

线上线下融合的仿真实验软件(电子书)研发及其教学应用 ——以毛细管电泳实验为例

谢天尧*, 黄诗颖, 邓爱玲, 肖华

中山大学化学学院, 广州 510275

摘要: 以Web设计语言和Photoshop、Flash、3D Max等工具绘制动画和3D仿真图, 自主研发了毛细管电泳实验的仿真实验软件(电子书)。对仿真实验软件的设计思路、功能模块的实现、教学应用和效果等作了详细叙述。开发的电子书涵盖了实验原理、仪器介绍、样品制备、仪器参数设置、样品测试、数据处理、实验报告等完整的实验流程。电子书的内容完全与我院现行“仪器分析实验”的真实实验和纸质版教材相匹配, 从而实现了“虚拟实验”与“真实实验”相融合, 线上线下实验教学相融合。电子书中丰富的动画、仿真和实物图片, 充分发挥出视觉效应和感观思维的优势, 很好地克服了传统实验教学中的时空限制以及纸质版教材单调枯燥的不足, 极大地激发学生的学习积极性, 提高了学生的学习兴趣和学习效率。

关键词: 仿真实验软件; 电子书; 毛细管电泳实验; 仪器分析实验; 线上线下融合教学; 实验教学

中图分类号: G64; O6

Development of Virtual Simulation Software “Electronic Book” for Online-Merge-Offline Experimental Teaching: Taking Capillary Electrophoresis Experiment as an Example

Tianyao Xie *, Shiyang Huang, Ailing Deng, Hua Xiao

School of Chemistry, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China.

Abstract: A virtual simulation software, which is also called “electronic book” for experimental teaching of capillary electrophoresis has been independently developed. It was programmed in Web development language. Other auxiliary tools such as Photoshop, Flash and 3D Max software were used to make a realistic interactive three-dimensional model of virtual instruments. The mentality of designing, function module, applied method and teaching efficiency of this virtual simulation experimental software were also introduced and discussed. This “electronic book” contained the detailed steps of the experimental process, *i.e.*, the experimental principle, introduction to instruments, sample preparation, parameter setting, sample testing, data analysis and experimental report writing. Because it completely matches the current real experiment and textbook in paper form, the online-merge-offline hybrid experimental efficiency and the combination of “real experiment” with “virtual experiment” can be achieved. Through rich and colorful pictures, animation, 3D drawing in electronic book, it greatly helps students master the relevant knowledge of the instrument analytical testing items in an all-round way, effectively solving the current problems of traditional experimental teaching. Moreover, it motivates the students’ enthusiasm and consciousness, and enhances the interest and efficiency of experimental teaching.

收稿: 2022-09-27; 录用: 2022-11-11; 网络发表: 2023-01-03

*通讯作者, Email: cesxyt@mail.sysu.edu.cn

基金资助: 2021年中山大学本科教学质量工程项目

Key Words: Virtual simulation experiment software; Electronic book; Capillary electrophoresis experiment; Instrumental analysis experiment; Online-merge-offline experimental teaching; Experimental teaching

仪器分析实验教学实践中,我们已经认识到:学生在预习时常常会感觉到纸质版教材上的仪器原理和操作介绍很抽象,有些教材上虽然附有图片,但通常是静态黑白图片,显得十分单调。学生在预习过程中容易失去兴趣,对实验原理不能真正地理解,对仪器部件的功能缺乏较为全面的认识和理解;因不熟悉仪器的正确使用方法而进行错误操作,造成实验的中断或仪器的损坏。另外,传统的实验教学中由于受到实验课时的限制,提供给学生理解实验过程和有效掌握实验技能的时间、空间十分有限。这样,学生所获得的实验体验并不深刻,显然这是传统实验教学的一个短板,严重制约了实验课程教学效果的进一步提升,是实验教学改革亟需解决的一个关键问题^[1-3]。

现代科技的发展带来了丰富的教学资源,包括各种动画、3D仿真、虚拟资源等。在此背景下,仿真教学迅速发展起来并成为人们重视的教学新方法^[4-6]。相对于理论课仿真教学,仿真实验教学课程的建设更具挑战性^[7-9]。仿真实验软件可以提供内容丰富、生动逼真、形象直观的学习环境,提供动静结合、图文并茂的教学内容,以丰富的视觉传达帮助学生进行多感观的学习,这样无疑会增加学生的学习兴趣,调动学习积极性,促进学生对实验原理的理解和实验仪器的熟悉。另外,仿真实验软件还能够为学生提供反复练习和自主学习的机会,学生不必在规定的时间内匆忙地完成实验过程,不论身处何时何地,只要有电脑和iPad,就可以通过软件反复地学习仪器分析实验的相关知识,直到熟练掌握。这样就实现了学生学习时间、学习地点和学习次数的自主性。

实践中,人们已经充分认识到虚拟仿真实验的重要作用。对于仪器分析这类实践性较强的实验课程,文献也明确指出:“虚拟仿真实验不能取代真实实验”,要求做到“以虚补实”“虚实结合”“线上线下相融合”方可取得最佳的实验教学效果^[4,9]。因此,在虚拟仿真实验软件的开发或选用上,不能盲目进行,须以真实实验为基础。虚拟仿真实验应围绕真实实验的核心内容,为真实实验服务。我们“仪器分析实验”教学小组在科研成果基础上开发出“毛细管电泳/非接触式电导分离检测矿泉水中的阳离子”实验内容,并应用于我院本科生的实验教学^[10,11]。该实验采用了自主研发的分析仪器,理论与实践相结合,学生能亲自动手操作毛细管电泳仪器对瓶装矿泉水中4种瓶签标注阳离子(K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})进行分离检测,获取分析检测结果,并与瓶签标注含量进行对比,很受学生欢迎。目前与毛细管电泳相关的虚拟仿真实验项目的开发和教学应用虽已有报道,但经过调研,上述虚拟仿真实验软件的内容与我院正在进行的真实实验内容不一致,不能满足线上与线下实验相匹配的要求。为此,我们以真实实验为核心,参考兄弟院校成功开发仿真实验软件的经验,自主开发与之配套并具自身特色的仿真实验软件(电子书)。电子书涵盖了实验原理、仪器介绍、样品制备、仪器参数设置、样品测试、数据处理、实验报告等完整的实验流程,与我院现行的真实实验和纸质版教材配套使用。实现“虚拟实验”与“真实实验”相结合,线上线下实验教学相结合,拓展实验教学的广度和深度,切实提高实验教学质量和水平。

1 仿真实验软件的设计思路和目标

仪器分析虚拟仿真实验软件的开发应围绕真实实验的核心内容,为真实实验服务,实现“虚拟实验”与“真实实验”相结合,线上线下实验教学相结合。为了实现这一目标,我们在仿真实验软件的设计思路,主要围绕以下3个方面:

(1) 仿真实验软件设计成电子书的格式,与现行的纸质版实验教材的编写格式基本一致,符合学生在预习和真实实验过程中的思维习惯。纸质版实验教材的章节包括:实验目的、实验原理、仪器试剂、实验步骤、数据处理、注意事项和思考题等6个部分。仿真实验软件(电子书)的章节编写格式和次序与我院现行的真实实验和纸质版教材基本一致,如图1所示。包括了:实验原理、仪器介绍、样品制备、仪器参数设置、样品测试、数据处理、实验报告等完整的实验流程。

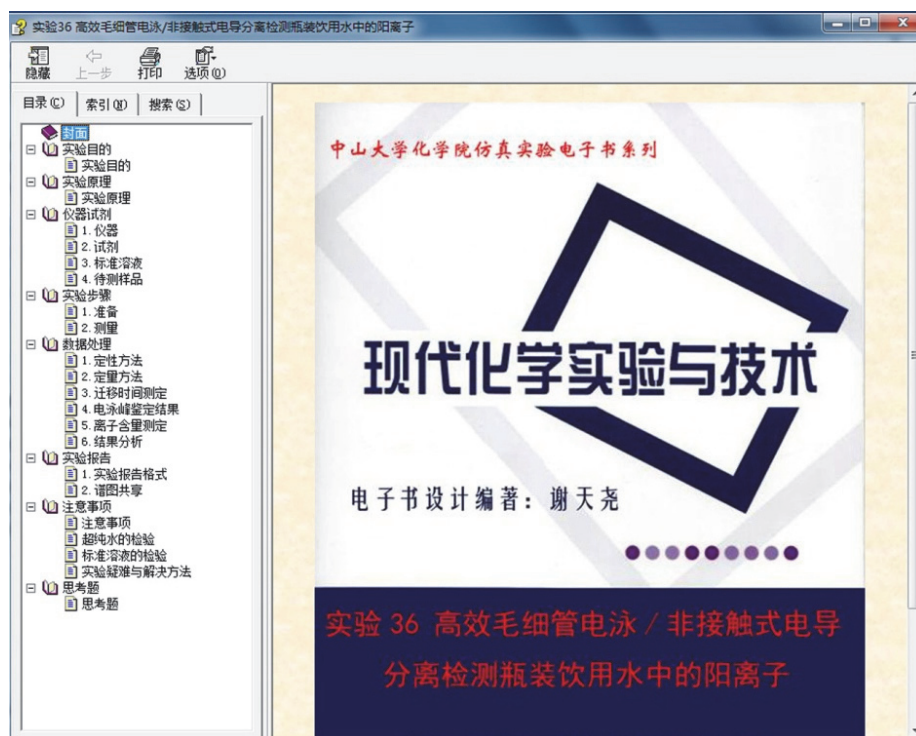


图1 仿真实验软件(电子书)的章节和封面

(2) 对分析仪器的认知水平在学生科研能力的培养中显得至关重要。学生对分析仪器的的工作原理、结构和功能的了解程度与实验成效密切相关。因此学生在了解毛细管电泳仪工作原理的同时,还应了解毛细管电泳仪的基本构造以及各部件的功能和仪器操作要点。对这些相关知识的讲解必须形象生动,而书本上的知识往往比较抽象,有的学生可能从未接触过分析仪器,不了解仪器就开始做实验,这就造成实验教学中的脱节现象,进而影响实验效果。因此在仿真实验软件中,需采用丰富多彩的动画、实物图片和3D仿真情景,来讲解实验原理、仪器结构以及仪器操作流程,不但可以演示还可进行简单的模拟操作,以弥补传统实验教学中的缺陷,使得学生获得更多的感性认识。

(3) 长期的教学实践证明,仪器分析实验结果的误差大部分是由于不正确的基本操作而引起。因此在仿真实验软件设计时,除毛细管电泳仪主机外,力求将实验中使用到的其他仪器,例如:微量移液枪、分析天平、超声波清洗器、超纯水机等实验仪器,以及电泳运行液配制、石英毛细管清洗、样品进样、标准溶液的检验、超纯水的检验等基本操作通过动画方式纳入到软件中,要求学生进行严格规范的仿真练习,若操作不当,程序将进行出错提示。这样,学生可在软件上反复练习这些基本操作,掌握实验的技能知识点,避免常规性错误。

2 仿真实验软件开发流程和功能实现

2.1 仿真实验软件开发流程

仿真实验软件的开发有多种编程语言可供选择,但考虑到开发完成以后仿真软件的操作简易性以及运行平台的低依赖性和高兼容性,即:只要有电脑(甚至无需网络联通),学生就可以随时随地通过仿真实验软件反复地进行自主学习,实现学习时间、地点和次数的自主性。经过对比,我们选择了采用HTML格式的Web开发工具:Html help Workshop (HHW)来研制仿真实验软件(电子书)。HHW无需复杂的编程过程,无需高深的编程知识。对开发人员的编程基础要求较低,只需熟悉网页制作和章节编排就可胜任。这对于不具备计算机专业编程知识的化学工作者来说十分友好。化学工作者通过简单的学习就可以掌握其技能,进而成为仿真实验软件开发的真正“主角”,以更为专业的角度

阐述事件。另外,只要平台上有网页浏览器(这一点几乎无限制性),电子书就可以良好运行,内存需求小,且可以跨平台运行,无需再安装其他复杂的运行器。HTML界定基本成员以及层次结构,是整个Web页面的骨架核心。网页文件可以通过熟知的Word文档进行事先编辑,使之具有美观、人性化的界面(GUI)。通过Photoshop、Flash、3D Max等图画工具软件构建素材库中的关键元素(动画、图片、3D仿真)^[12-15],并在编制网页文件时加以调用,其中3D Max可为真实仪器做3D图建模,实现高仿真情景;Photoshop进行图片处理和完善,Flash构建动画仿真操作。通过脚本解析和添加超链接的方式,实现网页文件中组件的鼠标监听,完成动态程序功能以及响应用户操作。仿真实验软件整体逻辑流程图如图2所示。其中素材库中各元素的构建是关键,最为耗费精力和时间,且最能体现科学性和艺术性的完美结合。

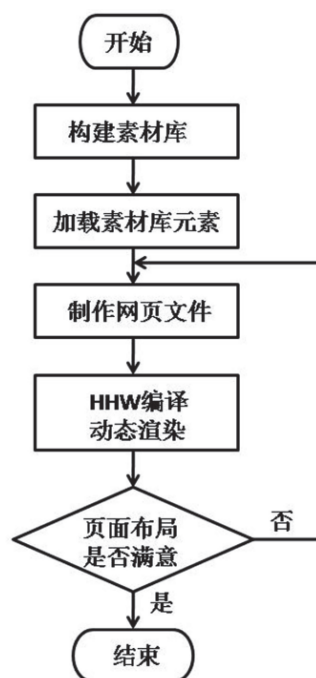


图2 仿真实验软件开发的整体逻辑流程图

2.2 仿真实验软件的功能模块设计

仿真实验软件主要围绕实验原理、仪器介绍、样品制备、仪器参数设置、样品测试、数据处理、实验报告等几个主要环节展开研发,因此在开发时按其功能主要划分为5大模块:原理模块、仪器拆解模块、操作模块、数据处理模块、注意事项模块。各个大模块又由数个小模块组成。仿真实验软件整体的功能模块如图3所示。

2.3 仿真实验软件模块功能的实现

仿真实验软件中的功能模块,在软件编译过程中是通过超链接的方式嵌入电子书文档之中。学生在浏览电子书的时候,可以十分方便地用鼠标点击某一模块的关键词,就可以显示该模块的界面(动画、实物图片、3D仿真等)。例如,若要显示“CE分离原理图”,只需打开电子书中“实验原理”一页,用鼠标点击页面中的“参见CE分离原理图”(图4A),就可观看 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 4种阳离子在石英毛细管中的CE分离动态画(图4B)。通过“再看一遍”按钮,学生可以反复地观看这个CE分离动态画。另一种便捷的方法是通过电子书自带的“搜索”引擎,搜索关键词“CE分离原理图”(或者是通过模糊搜索“原理图”),也可以十分简便地调出该模块的功能。其他模块功能的调用,以此类推。

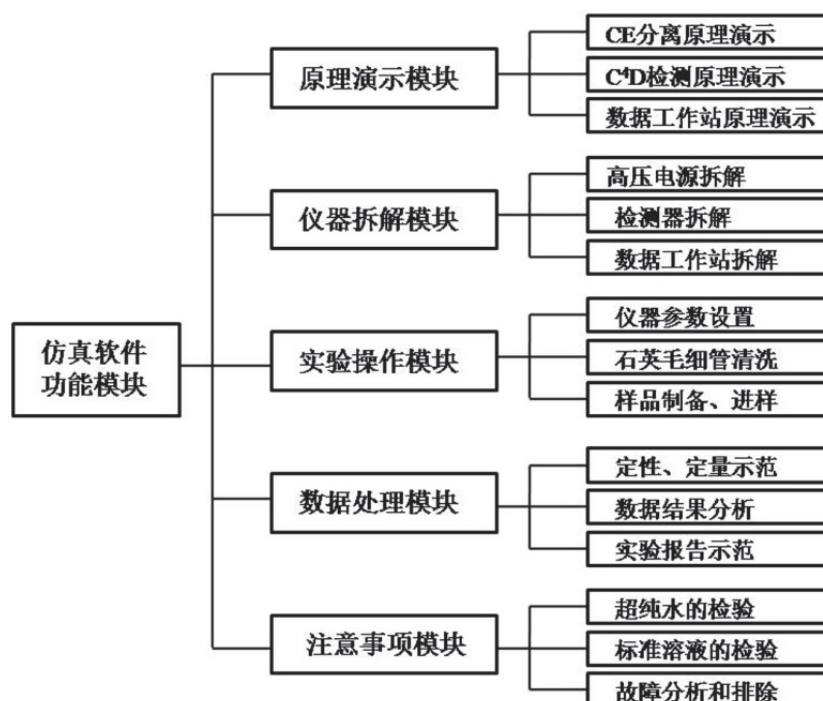


图3 仿真实验软件的功能模块

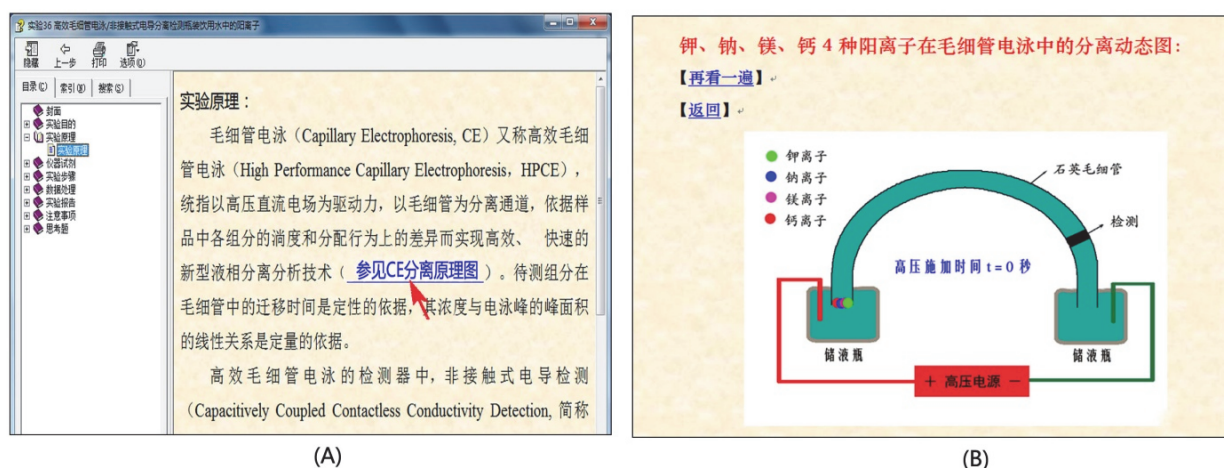


图4 仿真实验软件中模块功能“CE分离原理图”的显示

3 仿真实验软件的教学应用

3.1 仿真实验软件的教学实施过程

我院的仪器分析实验课程除了面向本院的本科生外，同时还接受其他学院学生的选课学习，以及大学生创新实践项目、本科毕业设计等教学环节，每年校内受益学生达300余人。仪器分析实验课程具有受益面广、影响力大的特点。真实实验由于受课时和空间的限制，须采取分组和大循环的方式开展实验，而且单个实验要求学生在3个课时内完成。为了充分发挥虚拟仿真实验教学能为学生提供学习时间、学习地点和学习次数自主性的优势，做到“以虚补实”“虚实结合”“线上线下相融合”的最佳实验效果，为此将研发完成的仿真实验软件发布在中山大学化学学院实验教学平台(国家级实验教学示范中心)上，学生凭校园卡ID验证后下载使用(后续将会放在中山大学校级虚拟仿真教学平台上供读者学习和体验)。在真实实验开始前，要求学生先完成虚拟仿真实验，完成思考题练习和小

测验。并根据虚拟实验数据,提交预习报告。实验成绩的评定方面,将虚拟仿真实验和真实实验两部分综合起来,作为成绩评定依据,建立更为合理全面的评价体系。

3.2 “虚实结合”“线上线下结合”的教学模式和教学效果

虚拟仿真实验软件是由仪器分析课程组有经验的一线教师根据课程建设的需要,自主设计开发完成。其内容经过反复讨论修改,以确保每个设计环节的科学性和合理性。依照“虚实结合”“线上线下结合”的原则,所有实验素材及实验数据均从真实仪器上获得。特别是仿真实验软件中的仪器拆解、原理动态图、样品制备、仪器参数设置、毛细管冲洗、实验疑难与解决方法等部分采用丰富多彩的动画、实物图片、3D仿真情景的形式显示,凸显了仿真实验软件(电子书)较之纸质版实验教材的优势。仿真实验软件的部分操作界面截图如图5(a)–(e)所示。

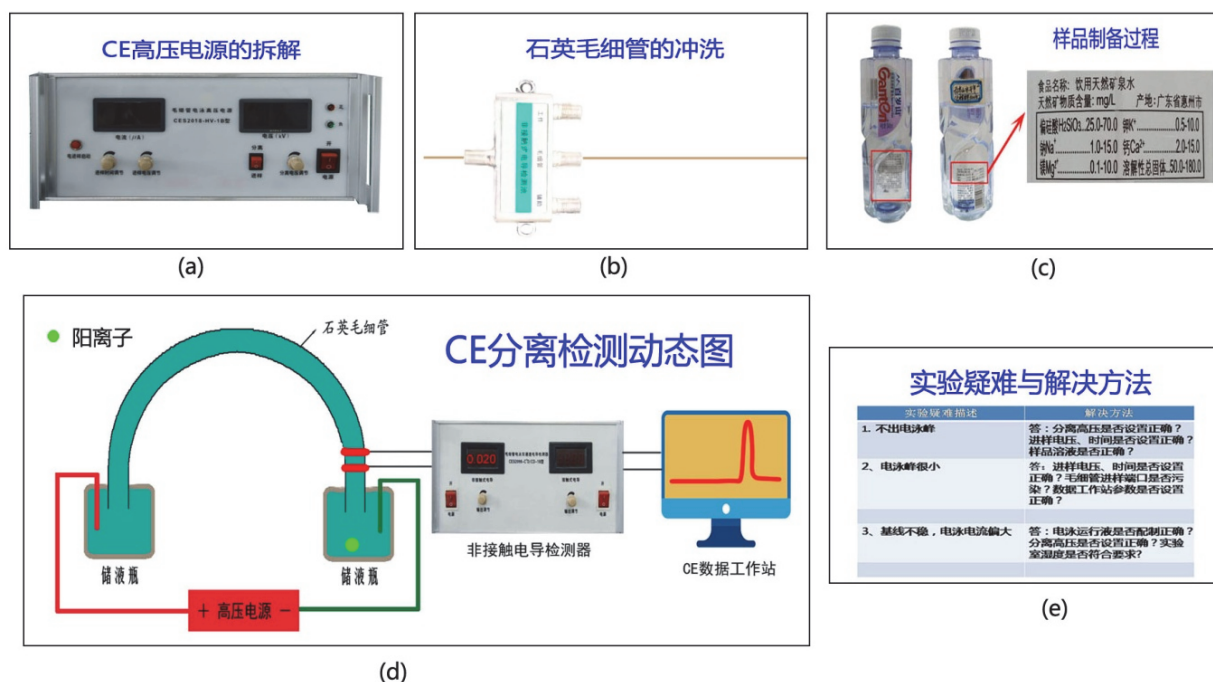


图5 仿真实验软件的部分操作界面截图

对虚拟仿真实验的使用效果进行了学生问卷调查。结果表明,学生对于这种新的教学方式接受度很高(达100%)。认为仿真实验很有趣,并期待走进实验室完成下一阶段的真实实验。真实实验后,学生在书写实验报告的过程中,可以再次利用仿真实验进行实验过程的回放,进一步加深对真实实验要点的理解,切实感受到实验教学质量的提高以及实验过程中所得到的收获。与此同时,也对存在的不足之处和意见作了收集,为仿真实验软件的进一步完善和升级改造打好基础。

4 结语

在开展虚拟仿真实验教学实践时,特别是对于仪器分析这类实践性较强的实验课程,不能盲目地进行或是简单使用仪器公司的仿真软件。虚拟仿真实验须以真实实验为基础,为真实实验服务。做到“以虚补实”“虚实结合”“线上线下结合”的方法运用,提升整体实验教学质量效果,使学生享受到现代化教学的成果。飞速发展的现代科技为仪器分析实验教学提供了机遇,同时也提出了挑战。时代要求教师与时俱进,积极学习利用各种现代教育工具,对实验教学手段进行革新,延伸实验教学的时间和空间,拓展实验教学内容的广度和深度,提高实验教学质量和水平,更好地完成课程培养目标。本文将为仪器分析仿真实验软件的研发和教学应用提供一个新方法和新途径。

参 考 文 献

- [1] 王秀云, 宿艳, 张永策, 潘玉珍. 大学化学, **2021**, 36 (1), 2001032.
- [2] 郭慧敏, 刘新, 张永策, 宿艳, 姜文凤, 孟长功. 大学化学, **2023**, 38 (1), 41.
- [3] 翁闪闪, 孙文博, 林月乔, 郭嘉亮, 陈鑫. 中国现代教育装备, **2022**, No. 5, 23.
- [4] 邵伟, 张万群, 胡万群, 李维维, 盛翔, 柯玉萍, 杨凯平, 孙晴, 朱平平. 大学化学, **2021**, 36 (7), 2012012.
- [5] 徐威, 王瑶, 俞路, 李甜甜, 肖武, 张永策. 化工高等教育, **2022**, 39 (4), 60.
- [6] 宿艳, 张永策, 杨金辉, 孟长功. 实验室科学, **2019**, 22 (4), 120.
- [7] 教育部. 关于2017-2020开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知. [2017-07-13].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201707/t20170721_309819.html
- [8] 教育部关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设通知. [2018-06-05].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201806/t20180607_338713.html
- [9] 熊宏齐. 实验技术与管理, **2022**, 39 (3), 5.
- [10] 陈六平, 戴宗. 现代化学实验与技术. 第2版. 北京: 科学出版社, 2015.
- [11] 谢天尧, 赖璐, 戴宗, 陈六平. 实验室研究与探索, **2011**, 30 (3), 213.
- [12] 徐雅琴, 王晓平, 陆剑峰. 机电一体化, **2012**, No. 1, 68.
- [13] 陈铭中, 钟旭美, 朱碧宁. 广东化工, **2013**, 40 (20), 76.
- [14] 王涛, 任媛媛, 孙威, 徐小明. 3ds Max 2021完全自学教程. 北京: 人民邮电出版社, 2021.
- [15] 原旺周, 肖彦臣. Flash动画制作案例教程. 北京: 清华大学出版社, 2020.