



横向拉伸条件下衬垫组织的地组织线圈形态分析

练婉婷^a, 韩林原^a, 杨允出^{b,c}

(浙江理工大学, a. 服装学院; b. 国际教育学院; c. 丝绸文化传承与
产品设计数字化技术文化部重点实验室, 杭州 310018)

摘要: 为了探究衬垫组织在不同横向拉伸条件下地组织线圈形态的变化特征和规律, 预测线圈的长度和形态, 以平针衬垫组织的压力袜为试样, 采用视觉测量技术测量线圈的圈距、圈高、圈柱高、圈柱间距、圈柱倾斜角、衬垫纱倾斜角和沉降弧倾斜角, 建立地组织初始状态和横向拉伸条件下的二维线圈结构模型, 计算针编弧、圈柱和沉降弧的长度。结果表明: 保持压力袜纵向长度不变, 横向施加拉伸后, 地组织线圈形态系数逐渐减小; 衬垫纱弯曲程度逐渐降低, 其作用力使相邻两行线圈圈高的比值线性增加; 线圈长度的实际测量值与二维模型的理论计算值较为符合, 误差范围为 0.99%~7.00%。该理论模型可以用于预测衬垫组织地组织线圈的长度和形态变化。

关键词: 衬垫组织; 横向拉伸; 线圈形态; 预测模型; 织物结构参数

中图分类号: TS181

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2022)11-0856-08

Analysis of the ground stitch loop shape of laid-in stitch under transverse stretch

LIAN Wanting^a, HAN Linyuan^a, YANG Yunchu^{b,c}

(a. School of Fashion Design & Engineering; b. School of International Education; c. MOC Key Laboratory of Silk Culture Heritage and Product Design Digital Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to explore the change characteristics and rules of the ground stitch loop shape of laid-in stitch under different transverse stretch conditions, and predict the loop length and the change of the loop shape, in this study, the laid-in weft-knitted compression stockings were used as the sample, and visual measurement technology was used to measure the loop spacing, loop height, leg height, leg spacing, angles of inclination of leg, laid-in yarn and sinker loop. The two-dimensional loop structure model under the initial state and the transverse stretch condition of the ground stitch was established to calculate the length of the needle loop, leg and sinker loop. The results show that, when the longitudinal length of the compression stockings keeps unchanged and transverse stretching is applied, the loop shape coefficient of the ground stitch decreases gradually. In the meanwhile, the wave height of the laid-in yarn gradually decreases, while the loop heights' ratio of the two adjacent courses increases linearly under stretch forces. There is good agreement between actual measurements and theoretical calculation, and the error range is 0.99%~7.00%. The loop structure model can be used to predict the length and shape change of the ground stitch loop in laid-in stitch.

Key words: laid-in stitch; transverse stretch; loop shape; prediction model; fabric structure parameters

收稿日期: 2022-06-01 网络出版日期: 2022-09-06

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY17E06007); 浙江理工大学基本科研项目(2020Q083)

作者简介: 练婉婷(1998—), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事数字化与功能性服装的研究。

通信作者: 杨允出, E-mail: gary0577@zstu.edu.cn

0 引 言

针织物基本构成单元为线圈,线圈的形态和大小会影响针织物的尺寸和性能。纬编平针衬垫组织^[1]是以平针组织作为地组织,并在地组织中穿入一根或几根衬垫纱而形成的一种花色组织,穿入衬垫纱可以增加织物的厚度和力学性能。例如,压力袜常采用平针衬垫组织,在纬平地组织上穿入较粗的高弹纱,从而保证压力袜的形状和压缩能力^[2]。

目前针对针织物线圈的形态变化研究主要有两个方面:一是对线圈形态变化规律和几何结构的研究。如谭磊^[3]对 4 种针织组织进行了线圈形态研究,发现线圈长度与织物密度和厚度存在一定的线性关系;尉腾祥等^[4-5]对棉纬平针织物进行双向拉伸实验,发现线圈参数在拉伸过程中的变化存在周期性。二是通过模型进行针织物拉伸变形仿真研究。较早的针织线圈的模型包括 Pierce、Leaf 和 Mumden 模型等^[6-7]。谢娟等^[8]在 Pierce 模型基础上建立了双向拉伸条件下的纬平线圈二维几何模型,与实测值具有良好的一致性;沙莎等^[9]在弹簧—质点模型基础上对纬编针织物进行三维建模,并在计算机中实现与真实测试中相同的线圈形态变化;吕常亮等^[10]建立了针织物宏观和微观的位移和应变的计算模型,分析低应力状态下的线圈形态变化规律;Li 等^[11]利用曲面建模技术在纬平针织线圈模型基础上建立了一些纬编花式结构的三维模型,具有良好的真实感;胡旭东等^[12]和宋炎锋等^[13]提出了梯形线圈建模方法,并在曲面建模基础上建立了筒状纬编针织物的三维模型,可以实现线圈长度的逆向设计。

现有对针织物线圈形态变化的研究大多集中于纬编平针组织,较少涉及衬垫组织。本文运用视觉测量技术,探究平针衬垫组织在拉伸过程中地组织线圈的形态变化特征和规律,并构建平针衬垫组织在横向拉伸条件下的地组织线圈结构模型,用于计

算线圈长度,以更好掌握织物的尺寸变化。本文建立的模型可以用于预测衬垫组织地组织线圈的长度和形态变化。

1 实验部分

1.1 实验材料

选择应用广泛且具有代表性的平针衬垫组织的压力袜作为试样,地纱为 3.3 tex×2 锦纶包覆的氨纶纱(4.4 tex×1),衬垫纱为 4.4 tex×2 锦纶包覆的氨纶纱(40 tex×1),氨纶纱均采用莱卡纱线(Lycra)。压力袜试样的衬垫组织如图 1 所示。

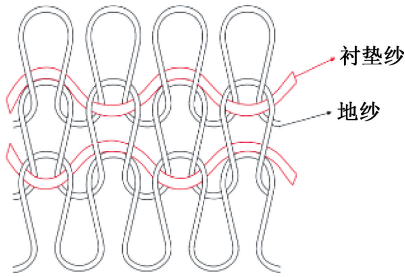
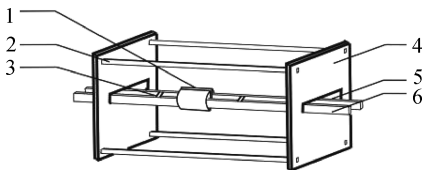


图 1 压力袜试样的衬垫组织示意图

1.2 实验装置

实验装置包括高清视频显微镜(ZZW-4800HU-4K,深圳中正仪器有限公司)和拉伸装置两部分。有研究^[14-16]采用圆柱体模拟人的四肢和腰部,并穿套弹性针织物进行拉伸实验,结果表明圆柱模型简易且有效,测试数据相对客观准确。为了满足实验样品的测试需求,本文设计并制作以圆柱型模具为主体的拉伸装置(见图 2),该拉伸装置由 2 个固定硬板和 4 根固定支架构成框架,其中 2 块固定硬板上各有 2 个孔位,用于穿插两根不锈钢杆,一根固定杆和一根移动杆。主体圆柱型模具由两个半圆柱组成,将试样穿套在圆柱型模具上后再将一组隔板放置于两根杆之间,可达到拉伸的效果(见图 3)。隔板的尺寸可以根据需要的拉伸量进行调整,装置中的模具、隔板和杆均可拆卸,显微镜镜头位于拉伸缝隙的正上方(见图 4)。



1—圆柱型模具;2—固定支架;3—隔板;
4—固定硬板;5—移动杆;6—固定杆

图 2 拉伸装置示意图

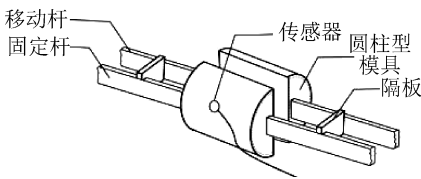


图 3 拉伸机制示意图

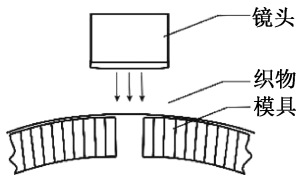


图 4 显微镜镜头与模具位置示意图

1.3 实验方法

参照《压力袜》(FZ/T 73031—2009),取试样的大腿中部进行实验。压力袜的围度方向即横向,更具有反映整体压缩性能的作用^[17],所以实验过程中保持试样的纵向长度一致,仅进行横向拉伸。参考试样的平铺尺寸和人体水平方向的伸长率^[18],设计制作高 15 cm、半径 6 cm 的圆柱型模具。将试样穿套在模具上的状态视为初始状态,并于初始状态下在试样上标记出 4 cm×4 cm 的观测区域,保持该观测区域纵向长度不变,调整隔板尺寸,使该区域的横向拉伸分别达到 5%、10%、15%和 20%。

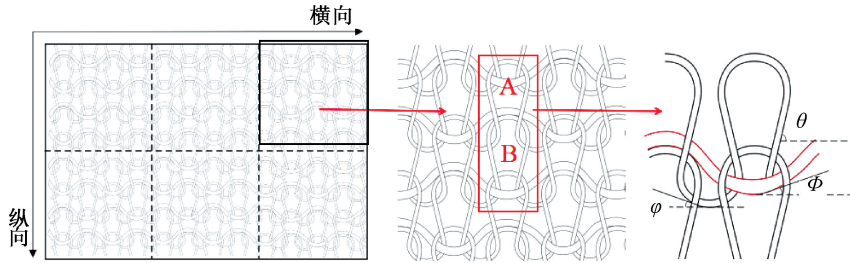


图5 网格单元的划分示意图

2 地组织线圈形态变化分析

2.1 线圈形态系数

线圈形态的变化可以通过线圈形态系数来描述,线圈形态系数是指线圈横向参数与纵向参数之间的比值,可以用横向密度与纵向密度或者圈高与圈距的比值来表示。为了便于分析相邻 A、B 线圈的圈高变化,将 A、B 两线圈的圈高比值称为圈高比,圈高比越大,表示 A 线圈的圈高与 B 线圈的圈高差值越大,圈高比依据式(1)计算:

C = H_A / H_B (1)

其中:C 为圈高比;H_A 为 A 线圈的圈高,mm;H_B 为 B 线圈的圈高,mm。

显微镜拍摄的图像为 640 像素×480 像素,采取网格法划分出 6 个方形单元,网格单元的划分示意图如图 5 所示。在每个单元选取由两个纵向排列线圈构成的组合,上下两个线圈分别命名为 A、B;测量线圈的圈距、圈高、圈柱高、圈柱间距、圈柱倾斜角、衬垫纱倾斜角和沉降弧倾斜角。其中圈柱倾斜角 θ 指圈柱与水平方向的夹角;衬垫纱倾斜角 Φ 用于描述衬垫纱的弯曲程度,以衬垫纱与水平方向的切线角近似表示;沉降弧倾斜角 φ 指沉降弧的切线与水平方向的夹角。

图 6 和图 7 分别为 A、B 两个线圈在横向拉伸条件下的线圈形态系数,由图可知:A、B 两个线圈的线圈形态系数在横向拉伸量增加过程中都有所减小,且 A 线圈的形态系数变化范围明显小于 B 线圈。均值处理后,横向拉伸量与 A、B 两个线圈的线圈形态系数均符合线性关系,线性拟合度均达到了 0.950 以上。

图 8 为 A、B 两个线圈的圈高比。横向拉伸为 0%时,A、B 两个线圈的圈高比在 1.55~1.89 范围内,当横向拉伸增加至 20%时,圈高比最大达到了 2.76,其均值与横向拉伸量的线性拟合度大于 0.950(见图 8)。即:相同的横向拉伸作用力下,A 线圈的圈高大于 B 线圈,并且两个线圈的圈高差值随着横向拉伸的增加而逐渐增加。

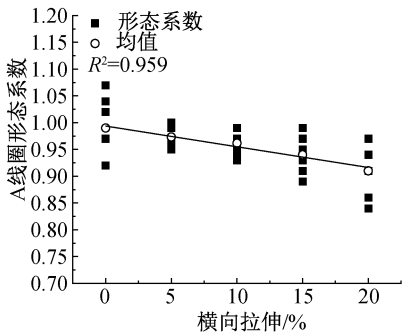


图6 横向拉伸条件下 A 线圈形态系数

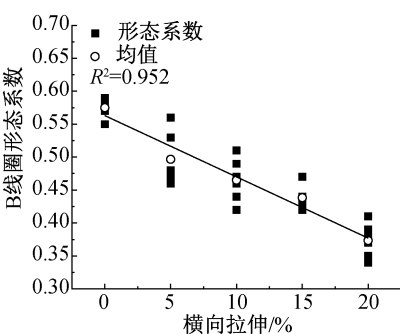


图7 横向拉伸条件下 B 线圈形态系数

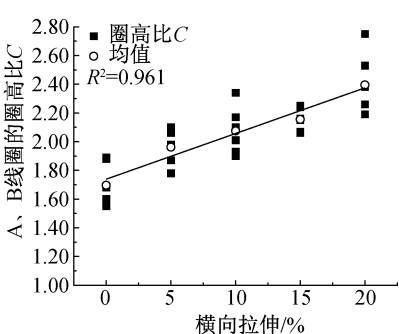


图8 A、B 线圈的圈高比 C

2.2 衬垫纱对地组织线圈形态的影响

图 9 为经过灰度处理的横向拉伸 0% 和 20% 条件下试样的局部显微图像。由图 9 可见, 横向拉伸

0% 和 20% 条件下地组织线圈形态和衬垫纱弯曲程度存在明显区别。

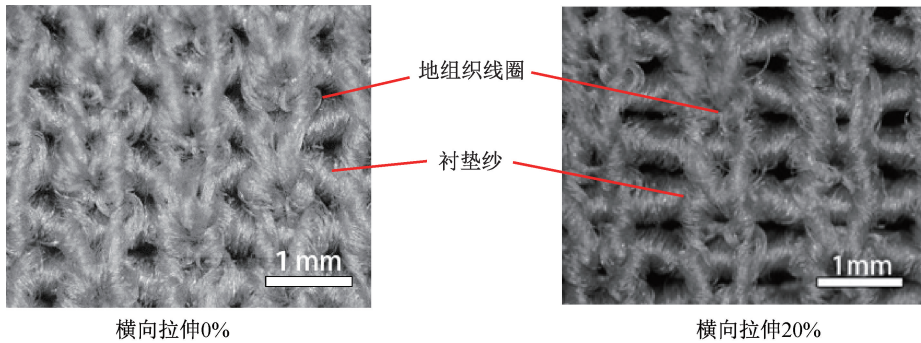


图 9 经灰度处理的横向拉伸 0% 和 20% 条件下试样局部显微图像

图 10 为在横向拉伸条件下衬垫纱倾斜角的变化情况, 衬垫纱倾斜角随着横向拉伸量的增加逐渐变小。在衬垫组织中, 衬垫纱是影响力学性能的决定性因素^[19-20]。在本文所选取试样的组织结构中, 相邻衬垫纱的穿入方向是对称的, 所以当保持纵向长度不变, 对试样进行横向拉伸时, 衬垫纱产生的作用力会对地组织线圈起到牵扯和压缩的作用。图 11 为衬垫纱作用力示意图。图 11 显示: 地组织中 A 线圈被相反的作用力牵扯, 而 B 线圈被相对的作用力压缩。由此可知: 在横向拉伸的过程中衬垫纱对地组织线圈形态有较大的影响; 衬垫纱弯曲形变是导致地组织线圈中相邻线圈的圈高出现差异性变化的主要原因。

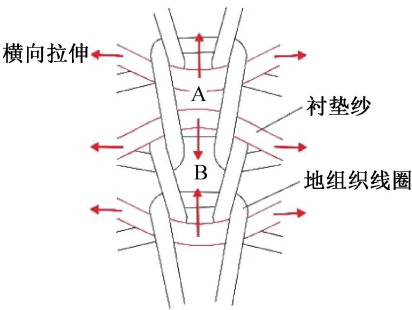


图 11 衬垫纱作用力示意图

和圈柱 L_h 三部分构成, 所以在松弛状态下, 平针衬垫组织的地组织线圈结构模型如图 12 所示, 其中: 针编弧为直径为 a 的半圆弧, 沉降弧为直径为 b 的半圆弧, 圈距为 W , 圈柱高为 h , 圈柱与水平方向的夹角为 θ 。

本文将试样穿套在模具上的状态视为初始状态, 初始状态线圈结构模型如图 13 所示, 此时试样已受到一定的拉伸, 故假设: a) A、B 两个线圈的针编弧 L_a 分别由两个交点间的直线段 l_{sa} 和两段小圆弧 l_{cl} 和 l'_{cl} 组成, 两者沉降弧 L_b 相等, 由直线段 l_{sb} 和两段圆弧 l_{c2} 和 l'_{c2} 组成, L_h 为圈柱长; b) W_0 为初始圈距, a_0 为两圈柱初始间距, h_0 和 h'_0 分别为 A、B 两线圈的初始圈柱高, θ_0 和 θ'_0 分别为两个线圈圈柱与水平方向的初始夹角, 由于已假设沉降弧由两段圆弧 l_{c2} 和 l'_{c2} 与直线段 l_{sb} 组成, 故为了便于计算和测量假设 φ_0 为 l_{sb} 与水平方向的初始夹角; c) 相邻线圈在交点处始终处于紧密接触状态, 交点处两纱线的间距为纱线的直径 d 。

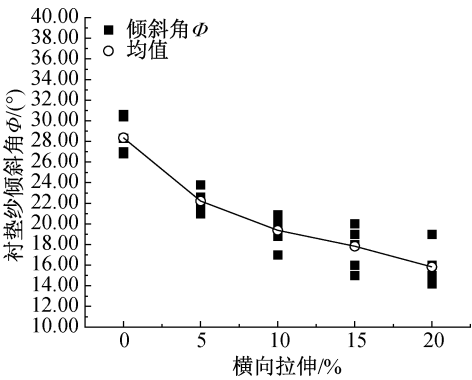


图 10 横向拉伸条件下衬垫纱倾斜角 ϕ 的变化

2.3 初始状态的地组织线圈结构模型

本文根据实际观测中的线圈形变规律对其二维几何结构进行推导, 并对平针衬垫的地组织线圈的几何结构进行二维模型的构建。根据 Pierce 线圈模型^[21]中的定义, 线圈长度由针编弧 L_a 、沉降弧 L_b

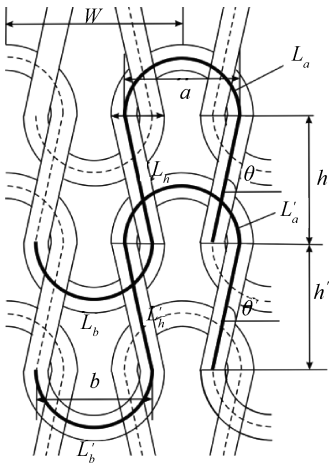


图 12 松弛状态下的地组织线圈结构模型

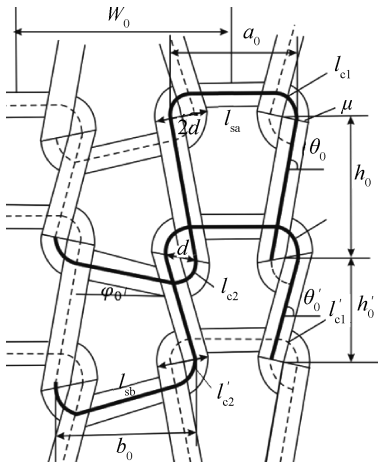


图 13 初始状态下的地组织线圈结构模型

A、B 两个线圈各段的理论计算公式分别为式(2)和式(3):

$$\left\{\begin{aligned} L_{a_0} &= 2l_{c1} + l_{sa} = \frac{2\pi(\theta'_0 + \mu)d}{180} + (a_0 - 2d\cos\mu + 2d\cos\theta'_0), \\ L_{h_0} &= \frac{h_0}{\sin\theta_0}, \end{aligned}\right. \tag{2}$$

$$\left\{\begin{aligned} L_{b_0} &= l_{c2} + l'_{c2} + l_{sb} = \frac{(\theta_0 - \mu)\pi d}{180} + \frac{(\theta'_0 + \mu)\pi d}{180} + \frac{(W_0 - a_0 + d\cos\theta_0 + d\cos\theta'_0)}{\cos\varphi_0}, \\ L_{A_0} &= L_{a_0} + 2L_{h_0} + L_{b_0} \end{aligned}\right.$$

$$\left\{\begin{aligned} L'_{a_0} &= 2l'_{c1} + L'_{sa} = \frac{2\pi(\theta_0 - \mu)d}{180} + (a_0 - 2d\cos\mu + 2d\cos\theta_0), \\ L'_{h_0} &= \frac{h'_0}{\sin'\theta'_0}, \end{aligned}\right. \tag{3}$$

$$\left\{\begin{aligned} L'_{b_0} &= l'_{c2} + l_{c2} + l'_{sb} = \frac{(\theta'_0 + \mu)\pi d}{180} + \frac{(\theta_0 - \mu)\pi d}{180} + \frac{(W_0 - a_0 + d\cos\theta_0 + d\cos\theta'_0)}{\cos\varphi_0}, \\ L_{B_0} &= L'_{a_0} + 2L'_{h_0} + L'_{b_0} \end{aligned}\right.$$

其中: L_{A_0} 和 L_{B_0} 分为 A、B 线圈在初始状态下的总长; $W_0 = \frac{50}{P_A}$; $\frac{h_0 + h'_0}{2} = \frac{50}{P_B}$; P_A = 横向密度, 列/50 mm; P_B = 纵向密度, 行/50 mm; $\mu = \theta_0 - \theta'_0$ 。

2.4 横向拉伸条件下的地组织线圈结构模型

拉伸条件下的线圈结构模型如图 14 所示, 计算公式如式(4)——(5):

$$\left\{\begin{aligned} L_{a_x} &= 2l_{c1} + l_{sa} = \frac{2\pi(\theta'_0 + \mu)d}{180} + a_0(1 + \alpha x) - 2d\cos\mu + 2d\cos\theta'_0, \\ L_{h_x} &= \frac{h_0(1 + \beta x)}{\sin\theta_0}, \\ L_{b_x} &= l_{c2} + l'_{c2} + l_{sb} = \frac{(\theta'_0 + \mu)\pi d}{180} + \frac{(\theta_0 - \mu)\pi d}{180} + \frac{[W_0(1 + \gamma x) - a_0(1 + \alpha x) + d\cos\theta_0 + d\cos\theta'_0]}{\cos[\varphi_0(1 + \delta x)]}, \\ L_{A_x} &= L_{a_x} + 2L_{h_x} + L_{b_x} \end{aligned}\right. \tag{4}$$

$$\begin{cases} L'_{a_x} = 2l'_{cl} + L'_{sa} = \frac{2\pi(\theta_0 - \mu)d}{180} + a_0(1 + \alpha x) - 2d\cos\mu + 2d\cos\theta_0, \\ L'_{h_x} = \frac{h'_0(1 + \beta'x)}{\sin\theta'_0}, \\ L'_{b_x} = l'_{c2} + l'_{sb} = \\ \frac{(\theta'_0 + \mu)\pi d}{180} + \frac{(\theta_0 - \mu)\pi d}{180} + \frac{[W_0(1 + \gamma x) - a_0(1 + \alpha x) + d\cos\theta_0 + d\cos\theta'_0]}{\cos[\varphi_0(1 + \delta x)]}, \\ L_{B_x} = L'_{a_x} + 2L'_{h_x} + L'_{b_x} \end{cases} \quad (5)$$

其中: L_{A_x} 和 L_{B_x} 分别为 A、B 线圈在横向拉伸条件下的总长, α 、 β 、 β' 、 γ 、 δ , 分别为 a_x 、 h_x 、 h'_x 、 W_x 、 φ_x 在横向拉伸应变 x 下的比例系数。

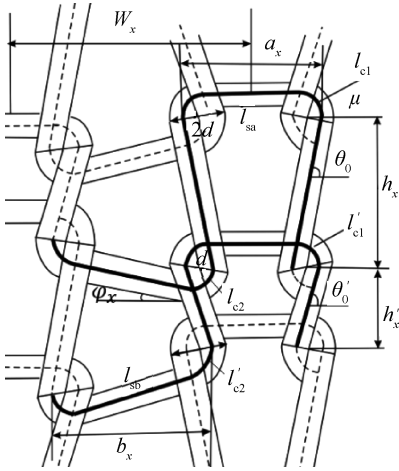


图 14 横向拉伸条件下的地组织线圈结构模型

图 15 为线圈结构参数的实际测量值。如图 15(a)所示,在横向拉伸量增加过程中 A、B 两个线圈的圈柱倾斜角 θ_0 和 θ'_0 在横向拉伸过程中变化微小,可假设其不变。由于初始状态纱线已经处于伸长状态,在小范围拉伸过程中的纱线伸长可不计,所以假设纱线无伸长^[22]。由图 15(b)~(f)可知:A、B 两个线圈的圈距 W_x 、圈柱间距 a_x 、圈柱高 h_x 、沉降弧倾斜角 φ_x 均与横向应变 x 存在线性关系,将 a_x 、 h_x 、 h'_x 、 W_x 、 φ_x 的实际测量值分别与横向拉伸量进行线性拟合, R^2 均大于 0.950。比例系数 α 、 β 、 β' 、 γ 、 δ 可以直接从线性拟合结果式中得到,线性拟合结果见式(6)。

$$\begin{aligned} a_x &= 0.4531 + 0.00376x, & a_0 &= 0.453\alpha = 0.00376; \\ h_x &= 0.6541 + 0.0081x, & h_0 &= 0.654\beta = 0.0081; \\ h'_x &= 0.3201 - 0.0152x, & h'_0 &= 0.320\beta' = 0.0152; \\ W_x &= 0.8771 + 0.0168x, & W_0 &= 0.877\gamma = 0.0168; \\ \varphi_x &= 27.4751 - 0.0233x, & \varphi_0 &= 27.457\delta = 0.0233 \end{aligned}$$

(6)

2.5 线圈结构模型的验证

将式(6)代入式(4)和式(5),根据实际测量结

果, θ_0 和 θ'_0 分别取均值整数, θ_0 为 75.00° , θ'_0 为 50.00° ,地纱直径 d 为 0.23 mm,可以计算得到线圈各段长度的理论值;对试样进行重复实验,测量实际针编弧、沉降弧和圈柱长度,并计算其平均值。

将理论计算值与实际测量值进行对比,结果如图 16。从对比结果来看,A、B 两个线圈的实际长度与理论长度较为符合,但仍存在一定的误差,出现误差的原因可能是:a)存在测量误差;b)实际三维模型线圈结构简化为二维平面的几何模型结构存在一定的误差。A、B 两个线圈的针编弧长度误差范围分别为 0.99%~0.86%和 3.05%~4.43%;圈柱长度误差范围分别为 0.99%~3.15%和 1.56%~7.00%;沉降弧长度的误差范围为 1.73%~3.72%。以上误差范围较小,表明该二维结构模型可以较好计算线圈的长度,以及预测和分析衬垫组织在横向拉伸过程中的地组织线圈形态变化情况。

3 结 论

本文利用视觉测量技术研究了衬垫组织在不同横向拉伸条件下的地组织和衬垫纱的形变规律;以压力袜穿套在测试模具上的时刻为初始状态,分别测量其在 5%、10%、15%、20%横向拉伸时的线圈结构参数,并建立了初始状态和横向拉伸条件下的地组织二维线圈结构模型,主要结论如下:

a)随着横向拉伸量的增加,地组织线圈的形态系数线性减小,并且相邻 A、B 线圈的圈高比在 1.55~2.76 范围内增加,两者与横向拉伸量的线性拟合度均大于 0.950;

b)在横向拉伸量增加的过程中,衬垫纱在衬垫组织中对上下相邻线圈的作用力逐渐增加,即衬垫纱是影响地组织中相邻线圈圈高产生明显差异的主要原因之一;

c)建立了衬垫组织地组织在初始状态和横向拉伸状态下的线圈结构模型,用于计算线圈的长度。线圈长度的理论计算结果和实际测量结果均表明,

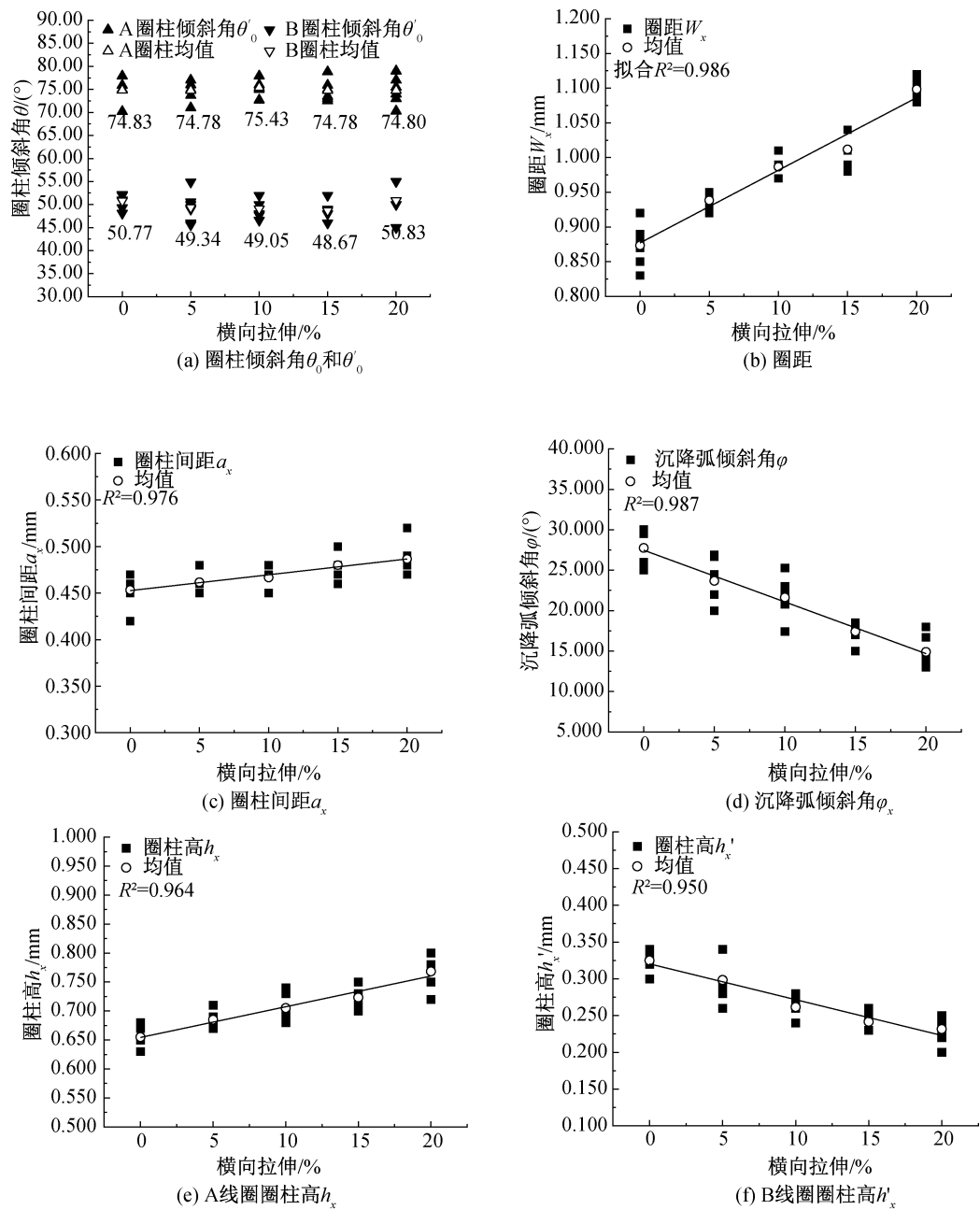


图 15 线圈结构参数测量值

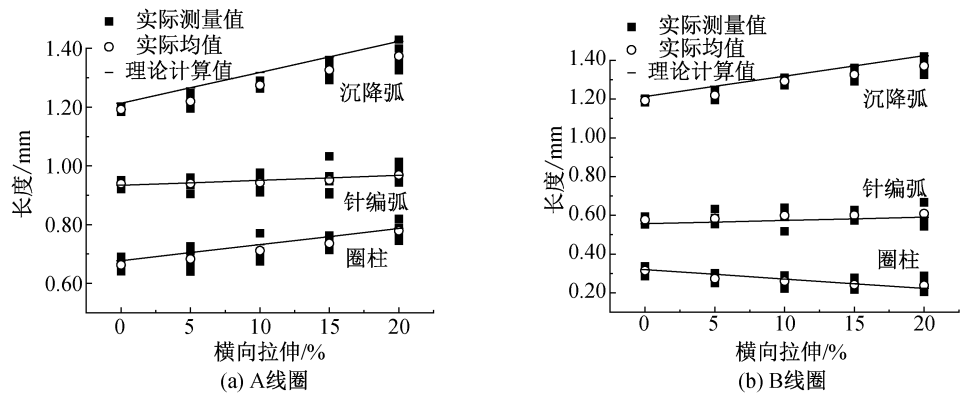


图 16 针编弧、圈柱和沉降弧的理论值与实测值

在横向拉伸作用下, 相邻两个线圈的长度差距随着拉伸量的增加而增加;

d) A、B 两线圈的针编弧、圈柱和沉降弧的实际测量数据与理论计算值的误差范围分别在 4.43%、7.00% 和 3.72% 以内, 表明实际测量结果与理论计算的结果具有较好的一致性, 因此本文建立的线圈结构模型可以很好地用于预测衬垫组织的地组织线圈在横向拉伸条件下的线圈长度和线圈形态。

参考文献:

- [1] 王爱凤. 纬编花色针织物(五): 衬垫组织的结构、性能及其编织方法[J]. 针织工业, 1981(5): 31-35.
- [2] 刘晓凤, 张倩, 王璐. 医用压力袜的结构特征及其研究进展[J]. 生物医学工程学进展, 2019, 40(2): 78-82.
- [3] 谭磊. 针织物的尺寸特性[J]. 纺织学报, 2004, 25(6): 120-122.
- [4] 尉腾祥, 李敏, 彭虹云, 等. 纬平棉针织物双向拉伸线圈形态分析[J]. 纺织学报, 2019, 40(11): 64-68.
- [5] 尉腾祥, 李敏, 彭虹云, 等. 纬平针棉针织物平幅丝光条件与其线圈结构的关系[J]. 纺织学报, 2020, 41(4): 98-105.
- [6] 汝欣, 彭来湖, 吕明来, 等. 纬编针织物几何建模及其算法[J]. 纺织学报, 2018, 39(9): 44-49.
- [7] 邓逸飞. 基于针织 CAD 纬编线圈三维仿真技术研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2018: 21-28.
- [8] 谢娟, 龙海如. 双向拉伸下的纬平针织物线圈形态分析[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2015, 41(2): 183-188.
- [9] 沙莎, 蒋高明, 张爱军, 等. 纬编针织物线圈建模与变形三维模拟[J]. 纺织学报, 2017, 38(2): 177-183.
- [10] 吕常亮, 陈慧敏, 岳晓丽. 低张力下纬平针织物线圈结构拉伸变形[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2021, 47(5): 47-54.
- [11] Li Y L, Yang L H, Chen S Y, et al. 3D modeling and simulation of fancy fabrics in weft knitting[J]. Journal of Dong hua University, 2012, 29(4): 351-358.
- [12] 胡旭东, 宋炎锋, 汝欣, 等. 大小头筒状纬编针织物建模及其线圈长度逆向设计[J]. 纺织学报, 2021, 42(4): 80-84.
- [13] 宋炎锋, 胡旭东, 汝欣, 等. 复杂曲面筒状纬编针织物的建模仿真研究[J]. 针织工业, 2021(9): 1-4.
- [14] Oner E, Durur G, Cansunar H E. A new technique to measure pressure in medical compression stockings[J]. Textile Research Journal, 2018, 88(22): 2579-2589.
- [15] Oglakcioglu N, Marmarali A. An approach for measuring pressure characteristics of medical compression stockings[J]. AATCC Journal of Research, 2014, 1(2): 20-27.
- [16] 陈丽华, 王伶俐, 张晴, 等. 弹性针织物拉伸性能与服装压力的相关性[J]. 北京服装学院学报(自然科学版), 2014, 34(2): 28-35.
- [17] Chattopadhyay R, Gupta D, Bera M. Effect of input tension of inlay yarn on the characteristics of knitted circular stretch fabrics and pressure generation[J]. The Journal of the Textile Institute, 2012, 103(6): 636-642.
- [18] 王康, 李艳梅, 王蓉. 压力测试用柔性腿模的结构仿真研究[J]. 丝绸, 2019, 56(4): 18-23.
- [19] Bruniaux P, Crepin D, Lun B. Modeling the mechanics of a medical compression stocking through its components behavior: part 1-modeling at the yarn scale[J]. Textile Research Journal, 2012, 82(18): 1833-1845.
- [20] 张红媛, 崔明海. 拼接对针织物拉伸性能和服装压力的影响[J]. 毛纺科技, 2020, 48(5): 56-61.
- [21] 王辉, 方园, 潘优华. 纬编针织物线圈模型的分析与研究[J]. 浙江理工大学学报, 2008, 25(5): 521-525.
- [22] 吕常亮, 郝志远, 陈慧敏, 等. 基于均匀化理论的小变形纬编针织物线圈形态有限元分析[J]. 纺织学报, 2021, 42(3): 21-26.

(责任编辑: 张会巍)