

# 交互式 AR 教学对中学生认知能力的影响\*



——以高中化学电解池知识点为例

蔡 苏<sup>1,2</sup> 张 鹏<sup>1,3</sup> 李江旭<sup>1,3</sup> 常珺婷<sup>1,3</sup>

- (1. 北京师范大学 教育学部“VR/AR+教育”实验室, 北京 100875;  
2. 北京师范大学 未来教育高精尖创新中心, 北京 100875;  
3. 北京师范大学“移动学习”教育部—中国移动联合实验室, 北京 100875)

**摘要:**为探究交互式 AR 教学对中学生认知能力的影响和师生对交互式 AR 辅助教具的接受度, 文章以高中化学电解池知识点为例, 进行了交互式 AR 辅助教具设计和教学设计, 并开展了课堂对比实验。结果表明, 交互式 AR 教学和 Flash 动画教学都对学生的记忆、理解、应用等认知能力有积极影响; 交互式 AR 教学在应用维度的提升优于 Flash 动画教学, 在记忆维度的提升弱于 Flash 教学, 而在理解维度的提升两种教学比较相近; 师生对交互式 AR 辅助教具的接受度较高。研究证明将交互式 AR 辅助教具与其他教具相结合, 能够更好地解决教学重难点问题, 提高学生的记忆、理解、应用等认知能力。

**关键词:** 认知能力; 交互式 AR 教学; Flash 动画教学; 辅助教具; 高中化学

【中图分类号】G40-057 【文献标识码】A 【论文编号】1009—8097(2021)01—0040—07 【DOI】10.3969/j.issn.1009-8097.2021.01.006

## 一 问题提出

认知能力包含接受、加工、储存和应用信息的能力, 是学习者特征的重要组成部分<sup>[1]</sup>。为了便于评价, Anderson 等<sup>[2]</sup>提出了二维分类框架——知识维度和认知过程维度。其中, 知识维度包含事实性知识、概念性知识、程序性知识、元认知知识等四个水平, 而认知过程维度包含记忆、理解、应用、分析、评价、创造等六个子维度。认知能力对于学生“宏观辨识与微观探析”、“变化观念与平衡思想”、“证据推理与模型认知”、“科学探究与创新意识”等化学核心素养<sup>[3]</sup>的培养非常重要, 而“电解池”这一知识点集中了较多的核心素养<sup>[4]</sup>, 因此本研究将围绕“电解池”这一知识点进行设计与开发。此知识点为电解池的构造特点、基本概念和工作原理, 分别对应记忆、理解、应用三个认知过程维度。因此, 在“电解池”这一知识点中, 本研究将重点探究交互式 AR 教学对学生记忆、理解、应用三方面认知能力的影响。

针对“电解池”这一知识点, 传统教学主要通过多媒体课件和 Flash 动画来进行学习, 而部分有条件的学校会提供电解池进行实验教学——前者教学多为演示, 无法为学生提供真实的学习情境以让学生动手探究, 因此使电解池等宏微观抽象内容成为难点; 后者的真实实验成本较高, 且只能观察到宏观现象, 而无法兼顾微观这一重要层面。增强现实技术(Augmented Reality, AR)具有实时交互、虚实结合、三维注册等特点<sup>[5]</sup>, 能够较好地创设宏观、微观情境<sup>[6]</sup>, 可为学生提供真实、交互的学习体验<sup>[7]</sup>, 且成本较低。尤其是在化学学科方面, AR 能够模拟实际学习中难以开展的实验<sup>[8]</sup>, 实现抽象微观内容的具象化与可视化<sup>[9]</sup>, 帮助学生突破宏观—微观之间的认知障碍<sup>[10]</sup>, 对学生的认知方式产生了深远影响<sup>[11]</sup>。但已有研究重视微观世界的可视化, 缺少与宏观现象的联系; 重视 AR 辅助教具的开发, 缺少与之匹配的教学设计、应用<sup>[12]</sup>, 以及认知能力、师生接受度等相关效果的实证研究。因此, 本研究结合具体知识点, 拟通过开发 AR

辅助教具、进行教学设计和对照实验来弥补上述不足, 试图回答以下问题: ①相对于传统的 Flash 动画演示, 交互式 AR 教学对中学生记忆、理解、应用三个维度的认知能力影响如何? ②中学生和授课教师对交互式 AR 辅助教具的接受度如何?

## 二 研究设计

### 1 实验对象

本研究在山东省 P 中学随机选取 60 名化学学科成绩相近的高二学生为实验对象, 设置实验组 (A 班) 和对照组 (B 班), 每班 30 人。为控制变量, A 班和 B 班的授课教师由课题小组同一教师担任。A 班采用交互式 AR 辅助教具进行教学, B 班采用 Flash 动画进行教学。

### 2 交互式 AR 辅助教具设计

本研究结合国内外研究现状、化学学科相关知识、AR 开发等内容, 来选择交互式 AR 辅助教具的开发课程内容、设计符合目标人群的交互界面和功能, 并进行测试和改进。

#### (1) 内容选择

“电解池”是人教版高中化学选修四《化学反应原理》一书中第四章第三节的内容。课程要求学生了解电解池的构造特点、基本概念和工作原理, 并通过探究学习, 掌握不同离子的放电顺序。其中, 电解池的工作原理和构成条件、电解池中离子的放电顺序、电解池相关的影响因素是电解池的知识点和重难点。此实验原理抽象, 离子在溶液中的定向移动难以观察、微观离子在正负电极得失电子与宏观正负电极产生的实验现象较难结合, 导致学生存在认知困难, 因此本研究选用“电解池”为 AR 辅助教具的开发内容。具体来说, 交互式 AR 辅助教具主要由两个实验、共四个场景组成, 如表 1 所示。在这两个实验的四个场景中, 微观离子的移动、反应与宏观实验现象的产生相互对应; 通过改变实验变量——温度, 观察实验现象的变化。

表 1 交互式 AR 辅助教具

实验名称	场景	实验现象
电解 $\text{CuCl}_2$ 单一溶液	微观	按下开关按钮, 设定温度, 接通直流电源, $\text{Cu}^{2+}$ 向接电源负极的阴极移动并得到电子, $\text{Cl}^-$ 向接电源正极的阳极移动并失去电子; 电解质溶液中的 $\text{H}^+$ 、 $\text{OH}^-$ 分别向阴极、阳极移动, 电性不变。
	宏观	按下开关按钮, 设定温度, 接通直流电源, $\text{Cu}^{2+}$ 得到电子, 以铜单质的形式析出, 观察到阴极变红; $\text{Cl}^-$ 在失去电子, 黄绿色氯气从阳极附近冒出; 溶液由蓝绿色逐渐变成无色。
电解 $\text{CuCl}_2$ 与 $\text{ZnSO}_4$ 混合溶液	微观	按下开关按钮, 设定温度, 接通直流电源, 溶液中的 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{H}^+$ 向阴极移动并先后得到电子, $\text{Cl}^-$ 、 $\text{OH}^-$ 向接电源正极的阳极移动并失去电子; 电解质溶液中的 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 分别向阴极、阳极移动, 电性不变。
	宏观	按下开关按钮, 设定温度, 接通直流电源, 观察到阴极先析出红色铜固体, 之后冒出无色透明氢气; 阳极先产生黄绿色氯气, 之后产生无色透明的氧气。

#### (2) 模块对比

为了更好地理解并对应电解反应发生的实验原理和现象, 本研究对电解  $\text{CuCl}_2$  单一溶液的微观模块和宏观模块进行了对比, 如图 1 图 1 所示。其中, 微观模块为溶液中离子的运动, 宏观

模块为实验的整体宏观现象，点击“进行实验”，可以看到：离子在阴极和阳极得、失电子，其宏观表现为产生气体和析出固体物质。

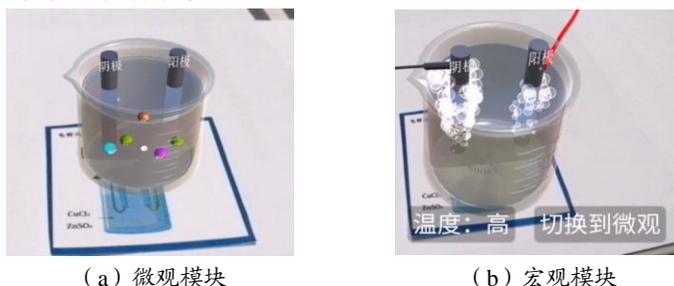


图 1 电解  $\text{CuCl}_2$  单一溶液图

### 3 教学设计

#### (1) 教学目标

依据《普通高中化学课程标准（2017年版）》的要求，本研究将“电解池”一节内容的教学目标设为：①使学生了解电解池的构造特点、基本概念及工作原理，能正确书写电解池阴阳极的电极反应式和电池反应方程式，掌握放电顺序；②通过对电解池工作原理的体验探究，理解电解池的相关知识，并通过训练观察、分析比较、归纳总结等方法，全面提升学生的认知能力；③通过用 AR 呈现化学微观知识，激发学生学习化学知识的兴趣，培养学生求实、合作的精神。

#### (2) 教学内容与教学媒体

“电解池”的教学内容与教学媒体如表 2 所示。为控制变量，教学过程除探究环节所用工具不同外，其余条件（如教师使用的图片和教学媒体、设置的教学环节等）均保持一致。

表 2 “电解池”的教学内容与教学媒体

编号	能力维度	媒体类型	媒体内容要点	使用时间	媒体在教学中的作用	媒体使用方式
1	记忆	PPT	电解池装置	10min	呈现完整的电解池装置，帮助学生理解记忆	播放
2	理解	AR辅助教具 /Flash动画	电解池 工作过程	12min	帮助学生探索 电解池的工作原理	实验探究
3	应用	AR辅助教具 /Flash动画	混合溶液 的电解池	10min	归纳总结	播放、讲评
4	综合	PPT	对比表格	8min	归纳总结	播放、讲评

### 4 实验设计

本研究采用对比实验，设置对照组和实验组，探究基于交互式 AR 辅助教具的教学对学生记忆、理解、应用三个维度认知能力的影响；同时，收集相关数据，探究学生和授课教师对此类 AR 辅助教具的接受度。

课堂实证的实验流程如图 2 所示。首先，两组学生参与前测，以了解学生的初始能力。接着，教师进行课堂教学，在控制教学内容与模式等其它无关变量的基础上，实验组以 2 人为一小组，利用 AR 辅助教具进行电解池相关实验，并通过协作讨论得出结论；对照组则观看教师用 Flash 动画演示的电解池相关实验。课堂教学结束后，两组学生参与后测，以了解学生在不同

条件下的认知能力提升情况。随后,对实验组进行 AR 辅助教具课堂体验调查,以了解学生的体验感受。最后,对实验组学生和教师进行访谈,以了解师生对 AR 辅助教具的接受度。



图2 课堂实证的实验流程

## 5 数据的收集与处理

①学业成就测验数据:学业成就测验试卷依据布鲁姆新版教学目标<sup>[13]</sup>编制,分为前测、后测两套平行试卷,用来探究两种教学方式对学生记忆、理解及应用三个维度认知能力的影响。前测、后测试卷各发放60份(含对照组、实验组各30份),收回有效试卷120份。测验数据使用SPSS 23.0进行处理。

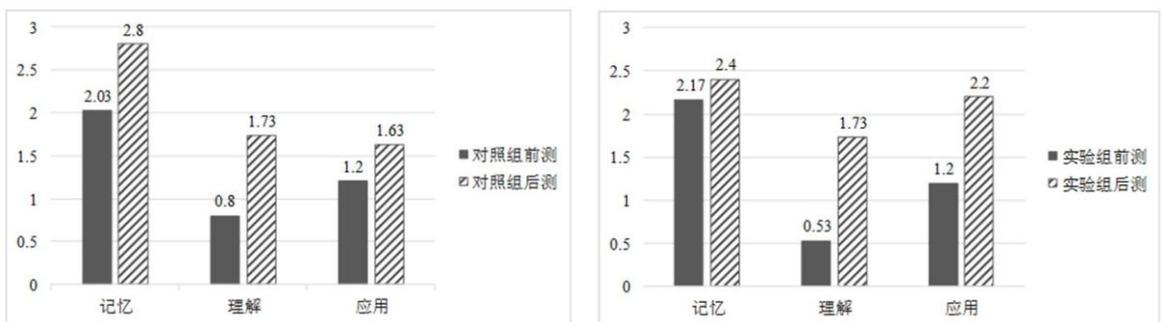
②对AR辅助教具的接受度调查数据:依据Davis<sup>[14]</sup>提出的技术接受模型,本研究从学习系统认知有用性和学习系统认知易用性两个维度,设计了“AR辅助教具课堂体验调查问卷”。问卷设置了13个题项,用来调查学生对AR辅助教具的接受度。问卷面向实验组的30名学生发放,收回有效问卷30份。问卷数据同样使用SPSS 23.0进行处理。

③访谈数据:本研究随机选取6名实验组的学生进行访谈;同时,研究人员向山东省P中学的高一化学教师(包括教研组长、特级教师)演示AR辅助教具的相关功能,并解释课程的教学设计、学业成就测验和接受度调查问卷,随后对1名教师进行访谈、收集相关访谈数据,最后进行定性分析,用以改进AR辅助教具、优化教学。

## 三 研究结果

### 1 学生认知能力的变化

对照组与实验组的前后测平均分比较结果如图3所示,可以看出:对照组和实验组在任意维度的后测平均分都高于对应的前测平均分;无论是对照组还是实验组,都是理解维度的提升最快。由此可见,交互式AR教学和Flash动画教学都能够帮助学生深化对知识的理解。



(a) 对照组的前后测平均分

(b) 实验组的前后测平均分

图3 对照组与实验组的前后测平均分比较结果

对照组与实验组的后测-前测配对样本 T 检验结果如表 3 所示,可以看出:对照组在记忆、理解和应用维度的前、后测均有显著差异 ( $P < 0.050$ ),说明对照组在三个维度上的后测得分均显著优于对应维度的前测;实验组在理解和应用维度上的前、后测均有显著差异 ( $P < 0.050$ ),说明实验组在理解和应用维度上的后测得分均显著优于对应维度的前测,但在记忆维度上没有显著提升。

表 3 对照组与实验组的后测-前测配对样本 T 检验结果

组别	能力维度	平均值		标准差		t值
		后测	前测	后测	前测	
对照组	记忆	2.80	2.03	0.407	0.615	6.579**
	理解	1.73	0.80	1.048	0.610	7.389**
	应用	1.63	1.20	0.928	0.664	4.731*
实验组	记忆	2.40	2.17	0.675	0.531	1.651
	理解	1.73	0.53	0.740	0.571	7.413**
	应用	2.20	1.20	0.925	0.887	4.257**

注: \*表示  $P < 0.05$ , \*\*表示  $P < 0.01$ 。

前测与后测的实验组-对照组差异性检验结果如表 4 所示,可以看出:前测中,实验组和对照组在记忆、理解、应用维度无显著差异 ( $P > 0.050$ );后测中,实验组和对照组在理解维度无显著差异 ( $P > 0.050$ ),而在记忆和应用维度有显著差异 ( $P < 0.050$ ),并且实验组记忆维度的平均值低于对照组 ( $2.40 < 2.80$ )、应用维度的平均值高于对照组 ( $2.20 > 1.63$ )。由此说明,实验组和对照组在记忆和应用维度存在显著差异,并且在记忆维度的提升上对照组优于实验组,但在应用维度的提升上实验组优于对照组。

表 4 前测与后测的实验组-对照组差异性检验结果

测试时间	能力维度	平均值		标准差		t值
		实验组	对照组	实验组	对照组	
前测	记忆	2.17	2.03	0.531	0.615	0.899
	理解	0.53	0.80	0.571	0.610	-1.747
	应用	1.20	1.20	0.887	0.664	0.000
后测	记忆	2.40	2.80	0.675	0.407	-2.781**
	理解	1.73	1.73	0.740	1.048	0.000
	应用	2.20	1.63	0.925	0.928	2.369*

注: \*表示  $P < 0.05$ , \*\*表示  $P < 0.01$ 。

## 2 师生对 AR 辅助教具的接受度

结合调查问卷结果和学生访谈结果,大多数学生对 AR 辅助教具的接受度较高。而对教师的访谈显示,教师也很支持 AR 辅助教具在教学中的应用。

学生接受度方面,AR 辅助教具易用性维度的平均值为 4.60 (满分 5.00),并且所有实验组的学生都比较认可或非常认可“我很快便学会 AR 辅助教具的操作方式”;有用性维度的平均值为 4.48 (满分 5.00)。在与学生的访谈中,有部分学生表示更喜欢传统的授课方式,认为传统课

堂形式虽然简单,但是知识点落实得更好;而大多数学生更支持交互式 AR 教学,认为 AR 课堂增加了学生的课堂投入度并提高了学生的主动性,有利于学生自主探究和自主学习能力的培养。例如,陈同学表示:“这种形式增添了课堂的趣味性,激发了我们的学习兴趣,从而让我们能够更好地投入到课堂中”;吴同学认为:“AR 辅助教具能让我们有更多的时间和机会去探索微观世界的奥秘,并让我们亲眼看到微观世界,也让我们能够动手去做一些现实情况下难以实现或难以观察的实验。”

教师接受度方面,多数教师认为 AR 辅助教具加上教师的合理引导,能够提高学生的主观能动性。例如,高老师表示:“这个教学工具有利于学生多角度地观察微观的分子运动,帮助学生理解电解池的原理;促进了学生自主探究,而教师只需在一旁指导,能够很好地体现学生的主体性和教师的主导性。”此外,在访谈中教师也针对 AR 辅助教具的应用提出了一些建议:重视教师的主导作用,教师需要控制探究和讨论的时间,在关注学生动手探究的同时也要重视基础知识的落实;改善教具的功能和外观,结合教材,让教材中的图片活起来、让课堂活起来。

#### 四 结语

本研究应用自主开发的交互式 AR 辅助教具进行教学,以探究与 Flash 动画教学相比交互式 AR 教学对学生认知能力的影响,结果发现:交互式 AR 教学和 Flash 动画教学都对学生的记忆、理解、应用等认知能力有积极影响;交互式 AR 教学在应用维度的提升优于 Flash 动画教学、在记忆维度的提升弱于 Flash 教学,而在理解维度的提升两种教学比较相近;教师和学生对 AR 辅助教具的接受度都较高。基于此,一线教师可以将 AR 辅助教具融入课堂,并与其它教具相结合,以共同解决教学的重、难点问题;加上教师合理的引导,就能更好地发挥学生的主体性,提高学生的认知能力、自主探究能力等。

对比前人关于增强现实应用于化学教学的案例,本研究取得了以下进步:①实现了自然交互,将真实场景与虚拟对象进行融合和互动,无需鼠标、键盘,学生就可以通过平板电脑直接用手以自然交互的方式在课桌上做实验;②交互式 AR 辅助教具不局限于呈现分子的微观构成,而是同时呈现分子的运动过程,将微观分子的运动与宏观现象相对应,更有助于学生探索微观分子运动与宏观现象的关系。面向未来,后续研究可从以下方面努力:①交互式 AR 辅助教具若想投入更广的使用,其外观还需要优化,使得呈现的内容更加逼真、功能更加全面;②若要探索交互式 AR 教学对学生的长期影响,还需要不同主题的 AR 辅助教具、更长的课时以及更丰富的调查方式;③若想使 AR 辅助教具更好地辅助教学,还需要不断完善教学策略,提高教师的专业能力。

#### 参考文献

- [1]车文博.当代西方心理学新词典[M].长春:吉林人民出版社,2001:304.
- [2][13](英)L·W·安德森,等著.皮连生译.学习、教学和评估的分类学[M].上海:华东师范大学出版社,2008:4-5.
- [3]中华人民共和国教育部.普通高中化学课程标准(2017年版)[M].北京:人民教育出版社,2018:3-5.
- [4]靳莹,刘璐.化学认知能力体系的研究[J].教育理论与实践,2004,(24):42-45.
- [5]Azuma R T. A survey of augmented reality[J]. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 1997,(4):355-385.

- [6]蔡苏,王沛文,杨阳,等.增强现实(AR)技术的教育应用综述[J].远程教育杂志,2016,(5):27-40.
- [7]王国华,张立国.增强现实教育应用:潜力、主题及挑战[J].现代教育技术,2017,(10):12-18.
- [8]Wojciechowski R, Cellary W. Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments[J]. Computers and Education, 2013,68:570-585.
- [9]Cai S, Wang X, Chiang F K. A case study of augmented reality simulation system application in a chemistry course[J]. Computers in Human Behavior, 2014,37:31-40.
- [10]Chao J, Chiu J L, DeJaegher C J, et al. SenSor-augmented virtual labs: Using physical interactions with science simulations to promote understanding of gas behavior[J]. Journal of Science Education and Technology, 2016,(1):16-33.
- [11]张四方,江家发.科学教育视域下增强现实技术教学应用的研究与展望[J].电化教育研究,2018,(7):64-69、90.
- [12]张四方,江家发.现实增强技术在化学教学中的研究现状与启示[J].化学教育(中英文),2017,(21):43-49.
- [14]Davis F D. A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results[D]. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 1986:233-250.

### Impact of Interactive AR Teaching on Students' Cognitive Ability

——Taking the Knowledge Points of Chemical Electrolytic Cell of High School as an Example

CAI Su<sup>1,2</sup>    ZHANG Peng<sup>1,3</sup>    LI Jiang-xu<sup>1,3</sup>    CHANG Jun-ting<sup>1,3</sup>

(1. "VR/AR + Education" Lab, School of Educational Technology, Faculty of Education, Beijing Normal University, Beijing, China 100875; 2. Beijing Advanced Innovation Center for Future Education, Beijing Normal University, Beijing, China 100875; 3. Joint Laboratory for Mobile Learning, Ministry of Education-China Mobile Communications Corporation, Beijing Normal University, Beijing, China 100875)

**Abstract:** In order to explore the impact of interactive augmented reality (AR) teaching on high school students' cognitive abilities, and teachers' and students' acceptance degrees of towards interactive AR aids, this paper took the knowledge points of chemical electrolytic cell as an example, constructed the interactive AR auxiliary teaching aids design and teaching design, and carried out the classroom controlled experiment. Results showed that both the interactive AR teaching and the Flash animation teaching had positive impacts on students' cognitive abilities of memory, comprehension, and application. Meanwhile, the interactive AR teaching was better than Flash animation teaching on the improvement of the application level, weaker than Flash animation teaching on the improvement of memory level, and similar to Flash animation teaching on the improvement of understanding level. In addition, teachers and students had a higher acceptance degree towards the interactive AR auxiliary teaching aids. Research proved that the combination of interactive AR teaching tools and other teaching tools could better solve the key and difficult problems in teaching, and improve students' cognitive abilities of memory, comprehension, application and so on.

**Keywords:** cognitive ability; interactive AR teaching; flash animation teaching; teaching aids; high school chemistry

\*基金项目: 本文受国家自然科学基金面上项目“智能增强现实学习环境中多通道信息融合计算及评测研究”(项目编号: 61977007)资助。

作者简介: 蔡苏, 主任, 副教授, 博士, 研究方向为 VR/AR 教育应用、STEM 教育, 邮箱为 caisu@bnu.edu.cn。

收稿日期: 2020 年 4 月 5 日

编辑: 小米