

虚拟现实(VR)技术下高中数学立体几何空间观念培养研究

赵欣茹, 徐长玲*

北华大学数学与统计学院, 吉林 吉林

收稿日期: 2025年4月12日; 录用日期: 2025年5月14日; 发布日期: 2025年5月21日

摘要

基于高中新课改后对立体几何教学方面所考察的重难点, 通过构建VR技术支持的高中立体几何教学模式, 探索技术赋能下空间观念培养的理论路径与实践策略。方法上采用设计研究法, 通过三轮迭代开发VR教学案例, 结合学生培养发展方向与目标, 提炼核心设计原则。最终提出“三维具象化-动态交互-抽象内化”的VR教学框架, 形成关键设计策略与典型应用场景。最终以VR技术通过多模态感官协同与认知具身化, 有效突破高中生复杂空间问题的认知瓶颈。

关键词

虚拟现实, 高中数学, 立体几何, 具身认知, 教学设计

Research on the Cultivation of High School Mathematics Stereoscopic Geometry Space Concept under Virtual Reality (VR) Technology

Xinru Zhao, Changling Xu*

School of Mathematics and Statistics, Beihua University, Jilin Jilin

Received: Apr. 12th, 2025; accepted: May 14th, 2025; published: May 21st, 2025

Abstract

Based on the key and difficult points examined in the teaching of solid geometry after the new

*通讯作者。

文章引用: 赵欣茹, 徐长玲. 虚拟现实(VR)技术下高中数学立体几何空间观念培养研究[J]. 教育进展, 2025, 15(5): 608-613. DOI: 10.12677/ae.2025.155807

curriculum reform in high schools, by constructing a teaching model of solid geometry in high schools supported by VR technology, the theoretical path and practical strategies for cultivating spatial concepts empowered by technology are explored. Methodologically, the design research method was adopted. VR teaching cases were developed through three rounds of iterations. Combined with the direction and goals of students' cultivation and development, the core design principles were refined. Finally, a VR teaching framework of "Three-dimensional visualization-Dynamic interaction-Abstract internalization" was proposed, forming key design strategies and typical application scenarios. Ultimately, through multi-modal sensory collaboration and cognitive embodiment with VR technology, the cognitive bottleneck of complex spatial problems among high school students is effectively broken through.

Keywords

Virtual Reality, High School Mathematics, Solid Geometry, Embodied Cognition, Instructional Design

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

高中立体几何涵盖空间向量、多面体旋转等抽象内容。并且在新高考改革后对于立体几何的命题方向考查内容不再只局限于知识点考察,对于学生解决问题的能力及学科素养的考察逐渐成为一种重点考察趋势。《普通高中课程标准》要求立体几何培养学生的空间想象能力,推理论证能力,运用图形语言进行交流的能力以及几何的直观能力。而部分学生存在“二维依赖症”这些问题,传统的二维平面教学就成为一个无法打破传统教学方式的壁垒,这时候就需要借助一些新的教学工具来帮助学生建立更好的空间感体验。

1.2. 研究定位

理论价值:VR 通过三维动态呈现和交互操作,直接作用于学生的空间可视化能力,验证拓展了几何思维发展阶段理论;在教育心理学视角 VR 教学采用眼部以及肢体协调动作减少图式构建的外在认知负荷[1],提升关联认知负荷,学生通过交互手势交互实现“概念具身化”,拓展具身认知理论在数学教育中的实践边界;构建 VR 环境下手势-视觉-空间推理的三角交互模型;推动数学教育研究范式的数字化转型,为构建智能时代的几何教育理论体系奠定基础。

实践意义:为高中几何教学从“黑板静态演示”向“空间动态建构”转型提供方案,培养《普通高中数学课程标准》要求的“直观想象”素养;跨学科传授和虚拟工程场景(如桥梁建模、卫星轨道设计)让学生在解决真实几何问题的过程中发展 STEAM 整合能力;可以进行远程协作学习,支持异地学生通过 VR 化身共同搭建模型,开展跨校立体几何探究项目;为视觉障碍学生开发触觉反馈 VR 系统,通过振动模拟几何体边缘触感,实现无障碍空间认知训练。

2. 研究背景

2.1. 高中立体几何教学难点

认知障碍:空间坐标系抽象性,例如用空间向量表示问题中涉及的点、直线、平面,一般是通过建

立空间直角坐标系, 建立立体图形与空间向量的联系, 从而把立体几何问题转化为向量问题; 几何体截面想象困难, 例如主要要求是熟悉几何体的结构特征, 且能够依据点、线、面的位置关系及平面的基本性质画出截面图形, 目的是把空间问题转化为平面问题; 那么如何培养和发展学生的几何直观能力和空间想象能力也成为很大的难题。

传统局限: 黑板作图的维度降级, 教师用粉笔绘制三维图形时被迫简化为二维投影, 造成球体大圆、圆柱斜截面等关键特征的视觉失真; PPT 动画难以支持多角度自由观察, 我们熟知且常见的一些立体图形动态制作的软件操作性复杂, 老师掌握将其演示出来但学生无法亲身体验。

2.2. VR 技术的教育潜能

国际经验: 美国在 STEM 教育领跑, 其中 NASA 建立 VR 实验室, 中学生通过《宇宙沙盒》VR 软件模拟天梯轨道运行, 验证开普勒定律; 芬兰的现象是学习通过 VR 开展森林生态课, 赫尔辛基中学将生物课搬入虚拟北欧森林, 学生佩戴 VR 设备追踪物种分布, 实现跨学科即地理、生物、数学, 进行现象学习; 新加坡实施系统化推进, 国家制定 VR 课程框架, 教育部发布《沉浸式学习技术指南》, 规定中小学每学期至少开展 4 课时 VR 教学, 重点突破三维几何与分子结构认知; 日本实施协作学习创新, 开展虚拟修学旅行, 京都府立学校使用《Meta Horizon Workrooms》实现残疾学生与普通学生共同“游览”古建筑, 完成几何测量任务。

本土挑战: 城乡设备配置失衡, 一线城市重点中学 VR 教室普及显然更高, 而西部农村学校严重不足; 应试导向的路径依赖, 多数学校将 VR 教学异化为“高考考点可视化工具”, 忽视其思维培养价值; 技术与教学的双元缺失, 现存教学环境下大部分数学教师无法自主设计 VR 教学场景, 依赖企业预制内容, 导致教学同质化; 教育逻辑与技术逻辑冲突, 企业开发的教学 VR 常常陷入“重炫技轻认知”的误区; 缺乏系统性教学设计指南。

2.3. 理论视角

具身认知的启示: 具身认知理论主要指生理体验与心理状态之间有着强烈的联系。它主张认知不是孤立发生在大脑中的抽象过程, 而是根植于身体、环境和行动的动态交互中。那么对于 VR 教学立体几何, 将抽象空间关系转化为可触摸、可操作的身体经验。

动作-知觉耦合效应: 根据 Lakoff 的具身隐喻理论[2], 学生通过 VR 手柄的抓取、旋转等动作, 将抽象几何概念转化为肌肉记忆, 形成运动图式认知。

空间具身化映射: VR 环境允许学生以自身为原点构建三维坐标系, 通过头部转动和身体位移感知空间方位, 验证了 Gibson 的生态知觉理论。知觉是一个有机的整体过程, 人感知信息并不是孤立的, 在环境中各种信息相互交叉的情况下主体通过自身的认知和感知能力适应环境, 然后再通过接收和加工形成知觉认识, 这种认识存在于环境的本身, 且这种被认知和被感知的环境信息是其本身自有的产物[3]。

认知脚手架重构: 基于 Vygotsky 最近发展区理论, 布鲁纳根据最近发展区的观点, 提出支架式教学策略, 这一策略以脚手架作为最近发展区的具象比喻[4]。VR 系统可动态调整几何体复杂度。教学模式分为: 新手模式, 几何体棱线高亮显示, 支持语音提示辅助拆解; 专家模式, 隐藏非关键结构, 强制学生通过手势操作自主发现几何关系。

3. 理论框架构建

3.1. VR 支持空间观念发展的机制模型

手势动作映射: 支持抓取、旋转、切割等自由度手势, 将抽象几何操作(如辅助面构建)转化为肌肉记

忆。通过振动模拟几何体边缘触感(如切割正方体时的阻力反馈), 强化空间实体感知。例如: 学生用手势“展开”虚拟圆柱侧面, 触觉提示辅助理解侧面积公式 $S = 2\pi rh$ 。

空间观念进阶: 首先用空间可视化来拆解复杂几何体, 如正十二面体, 培养心理旋转能力; 在 VR 中同步观察三维物体与三视图, 提升二维 - 三维转换流畅度。

三维具象化: 将抽象定理转化为可操作对象, 突破传统教学的认知壁垒; 接下来动态推理, 探究参数化几何体; 理解变量间的空间关系; 同时进行创新能力的激发, 自由建构实验, 让学生自主设计非常规几何体。

反馈循环系统: 眼动 - 手势联合分析, 通过注视点分布与操作轨迹的关联性, 识别认知断点, 根据错误模式动态推送训练模块; 教师通过控制台实时查看班级空间能力热力图, 及时调整教学重点, 通过 VR 操作数据同步至纸质作业系统, 生成针对性习题。

3.2. 教学设计原则

1) 感官协同原则[5]: 强调通过整合多种感官通道的输入信息, 像是视觉、听觉、触觉、动觉等。在高中立体几何中采用 VR 技术涉及视觉(立体投影) + 动觉(手柄旋转) + 听觉(空间方位提示)。在教学过程中通过跨模态神经共振催生新的认知图式——当视觉的形态分析、动觉的空间操作、听觉的方位提示形成共振回路, 学习者将突破线性思维限制, 实现从“观察几何”到“体验几何”的认知跃迁。

2) 认知脚手架原则[6]: 渐进式任务设计, 例如先观察后操作, 先拆分后组合; 本质上是通过精准的能力适配与动态的支持调节, 这种支持不是简单的知识灌输, 而是通过技术赋能实现“授人以渔”的教育理想。

3) 数学本质优先原则: 无论采用何种技术手段, 数学教育的核心目标始终是帮助学生理解数学概念的本质属性、逻辑关系与思想方法, 避免技术炫技, 聚焦几何核心概念理解, 进行数学思想渗透。

4. 教学案例开发与实施

4.1. 案例设计流程(三轮迭代)

第一轮: 基础模块开发(如“空间向量坐标系的 VR 建构”);

第二轮: 增加复杂任务(如“平面截圆锥所得曲线类型探究”);

第三轮: 融入高考真题情境。

例: 正方体内切球与外接球动态生成。

4.2. 典型应用场景

场景一: 空间几何体截面观察

操作设计: 学生用手柄“切割”三维模型, 实时观察截面形状变化;

认知支持: 理解“同一几何体不同切割角度导致截面差异”(如正棱锥截面可能为三角形或五边形)。

场景二: 空间向量运算可视化

功能设计: 在 VR 环境中拖拽向量端点, 同步显示向量坐标与模长计算过程;

教学价值: 直观呈现向量加减的几何意义, 降低符号运算抽象性。

场景三: 多面体展开图还原

交互任务: 将散落的二维展开图拼合成三维立体, 系统自动检测正确性;

难点突破: 解决“展开图折叠方向判断”这一高考高频错误点。

4.3. 风险防控机制

健康管理: 单次 VR 体验 ≤ 15 分钟, 每日累计 ≤ 45 分钟, 同时进行生理监测, 当集成心率传感器

异常波动时自动暂停。

认知平衡：抽象过渡训练，每周 1 课时关闭 VR 特效，进行纯符号推导，同时进行虚实对照任务，要求学生在 VR 操作后手工绘制三视图。

5. 讨论

5.1. VR 技术的独特优势

突破认知边界：将“想象式学习”转化为“体验式学习”，例如：VR 二面角或异面直线这样抽象的几何概念转化为可操作的三维体，学生通过手势抓取、旋转物体，激活顶叶皮层的空间处理功能，取代传统的二维图纸的脑补想象。传统难点中例如平面法向量的空间垂直关系可以轻松通过 VR 技术解决，学生通过头显设备构建 1:1 三维空间坐标系，学生以身体为原点感知几何体的方位关系。

5.2. 实践挑战与应对策略

硬件与基础设施挑战：高端 VR 设备单套成本可能超 6 万元，普通学校难以负担，并且硬件迭代速度很快，平均为 18 个月，导致设备兼容性问题频发。

破局策略：建立“VR 设备循环基金”，企业以旧换新抵扣新设备采购费用；推动相关部门与硬件厂商签订框架协议，通过批量采购获取折扣；若为了短期课程需求，可以与第三方服务商合作开发按需租赁平台；还可以形成二手设备生态链模式，建立教育机构间设备流转平台，制定翻新认证标准，延长设备使用周期。

教学实施挑战：学校类型不同对于教学差异也会不同，不同的学生群体对 VR 教学适应能力也会不同。教育公平性存在差异，重点学校或城市学校硬件设施完善，师生数字化素养较高；普通公立学校设备数量有限；农村偏远地区学校网络宽带不足，电力供应不稳定，对于 VR 教学设备更是鲜少存在；特殊教育学校的学生可能存在视听觉障碍或肢体运动受限等问题。

优化路径：针对 VR 教学设备分层次内容开发体系，可以设立基础版(普惠型)、进阶版(学科专用)、专业版(特殊教育)，不同的学校相应选择不同版本的 VR 设备购入；城市学校建设创新实验室，农村学校同时可以推广“移动 VR 教室车”方案(含 20 台一体机 + 离线服务器)，采用太阳能充电箱，经济能力较好的特殊教育学校可以开发无障碍交互套件。

教师发展挑战：能够做到自助修改 VR 场景参数或者将 VR 课程简化为电子教具演示的教师非常少；跨学科协作存在一定的障碍。

破解方案：师范院校增设智能教育技术微专业，必修 VR 教学设计课程；开发《VR 教学法认证课程》(含教学设计、危机处置等模块)，建立 VR 教学能力认证体系，划分不同等级；开发基于 VR 操作过程的形成性评价指标，如空间操作流畅度、错误自我修正率。

6. 结论与建议

6.1. 研究结论

VR 技术通过三维交互验证了空间认知理论与双重编码理论，证实动态与动觉协同可显著提升学生的心理旋转能力，教育理论得到了延展，教学效能得到了跃升并且创新能力的培养逐步提升；VR 技术不仅打破了传统立体几何教学的想象壁垒，更重构了经验抽象化 - 抽象经验化的双向认知通道；VR 技术通过具身化交互重构高中生空间认知过程，尤其在截面想象、向量运算等复杂任务中具有不可替代性。

6.2. 未来展望

可以开发 AI 驱动的 VR 自适应学习系统，如根据学生操作实时调整难度，可以开发教育大模型驱动

的 VR 生成系统, 根据学生错题自动生成定制化训练场景, 例如, 针对二面角理解薄弱的学生, 生成虚拟桥梁倾斜故障场景, 要求调整平面角度修复结构。

未来的几何教育将彻底打破物理世界的维度枷锁, 在虚实融合的认知生态中, 学生通过可触摸的数学体验, 自主构建空间思维体系。数学教育的终极目标是培养能够穿越形式表象、直抵本质规律的思考者, VR 技术不仅成为教学工具, 更将进化为认知进化的载体——从解决“如何教”转向定义“何为几何认知”这一进程中, 教育公平、文化传承与人类认知边界的拓展将实现前所未有的统一, 为智能时代的人才培养提供终极解决方案。

参考文献

- [1] Ekin, M., Krejtz, K., Duarte, C., Duchowski, A.T. and Krejtz, I. (2025) Prediction of Intrinsic and Extraneous Cognitive Load with Oculometric and Biometric Indicators. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 5213. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89336-y>.
- [2] Clark, K.M. (2024) Embodied Imagination: Lakoff and Johnson's Experientialist View of Conceptual Understanding. *Review of General Psychology*, **28**, 166-183. <https://doi.org/10.1177/10892680231224400>
- [3] 林雨智. 基于生态知觉理论下的大学生校园场所认识探究[J]. 经济师, 2023(12): 203-204.
- [4] 郑志宏, 马涛, 孔新梅, 等. 基于最近发展区的学科知识图谱构建及大单元设计研究[J]. 远程教育杂志, 2024, 42(2): 56-64.
- [5] 刘兆锐. 视听协同的仿生神经形态感知系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 济南: 济南大学, 2024.
- [6] 尹依娜. 融入脚手架策略的初中化学 PBL 教学设计与应用[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2022.