

【工业设计】

## 中国三维人头测量研究

何人可, 杨文秀, 王海宁  
(湖南大学, 长沙 410082)

**摘要:** **目的** 收集中国人头部的最新三维数据, 给以中国人为目标用户的头戴式产品设计提供基础数据。**方法** SizeChina-Hunan 研究结合了非接触式的三维扫描技术和传统的接触式手工测量技术, 收集 2200 名受试者头部数据。每个模型文件完成 57 个特征点标记和 35 个项目测算, 扫描数据由 Artec Studio 12 专业软件进行记录和处理。**结论** 研究共获得来自广州、杭州、长沙、成都、西安、北京和哈尔滨的 2200 名有效受试者的头部数据, 为 3D 人头统计模型的拟合、中国三维人头数据库 (Chinese Headbase) 和中国人体头面部尺寸 3D 分析设计辅助系统 (Chinese Dimension) 等头戴式产品设计辅助工具的建立奠定基础。

**关键词:** 人体测量; 三维扫描; 交互设计; 人机工程

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)08-0103-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.08.018

### 3D Anthropometry of Chinese Head

HE Ren-ke, YANG Wen-xiu, WANG Hai-ning  
(Hunan University, Changsha 410082, China)

**ABSTRACT:** The paper aims to collect the latest data related to the head of Chinese people to lay an important data foundation for product designing targeted at the head of the Chinese people. In the SizeChina-Hunan study, 3D contactless scanning technology and traditional contact-type hand-measuring techniques were combined to scan the head of 2,200 subjects. In each model file, 57 feature points were marked and 35 items were measured. During this period, the scanning data were recorded and processed by Artec Studio 12 software. Seven representative cities in Mainland China are selected in this survey, namely Guangzhou, Hangzhou, Changsha, Chengdu, Xi'an, Beijing and Harbin. Finally, the data on head of a total of 2,200 subjects aged from 18 to 70 years old are obtained in this survey, laying a data foundation for construction of tools for head-wearing product, such as Chinese fitting head, Chinese Headbase, Chinese people's head size 3D analysis and Chinese Dimension.

**KEY WORDS:** anthropometry; 3D scanning; interaction design; ergonomics

人体头部的精确数据对虚拟现实 (VR) 头盔和安全防护眼镜等头戴产品的设计有重要的指导意义, 但是由于人体头部几何形状的复杂性, 传统的接触式测量方式无法满足更深层次研究的要求<sup>[1-5]</sup>。在此情况下, 三维扫描技术得到了广泛的应用。SizeChina<sup>[6]</sup> 作为世界上第一个对中国人的头部进行三维扫描的研究项目于 2008 年完成, 目标是“打造中国首个数字的头面部数据库”<sup>[7]</sup>。由于 SizeChina 的样本量老旧, 提取的

面部和耳部特征少, 数据精度差, 所以本次 SizeChina-Hunan 研究的目的是更新 SizeChina 的数据库。该测量项目自 2017 年 1 月开始, 于 2018 年 5 月结束<sup>[8]</sup>。

### 1 测量计划

#### 1.1 样本分布

为了研究中国不同地区人体数据的差异, 根据中

收稿日期: 2018-12-12

作者简介: 何人可 (1958—), 男, 湖南人, 湖南大学教授、博导, 主要研究方向为设计史论和设计战略。

通信作者: 王海宁 (1984—), 男, 山东人, 湖南大学副教授, 主要研究方向为人机交互与用户体验、人体测量学与人因工程。

国地理区域划分标准,本研究选择了7个人口区的代表性城市,分别是广州(华南)、杭州(华东)、长沙(华中)、成都(西南)、西安(西北)、北京(华北)和哈尔滨(东北),见图1。



图1 样本分布  
Fig.1 Sample distribution

## 1.2 样本量

在人体测量学研究中,研究群体的人体维度多样性和研究预期的相对准确率决定了人体测量数据所需要的最小样本量。在 SizeChina-Hunan 的研究中,7个地域的最小样本量是基于 SizeChina<sup>[9]</sup>中的取样方案计算得出的。

每个区域的最小样本量  $N$ ,可以用如下方程计算出来:

$$N = \left( \frac{1.96 \times CV}{\alpha} \right)^2 \times 1.534^2$$

$$CV = SD / X \times 100$$

式中:1.96 为使用正态分布进行置信区间估计时,临界值 1.96 所对应的置信水平是 95%;  $CV$  为变异系数;  $X$  和  $SD$  分别为研究群体的某一关键人体维度(如头围或者头宽)的平均值和标准差;  $\alpha$  为所预期的相对准确率。

SizeChina 以美军的山根—下巴的垂直距离作为关键的人体维度,得出每个地域最小样本量为 240 人。而 SizeChina-Hunan 以 SizeChina 的调研数据为基础,计算出一个新的变异系数为此次研究所用。本次研究中,目标群体的头围被选作用以计算出新变异系数的关键人体维度。计算显示,新的  $CV$  远比 SizeChina 所使用的美军的  $CV$  要小,所以用新的  $CV$  计算出的最小样本量会远远小于 SizeChina 所取的最小样本量。但为了保证此次研究的精准性,SizeChina-Hunan 研究组决定取用更大的样本量,将每个地域所需要的 2 个性别和 3 个年龄段的样本量扩充为每个种类 45 人,因此每个地域的最小样本量增至 275 人,其中位于华中地区的长沙作为项目所在地,额外增加

275 名样本量,所以该地区的总样本量为 550。

综上所述,此次研究的取样目标是在全国收集 2200 名有效被试的数据。在 7 个城市中,每个城市最小取样目标为 275 人,见表 1。在样本的筛选过程中,被试没有身高、体重、民族、职业等限制,但是每一个地域的被试必须满足本人以及直系亲属祖上两代(父母、祖父母)的籍贯都属于该地域。此外,每个地域所招募的被试男女数量大致相等。

表 1 测量地域及样本量  
Tab.1 Sampling region and sample size

城市	样本量/人
广州	275
杭州	275
长沙	550
成都	275
西安	275
北京	275
哈尔滨	275
样本总量	2200

## 2 测量过程

### 2.1 测量场地

本次研究的数据收集部分在 7 个不同地区分别进行,各种与测量实验相关的具体要求在正式测量开始之前以文件的形式提供给合作方。其中,测量场地需要满足以下要求:(1)场地至少 20 m<sup>2</sup> 的会议室,可供分隔出若干区域;(2)有柔和均匀的日光灯并且户外光线可遮蔽;(3)需要空调等必要的温湿度调节设备;(4)地插充足,电磁屏蔽良好;(5)通风良好,外窗可关闭;(6)环境安静,门窗墙体隔音良好;(7)有稳定快速的网络,用于数据传输;(8)扫描房间可锁或有专人看管。

### 2.2 数据收集

本研究的数据收集过程包括以下步骤,见图 2。

1) 项目介绍及问卷填写。研究人员向受试者做简短的项目介绍并发放一份包含人口统计学信息和待填的传统人体测量项目的问卷。

2) 编号和摄影。为了便于后续的数据处理和管理,每个受试者都会被分配一个编号贴在胸前以便于拍照记录。同时,编号的顺序与问卷的顺序保持一致。在拍摄的过程中,受试者需要在中性灰色背景下拍摄高分辨率前视图以及左右侧面轮廓的照片,以便作为查找三维扫描文件的参考。

3) 传统人体测量。在传统的人体测量过程中,测量人员会对受试者的身高体重以及头宽、头长和头周进行接触式的传统测量并将测量数据填写在问卷当中。

4) 固定头发。每个受试者（无论男女）都需要在移除任何可能干扰扫描的珠宝或是其他配饰之后带上一顶尼龙帽，确保每个受试者的耳朵和前额完全裸露并尽可能的减少头发对测量结果的影响。

5) 特征点标记。20 个预先选定的特征点例如额颞点（左、右）、耳屏点（左、右）等在扫描前需要

使用 5 mm 的带有粘性的红点在受试的脸上标记以确定位置。

6) 三维扫描以及数据检查。受试者坐在扫描仪的中间并保持指定的姿势——眼睛睁开并自然平视前方。为确保数据文件质量，每次扫描得到的数据都需进行实时检查。



图 2 3D 数据采集过程  
Fig.2 Process of 3D data collection

### 3 数据处理

#### 3.1 数据预处理

数据预处理过程包括以下几个步骤，见图 3。

1) 数据对齐。由于在操作过程中扫描的不连续性，每一个扫描文件是由多个文件片段组成，这些数据文件通过 Artec Studio 12 软件融合、拼接在一起，形成一个完整的头部模型。

2) 噪点消除和整体配准。去除原始文件中多余的

数据，例如模型文件上额外的数据点和“扫描噪点”。

3) 尖锐融合。填充扫描过程中因数据丢失所造成的模型孔洞，使模型文件更加完整。

4) 网格简化和补洞。使每个模型的多边形数量从数百万减少到几千，使模型文件更加精炼、完整。

5) 网格平滑。将多余的凹凸数据去掉，使模型表面更加光滑，以提高后续 3D 数据拟合的准确性。

6) 纹理贴图。为了提高模型的还原性，每个模型都需要添加高质量的纹理贴图，并通过调整模型环境中的光线使模型文件的颜色和纹理更加清晰、逼真。

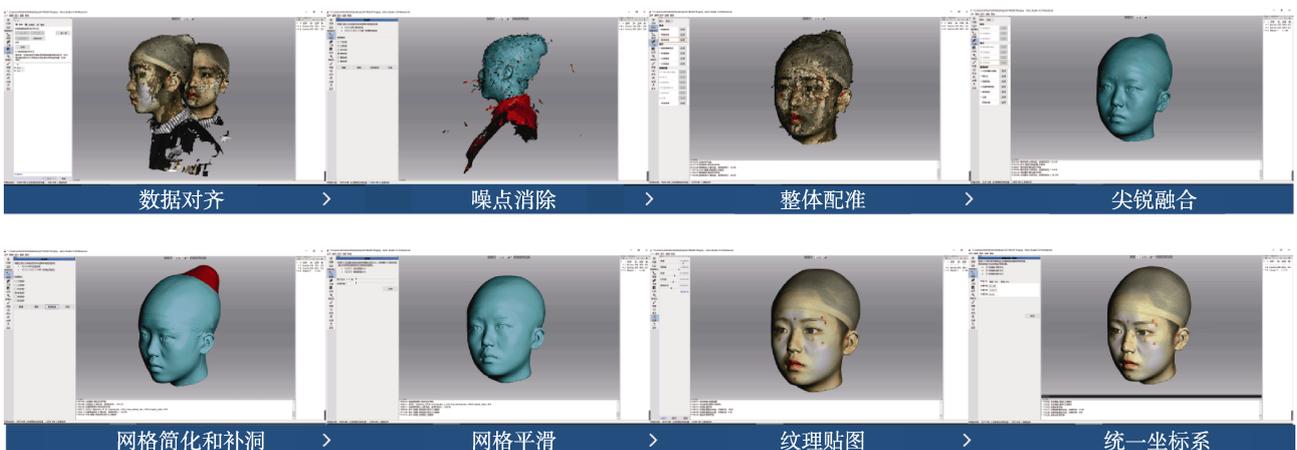


图 3 数据预处理  
Fig.3 Data pre-processing

7) 统一坐标系。在提取和计算扫描坐标和测量值之前,所有的数据文件都需要重新校准到同一个空间坐标系内。在人体测量学中,法兰克福平面(Frankfurt horizontal)<sup>[10]</sup>是一个标准的、可以将所有头部模型的x、y和z位置校准到一个标准的标准平面。操作者以左右耳屏点和左侧眶下点为基准创建XOY平面。然后在XOY平面上,以左右耳屏点间距的中点为坐标原点,使得在3个坐标轴中,x轴正向指向右侧耳屏点,y轴正向与鼻尖至眉心方向一致,z轴正向指向头顶。在数据处理的过程中,每个模型文件都会按上述步骤处理,从而使所有的模型文件对齐到一个相同的正交坐标系内。

8) 三维文件导出。经过上述各个步骤的处理,

每个扫描文件的模型和纹理都会分别导出至一个由OBJ扫描模型文件、JPG纹理文件和彩色纹理MTL扫描模型文件所组成的单独的文件夹中。

### 3.2 数据提取

本次研究参考了头部、面部和耳部总共57个特征点,见图4,其中20个具有较高描述准确性和计算经济指标的特征点与SizeChina所使用的特征点相同。头部、面部和耳朵上的特征点见表2。

在提取完特征点之后,研究人员需要对完成数据处理的3D模型文件进行32个相关项目的测量,见表3。在测量的过程中,研究人员以受试者面部的特征点作为测量点并将得到的距离数据记录在电子表格文件中,测量项目见图5。

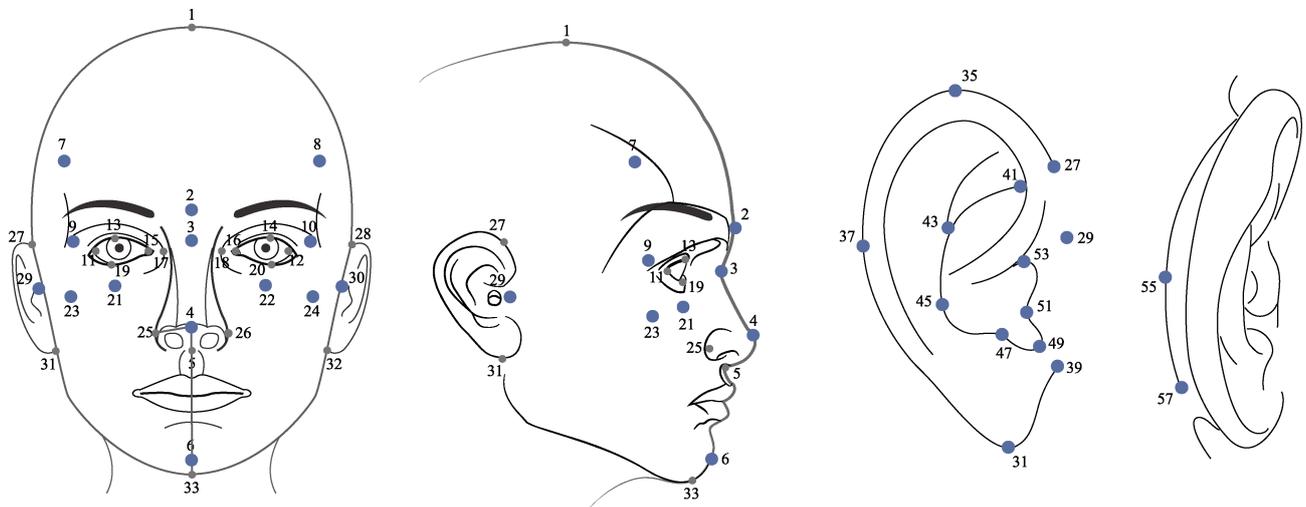


图4 头部、面部、耳部特征点  
Fig.4 Feature points on head, face and ears

表2 头部、面部和耳朵上的特征点  
Tab.2 Feature points on the head, face and ears

1 头顶点	11 (12) 外眼角 (左右)	27 (28) 耳上附着点 (左右)	42 (43) 耳甲艇上点 (左右)
2 眉心点	13 (14) 脸上点 (左右)	29 (30) 耳屏点 (左右)	44 (45) 耳甲腔后点 (左右)
3 鼻梁点	15 (16) 内眼角 (左右)	31 (32) 耳下附着点 (左右)	46 (47) 耳甲腔下点 (左右)
4 鼻尖点	17 (18) 鼻根点 (左右)	33 颞下点 (后)	48 (49) 耳屏切迹点 (左右)
5 鼻下点	19 (20) 脸上点 (左右)	34 (35) 耳廓上点 (左右)	50 (51) 耳屏点 (耳) (左右)
6 颞前点	21 (22) 眶下点 (左右)	36 (37) 耳廓后点 (左右)	52 (53) 耳甲腔上点 (左右)
7 (8) 额颞点 (左右)	23 (24) 颧点 (左右)	38 (39) 耳廓下点 (左右)	54 (55) 耳后附着点 (左右)
9 (10) 额骨外侧点 (左右)	25 (26) 鼻翼点 (左右)	40 (41) 耳甲艇前点 (左右)	56 (57) 乳突点 (左右)

表3 测量项目  
Tab.3 Items of 3D measurement

测量项目	部位	特征点 (包含)	类型
<b>传统测量项目</b>			
1 头围	头部	眉心点, 枕后点, 颞侧点 (左右)	周长
2 头长	头部	眉心点, 枕后点	长度
3 头宽	头部	颞侧点 (左右)	宽度

续表 3

测量项目	部位		特征点 (包含)	类型
<b>三维测量项目</b>				
4 额颞点间距	面部	7-8	额颞点 (左右)	宽度
5 眉心点-鼻尖点间距	面部	2-4	眉心点, 鼻尖点	深度
6 眶下点-鼻尖点间距	面部	21/22-4	眶下点, 鼻尖点	深度
7 耳屏点间距	面部	29-30	耳屏点 (左右)	宽度
8 额骨外侧点间距	面部	9-10	额骨外侧点 (左右)	宽度
9 耳上附着点间距	面部	27-28	耳上附着点 (左右)	宽度
10 耳上附着点间距-眉心点间距	面部	2-27/28	耳上附着点, 眉心点	长度
11 头顶点-眉心点间距	面部	1-2	头顶点, 眉心点	深度
12 头顶点-耳屏点间距	面部	1-29/30	头顶点, 耳屏点	深度
13 颧距	面部		颧点 (左右)	宽度
14 眼睛到耳廓上点垂直距离	面部		瞳孔 (左右), 耳上附着点	深度
15 眼睛到耳廓上点宽度	面部		瞳孔 (左右), 耳上附着点	宽度
16 眶下点间距	眼睛	21-22	眶下点 (左右)	宽度
17 眉心点-眶下点间距	眼睛	2-21/22	眉心点, 眶下点	深度
18 外眼角间距	眼睛	11-12	外眼角 (左右)	宽度
19 内眼角间距	眼睛	15-16	内眼角 (左右)	宽度
20 瞳孔间距	眼睛		瞳孔 (左右)	宽度
21 耳上附着点-瞳孔间距	眼睛		耳上附着点, 瞳孔	长度
22 鼻梁点-鼻尖点间距	鼻子	3-4	鼻梁点, 鼻尖点	深度
23 鼻梁点-鼻下点间距	鼻子	3-5	鼻梁点, 鼻下点	深度
24 鼻尖点-鼻下点间距	鼻子	4-5	鼻尖点, 鼻下点	深度
25 鼻宽	鼻子	25-26	鼻翼点 (左右)	宽度
26 鼻梁长度	鼻子		山根点, 鼻底点	深度
27 鼻根宽	鼻子	17-18	鼻根点 (左右)	宽度
28 鼻宽(解剖学)	鼻子		鼻翼点 (左右)	宽度
29 耳上附着点-耳下附着点	耳朵	27-31/28-32	耳上附着点, 耳下附着点	深度
30 耳长	耳朵	35-31	耳廓上点, 耳廓下点	深度
31 耳宽	耳朵	37-27	耳廓后点, 耳上附着点	长度
32 耳甲腔长度	耳朵	43-49	耳甲腔上点, 耳屏间切迹点	深度
33 耳甲腔宽度	耳朵	45-51	耳甲腔后点, 耳屏点	深度
34 耳甲艇上点至耳甲艇前点间距	耳朵	41-53	耳甲腔上点, 耳甲艇前点	长度
35 耳甲腔后点至耳甲艇前点间距	耳朵	45-41	耳甲腔后点, 耳甲艇前点	长度

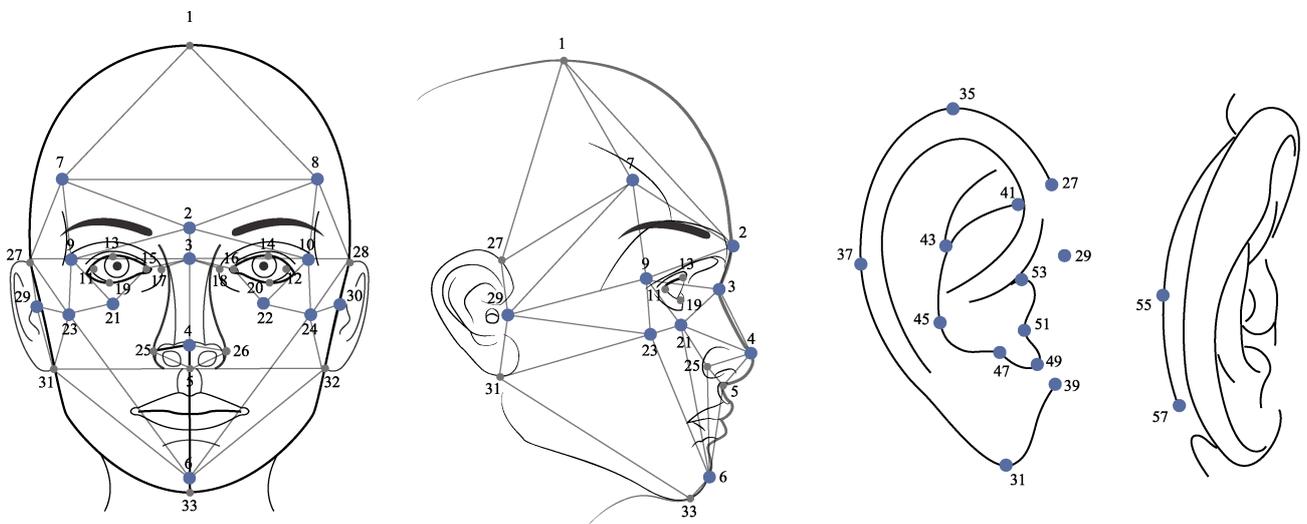


图 5 测量项目  
Fig.5 Measuring items

对所有测量项目(包括传统测量特征数据和三维测量特征数据)按性别分两组进行统计学计算,见表

4和表5。其中三维测量的特征统计数据包括均值、最大值、最小值和百分位数等。

表4 男性特征统计  
Tab.4 Statistics of male's features

统计值	身高/cm	体重/kg	头围/mm	头长/mm	头宽/mm	鼻翼点间距/mm	耳屏点间距/mm	瞳孔间距/mm
均值	170.50	68.52	566.01	185.75	158.61	54.23	155.38	65.42
标准差	6.53	13.15	17.18	7.06	6.72	5.37	6.42	3.38
最小值	151.00	32.00	507.00	160.00	137.00	35.67	135.17	56.75
最大值	193.00	115.00	634.00	209.00	187.00	71.85	177.11	78.82
第5百分位	160.00	51.00	538.00	174.00	148.00	45.87	144.74	59.99
第10百分位	162.00	53.80	543.80	177.00	150.00	47.86	147.28	61.36
第25百分位	166.00	59.00	555.00	181.00	154.00	50.56	150.99	63.08
第50百分位	170.00	67.00	566.00	186.00	158.00	53.95	155.31	65.20
第75百分位	175.00	77.00	577.00	190.00	163.00	57.51	159.62	67.66
第90百分位	179.00	86.00	588.00	195.00	167.00	61.17	163.34	69.67
第95百分位	181.00	93.00	594.00	197.00	170.00	63.32	166.53	71.07

表5 女性特征统计  
Tab.5 Statistics of female's features

统计值	身高/cm	体重/kg	头围/mm	头长/mm	头宽/mm	鼻翼点间距/mm	耳屏点间距/mm	瞳孔间距/mm
均值	158.63	55.55	544.21	175.60	151.09	52.68	146.41	62.61
标准差	6.03	8.74	14.71	6.58	5.96	4.66	5.43	3.17
最小值	135.00	36.00	494.00	155.00	129.00	40.39	129.05	52.61
最大值	181.00	90.00	609.00	204.00	172.00	70.45	168.69	75.75
第5百分位	149.00	43.00	520.00	165.00	142.00	45.13	137.58	57.54
第10百分位	151.00	45.00	525.00	167.00	143.20	46.98	139.47	58.45
第25百分位	155.00	50.00	534.00	171.00	147.00	49.61	142.70	60.54
第50百分位	158.00	55.00	545.00	176.00	151.00	52.50	146.37	62.64
第75百分位	163.00	60.00	554.00	180.00	155.00	55.70	149.97	64.64
第90百分位	166.00	67.00	563.00	184.00	159.00	58.62	153.42	66.65
第95百分位	169.00	73.00	568.00	186.00	161.00	60.76	155.51	67.56

#### 4 数据分析及应用

上述过程所到的数据虽然包含完整的人体测量信息,但是数据以单一表格的形式存在,为了更好地帮助设计师,由多个人头模型所拟合出的“3D人头统计模型”可以全面的体现出目标用户群体形态的多样性,这对更新相关的人体测量国家标准、提升产品的用户体验有指导性的作用。

在工业设计过程中,产品尺寸的最大值和最小值根据不同人体维度的百分位数值得到。因此,本研究在上述特征的基础上,根据这些特征分布的不同百分位来构建三维头部框架,并通过与这些头部框架相结合的渐进式扫描算法,实现每个百分位高精度的三维头部拟合<sup>[11]</sup>,人头拟合方法见图6。

除了提供拟合的适配头部模型以外,SizeChina-Hunan还提供针对设计师使用的数据库和设计辅助系统。中国三维人头数据库(Chinese Headbase),见图7。通过对全国2200位典型用户进行高精度三维人头扫描、数据处理、头—面—耳部特征抽取和统计分析,实现了基于超级计算的参数化人头三维重构与艺术化雕刻,拟合出第5至95百分位区间的高精度数字模型,并使用Html5和Three.JS 3D引擎设计实现响应式数据库平台。该数据库已成为全球时效性最新、采样最广泛、特征最丰富、拟合精度最高的中国人体头部数据库,可以有效满足设计师对人头尺寸数据的需求,为头部可穿戴产品设计指导和相关的人机工程学评价提供全面支持<sup>[12]</sup>。中国人体头面部尺寸3D分析设计辅助系统(Chinese Dimension),则是全

球首个面向头部可穿戴产品设计的中国人体头面部尺寸 3D 分析和设计辅助系统，通过定义产品属性与关联的头—面—耳部区域与特征，筛选目标用户样本，进行针对性的人体测量学特征降维和样本聚类，实时生成定制化的人头统计模型和测量学统计数据，并结合具体产品给出专业适配建议，从而为用户提供

更科学、更开放、更友好的产品设计辅助工具。这些数据工具旨在使设计师能够从项目的开始阶段使用人体测量数据，允许设计师根据其特定需求定制相关的数据信息，设计师可能希望针对中国的男性来定制相关的头部数据信息。中国人体头面部尺寸 3D 分析设计辅助系统见图 8。

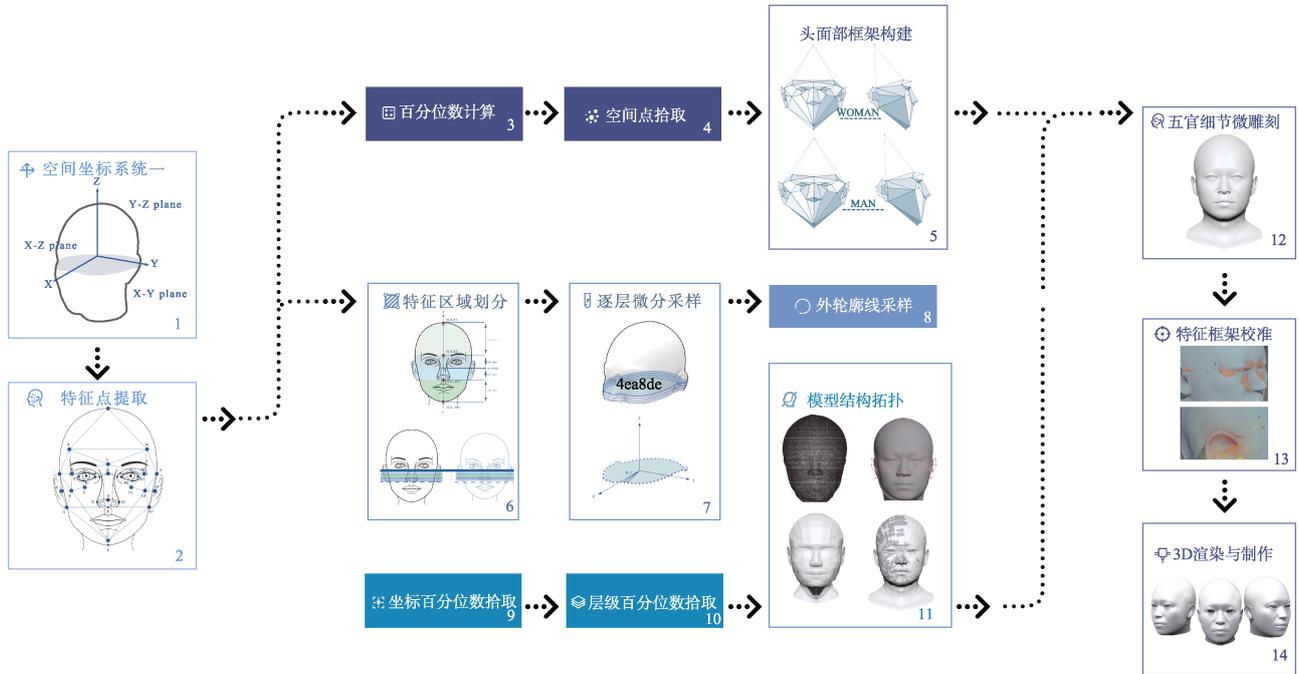


图 6 人头拟合方法  
Fig.6 Method of head model fitting

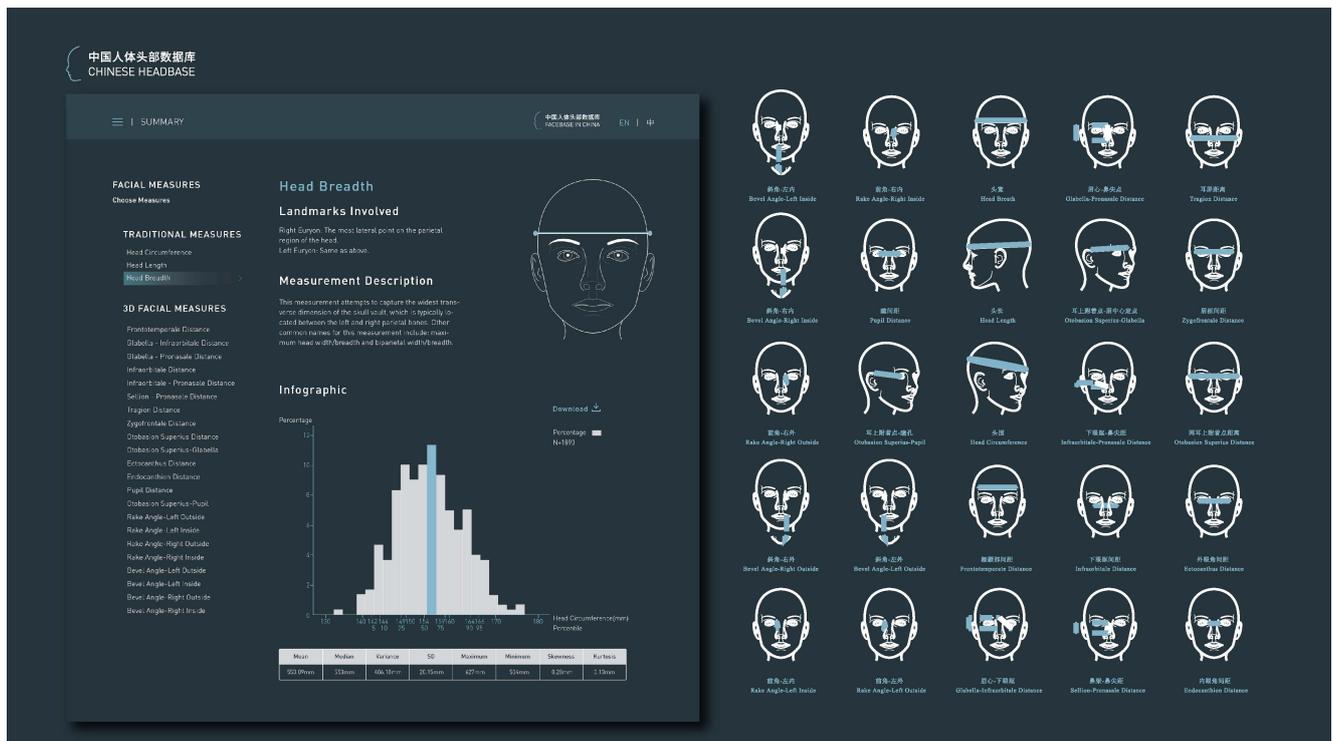


图 7 中国三维人头数据库  
Fig.7 Chinese Headbase

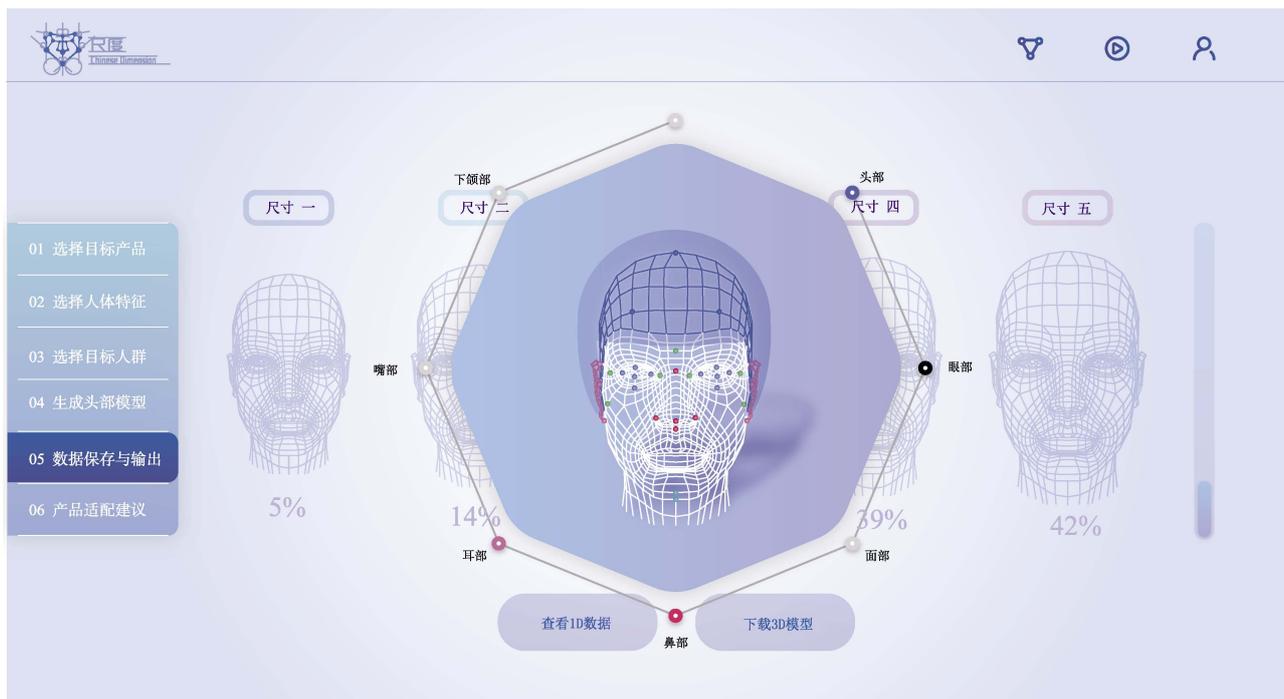


图8 中国人头部面部尺寸3D分析设计辅助系统  
Fig.8 Chinese Dimension

## 5 结语

SizeChina-Hunan 选取了中国七大人口区划的代表性城市,收集了2200个中国人头的最新数据样本。除了数据收集之外,SizeChina-Hunan 还将最新的中国人头三维数据处理成适合当前设计领域的、应用于实践的设计工具,为以中国人作为目标用户的头戴产品的设计提供了数据基础。本次研究仍有一定的不足,未来还可以增加不同国家和人种之间的数据对比进而做出更多面向设计师的易用的交互工具,同时采用更多科学的统计方法挖掘不同特征之间的关联。

### 参考文献:

- [1] WIDYANTI A, SUSANTI L, SUTALAKSANA IZ, et al. Ethnic Differences in Indonesian Anthropometry Data: Evidence from Three Different Largest Ethnicities[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2015(2): 47—78.
- [2] TAN K C, HARTONO M, KwUMAR N. Anthropometry of the Singaporean and Indonesian Populations[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2015(40): 757—766.
- [3] KHADEM M, ISLAM M. Development of Anthropometric Data for Bangladeshi Male Population[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2015(44): 407—412.
- [4] DAWAL S, ZADRY H. Anthropometric Database for the Learning Environment of High School and University Students[J]. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 2015(18): 461—472.
- [5] SYUAIB M. Anthropometric Study of Farm Workers on Java Island, Indonesia, and Its Implications for the Design of Farm Tools and Equipment[J]. Applied Ergonomics, 2015(51): 222.
- [6] BALL R. Measuring Chinese Heads and Faces[D]. Hong Kong: Hong Kong Polytechnic University, 2008.
- [7] BALL R. 3-d Design Tools from the Sizechina Project[J]. Ergonomics in Design Magazine of Human Factors Applications, 2009(17): 8—13.
- [8] WANG Hai-Ning, YANG Wen-Xiu, YU Yang. 3D Digital Anthropometric Study on Chinese Head and Face[C]. 3DBODY.TECH 2018-9th International Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies, Lugano: Switzerland, 2018.
- [9] BALL R. Sizechina: A 3d Anthropometric Survey of the Chinese Head[M]. Hong Kong: Hong Kong Polytechnic University, 2011.
- [10] BORMAN H, OZGUR F. A Simple Instrument to Define the Frankfurt Horizontal Plane for Soft-tissue Measurements of the Face[C]. 1998 American Plastic and Reconstructive Surgery, 1998.
- [11] WANG Hai-ning, CHEN Wan-rong, LI Yi. A 3D Head Model Fitting Method Using Chinese Head Anthropometric Data[C]. 10th International Conference, CCD 2018, Held as Part of HCI International 2018, 2018.
- [12] WANG Hai-ning, YU Yang, CHEN Wan-rong. Responsive Web Design for Chinese Head and Facial Database[C]. 10th International Conference, CCD 2018, Held as Part of HCI International 2018, 2018.