

# 基于虚拟服装压力的针织骑行服样板优化方法

于欣禾<sup>1</sup>, 王建萍<sup>\*1,2</sup>

(1. 东华大学 服装与艺术设计学院, 上海 200051; 2. 同济大学 上海国际设计创新研究院, 上海 200092)

**摘要:**为提升功能性针织服装动态压力舒适性,以女式针织骑行服为例,以160/84A虚拟模特为研究对象,采用虚拟试穿的方法,使用CLO 3D虚拟试穿软件测得69个测量点在静立状态及骑行动态下的静、动态虚拟压力值。分析静、动态服装压力的变化规律,提出基于静、动态服装压力差值的服装样板优化方法,进行骑行服样板优化设计。最终提出优化程度的概念,对优化结果进行验证。结果表明:优化后动态服装压力值总体下降61.94%,压力曲线平缓,所提出的样板优化方法显著提高了服装动态压力舒适性。该方法为基于动态压力舒适性的功能性针织服装样板优化提供新思路。

**关键词:** 针织骑行服; 样板优化; 虚拟试穿; 虚拟服装压力; 服装舒适性

**中图分类号:** TS 941.17; TS 941.731 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2019)02-0127-09

## Optimization Method of Knitted Cycling Clothes' Patterns Based on Virtual Clothing Pressure

YU Xinhe<sup>1</sup>, WANG Jianping<sup>\*1,2</sup>

(1. Fashion and Design Institute, Donghua University, Shanghai 200051, China; 2. Shanghai International Institute of Design and Innovation, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In order to improve the dynamic pressure comfort of functional knitted apparel, a pattern optimization method based on dynamic and static clothing pressure difference was put forward and applied to the optimization design of women's knitted cycling clothes. Firstly, the virtual try-on experiment was carried out to measure the static and dynamic virtual pressure values of the 69 pressure measurement points under the static posture and riding posture on 160/84A avatar. Secondly, the variation regularity of the pressure difference was analyzed to optimize the pattern. The concept of optimization degree was proposed to verify the optimization results. The experimental results show that the method of garment pattern optimization based on the static and dynamic clothing pressure difference can significantly improve the dynamic pressure comfort of the garment. The optimized dynamic pressure of the garment decreases by 61.94%, and the curve tends to be gentle. The method provides a scientific basis for the pattern optimization method based on dynamic pressure.

**Key words:** knitted cycling clothes, pattern optimization, virtual try-on, digital clothing pressure, clothing comfort

服装的压力舒适性是评价服装舒适性的一项重要指标<sup>[1]</sup>,而样板的优化设计可有效提高服装舒适性<sup>[2]</sup>。然而,现阶段仅根据静态服装压力舒适性进行功能性服装结构设计是存在缺陷的,还须将动态服装压力舒适性纳入考量范围<sup>[3]</sup>。了解人体的运动特点对于功能性服装结构设计有着重要的指

导作用,可使服装在运动中具有良好合体性及防护性<sup>[4]</sup>。目前,关于动、静态服装压力变化与服装结构之间关系的研究较少<sup>[1]</sup>,基于动态压力舒适性的功能性服装结构优化方法有待进行更深入的探究。

近期,关于服装压力舒适性的研究多围绕建立服装压力预测模型展开<sup>[5]</sup>,而压力分布的数值模拟

收稿日期:2018-08-28; 修订日期:2019-03-07。

作者简介:于欣禾(1994—),女,硕士研究生。

\*通信作者:王建萍(1962—),女,教授,博士生导师。主要研究方向为服装先进制造。Email: wangjp@ dhu. edu. cn

是优化服装结构设计的关键之一<sup>[6]</sup>。研究表明,用数值模拟出的服装压力的分布与真实服装压力的分布情况相同,可用于预测服装压力舒适性<sup>[7-8]</sup>。数字化服装设计具有 3 大优点:快捷、准确、高效<sup>[9]</sup>。CLO 3D 是韩国 CLO 虚拟时装有限公司出品的服装电脑三维造型软件,具有强大的设计功能、方便的操作界面,可用于多种服装的设计<sup>[10-11]</sup>。三维虚拟压力测量方法可提高实验的准确性与可重复性<sup>[12]</sup>。因此,文中借助三维虚拟试穿软件 CLO 3D 代替传统压力测量装置,完成虚拟压力采集工作。

国内市场上,尚未有专业的女式针织骑行服品牌,且产品存在结构简单、分割线设置混乱、缺乏理论依据等问题<sup>[13]</sup>。据调查,女性消费者穿着骑行服运动时压力舒适性欠佳,通过主观评价法研究发现,压迫感较强烈的部位依次为腋下、肩袖及后背<sup>[14]</sup>。国内学者对于女式骑行服样板的研究较少<sup>[15]</sup>,大多以立体剪裁法进行款式上的设计<sup>[16-17]</sup>,并未涉及骑行服压力舒适性的研究。有学者提出基于人体静、动态尺寸变化来优化功能性服装样板的方法<sup>[18-19]</sup>,然而,并未将其动态压力舒适性纳入考虑范围。文中为进一步提升功能性服装的动态压力舒适性,以女式针织骑行服为研究对象,提出基于动、静态服装压力差值的样板优化方法。运用 CLO 3D 模拟骑行动作,进行虚拟试穿并测量动、静

态虚拟服装压力,通过分析服装压力差值的变化规律,对针织骑行服样板进行优化设计,并提出优化程度的概念,对样板优化结果进行验证。

## 1 女式骑行服设计

### 1.1 骑行服款式

骑行服的特殊服用功能要求其款式不仅需贴合人体,而且还要便于运动。经市场调研,实验所用针织公路骑行服上衣款式如图 1 所示。其款式特点为:前衣身全开拉链,前衣长短于后衣长,采用弧线分割方式,插肩袖,立领。



图 1 针织骑行服款式

Fig.1 Style of cycling jersey

### 1.2 骑行服面料

市场调研显示,弹力针织面料是骑行服最常用的面料。因此,在进行虚拟试穿实验时,选用软件中内置的真实属性运动服(real property jersey)作为实验面料,其物理性能经多次实验总结得出,与真实面料相同,具体见表 1。

表 1 面料物理性能

Tab.1 Fabric mechanical properties

面密度/ (g/mm <sup>2</sup> )	弹性模量/(N/m <sup>2</sup> )		剪切刚度/(N/m)		弯曲刚度/(μN·m)		摩擦系数	
	横向	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向	纵向
200	3.405	3.732	0.108	0.130	0.137	1.862	0.216	0.301

### 1.3 骑行服规格尺寸及样板

综合考虑骑行服针织面料弹力及骑行时的皮肤拉伸等因素,制定女性中间标准体 160/84A<sup>[19]</sup>的骑行服规格尺寸,具体见表 2。

表 2 骑行运动服规格尺寸

Tab.2 Size specification of cycling jersey cm

部位名称	尺 寸	宽松量
胸围	82.0	-2
腰围	68.0	0
后衣长	61.0	
前衣长	50.0	
背长	38.5	
连肩袖长	27.0	

优化前的针织骑行服样板如图 2 所示。衣身采用合体设计,以减少骑行时所受风阻。

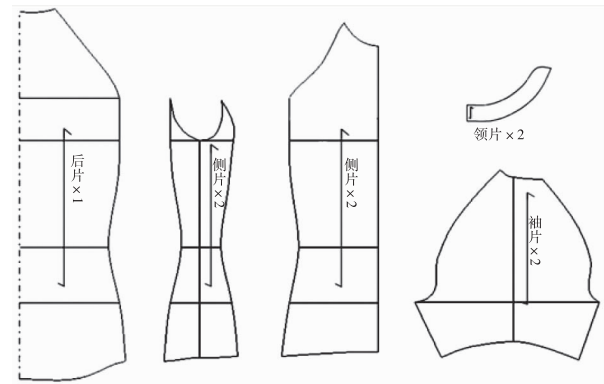


图 2 优化前的骑行运动服样板

Fig.2 Patterns of cycling jersey before optimized

前衣片衣长设计短于后衣长,以避免前腹部面料堆积和后背的紧绷感;前片采用全开拉链的设计,以便穿脱;利用侧片形成腰省并部分转移胸省,以贴合女性人体曲线。衣袖采用插肩袖的设计,以增加手臂的活动范围,使肩背部压力分布均匀<sup>[20]</sup>。衣领采用上领围宽松量为负的立领,以降低空气阻力。

## 2 三维虚拟试穿实验

### 2.1 实验环境

实验在三维虚拟试穿软件 CLO 3D 中进行,该

软件具有可自定义虚拟模特细部尺寸、可兼容二维服装 CAD 样板文件、可反馈试穿效果信息等特点。采用三维虚拟试穿的方法进行服装压力测量实验具有效率高、可重复性强、精确度高等优点。

### 2.2 实验对象

实验以自定义的 160/84A 标准体虚拟模特作为实验对象,在 CLO 3D 软件中进行建模,该软件支持 27 个虚拟模特细节部位尺寸的自定义设置。实验根据女性中间标准体 160/84A 的标准尺寸<sup>[21]</sup>修改模特细部尺寸数据,完成建模,使虚拟人模与真实人体型相同,其主要控制部位的尺寸设定见表 3。

表 3 实验对象尺寸信息

Tab.3 Subject's body index information							cm
身 高	颈椎点高	腰围高	胸 围	腰 围	臀 围	颈根围	肩 宽
160	136	98	84	68	90	37.5	39.4

### 2.3 虚拟人模动作设计方案

实验通过调节虚拟人体模特腰部、胯部、肩肘部、颈部、膝部、踝部及手部等部位的关节点方向,完成虚拟模特动作设计。静态动作设计为身体自然站立,双脚分开与肩同宽,双臂微张。骑行动作按照标准骑行姿势<sup>[22]</sup>进行设计,身体稍向前倾,两

手臂伸直,腹部收紧。自行车骑行运动属于周期性运动项目。实验中将一个周期骑行运动的位置视作 360°,按照左脚蹬骑的角度将一个周期的骑行过程分 8 个阶段,模拟各阶段模特的动作,具体如图 3 所示。借助 CLO 3D 软件中的动作间自动变换功能,完整地模拟真实的骑行周期运动。

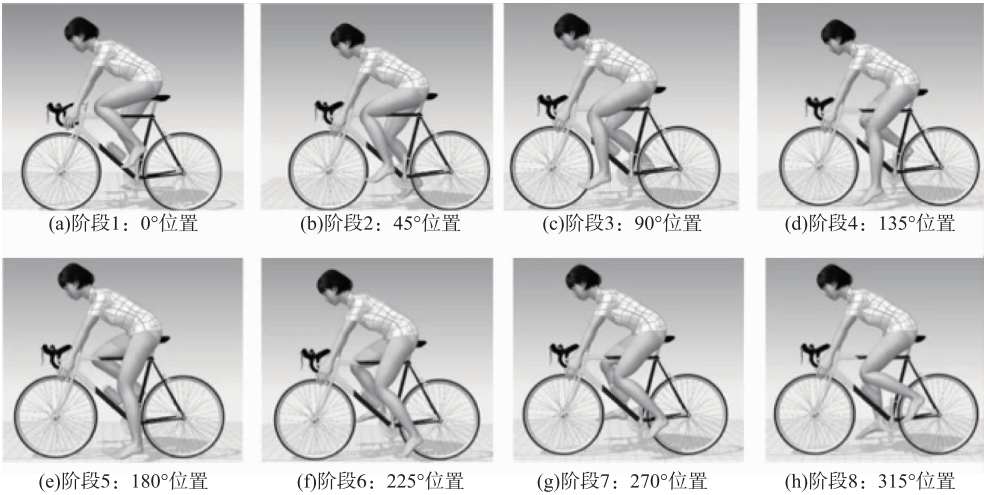


图 3 虚拟人模动作设计

Fig.3 Design of dynamic action of avatar

### 2.4 虚拟压力测量点选取方案

为了全面反映各衣片服装压力分布状况,实验中选取测量点时要注意:除特征点外,其余各测量点遍布全部衣片。根据人体特征,横向基准线选取胸围线、腰围线及中臀围线,纵向基准线分别选取过胸高点、袖窿底点的铅垂线,其余基准线水平方向及垂直方向上的距离间隔均设置为 6 cm,最终形

成 69 个压力测量点,其分布如图 4 所示。在骑行服的前片,选取了  $F_1 \sim F_{19}$  共 19 个压力测量点;在后片上,选取了  $B_1 \sim B_{27}$  共 27 个压力测量点;在侧片上,选取了  $P_1 \sim P_6$  共 6 个测量点,全部位于袖窿底点所在的垂线上;在袖片上,选取了  $S_1 \sim S_{14}$  共 14 个测量点;在领片上,选取了  $C_1 \sim C_3$  共 3 个测量点,分别位于前颈、侧颈以及后颈。

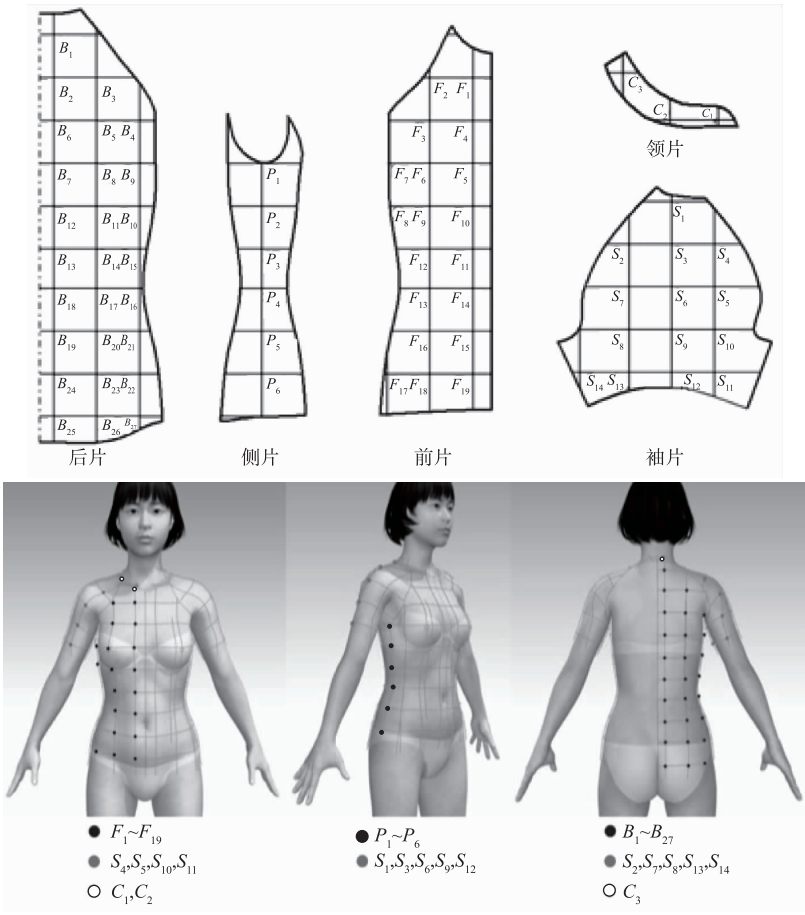


图 4 虚拟压力测量点分布

Fig. 4 Distribution of pressure measuring point at avatar

2.5 实验方案

虚拟试穿实验流程如图 5 所示。在 CLO 3D 软件中,完成虚拟人体模特的建立、压力测量点的选取及人模动作设计等基础建模后,按照以下步骤进行虚拟服装压力测量实验:

1) 二维衣片纸样的导入。将使用二维服装 CAD 软件绘制的样板文件导入至三维虚拟试穿软件 CLO 3D 中,并在二维视窗中,将样板按照最终人体穿着的位置进行排列(见图 5(a))。

2) 二维衣片的三维安排。启用同步功能,将二维衣片同步至三维视窗,设置安排点(见图 5(b))。衣片将随人体各部位的曲率进行预弯曲,以保证服装在试穿过程中更好地贴合人体(见图 5(c))。

3) 虚拟缝合。用缝纫工具在二维衣片上建立各衣片间缝线的对应关系(见图 5(d))。在试穿过程中,衣片将根据设置进行自动虚拟缝合。

4) 试穿。启用试穿功能,利用虚拟缝合技术试穿服装,模拟真实着装效果(见图 5(e))。

5) 虚拟压力值的静、动态测量。打开服装的压力图层,任意选取一点测量虚拟服装压力(见图 5(f)、图 5(g))。图中圆点越疏代表压力舒适性

越好。

分 3 次测量静态动作下各测量点的虚拟压力值,并求其平均值,记录为静态压力数据;分别测量骑行动作 8 个阶段下各测量点的虚拟压力值,并求其平均值,记录为完整骑行运动周期的动态压力数据。

3 结果分析及样板优化方案

为更准确地分析各衣片的压力数据,首先对压力差值曲线进行整体分析,得到压力舒适性总体变化趋势;之后分区域分析变化显著的测量点,进一步了解各区域内压力舒适性的变化情况;最后,基于动、静态压力的差值,有针对性地对其进行样板优化,提升女式骑行服动态压力舒适性。优化时,可直接在 CLO 3D 样板窗口对二维服装样板进行修改,其修改结果会直观反映在三维视窗的试穿效果上。根据虚拟压力值判断服装的压力舒适性,不断修改样板直至动态服装压力达到满意状态,从而得到优化后的骑行服样板。文中的所有压力全部默认为虚拟压力,与真实压力不同。文中动、静态压力差值默认为动态压力数值减去静态压力数值,正值越大表示动态压力舒适性降低得越多。



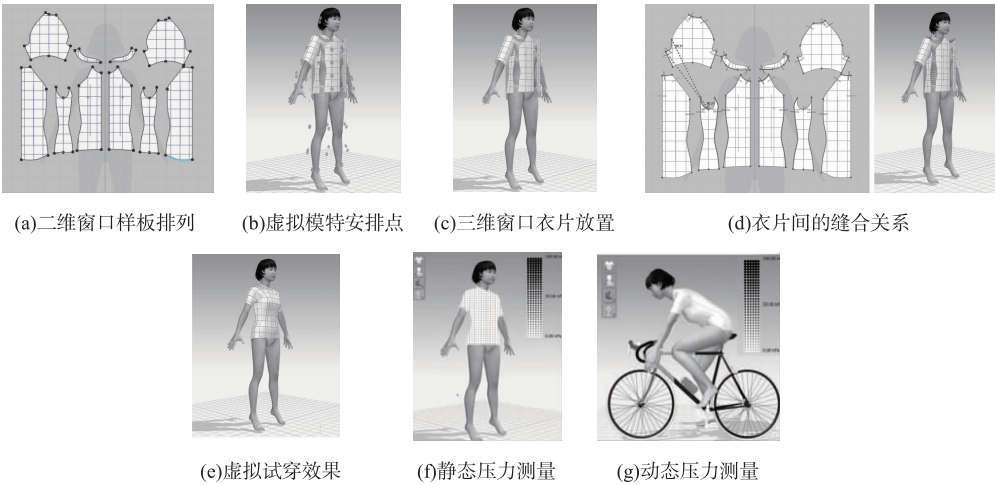


图 5 虚拟试穿实验流程

Fig. 5 Flowchart of the virtual try-on experiment

3.1 领片压力数据分析及样板优化方案

衣领的压力数据如图 6 所示。由图 6 可以看出,压力差值曲线较平缓。动、静态压力的差值在  $C_1, C_2$  点为正值,在  $C_3$  点为负值,说明在骑行时,领前和领侧的服装压力舒适性略有下降。然而,整个衣领的动态服装压力舒适性尚可接受,故文中对样板的修改将不涉及领口弧线的变化及衣领样板部分。

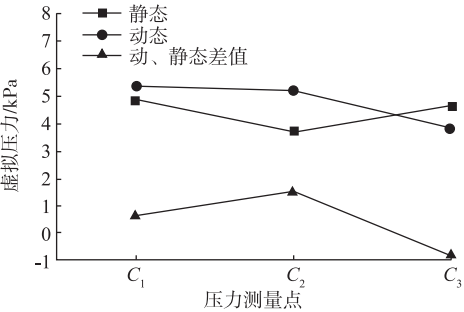


图 6 领片动、静态压力折线

Fig. 6 Static and dynamic clothing pressure at the collar

3.2 前片压力数据分析及样板优化方案

前片动、静态压力折线如图 7 所示。由图 7 可知,前片动、静态压力差值折线起伏较大, $F_1 \sim F_6$  及  $F_9, F_{10}$  处压力差值为负,其余测量点压力差值皆为正值。

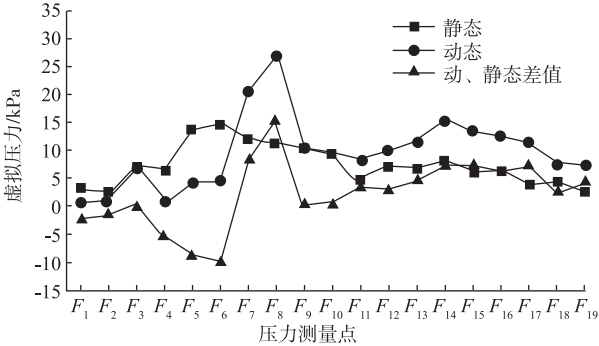


图 7 前片动、静态压力折线

Fig. 7 Static and dynamic clothing pressure at the front

按照变化趋势的不同,将各测量点进行分区。 $F_1 \sim F_6$  处压力差值皆为负值,为前片的上中部。其中, $F_1, F_2, F_4$  处动态压力值皆近于零,而压力差值折线在  $F_6$  处达到最低点,可知骑行服的上中部出现较多余量,这些余量将导致骑行时所受的风阻增大,因此样板修改时需采用撇门的方式减少前中心线处的松量。 $F_7, F_8$  处压力差值为正且数值较大,为前片的上侧部,其动态压力舒适性较静态大幅降低,该部位可与袖片结合进行修改。 $F_{14} \sim F_{17}$  压力差值为正,压力差值大小仅次于  $F_7, F_8$ ,为前片的下半部。由于骑行时屈体动作幅度较大,导致该部位动态压力值升高,因此样板修改时应缩短前衣长,避免下摆在运动时过度拉伸。经多次样板修改直至动态压力值变化幅度趋于平缓。前片样板优化前后的对比如图 8 所示。

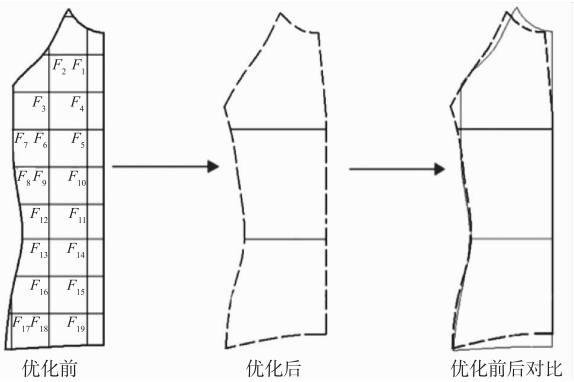


图 8 前片样板优化前后对比

Fig. 8 Comparison of the front clothing pattern before and after optimization

3.3 后片压力数据分析及样板优化方案

后片是影响骑行服舒适性的重要部位,许多骑行者表示,在骑行中背部常感不适,甚至会有压迫感<sup>[13]</sup>。后片动静态压力折线如图 9 所示。由图 9

可知,压力差值折线起伏较大,除  $B_1$  外,其余测量点的动、静态压力差值皆为正数,动态压力值较静态都有不同程度的增大。

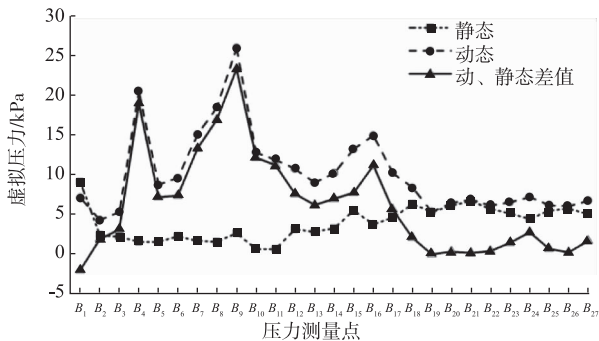


图 9 后片动、静态压力折线

Fig. 9 Static and dynamic clothing pressure at the back

按照变化趋势的不同,将各测量点进行分区。其中,在  $B_4, B_9$  处,压力差值折线达到 2 个顶峰,故归纳为后片的上侧部,在  $B_7, B_8$  处压力差值增加幅度较大,故归纳为后片的肩胛部。以上位置骑行时的压力舒适性均较直立姿势下显著降低,因此在样板优化时增加后背宽及袖窿曲线的长度,以提升动态压力舒适性。 $B_{14} \sim B_{16}$ 处压力差值也有较显著的增加,故归纳为后腰部,在样板优化时需增加腰部的宽松量。经多次样板修改,直至肩胛骨和腰部的动态压力值下降,压力折线趋于平缓。后片样板优化前后的对比如图 10 所示。

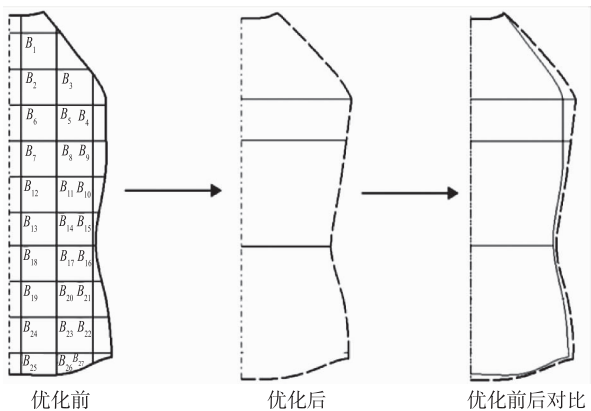


图 10 后片样板优化前后对比

Fig. 10 Comparison of the back clothing pattern before and after optimization

### 3.4 侧片压力数据分析及样板优化方案

侧片所覆盖的位置人体曲率变化大,服装压力大,故提升侧片的压力舒适性尤为重要。侧片的动、静态压力折线如图 11 所示。除  $P_4$  外,各测量点

压力差值皆为正值。其中,在袖窿底点  $P_1$  处的压力差值最大。骑行时手臂需前伸,动作幅度大,故袖窿处的动态压力舒适性显著降低。在样板优化时,袖窿弧线随前后片的修改进行相应调整,以满足骑行动作下手臂的运动需求。经多次样板修改,直至压力折线趋于平缓。侧片样板优化前后的对比如图 12 所示。

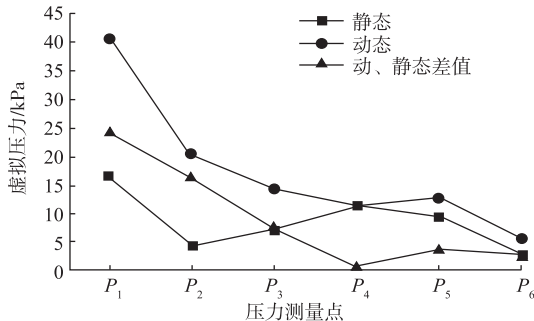


图 11 侧片动、静态压力折线

Fig. 11 Static and dynamic clothing pressure at the side

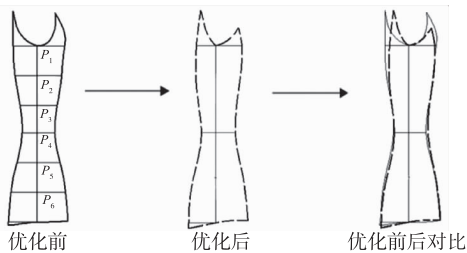


图 12 侧片样板优化前后对比

Fig. 12 Comparison of the side clothing pattern before and after optimization

### 3.5 袖片压力数据分析及样板优化方案

衣袖是骑行服上衣设计中最复杂的部分。骑行者在骑行时腋下常感不适<sup>[13]</sup>,造成不适感的原因主要有 2 点:①长时间骑行后腋下产生大量汗液,无法及时排出;②衣袖在腋下的服装压较大,对人体造成压迫感。吸湿排湿性能佳的织物仅能解决原因①造成的不适;而优化衣袖的样板以减小服装压力是解决原因②引起不适的可行方案。

袖片动、静态压力折线如图 13 所示。由图 13 可知,压力差值折线起伏逐渐变大,并在  $S_{14}$  处显著增加。除点  $S_1 \sim S_4$  外,其余各测量点压力差值都为正值。将  $S_{11}, S_{12}$  归纳为袖口部,因其动态压力舒适性不够理想,故样板优化时在袖口增加 1 cm 的宽松量,以降低服装压力。将  $S_1, S_3, S_4$  归纳为前袖窿部,动、静态压力差值为负数,说明在骑行动作下,前袖窿部与人体间作用力减小,前袖窿弧线相对于

人体较长。 $S_{14}$ 处后袖窿腋下部位的动态压力值显著增高,舒适性降低,衣袖的样板需要进行调整。对以上部位压力差值进行分析,可以预测到,骑行时前腋下产生许多褶皱,而后腋下服装被拉紧,对人体产生很大的压迫感。因此,主要的优化方向为缩短前袖曲线长度,并增加后袖曲线长度,同时保持袖山曲线与衣身袖窿在长度及袖底弧线形态上相匹配。因此,结合骑行时手臂前伸的动作,在样板优化时向前延长后袖山弧线。该优化方式可在不改变插肩袖款式的同时缩短前袖山弧线。经多次样板修改,直至压力折线趋于平缓。基于优化过程,可将骑行服插肩袖结构优化的本质总结为:增大前肩斜角度,减小后肩斜角度。袖片样板优化前后的对比如图 14 所示。

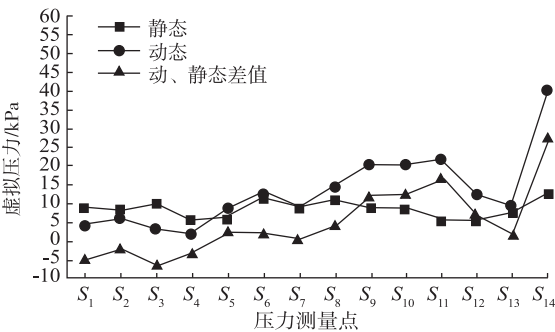


图 13 袖片动、静态压力折线

Fig. 13 Static and dynamic clothing pressure at the sleeve

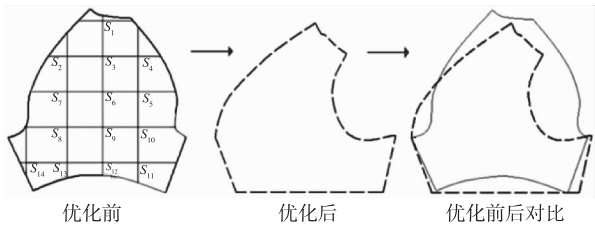


图 14 袖片样板优化前后对比

Fig. 14 Comparison of the sleeve pattern before and after optimization

4 样板优化结果

优化后的骑行运动服样板如图 15 所示。根据对照原则,采集样板优化后的骑行服各测量点动态压力数据,与样板优化前的动态压力数据进行对比分析,探究样板优化对动态压力舒适性的影响。优化前后动态压力折线如图 16 所示。由图 16 可知,经过样板优化,优化前动态压力显著增高的各部位压力值明显下降,动态压力折线趋于平缓。经测量,骑行服优化前动态压力总值为 760. 13 kPa,优化后为

289. 28 kPa,动态压力值总体下降了61. 94%。由此证明,经过样板优化,衣身的整体动态压力舒适性有显著提高。

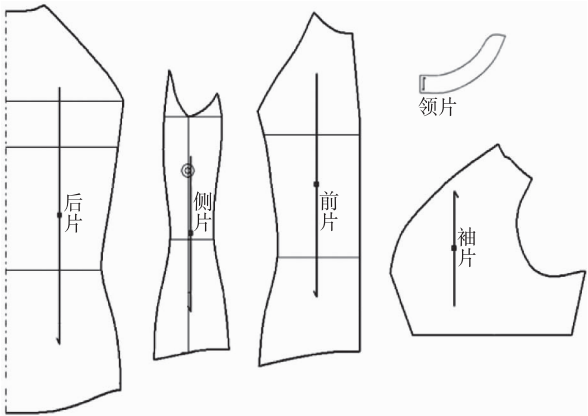
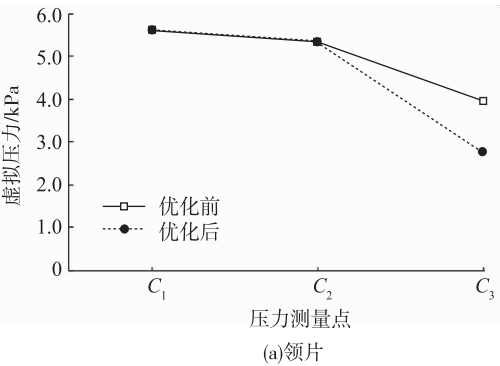
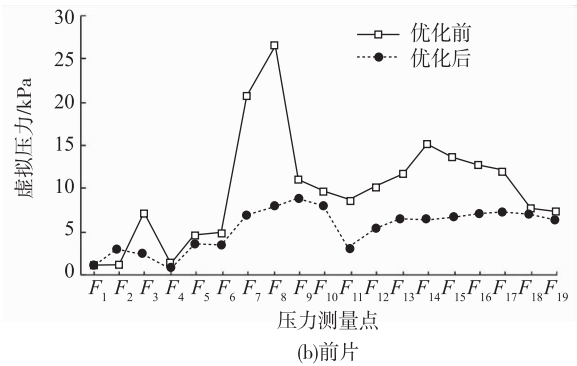


图 15 优化后的骑行运动服样板

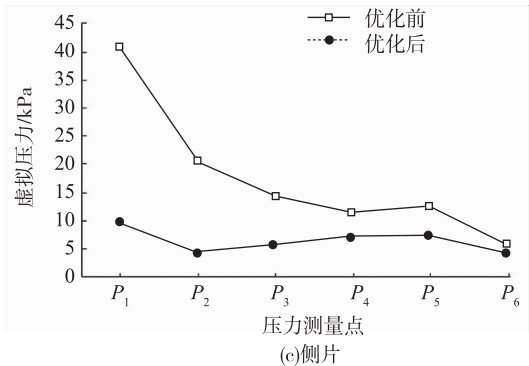
Fig. 15 Patterns of cycling jersey after optimization



(a)领片



(b)前片



(c)侧片

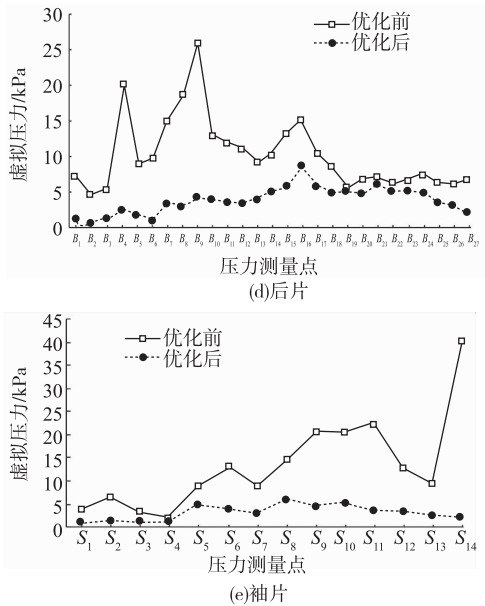


图 16 优化前后动态压力折线

Fig. 16 Dynamic clothing pressure before and after optimization

为进一步对压力舒适性的优化进行定量分析,文中提出样板优化程度的概念,其计算方法为

$$D = \frac{\sum_n (C_i - C'_i)}{n}$$

(1)

式中: $n$  为服装压力测量点总数; $C_i$  为修改前样板第  $i$  个测量点处的动态压力值; $C'_i$  为修改后样板第  $i$  个测量点处的动态压力值; $D$  为优化程度。通过  $D$  值判断服装纸样的动态压力舒适性是否优化,以及优化程度的高低。若  $D$  为正,说明经过纸样修改后,骑行服的压力舒适性得到了改善;反之,说明骑行服的压力舒适性降低。 $D$  为正时,值越大表示优化程度越高。根据式(1)得出各衣片优化程度。

表 4 为各衣片压力舒适性优化程度。表 4 中,各衣片的  $D$  值均为正,其中优化程度较高的部位依次为:侧片、袖片及后片,这也是骑行者在长时间骑行后最易感到紧绷或压迫的 3 个部位。以上分析结果表明,所提出的基于动、静态服装压力差值进行样板优化的方法可有效提升女式骑行服整体的动态压力舒适性。

表 4 各衣片压力舒适性优化程度

Tab. 4 Optimum degree of pressure comfort for each piece of clothing

衣片名称	$D$
前片	4.38
侧片	11.12
后片	6.53
袖片	10.26

kPa

5 结 语

1)文中提出的基于动、静态服装压力差值的样板优化设计方法可显著提高服装动态压力舒适性,为后续基于压力舒适性的功能性服装样板优化方法的研究提供了新思路。

2)将基于动、静态服装压力差值的样板优化方法植入女式针织骑行服的优化设计中,发现其优化后动态服装压力值总体下降 61.94%,压力折线趋于平缓。

3)经过样板优化后,针织骑行服动态压力舒适性优化程度( $D$ )较高的部位中,由高到低依次为侧片、袖片及后片,与骑行者长时间骑行后易感紧绷或压迫的部位相吻合。

与传统的压力舒适性主观评价方法相比,虚拟压力测量方法具有客观性强、实验可重复性高等特点。文中通过实验和数据分析相结合,提出了一种客观的、基于动、静态服装压力差值的功能性针织服装样板优化设计方法,为后续研究提供了参考。

参考文献:

[ 1 ] 孟祥令,张渭源. 服装压力舒适性的研究进展[J]. 纺织学报,2006,27(7):109-112.

MENG Xiangling, ZHANG Wei yuan. Progress of study on pressure comfort of clothing [ J ]. Journal of Textile Research, 2006, 27(7):109-112. (in Chinese)

[ 2 ] FAN J, YU W, HUNTER L. Clothing appearance and fit: science and technology [ M ]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004.

[ 3 ] 常丽霞. 自行车运动服装的舒适性与功能性研究[J]. 针织工业, 2014(6):60-63.

CHANG Lixia. A research on comfort and functionality of cycling wears [ J ]. Knitting Industries, 2014 (6):60-63. (in Chinese)

[ 4 ] 李红燕,张渭源,李俊. 功能服装的研究综述[J]. 丝绸, 2007,44(4):45-47.

LI Hongyan, ZHANG Wei yuan, LI Jun. Literature review of functional clothing [ J ]. Journal of Silk, 2007, 44(4):45-47. (in Chinese)

[ 5 ] 尹玲,张文斌,夏蕾. 服装压力舒适性的研究综述与剖析[J]. 纺织学报, 2008, 29(3):137-142.

YIN Ling, ZHANG Wenbin, XIA Lei. Review and analysis of pressure comfort of garment [ J ]. Journal of Textile Research, 2008, 29(3):137-142. (in Chinese)

[ 6 ] ZHANG Mei, DONG Henan, FAN Xuerong, et al. Finite element simulation on clothing pressure and body deformation of the top part of men's socks using curve fitting equations [ J ]. International Journal of Clothing Science and



- Technology, 2015, 27(2):207-220.
- [7] WONG A S W, LI Y, ZHANG X. Influence of fabric mechanical property on clothing dynamic pressure distribution and pressure comfort on tight-fit sportswear[J]. Fiber, 2004, 60(10):293-299.
- [8] LIU Kaixuan, WANG Jianping, YAN Hong. Wearing comfort analysis from aspect of numerical garment pressure using 3D virtual-reality and data mining technology[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2017, 29(2):166-179.
- [9] 姚彤, 白晓帆, 伞文, 等. 基于 CLO 3D 平台的数字化服装设计[J]. 山东纺织科技, 2017, 58(2):41-44.  
YAO Tong, BAI Xiaofan, SAN Wen, et al. Digital clothing design based on CLO 3D platform[J]. Shandong Textile Science and Technology, 2017, 58(2):41-44. (in Chinese)
- [10] 朱庆艳. EMTM 背景下生活装旗袍的样板自动生成系统研究[D]. 杭州:浙江理工大学, 2017.
- [11] 姜伟, 林凯亮. 浅析 CLO 3D 在内衣设计上的运用[J]. 辽宁丝绸, 2017(3):26-28, 58.  
JIANG Wei, LIN Kailiang. Application of CLO 3D in underwear design[J]. Liaoning Tussah Silk, 2017(3):26-28, 58. (in Chinese)
- [12] 穆淑华, 曹卫群. 基于 CLO 3D 的虚拟服装设计[J]. 电子科学技术, 2015, 2(3):366-371.  
MU Shuhua, CAO Weiqun. Virtual fashion design with CLO 3D[J]. Electronic Science and Technology, 2015, 2(3):366-371. (in Chinese)
- [13] 罗兰, 王建萍. 基于人体动作捕捉的骑行运动腿部皮肤形变研究[J]. 浙江纺织服装职业技术学院学报, 2014, 13(4):39-43.  
LUO Lan, WANG Jianping. Skin deformation of legs in cycling based on human motion capture (HMC) [J]. Journal of Zhejiang Fashion Institute of Technology, 2014, 13(4):39-43. (in Chinese)
- [14] 李鑫, 赵欲晓. 北京地区骑行爱好者状况及对骑行服需求研究[J]. 纺织科技进展, 2016(11):44-48.  
LI Xin, ZHAO Yuxiao. Research of cycling amateurs' condition and the requirement for cycling jerseys in Beijing area[J]. Progress in Textile Science and Technology, 2016(11):44-48. (in Chinese)
- [15] SHISHOO R. Textiles in Sport[M]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2005:1-11.
- [16] 张海红. 新型骑行上衣的研制[J]. 针织工业, 2006(2):29-31.  
ZHANG Haihong. An investigation on the new type cycling coat[J]. Knitting Industries, 2006(2):29-31. (in Chinese)
- [17] 赵锦. 自行车骑行服的设计与生产[D]. 苏州:苏州大学, 2009.
- [18] 李秀青, 刘需, 赵欲晓. 骑行运动中男子下肢体表尺寸变化规律[J]. 纺织学报, 2017, 38(8):120-126.  
LI Xiuqing, LIU Xu, ZHAO Yuxiao. Study on size changes of man's lower limb body in riding motion[J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(8):120-126. (in Chinese)
- [19] WANG Y J, MOK P Y, LI Y, et al. Body measurements of Chinese males in dynamic postures and application[J]. Applied Ergonomics, 2011, 42(6):900-912.
- [20] 田伟, 陈琳, 周捷. 户外运动装衣袖结构设计[J]. 西安工程大学学报, 2010, 24(6):743-746, 751.  
TIAN Wei, CHEN Lin, ZHOU Jie. The sleeve structural design of the outdoor sportswear[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2010, 24(6):743-746, 751. (in Chinese)
- [21] 张文斌, 方方. 服装人体工效学[M]. 上海:东华大学出版社, 2015.
- [22] 伯特. Bike Fit: 骑行姿势设定指南[M]. 张光准, 译. 北京:人民邮电出版社, 2015:4.

(责任编辑:沈天琦,邢宝妹)