

基于 3D 扫描技术的织物悬垂性测试方法

王鹏程, 刘基宏

(江南大学 生态纺织教育部重点实验室 江苏 无锡 214122)

摘要: 文章提出基于 3D 扫描技术的织物悬垂性测试分析方法。利用 3D 扫描仪采集织物图像空间点数据,通过点云拼接、去噪、填充等平滑织物悬垂曲面得到扫描实体。沿着扫描实体的 Z 轴线方向等距离剖切得到多个 XOY 平面,并提取各个平面的悬垂波数、波峰半径等参数。实验结果表明,悬垂系数与传统方法测得的悬垂性指标相关性高,而织物各切面层波形个数、波形稳定高度、波峰半径与波谷半径变化趋势等参数直观地反映织物在三维空间中悬垂曲面形态变化,为评价织物悬垂性提供新的方法。

关键词: 三维扫描技术; 织物悬垂性; 悬垂系数; 波峰半径; 波谷半径

中图分类号: TS101.923 文献标志码: A 文章编号: 1001-7003(2018)06-0025-06 引用页码: 061105

Method of fabric drape test based on 3D scanning technology

WANG Pengcheng, LIU Jihong

(Key Laboratory of Eco-Textiles, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: This paper presents a method of fabric drape test based on 3D scanning technology. Space point data of fabric images were collected by 3D scanner, and the scanning fabric was gained through point cloud splicing, denoising and filling. Then, multiple XOY planes were obtained by equidistantly sectioning along the Z-axis direction of the scanning fabric, and the parameters such as the number of waves and the crest radius of each plane were extracted. The experimental results showed that the drape coefficient was highly correlated with the drape index measured by the traditional method. The parameters such as the number of waves, the stable height of waves, the trend of crest radius and trough radius reflect the morphological changes of the drape in the three-dimensional space. This paper provides a new method for evaluating the fabric drape.

Key words: 3D scanning technology; fabric drape; drape coefficient; crest radius; trough radius

织物悬垂性是织物在自然状态下因自重而下垂的性能,反映织物悬垂程度和悬垂形态,是描述柔性材料性能的一个重要特性^[1]。随着人们对服装美感和舒适性追求的不不断提高,以及服装销售趋于网络化,对织物悬垂性研究意义愈发重要。多年来国内外学者对二维织物悬垂性能的研究已经十分深刻。从 Pierce^[2]最早采用悬臂梁仪通过弯曲长度间接表

征织物悬垂性优良开始,随后以伞式投影^[3-4]为基础出现的手描轮廓、投影称重和计算机图像处理等方法,多是通过投影降维的方式得出悬垂系数等二维指标,但织物悬垂是一种三维空间现象,传统的二维指标很难直观地描绘织物的三维悬垂外观形态。此外,对于某些轻薄柔软面料而言,直接投影还会因部分悬垂褶皱在支撑圆盘边缘内部而丢失部分有效数据^[5]。

目前对织物三维悬垂形态重建还处于探索阶段。沈毅等^[6]利用织物悬垂性指标重建织物悬垂形态,效果逼真但未考虑织物结构与力学性能对悬垂性的影响。张瑞云等^[7]通过粒子和弹簧质点模型进行织物三维重建,由于纺织面料是非线性、各向异

收稿日期: 2017-08-02; 修回日期: 2018-04-11

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏政办发(2014)37号); 江南大学自主科研项目(JUSRP51417B)

作者简介: 王鹏程(1992—),男,硕士研究生,研究方向为数字化纺织技术。通信作者: 刘基宏,教授,liujihongtex@hotmail.com。

性、不连续的弹性体且织物结构复杂、悬垂形态随意,导致建模难度大、准确性较差。因此,针对现有重建及测试方法存在的不足,本文提出基于 3D 扫描技术的织物悬垂性测试分析方法,该方法能有效克服现有测量仪器不能准确显示织物三维悬垂形态的局限性。将 3D 扫描仪作为数据采集设备,可以快速、准确地重现织物三维曲面造型和获得织物图像空间点数据。经过去噪等优化扫描实体,通过对悬

垂边缘轮廓垂直投影和沿着扫描实体 Z 轴方向等距离剖切,提取表征织物悬垂程度和美感程度指标。

1 悬垂性实验

1.1 试样选取

选取 9 块市面上销售的不同悬垂风格织物,各块织物的基本规格如表 1 所示。

表 1 织物基本规格
Tab. 1 Fabric specifications

样布编号	品种	经纱线密度/ tex	纬纱线密度/ tex	平方米质量/ ($g \cdot m^{-2}$)	经密/ (根 $\cdot 10\text{ cm}^{-1}$)	纬密/ (根 $\cdot 10\text{ cm}^{-1}$)
1	平纹棉织物	30.2	30.2	165.6	240.0	240.0
2	涤纶织物	10.0	17.0	96.2	300.0	280.0
3	羊毛 1 [#] 织物	34.0	35.0	184.5	300.0	250.0
4	羊毛 2 [#] 织物	39.0	38.0	216.7	300.0	230.0
5	针织真丝织物	6.7	6.7	85.0	160.0	160.0
6	一上三下棉织物	26.0	26.0	186.1	460.0	230.0
7	一上二下棉织物	38.0	38.0	211.8	400.0	200.0
8	平纹莫代尔 1 [#] 织物	18.0	18.0	104.6	410.0	250.0
9	平纹莫代尔 2 [#] 织物	18.0	18.0	138.7	410.0	360.0

1.2 仪器

Einscan-s 是先临三维公司推出的高精度 3D 扫描仪,该装置主要由两个 130 万分分辨率的摄像头和光栅投影装置构成。其单幅扫描精度可达 0.1 mm,转台自动扫描一周的时间约需 3 min,仪器可扫描的最大范围为 700 mm \times 700 mm \times 700 mm。YG811E 织物悬垂测试仪由宁波纺织仪器厂生产。

1.3 悬垂性测试

按照 GB/T 6529—2008《纺织品调湿和试验用标准大气》和 GB/T 23329—2009《纺织品 织物悬垂性的测试》标准,实验前试样进行预调湿,然后将各块织物剪裁成直径为 240 mm 的圆形,分别在 3D 扫描仪和 YG811E 织物悬垂测试仪上测试,每块织物试样测试 3 次,求取平均值。

1.4 实验装置的原理及搭建

光栅式结构光三维扫描仪是一款高精度、高速度的三维扫描测量设备,该非接触式三维扫描仪以更加安全的白光作为投影光源。如图 1 所示,扫描时光栅投影装置投影数幅特定编码的结构光到待测物体上,成一定夹角的两个摄像头同步、实时采集物体图像信息并传输到计算机中,通过相位计算、三角测量原理和点云匹配等技术,可获得两个摄像头交叉区域内物体表面上任意一点在空间中的三维坐标^[8]。

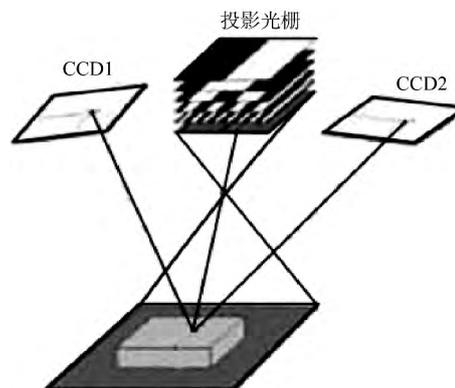


图 1 三维结构光扫描测量仪

Fig. 1 Three-dimensional scanning measurement instrument

基于三维扫描仪织物悬垂性测试装置的搭建组成如图 2 所示。三维扫描仪 3 由两个摄像头 6 和一个光栅投影装置 5 组成,三维扫描仪放于自由旋转台 2 的一侧,两者底端相距 28 cm,这样可以最大程度地扫描织物悬垂曲面形态,也可有效消除某些轻薄面料因部分悬垂褶皱被支撑圆盘遮挡而产生的误差。测量时调整测头仰俯角,使得光栅投影光下边缘与转台的第二圈轮廓线平齐,通过标定板 7 进行标定后,将织物试样 1 放于自由转台中央,随着自由旋转台旋转 360°,计算机 4 即呈现出织物的三维点云数据。



图 2 3D 扫描悬垂性测试装置

Fig.2 Three-dimensional scanning drape testing device

2 悬垂性指标

2.1 悬垂系数

织物悬垂系数是指织物试样下垂部分的投影面积与原始面积相比的百分率,是用来描述织物悬垂程度的指标。本实验将经过去噪、修补等优化后的织物悬垂曲面实体导入 CATIA 软件中,以支撑圆盘面为基准面对织物试样的边缘悬垂轮廓曲线进行垂直投影,得到封闭的二维曲面(图 3) 则其悬垂系数 D 为:

$$D/\% = \frac{S_2 - S_0}{S_1 - S_0} \times 100 \quad (1)$$

式中: S_1 为织物初始面积 cm^2 ; S_2 为织物边缘轮廓垂直投影面积 cm^2 ; S_0 为支撑圆盘面积 cm^2 。

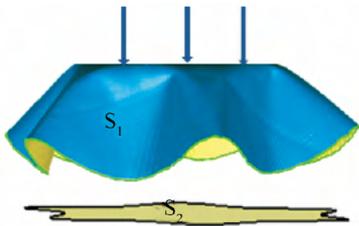


图 3 织物悬垂曲面边缘轮廓投影示意

Fig.3 Fabric drape contour projection

2.2 波峰半径、波谷半径和波数

织物悬垂轮廓曲线中向外凸出的部分为波峰,向内凹进的部分为波谷。波峰(谷)距中心点最远

(近)点到中心点间距离为波峰(谷)半径,波数是沿每层波浪形截面曲线一周完整的波峰数。织物悬垂系数在一定程度上反映了织物的悬垂程度,但织物悬垂是一个空间三维悬垂曲面,为了更加直观地描述织物在下垂过程中不同位置处悬垂形态的变化,用一个虚拟的水平面(与支撑圆盘面平行)沿着扫描实体 Z 轴方向,以 2 mm 为间隔等距离地截取织物试样,得到一组波浪形截面曲线(图 4)。其中,平均波峰半径 \bar{R}_c 和平均波谷半径 \bar{R}_t 为:

$$\bar{R}_c = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} R_{c_i}}{n_c} \quad (2)$$

$$\bar{R}_t = \frac{\sum_{i=1}^{n_t} R_{t_i}}{n_t} \quad (3)$$

式中: R_{c_i} 为第 i 个波峰半径; R_{t_i} 为第 i 个波谷半径; n_c 为波峰数; n_t 波谷数。

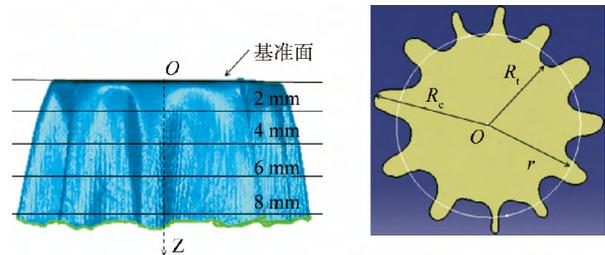


图 4 等距离切割织物和波峰(谷)半径示意

Fig.4 Cutting fabric and crest (trough) radius equidistantly

3 结果与分析

3.1 悬垂系数

3D 扫描仪和 YG811E 织物悬垂测试仪所测得的织物悬垂系数平均值如表 2 所示。

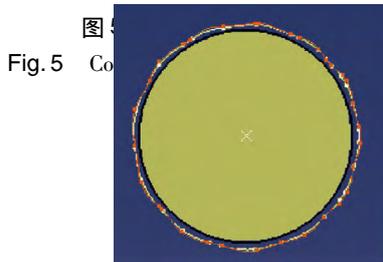
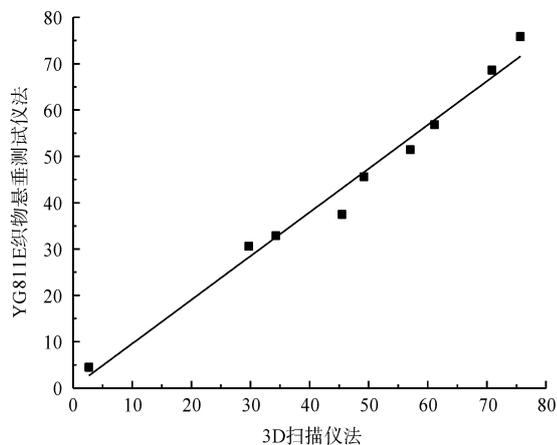
表 2 织物悬垂系数均值

Tab.2 Average value of fabric drape coefficient

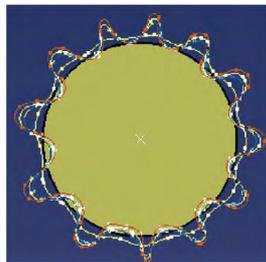
样布	3D 法悬垂系数 /%			平均值	CV /%	YG811E 悬垂系数	
	1	2	3			平均值 /%	CV /%
平纹棉织物	75.59	75.54	75.91	75.68	0.26	75.82	0.92
涤纶织物	60.55	60.97	61.93	61.15	1.15	56.84	0.63
羊毛 1# 织物	44.41	46.82	45.31	45.51	2.67	39.35	0.52
羊毛 2# 织物	49.89	48.52	49.30	49.23	1.39	45.61	2.73
针织真丝织物	2.74	2.67	2.64	2.68	1.91	4.49	4.01
一上三下棉织物	57.25	56.77	57.10	57.04	0.43	51.44	1.22
一上二下棉织物	71.61	70.03	70.96	70.86	1.12	68.61	1.21
平纹莫代尔 1# 织物	34.30	34.51	34.17	34.32	0.49	32.86	6.89
平纹莫代尔 2# 织物	29.74	30.89	28.60	29.74	3.84	30.58	2.78

从表 2 可以看出,织物悬垂系数 CV 值相对较小,表明 3D 扫描法测试织物悬垂具有良好的稳定性

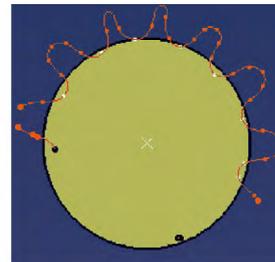
和可重复性。为了检验3D扫描法测得的悬垂系数与YG811E仪器法测得的悬垂系数间是否具有相关性,对表2中织物悬垂系数做回归分析。图5为两种方法测得悬垂系数的线性拟合图。



(a) 初始层



(b) 稳定层



(c) 减少层

图6 不同层高处针织真丝织物波数

Fig. 6 The number of waves of knitted fabric at different layers

表3 九种不同悬垂风格织物在各层高度的波数

Tab. 3 The number of waves of nine different fabrics at different layers

样布	层高/mm	波数/个
平纹棉织物	2~18	6
	20~26	4~0
涤纶织物	2~12	5
	14~20	4~0
	2	3
羊毛1#织物	4~30	6
	32~40	4~0
羊毛2#织物	2~18	5
	20~30	4~0
针织真丝织物	2~4	0~3
	6~54	12
一上三下棉织物	56~58	9~0
	2~20	6
一上二下棉织物	22~28	3~0
	2~12	5
平纹莫代尔1#织物	14~26	4~0
	2~4	4~5
	6~40	6
平纹莫代尔2#织物	42~48	4~0
	2~4	0~4
	6~40	7
	42~44	1~0

YG811E 织物悬垂测试仪和3D扫描仪所测悬垂系数的拟合优度 $R^2 = 0.9813$, 表明数据拟合效果具有很好的可信度, $P = 2.62 \times 10^{-7} < 0.001$ 表明回归方程高度显著, 其回归方程为 $y = 0.9439x + 0.1543$ 。因此, 两种方法在描述织物悬垂程度方面具有很好的一致性。

3.2 波数和波形稳定高度

相对于俯视悬垂投影图而言, 三维扫描法不仅可以通过投影的方式得到表征织物悬垂程度的指标如悬垂系数等, 还可以获得织物悬垂曲面在空间中所有的三维点数据。因此, 通过等距离逐层切分织物三维扫描实体, 得到不同高度处的边缘轮廓曲线, 观察不同层截面处织物波数的变化情况。以针织真丝织物为例(图6), 其中当波峰半径与相邻波谷半径相差大于2mm且波峰曲线完整时记为一个波数。表3为九种不同悬垂风格织物在各层高度处的波数。

织物波数是描述织物悬垂形态的重要参数, 反映了织物成褶能力。一般来说, 织物波数越多, 织物的悬垂性越好。从表3可以看出, 针织真丝织物形成的悬垂波数最多, 与其他织物相比, 针织真丝织物线密度小, 平方米质量低, 悬垂时易弯曲且形成的波曲弧长较短, 因而丝织物周围形成的波曲数多, 悬垂性好, 形态优美。对于每块织物而言, 沿织物Z轴方向从上到下各层波形个数变化总体经过3个阶段, 即波数增加、稳定和减少阶段。悬垂系数较大的织物, 在初始层就已形成稳定的波形数。当织物波形个数相同时(如平纹棉织物和羊毛1#织物), 波形稳定高度越高, 其织物波峰张开程度越小, 织物悬垂度越好, 因此织物波数越多、波形稳定高度越大时, 织物悬垂性越好。

3.3 波峰半径和波谷半径

波峰半径与波谷半径对织物的悬垂外观形态影响很大, 需要将波峰凸出与波谷凹入作为一个整体对织物悬垂形态做出评价。图7是九种不同悬垂风格织物在不同层高处波峰半径和波谷半径均值曲

线图。

从图 7 可以看出,总体上波峰半径和波谷半径随着下垂高度的增高而增大。针织真丝织物悬垂系数小悬垂性好,悬垂轮廓紧密地环绕在支撑圆柱周围,波峰半径增加缓慢,高度约为 8 mm 时,波谷开始被支撑圆盘遮挡;对于莫代尔 1[#]与莫代尔 2[#]织物,其织物组织与纱线特数均相同,当织物单位面积重量越大时织物悬垂性越好,莫代尔 2[#]织物克重较大,其波峰半径曲线增加平缓且数值较小,悬垂性较好,根据佐同林等^[9]研究的织物悬垂系数对悬垂外观形貌波峰波谷变化影响得出的结论,当悬垂系数在 10%~45% 时,织物波峰凸出与波谷凹入对比明显。由图 7(b)~(c) 可知,随着高度的增加,波谷半径均值曲线基本稳定在 65 mm 而波峰半径逐渐增加,因

而织物波形凸凹对比显著。从图 7(d)~(f) 可以发现,波峰曲线增长趋势基本相同,但波谷曲线变化差异较大,因织物组织对平均谷高影响很大,为正相关,当织物组织越接近平纹时,平均谷高越大,织物下垂越不明显^[10]。图 7(d)~(f) 三块织物的波谷曲线变化趋势符合理论规律,因此一上三下棉织物悬垂性优于平纹和一上二下棉织物。涤纶织物在悬垂高度约为 20 mm 时波峰消失,因涤纶织物各向异性突出使得波谷形状差异明显,层高约为 28 mm 时,张开角较大的波谷消失,波谷曲线骤降,因此涤纶织物存在凹入较深的褶皱,悬垂外观形态较差。羊毛织物 1[#]和羊毛织物 2[#]悬垂系数和峰高均相近,但羊毛 1[#]波峰曲线初始斜率较小且曲线平滑,因此羊毛 1[#]织物悬垂曲线条更缓和,曲面造型更优美。

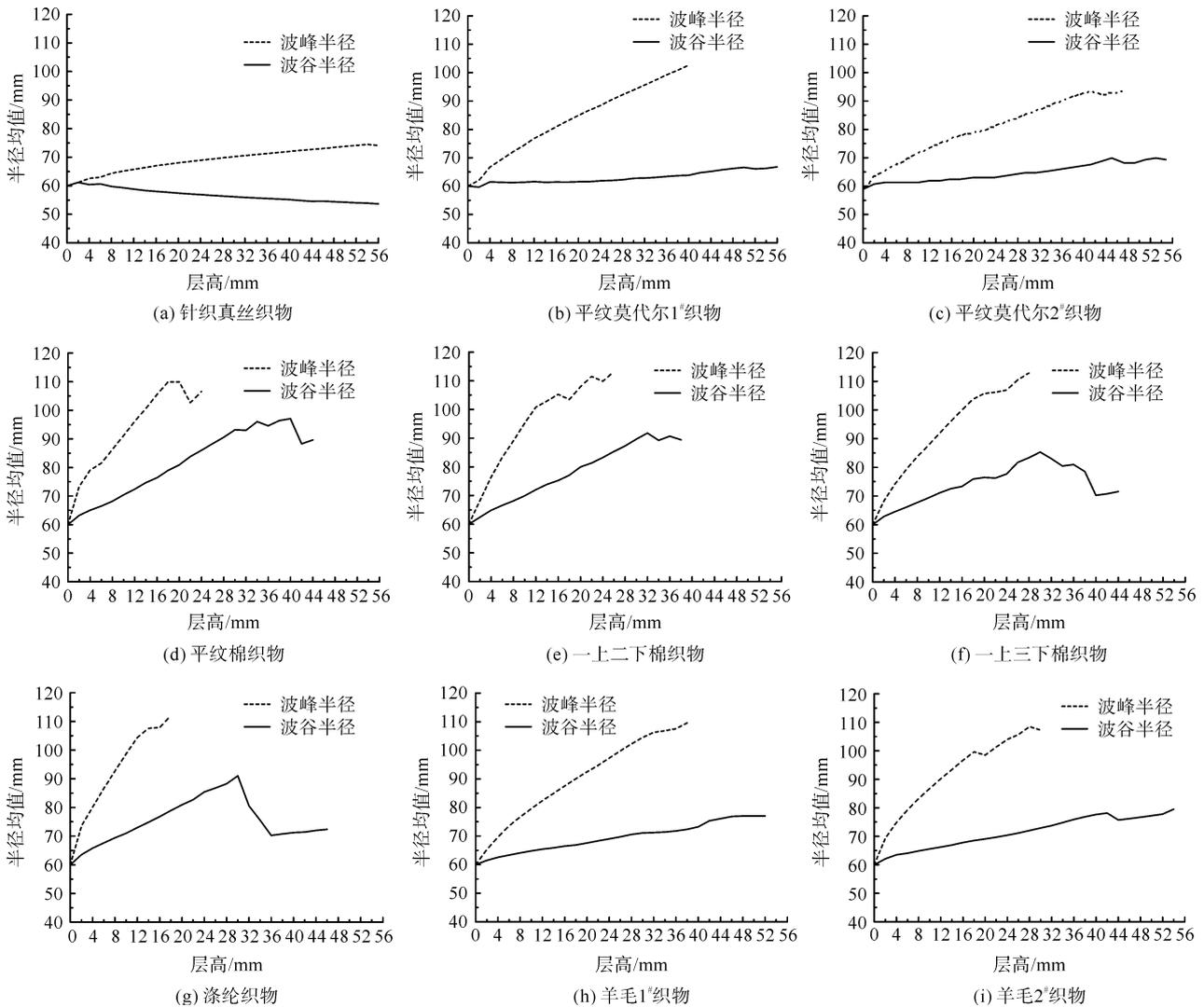


图 7 不同层高处各织物波峰(谷)半径均值

Fig. 7 The mean value of crest radius and trough radius of different fabrics at different layers

4 结 论

由3D扫描仪组成的织物三维悬垂性测试装置具有较高的测量精度和良好的三维可视性,与YG811E悬垂仪相比,两种方法测得的悬垂系数高度相关,证明了3D扫描法测试织物悬垂性具有可行性。通过虚拟水平面等间距切分织物发现:织物波数越多、波数稳定高度越高,织物悬垂性越好;在不同层高处,织物波峰半径与波谷半径均值曲线变化能较好地反映织物悬垂曲面的三维形态。因此,3D扫描仪可以作为进一步探究织物三维悬垂曲面特性与建立织物三维悬垂评价体系的新方法。

参考文献:

- [1]王海燕. 基于面料悬垂性能的丝绸服装美感预测分析[J]. 丝绸, 2013, 50(11): 41-45, 61.
WANG Haiyan. Predictive analysis on aesthetic feeling of silk garment based on drapability of fabrics [J]. Journal of Silk, 2013, 50(11): 41-45, 61.
- [2]PEIRCE F T. The handle of cloth as a measurable quantity [J]. Journal of the Textile Institute, 1930, 21: 377-416.
- [3]纪峰, 李汝勤, 郭永平, 等. 织物悬垂性研究的追踪与展望[J]. 纺织学报, 2003(1): 72-74.
JI Feng, LI Ruqin, GUO Yongping, et al. The past and future of drapability [J]. Journal of Textile Research, 2003(1): 72-74.
- [4]程浩南. 织物静态悬垂性测试过程中图像采集问题的研究[J]. 国际纺织导报, 2017(3): 46-48, 50-52.
CHENG Haonan. Research on issues of image acquisition in the dynamic drape test of fabric [J]. Melliand China, 2017(3): 46-48, 50-52.
- [5]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.
- [6]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.
- [7]ZHANG R Y, WANG H, MA L, et al. Modeling and simulation process for fabric and skirt based on KES testing [C]//7th International Conference on Computer Science & Education. IEEE, 2012: 419-422.
- [8]张雪, 陈韶娟, 孙亚宁, 等. 应用三维扫描技术的织物成型性测试与表征[J]. 纺织学报, 2014, 35(12): 63-68.
ZHANG Xue, CHEN Shaojuan, SUN Yaning, et al. Fabric formability test and characterization based on three-dimensional scanning technology [J]. Journal of Textile Research, 2014, 35(12): 63-68.
- [9]佐同林, 莫振恩, 吴薇, 等. 棉织物悬垂系数对悬垂外观形貌波峰波谷变化的影响[J]. 天津纺织科技, 2015(1): 9-11.
ZUO Tonglin, MO Zhen'en, WU Wei, et al. Effect of draping coefficient of cotton fabric on peak-trough variation of suspended appearance morphology [J]. Tianjin Textile Science & Technology, 2015(1): 9-11.
- [10]周华, 邵琰芳, 王春燕, 等. 涤纶织物性能指标与悬垂形态关系[J]. 纺织学报, 2011, 32(6): 39-44.
ZHOU Hua, SHAO Yanfang, WANG Chunyan, et al. Relationship between index of performance and drape shape of polyester fabric [J]. Journal of Textile Research, 2011, 32(6): 39-44.