

PRPER 中国元素文献分析

张彧瑞 朱广天

(华东师范大学教师教育学院, 上海 200062)

摘 要 2005 年创刊的 PHYSICAL REVIEW PHYSICS EDUCATION RESEARCH (PRPER) 一直是国际上物理教育研究领域的权威期刊。本文聚焦于具有中国元素的物理教育研究在 PRPER 的呈现情况, 统计了 PRPER 于 2005 年至 2022 年发表的文章共计 1034 篇, 从中整理出含有中国元素的 105 篇文章, 利用文献分析的方法, 从中国作者、中国高校、中国样本、发文数量变化、研究领域分布及代表性工作等方面, 对这些文章进行了全面梳理, 并从中总结了近年来中国物理教育研究发展的特点。数据显示, PRPER 创刊伊始中国作者发表文章的数量较少, 进入 2012 年后, 发文数量呈现上升趋势, 有越来越多的综合性高校的物理教学和科研团队投入到物理教育研究中, 研究范围囊括评估、研究方法、课程与教学、问题解决、认知与心理、概念理解、认识论、态度和信念等多个方面, 且具备持续产出的能力。

关键词 PRPER; 中国元素; 文献分析; 研究发展特点

LITERATURE ANALYSIS OF CHINESE ELEMENTS IN PRPER

ZHANG Yurui ZHU Guangtian

(College of Teacher Education, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract PHYSICAL REVIEW PHYSICS EDUCATION RESEARCH (PRPER), founded in 2005, has been the leading international journal in the field of physics education research. This paper focused on the presentation of physics education research with Chinese elements in PRPER, counted 1034 articles published in PRPER from 2005 to 2022, and sorted out 105 articles with Chinese elements. Using the method of literature analysis, a comprehensive review of these articles was conducted from the perspectives of Chinese authors, Chinese universities, Chinese samples, changes in the number of publications, distribution of research fields, and representative work. The characteristics of the development of physics education research in China in recent years were summarized. The data showed that the number of articles published by Chinese authors was low at the beginning of PRPER and has been on the rise since 2012. While early publications were mainly from normal universities, more and more physics teaching and research teams from comprehensive universities are now engaged in physics education research, covering assessment, research methods, curriculum and teaching, problem solving, cognition and psychology, conceptual understanding, epistemology, attitudes and beliefs, and have the capacity to produce consistently.

Key words PRPER; Chinese elements; literature analysis; characteristics of research development

收稿日期: 2022-11-11

作者简介: 朱广天, 副教授, 主要研究方向为物理教育, gtzhu@phy.ecnu.edu.cn。

引文格式: 张彧瑞, 朱广天. PRPER 中国元素文献分析[J]. 物理与工程, 2023, 33(4): 18-25.

Cite this article: ZHANG Y R, ZHU G T. Literature analysis of Chinese elements in PRPER[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(4): 18-25. (in Chinese)

1 研究背景

虽然物理教育研究(PER)的相关研究起步很早,但直至1999年,美国物理学会 American Physical Society (APS)才正式宣布把物理教育研究纳入物理学研究领域,并于2005年在物理评论系列期刊中增设了子刊“物理评论特别话题—物理教育研究”(Physical Review Special Topics—Physics Education Research, 简称为 PRSTPER),为 PER 领域的学者发表学术成果提供了独立渠道。2016年,该子刊更名为“物理评论—物理教育研究”(Physical Review Physics Education Research, 简称为 PRPER)^[1]。本文中不对更名前后的期刊进行区分,均以 PRPER 作为该系列期刊的名称。

PRPER 一经创刊就成为国际上物理教育研究领域的权威期刊,吸引了很多物理教育研究领域的学者投稿。近年来,随着物理教育研究在中国日益发展,涌现出一大批中国学者在 PRPER 上发表自己的学术成果,提高了中国物理教育研究在国际上的影响力。本文聚焦于具有中国元素的物理教育研究在 PRPER 的呈现情况,统计了 PRPER 于 2005 年至 2022 年发表的文章共计 1034 篇,从中整理出含有中国元素的 105 篇文章(包含一篇关于中日韩研究者可以使用本国语言注明姓名的期刊声明),利用文献分析的方法,从中国作者、中国单位(高校等)、中国样本、发文数量变化、研究领域分布及代表性工作等方面,对这些文章进行了全面梳理,并从中总结了近年来中国物理教育研究发展的特点。

2 中国元素的描述统计

本节中,我们将从中国作者、中国单位、中国样本、发文数量等方面,对 PRPER 自 2005 年创刊至 2022 年 10 月所发表的文章进行数据统计和分析。

2.1 中国作者

我们在统计中主要是基于作者的姓名而非所

持有的护照类型来对“中国作者”进行界定。如图 1 所示,截至 2022 年 10 月,在 PRPER 发表文章的中国作者人数已经达到 93 人,累计发表文章共计 104 篇,作者发文数量统计如表 1 所示。93 人中有 30 位作者发表文章的数量为两篇或两篇以上,其中有 3 人发表超过 10 篇文章(含 10 篇)。文章数量名列三甲的学者均在美国俄亥俄州立大学(The Ohio State University)工作,分别是包雷老师(Lei Bao)发表 19 篇文章,丁林老师(Lin Ding)发表 17 篇文章,以及韩静老师(Jing Han)发表 10 篇文章。作者发文数量按照首次发文时间的排序结果如图 1 所示。

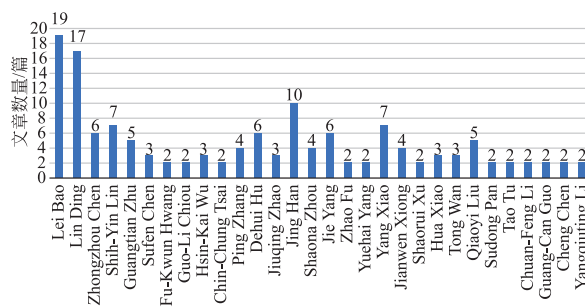


图 1 作者发文数量统计图(按首次发文时间排序)

在 PRPER 创刊早期(2005—2011 年)发表文章的中国作者主要是在美国工作和学习的华人学者,首篇中国作者文章是由 Lei Bao 等人于 2006 年 2 月 2 日发表的有关学生力学的评估模型研究^[2];2012 年之后,开始有中国国内从事物理教育研究的学者在 PRPER 发表文章。而此后,随着物理教育研究影响力的扩大,有越来越多在中国高校从事物理教学与科研的团队开展了物理教育研究方面的工作。例如,2020 年和 2021 年,中国科学技术大学郭光灿院士(Guang-Can Guo)带领的团队连续发表了两篇关于量子力学教育研究的论文,分别是关于偏微分方程和束缚态散射态方面学习困难的研究^[3-4]。最近,也涌现了很多国内高校物理教育专业研究生在导师的指导下,在 PRPER 发表了高质量文章。

2.2 中国单位

我们在统计中,将位于中国大陆和港澳台地

表 1 作者发文数量统计表

数量	1 篇	2 篇	3 篇	4 篇	5 篇	6 篇	7 篇	10 篇	17 篇	19 篇
人数	63 人	12 人	5 人	3 人	2 人	3 人	2 人	1 人	1 人	1 人

区的各级学校和机构界定为“中国单位”。正如上文所提到的,早期在 PRPER 发表文章的中国学者均在美国高校工作或学习。2012 年,华东师范大学的朱广天老师(Guangtian Zhu)^[5-6]发表了关于量子力学方面学生学习困难和学习工具的文章,这是 PRPER 首篇以中国高校为第一单位发表的文章。到目前为止,共有 39 篇(41.94%)文章由在中国单位工作的学者研究发表,其中包括华南师范大学、华东师范大学、北京师范大学等 21 所高校。中国高校的发文数量分布如图 2 所示,从图中可以看出,发表文章数量名列前茅的高校主要以师范类院校为主,发文最多的单位是华南师范大学,共计发表 10 篇文章,华东师范大学共计发表 8 篇文章排名第二,北京师范大学发表 5 篇文章排名第三。

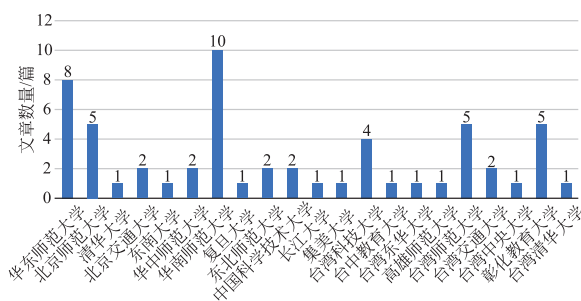


图 2 中国高校发文单位分布图

除高校外,还有一些中学或地方教育单位也在 PRPER 上发表了物理教育研究工作。2018 年,台北市和平中学 Ching-Sui Hung^[7]等人研究了十年级学生对物理问题表述形式(数字和符号)的解决能力;2019 年末,江苏省张家港市教育局 Ying Nie^[8]等人将半长度电磁概念测试和全长度电磁概念测试进行比较;2022 年江苏省镇江实验学校 Xiangqun Zhang^[9]等人对高中生电路概念知识整合进行了研究。

2.3 中国样本

早期在 PRPER 上出现的中国作者所写的论文中,研究对象主要是这些作者所在的美国高校的学生或教师。2013 年,北京师范大学的张萍老师(Ping Zhang)^[10]等人发表了首篇以中国学生为样本的文章。随着物理教育研究在中国进一步发展,研究对象也从大学生逐步扩展到中学生和中学物理教师,例如 2021 年贾泽皓(Zehao Jia)^[11]等人对刚入职的中学物理老师进行了流体力学概念

测试,2022 年李秋晔(Qiuye Li)^[12]等人在广东省一所学校展开了在职教师预测该校中学生解题情况的眼动实验研究。值得注意的是,PRPER 上还出现了其他国家的学者在分析本国物理教育现状时使用中国样本数据进行对比研究的现象,例如印度学者 Mashood^[13]等人在 2019 年的研究中与中国学生物理成绩水平进行了横向对比,总结了“影子教育”(课后教育)在印度和中国等国家流行的情况。

2.4 发文数量

PRPER 自创刊以来历年中国作者和国内高校发文数量变化如图 3 所示。通过分析历年中国作者发文数量变化,我们可以发现,创刊伊始中国作者发表文章的数量很少,甚至有些年份没有中国作者发刊。进入 2012 年后,发文数量呈现震荡上升趋势,2013 年是第一个发文高峰期,这一年共有 9 篇文章登上 PRPER,2019 年至 2021 年是第二个发文高峰期,2021 年中国作者在 PRPER 发表了 16 篇论文,是历年来的最高值,也体现了中国高校在物理教育研究领域具有可持续性产出的能力。

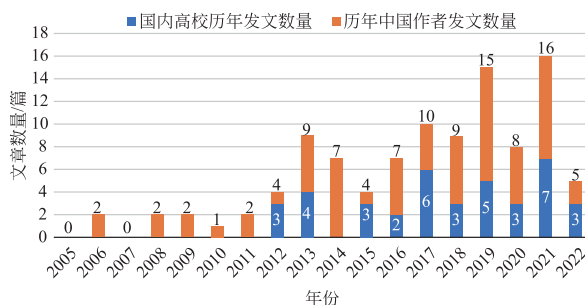


图 3 历年发文数量变化图

3 研究领域分布

根据 McDermott^[14]和 Docktor^[15]等学者对物理教育研究领域的划分以及作者文章的关键词,本文将 104 篇文章按照 9 个一级主题和 28 个二级主题进行归纳分类,结果如表 2 所示。

由于很多文章都是横跨多领域的综合性文章,所以本文在分类时按照文章的主要内容划分一级主题。中国作者的研究热点领域主要分布在评估、课程与教学、概念理解,尤其是评估工具的开发与验证的研究、评估模型的建立与验证方向。以下我们将对各个一级主题中的一些代表性工作加以介绍。

表 2 研究领域分类表

一级主题	二级主题	文章数量/篇
评估 (25 篇, 24.04%)	评估模型的建立与验证	9
	评估工具的开发与验证	15
	评估实施条件	1
研究方法 (3 篇, 2.88%)	研究方法	3
课程与教学 (19 篇, 18.27%)	课堂比较	4
	实验教学	5
	教学策略	4
	教学材料	2
	教学情境	4
问题解决 (10 篇, 9.61%)	脚手架	5
	数学工具应用	3
	策略	2
认知与心理 (6 篇, 5.78%)	学习迁移	2
	认识论框架	1
	元认知	2
	表征形式(数字 & 符号)	1
概念理解 (14 篇, 13.46%)	困难与概念水平调查	9
	学习工具开发	2
	知识结构框架	3
认识论、态度和信念 (9 篇, 8.65%)	学生	7
	助教	1
	教师	1
教育技术 (9 篇, 8.65%)	技术与心理研究结合	4
	教学工具开发	2
	预测学生成绩	3
社会性因素 (8 篇, 7.69%)	教育政策	2
	性别差异	5
	社会定位	1

3.1 评估

评估作为可以准确了解学生学习知识水平情况的手段,一直是物理教育研究领域的热点。评估方面的研究主要包括评估工具的开发与验证,评估模型的建立,以及评估实施条件等。中国作者通过自主开发评估工具或改进已有的概念量表(如力学概念测试 FCI,简明电磁学测试 BEMA 等),对力学、电磁学、声学、光学、量子力学等多个物理学科领域进行了评估研究。例如,Rui Dai^[16]

等人开发了一套用于测试学生对光干涉的理解程度的评估工具,可以有效帮助教师理解学生学习光干涉时的给概念框架。

评估工具的实施条件会干预评估有效性,Lin Ding^[17]等人发现时间、是否有奖励等因素都会显著影响测试结果,需要严格控制测试的实施条件。而在评估模型的建立与验证方面,Lei Bao^[18]等人对美国多所大学学生的知识水平与其教学量的关系建立了数学学习模型,并总结了教学类型等因素对学生学习水平的影响。

3.2 课程与教学

课程与教学改革一直是物理教师和物理教育研究者们积极探索的领域。为了进一步提高教学质量,Lin Ding^[19]等人比较了物质与相互作用(the Matter and Interactions, M&I)和传统内容教学改革(pedagogically-reformed-traditional-content, PRTC)这两种力学课程改革形式的教学情况,并在学习后用 FCI 进行测试,发现两种课程学生在不同概念上表现出了不同优势。Zhongzhou Chen^[20]等人使用多媒体学习模块(MLMs)作为“课前作业”,旨在让学生在听课前做好准备,从而提高学生课堂效率。在实验教学方面,Bei Cai^[21]等人对学生分别进行引导式和开放式实验探究引导,发现学生在设计实验过程中更容易提高实验水平。而在教学材料的拓展上,Fu-Kwun Hwang^[22]等人开设了一门关于诺贝尔奖与科学本质的课程,提出了在物理学课堂上应用诺贝尔奖故事这一教学想法。Dehui Hu^[23]等人则创设了 6 种认识论游戏,旨在让学生了解到专业知识真实应用的场景,从而提高指导开发新的指导方法。

3.3 问题解决

如何有效解决在物理教学过程中遇到的具体问题,是物理学习中必要的环节。在如何利用脚手架帮助具有前序知识基础的学生解决新问题方面,Shih-Yin Lin^[24]等人以高斯定律为例,展示了在数学公式和图形表示之间转换的方法。Dehui Hu^[25-26]等人在两篇文章中分别探索了微分和积分在物理问题解决过程中的应用情况。Zhongzhou Chen^[27]等人则着重讨论了画图在问题解决过程中的作用。

3.4 认知与心理

学习过程可以被看作是认知的过程,在认知过程中迁移、元认知、表征、新手-专家等都可以帮

助学生构建认知结构,从而更好地掌握学科知识。Ching-Sui Hung^[28]等人对比了学生在运用数字和符号这两种表征形式解决物理问题的表现,发现大部分学生认为符号型问题比数字型问题更难。Hong-Syuan Wang^[29]等人在光学课程中引入了元认知支架,在复杂的任务中有效提高学生对数据解释和图表的理解。

3.5 概念理解

对物理概念的理解是学习物理的基础,Tao Tu^[30-31]等人通过对学生学习量子力学偏微分方程应用、束缚态和散射态过程中出现的困难进行调查,并对这些困难的解决提出了可能解释,对教学提出了可能存在的意义;而 Zehao Jia^[32]等人对新手教师在流体力学的水平进行了调查,不仅发现部分教师对流体力学一些常见误区,也发现了物理教师所持有的一些未在文章中出现过的新的流体力学概念混淆。根据对概念理解的困难调查,一些学者针对这些困难开发了学习工具或构建了知识结构框架,例如 Guangtian Zhu^[6]等人基于概念理解调查开发了量子力学交互式学习教程(QuILT),帮助提高学生对概念的理解。

3.6 认识论、态度和信念

在物理教学过程中,无论是教师、学生还是助教的认识论、态度和信念,都可能影响教学效果。Jiuqing Zhao^[33]等人专门研究了学生学习态度与学生学习程度的关系,并证实二者间存在关联。Ping Zhang^[34]等人则针对职前教师的物理学认识论进行了调查,讨论了认识论对从学生到教师的角色转变的影响。

3.7 教育技术

随着科技的进步与发展,物理教育领域不仅仅再局限于传统研究方法,新型研究仪器极大地推动了技术与心理研究结合的研究进展。Chao-Jung Wu^[35]等人使用眼动仪记录了高知识水平学生和低知识水平学生在任务中的眼球运动行为,提出了高知识水平的学习者可能通过使用更容易的表征以达到更深入理解的猜测。Qiuye Li^[12]等人通过眼动仪分析教师眼球运动行为的差异,探讨了预测组教师在被要求从学生的角度解决问题时,可以更多考虑到学生的想法,并在不同领域中审查信息现象。Jie Yang^[36]等人则使用机器学习预测学生在物理课上的表现,用于更好地分配教育资源。

3.8 社会性因素

物理教育除了不仅与学校、学生等因素息息相关,也受到政策、性别等社会性因素影响。Xi-aoming Zhai^[37]等人讨论了中国通过提高待遇吸引优秀教师扎根乡村的政策,认为“胡萝卜加大棒”模式达到了既定目标。Jia Luo^[38]等人理性探讨了在物理学入门学科中,女性主动参与率极低,性别不平等现象仍然存在,呼吁促进所有学生公平和舒适的参与。

3.9 研究方法

早期 PRPER 上大多数内容是关于直接面向学生和学习的物理教育研究工作,而对于研究方法本身的探讨较少。Lin Ding^[39]讨论了三种常用的定量类型的关键原则,呼吁更多的学者关注到物理教育定量研究领域。除此之外,Lin Ding^[40]等人还阐述了使用测试理论、因子分析、聚类分析、项目反应理论和模型分析多项选择题,并举例说明了它们在物理教育研究中的应用。

4 国内物理教育研究选题与 PRPER 论文选题趋势对比

根据张海龙等人^[41]对 2021 年人大复印资料《中学物理教与学》转载论文的一级主题统计结果,课程与教学这一主题(包含实验教学、教学材料等多个二级主题)的文章超过半数,其次为评估相关的文章,这一点与中国学者在 PRPER 上发表的文章选题有类似的趋势(参考前文表 2)。为了更好体现国内物理教育研究选题与 PRPER 论文选题的共性与差异,我们统计了 2021—2022 年所有在《物理教师》和《物理与工程》两本期刊上发表的物理教育相关的文章,使用软件 CiteSpace^[42]进行了关键词分析,结果如图 4 和图 5 所示。

《物理教师》主要聚焦于中学物理教育研究内容,2021 年 1 月至 2022 年 12 月的两年间,共计发表物理教育研究方面的文章 666 篇,其中关键词“核心素养”出现的频次为 88 次,排名第一;排名第二和第三的关键词则分别是“科学思维”和“深度学习”,分别出现了 35 次和 26 次,且每个关键词之间都具有较为紧密的联系。而《物理与工程》则更多聚焦于大学物理层面的物理教育研究内容,2021 年 1 月至 2022 年 12 月的两年间,排名第一的关键词“大学物理”出现了 56 次,排名第二和

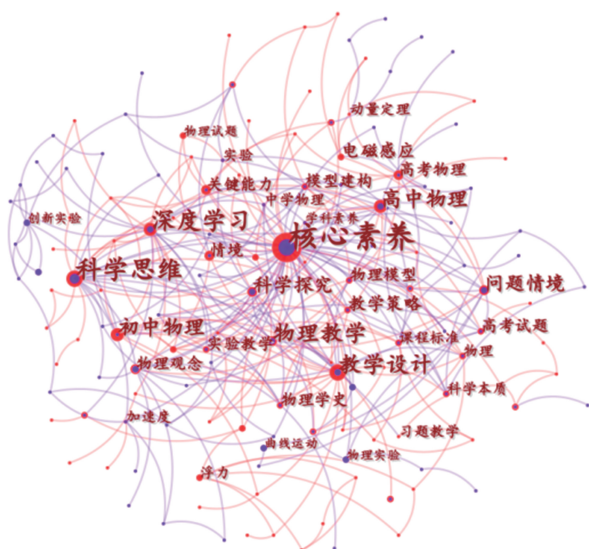


图4 2021—2022年《物理教师》文章关键词网络图



图5 2021—2022年《物理与工程》文章关键词网络图

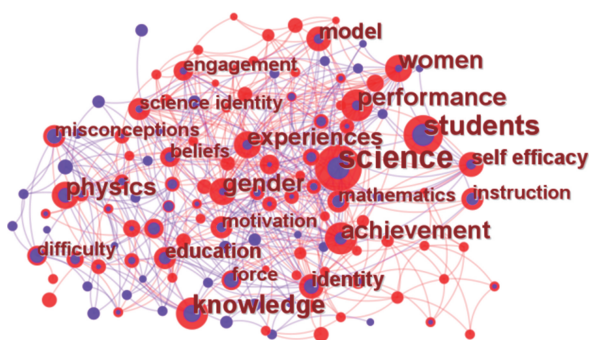


图6 2021—2022年PRPER文章关键词网络图

第三的关键词则分别是“课程思政”和“教学改革”，分别出现了44次和17次。

而PRPER排名靠前的关键词包含的范围较丰富，例如排名第一的关键词“science(科学)”出

现了47次，以及排名第二和第三的关键词则分别是“students(学生)”和“knowledge(知识)”，分别出现了32次和22次。值得关注的是，近两年，PRPER在“women(女性)”“gender(性别)”“science identity(科学身份)”等社会性因素上有较多的关键词聚焦，而相应的关键词在国内的物理教育期刊文章较少出现。

2022年，邢红军老师等人^[43-44]采用实证研究的方法，对国内物理教学论学者的发文情况进行了分析。研究表明，国内物理教学论方向的研究者在进入专业研究阶段之后，往往先从课程教学和物理概念理解等具体问题上开展研究工作，此后逐渐增强自身的理论建构能力，能够运用认知心理学等知识研究解释物理教育现象，最终能够提出原创性理论，融入国际物理教育研究成果。这一趋势，也与中国学者在PRPER上发文主题的时间分布情况相符。我们将PRPER创刊以来含有中国元素的一级主题发文数量按年份进行了划分，如图7所示，可以看出，评估、课程教学、概念理解等主题，一直以来都是中国学者在PRPER上发文的主要领域。而教育技术领域和社会性因素（如教育政策、性别差异等）领域研究虽然起步较晚，但近年来的发文数有稳定增长的趋势，也值得各位物理教师和物理教育研究者关注。

	评估	研究方法	课程与教学	问题解决	认知与心理	概念理解	认识论、态度和信念	教育技术	社会性因素
2006	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	1	1	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	2	0	0	0	0	0
2012	0	0	1	0	1	2	0	0	0
2013	1	0	2	3	0	1	2	0	0
2014	2	0	3	0	1	0	0	1	0
2015	1	0	0	1	1	0	0	1	0
2016	2	0	2	0	0	2	1	0	0
2017	1	0	2	3	1	1	2	0	0
2018	2	0	1	0	1	0	3	1	1
2019	4	2	2	1	0	3	0	1	2
2020	5	0	0	0	0	1	1	1	0
2021	2	0	4	0	1	4	0	2	3
2022	1	0	0	0	0	1	1	1	1

图7 一级主题发文数量热点图

5 结语

本文聚焦于具有中国元素的物理教育研究在PRPER的呈现情况，利用文献分析的方法，从中国作者、中国高校、中国样本、发文数量变化、研究领域分布及代表性工作等方面，对这些文章进行了全面梳理。统计结果显示，近年来，中国物理教

育研究工作在 PRPER 上的发文数量呈现上升趋势,共有 93 位中国学者在 PRPER 上发表过 104 篇文章。早期在 PRPER 发文的国内单位以师范大学为主,但现在已有越来越多在综合性大学的物理学家和物理教师投身到物理教育研究的工作中,且研究范围囊括多个领域,体现了国内物理教育研究的可持续发展趋势。

参 考 文 献

- [1] HENDERSON C. 美国物理教育研究期刊 PRPER 介绍(英文)[J]. 物理与工程, 2016, 26(6): 21-24.
HENDERSON C. A introduction to physical review physics education research [J]. Physics and Engineering, 2016, 26(6): 21-24. (in Chinese)
- [2] BAO L, REDISH E F. Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning[J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2006, 2(1): 16.
- [3] TU T, LI C F, ZHOU Z Q, et al. Students' difficulties with partial differential equations in quantum mechanics[J]. Physical Review Physics Education Research, 2020, 16(2): 21.
- [4] TU T, LI C F, XU J S, et al. Students' difficulties with solving bound and scattering state problems in quantum mechanics[J]. Physical Review Physics Education Research, 2021, 17(2): 19.
- [5] ZHU G, SINGH C. Improving students' understanding of quantum measurement. I. Investigation of difficulties[J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2012, 8(1): 8.
- [6] ZHU G, SINGH C. Improving students' understanding of quantum measurement. II. Development of research-based learning tools[J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2012, 8(1): 13.
- [7] HUNG C S, WU H K. Tenth graders' problem-solving performance, self-efficacy, and perceptions of physics problems with different representational formats[J]. Physical Review Physics Education Research, 2018, 14(2): 17.
- [8] XIAO Y, FRITCHMAN J C, BAO J Y, et al. Linking and comparing short and full-length concept inventories of electricity and magnetism using item response theory[J]. Physical Review Physics Education Research, 2019, 15(2): 18.
- [9] LIU Z, PAN S, ZHANG X, et al. Assessment of knowledge integration in student learning of simple electric circuits [J]. Physical Review Physics Education Research, 2022, 18(2): 16.
- [10] ZHANG P, DING L. Large-scale survey of Chinese pre-college students' epistemological beliefs about physics: A progression or a regression? [J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2013, 9(1): 9.
- [11] JIA Z, DING L, ZHANG P. Using sequential synthesis problems to investigate novice teachers' conceptions of hydrodynamics[J]. Physical Review Physics Education Research, 2021, 17(1): 14.
- [12] LI Q, XU S, CHEN Y, et al. Detecting preservice teachers' visual attention under prediction and nonprediction conditions with eye-tracking technology[J]. Physical Review Physics Education Research, 2022, 18(1): 19.
- [13] MASHOOD K K, SINGH V A. Preuniversity science education in India: Insights and cross cultural comparison[J]. Physical Review Physics Education Research, 2019, 15(1): 5.
- [14] MCDERMOTT L C, REDISH E F. Resource letter on physics education research. (to appear in) [J]. American Journal of Physics, 1999: 67-75.
- [15] DOCKTOR J L, MESTRE J P. Synthesis of discipline-based education research in physics[J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2014, 10(2): 58.
- [16] DAI R, FRITCHMAN J C, LIU Q, et al. Assessment of student understanding on light interference[J]. Physical Review Physics Education Research, 2019, 15(2): 15.
- [17] DING L, REAY N W, LEE A, et al. Effects of testing conditions on conceptual survey results[J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2008, 4(1): 6.
- [18] PRITCHARD D E, LEE Y J, BAO L. Mathematical learning models that depend on prior knowledge and instructional strategies[J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2008, 4(1): 8.
- [19] DING L, CABALLERO M D. Uncovering the hidden meaning of cross-curriculum comparison results on the Force Concept Inventory[J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2014, 10(2): 12.
- [20] CHEN Z, STELZER T, GLADDING G. Using multimedia modules to better prepare students for introductory physics lecture[J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2010, 6(1): 5.
- [21] CAI B, MAINHOOD L A, GROOME R, et al. Student behavior in undergraduate physics laboratories: Designing experiments[J]. Physical Review Physics Education Research, 2021, 17(2): 17.
- [22] ESHACH H, HWANG F K, WU H K, et al. Introducing Taiwanese undergraduate students to the nature of science through Nobel Prize stories[J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2013, 9(1): 15.
- [23] HU D, CHEN K, LEAK A E, et al. Characterizing mathematical problem solving in physics-related workplaces using epistemic games[J]. Physical Review Physics Education Research, 2019, 15(2): 22.
- [24] MARIES A, LIN S Y, SINGH C. Challenges in designing

- appropriate scaffolding to improve students' representational consistency: The case of a Gauss's law problem[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2017, 13(2): 17.
- [25] HU D, REBELLO N S. Understanding student use of differentials in physics integration problems[J]. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2013, 9(2): 14.
- [26] HU D, REBELLO N S. Using conceptual blending to describe how students use mathematical integrals in physics [J]. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2013, 9(2): 15.
- [27] CHEN Z, DEMIRCI N, CHOI Y J, et al. To draw or not to draw? Examining the necessity of problem diagrams using massive open online course experiments[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2017, 13(1): 12.
- [28] HUNG C S, WU H K. Tenth graders' problem-solving performance, self-efficacy, and perceptions of physics problems with different representational formats[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2018, 14(2): 17.
- [29] WANG H S, CHEN S, YEN M H. Effects of metacognitive scaffolding on students' performance and confidence judgments in simulation-based inquiry[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2021, 17(2): 13.
- [30] TU T, LI C F, ZHOU Z Q, et al. Students' difficulties with partial differential equations in quantum mechanics [J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2020, 16(2): 21.
- [31] TU T, LI C F, XU J S, et al. Students' difficulties with solving bound and scattering state problems in quantum mechanics[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2021, 17(2): 19.
- [32] JIA Z, DING L, ZHANG P. Using sequential synthesis problems to investigate novice teachers' conceptions of hydrodynamics[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2021, 17(1): 14.
- [33] CAHILL M J, MCDANIEL M A, FREY R F, et al. Understanding the relationship between student attitudes and student learning[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2018, 14(1): 16.
- [34] DING L, ZHANG P. Making of epistemologically sophisticated physics teachers: A cross-sequential study of epistemological progression from preservice to in-service teachers[J]. *Physical review physics education research*, 2016, 12(2): 16.
- [35] WU C J, LIU C Y. Eye-movement study of high-and low-prior-knowledge students' scientific argumentations with multiple representations[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2021, 17(1): 16.
- [36] YANG J, DEVORE S, HEWAGALLAGE D, et al. Using machine learning to identify the most at-risk students in physics classes[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2020, 16(2): 14.
- [37] ZHAI X, SCHNEIDER B, KRAJCIK J. Motivating pre-service physics teachers to low-socioeconomic status schools[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2020, 16(2): 5.
- [38] YORK A M, FINK A, STOEN S M, et al. Gender inequity in individual participation within physics and science, technology, engineering, and math courses[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2021, 17(2): 21.
- [39] DING L. Theoretical perspectives of quantitative physics education research[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2019, 15(2): 13.
- [40] DING L, BEICHNER R. Approaches to data analysis of multiple-choice questions [J]. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2009, 5(2): 17.
- [41] ZHANG H, MA Y. Overview of middle school physics education and teaching in 2021—Based on the reprinting of the paper “middle school physics teaching and learning” [J]. *Physics Teacher*, 2022, 43(2): 2-6+9.
- [42] CHEN C. A glimpse of the first eight months of the COVID-19 literature on Microsoft Academic Graph: Themes, citation contexts, and uncertainties[J]. *Frontiers in research metrics and analytics*, 2020, 5: 607286.
- [43] ZHAO Y, ZHAI Y, XING H. Research on the academic level of Chinese physics teaching theory teachers and its enlightenment[J]. *Physics Teacher*, 2022, 43(10): 65-70.
- [44] ZHAO Y, GONG W, XING H. Perspective and Enlightenment of academic level of disciplinary pedagogical teachers in China [J]. *Teacher Education Research*, 2021, 33(3): 77-82+89.