

棉纤维长度测试中反光式讯息转换的探讨

严灏景 张佩良

张思福

(华东纺织工学院)

(上海纺织工业专科学校)

【提要】 本文就棉纤维长度测试仪器中纤维量讯息的光电转换进行了探讨, 提出了新的反光量转换方式。在适当的取样量范围内, 这种转换是线性的。本文还介绍了实现该转换的新技术, 反光转换传感器的光路特点和应用。

一、纤维长度测试中传统的讯息转换方式

当用合适的制样装置制得了符合要求的试样须丛后, 由于须丛中各处的纤维量变化讯息难以直接测量, 故通常采用某种形式的传感器将须丛中纤维量变化转换成某种便于直接测试的物理量变化, 通常有以下几种转换方式。

1. 纤维量 → 电容量

这种转换方式基于静电场理论 $c = \epsilon \cdot s / d$ (c 为电容量, ϵ 为极板间介质的介电常数, s 为极板面积, d 为极板间距离)。

在具体的仪器中, 参数 s 和 d 是固定的, ϵ 由极板中纤维的介电常数和空气的介电常数综合决定, 通过测量电容 c 的变化来确定纤维量的变化。这种转换当充满度较大时是非线性的。

2. 纤维量 → 气流量

该转换形式将须丛中纤维量变化转换成经空气狭缝流过纤维须丛后气流摩擦阻力的变化。其原理可用考茨尼层流方程式^[1]说明。

$$Q = A \cdot \Delta P \cdot \epsilon^2 / KS^2 \cdot \mu \cdot L \cdot (1 - \epsilon)^2$$

式中: Q 为流过覆盖在气室狭缝上的纤维后的气流量速率; S 为覆盖在气室狭缝上的纤维比表面积; A 为空气室狭缝面积; L 为纤维层厚度; ΔP 为压力差; ϵ 为空隙率; μ 为空气粘滞系数; K 为比例常数。

在仪器中 A 、 μ 、 K 为常数, L 、 S 、 ϵ 综合反映纤维量变化讯息。由上面方程式可见,

这种转换方式受较多因素的影响。

3. 纤维量 → 透光量

当试样须丛中纤维层较薄时, 这种转换方式可用 Lambert-Beer 定律来解释:

$$I_t = I_0 \cdot e^{-Kc \cdot t}$$

式中: I_t 为透过纤维层后的光强; I_0 为入射光光强; t 为纤维层厚度; K 、 C 分别为纤维层中有色物质的吸收系数和浓度。

Lambert 定律一般仅适用于均匀介质。对于纤维层来说, 尤其对较厚处, 由于棉纤维表面极不规则, 排列紊乱, 纤维间充满着空气, 纤维本身还有中空, 如图 1 所示, 因此透射光强 I_t 与纤维层厚度关系极为复杂。在研制透光式纤维长度仪 (即早期的纤维照影机) 时就已发现这个问题, 故当时曾用一套凸轮机构来修正经透光式转换后须头曲线的失真问题。现代纤维照影机如 530 型中则借助电路设计, 改变增益, 使输出电讯号分段

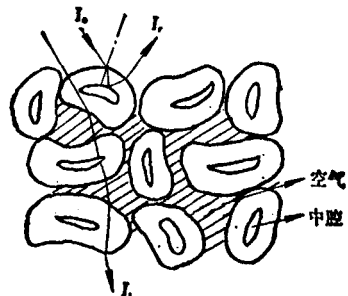


图 1 当纤维层较厚时纤维中存在着多次反射和折射示意图

I_0 —入射光线; I_t —透射光线; I_r —反射光线。

收稿日期: 1984年5月17日。

21320/1847

逼近须头曲线，并用一套塑料薄片模拟纤维量对电路增益进行实测校准^[2]。

二、反光式讯息转换

通过上面分析可知，讯息转换的关键问题是要不失真地重现试样须头曲线，电容式和透光式讯息转换是非线性的，经转换后需校准失真，而气流式受较多参数的影响。为了寻找既能实现线性转换又要简单易行的转换方式，对纤维须丛的反光情况做了一些研究，发现反光式讯息转换是一种较理想的切实可行的方式。

当光束照射纤维后，其能量将分成三部分，一部分透过纤维，可用作透光式转换；一部分被纤维吸收；另一部分则被纤维反射，这反射部分的光能与纤维量的关系需要通过实验来确定。

实验用的试样由上棉五厂原棉组协助制作，系将去除短绒后的精梳棉，分别称取不同重量的纤维，均匀排列在宽160毫米的纸片上，先用光导纤维转换器组成的反光式装置测试每片试样的反光值，再用透光式装置测出相应的透光值作对比，测试结果列于表1。从表中可见，当纤维量少于60毫克时，反光式转换是线性的，而透光式转换是非线性的。

表1 纤维量分别与反光量、透光量的关系

纤维量G (毫克)	5	10	20	40	50	60	70	80	100	120	140
反光量φ (毫伏)	2	4	8	16		25		33	41	44	48
透光量I (毫伏)	140	129	116	87	77	70	59	50	38	31	

注：反光和透光转换装置中，已将光强转换成电压讯号，故反光量、透光量都用毫伏表示，以后图表中都是这样。

为了确定纤维量和反光量之间数学关系，并找出试样量的合适范围，同时考虑到试样地区性，选取了较多的国产原棉进行定量实验。棉样来自七个主要产棉地区，包括五个等级，细度范围从5500支到7470支，

共11组棉样，104只试样。

试样须丛制成后，先用反光式转换装置测反光值。如图2所示，光束扫描的起点离须丛根部2毫米，然后每间隔2毫米测一次反光值，直至全部须丛接受光束扫描为止。为对比起见，同时还用透光式装置测试须丛各处的透光量。

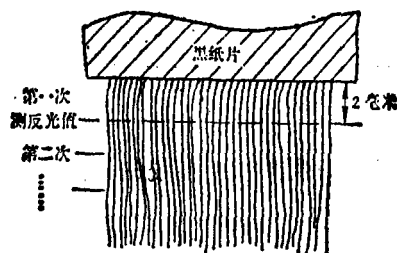


图2 测定须丛反光值的位置

每片试样经上述反光和透光测定后，用切断装置将须丛每隔2毫米切断，通过机械控制定位，使切断的2毫米纤维片段的正中间就是测定反光值和透光值的位置，如图3所示。最后把每次切断下来的纤维全部收集后，用精度为十万分之五天平称重。

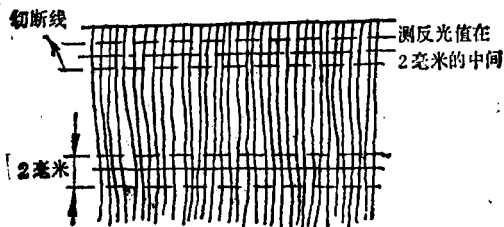


图3 纤维切断的位置

将反光值、透光值及相应的2毫米纤维片段称重值一一对应记录并绘制成图表，本文为节约篇幅起见，仅列出同一只试样（江苏527、6780支）的两张对应的曲线图。如图4、5所示（纵横坐标的数值为相对值）。

将所有的实验数据，经“归1”化处理后，以反光值作为随机变量φ，2毫米纤维片段称重值作为随机函数G，用一元线性回归法求得11组棉样的线性回归方程（为节省篇幅，这里未列出），经分析发现所有的回归系数十分接近，在0.95~0.97之间，可用其算术平

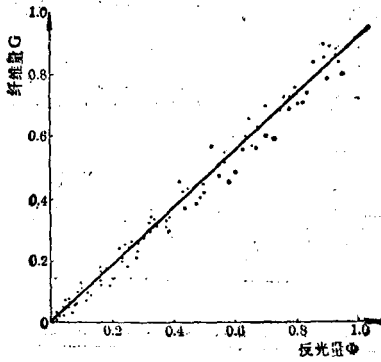


图4 反光值与纤维量的关系

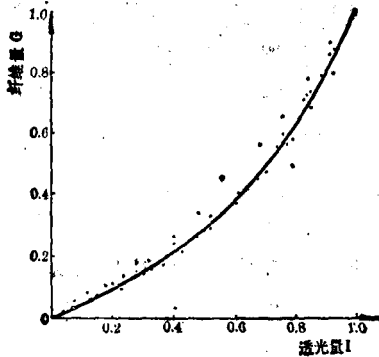


图5 透光值与纤维量的关系

(该图已作过处理, 它与实际的透光与纤维量曲线成互补关系)

均值 0.957 统一表达之; 同时发现所有的线性相关系数都高达 0.99 以上, 故可采用统一方程式来表示反光量和纤维量之间的关系, 即 $G = 0.957\phi$ 。

经用统计量 t 检验, 所有 11 组棉样的回归方程与上述统一表示式均无显著差异。

理论分析和实验结果都证明, 反光式讯息转换的线性是有一定条件的, 当须丛宽度为 160 毫米时, 凡切下的 2 毫米纤维片段重量不大于 8 毫克时, 转换是线性的, 超过 8 毫克后, 反光量开始趋向饱和。现据此估算一下合适的取样范围。

一般认为, 棉纤维的线密度在 100~340 毫特克斯之间, 则 2 毫米纤维片段内根数可由下式求出: $n = G/\rho \cdot l$ (G 为 2 毫米纤维片段重量, ρ 为纤维线密度, 单位为克/厘米; l 为纤维长度, 这里就是 2 毫米)。

经计算当 G 取 8 毫克时, n 为 10,000~35,000 根, 此时整个须丛总重量约 50 毫克。为保证线性转换, 当须丛宽度为 160 毫米时, 取样量不宜超过 50 毫克, 这时须丛根部最厚处的纤维层约为 4.4 层。取样量可随须丛宽度而变, 宽度增加, 取样量也可增加, 但应保证须丛最厚处平均层数不大于 4.4 层。

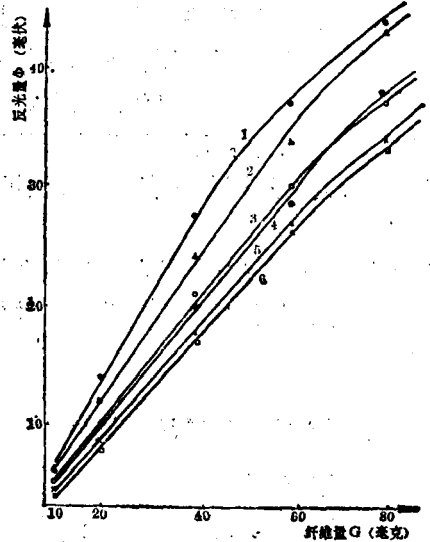


图6 反光值与纤维细度关系

1-9000支; 2-7600支; 3-6500支; 4-6400支; 5-6100支; 6-6050支。

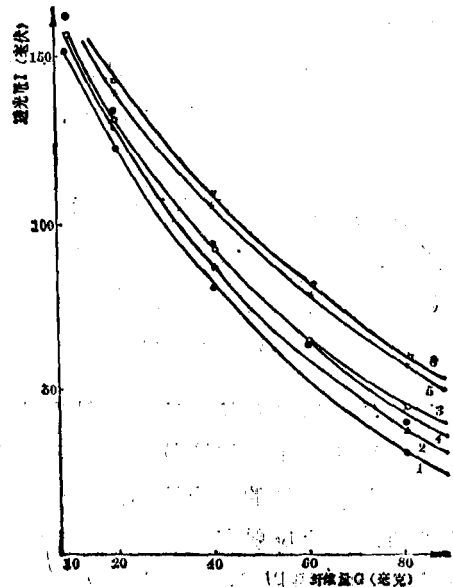


图7 透光值与纤维细度关系

(图中代号的含义同图6)

须丛的背景会参与纤维正常反光，在纤维层较厚处，光线穿过纤维层后已受到较大衰减，经背景反射后，又要再次穿过纤维层，方能被光敏器件接收，故此时总的反光强度中背景反射比例较小。但在纤维层薄处，纤维稀少，背景直接将光线反射，故此时总的反光强度中背景反射的比例较大。即在须丛不同部分，背景对反光的影响形成了干扰。因此在实验中，乃至正式制作反光式长度仪时，背景应选用接近理想黑体的材料。

实验结果还表明，不论透光式还是反光式讯息转换，其结果还包含有纤维细度讯息。如图 6.7 所示。

这里因为仅需要纤维量与反光值之间关系，故通过“归 1”化处理后消除了纤维细度的影响。

三、反光式讯息转换装置简介

实验用的反光式讯息转换装置包括讯息转换、电源和显示、纤维切断器和扭力天平四个部分。

讯息转换部分由齿轮齿条传动的移位器、百分定位表、试样架、光源、光电转换及光导纤维转换器组成。

光导纤维转换器是反光式讯息转换得以实现的技术和物质基础，如图 8 所示。

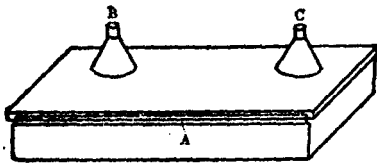


图 8 光导纤维转换器

光导纤维传送光波的理论基础是光的全反射现象。图 9 表示一根圆柱形玻璃纤维，当子午光线入射光纤的一个端面，且与圆柱轴线成 θ 角，由全反射定律可知，在光纤内部折射成 θ_0 角，再以 $\phi_0 = (\pi/2) - \theta_0$ 角射到折射率为 n_0 的蕊料和折射率为 n_1 的涂层界面上。凡 $\phi_0 > \phi_c$ 的光线发生全反射 [临界

角 $\phi_c = \sin^{-1}(n_1/n_0)$]，然后在光纤内部反复逐次反射，直到从另一端射到空气中。 θ_c 称为受光角，一般在 $50 \sim 70^\circ$ ，凡入射角小于 θ_c 的光线均能被光纤传播。

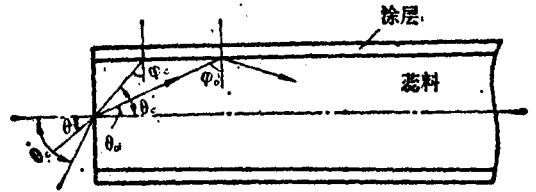


图 9 圆柱形光导纤维对光的传播示意

把光导纤维用于光学系统的优点之一是能任意弯曲地传播光线。本实验装置中，采用直径 5 微米的涂层玻璃纤维，经特殊工艺组装成专用反光式器件。如图 8 所示，工作面 A 中封装有两层光导纤维，其中一层可用作发射线状光束，该层光纤的另一端被集束封装在圆形金属筒 B 内。B 处用点光源照射时，在 A 处便有线状光束发出。另一层可用作接收由反射物反射回来的光线，与之对应的是圆形端面 C。在 C 处安装光电器件，就可将光能的变化转换成电讯号。

四、结 论

由以上分析对比可以看出，在纤维长度测试中，采用反光式讯息转换，效果是好的，与透光式讯息转换比较有以下几个优点。

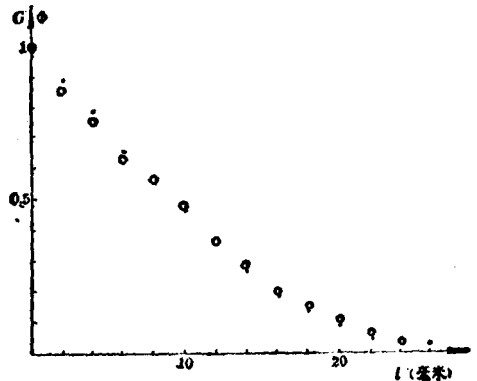


图 10 反光式转换后须丛的须头曲线重现性
G-纤维量; ϕ -反光值(纵轴取相对值); \circ -反光值与长度关系; \bullet -纤维量与长度关系。

(下转第14页)

(上接第8页)

1. 在适当的取样量范围内,反射式讯息转换是线性的,由实验确定纤维量 G 和反光量 Φ 之间的关系为: $G=0.957\Phi$ 。

因此,用反光转换,可简化转换后的电路结构。经用实际试样证明,反光式转换后须丛的须头曲线重现性很好,如图 10 所示。

2. 由于使用了反光式转换,可使光束的发射和接收安排在试样的同一侧,采用光纤转换器件后可大大简化光路结构。

3. 光导纤维直径很细,本转换器件二层光纤层的厚度仅为 0.1 毫米,因此可实现对

须丛中纤维量的即位置测定,而不是某片段范围内的平均值,这样有利于提高测量精度。

4. 反光式转换器件结构简单,使用调整十分方便,导光稳定可靠,光束均匀。

在实验中,因纤维本身色泽、两端锥形及卷曲等因素对反光转换的影响研究尚不充分,有待进一步探索。

本文有关实验的取样、试样制备及许多实验工作得到上海纤维检验所陆浩同志,上棉五厂魏以德、王吟春、王国珍等同志,华东纺院张琳同志的大力帮助,特表感谢。

参 考 资 料

- [1] «J. Text. Inct.», 1956, No. 47, P.6.
- [2] «纤维检验通讯», 1981, No. 6, P.36.