

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201705004



# 面向汽车座椅设计的人体 单一尺寸确定方法

盛精<sup>1,2</sup>, 于贝贝<sup>1</sup>, 韩勇<sup>1,2</sup>, 符升平<sup>1,2</sup>, 薛清<sup>3</sup>

(1. 厦门理工学院 机械与汽车工程学院, 福建 厦门 361024;

2. 厦门理工学院 福建省客车及特种车辆研发协同创新中心, 福建 厦门 361024;

3. 厦门金龙汽车座椅有限公司, 福建 厦门 361022)

**摘要:** 针对汽车座椅尺寸设计, 结合人机工程学和统计学理论, 提出基于累积概率和分组插值的人体静态尺寸的两种设计方法. 通过建立第 95 个百分位假人模型, 验证这两种设计方法对人体身高尺寸进行计算的有效性. 结果表明: 两种方法所得到的身高数据精度较好、结果相近, 可以为汽车座椅的尺寸确定提供设计依据, 也能为不同百分位假人模型的建立提供合理的尺寸.

**关键词:** 汽车座椅; 人体尺寸; 百分位数; 统计学理论; 人机工程学

**中图分类号:** TS 665.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-5013(2017)06-0774-05

## Method to Determine Size of Human Body for Automobile Seat Design

SHENG Jing<sup>1,2</sup>, YU Beibei<sup>1</sup>, HAN Yong<sup>1,2</sup>,  
FU Shengping<sup>1,2</sup>, XUE Qing<sup>3</sup>

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;

2. Fujian Collaborative Innovation Center for R&D of Coach and Special Vehicle,

Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;

3. Xiamen Golden Dragon Auto Seat Company Limited, Xiamen 361022, China)

**Abstract:** Aiming at automobile seat design, two design methods of the static state size of human body were put forward based on cumulative probability and grouping interpolation combined with ergonomics and statistical theory. By establishing the 95th percentile dummy model, two design methods for calculating height of human body were verified. The results show that two methods have better data accuracy and similar results, which provides a basis for the design of automobile seat size and also provides a reasonable size for different percentile of dummy model.

**Keywords:** automobile seat; human body size; percentile; statistical theory; ergonomics

人们在追求产品实用性的同时, 更加关注其人性化的设计, 即在设计生产工业产品时, 必须考虑与人体相关的尺寸<sup>[1-2]</sup>. 汽车座椅作为乘员与车身相连接的关键部件, 其舒适性设计一直是座椅设计过程中的重要环节, 而人体尺寸与座椅设计是密不可分的. 目前, 国内外人体尺寸获取通常有两种方法. 第一

**收稿日期:** 2017-05-07

**通信作者:** 盛精(1965-), 男, 教授, 博士, 主要从事汽车零部件 CAD/CAE 和 CIMS 技术的研究. E-mail: shengjing@xmut.edu.cn.

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(51675454); 福建省科技创新平台科研基金资助项目(2016H2003)

种是采用人工直接测量法，即通过对人体的测量直接获取人体尺寸。如温佩芝等<sup>[3]</sup>在现有国家标准 GB/T 10000—1988《中国成年人人体尺寸》的数据基础之上，将人体尺寸测量项目划分几块搜索范围，并在各个搜索区域内提取特征点，通过计算两特征点之间的坐标差值以及最短距离，确定了人体相关尺寸；Imrhan 等<sup>[4]</sup>对居住在美国的 51 岁成年女性和 50 岁成年男性的孟加拉国人右手分别进行了 24 维度的测量。第二种是逆向设计法，即借助于测量工具和程序获取人体尺寸<sup>[5-6]</sup>。如赖军等<sup>[7]</sup>对扫描后的人体点云处理获得人体尺寸；张磊等<sup>[8]</sup>对一男子塑料模型进行数据扫描，通过软件处理得到人体表面三维尺寸；Niu 等<sup>[9]</sup>对 500 名年轻的中国士兵的整体头部数据进行扫描，建立三维人体模型，从中获取人体尺寸；Yang 等<sup>[10]</sup>通过扫描 HPM-I 和 HPM-II 两代假人模型，进而得到两种假人的身体尺寸。不难发现，上述两种尺寸获取方法存在过程繁琐、周期长等问题。针对此问题，根据人体单一因素静态尺寸服从正态分布这一规律，面向汽车座椅设计，结合人机工程学和统计学理论，本文提出基于累积概率和基于分组插值的人体静态尺寸的设计方法。

## 1 基于累计概率的人体静态尺寸设计

### 1.1 百分位数

对人体尺寸设计而言，百分位是表示某一人体尺寸和小于该尺寸的人数占总统计对象总人数的百分比，是一种相对值，在分布函数中表示某一个分布点。如以身高为例， $m$  百分位的尺寸表示有  $m\%$  的人身高等于或小于这个尺寸，换句话说就是有  $(1-m)\%$  的人身高高于这个尺寸。第 50 百分位为中点，表示把一组数平分成两组，较大的 50% 和较小的 50%。第 50 百分位的数值可以说接近平均值。

假设一组样本  $N$  足够大，将该样本按大小分成  $[0, h], [h, 2h], [2h, 3h], \dots, [99-h, 99]$  等距的  $100/h$  个区间，则百分位的计算式为

$$P_m = L + \frac{(m/100)N - F_b}{f} \cdot h. \tag{1}$$

式(1)中： $P_m$  为  $m$  百分位； $L$  为  $P_m$  所在组的组实下限； $f$  为  $P_m$  所在组的次数； $F_b$  为小于  $L$  的累积次数； $h$  为各区间组距。

### 1.2 人体静态尺寸百分位计算

统计数据表明，任意一组特定对象的静态人体尺寸，其分布规律都近似符合正态分布<sup>[11]</sup>。即大部分属于中间值，只有一小部分属于过大和过小的值，它们分布在范围的两端。若人体静态尺寸这一连续随机变量  $X$  服从平均值为  $\mu$  和方差为  $\sigma^2$  的正态分布，记作  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ ，则其概率分布函数为

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \exp\left(-\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}\right). \tag{2}$$

式(2)中：概率分布函数的平均值  $\mu$  决定了其位置，标准差  $\sigma$  决定了分布的幅度。变量值在整个曲线下的面积为 100%，或者说出现的概率为 1。

1) 首先，把人体某静态尺寸区间  $[a, b]$  分成  $n$  等份，即  $a = X_0 < X_1 < \dots < X_n$ ，如图 1 所示。取任一身高值  $\epsilon_i \in [X_{i-1}, X_i]$  ( $i \in N^*$ )，令  $\Delta X_i = X_i - X_{i-1}$ ，从而将概率密度函数曲线与  $X$  轴围成的曲边梯形分为  $n$  个小曲边梯形，当  $n$  取得无限大时，每个小曲边梯形的曲边就可以用直线近似代替。

2) 将  $[a, b]$  范围内的小曲边梯形面积进行累加，可求得该曲边梯形面积的近似值为

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=a}^b \Delta S_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=a}^b f(x_i) \Delta x_i = \int_a^b f(x) dx. \tag{3}$$

对于  $m$  百分位而言，则有

$$P_m = S = \int_{-\infty}^{X_m} f(x) dx = m\%. \tag{4}$$

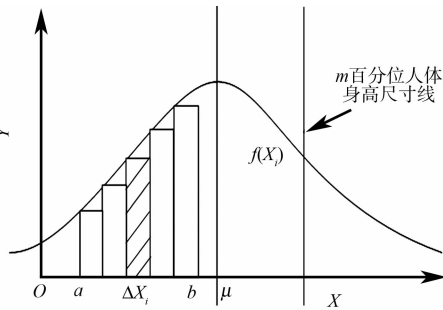


图 1 服从正态分布的人体静态尺寸函数曲线

Fig.1 Subject to normal distribution of human static size function curve

式(4)中: $x_m$  为  $m$  百分位的人对应的身高与  $X$  轴的交点值.  $P_m$  对应  $X$  轴上的点为  $(t,0)$ , 则有

$$\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp(-\frac{u^2}{2}) du = m\%, \quad t = \frac{X-\mu}{\sigma}.$$

(5)

即可得出人体尺寸值表达式为

$$X = t\sigma + \mu.$$

(6)

2 基于分组插值的人体静态尺寸设计

通过统计某区域的某一符合正态分布规律的数目为  $N$  的人体静态尺寸样本, 将其划分为相等的间距. 假设间距为  $H$ , 则组数为  $P=N/H$ , 各等间距点分别为  $[N_0, N_0+H], [N_0+H, N_0+2H], [N_0+2H, N_0+3H], \dots, [N_0+N(H-1)/H, N_m]$ , 其中,  $N_0$  和  $N_m$  分别为该静态尺寸样本最小值和最大值.

在  $[N_0, N_0+H]$  区间生成随机人体尺寸为

$$C = N_0 + \text{Rand}() \cdot H.$$

(7)

式(7)中:  $C$  为该区间的随机生成的人体尺寸;  $\text{Rand}()$  为随机数的范围, 满足  $0<\text{Rand}()<1$ .

同样地, 对于其他各等距区间有

$$C_i = N_0 + i \cdot H + \text{Rand}() \cdot H.$$

(8)

式(8)中:  $C_i$  为该区间的随机生成的人体尺寸,  $i(i \in \mathbf{N}^*)$  为从小到大的间距号;  $N_0$  为整个样本中最小的人体尺寸数值.

人体尺寸设计不同百分位的计算结果, 就是对这些从小到大排序的数据的人体频数进行分组累积. 若在各组内的人体尺寸项百分位, 就需要通过插值获取计算值.

1) 累计频数构成百分位互异点. 分布函数上的累计人体频数间的百分位数进行近似插值, 可假设构成的这些互异点, 如表 1 所示.

表 1 累计频数构成的百分位互异点

Tab. 1 Percentile points of cumulative frequency composition

$x$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	...	$x_n$
$y=f(x)$	$y_0$	$y_1$	$y_2$	...	$y_n$

通过服从正态分布的人体某静态尺寸的概率密度曲线 ( $y=f(x)$ ) 上的  $n+1(n \in \mathbf{Z})$  个百分位互异点  $M(x_i, y_i) (i \in \mathbf{N}^*)$ , 作一条  $n$  次多项式曲线  $y=P_n(x)$  近似代替  $y=f(x)$ . 则令此  $n$  阶插值多项式  $P_n(x)=a_0+a_1x+a_2x^2+\dots+a_nx^n$ , 且该多项式曲线可近似且唯一替代上述概率密度函数曲线.

2) 人体尺寸 Lagrange 插值多项式求解. 对于符合正态分布的百分位互异点的某静态尺寸值  $X_0, \dots, X_{t-1}, X_{t+1}, \dots, X_n$ , 结合插值条件和插值基函数理论, 可推导出插值多项式为

$$Q_n(X) = \sum_{t=0}^n y_t L_t(X) = \sum_{t=0}^n \frac{y_t}{(X-X_t)\omega'_{n+1}(X_t)} \cdot \omega_{n+1}(X).$$

(9)

式(9)中:  $t \in \mathbf{N}^*$ ;  $L_t(X)$  为插值基函数;  $Q_n(X)$  为插值基函数  $L_0(X), L_1(X), \dots, L_n(X)$  的线性组合.

3 第 95 个百分位人体身高尺寸的确定

3.1 基于累积概率的身高百分位人体尺寸计算

由于 GB/T 10000—1988《中国成年人人体尺寸》中的人体尺寸数据较美国军方人体调查 (army anthropometric survey, ANSUR) 的数据陈旧, 故参考 ANSUR 的人体尺寸数据. 从中查得美国男子人体的身高、体质量和坐姿高度的平均值和方差, 如表 2 所示. 依照上述的求解过程, 可得到人体身高尺寸为 186.60 cm.

表 2 ANSUR 的人体尺寸数据

Tab. 2 Body size data of ANSUR

项目	平均值	$\sigma^2$
身高/cm	175.58	6.68
体质量/kg	78.49	11.10
坐姿高度/cm	91.39	3.56

3.2 基于分组插值的身高百分位人体尺寸计算

若  $A(x_1, y_1), B(x_2, y_2)$  为概率密度分布曲线上的两个互异的两百分位点, 而被插值点  $P(x, y)$  在上述曲线上. 为简便起见, 对于式(9)取  $n=1$ , 可得到基于分组的直线插值公式为

$$Q_1(X) = y_0 \frac{x - x_1}{x_0 - x_1} + y_1 \frac{x - x_0}{x_1 - x_0}.$$

(10)

经变换并代入两点坐标,可得

$$y = x_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1).$$

(11)

将 10 000 个服从正态分布的身高随机样本按数据范围从小到大分为 20 组,累计相加得到各个分段处的人数频率,如表 3 所示.

表 3 模拟身高尺寸测量项的分组插值结果

Tab. 3 Results of grouping interpolation for simulated height measurement items

编号	组距点	人数频率	累积频率	编号	组距点	人数频率	累积频率
1	150.00	0	0	12	180.25	1 462	7 586
2	152.75	5	5	13	183.00	1 068	8 654
3	155.50	5	10	14	185.75	701	9 355
4	158.25	38	48	15	188.50	394	9 749
5	161.00	78	126	16	191.25	172	9 921
6	163.75	245	371	17	194.00	53	9 974
7	166.50	453	924	18	196.75	18	9 992
8	169.25	842	1 666	19	199.50	7	9 999
9	172.00	1 255	2 921	20	202.25	1	10 000
10	174.75	1 560	4 481	21	205.00	0	10 000
11	177.50	1 643	6 124				

对于第 95 个百分位的人体来说,只需人数频数  $m$  满足  $m=10\,000 \cdot 95\%=9\,500$  即可. 根据累积概率可知,9 500 在前 14 项人数之和 9 355 与前 15 项人数之和 9 749 之间. 利用分组插值式,可求得人体身高尺寸  $x'=186.76$  cm. 通过比较上述两种方法计算的人体身高尺寸,其相对误差为 0.8%,说明两种计算方法具有有效性和可行性.

3.3 座椅舒适性的人体建模

对于座椅静态舒适性设计研究,需要对不同百分位假人进行建模. 根据中国人体身高均值和方差,结合直线分组差值的尺寸设计方法,并运用人体其他单一静态尺寸与身高之间的关系(表 4),建立了用于座椅舒适性设计的第 95 个百分位人体模型.

表 4 与身高具有比例相关的其他人体尺寸项

Tab. 4 Other human size items that are proportional to heights

	人体尺寸项	比例	第 5 个百分位/cm	第 50 个百分位/cm	第 95 个百分位/cm
站姿	上臂长	0.194	31.894	34.055	36.224
	前臂长	0.250	41.100	43.885	46.680
	大腿长	0.332	54.581	58.279	61.991
	小腿长	0.204	33.538	35.810	38.091
	坐高	0.351	57.704	61.615	65.539
	坐姿颈椎高	0.513	84.337	90.052	95.787
	坐姿眼高	0.583	95.845	102.340	108.860
	坐姿肩高	0.458	75.295	80.397	85.518
	坐姿肘高	0.406	66.746	71.269	75.808
	坐姿大腿厚	0.083	13.645	14.570	15.498
	坐姿膝高	0.292	48.005	51.258	54.522
	小腿加足高	0.250	41.100	43.885	46.680
	坐深度	0.275	45.210	48.274	51.348
坐姿	臀膝距	0.305	50.142	53.540	56.950
	坐姿下肢长	0.556	91.406	97.600	103.820
	胸宽	0.183	30.085	32.124	34.170
	臀宽	0.195	32.058	34.230	36.410

从 Poser Pro 软件中获得人体站立和坐姿几何数据,将该人体几何数据转化成 STL(STereo lithography)格式的点云,并调整该人体对应部位为上述人体尺寸数据.在 Poser Pro 中调整模型的坐姿人体皮肤造型几何数据,如图 2 所示.逆向重建的近似美国男子第 95 个百分位人体皮肤曲面部位,如图 3 所示.骨骼的建模方法类似于皮肤,最终得到的第 95 个百分位人体坐姿模型<sup>[11]</sup>,如图 4 所示.

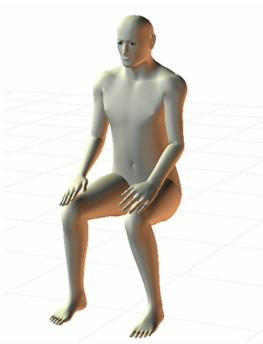


图 2 Poser Pro 中调整的人体坐姿皮肤模型

Fig. 2 Poser Pro adjusts body posture skin model

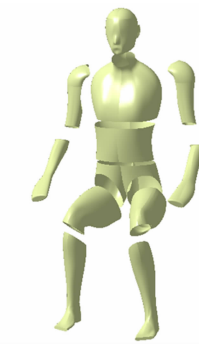


图 3 CATIA 逆向重建的第 95 个百分位人体曲面部位

Fig. 3 CATIA reverse reconstruction of 95th percentile surface of human body



图 4 第 95 个百分位人体装配模型

Fig. 4 95th percentile body assembly model

4 结束语

针对汽车座椅设计中人体尺寸的确定,结合人机工程学和统计学理论,提出了基于累计概率的人体单一因素静态尺寸设计方法与基于分组插值的人体单一因素静态尺寸设计方法.然后,采用上述两种方法对第 95 个百分位的人体身高尺寸的设计进行验证.最后,依据这两种方法进行构建基于汽车座椅舒适性设计的人体模型的应用研究.文中提出的两种方法可以为不同区域的各百分位人体尺寸的确定提供设计依据.

参考文献:

[1] AGHA S R. School furniture match to students' anthropometry in the Gaza Strip[J]. Ergonomics, 2010, 53(3): 344-54.

[2] MANDAHAWI N, IMRHAN S, AL-SHOBAKI S. Hand anthropometry survey for the Jordanian population[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2008, 38(11): 966-976.

[3] 温佩芝, 马超, 胡俊榕, 等. 基于国家标准的三维扫描人体尺寸提取技术[J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(6): 1114-1119.

[4] IMRHAN S N, SARDER M D, MANDAHAWI N. Hand anthropometry in bangladeshis living in america and comparisons with other populations[J]. Ergonomics, 2009, 52(8): 987-998.

[5] WELLS J C, TRELEAVEN P, COLE T J. BMI compared with 3-dimensional body shape: The UK National sizing survey[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2007, 85(2): 419-425.

[6] WELLS J C K, TRELEAVEN P, CHAROENSIRIWATH S. Body shape by 3-D photonic scanning in Thai and UK adults: Comparison of national sizing surveys[J]. International Journal of Obesity, 2012, 36(1): 148-154.

[7] 赖军, 王博, 付全, 等. 基于点云模型的人体尺寸自动提取方法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014(8): 2676-2683.

[8] 张磊, 石学岗, 鲁林平, 等. 基于逆向人体建模技术的工作座椅设计方法[J]. 机械设计, 2014(7): 113-117.

[9] NIU J, LI Z, SALVENDY G. Multi-resolution description of three-dimensional anthropometric data for design simplification[J]. Applied Ergonomics, 2009, 40(4): 807-810.

[10] YANG J, LEE I, CHOI H. Development of aspect dummy considering seat dimension factor[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2014, 28(7): 2489-2492.

[11] REED M P, MANARY M A, SCHNEIDER L W. Methods for measuring and representing automobile occupant posture[EB/OL]. [1999-03-01]. [http://mreed.umtri.umich.edu/mreed/pubs/Reed\\_1999-01-0959.pdf](http://mreed.umtri.umich.edu/mreed/pubs/Reed_1999-01-0959.pdf). DOI: 10.4271/1999-01-0959.

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 崔长彩)