

太空棉的辐射系数测量和计算的探索

杨惠方 黄淑珍

(天津纺织工学院)

【摘要】 本文用平板型保暖仪来测定太空棉的辐射系数，从而探索这种测试和计算方法的可行性。

太空棉是由无纺布和镀金属的塑料薄膜复合而成的纺织保暖材料。根据人体与外界环境热交换的原理和太空棉的结构，不难发现太空棉能有效地减少人体的辐射热，故辐射系数是它的一个重要特性指标。

在不考虑出汗的条件下，人体以辐射、对流和传导三种形式与外界进行热交换。就我们测定的 12 块涤纶太空棉而言，按体积含空气

达 95% 以上，见表 1。

要理解太空棉的保暖特性就必须了解空气的保暖性能。图 1 是空气的厚度和它的热阻值的关系曲线^[1]。其中曲线 A 表示加热板为抛光金属板，即它的辐射系数相当小；曲线 B 表示加热板涂黑，即辐射系数接近于 1。两条曲线都表示当空气的厚度增加时，它的克罗值将随之增加。在靠近原点的一段几乎是一条直线，

表 1 试样的空气和涤纶体积比(%)

试样	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V_{a0}	95.46	95.88	96.03	95.75	95.69	95.39	95.43	95.32	95.35	95.80	95.67	95.64
V_{a25}	96.17	95.81	95.98	95.55	95.68	95.16	95.55	95.22	95.46	95.78	95.62	95.71
V_{f0}	4.54	4.12	3.97	4.25	4.31	4.61	4.57	4.68	4.65	4.20	4.33	4.36
V_{f25}	3.83	4.19	4.02	4.45	4.32	4.84	4.45	4.78	4.54	4.22	4.38	4.29

注： V_{a0} 、 V_{a25} 、 V_{f0} 、 V_{f25} 分别代表洗涤前和洗涤 25 次后试样的空气和涤纶的体积比。

斜率最大；随着厚度增大，仍呈直线状，只是它的斜率逐渐变小。当达到某一点后，热阻值反而有所下降，这是由于空气的对流和传导共同作用的结果。在厚度极小时，空气的低热传导率起主导作用，此时空气的厚度和热阻几乎成正比。随着厚度的增加，空气对流的作用逐渐增大，所以直线的斜率下降。到达一定厚度后，对流起主导作用，此时曲线呈水平而略有下降的趋势。从空气厚度和其热阻值的关系曲线，许多学者认为空气厚度在 5m/m 以下，它的对流作用可忽略不计^[1]。

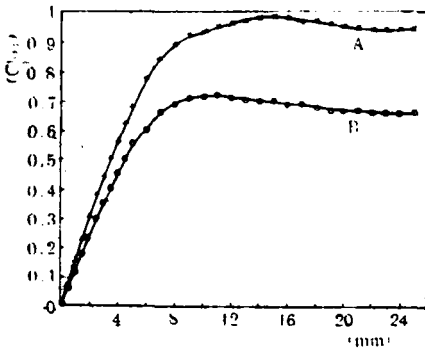


图 1 空气厚度和它的热阻值

我们所测的太空棉厚度在 2~4m/m，它由涤纶无纺布和涤纶镀膜所组成，内含的空气被纤维分隔成许多个细小的静止空间，它的保暖性类似于图 1 中靠近原点的曲线段，即有效地利用了空气的低热传导率，而天然纤维和合成纤维的热传导率是空气的 10~27 倍^[2]。在日常的温度范围内，人体是一个优良的辐射体，它的辐射系数为 0.98 ± 0.01 ，很接近于黑体^[3]。人体和外界的温差愈大，人体的辐射热损失就愈大。太空棉中的镀金属膜旨在降低它的辐射系数，即提高它的反射系数（辐射系数与反射系数之和为 1）。由上述分析可知，太空棉是充分利用空气低热传导率和降低它的辐射系数来达到它的优良保暖特性的。

一、探索测试太空棉辐射系数的途径

根据以上分析，热量通过太空棉主要以传导和辐射两种形式来传递，可用平板型保暖

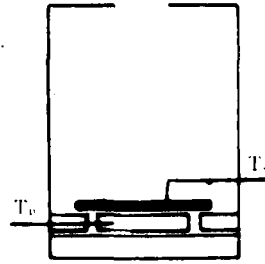


图 2 平板保暖仪测试太空棉示意图

仪，并测定太空棉的外表温度，附加一些普通的纺织仪器的测试，引入一些必要的公式，就能计算出太空棉的辐射系数，图 2 是保暖仪测试样的示意图。

保暖仪加热板涂黑并保持在 36°C ，这与人体皮肤散热的机理相似。平板保暖仪总的热损失是：

$$H_t = H_r + H_d = 1.05Nt_1 \quad (1)$$

式中： H_t 为总的热损失(焦)； H_r 为辐射热损失(焦)； H_d 为传导热损失(焦)； N 为加热板功率(瓦)； t_1 为累计加热时间(秒)。

1. 计算传导热损失

从传导的角度看，热量是通过太空棉中的涤纶纤维、涤纶膜、金属膜和空气传递出去的。其中铝膜的厚度仅 3~6 微米，它的热传导率约是纤维的三千倍^[3]，所以可以只考虑它的空气和涤纶的热传导。由于是空气和涤纶的混合物，由空气和涤纶的热传导率 K_a 、 K_f 可求出太空棉的热传导率 K 如下：

$$K = K_a \cdot V_a + K_f \cdot V_f \quad (2)$$

式中： K 为太空棉的热传导率(焦·厘米/米²·秒· $^\circ\text{C}$)； K_a 、 K_f 为空气、纤维的热传导率(单位同上)； V_a 、 V_f 为空气、纤维体积比(%)。

由热传导公式可求出传导热损失如下：

$$H_d = K \cdot A(T_p - T_s)10^{-4}t/d \quad (3)$$

式中： A 为加热板的面积(cm^2)； d 为太空棉的厚度(cm)； T_p 、 T_s 为加热板和太空棉外表面平均温度($^\circ\text{C}$)； t 为试验时间(秒)。

2. 计算太空棉的辐射系数 ϵ_1

由式(1)、(3)可求得 H_r ：

$$H_r = H_t - H_d \quad (4)$$

根据热辐射式(8)，

$$H_r = S \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 (T_1^4 - T_2^4) A t \quad (5)$$

式中： S 为辐射常数 = $5.74 \times 10^{-12} \text{W/cm}^2$ ；

表 2 太空棉的辐射系数和保暖率

试样	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ϵ_{10}	0.36	0.32	0.45	0.44	0.48	0.40	0.36	0.34	0.31	0.44	0.33	0.31
ϵ_{25}	0.60	0.52	0.47	0.47	0.56	0.46	0.54	0.47	0.44	0.57	0.47	0.47
Q_0	58.60	58.95	57.29	55.26	53.96	55.03	56.81	57.29	55.26	56.69	57.53	57.64
Q_{25}	49.45	49.37	49.56	50.58	49.50	49.17	50.31	49.87	49.56	50.56	49.17	50.06

注: ϵ_{10} 、 ϵ_{25} 分别为洗涤前和洗涤 25 次后的辐射系数; Q_0 、 Q_{25} 分别洗涤前和洗涤 25 次后的保暖率(%)。

ϵ_1 、 ϵ_2 为两物体的辐射系数 $\geq 0 \leq 1$; A 为热物体的有效辐射表面积 (cm^2); T_1 、 T_2 为两物体表面的绝对温度, $^{\circ}\text{K}$; t 为试验时间, 秒。

最后可计算太空棉的辐射系数 ϵ_1 ;

$$\epsilon_1 = H_1 / S \cdot \epsilon_2 \cdot (T_{pa}^4 - T_{sa}^4) A \cdot t \quad (6)$$

式中: ϵ_2 为加热板辐射系数、几乎等于 1, 取 1; T_{pa} 为加热板表面绝对温度 $^{\circ}\text{K}$; T_{sa} 为太空棉表面绝对温度 $^{\circ}\text{K}$ 。

二、测量结果和几点讨论

根据上述假设和推算, 测定了 12 块试样。在日本产 A. S. T. M. 保暖仪上测试了试样洗涤前和经 25 次洗涤后的辐射系数和它们相应的保暖率 Q_0 、 Q_{25} , 列于表 2。

表 2 中的保暖率是按该仪器所提供的公式计算的, 可见 ϵ_1 小时, 保暖率高, 反之亦然; 随着洗涤 25 次后 ϵ_1 增加, 即反射能力下降。

从理论分析和数学运算角度来看, 测定和计算太空棉和其它纺织材料的辐射系数是可行的, 惟在实际试验中仍会遇到一些具体问题。

1. 对太空棉或其他纺织材料热传导率的

计算: 目前只有杜帮公司测定的空气和几种纤维的热传导率, 这使使用式(2)发生困难, 好在合成纤维的热传导率比较接近, 可用相似的热传导率代替, 当然会影响试验结果的精度。

2. 应探索一种能比较精确测量纺织品外表面温度的手段, 以提高测量辐射系数的精度。我们用热电偶来测量, 觉得并不理想。

3. 试样在平板保暖仪上是在无外加压力的条件进行的, 因此用厚度计测量试样的厚度时, 应使用最小的压力, 以便求得较精确的空气和纤维的体积比。

参 考 资 料

- [1] A. C. Burton etc., «Manina Cold Environment», London, Edward Arnold (Publishers) Ltd, 1955.
- [2] H. Bogaty etc. «Some Thermal Properties of Fabrics», T. R. J, 27, 1957.
- [3] L. H. Newburgh «Physiology of Heat Regulation and the Science of clothing», Hafner Publishing Co. New York and London 1968.