

基于特征点自动定位的乳房形态参数提取

钟泽君¹, 顾冰菲^{*1,2,3}

(1. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 浙江省服装工程技术研究中心, 浙江 杭州 310018; 3. 浙江理工大学 丝绸文化传承与产品设计数字化技术文化和旅游部重点实验室, 浙江 杭州 310018)

摘要:为实现青年女性乳房形态参数自动提取,提出一种基于三维点云数据的“点-线-切片-参数”乳房形态参数自动提取方法。使用三维人体扫描仪获取实验对象的三维点云数据,利用MATLAB软件基于乳房局部三维点云建立乳房局部坐标系,基于特征点/线定义建立其自动定位规则;根据乳房特征点/线构建乳房切片模型,最终实现乳房形态参数自动提取。为验证参数提取精度,对比分析随机选取样本的自动提取与手工测量参数之间的误差。结果表明: G_{BL} 和 G_{UBL} 的测量误差均小于 ± 2 cm, D 的测量误差小于0.5 cm, W 的测量误差小于1 cm,90% A_{IBO} 的测量误差在 2° 内,90% W_{BB} 的测量误差在1 cm内,参数测量精度较高,可用于青年女性乳房形态分析。

关键词: 参数提取;乳房形态;乳房切片;三维点云数据

中图分类号: TS 941.17 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2023)03-0211-06

Breast Morphological Parameters Extraction Based on Automatic Position of Feature Points

ZHONG Zejun¹, GU Bingfei^{*1,2,3}

(1. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Apparel Engineering Research Center of Zhejiang Province, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 3. Key Laboratory of Silk Culture Heritage and Products Design Digital Technology, Ministry of Culture and Tourism, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to realize the automatic extraction of breast morphological parameters of young female, a "point-line-slice-parameter" breast morphological parameter extraction method based on 3D point-cloud data was proposed. 3D point-cloud data of experimental subjects were obtained using a 3D body scanner. The breast local coordinate system was established based on the breast local 3D point-cloud data using the MATLAB software. The automatic positioning rules of the feature points and lines was established based on their definitions. The breast slice model was constructed based on the breast feature points and lines, which finally realized the automatic extraction of breast morphological parameters. To verify the parameter extraction accuracy, the errors between the automatic extraction and the manually measured parameters were compared on randomly selected samples. The results show that the measurement errors of both G_{BL} and G_{UBL} are less than ± 2 cm. The measurement error of D is less than 0.5 cm, W is within 1 cm, and 90% of A_{IBO} are within 2° , 90% of W_{BB} are within 1 cm. The accuracy of measurement parameters are high. This method can be used for breast morphology analysis of young female.

Key words: parameter extraction, breast morphology, breast slice, 3D point-cloud data

收稿日期: 2022-11-12; 修订日期: 2023-04-20。

基金项目: 国家自然科学基金项目(61702461); 浙江省教育厅一般科研项目(专业学位专项)(Y202250732); “纺织之光”应用基础研究项目(J202007); 中国纺织工业联合会科技指导性项目(2018079)。

作者简介: 钟泽君(1998—), 女, 硕士研究生。

* 通信作者: 顾冰菲(1987—), 女, 副教授, 硕士生导师。主要研究方向为数字化服装技术。Email: gubf@zstu.edu.cn

乳房作为女性特有的器官,是反映女性形态美的因素之一^[1-3]。不同地域、年龄、生活习性的女性乳房形状并不相同^[4-6],但圆润、挺拔、比例合适的乳房普遍被认为是女性年轻和魅力的表现^[7]。随着时代的发展与观念的转变,女性对乳房美的追求更加强烈^[8],她们努力改善乳房外观,同时更加关注乳房健康。但研究发现,70%~90%的女性正在穿着不合身的文胸^[9-11],而不合体的文胸可能会存在因空杯而失去支撑效果或压力过大导致乳房变形等问题^[12-14],因此对文胸尺寸的研究具有重要意义,而乳房形态研究是文胸设计的基础。

乳房形态包括乳房的形状、位置、轮廓和体积,目前已成为一个重要且热门的研究方向^[15-16]。由于乳房形态存在多样性,因此需要定量研究以指导文胸设计。但因乳房轮廓不清楚、光学数据不完整、乳房曲面量化困难等问题的存在,使得乳房形态研究成为人体形态研究的一大难点^[17-19]。为解决以上难题,学者已采用多种方法对乳房的形态学参数进行了研究。

接触式测量因操作简单便捷,测量工具价格较低且易携带而被广泛使用。EDSANDER-NORD Å 等^[20]利用热塑性材料制作乳房石膏体,以测量女性乳房体积。陈振峰等^[21]利用直尺、角尺等工具测量了 20 项人体参数。接触式测量需直接接触人体,但大多女性不愿参与接触式测量实验,尤其是胸部尺寸测量。同时,外界对乳房的压力可能会导致乳房内脂肪组织数量的变化,从而造成乳房几何形状的改变^[18]。

随着非接触式三维人体扫描仪技术的发展,人体数据采集无需与人体直接接触,同时信息采集速度也大大加快,为乳房形态研究提供了便利。LEE H Y 等^[17]使用 3D 相移莫尔法扫描了 37 名女性的裸体乳房,并探索了一种乳房边界测量方案,为乳房形态研究提供新的参数。CHEN D 等^[22]利用三维人体扫描获取人体数据,提出了一套乳房形状模型计算工具,借助乳房形状模型可定量分析乳房形状和体积。学者在确定女性乳房形态相关测量项目时,除了考虑人体基本参数(如身高、胸厚、胸围等),还增加了乳房形态参数(如乳深、内乳杯直线等)^[23-24]。相比于人体基本参数,乳房形态参数能够反映更多的乳房形态变化情况,但无法体现细微变化。

文中以三维人体点云数据为基础,以“点-线-切片-参数”为乳房形态参数自动提取的基本思路,

通过定义乳房特征点/线,统一参数测量标准,并基于乳房特征点/线对乳房进行切片,最终实现乳房形态参数自动提取,以有效简化乳房参数测量流程,实现乳房形态参数测量的可重复性,为规范人体参数测量提供参考。

1 乳房形态相关特征点自动定位

1.1 实验样本

文中选取在校未婚未孕青年女性(BMI<30,年龄 18~25 岁)作为研究对象,样本量的确定公式为

$$N = \left(1.96 \times \frac{S}{d} \right)^2 \quad (1)$$

式中: N 为理论样本量; S 为标准差; d 为允差;1.96 为标准正态分布在 95% 置信区间的对应系数(一般科学研究和工业生产取 95% 的置信度)。

计算得到理论样本容量为 58,考虑到在数据分析过程中可能会出现异常值,为保证样本量充足,文中设置样本量为 140 人。为消除激素水平对乳房内结缔组织的影响,选取的被试者无母乳喂养或怀孕史,也未接受过乳房手术。

1.2 实验仪器

[TC]² NX-16 非接触式人体扫描仪,美国 Textile Clothing Technology Corporation 公司制造。

1.3 数据采集

采用非接触式人体扫描仪获取三维人体点云数据。根据 ISO 20685-1:2018^[25],被试者需将头发挽起并使用弹性帽覆盖所有头发,以保证颈肩部所采集数据的准确性,上身全裸无配饰,双脚平行站在固定脚印位置,头部以法兰克福平面定位,目视前方,双臂伸直外展,手心向下轻握辅助杆,且保持平稳呼吸,尽量避免晃动。人体测量环境的相对湿度为(60±10)%,测量温度为(27±3)℃。

1.4 定义特征点/线

特征点是确定乳房切片位置和进行乳房形态分析的基础和关键。由于乳房特征点难以用手工标记,因此应根据特征点的特征将其标准化,以确保重复测量的准确性。表 1 为特征点/线的具体定义。参考 BS EN ISO 7250-1:2017^[26]和乳房形态相关研究^[27-29],根据表 1 确定 4 个特征点($P_B, P_{IB}, P_{OB}, P_{UB}$)和 4 条特征线(L_B, L_{UB}, L_{OI}, L_1),具体如图 1 所示。在 4 个特征点中, P_B 点是乳房美学标准和服装结构设计的重要参考点,而其他点(P_{IB}, P_{OB}, P_{UB})则构成了与文胸罩杯钢圈特征弧线形状相关的乳房边界曲线。

表1 特征点/线具体定义

Tab. 1 Determination of feature points and lines		
类型	名称	定义
特征点	P_B	乳点:乳头的中心点
	P_{IB}	乳房内侧点:乳房边界最接近前中线的点
	P_{OB}	乳房外侧点:乳房边界最远离前中线的点
	P_{UB}	乳房下侧点:乳房边界最低点
特征线	L_B	胸围线:过 P_B 点的水平围线
	L_{UB}	下胸围线:过 P_{UB} 点的水平围线
	L_{OI}	P_{OB} 点和 P_{IB} 点的连线
	L_I	过 P_{OB} 点和 P_{IB} 点的水平围线

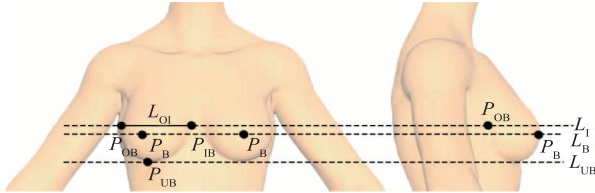


图1 乳房边界相关特征点/线标定

Fig. 1 Calibration of feature points and lines related to breast boundary

1.5 特征点自动定位

实现基于三维点云数据的特征点/线自动定位是对乳房进行自动切片及提取特征参数的基础。由于文中研究对象为乳房形态,因此需对获得的三维人体点云数据进行预处理,通过自动识别基准点(如前颈点、腋点和 P_{UB} 点)确定截取平面,并去除每个被试者点云数据中头部、颈部、手臂和乳房以下部分的数据,仅保留乳房数据,用于4个特征点的

自动定位。
参照地面坐标系确定4个特征点的位置。文中使用的地面坐标系原点为双脚连线的中点; x 轴为前后方向(矢状轴),指向前; y 轴为左右方向(冠状轴),指向右; z 轴为上下方向(垂直轴),指向上。

以右 P_B 点为例,描述特征点的自动定位过程,具体如图2所示。根据 GB/T 5703—2010^[30],乳点是人体最容易标记的基础点之一。但由于乳房外扩情况的存在,对于一些乳房外扩较严重的研究对象,右 P_B 点的 x 值可能小于乳房内侧的 x 值。故选取部分被试者进行初步统计分析,确定被试者右 P_B 点的 y 值小于 -60 mm 。因此先提取原始数据中 y 值小于 -60 mm 的点,并存储于矩阵 A ,而 y 值大于 -60 mm 且小于 0 mm 的点则存储于矩阵 C 。利用三维人体扫描仪获取的人体点云数据是以 z 值相同的点为一层,自上而下以 5 mm 为层间距形成的。为确定右 P_B 点的 z 值范围,提取矩阵 A 中每层 x 值最大的点存储于矩阵 B ,矩阵 B 中 x 值最大的点即为 P_{A1} 点(辅助点1)[见图2(b)]。组合矩阵 A 和矩阵 C ,从中提取 x 值大于 0 mm , y 值在 $P_{OB,y}$ 和 $P_{IB,y}$ 范围内,且 z 值在 $P_{A1,z} \pm 10\text{ mm}$ 范围内的点为矩阵 D (右 P_B 点所在范围)[见图2(c)]。其中, $P_{m,x}$, $P_{m,y}$, $P_{m,z}$ 分别为 P_m 点的 x 值、 y 值、 z 值。矩阵 D 中各点与 L_{OI} 线之间的距离存储于矩阵 E ,其中距离 L_{OI} 线最远的点(即数值最大的点)为右 P_B 点[见图2(d)]。

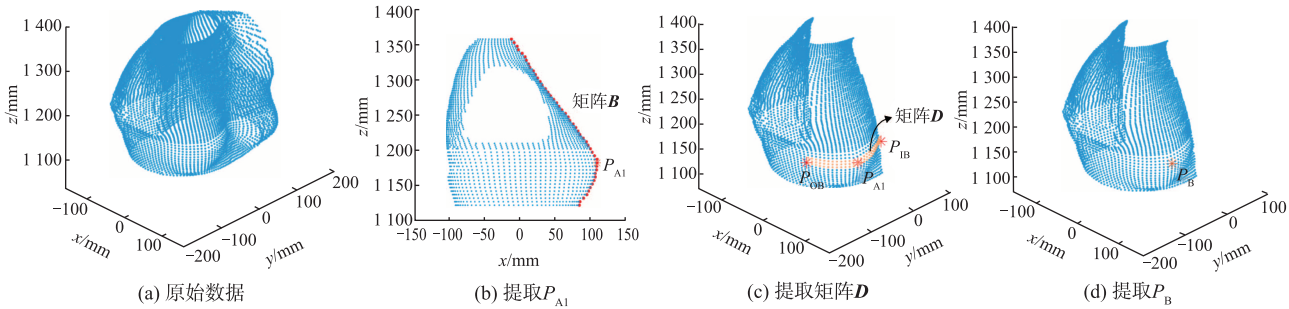


图2 右 P_B 点识别过程

Fig. 2 Recognition process of right point P_B

2 基于乳房切片的参数自动提取

受地形学等高线图及相关文献启发^[18,31],乳房形态分析可视为山脉的海拔变化评估。基于乳房特征点对乳点至乳房基底的位置进行等切,形成乳房切片图,为乳房表面形态分析提供精确的测量数据,有助于分析受外力作用后乳房形态的细微变化。为了直观生动地展示参数自动提取过程,文中详细描述了“点-线-切片-参数”的方法。

2.1 坐标转换

基于自动定位的右 P_B 点提取胸围水平截面曲线,以获得乳房局部坐标系。采用最小外接矩形法构建基于胸围水平截面曲线的初始乳房局部坐标系;设置外接矩形的中心为坐标原点 O , x 轴、 y 轴和 z 轴分别由通过原点 O 的矢状轴、冠状轴和垂直轴构造。考虑到人体对称性和实验一致性,选择右乳房作为分析对象。根据右乳房位置重构乳房局部坐标系,将 L_{OI} 线投影到初始乳房局部坐标系的 xy

坐标平面,通过 P_B 点绘制一条垂直于 L_{O1} 线投影的线,将该线与原 y 轴的交点定义为 O' 点,作为新的原点,将通过 O' 点和 P_B 点的线作为 x' 轴。乳房局部坐标系如图 3 所示。

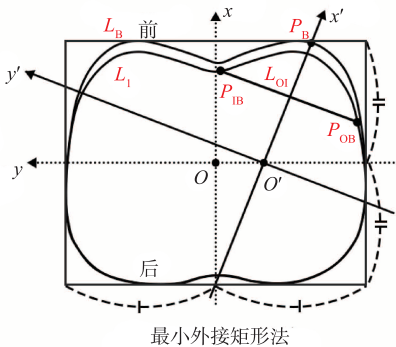


图 3 乳房局部坐标系
Fig.3 Breast local coordinate system

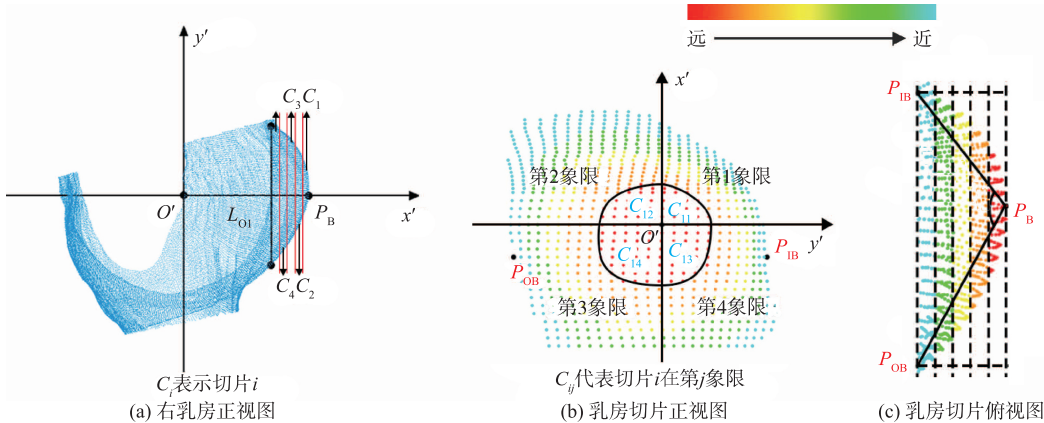


图 4 乳房切片示意
Fig.4 Schematics of breast slices

2.3 参数自动提取

合适的参数是形态分析的基础。根据乳房的特殊结构,文中自动提取了基于特征点和乳房切片的 37 项乳房形态参数,具体见表 2。其中, A_{IBO} , A_C

2.2 乳房切片

图 4 为乳房切片示意。由于从三维人体扫描仪获得的每层点云数据之间的层间距为 5 mm,而每层点云数据中相邻点之间的距离为 4.7 ~ 5.0 mm,因此各乳房切片的厚度应大于等于 5 mm,且确保乳房切片数量足够多,以便于分析更多的乳房细部形态。测量 P_B 点与 L_{O1} 线的距离,最终将人体右乳房切分为 5 个切片[见图 4(a)]。测量被试乳房切片厚度,分析可知,不同被试乳房切片的厚度范围为 5.49 ~ 14.98 mm,中位数为 8.75 mm。根据切片与 O' 点的距离,用 5 种颜色分别描述[见图 4(b)、图 4(c)]。切片颜色从红色到青色代表距离 O' 点由远到近,切片分别命名为 C_i (i 为 1 ~ 5);每个切片根据坐标轴的象限分为 4 部分,并将切片重新命名为 C_{ij} (i 为 1 ~ 5, j 为 1 ~ 4)。乳房切片图可以为乳房形态变化的定量分析和定性分析提供基础。

为角度参数; S_{ij} (i 为 1 ~ 5, j 为 1 ~ 4) 为面积参数; G_{BU} , G_{BL} , G_{UBL} 为围度参数; H_{BP} , H_{UBP} , H 为高度参数; W , W_{BB} , W_{IBP} , W_{IO} , W_{OBP} 为宽度参数, D , D_s 为深度参数; R_{BH} , R_{BW} 为比值参数。

表 2 乳房形态参数测量项目

Tab.2 Measurement items of breast morphological parameters		
序号	指标	定义
1 [#]	内外乳点角 (A_{IBO})	以 P_B 点为顶点,线段 P_BP_{IB} 和线段 P_BP_{OB} 的夹角
2 [#]	旋转角 (A_C)	乳房局部坐标系的旋转角度
3 [#] ~ 22 [#]	切片面积 (S_{ij})	切片 C_{ij} 的面积
23 [#]	胸厚 (D)	过 P_B 点水平截面的厚度
24 [#]	胸围 (G_{BL})	过 P_B 点水平围一周的长度
25 [#]	下胸围 (G_{UBL})	过 P_{UB} 点水平围一周的长度
26 [#]	胸围差 (G_{BU})	G_{BL} 与 G_{UBL} 的差
27 [#]	身高 (H)	头顶到地面的垂线距
28 [#]	乳点高 (H_{BP})	P_B 点到地面的垂线距
29 [#]	下乳点高 (H_{UBP})	P_{UB} 点到地面的垂线距
30 [#]	切片厚 (D_s)	单个切片的厚度

续表		
序号	指标	定义
31 [#]	胸宽(W)	过 P_B 点水平截面的宽度
32 [#]	乳间距(W_{BB})	左 P_B 点到右 P_B 点的距离
33 [#]	乳房内侧宽(W_{IBP})	P_B 点到 P_{IB} 点的垂线距
34 [#]	乳房宽(W_{IO})	P_{OB} 点到 P_{IB} 点的垂线距
35 [#]	乳房外侧宽(W_{OBP})	P_B 点到 P_{OB} 点的垂线距
36 [#]	乳房高度比(R_{BH})	H_{BP} 与 H 的比值
37 [#]	乳房聚拢度(R_{BW})	W_{BB} 与 W 的比值

3 误差分析

人体形态研究最终服务于服装结构设计,虽然不同服装对人体各部位规格的允差要求不同,但GB/T 2665—2017^[32]、GB/T 2660—2017^[33]和FZ/T 81004—2012^[34]中女西服、衬衫、连衣裙对胸围的允差范围均为2 cm。故当人体胸围测量误差在2 cm内时,可认为该测量方法可行。

为验证该方法自动提取乳房形态参数的精度,文中随机选取10个样本,利用逆向工程软件Imageware对比分析自动提取与手动测量参数之间的误差,结果见表3。

表3 参数测量误差分析

Tab.3 Error analysis of parameters measurement				
参数	最小值	最大值	平均值	标准偏差
$A_{IBO}/(^{\circ})$	-1.73	2.01	-0.29	1.32
D/cm	-0.32	0.38	-0.02	0.21
G_{BL}/cm	-1.09	1.38	0.05	0.83
G_{UBL}/cm	-2.00	1.94	-0.05	1.38
W/cm	-0.87	0.82	0.03	0.56
W_{BB}/cm	-0.90	1.68	0.05	0.73

由表3可知, G_{BL} 和 G_{UBL} 的测量误差均不大于2 cm,在国标规定的允差范围内。 D 的测量误差小于0.5 cm, W 的测量误差小于1 cm,90% A_{IBO} 的测量误差在2°内,90% W_{BB} 的测量误差在1 cm内,参数测量精度较高,可用于青年女性乳房形态分析。

4 结 语

文中以三维人体点云数据为基础,提出了以“点-线-切片-参数”为基本思路的乳房形态参数自动提取方法,实现基于三维点云的乳房特征点自动定位,最终提取了37项形态参数。通过对自动提取与手工测量参数之间的误差进行分析,发现宽度参数误差大多小于1 cm,围度参数误差均不大于2 cm,角度误差在2°内,表明该方法所得参数测量精度较高,可用于青年女性乳房形态分析。文中提出的乳房形态参数自动提取方法避免了测量员评

估标准不同及主观判断差异所引起的误差,提高了乳房形态参数的提取精度,且有效提高了参数提取效率。后续将进一步研究乳房形态分类规则,以及文胸穿着对乳房形态与压力舒适度的影响,为文胸参数设计与舒适性评价、三维人体建模等方面提供一定的理论参考和技术支撑。

参考文献:

[1] YESILADA A K, SEVIM K Z, SIRVAN S S, et al. Our surgical approach to treatment of congenital, developmental, and acquired breast asymmetries: a review of 30 cases [J]. Aesthetic Plastic Surgery, 2013, 37 (1): 77-87.

[2] NAN C S. Analysis of female breast shape based on 3D human body scan in Shanghai [J]. International Journal of Biomedical Science and Engineering, 2016, 4 (4): 34.

[3] VITA R, BUCCHERI E M, VILLANUCCI A, et al. Breast asymmetry, classification, and algorithm of treatment: our experience [J]. Aesthetic Plastic Surgery, 2019, 43 (6): 1439-1450.

[4] PAZHOOHI F, GARZA R, KINGSTONE A. Effects of breast size, intermammary cleft distance (cleavage) and ptosis on perceived attractiveness, health, fertility and age: do life history, self-perceived mate value and sexism attitude play a role? [J]. Adaptive Human Behavior and Physiology, 2020, 6 : 75-92.

[5] SHI Y Y, SHEN H, TAYLOR L W, et al. The impact of age and body mass index on a bra sizing system formed by anthropometric measurements of Sichuan Chinese females [J]. Ergonomics, 2020, 63 (11): 1434-1441.

[6] ZHOU J E, MAO Q A, ZHANG J, et al. Selection of breast features for young women in northwestern China based on the random forest algorithm [J]. Textile Research Journal, 2022, 92 (7/8): 957-973.

[7] 卢璐, 亓发芝. 女性乳房美学标准研究进展 [J]. 中国美容医学, 2016, 25 (8): 107-111.

LU Lu, QI Fazhi. Current researches on aesthetic standards of female breast [J]. Chinese Journal of Aesthetic Medicine, 2016, 25 (8): 107-111. (in Chinese)

[8] CHOI D E, NAKAMURA K, KUROKAWA T. Analysis

- and classification of three-dimensional breast shape using human body model [J]. *Journal of Textile Engineering*, 2006, 52(6): 243-251.
- [9] MCGHEE D E, STEELE J R. Optimising breast support in female patients through correct bra fit. A cross-sectional study [J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2010, 13(6): 568-572.
- [10] WHITE J, SCURR J. Evaluation of professional bra fitting criteria for bra selection and fitting in the UK [J]. *Ergonomics*, 2012, 55(6): 704-711.
- [11] COLTMAN C E, STEELE J R, MCGHEE D E. Which bra components contribute to incorrect bra fit in women across a range of breast sizes? [J]. *Clothing and Textiles Research Journal*, 2018, 36(2): 78-90.
- [12] RASBAND J A, LIECHTY E L G. *Fabulous fit: speed fitting and alteration* [M]. New York: Fairchild Publications, 1998: 176.
- [13] PAGE K A, STEELE J R. Breast motion and sports brassiere design [J]. *Sports Medicine*, 1999, 27(4): 205-211.
- [14] MCGHEE D, STEELE J. Breast volume and bra size [J]. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2011, 23(5): 351-360.
- [15] ZHENG R. Image perception of female breast beauty and its relation to 3D anthropometric measurements [J]. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 2018, 4(1): 23-34.
- [16] 赵馨. 华中地区青年女性的胸部形态、文胸结构设计研究 [D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2018: 9-10.
- [17] LEE H Y, HONG K, KIM E A. Measurement protocol of women's nude breasts using a 3D scanning technique [J]. *Applied Ergonomics*, 2004, 35(4): 353-359.
- [18] PEI J E, FAN J T, ASHDOWN S P. A novel method to assess breast shape and breast asymmetry [J]. *The Journal of the Textile Institute*, 2019, 110(8): 1229-1240.
- [19] SUN Y, YICK K L, YU W, et al. 3D bra and human interactive modeling using finite element method for bra design [J]. *Computer-Aided Design*, 2019, 114: 13-27.
- [20] EDSANDER-NORD Å, WICKMAN M, JURELL G. Measurement of breast volume with thermoplastic casts [J]. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery*, 1996, 30(2): 129-132.
- [21] 陈振峰, 王慧, 吴慧玲, 等. 100 名女大学生乳房形态测量 [J]. *武警医学院学报*, 1999, 8(2): 95-98.
- CHEN Zhenfeng, WANG Hui, WU Huiling, et al. Measurement on breasts of 100 female college students [J]. *Acta Academiae Medicinae CPAPF*, 1999, 8(2): 95-98. (in Chinese)
- [22] CHEN D, CHITTAJALLU D R, PASSALIS G, et al. Computational tools for quantitative breast morphometry based on 3D scans [J]. *Annals of Biomedical Engineering*, 2010, 38(5): 1703-1718.
- [23] 刘羽, 王建萍. 基于乳房角度的乳房形态分类 [J]. *丝绸*, 2017, 54(8): 31-37.
- LIU Yu, WANG Jianping. Research on breast shape classification based on breast angle [J]. *Journal of Silk*, 2017, 54(8): 31-37. (in Chinese)
- [24] ZHANG B B, SUN Y, ZHONG Z J, et al. Breast shape classification and discrimination driven by local features—focusing on Chinese women in their 20s [J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2022, 90: 103304.
- [25] Technical Committee ISO/TC 159. 3-D Scanning Methodologies for Internationally Compatible Anthropometric Databases—Part 1: Evaluation Protocol for Body Dimensions Extracted from 3-D Body Scans; ISO 20685—1:2018 [S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 2010.
- [26] GB-BSI. Basic Human Body Measurements for Technological Design—Part 1: Body Measurement Definitions and Landmarks; BS EN ISO 7250—1:2017 [S]. London: International Organization for Standardization, 2017.
- [27] 辛意云. 青年女性胸型分类及文胸号型推荐 [D]. 杭州: 浙江理工大学, 2016: 20-25.
- [28] LIU Y, WANG J P, ISTOOK C L. Study of optimum parameters for Chinese female underwire bra size system by 3D virtual anthropometric measurement [J]. *The Journal of the Textile Institute*, 2017, 108(6): 877-882.
- [29] 马静. 基于胸部特征参数的个性化文胸样板研究 [D]. 杭州: 浙江理工大学, 2018: 22-24.
- [30] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 用于技术设计的人体测量基础项目: GB/T 5703—2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [31] PEI J E, FAN J T, ASHDOWN S P. Detection and comparison of breast shape variation among different three-dimensional body scan conditions: nude, with a structured bra, and with a soft bra [J]. *Textile Research Journal*, 2019, 89(21/22): 4595-4606.
- [32] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 女西服、大衣: GB/T 2665—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [33] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 衬衫: GB/T 2660—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [34] 中华人民共和国工业和信息化部. 连衣裙、裙套: FZ/T 81004—2012 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.