华东理工大学专栏

虚拟现实技术辅助绿色工程教育的探索与实践*

蔡 方[1],熊 焰[2],司忠业[3]

(华东理工大学 1.网络教育学院,2.化学实验教学中心,3.化工学院,上海 200237)

[摘要]虚拟现实技术使学生可以在数字化虚拟空间中"身临其境"地操作和体验各种工程实践案例,增强学习的趣味性并产生更持久的记忆效果,非常适合作为绿色工程教育的实践教学手段。文章介绍了绿色工程教育体系建设过程中采用虚拟现实技术辅助绿色工程实践教学、培养复合型创新创业人才、强化产学研合作的探索与实践。

[关键词]虚拟现实;绿色工程教育;实践教学

The Exploration and Practice of Green Engineering Education Aided by Virtual Reality Technology

Cai Fang[1], Xiong Yan[2], Si Zhongye[3]

(*1.School of Distance Education, 2. Chemistry Experiment Education Center, 3. School of Chemical Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237*)

Abstract: Virtual Reality (VR) technology enables students to operate and experience various engineering practice cases immersively in a digital virtual space, enhances the interest of learning and produces more durable memory effects. It is very suitable as practical teaching methods for green engineering education. This paper introduces the exploration and practice of using virtual reality technology to assist the practice teaching of green engineering, cultivating compound innovative and entrepreneurial talents, and strengthening the cooperation between industry, university and research institute in the construction of green engineering education system.

Key words: Virtual reality; Green engineering education; Practical teaching

[作者简介] 蔡方(1977-),男,工程师;司忠业(1981-),男,副教授。

[通信作者] 司忠业,E-mail:sizhongye@ecust.edu.cn。

* 基金项目:华东理工大学2017年中央高校改善基本办学条件专项资金(XGX17S02);教育部科技发展中心高校产学研创新基金课题——混合现实(MR)技术的化学工程专业教学中的应用(2018C01040)。

绿色工程教育是指在绿色发展理念指导下，为了建立人与自然均衡发展、良性循环的格局，用绿色工程教育实践培养掌握环境知识、具有环保意识[1]、具备生态文明理念的工程师的教育活动[2]。目前我国大部分高校在实践教学过程中，仍然以教师为中心，围绕“教师中心、教材中心和课堂中心”组织教学。这种教学模式虽然能发挥教师的权威性和主导作用，但忽视了学生的主体性和能动性。此外，各高校教育经费更多用在基础设施建设和人员开支方面，而用于改善教学条件方面的经费不足，因此很多高校实验设备的台套数不足，而且往往得不到及时更新。实践教学方法不得当、教学条件不达标等问题影响到学生主动性、积极性和创造性的发挥，影响到学生主动实践能力的培养，实践教学效果不佳[3]。这些问题迫切需要借助新的方法和技术手段来解决。

虚拟现实（Virtual Reality，简称“VR”）是以计算机技术为核心、结合相关科学技术所生成的一种模拟环境，在视、听、触感等方面与真实环境高度近似，用户借助必要的装备与数字化环境中的对象进行交互，从而产生身临其境的感受和体验[4]。采用VR技术进行化工、化学、材料、环境等绿色工程相关学科的实验实践教学，可以有效解决危险性高、重复成本高、场地限制大等问题，使用户获得极佳的沉浸式体验；同时解决“看不见、摸不着、进不去、想不通”的关键难题，将过去的“说教＋服从式”教育转变为“体验＋反思式”教育，打破思维局限，启发学生创新意识，锻炼学生动手能力，促进学生进行跨学科交流，增强学生的协同创新能力，有利于推进产学研一体化，培养复合型创新创业人才。本文主要介绍VR技术辅助绿色工程教育实践教学的一些探索和实践。文中提到的“虚拟现实”为广义的虚拟现实，涵盖了传统意义上的虚拟现实（VR）、增强现实（Augmented Reality，简称“AR”）和混合现实（Mixed Reality，简称“MR”），也可以统称为扩展现实（Extended Reality，简称“XR”）[5]。

一、借助VR技术创新绿色工程教育实践教学模式

工程教育实践教学主要由实验教学（包括理论课程实验和独立实验课程）、实习实训（包括工程训练、认知实习、生产实习、毕业设计）、社会实践（包括科创活动及社会实践活动）这三部分组成，每部分都包括必不可少的专业知识学习和基于实物的实践教学。借助VR技术可以将绿色发展理念融入工程教育实践教学的全过程（见图1）。将三个部分所共有的内容借助VR技术进行建模和仿真，可以实现实验仪器、内容、流程、操作的绿色化。作为传统实践教学的补充，安全环保的VR实践教学将绿色发展理念融入工程教育实践教学全过程（见图1）。

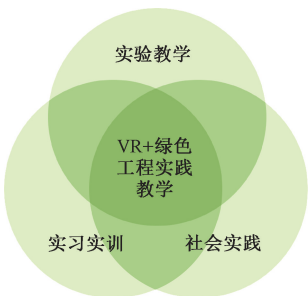

图1 VR＋绿色工程实践教学

（一）实验环节：借助VR技术实现实验仪器、内容、流程、操作的绿色化

高校可以利用VR技术，优先选择部分场地、资源需求较大或存在较高危险性的实验，将之改造为节约空间、便于重复学习、零消耗零污染、安全无忧的VR实验，进行虚拟仿真教学。VR实验教学可以避免因使用易燃、易爆、有毒、有害的实验试剂而带来的潜在风险，节约实验物资，同时不会产生废气、废液排放。这种绿色化实验教学模式不但践行了节约环保、绿色发展的理念，而且能够培养学生的可持续发展意识。

以化学实验中重要的动力学实验“爆炸极限测定”的VR实验为例，实验设计者使用三维游戏开发引擎Unity3D构建了一个非常逼真的实验室爆炸事故现场，实验者可以扮演一名事故现场调查员，使用VR设备在沉浸式的虚拟场景中勘查事故发生的原因（见图2），逐一排除嫌疑对象，最终查明是含有可燃性气体丙酮的有机溶剂引起的爆炸。在证实爆炸是由丙酮引起之后，实验者可以将场景切换到一个气体爆炸极限测定实验室

(见图 3),通过交互式 VR 实验测出丙酮在空气中的爆炸浓度极限范围[6]。

图 2 VR 模拟实验室爆炸事故现场勘查

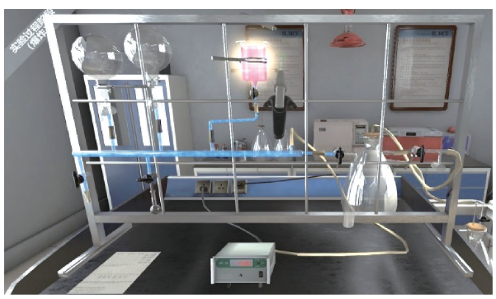

图 3 可燃性气体爆炸极限测定 VR 实验

该实验采用 VR 技术建立了交互式三维动态仿真系统,能够最大限度地呈现爆炸过程。学生通过身临其境地感受爆炸的起因、过程与防范,既能掌握燃烧与爆炸的相关知识,又能接受实验室安全教育。这种绿色化实验教学方式有助于提升师生注重环境、健康、安全(EHS)的工程伦理观和重视生态文明的绿色发展意识。

(二)实习环节:采用 VR 技术构建虚拟工厂,开展安全环保的 VR 实习实训

工科专业的实习往往需要用到大型生产装置,如化工专业实习涉及大型化工生产装置及高温高压、易燃易爆的生产环境,对实习场地、资源和安全性有很高的要求。利用 VR 技术可以构建三维立体虚拟仿真工厂,让学生在安全的环境中了解生产装置的内外结构和工作原理,练习生产线的操作过程。

以甲醇合成为例,由于甲醇工业生产环境存在高温高压、易燃易爆等危险性,教师无法在工厂现场进行教学、实训及参观展示。采用 VR 技术打造的大型甲醇合成反应系统 VR 实验呈现了大型甲醇合成反应装置生产线(见图 4),可用于列管式水冷甲醇合成反应装置的内外结构及工作原理讲解、生产过程演示和操作培训,让学生通过分析和演练去解决各类实际工程问题,总结经验和教训。

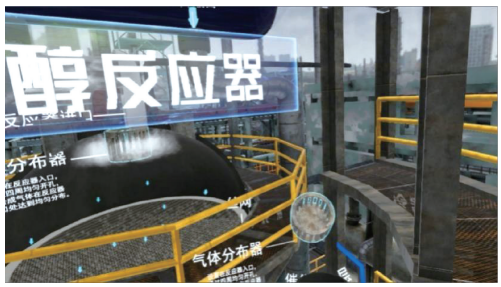

图 4 大型甲醇合成反应系统 VR 实验

采用 VR 技术进行实习教学,不但可以将现实中的工厂搬到虚拟世界中,而且可以达到“源于现实,高于现实”的目的,收到现实教学中无法获得的效果。如学生可以随时查看正在反应的生产装置内部构造和反应状态,获得更直观的感受,甚至可以进入高温高压的反应器内部进行观察和体验,从而更好地掌握反应工程的相关知识点,提高学习兴趣,增强学习效果,提高分析和解决实际问题的能力。

(三)社会实践环节:将 VR 技术与专业知识相结合,在实践活动中践行绿色发展理念

在社会实践活动中引入 VR 技术,可以调动学生的兴趣,发挥学生的积极性、主动性和创造性。如学生可以将 VR 技术与专业知识相结合,设计以绿色发展为主题的科创作品,或参加科技创新实践、学科竞赛等活动。

以与绿色工程教育关系最密切的化学工程和环境工程专业学生的课外活动为例,教师通过引导学生团队采用 VR 技术设计与本专业相关的生产装置和工艺流程(见图 5),不但强化了学生对专业知识的理解和记忆,而且锻炼了学生的动手能力,所设计的作品还可以用于交流展示和各类竞赛。

上述活动丰富了学生的实践经验,提高了学生的相关技能,增强了学生践行环境保护和可持续发展理念的自觉性和主动性,有助于培养具备绿色工程素养的未来工程师。教育部本科教育审核评估专家、美国工程与技术认证委员会专家和

图 5 化学工程作品——VR 精馏塔(左)与环境工程作品——VR 污水处理厂(右)

中俄联合国际专业认证专家在亲身体验这些 VR 实践教学案例后,都对 VR 技术在工程类专业实践教学中的应用给予了高度评价。

二、以 VR 技术为桥梁,强化产学研合作

在 VR 教学案例的开发过程中,设计人员可以优先选择具有相当规模工程应用背景的科技成果作为案例题材,与相关生产企业密切合作,通过去企业生产现场实地考察并采集资料、邀请企业管理人员与工程技术人员到实验室参观体验和交流研讨等方式,使 VR 教学案例更贴近生产型企业的现实状况,更符合企业对人才的培养要求。VR 技术作为沟通高校科研和企业生产的桥梁和纽带,助推了绿色创新创业人才培养模式的建立,加深了“产学研”合作的力度,为开拓校企合作的新局面提供了助力。

(一)探索基于 VR 技术的绿色创新创业人才培养模式

绿色工程教育的目标是培育具备“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念,能够创造超出当前技术或主流技术的工程方法,能够通过技术改进和技术创新实现可持续发展的绿色创新创业人才。为了实现这一目标,高校可以从建设绿色创新实践平台、培育凸显绿色工程特色的社团和鼓励绿色技术的成果转化三个层面开展工作,形成跨学科的复合型绿色创新创业人才培养模式(见图 6)。在这三个层面的工作中,VR 技术都可以找到用武之地。

对于绿色创新实践平台建设来说,VR 实验室是一个很好的载体。面向全校开放的 VR 实验室可以作为开发 VR 资源、进行教学研讨、开展 VR 教学实践、对外交流展示的基地,以促进学科

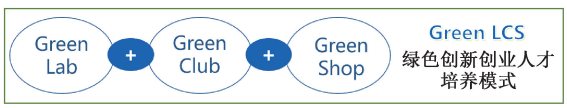

图 6 绿色创新创业人才培养模式

交叉,触发创新灵感,产生创新作品。

为了实现这一目标,我校先后建设了用于案例开发及实训的 VR 实验室和用于课程教学的 VR 教室,并组建了由计算机、艺术设计、化学化工、环境工程、机械工程等领域教师组成的 VR 教学案例库建设团队,结合企业生产实践,完成了化学工程、环境工程等专业的一系列 VR 实验教学案例开发工作,建设了包括水冷列管式固定床反应器、大型甲醇合成反应器操作、AAO 污水处理单元、高效终沉池污水处理单元、聚酯反应、多喷嘴对置式水煤浆气化装置、可燃气体爆炸现象与爆炸极限研究、装配图绘制等 VR 教学案例在内的 VR 教学案例库,并应用于教学实践。上述 VR 教学案例中已有 1 项入选首批国家级示范性虚拟仿真实验教学项目,3 项入选上海市虚拟仿真实验教学项目。在此基础上,我们还制作了一百多个配套的平面和全景教学视频,用于校内在线课程、开放式慕课及基于 VR 一体机的教学。

依托 VR 实验室、VR 教室和 VR 教学案例库,我们组织了师生教学实践和教学研讨活动,共一千多人次参与。这些活动有效提升了师生对 VR 技术的认识和了解水平,推动了教学模式的改革创新。同时,基于 VR 体验的教学实训规避了各种实验危险及安全隐患,节约了各类实验耗材,实现了零排放、无污染,有效践行了绿色发展理念。

在 VR 实验室和 VR 教学案例库建设和教学实践过程中,我们组织对 VR 相关技术感兴趣的

学生成立创新创业社团，通过开展 VR 开发技术讲座和培训，引导他们制作绿色工程实践相关作品和参与传播可持续发展理念的社会实践活动。如由 4 位工业控制相关专业研究生组成的奥粹创新创业团队设计开发了 VR 化工精馏塔、AR 工业安全演练等作品，将 VR/AR 技术应用于工业生产的建设、培训、生产、管理、市场推广等各个阶段。而由艺术学院的 VR 学生俱乐部、信息学院的创客空间和商学院的创业协会三个社团组成的“虚拟之光”公益扶贫团队集中各自的专业优势，设计创作了 VR 校史馆、VR 长征纪念馆等“VR＋”文创作品。这些作品通过全景视频、虚拟场景漫游及交互功能呈现学校历史和革命故事，起到了在专业实践中培养爱校意识、弘扬长征精神的作用。此外，该团队还根据“扶贫先扶智，治贫先治愚”的工作思路，将 VR 设备和科普资源带到了长征沿线的边远山区，给当地的中小学生开展 VR 科普活动，以科普援教工作为基础，探索可复制、可推广、可持续的发展路径。

经过 VR 实验室中的学习和实践、VR 社团中的切磋和交流，学生逐渐掌握了 VR 开发技术，他们共同设计开发 VR 作品，并参加各类“双创”实践大赛。如资源与环境工程学院的“先行者”VR 开发团队设计开发了一整套 VR 污水处理系统，在 2018 年“创青春”上海市大学生创业大赛上获得银奖，已经有出版社希望将该作品以电子出版物的方式出版发行。

（二）借助 VR 技术强化校企协作，探索产学研合作新模式

化工、环境工程等可能存在高污染、高能耗、高风险的行业难以开展生产现场实习实训，我们的 VR 实验室和 VR 绿色工程教学案例库很好地解决了这一痛点，众多开设相关专业的高校和企事业单位纷纷来校参观考察。此外，我校相关 VR 案例项目还多次参加全国双创周活动、中国国际工业博览会等大型展会活动，吸引了众多参观者争相体验，累计参观体验人数达上千人。我们的 VR 案例项目广受好评，有不少观众对 VR 技术在绿色工程领域的应用产生了浓厚的兴趣。在高校实验室、研究机构结合生产实践设计开发 VR 绿色工程教学案例的过程中，高校专业教师负责提供反应原理、设计图纸、教学实训要求等资料，并组织学生进行教学实训；企业工程技术人员负责提供实际生产现场素材、实际操作流程、关键步骤等信息，并提出员工培训要求；项目开发负责人整理各方资料，设计开发方案，组织设计开发工作。学校专业教师、企业工程技术人员和项目设计开发人员会定期沟通项目进展情况，并安排系统测试、安装部署和用户培训。高校专业教师与企业工程技术人员在沟通过程中不断将理论知识和生产实践相互印证和完善，所开发的成果不仅可以用于校内教学实训，还可以用于企业宣传展示和员工培训。目前，已有多家企业体验后准备与我们合作开发基于 VR 技术的生产模拟展示和员工培训应用。如用于校内教学实训的多喷嘴对置式水煤浆气化装置 VR 实验（见图 7）已经完成了整个水煤浆气化装置生产线和全厂区配套设施的三维建模和 VR 场景开发，接下来我们将按照企业的培训需求添加一系列指定操作环节，完成一套沉浸式 VR 员工培训系统。

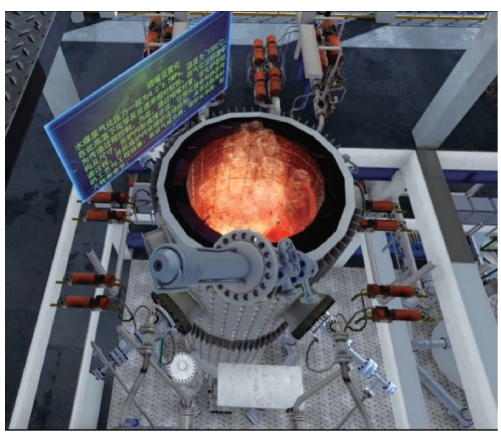

图 7　多喷嘴对置式水煤浆气化装置 VR 实验

除了 VR 技术，AR 技术与 MR 技术在产学研合作中也有很好的应用前景。在“MR 技术在化学工程专业教学中的应用”课题中，我们针对化学反应工程、化工过程系统工程等化工专业课程的知识点，选择能够反映化学工程特点的气固相甲醇合成反应器作为原型，采用 MR 技术建立了大型甲醇合成反应系统，构建了虚实融合的教学

实训场景，有利于加强互动交流，达到更好的实训效果。虚拟现实教学实训案例的开发有利于高校教学、科研与企业生产实践的紧密结合。校企通过合作设计绿色工程教学案例，有助于形成以“教学科研指导绿色生产，生产推动绿色化教学科研”的产学研合作新模式。

三、VR 技术在教学实践中存在的问题

VR 技术用于教学实践虽然效果明显，但也存在有待克服的困难。

一是 VR 实践教学对相关教师提出了更高的要求，需要教师具备一定的计算机技术，并愿意投入更多的精力进行全新的实验教学设计和尝试新的教学手段。对此，高校可以组织青年骨干教师参加相关技术培训，及时掌握 VR、AR 等最新教学技术手段，并定期举办 VR 教学研讨会、专题讲座等教学经验交流活动，帮助教师开阔视野、更新观念、学习先进经验。同时，相关部门应制定相应的激励政策，调动教师进行教学改革的积极性。

二是目前的 VR 实践教学主要是通过视觉和听觉表达构造虚拟实验环境，缺少触觉和嗅觉的反馈。近年来，已有很多具有力反馈功能的触觉外设面世，也有公司推出了可以集成到 VR 设备上的气味模拟器，通过程序控制气味胶囊，可以配合不同的 VR 场景释放对应的气味。这些外设虽然目前还处于初级阶段，一般只用于小范围尝试，但为 VR 实践教学的进一步完善提供了可能。

三是目前用户体验比较好的 VR 设备都需要与安装了高配置显卡的计算机配套使用，设备采购成本较高，上课人数较多时，管理和使用都比较困难。针对这种情况，我们可以考虑针对一个实验制作不同级别的 VR 教学资源。画质较高、交互操作比较复杂的交互式 VR 实验可与高端 VR 头显配套使用，用于小批量 VR 实践教学；基于交互式 VR 实验制作的全景教学视频或简单交互 VR 实验可与中低端 VR 一体机配套使用，单套设备价格缩减为四分之一以下，管理和使用也比较方便，可以满足数十人的班级教学；基于交互式 VR 实验制作的平面教学视频可以在线播放，适合大规模教学使用。三种级别的 VR 教学资源分别适用于小组学习、班级教学和大规模在线学习，基本可以满足 VR 教学的需求。

随着相关技术的不断发展和完善，这些困难正逐步得到解决。而且随着 5G 时代的到来，高带宽低时延的网络将使 VR 实验在线使用成为可能，VR 技术与 5G 的结合将会催生更多更方便、更优秀、更易推广和普及的 VR 实验。

四、结语

绿色发展是经济社会发展的方向，以绿色理念为指导开展工程教育已经成为国际工程教育的发展趋势[7]。虚拟现实技术具有高度沉浸感、安全环保、交互性强、展示度高等特点，可以弥补绿色工程教育实践教学的不足。但是，目前 VR 技术在教学中的应用还处于初级阶段，尚缺乏系统化的教学方法设计和标准化的评价体系，需要我们继续探索和完善。 （文字编辑：李丽妍）

参考文献：

[1] Shonnard D R, Allen D T, Nguyen N, et al. Green engineering education through a US EPA/academia collaboration[J]. Environmental Science & Technology, 2003,37(23):5453-5462.

[2] 钱易. 面向可持续发展的工程教育[J]. 中国大学教学,2016(3):8-10.

[3] 李培根，许晓东，陈国松. 我国本科工程教育实践教学问题与原因探析[J]. 高等工程教育研究,2012(3):1-6.

[4] 赵沁平. 虚拟现实综述[J]. 中国科学 F 辑：信息科学,2009,39(1):2-46.

[5] 褚乐阳，陈卫东，谭悦，等. 重塑体验：扩展现实(XR)技术及其教育应用展望——兼论“教育与新技术融合”的走向[J]. 远程教育杂志,2019,37(1):17-31.

[6] 熊焰，虞大红. 可燃性气体爆炸极限测定基础教学型实验的开发[J]. 实验室研究与探索,2010(11):274-277.

[7] 王世斌，郗海霞，杨秋波. 国际视野下绿色工程教育的理念、特征与实践[J]. 高等工程教育研究,2018(1):71-77.