

文章编号: 0253-9721(2010)03-0092-06

人体腰部及下肢运动对服装松量设计的影响

王永进^{1,2}, 莫碧贤¹, 李翼¹, 郭漪莲¹

(1. 香港理工大学 纺织与制衣学系, 香港; 2 北京服装学院 服装艺术与工程学院, 北京 100029)

摘要 为了完成动态样板的设计, 基于 10 名男性人体在静、动态下的 1 600 个尺寸, 采用因子分析和方差分析方法, 研究了腰部及下肢运动对人体尺寸的影响, 以及尺寸变化对服装松量设计的影响。数据及分析结果表明, 9 种尺寸是描述人体下肢及躯干下部的关键部位尺寸, 也是下装样板设计中最为重要的基本尺寸。除了腰围和脚踝围外, 9 种腰部及下肢运动对其他 7 种关键尺寸的变化都有明显的影响, 尤其是对臀围和后腿中心线长度的影响最为明显。最后, 根据这些尺寸变化和分析结果, 讨论了下装纸样中部位松量设计以及面料弹性性能的设计。

关键词 腰部运动; 下肢运动; 人体尺寸; 服装松量; 面料弹性

中图分类号: TS941.15 文献标志码: A

Effects of waist and lower limb movements on clothing ease design

WANG Yongjin², MOK Pikyiu¹, LI Yi¹, KWOK Yilin¹

(1. Institute of Textiles and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

(2. Faculty of Clothing Art and Engineering, Beijing Institute of Fashion Technology, Beijing 100029, China)

Abstract Based on 1 600 measurements of 10 subjects measured in natural standing state and shoulder joint movements, two statistical methods including factor analysis and one-way ANOVA were used in this study to explore principal body measurements and analyze effects of different waist and lower limb movements on each principal body measurement for clothing ease design, which were helpful to dynamic pattern design. The findings showed that changes of all body measurements in waist and lower limb movements were different and 9 measurements were principal body measurements, which were used in bottom pattern making. Except waist and ankle girth, effects of waist and lower limb movements on each principal body measurement were significant, especially on hip girth and back central length of leg. Finally, clothing ease design and fabric elasticity design were discussed according to the changing results of principal body measurements in different movements.

Key words waist movement; lower limb movement; body measurement; clothing ease; fabric elasticity

在日常生活中, 人体会做出各种不同动作来满足生理需要, 尤其是下肢部分, 比如屈膝、下蹲、行走和跑步等。在这些动作中, 不同关节附近的皮肤往往随着动作的进行而不断拉伸和收缩, 从而造成下肢体表形状和尺寸的改变^[1-2]。为满足下肢运动的需要以及相关体表的改变, 下装的松量设计就显得十分重要: 恰当的设计可以满足人体运动和体表尺

寸变化的需要, 而不恰当的设计则会约束身体运动, 最终造成生理伤害^[3-4]。因此, 分析下肢运动对人体尺寸的影响以及下装松量设计具有非常重要的意义。

本文的研究将采用传统手工测量方法进行人体尺寸采集, 利用因子和方差分析方法, 首先对影响下装样板设计的关键部位尺寸进行确定, 然后针对每

收稿日期: 2009-06-11 修回日期: 2009-10-13

基金项目: 香港创新及科技基金资助项目 (IIP/002/079TP, IIP/014/08TP, IIP/030/08TP)

作者简介: 王永进 (1970—), 男, 副教授, 博士生。主要从事服装功能与产品开发研究。莫碧贤, 通讯作者, E-mail: tracy.mok@poly.edu.hk

个关键部位尺寸进行相关动作的影响分析, 并根据数据和分析结果, 探讨如何进行下装松量的设计, 以及如何确定合体、紧身下装的面料弹性。

1 试验设计

1.1 试验对象

为保证研究对象的同类性, 测试的方便性以及结果的稳定性, 选 10 名男性为测量对象, 年龄为 20 ~ 25 岁, 身高为 170 ~ 175 cm, BMI (Body Mass Index 身体质量指数, 是衡量肥胖和标准体重的重要指标) 为 18 ~ 23。试验内容及方法全部提前告知试验对象并获得其书面同意。

1.2 测量尺寸和相关标记点

根据 ISO 8559—1989《服装结构和人体测量—人体尺寸》在人体上标注 36 个测量标记点^[5], 见图 1。具体数量如下: 腰部 (8 个)、臀部 (7 个)、裆底部 (1 个)、大腿根部 (4 个)、大腿最大围部 (4 个)、膝盖 (4 个)、小腿最大围部 (4 个)、脚踝关节部 (4 个)。根据这些标记点, 测量 16 个下肢人体尺寸, 具体如下: 腰围、臀围、大腿根围、大腿围、膝盖围、小腿围和脚踝围; 立裆总长和立裆深; 腰下外侧长、内侧长、前中心线长、后中心线长以及大腿的外侧长、前中心线长和后中心线长。在进行正式的不同动作姿态的测试之前, 对 10 个试验对象在标准站立姿态下的 16 个部位尺寸全部进行测量, 结果见表 1。

表 1 静止状态下人体尺寸的测量结果

Tab 1 Measuring results of subjects in static state
cm

测量项目	均值	标准差	百分位数		
			Q ₁	Q ₂	Q ₃
腰围	72.1	4.4	69.5	71.5	75.0
臀围	90.0	4.2	87.8	90.0	92.8
大腿根围	55.0	2.2	54.0	54.5	57.3
大腿围	48.4	2.8	46.5	48.0	51.3
膝围	35.4	1.7	34.0	35.3	36.3
小腿围	36.9	2.7	35.5	37.3	39.0
脚踝围	25.6	1.3	24.4	25.5	26.3
立裆深	25.8	1.5	24.0	26.5	27.0
立裆总长	71.3	4.1	69.5	71.5	72.8
腰下外侧长	100.3	2.8	97.8	101.0	102.3
大腿外侧长	39.3	2.6	36.0	39.5	42.0
腰下内侧长	73.9	1.6	72.8	74.0	74.5
腰下前中心线长	96.2	2.9	93.5	97.5	99.0
腰下后中心线长	100.4	1.9	98.0	100.5	102.0
大腿前中心线长	59.2	3.4	57.0	60.0	61.3
大腿后中心线长	61.7	3.9	59.8	61.0	63.8

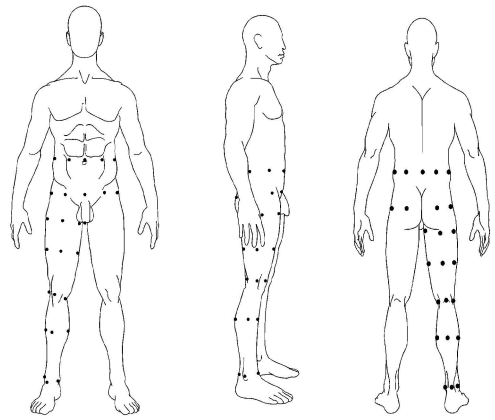


图 1 人体尺寸测量的标记点

Fig 1 Anatomical landmark of body measurements

1.3 人体运动姿态

腰、髋和膝盖等关节运动既是人体运动的主要组成部分, 也是对下装合体性以及舒适性产生影响的关键因素^[9]。根据文献^[7-8]可以发现: 腰、髋以及膝关节的最常见运动包括 9 种形式, 具体见图 2.3。其中腰部关节动作为: 前屈 90°、后仰 30°、水平扭转 30°、侧屈 30°。下肢运动为: 膝关节后屈 90°与髋关节前屈运动 90°、膝关节最大后屈 150°、髋关节后屈 40°、髋关节侧抬 45°、髋关节前侧屈 30°。因此, 在本文研究中, 为了解腰部 and 下肢运动对人体尺寸和服装的具体影响, 被测量者除了要完成正常站立姿态的人体

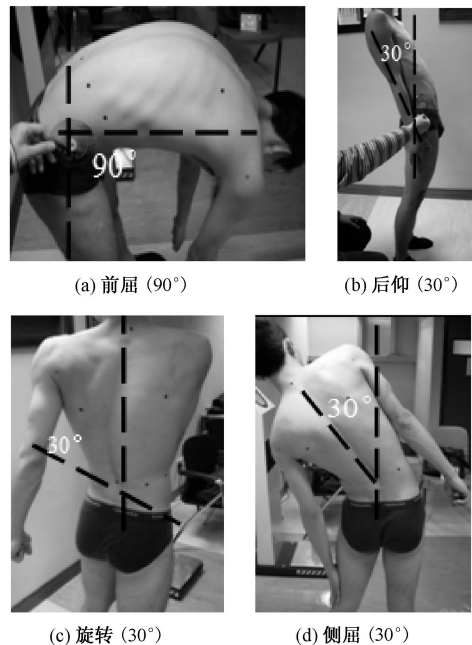


图 2 不同的腰部关节运动

Fig 2 Different waist joint movements

(a) Bending forward (90°); (b) Bending back (30°);
(c) Twisting (30°); (d) Bending side (30°)

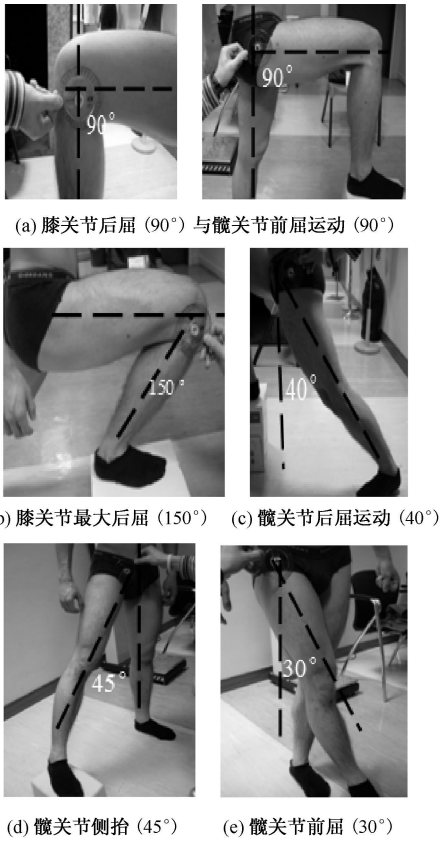


图 3 不同的下肢运动

Fig 3 Different lower limb movements: (a) Bending back of knee joint (90°) and bending forward of hip joint (90°); (b) Maximum bending back of knee joint (150°); (c) Bending back of hip joint (40°); (d) Raising upward side of hip joint (45°); (e) Bending forward side of hip joint (30°)

尺寸测量外,还要完成相应 9 种动作下的人体测量。

1.4 测量工具

用塑料皮尺来采集尺寸,用角度计保证被测量者完成正确的动作。

1.5 测量顺序

首先在被测量人体的体表标注标记点,然后完成正常站立姿态下的人体尺寸采集,在采集过程中,被测量者要求穿着紧身三角内裤,同时两腿分开呈 30° 自然站立,两臂自然放置并两眼平视前方^[9]。在完成自然站立状态的尺寸采集后,被测量者要求完成另外 9 种动作姿态,并对每个动作中的 16 个部位尺寸进行采集。

2 结果与讨论

2.1 测量结果

2.1.1 腰部动作

表 2 示出不同腰部运动下人体长度和围度的变

化。可以看出,人体尺寸在不同腰部运动中产生的变化是不同的。总的来说,在人体围度变化方面,人体腰部前屈运动以及最大后仰动作的影响很明显;在人体长度尺寸变化方面,前屈以及最大后仰动作的影响也是最为明显。

表 2 不同腰部运动下人体长度和围度的变化

Tab 2 Variation of body length in waist movements cm

测量项目	腰部运动			
	a	b	c	d
立裆总长	0.6	0.8	0.7	0.5
立裆深	0.6	0.6	0.0	0.0
腰下外侧长	1.0	0.9	1.8	0.5
大腿外侧长	1.0	0.7	1.2	0.0
腰下内侧长	0.2	0.9	1.2	0.6
腰下前中心线长	-9.6	1.7	2.0	1.3
腰下后中心线长	10.6	-3.8	0.7	0.0
大腿前中心线长	-9.0	1.5	1.4	0.5
大腿后中心线长	7.7	-2.5	0.7	0.0
腰围	2.1	1.1	0.8	0.7
臀围	1.9	-0.5	0.4	0.5
大腿根围	0.5	0.5	0.5	0.5
大腿围	0.5	0.5	0.5	0.5
膝盖围	0.5	0.5	0.5	0.5
小腿围	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
脚踝关节围	0.0	0.0	0.0	0.0

注:“-”为缩小。

具体的尺寸变化表现为:在围度方面,腰围以及臀围尺寸在腰部运动中的变化明显,其中臀围的扩大与缩小变化值最大为 2.4 cm,这说明腰部运动对于下装围度的影响主要集中在腰部和臀部处,其中臀部处受到影响最突出;在长度方面,腰下前、后中心线长以及大腿前、后中心线长的尺寸变化明显,其中腰下后中心线长的扩大与缩小变化值最大,为 14.4 cm,说明腰部运动主要对下装后部长度尺寸的影响较大,这与腰部运动对臀部产生影响,造成皮肤伸缩变化有着密切的相互关系。

2.1.2 下肢动作

表 3 示出不同下肢运动下人体长度和围度的变化。可以看出,在不同下肢运动中,人体尺寸变化也是不同的。在围度方面,膝关节的最大后屈动作往往造成皮肤扩张而最终导致人体尺寸增大,而髋关节的侧抬则相反,多造成体表尺寸的缩小。在长度方面,同样也是膝关节的最大后屈动作造成的变化最大,其中对于腰下(大腿)后中心线的拉长和前中心线的缩短影响最明显。

具体的尺寸变化表现为:在围度方面,臀围与膝盖围的尺寸变化明显,其中臀围尺寸的伸缩变化最

大, 为 5.9 cm 说明人体下肢运动与腰部运动相似, 主要对下装的臀部处产生影响; 在长度方面, 腰下前、后中心线的尺寸变化最明显, 其中后中心线长扩展最大, 尺寸增大值为 9.6 cm 而前中心线长缩小最大, 尺寸缩小值为 9.2 cm 说明下肢运动主要对下装的长度设计产生影响。

表 3 不同下肢运动下人体长度和围度的变化

Tab 3 Variation of body length in leg movements

测量项目	下肢运动				
	a	b	c	d	e
立裆总长	1.6	1.7	1.6	0.4	1.2
立裆深	0.5	0.8	1.0	1.1	0.6
腰下外侧长	3.3	3.6	2.1	-3.4	2.2
大腿外侧长	2.9	2.7	1.8	-2.1	1.6
腰下内侧长	-2.3	-2.7	3.4	2.9	-1.0
腰下前中心线长	-7.9	-9.2	2.5	1.5	-1.5
腰下后中心线长	8.6	9.6	-2.2	1.4	2.8
大腿前中心线长	-5.1	-6.9	2.0	1.2	-0.7
大腿后中心线长	5.1	8.1	-1.4	1.4	1.3
腰围	0.9	1.2	1.2	0.8	0.7
臀围	2.8	4.9	4.7	1.4	-1.0
大腿根围	0.5	1.8	1.3	-1.2	0.9
大腿围	1.7	1.8	1.9	-1.3	1.8
膝盖围	2.6	4.9	-0.8	-0.9	1.3
小腿围	1.1	1.0	-1.4	-0.3	-0.4
脚踝关节围	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0

注: “-”为缩小

2.2 人体关键部位尺寸的确定

为进一步了解腰部以及下肢运动对人体尺寸, 尤其是对关键部位尺寸变化的影响, 本文将利用因子分析方法对所测量的尺寸进行统计与分析, 确定人体关键部位的尺寸, 结果见表 4。

表 4 特征值与方差贡献表

Tab 4 Total variances explained

成分	总和	变异数的百分比 /%	累积的百分比 /%
1	5.16	32.27	32.27
2	2.24	14.02	46.29
3	1.78	11.14	57.44
4	1.28	8.00	65.44
5	1.16	7.22	72.66
6	0.82	5.15	77.81
7	0.78	4.89	82.70
8	0.62	3.90	86.60
9	0.51	3.19	89.79
10	0.40	2.52	92.31
11	0.31	1.92	94.22
12	0.28	1.74	95.96
13	0.24	1.52	97.48
14	0.17	1.07	98.56
15	0.13	0.79	99.35
16	0.10	0.65	100.00

可以看出, 在众多因子 (主成分) 中, 特征值 > 1 的只有 5 个因子, 其解释的方差占总方差的 72.66%, 因此, 可以确定有 5 个因子能反映所测量的人体部位特征。最大旋转后的成分矩阵结果见表 5。可以看到: 在第一特征 (T_1) 变量中, 腰下后中心线长以及大腿后中心线长的载荷相对较高, 因此腰下及大腿后中心线长作为主要变化尺寸是可信的; 同样依次类推, 在第二特征变量 (T_2) 中, 腰围以及脚踝围的载荷相对较高, 腰围以及脚踝围作为主要变化尺寸是可信的; 在第三特征变量 (T_3) 中, 臀围、大腿根围以及大腿围的载荷相对较高, 这 3 个尺寸作为主要变化尺寸是可信的; 在第四特征变量 (T_4) 中, 腰下外侧长的载荷相对较高, 将腰下外侧长作为主要变化尺寸是可信的; 在第五特征变量 (T_5) 中, 只有立裆深的载荷相对较高, 因此立裆深作为主要变化尺寸也是可信的。总体上, 腰围、臀围、大腿根围、大腿围以及小腿围作为主要反映人体围度变化的尺寸是可信的, 而立裆深、大腿外侧长、腰下后中心线长以及大腿后中心线长则是反映人体长度变化的关键尺寸。也正因为此, 在合体性下装如针织紧身运动裤设计中, 必须将这 9 个尺寸作为样板设计的关键尺寸。这一点与传统的下装纸样设计所需测量的基本尺寸非常相似, 其主要区别就是增加了对大腿围度、腰下后中心线长及大腿后中心线长的测量和观测, 这样才能使合体下装在腿部的设计更吻合人体特征和运动需要。

表 5 最大旋转的成分矩阵

Tab 5 Variance rotated component matrix

测量项目	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
腰围	0.209	0.077*	-0.272	0.392	0.651
臀围	0.241	-0.058	0.685*	0.051	0.267
大腿根围	0.184	-0.040	0.771*	0.349	-0.111
大腿围	0.035	0.344	0.711*	0.256	-0.067
膝盖围	0.594	0.299	0.488	-0.025	-0.145
小腿围	0.254	0.206	-0.081	-0.032	0.190
脚踝围	-0.037	0.782*	-0.089	-0.681	-0.056
立裆总长	-0.109	0.627	0.204	0.050	0.478
立裆深	-0.039	0.040	0.116	-0.150	0.808*
腰下外侧长	0.062	0.547	0.295	0.733*	-0.130
大腿外侧长	0.083	0.363	0.189	0.621	-0.014
腰下内侧长	-0.406	-0.631	-0.115	-0.103	0.271
腰下前中心线长	-0.904	-0.139	-0.054	-0.084	-0.048
腰下后中心线长	0.890*	0.032	0.157	0.051	-0.036
大腿前中心线长	-0.891	-0.084	-0.211	-0.053	0.032
大腿后中心线长	0.907*	0.121	0.007	0.059	0.160

注: “*”为大于 0.68 的载荷值。

2.3 运动对人体关键部位尺寸变化的影响

在确定了下装设计所需要的关键部位尺寸后, 针对这 9 个关键尺寸开展单因素的方差分析, 结果如表 6 所示。可见: 除了腰部 ($P=0.17$) 以及脚踝围外 ($P=0.44$), 人体腰部关节以及下肢膝盖、髌关节的运动对所有关键部位尺寸的影响都是显著的。这一现象说明人体腰围尺寸在运动过程中的变化不大, 因此相应在下装设计中, 对腰围松量的设计主要考虑的是人体基本生理需求, 而不是运动需求, 这一点在日常下装设计中得到印证: 腰围设计的松量大都在 $0 \sim 2$ cm 之间。而对于脚踝围来讲受到运动变化的影响也很小, 因此其在服装中的松量设计也很小, 松量设计更多考虑的是穿着需求, 即脚部穿过裤口等需求, 另外还需要结合款式设计上的需求来设计较大或者较小的松量, 如喇叭裤的裤脚设计松量就比较大。同时, 对于合体性服装以及功能性设计要求较高的服装, 必须观察与了解各个运动对这些关键部位尺寸的具体影响, 并最终依据这些尺寸变化以及人体生理需要开展产品松量设计。

表 6 单因素方差分析表

Tab 6 One-way ANOVA

测量项目	离均差平方和	自由度	方差	F 检验	显著性
腰围	15.42	8	1.93	1.51	0.17*
臀围	358.36	8	44.79	15.96	0.00
大腿根围	60.12	8	7.52	17.91	0.00
大腿围	98.94	8	12.37	13.90	0.00
脚踝围	0.09	8	0.01	1.00	0.44*
立裆深	11.56	8	1.44	2.40	0.02
腰下外侧长	320.02	8	40.00	9.79	0.00
腰下后中心线长	1304.49	8	163.06	23.93	0.00
大腿后中心线长	2096.82	8	262.10	25.40	0.00

注: 当 $P \leq 0.05$ 时具有显著性; “*”为大于 0.05 的 P 值。

2.4 关键部位的松量设计与面料弹性设计

通过方差分析方法获得人体关键部位尺寸在运动状态下的扩大与缩小变化范围, 见表 7。可以看到: 在围度尺寸方面, 臀围以及大腿围的尺寸变化最突出; 在长度方面, 腰下及大腿后中心线长的变化很明显。

表 7 9 种运动状态下关键部位尺寸的变化范围

Tab 7 variation ranges of principal body measurements in waist and leg movements

腰围	臀围	大腿根围	大腿围	脚踝围	立裆深	腰下外侧长	腰下后中心线长	大腿后中心线长
2.1~0.7	4.9~-1.0	1.8~-1.2	1.9~-1.3	0	1.1~0.0	3.3~-3.4	10.6~-3.8	8.1~-2.5

注: “-”为缩小

采用非弹性面料设计合体性服装, 这些部位的最大变化 (增大) 量对于服装基本松量设计非常重要。对于服装的臀围, 其松量设计值必须大于 5 cm, 否则就会产生对人体的约束, 造成运动不方便, 而对于大腿围, 则同样需要在净体尺寸的基础上至少增加 2 cm 的松量设计, 否则也会造成人体跑步等动作时不能正常抬腿。对于长度方面的松量设计, 人体立裆深尺寸在运动中的变化值比较小, 说明其松量的设计相对比较小, 如果设计太大, 不但不能解决人的立裆舒适性问题, 更可能造成立裆太深, 影响到腿部运动。但是, 腰下后中心线长的尺寸变化却是很明显的, 最大扩展量达到 10.6 cm, 其次是大腿后中心线长以及腰下外侧长, 因此在下装样板的设计中, 需要对相应 3 个尺寸对应部位的长度进行增大, 其方法为: 1) 通过后腰中心线上增加后翘的方法来弥补长度; 2) 通过增加立裆线与膝盖线之间长度, 或者延长裤口位置至脚面或所设计位置的方式来进一步弥补长度的不足, 最终满足运动中的长度拉伸变化需要。

采用弹性面料设计合体性或者紧身性服装时, 这些人体尺寸变化同样起着非常重要的作用。当设计合体性服装时, 人体运动中臀围和腰下后中心线长是围度以及长度方面增加最大的尺寸, 因此根据其运动前后尺寸的增加值, 可以计算出相应的尺寸增加率, 最终可参照这些数值, 来决定设计中所采用的面料在横、纵向方面应当具有的弹性, 才可以满足人体运动中的皮肤扩展和形态变化。当设计紧身性服装时, 除了考虑这些人体尺寸的增加数值外, 还应当结合所设计的紧身程度来一起考虑不同部位面料弹性的设计, 这一点在围度方面表现尤为突出, 即面料的横向弹性。而对于长度方面, 面料仍然是以人体尺寸增加值作为其纵向弹性设计的主要参考值。

3 总 结

研究表明, 在确定了人体测量的标记点后, 手工测量对于人体运动姿态下的尺寸采集是一种有效的方法。测量结果证明了人体各个部位尺寸在不同运

动下的变化是不同的。同时,通过分析可以发现:腰围、臀围、大腿根围、大腿围、脚踝围、立裆深以及腰下外侧长、腰下后中心线长和大腿后中心线长,这 9 个尺寸是人体关键部位尺寸以及下装设计的基本尺寸;当人体开展腰部以及下肢运动的时候,除了腰围以及脚踝围外,其他关键部位尺寸受到的影响是非常显著的,因此这 7 个部位在服装松量设计中起着非常重要的作用。最后,针对这些关键部位而开展的服装松量以及面料弹性设计的讨论结果发现:人体运动状态下的尺寸变化是服装基本松量设计的重要参考值,尤其是臀围、大腿围以及腰下后中心线长的变化往往决定了下装围度与长度的松量设计;采用非弹性面料设计的服装,关键部位尺寸的变化值是服装松量设计的最小值,只有满足这些最小松量设计,人体着装后才能正常开展运动;采用弹性面料设计合体服装时,这些关键部位尺寸的变化值同样是面料弹性设计的重要参考值;但对于用弹性面料来制作紧身服装时,除了这些尺寸变化值外,还必须考虑服装的紧身度设计来综合考虑面料弹性性能设计。

FZXB

参考文献:

- [1] 刘瑜,刘咏梅. 大运动量条件下的运动服装舒适性研究 [J]. 体育科学, 2004 24 (11): 71—78
LU YU LU Yongmei. Research on comfort of sportswear under condition of maximal training volume [J]. Physical Science, 2004 24 (11): 71—78
- [2] 袁飞,袁观洛,王春燕. 上肢运动与服装结构的关系 [J]. 纺织学报, 2006 27 (7): 40—43
YUAN Fei YUAN Guanluo WANG Chunyan. Correlation of free movement of hands and garment

- ease [J]. Journal of Textile Research, 2006 27 (7): 40—43
- [3] 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, 2006 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 2006 14 (2): 133—137.
- [4] 张星,周江. 服装造型空间特征与人体运动的适应 [J]. 天津工业大学学报, 2002 21 (5): 49—52
ZHANG Xing ZHOU Jiang. Space character of clothing shape and sporting adaptability of human body [J]. Journal of Tianjin Polytechnic University 2002 21 (5): 49—52
- [5] ISO 8559: 1989 (E). Garment construction and anthropometric surveys—body dimensions [S]. 1989—07—01.
- [6] LIU Chi KENNON Richard. Body scanning of dynamic posture [J]. International Journal of Clothing Science and Technology 2006 18 (3): 166—178
- [7] MICHAEL Yessis. Explosive Running—using the Science of Kinesiology to Improve Your Performance [M]. Chicago USA: Contemporary Books, 2000
- [8] 刘瑞璞. 服装纸样设计原理与技术 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2005 33—37
LIU Ruipu. Clothing Pattern Making Theory and Technology [M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2005 33—37.
- [9] ZHENG Rong YUWinnie FAN Jintu. Development of a new Chinese bra sizing system based on breast anthropometric [J]. International Journal of Industrial Ergonomics 2007 37: 697—705