

降噪高分子材料及其应用

李思远 杨 伟 杨鸣波

(四川大学高分子材料科学与工程学院, 成都 610065)

摘要 降噪材料按降噪机理可分为阻尼减振材料、吸声材料和隔声材料。降噪高分子材料可广泛应用于建筑、交通、化工和生活等各个领域。综述了降噪高分子材料的主要种类及其作用机理, 并对高分子降噪材料的研究现状和应用情况作了简单的介绍。

关键词 降噪 吸声 阻尼 高分子复合材料

随着现代工业、交通运输和航空航天业的飞速发展, 噪音和振动问题日益严重。噪声会影响机械产品精度、缩短机械零部件使用寿命, 还危害人们的身心健康, 对人类的危害越来越大。

噪声可分为机械噪声、空气动力性噪声和电磁性噪声。目前, 世界各国都很重视噪声污染的治理。降低噪声的基本途径有吸声、隔声、阻尼减振, 其中阻尼减振和吸声应用最为广泛^[1]。

1 降噪材料分类

根据不同的观点和概念, 降噪材料主要的分类方法有以下几种:

(1) 根据所用材料可分为高分子降噪材料和不含高分子的降噪材料。高分子材料有橡胶、塑料、涂料、高分子复合材料等。

(2) 根据体系组成可分为单组分降噪材料和复合组分降噪材料。

(3) 根据降噪机理可分为阻尼减振材料、吸声材料和隔声材料。

阻尼减振高分子材料在降噪材料中占有很大的比例, 可以分为减振片材和减振涂料两大类。减振片材包括塑料体系和橡胶体系。塑料体系有聚醚型聚氨酯(PUR)、聚苯乙烯(PS)、聚氯乙烯(PVC)、聚酯、环氧树脂(EP)、互贯网络聚合物(IPN), 以及金属粉、陶瓷粉、玻璃微珠等填充高分子材料。橡胶体系有天然橡胶、丁基橡胶、异戊橡胶、乙丙橡胶等合成橡胶。减振涂料则包括 PUR、丙烯酸酯类聚合物、(乙烯/乙酸乙烯酯)共聚物、沥青等。

在众多的阻尼减振高分子材料研究中, PUR 类^[2]、EP 类和丙烯酸酯类为基体的材料最为常见。PUR 类包括 PUR-EP 类、IPN PUR 泡沫塑料、PUR 填充体系、PUR 复合材料等; EP 类包括环氧氯丙烷 PUR 阻尼减振材料、(环氧丙烷/苯乙烯)接枝与嵌段共聚物等; 丙烯酸酯类包括丙烯酸酯增容体系、IPN 体系等。

吸声高分子材料包括聚合物基发泡材料、聚合物/填料复合泡沫材料、聚合物微穿孔材料等。目前用量最大、应用最广泛的还是高分子发泡材料, 主要有聚乙烯(PE)泡沫塑料、聚丙烯(PP)泡沫塑料、PVC 泡沫塑料、聚氨酯泡沫塑料

料、PUR 泡沫塑料、酚醛泡沫塑料和橡塑泡沫材料等, 这些材料一般都是开孔的。

常用的隔声高分子材料有聚碳酸酯(PC)板、硬质 PUR 泡沫板等, 而具有良好性能的高分子发泡材料一般也具有好的隔声效果。

2 降噪机理

防止噪声与振动的基本方法是能量放射法和吸声法。前者利用材料将振动源和声源传播的声波反射, 不使其穿过材料; 后者利用材料将振动源或声波的能量吸收转变成热能。

2.1 阻尼减振降噪机理

高分子复合材料的减振功能主要是基于高聚物的粘弹性机理的阻尼作用。高分子材料分子量大, 分子链段较长, 易卷曲和相互缠结, 受到外部能量(应力或振动)作用时, 分子链段通过主链中单键的内旋转不断改变构象, 运动滑移、解缠而产生内摩擦, 从而将外加能量转变为热能散逸; 而加载能量消失后, 大分子会因为弹性而部分或全部地恢复到以前的状态, 材料宏观性能得以恢复。高聚物的阻尼作用强弱可通过耗能模量 E'' (自由阻尼材料) 和损耗因子 $\tan \delta$ (约束阻尼材料) 的大小来表示, 两者均在玻璃化转变温度(T_g)附近达到最大。

IPN 是由两种或两种以上的聚合物网络通过大分子链间的永久缠结或相互贯穿而形成各自独立网络的独特聚合物合金。IPN 在受到外部作用时, 应力或能量比单独交联网络更容易分散, 可从一个网络传递到另一个网络, 因此要破坏 IPN 的结构就需要更大的能量; 另外, IPN 的结构又使它具有像线性分子那样的链段相对滑移的性能, 因为聚合物两网络是在界面缠结互穿的, 并未形成化学键, 所以网络形变更大, 而且由于网络之间的摩擦, 加大了将能量转化成热能的能力, 阻尼作用更大^[3]。

减振材料中很大一部分都是粘弹性很强的高聚物如橡胶等^[4]。但粘弹性并不是阻尼作用的唯一机理^[5], 高聚物中的缺陷如错位、相边界、晶间、各种界面等都有阻尼作用。这是由于能量作用时, 缺陷部分会发生轻微的移动, 缺陷表

面和其它部分也会发生轻微滑移,从而耗散部分能量。而玻纤增强高聚物的阻尼机理更加复杂^[6],有高聚物粘弹性和缺陷部分的作用、纤维本身的阻尼作用、破坏产生的阻尼作用等,热弹性也有一定的贡献。

压电阻尼材料则是在高分子材料中加入压电粒子的一类导电材料。其阻尼机理是利用高分子材料的粘弹性和压电粒子的压电效应,实现机械能-电能-热能的转变。材料受到振动作用时,压电粒子能将振动能量转化成电能,导电粒子再将其转化成热能耗散^[7]。

2.2 吸声降噪机理

吸声材料多为多孔材料,具有许多内外相通的微小间隙和连续空洞。当声波沿着这些细孔进入材料内部时引起孔内空气振动,产生与孔壁的摩擦,造成孔内空气运动速度的差异,因摩擦和粘滞力的作用而使相当一部分声能转化为热能耗散,从而使声波衰减、反射声减弱达到吸声的目的。另外,空气绝热压缩时温度升高,绝热膨胀时温度降低,由于热传导作用,在空气与孔壁之间不断发生热交换,也会使声能转化为热能。当然,对于非多孔状吸声高分子材料,阻尼作用是其主要的吸声机理。

吸声材料的吸声结构和吸声性能好坏主要以其吸声系数的高低来表征。吸声系数是指声波在物体表面反射时其能量被吸声的百分率(α)。 α 值越大,吸声性能越好。

$$\alpha = E_A/E_0 = (E_0 - E_R)/E_0 \quad (1)$$

式中: E_A ——被吸声的声能, J;

E_0 ——入射总声能, J;

E_R ——反射声能, J。

同种材料对不同频率的声波,其吸声系数往往也不同。因此,在实际应用中,必须测得或给出几个主要频率的吸声系数或使用这些频率下吸声系数的算术平均值。

多孔性吸声材料的吸声性能主要受材料的厚度、密度、流阻、孔隙率、结构因子、材料后面空气层厚度、表面装饰处理和使用时的外部条件等所影响。一般来说,多孔性材料对高频吸声效果较好。

2.3 隔声降噪机理

当声音传到材料表面时会有一部分的声能被反射出去,反射能量的大小反映了隔声性能的好坏。高分子材料本身的隔声效果并不是很好,加入填料后则能得到隔声性能较好的复合材料。这是因为聚合物基体加入填料后,模量提高,且填料颗粒数目越多、比表面积越大,模量越大;其熔体粘度得到提高,当声波入射到材料中传播时要克服的阻力增大,从而使声能消耗增大^[8]。

对材料隔声阻尼性能的理论分析表明,材料的隔声性能服从质量定律,可表示为:

$$R = 161gm + 201gf - 29 \quad (2)$$

式中: R ——声音损耗数, dB;

m ——面密度, kg/m^2 ;

f ——声波频率, Hz。

(2)式是在一系列假设条件下导出的 R 与 m 之间的理论关系式,不能用于计算,但却可表明,增加面密度可提高材料的隔声量,而且,随着声波频率增加,隔声量增加。

3 降噪高分子材料研究进展

一般单组分的高分子材料只能在较窄的玻璃化转变温区具有高的阻尼值,大致在 T_g 附近 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 。塑料类的 T_g 在室温以上,而橡胶类材料的 T_g 一般低于室温,均不能满足使用的需要。因此,阻尼减振、吸声材料的研究重点就在于如何拓宽材料的玻璃化转变温区,提高损耗因子 $\tan \delta$ 研制出高阻尼高力学性能的材料。

IPN能显著提高材料的阻尼性能,效果优于共混和共聚改性的方法。IPN的研究工作集中在以下三个方面。

(1)在原有研究出大量IPN的基础上,研发新的组分和配比的互穿网络,并从形态结构上进行分析设计,得到阻尼性能更优的材料。自Millar首先合成PS/PS IPN并提出这一概念以来,研究人员发明了多种体系的IPN,包括两组分的PUR/聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、PMMA/聚甲基丙烯酸丁酯(PBMA)、聚丙烯酸正丁酯(PnBAK)/PMMA、聚酰胺(PA)/PS、聚丙烯酸丁酯(PBAK)/PS等,以及丁腈橡胶(NBR)-PVC/PA^[9]、PUR/EP/聚丙二醇二丙烯酸酯(PPG-DA)。钟发春等^[10]以PUR(聚四氢呋醚、液化MDI)和聚二甲基硅氧烷(PDMS)合成了PUR/PDMS IPN阻尼材料,动态力学谱图上仅表现出单一的 T_g ,表明材料有明显的阻尼性能,且PUR、PDMS在IPN中的分布不均匀,PDMS趋于分布在IPN表面,使PUR/PDMS阻尼材料具有潜在的特殊应用前景。唐冬雁等^[11]研究了聚醚型PUR/PMMA IPN材料的阻尼性能,动态力学性能测试结果显示,PUR软段中羟基与异氰酸酯比例、软硬段相对含量以及交联密度对体系的相容性和阻尼性能都有显著影响。结果还表明,所获得的IPN都有明显的拓宽玻璃化转变温区的作用。D. J. Hourston^[12]研究了两种聚合物各自的交联密度对PUR/聚甲基丙烯酸乙酯(PEMA) IPN材料阻尼性能的影响。IPN乳胶体系近年来也倍受关注。

(2)研制梯度IPN阻尼材料。L. H. Sperling^[13]利用分步法在第二种单体溶胀第一网络尚未达到溶胀平衡时便引发第二种单体聚合,使第一聚合物中第二种聚合物的浓度呈梯度变化,率先合成了梯度IPN。制备梯度IPN是获得宽温区高性能阻尼材料的好方法,是目前IPN研究领域的一个热点。Y. Lipatov等^[14]就通过试验发现梯度IPN材料在 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 内具有很高的阻尼值。

(3)开发以IPN为基体的无机掺杂阻尼材料和IPN发泡材料。无机填料的加入对IPN的阻尼性能有两方面的影响:其一,限制了部分分子链段的运动,降低了阻尼值;其二,在玻璃化转变区,填料与聚合物及填料之间的内摩擦作用随分子运动的加剧而增大,提高了阻尼值^[15]。填料的结构决定了哪种作用占优势。一般片层结构如云母不仅可以提高阻尼值,而且也可以使阻尼温区加宽。陈庆民等^[16]通过研

究指出具有疏松结构的无机填料使共聚物网络的 $\tan \delta$ 较高。IPN 发泡材料综合了多孔吸声机理和阻尼减振的机理, 使材料的降噪功能大为增强, Klempener 通过试验验证, 所有 IPN 泡沫塑料在所有频率范围都呈现优越的吸声性能。H. Tai 等^[17]用丙烯酸 2-乙基己基酯、苯乙烯和二乙烯基苯制得一种高分散相乳液共聚物和 IPN 泡沫材料, 获得了宽的 T_g 和玻璃化转变温区。

高聚物/无机填料复合材料是另一种研究较多的高性能阻尼材料, 如 G. H. Kwak 等^[18]进行了大量研究工作。国外在玻纤增强高聚物阻尼复合材料方面做了大量的理论和应用研究工作^[19]。通过加入压电粒子得到的压电材料是目前国际上研究得最多的智能阻尼材料。X. Yan 等^[20]在聚合物基体中加入压电粒子、导电粒子、增强材料等制得了一类阻尼材料, 发现复合材料的组分比例、压电粒子种类、导电粒子种类等因素对复合材料阻尼减振性能有不同的影响。

对于多孔吸声降噪高分子材料, 国内外的研究主要集中在吸声的低频拓展方面。西安交通大学钱军民等^[21]在这方面做了大量的研究工作: 以聚合物和无机纤维为原料, 用化学发泡法制得新型泡沫吸声材料, 在中低频范围内具有优异的吸声性能; 席莺等^[22]将 PVC 及其共混发泡材料与无机吸声材料混合; 将乙丙橡胶、PVC 和岩棉进行化学发泡; 将 PVC、NBR、无机物混合进行发泡, 制得的这些吸声材料的平均吸声系数一般为 0.5 左右, 尤其是中低频吸声性能优于其它吸声材料。T. L. Yang^[23]研制了一种新型的由聚合物、金属和低熔点聚合物纤维构成的多孔层压复合材料, 在 500 ~ 2000 Hz 具有高的吸声系数, 并研究了纤维直径、密度及横截面、孔率和频率对吸声性能的影响。K. L. Alderson 等^[24]通过试验研究了具有负泊松比性质的多孔 PE 的吸声性能, 通过和一般的泡沫塑料比较, 发现具有负泊松比性质的材料吸声性能要高 3 倍以上。

4 降噪高分子材料的应用

4.1 减振高分子材料

减振高分子材料被广泛应用于建筑、交通、化工和生活等各个领域, 具体应用见表 1。

减振高分子材料的应用领域很宽, 主要包括汽车的减振降噪、家用电器和建筑工程等场合的减振。

汽车在行驶过程中, 发动机传动装置的振动和路面激振使车辆壳体产生振动和声辐射, 从而形成车内噪声。在国外, 如德国、法国、意大利等自 20 世纪 80 年代起就先后采用减振、吸声、隔声复合材料制品使轿车内的噪声得到有效的控制, 例如离合器扭转缓冲器、离合器拉开杆、机器罩、齿轮减速器都需要减振材料。

家用电器的减振多使用具有减振与防止噪音两种效果的材料。目前国内外冰箱的外壳采用减振钢板, 底部使用了丁基橡胶, 洗衣机的底部使用的也是丁基橡胶。洗衣机、冰箱、吸尘器的电动机周围使用 PUR 复合材料, 或用泡沫 PUR - ABS 多层复合物安装。

表 1 减振降噪材料的应用领域

领域	举 例
交通	汽车: 发动机前后机架部位、钢板弹簧隔垫、横梁支架、排气管管 火车: 柴油机支承装置、减速箱支承、联轴节、底架缓冲垫 船舶: 主发动机的橡胶联轴节、旋转罗盘 飞机: 涡轮螺旋发动机的支承部位、精密仪器与主体机器的振动隔离部位
机械化工	机床、电动机的防振支承、传送带、齿轮、螺栓、化学装置、贮槽、流料槽、导管、配管
电子工业	磁芯驱动器, 软盘驱动器, 复印机的底盘、脚架, 收音机、电视机的外壳
建筑工程	播音室墙壁、地铁上部的建筑公寓、通风管、体育馆内比赛设施等
生活	运动鞋, 抽油烟机、空调安装的框架部分

建筑工程中, 目前广播电视播放厅、体育设施、娱乐场所对减振材料使用得较多。建筑防振设计中考虑到使用寿命, 减振材料通常为橡胶类复合结构。精密机械加工厂房、精密仪器制造厂房除考虑减振外, 还要对噪音加以控制。

4.2 吸声、隔声材料

相对于减振降噪材料, 吸声材料的应用范围较窄。除了在交通、工业等领域应用外, 主要应用在建筑生活领域, 降低噪音, 以改善人们的居家生活环境。一般吸声材料能吸收 10 ~20 dB, 加上墙壁等材料的隔声作用, 能有效地降低生活噪声。对于高分子泡沫吸声材料, 可以通过添加各种助剂如阻燃剂、抗静电剂等使材料具有更大的使用价值。

5 结语

随着科学技术的发展, 国家对环境问题的重视以及人们生活水平的不断提高, 人们对噪音污染的问题越来越关注, 对降噪材料的使用要求也越来越高, 因此非常有必要发展高性能的降噪高分子材料, 而且随着理论研究和应用研究的深入, 降噪高分子材料必将得到快速发展。降噪高分子材料在人们的生活、生产领域会得到更加广泛的应用, 其工业前景非常乐观。

参 考 文 献

1 钱军民, 等. 噪声与振动控制, 2000(2): 41

2 王建华, 等. 工程塑料应用, 2002, 30(10): 51

3 王和平, 等. 黑龙江大学自然科学学报, 2002, 19(4): 106

4 Fu W, et al. Polymer & Polymer Composites, 2001, 9(6): 423

5 Chung D D L. J Mater Sci, 2001, 36: 5733

6 Chandra R. Composite Structures, 1999, 46: 41

7 杨亦权, 等. 功能材料, 2002, 33(3): 234

8 蒋兴华, 等. 合成材料老化与应用, 2002(3): 32

9 夏宇正, 等. 丙烯酸化工与应用, 2001, 14(1): 5

10 钟发春, 等. 材料导报, 2001, 16(6): 63

11 唐冬雁, 等. 哈尔滨工业大学学报, 2000, 32(2): 56

12 Hourston D J. J Appl Polym Sci, 1996(62): 12

- 13 Sperling L H, et al. J Paint Tecnology, 1974, 46: 47
- 14 Lipatov Y, et al. J Mechanics of Composite Materials, 1988(5): 1 028
- 15 曾威,等. 高分子通报, 2001(1): 68
- 16 陈庆民. 材料科学进展, 1992, 6(5): 440
- 17 Tai H, et al. Polymer Engineering and Science, 2001, 41(9): 1540
- 18 Kwak G H, et al. J Appl Polym Sci, 2001, 82(12): 3058
- 19 Ni R G, et al. Composites, 1984, 15(4): 297
- 20 Yan Xiong, et al. Journal of Donghua University (English Edition), 2001, 18(3): 11
- 21 钱军民,等. 高分子材料科学与工程, 2001, 17(4): 145
- 22 席莺,等. 高分子材料科学与工程, 2001, 17(2): 129
- 23 Yang T L. Journal of Vibration and Control, 2001, 7(5): 675
- 24 Alderson K L, et al. Applied Acoustics, 1997, 50(1): 23

POLYMERIC NOISE REDUCTION COMPOSITES AND THEIR APPLICATIONS

Li Siyuan, Yang Wei, Yang Mingbo

(College of Polymer Materials Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

ABSTRACT According to the function mechanisms, polymeric noise reduction composites were classified as vibration damping, sound absorption and sound insulation materials. Polymeric noise reduction composites were widely applied to the fields such as architecture, traffic chemical industry, daily life and so on. The categories and function mechanisms of polymeric noise reduction composites were reviewed and the researching progress and applications were briefly introduced.

KEYWORDS noise reduction, sound absorption, damping, polymer composite

汽车在线涂覆 PET 树脂

美国杜邦公司新推出了能在线涂覆的 PET 树脂。该树脂的特点是能在汽车涂覆生产线上在线涂覆,可承受电子涂覆装饰工艺条件(200℃, 30 min)。该工艺的优点是能与汽车整体颜色匹配,表面光泽达 A 级以上,降低汽车部件和表面装饰成本,而且可使汽车轻量化。

涂装用牌号 Rynite RE8001 适用于做汽车车体外板,另外杜邦公司还开发了非涂装用高光泽牌号 Rynite RE8000,可用于制作家电和电子部件(烤炉门把手、烤面包机部件、电机罩)和越野车、拖拉机、收割机中靠近发动机和排气管等发热部件的有关部件。

(唐伟家)

废塑料掺秸秆可制包装材料

武汉现代工业技术研究院采用 PE、PP、PVC 等废旧塑料和农作物秸秆及木质纤维等材料,开发成功了新型环保工业用包装托盘生产技术,并通过了湖北省科技厅的鉴定。

用该技术不但可以生产包装用托盘,并且可生产多种工业用包装材料,如包装箱、支撑架、防潮垫仓板、建筑用模板等制品。产品除硬度高、装饰性好、防潮防腐、不虫蛀、抗静电、阻燃以外,使用寿命比一般木质包装材料长 5 倍以上,与新塑料制成的包装材料使用寿命一样,而成本比用新塑料低 50% 以上。工业用托盘是包装材料中消耗量较大的一种产品,传统工业用托盘大多采用天然木材制成,仅此一项每年需消耗大量宝贵的天然木材资源。用废旧塑料和农作物秸秆等制成新型包装材料,不但可减少天然木材砍伐,还可治理废旧塑料给环境带来的污染问题,因此,该项技术具有很好的开发应用前景。

(黄春玺)

青岛推出 PE 电热熔带管件生产线

青岛华仕达机械有限公司引进吸收国外先进技术研制的聚乙烯(PE)电热熔带生产线近日试车成功并顺利投产。专家称该设备问世打破了韩资企业一统我国该项市场的局

面,市场前景广阔。

近年来,大口径结构壁缠绕管作为一种新型塑料管材发展较为迅猛,因其耐酸碱、耐腐蚀、抗压、耐老化、使用寿命长、施工方便快捷而得到市场认可,是混凝土管、陶瓷管等传统管材的理想替代产品。管材的发展为管件的应用提供了巨大的市场空间。目前,国内与之相配套的管件生产厂仅有两三家,与数百家管道生产厂相比,显然不匹配,因而作为稀缺资源投资 PE 电热熔带生产线将会带来巨大的经济效益。

(孙信)

北欧化工开发出透明 PP 吹塑膜用共聚物

丹麦 Borealis(北欧化工)集团公司近日开发出丙烯/乙炔共聚物新牌号 Boreclear RB707CF,这种新的无规共聚 PP 树脂克服了以前无规共聚 PP 无法用标准空气冷却挤出吹膜加工装置的问题。RB707CF 具有良好的光学透明性、良好的加工性和平衡的刚性和强度。据报道用其加工的薄膜有良好的密封强度,以及容易与茂金属线型低密度聚乙烯粘接。该牌号适用于共挤出软管包装的粘接层。软包装包括:透明蒸煮袋、医疗/卫生薄膜、面包袋和层压复合膜。

(毅佳)

可降解 PHBV 塑料袋通过鉴定

东华大学研制成功一种国际领先的生物新材料 PHBV,用其制成的塑料袋被抛弃后,在自然条件下 6 个月内可以完全降解,对环境没有任何污染。目前该技术已通过专家鉴定。据统计,大型超市平均每天都要向市民发放 1 万~8 万个塑料袋,该产品的问世可有效解决塑料袋造成的“白色污染”问题。该科研项目负责人介绍,这种新研制成功的生物材料 PHBV 可直接从玉米等天然植物发酵获得,不需要任何化学提炼和合成过程,废弃后又可以完全融入自然界。这种新材料在医疗、纺织、农业、海洋技术等领域也有广泛的应用。

(青原)