arXiv:2603.01377v1 [cs.HC] 2 Mar 2026

从可持续材料到以用户为中心的可持续性：艺术疗愈中的材料体验

预印本

Yuxin Zhang *
清华大学美术学院，中国北京市海淀区，100084
zhangyuxin@mail.tsinghua.edu.cn

张帆
清华大学美术学院，中国北京市海淀区，100084
zhang-f24@mails.tsinghua.edu.cn

宋子豪
北京化工大学材料科学与工程学院，中国北京市朝阳区，邮编100029，
2021400176@buct.edu.cn

赵超
清华大学美术学院，中国北京市海淀区，邮编100084，
zhaochao@tsinghua.edu.cn

2026年3月3日

摘要

本研究以水凝胶为基体开发可持续材料，并探讨从可持续材料到以用户为中心的可持续性的转变，尤其关注如何通过材料体验实现艺术疗愈。研究结果表明，在涉及视觉、触觉和嗅觉的多模态材料体验中，“审美”特性对艺术疗愈的影响最大，其次是“内在”特性，而“物理”特性的影响相对有限。此外，本研究提出了一个材料体验框架，使设计师能够系统、全面地理解材料特性。研究强调，在材料设计过程中考虑用户的心理感知和情感需求至关重要。

关键词　可持续材料 · 材料体验 · 计算美学 · 感性工学

1 引言

在一个面临资源有限与严峻环境挑战的世界中，追求更加可持续的生活方式已变得日益迫切 [1]。然而，可持续性是一个宽泛且多面向的概念。从生态学视角来看，可持续性描述的是生物系统长期保持健康、多样且富有生产力的能力。因此，可持续性是一个适用于更高层次生物组织（如生态系统）而非单个物种的概念 [2]。从人类视角来看，可持续性，或更具体地说可持续发展，被定义为“在不损害后代满足其自身需求的能力的前提下，满足当代人的需求” [3]。因此，实现可持续发展目标（SDGs）与众多研究领域深度交织，并且必须始终处于未来科学技术进步的前沿。鉴于可持续发展目标的复杂性与多维性质，实现这些目标往往需要跨学科协作以及跨多个领域的综合方法 [4]。在推动可持续发展的诸多学科中，设计发挥着关键作用，它不仅塑造产品的功能，也塑造产品的情感共鸣 [5, 6]。在此背景下，材料选择成为衔接技术性能与用户体验的关键因子。作为产品设计过程中的关键阶段，材料选择显著影响制造成果的可持续性，同时也充当一种媒介

*Yuxin Zhang，设计学博士，研究方向包括工业设计、材料体验、情感工程和人机工程学。更多学术信息请参阅其 ORCID 个人资料：https://orcid.org/0000-0001-8100-3649

用于传递信息并唤起情绪反应 [7]。在许多情况下，这种传播媒介甚至比其所传达的内容更为重要 [8]。然而，选择合适的材料是一个具有挑战性的过程，需要管理大量关于材料属性的信息 [9]。此外，只有少数设计工程师能够全面理解产品制造中所用材料的全部特性 [7]。因此，对材料在生态与社会维度中所发挥作用形成系统化、基于框架的理解变得尤为必要。

大量研究考察了材料可持续性，主要关注材料的环境影响和资源回收 [10–12]。与此同时，自20世纪以来，艺术与医疗保健的结合不断拓展，涉及建筑、室内设计、创造性艺术疗法和疗愈艺术等领域 [13]。越来越多的研究探讨了创造性艺术的作用 [14, 15], , 研究表明，创造性艺术有助于缓解焦虑、抑郁和疼痛，同时提升整体生活质量 [16]。尽管“疗愈”这一概念难以界定 [17], , 但在补充与替代医学（CAM）的语境中，它被用来描述一种更广泛的现象，包括干预、过程、结果或心理状态 [18]。作为一门强调创造性表达和感官体验的设计学科，材料设计与艺术疗愈的原则和实践密切契合。另一项研究也指出，材料并非孤立存在，而是与自然环境、艺术表达和疗愈逻辑紧密交织。人与材料之间的互动能够触发疗愈效果。在感官层面，材料激活身体感知，重建身心联系；在象征层面，材料承载情感，促进创伤与情绪的转化 [19]。Sonke等人 [20]对美国医疗保健中的艺术应用所做的综述指出，早期研究缺乏坚实的理论框架，并强调有必要明确区分实证研究与过程导向评估。此外，探讨患者对参与或接受艺术疗愈干预所获益处的主观感知的研究相对较少 [13]。在此背景下，从艺术视角开发和设计材料——运用创造性思维调和工程性能与艺术表达——成为一个重要且恰逢其时的研究领域。近年来，人们对艺术疗愈日益浓厚的兴趣促使学者重新审视其在设计中的作用，尤其是从以用户为中心的视角出发。值得注意的是，Karana等人 [21] 提出了“材料体验”这一概念，旨在连接物质性与感知，为从感知与体验维度考察材料提供了宝贵见解。基于这一视角，我们认为，材料体验是将可持续材料与以用户为中心的可持续性联系起来的关键途径。具体而言，在艺术疗愈语境中，材料体验的核心在于使可持续行为符合用户的习惯和体验预期，而不是要求用户为“环境保护”作出妥协。这样，用户在享受感官体验的同时，也能切实实现材料的可持续价值。此外，材料体验还能提升用户参与度，增强长期用户忠诚度和互动频率。

然而，从可持续材料转向以用户为中心的可持续性仍面临诸多挑战与局限。环保吸管就是一个典型例子：尽管它们在材料选择和生产方面实现了环境效益并支持资源回收，但在实际使用中，往往难以满足功能性和用户体验方面的需求。这些不足降低了用户接受度和使用频率，最终限制了环保吸管的广泛应用。这表明，若仅优先考虑材料可持续性，而忽视用户需求和体验，就难以实现真正有意义的可持续性。因此，可持续性不应只关注材料本身，还必须涵盖以用户为中心的可持续发展。通过提升用户与材料互动时的体验，进而提高产品使用频率，可以最大限度地发挥材料的价值，真正实现从可持续材料向以用户为中心的可持续性的转变 [22, 23]。图1总结了从可持续材料向以人为中心的可持续性的转型路径[24–26]。我们发现，在材料设计和选择过程中，不仅要关注功能性，也必须重视材料的感知维度。只有通过全面、系统的材料规划，才能创造出不仅具备技术功能、还能引发用户情感共鸣的产品[27, 28]。

本研究旨在通过材料体验，探索可持续材料在艺术疗愈方面的潜力，并进一步发挥这一潜力，将其应用拓展至以用户为中心的可持续设计。通过整合多感官体验，本研究力求为材料设计提供新视角，并推动可持续性思维从传统的环境保护导向，转向更以用户为中心的可持续发展方法。

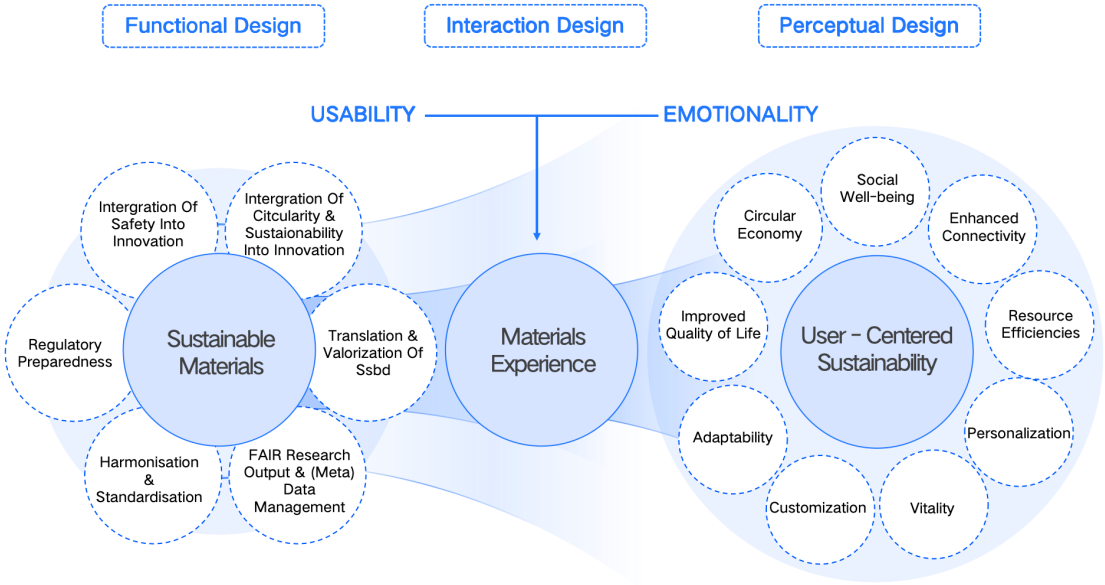


图1：基于材料体验的概念框架：从可持续材料到以用户为中心的可持续性

2 实验

2.1 方法

本研究采用混合方法，结合定量分析与定性问卷，探讨可持续材料在促进艺术疗愈方面的潜力。研究以水凝胶为基质材料，并添加多种可持续填料，制成具有不同感官属性的材料。在材料体验过程中，这些材料的感官属性被视为研究变量。参与者体验不同材料，并提供与艺术疗愈相关的主观反馈；这些反馈是评估以用户为中心的可持续性实现程度的关键指标。为系统探究材料体验对用户感知的影响，本研究采用了Karana等人提出的材料体验框架 [29]。借助这一框架，研究结合自身目的，进一步探讨材料体验与艺术疗愈之间的关系。随后，研究构建结构方程模型，考察在材料体验情境下，从可持续材料到以用户为中心的可持续发展的作用路径。此外，本研究结合路径系数与问卷数据，进一步分析特定材料特性如何通过材料体验机制，引导可持续材料实现以用户为中心的可持续发展。

2.2 刺激物

刺激物的制造方法是将水凝胶基体与可持续填充物进行复合。这些可持续填料主要来源于天然材料残余物、天然生物以及具有回收价值的废弃物。在艺术疗愈的语境中，我们强调这些填料所蕴含的自然属性，探讨它们能否在材料体验中带来独特的疗愈感 [30]。在这些材料中，植物基填料因其能够通过“感官互动”和“生态联结”实现疗愈目标而被纳入研究 [31]。此外，我们关注作为生物基材料的动物皮革，其以独特的质地和持久的物理属性而著称。所有这些填料均来源于自然环境，正是这种源自自然的活力使其有别于传统的工业材料。通过将这些可持续填料加入水凝胶基体，制备出了一系列刺激物。共制备了28种刺激物，其中一种为不含任何填充物的水凝胶基体，作为对照组，其余27种为水凝胶基体与可持续填充物的复合材料。所制备的刺激物及可持续填充物如图2所示。

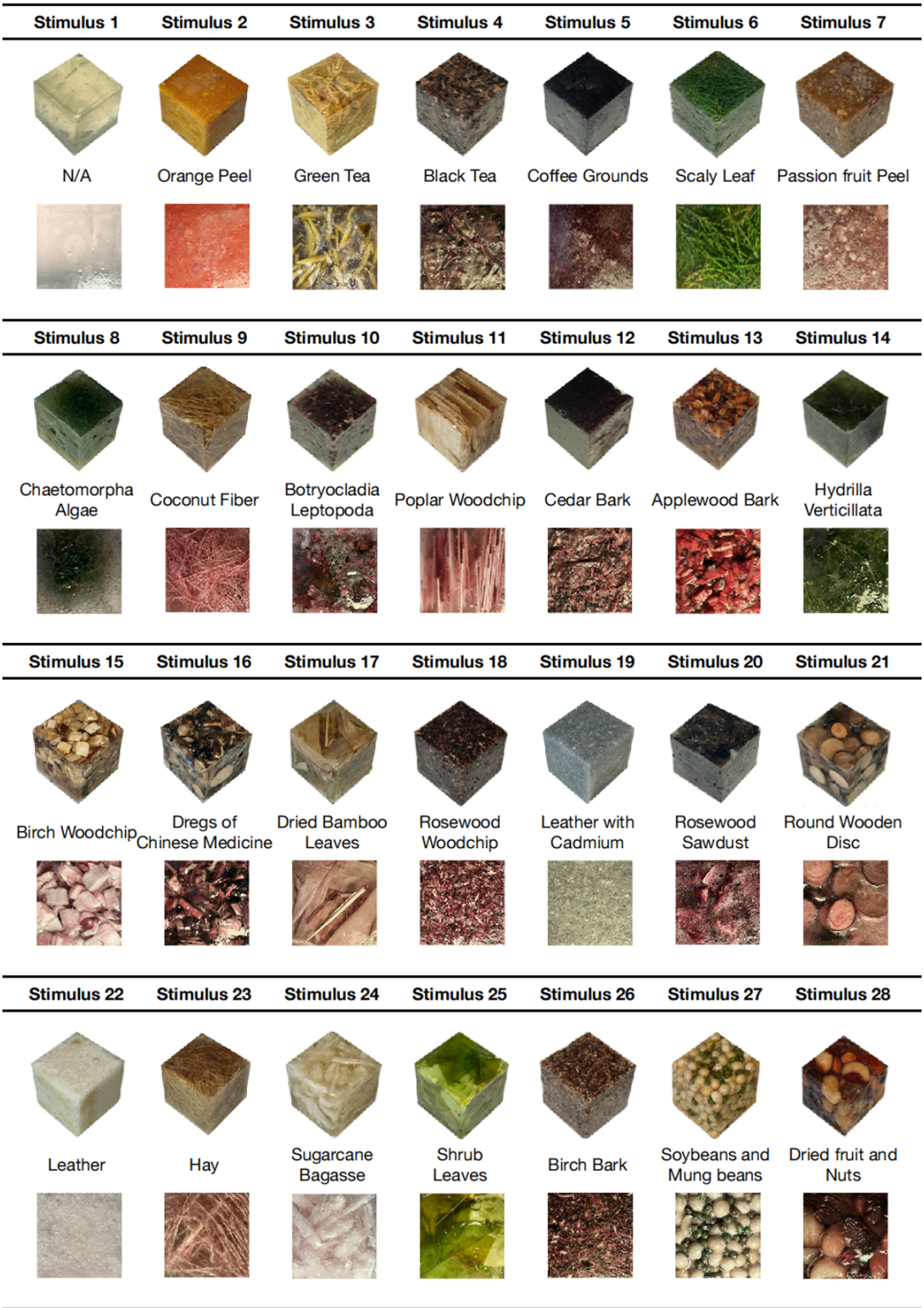


图2：用于艺术疗愈的可持续材料设计。通过向水凝胶基体中添加可持续填料制备可持续材料。共制备了28种可持续材料，包括1种仅含基体、不含填料的材料和27种复合材料

2.2.1 基质材料

水凝胶基体由明胶和κ-卡拉胶混合制备。具体而言，将明胶（10 wt%）置于去离子水（D.I. water）中，在室温下溶胀30分钟，随后在60 ℃下磁力搅拌30分钟，使其完全溶解。接着，将κ-卡拉胶（2 wt%）加入明胶溶液中，持续搅拌1小时，以确保均匀。然后将所得溶液倒入一个5 cm3的硅胶模具中，并在2 ℃下冷藏2小时，以完成凝胶化过程。脱模后，得到尺寸精确的透明凝胶立方体。对于含有填充材料的水凝胶复合材料，浇注溶液前需将块体填料仔细放置在硅胶模具中。颗粒状或粉末状填料则先通过均质操作均匀分散于水凝胶溶液中，再浇注到模具中。

2.2.2 填充材料

本研究选用的填充材料具有可持续特性。这些生物填料具有多种基本特性，有望取代炭黑或无机矿物填料，从而减少对石油的依赖。此外，它们可生物降解，有助于有效降低对环境的影响 [32]。具体而言，刺激物2、7和24的填充材料分别取自橙皮、百香果皮和甘蔗渣，这些都是农作物不可食用的部分。刺激物8和14使用天然海藻作为填料，其独特结构具有出色的吸湿性和保湿性。此外，海藻的弹性和柔软度使其能够为某些材料带来良好的柔韧性和耐久性，尤其适用于需要增强结构稳定性的场景。刺激物3、4和5分别使用废弃绿茶、红茶和咖啡渣作为填料，它们都是日常饮用饮品产生的废弃物。我们保留其原始状态，直接将其用作填料。刺激物19和22的填充材料分别为含镉皮革和皮革。作为一种天然材料，它们具有出色的耐久性和柔软度。刺激物9和23分别使用椰壳纤维和干草，它们具有纤维材料的特性。我们重点关注其纤维特性如何影响材料的感知体验。刺激物6、17和25分别使用鳞叶、干竹叶和灌木叶作为填料。植物叶片作为一种天然材料，具有独特的质地、结构和颜色。刺激物16使用中药药渣，即东方草药使用后的副产品。这种药渣通常来自经过多次煎煮的草药，并会散发独特气味，往往带有浓郁的草本香气。此外，中药药渣具有重要的文化价值。刺激物27和28使用由两种混合物组成的填料，分别为大豆与绿豆、干果与坚果。我们重点考察非单一形态填料在印象评价中的表现。其余刺激物（刺激物10、11、12、13、15、18、20、21、26）均使用木材作为填料，但我们对木材的形态进行了控制，包括将其研磨成细颗粒（刺激物12、18、26）、粗颗粒（刺激物10、13）、切片（刺激物11）、切成段（刺激物15、20），以及保持其自然结构（刺激物21）后用作填料。基于上述27种可持续填料，我们制备了27种可持续复合材料。

2.3 印象评价条目

详尽且可靠的词汇对于准确描述感知体验至关重要 [33]。因此，我们参考了涉及视觉、触觉和嗅觉感知的材料体验研究 [34–36], ，并从文献中选取了 15 组常见的印象评价项目，以确保本研究具有普适性。此外，我们还邀请五位参与者进行了预实验。

参与者通过视觉、触觉和嗅觉互动，自由体验刺激物，并使用表达正面和负面含义的形容词描述材料体验。这一过程有助于确保所选印象评价项目与本研究中的刺激物充分相关。我们收集了 135 个自由描述的形容词，并将同义词合并，选出出现频率最高的 15 组形容词，以纳入印象评价实验。由于自由描述中有 8 组评价项目与参考文献中的项目重复，因此印象评价实验最终采用了共 22 组形容词，如表1所示。

本研究旨在通过量化用户反馈并探索以用户为中心的可持续性，考察材料体验的艺术疗愈效果。为此，我们设计了五个问题，如表2所示，以探讨以下方面：

1. 评估材料唤起厌恶或愉悦的能力，从而衡量材料与用户之间的积极情感联结。不喜欢—喜欢评价项能够实时捕捉用户的情绪反应，揭示不同用户群体在产品满意度和吸引力上的差异，有助于识别设计问题，因此被广泛使用。2. 考察材料是否引发焦虑或平静的感受，以凸显其情绪调节特性。焦虑是一项主要的心理健康问题，会影响个体的情绪、认知、

表1：基于视觉、触觉和嗅觉感知的材料体验印象评价项目

印象评价项			
坚硬 – 柔软	旧 – 新	肮脏 – 干净	重 – 轻
冷 – 暖	质朴 – 华丽	暗 – 明亮	强 – 弱
多云 – 清澈	黏的 – 滑的	粗俗的 – 优雅的	坚固 – 易碎
阴暗的 – 闪亮的	廉价的 – 奢华的	人工的 – 自然的	有序的 – 无序的
粗糙 – 光滑	传统的 – 现代的	简单的 – 复杂的	弹性 – 可塑性
单色的 – 多彩的	不好的触感 – 好的触感		

行为及生理反应，而针对焦虑—放松评价项的干预在改善心理健康方面已显示出显著效果 [37]。

3. 探索材料是否能激发用户的好奇心和创造力，并着重考察其认知和动机方面的影响。创造力为疗愈提供了一种“非对抗性”的表达方式，使个体能够以更安全、更灵活的方式处理内心冲突。“乏味—有趣”是评估创造力的重要评价项 [38, 39]。

4. 确定材料是否会引发精神疲劳或使用户恢复活力，并评估其对精神能量水平的影响。疲劳是一种复杂的主观体验，涵盖心理、身体和情绪方面等多个领域，可能由身体活动、脑力活动或情绪活动引起 [40]。

5. 确定材料是否会引起生理或心理不适。世界卫生组织（WHO）强调，产品舒适度在提升用户体验和治疗依从性方面发挥着重要作用 [41]。同时，舒适的状态有助于减轻生理压力、改善情绪稳定性并提升认知表现。

表2：用户中心可持续性探索问卷

材料体验中的艺术疗愈相关问题
这种材料会引发排斥感还是愉悦感？（不喜欢 – 喜欢）
这种材料会让你感到紧张还是平静？（焦虑 – 放松）
这种材料会激发你的探索欲或创造力吗？（乏味 – 有趣）
这种材料会让你感到精神疲劳还是充满活力？（疲劳 – 活力）
该材料是否会引发身体或心理上的不适？（不适—舒适）

2.4 数据处理与分析

本研究采用7点语义差异法（SD），通过对成对描述性形容词进行程度评价来收集数据。具体而言，研究使用结构化问卷，邀请10位参与者对28种刺激物进行评分，共获得280份有效数据。经数据核验，确认所有样本均无缺失值且完整性良好，可直接用于后续统计分析。

本研究使用IBM SPSS Statistics 27.0进行描述性统计、因子分析和层次聚类，并使用SPSS Amos 29.0构建和验证结构方程模型（SEM）。此外，使用Python（版本3.13.3）及matplotlib库（版本3.10.3）绘制图表。统计显著性水平设定为 $p < 0.05$，所有统计检验均采用双尾检验，以确保结果的可靠性和严谨性。统计显著性水平定义如下：*表示$0.01 \leq p < 0.05$，**表示 $0.001 \leq p < 0.01$，***表示 $p < 0.001$。

2.4.1 探索性因子分析（EFA）

在因子分析过程中，本研究采用了变量筛选和模型验证标准：仅保留特征值大于 1.0 的公因子 [42], ，从而有效提炼原始变量的核心信息，并确保具有足够的解释力。对于印象评价条目，仅纳入因子

载荷大于 0.6 且交叉载荷小于 0.4 的条目，以确保条目归属的唯一性和独立性，并维持因子结构的清晰度与稳定性。

在模型拟合评估中，采用多维指标验证因子分析结果的有效性：Kaiser-Meyer-Olkin（KMO）取样适切性量数超过0.7，且Bartlett球形检验结果具有统计学显著性（$p < 0.05$），共同确认数据适合进行因子分析。所提取公因子的累计解释方差大于60%，表明保留的因子充分捕捉了原始变量中的大部分方差。

2.4.2 结构方程模型（SEM）

结构方程建模（SEM），又称协方差结构建模或因果建模，是一种广受欢迎、功能强大且先进的统计技术 [43]，它整合回归分析与因子分析，以估计涉及潜变量的结构方程 [44]。结构方程模型的目的在于理论检验 [45] ，并构建解释因果效应的结构模型 [43]。本研究在结构方程模型中采用最大似然估计（MLE）方法，基于材料体验探索从可持续材料到以用户为中心的可持续性的转化路径。

为评估模型的拟合优度，本研究采用了结构方程模型中常用的七项成熟指标。χ^2/df 比率用于衡量观测协方差矩阵与预测协方差矩阵之间的差异。拟合优度指数（GFI）和调整拟合优度指数（AGFI）用于量化模型所解释的方差与协方差比例，而比较拟合指数（CFI）和Tucker-Lewis指数（TLI）则将拟议模型与基准模型进行比较。近似误差均方根（RMSEA）和标准化均方根残差（SRMR）用于衡量观测相关性与预测相关性之间的平均差异 [46, 47]。评估遵循以下基准：$\chi^2/df \leq 3.00$；GFI、AGFI和CFI ≥ 0.90；TLI ≥ 0.95；RMSEA和SRMR ≤ 0.08，以确保对模型适切性的评估既严谨又切实可行。在构念信度与效度评估中，组合信度（CR）值均高于0.7，达到内部一致性可接受的标准。聚合效度通过平均方差提取量（AVE）进行评估，所有因子的AVE值均大于0.5，证实这些因子能够有效汇聚所测条目的共同方差 [48]。

2.4.3 层次聚类

计算纳入结构方程模型的印象评价项目的平均值，并采用组间联接法进行聚类，以平方欧氏距离衡量数据相似性。该方法能够定量评估材料感官属性的相似与差异，并以结构化、直观的方式呈现材料之间的相关性与区别。

2.4.4 因子得分

计算各可持续材料在不同因子上的平均得分，并将其展示在三维空间中。此外，在二维平面上呈现因子之间的两两关系，并计算因子之间的相关性。同时，对仅含基质材料的刺激物1与其余27种可持续材料在各因子上的得分进行t检验。随后汇总与刺激物1相比，得分显著增加、显著减少或无显著差异的刺激物数量。

2.5 参与者与实验环境

印象评价实验共有10名参与者，分别来自清华大学、北京化工大学和千叶大学。参与者年龄在23至35岁之间，其中男性5名，女性5名。每位参与者都接受过至少4年的设计或材料相关教育，拥有工程学、科学或艺术领域的学位。其中，5人拥有学士学位，3人拥有硕士学位，2人拥有博士学位。这些参与者不仅在产品和材料开发方面经验丰富，还拥有工业设计、用户体验、材料设计、感性工学及CMF相关领域的研究背景。与普通用户相比，他们对材料有更深入的了解，感知能力也更为精细。鉴于他们的专业素养，我们认为他们能为解读材料体验及其疗愈效果提供更有价值的见解。此外，他们跨多个领域的多元知识也有助于更全面地理解这一问题。因此，我们选择由一小组专业参与者开展实验，旨在探索材料与感知之间的趋势。

实验开始前，我们对每个评价项都进行了充分说明，以确保参与者对形容词的理解一致。参与者可以自由体验所有刺激物，以确保他们充分了解各个刺激物之间的差异。体验刺激物的时间不受限制；在评价实验中，参与者可以通过视觉、触觉和嗅觉感觉来体验材料。印象评价实验的条件为：温度25°C、湿度30%、照度300–500 lx，色温4000–4500 K。

3 结果与讨论

3.1 探索性因子分析

Kaiser-Meyer-Olkin（KMO）取样适切性量数为0.925，Bartlett球形检验的P值小于0.001，表明具有统计显著性。因子分析揭示出三个特征值大于1的因子，它们共同解释了总方差的70.052%。在最初的22个评价项目中，“冷-暖”和“传统-现代”两个条目因因子载荷低于0.6而被剔除。结果如表3所示。

表3：采用最大似然估计与Promax旋转的因子分析模式矩阵

因子载荷与解释方差				
评价项	成分			提取
	审美	内在	物理	
人工的 – 自然的	0.906	-0.104	-0.017	0.771
粗俗的 – 优雅的	0.905	0.119	-0.005	0.885
简单的 – 复杂的	0.862	-0.160	0.000	0.696
单色的 – 多彩的	0.813	-0.012	-0.098	0.602
质朴 – 华丽	0.811	0.051	0.042	0.714
廉价的 – 奢华的	0.788	0.075	-0.046	0.627
有序的 – 无序的	0.723	-0.145	0.059	0.519
不好的触感 – 好的触感	0.654	0.239	0.104	0.656
多云 – 清澈	-0.055	0.880	-0.004	0.750
阴暗的 – 闪亮的	-0.074	0.844	-0.052	0.652
暗 – 明亮	-0.005	0.827	-0.018	0.669
肮脏 – 干净	-0.007	0.827	0.018	0.694
旧 – 新	0.022	0.819	-0.060	0.640
强烈 – 温和	0.040	0.707	0.083	0.577
坚固 – 易碎	-0.065	-0.158	0.919	0.703
重 – 轻	0.075	-0.044	0.795	0.655
粗糙 – 光滑	-0.031	0.174	0.734	0.660
强 – 弱	0.023	-0.099	0.699	0.450
可塑性 – 弹性	-0.048	0.083	0.687	0.502
黏的 – 滑的	0.032	0.123	0.668	0.554
特征值	7.810	3.865	2.335	—
累计 (%)	39.050	19.325	11.677	—
累计贡献率 (%)	39.050	58.375	70.052	—

因子分析结果显示，第一个因子包含 8 个条目，可解释总方差的 39.050%，克 Cronbach α 系数达到 0.937，内部一致性极强。该因子聚焦于审美、形态和质感维度，被命名为“审美”属性。第二个因子包含 6 个条目，可解释总方差的 19.325%，克 Cronbach α 系数为 0.921。其内容主要涉及材料的光反射率、表面洁净度，以及材料状态随时间发生的变化；这些是材料在自然环境中形成的内在属性，不受任何外部条件的临时影响，因此被命名为“内在”属性。第三个因子同样包含 6 个条目，可解释总方差的 11.677%，克 Cronbach α 系数为 0.885。它与材料的物理力学属性直接相关，例如硬度、重量和表面粗糙度，这些属性可以通过物理实验和直接观察进行

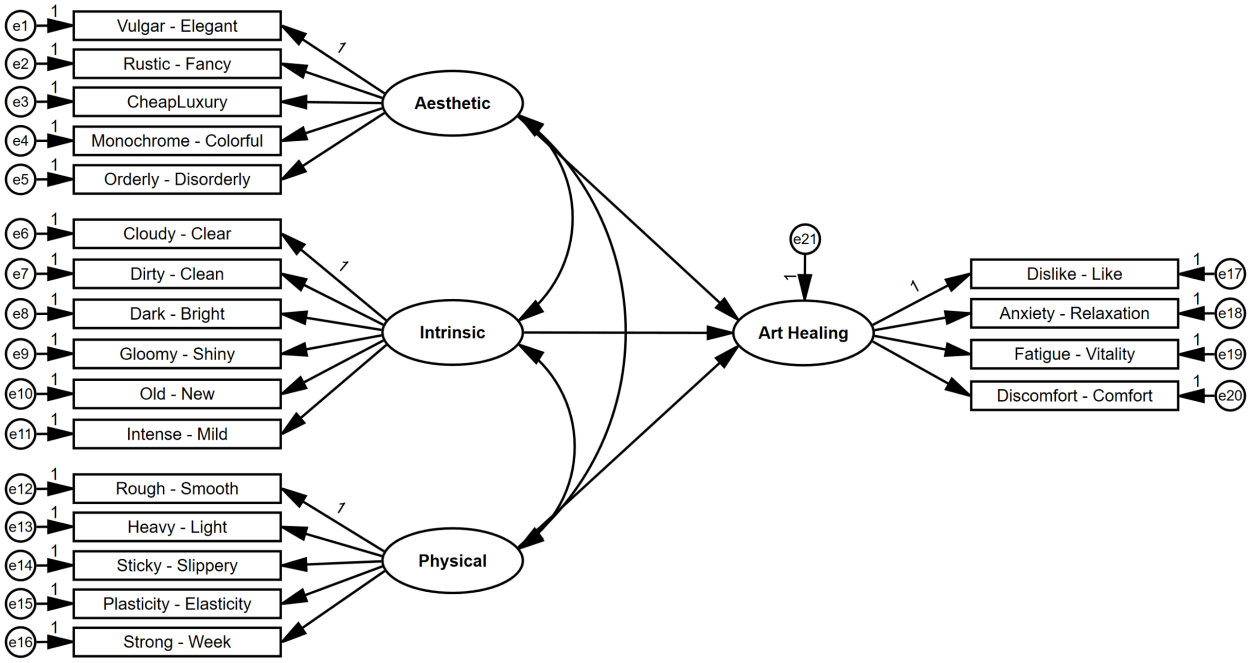


图3：通过ArtHealing探索从可持续材料向以用户为中心的可持续性的转变：结构方程建模路径图

测量。该因子主要反映材料的物理特征，因此被命名为“物理”属性。

3.2 结构方程模型

基于探索性因子分析的结果，我们构建了结构方程模型，并通过调整优化了模型拟合。最终模型如图3所示。表4汇总了模型拟合指标。分析表明，χ^2/df、GFI、CFI、TLI、RMSEA和SRMR等指标均显示出极佳的模型拟合。尽管AGFI未完全达到0.9，但已非常接近，并处于可接受范围内。总体而言，这些指标证实该模型实现了拟合良好，并有效表征了变量之间的内部关系。此外，这一结果也表明本研究构建的理论框架具有较高的准确性和科学有效性。

表4：模型拟合指标与模型评估

模型拟合指标							
	χ^2/df	GFI	AGFI	CFI	TLI	近似误差均方根	SRMR
临界值	< 3.00	> 0.900	> 0.900	> 0.900	> 0.950	< 0.080	< 0.080
分析结果	1.647	0.910	0.885	0.972	0.968	0.048	0.050
模型评估	拟合良好	拟合良好	可接受	拟合良好	拟合良好	拟合良好	拟合良好

表5和表6分别报告了结构方程模型的参数估计值，以及构念的组合信度（CR）、平均方差提取量（AVE）和因子间的协方差矩阵。结果表明，所有构念的CR值均大于0.7，AVE值均高于0.5，说明该模型具有令人满意的内部一致性信度和聚合效度。此外，各构念AVE值的平方根均大于其与其他构念的相关系数（表7），表明该模型也具有可接受的区分效度。

表7报告了因子间的路径系数。结果表明，“审美”“内在”和“物理”属性对“艺术疗愈”的标准化回归系数分别为0.706***、0.408***和0.107*。A

表5：结构方程模型参数估计

结构方程模型参数

因子	Item	非标准化	S.E.	t值	P	Std.	SMC
审美	粗俗的 – 优雅	1.000				0.944	0.891
	质朴 – 华丽	0.936	0.041	22.761	***	0.865	0.748
	廉价的 – 奢华的	0.660	0.036	18.514	***	0.790	0.624
	单色的 – 多彩的	0.756	0.045	16.615	***	0.747	0.558
	有序的 – 无序的	0.687	0.050	13.717	***	0.669	0.448
内在	多云 – 清澈	1.000				0.867	0.752
	肮脏 – 干净	0.974	0.055	17.859	***	0.833	0.694
	暗 – 明亮	0.969	0.056	17.298	***	0.817	0.667
	阴暗 – 闪亮	0.877	0.052	16.788	***	0.803	0.645
	旧 – 新	0.903	0.055	16.384	***	0.791	0.626
	强烈 – 温和	0.848	0.055	15.417	***	0.762	0.581
物理	粗糙 – 光滑	1.000				0.855	0.731
	黏的 – 滑的	1.068	0.072	14.764	***	0.784	0.615
	重 – 轻	0.996	0.071	14.080	***	0.757	0.573
	可塑性 – 弹性	0.960	0.073	13.203	***	0.721	0.520
	强 – 弱	0.751	0.076	9.849	***	0.571	0.326
艺术疗愈	不喜欢 – 喜欢	1.000				0.889	0.790
	焦虑 – 放松	1.103	0.056	19.787	***	0.858	0.736
	疲劳 – 活力	1.001	0.052	19.349	***	0.848	0.719
	不适–舒适	0.930	0.052	17.827	***	0.812	0.659

表6：组合信度（CR）、平均方差提取量（AVE）和相关系数

组合信度（***CR***）、平均方差提取量（***AVE***）和相关系数矩阵

因子	CR	AVE	审美	内在	物理	艺术疗愈
审美	0.903	0.654	0.809			
内在	0.921	0.661	0.310	0.813		
物理	0.859	0.553	0.443	0.497	0.744	
艺术疗愈	0.914	0.726	0.785	0.557	0.408	0.852

表7： 可持续材料的体验属性对以用户为中心的可持续性的影响

路径系数

路径分析			非标准化	S.E.	t值	P	Std.
审美	→		0.547	0.039	14.019	***	0.706
内在	→	艺术疗愈	0.413	0.050	8.177	***	0.408
物理	→		-0.128	0.062	-2.068	0.039	-0.107

进一步分析表明，“审美”属性对“艺术疗愈”的影响最强，其次是“内在”属性，而“物理”属性的贡献相对有限。

3.3 层次聚类

层次聚类分析的结果如图4所示。根据树状图的截断线，28种刺激物可分为七个主要簇（A组–G组），每组还可根据更细致的特征进一步划分为子簇，具体如下：

• A组：A组由可再生来源的材料构成，例如植物残渣。数据分析显示，该组刺激物在“审美”“内在”和“物理”属性这三个因子上的得分均略低于中性点（量表中点 = 4）。结合访谈结果可知，这些环保材料在日常生活中相对常见，其复合材料的感官特征与填充材料十分相似。进一步细分A组后发现，与A1子组相比，A2子组的材料呈现出更鲜明的特征。例如，由不同种类水果残渣制成的刺激物2和7散发出天然香气，带来独特的感官体验；刺激物13则以鲜艳的色彩脱颖而出。与A1子组中的刺激物相比，这些刺激物在所有因子上的总体评分都更高。尽管参与者能够清楚地感知到材料的可持续性，但其感官品质相对较弱。

• B组：B组由两个子组构成：B1子组以海藻为填充物，B2子组则是由干果和坚果混合制成的复合材料。这两种材料在“审美”属性下的其他四个条目中得分较低，但在“有序—无序”条目上的得分较高。此外，它们在“物理”属性上的得分也较高，参与者普遍认为其表面质地光滑。然而，由于其颜色暗淡、填料结构混乱，未能激发人们持续使用的意愿。

• C组：C组仅包含一种刺激物——刺激物16。该刺激物使用的填充物十分独特，由中药残渣制成。它在所有因子上的得分都极低。参与者访谈进一步印证了这一发现：所有参与者都明确表示，其感官体验极差，涉及视觉、触觉和嗅觉等方面。我们推测，这种负面认知可能与服药时的痛苦记忆密切相关。

• D组：D组由刺激物19和22组成，两者均使用皮革填料。与其他可持续材料相比，它们属于再加工产品，可持续性和环境友好性较低。该组材料的特点是“审美”属性得分较低，而“内在”属性得分较高。这可能是因为天然材料具有更多不可控的随机特征，而经过二次加工的皮革制品外观更加均匀，却失去了天然材料的随机性。

• E组：E组由刺激物1、24和27组成。统计结果显示，这些刺激物在“内在”和“物理”属性上的得分较高，具体表现为洁净度强、光泽明亮、触感柔软、具有失重感且弹性高。参与者表示，这组材料带来了简约清新的感受，进而增强了他们继续使用的意愿。E1子组与E2子组的区别在于，后者加入了大量大豆和绿豆，导致材料的弹性有所下降，重量有所增加。

• F组：F组仅包括刺激物15和21。该组刺激物以木材作为填充物。然而，与A组的粉末填料不同，F组的填料为木块。统计结果表明，该组材料在“审美”属性上得分较高。参与者普遍认为这些刺激物具有强疗愈，尤其是因为基体中的木块所营造的空间感显著提升了材料的审美吸引力。尽管它们在“物理”属性上得分较低——被认为重且粗糙——但这对其疗愈效果的影响有限。

• G组：G组由两个子组组成，共包含七种刺激物。该组的刺激物主要源自完整植物材料，呈现出纤维状或片状的形态特征。参与者普遍认可，这些材料的体验品质有助于带来情绪疗愈感。数据还显示，该组刺激物在三个因子上的得分均较高。具体而言，G1子组在所有因子上的表现都优于G2子组，主要归因于其鲜绿色外观。相比之下，G2子组色彩不够鲜明，被认为是其评分略低的主要原因。参与者访谈进一步表明，G1子组的刺激物更受青睐，尤其是绿色所带来的强烈疗愈感，以及对材料触觉品质的

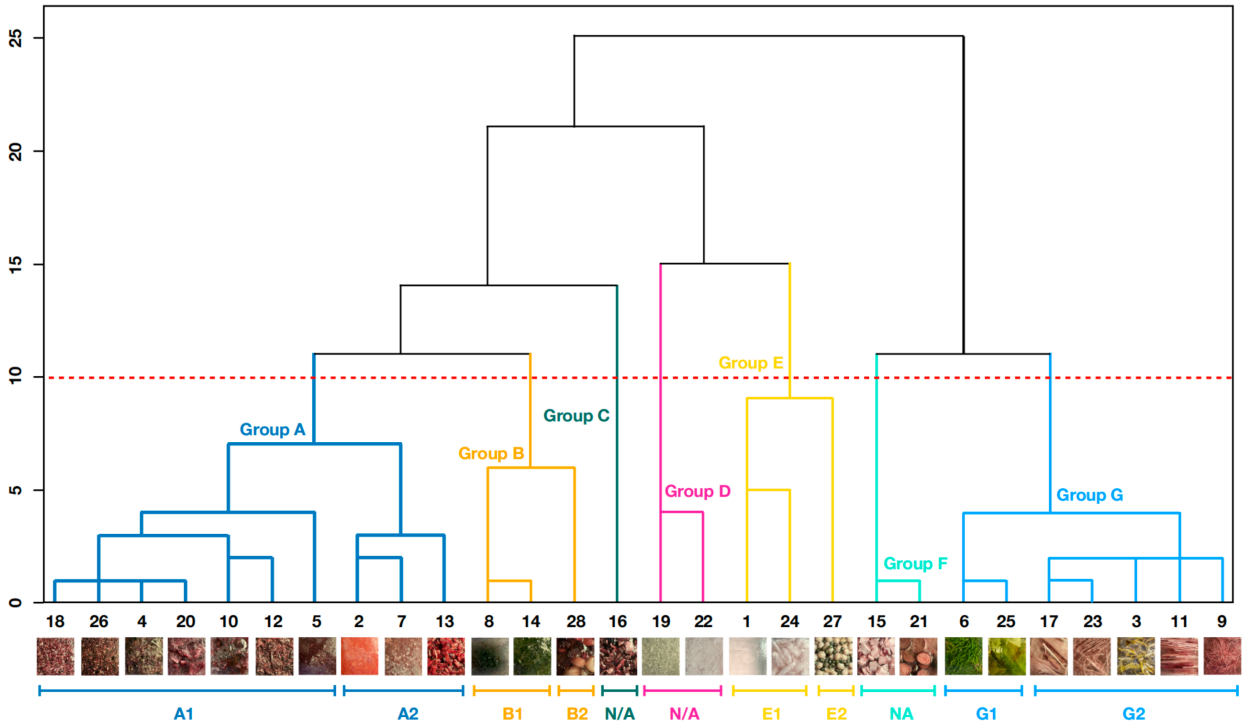


图4：基于三项因子的特征，采用平方欧氏距离和组间连接法进行层次聚类分析，识别出共7个聚类和11个子聚类。A类包括木材和水果残渣（细颗粒、粗颗粒）。B类包括海藻以及干果和坚果。C类包括中药残渣。D类包括皮革。E类包括未填充材料、甘蔗渣、大豆和绿豆。F类包括木材（具有空间结构）。G类包括纤维状和片状植物。

偏好。此外，我们观察到，完整、未经加工的填充物使参与者能够感知植物原有的活力。无论呈纤维状还是片状，这些保持原貌的可持续材料填料都能对材料体验产生积极影响。

通过层次聚类分析，可以更清晰地解构刺激物的多维特征，从而为验证结构方程模型的理论框架提供实证支持。这一分析过程旨在启发设计师进一步探索可持续材料的潜在可能性。通过设计方法，可将可持续材料转化为具有疗愈功能的艺术载体，精准释放艺术的疗愈效果。在此基础上，本研究进一步倡导以用户为中心的可持续设计方法，旨在构建人类、材料与环境之间动态平衡的共生关系。

3.4 因子得分

根据结构方程模型中的评价项目，计算了每种刺激物在三个因子上的因子得分，并通过统计分析得出其均值。图5展示了各刺激物在三个因子上的得分分布。得分还被投影到由每对因子构成的平面上，并计算了因子之间的相关系数。此外，根据层次聚类分析的结果，在图中标注了各刺激物。

相关性分析结果表明，“审美”与“内在”属性之间的相关系数为0.44*（$p < 0.05$），具有统计显著性。“审美”与“物理”属性之间的相关系数为0.55**（$p < 0.01$），但未达到显著水平。“内在”与“物理”属性之间的相关系数为0.67***（$p < 0.001$），表明显著性水平较高。这些发现表明，因子之间可能存在相互作用。我们推测，在材料体验过程中，多感官与多维感知之间可能会产生相互作用，而这种相互作用可能影响整体材料体验

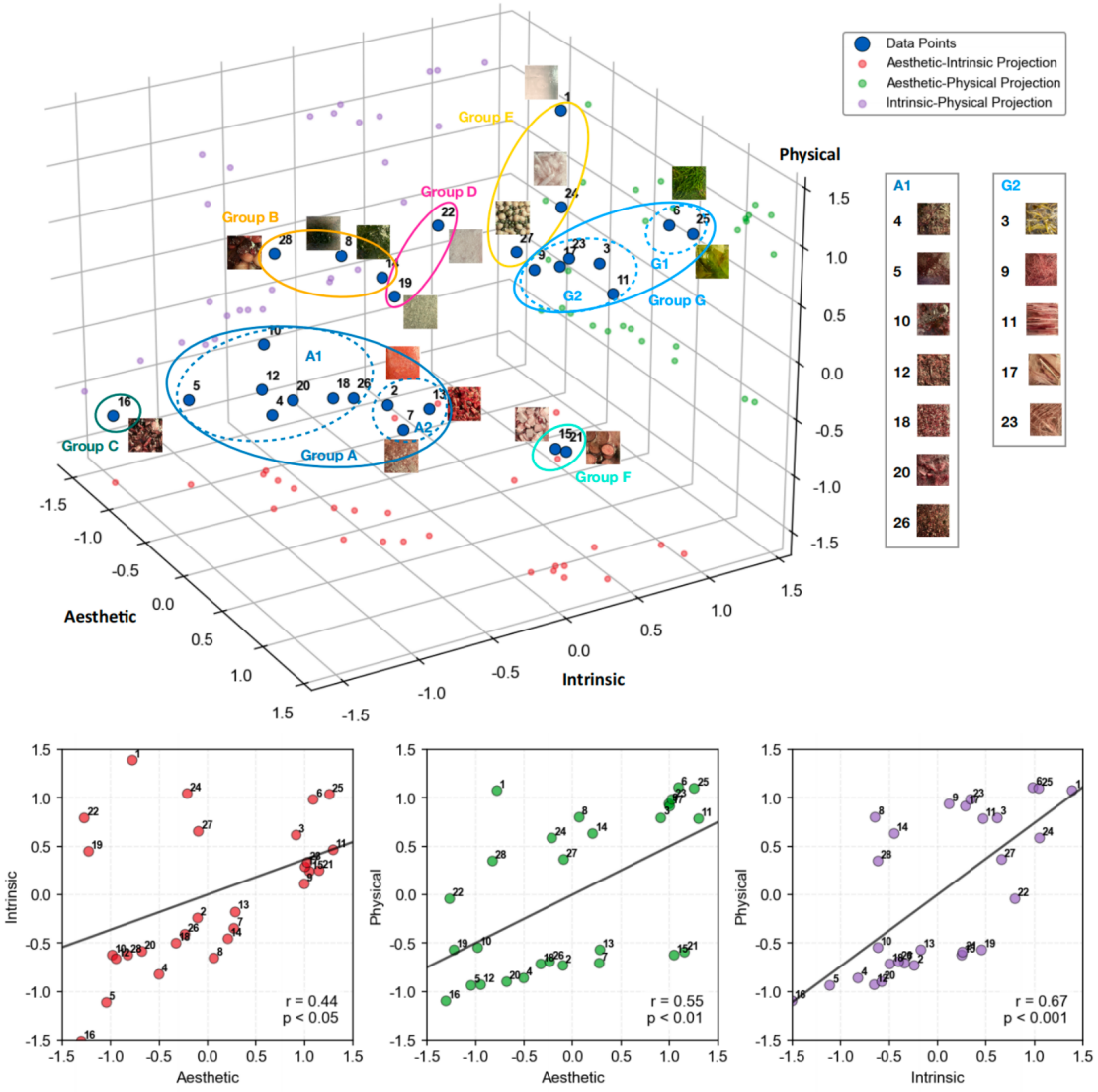
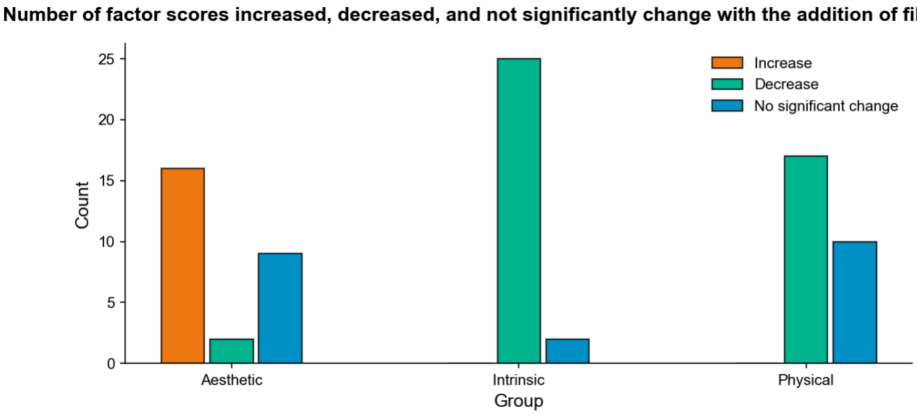


图5：上半部分展示了28种刺激物在三个因子上的平均因子得分分布，以及它们在由每对因子构成的二维平面上的投影结果。层次聚类分析的结果也标注在图中。下半部分展示了每对因子之间的相关性分析结果，以及刺激物的分布



Aesthetic																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
N/A	+*	+***	/	/	+***	+***	+**	+***	/	+***	/	+***	+***	+***	-**	+***	/	/	/	+***	-**	+***	+*	+***	/	+***	-***
Intrinsic																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
N/A	-***	-*	-***	-***	/	-***	-***	-***	-***	-**	-***	-***	-***	-***	-***	-***	-***	-**	-***	-***	-*	-**	-*	/	-***	-***	-***
Physical																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
N/A	-***	/	-***	-***	/	-***	/	/	-***	/	-***	-***	/	-***	-***	/	-***	-***	-***	-***	-***	/	/	/	-***	-**	-*

图6：添加填料后各因子中刺激变化数量的统计 s

以及由此产生的疗愈效果。因此，研究人员和设计师可以通过巧妙利用这些感知属性之间的相互作用，拓展并增强材料的感知属性。

为进一步探究填料对材料体验的影响，对仅含基体的刺激物与可持续复合材料进行了t检验。图6总结了添加可持续填料后各因子的因子得分变化。

在对“审美”属性进行定量评估时，作为基线参照的刺激物1的标准化 z 分数为 -0.728，表明其审美水平相对较低。该分数表明，人们认为该刺激物呈现出粗俗、质朴、廉价感、单色性和有序性等特征。加入填料后，16种刺激物的审美得分显著提高，仅有2种刺激物的得分下降，另有9种刺激物未表现出统计学上的显著变化。结构方程模型的结果进一步表明，在所有因子中，“审美”属性对艺术疗愈效果具有最高的影响权重。这些发现凸显出，选择能够显著提升审美价值的填料，不仅是优化材料疗愈效果的关键策略，也是推动可持续材料发展、使其从传统的功能导向范式转向以用户为中心的方法的重要一步，从而促进社会与生态可持续性的整合。

在“内在”属性中，基线刺激物1的标准化得分较高，为1.389，表明其感知特征为清晰度、明亮度和温和性。添加填充物后，所有可持续材料在这一因子上的得分均未提高——25种刺激物的得分显著下降，只有2种刺激物的变化在统计学上不显著。尽管“内在”属性是影响艺术疗愈效果的次要因子，但该因子的变化仍会产生不可忽视的影响。因此，我们认为，有效管理并尽量减少该因子的负面变化，对于维持疗愈效果至关重要。

在“物理属性”方面，基线刺激物 1 的标准化得分为 1.081，表明该刺激物具有光滑和弹性的特征。添加填充物后，17 种可持续材料的粗糙度增加、可塑性增强，而其余 10 种可持续材料则没有显著变化。值得注意的是，物理属性的波动并未对艺术疗愈的效果产生显著影响。这一结果凸显了其与传统材料工程学之间的关键区别：在设计领域，力学性能并非首要关注点。相反，关键在于充分利用可持续材料的感知属性，以提升

艺术疗愈的效果，从而实现以用户为中心的可持续发展。因此，在开发以用户为中心的可持续材料或产品时，应更加注重审美体验和心理感知的设计。

4 结论

本研究利用水凝胶和各种可持续填料构建了可持续材料体系，以探究感知到的材料属性如何显著影响艺术疗愈的效果，并凸显了感官体验对于以用户为中心的可持续发展至关重要。研究结果表明，“审美”属性不仅在结构方程模型中具有很强的解释力，也是参与者访谈中最能引发情绪共鸣的属性。相比之下，“内在”属性的影响程度中等，而“物理”属性的影响则相对有限。
在这些发现的基础上，本研究进一步表明，可持续材料的形态和色彩特征会显著影响用户的艺术疗愈体验。具有自然形态和鲜艳色彩的可持续材料，更能引发积极情绪，并促进用户形成心理联结。这表明，未来的可持续材料设计不应仅关注环境和功能，还应优先考虑材料在人—材料互动中能够引发的情绪反应。

此外，本研究强调，多感官整合在塑造材料体验方面发挥着至关重要的作用。视觉、触觉和嗅觉刺激之间的互动能够增强或减弱用户对材料的整体感知，这表明跨模态感官互动在材料体验中起着调节作用。这为希望通过多模态方法优化材料体验的设计师提供了宝贵的理论见解和实践策略。

此外，本研究强调了材料驱动设计与材料工程学之间的根本区别。后者主要专注于优化物理性能，而前者则更加重视用户的感知与情感体验。设计导向的方法不仅利用填料提升功能性，还通过丰富情感吸引力，旨在赋予材料疗愈特质与情感共鸣。这一策略能够提升心理价值、深化用户依恋并促进持续参与，从而延长产品寿命，推动可持续材料与以用户为中心的可持续性之间形成和谐协同。

总而言之，以用户为中心的可持续性不应局限于环保性与可回收性等物理属性，还应回应个体如何与材料建立情感联系这一更深层次的问题。通过增强审美表达、积极的心理体验并采用多感官设计策略，未来的材料创新可以从环境驱动范式转向具有情感与人文价值的范式，为面向健康和情感参与的产品与系统设计开辟新路径。

4.1 理论启示

本研究提出了材料体验的研究框架，为设计师提供了系统且结构化的方法论模型，以理解材料属性，并将其引入艺术疗愈的跨学科背景中。该框架不仅拓展了设计、材料科学与心理学之间跨学科应用的边界，还为可持续设计背景下以用户为中心的材料创新提供了跨学科理论支持，展现了设计学科在应对复杂社会挑战方面的整合价值。

4.2 局限性

本研究选择水凝胶作为基体，是因为其在可持续设计领域具有广泛的应用潜力，同时具备环境友好性和生物溶解性。然而，水凝胶在室温下热稳定性不足，会影响材料体验。为解决这一问题，本研究采用了相应的实验方案，在从冷藏环境中取出后的30分钟内完成评估。

值得注意的是，鉴于本研究的样本量设计较小，参与者的评价质量成为需要重点考虑的问题。为此，本实验中的所有参与者均具有专业背景。为增强研究模型的普适性，后续研究将扩大样本量，并纳入来自非专业群体的多样化数据。

5 声明

作者声明，就本文内容而言，不存在需要披露的利益冲突。 .

参考文献

[1] Lennart Y. Ljungberg. 可持续产品开发的材料选择与设计。《材料与设计》，28(2):466–479，2007年1月。[2] Devi Stuart-Fox、Leslie Ng、Leonie Barner、Andrew T. D. Bennett、Sean J. Blamires、Mark A. Elgar、Alistair R. Evans、Amanda M. Franklin、Katja Hölttä-Otto、James A. Hutchison、Fernando Jativa、Anna-Lee Jessop、Jennifer Kelley、Janet McGaw、Jun Mei、Mohammad Mirkhalaf、Mustafa Musameh、Chiara Neto、Andrea J. O'Connor、Tim Schork、Gerd E. Schröder-Turk、Nicolas H. Voelcker、Anna Wang、Gregory S. Watson、Jolanta A. Watson、Lukas Wesemann 和 Wallace W. H. Wong。生物信息启发的可持续材料创新面临的挑战与机遇。《通讯材料》，4(1):80，2023年。[3] 世界环境与发展委员会。世界环境与发展委员会报告：《我们共同的未来》。技术报告，1987年。[4] Elza Bontempi、Giampiero P. Sorrentino、Alessandra Zanoletti、Ivano Alessandri、Laura E. Depero 和 Andrea Caneschi。可持续材料及其对可持续发展目标（可持续发展目标）的贡献：基于意大利案例的批判性综述。《分子》，26(5):1407，2021年。[5] Brian Baldassarre、Giulia Calabretta、Ingo Oswald Karpen、Nancy Bocken 和 Erik Jan Hultink。面向可持续发展的负责任设计思维：批判性文献综述、新概念框架与研究议程。《商业伦理学杂志》，195(1):25–46，2024年11月。[6] Emilio Rossi 和 Erminia Attaianese。可持续性与以人为本的设计之间的研究协同：系统性文献综述。可持续性，15(17):12884，2023年。[7] Mohammad Hosein Fazel Zarandi、Saeid Mansour、Seid Ali Hosseinijou 和 Milad Avazbeigi。面向可持续产品设计的材料选择方法与专家系统。《国际先进制造技术杂志》，57(9-12):885–903，2011年12月。[8] 马歇尔·麦克卢汉。《理解媒介：人的延伸》。麦格劳-希尔，1964年。[9] M. Chiner。材料选择专家系统的规划。《材料与设计》，9(4):195–203，1988年7月。[10] Jefferson Hopewell、Robert Dvorak 和 Edward Kosior。塑料回收：挑战与机遇。《英国皇家学会哲学汇刊*B*辑：生物科学》，364(1526):2115–2126，2009年。[11] Sunil Kumar、Ekta Singh、Rahul Mishra、Aman Kumar 和 Serena Caucci。塑料废弃物的利用与可持续环境管理：综述。《*ChemSusChem*》，14(19):3985–4006，2021年。[12] Yunqing Zhu、Charles Romain 和 Charlotte K. Williams。利用可再生资源制备可持续聚合物。《自然》，540(7633):354–362，2016年。[13] Sue P. Heiney、Heidi Darr-Hope、Marian P. Meriwether 和 Swann Arp Adams。通过创作疗愈：患者对艺术创作项目的评价。《创造性行为杂志》，51(1):35–44，2017年3月。[14] A.-C. Svensk、I. Öster、K.E. Thyme、E. Magnusson、M. Sjödin、M. Eisemann、S. Åström 和 J. Lindh。艺术治疗改善了接受乳腺癌治疗女性的主观生活质量：一项随机对照研究。《欧洲癌症护理杂志》，18(1):69–77，2009年1月。[15] Michele J. M. Wood、Alexander Molassiotis 和 Sheila Payne。艺术治疗用于管理癌症成年患者症状的研究证据有哪些？系统性综述。《心理肿瘤学》，20(2):135–145，2011年2月。[16] Timothy W. Puetz、Christopher A. Morley 和 Matthew P. Herring。创造性艺术疗法对癌症患者心理症状和生活质量的影响。《美国医学会杂志：内科学》，173(11):960，2013年。[17] E mmylou Rahtz、Sara L Warber 和 Paul Dieppe。理解公众对疗愈的认知：一项基于艺术的定性研究。《医学补充疗法》，45:25–32，2019年8月。[18] Jeff Levin。什么是"疗愈"？关于诊断标准、疾病分类学与病因学的思考。《探索》，13(4):244–256，2017年7月。[19] Sally Atkins 和 Melia Snyder。自然本位表达性艺术治疗：整合表达性艺术与生态疗法。Jessica Kingsley Publishers，伦敦、费城，2018年。

[20] Jill Sonke、Judy Rollins、Rusti Brandman 和 John Graham-Pole。美国医疗保健中的艺术现状。艺术与健康，1(2):107–135，2009年9月。[21] Elvin Karana、Owain Pedgley 和 Valentina Rognoli。《材料体验》。设计议题，31(3):16–27，2015年7月。[22] Anneli Selvefors、Sara Renström、Katherine A. Whalen、Sara Fallahi、Matilda Leivas、Hanna Nordenö 和 Alexandra Fransson。以用户为中心的循环价值主张——实践与研究方法。资源、保护与回收，207:107628，2024年8月。[23] Francesca Strappini、Sabrina Fagioli、Stefano Mastandrea 和 Claudia Scorolli。可持续材料：连接材料知觉、可供性与审美的桥梁。心理学前沿，14:1307467，2024年。[24] Flemming R. Cassee、Eric A.J. Bleeker、Cyrille Durand、Thomas Exner、Andreas Falk、Steffi Friedrichs、Elisabeth Heunisch、Martin Himly、Sabine Hofer、Norbert Hofstätter、Danail Hristozov、Penny Nymark、Anna Pohl、Lya G. Soeteman-Hernández、Blanca Suarez-Merino、Eugenia Valsami-Jones 和 Monique Groenewold。迈向安全可持续的先进创新材料路线图。（2024—2030年展望）。计算与结构生物技术杂志，25:105–126，2024年12月。[25] Nastaran Hasani、Abbas Hosseini、Yasaman Ashjazadeh、Victoria Diederichs、Salar Ghotb、Mariapaola Riggio、Eric Hansen 和 Vahid Nasir。工业5.0中的人本设计展望：迈向大规模定制、个性化、协同创造与协同生产。国际可持续工程杂志，18(1):2486343，2025年。[26] Judith Van Remmen、Sandro Wartzack 和 Jörg Miehling。影响可用性与情感化产品设计之间平衡的因素：系统性文献分析。工程设计杂志，第1–41页，2025年。[27] Deana McDonagh、Anne Bruseberg 和 Cheryl Haslam。视觉产品评价：探索用户与产品之间的情感联系。应用人机工程学，33(3):231–240，2002年5月。[28] Tsutomu Suzuki 和 Hiroyuki Aoki。材料规划框架。日本设计学会特刊，2005年。[29] Elvin Karana、Bahareh Barati 和 Valentina Rognoli。材料驱动设计（MDD）：为材料体验而设计的方法。国际设计杂志，9(2):35–54，2015年。[30] Deborah L. Elkis-Abuhoff、Morgan Gaydos、Erin Poland 和 Skylar Sena。探索自然本位艺术治疗对幸福感和生活满意度的影响。艺术心理治疗，81:101966，2022年11月。[31] Elīna Gulbe、Aija Ozola、Beāte Vītola、Elīna Akmane、Jasmina Pacek 和 Kristīne Martinsone。探索自然本位艺术治疗：范围综述。心理学前沿，16:1522629，2025年。[32] Mehran Dadkhah 和 Massimo Messori。橡胶配方可持续发展所需的传统填料与生物基填料综合概述。《今日材料：可持续性》，27:100886，2024年9月。[33] Steve Guest、Jean Marc Dessirier、Anahit Mehrabyan、Francis McGlone、Greg Essick、George Gescheider、Anne Fontana、Rui Xiong、Rochelle Ackerley 和 Kevin Blot。触觉知觉的感官与情绪量表的开发和验证。注意、知觉与心理物理学，73(2):531–550，2011年2月。[34] Maki Sakamoto 和 Junji Watanabe。利用与感官词汇相关的材料探索触觉知觉维度。心理学前沿，8，2017年。[35] Yuxin Zhang、Koichiro Sato、Yun Lu 和 Fumio Terauchi。基于编织复合材料视觉—触觉感官特征的印象评价。设计科学杂志，8(1):1–10，2024年。[36] Hengfeng Zuo、Mark Jones、Tony Hope 和 Robin Jones。消费品材料质地的感官知觉。设计杂志，19(3):405–427，2016年。[37] Bo Zhang、Jiahua Wang 和 Azizah Binti Abdullah。艺术治疗干预对儿童与青少年焦虑的影响：荟萃分析。临床，79:100404，2024年1月。[38] Kelly Sarah Barnett 和 Fabian Vasiu。艺术如何疗愈：创造性艺术对身心健康产生治疗效果背后的神经机制综述。行为神经科学前沿，18:1422361，2024年。[39] Ducel Jean-Berluche。创造性表达与心理健康。创造力杂志，34(2):100083，2024年8月。[40] David M Raizen、Janet Mullington、Christelle Anaclet、Gerard Clarke、Hugo Critchley、Robert Dantzer、Ronald Davis、Kelly L Drew、Josh Fessel、Patrick M Fuller、Erin M Gibson、Mary Harrington、W Ian Lipkin、Elizabeth B Klerman、Nancy Klimas、Anthony L Komaroff、Walter Koroshetz、Lauren Krupp、Anna Kuppuswamy、Julie Lasselin、Laura D Lewis、Pierre J Magistretti、Heidi Y Matos、Christine Miaskowski、Andrew H Miller、Avindra

Nath、Maiken Nedergaard、Mark R Opp、Marylyn D Ritchie、Dragana Rogulja、Asya Rolls、John D Salamone、Clifford Saper、Vicky Whittemore、Glenn Wylie、Jarred Younger、Phyllis C Zee 和 H Craig Heller。超越症状：疲劳的生物学。*SLEEP*，46(9):zsad069，2023年。[41] Mohamad Izzur Maula、Muhammad Imam Ammarullah、Hanifa Nur Fadhila、Ilham Yustar Afif、Hardian Hardian、Jamari Jamari 和 Tri Indah Winarni。充气式深压背心在减轻焦虑方面的舒适度评估及生理效应／自主神经系统反应。*Heliyon*，10(16):e36065，2024年8月。[42] William R. Zwick 和 Wayne F. Velicer。确定应保留成分数量的五种规则比较。《心理学公报》，99(3):432–442，1986年5月。[43] Rex B. Kline。结构方程建模的原理与实践。《社会科学方法论》。Guilford Press，纽约，第3版，2011年。[44] Kenneth A. Bollen。潜变量结构方程。Wiley，第1版，1989年。[45] George A. Marcoulides，编。《商业研究现代方法》。Psychology Press，1998年。[46] Dawn Iacobucci。结构方程建模：拟合指标、样本量与进阶主题。《消费者心理学杂志》，20(1):90–98，2010年1月。[47] Malabika Sahoo。结构方程建模：评估模型拟合的阈值标准。载于 Rabi N. Subudhi 和 Sumita Mishra 编，《管理研究中的方法论问题：进展、挑战与未来方向》《管理研究中的方法论问题：进展、挑战与未来方向》，第269–276页。Emerald Publishing Limited，2019年。[48] Claes Fornell 和 David F. Larcker。评估含不可观测变量和测量误差的结构方程模型。《营销研究杂志》，18(1):39–50，1981年2月。