

# 红外光线对纺织材料透射性能的研究

徐卫林 张保国 姚 穆

石天威

(西北纺织学院)

(台湾逢甲大学)

**【摘要】** 本文研究了多种不同原材料、不同结构参数及不同平方米重织物的红外透射性能,推导了用透射率计算不同织物的红外反射率的公式,分析了影响红外光线在织物中透射和反射性能的因素。

## 一、前 言

从理论上讲,纺织纤维是红外的透明体,它穿透纤维时应服从朗伯-比尔(Lambert-Beer)定律,但由于当光线照射纤维时存在多次内反射、透射和吸收,所以使得纤维的集合体—织物和纱线对红外的反射、透射和吸收性能较为复杂。本文重点研究红外对纺织材料集合体的透射性能,并找出反射与透射光的比例关系。

## 二、红外线对纺织材料透射性能的分析

设纤维为圆柱形截面(参见图 1),则光线  $I_0$  入射纤维时将在纤维表面产生反射,进入纤维内部的光线发生多次的内反射和部分光线的折射透出纤维,并伴随部分能量的被吸收转化成潜在的热能。当纤维构成纱线和织物时,由于从纤维中射出的光线各方向都有,光线在纤维与纤维间就形成多次的透射、反射和内反射。因此,一方面由于纤维表面反射和出射光线各方向都有,故无法从理论上准确划分反射光线与经纤维透射的光线,而从实际角度看,当光源垂直照射纤维集合体平面时,就将它划分为反射半球和透射半球,透射半球中所有的出射光都当作透射光;另一方面由于纤维集合体中多次内反射导致能量的衰减,使透出织物的光线的能量与入射织物的能量的关系不完全服从朗伯-比尔定律,反射出织物的光线也属漫反射性质,织物所吸收的能量也将大于理想等质量相同材料的均匀薄膜所能吸收的能量。

作为理论分析,设织物为均匀等厚的介质,

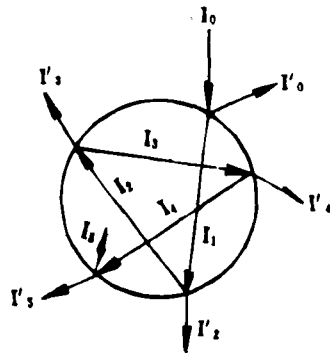


图 1 红外光线入射纤维时行踪图

则光线入射织物后将发生三种现象(参见图 2):吸收、反射和透射,设它们的系数分别为  $\alpha_A, \alpha_R, \alpha_T$ , 则存在下列关系式:

$$\alpha_A + \alpha_R + \alpha_T = 1 \quad (1)$$

式中:  $\alpha_A = I_A/I_0$ ;  $\alpha_R = I_R/I_0$ ;  $\alpha_T = I_T/I_0$ 。

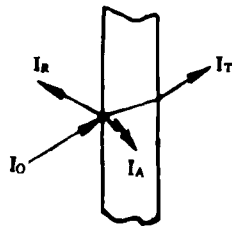


图 2 红外光线入射织物后能量分布示意图

当两层织物叠在一起时,则结构较为紧密的两织物表面之间将会存在光线的多次反射,(参见图 3),设透

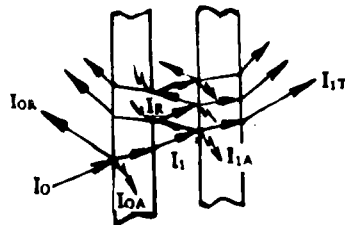


图 3 两层织物间的光线多次反射情况

过第一层织物的光强为  $I_1$ , 由于  $I_1$  射向第二层织物表面时有部分能量反射至第一层织物后表面,并再多次如此反射、透射和吸收,故实际进入织物第二层前表面的能量  $I_{10}$  为:

$I_{10} = I_1 + I_1\alpha_R^2 + I_1\alpha_R^4 + I_1\alpha_R^6 + I_1\alpha_R^8 + \dots$   
按级数求和可得

$$I_{10} = I_1 / (1 - \alpha_R^2) \quad (2)$$

从第一层织物前表面反射出的能量也将有增加,反射光的总量  $I_{OR}$  为:

$$I_{OR} = I_o \cdot \alpha_R + I_1\alpha_R \cdot \alpha_T / (1 - \alpha_R^2) \quad (3)$$

当两层织物叠在一起时,有下列两式成立:

$$I_1 / I_o = \alpha_T \quad (4)$$

$$I_2 / I_1 / (1 - \alpha_R^2) = \alpha_T \quad (5)$$

式中:  $I_2$  指两层叠合后透射出第二层的能量。

由式(4)、(5)解得:

$$\alpha_T = I_1 / I_o \quad (6)$$

$$\alpha_R = \sqrt{1 - (I_2^2 / I_o \cdot I_1)} \quad (7)$$

以上分析中未考虑实际织物内部纤维间的反射。也可将织物分解成多层薄纤维层的集合

体,当织物较薄(即透射量较大)时,则织物可简单地被看成一层的集合体,即如上面的分析那样;当织物较厚时,不能当作一薄层,而应分解成多个薄层,所以织物之间的反射量的变化也不象上面分析的那样显著,此时可用以下公式:

$$\alpha_T = I_2 / I_1 = I_1 / I_o (1 - \alpha_R) \quad (8)$$

即 
$$\alpha_R = 1 - (I_2^2 / I_o I_1) \quad (9)$$

多层织物叠在一起时,其内部透射规律将更为复杂,在此不作分析。

### 三、红外线对织物透射性能的测试

用波长在  $2.4\mu\text{m}$  左右的红外光源,照射到织物表面的光强为  $I_o = 640\text{W}/\text{m}^2$ ,测试多种织物的 1~4 层的透射光强,织物名称及有关参数和测试结果见表 1。

表 1 各种织物的有关参数和测试结果(I 的单位为  $\text{W}/\text{m}^2$ )

织物名称	平方米重 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$\alpha_R$ (%)	$\alpha_T$ (%)	a	b
纯棉平纹布	0.1094	185	84	50	32	60.6	28.7	407.8	0.790
针织棉毛布	0.1914	90	37	22	14	66.1	14.0	218.0	0.890
毛凡立丁	0.1836	175	71	40	28	57.5	27.2	431.1	0.902
真丝双绉	0.0879	192	94	61	40	62.5	29.8	392.4	0.714
涤纶平纹绸	0.1133	165	77	45	31	67.1	25.6	354.0	0.762
涤纶哗叽	0.2305	176	71	38	26	56.8	27.3	436.0	0.908
粘纤平纹布	0.1133	206	103	60	41	60.0	32.0	412.0	0.693
涤棉平纹布	0.0977	256	149	93	64	56.3	39.8	440.0	0.540
氧化锆丙纶絮片	0.1367	174	78	36	18	63.0	27.0	388.0	0.802
碳化锆涤纶絮片	0.1055	202	98	48	24	59.5	31.4	416.0	0.723
碳化锆纤维针织起绒布	0.2852	59	18			70.0	9.1	193.3	1.187
氧化锆纤维针织布	0.7857	24	3			70.0	7.2	192.0	2.080
陶瓷涂层织物	0.0781	51	35	18	14	88.5	12.5	74.3	0.376

表 1 中,  $I_1, I_2, I_3, I_4$  的值按  $I_n = ae^{-bn}$  回归, 它们的相关系数都在 0.98 以上,因此透射光衰减规律仍符合朗伯-比尔定律,但其相应的  $I_o$  则不相等,表中 a、b 值系用  $I_1, I_2$  算得。

根据以上分析,表 1 中透射量大于 20% 的薄织物的  $\alpha_T, \alpha_R$  用式 6、7 计算,透射量小于

20% 的厚织物的  $\alpha_T, \alpha_R$  用式 8、9 计算。

经研究证明,红外线对织物透射能力随波长的变化而改变,在保证入射光强  $I_o = 300\text{W}/\text{m}^2$  的条件下,改变入射光的主波长,结果见表 2。

表 2 不同主波长的红外光对单层织物的透射量

主波长 $\lambda(\mu\text{m})$ 透射强度 ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) 织物名称	2.00	2.15	2.35	2.60	2.97	3.43	5.42
纯棉平纹布	93	89	84	82	82	74	48
针织棉毛布	51	49	45	43	42	38	28
毛凡立丁	91	81	79	77	73	64	38
真丝双绉	96	91	87	86	86	73	49
涤纶平纹绸	74	73	70.5	68	65	58	43
涤纶哗叽	89	85	79	79	77	72	48
粘纤平纹布	105	102	96	96	94	83	55
涤棉平纹布	131	130	125	124	122	111	78
氧化锆丙纶絮片	89	89	84	78	78	73	50
碳化锆涤纶絮片	113	107	102	102	102	94	70
碳化锆纤维针织起绒布	40	33	32	30	29	27	19
氧化锆纤维针织布	15	14	12	11	10	9	8
陶瓷涂层织物	31	31	29	26	25	24	23

#### 四、分析与讨论

1. 红外光透射织物时,其穿透能力可用朗伯-比尔定律( $I=ae^{-bm}$ )的形式表达,但由于织物表面存在漫反射,故  $a$  与入射光  $I_0$  存在一差值。此差值在一定程度上能反映出织物表面的反射率。

2. 红外线对不同织物的透射能力不同,影响织物透射能力的因素有平方米重、组织结构及原材料等,结构密实和厚重的织物,其表面的反射量大而透射量小,当透射率大于 20% 时,用式 7 计算出的表面反射率比较符合实际测试

的值,而当透射量小于 20% 时,用式 9 计算的反射率比较接近实测值,但结果仍偏大,这可能与长波长的红外光穿透能力较弱有关。

3. 红外透射织物的能力随主波长的增大其透射能力减弱,这说明长波长的红外被织物吸收或反射比例较大,这方面的原因有待研究。

4. 要提高织物对红外线的吸收能力,则应减少反射和透射量,将织物制成多层薄织物的复合体是提高吸收率的有效途径之一,因为这样能有效利用织物层间反射量,在层间加入积极吸热材料将更使效果显著。