

土壤中无机元素检测技术虚拟仿真实验设计^①

赵晟铎, 王斌远, 陈忠林, 康 晶, 李冬梅, 郭 亮

哈尔滨工业大学 环境学院, 哈尔滨 150090

摘要: 基于研究生实验教学改革需求, 针对土壤中无机元素检测实验项目开展过程中的难题, 进行虚拟仿真实验软件开发研究. 对虚拟仿真软件开发的内容、模型、功能等进行设计, 旨在通过动态模型实时地模拟真实的实验现象与过程, 实现实验教学效果的强化. 为以大型仪器为主的虚拟仿真实验项目建设提供参考, 同时, 为环境类专业开展土壤样品中成分分析、电感耦合等离子体发射光谱仪的独立操作等实训工作提供辅助支撑.

关 键 词: 研究生; 实验教学; 虚拟仿真; 设计

中图分类号: TP391.9; G434

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2021)05-0097-06

大型科研仪器设备是高等院校进行人才培养、科学研究和社会服务的重要硬件支撑^[1-2], 是开展高水平实验教学和科学研究的必备条件, 现已在研究生培养过程中起着无可替代的作用^[3]. 哈尔滨工业大学环境学院(以下简称“我院”)市政环境实验中心经过多年发展, 逐步形成了符合研究教学型办学定位的新型实验教学体系, 既与理论教学有机结合又独立于理论课, 开设以大型科研仪器应用为核心的研究生综合实验课程. 课程中的实验教学项目呈多层次性、多学科性、交叉性、综合性和紧密衔接性, 使实验教学体系类型由单纯的教学型转变为研究教学型, 大力促进了研究生科研实践入门的培养, 解决研究生教育实践问题, 为培养能够把握环境及相关领域前瞻性问题的创新型人才提供服务. 然而, 研究生综合实验项目仍以传统的大型仪器操作实训为主, 演示和验证性实验为辅. 教学项目中重点和难点知识的有效传授、枯燥单一的传统教学模式的变革、教学效果的有效强化, 需要虚拟仿真技术的支持^[4].

1 虚拟仿真实验项目的建设背景

1.1 土壤中无机元素检测技术在实验教学中存在的具体问题

目前, 研究生综合实验课程的实验项目数为 28 项, 授课对象为我院研一硕士研究生或本博直读的博士研究生, 上课人数约为 130 人, 因学生第一学年理论课程较多, 实验课授课时间只能集中在春季学期的 5—6 月. 学生根据自己课题的研究方向, 有针对性地提高自身的实验技能, 至少选择 3 个实验项目进行学习. 然而, 由于学生数众多, 大型仪器数量和实验空间有限, 需分组授课, 这导致了上课时间密集且重叠的问题, 学生无法选择更多的实验项目来学习.

土壤中无机元素检测技术是以电感耦合等离子体发射光谱仪在环境中应用为核心的实验项目, 为课程重要实验项目之一. 样品的预处理和样品测定内容是该实验项目的核心, 为完整展现该实验技术体系, 实

① 收稿日期: 2020-07-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(52000047); 哈尔滨工业大学研究生教育教学改革研究项目(JGYJ-2018029); 黑龙江省教育教学改革项目(SJGY20190201).

作者简介: 赵晟铎, 博士, 高级工程师, 主要从事研究生实验教学和水中污染物检测与控制技术研究.

施分为 3 个步骤:一是土壤样品的采集、保存和制备等预处理过程;二是依托于消解技术的样品处理过程^[5];三是依托于电感耦合等离子体发射光谱仪的上机测试过程。但是,在实践过程中运用传统实验教学手段存在以下难点:①土壤取样技术是土壤中无机元素含量能否准确测定的关键步骤,需要到野外环境下进行操作,在传统实验教学中,完整体验此实验过程受时间、空间和经费等问题的限制,缺乏让学生动手的实践条件;②土壤样品从固体状态转变为液体状态需要经历土壤的风干、研磨、过筛、缩分、称量和消解等繁琐步骤,以及洗涤瓶子、加酸、转移、定容等简单步骤,无法提起研究生的兴趣;③土壤样品消解是最耗时的步骤,要达到较好的消解效果,消解时间通常大于 8 h,仅此步骤就超过了规定的学时(6 学时);④由于研究生与本科生的培养目标不同,在要求提升研究生实践能力的同时,还要使他们对实验项目有关的内容体系有较为深刻和广泛的理解,如何解决在有限的学时数中,尽可能让学生充分掌握实验项目所涉及的内容,是值得深入研究的问题。为解决上述实际问题,开发虚拟仿真软件十分必要^[6]。

1.2 虚拟仿真对实验教学效果的强化作用

有别于本科生实验项目,为了更好地服务于研究生实验教学,土壤中无机元素检测实验项目理论体系具有逻辑缜密、知识点较多、脉络复杂等特点,无法在有限的 6 学时内依次展现。这样就会使学生缺乏对知识体系的整体认知能力,陷入只知其一不知其二的尴尬局面,也正是由于学习过程对学生知识、技能增长的促进作用有限,导致教学效果一般,这在学生日后开展与此项目相关的科研工作中有所体现。

利用虚拟仿真技术开发虚拟仿真实验软件,通过文本、图形、图像、动画、声音、视频等多媒体信息的组合与优化,构建逼真的二维(2D)和三维(3D)场景,以此对研究背景、教学环境、仪器的基本原理和构造等做逼真介绍。基于模块化和层次化的设计思路,构建系统的逻辑结构模型,形成虚拟实验系统,营造安全的实验教学氛围。通过仿真操作,增强教学的互动性。模拟真实实验现象和过程,可突破时间和空间的限制,使每位学生都能进行独立操作、现象观察和数据记录,提高学生的参与度,此外,虚拟仿真软件还能为课堂外的自主学习提供支撑,通过与课堂实训结合,强化教学效果,使得教学效果的改进举措不再浮于表面。

研究生实验教学的目的是培养研究生独立操作大型仪器的能力,然而在独立操作的过程中会遇到各种问题,尤其是仪器硬件故障问题。熟悉仪器的各个部件的结构、功能和连接情况等,有利于学生快速判断仪器故障的来源,从而更好地解决故障问题。然而在现实实验教学环境中,部分仪器部件的内部结构无法直观地观察到,所以对于实现学生对仪器硬件的快速掌握这一目标,存在一定的困难。然而,电感耦合等离子体发射光谱仪拆分虚拟软件的开发,可解决此问题。

2 虚拟仿真实验项目的设计方案

2.1 设计理念

以学生为什么学、学什么、怎么学为导向^[7],以培养学生学科核心素养为目标,明确教学任务和目标,选择教学内容,制定教学策略,完善教学过程和强化教学效果,在虚拟仿真实验教学设计上,关注重点难点知识的传授、教学过程所涉及逻辑点的安排、多样性学习环境的打造、积极学习情感的培养和学习策略的转变等。

以教学目标为导向,本着以学生发展为本的原则^[8],针对实验项目受时间、空间和经费等限制的问题,结合创新人才培养需求,设计虚拟仿真环节。仿真内容是完成仿真实验教学任务的主要载体,研究生培养注重创新能力培养,除了关注教学重点、难点方面外,也应关注与教学内容密切相关的认知和情感,更多的是教师在教学中结合自身的科研经验,对实验项目的二次加工,包括对实验背景和技术的深入分析、实验方法的改进等。仿真从教学组织形式、教学方法、学法指导和教学媒体等方面进行教学变革,培养学生认识问题、发现问题、分析问题、提出问题和解决问题的意识和能力,完成学生思维能力训练,完善教学过程。让学生能够精确地把握样品处理过程等关键环节,并熟练地掌握电感耦合等离子体光谱仪操作、维护

和故障判断等专业技能。教学过程中, 对目标的是否达成, 需通过反馈调控来实现, 为了促使教师和学生理性地思考教与学, 体现教师与学生双向发展的教育目的^[9], 在仿真设计上应设计互动环节。

2.2 设计内容

按实验内容的不同将虚拟仿真划分为 4 个层次的模块: ①实验项目背景、仪器工作原理和技术规范等介绍模块; ②土壤样品采集和制备技术模块; ③土壤样品消解技术模块; ④土壤中无机元素分析技术模块。其中②~④可实现演示、操作和考核功能。通过模拟土壤采样、土壤消解和无机元素测定等, 模拟土壤中无机元素检测数据获取的全过程。

介绍模块: 针对土壤中的无机元素目标物, 通过对它们的污染现状、环境事件、迁移转化规律、修复方法等背景进行描述, 从逻辑上引申出无机元素检测技术的现实需要, 为无机元素检测技术有关样品的预处理和仪器使用等后续内容做铺垫。

土壤样品的采集、制备和消解模块: 土壤样品的采样方法、风干方法和消解方法等过程, 是土壤分析工作中的重要环节, 为分析者必备的专业知识。对上述过程进行模拟, 有利于学生全面掌握实验内容和方法, 以及正确操作实验步骤。

无机元素分析模块: 通过三维场景, 360°切换视角来展示电感耦合等离子体发射光谱仪的内部结构, 以便更直观、高效地观察仪器内部中的各个组件。同时, 利用特效、交互、文字和语音等使学生产生身临其境的感觉, 在场景中灵活进行交互式操作, 实现对仪器的关键部件进行模拟拆分和组装。仪器软件及其操作模块: 通过模拟真实现象和过程, 可使每一位同学都详细地了解仪器软件各部分功能, 满足流程操作训练要求。

3 虚拟仿真实验教学项目的模型设计

利用 Quest 3D 技术在实时编辑环境中与对象互动而完成仿真, 可再利用网络技术开发教学平台来实现资源共享。虚拟场景的构建主要有两个步骤, 分别为模型搭建与用户交互。三维场景构建采用 3D Max 软件进行模型构建。2D 场景构建采用制作效果较好的 Adobe Flash 软件进行。照片、纹理图片等图片裁剪、叠加、渲染制作采用 Photoshop。图形采用 Deep UV 软件进行优化^[10], 实现自动保留需要使用的原始纹理贴图、合理分配贴图占用空间等功能。图片和动画渲染采用 V-ray 软件。3D 模型、2D 图形、音效、数据库和互动逻辑等导入 Quest 3D 进行实时 3D 建构^[11]。

3.1 2D 和 3D 模型与场景搭建

选择性价比高、对 PC 系统的配置要求低、制作模型弹性大和可安装插件等特点突出的 3D Max 软件作为工具, 进行 3D 辅助建模^[12]。对系统中次要部分采用 2D 模型, 如项目背景介绍、信息提示等, 利用效果较好的 Flash 软件进行制作。对 3 个系统中的主要部分进行建模, 根据模型实际大小, 以 1:1 的比例创建 3D 模型并进行模型优化。①土壤预处理系统, 包括取样器、天秤、尼龙筛、消解仪、通风柜等的建模; ②软件系统, 包括方法界面、手动运行界面、结果和图谱显示界面等; ③硬件系统, 主要包括电感耦合等离子体发射光谱仪主机、循环冷却水仪、空气压缩机、气瓶、排风等的建模, 其中, 主机各关键部件组成, 包括蠕动泵、泵管、十字喷嘴、雾化器、喷射管、炬管等。建模的过程中尽量保证各系统中的部件或设备的外形、尺寸、摆放位置和距离与实验现场一致。力求不影响系统运行流畅性的前提下, 赋予模型适当的材质和贴图, 以提供更多的模型细节来增强真实感, 尤其对仪器主机部件, 如蠕动泵、喷射管、炬管等运动或需要拆装的模型进行细化, 而对静态模型如主机、计算机、气瓶等进行简化构建。

3.2 仪器控制原理

上述 3 个系统中, 硬件系统工作原理最为复杂。对仪器硬件系统的组成和 workflows 进行分析, 既有助于多源信息融合、交互式的 3D 动态视景和实体行为的场景搭建^[13], 又有利于学生了解在实训中可能会遇到哪些问题, 以及清晰后续如何进行故障排除和解除。仪器系统主要包括温控系统、气控系统、点火控制

系统和排风系统. 温度控制系统和排风系统可手动控制, 气控系统包括氩气或氮气瓶、空气压缩机, 氩气作为主要工作气体起到冷却、维持焰炬和辅助点火 3 个作用, 压缩空气起到切割尾焰的作用. 点火控制系统由软件控制, 利用 Quest 3D 实现通信编程. 电感耦合等离子体发射光谱仪主机控制流程和故障排除方法如图 1 所示, 仪器主机打开后, 启动软件, 软件进行自检, 检查硬件和软件间的通讯及硬件是否故障, 如启动正常则进入预热阶段. 预热完成后, 启动点火过程, 如启动正常, ICP 光源被点燃, 且蠕动泵自动运转. 检查系统压力, 如压力显示正常, 可打开方法文件, 并设置数据存储位置, 之后清洗进样管路, 边清洗边进行基线监测. 清洗完毕后分别进行空白样、标准样和未知样分析.

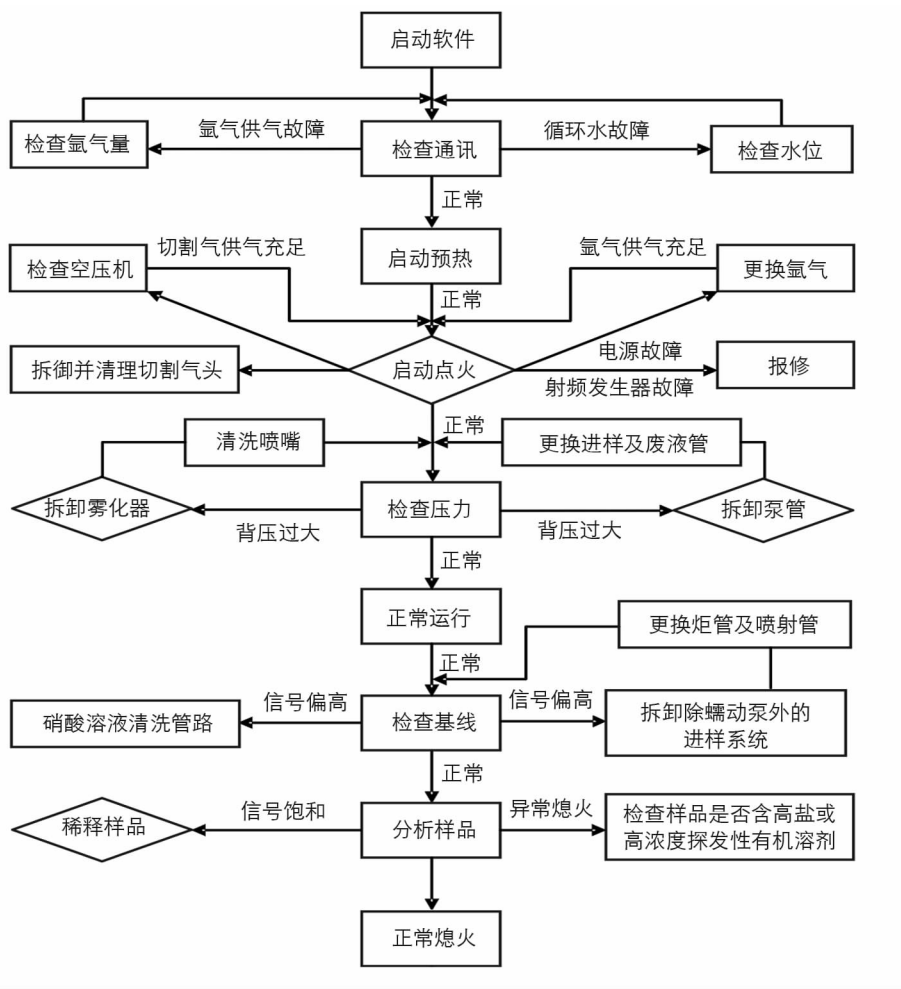


图 1 电感耦合等离子体发射光谱仪主机控制流程及故障排除方法

4 仿真教学软件技术上要实现的功能

虚拟仿真实验模块从功能上划分, 分为漫游模块、演示模块、互动模块和考核模块.

4.1 漫游模块

通过 3D 漫游方式, 增强身临其境的沉浸感. 漫游功能有助于学生熟悉现场教学环境, 并对处于旷野、消解实验室和分析实验室现场环境中的设施设备外观和布局产生空间感知, 通过植入操作规程、警示图片、文化墙等教育性素材, 实现教学过程中思政元素的融入, 使学生对所学知识点产生新认识, 并对现场安全操作、实验项目背景认知等产生较深刻的印象. 漫游过程中重点对设备设施连接情况、安全措施、仪器功能和仪器正确操作的步骤等加以展示并说明.

4.2 演示模块

通过 3D 或制作效果较好的 2D 演示, 使学生熟悉操作流程, 并了解操作步骤间的逻辑关系; 熟悉使用

何种工具进行仪器部件的安装与拆卸,及它们的安拆顺序;高度重视安全操作及错误操作所带来的后果^[14]。操作演示:演示的操作步骤按照样品采集、样品预处理和样品分析等依次展示,演示顺序符合逻辑且符合规范。安全教育演示:重点演示常见容易发生安全事故,具有强烈的视觉冲击,使学生产生深刻的记忆。

4.3 互动模块

利用3D软件或制作效果较好的Flash软件实现互动功能。通过鼠标、键盘操作,对屏幕画面所仿真的实物进行自主操作,实现实操实训前的仿真导训教学^[15],以加深学生对课堂教学内容的理解,达到充分记忆的效果。土壤样品的采样、制备和消解等仿真操作运行:对土壤的采样方法和采样深度的选择、制备步骤和消解过程等进行仿真操作,对错误操作给出错误提示,帮助学生捋顺逻辑关系,并产生深刻印象。仪器仿真操作运行:对操作界面中点火、本底监测、数据存储、顺序分析、结果输出、数据处理等进行仿真操作,对错误操作给出错误提示,使学生印象深刻。仪器拆装:选择正确的拆装工具、拆装角度,对摆放的拆装工件按正确的拆装步骤进行物体拆装。故障排除操作:对仪器通讯失败、点火失败等故障进行排除操作,对正确操作给出正确提示。

4.4 考核模块

利用前台2D或3D和后台net+数据库实现考核功能,验证学习效果。核心技能点考核:对核心技能操作是否科学、合理、有效和灵活,以及对操作是否符合安全操作规程进行考核^[14]。设计符合实际的操作程序,关键步骤操作错误后,系统给予提示和自动校正,可以让学生继续操作,但给予减分记录。对考试过程中是否安全文明操作,工具使用是否正确,步骤分析是否到位,给出后台记录。故障类考核:科学、合理、灵活地设置仪器故障点,给出故障解决评分方法。基础知识考核:根据土壤污染状况,选择合理的采样方法,包括布点方式、采样深度、采样量等的正确选择。根据目标元素的种类和土壤污染特点,选择适合消解的方法,包括消解所采用的试剂种类、容器和仪器等的选择,对错误操作给予减分记录。

5 结 语

高等教育开放办学、资源共享的变革要求的提出,使以应用信息技术为手段的虚拟仿真实验教学应运而生。土壤中无机元素检测技术虚拟仿真实验,不但可以加速学生对知识的掌握,还可以实现学生对整个实验项目体系,包括研究背景、仪器工作原理、仪器部件认知、仪器操作及样品预处理等,进行深度学习,为实验教学改革增添动力和活力。另外,虚拟仿真实验具有资源开放、形式开放和对象开放的特点,以大型仪器应用为核心的虚拟仿真实验软件的开发,可提高大型仪器对外服务的效率并扩大其辐射范围。

参考文献:

- [1] 刘渝萍,周小元,张红菊,等.高校大型仪器开放共享平台的多元化建设[J].实验室研究与探索,2018,37(2): 285-288.
- [2] 陶冬冰,梁莎莎,张旋,等.虚拟仿真技术在高校大型仪器共享平台管理中的应用研究[J].实验技术与管理,2020,37(4): 257-260.
- [3] 何若森.广东省大型科学仪器共享平台组织架构与运行机制研究[D].广州:南方医科大学,2017.
- [4] 陈丽霞,李敏,范士勇.基于虚拟仿真技术的电路分析教学研究与实验[J].黑龙江科学,2020,11(5): 44-45.
- [5] 戚景南,杨丽,李建东.电感耦合等离子体发射光谱法同时测定钕铁中的硅、铝、钛和锰[J].西南大学学报(自然科学版),2017,39(1): 114-118.
- [6] 李春梅,何洪,李元,等.“新工科”背景下材料类专业“虚实互补”实验教学体系深化研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2020,45(4): 143-148.
- [7] 李曜.为什么学 学什么 怎么学——江西省委宣传部推进学习型机关建设的实践[J].当代江西,2011(12): 18-19.
- [8] 王永.教学目标如何体现以学生发展为本[J].人民教育,2004(Z2): 19-20.

[9] 万为妹. 程序设计类课程互动式教学设计与实践研究——以 python 为例 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2019.

[10] 胡曾尧. 浅谈虚拟仿真平台编撰脚本的建议 [J]. 教育教学论坛, 2016(9): 233-234.

[11] 王大虎, 陈 侠, 高会争. 基于 Quest3D 的 PLC 虚拟仿真系统设计 [J]. 电子测量技术, 2017, 40(2): 64-68.

[12] 潘 熙. 3ds Max 角色动画制作技术研究与应 [J]. 科技经济导刊, 2020, 28(19): 15, 19.

[13] 哈 睿. 基于移动机器人的三维场景重建技术研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2018.

[14] 彭 敏. 机械装调基本技能数字化教学软件的开发与实践 [J]. 中国校外教育, 2013(26): 125.

[15] 孙爱娟. 职教领域虚拟仿真教学资源建设与应用探析 [J]. 中国电化教育, 2012(11): 109-112.

Virtual Simulation Design of Experiment with Respect to Detection Technology of Inorganic Elements in Soil

ZHAO Sheng-xin, WANG Bin-yuan, CHEN Zhong-lin,
KANG Jing, LI Dong-mei, GUO Liang

School of Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China

Abstract: Based on the needs of graduate experimental teaching reform, aiming at the difficulties in the process of carrying out the experimental of inorganic elements detection in soil, the development of virtual simulation experimental software was studied. In this study, the content, model and function of the virtual simulation software development were designed to simulate the real experimental phenomenon and process in real time through the dynamic model, so as to realize the enhanced effect of experimental teaching. The reference was provided for the construction of virtual simulation experiment project based on large-scale instruments, and also provided auxiliary support for environmental specialty to carry out the training work of soil composition analysis and independent operation of Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer.

Key words: graduate student; experimental teaching; virtual simulation; design

责任编辑 包 颖