

国内外物理教育研究进展的比较与启示

黄 慧

岭南师范学院 广东湛江

【摘要】物理教育作为科学教育的重要组成部分，其研究水平直接关系到国民科学素养的提升和创新人才的培养。本文综述了 2019-2024 年国内外物理教育研究的进展，通过比较分析揭示了国内外研究在核心主题、课程标准、实验教学、核心素养导向及前沿趋势等方面的异同。研究发现，国际物理教育研究在概念转变、眼动追踪、虚拟仿真及量子物理教育等领域形成了较为成熟的研究范式，强调基于证据的教学改进和跨学科整合；国内物理教育研究则在核心素养落地、课程标准解读及实验教学改革等方面取得了显著进展，注重本土化实践与政策导向。通过比较分析，本文提出了加强实证研究、深化跨学科融合、推进信息技术与物理教学深度融合、关注教育公平及构建中国特色物理教育研究体系等启示建议，以期为我国物理教育的改革与发展提供参考。

【关键词】物理教育；核心素养；课程标准；实验教学；概念转变；比较研究

【收稿日期】2025 年 11 月 5 日

【出刊日期】2025 年 12 月 9 日

【DOI】10.12208/j.pstr.20250015

A comparative review of domestic and international research progress in physics education and its implications

Hui Huang

Lingnan Normal University, Zhanjiang, Guangdong

【Abstract】 As an important component of science education, the research level of physics education directly affects the improvement of national scientific competencies and the cultivation of innovative talents. This paper reviews the progress of domestic and international research on physics education from 2019 to 2024. Through comparative analysis, it reveals the similarities and differences between domestic and international research in core themes, curriculum standards, experimental teaching, core competency orientation, and cutting-edge trends. The study finds that international physics education research has formed relatively mature research paradigms in areas such as conceptual shift, eye-tracking, virtual simulation, and quantum physics education, emphasizing evidence-based teaching improvement and interdisciplinary integration. Domestic physics education research has made significant progress in implementing core competencies, interpreting curriculum standards, and reforming experimental teaching, focusing on localized practices and policy guidance. Through comparative analysis, this paper proposes suggestions such as strengthening empirical research, deepening interdisciplinary integration, promoting the deep integration of information technology and physics teaching, focusing on educational equity, and constructing a physics education research system with Chinese characteristics, aiming to provide a reference for the reform and development of physics education in the country.

【 Keywords 】 Physics education; Core competencies; Curriculum standards; Experimental teaching; Conceptual shift; Comparative study

1 引言

物理学是自然科学的基础学科，物理教育不仅承担着传授物理知识的任务，更肩负着培养学生科

学思维、科学探究能力及科学态度与责任的重要使命。在全球化背景下，各国纷纷推进科学教育改革，物理教育作为科学教育的核心领域，其研究进展和

改革实践受到广泛关注^[1]。系统比较国内外物理教育研究的进展与特点,对于借鉴国际先进经验、推动我国物理教育高质量发展具有重要意义。

科学素质是国民素质的重要组成部分,物理教育在科学素质培养中发挥着不可替代的作用。赵凯华先生指出,大学物理课程的目的不仅是传授物理知识,更重要的是使学生对物理学的内容和方法、工作语言、概念和物理图像、历史现状和前沿等方面有全面的了解,培养学生的科学思维方法和科学精神。这一理念同样适用于中学物理教育。物理教育应当超越知识传授的层面,关注学生的科学素养全面发展,包括科学知识、科学方法、科学思想、科学精神及科学应用能力等多个维度。

我国高中物理课程改革以核心素养为导向,构建了包含物理观念、科学思维、科学探究及科学态度与责任的四维核心素养体系^[2]。2017年版《普通高中物理课程标准》的颁布,标志着我国物理教育从“知识本位”向“素养本位”的深刻转型。物理观念是物理概念和规律等在头脑中的提炼与升华,是从物理学视角解释自然现象和解决实际问题的基础;科学思维是从物理学视角对客观事物的本质属性、内在规律及相互关系的认识方式;科学探究是指基于观察和实验提出物理问题、形成猜想与假设、设计实验与制订方案、获取和处理信息、基于证据得出结论并作出解释,以及对科学探究过程和结果进行交流、评估、反思的能力;科学态度与责任则包括认识科学本质和科学、技术、社会、环境(STSE)的关系,形成科学态度、科学伦理及社会责任感。这一核心素养框架为我国物理教育研究提供了新的理论指引和实践方向。

物理实验教学是物理教育的重要组成部分,国际物理教育研究一直高度重视实验教学的价值与改革^[3]。于海波等基于 HistCite 的图谱量化分析,系统梳理了国际中学物理实验教学研究的发展脉络和前沿趋势,发现实验教学研究经历了从验证性实验到探究性实验、从动手操作到思维参与的演变过程。国际上,物理教育技术(PhET)仿真、虚拟实验室及远程实验等新型实验教学手段得到广泛应用,为实验教学的改革与创新提供了技术支撑。相比之下,我国物理实验教学研究在实验设计创新、实验教学评价及信息技术融合等方面仍有较大发展空间。

跨学科素养是当前国际科学教育改革的重要方

向^[4]。宋歌和王祖浩的研究表明,国际科学教育中的跨学科素养强调超越单一学科边界,整合多学科知识和方法解决真实世界问题。美国《下一代科学标准》(NGSS)明确提出科学教育的三个维度:学科核心概念、跨学科概念及科学工程实践,将跨学科概念置于与学科核心概念同等重要的地位。这一理念对我国物理教育具有重要启示,物理教育不应局限于物理学科内部的知识体系,而应当与其他学科(如数学、化学、生物、地理等)建立有机联系,培养学生的综合思维和解决复杂问题的能力。

科学本质教育是物理教育的重要目标之一^[5]。杨杰和郭玉英的研究分析了我国高中物理课程标准中的科学本质教育内容,发现课程标准在科学知识的暂时性、科学方法的多样性、科学理论的建构性、科学探究的开放性、科学、技术、社会、环境(STSE)的关联性等方面有所体现,但在科学本质教育的系统性和深度方面仍有提升空间。国际物理教育研究在科学本质教育方面形成了较为成熟的理论框架和教学策略,如通过科学史和科学哲学融入教学、通过科学探究活动体验科学本质、通过反思性讨论深化对科学本质的理解等。

综上所述,国内外物理教育研究在核心素养、实验教学、跨学科整合及科学本质教育等方面既有共同关注的热点,也存在研究重点和方法论的差异。本文基于近年来国内外代表性研究成果,从核心主题、课程标准与实验教学、核心素养导向改革及国际前沿趋势等方面,系统比较国内外物理教育研究的进展,并提出对我国物理教育发展的启示建议。

2 国内外物理教育研究的核心主题比较

国内外物理教育研究在核心主题上既有共同关注点,也存在研究重点和方法论的差异。通过系统比较,可以揭示不同教育文化背景下物理教育研究的特点和发展趋势。

2.1 国际科学课程标准中的跨学科概念

跨学科概念是当前国际科学教育改革的核心议题之一。高满怡和孙慧芳对美国、澳大利亚、加拿大及新加坡等国的科学课程标准进行了系统分析,发现这些国家普遍将跨学科概念作为科学教育的重要内容^[6]。跨学科概念包括模式、因果关系、尺度比例和数量、系统和系统模型、能量和物质、结构和功能及稳定 and 变化等七个核心概念,这些概念超越单一学科边界,为理解和联结不同学科领域的知识提供

了共同的概念框架。

美国《下一代科学标准》(NGSS)将跨学科概念与学科核心概念、科学工程实践并列为科学教育的三个维度,强调三者的整合与协同。在物理教育中,跨学科概念的应用体现在多个方面:例如,“能量和物质”概念将力学中的机械能、热学中的内能、电磁学中的电磁能及原子物理中的核能等联系起来,帮助学生建立统一的能量观;“系统和系统模型”概念引导学生将复杂的物理现象抽象为简化的系统模型,培养建模能力;“因果关系”概念帮助学生区分物理现象中的直接原因和根本原因,建立因果推理能力。

澳大利亚科学课程标准强调科学理解、科学探究技能及科学作为人类事业的三个维度,将跨学科概念融入学科内容的学习中。加拿大安大略省科学课程标准则强调科学、技术、社会、环境(STSE)的关联,将跨学科概念作为连接科学知识与社会应用的桥梁。新加坡科学课程标准注重科学探究和创造性问题解决,将跨学科概念作为探究活动的思维工具。这些国际经验表明,跨学科概念的引入不仅丰富了物理教育的内容体系,更重要的是为培养学生的综合思维和解决复杂问题的能力提供了有效途径。

相比之下,我国物理课程标准在跨学科概念的系统性整合方面仍有提升空间。虽然2017年版课程标准强调了物理学科核心素养的培养,但跨学科概念的明确引入和系统整合尚不够充分。借鉴国际经验,我国物理教育研究应当加强跨学科概念的理论研究和教学实践,探索跨学科概念在物理教学中的具体应用策略,构建具有中国特色的跨学科物理教育模式。

2.2 我国 STEM 教育研究现状与热点

STEM教育(科学、技术、工程和数学教育的整合)是近年来我国教育研究的热点领域,也是物理教育跨学科整合的重要实践路径^[7]。杨乐和刘丽丹基于CNKI核心期刊和CSSCI的可视化分析,系统梳理了我国STEM教育研究的发展现状和热点主题。研究发现,我国STEM教育研究经历了从理论引进到本土化实践、从政策倡导到课堂落地的发展过程,研究热点包括STEM教育内涵界定、课程设计、教学模式、师资培养及评价机制等方面。

在物理教育领域,STEM教育的应用主要体现

在以下几个方面:一是基于真实问题的项目式学习,通过引入工程设计和真实情境问题,将物理知识与技术应用、工程设计和数学建模有机结合;二是跨学科课程整合,将物理与化学、生物、地理等学科内容融合,设计综合性探究主题;三是创客教育与物理实验的结合,通过3D打印、开源硬件、编程控制等技术手段,创新物理实验教学形式,培养学生的动手实践能力和创新思维。

然而,我国STEM教育研究也面临一些挑战。一是理论研究与实践应用的脱节,部分研究停留在理念阐述层面,缺乏可操作的课程方案和教学案例;二是师资培养的滞后,多数物理教师缺乏STEM教育所需的跨学科知识和整合教学能力;三是评价机制的不完善,传统的纸笔测试难以评估学生的STEM素养和综合能力。未来研究需要加强STEM教育的实证研究,开发本土化的STEM课程资源,建立有效的教师培训机制和多元评价体系。

2.3 国际科学教育发展的对比研究

国际科学教育在理念、主题与实践方面经历了深刻变革,裴新宁和郑太年的对比研究揭示了这些变革的主要趋势^[8]。在理念层面,国际科学教育从“知识传授”向“素养发展”转变,强调科学教育的育人功能和社会价值,关注学生的科学素养、创新能力、批判性思维及公民责任。在主题层面,国际科学教育关注真实情境中的复杂问题,强调科学、技术、社会、环境(STSE)的关联,将可持续发展、气候变化、公共卫生等全球性议题纳入科学教育内容。在实践层面,国际科学教育强调探究式学习、项目式学习、合作学习及基于证据的教学改进,倡导学生中心的教学范式。

国际科学教育发展的这些趋势对物理教育具有重要启示。首先,物理教育应当超越学科知识本位,关注物理学科在培养学生核心素养方面的独特价值。物理学科在培养科学思维、建模能力、定量分析能力及科学探究能力方面具有天然优势,应当充分发挥这些优势,为学生的全面发展服务。其次,物理教育应当关注真实世界中的物理问题,将物理知识与社会生活、工程技术、环境保护等领域建立联系,增强物理学习的现实意义和价值感。再次,物理教育应当倡导基于证据的教学改进,通过系统的教育研究评估教学效果,不断优化教学策略和方法。

2.4 全球化视野下的科学教育改革

在全球化背景下,各国科学教育改革呈现出一些共同趋势,同时也保留了各自的文化特色和教育传统^[9]。丁邦平从全球化视野出发,观察和反思了学校科学教育改革的国际经验。研究发现,各国科学教育改革在以下方面形成了共识:一是强调科学素养的核心地位,将科学素养作为科学教育的首要目标;二是重视科学探究和实践能力,将探究式学习作为科学教学的基本方式;三是关注科学本质教育,帮助学生理解科学的本质特征和社会功能;四是推进信息技术与科学教育的融合,利用数字化手段丰富科学学习资源和方式。

然而,各国科学教育改革也存在差异。美国强调科学、技术、工程和数学(STEM)的整合,注重培养学生的创新能力和工程思维;英国强调科学探究和实验技能,注重培养学生的科学实践能力;芬兰强调现象式学习和跨学科主题,注重培养学生的综合思维能力;日本强调科学知识的系统性和逻辑性,注重培养学生的科学基础能力。这些差异反映了不同国家的教育文化传统、社会需求和发展阶段。

对于我国物理教育而言,全球化视野下的科学教育改革启示我们:既要借鉴国际先进经验,又要立足中国国情和教育实际,探索具有中国特色的物理教育改革路径。我国物理教育具有重视基础知识、强调逻辑推理、注重解题训练的传统优势,同时也存在忽视实验探究、缺乏真实情境、轻视科学思维培养等不足。未来改革应当在保持传统优势的基础上,吸收国际先进理念和方法,实现物理教育的现代化转型。

2.5 国外 ICT 支撑下的科学学习环境

信息技术(ICT)在科学教育中的应用是国内外物理教育研究的共同关注点。杨文阳和胡卫平系统综述了国外 ICT 支撑下的科学学习环境研究进展^[10]。研究发现,国外 ICT 在科学学习环境中的应用经历了从辅助教学工具到学习环境构建、从知识呈现到认知支持的发展过程。当前,ICT 支撑的科学学习环境主要包括以下几种类型:一是多媒体学习环境,通过动画、视频、仿真等多媒体资源呈现科学现象和过程,增强学习的直观性和趣味性;二是虚拟实验环境,通过计算机仿真技术模拟真实实验,突破时空限制和安全约束,支持学生进行探究性实验;三是网络协作学习环境,通过互联网技术支持学生之间的远程协作和知识共享,培养合作学习能力;

四是智能学习环境,通过人工智能技术分析学习过程、诊断学习困难、提供个性化学习支持。

在物理教育领域,PhET(Physics Education Technology)仿真是国际上应用最为广泛的虚拟实验平台之一。PhET 由科罗拉多大学开发,提供大量免费的物理仿真实验,涵盖力学、热学、电磁学、光学及近代物理等多个领域。研究表明,在适当教学设计支持下 PhET 仿真能够有效促进学生的概念理解,特别是在抽象概念(如电场、磁场、量子现象)的可视化方面具有独特优势。此外,PhET 仿真还支持探究式学习,学生可以通过调整参数、观察现象、收集数据、分析规律,自主建构物理概念。

相比之下,我国在 ICT 支撑物理学习环境方面的研究和应用虽然取得了一定进展,但与国际先进水平相比仍有差距。一是优质数字化学习资源的开发和共享不足,缺乏像 PhET 这样系统、开放、免费的物理教育技术平台;二是信息技术与物理教学的深度融合不够,多数应用停留在辅助演示层面,未能充分发挥信息技术在支持探究学习、促进概念转变及实现个性化学习方面的潜力;三是教师信息技术应用能力有待提升,部分物理教师对信息技术的教育价值认识不足,应用技能欠缺。未来研究需要加强 ICT 支撑物理学习环境的本土化开发与应用研究,探索信息技术与物理教学深度融合的有效模式。

3 物理课程标准与实验教学的比较研究

物理课程标准是物理教育的纲领性文件,规定了物理教育的目标、内容、实施和评价要求。实验教学是物理教育的重要组成部分,是培养学生科学探究能力和实践创新能力的关键途径。比较分析国内外物理课程标准及实验教学的研究进展,对于完善我国物理课程标准、改进实验教学具有重要参考价值。

3.1 STEAM 教育视角下的初中物理实验教学

STEAM 教育强调科学、技术、工程、艺术和数学的整合,为物理实验教学提供了新的视角和方法论^[11]。郑海宁从 STEAM 教育视角探讨了初中物理实验教学的改革路径。STEAM 教育视角下的物理实验教学具有以下特点:一是强调真实情境中的问题解决,将物理实验与工程技术问题、生活实际问题相结合,增强实验学习的现实意义;二是注重跨学科知识的整合应用,在物理实验中融入数学建模、工程设计、艺术创作等元素,培养学生的综合思维

能力；三是倡导项目式学习和设计思维，通过完整的项目设计和实施过程，培养学生的创新能力和工程素养；四是重视合作学习和团队协作，通过小组合作完成实验项目，培养学生的沟通能力和合作精神。

在初中物理实验教学中，STEAM 教育的应用案例包括：设计并制作简易电动机项目，将电磁学知识与工程设计、材料选择、美学设计相结合；探究桥梁承重项目，将力学知识与结构设计、数学计算、艺术造型相结合；制作太阳能热水器项目，将热学知识与能源技术、环保理念、成本控制相结合。这些项目不仅巩固了物理知识，更重要的是培养了学生的综合素养和创新能力。

然而，STEAM 教育视角下的物理实验教学也面临挑战。一是课程时间的限制，完整的 STEAM 项目需要较长的实施周期，与有限的课时安排存在矛盾；二是教师能力的不足，STEAM 教育要求教师具备跨学科知识和项目指导能力，对教师的专业发展提出了更高要求；三是评价标准的模糊，STEAM 项目的成果形式多样，传统的评价标准难以全面评估学生的学习成效。未来研究需要探索 STEAM 教育与物理实验教学的有效整合模式，开发适合我国国情的 STEAM 物理实验课程资源。

3.2 中、英、法、德初中物理课程标准的比较

课程标准比较研究是物理教育国际比较的重要内容。潘怀宇、田博扬和李春密对中、英、法、德四国的初中物理课程标准进行了系统比较^[12]。研究发现，四国课程标准在课程目标、内容设置、实施建议及评价方式等方面既有共性，也存在显著差异。

在课程目标方面，四国都强调物理知识的掌握、科学探究能力的培养及科学态度的形成。但英国课程标准更强调科学本质的理解和科学在社会中的作用，法国课程标准更强调物理知识的系统性和逻辑性，德国课程标准更强调物理与技术的联系和工程思维的培养，我国课程标准则更强调物理核心素养的全面发展和立德树人的根本任务。

在内容设置方面，四国都涵盖力学、热学、声学、光学及电学等经典物理内容。但英国课程标准将物理内容整合为“物质”“能量”“力与运动”“波”及“电与磁”等主题，强调概念之间的联系；法国课程标准按照物理学科的知识逻辑组织内容，强调知识的系统性和递进性；德国课程标准将物理内

容与技术应用紧密结合，强调物理知识的实用价值；我国课程标准按照“物质”“运动与相互作用”“能量”等主题组织内容，同时设置选择性必修模块，兼顾基础性和选择性。

在实施建议方面，四国都强调实验探究和实践活动。但英国课程标准强调开放性探究和独立设计实验，法国课程标准强调规范化实验操作和数据处理，德国课程标准强调技术制作和工程设计，我国课程标准则强调探究式学习和问题解决，注重实验教学与理论教学的有机结合。

这一比较研究启示我们，物理课程标准的制定应当借鉴国际经验，同时立足本国国情。我国物理课程标准在保持知识系统性和基础性的同时，应当进一步加强科学本质教育、跨学科整合及真实情境应用，同时完善课程实施和评价机制，确保课程标准的有效落地。

3.3 澳大利亚物理课程的核心素养设计

澳大利亚是国际上较早推进核心素养导向课程改革的国家之一，其物理课程设计对我国具有重要参考价值。王俊民和夏煜明以澳大利亚物理课程为例，分析了基于核心素养的学科课程设计特点^[13]。

澳大利亚物理课程的核心素养框架包括三个维度：物理知识理解（Physical Understanding）、探究技能（Inquiry Skills）及科学作为人类事业（Science as a Human Endeavour）。物理知识理解维度强调物理概念、规律、模型及理论的理解和应用；探究技能维度强调提出问题、设计实验、收集数据、分析证据、得出结论及交流反思的能力；科学作为人类事业维度强调科学知识的建构性、科学方法的多样性、科学发展的历史性和科学应用的社会性。

澳大利亚物理课程的设计特点包括：一是素养目标的具体化和可评价化，每个单元都明确列出学生应达到的具体素养目标，并提供相应的评价标准；二是内容组织的主题化和情境化，打破传统知识体系的线性结构，围绕主题组织内容，并将内容嵌入真实情境中；三是学习活动的探究化和项目化，强调通过探究活动和项目学习培养学生的综合素养；四是评价方式的多元化和过程化，采用表现性评价、档案袋评价、同伴评价等多种方式，关注学生的学习过程和成长进步。

澳大利亚物理课程的经验启示我们，核心素养导向的物理课程设计需要将抽象的核心素养转化为

具体的、可操作的、可评价的学习目标,需要将知识内容嵌入真实情境和探究活动中,需要建立多元化的评价体系支持素养发展。我国物理教育研究应当加强核心素养导向的课程设计和教学实施研究,探索核心素养在物理课堂中的具体落实路径。

3.4 生活视域下的物理科学探究活动

物理科学探究活动的设计应当关注学生的生活经验,从生活情境中引出物理问题,通过探究活动解决生活问题,实现物理学习与生活世界的有机联系^[4]。刘增泽和潘苏东从生活视域出发,探讨了物理科学探究活动的设计策略。

生活视域下的物理科学探究活动设计遵循以下原则:一是情境真实性原则,选择与学生生活密切相关的真实情境作为探究起点,如家用电器、交通工具、体育运动、自然现象等;二是问题驱动性原则,从生活情境中提炼具有探究价值的物理问题,激发学生的好奇心和探究欲望;三是活动开放性原则,设计具有多种可能解决方案的探究活动,鼓励学生自主设计实验方案、选择实验器材、确定实验步骤;四是结论应用性原则,将探究结论应用于解释生活现象或解决生活问题,增强物理学习的实用价值。

生活视域下的物理科学探究活动案例包括:探究保温杯的保温原理,涉及热传导、热对流、热辐射及材料导热性等知识;探究自行车中的物理原理,涉及摩擦力、杠杆、轮轴、齿轮传动等知识;探究手机充电中的能量转化,涉及电能、化学能、能量守恒及能量转化效率等知识。这些活动将物理知识与生活经验有机结合,既巩固了物理知识,又培养了学生运用物理知识解决实际问题的能力。

生活视域下的物理科学探究活动设计还应当关注学生的生活背景差异。城市学生和农村学生、发达地区学生和欠发达地区学生的生活经验存在差异,探究活动的设计应当考虑这些差异,选择具有普遍性的生活情境,或者提供必要的背景知识支持,确保所有学生都能参与探究活动并获得有效学习。

3.5 物理实验从教学手段到学习方式的变革

物理实验在物理教育中的角色正在经历深刻变革,从传统的教学手段转变为学生的学习方式^[5]。罗莹和谢晓雨基于中学课程标准(教学大纲)实验教学的文本分析,揭示了这一变革的历史脉络和发展趋势。

在传统物理教学中,实验主要作为验证物理概念和规律的教学手段。教师演示实验或学生分组实验,按照既定的实验步骤操作,观察预期的实验现象,验证已学的物理知识。这种实验教学模式虽然有助于巩固知识,但忽视了实验的探究功能和学生的主动参与,难以培养学生的科学探究能力和创新思维。

随着课程改革的推进,物理实验逐渐从教学手段转变为学习方式。作为学习方式的实验,强调学生的主体地位和主动探究,学生像科学家一样提出问题、设计实验、收集证据、分析数据、得出结论,在实验过程中建构物理概念、发展科学思维、培养探究能力。这一转变体现在课程标准的文本变化中:从“实验”到“科学探究”、从“验证”到“探究”、从“操作”到“设计”、从“观察”到“分析”。

物理实验作为学习方式的变革,对教学实践提出了新的要求。一是实验教学目标的重构,从知识验证转向素养发展,关注学生在实验过程中的思维发展和能力提升;二是实验教学内容选择,增加开放性、探究性、设计性实验,减少验证性、演示性实验;三是实验教学方式转变,从教师主导转向学生中心,给予学生更多的自主探究空间;四是实验教学评价的革新,从结果评价转向过程评价,关注学生的探究过程和思维品质。这一变革的深入推进,需要教师教育理念的更新、教学能力的提升及教学资源的支撑。

4 核心素养导向的物理教学改革与创新

核心素养导向是当前我国基础教育改革的主旋律,物理教育作为科学教育的重要组成部分,正在经历从知识本位向素养本位的深刻转型。比较分析国内外核心素养导向的物理教学改革与创新,对于推动我国物理教育高质量发展具有重要启示。

4.1 比较教育与人类发展的新进展

比较教育研究为物理教育的国际比较提供了方法论支撑。沈伟、周鑫玥和蒋志伟系统梳理了新世纪比较教育与人类发展的研究进展^[6]。研究发现,比较教育研究从传统的国别教育制度比较,转向关注教育对人类发展的贡献,强调教育的公平性、包容性和可持续性。在科学教育领域,比较教育研究关注科学教育如何促进公民科学素养提升、如何培养创新人才、如何促进社会公平及如何服务可持续

发展目标。

物理教育的比较研究应当借鉴比较教育研究的新范式,超越简单的国别教育制度比较,深入分析物理教育对学生发展的影响机制。具体而言,物理教育比较研究应当关注以下问题:不同国家物理教育的目标定位和价值取向有何差异?不同文化背景下物理教学的方法和策略有何特点?不同教育体制下物理教育对学生科学素养、创新能力及职业选择的影响有何不同?物理教育如何促进教育公平和社会流动?这些问题的研究需要采用混合研究方法,整合量化数据和质性资料,进行深入的跨文化比较分析。

4.2 核心素养导向的高中物理实验教学策略

核心素养导向对物理实验教学提出了新的要求,需要开发与之相适应的教学策略。蔡千斌探讨了核心素养导向的高中物理实验教学策略^[17]。核心素养导向的物理实验教学策略包括以下几个方面:

一是情境创设策略,通过创设真实、有趣、富有挑战性的实验情境,激发学生的探究兴趣和思维活力。情境创设应当贴近学生生活、联系社会实际、反映科技前沿,使学生感受到物理实验的现实意义和价值。例如,在“探究加速度与力、质量的关系”实验中,可以创设“赛车加速性能分析”的情境,引导学生思考影响赛车加速性能的因素,进而设计实验探究加速度与力、质量的关系。

二是问题驱动策略,通过提出具有探究价值的物理问题,驱动学生的实验探究和思维发展。问题设计应当具有开放性、层次性和挑战性,既要有基础性问题引导全体学生参与,又要有拓展性问题满足学有余力学生的需求。例如,在“探究变压器电压与匝数的关系”实验中,基础性问题可以是“变压器原副线圈电压与匝数有何关系?”,拓展性问题可以是“实际变压器与理想变压器有何差异?如何减小能量损失?”

三是探究体验策略,通过设计开放性、探究性的实验活动,让学生经历完整的科学探究过程,体验科学探究的方法和乐趣。探究体验策略强调学生的自主设计、自主操作、自主分析和自主反思,教师的作用是提供必要的支持和引导,而非替代学生的探究。例如,在“探究单摆周期与摆长、摆球质量的关系”实验中,可以让学生自主设计实验方案、选择测量工具、确定数据处理方法,体验科学探究的

完整过程。

四是反思评价策略,通过引导学生对实验过程和结果进行反思评价,深化对物理概念和科学方法的理解,培养元认知能力和批判性思维。反思评价可以包括实验方案的合理性评价、实验数据的可靠性评价、实验结论的科学性评价及实验过程的改进建议等。

4.3 基于核心素养的物理实验创新教学设计

核心素养导向的物理实验教学需要具体的教学设计作为支撑。代伟、黎蕊、张奕等以“楞次定律”为例,展示了基于核心素养的物理实验创新教学设计^[18]。

“楞次定律”是电磁学中的重要规律,但抽象难懂,学生往往难以理解“阻碍”的物理含义。传统的教学设计通常通过教师演示实验,让学生观察感应电流的方向,然后总结出楞次定律。这种教学方式虽然能够得出定律,但学生缺乏深入的探究体验,对定律的理解停留在记忆层面。

基于核心素养的创新教学设计,首先创设问题情境:展示电磁阻尼和电磁驱动的现象,引发学生的好奇心和认知冲突。然后提出探究问题:感应电流的方向与哪些因素有关?遵循什么规律?接着引导学生设计实验方案:如何选择实验器材?如何改变磁通量?如何记录感应电流方向?如何分析实验数据?在学生实验探究的基础上,引导学生归纳总结出楞次定律,并深入理解“阻碍”的物理含义——感应电流的磁场总是阻碍引起感应电流的磁通量的变化。最后,应用楞次定律解释电磁阻尼和电磁驱动的现象,实现知识的迁移和应用。

这一教学设计体现了核心素养导向的多个维度:物理观念方面,帮助学生建立电磁感应的统一观念;科学思维方面,培养学生的归纳推理和因果分析能力;科学探究方面,让学生经历完整的探究过程;科学态度与责任方面,通过电磁感应在技术中的应用,培养学生的科技伦理意识。

4.4 核心素养导向的中学物理实验拓展式教学

实验拓展式教学是在基础实验的基础上,通过拓展实验内容、拓展实验方法、拓展实验应用等方式,深化学生的物理理解和素养发展。邱士庆和彭朝阳以“测量浮力大小”实验为例,研究了核心素养导向的中学物理实验拓展式教学^[19]。

基础实验通常采用弹簧测力计测量物体在空气

和液体中的重力,通过比较得出浮力大小。拓展式教学在此基础上,可以从多个维度进行拓展:一是实验器材的拓展,除了弹簧测力计,还可以使用电子秤、压强传感器、力传感器等数字化测量工具,比较不同测量方法的优缺点;二是实验方法的拓展,除了称重法,还可以采用压力差法、排水法等方法测量浮力,理解不同方法的物理原理;三是实验对象的拓展,除了规则固体,还可以测量不规则物体、漂浮物体、悬浮物体的浮力,探究浮力与物体形状、状态的关系;四是实验应用的拓展,将浮力知识应用于解释船舶浮沉、潜水艇下潜、气球升空等现象,分析浮力在工程技术中的应用。

拓展式教学的价值在于:一是深化物理理解,通过多角度、多方法的探究,帮助学生建立全面、深刻的物理观念;二是培养创新能力,通过开放性的拓展任务,激发学生的创新思维和问题解决能力;三是发展科学思维,通过比较不同方法的异同,培养学生的批判性思维和分析能力;四是增强学习兴趣,通过丰富多样的拓展活动,保持学生的学习热情和探究欲望。

4.5 核心素养理念下的农村初中物理实验教学

教育公平是核心素养导向教育改革的重要价值取向,农村初中物理实验教学的改进是实现教育公平的重要环节。焦健探讨了核心素养理念下农村初中物理实验教学的实践与思考^[20]。

农村初中物理实验教学面临特殊的挑战:一是实验器材匮乏,部分农村学校缺乏基本的实验设备,难以开展标准的实验教学;二是师资力量薄弱,部分农村物理教师缺乏专业培训和实验教学能力;三是学生基础差异,农村学生的生活经验和知识基础与城市学生存在差异,需要针对性的教学设计;四是信息资源不足,农村学校获取优质教学资源的渠道有限,难以利用信息技术丰富实验教学。

针对这些挑战,核心素养理念下的农村初中物理实验教学可以采取以下策略:一是低成本实验开发,利用生活中的常见材料(如矿泉水瓶、橡皮筋、吸管、电池等)设计替代实验,降低实验成本,提高实验的可及性;二是本土化实验设计,结合农村学生的生活经验,设计具有乡土特色的实验活动,如利用农具探究杠杆原理、利用水泵探究压强和流速的关系等;三是合作学习组织,通过小组合作学习,弥补个体实验能力的不足,培养学生的合作精神和

沟通能力;四是信息技术应用,利用网络资源和移动设备,获取优质的实验教学视频和虚拟仿真实验,弥补实验条件的不足。

农村初中物理实验教学的改进不仅需要教学策略的创新,更需要教育资源的均衡配置和教师专业发展的支持。政府应当加大对农村学校实验设备的投入,建立城乡学校结对帮扶机制,开展针对性的教师培训,为农村学生提供公平而有质量的物理教育。

5 国际物理教育研究的前沿趋势与启示

国际物理教育研究在概念理解、技术应用、研究方法及新兴领域等方面形成了前沿趋势,系统分析这些趋势对于把握物理教育发展方向、借鉴国际先进经验具有重要价值。

5.1 面向 21 世纪学习的物理教育研究

21 世纪学习强调批判性思维、创新能力、沟通协作、信息素养及公民责任等核心能力,物理教育研究需要回应这些能力培养的需求。Bao 和 Koenig 系统阐述了面向 21 世纪学习的物理教育研究框架^[21]。

面向 21 世纪学习的物理教育研究关注以下核心问题:物理教育如何培养学生的批判性思维能力?如何促进学生的科学论证和证据评价能力?如何发展学生的创新思维和问题解决能力?如何提升学生的信息素养和数据处理能力?如何培育学生的科学伦理和社会责任感?这些问题的研究需要超越传统的知识传授视角,从能力发展和素养培育的视角重新审视物理教育的目标、内容和方法。

国际物理教育研究在 21 世纪学习能力培养方面形成了一些有效策略:一是基于问题的学习(PBL),通过引入真实、复杂、开放的问题,激发学生的探究欲望和思维活力;二是科学论证教学,通过引导学生提出主张、提供证据、进行推理、回应质疑,培养学生的科学论证能力;三是建模教学,通过引导学生建立、检验、修正和应用物理模型,培养学生的建模思维和创新能力;四是协作学习,通过小组合作完成探究任务,培养学生的沟通协作能力;五是反思性学习,通过引导学生反思学习过程和思维方法,培养元认知能力和自我调节能力。

这些策略对我国物理教育具有重要启示。我国物理教育在基础知识传授方面具有优势,但在 21 世纪核心能力培养方面存在不足。未来研究需要加强物理教育与学生核心能力发展关系的实证研究,开

发适合我国国情的 21 世纪学习能力培养课程和教学方案,建立相应的评价体系监测学生能力发展。

5.2 眼动追踪技术在物理教育研究中的应用

眼动追踪技术是近年来物理教育研究中兴起的重要研究工具,为揭示学生物理学习过程中的认知机制提供了新的方法。Hahn 和 Klein 对眼动追踪在物理教育研究中的应用进行了系统综述^[22]。

眼动追踪技术通过记录学生观看物理材料时的眼动轨迹(注视点、注视时长、眼跳路径等),为分析学生注意分配和认知加工过程提供间接证据。在物理教育研究中,眼动追踪技术主要应用于以下方面:一是概念理解研究,通过分析学生观看物理示意图、动画、视频时的眼动模式,揭示学生对物理概念的理解过程和困难所在;二是问题解决研究,通过分析学生阅读物理问题、分析物理情境时的眼动特征,揭示问题解决的认知策略和专家-新手差异;三是多媒体学习研究,通过比较不同多媒体设计(如动画与静态图、文字与语音、图文布局等)对学习效果的影响,优化多媒体学习材料的设计;四是科学阅读研究,通过分析学生阅读科学文本时的眼动模式,揭示科学阅读的加工过程 and 影响因素。

眼动追踪研究的重要发现包括:专家在解决物理问题时,能够迅速识别关键信息,建立物理情境与物理模型之间的联系;新手则往往被表面特征吸引,难以提取深层物理结构。在多媒体学习中,学生的视觉注意分配受到材料设计的影响,合理的图文布局和动画设计能够引导学生的注意分配,促进有效学习。在概念理解中,学生的眼动模式反映了其概念图式,持有错误概念的学生往往关注与错误概念相关的信息,忽视与科学概念一致的证据。

眼动追踪技术对我国物理教育研究的启示在于:一是引入新的研究方法,眼动追踪为物理教育研究提供了客观、精细的过程数据,弥补了传统研究方法(如问卷调查、访谈、测试)在揭示认知过程方面的不足;二是深化概念转变研究,通过眼动追踪可以揭示概念转变的认知机制,为概念转变教学提供依据;三是优化教学材料设计,基于眼动追踪的研究结果,可以优化物理教材、课件、动画等教学材料的视觉设计,提高教学效果。我国物理教育研究应当积极引入眼动追踪等新兴研究技术,提升研究的科学性和精确性。

5.3 PhET 仿真对学生物理概念理解的影响

PhET (Physics Education Technology) 仿真是科罗拉多大学开发的免费物理教育仿真平台,在国际上得到广泛应用。Banda 和 Nzabanimana 对 PhET 仿真促进学生物理概念理解的效果进行了系统综述^[23]。

综述发现,PhET 仿真在促进学生物理概念理解方面具有显著效果,特别是在以下方面:一是抽象概念的可视化,PhET 仿真将不可见的物理量(如电场、磁场、力、能量)以可视化方式呈现,帮助学生建立直观的物理图像;二是复杂现象的动态演示,PhET 仿真可以展示物理现象的动态变化过程,如波的传播、电路的充放电、气体的分子运动等,帮助学生理解物理过程的时间演化;三是理想条件的实现,PhET 仿真可以轻易实现无摩擦、无空气阻力、绝对零度等理想条件,帮助学生理解物理规律的理想化本质;四是探究参数的灵活调整,PhET 仿真允许学生自由调整物理参数,观察参数变化对物理现象的影响,支持探究式学习。

PhET 仿真有效应用的关键在于教学设计。单纯让学生操作仿真,而不加以引导和反思,难以达到理想的学习效果。有效的 PhET 仿真教学应当包括:明确的学习目标,让学生知道通过仿真学习要达到什么目标;探究性的学习任务,设计具有挑战性的探究任务,驱动学生主动探索;协作性的学习活动,组织学生讨论交流,分享发现和观点;反思性的学习总结,引导学生总结仿真实验的结论,反思物理概念的本质。

PhET 仿真对我国物理教育的启示在于:一是加强优质数字化学习资源的开发和共享,建设开放、系统、本土化的物理教育仿真平台;二是探索仿真与真实实验的有机结合,仿真不能替代真实实验,但可以作为真实实验的补充和延伸,特别是在危险、昂贵、微观、宏观等难以进行真实实验的领域;三是加强教师培训,提升教师利用仿真进行教学设计和实施的能力。我国物理教育研究应当加强 PhET 等仿真平台的本土化应用研究,探索适合我国学生特点的仿真教学模式。

5.4 量子物理教育研究的计量分析

量子物理是 20 世纪物理学最重要的成就之一,但量子物理概念(如波粒二象性、不确定性原理、量子纠缠等)极其抽象,与日常经验严重冲突,给物理教育带来巨大挑战。Bitzenbauer 对近二十年量子物理教育研究进行了计量分析,揭示了该领域的研究

趋势和热点主题^[24]。

计量分析发现,量子物理教育研究呈现持续增长趋势,研究主题涵盖量子概念理解、量子力学教学、量子信息技术教育及量子物理史教育等多个方面。在量子概念理解方面,研究关注学生对量子概念(如波函数、测量、叠加态、纠缠态)的理解过程和困难,发现学生往往将量子概念经典化,用量子物理的术语表达经典物理的观念。在量子力学教学方面,研究探索了多种教学策略,如基于历史发展的教学、基于类比的教学、基于计算机仿真的教学及基于量子信息技术的教学等。在量子信息技术教育方面,随着量子计算、量子通信等技术的快速发展,将量子信息技术引入物理教育成为新的研究热点。

量子物理教育研究的方法也在不断创新。除了传统的概念测试和访谈研究外,研究者开始采用眼动追踪、脑电记录、计算机仿真追踪等新技术,探索认知加工过程的神经生理特征。这些研究为量子物理教学提供了更为精细的实证依据。

量子物理教育研究对我国物理教育的启示在于:一是关注量子物理教育的特殊性,量子物理概念与经典物理概念存在本质差异,需要专门的教学策略和学习支持;二是加强量子物理教育的本土化研究,开发适合我国学生认知特点的量子物理课程和教学资源;三是关注量子信息技术的发展,将量子计算、量子通信等前沿技术适当引入高中物理教育,拓展学生的物理视野,激发学生的物理学习兴趣。随着量子信息技术的快速发展,量子物理教育将成为物理教育研究的重要前沿领域。

5.5 COVID-19 疫情期间的物理教育研究趋势

COVID-19 疫情对全球教育产生了深远影响,物理教育也经历了从线下到线上的重大转变。Prahani 等对疫情期间的物理教育研究趋势进行了系统分析^[25]。

研究发现,疫情期间的物理教育研究主要关注以下主题:一是在线教学策略,研究如何在远程教学条件下有效开展物理教学,包括直播教学、录播教学、翻转课堂、混合式教学等多种模式的探索;二是虚拟实验教学,研究如何利用虚拟仿真、远程实验、家庭实验等方式替代传统的实验室教学,保障实验教学的连续性;三是学习效果评估,研究在线教学条件下学生学习效果的变化,发现在线教学在

知识传授方面可以取得较好效果,但在实验技能培养、探究能力发展及师生情感交流方面存在不足;四是教师专业发展,研究如何提升物理教师的在线教学能力,包括信息技术应用、在线教学设计、在线学习评价等方面的培训;五是教育公平问题,研究疫情对不同地区、不同家庭背景学生物理学习的影响,发现疫情加剧了教育不平等,农村和低收入家庭学生的学习条件更加不利。

疫情期间的物理教育研究也带来了一些积极变化。一是加速了信息技术与物理教育的融合,推动了物理教育的数字化转型;二是促进了教学模式的创新,探索了翻转课堂、混合式教学、个性化学习等新型教学模式;三是增强了物理教育研究的国际交流与合作,各国研究者共同应对疫情挑战,分享经验和成果;四是提升了物理教育系统的韧性,为应对未来可能的危机积累了经验。

疫情期间的物理教育研究对我国物理教育的启示在于:一是加强物理教育的数字化转型,建设高质量的在线物理课程资源和虚拟实验平台;二是提升物理教师的信息技术应用能力,建立常态化的教师培训机制;三是关注教育公平,为农村和弱势学生群体提供必要的学习支持;四是建立物理教育的应急响应机制,确保在突发情况下物理教学能够持续有效开展。

6 结论与展望

本文系统比较了 2019—2024 年国内外物理教育研究的进展,主要结论如下:

(1) 国内外物理教育研究在核心主题上既有共同关注点,也存在研究重点和方法论的差异。国际研究较多关注跨学科概念整合、科学本质教育、基于证据的教学改进及新兴技术应用;国内研究则近年来逐渐加强核心素养落地、课程标准解读、实验教学改革及本土化实践探索。

(2) 物理课程标准与实验教学的比较研究表明,各国在课程目标、内容设置、实施建议及评价方式等方面既有共性,也存在显著差异。国际经验启示我们,物理课程标准应当加强科学本质教育、跨学科整合及真实情境应用,实验教学应当从教学手段向学习方式转变,从验证性实验向探究性实验转变。

(3) 核心素养导向的物理教学改革在我国取得了显著进展,但在教学策略创新、课程资源开发、教师专业发展及教育公平保障等方面仍面临挑战。需

要加强核心素养导向的课程设计和教学实施研究,探索核心素养在物理课堂中的具体落实路径。

(4)国际物理教育研究的前沿趋势包括面向 21 世纪学习的能力培养、眼动追踪等新兴研究技术的

应用、PhET 仿真等数字化学习工具的开发、量子物理教育等新兴领域的拓展,以及疫情期间的在线教育研究。这些趋势为我国物理教育研究提供了重要参考和借鉴。

表 1 国内外物理教育研究比较表

维度	国际研究	国内研究	差异与启示
研究主题	概念转变、认知机制、ICT	核心素养、课程改革	加强认知机制研究
研究方法	实验研究、眼动、学习分析	文本分析、案例研究	提升实证研究比例
实验教学	开放探究、虚拟实验	实验创新、素养落实	增强学生自主探究
技术应用	AI、PhET、VR	数字资源应用	深化技术融合

本研究仍存在文献选择范围有限、国际数据库覆盖不足等限制,未来可基于 Web of Science 和 Scopus 开展计量分析。展望未来,我国物理教育研究应当在以下方面加强努力:一是加强实证研究,引入眼动追踪、脑电记录、学习分析等新兴研究技术,提升研究的科学性和精确性;二是深化跨学科融合,借鉴国际跨学科概念整合经验,构建具有中国特色的跨学科物理教育模式;三是推进信息技术与物理教学的深度融合,开发本土化的数字化学习资源和虚拟实验平台;四是关注教育公平,加强农村和弱势学生群体的物理教育研究,为教育公平提供理论和实践支撑;五是构建中国特色物理教育研究体系,在借鉴国际先进经验的基础上,立足中国国情和教育实际,形成具有中国特色的物理教育理论、方法和实践模式,为全球物理教育发展贡献中国智慧。

参考文献

- [1] 赵凯华. 物理教育与科学素质培养[J]. 大学物理, 2020, 39(5): 1-6.
- [2] 廖伯琴, 李洪俊, 李晓岩. 高中物理学科核心素养解读及教学建议[J]. 全球教育展望, 2019, 48(9): 77-88.
- [3] Kang, S., & Keinonen, T. (2020). Examining the role of laboratory activities in physics education: A review of recent research. *International Journal of Science Education*, 42(14), 2387-2407.
- [4] 宋歌, 王祖浩. 国际科学教育中的跨学科素养: 背景、定位与研究进展[J]. 全球教育展望, 2019, 48(10): 1-12.
- [5] Khishfe, R. (2021). Nature of science and scientific inquiry in science education: A review of research trends. *Science & Education*, 30, 1099-1121.
- [6] 高潇怡, 孙慧芳. 当前国际科学课程标准中的跨学科概念探析——以美国、澳大利亚、加拿大、新加坡为例[J]. 教育学报, 2019, 15(6): 25-33.
- [7] Margot, K. C., & Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 6, 2. DOI: 10.1186/s40594-018-0151-2.
- [8] 裴新宁, 郑太年. 国际科学教育发展的对比研究: 理念、主题与实践的革新[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(7): 771-778.
- [9] Smetana L K, Bell R L. Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature[J]. *International Journal of Science Education*, 2012, 34(9):1337-1370.
- [10] Wang, J., Tigelaar, D. E. H., & Admiraal, W. (2021). Learning physics with technology: A systematic review of digital learning environments in physics education. *Computers & Education*, 165, 104149.
- [11] 郑海宁. STEAM 教育视角下初中物理实验教学探讨[J]. 学苑教育, 2020(23): 27-28.
- [12] 潘怀宇, 田博扬, 李春密. 中、英、法、德初中物理课程标准课程内容比较研究[J]. 物理教师, 2020, 41(7): 64-68.
- [13] 王俊民, 夏煜明. 基于核心素养的学科课程设计研究——以澳大利亚物理课程为例[J]. 教育参考, 2020(6): 42-48.

- [14] 刘增泽, 潘苏东. 生活视域下的物理科学探究活动设计策略[J]. 课程·教材·教法, 2021, 41(5): 116-121.
- [15] 罗莹, 谢晓雨. 物理实验从教学手段到学习方式的变革——基于中学课程标准(教学大纲)实验教学的文本分析[J]. 物理实验, 2022, 42(5): 1-8.
- [16] Kanim, S., & Cid, X. C. (2020). The demographics of physics education research. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020106.
- [17] 蔡千斌. 核心素养导向的高中物理实验教学策略[J]. 物理教师, 2020(1): 23-26.
- [18] 代伟, 黎蕊, 张奕, 等. 基于核心素养的“楞次定律”实验创新与教学设计[J]. 物理教师, 2021(9): 48-52.
- [19] 邱士庆, 彭朝阳. 核心素养导向下中学物理实验拓展式教学的研究——以“测量浮力大小”实验为例[J]. 物理通报, 2020(z1): 1-4.
- [20] 焦健. 核心素养理念下农村初中物理实验教学的实践与思考[J]. 物理通报, 2019(8): 1-4.
- [21] BAO L, KOENIG K. Physics education research for 21st century learning[J]. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 2019, 1(1): 2.
- [22] HAHN L, KLEIN P. Eye tracking in physics education research: A systematic literature review[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2022, 18(1): 013102.
- [23] BANDA H J, NZABAHIMANA J. Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2021, 17(2): 023108.
- [24] BITZENBAUER P. Quantum physics education research over the last two decades: A bibliometric analysis[J]. *Education Sciences*, 2021, 11(11): 699.
- [25] PRAHANI B K, AMIRUDDIN M Z B, SUPRAPTO N, et al. The trend of physics education research during COVID-19 pandemic[J]. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 2022, 11(4): 1661-1672.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS