

文章编号:1005-4642(2022)07-0050-13



中学物理实验教学研究的国际经验与趋势展望 ——基于 HistCite 的图谱量化分析

于海波¹, 张敏书¹, 陈留定²

(1. 东北师范大学 物理学院, 吉林 长春 130024;

2. 河南师范大学 物理学院, 河南 新乡 453007)

摘要:应用 HistCite 软件,以 WOS 数据库为文献来源,对 1985—2021 年收录的中学物理实验教学研究文献进行了多维度分析,发现国际中学物理实验教学研究成果呈现出主题丰富、方法多元、实证主导、区域化明显等多重特点。结合我国中学物理实验教学研究实际,未来中学物理实验教学研究应重视实验教学基本理论的构建,加强教师实验教学研究能力研究,深化虚拟仿真实验教学研究,关注物理开放实验教学研究,增强教学方法的科学性,强化实验教学评价工具研究。

关键词:物理实验;实验教学;Web of Science 数据库;虚拟实验

中图分类号:G420,G423.04

文献标识码:B

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.07.010

实验教学是物理教育的重要组成部分,实验教学研究是物理教育领域的重要话题,一直受国际物理教育研究者的重视。广泛学习、参考和借鉴国际物理实验教学研究者的研究成果,有助于提升我国物理实验教学研究的科学性、前沿性和有效性。

物理实验既是物理理论形成和发展的重要基础,也是检验物理理论的重要方式,同时,物理实验作为物理学内容的重要组成部分,也是物理教学的重要内容。通常将以物理实验为主要内容的教学称为物理实验教学。作为物理教学的重要课型,物理实验教学一直是国内外物理教育研究领域的重要话题。近年来,信息技术的发展在推动物理教育观念更新、模式变革、体系重构的同时,也使得物理实验教学更加多元、灵活和开放。物理实验教学研究的核心理念、重要方式等也呈现出新的样态。分析国际中学物理实验教学研究的现实样态,能够为优化我国实验教学提供参考。

1 方法与样本

1.1 研究方法

HistCite 软件是当前国际进行引文历史和引

文图谱分析时的常用软件,该软件由 Eugene Garfield 等人研究并开发。用该软件进行文献分析,一方面,可以通过文献中引证事项的时间序列及联系,运用引文时序网络图展示某个研究主题的引证关系,帮助研究者了解该领域研究的历史演进和发展脉络;另一方面,可以通过分析研究文献发表的时间、作者、国家(地区)、研究机构、载文期刊、关键词等内容,帮助研究者迅速把握研究领域的主要科研力量分布、重要研究话题等。

本研究使用 HistCitePro 2.1 梳理中学物理实验教学领域的外文文献,并选取文献发表量或本数据集被引用频次排位前 5 名或前 10 名的研究成果作为高影响力的文献进行具体分析和解读,以定位国际上该研究领域的重点研究成果,厘清发展脉络,发现研究热点,把握需要进一步研究的问题,进而预测未来研究走势。

1.2 样本选择

1)在 Web of Science (简称 WOS)核心合集中,以“experiment teaching”(实验教学)为主题词,进行初步检索。

2)进行精炼检索。将文献类型设定为论文、研究方向设定为 Physics(物理)、数据库设定为

收稿日期:2022-03-17

作者简介:于海波(1973—),男,黑龙江七台河人,东北师范大学物理学院教授,博士,主要从事科学教育基本理论、物理课程与教学论等研究工作。E-mail:yuhb551@nenu.edu.cn

WOS 核心合集。

3) 为了使所获得的文献数据与本文的研究对象能够准确匹配,于“在结果中检索”一栏分2次输入关键词筛选文献,第一次输入“high school”,筛选过后得到有用文献371篇,第二次将关键词“high school”改为“middle school”,筛选过后得到有用文献36篇,2次检索的结果均添加至标记结果列表,除去4篇重复文献,共得到有效文献403篇。

4) 在检索页面中,选择“保存为其他文件格式”,记录内容选择“全记录与引用的参考文献”,文件格式选择“纯文本”,获得原始数据。

5) 运用 Notepad++ 文本编辑软件处理原始数据的纯文本文件,借助查找功能补充资料中遗漏的信息,避免分析结果中出现 UNKNOWN(不详)的情况。

通过以上操作,得到引文分析的可用数据。

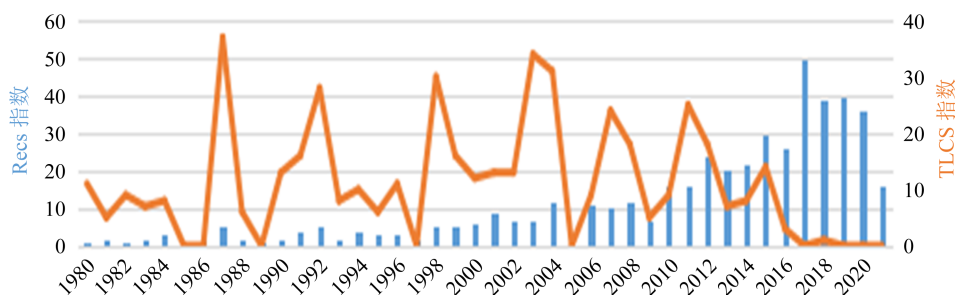


图1 物理实验教学刊文量时间分布

比较来看,2017年刊文量高达50篇,约占总文献数的12.41%。这可能是受2016年美国发布的《STEM 2026:教育中的创新愿景》的影响,该报告对“游戏”“创新”“技术”“操作”等关键词进行了强调。而“技术”“操作”作为物理实验教育领域的关键词,再次受到研究者的关注和重视。2017年,美国科学课程与教材研究组织“生物科学课程研究”(Biological sciences curriculum study,简称BSCS)发布了《科学教材评价指南》(Guidelines for the evaluation of instructional materials in science),对包含多媒体教学资源在内的教师教学材料给出了评估指标^[1],其中创新、体验、技术、实践等学科热词极大程度地促进了研究人员对中学物理实验教学研究的熱情。在接下来的3年里,关于物理实验教学的研究成果频出,2017—2019年的刊文量达到总文献数的28.92%。

2 国际中学物理实验教学研究总体概况

2.1 文献发表年份分析

为考察国际上中学物理实验教学研究在时间维度上的发展态势,绘制了中学物理实验教学研究刊文量时间分布图(见图1),其中柱形图表示每年的刊文量(Reccs),折线图表示相应年份所发表文献的总引用次数(TLCS)。总体来看,近30年来,中学物理实验教学研究整体呈现稳步上升的态势。2000年之前,年发文量较低,均不超过5篇,相关文献大多发表于2010年以后。从文献的被引用频次来看,2010年之前的文献被引用频次相对较高。本数据集中被引频次较高的前5篇文献均发表于2005年之前,研究内容涉及物理实验教学质量的调查研究、基于计算机的物理实验开发研究、虚拟实验与实物实验教学成效的比较研究3个方面。

2.2 国家/地区分布分析

分析发现,403篇文献的研究机构分布于57个国家或地区,其中发文量(Reccs)与篇均引用次数(TLCS/Reccs)排名前十的国家或地区如表1所示。这10个国家或地区的发文量约占总文献量的85.36%,对国际中学物理实验教学研究做出了重要贡献。其中,美国发文量最多,约占总文献数的38.46%,TLCS排名第一,但TLCS/Reccs排名第九,说明美国对中学物理实验教学的关注度较高,研究成果丰富,有一定影响力,但权威性和认可度有待提升。对比Reccs排名前十和TLCS/Reccs排名前十的国家发现,Reccs排名前十的国家中,仅有美国和罗马尼亚的TLCS/Reccs大于1,其他8个国家或地区均不高,说明这8个国家或地区尽管在中学物理实验教学研究领域取得了一定成果,但影响力和同行认可度有待提升。

表1 物理实验教学国家(地区)分布表(前十)

序号	发文量(Recs)排名			本数据集中篇均引用次数(TLCS/Recs)排名			
	国家(地区)	Recs	TLCS	国家(地区)	Recs	TLCS	TLCS/Recs
1	USA(美国)	155	255	Finland(芬兰)	1	8	8.0
2	Indonesia(印度尼西亚)	69	0	Cyprus(塞浦路斯)	9	57	6.3
3	Italy(意大利)	32	6	Israel(以色列)	9	26	2.9
4	Germany(德国)	16	12	UK(英国)	9	20	2.2
5	Taiwan(中国台湾)	16	8	Norway(挪威)	3	6	2.0
6	Brazil(巴西)	14	2	South Africa(南非)	2	4	2.0
7	Romania(罗马尼亚)	12	15	Australia(澳大利亚)	7	12	1.7
8	China(中国)	10	0	Sweden(瑞典)	3	5	1.7
9	Spain(西班牙)	10	0	USA(美国)	155	255	1.6
10	Mexico(墨西哥)	10	0	Romania(罗马尼亚)	12	15	1.3

值得注意的是,本数据集中的文献仅有1篇来自于Finland(芬兰),但其TLCS/Recs却最高,分析发现:该文献发表于2011年,是较早关于虚拟实验教学效果与虚拟实验、实物实验相结合教学效果的比较研究,为后续研究者进一步探索虚拟实验与实物实验相结合的物理实验教学研究提供了依据。Cyprus(塞浦路斯)的Recs排名第十一,但TLCS/Recs排名第二,表明塞浦路斯在中学物理实验教学研究方面具有不容小觑的影响力,分析发现:塞浦路斯关于中学物理实验教学的研究内容较为集中,主要关注虚拟实验教学研究;研究对象较为广泛,涵盖中学生、本科生和在职物理教师;对特定主题下的实验教学关注度较广,对热学、电学、光学等学科中的实验教学均有研究。研究话题新、研究内容集中、研究对象广泛、涉及的学科知识全,从而使得塞浦路斯的研究成果成为后续研究者开展虚拟实验教学研究参考借鉴的权威之作。

2.3 载文期刊分布分析

分析文献来源能反映该领域研究成果的主要发布阵地。403篇文献被刊发于145种期刊,其中TLCS排名前十的期刊如表2所示。这10个期刊可分为3类:a. 主要关注物理实验教育教学问题的纯教育类期刊,例如《Journal of Research in Science Teaching》《International Journal of Science Education》《Science Education》;b. 综合性期刊,例如《American Journal of Physics》《Romanian Reports in Physics》《Physics Today》;c. 具有主题特色的期刊,例如《Physics Teacher》《Computers & Education》《Journal of Computer Assisted Learning》《Cognition and Instruction》。该分类反映了中学物理实验教学研究的主题化。从期刊的分布发现:a. 物理实验教学研究绝非囿于物理学科之内,而是与教育学、心理学、计算机科学等领域存在紧密联系;b. 信息技术与物理实验教学的融合研究是该研究领域的重要话题。

表2 物理实验教学期刊本地总引用次数 TLCS 排名表(前十)

序号	期刊名称	Recs	TLCS
1	American Journal of Physics	60	189
2	Journal of Research in Science Teaching	16	85
3	International Journal of Science Education	10	35
4	Science Education	3	24
5	Journal of Computer Assisted Learning	3	18
6	Physics Teacher	80	16
7	Computers & Education	9	16
8	Romanian Reports in Physics	12	15
9	Physics Today	3	13
10	Cognition and Instruction	1	12

3 国际中学物理实验教学研究热点分析

主题词是文献计量研究中的重要指标,主题词的频次越高,说明学术界对其关注度越高.分析文献,梳理出文献量、TLCS 指数分别排名前十的主题词如表 3 所示.整体而言,Student,Physical,Experiment 等词出现的频次较高,这是由于本研究的核心检索词是中学物理实验教学,所以与之相关的文献数和被引用频次双高.而核心检索词 Teaching 的使用和被引频次均不高,主要是因为很多研究从具体的话题切入研究实验教学问题,并未直接使用 Teaching 一词.从表中可以看

出,Understanding 和 Learning 的被引用频次较高,进一步分析发现,多数研究者从物理实验教学对促进学生理解物理概念、掌握物理规律、深化物理学习等方面的价值入手开展研究.这也可以说明实验是学生物理学习的重要内容,也是促进生物理学习的重要手段.主题词 Virtual 被引用频次也较高,可见,目前中学物理实验教学研究领域关于虚拟实验的相关话题已成为一大研究热点.另外,从高频主题词 Based 来看,基于现代信息技术改进传统物理实验、基于虚拟实验开展物理实验教学等是当前中学物理实验教学研究领域的重要话题.

表 3 中学物理实验教学研究主题词列表(前十)

序号	文献量(Recs)排名			本数据集中总引用次数(TLCS)排名		
	关键词	Recs	TLCS	关键词	Recs	TLCS
1	Student(学生)	122	204	Students(学生)	122	204
2	School(学校)	103	52	Physics(物理)	100	172
3	Physics(物理)	100	172	Understanding(理解)	29	104
4	High(高)	84	20	Conceptual(概念的)	24	84
5	Learning(学习)	80	62	Virtual(虚拟)	25	74
6	Using(使用)	51	31	Experiment(实验)	37	69
7	Based(基于)	44	57	Science(科学)	43	65
8	Science(科学)	43	65	Learning(学习)	80	62
9	Teaching(教学)	43	19	Introductory(引导的)	17	58
10	Experiment(实验)	37	69	Based(基于)	44	57

深入阅读并分析一些重要文献及其引证关系,也是把握中学物理实验教学研究热点、脉络及进展的有效方式.选择 HistCite 中的“Gragh maker”功能,将绘图依据设置为“select by LCS count limit 100”,即对本地数据库中 LCS 前 100 的文献进行引文时序图绘制,如图 2 所示.该图左侧为文献发表年份,圆圈中数字为文献编号,圆圈大小与该文献的 TLCS 值正相关(圆圈越大,说明被引用次数越多).由图 2 可知,被引用频次较高的文献主要分布在 1980—2012 年,说明该时期是中学物理实验教学研究领域重要文献的高产期.为了完整和具体地了解其研究特点,通过详细研读重要文献,并结合图 2 中被引次数多和引证关系相对复杂的文献链进行了深入分析.

3.1 物理实验教学价值研究

关于物理实验教学价值的研究一直是中学物理实验教学研究领域的重要话题.很多研究者结

合常见的中学物理教学实践开展了关于实验教学价值的比较研究、实证探索等.图 2 中“18-31-61-991”“31-33-39/40-68-207”等文献引证链都是对物理实验教学价值的探索.其中,文献 18 发表的时间较早,该研究对物理实验在促进学生理解阻力、速度和加速度、力和运动等一些重要概念的作用和价值以及实践过程进行了分析和阐述.尽管研究并未对实际教学效果开展调查,但是其对物理实验的重视和强调为后续研究者开展物理实验教学的实证研究打下了基础.39 和 40 号文献也是该主题下引用频次较高的文献,这 2 篇文献相关性较高,前者是关于学生电路学习现状以及存在问题的调查研究^[2],后者在前者基础上以物理实验为基础设计了教学过程并开展教学实践^[3].实践证明,基于物理实验的电路教学,能够更好地促进学生对电学概念的理解以及提升学生解决电路问题的能力.在此基础上,罗恩(Ronen)等人进

一步细化研究范围,着重对学生在包含电阻元件的直流电路相关知识内容学习的迷思概念进行详细调查,研究结果再一次验证了电学实验对学生电路理解的促进作用^[4].随着研究的不断丰富,

物理实验在培养学生科学态度、科学探究能力^[5]、开放性问题解决能力、对知识和方法的迁移运用能力、交流合作能力等方面的独特优势逐渐得以检验和验证^[6].

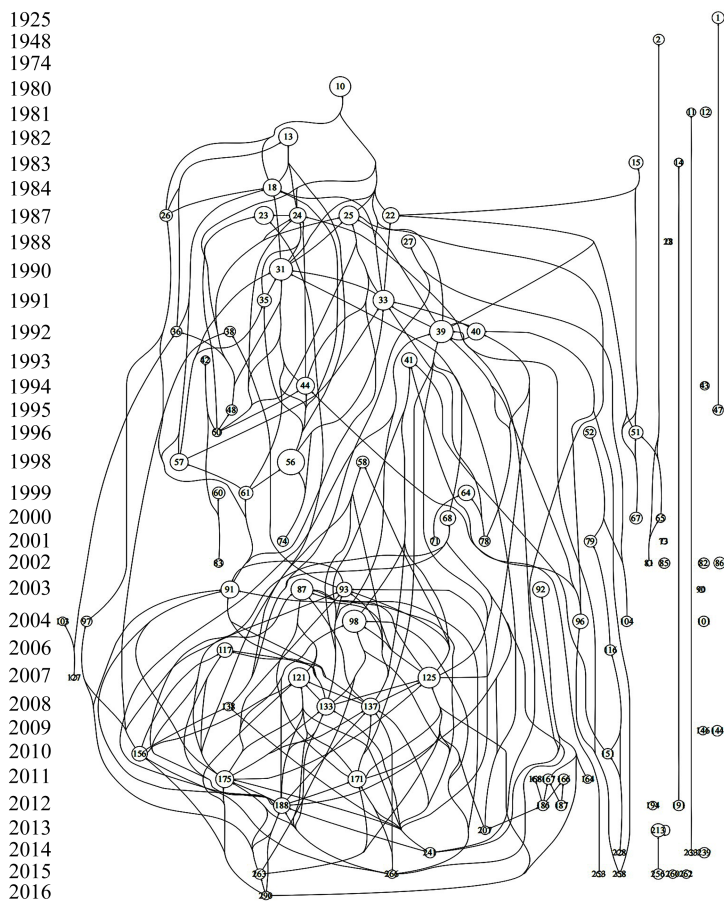


图 2 中学物理实验教学引文关系时序图

比较来看,关于物理实验教育价值的研究大多集中在对虚拟实验教育价值的探索,这主要得益于近些年信息技术的快速发展.从图 2 可以看出,多条引文链之间相互交织,每条引文链中均有文献涉及对虚拟实验的相关讨论.由此可见,依托虚拟技术开展物理实验教学研究,探索物理实验教学的优化与改进路径,是当前甚至未来物理实验教学研究的重要话题.但从当前的研究来看,虚拟实验在物理实验教学中的地位和作用,不同研究者观点不一致,具体可以分为以下 3 类:

1) 虚拟实验作为实物实验的替代,认为虚拟实验能达到与实物实验相同的教学效果,并具有重复性高、空间要求低、实验安全性高、课堂管理容易等优势,可以代替实物实验进行实验教学^[7].

2) 虚拟实验作为实物实验的辅助,认为虚拟

实验剥夺了学生动手实验的机会,而这些对于学生学习物理来说是必不可少的.只有在没有真正的实验室或者实验太昂贵、太危险、太复杂等情况下,虚拟操作才应该被用于实验教学^[8].

3) 认为实物实验和虚拟实验各有所长,探索二者的融合实现优势互补,才是物理实验教学的应然取向^[9].

3.2 物理实验改进与创新研究

实验是进行实验教学的重要基础,对实验的改进与创新也是中学物理实验教学研究的重要话题.关于该主题的研究,本数据集中存在多条文献引证链.例如“23-24-31-91-125/156”“1-47”“11-238”“14-191”“60-83”“213-256”都是关于物理实验改进与创新的研究.目前,国际上主要采用 2 种途径对中学物理实验进行改进和优化:

1) 基于常见电子设备进行实验开发研究. 智能电子设备作为新型传感器, 自带的摄影、录音等功能可以全程记录实验现象, 搭配相应软件, 使学生处理数据、探究物理现象及规律变得更加方便. 例如, 利用平板电脑、抛物面镜、LED 手电筒制作简易实验仪器, 通过图形阴影系统将观测对象附近透明气体的温度变化进行可视化^[10]; 将智能手机作为测量时间的工具, 利用手机语音备忘录功能, 通过声音波形变化来计时, 测量实验所在地的重力加速度^[11]; 智能手机、数据分析软件和电动牙刷等器件配合使用, 研究驻波形态^[12]; 把水滴在手机屏幕上, 形成水球, 验证透镜方程式^[13]. 已有研究证明, 无论是虚拟实验, 还是虚拟与实物结合的实验, 与实物实验相比, 在对学生进行概念理解的教学指导方面都显示出更高的作用^[14].

2) 基于 AR 技术的物理实验改进研究. 近几年来, AR 技术为现代实验室的建设提供了新的媒介和教材. 增强现实技术可以将图像和视频形式的二维或三维虚拟物体与真实物体结合起来, 使它们与周围环境(混合现实)融合, 并投影到实时场景中. 配备 AR 教材促进学生之间的互动学习, 营造有利于交流的学习氛围, 帮助学生描述科学和物理现象的概念, 并将这些概念可视化. 已经开展的研究中, AR 技术对学生在热材料^[15]、直流电路中的基尔霍夫定律^[16]、天体物理^[17]等主题下的学习态度与成绩呈现正向影响.

3.3 中学生物理实验素养研究

物理实验素养是中学生在分析解决物理实验问题以及完成实验活动时所表现出来的必备品格和关键能力. 培养学生的物理实验素养是中学物理实验教学的重要目标之一. 从引文关系时序图来看, 文献链“52-104”“52-79-116-151”是关于学生实验素养的研究. 从研究内容上来看, 具体可以分为 2 个方面的研究:

1) 关于学生实验素养的调查研究. 文献 52 是该研究领域的奠基之作, Fred 等采用自行编制的问卷, 调查了 11 岁、13 岁和 15 岁学生的实验数据处理能力, 涉及到学生对精密度和精确度区别的认识、随机误差和系统误差的理解、重复测量原因的认识、重复测量方法的选择以及数据分析、处理与传播方法的掌握等多个方面, 并提出为了培养学生的数据处理能力, 教师应设置调查任务, 让学生体验数据收集、分析和处理的全过程^[18].

在此基础上, Andy 等人从数据收集、数据处理和数据比较 3 个方面对学生的测量观进行了调查研究, 调查发现多数学生将求平均值作为解决所有实验误差问题的灵丹妙药^[19]. 从已有的研究结果来看, 学生数据分析能力与其完成数据收集这一操作任务的能力之间几乎没有关系.

2) 关于学生实验素养培养策略的研究. 例如文献链 116-151, Eugenia 等人认为创设研究性科学学习环境, 让学生自主设计实验, 检验或验证假设并解决问题, 是提升学生实验能力的重要途径. 经过为期 1 年的教学实践, 学生的实验设计能力、数据分析能力、合作交流能力均得到了显著提升, 但是对实验的评估与反思能力并未发生显著变化. 基于此, Eugenia 等人进一步提出: 教学中可以通过编制实验指导手册、引导学生自评互评等方式, 指导学生对实验方法、过程和效果等进行反思与总结, 从而提升学生的实验反思水平. 基于该设想, Eugenia 等人进一步将实验反思、形成性评估等融入到教学实践, 经过为期 1 年的实践检验, 实践效果显著^[20].

3.4 物理实验教学模式研究

如何开展实验教学是国际上中学物理实验教学研究领域关注的重要话题之一. 从实验教学中实验的开放性程度来看, 中学物理实验教学模式经历了“封闭—半封闭—开放”的发展过程(例如“116-228”“151-228”等).

早期的中学物理实验教学模式是封闭式的. 教学中, 教师选择并规定问题, 确定实验仪器和实验步骤; 学生根据教师的指导或实验手册上的步骤说明, 完成实验并得到预期的数据^[21]. 这种流程化、封闭式的实验教学几乎未给学生留下单独参与的机会, 实验探究质量不高, 学生实验探究能力发展有限^[22]. 例如, Markand 和 Patrick 的研究发现, 传统封闭式的实验教学是造成高中生问题分析能力、设计和进行实验的能力、数据处理能力以及实验反思能力等普遍较差的主要原因^[23]. 到 20 世纪 90 年代, Tobin 准备了 1 份关于实验教学有效性的综合研究报告, 建议物理教学要让学生有机会在适合他们的环境中操作设备和材料, 构建学生对现象和相关科学概念的知识^[24].

与封闭式和半封闭式实验教学模式相比, 开放式实验教学模式有以下特征: a. 实验过程开放. 教师向学生陈述实验需要探究的问题, 由学生自

主设计并完成实验;b.以形成性评价为主.教师对学生实验探究情况的评价,不再局限于学生是否得到预期结果,而是更加重视实验过程中学生的实验设计能力、数据分析和论证能力等方面.

从已有研究结果来看,采用开放式实验教学模式进行中学物理实验教学,不仅有助于学生对物理概念的理解和对程序性知识的掌握^[25],还能有效促进学生实验设计和操作能力、实验评价和反思能力、迁移能力等多方面能力的发展^[26].也有研究者调查发现,开放式实验教学模式在促进学生多方面发展的同时,也存在一些问题:a.缺乏程序性的实验指导文件,易造成学生在实验过程中不知所措,不知如何开展学习和进行实验^[27];b.开放式实验教学模式需要的教学时间较长,一些教师因担心完不成教学任务而不愿投入这段时间,还有一些教师认为开放式实验教学在达成课程目标上效果有限^[28].针对这些问题,Aaron等人开展了为期2年的研究,他们发现进行开放式物理实验教学初期,确实存在学生探究效率不高、探究时间过长、教学任务难以完成等问题,但是随着更多次实验教学的开展,学生逐渐习惯这种教学模式,探究的主动性和积极性更高,探究效率也明显提升,课程目标也能高质量达成^[29].

3.5 物理实验教学质量测评研究

关于物理实验教学质量的测评研究有很多.从评价内容上来看,不同类别的物理实验教学对教学质量进行评价时,评价指标会有所不同.具体可以分为3类:

1)实物实验教学中,将学生的探究结果作为主要指标.文献链“15-51-65-81”即为这一类型的研究,这些研究都是对实物实验教学效果的评价.例如,15号文献以全息照片的制作为例^[30],教师首先进行理论知识讲授;然后组织学生动手实验,引导学生在实验过程中理解光学概念、掌握全息技术;最后,教师根据学生完成的全息照片是否清楚、是否符合全息技术产品要求以及学生能否就实验成品制作过程进行解释说明这3个方面对该节课的教学质量进行评价.这类实验教学具有典型的“理论+操作=成品演示”特点,此类实验教学质量以实验成品质量高低为主要评判标准.

2)将计算机作为数据采集和处理工具的实验教学中,通常以学生的数据分析和解释能力、对知识点的掌握情况为主要评价指标^[31].这主要是

因为计算机的引入避免了学生繁重的计算和绘图工作,学生可以将更多的精力集中在实验数据分析和知识点的学习上^[32].例如,文献链“23-24-31-48-50”即关于这一主题下的研究.

3)虚拟实验教学质量评价中关注的评价指标较多,主要涵盖学生对概念的理解和掌握情况、实验设计能力、实验操作能力等方面^[33-35].涉及到该类型的文献链包括“38-93-125-133-175-188-241”“38-156-266”“38-156-290”等.

从评价方法上来看,标准化的测验或考试和问卷调查法是最常用的评估方法.

1)标准化的测验或考试.大多数研究将学生对知识的理解和掌握作为评价实验教学质量的重要指标,而标准化的测试则是评估这一指标的最有效方法.例如,在关于电路的实验教学中,Finkelstein等人向学生展示电路图,并结合该电路图设置3个问题,用以考查学生对电流、电阻、电压以及串联和并联等概念的理解^[36].

2)问卷调查法.有研究发现,关于实验教学质量评价的研究中,91%的研究者采用问卷调查法^[37],李克特量表是最常用的测评工具.

另外,课堂观察法也是常用的评价方法.通常情况下,这些方法并不是单独使用的,研究者一般会使用其中的2种甚至更多.例如,Tatli等人综合采用访谈法和课堂观察法对虚拟实验教学质量进行了评价^[38].

3.6 实物实验和虚拟实验教学成效比较研究

本数据集中多篇文献涉及到实物实验与虚拟实验教学成效的比较研究.不同研究者的研究发现也存在一定差异,主要可以分为以下3种:

1)认为实物实验教学效果更好.有研究者发现,在学生的物理学习中,实物实验必不可少^[39],只有在没有真正的实验室、设备太昂贵或太复杂、实验太危险、要求实验技术太高或有严格的时间限制的情况下,虚拟操作才应该被用于实验^[40].

2)认为虚拟实验教学效果更好.例如,Finkelstein等人调查了学生对简单电路学习效果的比较研究,调查显示,虚拟实验教学在帮助学生理解电路方面教学效果更好^[36].

3)认为二者教学效果相同.文献链“87-121-175”和“133-266”都是对这一观点的最好证明.例如,121号文献在本数据集中的引用次数排名第四.该研究以七年级和八年级学生为研究对象

开展了实物实验与虚拟实验教学效果的比较研究,结果发现学生在实物实验和虚拟实验教学下的学习成效相同。另外,相关研究还发现,2种实验教学在促进学生概念理解^[41]、实验设计能力的发展^[42]等方面具有相同的教学效果。

比较来看,造成不同研究者对实物实验与虚拟实验教学成效难以达成一致的主要原因可能是研究者评价教学成效的标准、工具或方法不一。例如,多数研究者将学生对物理概念的理解和掌握作为评价教学成效的重要指标,结果发现虚拟实验教学效果优于或者等同于实物实验教学^[43];有的研究者以学生的操作技能来评估教学成效,结果发现实物实验教学显著优于虚拟实验教学^[44]。

近年来,随着研究的不断深入,越来越多的研究者开始探索实验教学中实物实验与虚拟实验的融合策略。文献链“125-137、137-171-188-263”“68-125”等都是关于实物实验与虚拟实验融合的实证研究。研究发现,在促进学生对光和颜色^[45]、热和温度^[46]、电路等物理概念的理解上^[47],基于实物实验和虚拟实验结合的实验教学,比单独使用其中任何一种实验方式的教学都更加有效^[48]。这主要是因为实物实验和虚拟实验各有所长,虚拟实验能够对电流等抽象物理概念提供直观演示,数据处理上也更加方便快捷;而实物实验与学生生活经验更加贴合,学生能够直接接触实验并亲手操作,二者结合能够更好地促进学生对概念的理解^[49]。

4 国际中学物理实验教学研究特点

4.1 研究主题广泛,探索深度不一

中学物理实验教学是世界范围内的共性话题,同样也是个性话题。不同国家或地区独特的经济和文化特点,在对物理实验教学、物理实验室建设等方面的关注度上存在差异,使得其关于物理实验教学研究的整体水平、所处的现实困境以及未来发展所具备的优势等都有差别。学者们基于不同的物理教育发展与改革目标、物理实验教学要求,立足于不同的理论视角,结合当地物理教育实际,进行了不同主题的研究。由统计和分析样本文献可知,文献所包含的主题词多达1465个,研究内容上涉及物理教学中学生的概念理解问题、实验在教学中的地位和作用问题、虚拟

实验教学问题、虚拟实验与实物实验的融合问题、基于计算机模拟的物理实验优化与改进问题以及力学和电学等主题下实验教学问题等。丰富的研究主题为物理实验教学研究的纵深发展提供了研究基础。但是横向比较来看,不同主题的研究深度差别很大。例如,国际上对虚拟实验的教学价值和作用、物理实验的改进与创新等方面的研究已趋于系统化、精细化,对实物实验与虚拟实验的应用研究开始进入批判、反思与整合阶段。但是关于物理教师的实验能力、中学生实验素养的研究还比较零碎,缺少系统、深入、标准化的探索。

4.2 实证研究主导,理论探索不足

从研究类型的角度看,实证研究在中学物理实验教学中占据主导地位,例如关于实验教学效果、学生实验素养的调查研究、不同类别物理实验教学效果的比较研究等。尽管从文献数量上来看,实证研究占据主导,但是研究主题却比较有限,主要有学生实验素养的调查研究、聚焦于虚拟实验教育价值研究、虚拟实验与实物实验教学效果的比较研究3个方面。从这点来看,进一步扩充实证研究的研究主题显得尤为必要。并且,已有研究缺乏对物理实验教学的目的是与内容、过程与模式、策略与方法、评价指标与标准等基础性理论问题的研究与探索,更缺少对物理实验教学价值取向、目标定位、基本理念等方面的分析,多数研究者仅仅是基于自己的研究假设进行简单的教学实验、测量与评价。如此,虽丰富了研究内容,但研究的科学性、系统性和准确性却难以保证。例如,对物理实验教学评价理论建构的不足造成不同研究者在评价实验教学成效时理论假设、评价指标、表征方式见仁见智、难以统一,从而阻碍了研究向纵深推进。

4.3 研究方法多元化,科学化水平欠佳

从研究方法上来看,研究者越来越重视研究方法的多元化,尝试以综合使用多种研究方法的方式来提升研究的科学性。其中,问卷调查法、观察法、实验研究法、访谈法和比较研究法等是最为常见的研究方法。知识的复杂性以及各种研究方法的互补性决定了中学物理实验教学研究应采用多层次、多类型的研究方法。近些年的研究也表明,研究者在探索中学物理实验教学问题中,也越来越重视研究方法的多元化和综合化使用,对研究方法使用的科学性和规范性有了显著提升,但

仍然存在方法运用缺少规范、方法有效性检验的缺失等问题。例如,实验研究中仅仅通过一两节课的教学,判断物理实验在促进学生科学态度发展和实验技能提升方面的作用;有些关于实物实验与虚拟实验教学成效的比较研究,并未有效控制教学实验过程中的相关变量等。

4.4 区域化明显,发展中国家势头强劲

受不同国家或地区经济水平、教育政策变革等多方面因素的影响,国际中学物理实验教学研究呈现出明显的区域化特点。虽然存在很多共性话题,但不同国家或地区研究的侧重点仍存在很大差异。例如,教育信息化水平较高的美国、澳大利亚等发达国家,关于中学物理实验教学研究主要侧重于现代信息技术下的物理实验改进研究;教育信息化水平相对较低的印度尼西亚、塞浦路斯等发展中国家则更关注虚拟实验教学效果的实证研究。即使对于同一研究主题,不同国家在研究进度、研究方法等方面也表现出显著差异。由此来看,未来研究应在做好本土化的基础上,加强国际交流和借鉴。这也正是学术界倡导物理教育研究要加强国际交流的原因所在。另外,从近年文献产出质量来看,发文量较多、文献引用频次较高的国家由起初的美国、意大利、德国等发达国家逐步扩大到世界各国,尤其是一些发展中国家的话语权、研究热度和重要程度逐年攀升。例如,罗马尼亚是发展中国家的典型代表,发文量和文献引用频次均比较靠前,在其发表的 12 篇文献中,有 6 篇发表于 2015 年及之后,且这 6 篇文献的 TLCS/Recs 高于其前期发表的文献。这说明该国中学物理实验教学研究领域的成果在质和量上,均有明显提升。又例如,来自中国和印度尼西亚的文献主要集中在 2017—2020 年,相较于 20 世纪末和 21 世纪初,这 2 个国家关于中学物理实验教学研究的热度和研究成果数量均明显增长。

5 中学物理实验教学研究思考与展望

梳理国际上中学物理实验教学研究图谱,把握其研究内容、研究进展和研究特点,能够为我国研究者思考中学物理实验教学问题提供更多的可能,帮助研究者拓宽研究视野、深化研究内容。吸取国际中学物理实验教学研究经验,我国中学物理实验教学的理论研究和实践探索可以从以下几个方面做出尝试。

5.1 重视实验教学基本理论构建

从国际中学物理实验教学研究现状的分析结果来看,以现状调查和开展教学实验为主的实证研究占主导地位,而关于物理实验教学价值取向、目标定位以及教学模式与策略、过程与方法、评价与考核等基本理论的研究则寥寥无几。总体来看,相关理论研究大致可以分为 2 类:a. 结合教学经验进行的理论构建,但基于个人实践经验构建的概括化理论往往缺乏共识性,引领性不足;b. 对其他课型或学科相关理论的借鉴和移植,这些理论往往难以兼顾中学物理实验教学的独特性。而理论研究成果的缺失或不足容易造成物理实验教学的盲目化、随意化以及实验教学研究的零碎化、浅层化。鉴于此,未来中学物理实验教学研究应基于实验教学的独特性,结合当前物理教育发展的时代背景,在反思传统物理实验教学理论,批判性借鉴其他学科、其他课型教学理论的基础上,重构物理实验教学的基本理论,最终实现实验教学理论与实践的良性互动和可持续发展。

5.2 加强教师实验教学能力研究

实验教学能力是物理教师的基本能力之一,是教师开展物理实验教学的基础和前提。然而,国际中学物理实验教学研究领域对物理教师实验教学能力的关注度较低,相关研究大多分布于物理实验教学策略、物理实验改进等相关研究中,呈现出零碎化、浅层化、片面化等特征。丰富和深化物理教师实验教学能力研究需要关注 3 个方面:

1) 构建顶层式物理教师实验教学能力标准。建立顶层式教师实验教学能力标准,为物理教师实验教学能力培养、不同研究者开展物理教师实验教学能力等提供统一参考。

2) 关注群体差异。研究者应结合物理教师的学段差异、水平差异和学校差异,在保证设计理念、逻辑关系与顶层式物理教师实验教学能力标准一脉相承的基础上,构建差异化的物理教师实验教学能力测查和评估框架,进而开展针对性的现状测查研究或培养研究。

3) 重视信息化时代对物理教师实验教学能力的新要求。现代信息技术与物理实验教学的深度融合在对物理实验教学带来巨大变化的同时,也对物理教师提出了新要求。虚拟实验和实物实验的整合能力、虚拟实验的使用能力等成为新时代物理教师实验教学能力的重要构成要素。

5.3 深化虚拟仿真实验教学研究

从研究主题词分析和时序图分析结果来看,关于虚拟实验的研究是国际上中学物理实验教学研究领域的重要话题。相关研究成果较为丰富,涵盖了虚拟实验改进与创新、虚拟实验教育价值、虚拟实验教学策略、虚拟实验与实物实验的比较研究等多个方面。我国研究者也开展了大量研究,研究内容涉及基于虚拟实验的物理实验教学策略、虚拟实验平台建设等方面。相对而言,我国中学物理实验教学中,涉及到虚拟实验的研究范围较广,但精细度和系统性还有待提升。进一步推进虚拟实验在中学物理实验教学中的应用研究,可从以下2个方面入手:

1)强化虚拟实验的开发研究。近年来,随着教育技术的普及、线上教育数量的增加,虚拟实验在物理实验教学中的地位越来越重要。为适应教育未来发展需要,充分发挥虚拟实验的教育价值,不仅要丰富虚拟实验的内容,还要加强虚拟实验的真实性、交互性和可操作性。另外,对于实验步骤如何去程序化,以使学生能够在虚拟实验探索过程中自主进行实验设计,也是亟待解决的问题。

2)继续深化实物实验和虚拟实验的融合研究。从国际研究成果来看,实物实验和虚拟实验融合的优越性已经得到证实,如何将二者进行高质量的融合,融合的路径、方法或策略是什么,什么程度的融合才是高质量融合,等等,则是需要进一步深入思考和探索的问题。

5.4 关注物理开放实验教学研究

通过实验教学培养学生的探究能力、问题解决能力和创新能力是国际物理实验教学改革的主旋律。而实现这一目标的关键是提升实验教学的开放性程度,进行开放式教学。开放式教学不仅是一种教学模式、教学方法,还是一种教学理念。开放式实验教学的核心是以学生为中心,强调师生互动,关注学生在实验过程中的自主性,教师的职责在于为学生创造探究环境。

目前,国际上已围绕开放式实验教学的教育价值、教学效果等开展了一系列实践探索,但关于其教学方法、教学策略、教学模式等方面尚缺少系统、完备的研究。我国关于开放式实验教学的研究多局限于高等教育阶段,中学阶段的相关研究有待进一步扩展和深化。加强开放式实验教学的理论和实践研究:a.要把握开放性实验教学的核

心要义,开放性实验教学强调能动性、自主化、民主化、灵活化和生成性等,包括开放的环境、时间、资源、课程和态度等5个方面;b.加强大学与中学合作,促进理论与实践一体化研究。高校物理教育研究者通常具有相对扎实的理论基础、开阔的研究视野,中学能够为相关研究成果的检验、运用和推广提供实践场域,二者的交流与协作能够兼顾开放式实验教学研究理论与实践的协同发展。

5.5 增强教学研究方法的科学性

近年来,我国研究者在研究中学物理实验教学问题时,研究方法运用的科学性还有待提高。国际上中学物理实验教学研究领域,除了采用现状调查研究、案例分析研究和比较研究等传统的研究方法之外,越来越多的研究者采用实验法以及混合研究法开展研究。这些能够为我国中学物理实验教学的开展起到积极的示范作用。提升我国中学物理实验教学研究方法的规范化和多元化,需注意以下2点:a.根据问题选方法,选择研究方法首先需要透彻理解研究问题;b.规范运用方法,运用研究方法是否科学规范直接影响着学校教育质量研究结论的信度和效度。未来的研究需进一步提高研究方法的适当性,增强研究过程的规范性。

5.6 强化实验教学评价工具研究

国际上关于物理实验教学质量的测评研究尚处于起步阶段,尚未形成普遍、成熟的评价工具库。在评价指标的选择上,研究者通常根据研究目的,选择学生对知识的理解和掌握、探究能力、观察能力、实验操纵能力以及数据分析能力中的1个或者几个方面展开测查,而物理实验教学是复杂的系统,对其质量的评价不能仅仅从学生学习成效进行测评,而应是对其多个构成要素的综合考量。在测评试题的编制上,大多数研究者根据课堂教学内容,选择物理学科内容领域的某一专题自行编制测评试题,其测评试题的信效度难以得到有效保证。

在我国,一些研究者尝试开展了物理实验教学的评价研究,但评价指标、评价标准的科学性、系统性和有效性等有待进一步考查和验证。加强物理实验教学评价工具的开发研究,一方面要立足于物理实验教学的目标追求,构建针对性的评价指标、评分标准等;另一方面要提升评价工具的有效性和可信度。

6 结束语

从国际视角纵观中学物理实验教学研究领域的发展,教育测量学、心理学等相关理论的合理运用极大地提升了物理实验教学研究的科学化、规范化水平,科学技术的不断发展为物理实验改进、物理实验教学的优化等提供了越来越多的资源保障. 未来的中学物理实验教学研究,在深化传统物理实验教学研究的基础上,还应抓住中学物理实验教学的独特性,依据教育研究的基本理论,充分利用现代信息技术,从教师、学生、物理实验本身等多视角、多维度地进行物理实验教学的优化与改进、融合与创新. 如此,才能更大程度地拓展中学物理实验教学研究的内容和方法体系,提升中学物理实验教学研究的理论高度和实践深度,进而促进中学物理实验教学质量的持续性提升.

参考文献:

- [1] 吴先强,王祖浩. 从聚焦知识到关注主体:近三十年来美国科学教材评价工具的发展与思考[J]. 比较教育学报,2021,334(4):150-163.
- [2] Mcdermott L C, Shaffer P S. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding [J]. American Journal of Physics, 1992,60(11):994-1003.
- [3] Shaffer P S, Mcdermott L C. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of instructional strategies [J]. American Journal of Physics, 1992,60(11):1003-1013.
- [4] Ronen M, Eliahu M. Simulation a bridge between theory and reality: The case of electric circuits [J]. Journal of Computer Assisted Learning, 2001, 16(12):14-26.
- [5] Windschitl M. Supporting the development of science inquiry skills with special classes of software [J]. Educational Technology Research & Development, 2000,48(2):81-95.
- [6] Zacharia Z C. Comparing and combining real and virtual experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits [J]. Journal of Computer Assisted Learning, 2007,23:120-132.
- [7] Trundle K C, Bell R L. The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study [J]. Computers & Education, 2010,54(4):1078-1088.
- [8] Lunetta V N, Hofstein A. Simulations and laboratory practical activity [M]. Milton Keynes: Open University Press, 1991:125-137.
- [9] Brinson J R. Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research [J]. Computers & Education, 2015, 87(C):218-237.
- [10] Gearhart B, Macisaac D. A practical classroom iPad shadow graph system [J]. Physics Teacher, 2020,58(1):8-11.
- [11] Kim J, Bouman L, Cayruth F, et al. A measurement of gravitational acceleration using a metal ball, a ruler, and a smartphone [J]. Physics Teacher, 2020,58(3):192-194.
- [12] Bozzo G, Sabata F D, Pistori S, et al. Imaging and studying standing waves with a homemade melde-type apparatus and information and communication technology (ICT) [J]. Physics Teacher, 2019,57(9):612-615.
- [13] Freeland J, Krishnamurthi V R, Wang Y. Learning the lens equation using water and smartphones/tablets [J]. Physics Teacher, 2020,58(5):360-361.
- [14] Wijaya P A, Widodo A, Muslim. Virtual experiment of simple pendulum to improve student's conceptual understanding [J]. Journal of Physics Conference Series, 2021,1806(1):121-133.
- [15] Bakri F, Pratiwi S, Muliayati D. Video-enriched worksheet based on augmented reality technology: The heat experiment is easier [C]// The 8th National Physics Seminar, 2019.
- [16] Kapp S, Thees M, Strzys M P, et al. Augmenting Kirchhoff's laws: Using augmented reality and smart glasses to enhance conceptual electrical experiments for high school students [J]. Physics Teacher, 2019,57(1):52-53.
- [17] Sahin D, Yilmaz R M. The effect of augmented reality technology on middle school students' achievements and attitudes towards science education-Science Direct [J]. Computers & Education, 2019,144:103710.
- [18] Fred L, Robin M. Children's ideas about the reliability of experimental data [J]. International

- Journal of Science Education, 1996, 18(8): 955-968.
- [19] Andy B, Saalih A, Fred L. The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms [J]. International Journal of Science Education, 2001, 23(11): 1137-1156.
- [20] Eugenia E, Anna K, Maria R V, et al. Design and reflection help students develop scientific abilities; Learning in introductory physics laboratories [J]. Journal of the Learning Sciences, 2010, 19(1): 54-98.
- [21] Tobin K. Research on science laboratory activities, in pursuit of better questions and answers to improve learning [J]. School Science and Mathematics, 1990, 90(5): 403-418.
- [22] Claudia H S. Improving the quality of lab reports by using them as lab instructions [J]. Physics Teacher, 2012, 50(10): 430-433.
- [23] Hackling M W, Garnett P J. Primary and secondary students' attainment of science investigation skills [J]. Research in Science Education, 1991, 21(1): 161-170.
- [24] Tobin K. Research on science laboratory activities; In pursuit of better questions and answers to improve learning [J]. School Science & Mathematics, 1990, 90(5): 403-418.
- [25] Etkina E, Murthy S, Zou X L. Using introductory labs to engage students in experimental design [J]. American Journal of Physics, 2006, 74(11): 979-986.
- [26] Eugenia E, Anna K, Maria R, et al. Design and reflection help students develop scientific abilities; Learning in introductory physics laboratories [J]. Journal of the Learning Sciences, 2010, 19(1): 54-98.
- [27] Kelly D. An inquiry lab on inclined planes [J]. Physics Teaching, 2005, 43(3): 177-179.
- [28] Michael B. The mathematical miseducation of America's youth; Ignoring research and scientific study in education [J]. Phi Delta Kappan, 1999, 80(6): 424-433.
- [29] Szott A. Open-ended laboratory investigations in a high school physics course; the difficulties and rewards of implementing inquiry-based learning in a physics lab [J]. Physics Teacher, 2014, 52(1): 17-21.
- [30] Pombo P M, Oliveira R M, Pinto J L. Experimental holography in high school teaching [J]. Proceedings of SPIE: The International Society for Optical Engineering, 2000, 4149: 232-238.
- [31] Mokros J R, Tinker R F. The impact of micro-computer-based labs on children's ability to interpret graphs [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2010, 24(4): 369-383.
- [32] Thornton R K, Sokoloff D R. Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools [J]. American Journal of Physics, 1990, 58(9): 858-867.
- [33] Ronen M, Eliahu M. Simulation a bridge between theory and reality; The case of electric circuits [J]. Journal of Computer Assisted Learning, 2010, 16(1): 14-26.
- [34] Triona L M, Klahr D. Point and click or grab and heft; Comparing the influence of physical and virtual instructional materials on elementary school students' ability to design experiments [J]. Cognition and Instruction, 2003, 21(2): 149-173.
- [35] Klahr D, Triona L M, Williams C. Hands on what? The relative effectiveness of physical versus virtual materials in an engineering design project by middle school children [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2010, 44(1): 183-203.
- [36] Finkelstein N D, Adams W K, Keller C J, et al. When learning about the real world is better done virtually; A study of substituting computer simulations for laboratory equipment [J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2005, 1(1): 010103.
- [37] Brinson J R. Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories; A review of the empirical research [J]. Computers & Education, 2015, 87(C): 218-237.
- [38] Tatli Z, Ayas A. Effect of a virtual chemistry laboratory on students' achievement [J]. Educational Technology & Society, 2013, 16(1): 159-170.
- [39] Lunetta V N, Hofstein A. Simulations and laboratory practical activity [M]. Milton Keynes: Open University Press, 1991: 125-137.
- [40] Paul K, Willibrord H. Dry laboratories in science education; Computer-based practical work [J]. International Journal of Science Education, 1998, 20(6): 665-682.

- [41] Zacharia Z C, Olympiou G. Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning [J]. *Learning & Instruction*, 2011, 21(3): 317-331.
- [42] Lara M, Triona, Klahr D. Point and click or grab and heft: Comparing the influence of physical and virtual instructional materials on elementary school students' ability to design experiments [J]. *Cognition and Instruction*, 2003, 21(2): 149-173.
- [43] Ma J, Nickerson J V. Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review [J]. *ACM Computing Surveys*, 2006, 38(3): 1-24.
- [44] Dees P, Berman D M. The media's role in vaccine misinformation [M]. New York: Springer, 2013: 383-398.
- [45] Olympiou G, Zacharia Z C. Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation [J]. *Science Education*, 2012, 96(1): 21-47.
- [46] Zacharia Z C, Olympiou G, Papaevripidou M. Effects of experimenting with physical and virtual manipulatives on students' conceptual understanding in heat and temperature [J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 2010, 45(9): 1021-1035.
- [47] Osborne J, Simon S, Collins S. Attitudes towards science: A review of the literature and its implications [J]. *International Journal of Science Education*, 2003, 25(9): 1049-1079.
- [48] Jaakkola T, Nurmi S, Veermans K. A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts [J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 2011, 48(1): 71-93.
- [49] Ainsworth S. DeFT: A conceptual framework for learning with multiple representations [J]. *Learning and Instruction*, 2006, 16(3): 183-198.

International experience and prospect of research on middle school physics experiment teaching ——Visualized quantitative study based on HistCite

YU Hai-bo¹, ZHANG Min-shu¹, CHEN Liu-ding²

(1. School of Physics, Northeast Normal University, Changchun 130024, China;

2. School of Physics, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: Using the HistCite software and taking the WOS database as the source of literature, a multi-dimensional analysis of the research literature on middle school physics experiment teaching collected from 1985 to 2021 was carried out. It was found that the research results of international middle school physics experiment teaching showed multiple characteristics such as rich themes, diverse methods, being evidence-based, and obvious regionalization. It was given that combining the actual research situation the research on middle school physics experiment teaching in China should pay attention to the basic theory construction of experimental teaching, strengthen the research on teachers' experimental teaching ability. The research on virtual simulation experiment teaching should be deepened, while paying attention to the research on open physics experiment teaching. And the scientific nature of teaching research methods should be enhanced, and the research on experimental teaching evaluation tools strengthened.

Key words: physics experiment; experimental teaching; Web of Science database; virtual experiment

[责任编辑:郭 伟]