

# Exploration of Teaching Method of “Solid Waste Treatment and Disposal” Based on Virtual Simulation Platform

Lifang Hu

College of Quality & Safety Engineering, Hangzhou, Zhejiang, 310018, China

## Abstract

Based on the construction of a high-quality practical teaching system of “Solid Waste Treatment and Disposal” course, it is proposed to build a comprehensive training of experimental teaching, enterprise cognitive practice, experimental scheme design, and technological innovation, reflecting the student-oriented education and teaching concept. In the implementation of teaching practice, the principle of combination of virtual and reality is carried out, so as to effectively improve the ability training in practice in the way of combining the traditional teaching practice with the experiment of virtual and reality. Taking the comprehensive experiment of domestic waste incineration as an example, this paper designs the experimental link and feedback mechanism, so that students could gain the practical ability of operation and management, scientific research innovation and engineering problem-solving of the reduction, harmless and resource-based technology, realizing the goal of training engineering-oriented, application-oriented and innovative talents.

## Keywords

solid waste; virtual simulation; teaching practice; feedback

## Fund Project

Teaching Reform and Construction Project of China Jiliang University (HEX2018018).

---

# 基于虚拟仿真平台的《固体废弃物处理与处置》教学方法的探索

胡立芳

中国计量大学质量与安全工程学院, 中国·浙江 杭州 310018

## 摘要

基于建设高质量的《固体废弃物处理与处置》(以下简称“固废”)课程实践教学体系,拟建设以实验教学、企业认知实习、实验方案设计、技术创新的综合训练,体现以学生为本的教育教学理念。在教学实施中,以“虚实结合,能实不虚”为原则,将虚实仿真实验和传统教学实践结合和融合,有效提升《固废》课程实践环节的能力培养。论文以生活垃圾焚烧综合实验为例,设计该实验的实验环节和反馈机制,使学生具备《固废》课程的减量化、无害化和资源化技术的实践能力、运行管理能力、科研创新以及实际工程问题的解决能力,实现培养工程型、应用型、创新型人才的目标。

## 关键词

固体废弃物; 虚拟仿真; 实践教学; 反馈

## 基金项目

中国计量大学教学改革与建设项目(HEX2018018)。

---

## 1 引言

固体废弃物处理与处置是环境科学和工程的一门重要专业必修课,是一门讲授固废管理概念与方法,固废处理处置的基本原理和基本方法的课程<sup>[1]</sup>。以期通过该课程的学习,学生能掌握固废收运、预处理、生物质垃圾堆肥和发酵、焚烧、填埋等技术,从而具备从事固废处理与处置相关工作,也是

该课程培养人才的主要目标。

怎样培养具备从事固废处理处置能力的人才?当前以本科教育为主的大学,固废课程普遍采用理论讲授为主,实验以基础实验为主,如固废中污染因子的测定等<sup>[2]</sup>,实践教学则多以参观实习的方式进行,比如参观生活垃圾填埋场、危险废物处理厂等,学生也仅仅获得基本认识,认知实习不能完全替代实践教学。然而固废课程的实践主要是有机质垃圾

堆肥、厌氧发酵、焚烧等操作,实验设备复杂、部分实践操作周期长、实验成本高以及实验过程中存在一定的危险性等现实局限<sup>[3-4]</sup>,使得固废课程实践教学难以开展,难以达到固废课程的预定目标,成为培养环境工程专业人才培养的瓶颈。

论文借助虚拟仿真平台,将以往无法开展的实践教学通过虚拟仿真技术,探索固废实践的教学方法,是对传统教学方式的补充和完善,是新时代高校实验教学改革的趋势,也是培养高素质环境工程技术人才的需求<sup>[5]</sup>。

## 2 实现固废实践教学的虚拟仿真平台

### 2.1 虚拟仿真技术

虚拟仿真(Virtual Reality),也可称之为模拟技术,利用一个系统模拟另一个真实系统的技术,其实质是创建和体验虚拟世界(Virtual World)的计算机系统<sup>[6]</sup>。该技术可以是现实世界的再现,也可模拟构想中的世界,用户可借助视觉、听觉及触觉等传感通道与设置的虚拟世界进行自然的交互。虚拟仿真技术最先应在国防、航空等领域,而后逐渐向医疗、教育、娱乐等方向发展,均取得了良好的效果。

### 2.2 中国虚拟仿真实验教学平台

中国共产党的十九大报告指出,建设教育强国是中华民族伟大复兴的基础工程,必须把教育事业放在优先位置,深化教育改革,加快教育现代化,办好人民满意的教育。高等教育的现代化应当包括实现实践教学的现代化,建设现代化的实验室,配置现金的实验仪器设备,高素质的师资队伍等。本着破解高校实验实训教学老大难问题,弥补传统教学的不足以及完善课程体系,建立了中国虚拟仿真实验教学项目,使得“做不到”、“做不好”、“做不了”和“做不上”的实验实训教学成为了可能。

中国虚拟仿真实验教学项目是在教育部高等教育司指导下进行的一项融技术、内容、方式、方法于一体是实验教学新尝试,是在人才培养领域推进“智能+教育”的新探索。采用虚拟仿真技术助力高校实验教学改革,“网上做实验”、“虚拟做实验”技术和手段,弥补传统实验的缺陷。目前,中国虚拟仿真实验教学平台(www.ilab-x.com)汇聚超过1000项虚拟仿真实验教学项目,服务高校人才培养和社会需求。面向环境工程专业的有30项虚拟仿真实验,其中《固体废物

处理与处置》相关的实验的,该平台提供了7个跟《固废》课程相关的实验(见表1),其中,4个实验与生活垃圾焚烧相关,1个关于固废厌氧发酵,1个关于有害垃圾的无害化处置和1个物质循环过程,基本能实验《固废》课程对固体废物实现减量化、无害化和资源化等实践操作提供了可行性,能有效解决高校开展《固废》课程实践教学的难题。

表1 《固废》课程相关的虚拟仿真实验

序号	实验名	开发单位
1	生活垃圾收运及焚烧处置	兰州大学
2	垃圾焚烧发电资源化利用技术虚拟仿真实验	南开大学
3	有机固废厌氧发酵3D仿真训练	吉林师范大学
4	物质循环过程虚拟仿真实验	南京大学
5	生活垃圾焚烧发电工艺及污染控制系统仿真	南昌航空大学
6	病死禽畜无害化处理虚拟仿真教学系统	深圳大学
7	生活垃圾蓝色焚烧处理虚拟仿真实验	浙江工商大学

## 3 虚拟仿真平台在《固废》实践课程中的应用

综合性实验在教学实践环节能培养学生解决复杂工程问题的能力,激发学生的创新能力,这些优势是传统验证性试验所欠缺的。《固废》基于自身的特征<sup>[7]</sup>,既是“三废”的“源”,又是“汇”,综合性试验过程中涉及《环境工程原理》、《环境微生物》、《环境监测》、《大气污染控制工程》、《水污染控制工程》等理论及试验装置,一般高校由于实验场地或者实验操作风险均无法有效开展《固废》综合性试验。虚拟仿真平台很好的解决了实验设备、场地等限制,并且可以满足每一位学生都能亲自操作,独立完成试验的设计、运行以及分析报告<sup>[5,8]</sup>。

但是,仿真实验本身存在局限性,首先,与传统实验相比,学生对仪器、药剂、实验原料等的认知受到限制<sup>[9-10]</sup>;其二,仿真实验是基于计算机程序,大部分操作通过鼠标点击完成,实验结果甚至是仿真系统自动生成,导致学生对实验原理、数据的统计分析并不能很好掌握,由于对仿真实验缺乏主动分析,从而使得学生对该仿真训练印象较浅,工程实践能力达不到预期目标。

基于中国虚拟仿真平台,充分发挥仿真实验自身的特色与优势,构建以“以虚代实”的综合性实验项目为主的《固废》课程实践教学环节,需要对仿真训练从前期准备、实验设计、实验实践操作、实验效果评估等多方面进行合理设计,以期充分激发学生创新意识、训练科研思维、培养动手能力,将

学生养成“能动手、会动手、动好手”的实干型人才的目的。以生活垃圾焚烧处理实验为例，搭建仿真训练系统。

### 3.1 认知环节

环境工程专业《固废》生活垃圾焚烧虚拟仿真实验基于培养创新实践性人才而开发的实验平台，实践过程坚持“虚实结合、能实不虚”的原则，使学生充分掌握生活垃圾焚烧原理和技术。因此，认知实习是开展虚拟仿真试验的基础，以补充仿真实验的感官认识短板<sup>[4]</sup>。

在认知环节，安排学生到生活垃圾焚烧厂进行认知实习，使学生了解焚烧炉、烟气净化装置、污水处理装置等结构、运行操作程序，以及掌握生活垃圾焚烧处理工艺流程，使学生将理论知识与实际装置、工艺、操作运行等结合起来，巩固理论知识，并为后续仿真试验建立感性认识，并学习工程技术人员的敬业奉献的良好作风，培养学生的实践能力和创新能力打下良好的基础。

### 3.2 实验设计

生活垃圾焚烧是一项综合处理工程，在焚烧炉内以一定的过剩空气量与被处理的垃圾进行氧化燃烧反应，使废物在高温下焚毁破坏而实现矿化，同时回收热量、净化烟气和渗滤液的综合处理技术，该生活垃圾焚烧仿真实验将渗滤液处理、烟气处理和灰渣处理等操作模块纳入实验体系。

在渗滤液处理模块中，结合实际废水处理工艺及参数，在模拟二维和三维交互界面上，通过对处理单元的选择组合、运行工艺参数的调整，再现垃圾渗滤液处理的全过程，并通过系统内循环实现废水的近零排放。

垃圾焚烧过程中烟气参数变化较多、净化要求高、工艺复杂，在实验室中难以进行多个净化工艺的自由组合，实现不同净化效果。仿真实验通过在二维和三维交互界面组装不同的工艺组合路线，在了解不同排放要求、气体净化的参数调控的过程中，达到欧盟标准或超低排放标准要求，并使学生建立起工业应用工况中焚烧烟气净化的实际运行立体画面。

灰渣处置模块中，模拟垃圾焚烧厂飞灰、稳定化飞灰和炉渣中的有害组分经地表径流淋溶形成浸提液进而污染环境。基于发光细菌法，在得到各灰渣的毒性水平分类值的基础上，明确不同焚烧工况及情景下灰渣的具体毒性特征，

为后续处置提供依据。

### 3.3 实施实践

#### 3.3.1 垃圾分选

根据实验预设参数，包括全部垃圾分选、部分垃圾分选、部分组分分选等实验情景，学生可以根据不同情景进行具体操作，启动垃圾分选设备进行分选。通过该实验模块，学生将之前学过的理论知识“垃圾组分分选特性”、“垃圾收集路线设计”等结合起来，设计垃圾分选情景，形成后续焚烧条件。

#### 3.3.2 垃圾分选计量

根据前面分选操作，计量不同分选组分，记录进入垃圾储坑的垃圾组分特征，计算进入垃圾焚烧进料储坑百分比，并结合给定的垃圾原始组分信息，获取进入垃圾焚烧进料储坑的垃圾质量及成分特征。分选组分主要是塑料、纸类、金属、其他混合组分等4类信息，对应量可分别通过实验或者调查获得。

#### 3.3.3 烟气净化

根据垃圾分选结果，明确不同分选后进入垃圾焚烧炉产生的烟气组分，以该不同特点的烟气为实验题设，结合认知实习过程中对烟气净化以及理论课程中烟气净化原理，在虚拟仿真软件系统工艺单元库中选择合适的工艺模块，构建适合于不同特点烟气的净化流程。

根据上述步骤构建的工艺流程，结合烟气波动变化特征和排放标准要求，可根据课时分别设定中国标准、欧盟标准等各种不同烟气排放标准。在各排放标准前提下，学生需要对所构建的工艺流程的参数进行单元调整以满足要求。

在满足排放要求的工艺参数基础上，从节能、降耗、减排的角度，对工艺参数进一步优化调整，使烟气最终达到排放标准的同时方案最优。该步骤中，学生可根据流程处理后烟气成分结果的实时反馈，在软件界面不断调整各个工序的参数，组合优化成最终方案。

#### 3.3.4 渗滤液处理

按照不同垃圾分类后进入垃圾储坑堆存而产生的实际渗滤液水质水量，在“预处理、厌氧池、脱气沉淀池、二级反硝化/硝化、超滤系统、纳滤系统、反渗透系统、清水池”等工艺库中选择一种或多种工艺，将其拖入组装界面，并用管路将其连接。运行组装的工艺路线，测试管路连接方式是

否正确,工艺路线能否正常运行,并观察出水中污染物的浓度,是否符合设定的出水要求。该实验模块需要学生充分了解渗滤液水质及其水量,充分结合各处理单元的处理特点,构建完整的渗滤液处理工艺。

### 3.3.5 灰渣浸提液急性毒性检测

该实验以实际操作为主,使学生掌握毒理学检验,应试样品为垃圾焚烧厂的飞灰和炉渣,以《固体废物浸出毒性浸出方法醋酸缓冲溶液法 HJ/T 300-2007》进行“灰渣毒性浸出”操作,制备浸出液;根据《水质急性毒性的测定发光细菌法 GB/T 15441-1995》对步骤 9 所制备的飞灰、稳定化飞灰和炉渣的毒性浸出液,检测其发光度,获得半数效应浓度(EC<sub>50</sub>)和毒性水平分类值(Toxicity Unit, TU)结果,评价毒性等级。

### 3.3.6 停炉及灰渣处置

在完成焚烧过程控制及烟气净化、渗滤液处理和灰渣毒性检测后,将焚烧炉停炉,同时根据灰渣的毒理学检测结果明确后续处置要求,完成垃圾焚烧全流程。共有停炉、炉渣及稳定化飞灰处置、飞灰安全处置 3 种操作点。

## 3.4 教学实践反馈机制

仿真实验本身也存在着局限性,其操作主要是同时鼠标操作实验,缺乏实践操作,学生易对仿真实验的实验原理和数据处理缺乏主动思考能力,导致对仿真部分实验掌握较弱<sup>[12]</sup>。在虚实结合的综合性试验中则需要设置合理的反馈机制,扬长补短,充分发挥仿真实验的优势,激发学生兴趣,发挥学生的主动性和创造性。

### 3.4.1 设计能力

在焚烧阶段,根据前端垃圾分类情景差异产生的不同入炉垃圾组分,计算并调控焚烧炉风量;根据焚烧工况差异,对产生不同品质的烟气,计算烟气处理工艺要求及各环节处理能力并组装合理的烟气处理工艺流程。在垃圾渗滤液处置模块,根据渗滤液水质波动情况,计算废水处理单元各工段处理能力并组装合理的废水处理工艺流程。

### 3.4.2 解决和分析问题能力

垃圾焚烧自垃圾入炉到最终产生灰渣,过程中包括焚烧、烟气达标处理、渗滤液达标处理及灰渣安全处置,学生在实验过程中,需根据烟气出口质量、废水出水水质、灰渣毒性检验结果等,反馈到焚烧工程每个环节中,识别各工段可能出现的问题并及时调整参数或工程组装方式,解决问题。

## 3.4.3 考核反馈

该虚实结合的综合性试验,学生的能力的考核主要通过实验报告体现,从专业认证角度,拟通过焚烧特点、实验方案设计、数据分析、问题解决方案等观测点进行量化评价,具体考核标准见表 2。

表 2 生活垃圾焚烧综合实验考核要求

评价等级	实验反馈考核观测点
A (90-100 分)	能够根据垃圾焚烧的特点,正确理解理论知识,实验方案制定合理,数据分析方法准确,问题分析正确全面,有深度,并提出了有效的解决方案。报告撰写规范,逻辑清楚。
B (80-89 分)	可根据垃圾焚烧特点,较正确的理解理论知识,实验方案制定较合理,数据分析方法较准确,问题分析较正确,并提出了相应的解决方案。报告撰写较规范,有逻辑性。
C (70-79 分)	可根据垃圾焚烧的特点,理解理论知识,制定的实验方案合理,数据分析方法基本准确,问题分析正确,并提出了解决方案。报告撰写基本规范。但存在数据分析不够准确,问题剖析不深入等问题。
D (60-69 分,合格)	根据垃圾焚烧的特点,基本理解相应的理论知识,实验方案制定基本合理,数据分析方法尚准确,问题分析基本正确,并提出了一定的解决方案。报告撰写尚规范。但存在数据不完整,问题分析存在偏差,解决方案尚待完善等问题。
E (0-59 分)	能如实反映实验过程和结果,但是特性针对性不强,理论知识理解存在偏差;能够清晰描述实验方案,但方案有漏洞;获得了一定的数据,但数据和问题分析存在明显错误;提出了解决方案,但方案缺少依据;报告撰写不规范,逻辑性差。

## 4 结语

实验教学环节是环境工程专业实践教学的重要组成部分,实验操作能有效提高学生的工程思维能力、操作能力以及创新能力,目前考核学生综合素质的必要环节。但是《固废》实验如焚烧、堆肥等实验由于综合性、复杂性以及操作潜在的风险,传统实验无法实现实践环节。虚拟仿真实验的引入《固废》课程教学实践环节进一步丰富了实践教学的内容和手段,有效提高可学生的工程素质和综合能力。但是虚拟仿真实验也存在局限性,将虚拟实验和传统实验操作结合,两者互补基本上能够实现预期的教学质量和教学效果,该前提是合理的考核体系,合适的考核要求和反馈机制能最大限度实现实践需要,从而达到培养工程型、应用型、创新型复合人才的需求。

## 参考文献

- [1] 游文华,奚道国,方龙香,杜道林.环境工程《固体废物处理与处置》教学改革探讨[J].教育教学论坛.2017.
- [2] 熊开生,谢朝新,沈小东,庄春龙,张宏宇.环境工程专业实验教学体系的构建[J].实验室科学.2014.

- [3] 高丹,林静雯,王英刚. “实操结合模拟仿真”模式在环境工程专业实验教学中应用[J]. 高教学刊.2018
- [4] 李夕耀,王淑莹,曾薇,彭永臻. 基于工程教育专业认证的环境工程实践教学建设[J]. 中国现代教育装备.2017
- [5] 蔺昕,王英刚,郑冬梅,肖敏,林静雯,孙丽娜. 地方高校环境工程专业虚拟仿真实验教学思考[J]. 教育现代化.2017
- [6] 安建强. 基于虚拟仿真技术的创新训练研究与实践[J]. 实验技术与管理.2015
- [7] 石德智,刘国涛,袁荣焕,彭绪亚. 准好氧填埋在固废综合实验中的体系设计[J]. 实验科学与技术.2017.
- [8] 郭小熙,徐航. 高级氧化实验平台构建与实验设计[J]. 实验技术与管理.2016.
- [9] 魏娜,解建仓,罗军刚,汪妮,黄领梅. 水利水电工程专业虚拟仿真实验教学平台建设探析[J]. 实验室研究与探索.2017.
- [10] 章琴琴. 虚拟仿真技术在环境工程学理论及实验教学中的应用[J]. 科技视界.2017.
- [11] 谢慧芳,胡朝霞,陈守文,王正萍,江芳. 融入仿真系统的环境工程实践教学改革[J]. 实验技术与管理.2016.
- [12] 周作明,吕碧洪,荆国华. 仿真教学及“自我解释”在环境工程实验教学中的应用[J]. 实验室科学.2016.