

DOI:10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2018.11.006

孔隙形状对熔喷非织造布过滤品质的影响

金关秀¹, 祝成炎²

(1.浙江工业职业技术学院, 浙江 绍兴 312000; 2.浙江理工大学, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为探究孔隙形状与熔喷非织造布过滤品质(以品质因子表征)之间的内在关系,运用数字图像处理技术对5个聚丙烯熔喷非织造布样品的孔隙形状因子和孔隙圆度进行求取,并对样品进行过滤性能的测试。结果表明,随着孔隙形状因子数值的增大,熔喷非织造布过滤品质随之提高;随着孔隙圆度的提高,熔喷非织造布过滤品质呈下降趋势。

关键词: 熔喷法非织造布; 过滤织物; 孔隙结构; 数字图像处理; 孔隙形状因子; 孔隙圆度; 过滤品质因子

中图分类号: TS101.923.9

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2018)11-0015-04

Effect of pore shape on the filter quality of melt-blown nonwoven

JIN Guanxiu¹, ZHU Chengyan²

(1.Zhejiang Industry Polytechnic College, Shaoxing 312000, China)

(2.Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: To study the internal relationship between pore shape and filter quality (characterized using quality factor) of melt blown nonwoven, the pore shape factor and pore roundness of 5 samples of polypropylene melt-blown nonwoven are measured by using digital image processing technique, and their filtration performances were tested. The results show that the filter quality increases with the increase of the value of pore shape factor. As the roundness of the pore increases, the filtration quality of the meltblown nonwoven fabric decreases.

Key words: melt blown non-woven fabric; filter fabric; pore structure; digital image processing technology; pore shape factor; pore roundness; filter quality factor

当前大气污染现象十分严重,高效空气过滤材料的研制具有重要的现实意义^[1-3]。非织造材料呈三维多孔结构,是理想的空气过滤素材^[4-5]。非织造材料的过滤性能与其纤网结构密切相关,其中纤网的孔隙结构(孔径及其分布、孔隙形状)对材料过滤性能的影响非常关键。目前在孔径及其分布对材料过滤性能的影响方面已取得了大量的研究成果^[6-8],但在孔隙形状影响过滤品质(即材料的高效低阻性能)方面的研究还很少。空气过滤理论认为滤材中的纤维对微粒进行了拦截,而未能拦截住的微粒穿越了滤材的孔隙^[9-10]。由于滤材中的孔隙并非理想的圆形,微粒能否穿越孔隙,不但与孔隙的大小有关,而且与其形状存在一定的关系,本文试图通过试验来揭示其中的规律。

熔喷非织造布虽然自身机械性能不足,无法单独用作滤材,但其纤维直径小,比表面积大,有利于过滤效率的提高^[11-12],是一种理想的复合基材。研究熔喷非织造布孔隙形状与其过滤性能的关系可为研制高效低阻多层复合非织造空气过滤材料提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 熔喷非织造布样品

收稿日期: 2017-12-25

基金项目: 浙江省绍兴市公益性技术应用研究计划项目(2017B70074)

作者简介: 金关秀(1962—),男,浙江萧山人,教授,主要从事非织造布结构与性能的研究。

本文选取5块聚丙烯熔喷非织造布作为样品进行研究,样品均来自浙江理工大学先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室。

试样1#~5#的面密度分别为18.8、22.4、24.9、28.7、34.5 g/m²,厚度分别为0.193、0.221、0.242、0.266、0.315 mm。

1.2 过滤品质的表征与测定

1.2.1 过滤品质的表征

理想的过滤材料应具有良好的高效低阻性能,即在拥有尽可能高的过滤效率的同时,其过滤阻力要尽可能低。然而过滤效率和阻力是过滤性能中的一对主要矛盾,一般来说随着过滤效率的增大,过滤阻力也将升高。材料的高效低阻性能称为过滤品质,本文采用Spumy定义的品质因子 q_F (1/Pa)进行表征^[13],按式(1)计算:

$$q_F = \frac{FE}{\Delta P} \quad (1)$$

式中:FE——材料的过滤效率,%;

ΔP ——材料的过滤阻力,Pa

q_F 值越大,说明滤材的高效低阻过滤性能越好。

1.2.2 过滤性能测试

采用美国TSI公司生产的TSI-8130型自动滤料测试仪(气溶胶为石蜡油型)测试过滤效率和过滤阻力,滤速5.3 cm/s,粒径0.3 μm 。每个样品取10个不

同部位进行测试,求平均值。

1.3 孔隙形状表征与测定

1.3.1 孔隙形状表征

孔隙区域特征最重要的两个方面是孔隙形状的扁平程度和孔隙边界的光滑程度^[14-17]。本文分别采用形状因子和圆度这两个参数进行表征。

(1)形状因子。将孔隙的长宽比定义为孔隙形状因子,计算式见式(2)^[14]:

$$F_s = \frac{L}{W} \quad (2)$$

式中: F_s ——孔隙长宽比;

L ——孔隙最小外接矩形长度;

W ——宽度

形状因子可用于描述孔隙形状的扁平程度,数值越大,孔隙形状就越扁平。

(2)圆度。孔隙圆度按式(3)计算^[16]:

$$C = \frac{4 \times \pi \times S}{\rho^2} \quad (3)$$

式中: C ——孔隙圆度;

ρ ——孔隙周长;

S ——孔隙面积

圆度是表征孔隙边界光滑程度的指标,圆度数值越大,孔隙边界就越光滑。

1.3.2 孔隙形状参数的测定

对于熔喷、纺粘等薄型非织造布来说,可运用SEM图对其孔隙结构(包括孔径与形状等)进行研究^[18-19]。采用JSM-5610LV型扫描电镜(日本JEOL有限公司)进行图像采集,电镜放大倍数为1500倍,每个样品取10个不同部位进行扫描,相应得到50幅图像。

由于经A/D转换数字化后的图像不可避免地存在着噪声、光照不均匀和清晰度不够等问题,须采用数字图像处理技术(直方图处理、中值滤波、二值化和数学形态处理)对SEM图像进行预处理。

图像二值化的关键和难点在于最佳阈值的选取,本文的选取原则是图像经二值化后,在确保其孔隙区域无空洞的前提下使孔隙形状与原始图像最为接近,采用多人评定法确定,即由5位评价主体各自作判断、选择,然后求取平均值^[20],如1#样品的SEM图像的阈值最终确定为0.46。图1所示即为1#样品SEM图片及其预处理后的照片,图像尺寸为400像素×400像素。图1(b)中白色区域是对应材料的孔隙,该区域的

像素数量即为孔径值。试样1#~5#的平均孔径分别为18.1、16.9、16.6、16.1、15.7 μm ,孔径变异系数分别为17.13%、17.75%、18.07%、19.88%、21.02%。可知,随着材料面密度和厚度的增大,孔径平均值随之下降。其原因在于纤网中纤维层数随面密度、厚度的增大而增多,孔隙区域被纤维进一步分割的概率增大,导致孔径减小;与此同时,由于分割的随机性,分割次数的增多会导致孔径均匀度略有下降。

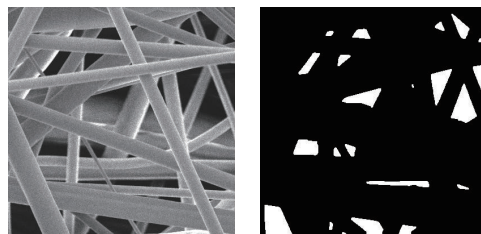


图1 1#样品 SEM 图像及其预处理图片

在求取孔隙的形状参数时,须提取相应的子矩阵并编号。在对孔隙进行标识的基础上,构建一个元胞数组E(广义矩阵),E中每一个元胞即为一个孔隙子矩阵,代表相应的单孔。在每个子矩阵中,令数值等于标识序号的像素值为1,否则为0,由此得到规整的单孔隙图像,然后通过边缘检测获取孔隙边界的完整信息。首先对图像子矩阵进行适当改造,本文采用类似“砌围墙”的方法实施改造,其原理是在矩阵的四周即上、下、左、右各添加一个像素值均为0的一维矩阵,从而使得孔隙具备完整的边缘轮廓线以便进行边缘检测。作为并行边界技术,边缘检测法是借助空域微分算子通过对图像的卷积完成,本文选取prewitt算子作卷积运算。以1#样品SEM图片中的16#孔隙为例,子矩阵改造与边缘检测过程见图2所示。从图2可见,经子矩阵改造后孔隙图像边缘线完整清晰。

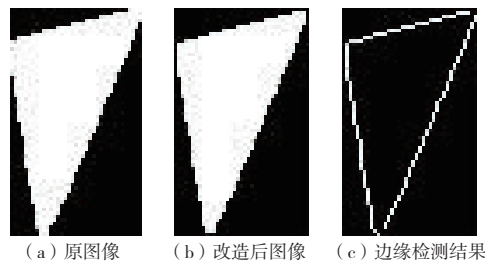


图2 16#孔隙图像的改造与边缘检测

在完成上述图像预处理后,运用Matlab编程软件测取孔隙形状参数值。基于旋转法原理获取孔隙最小外接矩形,可得孔隙长宽比(形状因子)数值;根据边缘检测结果获取所有边界点坐标,则可计算出区域周

长和面积等数据,从而得到圆度的数值。

去除图像边界部位的不完整孔隙后,从上述5个样品的50幅SEM图像中共提取849个孔隙,对每个孔隙求取其形状因子和圆度的数值。

2 结果与讨论

样品1#~5#的过滤效率(FE)分别为34.829 8%、35.743 2%、36.305 5%、37.424 9%、38.185 0%,过滤阻力(ΔP)分别为6.4、6.9、7.2、7.5、7.9 Pa。随着材料面密度、厚度的增大,过滤效率提高但过滤阻力增大,其机理在于纤维数量的增多且孔道的延长,使得被拦截微粒数量增加的同时,空气所受到的阻力也会同步增大。随着孔径的减小,过滤效率提高,同时过滤阻力也随之增大,这是由于孔径减小使得能够穿越材料的微粒数量减少,同时空气阻力也会相应增大。

2.1 孔隙形状因子对过滤品质的影响

根据1.3.2测得的所有孔隙的形状因子数值可求出每个样品各自的孔隙形状因子的平均值;根据上述过滤效率和过滤阻力的测试结果,按式(1)可求得过滤品质因子数值。采用Origin软件对孔隙形状因子与过滤品质因子的数值进行拟合,求取两者之间的关系,如图3所示。线性拟合方程见式(4):

$$y = 2.574 45 + 1.298 86x \quad (4)$$

相关系数 $R = 0.993 66$,表明线性拟合程度很高。

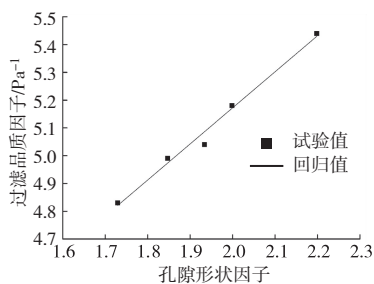


图3 孔隙形状因子与过滤品质因子之间的关系

由图3可见,过滤品质因子与孔隙形状因子之间有着良好的相关性,随着孔隙形状因子数值的增大,过滤品质随之提升。非织造过滤材料所要过滤的微粒具有一定的粒径,且存在因微粒的布朗运动导致的扩散效应,常温下 $0.1 \mu\text{m}$ 的微粒扩散距离可达 $17 \mu\text{m}/\text{s}^{[21]}$,已与滤材孔隙的尺寸相当。可以设想在空气过滤过程中,只有那些最小外接圆(包括扩散效应后的当量外接圆)直径小于孔隙最大内切圆直径的颗粒才有可能穿越孔隙。随着孔隙形状趋于扁平,孔隙最大内切圆直径减小,使得可以穿越孔隙的微粒数

量减少,即过滤效率提高。此外孔隙形状趋于扁平化会使空气阻力相应增大(尤其是小尺寸孔隙),因此随着孔隙形状因子数值的增大,材料的过滤阻力会相应增大。但分析认为相对于微米级尺度的微粒,分子的动力学直径为纳米级的空气因孔隙形状扁平化导致的通透阻力增大的幅度较小,因此材料过滤品质因子数值将增大。

2.2 孔隙圆度对过滤品质的影响

按1.3.2测得的所有孔隙的圆度数值可求出每个样品各自的孔隙圆度平均值。图4为孔隙圆度与过滤品质因子之间的关系,线性拟合方程见式(5):

$$y = 7.225 45 - 3.119 8x \quad (5)$$

相关系数 $R = 0.965 34$,表明线性拟合程度很高。

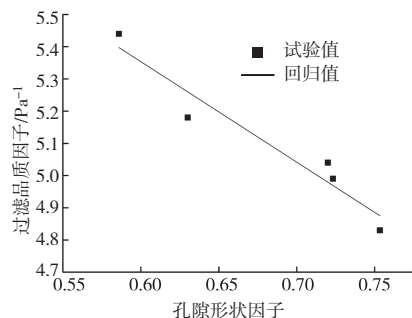


图4 孔隙圆度与过滤品质因子之间的关系

由图4可见,过滤品质因子与孔隙圆度之间有着良好的相关性,随着孔隙圆度数值的增大,过滤品质呈下降的趋势。分析认为随着孔隙圆度的提高即孔隙边界光滑度的上升,孔隙最大内切圆直径增大,使得可以穿越孔隙的微粒数量增多,即过滤效率下降。此外孔隙边界光滑度提高会使得空气阻力相应减小(尤其是小尺寸孔隙),因此随着孔隙圆度数值的增大,材料过滤阻力会相应减小。但相对于纳米级尺度的空气,微米级尺度的微粒因孔隙边界光滑度提高导致的通透阻力减小的幅度会更大,因此材料过滤品质因子数值将减小。

3 结语

熔喷非织造布具有微米级尺度的孔隙结构,其孔径大小是影响材料过滤性能的主要因素之一,且孔隙的形状能够影响材料的高效低阻性能。研究结果表明,随着孔隙形状因子数值的增大,熔喷非织造布的过滤品质随之提高;随着孔隙圆度的提高,过滤品质呈下降的趋势。对熔喷非织造布孔隙形状与其过滤性能关系的研究可为研制高效低阻多层复合非织造空气过滤材料提供相应的理论依据。



