

增材制造常用塑料的材质感性意象研究

冯亚娟, 赵占西

(河海大学, 南京 210098)

摘要: **目的** 明确增材制造的手板模型常用的塑料材料, 给工业设计师和生产制造工程师带来的感觉差异性, 为材料选取提供合理意见。**方法** 运用感性工学理论, 构建塑料材料物理特性和感性意象词汇群的对应关系。选择适合增材制造的自由曲面形态, 采用语义差异法和李克特五级量表, 对 6 种代表性材料样本进行感觉意象认知分析, 通过 SPSS 统计感性意象词汇测量数据, 运用独立 T 检验方法判断了两类人群感觉是否具有显著性差异, 并分析材料物理特性对感受差异性的影响。**结论** 将抽象的感性意象词汇与材料的关键物理特性建立起感知联系, 为专业人员手板模型制作过程的材料选择提供了参考。

关键词: 增材制造; 塑料; 感性工学; 感性意象

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)16-0029-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.16.005

Perceptual Image of Representative Plastic Materials in Additive Manufacturing

FENG Ya-juan, ZHAO Zhan-xi

(Hohai University, Nanjing 210098, China)

ABSTRACT: This paper is to make clear the perceptual differences between industrial designers and manufacturing engineers due to using common plastic materials for hand model of additive manufacturing, and provide reasonable suggestions for material selection. Based on kansei engineering, the corresponding relationship between the physical properties of plastic materials and the perceptual image vocabulary group was constructed. Selecting free-form surface shape suitable for additive manufacturing, and using semantic difference method and 5-point Likert scale, this paper analyzes the perceptual image of six representative material samples. SPSS was used to conduct statistics on the data of the perceptual image vocabulary measurement. The Independent-samples T-test was used to judge whether there are significant differences between two groups, and the effect of material physical properties on the perceptual difference was analyzed. The perceptual connection between abstract perceptual image words and key physical properties of materials is established, to provide reference for the material selection in the process of making hand models for professionals.

KEY WORDS: additive manufacturing; plastic material; kansei engineering; perceptual image

材质既是产品造型设计的物质基础, 又是影响消费者情感偏好的重要因素^[1], 相同造型下选用不同材质增材制造得到的产品, 会因材质的差异性传达出不同的意象^[2]。增材制造的手板模型作为产品原始雏形及第一手试制样品, 主要用来验证产品外观体量、人机尺寸、结构功能等^[3]。不同于大众市场下产品使用

者是普通消费者, 增材制造的手板模型其使用者, 主要分为以美学思维为主导的工业设计师和以工程思维为主导的生产制造工程师(后文简称为工程师), 这两类人群是否对增材制造的手板有显著的材质感受差异? 感受差异是由制作手板模型哪些材料的物料特性影响的呢? 工业设计师和工程师会因为手板

收稿日期: 2021-07-15

基金项目: 江苏省教育厅哲学社会科学基金(2018SJA0030); 河海大学课程思政示范课程建设项目(2021B14)

作者简介: 冯亚娟(1984—), 女, 甘肃人, 硕士, 河海大学实验师, 主要研究方向为机械设计及理论, 逆向工程。

通信作者: 赵占西(1963—), 男, 内蒙古人, 硕士, 河海大学教授, 主要研究方向为金属材料、特种铸造。

模型材质的感受差异性而选取不同材料吗？本文将讨论不同塑料材料增材制造的手板模型，作为和终端消费者无直接关系且与最终产品剥离的造型载体，在感性工学技术应用下，工业设计师与工程师的材质感受差异性问题的。

1 感性工学和增材制造联合提升产品研发价值

感性工学是运用工程技术手段探讨“人”的感性与“物”的设计特性关系的理论及方法^[4]。强调针对已有产品、数字或虚拟产品，通过定性、定量相结合的工程技术分析，与不容易明确描述的感情感受、心理感知、认知经验等建立转译模式^[5]。产品的造型、材质、色彩是影响消费者情感的重要因素，感性工学通过研究感性与形态、材料、色彩、工艺等之间的关系，推导出感性与设计方法和感性与制造学的理论联系^[6]。期望产品设计不断接近消费者的潜在内心需求，增强产品中的人性意识，提升使用者的体验^[7]。

增材制造（Additive Manufacturing，简称AM）技术是通过CAD设计数据采用材料逐层累加的方法制造实体零件的技术^[8]。增材制造技术可快速精确地制造出任意复杂形状的零件，从而实现“自由制造”，解决了过去难以制造成形的复杂结构零件的问题，特别适合工业设计师探索产品“自由曲面”造型的可行性，在工业设计学科涉及的工业造型、产品创意、工艺美术等领域有着广泛的应用^[9]。

在产品从研发期过渡到工程期的过程中，工业设计师需要配合工程师把美学导向的产品设计方案转化为工程导向的量产产品，反复借助增材制造技术制作手板模型，以检验产品设计的缺陷，反馈评定并制订措施实施纠正。手板模型的服务对象是工业设计师和工程师，与之产生感官体验关系的也是这两类人群。感性工学的大量设计着眼于关注消费者感官体验

的最终量产产品，而增材制造的手板模型作为桥梁产品，能在产品未投入市场前有效检验工业设计师和工程师设计概念的正确性，但其感性工学研究较容易被忽视。

2 增材制造在复杂形态成型方面的优势

形态包括视觉化的物质形态，也包括抽象事物的状态。形态按照人的感知可被分为现实形态和意象形态，具体可概括为自然形态、人造形态、几何形态、复合形态等，见图1。在工业产品造型设计中，根据不同的功能需求，工业设计师用不同的造型手法生成灵活多样的形态，通过差异性的形态特征，传达设计者的审美感悟，使产品与人产生认知对话和情感交流。

审美层次研究形态具有重要意义，生产制造方面也需考虑成型可行性。几何形态由几何体构成，以纯粹的几何线条为基础，用实体特征全参数化方式进行计算机辅助建模，用如拉伸、旋转等遵循布尔运算逻辑方式生成几何形态实体^[10]，支持工程集成化的CAM/CAE（计算机辅助制造/计算机辅助工程）的生产制造及材料成型，见表1。由于几何形态造型复杂程度低、工程实现难度有限、成型成本相对可控，所以工业设计师会遵循工程优先原则寻求造型妥协。

在自然形态、人造形态和复合形态中，自由曲线和自由曲面取代了纯粹的几何线条和几何体。应用计算机辅助曲面建模方法，由NURBS曲线（非均匀有理B样条）生成基础曲线，通过拉伸、旋转、放样、扫掠后形成更为复杂的曲面形态，见表1。曲面形态在实体化过程中需要最优化的曲面节点、阶数和曲率半径，避免因形状复杂使得加工困难^[11]。增材制造可快速而精确地呈现出任意复杂形状的造型，尤其是由自由曲线和自由曲面综合塑造而成的“自由形态”，打破了工业设计师的造型限制。

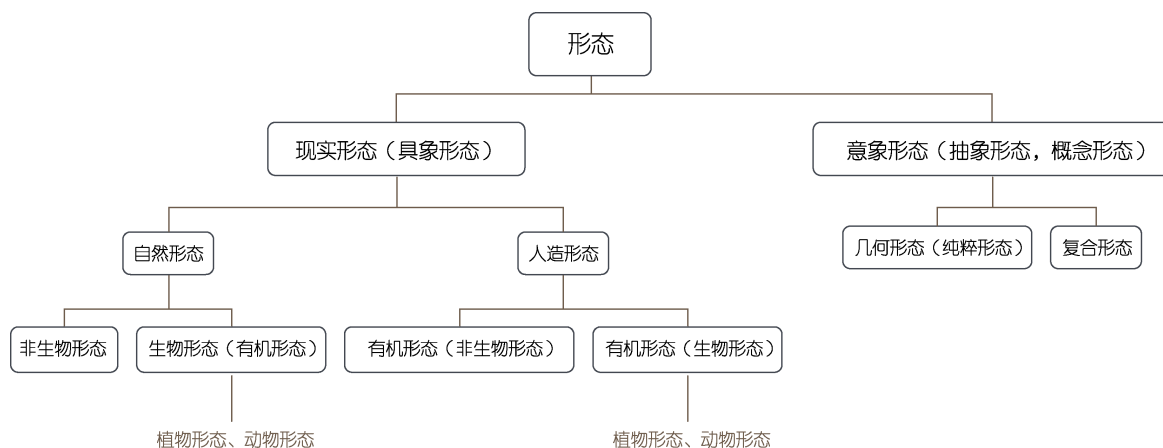


图1 形态分类

Fig.1 Form classification

表 1 几何形态与曲面形态的建模和成型方式对比
Tab.1 Comparison of modeling and forming methods between geometric forms and surface forms

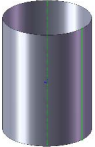
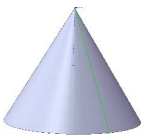
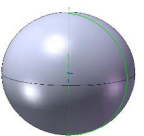
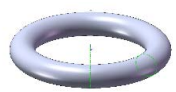

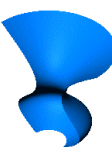
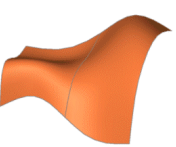
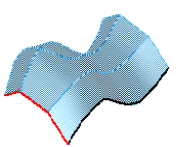

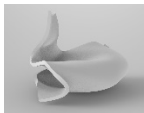
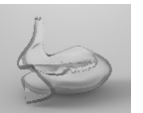
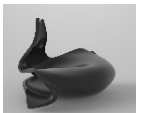


形态分类	形态图示				建模方式	适合成型方式
几何形态					实体特征建模	机械工程制造
规则扫描曲面、自由形状曲面					NURBS 曲面建模	增材制造

表 2 6 种材料的实验样本
Tab.2 Experimental sample of six materials

样本编号	1	2	3	4	5	6
样本图片						
样本材料	丙烯腈—丁二烯—苯乙烯 (ABS)	尼龙 (PA)	聚碳酸酯 (PC)	聚乳酸 (PLA)	亚克力 (PMMA)	光敏树脂 (UV Curable Resin)

3 增材制造常用塑料材料的感性意象实验

3.1 实验样本库的建立

3.1.1 实验材料的选择

增材制造的材料主要分为金属材料、非金属材料 and 生物材料。考虑到消费类产品外壳以塑料为主，实验材料讨论限制在塑料材料，因此本实验以增材制造常用的 6 类塑料为实验材料：丙烯腈—丁二烯—苯乙烯 (ABS)、聚碳酸酯 (PC)、光敏树脂 (UV Curable Resin)、尼龙 (PA)、聚乳酸 (PLA)、亚克力 (PMMA) 等。

3.1.2 实验样本制作标准

材质的大小、性质、硬度、光滑程度及表面肌理等机械性质的触感，可以使消费者对产品形成印象和主观感受，并在先前视觉联想结果的基础上添加更真实细腻的认识^[12]。因被试无法判断其意象是源自触感还是视觉，抑或是材质、色彩、形状，所以为规避触感及产品造型对塑料特性的影响，要求实验样本形态统一为非几何形态的“自由形态”曲面，兼有自然形态、人造形态和复合形态特点，并且要求被试以视觉方式观看实验样本图片。

3.1.3 实验样本的制作

用计算机以 NURBS 曲面建模方式组合得到一复杂曲面，按照先前选择的塑料运用增材制造技术以相

同精度制作手板模型实物若干，以同一视角拍摄图片，构成最终待评价材质样本图片。因为 6 种增材制造的塑料本色为白色、黑色或透明色，所以后期图片样本不用去色处理，最大程度保留材料质感，见表 2。

3.2 感性意象词汇选定

3.2.1 收集词汇

从行业书籍、产品说明手册、网络等途径收集了 126 个和增材制造塑料材质相关的代表性感性意象词汇。

3.2.2 词汇筛选

调查对象为随机选取的 45 名在校工业设计专业学生。通过发放调查问卷，要求调查对象根据选取的自由曲面实验样本图片，结合自身经验及主观印象，删除重复的类似词汇，最终选出 52 个符合条件的感性意象词汇^[13]。

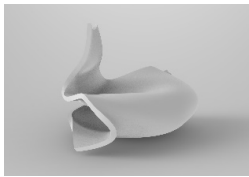
3.2.3 词汇分群及分对

通过查阅专业书籍，请教行业专家，选择了 5 个增材制造塑料材质典型物理特性指标：延展性、强度、密度、硬度、透光度。随机邀请了 25 名在校工业设计专业大学生，要求针对 5 个物理特性指标，将 52 个感性意象语意词汇分群。将词汇按照出现所在群的频次排序，见表 3。然后同批次学生继续进行感性意象词汇筛选，去掉重复及没有意义的词汇，最后得到 10 个互为补充的 5 对代表性感性意象词汇，分别对应 5 个塑料物理特性指标，见表 3。

表3 感性意象词汇分群及分对
Tab.3 Results of perceptual images words grouping and pairing

感性意象词汇分群 (共 52 个)				感性意象词汇对 (5 对)	
延展性	强度	密度	硬度	透光度	延展性
自由	有力	沉着	圆润	润泽	凝滞—流畅
奔放	脆弱	端正	软弹	单调	强度
飞速	薄脆	饱满	敦实	光亮	脆弱—坚固
凝滞	笨重	僵硬	冰冷	高级	密度
干涩	强壮	松软	轻巧	温暖	稀疏—饱满
活力	坚固	便宜	廉价	温润	硬度
流畅	机械	精细	粗糙	简洁	厚重—轻巧
跳跃	稳定	稀疏	厚重	光洁	透光度
动感	挺拔	细腻	繁复	自然	光洁—温润
固化	昂贵	稀薄	生硬	清爽	
	耐用			洁净	

表4 语义差异法分析 (部分)
Tab.4 Semantic difference method analysis (partial)

感性词汇	对应分值	感性词汇	样本 1
凝滞	1 2 3 4 5	流畅	
脆弱	1 2 3 4 5	坚固	
稀疏	1 2 3 4 5	饱满	
厚重	1 2 3 4 5	轻巧	
光洁	1 2 3 4 5	温润	

3.3 问卷设计及数据收集

3.3.1 实验对象人员的选取和分组

以 29 名职业和学科方向为偏美学造型的工业设计师为组 1, 另 15 名职业和学科方向为偏生产制造的工程师为组 2。

3.3.2 制作评价量尺及评价表

以语义差异法及李克特量表法制作五级量化评价量尺^[14], 左右两端数值为 1~5。例如将凝滞—流畅的感性意象词汇对设置为 1~5 区间, 分数越大代表对样本的流畅感受性越强。5 对感性意象词汇对, 结合 6 种材料的样本图片分别制作评价表, 见表 4。

3.3.3 问卷制作及发放

利用问卷星制作线上问卷, 输入评价表, 并设置被试职业选项问题。发放问卷, 要求两组被试用感性意象词汇评价量尺, 针对 6 种不同材质的实验样本图片进行评分, 获得数据样本。

4 数据分析

4.1 数据前期处理

使用 SPSS 软件处理两组数据样本。先检测正态分布情况, 两组样本合计总数为 44, 使用 Shapro-Wilk 法检验数据 $p=0.000\sim 0.003$, 均小于显著性水平值

0.05, 不符合绝对正态分布。然而比较发现其峰度绝对值小于 10 且偏度绝对值小于 3, 说明数据虽非绝对正态, 但基本可接受为近似正态分布, 见表 5。另外使用方差—方差齐检测 $p=0.106\sim 0.988$, 均大于显著性水平值 0.05, 符合方差齐要求。

4.2 独立样本 T 检验方法选定

两组独立样本比较时, 通用方法为参数检验和非参数检验。常用的方差分析、T 检验属于参数检验, 要求数据样本服从某种分布如近似正态分布和方差齐。若数据无法满足预设条件则选择使用非参数检验。

各实验处理组之间毫无相关联系, 即为独立样本。独立样本 T 检验适用于检验两组非相关样本被试所获得的数据的差异性。其中独立样本 T 检验需要同时满足正态分布和方差齐的要求。工业设计师和工程师的两组数据均为独立样本, 并且满足基本正态分布和方差齐, 故数据样本可以选择独立样本 T 检验^[15]。

4.3 数据对比分析

工业设计师和工程师为两组定类变量样本, 定量数据是两类人群针对 6 种材料的感性意象词汇评分。通过独立样本 T 检验可以检测这两类人群是否在对 6 种材料的感受性上有显著性差异。假设工业设计师和工程师无显著性感受差异, 即 $H_0: u_1 = u_2$, 也可表述为 $u_1 - u_2 = 0$ 。显著水平值 $p > 0.05$ 代表无显著性差异, $p < 0.05$ 代表有显著性差异, $p < 0.01$ 代表有极显著性差异。深入分析—效应量指标参考 d 值, d 值越大, 说明差异越大。效应量小、中、大的区分临界点分别是 0.20, 0.50 和 0.80。

4.3.1 独立 T 检验结果综述

利用 SPSS 软件, 展开两类不同人群针对 6 种材料的 5 对感性意象词汇对打分数据的独立样本 T 检验。两类人群对 3 种材料 (ABS/PC/UV Curable Resin) 在 2 组感性意象词汇对 (厚重—轻巧、光洁—温润) 评价有近极显著性差异或显著性差异, 其余未显示显

表 5 样本正态性检验分析
Tab.5 Analysis of sample normality test

材料 样本	丙烯腈—丁二烯—苯乙烯 (ABS)					尼龙 (PA)					聚碳酸酯 (PC)				
感性意 象词汇	凝滞— 流畅	脆弱— 坚固	稀疏— 饱满	厚重— 轻巧	光洁— 温润	凝滞— 流畅	脆弱— 坚固	稀疏— 饱满	厚重— 轻巧	光洁— 温润	凝滞— 流畅	脆弱— 坚固	稀疏— 饱满	厚重— 轻巧	光洁— 温润
样本	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
平均值	2.909	3.023	3.023	3.318	2.864	2.909	2.955	2.909	3.205	2.977	3.523	2.568	2.705	3.409	3.295
标准差	1.178	1.151	1.171	1.052	1.173	1.074	1.077	0.910	0.878	1.023	1.248	1.246	1.112	1.041	1.231
偏度	0.183	0.050	0.045	-0.184	0.186	0.306	0.328	0.186	0.010	0.047	-0.430	0.366	0.412	-0.005	-0.129
峰度	-0.698	-0.715	-0.854	-0.381	-0.509	-0.468	-0.751	0.062	0.123	-0.361	-0.822	-0.950	-0.557	-1.167	-1.006

材料 样本	聚乳酸 (PLA)					亚克力 (PMMA)					光敏树脂 (UV Curable Resin)				
感性意 象词汇	凝滞— 流畅	脆弱— 坚固	稀疏— 饱满	厚重— 轻巧	光洁— 温润	凝滞— 流畅	脆弱— 坚固	稀疏— 饱满	厚重— 轻巧	光洁— 温润	凝滞— 流畅	脆弱— 坚固	稀疏— 饱满	厚重— 轻巧	光洁— 温润
样本	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
平均值	3.182	3.409	3.364	2.750	2.955	3.455	2.591	2.705	3.295	3.023	3.205	2.864	2.750	3.023	3.182
标准差	1.352	1.085	1.059	1.059	1.219	1.130	1.226	1.091	0.954	0.927	1.091	0.955	1.014	0.927	0.947
偏度	-0.110	-0.213	-0.055	0.530	0.171	-0.186	0.295	0.291	-0.304	-0.046	0.023	-0.052	0.114	0.137	0.135
峰度	-1.102	-0.441	-0.774	0.062	-0.830	-1.023	-0.873	-0.309	-0.546	-0.147	-0.670	-0.561	-0.214	-0.600	-0.264

表 6 独立 T 检验显著性差异分析
Tab.6 Significant differences with Independent-samples T-test

分析项	丙烯腈—丁二烯— 苯乙烯 (ABS)	尼龙 (PA)	聚碳酸酯 (PC)	聚乳酸 (PLA)	亚克力 (PMMA)	光敏树脂 (UV Curable Resin)
凝滞—流畅	/	/	/	/	/	/
脆弱—坚固	/	/	/	/	/	/
稀疏—饱满	/	/	/	/	/	/
厚重—轻巧	/	/	/	/	/	显著性差异 <i>p</i> =0.021
光洁—温润	近极显著性差异 <i>p</i> =0.012	/	显著性差异 <i>p</i> =0.049	/	/	/

注：“/”代表无显著性差异

著性差异，见表 6。

4.3.2 横向数据比较

针对 6 种材料用同一感性意象词汇对的评分数据进行独立 T 检验，判定两类人群在感觉意象词汇上的差异性。5 对词汇，重复 5 次，以凝滞—流畅词汇对独立 T 检验分析结果为例，见表 7。在厚重—轻巧（硬度）、光洁—温润（透光度）的两对感觉意象词汇对上有显著性差异，而凝滞—流畅（延展性）、脆弱—坚固（强度）、稀疏—饱满（密度）则无感受意象显著性差异。推断认为，两组人群之前必然积累了职业经验，在感性意象词汇评分时，视觉感受结合了其他感觉感受如触觉，先前的认知体验让两类被试在实验样本图片材质的感受上达成一致，没有产生显著性差异。厚重—轻巧、光洁—温润的感觉意象，与无

显著性差异的 3 对感性意象相比，相关物理特性（硬度、透光度）更倾向于通过视觉感受。

4.3.3 纵向数据比较

针对 5 对感性意象词汇，利用独立性 T 检验比较两类人群对同一种实验材料样本图片的感性意象差异。6 种材料，重复 6 次，以实验材料 ABS 的 5 对感性意象词汇对的独立 T 检验分析结果为例见表 8。若 *p*<0.05 代表有显著性差异，比较这几种材料的深入分析—效应量指标 *d* 值和评分均值，可反映出两类人群对几种材料感受差异性的大小，最后分析材料的物理特性影响感觉意象词汇对评分差异的潜在原因。

针对 UV Curable Resin 材料，两类人群对其厚重—轻巧的感受产生了显著性差异。分析认为与厚重—轻巧感性意象词汇对相联系的物理特性为硬度，UV

表7 独立T检验分析结果(凝滞—流畅词汇对的6种材料)
Tab.7 Results of Independent-samples T-test (Stagnation-Fluency vocabulary pair for six materials)

职业类型	请问您的职业或学科背景是? (平均值±标准差)		<i>t</i>	<i>p</i>
	工业设计类职业或学科 (偏美学造型) (<i>n</i> =29)	工程类职业或学科 (偏生产制造) (<i>n</i> =15)		
凝滞—流畅	2.69±1.04	3.33±1.35	-1.760	0.086
凝滞—流畅	2.72±1.07	3.27±1.03	-1.617	0.113
凝滞—流畅	3.41±1.35	3.73±1.03	-0.802	0.427
凝滞—流畅	3.10±1.37	3.33±1.35	-0.530	0.599
凝滞—流畅	3.34±1.14	3.67±1.11	-0.893	0.377
凝滞—流畅	3.00±1.07	3.60±1.06	-1.772	0.084

注: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

表8 独立T检验分析结果(材料ABS的5对感性意象词汇对)
Tab.8 Results of Independent-samples T-test (five vocabulary pairs for Material ABS)

职业类型	请问您的职业或学科背景是? (平均值±标准差)		<i>t</i>	<i>p</i>
	工业设计类职业或学科 (偏美学造型) (<i>n</i> =29)	工程类职业或学科 (偏生产制造) (<i>n</i> =15)		
凝滞—流畅	2.69±1.04	3.33±1.35	-1.760	0.086
脆弱—坚固	2.90±1.11	3.27±1.22	-1.011	0.318
稀疏—饱满	2.93±1.19	3.20±1.15	-0.718	0.477
厚重—轻巧	3.10±0.90	3.73±1.22	-1.943	0.059
光洁—温润	2.55±1.02	3.47±1.25	-2.613	0.012*

注: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

表9 3种具有显著性差异的材料数据汇总
Tab.9 Data summary of three materials with significant difference

实验材料	感性意象词汇对	物理特性	显著性水平值 <i>p</i>	显著性水平	数据平均值	深入分析—效应量指标 <i>d</i> 值	差异大小水平
UV Curable Resin	厚重—轻巧	硬度	$p=0.021$	显著	工程师 3.47> 设计师 2.79	$d=0.766$	中
ABS	光洁—温润	透光度	$p=0.012$	近极显著	工程师 3.47> 设计师 2.55	$d=0.831$	大
PC	光洁—温润	透光度	$p=0.049$	显著	工程师 3.80> 设计师 3.03	$d=0.644$	中

Curable Resin 与其他材料相比,固化后强度高,但耐热性低、易老化,长时间放置易变脆断裂,由此可解释工程师组感受为更轻巧,见表9。

在两类人群对其光洁—湿润度的感受差异性上,材料ABS近极显著,材料PC显著。与光洁—湿润度词汇对联系的物理特性为透光性。分析认为工程师因职业属性常见不透明金属材料和木头,与工业设计师常见透明材质的职业属性很不同,并且实验样本中白色ABS为半透光材质,PC样本为全透明材质,工程师从透光度上会感觉ABS更温润,这也较好证明了ABS的*p*值更小且为近极显著差异,*d*值更大差异更大,见表9。

3种材料(PA/PMMA/PLA)均 $p > 0.05$ 无显著

性差异。可认为两组人群对3种塑料在感觉意象词汇对联系的各类材料物理特性上无显著性差异。此外,问卷回答过程中,由于被试会不自觉比对前置材料样本,再加上不透明材料样本出现的先后顺序是ABS、PA、PLA,而ABS对比PA与PLA,现实中3种样本实际物理特性非常接近,视觉感受上仅是色差,故 $p > 0.05$ 无显著性差异合理。将透明PC与PMMA材料对比,现实中两类材料实际物理特性仅体现在透光度上的细微差别,故 $p > 0.05$ 无显著性差异合理。

在设计师和工程师手板模型制作过程中,若不考虑材料的厚重和湿润感受,那么设计师和工程师对材料的感受无显著性差异,这时可以进一步比较各类材料的物理特性及价格再进行选用。若要体现手板模型

的温润感,与设计师相比工程师更倾向于 ABS 材料。在透明度方面,两类群体感觉 PC 和 PMMA 无显著性差异;ABS 对比 PA 与 PLA 无显著性差异。若从轻巧感方面考虑,工程师相较于设计师更倾向于 UV Curable Resin。

5 结语

本文应用感性工学的方法,针对自由形态增材制造的手板模型,从塑料材质的材质感性意象和材料物理特性的关系进行了群组化研究。并通过量化检验方式判定了职业属性不同的两类人群对材质的感受差异性水平,并探讨了材料物理特性造成感受差异化的原因,给出了增材制造材料选用的建议。因人力和物力有限,在材料物理特性和对应的感性意象群的建立、词汇对选择上有一定局限,缺少更深入的分析与量化。此外,材料样本的选取在视觉感受方面不可避免地受到触觉经验的影响,怎样使材料样本更具代表性,使问卷设计更合理,是研究者下一步探索的方向。

参考文献:

- [1] 赵艳云,边放,李巨韬. 基于感性工学的产品材质意象研究[J]. 机械设计, 2015, 32(8): 117-121.
ZHAO Yan-yun, BIAN Fang, LI Ju-tao. Image Research of Product Material Based on Kansei Engineering[J]. Journal of Machine Design, 2015, 32(8): 117-121.
- [2] 孙凌云,孙守迁,许佳颖. 产品材料质感意象模型的建立及其应用[J]. 浙江大学学报(工学版), 2009, 43(2): 283-289.
SUN Ling-yun, SUN Shou-qian, XU Jia-ying. Research and Application of Product Material Texture Image Model[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2009, 43(2): 283-289.
- [3] 肖苏华. 复杂曲面薄壁零件手板模型的快速成型研究[J]. 机电工程, 2014, 31(12): 1583-1586.
XIAO Su-hua. Rapid Prototyping of Complex Surfaces of Thin-Walled Parts Model[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(12): 1583-1586.
- [4] 罗仕鉴,潘云鹤. 产品设计中的感性意象理论、技术与应用研究进展[J]. 机械工程学报, 2007, 43(3): 8-13.
LUO Shi-jian, PAN Yun-he. Review of Theory, Key Technologies and Its Application of Perceptual Image in Product Design[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(3): 8-13.
- [5] 苏建宁,王鹏,张书涛,等. 产品意象造型设计关键技术研究进展[J]. 机械设计, 2013, 30(1): 97-100.
SU Jian-ning, WANG Peng, ZHANG Shu-tao, et al. Review of Key Technologies of Product Image Styling Design[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(1): 97-100.
- [6] 苏建宁,李鹤岐. 工业设计中材料的感性特性研究[J]. 机械设计与研究, 2005, 21(3): 12-14.
SU Jian-ning, LI He-qi. The Perceive Feature of Material in Industrial Design[J]. Machine Design and Research, 2005, 21(3): 12-14.
- [7] 陈国强,姜楠,张鹏,等. 基于感性工学的儿童陪伴机器人造型设计[J]. 包装工程, 2021, 42(4): 166-171.
CHEN Guo-qiang, JIANG Nan, ZHANG Peng, et al. Modeling of Children's Companion Robot Based on Perceptual Engineering[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(4): 166-171.
- [8] 卢秉恒,李涤尘. 增材制造(3D 打印)技术发展[J]. 机械制造与自动化, 2013, 42(4): 1-4.
LU Bing-heng, LI Di-chen. Development of the Additive Manufacturing (3D Printing) Technology[J]. Machine Building & Automation, 2013, 42(4): 1-4.
- [9] 李涤尘,田小永,王永信,等. 增材制造技术的发展[J]. 电加工与模具, 2012(1): 20-22.
LI Di-chen, TIAN Xiao-yong, WANG Yong-xin, et al. Developments of Additive Manufacturing Technology[J]. Electromachining & Mould, 2012(1): 20-22.
- [10] 吴敏,周来水,安鲁陵. 基于约束的实体特征模型重建方法研究[J]. 机械科学与技术, 2004, 23(6): 654-657.
WU Min, ZHOU Lai-shui, AN Lu-ling. A Method for Reconstruction of Constraint-Based Solid Feature Model[J]. Mechanical Science and Technology, 2004, 23(6): 654-657.
- [11] 蔡闯,成思源,蔡敏,等. 基于曲面和实体特征的混合逆向建模方法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016(4): 9-11.
CAI Chuang, CHENG Si-yuan, CAI Min, et al. Mixed Reverse Modeling Method Based on Surface and Entity Feature Research[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2016(4): 9-11.
- [12] 周美玉,熊驭舟. 基于感性工学的产品材质设计效果评价[J]. 包装工程, 2010, 31(6): 32-35.
ZHOU Mei-yu, XIONG Yu-zhou. Evaluation of the Materials Design Based on Kansei Engineering[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(6): 32-35.
- [13] 陈金亮,赵锋,李毅,等. 基于感性工学的产品设计方法研究[J]. 包装工程, 2019, 40(12): 162-167.
CHEN Jin-liang, ZHAO Feng, LI Yi, et al. Product Design Method Based on Kansei Engineering[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(12): 162-167.
- [14] 马东明,孙山,钱皓. 基于感性工学的马拉松赛事奖牌的设计研究[J]. 包装工程, 2021, 42(6): 239-246.
MA Dong-ming, SUN Shan, QIAN Hao. Medal Design of Marathon Based on Kansei Engineering[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(6): 239-246.
- [15] 雷琼,张仲凤,奚茜,等. 基于感性工学的家具材质感性评价研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(4): 109-111.
LEI Qiong, ZHANG Zhong-feng, XI Xi, et al. Perceptual Evaluation of Furniture Material Based on Kansei Engineering [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2017, 37(4): 109-111.