

无缝护腕针织工艺参数模糊正交优化

蒋慧敏, 柯宝珠*

(上海工程技术大学 纺织服装学院, 上海 201620)

摘要:为探究手部动静态下无缝针织弹性护腕舒适性与针织工艺参数的关系,选取组织结构3个水平、纱线原料5个水平及送纱速度5个水平编织的共25个实验样品进行正交实验,并以10名手型为160/70F的女性为实验对象,结合模糊综合评价法与压力实验法,对腕关节屈伸、收展、内外旋、静止4个状态下的护腕舒适性进行主客观评价分析,探讨无缝针织护腕各因素的最佳水平。研究表明,主观模糊综合评分最优方案为锦纶纱线,其起口送纱速度为650 m/min,收口送纱速度为850 m/min,组织结构为1×1的罗纹组织,此外,由压力客观实验得到主观舒适度较高的压力值阈值为15.5~17 kPa。

关键词:无缝针织护腕;正交优化;压力;舒适性;送纱速度

中图分类号:TS 941.727 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-1928(2022)04-0291-05

Fuzzy Orthogonal Optimization for Seamless Knit Wrist Guard Knitting Process Parameters

JIANG Huimin, KE Baozhu*

(School of Textile Fashion, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: To explore the relationship between the comfort of the seamless knitted elastic wrist guard and the knitting process parameters, a total of 25 experimental poplar samples of three levels of tissue structure, five levels of yarn raw material and five levels of yarn delivery speed were selected for orthogonal experiments. Ten women with hand type 160/70F were selected as subjects, the main and objective evaluation of the comfort of wrist flexion and extension, extension, internal and external rotation and rest were analyzed combined with the fuzzy comprehensive evaluation method and the pressure experiment method, and the best level of various factors of seamless knit wrist guard was explored. The results show that the optimal scheme of subjective fuzzy comprehensive score is nylon yarn, the starting speed is 650 m/min, the receiving yarn delivery speed is 850 m/min and the structure is rib 1×1 stitch. The objective stress experiments yielded a higher subjective comfort pressure threshold ranging from 15.5 to 17 kPa.

Key words: seamless knit wrist guard, orthogonal optimization, pressure, comfort, yarn delivery speed

弹性针织护腕可缓解剧烈运动对腕部带来的冲击,有助于保持腕关节在运动中的稳定性^[1]。目前,关于护腕的研究主要在于防护性、智能化与新型材料的应用上。如吴旭波等^[2]模拟球撞击人体时3款不同弹性护腕对人体的防护性能。朱生群^[3]发现,筒状纬编弹力针织物在实际着装过程中存在不同程度的纵向拉伸情况。在材料方面,郭秋

晨^[4]采用6种不同导电纱线作为原料进行智能护腕的编织,并采用智能无缝护腕监测人体心跳、呼吸和脉搏跳动。熊志农^[5]通过临床护理观察发现,用远红外线纺织品制成的护腕在改善微循环方面有显著效果。

人们通常在运动或劳作时佩戴针织护腕,但随着腕关节的屈伸、收展、内外旋活动,护腕的各点压

收稿日期:2021-04-15; 修订日期:2022-08-26。

作者简介:蒋慧敏(1997—),女,硕士研究生。

*通信作者:柯宝珠(1977—),女,副教授,硕士生导师。主要研究方向为针织服装的功能性与舒适性。

Email:Kebaozhu@hotmail.com

力及整体舒适性会发生不同变化,尤其在腕关节与虎口处易产生不适感。而送纱速度、纱线原料和组织结构等针织工艺参数的合理设定能够改善针织面料的触感与压力舒适性。文中出于优化目的,探索针织工艺参数对无缝针织护腕穿着舒适性及各点压力的影响,根据送纱速度 5 个水平、纱线原料 5 个水平和组织结构 3 个水平设计正交方案,并编织 25 个试样进行动静态人体穿着实验。该实验以主观评价为主,压力实验评价为辅,得到无缝针织护腕各因素压力舒适性的最佳水平。

1 实验设计

1.1 材料

1.1.1 原料 针织弹性护腕通常由氨纶包覆纱编织成筒状织物。选择目前市场上常见的纱线,包括锦纶纤维、涤纶纤维、棉纤维、羊毛纤维、远红外发热涤纶+黏胶混纺纱纤维 5 种,均由上海圣东尼有限公司生产。

1.1.2 仪器 YG14I 数字织物厚度仪、LE-104E 电子天平、Y511B 密度镜,均由宁波纺织仪器厂制造;WANMEI 袜机,圣东尼公司制造;AMI 气囊压力测试仪,日本 AMI 公司制造。

1.2 正交方案设计

将 5 种纱线编号为 $A_1 \sim A_5$;设置起口送纱速度为 250 ~ 950 m/min,收口送纱速度为 550 ~ 250 m/min,档距 50 m/min 共 5 个水平,编号为 $B_1 \sim B_5$;采用 1×1 罗纹结构、2 隔 2 网眼结构、毛圈组织 3 种常见组织结构,编号为 $C_1 \sim C_3$ 。针织组织效果

如图 1 所示。

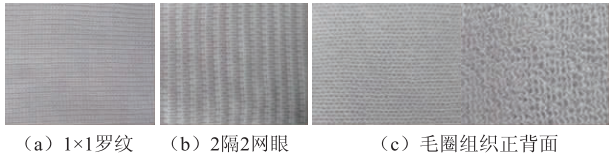


图 1 针织组织效果

Fig.1 Knitting organization charts

根据以上因素水平设计正交方案,正交因素及因素水平见表 1。并根据正交方案,编织 25 个实验样品,编号为 $W_1 \sim W_{25}$ 。

表 1 因素水平

Tab.1 Factor level table

水平	纱线原料(A)	送纱速度(B)/		组织结构(C)
		(m/min)		
		收口	起口	
1	锦纶	550	750	1×1 罗纹
2	涤纶	600	800	2 隔 2 网眼
3	棉	650	850	毛圈
4	羊毛	700	900	
5	远红外发热涤纶 + 黏胶混纺纱	750	950	

1.3 织物基本性能测试

在标准温湿度下,织物的基础服用性能测试依据纺织行业标准 FZ/T 70010—2006《针织物平方米干燥重量的测定》^[6]和 GB/T 3923.1—2013《纺织品 织物拉伸性能第 1 部分:断裂强力和断裂伸长率(条样法)》^[7]进行,分别测试 25 个针织织物的基本性能参数厚度与线密度,测试结果见表 2。

表 2 织物参数

Tab.2 Fabric parameters

试样编号	颜色	成分	组织结构	送纱速度/(m/min)		线密度/tex	厚度/mm
				收口	起口		
W_1	橙色	锦纶	1×1 罗纹	550	750	8.89	1.29
W_2	橙色	锦纶	2 隔 2 网眼	600	800	8.89	1.49
W_3	橙色	锦纶	1×1 罗纹	650	850	8.89	1.31
W_4	橙色	锦纶	毛圈	700	900	8.89	3.00
W_5	橙色	锦纶	2 隔 2 网眼	750	950	8.89	1.50
W_6	黄色	涤纶	2 隔 2 网眼	550	750	8.89	1.45
W_7	黄色	涤纶	1×1 罗纹	600	800	8.89	1.31
W_8	黄色	涤纶	毛圈	650	850	8.89	2.80
W_9	黄色	涤纶	2 隔 2 网眼	700	900	8.89	1.44
W_{10}	黄色	涤纶	1×1 罗纹	750	950	8.89	1.34
W_{11}	蓝色	棉	1×1 罗纹	550	750	11.12	1.14
W_{12}	蓝色	棉	毛圈	600	800	11.12	3.13
W_{13}	蓝色	棉	2 隔 2 网眼	650	850	11.12	1.42
W_{14}	蓝色	棉	1×1 罗纹	700	900	11.12	1.11
W_{15}	蓝色	棉	2 隔 2 网眼	750	950	11.12	1.40
W_{16}	浅紫	羊毛	毛圈	550	750	8.89	3.11

续表

试样编号	颜色	成分	组织结构	送纱速度/(m/min)		线密度/tex	厚度/mm
				收口	起口		
W_{17}	浅紫	羊毛	2 隔 2 网眼	600	800	8.89	1.54
W_{18}	浅紫	羊毛	1 × 1 罗纹	650	850	8.89	1.30
W_{19}	浅紫	羊毛	2 隔 2 网眼	700	900	8.89	1.58
W_{20}	浅紫	羊毛	1 × 1 罗纹	750	950	8.89	1.28
W_{21}	米白	远红外发热涤纶 + 黏胶混纺纱	2 隔 2 网眼	550	750	22.23	1.52
W_{22}	米白	远红外发热涤纶 + 黏胶混纺纱	1 × 1 罗纹	600	800	22.23	1.27
W_{23}	米白	远红外发热涤纶 + 黏胶混纺纱	2 隔 2 网眼	650	850	22.23	1.56
W_{24}	米白	远红外发热涤纶 + 黏胶混纺纱	1 × 1 罗纹	700	900	22.23	1.26
W_{25}	米白	远红外发热涤纶 + 黏胶混纺纱	毛圈	750	950	22.23	3.31

1.4 样品护腕制作

实验样品护腕由圣东尼 WANMEI 袜机(200 针筒径)编织的一体成型针织管状织物。统一采用氨纶包覆纱,并利用添纱技术加入 140D/25/25/橡筋,完成 25 个试样的织造。所有护腕样品经测量纵向尺寸为 11.8 ~ 12.1 cm,横向尺寸为 6.0 ~ 8.6 cm,都经过烫缩后整理。此外,在起口(较宽一端)下方 2 cm 处纵向剪开 3 cm 并包边缝合,形成大拇指出口,制作的实验样品如图 2 所示。

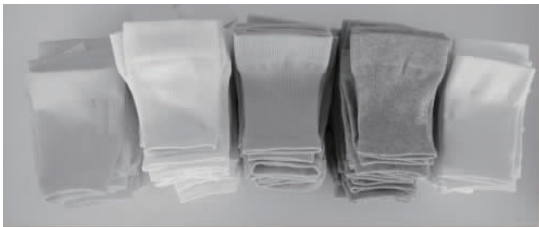


图 2 护腕样品实物

Fig.2 Physical picture of the wrist guard

1.5 实验过程

实验选取 10 名 22 ~ 26 岁,腕围在 14 ~ 15.2 cm,手部型号为 160/70F 的青年女性作为受试者,手型标准参照 GB/T 16252—1996《成年人手部型号》^[8]。实验在温度(22 ± 1)℃,相对湿度(55.5 ± 1)% 的恒温恒湿实验室进行。

1.5.1 主观评价实验 实验之前被测人员静坐 10 min,其后依次穿戴 25 个护腕样品,动静态舒适性的评价指标为腕关节屈伸、收展、内外旋、静止 4 种手部状态下的主观舒适感受,每种状态持续 1 min 后填写主观舒适性表格,并采用 5 级评价法对所穿戴护腕的主观舒适性进行评价。其中舒适性差的感受可分为过松(不贴体,活动时关节处堆褶多)与过紧(紧缚感强,血液不畅)两种。

1.5.2 客观压力实验 客观实验作为主观舒适性实验的辅助实验,采用气囊压力测试仪测试压力值,具体测试点如图 3 所示。实验之前受试者将气囊传感器固定在受试者手部的相应测试点,后依次戴上试样进行压力测试,并记录 60 s 的压力数据,每位受试者测 3 次,每次间隔 1 min,结果取平均值。

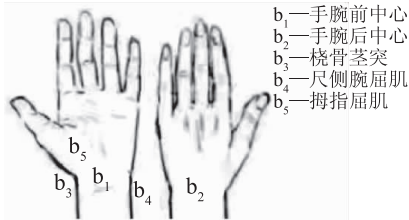


图 3 实验测试点

Fig.3 Test points

1.6 模糊综合评价方法

1.6.1 定义模糊集合并确定权重 为了检验受试者的评判是否具有可靠性,对主观评价采用 Kendall 协同系数进行一致性检验,结果具有较显著的一致性。模糊综合评价具体步骤如下:

1) 确定对象集:25 个护腕样品构成模糊综合评价对象集: $W = \{W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7, W_8, W_9, W_{10}, W_{11}, W_{12}, W_{13}, W_{14}, W_{15}, W_{16}, W_{17}, W_{18}, W_{19}, W_{20}, W_{21}, W_{22}, W_{23}, W_{24}, W_{25}\}$ 。

2) 定义舒适性因素: $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\} = \{\text{静止, 屈伸, 收展, 内外旋}\}$ 。

3) 定义评语集: $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\} = \{\text{很差, 较差, 中等, 较好, 很好}\}$,评语赋值 $Q_z = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ 。

1.6.2 确定各评价因素权重系数 由 5 名从事服装人体工程学、服装舒适性、针织服装工艺研究与

教学的教授、副教授及相关专家对主客观评价指标进行权重系数确定。根据层次分析法,分值 1,3,5,7,9 分别对应同等重要、稍微重要、较强重要、强烈重要、极端重要,对指标之间进行两两比较并打分,得到判断矩阵,归一化处理后,经过一致性检验,得到舒适性各指标权重为 $A = \{\text{静止, 屈伸, 收展, 内外旋}\} = \{0.082\ 6, 0.495\ 8, 0.267\ 1, 0.154\ 4\}$ 。

2 结果与分析

2.1 模糊综合评价结果

由于试样过多,以试样 W_1 为例,由 W_1 各评价指标的主观得分可以得出试样 W_1 的主观评价矩阵,归一化处理为

$$R_{W_1} = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.6 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 \end{bmatrix},$$

加权评价值为 $Y = A \cdot R$ 。
式中: Y 为主观模糊综合评价矩阵; A 为指标权重系数向量; R 为主观评价矩阵。

由此得到 W_1 的主观模糊综合评价结果为
 $Y_{W_1} = A \cdot R_{W_1} = \{0\ 0.138\ 0.719\ 0.143\ 0\}$ 。

主观综合评价得分为 $S = \sum_{i=1}^n a_i Y_i$ 。
式中: S 为主观综合评价得分; a_i 为评语赋值向量 Q_z 的元素; Y_i 为主观模糊综合评价向量 Y 的元素, n 为元素数目。

由此得到护腕试样 W_1 的主观综合评价得分为: $S_{W_1} = 1 \times 0 + 2 \times 0.138 + 3 \times 0.719 + 4 \times 0.143 + 5 \times 0 = 3.005$ 。

同理得到所有试样 $W_1 \sim W_{25}$ 的主观综合评价得分
3.005 3.579 4.647 4.205 3.050 2.842
3.981 4.384 4.141 3.215 2.900 3.308
4.105 4.080 3.040 2.848 3.514 4.282
3.629 2.644 2.854 3.678 4.364 4.061

表 3 主观评分正交分析

Tab.3 Subjective score orthogonal analysis table

因素	主观综合评价得分						最优水平	平均压力/kPa						最优水平
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	R		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	R	
A	3.726	3.695	3.565	3.395	3.586	0.331	1	16.804	16.424	16.390	16.550	17.946	1.556	4
B	2.900	3.632	4.330	4.065	3.040	1.430	3	20.298	17.820	17.190	15.306	13.500	6.798	3
C	3.656	3.531	3.595			0.125	1	16.289	16.869	17.798			1.509	1

注: $K_1 \sim K_5$ 为各因素 1~5 水平对应价值指标之和的算术平均值;极差 R 值可看出因素对结果的影响效果, R 值越大,影响越显著;压力值最优水平取中位数。

2.817)。
据此初步判断,在主观舒适性评分中最优的护腕试样为 W_3 ,其编制方案为 A_1, B_3, C_1 ,模糊综合评分为 4.647。

2.2 单因素方差分析

将主观评分结果与 3 个因素进行单因素方差分析,得到因素 A 与因素 B 的 p 值 <0.05 ,说明纱线、原料、送纱速度因素对主观评分结果的影响具有显著性,因素 C 的 $p = 0.118 > 0.05$,不显著。为了直观显示因素 A 和 B 对主观结果的影响,绘制折线如图 4 所示。

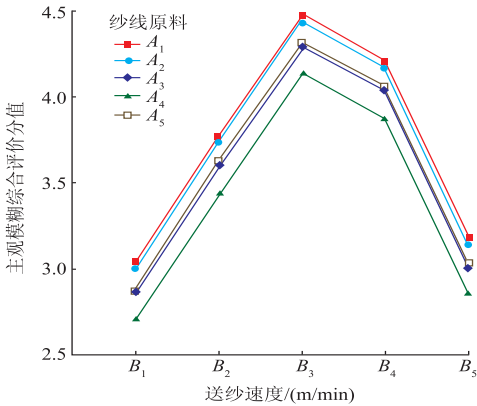


图 4 因素 A 和 B 主观评分得分折线示意

Fig.4 Line plot of the subjective score of factor A and B

由图 4 可知,因素 B 送纱速度中间水平的主观评分较高, B_3 和 B_4 两个水平的主观评价综合得分基本在 4 以上,说明收口的送纱速度设置为 850~900 m/min 之间,起口的送纱速度设置为 650~700 m/min 之间是合适的,低于或高于这个水平时主观模糊综合评价得分骤减。因素 A 的主观评价综合得分排序为 $A_1 > A_2 > A_3 > A_4$,说明纱线原料舒适性排序为锦纶 > 涤纶 > 远红外发热纤维 > 棉 > 羊毛。

2.3 正交实验综合评价

计算每个试样 5 个测试点的平均压力,并计算各因素水平的主观综合评价得分与极差,通过极差分析法进行综合评价,具体见表 3。

由表 3 可知,主观评价时,3 个因素对主观舒适性影响程度从大到小依次为 $B > A > C$ 。由此可知,送纱速度对主观评分影响较大,纱线原料次之,组织结构影响最小。因此,手部号型 160/70F 的护腕最优针织工艺参数方案为锦纶纱线,起口送纱速度 650 m/min,收口送纱速度 850 m/min,1×1 罗纹组织,与模糊综合评分最佳的 W_3 试样方案一致。

主观评分散点如图 5 所示。由图 5 可知,主观模糊综合评价得分在 4 以上的样品对应的平均压力基本在 15.5~17 kPa,据此可以判断无缝针织护腕的压力舒适阈值大致在 15.5~17 kPa。

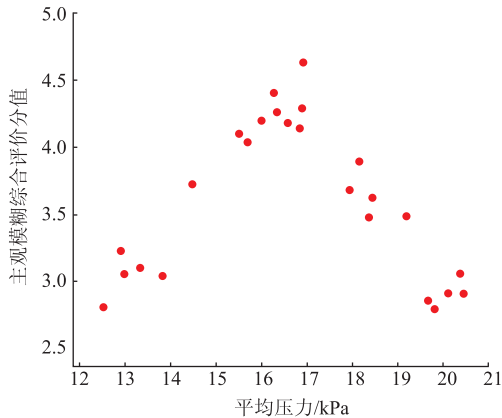


图 5 主观评分散点
Fig. 5 Subjective score scatter plot

3 结 语

文中设置纱线原料、送纱速度与组织结构 3 个针织工艺参数因素进行正交实验,主观模糊综合评价得到手部号型 160/70F 无缝针织护腕的最优针织工艺参数为: A_1 水平锦纶纱线原料最优; B_3 水平送纱速度中起口送纱速度为 650 m/min、收口送纱速度 850 m/min 最优; C_1 水平 1×1 罗纹组织最优。在客观压力实验的辅助评价下,得到无缝针织护腕的压力舒适性阈值在 15.5~17 kPa 之间。本次正交实验尚有以下不足之处:

- 1) 仅选取了手部号型为 160/70F 的女性受试者,未体现不同手部号型与男女间的差异。
- 2) 由于本次正交实验组织结构仅选择了 3 个水平,因素 C 组织结构对主观评价综合得分的影响不显著并不能说明组织结构不影响无缝针织护腕的主观舒适性评分,还需要加入更多具有代表性的组织结构进行实验。

参考文献:

[1] 唐占英. 运动护腕和支撑护腕怎么用? [J]. 中医健康养生, 2019, 5 (4): 56.

TANG Zhanying. How to use the sports wrist guard and the support wrist guard? [J]. TCM Health Life Nurturing, 2019, 5 (4): 56. (in Chinese)

[2] 吴旭波, 谢红, 王燕珍, 等. 基于三维动态捕捉系统的运动护腕防护性能研究 [J]. 山东纺织科技, 2013, 54 (4): 54-56.

WU Xubo, XIE Hong, WANG Yanzhen, et al. Study on protective ability of wristband based on 3D dynamic capture system [J]. Shandong Textile Science and Technology, 2013, 54 (4): 54-56. (in Chinese)

[3] 朱生群. 筒状纬编弹力针织物的穿着压力分析 [D]. 杭州: 浙江理工大学, 2019.

[4] 郭秋晨. 集成不同导电材料针织柔性传感器的智能无缝服装的研发 [D]. 上海: 东华大学, 2017.

[5] 熊志农. 远红外线护具在临床护理中的应用 [J]. 护士进修杂志, 2000 (10): 779.

XIONG Zhinong. Application of far-infrared protectors in clinical care [J]. Journal of Nurses Training, 2000 (10): 779. (in Chinese)

[6] 中国纺织工业协会. 纺织品 针织物平方米干燥重量的测定: FZ/T 70010—2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

[7] 中国纺织工业联合会. 纺织品 织物拉伸性能 第 1 部分: 断裂强力和断裂伸长率的测定 (条样法): GB/T 3923.1—2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.

[8] 中国标准化与信息分类编码研究所. 成年人手部号型: GB/T 16252—1996 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.

[9] 刘红, 张巧玲, 王红歌. 女式连裤袜压感舒适性主观评价 [J]. 轻纺工业与技术, 2019, 48 (Sup. 1): 29-32.

LIU Hong, ZHANG Qiaoling, WANG Hongge. Subjective evaluation of female pantyhose pressure comfort [J]. Light and Textile Industry and Technology, 2019, 48 (Sup. 1): 29-32. (in Chinese)

[10] 宁玲, 杨子田, 王丽. 消防裤结构参数模糊正交优化 [J]. 服装学报, 2018, 3 (1): 14-19.

NING Ling, YANG Zitian, WANG Li. Fuzzy orthogonal optimization on structural parameters of firefighter's trousers [J]. Journal of Clothing Research, 2018, 3 (1): 14-19. (in Chinese)

[11] 刘月林, 赵玲玲, 李嘉玲. 基于 Kano 模型与 FAHP 分析的滑雪护腕设计与评价 [J]. 包装工程, 2021, 42 (4): 148-153.

LIU Yuelin, ZHAO Lingling, LI Jialing. Evaluation and design of skiing wristband based on Kano model and FAHP analysis [J]. Packaging Engineering, 2021, 42 (4): 148-153. (in Chinese)