

铝纤维/聚酯纤维复合结构的低频吸声性能研究

王 灿¹, 朱 灿¹, 姚智敏², 李 翔²

¹国网安徽省电力有限公司经济技术研究院, 安徽 合肥

²上海交通大学, 环境科学工程学院, 上海

Email: 447566056@qq.com

收稿日期: 2021年2月14日; 录用日期: 2021年3月9日; 发布日期: 2021年3月16日

摘 要

低频吸声结构一直是噪声控制领域的研究热点。本研究以聚酯纤维与铝纤维板为研究对象, 通过研究材料放置方式、聚酯纤维材料厚度以及空腔厚度, 最终得到具有较好低频吸声性的铝纤维/聚酯纤维复合结构。实验结果表明, 当铝纤维板一侧面向声源、聚酯纤维材料厚度为8 mm、背后空腔厚度为190 mm时低频吸声性能最佳, 在100 Hz处吸声系数达到0.57, 在100~500 Hz的平均吸声系数大于0.74。考虑到性能成本效率, 研究建议复合结构的空腔设置厚度在120~160 mm之间。

关键词

聚酯纤维, 铝纤维板, 复合结构, 低频, 吸声性能

Study on Low Frequency Sound Absorption Performance of Aluminum Fiber/Polyester Fiber Composites

Can Wang¹, Can Zhu¹, Zhimin Yao², Xiang Li²

¹Economic & Technical Research Institute of State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Hefei Anhui

²School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai

Email: 447566056@qq.com

Received: Feb. 14th, 2021; accepted: Mar. 9th, 2021; published: Mar. 16th, 2021

Abstract

Low-frequency sound absorption structure has always been a research hotspot in the field of noise control. Polyester and aluminum fiberboard were used in this experiment. The impact of placement

文章引用: 王灿, 朱灿, 姚智敏, 李翔. 铝纤维/聚酯纤维复合结构的低频吸声性能研究[J]. 声学与振动, 2021, 9(1): 30-35. DOI: 10.12677/ojav.2021.91004

of materials, polyester fiber material thickness and cavity depth were studied to find the best low-frequency sound absorption performance of the aluminum fiber/polyester fiber composite structure. The experimental results show that performance is the best when the aluminum fiberboard is on the side of the sound source, the polyester fiberboard thickness is 8 mm, and cavity depth behind them is 190 mm. Under this condition, the sound absorption coefficient reaches 0.57 at 100 Hz, and the average sound absorption coefficient at 100~500 Hz is greater than 0.74. According to the ratio of property and cost, the cavity depth range from 120 mm to 160 mm is suggested finally.

Keywords

Polyester Fiber, Aluminum Fiber, Composite Structure, Low Frequency, Sound Absorption Performance

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近些年,在人口密集、经济发达的大中城市,便民生活设施不断建设,对住宅环境构成影响的低频噪声污染目前已经成为环境污染投诉的主要问题[1][2]。传统的单一纤维吸声材料由于无法满足当今社会对低频噪声治理的需求,通常和其他材料进行结构的复合设计,因此成为目前行业的研究热点。

以聚酯纤维为代表的合成纤维材料,声学性能稳定,且其本身的力学、电学、热学特性等优良性能使其成为得到广泛的降噪吸声材料[3],但其在高频段具有良好的吸声性能,而在低频段的吸声效果较差[4]。为此,国内外学者开展了聚酯纤维的复合材料和组合结构的吸声性能研究。Tao Yang等制备了多成分的聚酯纤维无纺布材料,并从实验测试和数值计算分析了其吸声性能[5]。王军锋等[6]制备了木质纤维和聚酯纤维复合材料,其吸声性能优异,在中高频范围内平均吸声系数高达0.67。张斌[7]等将聚酯纤维与亥姆霍兹共振器组成复合吸声结构,其低频吸声系数得到明显提高。从上述研究可以得到,单凭聚酯纤维材料是难以实现低频吸声性能的显著提高。基于聚酯纤维材料的阻性吸声特性,即使增加结构厚度,也无法明显提高低频性能。为此,引入抗性吸声单元弥补阻性吸声的不足成为一种选择。

铝纤维吸声板是一种被广泛使用的吸声材料,其是由网孔不同的两层铝网板和铝箔和铝纤维毡组成,通过滚压机压成薄板,具有密度小、力学和耐候性能好等优点。李志强等研究了铝纤维结构背后空腔深度与吸声特性之间的相互关系[8]。马广斌等以铝纤维、有机胶为主要原材料制成了铝纤维吸声板,并对其吸声性能进行了研究[9]。周兵等将铝纤维板分别与聚酯纤维和亥姆霍兹共振器进行组合得到复合结构,并得到了具有较好低频吸声性能的复合结构[10]。但上述研究的复合结构虽然提供了较好的低频吸声性能,但结构偏复杂。为此,本研究从设计简单、结构实用、性能稳定和经济合理的角度,选用阻性吸声的聚酯纤维与抗性吸声的铝纤维板作为复合吸声结构的组合单元,分别研究材料排列顺序、纤维厚度和空腔深度对复合结构吸声性能的影响,最终获得具有较佳低频吸声性能的铝纤维-聚酯纤维复合结构,从而为低频降噪技术和装备设计提供参考和选择。

2. 实验材料与方法

2.1. 实验材料

本研究选用的原材料及相关参数见表1。

Table 1. The parameters of the experimental materials
表 1. 原料参数表

相关参数	
聚酯纤维吸音板	体积密度 150 kg/m ³ , 吸音板厚度 8、16、24 mm
铝纤维板	面密度 2000 g/m ² , 材料厚度 1 mm

本研究中的铝纤维板材质系全铝金属制造, 聚酯纤维吸音板材质系全聚酯纤维制造, 均不含粘结剂, 是一种可循环利用的吸声材料, 因此日后维修更换时亦不会形成废弃垃圾, 对环境造成公害。

2.2. 吸声性能测试

吸声性能测试采用北京声望公司生产的 BSWA SW422 型阻抗管声学性能测试系统(见图 1), 参照 GB/T 18696.2-2002 对试样吸声性能进行测试[11], 该测试方法是由阻抗管一端的扬声器播放平面声波, 垂直入射到试样表面, 通过靠近样品的两个传感器采集数据, 计算得到声传递函数和法向入射吸声系数。测试试样尺寸为 φ100 mm, 测试频率范围为 80~1600 Hz, 每组试样数量不少于 3 个, 分别测试 2 次, 取平均值作为该结构的吸声系数值。

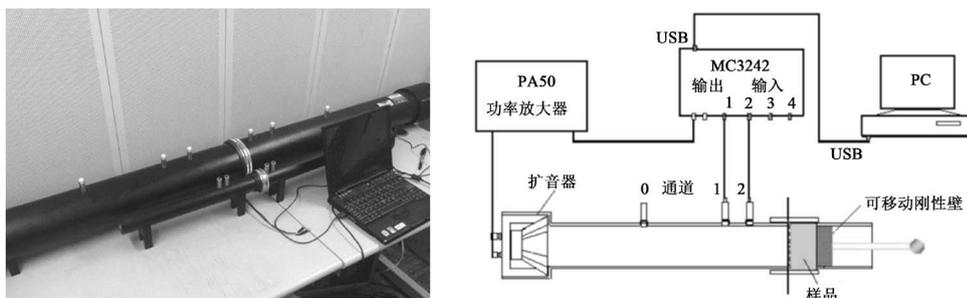


Figure 1. The impedance tube acoustical measurement system and its schematic diagram
图 1. 阻抗管声学性能测试系统和原理图

3. 结果与讨论

本研究将阻性聚酯纤维吸声材料与抗性铝纤维板材料进行复合, 通过研究材料顺序、厚度和空腔设置来分析复合结构的低频吸声系数, 并由此得到性能优良、形式简单和价格合理的低频吸声复合结构, 以满足低频噪声治理的实际需求。

3.1. 排列顺序对复合结构低频吸声性能的影响

研究将铝纤维板与 8 mm 厚聚酯纤维吸音材料相贴合, 后留 80 mm 空腔, 分别测试铝纤维板面和聚酯纤维吸音材料面向生源一侧的吸声系数。材料排列顺序对吸声性能的影响结果如表 2 所示。

Table 2. The effect of material sequence on the sound absorption property
表 2. 材料排列顺序对吸声性能的影响

排列顺序	结构示意图	100~500 Hz 平均吸声系数
铝纤维板面向声源		0.563
聚酯纤维面向声源		0.485

从上表可以看出,当铝纤维板一侧面向声源时,100~500 Hz 频率范围内的吸声系数明显优于聚酯纤维材料面向声源时。因此,后续研究均采用铝纤维板面向声源一侧的结构形式。

3.2. 聚酯纤维厚度对复合结构低频吸声性能的影响

本研究选用 8 mm、16 mm、24 mm 三种不同厚度的聚酯纤维吸音板,与铝纤维板及空腔组成复合结构。在结构总厚度为 120 mm 的情况下,开展了聚酯纤维厚度对复合结构低频吸声性能的影响分析,研究结果如下表 3 所示。

Table 3. The effect of polyester fiber thickness on the sound absorption property

表 3. 聚酯纤维厚度对复合结构吸声性能的影响

聚酯纤维厚度/mm	100~500 Hz 平均吸声系数
8	0.668
16	0.658
24	0.608

从上表可以看出,随着铝纤维后面聚酯纤维层的增加,复合结构低频吸声性能是逐渐降低的。这可能是因为属于抗性共振结构的铝纤维板主要通过和后侧空腔的耦合共振,使得铝纤维层振动消耗声能。而聚酯纤维层主要提供的是中高频声能的衰减,厚度的增加压缩了低频抗性结构的共振腔深度,改变了铝纤维层和空腔的耦合共振频率,导致其抗性共振频率向高频方向移动。因此,本研究的低频复合结构将采用 8 mm 厚聚酯纤维作为后续的研究对象。

3.3. 复合结构空腔厚度对低频吸声性能的影响

通常,增大吸声材料背后的空腔深度相当于增加了材料的厚度,从而起到节省材料、提高性能的作用[12]。此外,改变空腔深度可以调节抗性吸声结构的共振吸声频率,从而优化低频吸声结构。

为此,本研究在前面的研究基础上,通过调节铝纤维板/聚酯纤维复合结构与后壁之间的空腔大小,分别测试当空腔厚度为 0 mm、50 mm、80 mm、120 mm、160 mm、190 mm 时铝纤维板/聚酯纤维复合结构的吸声性能,得到吸声曲线如图 2 所示。为了更清楚的评价铝纤维板/聚酯纤维复合吸声结构的低频吸

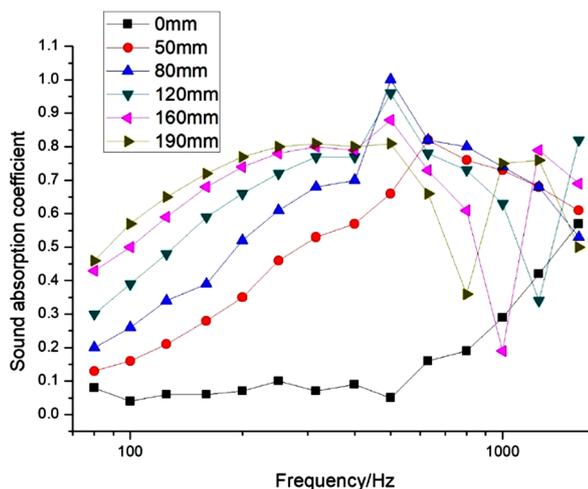


Figure 2. The sound absorption spectrum of aluminum fiber/polyester fiber composites with different cavity depths

图 2. 铝纤维板/聚酯纤维复合吸声结构在不同空腔下的吸声频谱

声性能以及所测频段的综合吸声性能,研究统计了该复合结构在不同空腔条件下在 100 Hz 处的吸声系数、100~500 Hz 的平均吸声系数和 80~1600 Hz 的平均吸声系数,列于表 4 中。

Table 4. The sound absorption performance of aluminum fiber/polyester fiber composites with different cavity depths
表 4. 铝纤维板/聚酯纤维复合吸声结构在不同空腔下的吸声性能

空腔厚度/mm	100 Hz 处吸声系数	100~500 Hz 平均吸声系数	80~1600 Hz 平均吸声系数
0	0.04	0.068	0.161
50	0.16	0.403	0.496
80	0.26	0.563	0.591
120	0.39	0.668	0.639
160	0.50	0.72	0.657
190	0.57	0.741	0.673

从图 2 可以看出铝纤维板/聚酯纤维复合吸声结构的吸声系数随空腔厚度的变化趋势大致相同,当空腔厚度为零时,即铝纤维板/聚酯纤维板紧贴后壁时,铝纤维板/聚酯纤维复合吸声结构的吸声系数很低,均值不超过 0.2,达不到吸声要求。当铝纤维板/聚酯纤维板背后设有空腔时,吸声系数显著增加,在某些频率点处出现峰值(吸声系数高达 0.9 以上),这是因为铝纤维板在该频率处发生共振,产生共振吸声。随着空腔厚度的增加,100 Hz 处的吸声系数逐渐增大,100~500 Hz 和 80~1600 Hz 的吸声系数均值也逐渐增大,但增大的幅度逐渐变缓。

从表 4 可以得到,当空腔厚度为 190 mm 时,该复合结构的低频吸声性能最佳,在 100 Hz 处吸声系数达到 0.57,在 100~500 Hz 的平均吸声系数大于 0.74,在 80~1600 Hz 的平均吸声系数大于 0.67。虽然在空间允许的情况下,可通过适当增大空腔厚度来进一步提高铝纤维板/聚酯纤维复合吸声结构的吸声系数,但从数据分析可以得到,复合结构的性能成本效率比随着空腔厚度的增加逐步下降[13] [14]。为此,本研究建议复合结构的空腔厚度设置在 120~160 mm 之间比较合理。

4. 结论

1) 在铝纤维板/聚酯纤维复合低频吸声结构中,聚酯纤维材料厚度增加会带来中高频声能的衰减,但同时压缩铝纤维共振腔深度,导致低频性能降低。

2) 当聚酯纤维厚度为 8 mm、空腔厚度为 190 mm 时,铝纤维板/聚酯纤维复合低频吸声结构在 100 Hz 处吸声系数达到 0.57,在 100~500 Hz 的平均吸声系数大于 0.74。从性能成本效率的角度,本研究建议复合结构空腔厚度的合理设置范围在 120~160 mm 之间。

3) 本研究得到的铝纤维板/聚酯纤维复合低频吸声结构低频吸声性能优良,同时材料轻便,形式简单,加工容易,施工安装方便,可制成多种形状的吸声结构。因此,该复合吸声结构具有很好的工程应用前景。

参考文献

- [1] 李燊. 浅析当前噪声污染情况及环境噪声监测问题、对策[J]. 科技创新导报, 2014(29): 122.
- [2] 刘斌. 低频噪声的危害及监测方法[J]. 科技与创新, 2016(21): 104+7.
- [3] 彭立民, 梁善庆, 孙华林. 我国木质吸音材料概述[C]//中国木结构技术及产业发展高峰论坛. 牡丹江: 中国林科院木材工业研究所, 2011: 137-141.
- [4] Narang, P.P. (1995) Material Parameter Selection in Polyester Fibre Insulation for Sound Transmission and Absorption. *Applied Acoustics*, 45, 335-358. [https://doi.org/10.1016/0003-682X\(95\)00007-V](https://doi.org/10.1016/0003-682X(95)00007-V)

-
- [5] Yang, T., Saati, F., Horoshenkov, K.V., *et al.* (2019) Study on the Sound Absorption Behavior of Multi-Component Polyester Nonwovens: Experimental and Numerical Methods. *Textile Research Journal*, **89**, 3342-3361. <https://doi.org/10.1177/0040517518811940>
- [6] 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.
- [7] 张斌, 裴春明, 张建功, 等. 聚酯纤维用于低频降噪的研究[J]. 中国电力, 2017, 50(4): 94-99.
- [8] 王佐民, 俞悟周. 铝纤维板共振吸声结构初析[C]//全国环境声学电磁辐射环境学术会议. 三亚: 中国声学学会, 中国环境科学学会, 2004: 158-162.
- [9] 马广斌, 朱正吼, 夏小鸽. 一种新型中低频吸声材料的研制[J]. 功能材料, 2008, 39(5): 861-863.
- [10] 周兵, 涂琪, 倪园, 等. 铝纤维板的复合结构吸声性能分析[J]. 噪声与振动控制, 2017, 37(1): 167-171.
- [11] 袁健, 林胜, 贺才春. 阻抗管中吸声系数的传递函数测量法[J]. 噪声与振动控制, 2006, 26(1): 68-70.
- [12] 蔡俊. 噪声污染控制工程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [13] 李晶. 环境友好型非织造布吸声材料的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津工业大学, 2007.
- [14] 涂琪. 超、特高压变电站降噪用吸声材料的优化设计研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2016.