

文章编号: 2617-6084 (2024) 03-0102-10

我国高校化学虚拟仿真实验教学的现状、热点、趋势

——基于 CNKI 数据库的可视化文献计量分析

张柯达, 吴宇轩, 林海树, 王思远, 赵伟宁, 杜世云, 丁平田*

(深圳技术大学 药学院, 广东 深圳 518118)

摘要: 虚拟仿真实验教学是基于仿真技术和虚拟现实技术的数字化教学模式。传统的高校化学实验教学具有实操环境要求高、操作成本高等问题, 而学生通过虚拟仿真技术支持, 可以在逼真的虚拟环境中轻松进行实验操作, 学习化学实验技能和知识, 同时避免真实操作可能导致的人身危险和资源浪费。作为中国最大的知识网络平台之一, 中国知网 (CNKI) 为文献研究提供了充足有效的数据支持。本文整理收集了 2010 年至 2022 年虚拟仿真技术在化学实验教学领域中的应用的相关文献资料, 并通过文献数据可视化软件 CiteSpace 对我国高校化学虚拟仿真实验教学的发展现状、主题热点、演变趋势进行了统计分析。研究发现, 虚拟仿真技术在化学实验教学中得到了广泛应用并发展迅速, 高校化学教学中融入虚拟仿真教学已成为当前发展的趋势。

关键词: 虚拟仿真; 高校化学; 实验教学; CiteSpace; 文献计量

中图分类号: O6-39; G642.0 **文献标识码:** A

虚拟仿真实验教学利用计算机、多媒体软件、大数据和网络通信等技术搭建高度仿真的虚拟实验平台, 实现真实环境条件不具备或难以操作的教学方式^[1]。虚拟仿真教学具有高效、扩展性强、安全、资源共享等特点, 有利于提高教学效率、节约教学成本, 是当前时代教育信息化建设的重要内容^[2]。对化学及其相关专业 (如: 药学、材料科学等) 学生而言, 化学实验是必修课程。实验教学可以帮助学生提高实践能力, 掌握基本的实验操作技能, 了解化学原理和反应机理。然而, 化学实验需要使用多种化学品和设备, 如果操作不当或使用不当可能会导致安全事故。虚拟仿真教学可以让学生在虚拟环境下模拟实验操作, 规避教学过程中的试剂浪费污染、设备问题等安全隐患, 也可大大降低实验成本^[3]。虚拟仿真实验教学可作为传统教学的有力补充手段, 在化学领域中具有广阔的应用前景。本文通过中国知网 (CNKI) 收集了 2010 年至 2022 年的相关文献资料, 并使用 CiteSpace 文献数据分析软件对我国高校化学虚拟仿真实验教学的发展情况、热点主题、趋势演变进行了统计分析^[5]。

投稿日期: 2023-05-23

基金项目: 深圳技术大学教学改革研究项目 (20211032); 教育部高等教育司产学合作协同育人项目 (202002073006)

作者简介: 张柯达 (1986-), 男 (汉族), 理学博士, 助理教授, 硕士研究生导师, 主要从事药剂学、药物分析方面的教学与研究, Tel. 0755-23256710, E-mail zhangkeda@sztu.edu.cn; *通信作者: 丁平田 (1969-), 男 (汉族), 理学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事药剂学方面的教学与研究, Tel. 0755-23256263, E-mail dingpingtian@sztu.edu.cn。

1 数据来源和研究方法

1.1 数据来源

本文采用中国知网(CNKI)作为国内大型学术信息数据库,以时间跨度2010~2022年为范围进行文献检索。由于此次研究不包含中学阶段的化学虚拟仿真教学相关研究,因此使用“化学”“虚拟仿真”和“实验教学”等词作为检索词,检索范围为“主题”,同时排除“中学”“初中”“高中”及“中职”主题的文献,最终筛选得到719篇符合要求的文献资料。

1.2 实验方法

本文采用文献计量法进行数据分析。该方法能够通过定量分析文献的特征,运用统计学方法得出格式化的数据,并通过可视化图像准确形象地描述、评价和预测研究领域的主题^[4]。在文献计量法中,“共现”是指文献中出现多次的信息特征,如:关键词、作者、摘要内容等。通过对文献中共现信息的频次和时间关系进行定量分析,可以揭示文献知识之间更深层次的联系,反映知识背后的研究历程。本研究采用知识图谱软件CiteSpace对文献进行去重、格式化等处理,并将作者、研究机构、关键词等作为节点构建知识图谱,完成相关共现分析^[5]。

2 数据基本情况分析

2.1 年度发文量

通过对高校化学虚拟仿真教学的年度发文量数据统计分析(见图1),可以明确该领域的发展历程,包括以下三个阶段。第一阶段为2010~2014年,该领域中相关研究数量较少。在2010年左右,虚拟仿真技术首次引入化学教学领域,弥补了传统实验教学的缺陷,引起了人们的关注和重视,相关研究逐步展开。第二阶段为2015~2018年,虚拟仿真技术的教学应用显著增加。在此期间,党中央和国务院提出“信息技术对教育发展具有革命性影响,必须予以高度重视”,教育部积极推动教育信息化,示范性虚拟仿真教学项目得以广泛开展^[6-8]。随着教育信息化不断推进,虚拟仿真技术在教育领域的应用门槛逐步降低,年均发文量达到50篇左右。第三阶段为2019~2022年,虚拟仿真教学主题文章数量大量增加,年均发文量超过100篇。2020年达到高峰,单年发表文章数达到168篇。2019年,新冠疫情的出现使得高校的传统线下教育方式受到严重影响^[9]。因此,教育部提出了“停课不停学”的口号,鼓励高校积极探索线上教学模式,以保持高校教学进度的稳步进行^[10]。虚拟仿真教学具有教学跨时间和空间的特点,在疫情期间成为高校实验教学的唯一途径,并取得了良好的教学效果。总体来看,自2016年起,虚拟仿真教学在化学教学领域的相关研究逐年增多。在教育部的大力推进和疫情的影响下,2020年达到了一个高峰。虽然此后随着疫情得到有效控制,线下教学逐步恢复,实验教学对虚拟仿真的依赖程度降低,相应的线上教学相关讨论有所减少,且虚拟

仿真实验教学的研究频率也略有下降,但相关研究仍受到重视。

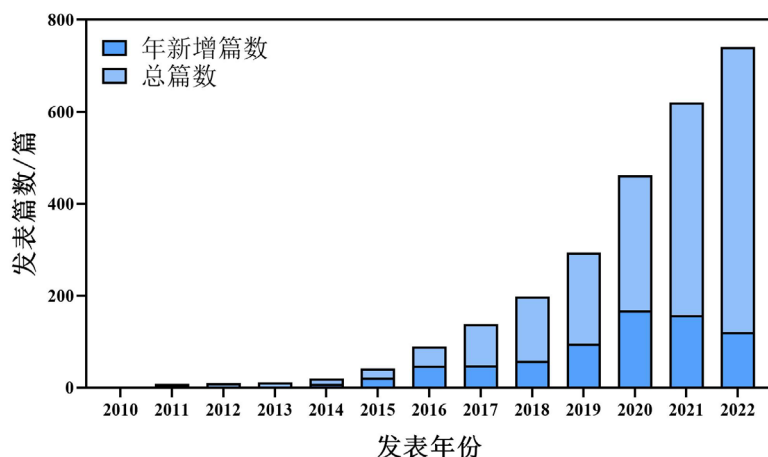


Fig. 1 The annual publication volume of literature from 2010 to 2022

图 1 2010-2022 年文献年度发表量

2.2 研究作者/机构共现分析

为了分析研究合作的脉络关系,我们进行了研究者之间、机构之间以及研究者与机构之间的共现分析。图 2 呈现了机构—作者耦合聚类关系,其中红色表示发文机构,蓝色表示发文作者,连线表示节点之间存在作者合作或作者与研究机构的附属关系,字体大小表明该作者或机构下发表文章数量,字体越大则表明发表文章越多,在领域内活跃度越高。图 2 表明,在化学虚拟仿真教学研究中,大多数作者的合作都仅限于各自的机构内部,机构之间仅存在较稀疏的联系或没有合作。例如,图 2 显示,中南大学在本机构内开展了较深入的相关研究,作者之间联系密切。而陕西师范大学、大连理工大学和大连工业大学之间仅存在个别联系,作者之间的联系主要与他们所在的机构有关。发文数量较多的前五名机构包括中南大学、大连理工大学、中国科学技术大学、桂林理工大学、西南大学等,发文较多的作者包括钟宏、龚成斌、刘有才、张浩等,他们首次发文时间主要集中在 2014~2017 年,与上述发展阶段分析结果相符。这些机构/团队的研究包括专业虚拟仿真教学和虚拟仿真教学改革两大方向,详细信息参见表 1。

Table 1 The main publishing institutions, authors and their relevant information

表 1 主要发文机构、发文作者及其相关信息

机构	发表篇数	首次发表年份	主要作者	研究主题	活跃期刊
中南大学	13	2014	钟宏、刘有才、曾冬铭	矿冶工程化学的虚拟仿真平台建设	《广州化工》《实验技术与管理》《实验室研究与探索》《化工高等教育》
大连理工大学	11	2014	张永策、姜文凤、田福平	虚拟仿真实验教学的应用探索	《大学化学》《化工高等教育》《实验技术与管理》
中国科学技术大学	8	2016	冯红艳、朱平平、李玲玲	大学化学实验的教学模式探究	《大学化学》
桂林理工大学	8	2016	梁军、刘峥、刘勇平	虚拟仿真实验教学的教学改革与实践	《高教论坛》

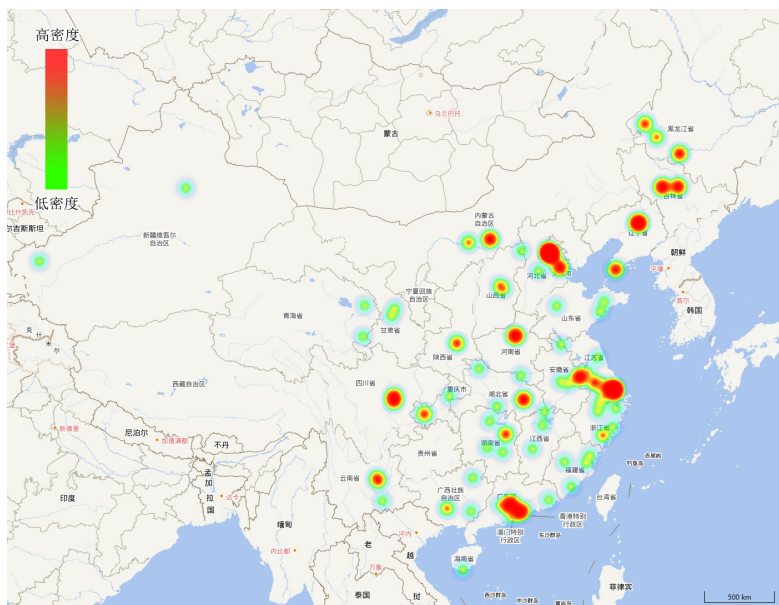


Fig. 3 The heat map of geographical density of publishing institutions

图 3 发文机构地理密度热点图

3 研究主题和热点分析

3.1 关键词共现及词频分析

为了探究高校化学虚拟仿真教学的主题，本研究进行了关键词共现分析，并统计了前十个最高词频的关键词以及它们的中心度。图 4 展示了这些结果，其中，中心度是关键词节点与子关键词节点之间联系程度的量化表现，反映了相关研究的核心热点。从图 4 中可以看出，中心度较高的词汇包括虚拟仿真、实验教学、教学改革、仪器分析等。除了检索条件“虚拟仿真”“实验教学”外，其他研究主题可以分为虚拟仿真技术在化学二级学科的具体应用和虚拟仿真实验教育研究两个方面。在应用方面，仪器分析、化学化工、生物化学是讨论度较高的二级学科。这些二级学科的实验特点有利于展现虚拟仿真技术的优势，如：化学化工方面模拟高危或高环境要求的化工过程^[11]、生物化学方面模拟蛋白质结构^[12]、仪器分析方面模拟仪器操作的环境等^[13]。教育研究方面涵盖教学改革、实践教学、线上教学、人才培养等。研究者通过已开展的虚拟仿真实验教学，进行多方面的经验总结和问题反思^[14]，使得高校教育体系更加完善，进一步提高教学质量。

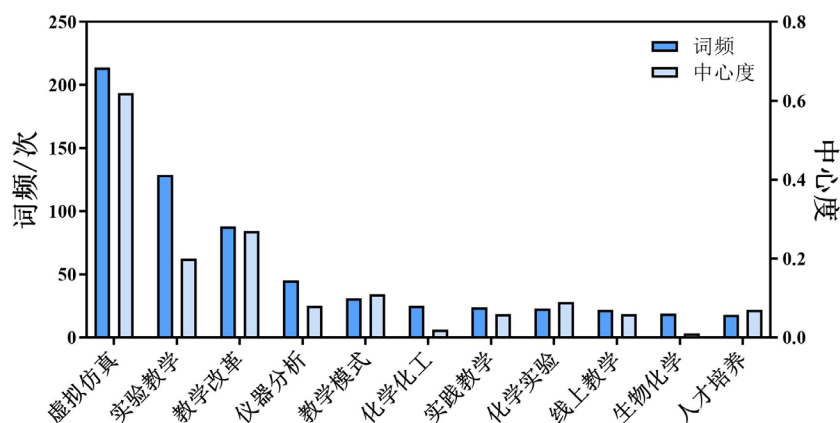


Fig. 4 The statistics chart of keyword frequency and centrality

图 4 关键词词频及中心度统计图

3.2 关键词共现聚类分析

为了探究高校化学虚拟仿真教学领域的发展趋势,我们采用关键词共现网络分析,并通过聚类的方法,得到了关键词聚类分析网络图(图5)和关键词聚类细节表(表2)。Cite Space 基于网络结构和聚类的明晰程度,提供了两个评估图谱绘制效果的指标,分别是模块值(Modularity, Q)和平均轮廓值(Weighted Mean Silhouette, S)。通常情况下, Q 值在 $[0,1]$ 范围内,如果 $Q > 0.3$,表明划分出的聚类结构显著;而当 S 值达到 0.7 时,聚类被认为是高效且令人信服的;若 S 值超过 0.5 ,聚类则被视为合理^[5]。根据软件聚类报告显示,本次聚类网络生成了 284 个节点和 633 条相关线,网络密度为 0.0158 。聚类模块值为 0.4821 ,高于标准值 0.3 ,表明聚类结构显著。聚类平均轮廓值为 0.8405 ,高于标准值 0.7 ,表明聚类的可信度较高。在图5中,不同颜色代表不同聚类,字体大小表示关键词的词频和热度。表2则展示了每个聚类内部的节点数量和聚类平均轮廓值 S ,其中 S 值均大于标准值 0.7 ,证明每个聚类有较高的可信度。

表2展示了10个关键词共现网络聚类,它们可归纳为三个主要研究方向,即技术支持、课程研究和教学理论。技术支持指的是软件和硬件层面的虚拟仿真技术在教学过程中的支持,如VR设备、仿真实验系统和慕课等。它们共同构建了虚拟仿真教学的框架。课程研究是指将特定的化学实验课程和虚拟仿真技术相结合的研究^[15-20]。目前,较成熟的虚拟仿真课程包括课前理论预习、虚拟课堂授课、课后实验报告和理论知识检查等部分^[21]。教学理论的内容是研究虚拟仿真技术在教学应用过程中产生的现象和问题,以及探索解决问题的方法和策略,如:研究教学方法和培养模式等。大多数相关研究^[15-20]认为,通过对虚拟仿真技术的逐步探索,教师能够积累丰富的虚拟仿真教学经验;学生接受虚拟仿真教学,能够明显提高学习效果。

100 多个国家级虚拟仿真实验教学中心^[22]，高校积极响应，并组建虚拟仿真实验教学团队，开展虚拟仿真实验项目等。该时间段内关键词集中涌现，反映出虚拟仿真教学模式已经建立起较为完善的体系，为以后相关研究的开展提供了充分的基础建设。第三阶段是 2016~2022 年，虽然没有出现新的特别热门的关键词，但通过文章发表数量的统计图表可以发现，虚拟仿真教学相关研究并没有衰退或停止。借助第二阶段中虚拟仿真教学模式在高校中的有效部署，研究者对虚拟仿真教学进行了深入研究。在时区图中，这一时期的关键词特点表现为涉及范围广、研究领域专业化程度强，表明虚拟仿真教学相关的理论研究已经进入了更深入、更详细的阶段。

4 现状和发展趋势解读

4.1 现状

虚拟仿真技术在高校化学教学中的应用正逐渐发展壮大。越来越多的教师开始使用虚拟仿真技术来辅助传统的实验教学，以提高教学效果和效率。然而，虚拟仿真技术的广泛应用也带来了新的挑战和问题。首先，虚拟教学的课程体系整体完善不足，教师不能及时提供适配的虚拟仿真教学资源。为解决这一问题，教师应积极参与虚拟仿真课程软件的编制和开发，从而使虚拟仿真课程具有更强的适配性，以符合教师的个性化教学。其次，虚拟仿真软件的开放性和拓展性较差，需要相关研究人员积极探索新的虚拟仿真技术应用手段或教学模式，以实现虚拟仿真教学的探索性，使学生感受到更强的开放度和自由度，并为学生提供内容丰富的学习平台。此外，学生对虚拟教学的热情高涨，但操作经验不足，需要采取实际措施解决学生的个人实操熟练程度等问题，逐步提高学生使用虚拟仿真教学软件的频率。同时，教育机构和教师也应加强对虚拟仿真技术的学习和掌握，以提高虚拟仿真技术的应用水平，更好地服务于教育教学。

4.2 趋势

自 2015 年以来，虚拟仿真技术在高校化学教学中的应用不断增长。随着科学技术的发展，虚拟仿真技术的普及率逐年提高，门槛逐渐降低，师生逐渐适应虚拟仿真教学模式。此外，教育部加快推进虚拟仿真教学改革方案，使虚拟仿真技术得到了更好的运用，高校化学学科通过虚拟仿真教学能够取得良好的教学效果。因此，虚拟仿真技术在高校化学教学中的应用将是未来持续研究的热点。

5 结论

虚拟仿真技术的快速发展为高校化学实验教学提供了优质的基础平台，同时推动了化学虚拟仿真实验教学体系的形成。虚拟仿真环境不仅使学生能够更直观地理解复杂的化学实验原理，同时，也为教师提升教学效果提供了强有力的工具。这项技术在高校化学实验教学中获得了广泛认可，并得到了国家教育管理部门的大力支持和推广。然而，尽管虚拟仿真技术在教学中展现出诸多优势，但仍然面临一系列挑战与局限性。例如：虚拟仿真技术在实验的真实性和准确性上无法替代实际的

实验室操作,某些复杂的化学实验无法通过虚拟手段全面模拟,仍需结合真实实验以增强学生的理解。此外,虚拟仿真教学依赖于计算机设备和虚拟仿真硬件,这对学生的操作技能提出了较高要求,对于那些缺乏实际操作经验的学生来说,可能会构成一定的困难。鉴于此,未来需集合教育研究者、教师群体与学生的共同努力,展开深入的探索与实践,充分挖掘并释放虚拟仿真技术在高校化学教学中的巨大潜力。

参考文献:

- [1] 王义翠,曹明卓,刘雅敏.虚拟仿真技术在药学专业实验教学中的应用[J].江西化工,2018(3):144-145.
- [2] 马彩梅,李晓华.基于信息化的分析化学实验教学改革创新研究[J].化工管理,2023(6):9-12.
- [3] 袁乙平,罗鸣,胡玥玥,等.后疫情时代高校大学化学实验教学新模式探索[J].化工管理,2022(25):37-41.
- [4] 朱亮,孟宪学.文献计量法与内容分析法比较研究[J].图书馆工作与研究,2013(6):64-66.
- [5] 陈悦,陈超美,刘则渊,等.CiteSpace知识图谱的方法论功能[J].科学研究,2015,33(2):242-253.
- [6] 中华人民共和国教育部.教育部关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设工作的通知[EB/OL].(2018-06-05)[2023-04-01].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201806/t20180607_338713.html.
- [7] 中华人民共和国教育部.教育部关于印发《教育信息化十年发展规划(2011-2020年)》的通知[EB/OL].(2012-03-13)[2023-04-01].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/201203/t20120313_133322.html.
- [8] 中华人民共和国教育部办公厅.教育部办公厅关于2017-2020年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知[EB/OL].(2017-07-13)[2023-04-01].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201707/t20170721_309819.html.
- [9] 谢成兴,李树,王丰效.疫情下高校师生线上教学面临的挑战分析[J].统计与管理,2020,35(8):27-32.
- [10] 付卫东,周洪宇.新冠肺炎疫情给我国在线教育带来的挑战及应对策略[J].河北师范大学学报(教育科学版),2020,22(2):14-18.
- [11] 王彬,秦川丽,刘一夫,等.化学化工虚拟仿真实验教学中心建设与实践[J].大学化学,2022,37(2):134-141.
- [12] 史影,王伟伟,周耐明,等.生物化学综合性虚拟仿真实验建设与教学探索[J].实验室研究与探索,2022,41(4):154-158.
- [13] 王健,谢松志,谢贞建,等.仪器分析实验创新教学模式探讨:以红外吸收光谱为例[J].广州化工,2022,50(2):127-129.
- [14] 蔡瑶,王涛,陈杰,等.高校化学虚拟仿真实验室的建设和发展[J].化工管理,2022(34):18-20.
- [15] 唐艳茹,陈小唐,魏家巍,等.化学虚拟仿真试验方法的初步探究与实践[J].长春师范大学学报,2016,35(4):57-59.
- [16] 王雯雯,陈章宝.西南大学药学虚拟仿真实验教学基础学科建设研究:2016年高等学校国家级实验教学示范中心建设研讨会暨虚拟仿真技术与教学资源建设论坛[C].合肥,2016.
- [17] 叶红,何苏萍,陈云,等.“线上线下”结合的化学实验教学模式改革[J].化学教育,2018,39(22):37-41.
- [18] 李婷,丁越,李玲,等.中药学高效液相色谱分析技术虚拟仿真实验系统建设[J].中医教育,2018,37(6):34-37.
- [19] 杨雅欣,陈滕,杨菁,等.虚拟仿真实验室在仪器分析实验教学中的教学探索[J].教学方法创新与实践,2019(1):4-6.
- [20] 赵明蕊.虚拟仿真实验在《分析化学》实验教学中的实践[J].中国医药科学,2021,11(20):78-82.
- [21] 李金禧,徐佳佳,黄增琼,等.老鼠筋生物碱A的提取分离及全合成虚拟仿真实验的实践教学[J].大众科技,2021,23(6):106-108.
- [22] 中华人民共和国教育部.教育部办公厅关于开展2014年国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作的通知[EB/OL].(2014-08-22)[2023-04-01].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201408/t20140822_174614.html.

Current status, hotspots and trends of virtual simulation experiment teaching in university chemistry in China: A visual bibliometric analysis based on the CNKI database

ZHANG Keda, WU Yuxuan, LIN Haishu, WANG Siyuan, ZHAO Weining, DU Shiyun, DING Pingtian*

(College of pharmacy, Shenzhen Technology University, Shenzhen 518118, China)

Abstract: Virtual simulation experiment teaching is a digital teaching mode that relies on simulation technology and virtual reality technology. Traditional university chemistry experiment teaching has issues such as high requirements for practical operation environments and high operational costs. With the support of virtual simulation technology, students can easily perform experimental operations in a realistic virtual environment, learn chemical experimental skills and knowledge, while avoiding personal danger and resource waste that may arise from real operations. As one of the largest knowledge network platforms in China, China National Knowledge Infrastructure (CNKI) provides sufficient and effective data support for literature research. This paper has collected and organized relevant literature materials on the application of virtual simulation technology in the field of chemical experiment teaching from 2010 to 2022, and has conducted a statistics analysis of current development status, hot topics, and trends of virtual simulation experiment teaching in Chinese university chemistry course through the literature data visualization software CiteSpace. The study shows that virtual simulation technology has been widely applied and rapidly developed in chemical experiment teaching, and the integration of virtual simulation teaching into university chemistry teaching has become the current trend of development.

Keywords: virtual simulation; university chemistry; experiment teaching; CiteSpace; bibliometrics