

# 环境工程生产实践虚拟仿真系统设计

翟利芳, 展思辉, 王 忠, 鲁金凤  
(南开大学 环境科学与工程学院, 天津 300071)

**摘要:** 环境工程专业生产实践是培养本专业学生工程应用能力的重要途径, 是实践教学的重要环节。针对生产实践过程中存在的实习对口单位难寻、教师生产实践经验不足及安全事故频发等问题, 设计了环境工程生产实践虚拟仿真系统。该系统以天津市某污水处理厂为原型, 分为两大模块七种模式, 可实现参观、实习、实操、分解等仿真训练, 使学生熟练掌握工艺的运行及生产过程中各种常见事故的处理方法, 实践教学效果得到显著提升。

**关键词:** 环境工程; 生产实习; 虚拟仿真; 实践教学

中图分类号: X172 文献标识码: B doi:10.3969/j.issn.1672-4305.2022.02.035

## Design of virtual simulation system for production practice of environmental engineering

ZHAI Lifang, ZHAN Sihui, WANG Zhong, LU Jinfeng

(College of Environmental Science & Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**Abstract:** The production practice of environment engineering specialty plays a crucial role in cultivating the engineering application capacity of the students in this major and also serves as the key link for practice teaching. The virtual simulation system for the production and internship of environment engineering is designed on the basis of the problems in production and internship process, such as the difficulties in finding a targeted internship companies, teachers' inadequate experience of production practice and frequent safety accidents. The system is designed based on a sewage treatment plant in Tianjin. It is divided into two modules and seven modes, which can realize simulation trainings such as visit, internship, practice and decomposition. Through virtual simulation training, students could get familiar with process operation and master the solutions to all accidents which happened in production frequently and the effect of practical teaching had been significantly improved.

**Key words:** environmental engineering; production practice; virtual simulation; practical teaching

随着经济的发展、社会及国家对环保工作的日益重视, 环境污染防治技术的研究与应用迅速发展,

为环境工程专业毕业生提供了广阔的就业市场与机会。与此同时, 用人单位对环境工程专业毕业生应具备的专业素养及技能水平的要求也随之提高。具体来讲, 本专业毕业生需要具有一定的工程素养且具备工程设计、环保设施设备运行管理及污染物监测技术应用、环境工程咨询与评价等方面的专业综合能力, 而这些能力主要是在本科生阶段实践教学环节特别是专业生产实践环节中培养而获得。然而, 多数高校生产实践教学过程中存在实习基地建设困难、教师生产实践经验不足、实习过程形式化及安全事故频发等问题<sup>[1-3]</sup>, 导致学生专业综合实践能力的培养大打折扣, 生产实习教学效果甚微, 生产实践

收稿日期: 2021-11-22 修改日期: 2022-03-21

作者简介: 翟利芳, 硕士研究生, 实验师, 主要研究方向为水污染控制、环境监测。E-mail: zhailifang01@163.com

通讯作者: 展思辉, 博士, 教授, 主要研究方向为水污染控制、环境化学、新能源研究。E-mail: sihuizhan@nankai.edu.cn

基金项目: 天津市教学成果奖培育项目(项目编号: PYGJ-20); 2021年南开大学“四新”专业课程改革项目(项目编号: 21NKSYSX06); 2021年南开大学自制仪器项目(项目编号: 21NKZZYQ13)。

教学亟需改革。

随着现代信息技术的飞速发展,越来越多的院校将慕课、微课、虚拟仿真<sup>[4-5]</sup>等先进手段融入教学环节<sup>[6-8]</sup>,拓展教学内容的广度和深度,提升实验教学质量与水平,以创新多元化教学模式激发学生自主学习的热情。

实验教学中心以培养“公能素质”创新型人才为教学理念,构建“三级平台”人才培养实验教学体系,其中实践教学平台与对口企事业单位协作互动,共同建立实践教学基地,锻炼学生学以致用、解决实际环境问题的能力<sup>[9]</sup>。这些举措保证了实践教学质量的基本完成,然而依然存在多数高校生产实践教学过程中出现的普遍问题<sup>[10-11]</sup>。基于部分院校水处理实验教学中融入虚拟仿真的经验<sup>[12-14]</sup>,结合自身课程特点及存在的问题,在做好学生生产实习积极性动员、加强实习基地建设、提高实习教师实践经验的基础上<sup>[15]</sup>,开发设计了以天津市某污水处理厂为模型的生产实习仿真实践教学系统,以期提高生产实习实践教学质量。

## 1 环境工程生产实践课程

### 1.1 课程说明

环境工程专业生产实践是实践性教学环节,要求学生通过实践灵活运用所学的理论知识,了解我国的环境污染现状,进一步掌握和认识环境污染的治理方法和工程手段,通过现场亲历和动手实习、实践更加牢固得掌握污染控制工程的工艺流程、构筑物结构特点及工作原理、设计要求,了解污染控制工程的运行与管理、工程建设前期准备及工程建设对环境、社会及可持续发展的影响,从而增加学生的实践动手能力和增强社会责任感,提高学生的业务素质和职业素养。

### 1.2 教学目标

本课程拟达到的教学目标:

(1)通过生产实践,让学生了解当前环保领域的技术需求、行业现状和发展趋势,使学生建立对环境工程专业实际生产的感性认识。

(2)结合实际工程实践,消化课堂所学的污染治理方法和控制工程中的工艺流程、构筑物构造组成、工作原理、设计要求等专业知识,能够运用所学专业专业知识,分析和验证实际生产工艺的合理性,并能基于环境工程相关背景知识,分析、评价实际生产中污染治理或控制工程实践活动对社会、环境、健康、安全等方面的影响,以及对社会可持续发展方面的影响。

(3)学习生产单位的组织、管理、运营、安全、责任及员工和企业文化所传递出来的职业道德、规范等内容,培养学生们的工程实践运行管理能力和职业道德,同时增强学生的社会责任感和工程安全责任意识。

## 2 专业生产实践虚拟仿真系统设计

以培养学生综合工程应用能力为目的,结合课程教学目标要求,以实验教学中心搭建的校外生产实习基地—天津市某污水处理厂为原型设计生产实践虚拟仿真系统,虚实结合实现理论与实践有效衔接互补,较好地帮助学生完成污水处理厂生产实习实训,提高实践教学质量。

### 2.1 系统概括

生产实践虚拟仿真系统以天津市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB12599-2015)一级排放标准为污水处理厂的出水要求,以天津市某污水处理厂为仿真对象,完全参照该污水处理厂的处理工艺建立VR全场景仿真污水处理厂,可实现参观、实习、实操、分解等不同的VR教学目的。通过操作现场设备,结合VR仿真系统来熟练掌握工艺的运行及生产中各种常见事故的处理方法。

工程设计规划按 $550000\text{m}^3/\text{d}$ 考虑,总变化系数采用1.3,处理厂最大负荷为 $30000\text{m}^3/\text{h}$ 。污水处理工艺流程分为污水处理和污泥处理两个部分,包括粗/细格栅间、曝气沉砂池、初沉池、多段进水AAO生物反应池、二沉池、高效沉淀池、深V滤池、紫外消毒间以及污泥脱水车间等。其工艺流程及仿真界面如图1所示。

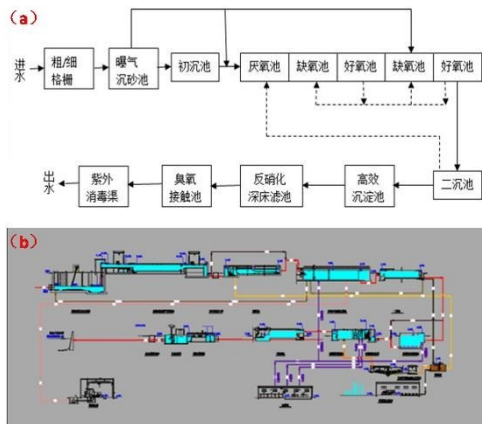


图1 污水处理工艺流程图(a)及仿真界面(b)

### 2.2 系统模块化设计

根据专业生产实践的教学内容,将系统分为仿真及实习实训两个模块,共七种模式。模块组成及仿真界面如图2所示。

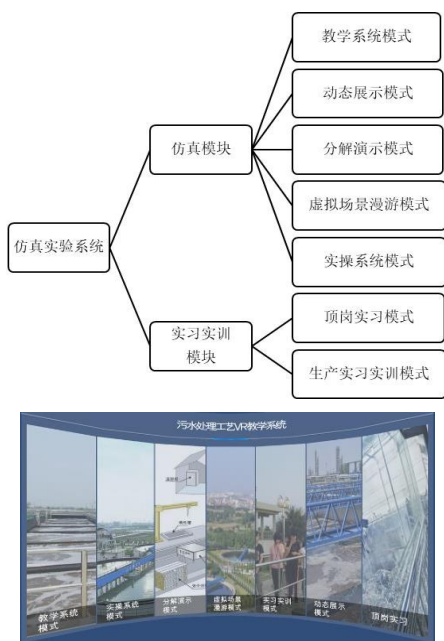


图2 虚拟仿真系统模块化教学及仿真界面

### 2.2.1 仿真模块

(1)教学系统模式。学生进入教学模式,在虚拟环境中讲解员的讲解引导下,先对某污水处理厂概况及处理工艺等进行学习了解,然后对各个构筑物逐个进行选择学习。在VR场景中可利用交互界面,通过点击设备或者内嵌菜单进行知识点学习。

(2)动态展示模式。通过一些关键设备如粗格栅、细格栅、曝气沉砂池、生物反应池、二沉池以及滤池的动态仿真演示,了解这些设备的动态仿真运转过程,理论与实际相结合,内化理论教学过程所学知识。

(3)分解演示模式。针对现实污水处理厂生产实习过程中无法直观看到设备内部结构的问题,将处理工艺流程中各个构筑物进行拆分,将设备的内部结构及运行状态实景清晰地呈现在学生面前。学生进入分解模式后通过中控台操控转轴来控制模型多角度分解,多角度观察构筑物内部结构。

(4)虚拟场景漫游模式。利用VR技术构建基于真实污水处理厂的虚拟场景,学生可在污水处理厂虚拟场景中通过操作手柄及移动身体在各个水处理工艺设备之间进行观摩漫游,达到现场实习参观及熟悉污水处理工艺各操作单元及构筑物的目的。

(5)实操系统模式。在仿DCS和虚拟现实场景中进行例如泵的启闭、回流污泥量的调节等操作,并通过工艺参数设置进行实验处理方案设计模拟处理效果操作。

### 2.2.2 实习实训模块

(1)顶岗实习模式。模拟污水处理厂的场景,

以VR形式展现厂区中包含中控办公区、生产区等区域。厂区车间内设备包括粗格栅、细格栅、螺杆输送机、脱泥机、潜水泵等,厂区中随处可见各种安全标语,将安全知识与安全意识融合到软件中。顶岗实习功能实现学生对上述中控室、各设备操作工、安全员等不同岗位的选择和实习。

(2)生产实习实训模式。通过生产实习实训模式,学生对粗/细格栅、提升泵房、曝气沉砂池、多段进水AAO反应池、沉淀池、高效沉淀池、深V滤池、紫外线消毒池、污泥脱水等工序进行生产实习实训操作演练。

学生选择实习实训模块(如图3所示),进行顶岗实习或生产实习的实训操作,全面了解污水处理的整体工艺流程和污水处理厂的各个重要环节;通过在污水处理厂各重要岗位实际上岗操作,进一步加深对仿真阶段学习过程中所获得的知识理解和掌握。

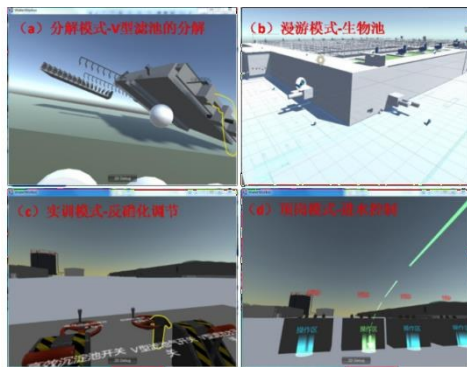


图3 系统各模式部分界面展示

### 2.3 系统操作步骤

学生进行污水处理厂生产实践虚拟仿真练习,具体操作步骤(如图4所示)。

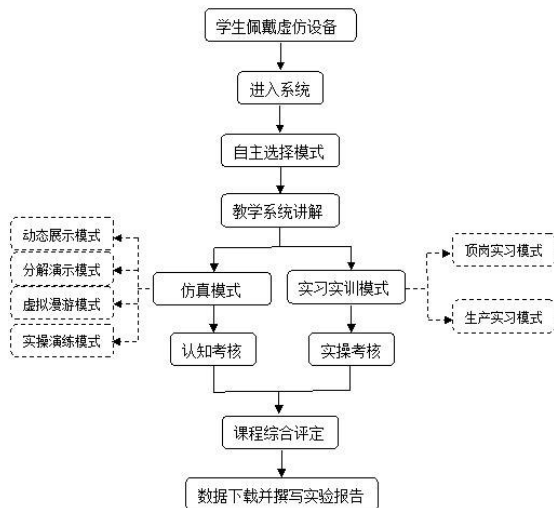


图4 系统操作步骤



(1) 佩戴专用 VR 头盔设备,手持操控手柄选择进入虚拟仿真系统,通过教学系统模式全面了解污水处理的整体工艺流程和污水处理厂的各个重要环节。

(2) 学生自主选择仿真模块的某个模式,进行虚拟实验练习。通过仿真模块的虚拟仿真练习,使学生了解各个构筑物内部结构及动态运行情况,为实训实操奠定基础。

(3) 学生自主选择实习实训模块,进行顶岗/生产实习实训练习。通过实习实训模块的虚拟现实练习,使学生熟练掌握污水处理生产实习整个实操过程。学生通过事故处理环节,掌握污水处理过程中如总磷超标、二沉池污泥膨胀、碳氮比过低、AAO 池污泥膨胀等突发事件的处理情况,培养解决实际问题的能力。

(4) 学生进入考核模式进行完整的实验,完成相关习题,平台自动记录学生提交的实验考核成绩。

(5) 学生从平台下载数据,进行实验数据分析并总结讨论,撰写实验报告并提交。

## 2.4 课程成绩评定方法

生产实习实践系统在线考核成绩内容包括:

(1) 认知合格。在仿真实验场景中,浏览和学习某污水处理厂概况及处理工艺及过程、设备构筑物的运行维护与管理等知识,学习累积时间不低于 120 分钟或学习次数不低于 6 次,满分 40 分。

(2) 实操合格。在实习模块中,考核内容以仿真操作为主,按照规定的实验步骤和要求,进行污水处理厂各构筑物设计参数及设备操作等模拟实验和实操训练,并提交实验报告。操作步骤由平台智能打分,取平均值为仿真操作得分,满分 60 分。

## 3 生产实践虚拟仿真系统特色

环境工程专业生产实践虚拟仿真系统以某污水处理厂为模型,通过预设岗位角色、模块化实训、还原真实生产实习场景,帮助学生更快理解和掌握污水处理过程中工艺及各个角色的工作内容,特色与创新点概括如下:

(1) 立足教学目标,完善教学知识体系:实践实训虚拟仿真系统充分考虑教师和学生的“教、学”需求,将工程应用能力培养设为目标,以学生的学习过程为依据,彻底解决学生实践实习不深入、工程意识薄弱等问题。

(2) 从仿真到实训,深度拓展知识应用:依托虚拟仿真技术逼真模拟现实实践和实训场景、仪器设备、操作流程及各种突发事故问题处理等,工程应用

知识全面,且突破常规实践设备不足、安全等问题。

(3) 丰富课堂教学形式,增强课堂趣味性,借助虚拟仿真技术,构建了一种高度虚拟现实仿真的环境工程实习实践教学环境,实现互动实践教学,激发学生的自主学习与操作的兴趣,有助于发展学生环保意识及构建思维,培养学生环保创新能力与工程应用能力。

## 4 结语

专业生产实践是环境工程专业实践教学非常重要的内容。过去,由于实践基地对接困难、教师实际生产实践经验不足、安全事故频发等原因使生产实习流于形式导致实践成效较差,虚拟仿真技术的融入使这些问题得到有效解决。通过生产实践虚拟仿真系统,学生可直观查看污水处理厂施工工艺、各构筑物结构、进行实操训练等,有效促进学生创新思维能力的培养。环境工程生产实习虚拟仿真实验系统能够打破时间、空间的束缚,将优质的教学资源进行不同学校、不同地区之间共享,实现资源共享,适合在各个院校环境专业进行推广应用。

## 参考文献(References):

- [1] 高东锋,王森.虚拟现实技术发展对高校实验教学改革的影响与应对策略[J].中国高教研究,2016(10):56-59.
- [2] 龚洁,王黎.环境工程专业实习的主要问题及改革探讨[J].绿色科技,2014(11):303-304,307.
- [3] 张静,刘振来,靳晓英,等.地方高校工科生产实习的教学改革与实践[J].河西学院学报,2017,33(5):111-114.
- [4] 许丽川,申世军,刘洋.MOOC在高校实践类课程教学设计中的应用[J].实验室研究与探索,2016,35(8):207-211.
- [5] 李鸣,蔡榆榕,李蓉蓉.“慕课”在实验教学改革中应用[J].实验室研究与探索,2016,35(9):204-208.
- [6] 甘亮勤,杨上供,周承仙,等.“微课”翻转课堂在大学物理实验教学中的应用[J].实验室研究与探索,2018,37(2):193-195,202.
- [7] 汪梦旭,胡原,李兵,等.大豆生长发育光周期响应虚拟仿真实验的开发与应用[J].实验技术与管理,2017,34(12):142-145.
- [8] 叶向群,王娇君,单岩,等.“理虚实”一体化教学思路实践[J].实验技术与管理,2017,34(5):1-4,26.
- [9] 楚春礼,鞠美庭,王忠,等.以创新人才培养为导向创建天津市环境科学与工程实验教学示范中心[J].实验室研究与探索,2015,34(2):151-154.
- [10] 喻敏霞,张红,赵甘林,等.仿真技术在环境工程水处理实验教学中的应用研究[J].资源节约与环保,2016(7):61.
- [11] 银玉容,朱能武,施召才,等.虚拟仿真实验系统在给排水工程专业实验教学中的应用[J].实验技术与管理,2016,33(1):111-113.



不够,如“对于铸铁试件,压缩破坏发生在横截面成 $45^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 倾角的斜截面上,是由(切)应力引起的破坏。扭转破坏发生在与轴线成 $45^{\circ}$ 的螺旋面上,是由(正)应力引起的破坏。”此题的得分率仅为:5%;

③操作考核:给定多个操作题,学生一人一组,随机抽取考题单独完成实验操作,使各组实验内容相关而不相同,学生需根据实验任务完成数据测试及计算,并进行误差分析及实验总结,考核学生对实验技术及方法掌握程度。

图2为工程力学实验(理力)及工程力学实验(材力)三学期的成绩分布图,2019年春及2020年春考核方式均为:实验预习20%+实验操作30%+实验报告50%,实验考核没有一个评判标准,且实验考核重点在实验报告。从图中可以看出,这两学期实验成绩大部分集中在90分以上,学生成绩差异性小,导致学生学习能力得不到体现。而2021年春季学期在新考核模式推进下,实验成绩呈现了明显的正态分布,学生学习效果得到明显改善。

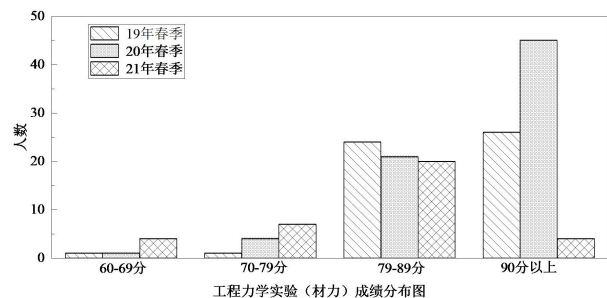
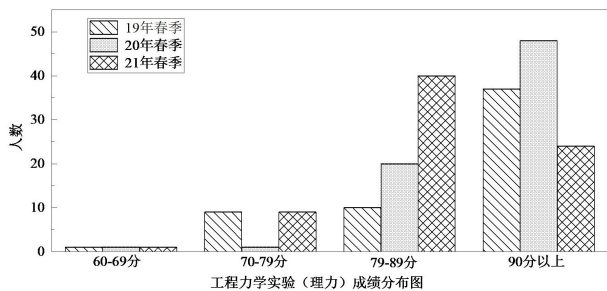


图2 成绩分布图

## 4 结语

通过采取“菜单式”实验内容设置方式、“多措并举”教学方式、“多环节”考核方式开展“工程力学实验”系列课程教学新模式探索,打破传统工科的实验教学形式,以“双一流”高校建设要求为指引,

在实验中做到以学生为中心,并通过问题导向及驱动式教学设置、多环节考核设置,使学生真正理解实验内容并将理论与实际相结合、提升动手能力及团队协作能力、培养创新能力及创新意识。结合现有教学效果可以看出教学改革模式有积极的促进作用,实验课成绩呈现正态分布规律,并与周培源力学竞赛接轨,在实验中让学生了解竞赛内容并培养竞赛意识。

## 参考文献(References):

- [1] 张学义,夏兴有,潘信吉,等.材料力学实验教学改革研究与实践[J].实验科学与技术,2015,13(6):116-118.
- [2] 刘德宝,李春亮.科研成果向创新性实验转化的研究与实践[J].实验室科学,2021,24(1):237-240.
- [3] 黄凯.科研反哺教学促进学生创新能力培养的研究与实践[J].学周刊,2018(21):12-13.
- [4] 胡胜亮,王延忠,林奎,等.科研成果向创新性实验教学的转化与实践[J].实验室科学,2012,15(3):170-172.
- [5] 肖柏军.“双一流”建设背景下高校力学实验中心建设探索[J].创新与创业教育,2021,12(4):129-134.
- [6] 叶志明.大学新生研讨课《大学学什么》教学札记[J].中国大学教学,2017(4):65-69.
- [7] 潘晶雯,姜广绪,陈颖,等.工程力学课程实验环节考核方法的研究[J].机械设计,2018(35):350-353.
- [8] 赵清澄.光测力学教程[M].北京:高等教育出版社,1996:31-75.
- [9] 赵红晓,吴昊,刘五祥,等.电测法实验教学模式探索[J].实验室科学,2018,21(5):138-140.
- [10] 李翠敏,王晓春.新工科背景下地方高校人才培养新模式探索[J].大学教育,2020(4):154-156.
- [11] 张开银,熊骊东.电阻应变测试技术中的温度补偿功能辨析[J].力学与实践,2015,37(6):686-689.
- [12] 杨玉良,秦俊奇,狄长春,等.实弹射击与炮口冲击条件下炮架动态应力测试分析[J].火炮发射与控制学报,2015,36(3):72-75.
- [13] 张天军,韩江水,屈钧利.实验力学[M].西安:西北工业大学出版社,2008:101-154.
- [14] 刘波,程祥利,杨荷,等.基于Hopkinson杆的加速度传感器测试系统仿真与测试研究[J].实验力学,2019,34(6):1027-1033.
- [15] 张如一,沈观林,李朝弟.应变电测与传感器[M].北京:清华大学出版社,1999:25-34.
- [16] 徐宁,王玫.创新意识驱动下实验教学模式转型的实践[J].实验室研究与探索,2016,35(2):220-223.

(上接第144页)

- [12] 许宁,朱延美,何志勇.仿真技术在水处理实验教学中的应用[J].实验室研究与探索,2005(11):87-89,109.
- [13] 刘加强,张建昆.基于虚拟仿真的污水处理实验教学[J].中国教育技术装备,2017(8):131-133.

- [14] 郭亮,梁宏,刘京,等.基于虚拟仿真技术的市政环境类实验教学[J].实验室研究与探索,2015,34(7):107-110,121.
- [15] 丁雷,曹礼梅,孙贤波.强化环境工程专业认识实习教学质量方法探索[J].实验室研究与探索,2018,37(1):227-229.