

DOI: 10.13475/j.fzxb.20180102806

基于人体足部特征的织袜模型设计 及一体成形算法

冀鹤¹, 蒋高明¹, 吕建国²

(1. 江南大学 教育部针织技术工程研究中心, 江苏 无锡 214122;
2. 浙江新昌振兴纺织机械有限公司, 浙江 新昌 312500)

摘要 为实现国内一体成形织袜设计的规范化和高效化,在深入研究织袜工艺原理的基础上,结合人体足部特征和运动机能,以及人们对中筒织袜和隐形织袜功能性与服饰性的要求,通过建立中筒织袜模型与隐形织袜模型的设计方法,提取出一体成形织袜生产的参数模型。通过对一体成形织袜模型在女士运动袜和女士隐形织袜中的运用举例,证明了织袜平面模型可适用于一体成形织袜的设计,并在编织过程中通过变换模型实现款式及功能的变化。最后通过模型应用证明,基于人体足部的织袜模型优化了一体成形算法,同时满足人们穿着织袜的人体足弓需求。

关键词 织袜; 足部特征; 圆袜机编织; 织袜模型; 一体成形

中图分类号: TS 181.9 文献标志码: A

Geometric model design and integrated formation algorithm of integrally formed socks based on human foot features

JI He¹, JIANG Gaoming¹, LÜ Jianguo²

(1. Engineering Research Center of Knitting Technology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. Zhejiang Xinchang Zhenxing Textile Machinery Co., Ltd., Xinchang, Zhejiang 312500, China)

Abstract In order to make the computerized design of toe-closed fully-fashioned socks more efficient and standardized, based on the in-depth structure of the socks process principle, combining with the feet structures and motion features of the human body and the requirements for functions and wearable performance of knee socks and footlet, a parameter model for the production of integrally formed socks was extracted by establishing a design method of a knee socks model and a footlet model. By applying the established models into knitting female sports socks and footlet, it is proved that the 2-D pattern models can be used for designing integrally formed socks, and by transforming these models, various styles and types of socks can be produced. The application shows that the socks geometric model based on human foot features optimizes the integrally-formed socks algorithm, meeting the demands of foot arch of wearing socks.

Keywords socks; foot feature; knitting by circular hosiery machine; geometric models of socks; integrally-forming

圆袜机编织技术具有生产效率高、产品成形效果好、产品提花种类丰富及机器成本低等特点,在当今织袜市场应用较广^[1]。目前,国内织袜生产还存

在诸多问题,如织袜完成织造仍需下机完成缝头,消耗较大人力成本,降低了织袜生产效率,因此,迫切需要一体袜机代替传统袜机完成生产。圆袜机一体

收稿日期: 2018-01-12 修回日期: 2018-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(61772238); 江苏省产学研联合创新资金-前瞻性联合研究项目(BY2016022-09); 国家工信部智能制造综合标准化与新模式应用项目子课题(工信部联装[2016]213号)

第一作者简介: 冀鹤(1994—),女,硕士生。主要研究方向为数字化纺织技术。

通信作者: 蒋高明, E-mail: jgm@jiangnan.edu.cn。

成形编织是运用类似于普通圆袜机的编织技术^[2]，进行加工生产织袜产品，不仅具有柔软舒适美观的特点，且产品成形程度高，采用连续生产，无需下机缝头简化后整理过程，优化了原有生产模式，提高了产品一体性。

为规范圆袜机编织产品的设计，本文依据人体足部结构特征，从足部生理机能角度出发，结合足部特点，提出了一体成形织袜模型这一概念。同时，在织袜模型应用过程中，本文主要介绍了单针筒一体成形织袜模型，运用平针双层编织、衬垫编织、上行针法编织、插针法编织及揷针、挑针等成形编织方法，结合扭结式缝头法实现机上一体成形。探究了一体成形织袜模型及应用，为圆袜机编织结构设计合理性提供保证，使其能够更好地符合人体足部穿着需求，为我国织袜一体成形产品的设计与开发提供理论参考。

1 人体足部生理特征及机能

人体足部具有一定形态结构、生理机能及运动规律，是人体重要负重和运动器官^[3]，因此，在进行织袜模型设计前，首先对人体足部脚型结构特点、运动特点及足部压力分布进行研究。

1.1 人体足部生理特征

人体足部骨骼包括趾骨、跖骨、跗骨^[4] 3 大类，如图 1 所示。在走路和运动过程中趾骨和跗骨中的跟骨运动频率最高，在支撑身体方面起着重要作用，相应给与织袜向下的压力，在走路和运动时增加了脚底前端和跟部的摩擦力，因此，在设计袜底和袜跟部位时通常需要“夹底”加入加固线提高其耐磨性。

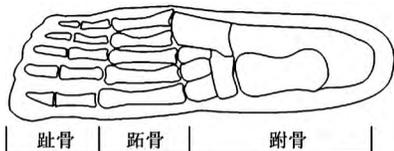


图 1 足部骨骼
Fig. 1 Foot-skeleton

在人体足部有较多关节，第 1 至第 5 趾骨借助关节完成内收、外展、环转、回转及屈伸运动^[4]，如图 2 所示。趾骨的运动增加了袜头部位向上、向下以及向前的冲击力，因此，在织袜编织过程中，袜头部位组织及密度的选取尤为重要，通常在袜头需要编织加固圈提高其顶破性和保暖性（季节需要）。

脚部运动是由附着在骨骼上的肌肉收缩和弛缓带动骨骼完成^[4]，肌肉在整个运动中处于主导地位，织袜的延伸性和伸缩性直接影响脚部舒适度，因

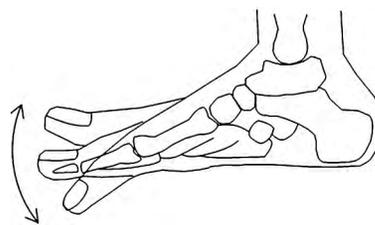


图 2 足部关节及活动
Fig. 2 Foot joints and activities

此，织袜袜脚和袜筒部位密度低于袜头和袜跟，并在收缩运动频繁部位添加橡筋，减少足部与织袜摩擦。

1.2 人体足部机能

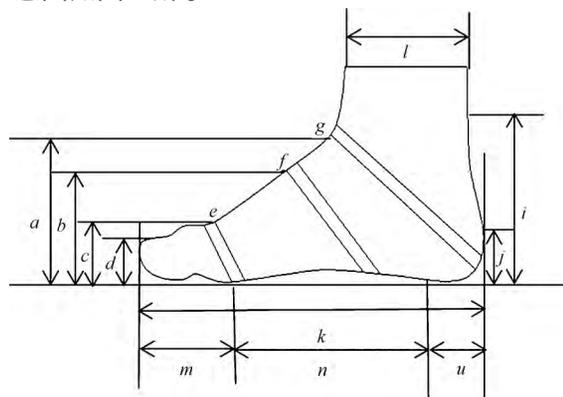
足部的生理机能主要包括分泌汗液、蒸发水分及调节温度^[4]。由于运动项目的不同、季节更替及人体差异，对织袜性能有不同的需求，恰当地选择织袜可减少运动损伤，增加运动效果^[5]及足部穿着舒适性，因此，在织袜设计过程中，根据织袜对吸湿排汗性需求选用棉纱编织地组织，满足人们对于织袜的功能需求。

2 织袜参数及模型建立

织袜模型建立是以织袜参数为依据，织袜模型可看成是脚的轮廓，但又不是脚上的束缚品，决定着织袜穿着的舒适性及贴服性，因此，就织袜模型的建立而言，精确地采集人体足部数据对于确定织袜参数尤为重要。

2.1 织袜参数

织袜参数是通过对人体足部主要特征部位进行测量，归纳整合足部参数数据获得的，足部数据测量示意图如图 3 所示。



a—外踝骨高度；b—前跗骨高度；c—第 1 跖趾关节高度；d—拇指厚度；e—跖趾围长；f—前跗骨围长；g—兜跟围；i—舟上弯点高度；j—后跟突点高度；k—脚长；l—脚踝围长；m—最长趾骨长度；n—足弓长度；u—跟骨长度。

图 3 人体足部数据测量示意图

Fig. 3 Diagram of human foot data measurement

建立织袜参数需首先明确织袜分类: 根据人体足部尺寸将织袜分为童袜、少年袜、女袜、男袜 4 大类; 根据款式可分为脚套(俗称隐形袜)、短筒袜、中筒、长筒袜等; 结合织袜功能性, 分为普通织袜、运动织袜等^[6]。

不同尺寸、不同款式及不同功能性的织袜都有其对应的参数, 结合群体穿着偏好及足部尺寸数据, 选择女士隐形普通织袜和女士中筒运动织袜为研究对象确定参数: 女士中筒运动织袜要求透气性好、柔软舒适符合脚型, 针织面料非常适合; 女士隐形普通织袜, 作为夏天必备品, 要求轻薄, 整体形态呈短宽、弹性好, 大袜口与足部完美贴服。本文以女士中筒运动织袜和女士隐形普通织袜为例, 设计织袜参数如表 1、2(数据来自浙江新昌振兴纺织机械有限公司) 所示。

表 1 女士中筒运动织袜尺寸及比例参数

Tab.1 Female sports knee socks size and scale parameters

织袜部位	尺寸/mm	比例
起口	6	0.017
里口	5	0.014
袜口橡筋	45	0.123
橡筋扎口	3	0.008
袜筒	85	0.232
袜跟	35	0.096
袜底	90	0.246
袜脚橡筋	40	0.109
加固圈	10	0.027
袜头	47	0.128

表 2 女士隐形普通织袜尺寸及比例参数

Tab.2 Female shadow socks size and scale parameters

织袜部位	尺寸/mm	比例
起口	26	0.114
袜跟	36	0.157
袜底	90	0.393
橡筋	20	0.087
加固圈	10	0.044
袜头	47	0.205

2.2 中筒织袜模型建立

根据织袜参数结合织袜编织原理^[6], 本文以中筒女士运动袜为例探究了织袜模型建立过程。

图 4 示出中筒织袜模型。取袜跟起始编织点为坐标原点, 以织袜袜筒方向为 y 轴方向, 以袜口方向为 x 轴方向建立二维直角坐标系。根据脚踝围长及织袜编织工艺, 结合运动过程中对袜口与腿部肌肉的贴附性要求, 袜口宽 W_1 取 79 mm, 袜口高 H 取 30 mm, 袜筒宽 W_2 取 89 mm, 袜筒高 H_1 取 85 mm; 为保证织袜穿着合脚, 考虑减少运动过程中袜跟部分的磨损, 根据后跟突点高度及兜跟围及织袜撇针挑针工艺要求, 袜跟半高 h 取 30 mm。为保证织袜具有良好的延伸性能, 收放针数均为 1; 通过如图 5

所示袜跟放大模型计算袜跟尺寸, 计算公式为

$$L = \frac{5N}{P}$$

$$\begin{cases} D_{2x} = -R\cos(\beta) \\ D_{2y} = R\sin(\beta) \end{cases}$$

式中: L 为袜跟缝长, mm; N 为收针或者放针针数; P 为袜跟密度; R 为 OC_2 的长度, 取 51 mm; θ 为袜跟起始编织到跟缝的角度值 ($^\circ$); α 为 $\theta/2$; β 为 3θ 跟缝到袜底起始编织角度值。可得上筒各点坐标值 $A_1(W_1/2, H_1 + H + h/2)$, $A_2(-W_1/2, H_1 + H + h/2)$, $B_1(W_2/2, H_1 + h/2)$, $B_2(-W_2/2, H_1 + h/2)$, $C_1(-W_1/2, h/2)$, $C_2(W_1/2, h/2)$ 。

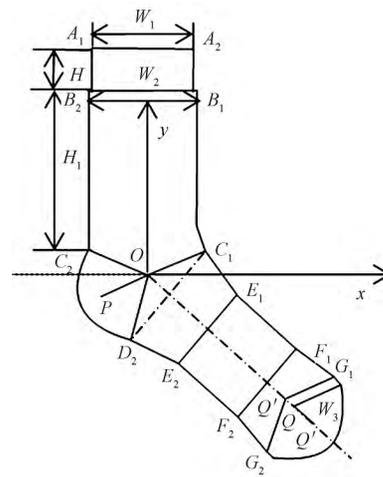


图 4 中筒织袜模型

Fig.4 Knee socks model

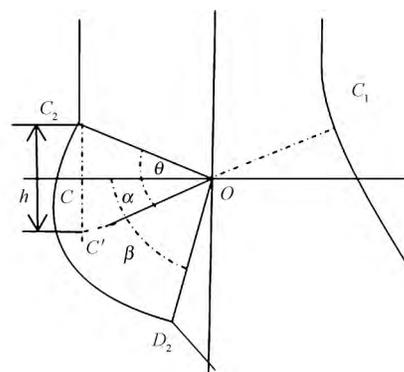


图 5 袜跟放大模型

Fig.5 Zoom model of heel

在运动过程中为使织袜下筒不随运动而滑移, 在脚底部运动最频繁的趾骨位置增加橡筋, 袜脚橡筋高 H_2 取 40 mm, 宽 H_3 取 72 mm, 考虑到人体足弓尺寸及上机织袜脚高 H_4 取 130 mm; 在袜头部分模型建立过程中, 由于足部趾骨及关节处运动灵活对织袜产生多角度作用力, 添加 10 mm 加固圈工艺以减少对织袜头部产生直接冲击; 同时需要考虑织袜上行针法要求, 作以 Q 点为坐标原点, 以 QC_1 长

度为半径,以 $(180^\circ - \beta + \theta)$ 为圆心角的圆弧,得到中筒女士运动袜模型。

2.3 隐形织袜模型建立

根据隐形袜工艺特点及生产标准^[7],在普通织袜模型建立的基础上研究了女士隐形袜模型建立方法。

建立 xOy 直角坐标系,为满足织袜隐形和舒适性需求及人体足部尺寸结合跟骨尺寸特征,袜口高 H 取13 mm,袜口宽 W 取38 mm;其独特的大袜口特征增加了对袜跟抱合力的需求,选用Y字形袜跟,根据兜跟围尺寸确定袜跟最远点尺寸为63 mm,考虑后跟凸起高度及脚跟处抱合性能,在 OP 区域收放针数均为5针, P_1PP' 区域均为1针,图6示出隐形织袜袜跟放大图。通过如下计算公式求得袜跟特征点及袜跟轨迹方程:

$$\frac{x^2}{OP_2^2} + \frac{y^2}{OP_2^2 - \left(\frac{h}{\cos\theta}\right)^2} = 1$$

$$(x \in (-OP_2, 0) \quad y \in (-OA_2, OA_1 \cos\theta))$$

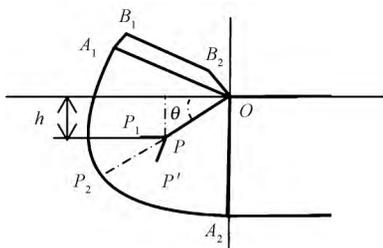


图6 隐形袜跟放大图

Fig. 6 Footlet heel with enlarged

结合人体足弓学与服饰美学及织袜工艺,在收针时至少留 $1/5 \sim 1/6$ 织针在编织区域, PP_1 和 PP' 取8 mm,织袜袜脚长取110 mm,为满足脚面无织袜,选择在袜跟编织结束后44 mm内只编织袜底区域;考虑到织袜模型需适合多数成年女性穿着及减少袜脚滑落添加20 mm橡筋编织;结合服饰美学及织袜力学性能要求,在袜头编织前添加加固圈工艺行10 mm,作以 Q 点为坐标原点,以 QF_2 长度45 mm为半径,以 4θ 为圆心角的圆弧,得到如图7所示隐形织袜模型。

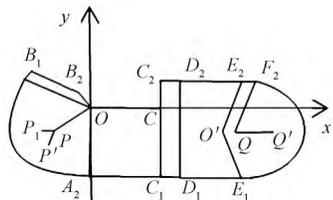


图7 隐形织袜模型

Fig. 7 Footlet socks model

3 织袜模型应用

织袜平面模型为一体成形织袜的设计与生产提

供了直接依据。由于织袜具有较大的弹性,为使一款织袜可以满足一类人群的穿着需求,通过计算将织袜模型尺寸转化为线圈纵行,确定织袜各编织部位横密、纵密。本文实例在UC606-1446F型国产普通毛圈与隐形毛圈两用机上进行编织。

一体成形织袜模型与成形织袜工艺关系可根据以下公式进行计算:

$$D = 0.035 \cdot 68 \sqrt{\frac{T_1}{\delta}}$$

$$P_A = \frac{50}{A}$$

$$P_B = \frac{50}{B}$$

$$L = 1.57A + 2B + \pi D$$

$$L = \frac{\sigma \sqrt{T_1}}{31.62}$$

$$N = 0.4WP_A$$

式中: D 为纱线直径,mm; A 为圈距; B 为圈高; L 为线圈长度,mm; σ 为线圈模数; T_1 为纱线线密度, tex; δ 为纱线体积质量, g/cm^3 ; P_A 为织袜横密,纵行/(5 cm); P_B 为织袜纵密,横列/(5 cm); N 为总针数; W 为模型尺寸。

通过修正得到成形织袜模型,在进行织袜工艺设计时,通过一体成形方法实现中筒织袜模型和隐形织袜模型2种款式织袜的成形编织。在MindCottonSocks花型编辑准备的链条编辑系统中,将换算的针数和密度输入模型编辑器,设定参数结束后再根据花型效果需要完成意匠填充、根据组织结构完成主梭配置达到织袜成形要求如图8所示,最后从软件中导出转换成FAT格式的上机文件,在单针筒一体袜机完成编织。

3.1 中筒织袜成形的应用

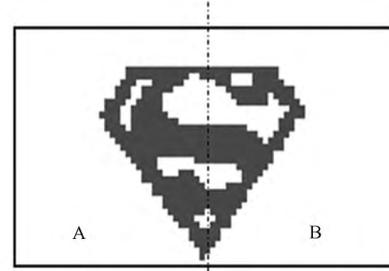
一体成形织袜是在织袜完成成形编织后通过转移机构完成向缝头机构转移^[8],由缝头机构完成缝头,优势在于下机即可穿着成形织袜^[9]。

在中筒织袜设计中,主要根据织袜功能性需求对局部尺寸进行调整,如图9所示。以织袜模型为原型,提花片变换选针方式与主梭橡筋梭配合,实现双层假罗口袜口编织,克服了橡筋衬垫袜口边缘卷曲,赋予袜口罗纹效果。通过上行针法配合撇针、挑针法完成满足人体足弓学的袋型袜跟编织。同时,运用分针法完成加固袜底的编织,添加加固纱提高织袜坚固度。图10示出女士中筒运动袜及隐形普通袜一体成形产品。

由于中筒织袜除去袜跟和袜头部分为上行法编织工艺较为复杂外,在袜口、袜筒、橡筋部分均

ID	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	RM
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(a) 主梭配置



A区域: 1/2 袜底; B区域: 1/2 袜面

(b) 花型意匠图

图 8 参数配置

Fig. 8 Parameter configuration. (a) Main shuttle setup; (b) Jacquard pattern design

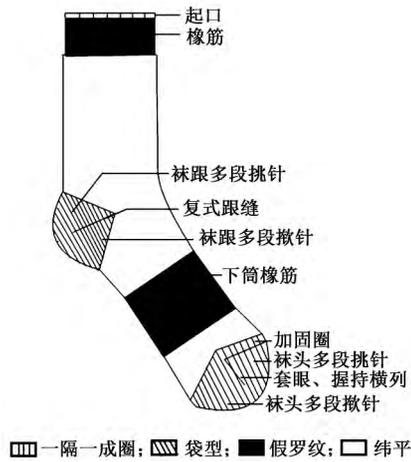


图 9 中筒织袜编织工艺

Fig. 9 Knee socks knitting process

3.2 隐形织袜成形的应用

隐形织袜^[10]是在原有一体机成形工艺中添加隐形三角, 实现在袜口及袜底分区域进行上行针法编织, 实现大袜口效果的一体成形织袜, 如图 11 所示。

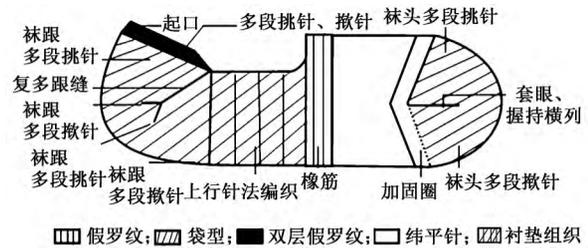


图 11 隐形织袜编织工艺

Fig. 11 Footlet knitting process

在编织过程中, 将中筒织袜成形中的橡筋及橡筋扎口工艺并入起口工艺行, 采用上行针法配合撤针挑针工艺, 形成具有一定倾斜度的袜口组织, 同时提花片完成一隔一选针形成弹性双层假罗纹组织, 实现袜口向袜跟和袜底过渡, 避免织袜发生脱落及保护脚踝。此外, 选用 Y 型袜跟编织, 在袜跟转向处采用收针不脱旧线圈的方法在中筒袜跟编织基础上增加一块组织, 形成满足人体足部兜跟围的扁平袋状造型, 增加与足部的抱合力。袜底大面积采用上行走针法高踵针退出编织区, 低踵针全部参加编织到达成圈高度, 配合加固底分针编织法使纱线部分垫纱, 增加其耐磨性改善卷边。隐形普通袜的一体成形产品展示如图 10(b) 所示。



图 10 一体成形织袜成品

Fig. 10 Finished product of toe-closed fully-fashioned. (a) Female sports knee sock; (b) Female shadow socks

为圆筒编织, 因此, 可采用变化组织结构设计增加织袜运动功能特性, 在袜头和袜跟部位以衬垫组织的形式加入功能纤维增强织袜抗疲劳强度, 同时赋予织袜纤维的功能性; 在下筒中部添加橡筋减少运动过程中袜底与足部的摩擦, 提高运动效果。同时, 意匠设计的灵活性提高了人们对于个性着装的要求。

这种织袜降低了人工缝头的成本, 节约了生产原料, 减少袜筒工艺提高了生产效率。但一体成形隐形织袜编织工艺复杂, 对机器牵拉和三角排列等有更的技术要求, 为满足织袜工艺减少组织搭配种类, 因此, 对于如何提高一体成形隐形袜的组织搭配种类需要进一步开展研究。

由于人体足部具有特殊的生理结构及机能, 因

此,在对织袜进行工艺及编织方法设计时,除依靠撇针、挑针、提花片变化选针方法对织袜成形模型适当变化外,还需要借助添加毛圈组织或者衬纬橡筋组织等组织变化,及针筒、生克片和沉降片密度等参数进行调整,从而满足织袜的性能要求,更符合服饰美学、人体足弓学及功能性,达到服装装饰吸湿排汗及保护足部的效果。

4 结束语

针对人体足部特征及生理机能特性,运用圆袜机编织成形原理,结合中筒织袜模型和隐形织袜模型,设计了符合圆袜机织造要求的织袜模板。实现了模型与工艺成形设计的对接,在一定程度上规范了一体成形织袜的结构设计,同时,优化了织袜设计算法,提高了织袜生产的科学性,并为我国圆袜机编织一体成形开发提供了新方向。

FZXB

参考文献:

- [1] 蒋高明. 针织学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2012: 76-82.
JIANG Gaoming. Knitting[M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2012: 76-82.
- [2] 黄平. 一体成形电脑袜机成圈机构的研究与分析[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2016: 6-8.
HUANG Ping. Research and analysis of fully fashioned computer hosiery machine's looping mechanism [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2016: 6-8.
- [3] 郭虹, 陈晓玲. 从脚部结构及卫生学角度分析袜子的性能[J]. 轻纺工业与技术, 2008, 37(5): 43-45.
GUO Hong, CHEN Xiaoling. Analysis of socks performance from the perspective of foot structure and hygiene[J]. Light and Textile Industry and Technology, 2008, 37(5): 43-45.
- [4] 卢致文, 蒋高明, 丛洪莲, 等. 基于人体足部特征的鞋面样板设计及横编成形方法[J]. 纺织学报, 2015, 36(4): 65-70.
LU Zhiwen, JIANG Gaoming, CONG Honglian, et al. Design and flat knitting shaping method of shoe-upper pattern based on human foot features [J]. Journal of Textile Research, 2015, 36(4): 65-70.
- [5] 郝芙蓉, 冉美玲, 晏诗阳, 等. 中国当代青年女性脚型结构特点及足底压力分布研究[J]. 皮革科学与工程, 2013(4): 49-51.
HAO Furong, RAN Meiling, YAN Shiyang, et al. Research on foot shape and plantar pressure distribution of contemporary Chinese young women [J]. Leather Science and Engineering, 2013(4): 49-51.
- [6] 颜晓茵. 袜品工艺与技术[M]. 上海: 东华大学出版社, 2017(3): 71-72.
YAN Xiaoyin. Hose Processing and Technology [M]. Shanghai: Donghua University Press, 2017(3): 71-72.
- [7] 张佩华, 沈为. 针织产品设计[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2008: 14-16.
ZHANG Peihua, SHEN Wei. Design of knitted products [M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2008: 14-16.
- [8] 袁菁红. 几款功能性运动船袜的工艺特点分析[J]. 针织工业, 2013(9): 10-11.
YUAN Jinghong. Analysis of the technical characteristics of several functional sports boat socks [J]. Knitting Industries, 2013(9): 10-11.
- [9] LONATI E, LONATI T, LONATI F. Pick-up device for picking up a tubular knitted article from a circular knitting machine for hosiery or the like and for transferring it to a unit adapted to perform additional work on the article: 8028546 B2 [P]. 2011-10-04.
- [10] 俞海波. 一种隐形袜: 203314112U [P]. 2013-12-04.
YU Haibo. A kind of footlet: 203314112U [P]. 2013-12-04.