

织物动态悬垂性的研究

周坚明 吴震世 李述文

(纺织工程系)

摘要 以旋转悬垂体来表现织物动态悬垂性为依据,设计了相应的测试系统。结合理论对悬垂体受力情况的分析,作了试验结果的形态和物理两方面的解释。

主题词 悬垂性; 动态; 周期长度; 轻薄织物; 线性回归分析

0 前言

织物悬垂性是织物在自重作用下自然下垂形成波折的特性,它包括静态、动态两大类。动态悬垂性反映了织物的活泼性能。日常生活中裙、幔、帜等正是这类特性的典型表现。因此,动态悬垂性作为一重要的视觉风格而受到评价。

迄今为止,有关织物动态悬垂性的研究不是很多,研究内容可简单分为两类。一类是研究织物悬垂体形态变化的,如试图利用高速摄影装置记录试样在纯弯曲变形过程中位置的变化情况从而反映织物(弯曲)活泼弹性的^[1];山东纺研所研制的多功能悬垂仪^[2]也属此类;另一类是研究织物弯曲、剪切等力学风格的,如日本 M. Matsudaira; S. Kawabata^[3]的平板状试样纯剪切动态试验。

本文的基本思想是:用简单的实验仪器,通过旋转,破坏原悬垂体的静态平衡,保持动态条件下织物仍处于悬垂状态,研究分析织物旋转过程中因离心力上浮克服反向变形阻力,并达到设定高度的形态变化过程中的力学影响因素,以此分析这些因素对织物活泼性能的影响情况。

1 实验及其结果

1

1.1 实验装置

1.1.1 原理图 该装置由调速系统、传感系统、记录系统三部分组成,其原理示意图如图 1 所示。

1.1.2 调速系统^[4] 包括支持台 4($\phi 180\text{mm}$)及其上悬垂试样 3($\phi 240\text{mm}$)。旋转动力源为 ZYW40 直流微型电机,通过 WYJ 晶体管直流稳压电源 5 变换电机两极电压控制,调节悬垂试样的旋转速度。

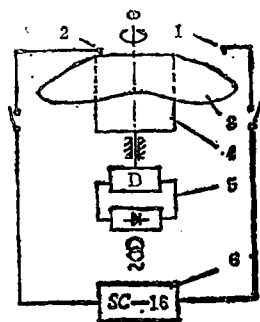


图 1 实验装置原理示意图

1.1.3 传感系统^[5] (1)应变传感系统1 选用适合于小载荷测量的磷铜薄片作为弹性元件,该元件取悬臂梁式,载荷作用于自由端。为减少弹性件与旋转悬垂体(织物)之间的摩擦,弹性件头端接一轻质钢球,使弹性件与悬垂体之间以球面接触。测量电路则采用双臂差动电桥补偿式。这一电路既能起温度补偿的作用,又提高了输出灵敏度,而且也改善了信号的非线性。应变片规格为BQ120—55A。(2)电动式传感系统2 将磁性很强的磁钢体固定在支持台上,使之随所转的支持台通过线圈测试头,引起线圈内磁通量变化,从而发生电磁感应,以此测量旋转周期信号。这种型式的传感器结构简单,可靠,工作中无接触点,试验表明测量周期信号非常有效。

1.1.4 记录系统 包括振子和记录仪两部分

振子选择:(1)阻尼因数 $\zeta = 0.7$, (2)固有频率 由于本实验是以测量织物旋转用“平”时的周期信号长度为主要内容,故两传感器所对应的振子的固有频率选择相同:FC6—400,以使记录曲线的时间滞后均相等。(3)灵敏度 电感式82.4mm/mA,应变式77.7mm/mA。

记录仪 选用SC—16型光线示波器。

1.2 实验条件

1.2.1 应变传感器测试点的位置 与悬垂仪支持台水平面等高,弹性元件的触头距(水平状态的)试样边缘为20mm,弹性件指向试样圆心。

1.2.2 记录仪走纸速度 100mm/s

1.2.3 试样规格 如表1。

表1 试样规格明细表

试样名称	样号	经纱细度	纬纱细度	经 密 (根/10cm)	纬 密 (根/10cm)	重 量 (g/m ²)
丝 棉 绸	1	20/22 ^d	60 ^s	680	340	76
涤 棉 绸	2	9 ^t	9 ^t	410	280	58
印花尼丝纺	3	9 ^t	9 ^t	490	360	75
印花富春纺	4	14 ^t	21 ^t	440	260	118
桑 绢 纺	5	9 ^t	20 ^t	350	350	101
绢纬塔夫绸	6	34 ^t	27 ^t	550	354	78
真丝双绉	7	15 ^t	46 ^t	670	390	61
薄 乔 其	8	7 ^t	7 ^t	700	270	80
真丝丝绒	9	9 ^t	9 ^t	370	410	178

1.3 实验结果

1.3.1 记录结果如图2所示。

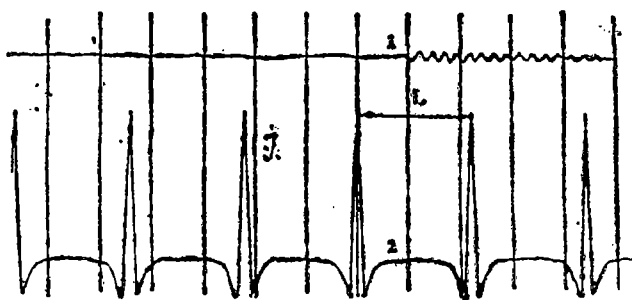


图2 记录结果示例图

上图记录的是应变传感信号1和电感传动信号2。 A 为悬垂试样旋转中最先触及应变传感器(也即达到设定高度)的信号点, L 为 A 对应的电感传感信号的周期长度,它与转速的换算关系为:

$$\text{转速 } n(r/s) = \frac{100(mm/s)}{\text{周期长度 } L(mm)}$$

1.3.2 实验结果 如表2。

表2 电感信号周期长度 L (单位: mm)

YNO	NO.1	NO.2	NO.3	AVE.
1	17.3	18.0	17.8	17.73
2	20.1	21.2	21.3	20.87
3	14.4	13.1	14.5	14.00
4	23.5	24.5	24.5	24.17
5	23.5	23.3	21.5	22.77
6	20.2	22.5	21.8	21.50
7	23.0	22.5	23.3	22.97
8	27.5	26.0	27.7	27.17
9	18.2	20.8	21.0	20.03

2 实验结果分析

2.1 物理解析

考察旋转试样的受力情况,如图3所示。

取试样上某一分离体 B ,对 A 点取距:

$$m_A = m \cdot r \omega^2 \cdot l \cos \theta - mg \cdot l \sin \theta - M_{\text{内}}$$

式中, $M_{\text{内}}$ 为旋转中试样发生反向变形的内阻力矩。影响这一阻力矩的因子需进一步分析织物悬垂过程中的受力情况。

2.1.1 复合变形 织物的悬垂变形是一个十分复杂的变形,涉及到应变和位移的问题。要

给一个确定的定义并应用应力—应变关系加以解释是极其困难甚至是不大可能的。因此,对悬垂体的变形分析需加以简化。将织物假设成薄片连续体(这与工程上假设材料是匀质的,但任何材料在分子水平上都不是匀质的“放大—缩小”原理是一致的),并以平板薄壳结构理论进行力学分析^[6]可得其近似的应力—应变关系式如下:

$$\begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11}A_{12}A_{13}B_{14}B_{15}B_{16} \\ A_{22}A_{23}B_{24}B_{25}B_{26} \\ A_{33}B_{34}B_{35}B_{36} \\ D_{44}D_{45}D_{46} \\ D_{55}D_{56} \\ D_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{pmatrix}$$

此式中由21个独立刚性变量给定薄片的弹性性能:6个膜性能,6个弯扭性能,9个膜变形与弯、扭变形的相关参数。显然,要求解此式并确定它们的值是极其困难的,但它告诉我们,织物悬垂变形时涉及到织物内部弯曲、剪切等性质的变化。

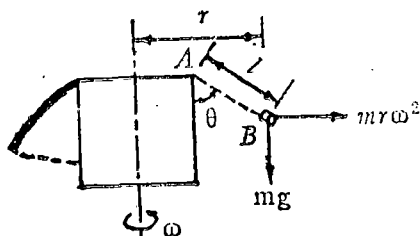
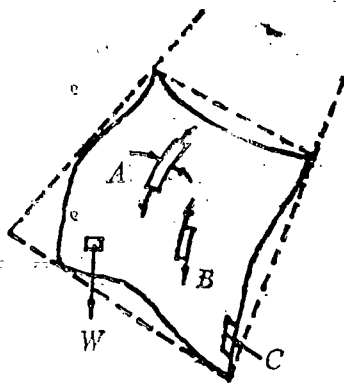


图3 动态悬垂分离体受力示意图



A: 径向、周向的弯曲应力; B: 弯曲引起的剪切应力; C: 压曲应力; W: 单位面积重量

事实上,织物悬垂时发生弯曲变形是很明显的,由于这种弯曲具有多维性,且为同时发生,因此,悬垂体内部必然要发生剪切位移。据此可画出单位面积(扇形)悬垂体的受力图^[7],如图4所示。

2.1.2 断面模型分析 建立悬垂体断面模型,如图5所示。这个断面是由指向圆心的压曲力引起的压曲曲线。悬垂体的断面可以看作是这样的压曲曲线的组合重叠。

设一线性弹性体等间隔地受弹性支撑(如图6)则它的压曲力 P 为^[8]:

$$P = \frac{\pi^2 \cdot EI}{l^2} \cdot \frac{\sum_{n=1}^{\infty} n^4 \cdot a_n^4 + \frac{\beta}{\pi^4} \cdot \frac{l^4}{EI} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} a_n^2}{\sum_{n=1}^{\infty} n^2 \cdot a_n^2}$$

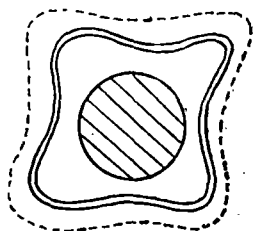


图5 悬垂体断面模型图

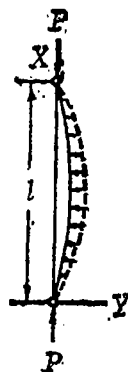


图6 线性弹性体压曲受力图

式中

EI ——弯曲刚度

a_n ——振幅

l ——试样折曲长

β ——弹性体纵向弹性常数

上式表明,压曲力是弯曲刚度、折曲曲线长、弹性常数等因素的函数。当然,织物悬垂体的压曲力的确定函数远比上式复杂,但基本内容是相近的,即压曲应力中的主要成分是弯曲刚性指标等。

2.1.3 进一步分开考察弯曲、剪切的影响 织物悬垂与其弯曲特性有关。布的弯曲特性可用弹性比例项与滞后项的和近似表示,如图7。

$$M = B \cdot K \pm HB$$

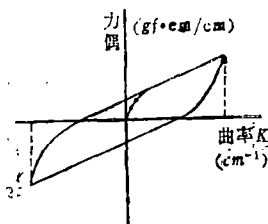


图7 织物弯曲特性图

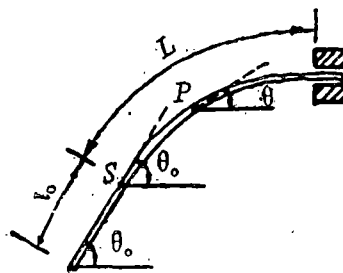


图8 织物悬臂梁弯曲图

式中

B ——弯曲刚度($9.8 \times 10^{-3} \text{N} \cdot \text{cm}^2/\text{cm}$);

K ——曲率(cm^{-1})

$2HB$ ——弯曲滞后圈幅宽($9.8 \times 10^{-3} \text{N} \cdot \text{cm}/\text{cm}$)

考虑悬臂梁式弯曲,如图8所示。

这一形态可由弹性理论,根据弯曲刚度 B 、单位面积重 W 求出^[9]:

$$\theta(p) = \theta_0 - \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\cos \theta_0}} \beta \cdot L^2 \cdot P - \frac{\cos \theta_0}{6} \cdot L^3 \cdot P^2$$

$$l_0 = \sqrt{\frac{2HB}{w \cdot \cos \theta_0}}$$

式中

$$L = l / \sqrt[3]{\frac{B}{w}}$$

$$\beta = \frac{\sqrt{2HB/w}}{\sqrt[3]{B/w}}$$

代入边界条件推知, 弯曲曲部形态与 $\sqrt[3]{B/w}$, $\sqrt{2HB/w}$ 等有关联。

类似于布的弯曲特性的分析, 布的剪切特性如图9所示。

$$F_s = G \cdot \phi \pm HG$$

式中

G ——剪切刚度($9.8 \times 10^{-3} \text{N} \cdot / \text{cm} \cdot \text{deg}$)

ϕ ——剪切角

$2HG$ ——剪切滞后圈幅值($9.8 \times 10^{-3} \text{N/cm}$) ($\phi_1 = 0.5^\circ$;

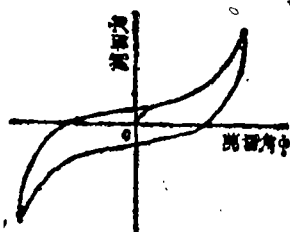


图9 织物剪切特性图

$\phi_2 = 5^\circ$) 剪切变形形态则与 $\sqrt[3]{G/w}$, $\sqrt{2HG/w}$ 等有关联。

由此推论, 旋转中悬垂体发生弯曲、剪切等变形的内阻力矩, 其大小是诸多因素(B , $2HB$, G , $2HG$, $\sqrt[3]{B/w}$, $\sqrt{2HB/w}$, $\sqrt[3]{G/w}$, $\sqrt{2HG/w}$, w 等)的函数, 其方向视旋转过程中分离体的升降而改变。

显然, 要求解这样的函数以确定 M 内的因子构成是极其困难的, 因此, 本文仅试作部分力学因子的相关分析。

所取试样的有关力学性能指标如表3。

表3 力学性能指标测试结果

YNO.	B	2HB	G	2HG	W
1	0.0180	0.0078	0.3550	0.7475	76
2	0.0093	0.0047	0.2200	0.2425	58
3	0.0165	0.0080	1.0350	0.8075	75
4	0.0390	0.0127	0.2100	0.0275	118
5	0.0770	0.0229	0.2625	0.0800	101
6	0.0220	0.0059	0.2275	0.0250	78
7	0.0070	0.0022	0.1650	0.0050	61
8	0.0130	0.0030	0.1750	0.0250	80
9	0.0060	0.0844	0.5950	1.3950	178

注: 测试仪器: KES—F 织物风格仪

以织物旋转达到设定高度的转速周期长 L 为因变量, 以 B , $2HB$, G , $2HG$, $\sqrt[3]{2B/w}$, $\sqrt{2HB/w}$, $\sqrt[3]{G/w}$, $\sqrt{2HG/w}$, W 作自变量, 采用单因素线性回归分析, 结果如表4。

表4 回归分析结果

	B	$2HB$	G	$2HG$	$\sqrt[3]{B/w}$	$\sqrt{2HB/w}$	$\sqrt[3]{G/w}$	$\sqrt{2HG/w}$	W
F	0.27	0.08	13.91	5.33	0.002	0.46	27.37	0.28	0.02
R	0.19	0.11	0.82	0.66	0.016	0.25	0.89	0.19	0.05

查 F 分布表:

$$F_{(1,7)}^{0.01} = 12.2$$

$$F_{(1,7)}^{0.05} = 5.59$$

比较知, 转速周期长度 L 与剪切刚度 G , 特别是多项式因子 $\sqrt[3]{G/w}$ 线性相关高度显著, 其它诸因子的单因素线性相关不显著, 虽然不能由此推得这些力学因子对周期长度影响不显著的绝对结论, 但可以肯定的是, 因子 G , 特别是 $\sqrt[3]{G/w}$ 对周期长度的作用是较大的。这也说明, 尽管静态悬垂时织物的弯曲性能对其悬垂形态和悬垂大小起重要作用^[10], 但动态条件下, 悬垂体变形过程中纤维、纱线之间的相对滑移(即剪切性能)更加明显并影响着织物的动态活泼性能。

2.2 形态解释

悬垂试样在旋转中会出现波折, 呈波浪(或荷叶)形, 但形成波浪的难易程度、波浪的深浅等, 各试样就不同, 这样, 试样旋转使其达到某一设定高度的转速要求也不同。从形态方面考虑, 若试样在旋转中易形成波浪, 且波峰波谷较深, 则波峰触及设定高度的应变传感器时, 整个试样的平均高度相对较低, 相应地, 要求转速就低, 周期长度 L 就大。反之, 不易屈曲变形的, 旋转中波浪浅的, 则较难触及, 转速要求也高。因此, 记录的相对于转速的周期长度在一定程度上反映了织物动态旋转时形成折曲波浪的难易, 如果认为织物悬垂体旋转中所形成的波浪形态是动态悬垂形态美观性的影响因素。那么, 这一周期长度与织物动态悬垂形态美观性也就有着某些联系了。

3 结束语

(1) 影响织物动态(旋转条件下)悬垂性的内在物理因素中包含了织物的剪切刚度 G 、特别是复合因子 $\sqrt[3]{G/w}$ 。

(2) 织物悬垂体旋转达到设定高度所需的转动信号周期长度有可能成为评价织物(特别是裙、幔、帜类织物)动态悬垂形态美观性的重要指标。

致 谢

在实验过程中得到了纺工系纺材实验室陈耀源老师的热情帮助, 谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 (日)纤维性能评价研究委员会; 张亮恭等译. 纺织测试手册. 纺织工业出版社, 1987: 132
- 2 山东纺织研究所. LFY—21多功能悬垂仪研制报告.
- 3 Matsudaira, M. Kawabaat. S. An Analysis of Dynamic Drape of Woven Fabric. 纤维机械学会志(日), 1986; 39(2): T175
- 4 电机工程手册编辑委员会. 电机工程手册. 机械工业出版社, 1982; 9: 48—42
- 5 朱浩, 等. 纺织电测技术. 纺织工业出版社, 1985
- 6 Shanahan W J, D W Lloyd, Hearle J W S. Characterizing the Elastic Behavior of Textile Fabrics in Complex Deformations. Text Res J, 1978; 48(9): 495
- 7 Uchiyama S. A Consideration on the Drapability of Woven Fabrics. 纤维机械学会志(日), 1984; 37(5): 207
- 8 须田纪子, 大平通泰. The Physical Meaning of Hamburger's Drape Coefficient. 高分子材料研究所研究报告(日), 102: 136.
- 9 丹羽雅子. Relationship between Drapability and Mechanical Properties of Fabrics. 纤维机械学会志(日), 1986; 11: 43
- 10 周坚明. 无锡轻工业学院硕士学位论文. 1988

A Study on the Dynamic Drape Property of Fabric

Zhou Jianming Wu Zhenshi Li Shuwen

(Dept. of Text. Eng.)

Abstract A new thought to represent dynamic state of rotating drapers has been expressed in this paper. Based on it, a test system was set up. The paper also explained the test result on both drape shapes and physics with a dynamic analysis of drapers in theory.

Subjectwords Dynamic drape property; Rotating circle length; Light fabric; Single-factor regressional analysis