

镀铝反辐射热材料隔热性能的研究

郭 红 夏正兴

(武汉纺织工学院) (中国纺织大学)

【摘要】 本文研究了镀铝反辐射材料在服装系统内隔热保暖特性, 分析并确定了镀铝材料在系统中的位置、方向、构形、层数和放置的条件对隔热效果的影响, 确定了较为理想的镀铝材料和较合理的放置方式, 为轻暖防寒用品的制备提供了有价值的参考数值。

镀铝材料是在高真空中将铝蒸汽镀在底布上, 形成的一种复合材料, 可用它制成轻暖的防寒用品。有人曾用涤纶薄膜作镀铝底布, 但制成服装后, 透气性, 柔软性差, 舒适性不好。本文试图用机织物作镀铝材料, 并按不同的放置方式和放置条件置于服装系统, 分析和测试该系统的隔热保暖特性。

一、镀铝材料提高保暖性的机理

辐射是人体热损失的一种主要方式。根据两平行平面之间的辐射换热公式, 热体和内表面的辐射换热量为:

$$q = C_n [(T_s/100)^4 - (T_i/100)^4] \text{Kcal/hr} \cdot \text{m}^2$$

式中: T_s 热体表面的温度($^{\circ}\text{K}$); T_i 为内表面的温度($^{\circ}\text{K}$); $A_n = 1/[(1/A_s) + (1/A_i) - 1]$ 为相当吸收系数; $C_n = 1/[(1/C_s) + (1/C_i) - (1/C_0)]$ 为相当辐射系数; C_0 为绝对黑体的辐射系数。

从上式可看出, 减小辐射换热表面的吸收率 A_s 和 A_i , 即增加其反射率, 辐射换热热量就会随之减少。而人体所产生的辐射是低温长波长的远红外辐射, 最大辐射强度所对应的波长为 $9.5\mu\text{m}$, 在这个范围内一切纺织材料几乎都近于黑体, 其反射率都低于 0.1, 只有金属材料具有高的反射率, 可达到 0.95。因此将铝蒸汽镀在织物或薄膜上形成与底布的复合材料, 作为服装的某一专层可将热体的辐射热反射回去, 减小辐射热损失, 提高服装的隔热保

暖性。

二、实 验

镀铝材料的制作是在真空镀膜机上进行的。在真空中将铝高温汽化, 蒸发出的铝蒸汽分子碰到温度远低于本身的底布时, 热量被传走, 蒸汽分子凝结为固体, 形成铝金属薄膜和底布的复合体—镀铝材料。为了降低铝的汽化温度, 减少铝蒸汽分子和气体分子的碰撞机会, 真空镀膜室的真空度在 10.4 托以上。

为了模拟冬服材料的多层结构, 将镀铝材料置于有里料、絮料、面料的服装系统中进行测定, 除特别注明外, 以下各实验的放置方式都为: 热板+10毫米空气层+镀铝材料+絮料+面料。絮料和面料分别为涤纶絮片(包括两种泡沫塑料)和涤棉府绸涂层防风布。用四种不同的镀铝材料: A 涤纶塔府绸镀铝, B 特纶绉镀铝, C 涤纶薄膜镀铝, D 涤影绉镀铝, 将这些镀铝材料定为 a 组, 不镀铝的底布定为 b 组。

保暖性能用日本制造的保暖仪测试。采用恒温法, 用维持热体恒温所需的能量表示隔热值的大小, 测量时, 将材料覆盖于热体上, 在热体和材料间留有一定的空气层。保暖性 CIO 值表示。

$$CIO = 0.002604 \cdot \Delta t \cdot \tau / 0.18T$$

式中： Δt 为试验板和环境之间的温差(°C)； τ 为试验板的散热时间(分钟)； T 为试验板的加热时间(分钟)。用保暖仪测出试验板温度，加热时间和散热时间，用多点数字计测空气温度。

三、结果和讨论

1. 镀铝材料的影响

经 NEM-1 型红外反射率测得各材料的红外反射率列于表 1。

表 1 不同镀铝材料的红外反射率和 CIO 值
Table 1 The Infrared reflection and CIO value of different aluminized material

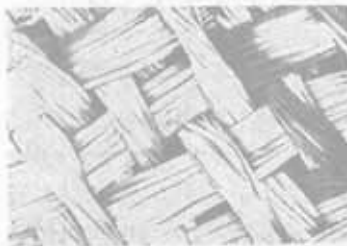
项 目	A		B		C		D	
	a	b	a	b	a	b	a	b
红外反射率	0.42	0.06	0.42	0.07	0.93	0.06	0.15	0.07
CIO 值	2.42	2.01	2.38	2.17	2.91	2.02	2.05	1.90
CIO 值提高 (%)	20		9.7		44		8	

为了比较这些材料在服装系统中的差异，它们置于系统中，测其保暖性。各系统 a 组的 CIO 值都大于相对应的 b 组 CIO 值，这四种材料经镀铝处理后，对减少辐射传递，提高系统的隔热值都有一定作用，但隔热效果不同。比较表 1 的数值发现，反射率高的镀铝材料置于系统后所起的隔热保暖作用大，如反射率为 0.93 的 C 材料所提高的保暖值为 0.89，反射率为 0.15 的 D 材料只提高 0.15 CIO。

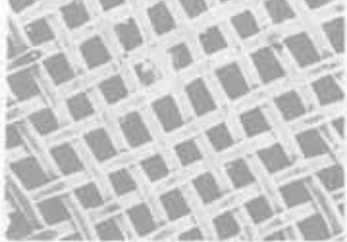
这些材料的隔热效果差异的主要原因是底布材料的密度和表面形态不同，从而导致铝膜反射率的差异(见图 1)。涤纶薄膜本身是一种表面平滑致密的材料，当铝粒子凝结在表面时，它的沉积率大，铝膜平坦均匀，形成了近似于镜面反射的连续铝膜，反射率达 0.93；涤纶塔府绸和特纶织物是经纬交织而成的材料，和薄膜相比，表面凹凸不平，并分布有均匀的孔洞，镀铝效果次于薄膜；涤影绉织物的孔眼大，很大一部分铝蒸汽分子通过孔眼穿透衬



(a) 涤纶塔府绸



(b) 特纶绉



(c) 涤影绉

图 1 三种镀铝材料的扫描电镜照片
Fig. 1 The electric scanning photos of three different aluminized material

底而无法沉积在底布上，形成的铝膜更是稀薄粗糙，反射效果最差。

2. 放置位置的影响

对 C 系统样品用图 2 的三种放置方式，测镀铝材料置于絮料里层、中间和外层时的 CIO 值。结果列于表 2。

经两总体的秩和检验可知，镀铝材料的隔热作用大小顺序为：里层、中层、外层。当把镀铝材料置于里层时，由热体发射的辐射热经空气层投射到镀铝材料的表面。空气是透热体，热体的辐射能 E_P 在投射到内表面铝层时，有 $E_P R_A$ 的能量反射回热体。铝层的反射率 R_A 越大，反射的能量越多，铝层的隔热效果也越好。当镀铝材料置于外层时，热体发射的辐射能经空气和絮料投射到镀铝材料表面上，设絮料的透过率为 D_B ，絮料透

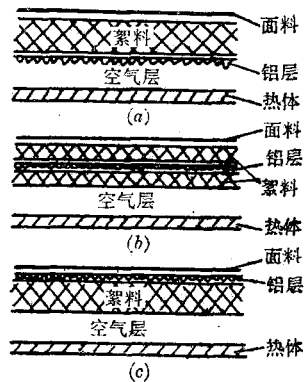


图 2 样品的放置方式

Fig. 2 The model of sample putting position

表2 放置位置和方向与C10值关系

Table 2 The relationship between C10 value and putting position as well as direction of sample

项目	放置位置			放置方向			
	里	中	外	面向热体		面向大气	
				a	b	a	b
C10值	4.81	4.65	4.54	2.91	2.02	2.59	2.01
方差	0.036	0.065	0.060	0.061	0.064	0.032	0.057

过的能量为 $E_P D_B$, $E_P D_B$ 经外层镀铝材料反射后, 产生的反射能 $E_P D_B R_A$ 在回到热体的过程中又要被絮料吸收部分能量, 回到热体的能量只有 $E_P R_A D_B^2$, 由于纺织材料对于红外辐射近似于黑体, 产生很少的反射和透射, $D_B^2 < 1$, $E_P R_A D_B^2 < E_P E_A$, 所以放在外层的镀铝材料隔热效果差。而放在中层的镀铝材料, 辐射热经过的絮料厚度仅为外层的一半, 故其隔热效果居中。当絮料透过率小到一定程度后, 镀铝层不仅反辐射无效, 还会因铝的良好导热性而使服装导热增加。当絮料的透过率为1时, 镀铝材料放在任何位置隔热效果都一样。

3. 放置方向

的影响

镀铝材料的铝面有图3所示的面向热体和面向大气两种。从表2可得出两点结论: 当镀铝材料的镀铝面向空气时, 整个系统的C10值同样因为铝材料存在而提高, 但是面向热体的C10增值大于面向空气的C10增值。这是因为物体的辐射热和其温度的4次方成正比, 热体表面温度为36℃, 比衣服外表面的温度高, 辐射能量也大得多; 同时, 面向大气时镀铝材

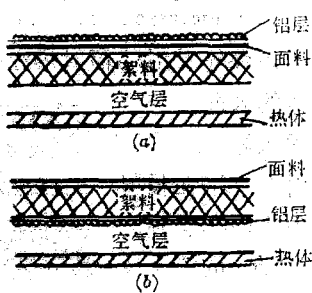


图3 铝层的放置方向
(a) 面向大气;
(b) 面向热体。

Fig. 3 The putting direction of aluminized layer a-toward air; b-toward hot body.

料是在絮料的外层, 而面向热体时, 是在絮料的里层, 由于絮料的吸收, 前者的隔热效果没有后者大; 另外, 面向大气时, 镀铝材料暴露于空气中, 受通风的影响, 对流热损失比面向热体时大, 故镀铝材料减少辐射热传递的效果不明显。

4. 空气隔热层的影响

改变热板和镀铝材料之间空气层厚度 δ 的结果见图4。图中的曲线b表明, 系统的C10值随空气隔层 δ 的增加而逐渐增加, 在10毫米厚度以后, 空气层再增厚, 隔热值反而降低。这是因为空气隔层大到一定程度引起对流换热的原因。在系统中的内层放置镀铝材料得到变化规律类似的曲线a, 只是纵坐标相应地向上移动了一定的C10值。(a-b)曲线表示由镀铝材料引起的C10提高值。

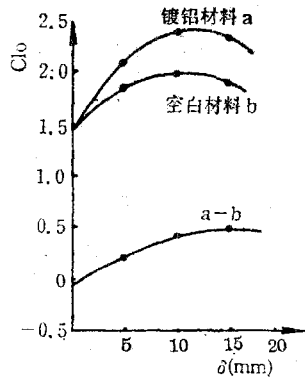


图4 C10值与空气厚度关系图

Fig. 4 The relationship between C10 value and thickness of air

当 $\delta = 0$ 时, 服装内层紧贴皮肤, 热体的热量基本靠传导方式向外传递, 由于铝的良好导热性而使镀铝材料的传导热损失比不镀铝的大, 从而使此时的(a-b)为负值。故用镀铝材料作服装内层时, 应有空气层或隔热材料将镀铝面和热体隔开。在实验的范围内, 空气层越厚, 镀铝材料所起的隔热效果越好。

5. 絮料密度的影响

在C系统中选用6种不同密度的絮料, 测镀铝材料的保暖性。以C10/毫米为纵座标, 密度为横座标得图5。在 $5.2 \text{ 千克/米}^3 \leq \rho \leq 8.5 \text{ 千克/米}^3$ 区域内(a-b)曲线的形状近乎于一条反比曲线, 随着密度的增加, C10急剧减小, 说明密度越大, 镀铝材料在系统中所起的隔热作用越小。在 $8.5 \text{ 千克/米}^3 \leq \rho \leq 17.2 \text{ 千克}$

/米³区域内, (a-b)曲线近乎一条水平线, 说明镀铝材料在系统中所起的隔热作用不随絮料密度变化。这是因为在结构紧密的材料中, 纤维所占比例大, 空气所占比例小, 因纤维的导热性远大于空气的导热性, 热量通过紧结构絮料时, 传导热是主体, 辐射热是次要的, 而疏松结构絮料传热的主要方式是通过辐射, 传导是次要的。镀铝材料阻断的只是辐射热, 所以在低密度絮料时, 镀铝隔热和提高保暖性能效果显著。

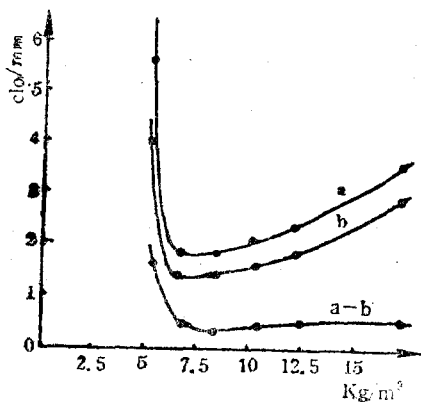


图 5 CIO 值与絮料密度的关系

a-镀铝材料; b-空白材料。

Fig. 5 The relationship between CIO value and the density of wadding

a-aluminized material; b-raw material.

四、结 论

1. 镀铝材料作为服装的某一专层可起到隔热保暖作用。选用表面光滑致密的涤纶织物作为底布, 反射高, 隔热效果好。

2. 涤纶薄膜镀铝材料作为内层面向热体时, 系统的 CIO 值提高 44%, 而作为外层面向冷体时只是提高 28.7%。因此, 镀铝材料应作为内层面向热体。

3. 镀铝面和空气层接触起到的隔热效果最大, 空气层临界厚度为 10 毫米时, 隔热效果最佳。镀铝材料不能直接紧贴于热体上。

4. 镀铝材料置于结构松的絮料中, 效果好, 故将低密度絮料、空气层和镀铝材料合理构成多层隔热系统, 可达到轻、暖的要求。

5. 镀铝材料不仅用于防寒服装还可用于睡袋、棉被、窗帘等防寒及救护用品, 近年来主要用于工业和军事, 将来可逐渐向民用推广。

在实验过程中得到中国服装功能测试中心, 特别是曹俊周同志的帮助, 特此致谢。

参 考 资 料

- [1] «Man Made Textiles», 1965, 7, 43.
- [2] «Third Shirley International Seminar», 1971.
- [3] AD-768715, 1973.