

# 测定纤维材料反光率的原理和实践

钱宝钧 胡绍华 陆建中 徐国然\*

(中国纺织大学化学纤维研究所)

**【摘要】** 本文报道了作者对反射光度计的研制结果,不但解决了染色不匀的正确、精密测试,还促使我们对造成染色不匀的因素进行全面分析,有助于对生产工艺提供有益信息,加强监控,提高质量。在工作进程中,我们复活了一个多世纪以前著名理论物理学家 Stokes 对叠层薄片所作的反射率计算结果,使之获得新生命,为现代化纤工业和染色技术服务,并提供一个新方法,可以用宏观的反射率测试结果估算纤维材料的平均光密度,从而算出不能用其他方法得到的纤维材料的“有效光程”或“表观直径”。

## 一、引言

光线从两种介质的界面上的反射和折射,以方向而论是几何光学上最简单的定理,但要问这种反射和折射光的相对强度,问题就比较复杂;如介质不是完全透明的,又将发生在介质内光能被部分吸收的问题。如界面是粗糙的,那怕不平滑的程度是可用波长计量的,这时就连光的反射和折射方向也难于预测了。

光线从纺织纤维表面上的反射,由于纤维截面形态的不规则,以及织物表面是由多根纤维集合而成,光的反射便近似于从粗糙表面的所谓“漫反射”。且光线进入纤维后又发生复反射,情况就变得非常复杂。

本文的目的在于从理论上弄清光从有色纤维束表面反射的基本原理,并创制一种仪器能迅速而正确测定入射光与反射光强度之比,从而表征纤维束的反射特性。

## 二、有色薄片叠层和纤维束对光的反射吸收的理论探讨

### 1. 光密度的定义

将一层薄片浸没于一介质中,令强度为  $I_0$  的入射光以一定入射角投射于薄片之上,见图 1。如介质的折射率与薄片相同,则在界面处

光线将不经反射而直接进入薄片,然后在薄片经过一定途程的吸收,强度减弱为  $I$ ,再从薄片下方重新进入介质。根据 Lambert-Beer 经验规律,  $I/I_0$  之比可用下列方程式表达:

$$I/I_0 = g = e^{-Kcd} \quad (1)$$

式中:  $g$  为有色薄片的一次透光率;  $d$  为光线透过薄片所经历的光程;  $c$  为薄片中有色物质的浓度;  $K$  为有色物质的消光系数。如果是正投射,  $d$  便为薄片的厚度。很明显,  $d$  是薄片的属性,  $K$  是有色物质的属性,  $c$  的量值与薄片和有色物质的性质都有关系。从(1)式可得:

$$-\log g = Kcd \cdot \log e = D \quad (2)$$

$D$  为光密度,式(2)实际上可当作光密度的定义。

### 2. 光线从一层薄片的总反射率和总透射率

如介质为空气,则在薄片的上下两界面处将发生多次反射和折射,见图 2。在这种情况下,光线从一层薄片上的总反射强度  $r$  和总透

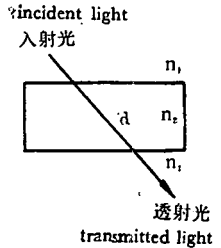


图 1 光线在介质中的传递

$d$  = 光程;  $n_1 = n_2$

Fig 1 Transmission of light in a medium  
 $d$  = optical path

\* 参加工作的还有张光庆、于娅  
收稿日期: 1988年7月28日。

射强度  $t$  是可以正确算得的:

$$r = \rho + (1 - \rho)^2 \rho g^2 / (1 - \rho^2 g^2) \quad (3a)$$

$$t = (1 - \rho^2) g / (1 - \rho^2 g^2) \quad (3b)$$

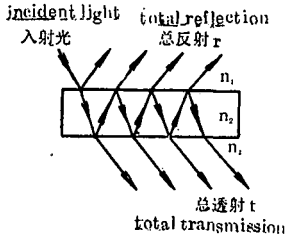


图 2 一层薄片的总反射光和总透射光

Fig 2 Total reflected light and total transmitted light of a thin plate

式中:  $g$  是光线一次透过薄片的透光率;  $\rho$  是光线在界面处的反射系数, 其值决定于薄片与介质的折射率之比和光线入射角的大小。如薄片的折射率为 1.5, 入射角在  $15^\circ$  以内, 根据 Fresnel 方程计算,  $\rho$  约为 0.04。

### 3. 叠层薄片对光的反射、吸收和透射

Stokes<sup>[1]</sup> 对这个问题早在 1862 年就做过精确计算, 其结果可用反射函数  $\phi(m)$  表示,  $m$  是薄片层数,  $\phi(m)$  是与  $r$  和  $t$  等参变数有关的复杂隐函数, 而  $r$  和  $t$  又是与  $\rho$  和  $g$  有关的函数。计算模型见图 3, 结果为:

$$\left. \begin{aligned} \phi(m) &= (b^m - b^{-m}) / (ab^m - a^{-1}b^{-m}) \\ a &= (1 + r^2 - t^2 + \Delta) / 2r \\ b &= (1 + t^2 - r^2 + \Delta) / 2t \\ \Delta &= \sqrt{(1+r+t)(1+r-t)(1+t-r)} \\ r &= \rho + [(1-\rho)^2 \rho g^2 / (1-\rho^2 g^2)] \\ t &= (1-\rho)^2 g / (1-\rho^2 g^2) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

用计算机就能很快将  $\phi(m)$  值求出, 且对叠层平板薄片是严格正确的。在  $m = \infty$  时,  $\phi(m) = \phi(\infty) = 1/a$ , 计算很简单。如纤维的参数  $g$  和  $\rho$  是已知的, 则可从 Stokes 的方法作出无穷平板叠层的  $\phi(\infty)$  函数表(见表 1)。

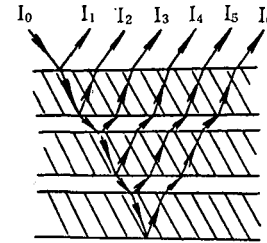


图 3 叠层薄片的反射模型

Fig3 The reflection model of a pile of plane parallel plates

从表 1, 如  $g$  和  $\rho$  为实测值, 便可求得反射率的倒数  $1/\phi(\infty)$  即  $R$ ; 相反如  $1/\phi(\infty)$  和  $\rho$  能实测, 则也能从表 1 求得一次透过率  $g$  和光密度  $-\log g$ 。

表 1  $\frac{1}{\phi(\infty)} (=R=a)$  函数表

Table 1 Numerical values for  $1/\phi(\infty)$

$g$	$-\log_{10} g$	$\rho = 0.024$	$\rho = 0.030$	$\rho = 0.035$	$\rho = 0.040$	$\rho = 0.045$	$\rho = 0.050$
0.000	$\infty$	41.667	33.3333	28.5714	25.0000	22.2222	20.0000
0.050	1.3010	41.474	33.2226	28.4091	24.8756	22.1239	19.9203
0.100	1.0000	40.899	32.6797	28.0899	24.5700	21.8341	19.6464
0.150	0.8239	39.960	31.9489	27.4725	24.0385	21.3675	19.2308
0.200	0.6990	38.680	30.9598	26.5957	23.3100	20.7039	18.6567
0.250	0.6021	37.094	29.7619	25.5102	22.3714	19.9203	17.9533
0.300	0.5229	35.241	28.2486	24.2718	21.3220	19.0114	17.1233
0.350	0.4559	33.162	26.6667	22.9358	20.1207	17.9533	16.2075
0.400	0.3979	30.902	24.8756	21.4133	18.8324	16.8067	15.1976
0.450	0.3468	28.504	22.9885	19.8020	17.4216	15.5763	14.1044
0.500	0.3010	26.008	21.0084	18.1488	15.9744	14.3062	12.9702
0.550	0.2596	23.045	18.9753	16.4204	14.4928	13.0039	11.8064
0.600	0.2218	20.871	16.9492	14.6843	13.0039	11.6822	10.6270
0.650	0.1871	18.293	14.9031	12.9534	11.4943	10.3627	9.4429
0.770	0.1549	15.740	12.8700	11.2360	10.0000	9.0416	8.2645
0.750	0.1249	13.244	10.8814	9.5420	8.5251	7.4340	7.1023
0.800	0.0969	10.787	8.9366	7.8802	7.0771	6.4558	5.9559
0.850	0.0706	8.4070	7.0423	6.2578	5.6657	5.2002	4.8286
0.900	0.0458	6.0940	5.1894	4.6685	4.2735	3.9651	3.7147
0.910	0.0410	5.6379	4.8239	4.3535	3.9984	3.7175	3.4916
0.920	0.0362	5.1833	4.4583	4.0388	3.7202	3.4698	3.2680

续表

g	log <sub>10</sub> g	ρ=0.024	ρ=0.030	ρ=0.034	ρ=0.040	ρ=0.045	ρ=0.050
0.930	0.0315	4.7295	4.0933	3.7230	3.4435	3.2216	3.0423
0.940	0.0269	4.2755	3.7258	3.4060	3.1636	2.9709	2.8153
0.950	0.0223	3.6824	3.2568	3.0864	2.8802	2.7167	2.5840
0.960	0.0177	3.3599	2.9824	2.7609	2.5913	2.4570	2.3474
0.970	0.0132	2.8916	2.5988	2.4266	2.2941	2.1882	2.1017
0.980	0.0088	2.4054	2.1978	2.0747	1.9790	1.9026	1.8399
0.990	0.0044	1.8754	1.7550	1.6827	1.6263	1.5805	1.5425
0.991	0.0039	1.8173	1.7062	1.6391	1.5865	1.5442	1.5090
0.992	0.0035	1.7576	1.6556	1.5941	1.5458	1.5067	1.4743
0.993	0.0031	1.6990	1.6033	1.5473	1.5033	1.4678	1.4380
0.994	0.0026	1.6319	1.5489	1.4986	1.4590	1.4267	1.4000
0.995	0.0022	1.5648	1.4916	1.4472	1.4120	1.3835	1.3598
0.996	0.0017	1.4934	1.4306	1.3922	1.3618	1.3373	1.3167
0.997	0.0013	1.4159	1.3641	1.3323	1.3070	1.2863	1.2692
0.998	0.0009	1.3289	1.2888	1.2642	1.2446	1.2285	1.2149
0.999	0.0004	1.2231	1.1967	1.1805	1.1674	1.1567	1.1477
0.000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

4. 有色纤维叠层对光的反射

将 Stokes 的计算式用于纤维对光的反射率的计算时，便发生较多问题。首先是用平板叠层模型替代纤维叠层模型是否合理的问题，如图4所示，从纤维叠层过渡到平板叠层，仅是表面情况的变化，没有叠层本质上的改变，以模型(C)代替模型(A)，似乎是合理的。(C)与(B)的差别仅在于规整反射和漫反射，由于在实验测定时使用了积分球，这一差异便基本消失了。

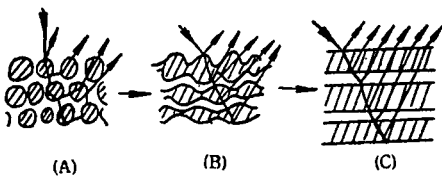


图4 真实纤维束和理想模型

Fig 4 Real fiber bundle and ideal model

A-真实纤维束 real pile of fibre bundles; B-曲面薄片叠层模型 model of piled plates with curved surfaces; C-平行薄片叠层模型 model of a pile of plane parallel plates

其次，有些参数如纤维的平均有效直径d和平均有效界面反射系数ρ，实测相当困难，却都必须进行 Stokes 的计算和光密度计算。因此，我们所面临的是一个在理论上完全严密的叠层平板模型反射光的 Stokes 的计算，但应用于解决叠层纤维反射的实际问题时，却

遇到一些在实验上不易解决的难题。对此，我们用 Stokes 的计算结果作为指导，用实测到的叠层纤维反射率来估定纤维的光密度。由于c和d的乘积被反映在光密度的量值内，故d值就无需单独测定。至于ρ值则可由理论计算和实验测量估定。

反射系数视入射角的不同而变化很大。如入射角为90°，一束纤维的平均表面反射系数的理论计算值ρ<sub>理</sub>和作者从全黑纤维束的实测平均反射系数ρ<sub>实</sub>，不论再生纤维素纤维和聚丙烯纤维都可近似地取作0.030<sup>[2]</sup>。

三、有色纤维束、纱线或织物反射率的实验测定

1. 仪器的构造和使用方法

(1) 反射光谱光度计(RSP型)：它与普通的单光束光谱光度计的构造大致相同，但备有一个积分球，以便测定织物漫反射率，其光学构造如图5。

要测定一种织物的反射率，需先测入射光线的强度，后者可用测定全白样品的反射光强度来近似代替，如纯BaSO<sub>4</sub>块(绝对反射率接近98%)；必要时也可用一很厚的(10mm以上)纯白纤维叠层作为参比。但因实际纤维都或多或少带有一些颜色，故仍应与BaSO<sub>4</sub>块进行比较，测得其相对于BaSO<sub>4</sub>的正确反射率

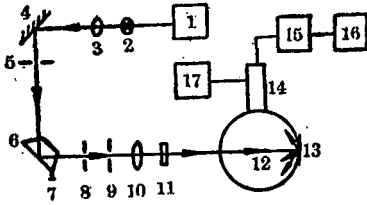


图 5 反射光谱光度计 (RSP) 示意图  
Fig 5 Schematic diagram of a reflection Spectrophotometer (RSP)

1-低稳压电源 low constant voltage source, 2-光源 light source, 3、10-凸透镜 converging lenses, 4- 反射镜 reflecting mirror; 5、8-可调光栏 adjustable slit, 6-分光棱镜 constant deviation prism, 7-波长调节旋钮 knob for adjusting wave length, 9-孔形光栏 circular diaphragm, 11-偏振片 polarizing plate, 12- 积分光度球 intergrating sphere, 13-样品窗口 sample window, 14-光电倍增管 photo-multiplier, 15-放大器 amplifier, 16-记录仪 recorder, 17-高压稳压电源 high constant voltage source

以资校正。

测定有色纤维叠层样品的反射率时，须用较厚的叠层，否则测得的反射光强度就会偏小。即使如此，由于纤维叠层的表面不够均匀，位置变动后，实测结果便难以完全重现。样品层数较少时，移动样品位置造成的测定偏差特别严重。

(2) 双波长反射光度计 (DWRP 型 间歇式)：为了避免反射光度计的上述缺点，可改用双波长反射光度计。后者具有一次测定就可达成目的的优点，无需与白色样品进行对照。这仪器的特点是同时在两个波长上对样品进行反射率的测定，一是有色物质的吸收峰波长，另一波长位于近红外区域，它几乎不被有色物质所吸收，即有色物质对近红外线波长近乎是纯白的。仪器的结构见图 6。仪器也备有一个积分球，上开两个相同尺寸的小窗，分别装置两个滤光片，一是  $650m\mu$  备测定蓝色样品用，另一个是近红外  $780m\mu$  作参比用。 $780m\mu$  波长对蓝色纤维并不是完全透明的，但所得数据可以进行校正，以测得正确的反射率。由于两种不同波长的反射光线源出于样品的同一处，因此

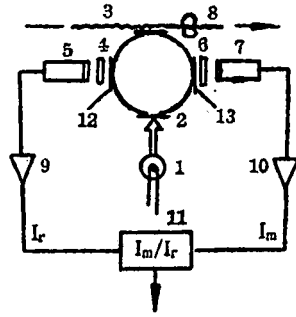


图 6 双波长反射光度计 (DWRP) 示意图  
Fig 6 Schematic diagram of a double-wave-length photometer

1-光源 light source, 2-积分球 intergrating sphere, 3-连续进行的试样 continuously advancing sample, 4、6-滤光片 light filtering plates, 5、7-光电检测器 photo-electric multiplier, 8-罗拉 feed roller, 9、10-放大器 amplifier, 11-中央处理器 central microprocessor, 12、13-光电检测窗口 window for detector.

可去除样品截面形态、纤维相对排列的位置、样品在仪器中光照的特殊位置等因素的影响，但并不意味着样品无需多层。这是因为有色样品在光照时，很快光线就被较少层数的样品所吸收，因而强度衰减很快，但如果样品是白色的，就需要很多层才能将光全部反射（或遮蔽）。图 7 所示是织物层数与反射率（即光电读数比）的关系。如将针织袜统增至 4 层以上，反射率就能达到一个恒定不变的常数。这里所说的层数不是 Stokes 计算方程式中  $\phi(m)$  中的  $m$  值，一层袜统的  $m$  值，估计至少已在 5 以上，四层袜统重叠， $m$  值大致已在 20 左右，这与以前的理

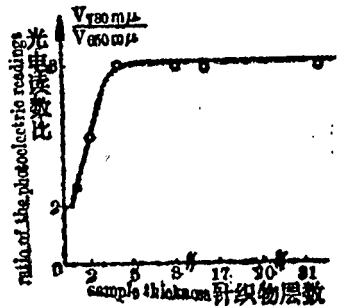


图 7 光电读数比与样品厚度的关系

Fig 7 The relation between the sample thickness and the ratio of the photoelectric readings

测得的结果可完全不受光照位置的影响。测定时即使用一薄层织物且变动位置，测得的两种波长的反射比仍是完全精确的。这与使用单一波长的仪器相比是一极大优点。这种方法也便于连续测定。

虽然如此，要应用 Stokes' 计算估算样品的正确反射率时，还必须使用多层样品。正确反射率的计算是假定层数  $m$  是无穷大的。双波长的使用

论估计值不相上下<sup>[3]</sup>。

如果我们的目的仅系测定染色均匀性而不是绝对光密度时，一层样品的测试结果仍然是可靠的，无需使用多层试样(下面实例可以证明)。

2. 纤维反射率的测定实例

(1) 用 RSP 型仪器(图 5)测定反射率:

以尽可能纯的 BaSO<sub>4</sub> 作成完全反射的样板，放在试样位置，测定反射光度 I<sub>0</sub>，再将待测样品的纤维叠层(约 1cm 厚)放在样品位置，读出其反射光度 I，I/I<sub>0</sub> 之比即为样品的反射率。如不能得到纯度很高的 BaSO<sub>4</sub>，可用一叠(约 1cm 厚)白度尽可能高的纤维作为白色标样，两者反射率的相差不会超过 5%。

下节中所述的 DWRP 仪实际可用作两个独立的反射光度计，不过这时因仪器所用光源是白炽灯，必须用滤波片得到分布较窄的谱带。在我们所制的 DWRP 仪中，因常用的蓝色织物是用湖蓝染色的，故所用滤波片是相当

表 2 16 层针织袜统反射率测定情况

Table 2 The reflectance of a pile of 16 layers of knitted stockings

序 号	反射率 仪器直读数	反射率倒数 (R)
1	0.274	3.65
2	0.271	3.69
3	0.279	3.58
4	0.280	3.57
5	0.275	3.64
6	0.283	3.53
7	0.278	3.60
8	0.280	3.57
9	0.282	3.55
10	0.281	3.56
平均( $\bar{X}$ )	0.278	3.60
标准偏离( $\sqrt{V}$ )	0.0038	0.051
偏离系数( $\sqrt{V}/\bar{X}$ )	1.37%	1.42%

注：测试方法：RSP 反射光谱光度法，波长 650 mμ，相当于湖蓝吸收高峰；每次测定后移动位置；样品来源：上海化纤五厂一号标准中的中等色泽\*7 用湖蓝染色；BaSO<sub>4</sub> 标准白块读数设定为 1.0.0V； $\sqrt{V} = [\sum(X - \bar{X})^2 / (n - 1)]^{1/2}$ 。

于湖蓝 FF 吸收高峰波长 650mμ，用于参比的近红外波长为 780mμ。因此 DWRP 仪可作为波长分别为 650mμ 和 780mμ 的反射光度计使用。这时的测定方法是用纯白色样板和有色多层纤维束相继进行测定，以求得所需数据。具体测定结果见表 2。

表 3 2 层针织袜统反射率测定情况

Table 3 The reflectance of a pile of 2 layers of knitted stockings, using DWRP instrument

测试序号	反射读数 I 650mμ	反射读数 II 780mμ	$\frac{I}{II} \left( \frac{650}{780} \right)$	$\frac{II}{I} \left( \frac{780}{650} \right)$
1	0.250	0.615	0.4065	2.460
2	0.246	0.605	0.4067	2.459
3	0.248	0.607	0.4085	2.448
4	0.234	0.579	0.4042	2.474
5	0.232	0.619	0.4072	2.456
6	0.240	0.597	0.4021	2.487
7	0.254	0.627	0.4052	2.468
8	0.242	0.594	0.4085	2.448
平均( $\bar{X}$ )	0.243	0.608	0.4061	2.463
标准偏离 ( $\sqrt{V}$ )	0.0077	0.0156	0.0022	0.0133
偏离系数 ( $\sqrt{V}/\bar{X}$ )	3.17%	2.57%	0.54%	0.54%

注：测试方法，DWRP 双波反射光度法，波长 650 和 780mμ，样品来源和测试条件同表 2；校正：I/II 比较正至 16 层，反射率倒数从 2.463 增至 2.99(参见图 7)；因样品对 780mμ 波长有部分吸收需作校正(2.99/0.837 = 3.57, 0.837 为校正系数，见表 4)。校正后的结果与表 2 所得数字 3.60 相差不到 1%。

(2) 用 DWRP 型仪器测定反射率：用 RSP 型仪器进行反射光的测定，即使用很厚的样品叠层也会产生若干不可避免的缺点，如：

(a) 入射光必须是面积较大的光束，但此时光线的准直性不高，而纤维叠层表面又是不很平滑的，一部分会在另一部分投上阴影。当样品在仪器上进行重复测定时，由于位置移动，测得的数据重现性不会很高。十次重测的结果，变异率为 1.37%。这就大大损害了仪器

表 4 一个中等色泽(\*7)样品的反射率(780mμ)  
Table 4 The reflectance of 10 samples of medium shades, in light of 780mμ

序 号	反射率读数
1	0.835
2	0.834
3	0.841
4	0.832
5	0.840
6	0.832
7	0.841
8	0.839
9	0.838
10	0.837
平均( $\bar{X}$ )	0.837
标准偏离( $\bar{V}$ )	0.0035
偏离系数( $\bar{V}/\bar{X}$ )	0.42%

注：因 780mμ 波长部分吸收应作的校正，测试仪器：DWRP 双波长反射光度仪，样品层数 16 层；样品来源和测试条件同表 2。

的精度。而且用叠层样品只能测得其平均性质，而不能察见短片段范围内的不匀率。

(b) 有色与白色两次测定，增加了不便。在连续测定时必须时时用白色标样进行校验，成为另一缺点。如用双波长反射光度测定仪(DWRP)，因两种波长同时投射到样品的同一点，并算出两种波长读数之比，这些缺点便可基本避免。

但我们还应正确评定有色样品用 780mμ 照射时的吸收程度究竟是多少。为此将有色样品用 780mμ 照射并与 BaSO<sub>4</sub> 对照测其反射率，然后用所得结果对用双波长实测的比值进行校正。例如，所得一个中等色深的样品\*7按这种方法测定的实验数据见表 4，校正结果见表 3。上述这一校正还需用不同色泽的样品实测各自的校正系数，因为校正系数与有色物质浓度有关，结果见表 5。

综上所述，可见用单光束仪器测反射率，因受纤维表面形状、相互排列位置和织物疏密不匀的影响，结果偏离系数高达 3% 以上，改

表 5 十个不同色泽标样的反射率  
Table 5 Reflectance of 10 samples of varying shades in light of 650 mμ and 780 mμ respectively

序 号	650mμ	780mμ
3	0.367	0.865
4	0.337	0.855
5	0.307	0.841
6	0.287	0.839
7	0.279	0.837
8	0.255	0.830
9	0.227	0.813
10	0.220	0.825
11	0.205	0.802
12	0.203	0.805
13	0.187	0.794

用 DWRP 双波长测反射率之比，则偏差系数仅为 0.5%。用双波长法测反射率的优点明显可见。

如再对表 3 测得的反射率进行两种校正，即层数不足和 780mμ 的光线被有色样品部分吸收的校正，则仍能得到完全正确的反射率，恰与表 2 所示的、用 650mμ 波长和 16 层试样所得的结果相符。

若我们的目的仅在于测定有色样品的染色不匀率，那就毋需进行校正。

(3) 用 DWRP 型仪测定连续样品的反射率和染色不匀率：染色袜统或长丝样品可以每分钟 13 厘米的速度连续通过 DWRP 仪，得出双波长反射强度比的连续记录如图 8。图 8 是一个粘胶长丝针织袜统样品共 10 块连续测试，并算出  $\bar{X} = (1/n) \sum_{i=1}^n X_i = 0.419$ ;

$$\sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = 0.011; CV = SD/\bar{X} = 0.027, \text{ 可见偏离系数就是染色不匀率的}$$

最合理的表达形式。由于各个  $X_i$  值已经是经过微处理机处理后的各块样品的平均反射率数值，故短片断的不匀率在图 8 中表现不出来。

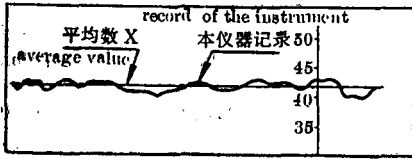


图 8 染色不匀率的表达形式

Fig 8 A method of expressing dyeing unevenness

#### 四、纤维材料光密度的估计及其推论

##### 1. 薄片光密度的直接测定

薄片光密度的实验测定是较容易完成的。只需有一台比色计或光谱光度计，就很容易测定薄片的入射光和透射光强度之比 ( $I/I_0$ )。对纤维素薄片(透明纸)可用水杨酸甲酯为浸剂，后者的折光指数为  $n_D^{20} = 1.522$ ，与纤维素的折光指数相近。取  $-\log I$ ，即为光密度 ( $Kcd \cdot \log e$ )。

薄片的厚度  $d$  是很容易精确测得的；有色物质(染料)在薄片中的浓度可用萃取法精确实测。有了这二者，消光系数  $K$  就可精确算出。

##### 2. 纤维材料光密度测算

将同一方法用于纤维，困难就发生了。纤维束中各根纤维的直径差异相当大，而且光在纤维中的光程不一定是直径，对截面不规则的纤维样品，差异就更大，很难得出一个平均值。所以，纤维的光密度值是无法正确实验测定的。

纤维束反射率(其倒数用  $R$  表示)的实验测定，可满足这一要求。将实测的  $R$  值，用表 1 中的 Stokes' 计算数据，就能近似估计光密度  $D$  值。如  $K$  和  $c$  值能用实验测定，如上所述，就能求得一种纤维束样品在光照下的有效光程，可名之为纤维的“表观直径”。这一设想的实验证明尚在进行之中。

##### 3. 二色性反射光度和偏振荧光测量及应用

在本仪器上加装一片偏振片，便可用于测

定二色性反射，从而测得样品的二色性光密度，使仪器成为可精确测定样品无定形区取向度的有力工具<sup>[4]</sup>。

#### 五、讨论——染色不匀率和影响它的各种因素

##### 1. 染色不匀率的意义

当一个纤维材料样品在某一组条件下染色，染成的成品各个部分呈现色泽深浅不一，称这种现象为染色不匀，表达不匀程度的指标称染色不匀率。用适当仪器和相当于染料吸收高峰的单色光源进行测定，测得的结果为样品的反射率，它反映了样品在该单色光照明下的明度。这种应用客观光度学评定染色不匀率的方法已如前述，并经指出，可用统计量值偏离系数作为染色不匀率的正确表达形式。过去染色工作者常想做出一个标准色样与待测样品的色泽深浅进行比较，以确定待测样品染色不匀的程度。但由于影响染色的因素非常复杂，很难制得这种标准样品，而且与标准样品的色泽深浅对比时仍需用仪器进行客观反射光强度的测定。因此，我们建议不如放弃标准，直接将不匀率的评估直接与试样各部分反射率的测定结果联系起来。

##### 2. 影响纤维材料光反射率的各种物理化学因素

决定纤维材料反射光强度的因素是光密度，而光密度的大小又决定于 Beer's 吸收规律中的有色物质的浓度  $c$  和光线在纤维中一次经过的光程  $d$ 。但纤维的含色量  $c$  和光程  $d$  又受到很多因素的制约，这个问题即使是专业的染色工作者也不一定完全理解。图 9 是影响染色的各种因素的图解。

染色的位置是结构中的非晶区，故高结晶度无疑会影响得色率。同理，纤维结构中如存在着微孔，则有利于提高得色率。截面不规则通常会减小光线一次通过纤维时的光程，这数值通常都远小于纤维直径。光线一次通过纤维的光程影响纤维色泽非常大，值得注意。

如染色纤维取向度极高，且染料具有二色性，则就是在普通光的照射下也会由于二色性而使色泽大大变浅。这是因为强度为  $I_0$  的普通光可当作强度各为  $I_0/2$  的相互垂直振动的两道偏振光。染色纤维的光密度  $D$  可视为平行于纤维轴向的光密度  $D_{||}$  与 2 倍垂直于纤维轴向的光密度  $D_{\perp}$  之和，即  $D = D_{||} + 2D_{\perp}$  [4]，这里  $D_{||}$

应为  $K_{||}cd$ ， $D_{\perp}$  应为  $K_{\perp}cd$ 。因为当光线通过一根二色性纤维时，其吸收率为：

$$I = (I_0/2)(e^{-D_{||}} + e^{-2D_{\perp}}) \quad (5)$$

若  $D_{\perp}$  很小或近乎是零， $D_{||}$  则很大，则(5)

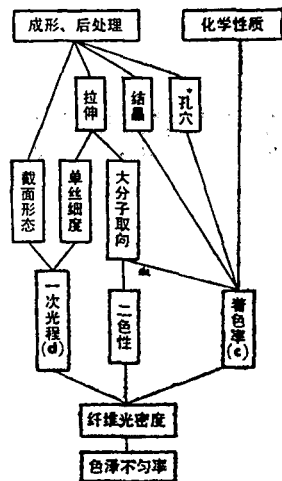


图 9 影响染色的各种因素图解

Fig 9 Graphic analysis of factors influencing dyeing

孔穴和消光剂的存在能大大地减小一次光程，图中未标出。

式中  $e^{-D_{||}}$  项趋近于零， $e^{-2D_{\perp}}$  项趋近于 1，即不论染料浓度多大，吸收率将接近于 1/2。就是说，对高取向的二色性染色纤维，光吸收是远远不完全的，极限是吸收入射光强度的 1/2。因此，低特(10特以下)、高取向的二色性染色纤维很难染成深色。

### 3. 表面反射率在其他方面的应用

薄片仅是一维的尺寸很小，纤维在两维方向的尺寸很小，涂料薄片中的微粒则在三维方向的尺寸都很小，但三者都可用前述原理来考虑表面反射问题。因此，本文所述的仪器的可能应用范围还可推广到其他方面，如白度、荧光等，限于篇幅，不再在此讨论。

### 参 考 资 料

- [1] «Proc. Roy. Soc.», Vol. 11, p. 545 (1862).
- [2] 胡绍华, «反射二色性法研究纤维非晶区取向», 华东纺织工学院纺织化学系化学纤维专业硕士论文, p. 38~47, 1981.
- [3] Preston J. M. and P. C. Tsien, «J.S.D.C.», Vol. 62, p. 242 (1946).
- [4] Preston, J. M. and P. C. Tsien, «J.S.D.C.», Vol. 62, p. 368 (1946).