

# 基于三维模拟的智能文胸压力舒适性优化设计

宋炜宁, 张佩华\*  
(东华大学 纺织学院, 上海 201620)

**摘要:**基于三维模拟技术,通过三维建模和压力模拟分析,对一款监测乳房健康状况的智能文胸进行结构优化,以提高其压力舒适性,提升传感器与文胸结构的适配程度。结果表明,罩杯处添加断缝、增加肩带与下扒厚度、后背采用工字型设计并添加孔洞、缩减里片数量、调整传感器裁片与开口位置,能够提升文胸的穿着舒适性;经结构优化设计后的智能文胸在下扒上侧、乳上部、乳下部、肩部处压力分别降低了87.35%、46.91%、91.16%、30.75%,证明了模拟结果的有效性。

**关键词:**智能文胸;三维模拟;结构优化;压力舒适性

**中图分类号:**TS 941.71 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-1928(2023)04-0315-08

## Pressure Comfort Optimization Design of Intelligent Bra Based on 3D Simulation

SONG Weining, ZHANG Peihua\*  
(College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** This paper optimized the structure of an intelligent bra with breast health status monitoring, through 3D modeling and pressure simulation analysis based on 3D simulation technology, in order to improve its pressure comfort and enhance the adaptability of its sensor and bra structure. The results show that the wearing comfort of the bra can be significantly improved by adding broken seams at the cup, increasing the thickness of the shoulder strap and the lower girth, adopting the I-shaped design and adding holes at the back, reducing the number of linings, adjusting the sensor cutting and opening position. After structural optimization, the pressure of the intelligent bra at the upper side of lower girth, upper breast, lower breast, and shoulder are decreased by 87.35%, 46.91%, 91.16% and 30.89%, respectively, and the actual test proves that the simulation results are effective.

**Key words:** intelligent bra, 3D simulation, structural optimization, pressure comfort

随着智能服装的逐步发展,舒适化与轻薄化成为继功能性后智能文胸发展的新趋势<sup>[1]</sup>。随着乳腺癌患病率的增加以及人们日常预警意识的加强,用于监测、预警乳房健康状态的智能文胸正快速发展,成为目前较新的一个研究分支,其主要工作原理为周期性监测乳房温湿度<sup>[2-3]</sup>。陆培华等<sup>[4]</sup>在一种监测用智能文胸的领口、袖窿与下扒处设置独立元件,以实现传感器的可拆卸,同时添加抗菌透气内衬,以提升穿着舒适性;在其团队的另一项研究<sup>[5]</sup>中,他们将传感器埋入下扒与罩杯的缝口处,并添加透气层、亲肤层与抗菌层,在最大化利用原

有文胸结构的同时提升了穿着舒适性;黄伟萍等<sup>[6]</sup>在一种多点检测的智能文胸中采用罩杯断缝的方式将柔性传感器封入其中,并在罩杯处添加透气层以抵消胶封防水设计对舒适性带来的影响。

就普通文胸而言,其结构优化主要围绕罩杯的分割与整体造型进行。赵晶<sup>[7]</sup>通过回归计算将文胸的二维与三维结构相结合,基于内衣人台得到文胸原形结构的特异性优化方案;杨焰雁<sup>[8]</sup>基于人体工效学建立乳根距回归模型,其引入胸容量的概念,并对文胸罩杯进行合体性改良;祁倩<sup>[9]</sup>通过人体测量建立中老年女性不同乳房形态下关键部位

收稿日期:2023-03-18; 修订日期:2023-05-30。

作者简介:宋炜宁(1998—),女,硕士研究生。

\*通信作者:张佩华(1962—),女,教授,博士生导师。主要研究方向为针织面料产品开发与服用性能。

Email: phzh@dhu.edu.cn

的回归方程,并针对该群体乳房下垂现象设计文胸优化方案。此外,随着新技术的不断发展,利用三维模拟技术与虚拟试衣技术的文胸舒适性研究也在逐步推进。姚远<sup>[10]</sup>利用 ANSYS 软件进行文胸钢圈受力与形变分析,并结合人体测量结果优化文胸结构,使其在保证承托性能的同时更加符合人体乳房下缘曲线;洪文进等<sup>[11]</sup>利用 CLO 3D 软件对智能运动文胸的结构进行三维可视化设计,基于“多维贴体松量式”的人体模型对智能文胸下胸围进行松量优化,以实现传感器的安装,并提升穿着舒适性。

目前,监测用智能文胸的研发仍侧重于提升传感器的功能性(如灵敏度、轻薄度、合体度等),在款式上多为基础款运动文胸与传感器的简单结合,并通过添加透气层的方式提升穿着舒适性,但未考虑传感器与文胸结构的适配性,也未考虑添加传感器后的服装结构是否与文胸使用环境相匹配,在结构设计方面具有较大优化空间。文中选取一款已面向市场的监测用智能文胸(以下简称智能文胸),设定使用场景为夏季夜晚,以睡眠时平躺穿戴为例,使用三维建模软件 CLO 3D 对其罩杯、下扒、侧缝与后背结构进行优化,意在使文胸结构与传感器更加适配统一,以提升压力舒适性,更好地发挥智能文胸的监测功能。

## 1 智能文胸三维建模与压力模拟

### 1.1 材料与仪器

1.1.1 材料 MH-80 监测用智能文胸,上海乳康卫视集团提供。

1.1.2 仪器 AMI3037 气囊式接触压力测试仪,日本 AMI 公司制造。

### 1.2 智能文胸三维建模

CLO 3D 是一款集制版、缝纫、材质模拟、压力模拟于一体的三维建模软件,可较为直观地完成服装款式的开发与可视化模拟工作<sup>[12]</sup>,其建模流程如图 1 所示。

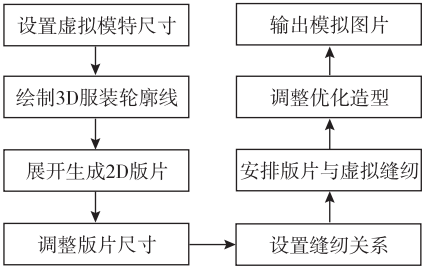


图 1 建模流程

Fig.1 Modeling process

1.2.1 设置虚拟模特尺寸 调研发现,体型偏瘦

的女生在选购以 S,M,L 号型区分的运动款文胸时,经常出现下扒与罩杯舒适程度不匹配的现象。故文中面向体型偏瘦的女大学生,以 70A 罩杯为例,设置虚拟模特尺寸。通过调节关节点将虚拟模特的姿势调整为平躺并将其移动至地面,以模拟睡眠时的环境。虚拟模特尺寸见表 1。

表 1 虚拟模特尺寸

Tab.1 Size of the virtual model				单位:cm
上胸围	下胸围	乳间距	胸宽	肩宽
80	70	16	32	36

1.2.2 绘制服装版片 图 2 为智能文胸正背面款式。根据 CLO 3D 软件中立体裁剪的制版流程,使用“3D 画笔”工具在设置好尺寸的虚拟模特上根据款式图直接绘制版片,并通过“展开为版片”工具生成 2D 版片。使用“编辑版片”工具结合 3D 视窗效果进一步微调 2D 版片的形状与尺寸,调整至与款式图基本一致后可进行模拟缝制操作<sup>[3-4]</sup>。文中文胸统一使用 M 号进行制版,其尺寸见表 2。

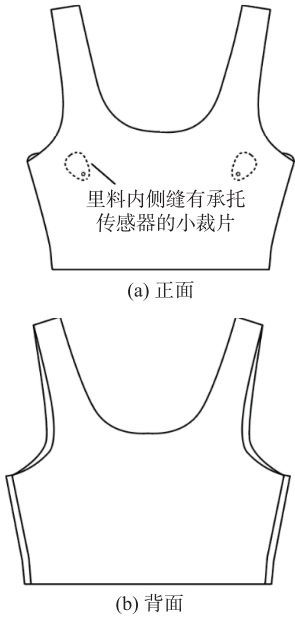


图 2 智能文胸款式

Fig.2 Style of the intelligent

表 2 内衣尺寸

Tab.2 Bra sizes				单位:cm
上胸围	下胸围	胸宽	肩宽	
75	68	32	36	

1.2.3 安排版片与虚拟缝纫 由于文中使用立体裁剪的制版流程,故 CLO 3D 在生成版片时会自动安排 2D 版片的位置。就传感器而言,在安排版片时采用插入附件的形式,模拟传感器外形,并设置其材质为塑料;添加传感器的质量并设置与材料间的碰撞关系,通过设置层数将传感器添加至里料与

夹层的版片之间,从而实现对传感器外形与力学关系的模拟。参照实物进行虚拟缝纫,面料间缝纫选择搭缝,面料与里料间选择叠缝。缝纫关系界面如图 3 所示。

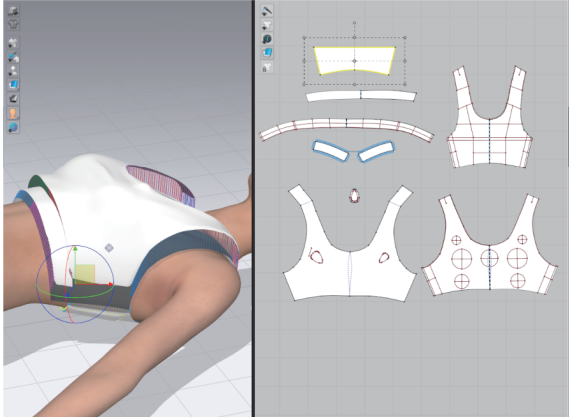


图 3 虚拟缝纫操作界面

Fig.3 Operation interface of virtual sewing

**1.2.4 渲染参数设置** 渲染参数包括面料参数与显示参数。使用 CLO 3D 对面料进行设置,可以较为准确地还原面料的各项物理属性,从而得到更为真实的模拟效果。文中实验面料设置为 30% 氨纶与 70% 锦纶混纺的针织面料。根据实际性能测试结果,对系统预设的针织面料参数进行调整,得到性能较为接近的面料模拟参数,具体见表 3。

表 3 面料物理性能

Tab.3 Fabric physical properties

指标	数值	
	纵向	横向
弹性回复率/%	87.270	88.290
弹性模量/(N/m <sup>2</sup> )	3.334	3.091
弯曲刚度/(μN·m)	0.124	0.101
摩擦系数	0.297	0.209
面密度/(kg/m <sup>2</sup> )	0.170	
厚度/mm	0.585	

设置显示参数时,需减小粒子间距以达到更高的渲染质量。将主体裁片的粒子间距设置为 5 mm,负责固定传感器位置的小裁片(以下简称传感器裁片)由于尺寸较小,粒子间距设置为 3 mm。根据渲染结果进一步调整版片形态,最终得到较为真实的智能文胸三维模拟结果。

1.3 智能文胸压力模拟

**1.3.1 压力测量点选取** 压力测量点的选取应符合尽量全面与涵盖特征明确两个前提<sup>[13]</sup>。文中根据文胸穿着时主要受压的部位确定压力区域,经分析选取下扒、腋下、肩部、后背、鸡心、乳上部、乳突、乳下部 8 个关键区域作为压力分析的重点,具体如图 4 所示。

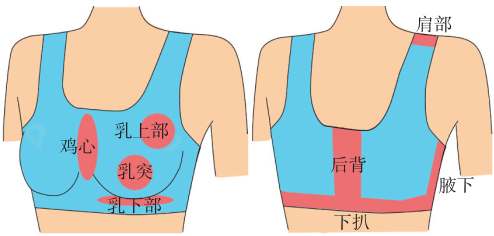
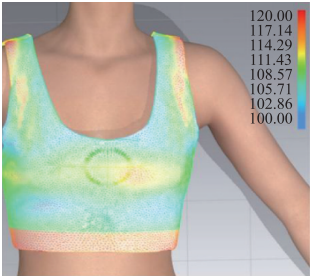


图 4 关键区域划分

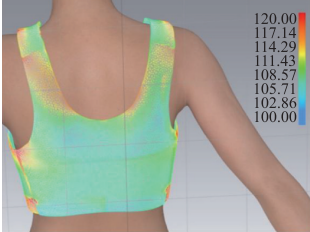
Fig.4 Key area division

**1.3.2 压力模拟结果与分析** CLO 3D 自带的压力模拟系统可较为直观地分析服装受压情况,且能够直接抓取特定点的具体数值<sup>[5]</sup>。应力分布图显示了受外部压力后服装结构的变形率,可间接反映服装受压程度,故使用应力分布图与特定点压力值抓取相结合的方法对智能文胸的压力舒适性进行分析。

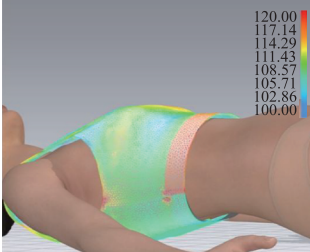
智能文胸应力分布模拟结果如图 5 所示。



(a) 正视



(b) 背视



(c) 侧视

单位:%

图 5 智能文胸压力模拟结果

Fig.5 Pressure simulation results of intelligent bra

图 5 中,蓝色区域应力较小,红色区域应力较大。由图 5(a)可以看出,一片式罩杯在鸡心与乳突处均受到较大拉伸,导致合体性降低,同时产生了较大的服装压,而面料的拉伸会带动里料与传感器裁片,使其产生一定程度的位移,从而降低传感器与皮肤的贴合程度;由图 5(b)、图 5(c)可以看出,

智能文胸在肩带、下扒与后背处都出现了较为集中的高压区域,这是由于起承托乳房作用的下扒较窄,支撑乳房需要更大的力。此外,由于前后里料在腋下进行分割,故在侧缝附近有 3 条缝口,导致缝口与下扒的连接处存在红色受压集中区。因此,该款智能文胸的优化主要从调整侧缝位置、肩带与下扒尺寸以及前后片结构展开。此外,里料面积过大使文胸整体过于厚重,不适合夏天穿着,因此里料缩减也是优化设计的重要内容。


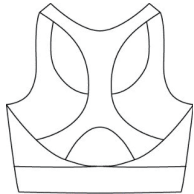
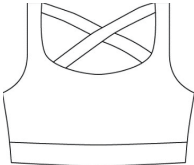
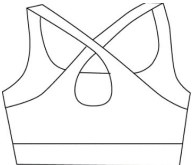
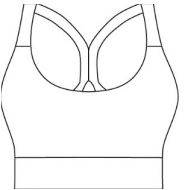
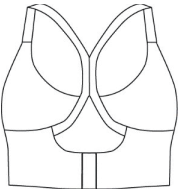

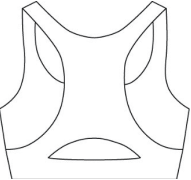
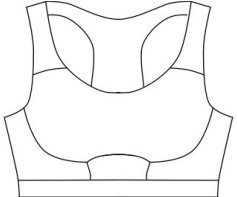
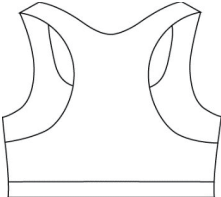
## 2 文胸结构对服装压的影响

该款智能文胸的设计以运动文胸为基础,因此文中根据运动文胸的特点进行结构优化。运动文胸

受其功能性影响,在结构设计上与普通文胸相比更具多样性。其后背按照不同的裁剪方法可分为工字型与背心型两大类;肩带向腰线延伸交叉,替代了大部分文胸后片交叉背带的设计;罩杯根据是否有分割线可分为一片式和多片式。综合品牌影响力、销量与穿戴舒适性等指标,选取 10 个品牌 50 种销量靠前的运动文胸进行结构拆解与分类统计。根据调研结果,选取具有代表性的 5 款运动文胸,探究不同结构对压力舒适性的影响,具体款式与细部尺寸见表 4。

使用 1.2,1.3 中方法进行建模分析与压力模拟,得到 5 款文胸正、背、侧 3 个视角的应力图;根据 1.3.1 中的区域划分,分别提取每个区域压力值并进行分析。

表 4 典型运动文胸款式及尺寸

Tab.4 Styles and sizes of typical sports bra								单位:mm
编号	品牌	正面	背面	肩带宽	下扒宽	侧片宽	后片宽	
B <sub>1</sub>	A 品牌			35	50	75	82.5	
B <sub>2</sub>	A 品牌			30	36	70	32.0	
B <sub>3</sub>	B 品牌			25	45	70	45.5	
B <sub>4</sub>	C 品牌			20	50	43	88.5	
B <sub>5</sub>	D 品牌			30	26	85	135.5	

### 2.1 后背与侧身因素

B<sub>1</sub>~B<sub>5</sub> 后背压力值模拟数据与应力图如图 6、图 7 所示。分析图 6、图 7 数据,可以得出:

1) 肩部的受压与肩带宽度和肩带作用长度

有关。一般而言,肩带越窄,肩部受压越大,如 B<sub>3</sub> 的肩部压力最大,也最不稳定。B<sub>2</sub> 由于后背为交叉肩带设计,其肩带最长,受力分散,因此肩部压力最小。

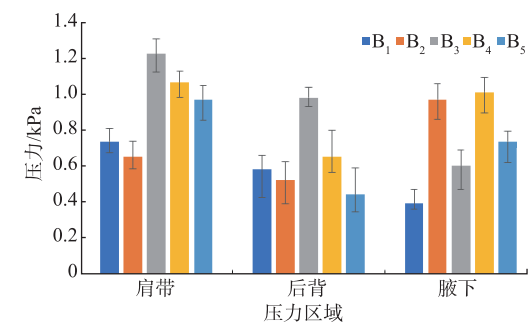
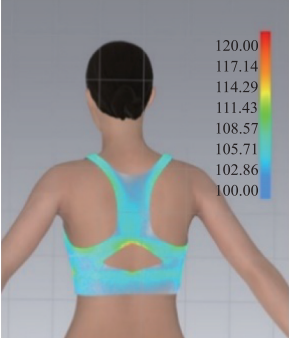
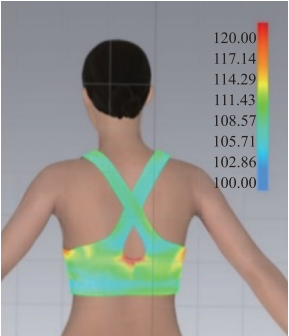


图 6 B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> 后背与侧身压力模拟数据

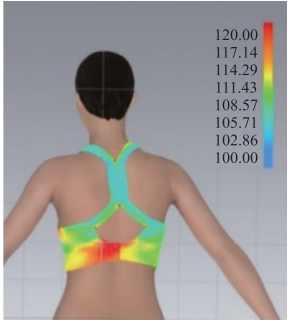
Fig. 6 Pressure simulation data of B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> back and side



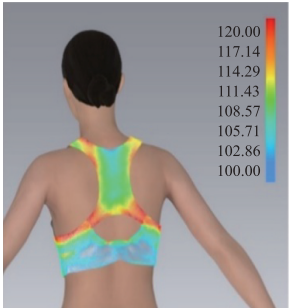
(a) B<sub>1</sub>



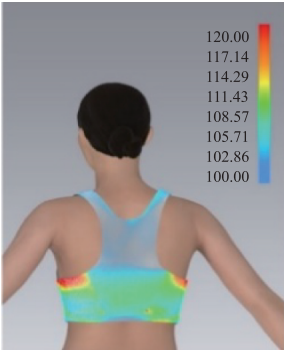
(b) B<sub>2</sub>



(c) B<sub>3</sub>



(d) B<sub>4</sub>



(e) B<sub>5</sub>

单位:%

图 7 B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> 压力模拟背视图

Fig. 7 Back views of B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> pressure simulation

2) 腋下的受压主要与侧片宽度有关,而侧片宽度随侧缝位置的改变而变化。由图 6 可以看出,B<sub>2</sub> 因交叉肩带对侧片拉扯较大,压力值较大;B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub> 的侧缝位置均较为靠后,没有与下扒形成交叉,故所受压力普遍较小;B<sub>4</sub> 的侧缝在腋下,受缝口的影响会产生较大压力。

3) 后背宽度会直接影响压力值的大小。由图 7 可以看出,后背宽度最宽的 B<sub>5</sub> 服装压最小,宽度最窄的 B<sub>3</sub> 则压力值最大;B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub> 后背中部的开口设计均造成了一定程度的压力聚集,中部开口曲线越平滑,与开孔相连的裁片宽度越宽,压力分布越均匀,越不容易出现明显峰值。

2.2 罩杯分割

B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> 前片压力值模拟数据与应力图如图 8、图 9 所示。罩杯是否分割对文胸各部位的受压情况影响较大,有断缝的设计通过省量使罩杯更加合体;一体式则是通过热压、一体成型等方式达到合体效果,但其稳定性与抗变形性不如普通裁剪式文胸,尤其在鸡心与乳突处的性能差异较大。由图 8 可以看出,B<sub>1</sub>, B<sub>5</sub> 在鸡心与乳突处的压力值与变化波动整体优于其他 3 款。在夏季穿着过程中,鸡心处的不合体以及过大的服装压会导致乳房夹缝处形成汗液留存,影响穿着舒适性。

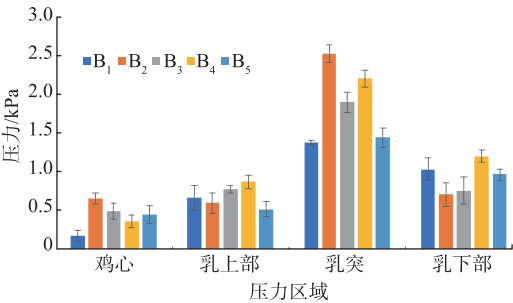


图 8 B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> 前片压力模拟数据

Fig. 8 Pressure simulation data of B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> front sheet

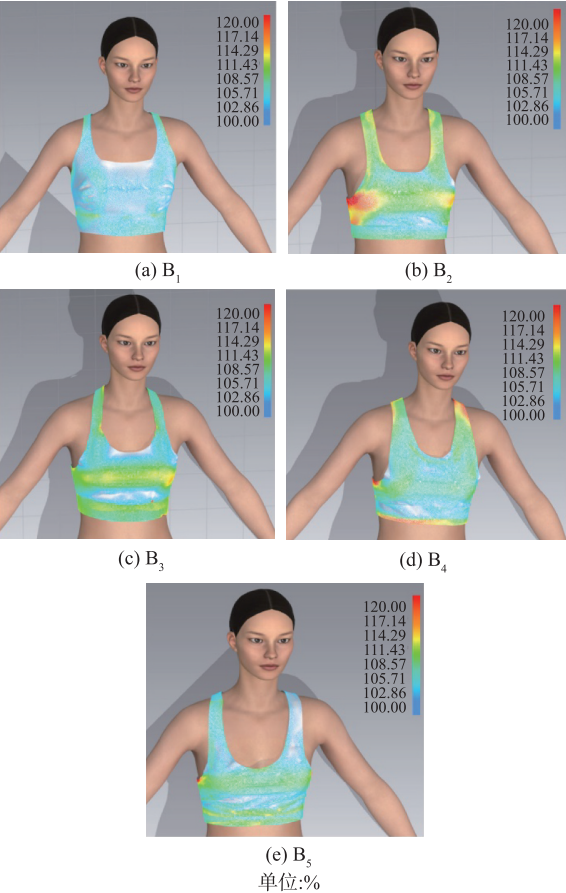


图 9 B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> 压力模拟正视图

Fig.9 Front views of B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> pressure simulation

2.3 下扒宽度

B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> 下扒两侧压力值模拟数据如图 10 所示。较宽的下扒对乳房的承托更优,故产生的压力更小,但同时受前片断缝数量的影响,缝口交汇处出现明显的压力峰值,对服装压的稳定性造成一定影响。另外,由于前后片结构不同,在平躺姿势下,下扒的上下两侧压力分布有明显区别。B<sub>1</sub> 与 B<sub>5</sub> 两款分割式罩杯下扒上侧压力较大,而其余 3 款一片式罩杯下扒下侧压力大,同时由于 B<sub>2</sub> 采用交叉肩带的设计,使得下扒下侧受到了更大的拉扯,故 B<sub>2</sub> 在下扒下侧的压力值明显大于其余 4 款。

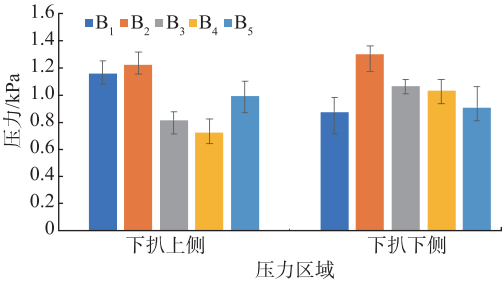


图 10 B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> 下扒两侧压力模拟数据

Fig.10 Pressure simulation data of B<sub>1</sub> ~ B<sub>5</sub> bilateral lower girth

3 智能文胸优化设计

3.1 版型优化设计

根据文中对 5 款运动文胸的压力模拟结果,得出侧缝远离腋下、较宽的下扒与肩带、具有分割线的罩杯能使服装压保持在较小的舒适值,工字型后背连接肩带以及中部挖洞设计可获得较低的服装压,且压力值更为稳定,相较背心式文胸而言穿着时肩带不易脱落,同时在散热方面具备优势。基于此结论,文中结合智能文胸的特性对其结构进行优化设计,使用 CLO 3D 中的“版片编辑”工具调整原有版样,通过不断调试得出效果较好的优化版样。优化前后版样对比如图 11 所示。



图 11 优化前后智能文胸版样对比

Fig.11 Comparisons of intelligent bra templates before and after optimization

由图 11 可以看出,罩杯部分从袖窿中点处经乳突点垂直向下,于前片下摆线处平滑断开。将侧缝线后移至与后中线重合;肩带处于乳上部断开,由原本的 4.8 cm 缩减至 4 cm,下扒由 2.8 cm 增至 4.5 cm;后背由背心式修改为工字型,并在中间开洞;去除后片里料,将前片里料侧缝位置移动至乳突后方 2.5 cm 处;将前片里料的上部缩短至距离肩带缝口向下 6.5 cm 处,并保留缺口放置文胸垫棉与传感器。

3.2 压力模拟对比

重新设置优化版样的缝纫关系与版样位置,再进行压力模拟并提取关键部位压力值。根据模拟取值与内衣服装压的相关指标<sup>[14]</sup>,对版样进行进一步调整,经过细部尺寸与曲线形态的多次优化,得到应力图与关键部位数据,具体如图 12、图 13 所示。

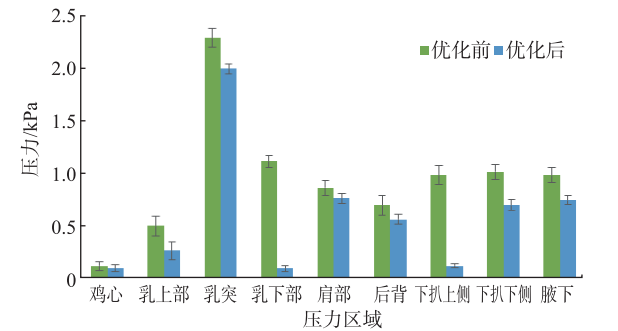


图 12 优化前后关键部位压力值对比

Fig. 12 Comparisons of pressure values of key parts before and after optimization

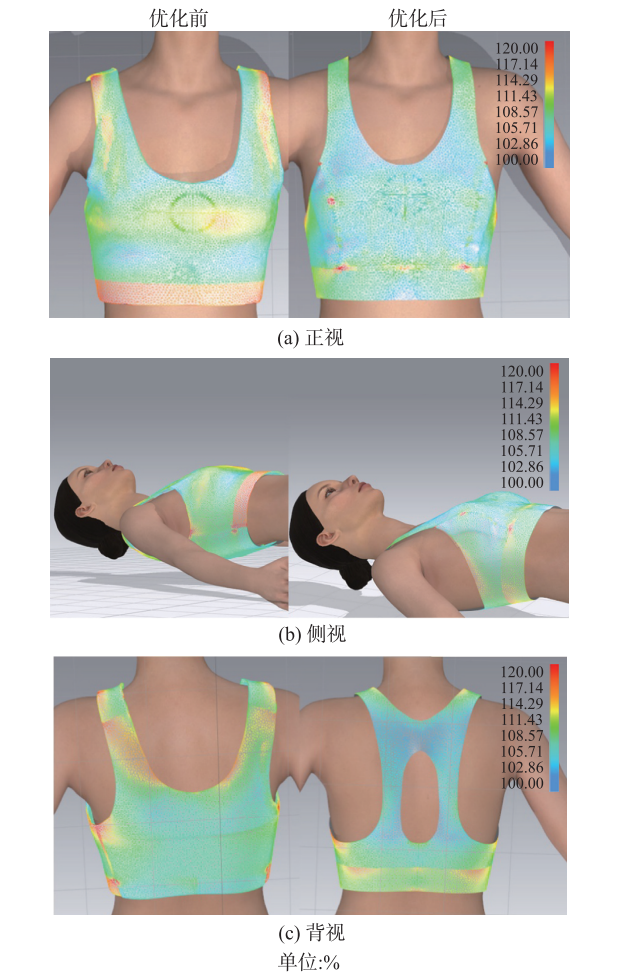


图 13 优化前后压力模拟对比

Fig. 13 Comparisons of pressure simulation before and after optimization

由图 12 可以看出,优化后的版样在 8 个重点区域均得到了较为明显的优化。图 13(a)、图 13(b)

中,下扒上侧的红色区域消失,压力值下降 87.35%,优化效果显著;此外,鸡心处因不合体而出现的长条状受力区消失,压力值下降 16.39%;乳上部与乳下部因合体性提升,压力值分别降低 46.91% 与 91.16%,说明修改后前片的合体性得到提升,且所受应力有了明显减小;乳突的压力值基本没有变化,受添加断缝的影响,在缝口与下扒的集中区出现较小的压力波动,但总体仍处下降趋势,降幅为 12.70%;图 13(c)中,腋下处整体颜色变浅,压力值降低 23.98%,且相较于优化前压力分布更均匀,这是因为缝口产生的应力集中区消失;图 13(b)中,后背中部受力降幅较小,但优化后与肩带的联系更为紧密,受力分布更加均匀,使得后背与肩部的压力值分别下降 19.20% 与 11.06%;下扒下侧由于受工字型后背下半部分影响,承担了更多的压力,压力值下降 30.75%。总体而言,压力值得到有效降低,更加适合夏季睡眠时穿着。

3.3 模拟结果验证

为验证模拟结果,将优化后的图纸导入至富怡服装 CAD 中进行曲线圆顺等细节调整,并选用与优化前相同品种的面料进行实物制作。使用气囊式接触压力测试仪,按照压力模拟的区域划分安置压力传感器,将优化后的文胸放置于人台上进行服装压测试(人台尺寸经过修正后与虚拟模特尺寸相符),以验证模拟结果的准确性。对比结果如图 14 所示。

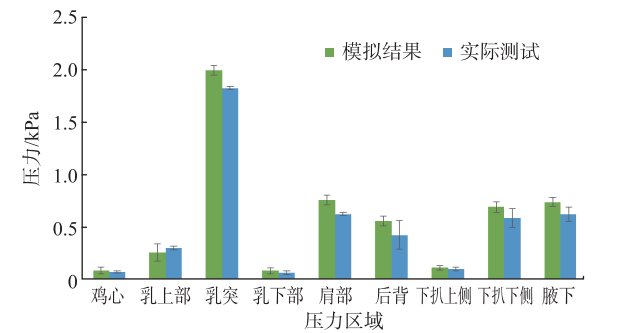


图 14 模拟结果与实际测试对比

Fig. 14 Comparisons between simulation results and actual tests

由图 14 可以看出,模拟结果大多略大于实际测量结果,平均误差为 12.19%。模拟结果偏大的原因是虚拟模特与人台的乳房形状有差异,虚拟模特乳房更接近锥形,而人台乳房接近圆盘形,因此导致以乳突点为代表的相关区域受力面积出现差异。此外,面料参数的设置也是影响模拟结果的重要因素,受软件算法的限制,面料属性的还原度一般为 90% 左右,虽离真实面料性能尚有一定差距,但整体

趋势与实测结果相同,且误差较小,证明模拟结果具有真实性。

## 4 结 语

1)通过探究文胸结构与服装压的关系,发现各部位所受服装压的大小处于相互牵制的关系,但总体而言,下扒、肩带与后片越宽,侧片越高,所受的服装压越小;此外,相较一体式文胸,穿着前片有分隔的文胸乳房受压更小,这为智能文胸的结构优化提供了依据。

2)经过优化后的智能文胸所受服装压整体呈下降趋势,下扒上侧、乳上部、乳下部、肩部的服装压降低幅度较为明显,分别下降 87.35%、46.91%、91.16%、30.75%,压力分布更加均匀,有效提升了文胸压力舒适性。

3)通过测试实际服装压,得出模拟结果与实测结果趋势相同,平均误差为 12.19%,验证了模拟结果的真实性。

4)文中仅考虑了一种使用姿态下的压力分布与优化方案,后续研究中可根据不同睡姿对服装压的大小与特征进行更深入的探讨,并结合传感器的位置对传感器裁片进行配套设计与位置调整,进一步提升穿戴舒适性。

### 参考文献:

- [1] 巴桂玲. 基于 CLO\_3D 技术的标准体男裤上裆结构优化研究[J]. 鞋类工艺与设计, 2022, 2(13): 9-11.  
BA Guiling. Research on the optimization of upper crotch structure of standard men's pants based on CLO\_3D technology[J]. Shoes Technology and Design, 2022, 2(13): 9-11. (in Chinese)
- [2] 王朝晖, 程宁波. 智能服装的应用现状及发展方向[J]. 服装学报, 2021, 6(5): 451-456.  
WANG Zhaohui, CHENG Ningbo. Application and development trends of smart clothing[J]. Journal of Clothing Research, 2021, 6(5): 451-456. (in Chinese)
- [3] 齐慧, 卢建军, 卢致文. 女性健康类智能可穿戴设备现状与发展趋势[J]. 针织工业, 2020(1): 55-58.  
QI Hui, LU Jianjun, LU Zhiwen. Development status and

trends of smart wearable devices for women's health[J].

Knitting Industries, 2020(1): 55-58. (in Chinese)

- [4] 陆培华, 朱达辉, 孙洁, 等. 一种抗菌透气的穿戴式乳腺癌智能监测内衣: 113729318A[P]. 2021-12-03.
- [5] 陆培华, 朱达辉, 汤松, 等. 一种具有生物参数测量功能的乳腺癌智能监测内衣: 113768210A[P]. 2021-12-10.
- [6] 黄伟萍, 梅先明, 张丽英, 等. 一种多点监测人体胸部温度的文胸及胸部温度分析方法: 108741264A[P]. 2018-11-06.
- [7] 赵晶. 基于内衣人台的文胸基础纸样优化研究[D]. 北京: 北京服装学院, 2016.
- [8] 杨焰雁. 文胸基础纸样设计方法优化研究[D]. 上海: 东华大学, 2009.
- [9] 祁倩. 针对中年女性胸部下垂情况的文胸结构优化研究[D]. 西安: 西安工程大学, 2014.
- [10] 姚远. 基于有限元分析的多材质文胸钢圈设计方法研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2016.
- [11] 洪文进, TAJUDDIN R M, 唐颖, 等. 基于 CLO 3D 技术的女性智能运动内衣设计方法[J]. 上海纺织科技, 2022, 50(3): 22-26.  
HONG Wenjin, TAJUDDIN R M, TANG Ying, et al. Development of women's smart sports underwear based on CLO 3D technology[J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2022, 50(3): 22-26. (in Chinese)
- [12] 成恬恬. 基于 CLO 3D 的文胸虚拟仿真设计[J]. 国际纺织导报, 2020, 48(10): 48-51.  
CHENG Tiantian. Research on bra virtual simulation design based on CLO 3D[J]. Melliland China, 2020, 48(10): 48-51. (in Chinese)
- [13] 于欣禾, 王建萍. 基于虚拟服装压力的针织骑行服版样优化方法[J]. 服装学报, 2019, 4(2): 127-135.  
YU Xinhe, WANG Jianping. Optimization method of knitted cycling clothes' patterns based on virtual clothing pressure[J]. Journal of Clothing Research, 2019, 4(2): 127-135. (in Chinese)
- [14] 陈星毅, 吴志明. 弹性针织服装的压力舒适性研究[J]. 天津工业大学学报, 2009, 28(5): 33-37.  
CHEN Xingyi, WU Zhiming. Study on pressure comfort of elastic knitting garment[J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2009, 28(5): 33-37. (in Chinese)

(责任编辑: 沈天琦)