

经编针织物线圈模型的研究进展

徐海燕^{1,2}, 陈南梁²

(1.泉州师范学院, 福建 泉州 362000;

2.东华大学 纺织学院, 上海 201620)

摘要:根据目前对经编针织物线圈模型的划分,即几何模型、经验模型和力学模型,分别对它们的研究进展进行了阐述,并归纳了各种模型的特点。目前的研究主要是基于几何结构和经验模型,而力学模型由于其复杂性,研究进展缓慢。基于弹性杆理论的线圈力学模型是唯一能得出线圈形态参数的模型,文中通过进一步研究发现,线圈根部间的距离 MN 对线圈形态有一定的影响;与能量最小化模型结合,可得出线圈的形态不是固定不变的,而是与纱线的性能如弯曲刚度之间存在一定的关系。

关键词:经编针织物;线圈模型;几何模型;经验模型;力学模型;弹性杆理论

中图分类号:TS 184.1+11

文献标志码:A

文章编号:1000-4033(2014)11-0021-05

Research Progress of the Warp-Knitted Lap Modeling

Xu Haiyan^{1,2}, Chen Nanliang²

(1.Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000, China;

2.College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract:The lap modeling of warp knitted structure can be classified into geometrical model, empirical model and mechanical model. This paper introduced the research progress and summarized the features of different models. Recent studies focus on geometrical and empirical models, while the research on mechanical model is slow because of its complexity. The mechanical model based on elastic theory was the only one that could describe the lap shape in 2D. It was found that the distance MN between the lower ends of the two side limbs would affect the lap shape; according to the minimum energy model, it can be found that the lap shape is not always fixed, which is related to yarn properties such as bending stiffness.

Key words:Warp-knitted Structure; Lap Modeling; Geometrical Models; Empirical Models; Mechanical Models; Elastic Theory

现代纺织生产工业的发展与大量的模拟估算紧密联系在一起^[1]。随着经编针织物在传统纺织行业及产业用纺织行业的应用越来越广泛,人们对经编针织物进行建模、三维仿真的需求也越来越多。通过对经编针织物进行建模,可以预估线圈的长度来控制送经量,从而使生产出来的织物达到规定的密度和克质量;通过建立经编结构的2D和3D形态模型,可以对未进

行生产的织物进行花型的仿真、并对其力学性能进行有限元分析等。

经编针织物比梭织物和绝大多数针织物的结构要复杂,因为经编针织物并不像纬编针织物一样具有半环对称性。同时,对于经编线圈中的闭口线圈由于线圈根部的纱线两端交叠而显得更复杂,因此,对于不同状态的经编针织物中线圈的详细描述仍然是一个正在研究的问题。根据建模方法的不

同,可将经编线圈的建模进行一个明确的分类,包括:几何模型、经验模型和力学模型(基于弹性杆理论和能量理论)^[2]。

1 几何模型的新进展

1.1 简单三维经编模型

Dabiryan等人^[3]建立了一个简单的经编三维模型,文中利用直线模型对经编双梳结构针织物进行了几何建模,假设纱线都是圆形截面,并且所有的纱线都是由直线段

基金项目:泉州师范学院校级自选项目(2013KJ07)。

作者简介:徐海燕(1982—),女,讲师,博士生。主要从事针织物建模、产业用纺织品方面的研究工作。

构成,将前梳和后梳的经编针织物分开进行建模分析。Dabiryan 等人建议对于双梳经编针织物中前梳线圈长度计算如式(1)所示,后梳线圈长度计算如式(2)所示。其线圈模型如图 1~3 所示。

$$L_f = \frac{l_1}{\cos \phi_1} + l_2 + \frac{l_3}{\cos \phi_1} + \frac{l_{a1}}{\cos \phi_2} + \frac{l_{a2}}{\cos \phi_3} + \frac{l_{af}}{\cos \phi_4} + l_{rf} \quad (1)$$

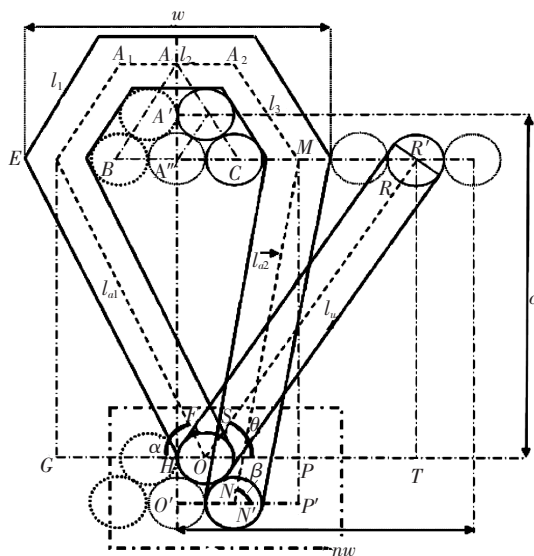
$$L_b = \frac{l_1}{\cos \phi_1} + l_2 + \frac{l_3}{\cos \phi_1} + \frac{l_{a1}}{\cos \phi_2} + \frac{l_{a2}}{\cos \phi_3} + \frac{l_{ab}}{\cos \phi_4} + l_{rb} \quad (2)$$

式中: L_f 是前梳线圈长度,cm; L_b 是后梳线圈长度,cm; l_1 、 l_2 、 l_3 为圈弧长度,cm; l_{a1} 和 l_{a2} 为圈柱长度,cm; l_{rf} 是前梳延展线长度,cm; l_{rb} 是后梳延展线长度,cm; l_{af} 是前梳线圈根部的长度,cm; l_{ab} 是后梳线圈根部的长度,cm; ϕ_1 是圈弧 l_1 和 l_3 转过织物平面的角度,(°); ϕ_2 、 ϕ_3 、 ϕ_4 分别为圈柱 l_{a1} 、圈柱 l_{a2} 、前梳延展线 l_{af} 转过织物平面的角度,(°)。

同时将建模得到的一些参数如送经量、克质量等,与实际经编针织物的实验测试数据进行比较,结果显示,与 Grosberg^[4-5]和 RAZ^[6]的模型相比,直线模型与实际结构更相符。因此经编直线模型可以很好地应用于模拟双梳经编针织物。但是将线圈假设为由直线段构成,这显然与实际情况不符;同时也未对线圈模型的形态参数与实际织物的形态进行比较、分析。

1.2 基于控制点的经编结构的空形态模型

假设线圈是由直线段和圆弧构成的,直线段的控制点就是其两端端点,而曲线段的控制点为圆心和圆弧起止点,同时采用直线与圆弧相切的方法来计算直线段与圆弧段连接点的位置,从而保证线圈形态的连续性^[7]。相比于 Allison^[8]



注: c 为横列间距,cm; w 为纵列间距,cm; n 为针背垫纱根数,根; α 、 β 、 θ 分别为圈柱 l_{a1} 、圈柱 l_{a2} 、延展线 l_u 与线圈横列方向的夹角,(°)。

图 1 前梳线圈

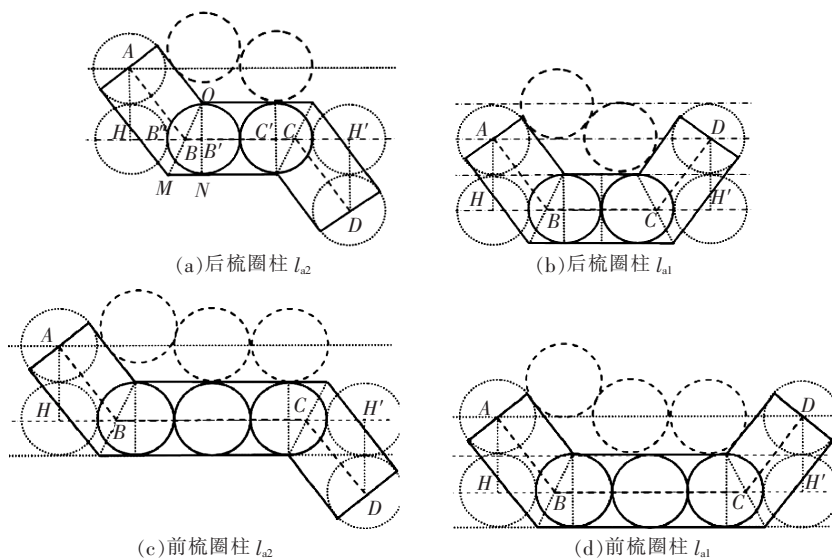


图 2 线圈根部的结构

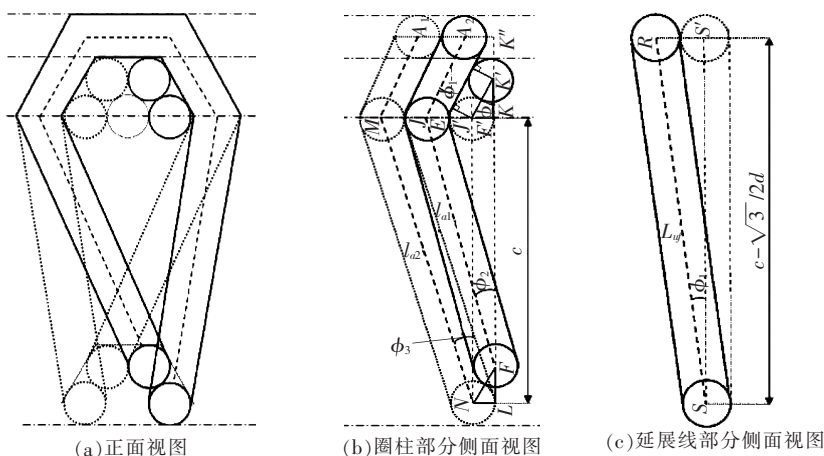


图 3 经编线圈的正面视图和侧面视图

的二维补偿模型,这种模型能够描述出线圈的三维空间结构,同时由于考虑了直线与圆弧段的相切问题,使整个线圈更光滑。但是刘晓明等人的研究是在观察实物的基础上进行的建模,且只是对某种特定结构的经编组织进行建模,未能确切地得出一般线圈的形态参数或线圈长度的计算。

2 经验模型

Göktepe 等人^[9]利用经验模型建立了简单经编针织物的三维模型。他们采用编织的经编双梳基础结构组织,利用图像技术分别测量线圈的水平面和纵向截面的尺寸,从而得到线圈的三维结构包括线圈的歪斜角度,然后利用这些真实测量的数据建立了相关的经编线圈模型。通过利用线圈中的关键点的方法,得出了如图 4 所示的线圈模型。同时基于该模型,Göktepe 等人利用计算机将其三维实体模拟出来^[10]。

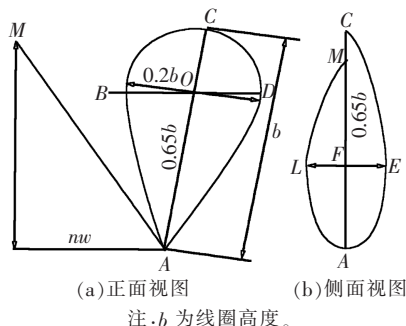


图 4 Göktepe 的经编线圈经验模型

张丽哲等人^[11]在实际测量各种经编针织物三维尺寸的基础上,建立了包括单针床成圈组织、重经组织、双针床成圈组织、衬纬线圈等经编组织的三维模型,同时利用实际测量的方式讨论了组织结构与线圈偏移之间的关系,得到了不同组织结构中线圈偏移量的公式。

经验模型有一定的局限性,并不适用于所有纤维材料的经编针织物,也不适用于结构复杂的经编

针织物。除了模型中线圈形态的偏差外,由于模型中具有与几何模型一样关于纱线相互接触以及织物厚度等因素的不切实际的假设^[12],所以模型具有一定的局限性。

3 力学模型

3.1 基于弹性杆理论

3.1.1 经典弹性杆理论

1960 年 Leaf^[13]第一次将 Euler 的简单弹性杆理论应用于描述纬平针织物的平面线圈尺寸,建立了相关模型。Grosberg^[4-5]也于 20 世纪 60 年代第一次将弹性杆理论应用于描述经编针织物的平面线圈尺寸,建立了 Grosberg 第一模型和第二模型。不论是纬编还是经编针织物,其弹性杆理论都是针对线圈部分,不考虑沉降弧或延展线,因此纬编和经编针织物的线圈在应用弹性杆理论描述时是相同的。弹性杆受力分析如图 5 所示。

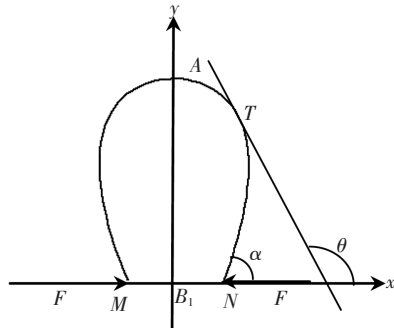


图 5 弹性杆受力分析

由图 5 中对线圈的受力分析,可得平面线圈上任意一点的方程,如式(3)所示。

$$\begin{cases} x=h\{2E(\varepsilon,\psi)-F(\varepsilon,\psi)\} \\ y=2h\varepsilon\cos\psi \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\varepsilon=\cos(\alpha/2)$, $\varepsilon\sin\psi=\cos(\theta/2)$, α 是线圈根部与 x 轴之间的夹角, θ 是弹性杆上任一点 T 处的切线与 x 轴之间的夹角。

令 $h^2=B/F$, B 为纱线的弯曲刚度, $\text{cN}\cdot\text{cm}^2$; F 为线圈根部受到的水平力, cN 。 $E(\varepsilon,\psi)$ 和 $F(\varepsilon,\psi)$ 分别是第二类和第一类椭圆积分。

式(3)中, x,y 都与 h 成正比,所以最后的线圈形状与 h 无关。即在线圈上的任意一点, x/y 的比值是与纱线的性能如弯曲刚度和纱线根部受到的力无关的定值,只与 α 角度相关。当不考虑线圈歪斜时,并假设 M,N 点与 B_1 点重合,此时 α 是一定值,Grosberg 以此作为依据得出一般的线圈曲线如图 6 所示。这就是经编线圈建模中著名的 Grosberg 第一和第二模型。同时,Grosberg 第一和第二模型也可以预测线圈延展线和整个线圈的长度,以及考虑线圈的歪斜等,这在陈惠兰等^[14]的综述中有详细的描述。

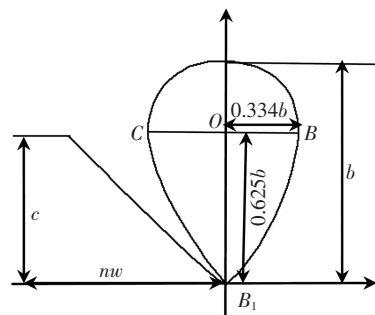


图 6 线圈几何结构

弹性杆模型是唯一一个能确切得出线圈形态参数的模型,可以得出线圈结构上每一点的二维坐标,同时可以估算前后梳线圈的送经量。同时弹性杆模型得出,线圈的形态与纱线的性能如纱线的弯曲刚度等无关,所有的线圈形态都是一致的。但是,Jacobsen^[15]也对双梳经编织物的尺寸进行了研究,研究发现 Grosberg 的模型是不准确的,特别是对于高密度织物;同样,经验模型中 Göktepe 等人以及张丽哲等也得出了与 Grosberg 的模型中的线圈形态之间的差异。

3.1.2 基于弹性杆理论的力学模型的进一步研究

由于目前得到的很多实际测量的线圈形态与弹性杆理论模型

存在一定的差异,因此进一步探讨可能产生差异的原因。

a. MN 值对线圈结构的影响

由式(3)可知,当在 N 点时, $\alpha=\theta$,此时,其横坐标如式(4)所示。

$$x_N = h \left\{ 2E \left(\varepsilon, \frac{\pi}{2} \right) - F \left(\varepsilon, \frac{\pi}{2} \right) \right\} \quad (4)$$

当不考虑线圈歪斜时,线圈根部的 MN 点重合为 B_1 点,此时有 $x_N = x_{B1} = 0$,由此可计算得出, $\alpha = 49.5^\circ$ 时, Grosberg 即在此条件下得出一般的线圈曲线如图 6 所示。同时从式(4)可以得出,当 MN 的值固定时,对应相应的 α 角度,形成一种固定的线圈形态。不同的 MN 值对应不同的线圈形态,如表 1 所示。从表 1 中可以看出,随着 MN 值的增大,线圈的形态将有所变化,而不是如图 6 所示的固定形态。其中 MN 、 OB 、 OB_1 都是其长度与自身线圈中 b 的比值,再进一步假设 b 的值为 1,从而得出 OB 、 OB_1 的无量纲的值。

b. 纱线材料对线圈结构的影响

经典的弹性杆理论认为,当线圈的 MN 值固定时(通常讨论 MN 值为 0 时的情况),线圈的形态是一种固定的形态,与纱线的物理性能,或者线圈长度无关。Munden^[16] 在研究纬平针织物时,也认为线圈的形态是固定的,且使用 4 种不同的薄片材料,分别是纸、磷青铜、弹簧钢和醋酸纤维膜模拟弹性杆进行了实验,如图 7 所示,并认为这 4 种材料得出的线圈形态是一致的。

本文对 Munden 所做的模拟弹性杆的实验,利用图形处理软件工具进行测量,并将测试的各长度值换算为与本线圈中 b 值的比值,再进一步假设 b 的值为 1,则其他线圈形态中的长度值也转换为无量

表 1 MN 与 α 、 OB 、 OB_1 的关系

MN	0	0.023	0.165	0.307	0.450	0.590
$\alpha/(\circ)$	49.5	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0
OB	0.329	0.331	0.345	0.365	0.388	0.415
OB_1	0.627	0.626	0.604	0.578	0.578	0.505

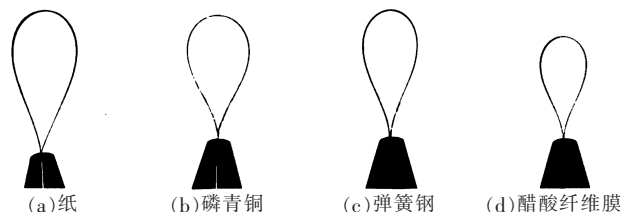


图 7 Munden 的弹性杆模拟线圈形态实验

纲的值,得出的数据见表 2。从表 2 可以看出,模拟的 4 种线圈形态存在一定的差异,同时与理论的弹性杆得出的 OB 段的值存在很大的差异。

表 2 Munden 的弹性杆模拟的线圈形态的几何结构

薄片材料	OB	OB_1
纸	0.218	0.718
磷青铜	0.239	0.698
弹簧钢	0.206	0.724
醋酸纤维膜	0.223	0.702

由此可知,线圈的形态与纱线的某些性能如弯曲刚度存在一定的关系。而 Grosberg 是在二维状态下分析的弹性杆理论,同时假设线圈是左右对称的,得出的线圈形态与纱线的性能无关;而在实际的模拟实验或者实际编织过程中,纱线处于三维状态,另外纱线在弯曲时的塑性变形、纱线直径的变化或其他因素也可能超出了二维弹性杆理论的假设等。从而证明其形态与纱线的性能如弯曲刚度存在一定的关系。

3.2 基于能量理论

Hart 等人^[12,17]基于梭织和纬编织物的能量最小化模型,在未做根本性变化的前提下,对经编单梳针织物建模。单梳经编线圈的形态是由纱线弯曲、纱线间的相互挤压以及纱线扭转的最小能量之和决

定的。能量最小化模型是利用计算单梳经编织物结构在平衡状态下的形态和纱线间的作用力之间的关系来描述的,用哈密顿函数进行表示^[18],见式(5)。

$$H(m, z, \lambda) = \frac{E}{B} + \sum_{i=1}^5 \lambda_i Z_i \quad (5)$$

式中: E 是单位长度上的内部能量, J/cm ; λ_i 是拉格朗日乘子; Z_i 是关于 m 、 z 的函数,是线圈的形态参数,其中 m 描述线圈曲率的大小, z 描述线圈相对于织物平面的位置。

要使 H 最小,即 $\frac{\partial H}{\partial B} = 0$,从而可以得出线圈的形态参数。在进行计算时,将 E 中纱线的扭转能量忽略,即只要考虑纱线间的相互挤压和纱线的弯曲能量,同时加入相应的边界条件。由于单梳经编针织物的边界条件与线圈的两个多变性的末端存在一定的关系,而不是与纬平针织物一样具有固定的线圈末端,因此需要重新解决单梳经编织物结构中的边界条件,并将这些边界条件运用到能量最小化模型中计算出相应的线圈形态参数。

当经编针织物的纱线完全柔软或织物处于最大紧度下,可以只考虑纱线间的挤压,不考虑纱线的弯曲,从而可以把 H 进一步简化,计算出能量 H 最小化时纱线的线

圈形态。结果得出当忽略纱线的弯曲能量时,随着纱线弯曲刚度的增加,线圈平面越接近于织物平面,线圈的上半部分的曲率越小;同时认为若线圈部分是在二维对称的情况下,可以将能量最小化模型下的线圈近似于 Cook^[19]和 Grosberg所使用的弹性杆模型。联系弹性杆理论中的讨论,可以得出纱线的弯曲刚度与线圈的形态存在一定的关系。

当同时考虑纱线的弯曲能量时,能量 H 的最小化比较复杂,通过两种不同纱线的弯曲刚度的比较发现,增加弯曲刚度和减小织物张力将使线圈接近于织物平面,同时使得线圈顶部曲率半径增大,从而影响了线圈的曲率和尺寸。

能量模型可用于分析经编线圈结构,此模型中没有假设纱线的几何形态,并且可以进行完整的力学计算。但是就单梳经编针织物而言,能量模型中能量最小化方程所需要的计算非常复杂,对于双梳或其他结构的经编针织物就更加复杂了,因此具有一定的局限性。

4 结束语

相对于纬编针织物的线圈模型,经编针织物的线圈模型发展相对缓慢。由于经编针织物结构多变且较复杂,因此目前的线圈模型一般只能适用于很小的一组结构,如单梳经编针织物或双梳经编针织物;目前研究主要是基于几何结构和经验模型,只有少数的特例把机械原理运用到线圈结构模型中^[20];利用力学模型对经编针织物建模具有理论性和准确性,其中基于弹性杆理论的线圈力学模型是唯一能得出线圈形态参数的模型。进一步的研究发现:线圈根部间的距离 MN 对线圈形态有一定的影响;与

能量最小化模型结合,可得出线圈的形态不是固定不变的,而是与纱线的性能如弯曲刚度之间存在一定的关系。随着经编产品的多样化,及其在产业纺织品领域的广泛应用,对经编针织物进行准确建模仍然需要进一步研究。

参考文献

- [1]RENKENS W, KYOSEV Y. Geometry modelling of warp knitted fabrics with 3D form[J]. Textile Research Journal, 2011, 81(4):437-443.
- [2]KYOSEV Y, RENKENS W, BEI M. 3D modeling of warp knitted structures—from geometrical to more realistic mechanical models [C]//45th International Congress IFKT. Ljubljana: Slovenia, 2010:1-6.
- [3]DABIRYAN H, JEDDI A A A. Analysis of warp knitted fabric structure Part I: a 3D straight line model for warp knitted fabrics[J]. Journal of the Textile Institute, 2011, 102(12):1065-1074.
- [4]GROSBERG P. The geometry of warp-knitted fabrics[J]. Journal of the Textile Institute Proceedings, 1960, 51(1):15.
- [5]GROSBERG P. The geometrical properties of simple warp-knit fabrics [J]. Journal of the Textile Institute Transactions, 1964, 55(1):18-30.
- [6]RAZ S. Warp knitting production [M]. Heidelberg: Verlag Melland Textilberichte GmbH, 1987.
- [7]刘晓明, 玻璃纤维经编网格面板的可编织性、结构设计及力学性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2009.
- [8]ALLISON G L. Warp knitting calculation made easy[J]. Skinner's Silk Rayon Rec, 1958(3):281-285.
- [9]GÖKTEPE O, HARLOCH S C. A 3D loop model for visual simulation of warp-knitted structures[J]. Journal of the Textile Institute, 2002, 93(1):11-28.
- [10]GÖKTEPE O. Use of non-uniform rational B-splines for three-dimensional

computer simulation of warp knitted structures[J]. Turk J Engin Environ Sci, 2001, 25:369-378.

[11]张丽哲. 经编针织物的计算机三维仿真[D]. 无锡: 江南大学, 2010.

[12]HART K, DE J S, POSTLE R. Analysis of the single bar warp knitted structure using an energy minimization technique part I: theoretical development [J]. Textile Research Journal, 1985, 55(8):489-498.

[13]LEAF G A V. Models of the plain-knitted loop[J]. Journal of the Textile Institute Proceedings, 1960, 51(2):61.

[14]陈惠兰, 冯勋伟. 经编针织物线圈几何结构研究的进展[J]. 上海纺织科技, 1996, 24(6):37-40.

[15]JACOBSEN I K. Doctoral thesis [D]. Leeds: University of Leeds, 1978.

[16]MUNDEN D L. The geometry and dimensional properties of plain-knit fabrics[J]. Journal of the Textile Institute Transactions, 1959, 50(7):448-471.

[17]HART K, DE J S, POSTLE R. Analysis of the single bar warp knitted structure using an energy minimization technique part II: results and comparison with woven and weft knitted analysis [J]. Textile Research Journal, 1985, 55(9):530-539.

[18]DE J S, POSTLE R. A general energy analysis of fabric mechanics using optimal control theory [J]. Textile Research Journal, 1978, 48(3):127-135.

[19]COOK D L, GROSBERG P. The load-extension properties of warp knitted fabrics[J]. Textile Research Journal, 1961, 31(7):636-643.

[20]RENKENS W, KYOSEV Y. 3D simulation of warp knitted structures—new chance for researchers and educators [C]//7th International Conference—TEXSCI 2010. Liberec: Czech Republic, 2010.

收稿日期 2014年3月14日