

金属棉服装保暖性能的质疑

吴植华

(中国纺织大学)

贾明

(上海飞达羽绒服厂)

【摘要】 本文对人体散热及服装热阻作了基本分析, 通过从丹麦引进的暖体假人身上对四种服装的热阻值作了测定。提出了对金属棉保暖效果的三点看法, 1. 所谓“金属棉的高保暖性是由于金属镀膜对人体辐射热量的反射, 从而减少人体散热量, 起到防寒保暖的作用”的说法是缺乏实验根据的; 2. 在冬季, 人们穿着金属棉服装感到其保暖性能好是由于其挡风, 防渗透作用所致; 3. 人体着装在常温领域内使用金属棉服装是没有意义的, 应将金属棉服装的应用与研究引导到高温和低温领域的特殊服装中的正常轨道上。

据介绍金属棉又称太空棉或宇航棉, 是一种表面镀有合金反射层的超轻薄高效的保暖材料。太空棉利用金属镀膜的反射作用将人体散发的热量返回人体, 从而产生高效保暖效果^[1]。

从传热学的观点来看, 上述说法是值得怀疑的。为此, 我们在丹麦引进的暖体假人上对四种服装的传热热阻(clo值)作了测定, 现将对人体散热及服装热阻的基本分析, 测定原理, 实验过程, 测定结果及分析意见综合如下:

一、对人体散热及服装热阻的基本分析

人体的散热主要依靠传导、对流、辐射和汗液的蒸发。热传导是指物质各部分之间没有相对位移, 由于直接接触而发生的能量传播现象; 对流是依靠流体的运动把热量由一处传递到另一处的传热现象; 热辐射是依靠物体表面对外发射可见和不可见的射线——电磁波而传递热量, 它是在空间中传递能量的现象, 其辐射热量与绝对温度的四次方成正比, 即:

$$E = \sigma T^4 \quad (1)$$

式中: E —辐射热量 w/m^2 ; σ —辐射常数 $w/m^2 \cdot K^4$; T —辐射体的绝对温度K。

由上述三种方式传递的热量是由温差引起的传热, 称显热。此外, 人体新陈代谢, 生理循环, 还有汗液蒸发。由汗液蒸发的散热量称潜热, 在冬季, 环境温度较低时, 人体的散热

方式主要是温差引起的显热传递, 汗液蒸发的潜热量很少。而在夏季, 人体温度与环境温差很小, 甚至环境温度高于人体温度, 此时人体散热方式主要依靠汗液蒸发的潜热。

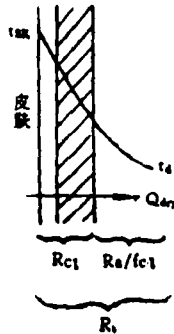


图1 人体热传递机理

冬季人体在着装状态下的传热, 首先是依靠人体对服装的传导, 其次是服装外表面和环境的对流和辐射, 再有少量的汗液蒸发穿透服装后散发至环境中。人体以显热方式的传热机理见图1。

设由人体和环境温差引起的显热传递量为 Q_{drv} ; 通常人体温度为 $36.5^\circ C$; 皮肤表面温度 t_{sk} 为 $33.5^\circ C$, 服装与人体间总有一薄层静止的空气层, 该空气层和着装与人体皮肤直接接触, 所以其传热方式为传导, 其导热热阻称服装本身热阻, 以 R_{cl} 表示, 而其辐射热阻由于直接接触, 其温差很小, 可以不计; 服装表面与周围环境的传热是由对流和辐射的复合传热, 其热阻为 R_0 , 此外还考虑到与着装状态有关的服装面积因子 f_{cl} 。根据丹麦工业大学测量研究结果:

$$f_{cl} = 1 + 0.25R_{cl} \quad (2)$$

这样, 由人体服装和环境组成系统的显热传热过程, 其热阻之间的关系如下式:

$$R_t = R_{cl} + (R_a / f_{cl}) \quad (3)$$

式中： R_t —假人体表面至环境总热阻。

人体由汗液蒸发散发的潜热主要决定于环境温度,人体的生理状态以及着装的透气性能,其传热传质过程是极其复杂的,目前对这方面的研究还不成熟,只能作些定性的分析。

二、暖体假人简介及服装热阻测定

1. 我们测定中应用的暖体假人,由丹麦工业技术大学热阻实验室制造的。该假人根据人体生理学的研究选定人体有代表性的散热点16个,每个散热点由电热丝加热至36.5℃,代表人体温度,并保证假人体表平均温度在32~33.5℃,手脚平均温度29.5℃,用玻璃纤维材料制造,外表覆盖聚酯纤维加厚保护层,暖体假人的肩、臂、膝等关节能够模拟人体相应关节的活动情况,因此,可以坐、卧、立等各种姿式。

该假人属变温暖体假人,其高168cm,体型为38号型,电加热,最大功率为156w/m²。假人设置于空调房内,环境温度可根据需要进行调节,送风量基本恒定,在空调机运行时,环境风速恒定为0.55m/s,在空调机不开时,环境温度随室外温度变化,风速小于0.15m/s。

2. 被测服装规格特点及单重

我们选定四种被测服装,其中三种是尺寸规格完全相同的衬衫,面料为65/35涤棉布,里料为尼龙丝,1*衬衫内衬70g/m²金属棉,金属镀膜贴里料;2*衬衫内衬70g/m²金属棉,金属镀膜贴面料;3*衬衫内衬70g/m²涤纶定型棉;4*为平下摆两用衫,内衬100g/m²腈纶中空棉,现将服装面料、里料,内衬单重及各种服装单重百分比列于表1。

3. 实验测定过程

(1) 打开空调机组,便于对环境温度 t_a 的调节和控制,并使风速恒定在 $V = 0.55\text{m/s}$,室内相对湿度 $\phi = 45\sim 60\%$ 之间, t_a 由低到高逐渐升温。

(2) 给暖体假人穿上内装(胸罩、衬衫、内

表1 被测服装面料里料内衬单重

款式	面料 (g/m ²)	里料 (g/m ²)	内衬 (g/m ²)	合计 (g/m ²)	百分比 (%)
1*	128	56.76	114	298.76	100
2*	128	56.76	114	298.76	100
3*	128	56.76	70	254.76	85.27
4*	185	56.76	100	341.76	114.39

注:1*、2*、3*为衬衫,4*为两用衫。

裤,棉毛裤,外裤)。

(3) 对暖体假人进行升温,使其体内温度达到恒定温度 $t = 36.5\text{℃}$,体表平均温度达到32~33.5℃,接近人体平均温度 $t_{sk} = 33.5\text{℃}$ 。

(4) 测定内部着装时的 t_a 与 Q_{dry} 数值,每测一个温度记录3~4次,要求每次稳定后再记录数据;记录 Q_{dry} 数值时,考虑到人体热平衡及舒适,要满足散热量 Q_{dry} 连续10次的测量结果之差小于0.3w/m², Q_{dry} 的大小应在30~80w/m²之间,“皮肤”温度 t_{sk} 在33.5℃左右,不能大于35℃,也不能太小,否则,实际人体都会处于发汗和发抖两种极端的情况下,测定结果列于表2。

表2 暖体假人穿着几种服装的测试数据

种类	环境干球温度 t_a (℃)	环境相对湿度 ϕ (%)	风速 v (m/s)	显热传热量 Q_{dry} (w/m ²)
内装	20.5	60	0.55	74.9
1*	20.5	60	0.55	61.7
2*	20.2	60	0.55	63.2
3*	20.5	60	0.55	63.1
4*	21.5	60	0.55	59.36
内装	19.2	60	<0.15	59.24
1*	12.75	66	<0.15	68.8
2*	13.0	66	<0.15	67.8
3*	12.45	66.5	<0.15	69.5

注:1*、2*、3*为衬衫,4*为两用衫。

(5) 在暖体假人内装的基础上,再穿上定制的衬衫或两用衫,重复(4)的测定,并记录有关的数据也列于表2。

(6) 将空调机关闭,重复(4)(5)的测定,

并记录有关数据一并列于表2。

三、测定数据的处理及计算结果

为了和其他文献对比,使用了clo单位来计算服装的热阻值: $1\text{clo} = 0.155\text{m}^2\text{K/w}$

测量全套服装热阻时,组合服装的热阻值可以从单件服装热阻值的计算中得到,计算时采用了ASHRAE推荐的计算公式:

$$R_{cl} = 0.82 \sum_{i=1}^n R_{ci} \quad (4)$$

式中: R_{ci} -单件服装热阻 clo; R_{cl} -组合服装热阻。

由表2测出 t_a 、 Q_{dry} 后,应用上述公式(2)(3)(4)及暖体假人说明书中所述 R_t' 、 R_{cl} 两个公式,求解总热阻及其他各项热阻值。

暖体假人说明书中所述两个公式:

$$R_t' = \frac{t_i - t_a}{0.155Q_{dry}} \quad (5)$$

$$R_{cl} = R_t' - R_s - R_a / f_{cl} \quad (6)$$

式中: R_t' -暖体假人体内到环境的总热阻; t_a -环境温度 $^{\circ}\text{C}$; t_i -暖体假人的体内温度 $^{\circ}\text{C}$; 控制在 36.5°C ; R_s -暖体假人外壳的热阻 clo, 对于暖体假人是个常数, $R_s = 0.348\text{clo}$ 。

根据理论研究,表面空气层热阻 R_a 只与风速有关,我们曾在裸体状态和风速为 0.55m/s 时,改变环境温度 t_a ,测定在各种 t_a 下的 Q_{dry} ,并根据上述公式计算出 R_t' ,扣除 R_s 后

得出的 R_a 值。从实验结果看出, t_a 对 R_a 关系很小。我们曾对测定和计算出的 R_a 数据,进行最佳拟合,在 $V = 0.55\text{m/s}$ 时,得出拟合方程为: $R_a = 0.3804 + 7.0 \times 10^{-4} t_a$ 。这次我们对四套服装测定时引用了原拟合的直线方程,并将计算出的 R_a 列入表3。

我们曾在关闭空调机(风速小于 0.15m/s) 时,测出各种 t_a 下的 Q_{dry} 值,并应用同样方法得出 R_a 。实验证明:各种 t_a 下 R_a 数据接近,我们取其平均值为 0.88clo 。根据上述五个公式,将测定结果列于表3。

四、测定结果分析与研究

1. 从三种衬衫测定结果看出,金属膜正放、反放热阻值差不多,无金属镀膜较有金属镀膜热阻值减少很小(在风速 0.55m/s 时减少 7.55% ,在风速 $< 0.15\text{m/s}$ 时减少不到 1%)。而其单重却可减少 14.73% 。再从有金属镀膜衬衫和无金属镀膜的两用衫比较,两用衫的单重增加仅 14.39% ,而热阻值却增加 22.64% 。显然,内衬为 100g 的腈纶中空棉的两用衫单位重量的热阻值最高,保暖性最好;无金属镀膜内衬 70g 涤纶定型棉次之,内衬有金属镀膜的涤纶定型棉最差。由此可以得出结论,金属镀膜使服装单重增加很大,而对服装热阻值影响很小,所谓金属棉的高保暖性是由于金属镀膜对人体辐射热量的反射,从而减少

表3 暖体假人穿着几种服装的测试结果

种类	表面空气层热阻 R_a clo	体表到环境总热阻 R_t' clo	着装总热阻 ΣR_{cl} clo	外装热阻 R_{cl} clo	外装热阻百分率 %	外装热阻差异率 %	外装重量 %	外装重量差异率 %
内装	0.395	1.03	0.695					
1*衬衫	0.395	1.32	1.000	0.53	100	0	100	0
2*衬衫	0.395	1.31	0.996	0.52	98.11	-1.89	100	0
3*衬衫	0.395	1.29	0.971	0.49	92.45	-7.55	85.27	-14.73
4*两用衫	0.395	1.391	1.080	0.65	122.64	+22.64	114.39	+14.39
内装	0.88	1.53	0.796					
1*衬衫	0.88	1.879	1.202	0.6698	100	0	100	0
2*衬衫	0.88	1.88	1.204	0.672	100.33	+0.33	100	0
3*衬衫	0.88	1.875	1.198	0.6647	99.24	-0.76	85.27	-14.73

人体散热量，起到防寒保暖的作用的说法是缺乏实验根据的。

2. 风速增加，表面空气层热阻和服装本身热阻值都显著减少，由表4可以看出，风速由0.15m/s增至0.55m/s，表面空气层热阻减少44.89%，其原因是显而易见的。而服装本身热阻值也随风速增加而减少，对无金属镀膜的衬衫减少更多，可以认为，这是由于风速增加，服装的透气性增加，散热量增加使热阻减少。而无金属镀膜的衬衫，由于没有金属镀膜的挡风和防渗透作用，使其热阻值降低更多。由此可以推测，当风速更大时，服装热阻将降低更多，金属镀膜对服装的挡风和防渗透作用就更明显。在冬季人们穿着金属棉服装感到其保暖性好是由于其挡风、防渗透作用所致。

表4 风速对热阻值的影响

种类	$v < 0.15\text{m/s}$		$v = 0.55\text{m/s}$		$\frac{R'_a}{R_a} (\%)$	$\frac{R'_{cl}}{R_{cl}} (\%)$
	R_a	R_{cl}	R'_a	R'_{cl}		
1*	0.88	0.6698	0.395	0.53	44.89	79.13
2*	0.88	0.6720	0.395	0.52	44.89	77.38
3*	0.88	0.6647	0.395	0.49	44.89	73.72

注：1*、2*、3*为衬衫。

3. 人体和环境的辐射换热量可理解为无限大的空腔与内仓壁面之间的辐射换热，其换热量为：

$$Q_{12} = C_1 F_1 [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] W \quad (7)$$

式中： C_1 -人体着装的辐射系数 $C_1 = \epsilon_1 C_0$ ； ϵ_1 -人体着装的黑度 $C_0 = 5.67\text{w/m}^2\text{K}^4$ ； T_1 -着装表面绝对温度 K； T_2 -环境平均辐射温度 K； F_1 -人体表面积 m^2 。

人体着装在常温领域内 T_1 、 T_2 差异很小，所以其辐射换热量很小，而在高温和低温领域内金属镀膜的防辐射作用是很显著的，常用棉制品的服装黑度 $\epsilon = 0.90$ ，金属镀膜的 黑度 $\epsilon = 0.2$ ，由公式(7)可知，其辐射换热量可减至22%，所以笔者认为：人体着装在常温领域内使用金属棉服装是没有意义的，应将金属棉服装研究引导到高温和低温领域内的特殊服装的开发和应用中，金属镀膜面应向外，且不能有复盖层，这样可以充分发挥金属镀膜的防辐射作用。

参 考 资 料

- [1] 《纺织科普》，1991, No. 21, p.2.
- [2] 魏润伯等，《人、环境、服装》，p.6, 同济大学出版社，1988.