

虚拟现实技术驱动中小学科学核心素养发展综述

A Review of Virtual Reality-Driven Development of Scientific Core Literacy in Primary and Secondary Schools

李峥¹, 董艳^{2*}

¹ 北京师范大学未来教育学院

² 北京师范大学教育学部教育技术学院

* 202522039090@mail.bnu.edu.cn

【摘要】 虚拟现实技术凭借其沉浸感、交互性、构想性与多感官特性，正深刻影响着科学教育的实践模式与学习成效。研究显示，在科学教育领域，VR 技术驱动学生科学核心素养方面价值突出，体现在促进对抽象与复杂科学概念的深层次理解，有效激发并维持内在学习动机与课堂参与度，为安全、低成本、可重复的探究性实践提供创新平台，拓展探究实践边界。同时存在高阶认知能力培养证据尚不充分、课程资源与教师专业发展支持欠缺等困境。未来，研究需从推进实证评估、关注教育公平等维度探索，以更系统、科学地支持学生科学核心素养的发展。

【关键词】 虚拟现实，科学教育，科学素养

Abstract: Virtual Reality (VR) technology, with its features of immersion, interactivity, imaginability and multi-sensory stimulation, is profoundly reshaping science education's practices and learning outcomes. Studies show VR excels at fostering students' scientific core competencies: it deepens understanding of abstract complex concepts, boosts intrinsic motivation and classroom engagement, and provides a safe, low-cost, repeatable platform for inquiry-based learning. However, evidence for higher-order cognitive skill development is insufficient, with gaps in curriculum resources and teacher professional development. Future research should advance empirical evaluation and prioritize educational equity to support students' scientific core competencies systematically.

Keywords: Virtual reality, Science Education, Scientific literacy

1. 引言

科学课程要培养的学生核心素养，主要是指学生在学习科学课程的过程中，逐步形成的适应个人终身发展和社会所需要的正确价值观、必备品格和关键能力，包括科学观念、科学思维、探究实践、态度责任等方面(中华人民共和国教育部, 2022)。

科学教育工作的总体指向在于推动中小学科学教育工作更加重视激发学生好奇心、想象力、探求欲，更加聚焦提升学生科学素养、培育学生批判思维 and 创新能力(中学小科学教育工作指南, 2025)。近年来，以沉浸性、交互性与构想性为核心特征的虚拟现实技术（VR）能够将抽象的概念可视化、具象化、动态化，为学生创造基于情境的学习环境，给科学教学突破时空约束提供了可能性，从学习好奇心与兴趣、探求欲与动机、想象力与创造方面产生了积极的效果。然而科学教育需要以实际成效推动从技术到学习形式的转变再到学生观念、思维、探究能力和态度方面的塑造，以实现培养科学核心素养的目标。

虽然全球范围内关于 VR 在中小学科学教育中的研究持续增长，但现有文献存在研究方法单一、研究质量不齐、学段学科分布不均、核心结论分散等问题，特别是国内对现有研究

进行系统性梳理与深度整合的综述仍较为缺乏。本文以系统化、透明化的范围综述的方法，分析现有高质量实证研究与文献综述，旨在表明 VR 技术在中小学科学教育中的研究趋势，旨在回答三个核心研究问题：第一，当前 VR 在中小学科学教育领域的研究呈现出何种时空与内容分布特征？第二，现有实证研究揭示了哪些关于 VR 促进科学核心素养的关键价值与有效证据？第三，技术与教育深度融合所面临的主要现实困境与未来研究方向是什么？通过对这些问题的整合性回答，本研究希望能够为政策制定者提供可靠依据，为研究者确定未来探索方向提供清晰路径，为教育实践者提供应用指导，使技术驱动中小学科学核心素养发展。

2. 研究方法

为确保综述过程的系统性与可重复性，本研究采用 Arksey 和 O'Malley 提出的五阶段范围综述框架，具体流程包括明确研究问题、识别相关研究、筛选研究文献、提取与整理数据、汇总与报告结果。在研究设计上参考了 PRISMA-ScR 规范，以增强方法学的透明度。

文献检索过程采用结构化策略，规范检索流程以保障检索的全面性和准确性，对中文数据库 CNKI 及英文数据库 Web of Science 核心合集进行检索，中英文检索分别涵盖国内外学术期刊、学位论文、会议论文及特色期刊等，发表时间均限定为 2015 年 12 月至 2025 年 12 月期间。其中，在中文数据库中，以“(虚拟现实或 VR)”和“科学教育”作为主题词进行检索；在英文数据库中，以“(virtual reality or VR) and (science education or K-12)”为主题词进行检索，在检索结果中，通过标题、关键词和摘要信息初步排除与虚拟现实或科学教育均无关的文献。

文献筛选严格遵循纳入和排除标准，其中纳入标准为：研究对象为中小学阶段学生；研究主题明确涉及 VR 技术在科学教学或学习中的应用；研究类型为实证研究及综述；可获得全文。排除标准包括：研究对象为高等教育或职业教育；仅涉及增强现实 AR 而未包含 VR；非学术性文献；内容与科学核心素养培养关联较弱。数据库检索初步获得 94 篇文献；剔除重复文献后剩余 80 篇；首先纳入在国内外影响因子较高的 5 篇综述类文献，而后基于标题与摘要按标准排除筛选，其中，不可获得全文 2 篇，以高等教育或职业教育研究为主要研究对象 21 篇，非实证类思辨式研究 10 篇，非实证研究且研究内容不指向科学核心素养研究 7 篇，实证研究但不聚焦于某一学科或聚集于非学科研究 13 篇，累计排除不符合纳入标准的 53 篇，对剩余的 27 篇文献进行全文审核，存在 1 篇研究领域为非正式科学教育被排除，最终确定 26 篇符合要求的文献，纳入并提取关键信息综合后进行最终分析，其中英文文献 10 篇，中文文献 16 篇，针对具体学段学科的实证研究共计 17 篇，宏观性的综述文章共计 9 篇。

3. 研究发现

3.1. 研究现状的时空分布与理论聚焦

表 1 研究现状在发年份、学段、学科上的分布情况统计

发表年份	2025	2024	2023	2022	2021	2019 及以前
文献数量	6 篇	6 篇	5 篇	4 篇	3 篇	2 篇
研究学段	小学	中学（初）	中学（高）	K-12	全学段 （ 含 大 不区分学段 学）	
文献数量	4 篇	7 篇	3 篇	4 篇	3 篇	5 篇
研究学科	科学(物理)	化学	生物	地理	跨学科	非学科
文献数量	11 篇	1 篇	3 篇	5 篇	1 篇	5 篇

如表 1，从时间分布上，VR 在中小学科学教育中的实证研究自 2019 年以后呈持续增长态势。学段方面，研究对象集中于小学高年级和初中阶段，针对高中及小学低年级的研究相对较少，映射出教育研究的群体特性。学科覆盖上，以地理（地球与空间科学）、以物理为主的（自然）科学为主流，生物（生命科学）、化学则相对较少。理论支撑方面，强调认知根

植于身体与环境互动的具身认知理论逐渐成为理解 VR 独特价值的关键透镜(Lin 等, 2024), “沉浸式学习认知-情感模型”(CAMIL) 提供了一个整合性框架, 用以系统分析 VR 环境中的临场感、认知投入与情感体验如何共同影响学习结果, 强调在虚拟环境中引导学生经历提出问题、设计探究、收集证据、形成解释的完整科学过程的基于 VR 的探究式学习(VR-IBL), 成为 VR 科学教学中最常用的教学模式(Chen & Chu, 2024)。

3.2. VR 技术促进科学核心素养价值的实证依据

3.2.1. 促进科学概念的深度理解与知识迁移

VR 通过创造具身化情境, 能够显著促进学生对抽象或复杂科学概念的深度理解。抽象的科学概念和规律表现在具象的科学表象上, 形成正确的科学表象是进行科学形象思维的基础(胡卫平, 2025)。VR 将科学规律转化为可操作的活动, 帮助学生建立从现象感知到本质理解的桥梁, 通过更切身的感受使得学生在概念认识层面的理解更加深入, 同时科学观念心理表征使科学的思维链更加完善, 显著提升思维能力、知识迁移与应用能力, 实现科学观念和科学思维的发展。例如, 在物理学科的电磁学概念教学中学生通过“亲手”操作虚拟电荷与磁场, 感知“场”的存在, 明显提升学生在情境认知和知识迁移方面效能(Prakash & Rajendran, 2025)。

3.2.2. 激发学习动机与积极情感体验

VR 以其强烈的临场感与互动性, 能有效激发学生的学习动机与积极的情感投入。VR 通过提升包含当前参与科学活动的频率和未来参与科学的可能在内的科学参与度, 提升学生自我意识对学习内容的情感反馈与后续参与投入, 强化了包含对科学的兴趣、对资源及环境责任感在内科学态度和责任的科学素养。一项研究通过视频引导干预提升了学生对 VR 学习效用的感知和学习成效, 学生的临场感与学习兴趣呈正相关(Ferdinand 等, 2023)。另一项针对 STEM 电磁感应概念教学的研究对比了沉浸式 VR 模拟与计算机模拟的效果, VR 组学生在参与度、学习兴趣、内在动机以及积极情感状态方面表现显著更优(Prakash & Rajendran, 2025)。

3.2.3. 拓展实践边界塑造科学探究能力

科学教育旨在提升学生的科学知识和探究能力, 探究能力是科学素养中重要的外显化表现的解决问题能力的关键。VR 突破传统科学实验器材成本、风险性、耗时性或现象本身的不可观测性的制约, 这使其在可视化与抽象模型、模拟危险或不可及现象方面具有天然优势, 虚拟实验室为开展安全、低成本且高度仿真的科学探究提供了可行路径, 从探究实践过程上有效提升科学探究能力的科学素养。Naz 等人开发并评估了适用于有机化学和物理教学的沉浸式 VR 实验室, 结果显示其在系统可用性和学习效果方面均表现良好(Naz 等, 2024)。

3.3. VR 技术推广与应用面临的现实困境与挑战

3.3.1. 技术成本与基础设施的局限

技术与资源层面的首要障碍是成本与基础设施。技术层面的挑战包括部分学生体验眩晕等不适症状, 以及设备的易用性与稳定性问题(Botkin & Trespalacios, 2025)。经济层面, 学校难以配备高质量的 VR 头显、配套的高性能计算机以及追踪系统, 在经济薄弱地区和乡村尤为突出, 可能导致教育资源不均的加剧, 现有研究缺乏对不同技术方案细致的成本效益对比。

3.3.2. 教师的素养与专业发展支持不足

优质课程资源的匮乏与教师专业准备的不足。教师普遍欠缺将 VR 技术与具体的学科核心概念、课程标准、科学素养和教学过程进行深度融合的教学设计能力(Botkin & Trespalacios, 2025)。符合课程标准的经过精心教学设计系统性 VR 课程资源仍然稀缺, 实际教学设计流于技术表面, 缺乏深度的探究过程, 对批判性思维、创造性问题解决等高阶认知能力的培养尚显不足。现有文献缺乏对教师面临的教学设计能力缺口深入的研究。

3.3.3. 研究局限与教育伦理偏移的挑战

在研究局限方面, 首先, 样本规模小且代表性不足。许多研究(如 Chen & Chu, 2024; Naz 等, 2024)参与者数量有限且多集中于特定学校, 导致研究结论外部效度低, 难以推广至多样化教育情境。其次, 新奇效应干扰判断。研究指出短期应用能显著提升动机, 但长期教学效

能缺乏严谨验证。最后，评价体系浅层化。现有研究对学习行为的过程性数据采集与分析不足，难以揭示 VR 影响认知的内在机制。在教育伦理方面，高度的虚拟化可能模糊真实分界，学生在虚拟情境中可能产生虚拟身份与现实自我的主体性异位，对学生自我认知产生影响。

4. 讨论与未来方向

VR 技术学习生态与科学教育所倡导的素养取向高度契合，其潜能的发挥依赖于高质量的实证依据、深度的教学设计以及完善的支持性生态系统，未来的研究与实践亟需实现三个关键转向。首先，从验证技术效果转向基于学习科学的设计原则探索。研究应深入探究针对不同类型的学习目标，解析技术影响学习的内在机制，强化模型构建、科学推理高阶素养培养的实证探索。其次，在研究方法上应转向长期追踪与大样本研究。扩大样本规模与覆盖范围采用长期追踪设计，探究技术对学生科学素养的长期影响，提升研究成果的实用性与可推广性。最后，研究视野转向教育生态系统的构建。重视教师作为技术转化核心的角色，开发系统、持续且有效的教师专业发展项目；开展对技术方案的成本效益分析，探索在经济薄弱地区推广应用的可行模式；建立数据隐私等问题的伦理指南与标准，开展包容性与伦理性研究。

5. 结论

本综述系统梳理了现有研究，揭示 VR 在可视化复杂概念深化科学概念理解、激发学习热情提升学习参与度、创设安全探究环境拓展探究边界方面展现出显著价值，为科学观念、科学思维、科学态度和责任及探究实践的科学核心素养的培养提供支撑。然而，技术的教育效能深度应用受制于教师素养不足、优质资源匮乏、设备适配性不足、资源公平、研究深度欠缺等多重现实因素的制约。未来推动 VR 技术驱动科学素养发展，要求研究者、开发者、教师与政策制定者协同努力，以学生素养发展为核心，构建优质资源体系、提升教师融合能力、优化技术设备性能、强化实证研究支撑等策略，共同构建智慧科学教育新图景。

参考文献

- 胡卫平. (2025). 科学形象思维及其培养. *科学教育研究*, (1).
<https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CCJD&dbname=CCJDLAST2&filename=EUYJ202501002>
- 中华人民共和国教育部. (2022). *义务教育科学课程标准 (2022 版)*. 北京师范大学出版社.
- 中学小科学教育工作指南. (2025). 教育部办公厅.
- Botkin, M. D., & Trespalacios, J. H. (2025). Identifying virtual/augmented reality research in K-12 science education: A scoping study. *Techtrends*. <https://doi.org/10.1007/s11528-025-01138-1>
- Chen, C.-H., & Chu, Y.-R. (2024). VR-assisted inquiry-based learning to promote students' science learning achievements, sense of presence, and global perspectives. *Education and Information Technologies*, 29(15), 19421~19441. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12620-3>
- Ferdinand, J., Soller, S., Hahn, J.-U., Parong, J., & Goellner, R. (2023). Enhancing the effectiveness of virtual reality in science education through an experimental intervention involving students' perceived usefulness of virtual reality. *Technology, Mind, and Behavior*, 4(1). <https://doi.org/10.1037/tmb0000084>

- Lin, X., Li, R., Chen, Z., & Xiong, J. (2024). Design strategies for VR science and education games from an embodied cognition perspective: A literature-based meta-analysis. *Frontiers in Psychology, 14*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1292110>
- Naz, Z., Azam, A., Khan, M. U. G., Saba, T., Al-Otaibi, S., & Rehman, A. (2024). Development and evaluation of immersive VR laboratories of organic chemistry and physics for students education. *Physica Scripta, 99*(5). <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ad3024>
- Prakash, A., & Rajendran, R. (2025). Evaluating the effectiveness of immersive VR on performance and user experience in STEM learning: A media-comparison study. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13848-3>