
数字感知时代的嗅觉在中国的发展概述

张月瑶

关键词

数字嗅觉
数字气味
数字感知
虚拟嗅觉
嗅觉
嗅觉艺术

摘要

调配各种各样香味的调香师已经存在数百年了，然而数字气味的技术和应用尚才萌芽。气味作为五感中存在感较弱的一种媒介，能够承载和传递记忆，但还没有得到足够的研究。

本篇文章综述了目前国内对**数字嗅觉**的研究概况，从理论研究、技术手段、行业应用、商业产品等角度进行调研和分析。理论研究上，整合了综述性文献观点；技术手段上，归纳了数字嗅觉技术的六个基础步骤，及各个步骤相应的研究情况；行业应用上，从文化艺术、景观空间设计、机器人等领域进行分析；商业产品上，介绍了目前较为知名的数字气味企业。最后梳理了目前国内数字嗅觉研究的不足，抒发了对未来的展望。

Flavorers have existed for hundreds of years, but the technology and application of digital smell are just beginning to sprout. Odor, as a weak medium of the five senses, can carry and transmit memory. Odor technology has not been studied enough.

This article describes the current domestic research situation of digital olfaction, from the perspective of theoretical research, technical means, industry applications, commercial products and other aspects of research and analysis. In terms of theoretical research, it integrates the literature review; in terms of technical means, it summarizes the six basic steps of digital olfactory technology, and the corresponding research situation of each step; in terms of industry application, it analyzes from the fields of culture and art, landscape space design, robot and so on; in terms of commercial products, it introduces the well-known digital olfactory enterprises at present. Finally, the shortcomings of the current domestic digital olfaction research are sorted out, and the future prospects are expressed.

1 T Yamanaka, R Matsumoto, T Nakamoto. Study of Odor Blender Using Solenoid Valves Controlled by Delta-sigma Modulation
第 25 卷第 10 期系统仿真学报
Vol. 25 No. 10 2013 年 10 月 Journal of System Simulation Oct., 2013
• 2276 • Method for Odor Recorder [J]. Sensors and Actuators B, Chemecal (S0925-4005), 2002, 87(2): 457-463.

2 李敏, 韩丰. 虚拟现实技术综述[J]. 软件导刊, 2010, 9(6): 142-145.

3 潘科, 关守安, 石剑云. 嗅觉模拟技术在火灾探测中的应用[J]. 中国公共安全(综合版), 2007, Z1(3): 162-165.

介绍

气味是化学分子在嗅觉器官的反应。气味虽有时间性,但它留下的感受却可以转化为一种情绪的记忆,当它再次出现,又能击中神经。感受气味、记录气味、合成气味逐渐开始被人们所畅想、所研究。

数字嗅觉技术 (Digital smell), 亦可称作数字气味 (Digital scent、olfactory)。它是处理嗅觉的一门工程学科, 它是一种感知、传输和接收具有气味功能的数字媒介 (如网页、视频游戏、电影和音乐) 的技术。

目前针对数字嗅觉的研究相对于数字视觉、数字听觉、数字味觉等数字感知技术显得更加滞后, "默默无闻"的嗅觉对我们的意义常被低估, 无论在理论研究和技术创新, 还是系统开发 and 实践应用等方面都仍存在许多有待解决的根本性理论问题和关键技术难题, 尤其在中国很少有针对数据嗅觉的特有研究机构、研究小组和企业单位, 这一点已经制约了数字嗅觉在中国的发展步伐, 影响了虚拟现实领域、游戏交互领域、展览行业的沉浸式体验。

¹ 越来越多的研究表明, 数字嗅觉可极大地增强虚拟现实系统的感知性、沉浸性、交互性和构想性, 增强五感的交互体验,²能够广泛应用于工业、医学、教育、娱乐和军事等多个重要领域。³ 数字嗅觉在数字博物馆、沉浸式游戏和体验式教学等方面发挥着其它虚拟感知不可替代的作用。

数字嗅觉的技术关键

通过对数字嗅觉领域的文献研究与产品调研, 将嗅觉感知技术分为以下六个基本步骤:

气味的感知与识别, 气味的电子编码, 气味的传播, 气味的合成, 气味的应用, 气味的可视化显示。

1) 气味的感知主要使用到气味传感器 (电子鼻、嗅觉仪等)。电子鼻又称气味扫描仪, 电子鼻识别气味的主要机理是在阵列中的每个传感器对被测气体都有不同的灵敏度, 检测气味特征。随着科技的发展, 目前世界上较为权威的一些大学已经开发出具有广泛应用的电子鼻, 最著名的要数德国的汉堡大学, 在当今世界的传感器领域中具有绝对权威。

2) 气味的编码意指将识别的气味电子化, 以数字信息的形态记录下来。这种转换通常发生在气味传感器 (如电子鼻) 内。由于任何气味都有其独特的性质, 可以与某种化学物质发生物理反应或化学反应, 造成物理量的变化 (比如质量、颜色、电特性等), 通过特定的信号转换机制可以将其转化成电信号, 从而可以进行电子化传输。目前, "气味电子化"的实现方法可归纳为三种, 仿生学方法、数字化方法和仿生学与数字化相结

合的方法。

3) 气味的传播指气味信号在不同设备之间的传递、在网络上的传输。

4) 气味的合成通常依赖气味发生器，或者称作气味合成器，在收到传来的电子信息之后，就能调制出任意一种气味来。在某些产品中，这一步骤也可能只是散发出已存有的现成气味。

5) 气味的应用指合成的气味实际的应用场景、应用模式、应用效果等。

6) 气味的显示指在用户端将气味以可视化的方式显示出来，包括气味的类别、浓度等信息。

这六个步骤构成数字气味应用的整体链路。

就目前来说，国外已有许多数字气味技术产品，如“香味发生器”（通过网络传输香水气味）；气味打印机（Scent Capturing Postcard）能够打印“气味”；oPhone：用户用 app 输入气味，传递给同样使用 oPhone 的小伙伴，小伙伴接收后，oPhone 解码释放气味；Cryano 气味播放器：与一款名为「oNotes」的 APP 相连后可以 DIY 自己的「气味播放单」；香味合成器（Scent Synthesizer）iSmell 香味合成器里面有基本的香油油，就像调色盘一样，可以组合出数以万计的气味。但国内此类完整的气味合成与传输的产品几乎空白。

Figure1
气味打印机



数字嗅觉的技术发展

数字嗅觉的综述研究

2007 年，吴春生评述了近年来国际上嗅觉传导机理和仿生嗅

- 4 吴春生,王丽江,刘清君,等.嗅觉传导机理及仿生嗅觉传感器的研究进展[J].科学通报,2007,12:1362-1371.
- 5 秦臻,董琪,胡靓,等.仿生嗅觉与味觉传感技术及其应用的研究进展[J].中国生物医学工程学报,2014,05:609-619
- 6 要丽娟.嗅觉和味觉传感技术的应用研究[J].计算机产品与流通,2019,08:139.
- 7 杨文珍,余岭,吴新丽,许艳,邸伟,竺志超,陈文华.一种步进电机驱动式虚拟嗅觉气味生成装置[P].浙江:CN203882201U,2014-10-15.
- 8 杨文珍,吴新丽,余岭,祝盼飞.基于视嗅觉认知的虚拟嗅觉生成装置[J].中国机械工程,2015,26(22):3051-3056+3063.
- 9 赵杰文,殷晓平,石吉勇.嗅觉可视化技术在白酒识别中的应用[J].农业机械学报,2009,40(01):110-113.
- 10 赵杰文,管彬彬,林颢,邹小波,孙力,毕夏坤.基于嗅觉可视技术的食醋气味表征和区分[J].农业机械学报,2013,44(10):188-192.
- 11 黄星奕,姚丽娅,韩方凯,管超.基于可视化嗅觉技术的鲢鱼K值快速无损检测研究[J].现代食品科技,2014,30(06):233-237.
- 12 陈琳,叶阳,董春旺,何华锋.基于嗅觉可视化技术的工夫红茶发酵程度判定方法[J].茶叶科学,2017,37(03):258-265.
- 13 满忠秀.基于嗅觉可视化技术的大米储藏期识别研究[D].江苏大学,2018.
- 14 严松,林颢.基于嗅觉可视化技术和气相色谱-质谱联用鉴别霉变小麦[J].食品科学,2019,40(02):275-280.

觉传感器研究的最新进展。从嗅觉信号传导的神经通路、嗅神经元对气味分子信号的转导机制、嗅球对嗅觉信号的编码和处理、嗅皮层对嗅觉信号的感知以及仿生嗅觉传感器进行了综述。最后也介绍了我们在仿生嗅觉传感器方面的研究进展⁴。

2014年,秦臻等人概述了动物嗅觉、味觉感受系统对化学物质的信息处理机制,并结合实验室的工作,综述了目前仿生嗅觉、味觉传感器的常用技术及其未来发展趋势,并展望了其在医疗、工业和军事等领域的应用前景⁵。

2019年,要丽娟介绍了电子鼻与电子舌的发展现状与应用,及两者相结合的发展前景⁶。

在数字嗅觉领域,综述研究数量极少,且主要偏向电子鼻在食物监测、医学监测等领域的技术应用,仿生人的仿生嗅觉研究等内容。

数字嗅觉的生成

2014年,余岭设计且制造了一种虚拟嗅觉气味生成装置,能够生成三种不同气味⁷。

2015年,杨文珍等人研发了一种基于视嗅觉认知的虚拟嗅觉生成装置,可用于虚拟环境中视嗅觉融合认知的人机交互,该装置由机械本体及控制系统组成,可单独或同时输出3种气味⁸。在这一点上,目前技术力较为基础,能够合成的气味较少。

数字嗅觉的可视

一方面,基于色敏传感器的应用,嗅觉的可视化常常被用于监测食物的变质、成熟。这些应用基本原理是利用对气味敏感の色敏传感器阵列对食物不同时期进行识别,能够实现快速无损的监测。

2009年,邹小波等人研制了由30个可视化传感器组成的可视化传感器阵列,对4种白酒进行了测试⁹。

2013年,赵杰文等人利用自主研发的便携式食品气味嗅觉可视检测仪对3种食醋进行了分析¹⁰。

2014年,黄星奕等人利用可视化嗅觉技术对4℃恒温条件下不同冷藏天数的鲢鱼进行无损检测,获取可视化传感器阵列对样品顶空挥发性气体的响应信号¹¹。

2017年,陈琳等人提出一种基于嗅觉可视化技术的工夫红茶发酵程度判定方法¹²。

2018年,满忠秀利用三种金属卟啉锰类化合物来表征不同储藏期大米的挥发性气味,结合大米储藏期的特征气体的色敏材料BrBDP、NO₂BrBDP和NO₂Br₂BDP共同构建成2×3的色敏传感器,用于大米储藏期的鉴别¹³。

2019年,严松等人采用气相色谱-质谱联用技术对不同霉变程度小麦的挥发性气体进行检测,利用主成分分析法对检出的气体成分进行分析能有效地将不同霉变程度的小麦进行区分¹⁴。

- Figure 2
巴塞罗那，“汽油废气”气味地图

2015 年, 张东设计出结合 Z 字形搜索算法和进化浓度梯度搜索算法的气味源定位策略。同时对气体泄漏源定位机器人安装了无线定位系统, 使人在远离泄漏源的位置可以获得其坐标¹⁹。

- 20 杨安琪,刘畅,左玄烨,朱青. 基于嗅觉与听觉体验的城市商业公共空间利用研究——以北京市三里屯商业区为例[A].中国城市规划学会、东莞市人民政府.持续发展 理性规划——2017 中国城市规划年会论文集(07 城市设计)[C].中国城市规划学会、东莞市人民政府:中国城市规划学会,2017:11.
- 21 邵忠良. 展示空间中嗅觉体验的应用研究[D].南京航空航天大学,2019.
- 22 魏正旸.城市公共空间的嗅觉设计分析[J].建筑与文化,2019(10):142-143.
- 23 陈慧琳,汤新星,张蓉,杨春蕾.浅析特色小镇中的嗅觉感知体验设计[J].艺术家,2019(02):189.
- 24 王荐. 基于五感的儿童公园植物景观设计探讨[D].西南大学,2017.
- 25 彭阳陵.植物触觉、味觉、嗅觉特征在园林景观中的心理暗示效应研究[J].咸宁学院学报,2012,32(07):101-102.

数字嗅觉于公共空间

迄今为止,国外,嗅觉在公共空间的应用已经有着多方面、多角度的尝试。早在 1967 年美国史密森尼博物馆就在服装展厅释放了薰衣草气味,以增加用户体验。英国的传统渔业博物馆散发出旧时代的海洋气息,印度新德里五感公园、法国伊瓦尔五感公园、意大利感官公园、新加坡大巴窑的五感公园、新加坡大巴窑的五感公园等。

一直以来,公共空间的嗅觉设计都是现代城市设计中被忽视的一环。近年来,嗅觉逐渐开始被国内的学者认识到,用于公共空间的体验设计的作用,比如交互展馆、旅游景点、商业地产空间等等。

嗅觉被作为一个记忆符号使得人们更能够记忆展品、商品,同时也影响着人们的情绪和游览体验。相关的研究中有所体现:2017 年,杨安琪等人探究商业公共空间的气味与声音对于使用者情绪、驻足时间和整体评价三个方面的影响,提出在城市的商业公共空间的设计与改造中应该考虑气味以及声音的设计和管理²⁰。

2019 年,邵忠良提出展示空间中嗅觉体验的应用原则、设计理念、设计方法等理论雏形;阐述嗅觉体验应用的重要性和意义所在。文中提出嗅觉为展示空间设计带来新的乐趣和感受,从而激发参观者的记忆和情感,以获得最佳的展示效果²¹。

2019 年,魏正旸简单分析了城市公共空间的嗅觉设计及路径,并选择某地旧城改造项目,深入探讨了嗅觉设计的实际应用²²。2019 年,陈慧琳等人提出目前我国特色小镇在嗅觉体验式设计上没有充分考虑参观者的生理需求和心理感受,细节设计不明显,无法体现对人的关怀²³。

不少学者在基于五感的景观设计中提出,可以建设突出嗅觉的花田景观²⁴,利用能在不同季节散发香味的植物进行景观园的设计,让香味随着季节的更迭而变化,不同的植物气味对人类的行为和思维具有暗示效应²⁵。但目前仅有极少数的公共空间、旅游景点尝试着开始优化嗅觉方面的体验,比如上海延安中路绿地的嗅觉园。

Figure 3
上海延安中路绿地



26 寇琳. 五感在导向设计中的应用研究[D].辽宁师范大学,2013.

27 习敏慎,蔡岫瑜.“五感”设计在盲人书籍中的应用[J].艺术品鉴,2019(17):230-231.

28 陈铭,李上官,李春晓,冯凯勤,吕建华. 基于嗅觉体验的家具产品创新设计与实证探索[J].包装工程,2016,37(04):92-95.

29 张磊. 对“新感官”包装设计的研究与探索[D].山东轻工业学院,2012.

30 黄依婷. 基于多感官体验的传统手工艺品创新研究[D].江南大学,2019.

总结文献中对公共空间嗅觉体验的改造,一般来说具有以下较为直觉的改造思路:

- 增加嗅觉景观;
- 增加植物气味释放量;
- 增加嗅觉体验互动设施;
- 消减不愉悦的气味出现公园中不愉悦的气味包括垃圾与水体腐败的气味;

值得一提的是,2013年,寇琳在五感应用于导向设计一文中指出人们在公共空间中都会注意到很明显的导向系统,但是“嗅觉和味觉”却没有运用到导向设计中。而在国外“嗅觉和味觉”却被国外的设计师很好的应用到了导向系统中,并且得到了社会的广泛关注²⁶。这是唯一一篇将嗅觉放入到导向设计中研究的文献。

数字嗅觉于文创艺术

嗅觉艺术 (Olfactory Art) 其实一直都是比较小众的艺术门类,但气味与我们记忆,情绪的联系是非常紧密的。越来越多的艺术家在用气味作为探索和创作的媒介,打开我们感官的局限。在国外,嗅觉艺术有着多种多样的表现形式,从上世纪初就萌芽了,嗅觉艺术家同世界开始对话。随着发展,逐渐涌现出一批嗅觉艺术家和知名的艺术作品,如杜尚 (*Belle Haleine: Eau de Voilette*)、Takako Saito (“象棋系列”)、Guy Bleus、Sissel Tolaas (“Sweat Fear” (出汗恐惧)) 等等。

Figure 4
“Sweat Fear”



而在国内,嗅觉艺术一度近乎空白。2008年,“当代嗅觉艺术展”是国内最早对嗅觉艺术的一次整体性尝试。2013年,习敏慎制作出带气味的书籍²⁷。后来,嗅觉也开始应用到家具设计²⁸、包装²⁹、手工艺³⁰产品。但目前嗅觉艺术装置和展览依旧极度缺乏原创艺术家的关注与参与。

数字嗅觉于商业应用

目前我们所能了解到的数字嗅觉商业产品大多来自国外,尤其高科技企业,气味闹钟,气味手表、气味短信等等创意产品层出不穷。

目前国内独此一家的数字气味企业“气味王国”是国内首家数字气味技术研发企业,全球首家数字气味行业应用方案提供商。创始人黄剑炜和团队发现了物质气味的“基因图谱”,利用最新的数字气味技术,制造出“气味盒子”,给人们的日常生活带来无与伦比的嗅觉体验

企业目前的产品主要是配合视频实时播放气味的设备,一种是专门配合 VR 头显的头戴式设备,直接安装在 VR 头显下方,配合 VR 内容,对准使用者的鼻子播放相关气味;另一种设备呈盒状,需要连接“耳麦”形状的气味播放器,可以结合影视的播放,同步输送气味。所有产品均拥有独创的反渗透技术,气味生成部分采用了纳米材料,可以实现纳米级别的定向定量的释放。而“架在鼻子边上”的设计,也是为了让使用者体验更加精准。

但是对于气味领域的创业,客户痛点难以寻觅,市场用户并不敏感,这是创业者需要克服的极大困难之一。

数字嗅觉领域的难点

根据文献,总结嗅觉感知领域目前存在的问题抑或难点如下:

- 数据问题:很难收集和分析嗅觉,需要大量的非结构化数据来建立不同香气所需的成分。
- 机器区分类似气味的问题:比如焦糖、香草和草莓被形容为甜味。
- 机器区分混合气味的问题:机器在混合环境下区分一种特定的气味比较困难。
- 气味的持续散发问题:气味具有短暂性,其浓度也在随传播而变化,如何保持持久的气味?
- 自然的气味问题:身体可以感知的气味有很多种,但要制造并释放出不易察觉的气味又让人感觉“很自然”非常困难。
- 整体性研究问题²⁸:嗅觉与其它感知融合的整体性研究非常重要。虚拟现实系统需要提供均衡的多感知信息。
- 气味对健康的危害问题:合成气味对人体的危害需要进行反复的监测
- 嗅觉疲劳问题:长期处于一种气味环境下,将会产生适应而无法察觉气味的存在。
- 空间净化问题:设计嗅觉体验空间时,如何保证空间本身的气味净化以使得展品更好地表达其气味。
- 个体差异问题:由于嗅觉的特殊性、复杂性,每个人体会到的气味不尽相同。

结论与展望

未来, 数字嗅觉将会在电子制造、音乐和视频游戏、爆炸物探测器、质量控制产品、医疗诊断产品、市场营销、食品饮料、娱乐、教育、医疗保健、通信、军事和国防等多个领域焕发创意和生机, 有着巨大的发展潜力和广阔的应用前景。

谈到数字嗅觉, 我们甚至能够畅想出很多“未来感”的应用。比如见味如见人的**体香捕捉仪**, 能够跟随文字同步生成气味的气味**笔**, 具有电子气味的小吃店**气味广告牌**, 能够变成汉堡味的青菜, 随机生成气味的**香水生成仪**, 记录了一切气味的气味**网站**, 飘出饭香的**气味大喇叭**, 表达气体颜色与形状的气味**形状仪**, 街道的气味**显示器**等等。

曾经, 很多人都在思考“气味可以记录吗”, 而如今, 它变成了现实。现在, 我们可以思考, “饭香可以实时从视频里飘出来吗”, 有一天, 它也会变成现实。

但, 无论在理论研究和技术创新, 还是系统开发和应用等方面, 数字嗅觉领域都仍存在许多有待解决的根本性理论问题和关键技术的研发, 尚还需要更多的学者与企业进行开拓性的研究。总之, 数字嗅觉领域仍然非常年轻, 有待无数的科学家、设计师、创业者一起探索、实践。

参考文献

- 1 T Yamanaka, R Matsumoto, T Nakamoto. Study of Odor Blender Using Solenoid Valves Controlled by Delta-sigma Modulation 第 25 卷第 10 期系统仿真学报 Vol. 25 No. 10 2013 年 10 月 Journal of System Simulation Oct., 2013 • 2276 • Method for Odor Recorder [J]. Sensors and Actuators B, Chemecal (S0925-4005), 2002, 87(2): 457-463.
- 2 李敏, 韩丰. 虚拟现实技术综述[J]. 软件导刊, 2010, 9(6): 142-145.
- 3 潘科, 关守安, 石剑云. 嗅觉模拟技术在火灾探测中的应用[J]. 中国公共安全(综合版), 2007, Z1(3): 162-165.
- 4 吴春生, 王丽江, 刘清君, 等. 嗅觉传导机理及仿生嗅觉传感器的研究进展 [J]. 科学通报, 2007, 12: 1362-1371.
- 5 秦臻, 董琪, 胡靓, 等. 仿生嗅觉与味觉传感技术及其应用的研究进展 [J]. 中国生物医学工程学报, 2014, 05: 609-619
- 6 要丽娟. 嗅觉和味觉传感技术的应用研究 [J]. 计算机产品与流通, 2019, 08: 139.
- 7 杨文珍, 余岭, 吴新丽, 许艳, 邸伟, 竺志超, 陈文华. 一种步进电机驱动式虚拟嗅觉气味生成装置 [P]. 浙江: CN203882201U, 2014-10-15.
- 8 杨文珍, 吴新丽, 余岭, 祝盼飞. 基于视嗅觉认知的虚拟嗅觉生成装置 [J]. 中国机械工程, 2015, 26(22): 3051-3056+3063.

- 9 赵杰文,殷晓平,石吉勇.嗅觉可视化技术在白酒识别中的应用[J].农业机械学报,2009,40(01):110-113.
- 10 赵杰文,管彬彬,林颢,邹小波,孙力,毕夏坤.基于嗅觉可视技术的食醋气味表征和区分[J].农业机械学报,2013,44(10):188-192.
- 11 黄星奕,姚丽娅,韩方凯,管超.基于可视化嗅觉技术的鲢鱼 K 值快速无损检测研究[J].现代食品科技,2014,30(06):233-237.
- 12 陈琳,叶阳,董春旺,何华锋.基于嗅觉可视化技术的工夫红茶发酵程度判定方法[J].茶叶科学,2017,37(03):258-265.
- 13 满忠秀. 基于嗅觉可视化技术的大米储藏期识别研究[D].江苏大学,2018.
- 14 严松,林颢.基于嗅觉可视化技术和气相色谱-质谱联用鉴别霉变小麦[J].食品科学,2019,40(02):275-280.
- 15 杨文珍,吴新丽.虚拟嗅觉研究综述[J].系统仿真学报,2013,25(10):2271-2277.
- 16 吴昊.针对嗅觉刺激在虚拟环境中应用的思考[J].产业科技创新,2020,2(20):50-51.
- 17 李飞.小型移动机器人嗅觉定位研究[D].天津大学,2006.
- 18 张小俊.基于嗅觉信息的机器人味源定位策略及实验研究[D].河北工业大学,2009.
- 19 张东.仿生机制下的机器人嗅觉感知与定位研究[D].武汉科技大学,2015.
- 20 杨安琪,刘畅,左玄烨,朱青.基于嗅觉与听觉体验的城市商业公共空间利用研究——以北京市三里屯商业区为例[A].中国城市规划学会、东莞市人民政府.持续发展 理性规划——2017 中国城市规划年会论文集(07 城市设计)[C].中国城市规划学会、东莞市人民政府:中国城市规划学会,2017:11.
- 21 邵忠良.展示空间中嗅觉体验的应用研究[D].南京航空航天大学,2019.
- 22 魏正阳.城市公共空间的嗅觉设计分析[J].建筑与文化,2019(10):142-143.
- 23 陈慧琳,汤新星,张蓉,杨春蕾.浅析特色小镇中的嗅觉感知体验设计[J].艺术家,2019(02):189.
- 24 王荐.基于五感的儿童公园植物景观设计探讨[D].西南大学,2017.
- 25 彭阳陵.植物触觉、味觉、嗅觉特征在园林景观中的心理暗示效应研究[J].咸宁学院学报,2012,32(07):101-102.
- 26 寇琳.五感在导向设计中的应用研究[D].辽宁师范大学,2013.
- 27 习敏慎,蔡岫瑜.“五感”设计在盲人书籍中的应用[J].艺术品鉴,2019(17):230-231.
- 28 陈铭,李上官,李春晓,冯凯勤,吕建华.基于嗅觉体验的家具产品创新设计与实证探索[J].包装工程,2016,37(04):92-95.
- 29 张磊.对“新感官”包装设计的研究与探索[D].山东轻工业学院,2012.
- 30 黄依婷.基于多感官体验的传统手工艺品创新研究[D].江南大学,2019.