

# 织物热防护中的吸热特性研究

万志琴

(惠州学院,惠州,516015)

摘要:通过建立织物吸热特性理论基本方程,导出织物吸热特性为数学指数曲线,研究多种不同原料、不同结构参数织物的吸热特性,分析各种因素对织物防护性能的影响。

关键词:热辐射 纺织品 防护服 吸热特性

中图分类号:TS 101.3 文献标识码:A 文章编号:0253-9721(2004)02-0043-04

随着现代工业的发展,大气的污染日益严重,热辐射成为人体受热危害的重要来源,而纺织品的热防护性能也一直是人们非常关注的问题。经过多年的研究,在织物热防护、阻燃性研究领域里已取得丰硕的成果,如高性能耐热高温纤维及其织物日益增多,但这些研究主要集中在织物的反射率上。本文从织物透热和吸热特性角度分析和研究在具有热辐射源的环境下,织物对人体热辐射的防护能力与织物结构之间的关系。

## 1 织物吸热特性理论基本方程的建立

当辐射热源以一定的辐射强度照射到织物表面时,辐射热一部分被反射,一部分透过织物,另一部分则被织物吸收形成二次辐射热源,向外辐射热射线。后二部分总的辐射热量经聚焦后被吸热器吸收,同时为使系统达到瞬时热平衡,吸热器本身也会向外散发热量。因此,透过织物的总的辐射热量  $I_0$  ( $w$ ) 等于吸热器升温热量  $Q_1$  和散热量  $Q_2$  之和。即:

$$I_0 = Q_1 + Q_2 = m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} + k(T - T_0) \quad (1)$$

式中,  $m$  为吸热器质量 ( $kg$ ),  $T$  为被测温度 ( $^{\circ}C$ ),  $C_p$  为吸热器比热 ( $kJ/kg \cdot ^{\circ}C$ ),  $T_0$  为环境温度 ( $^{\circ}C$ ),  $k$  为散热系数 ( $kJ/s \cdot ^{\circ}C$ ),  $t$  为时间 ( $s$ )。

由式(1)求解,可得

$$T - T_0 = (I_0/k)[1 - \exp(-kt/mC_p)]$$

若  $a = I_0/k$ ,  $b = k/m \cdot C_p$ , 则

$$T - T_0 = a(1 - e^{-bt}) \quad (2)$$

由式(2)看出,织物吸热特性曲线按指数规律变化。

## 2 实验测试

### 2.1 测试仪器

织物吸热特性曲线的测试是在西安科技工程学院自制的织物防辐射热性能测试仪上进行<sup>[1]</sup>。

### 2.2 测试条件

在室温  $20^{\circ}C$  环境下进行,辐射热源电压  $U$  为  $60V$ ,辐射强度为  $1.277 kW/m^2$ ,与样品的距离为  $13.5cm$ ,测试样品的温度在  $0 \sim 135^{\circ}C$  范围内,样品直径为  $5cm$ ,有效透射孔径为  $4.5cm$ ,测试面积为  $15.9cm^2$ 。

### 2.3 测试结果

测试样品时,分别选取了棉、毛、化纤及玻璃纤维织物、涂层织物、预氧化纤维织物等进行了筛选,这样有利于分析不同织物的吸热特性,同时也能分析织物结构参数对其的影响。测试指标结果和试样的规格参数汇总于表1中。

## 3 结果与讨论

### 3.1 不同辐射强度下织物吸热特性

对平纹 T65/C35 布 ( $13^T \times 13^T$ , 433 根/10 cm  $\times$  300 根/10 cm) 测试热源电压  $U$  分别为  $55V$ 、 $65V$ 、 $75V$  3 种情况下织物的吸热特性曲线,如图1所示。从图1可知,初始阶段趋势基本为指数曲线,以后由于加入了织物 2 次辐射曲线稍有变直趋势。且辐射强度越低,热穿透能力也越强,曲线接近直线,同时织物的防热时间也迅速减小。

对图1中加入 2 次辐射以前的进行了非线性回归,回归方程列于表2中。

### 3.2 不同纤维和后整理织物的吸热特性的对比

从表1中选取了 15 块有代表性的试样,它们的防热时间依次为  $46^{\#} > 44^{\#} > 42^{\#} > 40^{\#} > 39^{\#} > 4^{\#} > 28^{\#} > 41^{\#} > 37^{\#} > 17^{\#} > 43^{\#} > 14^{\#} > 27^{\#} > 34^{\#} > 26^{\#}$ 。其中,  $46^{\#}$  和  $44^{\#}$  为复合织物,分别用无纺布和预氧化纤维镀铝复合而成,相比之下,没有经过后整理的  $43^{\#}$  试样的防热性能差得多;经过涂层又轧光整理的  $40^{\#}$  试样则优于仅仅进行涂层的  $39^{\#}$  和完全没有经过后整理的  $37^{\#}$ 。贴铝膜纺织品  $44^{\#}$  的防辐射能力强于镀铝纺织品  $47^{\#}$  的防辐射能力。

表1 测试结果汇总

编号	织物名称	纱线原料	厚度 (mm)	面密度 (g/m <sup>2</sup> )	体积密度 (kg/m <sup>3</sup> )	透气性 (L/m <sup>2</sup> ·s)	$t_q$ (s)	$T_p$ (J/m <sup>2</sup> )	$T_s$ (J/g)
1 <sup>#</sup>	花呢	毛 45 涤 55	0.334	210	628.7	207.5	422.5	539.5	2.569
2 <sup>#</sup>	花呢	毛 30 涤 70	0.481	237	492.7		441.2	563.3	2.377
3 <sup>#</sup>	花呢	毛	0.503	227	391.4	72.0	437.9	558.9	2.462
4 <sup>#</sup>	花呢	毛	0.567	239	421.5		441.3	563.5	2.358
5 <sup>#</sup>	花呢	毛	1.176	265	225.3	351	433.0	552.9	2.005
6 <sup>#</sup>	花呢	毛	0.539	252	467.5		436.4	557.3	2.212
7 <sup>#</sup>	格花呢	毛 40 涤 60	0.350	154	430.2	317.5	420.7	537.2	3.488
8 <sup>#</sup>	舍味呢	毛 45 涤 55	0.515	251	487.4	37.2	433.0	552.9	2.203
9 <sup>#</sup>	舍味呢	毛	0.651	255	391.7	46.8	450.2	574.9	2.255
10 <sup>#</sup>	薄花呢	毛 47 涤 53	0.324	158	487.7	247	415.0	530.0	3.354
11 <sup>#</sup>	薄花呢	毛 47 涤 53	0.263	130	494.3	378	416.4	531.7	4.090
12 <sup>#</sup>	牙签呢	毛 50 涤 50	0.622	207	467.4	67.2	435.1	555.6	1.936
13 <sup>#</sup>	牙签呢	毛	0.799	313	391.7	111.1	468.5	588.1	1.879
14 <sup>#</sup>	华达呢	涤纶	0.583	154.9	265.7	262.3	425.8	543.7	3.510
15 <sup>#</sup>	华达呢	毛	0.717	328	475.5	49.8	439.4	651.1	1.711
16 <sup>#</sup>	华达呢	毛	0.741	305	411.6	46.2	455.9	582.2	1.909
17 <sup>#</sup>	华达呢	毛 50 涤 50	0.566	274	484.1	48.4	430.4	459.6	2.006
18 <sup>#</sup>	高尔夫呢	涤纶	0.614	216.6	352.8	366.7	412.9	527.3	2.434
19 <sup>#</sup>	巴拿马	涤 65 粘 35	0.592	205	481.4	208.4	415.5	530.5	1.862
20 <sup>#</sup>	派力司	毛 40 涤 60	0.303	151	498.3		419.7	536.0	3.550
21 <sup>#</sup>	派力司	毛 45 涤 55	0.311	190	610.9	275	417.7	533.4	2.007
22 <sup>#</sup>	凡立丁	毛 45 涤 55	0.356	190	533.7		411.1	525.0	2.763
23 <sup>#</sup>	凡立丁	毛	0.337	145	430.3	224	422.4	539.4	3.720
24 <sup>#</sup>	凡立丁	毛	0.406	100	443.3	248	426.7	544.1	3.023
25 <sup>#</sup>	巧克丁	涤纶	0.733	450.8	613.9	258.5	436.1	556.9	1.230
26 <sup>#</sup>	涤麻布	涤麻	0.283	130.6	409.8		405.6	518.0	3.737
27 <sup>#</sup>	顺宇绉	丝	0.200	53.6	191.7	316.8	412.2	526.4	9.821
28 <sup>#</sup>	素软缎	丝,人丝	0.352	169.6	481.7	139.3	436.5	557.4	3.287
29 <sup>#</sup>	线绉	人丝,棉	0.235	113.7	483.8	359.3	410.6	524.3	4.609
30 <sup>#</sup>	羽纱	人丝,棉	0.234	111.5	476.3	243.3	410.4	524.1	4.700
31 <sup>#</sup>	尼龙提花绸	锦纶	0.200	83.2	416.6	223.2	404.9	517.1	6.215
32 <sup>#</sup>	尼龙绸	锦纶	0.124	61.7	487.6	215.5	398.0	508.2	8.240
33 <sup>#</sup>	衬衣料	毛	0.593	187	315.3	239	432.8	552.7	2.956
34 <sup>#</sup>	漂白细平布	棉	0.294	90.7	308.5	473.8	410.7	524.5	5.783
35 <sup>#</sup>	细布	涤 65 棉 35	0.253	90.3	384.6	374.3	412.5	526.8	5.414
36 <sup>#</sup>	细布	涤 65 棉 35	0.236	94.4	400.0	419.7	414.9	529.8	5.612
37 <sup>#</sup>	印花布	涤 65 棉 35	0.237	103.3	435.9	283.3	431.4	550.9	5.333
38 <sup>#</sup>	涂层细布	涤 65 棉 35	0.262	127.3	485.9		429.4	548.3	4.307
39 <sup>#</sup>	印花涂层布	涤 65 棉 35	0.255	125.0	490.2		442.7	565.3	4.522
40 <sup>#</sup>	涂层轧光布	涤 65 棉 35	0.200	135.3	676.5		452.1	577.3	4.267
41 <sup>#</sup>	三防织物	棉	0.464	275	492.7		435.9	556.6	2.024
42 <sup>#</sup>	玻璃纤维布	玻璃纤维	0.117	115	983	157.6	452.7	578.3	5.027
43 <sup>#</sup>	预氧化纤维织物	腈纶	0.516	272.6	532.9		428.5	547.2	2.007
44 <sup>#</sup>	预氧丝布镀铝	腈纶	0.435				474.6	606.1	
45 <sup>#</sup>	平绒	棉	1.194	297.5	244.1		444.7	567.9	1.946
46 <sup>#</sup>	太空棉		3.020	203	67.0		492.2	628.9	3.096
47 <sup>#</sup>	铝箔		0.050	29.7	594		640.0	817.3	27.52

注:表中  $t_q$  为防热时间(s),  $T_p$  为防热量(J/m<sup>2</sup>),  $T_s$  为相对防热量(J/g)。

表2 不同辐射强度下的回归方程与相关系数

U (V)	常压条件下		真空条件下	
	回归方程	相关关系	回归方程	相关关系
55	$T - T_0 = 0.109207(1 - e^{-0.005107t})$	0.91642	$T - T_0 = 0.049866(1 - e^{-0.04477t})$	0.85189
65	$T - T_0 = 0.085868(1 - e^{-0.006593t})$	0.93308	$T - T_0 = 0.063204(1 - e^{-0.09301t})$	0.89770
75	$T - T_0 = 0.081158(1 - e^{-0.007881t})$	0.93708	$T - T_0 = 0.06928(1 - e^{-0.12401t})$	0.91348

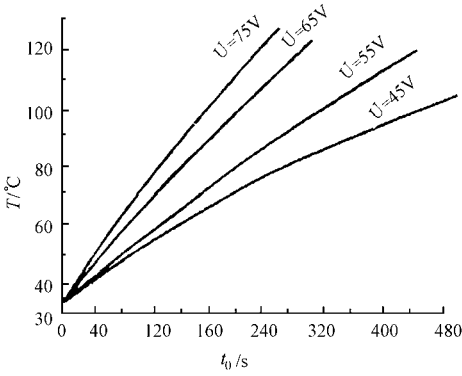


图1 不同辐射强度对织物吸热升温曲线

实验表明织物表面的光泽平滑度能提高织物对热射线的反射能力,防热性能好。适当的后整理对热防护起着相当重要的作用,且后整理方式不同效果也不同,如41#和34#试样。对于非明火下的高温热防护织物采用镀铝整理也是行之有效的方法。

从纤维本身特性来看,玻璃纤维织物42#具有良好的防辐射热性能,纯毛织物4#优于毛涤17#和纯涤纶织物14#,说明纤维性能是影响织物防辐射热的另一重要因素。

由此表明,采用高性能防辐射功能纤维和经过织物后整理,可提高织物的防辐射热性能。

### 3.3 织物结构参数对吸热特性的影响

织物面密度、厚度、体积密度、透气性与防热时间的相关性如图2、图3、图4、图5所示。经统计分析,得出的一系列回归方程列于表3。

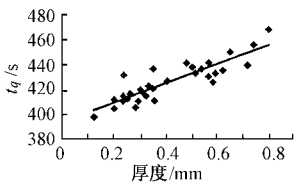


图2 织物厚度对 tq 值的影响

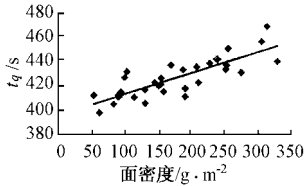


图3 织物面密度对 tq 值的影响

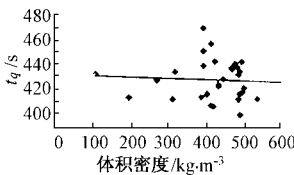


图4 织物体积密度对 tq 值的影响

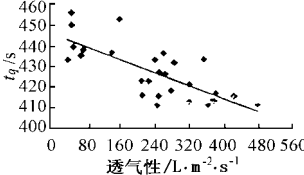


图5 织物透气性对 tq 值的影响

从表3和图2、图3、图4、图5可知:1) 织物防热时间与织物厚度、重量均有明显的正比例关系,织物越厚越重,所含纤维愈多,纺织纤维材料越不易透过辐射热,防热时间越长。2) 织物的透气性与防热时间之间具有明显的负相关性。即织物透气性愈好,织物愈疏松,辐射热愈容易直接透过。3) 织物的体

积密度与织物厚度成反比而与织物面密度成正比。织物体积密度对防热时间没有影响,从相关图也可看出它们之间没有明显的规律性。

表3 吸热特性与织物结构参数回归方程及相关系数

织物结构参数	回归方程	相关系数
厚度(mm)	$t_q = 393.789 + 76.0485 T$	0.88434
面密度( $g/m^2$ )	$t_q = 396.6599 + 0.1564 G$	0.80577
透气性( $L/m^2 \cdot s$ )	$t_q = 449.5341 - 9.051189 \times 10^{-2} Q$	0.80798
体积密度( $kg/m^3$ )	$\tau = 0.600$ mm左右时, $t_q = 409.3018 + 0.727 \delta$	0.73697

当然,织物的组织结构的如织物组织、厚度、透气性能等仅仅是影响热辐射透过率的主要因素,但并不影响织物本身的吸热率(或热发射率)。

### 3.4 复合织物正反面及单层织物与复合织物测试结果比较

单层织物和复合织物的吸热特性曲线如图6所示,后者明显优于前者。

织物受到外界辐射热照射时,对热射线的反射与吸收受材料表面状态的影响。表4列出了3种织物正反面吸热特性的差异。由此可知织物表面光滑的一面和平绒正面的防热性能好。

表4 复合织物正反面测试结果比较

织物名称	防热时间(s)	
	正面	反面
预氧丝织物镀铝	474.6	459.7
太空棉	492.2	468.4
平绒	444.7	430.5

### 3.5 真空条件下不同辐射强度的织物吸热特性

在真空度为0.085 MPa时,辐射热源电压分别为55V、65V、75V3种情况下对织物吸热特性进行测试及非线性回归,其结果如图7所示。

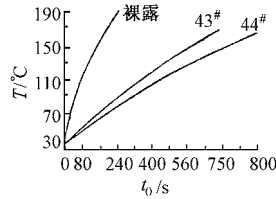


图6 单层织物和复合织物吸热曲线

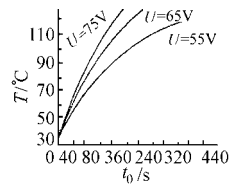


图7 真空下不同辐射强度时织物吸热曲线

## 4 结论

1. 织物的吸热特性呈指数曲线,当加入2次辐射的影响后,略有变直,符合理论推导的结果。
2. 组成织物的纤维和后整理是影响织物吸热特性的主要因素。
3. 织物的防热时间与织物的厚度、面密度有明

显的正相关性;与织物的透气性呈负相关性;而体积密度对其则无影响。复合织物正反面的防热时间间接地说明了织物表面光泽的影响。

4.真空条件下,不同辐射强度,织物的吸热曲线变化规律相同,较接近于指数规律。

## 参 考 文 献

- 1 李 璠等.织物防辐射热性能的研究.西北纺织工学院学报, 1991(2-3):213~216.
- 2 万志琴.织物有效辐射系数的理论探讨与实验研究.纺织学报, 1999(4):28~30.
- 3 潘 莺等.机织物防热辐射性能的研究.上海纺织科技,1998(1):54~55.