

# 东北女青年下身体型分类及数学模型建立

张小妞<sup>1</sup>, 王军<sup>\*1,2</sup>, 张春媛<sup>1</sup>

(1. 大连工业大学服装学院, 辽宁大连 116034; 2. 大连工业大学服装设计与工程国家级实验教学示范中心, 辽宁大连 116034)

**摘要:**为提高裤装的合体性,以18~25岁东北女青年为研究对象,通过VITUS三维人体扫描仪测量677个样本的身体尺寸,选取24项下身部位的特征变量。采用主成分分析法得到影响下身体型特点的3大因子:横向因子、高度因子和裆部因子。依据3大因子选取腰围、身高、周裆长3个变量作为分类指标,运用K-means聚类法对下身体型进行分类,将东北女青年下身体型分成中等身高胖体、高挑标准体、瘦小体3类,分别占比16.1%、35.3%、48.6%。根据各项特征指标的Pearson相关性分析结果,以身高与腰围作为自变量,对腰围高、会阴高、臀围等12项与裤装相关的特征指标进行逐步回归分析,建立各类体型数学模型,为合体裤装结构的制作打下基础。

**关键词:**下身体型分类;东北女青年;因子分析;K-means聚类;数学模型

**中图分类号:**TS 941.17 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-1928(2020)06-0482-06

## Classification of Lower Somatotype and Mathematical Models of Young Women in Northeast China

ZHANG Xiaoniu<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>\*1,2</sup>, ZHANG Chunyuan<sup>1</sup>

(1. School of Fashion, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China; 2. Nation Demonstration Center for Experimental Fashion Design and Engineering Education, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

**Abstract:** In order to improve the fitness of pants, this paper took 18~25 years old young women in Northeast China as the study objects. The body sizes of 677 samples were measured by VITUS 3-D human body scanner, and 24 lower body parts characteristic variables were selected for analysis. With principal component factor analysis method, three principal components factors affecting the shape of lower body were obtained: the factor of transverse, height and crotch. Three categorical variables including waist girth, height and circumference length were selected. K-means clustering method was used to classify the lower body shape of the young women in Northeast China into three categories: medium height fat body, tall standard body and thin body, accounting for 16.1%, 35.3% and 48.6%, respectively. According to Pearson correlation analysis, taking height and waist circumference as independent variables, the stepwise regression analysis was carried out on 12 variables related to pants, such as waist girth, perineum height and hip girth and so on. Then the mathematical models of various body types were established for making suitable trousers structure.

**Key words:** lower somatotype, young women in Northeast China, factor analysis, K-means clustering, mathematical model

人体的体型复杂,而下装纸样结构设计的方法较多,若要达到下装合体性与舒适性要求,人体下

身体型分类及数学回归模型的建立是重要基础。近年来,已经有文献对不同地区、不同年龄的人群

收稿日期:2020-02-12; 修订日期:2020-05-26。

基金项目:教育部人文社科青年基金项目(17YJC760096);辽宁省教育厅科研项目(J2019023);辽宁省科学“十三五”规划基金项目(JG17DB052)。

作者简介:张小妞(1992—),女,硕士研究生。

\*通信作者:王军(1978—),女,副教授,硕士生导师。主要研究方向为服装工效学、数字化服装技术。

Email:wangjundl@126.com

进行人体数据分析,研究人体下身体型特征、分类及识别的方法<sup>[1-2]</sup>,其中对女性下身体型特征研究开展最早的是华东地区。

目前国内外对体型的分类主要采用数据分析的方法,使用 SPSS 软件从不同角度对体型进行聚类,根据研究目的选择分类指标,包括特殊指标、主成分等。当针对特殊体型或特殊部位时,采用特殊指标进行分类,如张秀等<sup>[3]</sup>以身高、裆底高、身高与裆底高的比值作为分类指标,将女性下身分为 4 类;夏岩等<sup>[4]</sup>以臀凸角为聚类指标,将臀型分为 4 类;黄灿艺<sup>[5]</sup>以下身长宽比和腰臀比为聚类指标,将下身分为 4 类;张雨<sup>[6]</sup>以腹凸倾斜角为腰臀部初次分类的指标,再运用 K-means 聚类法,将武汉地区女性腰臀部细分为 6 类;CHOI Y L 等<sup>[7]</sup>运用体侧角将人体侧身形态分成 4 类。围度差可以反映人体体型的变化,是下身分类最常用的指标。黄英等<sup>[8]</sup>、葛秋菊<sup>[9]</sup>均以腰臀差作为体型分类标准,将华东地区女性下身体型分为 4 类;陈明艳等<sup>[10]</sup>以臀腰的围度差、宽度差、厚度差为依据,将女性下身分为 5 类。此外,王军等<sup>[11]</sup>运用主成分分析法,得到 5 大主成分变量指标,将女性下身分为 3 类;程朋朋等<sup>[12]</sup>测量福州大学学生的体型数据,并进行主成分分析,提取 7 个特征因子用于分析样本体型,研究结果将女子体型分为 3 类,男子体型分为 4 类;SONG H K 等<sup>[13]</sup>运用主成分分析法,将女性臀部分为 3 类,将女性腰臀部分为 9 类。

## 1 人体测量实验

### 1.1 仪器

VITUS 三维人体扫描仪,德国 Human Solution 公司制造。

### 1.2 实验变量的确定

文中研究对象为 677 名大连工业大学青年女性,年龄为 18~25 岁。文中主要参考人体体型特征、人体运动特点、裤装结构 3 部分,对人体下身进行研究。女性下身主要分为腰臀部和腿部两个部分,裆部是连接两者的重要部位。根据人体及服装结构规律选定人体测量项目,测量项目应尽可能反映下身体型特征,以有效描述人体腰、腹、臀的曲面特点。结合女性下装结构要求,除测量女性下身的周裆长、直裆长、腰围、臀围、腰高等基础部位外,还需要测量腰、腹、臀的宽度和厚度,同时大腿根部、膝部、脚踝也是下身研究的重点部位。实验选取 24 项人体下身数据分析东北女青年下身体型特征,具

体测量变量见表 1。

表 1 下身体型变量

Tab. 1 Lower somatotype variables

序号	名称	序号	名称
1	腰围	13	臀厚
2	腹围	14	腹臀厚
3	臀围	15	腰围高
4	大腿围	16	臀围高
5	小腿肚围	17	身高
6	膝围	18	会阴高
7	踝围	19	膝围高
8	腰宽	20	踝围高
9	腹宽	21	直裆
10	臀宽	22	周裆长
11	腹厚	23	前裆
12	腰厚	24	后裆

### 1.3 样本量的确定

一般在工业生产和科学研究中,为保证测量数据的准确性,取 95% 置信水平,最小样本容量为<sup>[14]</sup>

$$N = (z_{\alpha/2} \times \frac{\sigma}{\Delta})^2 \quad (1)$$

式中: $N$  为最小样本容量; $\sigma$  为标准差; $\Delta$  为最大允许误差; $\alpha$  为 5%,对应的可靠性系数  $z_{\alpha/2}$  为 1.96。

表 2 为成年人身体部位尺寸的最大允许误差和标准差<sup>[15]</sup>。由表 2 可知,最小样本容量为 173,而实际测量对象人数为 677,满足样本要求。

表 2 成年人身体部位尺寸的允许误差和标准差

Tab. 2 Allowable errors and standard deviations of adult body part sizes

部位	$\Delta/cm$	$\sigma/cm$	$\sigma/\Delta$	样本容量个数
身高	1.0	6.2	6.20	148
胸围	1.5	5.5	3.67	52
腰围	1.0	6.7	6.70	173
臀围	1.5	5.2	3.47	46

## 2 数据处理

### 2.1 正态分布检验

进行人体数据分析时,要求样本服从正态分布。文中采用 Q-Q 概率图对东北女青年下身体型数据进行正态检验,以臀围为例,检验结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,臀围变量与正态期望值形成的点大致落在一条斜线上,因此可认为臀围数据服从正态分布。经验证其他指标也服从或近似服从正态分布。

### 2.2 异常值分析

由于测量过程中存在偶然误差和系统误差,通

过 SPSS 软件的箱式图排查东北女青年下身体型数据中的异常值。以臀围为例,所得箱式图如图 2 所示。图 2 中,各异常值可以直观呈现。

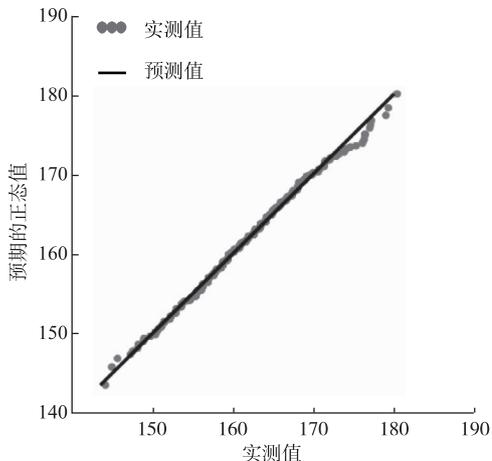


图 1 臀围正态检验 Q-Q 图

Fig. 1 Normal testing Q-Q chart of hip

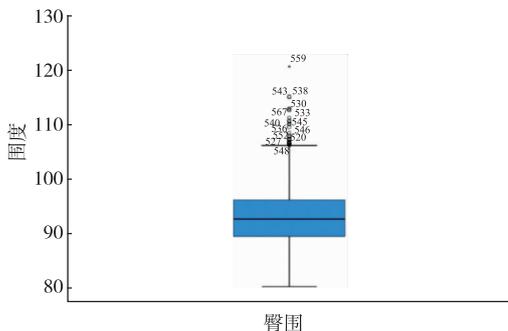


图 2 臀围箱式图

Fig. 2 Box diagram of hip

对于数据异常的样本,需要查看、分析原始三维扫描的数据,综合判断数据的有效性,剔除异常值。通过对数据的预处理,综合分析后排除 50 个异常的东北女青年下身体型数据,最终确定 627 个有效样本,样本有效率为 92.6%。

### 2.3 下身体型特征分析

**2.3.1 下身体型变量统计分析** 对东北地区青年女性下身腰臀部及腿部变量进行统计,得到各测量项目的极小值、极大值、均值、标准差,结果见表 3。表 3 显示了东北地区女青年下身数据的离散程度和变异范围,总体上反映了东北地区女性下身体型情况。

**2.3.2 下身体型特征比较** 将 18~25 岁东北地区女青年(样本 1)与国标女子标准体(样本 2)的下身体型数据平均值进行比较,结果见表 4。由表 4 可知,东北地区女青年在围度上与标准体有明显差异,腰围比标准体小,身高略高,整体较标准体更为高挑。

表 3 东北地区青年女性下身指标统计

Tab. 3 Index statistics of young women's lower body in Northeast China

项 目	极小值	极大值	均 值	标准差
臀厚	19.3	36.8	23.5	2.25
腹臀厚	20.0	38.5	25.7	2.53
腰围高	87.0	114.3	99.4	4.04
臀围高	67.3	92.2	79.4	4.10
身高	144.2	180.4	161.8	5.90
会阴高	57.2	82.5	70.3	3.94
膝围高	35.9	49.2	42.3	2.16
踝围高	6.3	7.9	7.1	0.26
直裆	22.6	29.0	24.7	0.86
周裆长	61.5	95.9	74.3	4.32
前裆	30.7	49.9	35.9	2.29
后裆	30.8	50.2	38.4	2.32
臀厚	19.3	36.8	23.5	2.25
腹臀厚	20.0	38.5	25.7	2.53
腰围高	87.0	114.3	99.4	4.04
臀围高	67.3	92.2	79.4	4.10
身高	144.2	180.4	161.8	5.90
会阴高	57.2	82.5	70.3	3.94
膝围高	35.9	49.2	42.3	2.16
踝围高	6.3	7.9	7.1	0.26
直裆	22.6	29.0	24.7	0.86
周裆长	61.5	95.9	74.3	4.32
前裆	30.7	49.9	35.9	2.29
后裆	30.8	50.2	38.4	2.32

表 4 样本下身均值与国标下身均值对比

Tab. 4 Comparisons of lower body's mean values between sample and national standard

样本编号	身 高	腰围高	腰 围	臀 围
1	161.8	99.4	70.8	93.1
2	160.0	98.0	76.6	94.8

### 2.4 主成分因子分析

对东北女青年下身体型特征的 24 项指标进行 KMO 值的适当性度量 and Bartlett's 球形检验,结果见表 5。由表 5 可以看出,测量实验中女青年下身体型指标 KMO 值为 0.897, Bartlett's 球形检验值为 0.000,说明这 24 项体型特征指标适合进行因子分析。

表 5 KMO 和 Bartlett's 检验

Tab. 5 KMO and Bartlett's text

KMO 测量取样适当性	Bartlett's 球形检验		
	近似卡方	自由度	显著性
0.897	41 128.65	276	0.000

为探索影响东北地区女青年下身体型的主要

因子,运用 SPSS 软件对实验样本进行主成分分析,结果见表 6。由表 6 可以看出,前 3 个主成分累计

方差贡献率为 86.545%,特征值大于 1,因此影响东北地区女青年下身体型的主要因子有 3 个。

表 6 方差总解释

Tab. 6 Total variance of interpretation

成分	初始特征值			旋转平方和载入		
	合计	方差/%	累积/%	合计	方差/%	累积/%
1	13.946	58.108	58.108	11.782	49.091	49.091
2	5.554	23.140	81.248	5.783	24.095	73.186
3	1.271	5.297	86.545	3.206	13.359	86.545
4	0.865	2.317	90.147			

旋转后的成分矩阵见表 7。由表 7 可以看出,主成分因子 1 在围度、宽度、厚度变量上有较大载荷,可定义为横向因子;主成分因子 2 在高度上载荷系数较大,可以定义为高度因子;主成分因子 3 在裆部变量上有较大载荷,定义为裆部因子。

表 7 旋转后的成分矩阵

Tab. 7 Rotational component matrix cm

项目	成分		
	1	2	3
腰围	0.969	-0.010	0.073
腹围	0.954	0.051	0.185
腰宽	0.944	0.045	-0.064
腹厚	0.916	-0.049	0.216
腹宽	0.902	0.117	0.131
腰厚	0.894	-0.013	0.227
臀围	0.889	0.118	0.345
大腿围	0.864	0.070	0.353
腹臀厚	0.863	-0.028	0.290
臀厚	0.857	0.001	0.351
直裆	0.843	0.100	0.314
臀宽	0.807	0.202	0.275
小腿肚围	0.798	0.020	0.394
膝围	0.779	0.106	0.381
踝围	0.501	0.180	0.325
会阴高	-0.070	0.978	-0.091
膝围高	0.081	0.970	0.030
臀围高	0.082	0.970	0.031
腰围高	0.017	0.961	0.242
身高	0.098	0.936	0.225
踝围高	0.098	0.933	0.227
周裆长	0.496	0.226	0.819
后裆	0.457	0.211	0.775
前裆	0.473	0.213	0.758

综上,影响东北地区女青年下身体型特征的 3 大因子为:横向因子、高度因子和裆部因子。

## 2.5 下身体型聚类

采用 K-means 聚类法对东北地区女青年下身体型进行分类。K-means 聚类法用于对大量数据进行聚类分析的情形,可以有效处理多变量、小计算量、大样本的数据而不占用太多内存空间和计算时间,其速度往往明显快于层次聚类法,但对变量的多元正态性、方差齐性等条件要求较高<sup>[16]</sup>。通过对测量数据的分析,从 3 大因子中筛选出具有代表性的下身体型特征参数,提取身高、周裆长、腰围 3 个变量,运用 K-means 聚类法对实验样本进行聚类分析,发现东北地区女青年下身体型可分为 3 类,各类体型样本占比分别为 16.1%、35.3%、48.6%,样本聚类分布情况见表 8。聚类后各体型类别的特征变量平均值见表 9。

表 8 聚类分类情况

Tab. 8 Cluster classification

聚类类别	数量/个	占比/%
1	101	16.1
2	221	35.3
3	305	48.6
总计	627	100.0

表 9 最终聚类中心

Tab. 9 Final cluster center cm

项目	聚类		
	1	2	3
身高	161.8	167.0	158.0
周裆长	78.3	76.1	71.7
腰围	83.2	70.0	67.2

数据标准化处理可以消除变量间的量纲关系和变量自身变异的影响,统一数据单位,使数据具有可比性。SPSS 默认的数据标准化方法是 Z-score 法,这种方法基于原始数据的均值和标准差进行标准化,即每一变量值与其平均值之差除以该变量的标准差<sup>[17]</sup>。运用 SPSS 标准化方法对各类体型的分类变量进行标准化处理,结果见表 10。

表 10 各类体型特征变量标准化

Tab. 10 Standardization of body shape characteristic variables

聚类类别	标准化值		
	身高	周裆长	腰围
1	-0.103 29	0.872 87	1.139 10
2	1.047 64	0.218 22	-0.405 71
3	-0.944 35	-1.091 09	-0.733 39

根据表 10 各类体型特征变量标准化结果绘制雷达图,用于分析东北地区女青年下身体型聚类类别的差异,具体如图 3 所示。由图 3 可以看出,聚类 1 腰围和周裆长最大,身高比较适中,其下身体型特征为中等身高胖体;聚类 2 身高最高,腰围和周裆长适中,其体型特征为高挑标准型体;聚类 3 身高、腰围和周裆长均小,其下身体型特征为瘦小体。

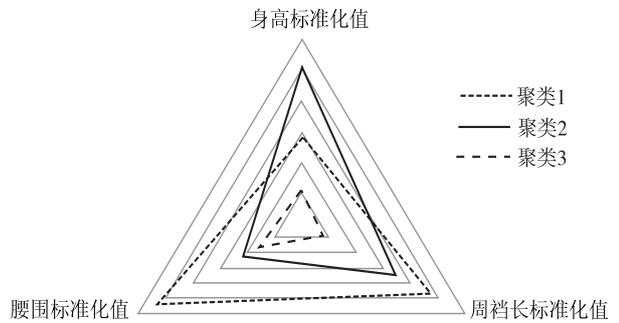


图 3 下身体型类别雷达图

Fig. 3 Radar map of lower body shape type

利用方差分析法验证 K-means 聚类中将下身体型分为 3 类是否合理,结果见表 11。表 11 中, Sig. 值均为 0.000,可以看出所有变量在组间与组内均有明显差异,验证聚类数为 3 具有合理性。

表 11 方差分析

Tab. 11 Analysis of variance

项目	聚类		误差		F	Sig.
	均方	自由度	均方	自由度		
身高	5 195.460	2	18.231	624	284.974	0.000
周裆长	2 145.106	2	11.821	624	181.465	0.000
腰围	9 713.362	2	22.554	624	430.671	0.000

### 2.6 数学回归模型

根据各项特征指标的 Pearson 相关性分析,以身高  $h$  与腰围  $w$  作为自变量,对腰围高、会阴高、臀

围等 12 项与裤装相关的特征指标进行逐步回归分析,建立各类体型的数学模型,以研究人体下身变量与身高、腰围之间的函数关系,具体结果见表 12。

表 12 各类体型数学回归模型

Tab. 12 Mathematical regression models of various body types

项目	体 型		
	第 1 类	第 2 类	第 3 类
臀围	$0.249h + 0.799w - 5.595$	$0.163h + 0.563w + 27.201$	$0.138h + 0.624w + 26.166$
腹围	$0.178h + 0.994w - 21.123$	$0.125h + 0.957w - 9.581$	$0.059h + 0.976w - 0.715$
大腿围	$0.211h + 0.534w - 18.708$	$0.443w + 23.125$	$0.466w + 20.038$
膝围	$0.145h + 0.336w - 10.706$	$0.237w + 21.317$	$0.054h + 0.229w + 12.390$
踝围	$0.087h + 0.055w + 5.887$	$0.113w + 15.889$	$0.045h + 0.120w + 7.753$
臀厚	$0.370w - 4.019$	$0.198w + 9.619$	$0.210w + 8.353$
腰围高	$0.707h - 15.066$	$0.722h - 0.057w - 12.853$	$0.734h - 18.649$
臀围高	$0.607h - 18.897$	$0.644h - 25.220$	$0.646h - 24.882$
会阴高	$0.572h - 0.094w - 15.611$	$0.656h - 36.413$	$0.655h - 0.092w - 28.783$
膝围高	$0.324h - 10.180$	$0.344h - 13.526$	$0.345h - 13.299$
踝围高	$0.044h + 0.016$	$0.043h + 0.111$	$0.045h - 0.082$
周裆长	$0.305h + 0.448w - 8.370$	$0.110h + 57.599$	$0.138h + 0.251w + 32.967$

由表 12 可以看出,在围度指标中,第 1 类体型的数学回归模型均为二元一次函数,说明围度受身高和腰围的影响;第 2 和第 3 类体型中,大腿围、膝围和踝围的  $h$  系数比较小或者为 0,说明主要受腰围的影响。在高度指标中,3 类体型的  $w$  系数较小或为 0,说明主要受身高的影响,腰围影响较小或不受影响。在臀厚指标中,3 类体型的数学回归模型

均为一元一次函数,说明臀厚主要受腰围的影响。在周裆长指标中,第 1 类和第 3 类体型的数学回归模型均为二元一次方程,说明裆部指标受身高与腰围的共同影响。

### 3 结 语

1) 通过对下身体型特征指标描述统计的对比

与分析,发现在下身体型特征方面,东北地区女青年与国标女子标准体有明显差异,整体呈现围度偏小、身高偏高的特点。

2) 运用 SPSS 进行主成分因子分析,得到 3 个影响下身体型特征的主成分因子,分别为横向因子、高度因子和裆部因子。依据 3 大因子选取腰围、身高、周裆长 3 个变量为分类指标,运用 K-means 聚类法对下身体型进行分类,将东北女青年下身体型分为中等身高胖体、高挑标准体、瘦小体 3 类,各类体型占实验样本的比例分别为 16.1%, 35.3%, 48.6%; 3 种体型的腰部特征差异较明显。

3) 根据各项特征指标的 Pearson 相关性分析,选择身高与腰围为自变量,对 12 项与裤装相关的特征指标进行逐步回归分析,得到各类体型的数学回归模型。

### 参考文献:

[1] 朱碧空,李月. 女装号型分类方法对比研究与优化[J]. 毛纺科技,2018,46(4):41-45.  
ZHU Bikong, LI Yue. Contrastive study and optimization of the female size standards[J]. Wool Textile Journal, 2018,46(4):41-45. (in Chinese)

[2] 丁中娟,杜劲松. 女性体型分类研究概述[J]. 国际纺织导报,2016,44(12):57-61.  
DING Zhongjuan, DU Jinsong. Review of female somatotype research[J]. Melliand China, 2016,44(12):57-61. (in Chinese)

[3] 张秀,王宏付. 基于三维人体测量的青年女性裆底高特征探讨[J]. 纺织学报,2012,33(7):100-103.  
ZHANG Xiu, WANG Hongfu. Discussion on crotch height of young women based on 3-D body measurement[J]. Journal of Textile Research, 2012,33(7):100-103. (in Chinese)

[4] 夏岩,石小强,王宏付. 青年女性臀凸曲线及裤装后片结构分析[J]. 纺织学报,2015,36(11):115-120.  
XIA Yan, SHI Xiaoqiang, WANG Hongfu. Analysis on young female's hip convex curve and trousers' back part structure[J]. Journal of Textile Research, 2015,36(11):115-120. (in Chinese)

[5] 黄灿艺. 福建地区青年女性体型划分与尺寸分档[J]. 纺织学报,2012,33(5):111-115.  
HUANG Canyi. Classification of figure type and size grading of young women of Fujian Province[J]. Journal of Textile Research, 2012,33(5):111-115. (in Chinese)

[6] 张雨. 武汉青年女性腰臀部形态及其合体下装结构研究[D]. 武汉:武汉纺织大学,2017.

[7] CHOI Y L, NAM Y J. Classification of upper lateral body shapes for the apparel industry[J]. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 2010,20(5):378-390.

[8] 黄英,崔志英,夏明. 华东地区成年女性下身体型研究[J]. 东华大学学报(自然科学版),2012,38(3):297-302.  
HUANG Ying, CUI Zhiying, XIA Ming. Research on lower body shape of adult female in East China[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2012,38(3):297-302. (in Chinese)

[9] 葛秋菊. 基于三维人体数据的不同体型女裤基型研究[D]. 上海:东华大学,2014.

[10] 陈明艳,王祎欣. 基于腰腹臀的女性特体分类和裤子样板设计[J]. 东华大学学报(自然科学版),2010,36(2):129-135.  
CHEN Mingyan, WANG Yixin. Classification of special female figure and trousers pattern design based on the size of waist-abdomen-buttock[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2010,36(2):129-135. (in Chinese)

[11] 王军,李晓久,潘力,等. 东北地区青年女性腰臀部体型特征与分类[J]. 纺织学报,2018,39(4):106-110.  
WANG Jun, LI Xiaojie, PAN Li, et al. Waist hip somatotype and classification of young women in Northeast China[J]. Journal of Textile Research, 2018,39(4):106-110. (in Chinese)

[12] 程朋朋,陈道玲. 福建 18~25 岁成年人身体型的研究与分析[J]. 武汉纺织大学学报,2016,29(6):57-60.  
CHENG Pengpeng, CHEN Daoling. Research and analysis of 18~25 years old adult body in Fujian[J]. Journal of Wuhan Textile University, 2016,29(6):57-60. (in Chinese)

[13] SONG H K, ASHDOWN S P. Categorization of lower body shapes for adult females based on multiple view analysis[J]. Textile Research Journal, 2011,81(9):914-931.

[14] 李静萍. 统计学[M]. 上海:上海交通大学出版社,2012:90-94.

[15] 张文斌,方方. 服装人体工效学[M]. 上海:东华大学出版社,2015:90-106.

[16] 张文彤,董伟. SPSS 统计分析高级教程[M]. 北京:高等教育出版社,2018.

[17] 郭亚军,易平涛. 线性无量纲化方法的性质分析[J]. 统计研究,2008,25(2):93-100.  
GUO Yajun, YI Pingtao. Character analysis of linear dimensionless methods[J]. Statistical Research, 2008,25(2):93-100. (in Chinese) (责任编辑:沈天琦)