃化转变温度很低, 在 -30 ℃ 左右 (如图 5 氯丁橡胶的阻尼因子随温度变化曲线), 而酚醛树脂的玻璃化转变温度为 80 ℃ 左右, 根据高分子材料的聚合理论, 按一定比例共混, 使之成为均匀的混合物, 则不仅可以调整高聚物的玻璃化温度, 而且加宽阻尼因子峰<sup>[3]</sup>, 图 6 表明, 酚醛树脂-氯丁橡胶, 在室温到 80 ℃ 温度范围内都具有较大的阻尼因子值<sup>[3]</sup>。因此, 采用酚醛树脂-氯丁橡胶复合的夹层板, 在室温时, 就已进入转变区, 分子运动加剧, 耗散能量增加, 从而与它复合的金属板的损耗因子增加较大。单独用氯丁胶复合的夹层板则不同, 由于温度较高之后, 氯丁胶本身的阻尼因子较小, 从而夹层板的损耗因子也就较小。



1- 酚醛树脂-氯丁胶夹层阻尼板; 2- 氯丁胶夹层阻尼板; 3- HF90 (加填料) 夹层阻尼板; 4- HF90 (未加填料) 夹层阻尼板

图4 温度与损耗因子的关系

Fig.4 Relationship between temperature and loss factor

另外从图 4 亦可看出, 增加了填料的夹层阻尼板损耗因子随温度的变化不大, 这表明加入填料后,

温度的改变对损耗因子影响不大,即加入填料,能加宽聚合物的阻尼温度范围。填料是能够增加材料的应变和材料耗散能量的能力,同时,它又能限制分子的运动,增加应力和应变之间的相滞后,从而扩展阻尼的温度范围<sup>[1]</sup>,如图7。

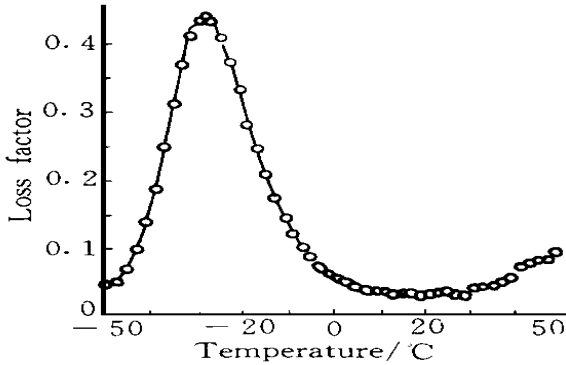


图5 氯丁橡胶的阻尼因子随温度变化曲线

Fig. 5 The dependence of neoprene loss factor on The temperature

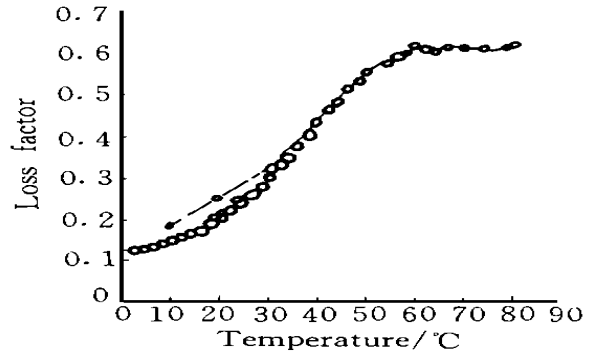


图6 酚醛树脂—氯丁橡胶的阻尼因子随温度变化曲线

Fig. 6 The dependence of bakeliti-neoprene loss factor on The temperature

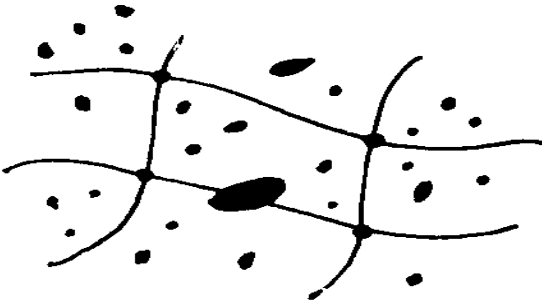
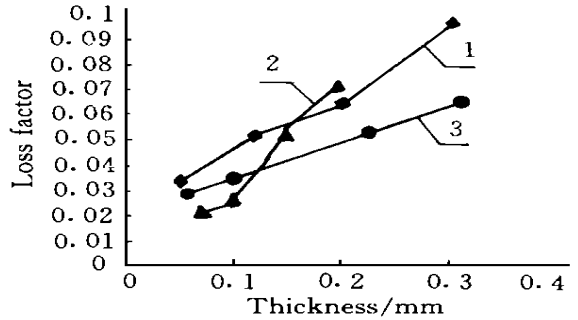


图7 填料对分子链活动的影响

Fig. 7 Effect of stuffing on activity of molecular chain



1- 酚醛树脂—氯丁胶夹层阻尼板; 2- 氯丁胶夹层阻尼板; 3- HF90 (加填料) 夹层阻尼板;

图8 阻尼层厚度对损耗因子的影响

Fig. 8 Effect of thickness of the viscoelastic layer on loss factor

### 2.1.2 阻尼层厚度对损耗因子 $\eta$ 的影响

图8是阻尼层厚度的改变对损耗因子的影响曲线图 ( $\eta$ 是在室温 20 °C下测得),从图中可以看出:损耗因子随阻尼层厚度的增加而增加。

夹层阻尼损耗因子  $\eta$ 一般表示为<sup>[1]</sup>:

$$\eta = \frac{\beta Y X}{1 + X(Y + 2) + \beta^2 Y^2 (Y + 1)} \tag{1}$$

其中,  $\beta$ : 阻尼材料的阻尼因子;  $X$ : 剪切参数;  $Y$ : 几何参数

当约束层、基层同为铁板 (弹性层) 且厚度相同时, 有几何参数  $Y$  公式:

$$Y = 3(1 + H_v/H)^2 \tag{2}$$

其中,  $H_v$ : 阻尼材料的厚度;  $H$ : 弹性层的厚度

即当弹性层厚度  $H$  不变时, 增大阻尼层厚度  $H_v$ , 几何参数  $Y$  值就增大, 从公式 (1) 也就可以看出, 当  $Y$  值愈大, 损耗因子  $\eta$  也就愈大。当然,  $Y$  值增加到一定时, 结果会导致剪切参数  $X$  值的降低, 从而使  $\eta$  变化不大。Chen 等的试验结果表明了这点<sup>[4]</sup>, PEEA 层压板的损耗因子随阻尼层厚度增加而单调增加, 直到达到一个最大值, 然后趋于水平。

### 2.2 夹层阻尼板在拍合式电磁系统中的应用

为了能有效降低直流接触器中的衔铁的振动, 尝试将制备的夹层阻尼板替代原衔铁, 并分别给定

不同的线圈电压 (160V, 180V, 220V), 对国产的 CZ19-40-10 型直流接触器和用阻尼板替代原衔铁的接触器进行了吸合试验, 图 9、图 10 为原衔铁及阻尼板衔铁振动频谱和加速度—时间关系曲线 (线圈电压 220V)。

从图 9、图 10 中可以看出, 用阻尼板替代原衔铁的接触器吸合时, 振动的高频部分明显减少, 振动衰减明显加快, 以及振动时的幅值明显减少。

衔铁一般采用的材料是阻尼性能差的普通钢或者电工纯铁, 它是一个悬臂梁结构, 在线圈磁场作用下, 衔铁被吸合, 与铁芯碰撞, 产生振动, 在振动过程中, 摩擦与塑性变形等消耗能量, 从而慢慢进入闭合状态, 但如果采用中间含有高聚物的材料, 当振动时, 就会使高聚物材料发生剪切变形, 耗散能量, 将振动能转变为热能。从而起到非常好的减振降噪的作用。但是, 采用阻尼夹层板后, 衔铁的磁性能等将会有所改变, 对此有待进一步的研究。

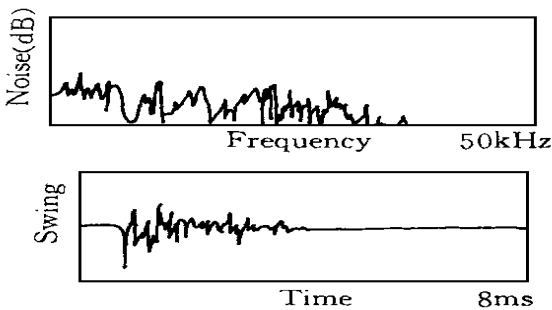


图 9 (原) 衔铁振动频谱和加速度—时间关系曲线  
Fig. 5 The frequency of vibration and the acceleration—time relationships of original armature switching

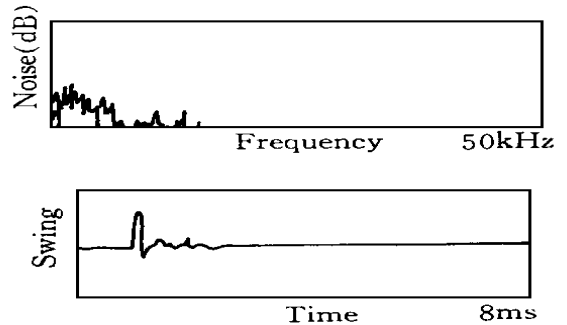


图 10 阻尼板 (衔铁) 振动频谱和加速度—时间关系曲线  
Fig. 6 The frequency of vibration and the acceleration—time relationships of the damping sandwich plate

### 3 结论

(1) 温度、阻尼层厚度对夹层板的损耗因子有较大的影响, 当环境温度处于阻尼材料玻璃态转变区时, 夹层板的损耗因子较大, 且随温度的升高而升高; 夹层板的损耗因子在一定范围亦随阻尼层厚度的增加而增加。

(2) 在直流接触器中, 用夹层阻尼板替代原衔铁时, 振动的次数及幅值等明显降低。

本文振动试验得到国防科技大学航天技术系刘瑞岩教授的大力帮助, 在此深表谢意!

### 参考文献

- 刘慷华. 粘弹阻尼减振降噪应用技术. 北京: 宇航出版社, 1990
- 潘道成编. 高聚物及其共混物的力学性能. 上海科学出版社, 1988, 245: 311
- 刘勇, 王成国等. 层压减振复合钢板用高聚物夹层的减振特性. 噪声与振动控制, 1996, 1 (4): 36~41
- Chen Y S, Hsu T J, Chen S I. Vibration Damping Characteristic of Laminated Steel Sheet. Metallurgical Transaction A, 1991, 22A (3): 653~656