

纤维吸声材料的研究进展

杨 明¹ 王 婷² 葛曷一²

(1.湖北汽车工业学院材料科学与工程学院,十堰 442002;

2.济南大学材料科学与工程学院,济南 250022)

摘 要 纤维类材料具有质轻、简便和吸声能力强的特点,是应用极为广泛的吸声材料。综述了有机纤维、无机纤维、金属纤维、复合纤维和纤维复合材料等吸声材料的研究进展,概述了材料厚度、空腔厚度、结构特征、孔隙率、纤维直径和纤维种类等因素对吸声性能的影响。

关键词 吸声材料,有机纤维,无机纤维,金属纤维,复合纤维,纤维复合

Development of fiber sound absorption material

Yang Ming¹ Wang Ting² Ge Heyi²

(1.School of Materials Science and Engineering,Hubei University of Automotive

Technology,Shiyan 442002;2.School of Material Science and Engineering,

University of Jinan,Jinan 250022)

Abstract The fiber materials are widely used in the field of sound absorption,due to their low density,ease of application and excellent ability in sound absorption.The progress in sound absorption materials including inorganic fibers,organic fibers,metal fibers,composite fibers and fiber reinforced composites were reviewed.The influence of thickness,cavity thickness,structure characteristics,porosity,fiber diameter and fiber type of material on the sound absorption performance were also summarized.

Key words sound-absorbing material,organic fiber,inorganic fiber,metal fiber,composite fiber,fiber composite

纤维材料在噪声污染治理方面可以作为吸声材料广泛应用。目前,出现了多种纤维吸声材料。一般纤维吸声是指当声波进入材料时,使材料内的空气与孔壁之间发生摩擦、振动,产生粘滞阻力,声能减弱;其次,由于材料内存在温度梯度,当热传导时会使声能转换为热能;此外,纤维吸声材料本身在一定的声音频率下会发生共振,也会导致声能衰减。

1 纤维吸声材料分类

按纤维种类可将吸声材料分为有机纤维、无机纤维、金属纤维和复合纤维等吸声材料。

1.1 有机纤维吸声材料

有机纤维是指纤维材质为有机物的纤维,有机纤维可分为天然纤维和合成纤维。

1.1.1 天然纤维吸声材料

天然纤维具有绝缘、隔热、价廉、可降解和可再

生等优点,可以取代合成吸声材料,被广泛应用于建筑吸声材料。

Yasseer 等^[1]使用干水稻秸秆纤维作为吸声材料,研究发现水稻秸秆纤维吸声材料在 2000Hz 以下吸声系数(NRC)低于 0.5,而 2000Hz 以上吸声系数均值达到 0.8,具有良好的吸声性能。

胡凤霞等^[2]将黄麻纤维、苧麻纤维和大麻纤维分别针刺成毡,采用驻波管法测试其吸声系数,在 200~2000Hz 时,苧麻、黄麻和大麻针刺毡的 NRC 分别为 0.31、0.32 和 0.28,黄麻吸声效果最佳。

Umberto 等^[3]研究了洋麻、木、椰子和羊毛天然纤维的吸声特性,测量了不同厚度样品的吸声系数。研究发现 100kg/m³、4cm 厚的洋麻纤维样品与 50kg/m³、6cm 厚样品的吸声曲线几乎重叠;矿化木质纤维在中低频率时吸声系数低,500Hz 时为 0.1;10cm 厚的椰子纤维比 5cm 厚的椰子纤维试样

在 200~2000Hz 范围内的吸声系数都高;羊毛天然纤维在 2000Hz 时吸声系数达到 0.95,具有很好的吸声性能。

Oldham 等^[4]研究 5cm 厚的大麻纤维样品在 500、1000 和 2000Hz 时吸声系数分别为 0.4、0.75 和 0.95,但是当频率超过 2000Hz 时,吸声系数下降。

Hasan 等^[5]研究了带有亚麻布的丝瓜纤维和纯丝瓜纤维样品的吸声性能。结果表明,带有亚麻布的丝瓜纤维样品的吸声系数在 6000Hz 时能超过 0.8,纯丝瓜纤维样品的吸声系数在 6000Hz 时接近 0.6。

Xiang 等^[6]对木棉纤维的吸声性能进行了研究。体积密度为 $8.3\text{kg}/\text{m}^3$ 的木棉纤维的吸声系数比同样体积密度的脱脂棉纤维在整个频率范围内都高,特别是超过 1000Hz 后木棉纤维的吸声系数大于 0.8。

1.1.2 合成纤维吸声材料

合成纤维由人工合成方法制得,生产不受自然条件的限制。

贾巍^[7]分析了不同空腔深度的聚氨酯(PU)纳米纤维膜及聚乙烯醇(PVA)纳米纤维毡的吸声系数。结果表明,PU 纳米纤维膜的共振频率随着空腔深度的加大逐渐向低频方向移动,并且吸声峰值不断减小,当膜后没有空腔时,纳米纤维膜的吸声系数基本都在 0.1 以下(无吸声效果);当空腔为 10mm 时,PVA 纳米纤维毡的最大吸声系数为 0.91,当空腔为 20mm 时最大吸声系数为 0.76,均大于 PU 纳米纤维在相应空腔深度时的最大吸声系数。

曹书豪等^[8]通过干混,以热熔胶粘结聚丙烯(PP)纤维成层状并研究了纤维长度、密度及厚度对材料吸声性能的影响,结果发现 PP 纤维具有良好的中低频吸声性能,在纤维长度为 5mm,密度为 $0.51\text{g}/\text{cm}^3$,厚度为 40mm 的条件下,材料吸声系数达到 0.51。

Youngjoo 等^[9]将直径为 800nm 的聚酰胺纳米纤维通过熔化旋转的静电过程制备纳米纤维织物,加热结合形成纳米纤维网络,研究了纳米纤维层对常规纤维针织物吸声的影响。结果表明,纳米纤维层越多,吸声越好。由 6 层增加到 18 层时,吸声系数从 0.10 上升到 0.15。

1.2 无机纤维吸声材料

无机纤维吸声材料可分为玻璃纤维、碳纤维、硼

纤维和陶瓷纤维等。

沈岳等^[10-11]用同种工艺制备了不同粘胶基活性炭纤维毡并采用阻抗管测定吸声系数。结果表明,活性炭纤维毡平均吸声系数均大于 0.2,具有优异的吸声性能。

钟祥璋等^[12]测试了一些玻璃棉有无贴面材料的吸声系数。研究发现,当使用厚 0.021mm 的聚氯乙烯(PVF)膜做护面时,在低于 1000Hz 的频段吸声系数略有提升,但在 1600Hz 以上的频段却下降,1600~5000Hz 频段平均吸声系数降低了 40%。

玻璃棉同时也存在着材质疏松、纤维性脆且防水性差等缺点,实际操作存在很多难题,所以,国际社会都在寻找和开发一种易操作、不需要多种施工机械的技术,而喷涂技术就可以解决这些难题,在现代社会中发挥了许多重要作用^[13]。

1.3 金属纤维吸声材料

金属纤维多孔材料具有耐磨、耐腐蚀、硬度高、强度高、耐老化和耐高温等优点,是具有良好发展前景的吸声材料。

徐颖等^[14]采用直径为 6、12 和 $22\mu\text{m}$ 的不锈钢纤维制备多孔材料。研究表明,在 150~6400Hz 范围内,孔隙率 0.85 时平均吸声系数最大,为 0.48;厚度为 20mm 时平均吸声系数最大,为 0.53;丝径为 $12\mu\text{m}$ 时平均吸声系数最大,为 0.67;后空腔深度为 20 和 30mm 时平均吸声系数最大,为 0.69。

王佐民等^[15]研究了铝纤维板的声学特性。结果表明,铁铬铝纤维多孔材料在高温条件下的高频吸声性能有所下降,但其在 500℃、950~2000Hz 范围内的平均值仍大于 0.7。

刘世锋等^[16]研究了钛纤维多孔材料的孔隙度、纤维直径以及材料厚度等参数对吸声性能的影响。结果表明,0~6400Hz 时钛纤维多孔吸声材料的中高频吸声性能较好,孔隙率为 60%时,在 3500Hz 以上吸声系数超过 0.8;直径为 $70\mu\text{m}$ 的纤维样品与直径为 $100\mu\text{m}$ 的纤维样品相比,前者的高频吸声性能较好,在 6400Hz 时将达到 0.9 左右;在材料背后设置空气层可显著改善其低频吸声性能,材料背后的空气层厚度越大,材料的低频吸声性能越好,空气层厚度为 30mm 时,在 1000Hz 以内可以达到 0.8 左右。

Ao 等^[17]以金属纤维多孔材料为研究对象(厚度 $\leq 3\text{mm}$),以狭小空间为背景,针对材料的制备工艺、结构参数等因素对其进行结构优化。结果表明,

当频率范围为 50~6400Hz,直径为 12 μ m 的纤维在烧结温度为 850℃ 时吸声性能最好,吸声系数在 3000Hz 时达到 0.7。

1.4 复合纤维吸声材料

复合纤维吸声材料是根据声学理论,将两种或两种以上的纤维复合制备出的具有吸声性能的材料。

Yang 等^[18]将稻草和木材纤维混合,制成一种多孔材料,并检测该材料的吸音性能。在稻草和木纤维质量比为 1:9 和 2:8 的情况下,在 500~8000Hz 的音频范围内,该复合材料的平均吸音系数优于传统的纤维板、胶合板和刨花板;在质量比为 3:7 时,在 1000~8000Hz 的音频范围内,吸音系数低于刨花板。

王军锋等^[19]以木质纤维和聚酯纤维为原料,异氰酸酯为胶粘剂,借助发泡剂偶氮二甲酰胺,采用聚合物发泡和人造板工艺制备了木质纤维/聚酯纤维复合吸声材料,吸声系数高达 0.67。

2 影响吸声系数的因素

2.1 材料厚度

增加材料的厚度,可提高中低频吸声系数,但对高频吸收的影响很小。针对不锈钢纤维多孔材料的研究发现,其吸声系数均随着厚度增加而增大。

傅圣雪等^[20]采用驻波管法对不同厚度的浒苔纤维样品进行吸声系数测定。浒苔具有很好的吸声性能,试样厚度在 1~5cm 之间变化,增加材料的厚度,在 300~2000Hz 范围内,浒苔吸声系数明显提高,如在 1kHz 处,随着厚度从 2cm 增加到 4cm 或 5cm,吸声系数由 0.33 迅速提高到 0.50 或 0.73。这表明厚度越大越利于吸声。

曹书豪等^[8]研究了 PP 纤维与 PU 泡沫复合双层结构的吸声性能。当 PP 纤维与 PU 泡沫厚度均为 20mm 且纤维层面对声源时,复合材料的吸声峰值位于 480Hz 且吸声系数达 0.86。

2.2 空腔厚度

赵心一等^[21]将玉米皮经脱胶处理获得玉米皮纤维,再将玉米皮纤维与聚乳酸复合制备力学性能优良的纤维板,并设计加工出具有吸声功能的狭缝共振结构组合形成玉米皮纤维/聚乳酸吸声复合材料。结果表明,2mm 厚的穿缝板,穿缝率为 7%,添加 1 层 3mm 的麻毡及留有 2 层共 1cm 空气层时,材料的吸声性能最好,在频率为 1600Hz 时吸声系数可达到 0.95。

杨富尧等^[22]以铝纤维、铝箔和铝板网为原料,

采用冷轧法制备具有不同结构参数的铝纤维复合吸声板,阻抗管测试结果表明,没有空气层时(空腔厚度为 0cm),两种纤维板的吸声系数均低于 0.2。随空腔厚度的增大,吸声系数的峰值向低频段移动,当空腔厚度为 12cm 时,吸声系数达到 0.9 左右。

2.3 结构特征

彭立民等^[23]以木质纤维/聚酯纤维复合吸声材料为多孔纤维材料。研究表明,当密度为 0.4g/cm³ 时,针刺处理后样品的吸声系数与未经针刺处理的样品相比,在整个频率段,其吸声系数均有较大幅度的提高;当密度为 0.3g/cm³ 时,针刺处理后样品的吸声系数在中高频段稍微有提高,在低频段基本无影响;而当密度为 0.3g/cm³ 时,针刺处理后的样品,在 2500~6400Hz 范围内,其吸声系数均有一定程度的下降,在 50~2500Hz 基本无变化。

朱广勇等^[24]以中密度纤维板(MDF)为基材,利用阻抗管传递函数法测试穿孔率分别为 0、3.14%、4.91% 和 7.07% 的木质穿孔板的吸声性能。结果表明,随着穿孔率的增加,木质穿孔板的吸声系数峰值有所下降,吸声频带增宽,共振频率往高频方向移动。

2.4 孔隙率

孔隙率是影响吸声系数的最重要因素,孔隙率主要是指吸声材料内部空气体积与材料总体积之比。通常随着孔隙率的增加,平均吸声系数也增加,这是因为孔隙率增加导致材料内部通道复杂化,声波进入材料后更易引起纤维孔壁的振动,从而达到消声的目的。

敖庆波等^[25]采用直径 20 μ m 的 FeCrAl 纤维制备纤维多孔材料,孔隙度大于 85%,在常声压与高声压条件下分别对烧结 FeCrAl 纤维多孔材料进行吸声性能检测。结果表明,当孔隙率过大时,材料过于稀疏,导致吸声性能变差;反之,当孔隙率太小时,材料过于密实,声波不易进入材料内部,也会导致吸声性能的下降。

2.5 纤维直径

吴彤等^[26]利用驻波管测试方法研究了几种不同细度与直径纤维材料的吸声性能,当细度为 0.75dtex 左右时,3000Hz 以上的平均吸声系数为 0.85,而当细度为 4.5dtex 左右时,3000Hz 以上的平均吸声系数为 0.65。结果表明,纤维细度越小,吸声系数越大。

姜生^[27]利用纺织工业废胶粉(TWRP)、相同孔隙率的七孔涤纶中空纤维(SHPF)及单孔尼龙中空

纤维(SHNF)分别制备了一系列的 SHPF/TWRP 和 SHNF/TWRP 吸声复合材料。当纤维含量都为 50%时,细直径的纤维复合材料 SHNF/TWRP 的吸声系数为 0.45 左右,而粗直径的纤维复合材料 SHPF/TWRP 的吸声系数为 0.3。实验表明,相同纤维含量时,细直径的纤维复合材料 SHNF/TWRP 的吸声性能比粗直径的纤维复合材料 SHPF/TWRP 获得了更大的改善。

3 结语

纤维类材料由于质轻、简便、吸声能力强的特点在吸声方面显示出较广阔的应用前景。但实现各种纤维及其复合材料吸收材料的工业化生产,仍存在很多问题,如在制备过程中纤维的不均匀分散、孔隙率的控制等。各种纤维复合材料的出现为设计和开发新型吸声材料提供了思路和研究方法,在不久的将来,纤维吸声材料必将深刻影响各个领域。

参考文献

- [1] Yasseer A, Azma P, Hady E, et al. Investigation on natural waste fibers from dried paddy straw as a sustainable acoustic absorber[C]. Malaysia: IEEE First Conference on Clean Energy and Technology CET, 2011.
- [2] 胡凤霞, 杜兆芳, 赵森森, 等. 麻纤维汽车内饰材料的吸声性能与针刺工艺的关系[J]. 纺织学报, 2013, 34(12): 45-49.
- [3] Umberto B, Gino I. Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications[J]. Building and Environment, 2015, 94(2): 1-13.
- [4] Oldham D J, Egan C A, Cookson R D. Sustainable acoustic absorbers from the ebiomass[J]. Appl Acoust, 2011, 72: 350-363.
- [5] Hasan K, Garip G. Investigation of the acoustic properties of bio luffa fiber and composite materials[J]. Materials Letters, 2015, 157: 166-168.
- [6] Xiang H F, Wang D, Liu H C, et al. Investigation on sound absorption properties of kapok fibers[J]. Chinese Journal of Polymer Science, 2013, 31(3): 521-529.
- [7] 贾巍. 基于不同结构纳米纤维材料的吸声性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2004.
- [8] 曹书豪, 张力, 段可, 等. 聚丙烯纤维及与聚氨酯复合材料吸声性能研究[J]. 武汉理工大学学报, 2013, 35(5): 29-32.
- [9] Youngjoo N, Tove A, Gilsoo C. Sound absorption of multiple layers of nanofiber webs and the comparison of measuring methods for sound absorption coefficients[J]. Fibers and Polymers, 2012, 13(10): 1348-1352.
- [10] 沈岳, 蒋高明, 季涛, 等. 活性炭纤维材料吸声性能分析[J]. 纺织学报, 2013, 34(3): 1-4.
- [11] 沈岳, 季涛, 高强, 等. 活性碳纤维材料吸声性能影响因素分析[J]. 产业用纺织品, 2014(11): 12-16.
- [12] 钟祥璋, 朱子根. 降低玻璃棉高频吸声性能的方法[J]. 声频工程, 2012, 36(1): 6-11.
- [13] 林嘉祥, 江世强. 喷涂工艺在声学工程上的应用[J]. 噪声与振动控制, 2009(S2): 295-297.
- [14] 徐颖, 李珊, 王常力, 等. 不锈钢纤维多孔材料吸声性能的研究[J]. 西北工业大学学报, 2015, 33(3): 401-405.
- [15] 王佐民, 俞悟周. 铝纤维板共振结构声学特性的理论初析[J]. 声学技术, 2005, 24(3): 183-192.
- [16] 刘世锋, 汤慧萍, 刘波, 等. 钛纤维多孔材料孔径分布与吸声性能研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2014, 51(1): 160-164.
- [17] Ao Q B, Wang J Z, Tang H P, et al. Sound absorption characteristics and structure optimization of porous metal fibrous materials[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2015, 44(11): 2646-2650.
- [18] Yang H S, Kim D J, Kim H J. Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials[J]. Bioresource Technology, 2003, 86(2): 117-121.
- [19] 王军锋, 彭立民, 傅峰, 等. 木纤维/聚酯纤维复合材料的制备工艺及其吸声性能[J]. 木材工业, 2013, 27(6): 41-44.
- [20] 傅圣雪, 么光, 冯遵成, 等. 浒苔纤维吸声的测评研究[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(2): 341-344.
- [21] 赵心一, 吕丽华, 魏春艳, 等. 玉米皮纤维/聚乳酸吸声复合材料的制备与性能[J]. 大连工业大学学报, 2015, 34(5): 366-369.
- [22] 杨富尧, 韩钰, 聂京凯, 等. 铝纤维复合板结构参数对吸声性能的影响规律[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(7): 1963-1968.
- [23] 彭立民, 王军锋, 傅峰, 等. 木质纤维/聚酯纤维复合材料吸声性能的试验分析[J]. 建筑材料学报, 2015, 18(1): 172-176.
- [24] 朱广勇, 彭立民, 傅峰, 等. 穿孔率对木质穿孔板吸声性能的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(1): 119-122.
- [25] 敖庆波, 汤慧萍, 朱纪磊, 等. 烧结 FeCrAl 纤维多孔材料的吸声特性[J]. 稀有金属材料与工程, 2009, 38(10): 1765-1768.
- [26] 吴彤, 于伟东, 郑永红, 等. 纤维形态对针刺非织造布吸声系数的影响[J]. 声学技术, 2015, 34(1): 68-74.
- [27] 姜生. 中空纤维增强废橡胶基吸声复合材料的结构与性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2015, 31(12): 73-77.

收稿日期: 2017-02-07

修稿日期: 2017-04-10