

DOI: 10.13475/j.fzxb.20180405206

三层双色立体提花经编鞋材的开发

张琦^{1,2}, 魏莉¹, 夏风林¹

(1. 江南大学 教育部针织技术工程研究中心, 江苏 无锡 214122;

2. 武汉纺织大学 湖北省数字化纺织装备重点实验室, 湖北 武汉 430077)

摘要 针对普通双针床贾卡经编机难以以一次成形方式生产带有间隔层的双色立体提花经编鞋材的问题, 研究了普通双针床单贾卡经编机和双针床双贾卡经编机的梳栉配置, 以及典型双色提花工艺中芝麻点效应和纯双色效应的提花原理, 提出了新的梳栉配置方法、提花控制方案以及提花工艺, 并根据新的梳栉配置方法对双针床无缝经编机加以改造, 加装了间隔梳, 利用新的提花控制方案控制前贾卡在前后针床选择性成圈, 再配合新的提花工艺来克服现有双色工艺因过密的“点”或“片”连接而难以衬入间隔丝的缺陷, 最终在升级后的 RDJ6/2 经编机上成功试织出一款带有间隔层的双色立体提花鞋材产品。该实践结果表明, 三层双色立体提花经编鞋材的成功研发, 关键在于对编织机构、控制系统、提花工艺的针对性集成优化。

关键词 间隔层; 双色效应; 立体提花; 经编鞋材; 双针床双贾卡

中图分类号: TS 184.3 文献标志码: A

Development of warp-knitted three-layer and double color stereo jacquard shoe-upper

ZHANG Qi^{1,2}, WEI Li¹, XIA Fenglin¹

(1. *Engineering Research Center for Knitting Technology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China*; 2. *Hubei Provincial Key Laboratory of Digital Textile Equipment, Wuhan Textile University, Wuhan, Hubei 430077, China*)

Abstract Aiming to the difficult production of the warp-knitted three-layer and double color stereo jacquard shoe-upper in one-time for the ordinary double-needle bed jacquard warp knitting machine, a comparative analysis was made on the weaving institutions of double needle bed one/double-jacquard warp knitting machine and two-color sesame point effect and the pure two-color jacquard effect, and a new comb configuration method and jacquard control system and new jacquard method were proposed. According to the new comb configuration method, the double needle bed seamless warp knitting machine was modified, and the interval comb was installed. The new jacquard control scheme was adopted to control the Pre-Jaka comb to weave in front needle bed selectively. In combination with a new color block jacquard process that overcomes the drawbacks of the existing two-color process due to excessive dots or slices connections hard to line the spacer filaments, a two-color stereo jacquard shoe with a spacer layer was successfully woven on the upgraded RDJ6/2 warp knitting machine finally. The results show that the key for development of warp-knitted three-layer and double color stereo jacquard shoe-upper is the assembly optimization of knitting structure, control system and jacquard process.

Keywords spacer; double color effect; 3-D jacquard; warp-knitting shoe-upper; double needle bed and double jacquard

现有的一次成形双针床经编鞋材主要分为两大类: 一类是双针床单贾卡经编机鞋材, 此类产品拥有

间隔层, 但无法形成双色效应^[1]; 一类是双针床双贾卡经编机鞋材, 此类产品可形成双色效应, 但不带

收稿日期: 2018-04-23 修回日期: 2018-11-22

基金项目: 湖北省数字化纺织装备重点实验室(武汉纺织大学)开放课题资助项目(DTL2017009); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(JUSRP51727A); 江苏省产学研联合创新资金-前瞻性联合研究项目(BY2016022-21)

第一作者: 张琦(1977—), 男, 副教授。主要研究方向为新型针织装备与针织工艺。E-mail: zhangqi_vip@jiangnan.edu.cn。

间隔层^[2]。目前市场上同时兼具双色效应与间隔层的双针床经编鞋材产品,都是通过将经编双贾卡双色织物与普通的双针床经编间隔织物贴合的方法来实现。这种鞋材加工方式不但增加了生产工序,还会因这道额外增加的工序而产生有毒气体,对人体健康有害,不满足一次成形的快速化与绿色化加工发展要求^[3]。

为突破带间隔层双色立体提花鞋材一次性成形生产的技术瓶颈,本文通过重组双针床经编机的梳栉配置关系,开发可成圈编织的双贾卡提花控制系统,设计“线”连接工艺完成间隔丝的衬入等技术手段,为三层双色立体提花经编鞋材的一次性全成形快速生产提供了综合性技术解决方案,实现了经编鞋材真正意义上的短流程快速化绿色生产。

1 编织机构与控制系统

1.1 双针床双贾卡立体提花编织机构

图 1(a) 为单贾卡双针床 RDPJ7/1 梳栉配置图^[4],其中:GB1、GB2 只在前针床进行编织;GB6、GB7 只在后针床编织;GB3、GB4 为间隔梳在前/后针床依次成圈,利用间隔丝将前/后片连接形成带有间隔层的织物。1 把贾卡梳 JB5 只能在后针床编织,因此只能形成有间隔层的单面单色提花织物。

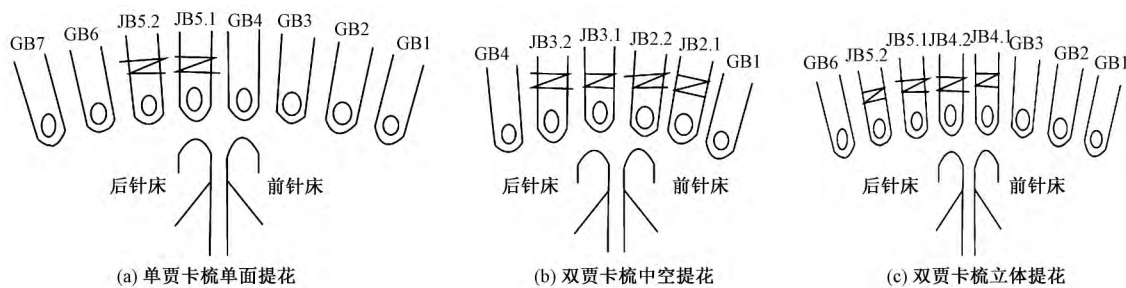


图 1 贾卡经编机梳栉配置图

Fig.1 Jacquard-bar configuration of warp knitting machine. (a) Single-knit with one jacquard bar; (b) Hollow-knit with double jacquard bars; (c) 3-D jacquard of double-knit with double jacquard bars

表 1 梳栉配置

Tab.1 Configuration of combs

机器类型	梳栉编织位置		
	前针床	后针床	前后针床
双针床单贾卡经编机 (图 1(a) RDPJ7/1)	GB1、GB2	JB5、GB6、GB7	GB3、GB4 形成间隔层
双针床双贾卡经编机 (图 1(b) RDPJ4/2)	GB1	GB4	JB2、JB3 根据需要在前后针床选择性地编织,并将前后片紧密地连接起来
新型双针床双贾卡立体 提花经编机(图 1(c) 改造后的 RDJ6/2)	GB1、GB2	JB5、GB6	GB3 形成间隔层,JB4 根据需要选择性地在前/后针床进行编织,结合新工艺不会将前后片紧密连接

图 1(b) 为普通双贾卡双针床 RDPJ4/2 梳栉配置图^[5],其中:GB1 只在前针床编织;GB4 只在后针床编织,无特定专用间隔梳;但 2 把贾卡梳 JB2、JB3 在前/后针床均可编织,可利用贾卡梳在前/后针床的编织动作将织物前后片特定部位相联,再配合 2 把贾卡梳穿上不同颜色或者不同染色性能的纱线,即可形成无间隔层的双面混色织物^[6]。

通过分析普通双针床单贾卡和双针床双贾卡的梳栉配置关系,对比不同梳栉配置下所能生产织物的不同类型与特征,为满足间隔层双色立体提花织物的一次性成形织造需求,将原本用来生产无缝中空提花织物的 RDJ6/2 机台梳栉配置改造成如图 1(c) 所示。与生产无缝中空产品不同,改造后的地梳 GB1、GB2 用于前针床垫纱成圈形成织物的前表层;JB5、GB6 用于后针床垫纱成圈形成织物的后表层;GB3 作为特定专用间隔梳在前/后针床依次成圈形成中间间隔层,控制贾卡梳 JB4 在前/后针床均可进行选择性成圈编织。当为 2 把贾卡梳穿上不同颜色或染色性能不同的纱线进行编织时,即可顺利织造出具有间隔层与双色效应的立体提花新型经编鞋材。表 1 示出普通双针床贾卡经编机与改造后的新型双针床双贾卡经编机梳栉配置方案对比。

1.2 双针床双贾卡立体提花控制系统

针对双贾卡提花控制系统在主轴 1 个编织周期

内存在 2 把贾卡梳在前/后针床的 4 次同步偏置触发控制要求^[7], 以及提花信息数据量大且偏置数据刷新实时率高的控制特征, 设计了如图 2 所示的双贾卡立体提花控制系统。采用 100 Mbps 以太网 (Ethernet) 联接花型管理层与控制层贾卡提花控制器完成贾卡提花信息数据的高速下载, 采用 2 Mbps G_Link 现场总线联接贾卡提花控制器与现场层各贾卡控制单元实现贾卡导纱针偏置数据实时刷新的 3 层 2 级式总线系统架构, 利用主轴角度信号的硬同步传输实现控制层与现场层偏置触发角度与时刻的同步, 利用各贾卡控制单元内嵌以复杂可编程逻辑器件 (CPLD) 作为微控制器的硬件编程实现贾卡导纱针的驱动与控制一体化分组, 从而实现可利用多个贾卡控制单元的并行同步触发以提高系统响应实时性, 减少现场总线的数据传输次数, 提高系统数据传输与实时控制的准确性与可靠性。

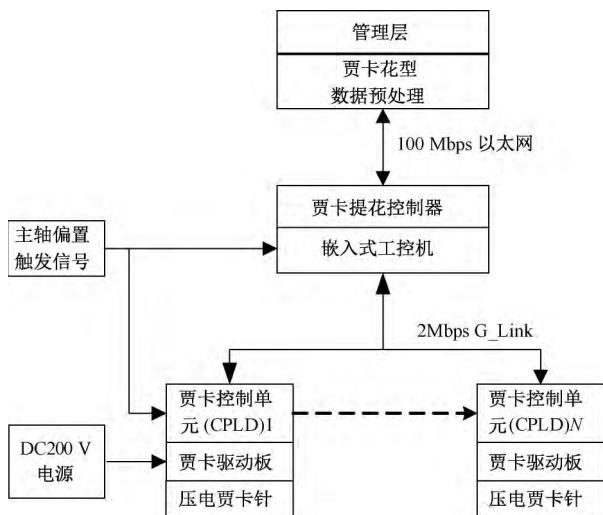


图 2 双贾卡立体提花控制系统结构图

Fig.2 Structure of 3-D jacquard control for double jacquard

2 三层双色提花鞋材提花原理

三层双色新型立体经编提花鞋材不仅要求具备普通双针床双贾卡鞋材的双色效果, 还需具备双针

床单贾卡鞋材的间隔层结构, 才能在满足时尚美观追求的同时, 拥有特殊的具有抗压缩性三维立体结构^[8], 且在生产织造时还能一次成形, 这样的新型经编鞋材产品才能拥有更为广阔的市场前景。

2.1 普通双针床双贾卡提花原理

普通双针床双贾卡的提花效应主要有 2 种: 芝麻点效应与纯双色效应。在编织芝麻点提花效应中, 前贾卡梳的垫纱数码为 1-0-1-1/1-2-1-1//, 后贾卡梳的垫纱数码为 1-1-1-2/1-1-1-0//, 且前贾卡梳的工作情况分为 2 种: 只在前针床编织形成网孔、厚、薄组织; 或在前/后针床都进行编织。

以前贾卡为例, 芝麻点提花原理常用贾卡偏移信息如表 2^[9] 所示。可以看出, 前贾卡在后针床奇数横列发生偏移时, 即可在后片形成一个芝麻点。在编织芝麻点效应时, 因前贾卡梳只能整体向左偏移, 故当前贾卡梳垫纱数码为 1-0-1-1/1-2-1-1// 时, 其无法在后针床形成 1-0/1-2//、1-0/2-3// 的厚、薄组织; 当后贾卡梳垫纱数码为 1-1-1-2/1-1-1-0// 时, 亦无法在前针床形成厚、薄组织。因此, 为了让 2 把贾卡梳在前/后针床均能形成厚、薄、网孔组织的纯双色效应, 通过修改 2 把贾卡梳的垫纱数码为 1-0-1-2/1-2-1-0// 或者 1-0-1-0/1-2-1-2//, 再配合前/后地梳的垫纱效应: GB1, 1-0-0-0/0-1-1-1//, 满穿; JB2, 1-0-1-2/1-2-1-0//, 满穿; JB3, 1-0-1-2/1-2-1-0//, 满穿; GB4, 0-0-0-1/1-1-1-0//, 满穿。结合如表 3 所示的纯双色提花原理^[10], 即可获得纯双色效应。

通过对比表 2、3 中普通双针床双贾卡 2 种提花工艺发现, 在如图 3(a) 所示的芝麻点效应中, 虽然前贾卡与后贾卡可分别在前/后针床进行编织, 但每形成 1 个芝麻点, 前贾卡就得到后针床成圈 1 次 (以后针床为效应面), 使得织物前/后层之间因密集的“点”连接而存在密集的贾卡纱线, 不利于间隔纱的编织; 同样对于图 3(b) 所示的纯双色效应, 因 2 把贾卡梳的基本组织都为 1-0-1-2/1-2-1-0//, 贾卡梳在不偏移的时候, 在前/后针床都进行编织, 这样的

表 2 芝麻点提花原理

Tab.2 Jacquard principle of sesame dot

提花效应	垫纱数码	偏移信号	组织颜色	绘图色号
厚组织	1-0-1-1/2-3-1-1//	HHHHTTHH	红色	1 号色
薄组织	1-0-1-1/1-2-1-1//	HHHHHHHH	绿色	4 号色
薄组织	1-0-0-0/1-2-0-0//	TTHTTTHH	蓝色	8 号色
网孔组织	1-0-0-0/0-1-0-0//	TTHHHHHH	白色	12 号色
薄组织连接组织	1-0-1-2/1-2-1-1//	TTHTTHHH	黄色	2 号色
网孔组织连接组织	1-0-0-1/0-1-0-0//	HHHTHHHH	浅绿色	18 号色
厚组织连接组织	1-0-1-2/2-3-1-1//	HHHTTTHH	浅粉色	23 号色

表 3 纯双色提花原理

Tab.3 Jacquard principle of pure color

色纱	组织	垫纱数码	偏移信息
JB2 A 色	薄组织	1-0-2-2/1-2-1-1//	HHHTHHHT
	网孔组织	2-1-2-2/1-2-1-1//	TTHTHHHT
	厚组织	1-0-2-2/2-3-1-1//	HHHTTTHT
JB2 B 色	薄组织	1-1-1-2/2-2-1-0//	HTHHHTHHH
	网孔组织	1-1-1-2/2-2-1-0//	HTHHHTHHH
	厚组织	1-1-1-2/2-2-1-0//	HTHHHTHHH
JB3 A 色	薄组织	0-0-1-2/1-1-1-0//	THHHTTHH
	网孔组织	0-0-1-2/1-1-1-0//	THHHTTHH
	厚组织	0-0-1-2/1-1-1-0//	THHHTTHH
JB3 B 色	薄组织	1-0-1-1/1-2-0-0//	HHHTHHHTH
	网孔组织	2-1-1-1/1-2-0-0//	TTHTHHHTH
	厚组织	1-0-1-1/2-3-0-0//	HHHTTTTH

垫纱运动将导致在织物前/后层之间,在白色区域内因大片的“面”连接而存在密集的贾卡纱线,也不利于间隔纱的编织。由此可见,普通的芝麻点与纯双色效应工艺都会使得织物的前/后层紧密地连接在一起,不利于间隔层的形成,因此这类工艺不适合三层双色立体鞋材的生产。

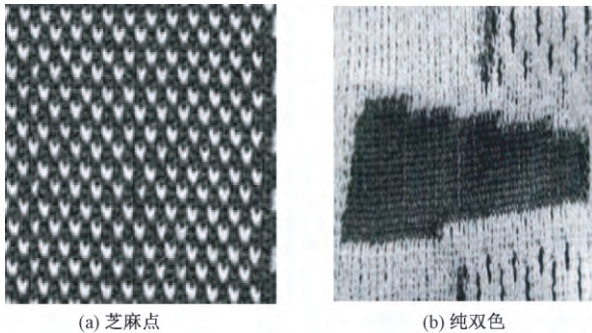


图 3 芝麻点与纯双色效应实物图

Fig.3 Comparison of sesame dot and pure color.

(a) Sesame dot; (b) Pure color

2.2 改进双针床双贾卡立体提花原理

针对普通双针床双贾卡芝麻点与纯双色提花工艺均因前/后片“点”或“面”连接过密,不利于形成织物支撑间隔层的弊端,在结合 2 种普通双贾卡基本工艺特征的基础上,对双贾卡工艺进行改进,设计了如图 4 所示的色块立体提花效应,通过只在黑色区域与白色区域的边缘进行“线”连接,在白色区域与黑色区域内无贾卡纱连接,从而实现在前/后片之间方便地织入支撑间隔纱。

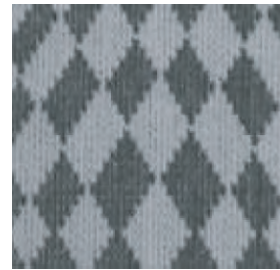


图 4 色块效应实物图

Fig.4 Samples with color blocks

表 4 示出改进后的双针床双贾卡色块效应立体提花原理。假设 JB4 采用 A 色纱线,JB5 采用 B 色纱线,以后针床为效应面,JB4 的基本垫纱数码为 1-0-1-1/1-2-1-1//,JB5 的基本垫纱数码为 1-1-1-2/1-1-1-0//。若要 JB4 的纱线颜色显示在效应面的某一区域,则 JB4 的偏移信息为 HTTHTHHT,JB5 的偏移信息为 HHTTHHTT;若要 JB5 的纱线颜色显示在效应区的某一区域,则 JB4 的偏移信息为 HHTTTTHH,JB5 的偏移信息为 HHHHHHTT。这种双色效应形成的色块效果,在色块中间部分前后片无连接,只在色块的边沿部分前后片有连接,十分利于间隔层的形成。因此,在这种“线”连接的工艺基础上,再增加垫纱数码为 1-0-2-1/2-3-1-2//的间隔纱梳 GB3,即可选用涤纶单丝构造“V”字型三角支撑结构,从而形成兼具良好通气性与抗压性的弹性可恢复织物间隔层。

3 三层双色提花经编鞋材织样验证

以图 5 所示意匠图和织样为例,在进行产品设计时,首先确定其鞋样样稿横向尺寸 H 为 41 cm,纵向尺寸 Z 为 26 cm,根据机号、原料等因素确定其横密 E 为 9.5 横列/cm,纵密 F 为 12 横列/cm。根据公式^[11]:花宽 $K=H \times E$,花高 $G=Z \times F$,确定其花宽 K 为 219,花高 G 为 390。再将菲林稿导入 WKCAD 软件中,用不同的色块对鞋样进行组织划分,最后完成鞋样功能分区后,根据不同需求,对各个区域进行组织覆盖,完成如图 5(a)、(b) 所示的贾卡意匠图。

JB4 的基本垫纱组织为 1-0-1-1/1-2-1-1//,JB5 的基本垫纱组织为 1-1-1-2/1-1-1-0//;当前贾卡梳 JB4 不发生偏移或者前后针床都发生偏移的时候,

表 4 色块效应提花原理

Tab.4 Jacquard principle of color blocks

提花效应	JB4		JB5	
	垫纱数码	偏移信息	垫纱数码	偏移信息
A 色	1-1-2-1/2-2-1-2//	HTTHTHHT	1-1-2-3/1-1-2-1//	HHTTTHHTT
B 色	1-0-2-2/2-3-1-1//	HHTTTTHH	1-1-2-3/1-1-3-2//	HHHHHTTT

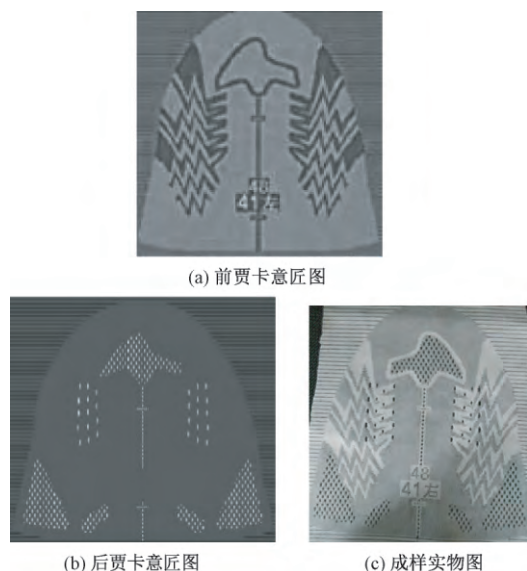


图 5 意匠图与织样

Fig.5 Jacquard drafted pattern and sample.

(a) Front pattern; (b) Behind pattern; (c) Sample

只在前针床形成薄组织(1-0/1-2//),其偏移信号分别为 HHHHHHHH 或 TTHHTTHH;当前贾卡梳 JB4 在前针床偶数横列发生偏移时,就会在前针床形成厚组织(1-0/2-3//),偏移信号为 HHHHTTHH;当前贾卡梳 JB4 在前针床奇数横列发生偏移时,只在前针床形成网孔组织(1-0/0-1//);当前贾卡 JB4 偏移信号为 HTHTHTHT(1-0-1-1/1-2-1-1//),后贾卡偏移信号为 HHTHTHTT(1-1-2-3/1-1-2-1//),则前贾卡会在后针床编织成圈,形成色块效应。同理,JB5 也配合产生相应偏移效果。

此立体提花新型经编鞋材在新改进的 RDJ6/2 双针床双贾卡立体提花经编机上进行织样生产验证:该机器各梳栉配置关系已根据图 1(c)进行了改进调整,控制系统也升级为如图 2 所示的采用双总线架构的双贾卡提花控制系统,同时该机还配备了双针床隔距调节、贾卡梳 EL 和电子送经等辅助功能。表 5 示出此产品的上机工艺参数。经编鞋材对撕裂强度、耐磨性和耐曲折性都有一定的要求,常用的生产材料为涤纶、锦纶,在生产双色鞋材时,会选择染色性能不同的原料,如涤纶和锦纶或者涤纶和阳离子涤纶,针对以上原则鞋面表层纱线选择了 166.7 dtex 阳离子涤纶和 222.2 dtex 普通涤纶作为原料,间隔层起到连接 2 个表层的作用,需要具有一定的抗压缩性能,一般选用模量稍大的且具有一定抗弯刚度的涤纶单丝等,因此间隔丝使用 33.3 dtex 涤纶单丝,并采用了“V”字形结构。经成功织样生产,得到实物如图 5(c)所示。

表 5 织样上机参数

Tab.5 Machine parameters

梳栉	垫纱数码	原料规格	穿经	送经量/ (mm·腊克 ⁻¹)
GB1	0-1-1-1/ 1-0-0-0//	166.7 dtex 阳离子涤纶	满穿	1 690
GB2	2-3-1-1/ 1-0-1-1//	166.7 dtex 阳离子涤纶	满穿	2 500
GB3	1-0-2-1/ 2-3-1-2//	33.3 dtex 涤纶单丝	满穿	7 600
JB4	1-0-1-1/ 1-2-1-1//	166.7 dtex 阳离子涤纶	满穿	2 600
JB5	1-1-1-2/ 1-1-1-0//	222.2 dtex 涤纶	满穿	2 550
GB6	0-0-0-1/ 1-1-1-0//	222.2 dtex 涤纶	满穿	1 690

4 结 论

1) 利用新型双针床双贾卡立体提花经编机在大批量生产三层双色立体提花经编鞋材,即一次成形的带有间隔层的双色立体提花经编产品时,需要综合考虑编织机构配置、提花动作控制、工艺设计方法等多种因素的相互影响。

2) 在生产普通经编无缝内衣的双针床双贾卡经编机上加装 1 把专用间隔梳用于形成间隔层,再配以能够控制前贾卡梳在前/后针床都可以进行选择成圈的双贾卡提花控制系统,可成功实现带间隔层的双色立体提花经编鞋材的一次性成形编织。

3) 通过对现有典型双色提花工艺中的芝麻点和纯双色效应的编织原理分析可知,其在双色提花时难以衬入间隔丝的原因是织物前后片过密的“点”连接或者“片”连接,进而设计出采用“线”连接的色块效应工艺,十分有利于双针床双色提花织物间隔层的形成,可作为带间隔层的双色立体提花经编鞋材的一种有效的工艺设计方法。 FZXB

参考文献:

[1] 韩玉梅, 缪旭红, 黄忠清. 经编成型鞋面的设计与开发[J]. 产业用纺织品, 2014, 32(12): 9-12.
HAN Yumei, MIAO Xuhong, HUANG Zhongqing. Design and development of warp-knitted uppers[J]. Technical Textiles, 2014, 32(12): 9-12.

[2] 钟君, 丛洪莲, 蒋高明. 经编提花间隔鞋面材料的开发[J]. 针织工业, 2016(7): 11-14.
ZHONG Jun, CONG Honglian, JIANG Gaoming. Development of warp-knit jacquard shoe upper material[J]. Knitting Industries, 2016(7): 11-14.

[3] 刘文升. 我国纺织工业需要绿色生产[J]. 上海毛麻科技, 2015(3): 45-48.

- LIU Wensheng. China's textile industry needs green production [J]. Shanghai Wool & Jute Journal 2015(3): 45-48.
- [4] 张姿叶, 蒋高明, 丛洪莲, 等. 经编贾卡提花间隔织物编织工艺探讨 [J]. 纺织导报 2010(2): 56-60. ZHANG Ziyu, JIANG Gaoming, CONG Honglian, et al. Discussion on weaving process of jacquard interwoven fabric [J]. China Textile Leader, 2010(2): 56-60.
- [5] 钟君, 丛洪莲, 张燕婷, 等. 经编双贾卡提花鞋面织物的计算机辅助设计 [J]. 纺织学报, 2016, 37(11): 148-153. ZHONG Jun, CONG Honglian, ZHANG Yanting, et al. Computer-aided design of warp knitted double Jacquard shoe upper fabrics [J]. Journal of Textiles Research, 2016, 37(11): 148-153.
- [6] 李筱一, 缪旭红, 杨大伟, 等. 经编间隔双色成形鞋面的工艺设计 [J]. 针织工业 2016(2): 21-23. LI Xiaoyi, MIAO Xuhong, YANG Dawei, et al. Design of warp-knitted double-colored shoe upper [J]. Knitting Industries, 2016(2): 21-23.
- [7] KLEJIMIR, MIZTA. Warp knitting machine with piezo electrically controlled jacquard patterning: Korea, 960000085 [P]. 1996-01-03.
- [8] 魏赛男, 姚继明, 彭志远. 鞋材用经编间隔织物的服用性能 [J]. 上海纺织科技 2012(11): 16-19. WEI Sainan, YAO Jiming, PENG Zhiyuan. Wearing properties of warp-knitted spacer fabrics for shoe-making [J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2012(11): 16-19.
- [9] 钟君. 经编贾卡提花鞋面织物的设计与仿真 [D]. 无锡: 江南大学 2017: 13-14. ZHONG Jun. Design and simulation of warp jacquard vest fabric [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017: 13-14.
- [10] 夏风林, 刘浪, 郑静. 经编双针床双贾卡双色成形鞋材开发 [J]. 纺织导报 2018(2): 44-48. XIA Fenglin, LIU Lang, ZHENG Jing. Development of two-tone fully-fashioned vamp on two-needle bar double-jacquard warp-knitting machine [J]. China Textile Leader, 2018(2): 44-48.
- [11] 钟君, 丛洪莲, 张燕婷, 等. 经编单层立体提花鞋面织物的花型设计与生产工艺 [J]. 纺织学报, 2017, 38(2): 111-116. ZHONG Jun, CONG Honglian, ZHANG Yanting, et al. Pattern design and production process of warp-knitted single-layer stereo jacquard shoe-upper [J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(2): 111-116.

(上接第 58 页)

- [24] LI T T, SUN F, LIU X, et al. Preparation and mechanical property evaluations of puncture-resistant insoles composites reinforced by high-modulus filament and thermal bonding [J]. Fibers and Polymers, 2018, 19(6): 1309-1317.
- [25] SUN B, WANG Y, WANG P, et al. Investigations of puncture behaviors of woven fabrics from finite element analyses and experimental tests [J]. Textile Research Journal, 2011, 81(10): 992-1007.
- [26] LI T T, WANG R, LOU C W, et al. Modeling and optimization of dynamic puncture behaviors for flexible inter-/intra-reinforced compound fabrics [J]. Fibers & Polymers, 2016, 17(3): 469-476.