

基于形态参数的青年女性乳房体积预测

马静^a,詹诗画^a,邹奉元^{a,b}

(浙江理工大学, a. 服装学院; b. 浙江省服装工程技术研究中心, 杭州 310018)

摘要: 为建立青年女性乳房体积与形态参数的预测模型,选取了235名18~25岁的在校青年未孕女性进行三维人体扫描,利用逆向工程软件绘制乳房轮廓线,提取乳房三维模型进行NURBS曲面拟合,在Pro/E软件中对曲面实体化后测量体积。通过逐步回归分析,建立了乳房体积的预测模型,提出了与乳房体积最为相关的3个形态参数,分别为横奶杯弧线长、纵奶杯弧线长和胸围差,用于指导文胸罩杯的结构设计。随机选取10名在校青年未孕女性作为测试样本对预测模型进行验证,实验验证发现:该预测模型的调整 R^2 系数为0.917, $sig.$ 小于0.01,预测误差在7%以内,预测效果较好。

关键词: 乳房体积;乳房三维模型;形态参数;逐步回归

中图分类号: TS941.17

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2018)01-0025-06

0 引言

量身定制在服装成衣领域中广泛使用,而文胸作为女性服装的特殊代表,其穿着的舒适性及合体性在国内外受到越来越多的关注。Young等^[1]和Boyes等^[2]在其研究中发现70%的英国女性(尤其是乳房较大的女性)穿着的文胸不合体,北服—爱慕人体工学研究所曾记录有75.8%的女性穿着文胸号型与实际不符^[3]。文胸的舒适性与合体性是许多女性的一个困扰, Lee等^[4]发现文胸穿着不合体的原因是大多数女性并不知道她们真正的乳房大小和形状。Kim等^[5]发现导致文胸穿着不舒适的原因有两个,一个是乳房乳底轮廓线不清晰,另一个是乳房体积计算不精确。Panduram等^[6]探究了大胸女性乳房体积与象限体积的相关性($R=0.81$),并据此提出将杯积长度、胸宽和胸点位置作为文胸号型参数。Mcghee等^[7]通过排水法测量104名女性乳房体积,得出了乳房体积的分布范围及对应罩杯的大小,并发现同一号型下不同品牌文胸罩杯的体积不同,进而提出乳房体积和文胸罩杯的匹配是影响

文胸合体性的一个因素。目前对乳房体积和文胸罩杯的研究仅仅是定性分析,本文在此基础上进一步探究了乳房体积和用于文胸罩杯结构设计的人体形态参数间的定量关系。

关于乳房体积的测量方法有三种^[8]:实验法、影像法和人体数据测量法。实验法保留了乳房的自然形态,但过程复杂,耗时耗力,可重复性低;影像法成本较高,多用于医学领域;人体测量法主要通过建立乳房体积与人体尺寸的关系来间接获取乳房大小。在保证乳房体积准确性的前提下,为提高实验的可操作性和可重复性,本文探究了逆向工程提取乳房三维模型测量体积的方法。

本文通过三维人体扫描仪[TC]²获取235名18~25岁的在校青年未孕女性的点云数据,利用逆向工程软件提取乳房三维模型并测量体积,参考GB/T 16160—2008《服装用人体测量的部位与方法》及相关文献选取了与文胸结构设计相关的26个人体形态参数^[9],通过与乳房体积的相关性分析,选取了7个特征参数进行逐步回归分析,建立了乳房体积的预测模型,并提出了与乳房体积最为相关的

3个形态参数,用于指导文胸罩杯的结构设计。

1 实验

1.1 测试样本与仪器

本文选取了235名18~25岁的在校青年未孕女性作为实验对象,其中胸型比较完美,无畸形现象,且乳房轮廓较为清晰,可由三维人体扫描仪和逆向工程软件准确识别。

实验选用美国纺织与服装技术公司(Textile and Clothing Technology Corporation,[TC]²)的三维人体测量系统(3D Dimensional Body Measurement System,BMS),该系统能自动获取人体表面30~50万个点和180多个人体尺寸数据,测量速度快(10 s/人次)、精度高(0.6 mm)。

1.2 测量条件及要求

环境温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿度为 $60\%\pm 10\%$ 。测试者要求全裸或下身穿着浅色内裤,用白色浴帽包裹头发,不能佩戴任何配饰。

测量姿势:被试者双手自然握住两侧手柄,双臂与胸壁保持一定的距离,避免腋下点云数据的缺失;被试者双眼直视前方,自然呼吸,避免晃动,且重复测量3次。

1.3 测量项目

通过三维人体扫描仪[TC]²获取点云数据,保留躯干部分,进行点云预处理。参考GB/T 16160—2008《服装用人体测量的部位与方法》及相关文献确定了26个形态参数测量项目^[9],包括人体基本测量尺寸5项,分别为身高、胸围、上胸围、下胸围、胸点高;胸部测量数据10项,分别为胸围差、胸径宽、胸径厚、胸横矢径比、前颈点到乳点垂线距、前颈点到乳点直线长、前颈点到乳点弧线长、侧颈点到乳点垂线距、侧颈点到乳点直线长、侧颈点到乳点弧线长;乳房形态测量数据11项,分别为两乳头间宽、乳间曲线长、乳房高度、乳根围、乳横矢径比、横奶杯垂线距、横奶杯直线长、横奶杯弧线长、纵奶杯垂线距、纵奶杯直线长、纵奶杯弧线长。

2 乳房体积测量

2.1 乳房边界定义

Lee等^[4]对于医学整容和文胸制版两个领域的乳房边界进行了定义,提出用于文胸结构设计的乳房上侧点(UBP)在左右前腋点连线上。本文以此为依据,通过人工找点的方法确定乳头点(BP)、侧腰点(SWP)、前腋点(FNP)、乳房下侧点(BBP)、

乳房内侧点(IBP)、乳房上侧点(UBP)6个特征点,通过上胸围线、胸围线、上胸围线等辅助线的相交点确定乳房外侧点(OBP),并结合逆向工程软件Geomagic Studio中人体曲率分布图绘制用于文胸结构设计的乳房轮廓曲线。图1为乳房特征点、辅助线和轮廓线的示意图,表1为特征点的确定方法。

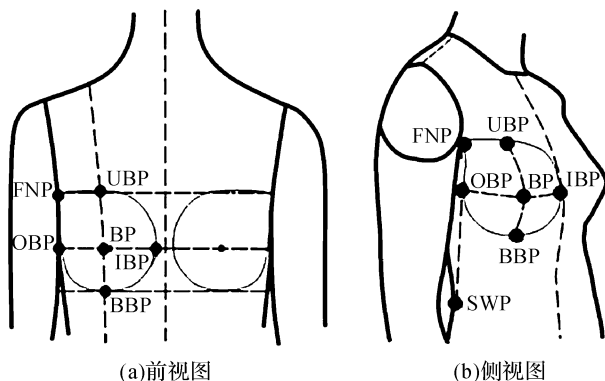


图1 乳房轮廓线示意图

表1 特征点确定方法

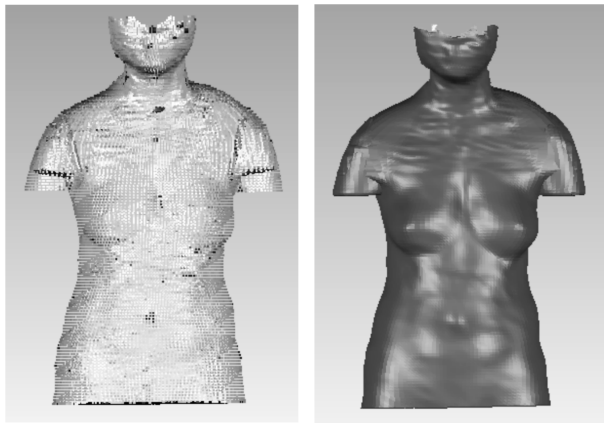
特征点	特征点确定方法
乳头点(BP)	胸围线上曲率最大点
侧腰点(SWP)	与腰围中心点y轴相交的点
前腋点(FNP)	人体躯干与与手臂刚好接触的第一个点
乳房上侧点(UBP)	左右前腋点连线与过肩中点矢状面曲线的交点
乳房内侧点(IBP)	胸围线上距离前中心点左右各1 cm的点
乳房外侧点(OBP)	侧腰点到前腋点直线在曲线上的投影与胸围线的交点
乳房下侧点(BBP)	过BP点矢状面点云上曲率最大点

2.2 乳房三维模型提取

本文实验选用NX imageware软件获取人体点云的躯干部分,利用Geomagic Studio软件构建基于NURBS曲面拟合的乳房三维模型,主要分为点云阶段、多边形阶段和曲面阶段。

a) 点云阶段:对[TC]²扫描获得的青年女性躯干点云进行预处理,主要包括删除非连接点云、去除体外孤点、减少噪声点、统一采样(曲率优先)、封装数据等。通过点云预处理,可以获得一个边界比较理想、表面相对光滑的多边形模型。点云预处理及封装后的模型示例图像如图2(a)~(b)所示。

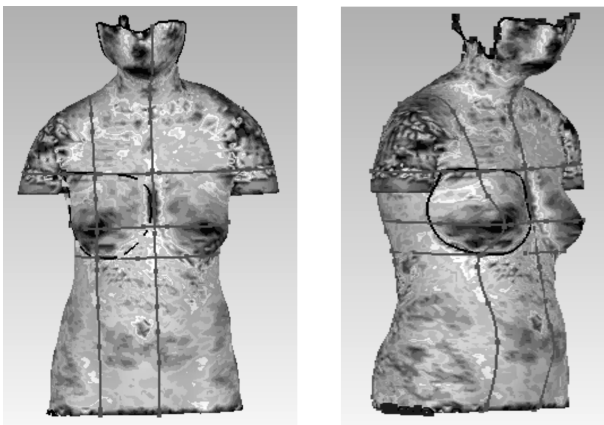
b) 多边形阶段:通过创建流型、填充孔洞、简化松弛多边形、修复相交三角形区域等基本操作进一步优化躯干模型后,在曲率图模式下绘制乳房轮廓线示例图像如图3(a)~(b)所示,并应用软件中“定制区域”命令提取乳房多边形模型。



(a)去除体外孤点

(b)云封装

图 2 点云预处理及封装示例图像



(a)前视图

(b)侧视图

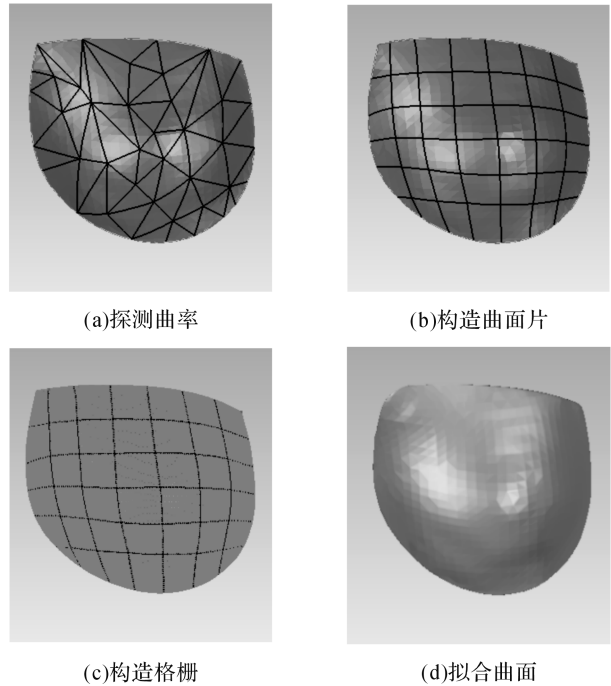
图 3 乳房轮廓线的绘制示例图像

c) 曲面阶段:对乳房多边形模型进行非均匀有理 B 样条(NURBS)曲面拟合,NURBS 由 Versprille^[10]在其博士学位论文中提出,曲面拟合精度较高,广泛用于计算机 3D 建模中。图 4(a) — (d)为乳房曲面拟合四个步骤后的示例图像,分别为探测曲率、构造曲面片、构建格栅、拟合曲面。

在 Geomagic Studio 软件中完成青年女性乳房点云到曲面的建模过程后,在 Pro/E 软件中对乳房曲面进行填充、实体化。由于乳房底面是符合人体乳房边界曲率的光滑曲面,且乳房上侧到乳房下侧平坦过渡。因此,底面填充选择了边界混合的方法,在乳房轮廓线上选择 6 个点,用直线分别连接 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 、 P_6 ,以便乳房底面能够沿乳房边界曲率光滑过渡。图 5(a) — (b)为乳房底面边界混合示意图,3 条直线将纵奶杯垂线距即 UBP 到 BBP 的垂直距离平均分成 4 等分,通过“边界混合”命令对底面的四部分 G_1 — G_4 依次填充。

边界混合后,得到了封闭的乳房模型。最后选择

“体积”命令,选中“实体几何”,测量精度为 0.01 mL,求取乳房体积,示例图像如图 6 所示。



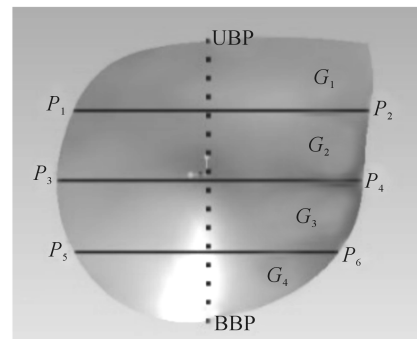
(a)探测曲率

(b)构造曲面片

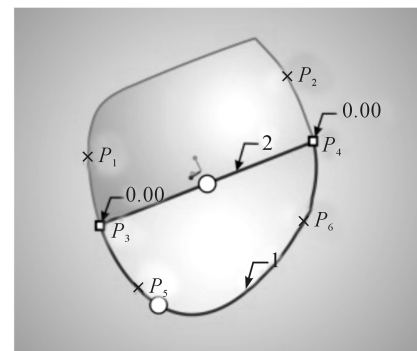
(c)构造格栅

(d)拟合曲面

图 4 乳房曲面拟合示例图像



(a)边界混合趋于划分



(b)边界混合过程

图 5 乳房底面边界混合示意图

2.3 乳房体积验证

为验证逆向工程计算乳房体积方法的可行性,选取 3 个不同规格的人台,利用标记带确定特征线、

特征点,采用白乳胶和 $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ 大小的纸巾制作乳房模型,图 7(a)–(b)为乳房模型的制备效果图。首先,依据图 1 乳房轮廓线的示意图在人台上贴好标记带,确定特征点,绘制乳房轮廓线。为便于风干后的模型剥落,绘制乳房轮廓线后在人台乳房表面包覆一层保鲜膜;其次,为逐步加速模型的定型性,调配三种梯度粘合剂(一梯度白乳胶与清水的体积比为 $1:3$;二梯度白乳胶与清水的体积比为 $1:2$;三梯度白乳胶与清水的体积比为 $1:1$),用涂料刷将一梯度粘合剂涂抹于乳房表面,每刷一层,平铺若干层纸巾,并用吹风机吹干。依次重复二梯度、三梯度的操作,直至模型较为硬挺;最后,待模型完全风干后,取下模型,修剪边缘。

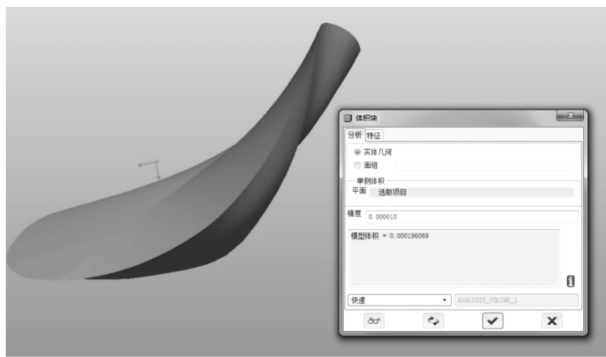


图 6 乳房实体化及体积测量示例图像

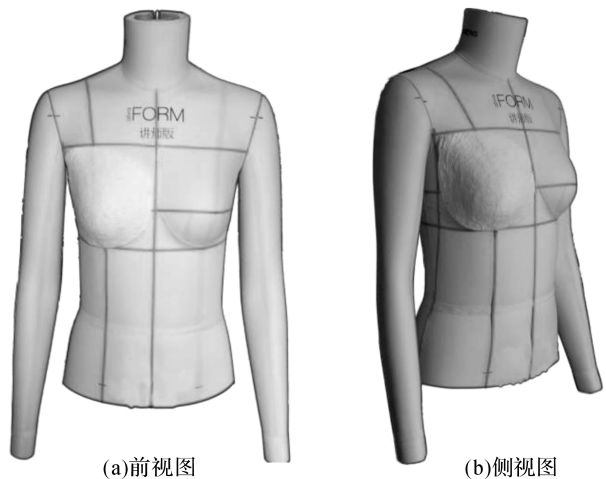


图 7 乳房模型制备效果图

由于乳房底部不是一个平面,用“排水法”不能准确的测出体积,因此,实验采用细沙对乳房模型进行填充,并利用量筒测出细沙体积,细沙体积即为乳房体积。将该方法测出的体积与逆向工程计算乳房体积进行对比见表 2,实验误差均小于 18 mL ,误差百分比小于 4% 。经实验验证,逆向工程计算乳房体积的方法是可行的。

表 2 逆向工程测量乳房体积验证

模型	白乳胶法实	逆向工程法	误差百
下胸围/cm 胸围差/cm	测体积/mL	实测体积/mL	分比/%
72.0 11.0	413.3	418.26	1.2
70.0 14.0	505.4	523.44	3.6
75.0 12.5	476.0	485.82	2.1

3 数据分析

3.1 数据预处理

为保证数据的可靠性和精度,本文实验利用 SPSS 软件对 235 个样本进行异常值剔除和替换、正态性检验等预处理,异常值替换是用该参数其他所有样本的平均值替代,最终共剔除 11 个样本。将剔除异常值后的 224 个样本的各变量进行正态性检验,均符合正态分布。表 3 为青年女性的罩杯分布情况,其中穿着 B 罩杯、A 罩杯和 AA 罩杯群体较多,这与实验对象青年未孕女性相符。图 8 为乳房体积与文胸罩杯的关系,分析每一罩杯下乳房体积的最大值、最小值和均值,发现随着罩杯的增大,乳房体积也随之增大,说明乳房体积可以很好地表达乳房大小这一概念。

表 3 青年未孕女性文胸罩杯的分布

文胸罩杯	AA	A	B	C	D	E	F/G
百分比/%	20.1	23.6	30.6	16.0	4.8	3.5	1.4

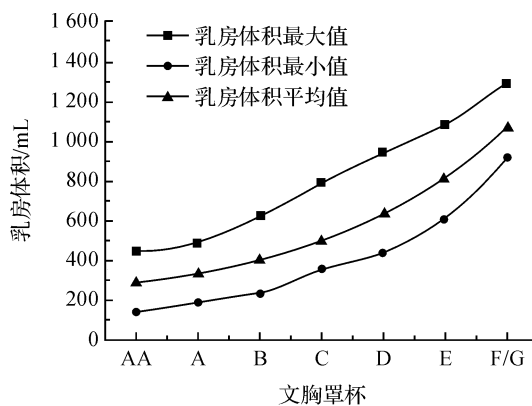


图 8 乳房体积与文胸罩杯的关系

3.2 特征参数的提取

为简化变量,本文实验将乳房体积和 26 个形态参数进行相关性分析,提取了 Pearson 值大于或等于 0.75 的 7 个特征参数,分别为胸围差、乳横矢径比、乳房高度、横奶杯弧线长、纵奶杯弧线长、前颈点到 BP 点弧线长、肩中点到 BP 点弧线长。表 4 为这 7 个特征参数的定义,表 5 为 7 个特征参数的描述性统计及与乳房体积的相关性。

表 4 相关特征参数的定义

测量参数	参数定义
胸围差	胸围与下胸围之差
乳房高度	胸点(BP)到乳房内侧点(IBP)与乳房外侧点(OBP)连线的垂直距离
乳横矢径比	乳房高度与乳房内侧点(IBP)与乳房外侧点(OBP)直线长的比值
横奶杯弧线长	乳房表面连接乳房内侧点(IBP)、胸点(BP)和乳房外侧点(OBP)的弧线长
纵奶杯弧线长	乳房表面连接乳房上侧点(UBP)、胸点(BP)和乳房下侧点(BBP)的弧线长
前颈点到 BP 点弧线长	人体表面由前颈点到胸点(BP)弧线长
肩中点到 BP 点弧线长	人体表面由肩中点到胸点(BP)弧线长

表 5 特征参数的描述性统计及与乳房体积的相关性

	极小值	极大值	均值	标准差	体积	
					Pearson 相关性	显著性(双侧)
胸围差/cm	4.63	30.43	11.94	3.72	0.83**	0.00
乳房横矢径比	0.24	0.70	0.42	0.08	0.81**	0.00
乳房高度/cm	2.75	9.37	5.20	1.19	0.90**	0.00
横奶杯弧线长/cm	10.15	27.60	18.35	2.49	0.92**	0.00
纵奶杯弧线长/cm	11.01	24.29	15.08	2.34	0.90**	0.00
前颈点到 BP 点弧线长/cm	16.93	29.17	21.16	1.90	0.75**	0.00
肩中点到 BP 点弧线长/cm	19.17	31.28	23.84	2.08	0.76**	0.00

注:**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3.3 青年女性乳房体积预测模型

本文利用逐步回归模型分析了上述 7 个特征参数与乳房体积的关系,对引入的每一个变量进行 F 检验,对已经选入的每个变量进行 t 检验,并剔除引起多重共线性的变量,进而自动筛选出贡献显著的 3 个变量,分别为横奶杯弧线长、纵奶杯弧线长和胸围差。回归方程为

$$y=35x_1+31.1x_2+6.44x_3-776.1,$$

其中: x_1 为横奶杯弧线长, x_2 为纵奶杯弧线长, x_3 为胸围差, y 为乳房体积。

表 6 为共线性统计量分析,通过共线性诊断这 3 个变量方差膨胀因子(VIF)均小于 10,容差大于 0.1,不存在共线性,调整 R^2 系数为 0.92, $sig.$ 小于 0.01,拟合度较好。说明通过横奶杯弧线长、纵奶杯弧线长和胸围差这 3 个变量可以较为准确的描述乳房大小。

表 6 共线性统计量分析

模型	横奶杯弧线长	纵奶杯弧线长	胸围差
容差	0.21	0.31	0.31
VIF	4.67	3.19	3.27

为验证模型的可靠性,随机选取 10 名在校青年未孕女性作为测试样本,编号为 1—10。表 7 为 10 名测试者的相关测量参数及体积的预测值和实际值。其中,横奶杯弧线长、纵奶杯弧线长和胸围差通过 $[TC]^2$ 获取,体积预测值通过上述预测模型计算,体积实际值通过逆向工程测量。图 9 为体积误差百分比图,分析误差产生的原因主要有两方面:a) 部分测量者有轻微的驼背或者挺胸,导致测量参数不

准确;b) 实验样本的体积最小值为 139.54 mL,最大值为 1287.11 mL,均值为 438.14 mL,体积覆盖范围较大,对于体积过小过大的样本,模型预测精度相对较低。但总的来说,测试样本体积预测值与实际值较为接近,无显著性差异,误差百分比小于 7%,如图 9 所示,预测效果较好。

表 7 测试样本相关测量参数及体积预测值和实际值

样本编号	横奶杯弧线长/cm	纵奶杯弧线长/cm	胸围差/cm	体积预测值/mL	体积实际值/mL
1	14.98	12.48	6.02	175.33	188.40
2	16.90	13.15	7.96	275.68	295.42
3	17.13	13.00	14.6	321.84	333.76
4	17.79	14.07	13.24	369.51	372.16
5	19.89	15.53	13.84	492.20	488.81
6	19.61	16.50	15.82	525.21	514.09
7	20.90	16.57	15.10	567.96	563.41
8	21.03	17.23	13.07	579.83	602.11
9	21.92	20.37	21.08	760.36	742.69
10	23.64	20.80	18.91	819.96	873.66

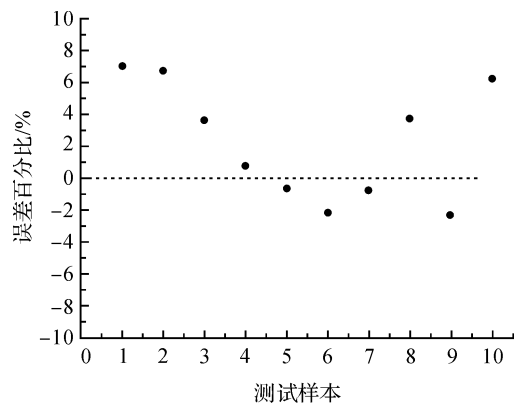


图 9 测试样本乳房体积误差百分比

4 结 论

本文通过逆向工程软件提取并测量了 235 名 18~25 岁的在校青年未孕女性乳房体积,利用乳房体积表征乳房大小,并探究了青年女性乳房体积与形态参数的预测模型,得出了与乳房体积最为相关的 3 个形态参数,用于指导文胸结构设计。

a) 提供了一种逆向工程获取乳房体积的方法。首先,对乳房轮廓线进行定义;其次,利用逆向工程软件提取乳房模型,主要有点云预处理,乳房模型的提取及 NURBS 曲面拟合;最后,将该曲面在 Pro/E 中实体化并测量体积。通过白乳胶建模法验证,实验误差小于 18 mL,误差小于 4%。

b) 对剔除异常值后的 224 名 18~25 岁的在校青年未孕女性的罩杯分布情况进行分析,其中穿着 B 罩杯、A 罩杯和 AA 罩杯群体较多,占总样本的 74.3%。并对每一罩杯下乳房体积的最大值、最小值和均值进行比较分析,发现乳房体积与文胸罩杯(AA—F/G)呈正相关关系,认为乳房体积可以用来描述乳房的大小。

c) 通过逐步回归法建立了乳房体积的预测模型,得出了和乳房体积最为相关的 3 个形态参数为横奶杯弧线长、纵奶杯弧线长和胸围差,在文胸罩杯结构设计中,把握了这 3 个形态参数的准确性,就能很好地表达文胸罩杯对乳房的容纳。

参考文献:

- [1] Young V L, Nemecek J R, Nemecek D A. The efficacy of breast augmentation: breast size increase, patient satisfaction, and psychological effects[J]. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 1994, 94(7): 958-969.
- [2] Boyes K. Buying the perfect bra[J]. *Good House Keeping*, 1996, 223(2): 50-57.
- [3] 段笑娟. 乳房形态与文胸罩杯结构的适用性研究[D]. 北京: 北京服装学院, 2004: 33.
- [4] 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.
- [5] Kim J W, Lee S Y, Hong K H. Development of sensible brassiere for middle aged women[J]. *Korean Soc Clothing Textiles*, 2000, 24(5): 714-723.
- [6] Pandarum R, Yu W, Hunter L. 3-D breast anthropometry of plus-sized women in South Africa[J]. *Ergonomics*, 2011, 54(9): 866-875.
- [7] Mcghee D E, Steele J R. Breast volume and bra size[J]. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2011, 23(5): 351-360.
- [8] 田书亮, 贾雯. 乳房体积测量方法的进展[J]. *中国美容医学*, 2014, 23(21): 1848-1849.
- [9] 辛意云, 金娟凤, 蔡倩云, 等. 青年女性乳房表面积预测模型[J]. *纺织学报*, 2016, 37(10): 101-106.
- [10] Hartog E A D. Models of Venous Return and Their Application to Estimate the Mean Systemic Filling Pressure[D]. Rotterdam: Erasmus University Rotterdam, 1997: 8.

Prediction of young women's breast volume based on morphological parameters

MA Jing^a, ZHAN Shihua^a, ZOU Fengyuan^{a,b}

(a. School of Fashion Design and Engineering; b. Zhejiang Provincial Research Center of Clothing Engineering Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to establish the prediction model of young women's breast volume and morphological parameters, a total of 235 young non-pregnant women at the age of 18~25 were selected for 3D body scanning. The reverse engineering software was applied to draw contour lines of breasts. The 3D breast model was extracted for NURBS surface fitting. Then, the volume was measured in the Pro/E software after substantialization of the surface. The prediction model of breast volume was established by stepwise regression method, and three morphological parameters about breast volume (the horizontal cup length, the vertical cup length and the bust difference) were proposed. Which were used to guide the structure design of bra cup. The experimental samples of 10 young women were chosen to validate the prediction model. The experimental results show that the adjustment R^2 coefficient of the prediction model is 0.917; "sig." is less than 0.01; the prediction error of breast volume is within 7%; the prediction model is better.

Key words: breast volume; three-dimension breast model; morphological parameters; stepwise regression

(责任编辑: 唐志荣)