

产品应用

粘弹阻尼材料在振动噪声控制中的应用

贺才春, 谭亮红

(株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要: 详细分析了粘弹性阻尼材料的阻尼机理及其特性。简单介绍了表面阻尼处理结构设计内容及阻尼处理分类情况。举例讨论了沥青阻尼材料和橡胶阻尼材料的性能特征、试验测试结果及其应用情况。

关键词: 粘弹阻尼材料; 阻尼处理; 振动噪声控制

随着现代工业、交通运输业和城市建设的发
展, 噪声污染问题以及振动噪声的控制技术日益
受到人们的重视。阻尼减振降噪作为振动噪声控
制的主要方法之一, 已在航空航天、汽车行业、仪
器仪表、建筑业、家电及轨道交通等领域得到了广
泛的应用。试验表明, 阻尼材料对薄壁振动结构
件具有明显的减振降噪效果。

所谓阻尼减振降噪技术, 就是应用高阻尼材
料附着在结构件的表面, 用其耗散结构件的振动
能量, 以达到衰减振动和降低结构辐射噪声的目
的。粘弹阻尼材料是应用较广泛的一种高分子聚
合物材料, 它在一定受力状态下, 既具有粘性液体
消耗能量的特性, 又有弹性固体材料贮存能量的
特性。当它产生动态应力-应变时, 有一部分能量
会被转化为热能而消耗掉, 而另一部分能量以势
能的形式储备起来, 粘弹阻尼材料通过将振动机
械能转变为其它能量而达到衰减振动和降低噪声
的目的。

1 粘弹阻尼材料的阻尼机理及其特性

1.1 阻尼机理

阻尼产生的机理是指一种工程结构将广义振
动的机械能量转换成耗散的能量, 从而抑制振动
和噪声。对于利用高分子聚合物的共混或复合制
作的粘弹性阻尼材料而言, 其形态结构(相容性)、
交联度、各组分聚合物的玻璃化转变温度(T_g)、
各组分聚合物阻尼能力的大小均会影响阻尼材料

的阻尼性能。

对于高分子粘弹阻尼材料, 受拉伸时, 曲折的
分子链一方面产生扭曲和伸长变形, 同时分子链
段间产生相对扭转和滑移, 当外力去除后, 伸长变
形的分子链恢复原位, 返还外力所作的功, 但分子
链段间的滑移和扭转不能完全恢复, 出现了永久
性的变形而消耗能量。同时还有部分不能返还的
功以热的形式耗损于环境中。这些是产生阻尼的
基本原因。由于高分子材料分子链段繁多, 耗能
环节多, 故阻尼性能好。

1.2 性能

阻尼材料的性能指标主要包括反映材料性质
的性能参数、阻尼材料损耗结构振动能量的能力
和这些性能指标所适用的场合。表征材料阻尼性
能的参数较多, 其中最常使用的度量参数有阻尼
材料的弹性模量实部(E')或剪切模量实部(G')
和阻尼损耗因子(β), 这两个参数随环境温度 and 工
作频率而变化。

阻尼材料特性随环境因素而变化, 这种特性
对设计阻尼结构来控制振动和噪声是十分重要
的, 环境温度、频率、预载荷、动态载荷和环境的
湿度等对阻尼材料特性都有不同程度的影响。

1.2.1 温度的影响

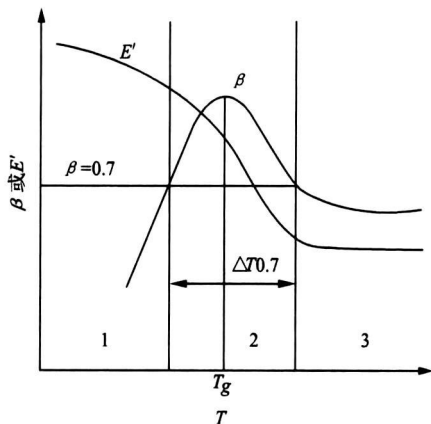
温度是影响阻尼材料特性的最重要的一个因
数, 图 1 示出了在某一频率下阻尼材料的 E' 和 β
随温度(T)变化的曲线。图中 T_g 为出现最大 β
值时的温度, $\Delta T_{0.7}$ 表示该阻尼材料的 β 值大于

0.7 的温度范围。图中可以看到三个明显不同的区域。

第一个区域称为玻璃态区, 这时阻尼材料的 E' 较大, 且随 T 的变化其值变化很慢。而 β 值先较小, 但随 T 的上升其值增大较快。

第二个区域称为玻璃态转变区, 其特点为随 T 升高, E' 很快下降, 当达到 T_g 时, β 出现最大值。

第三个区域称为高弹态区或类橡胶态区, 该区内 E' 和 β 都很小, 且其值随 T 变化很小。



1—玻璃态区; 2—玻璃态转变区; 3—高弹态区。

图 1 E' 和 β 随 T 变化的曲线

1.2.2 频率的影响

阻尼材料的阻尼特性随频率 (f) 的变化而变化。图 2 示出了这一特性。

从图 2 中可以看出, 在某一温度下, E' 随 f 的增加始终呈增加趋势, 而 β 在一定频率下有最大值。定性地从 E' 曲线的形状来看, 它正好与阻尼材料的温度特性相反。也就是说阻尼材料的低温特性对应于材料的高频特性, 而高温特性对应于低频特性。这一现象是粘弹性材料特性的最重要的性质之一。

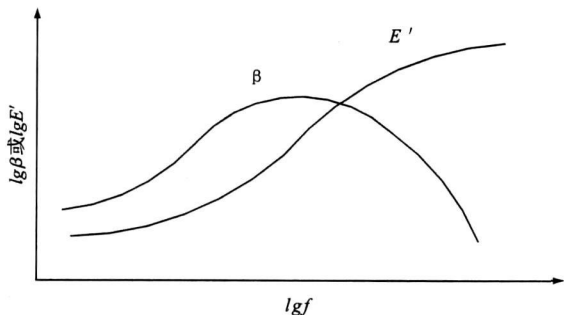


图 2 E' 和 β 随 f 变化的曲线

此外, 周期动态应变、老化、油浸、真空和压力等对阻尼材料性能也有一定的影响, 所以对于每种阻尼材料, 都要考虑其可能应用的场合, 并通过试验来确定这些因素的影响。

作为良好的阻尼材料, 应具有以下性质。

第一, 材料损耗因子峰值 $\beta_{\max}$ 要大, 峰值对应的温度要和工作温度相符。

第二, β 大于 0.7 的温度范围 $\Delta T_{0.7}$ 要尽可能宽。

第三, 有适量的弹性模量和剪切模量。

第四, 具有良好的工艺性能, 易于粘贴, 不易老化, 不易燃烧。

2 表面阻尼处理结构设计

阻尼技术的工程应用形式是将大阻尼粘弹材料粘贴于振动体表面, 当它们与基体一起振动时, 使阻尼材料受到拉-压或剪切运动, 损耗振动能量而抑制振动和声辐射。表面阻尼处理主要应用于受弯曲振动为主的厚度不大的构件或薄壁零件。表面阻尼处理结构设计主要内容是确定阻尼结构类型、阻尼材料选用、结构几何参数确定和阻尼处理位置。

表面阻尼处理通常分为自由阻尼处理和约束阻尼处理两大类。

2.1 自由阻尼处理

将一层一定厚度的粘弹阻尼材料粘贴于基板表面上。由于粘弹阻尼层外侧表面处于自由状态, 这一阻尼层称为自由阻尼层。当结构产生弯曲振动时, 阻尼层随基本结构一起振动, 在阻尼层内部产生拉-压变形, 如图 3(b) 所示。根据阻尼材料的耗能机理, 当阻尼材料内部产生交变应力时, 阻尼材料就会将有序的机械能转化为无序的热能, 从而起到耗能的作用。自由阻尼结构如图 3 所示。

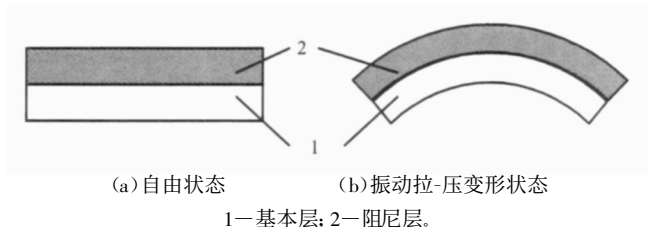
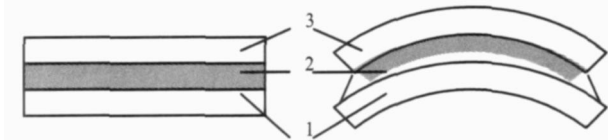


图 3 自由阻尼处理结构

2.2 约束阻尼处理

在自由阻尼处理的阻尼层外侧表面再粘贴一弹性层,这一弹性层应具有远大于阻尼层的弹性模量。当阻尼层随基本结构层一起产生弯曲振动而使阻尼层产生拉-压变形时,由于敷贴在外侧的弹性层的弹性模量远大于阻尼层的弹性模量,因此这一弹性层将起到约束阻尼层的拉-压变形的作用,所以这一弹性层被称为约束层,而受弹性层约束的阻尼层被称为约束阻尼层。由于阻尼层与基本结构层接触的表面所产生的拉-压变形不同于与约束层接触的表面所产生的拉-压变形,从而在阻尼材料内部产生剪切变形,如图 4(b)所示。因此约束阻尼处理结构中,阻尼层不仅承受拉-压变形,还同时承受剪切变形,它们都能起到耗能作用。约束阻尼结构比自由阻尼结构耗散更多的能量,因此具有更好的减振降噪效果。约束阻尼结构如图 4 所示。



(a) 自由状态 (b) 振动拉-压及剪切变形状态
1—基本层; 2—阻尼层; 3—约束层。

图 4 约束阻尼处理结构

3 粘弹阻尼材料在工程中的应用

粘弹阻尼材料主要有沥青类阻尼材料和橡胶类阻尼材料。沥青类阻尼材料是以沥青为主要基料,加入特殊高分子材料进行改性,经与其它助剂和无机填料充分混合加工而成的薄片状材料。这类材料价格比较低廉,使用简单方便,尤其对大面积的壳体振动和噪声控制具有明显的效果,同时还能起到表面隔离和防腐蚀的作用。现已开发出普通型、自粘型、热融型和磁性型等几种沥青类阻尼材料。橡胶类阻尼材料是利用橡胶本身所具有的粘弹性对结构进行阻尼减振。橡胶阻尼材料是选择具有一定相溶性和共硫化性的橡胶共混来加宽阻尼峰宽度,以提高材料的阻尼性能和改善综合性能。将两种不同 T_g 的橡胶进行共混,改变共混比,不仅可以得到不同 E' 和 β 的橡胶,而且在两个 T_g 之间获得较宽的阻尼峰。

3.1 SBS 改性的沥青阻尼材料

沥青本身是一种具有中等阻尼的高聚物材料,但其 T_g 较高,而且转变区很窄,因此不能作为阻尼材料。采用 SBS 嵌段共聚物对沥青进行改性来改善沥青低温性能,再在改性沥青中混入大量的有机和无机填料,增大其 $\Delta T_{0.7}$,提高阻燃等环保性能,以增加其对环境温度的适应性。

研制的 TZB-001 自粘性沥青阻尼片材是以 SBS 改性沥青为主要基材,经与各种有机和无机填料均匀混合,机械加工而成的黑色或深褐色片状材料(其厚度可根据用户要求而定)。其一面涂敷压敏胶粘剂,用隔离纸覆盖,使用时撕开隔离纸后,直接贴附于振动基体上形成自由阻尼处理结构层而起减振降噪作用。

TZB-001 自粘性沥青阻尼片材的结构见图 5。主要技术性能参数如表 1 所示。

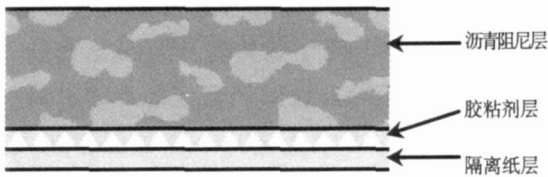


图 5 TZB-001 自粘性沥青阻尼片材结构示意图

表 1 TZB-001 自粘性沥青阻尼片材主要技术性能参数

项 目	数 值
最大损耗因子 β_{max}	0.8 ~ 0.9
$\beta = 0.7\beta_{max}$ 时温度范围/ $^{\circ}C$	0 ~ 30
面密度(1 mm 厚)/($kg \cdot m^{-2}$)	1.8
阻燃性	
氧指数/ %	≥ 30
45 $^{\circ}C$ 燃烧	达到难燃级
耐温性(100 $^{\circ}C \times 30$ min)	材料无流淌,无开裂
抗拉强度(2 cm)/ N	≥ 50
剥离力(2 cm)/ N	≥ 25
气味性	无特殊刺激气味

这类材料可用于轿车、轻型客车、大客车、载重汽车和工程机械的驾驶室,也可用于轨道客车车辆的地板和侧墙上。

试验证明,用 3 mm 厚的 TZB-001 自粘性沥青阻尼材料对铁路客车金属底板和低位段侧墙进行自由阻尼处理,车厢内部地板和下铺床板的振动量有明显降低,见图 6。

3.2 丁基橡胶和硅橡胶为基础的共混型阻尼材料

丁基橡胶、硅橡胶及某些树脂组成的共混体

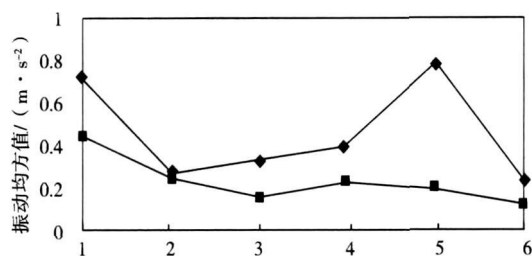


图 6 阻尼处理车厢和普通车厢的振动量比较
1, 3, 5 测点分别位于车厢靠近两端转向架和中间位置的地板上; 2, 4, 6 测点分别位于车厢靠近两端转向架和中间位置的下铺床面上。

◆—未处理车厢; ■—阻尼处理车厢。

图 6 阻尼处理车厢和普通车厢的振动量比较

系混溶性较好, 且共混体系 T_g 和树脂用量之间有定量关系, 所以通过配方调整可以得到具有理想特性的粘弹性阻尼材料。橡胶阻尼材料具有良好的自粘性能和低温性能, 通过具有不同 T_g 的橡胶共混, 可使有效阻尼温度范围变宽。

研制的 TZR-002 自粘性橡胶阻尼片材是丁基橡胶和液体树脂聚丁烯共混, 再加入云母粉、氢氧化铝等无机填料混合加工而成的片状材料(其厚度可根据用户要求而定), 一面加铝箔或人造革, 加强表面保护防止破裂, 另一面覆盖隔离纸。使用时撕开隔离纸后, 利用橡胶阻尼材料自身的粘附性直接贴附于振动基体上形成阻尼处理结构层而起减振降噪作用。

TZR-002 自粘性橡胶阻尼片材的结构见图 7。主要技术性能参数见表 2。

TZR-002 自粘性橡胶阻尼片材已用于动车组、高级专务客车、地铁车辆等轨道车辆, 也可用于工程机械驾驶室, 以减振降噪。

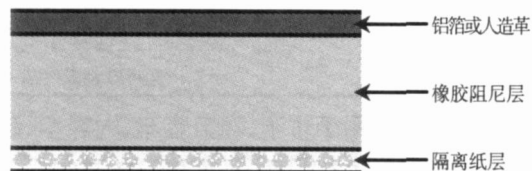
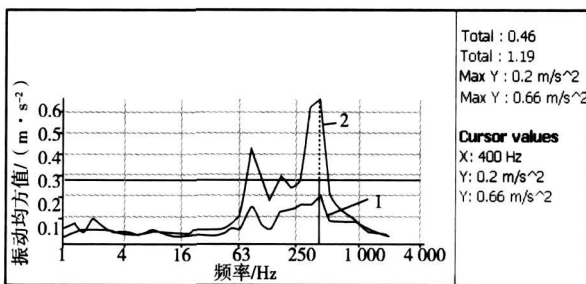


图 7 TZR-002 自粘性橡胶阻尼片材结构示意图

表 2 TZR-002 自粘性橡胶阻尼片材主要技术性能参数

项 目	数 值
最大损耗因子 β_{max}	1.0 ~ 1.2
$\beta = 0.7\beta_{max}$ 时温度范围/℃	-20 ~ +30
面密度(1 mm 厚)/(kg · m ⁻²)	1.4
阻燃性	
氧指数/%	≥36
45℃燃烧	达到难燃级
耐温性(100℃×30 min)	材料无流淌, 无开裂
抗拉强度(2 cm)/N	≥50
剥离力(2 cm)/N	≥25
气味性	无特殊刺激气味

图 8 是某高速铁路客车车辆金属地板表面贴附了 TZR-002 自粘性橡胶阻尼片材的车厢和未用阻尼材料的普通车厢在靠近转向架部位地板上的振动量对比, 测试结果表明, 在 63 ~ 400 Hz 之间, 贴附了 TZR-002 自粘性橡胶阻尼片材的车厢振动量降低较明显。



1—阻尼处理车厢; 2—未处理车厢。

图 8 阻尼处理车厢和普通车厢的振动量比较

4 结语

阻尼处理结构对于控制振动和噪声是十分有效的技术手段, 粘弹性阻尼材料正在广泛应用于各个领域, 粘弹性阻尼材料的品种也在不断地增多。沥青阻尼材料由于其性能较好, 成本低, 目前正在广泛应用于汽车、家电等行业; 橡胶阻尼材料具有高阻尼性和较宽的温域, 也正在逐步得到市场应用。

参考文献: 略

欢迎订阅《橡胶科技市场》
欢迎加入中国橡胶市场信息网