

数字孪生技术在包装设计中的虚实融合应用研究

王静¹, 熊京华²

1. 广东外语外贸大学, 广东 广州 510420

2. 广东白云学院, 广东 广州 510450

DOI: 10.61369/VDE.2025150015

摘要：数字孪生技术通过构建物理实体的虚拟镜像,为包装设计提供了虚实融合的创新路径。数字孪生技术在传统的包装设计中融合应用的重要思考,从包装同质化、人才短缺及设计流程融合不畅三个维度展开分析,并提出相应的解决策略。研究表明,通过加强技术融合、培养专业人才及优化设计流程,数字孪生技术可显著提升包装设计的效率与质量,提升包装设计效率、用户体验及设计有效性,为包装设计领域的数字化升级提供了理论参考与实践指导。

关键词：数字孪生技术; 包装设计; 虚实融合

Research on Virtual-Real Integration Application of Digital Twin Technology in Packaging Design

Wang Jing¹, Xiong Jinghua²

1. Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou, Guangdong 510420

2. Guangdong Baiyun University, Guangzhou, Guangdong 510450

Abstract : Digital twin technology provides an innovative path of virtual–real integration for packaging design by constructing a virtual mirror image of physical entities. This paper focuses on the core issues in the application of digital twin technology in packaging design, analyzes them from four dimensions: technical application difficulty, cost burden, talent shortage, and poor integration of design processes, and puts forward corresponding solutions. The research shows that by strengthening technology integration, exploring cost-sharing mechanisms, cultivating professional talents, and optimizing design processes, digital twin technology can significantly improve the efficiency and quality of packaging design, and promote the industry's transformation towards intelligence and greenization. The research results provide theoretical reference and practical guidance for the digital upgrading of the packaging design field.

Keywords : digital twin technology; packaging design; virtual–real integration

引言

数字工具作为新型的交易方式,包装设计成为连接产品与消费的关键环节,正面临效率提升、绿色环保与产品包装差异化的多重挑战。数字孪生技术通过在虚拟空间构建物理实体的精准镜像,实现了包装平面视觉设计、结构设计、工艺材料设计全流程的实时映射与动态优化,为解决传统设计流程的痛点提供了新范式^[1]。然而,数字孪生技术在包装设计中的应用仍面临技术复杂度高、兼具视觉设计与数字孪生综合素质人才短缺等问题,制约了其规模化推广^[2]。本文旨在系统分析这些问题,并提出针对性策略,以推动数字孪生技术在包装设计中的深度应用。

一、传统包装设计流程问题

数字孪生技术在包装设计领域的落地并非一蹴而就,其应用过程中存在多重阻碍。本文聚焦传统的包装设计实践中的线性流程(图一)导致包装形象同质化、消费体验缺失、设计效率低下的三个问题进行融合数字孪生技术打破其局限性,数字孪生技术与包装设计的融合从技术应用难度、人才短缺及设计流程融合三

个维度展开剖析^[3]。通过具体分析数据采集、模型构建的技术门槛,软硬件投入的成本压力,跨学科人才的供给缺口,以及新技术与传统包装设计流程的协同障碍,系统呈现制约技术推广的关键因素,为后续策略研究提供指导方向^[4]。

(一) 包装形象同质化

新零售场景下,具有竞争力的产品需要有独特的包装语言、消费体验以及合理的结构模型。传统包装设计流程中大部分以平

面设计工具（如 Photoshop/Illustrator）来完成设计方案，在这过程中难以模拟真实材质、结构，依赖于经验判断及物理打样，从而导致效率、成本、可持续性等方面无法响应市场变化^[9]。为追求缩短产品上市周期，大部分设计团队直接复制或模仿同类型产品，导致产品形象的同质化、消费体验不佳，难以建立差异化优势，最终陷入价格战。而借助数字孪生技术通过3D建模、物理仿真等方式生成虚拟模型，并能够进行动态优化；例如茶叶包装设计中，在数字孪生模型中模拟不同外包装材料、工艺、结构以及运输碰撞测试等，在这执行过程涉及包装工程、计算机等专业知识的交叉应用；另外，虚实模型的实时映射还需要具备对产品温度湿度的可视化，这些数据的实时交互打破二维的设计思维^[10]。

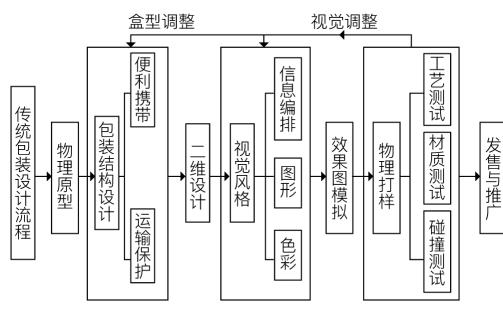


图1 传统包装设计线性流程

（二）创意与技术兼备复合型人才短缺

对于设计复合型人才来说，需掌握多个交叉学科的能力，包括心理学、包装工程、计算机学科等。但包装设计师与程序员的差异本质是“物理世界”与“数字世界”的思维隔阂，而复合型人才的价值在于用技术赋能设计。对于部分高校的设计院系在包装设计相关课程设置还停留于传统设计流程模式，应用软件以二维平面设计工具为主（如 Photoshop/Illustrator），至今在设计专业所设立的数字孪生专项课程仍十分缺乏，学生虽然能通过 AI 工具生成设计方案，但在目前 AI 工具中的输出成果中二次修改和优化的元素具有局限性，虚拟于现实的呈现和分析方面能力不足。在企业方面，传统的传统包装设计者虽然了解一些基础技术如虚拟仿真的数字技术，但还缺乏完成整个设计过程数字化的经验。

（三）打破传统包装设计线性流程

传统包装设计过程以物理原型为核心，而数字孪生技术则强调虚拟模型驱动的虚实融合运用，这是打破线性设计流程的关键之处。在传统的包装设计流程中，设计阶段的跨部门协同的流畅导致周期长、费用高、设计稿无法量产等不可控成本，同时，受初期物理原型约束。因此，设计者仅停留在二维的创作思维，缺失模拟用户消费体验评估，包装设计迭代效率低下。

二、数字孪生技术在包装设计中的虚实融合应用策略

（一）加强虚拟与现实的技术融合

数字孪生技术是一种通过计算机生成的三维模拟环境，使用用户能够与虚拟环境进行实时交互和沉浸式体验。设计者通过数字孪生技术创建一个与物理实体完全一致的、对应的、动态交互的

虚拟孪生体，并利用实时数据在包装设计过程中进行动态更新。在深度融合虚实技术的过程，建立多数据的采集及模型优化系统，通过跨部门协作经验（如制作工艺或材料质感）模拟真实的包装设计预期效果，通过虚拟环境，设计师可以结合数据观察产品包装打开、旋转、互动以及包装保护的效果等方式进行解读用户在使用过程中的体验。通过虚拟现实技术，设计师可以减少对实际材料和生产资源的依赖，降低设计和生产成本，同时快速创建和展示包装设计方案，提高产品上市效率。^[11]比如生鲜类食品网络物流包装设计中，可以通过数字孪生技术跨过传统的物理原型打样流程，模拟冷链配送温区变化数据和包装材料热传导性能，在虚拟空间建立不同的保温结构对生鲜食品品质的作用，数字孪生技术仿真的材质上应用的工艺和视觉设计能够以动态的、三维的真实呈现出来，实现高效的动态化设计。至于模型的动态优化过程，可运用强化学习方法对虚拟模型的物理参数（如盒型折叠组装形式）做反复的修正，使仿真效果趋近实际实验结果。此外，虚拟现实技术方便调整和修改设计方案，支持个性化设计和定制，提高产品的差异化竞争力。数字孪生技术在包装设计中的应用为设计师提供了强大的工具和平台，提升包装设计的创新性和差异化。

（二）培养专业人才

针对数字孪生技术的复合型人才缺口，构建“高校教育+企业实训”的联合培养机制。在专业课程和课程体系部分，高校调整传统包装工程专业课程设置，增设诸如数字孪生原理与应用》《包装虚拟仿真技术》《工业互联网与数据采集》等重点学科课程，开设交叉学科的选修课程，如计算机专业的 Blender、cinema 4D、3ds MAX 的 3D 建模、渲染课，形成一张“包装工程+信息技术+设计学”的知识体系图谱。实训环节可依托虚实结合的实验平台开展学生的全生命周期训练，实现从包装产品设计到材料选择再到测试功能的一整套课程训练。企业内部培训可以与西门子、达索等数字孪生解决方案提供商合作，针对性地培训 Tecnomatix、CATIA 等软件的使用和应用数字孪生技术实现包装生产线调整、缺陷识别等方面的使用技能，采取“讲授讲解+产线实操”提升员工设备控制技能水平。在中包联的组织下建设数字孪生包装设计师职业技能标准，从初级（掌握基础建模与仿真）、中级（具备系统集成能力）、高级（能独立设计数字孪生解决方案）多个层面设计，同时用理论和实操相结合的方式考核个人水平；积极开展学校+公司对硕士生、博士生专业人员联合培养，鼓励公司提出技术需要，大学设置相应的学科研究方向，让学生的毕业课题直接切入企业落地。

（三）优化设计流程

通过采用数字孪生，可以重新定义并重塑整体包装设计过程，从而促进工作效率和品质的提升。全过程虚拟验证部分，传统模式的“物理原型-二维设计-效果模拟-物理打样-修改”线性流程变为“动态优化包装结构模拟-动态优化二维设计-物理打样与推广”（图二），其中，在前期可以用数字孪生系统做包装的虚拟原型，用仿真的方法考察不同工况（比如运输场景中的汽车振动、航空货物储放空间的挤压）；也可以考虑仓库中的库存环境（比如库存高度、时间长短对于包装强度的影响）；还

可以考虑陈列店情况（比如开箱后消费者开箱的感受、陈列柜状态），中期要对包装的视觉设计、工艺设计、材质设计等进行数字孪生系统的迭代调整，避免多次物理打样造成资源浪费和周期长等问题。它不仅改变了设计师的包装设计流程和方式，还为各行业带来了许多机遇，同时能运用用虚拟现实创建数字的包装设计效果应用于推广，提供产品上市效率。^[8]

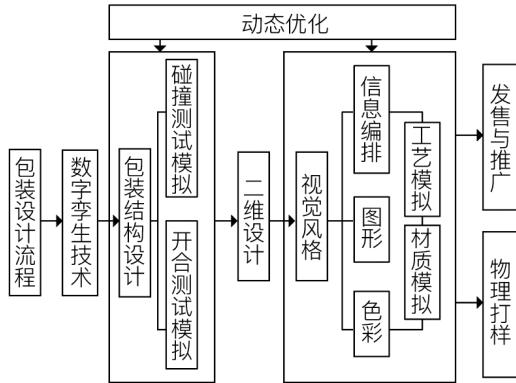


图2 数字孪生技术在包装设计的应用的流程优化

三、结束语

数字孪生技术通过虚实融合为包装设计赋能并为产品包装提供强大的竞争力。它应用在包装设计的结构优化、成本控制、创意维度等方面的优势已得到实践验证。这些技术应用仍需通过前期交叉学科、跨部门协同等经验进一步提高设计效率^[9]。在未来，随着5G、AI与区块链技术的深度融合，数字孪生将向智能化、绿色化方向演进，例如结合供应链数据预测订单波动，根据消费体验的数据实现包装二次迭代的视觉先级的自动调整，为消费者创造前所未有的消费体验^[10]。

参考文献

- [1] 杜未然,宋涛.人工智能技术在包装设计中的创新应用探析[J].绿色包装,2024,(07):91-93+98.
- [2] 王浩源,于航,荀舒钰.ar技术在胶东非遗文创产品包装设计中的应用研究——以莱西刻绘葫芦包装为例[J].绿色包装,2024,(07):135-139.
- [3] 秦文彪.数字化包装设计在坭兴陶文创现代化转型中的应用研究[J].中国包装,2024,44(07):52-56.
- [4] 张广超,柴瑜祺,韩忠凯.ar技术在交互性包装设计中的应用与研究[J].上海包装,2024,(07):28-30.
- [5] 高梅,谢娟,王思璐.aigc驱动下的包装设计课程教学研究[J].上海包装,2024,(07):173-175.
- [6] 罗璇,冷伟.沉浸式虚拟现实技术在地球科学中的应用[J].中国科学技术大学学报,2021,v.51;no.338(06).
- [7] 芦湘.虚拟现实技术与计算机模拟技术在包装设计中的应用及影响分析[J].上海包装,2023,(10):25-27.doi:10.19446/j.cnki.1005-9423.2023.10.008.
- [8] 柯胜海,艾宇星.基于虚拟现实技术的虚拟包装设计研究[J].绿色包装,2020(4):63-66.
- [9] 戴瑞,范子珍,李琦,周小丽.基于增强现实技术的亚运礼品文创包装设计[J].包装工程,2023,44(16):272-278+339.
- [10] 蔡梦云.增强现实技术在包装设计中的研究与应用[D].青岛理工大学,2019.