

# 纤维形态对针刺非织造布吸声系数的影响

吴彤<sup>1</sup>, 于伟东<sup>1,2</sup>, 郑永红<sup>3</sup>, 何勇<sup>3</sup>

(1. 东华大学纺织面料技术教育部重点实验室, 上海 201620; 2. 东华大学纺织材料与技术实验室, 上海 201620  
3. 重庆市纤维检验局, 重庆 401121)

**摘要:** 利用驻波管测试方法研究了几种不同截面异形度、不同细度与直径、不同周长比与比表面积, 以及不同体积分数与空隙率纤维材料的吸声性能。实验结果表明, 纤维异形截面在一定程度上影响材料吸声性能, 而吸声系数受纤维异形度的影响较复杂, 即异形度不是吸声系数的本质影响因素。纤维比表面积参数是影响吸声性能的本质因素, 比表面积越大, 气-固相声阻越大, 而纤维细度即纤维平均直径与其比表面积成反比, 故直径越大, 吸声系数越小。纤维体积分数是影响吸声性能的又一本征因素, 空隙率越小, 体积分数越大, 即孔洞越小, 空隙率越小, 吸声系数越大。

**关键词:** 截面形态; 吸声系数; 比表面积; 体积分数

中图分类号: TS176.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-01-0068-07

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2015.01.013

## Effect of fiber morphology on the sound absorption coefficient of needle-punched nonwovens

WU Tong<sup>1</sup>, YU Wei-dong<sup>1,2</sup>, ZHENG Yong-hong<sup>3</sup>, HE Yong<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Textile Science & Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. Textile Materials and Technology Laboratory, Donghua University, Shanghai 201620, China;

3. Chongqing Fiber Inspection Bureau, Chongqing 401121, China)

**Abstract:** The standing wave tube is used to test the sound absorption properties of several fibrous materials with different shape factors of cross-section, different fineness and diameters, different perimeter ratios and specific surface areas, different fiber volume fractions and porosities. The results show that the shape factor of cross-section influences the sound absorption property of the needle-punched nonwoven to some extent, however the influence is rather complex, and the shape factor of cross-section is not an essential factor of influencing the sound absorption coefficient. Specific surface area of the fibers is the essential factor affecting absorption property: the larger the specific surface area, the greater the gas-solid phase acoustic resistance. The fiber fineness (dtex) is inversely proportional to the specific surface area, so the larger the diameter, the smaller the sound absorption coefficient. The fiber volume fraction is another important factor: the smaller the porosity, the greater the volume fraction, *i.e.* the smaller the holes, the smaller the porosity, therefore the greater the sound absorption coefficient.

**Keywords:** sectional shape; sound absorption coefficient; surface area; volume fraction

## 0 引言

纤维集合体, 简称纤维体, 为多孔、轻质、柔软的吸音隔声材料。实用中大多为散纤维状, 即随机排列的纤维体, 与之最为接近的是非织造布, 已被广泛应用于各类内饰和隔绝的常用材料。纤维体的主要特征就是多孔。而其多孔孔隙形态与结构是由纤维体中纤维的形态、构造、排列及纤维间的相

互作用形成<sup>[1]</sup>, 尤其是纤维的形态和表面, 直接决定了空隙的形态和表面积。由于纤维体结构排列复杂, 使得孔隙的构造排列也呈分形维数的结构<sup>[2]</sup>, 这是纤维体吸声性能独特的重要原因<sup>[3]</sup>。有关纤维形态对吸音隔声性能影响的研究有许多相关报导, 如纤维形态<sup>[4-6]</sup>的影响, 纤维本身粗细的影响<sup>[7,8]</sup>, 孔隙率或体积分数<sup>[9,10]</sup>的影响等。其本质是在较多地关注声的通道大小和纤维体本身固体相对吸声的影响, 而较少关注因纤维形态所引起的通道长短、表面效应、纤维振动摩擦对吸声的作用。而这些作用主要决定于纤维的截面形态和粗细<sup>[11]</sup>、以及纤维体的体积分数与孔隙形态<sup>[12]</sup>。故本文从纤维的截面异形度、纤维的周长比与比表面积、纤维细度与直

收稿日期: 2013-11-21; 修回日期: 2014-01-12

作者简介: 吴彤(1988-), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士生, 研究方向为针刺非织造布吸声隔声性能。

通讯作者: 于伟东, E-mail: wdyyu@dhu.edu.cn

径和纤维体的体积分数等四方面，研究各自与吸声系数之间的关系，为明晰纤维形态参数对吸声系数的影响和为针刺非织造吸声材料的设计提供依据。

## 1 试验部分

### 1.1 实验材料

选用名义细度均为 1.67 dtex 的扁平、三角、圆形、三叶形、中空、十字、哑铃型七种异形截面纤维和均为圆形但细度分别为 0.88、1.67(即上述的圆形纤维)、3.67、4.44 dtex 的涤纶纤维。采用针刺非织造布制成用作吸声性能测量的样品。所制的针刺涤纶非织造布的工艺参数均相同：针刺频率 25 Hz、输入罗拉频率 5.7 Hz、输出罗拉频率 6.7 Hz、植针密度为 4000 枚/m、针刺深度 4.2 cm、双面预针刺，即 10 种针刺非织造布。由光学显微镜观察实测各异形涤纶纤维的形态参数值如表 1 所示。实测不同细度的涤纶纤维的形态参数值如表 2 所示。

表 1 异形纤维的实测形态参数值  
Table 1 Measured parameters of shaped fiber morphology

1.67 dtex 涤纶	扁平	三角	中空	三叶	圆形	十字	哑铃
实测细度 $N_{dt}/dtex$	1.68	1.67	1.68	1.67	1.68	1.68	2.22
平均长度 $L/mm$	30	32	30	31	28	28	28
外接圆直径 $d_o/\mu m$	18.2	14.3	10.2	9.8	8.5	7.6	7.3
内切圆直径 $d_i/\mu m$	6.4	5.2	8.3	7.1	8.5	6.4	5.6
截面积 $a/\mu m^2$	82.3	78.3	74.4	65.6	56.7	48.4	44.6
周长 $P/\mu m$	50.1	45.8	39.7	30.8	26.7	23.2	21.2

表 2 实测不同细度的涤纶纤维的形态参数值  
Table 2 Measured parameter values of polyester fiber shapes with different fineness

名义细度 $N_{dt}/dtex$	实测细度 $N_{dt}/dtex$	平均长度 $L/mm$	平均直径 $d/\mu m$	周长 $P/\mu m$
0.88	0.89	28	7.6	23.86
1.67	1.68	29	8.5	26.69
3.47	3.44	30	9.3	29.2
4.44	4.42	31	9.9	31.08

### 1.2 测量方法

#### (1) 吸声系数 $\alpha$ 的测量

吸声系数  $\alpha$  的测量采用北京声望声电技术有限公司生产的双通道阻抗管声学分析仪 SW260。其测试原理基于传递函数法，用固定在管壁的传声器测量宽频噪声的声压，然后将采集的声压信号进行处理，分离入射波的能量与反射波的能量，求得两个传声器信号的声传递函数，计算不同频率对应的法向入射吸声系数和隔声量。吸声测试执行国际标准 10534-2: 1998 和国家标准 GB/T18696. 2-2002 阻抗管中吸声系数和声阻抗测量第二部分：传递函数法

中关于传递函数法测量吸声系数的测试条件的相应规定。

#### (2) 纤维形态参数的测量

纤维异形度是表征异形纤维截面形状的主要指标，也是讨论纤维性能的主要参数之一。异形截面纤维形态特征参数测试方法是先制作异形纤维截面切片，然后将切片放在普通生物显微镜和显微投影仪下，观察纤维截面形态特征，并在描图纸上描绘图像、剪纸称重或用尺测量，最后计算得到纤维异形度指标。

#### (3) 针刺非织造布的规格参数测量

YG141N 数字式织物厚度仪、FA2004A 电子天平等。

### 1.3 测量指标

由光学显微镜照片可知七种形状纤维截面的基本形态，如图 1 所示。图 1(g)和 1(h)都是圆形截面，而两图片中纤维截面的异形度(即椭圆度)不同。

由表 1 和表 2 的实测参数值，可计算常用的 4 个粗细参数( $r_0, r_e, a_0, a_e$ )和 2 个异形度参数( $D_R, S_R$ )，4 个比表面积参数( $C_0, SS_0, SS_e, \eta_L$ )和空隙率  $\varepsilon$ 、体积分数  $\phi$ ，共 12 个<sup>[13]</sup>。各自的定义与定义式如下所列。

#### (1) 粗细参数

$$\text{理论半径 } r_0 = \sqrt{\frac{100N_{dt}}{\pi\gamma}} \quad (1)$$

$$\text{等效半径 } r_e = \sqrt{\frac{a}{\pi}} \quad (2)$$

$$\text{理论截面积 } a_0 = \pi r_0^2 \quad (3)$$

$$\text{等效截面积 } a_e = \pi r_e^2 \quad (4)$$

#### (2) 异形度参数

$$\text{径向异形度 } D_R = \frac{R-r}{R} \quad (5)$$

$$\text{截面异形度 } S_R = \frac{R^2-r^2}{R^2} \quad (6)$$

式中， $r$  为内切圆半径， $R$  为外接圆半径

#### (3) 比表面积参数

$$\text{理论周长比 } C_0 = \frac{P}{P_0} \quad (7)$$

$$\text{理论比表面积 } SS_0 \approx \frac{P}{a_0} \quad (8)$$

$$\text{等效比表面积 } SS_e \approx \frac{P}{a_e} \quad (9)$$

$$\text{表面系数 } \eta_L = \frac{P}{N_{dt}} \quad (10)$$

式中， $P$  为纤维实测周长  $P_0 = 2\pi r_0$

采用近似表达是因为忽略两端面和不考虑粗

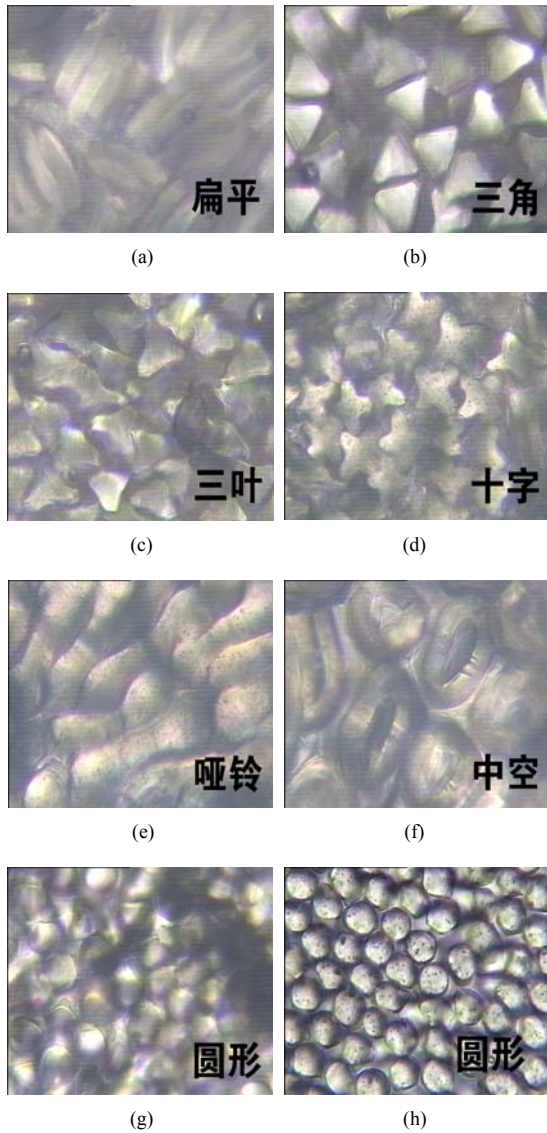


图 1 七种形态纤维的光学显微镜图像

Fig.1 The optical microscopic images of seven sorts of fibers

糙度。

(4) 体积分数参数

$$\text{空隙率 } \varepsilon \quad \varepsilon = 1 - \varphi \quad (11)$$

$$\text{体积分 } \varphi \quad \varphi = \frac{V_f}{V_f + V_c} = \frac{M/\gamma}{A \times t} \times 10^{-3} = \frac{w}{\gamma \times t} \times 10^{-3} \quad (12)$$

式中： $M$  为纤维的质量(g)； $\gamma$  为纤维的密度； $A$  为非织造布的测量面积( $m^2$ )； $t$  为被测面非织造布的厚度(mm)； $w$  为平方米克重( $g/m^2$ )。

由上列 12 个参数及其定义式，根据表 1 的实测数据，可计算得到各异形截面纤维指标值，如表 3 所示。

## 2 结果与讨论

### 2.1 异形截面与吸声系数 $\alpha$ 的关系

#### (1) 实测结果的定性讨论

不同截面材料对吸声性能的影响如图 2 所示。从吸声图谱(图 2)可以看出，发生频率大于 800 Hz 后，吸声系数  $\alpha$  是频率  $f$  的单调函数，即随着频率的增加，吸声系数增大。但是在  $f$  增加的起始阶段吸声系数  $\alpha$  增加较快，当  $f$  达 3000 Hz 后，基本呈等速增加，并有逐渐饱和的趋势。在低频波段，对纤维体材料来说，其对低频波段(500~800 Hz)的吸声能力较弱，即吸声系数小。这说明纤维体中低频吸声元较少，主要是孔隙中的空气泡在声波作用下的振动和摩擦吸收，都对声波有衰减作用，但相对较小，故吸声系数  $\alpha$  很低。根据多孔材料吸声机理，多孔材料内有许多微细的小孔和间隙，当声波在多孔材料内部传播时，部分声能在传播的过程中转变成热能损耗掉，从而达到吸声的作用。由于低频声波的波长比较长，在材料中传播时可以更加容易地穿过，声能损失会更少；而高频声波的波长比较短，会加快材料内空气分子的振动速度，声波与纤维之间产生的摩擦会更加剧烈，就会有更多的声能转化为热能。这与本实验吸声系数  $\alpha$  曲线结果相吻合。不同截面纤维所形成的孔隙不同，当然会影响吸声性能。对中等频率波段(800~3000 Hz)为指数函数增加形式，即吸声系数  $\alpha$  变化速度  $da/dt$  在衰减，吸声系数  $\alpha$  值在增大。这说明有新的适应该频率波段振动吸声元的进入，如稍小尺度的气孔和纤维间的

表 3 各异形截面纤维指标值

Table 3 Indexes of different shaped fibers

1.67 dtex 涤纶	理论半径/ $\mu m$	等效半径/ $\mu m$	理论截面积/ $\mu m^2$	等效截面积/ $\mu m^2$	径向异形度 $D_R/\%$	截面异形度 $S_R/\%$	理论周长比 $C_0$	理论表面积 $SS_0$	等效表面积 $SS_e$	表面系数 $\eta_L$	空隙率 $\varepsilon/\%$	体积分数 $\varphi/\%$
扁平	5.3	2.5	75	72.3	0.6	0.88	1.875	0.481	0.479	30	0.9911	0.0089
三角	5.7	2.9	74.5	68.3	0.49	0.74	1.6125	0.450	0.447	27.42	0.9924	0.0076
中空	5.9	3.1	75	64.4	0(0.46)*	0(0.45)*	1.4812	0.423	0.412	23.77	0.9942	0.0058
三叶	6.2	3.6	74.5	55.6	0.54	0.69	1.3	0.403	0.399	21.3	0.9955	0.0045
圆	6.8	4.3	75	33.1	0.2	0.3	1	0.382	0.381	19.14	0.9959	0.0041
十字	7.3	4.5	75	31.4	0.39	0.63	0.925	0.378	0.376	16.86	0.9964	0.0036
哑铃	7.7	4.7	73.2	29.6	0.35	0.53	0.81	0.357	0.348	12.69	0.9975	0.0025



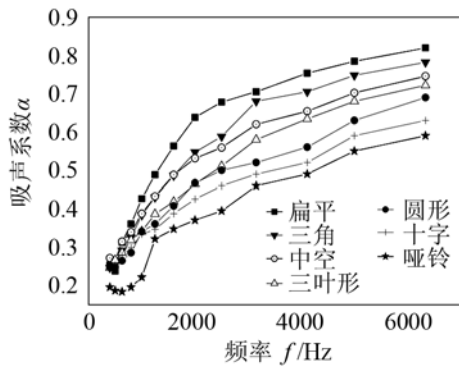


图 2 不同截面材料对吸声性能的影响  
Fig.2 Effects of the materials with different cross-sections on the sound absorption properties

摩擦阻尼的引入。对较高频率波段(3000~6500 Hz), 吸声系数近似于等速增加, 有一定的减缓达饱和的趋势, 即本质上亦为指数函数变化的规律。这说明, 纤维本身作为振动吸声元的加入。显然, 由图 2 可知平均吸声系数  $\alpha$  的顺序为:

$$\alpha_{\blacksquare} > \alpha_{\blacktriangledown} > \alpha_{\circ} > \alpha_{\triangle} > \alpha_{\bullet} > \alpha_{+} > \alpha_{\star} \quad (13)$$

在图 2 所述七种截面形态的纤维中: 扁平截面的纤维吸声性能最好; 最弱的为哑铃型纤维。扁平截面纤维具有更多的纤维界面和更多细微的孔隙, 声波进入材料后有更多的机会与纤维界面及孔隙发生作用, 形成的粘滞性摩擦增加, 声能耗散增多, 利于提高吸声性能。由表 1 可知: 哑铃型纤维不仅仅是纤维的异形, 而且其细度  $N_{dt}$  明显大于其他 6 种纤维, 这是其排在最后的主要原因。对于中空纤维( $\circ$ )和圆形纤维( $\bullet$ ), 均为圆形, 但一方面其中腔是静止空气, 对声波的阻尼更强; 另一方面, 中空纤维外部的三维卷曲结构使得穿过材料的空气流阻相对大, 材料中低频的吸声性能就越好。

(2) 不同异形度的影响

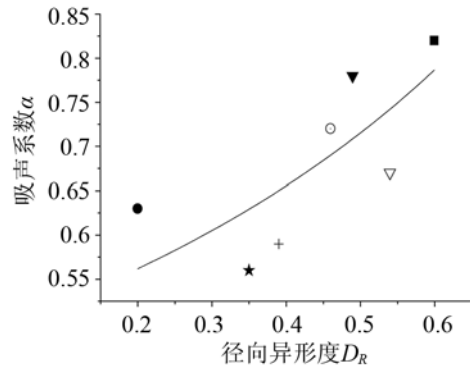
基于上面的定性讨论可知, 吸声系数  $\alpha$  与纤维的异形度有关。纤维异形度是表征异性纤维截面形状的主要指标, 也是讨论纤维性能的主要参数之一。以表 3 中的实测计算结果的径向异形度值  $D_R$  和截面异形度值  $S_R$  分别与相对吸声系数  $\alpha$  作图, 得图 3(a)和 3(b)。所得结果并非单调函数, 也就是说异形度指标并非本质因素, 并只能在异形度大于 0.35 以上才体现出单调上升的正确趋势, 且规律也不吻合。由图 3 可知径向异形度和截面异形度大小顺序依次为:

$$D_{R\blacksquare} > D_{R\blacktriangledown} > D_{R\circ} > D_{R\triangle} > D_{R+} > D_{R\star} > D_{R\bullet} \quad (14)$$

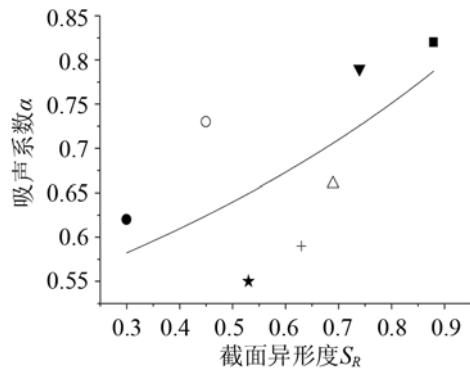
$$S_{R\blacksquare} > S_{R\blacktriangledown} > S_{R\circ} > S_{R\triangle} > S_{R+} > S_{R\star} > S_{R\bullet} \quad (15)$$

径向异形度和截面异形度的排列结果不符合图 3 实测结果的排序, 说明异形度并非吸声系数  $\alpha$

的单调函数或单一函数, 而是一个具有交互或复合构成的因素。



(a) 径向异形度与吸声系数的关系图



(b) 截面异形度与吸声系数的关系图

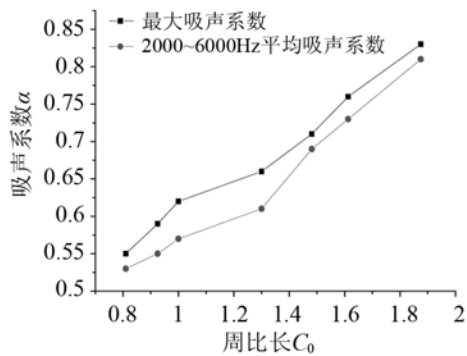
图 3 异形度对吸声性能的影响  
Fig.3 Effects of shaped factors on sound absorption properties

(3) 不同周长比  $C_0$  及表面系数  $\eta_L$  的影响

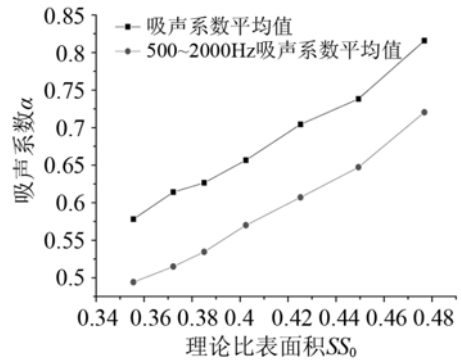
通过计算扁平、三角形、中空、三叶形、十字形、哑铃型与圆形的周长比, 可以得出周长比和最大吸声系数  $\alpha_{max}$  的关系和 2000~6000 Hz 平均吸声系数, 如图 4 所示。可以看出, 截面周长比越大的纤维其吸声效果越好。这是因为比周长越大, 非织造布材料内部结构越复杂, 内部微孔的迂曲度有所提高, 比表面积增大, 声波在纤维中传播路径的阻尼越多, 气-固相的摩擦作用越大, 声能损耗增加, 有利于提高吸声性能。具有更多的纤维界面和更多细微的孔隙, 声波进入材料后有更多的机会与纤维界面及孔隙发生作用, 形成的粘滞性摩擦增加, 声能耗散增多。由图 4 可知, 不同周长比和表面系数的大小顺序与前述吸声系数  $\alpha$  完全一致, 是典型的单调函数。

(4) 比表面积的影响

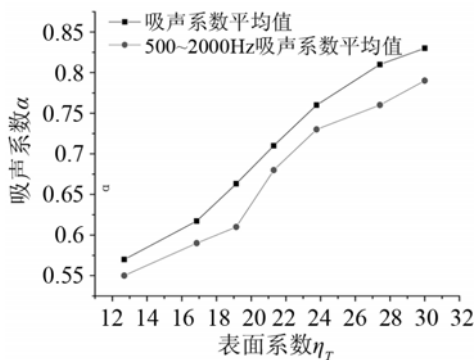
如图 5 所示, 纤维的比表面积越大, 材料的最大吸声系数越大, 材料的吸声性能越好。中空纤维外部的三维卷曲结构使得其针刺非织造布材料内部微孔的迂曲度增加, 大大增加了声波与纤维接触的比表面积; 同时由于中空纤维轴向具有管状空



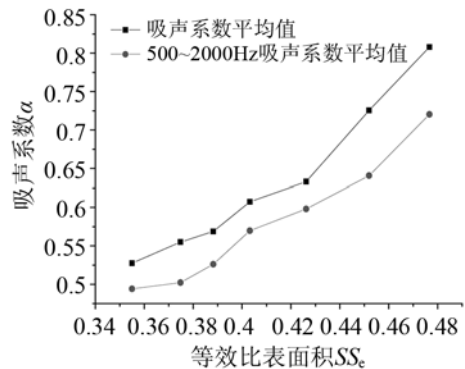
(a) 周比长与吸声系数关系图



(a) 理论比表面积与吸声系数的关系图



(b) 表面系数与吸声系数关系图



(b) 等效比表面积与吸声系数的关系图

图 4 理论周比长对吸声性能的影响

图 5 比表面对吸声系数的影响

Fig.4 Effects of theoretical perimeter ratios on the sound absorption properties

Fig.5 Effects of specific surface areas on sound absorption coefficients

腔，单根纤维内部有微孔，很大程度上增加了声波与材料接触的比表面积，声波与中空纤维材料就有更多的摩擦，进而延长声波在材料内部反复反射的时间，有更多的声能转换为热能而耗散掉，从而其吸声系数相对于圆形截面纤维也就越大。但随着声波频率的增大，中空纤维与圆形截面纤维组成的非织造布的吸声系数的差距就越显著。这是因为中空纤维自身的三维卷曲结构决定其厚度大于圆形截面纤维材料的厚度，厚度大，材料的微孔就越多，穿过材料的空气流阻就相对大，那么材料中低频的吸声性能就越好。纤维比表面积大，如周比长  $C_0$  大，表面系数  $\eta_r$  大一样，只是  $SS_0$  和  $SS_e$  是以体积为分母，而  $C_0$  以圆形纤维周长、 $\eta_r$  以纤维的质量为分母的相对比值，故对吸声系数的影响趋势完全一致。由图 5 可知，理论比表面积和等效比表面积大小顺序与前述吸声系数  $\alpha$  排序完全一致，说明比表面积与吸声系数呈近似线性正相关，证明反映纤维比表面积参数是影响吸声系数的本质参数。

### 2.2 纤维细度对吸声系数的影响

在 2.1(1)中已经注意到纤维的粗细对吸声系数  $\alpha$  的影响，这里针对粗细值单因素变化对  $\alpha$  的影响进行讨论。

#### (1) 细度 $N_{dt}$ 作用的定性讨论

既然比表面积是影响因素中的主要因素，异形度也直接表达了比表面积的增加，故本节用同样异形度不同细度，即 0.88、1.67、3.67、4.44 dtex 的圆形截面涤纶纤维并制成平方米克重相近的涤纶针刺非织造布。从图 6 中可以看出，由较细纤维制成的材料的吸声性能优于较粗的纤维，但整体差异并不大。这是因为在相同的厚度与容重时，较细纤维制成的材料含有的纤维数量多于较粗纤维制成的材料，具有更多的纤维界面和更多细微的孔隙，声波进入材料后有更多的机会与纤维界面及孔隙

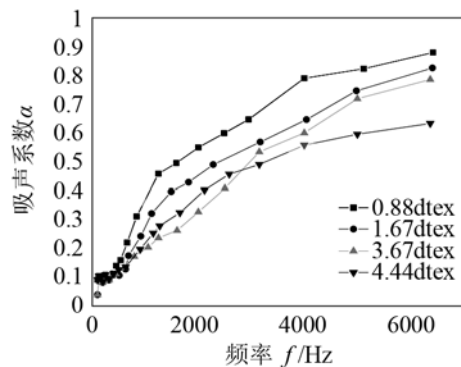


图 6 细度对吸声系数的影响

Fig.6 Effects of different fineness on sound absorption performance

发生作用，形成的粘滞性摩擦增加，声能耗散增多，利于提高吸声性能。

(2) 实测细度  $N_{dt}$  与吸声系数  $\alpha$  的关系

图 6 所示为四种关于不同细度圆形纤维制成的非织造布，显然随着纤维细度的增加，针刺非织造布的吸声系数有所降低。故绘出细度与全测量频率范围内的平均吸声系数和  $>3000$  Hz 以上的平均吸声系数关系图，如图 7 所示。由图 7 可以看出， $3000$  Hz 以上的吸声系数随着纤维细度的增加成近似线性下降。吸声系数与纤维细度  $N_{dt}$  有关的根本原因是  $N_{dt}$  与比表面积  $SS$  或表面系数在理论上为倒数关系，即  $SS = P/A_0 = 100\rho\gamma/N_{dt}$ 。

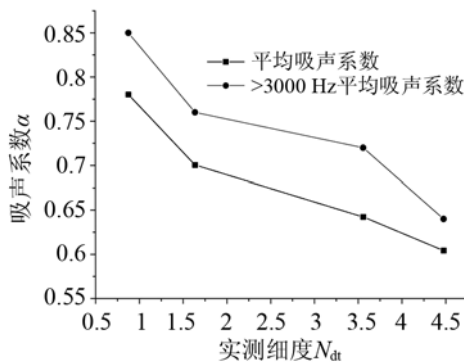


图 7 实测细度和吸声系数的关系图  
Fig.7 Relationship between measured fineness and sound absorption coefficient

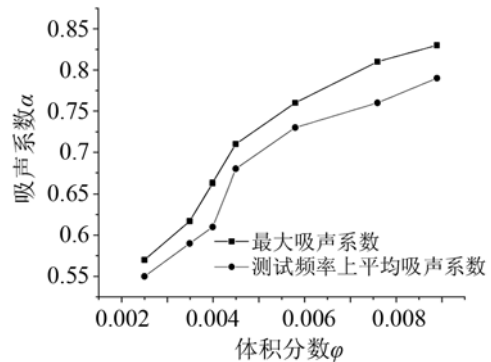
2.3 体积分数对吸声性能的影响

以表 3 中的实测计算结果的体积分数和空隙率分别与相对吸声系数  $\alpha$  作图，得图 8(a)和 8(b)。由图 8(a)可知，随着体积分数的增大，吸声性能随体积分数的增加呈上升趋势。这是因为纤维体积分数的增大会增加截面中纤维端头数，减小孔洞半径和自由长度，同时使得吸声曲线的峰值向低频域移动。随着集合体中纤维体积分数的增大，整个频域的吸声性能增强，吸声曲线的峰将向低频移动；但纤维体积分数存在一个极限值，超过这个值吸声系数将不再增大。

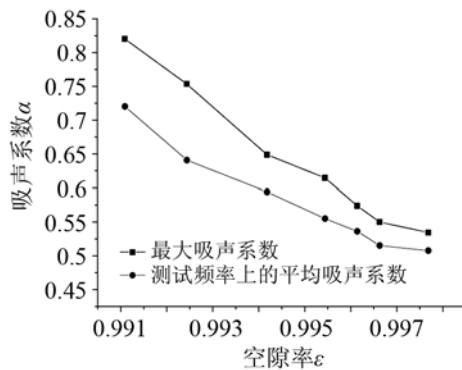
3 结论

吸声性能与纤维体的众多因素有关，由构成纤维的不同截面形态(即异形度)、不同粗细、比表面积、体积分数及空隙率等四方面实测结果分析，得出所述参数对吸声系数均有影响。

吸声系数受纤维异形度的影响较为复杂，并非单调函数，并存在矛盾现象，其原因在于异形度仅表达了纤维截面相对圆的异化程度，并未针对性涉



(a) 体积分数与吸声系数的关系图



(b) 空隙率与吸声系数关系图

图 8 体积分数对吸声系数的影响

Fig.8 Effect of volume fraction on the sound absorption coefficient

及对声能损耗的固相(纤维)振动性质、气相(空气)、气-固相、固-固相的作用机制，尤其是当异形度大时，比表面积不大或甚至变小。故异形度不是影响吸声系数的本质因素，至多是一个复合因素。相反，纤维的表面参数：理论比表面积  $SS_0$ 、等效比表面积  $SS_e$ 、表面系数  $\eta_L$  和周长比  $C_0$  与吸声系数呈近似线性正相关，证明反映纤维比表面积的参数是影响吸声系数的本质参数。即纤维的表面积大小是影响声能耗的主要因素。纤维直径与吸声系数呈负线性相关就是佐证，因为纤维直径与比表面积为反比关系，即直径越粗，比表面积越小。

实测结果同时表明：纤维体的体积分数和空隙率与吸声系数为近似线性正相关和负相关，因为体积分数与空隙率之和为 1，说明体积分数或空隙率是吸声系数的又一本质影响因素。也就是说孔洞越小，空隙率越小，吸声系数越大。尤其声频在  $800\sim 6000$  Hz 范围内，这种规律和相关性越显著。

参 考 文 献

[1] 于伟东. 纺织材料的形及其重要作用与结果[J]. 纺织学报, 2013, 34(2): 1-12.  
YU Weidong. Shape of fibrous materials: its significant effects and findings[J]. Journal of Textile Research, 2013, 34(2): 1-12.

- [2] 杨树. 纤维集合体的结构特征及其吸声性能研究[D]. 上海: 东华大学博士论文, 2011: 81-83.  
YANG Shu. Structure characterization and its sound absorption of fiber assembly[D]. Shanghai: Donghua University, 2011: 81-83.
- [3] Yang S, Yu W D. Air permeability and acoustic absorbing behavior of nonwovens[J]. Journal of Fiber Bioengineering and Informatics, 2011, 3(4): 203-207.
- [4] YANG S, YU W, PAN N. Fractal phenomenon in sound absorbing behavior of down fiber assembly[J]. Textile Research Journal, 2011, 81(11): 1139-1144.
- [5] Allard J F, Atalla N. Propagation of sound in porous media modeling sound absorbing materials[M]. 2<sup>nd</sup> edition. Wiley, 2009: 84-87
- [6] TASCAN Mevlut, VAUGHN Edward A. Effects of fiber denier, fiber cross-sectional shape and fabric density on acoustical behavior of vertically lapped nonwoven fabrics[J]. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2008(3): 32-38.
- [7] H S K, B P. A note on the effete of fiber diameter, fiber crimp and fiber orientation on Pore size in thin webs[J]. International Nonwovens Journal, 2000, 10: 15-19.
- [8] Garai M, Pompoli F. A simple empirical model of polyester fibre materials for acoustical applications[J]. Applied Acoustics, 2005, 66(12): 1383-1398.
- [9] Voronina N. Improved empirical model of sound propagation through a fibrous material[J]. Applied Acoustics, 1996, 48(2): 121-132.
- [10] Biot M A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid II. Higher frequency range[J]. J. Acoust. Soc. Am., 1956, 28(2): 179-191.
- [11] Kino N, Ueno T. Evaluation of acoustical and non-acoustical properties of sound absorbing materials made of polyester fibres of various cross-sectional shapes[J]. Applied Acoustics, 2008, 69(7): 575-582.
- [12] 陈宁. 不同形态与结构的纤维集合体声学行为的表征[D]. 上海: 东华大学硕士论文, 2011: 13-14.  
CHEN Ning. Characterization for the acoustic behavior of different morphology and structural fiber assemblies[D]. Shanghai: Donghua University, 2011: 13-14.
- [13] 于伟东. 纺织材料学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006: 83-84.  
YU Weidong. Textile Materials[M]. Beijing: China, Textile & Apparel Press, 2006: 83-85.

## ICANSP 2014 国际学术交流会在西安举行

2014年12月13~14日,水声对抗技术重点实验室和水声技术重点实验室在西安成功举办了“2014年声学、网络和信号处理国际学术交流会”(2014 International Conference on Acoustics, Networks and Signal Processing, ICANSP 2014)。

水声对抗技术重点实验室副主任杜选民研究员和水声技术重点实验室乔钢教授出席会议并致欢迎辞,董阳泽研究员和乔钢教授分别做了精彩的大会报告。会议录用的78篇论文已编纂成册,将择优提交EI检索。

本次学术交流集中展示了相关学术机构的研究进展。来自哈尔滨工程大学、浙江大学、厦门大学、海军工程大学、中国人民解放军理工大学、东华大学、广西大学、中国科学院声学研究所、中国船舶重工集团公司第726研究所、船舶系统工程研究院、海军第四试验区和两个实验室的近30篇论文进行了大会交流和讨论,内容涉及语音信号处理、水声通信和网络、水声信号处理等研究领域。

本次学术交流会为相关领域的学术交流提供了一个良好的平台,为实验室科研人员提供了一个锻炼的机会,同时为日后举办类似交流活动提供了宝贵的经验。



水声对抗技术重点实验室  
水声技术重点实验室