

基于STEAM教育理念的少儿情感化界面设计研究

武泽慧¹, 郁舒兰²

¹南京林业大学艺术设计学院, 江苏 南京

²南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏 南京

收稿日期: 2024年3月21日; 录用日期: 2024年5月30日; 发布日期: 2024年6月6日

摘要

在数字化及后疫情时代, 计算机移动应用软件已成为常态。智慧教育也应运而生。本文以小学生STEAM线上课程为研究对象, 通过唐纳德·诺曼情感化三层次设计理论在儿童UI设计中的应用探索, 帮助学生更好地完成课程学习, 充分利用网络优势激发学生的创造力。同时也为儿童情感化UI设计及STEAM教育课程提供设计提供一些初步的文献参考及借鉴。

关键词

STEAM教育, 情感化设计, 儿童教育, 界面设计

A Study on Emotional Interface Design for Children Based on STEAM Education Concepts

Zehui Wu¹, Shulan Yu²

¹College of Art and Design, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu

²College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu

Received: Mar. 21st, 2024; accepted: May 30th, 2024; published: Jun. 6th, 2024

Abstract

In the digital and post epidemic era, computerized mobile applications have become the norm. Smart education has also emerged. This paper takes the STEAM online course for elementary school students as the research object, and explores the application of Donald Norman's affective three-level design theory in children's UI design to help students better complete the course and

make full use of the advantages of the network to stimulate students' creativity. At the same time, it also provides some preliminary literature references and insights for the design of children's emotional UI and STEAM education curriculum.

Keywords

STEAM Education, Emotional Design, Children's Education, Interface Design

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

伴随着信息技术的高速发展与稳步提升,“互联网+”和大数据时代已经到来,“互联网+教育”将成为时代的发展趋势,不断走进教学的方方面面,成为教育信息化的主力军。手机、平板电脑等移动设备的移动应用技术正在逐渐走进教育领域[1]。随着竞争日益激烈,类似的应用不断出现,为了提高应用使用率,发展体验设计满足用户心理需求,也成为重点发展方向。STEAM教育是全新的教育实践,有跨学科整合的独特优势,在全世界引起高度关注,然而我国STEAM教育领域存在部分课程目标不清晰,体系不明确,探索设计细节不足,专业教师人才缺乏等问题,我们需要努力发展新教育学,而非传统的经验主义教育。

此研究的主要目的是通过对综合实践活动课程的调研,然后总结提炼课程流程,设计出一款便于小学生开展综合实践活动课程的应用,主要集中在研究儿童情感化界面设计及情感化交互流程,便于操作理解,及更好的帮助小学生学会独立思考,帮助老师更好地管理照顾到每位同学,同时促进师生与家长的交流。

研究意义在于,基于“互联网+”时代背景下,重新审视小学综合实践活动,认真分析传统教学模式的固有问题,可以有新的思考和突破。教学模式也会与时俱进,以创新的教学模式领导学生开启综合实践活动,推动小学教学质量的提高,提高学生综合素质,推动教育从知识教育向素质教育转型,引导孩子做一个有趣的人,为孩子心中埋下“做有趣的人,过有趣的生活”的种子。同时研究界面情感化设计,为教育类应用提供美学及心理学方面的参考。利用情感化设计,协助STEAM教育课程更好地开展。

2. STEAM教育的核心理念与情感化设计

2.1. 核心理念

STEAM教育起源于美国,其主要理念是通过跨学科的整合来培养学生的创新能力。据研究表明,我国的核心素养和STEAM教育从理念、目标等方面具有一致性,符合我国的教育方针规划,STEAM教育增加了核心素养的实践途径,STEAM教育在课堂教学中渗透了核心素养,是不可分割的关系。STEAM教育是四个学课的跨学科整合,分别是科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)及数学(Mathematics)。近年来这个概念也有很多的衍生扩展,例如加入艺术(ART),变成STEAM教育,STEAM教育将艺术与STEAM科目相结合,目的是提高学生的参与度、创造力、创新能力、解决问题的技能以及其他认知优势[2],这个概念在我国已经较为普及。艺术(ART)包含很多方面,如精致艺术、人文艺术、语言艺术、肢体艺术及手工艺术等。随着科技的进步和时代的发展,社会对于未来的人才提出了新的需求,旧的工业时代的教育方式已经不适合培养出未来需要的人才了,所以STEAM教育应运而生[3]。

实施 STEAM 教育理念有三大核心关键词：分别是跨学科、主动学习及数据评估。基于 STEAM 教育理念的三大关键词，笔者设计了与其对应的 UI 界面设计，将 STEAM 教育融入线上智慧教育，通过手机等移动终端即可参与并记录 STEAM 教育课程。

2.2. 跨学科整合思维是 STEAM 教育的先决条件

朱莉·汤普森·克莱因将跨学科整合课程分为多学科、交叉学科、超学科三个层次。美国学者认为“跨领域的有用知识的自发转移是一种强大的认知工具”[4]。在实践中，多学科课程表现为将不同学科进行简单组合拼装，学科融合度不高；交叉学科课程是将多门学科根据要解决问题目标进行知识选取整合和结构化重构，有利于培养学生的创新能力；超学科课程则强调超越学科视角，在批判反思的基础上构建超学科文化，是 STEAM 课程整合的终极目标[5]。可见，交叉学科和超学科课程真正打破了学科壁垒和界限，将科学、技术、工程和数学等学科整合为一个全新的学习体系。

赫希巴奇认为，最常用的 STEAM 整合方式是打破学科之间的界限，通过活动或项目形成连贯的、有组织的课程结构，其中，如何在打破的学科之间取得平衡、建立新的课程结构对教师和政策制定者提出了新的挑战[6]。应对这些挑战需要教师对学生解决一个项目问题所需要的跨学科知识进行梳理和结构化整合，注意每个阶段学科间知识关联的系统性连接，并保持各块知识的均衡覆盖和重叠交叉[7]，帮助学生创造性解决问题。

针对跨学科该特点，选择项目制教学的教学方式是较为合适的，一个项目的完成往往需要多种学科知识的合作才能完成。PBL (Project based Learning) 是一种以学生为主体的项目式学习的教学模式，解决的是如何学的问题，它倡导学生基于现实世界的探究活动寻找有意义的切入点，以小组方式进行较长周期的开放性探究活动，完成一系列提问、探索、计划、设计、决策、作品创建、成果交流等活动，最终达到知识建构和能力提升的一种教学模式[8]。

因此在设计“学程周”这个面向小学生的项目课程平台时，需要让小学生参加到自己感兴趣的项目建设中去，同时提供多学科的学习资源，从而更加主动去寻找整合多学科的知识，去思考去解决问题，从而逐渐培养孩子的跨学科整合思维(图 1)。

2.3. 循证教学的评估是 STEAM 教育的成果依据

教育作为一种专业实践，应当以证据为基础，或至少以证据为依据，并应用于学生的学习、教师的教学和教育政策的制定。美国本科 STEAM 教育质量评估指标制定委员会认为，学生 STEAM 能力的培养必须依靠循证的 STEAM 教育实践[9]。因而，STEAM 教育评估包含了对学生学习体验的教学活动监测以及教学环境监测两个方面。微观层面的 STEAM 课程设计方面，国内学者余胜泉认为，要注重 STEAM 课堂问题或项目中所包含的学科知识的内在联系，要关注学生在解决问题和完成任务过程中的认知活动，要强调对学习过程中一切证据的收集和利用，从而促进教学的评估诊断和学生核心素养的提升[10]。这里包含三层循证：一是教学内容设计要基于“项目问题”的证据；二是教学方法选取要有利于学生探究推理的循证；三是教学评价方式要体现学习活动全过程的发展性评价。

因此，教学流程可以依据以上观点来设计，首先教学内容需要发现问题，从而产生解决该问题的项目，从而让该项目基于发现的问题而开展，也就有了教学方法及教学内容，在每个教学阶段需要加入教学评价，通过教师对各个阶段学生的表现的评价来评估实践项目的整体效果，例如可以将项目学习分为四个阶段，提问阶段、了解阶段、解决阶段及分享阶段。在提问阶段，学生提出了生活中的问题，教师可以根据其提问质量及深度来进行评分；在搜集资料阶段，教师可以通过资料搜集的广度及深度等方面进行多维度评价等(图 2)。



Figure 1. Interdisciplinary integration thinking module
图 1. 跨学科整合思维模块^①



Figure 2. Teacher evaluation page
图 2. 教师评价页面^①

2.4. 主动学习的有利环境是 STEAM 教育的重要驱动力

基于“跨学科整合”“循证教学”特点的 STEAM 课程,体现了“以学生为中心”和“以实践为中心”的理念,[11]创造了学生的自主学习的有利环境。斯滕伯格强调,个体的主动性在建构认知结构中起到关键作用[12]。维果斯基强调了认知过程中学习者所处社会文化历史背景的作用,提出了“最新发展区”理论[13]。STEAM 教育一方面为学习者提供了有利于激发认知好奇的现实情境;另一方面帮助学习者提供了为解决问题而积极建构跨学科知识的路径方法,注重科学探究、工程实践、交流强化的教学流程为学生探究、发现、协作提供了科学程序和群体动力,强化了个体主动找到自己的“最新发展区”的学习动机,从而获得学习的意义,促进学习效果的转化提升。有研究表明,自 2010 年以来,STEAM 教育中的技术教育研究稳步增长,以学生为目标的研究占最大份额,更体现了学生为中心的重要性[14]。

因此,需要设计一个激发学生好奇心的教学过程,从而让学生在较大范围内找到自己感兴趣的区域,从而主动学习、主动探索,激发学习的动力(图 3)。



Figure 3. Page reflecting an enabling environment for active learning
图 3. 体现主动学习有利环境的页面^①

总之,跨学科整合思维、循证教学的评估实践、主动学习是 STEAM 教育理念的核心。而如何将这三项关键点通过教学活动的功能性设计,实现对学生创新素养等高阶能力的提升转化,其教学模式的精心设计尤为重要。整合 STEAM 教育的三大关键特征,得出了教学应用“学程周”的信息架构(图 4)。



Figure 4. “Student Week” student-side information architecture
图 4. “学程周”学生端信息架构^①

3. 情感化设计理论与情感化界面设计——以“学程周”应用为例

将情感因素融入到设计中，这一理念在人们日益注重用户体验之后被提出。设计师们开始着重于设计主体与用户之间的情感联系，目的是迎合用户深层次的需求。Donald Norman 通过其著名的情感设计三层理论模型——本能层、行为层、反思层——对这一理念进行了明确的阐述，并通过案例详细解释了各层级设计的特点：本能层设计关注产品的外观设计；行为层设计着眼于使用的愉悦感和效率；而反思层设计则与用户的自我认知、文化价值、个人满足感和记忆紧密相关。

3.1. 本能层面的界面设计

本能层次设计是遵循自然法则来设计。人的本能来自于漫长的物种进化与物竞天择，在本能层大部

分人类的情感偏好是相通的。对于生物来说, 生存本能是种群延续的基础。那些能够带来食物和安全保障的事物往往与积极情绪紧密相连。这些正面情感可以通过视觉元素体现, 如: 柔和而明亮的火焰、饱满的色彩、亲切的笑容、光滑的曲面、对称的图案以及井然有序的物品排列等。可以从人的五感“视听嗅味触”五个分类来分别进行设计, 嗅觉和味觉在如今的 UI 界面技术中还较为难以应用, 在未来也许会在虚拟现实或增强现实中广泛使用, 这些碎片化情境又被设计者重新分解为设计元素运用在 UI 界面中, 以确保应用界面外观能为大多数人接受[15]。

除了生存本能外, 后天环境也对人的本能层认知产生重要影响。在这一过程中, 诸如地理位置、民族背景、家庭信仰、性别年龄以及职业教育等社会因素成为塑造个体认知的关键因素, 造成了不同群体和个体间的认知差异。用户研究正是基于这些差异来进行的。有时后天形成的习惯可能与先天本能发生冲突, 比如不同文化背景、年龄段、民族对颜色的理解和情感反应各异。因此, 在为特定用户群体设计产品时, 除了考虑本能, 还必须兼顾该群体特有的后天习惯或偏好。

小学阶段包含在通常所说的少儿时期内, 且是最关键的打基础时期, 在这个时间段对孩子做出正确的引导对孩子自身的发展有很重要的作用。小学阶段学生心理研究的方向主要有三个, 分别是记忆、注意力和思维。

在本能层面, 其对应的是注意力方向, 也是一个较为整体的角度。注意力是指五感综合起来对于事物的关注能力。根据有无目的的程度, 注意也分为有意注意和无意注意。无意注意是不需要目的和意志力的, 相对轻松, 但是无意注意无法学习到有深度的知识, 无法掌握系统体系及无法完成难度较高的任务等。无意注意可分配给难度较低的任务。有意注意需要明确的目的及强大的意志力支持, 大多情况需要对目的事物产生兴趣、热情等, 情绪也需要较为平稳, 不可产生大的情绪波动[16]。两种注意互相交替配合好对学生学习会产生非常好的效果。长时间的高度专注会让头脑疲惫, 适当无意识注意配合会让学习事半功倍, 劳逸结合。少儿因为年龄小, 注意力意志力不够强大, 还不能很好地自控, 所以总是被各种事物吸引注意力, 无法专注。

因此在少儿界面设计中, 为了让少儿专注于学习, 需要从视觉、听觉等方面尽可能减少应用环境中的其他干扰因素, 并且强调任务目的, 增强少儿的期望、好奇、期待等情绪, 例如提前告知通过这个任务会有何种奖励, 将其进度条放在明显的位置不断提示用户, 帮助其专注的完成任务。其次提升专注力, 需要让一个任务的流程非常连贯, 需要设置递进结构。例如游戏化设计中的设置一个终极目标及途中几个小目标, 一步步奖励完成终极任务, 会让少儿更有动力去完成学习任务。在视觉层面上可以在重点的地方使用彩色引起少儿的本能注意及兴趣, 从而提升专注力(图 5); 听觉层面可以在完成任务时时添加一些合适的音效, 从本能层面增强完成学习任务的快感等本能层面的界面设计。

3.2. 行为层面的界面设计

3.2.1. 功能要素

在设计行为层面时, 功能性是最关键也是最优先考虑的要素。对于任何产品而言, 明确其功能是至关重要的。如果产品的功能无法引起人们的兴趣, 那么它的其他优点也可能会被埋没。有时候, 一些设计精良的功能因为与用户的期望不符而未能获得认可。例如, 如果一个削皮器不能快速削皮, 或者手表无法准确显示时间, 那么它们就失去了存在的意义。因此, 在进行产品设计时, 首先需要通过行为层的功能测试, 确保产品能够满足功能需求[17]。

表面上, 功能设计看起来是最容易达到的, 但实际上却是非常困难的。人们隐含的真正需求不像想象的那样明显, 需要寻找观察客户真正的需求, 然后从找到的需求中确定需求层级, 以确定核心功能。

PBL (Project based Learning) 是一种以学生为主体的项目式学习的教学模式, 解决的是如何学的问题,

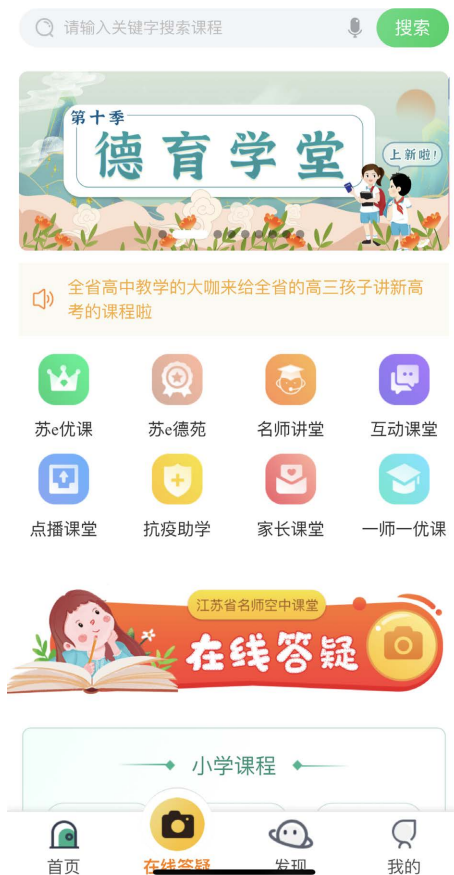


Figure 5. Color aspects enhance instinctive focus
图 5. 色彩方面提升本能专注力^①

由 1918 年 William Hurd Cobbler 提出的“设计教学法”演变而来[18], 它倡导学生基于现实世界的探究活动寻找有意义的切入点, 以小组方式进行较长周期的开放性探究活动, 完成一系列设计、计划、问题解决、决策、作品创建、成果交流等活动, 最终达到知识建构和能力提升的一种教学模式[19]。基于学习的本质, 项目式学习继承了 STEAM 教育的特质, 成为了培育学生跨学科能力的关键学习模式[20]。

3.2.2. 理解要素

功能之后第二位的便是理解要素。如果你不理解一个产品, 你就使用不了它。若缺乏理解, 在事情出问题的时候, 人们将不知该如何是好, 并且产品不可避免的会出现不同程度的问题。好的理解秘诀就是建立一个正确的概念模型[21]。设计者的概念模型转化为系统意向传达给用户, 使用户产生心理模型。设计者和用户通过产品来沟通, 只有产品表达准确, 才能让用户很好的理解。

理解的一个重要组成部分来源于反馈: 产品应持续提供反馈信息, 以使用户确信其正在运行, 或确认其运行的状态。缺乏反馈时会缺乏对产品的理解。而对于小学生来讲, 反馈最好是更加拟人化、自然化, 便于儿童理解。

3.2.3. 易用要素

易用性也是一个产品的关键检验标准。其应该通往的方向是通用设计, 就是面向所有人的设计, 如为残障人士、视听障碍人士或行动不便人士等作设计, 集合起来便是通用设计。

在行为层面, 记忆方向的研究便对应着易用要素, 符合人记忆习惯的产品才会更加易用。记忆是储

存在大脑中的知识, 是大脑对过去事物的整合、理解、保留。记忆是一系列活动的总称, 活动顺序是识记、保持、回忆和再认这四个环节。信息加工理论认为, 人脑如同计算机, 记忆产生的过程就如同将产生输入的信息进行编码, 存储和提取, 并且只有编码过的记忆信息才会被记住[9]。因为大部分人类的记忆是有限的, 人类无法记住所有的东西, 只能取舍, 记住那些重要的、容易理解的事物。因此, 在做少儿应用的界面设计时, 我们需要尽可能的让应用容易被理解, 多采用图形化的语言及有趣亲切的声音提示帮助小学生理解, 例如 icon 的拟物化, 整体风格的童趣、可爱、美观, 色彩的明艳丰富, 独特有特殊记忆点多, 让人印象深刻。按照时间划分, 记忆分为长时记忆和短时记忆。短时记忆指我们短时间内可以快速记住一些事物但是过一段时间不去回忆便会忘记, 且记住的数量一般在五到七个之间。利用这个原理, 我们设置应用菜单栏、选项或底部栏时尽可能将数量控制在两个到五个之间, 方便用户快速理解切换。根据长时记忆的有无意义性, 将记忆分为随意记忆及有意义的记忆。随意记忆是无目的, 无需意志力去辅助记忆, 且潜移默化的。例如界面设计中应用整体的风格是商务风、简约风还是童趣风或是科技风格, 色彩的浓淡冷暖及氛围感等。而有意义记忆则是需要循序渐进, 通过多种记忆方法, 逐步理解吸收知识来记忆。界面设计中可以做的是帮助提示学生理解每一步操作, 让学习更加连贯, 不会因为系统原因被打断学习思路, 从而更好的形成长期有意义记忆。

3.2.4. 感受要素

众多先进的科技产品已经将原本的实体操作界面转移到了显示器上, 这样的转变使得操作实物产品的愉悦感和控制体验有所降低。然而, 实体操作的触感对于我们这些拥有实体身体和四肢的生物来说极为重要。我们的大脑中有很大一部分是专门用于感官系统, 它不断地感知周围世界并与之互动。最优秀的产品能够充分地利用这种互动性。而软件所在的虚拟世界则属于认知领域: 它所包含的思想和概念并不依赖于物理实体来展现。实际的物体涉及情感世界, 即你可以体验到各种东西, 不管是某些东西表面带来的舒适感, 还是其他东西带来的刺激的不适感。虽然软件和电脑俨然已成为日常生活不可或缺的东西, 但是过多倚赖电脑屏幕上的那些抽象东西, 会剥夺了情感上的愉悦感。因此, 很多界面设计师已经在恢复真实可触碰的世界里自然情感的愉悦, 通过声音和外观增加自然光影及手动或语音操作交互方式来模拟真实世界的按钮、开关、插画及控制杆等。

例如在学程周应用界面设计中利用文件的立体缺省图插画表示空内容, 给人没有文件的空间感受, 右下角的添加按钮也增加了光影弥散及渐变填充的效果, 体现按钮的立体性及光泽感, 给人按压的感觉, 这就是在模拟实体的感受。虽然和真正的实体感受不同, 但是我们可以尽可能做到最真实(图 6)。

3.3. 反思层面的界面设计

反思层设计触及多个方面, 与信息传递、文化背景、审美观念以及产品的意义和应用多种因素紧密相连。吸引注意力通常与本能层面相关, 而审美体验则源自于反思层面。美不仅仅是外表, 它源自深思熟虑的反思和个人经历, 同时受到知识、教育和文化的影响。即便是外观不吸引人的物品, 也可能带来美的享受, 比如不悦耳的音乐或外观不讨喜的艺术作品。

反思层设计往往塑造了公众对产品的第一印象或主观看法。某些设计元素可能对一部分用户产生积极影响, 而对另一部分用户则可能产生负面效果。用户研究的目的是帮助产品精准定位, 根据用户群体的不同特点开发相对对应的应用, 以及设计符合目标用户习惯的界面。当前流行的“个性化定制设计”正是为了迎合反思层需求。当反思层设计能够激发足够的正面情感时, 它在情感价值上可以弥补行为层的不足。

例如学程周面向的用户是儿童及其家长, 需要让他们感受到童趣活泼的整体印象, 需要减少使用商务尖锐的 icon 图标及色彩等, 而要增加温和的大圆角及丰富多彩的配色来维持亲和的整体印象。

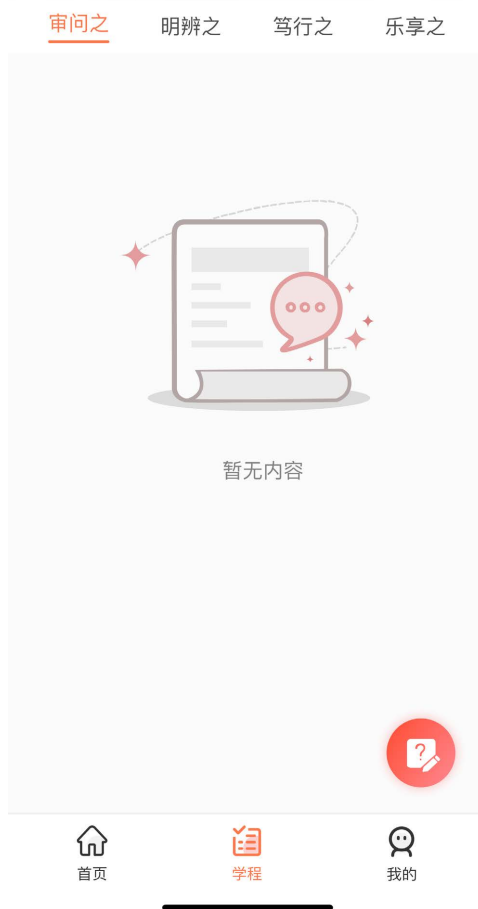


Figure 6. Embodiment of behavioral level feeling elements
图 6. 行为层感受要素的体现^①

反思层对应的研究方向是思维。思维是探索事物本质联系和规律性的能力，思维是认识过程的高级阶段。少儿阶段，儿童思维开始多向化，已经有了初步逻辑推理能力和不再完全以自我为中心，逐渐尝试去理解别人，站在别人的角度思考问题。并且儿童对于游戏及故事的兴趣非常高，因此，在少儿界面设计中可以采用营造剧情闯关的方法，根据生动的情节来推进教学，降低挫败感的同时放大愉悦感，例如闯关失败需要第一时间告诉这个孩子失败原因是什么、如何成功通过以及加上鼓励的话语为孩子增添信心，而闯关成功则会给用户很多奖励，让其开心，达到内心的“兴奋点”，提升了儿童纯真认真思考、充满好奇的形象。

4. 结论与启示

本研究通过对 STEAM 教育理念与情感化界面设计的结合应用，为提升小学生线上学习体验提供了新的视角和方法。通过将跨学科整合、循证教学和主动学习的核心理念融入 UI 界面设计，本研究展示了如何通过情感化设计增强学生的学习动机和创造力，从而提高 STEAM 教育的教学质量和效果。研究表明，情感化设计能够有效吸引学生的注意力，提高他们的参与度，并促进认知和情感的发展。其中在儿童用户群体方面，本能层对应的重点研究方向为注意力，行为层重点研究方向为记忆，而反思层重点研究方向为思维。该研究可帮助儿童用户在情感化方面更好的使用该应用程序，并更好地在 STEAM 课程中激发好奇心与创造力，使课程效果更好。同时也可以为儿童情感化设计及 STEAM 教育课程的设

计提供参考和借鉴。

尽管 STEAM 领域的研究尚未形成一套完善的理论体系, 但现有研究动态已显示出明确的发展方向 and 趋势[22]。展望未来, 随着教育技术的不断进步和教育理念的更新, 情感化界面设计在 STEAM 教育中的应用将有更广阔的发展空间。未来的研究可以探索更多关于情感化设计在不同年龄段和文化背景下的应用, 以及如何结合人工智能、虚拟现实等新兴技术来进一步提升学习体验。此外, 跨学科的研究方法可以为 STEAM 教育提供更多创新的教学模式和评估工具, 以适应未来社会对人才的多元需求。通过不断的研究和实践, 我们有望构建一个更加高效、有趣和富有创造力的教育环境。

基金项目

江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX22_1040)。

注 释

① 图 1~6: 作者绘制

参考文献

- [1] 钱颖. 互联网背景下高校汉语言文学教育与人文素养提升——评《“互联网+”背景下的汉语国际教育与文化传播》[J]. 中国科技论文, 2024, 19(1): 148-149.
- [2] Perignat, E. and Katz-Buonincontro, J. (2019) STEAM in Practice and Research: An Integrative Literature Review. *Thinking Skills and Creativity*, **31**, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- [3] 陶佳, 范晨晨, 张翠翠. STEAM 教育助力核心素养提升的国内研究综述[J]. 当代教育与文化, 2020, 2(1): 65-73.
- [4] Brown, S.A. (2015) Creative Expression of Science through Poetry and Other Media Can Enrich Medical and Science Education. *Frontiers in Neurology*, **6**, Article 3. <https://doi.org/10.3389/fneur.2015.00003>
- [5] Klein, J.T. (2010) A Taxonomy of Interdisciplinarity. In: Frodeman, R., Klein, J.T. and Mitcham, C., Eds., *The Oxford handbook of Interdisciplinarity*, Oxford University Press, New York, 15-30.
- [6] Herschbach, D.R. (2011) The Stem Initiative: Constraints and Challenges. *Journal of Stem Teacher Education*, **48**, Article 9. <https://doi.org/10.30707/JSTE48.1Herschbach>
- [7] 张屹, 赵亚萍, 何玲, 等. 基于 STEM 的跨学科教学设计与实践[J]. 现代远程教育研究, 2017(6): 75-84.
- [8] 李敏, 毛旭锋, 魏晓燕. 基于项目式学习的高中地理翻转课堂教学设计——以“水循环”为例[J]. 中学教学参考, 2022(13): 88-90.
- [9] Rosenberg, M.B., Hilton, M.L. and Dibner, K.A. (2017) Indicators for Monitoring Undergraduate STEM Education. The National Academies Press, Washington DC. <https://doi.org/10.17226/24943>
- [10] 余胜泉, 吴澜. 证据导向的 STEM 教学模式研究[J]. 现代远程教育研究, 2019, 31(5): 20-31, 84.
- [11] Stem, S.M. (2009) STEM Education, Stemmania. *The Technology Teacher*, **68**, 20-26.
- [12] 斯滕伯格, 著. 认知心理学[M]. 第 3 版. 北京: 中国轻工业出版社, 2006.
- [13] Vygotsky, L.S. (1978) *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*.
- [14] Lee, H., Ham, H. and Kwon, H. (2020) Research Trends of Integrative Technology Education in South Korea: A Literature Review of Journal Papers. *International Journal of Technology and Design Education*, **32**, 791-804.
- [15] 唐纳德·A·诺曼, Donald Arthur Norman, 诺曼, 等. 设计心理学: 情感设计[M]. 北京: 中信出版社, 2012.
- [16] 邵斯宇. 阿恩海姆审美直觉心理学理论研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [17] 周美玉. 感性驱动的产品设计[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2005, 31(4): 140-142.
- [18] Feiman, S. (1973) Book Review: Models of Teaching Bruce Joyce, Marsha Weil. *The School Review*, **82**, 147-154. <https://doi.org/10.1086/443124>
- [19] 柯清超. 超越与变革: 翻转课堂与项目学习[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018: 129.
- [20] 夏雪梅. 基础教育风向标: 项目化学习[N]. 中国教育报, 2019-01-02(05)
- [21] 刘焯, 付秋芳, 傅小兰. 认知与情绪的交互作用[J]. 科学通报, 2009, 54(18): 2783-2796.

- [22] Marín-Marín, J.A., Moreno-Guerrero, A.J., Dúo-Terrón, P. and López-Belmonte, J. (2021) STEAM in Education: A Bibliometric Analysis of Performance and Co-Words in Web of Science. *International Journal of STEM Education*, **8**, Article No. 41. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00296-x>