

面向“双碳”目标的生态环保材料感知评价方法 及外观美化研究

宋丰伊, 刘键, 邹锋, 黄赛, 赵静
(北京工业大学 艺术设计学院, 北京 100124)

摘要: **目的** 提炼一套用户感知层面的评价技术和方法。**方法** 分别运用文献综述、案例研究和实证研究的方法, 提出了生态材料的样本、材料感知评价层次模型、材料感知评价的实验设置及感知评价方法的 4 个主要层面。**结果** 通过总结材料的感知评价研究中的先进实验流程、评价方法及优缺点分析, 构建了一套适用于生态材料感知评价方法模型。**结论** 通过实证研究, 验证了提出的感知评价模型具有较高的可行性, 对推动生态材料的多模态品质可持续性设计具有现实指导价值。

关键词: 可持续设计; 多模态感知; 生态材料; 感知评价模型

中图分类号: TB472 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)10-0079-16

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.10.008

Perception Evaluation and Appearance Beautification of Environmental Protection Materials Facing Carbon Peaking and Carbon Neutrality (dual carbon) Goals

SONG Feng-yi, LIU Jian, ZOU Feng, HUANG Sai, ZHAO Jing
(College of Art and Design, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

ABSTRACT: The work aims to refine a set of evaluation techniques and methods at the user perception level. The methods of literature review, case study and empirical research were used to propose four main levels of ecological material samples, material perception evaluation hierarchy model, experimental setup of material perception evaluation and perception evaluation method. By summarizing the advanced experimental procedures, evaluation methods and analysis of advantages and disadvantages in the research on the perception evaluation of materials, a set of models for the perception evaluation methods of ecological materials was constructed. Through empirical research, it is verified that the proposed perception evaluation model has high feasibility, and has realistic guidance value for the sustainable design to promote the multimodal quality of ecological materials.

KEY WORDS: sustainable design; multimodal perception; ecological materials; perception evaluation model

碳中和背景下,生态材料工业是我国重要的战略性新兴产业,关系到终端产品的美学、情感体验、可靠性、人类健康生活的品质,提高生态材料的设计水平也是助力我国实现碳中和战略的有力保障。其中,生态材料多模态品质的可持续性设计,是可持续设计或者环保设计的升级。可持续设计起源于 20 世纪

80—90 年代,国外兴起了绿色设计的风潮,此时环保设计可以理解为把废旧材料打碎,再回收利用。从 CMF 的视角出发,这种再回收利用的材料,其多模态品质难以媲美石油能源制成的材料,但当时的环保人士和比较先进的消费者能够容忍这种美学缺陷,而且对使用环保材料感到非常自豪。

收稿日期: 2022-12-14

基金项目: 北京市宣传文化高层次人才项目; 2021 北京市社科基金重点项目 (21YTA002); 教育部 2021 年第二批产学研合作协同育人项目 (202102055017); 教育部人文社科项目 (20YJC760034)

作者简介: 宋丰伊 (1998—), 男, 硕士生, 主攻碳中和创新设计。

通信作者: 刘键 (1987—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为创新设计研究方法、智能化设计。

但是到了今天,用户对生态材料的需求发生了变化,表现出既环保又美观的新需求特征。因此,如何提高生态材料工艺加工水平,使环保材料能形成越来越好的多模态品质,是设计学、感性工学、心理学、统计学共同关注的问题。本研究按照感知评价研究主体、样本类型、感知评价的层次、实验设置、评价方法的顺序,旨在梳理感知评价和跨学科领域的研究方法,并结合生态材料的特点和实证研究,最终总结并构建一个生态材料感知评价模型,对生态环保材料的可持续设计具有现实指导价值。

1 生态材料

关于生态材料的命名以及定义,学术界和业界尚无盖棺定论,例如有研究将其命名为“绿色环保材料”“最小环境负荷材料”“可持续材料”等,笔者

总结了现有研究,这种材料泛指具有良好的使用性能和优良的环境协调性的材料,一般具有生态环保、可降解、可持续、可回收四大特点,文中,以“生态材料”命名。国外的数据库 MaterialDistrict 里面记录了丰富的材料,包括 15 个一级标签和 55 个二级标签。通过查找筛选,将标有“Ecology-生态的”“Sustainable-可持续的”“Biodegradable-可生物降解的”“Recycling-回收”标签的材料进行汇总分类,构成生态材料的大类,部分材料见表 1。

Veelaert 等^[1]总结了 50 篇有关材料的研究。这些研究中,材料选择的主要原因是人们习惯选择最熟悉、最典型的产品,例如金属、塑料。同时,现有材料领域感知评价研究中的主体是常用的材料,但对新型生态材料研究还尚存空缺,设计师在对不同生态材料做对比时,缺乏系统化的感知评价方法做判断。

表 1 生态材料及分类(部分)
Tab.1 Ecological materials and classification (part)

生态材料	生态的	可持续的	可生物降解	回收
1	废树皮	含盐热电池	杂草	防锈再生塑料
2	海藻	软木聚合物化合物	蛋壳陶瓷	铁污泥陶瓷
3	真菌菌丝体	海藻染料	浮萍铺路砖	轮胎废料沥青
4	疏浚泥沙混凝土	生物基涂层	纤维素袋子	水电可持续铝
5	废牡蛎壳	密度纤维板	爆米花板材	回收混凝土
6	马铃薯皮	咖啡渣	堆肥板	环保再生尼龙面料
7	蘑菇	灰泥沙浆	海藻	卫生棉条
8	秸秆	混凝土	狗毛、羊毛	纸纤维
9	椰子纤维	回收陶瓷	菌丝体	回收塑料
10	霉菌	牡蛎壳	咖啡渣	工业废料

2 感知评价研究及综述

感知评价研究最早起源于心理学,包含人的感知和认知。感知即通过人体器官和组织对外部世界进行信息交流和沟通,认知是通过大脑进行信息传递。感知评价研究应用领域很广,例如在汽车领域,应用静态感知质量评价,通过精细化设计给消费者带来超出预期的感官体验,其“第一感受”及车辆使用过程中所感知到的产品质量,决定其是否继续体验或购车消费;在景观环境与服务经济领域中,通过对其类型、空间分布、消费者体验等多维度进行感知评价和改进,让消费者产生价值认同感和地方依恋。

为了研究生态环保材料,本研究选取了大量材料与设计领域的感知评价相关研究进行文献综述,以达到研究方法和内容的最大适配性。下面从感知评价的主体样本类型、层次、实验设置和评价方法 4 个方面进行研究和综述,并在小结中对其应用的可行性和生态材料适配性作出思考和评价。

2.1 感知评价材料样本类型

材料感知评价实验需要研究团队去设计材料样本,并邀请目标用户做测试。材料样本指材料以何种方式呈现给用户,一般包括文字描述型、建模图片、扁平、块状的 4 种材料样本。

2.1.1 文字描述型样本

文字描述型样本经常用在问卷中,例如,Choi^[2]在研究中使用 12 对双极形容词组编制了材料感知问卷,横轴是材料名称和最大值,纵轴是双极形容词组,见表 2。该种样本有一定的局限性,评价的结果过度依赖被试者的主观印象,且问卷中的材料通常是人们熟知的,类别有限。

2.1.2 建模图片样本

用建模图片样本可以节省大量地寻找和制作原材料的成本。Veelaert 等^[3]在研究中用软件建模的方式来表示材料表征,并最终渲染图片的形式提供给被试者。Karana 等^[4]将一组模型赋予玻璃、金属和塑

表 2 材料感知问卷 (部分)
Tab.2 Material perception questionnaire (part)

双极形容词组		金属		陶瓷		聚合物		天然材料		最大值	
积极	消极	积极		积极		消极		积极		金属	聚合物
便宜	昂贵		昂贵		昂贵	便宜		便宜		天然材料	陶瓷
经典	流行		流行	经典		流行		经典		陶瓷	金属

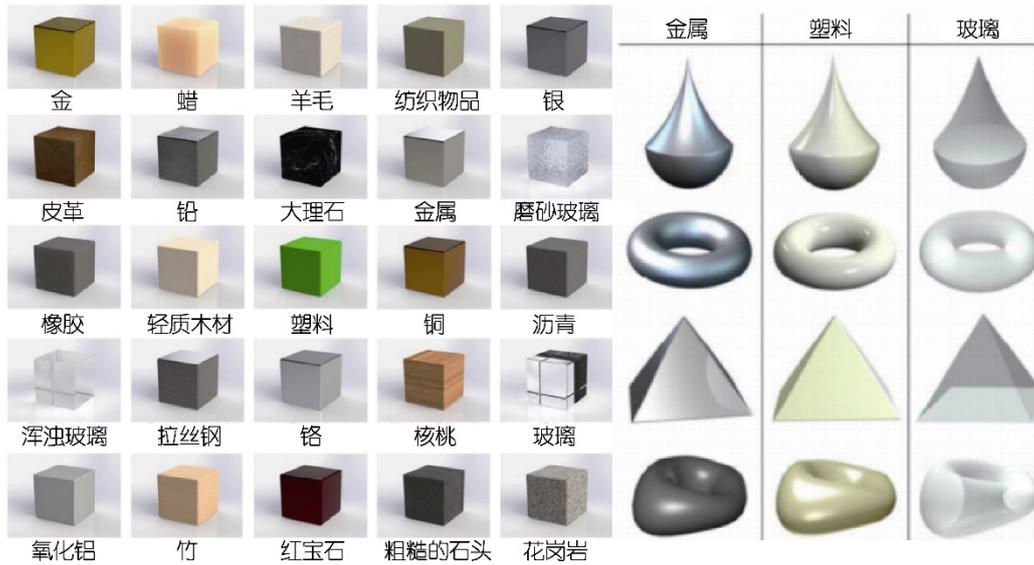


图 1 建模图片^[3-4]
Fig.1 Modeling pictures^[3-4]

料 3 种不同的材料, 组成 12 种材料样本, 建模及渲染见图 1。该样本类型的弊端是建模图片的使用只是视觉方面, 忽略了触觉等多模态的评估, 最终结论是欠全面与欠完整的。

2.1.3 扁平的材料样本

扁平的材料样本是常用的选择。例如, Roberta Etzi 等人对触觉刺激的审美偏好展开了研究, 扁平的材料样本由相同区域 (10 cm×10 cm) 的硬纸板组成, 硬纸板上覆盖不同的纹理材料, 见图 2。该样本的规格一般制成统一尺寸, 例如设置为 L 205 mm×W 205 mm×H 25 mm, 质量 1.19 kg, 有利于减少因为大小、体积不同带来的实验误差^[5]。



图 2 扁平材料^[5]
Fig.2 Flat material^[5]

2.1.4 块状的材料样本

块状的材料样本经常用在某些新型复合材料的感知评价研究中, 例如 Karana 等^[6]用咖啡渣、黏合剂等原料制成块状复合材料, 并开展感知评价研究。Sauerwein 等^[7]用菌丝基复合材料制成块状材料样本, 来研究“粗糙度”在视觉感官和触觉感官之间的关系。块状材料样本见图 3, 块状材料样本比扁平的材料样本更立体, 有更丰富的体验感受; 但块状材料样本存在加工成型更复杂、规格难统一、体验误差大等缺点。

2.1.5 小结

汇总了上文四类材料样本的优缺点, 见表 3。其中, 由于文字描述型和建模图片样本类型, 都局限在视觉水平, 而生态材料感知评价模型的构建需要全方位地感知, 因此不适用; 扁平的材料样本与块状的材料样本各自存在缺陷, 在未来研究中, 可以通过制作样本模具等方式, 得到有一定厚度、尺寸规格统一的生态材料样本。

2.2 感知评价层次

感知评价层次是指在材料感知评价的过程中, 被试者对材料的直观感受、对材料感知的经验、对材料的反应和实践的过程, 分别对应生理层次、心理层次、行为层次。



图3 块状材料^[6-7]
Fig.3 Blocky material^[6-7]

表3 材料样本示例及优缺点
Tab.3 Examples of material samples and advantages and disadvantages

样本类型	图例	优点	缺点	推荐程度
文字描述型样本		来源快、成本低	体验水平局限在视觉、依靠经验	4
建模图片样本		来源快、成本低、视觉水平清晰	体验水平局限在视觉	3
扁平的材料样本		规格统一、体验水平相对丰富	自由探索空间相对小	1
块状的材料样本		更丰富的体验感受	规格难统一、误差大	2

注：推荐程度 1-4，数字 1 为最高，4 为最低。

Merleau-Ponty^[8]认为材料感知是人和物体之间的相互作用。材料感知是指感知评价研究的主体——材料，也称为“刺激物”，与被试者的感官、审美、心理等相互作用。Giaccardi 等^[9]定义了构成材料感知的 4 个水平，即感官、解释、情感和施为，这 4 个水平相互关联，共同构成用户的感知。在不同的研究中，笔者共发现了 10 种不同的材料感知交互方式，分别是：五感；通感；自由探索；人格特征化；想象和联想；定义、解释判断；赋予意义；心理感觉；思想、信念、态度；行为反应。这些不同的材料感知交互方式，与 Karana 等定义的材料感知 4 个水平之间存在交叉、补充和融合，共同构成一个完整的材料感知评价层次框架，见图 4。

2.2.1 生理层次

在材料感知评价实验中，被试者会在生理层次上

感知材料，例如拿到一个材料刺激物，触觉是软还是硬、视觉是什么颜色等。生理层次由感官水平构成，包括单模态感知和多模态感知。

单模态感知是指被试者五感中的单独一个感官的感受。在感知过程中，无法完全限制被试者感官之间的互联，因此需要做限制条件，在过程中隔离相互关联的感官，例如耳罩、眼罩等^[10]。Camera 开发了一套工具包，其中描述了 22 种触觉感知的手势动作，包括摩擦、掠过等，见图 5。

多模态感知是指被试者五感中两个及以上感官的通感。Zuo 等进行了一组对照实验来研究被试者的视—触觉和盲—触觉的感知，见图 6。研究者应用双极形容词组对两个实验的感知结果进行评价，可以分别得到多模态感官对材料感知过程影响的量化结果^[11-12]，进而帮助设计师识别材料创意机会。

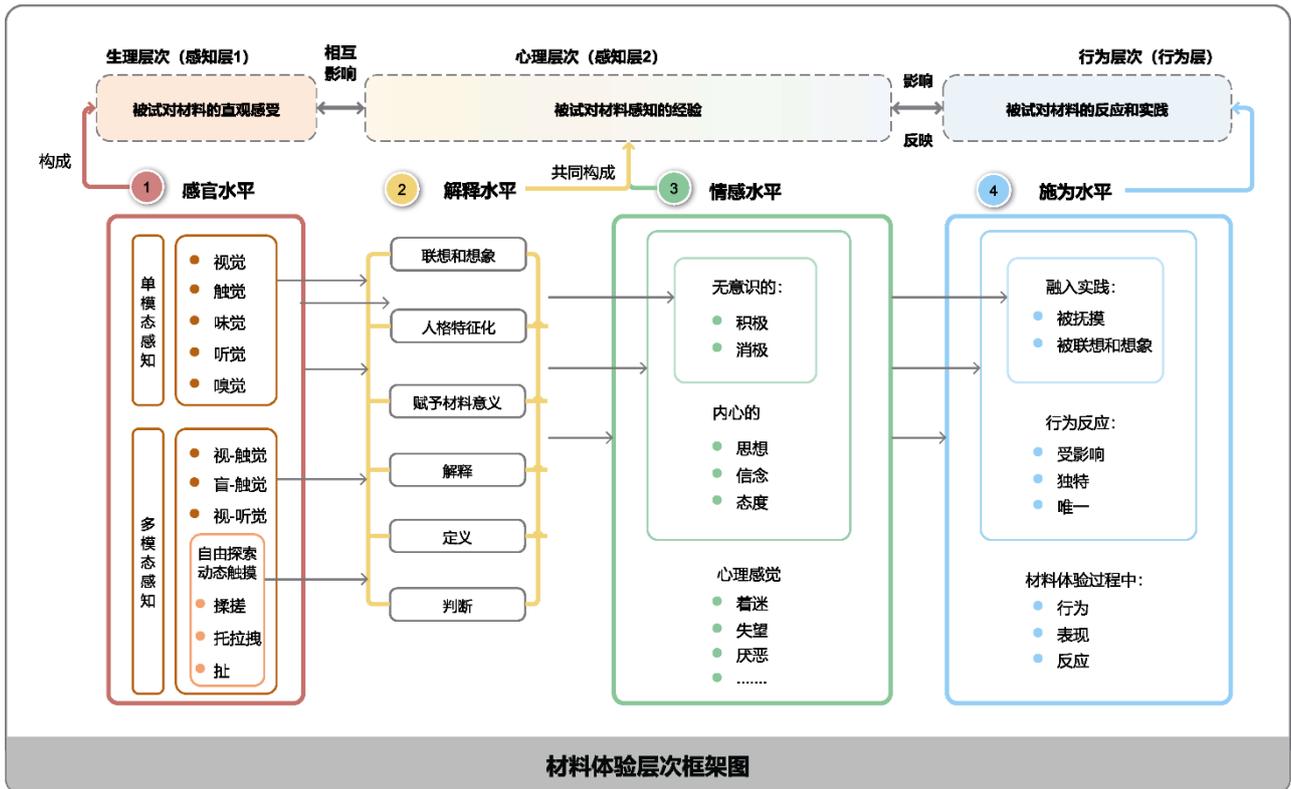


图 4 材料感知评价框架层次
Fig.4 Hierarchy of material perception evaluation frameworks

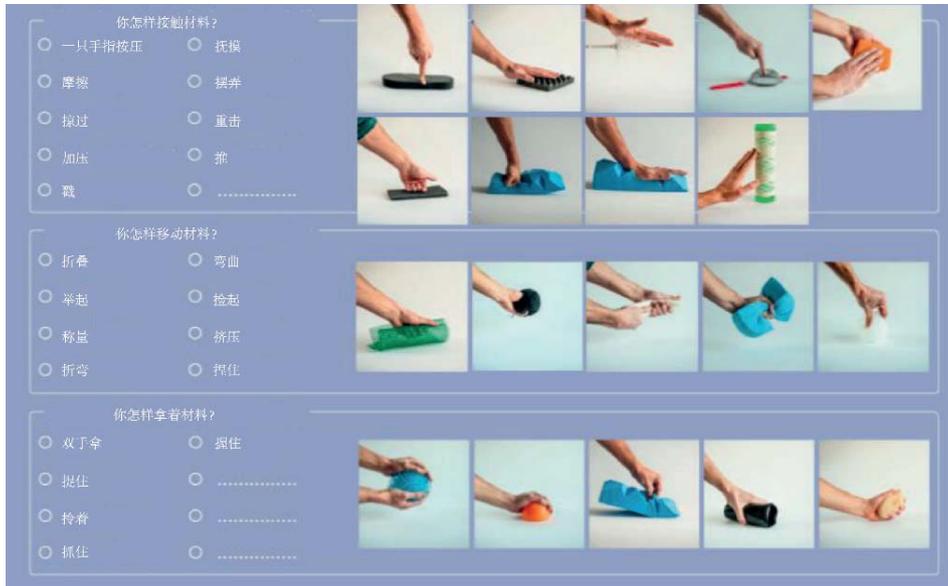


图 5 触觉感知的手势动作^[13]
Fig.5 Tactile perception of gesture movements^[11]

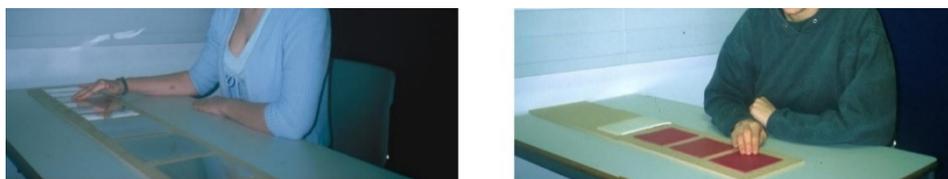


图 6 一组对照实验^[12]
Fig.6 A set of control experiments^[12]

其中,自由探索是更全面、更深层的多模态感知方式。通过这种不受限的感知方式,被试者可以进行更全面的材料体验。例如 Giboreau 等^[14]对汽车内部纺织材料做感知实验时,观察到纺织品专家的4个主要手势,分别用来评估材料的粗糙度、柔软度、厚度、整体质量、舒适度、硬度等。见图7。

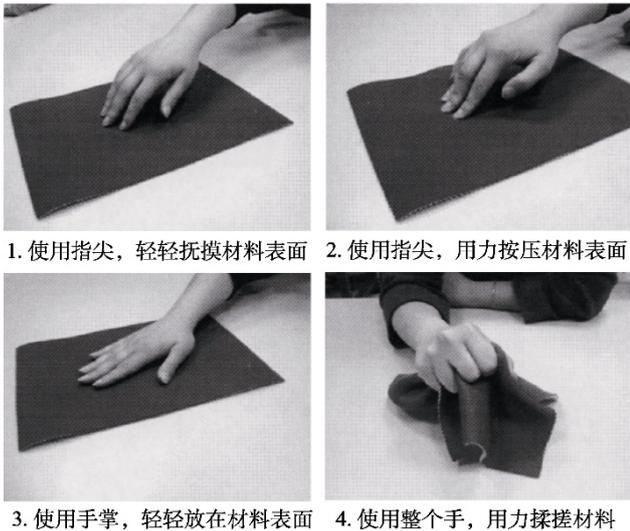


图7 纺织品感知手势^[14]
Fig.7 Textile perception gestures^[14]

2.2.2 心理层次

被试者还会在心理层次上感知材料。心理层次表现为被试者对材料感知的经验,由解释水平和情感水平构成。解释水平是在感官水平之后的产生的,解释水平与被试者如何定义、解释和判断材料和赋予材料意义直接相关联,它构成了被试者对材料感知的一部分的经验^[9]。例如应用在电子产品中,经过拉丝、抛光等工艺处理后的ABS工程塑料,在视觉上看起来更光滑,引起用户“像金属一样的质感”联想。

情感水平通常是无意识产生的,本质上由内心的思想、信念和态度交织而生,是一种心理上的感觉外化现象,通常表现为被试者对某种材料感到着迷、失望、厌恶等心理情感。在感知评价中,情感水平可以反映出材料应用到终端产品上的价值,例如,金属材质的笔记本电脑十分有光泽,让被试者感到着迷;某种材料让被试者感到厌恶,被试者则可能不会买这种材料质地的产品^[9]。

2.2.3 行为层次

行为层次是指在感知评价研究过程中,被试者对材料做出的反应和实践等行为。行为层次是感知评价的第3个层次,受到不同生理层次、心理层次的影响,被试者会做出不同的行为反应。例如,在对某种材质的感知评价研究中,被试者在触觉上感到很软,心理上感觉到很舒服、放松,唤起“揉”“搓”“躺”等行为。

2.2.4 小结

总之,单模态感知可以控制其他感官的影响,如

通过戴墨镜控制视觉,避免在材料感知评价过程中发生“先入为主的偏见”。但单模态感知过程中,心理过程和已有的材料经验会影响感知评价的结果。此外,若非增加控制,感官本身是不会孤立的。综合生理、心理的感知可以提供心理层次上更精准的判断,并影响人们最终的行为。解释水平和情感水平受到过去经验的影响,适用秸秆等常规生态材料,对某些新型复合生态材料,例如咖啡渣,需要进一步改进评价层次框架,即通过预先在生理层次进行感知,见图8。在未来的研究中,生态材料感知实验可以根据具体的实验需要,选择不同类型的感官水平来进行。

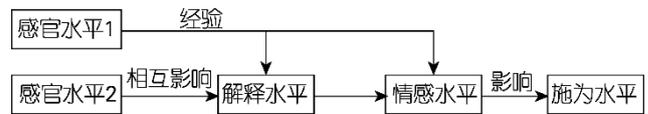


图8 改进的评价层次框架
Fig.8 Improved hierarchical framework of evaluation

2.3 感知评价的实验设置

2.3.1 快速分类实验(Napping)

为了快速获得大量材料样本中不同材料的相似度和差异性,有研究者提出了快速分类实验(Napping),这是一种快速、有效、精度较低的材料分类实验,可用于零经验的被试者,适用于在大量材料样本的感知评价研究中,对材料的分类。例如,Faucheu等^[15]为了探究材料样本表面纹理粗糙和光滑度,通过Napping进行实验,对样本快速分类。

1) 实验设备:一张半透明桌子,背光灯及桌子下方摄像头。桌子上实验区是一个75 cm×75 cm的正方形,见图9。

2) 被试者选择:需要10位被试者,年龄在20~50岁,所有被试者视力正常或矫正到正常,无色盲情况,触觉正常,被试者皆没有材料方面的专业知识,曾经没有过感知评价相关研究经历。

3) 实验材料:11个不同的纹理和饰面的材料样本,放置在一个10 cm×10 cm的标准样本架子上,有一个5 cm×5 cm的窗口显示样本。

4) 实验内容:第1组实验是在黑暗中进行的触觉实验,这样被试者无法看到材料的表面纹理;第2组实验是有照明条件下进行的视觉实验,要求被试者观察样本表面而不接触它;第3组实验是视觉—触觉实验,与前一个测试的条件相似,不同的是允许被试者用手指触摸样品表面^[15]。

5) 实验步骤:被试者站在桌子前用他们的手指探索样本的表面;被试者根据自己的感知,按照位置相近则相似、相远则差异的原则,摆放材料;摆放结束后,摄像头记录每个材料样本的x、y轴坐标。

2.3.2 摄影棚实验

摄影棚实验每次只对某个材料样本单独进行实

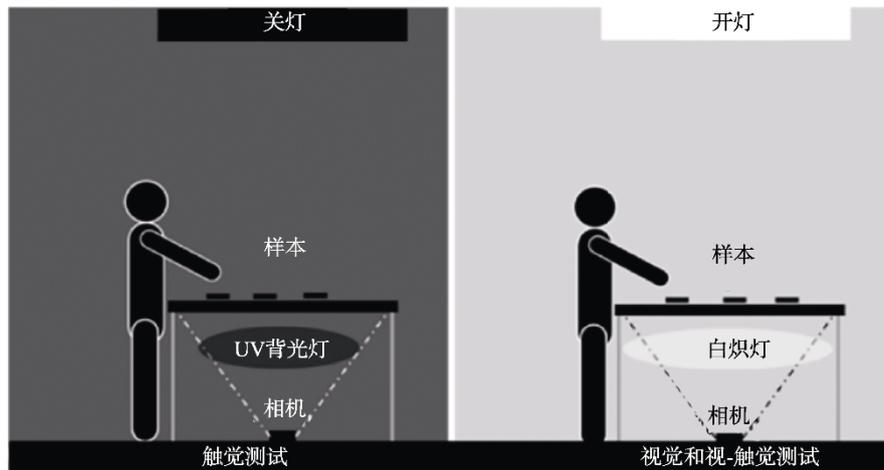


图 9 快速分类实验^[15]
Fig.9 Rapid classification experiment^[15]

验, 因此耗时长、速度慢, 精度较高, 常用于评估用途相同材料的感知差异。例如, Overvliet 等^[16]用摄影棚实验的方法, 观察被试者对样本材料“粗糙度”“柔软度”等自然性的感知评价。

1) 实验设备: 一张桌子, 一个 80 cm × 80 cm × 80 cm 的摄影日光帐篷, 6 个 50 W 灯泡照明, 一个降噪耳机, 见图 10。



图 10 摄影棚实验^[16]
Fig.10 Studio experiment^[16]

2) 被试者选择: 32 名被试者, 年龄在 18~33 岁。所有被试者视力正常或矫正到正常, 无色盲情况, 触觉正常, 被试者皆没有纺织品方面的专业知识, 曾经没有过感知评价相关研究经历。

3) 实验材料: 天然纺织品、人造纺织品以及混合纺织品。样品包裹在 8 cm × 8 cm × 0.5 cm 的片上, 装入 12 cm × 12 cm × 5.5 cm 的灰色塑料盒中, 通过 8 cm × 8 cm 的窗口只能观察样品的顶面。

4) 实验内容: 第 1 组实验是触觉实验, 帐篷的前部用白布覆盖, 以防止被试者看到样本; 第 2 组实验是视觉实验, 被试者可以看到样本, 但不能触摸样本; 第 3 组实验是视觉—触觉实验, 被试者结合以上两种探索方式进行实验。

5) 实验步骤: 实验前, 被试者洗手并擦干, 为了排除听觉影响, 被试者需要戴耳机; 实验时, 被试者坐在桌子前进行实验; 被试者在 3 s 内探索样本, 完成后, 实验人员移除样本, 被试者对其感知到的属性进行评级^[16]。

2.3.3 配对比较实验

为了在相同感知指标下, 观察被试者对不同材料的感知评价结果的差异, 有研究者提出了配对比较实验的方法。配对比较是一种敏捷实验方法, 实验流程简单, 主要应用于两个材料样本之间的对比评估。例如, Piselli 等为了评估被试者是否能感知到材料磨损或老化后表面粗糙度的变化, 进行了材料的配对比较试验。

1) 实验设备: 一张桌子, 一盏日光灯, 一个用来放样本的 45° 支架, 黑色护目镜, 见图 11。



图 11 配对比较^[17]
Fig.11 Pairing comparison^[17]

2) 被试者选择: 12名被试者, 平均年龄为30.2岁。所有被试者视力正常或矫正到正常, 无色盲情况, 触觉正常, 被试者皆没有材料方面的专业知识, 曾经没有过感知评价相关研究经历。

3) 实验材料: 老化程度及粗糙度不同的两个相同材料样本, 尺寸为10 cm×10 cm。

4) 实验内容: 第1组实验是在佩戴黑色护目镜的条件下进行, 以防止被试者看到样本; 第2组实验是视觉实验, 被试者可以看到样本, 但不能触摸样本。第3组实验是视觉—触觉实验, 被试者结合以上两种

探索方式进行实验。

5) 实验步骤: 被试者坐在桌子前, 保持固定的坐姿和距离; 被试者在两个材料样本间进行探索; 被试者对其感知到的属性进行评级^[17-18]。

2.3.4 小结

以上3种实验都基本报告了实验装置和实验条件, 例如桌子、控制光照等, 有的还有定制的实验箱, 在实验材料方面, 均是统一规格大小、扁平块状的材料样本, 适合生态材料。后续研究可以按需选择, 实验内容对比总结见表4。

表4 材料体验实验小结
Tab.4 Summary of the material experience experiment

实验名称	实验装置	条件控制	测试组数	便捷性
快速分类实验 (Napping)	桌子、摄像机、背光灯	光照	3组: 盲触觉、视觉、视触觉	一般
摄影棚实验	桌椅、日光帐篷、日光灯、耳机	光照、温度、洗手	3组: 盲触觉、视觉、视触觉	复杂
配对比较实验	桌椅、支架、日光灯、黑色护目镜	光照	3组: 盲触觉、视觉、视触觉	便捷

2.4 感知实验评价方法

实验结束后, 被试者需要对材料进行主观评价。评价方法主要以材料的视觉和触觉为重点, 用以测量和解释被试者对材料的感知过程^[15,19]。主要分为辨别测试和描述性分析两类^[17], 接下来对其阐释。

2.4.1 辨别测试

辨别测试用于检验材料的相似性或差异性, 包括排序测试、映射测试和分层分组。排序测试是一种简单而快速的评价方法, 基于材料的某种特定属性, 邀请被试者按照主观偏好对实验样本进行排序^[17]。Patrizia等^[19]采用排序测试的方法, 对12种材料进行了评价, 见图12。排序测试适用于扁平 and 块状的材料样本的评价。只需要在桌布上画出一条尺度分界线, 即可进行排序, 缺点是每次只能根据一对形容词组进行排序。

映射测试是一个在二维平面上的四象限评价方法, 允许用两对形容词组进行评估。目的是在两个形容词组定义的感官空间上, 研究被试者对材料感知的相关性和差异性, 越靠近相似性越高^[17], 见图13。映射测试适用于建模、扁平 and 块状的材料样本的评价。在评价之前, 需要将坐标轴制作出来, 映射测试提供了两对形容词组进行排序评价, 过程相对复杂。

为了逻辑清晰且快速分类大量的材料样本, 有学者提出了分层分组的评价方法。被试者根据相似性将一组材料样本分为两个或多个亚组^[1]。例如在Chang等^[20]的研究中, 被试者将一组样本分成两个子组, 并表示出分类的依据, 见表5。分层分组适用于全部材料样本的评价, 在过程中可以根据实际需要来设置分类依据, 这样的评价方法更灵活且更复杂。以上3种辨别测试评价方法的优缺点, 见表6。



图12 排序测试^[19]
Fig.12 Test sorting^[19]

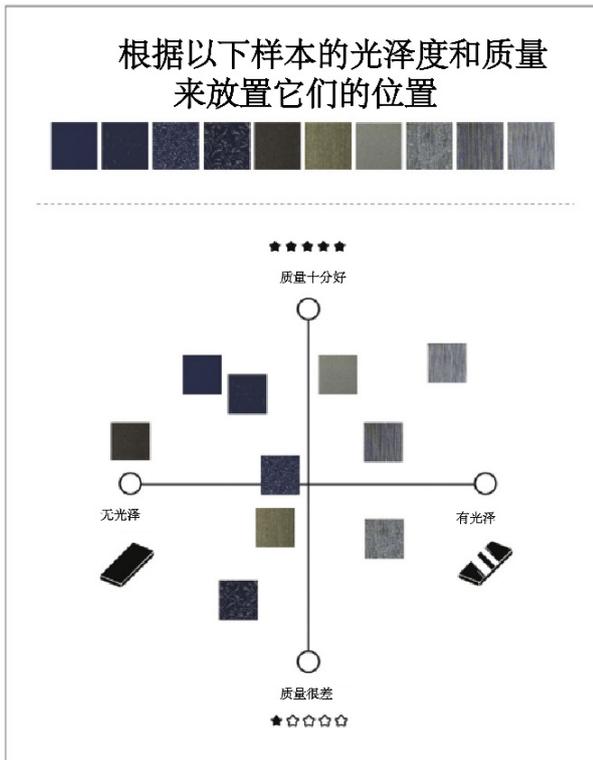


图 13 映射测试^[17]
Fig.13 Mapping tests^[17]

2.4.2 描述性分析

描述性分析主要用于定性和定量评价材料样本, 包括问卷法、量表法及开放式评价。UEQ 团队提供了一份问卷, 其中包含 26 对双极形容词组, 用户从 1-7 进行打分, 见表 7。问卷法是感知评价方法中应用最多的方法之一, 适用于全部的材料样本。问卷法需要提前设计好问卷的内容, 且在双极形容词组 and 材料样本的数量上没有限制, 是一种十分灵活的评价方法。

为了以某一双极形容词组为标准对材料样本进行排序打分, 有研究者提出了用语义差异量表法的评价方法。例如 Lilley 等^[21]使用语义差异量表法来调查用户对手机壳的材料态度。实验者提供一个标有序号用于排序的区域, 被试者在实验后将材料样本排列。例如, 根据光滑到粗糙, 从 1-10 进行材料样本的排序, 见图 14。量表法适用于扁平 and 块状的材料样本的评价, 需要提前准备带序号的排序区域, 只支持一对形容词组的评价, 评价结论更加精确, 且相对便捷。

开放式评价即通过访谈技术来发现总结被试者对材料体验过程的印象, 通常分为结构化访谈、半结构化访谈、自由访谈 3 种方式, 可以收集到比较详细的评价结论和数据, 但流程麻烦、耗时^[1]。开放式评价适用于全部材料样本的评价。与前两种相比, 该方法

表 5 分层分组
Tab.5 Hierarchical grouping

阶段	步骤	分组															
阶段 1	分组原因	男性的 (阳刚的) 或女性的 (阴柔的)															
	子组	1								2							
	材料	M1,M2,M4,M8,M9,M14,M15,M16,M17,M18,M21,M22,M27,M29,M30								M3,M5,M6,M7,M10,M11,M12,M13,M19,M20,M23,M24,M25,M26,M28,M31,M32							
阶段 2	分组原因	传统的或现代的印象								产品曲率							
	子组	1.1				1.2				2.1				2.2			
	材料	M1,M15,M21,M17,M18,M9,M29				M2,M4,M8,M16,M14,M30,M22,M27				M28,M20,M25,M13,M11,M3,M5				M23,M7,M10,M12,M19,M31,M32,M26,M24,M6			
阶段 3	分组原因	功能键和键盘布局				运动或娱乐				显示屏形状				按键和按钮类型			
	子组	1.1.1		1.1.2		1.2.1		1.2.2		2.1.1		2.1.2		2.2.1		2.2.2	
	材料	M27,M2,M8,M22,M14		M4,M16,M30		M1,M15,M18,M29		M17,M9,M21		M20,M25,M28		M3,M5,M1,M13		M7,M23,M24,M26,M10		M6,M10,M32,M31,M12,M19	
阶段 4	子组	1.1.1	1.1.1	1.1.1	1.1.1	1.1.2	1.1.2	1.1.2	1.1.2	1.2.1	1.2.1	1.2.1	1.2.1	1.2.2	1.2.2	1.2.2	1.2.2

注: 表中 M 代表 Material 材料英文单词的缩写。

表 6 辨别测试评价方法的优缺点
Tab.6 Identification of advantages and disadvantages of the test evaluation method

评价方法名称	适用性	全面性	便捷性
排序测试	扁平的材料样本、块状的材料样本	一般	便捷
映射测试	建模图片样本、扁平的材料样本、块状的材料样本	良好	一般
分层分组	文字描述样本、建模图片样本、扁平的材料样本、块状的材料样本	优秀	复杂

表7 UEQ团队26对评价形容词问卷
Tab.7 26 pairs of evaluation adjectives questionnaires in UEQ team

序号		1	2	3	4	5	6	7	序号		1	2	3	4	5	6	7	
1	令人不快的	○	○	○	○	○	○	○	14	令人厌恶的	○	○	○	○	○	○	○	招人喜爱的
2	费解的	○	○	○	○	○	○	○	15	传统的	○	○	○	○	○	○	○	新颖的
3	富有创造力的	○	○	○	○	○	○	○	16	不合意的	○	○	○	○	○	○	○	合意的
4	易学的	○	○	○	○	○	○	○	17	可靠的	○	○	○	○	○	○	○	靠不住的
5	有价值的	○	○	○	○	○	○	○	18	令人兴奋的	○	○	○	○	○	○	○	令人昏昏欲睡的
6	乏味的	○	○	○	○	○	○	○	19	符合预期的	○	○	○	○	○	○	○	不合期望的
7	无趣的	○	○	○	○	○	○	○	20	低效的	○	○	○	○	○	○	○	高效的
8	无法预测的	○	○	○	○	○	○	○	21	一目了然的	○	○	○	○	○	○	○	令人眼花缭乱的
9	快的	○	○	○	○	○	○	○	22	不实用的	○	○	○	○	○	○	○	实用的
10	独创的	○	○	○	○	○	○	○	23	井然有序的	○	○	○	○	○	○	○	杂乱无章的
11	妨碍的	○	○	○	○	○	○	○	24	吸引人的	○	○	○	○	○	○	○	无吸引力的
12	好的	○	○	○	○	○	○	○	25	引起好感的	○	○	○	○	○	○	○	令人反感的
13	复杂的	○	○	○	○	○	○	○	26	保守的	○	○	○	○	○	○	○	创新的



图14 语义差异量表排序^[21]
Fig.14 Semantic difference scale sorting^[21]

自由度最高,可以挖掘到除双极形容词组以外的评价信息,但访谈的准备过程复杂。问卷法、量表法、

开放式评价 3 种描述性分析评价方法的优缺点,见表 8。

2.4.3 小结

辨别测试的 3 种材料感知评价方法主要是用来归类和寻找相似或互斥的材料特性,寻找多个材料之间的相互关系的方法;而描述性分析的 3 种方法则主要应用于对每种材料样本进行定性或者定量的分析。在未来对生态材料实践研究中,需要通过对比实验,以判断生态材料在美学和理化特性等方面是否可以替代工程材料,适用于描述性分析中的方法。辨别测试中的方法则可以用来为构建生态材料库提供丰富的数据或帮助大量生态材料的预先筛选工作。

表8 描述性分析评价方法的优缺点
Tab.8 Advantages and disadvantages of descriptive analysis evaluation methods

评价方法名称	适用性	全面性	便捷性
问卷法	文字描述样本、建模图片样本、扁平的材料样本、块状的材料样本	优秀	一般
量表法	扁平的材料样本、块状的材料样本	一般	便捷
开放式评价	文字描述样本、建模图片样本、扁平的材料样本、块状的材料样本	优秀	复杂

3 生态材料感知评价方法模型构建

3.1 理论方法

扎根理论起源于格拉斯和斯特劳斯两人在 20 世纪 60 年代在一所医院里对医务人员处理即将去世的病人的一项实地观察,目前,该理论广泛应用于社会学、管理学、心理学、经济学、设计学等领域,很多研究者都借助于该理论提出了具有较高学术价值的论点和理论模型^[22-23],有较高的普适性。例如:周浩等^[24]

采用扎根理论的方法,构建了本土篮球球迷的球队认同概念模型。范欧莉^[25]在研究中立足扎根理论,构建了民宿评价模型。

研究旨在构建一套适用于生态材料的感知评价方法模型。通过该模型,对批量生产制造的生态材料进行感知评价的实验,并与其他材料分析比较,有助于提升生态材料终端产品的多模态品质。目前相关领域的研究处于前期阶段,因此,本研究以扎根理论自下而上的研究方式对相关文献进行归纳分析,见图 15。

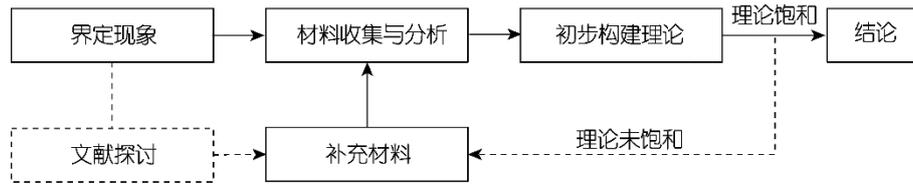


图 15 扎根理论流程图
Fig.15 Grounded theoretical flowchart

3.2 研究材料编码

本研究以文献为研究材料, 遵循扎根理论的原则对文献资料进行整理和编码, 编码方法依次为开放式编码、主轴编码、选择性编码。严格按照“持续比较”的原则, 对范畴和理论进行提炼和修改, 直至达到理论饱和^[26]。

3.2.1 开放式编码

开放式编码是对原始材料辨别、强调和标记有意义单元的过程, 这些单元可能是词语、短语或更长的文本片段。本研究的文献材料收集与开放式编码同步进行, 每次材料收集后就对材料进行转录和编码, 编码结束后以编码结果引导下一步文献材料的选取, 直至信息饱和^[24], 合并相似度大、内涵接近的词句, 饱和状态时, 共提取 39 条原始语句。本研究中, 开放式编码遵循 3 个步骤: 贴标签→概念化→范畴化。本文首先从现有文献中梳理反映与材料感知评价相关的主体及样本、层次、实验、评价方法 4 个方面相关的原始语句, 并分析进行贴标签。

例如, 研究中的两句原始语句显示: “茶梗人造板弯曲弹性模量较弱, 原因是茶梗本身的纤维形态长宽比所导致, 本次加工中尝试通过粉碎、筛选、分层铺装的方法改变纤维状态提升材料性能” “除了增加储物功能之外, 包括可移动性、增加使用面积、改变使用方式从而赋予新的功能这些”。将上两句原始语句分别贴上“弹性模量弱、重组加强材料性能”和“储物功能、移动功能、增大面积、改变方式”的标签。

而后, 将反映同一类现象的标签总结成相应的概念, 分别用“强度”和“功能”来标识, 然后, 对这两个概念进行归纳并形成对应的范畴, 用“物理质量指标”标识。遵循以上步骤, 经过反复归纳、提炼和比较, 尽量排除个人预设和偏见后, 得到 32 个概念和 19 个范畴, 部分内容见表 9。

3.2.2 主轴编码

主轴编码通过挖掘范畴间的潜在内涵和逻辑关系, 发现和建立各个独立范畴之间的各种联系, 归纳为主范畴。本研究在开放式编码基础上, 挖掘 19 个基本范畴之间的关联。主轴编码按照“条件→行动→结果”这一典范模型对开放式编码形成的 19 个基本范畴进行归类、抽象和提炼, 并把范畴之间的关系按照这个逻辑展现。其中条件是指某一现象发生的情境, 行动是指针对该情境所做出的反应, 结果是行动后果。例如, 开放式编码形成的“生理层次”“心理层次”“行为层次”3 个基本范畴可以在这一模型范式下整合为一条逻辑“轴线”, 纳入主范畴——“感知评价层次”。在感知过程中, 首先被试者用手触摸样本材料、用眼睛观察, 在感官上建立了感知评价的条件; 其次被试者对样本产生心理上的认知情感; 最后被试者被唤起某种行为, 例如抚摸。其中, 实验材料可以用其他基本范畴概括, 故筛去这个基本范畴。遵循以上步骤, 最终归纳形成了 7 个主范畴: 感知评价主体、材料样本类型、实验设置、感知评价层次、感知评价方法、理化性能、审美体验, 见表 10。

表 9 原始材料概念化与范畴化 (部分)
Tab.9 Conceptualization and categorization of raw materials (part)

原始材料列举	概念化	范畴化
竹材属于禾本科竹亚科植物, 是一种天然的环保材料, 竹材本身并不对环境造成压力, 竹子也是很容易降解的再生材料	生态的、可生物降解	生态材料
重新利用其结构和系统, 可以减少对新材料的需求, 从而减少了对资源开采、运输, 以及这些过程中造成的能源、垃圾和其他影响	可回收、可持续的	
一份为金属、陶瓷、聚合物和天然材料准备的材料感知的问卷	文字展示材料	文字描述型样本
初步的 25 种材料使用 3D 软件在一个中立的立方体上建模并通过渲染软件清晰和明确可视化材料的原色。	渲染图	
3 种材料——金属、塑料和玻璃, 被映射到 Photo Works 和 Maya 软件中选择的 4 种形式	建模图	建模图片样本
材料由 10 个相同区域的刚性表面组成 (10 cm×10 cm)	扁平材料	扁平的材料样本

表 10 主轴编码形成的主范畴
Tab.10 Main category formed by the spindle encoding

主范畴	基本范畴	范畴关系
感知评价主体	生态材料	生态材料是感知评价实验的主体，是构建本研究模型的主体
材料样本类型	文字描述型样本	文字、图片属于平面的材料样本，扁平的和块状的属于立体的材料样本，都属于材料样本的类型
	建模图片样本	
	扁平的材料样本	
	块状的材料样本	
实验设置	实验目的	实验目的、设备、被试者、内容、步骤是实验设置的 5 个要素
	实验设备	
	被试者选择	
	实验内容	
	实验步骤	
感知评价层次	生理层次	感知由生理过渡到心理，由心理过渡到行为。生理层次属于直观感受，心理层次属于经验和内心的想法，行为层次是引发的实践行为，共同构成感知评价层次
	心理层次	
	行为层次	
感知评价方法	辨别测试 描述性分析	辨别测试用于评价材料某些属性的相似性或差异性；描述性分析用于定性和定量评价材料的某些属性。两者都是感知评价的方法
理化性能	物理质量指标	物理的质量指标是功能、强度等，化学的质量指标是耐腐蚀、耐久性、甲醛含量等；均属于理化性能
	化学质量指标	
审美体验	外观	外观是审美体验的首要因素

3.2.3 选择性编码

选择性编码是扎根理论分析的最后步骤，是指通过描述现象或事件的“故事线”来梳理和发现核心范畴，把核心范畴与主范畴系统地联结起来，搜集新的资料验证其间的逻辑关系。通过归纳和整合主轴编码阶段的 7 个主范畴，探究核心范畴与主范畴之间内在联系和关系，发现感知评价主体是生态材料，生态材料及样本类型可以归纳为物质层，实验设置可以归纳为实验层，感知评价层次和方法可以归纳为评价层，理化性能和审美体验是产品因素，可以归纳为产品层。由此得到故事线：为了帮助企业破除双碳指标制约企业正常生产的刚性约束，研究人员寻找可能有机会替代工程材料的主体（某种“生态材料”），并设计成适合进行实验评估的统一规格样本类型，完成实验前物质层面的准备。根据目的、设备、被试者选择、实验内容、实验步骤 5 个方面进行实验设置，满足实

验层面的需求。在实验结束后，研究人员指导被试者按照感知评价层次，采用合理的感知评价方法对实验过程进行主观评价，完成评价层面的工作。最后通过分析评价层结果，得到“审美体验”的数据结论，再结合“理化性能”数据结论，帮助判断是否能够替代工程材料进行批量化生产，达到批量生产的产品层面的要求。根据以上分析，提炼出 4 个核心范畴：物质层、实验层、评价层、产品层，见表 11。

3.3 模型构建

本研究尝试在批量生产制造的终端产品材料选择上，提供一种新的生态环保材料的可行性解决方案和用于验证的评价方法模型。经过开放式编码、主轴编码和选择性编码 3 个阶段，各范畴之间的关系结构已基本确定。在此基础上，构建了面向生态材料的感知评价模型，见图 16，并对生态材料感知评价方法模型进行进一步阐释^[25]。

表 11 选择性编码形成的核心范畴
Tab.11 Core category formed by the selective encoding

核心范畴	主范畴	范畴关系
物质层	感知评价主体 材料样本类型	感知评价主体是生态材料，研究人员选用生态材料的类别及样本的类型是感知评价模型的第一步，属于物质层的范畴
实验层	实验设置	实验设置包括目的、设备准备、被试者选择、内容及步骤 5 个范畴，对不同目的的实验，依据不同的范式进行设计，属于实验层的范畴
评价层	感知评价层次 感知评价方法	实验结束后，研究人员指导被试者按照感知评价层次，采用合理的感知评价方法对实验过程进行主观评价，是评价层的内在属性
产品层	理化性能 审美体验	生态环保材料能否代替石油制成的材料，需要从产品的层面去检测和验证，其理化性能和审美体验是十分重要的属性，决定了消费者的购买行为，属于产品层的范畴

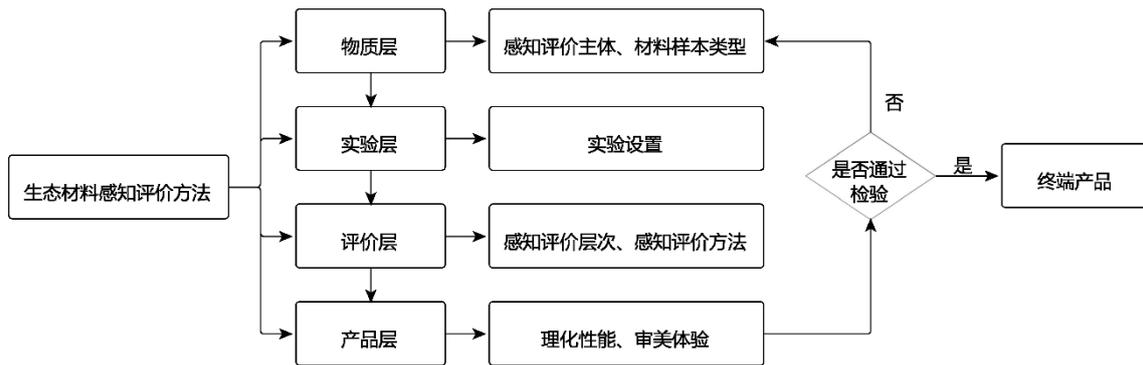


图 16 生态材料感知评价方法模型

Fig.16 Model of ecological material perception evaluation method

物质层是基础,在感知评价进行前,首先要选择一种或多种材料,作为评价模型的物质基础。从文献资料中,研究人员挖掘生态环保材料,并尝试替代石油制成的塑料材料,无论是像金属等建筑废弃材料,还是通过实验制备的复合天然材料(咖啡渣)或天然生长材料(菌丝体)等,都是作为物质基础,用来制备成某个产品。

实验层是手段,当确定并制备了生态环保材料后,针对不同的实验目的,进行不同的实验设置。从文献资料中,研究人员可以用快速分类实验的设置来对材料的某种属性进行相似度和差异性的分类;通过摄影棚实验的设置来评估单个材料的各方面属性;还可以通过配兑实验的方式来对比两种材料的差异和共性。

评价层是方法,实验过程中,感知评价层次指导了被试者根据什么层次去体验材料,实验结束后,感知评价方法指导了被试者根据何种指标和维度去进行主观评价。

产品层是验证,在主观评价过程中,依据评价层,对生态环保材料制备成的产品的审美体验各个方面进行评价,对产品理化性能进行理化实验的检验,最终根据数据和结合被试者访谈结果,对检验未通过的产品,进一步创新原材料并优化制造工艺,并再次进行实验和评价,直到检验通过。

4 实践应用

本研究选取了混凝土材料制成的无线充电宝产品进行设计与评价。混凝土是在拆除建筑过程中产生量最大的建筑垃圾,因此消除混凝土对环境的污染,提高混凝土再生经济效益是工业设计领域中的重要课题。

当前,消费者对混凝土制成的生活类产品的接受度不高,以及当前缺乏相应的感知评价方法,无法指导材料研发企业根据用户的需求提高混凝土材料的外观美化。鉴于此,基于准确的感知评价系统,指导企业开发出一种外观美化且有良好理化性能的混凝土制备工艺材料具有广阔的市场需求。

4.1 实验一

4.1.1 物质层(刺激物选择)

首先研究选取了应用混凝土再回收一般制备工艺,即涂覆涂层工艺和浸渍硅烷工艺制成的无线充电器,进行了感知评价实验,为了便于多模态感知,刺激物选用扁平化的材料样本设计,按照上述文中 2.1 部分标准参考制成,即直径为 119.52 mm、厚度为 20.74 mm、质量为 551.7 g,见图 17a。对照刺激物为当前在某购物平台消费者满意度最高且销量最高的无线充电产品,其主要材质为塑料,除厚度为 14.77 mm 外,其余规格与实验刺激物一致,见图 17b。

4.1.2 实验层与体验层(程序与方法)

选择 60 名被试者(26 名女性,34 名男性;平均年龄为 20.5 岁的年轻消费人群)。所有被试者视力正常或矫正到正常,无色盲情况,触觉正常,被试者皆没有混凝土材料方面的专业知识,曾经没有过感知评价相关研究经历。研究团队为了探究实验刺激物的感知特性及与对照刺激物的相似和差异性,邀请 60 名被试者分别开展了摄影棚实验和配对比较实验,在每次实验结束后,要求被试者填写主观问卷和接受访谈。其中,主观评价即进行 1~7 分的美观评定和喜爱度评定,主要从上述文献中抽取了愉快-不愉快,光滑-粗糙,硬-软、粘-滑、有吸引力-无吸引力、新颖的-老旧的、美观的-难看的等作为主要评价指标。

4.1.3 产品层(结果分析和解决方案)

采用 SPSS22.0 对两种材料制成的无线充电器的美观评分、喜爱程度评分进行了重复测量分析。结果分析发现,被试者对对照刺激物(塑料)的喜爱程度和美观评定显著高于实验刺激物(混凝土), $F(1,19)=18.60$, $P<0.01$,存在主效应。结合被试者访谈的结果综合来看,混凝土制成的产品外观质量差、表面粗糙、表面存在色差、长时间使用容易出现漏浆现象、质感档次低廉,与塑料制成的产品有一定的差距。由此,研究团队根据专利检索和多次实验评价及试验,提出了一种基于有机硅树脂的混凝土外观美化材料制备



a 实验刺激物（混凝土）

b 对照刺激物（塑料）

图 17 实验一的刺激物
Fig.17 Irritants of experiment I

工艺，采用纯丙乳液和苯丙乳液与其进行复配，旨在解决实验一中出现的问题，修复混凝土表面的色差，保持混凝土自然的质感和肌理的同时，还具有表面光滑和防腐蚀性能，使混凝土结构保持良好的美学和耐久性。

4.2 实验二

4.2.1 物质层（刺激物选择）

实验二的刺激物同样按照 2.1 部分参考制成，采用了基于有机硅树脂的混凝土外观美化材料制备工

艺，以混凝土为凝剂，并采用纯丙乳液和苯丙乳液与其进行混合硬化，经表面研磨、抛光而成，其外观结构、耐久性等理化性能保持稳定，最终成型效果见图 18。

4.2.2 实验层与体验层（程序与方法）

被试者和实验目的与实验一相同，分别开展了摄影棚实验、配对比较实验，在每次实验结束后，要求被试者填写主观问卷和接受访谈，应用与实验一相同的评价指标进行了感知性能评价。

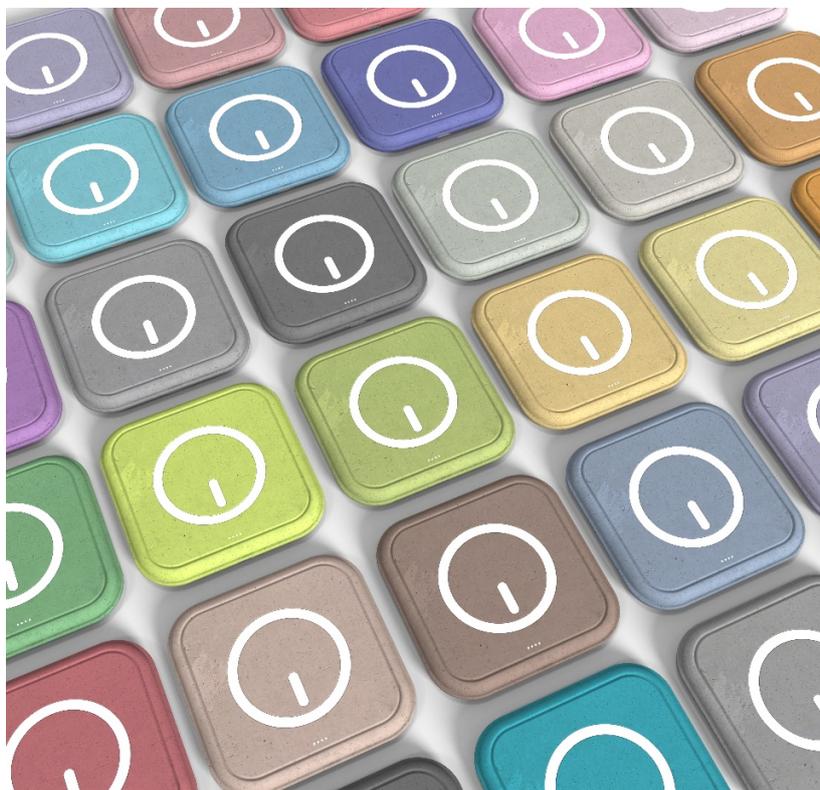


图 18 实验二的刺激物
Fig.18 Irritants of experiment II

4.2.3 产品层(结果分析与讨论)

采用 SPSS22.0 对两种材料制成的无线充电器的美观评分、喜爱程度评分进行了重复测量分析。结果分析发现,被试者对照刺激物(塑料)的喜爱程度和美观评定与新制成的实验刺激物(混凝土)之间无显著性差异($F=1.82, P=0.126$),不具备统计学意义,而后采用最小显著性差异法(Least Significant Difference, LSD)进行事后两两比较后,发现对照刺激物(塑料)与新制成的实验刺激物(混凝土)之间无显著差异。

结合上述统计结果表,被试者对照刺激物(塑料)和新制成的实验刺激物(混凝土)在外观喜好方面无差异,研究基于有机硅树脂的混凝土外观美化材料制备工艺制成混凝土的产品外观质量较好,在用户审美喜好上可以用来替代对照刺激物(塑料),产品表面光滑、色彩丰富且色差小,还原产品质感且保留了天然肌理,在外观质量方面得到了显著的提升。有效改善了一般制备工艺混凝土制成的产品表面粗糙、色差的问题,并有效保持了混凝土结构的耐久性。

5 结语

当前我国大量制造业为完成双碳目标,需要寻找低碳能源代替石油制成的材料,虽然生态材料的发展前景十分广阔,但当前制约其发展的因素是,生态环保材料经过重新加工后,在理化性能与审美体验层面,与石油制成的材料有较大的品质差距,消费者主体审美接受度不高、使用体验较差。本研究结合心理学、设计学、感性工学等科学研究和材料研究促进与自然合作的解决方案,旨在为碳中和背景下,可持续设计提供跨学科方法和研究技术。首先,研究通过文献梳理,甄选了适用于生态环保材料的感知评价方法,以及结合实验心理学,丰富了感知评价方法的维度和细则,并最终构建了一套评价模型,对现有可持续设计、接受美学等理论有所增值;其次,基于该模型对现有产品的感知评分进行了实验;最后,基于实验结果,提出了基于有机硅树脂的混凝土外观美化材料制备工艺,其实验结果和统计分析结果表明,本研究构建的评价模型能够有效指导生态环保材料的设计方向,帮助获得理想的制备工艺和配方,从而创新原材料与优化制造工艺,优化废弃物排放机制,助力企业破除双碳指标制约企业正常生产的刚性约束。

参考文献:

- [1] VEELAERT L, DU B E, MOONS I, et al. Experiential Characterization of Materials in Product Design: A

Literature Review[J]. *Materials & Design*, 2020, 190: 108543.

- [2] CHOI J. Material Selection by the Evaluation of Diffuse Interface of Material Perception and Product Personality[J]. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 2017, 11(4): 967-977.
- [3] VEELAERT L, DU B E. Xploring the Fit Between Materials Expressive Values and the Self-Expression of the End-User[C]// Berlin: Springer International Publishing AG, 2018: 2045-2066.
- [4] KARANA E, VAN WEELDEREN W, VAN WOERDEN E J. The Effect of Form on Attributing Meanings to Materials[C]// Proceedings of ASME 2007 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. New York: Amer Soc Mechanical Engineers, 2008: 471-487.
- [5] ETZI R, SPENCE C, GALLACE A. Textures that we Like to Touch: An Experimental Study of Aesthetic Preferences for Tactile Stimuli[J]. *Consciousness and Cognition*, 2014, 29: 178-188.
- [6] KARANA E, BARATI B, ROGNOLI V, et al. Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences[J]. *International Journal of Design*, 2015, 9: 35-54.
- [7] SAUERWEIN M, KARANA E, ROGNOLI V. Revived Beauty: Research into Aesthetic Appreciation of Materials to Valorise Materials from Waste[J]. *Sustainability*, 2017, 9(4): 529.
- [8] MERLEAU-PONTY M. *Phenomenology of Perception*[M]. London: Routledge, 1982.
- [9] GIACCARDI E, KARANA E. Foundations of Materials Experience: An Approach for HCI[C]// Chi 2015: Proceedings of the 33rd Annual Chi Conference on Human Factors in Computing Systems. New York :ACM, 2015: 2447-2456
- [10] SILVENNOINEN J M, ROUSI R, JOKINEN J P P, et al. Apperception as a Multisensory Process in Material Experience[C]// Proceedings of the 19th International Academic Mindtrek Conference. New York: ACM, 2015.
- [11] MARTÍN R, ISERINGHAUSEN J, WEINMANN M, et al. Multimodal Perception of Material Properties[C]// Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception. New York: ACM, 2016: 33-40.
- [12] ZUO H, JONES M. An Investigation into the Sensory Properties of Materials[C]// Proceedings of the International Conference on Affective Human Factors Design. London: Asean Academic Press, 2001: 500-507.
- [13] CAMERA S, KARANA E. Experiential Characterization of Materials: Toward a Toolkit[C]// Design Research Society Conference 2018. Ireland : University of Limerick , 2018: 25-28
- [14] GIBOREAU A, NAVARRO S, FAYE P, et al. Sensory

- Evaluation of Automotive Fabrics[J]. *Food Quality and Preference*, 2001, 12(5-7): 311-322.
- [15] FAUCHEU J, CAROLI A, CURTO B, et al. Experimental Setup for Visual and Tactile Evaluation of Materials and Products through Napping® Procedure[C]// DS 80-9 Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED 15). User-Centred Design. Design of Socio-Technical systems. Milan: Design Soc, 2017: 27-30.
- [16] OVERVLIET K E, KARANA E, SOTO-FARACO S. Perception of Naturalness in Textiles[J]. *Materials & Design*, 2016, 90: 1192-1199.
- [17] PISELLI A, BASSO M, SIMONATO M, et al. Effect of Wear from Cleaning Operations on Sintered Ceramic Surfaces: Correlation of Surface Properties Data with Touch Perception and Digital Image Processing[J]. *Wear*, 2017, 390-391.
- [18] PISELLI A, BAXTER W, SIMONATO M, et al. Development and Evaluation of a Methodology to Integrate Technical and Sensorial Properties in Materials Selection[J]. *Materials & Design*, 2018, 153: 259-272.
- [19] D'OLIVO P, DEL C B, FAUCHEU J, et al. Sensory Metrology: When Emotions and Experiences Contribute to Design[C]// DS 75-7: Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED13). Glasgow: Design Soc, 2013.
- [20] CHANG C C, WU J C. The Underlying Factors Dominating Categorical Perception of Product Form of Mobile Phones[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2009, 39(5): 667-680.
- [21] LILLEY D, SMALLEY G, BRIDGENS B, et al. Cosmetic Obsolescence? User Perceptions of New and Artificially Aged Materials[J]. *Materials & Design*, 2016, 101: 355-365.
- [22] 陈向明. 扎根理论的思路和方法[J]. *教育研究与实验*, 1999(4): 58-63.
- CHEN Xiang-ming. Thinking and Methods Based on Theory[J]. *Educational Research and Experiment*, 1999(4): 58-63.
- [23] 许泽君, 刘键, 邹锋. 基于扎根理论的用户惊喜感设计策略探究[J]. *包装工程*, 2021, 42(16): 167-173.
- XU Ze-jun, LIU Jian, ZOU Feng. Production Design Strategies for UXD of Surprise Based on Grounded Theory[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(16): 167-173.
- [24] 周浩, 石岩. 篮球球迷的球队认同概念模型研究[J]. *天津体育学院学报*, 2017, 32(6): 506-513.
- ZHOU Hao, SHI Yan. Team Identification Conceptual Model of Basketball Fans[J]. *Journal of Tianjin University of Sport*, 2017, 32(6): 506-513.
- [25] 范欧莉. 顾客感知视角下民宿评价模型构建——基于扎根理论研究方法[J]. *江苏商论*, 2011(10): 37-39.
- FAN Ou-li. Construction of B&B Evaluation Model from the Perspective of Customer Perception—Based on Grounded Theory Research Method[J]. *Jiangsu Commercial Forum*, 2011(10): 37-39.
- [26] 黄玉波, 雷月秋. 漂绿广告的想象与感知: 基于扎根理论的方法[J]. *现代传播*, 2019, 41(6): 124-130.
- HUANG Yu-bo, LEI Yue-qiu. Imagination and Perception of Greenwashing's Advertising: A Method Based on Grounded Theory[J]. *Modern Communication*, 2019, 41(6): 124-130.

责任编辑: 陈作