

# 科学教育视域下增强现实技术 教学应用的研究与展望

张四方, 江家发

(安徽师范大学 化学教育研究所, 安徽 芜湖 241000)

[摘要] 基于文献研究方法对 AR(增强现实技术)在科学教育中的应用价值、层次与教学整合路径进行了分析和展望。研究发现:(1)AR 在科学教育中具有重要应用价值,它具有虚实结合、无缝交互、浸润学习等特点,能填补虚拟和真实世界的认知桥梁,实现对复杂空间关系和抽象概念的可视化和虚拟现实之间的无缝交互,更好地发展学生的高阶思维能力;(2)AR 正推动科学教育向深度学习、“学习设计者”、“最完美的情境学习”转变;(3)在科学教育视域下,AR 教学将遵循应用、技术和认知三个发展层次,并只有在教学论、设计者、学习者三方融合中才能更好地发挥其科学教育的价值。

[关键词] 增强现实; 科学教育; 概念理解; 科学探究; 学科整合

[中图分类号] G434 [文献标志码] A

[作者简介] 张四方(1980—),男,安徽铜陵人。博士,主要从事科学教育与信息化的整合研究。E-mail:zhforfine@126.com。

近些年来,增强现实技术以其独特的技术优势及教育价值,正迅猛地走进科学教育研究领域。所谓增强现实技术(Augmented Reality, AR),是指通过 3D 技术在真实物体上叠加虚拟对象,从而达到一种视觉混合增强效果,具有虚实结合、无缝交互、浸润学习等特点<sup>[1]</sup>。AR 的出现,填补了虚拟和真实世界的认知桥梁,能实现学习者对复杂空间关系和抽象概念的可视化,实现虚拟和现实之间的无缝交互,从而帮助学生更好地发展高阶思维能力<sup>[2]</sup>。科学教育的学科困境和美好前景,在增强现实视域下都得到了一定关照,为科学教育指明了新的研究方向,并推动科学教育向深度学习、“学习设计者”、“最完美的情境学习”不断前进。

## 一、科学教育面临的挑战和对策

科学教育正面临着愿景与现实的双重挑战。一方面,社会的进步、技术的发展对未来公民的科学素养提出了更高要求;另一方面,基于科学教育的学科特

征,普遍存在着科学学习动机和志向下降的趋势。长期以来,科学学习一直被蒙上了“抽象、间接、脱离情境”的外衣,这种固有认知深深影响了学生的科学学习。研究表明<sup>[3]</sup>,科学学习正离学生越来越远。科学在改变世界的同时,其津津乐道的变革力量却并没有改变学生科学学习的现状。

科学课程之所以难学,是由科学的学科本质、特征和教学方式所决定的<sup>[4]</sup>。科学学科具有几个共同的学科特征,表现在:(1)抽象性。抽象、难懂一直是人们对科学学科的固有认知,其表现在概念的抽象性、原理的复杂性上,尤其对于无法看到的“场”“云”等概念,更需要学生发挥充分的理解力和想象力;化学学习中的“宏观—微观—符号”三重表征特征,物理学科中的作用机制以及复杂系统的因果关系、数学学科中的逻辑及空间关系,无不制约着科学学习。(2)微观化。科学中很多奥秘在于现象的表面之下,如“原子”“分子”“细胞”“质子”等,这些物质肉眼无法看到,却

基金项目:安徽省教育厅 2017 年度高等学校省级质量工程项目一般教学研究项目“化学教学与增强现实技术融合的探索与实践”(项目编号:2017JYXM0100);安徽师范大学博士科研启动金项目(项目编号:2017XJJ30)

是决定物质和机体功能的重要因素。(3)模型化。模型化具有高度抽象性和概括性,物理、化学学科中的很多现象和原理是依托模型而展开的。(4)空间认知。空间认知是科学教育的必备能力,如化学中的轨道、键长与键角等关系都离不开空间认知能力的支撑。(5)实验能力,实验是科学的基本研究工具,也是学科的共同特征。不仅如此,生物学科还具有“生命性”,决定了其脱离不了“生命”这一基本前提所带来的伦理等一系列问题。因此,对科学学科特征和本质的理解,不仅关系到学科定位和学科价值的理解和认同,也关系到科学教师对学科目标的定位和学科内容的选取与处理。

教育技术被认为是提升科学教育最重要及最有效的路径。在科学教育中,教育技术的作用就是帮助营造学习环境,指导科学探究、支持学生反思、提供及时证据、便于教师对学生进步进行评价。在技术变革教育的今天,作为“原住民”的学生和作为“移民”的教师之间,却存在着难以调和的矛盾,我们怕学生迷失在技术之中无法自拔。因此,在这些多重重压之下,势必要求科学教育发生深刻的变革。科学教育在与技术结合的过程中,只有把握了学科的基本本质才能实现更深层次的整合和应用。因此,增强现实技术一经出现,即被科学教育寄予了厚望,并推动科学教育研究不断前进。

## 二、科学教育视域下增强现实技术的教育价值及研究应用

AR作为虚拟技术的延伸,借助计算机模拟,可以让学习者在真实环境背景中与虚拟模型对象进行自由交互,具有可视性、交互性、情境性、移动性、个性化的学习特征,其一经出现就被赋予了教育变革的特征。在AR的技术关照下,科学课程的诸多学科特征都能得到良好的关照,开辟了科学教育新的研究方向,正引领其向深度学习不断迈进。当前,科学教育研究领域AR教学研究主要集中在以下几个方面:

### (一)基于可视化促进抽象概念理解

概念是科学学习的核心。与一般知识不同的是,概念具有高度概括性和抽象性,概念理解和概念转变一直是科学教育研究的热点内容。如化学学科中,化学是一门研究物质组成、结构和性质的学科,其学习受制于宏观—微观—符号之间的三重表征。研究表明<sup>[5]</sup>,只有从分子、原子层面去理解化学,才能深入理解化学概念的本质;同时,只有实现了化学过程的“可视化”<sup>[6]</sup>,才能突破化学表征的障碍,让学生更好地理解化学概念。AR通过让学生亲眼所见、亲手感受微观的3D模型,从而增强学生的直觉感知能力。学生可以从不同视角

来观察3D模型,这种视觉冲击能带来直接感知,从而提升科学学习兴趣。

实物模型和计算模型是促进科学学习的重要工具。早在1996年,Barnea等<sup>[7]</sup>就提出:通过操作实物模型能帮助学生“看到”分子或原子,促进学生较深入和长期的理解;然而这种“可视”还仅仅停留在宏观层次的放大,无法实现微观层次的“真实再现”。Yu-Chien Chen<sup>[8]</sup>通过比较化学《氨基酸》概念教学中真实模型和AR模型的作用,提出AR能够呈现实物模型无法呈现的动态、复杂结构,AR通过屏幕营造出来的“可视化”虚拟物体,无须鼠标控制,只要用手转动移动设备或标记(Marker)就能达到实时虚实交互,呈现的同样是一种真实物理对象和真实的操作体验。3D营造的虚实相济的可视化,能为学生提供认知建模的框架,从而便于学生更好地进行学习。在抽象概念的学习中,可视化工具起着“建构模型和转化表征”<sup>[9]</sup>的作用,促进学生对科学概念及其表征更加深入的理解。

不仅如此,AR所营造的虚拟结合的特征,填补了真实和虚拟之间的认知桥梁,能有效降低科学学习的认知负荷,从而提升学生的学习效率并减轻学习负担。概念理解取决于学生的已有概念和科学概念之间是否存在联系。AR将丰富的虚拟数字信息叠加在真实物体上,在真实物理与虚拟对象之间建立内在联系,填补抽象概念和具体情境之间的认知差距,因此被认为是“最完美的情境脚手架”<sup>[9]</sup>。尤其在抽象概念与结构的教学中,AR教学的浸润式情境特性,能有效克服学生在宏观微观之间认知的障碍,快速建立联系和建构意义,能大大促进学生对抽象科学概念的理解。

### (二)基于可视化促进空间关系认知

科学学科都脱离不了对空间结构的认知和理解,如化学中的键长、键角和生物中的DNA结构等。缺少对空间结构的三维认知,学生常难以理解微观所发生的特定行为。在日常科学教学中,教师习惯于从二维层面来表征空间关系,因此,造成很多学生存在空间结构认知困难。AR通过三维注册,实现了在手中可以对3D模型进行旋转、翻转等各种认知,能帮助学生顺利获得视觉线索和3D认知,从而更好地帮助学生建构其对空间关系的认知,发挥空间想象能力,提升空间思维能力。如Patrick Maier<sup>[10]</sup>利用Augmented Chemical Reactions(ACR)应用程序进行教学,他们借助AR实现化学反应的可视化,能直接控制虚拟原子和分子,通过摄像头识别学习者手中的特殊标记(Marker)来表征空间结构关系(键长、键角等),并能对空间的位置和方向进行全方位的操作和定位,动态展现分子的化学反应行为,

如当分子相互靠近时会产生特定的反应或行为,从而达到对分子空间行为的直觉认知,增强学生对化学结构的空间关系认知。学生通过移动或旋转真实的标记就能从各个维度观察分子结构及反应过程,甚至能帮助化学教师从分子间的空间关系来推断催化剂的作用是否理想。该研究表明,AR能有效呈现化学的空间关系,促进学生对化学结构的理解,同时减少化学学习的恐惧心理,学生能在愉悦的氛围中体验到分子、原子之间的奇妙变化。

基于学科开展的AR空间关系认知研究,不仅仅在化学教学研究中展露了新前景,同时在地理、几何、物理等学科都引起了较高关注;也引发教师开发诸如化学AR魔术书的设想,学生只需下载安装一个APP,通过虚拟头盔或移动设备摄像头捕捉图书画面时,AR程序中内置的3D结构、分子结构模型、动画模拟、实时讲解等虚拟学习内容跃然纸上,学生可与虚拟内容进行无缝交互。

### (三) 基于体验性营造情境学习环境

在AR学习环境中,学生能感受到真实环境下的存在感和临场感,并让他们专注其中。其价值在于能加强学生对环境的直觉认知、提升真实的主观感受和替代性的学习能力培养。科学学习的意义就在于将科学概念与日常生活体验建立联系,在真实的环境中提升学习者的存在感、角色感和参与的真实性<sup>[11]</sup>。基于AR进行科学实验操作,学习者无须借助鼠标、键盘就能直接操作虚拟的对象,观察不同的实验效果和实验现象,具有直接自然交互、替代补偿的学习特点,如图1所示。

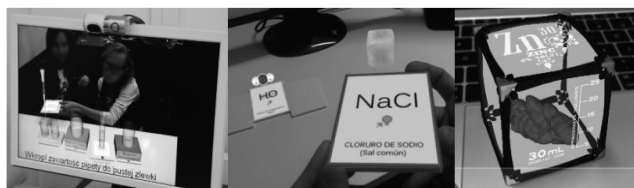


图1 学生在AR学习环境中进行实验和分子概念学习

研究表明,在AR实验中附加和情境化的信息增强学习者的现实体验<sup>[12]</sup>。传统化学实验室虽然能让学生在可观察到的实验现象之间建立联系,但是却难以从分子层面对实验现象与概念建立联系。Chao Jie等<sup>[13]</sup>提出,AR增强化学实验室能结合传统化学实验室的仪器设备和实验体验,结合AR技术所提供的可视化,让学生将观察到的真实现象与学生看不见的科学概念之间建立联系,从而帮助学生从微观视角对宏观现象建立直觉观念并发展微观层面的解释能力,以此突破宏观—微观之间的认知障碍。他们以气体性质为研究内容,以增强化学实验室程序Frame Lab为平台,对

45名八年级学生进行了实证研究。结果表明,使用AR增强实验室比真实的化学实验室更能促进气体定律概念的理解,学生能更好地对相异概念和错误概念进行精炼,并发展成气体的科学概念。实验的体验性、操作性和直观性在AR的支撑下都能得到更大程度的发挥,同时抽象性的理解困难也能得到较好的解决。该研究也为AR技术应用于实验教学和增强实验室建设提供了参考和借鉴。结合AR应用,不仅能实现科学实验虚实结合,而且能实现对实验操作中“哪个操作程序”“谁”“什么操作”上的错误识别,能精准提高学生的实验技能,同时对实验中实验者的实验错误进行精确的识别和记录。可以说,AR应用研究为化学实验技能培养提供了新思路。

AR也在远程科学实验室建设上展现了应用前景。如Andujar等<sup>[14]</sup>在传统实验室增强应用的基础上,开发了一个基于图像识别的AR远程化学实验室。教师可以通过实验仪器异地操作演示,而学生则可以随时随地使用实验器材结合虚拟情境叠加在网络上实时交互学习和在线化学实验操作。该AR增强远程实验室(ARL)主要包括四个组成:控制管理系统、预约管理和登陆控制、实验室的物理可视化、应用生成器。ARL不仅拓展了化学实验的时空限制,也能让学生对危险、复杂的实验进行实验学习,有效提高学生的实验操作能力;同时AR与化学实验室的研究,也为化学AR学习环境研究,如建设化学AR教室、开发化学AR图书、化学AR游戏、化学AR博物馆等提供了广阔前景和思路。AR的浸润式学习特征,能让学生产生一种身临其境的感觉,以真实的自我角色参与学习,因而被誉为“最完美的情境学习脚手架”。真实的学习环境会影响学生的对科学的认知,以及改变学生的学习风格等。

### (四) 基于体验性促进科学探究学习

探究是科学素养的重要内容,也是一种重要的学习方式。AR所赋予的技术特征和教育价值,为化学探究学习提供了新的载体,也是提升学生科学本质和科学思维的重要工具。

AR将丰富的情境内容叠加于真实环境之上,情境的真实性、角色的代入性、学习的浸润性更能促进学生对科学本质的理解,在科学议题的学习上表现得尤为显著。其原因在于,模拟和可视化充当了学生情感改变的认知资源,AR与学习者的参与、信念和价值观共同构成了浸润式情境的情感资源。Squire & Klopfer<sup>[12]</sup>研究指出,利用AR开展科学探究活动,学生在真实的环境中,将所学知识与真实情境和世界相联系,去解决面对的现实问题,从而让学生更好地理解科

学活动的实践本质;同时,科学探究活动中,学生需要发展对科学现象的描述和解释能力,AR的沉浸式学习特征为这种科学思维过程提供了脚手架,为学生的科学思考提供了支撑,而这些脚手架和支撑则在绝大多数科学探究活动中几乎都无法触及。因此,与传统探究活动相比,基于AR的化学科学探究活动更能有效提高学生的科学论证能力<sup>[12]</sup>和科学意识<sup>[15]</sup>。

不仅如此,AR化学探究活动也变革了学生化学学习表征的方式,它所营造的浸润感使得学生在真实的物理世界中能实现宏观—微观、实景与虚拟的融合,对学生的认知方式产生了深远影响。AR让学生以现场“参与人”的角色去开展真实的科学探究,以一种全新的方式去影响学生的科学学习风格、强度和喜好,如基于合作性的搜索、筛选、合成经验,而不是以个人形式;基于体验基础上的积极学习,包括频繁的反思、非线性表达等,AR化学探究活动会深深改变学生的化学学习风格<sup>[16]</sup>。同时,由于在真实的学习情境中进行探究、合作,面对面进行交流、互动,学生的角色代入感更强,在浸润式学习环境中更能感受到情境的辅助和引导作用。

#### (五)基于移动性支持泛在情境学习

作为一项新的教育变革技术,“AR不能仅仅定位于一门技术,而应该从整个教学的层面去理解它,以此来指导教学的设计”<sup>[17]</sup>。只有这样才能突破AR的技术限制,而将合作学习、探究学习、自主学习等多种学习与AR进行教学整合。AR的出现拓展了科学教育的平台,由单纯的课堂教学工具,已经拓展到科学游戏、科学电子书、魔术书等使用上;同时拓展了科学学习的时间和空间限制,如CONNECT(连接)项目<sup>[18]</sup>就是利用AR技术建立的科学主题公园。在这个项目中,学生通过对AR建构的传统博物馆的参观,利用AR技术将科学知识 with 眼前所见联系起来,以增强的效果达到形象化学习。与传统教学不同的是,在AR学习环境下,知识的传递和建构是多向、分布式的,交流也是多元的,学生在分布式的学习过程中逐渐建构对知识的理解。AR的应用和发展变革了传统的教学模式,使之必然要发生根本性变革<sup>[19]</sup>。

在教学方法层面,CHEN C H等人<sup>[20]</sup>首次构建了概念图AR教学脚手架(CMAR),以概念图的层次结构整合教学情境和教学内容,结果表明,CMAR能让学生充分认识到概念之间的层次关系,要比单纯的AR教学更能促进学生的概念理解,学生的学习成绩、兴趣、动机都有显著变化。作者认为,概念图是学生建构意义的有效工具,概念图的结构框架能帮助

学生更好地组织情境内容,是一种非常适合AR教学概念学习的教学方法;在其他学科领域,也有学者提出以故事驱动形式进行数学学习,如SSAR故事驱动数学学习<sup>[21]</sup>,都不失为一种教学方法层面的尝试。随着教育技术的普及,技术将推动学生由知识的消费者向生成者转变。随着AR应用的推广,门槛也在不断降低,其开放式的建构方式、灵活的表现形式,正使得学习者向“学习设计者”迈进。

### 三、科学教育视域下AR教学应用的展望

作为虚拟现实的延伸,AR具有的教育学优势在科学教育中展现了较好的应用价值和前景。就目前AR教学的应用而言,其主要功能立足在提供学生的交互、可视化层面上,实现了其在概念理解、空间认知、实验提升等方面的优势。通过研究,我们认为科学教育视域下的AR教学应用,将会在已有的研究上进一步突破,并将遵循以下发展路径,如图2所示。

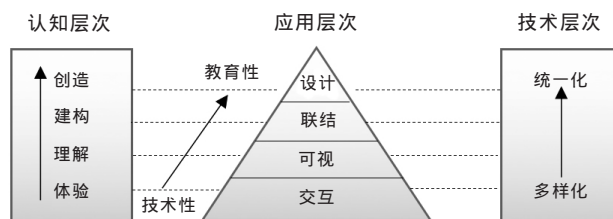


图2 科学教育视域下AR教学应用的层次

#### (一)应用层次

AR教学的应用层次将遵循着交互、可视、联结、设计这四个发展阶段,就目前的应用而言,主要定位在AR的无缝交互、虚实交互、三维呈现教学应用上,这是AR技术的初级应用阶段,表现为技术优势所体现出的教学效果。随着教育应用的发展,联结和设计将成为进一步发展的方向。

联结的含义是指实现AR教学元素之间内在功能、外在平台之间的组合和贯通应用。如生物学科应用中,心脏AR识别标志能为我们展现心脏的立体结构,当血液等识别标志同时识别时,自动会实现血液循环等系统性功能呈现;地理学科中洋流识别标志遇到山脉识别标记时,自动呈现季风等大气变化;同理,在化学学科中,当不同的实验装置识别标记作用时,则实现化学实验的系统性操作。元素之间的联系与贯通使得AR教学应用由单个的功能呈现变成了系统应用。

设计则是实现了学生利用AR进行自我学习内容的设计和综合应用等功能,这种设计不仅仅是利用AR软件制作一个AR识别元素,而是基于AR的深层应用。如学习者可以结合AR程序进行学生自我设

计,但这仅仅是设计的初级形式。设计最终实现的是学生由“知识的消费者”变成“知识的生产者”,开发出具有自主价值和意义的学习内容,使得每个学生都能成为“学习设计者”。如围绕科学探究实验,自行设置AR探究元素和探究情境;不仅适合在课堂使用,而且基于移动设备的便利性开展自主学习、个性化学习、合作学习。随着AR技术的普及,AR将成为“设计学习的先行者”。可以看出,由交互、呈现到联结、设计,实现的是AR由技术应用到教学深层应用,体现了技术性向教育性的延伸和拓展。

## (二) 认知层次

在已有的研究中,AR围绕的是利用技术来提升学生科学学习的兴趣,学生在AR学习环境中学习兴趣更高,动机也更为充分,这是当前众多AR教育研究所得到的共识。从认知层面来说,这是基于技术新颖性所带来的体验认知,但随着新颖性兴趣的下降,这种表面性将更多地让位于深层次的认知特性,AR技术为什么能提高学习效率?它又是如何提高学生的学习效率?只有弄清了这个原理,才能更好地指导今后AR科学学习环境的设计。这些研究仍处于探索阶段。

同时,如何营造高效的AR科学课堂,也是认知层次不容忽视的课题。与传统课堂不同的是,AR科学课堂要基于心理学概念框架展开设计<sup>[22]</sup>,应该具有物理、认知和情境三个基本特征。AR科学教学应该围绕这三个特征展开整体设计。也有不少研究是关于科学教育的科学概念理解、错误概念转变、科学态度的认知。这些研究更多地定位在科学概念的理解层次。随着AR技术连接功能的实现,学生在体验、理解基础上自主建构学习内容,建构其对学科概念和学科知识的科学认知,并在此基础上,设计开发具有自我学习特征和知识产权的学习内容和学习作品,从而达到学习创造的认知层次。

## (三) 技术层次

就当前AR教学研究的现状而言,AR教学应用主要是通过两种方式实现的,分别是基于图像交互和基于位置交互,但二者都必须依托专用的AR教学软件开展教学。随着移动技术的发展,尤其是GPS和摄像头成为移动设备的标配,AR逐渐从专业走向大众,涌现出一批AR学科教育资源中心(如LearnAR、Zooburst)和相关AR应用平台,如Aurasma、Metaio Creator、Elements 4D等,这些应用都可以在安卓和IOS移动设备上使用,操作简单,大大促进了AR在教育领域中的应用推广,AR科学研究正呈现出百花齐放的景象。我们相信,在技术发展的历程中,最终会趋向

于标准统一的应用方向发展,继而实现不同的应用程序、应用设备、开发的资源之间实现共通、融合,以达到AR教学应用普及。通过上述技术层面的展望,可以看出AR教学仍有很长的道路要走。

## 四、结 语

在教育上,科学教育和技术经常作为两个独立的本体来呈现和教授<sup>[23]</sup>。所以,AR应用于理科教学也同样存在着理想功能(Intended Affordance)与实际功能(Actual Affordance)的差别。前者是基于工具性特征而派生出来的教育价值,而后者则是从学生使用角度所衍生出来的实际效果。因为设计视角的不同,技术和教育之间常常会存在较大出入,这也是制约众多技术进入教育领域的根本原因。

因此,AR应用于科学教育,同样要遵循一定的设计思路,始终无法回避整合过程中的“技术”“学习者”“教学法”三个层面的要求。“可用性”是决定教育技术应用于教学的决定作用。可用性(Affordance)最早由Gibson提出,在教育上,它被看作是一个学习工具的特征,它决定了学习者利用这些特征的可能方式。要发挥AR教育技术的优势,必须要认识其功能开发的基本图式。因此,我们认为要实现科学视域下AR的教学应用价值,必须建构AR教学整合的方法论模型,即AR技术应用于教学至少应包括四个基本步骤:识别教育目标、提出合适任务、决定任务的功能需求、决定技术的合适功能。同时,更要考虑学习者的因素,只有将学习者纳入AR教学功能图式中,才能实现教学论的中介支持和关怀,缩小教育技术的理想功能与实际功能之间的落差。我们认为AR的理论功能与实际功能之间必须以教学论作为中介内容,关注教学内容特征、师生教学风格、教学方法这三大主要中介因素,这样才能达到教育功能的最大发挥,教学功能图式如图3所示。

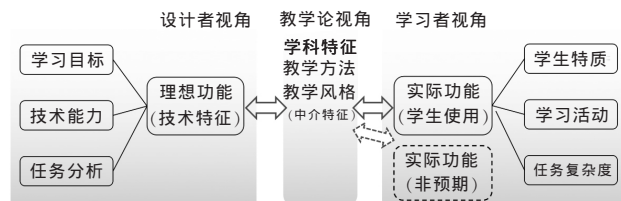


图3 AR科学学习教学功能图式分析

由图3我们可以看到,AR的理想功能与实际功能在教学论设计作用下的相互作用关系,其目的和功能就在于要实现由“技术”向“教学”功能的转变,由“设计”向“学习者”角色的变迁。在这个图式中,AR的技术设计起始于学习目标的分析,考虑AR技术的呈

现能力,最终实现设计者、教学论、学习者三者视野的融合,否则,再完美的增强技术最终也只是昙花一现。我们只有站在教、学、技术的层面进行更全面、更深入细致的研究,既要关注看得到的结果,更要关注看不

到的学生认知结构、特征和学习过程;要关注显性的技术和方法设计,更要重视教学层面潜隐的方法、模式和内容开发、资源整合,只有这样才能充分发挥 AR 的教育价值。

#### [参考文献]

- [1] 高媛,黄荣怀.《2017 新媒体联盟中国高等教育技术展望:地平线项目区域报告》解读与启示[J]. 电化教育研究,2017(4):15-22.
- [2] 张四方,江家发. 增强现实技术在化学教学中的研究现状与启示[J]. 化学教育(中英文),2017,38(21):43-49.
- [3] LAINE T H,NYGRÉN E,DIRIN A,et al. Science spots AR:a platform for science learning games with augmented reality[J]. Educational technology research & development,2016,64(3):507-531.
- [4] JOHNSTONE A H. Why is science difficult to learn? things are seldom what they seem [J]. Journal of computer assisted learning, 2010,7(2):75-83.
- [5] KOZMA R B,RUSSELL J. Multimedia and understanding:expert and novice responses to different representations of chemical phenomena[J]. Journal of research in science teaching,1997,34(9):949-968.
- [6] WU H K,KRAJCIK J S,SOLOWAY E. Promoting understanding of chemical representations:students' use of a visualization tool in the classroom[J]. Journal of research in science teaching,2001,38(7):821-842.
- [7] BARNEA N,DORI Y J. Computerized molecular modeling as a tool to improve chemistry teaching [J]. Journal of chemical information and computer sciences,1996,36(4):629-636.
- [8] CHEN Y C. A study of comparing the use of augmented reality and physical models in chemistry education [C]// ACM international conference on virtual reality continuum and ITS applications.Hong Kong: ACM,2006:369-372.
- [9] BOWER M,HOWE C,MCCREDIE N,et al. Augmented reality in education - cases,places and potentials [J]. Educational media international,2014,51(1):1-15.
- [10] MAIER P. Augmented reality for teaching spatial relations[J]. International journal of arts& sciences,2009,9(2):1-8.
- [11] WU H K. Linking the microscopic view of chemistry to real-life experiences: intertextuality in a high-school science classroom[J]. Science education,2010,87(6):868-891.
- [12] SQUIRE K,KLOPPER E. Augmented reality simulations on handheld computers [J]. The journal of the learning sciences,2007,16(3):371-413.
- [13] CHAO J,CHIU J L,DEJAEGER C J,et al. Sensor-augmented virtual labs: using physical interactions with science simulations to promote understanding of gas behavior[J]. Journal of science education & technology,2015,25(1):1-18.
- [14] ANDUJAR J M,MEJIAS A,MARQUEZ M A. Augmented reality for the improvement of remote laboratories: an augmented remote laboratory[J]. IEEE transactions on education,2011,54(3):492-500.
- [15] LIN H K,HSIEH M,WANG C,et al. Establishment and usability evaluation of an Interactive AR learning system on conservation of fish[J]. Turkish online journal of educational technology,2011,10(4):181-187.
- [16] DEDE C. Planning for neomillennial learning styles[J]. Educause quarterly,2005,28(1):7-12.
- [17] WU H,LEE S W,CHANG H,et al. Current status,opportunities and challenges of augmented reality in education [J]. Computers & education,2013,62:41-49.
- [18] SOTIUIOU S,BOGNER F X. Visualizing the invisible: augmented reality as an innovative science education scheme [J]. Journal of computational & theoretical nanoscience,2008,1(1):114-122.
- [19] 周森,尹邦满. 增强现实技术及其在教育领域的应用现状与发展机遇[J]. 电化教育研究,2017(3):86-93.
- [20] CHEN C H,CHOU Y Y,HUANG C Y. An augmented-reality-based concept map to support mobile learning for science [J]. The asia-pacific education researcher,2016,25(4):567-578.
- [21] ENYEDY N,DANISH J A,DELIEMA D. Constructing liminal blends in a collaborative augmented-reality learning environment[J]. International journal of computer-supported collaborative learning,2015,10(1):7-34.

(下转第90页)

critical thinking training. It is effective to use composition modification to promote the development of students' critical thinking. Virtual learning space and thinking visualization technology provide technical support for critical thinking teaching. Specific learning techniques are suitable for specific content and specific learners.

[Keywords] Virtual-actual Integration; Junior High School Students; Critical Thinking; Learning Activities

---

(上接第 69 页)

- [22] BUJAK K R, RADU I, CATRAMBONE R, et al. A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom[J]. *Computers & education*, 2013, 68(1): 536-544.
- [23] LAYTON D. Technology's challenge to science education[J]. *Developing science and technology series*, 1993, 6(4): 80.

## The Research and Prospect on the Application of Augmented Reality in Science Education

ZHANG Sifang, JIANG Jiafa

(Institute of Chemistry Education, Anhui Normal University, Wuhu Anhui 241000)

[Abstract] Based on literature research method, the application value, level and teaching integration path of AR (augmented reality technology) in science education are analyzed. The research shows that: (1) AR has important application value in science education. It has the characteristics of virtual-actual combination, seamless interaction, and immersive learning. It can bridge the virtual world and the real world cognitively and realize the visualization of complex spatial relationships and abstract concepts, and promote seamless interaction with the virtual reality to better develop students' higher-order thinking ability. (2) AR is promoting the transition of science teaching to deep learning, learning designer and perfect situation learning. (3) In the perspective of science education, AR teaching will follow three developmental levels of application, technology, and cognition, and can give full play to the value of scientific education by the integration of didactics, designers, and learners.

[Keywords] Augmented Reality; Science Education; Concept Understanding; Science Inquiry; Discipline Integration

---

(上接第 82 页)

symptoms are closely related to the thinking deviation under the control of instrumental rationality, the lack of rationality under multiple psychological effects, the misunderstanding of the connotation of teaching modernization and the times of visual communication. Therefore, on the basis of understanding the relationship between technology and teaching, worship to technology can be dealt with the movement from "daydreaming" to "science" and from "eye-raising" to "eye-up" by extending the technical means. Moreover, technology application should change from "irrationality" to "rationality" and the level of guidance of organizations such as schools should move from "low level" to "high level". And classroom-teaching evaluation can transform from "technology application" to "teaching quality".

[Keywords] Teachers; Technology; Worship to Technology; Classroom Teaching; Teaching Effectiveness