

基于可持续理念的儿童立体书设计研究

——以海洋环境保护主题书籍为例

孟令娇, 于 炜

华东理工大学艺术设计与传媒学院, 上海

收稿日期: 2026年3月23日; 录用日期: 2026年4月27日; 发布日期: 2026年5月29日

摘 要

在全球生态危机与可持续发展教育需求迫切的背景下, 如何向儿童有效传递环保理念成为重要议题。基于此, 本研究聚焦于数字技术与智能传感融合的儿童立体书这一媒介, 在其中探索出培育儿童可持续发展素养的综合性阅读工具设计。研究以海洋环境保护为主题, 在跨学科学术研究的基础上, 提出一个探索性的面向可持续素养培育的数字技术与智能传感的融合儿童立体书设计模型框架。本立体书将可持续性解构为可持续材料、虚实交互、多维心智共情三个维度。并进一步将教学目标分解为知识、情感、行动及价值四个层次的教学过程。针对市场同类产品存在的故事性不强、交互与行为分离等问题的基础上提出了系统性的设计策略。叙事层以多媒介、非线性的时间空间叙事手法进行故事讲述; 视觉层以数字技术为载体传递生态环境信息; 结构层对智能传感的人机交互行为过程进行拟真处理; 体验层提供基于数字媒体技术的人机交互环境下的主动学习模式, 本研究旨在将立体书转化为感知情绪、引导可持续生活、培育生态价值观的交互教育工具, 不仅探索了海洋保护题材的儿童读物设计, 也为儿童可持续发展产品的数字技术与智能传感融合转型提供了参考路径。

关键词

可持续发展, 儿童立体书, 环境保护, 理念引导

Research on Children's Pop-Up Book Design Based on Sustainability Principles

—A Case Study of Marine Environmental Protection

Lingjiao Meng, Wei Yu

School of Art Design and Media, East China University of Science and Technology, Shanghai

Received: March 23, 2026; accepted: April 27, 2026; published: May 29, 2026

Abstract

In the context of global ecological crises and the urgent need for sustainable development education, how to effectively convey environmental protection concepts to children has become an important issue. Based on this, this research focuses on the children's three-dimensional books that integrate digital technology and intelligent sensing as a medium, and explores the design of a comprehensive reading tool for cultivating children's sustainable development literacy. The research is centered on marine environmental protection and, based on interdisciplinary academic research, proposes an exploratory framework for the design of a digital technology and intelligent sensing integrated children's three-dimensional books for the cultivation of sustainable literacy. This three-dimensional book decomposes sustainability into three dimensions: sustainable materials, virtual-real interaction, and multi-dimensional emotional empathy. It further decomposes the teaching objectives into four levels of teaching processes: knowledge, emotion, action, and value. In response to the problems such as weak story-telling and separation of interaction and behavior in similar products in the market, systematic design strategies have been proposed. The narrative layer tells stories using multi-media and non-linear time and space narrative techniques; the visual layer conveys ecological environment information using digital technology; the structural layer simulates the human-computer interaction behavior process of intelligent sensing; the experience layer provides an active learning mode based on digital media technology in the human-computer interaction environment. The research aims to transform the three-dimensional book into an interactive educational tool that can perceive emotions, guide sustainable living, and cultivate ecological values. It not only explores the design of children's reading materials on marine protection themes but also provides a reference path for the digital technology and intelligent sensing integration transformation of children's sustainable education products.

Keywords

Sustainable Development, Children's Pop-Up Books, Environmental Protection, Concept Guidance

Copyright © 2026 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. 绪论

1.1. 研究背景与问题提出

海洋是生命的起源之地, 人类和自然环境的发展离不开海洋, 但随着人类对于运输和资源的开发, 海洋日渐受损。当前全球面临的海洋生态环境形势严峻, 海洋垃圾、环境污染、过度捕捞等问题时有发生。可持续设计理念就是在这种环境问题下产生的, 为了切实推动生态文明建设, 加快宣传海洋环境的污染防治以及增强海洋环境保护理念在社会中的引导性, 加强可持续发展理念下的实践变得十分重要, 儿童教育也是其关键领域之一。

智能时代的到来给儿童带来了新的学习方法和思维方式。在数字化阅读普及的大趋势下, 当前传统的纸质书籍已经难以满足当代儿童对于知识探索的需求。现有的海洋环保书籍大多停留在知识科普层面, 缺乏通过多媒体交互技术建立深层情感联结的机制, 且书籍内容以平面为主, 很少尝试结合数字媒体交互设计手法来实现共情体验。在这个时代下, 如何利用数字技术、智能传感等手段, 将书籍的人文情怀

与数字媒体相结合, 让读者获得更好的阅读体验是值得深入思考的问题。

1.2. 研究目的和意义

在视觉传达设计领域的艺术表现中, 立体书属于多感官的创新[1]。它超越了传统的纸本图书, 将原有的二维平面内容转化成为了三维的立体表达, 这就能使得儿童读者在阅读过程中动手去参与, 和书产生直接的互动, 具有更加沉浸式的阅读体验[2]。

通过数字技术与智能传感的融合的应用方法, 本文将传统立体书进行扩展延伸, 并以海洋环境保护为目标, 基于可持续设计理念的传播, 融入数字技术与智能传感, 实现一个虚实结合的儿童阅读平台, 希望能从小培育儿童读者的海洋环境保护素养, 从而转变人们对于海洋环境的观念和行为[3], 最终形成可持续的生活方式。

儿童立体书的智能设计方法拓展了可持续设计理念, 并提出了以数字化信息减少纸张资源浪费的新颖设计思路; 弥补了现有书籍的信息量小及缺少交互反馈机制的问题, 对出版行业的数字技术与智能传感发展以及儿童知识读物的多媒体化开发具有借鉴意义。

1.3. 文献综述

1.3.1. 可持续设计理论研究述评

可持续设计理念早期研究更多的是基于对环境属性的优化。McDonoug 提出的“从摇篮到摇篮”的设计范式即提倡废弃物可以当作再生资源再利用, 为循环经济下的产品设计提供了理论指导[4]。在维克多·帕帕奈克所著的《为真实的世界而设计》一书中就提出了设计的社会及生态责任感[5], 这对于儿童产品的设计很有借鉴意义。随着理论的不断深化, 学者们提出了“三重底线”原则[6], 设计也逐步由技术优化上升到系统化层面进行考量。近年来, 这一话题进一步扩展到了行为设计及情绪设计等方面。如 Chapman 的情感化可持续设计理论认为能引发人们情感反应的产品会拥有更长的寿命并能减少浪费[7], 这为本文探讨如何通过设计培养儿童与海洋环境的情感纽带提供了关键理论支持。

在技术不断发展的当下, 可持续设计的研究已扩展至数字可持续性。社会已经开始探讨如何利用数字技术优化产品的生命周期[8]。笔者将以此作为切入点, 提出数字减量化的设计策略, 利用数字技术和智能传感在提高信息容量的同时, 降低立体书因追求复杂交互而产生的实体物质消耗, 实现由物质驱动向信息驱动的转型。

1.3.2. 儿童环境教育产品与人机交互研究现状

儿童环境教育产品设计是一个交叉研究领域, 重点关注如何通过设计来有效传递生态环境的知识并塑造儿童亲近自然环境的态度。

首先, 在教育理论层面, 常以 Piaget 的认知发展论及 Vygotsky 的社会建构论为指导, 认为教学应针对不同年龄层孩子的认知发展规律进行产品设计, 并强调了社交环境对孩子学习的影响[9] [10]。在此基础上, 具身认知理论指出, 儿童的认知发展高度依赖于感知运动经验[11]。这为本研究引入人机交互领域的有形交互理论提供了底层逻辑。Ishii 等人提出的有形用户界面概念强调将数字信息结合在物理实体中, 使用户能通过直接操纵物理对象来感知交互反馈[12]。对于儿童而言, 这种手眼协同的交互方式比纯屏幕点击更符合其认知天性。据此, 本研究将保留立体书翻、拉、转的物理触感, 并将其转化为触发数字信息的传感开关, 让儿童在物理操作中直观感知海洋生态的微妙变化。

从具体的设计实例来看, 现有研究涵盖了玩具、绘本、应用程序等多种形式。有研究者关注到了如何使用回收材料来制作玩具的可能性[13]。在数字媒体领域的研究较多集中于教育类的 APP 上, 强调了

其交互性和用户的参与性, 但将实体交互与数字应用结合的研究较少见。目前的研究多存在虚实脱节的局限, 单一硬件产品信息承载力有限, 而软件产品缺乏触觉反馈且易导致视力疲劳。

这种现状促使混合现实学习环境研究日益受到关注。Milgram 提出的虚实连续体理论定义了从真实环境到虚拟环境的演进过程[14]。数字信息不仅是物理世界的补充, 更是对现实逻辑的深度解释。针对立体书空间有限与内容静态的痛点, 本研究将数字技术与智能传感结合, 把动态的海洋污染演变过程和生物路径等抽象信息叠加在立体书的纸艺结构上。通过构建这种跨媒介的学习环境, 不仅能解决实体书籍更新难的问题, 更能通过沉浸式的感官体验, 强化儿童环境保护的共情心理。

2. 儿童立体书的数字技术和智能传感转型

2.1. 传统儿童立体书的形态演变与教育价值

2.1.1. 历史演变与形态革新

立体书是一种通过纸张工程学实现从二维平面到三维空间的展示与互动的特殊出版物, 它经历了从工具性到娱乐性, 再到艺术与教育并重的演变过程。13 世纪的立体书最初是用于学术和宗教目的, 拉蒙将立体书的转盘结构来阐释哲学。随着印刷技术的进步, 19 世纪英国的迪恩父子公司才真正开启了儿童立体书的商业化时代, 使之成为儿童的玩具与读物。19 世纪末德国设计师洛萨将机械联动装置引入书籍, 这一创新不仅让画面动起来, 更实现了复杂的动作关联, 被誉为立体书的黄金时代。进入 20 世纪与 21 世纪后, 随着罗伯特等现代纸艺大师的出现, 立体书的结构变得更加精细复杂, 不仅在视觉上追求极致的建筑感与空间感, 更在题材上覆盖了科普、百科、文学改编等广泛领域, 形态上也从简单的翻翻书演变为包含隧道书、旋转木马书等多种复杂的空间形态。

2.1.2. 纸张工程的设计学分析

立体书是融合了视觉平面设计、纸张工程以及书籍装帧表现形式的综合类产品, 在研究过程中不再局限于单纯的儿童玩具, 而是形成了一门独立的艺术设计学科体系。从制作手法上看, 立体书的材料加工是基础条件。前人对这一领域的研究成果集中体现在常见结构类型及原理分析方面, 比如 V 型折叠法、叠层法、拉杆等基本方法来证明如何利用恰当的剪裁、折叠及粘贴在二维平面上创造出三维立体效果。此类作品主要解决了结构稳定性、机械精准性和艺术观赏性等问题。

目前, 结构的功能演示正在向结构的服务体验研究发展。学者开始关注结构的隐喻及交互引导上, 使读者能在物理互动中理解因果关系, 启发了本文对利用何种结构表达海洋环境易损性的思考。

2.1.3. 实体交互的教育价值解析

相比于平面绘本或纯数字媒体, 实体立体书在儿童教育中拥有不可替代的媒介优势: 第一, 立体书能将二维图像瞬间转化为三维立体, 这种直观的视觉冲击能有效辅助儿童理解空间的概念并促进空间思维的发展。第二, 儿童的认知发展依赖于身体的动作。立体书要求读者必须通过翻、拉、转、折等互动动作才能获取完整信息。这种具体的操作体验和手脑并用的阅读方式符合儿童好动的天性, 能显著提升阅读专注力。第三是惊喜机制能带来的情绪价值, 立体结构弹出的瞬间会引发读者惊奇的情绪, 这种积极且正向的情绪体验是维持学习兴趣的内在动力, 整本立体书的阅读过程也可以看作是一种寓教于乐的游戏体验。

2.2. 可持续理念下传统立体书的传播局限

尽管立体书发展成熟, 但在当今数可持续发展的背景下, 传统立体书逐渐暴露出其发展的局限性, 这也是本研究试图解决的问题。

第一是信息内容的局限性, 传统的立体书受限于纸张厚度和装帧工艺通常只有 6~10 个跨页, 内容会比较简单。第二是交互的单向性与互动反馈的缺失。书籍无法对儿童的行为做出评价或记录, 缺失了行为反馈的闭环。第三是材料消耗与环保的追求产生了矛盾, 复杂的立体效果往往需要消耗大量纸张和胶粘工艺, 这与可持续理念存在一定的冲突。

面对上述局限, 儿童立体书则需要通过技术融合来呈现新的发展趋势, 从传统的纸张工程向数字技术与智能传感结合的立体书转型。利用数字端的可补充信息来弥补物理页面的字数限制, 使用智能传感器实现互动的即时反馈, 这是未来的必然方向。未来的立体书不再是单纯的书籍读物, 而是将阅读、体验、游戏集合于一体的综合性教育设备, 在环保教育领域中立体书可以更多地承担起模拟实验和行为训练的功能。

2.3. 海洋环保主题立体书的新探索

立体书在形式上由传统的纸张工程向多媒体互动设备延伸的趋势逐渐显现, 在国外有利用 AR 技术开发的“魔法书”概念, 可以根据书中立体造型触发数字动画, 但少有能结合智能技术及多媒体故事表达手法来探讨海洋生态环保话题的立体书设计探索, 这也是本文的探索新视角。

从教育应用角度来看, 立体书的多感官体验功能已经得到广泛认同, 它对儿童注意力的集中、信息的记忆强化以及空间想象能力和创造能力的激发等方面都有很好的作用。但是目前有关教育类的儿童立体书研究及应用还局限于在传统的知识科普、经典文学作品研究或者基础文化启蒙方面, 其表现形式也仅仅局限于简单的知识传授, 并未深入地利用儿童立体书进行思想教育及道德感化作用的有效发挥。这一现状为本文聚焦海洋环境保护这一紧迫议题提供了明确的研究空间。

因此本文在该基础上, 针对上述不足之处展开分析, 摒弃了以往只把立体书作为一种趣味学习媒介的方式, 转而将其视为一个包含可持续材料利用、情感信息传递及行为互动引导在内的学习工具, 并进一步探讨各个部分之间的整合策略, 实现由认知到情感再到行为转变的效果和目标。

3. 数字技术与智能传感融合的可持续设计模型框架

3.1. 可持续设计理论的拓展

3.1.1. 从物质循环到可持续设计理论的演进

可持续设计并不是无原则、无要求的现代化设计[15], 而是一种全新的设计理念, 是对设计方法和技术进行综合运用过程[16]。作为一种综合性的设计方法, 它会在整个设计过程中考虑到产品、建筑或系统对环境和社会的影响, 并以合理利用自然资源、承担社会责任以及重视创新为准则, 最大限度地减少人类活动给自然带来的损害, 在满足人类自身需求的同时保护自然。

通俗地说, 可持续设计涉及从单一的解决方案到生命周期的考虑, 这是创造满足生态环境及功能性需求的产品的过程[17]。该理念不仅突破传统意义上的绿色设计以及生态设计概念, 并且达到了环境、社会以及经济相互协调发展的目的, 目前在建筑设计、产品研发、工业生产以及信息技术等方面均取得了显著成效。

基于智能化时代的背景以及可持续设计的基本理念和发展现状, 本文对其概念进行了扩展, 认为数字技术与智能传感融合是实现可持续设计的有效手段之一。

3.1.2. 儿童立体书的设计逻辑

基于上述理论, 本研究提出数字技术与智能传感融合的儿童立体书设计应包含物理层、行为层及心智层三个维度。

从最底层的设计来说, 物理层是资源节约维度。传统的立体书由于纸张数量的限制使得其信息量十

分有限, 如果将数字媒体资源融入到其中, 则可以实现对相关信息的补充而不必耗费更多纸张资源; 同时加入一些低功耗、可拆卸使用的电子部件, 例如 NFC 近场通讯芯片、环保导电油墨等可拆卸的电子部件, 这样纸质垃圾与电子垃圾可以分开回收利用, 以此建立完善的可持续循环体系。从产品的最初设计阶段就考虑到其最终的回收处理方式, 让立体书本身就是一个可以被讲述的可持续故事, 真正践行可持续发展观念和生态循环。

行为层是情感联结维度的引导路径。该路径的核心在于利用虚实结合的技术手段让翻动、拉扯等传统行为不只是单纯地改变纸面状态, 而是触发多媒体内容呈现的开关。在儿童进行环保交互之后, 书籍通过互动形式及多媒体的变化加深行为与后果之间的关系, 并给予及时正面的回馈, 从而实现知识的内化与行动应用。这种物理行为与数字结合的方式能够更好地培养儿童形成环保的行为习惯。

心智层是关于思想的传达。数字技术能够使用拟人化和角色扮演方式激发儿童对于其他生命体的感情共鸣, 培养儿童集体的生态价值观。其中的 AR 技术和音频可以模拟出身临其境般的海洋环境场景, 不仅可以唤起视觉及触觉体验, 还可以带来听觉上的感受, 让儿童建立起对大海生物的同情心。这种设计促使儿童形成与海洋生态的情感纽带, 使其将保护海洋视为自身使命, 让环保行为源于内在认同而非外部约束。

在可持续设计理论下, 本研究结合立体书本身所具有的教育优势, 探索构建一种综合性整体模型框架。相对于传统绘本所呈现的被动吸收的学习模式而言, 立体书创造了一个互动性的学习空间。在这个空间中, 书本作为媒介的存在形式是其发挥出教育作用的前提条件, 更容易引发感情共鸣和生态理念的建立, 并且增加了空间叙事感和协同参与感, 通过交互调动多种感官共同参与并产生联结记忆, 从而增强学习效果和迁移效果。

3.2. 面向可持续设计素养培育的模型框架构建

可持续设计旨在最大程度地减少对环境和社会的不良影响, 设计者要充分考虑资源的有效利用、生命周期的循环、环境友好性、社会责任以及一些可持续消费的教育等。基于以上因素, 笔者设计了一个探索性的儿童可持续素养培育模型框架, 见图 1。该框架展示了数字技术与智能传感融合的儿童立体书引导儿童进行认知并建立价值观的过程:

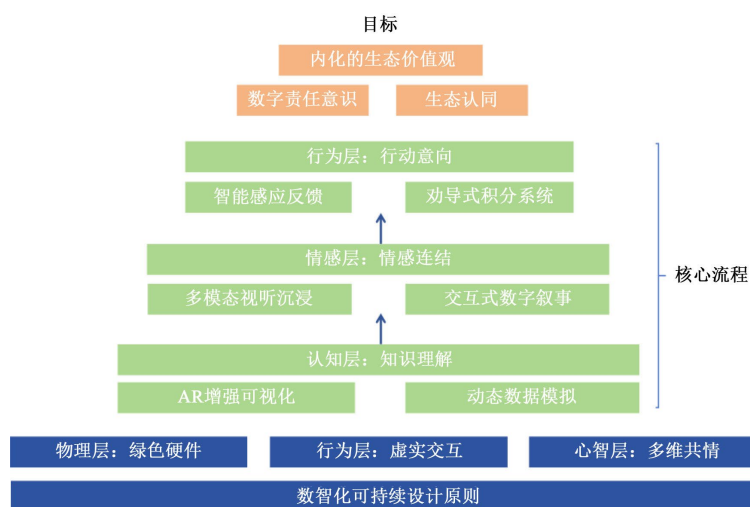


Figure 1. Framework of the model for cultivating sustainable design literacy in children's pop-up books
图 1. 儿童立体书可持续设计素养培育模型框架

第一层是认知层面的知识理解与多维度的可视化, 主要是让儿童认识简单的危害成因等海洋环境问题, 可使用数字技术中的 AR 技术把抽象复杂难懂的科学原理用移动端的模型形式展现, 降低他们理解的难度。

第二层通过多模态的沉浸将情感层面进行情感联结, 其目的是激发儿童关爱并保护海洋生物。该层级中书籍不再是单纯的文字, 在阅读不同板块时能用不同的声音渲染画面效果, 进而激发保护欲, 直接引发儿童的情感共鸣。

第三层是行动层面的行动意向, 目的是通过游戏化激励来引导儿童采取环保行动。在这之中, 智能传感会实时记录儿童实施的环保行为并实现数据反馈。书籍内可交互物体带有感应功能, 当儿童完成一次正确的环保互动操作, 配套 APP 就会即时给予奖励反馈。即时性的回馈能够很好地鼓励儿童保护环境的行为, 让儿童体验行动带来改变的成就感。

第四层是价值观的内化, 最终达到珍爱生命、敬畏自然的生态价值观。经过以上虚实融合的体验历程, 儿童由被动变为主动, 在消解了现实与书本边界的同时, 可持续的价值观也在深度体验的过程中悄然培育。这是在认知、感知及践行循环往复基础上的最终在孩子心里形成的一种稳定的心理结构。整本立体书的阅读过程就是这种持续性设计的过程和体现。

4. 海洋环境保护主题儿童立体书调研分析

4.1. 市场现有海洋主题立体书案例调研

由于立体书起源于国外, 所以国外的立体书籍所涵盖的领域更加广泛成熟。在题材的选择上会以儿童读物居多, 除了涉及童话故事, 还将科学知识、文学名著等通过立体形态去展现, 通过在视觉上的认识和触觉上的感知进行学习, 在表现形式上, 国外立体书籍也会更加丰富。

国外的儿童立体书会通过不同的花样翻折方式来展现内容, 书籍的重点是创意上的表达, 见图 2。在纸张工程上已经进入了新阶段, 但互动机制仍停留在机械式的装饰, 而非功能性的表达。在行为表现上来说, 虽然可以通过拉杆模拟环保行为, 但这种传统互动没有声音反馈和数据记录, 儿童无法得知自己行为的后果, 缺乏劝导式反馈。



Figure 2. Pop-up Books design abroad
图 2. 国外立体书设计

而我国儿童立体书起步较晚, 直到我国加入世贸组织后, 国内出版机构才有意识地将国外儿童立体书引进国内[18]。初期在国内流通的立体书以平装版为主, 立体效果较为简单。经过多年发展以及对外来

经验的学习借鉴, 目前国内立体书在内容题材、表现形式及装帧设计等方面均有较大进步。但国内原创立体书内容多以知识灌输为主, 且媒介形式单一。在智能技术普及的今天, 现有的海洋环保立体书尚未有效融合 AR、NFC 等数智技术。相比于儿童习惯的 iPad 互动教学, 传统立体书显得缺乏新意导致且内容较少, 难以维持儿童长久的注意力。

4.2. 基于案例的可持续性交互表现分析

经调研, 国外以海洋环境保护为主题的儿童立体书, 普遍是儿童绘本插画的形式, 在内容上很少采用连贯故事线, 而是更加重视主题创意的表达, 比如不同方法的翻折和表现形式等。

法国创意立体书《Oceano》作者利用了海平面上下的空间来区分海面和海水的景象, 集中展示了人与海洋之间关系的多面性, 并借此表达了自然易逝的主题。但在描绘污染现象时, 插画虽然表现了海底的立体结构, 但只能表现静态的污染场景, 缺乏动态可视化的能力, 并不能像数字媒体一样展现污染物扩散的过程或是珊瑚白化的渐变过程, 见图 3。

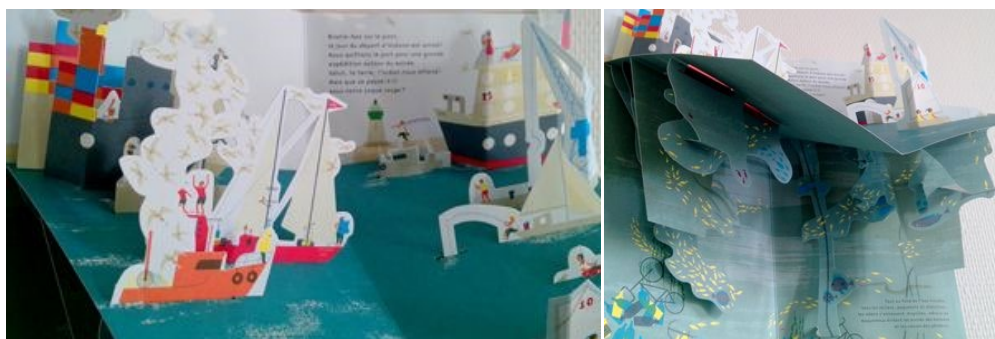


Figure 3. “Oceano”
图 3. 《Oceano》

法国科普立体书《海洋的奥秘》能看到通往深海的道路。儿童在互动引导的过程中逐渐认识大海, 在触觉中感知到海洋世界的存在, 见图 4。但是此书中的海洋动植物没有成为情绪传递的媒介, 没有例如海洋哺乳动物的声音、海浪声的音频信息和语音交互能力。这种单一感官的呈现方式限制了沉浸感, 角色塑造也相对简单, 难以运用数字技术与智能传感融合实现多感官叙事, 不利于建立跨物种的情感共鸣, 对培养儿童环保意识的激发效果有限。



Figure 4. “The Secrets of the Ocean”
图 4. 《海洋的奥秘》

《探秘海洋 3D 立体书》是以海洋为题材的原创科普立体书, 在历史、地理、自然和环保上均有涉足。此书重点在于海洋知识的科普, 是一个有关于海洋书籍的百科全书。但其反馈机制较少, 没有通过互动改变故事结局或获得正向反馈的设计, 读者的交互也不能转化为数字信号或进行记录和反馈。这种非响应的体验很难在行为心理学层面固化儿童的环保习惯, 从而难以激发行动意愿并懂得保护生存环境的重要性, 见图 5。



Figure 5. "Exploring the Ocean 3D Pop-Up Books"

图 5. 《探秘海洋 3D 立体书》

4.3. 调研总结：认知断层与行为反馈缺失

就目前而言, 我国原创立体书在题材内容及画面设计上以传统民间故事和神话传说为主, 海洋生态保护为主题的儿童立体书所占比例较小且内容大多停留于海洋科普, 内容与画面风格单一。在产品功能上来看, 目前我国的立体书仅停留在知识传授层面, 其互动与情感表达能力被用于简单的知识展示, 在交互过程中儿童一直处于被动, 而不是积极解决问题的探索主体, 更多的情感表达效果有待被开发。

当前市场上的海洋环保立体书普遍存在物理体验与数字内容割裂的现象, 这种局限性源于缺乏有形交互的系统设计。Hornecker 等人提出的有形交互框架强调了物理操纵与数字表达之间的融合[19]。目前产品未能运用数字技术与智能传感将儿童的物理操作转化为可视化的环保成果反馈, 且受限于纸面空间的物理尺度, 无法承载丰富的环境保护知识。此外, 现有设计缺乏对视觉之外多感官维度的关注, 导致沉浸感不足。

综上所述, 本文的研究证明了立体书设计在教学中的可行性, 但将其作为可持续教育这一特定且紧迫的当代议题的研究还属于前沿探索阶段。现有相关产品多零星尝试, 缺乏从可持续设计理论出发的系统性设计策略指导。以海洋环境保护题材的书籍不能只依附于平面展现和绘本形式, 而是需要更多的创新呈现。因此未来的设计应该从传统的平面模式转向数字技术与智能传感融合发展, 弥补传统书籍静态化和缺乏实时交互功能的问题, 实现从认知到行动的教育闭环路径。

5. 海洋环境保护主题的儿童立体书可持续设计策略

5.1. 叙事层面的可持续设计：跨媒介生态叙事系统

儿童读者阅读立体书的难点之一在于对象内容的可视化[20], 因此构建引人入胜的叙事逻辑是设计的核心。设计师应充分考虑儿童读者的心理需求, 通过把握阅读节奏与情节衔接, 使读者沉浸于立体化的叙事时空中, 获得类电影化的叙事体验[21]。

从内容特征看, 儿童偏好拟人化、直观且具有惊喜感的短篇故事, 本研究将传统立体书的单向线性叙事转化为基于用户干预的动态叙事。以海洋环境保护为例, 故事不再是冰冷的物种科普, 而是聚焦于

生物与环境间的依存关系。本设计利用有形交互中的生理与数字耦合机制, 探索构建了一个跨媒介的生态叙事系统, 不同于传统立体书固定的结局, 数字技术与智能传感的融合可以构建不一样的世界。在表现海洋生态失衡时, 系统能根据儿童的交互行为可视化地呈现生态演变从局部到整体的过程。

基于上述叙事策略, 本设计实践构建了名为《泡泡历险记》的叙事脚本。书中设定了拟人化的主角海龟泡泡, 并设计了关键决策节点。这一设计通过物理机关的有形界面与数字剧情的虚拟内容关联来强化儿童的代入感, 见图 6, 在塑料污染章节中, 读者需物理触发拉动“清理渔网”拉杆纸艺机关, 这一动作通过传感器实时反馈至移动端, 来触发 AR 界面中不同的剧情走向。

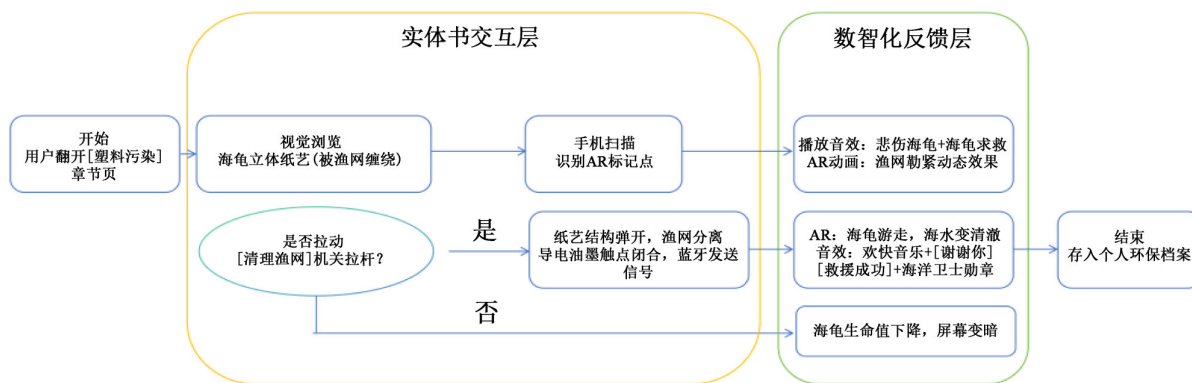


Figure 6. Plastic pollution chapter flowchart

图 6. 塑料污染章节流程图

这种非线性叙事结构打破了传统媒介结局固定的限制, 使儿童在权衡中理解人类行为对海洋生态产生的复杂影响。在这一互动过程中, 主角积极参与环保的行为描写能激发儿童的共情心理, 从而在潜移默化中将环保理念转化为个体的行动自觉, 达成培育可持续素养的深度目标。

5.2. 视觉层面的可持续设计：混合现实下的隐形可视化应用

感官体验能在很大程度上影响到儿童的阅读感受, 视觉表现首当其冲, 立体书兼备好看与好玩的特点, 本质上是一种具有玩具属性的叙事媒介[22], 因此, 色彩的选择与整体画面的和谐搭配是赋予书籍生命力的关键。在海洋环境保护主题中, 本研究设计了符合生态逻辑的色彩认知规则, 纯净的蓝绿色表征健康生态, 浑浊的灰褐色表征污染, 而醒目的红色则作为警示符号。同时, 通过符号化设计将塑料瓶、废弃渔网等污染物重塑为具有叙事张力的“反派角色”, 以强化儿童对环境破坏者的认知。

视觉设计不仅是美学呈现, 更是对虚实映射关系的构建, 其核心在于虚拟物体与现实环境在三维空间中的无缝对齐。在本设计中, 纸张媒介负责呈现静态的结构美, 而数字端则负责呈现动态的演变过程。

在《泡泡历险记》的视觉实践中, 实体书页采用极简纯白纸艺结构, 隐喻珊瑚白化的严峻现状。当儿童通过移动端进行扫描时, AR 程序会在结构上实时叠加色彩斑斓的虚拟生物与肉眼不可见的微塑料颗粒, 见图 7。这种设计利用了混合现实中的视觉冲突机制, 通过物理层的污染现状与数字层的理想生态的强烈反差, 直观地揭示了全球变暖与塑料污染对海洋微观环境的隐性破坏。

这种隐形可视化的应用, 将原本抽象、跨时空的生态概念转化为可感知的视觉符号。通过读者操作前后的对比演示, 设计不仅增强了环境保护工作的直观改善效果, 更在视觉层面完成了从感知危机到向往美好的认知升华, 实现了可持续设计在视觉维度的深度表达。



Figure 7. Interactive demonstration of marine ecological restoration based on AR technology
图 7. 基于 AR 技术的海洋生态恢复互动演示

5.3. 结构层面的可持续设计：有形交互

多层结构带来的阅读惊喜是立体书最突出的特点之一。随着自主翻页与机关触发，原本平面的内容转化为三维物理模型，这种瞬时的视觉变化能有效刺激儿童读者的感官，引导其产生持续探索的欲望[23]。在海洋环境保护主题中，设计可展开的交互场景，比如海滩清理或垃圾分类机制，能将抽象的环保流程转化为生动直观的物理逻辑。

结合数字技术与智能传感，本研究探索了纸电路的有形交互工程，将复杂的物理结构视为触发数字反馈的实体开关。为了实现物理行为向数字化价值的转化，本设计采用了集成化纸电路技术。见图 8，在“清理油污”章节的拉杆结构背部铺设了环保导电铜箔。当儿童拉动纸条模拟清理动作时接通电路，触发书页中隐藏的微型 LED 蓝灯机关来模拟海水。物理动作还能触发多媒体反馈，实现视、听、触的同步互动，在交互过程中激发儿童自愿学习和实践环保的兴趣。

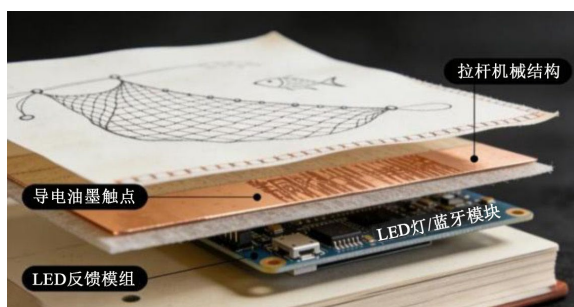


Figure 8. Paper circuit
图 8. 纸电路

5.4. 体验层面的可持续设计：环保行为的游戏化机制

立体书籍高度重视与读者间的深度互动，通过感官刺激驱动天性好奇的儿童进行主动观察与具身探索。其核心魅力在于通过翻、掀、拉等物理操纵驱动立体造型的生成，并以此推动情节发展。因此，建立感知吸引和行动激励是体验层面的重点，在可持续性引导中，震撼的大幅立体场景能立即吸引儿童进入海洋世界，行动激励也能确保每一个互动行动都能得到即时可视且愉悦的反馈。

立体书最突出的特点就是可以与读者进行交流，在合适的环节设置巧妙的机关来推动故事发展。在数字技术与智能传感的融合下读者的交互行为能够被记录在数字环保档案中，给予即时的正向反馈。本研究设计了配套的小程序以承载体验层的行为存证功能。每当儿童在书中用拉杆解救被渔网缠住的海龟

一次，配套的小程序会自动记录这次的救援行动。在书中设计简单的进度可视化，每完成一项环保任务就能点亮一颗星星，最终汇集为海洋卫士勋章，见图9，游戏式的互动更能激发儿童的兴趣与成就感，完成从认知海洋到守护海洋的情感内化与行为重塑。



Figure 9. Ocean guardian medal

图9. 海洋卫士勋章

5.5. 综合应用

数字技术与智能传感融合的儿童立体书，作为一种集创意性、叙事性与交互性于一体的新型教学媒介，为海洋环境保护教育提供了系统化的探索路径。在《泡泡历险记》的设计实践中，通过对叙事、视觉、结构与体验四个维度的整合应用，见图10，构建了一个实体与数字智能融合的生态系统。通过多感官通道的协同作用，将遥远的海洋危机转化为儿童指尖可触、耳边可听、眼前可见的交互现实。在不破坏传统立体书纸艺美感的前提下，通过数字技术可以有效提升信息承载量与交互深度，为海洋环保理念的有效引导提供了解决路径。让儿童在轻松愉快的环境中接受教育，从小养成良好的环保习惯。



Figure 10. Three-dimensional book simulation diagram

图10. 立体书模拟图

生动的故事情节与丰富的交互效果极大地增强了儿童对环保理念的感性理解与理性认知。这种数字技术与智能传感结合的设计既为儿童提供了沉浸式的学习体验，又通过即时反馈的游戏化机制培养了其积极参与环保的行动力。这样的设计不仅可以拓展儿童的知识面，更为培养下一代具有环保意识的公民打下坚实基础。

6. 落地挑战与可持续性反思

《泡泡历险记》的技术实现需要底层通过在纸艺结构中嵌入低成本、柔性化的导电铜箔与石墨烯油墨等构建智能传感网络；中层利用微型控制单元进行信号捕获，并通过蓝牙与移动端通信；顶层则基于AR引擎实现虚实对齐。这种路径的挑战在于纸电集成的精度，需在印刷阶段引入自动化贴装工艺，以确保物理触点与数字锚点的精确重合，在落地上有比较大的挑战。

相比传统立体书，数字技术与智能传感结合立体书的成本增量主要源于电子元器件与组装人工。预估单本增加的硬件成本，比如传感器、发光单元、薄膜电池等较高。但通过数字减量化，书籍可以大幅减少物理层数和复杂手工折叠，转而由AR呈现动态空间，从而抵消部分纸张和人工成本，在大规模工业化生产下，具备进入中高端儿童教育市场的潜力。

本研究设计的核心瓶颈在于物理介质的耐用性。纸张作为一种传统材料，易受环境湿度影响产生形变，可能导致柔性电路断裂或接触不良。材料结合使用的传统胶粘工艺可能与电子元件产生化学反应或物理排斥。立体书的机械往复运动，比如频繁拉动拉杆也对纸电路的耐用性能提出了极高要求。未来需探索液态金属印刷等前沿技术，以增强电路的柔韧性 with 自修复能力。

引入数字技术和智能交互虽实现了信息层面的可持续性，但也带来了电子垃圾这个新的环境负担。纽扣电池或锂电池的引入违背了早期全周期可持续设计的初衷，纸张与电子元件的紧密复合也会导致垃圾分类的困难。针对这一矛盾，本研究考虑将复杂的电子元件集中在一个可重复利用的模块中，而书页仅保留感应触点。当书籍报废时，纸张部分可进入传统回收体系，电子模块则可插拔更换至下一本新书中，从而在数字技术与智能传感创新和生态责任之间达成平衡。

7. 结论

7.1. 主要结论与贡献

本研究以培育儿童可持续素养为根本目标，聚焦于海洋环境保护这一具体议题，探索了儿童立体书作为新型教育媒介的设计创新路径。通过系统的理论构建、现状审视与策略推演，主要得出以下结论：

第一，探索了数字技术与智能传感融合的儿童立体书可持续设计素养培育模型框架。打破传统立体书仅限于纸张工程的局限性，探索性地提出了物理层、行为层、心智层三位一体的设计框架。在设计理念上遵循可持续原则，把立体书作为可触摸的操作界面，利用智能传感技术实现了从阅读行为到虚实结合的行为转换；通过AR视觉效果、3D声音效果等数字化和虚拟现实技术，实现从知识获取到情感融入自然的过程，揭示出由感知体验到价值观构建的育人模式；根据儿童心理成长特点及儿童立体书的视听特征，强调了可持续发展素养是建立在认识基础上的情感认同，并由此转化为行动意愿并内化为可持续发展的价值观念的过程。

第二，揭示了传统立体书在数智时代的交互不足之处。通过对市场的调查研究，本文总结出了目前市面上关于海洋环境保护类主题的立体书籍普遍存在数字技术与智能传感融合不足的问题。具体表现为缺乏动态的可视化手段来展示复杂的生态变化和智能反馈机制，不能构成完整的行动导向闭环，难以满足当代儿童的学习需求。

针对以上不足，本研究提出了一套系统性的设计策略。将数字技术与智能传感融入立体书设计，展示并构建跨时空的生态叙事，同时使用交互传感设备来建立从行为到反馈的数字化激励机制。这一策略成功将立体书从静态的知识载体转变为动态的体验装置，确保可持续理念传递于每一次智能交互之中，将其融入到书本中的故事架构、图像设计以及交互体验中去，从而将知、情、行的距离拉近。

7.2. 不足和展望

尽管本研究构建了数字技术与智能传感融合的立体书的理论框架与设计策略,但在具体实施与未来发展层面仍存在局限,有待后续研究深化:

(1) 成本的平衡

本研究引入了电子元件,如传感器和芯片以提升交互性,但这可能带来新的电子废弃物问题。如何在实现智能的同时确保所有电子组件的可拆卸、可回收,实现全生命周期的环保化,是未来量产设计中必须解决的工艺难题。

(2) 技术验证的实证研究不足

目前的设计策略主要基于理论推导与概念模型框架。未来研究需开发高保真的原型并进行长周期的用户测试,收集儿童在 AR 交互中的注意力数据与行为改变数据,以量化评估技术对可持续素养培育的实际效果。

(3) 向自适应学习的智能化演进

未来的研究可进一步探索人工智能在立体书中的应用。根据儿童的阅读进度和动态生成个性化的海洋环保故事或通过算法分析儿童的交互数据,提供定制化的环保任务建议,真正实现因材施教的智能化可持续教育。

总的来说,本研究为儿童可持续教育领域提供了一条有实践可能性的路径。国内外的立体书虽然在积极地融入环保主题,但在智能设计创新和儿童参与度方面仍然有一定的发展空间。希望未来能多将一些创新、智能和环保的新方案融入儿童海洋环境保护立体书设计,将可持续理念转化为可触摸、可互动、可共情的童年体验,为实现可持续的未来作出积极的贡献。

参考文献

- [1] 张亚冬. 浅谈视觉传达设计中的多感官表达[J]. 新教育时代电子杂志(教师版), 2015(12): 90.
- [2] Liu, B.B. and Han, B. (2022) The Innovative Design of Children's Pop-Up Books Based on the "Double Reduction" Policy. *Journal of Educational Research and Policies*, **4**, 19-22.
- [3] 谢欣容. 海洋环保题材的视觉设计创意探析[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州大学, 2022.
- [4] McDonough, W. (2002) Design for the Triple Top Line: New Tools for Sustainable Commerce. *Corporate Environmental Strategy*, **9**, 251-258. [https://doi.org/10.1016/s1066-7938\(02\)00069-6](https://doi.org/10.1016/s1066-7938(02)00069-6)
- [5] Papanek, V. and Fuller, R.B. (1972) Design for the Real World. Academy Chicago Publishers.
- [6] Elkington, J. (1997) The Triple Bottom Line. *Environmental Management: Readings and Cases*, **2**, 49-66.
- [7] Chapman, J. (2009) Design for (Emotional) Durability. *Design Issues*, **25**, 29-35. <https://doi.org/10.1162/desi.2009.25.4.29>
- [8] Azuma, R.T. (1997) A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, **6**, 355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- [9] Piaget, J. (1952) The Origins of Intelligence in Children. International Universities Press.
- [10] Hausfather, S.J. (1996) Vygotsky and Schooling: Creating a Social Context for Learning. *Action in Teacher Education*, **18**, 1-10. <https://doi.org/10.1080/01626620.1996.10462828>
- [11] Foglia, L. and Wilson, R.A. (2013) Embodied Cognition. *WIREs Cognitive Science*, **4**, 319-325. <https://doi.org/10.1002/wcs.1226>
- [12] Ishii, H. and Ullmer, B. (1997) Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in Computing Systems*, Atlanta, 22-27 March 1997, 234-241. <https://doi.org/10.1145/258549.258715>
- [13] Boks, C. and Diehl, J.C. (2006) Integration of Sustainability in Regular Courses: Experiences in Industrial Design Engineering. *Journal of Cleaner Production*, **14**, 932-939. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.038>

- [14] Hornecker, E. and Buur, J. (2006) Getting a Grip on Tangible Interaction: A Framework on Physical Space and Social Interaction. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Montréal, 22-27 April 2006, 437-446. <https://doi.org/10.1145/1124772.1124838>
- [15] Imilgram, P. and Kishino, F. (1994) A taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77, 1321-1329.
- [16] 沈昶君. 绿色生态的创新设计研究[J]. 科技与创新, 2016(12): 36.
- [17] 刘光复, 刘学平, 刘志峰. 绿色设计的体系结构及实施策略[J]. 中国机械工程, 2000, 11(9): 14-17, 4.
- [18] 栾忠权. 绿色设计的策略及方法[J]. 北京机械工业学院学报, 2002, 17(3): 51-58.
- [19] Cordray, H., Patel, C. and Prickett, K.K. (2021) Reducing Children's Preoperative Fear with an Educational Pop-Up Book: A Randomized Controlled Trial. *Otolaryngology—Head and Neck Surgery*, 167, 366-374. <https://doi.org/10.1177/01945998211053197>
- [20] 唐莉. 我国儿童立体书的出版现状与创新方向[J]. 出版广角, 2022(11): 64-67.
- [21] 赵文灏. 儿童立体书设计[D]: [硕士学位论文]. 衡阳: 南华大学, 2021.
- [22] 吴悦. 立体书的美[J]. 北方文学, 2019(7): 189.
- [23] 邓伟玲. 湘潭纸影文化立体书设计研究[D]: [硕士学位论文]. 湘潭: 湘潭大学, 2021.