

文章编号: 1000-2278(2002)01-0056-06

环保吸声材料的发展动态及展望

张守梅 曾令可 黄其秀 黄浪观

(华南理工大学)

摘 要

分析了吸声材料的吸声原理,介绍了它的分类、基本特点、用途及其研究发展情况。并介绍了很有发展前景的环保新材料。
关键词 吸声材料,吸声原理,性能评价,陶瓷吸声材料
中图法分类号: TB34 文献标识码: A

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION SOUND—ABSORBING MATERIAL

Zhang Shoumei Zeng Lingke Huang Qixiu Huang Luanguan
(South China University of Technology)

Abstract

The paper analyses the principles of sound—absorbing material, introduces its classification, characteristics, wide application and development, and also introduces the promising new environmental protection materials.

Keywords sound—absorbing material, sound—absorbing principles, performance evaluation, ceramic sound—absorbing material

1 前 言

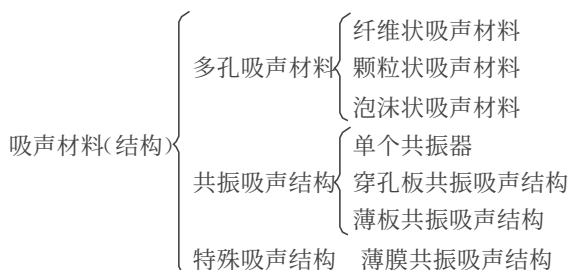
随着社会的发展和生活水平的提高,人们在工作、学习和生活中,对声环境的要求已经愈来愈高。噪声对人们的听力、睡眠、生理、心理及周围环境等方面造成很大影响和危害,社会对吸声材料的需求量呈迅猛增长之势,同时也对吸声材料的性能提出了更高更多的要求。吸声材料必须实现从过去单一吸声功能向高吸声性、装饰性、经济性和环保性等多功能转变。

为了有效地运用和研制吸声材料,必须对吸声材料的吸声原理、性能和影响因素,吸声材料的结构分类、发展和应用范围有所了解。(在选择材料时,还需了解其强度、吸湿、传热、施工、外观,并根据具体的使

用环境综合分析和比较)

2 吸声材料的结构种类

吸声材料及结构的种类很多,根据其材料结构的不同,可以分为下列几类:



收稿日期: 2001-09-20

作者简介: 张守梅, 华南理工大学材料科学与工程学院, 广州: 510641

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

2.1 阻性衰减型

阻性衰减型的软质多孔材料广为人知的是玻璃棉与岩棉;硬质多孔材料有金属类、陶瓷类、合成树脂类多孔材料,其中特别是铝质吸声材料得到了人们的重视。其原因在于金属多孔材料是刚性体,不必像软质多孔材料那样需要穿孔面层材料保护,长时间使用不会老化或飞散污染环境,吸湿或湿润后吸声系数基本不会影响其吸声性能。

2.2 共振吸声结构

共振吸声结构以各类穿孔板最为常见,常与多孔吸声材料一起使用。作为无纤维吸声体还有微穿孔板,它是为适应恶劣环境而开发的吸声材料,已在国内外引起普遍重视并得到了广泛的应用。

吸声性能:穿孔板共振吸声结构具有良好的中高频吸声性能;薄板共振吸声结构具有良好的低频吸声特性。

2.3 薄膜震动型

薄膜震动型吸声材料通常与其它材料附着在一起,如铝纤维吸声材料中的铝箔。还有微穿孔聚乙烯薄膜,它可以贴附在普通窗户的玻璃上。

吸声性能:具有优良的中频吸声特性。

2.4 其它类型

(1)空间吸声体

空间吸声体与一般吸声结构的区别在于它不是与顶棚、墙面等刚性壁组合成吸声结构,而是自成系统的。室内的吸声处理,一般都在建筑施工和装饰中把吸声材料安装在室内各界面上。但可预制成吸声构件——空间吸声体,进行现场吊装。从本质上讲,吸声体不是什么新的吸声结构,但由于使用条件不同,吸声特性也有所不同。挂在声能流密度大的位置(例如靠近声源处、反射有聚焦的地方)可以获得较好的效果。

吸声体的形式与安装如图1所示。

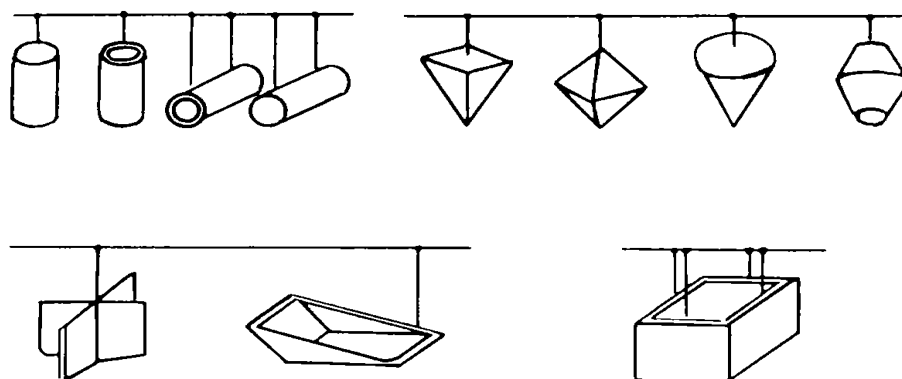


图1 吸声体的形式与安装图

Fig. 1 Shape of sound-absorbent and installation

(2)强吸声体

吸声尖劈是消声室中常用的强吸声结构,还有界面平铺多孔材料。

(3)帘幕

如帘幕离墙面、窗玻璃有一定距离,就好像在多孔材料背后设置了空气层,尽管没有完全封闭,对中高频仍具有一定的吸声作用。

(4)洞口

向室外自由声场敞开的洞口,从室内的角度看,它是完全吸声的,对所有频率的吸音系数均为1。它对室内声学问题有较大的影响。若洞口不是朝向自由声场时,其吸音系数就小于1。

(5)人和家俱

人和家俱也能够吸收声音,因此人和家俱实际上也是吸音体。一般的吸音材料和结构可按其吸音系数和有效面积的乘积求得吸音量。所以吸音特征用每个人的或者每件家具的吸音量来表示,它们与个数(或件数)的乘积即为总吸音量。

3 吸声材料的研制与发展

3.1 多孔材料

就多孔吸声材料而言,它是目前应用最广泛的材料,主要有有机纤维材料,无机纤维材料,泡沫材料和

吸声建筑材料四大类。

(1)有机纤维

早期使用的吸声材料主要为植物纤维制品,如棉麻纤维、毛毡、甘蔗纤维板、木质纤维板、水泥木丝板以及稻草板等有机天然纤维材料。有机合成纤维材料主要是化学纤维,如晴纶棉、涤纶棉等。这些材料在中、高频范围内具有良好的吸声性能,但防火、防腐、防潮等性能较差。

(2)无机纤维

无机纤维材料不断问世,如玻璃棉、矿渣棉和岩棉等。这类材料不仅具有良好的吸声性能,而且具有质轻、不燃、不腐、不易老化、价格低廉等特性,从而替代了天然纤维的吸声材料,在声学工程中获得广泛的应用。无机纤维吸声材料的缺点是:

①在施工安装过程中因纤维性脆,容易折断形成粉尘散逸而污染环境,影响呼吸,刺痒皮肤。

②其质软表面需要保护层,如穿孔板,透气织物等进行保护和装饰,构造比较复杂,体积大,储存和运输不便。

③水或吸潮后其吸声性能就会大大减弱,故不适用于在潮湿、高温、气流较大的场所或室外等环境使用。

(3)泡沫材料

根据泡孔形成的不同,可分开孔型泡沫材料和闭孔型泡沫材料。前者的泡孔是相互连通的,属于吸声泡沫材料,如吸声泡沫塑料、吸声泡沫玻璃、吸声陶瓷、吸声泡沫混凝土等。后者的泡孔是封闭的,泡孔之间是互不相通的,其吸声很差,属于保温隔热材料。如聚苯乙烯泡沫、隔热泡沫玻璃、普通泡沫混凝土等。但是泡沫塑料易老化,且其吸声特点是中高频(500Hz 以上),吸声性能优异,低频吸声性能不够理想。厚度为 10mm 的硬质聚氯乙烯泡沫塑料的吸声性能如表 1。

(4)吸声建筑材料

表 1 泡沫塑料吸声性能
Table 1 Sound-absorbing performance of cellular plastic

频率 Hz	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	
吸声系数	0.10	0.12	0.15	0.09	0.18	0.21	0.33	0.58	0.73	0.28

吸声建筑材料是由多孔性建筑材料制成,如吸声粉刷、微孔吸声砖、陶瓷吸声板、珍珠岩吸声板等。但建筑吸声板性能较差,而且太重,已逐渐被具有轻质、不燃、不腐、不蛀以及不易老化等特性的玻璃棉、轻质硅酸钙板、矿渣棉和岩棉等无机材料所代替。

(5)吸声金属材料

目前的一种新型吸声材料是铝纤维吸声板,与其它吸声材料相比,具有如下特点:

①超薄轻质,吸声性能优异。

②强度高,加工及安装方便。由于全部采用铝质材料,故可耐受气流冲击和震动,适用于气流速度较大或震动剧烈的场所。铝的柔韧性较好,故钻孔、弯曲和裁切加工都很容易。材料也不会飞散污染环境和刺激皮肤。

③耐候、耐高温性能良好。铝纤维难以吸水,浸水后取出水分立即流失,且易于干燥,干燥后吸声性能可以完全恢复。含水结冰时材料不受损坏,因而对冷热环境都适用。

④不含有有机粘结剂,可回收利用。既不会形成大量的废弃垃圾,也节省了资源,称得上是绿色环保型材

料,具有电磁屏蔽效果和良好的导热性能,可用于特殊要求的场所。

⑤变化丰富,材料板幅较大,用途广泛。

铝质纤维吸声材料在国外的使用已很普遍,较多使用在音乐厅、展览馆、教室、高架公路底面的吸声材料,高速公路或冷却塔的声屏障,地铁、隧道等地下潮湿环境的吸声材料。由于特殊的耐候性能,特别适宜在室外露天使用。铝质纤维吸声材料在国内推广目前主要存在着成本太高的问题。现在,仅日本能够生产这种铝纤维,上海已经有了生产铝质纤维吸声材料的企业,但原材料必须依赖进口。由于铝质纤维吸声材料的突出优点,今后其将在我国声环境的改善和噪声控制中发挥作用。

3.2 无纤维吸声材料的研究发展

在国际上,声学设计人员和声学材料生产企业目前都在寻找和开发新型的无纤维吸声材料和结构。随着人们对健康和环境保护意识的提高,无纤维吸声材料将是未来吸声材料发展的趋势。

共振吸声材料或称共振吸声结构,分薄板吸声、共振吸声、穿孔板吸声、微穿孔板吸声等多种。共振吸声

结构的吸声机理,与多孔材料有相同的地方,其不同的特点在于:共振结构是利用共振器的特点,更有效的把声能转变成热能消耗。共振吸声结构不是采用纤维性吸声材料,而是采用铝板、钢板、塑料板等材料制成,因此不怕水和潮气,防火,清洁,无污染,耐高温,能承受高速气流的冲击。共振吸声结构的不足之处是吸声频带窄,在共振频率附近,吸声系数很高,可接近于1,但一偏离共振峰,吸声系数迅速下降,因此只适用于吸收中低频的单频声音。这也是长期以来共振吸收材料结构在吸声材料领域不能替代纤维吸声材料的原因。在共振吸声材料结构中,惟有微穿孔板结构具有宽频带吸声的趋势,大有希望弥补共振吸声频带窄的不足。

微穿孔吸声结构是一种低声质量、高声阻的共振吸声结构,其吸声频率宽度可优于常规的穿孔共振吸声结构。这一结构的基础理论和基本设计是为准备在恶劣的条件下应用的吸声体而发展起来的。60年代中期,我国火箭事业迅速发展,解决火箭噪音问题很突出,迫切需要适应高声强、高气压、高温度的吸声材料。马大猷教授开始了火箭噪声的研究。1975年马大猷教授的《微穿孔板吸声结构的理论和设计》论文在《中国科学》上发表,标志着这一独创理论的诞生。20多年来,微穿孔板结构在国内外得到了迅速的发展,并在各个领域广泛的应用。

近年来,基于这一理论和设计,国内外发展了微穿孔板的多种应用。以德国为例,简要介绍一下国外的发展情况。

德国议会大厅的音质改造是微穿孔板应用的一项主要成就。大厅墙壁上所用微穿孔板是厚5mm的有机玻璃板,穿孔直径是0.55mm,孔距3.5mm,共振频率是250—800Hz。在研制玻璃窗上的微穿孔板结构时,发现微穿孔板不但呈现良好的吸声性能,玻璃窗的隔声性质也提高了。例如,厚8mm的玻璃窗,隔声级别为38dB,在窗前75mm处加一层微穿孔板后,隔声级别提高到41dB,增加了3dB。

现在德国通用的微穿孔板吸声体用 $1250 \times 1250\text{mm}^2$,厚0.5mm的钢板制成。另外,还有其它形式的吸声体。

1996年无纤维吸声材料有一个重要的发展,就是点粘连钢板共振体的发展。实验证明,用厚2.5mm的钢板在几点上粘到厚100mm的泡沫塑料上,可以得到宽频带范围的吸收性质,低频可达到40Hz。

以上是德国在无纤维吸声材料领域中的一些主要研究结果。我国是微穿孔理论和设计的发源地。自马

大猷教授发表了微穿孔板理论和设计以来,国内科技工作者开展了若干实验研究和应用开发工作,微穿孔结构开始应用在一些工业噪声场所。

进入90年代,微穿孔板在国内噪声控制工程,改善厅堂音质方面得到了广泛的应用。其中,大型游泳池馆的吸声吊顶,一些需要清洁环境的重要产品空间,医院通风系统等,相继采用了微穿孔吸声处理。最近噪声控制专家在设计高架路声屏障时,也采用了透明微穿孔板吸声结构,大大开拓了微穿孔板应用的新领域。

目前,需要一种安全、清洁、低噪声场所设计,即在一个需要清洁安全的场所,所有的噪声控制措施全部采用微穿孔板吸声结构。包括微穿孔板吸声吊顶,微穿孔板消声器,移动式微穿孔板吸声隔声屏,采用微穿孔板吸声内衬的隔声箱,还有一些大的作业场所需要设置控制室,观察室,休息室等等。用透明微穿孔板结构,隔声音量下降,室内声级下降。

最近微穿孔板消声器已获得国家环保局环境保护产品认定证书。

从理论和国内外的实践看,微穿孔板吸声结构未来有着广阔发展前途。

目前,我们正根据马大猷教授所提出的精确理论,在微穿孔板的结构设计及加工制作方面进行了一些探索。

以上是我们所了解的微穿孔板结构这种非纤维吸声材料的一些进展,近来越来越多的人相继开展了这方面的研究和开发工作。微穿孔板吸声结构这种无纤维吸声材料,正在朝着标准化、系列化方向发展,其应用必将越来越广泛。

4 吸声材料的基本知识

4.1 多孔材料的吸声原理

惠更斯原理:声源的振动引起波动,波动的传播是由于介质中质点间的相互作用。在连续介质中,任何一点的振动,都将直接引起邻近质点的振动。声波在空气中的传播满足其原理。

多孔吸声材料具有许多微小的间隙和连续的气泡,因而具有一定的通气性。当声波入射到多孔材料表面时,主要是两种机理引起声波的衰减:首先是由于声波产生的振动引起小孔或间隙内的空气运动,造成和孔壁的摩擦,紧靠孔壁和纤维表面的空气受孔壁的影响不易动起来,因摩擦和粘滞力的作用,使相当一部

分声能转化为热能,从而使声波衰减,反射声减弱达到吸声的目的;其次,小孔中的空气和孔壁与纤维之间的热交换引起的热损失,也使声能衰减。另外,高频声波可使空隙间空气质点的振动速度加快,空气与孔壁的热交换也加快。这就使多孔材料具有良好的高频吸声性能。

4.2 材料吸声性能的评价

(1)吸声系数

吸声材料和吸声结构的吸声性能好坏,主要用其吸声系数的高、低来表示,吸声系数是指声波在物体表面反射时,其能量被吸收的百分率,通常用符号 α 来表示, α 值越大,吸声性能就越好

$$\alpha = (E_i - E_a) / E_i$$

式中, E_a 为被吸收的声能, E_i 为入射总声能。

(2)降噪系数

由于材料的吸声与频率有关,即同一材料各个频率的吸声系数是不同的。我国混响室法吸声系数测量规范定的测试频率范围为 100—5000Hz。降噪系数是取 250、500、1000 和 2000 四个频带吸声系数的平均值。

$$NRC = (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}) / 4$$

对于室内音质设计和噪声控制所用的吸声材料,我国已制定进行吸声性能等级划分的国家标准 GB/T16731—997——建筑吸声产品吸声性能分级。标准规定采用降噪系数的大小评定材料的吸声性能等级。材料吸声性能等级与其对应的降噪系数 NRC 如表 2。

表 2 材料吸声性能等级与其对应的降噪系数 NRC
Table 2 Performance grade of sound-absorbing material and corresponding noise-reducing coefficient

等 级	降噪系数范围
1	$NRC \geq 0.80$
2	$0.80 > NRC \geq 0.60$
3	$0.60 > NRC \geq 0.40$
4	$0.40 > NRC \geq 0.20$

(3)影响因素

了解影响多孔材料吸声特性的因素,有助于对吸声材料的研制与应用。

多孔性材料的吸声性能主要受材料的厚度、容重、流阻、空隙率、结构因子、材料背后的空气层、材料表面的装饰处理以及外部条件等影响。一般来说,多孔性

吸声材料对中、高频吸声效果较好,但有时采用加大厚度提高低频吸声效果,增加容重也有利于低频吸声,背后空气层与具有增加材料有效厚度的作用一样,在一定尺寸范围内,空腔既可以节省吸声材料,又可以提高低频吸声性能。空腔越大,吸声频率越低。

5 吸声材料的应用及展望

吸声材料最早用于对听闻音乐和语言有较高要求的建筑物中,如音乐厅、剧院、播音室等。随着人们对声环境质量要求的提高,吸声材料在一般建筑中也得到了广泛的应用。

在音质设计中,对房间的墙面、顶棚进行吸声处理或者悬挂强吸声体,可以减弱反射声,降低噪声;在产生气流噪声的进气或排气管道中设置消声器,能有效地降低气流噪声,减少噪声污染;利用吸声材料还可以调整声场分布,消除回声,控制反射声,以获得合适的混响时间。

特别指出的是,地下铁道作为一种城市现代化交通工具,其周围一般是城市居民众多,商业发达的地段,因而噪声治理显得非常重要。

最近吸声材料又有了新的进展,由湖北省机电研究设计院和深圳楚粤公司共同研制成功的“吸声降噪泡沫陶瓷”与传统吸声材料相比,有了质的飞跃,其性能指标在国内领先,填补了国内空白。该产品采用陶瓷原料及相应工艺生产,具有三维状结构材料、开口孔隙率高、耐气候变化、抗腐蚀、抗热和抗震等特点。能忍受风吹、日晒、雨淋的侵蚀而不变形和破裂,不会改变网状结构。同时,它具有共振吸声结构,表面美化处理后也不会影响吸声效果。可广泛用于城市高架桥、铁轨铁道、地铁、隧道、建筑施工现场和露天变压器等消声隔音屏,还可用于娱乐场所及柴油发电机组、空调机组的消声降噪工程。

同时,日本开发出一种具有高吸音性能的吸音瓷砖。这种瓷砖采用信乐陶土和火山灰,加入特殊材料,在 1280℃ 的高温下烧制而成。该产品除具有吸音、防火等性能外,它的热传导率也很低,且耐水性很好,可用水清洗,维修也很简单。

这种瓷砖的施工采用铺平贴压工艺。其吸音性能在瓷砖背后 40mm 处,250Hz 的低频区,吸音率为 75%;用贴压法,在 800Hz 左右的中高频区,吸音率为 80%以上,这样,在室内的音响设计中,可获得最适宜的混响效果。

随着现代科学技术的飞速发展及陶瓷工艺制度的完善,吸声材料的花色和品种越来越多,以满足人们对吸声材料不断增长的需要,吸声材料的应用也会越来越广泛。

参 考 文 献

- 1 钟祥璋. 矿物棉的吸声特性及应用. 保温材料与节能技术, 2000. 5: 4—10
- 2 钟祥璋. 矿物棉的吸声特性及应用(二). 保温材料与节能技术, 2000. 6: 9—14
- 3 钟祥璋. 矿物棉的吸声特性及应用(三). 保温材料与节能技术, 2001. 1: 3—7
- 4 秦清明, 贾一峰, 贾志达. 减震、吸声、隔声复合材料及其在工程中的应用. 保温材料与节能技术, 1994. 4: 2—7
- 5 叶海, 钟祥璋. 铝质纤维吸声板. 上海建材, 2001. 1: 12—14
- 6 钟祥璋, 莫方朔. 铝纤维吸声板的材料特性及应用. 新型建筑材料, 2000. 11: 19—22
- 7 晓捷. 吸声降噪泡沫陶瓷. 建材工业信息, 2001. 7: 49
- 8 黄爱群. 日开发出高性能吸音瓷砖. 建材工业信息, 2001. 7: 49
- 9 毛东兴, 洪宗辉. 聚氨酯酯泡沫材料吸声性能及其低频拓展. 噪声与振动控制, 1999. 4: 27—28
- 10 钱军民, 李旭祥. 聚合物岩棉发泡复合材料吸声性能的研究. 新型建筑材料, 2000. 6: 29—30
- 11 刘克, 丁辉. 无纤维吸声材料研究发展. 物理, 1998. 27(9): 537—540