DOI:10.13475/j.fzxb.20260100201

基于老年女性人体模型的紧身衣设计

秦雨荷, 于潇涵, 张紫涵, 任锦卉
(北京服装学院 服装艺术与工程学院, 北京 100029)

摘 要 针对老年女性胸下垂、腹前凸、臀下坠及大腿松弛等典型体态,以及现有紧身衣难适配其局部软组织松弛与体型差异的问题,开展基于皮肤力学特征的可调节紧身衣结构设计研究。采集 113 名 60~70 岁老年女性量体数据,并补测 18 名样本,构建并优化“中间体”三维虚拟人体模型;结合朗格线与生物动力皮肤张力线(BEST 线)对胸、腰腹、臀及腿部皮肤张力分区,提出胸部承托、腰腹收束、臀部提拉和腿部支撑的可调节结构策略,设计 3 款原型并开展虚拟试衣与压力分析。结果表明:老年女性紧身衣宜采用分区差异化设计;实体测试显示,胸部下沿、腹部最凸点、腰部正中最细处和侧腰点 4 个测点的平均压力分别为 6.94、5.94、3.48、3.94 kPa,与虚拟分析基本一致;2 位受试者舒适性评分为 4.0 分和 4.5 分,表明该方法可较好满足老年女性胸、腰腹及臀腿等部位的差异化需求,并为适体化、分区化和可调节结构设计提供参考。

关键词 服装设计; 老年女性; 人体模型; 可调节结构; 紧身衣
中图分类号:TS 941.2; TP 391.9 **文献标志码**:A

随着全球人口老龄化加速,预计到 2030 年,60 岁及以上人口将从 11 亿增长至 14 亿[1]。我国老年人口占比亦呈持续上升趋势,由 2021 年的 14.2%增至 2023 年的 15.4%[2]。“银发经济”推动老年服装消费与贴身服饰市场需求不断增长[3-5]。紧身衣以弹性针织面料为主要材料,其贴合性与回复力可在体表形成一定支撑与压力[6]。已有研究表明,压缩类服装在运动支持、医疗压迫及康复辅助等场景中具有一定应用基础[7-8];相关老年女性服装面料性能研究也为贴身服饰的材料选择提供了参考[9]。

老年女性体型随年龄发生胸部下垂、腹部堆积、臀部下坠及脊柱前倾等多重变化[10-11]。中老年女性与青年女性体型比较研究表明,围度增长、脂肪重新分布以及从“X 型”向“H 型”的体型演变具有一定普遍性[12-14]。成都等地区中老年女性体型研究进一步显示,不同地区样本中也存在胸腰腹前突等体型变化特征[15]。同时,老年人体工程测量研究表明,年龄增长会影响肩臂、躯干及肢体等与服装结构设计相关的人体尺寸[16-17]。基于此,以常规成年女性体型为基础设计的传统紧身衣,难以通过既有尺码体系和压力分布方式适应老年女性的差异化体态,可能导致局部压迫过高、支撑不足或压力分布不均等问题,进而影响穿着舒适性和稳定性。

现有研究已从人体测量和体型分类出发,对成年女性及老年女性的整体体型特征进行分析,并将其用于服装样板与结构设计[18-19]。针对老年女性局部形态,相关研究进一步围绕肩臂形态、胸部形态与文胸结构展开,为局部结构优化提供了依据[20-21]。在老年服装结构研究中,功能分区和版型路径已有讨论[22-23];立领结构和衣身原型研究则进一步拓展了局部结构与原型设计思路[24-25]。在压缩服装领域,冬奥竞速项目紧身服和压缩裤研究关注运动场景下的支撑、压缩与生理影响[26,27];医用压缩包扎研究则强调局部压力调控和复杂淋巴问题处理[28]。塑身腰封结构及紧身服宽裕量、织物弹性与服装压感之间的关系研究表明,结构配置与材料性能会影响服装压力和主观压迫感[29-30]。此外,女式紧身衣结构优化、弹性压力服装数值模拟和压缩服装生理响应研究,也为紧身衣结构验证与压力分析提供了方法参考[31-33]。尽管已有研究在体型特征识别、压迫舒适性分析与结构设计等方面取得了一定进展,但针对老年女性差异化体态,并将皮肤张力线特征、分区压力需求与可调节结构设计相结合的紧身衣研究仍相对较少。特别是在兼顾体型修饰、局部支撑与穿着舒适性的前提下,现有研究尚缺

收稿日期:2026-01-04 **修回日期**:2026-06-12
基金项目:北京市教育委员会科学研究计划项目(KM202210012001)
第一作者:秦雨荷(2004—),女,本科。主要研究方向为功能服装与包容性设计。
通信作者:任锦卉(1989—),女,助理研究员,硕士。主要研究方向为功能服装与数智设计。E-mail: 20190063@bift.edu.cn。

乏较为系统的设计方法。

本文围绕老年女性胸部、腰腹、臀部与大腿等关键区域的形态与受力需求,提出以皮肤张力线朗格线(Langer's lines)和生物动力学切除性皮肤张力线(BEST 线)为依据的功能分区与可调节结构设计方法,并通过虚拟试穿、压力测试和主观评价对其效果进行验证,以期为老年女性紧身衣的适体化与可调节结构设计提供参考。

1　老年女性体型与三维人体模型构建

1.1　老年女性体型参数的采集方法

1.1.1　样本选取与基础体型测量

研究基于北京市教育委员会科学研究计划项目的量体数据库开展分析,共测量 113 名 60~70 岁老年女性胸、腰腹、臀及上下肢等关键部位尺寸,并采用与 GB/T 38131—2019《服装用人体测量基准点的获取方法》一致的基准点定义、测量体位、测量工具及记录规范开展人体测量。各项指标均由 2 名经统一培训的量体员独立重复测量,当 2 次测量结果之差大于 0.5 cm 时进行第 3 次复核,以保证基础样本与后续 18 名补充样本在测量方法上的一致性。在此基础上,结合项目既有体型数据模型,先采用主成分分析提取关键体型指标,再结合聚类分析对样本进行体型归类,并依据主成分得分的综合评价结果选取最具代表性的样本作为本研究的"中间体"基准人台,其基本信息为年龄 65 岁、身高 160 cm、体质量 70 kg,关键人体尺寸如表 1 所示;后续补充量体、模型优化及相关虚拟分析均在此基础上展开。

表 1　代表性样本关键人体尺寸

Tab. 1　Key anthropometric dimensions of representative older-female sample　　cm

领围	中腹围	胸围	裤腰围	大腿围	上臂围	腕围	肩宽	臂长	臀围
38.03	91.27	102.19	91.16	55.53	33.17	17.34	41.16	52.70	104.79

1.1.2　关键变形区域的补充测量指标设计

为获得更能支持紧身衣结构设计的精细化体型参数,本研究在常规量体基础上进一步设计了针对老年女性关键变形区域的补充测量方案。现行人体测量标准主要以围度、长度等线性指标描述整体形态,难以充分反映老年女性因肌肉松弛、脂肪堆积及支撑能力下降所产生的局部形变特征[10-12]。胸部下垂、腹部膨出、臀部下坠和大腿形态变化是老年女性较具代表性的体态特征[19],也是影响紧身衣贴合性与功能分区设计的关键部位,因此,本文将胸部、腹部、臀部和大腿确定为补充测量点,并将相关形态变化转化为可量化参数,具体测量指标如表 2 所示。

表 2　补充测量部位与参数

Tab. 2　Supplementary measurement sites and parameters

补充部位	补充测量指标
胸部	上胸围在不同姿势下的变化(直立、前倾、弯腰)、乳间距
腹部	腹围、腰腹差值、皮肤褶皱观察
臀部	臀部垂直高度、臀缘位置下移
大腿	大腿根部围度、脂肪沉积区域

1.1.3　体型测量与体型差异性分析

在完成原始样本数据整理与补充测量方案制定后,本研究以北京市海淀区中关村街道科春社区 60~70 岁老年女性为对象,采用分层随机抽样选取 18 名受试者开展系统人体尺寸测量,并选取胸围、腰围、腹围、臀围、大腿围及肩宽等关键指标,与 113 名基础样本进行对比分析。结果表明,18 名补充样本在主要指标上的均值水平及离散趋势与 113 名基础样本总体分布基本一致,具体样本关键指标对比如表 3 所示。变异系数(CV 值)越小则数据越集中、稳定。说明补充样本与基础样本在主要体型指标上具有较好一致性,可为后续模型修正和结构设计提供数据支持。

实验周期为 2025 年 4~6 月,18 名受试人群平均身高 159.56 cm、体质量 59.96 kg。与紧身衣版型直接相关的核心测量内容涵盖 8 项关键指标,包括长度、围度及宽度参数,其离散特征如表 4 所示。用于观察体型的分布特征与差异性规律。

表 4 结果显示,受试者在围度、长度及宽度等服

表 3　基础样本与补充样本关键指标对比

Tab. 3　Comparison of key indicators between basic samples and supplementary samples

指标	身高/cm	体质量/kg	肩宽/cm	胸围/cm	腰围/cm	臀围/cm	大腿围/cm
补充样本均值	159.56	59.96	41.00	94.22	83.81	98.53	54.78
基础库均值	158.99	61.13	40.41	95.30	84.97	98.74	53.62
均值差值	0.57	-1.17	0.59	-1.08	-1.16	-0.21	1.16
补充样本变异系数(CV 值)	0.020 0	0.156 1	0.043 5	0.080 3	0.101 6	0.074 8	0.112 9
基础库变异系数(CV 值)	0.033 4	0.144 5	0.026 3	0.062 5	0.072 5	0.058 6	0.054 8

注:变异系数 CV 值 = 标准差/平均值,反映数据离散程度。

表 4 18 名受试者关键人体尺寸离散特征

Tab. 4 Dispersion characteristics of key anthropometric dimensions of 18 participants cm

指标	均值	第 1~第 3 四分位数	四分位距	最小值~最大值
大腿围	54.78	50.63~59.25	8.62	44.00~69.00
腰围	83.81	78.25~85.75	7.50	76.00~113.50
腹围	94.58	90.25~97.50	7.25	84.00~119.00
背长	38.50	34.50~40.88	6.38	32.00~53.00
臀围	98.53	93.63~100.00	6.37	90.00~124.00
肩宽	41.00	40.00~42.00	2.00	38.00~45.00
胸围姿态差	2.66	1.00~3.00	2.00	1.00~10.20
乳间距	18.67	18.00~19.75	1.75	16.00~21.00

注:四分位距为第 3 四分位数与第 1 四分位数之差,用于反映中间 50%样本的离散程度。胸围姿态差为上胸围 90°前倾值与直立值之差。

装关键指标上呈现明显离散性,其中大腿围、腰围、腹围的个体差异尤为显著,肩宽、乳间距等指标分布相对集中。这些特征反映出老年女性体型在整体尺度与局部软组织行态方面均存在较大个体差异性,为紧身衣在腰腹与臀腿的包容性设计和胸部的承托提供了数据依据。研究依据统计结果总结出以下体型特征。

1)身高主要分布于 156~165 cm,体质量集中在 51~69 kg。身高分布相对集中,体质量差异较明显,紧身衣在腰腹及臀腿区域需具备更好的适应能力。

2)肩宽均值约 41 cm,分布范围为 38~45 cm,极差达 7 cm,说明肩部宽度存在一定个体差异;结合现场观察到的圆肩、驼背与姿态前倾现象,结构设计应结合脊柱曲线,通过背带走向与弹力织带布局分散肩部受力。

3)乳间距均值为 18.67 cm,数据分布相对集中。此部分服装结构偏宽易导致肩带滑落,偏窄可能引起压迫感,因此需结合下胸围环形承托结构以提升胸部稳定性。

4)胸围在直立到前倾姿态下平均扩张 2.66 cm,这一现象体现了乳腺萎缩与下垂导致的软组织位移增加,传统固定罩杯难以适应,应采用透气弹性材料与分区承托结构。

5)腰围与腹围分别为 83.81 cm 和 94.58 cm,腰臀比为 0.85。说明腹部脂肪集中、肌肉支撑能力下降、皮肤松弛明显,适宜采用一片式收腹带与多挡位调节结构。

6)大腿围极差达 25 cm,变异系数为 0.112 9,离散度显著高于躯干部位。设计上需通过分片压缩结构与防滑透气材料提升大腿区域的适应性与修饰效果。

综上,18 名受试者的数据表明,老年女性在胸部、腰腹、臀部与大腿等关键部位均呈现明显的尺寸差异和退行性变化,这些特征直接影响紧身衣的支撑方式和分区压力策略。所测量结果不仅用于修正虚拟人体模型的关键参数,也为后续功能分区及可调节结构设计提供依据。

1.2 基于测量数据的三维体型模型重建

1.2.1 高变形区域的人体模型参数化优化

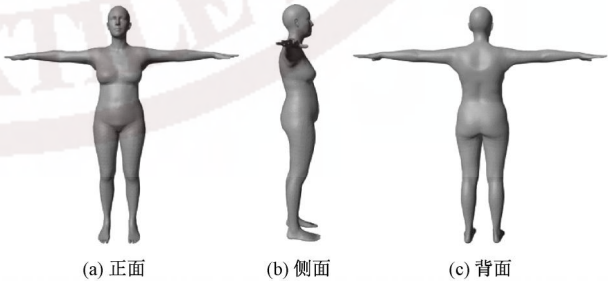
在初版老年女性虚拟人体模型[9]的基础上(尺寸见表 1),结合补充测量数据,对胸部、腰腹、臀部和大腿等高变形区域进行细化,以更准确地反映肌肉松弛、脂肪堆积及体态退行等体态特征,并为后续可调节紧身衣的虚拟试衣与受力分析提供基础。细化过程中重点还原了胸部、腹部等的变化特征,并依据补充测量数据及统计分析结果对相关部位进行参数调整及形态细化,具体调整参数如表 5 所示。

表 5 高变形区域的人体模型优化参数

Tab. 5 Optimization parameters of high-deformation body regions

优化部位	相关肌肉/组织	形态特征	调整维度	参数调整范围/cm
胸部	胸大肌、乳腺组织	胸大肌松弛,乳腺下垂,胸大肌上部萎缩,基底向外扩散	乳间距	18.5~19
腹部	腹直肌、腹外斜肌	腹直肌、腹外斜肌张力弱,前凸,皮下脂肪堆积	腹围	+4.5
腰部	腰方肌	腰线弱化,侧腰支撑减弱,较腹部形态变化平缓	腰围	+1.3
臀部	臀大肌	臀大肌萎缩,皮下脂肪下垂,形成下缘坠感	臀围下缘延长量	+2
大腿	股四头肌、内收肌	股四头肌张力弱,内收肌处脂肪堆积,上段松弛	大腿围	+1.2

优化后的虚拟人体模型如图 1 所示。通过调整,模型在胸部下垂、腹部膨出、臀部下坠及大腿松弛等特征上更接近实测结果。



(a) 正面 (b) 侧面 (c) 背面

图 1 优化后的老年女性虚拟人体模型

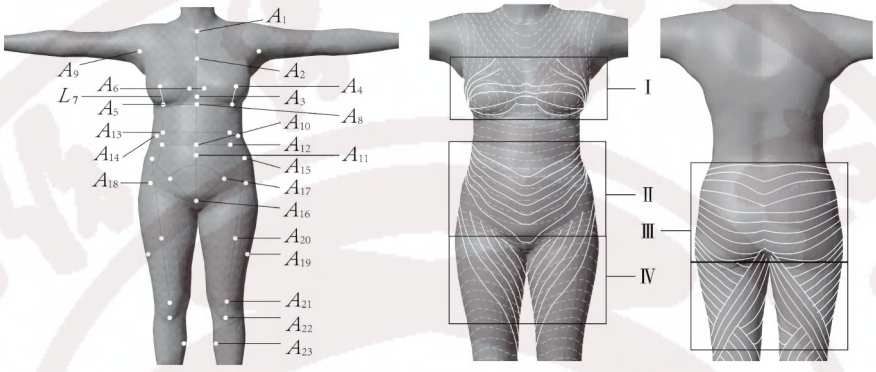
Fig. 1 Optimized older-female virtual mannequin. (a) Front view; (b) Side view; (c) Rear view

1.2.2 张力线标注与功能分区

在完成虚拟人体模型的参数化调整后,研究发现

仅凭几何量体数据难以揭示皮肤在受力状态下的动力学特征。高月美[21]在老年女性胸部形态与文胸结构研究中,将朗格线理论引入服装设计领域并指出,皮肤张力线的走向对于优化支撑结构具有重要价值,尤其在支撑衰老组织、减缓重力下垂方面效果显著,故本研究将皮肤张力线作为二维设计分区参考。

虚拟人体朗格线的分布如图 2(a)所示。参考 landmark 分区方法[34],选取胸前、腹部和骨盆等区域的代表性点位作为锚点。通过三维建模软件依照皮肤主应力方向标注连续曲线,从而保证结构线布局顺应皮肤应变方向。以乳下缘褶皱(A_5)为例,老年女性该点位置下移,乳头到乳下缘褶皱的距离增加,体现胸部下垂。由此点向锁骨中线(A_7)和胸骨角(A_2)连线,可形成胸部纵向支撑线,确定罩杯下缘和承托带位置,实现由点到线到面的分区设计依据。



(a) 虚拟人体模型的标志点选择与朗格线绘制　　(b) 虚拟人体模型上的朗格线与BEST叠加及功能区域分区

图 2　虚拟人体模型上的标志点选择及皮肤力学线条分布

Fig. 2　Selection of landmarks and drawing of Langer's lines on virtual mannequin. (a) Selection of landmarks and drawing of Langer's lines on virtual mannequin; (b) Superimposed distribution of Langer's lines and BEST with functional partitioning on virtual mannequin

由图 2 可知,重力性皱纹主要集中于胸下、腹部中段及大腿内侧,反映出皮肤松弛与软组织下垂的显著效应,因此,老年女性紧身衣结构应顺应皮肤张力方向,结合纵向支撑与横向收束,以减缓体态下移趋势,并在压缩与舒适性之间实现更科学的平衡。然而,仅依靠朗格线仍存在局限性。朗格线主要反映静态条件下皮肤张力及胶原纤维排列的主要方向,但难以充分覆盖人体动态活动中产生的褶皱、拉伸与软组织位移轨迹。Paul[35]提出的生物动力学切除性皮肤张力线(BEST 线)可作为朗格线的补充;Mcdonald 等[36]进一步指出,将皮肤受力线条与多部位形态学标志点结合,有助于虚拟人体模型更准确地再现软组织状态。

基于此,研究引入 BEST 线作为朗格线的补充参考,用于辅助判断人体表面在不同部位的皮肤受力方向及结构线布置。2 类线条叠加可为功能分区与结构设计提供更完整的力学依据。在朗格线与 BEST 标注的基础上,研究进一步将老年女性体型的重点区域划分为 4 个功能区,具体分区如图 2(b)所示。各区域根据常见变形特征,分别对应承托、收束、提拉和支撑等目标,并在此基础上设计可调节结构,以实现修饰与舒适性的平衡,具体设计点如表 6 所示。

表 6　老年女性紧身衣关键功能区域及可调节结构设计点

Tab. 6　Key functional regions of older-female shapewear and adjustable structural design points

区域序号	功能区	常见问题	设计目标	调节结构
Ⅰ	胸部	下垂、侧漏	承托、收束	承托结构+可调织带
Ⅱ	腰腹	松弛、堆积	收腹、稳定	拉链压缩结构、一片式压缩片
Ⅲ	臀部	下垂	提臀、固定	弹性向上拉力+分区压缩
Ⅳ	腿部	肌肉松弛	支撑、视觉修饰	一片式包裹+分区压缩材料

由此,在前述人体模型细化、皮肤力学标注与功能分区的基础上,本研究进一步梳理形成老年女性可调节紧身衣设计方法流程,如图 3 所示。

2　修饰身型的紧身衣结构设计

基于补充测量结果和力学线条分析,结合表 6 所示的 4 个关键功能区,本文提出面向老年女性体型特征的可调节结构设计方法。该方法依据胸部、腰腹、臀部和大腿等部位的主要形变特征,分别配置承托、收束、提拉与支撑功能,并沿皮肤张力方向设计主要结构线,使受力更贴合自然下垂与褶皱走向。

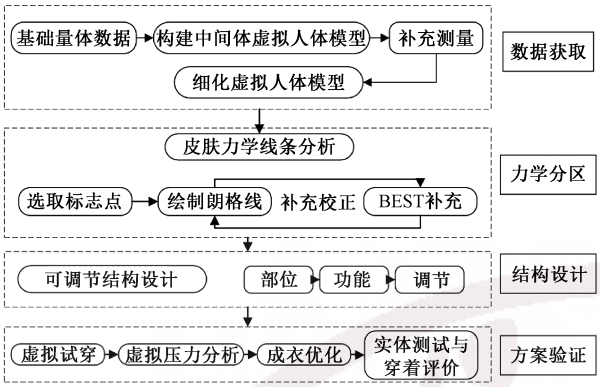


图 3 老年女性紧身衣结构设计方法流程图

Fig. 3 Flowchart of structural design method for elderly women's shapewear

同时,通过引入拉链、弹力织带和可拆卸搭片等调节件,以适应不同体型差异,并满足穿着者对压力和支撑位置的调节需求。

2.1 上身稳定性的背带式连体结构设计

背带式连体款如图 4 所示。主要针对老年女性腰腹松弛、臀部下坠及大腿支撑不足等问题。其中:如图 4(a)所示为调节片展开状态,背带形成整体支撑框架,将肩部受力分散至腰腹和臀部,以减轻局部下坠感;如图 4(b)、(c)所示,大腿部位采用分段包裹与可调分片结构,以适应不同围度并减少行走时的摩擦与晃动。结构线参考胸下缘至腹部的皮肤张力线及腿部内外侧的 BEST 线布置,使提拉与收束方向更贴合自然下垂和褶皱走向。该结构可增强腰腹与臀部的收束和提拉作用,并通过分片调节提升大腿区域的贴合度与稳定性,适用于腰臀松弛明显、大腿围差异较大的人群。

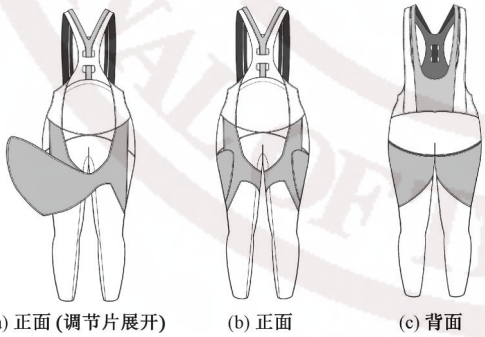


图 4 背带连体款紧身衣结构示意

Fig. 4 Structural design of shapewear with strap-integrated one-piece style. (a) Front view (adjusting flap deployed); (b) Front view; (c) Rear view

2.2 腰腹围度调节的拉链式结构设计

腰腹拉链款如图 5 所示。以腰腹锁定与下肢稳定为核心,针对老年女性腹部堆积、臀部下坠及裤身位移等问题进行可调节设计。腰腹区域采用一片式收腹带与多档位拉链配合,可根据腹围变化调节紧度,增强固定性并兼顾穿脱便利;侧部增设固定点并采用柔软包边,以减少衣身滑动和局部压迫感。臀部区域通过将收腹带延伸至臀部裁片,增强提拉与固定作用,缓解臀部下移。腿部区域设置防滑带与弹性分区,以减少裤身位移并提供轻度压缩;搭片可根据大腿围度调节压力,兼顾贴合性、稳定性与活动自由度。

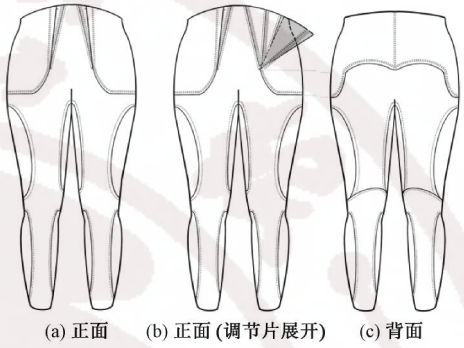


图 5 腰腹拉链款紧身衣的结构示意

Fig. 5 Structural design of shapewear with waist-abdomen zipper style. (a) Front view; (b) Front view with adjusting flap deployed; (c) Rear view

2.3 胸部支撑与形态适配的多档调节结构

胸部调节款如图 6[37] 所示。主要针对胸部托举不足、肩带受力过重及上腹轻度前凸等问题进行设计。其核心是在前片夹层内设置可调织带,以增强胸部支撑并提高穿着稳定性。胸部区域中,织带形成由侧下方向上的承托作用,可根据胸型调节受力方向,并沿胸部曲线布置,以减少局部压迫和肩部负担。上腹与腰腹区域设置轻度收束带,以减少晃动和外凸。衣身采用双层材料结构,外层提供基本支撑,内层兼顾透气性与贴肤舒适。织带走向参考胸下缘至腋侧的张力方向,使承托作用更贴合胸部自然下垂趋势;横向收束带则在控制前凸的同时保留必要的呼吸空间。该款式适用于胸部位移明显且对舒适性要求较高的穿着者。

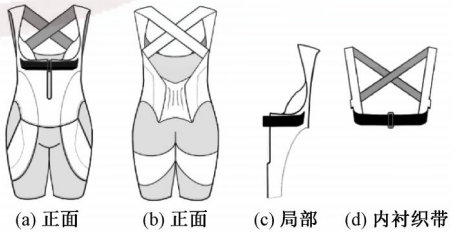


图 6 胸部调节款紧身衣的结构示意

Fig. 6 Structural design of shapewear with chest-adjustable style. (a) Front side; (b) Back side; (c) Partial view; (d) Inner webbing

3　可调结构仿真与评估

3.1　不同款样衣方案的虚拟试穿效果

虚拟试穿主要用于观察不同方案在胸部、腰腹、臀部和腿部等关键区域的贴合状态、包覆范围及初步作用特征,并对版型和面料参数进行初步调试,为后续实物制作中的面料选择和结构优化提供参考,结果如图 7 所示。



图 7　紧身衣虚拟原型白膜展示(CLO 3D)

Fig. 7　White-mesh display of three virtual shapewear prototypes (CLO 3D). (a) Strap-integrated one-piece style; (b) Waist-abdomen zipper style; (c) Chest-adjustable style

3.2　胸部调节款虚拟压力分析

研究选取胸部调节款作为虚拟压力分析及实体样衣制作对象。为分析其在不同结构区域的受力分布特征,本文利用 CLO 3D 的压力显示模块进行虚拟压力观察,并结合老年女性胸部、腰腹、臀部与大腿等重点变形区域,在虚拟人体模型上选取前胸点(P_1)、胸部下沿(P_2)、腰部正中最细处(P_3)、侧腰点(P_4)、腹部最凸点(P_5)、臀侧(P_6)、大腿侧(P_7)和大腿内侧(P_8)共 8 个典型位置作为观察点,具体点位分布如图 8 所示。上述点位同时作为后续实体样衣压力测试的对应参考区域,以保证虚拟分析与实体实验在观察位置上的一致性。

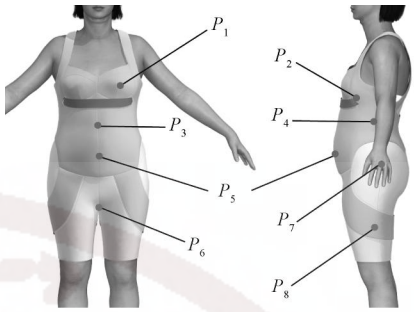


图 8　胸部调节款服装点位标记图

Fig. 8　Measurement points of chest-adjustable prototype

虚拟压力云图结果如图 9 所示。胸部调节款的受力分布呈现躯干中部较高、外侧区域较低的特征,较高压力主要集中于腰腹及侧腰区域,胸下与前胸区域表现为中等支撑,臀侧及腿部区域则以轻度压缩为主。该分布趋势与老年女性“重点收束腰腹、适度承托胸部、轻度稳定臀腿”的设计目标基本一致。

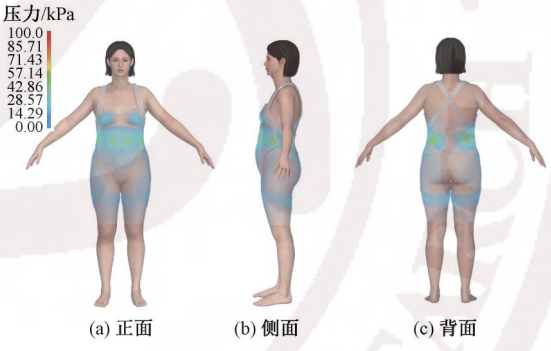


图 9　胸部调节款虚拟压力测试图

Fig. 9　Virtual pressure distribution of the chest-adjustable style. (a) Front view; (b) Side view; (c) Rear view

基于上述结果,实体样衣在面料配置上采用分区设计:腰腹及侧腰区域选用支撑性较强的面料,以增强包覆与塑形作用;胸部及上腹区域采用具有一定弹性和调节性的材料,以满足承托与舒适性的平衡;臀腿区域则选用延展性较好的面料,以保证基本稳定性和活动舒适性。

4　成衣实验与实穿测评

4.1　胸部调节款成衣优化

白坯试穿表明,初版样衣在腰腹、腿部及背部区域仍存在包覆和支撑不足,因此对版型松量、胸部结构及局部工艺进行优化,形成成衣,如图 10 所示。

最终成衣采用分区材料配置:主体区域选用 90%锦纶、10%氨纶针织四面弹面料,面密度约 300 g/m^2;腰腹重点收束区域选用 85%锦纶、15%氨纶弹力速干针织面料,面密度约 270 g/m^2。



图 10 胸部调节款样衣白坯与优化后成衣展示

Fig. 10 Display of chest-adjustment sample garment in white cloth and optimized finished garment. (a) White sample garment with adjustable chest; (b) Adjustable chest ready-to-wear

4.2 实体样衣压力测试

为验证虚拟压力分析结果,本文对优化后的实体样衣进行了局部压力测试。压力测试采用 GPMS-08Pro 型服装压力舒适性测量系统进行,结合图 8 虚拟测点布置,选取 P_2、P_3、P_4、P_5 作为测试点,具体点位分布如图 11 所示。4 个测点分别对应胸部承托区和腰腹收束区,能够反映样衣主要功能区域的压力分布特征。

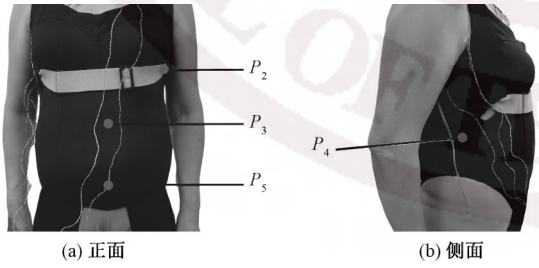


图 11 胸部调节款成衣实验点位图

Fig. 11 Pressure measurement points of the chest-adjustable garment. (a) Front view; (b) Side view

测试前对压力传感器进行预调节和多点标定,并依据不同载荷下的输出建立线性拟合关系,以保证测量结果的准确性。各测点进行 3 次重复测量并取平均值,测试结果见表 7。

表 7 服装压力测试实验结果

Tab. 7 Clothing pressure test experimental results

点位	压力/kPa			
	第 1 次测试	第 2 次测试	第 3 次测试	平均值
P_2	7.46	6.70	6.64	6.94
P_3	4.12	3.24	3.10	3.48
P_4	3.49	3.81	4.53	3.94
P_5	6.18	5.82	5.82	5.94

研究表明,舒适服装压力一般为 1.96 ~ 3.92 kPa,不舒适压力临界值为 5.88~9.81 kPa,与皮肤表面毛细血管平均血压 7.85 kPa 接近[38-39]。Makabe 等[40-41] 指出,胸下围和侧部为 1.47 ~ 2.13 kPa。基于上述阈值,研究绘制各测点平均压力及舒适区间对照图,如图 12 所示。

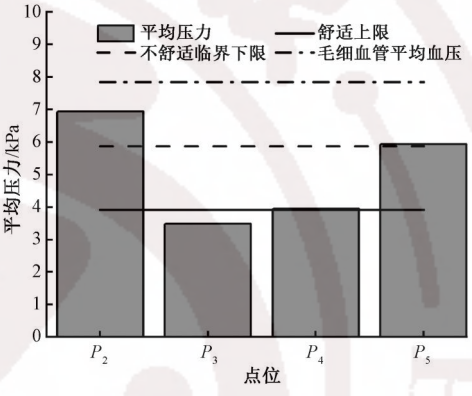


图 12 各测点平均压力及舒适区间对照图

Fig. 12 Average pressure at each measurement point and the corresponding comfort ranges

结果显示,P_2 和 P_5 平均压力分别为 6.94、5.94 kPa,P_3 和 P_4 分别为 3.48 kPa 和 3.94 kPa。说明样衣压力主要集中在胸下承托区和腹部收束区,腰部正中及侧腰区域压力相对较低。其中,P_3 处于舒适区间内,P_4 接近舒适上限,P_5 略高于不舒适临界下限,P_2 虽高于 5.88 kPa,但未超过 7.85 kPa,表明胸下区域形成了较明显的承托压力。总体来看,实体样衣的压力分布趋势与前文虚拟测试(见图 9)基本一致,说明胸部调节款在真实穿着条件下能够实现目标的承托与收束效果。

4.3 实体穿着评价

4.3.1 穿着效果辅助验证

为评价样衣在真实穿着状态下的塑形效果,本文对试穿前后胸围、腰围、腹围、臀围及大腿根部围进行测量,结果如表 8 所示。由表可见“腰腹腿减小、胸臀略增”的变化特征,说明样衣在腰腹及腿部区域具有一定收束作用,在胸臀区域则表现出支撑、提拉及外轮廓调整效果。

同时,本文在腰腹及大腿对应板片位置分别设置 5 cm 标距线,以观察关键压缩区域的受力变形特

表 8　实体样衣试穿前后关键部位围度变化

Tab. 8　Circumference changes at key body regions before and after wear

部位	围度/cm		穿着前后围度差/cm
	穿前	穿后	
胸围	95.0	95.8	+0.8
腰围(最细)	80.0	78.5	−1.5
腹围(最凸)	87.0	86.0	−1.0
臀围(臀峰)	94.0	94.8	+0.8
大腿根部围	55.0	54.2	−0.8

征,将腰腹、大腿关键压缩区域分别记为 S_3、S_4、S_5,分别对应测点 P_3、P_4、P_5,结果如表 9 所示。结果表明,腰腹区域面料在穿着状态下延展更明显,与其作为主要收束和支撑区域的设计定位一致,也进一步印证了围度变化和压力测试结果。

表 9　关键压缩区域标距线拉伸率结果

Tab. 9　Elongation rates of gauge lines at key compression regions

对应测点	原长度/cm	穿着后长度/cm	伸长率/%
P_3	5.00	6.00	20.00
P_4	5.00	6.10	22.00
P_5	5.00	5.65	13.00

4.3.2　主观舒适性评价

为补充客观测试结果,研究进一步对 2 位受试者进行了主观舒适性评价,结果如图 13 所示。可见 2 位受试者对第 3 套样衣的总体评分分别为 4.0 分和 4.5 分,整体评价较高,且均未出现明显疼痛、麻木或刺激等异常反应,说明该样衣在提供一定支撑与塑形作用的同时,整体穿着舒适性仍处于可接受范围内。

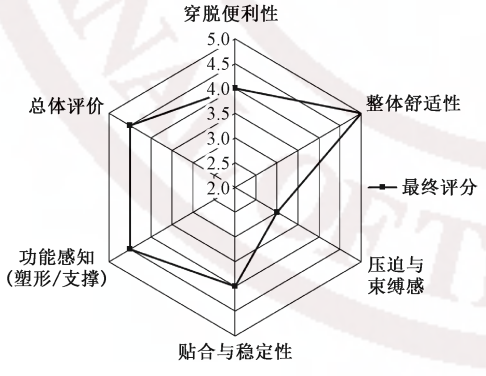


图 13　主观舒适性评价雷达图

Fig. 13　Radar chart of subjective comfort evaluation

为观察不同功能区域的压迫感知,本文对 P_1 ~ P_8 测点进行了分区评分,并结合对应部位的实际平均压力绘制合并图,结果如图 14 所示。由图可见,2 位受试者在不同部位的主观压迫感分布趋势基本一致,压迫感较明显的区域主要集中在胸下、侧腰及腹部等重点塑形部位,而臀侧及大腿区域评分相对较低。结合平均压力曲线可见,主观压迫感较高的区域与客观压力较大的部位基本对应,说明样衣的主观压迫感分布与其功能分区及实际受力特征基本相符。

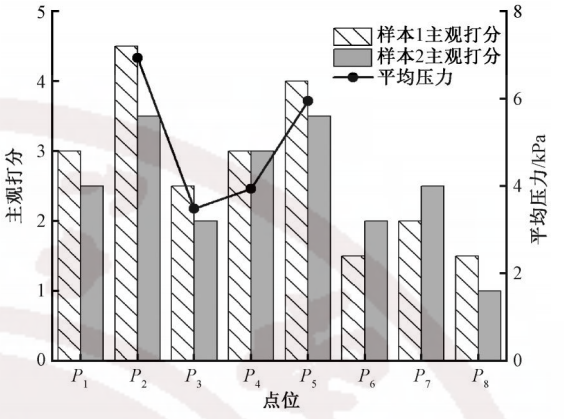


图 14　P_1 ~ P_8 分区主观压迫感评价

Fig. 14　Subjective pressure perception in regions P_1–P_8

5　结　论

本文针对老年女性胸部下垂、腹部前凸、臀部下坠及大腿松弛等典型体态特征,提出了结合人体测量、虚拟人体模型优化、朗格线与 BEST 皮肤力学线条分析的紧身衣设计方法。研究以 113 名 60 ~ 70 岁老年女性基础量体数据和 18 名补充测量样本为基础,构建并优化“中间体”虚拟人体模型,在此基础上将胸部、腰腹、臀部和腿部划分为不同功能区域,并将局部软组织变化、皮肤受力方向与服装结构作用结合起来,为老年女性紧身衣的结构线布置、调节方式和分区配置提供了设计依据。

研究表明,老年女性紧身衣设计不宜采用整体均质压缩的常规思路,而应依据不同部位的形态退变特征进行分区处理。其中,胸部区域应以承托和上提为主,腰腹区域应作为重点收束与稳定区域,臀部区域宜强调提拉和轮廓整理,腿部区域则应以轻度包覆和辅助支撑为主,以兼顾稳定性与舒适性。三款方案的比较结果进一步说明,基于老年女性局部形变特征和皮肤张力线分区的设计路径,较传统以标准体型为基础的塑形设计更具有针对性。

后续虚拟与实体测试结果表明,该设计方法具有一定可行性。实体压力测试中,P_2、P_5、P_3、P_4 4 点平均压力分别为 6.94、5.94、3.48、3.94 kPa,整体分布趋势与前期虚拟分析基本一致;2 位受试者总体评分分别为 4.0 分和 4.5 分(满分 5 分),说明该方案在承托、收束与舒适性之间达到了初步平衡,但从局部压力水平和主观评价结果看,现有样衣在压缩

强度、结构细节及舒适性协调方面仍有进一步优化空间。后续研究可在扩大样本范围的基础上，继续结合多轮样衣迭代、压力测试和主观评价，对局部结构与分区配置进行细化调整，以提升该设计方法在实际产品开发中的适用性。 FZXB

参考文献：

[1] World Health Organization. Ageing: global population[EB/OL]. (2025-02-21)[2025-09-29]. https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/population-ageing.

[2] 国家统计局社会科技和文化产业统计司. 中国统计年鉴-2024(总第 43 期), No. 43[M]. 北京: 中国统计出版社, 2024.
National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook 2024 (No. 43)[M]. Beijing: China Statistics Press, 2024.

[3] 乔晓春. 中国人口老龄化的过去、现在和未来[J]. 社会政策研究, 2024, 34(1): 47-63.
QIAO Xiaochun. Ageing in China: past, present, and future[J]. Social Policy Research, 2024, 34(1): 47-63.

[4] 黄石松, 胡清. 发展银发经济的战略设计、焦点难点及路径优化[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2025, 46(2): 59-69, F0002.
HUANG Shisong, HU Qing. Developing silver economy: strategical design, difficulties and optimization of paths[J]. Journal of Xinjiang Normal University (Philosophy and Social Sciences), 2025, 46(2): 59-69, F0002.

[5] 刘文永, 徐晓慧. 中老年服装消费行为分析及市场开发策略研究[J]. 针织工业, 2006(10): 24-26.
LIU Wenyong, XU Xiaohui. Analysis of the consumer behavior of the middle and old aged people's wear and investigation of the market development strategy[J]. Knitting Industries, 2006(10): 24-26.

[6] 薛福平. 弹性针织面料的紧身女装纸样处理[J]. 上海纺织科技, 2005, 33(1): 50-52.
XUE Fuping. Women's dress structure design with stretch knit fabric[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2005, 33(1): 50-52.

[7] WEAKLEY J, BROATCH J, O'RIORDAN S, et al. Putting the squeeze on compression garments: current evidence and recommendations for future research: a systematic scoping review[J]. Sports Medicine, 2022, 52(5): 1141-1160.

[8] 赵立环, 刘斯璐, 赵晓明, 等. 医用紧身服应用现状及发展趋势[J]. 针织工业, 2023(2): 54-59.
ZHAO Lihuan, LIU Silu, ZHAO Xiaoming, et al. Application status and development prospect of medical tight-fitting garments[J]. Knitting Industries, 2023(2): 54-59.

[9] 刘静, 史丽敏, 任锦卉. 基于灰色关联度的老年女性服装用仿梭织针织面料综合性能评价[J]. 北京服装学院学报(自然科学版), 2024, 44(3): 23-31.
LIU Jing, SHI Limin, REN Jinhui. Comprehensive performance evaluation of imitation woven knitted fabrics for elderly women's clothing based on grey correlation degree[J]. Journal of Beijing Institute of Fashion Technology (Natural Science Edition), 2024, 44(3): 23-31.

[10] 薛惠心. 中老年女性体型特征与服装原型研究[D]. 上海: 东华大学, 2022.
XUE Huixin. Research on body shape characteristic and garment basic block of middle-aged and old women[D]. Shanghai: Donghua University, 2022.

[11] 刘咏梅, 刘思忆, 于晓坤, 等. 中国东部地区中老年女性体型特征与分类[J]. 纺织学报, 2023, 44(7): 184-191.
LIU Yongmei, LIU Siyi, YU Xiaokun, et al. Body shape characteristics and classification of middle-aged and elderly women in Eastern China[J]. Journal of Textile Research, 2023, 44(7): 184-191.

[12] 吴巧英, 袁观洛. 中老年女性与青年女性体型比较研究[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2004, 30(1): 66-71.
WU Qiaoying, YUAN Guanluo. Comparison on characteristics of body form between middle-aged women and young women[J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2004, 30(1): 66-71.

[13] 张向辉, 徐继红, 张文斌. 老年女性服装原型的分析研究[J]. 扬州职业大学学报, 2002, 6(4): 29-31.
ZHANG Xianghui, XU Jihong, ZHANG Wenbin. Analysis and study of basic block of the old female' fashion[J]. Journal of Yangzhou Polytechnic College, 2002, 6(4): 29-31.

[14] 于晓坤, 胡帆, 朱达辉, 等. 上海地区中老年女性体型研究[J]. 北京服装学院学报(自然科学版), 2016, 36(4): 9-17.
YU Xiaokun, HU Fan, ZHU Dahui, et al. Research on body shape of the middle and old aged women in Shanghai area[J]. Journal of Beijing Institute of Clothing Technology, 2016, 36(4): 9-17.

[15] 刘咏梅, 代虹. 成都地区中老年女性体型研究[J]. 纺织学报, 2010, 31(10): 110-115.
LIU Yingmei, DAI Hong. Research on body build of middle-and-old-aged women in Chengdu area[J]. Journal of Textile Research, 2010, 31(10): 110-115.

[16] ANNIS J F. Aging effects on anthropometric dimensions important to workplace design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1996, 18(5/6): 381-388.

[17] KOTHIYAL K, TETTEY S. Anthropometry for design for the elderly[J]. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 2001, 7(1): 15-34.

[18] 陈明艳. 成年女性体型特征及其服装样板设计[J]. 纺织学报, 2005, 26(3): 121-124.
CHEN Mingyan. Body characteristics of the mature female and the design of template for suit-dress[J]. Journal of Textile Research, 2005, 26(3): 121-124.

[19] 晋金迪, 姚彤, 王军, 等. 大连地区老年女性体型分类研究[J]. 纺织学报, 2022, 43(5): 150-155.
JIN Jindi, YAO Tong, WANG Jun, et al. Study on somatotype classification of elderly women in Dalian area[J]. Journal of Textile Research, 2022, 43(5): 150-155.

[20] 舒伟伟. 60-75 岁老年女性肩臂部形态分析及衣袖版型研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2020.

SHU Weiwei. Research on characteristics of shoulder and arm of 60-75 year old female and system of sleeve prototype [D]. Wuhan: Wuhan Textile University, 2020.

[21] 高月美. 60-75 岁老年女性的胸部形态与文胸结构研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2020.
GAO Yuemei. Research in breast morphology and bra structure of older women between 60 and 75 years old[D]. Wuhan: Wuhan Textile University, 2020.

[22] WANG Shi, XU Zhi. Function-based partition design of heart rate monitoring vest for elderly women[J]. 针织工业, 2022(6): 55-59.
WANG Shi, XU Zhi. Function-based partition design of heart rate monitoring vest for elderly women [J]. Knitting Industries, 2022(6): 55-59.

[23] 罗旻. 老年女装版型的设计原则及路径思考[J]. 化纤与纺织技术, 2021, 50(5): 120-121.
LUO Min. Design principle and path thinking of old women's dress pattern[J]. Chemical Fiber & Textile Technology, 2021, 50(5): 120-121.

[24] 王春茹. 基于老年女性颈部形态的立领结构研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2022.
WANG Chunru. Research on the structure of stand collar based on the neck morphology of elderly women[D]. Wuhan: Wuhan Textile University, 2022.

[25] 张佳佳, 潘力, 周百雪. 老年女性衣身原型研究进展及趋势[J]. 纺织科技进展, 2022, 44(5): 44-49.
ZHANG Jiajia, PAN Li, ZHOU Baixue. Research progress and trend of clothing prototype for elderly women[J]. Progress in Textile Science & Technology, 2022, 44(5): 44-49.

[26] 杨宸灏, 杨洋, 胡齐, 等. 紧身服装在冬奥竞速运动项目中的研究与应用现状[J]. 中国体育科技, 2020, 56(1): 24-30.
YANG Chenhao, YANG Yang, HU Qi, et al. Research and application status of compression garment in winter olympics racing sports[J]. China Sport Science and Technology, 2020, 56(1): 24-30.

[27] 潘星夷, 朱文慧, 王永荣, 等. 压缩裤对人体生理和运动的影响研究[J]. 针织工业, 2024(12): 76-81.
PAN Xingyi, ZHU Wenhui, WANG Yongrong, et al. Effects of compression pants on human physiology and sports performance [J]. Knitting Industries, 2024(12): 76-81.

[28] WITT S, GONZÁLEZ-RUBINO J B, MARTÍN-VALERO R, et al. Compression wraps: providing solutions for complex lymphatic presentations [J]. Lymphatics, 2024, 2(2): 108-118.

[29] 王传春. 塑身腰封的塑体原理及结构分析[J]. 针织工业, 2021(12): 59-62.
WANG Chuanchun. Shaping body principle and structure analysis of shaping waistband[J]. Knitting Industries, 2021(12): 59-62.

[30] 由芳, 张欣. 紧身服的宽裕量及弹性模量与服装压感的关系[J]. 西北纺织工学院学报, 2000, 14(2): 133-137.
YOU Fang, ZHANG Xin. Predictability of pressure sensation by the garment's fitness and fabric's extensibility for tight-fitness[J]. Journal of Northwest Institute of Textile Science and Technology, 2000, 14(2): 133-137.

[31] 程哲, 任家文, 游青, 等. 女式紧身衣结构优化与对比分析[J]. 针织工业, 2025(5): 83-87.
CHENG Zhe, REN Jiawen, YOU Qing, et al. Structure optimization and comparison analysis of women's tights clothes[J]. Knitting Industries, 2025(5): 83-87.

[32] ZHANG Linwei, XIE Hong. Research Progress of Numerical Simulation of Elastic Pressure Clothing[J]. 针织工业, 2022(8): 63-67.
ZHANG Linwei, XIE Hong. Research progress of numerical simulation of elastic pressure clothing[J]. Knitting Industries, 2022(8): 63-67.

[33] HALÁSZ M, GERŠAK J, BAKONYI P, et al. Study on the compression effect of clothing on the physiological response of the athlete [J]. Materials, 2022, 15(1): 169.

[34] GILL S, SCOTT E, MCDONALD C, et al. IEEE 3D body processing industry connections: landmarking for product development [R]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022: 1-48.

[35] PAUL P S. Biodynamic excisional skin tension (BEST) lines: revisiting Langer's lines, skin biomechanics, current concepts in cutaneous surgery, and the (lack of) science behind skin lines used for surgical excisions: paul SP. biodynamic excisional skin tension (BEST) lines[J]. Journal of Dermatological Research, 2017, 2(1): 77-87.

[36] MCDONALD C, RANNOW R K, BALLESTER A, et al. Skin and soft tissue modeling and its impact on apparel modeling[J]. Communications in Development and Assembling of Textile Products, 2023, 4(2): 151-163.

[37] 任锦卉, 秦雨荷, 于潇涵. 一种具有收副乳和提臀功能的塑形连身衣: CN202520230521. X [P]. 2025-12-09.
REN Jinhui, QIN Yuhe, YU Xiaohan. Shaping one-piece garment with functions of auxiliary-breast containment and hip lifting: CN202520230521. X [P]. 2025-12-09.

[38] DENTON M J. Fit, stretch and comfort[J]. Textiles, 1972(3): 12-17.

[39] 占辉, 徐军. 服装压力舒适性研究及应用[J]. 北京纺织, 2004, 25(5): 58-60.
ZHAN Hui, XU Jun. Research and application of clothing pressure comfort[J]. Beijing Textile Journal, 2004, 25(5): 58-60.

[40] MAKABE H, MOMOTA H, MITSUNO T, et al. A study of clothing pressure developed by the brassiere[J]. Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses, 1991, 32(9): 416-423.

[41] MAKABE H, MOMOTA H, MITSUNO T, et al. Effect of covered area at the waist on clothing pressure[J]. Sen'i Gakkaishi, 1993, 49(10): 513-521.

Shapewear design based on elderly female body model

QIN Yuhe, YU Xiaohan, ZHANG Zihan, REN Jinhui

(*School of Fashion Art and Engineering, Beijing Institute of Fashion Technology, Beijing* 100029, *China*)

Abstract

Objective To address typical age-related body-shape changes in elderly women, including breast ptosis, abdominal protrusion, hip sagging, and thigh laxity, this study aimed to develop an adjustable shapewear design method based on skin mechanical characteristics. The aim was to establish a region-based structural design path better suiting elderly female bodies and to verify its feasibility in balancing support, shaping, and wearing comfort.

Method Anthropometric data from 113 women aged 60 – 70 and supplementary measurements from 18 subjects were used to construct and optimize an intermediate virtual mannequin. Based on Langer's lines and biodynamic excisional skin tension (BEST) lines, the bust, waist-abdomen, hip, and leg were divided into skin-tension regions. According to the deformation characteristics of these regions, three adjustable prototypes were developed and evaluated through CLO 3D virtual fitting, pressure analysis, physical pressure testing, and subjective wear assessment.

Results The results showed that shapewear for elderly women should use a differentiated regional design rather than uniform overall compression. The bust region needs upward support, under-bust fixation, and lateral control to reduce breast ptosis and outward spread, while the waist-abdomen region needs stronger wrapping and compression to limit abdominal protrusion and improve trunk stability. The hip region calls for upward pulling and lower-edge support, and the leg region requires light wrapping and segmented support to avoid excessive restriction during walking. Among the three prototypes, the bust-adjustable style showed a more balanced performance in bust support, waist-abdomen control, adjustability, and comfort, and was selected for pressure analysis and physical garment development. CLO 3D analysis demonstrated higher pressure in the waist-abdomen and side-waist areas, moderate pressure under the bust and at the front chest, and lower pressure around the hip and leg, consistent with the design goal of abdominal control, bust support, and light hip-leg compression. Physical testing confirmed this trend. The average pressures at the under bust point (P_2), most protruding abdominal point (P_5), narrowest front-waist point (P_3), and side-waist point (P_4) were 6.94, 5.94, 3.48, and 3.94 kPa, respectively, indicating that pressure was mainly concentrated in the under bust support and abdominal control areas. After wearing the shapewear, the waist, abdomen, and thigh-root circumferences decreased by 1.5, 1.0, and 0.8 cm, while the bust and hip circumferences each increased by 0.8 cm. The gauge-line elongation rates in the waist-abdomen compression areas (S_3, S_4, and S_5) were 20.00%, 22.00%, and 13.00%, indicating that these panels provided the main wrapping and supporting role. These findings also supported the later material selection and adjustable component placement, helping the prototype meet different local shaping needs without increasing pressure in non-target areas. The two wearers gave overall comfort scores of 4.0 and 4.5, showing a preliminary balance among support, shaping, and comfort.

Conclusion This study demonstrated the feasibility of an adjustable shapewear design method for elderly women based on anthropometric measurement, virtual mannequin optimization, and skin-mechanics analysis using Langer's lines and BEST lines. By dividing the bust, waist-abdomen, hip, and leg into functional regions, the method connected local soft-tissue changes with structural line placement, pressure distribution, and adjustable component design. Compared with conventional shaping design based on standard body types, this method responds more directly to breast ptosis, abdominal protrusion, hip sagging, and thigh laxity, and provides a clearer basis for region-based structural design. Virtual fitting, pressure analysis, physical pressure testing, and subjective assessment showed that the prototype achieved an initial balance among bust support, waist-abdomen compression, hip-leg stability, and wearing comfort. However, the current garment still needs improvement in local pressure intensity, structural details, material coordination, and long-term comfort. Future work should expand the sample size and refine regional structures through repeated prototype testing, pressure evaluation, and subjective wear assessment.

Keywords clothing design; elderly women; virtual mannequin; adjustable structure; shapewear