

人工智能辅助设计迭代研究——以平面设计为例

周楚轶^{1,2}, 柴春雷^{1,2,3}, 杨程¹

(1.浙大城市学院, 杭州 310015; 2.浙江大学, 杭州 310027;
3.浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要: **目的** 设计是一个创新、开放、迭代的过程, 旨在解决问题。设计思维迭代研究得到了学术界的广泛关注, 然而关于如何改进设计思维迭代效果的研究还处于起步阶段。**方法** 随着人工智能(AI) 2.0的出现和深度学习的不断发展, 计算机开始具有新的创造能力, 并在设计中发挥重要作用。本研究探索了在人工智能辅助下设计思维的迭代过程和迭代效果, 以平面设计为例, 提出了人工智能辅助设计迭代的认知编码系统。**结果** 通过对实验数据的分析, 发现了人工智能辅助可以提高平面设计迭代中认知活动的频率, 最终可以提高设计的流畅度和设计成果的风格化。**结论** 人工智能在辅助设计迭代中呈现了巨大的潜力, 相关的研究不仅可以帮助改进设计教育而且可以给产业提供助力。

关键词: 平面设计; 设计迭代; 人工智能; 设计智能;

中图分类号: J524 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)18-0050-13

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.18.007

Artificial Intelligence Augmented Design Iteration Support: Take Graphic Design for Example

ZHOU Chu-yi^{1,2}, CHAI Chun-lei^{1,2,3}, YANG Cheng¹

(1.Zhejiang University City College, Hangzhou 310015, China; 2.Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;
3.State Key Lab of CAD&CG Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

ABSTRACT: Design is an innovative, open, iterative process that aims at problem-solving. While the importance of mental iteration has received extensive academic attention, there are little research on how to improve mental iteration in design process. With the emergence of artificial intelligence (AI) 2.0 and the continuous development of deep learning, computers are beginning to have new creative capabilities and play an important role in design. This paper explores the iterative process and iterative effect of design thinking with the assistance of AI, and proposes a cognitive coding system for AI-assisted design iteration with graphic design as an example. Through the analysis of experimental data, the results indicate AI augment could increase the frequency of cognitive activity in graphic design iterations and improve the designers' performance in fluency and stylization. AI shows great potential in aided design iteration. The related research can help improve not only design education but also provide a boost to industry.

KEY WORDS: graphic design; design iteration; artificial intelligence; design intelligence

设计是一个创新、开放、反复迭代的过程, 旨在解决问题。在设计过程中, 设计师通常会反复探索更好的问题定义, 构思并评估更好的方案^[1], 因此, 迭代被认为是最有效的创新实践和提供支持设计创新

的机制^[2-5]。

设计中的迭代具有不同的形式^[6]。基于重复的内容的不同, 设计迭代可以分为两种主要类型: 设计任务的迭代和认知活动的迭代。对于前者, 迭代被认为

收稿日期: 2021-06-14

基金项目: 浙江省哲学社会科学规划课题“基于传统手工技艺的文化产品设计研究”(20NDQN320YB)

作者简介: 周楚轶(1985—), 女, 浙江人, 硕士, 浙大城市学院讲师, 主要研究方向为设计思维、创造力支持、文化产品设计。

通信作者: 柴春雷(1978—), 男, 河南人, 博士, 浙江大学教授, 主要研究方向为设计学、数字化艺术与设计。

是设计项目中的任务重复，它通常有设计团队执行，它是相对明确的，但是可能导致更长的设计时间和更高的设计成本。对于设计任务迭代的方法和工具，前人已经开展了许多研究^[7-11]。而对于后者，迭代被认为是在单个设计师在解决设计任务时脑海中重复启发的推理过程。虽然已经确定了思维迭代在设计中的重要性，但是关于如何在设计过程中改善思维迭代、缓解设计固化的研究还相对较少。

随着人工智能（AI）2.0 的出现以及深度学习的不断发展^[12]，特别是生成对抗网络的出现和发展，计算机开始具有新的创造能力，并在设计中发挥重要作用^[13]。本研究希望从人工智能辅助设计的视角来研究设计迭代，希望探讨以下几个问题：设计迭代分为哪些类型？设计师在设计迭代的过程中通常会存在哪些认知活动？人工智能是否能辅助设计迭代，帮助缓解设计迭代中的设计固化？人工智能辅助如何影响设计迭代？

为了回答这些问题，进行了一项实证研究，以平面设计为例探讨了人工智能辅助对设计迭代的影响。在本研究中，依托迭代的认知模型，分析设计迭代中的认知行为，探讨设计迭代、人工智能辅助与设计结果三者的关系。这项工作不仅有助于创造力的教育和培训，而且可以为计算机辅助工具的研发提供新思路。

1 设计中的思维迭代

1.1 迭代是设计活动的重要组成部分

迭代是设计活动的一个重要组成部分，被认为是设计师的基本能力之一，在设计过程中经常发生^[14-17]。设计问题通常是不良问题，可能有多种解决方案，而迭代可以帮助将结构不良的问题转化为结构良好的解决方案，因此，人们很早就认识到线性科学问题的解决方法并不适用于解决复杂的设计问题。设计是一个分析-评估-综合的循环过程，在该过程中，设计师通过不停地迭代加深对任务的理解。从广义上来说，设计活动是对问题的空间进行搜索，以找到满足多种约束的解决方案^[18]。这个空间的边界是可变的，并且不是一开始就固定的，而是通过迭代过程来定义的^[19-20]。在这里，迭代可能是一个目标导向的循环过程，它利用推理过程和策略来收集和过滤有关问题的信息，寻求最优解决方案，因此，从这个角度来说，设计既是一个学习的过程，标志着设计师对问题的理解从抽象到具体的进步，同时又是致力于寻找解决方案的过程，而迭代循环则是设计过程模型中的主要特征之一。

描述设计中认知过程的大多数认知模型和设计模型均表明了设计认知的迭代性质^[21-25]。柳冠中教授将设计思维分为观察、分析、归纳、联想、创造和评价六个环节，每一个环节有其相应的目标和方法，而环节间是渐进的、循环的；在 BROWN 的研究中设计思维被分成三个重叠空间的系统^[26]，分别为灵感生

成、构思阶段和实施阶段^[27]，这三个系统并不是按照特定顺序展开的，而是根据设计过程中的特定需求重复迭代的。斯坦福大学的 d.school 团队认为设计思维过程模型包含同理心、定义、概念生成、原型和测试五个阶段^[28]，而迭代过程主要存在于原型和测试阶段。

从认知理论的角度来看，迭代是随着设计任务的执行和设计状态的改变而发生的认知过程^[29]，它通过提供反思、创造和整合反馈的机会来促进创造力的提升^[30-31]。作为认知过程，设计中的迭代活动是可以被建模、被理解和被教授的^[32]。

1.2 新手设计师与专家设计师的迭代差异

使用循环迭代设计程序被认为是设计师能力的自然特征，迭代导致更好的质量解决方案^[33-34]，而迭代行为与经验存在一定的相关。Radcliffe 等人的研究表明，采用系统、迭代和逻辑的设计顺序与设计产品的有效性及设计师过程的效率相关。在对工程领域的研究中发现，设计专家相对于设计新手来说在设计过程的各个步骤之间有更多的迭代，并且迭代行为与最终设计的质量成正比^[35]。此外，专家设计师表现出更多的问题界定行为，并且其所考虑的约束数量与生成的替代解决方案的质量和数量相关。

迭代是与设计的知识和成功相关的设计活动，专家能更有效和高效地进行迭代。这可能是因为迭代行为被认为与问题界定、解决方案的探索、自我监控活动相关，而专家可以在更高的语义级别上表示问题，更了解任务的复杂性，花费更多的时间，并利用更高阶的技能来诊断和澄清问题。专家能找到更多的信息，花费更多的时间从本质上修改解决方案，评估并证明其解决方案的合理性，并且更了解认知策略的实用性。此外，专家还可以在问题和解决方案表示之间进行更辩证的交互探索。

1.3 基于设计活动的设计迭代模型

作为设计能力的自然特征，迭代是信息处理和决策之间的一系列过渡行为。通过迭代，问题变得更加清晰，思想得到改善，错误得以识别和修复，并且学习了新的知识。

Jin 和 Chusilp 提出了基于设计活动的设计迭代模型见图 1，该模型基于四个关键的设计活动，即分析（问题），生成（想法），撰写（概念）和评估（概念）。它在四个主要设计活动之间嵌入了三个迭代循环，即问题重定义循环，想法刺激循环和概念重用循环。

问题重定义循环（PR 循环）涉及问题分析、想法生成、概念形成和概念评估等活动。成功的问题定义被认为是设计活动的核心要点之一，并且问题定义的质量会对最终的设计质量产生重要的影响。在 PR 循环中，设计师可能会重新考虑问题的边界和范围。此时，设计人员可能会引入设计子问题定义，也可能会修改原始的问题定义，从而提供更多信息来促进创造性的解决方案。

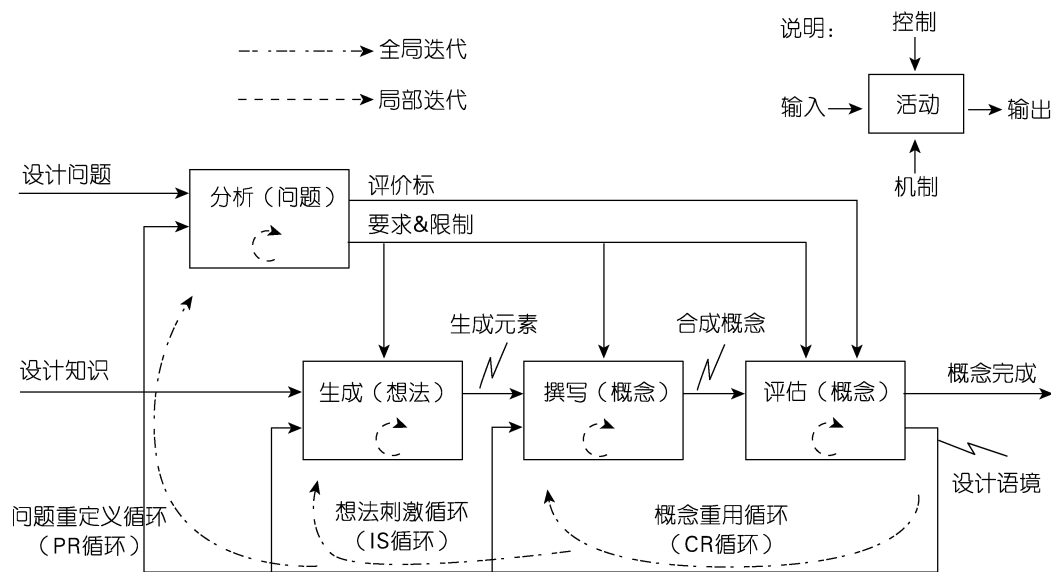


图1 基于设计活动的设计迭代模型
Fig.1 Design iteration model based on design activities

想法刺激循环（IS 循环）贯穿于想法生成、概念形成和概念评估等活动中。在该循环中，以前的概念（已采用和未采用的想法）和新的灵感来源都可能为设计师的想法生成过程提供刺激。换言之，IS 循环可能会增加新提出的解决方案的数量。

概念重用循环（CR 循环）贯穿于概念形成和概念评估的两个阶段中。在该循环中，设计师可以基于现有的想法和概念，将其修改为更好的想法和概念。换言之，沿着 CR 循环的迭代可以提高解决方案的质量。

除了不同设计活动间的迭代循环以外，各个设计活动的内部也会存在迭代的行为。Jin & Chusilp 将在不同的设计活动之间进行迭代循环定义为全局迭代。而仅在一项关键的设计活动中发生迭代被认为是局部迭代，例如问题分析循环、想法生成循环、概念形成循环和概念评估循环等。局部迭代是认知活动的连续重复，旨在达到构想的期望状态，以便设计过程可以移至下一个设计活动。

2 设计迭代中的设计认知

2.1 设计迭代中的设计认知活动

除了从设计活动的角度来分析设计迭代以外，设计认知也是常用的分析设计迭代的角度之一。迭代通常被认为是一个目标导向的过程，该过程利用推理过程和策略来收集和过滤有关问题的信息、监视进度、告知可能的解决方案的生成或修改^[36]。不难发现，迭代包含了两个重要的部分。首先，迭代行为是基于目标导向的一系列过渡行为；其次，这些过渡行为可以分为多项认知活动。其中，这里的目标导向指的是通过设计过程的各个阶级来解决或者指定设计问题的

有目的的进程。将迭代定义为过渡行为可以捕获在设计过程中的各个步骤之间做出临时设计决策的过程。为了更好地理解过渡行为如何成为迭代的一个特征，可以从转换序列的角度来探讨。例如，向前的过渡序列可以指示从问题范围到解决方案实现的自然过程，这是设计过程模型中通常描述的过程^[37]。相反，向后的转换序列（从解决方案向信息收集的反向过渡）可能指示了设计过程中的迭代循环。而迭代的认知活动则包含了问题界定循环、解决方案修订循环、耦合问题界定和解决方案修订循环、自我监控的设计循环以及搜索策略五个部分，设计迭代中认知行为的模型见图2。

问题界定循环。成功地表示问题的边界和范围被认为是设计活动的中心特征，是确定最终解决方案质量的最有影响力的因素之一。在设计中，问题界定的目标是确定问题的边界，设计的目的和原因以及解决问题所需的信息^[38-39]。对问题范围界定活动的研究表明，问题范围界定的迭代过程贯穿整个过程^[40-42]，并且与此活动相关的主要行为是信息收集和约束迁移。

解决方案修订循环。解决方案开发活动包括产生想法、详细描述解决方案、分析解决方案的可行性以及比较和选择其他解决方案。在此过程中，设计人员可能需要检查设计要求或解决方案详细信息，查找和澄清新信息，修改解决方案或产生新想法。这些活动可能会鼓励迭代解决方案修订。解决方案开发活动的研究表明，迭代解决方案修订周期是由感觉到设计失败或冲突的意识触发的，旨在评估和合理化过程。

耦合问题界定和解决方案修订循环。设计师在设计的过程中通常会耦合问题的界定和解决方案的修订。只有理解了问题，才能有意义地收集信息。反之，如果没有有关问题的信息，设计师将无法理解问题^[43]。

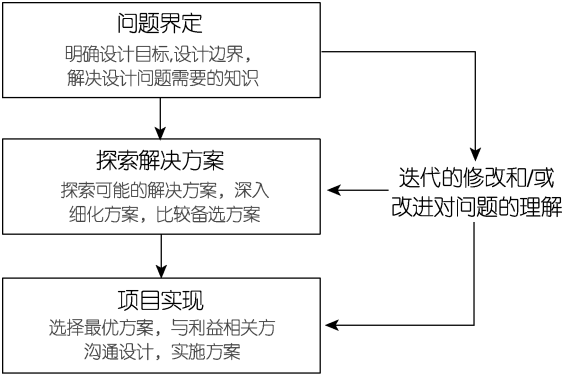


图 2 设计迭代中认知行为的模型
Fig.2 Models of cognitive behavior in design iterations

设计师耦合问题的界定和解决方案的修订的迭代过程可以在解决方案的探索过程中发现新的问题界定，而这些问题在此阶段之前是很难被发现的。依托这些新的问题可以收集新的知识，促进新想法的产生。

自我监控循环。作为元认知能力的一个特征，自我监控活动被认为是专业知识和绩效的特征之一。与迭代中自我监视周期相关的认知活动包括监视进度、安排设计任务、组织和汇总信息、指导搜索以及识别

违规或不一致之处。

2.2 设计迭代中的认知行为编码

正如上一小节中提到的，在设计认知的行为中，迭代行为包含了问题界定循环、解决方案修订循环、耦合问题界定和解决方案修订循环、自我监控的设计循环等。而从认知属性的角度来说，这些循环中都包含了信息处理和决策活动两个部分，因此可以从这两个角度进行认知行为的编码^[44]。

信息处理活动描述了如何访问、利用和生成信息。这些活动包括访问有关设计要求的信 息、监视进度、阐明和检查关键设计目标以及验证解决方案如何满足设计要求等。可以使用监控、组织、访问、澄清、检查、评估等特定活动来表示编码信息处理行为的类别，信息处理活动的行为编码类别见表 1。

决策活动主要是关注对设计状态进行了哪些类型的更改。包括重新定义设计约束、修改解决方案以提高性能、计划和修订设计任务。编码类别包括对设计计划、问题表示或解决方案表示的更改，决策活动的转换行为编码类别见表 2，这些是基于利用信息的目标导向的决策。

表 1 信息处理活动的行为编码类别
Tab.1 The behavioral coding categories of information processing activities

信息处理编码		
活动		定义
监控策略	监控	对过程或进程的自我监控，评估自己处于的设计阶段。
	反省	自我认同时期的反思。
访问策略	访问	重新阅读、回忆或检索已有的信息或经验。
	搜索	对现有解决方案的有条理的搜索或探索。
澄清策略	澄清	请求了解关于问题的信息。
	组织	将信息分类或将目标映射到可能的解决方案。
	检查	分析并理解解决方案的行为。
评估策略	评估	分析解决方案的准确性、质量或完整性。
	验证	分析解决方案如何满足设计目标和约束。

表 2 决策活动的转换行为编码类别
Tab.2 Transition behavior coding categories for decision activities

决策活动编码		
活动		定义
更改为关注过程	计划	制定或制定计划，分解或组合任务，综合策略。
问题定义更改	识别	确定或描述约束和目标，关注任何违背约束或目标的行为。
	重新定义	通过改变或细化约束和目标来改变初始定义。
更改为关注解决方式	修改	更改解决方案以解决不一致或错误。
	改进	改变解决方案来改进或优化行为。
	合成	结合想法，或调整现有的解决方案来应对新的约束和目标。
解决方案选择	直觉	没有理由地选择解决方案。
	选择	根据分析和/或评估选择解决方案。
	指定	为了建模或沟通，确定解决方案的各方面维度或细节。

3 智能技术辅助设计研究

作为人工智能的重要分支,设计智能专注于创造力和设计中的智能模型和算法。它已经成为了推动设计研究发展的强大动力。借助 AI 技术,设计智能可以解决设计过程中的问题并生成创新的解决方案。

基于在 AI 中建模的三个创造过程,即探索性、转化性和组合创造力^[45],研究人员在设计研究中开发了许多设计智能算法,用于辅助设计师在用户需求分析、设计构思支持、智能内容生成和设计评估等方面的工作。

在用户需求分析中,设计智能算法,例如 IRGAN、RecGAN 和 CNGAN 被用于角色和潜在用户画像的研究和生成^[46-53]。

激励设计师的有效构思过程对于高质量的解决方案至关重要。设计师常见的构思类型分为两种:基于刺激的构想和基于交互的构想。在基于刺激的构思中,设计智能可以更方便快捷地提供现有的刺激,甚至生成用于构思的新刺激^[54-60]。在基于交互的构思中,Strohmann 等人提出了一种智能虚拟主持人,以促进团队的头脑风暴^[61]。

智能生成内容模型是设计智能最流行的研究领域。在 GAN 的大力支持下,机器已经开始有效地产生和实现设计想法。它可以实现文本到图像的合成^[62-68],图像到图像的翻译^[69-73],图像增强和内容风格迁移^[74-83]。

虽然在不同领域的研究人员之间对 AI 设计评估是否科学尚无共识,但是设计智能显示出其在预测美学评分和生成图像评论方面的潜力^[84-86]。

综上所述,设计智能在用户需求分析、设计构思支持、内容生成和设计评估等领域均显示出了巨大的

应用潜力。设计智能对于设计迭代的支持尚未得到充分的关注。由此可见,探索人工智能辅助设计迭代不仅有助于设计学领域的研究,也可以为设计智能的研究带来新的思路 and 方向。

4 实证研究

4.1 实验假设

假设 1: AI 辅助可以提高新手设计师的迭代效率,提高设计师在作品的流畅性方面的表现。假设 2: AI 辅助可以提高新手设计师的迭代质量,提高作品的原创性得分。假设 3: AI 辅助可以提高新手设计师对于特定设计风格的把控能力,提高作品在风格化方面的表现。假设 4: AI 辅助的条件下,新手设计师产生了更多的迭代认知行为的次数,即出现的信息处理和决策等认知行为的总频率更高。假设 5: AI 辅助增加了新手设计师在信息处理方面迭代认知行为的次数。假设 6: AI 辅助的条件下,新手设计师在决策方面迭代认知行为次数更多。

4.2 参加者、设计任务和实验设置

11 名大学生(男 6 名,女 5 名)参加了该实验。这些参与者是设计专业的大四学生。所有参与者都在安静舒适的房间里完成了实验。他们均参加了两个设计任务。两项设计任务之间有一个星期的休息时间。设计任务介绍见表 3。在设计过程中,根据以下步骤进行了实验流程设置见图 3。

步骤 1: 实验开始前参与者收到了一份简要实验说明用于指导实验流程。除此以外,在实验期间,他们没有得到其他的指导。在第一阶段实验中,研究者对被试提供了“数字设计数据库”作为设计刺激。(10 分钟)

表 3 设计任务介绍
Tab.3 Design task instructions

任务	设计任务简介
设计任务 A	设计一张反映“设计是美学”主题的明信片。这些明信片将作为设计专业的宣传材料。你的目标受众是可能对设计感兴趣的高中学生。这张明信片的风格主题是“数字设计”。
设计任务 B	设计一张反映“设计是革新”主题的明信片。这些明信片将作为设计专业的宣传材料。你的目标受众是可能对设计感兴趣的高中学生。这张明信片的风格主题是“数字设计”。

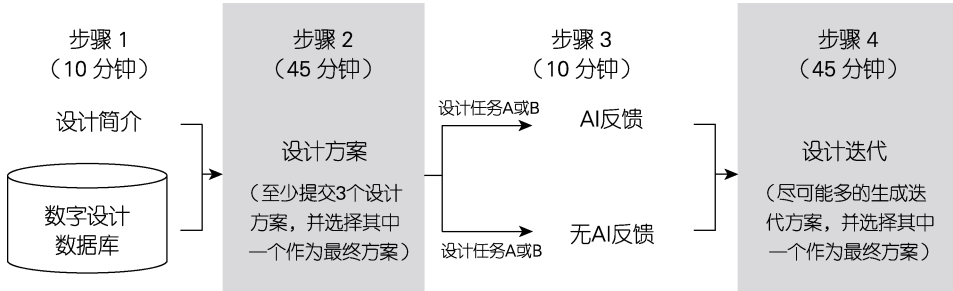


图 3 实验流程设置
Fig.3 Experiment procedure

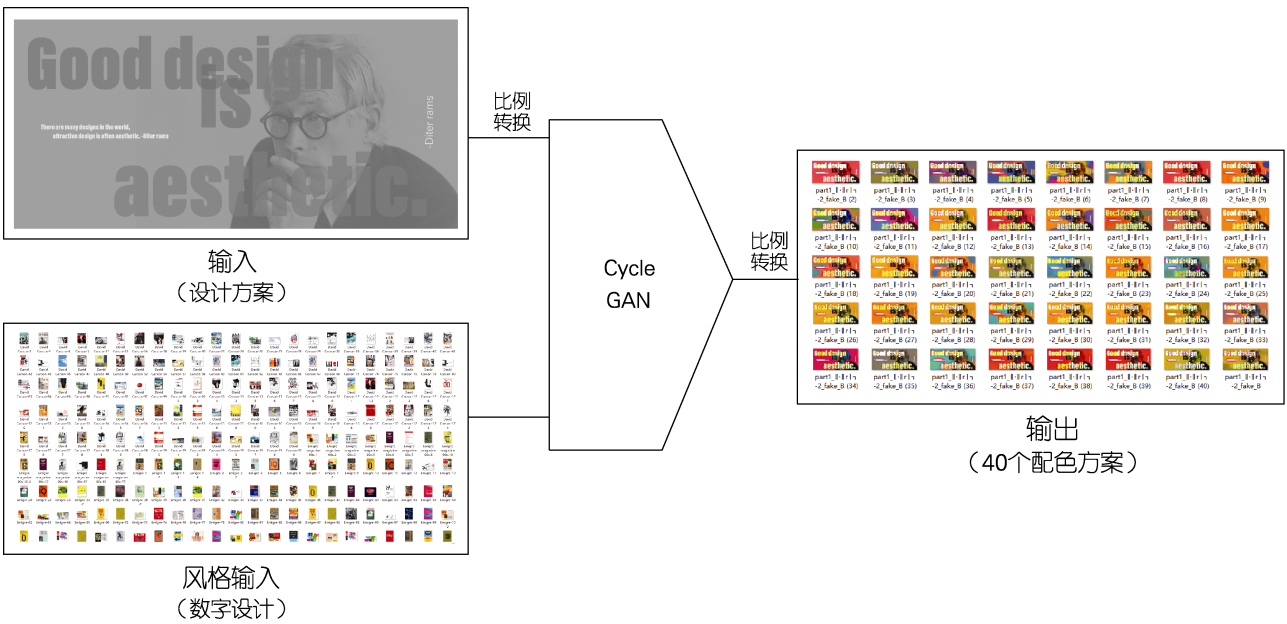


图 4 实验材料生成示例
Fig.4 Sample generation of experimental materials

步骤 2：被试有 45 分钟的时间生成想法并将其可视化。他们必须至少产生三个方案，然后选择其中一个。（45 分钟）

步骤 3：休息 10 分钟，在休息时间结束时，部分被试会收到 AI 反馈。（10 分钟）

步骤 4：所有被试均被要求尽可能多地想出设计方案，并且要选择其中一个方案作为最终方案。（45 分钟）

在实验过程中，被试被随机分配任务 A 或 B，同时随机提供 AI 反馈刺激。其中，所有参与者仅收到一次 AI 反馈刺激。在此实验中，六名受试者（4 名男性，2 名女性）在任务 A 中收到了 AI 反馈。

实验中，研究者给被试提供了包含“数字设计数据库”的笔记本电脑，并要求他们独立开展设计工作。被试所有设计过程采用录屏软件进行记录，并且要求他们参与事后访谈来阐述他们的设计过程。

4.3 实验材料

“数字设计数据库”是一个包含 1710 个图形设计案例的数据库。数字设计是一种图形设计风格，得利于计算机技术的发展，它在 1960 年出现。这种设计风格具有几个特点：（1）使用数字图像和计算机图形处理技术；（2）具有相对明晰的信息层级；（3）数字图像由软件进行编辑；（4）使用位图字体/等宽字体；（5）主要使用与屏幕相关的鲜艳颜色；（6）重复使用一些元素来构成纹理，包含点、圆、线、箭头、平行线等；（7）使用图标。所有被试在前期的设计教育中已经学习过关于“数字设计”的基本知识和理论，并进行过相关的设计实践。

基于数字设计风格的案例库，本研究采用了 PyTorch 的 cycleGAN 来训练模型。将模型生成的结

果用于给 AI 小组提供设计反馈。实验材料生成示例见图 4。

5 迭代结果分析

5.1 设计结果的因变量

本研究采用了流畅性、原创性、灵活性和风格化作为因变量来衡量设计结果的创造力。流畅性也被认为是设计师的生产力，指设计师在指定时间内产出方案的数量^[87-90]，是一项客观指标。原创性指的是相对于其他被试，该被试产生想法的独特性，它是衡量作品质量的重要指标。其中，该指标的衡量仅针对被试选取的最终设计方案展开。原创性的评价由专家采用李克特 7 分量表打分产生，其中 1 分代表“非常不原创”，7 分代表“非常原创”。灵活性则意味着产生了截然不同的想法。在迭代过程中，有些明信片彼此之间是微小的变化（CR 循环），而另一些则是全新的概念（IS 循环），单一概念的设计迭代见图 5，不同概念的设计迭代见图 6。将不同概念的数量视为灵活性，同时也是作为衡量 IS 循环数量的指标。此外，还邀请了专家对设计的颜色和“数字设计风格”（即特定风格）之间的匹配程度进行了李克特 7 分量表评分。

5.2 迭代结果分析

邀请三位专家来评价被试的设计作品质量。他们的平均工作经验（从研究生教育开始）为 12.67 年（SD = 3.06）。他们评分结果的克隆巴赫系数为 0.81，表明该评分数据是可信的。但是，原始得分数据并不遵循正态分布，因此本研究对于得分进行了以 10 为底的对数修正。

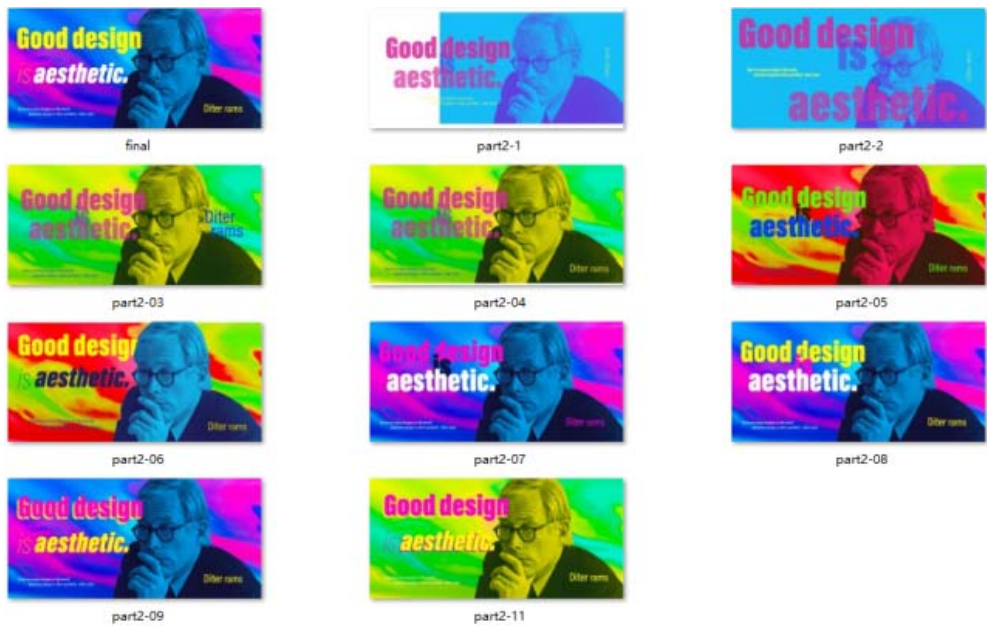


图 5 单一概念的设计迭代
Fig.5 Design iterations of a single concept



图 6 不同概念的设计迭代
Fig.6 Design iterations of different concepts

通过配对样本 T 检验，发现 AI 辅助可以显著提高设计的流畅性 ($t = -2.41$ $df = 10$, $p < 0.05$)，并且它对风格化的影响也基本显著 ($t = -1.87$, $df = 10$)， $p < 0.1$)，设计结果分析见图 7。从灵活性和独创性的角度来看，两组之间没有显著差异。研究数据结果表明，在关于设计结果的假设中，假设 1 和 3 成立。

6 迭代过程编码分析

6.1 迭代过程认知编码

依托前期的文献综述结果，本研究基本沿用了

Admans 等人提出的编码系统。但 Admans 等人提出的编码系统是基于工程设计领域的设计实践的，因此本研究对于其作出了一定的调整以更好地适应平面设计研究领域特点。本研究中，首先采用 Admans 等人提出的编码系统对三位被试的数据进行了预编码，通过研究团队讨论编码结果，最终确定了编码系统，迭代过程认知编码见表 4，其中方案选择这一编码在所有被试行为中均发生了一次，且时长较短，故未纳入后续的统计分析。最终的编码由两位研究人员分开进行，对于分歧较大的被试，由编码人员讨论决定最终编码。整体的编码工作采用 interact 14 软件进行，软件编码过程见图 8。

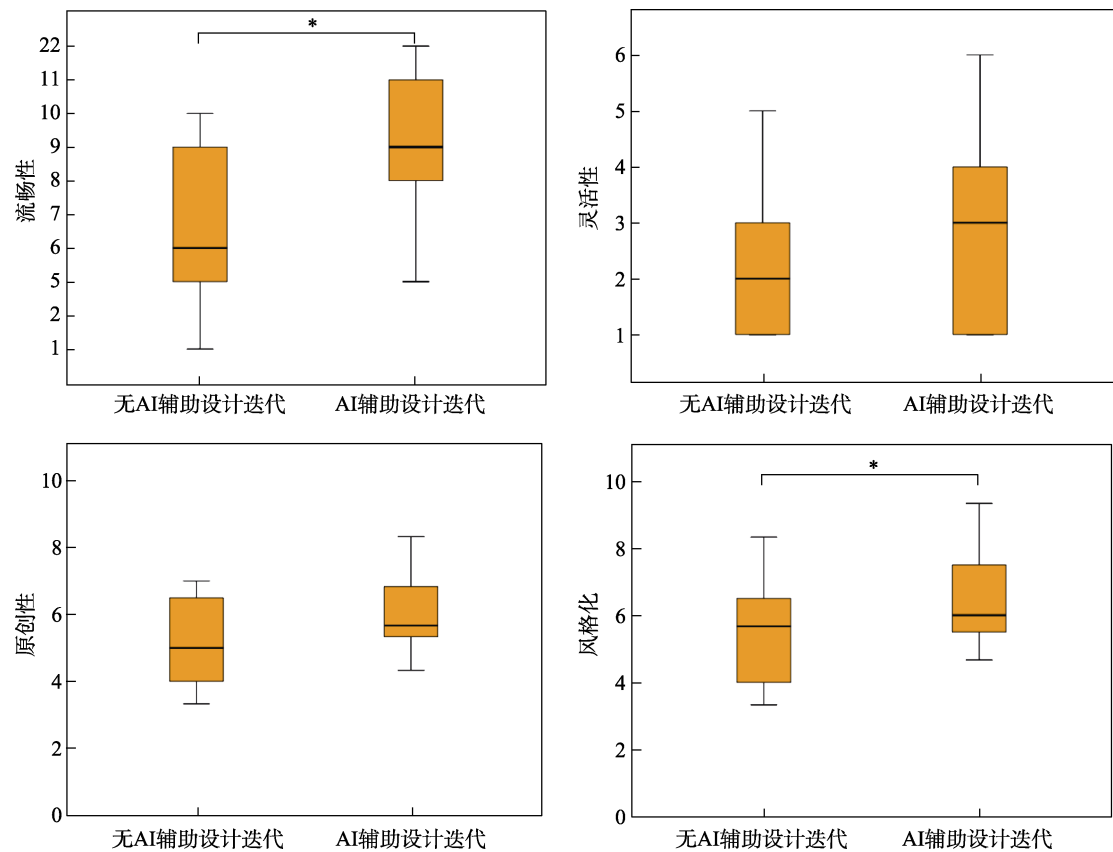


图 7 设计结果分析
Fig.7 Analysis of design results

表 4 迭代过程认知编码
Tab.4 Cognitive coding of design iteration

迭代过程认知编码			
活动		定义	
信息处理编码	监控策略	监控 反省	对过程或进程的自我监控，评估自己处于的设计阶段 自我认同时期的反思
	访问策略	访问 搜索	重新阅读、回忆或检索已有的信息或经验 对现有解决方案的有条理的搜索或探索
	澄清策略	组织 检查	将信息分类或将目标映射到可能的解决方案 分析并理解解决方案的行为
	评估策略	评估及验证	分析解决方案的准确性、质量或完整性；分析解决方案如何满足设计目标和约束
决策活动编码	更改为关注过程	计划	制定或制定计划，分解或组合任务，综合策略
	问题定义更改	重新定义	通过改变或细化约束和目标来改变初始定义
	更改为关注解决方式	修改	更改解决方案以解决不一致或错误
		改进	改变解决方案来改进或优化行为
		合成	结合想法，或调整现有的解决方案来应对新的约束和目标
	解决方案选择	直觉和选择	凭直觉和/或根据分析和/或评估选择解决方案

6.2 迭代过程编码分析

通过行为分析软件对于迭代过程中的认知行为编码,对信息处理和决策的总频率、信息处理总频率、信息处理总时间、信息处理（时间）总百分比、决策总频率、决策总时间、决策（时间）总百分比及 12

个认知代码的分别总频率、总时间和总（时间）百分比进行了配对样本 T 检验。迭代过程认知编码分析见表 5，通过配对样本 T 检验的结果显示：AI 辅助提高了被试信息处理和决定的总体频率（ $t(10)=-3.031$ ， $p<0.05$ ）。也就是说，在 AI 辅助的条件下，被试总

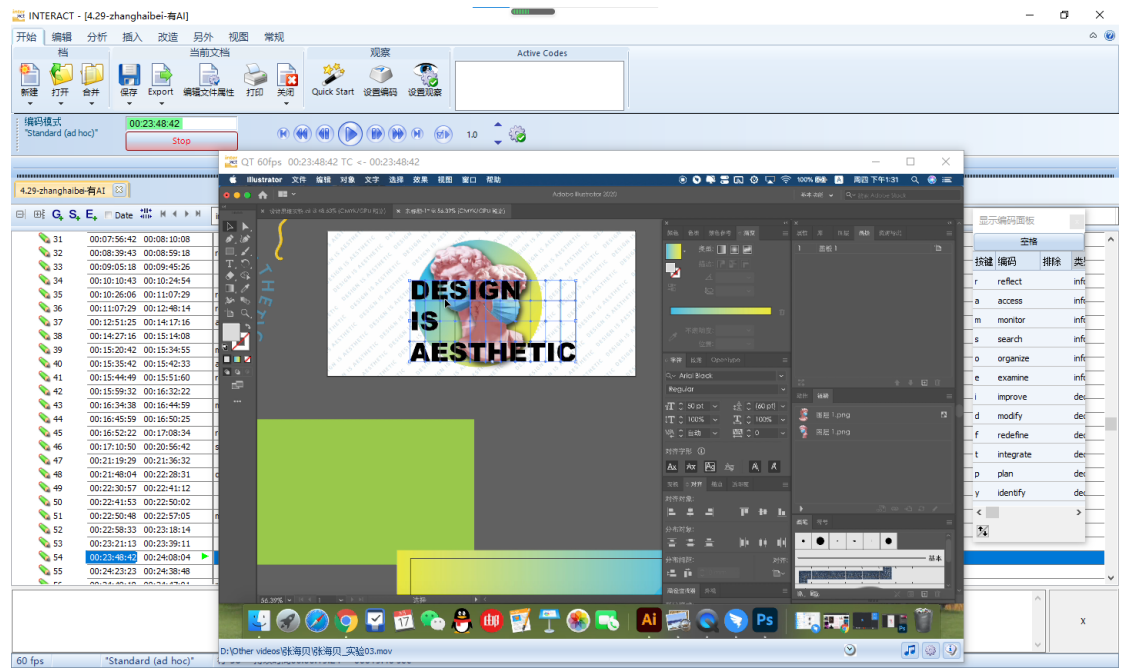


图 8 软件编码过程
Fig.8 Software coding process

表 5 迭代过程认知编码分析
Tab.5 Analysis of coding categories for design iteration

对比组	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
信息处理和决策总频率（非 AI 组-AI 组）	-3.031	10	0.013*
信息处理总频率（非 AI 组-AI 组）	-3.209	10	0.009**
决策总频率（非 AI 组-AI 组）	-2.017	10	0.071†
访问发生频率（非 AI 组-AI 组）	-4.591	10	0.001**
访问持续时间（非 AI 组-AI 组）	-4.450	10	0.001**
访问时间百分比（非 AI 组-AI 组）	-3.827	10	0.003**
组织频率（非 AI 组-AI 组）	-1.868	9	0.095†
计划频率（非 AI 组-AI 组）	-1.855	10	0.093†
改进频率（非 AI 组-AI 组）	-3.207	9	0.011*
改进持续时间（非 AI 组-AI 组）	-2.868	9	0.019*
改进时间百分比（非 AI 组-AI 组）	-2.473	9	0.035*
修改持续时间（非 AI 组-AI 组）	2.163	10	0.056†
修改时间百分比（非 AI 组-AI 组）	2.574	10	0.028*

（注：† $p<0.1$ 表示统计学效果边缘显著；* $p<0.05$ 表示有统计学差异；** $p<0.01$ 表示有显著统计学差异；*** $p<0.001$ 表示有极其显著的统计学差异）

体产生了更多的迭代认知活动变化次数,可以认为被试的设计迭代更为活跃。AI 辅助显著提高了被试信息处理总体频率 ($t(10)=-3.209, p<0.01$)。AI 辅助提高了被试在信息处理认知方面的迭代认知的活跃性。AI 辅助对被试决定的总体频率 ($t(10)=-2.017, p<0.1$) 提高的影响边缘显著, AI 辅助提高了被试在设计决策方面的迭代认知的活跃性。AI 辅助显著提高了被试在信息“访问”这一认知活动中的频率 ($t(10)=-4.591, p<0.01$), 持续时间 ($t(10)=-4.45, p<0.01$) 和时间百分比 ($t(10)=-3.827, p<0.01$)。在

AI 辅助的条件下, 被试会采用更多的信息访问策略去回顾之前的经验或信息。AI 辅助提高了被试在“组织”这一认知活动中的频率 ($t(9)=-1.868, p<0.1$)。在 AI 辅助的条件下, 被试会进行更多的素材整理和删选活动。AI 辅助提高了被试在“计划”这一认知活动中的频率 ($t(10)=-1.855, p<0.1$), 即设计新手在 AI 辅助的条件下会进行多次计划, 包含任务分解或组成、制定时间安排等。在 AI 辅助的条件下, 被试的“改进”这一认知活动中的频率 ($t(9)=-3.207, p<0.05$)、持续时间 ($t(9)=-2.868, p<0.05$) 和时间

百分比 ($t(9)=-2.473$, $p<0.05$) 均得到了提高。即设计新手在 AI 辅助的条件下会更多次地更改解决方案以改善或优化行为。另外, AI 可能也会使某些认知行为的频率降低, 比如在 AI 辅助的条件下, 被试“修改”持续时间 ($t(10)=2.163$, $p<0.1$) 和时间百分比 ($t(10)=2.574$, $p<0.05$) 都显著减少了。也就是说新手设计师在 AI 辅助的情况下, 用于评估自己所处设计阶段的时间和用于修改方案上明显的不适之处的时间均减少了。

经过数据的统计分析表明, 前期关于设计过程的假设中, 假设 4、5 和 6 均成立, 同时还发现 AI 辅助对新手信息处理和决策过程中的访问、组织、计划、改进和修改等认知行为有显著影响。

7 讨论

7.1 人工智能辅助提高设计迭代中认知活动的频率

本研究深入探讨了在 AI 辅助的条件下设计新手在设计迭代活动中认知活动的变化。通过口头协议分析和配对样本 T 检验, 本研究发现, AI 辅助提高了设计迭代中整体的认知活动频率, 新手设计师在信息处理总体频率、决策的总体频率、信息访问和整理等认知活动方面得到了加强。这些活动的加强可能在一定程度上最终增加新手设计师方案的数量。AI 辅助可以提高设计迭代中认知活动的频率, 活跃设计思维。

7.2 人工智能辅助可以帮助缓解设计固化

在设计迭代的过程中, 由于有前期方案的影响, 新手设计师容易产生设计固化。在本研究中, 尝试引入设计智能, 通过 AI 辅助帮助缓解设计固化。本实证研究数据表明, AI 辅助可以提高设计师在流畅度和风格化方面的表现, 可以在一定程度上帮助缓解设计固化。但是, 在本实验中 AI 辅助并没有提高设计师在灵活性和独创性方面的表现, 那可能是因为本研究中只提供了色彩的 AI 反馈。如果提供不同种类的 AI 反馈, 设计智能可以在设计迭代支持中表现得更好。AI 辅助的设计迭代研究是一个值得深入探索的方向。

8 结语

随着新技术尤其是 AI 技术的不断发展, 计算机开始有了新的创造能力。本研究深入探讨了 AI 辅助对设计新手迭代行为的影响。本研究邀请了设计专业的 11 名新手设计师参加了 80 分钟的平面设计练习。通过对观察实验和数据分析, 本研究发现 AI 辅助在改进设计流程和结果方面显示出了巨大的潜力。在设计结果方面, AI 辅助可以提高设计师在流利度和样式化方面的表现。

在设计过程认知方面, 本研究以平面设计为例,

在前人的研究基础上提出了 AI 辅助设计迭代的编码系统, 并基于此编码分析了新手设计师在有/无 AI 辅助情况下的设计迭代中的认知活动差异。本研究发现 AI 辅助提高了平面设计设计迭代中整体的认知活动频率, 新手设计师在信息处理总体频率、决策的总体频率、信息访问和组织等认知活动方面得到了加强。活跃的认知活动帮助改善了设计迭代结果。

然而, 本研究也存在一定的局限性。首先, 本实验的样本数据量偏小, 研究结论需要后续更多的相关实验进一步验证。其次, 在本实验中 AI 只提供了关于配色的建议, 如果能在形状、颜色和布局等方面提供各种建议, AI 辅助设计迭代的效果可能会更好。再次, 尽管 AI 辅助可以提供一种潜在有效的解决方案来提高设计性能, 但只有当设计人员打算使用它们时才能发挥相关的作用, 因此, 未来的研究需要将设计师的接受度和个人特征纳入考虑范围。

综上所述, 本次实验结果证实, AI 增强增加了平面设计中设计迭代的频率, 改善了设计结果。AI 增强可能会鼓励设计师处理设计信息并产生更好的想法。本文有助于理解设计迭代, 并为设计教育提供建议。由于仅提供了关于配色的 AI 反馈, 因此被试的原创性和灵活性在实验中并没有得到显著提升, 但是设计智能的技术更新和多元应用必定可以更好地提升设计迭代效果。

本研究工作不仅有助于设计认知的进一步探索, 而且也可以为设计教育提供一定的参考和支持。后续的研究将会探索更多元的设计智能(技术)对设计迭代的辅助效果, 此外, 基于设计专家的 AI 辅助设计迭代也值得进一步探讨。

参考文献:

- [1] JIN Y, CHUSILP P. Study of Mental Iteration in Different Design Situations[J]. Design Studies, 2006, 27(1): 25-55.
- [2] ADAMS R. Understanding Design Iteration: Representations from an Empirical Study[D]. London: United Kingdom, 2002.
- [3] ADAMS R. Educating Effective Engineering Designers: The Role of Reflective Practice[J]. Design Studies, 2003, 24(3): 275-294.
- [4] DORST K. Creativity in the Design Process: Co-evolution of Problem Solution[J]. Design Studies, 2001, 22(5): 425-437.
- [5] SUWA M. Unexpected Discoveries and S-invention of Design Requirements: Important Vehicles for a Design Process[J]. Design Studies, 2000, 21(6): 539-567.
- [6] COSTA R. Iteration in Engineering Design: Inherent and Unavoidable or Product of Choices Made[M]. London: United Kingdom, 2003.
- [7] SOBEK D. Toyota's Principles of Set-based Concurrent

- Engineering[J]. MIT Sloan Management Review, 1999, 40(2): 67.
- [8] EPPING S. Generalised Models of Design Iteration Using Signal Flow Graphs[J]. Research in Engineering Design, 1997, 9(2): 112-123.
- [9] KRISHNAN V. Simplifying Iterations in Cross-functional[J]. Design Decision Making, 1997, 119(4): 485-493.
- [10] SMITH R. Identifying Controlling Features of Engineering Design Iteration[J]. Management Science, 1997, 43(3): 276-293.
- [11] SMITH R. Experimental Observation of Iteration in Engineering Design[J]. Research in Engineering Design, 1998, 10(2): 107-117.
- [12] PAN Y. Special Issue on Artificial Intelligence 2. 0[J]. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2017, 18(1): 1-2.
- [13] YONG C. A Review of Design Intelligence: Progress, Problems and Challenges[J]. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2019, 20(12): 1595-1618.
- [14] BUCCIARELLI L L. Design Engineers[D]. Cambridge: The MIT Press, 1994.
- [15] ADAMS R. Characterizing Engineering Student Design Processes: An Illustration of Iteration[J]. Am Soc Eng Educ, 2000(9): 1-11.
- [16] ADAMS R. Cognitive Processes in Iterative Design Behavior[J]. University of Washington Seattle, 2001(8): 90.
- [17] ADAMS R. Educating Effective Engineering Designers: The Role of Reflective Practice[J]. Design Studies, 2003, 24(3): 275-294.
- [18] GOEL V. The Structure of Design Problem Spaces[J]. Cognitive Science, 1992, 16(3): 395-429.
- [19] CROSS N. Modelling the Design Process in Engineering and in Architecture[J]. Journal of Engineering Design, 1992, 3(4): 325-337.
- [20] GERO J. Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design[J]. AI Magazine, 1990, 11(4): 26.
- [21] MAHER M. Formalising Design Exploration as Co-evolution[M]. Springer: Design Exploration, 1996.
- [22] MCKOY F. Influence of Design Representation on Effectiveness of Idea Generation[M]. USA: American Society of Mechanical Engineers, 2001.
- [23] BENAMI O. Creative Stimulation in Conceptual Design[J]. International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 2002(3624): 251-263.
- [24] LIU G Z. Innovative Design Thinking Method[J]. 2007 China Association for Science and Technology Annual Meeting, 2007(6): 80.
- [25] FINKE R. Creative Cognition: Theory Research and Applications[M]. Springer: Design Exploration, 1992.
- [26] BROWN T. Design Thinking for Social Innovation[J]. Development Outreach, 2010, 12(1): 29-43.
- [27] BROWN T. Design Thinking[J]. Harvard Business Review, 2008, 86(6): 84.
- [28] DSCHOOL. Dschool Stanford Edu[J]. IEEE, 2021(7): 1.
- [29] ULLMAN D. The Importance of Drawing in the Mechanical Design Process[J]. Computers & Graphics, 1990, 14(2): 263-274.
- [30] CULVER R. Gaining Professional Expertise through Design Activities[J]. Engineering Education, 1990, 80(5): 533-536.
- [31] MILLER R. Encouraging Critical Thinking in an Interactive Chemical Engineering Laboratory Environment[M]. London: IEEE, 1994.
- [32] DYM C. Engineering Design: A Synthesis of Views[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [33] HYBS I. An Evolutionary Process Model of Design[J]. Design Studies, 1992, 13(3): 273-290.
- [34] RADCLIFFE D. Design Methods Used by Undergraduate Engineering Students[J]. Design Studies, 1989, 10(4): 199-207.
- [35] ATMAN C J. A Comparison of Freshman and Senior Engineering Design Processes[J]. Design Studies, 1999, 20(2): 131-152.
- [36] ADAMS R. Cognitive Processes in Iterative Design Behavior[M]. Washington: Seattle WA, 2001.
- [37] PAHL G. Engineering Design: A Systematic Approach[M]. Springer: Science & Business Media, 2013.
- [38] ATMAN C. Verbal Protocol Analysis as a Method to Document Engineering Student Design Processes[J]. Journal of Engineering Education, 1998, 87(2): 121-132.
- [39] ERICSSON K. Protocol Analysis: Verbal Reports as Data[M]. MIT: The MIT Press, 1984.
- [40] DWARAKANATH S. Decision-making in Engineering Design: Observations from Design Experiments[J]. Journal of Engineering Design, 1995, 6(3): 191-206.
- [41] MCGINNIS B. The Evolution of Commitments in the Design of a Component[J]. Design of a Component, 1992, 114(1): 1-7.
- [42] ULLMAN D. Analysis of Protocol Data to Identify Product Information Evolution and Decision Making Process[J]. Analysing Design Activity, 1996(5): 169-185.
- [43] SCHÖN D. Designing: Rules, Types and Worlds[J]. Design Studies, 1988, 9(3): 181-190.
- [44] R S. Cognitive Processes in Iterative Design Behavior FIE'99 Frontiers in Education. 29th Annual Frontiers in Education Conference[J]. IEEE Cat, 1999(1): 13-18.
- [45] BODEN M. Computer Models of Creativity[J]. AI Magazine, 2009, 30(3): 23.
- [46] WANG J. IRGAN: A Minimax Game for Unifying Generative and Discriminative Information Retrieval Models[J]. Proceedings of the 40th International ACM

- SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, 2017(10): 515-524.
- [47] BHARADHWAJ H. RecGAN: Recurrent Generative Adversarial Networks for Recommendation Systems[M]. MIT: The MIT Press, 2018.
- [48] PERERA D. CNGAN: Generative Adversarial Networks for Cross-network User Preference Generation for Non-overlapped Users[M]. MIT: The MIT Press, 2019.
- [49] AN J. Automatic Generation of Personas Using Youtube Social Media Data[M]. Springer: Science & Business Media, 2017.
- [50] JANSEN B J. Viewed by too Many or Viewed too Little: Using Information Dissemination for Audience Segmentation[J]. Proceedings of the Association for Information Science and Technology, 2017, 54(1): 189-196.
- [51] SALMINEN J. Generating Cultural Personas from Social Data: A Perspective of Middle Eastern Users[J]. IEEE, 2017(6): 8.
- [52] SALMINEN J. Evaluating Their Usefulness in the Age of Digital Analytics[J]. Persona Studies, 2018, 4(2): 47-65.
- [53] SALMINEN J. Design Issues in Automatically Generated Persona Profiles: A Qualitative Analysis from 38 Think-aloud Transcripts[M]. Springer: Science & Business Media, 2019.
- [54] HAO J. An Evolutionary Computation Based Method for Creative Design Inspiration Generation[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2019, 30(4): 1673-1691.
- [55] MIKOLOV T. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space[J]. Preprint Arxiv, 2013(1301): 3781.
- [56] VANDEVENNE D. A Scalable Approach for Ideation in Biologically Inspired Design[J]. AI EDAM, 2015, 29(1): 19-31.
- [57] HAN J. A Computational Tool for Creative Idea Generation Based on Analogical Reasoning and Ontology[J]. AI EDAM, 2018, 32(4): 462-477.
- [58] CHAKRABARTI A. Idea Inspire 3. 0-A Tool for Analogical Design[M]. Springer: Science & Business Media, 2017.
- [59] FU K. Design-by-analogy: Experimental Evaluation of a Functional Analogy Search Methodology for Concept Generation Improvement[J]. Research in Engineering Design, 2015, 26(1): 77-95.
- [60] CHEN L. An Artificial Intelligence Based Data-driven Approach for Design Ideation[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2019(61): 10-22.
- [61] STROHMANN T. BrAInstorm: Intelligent Assistance in Group Idea Generation[M]. Springer: Science & Business Media, 2017.
- [62] XU T. Attngan: Fine-grained Text to Image Generation with Attentional Generative Adversarial Networks[M]. Springer: Science & Business Media, 2018.
- [63] ZHANG H. Realistic Image Synthesis with Stacked Generative Adversarial Networks[J]. Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2018, 41(8): 1947-1962.
- [64] DASH A. Tac-gan-text Conditioned Auxiliary Classifier Generative Adversarial Network[J]. ArXiv Preprint ArXiv, 2017(1703): 6412.
- [65] ODENA A. Conditional Image Synthesis with Auxiliary Classifier Gans[M]. Springer: Science & Business Media, 2017.
- [66] ZHANG J. Computational Aesthetic Evaluation of Logos[J]. ACM Transactions on Applied Perception, 2017, 14(3): 1-21.
- [67] SALIMANS T. Improved Techniques for Training Gans[M]. Springer: Science & Business Media, 2016.
- [68] REED S. Learning What and Where to Draw[M]. Springer: Science & Business Media, 2016.
- [69] ZAKHAROV E. Few-shot Adversarial Learning of Realistic Neural Talking Head Models [J]. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2019(9): 459-468.
- [70] WANG Z. Face Aging with Identity-preserved Conditional Generative Adversarial Networks [J]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018(7): 939-947.
- [71] YANG H. Learning Face Age Progression: A Pyramid Architecture of Gans[J]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018(8): 31-39.
- [72] ISOLA P. Image-to-image Translation with Conditional Adversarial Networks[J]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017(1): 125-134.
- [73] ZHANG R. Colorful Image Colorization[J]. Springer, 2016(32): 90.
- [74] JO Y. Face Editing Generative Adversarial Network with User's Sketch and Color [J]. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2019(1): 745-753.
- [75] YANG W. Deep Learning for Single Image Super-resolution: A Brief Review[J]. Transactions on Multimedia, 2019, 21(12): 3106-3121.
- [76] LIU G. Image Inpainting for Irregular Holes Using Partial Convolutions[J]. Proceedings of the European Conference on Computer Vision, 2018(8): 85-100.
- [77] YU J. Generative Image Inpainting with Contextual Attention[J]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018(5): 505-514.
- [78] YOON Y. Learning a Deep Convolutional Network for Light-field Image Super-resolution [J]. European Conference on Computer Vision, 2014(6): 184-199.
- [79] HUANG X. Arbitrary Style Transfer in Real-time with

- Adaptive Instance Normalization [J]. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2017(1): 501-510.
- [80] GATYS L. Image Style Transfer Using Convolutional Neural Networks[J]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016(2): 414-423.
- [81] JOHNSON J. Perceptual Losses for Real-time Style Transfer and Super-resolution[J]. European Conference on Computer Vision, 2016(7): 694-711.
- [82] LI C. Precomputed Real-time Texture Synthesis with Markovian Generative Adversarial Networks[J]. European Conference on Computer Vision, 2016(2): 702-716.
- [83] SIMONYAN K. Very Deep Convolutional Networks for Large-scale Image Recognition[J]. ArXiv Preprint ArXiv, 2014(1409): 1556.
- [84] WANG W. Neural Aesthetic Image Reviewer[J]. IET Computer Vision, 2019, 13(8): 749-758.
- [85] DOU Q. Webthetics: Quantifying Webpage Aesthetics with Deep Learning[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2019(124): 56-66.
- [86] ZHANG H. Stackgan: Text to Photo-realistic Image Synthesis with Stacked Generative Adversarial Networks[J]. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2017(5): 907-915.
- [87] LEITE D. Inspiration and Fixation: Questions, Methods, Findings and Challenges[J]. Design Studies, 2016(42): 1-32.
- [88] GONALVES M. Find your Inspiration: Exploring Different Levels of Abstraction in Textual Stimuli[J]. Proceedings of the 2nd International Conference on Design Creativity, 2012(1): 23.
- [89] CARDOSO C. The Influence of Different Pictorial Representations During Idea Generation[J]. The Journal of Creative Behavior, 2011, 45(2): 130-146.
- [90] PERTTULA M. Exposure Effects in Design Idea Generation: Unconscious Conformity or a Product of Sampling Probability[J]. Development Process: From Idea to the World's First Bionic Prosthetic Foot, 2006(14): 42-55.

(上接第 34 页)

- [27] HE X, PAN J, JIN O, et al. Practical Lessons from Predicting Clicks on Ads at Facebook[C]. Proceedings of the Eighth International Workshop on Data Mining for Online Advertising, 2014.
- [28] WU O, HU W, SHI L. Measuring the Visual Complexities of Web Pages[J]. ACM Transactions on the Web (TWEB), 2013, 7(1): 1-34.
- [29] LIU K L, LI W, YANG C Y, et al. Intelligent Design of Multimedia Content in Alibaba[J]. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2019, 20(12): 1657-1664.
- [30] DAVIS F D, YI M Y. Improving Computer Skill Training: Behavior Modeling, Symbolic Mental Rehearsal, and the Role of Knowledge Structures[J]. Journal of Applied Psychology, 2004, 89(3): 509.
- [31] SHENG H, JOGINAPELLE T. Effects of Web Atmospheric Cues on Users' Emotional Responses in E-Commerce[J]. AIS Transactions on Human-Computer Interaction, 2012, 4(1): 1-24.
- [32] MURRAY N, MARCHESOTTI L, PERRONNIN F. Ava: a Large-Scale Database for Aesthetic Visual Analysis[C]. 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2012.
- [33] HOU Q, CHENG M M, HU X, et al. Deeply Supervised Salient Object Detection with Short Connections[C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017.
- [34] HALL R H, HANNA P. The Impact of Web Page Text-Background Colour Combinations on Readability, Retention, Aesthetics and Behavioural Intention[J]. Behaviour & Information Technology, 2004, 23(3): 183-195.
- [35] CYR D, HEAD M, LARIOS H. Colour Appeal in Website Design within and Across Cultures: a Multi-Method Evaluation[J]. International Journal of Human-computer Studies, 2010, 68(1): 1-21.
- [36] NIU J, SU Y, MO S, et al. A Novel Affective Visualization System for Videos Based on Acoustic and Visual Features[C]. International Conference on Multimedia Modeling, 2017.
- [37] HASLER D, SUESSTRUNK S E. Measuring Colorfulness in Natural Images[C]. New York: Human Vision and Electronic Imaging, 2003.
- [38] 黄嘉恒, 李晓伟, 陈本辉, 等. 基于哈希的图像相似度算法比较研究[J]. 大理大学学报, 2017, 2(12): 32-37.
- HUANG Jia-heng, LI Xiao-wei, CHEN Ben-hui, et al. A Comparative Study on Image Similarity Algorithms Based on Hash[J]. Journal of Dali University, 2007, 2(12): 32-37.