

棉纤维遮光率的测定

姚 穆

(西北纺织工学院)

【提要】 本文讨论了棉纤维材料遮光率的指标;介绍了一种测试方法;对单根棉纤维全长范围内的遮光率进行了测试,得到了基础性的数据;并对双层纤维及外推到三层纤维的遮光率变化规律进行了测试分析,这些参数对有关仪器的设计将有指导意义。

一、前 言

近年在纺织材料的性能指标测试中,不仅对纺织纤维的光学性质进行了较多的工作,而且许多工艺指标也借助光学测试方法来间接测定,其中相当一部分都与纤维的遮光率有较密切的关系。如按照光电转换原理设计制造的长度测定仪、偏光法棉纤维成熟度仪、纱线毛羽测定仪、纱线条干均匀度测定仪、电子清纱器的测头、毛纤维直径测定仪、织物悬垂度测定仪、织物面积复盖系数测定仪等等,都是利用纤维的遮光性能转换成电学指标再显示的。此外,近代研究还发现,单层纺织纤维上表面对光的反射率(由光疏物质到光密物质)并不是很大的,现在观察到的反射光,相当大的一部分是通过射入纤维内部之后再在内表面上(由光密物质到光疏物质)反射的^[1~2],因而纤维和织物的光泽也与纤维的遮光率有较密切的关系。

过去也有不少人对于纤维(絮层、毡层、织物等)的透射、反射和吸收进行过研究^[3],但对于单根纤维遮光性能的测试,尚未见到系统的报导。而这方面的参数却是仪器设计的基本参数之一。为此,我们作了探索性的研究工作。

二、遮光率的测试方法及设备

分析了过去的各种测定方法后,我们认

为应首先对单根纤维的遮光率有比较清楚的概念,决定以显微镜放大投影法为基本测定方法。其方框图如图1。

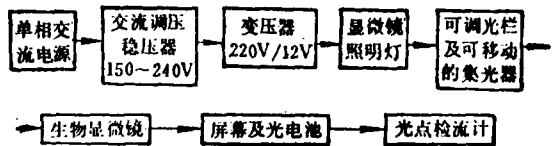


图1 显微镜放大投影测定法方框图

纤维上的照度在 $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^6$ 勒克斯之间无级可调,调节时可使用三类方法:(1)改变光栏;(2)改变集光镜距离;(3)改变电源电压。由于改变电源电压将影响光源色温及光谱组成,故最后测定时,只用作基准微调使用。

测定时显微投影放大倍数在40~300倍之间可调,采用更换目镜及改变屏幕距离的方法,以接物测微尺校核实际放大倍数。接受器试验过光电管、硒光电池及硅光电池,最后采用硅光电池2CR54进行测定。并按实际放大倍数折算出所测纤维的实际长度。显示器曾采用二级差动直流放大器接电表显示,由于在如此广泛范围内要满足线性要求比较困难,现采用光点检流计,经过校验,与光电池匹配后在近三个数量级范围内,线性极值误差不超过 $\pm 3\%$,故最后采用光点检

流计显示。

测定时，在载玻片上将纤维伸直沿顺向粘住(接近根梢端头处用一小点火棉胶粘住)置于显微镜载物台上，用同一载玻片无纤维处作为对照光通量，再将纤维投影移到光电池中心位置(沿长度方向平行)测得纤维遮光后的光通量，由此算出纤维遮光率。所测定的纤维位置，由载物台游标尺读取，精度为0.05毫米。测定部位的纤维段的长度根据显微放大倍数来调整。

三、遮光率的指标

由于棉纤维根部、中部、梢尖各处纤维宽度不同，壁厚不同，特别是存在天然转曲，以致每一小段的实际遮光率宽度和遮光厚度均不相同，而且在同一小段中各处的遮光壁厚也不均匀。因而，采用一般物理学的透射率指标，无法具体反映如此复杂的物体的实用性能。

根据纺织材料测试技术中实际应用的情况，我们建议采用折算到在单位照度(1勒克斯)条件下，单根纤维、单位长度遮蔽的光通量(流明)的值来反映单根纤维的相对遮光率 Z_0 ，单位用流明/毫米长·勒克斯·根。这样，只要知道了这种基础性数据，在已知纤维照度 L 和被照纤维长度 l 的时候，一根这段纤维的遮光量 Z 为：

$$Z = Z_0 \times L \times l \quad (1)$$

Z 可作为仪器设计的基础性参数。

在我们测试的条件下，设：

B ——显微投影实际放大倍数；

S_0 ——接受讯号的光电池的隙缝宽度(毫米)；

l_0 ——接受讯号的光电池的隙缝长度(毫米)；

l ——接受讯号所相当的纤维长度(毫米)；

L_1 ——光电池接收平面上的照度(勒克斯)；

L_2 ——纤维样品平面上的照度(勒克斯)；

L_0 ——光电池的光电转换系数(即光电池接受讯号平面隙缝宽 S_0 、长 l_0 条件下，检流计每移动1格(毫米)相当(10^{-7} 毫安)的照度变化量，单位为勒克斯·毫米宽/格)，此值为0.05左右；

M_0 ——只有载玻片，没有纤维时的检流计刻度格数(毫米数)；

M_1 ——纤维遮挡时检流计刻度减少的格数，即遮光量格数(毫米数)；

ϕ_0 ——没有纤维时光电池接受讯号区域(宽 S_0 、长 l_0)的总光通量(流明)；

ϕ_1 ——纤维遮光时，光电池接受讯号区域的遮掉的光通量(流明)；

Z_0 ——纤维单位照度、单位长度、单根的遮光率(流明/毫米·勒克斯·根)。

按投影关系

$$l_0 = l \times B \quad (2)$$

$$L_2 = L_1 \times B^2 \quad (3)$$

$$\text{而 } L_1 = (L_0 \times M_0) / S_0 \quad (4)$$

$$\text{代入式(3): } L_2 = L_0 M_0 B^2 / S_0 \quad (5)$$

由于照度1勒克斯，就是1米²平面中通过1流明的光通量，故光通量等于照度乘照耀面积，则有：

$$\phi_0 = L_0 M_0 l_0 \times 10^{-6} \quad (6)$$

$$\text{而 } \phi_1 = \phi_0 M_1 / M_0 = L_0 M_1 l_0 \times 10^{-6} \quad (7)$$

按单根纤维遮光率的定义，并将式(2)、(5)、(7)代入，得：

$$Z_0 = M_1 S_0 \times 10^{-6} / M_0 B \quad (8)$$

因而，只要测定各根纤维各段的遮光格数 M_1 、不遮光格数 M_0 和光电池光栏隙缝宽度 S_0 、显微投影放大倍数 B ，即可求得单纤维的遮光率 Z_0 。

四、单根棉纤维测试结果及分析

由于棉纤维是截面不规则的扁带状，并带有转曲，测定任何一小段时，遮光宽度和遮光厚度均不相同，因而遮光量变异较大。

当测取纤维长度为 71.3 微米 (不到半个转曲), 在同一部位略作沿长度方向移动测读遮光量 5 个读数时, 各根纤维从根到梢每间隔 2 毫米左右一点, 各点处的变异系数在 3.75~28.77% 之间变动, 平均变异系数为 7.788%。当纤维测读长度增长到一个转曲以上时, 变异系数明显下降到 4% 以下。因此一般对每点使纤维沿长度方向略作移动连续测读 5 个数据, 平均作为该点遮光量读数。

我们还考察了纤维试样照度对纤维遮光率的影响, 两组测定结果分别见表 1 及表 2, 分别对同一小段棉纤维的同一部位改变纤维试样上的照度, 进行测定。

由表 1、2 可以看出, 纤维试样上的照度及试验的其他条件 (如缝隙宽度 S_0 、检流计的倍率档等) 对测定的纤维遮光率 Z_0 并无明显相关。同时我们对显微放大倍数 B 从 40 到 280 倍作了对比, 发现也没有明显相关。实际测试中缝宽 S_0 随工作条件调节。

在此基础上, 测得了数根各种成熟度棉

表 1 纤维试样照度与纤维遮光率的关系

纤维试样照度 L_s (勒克斯)	纤维遮光率 Z_0 (流明/毫米·勒克斯·根)
7470	0.8386×10^{-8}
20430	0.8911×10^{-8}
37030	0.8417×10^{-8}
51900	0.7789×10^{-8}
69580	0.9108×10^{-8}
210630	0.7971×10^{-8}
383000	0.9103×10^{-8}

注 $B=60$ 倍; $S_0=2.90$ 毫米; $l=330$ 微米。

表 2 不同缝宽下纤维试样照度与纤维遮光率关系

纤维试样照度 L_s (勒克斯)	缝宽 (毫米)	纤维遮光率 Z_0 (流明/毫米·勒克斯·根)
1860	7.15	1.244×10^{-8}
1880	2.90	1.187×10^{-8}
19510	2.90	1.120×10^{-8}
22030	7.15	1.109×10^{-8}
215000	2.90	1.076×10^{-8}
217590	7.15	1.241×10^{-8}

注: $B=50$ 倍; $l=400$ 微米; $S_0=2.90$ 毫米。

表 3 不同成熟度棉纤维中段的遮光率

纤维编号	棉纤维成熟度系数 K_3	棉纤维中段平均遮光率 $Z_0 \times 10^{-8}$
9	1.00	1.0047
11	1.25	1.0205
10	1.50	1.0642
14	1.50	1.2259
13	1.75	1.1516
7	2.00	1.0509
8	2.25	1.0701
12	2.25	1.0919

纤维的遮光率。每根纤维都经过显微镜检查, 根梢齐全, 按中段中腔胞壁对比法确定成熟度系数, 每根由根部开始 ($x=0.0$ 毫米, 隔一定距离 (2~5 毫米) 测一点, 每点 5 个数据平均。按中段最粗处遮光率平均数据见表 3。

由表 3, 回归方程为 $Z_0 = (1.0276 + 0.0340 K_3) \times 10^{-8}$, 相关系数 $r = 0.2148$ 。由此可见, 棉纤维中腔胞壁比值法测定的成熟度系数与遮光率的关系, 相关系数极弱 ($\alpha = 0.10$ 时, r 临界值为 0.5494), 而且不同成熟度棉纤维的遮光率差异并不太大 (回归系数很小)。

按 x 为测点在纤维上离根端的距离, Z_0 为相对遮光率 (流明/毫米·勒克斯·根), $\alpha = x/l$ 为纤维全长折算为 1.00 时, 各测点离根端的距离的比例, $\beta = Z_0/Z_{max}$ 为各测点的遮光率相对最大遮光率的比例。任选一根

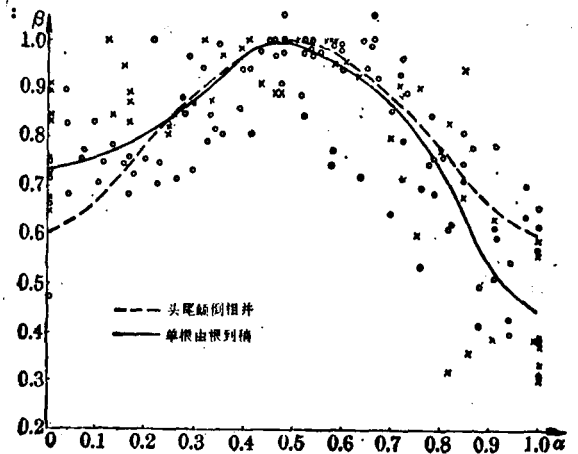


图 2 α - β 图

纤维的实测数据列于表4。整个试验结果绘

表4 单根纤维不同测点的遮光率

x(毫米)	$Z_0 \times 10^{-3}$ (流明/毫米·勒克斯)	α	β
0.0	0.5344	0.000	0.7498
3.5	0.5311	0.108	0.7452
5.5	0.5163	0.169	0.7244
7.5	0.5894	0.231	0.8270
9.5	0.5222	0.292	0.7327
11.5	0.5707	0.354	0.8008
13.5	0.5707	0.415	0.8008
15.5	0.6948	0.477	0.9479
17.5	0.6979	0.538	0.9792
19.5	0.6711	0.600	0.9416
21.5	0.7127	0.662	1.000
23.5	0.5641	0.723	0.7915
25.5	0.4870	0.785	0.6833
27.5	0.5076	0.846	0.7122
29.5	0.4395	0.908	0.6167
31.5	0.4987	0.969	0.6997
32.5	0.4394	0.1000	0.6165

在图2中，试验中采用两类不同品种的棉纤维，分别采用○和×表示。从图2中可以看出，两种棉纤维尚无明显的系统偏差。

由表4可以看出，棉纤维的遮光率，大致仍按粗细相似，中段遮光率较高，两端稍低，特别是梢端遮光率更低。但遮光率并不与宽度成正比，遮光率的变化不如宽度变化剧烈。棉纤维根端遮光率下降极少，而梢端遮光率明显下降部分的长度一般约在5毫米以内，这一部分对毛羽(毛茸度)测定有一定的影响。

在许多测定实验中，纤维根梢端处于随机分布状态(如象棉纤维长度照影机试验)，所以遮光率的规律可简化，按等长二根纤维头尾颠倒并合的遮光率来处理。因而又将数据作补充加工：将1~14号纤维的测试值在 $\alpha-\beta$ 图上点出来，求出其中值线，得到图2中的实线曲线，它反映出棉纤维遮光率相对根部距离变化的规律。将这条曲线头尾颠倒后再同原来的曲线叠加后除2，就得到头尾颠倒相并的两根棉纤维遮光率变化曲线(见

图2中的虚线曲线)，这是一条对称曲线。这两条曲线对应的数据列于表5，它对于用光电法测试棉纤维长度和细度将有很好的参考价值。

表5 棉纤维沿长度方向遮光率变化情况

沿纤维长度方向的位置	各种长短和成熟度单根棉纤维平均遮光相对值 β	二根同长棉纤维头尾对齐叠加后遮光相对值 β
根 0.00	0.735	0.603
0.05	0.745	0.628
0.10	0.760	0.663
0.15	0.782	0.723
0.20	0.807	0.786
0.25	0.838	0.837
0.30	0.877	0.883
0.35	0.903	0.930
0.40	0.963	0.966
0.45	0.992	0.994
0.50	0.988	1.000
0.55	0.971	0.994
0.60	0.949	0.966
0.65	0.913	0.930
0.70	0.865	0.883
0.75	0.812	0.837
0.80	0.740	0.786
0.85	0.640	0.723
0.90	0.542	0.663
0.95	0.486	0.628
梢 1.00	0.447	0.603

备注 在长度0.462处为1.00 在长度0.500处为1.000

五、多层纤维测试结果与分析

在实际使用中，不管是测试纤维的细度或长度，还是测试织物的覆盖系数，都会遇到纤维多层重叠的情况。因此，在多层情况下弄清纤维遮光率的变化规律是很重要的。

在测试中，我们首先测出每根纤维全长范围内的透光量，找出两根纤维中遮光率基本相同而又等宽的位置，在缝隙宽调到恰好等于纤维宽度时，把这两根纤维在展平处互相对齐位置重叠起来，使找到的对应位置恰好平行重叠在一起，再测出重叠后的遮光率，分析0层、1层和2层纤维透光量的变化规

律。由于纤维对应位置重叠比较困难，我们只做到 2 层，外推到 3 层。

设 I 为透过纤维的光强，没有纤维时光强为 I_0 ， ρ 为棉纤维的光吸收系数。固体光学的基本方程为：

$$I = I_0 e^{-\rho x} = I_0 e^{-dn} \quad (9)$$

其中： x 为纤维层厚度； n 为纤维的层数。

$$\text{由 } n=1 \quad I_1 = I_0 e^{-d} \quad I_1/I_0 = e^{-d} \quad (10)$$

$$n=2 \quad I_2 = I_0 e^{-2d} \quad I_2/I_0 = e^{-2d} \quad (11)$$

$$\text{两式相比 } I_1/I_2 = e^d, \quad d = \ln(I_1/I_2) \quad (12)$$

试验中测得的 0 层、1 层和 2 层纤维的透射光强列于表 6。

表 6 不同层次纤维的透射光强

纤维序号	1*			2*		
	纤维层数	I	I/I_0	$\ln(I/I_0)$	I	I/I_0
0 层	53	1.0000	0.0000	123	1.000	0.0000
1 层	45.5	0.85849	-0.15258	108	0.87885	-0.13001
2 层	41	0.77358	-0.25672	98	0.79675	-0.22722
I_1/I_2	1.109756			1.1020408		
$d = \ln(I_1/I_2)$	0.104140			0.097163		
平均 d	0.100652					

将表 6 的两次实验结果进行平均，利用所求得平均 d 值，可得到表 7 和图 3。

表 7 不同层次纤维的 $\ln(I_n/I_0)$ 值

纤维重叠层数 n	折合 $I_0=1.000$ 时的光通量 I_n	$\ln(I_n/I_0)$
0	1.0000	0.00000
1	0.86867	-0.14079
2	0.78517	-0.24186
3	0.73018	-0.31412

由表 7 和图 3 可知，棉纤维对光的吸收规律是符合固体光学的基本规律的。

六、结 论

由前面的实验和分析可以知道，相对遮

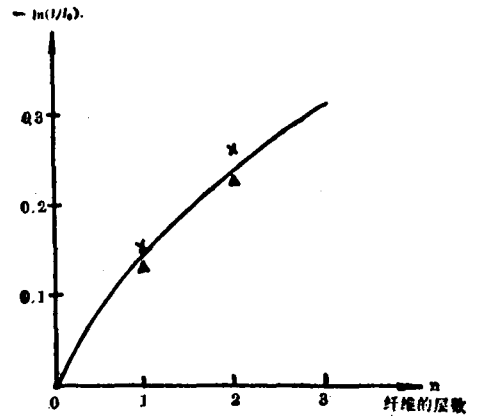


图 3 不同纤维层次与 $\ln(I_n/I_0)$ 值的关系

光率 Z_0 这个指标与试样上的照度、显微镜放大倍数 B 及试验的其他条件(如缝隙宽度 S_0 、检流计的倍率档等)无明显相关，与棉纤维的成熟度也无明显相关，说明 Z_0 是一个比较理想的实用的反映棉纤维遮光性能的客观物理指标。

单根棉纤维的遮光率基本随其粗细变化而变化，但不成正比，规律是中段遮光率较高，两端稍低。特别是梢端更低。由于在某些实际使用中，棉纤维根与梢的排列状态是随机的，故两根棉纤维头尾颠倒相并时遮光率的变化曲线及表 5 对有关仪器的设计有较好的参考价值。我们还测定了多层棉纤维重叠时的遮光情况，验证了棉纤维对光的吸收符合固体光学的基本规律。

本文在文字加工中得到李毅同志的帮助，并此致谢。

参 考 资 料

- [1] «Textile Research Journal» 1958, 28, No. 7, P. 542.
- [2] «American Dyestuff Reporter», 1958, 47, No.8 (April), P.P. 267-292.
- [3] 藤野清久、坂上恒次朗: «纤维机械» 第一卷, 日本纤维机械学会, 1956年5版, P.22.