

基于纬平织物力学性能的3D模拟效果优化

付燕璇¹, 何瑛^{*1, 2}

(1. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 丝绸文化传承与产品设计数字化技术文化和旅游部重点实验室, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为了提升 Style3D 软件中针织物的模拟效果, 在该软件内搭建虚拟悬垂场景, 结合针织物力学性能测试结果, 获取针织物虚拟悬垂图像, 利用 Matlab 获取图像的悬垂数据; 采用织物悬垂性测试仪获取织物真实悬垂图像及数据, 对比软件所得和实测悬垂图像及数据, 并通过主观迭代评价优化虚拟数据; 在此基础上, 采用最小二乘法对优化后的物理属性参数进行拟合, 阐明物理属性偏差校正规律。验证结果表明, 该拟合结果可以提升虚拟纬平织物悬垂性指标参数的准确性, 提高纬平织物在软件中的仿真还原表现。

关键词: 纬平针织物; 虚拟仿真; 力学性能; 图像处理; 多项式拟合

中图分类号: TS 181.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2022)04-0296-08

Optimization of 3D Simulation Effect Based on Mechanical Properties of Weft Flat Fabric

FU Yanxuan¹, HE Ying^{*1, 2}

(1. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Key Laboratory of Silk Culture Heritage and Products Design Digital Technology, Ministry of Culture and Tourism, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to improve the simulation effect of knitted fabric in Style3D software, a virtual drape scene was built in the software, and the virtual drape image of knitted fabric was obtained by combining the test results of mechanical properties of knitted fabric, and the drape data of the image was obtained by Matlab. The real drape images and data of fabric were obtained by fabric drape tester. The real drape images and data were compared with those obtained by software, and the virtual data were optimized by subjective iterative evaluation method. On this basis, the least square method was used to fit the optimized physical attribute parameters, and the correction law of physical attribute deviation was clarified. Verification results show that the fitting results can improve the accuracy of drape index parameters of virtual weft flat fabric, and improve the simulation restore performance of virtual weft flat fabric in software.

Key words: weft plain knitted fabric, virtual simulation, mechanical properties, image processing, fitting of a polynomial

随着数字化应用的不断深入, 虚拟仿真技术为服装行业带来了巨大的变化, 利用三维仿真技术, 可在虚拟空间中展现不同面料、不同款式的服装, 并穿戴于虚拟模特身上, 从而提高企业生产效率, 降低打样等环节的生产成本。

在现实中, 不同面料具有不同可表征的性能,

因此目前市面上的三维服装建模软件都提供了一些获得面料物理属性的方法^[1], 以得到相应参数来模拟织物性能。由于现有测量手段可表征的性能有限, 且多应用于结构较为简单的梭织面料; 而针织面料结构复杂, 性能与梭织面料大不相同, 致使针织面料的 3D 服装与真实服装存在差异, 这是服

收稿日期: 2022-02-05; 修订日期: 2022-04-14。

作者简介: 付燕璇(1996—), 女, 硕士研究生。

* 通信作者: 何瑛(1978—), 女, 副教授, 硕士生导师。主要研究方向为数字化服装、服装结构设计与工艺技术。

Email: Daisy_Jacky@163.com

装物理仿真中面临的一个难题。若要准确模拟针织服装,则需建立纱线级别的仿真模型^[2-3]。日本岛精公司推出了以线圈为单位的 APEX 针织模拟软件^[4],但这种仿真建模技术复杂,运算量极大,不适合实时模拟的服装虚拟仿真。因此,使用现有的三维服装软件模拟针织面料更为高效。

文中基于三维柔性仿真服装软件 Style3D,结合现有的物理属性测量技术及性能表征方法,选择纬平织物作为实验对象,得出横编织物在虚拟软件中的模拟优化方法。

表 1 试样基本规格参数
Tab.1 Basic fabric specifications

| 试样编号 | 材质 | 纱线 | 针型 | 总紧度/% | 后整理方式 | 面密度/(g/cm ²) | 厚度/mm |
|------|------------------------------------|--------------|------|-------|-------|--------------------------|-------|
| 1 | 棉(100%) | 31.25 tex×15 | 3.5 | 95 | 平整 | 653.03 | 2.55 |
| 2 | 棉(100%) | 31.25 tex×9 | 5.0 | 110 | 平整 | 536.36 | 2.27 |
| 3 | 棉(100%) | 31.25 tex×5 | 7.0 | 85 | 平整 | 465.15 | 1.77 |
| 4 | 棉(100%) | 31.25 tex×3 | 9.0 | 108 | 平整 | 418.18 | 1.32 |
| 5 | 棉(100%) | 31.25 tex×2 | 12.0 | 110 | 平整 | 265.15 | 1.12 |
| 6 | 棉(100%) | 31.25 tex×1 | 16.0 | 92 | 平整 | 174.24 | 0.65 |
| 7 | 羊毛(100%) | 20.83 tex×15 | 3.5 | 100 | 平整 | 716.67 | 3.30 |
| 8 | 羊毛(100%) | 20.83 tex×9 | 5.0 | 117 | 平整 | 657.58 | 2.44 |
| 9 | 羊毛(100%) | 20.83 tex×5 | 7.0 | 89 | 平整 | 539.39 | 1.90 |
| 10 | 羊毛(100%) | 20.83 tex×3 | 9.0 | 113 | 平整 | 350.00 | 1.32 |
| 11 | 羊毛(100%) | 20.83 tex×2 | 12.0 | 114 | 平整 | 296.97 | 1.12 |
| 12 | 羊毛(100%) | 20.83 tex×1 | 16.0 | 95 | 平整 | 198.48 | 0.65 |
| 13 | 羊毛(100%) | 33.33 tex×1 | 12.0 | 100 | 微绒 | 169.70 | 1.85 |
| 14 | 羊毛(100%) | 33.33 tex×1 | 12.0 | 105 | 微绒 | 148.48 | 1.85 |
| 15 | 羊毛(100%) | 33.33 tex×1 | 12.0 | 110 | 微绒 | 142.42 | 1.87 |
| 16 | 羊毛(100%) | 33.33 tex×1 | 12.0 | 108 | 缩绒 | 143.94 | 1.60 |
| 17 | 羊毛(100%) | 33.33 tex×1 | 12.0 | 114 | 缩绒 | 157.58 | 1.66 |
| 18 | 羊毛(100%) | 33.33 tex×1 | 12.0 | 128 | 缩绒 | 174.24 | 1.87 |
| 19 | 羊毛(100%) | 33.33 tex×1 | 12.0 | 114 | 强缩绒 | 392.42 | 1.72 |
| 20 | 羊毛(100%) | 33.33 tex×1 | 12.0 | 128 | 强缩绒 | 427.27 | 1.92 |
| 21 | 羊毛(100%) | 33.33 tex×1 | 12.0 | 140 | 强缩绒 | 369.70 | 2.03 |
| 22 | 棉(100%) | 31.25 tex×2 | 12.0 | 106 | 平整 | 269.70 | 0.91 |
| 23 | 棉(100%) | 31.25 tex×2 | 12.0 | 110 | 平整 | 265.15 | 0.92 |
| 24 | 棉(100%) | 31.25 tex×2 | 12.0 | 114 | 平整 | 240.91 | 0.90 |
| 25 | 羊毛(100%) | 31.25 tex×2 | 12.0 | 96 | 平整 | 237.88 | 0.77 |
| 26 | 羊毛(100%) | 31.25 tex×2 | 12.0 | 100 | 平整 | 225.76 | 0.78 |
| 27 | 羊毛(100%) | 31.25 tex×2 | 12.0 | 104 | 平整 | 236.36 | 0.76 |
| 28 | 黏胶(100%) | 31.25 tex×2 | 12.0 | 97 | 平整 | 277.27 | 0.70 |
| 29 | 黏胶(100%) | 31.25 tex×2 | 12.0 | 101 | 平整 | 260.61 | 0.76 |
| 30 | 黏胶(100%) | 31.25 tex×2 | 12.0 | 105 | 平整 | 287.88 | 0.68 |
| 31 | <i>m</i> (黏胶): <i>m</i> (锦纶)=65:35 | 17.86 tex×2 | 12.0 | 95 | 平整 | 198.48 | 0.74 |
| 32 | <i>m</i> (黏胶): <i>m</i> (锦纶)=65:35 | 17.86 tex×2 | 12.0 | 99 | 平整 | 186.36 | 0.69 |
| 33 | <i>m</i> (黏胶): <i>m</i> (锦纶)=65:35 | 17.86 tex×2 | 12.0 | 103 | 平整 | 187.88 | 0.70 |
| 34 | <i>m</i> (棉): <i>m</i> (涤纶)=52:48 | 35.71 tex×2 | 12.0 | 104 | 平整 | 301.52 | 1.01 |
| 35 | <i>m</i> (棉): <i>m</i> (涤纶)=52:48 | 35.71 tex×2 | 12.0 | 108 | 平整 | 289.39 | 1.09 |
| 36 | <i>m</i> (棉): <i>m</i> (涤纶)=52:48 | 35.71 tex×2 | 12.0 | 112 | 平整 | 278.79 | 1.08 |
| 37 | 丝(100%) | 13.2 tex×2 | 12.0 | 91 | 平整 | 177.27 | 0.45 |
| 38 | 丝(100%) | 13.2 tex×2 | 12.0 | 95 | 平整 | 175.76 | 0.47 |
| 39 | 丝(100%) | 13.2 tex×2 | 12.0 | 99 | 平整 | 159.09 | 0.46 |

1.1.2 仪器 电脑横机,江苏金龙制造;Mark-10 ESM1500 电动测量台,深圳美科仪科技有限公司制造;YG207N 型自动织物硬挺度仪,江西贝诺仪器有限公司制造;YG(B)811E 织物悬垂性能测试仪,温

1 力学性能实验

1.1 材料

1.1.1 面料 以材质、针型、紧度以及后整理方式这 4 个影响面料属性的因素作为织物样本的主要筛选条件,选取由 6 种常见的不同风格的材质、6 种不同针型、3 种不同紧度以及通过 4 种不同后整理方式得到的面料,经过排列组合、筛选不合理面料与风格重复面料,最终确定 39 个针织面料试样。试样的基本规格参数见表 1。

州大荣纺织仪器有限公司制造。
1.2 方法
采用电脑横机技术进行 39 个面料样本编织,分别得到尺寸为 3 cm×22 cm 的经、纬、45°斜向纬平

针组织织片。

1.2.1 拉伸性能测试 根据 FZ/T 70006—2004《针织物拉伸弹性回复率试验方法》^[5],采用电动测量台测试 39 组针织织片的拉伸强度,每个试样测 3 次,取平均值。

1.2.2 弯曲性能测试 根据 GB/T 18318.1—2009《纺织品 弯曲性能的测定 第 1 部分:斜面法》^[6],采用自动织物硬挺度仪,测量当面料弯曲角度为41.5°时,39 组针织织片的伸出长度。

1.2.3 悬垂性能测试 悬垂可以表现面料在自身重力下悬吊时的变形程度,是面料的一个重要评价标准,可反映服装是否符合人体形态^[7-8]。

根据 GB/T 23329—2009《纺织品 织物悬垂性的测定》^[9]方法,采用织物悬垂性能测试仪,测试 39 组织物样本的悬垂系数、悬垂波数以及最大、最小波幅。

1.3 结果与讨论

织物的拉伸性能和弯曲性能见表 2。

表 2 拉伸性能和弯曲性能测试结果

Tab.2 Test results of tensile property and bending performance

| 试样编号 | 拉伸强度/N | | | 伸出长度/mm | | |
|------|--------|------|------|---------|------|------|
| | 纬向 | 经向 | 斜向 | 纬向 | 经向 | 斜向 |
| 1 | 0.13 | 0.22 | 0.14 | 22.5 | 39.2 | 26.5 |
| 2 | 0.19 | 0.36 | 0.18 | 22.3 | 43.5 | 28.9 |
| 3 | 0.31 | 0.52 | 0.25 | 19.8 | 43.5 | 29.1 |
| 4 | 0.14 | 0.57 | 0.21 | 17.8 | 42.1 | 29.9 |
| 5 | 0.24 | 0.63 | 0.28 | 23.9 | 45.6 | 28.7 |
| 6 | 0.21 | 0.56 | 0.26 | 14.6 | 39.3 | 25.3 |
| 7 | 0.10 | 0.25 | 0.14 | 33.0 | 48.2 | 35.3 |
| 8 | 0.13 | 0.41 | 0.13 | 28.7 | 45.0 | 29.9 |
| 9 | 0.15 | 0.40 | 0.14 | 24.5 | 39.2 | 28.9 |
| 10 | 0.16 | 0.43 | 0.14 | 23.9 | 37.3 | 28.5 |
| 11 | 0.21 | 0.45 | 0.21 | 26.0 | 37.3 | 24.0 |
| 12 | 0.24 | 0.49 | 0.27 | 16.7 | 33.2 | 21.9 |
| 13 | 0.07 | 0.12 | 0.06 | 21.5 | 41.6 | 27.7 |
| 14 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 27.0 | 44.2 | 30.6 |
| 15 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 27.1 | 43.8 | 31.2 |
| 16 | 0.19 | 0.13 | 0.13 | 32.8 | 50.4 | 33.0 |
| 17 | 0.27 | 0.12 | 0.14 | 31.0 | 50.4 | 32.0 |
| 18 | 0.33 | 0.16 | 0.14 | 35.3 | 54.4 | 37.2 |
| 19 | 0.92 | 0.43 | 0.30 | 35.3 | 43.5 | 33.0 |
| 20 | 0.10 | 0.72 | 0.42 | 43.4 | 41.4 | 33.0 |
| 21 | 0.19 | 0.42 | 0.38 | 44.5 | 37.3 | 30.8 |
| 22 | 0.18 | 0.59 | 0.26 | 16.4 | 42.3 | 33.8 |
| 23 | 0.13 | 0.53 | 0.25 | 14.3 | 39.3 | 29.0 |
| 24 | 0.12 | 0.41 | 0.18 | 12.5 | 42.1 | 28.5 |
| 25 | 0.18 | 0.40 | 0.18 | 19.9 | 35.3 | 21.5 |
| 26 | 0.16 | 0.44 | 0.21 | 18.8 | 36.1 | 20.0 |
| 27 | 0.16 | 0.44 | 0.25 | 15.5 | 37.1 | 26.0 |
| 28 | 0.04 | 0.10 | 0.03 | 12.7 | 29.3 | 20.0 |
| 29 | 0.04 | 0.10 | 0.03 | 13.7 | 28.1 | 20.0 |
| 30 | 0.03 | 0.08 | 0.03 | 13.6 | 30.2 | 21.9 |
| 31 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 12.5 | 30.6 | 20.0 |
| 32 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 13.6 | 30.6 | 21.9 |
| 33 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 12.5 | 39.7 | 30.0 |
| 34 | 0.06 | 0.21 | 0.18 | 13.7 | 26.8 | 21.9 |
| 35 | 0.05 | 0.19 | 0.10 | 17.8 | 37.3 | 29.7 |
| 36 | 0.04 | 0.16 | 0.13 | 14.4 | 28.7 | 21.9 |
| 37 | 0.03 | 0.14 | 0.10 | 12.6 | 46.1 | 33.9 |
| 38 | 0.03 | 0.13 | 0.05 | 12.6 | 47.2 | 31.7 |
| 39 | 0.02 | 0.13 | 0.04 | 12.6 | 48.5 | 32.1 |

1.3.1 织物的拉伸性能 由表 2 可以看出,织物的平均抗拉伸性:经向>纬向>斜向;不同针型织物的平均抗拉伸性:16 针>12 针>9 针>

7 针>5 针>3.5 针;不同密度织物的平均抗拉伸性:略紧>正常>略松,且密度的影响最小,差值仅在 0.3~2.75 N之间。

利用 SPSS 22.0 软件处理拉伸强度数据,对纬向、经向、斜向拉伸强度进行 Pearson 相关性分析。分析结果可得,纬向拉伸强度与经向拉伸强度呈显著正相关($r=0.878, p<0.01$),纬向拉伸强度与斜向拉伸强度呈显著正相关($r=0.403, p<0.05$),经向拉伸强度与斜向拉伸强度呈显著正相关($r=0.529, p<0.01$)。

1.3.2 织物的弯曲性能 由表 2 可以看出,样品中的平均抗弯曲性:织物的经向伸出长度 > 斜向伸出长度 > 纬向伸出长度;不同针型织物伸出长度:3.5 针 > 5 针 > 7 针 > 9 针 > 12 针 > 16 针;不同密度织物的伸出长度:略紧 > 正常 > 略松,且密度的影响最小,差值仅在 1.02 ~ 3.67 cm 之间。

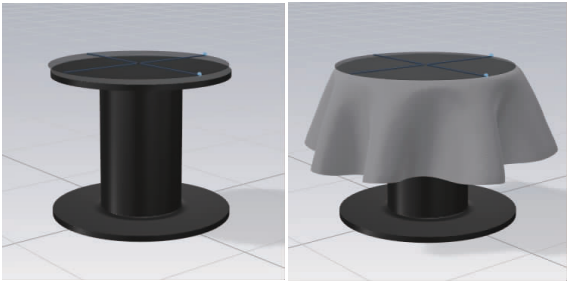
利用 SPSS 22.0 软件处理伸出长度数据,对纬向、经向、斜向伸出长度进行 Pearson 相关性分析。结果分析可得,纬向伸出长度与经向伸出长度呈显著正相关($r=0.883, p<0.01$),纬向伸出长度与斜向伸出长度呈显著正相关($r=0.464, p<0.01$),经向伸出长度与斜向伸出长度呈显著正相关($r=0.535, p<0.01$)。

2 虚拟悬垂模拟

2.1 虚拟面料悬垂图像获取

仿照真实悬垂实验环境,利用 3Dmax 软件制作虚拟悬垂仪,并导入 Style 3D 软件中,搭建虚拟悬垂

场景。为了较好地还原织物模拟效果,在场景管理视窗中导入织物,织物粒子间距设置为 5 mm。将每个织物的物理参数(面密度和厚度)及力学性能参数(拉伸强度和伸出长度)输入软件,转化为可被识别的面料物理属性参数,依次进行悬垂实验。当织物模拟至稳定静止状态,3D 快照导出悬垂图像并保存。虚拟悬垂实验如图 1 所示。



(a) 虚拟悬垂仪 (b) 虚拟悬垂实验

图 1 Style3D 中虚拟悬垂实验

Fig.1 Virtual drape experiment inside Style3D

2.2 悬垂图像处理

文中采用 Matlab 软件处理虚拟悬垂数据^[10]。通过 canny 边缘检测和 bwboundaries 算法获取悬垂图像区域边界与标签;根据图像特征,获取阴影图形的曲线夹角与原点 to 边缘点的伸出长度。因为从图像中得到的阴影边缘由离散点组成,可通过 spline 拟合得到近似公式以表示这些离散点,使生成的曲线光滑,在此基础上求得织物各项悬垂指标。Matlab 悬垂图像处理流程如图 2 所示。

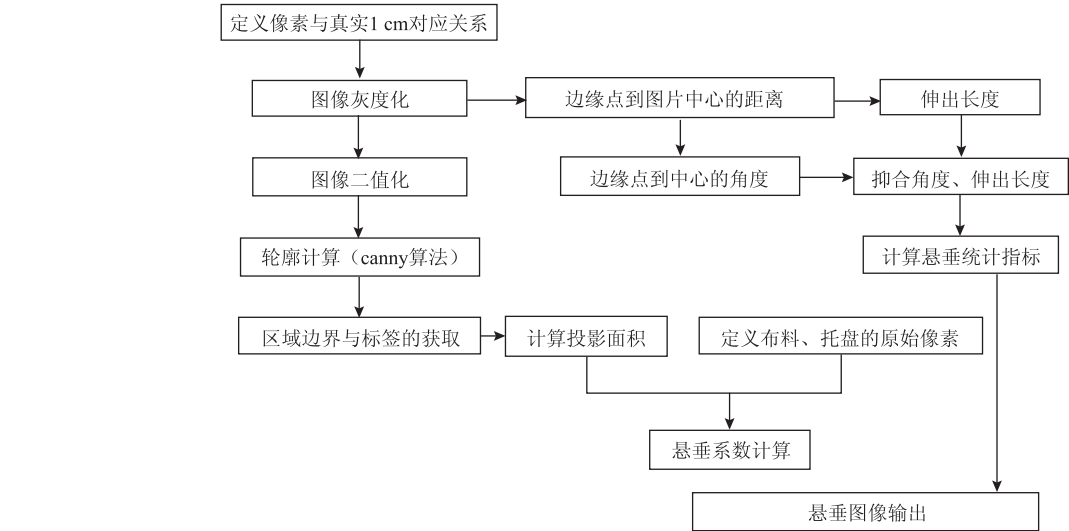


图 2 Matlab 悬垂图像处理流程

Fig.2 Matlab drape image processing flow chart

3 毛衫模拟形态优化

3.1 虚实对比

真实织物悬垂指标与通过 Matlab 读取的虚拟

织物悬垂指标见表 3。由表 3 可以看出,虚拟悬垂系数比真实悬垂系数平均偏大 6.85%,波数几乎相同,最大波幅平均偏大 1.21 cm,最小波幅平均偏小 1.06 cm,平均波幅的误差值范围 - 1.03 ~ 1.74 cm。

表 3 真实织物和虚拟织物悬垂指标比较

Tab.3 Comparison of drape indexes of real and virtual fabric

| 试样编号 | 真实织物 | | | | | 虚拟织物 | | | | |
|------|------------|----------|-------------|-------------|-------------|------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| | 悬垂 系数/% | 悬垂 波数 | 最大 波幅/cm | 最小 波幅/cm | 平均 波幅/cm | 悬垂 系数/% | 悬垂 波数 | 最大 波幅/cm | 最小 波幅/cm | 平均 波幅/cm |
| 1 | 22.02 | 6 | 7.80 | 10.65 | 9.25 | 28.41 | 6 | 9.05 | 9.48 | 9.28 |
| 2 | 24.66 | 5 | 8.85 | 11.40 | 9.90 | 34.08 | 5 | 9.78 | 10.00 | 9.92 |
| 3 | 24.19 | 6 | 7.35 | 10.95 | 9.68 | 30.68 | 6 | 9.20 | 9.68 | 9.47 |
| 4 | 18.55 | 7 | 7.65 | 10.65 | 8.91 | 28.59 | 6 | 9.18 | 9.54 | 9.35 |
| 5 | 15.55 | 7 | 6.90 | 10.50 | 8.59 | 34.36 | 7 | 9.30 | 9.86 | 9.44 |
| 6 | 20.16 | 8 | 7.35 | 10.35 | 8.72 | 37.10 | 6 | 9.50 | 10.02 | 9.77 |
| 7 | 30.13 | 5 | 9.00 | 11.25 | 10.40 | 38.02 | 5 | 9.73 | 10.12 | 9.98 |
| 8 | 29.61 | 5 | 9.00 | 11.40 | 10.40 | 31.95 | 5 | 9.61 | 9.98 | 9.79 |
| 9 | 25.33 | 6 | 8.55 | 10.95 | 9.85 | 27.53 | 6 | 9.13 | 9.35 | 9.25 |
| 10 | 20.65 | 6 | 8.25 | 10.80 | 9.58 | 24.62 | 6 | 8.90 | 9.12 | 9.04 |
| 11 | 20.61 | 6 | 8.55 | 10.50 | 9.60 | 25.82 | 7 | 8.75 | 9.35 | 9.02 |
| 12 | 14.68 | 8 | 6.75 | 9.30 | 8.55 | 21.14 | 8 | 8.25 | 9.00 | 8.54 |
| 13 | 23.76 | 5 | 8.70 | 11.25 | 10.00 | 23.38 | 8 | 8.46 | 9.13 | 8.69 |
| 14 | 25.74 | 5 | 7.95 | 11.55 | 10.10 | 34.84 | 7 | 9.24 | 9.55 | 9.41 |
| 15 | 29.78 | 5 | 9.45 | 11.70 | 10.40 | 36.11 | 6 | 9.45 | 10.04 | 9.78 |
| 16 | 21.41 | 7 | 8.10 | 10.95 | 9.30 | 41.64 | 8 | 9.55 | 9.83 | 9.70 |
| 17 | 26.70 | 6 | 8.40 | 11.10 | 9.88 | 39.88 | 8 | 9.45 | 9.80 | 9.64 |
| 18 | 41.80 | 7 | 9.00 | 11.25 | 10.20 | 49.07 | 6 | 10.00 | 10.35 | 10.10 |
| 19 | 51.45 | 6 | 9.15 | 11.55 | 10.60 | 45.32 | 5 | 10.20 | 10.35 | 10.30 |
| 20 | 53.98 | 5 | 9.90 | 11.85 | 11.00 | 51.30 | 5 | 10.30 | 10.56 | 10.50 |
| 21 | 59.14 | 4 | 10.70 | 12.30 | 11.50 | 49.52 | 5 | 10.20 | 10.51 | 10.40 |
| 22 | 23.79 | 7 | 6.90 | 11.25 | 9.13 | 27.96 | 6 | 9.12 | 9.63 | 9.36 |
| 23 | 25.23 | 7 | 6.90 | 10.95 | 9.17 | 25.94 | 7 | 8.83 | 9.37 | 9.02 |
| 24 | 24.63 | 7 | 7.95 | 10.80 | 9.39 | 27.30 | 6 | 9.11 | 9.58 | 9.30 |
| 25 | 14.59 | 7 | 7.65 | 9.90 | 8.61 | 24.30 | 7 | 8.74 | 9.22 | 8.95 |
| 26 | 14.50 | 8 | 7.35 | 10.20 | 8.40 | 26.47 | 7 | 8.88 | 9.34 | 9.09 |
| 27 | 15.90 | 6 | 7.20 | 10.50 | 8.93 | 24.64 | 6 | 9.05 | 9.32 | 9.19 |
| 28 | 8.14 | 8 | 6.60 | 8.70 | 7.69 | 14.27 | 9 | 7.57 | 8.11 | 7.80 |
| 29 | 7.61 | 9 | 6.15 | 8.55 | 7.45 | 14.19 | 9 | 7.58 | 8.11 | 7.79 |
| 30 | 7.06 | 9 | 6.15 | 8.40 | 7.33 | 13.71 | 9 | 7.54 | 7.98 | 7.74 |
| 31 | 13.18 | 7 | 7.50 | 10.05 | 8.51 | 17.80 | 9 | 7.86 | 8.39 | 8.05 |
| 32 | 12.90 | 8 | 6.90 | 9.45 | 8.27 | 23.05 | 7 | 8.71 | 9.03 | 8.87 |
| 33 | 13.74 | 7 | 7.65 | 10.20 | 8.49 | 17.44 | 8 | 7.93 | 8.61 | 8.24 |
| 34 | 23.89 | 7 | 6.60 | 10.95 | 9.15 | 23.66 | 8 | 8.21 | 9.23 | 8.67 |
| 35 | 23.43 | 8 | 7.50 | 11.25 | 9.15 | 27.27 | 7 | 8.92 | 9.44 | 9.12 |
| 36 | 22.82 | 6 | 8.10 | 10.50 | 9.53 | 20.86 | 8 | 8.09 | 8.96 | 8.50 |
| 37 | 9.01 | 7 | 6.45 | 8.85 | 7.80 | 28.41 | 6 | 9.20 | 9.64 | 9.43 |
| 38 | 7.81 | 9 | 6.15 | 8.25 | 7.52 | 24.96 | 6 | 9.05 | 9.44 | 9.26 |
| 39 | 7.21 | 9 | 6.30 | 8.55 | 7.38 | 26.73 | 7 | 8.85 | 9.18 | 9.09 |

悬垂仪中拍摄得到的图像与 Style3D 导出的悬垂测试图像对比结果如图 3 所示。

由图 3 和表 3 可以看出,真实悬垂系数大于 16% 时,经纬异向性表现明显;虚拟悬垂系数大于 35% 时,经纬异向性表现明显;且虚拟悬垂形态的经

纬异向性敏感度不如真实悬垂形态。由图 3 和表 3 还可以看出,对于硬挺感明显的织物,真实悬垂波幅略大于虚拟悬垂波幅,且虚拟悬垂波幅更均匀;对于垂坠感明显的织物,真实悬垂波幅小于虚拟悬垂波幅。

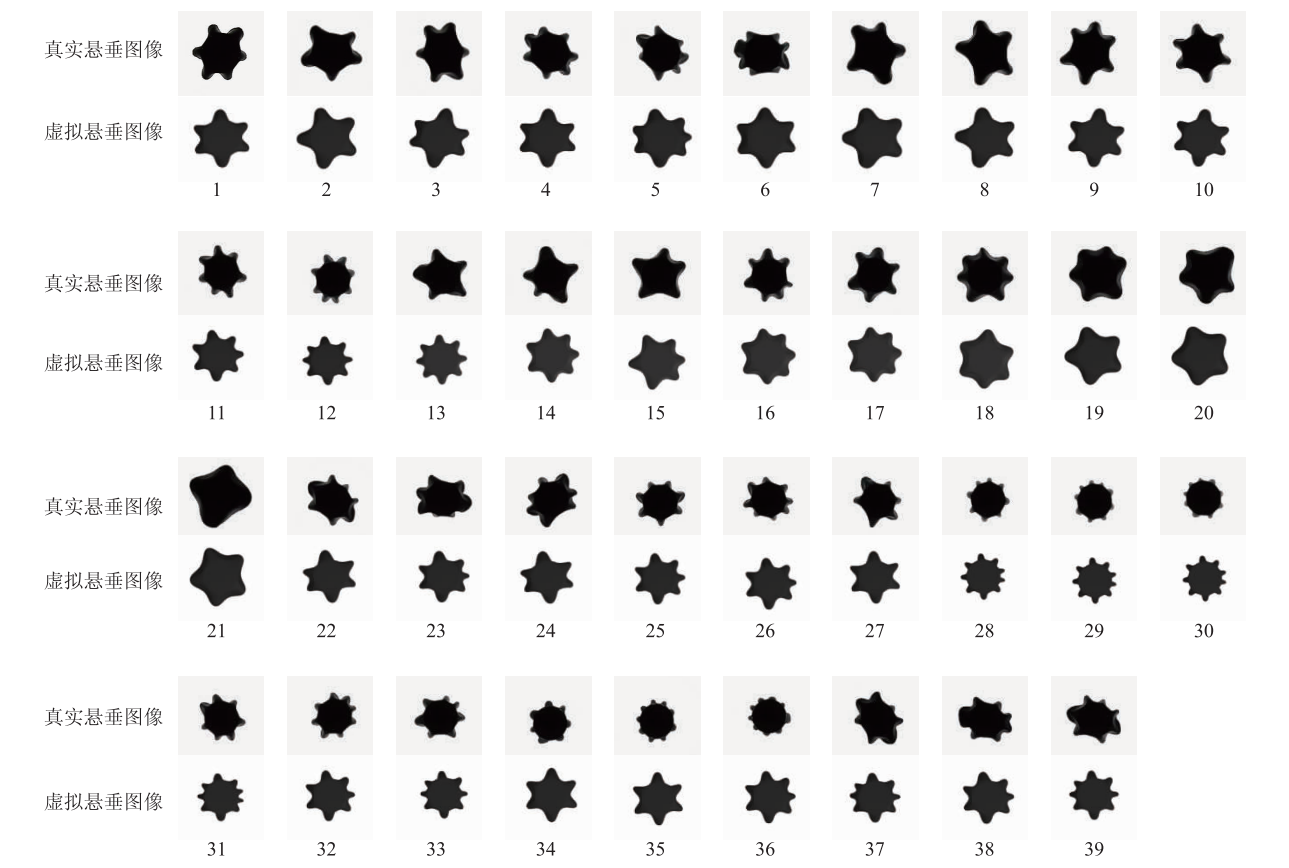


图 3 虚实织物悬垂图像对比

Fig. 3 Comparison of virtual and real drape image

3.2 拟合优化

在 3D 仿真软件模拟中,弯曲是影响面料悬垂差异的主要参数^[11]。由图 3 和表 3 可以看出,真实面料的悬垂效果与虚拟面料的悬垂效果有一定差异。为了得到更符合真实效果的虚拟悬垂表现,对虚拟面料的物理属性进行优化。通过调节软件内虚拟面料的弯曲物理属性数值,获得虚拟悬垂图像;再由 8 位纺织工程专业织物面料研究方向的研究生对图像与真实悬垂效果,从悬垂程度表现、各向异性表现、软硬表现 3 个维度,按 50%, 30%, 20% 权重比进行真实感评价。当评价分数大于 90 时,记录数据;评价分数小于 90 时,对弯曲参数进行调试,并再次评价,往返迭代直至评价分数均达到 90 以上,最终得到符合真实悬垂效果的弯曲参数值,评价流程如图 4 所示。

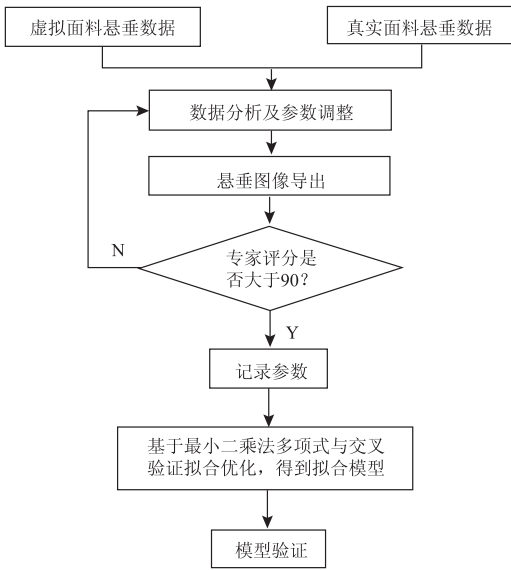


图 4 评价方法流程

Fig. 4 Flow chart of evaluation method

将调整前后的 39 组弯曲属性数值进行整理,利用最小二乘法做多项式拟合^[12],即

$$Y = A_1 X^3 + A_2 X^2 + A_3 X + K = (A_1 \ A_2 \ A_3) \begin{pmatrix} X^3 \\ X^2 \\ X \end{pmatrix} + K \quad (3)$$

式中: X, Y 分别为调整前后的弯曲参数值; A_1, A_2, A_3, K 为拟合函数的矩阵系数。

为了选取最合适的解,引入残差平方函数

$$\text{Err} = \left\| Y - (A_1 \ A_2 \ A_3) \begin{pmatrix} X^3 \\ X^2 \\ X \end{pmatrix} \right\|_2 \quad (4)$$

$$(A_1 \ A_2 \ A_3)^* = \text{argminErr}(A_1 \ A_2 \ A_3) \quad (5)$$

$$\text{即} \quad \frac{\partial \text{Err}(A_1 \ A_2 \ A_3)}{\partial (A_1 \ A_2 \ A_3)} = 0 \quad (6)$$

令 $\text{Err}(A_1 \ A_2 \ A_3)$ 最小,则

$$(A_1 \ A_2 \ A_3) = \left[\begin{pmatrix} X^3 \\ X^2 \\ X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X^3 \\ X^2 \\ X \end{pmatrix}^T \right]^{-1} Y \begin{pmatrix} X^3 \\ X^2 \\ X \end{pmatrix} + K \quad (7)$$

采用 N 折交叉验证(N fold cross-validation)^[13]的方法评估数据拟合的性能,经梁子超等^[14]研究证明,10 折交叉验证为最佳折数。因此,文中基于调整前后的弯曲属性数值,建立 39+1 数据集(1 为来自 39 组数据的随机数据集),并进行 10 折交叉验证,其中 36 组数据为训练集,4 组数据为验证集。并将 L2 范数作为预测误差的衡量。经尝试发现, K 阶多项式拟合时, K 值越大,拟合的效果越好,但验证误差也越大。最后在不同的多项式阶数下,证明一阶多项式拟合结果最好。因此采用基于最小二乘法的一阶多项式进行拟合。

利用 python 程序获得拟合结果,对面料物理属性参数进行矫正,找到其面料物理属性偏差值校正规律,拟合结果为

$$A = \begin{bmatrix} 1.7 & -0.3 & -0.1 \\ 0.3 & 0.7 & 30.5 \\ 0.2 & 1.1 & 16.3 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$K = \begin{bmatrix} 6.1 \\ 30.5 \\ 16.3 \end{bmatrix} \quad (9)$$

拟合公式为

$$Y = \begin{bmatrix} 1.7 & -0.3 & -0.1 \\ 0.3 & 0.7 & 30.5 \\ 0.2 & 1.1 & 16.3 \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 6.1 \\ 30.5 \\ 16.3 \end{bmatrix} \quad (10)$$

4 验 证

选取一种新的纬平横编织物做验证实验,测试面料的物理属性和悬垂性能,并根据 Style3D 软件中的属性值转换关系优化数值。优化前弯曲数值为(19.02, 36.45, 28.73),优化后为(24.8, 48.5, 41.3)。将模拟得到的悬垂图像与真实悬垂进行比较,结果表明模拟悬垂系数优化提升 4.375%,波数相同,悬垂波幅优化 $\in [0.541, 1.095]$ 。悬垂效果对比如图 5 所示。实验表明,经过物理属性参数拟合优化的模拟效果,还原度有显著提高。

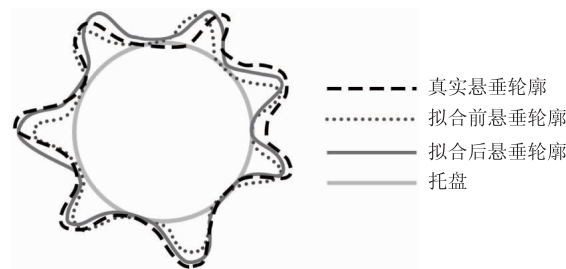


图 5 织物悬垂图像重叠对比

Fig. 5 Fabric drape image overlap contrast

5 结 语

文中基于 Style3D 软件阐述了纬平针织物力学性能表征的优化方法。对 39 种纬平针织物进行了力学性能测试;在 Style3D 软件内搭建虚拟悬垂场景,结合测得的拉伸、弯曲性能参数,获得了虚拟悬垂图像;利用 Matlab 程序对其图像进行了悬垂数据计算输出,并与真实悬垂数据与图像进行对比;采用最小二乘法对优化的物理属性参数进行了拟合并作 N 折交叉验证,获得了在软件内纬平针组织针织面料物理属性的拟合校正方法,得到了更为准确的毛衫物理属性数值。经验证,该拟合结果适用于不同针型、材质、紧度的纬平织物物理属性参数校正,能有效提高其织物的仿真还原度。

参考文献:

- [1] POWER J. Fabric objective measurements for commercial 3D virtual garment simulation[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2013, 25 (6): 423-439.
- [2] SHA S, JIANG G M, MA P B, et al. 3D dynamic behaviors simulation of weft knitted fabric based on particle system[J]. Fibers and Polymers, 2015, 16(8):

- 1812-1817.
- [3] LI Y, YANG L, CHEN S, et al. Three dimensional simulation of weft knitted fabric based on surface model[J]. Comput Model and New Technologies, 2014, 18 (3): 52-57.
- [4] 范友红, 李小辉. 基于虚拟仿真技术的针织挑孔组织设计与实践[J]. 毛纺科技, 2021, 49(11): 1-6.
- FAN Youhong, LI Xiaohui. Design and practice of knitted pointelle structure based on virtual simulation technology [J]. Wool Textile Journal, 2021, 49 (11): 1-6. (in Chinese)
- [5] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 针织物拉伸强度回复率试验方法:FZ/T 70006—2004[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫局,中国国家标准化管理委员会. 纺织品 弯曲性能的测定 第1部分:斜面法:GB/T 18318.1—2009[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [7] KIM J, KIM Y J, SHIM M, et al. Prediction and categorization of fabric drapability for 3D garment virtualization [J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2020, 32(4): 523-535.
- [8] KUIJPERS A. Evaluation of physical and virtual fabric drape created from objective fabric properties [D]. Manchester:The University of Manchester, 2017.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫局,中国国家标准化管理委员会. 纺织品 织物悬垂性的测定:GB/T 23329—2009[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [10] 袁小军, 陈晓东, 邱莉, 等. 基于图像处理的织物悬垂性综合评价[J]. 纺织科学与工程学报, 2020, 37(3): 19-24.
- YUAN Xiaojun, CHEN Xiaodong, QIU Li, et al. Comprehensive evaluation of fabric drape based on image processing [J]. Journal of Textile Science and Engineering, 2020, 37(3): 19-24. (in Chinese)
- [11] BUYUKASLAN E, JEVSNIK S, KALAOGLU F. Comparative analysis of drape characteristics of actually and virtually draped fabrics [J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2018, 30 (3): 286-301.
- [12] 陆健. 最小二乘法及其应用[J]. 中国西部科技, 2007, 6(19): 19-21.
- LU Jian. The least square method and its application[J]. Science and Technology of West China, 2007, 6(19): 19-21. (in Chinese)
- [13] STONE M. Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions[J]. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 1974, 36 (2): 111-133.
- [14] 梁子超, 李智炜, 赖铿, 等. 10折交叉验证用于预测模型泛化能力评价及其R软件实现[J]. 中国医院统计, 2020, 27(4): 289-292.
- LIANG Zichao, LI Zhiwei, LAI Keng, et al. Application of 10-fold cross-validation in the evaluation of generalization ability of prediction models and the realization in R [J]. Chinese Journal of Hospital Statistics, 2020, 27 (4): 289-292. (in Chinese)

(责任编辑:邢宝妹)