

人体外形的相似性

张云然

(中国航天员科研训练中心, 北京 100192)

摘要: 本文首先提出了人体相似性的概念和定义, 并进行了数学论证, 导出了标准人体的数学表达方法, 然后, 根据 90 名志愿者的样本具体计算说明了标准人体尺寸的适用性。本文提出的标准人体尺寸处理方法, 可供人种和体型分类、人体模型与服装设计时确定人体各部尺寸, 为利用人体其他节段估测人全身尺寸的可能性提供参考。最后指出, 表示人体尺寸间相互关系的人体常数是存在的; 在设计人体模型时, 不管模型的比例如何, 所设计模型的人体常数需保持与所代表的人群样本的人体常数一致。

关键词: 相似性; 人体工程学; 人体形态学; 人体模型; 人种分类

中图法分类号: Q989; **文献标识码:** A; **文章编号:** 1000-3193(2012)03-0299-16

1 前 言

人体模型有着广泛的应用, 在设计时一般使用的尺寸是依据国标 GB10000-88《中国成年人人体尺寸》或军标 GJB4856-2003《中国男性飞行员人体尺寸》。在这些标准中所给出的尺寸都是志愿者样本的平均值。设计实践表明, 依据这些尺寸设计出的模型总觉得各部比例有些不大协调, 有时头部有些扁, 有时肢体显得稍长。为避免这种情况, 常挑选一名主要尺寸接近平均值的志愿者, 使用这名志愿者的体形模具制作人体模型。这里就提出人体外形的相似性问题。人的外形虽千差万别, 不存在几何意义上的相似, 但人们还是能判别出这个人是北方人, 那个人是南方人; 这个人是中国人, 那个人是外国人。这就说明人们的判别依据是人体外形的相似性。

人体外形的相似性是人们在制作人体模型和研究人种、体质特征和体型分类时所关注的问题。从 1026 年我国发明世界上第一个人体模型“针灸铜人”以来至今, 人们在制作模型时最关注的是模型的功能而不是外形, 对外形只是满足于视觉上看来大体是人的外貌就行。只是近来在制作仿真模型时才有了一些注意^[1], 但也仅局限于使用一般统计计算分析和经验数据, 并结合实测数据确定设计尺寸^[2], 并未对人体外形作出进一步的论述。

在研究人种分类时, 人们根据人类体质的性状, 如肤色、眼色、发色、发形、面部特征、头型、身材等进行了观察区分^[3]; 在进行体质特征研究时进行了体质测量、体质指数计算和体型特征分析^[4]。人们经过长期观察, 没有发现世界上存在两个外形

收稿日期: 2010-10-22; 定稿日期: 2011-10-12

基金项目: 中国人民解放军总装备部司令部计划项目(03ZS08)资助

作者简介: 张云然, 男, 1964 年毕业于北京航空学院, 现为中国航天员科研训练中心退休干部, 长期从事高速气流吹袭对人体影响的研究。Email: zyr_cisme@sina.com

完全相似的人，也未对人体的外形作出进一步的分析论述。

在研究人的体型分类时，主要是使用维尔维克指数、身高及马氏躯干腿长指数等作为评定体型分布的指标^[5]，同样也未对人体外形做出进一步的分析论述。

目前，人的外部形态主要还是宏观上的辅以测量统计技术的形态观察描述。这种描述多种多样，但没有一个人的外部形态能够完全囊括人类所有的形态特征。人类之中又分人种，对人种的外部形态的描述主要以身高、发型、眼色、头型、面型、鼻型等辅以测量统计技术的形态观察描述，同样也没有一个人的外部形态能够完全替代一个人种的所有形态特征。对一些人群的区分也是这样。其实，人们在这些描述中所强调的是共同性之间的差异：人类的共同性和动物的共同性之间的差异；一个人种的共同性与另一人种的共同性之间的差异。

人们描述的这些共同性其实就是相似性。据此，我们可将人体外形的相似性定义为，人体外形的相似性不是个体之间的相似，它是由人体曲线大致相似，人体常数也大体相同的人群体的相似性，群体中的每一个人体都相似于这个群体。

根据这一定义，两个不同的群体只有当其中每一个人都大致相同的人体曲线和人体常数时，他们才是相似的群体，也是相等的群体。当然，也可能有一个或一些人体，既相似于这个群体又相似于另一个群体，那么，这两个群体就只是有交集而不相等。

本文的目的就是从群体的整体上讨论人体外形的相似问题，探讨人体尺寸间的比例关系，以供人们在研究人类体质特征、体型分类、人体模型、服装设计以及刑事技术研究中估测人体全身尺寸时的参考。

2 人体外形的统计相似

2.1 数学推导

人体外形千差万别，不存在几何意义上的个体相似，但在统计学上是否相似？这里需证明以下两个命题：

2.1.1 人体体型是否相似的推导

人体外表的轮廓就叫体型，它反映人体各部位的长度、宽度、围度等形态指标的比例。体型存在有很多的个体差别，有变化很大的部位，也有几乎不变的部位，几何上不可能相似，世界上也未发现两个人体外形完全相同的人。但在统计学上群体是否有相似性，我们来证明下面的命题。

命题 1 设人体身高为 h_i ($i=1, 2, \dots, n$)，其他各部的长度（或围度）为 L_i ，证明 (1)

$$\text{式是否成立: } \frac{\frac{L_1}{h_1} + \frac{L_2}{h_2} + \dots + \frac{L_n}{h_n}}{n} = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \quad (1)$$

$$\text{证: 设 (1) 式成立, 则有 } \frac{L_1}{h_1} + \frac{L_2}{h_2} + \dots + \frac{L_n}{h_n} = n \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \quad (2)$$

人体外形测量数据的统计表明， h_i 和 L_i 有一定程度的相关，其中有不少的相关程度还较高，可设 $L_i = a + bh_i$ (3)

将 (3) 式代入 (2) 式, 有: $a \left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \dots + \frac{1}{h_n} \right) + nb = n \frac{na + b(h_1 + h_2 + \dots + h_n)}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}$

$$\text{整理后有: } \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \dots + \frac{1}{h_n} = \frac{n^2}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \quad (4)$$

(4) 式左端通分, 整理后有: $(h_2 h_3 h_4 \dots h_n + h_1 h_3 h_4 \dots h_n + h_1 h_2 h_4 \dots h_n + \dots + h_1 h_2 h_3 h_4 \dots h_{n-1}) \sum (h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n) = n^2 h_1 h_2 h_3 h_4 h_5 \dots h_n$ (5)

(5) 式左端展开后包含有 n 个 $h_1 h_2 h_3 h_4 \dots h_n$, 将 $nh_1 h_2 h_3 h_4 \dots h_n$ 移到右端后, 设左端为 D_n , 则 $D_n = n(n-1)h_1 h_2 h_3 h_4 h_5 \dots h_n$

设 $n=5$, (5) 式展开后有: $h_1 h_2 h_3 h_4 h_5 + h_1^2 h_3 h_4 h_5 + h_1^2 h_2 h_4 h_5 + h_1^2 h_2 h_3 h_5 + h_1^2 h_2 h_3 h_4 + h_2^2 h_3 h_4 h_5 + h_1 h_2 h_3 h_4 h_5 + h_1 h_2^2 h_4 h_5 + h_1 h_2^2 h_3 h_5 + h_1 h_2^2 h_3 h_4 + h_2 h_3^2 h_4 h_5 + h_1 h_3^2 h_4 h_5 + h_1 h_2 h_3 h_4 h_5 + h_1 h_2 h_3^2 h_5 + h_1 h_2 h_3^2 h_4 + h_2 h_3 h_4^2 h_5 + h_1 h_3 h_4^2 h_5 + h_1 h_2 h_4^2 h_5 + h_1 h_2 h_3 h_4 h_5 + h_1 h_2 h_3 h_4^2 + h_2 h_3 h_4 h_5^2 + h_1 h_3 h_4 h_5^2 + h_1 h_2 h_4 h_5^2 + h_1 h_2 h_3 h_5^2 + h_1 h_2 h_3 h_4 h_5 = 5^2 h_1 h_2 h_3 h_4 h_5$ (6)

(6) 式中各项可表为其下面的 A_{ij} ,

$$A_{11}=h_1 h_2 h_3 h_4 h_5; \quad A_{12}=h_1^2 h_3 h_4 h_5; \quad A_{13}=h_1^2 h_2 h_4 h_5; \quad A_{14}=h_1^2 h_2 h_3 h_5; \quad A_{15}=h_1^2 h_2 h_3 h_4$$

$$A_{21}=h_2^2 h_3 h_4 h_5; \quad A_{22}=h_1 h_2 h_3 h_4 h_5; \quad A_{23}=h_1 h_2^2 h_4 h_5; \quad A_{24}=h_1 h_2^2 h_3 h_5; \quad A_{25}=h_1 h_2^2 h_3 h_4$$

$$A_{31}=h_2 h_3^2 h_4 h_5; \quad A_{32}=h_1 h_3^2 h_4 h_5; \quad A_{33}=h_1 h_2 h_3 h_4 h_5; \quad A_{34}=h_1 h_2 h_3^2 h_5; \quad A_{35}=h_1 h_2 h_3^2 h_4$$

$$A_{41}=h_2 h_3 h_4^2 h_5; \quad A_{42}=h_1 h_3 h_4^2 h_5; \quad A_{43}=h_1 h_2 h_4^2 h_5; \quad A_{44}=h_1 h_2 h_3 h_4 h_5; \quad A_{45}=h_1 h_2 h_3 h_4^2$$

$$A_{51}=h_2 h_3 h_4 h_5^2; \quad A_{52}=h_1 h_3 h_4 h_5^2; \quad A_{53}=h_1 h_2 h_4 h_5^2; \quad A_{54}=h_1 h_2 h_3 h_5^2; \quad A_{55}=h_1 h_2 h_3 h_4 h_5$$

$$\text{整理后有: } D_5 = (A_{12} + A_{21}) + (A_{13} + A_{31}) + (A_{14} + A_{41}) + (A_{15} + A_{51}) + (A_{23} + A_{32}) + (A_{24} + A_{42}) + (A_{25} + A_{52}) + (A_{34} + A_{43}) + (A_{35} + A_{53}) + (A_{45} + A_{54}) = 5(5-1)h_1 h_2 h_3 h_4 h_5 \quad (7)$$

$$(7) \text{ 式中 } A_{12} + A_{21} = h_1^2 h_3 h_4 h_5 + h_2^2 h_3 h_4 h_5 = (h_1^2 + h_2^2) h_3 h_4 h_5$$

$$\text{根据不等式性质, } (h_1^2 + h_2^2) > 2h_1 h_2 \quad \therefore (h_1^2 + h_2^2) h_3 h_4 h_5 > 2h_1 h_2 h_3 h_4 h_5$$

$$\therefore (A_{12} + A_{21}) > 2h_1 h_2 h_3 h_4 h_5$$

$$A_{13} + A_{31} = h_1^2 h_2 h_4 h_5 + h_2 h_3^2 h_4 h_5 = (h_1^2 + h_3^2) h_2 h_4 h_5$$

$$A_{14} + A_{41} = h_1^2 h_2 h_3 h_5 + h_2 h_3 h_4^2 h_5 = (h_1^2 + h_4^2) h_2 h_3 h_5$$

$$A_{15} + A_{51} = h_1^2 h_2 h_3 h_4 + h_2 h_3 h_4 h_5^2 = (h_1^2 + h_5^2) h_2 h_3 h_4$$

$$\text{同理可证 } (A_{13} + A_{31}) > 2h_1 h_2 h_3 h_4 h_5, \quad (A_{14} + A_{41}) > 2h_1 h_2 h_3 h_4 h_5, \quad (A_{15} + A_{51}) > 2h_1 h_2$$

$$h_3 h_4 h_5, \text{ 余类推, 则 } D_5 > \frac{5(5-1)}{2} \cdot 2h_1 h_2 \dots h_n \quad \therefore D_5 > 20h_1 h_2 h_3 h_4 h_5$$

$$\text{同理可证 } D_n > \frac{n(n-1)}{2} \cdot 2h_1 h_2 \dots h_n, \quad D_n > n(n-1)h_1 h_2 h_3 h_4 h_5 \dots h_n, \text{ 故 (1) 式不成立。}$$

2.1.2 人体外形相似

人体外形相似主要指的是外观形态的相似。外观形态是由许许多多多个几何块面组成的, 每个几何块面在体表都有确定的位置。每个块面的形态可用任意两边 x 和 y 之比 x/y 和积 xy 来表示。假定每个块面是三角形, 其 3 个顶点也同样有确定的位置。人体形态之间在统计学上是否相似, 需证明下面命题。

命题 2 设人体尺寸样本 N , 其中有 n 对尺寸 $x_1 y_1, x_2 y_2, \dots, x_n y_n$ 。

$$\text{证明 (8) 式是否成立: } \frac{\frac{x_1}{y_1} + \frac{x_2}{y_2} + \dots + \frac{x_n}{y_n}}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{y_1 + y_2 + \dots + y_n} \quad (8)$$

证: 该命题其实同命题 1。尺寸协调的人体, 其 x, y 之间存在一定的相关关系, 证法也与命题 1 同。故 (8) 式亦不成立, 表明人体形态之间在统计学上也不相似。

上述证明表明, 人体间不存在统计学上的相似, 世界上不可能有两个人外形完全相同。

2.2 人体标准尺寸的确定

人体之间不存在几何意义上的相似, 也不存在统计学上的相似。但人们还是根据实践经验寻找出人体各部分的比例尺寸, 并用这些尺寸来从事雕塑、绘画、模型制作和服装加工。这些比例尺寸并不是一个确定的关系, 而仅仅是一个范围。虽然人们的目的不同, 所使用的人体各部的比例也不尽相同, 但在视觉上人体各部尺寸也基本上是协调的。这说明, 人体各部尺寸之间存在有协调的比例关系。下面, 我们就来寻找这种比例关系。

2.2.1 人体尺寸的标准化

设有一志愿者人体尺寸样本, 样本中有 n 个被测人体, 测量项目有身高 h_i 和其余的 m 个尺寸 a_{ij} ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$), 构成一个志愿者人体尺寸样本矩阵 A 。将每个人的 m 个尺寸被身高 h_i 除, 设 $r_{ij}=a_{ij}/h_i$, 我们称 r_{ij} 为标准化的尺寸, 构成它的矩阵 B 。

$$A = \begin{bmatrix} h_1 & a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ h_2 & a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ h_n & a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

2.2.2 人体标准尺寸

设矩阵 B 中 n 个人体标准化的尺寸 r_{ij} 的平均值 P_j 为:

$$P_j = (r_{1j} + r_{2j} + \dots + r_{nj})/n \quad (j=1, 2, 3, \dots, m) \quad (9)$$

表为矩阵 P 为: $P=[P_1 \ P_2 \ P_3 \ \dots \ P_m]$, 将每个人的身高 h_i 乘以 P_j , 设

$$A_{ij}=h_i P_j \quad (i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, m) \quad (10)$$

$$\text{我们称 } A_{ij} \text{ 为人体标准尺寸, 与 } h_i \text{ 组成矩阵 } C = \begin{bmatrix} h_1 & A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1m} \\ h_2 & A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ h_n & A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nm} \end{bmatrix}$$

具有矩阵 C 尺寸的人体称为标准人体, 矩阵 C 是 n 个标准人体的尺寸。

3 标准人体的相似

3.1 数学推导

现在来看标准人体的尺寸是否使命题 1 和命题 2 成立。先看命题 1 是否成立, 根据

$$\text{矩阵 } C, \text{ 命题 1 现在表示为 } \frac{\frac{A_{1j}}{h_1} + \frac{A_{2j}}{h_2} + \dots + \frac{A_{nj}}{h_n}}{n} = \frac{A_{1j} + A_{2j} + \dots + A_{nj}}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \quad (11)$$

将 (10) 式代入 (11) 式, 则有 $\frac{\frac{h_1 P_j}{h_1} + \frac{h_2 P_j}{h_2} + \dots + \frac{h_n P_j}{h_n}}{n} = \frac{h_1 P_j + h_2 P_j + \dots + h_n P_j}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}$, 整理后有 $\frac{n P_j}{n} = \frac{P_j (h_1 + h_2 + \dots + h_n)}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} = P_j$, 故命题 1 成立。

现在看命题 2 是否成立。我们取矩阵 C 中的 A_{ij} 和 A_{ik} , 这时命题 2 表示为

$$\frac{\frac{A_{1j}}{A_{1k}} + \frac{A_{2j}}{A_{2k}} + \dots + \frac{A_{nj}}{A_{nk}}}{n} = \frac{A_{1j} + A_{2j} + \dots + A_{nj}}{A_{1k} + A_{2k} + \dots + A_{nk}} \quad (12)$$

$$\text{将 (10) 式代入 (12) 式, 则有 } \frac{\frac{h_1 P_j}{h_1 P_k} + \frac{h_2 P_j}{h_2 P_k} + \dots + \frac{h_n P_j}{h_n P_k}}{n} = \frac{h_1 P_j + h_2 P_j + \dots + h_n P_j}{h_1 P_k + h_2 P_k + \dots + h_n P_k},$$

整理后有 $\frac{n \frac{P_j}{P_k}}{n} = \frac{P_j (h_1 + h_2 + \dots + h_n)}{P_k (h_1 + h_2 + \dots + h_n)} = \frac{P_j}{P_k}$, 故命题 2 也成立。这说明, 矩阵 C 表示

的 n 个标准人体在统计学上是相似的。此外, 在上述的证明过程中, 也不难发现

$$\frac{h_1 P_j}{h_1 P_k} = \frac{h_2 P_j}{h_2 P_k} = \dots = \frac{h_n P_j}{h_n P_k} = \frac{P_j}{P_k}。$$

这说明, 矩阵 C 表示的 n 个标准人体不但在统计学上是相似的, 在几何学意义上也是相似的。这样我们就找到了计算标准人体尺寸的方法。

3.2 志愿者样本和标准人体的统计学比较

下面我们根据中国航天员中心张嵘嵘和王丽在 1996 年进行的 90 名志愿者的人体测量数据来进行讨论。被测人体均为男性, 年龄在 21~55 岁。

3.2.1 志愿者样本和标准人体尺寸的平均值比较

由矩阵 A 可知, 志愿者样本尺寸的平均值 $P_{Aj} = (a_{1j} + a_{2j} + a_{3j} + \dots + a_{nj})/n$

由矩阵 C 可知, 标准人体尺寸的平均值 $P_{Aj} = (A_{1j} + A_{2j} + A_{3j} + \dots + A_{nj})/n$, 根据 (10) 式 $P_{Aj} = P_j (h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n)/n$, 令 $H = (h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n)/n$, 则 $P_{Aj} = H P_j$ (13)

H 为志愿者样本, 也是标准人体中的身高平均值。表 1 给出了志愿者样本和标准人体尺寸的平均值, 可看出志愿者样本和标准人体尺寸平均值的差别甚小。为便于对比和讨论, 表 1 中所列数据已按大小排序, 此排序除特别说明外也适用于以后。

3.2.2 志愿者样本和标准人体尺寸数值的比较

经过标准化处理得到的尺寸与志愿者样本尺寸相比, 二者有什么差别? 为此, 我们对 90 名志愿者进行了人体测量。表 2 列出了 5 名身高 169cm 的测量结果, 并根据 (10) 式计算了标准人体尺寸。从表 2 中可以看出, 除了腰围 (序号 6) 这个尺寸差别大些外, 其余尺寸差别较小。另外, 我们还在志愿者样本中随机选取了 4 名不同身高的个体, 他们的尺寸与其标准人体尺寸的比较见图 1 和表 3, 从中我们也可看出, 他们的尺寸与其标准尺寸相比仅有少数几个尺寸差别大些外, 其余尺寸差别较小。利用表 1 和表 2 的数据也

表 1 志愿者样本和标准人体尺寸的平均值

Table 1 Average size of the different body parts of the volunteers and the standard body

序号	测量项目	志愿者样本 P_{aj}	标准人体 P_{Aj}	序号	测量项目	志愿者样本 P_{aj}	标准人体 P_{Aj}
1	身長	169.2722	169.2722	21	胸中部宽	29.18112	29.19212
2	坐高	90.23555	90.2512	22	上臂长	27.70778	27.70232
3	胸围	88.54001	88.57924	23	项颈距	24.90223	24.91222
4	背突指尖	83.10778	83.11485	24	足长	24.69001	24.69169
5	坐姿眼高	78.62	78.62917	25	踝围	24.31889	24.32482
6	腰围	75.71667	75.75322	26	前臂中围	23.71111	23.72061
7	肩峰距	61.66444	61.66402	27	前臂长	21.58778	21.58949
8	头围	55.86334	55.89292	28	胸背距	21.38222	21.38708
9	膝背距	54.33221	54.3275	29	腹背距	18.81556	18.82054
10	大腿长	48.76224	48.76295	30	手长	18.65778	18.65587
11	大腿中围	48.11222	48.13686	31	头长	18.26	18.26911
12	颈骶距	48.03945	48.04332	32	腕围	15.66111	15.66596
13	肩宽	42.01889	42.03863	33	手宽	8.075556	8.077406
14	腋窝高	39.96667	39.9655	34	肘下端宽	7.50222	7.504234
15	颈围	35.57557	35.59668	35	前臂下宽	5.657778	5.659116
16	小腿中围	35.34667	35.3611	36	足高	5.48222	5.485121
17	小腿长	33.23444	33.22809	37	颈肩距	4.982223	4.986013
18	上躯体长	32.37888	32.3845	38	枕背距	4.818889	4.820654
19	下躯体长	30.43223	30.4301	39	踝跟距	4.254445	4.253725
20	臀宽	29.42223	29.42307				

可得到图 1 中同样形状的曲线，我们称该曲线为人体曲线。

3.2.3 不同百分位的志愿者样本和标准人体尺寸

百分位表示具有某一人体尺寸和小于该尺寸的人体占统计对象总人数的百分比。人体测量的数据常以百分位数来表示人体尺寸等级，最常用的是以第 5%、第 50%、第 95% 三种百分位数来表示。第 5 百分位数是代表“小”身材，是指有 95% 的人群身材尺寸大于此值；第 50 百分位数表示“中”身材，是指大于和小于此人群身材尺寸的各为 50%；第 95 百分位数代表“大”身材，是指有 95% 的人群身材尺寸均小于此值，而有 5% 的人群身材尺寸大于此值。

在一般的统计方法中，并不一一罗列出所有百分位数的数据，而往往以平均值和均方根差来表示。虽然人体尺寸并不完全是正态分布，但通常仍可使用正态分布曲线来计算。因此，在人机工程学中可以根据平均值和均方根差来计算某一人体尺寸所属的百分位数。求任一百分位数的人体测量尺寸时，可用下式计算：

$$\text{志愿者样本 } a_{ij} = P_{aj} + k\sigma_{aj} \quad (14)$$

$$\text{标准人体 } A_{ij} = P_{Aj} + k\sigma_{Aj} \quad (15)$$

$$\text{容易导出 } \sigma_{Aj} = P_j\sigma_h$$

$$\text{在矩阵 A 和 C 中, } h_i \text{ 都是相同的, 用下式计算: } h_i = H + k\sigma_h \quad (16)$$

表 2 5 名身高 169cm 的志愿者尺寸与标准人体尺寸比较

Table 2 Size comparison between 5 volunteers with a height of 169cm and the standard body

序号	测量项目	标准人体	5名志愿者 平均值	志愿者 编号12	志愿者 编号26	志愿者 编号31	志愿者 编号38	志愿者 编号43
1	身长	169.0	169.0	169.0	169.0	169.0	169.0	169.0
2	坐高	90.10606	90.47999	91.5	89.4	89.2	92.2	90.1
3	胸围	88.4368	90.18001	93.1	97.0	92.5	85.5	82.8
4	背突指尖	82.98117	82.56	82.0	83.7	82.4	82.4	82.3
5	坐姿眼高	78.50273	79.14	79.8	78.3	77.8	80.3	79.5
6	腰围	75.6314	79.1	84.5	86.0	81.5	69.5	74
7	肩峰距	61.56484	62.7	62.7	62.2	63.2	64.5	60.9
8	头围	55.80304	56	57.5	56.5	55.5	57.5	53.0
9	膝背距	54.24013	54.5	54.3	54.3	56.2	53.9	53.8
10	大腿长	48.68452	47.74	47.1	47.4	48.7	48.6	46.9
11	大腿中围	48.05944	47.9	51.3	51.5	49.7	44.0	43.0
12	颈髁距	47.96607	47.32	46.1	46.1	47.9	47.6	48.9
13	肩宽	41.97101	42.66	42.0	43.9	44.7	41.2	41.5
14	腭窝高	39.90123	40.28	39.6	40.7	40.3	40.0	40.7
15	颈围	35.53942	36.62	36.6	38.5	37.5	36.5	34.0
16	小腿中围	35.30424	35.44	38.0	38.2	35.5	33.5	32.0
17	小腿长	33.17465	33.04	34.4	32.7	32.3	33.5	32.3
18	上躯体长	32.33242	32.4	31.3	33.0	33.2	31.0	33.5
19	下躯体长	30.38117	30.62	31.6	29.7	30.2	32.1	29.5
20	臀宽	29.37576	29.8	31.7	29.8	30.2	28.1	29.2
21	胸中部宽	29.14517	30.18	30.6	31.3	32.1	29.6	27.3
22	上臂长	27.65777	27.44	27.8	26.1	28.3	27.5	27.5
23	项颈距	24.87216	25.64	25.7	24.9	26.1	26.4	25.1
24	足长	24.65197	24.94	25.9	25.2	24.5	24.4	24.7
25	踝围	24.28571	24.82	26.5	25.5	24.1	24.5	23.5
26	前臂中围	23.68245	24.12	26.0	26.0	23.8	22.5	22.3
27	前臂长	21.55477	21.08	21.9	21.2	21.5	21.6	19.2
28	胸背距	21.35268	21.64	21.8	24.8	21.7	20.0	19.9
29	腹背距	18.79027	19.66	22.4	21.2	20.7	15.9	18.1
30	手长	18.62587	18.54	18.1	19.1	18.2	18.2	19.1
31	头长	18.23973	18.48	18.8	18.1	18.2	19.5	17.8
32	腕围	15.64076	16	16.5	17.0	15.5	15.3	15.7
33	手宽	8.064416	8.22	8.2	8.6	8.1	8.1	8.1
34	肱下端宽	7.492166	7.640001	7.6	8.1	7.5	7.5	7.5
35	前臂下宽	5.660016	5.88	5.9	6.0	5.9	5.6	6.0
36	足高	5.476299	5.96	5.4	6.1	6.1	5.9	6.3
37	颈肩距	4.977994	4.48	4.9	4.4	3.6	4.0	5.5
38	枕背距	4.812901	4.82	5.7	4.8	5.4	5.1	3.1
39	踝跟距	4.246884	4.34	4.2	4.5	5.0	4.5	3.5

计算人体各个尺寸时的 k 也一样: $k=(h_i - H)/\sigma_h$ (17)

由此,再利用(13)式就不难发现,(15)式其实就是(10)式。上述式中 k —变换系数,它和百分位的关系见表4; σ_{aj} —志愿者样本尺寸的均方根差; σ_h —志愿者样本中身高的均方根差; σ_{Aj} —标准人体尺寸的均方根差。表5是根据(14)式和(10)式计算出的不同百分位的志愿者样本和标准人体的尺寸。由表中数据可知,第50百分位数的志愿者样本和标准人体尺寸,二者可认为是一样的;对第3、5、95和99百分位数的志愿者样本和标准人体尺寸来说,差别较大的尺寸仅是腰围(序号6)这1个尺寸。

为了证明这个结果是否可靠,我们用计算值和志愿者的测量值之间的均方根差 D 来衡量,二者之间的均方根差越小,说明二者之间的值越接近。均方根差 D 的定义为:

$$D = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\text{计算值} - \text{测量值})^2}{m}} \quad (18)$$

(18)式中的计算值根据(14)式和(10)式计算,我们对90志愿者的样本进行了计算。这90名志愿者的平均 D 值是2.282744,标准人体为1.885486,这说明标准人体的计算结果更靠近志愿者的实际测量值。上述计算表明,标准人体可以较好地代表志愿者样本。

4 人体常数

4.1 人体常数的导出

设矩阵 B 中 m 个人体标准化的尺寸 r_{ij} 的平均值 R_i 为: $R_i = (r_{i1} + r_{i2} + \dots + r_{im})/m$ ($i=1, 2, 3, \dots, n$), 则矩阵 R 表示为 $R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix}$, 这样, 设矩阵 A 中 n 个人体 r_{ij} 的平均值为 $\bar{a}$, 则

$$\bar{a} = [(r_{11} + r_{12} + r_{13} + \dots + r_{1m})/m + (r_{21} + r_{22} + r_{23} + \dots + r_{2m})/m + \dots + (r_{n1} + r_{n2} + r_{n3} + \dots + r_{nm})/m]/n \quad (19)$$

设矩阵 C 中 n 个标准人体的标准化尺寸的平均值均为 $\bar{A}$, 根据(10)式容易证明:

$$\bar{A} = (P_1 + P_2 + \dots + P_m)/m \quad (20)$$

根据(10)式也可将(19)式整理为: $\bar{a} = (P_1 + P_2 + \dots + P_m)/m$, 即, 矩阵 A 中 n 个人体 r_{ij} 的平均值 $\bar{a}$ 与矩阵 C 中 n 个标准人体的平均值 $\bar{A}$ 相等。

4.2 不同群体的人体常数

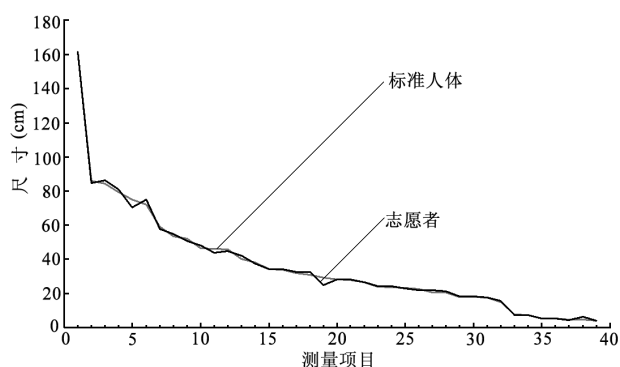


图1 身高161.5cm的志愿者尺寸与标准人体尺寸的比较
Figure 1 Size comparison between volunteers with a height of 161.5cm and the standard body

表 3 随机 4 名志愿者尺寸与标准人体尺寸比较
Table 3 Size comparison between 4 volunteers (random) and the standard body

序号	测量项目	标准人体	志愿者 编号4	标准人体	志愿者 编号62	标准人体	志愿者 编号58	标准人体	志愿者 编号75
1	身長	161.5	161.5	167.8	167.8	173.5	173.5	178.7	178.7
2	坐高	86.10727	84.9	89.46626	90.7	92.50533	88.6	95.27782	93.9
3	胸围	84.51209	86.5	87.80886	91.0	90.79162	98.8	93.51276	88.0
4	背突指尖	79.29858	81.0	82.39195	77.4	85.19072	87.5	87.74399	86.0
5	坐姿眼高	75.01888	70.6	77.94531	79.7	80.59303	79.4	83.0085	82.3
6	腰围	72.27498	75.0	75.09438	85.2	77.64526	87.0	79.97238	71.5
7	肩峰距	58.83268	57.5	61.1277	63.6	63.20415	63.1	65.09845	66.9
8	头围	53.32657	54.5	55.40681	54.0	57.28892	58.0	59.00593	54.5
9	膝背距	51.83303	50.8	53.855	54.2	55.6844	58.4	57.35332	57.9
10	大腿长	46.52396	48.1	48.33883	49.6	49.98085	52.1	51.47883	52.3
11	大腿中围	45.92663	43.7	47.7182	56.0	49.33913	47.8	50.81789	51.9
12	颈骶距	45.83739	44.6	47.62548	46.4	49.24327	48.2	50.71915	49.6
13	肩宽	40.1084	41.9	41.673	39.2	43.08859	44.9	44.38	42.4
14	腓窝高	38.13047	37.4	39.61791	39.3	40.96369	40.9	42.19142	42.9
15	颈围	33.96223	34.1	35.28707	35.0	36.48574	40.5	37.57926	36.0
16	小腿中围	33.73749	34.0	35.05356	36.3	36.24429	45.3	37.33058	35.4
17	小腿长	31.70241	32.6	32.9391	33.0	34.058	31.9	35.07876	37.3
18	上躯体长	30.89755	32.5	32.10284	32.6	33.19335	32.6	34.18819	33.3
19	下躯体长	29.03289	24.7	30.16544	32.1	31.19013	32.6	32.12494	32.1
20	臀宽	28.0721	28.1	29.16717	30.7	30.15795	29.5	31.06182	31.0
21	胸中部宽	27.85174	28.1	28.93822	30.1	29.92122	31.0	30.818	29.2
22	上臂长	26.43036	26.6	27.46139	27.2	28.39422	28.5	29.24523	31.3
23	项颈距	23.76837	24.3	24.69555	25.1	25.53444	25.1	26.29973	25.8
24	足长	23.55795	24.1	24.47693	24.6	25.30839	24.9	26.06691	25.3
25	踝围	23.20794	23.0	24.11327	24.5	24.93237	24.8	25.67962	25.0
26	前臂中围	22.63146	22.0	23.51429	23.8	24.31305	24.3	25.04174	24.5
27	前臂长	20.5982	21.9	21.40172	21.4	22.12872	21.5	22.79194	21.6
28	胸背距	20.40508	21.2	21.20106	22.2	21.92124	23.2	22.57825	22.7
29	腹背距	17.95638	18.1	18.65685	22.2	19.2906	22.2	19.86876	20.3
30	手长	17.79928	18.1	18.49361	18.3	19.12182	19.0	19.69493	19.6
31	头长	17.43027	17.7	18.11021	17.6	18.7254	19.1	19.28662	18.3
32	腕围	14.94665	15.5	15.52971	15.8	16.05723	16.2	16.53849	16.4
33	手宽	7.706528	7.3	8.007155	8.3	8.279149	8.0	8.527284	8.4
34	肱下端宽	7.159673	7.3	7.438967	7.5	7.691661	8.3	7.922189	8.1
35	前臂下宽	5.399275	5.2	5.609897	5.5	5.80046	5.6	5.974306	5.8
36	足高	5.233268	5.3	5.437414	5.4	5.622118	4.8	5.790619	4.6
37	颈肩距	4.757077	4.4	4.942648	3.8	5.110544	4.6	5.263714	3.5
38	枕背距	4.599311	6.4	4.778727	4.3	4.941056	4.4	5.089144	5.0
39	踝跟距	4.058413	4.0	4.216728	4.9	4.359967	4.5	4.49064	4.9

表 4 标准正态分布的百分位数对应的 k 值

Table 4 The percentile of standardized normal distribution and their corresponding K values

百分位	k	百分位	k	百分位	k	百分位	k
0.001	-3.0902089	0.25	-0.6744893	0.51	0.02506890	0.77	0.7388468
0.005	-2.5758395	0.26	-0.6433438	0.52	0.05015370	0.78	0.772192
0.01	-2.326352	0.27	-0.6128122	0.53	0.07526985	0.79	0.806421
0.02	-2.0537512	0.28	-0.5828404	0.54	0.1004337	0.80	0.841621
0.025	-1.9599975	0.29	-0.5533837	0.55	0.1256615	0.81	0.8778952
0.03	-1.8807857	0.30	-0.5243998	0.56	0.1509692	0.82	0.9153645
0.04	-1.750694	0.31	-0.4958504	0.57	0.1763741	0.83	0.9541645
0.05	-1.6448542	0.32	-0.4676987	0.58	0.2018934	0.84	0.9944566
0.06	-1.5547707	0.33	-0.4399132	0.59	0.2275449	0.85	1.036433
0.07	-1.475794	0.34	-0.4124630	0.60	0.2533471	0.86	1.080319
0.08	-1.4050747	0.35	-0.3853204	0.61	0.2793190	0.87	1.1263955
0.09	-1.340755	0.36	-0.3584589	0.62	0.3054808	0.88	1.1749915
0.10	-1.2815542	0.37	-0.3318533	0.63	0.3318533	0.89	1.226528
0.11	-1.226528	0.38	-0.3054808	0.64	0.3584589	0.90	1.2815542
0.12	-1.1749915	0.39	-0.2793190	0.65	0.3853204	0.91	1.340755
0.13	-1.1263955	0.40	-0.2533471	0.66	0.4124630	0.92	1.4050747
0.14	-1.080319	0.41	-0.2275449	0.67	0.4399132	0.93	1.475794
0.15	-1.036433	0.42	-0.2018934	0.68	0.4676987	0.94	1.5547707
0.16	-0.9944566	0.43	-0.1763741	0.69	0.4958504	0.95	1.6448542
0.17	-0.9541645	0.44	-0.1509692	0.70	0.5243998	0.96	1.750694
0.18	-0.9153645	0.45	-0.1256615	0.71	0.5533837	0.97	1.8807857
0.19	-0.8778952	0.46	-0.1004337	0.72	0.5828404	0.975	1.9599975
0.20	-0.841621	0.47	-0.07526985	0.73	0.6128122	0.98	2.0537512
0.21	-0.806421	0.48	-0.05015370	0.74	0.6433438	0.99	2.326352
0.22	-0.772192	0.49	-0.02506890	0.75	0.6744893	0.995	2.5758395
0.23	-0.7388468	0.50	0	0.76	0.7063025	0.999	3.0902089
0.24	-0.7063025						

我们仍根据 90 名志愿者的样本尺寸, 对矩阵 R 进行计算。结果表明, 这 90 名志愿者 R_i 的最大值为 0.2140989, 最小值为 0.1959973, 平均值为 0.2054151, 均方根差为 0.004213816。其中前 5 位 R_i 值分别为: 0.2011599, 0.1987144, 0.2002087, 0.2058009, 0.2054942。根据 (19) 式计算的这 90 名志愿者的标准人体的人体常数平均值同样为 0.2054151。可认为 90 名志愿者的 R_i 值基本上是一常数, 我们称之为人体常数。

由于标准人体尺寸可以代表志愿者样本尺寸, 我们对国标 GB10000-88《中国成年人人体尺寸》的数据 (除立姿人体尺寸外) 也进行了上述计算 (表 6)。从表 6 中也可看出, 尽管年龄段不同, 男性或女性的人体常数都可基本上认为是一个常数。

我们还对军标《中国男性飞行员人体尺寸》的数据进行了计算 (表 7)。尽管机种不同, 测量项目数不同, 但他们的人体常数也都可认为是一个常数。

表 5 不同百分位的志愿者与标准人体尺寸比较

Table 5 Size comparison between volunteers in different percentiles and the standard body

序号	测量项目	第3百分位		第5百分位		第50百分位		第95百分位		第99百分位	
		志愿者 样本	标准人体	志愿者 样本	标准人体	志愿者 样本	标准人体	志愿者 样本	标准人体	志愿者 样本	标准人体
1	身长	160.9957	160.9957	162.0339	162.0339	169.2722	169.2722	176.5105	176.5105	179.5095	179.5095
2	坐高	84.94222	85.84033	85.60626	86.39366	90.23555	90.2512	94.86484	94.10873	96.78283	95.70696
3	胸围	80.44121	84.2501	81.45718	84.79318	88.54001	88.57924	95.62283	92.36532	98.55735	93.93394
4	背突指尖	77.97502	79.05276	78.61891	79.56234	83.10778	83.11485	87.59664	86.66737	89.45644	88.13921
5	坐姿眼高	73.87522	74.78631	74.47044	75.26838	78.62	78.62917	82.76956	81.98995	84.48877	83.38237
6	腰围	63.03272	72.05092	64.62388	72.51536	75.71667	75.75322	86.80946	78.99108	91.40535	80.33256
7	肩峰距	54.75293	58.65031	55.61996	59.02837	61.66444	61.66402	67.70892	64.29968	70.21323	65.39166
8	头围	53.6263	53.16126	53.90693	53.50394	55.86334	55.89292	57.81974	58.28191	58.63031	59.2717
9	膝背距	50.42411	51.67234	50.91436	52.00542	54.33221	54.3275	57.75006	56.64958	59.16612	57.61165
10	大腿长	45.30289	46.37976	45.73685	46.67872	48.76224	48.76295	51.78762	50.84719	53.04108	51.71071
11	大腿中围	42.07268	45.78426	42.83032	46.07938	48.11222	48.13686	53.39412	50.19433	55.58248	51.04677
12	颈腕距	44.14915	45.69529	44.63717	45.98984	48.03945	48.04332	51.44172	50.0968	52.85133	50.94758
13	肩宽	39.02873	39.98407	39.40383	40.24181	42.01889	42.03863	44.63395	43.83545	45.71741	44.5799
14	腓窝高	37.37403	38.01226	37.69927	38.25729	39.96667	39.9655	42.23408	41.67372	43.17349	42.38146
15	颈围	32.3937	33.85695	32.79286	34.0752	35.57557	35.59668	38.35827	37.11816	39.51119	37.74852
16	小腿中围	31.12947	33.63289	31.6585	33.84969	35.34667	35.3611	39.03483	36.87252	40.56288	37.49872
17	小腿长	29.57602	31.60413	30.03496	31.80785	33.23444	33.22809	36.43393	34.64833	37.75952	35.23676
18	上躯体长	29.48675	30.80177	29.84956	31.00031	32.37888	32.3845	34.90821	33.76869	35.95615	34.34217
19	下躯体长	26.52605	28.94289	27.01607	29.12945	30.43223	30.4301	33.84839	31.73075	35.26375	32.26963
20	臀宽	26.74812	27.98507	27.08358	28.16546	29.42223	29.42307	31.76088	30.68068	32.72981	31.20172
21	胸中部宽	26.39518	27.7654	26.74466	27.94438	29.18112	29.19212	31.61757	30.43985	32.62702	30.9568
22	上臂长	25.17309	26.34842	25.49106	26.51826	27.70778	27.70232	29.92451	28.88638	30.84292	29.37695
23	项颈距	20.73683	23.69468	21.25937	23.84742	24.90223	24.91222	28.54509	25.97702	30.05438	26.41819
24	足长	22.84118	23.48493	23.07311	23.63631	24.69001	24.69169	26.30691	25.74706	26.97681	26.18432
25	踝围	22.28716	23.13599	22.54204	23.28513	24.31889	24.32482	26.09574	25.36452	26.83191	25.79528
26	前臂中围	21.55662	22.56131	21.82689	22.70674	23.71111	23.72061	25.59533	24.73448	26.37599	25.15454
27	前臂长	19.55744	20.53435	19.81214	20.66671	21.58778	21.58949	23.36342	22.51228	24.09909	22.8946
28	胸背距	18.71052	20.34182	19.04568	20.47295	21.38222	21.38708	23.71877	22.30121	24.68683	22.67995
29	腹背距	15.26814	17.90072	15.71315	18.01611	18.81556	18.82054	21.91797	19.62497	23.20333	19.95826
30	手长	17.04973	17.7441	17.25145	17.85848	18.65778	18.65587	20.06411	19.45327	20.64677	19.78364
31	头长	17.23109	17.37624	17.36016	17.48824	18.26	18.26911	19.15984	19.04997	19.53266	19.37349
32	腕围	14.37103	14.90031	14.53287	14.99636	15.66111	15.66596	16.78935	16.33555	17.2568	16.61298
33	手宽	7.410561	7.682637	7.493982	7.73216	8.075556	8.077406	8.657129	8.422652	8.898084	8.565692
34	肱下端宽	6.682657	7.137478	6.785469	7.183487	7.50222	7.504234	8.218971	7.824981	8.515932	7.957872
35	前臂下宽	5.079984	5.382537	5.152467	5.417232	5.657778	5.659116	6.16309	5.900999	6.372447	6.001214
36	足高	4.500037	5.217046	4.623249	5.250675	5.48222	5.485121	6.341196	5.719567	6.69708	5.816701
37	颈肩距	3.206979	4.742331	3.429677	4.7729	4.982223	4.986013	6.534769	5.199126	7.17801	5.287422
38	枕背距	3.180253	4.585054	3.385814	4.614609	4.818889	4.820654	6.251965	5.026699	6.845707	5.112067
39	踝跟距	3.164251	4.045832	3.301012	4.071911	4.254445	4.253725	5.207877	4.435539	5.602897	4.510866

表 6 中国成年人人体常数

Table 6 Human body constants of Chinese adults

男性	年龄段	18-60岁	18-25岁	26-35岁	36-60岁	平均值
	人体常数	0.2595001	0.2570476	0.2590263	0.2623593	0.2594833
女性	年龄段	18-55岁	18-25岁	26-35岁	36-55岁	平均值
	人体常数	0.2644061	0.2606292	0.264182	0.2688536	0.2645177

表 7 中国男性人体常数

Table 7 Human body constants of Chinese men

测量项目数	机种	混合机种	歼（强）机	轰炸机、直升机	运输机	平均值
48	人体常数	0.3058836	0.3056467	0.304866	0.3072905	0.3059217
304	人体常数	0.2503529	0.2522683	0.2496305	0.2511956	0.2508618

上述计算还表明，对于同一群体，人体尺寸的项目、数量不同，人体常数是不同的。对于相同项目和数量的人体尺寸，它们的人体常数应是一致的。

上述计算表明，表示人体尺寸间相互关系的人体常数是存在的。这就提示我们，在设计人体模型时，不管模型的比例如何，所设计模型的人体常数需保持与所代表的人群样本的人体常数一致，这样才有利于所设计的模型外形与所代表的人群各部尺寸比例协调。

5 讨 论

5.1 群体的相似性

Roebuck 在用测量方法研究人体的外形时发现，作为一个统计整体，可明显观察到某些人体测量尺寸间存在比例关系^[5]。这个关系就是共同性，也是相似性。身高是人的主要特征，在很大程度上决定着人体其他许多部位的大小^[3]。我们把身高作为主要尺寸进行了数学推导，获得了矩阵 C。矩阵 C 中，n 个标准人体的外形之间是相似的，而矩阵 C 又是由 A 推导来的，可以把矩阵 C 看作是 A 的相似矩阵。在本文中，矩阵 A 表示的是 90 名志愿者的群体，由前面的推导计算也知道，矩 +

阵 A 中的各个个体又都有大致相同的人体常数。由图 1 中的曲线也可看出志愿者与标准人体的曲线也同样大致相似。

当然，在某一人群中又有体型之间的差异，相同体型的人也可组成一群体，称为这一人群体的子群。对于这一人群体的子群，仍然可用文中方法得出相同体型人的标准人体尺寸。

5.2 标准人体的应用价值

我们认为，标准人体其实就是人们辅以测量统计技术的形态观察所描述的人群体外形形象，这个人群体的外形形象有确定的人体曲线和人体常数。

5.2.1 在人类体质学研究中的应用

体质人类学研究着眼于人种的划分, 主要根据人类自然体质特征的不同, 其中人体外形是其主要指标之一。我们认为, 标准人体可以用来描述不同人种间的人体外形形态。由于本文的资料所限, 我们仅将本文的 90 名志愿者的人体标准尺寸与美国 3 名男性大学生的人体测量尺寸^[6]进行了对比(表 8)。由于测量项目的不同, 这 3 名美国大学生的人体尺寸其中仅有 13 项相同。尽管如此, 我们也可从表 8 中看出这两个人种间外形形态的差别, 特别是坐高和胸围、踝围和前臂长的大小排序和我们相反。可以预料, 这两个人种的人体常数也将会是不同的。但也有共同的地方, 就是人体尺寸的大小排序基本一致。

5.2.2 在人体体型分类中的应用

前面已经提到, 标准人体其实就是人们所描述的人群体外形轮廓的形象。人们一般根据人体的外形轮廓, 依照某种标准将相似的人体进行归类。不管人们依据什么标准来划分体型, 不同体型所描述的均是与标准人体的差别。那么, 怎样判别这一差别呢, 一般采用具代表性的维尔维克指数、身高、马氏躯干腿长指数作为评定体型分布的指标^[7]。我们认为最好采用(18)式表示的均方根差 D 来判别这一差别, 均方根差 D 描述了某一部位与标准人体的差别, 式中的计算值为标准人体的计算值。根据本文 90 名志愿者的尺寸, 我们计算了这 90 名志愿者的维尔维克指数、马氏躯干腿长指数和与其标准人体的均方根差 D (图 2)。图中志愿者的序列是按 D 值由小到大排列的。其中前 5 位的志愿者编号为 30, 45, 81, 60, 80。其维尔维克指数、马氏躯干腿长指数和标准人体 D 值分别为: 1.021445, 0.9080718, 0.9555734; 0.9973989, 0.8969299, 0.9907306; 1.01756, 0.8461539, 0.9981332; 1.049267, 0.8839779, 1.006069; 1.020499, 0.8825504, 1.012363。

图 2 表明, 比起维尔维克指数和马氏躯干腿长指数来说, 均方根差 D 是一个十分敏感的指标。既然如此, 人体的哪些部位对体型的影响大些? 我们同样计算了这 90 名志愿者各部位的均方根差 D , 结果表明, 对体型影响较大的前 5 个部位是腰围、胸围、大腿中围、肩峰距和坐高, 其均方根差 D 值分别为 6.83678, 4.487544, 3.323573, 3.279647, 2.297601。

由此我们认为, 当人们研究某一人群体中的体型分布时, 应首先确定该群体的标准人体, 根据(18)式计算均方根差 D , 以确定哪些部位是影响该群体中体型分布的明显部位。

5.2.3 在人体模型和服装设计中确定人体各部尺寸

在人体模型和服装设计中, 确定人体各部尺寸常用统计方法和比例缩放法, 虽然比例缩放方法并没有在数学上得到完全验证, 但作为一种权宜算法一直在被使用^[8]。其实本文的(10)式就可用来确定人体各部位的尺寸, 只是需要确定其群体的标准人体的 P_j 值即可。根据(9)式的定义, P_j 值是群体中人体各部尺寸与身高比值的平均值。有人根据国标 GB10000-88 的数据和经验寻找出部分尺寸与身高的比值^[9-11], 它与本文的计算十分接近。比如前臂长 $=0.157 H$ (本文为 0.127543, 下同), 上臂长 $=0.172 H$ (0.1636555), 大腿长 $=0.232 H$ (0.2880741), 小腿长 $=0.247 H$ (0.1962997), 坐姿眼高 $=0.454 H$ (0.4645132), 肩宽 $=0.229 H$ (0.2483492), 坐高 $=0.523 H$ (0.533172), 臀宽 $=0.182 H$ (0.173821), 足长 $=0.147 H$ (0.1458697), 手掌长 $=0.109 H$ (0.1102123)。虽说本文的人群体与国标 GB10000-88 的人群体不同, 但相同部位的比值极为接近。本文的矩阵 P 表示的就是人体各个部位的尺寸与身高的比值, 它是根据群体的人体尺寸经数据处理得到的, 使用这种方法得到的比值比经验方法得来的更可靠些。

表 8 标准人体与国外人体的比较

Table 8 Comparison of standard human body with that of people from overseas

序号	测量项目	标准人体	外国人1	标准人体	外国人2	标准人体	外国人3
1	身長	170	170	171.2	171.2	185.2	185.2
2	坐高	90.63923	90.1	91.27904	89.6	98.74344	92
3	胸围	88.9601	94.3	89.58805	100.2	96.91418	97
4	背突指尖	83.47218		84.06139		90.93558	
5	坐姿眼高	78.96724		79.52465		86.02783	
6	腰围	76.07893	75	76.61595	87.4	82.88127	81.1
7	肩峰距	61.92913		62.36628		67.46633	
8	头围	56.13323		56.52947		61.15221	
9	膝背距	54.56108		54.94622		59.43948	
10	大腿长	48.97259	57.1	49.31828	59.8	53.35131	62.1
11	大腿中围	48.34382	46.8	48.68507	49.85	52.66632	48.65
12	颈髁距	48.24989		48.59048		52.564	
13	肩宽	42.21936	46.7	42.51738	48.5	45.99427	47.1
14	腓窝高	40.13734		40.42066		43.72608	
15	颈围	35.74972		36.00207		38.94616	
16	小腿中围	35.51314	35.4	35.76383	39.6	38.68844	38.5
17	小腿长	33.37095		33.60651		36.35471	
18	上躯体长	32.52374		32.75332		35.43174	
19	下躯体长	30.56094		30.77666		33.29344	
20	臀宽	29.54958		29.75816		32.19166	
21	胸中部宽	29.31762		29.52457		31.93896	
22	上臂长	27.82143	34.2	28.01782	34.4	30.30899	39.4
23	项颈距	25.01933		25.19594		27.25635	
24	足长	24.79785		24.97289		27.01506	
25	踝围	24.42941	21.5	24.60185	24	26.61369	22.5
26	前臂中围	23.82259	30.5	23.99075	29.5	25.95261	28.6
27	前臂长	21.68232	25.2	21.83537	26.5	23.62097	28.5
28	胸背距	21.47903		21.63064		23.3995	
29	腹背距	18.90145		19.03487		20.59146	
30	手长	18.73608		18.86834		20.41131	
31	头长	18.34765		18.47717		19.98815	
32	腕围	15.73331	16.6	15.84437	17.5	17.14006	16
33	手宽	8.112135		8.169396		8.837455	
34	肱下端宽	7.536498		7.589697		8.21035	
35	前臂下宽	5.683448		5.723566		6.191615	
36	足高	5.508703		5.547588		6.001246	
37	颈肩距	5.00745		5.042797		5.455175	
38	枕背距	4.84138		4.875554		5.274256	
39	踝跟距	4.272103		4.302169		4.653981	

5.3 人体各部位之间的比例

本文对人体测量数据的处理方法是以身体的尺寸与其身高之比来进行的,除身高为基数外,这种处理方法对以其他尺寸为基数时也适用。当然,对应于某一个基数就有这个基数的标准人体以及它们的均方根差 D。均方根差 D 仍是根据 (18) 式计算得来,

其中志愿者的计算值是根据(14)式,标准人体的计算值是根据(10)式计算,只不过此时的基数不再是身高,而是其他部位的尺寸。如均方根差 D 从小到大排序,志愿者使用(14)式的计算结果为:腰围($D=2.109958$),胸围($D=2.142988$),肩峰距($D=2.16038$),腹背距($D=2.18041$),臀宽($D=2.20001$),大腿中

围($D=2.218378$),胸中部宽($D=2.223052$),胸背距($D=2.233115$),小腿中围($D=2.275953$),身高($D=2.282744$);标准人体使用(10)式的计算结果为:身高($D=1.885486$),坐高($D=2.063128$),头围($D=2.082792$),坐姿眼高($D=0.4727977$),背突指尖($D=2.086549$),膝背距($D=2.206235$),腘窝高($D=2.210065$),大腿长($D=2.292678$),头长($D=2.320047$),肩峰距($D=2.360719$)。从以上计算结果可知,使用常规的统计计算方法(14)式计算时,身高并不是唯一与人体各部尺寸关系密切的部位;而对使用(10)式计算的标准人体的部位中,身高却是与人体各部尺寸关系最密切的部位,它比志愿者使用(14)式时计算所有部位的 D 值都小,这表明以身高为基数的标准人体尺寸最接近志愿者的实际测量值。人们曾根据大量的统计资料和人机学研究表明,体态正常的成年人人体各部分静态尺寸之间,有近似的比例关系。确定了这种比例关系,就可由身高这一基本数据近似地推算出其他静态人体尺寸^[12]。本文的标准人体尺寸将会对估测人全身尺寸的可能性提供参考。

计算还表明,当以其他尺寸为基数时,人体常数也随之改变,但对每一基数来说,其 90 名志愿者的人体常数却变化不大。

6 结 论

本文提出的标准人体是指某一人群体的人体测量样本的标准人体,不同人群体的人体,测量样本可以有不同标准人体,标准人体尺寸可代替其测量样本尺寸。

当人们研究某一人群体中的体型分布时,应首先确定该群体的标准人体,根据(18)式计算均方根差 D ,以确定哪些部位是影响群体中体型分布的明显部位。

依据标准人体尺寸计算方法,可计算任一身高人体的各部尺寸,且不同身高人体之间尺寸比例一致、人体常数和人体曲线一样,可供研究人体模型和服装设计时使用。

本文人体测量数据的处理方法可供研究人种和体型分类时的参考。这一方法是以人体各部位的尺寸与其身高之比来进行的,除身高为基数外,对以其他尺寸为基数时也适用,

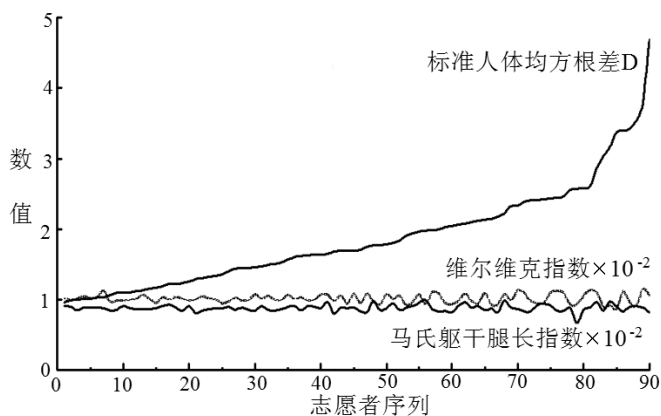


图 2 标准人体均方根差 D 与维尔维克指数和马氏躯干腿长指数的关系
Figure 2 Relationships between standard human body root-mean-square deviation D and Vervaeck's index or Manouvrier's skelic index

同时也会对利用其他人体节段来估测人全身各部尺寸的可能性提供参考。

参考文献

- [1] 林大全, 黄志伟, 江东等. 仿真人体模型与现代测试技术 [J]. 振动、测试与诊断, 2004, 24(sup): 111, 113.
- [2] 张春红, 林大全. 中国成人仿真人体模型的参数研究 [J]. 机械, 2009, (7): 1-3
- [3] 常伦荣 武杰编著. 体质人类学 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2007: 114-115, 117
- [4] 何国强, 魏乐平, 周云水等. 独龙族和阿龙怒族体质特征比较研究 [J]. 现代人类学通讯, 2009, (3): 1-7
- [5] 戢敏, 导师袁中凡. 基于人机工程的动态人体模型研究和应用 [D]. 四川: 四川大学, 2004: 18
- [6] Engin, Ali Erkan. Long bone and joint response to mechanical loading[R]. AFOSR-TR-0013(AD-A111551), Ohio State Univ. Research Foundation, Columbus. Air Force Office of Scientific Research, Bolling AFB, DC, 1982.
- [7] 王梦阳, 导师武国城, 刘宝善. 中国男性志愿者体型分布特点的研究 [D]. 西安: 第四军医大学, 2002.
- [8] 戢敏, 导师袁中凡. 基于人机工程的动态人体模型研究和应用 [D]. 四川: 四川大学, 2004: 20
- [9] 吕志强主编, 董海副主编. 人机工程学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 24-25
- [10] 谢庆森, 黄艳群编著. 人机工程学 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 26-28
- [11] 张月编著. 室内人体工程学 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 9-17
- [12] 李建中, 曾维鑫, 李建华主编. 人体工程学 [M]. 江苏: 中国矿业大学出版社, 2009: 27

Similarity of Human-body Shape

ZHANG Yun-ran

(China Astronaut Research and Training Center, Beijing 100094, China)

Abstract: The paper proposes the concept and definition of “human body similarity” and demonstrates this concept with a mathematical method derived from the standard human-body’s expression. This standard human body size is examined by processing body size data of 90 volunteers. This method can provide estimates for whole body size by using segment size measurements when classifying the human race and its body configuration. There exists a constant in the expression of human body size correlation, as well as in designing the human body model.

Keywords: Ergonomics; Human morphology; Human body model; Race classification