

熔喷超细纤维非织造复合隔热材料传热性能

新向煜

(中国纺织大学)

【摘要】 本文研究了熔喷聚丙烯超细纤维同中空涤纶絮片复合保暖材料及非织造喷胶棉的隔热性能。讨论了隔热材料的结构性能和透气性对其传热性能的影响。

冬季服装的主要性能是降低热损失,保持人体和外界环境间的热平衡。隔热非织造布的热传递性能是服用舒适性的主要因素,按照热舒适的概念,在寒冷时服装的主要功能是保暖,当然多穿衣服和穿厚衣服这是最常规的方法。但是,厚重的衣服往往会产生极度的服装压力,使穿着者行动不便,引起生理功能紊乱,产生心理和生理上的不舒适感。所以对隔热纺织材料保暖性能及舒适性的研究愈来愈引起人们的重视。特别是随着冬季运动的增加,更要求隔热材料具有“轻便、舒适、保暖”的功能。非织造布隔热材料必须具有良好的保暖性,用来防止或减少由导热、对流和辐射引起的热流损失,并能较长期使用。本课题采用了新型的熔喷聚丙烯超细纤维同中空涤纶絮片复合,着重讨论隔热非织造材料性能参数即厚

度、平方米重量、膨松率、纤维直径对保暖率、传热量、传热率及热阻的影响,透气性对材料传热性能和服用性能的影响,并对实验数据进行回归统计分析。

一、实验部分

(一)隔热材料的结构性能

实验采用了两种非织造隔热材料:①是熔喷聚丙烯超细纤维同中空涤纶絮片复合材料,②是普通梳理交叉铺网中空涤纶喷胶棉,材料的结构性能见表1。

(二)试验仪器及方法

厚度和膨松率测定用纺织材料压缩弹性仪,压脚面积为7.70厘米²,加压量为100克,加压时间2分钟,膨松率 = $A(H-f)/G$ (厘米³/克),式中(H-f)为该点试样高度值;A为试

表 1 隔热材料的结构性能

| 性能 | 纤维细度(特) | 聚丙烯超细纤维比例(%) | 纤维比表面积*(微米) | 纤维比重(克/厘米 ³) | 厚度(毫米) | 膨松率(厘米 ³ /克) |
|--------|-----------------------|--------------|-------------|--------------------------|--------|-------------------------|
| 涤纶喷胶棉 | 0.666 | | 0.161 | 1.38 | 2.75 | 55 |
| | 0.666 | | 0.161 | 1.38 | 3.35 | 41.9 |
| | 0.666 | | 0.161 | 1.38 | 5.80 | 44.6 |
| | 0.666 | | 0.161 | 1.38 | 7.38 | 46.1 |
| | 0.666 | | 0.161 | 1.38 | 13.54 | 67.7 |
| | 0.666 | | 0.161 | 1.38 | 18.02 | 72.1 |
| 熔喷复合材料 | 聚丙烯纤维 | 75.0 | 聚丙烯纤维 | 聚丙烯纤维 | 2.55 | 42.5 |
| | 5.55×10^{-3} | 47.4 | 1.434 | 0.91 | 3.84 | 40.5 |
| | | 36.0 | | | 5.56 | 44.5 |
| | 涤纶纤维 | 31.0 | 涤纶纤维 | 涤纶纤维 | 6.96 | 48.0 |
| | | 22.0 | | | 11.78 | 57.4 |
| | 0.666 | 18.4 | 0.161 | 1.38 | 14.10 | 57.6 |

* 纤维比表面积用单位横截面纤维的周长表示。

样筒面积；G为试样质量。

熔喷聚丙烯超细纤维直径采用扫描电镜拍照测定。

保暖率用纺织品保暖性能测试仪Ⅱ型测定。保暖率 $W = [(Q_1 - Q_2) / Q_1] \times 100\%$ ，式中 Q_1 、 Q_2 分别为功率计数器在试样筒包覆试样前、后所测试的值。

传热量 q 、传热率 K 和热阻 R 通过KES护热平板法热传导仪测量并计算出。根据人体通常皮肤表面温度，给KES仪热板设定温度值为 33.5°C ， $q = (0.01 \times I \times V) - (\text{漏泄电流} \times \Delta T)$ ，式中仪器漏泄电流为 1.79×10^{-4} (安)； V 为加热系统电压值(伏)； ΔT 为材料两面的温度差。传热率 $K = qd / \Delta T$ (卡/厘米·秒·度)，式中 d 为试样厚度(厘米)。

透气性用Y501型织物透气仪测试，试验大气标准条件：相对湿度为 $65 \pm 2\%$ ，温度为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 。

二、结果与讨论

通过非织造隔热材料中的传热方式包括强迫和自然对流，人身热量由织物内层传递到织物外层，主要是通过织物中充满空气的孔隙，纤维本身及纤维与纤维间的空隙进行的，热传递以传导、对流、辐射三种形式进行。隔热材料的传热性能和透气性见表2。

实验和回归分析表明，不同非织造隔热材

料的厚度与热阻并非存在纯粹的线性关系，热阻并不均随隔热材料厚度的增加而线性增加。涤纶喷胶棉厚度与热阻的相关系数 r 为0.96，熔喷复合材料厚度与热阻的相关系数 r 为0.994，其临界相关系数 $r_{\alpha=0.001} = 0.97406$ 。

由图1可见，非织造隔热材料的热阻受材料结构性能及厚度的影响，不同结构性能的隔热材料其热阻与厚度分别具有不同的关系。它们的热阻均随材料厚度增加而增加，曲线向上移动。实际上，材料内空气层并非处于绝对静止状，它随着空气层厚度的增加而增加，自然对流随之产生，非织造布隔热材料具有孔洞，使对流的速度加快。该现象从图1涤纶喷胶棉的曲线可清楚看出，曲线开始时斜率较大，以后逐渐减小，这就是自然对流换热所引起的。同时由于空气的导热系数很小($\lambda = 0.022$ 千卡/米·时·度)，涤纶纤维的导热系数是空气的

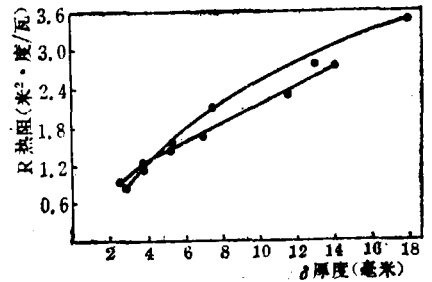


图1 隔热材料厚度与热阻的关系

○—熔喷复合材料；
●—涤纶喷胶棉(下图皆同)。

表2 隔热材料的传热性能和透气性

| 性能 | 定量 (克/米 ²) | 传热量 q (卡/厘米 ² ·秒) $\times 10^{-3}$ | 传热率 K (卡/厘米·秒·度) $\times 10^{-4}$ | 热阻 R (米 ² ·度/瓦) | 透气量 (公升/米 ² ·秒) |
|--------|---------------------------|--|--|---------------------------------|-------------------------------|
| 涤纶喷胶棉 | 50 | 8.7439 | 1.3212 | 0.8715 | 3205 |
| | 80 | 6.8774 | 1.2659 | 1.1080 | 2468 |
| | 130 | 4.8644 | 1.4865 | 1.6337 | 1834 |
| | 160 | 3.7653 | 1.5248 | 2.0238 | 1757 |
| | 200 | 2.7653 | 2.0573 | 2.7557 | 1276 |
| | 250 | 2.2010 | 2.1792 | 3.4622 | 980 |
| 熔喷复合材料 | 60 | 8.8396 | 1.0996 | 0.9710 | 187 |
| | 95 | 7.0884 | 1.3278 | 1.2109 | 174 |
| | 125 | 5.5650 | 1.5093 | 1.5424 | 168 |
| | 145 | 5.1430 | 1.7461 | 1.6689 | 161 |
| | 205 | 3.7785 | 2.1713 | 2.2716 | 166 |
| | 245 | 3.0713 | 2.1126 | 2.7947 | 164 |

6.7倍,当空气层厚度小时,隔热材料中的空隙全部被静止的贴壁空气层占据,对流不占主要地位,以传导为主,故隔热材料的厚度引起热阻值变化较显著。静止空气覆盖面积的比例越大,材料热阻愈大。

图2所示,熔喷复合材料在轻定量时,相对聚丙烯超细纤维占数量比例也比较高,在厚度与涤纶喷胶棉接近情况下,它的保暖率和热阻均比涤纶喷胶棉大。随着聚丙烯超细纤维数量比例减小而保暖率相对就降低,其原因是复合材料中超细纤维数量多时,材料的单位面积中纤维比表面大大增加,同时纤维排列具有各向异性,结果空气沿纤维表面留在空隙里,细长的熔喷纤维使空间位置弯曲,限制了空气流通,削减了隔热材料的对流和辐射散热。

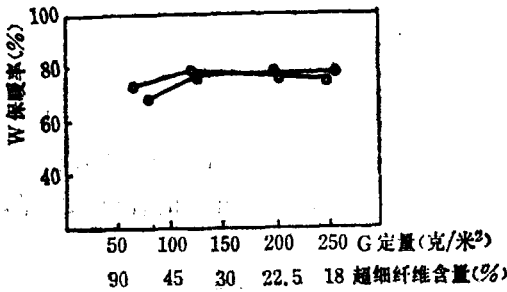


图2 隔热材料平方米重量与保暖率的关系

回归分析表明(见图3),熔喷复合材料的传热率随膨松率的增加而线性增加,相关系数 r 为 0.9527。涤纶喷胶棉的传热率与膨松率并非成线性关系,相关系数 r 为 0.8974,其临界相关系数 $r_{\alpha=0.01} = 0.9172$ 。假设空气呈单通道流动,非织造布隔热材料膨松率越大,材料

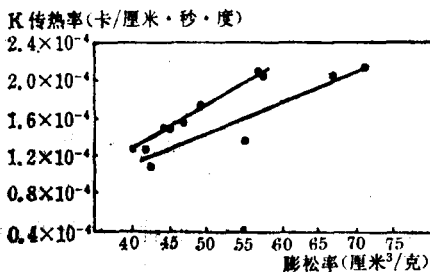


图3 隔热材料膨松率与传热率的关系

中对流传热量增加,对流热损失相应也越大。

涤纶喷胶棉是短纤维经机械铺网后,表面喷洒丙烯酸脂类化学粘剂干燥加固而成,纤维比较粗,结构膨松性比较大,透气量明显大于熔喷复合材料。根据波依希尔(Poiseuille)对粘性流体定义, $V/\Delta P = (1 - m/\rho V_0)^2 d^2 / (m/\rho V_0)^2 l \cdot 16R\eta$, 式中: ΔP 为压力降; V 为材料的单位面积上通过的空气容积; m 为材料质量; V_0 为材料的容积; ρ 为纤维密度; l 为材料的厚度; η 为空气粘度; d 为纤维直径; R 为纤维的形状系数。在气孔分布均匀的纺织材料中,织物外表的密度 m/V_0 和纤维直径 d 对织物的透气性具有最大影响,透气率随纤维直径的平方变化。

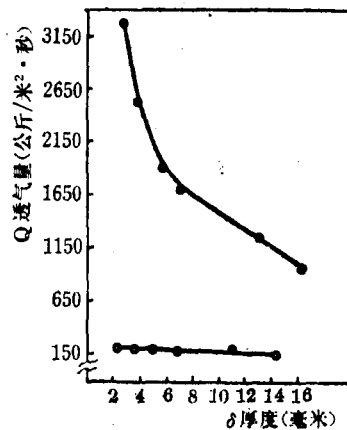


图4 隔热材料厚度与透气量的关系

图4表明,非织造隔热材料的透气量随着厚度增加而下降,熔喷复合材料的透气量与厚度的相关系数 r 为 -0.998,涤纶喷胶棉 r 为 -0.89。由于空气的传递也是属于质量的

传递,它是靠非织造布两侧的空气压力强迫空气分子通过材料,因此隔热材料的厚度增加,传递的通道相对减少,透气量下降。熔喷复合材料的透气量随厚度增加而下降很少,这是由于复合材料外表的密度和超细纤维细度等原因造成。非织造隔热材料的传热量随透气量增加而增加,见图5,熔喷复合材料透气量与传热量的相关系数 r 为 0.998,涤纶喷胶棉的相关系数 r 为 0.98。上述实验表明,熔喷复合材料具有良好的抗风防寒功能,同时材料中含有一定的涤纶纤维,保持了材料良好的回弹性和手