

DOI:10.13475/j.fzxb.20200505507

电脑横机编织三维全成形口罩结构建模与工艺实践

赵博宇, 梁鑫花, 丛洪莲

(江南大学 针织技术教育部工程研究中心, 江苏 无锡 214122)

摘要 为探究用电脑横编机开发全成形针织产品的可能性,以针织三维全成形口罩为开发对象,进行结构建模与工艺实践。首先对人体面部尺寸进行测量,以此确定全成形口罩的二维纸样;然后结合全成形口罩规格尺寸进行工艺计算,以四针床电脑横编机和 SDS-ONE APEX3 系统为开发工具,分别建立针织三维全成形口罩的口罩主体、过滤垫片口袋开口、挂耳带部位的结构模型。结果表明:通过对口罩的规格设计并建立结构模型,同时结合工艺参数的调节并优化其生产技术,可实现兼具美观性与舒适性三维全成形口罩的快速生产,结合功能性原料可开发高附加值的口罩产品。

关键词 针织;全成形口罩;四针床电脑横机;结构模型;针织工艺

中图分类号:TS 184.5 **文献标志码**:A

Structural modeling and process practice of three-dimensional fully fashioned face masks woven by computerized flat knitting machine

ZHAO Boyu, LIANG Xinhua, CONG Honglian

(Engineering Research Center for Knitting Technology, Ministry of Education,
Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract In order to explore deeply the possibility of computerized flat knitting machines for creating fully fashioned knitted products, a knitted three-dimensional(3-D) fully fashioned face mask was chosen as the development object for structural modeling and process practicing in this research. The face size was firstly measured to determine the two-dimensional pattern for the mask. Then the process calculation was carried out based on the mask specifications, the four-needle bed computerized flat knitting machine and the SDS-ONE APEX3 system were set up and used as development tools to establish the structural model of the knitting mask body, pocket opening for filter gasket, and ear belts of the mask. Results show that the rapid production of 3-D fully fashioned masks with both aesthetics and comfort are achieved by establishing the structural model for the specified design of the mask, and by combining the adjustment of the process parameters to optimize its production technology. In addition, high value-added mask products could be effectively developed when using functional raw materials.

Keywords knitting; fully fashioned face mask; four-needle bed computerized flat knitting machine; structural model; knitting process

随着人们对生命安全的重视,防护保健器具的深度开发也逐渐成为纺织材料的研究热点。口罩作为防护消耗品,在医疗、工业、日常生活等方面被广泛应用,具有防雾霾、防污染、防病菌等多种不同功能。尤其是在疫情期间,口罩需要长时间佩戴,起到

阻隔病毒、防污染的作用,是防护过程中至关重要的一环,因此,人们对口罩舒适性、贴合性、过滤性和环境友好性提出了更深层的要求。

横编全成形技术具有优越的成形性,能够实现一线成衣,大大降低材料损耗与人工成本,其通

收稿日期:2020-05-27 修回日期:2020-09-14

基金项目:省部共建开放课题资助项目(M2-201805)

第一作者:赵博宇(1996—),女,硕士生。主要研究方向为全成形针织产品设计与智能针织产品的开发。

通信作者:丛洪莲(1976—),女,教授,博士。主要研究方向为针织生产的数字化与智能化、针织产品的创新设计与性能。

E-mail: cong-wkrc@163.com。

过加减针、局部编织、C形编织等工艺方法可直接得到异形结构产品,使全成形产品应用范围得以扩展,全成形针织产品逐步成为产品开发的热点。在国内外关于全成形技术的研究中,众多学者对横向与纵向编织的全成形毛衫、针织袜子及西服等各类服装产品的横编工艺模型进行了研究与开发^[1-3],极大地丰富了全成形产品的开发工艺库。

为进一步扩大横编成形产品的开发范围,提升研发效率,本文以四针床横编机器和 SDS-ONE APEX 3 系统^[4]为开发工具,建立针织三维全成形口罩结构模型,并进行工艺实践。在设计过程中,利用针织全成形技术的良好成形性,通过组织变换在结构上赋予口罩立体效果,使口罩起到面部塑形作用,满足时尚化要求;同时对口罩与面部的贴合情况和透气性进行优化设计,提高口罩佩戴舒适性;采用该工艺的针织口罩具有更好的可重复利用性,更符合绿色环保可持续发展的理念。

1 三维全成形口罩结构建模

1.1 面部模型建立

在口罩的设计过程中,合理的口罩结构设计、口罩与脸型的贴合程度是直接影响口罩过滤效果的关键因素,因此,首先需要建立合适的人体面部模型,并以此为基础对口罩的款式与尺寸规格进行合理设计。

以亚洲成年女性面部尺寸为例,在进行整体尺寸设计时确定特征点并进行尺寸测量与记录。图 1 示出人体头部结构示意图。

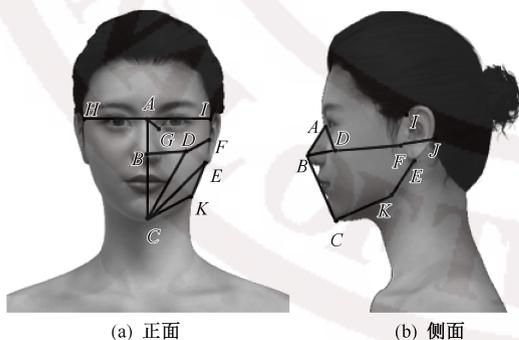


图 1 面部尺寸测量示意图

Fig.1 Diagram of facial dimension measurement.

(a) Front; (b) Side

以标注特征点的形式确定人体面部与口罩各部位尺寸对应关系。主要测量的面部特征包括^[5],鼻长 AB 、鼻梁高 AG 、鼻梁到面颊 AD 、鼻尖到下巴 BC 、鼻尖到面颊 BD 、面颊长 DF 、面宽 HI 、下颌弧长 CK 、耳宽 FJ 、耳弧长 EI 、耳垂到下颌长 EK 。

1.2 口罩结构设计

以典型面部尺寸为基准,结合面部特征点间尺寸,形成口罩的基础二维纸样,图 2(a) 示出口罩的设计效果图。全成形立体口罩在结构上左右对称,可分为挂耳部和口罩主体 2 个部分。口罩整体主要采用局部编织和收放针编织形成立体凹凸结构,以达到贴合面部的三维效果。考虑到编织难度,在进行设计时,将口罩的编织工艺设计为由左至右横向编织^[6],整体的编织方向及效果设计如图 2(b) 所示。

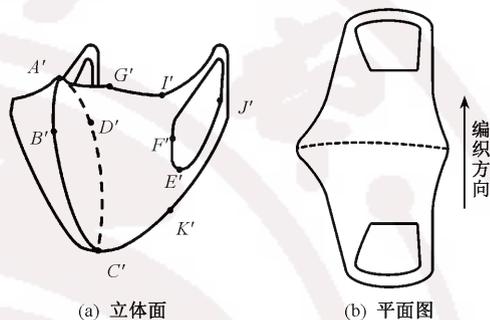


图 2 全成形口罩整体结构图

Fig.2 Structure of fully fashioned mask. (a) Three-dimensional vision; (b) Plane vision

1.3 规格尺寸设计

将以人体头部原型为标准设计的口罩尺寸与二维纸样相结合,形成口罩的标准尺寸规格。利用下式将二维纸样的各个横纵尺寸进行工艺计算,使口罩纸样转化为全成形针织工艺:

$$X = mP_x$$

$$Y = nP_y$$

式中: X 为理论横向针数; m 为纸样横向尺寸; P_x 为横密,线圈/(10 cm); Y 为理论纵向针数; n 为纸样高度,cm; P_y 为纵密,线圈/(10 cm)。 P_x 和 P_y 与横机机号、纱线线密度、机器度目、编织组织等工艺参数相关,可利用试织小样的方法确定横纵密。

最终根据全成形口罩的结构设计和尺寸规格的工艺计算,初步建立口罩的结构模型,其基础结构模型如图 3 所示。图中: a 为废纱部分, b 为左侧挂耳部分, c 为口罩主体, d 为右侧挂耳部分, e, g 为口罩主体平面部分, f 为口罩主体凸起部分。将口罩分为 4 个部分进行细节设计,结合不同部位的编织工艺变换,形成成熟的工艺模型。

2 三维全成形口罩结构模型

2.1 口罩主体工艺

建立整体结构模型后,需要针对三维全成形口

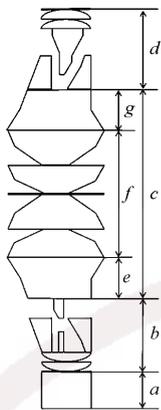


图 3 口罩基础结构模型

Fig.3 Basic structure model of mask

罩每个部件进行细节设计与微调。具有良好立体效果的三维成形口罩, 整体呈现凸出的立体形状, 能够流畅地贴合面部线条, 保证包覆效果。对口罩的立体设计主要集中在面中部位, 因此, 全成形口罩的主体部分是口罩立体成形的关键。

口罩主体从挂耳带结束的横列开始编织, 由面颊向面中延伸, 通过向针床两侧逐渐加针使口罩的上下缘具有一定的弧度, 如图 4(a) 所示。qr、q'r 段与脸颊到鼻梁贴合, ns、n's 段与下颌线到下巴位置贴合, 保证过滤效果。区域②凸出于平面, 既要保证贴合鼻部线条, 还要使唇部与口罩间有一定的盈余空间, 保持佩戴时的干净舒适。

将口罩主体二维纸样在设计系统中展开设计得到图 4(b), 其中区域①、③通过内部收针与放针, 实现口罩对面部包裹曲线的设计。当编织完成区域①时, 织针进入区域②编织, 每一行参与编织的织针按照一定规律进行缩减, 缩减后不参与编织的织针握持旧线圈暂停, 其余织针继续按照规律进行编织, 由此利用局部织针多织形成具有良好立体效果的凸出部位^[7]。局部编织时内部与外部的左右片连接针数(i_1 与 i_2) 分别对应相等, 以保证口罩面部的对称效果。

口罩主体凸出部分的结构模型如图 4(c) 所示。其编织顺序如下: 由后针床织针首先编织形成口罩内部弧形区域④, 编织到口罩中缝部位时, 后针床所有参与编织的织针均悬挂旧线圈暂停编织; 接由前针床织针开始局部编织形成口罩外部弧形区域⑤, 在编织时前针床相较于后针床多编织数个横列, 使得口罩外层相较于内层更加凸出, 以此为中间夹层部分留出空间; 当编织完内外 2 层的半边弧形后, 前针床握持旧线圈暂停编织, 在此阶段由后针床的织针按照规律逐渐参与编织, 在原来悬挂的旧线圈上继续编织新线圈, 形成与内层对称的半边弧形区

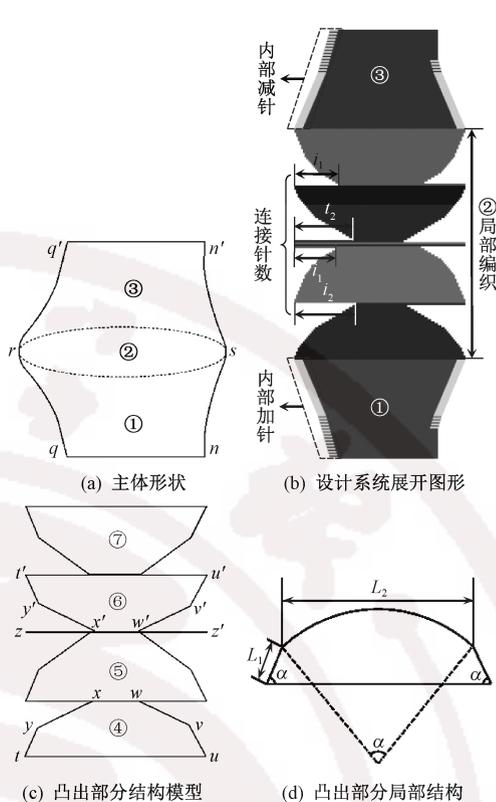


图 4 口罩主体形状设计

Fig.4 Shape design of mask body. (a) Major structure; (b) Expanding graphic in design system; (c) Model of protruding part structure; (d) Local diagram of protruding part structure

域⑥, 编织过程中对应点(如 t 与 t') 重合, 各边(如 tu 与 $t'u'$) 相接, 使得区域④和⑥的 2 个弧形边缘完全重合; 区域⑥结束编织后, 后针床停止编织, 前针床继续局部编织口罩外层半边弧形区域⑦, 与内层编织同理, 形成外层区域⑥和⑦边缘完全重合的效果。

以图 4(c) 中区域④为例, 对凸出部分(见图 4(d)) 进行局部编织工艺计算。其中单针床参与编织总针数为 T , ty 鼻长为 L_1 , yv 鼻尖到下巴的长度为 L_2 , $\angle t$ 鼻梁与面部的夹角为 α ($^\circ$), P_x 为横密(线圈/(10 cm)), P_y 纵密(线圈/(10 cm)), C_i 为每个收放针循环中收针或放针时, 第 i 枚针连续编织的针数, C_i 取整数。由于 $yxwv$ 区域在嘴部形成空间余量, 近似于圆弧时效果最好, 设计时将圆弧所对圆心角看为 α , 可得到关于 C_i 的分段函数^[8-9]。

当 $i \in [0, L_1 \cos \alpha]$ 时, 有:

$$C_i = L_1 \sin \alpha \frac{P_y}{10}$$

当 $i \in (L_1 \cos \alpha, L_1 \cos \alpha + L_2]$ 时, 有:

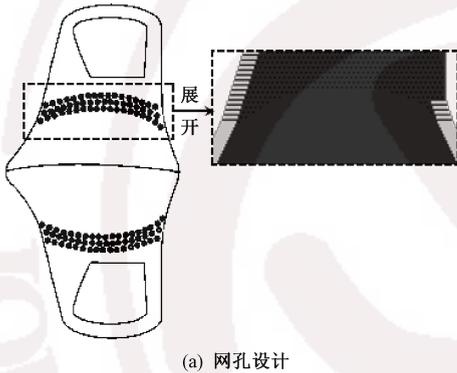
$$C_i =$$

$$\left(L_1 \sin \alpha - \frac{L_2}{2 \tan \frac{\alpha}{2}} + \sqrt{1 - i \frac{P_X}{10} + L_1 \sin \alpha + \frac{L_2}{2}} \right) \frac{P_Y}{10}$$

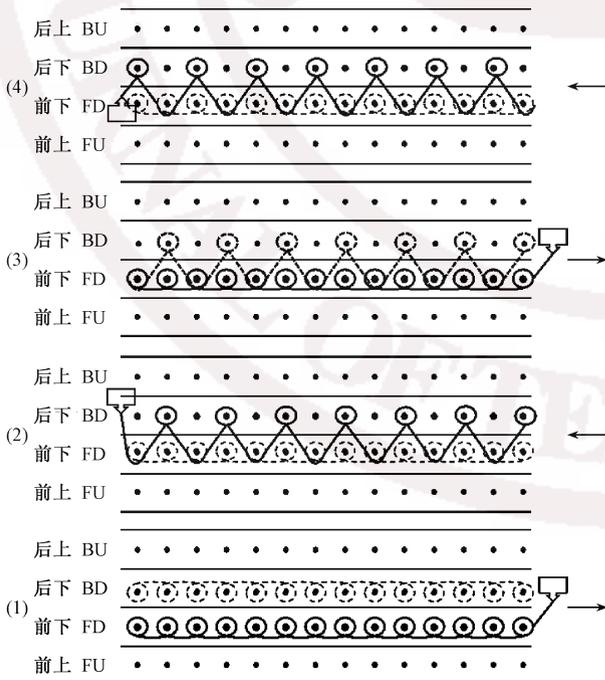
当 $i \in (L_1 \cos \alpha + L_2, 2L_1 \cos \alpha + L_2]$ 时, 有:

$$C_i = -\tan \alpha \left(i \frac{P_X}{10} - L_1 \cos \alpha - L_2 \right) \frac{P_Y}{10}$$

口罩中缝位置 zz' 段, 利用收针工艺形成分割线, 能够有效改善接缝后缝骨处的凹凸不平, 还可形成不同的分割形状^[10]。根据口罩的佩戴需求, 还可通过改变口罩主体局部的组织结构, 以增加佩戴的功能性。如图 5(a) 中所示的口罩, 在主体部分面颊两侧部分的后针床织针, 通过每隔数针向前针床集圈形成孔洞效果 (见图 5(b)), 能够增加面颊两侧的透气舒适性; 集圈孔洞呈弧形分布设计, 可根据过滤垫片大小来确定分布宽度, 使其固定圆形过滤垫片在口罩夹层的位置。



(a) 网孔设计



(b) 集圈组织编织图

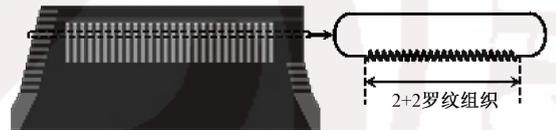
图 5 口罩网孔设计及集圈组织编织图
Fig.5 Design (a) and knitting diagram of tuck stitch (b) of mask mesh

2.2 过滤垫片开口工艺

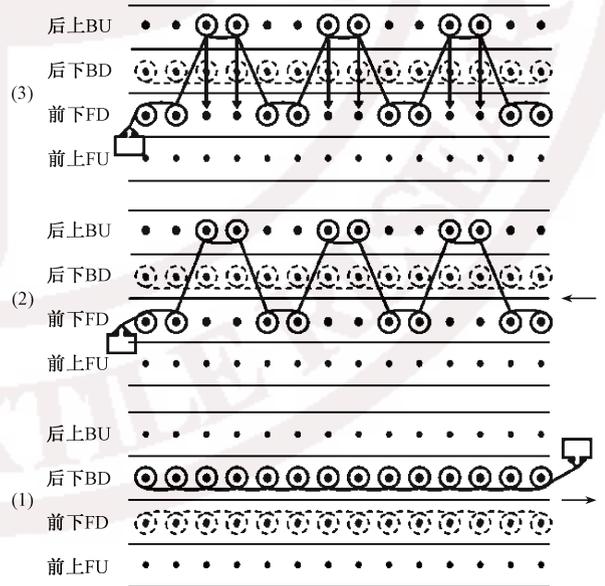
全成形口罩的主体部分为双层结构形成口袋, 可在口袋夹层衬入过滤垫片从而达到高效阻隔病毒等有害物质的防护效果。口袋设计能更加方便地更换与清洁过滤垫片, 帮助实现口罩的可重复利用。口袋的开口部位可位于口罩多个位置。为保证佩戴的舒适性和开口隐形美观效果, 根据开口位置不同可将口罩分为侧边开口式和和下缘开口式。

2.2.1 侧边开口式

侧边开口式口袋开口部位通常位于口罩内侧, 与挂耳部位平行的面颊位置。此时四针床配置中的后上针床参与编织, 通过翻针后实现在筒状织物上进行双面组织的编织, 其设计效果如图 6(a) 所示。当编织到口袋开口处时, 编织口罩外层的前下针床织针继续进行原组织的编织, 而后下针床织针在局部段与前上针床织针以罗纹配置编织形成 2+2 罗纹组织。编织完 1 个罗纹横列后, 前上针床线圈翻针到后下针床, 形成口袋的内层开口, 再由前下针床织针继续编织口罩外层, 其 1 个编织循环内的原理如图 6(b) 所示。罗纹锁边的宽度约 1 cm, 正反线圈交错可有效防止开口边缘卷边。



(a) 口袋开口设计



(b) 2+2 罗纹编织图

图 6 侧边口袋设计和编织图

Fig.6 Design and knit-forming of side-opening pocket.
(a) Design diagram of pocket opening; (b) 2x2 rib knitting

侧边口袋开口编织结束后, 只有口罩的外层线圈挂在后下针床织针上, 因此, 要继续编织, 需要前

下针床织针一隔一空针起头编织,起头横列将内外层线圈相连接^[11]。

2.2.2 下缘开口式

当面部两侧设计集圈网孔用来透气时,侧边开口式口袋不再适用,此时可在口袋的下缘开口用来放置或取出过滤垫片。下缘开口式口袋的开口部位通常位于下巴处的口罩边缘部位,在正面与反面都不会显现,具有一定隐形美观的效果。由于开口位置在口罩中线部位向左右两侧各延伸 3 cm,因此在局部编织的口罩主体部位,中间数横列范围内采用 C 型编织。图 7 示出编织原理图,下巴处边缘前后不连接形成单侧开口。

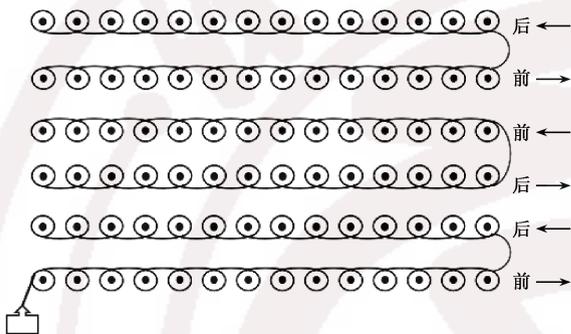


图 7 C 型编织原理

Fig.7 Principle of C-knitting

2.3 挂耳部位成形工艺

挂耳部位形状设计如图 8 所示。

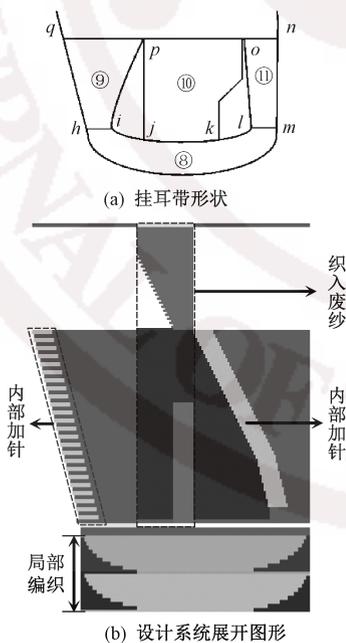


图 8 挂耳带形状设计图

Fig.8 Shape designing of ear belt. (a) Structure of ear belt; (b) Expanding graphic in design system

以左侧挂耳部位为例,全成形口罩的挂耳部位首先通过机头空转编织空气层组织,形成耳背部分

hilm(区域⑧)。为保证口罩佩戴时的舒适性,挂耳带耳背处宽度在 0.4~1 cm 之间。宽度较窄时由于线圈拉伸,挂耳带呈圆柱状,便于佩戴;当宽度较宽时挂耳带呈扁平状,立体效果相对较差,但舒适性会有所增加。编织完成挂耳带耳后部位后,在中间部位 il 段通过局部收针形成收边,两侧各余出数针线圈继续编织,从而形成 2 个挂耳带 hipq(区域⑨)、lmno(区域⑩)。

为使挂耳带与口罩主体衔接顺畅,避免佩戴时口罩侧边起皱,挂耳带的宽度从耳后到面颊逐渐加宽,在工艺上可通过逐行内部加针实现^[12],如图 9 所示,出某一横列最左侧放一针编织,在设计时常通过加针数目控制加针宽度,从而控制曲线增长弧度。为防止牵拉辊在施加拉力时挂耳带部位被牵拉变形,同时保证在织完挂耳带 po 段重新起头编织时,新线圈具有一定的牵拉张力,需要在 jk 段织入废纱,使其与口罩挂耳带耳后部相接,由分离线分隔 2 部分。编织完成口罩的挂耳带后,op 段废纱收针形成区域⑩,由普通纱线放针编织 nopq 段后开始编织口罩主体部分。右侧挂耳部位工艺与左侧挂耳工艺对称,通过局部收针形成挂耳带,当编织到耳背右侧挂耳带时,收针编织同时形成空气层组织。

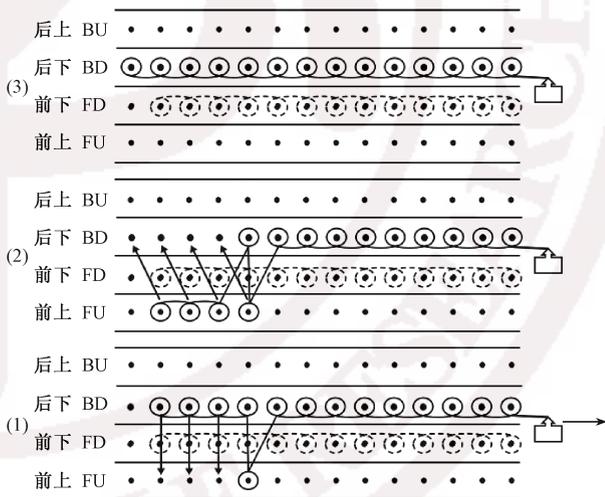


图 9 内部加针编织图

Fig.9 Knitting diagram for adding-needle inside

3 三维全成形口罩开发实践

当设计完成的工艺进行上机实践时,由于牵拉、度目等工艺参数的不同,也会影响到口罩生产的成品效果。除设计三维全成形口罩的结构模型外,根据样品试织效果调整工艺参数,从而优化其生产技术,也是保证全成形口罩高效生产的必要步骤。

3.1 原料配置

特殊原料配置可赋予全成形口罩特殊性能,以增加其附加价值。口罩的过滤性能和抗菌性能是防护性口罩的 2 个检验标准。在开发实践时使用弹性较大的包覆纱或将弹性纱线与其他纱线添纱配置编织,增加口罩的密度,以此来提高口罩过滤性能。除此之外,使用处理后的抗菌纱线为原料进行编织,能保证口罩抗菌性能,优化其防护效果。在实践过程中,使用 42.5% 的 44.4 dtex (36 f) 抗菌涤纶纱线、42.5% 的 44.4 dtex (28 f) 半消光涤纶纱线、15% 的 44.4 dtex 氨纶形成包覆毛圈纱,在岛精公司 MACH2XS153 型四针床电脑横机上进行三维全成形口罩开发。

3.2 送纱工艺

为保证三维全成形口罩对污染微粒的过滤效果,口罩的布面结构要相对紧密,织造时常采用弹性纱线直接编织或添纱编织。由于编织过程中机头回转形成的纱线余量和编织过程中造成的弹性纱线张力波动幅度较大,因此,可利用纱线张力控制系统对弹性纱线进行张力控制。岛精公司四针床电脑横机上具有 i-DSCS + DTC (智能型数控纱环系统+能动张力控制装置),通过电子自动控制送纱,或在横编机器送纱系统中加装定张力送纱装置,实时测量牵拉速度与张力,从而控制弹性纱线的送纱量。张力控制装置一定程度上能够平衡张力波动,避免口罩的布面效果不均匀,保证全成形口罩的美观性,为后续整烫等步骤解决一定的技术问题。

3.3 牵拉工艺

利用四针床电脑横机生产的三维全成形口罩采用了横向编织,从一个挂耳部位开始编织,在对称挂耳部位结束编织。由于岛精公司四针床横编机器中具有局部可控牵拉装置,能保证同一横列的线圈在分段牵拉装置下受到不同的拉力,对不同的拉力段进行代码设定。图 10 示出四针床横编机牵拉装置。

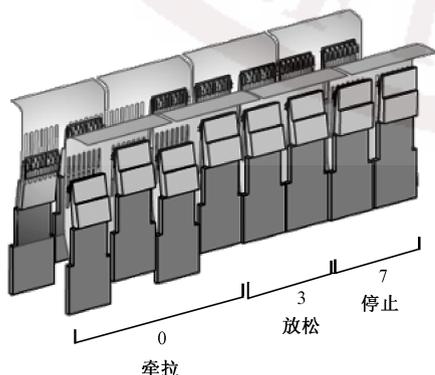


图 10 牵拉装置

Fig.10 Pulldown device

牵拉装置中第 3 段所有的牵拉爪以相同的拉力持续向下牵拉,第 0 段为暂停状态,不进行向下牵拉,只按照一定频率松开牵拉爪,第 7 段没有织物经过,处于不工作状态。在织造过程中,为防止 2 个挂耳部位因所受牵拉力度不同而造成的长度差异,可在两边挂耳带处设置相同的牵拉密度,而中间的废纱部分略松于挂耳带线圈,可设定较大的拉力。同时不同的组织、不同编织部位在工艺模型中需要分段设置牵拉度目,在实际生产中逐段微调,从而达到优化生产技术的目的。

3.4 辅助编织工艺

在进行实践生产过程中,起底编织时为保证口罩整体面料牵拉的一致性,形成均匀良好的布面效果,首先需要使用废纱进行一定长度的编织,通过分离线分隔废纱部分和口罩。

在编织过程中需要织入 3 段废纱部分:起底编织及 2 个挂耳带形成的孔洞部分。起底编织时首先织 1 段废纱起到均匀起底板拉力的作用,同时使得编织到口罩主体部分时已转变为牵拉辊提供牵拉,便于后续局部编织的进行。挂耳带处的废纱能够牵拉住挂耳带平收部位,同时保证空起时对线圈产生拉力,使得编织顺利进行。其中废纱的粗细与组织结构的不同均会对拉力大小造成一定影响。

最终编织得到的全成形口罩布面紧实,弹性优良,立体效果明显,有隐隐的光泽效果,如图 11 所示。由于在口罩佩戴过程中,呼吸产生的水蒸气使口罩常处于潮湿状态,因此,参照 FZ/T 73023—2006《抗菌针织品(振荡法)》对口罩的抗菌性进行检验,实验温度为 36 ℃,振荡接触时间为 48 h。经检测,未经洗涤的口罩对于标准中所给出 3 种菌种的抗菌率均能达到 99%,洗涤 50 次后,口罩对金黄色葡萄球菌(ATCC6538)的抗菌率仍在 99% 以上,对白色念珠菌(ATCC10231)的抗菌率在 93% 以上,对大肠杆菌(ATCC29522)的抗菌率在 81% 以上,仍具有明显的抗菌效果,说明口罩具有较好的耐洗抑菌性,可重复使用。



图 11 成品口罩示意图

Fig.11 Real image of finished mask

4 结 论

本文探索了在四针床电脑横编机上进行三维全成形针织口罩的工艺设计与开发过程,分析了通过局部编织形成立体结构的成形方法。研究发现:三维全成形口罩的工艺设计以人体面部模型为基础确定口罩的规格尺寸,以此建立二维纸样模型,结合工艺计算得出基础结构模型;全成形口罩的挂耳带与主体在结构上流畅结合,挂耳带编织时使用平收并织入分离纱,在平收横列和放针横列之间形成一段废纱,便于重新起头编织时对线圈起牵拉作用;以加减针编织形成挂耳部分,能兼顾挂耳带的舒适度与面部贴合度;口罩主体在面颊处通过集圈等结构形成孔洞,凸出部分以局部编织的方式将口罩分为4部分编织,内外层针化转数差值调整内外层凸出程度。除工艺上的探索外,全成形口罩还可对原料进行合理配置,赋予口罩抗菌、凉爽等特殊效果,以及智能监测人体呼吸特征等功能,以达到高附加值的效果。

FZXB

参考文献:

- [1] 罗璇, 彭佳佳, 蒋高明, 等. 全成形毛衫样板设计及成形方法[J]. 纺织学报, 2018, 39(7): 105-110.
LUO Xuan, PENG Jiajia, JIANG Gaoming, et al. Design and knitting shaping method of fully-fashioned knitwear [J]. Journal of Textile Research, 2018, 39(7): 105-110.
- [2] 王盼, 吴志明. 横编全成形袜子工艺设计与编织原理[J]. 纺织学报, 2019, 40(7): 44-50.
WANG Pan, WU Zhiming. Process design and knitting principle of whole socks on flat knitting machine [J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(7): 44-50.
- [3] 王盼, 吴志明. 全成形毛衫横向编织方式及其成形工艺[J]. 纺织学报, 2019, 40(10): 73-78.
WANG Pan, WU Zhiming. Transverse knitting method and forming process of fully formed sweater [J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(10): 73-78.
- [4] 傅雯雯. 全成型针织防滑手套[D]. 上海: 东华大学, 2019: 1-4.
FU Wenwen. Seamless non-slip knitted gloves [D]. Shanghai: Donghua University, 2019: 1-4.
- [5] 张雪艳, 王忠旭, 李玉珍, 等. KN95 颗粒物防护口

罩适合性与头面部尺寸关系研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015(2): 154-159.

ZHANG Xueyan, WANG Zhongxu, LI Yuzhen, et al. Study on relationship between fitness of KN95 particulate respirators and facial dimensions [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015(2): 154-159.

[6] 刘博, 丛洪莲. 四针床全成形休闲西服的工艺设计与成形原理[J]. 纺织学报, 2020, 41(4): 129-134.

LIU Bo, CONG Honglian. Process design and knitting principle of one-piece casual suits based on four-needle-bed flat knitting machine [J]. Journal of Textile Research, 2020, 41(4): 129-134.

[7] 王盼, 吴志明. 全成形毛衫局部编织原理及其应用[J]. 纺织学报, 2019, 40(5): 41-46.

WANG Pan, WU Zhiming. Principle and application of partial knitting on fully formed sweater [J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(5): 41-46.

[8] 王群. 三维全成形产业用针织物的编织工艺与性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2016: 28-30.

WANG Qun. Investigation on knitting technology and properties of three-dimensional fashioned technical knitted fabric [D]. Shanghai: Donghua University, 2016: 28-30.

[9] 杨秀, 凌群民, 张良晓, 等. 数学模型在毛衫工艺计算中的应用[J]. 针织工业, 2017(6): 18-21.

YANG Xiu, LING Qunmin, ZHANG Liangxiao, et al. Application of mathematical model in sweater technology calculation [J]. Knitting Industries, 2017(6): 18-21.

[10] 李珂, 吴志明. 基于收针工艺的全成形毛衫分割线设计原理[J]. 纺织学报, 2019, 40(6): 85-90.

LI Ke, WU Zhiming. Design principle of secant line for whole garment sweater based on narrowing process [J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(6): 85-90.

[11] 刘滨璐, 宁霞, 王婧, 等. 浅谈 FZ/T 73023—2006 《抗菌针织品》测试标准[J]. 中国纤检, 2010(10): 38-40.

LIU Binlu, NING Xia, WANG Qiang, et al. Discussion on microorganism and FZ/T 73023—2006 antibacterial knitwear [J]. China Fiber Inspection, 2010(10): 38-40.

[12] 路丽莎, 蒋高明, 罗璇. 全成形毛衫腋下拼角编织工艺及性能[J]. 纺织学报, 2019, 40(2): 69-75.

LU Lisha, JIANG Gaoming, LUO Xuan. Knitting process and properties analysis of underarm stitching of fully-fashioned garment [J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(2): 69-75.