

# YG811型织物悬垂性测定仪的 理论分析与应用

王晓东 陈黎曦 陈惠兰 彭立云

(西北纺织工学院)

**【提要】** 本文从理论上分析了抛物面反射镜产生平行光场的光强分布规律,并介绍了实际测量结果;论证了YG811型织物悬垂性测定仪光场强度不均对所测悬垂系数的影响,并在理论分析的基础上推荐了一种校正方法。

## 一、引言

用YG811型织物悬垂性测定仪测定织物悬垂系数,比用传统的剪纸称重法或求面积计算法有较多的优点。但是,我们在使用中发现,悬垂系数对织物悬垂形状有较大的依赖性,即使是悬垂投影面积相同的织物,由于投影形状不同,也会导致仪器测量悬垂系数不同,这种误差有时相当显著,为此我们对此仪器进行了分析和研究,发现这种误差带有本质性,值得重视和研究。

## 二、误差原因分析

YG811型织物悬垂性测定仪的基本结构是用一对抛物面反射面产生平行光和收集平行光来测定遮光量的。如在两抛物面间平行光场内没有织物,光电池将接收到最大的光通量 $E_0$ ;如放置织物,悬垂的织物要遮挡一部分光线,相当于两抛物面间光通量减小到 $E$ ,两者之比即可反映出悬垂系数的大小,表头按悬垂系数刻度。按我国悬垂系数的定义<sup>[1]</sup>,悬垂系数 $F = [(A - a_0)/(A_0 - a_0)] \times 100(\%)$ 。式中: $A$ 为投影面积; $A_0$ 为试样原面积(45239毫米<sup>2</sup>); $a_0$ 为支持台端圆面积(11309.7毫米<sup>2</sup>)。织物在自然悬垂下,其投影形状不能预先准确地估计,因此首先要求抛物面反射出来的光强沿圆周方向是均匀的,否则,不同投影面积形状以及同一形状不同放置方

向都会导致测量误差。而在实际制造中,又有许多客观因素不可能做到抛物面反射光场沿圆周方向绝对均匀,而且这些缺陷又不可能在制造时加以补偿或修正。这样,给仪器带来了不可避免的误差。同时,又因为织物悬垂形状不是圆形,而且不同织物悬垂投影形状不同,也无法预先估计,即使采用圆形标准板校准了刻度,也不可能适应千变万化的织物悬垂投影形状。半径方向光强的不均,主要是由抛物面本身反射特性造成的,它是引起测量误差的主要原因之一,现分析如下:

抛物面剖面上曲线方程、座标关系见图1。坐标原点设置在抛物线的焦点 $O$ 处,抛物线绕 $y$ 轴旋转形成理想的抛物面。设光源为理想点光源,亦设置在焦点 $O$ 处。若光源发出的光强是各向均匀的,在光源下方半球内总

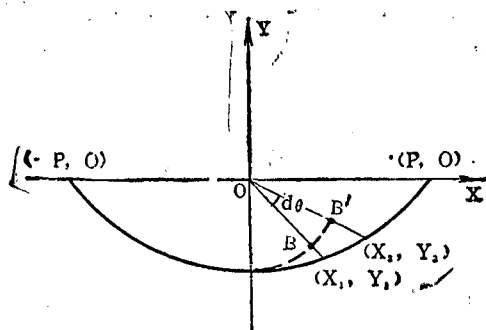


图1 抛物面反射光分析示意图

收稿日期: 1986年7月11日。

光通量为F, 则以O为圆心, 以  $p/2$  ( $p$ 为抛物线的焦距)为半径的半球面上的照度为:

$$E_0 = F / (\pi p^2 / 2) = 2F / \pi p^2 \quad (1)$$

在此球面上任取一个对应圆心角为  $d\theta$  的球带(即  $\widehat{BB'}$  对应的旋转球面), 设球带面积为  $A_0$ , 则通过球带的光通量为  $F_{A_0} = E_0 \times A_0$ 。这部分光通量经抛物面反射成平行光向上照射。反射光分布在与球带对应的环形区域内, 即内半径为  $x_1$ , 外半径为  $x_2$  的环内。设此环形区域面积为  $A$ , 则  $A = \pi(x_2^2 - x_1^2)$ , 在此环形区域内反射光的光通量为  $F_A = F_{A_0} \times \rho$ 。式中:  $\rho$  为抛物面的反射率。环形区域内单位面积的光通量为:

$$E_A = F_A / A = E_0 \rho (A_0 / A) \quad (2)$$

因此, 抛物面反射光强的均匀问题可转化为  $A_0 / A = \beta$  (反射光照度系数) 是否为常数问题。如果  $\beta$  是常数, 则在光源、抛物面均理想的条件下, 可以获得均匀的反射平行光。否则, 反射光强将不是一个常数, 光强分布也不均匀。通过几何推导:

$$A_0 = \frac{\pi}{2} p^2 \left( \frac{x_2^2 - p^2}{x_2^2 + p^2} - \frac{x_1^2 - p^2}{x_1^2 + p^2} \right) \quad (3)$$

$$\beta = A_0 / A = p^4 / [(x_2^2 + p^2)(x_1^2 + p^2)] \quad (4)$$

令  $x_1 = x$ ,  $x_2 = x + dx$ , 并略去二阶微量  $(dx)^2$ 。

$$\beta = 2p^4 / [(x^2 + p^2)^2 + 2x(x^2 + p^2)dx] \quad (5)$$

假设  $p = 240$  毫米, 并取  $dx = 0.5$  毫米, 计算出不同半径处的  $\beta$  值, 得  $\beta(x)$  曲线见图 2。由图可见,  $\beta = A_0 / A$  并非常数, 随半径增加

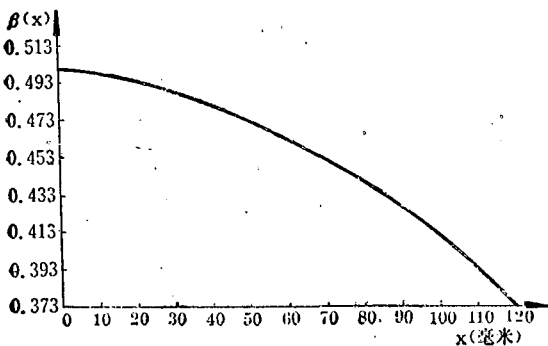


图2 抛物面反射镜反射光强的理论计算曲线

而下降, 即在光源等理想条件下, 反射光沿半径方向不是均匀的, 距离中心越远, 反射光越弱, 因此表头刻度也应是而非线性的, 并且导致对同一投影面积, 由于投影形状不同而有不同的仪器读数。

在以上推导的前题下, 按此半径方向的光强分布规律计算出面积相同, 但形状分别为正圆、正方及四叶摆线的三种条件下所折合的悬垂系数以及各种形状相对正圆时的遮光量误差值(最大直径为240毫米)见表1。

表1 对不同遮光面积的误差分析

参 数	计算悬垂系数 $F_0$ (%)	用相对透光量折算的悬垂系数 $F_1$ (%)	测量悬垂系数 $F$ (%)	计算遮光量误差值 $\Delta H^{(1)}$ (%)	悬垂系数测量误差值 $\Delta F_0^{(2)}$ (%)
正圆形	42.15	42.15	45.0	0.00	0.00
正方形	42.15	41.40	42.6	1.82	5.44
四叶摆线形	42.15	36.19	38.5	16.5	14.52

注: (1)误差计算是以圆形面积为基准的, 分别计算出各面积的相对透光量  $H$ , 然后计算误差  $\Delta H = [(H_i - H_0) / H_0] \times 100\%$ , 式中:  $H_0$  是正圆形的相对透光量。(2)测量误差也是以圆形为基准的, 三块试样面积均为 25610 毫米<sup>2</sup>, 分别在 YG811 上测量读数  $F_0$ , 计算误差  $\Delta F_0 = [(F_{0i} - F_{00}) / F_{00}] \times 100\%$ , 式中:  $F_{00}$  为正圆形的读数。

因此, 悬垂周边部分的半径变化越厉害的形状, 由于径向光强不匀, 使测量误差明显增大, 反映在悬垂测量上, 悬垂褶裥越深的织物, 测量出悬垂系数误差越大(明显偏小)。

### 三、YG811仪器误差的实验测量

#### 1. 光场强度的分布

用 ST-III 照度计测量光强分布, 其光电池遮盖四边露出中央直径为12毫米的圆孔, 分别沿不同方向测量不同半径处照度, 测量方位如图3所示, 按测量数据得出对应光强分布的曲线见图4。由图可见, 实测仪器的径向光强的变化规律与上述理论推导(图2)是一致的, 但周向光强也是明显不匀的, 这是表1中理论值与实测值不完全相符的原因。根据测量结果绘出仪器反射平行光场内照度

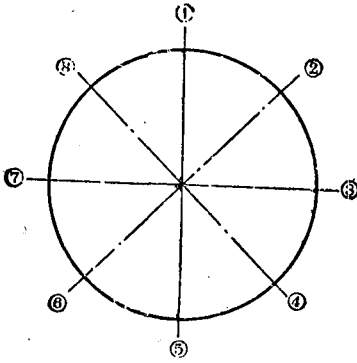


图3 YG811型织物悬垂仪反射光场强度分布测量方位图

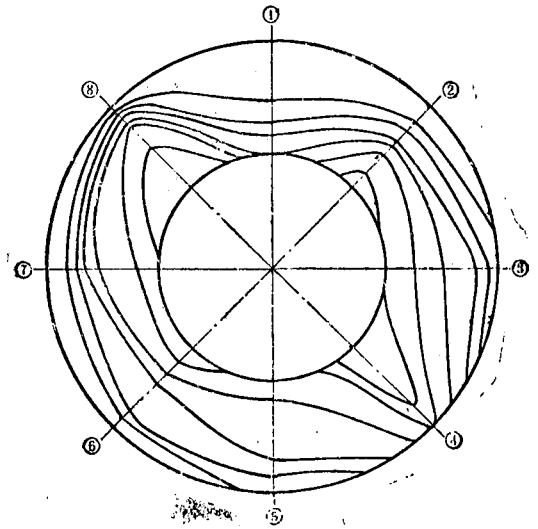


图5 实测反射光场等照度线

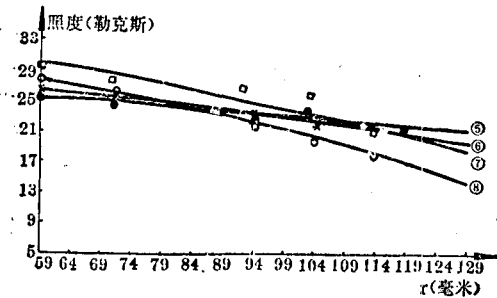
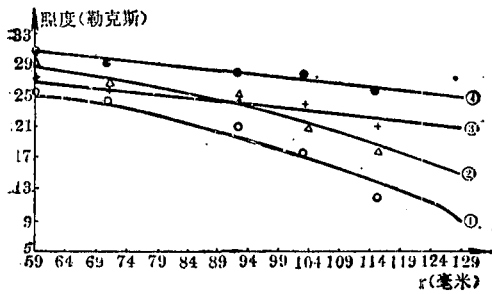


图4 实测反射光场强度分布

分布的等照度线,如图5所示,从图中可以看出仪器实际沿径向和周向光强分布的不均匀性及光源安放位置的偏移和光源的非点状的影响。

### 2. 不同悬垂系数的误差

为测量织物投影面积不同时由于光强不均匀带来的仪器读数误差,先对仪器本身进行校验。具体方法是:用不透光的纸板,剪成不同半径的圆,用QJ1求积仪求出实际面积,并计算出相应的悬垂系数 $F_{10}$ ,然后用YG811进行测量,根据测量结果,得到不同圆面积

时的仪器读数 $F_1$ 与根据实际面积计算的悬垂系数 $F_{10}$ 之间的相关图,如图6所示,求得回归方程为:

$$F_1 = -3.2086 + 1.1026F_{10} \quad (6)$$

相关系数  $r = 0.9989$

然后,又把硬纸板剪成具有不同面积但与织物悬垂时投影形状类似的图形(称之为四叶摆线形),并分别在仪器上测量,测量结果列入表2。并把每个 $F_{20}$ 值代入回归方程(6)中,从而求得与四叶摆线图形面积相同的圆形纸板的仪器读数 $F_3$ ,计算结果见表2。实

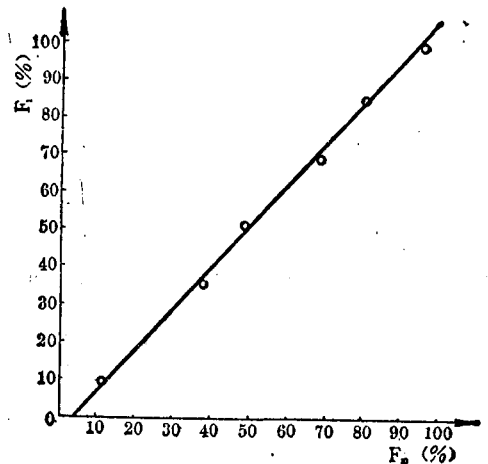


图6 圆形纸板悬垂系数计算值与测量值的相关图

表2 四叶摆线形纸板悬垂系数

测量值及误差计算

编号	面积 (毫米 <sup>2</sup> )	计算悬垂系数 $F_{20}$ (%)	实际测量悬垂系数 $F_2$ (%)	对应圆形测量值 $F_3$ (%)	误差 $\Delta F$ (%)
1	30771.49	57.36	55.0	59.9	8.2
2	27819.65	48.66	45.2	50.3	10.2
3	28661.09	51.14	48.2	53.1	9.2
4	26577.84	45.00	42.0	46.3	9.3
5	23727.78	36.60	33.9	37.1	8.4
6	24372.44	38.50	36.0	39.2	8.0
7	23232.42	35.14	32.9	35.5	7.3
8	21559.71	30.21	28.1	30.0	6.3
9	22031.33	31.60	29.4	31.6	6.8
10	21661.49	30.51	28.3	30.4	6.9
11	19859.86	25.20	23.3	24.5	5.1

实际上表中 $F_3$ 表示仪器光强完全均匀时的测量值, $F_2$ 是在仪器实际光强不均匀时的测量值。 $F_2$ 和 $F_3$ 之间的差异就是由于光强不匀造成的测量误差。以圆形纸板为基准,四叶摆线形相对圆形面积的悬垂系数误差值: $\Delta F = [(F_3 - F_2)/F_3] \times 100(\%)$ 。 $\Delta F$ 与 $F_2$ 的相关图见图7。

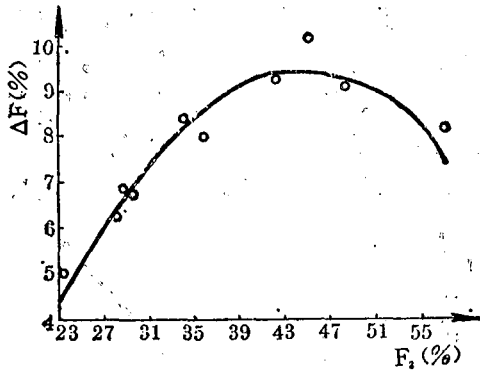


图7 四叶摆线形纸板悬垂系数测量误差相关图

织物投影面积较大时,随 $F_2$ 增大投影形状越接近圆形,测量值相对圆形面积的误差 $\Delta F$ 越小,表现在图7中右端曲线下降;织物投影面积较小时,其投影形状偏离圆形越厉害,随 $F_2$ 减小本应使误差值 $\Delta F$ 偏大,但由于此时织物投影面积少,遮光区域光强均匀度好(见图4),使不同形状的误差趋于减小。故图7中曲线接近抛物线,其回归方程为:

$$(F_2 - 45)^2 = 889.095 - 93.7152 \cdot \Delta F \quad (7)$$

相关系数 $r = -0.9539$

因此,有必要寻找更好的测量悬垂系数的方法或使反射光场进一步均匀的方法。在此之前,使用该仪器时,必须对仪器找出修正系数。根据以上分析,我们设计了一套修正方法:将织物按仪器要求剪样进行测量,读出悬垂系数 $F_y$ ,然后描下织物投影图形,用求积仪(或剪纸称重法)求出面积,按公式 $F_0 = [(A - a_0)/(A_0 - a_0)] \times 100(\%)$ 计算织物实际悬垂系数。然后求出修正系数 $C = F_0/F_y$ 。在以后对此类规格织物进行悬垂性测量时,就可用修正系数乘以仪器读数,从而得出修正后的悬垂系数。这样的修正在织物悬垂投影形状稳定的情况下还是比较可靠的,不仅修正了光强不匀的误差,而且也修正了仪器误差和织物透光等原因造成的测量误差。

我们对11种织物进行了实验测量,测得的织物工艺参数及修正系数回归值列于表3。对同种规格织物的测量可参考此系数修正。

$$F_0 = C \times F_y = F_y^2 / (a + bF_y) \quad (8)$$

式中: $F_y$ 是实测仪器读数; $F_0$ 是修正后的悬垂系数; $a$ 是回归常数(见表3); $b$ 是回归系数(见表3)。

由表3可以看出,由极薄透光的丝织物到几乎不透光的中厚织物,系数 $b$ 相差很小,平均在1.1左右(涤丝麻纱例外),而 $a$ 值变化较大,但有可能按不同织物划分为几种类型处理。

#### 四、结 论

1. 用抛物面反射产生平行光对织物悬垂系数测量,在制造上要求较高。由于光源不可能为理想点光源,光源安装位置很难准确位于抛物面焦点,所形成的光强分布沿圆周方向很可能有较大的不匀,影响测试结果。

2. 抛物面反射本身形成的平行光场,在半径方向光强是不均匀的,它使悬垂系数的

表3 不同织物的修正系数

织物名称	纱的线密度 (特)		织物密度 (根/10厘米)		回归常数 $a$	回归系数 $b$	相关系数 $r$	临界相关系数 $r_0(a=0.001)$
	经	纬	经	纬				
涤丝麻纱	14.5	29	192	380	-10.457	1.156	0.9673	0.6652
涤棉巴厘纱	14.5	15	284	324	-7.140	1.006	0.9303	0.6787
涤棉巴厘纱	15	18	172	254	-15.039	1.141	0.9894	0.6787
涤丝麻纱	3.3	4.4	386	544	-1.379	0.778	0.9799	0.6652
涤棉巴厘纱	14.5	15	204	274	-4.428	0.925	0.9913	0.6787
涤棉经编布	7.8	7.8	156	158	-6.419	1.117	0.9769	0.6652
涤棉巴厘纱	14.5	15	220	270	-6.599	0.980	0.9748	0.6652
涤棉烂花布	14.5	15	262	310	-6.302	1.022	0.9823	0.6787
毛华达呢	36	42	218	322	-12.314	1.199	0.9380	0.6652
粘丝羽缎	15	18	310	468	-7.656	1.100	0.9905	0.6652
真丝纺绸	3.3	6.7	472	546	-8.699	1.119	0.9887	0.6787

读数随织物悬垂形状而变，而织物悬垂形状又不可预知。因此，即使在事先标定的情况下，很难得到准确的测量结果。

3. 本文推荐了用仪器本身校正值来修正读数的方法，有可能减小读数的误差。

4. 鉴于织物悬垂测量的重要性，探索其他测量原理和方法仍是必要的。

注：本文数据是在温州纺织仪器厂生产的YG811型织物悬垂性测定仪(出厂号060)上测得的。

本文是在我院姚穆教授指导下完成的，特此致谢。

### 参 考 资 料

- [1] 《纺织材料学》，p.503，纺织工业出版社，1980。  
 [2] 龚家虎、陈鼎编：《光学》，p.137，上海科技出版社，1984。