

可穿戴产品适体设计的知识传递规律研究

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** 理清产品适体设计过程中身体形态知识的流动规律, 探寻产品设计过程中知识流动的动力和阻力因素, 形成适体设计理论和方法。**方法** 本研究在分析适体设计概念的基础上, 按照设计阶段对设计知识流中的身体形态知识进行类型划分: 领域知识、对象知识、过程知识和结果知识, 剖析了在此过程中适配媒介、适配驱动和适配映射的作用机制。并通过虚拟现实眼镜面贴的设计实践进行运用, 展现人体形态知识的获取、整合、分析以及构建拟合模型的能力。**结论** 对产品适体设计活动相关的身体形态知识类型及规律进行规范化描述, 为人体工学从数据匮乏走向知识富集阶段后, 实现人体形态知识驱动产品适体设计, 以及合理规划、调配设计知识流, 缩短设计周期, 提升产品设计质量奠定基础。

关键词: 三维人体扫描; 知识传递; 适体设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)16-0127-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.16.017

The Law of Knowledge Transfer of Wearable Product Fitness Design

JIN Wen-kui¹, HE Ren-ke²

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

ABSTRACT: This paper aims to clarify the flow law of body shape knowledge in the process of wearable product fitting design, explore the driving force and resistance factors of knowledge flow in the process of product design, and form the fit design method of ergonomic design. On the basis of analyzing the concept of morphological adaptation, this paper classifies the body shape knowledge in the design knowledge flow according to the design stage, including domain knowledge, object knowledge, process knowledge and result knowledge, and analyzes the function mechanism of adaptation media, adaptation driver and adaptation mapping in this process. Through the design practice of virtual reality eye-wear, the ability of acquiring, integrating, analyzing and constructing fitting model of human body shape is demonstrated. It provides a standardized description of the types and laws of body morphology knowledge related to product fitness design activities, and lays the foundation for realizing body morphology knowledge-driven product fitness design after ergonomics enters the knowledge-rich stage from the data-scarcity stage, as well as for rational planning and deployment of design knowledge flow, shortening design cycles, and improving product design quality.

KEY WORDS: 3D anthropometry; knowledge transfer; fit design

适体设计是工业设计领域持续探讨的一个话题, 根据人的心理、生理和身体结构等因素, 研究人与产品的匹配关系, 使之达到一种和谐状态, 以保证设计

出的产品能让人健康、舒适、安全、高效地使用^[1]。适体设计的过程就是权衡各种设计约束因素, 综合协调处理各种设计约束因素的过程, 本质上属于约束求

收稿日期: 2021-05-21

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); 南京林业大学高层次(高学历)人才科研启动基金资助项目(GXL2020014); 南京林业大学2021年度教学质量提升工程一流课程“四新”建设项目(2021-SXJS-031)

作者简介: 靳文奎(1987—), 男, 河南人, 博士, 南京林业大学讲师, 主要研究方向为智能交互设计、人体工学设计。

通信作者: 何人可(1958—), 男, 湖南人, 硕士, 湖南大学教授, 主要研究方向为设计历史及理论。

解过程^[2]。随着产品形式由“远离身体”向“可穿戴”方向发展,设计贴合身体形态的产品提出了更高的人因工程要求。人们首先考虑到利用和产品有关的身体形态因素,通过产品的尺寸和形状与身体形态因素相互匹配来实现。但是,人体是一个具有大量尺寸、曲面变化极其丰富的有机体,由于缺乏充足的人体形态知识,给设计行业带来了诸多挑战,引起人们对适体设计新理念、新方法的关注^[3]。

1 设计知识流中的身体形态知识

现代产品设计是以知识的获取和应用为核心特征,是一个由离散知识到知识聚合的过程^[4]。适体设计过程中的设计问题,可以归结为身体形态知识驱动的设计知识流动。厘清设计知识流中身体形态知识的流动规律,探寻产品设计过程中知识流动的动力和阻力因素,可以合理规划、调配设计知识流,缩短设计周期,提升可穿戴产品设计质量。

设计知识内容庞杂,分类繁多。本研究将身体形态知识,按照所处的设计阶段分为四种类型。(1)身体形态领域知识:这一阶段,头面部形态知识属于事实层次。它是从头面部形态知识本体出发,对头面部形态及其属性进行不同方式和程度的描述与表达,由概念、属性和实例组成。例如:中国人头面部头长、头宽和头围均值分别为 185.45 mm、158.62 mm 和 565.19 mm。(2)身体形态对象知识:这一阶段,头面部形态知识属于需求层次。研究对象主要是对头面部产品功能、行为和结构要素之间的映射关系,影响到适体设计规则与决策。例如,虚拟现实眼镜应该满足用户头面部在六自由度运动的情况下,维持稳定状态,不发生滑落脱位。(3)身体形态过程知识:这一阶段,头面部形态知识属于流程层次。以适体设计目标为导向,以先整体后局部的方式,将适体设计问题求解、判断的过程分解,研究通过何种设计机制和模式,塑造出适配人体形态的产品。例如,虚拟现实眼镜与脸部贴合的面贴适体设计,可以拆分为多个区域的适配,根据专家经验知识来看,如果鼻子与某款覆盖该区域产品的间隙 $D \leq 5 \text{ mm}$,被认为是非常适配。(4)身体形态结果知识:这一阶段,头面部形态知识属于输出层次。头面部形态本体知识投射在产品形态上的知识,隐含于产品概念模型之中,具有隐藏性、实例性。例如,某款虚拟现实眼镜的面贴宽度为 135.00 mm。

在身体形态知识领域,随着设计领域知识、设计对象知识、设计过程知识逐渐流动到设计结果知识,设计师在设计过程中对它们的理解愈发困难,然而知识所体现出来的价值反而越高^[5]。人体形态知识的获取、整合、分析以及构建拟合模型的能力迅速提升,使得人机工程学从数据匮乏走向知识富集。

2 身体形态知识驱动产品适体设计过程

2.1 适配媒介:头面部形态知识承载物

从香农提出的信息论视角出发^[6],身体形态知识传递可以表示为对信息获取、转换、传递、表示与运用的过程,见图 1。在这个过程中,人机工程师利用各种工具和技术测量人体形态尺寸、形状等数据,并进行编码,身体形态知识从对用户群体的测量、计算,整合为可供设计师参照应用的知识承载物。而设计师作为信息接收者,为满足设计需求,从知识承载物中对信息进行选择性的解码,这构成了一个身体形态知识的传递过程。

从这个过程中可以发现,知识承载物是信息交流的核心,提供了身体形态信息表达和存储的方法,是身体形态知识的发送者和接收者之间信息传输的通道,使人机工程师、设计师能对产品目标用户群体身体形态形成共同理解。传统知识承载物多为百分位尺寸表、二维人体模板,以及凭借经验、反复修改的人体三维模型^[7]。这些知识承载物导致设计周期长、品种适应性差、精度低。因应产品设计适配需求,三维拟合头型的出现,将身体形态直接映射到产品设计的解空间,以自然、真实、简单的方式,模拟和认识目标用户群体尺寸和形状方面的形态特征。

2.2 适配驱动:显性知识和隐性知识

身体形态知识对适体设计的重要性不言而喻。Polanyi 认为知识包括外显知识与内显知识两种类型^[8]。头面部形态显性知识指的是以系统的方法对客观的、有形的、可编码的知识进行描述,易于设计者的沟通交流和实践应用,通常以尺寸百分位、数据库等结构化的方式进行存储;另一方面,为了在产品设计中设计知识的传递和复用,设计师通过设计实践形成关于身体形态的隐性知识,如经验、方法、技巧等,这与设计师个体相关联,难以用直观的方式进行表达、传播、沟通和共享。对于设计师而言外部知识不会凭空出现,只能通过知识承载物获取身体形态显性知识,从而更好地进行设计实践活动。

设计需求必须根据具体的设计情境,遵循一定的设计模式和方式,结合自身经验背景,检索应用头面部形态知识。头面部形态知识转移的情境见图 2。通过对头面部形态显性知识的调用、转移和应用表达,实现显性知识和隐性知识的融合,使得设计体现出设

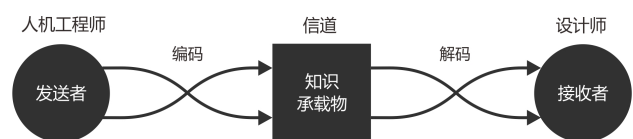


图 1 人体形态知识传输模型的基本形式
Fig.1 The basic form of human form knowledge transfer model

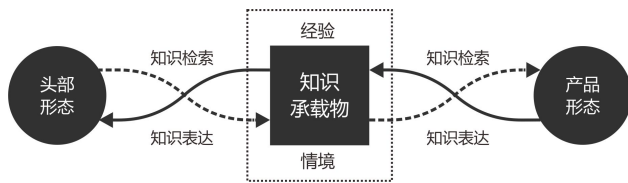


图 2 头面部形态知识转移的情境性

Fig.2 Situational knowledge transfer of head and face shape

设计主体“有限理性”的特点^[9]，从而创造性地解决头面部产品形态设计的实际问题，体现出人类有目的的创造性。因此，不同设计师即使运用同样的头面部形态知识，也会得到不同的解。

2.3 适配映射：头面部形态和产品形态

形态学和设计学是两大分界鲜明，但互补性很强的研究范式。适体设计研究以问题驱动和解决现实问题为主要目的，它尝试通过创造、评价和改进形态来提高可穿戴产品适配性。可穿戴产品形态的形成强烈依赖于头面部形态提供事实依据。设计师根据具体的设计对象，选择相关的身体形态知识，按照知识的内在联系关系，将分散的、模糊的领域知识，以一定的组织形式和分类结构凝结于产品概念模型中，进行知识表示，形成可穿戴产品的适配性因素。产品概念模型则是知识创造和表示的结果，也是设计领域知识的另外一种存在形式。在身体形态知识的提炼表达过程中，可以通过客观性评价和专家、用户的主观性评价相结合的方法，来完善修正产品形态，为高效地进行适体设计提供可靠依据。这样在适体设计领域，身体形态知识和产品概念模型之间形成了支持和被支持的关系。

3 案例分析

虚拟现实眼镜有多种不同形式，但它们有一个相似点：都有一个由聚氨酯泡沫材料和合成纤维制成的柔软、纤薄、具有弹性的面贴（见图 3），用来适配用户的脸部，避免光线的进入。尽管软垫的采用在一定程度上带来了适配性能的提升，但目前市场上产品适配程度仍然较差。或者软垫和脸部之间存在较大间隙，光线进入造成用户分心；或者脸部受力点不恰当，使用户在使用时产品时容易偏离位置，引起眼睛和镜片中心不能对齐，缺乏长时间使用的动力。因此，如果要避免适配问题成为虚拟现实眼镜广泛使用的瓶颈，虚拟现实眼镜的形态必须提升优化。现在市面上的虚拟现实眼镜采用单一号型系统的设计策略，也就是一款产品要适配绝大多数的人群。为了发挥这一设计策略的最大优势，设计过程中最重要的设计需求是掌握并准确使用人体头部形态知识。

3.1 领域知识：创建三维头部拟合模型和适配测试组

脸部形态和虚拟现实眼镜软垫之间的不匹配与



图 3 虚拟现实眼镜的面贴部件

Fig.3 The soft padding of virtual reality glasses

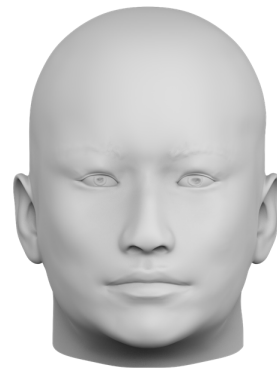


图 4 中国人体头部大号三维拟合标准模型

Fig.4 Standard model of 3D fitting of large Chinese human head

传统的测量方式有很大关系。为克服这样的问题，SizeChina-Hunan 项目^[10]使用三维扫描技术，创建了中国人体头部三维扫描数据库，包含国内 7 个地区总计 2 200 个头部模型，每个头部模型标记有 33 个与可穿戴产品设计相关的特征点。头部形态知识零散地存在于这些头部模型点云数据中，为了方便后续阶段设计过程中知识的获取，需要对这些知识进行分析整合，创建适于人体三维形态表现的知识承载物。项目依据法兰克福平面和左右耳屏点创建笛卡尔坐标系，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，对头部曲面进行编码重建。由于虚拟现实眼镜为单一号码系统，选用拟合生成的大号三维拟合标准头型，见图 4，作为虚拟现实眼镜适体设计的头面部形态领域知识源。通过对这一拟合头部模型中形态知识的处理与传递，驱动后续适体设计的进行。为了后期验证拟合模型的准确度，需要从人群中寻找到具有代表性尺寸的被试集合，创建适配测试组。将中国人体头部三维扫描数据库中的头型，按头宽长指数和头高长指数的二维分布进行分组，从覆盖率大于 1% 的各组中随机选出样本纳入适配测试组，使得该集合的各比例头型基本符合整个群体头型的分布比例。

3.2 对象知识：设计师关于产品的隐性知识

设计展开阶段之初，在与生产商仔细沟通设计需求的基础上，查阅虚拟现实产品相关的文献书籍、网

页资料,访谈经验丰富的工业设计师,对市场上比较成熟的4款虚拟现实眼镜(HTC Vive、Oculus Rift、Google Daydream和Samsung Gear VR)进行竞品分析,得出以下设计知识:(1)虚拟现实眼镜佩戴时,头戴会产生向上和向后的力,使得眼镜软垫的材料发生形变,从而获得更好的适配。然而,由于皮肤的敏感性,过大的受力形变会带来不舒适感;(2)产品不同区域的适配需求存在差异。例如,由于人的鼻部皮肤非常敏感,不适于受力,所以虚拟现实眼镜软垫的鼻部区域不能直接接触鼻子,但是如果鼻子和产品之间的间距过大又会产生漏光的问题。因此,将产品划分为5个区域,见图5,通过用户主观舒适度试验,结合专家知识评价,分析各区域间隙的可接受距离,建立区域适配等级量表和适配指标权重;(3)产品与脸部应该尽可能以面的形式接触,同时接触的受力位置尽可能是承受力较强的骨骼,而不是柔软的区域。比如,额颞点、颞点是理想的接触受力点。通过这样的设计,不仅可以增强适配性,减轻脸部受力的不适,另外还具有稳定产品、减少晃动、保证最佳视野的功能;(4)虚拟现实眼镜长时间佩戴的话,需要考虑空气流通机制,否则,皮肤蒸发的水汽会妨碍用户的视野,另外电池、智能手机和处理器等器件产生的热量也会导致用户的不适。虚拟现实眼镜的软垫设计是在流通空气和阻碍漏光之间综合的结果;(5)为了达到预设的功能目的,虚拟现实眼镜软垫的一些区域需要尽可能紧密地适配身体,而另外的一些区域在适配身体时需要留有间隙。这些研究与笔者之前设计实践形成的隐性知识有机结合,为本次设计实践提供原则性指导。

3.3 过程知识:适配方法和适配形式

为实现产品与三维拟合头部模型的接触特性,包括人机接触曲面形态、可接受间距、人体接触点的生理特性等,在具体设计阶段,以人体几何形态学知识为基础,对知识承载物第95百分位三维头部拟合模型进行解码,与上一步骤中发现的对象知识中各个知识点关涉。首先,遵循先整体适配后局部适配的原则,将适体设计过程分解重组,分为额头、两眼外侧(左/右)、颞骨和鼻部五大区域。要实现每个区域的适配,

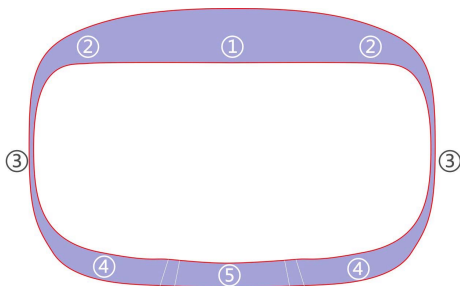


图5 虚拟现实眼镜面贴(正视图)区域划分

Fig.5 Area division of virtual reality eyewear (Front view)

需要在每个区域中寻找关键的特征点,设计中在额头区域选择了额颞点(左/右)和两个额颞点的中点作为特征点,颞骨处选择了颞点(左/右)作为特征点,鼻部选择了鼻翼点(左/右)和鼻尖点作为特征点。在此基础上,绘制产品原始轮廓线正视图,将其正向投影到拟合的大号头部三维标准模型,生成两条三维特征线和一个围合的特征面,同时确保使额颞点(左/右)位于上方转折处,颞点(左/右)位于下方转折处,鼻翼点(左/右)和鼻尖点位于最下方,见图6所示。由于人体面部肌肉有些微妙的起伏变化,产品曲面无需体现这些特征,因此在特征面的基础上进行光滑处理和重构,使之符合生产工艺。以特征点、特征线和特征面的适配形式进行几何信息表示,是领域知识迁移和设计师隐性知识根据设计情境显性化综合后的结果。

3.4 结果知识:生成和评估产品设计原型

根据前面步骤最终演绎出产品设计原型见图7。在此基础上,对产品与适配测试组中头型样本进行虚

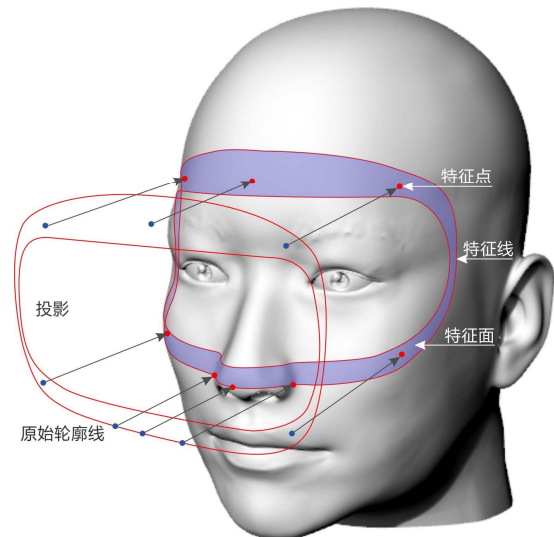


图6 虚拟现实眼镜软垫曲面生成过程

Fig.6 Generation process of virtual reality glasses soft padding



图7 虚拟现实眼镜面贴设计原型

Fig.7 The design prototype of of virtual reality glasses soft padding

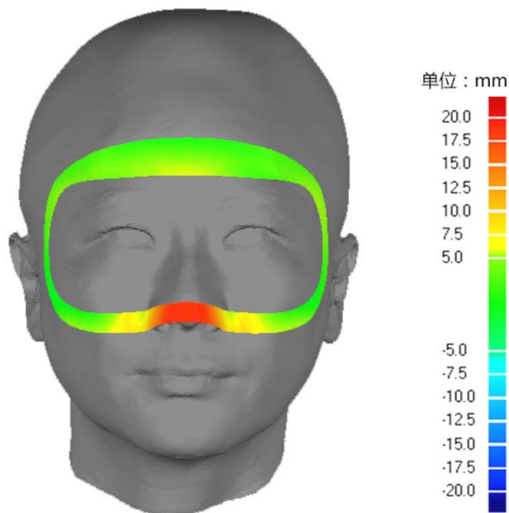


图 8 面贴曲面与被试头面部间距分析
Fig.8 The design prototype of virtual reality glasses soft padding

拟适配, 见图 8, 结合适配等级量表和适配权重, 评估适配度, 验证拟合标准头型的准确度, 以及身体形态知识驱动产品适配的可行性。源于人类身体的几何形态知识, 以适配为目标, 直接或者间接地驱动着产品的功能、行为和结构, 并内在存在产品形态之中。

4 结语

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。对适体设计活动相关的身体形态知识类型及规律进行规范化描述, 为人体工学从数据匮乏走向知识富集阶段后, 实现人体形态知识驱动适体设计奠定理论基础。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 向泽锐, 梁刚毅. 基于人-机-环境适配约束的产品设计方法[J]. 装饰, 2016(2): 136-137.
XIANG Ze-ru, LIANG Gang-yi. The Method of Product Design Based on Constrained Man-Machine-Environment Compatibilities[J]. Zhuangshi, 2016(2): 136-137.
- [3] 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.
- [4] 谢友柏. 现代设计理论和方法的研究[J]. 机械工程学报, 2004(4): 1-9.
XIE You-bai. The Study of Modern Design Theory and Method[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004(4): 1-9.
- [5] ELLMERS G, FOLEY M. Developing Expertise: Benefits of Generalising Learning from the Graphic Design Project[J]. International Journal of Art & Design Education, 2020(5): 461-475.
- [6] JAMES R G, CRUTCHFIELD J P. Multivariate Dependence Beyond Shannon Information[J]. Entropy, 2017, 19(10): 531.
- [7] 施霞萍, 陈利杰. 基于通用型人体模板数据库的三维服装人台生成[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(11): 153-156.
SHI Xia-ping, CHEN Li-jie. 3D Clothing Mannequin Generation Based on Univesal-Type Human Body Template Database[J]. Computer Applications and Software, 2013, 30(11): 153-156.
- [8] 羊柳, 傅柱, 王曰芬. 概念设计中的设计过程知识获取研究[J]. 数据分析与知识发现, 2018, 2(2): 29-36.
YANG Liu, FU Zhu, WANG Yue-fen. Acquisition Method of Design Process Knowledge in Conceptual Design[J]. Data Analysis and Knowledge Discovery, 2018, 2(2): 29-36.
- [9] BELTAGUI A. A Design-Thinking Perspective on Capability Development[J]. International Journal of Operations & Production Management, 2018, 38(4): 1041-1060.
- [10] 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.