

合成纤维及其制品吸声性能研究进展

张新安

(同济大学声学研究所, 上海 200092)

摘要:吸声材料正在朝着装饰性方向发展。合成纤维及其制品(无纺布, 纺织品, 地毯等)既是高档装饰材料, 作为多孔性材料又具有优良的吸声特性。本文介绍了目前关于合成纤维及其制品声学特性的研究状况。

关键词:合成纤维及其制品; 吸声性能; 研究进展

1 吸声材料的发展趋势和合成纤维制品的应用

吸声材料是室内声场和噪声控制的重要物质条件。现在常用的吸声材料有多孔材料和共振吸声结构。多孔材料如各种纤维等。传统的吸声纤维材料常采用价格低廉的玻璃纤维, 矿渣棉等, 这些材料对人体皮肤和呼吸系统都有危害。从声学角度看, 合成纤维也属于多孔性纤维材料, 也有很好的吸声效果。随着工业的发展, 合成纤维的价格也越来越低廉。因此, 应用合成纤维代替传统吸声纤维材料是吸声材料的一个发展方向。

从现有的建筑吸声产品来看, 越来越多的吸声材料都朝着装饰化方向发展。同时声学界也有“建筑材料声学化, 吸声材料装饰化”的说法。也就是说装饰性吸声材料是目前吸声材料的一个发展方向。合成纤维及其制品(无纺布, 纺织品, 地毯等)是目前室内装饰高档材料, 其作为吸声材料的应用也符合“吸声材料装饰化”的要求。

从吸声材料的发展历史来看, 纺织材料如棉、麻纤维、羊毛等的下脚料等曾作为多孔吸声材料广泛引用在建筑吸声领域, 但天然纤维不防潮, 易燃等因素限制了它在吸声领域中的进一步发展。但是, 合成纤维具有较小的含水率, 可以具有防潮的作用。新兴阻燃技术的发展也使得合成纤维在吸声技术方面的应用成为可能。

早在上世纪 70 年代, 日本的子安胜所著的《建筑吸声材料》就讨论了纺织品、帘幕、绒毯等的吸声特性。比如说帘幕, 从声学角度看, 帘幕作为多孔材料对高频声波有吸收作用。同时, 帘幕与背后墙面又可组成一个吸声腔体, 会进一步产生吸声作用, 这方面的部分研究结果已在子安胜的《建筑吸声材料》和马大猷院士最新版的《噪声与振动控制手册》中给出。同济大学王季卿先生曾在一篇文章中提到纺织品作为空间吸声体的研究。美国也有利用帷幕降低医院病房噪声的研究。国外还有双层帘幕吸声性能研究。

另外, 最近兴起的装饰面板和装饰布吸声产品也为合成纤维纺织品的应用提供了机会。过去常见的建筑吸声材料是穿孔板背后填充纤维材料。而近年来研制成功的阻燃织物, 在某中场合可以代替穿孔板。例如有一种永久性阻燃吸声装饰织物, 该产品不仅阻燃, 而且耐酸碱, 耐虫蚀, 耐霉烂。多孔材料加上这种纺织品之后可以在中频范围内使吸声系数提高 10% 到 20%。吸声系数最高可达 0.97。这是玻璃丝布和穿孔板所不及的。它不仅美观, 质量轻, 而且造价低。在飞机, 船舶, 火车, 汽车等交通工具上以及剧院, 会议厅, 体育馆等诸多场所中, 是一种理想的吸声面料。

目前, 国内外对于合成纤维及其制品吸声特性有较多的论述。1988 年郑长聚等在《环境噪声控制工程》一书中指出, 合成纤维来源广泛, 成本低廉, 吸声性能与超细玻璃棉相近, 对中、高频吸声效果很好, 若

基金项目:陕西省功能性服装面料重点实验室项目(05JS-07);

作者简介:张新安, 男, (1963-) 同济大学博士研究生, 陕西省功能性服装面料重点实验室高级工程师, 主要从事纺织材料和吸声材料性能研究。

E-MAIL: fanyu@mail.xjtu.edu.cn zxafafa@sohu.com

选用厚为 5mm, 密度为 26kg/m^3 的合成化纤棉, 则 5000Hz 以上的吸声系数均可达 0.54~0.99。2001 年, 张邦俊、翟国庆在其编写的《环境噪声学》中给出了腈纶棉的吸声系数, 在 4000Hz 时吸声系数均达最大。棉絮为 0.60、腈纶棉为 0.83。

现在的无纺布基本由合成纤维加工而成, 目前国外已经开始研究无纺布作为轿车内吸声材料的应用问题。2001 年, Van 和 Robert 发表了无纺布在汽车结构最优化噪声控制中的应用的, 认为无纺布已成为汽车结构最优化噪声控制中的基本材料, 可以以多种形式应用在汽车当中, 既可作地毯装饰品用, 又是具有优良的声阻特性的吸声材料。另外, 还可用来隔声。这些都是汽车最优化噪声控制中所必须的。2002 年 Coates 发表了“声学纺织品-轻、薄和更高的吸声量”的论文, 将多孔材料基本声学理论应用于日用纺织品中, 并得出结论认为, 轻、薄的纺织品可以代替厚重材料作为吸声材料, 声学纺织技术已经被用来发展更好的汽车隔声材料。

另外, 无纺布还可以与其他共振吸声结构相组合而产生更好的吸声效果。这方面的产品有德国生产的吸声无纺布, 它是内衬在穿孔板后面。这种结构可以不用再在背后空腔内填充多孔材料, 而仍具有较好的宽频吸声效果。

总之, 随着装饰型吸声产品的发展, 合成纤维制品正在逐步进入吸声材料领域。

2 合成纤维及其制品吸声性能的研究进展

2.1 有关合成纤维吸声机理的研究

在影响材料吸声特性的诸多因素中, 流阻是一个至关重要的参数。从目前国外对于纤维性多孔材料的研究文献中可以看出, 大多数研究者都是从流阻的研究入手而建立材料吸声理论模型的。关于合成纤维流阻的研究有 1995 年澳大利亚的 Narang 发表的“聚脂纤维(涤纶)用于隔声吸声时的参数选择”的研究报告。研究发现聚脂纤维的吸声系数在 500~4000Hz 频率范围内可达 0.4~0.7。是较好的吸声材料。另外, 他还得出了聚脂纤维流阻正比于纤维根数的结论和计算公式。

2000 年, Shoshani“发表了可变参数柔软多孔材料的 ZWICKER 和 KOSTEN 理论的推广”及“无纺布最大吸声系数的数值估计”的文章。将传统多孔性纤维材料声学理论应用于无纺布结构当中。通过计算机软件计算, 得到具有最高吸声系数的无纺布网的结构参数, 其结果对于纺织品作为声学元件的最优化设计有一定的指导作用。

1991 年 Shoshiani 研究了多层无纺布和单层合纤纺织品复合后的噪声吸收情况, 发现当纺织品一侧接近声源时吸声效果最好。这个结论与传统渐变吸声材料层设计理论原则是相同的。按照传统渐变吸声材料层吸声理论, 应该将特性阻抗较低的材料放在外面, 较高的放在底层。在他的实验中用到的织物的空隙率是 76%, 而一般无纺布的空隙率均在 50%左右, 即无纺布的流阻和特性阻抗高于织物。由此说明传统渐变吸声材料层理论也适合于无纺布。

2.2 纤维材料吸声的影响因素

2.2.1 压力 2000 年, Bernard Castagnede 等研究了压力对于纤维性吸声材料的声学特性的影响, 他们讨论了纤维毡在受压时吸声性能降低的情况, 得出了能够预测这种降低的数学公式, 并对数学结果和实验结果进行了对比。

2.2.2 纤维材料的结构 2004 年, Lee 和 Joo 研究了热粘无纺布的生产参数对其吸声性能的影响, 认为无纺布的厚度对吸声性能起主要作用, 而纤维含量的影响则很小。当材料前敷吸声板时, 中、低频吸声有所增加。

1991 年, 张沛商、姜亢在其编写的《噪声控制工程》中给出了背衬多孔材料的穿孔板的吸声特性曲线(穿孔板厚 4mm, 孔径 5mm, 孔间距 12mm), 当背衬 25mm 的矿渣棉时, 吸声系数在 300~4000Hz 之间整体提高了 3~4 倍。并指出在通常情况下, 穿孔板空气层厚度应小于最高声压级频率对应的波长的 1/4, 这样吸声系数可以达到最大。作者还讨论了帆布的吸声性能, 此种帆布不透气, 被作为薄膜吸声结构来讨论。背后有空气层时的吸声系数普遍低于背后加入 25mm 厚岩棉的吸声系数, 在距离 500Hz 左右时, 两种

情况吸声系数均达到最大(无岩棉时为 0.4,有岩棉时为 0.7)。

1990 年,Shoshani 研究了无纺布背衬在簇绒地毯上的吸声性能,发现,在 250 到 1000Hz 之间,背衬多层无纺布时地毯的吸声性能明显高于未衬无纺布时的性能,吸声量的大小与无纺布厚度有关,纤维含量影响较小。

1990 年,Genis 等研究了气流纺纤维材料的吸声特性,文章给出了吸声系数和结构参数关系的公式,讨论了结构参数对最大吸声系数的影响。结果认为,纤维越细其吸声性能越好。

1990 年 Shoshani 在“纺织品噪声吸收”一文中讨论了纤维含量,纱线支数、纺织品紧密度对纺织品吸声性能的影响。作者指出,在高频范围内,纺织品的紧度(Cover Factor)对吸声性能的影响超过了其厚度和纤维含量的影响。

2.2.3 材料安置方式和状态 2003 年,同济大学钟祥瑞、莫方朔研究了德国科德宝公司开发的 Soundtex 吸声无纺布,背衬在铝合金穿孔板上后的吸声特性。研究发现 Soundtex 无纺布与穿孔金属板复合后的吸声制品可达二级标准,可以不用再在空腔中填加纤维材料同时具有优良的吸声特性。

2002 年马大猷院士在其编著的《噪声与振动控制工程手册》中给出了纤维植绒产品的吸声频谱曲线,这种材料可以作为室内装饰用贴墙布,但由于材料紧贴墙壁没有吸声空腔,吸声效果仅限于高频范围。

1998 年 Cheng 等在《汽车驱动、座椅和后窗对人的影响》一书中讨论了纺织品和皮革座椅的吸声特性的区别。

1992 年 Shoshani 研究了多层无纺布和单层纺织品地毯复合后在折叠状态下的隔声特性,发现当折叠角度为 70 度时声波传递损失最大,在小角度 10 度左右时对隔声的影响最大。

1991 年,Shoshani 发表了题为“簇毛地毯堆积参数对其噪音吸收量的影响”,作者讨论了在 125~4000Hz 的频率范围内纤维含量,纤维细度,堆积密度和平均堆积高度对吸声系数的影响。同时,发现当地毯背后有空腔时吸声系数在低频到中频范围内(250~1000)都有明显增加。

1991 年,埃及的 Hanna 研究了双层帘幕的声吸收性能。结果发现使用双层帘幕时,当其中一层紧贴墙体时吸声性能最佳。同年,张沛商、姜亢在其编写的《噪声控制工程》中给出了帘幕的吸声频谱图(100~10kHz),对于 50%褶裥的棉织帘幕(面密度 0.64kg/m^2) 在 1000Hz 时的吸声系数可达 0.8 以上。同时也给出了帘幕离墙壁距离为 D 时的吸声峰值频率的计算公式。他们还给出了三种纺织品丝绒挂墙上的吸声系数(0.31kg/m^2 ,直接挂墙上; 0.43kg/m^2 ,折迭面积一半; 0.56kg/m^2 ,折迭面积一半)以及贴墙布幕的吸声系数。

1989 年,曹孝振等在《建筑中的噪声控制》一书中指出,当帘幕离墙体一定距离时,对中、高频具有一定的吸声效果。当离墙体 $1/4$ 波长的奇数倍时,可获得相应频率的高吸声量。帘幕的褶裥可以增加吸声量。

2.3 作为护面材料的纺织品的吸声特性

前面提到的永久性阻燃吸声装饰纺织品,采用阻燃纤维,它是离心玻璃棉、超细玻璃棉、岩棉、矿棉等多孔材料的良好护面用料。在中频时可使吸声系数提高 0.1~0.2。且具有阻燃和装饰作用。与此相类似的产品有纬编涤纶阻燃面料。

总之,合成纤维吸声性能的研究已经在国内外逐渐兴起。尤其是国外,目前这方面的研究已经逐渐深入。合成纤维制品以其优良的装饰效果、低回潮率和易进行阻燃整理,以及不损害人体等特点,将逐渐进入建筑吸声材料领域。

参考文献:

- [1] 韩润昌.隔振降噪产品应用手册.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003.67~81.
- [2] 吕玉恒,王庭佛.噪声设备与振动控制设备及材料选用手册.北京:机械工业出版社,1999.133~203.
- [3] 刘克.应用声学,2002,21(1):67~81.
- [4] 马大猷.噪声与振动控制手册.北京:机械工业出版社,2002.424~425.
- [5] 王季卿.声学技术,2003,22(4):213~218.

[6] 郑长聚. 环境噪声控制工程. 北京: 高等教育出版社, 1988. 156~157.

[7] 张邦俊、翟国庆. 环境噪声学. 浙江: 浙江大学出版社, 2001. 193.

[8] Van L. Robert H. International Textile Bulletin ~ Nonwovens Industrial Textiles, 1994, 40(3): 29~32.

[9] Coates M. Kierzkowski M. Technical Textiles International, 2002, 11(7): 15~18.

[10] 钟祥璋、莫方朔. 电声技术, 2003, 211(7): 23~25.

[11] Narang P P. Appl Acoustics, 1995, 45(4): 335~358.

[12] Shoshiani Y, Yakubov Y. J Computational Acoustics, 2000, 8(3): 415~41.

[13] Shoshiani Y, Yakubov Y. Appl Acoustics, 2000, 59(1): 77~87.

[14] Shoshiani Y. J Textile Institute, 1991, 82(4): 500~503.

[15] Castaguède B, Aknine A, Brouard B. et al. Appl Acoustics, 2000, 61(2): 173~182.

[16] Lee Y E, Joo C W. Appl Polym Sci, 2004, 92(4): 2295~2302.

[17] 张沛商、姜亢. 噪声控制工程. 北京: 北京经济学院出版社, 1991. 154~1991.

[18] Shoshiani Y. Textile Research J, 1990, 60(8): 452~456.

[19] Genis A V, Kostyleva E Yu, Kostyleva V A. Fibre Chemistry (English Translation of Khimicheskie Volokna), 1990, 21(5): 389~392.

[20] Shoshiani Y. Appl Acoustics, 1990, 30(4): 321~333.

[21] Chen P S (Lear Corp), Ebbitt G. Human Factors in Driving, Vehicle Seating, and Rear Vision. SAE Special Publications, 1998. 117~121.

[22] Yakir K, Shoshiani Y (Shenkar College), Rosenhouse G. Appl Acoustics, 1992, 35(2): 129~138.

[23] Shoshiani Y (Shenkar Coll of Textile Technology and Fashion), Wilding M A. Textile Research J, 1991, 61(12): 736~742.

[24] Hanna Y I, Kandil M M. Appl Acoustics, 1991, 34(4): 281~291.

[25] 曹孝振、姚安子. 建筑中的噪声控制. 北京: 水利电力出版社, 1989. 13.

The Present Study of Applying Synthetic Fiber in Noise Control

ZHANG Xin'an

(Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Now a day, many sound absorption material is designed to have decorative function. The product made of synthetic fiber such as nonwoven web, fabric and carpet as a good porous material will be used in buildings as both ornament and sound absorption material. The study about sound absorption properties of product made of synthetic fiber is discussed in this paper.

Key words: The product made of synthetic fiber; Sound absorption; Progress