

虚拟仿真平台在放射测量实验教学中的应用

李丹, 许红玉

上海理工大学, 上海 200093

DOI: 10.61369/RTED.2026080018

摘 要 : 放射测量实验受辐射危险、设备造价高、放射源管控严格等条件限制, 不能进行实体实训。本文依托放射测量虚拟仿真平台开展教学设计, 搭建理论学习、实操演练、数据分析、总结研讨模块化教学体系, 以 γ 射线多道能谱测量为例完成仿真实验验证。仿真平台可以消除辐射隐患, 把复杂的微观物理原理形象地表现出来, 突破了实验时空的局限。采用虚拟预习加实体验证的混合教学方式, 可以较好地克服传统实验教学的不足, 提高放射测量课程的整体教学质量。

关 键 词 : 放射测量; 虚拟仿真平台; 实验教学

Application of Virtual Simulation Platform in Radiation Measurement Experiment Teaching

Li Dan, Xu Hongyu

University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093

Abstract : Radiation measurement experiments are restricted by conditions such as radiation hazards, high equipment costs, and strict radioactive source control, making physical practical training impossible. Based on the radiation measurement virtual simulation platform, this paper carries out instructional design and builds a modular teaching system covering theoretical learning, practical operation training, data analysis, and summary discussion. The simulation experiment verification is completed with the example of γ -ray multi-channel energy spectrum measurement. The simulation platform can eliminate radiation hazards, intuitively present complex microphysical principles, and break through the limitations of experimental time and space. Adopting the hybrid teaching method of virtual preview combined with physical verification can better overcome the shortcomings of traditional experimental teaching and improve the overall teaching quality of the radiation measurement course.

Keywords : radiation measurement; virtual simulation platform; experiment teaching

在教育数字化战略落地和信息技术深入高校教学的行业背景下, 放射测量与防护是医学影像技术专业核心课程, 实体实验受到放射性防护法规的限制、放射源管控严格、实验建设成本高、核辐射人身安全隐患严重等因素的影响, 传统的实操教学无法实施, 大部分实验只能由教师现场演示、到医院观摩进行, 学生不能独立完成射线能谱采集、活度测算、误差分析等重要操作, 实验数据也容易受环境本底、探测条件的影响而产生较大的误差。依托虚拟现实等技术创建起来的虚拟仿真平台渐渐成为教改优选途径, 进而产生本次有关放射测量仿真实验教学的研究^[1]。

一、当前放射测量实验教学中存在的主要问题

(一) 实验设备条件问题

根据 GBZ 114-2006 密封放射源和密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准的要求, 实体放射测量实验室在场地建设、防护基础设施上要达到较高的辐射屏蔽建设指标, 实验室硬件改造费用高。实验开展阶段, 参训人员须配齐全套辐射防护用品, 实操人员需持证上岗, 师生定期开展体内外辐射剂量体检, 各类探测仪器、放射源装置还要常态化检修标定。严格的建设、运维条件使很多高校不能配备标准化的实体放射测量实训场地^[2]。

(二) 测量实验操作问题

电离辐射会对人体的血液、消化和生殖系统造成损害, 并且

其损伤具有隐匿性和数十年超长的潜伏期, 新手学生在实操中如果出现操作失误, 就很容易引发辐射安全事故。^[3] 由于安全管控的原因, 普通高校很少有标准化的核素实测实验室, 放射测量实操课程一直无法落地。现阶段课堂只能依托教学视频展示仪器构造与测量原理, 学生缺少亲手接线、参数调试、采集能谱的实操机会, 无法完整演练射线参数实测全流程, 实操教学存在明显短板^[4]。

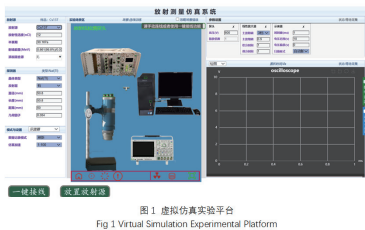
(三) 实验数据准确性问题

放射性原子核衰变具有天然的随机性, 叠加环境本底辐射波动、探测器布设几何角度的不同等因素都会造成实体实验测得的 γ 能谱曲线产生畸变失真^[5]。为了减少统计误差, 一般要进行几十次试验, 并取平均值, 长时间的测试中环境条件不断变化, 又增加了测量误差, 不但会增加实训课时, 而且很难保证实验数据

的稳定性和准确性。

二、放射测量实验教学虚拟仿真平台简介

本次教学所用的是上海培云教育科技开发的放射测量专用仿真系统，该平台具有场景交互和数值仿真相融合的双重特点，可以给直观操作提供体验，也可以对物理规律进行仿真运算。平台可视化交互场景可以供学生完成探测装置、放大模块等仪器接线实训，直观熟悉各种测量器件的功能；底层依靠物理数学模型，对放射源衰变规律、射线和物质相互作用过程进行量化仿真，动态模拟射线生成、能量沉积、电脉冲转换和电路计数全过程，再现真实仪器的测量响应特性，最大限度地还原实体放射测量的实操逻辑，平台架构如图1所示^[6]。



相比传统的实体实验装置，该仿真平台具有很多的优势，平台没有真实的放射源和电离辐射源，从根本上消除辐射安全风险，软硬件购置、运维成本低，系统更新升级方便快捷^[7]。平台集成单道、多道能谱测量功能，可以做多种实验的综合。实操阶段可以自由切换不同的核素放射源、自定义混合放射源，根据需要改变闪烁晶体的规格、增加各种屏蔽防护材料，打破实体实验器材、放射源种类和耗材的限制^[8]。

三、实验教学内容的设计和制定设计

根据该放射测量仿真平台以及放射测量与防护课程所规定的教学大纲和实训要求，将整个实验教学设计计划分为课前理论学习、平台实操演练、实测数据研判、实验总结归纳这四个递进的模块，整体教学设计框架如图2所示。

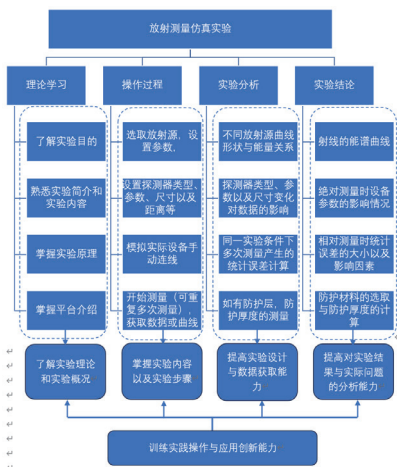


图2 仿真实验教学设计框架图

Figure 2: Framework Diagram of Simulation Experiment Teaching Design

四、整体仿真实验与传统线下实操的主要区别

整体仿真实验流程符合实体实验的逻辑，但是依托虚拟平台进行教学，在教学环节上与传统的线下实操存在三点明显不同之处。

（一）理论授课侧重点存在差异

虚拟教学在原有的辐射测量原理和计算公式学习的基础上增加了平台操作实训的内容。教师可以提前录制仪器介绍、线路连接、参数整定的教学视频，学生在实验指导书中自行预习，自主规划实验方案，大幅缩短了课堂上操作的时间；传统的实体实验只注重理论公式的掌握，而仪器的操作要在实验室里现场学习^[9]。

（二）实验时空约束条件不同

传统的实体实验受到实验室场地和课时的限制，必须集中进行实验操作，仿真平台以网络化的方式存在，不受场地和时间的限制，学生通过账号随时进入系统进行实验操作，自由安排自己的实验进度。

（三）接线调试与数据处理效率不同

实体实验中学生容易因为仪器不熟悉而反复排查接线故障，在仿真平台上配有探头、多道分析仪、示波器等模块化的虚拟器件，可以手动接线并实时报错提示，还有自动接线功能。实体能谱测试时间长，高精度 2048 道址实测要花几个小时，平台可以开启千倍速率的仿真加速模式，系统会把数据汇总成能谱拟合曲线，省去很多数据采集和绘图计算^[10]。

五、虚拟仿真实验设计实例

现阶段依托该仿真平台可以开设四个主要的实训项目，分别是放射性活度统计测定、 γ 射线多道能谱测试、 γ 射线半价层和铅当量计算、 γ 射线能量标定实验。本文以 γ 射线多道能谱测量项目为研究对象，对平台实操流程进行详细的论述。

（一）实验原理与研究目的

γ 射线是电中性的粒子，NaI(Tl) 闪烁探测器依靠光电效应、康普顿效应、电子对效应来探测射线。 γ 光子射入闪烁晶体后产生次级电子，使晶体发光，通过光电倍增管将产生的电脉冲转换成与粒子能量有关的电脉冲。单能 γ 射线实测谱线除了特征全能峰外，还存在连续分布的康普顿平台，在高能射线条件下还会出现单、双逃逸峰，统计不同的脉冲幅值对应的计数即可得到 γ 射线能谱。

（二）实验操作内容

平台内置了 Cs-137、Am-241、Co-60 等十几种已知或者未知的活度标准放射源，并且可以自定义 γ 射线参数。进入系统选择微机多道工作模式，设定高压和放大参数，系统默认使用活度为 4nCi 的 Cs-137 放射源；手动线路接驳或者一键接线，布放放射源后将数据存储模式设为保留，设置 2048 道数来提高谱图分辨率。首先对基础时长为 3000s 的 30000s 进行采集，之后调整测量时长为 30000s 并开启 1000 倍仿真加速，配合高压参数微调来完善能谱采集。

（三）实验结果及思考

测量完毕后调用平台绘图功能，系统根据实测数据自动生成 Cs-137 标准能谱，谱图结果如图 3 所示。

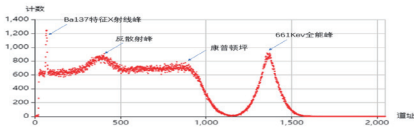


图 3 Cs-137 能谱曲线

Figure 3 Cs-137 energy spectrum curve

实验结束后利用生成的能谱进行图谱解析，测定全能峰面积、半高宽和能量分辨率，还可以进一步研究混合放射源各组分全能峰道址和射线能量之间的对应关系。Cs-137 能谱主要包含 662keV 全能峰、康普顿连续平台和 184keV 左右反散射峰三种特征结构，全能峰是由 γ 光子能量被晶体完全吸收形成的，是能谱能量刻度的重要依据；康普顿平台是由于光子部分能量沉积而形成的，具有连续分布的特点；反散射峰是由于光子经过屏蔽结构反向散射后被探测器俘获所导致的。从变量调控试验结果可知，提高工作高压使谱峰右移，计数先升高后趋于饱和，高压超限时噪声增大、谱形变坏；增大放射源与探测器的距离造成射线衰减，直接引起全能峰计数和峰面积明显减少。

（四）教学效果分析

1. 完全消除辐射危险，全体人员必须实操。由于受到放射源

控制和辐射安全规范的限制，在传统的实体实验中，只有少数几个人可以动手操作，其他学生只能观看；仿真平台没有放射性物质，没有辐射污染和废弃物问题，所有学生都可以独立完成参数设置、样品布设、能谱采集的全部实验操作。

2. 用抽象理论来简化知识的理解。平台动态可视化展示各种射线作用机理，清楚地说明能谱各个特征峰形成的原理；学生可以单独改变高压、源距、屏蔽层厚度等变量并及时观察到谱线的变化，克服实体实验耗材、课时不足不能做多组对照试验的缺点。

3. 打破时空限制，利于自主复习。平台依靠网络全天候开放，学生在课前可以提前预习仪器的构造和实验步骤，在课后反复练习失误的操作，并且系统配有考核反馈的功能，根据高压超标的错误操作或者没有考虑本底的现象及时提醒，使学生能够自主地查找问题并加以改正。

六、结语

综上所述，虚拟仿真平台具有安全性、高效性，可以用于课前原理学习、参数探究训练，用少量的实体实验就可以完成放射测量课程的教学。平台可以进行多变量对比探究、设备故障模拟以及重复性刻度标定练习，混合教学模式的优势明显。依靠无电离辐射、参数可以无限调试的优势，很好地解决了实体实验受放射源严格控制、辐射安全限制、仪器购置和维护费用高等实际问题。

参考文献

- [1] 张慧琴, 李中凯. 近十年我国高校虚拟仿真实验教学研究发展述评 [J]. 实验室研究与探索, 2024, 8(43): 77-82.
- [2] 教育部 2022 年工作要点. [A/OL]. (2022-02-08)[2023-09-08]. http://www.moe.gov.cn/jyb_sjzl/moe_164/202202/t20220208_597666.html.
- [3] 杨颖, 肖潭, 南景富, 等. 高校虚拟仿真实验教学发展趋势的文献计量分析 [J]. 实验技术与管理, 2020, 37(12): 24-28.
- [4] 许红玉, 王远军. 放射测量与防护课程线上线下混合式教学实践 [J]. 生物医学工程学进展, 2024, 2(45): 178-184.
- [5] 《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》, 标准号: GBZ114-2006 <https://www.bzxz.net/bzxz/131273.html>.
- [6] 覃雪, 陈秀莲, 刘军. 热中子活化法测量放射性核素半衰期实验教学研究 [J]. 实验科学与技术, 2025, 23(3): 100-106. DOI: 10.12179/1672-4550.20240024.
- [7] 胡传皓, 曾国强, 边振学, 等. 数字符合法测量放射源活度实验设备的研制 [J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(6): 38-41. DOI: 10.19927/j.cnki.syyt.2024.06.009.
- [8] 刘辉兰, 宋玉收, 齐美玲, 等. 放射源定位方法研究引入实验教学的实践与探索 —— 基于创新型人才培养视角 [J]. 黑龙江科学, 2022, 13(5): 124-125. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8646.2022.05.044.
- [9] 王伟财, 周晨, 于潇楠, 等. 数字化模型分析和头影测量技术在口腔正畸实验教学的应用 [J]. 中华口腔医学研究杂志 (电子版), 2017, 11(6): 376-380. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2017.06.010.
- [10] 李静舒, 邱晓婷, 余圳跃, 等. γ 射线放射法测量料位高度 [J]. 物理实验, 2020, 40(3): 39-42. DOI: 10.19655/j.cnki.1005-4642.2020.03.008.