

【工业设计】

人体工学适配设计机制与理念演变

靳文奎¹, 何人可²

(1.南京林业大学, 南京 210037; 2.湖南大学, 长沙 410082)

摘要: **目的** 梳理身体作为人类制造工具尺度标准的脉络, 探究产品形态从“机械的无机物”到“生动的有机物”和从远离身体到穿戴式发展过程中, 形态适配设计机制与理念的演变。**方法** 将适配设计范式, 根据采用的测量手段、设计方法和设计理念的不同, 归纳为: 思辨和朴素的理性分析阶段; 依赖科学分析物理适配的尺寸线性描述、凭借经验生成曲面、复杂身体预测和模拟阶段; 在物理适配基础上重视使用活动和情感体验的多层级关系阶段。**结论** 适配设计各阶段的理论、方法、技术和具体的设计实践密切相关。人体测量、计算机数据处理等相关技术的发展, 促进了适配范式的变迁。适配范式的选用根据具体的设计对象、设计情境而决定, 未来的适配设计研究将更加综合和丰富。

关键词: 人体工学设计; 三维扫描技术; 适体设计; 适配体验

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)12-0078-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.12.010

Evolution of Ergonomic Fit Design Mechanism and Concept

JIN Wen-kui¹, HE Ren-ke²

(1.Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2.Hunan University, Changsha 410082, China)

ABSTRACT: Combing the vein of the body as the standard of human manufacturing tools, this paper explores the evolution of the product form from “mechanical inorganic matter” to “vivid organic matter” and the evolution of the mechanism and concept of shape adaptation design in the development process from the distance from the body to the wearable. According to the different measurement means, design methods and design ideas adopted, the adaptation design paradigm is summarized as: speculative and simple rational analysis stage; linear description of size surface generation based on experience, complex body prediction and simulation stage based on scientific analysis of physical fitness; multilevel relationship stage placing emphasis on the use of activity and emotional experience based on physical adaptation. The theory, method, technique and concrete design practice in each stage of adaptive design are closely related. The development of anthropometry, computer data processing and other related technologies has promoted the change of adaptation paradigm. The selection of adaptation paradigm depends on the specific design object and design context, and the future adaptation design research will be more comprehensive and rich.

KEY WORDS: ergonomic design; 3D scanning technology; fit design; fit experience

关于产品形态如何适配人体的研究是人体工学设计的重要内容, 关注产品的形式、结构及其与环境之间的关系^[1], 强调以系统思维的方式为产品形态探寻存在依据和内在规律^[2]。不管产品制作如何精美, 如果适配不当, 都可能会影响产品功能的实现, 导致

不佳的用户使用体验。产品作为身体的延展, 其形态受到社会观念、经济水平、科学技术等方面的影响, 呈现出从“机械的无机物”到“生动的有机物”^[3]、从“远离身体”到“穿戴式”^[4]的趋势。在这一过程中, 适体设计机制与理念发生着深刻的变化。

收稿日期: 2021-02-09

基金项目: 教育部人文社会科学研究一般项目青年基金(20YJCZH061); 中国博士后科学基金面上资助项目(2020M671511)

作者简介: 靳文奎(1987—), 男, 河南人, 博士, 南京林业大学讲师, 主要研究方向为工业设计。

1 身体适配的思辨和朴素的理性分析

推崇人体是人类制造工具、构建世界的尺度标准，事物的生成和转化是按照人体一定的尺度进行的，身体成为产品设计的动力源泉。在中国传统的认知里，从时间到空间、天地、万物等都可从身体角度出发，并指向和谐多样统一。例如，“量体裁衣”、“杀头便冠”、“削足适履”、“天人合一”等传统的适配概念，在思维模式和逻辑演化中具有强烈的思辨色彩，揭示了人与产品、环境之间的和谐关系。老子在《道德经》中提出“埏埴以为器，当其无，有器之用。故有之以为利，无之以为用。”对于产品形态适配而言，形态“有”的状态是为了实现产品功能，“无”则是适配人体形态和实现产品功能的途径，这为产品的形态设计带来了有意义的启发。在不断探讨和追求更合理适配的过程中，中西方理论体系体现出明显的不同。在希腊美学毕达哥拉斯学派看来，和谐是一种结构，数的结构，而且一切事物的形状都具有几何结构，几何结构则与数字相对应^[5]。普罗泰戈尔提出人是万物的尺度，把人看作为自然和社会的中心、主宰和标准。苏格拉底认为比例和合目的性是事物对使用者的关系和逻辑原则，也被称为“合适”、“适宜”。在古罗马，建筑师维特鲁威将人体测量比例投射于建筑与雕塑之中，认为“和谐即美丽，而适配是元素间的调整”。整体而言，东方文化强调变化、均衡与兼得，西方理论体系则更加强调适配的量度和精确性。西方哲学对于适配关系中主体与客体的认识，与中国有着本质的区别，以认识求真为最高目标^[6]。

2 身体物理适配设计机制：尺寸适配与形状适配

2.1 基于身体尺寸线性描述的适配

泰勒主张通过测量找到改良生产效率的途径，被认为是最早对人与工具匹配问题进行科学研究的学者。产品的适配塑造了产品契合身体的作用，并与功能实现相联系。而人与产品之间的尺寸关系，对适体设计具有最初的解释力，得到了广泛的研究和应用。战后第一代工业设计师亨利·格雷福斯，特别重视测量人体的尺寸。他在《人体测量》、《人类尺度》等著作中将人类不同体型、性别、年龄与种族背景清晰呈现。为了评估人体和产品之间的配合，设计师根据身体尺寸方面的用户需求，确定使用设备的尺寸大小、评估适体程度，从而生产舒适的产品，提高产品的可用性，增加对消费者的吸引力。远离身体的产品适宜于采用身体线性尺寸进行适配，主要关注人体的活动范围、作业姿势等。

传统人体测量借助直角规、弯角规、测高仪、卡尺、软尺等仪器，结合影印扫描、数码照相法、三维

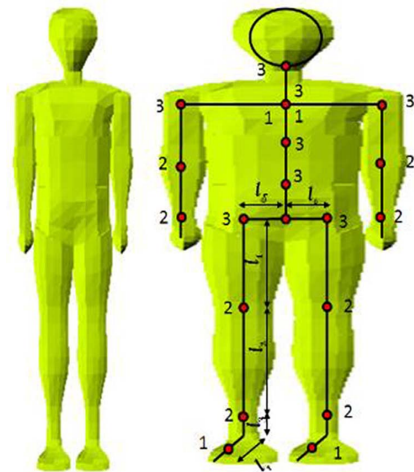


图 1 人体简化模型

Fig.1 Simplified human body model

摄像法、激光法等方法，其数据处理采用人工处理或者人工输入与计算机处理相结合的方式，获得头面部一维尺寸。这些一维尺寸数据的呈现形式有 3 种。(1) 一维尺寸百分位统计数据。不同样本测量的尺寸数据，经过统计分析，反映着整个目标人群身体单变量的变化规律，可以指导产品设计的物理参数，从而可以简单明了地将身体尺寸与产品尺寸直接对应起来。目前在设计中主要通过选择身体尺寸的不同百分位，来确定产品合适的尺寸。(2) 二维形式的人体模板。即以一维人体测量尺寸为基础，以二维形式模拟人体侧面轮廓线和人体关节活动。郭庆红设计出用于辅助绘制辅助设计效果图与服装设计款式图的人体动态造型模板^[7]。(3) 人体简化模型。当涉及到产品在真实的三维环境中工作的场景时，仅依靠一维尺寸或者二维模板显得力不从心，因此出现了具有关节运动关系的人体简化模型，用质点或刚体来表示人体的尺寸和运动。Kakizak 通过人体多刚体模型模拟飞机空难时乘客的逃离和营救过程，人体简化模型见图 1^[8]。这种模型虽然具有三维结构，但是仍然是一维尺寸数据驱动，主要是对人体各部分尺寸和相对位置进行描述。

设计师在实践过程中，一直尝试深入理解人体数据，并进行归纳分类，从而更好地进行产品设计。针对一维人体尺寸，人们主要通过目视观察身体，依靠一维测量和经验将样本身体整理到一定的分类标准内。Connell 等人创建了身体形状评估量表，通过对身体整体形状以及肩部、臀部、后背等形状的细分，从而确定被试的身体形状从属的类型^[9]。

2.2 凭借经验生成的曲面适配

除了远离身体的产品，在日常生活中，例如虚拟现实眼镜、头盔、呼吸口罩、鞋子等，需要穿戴在身体之上。这种贴合身体的产品，适配形式在线性尺寸基础上，对形状适配更为关注。形状适配是产品使用

过程中，以曲面形式匹配和适应身体形态。在适配设计与决策方面，很大程度上依赖于设计师的领悟和判断能力，对少量关键尺寸进行取舍。例如，中国的氧气面罩尺寸测量是基于消防员的形态面长、颧骨面宽和嘴宽^[10]。头盔的尺寸设计主要考虑目标群体的头长和头宽^[11]。然而，仅通过考虑少量一维尺寸，外在的人体曲面结构并不能精确生成。这会导致设计的不确定性、人机原则的随意性应用和昂贵的实物验证模型等问题，使得设计适配性、舒适度方面非常低效，迫切需求新的方法来解决传统测量问题。

除此之外，还可以使用由一维人体测量尺寸和简单表面组成的人体模型。例如，鞋楦是制鞋的基础和重要模具，决定了鞋子的长短、肥瘦和造型，是以人体足部三维形态为基础制作的，具有不规则的复杂几何造型。以往鞋楦的设计制作都是由制楦工匠对长度、宽度、高度、围度、角度和凸凹度进行简单的测量，确定整体丰富的表面形状则取决于眼睛和经验，需要反复校正才能定型。之后发展到拷模加工的生产方式，虽然加工是采用机械装置来完成，但设计过程还是采用手工制模，导致设计周期长、品种适应性差、精度低^[12]。简单地将设计方法从离身范式移植到具身产品，并不能充分利用全新的设计实践，凸显出人体基础参数数据缺失严重。整体而言，这是一个由于设计实践的需要和技术条件的限制，从一维尺寸适配向拟合三维形态适配的过渡阶段。

2.3 基于复杂身体预测和模拟的适配

面对设计实践中的问题，20世纪80年代中期三维扫描技术应运而生，简单的尺寸（例如长度、宽度和周长）以及复杂的人体形状（例如截面曲线、表面形状、面积和体积）都可以从三维人体扫描中测量出来，有助于帮助设计师分析、发现产品形态适配性设计中各种复杂的问题，增强了设计师对多元数据信息的分析和处理能力，为接触人体产品的曲面设计提供了有利条件，显著改善了产品的功能实现和适体体验。

世界上包括美国、德国、日本等国家已经建成了多个三维人体测量数据库，其中 CAESAR 是应用最广泛的西方人体三维扫描数据库。三维扫描产生的人体数据库远非单纯的身体形态集合，而是基于身体物理形态的知识发现，这就要求从“知道是什么”向更深层次的“知道怎么做”转变，重视对身体形态存在规律的认识。设计师根据人体形态适配需求的变化，充分利用新的人体测量技术和计算机图形处理技术，对人体形态数据进行深加工，力求从知识层面寻求新的设计方法和策略。穿戴性产品适配设计对人群变量的量化研究，常采用因子分析、主成分分析、回归分析等统计方法，描述目标用户群体人体测量尺寸、形状和年龄、性别、区域的相关性。然后采用网格法、聚类分析方法和最优化方法等选择最优尺码系统、识别产品设计中具有代表性的人体模型，人体头面部尺寸 3D 分析设计辅助系统见图 2，形成预测和评估适

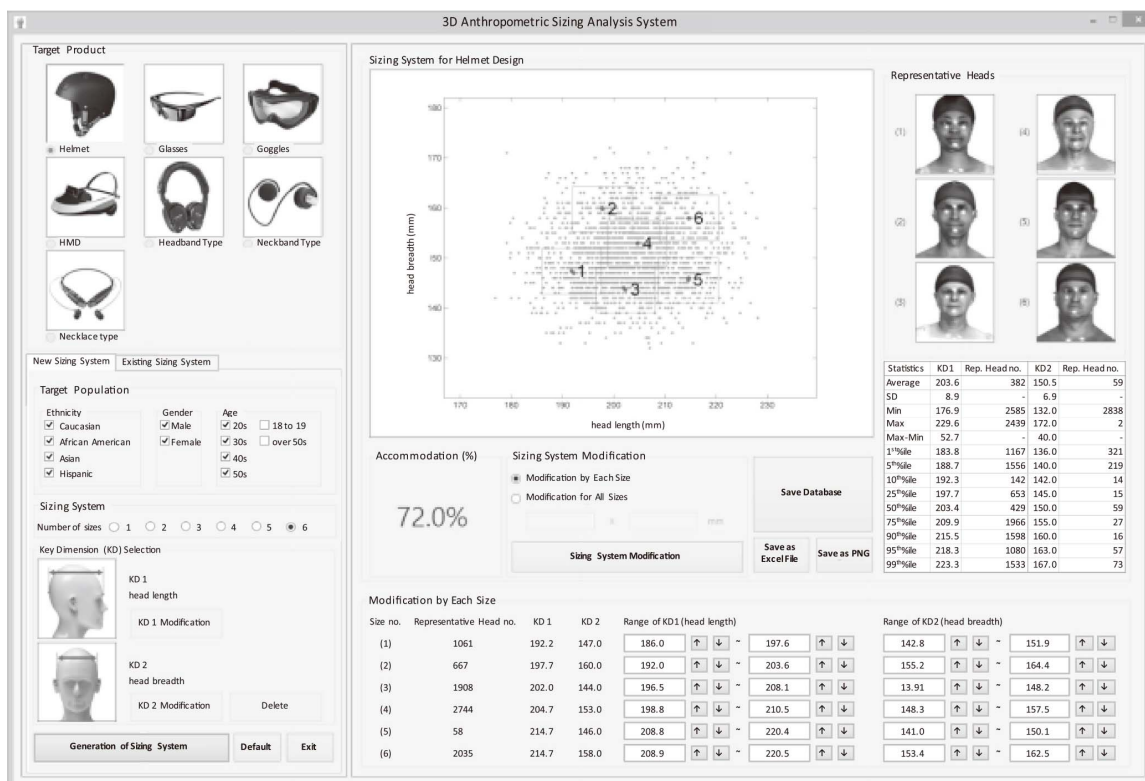


图2 人体头面部尺寸 3D 分析设计辅助系统
Fig.2 3D Anthropometric sizing analysis system

配程度的工具^[13]。

另外,许多研究把适体设计问题转变为开发标准头型。头部标准模型是从给定群体样本中得到平均头部形状。国家标准 GB/T 23461-2009《成年男性头型三维尺寸》通过计算机断层扫描技术和磁共振,获得共 1261 例 16~36 岁成年男性的头部三维扫描数据,结合数学模型运算,把头部的三维形态分为 7 种类型。湖南大学设计艺术学院 2018 年使用三维扫描技术,创建了中国人体头部三维扫描数据库 SizeChina-Hunan^[14],包含华东、华北、华中、华南、西南、西北和东北 7 个不同地区选择的 2200 个头部扫描样本。经过特征区域划分、外轮廓线采样、逐层环扫采样、距离百分位计算、层数百分位计算等步骤,对头部曲面进行拟合重建,生成第 5、25、50、75、95 百分位拟合头部模型,头部不同百分位的拟合模型见图 3。

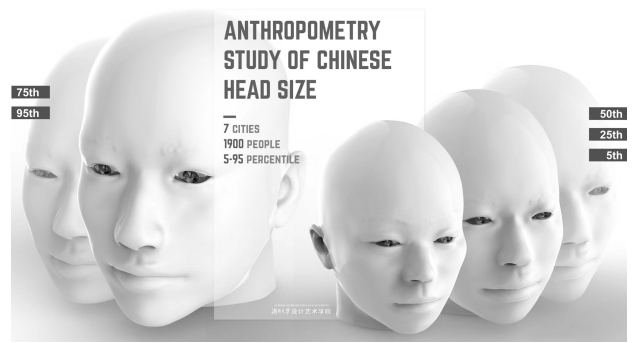


图 3 头部不同百分位的拟合模型(SizeChina-Hunan)
Fig.3 Fitting model of different percentiles of head (SizeChina-Hunan)

3 身体多层次适配设计理念：复杂性、活动性和体验性

从上述适配设计实践中,可以发现设计者会根据所处时代的技术条件和所掌握的身体测量方法,在尺寸适配和形状适配两种适配机制下,提出各种具体的适配操作方法。与适配方法同时变化的是人们对适配概念的理解。人们逐渐认识到适配设计并不仅限于物理形式层面的刚性贴合,还需要确立全面的、丰富的适配理念,从而更好地指导设计实践。

3.1 适配的复杂层级

当今,科学技术的进步与产品使用场景的具身化,不但强化了适体体验诉求,也赋予了产品形态理性与感性结合的创新契机。从人机工程学的角度研究产品形态设计,主要的视角是用户的生理尺度和行为因素,定量和定性分析有助于找出提高产品易用性的线索,但它存在局限性和主观性的缺憾,欠缺人文意义上的文化尺度和社会尺度^[15]。在日趋复杂的设计趋势下,需要新的设计框架支撑进一步的发展,为此理查德·布坎南提出了复杂性层级概念,包括人体测量学(人类的身体特征)、生理学(人体的运作模式)、心理学(思维的运作方法)、社会学(人与人之间的关系)、人类学(人类的状态)和生态学(生物间的依存关系)^[16]。在这样的背景下,适配也愈发成为一个多层关系共存的复杂词语,人体与所穿戴产品之间的适配关系涵盖了静态层面和动态层面、客观层面和主观层面、生理层面和心理层面,身体与产品之间的适配关系与方法见图 4。

3.2 适配的活动空间关系

人体随着颈关节、腕关节、肘关节、踝关节、指关节、趾关节等的活动而处于运动状态之中。随着用户行为的参与,实现了产品的功能和对环境的认知。

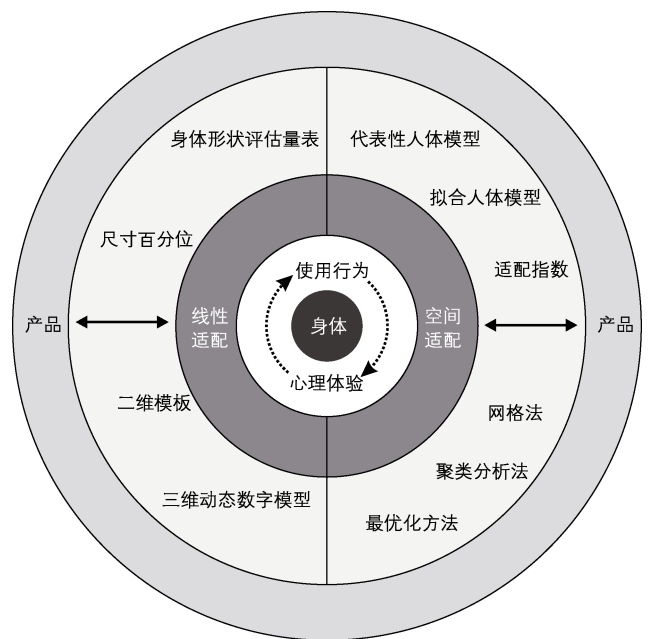


图 4 身体与产品之间的适配关系与方法
Fig.4 Adaptation relationship and method between body and product

由于产品的使用不是即时地、短暂地就可以完成,而是会持续一段时间。因此,产品形态的适配成为一种可变的、动态的过程,即在一定的时间、场景条件下,人们遵循身体动态变化规律,对“适配事件”的操作与创造。例如,对于虚拟现实眼镜来说,健康的活动姿势需要允许用户既可以方便地站起、蹲下和前后运动,也可以自主地抬头、低头、扭动头部,头部六自由度的运动方式见图 5。在虚拟现实眼镜产品主体适配的基础上,通过增加头顶的头带结构,将明显改善由于头部六自由度的运动方式,造成产品的脱落、移位等问题的出现,从而避免刻意保持仰头状态的不适和疲劳。

另外,适配并不是产品本身所具有的属性,而是设计师根据产品功能、使用场景赋予产品与用户之间的一种贴切吻合的关系^[17]。行为成为用户身体和产品形态之间连接的中介物,产品形态内在包含着设计师

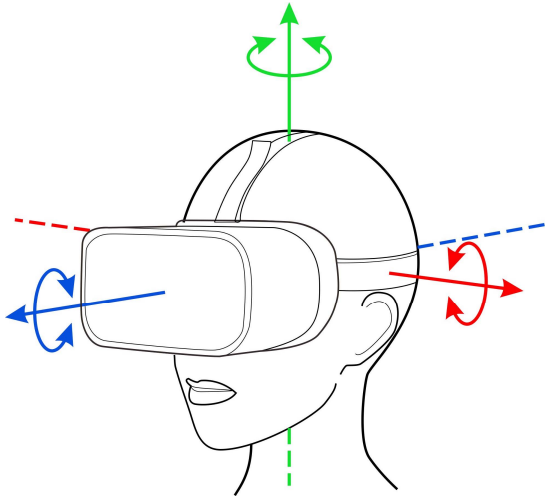


图5 头部六自由度的运动方式

Fig.5 The head has six degrees of freedom

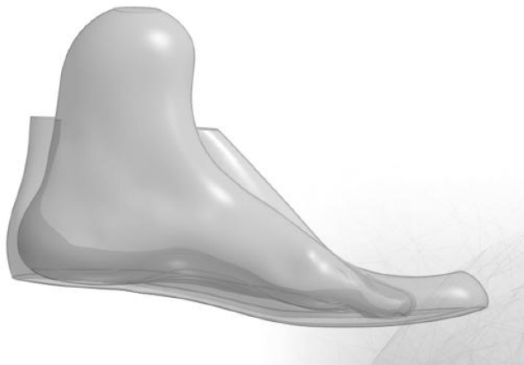


图6 鞋子设计为脚趾预留活动空间

Fig.6 Shoes are designed to allow wiggle room for toes

对产品运作行为和用户行为活动的预设。为了实现既定的功能,在适配的过程中,一些区域需要产品和身体紧密地与身体贴合,同时另外一些区域需要留有一定的空间供身体活动。例如鞋子的设计就要为脚趾预留足够的活动间隙,鞋子设计为脚趾预留活动空间见图6。差的适配性或是由于全部过于紧密,或是由于全部过于宽松引起的。

3.3 适配的隐式自然体验

设计师对用户使用产品过程的关注,也扩展到意图赋予产品何种类型和程度的体验或情感。郭本斯认为界面将身体、有目的的行为和人工物连接起来,并且理想的使用情形是设计将使能技术退出用户意识^[18]。穿戴式产品必须与现有生活和工作的环境无缝衔接,尽可能少地分散注意力。因此,营造产品适体设计的良好体验,并不是意味着要让用户在佩戴过程中明显地感受到适配本身的体验,而应该致力于不被用户感受为目标。穿戴式产品必须以一个自然的和不显眼的方式提供功能,使用户注意力转移到使用产品进行的任务本身,不会因为产品而分心;人群尺寸和形状具有多样性,理想的适配是根据个人尺寸和形状进

行个性化定制穿戴性产品,然而现实的生产技术和条件还无法实现。Wunderlich认为通过匹配产品与身体的尺寸和形状进行适配设计,只要达到一定范畴内可接受的适配程度即可^[19]。穿戴性产品进行批量化生产时,一般将产品分为少量号型,甚至采用单一号型,一方面适配最大多数的人群,另一方面兼顾生产成本问题。

4 结语

适配是产品与用户之间持续探讨、不断更新的话题,适配范式的选用根据具体的设计对象、设计情境而决定,人体测量、计算机数据处理等相关技术的发展为适配范式的变迁提供了重要保障。纵观产品设计适配设计的发展,适配设计的功能性是首要的,随着穿戴式产品的出现,呈现出愈发增强的需求态势。产品形态已不仅是围合内部结构的表层空间状态,更是集科学、技术、生理、设计于一体的具有生命力的有机体。适配的目的是通过一定的设计方法和机制解决人和产品之间的形态冲突,满足人机互动时,整个系统和谐运作的状态。适配结果是在用户与产品互动体验基础之上产生的相互依赖、相互协调和相互促进的动态关联关系。适配的理论、方法与技术经历着深刻的变化,未来的适配设计研究势必将更加综合和丰富。

参考文献:

- [1] Hutchison E D. Dimensions of Human Behavior: Person and Environment[M]. Southern California: Sage Publications, 2018.
- [2] Schönheyder J F, Nordby K. The Use and Evolution of Design Methods in Professional Design Practice[J]. Design Studies, 2018(58): 36-62.
- [3] 王征,梅洪元,赵秋阳.以建筑调整城市活力——创新性建筑形态与“再城市化”[J].华中建筑,2012,30(6): 15-18.
WANG Zheng, MEI Hong-yuan, ZHAO Qiu-yang. Adjusting the Urban Vitality with Architecture: Innovative Architectural Form and “Re-urbanization”[J]. Huazhong Architecture, 2012, 30(6): 15-18.
- [4] 宋庆宇,张树沁.身体的数据化:可穿戴设备与身体管理[J].中国青年研究,2019(12): 13-20.
SONG Qing-yu, ZHANG Shu-qin. Digitization of the Body: Wearable Devices and Body Management[J]. China Youth Study, 2019(12): 13-20.
- [5] 凌继尧.西方美学史[M].北京:北京大学出版社,2004.
LING Ji-yao. History of Western Aesthetics[M]. Beijing: Peking University Press, 2004.
- [6] 林可济.“天人合一”与“主客二分”——中西哲学比较的重要视角[M].北京:社会科学文献出版社,2010.
LIN Ke-ji. An Important Perspective of the Comparison

- Between Chinese and Western Philosophy[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2010.
- [7] 郭庆红. 服装设计图人体动态造型模板的研发与运用[J]. 装饰, 2014(6): 89-91.
- GUO Qing-hong. The Development and Application of Flexible Human Body Template[J]. Zhuangshi, 2014(6): 89-91.
- [8] KAKIZAKI T, ENDO M, URII J. Experimental Study of an Airplane Accident Evacuation/Rescue Simulation Using Three-Dimensional Kinematic Digital Human Models[J]. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 2015(15): 3.
- [9] CONNELL L J, ULRICH P V, BRANNON E L, et al. Body Shape Assessment Scale: Instrument Development Foranalyzing Female Figures[J]. Clothing and Textiles Research Journal, 2006, 24(2): 80-95.
- [10] 王兴伟, 袁修干. 新型供氧面罩分型分号及选配方案研究[J].北京航空航天大学学报, 2001(3): 309-312.
- WANG Xing-wei, YUAN Xiu-gan. Study on Type and Sizing Tariff of Aircrew Oxygen Masks[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2001(3): 309-312.
- [11] ROBINETTE K M, WHITESTONE J J. The Need for Improved Anthropometric Methods for the Development of Helmet Systems[J]. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 1994(65): 5.
- [12] 靳文奎, 何人可. 三维人体数据驱动产品设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(8): 117-120.
- JIN Wen-kui, HE Ren-ke. 3D Anthropometry Body Data-driven Product Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(8): 117-120.
- [13] LEE W, LEE B, YANG X, et al. A 3D Anthropometric Sizing Analysis System Based on North American CAESAR 3D Scan Data for Design of Head Wearable Products[J]. Computers & Industrial Engineering, 2018(117): 121-130.
- [14] 何人可, 杨文秀, 王海宁. 中国三维人头测量研究[J]. 包装工程, 2019, 40(8): 103-110.
- HE Ren-ke, YANG Wen-xiu, WANG Hai-ning. 3D Anthropometry of Chinese Head[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(8): 103-110.
- [15] 范圣玺. 从行为和认知的视角看以人为中心的设计[J]. 机械设计, 2013, 30(2): 97-99.
- FAN Sheng-xi. Human-centered Design From the Views of Behavior and Cognition[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(2): 97-99.
- [16] 比尔·莫格里奇. 关键设计报告: 改变过去影响未来的交互设计法则[M]. 北京: 中信出版社, 2011.
- Bill Moggridge. Designing Interactions[M]. Beijing: CITIC Press, 2011.
- [17] 靳文奎, 何人可. 基于三维人体测量的穿戴式工业产品造型适配性设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(4): 123-126.
- JIN Wen-kui, HE Ren-ke. Adaptability Design of Wearable Industrial Products Based on 3D Anthropometry[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(4): 123-126.
- [18] 费尔南多·塞克曼迪, 德克·斯内尔德斯, 孙志祥. 服务界面设计: 后现象学方法[J]. 创意与设计, 2015(1): 4-9.
- Fernando Secomandi, Dirk Snelders, SUN Zhi-xiang. Interface Design in Services: A Postphenomenological Approach[J]. Creation and Design, 2015(1): 4-9.
- [19] Waldemar Karwowski. Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design[M]. CRC Press, 2011.