

# 倒 $\Omega$ 法测试织物弯曲性及悬垂性

余 芳<sup>1</sup>, 刘成霞<sup>2</sup>, 尹清一<sup>2</sup>

(1. 绍兴文理学院 元培学院, 浙江 绍兴 312000; 2. 浙江理工大学 服装学院, 杭州 310018)

**摘要:** 织物悬垂性和弯曲性的测试是纺织品检测的重要内容, 目前这 2 种性能是分开进行的。针对此现状, 以 13 块常见织物为研究对象, 分别测试其弯曲性和悬垂性指标——抗弯刚度和悬垂系数, 然后用自行设计的倒  $\Omega$  法进行测试, 并利用图像处理软件提取了水滴高宽比和下垂纵横比等特征参数。经过相关分析得出以下结论: 作为尝试提出的倒  $\Omega$  法可同时用来检测织物弯曲性和悬垂性, 所提取的指标与抗弯刚度和悬垂系数具有较好的相关性, 相关系数由大到小依次是下垂纵横比、水滴高宽比和水滴面积; 利用下垂纵横比与抗弯刚度及悬垂系数的关系式, 可以预测织物的弯曲性及悬垂性。

**关键词:** 织物; 弯曲性; 悬垂性; 下垂纵横比; 抗弯刚度

中图分类号: TS101.932.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-7003(2019)02-0027-05 引用页码: 021105

## Measurement of fabric bending and draping performance with inverse $\Omega$ method

YU Fang<sup>1</sup>, LIU Chengxia<sup>2</sup>, YIN Qingyi<sup>2</sup>

(1. Yuanpei College, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China; 2. School of Fashion Design & Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Measurement of fabric draping and bending performance is an important content in textile testing area. Currently, measurement of draping performance and that of bending performance are conducted separately. In view of this, 13 common fabrics were tested for the bending and draping performance respectively—flexural rigidity and drape coefficient, then test was carried out with self-designed inverse  $\Omega$  method, and characteristics parameters such as depth-width ratio of waterdrop and aspect ratio of droop were extracted with image processing software. Related analyses lead to the following conclusions: the inverse  $\Omega$  method put forward in this study can be used to test both bending and draping performance of fabric, the extracted indexes are highly correlated to flexural rigidity and drape coefficient with correlation coefficients in an order from large to small of aspect ratio of droop, depth-width ratio of waterdrop, and waterdrop area; fabric bending and draping performance can be predicted with the equations of aspect ratio of droop, flexural rigidity and drape coefficient.

**Key words:** fabric; bending performance; drape performance; aspect ratio of droop; flexural rigidity

织物的弯曲性和悬垂性不但对服装的穿着舒适性有重要影响, 还是穿着美观性的直接体现, 因此一直以来都是纺织工作人员关注的重点<sup>[1]</sup>。早在 20 世纪 30 年代, Pierce<sup>[2]</sup> 就采用悬臂梁法测得弯曲长度, 来间接表征织物的悬垂性。之后学者们采用了

多种方法研究织物弯曲性, 如线性粘弹理论<sup>[3]</sup> 和 BP 神经网络<sup>[4]</sup> 等; 也提出了多种方法对其进行测试, 如多方向硬挺度测试方法<sup>[5]</sup> 和水滴法<sup>[6]</sup> 等。关于织物悬垂性的研究, 则大多集中在如何用各种图像处理技术对其进行建模和指标提取; 如李强等<sup>[7]</sup> 提出了基于仰视投影的织物悬垂性测试方法; 沈毅等<sup>[8]</sup> 利用悬垂性指标重建了织物的悬垂形态, 并开发了织物悬垂性测试仪; LIN H 等<sup>[9]</sup> 对织物悬垂过程中的后屈曲变形进行了研究; FARAJIKHAHA S 等<sup>[10]</sup> 利用莫尔阴影算法对织物悬垂性进行了三维重建; 王鹏

收稿日期: 2018-07-04; 修回日期: 2018-12-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(51405446)

作者简介: 余芳(1982—), 女, 讲师, 主要从事服装设计与工程的研究。

程等<sup>[11]</sup>利用3D扫描技术对织物悬垂性进行了测试研究。

经过总结可以发现:迄今为止,织物悬垂性和弯曲性的测试都是独立操作、分开进行的,换句话说,尚缺少可以同时测试这两种性能的方法。因此,希望通过本文的研究,探索一种可以将其合二为一的测试方法。这样不仅能简化操作,还可以节省时间和面料。研究思路为:首先用传统的方法测试悬垂性和弯曲性,再利用自行设计的方法对同一批织物进行检测,最后对比传统方法与自行设计的方法所得指标的相关性。

## 1 实验

### 1.1 试样的选取

选取不同成分和结构,同时变形能力差异也较大的13种机织物作为实验对象,结构参数如表1所示。

表1 织物规格参数  
Tab. 1 Fabric specification parameters

编号	组织	成分	经密/(根·10 cm <sup>-1</sup> )	纬密/(根·10 cm <sup>-1</sup> )	平方米质量/(g·m <sup>-2</sup> )	厚度/mm
1 <sup>#</sup>	斜纹	55 S/45 C	460	400	156.4	0.33
2 <sup>#</sup>	平纹	50 S/50 C	340	360	118.0	0.18
3 <sup>#</sup>	斜纹	100% C	320	540	119.8	0.36
4 <sup>#</sup>	缎纹	100% C	280	330	212.0	0.44
5 <sup>#</sup>	平纹	50 L/50 C	400	440	185.6	0.42
6 <sup>#</sup>	平纹	100% V	180	180	117.6	0.22
7 <sup>#</sup>	斜纹	100% C	220	140	168.8	0.31
8 <sup>#</sup>	平纹	100% L	180	260	183.1	0.32
9 <sup>#</sup>	斜纹	100% P	540	520	140.0	0.42
10 <sup>#</sup>	平纹	70 P/30 C	340	380	460.0	0.62
11 <sup>#</sup>	斜纹	50 P/50 C	280	330	212.0	0.44
12 <sup>#</sup>	斜纹	65 W/35 P	400	440	185.6	0.42
13 <sup>#</sup>	平纹	65 P/35 C	1 120	510	231.4	0.39

注:C表示棉,L表示亚麻,S表示蚕丝,W表示羊毛,P表示涤纶,V表示粘胶。

### 1.2 斜面法测试织物弯曲性

根据国标 GB/T 18318—2001《纺织品 织物弯曲长度的测定》,用 YG(B) 022D 型全自动织物硬挺仪(温州大荣纺织仪器有限公司),在标准大气环境中测试13块试样的经、纬向抗弯刚度( $\mu\text{N}\cdot\text{m}$ ),并计算平均抗弯刚度作为最后结果。

### 1.3 圆台法测试织物悬垂性

根据国标 GB/T 23329—2009《纺织品 织物悬垂

性的测定》,用 YG 811 型光电式织物悬垂性测试仪(武汉国量仪器有限公司),在标准大气环境中测试13块织物的悬垂系数。

### 1.4 新方法测试织物弯曲性和悬垂性

#### 1.4.1 测试原理

将长方形的织物试条沿长度方向画出四等分记号线,并将织物的第一和第三等分线对齐,缝合固定,形成倒置的 $\Omega$ 形状,故将其命名为倒 $\Omega$ 测试法,简称倒 $\Omega$ 法。然后将此试样用珠针固定在竖直放置的白色KT板(一种由聚苯乙烯颗粒经过发泡生成板芯,并经过表面覆膜压合而成的新型材料)上,如图1所示。试样上方的正方形边长1cm,用作参照物来计算特征指标。



图1 测试方法

Fig. 1 Testing method

由图1可知,试样由两部分组成,珠针下端的试样弯曲成类似水滴形状,珠针以上的试样则呈现自然悬垂的两个边翼。变形能力不同的织物形成的倒 $\Omega$ 形状也不同。柔软的织物下面形成的水滴较细长、苗条<sup>[5]</sup>,两个边翼也更容易下垂,即下落高度较大。相反的,硬挺的织物形成的水滴较胖,边翼下垂高度也较小,形成如图2所示的形状。

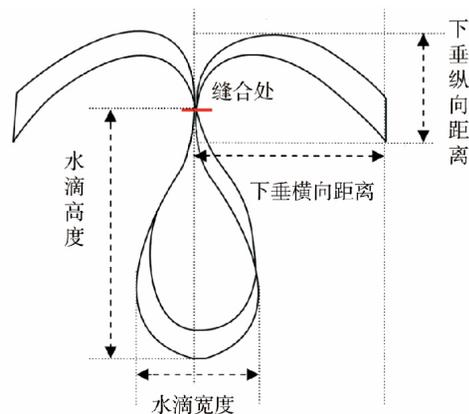


图2 指标的提取

Fig. 2 Extraction of indexes

### 1.4.2 试样准备

经过多次实验,发现将试样裁剪成为 240 mm × 25 mm 的长方形,测试结果最准确,判断依据和标准为将试样裁剪成不同的尺寸规格,用倒 Ω 法提取的指标与抗弯刚度和悬垂系数进行相关分析,用相关系数的大小对试样规格进行取舍,即选取相关系数大的试样所对应的尺寸规格作为最终尺寸。因此将每种织物按照以上规格进行裁剪,为使测试结果更准确,经纬向各准备 3 块试样,即每个数据均是 3 次结果的平均值。

### 1.4.3 实验流程

1) 将以上裁剪好的试样沿长度方向画四等分线,即以 60 mm 为间隔画 3 条平行的记号线,然后将边上的两条记号线对齐,并在记号线的中间位置缝合固定,使距离边缘的 2 个四等分布边朝两边;

2) 将上述织物试样用珠针固定在竖直挂于墙面上的白色 KT 板,珠针插于图 2 中的缝合处以下,则缝合处以下的织物弯曲形成上小下大的水滴形状,而珠针以上的 2 个布边受到自身重力的影响而自然下垂,即形成类似倒置的 Ω 形状;

3) 放置好试样 1 min 使其形状稳定后,用位于试样同一水平面、且正对试样,并固定所有拍摄参数的相机,对试样进行拍照。

### 1.4.4 倒 Ω 法的指标参数提取

将以上所拍照片导入图像处理软件,利用其求取图形距离或长度的功能提取特征参数。如前所述,不同弯曲性能的织物形成的水滴形状,以及边翼下垂的横向和纵向距离有所不同,引入水滴宽度<sup>[5]</sup>、水滴高度、下垂纵向、横向距离,以及水滴的高宽比 A、下垂纵横比 B 作为评价指标,如图 2 所示。

1) 水滴宽度:即水滴底部最丰满处之间的水平距离;

2) 水滴高度:即水滴的顶端尖点与底部最凸出点之间的距离;

3) 水滴面积:缝合位置以下的织物弯曲形成的水滴形状的面积;

4) 下垂纵向距离:边翼弯曲拱起的最高点与下落最低点之间的距离;

5) 下垂横向距离:边翼下落最低点与倒 Ω 形试样的垂直中心线之间的距离;

6) 水滴的高宽比 A:即水滴高度与水滴宽度的比值;

7) 下垂纵横比 B:即边翼下垂的纵向距离与横向距离的比值。

由于一块织物的边翼有 2 个,所以下垂纵向距离、横向距离和纵横比均为 2 次取值的平均数。此外,每块织物的最后特征指标为纵向和横向试样所求指标的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种方法中各指标之间的相关性

表 2 列出了倒 Ω 法的指标中与抗弯刚度和悬垂系数相关系数较高的特征参数。

表 2 各项指标之间的相关系数  
Tab.2 Correlation coefficients among indexes

硬挺度指标	抗弯刚度	悬垂系数	水滴面积	水滴高宽比 A	下垂纵横比 B
抗弯刚度	1	0.774**	0.709**	-0.739**	-0.812**
悬垂系数		1	0.881**	-0.918**	-0.955**
水滴面积			1	-0.917**	-0.931**
水滴高宽比 A				1	0.912**
下垂纵横比 B					1

注: \*\* 表示在 0.01 的显著水平上显著相关。

从表 2 可以看出,水滴面积、水滴高宽比和下垂纵横比都与抗弯刚度和悬垂系数有较好的相关性,其中正相关的是水滴面积,负相关的是水滴高宽比和下垂纵横比。也就是说抗弯刚度(或悬垂系数)越大的织物,即越不容易弯曲的织物,倒 Ω 法中形成的水滴面积越大,水滴高宽比和下垂纵横比则越小。这正好与前面的分析相吻合,即越硬挺的面料形成的水滴越“胖”,因而面积较大,同时,织物的两翼也不容易下垂,所以下垂的纵向距离较小,横向距离较大,因而纵横比较小。

表 2 还显示,与抗弯刚度和悬垂系数的相关性由大到小依次是:下垂纵横比、水滴高宽比和水滴面积。因此,接下来重点分析相关性较大的前 2 个指标。

### 2.2 斜面法与新方法所测弯曲指标间的关系

图 3 为倒 Ω 法中的下垂纵横比与抗弯刚度的关系。

从图 3 可以看出,下垂纵横比与抗弯刚度呈负相关关系,具体关系式是:

$$Y_1 = 6.870 1X_1^2 - 46.214X_1 + 78.15 \quad R^2 = 0.8864$$

其中  $X_1$  为下垂纵横比,  $Y_1$  为抗弯刚度( $\mu\text{N} \cdot \text{m}$ ),即弯曲刚度越大的织物,用倒 Ω 法进行测试时,下垂纵

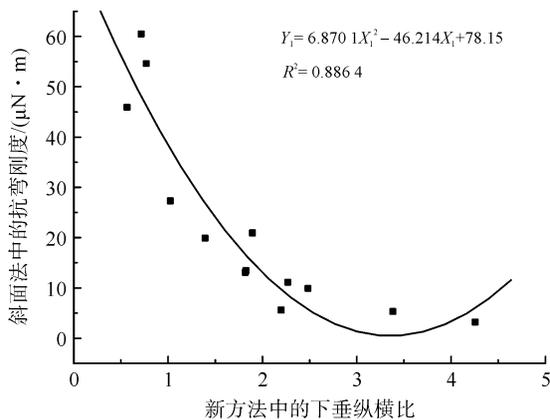


图3 下垂纵横比与抗弯刚度的关系

Fig. 3 Relationship between aspect ratio of droop and flexural rigidity

横比越小。其原因在 2.1 中已经解释过,不再赘述。根据此关系式,可以通过测量下垂纵横比来得到抗弯刚度。

虽然斜面法和倒 Ω 法都可以测织物的弯曲性能,但是相比较斜面法,倒 Ω 法也更有自己的优势。具体在于,斜面法每次只能测得一个结果,而倒 Ω 法由于一块试样有两个自然弯曲的边,所以可得到 2 个结果,因此测试效率更高。

图 4 为倒 Ω 法中的水滴高宽比与抗弯刚度的关系。

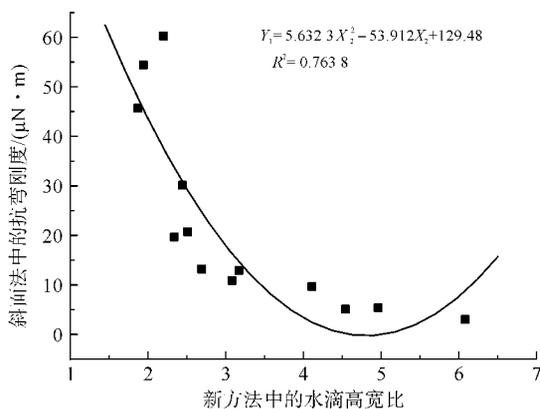


图4 水滴高宽比与抗弯刚度的关系

Fig. 4 Relationship between depth-width ratio of waterdrop and flexural rigidity

图 4 显示了水滴高宽比与抗弯刚度的关系,具体关系式是:

$Y_1 = 5.632 3X_2^2 - 53.912X_2 + 129.48$ ,  $R^2 = 0.763 8$ , 其中  $X_2$  为水滴高宽比,  $Y_1$  为抗弯刚度 ( $\mu\text{N} \cdot \text{m}$ ), 二者也是负相关关系。对比图 3 和图 4 的相关系数  $R$  可知,用下垂纵横比预测抗弯刚度的关系式比水滴高宽比更精确。

### 2.3 圆台法与新方法所测悬垂指标间的关系

圆台法所测的悬垂系数与倒 Ω 法所测的下垂纵横比之间的关系如图 5 所示。

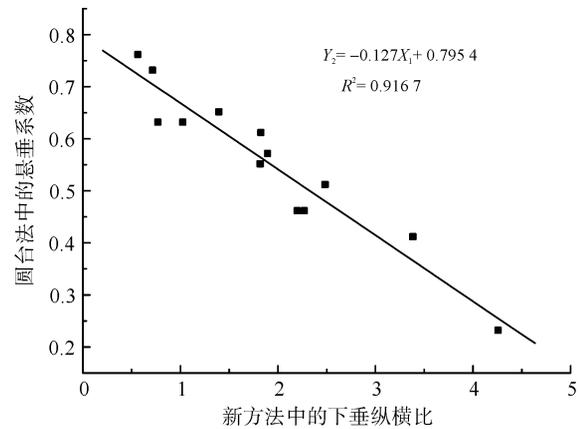


图5 下垂纵横比与悬垂系数之间的关系

Fig. 5 Relationship between aspect ratio of droop and drape coefficient

图 5 显示二者的关系式为:

$Y_2 = -0.127X_1 + 0.795 4$ ,  $R^2 = 0.916 7$ , 其中  $X_1$  为下垂纵横比,  $Y_2$  为悬垂系数。即悬垂系数越大的织物,用倒 Ω 法测得的下垂纵横比越小。悬垂系数越大,说明织物硬挺,不容易下垂,这样的织物在用倒 Ω 法测试时,织物的两翼也不易下垂,所以纵向下垂距离较小,而横向下垂距离较大,如图 2 所示的形状。而较为柔软的面料,形成的倒 Ω 形则类似图 1 所示。

也就是说,圆台法和倒 Ω 法都是利用了织物在重力的作用下,自然弯曲,从而改变了原有形态的原理。越柔软的面料,形态改变越大。但不同之处在于,圆台法测得的是织物的综合悬垂性,无法得到某一方向的悬垂性大小,而倒 Ω 法在裁剪试样时具有方向性。比如实验用试样如果是沿经向裁剪,则得出的指标可以说明织物经向悬垂性情况;反之,纬向裁剪,则可以表征织物的纬向悬垂性,因此说通过此方法可以测试织物任意方向的悬垂性。

图 6 显示了水滴高宽比与悬垂系数的关系,具体关系式是:

$Y_2 = -0.100 1X_2 + 0.876 8$ ,  $R^2 = 0.843 2$ , 其中  $X_2$  为水滴高宽比,  $Y_2$  为悬垂系数,二者也是负相关关系。对比图 5 和图 6 的相关系数  $R$  可知,用下垂纵横比预测悬垂系数的关系式比水滴高宽比更精确。

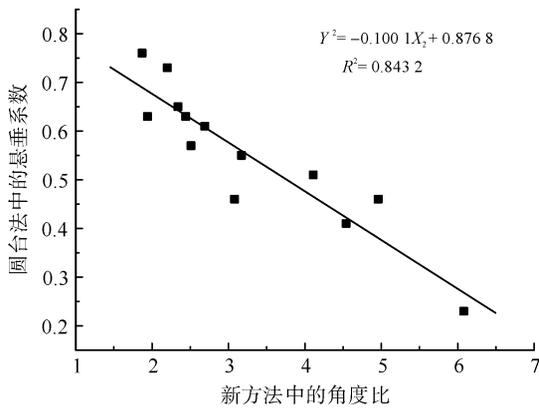


图 6 水滴高宽比与悬垂系数之间的关系

Fig. 6 Relationship between depth-width ratio of waterdrop and drape coefficient

### 3 结 论

以 13 块试样为研究对象 ,分别用斜面法测试抗弯刚度 ,用圆台法测试悬垂系数 ,然后用自行设计的倒 Ω 法提取了特征参数 ,经过研究得出以下结论:

1) 倒 Ω 法中的水滴面积、水滴高宽比和下垂纵横比与抗弯刚度和悬垂系数都有较好的相关性 ,其中正相关的是水滴面积 ,负相关的是水滴高宽比和下垂纵横比。相关系数由大到小依次是下垂纵横比、水滴高宽比和水滴面积。

2) 倒 Ω 法所测的下垂纵横比与抗弯刚度的关系式是:  $Y_1 = 6.870 1X_1^2 - 46.214X_1 + 78.15$  ,  $R^2 = 0.886 4$  ,与悬垂系数的关系式是:  $Y_2 = -0.127X_1^2 + 0.795 4$  ,  $R^2 = 0.916 7$  ,其中  $X_1$  为下垂纵横比 , $Y_1$  为抗弯刚度 ( $\mu\text{N} \cdot \text{m}$ ) , $Y_2$  为悬垂系数。

3) 倒 Ω 法将传统的必须分开进行的弯曲性和悬垂性测试合二为一 ,不但可以简化实验过程 ,还可以节省测试时间和所需面料。

4) 倒 Ω 法还具有传统方法所不具备的优点: 1 块试样可以得到 2 个弯曲性指标 ,还能表征织物任一方向的悬垂性。

本文仅利用图像处理提取了倒 Ω 法 3 个单一指标 ,是否还可以提取其他指标或者所提取的指标之间是否可以综合形成一个新的表征指标 ,以提高其与悬垂系数和抗弯刚度的相关性将是下一步的研究重点。

### 参考文献:

[1]刘成霞,周澳. 利用十字交叉法测试织物弯曲悬垂性[J]. 纺织学报,2018,39(6): 42-46.  
LIU Chengxia, ZHOU Ao. Measurement of fabric bending and draping properties using crossing method [J]. Journal of Textile Research, 2018, 39(6): 42-46.

[2]PIERCE F T. The handle of cloth as a measurable quantity [J]. Journal of the Textile Institute, 1930, 21: 377-416.

[3]石风俊,胡金莲. 织物的弯曲性能[J]. 纺织学报,2005, 26(3): 15-18.  
SHI Fengjun, HU Jinlian. Bending behavior of woven fabrics [J]. Journal of Textile Research, 2005, 26(3): 15-18.

[4]倪红,潘永惠. 基于 BP 神经网络的织物斜向弯曲性能的预测[J]. 纺织学报,2009, 30(2): 48-51.  
NI Hong, PAN Yonghui. Prediction of fabric diagonal bending rigidity by BP neural network [J]. Journal of Textile Research, 2009, 30(2): 48-51.

[5]刘成霞,罗秋霞,施美琴. 织物多方向硬挺度测试方法研究[J]. 现代纺织技术,2015, 23(2): 56-59.  
LIU Chengxia, LUO Qiuxia, SHI Meiqin. Study on the measuring method of multi-directional fabric stiffness [J]. Advanced Textile Technology, 2015, 23(2): 56-59.

[6]刘成霞,韩永华,张才前. 基于图像处理的织物弯曲性能测试方法[J]. 纺织学报,2013, 34(7): 52-56.  
LIU Chengxia, HAN Yonghua, ZHANG Caiqian. Test method for fabric bending behavior based on image processing [J]. Journal of Textile Research, 2013, 34(7): 52-56.

[7]李强,过玉清,纪峰. 基于仰视投影的织物悬垂性测试方法[J]. 纺织学报,2008, 29(3): 34-37, 46.  
LI Qiang, GUO Yuqing, JI Feng. Testing method of fabric drape based on upward projection [J]. Journal of Textile Research, 2008, 29(3): 34-37, 46.

[8]沈毅,齐红衢. 织物悬垂形态的模拟仿真[J]. 纺织学报,2010, 31(10): 34-39.  
SHEN Yi, QI Hongqu. Simulation of fabric draping shape [J]. Journal of Textile Research, 2010, 31(10): 34-39.

[9]LIN H, STYLIOS G K. Prediction of post-buckling deformation in fabric drape [J]. Journal of the Textile Institute, 2009, 100(1): 35-43.

[10]FARAJIKHAHA S, MADANIPOUR K, SAHARKHIZ S, et al. Shadow Moiré aided 3-D reconstruction of fabric drape [J]. Fibers and Polymers, 2012, 13(7): 928-935.

[11]王鹏程,刘基宏. 基于 3D 扫描技术的织物悬垂性测试方法[J]. 丝绸,2018, 55(6): 25-30.  
WANG Pengcheng, LIU Jihong. Method of fabric drape test based on 3D scanning technology [J]. Journal of Silk, 2018, 55(6): 25-30.