

化学工程专业学位研究生 VR 教学 技术实践研究^{*}

苏力宏¹, 王善瑞², 原俊杰², 张军平¹, 孙伟民¹, 王艳丽¹, 李 冬³

(1. 西北工业大学 应用化学系, 陕西 西安 710129; 2. 延长油化延安能化公司, 陕西 延安 716000;
3. 中国化学华陆科技公司, 陕西 西安 710065)

[摘要] 国家发展和改革委员会在《国家教育事业发展规划“十三五”规划》中提出了新工科教育的目标要求, 即提高学生的实践和动手能力。而化工行业本身有安全上的特殊性和操作工艺的复杂性, 这就决定了很多具体过程无法让没有经验的学生去实践, 化工专业生产实习目前也只能以观察为主。化学反应工程课程中很多工程理论知识的应用如果单独进行模拟展示, 成本巨大, 且无法在工业现场实现。近年来随着计算机软硬件技术的进步, 三维虚拟场景视图的虚拟现实(VR)技术可实现化工工业场景的逼真模拟, 学生借助头盔显示器、移动手柄等传感设备与虚拟化工环境发生交互作用, 产生沉浸式感受, 实现具体设备的操作和控制, 这为提高化工学科学学生的实践动手能力提供了可行的新途径。文章以煤制甲醇组合反应器的 VR 软件可视化建设过程为基础, 对 VR 技术应用于化学反应工程课程教学进行了分析研究, 对教学效果进行了评估, 并总结和探讨了 VR 教学的优势和劣势及其与传统教学融合发展的的问题。

[关键词] 化学工程; 教学实践; 虚拟现实技术

Practical Research on VR Technology in Chemical Engineering Education

Su Lihong¹, Wang Shanrui², Yuan Junjie², Zhang Junping¹, Sun Weimin¹,
Wang Yanli¹, Li Dong³

(1. Department of Applied Chemistry, Northwestern Polytechnical University, Xi'an
Shaanxi 710129; 2. Yan'an Energy Chemistry Company of Yanchang Petroleum, Yan'an,
Shaanxi 716000; 3. China Chemical Technology Company, Xi'an, Shaanxi 710065)

Abstract: The National Development and Reform Commission's goal on new engineering education in the

[作者简介] 苏力宏(1970-), 男, 副教授, 博士。

[通信作者] 苏力宏, E-mail: hlshong@nwpu.edu.cn。

^{*} 基金项目: 国家工程硕士教指委案例库项目工程课题(编号: 085216-11); 国家双一流建设项目专业经费(编号: 17SH020114)。

13th Five-Year Plan for the Development of National Education calls for improving students' practical and hands-on abilities. However, the chemical industry has its own safety particularity and complexity of operating technology, which determines many specific processes are impossible for students with no operating practice to carry out. The production practice of chemical specialty currently is only based on observation. The application of engineering theory knowledge in chemical reaction engineering course cannot be realized on the industrial site because of its huge cost if the industrial companies display it in a simulated way. In recent years, with the progress of computer software and hardware technology, the virtual reality technology of three-dimensional virtual scene view has achieved realistic simulation results for chemical industry scenes. It enables students to immerse in the real chemical plant by means of various sensing devices such as helmet-mounted displays and mobile handles, and realizes the operation and control of specific equipment, which providing a feasible new way to improve the practical ability of chemical students. Based on the visible construction process of VR software for coal-to-methanol combined reactor, this paper analyzes and studies the practical case teaching of VR teaching technology applied to chemical reaction engineering teaching, evaluates the teaching effect, and summarizes and discusses the advantages and disadvantages of VR teaching and the development of traditional teaching integration.

Key words: Chemical engineering; Teaching practice; Virtual reality technology

化学反应工程是研究工业规模反应过程及动量、质量和能量传递的课程,课程内容本身离不开工业实践。根据国家发展和改革委员会在《国家教育事业发展规划“十三五”规划》中提出的新工科教育的要求,结合化工企业对实践能力强的大学生和研究生的紧迫需求,化工实践教学必须提高标准,并上升到更优先的地位。化工行业因易燃、易爆、环保等方面的因素,对安全的要求很高,大型化工设备的操作复杂程度、集成程度和自动化程度越来越高,因此学生参与工业实践和动手操作的门槛也越来越高。化工生产实习往往流于形式,无法加深学生对工业和工艺工程的认识,同时拉大了课程理论知识与实践之间的距离。随着计算机技术的发展,模拟软件能够产生逼真的效果,结合软件中集成的化工厂房建筑物,使将化工厂搬入教室成为可能。利用互联网、大数据和 VR 技术等探索未来的化工教育教学模式,成为当下最前沿的教育技术手段研究之一。本文根据笔者参与的软件公司对煤制甲醇组合反应器的 3D 课件设计和 VR 软件设计工作,结合教学实践对 VR 技术应用于化工教学进行了探索和研究,并通过师生互动评估教学效果,总结和探讨了 VR 教学的优势和劣势及其与传统教学的融合

问题^[1-11]。

一、化学反应工程 VR 教学课件的设计过程和特点

化学反应工程 VR 技术教学课件可供高等学校化学工程、化工工艺、应用化学、生物工程、环境工程、轻化工程和矿业工程等相关专业研究生和高年级本科生作为实践教育课程内容学习。VR 技术的特征是沉浸性(Immersion)、交互性(Interactivity)和想象性(Imagination),这三个特征也称 VR 的“3I”特征。为了实现化工 VR 技术教学,我们必须以相应的化工理论知识为灵魂,以工业工程与工艺产品项目案例和场景为骨架,以 VR 技术为手段来进行教学设计。

VR 课件设计目标是实现化工工业场景互动操作的效果,生成一种视觉、听觉一体化的虚拟化工厂环境,打破空间限制,让学生观察、感受三维空间中的事物,对化工设备的动态变化产生更直观的了解,身临其境地感受人与化工仪器仪表及设备的交互。我们在延长油化延安能化公司和中国化学华陆科技公司技术人员的指导和帮助下,选取该公司最新的 180 万吨煤制甲醇组合反应器作为工业项目案例,分三步进行 VR 教学课件的设计。

(一) 教学知识点融入和内容设计

在化学反应工程等课程的课堂教学中,煤制甲醇工艺是一个典型的可逆放热反应和气固相固定床催化反应器工程应用的化工过程。本案例还涉及组合反应器的组合问题,与化学反应工程等课程知识结合紧密,包括复杂化学反应的热力学和动力学、固定床催化反应器和流动模型分析计算等知识点,几乎涵盖化学反应工程“三传一反”研究的所有方面。我们结合承担的国家工程硕士教指委的 3d Max 动画课件制作课题,根据延长油化延安能化公司的 180 万吨煤制甲醇组合反应器的工艺资料和书本内容,完成了课件脚本框架。

甲醇合成反应本身是一个可逆放热反应,存在动力学平衡曲线。化学平衡分析显得尤为重要,包括反应条件对平衡的影响、化学平衡计算及平衡分析的应用。同时甲醇合成反应本身转化率较低,为了实现原料的充分利用,实际生产中必须采用原料循环的操作方式,借助循环反应的特点和优势,通过改变反应温度和压力来实现远离平衡,从而使反应高效进行。工业反应器控制计算机的自动化操作就是依据最优操作曲线的知识点来实现的。该装置为超大规模装置,采用串联气冷和水冷反应器,这样不但可以降低化工设备的制造成本和设计难度,增加甲醇的产量,而且可以产生高效二次利用反应放热的效果。气冷和水冷就是要充分利用反应转化率和压力、温度的优化调整,实现不同阶段的高效生产,提高反应过程的经济效益。该反应为可逆放热反应,充分利用反应放热的回收和再次利用是降低总体成本的关键,因此操作优化显得尤为重要。此 VR 设计课件分别就可逆放热反应平衡常数、温度参数对于反应操作优化的影响进行了讨论。另外,工业工厂设备及工艺技术路线的选择、设备设计制造和操作运行的优化过程充分体现了化学反应工程理论对于化工实践的指导作用,是理论联系实际的一个很好的教学案例。

(二) 化工厂技术背景和场景工艺资料的选择

中国是世界上煤资源比石油资源更丰富的国家,煤作为石化工业的基础原料,是烯烃和车用燃

料油的重要来源,煤制甲醇工业对我国尤为重要。我国陕西榆林、宁夏和内蒙三角地区煤炭资源丰富,为甲醇生产和进一步制备烯烃提供了可靠的廉价原料。我们在 VR 教学课件的内容设计上,特意选取了这一结合国家未来发展战略需求和西北地区化工行业特点的产品作为 VR 教学设计对象。

从反应工程研究和工业实践的角度来看,规模越大,生产成本越低,经济效益越好。因此,在国内现有年产 60 万吨甲醇的基础上,延长油化的煤制烯烃设计和运行工业项目煤制甲醇进行了超大规模的年产 180 万吨的反应器设计,生产工艺技术成熟可靠,综合技术经济指标可以与国外厂家相竞争。但是超大规模煤制甲醇反应器也带来新的技术挑战,设备体积太大导致反应器设备设计和材料强度的要求过高,产生工艺技术放大、设备放大和制造困难、反应器优化操作等一系列问题,所以生产中发展出了从单塔到双塔的串联反应器煤制甲醇设备。为了适应学生未来工作的需要,我们紧跟技术发展潮流,选取组合反应器作为 VR 工厂场景,以适度超前的教育理念为原则,利用公司可公开的工厂场景资料,借助 VR 技术将场景资料图转化为 VR 工厂。戴上 VR 头盔显示器,任何人都可以从各个角度观察工厂,也可以步入各个楼层查看设备和管网布置细节。

VR 的工业场景虽然追求逼真的效果,但必须适度,如果场景过大、效果要求过高,现场前期场景拍摄和后期软件制作的成本都会急剧增加,硬件配置的成本也会提高。为了节约成本,课件设计时我们主要把场景限制为双塔的串联反应器设备区和仪器室区域,而对于其化工工业环境的逼真程度提出了更高要求。三维虚拟场景视图结合从化工厂拍摄的场景照片,配合太阳光照及阴影等实景效果,加上对场景中人物移动的实时跟踪,实现了身临其境的体验;而附属配套设备和区域采用简化设置或插入文字展板的形式进行介绍,并结合软件中集成的模板式化工厂建筑物进行展示。这样既可以突出串联反应器主题区域,又保持了化工厂不同单元操作工艺连续生产

过程的衔接,工业化工产品生产三个阶段(前处理、反应过程和后处理)的系统性也得到完整的展示。主次分明的布局有利于学生在操作和学习时集中注意力,同时降低了制作成本。

(三)课程理论知识和 VR 技术场景结合的本设计

如何有效地在 VR 课件中展示知识点和工业 VR 场景,并且在应用过程中展示知识和理论模型,是一个设计难点。化工 VR 单元操作的依据是化学工程理论中现有的物理化学定律,其趣味性类似电子游戏。如果不能将其很好地与化工理论知识结合,课件学习就会变成一种肤浅的电脑游戏。因此,实现人机交互操作、融合学生所学知识、打破化工设备物质条件的限制,使学生实现自主探索式学习,是脚本设计的目标。

虽然利用计算机模拟产生一个虚拟的化工厂三维虚拟空间,可以让学生通过传感器去感知真实的化工厂环境,但是学生无法掌握课堂知识在生产中的应用,如从工程经济学角度深入学习化学反应工程理论指导工厂从建设到运行的全过程。因此,如何把抽象理论与虚拟场景结合是课件设计的难题。本课件涉及反应器串联和单个反应器结构及操作对比,讨论了其在设备工艺放大和制造中的优势,以及在模型设计计算和控制方面的复杂性劣势;针对复杂反应可逆放热过程,结合反应平衡曲线,将串联操作时如何进行反应速率和可逆平衡控制的操作优化、如何实现高效生产和降低成本、如何针对环境变化微调反应参数使工艺过程在最高效状态下运转等内容进行形象化表达并传递给学生,让其领悟并尝试自主操作。

交互性是 VR 技术的特点,学生不但要掌握基本操作技能,还要知道为什么如此操作,这才是交互性学习的重点。以前的课堂教学中,教师一般口头传授。而有了 VR 课件,学生可以在自主操作过程中学习,实现知其然并知其所以然。我们采用文字展板和画外音的形式引入理论介绍,让学生对比恶化条件下的操作与优化条件下的操作。另外,对于学习内容,在 VR 课件设计时,我们与软件公司的技术人员协商,专门设计了错误

操作、恶化操作状态或者爆炸等危险状况的工艺条件,学生可以尝试不同条件下操作的不同效果,并通过画外音讲解,加深对抽象理论的认识。对于化工操作的动态变化,为了让学生真实体会过程放大带来的很多工程运行操作过程的延迟和滞后性,课件设计时专门加上了等待时间的阶段,这样更符合工程实际情况。

VR 技术降低了学生对设备外观和表面外貌的想象性,以及对于不可见的过程规律和理论模型想象性要求。现代化工生产具有高度自动化和无人操作的特点,工厂车间现场很难见到人,物料也在封闭管道运行,过程动态变化(包括出现参数波动后仪表的变化、变化背后的理论原理和操作故障事故等的变化模型情况)需要操作者通过想象去判断并做出决定,从而执行正确的操作方式。VR 技术除了展示实物工厂场景,还要模拟煤制甲醇中气体加压和甲醇液化等肉眼不可见的过程,这对脚本设计提出了更高的要求。

在化工课程理论知识和 VR 技术场景相结合的本设计过程中,化工教学人员和工业技术人员相当于导演和编剧,负责写好软件制作脚本,而软件技术人员相当于布景师,负责实现所需的功能。内容需要化工教学和技术人员从实践的角度去设计,反复修改是化工 VR 课件建设的最大难题。

二、化工 VR 课件具体教学实践过程

(一)化工 VR 课件教学实施准备过程和特点

化工 VR 课件教学实施前需要完成三个方面的准备过程。

首先,学生必须学习复杂化学反应的热力学和动力学、固定床催化反应器和流动模型分析计算等基础化工理论知识。在此基础上,他们才能够理解 VR 课件的内容和操作规律,避免盲目操作。

其次,学生要了解计算机 VR 技术和设备的使用。教师可先进行操作,并将操作经验制作成视频或书面培训教材。这部分学习内容相对简单,学生只需要一节课时间就可以很好地掌握。

再次,教师要向学生讲解 VR 课件内容和理

论知识的关系,这是 VR 教学的重点。VR 课件可以产生等同于真实环境的感受和体验,还可以模拟肉眼不可见的现象,学生在实践中要结合自己的想象力,把抽象的知识可视化。对于这些知识如何在 VR 课件中展示,教师必须先向学生进行讲解,为学生提供可靠的经验和有效的引导。

VR 教学增加了教师和学生的工作量。教师和学生不但要对化工专业知识有深入的了解,而且要掌握计算机和 VR 技术的应用。

(二)化工 VR 课件教学实施过程和特点

VR 教学课件利用三维虚拟现实技术实现了将化工厂搬进教室的目的,通过视觉、听觉的刺激,实现三维工厂环境中的实时交互和参与,整个过程具有交互性、沉浸性和想象性的特点。学生身临其境,以虚拟角色完成现实中无法完成的化工单元操作。利用 VR 设备和技术可以降低实训成本和风险性,实现化工操作的重复学习。我们充分利用 VR 教学的特点,针对煤制甲醇工艺组合反应器,分别设定了不同情况和情景,让学生进行操作实践。如我们借鉴化工生产企业应急预案体系资料,设计了煤制甲醇工艺过程中出现错误操作、设备故障或极端天气下的化工危机场景,让学生反复演练操作,并分析背后的原因。高校教师、企业技术人员和软件技术人员需要共同协作完成课件,人力成本很大,而目前国内项目经费的支持力度很弱,这就导致企业人员的技术价值得不到体现。

我们充分利用计算机随时随地回放的特点,设计了操作得分奖励系统,并且在操作过程中设计问答环节,使学习像打游戏一样有趣,这样更能提升学生的学习兴趣。在传统的灌输式教学中,理论知识的学习往往是枯燥乏味的,很多学生学习兴趣不高。在实践中学习才是提高能力的关键,这是一种自主、自觉的学习模式。

(三)化工 VR 课件教学实施过程体会和问题分析

为了使化工 VR 课件的学习达到预期效果,作为设计者之一的教师要先通过亲身体验提出改进意见,编写相应的操作培训教材和课件,这样学

生更容易掌握具体操作。化工厂的工艺流程和设备构造复杂,不熟悉的人会产生恐惧感,教师和学生亲自实践操作后,对化工厂的印象发生了根本性变化。现代大型化工厂自动化程度很高,化工设备看似庞大且操作复杂,但每个工艺环节和单元操作都依据化工理论模型的计算机模拟结果有条不紊地运行着,就像科幻故事中具有超级复杂结构的宇宙飞船母舰,其虽然庞大无比,但完全人为可控。

学生利用 VR 课件进行实验操作的过程中增强了动手能力,但如何将化工过程分解成基本单元操作,并且可以任意组合和改变参数,让学习过程充满探究性和不确定性,使学生实现对相关知识的举一反三和融会贯通,还有待进一步研究。VR 技术可以在虚拟环境中给予化工课件设计和学习者近乎无限的发展空间^[12-16]。

利用 VR 技术构建的虚拟化工厂实现了具有多感知性、存在感、交互性、自主性等特点的教学,大幅降低了化工专业实践教学的成本,但是当前建设 VR 化工实验室的软硬件投入资金十分庞大,每年的维修、保养费用和设备更新费用也很高。特别是 VR 课件制作的专业门槛很高,课程资源极其短缺,而制作成本高昂,所有课件只能展示部分化工单元操作和设备,这就限制了其应用效果,远不能满足化工高等教育的要求。

VR 技术作为一种在网络技术基础上发展而来的现代技术类型,会在极大程度上成为学生追求猎奇的对象。如何避免化工 VR 教学沦为猎奇游戏而浮于表面,使其真正与化工理论知识结合起来,这是现在和未来需要解决的问题。全球范围内互联网上的化工知识资源越来越丰富,这在极大程度上拓展了学生了解技术信息的途径。随着国内外知识交流和同步性逐渐增强,国内外化工课程使用技术的比较也是今后要考虑的重点之一。

三、总结

将 VR 技术引入化工教学是具有划时代意义的教学技术模式革命,对于提升学生的实践能力是完全必要的。但我们需要精准定位和精心设

计,以使 VR 技术在化工教学领域真正发挥应有的作用。

像多媒体教学一样,在今后一段时间内,VR 技术的应用还将定位于辅助教学,但其教学效果却是多媒体技术无法企及的。VR 教学让学生通过沉浸式体验、探索式思考和学习,以安全、便捷的方式更快地理解并掌握各种化工理论和设备知识,为其今后的发展提供了广阔的空间。

可以预见,VR 技术应用于化工教学的过程中虽然还有很多问题需要解决,如课件内容缺乏、建设技术人力成本居高不下、课件设计和实践经验不足、专业性不到位等,但是随着化工 VR 课件和软件的不断发展和完善,以 VR 教学为主要教学方式的化工课程未来必将成为化工专业课程学习的主要趋势。

致谢:本项目研究得到了全国工程硕士教指委的研究生培养案例库建设课题(085216-11)及西北工业大学 2018 年度教学课程建设项目的支持。延长油化延安能化公司的工作人员、中国化学华陆科技公司的技术人员、上海米影科技及北京东方仿真技术公司给予了大力协助。

(文字编辑:李丽妍)

参考文献:

- [1] 国务院.国家教育事业发展“十三五”规划[N].人民日报,2017-01-20(05).
- [2] 赵沁平,周彬,李甲,等.虚拟现实技术研究进展[J].科技导报,2016,34(14):71-75.
- [3] 孟庆武,樊明,神文龙.基于 Maya 和 Virtools 的煤矿虚拟现实系统开发[J].山西焦煤科技,2011,35(6):43-45.

- [4] Shi Y L.Application of Virtual Reality Technology in Medical Education[J].Journal of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine,2013,269: 467-476.
- [5] 刘伟,杜强,张顺心,等.基于 VR 技术的工程图学移动学习系统[J].图学学报,2016(6):857-861.
- [6] 索金涛.基于虚拟现实技术的高校消防安全教育系统设计与实现[D].武汉:华中师范大学,2017.
- [7] 褚晶莹.基于 UNITY3D 技术的 VR 展台的设计与实现[D].长春:吉林大学,2016.
- [8] 张阳,杨长强,郑慧平.基于 Unity3D 与 VR 头盔的虚拟现实体感游戏开发[J].软件导刊,2017,16(8): 119-122.
- [9] 王麟,曹荣芳,张巧欣.MOOC 模式在体育课程结构优化改革中的可行性研究[J].当代体育科技,2016,6(27):61-62.
- [10] 马亚军,蒋晓雁,王瑞斌.化工实习虚拟现实技术在实践教学中的应用[J].化学试剂,2010(8):765-766.
- [11] 王理川.虚拟现实系统中全局光照实时渲染技术研究[D].上海:上海交通大学,2011.
- [12] 蔡苏,张晗,薛晓茹,等.增强现实(AR)在教学中的应用案例评述[J].中国电化教育,2017(3):1-9.
- [13] 吴卿,杨远飞.VR 技术在体育教学及训练中的可行性分析[J].青少年体育,2016(44):7-9.
- [14] 邓岳辉,杨以涵.虚拟现实技术[J].电力科学与工程,1997(4):7-9.
- [15] 张枝实.虚拟现实和增强现实的教育应用及融合现实展望[J].现代教育技术,2017(1):21-27.
- [16] 王同聚.虚拟和增强现实(VR/AR)技术在教学中的应用与前景展望[J].数字教育,2017(1):65-67.