

Web3D 虚拟实验中探究式学习行为建模与分析研究

徐光涛¹ 卢俊杰¹ 李英倩²



(1. 杭州师范大学 教育现代化研究院, 浙江杭州 311121;

2. 杭州市大学路小学, 浙江杭州 310009)

摘要: 当前, 探究式虚拟实验已在转变科学教育方式、落实核心素养目标方面发挥了积极作用, 但有关探究式学习行为分析的研究较少, 尚未形成系统的理论成果以更好地指导教学实践。为此, 文章针对 Web3D 虚拟实验中的探究式学习活动, 构建了具备行为记录属性的学习行为模型, 并借助该模型设计实施了教学应用实证研究。通过聚类分析, 本研究发现大致存在四类学习者: 擅长理论学习, 重视测试结果的学习者; 喜欢视频/动画类学习资料, 重视评价与反思的学习者; 擅长建构实验, 对理论性概念学习不感兴趣的学习者; 投入程度低, 完成任务型的学习者。最后, 文章结合学习者的学习行为分析结果, 从激励机制、学习资源、实验设计、讨论交流四个方面提出了优化策略, 以期为后续探究式虚拟实验平台的研发和应用提供参考。

关键词: 虚拟实验; 探究式学习; 学习行为; 学习分析

【中图分类号】G40-057 【文献标识码】A 【论文编号】1009—8097(2024)04—0132—11 【DOI】10.3969/j.issn.1009-8097.2024.04.013

2022 年 4 月,《义务教育科学课程标准(2022 年版)》发布,从课程标准层面强调以科学思维能力、科学探究和实践能力、科学态度与社会责任的培养为重点^[1]。2023 年 5 月,《教育部等十八部门关于加强新时代中小学科学教育工作的意见》从实践路径层面指出要探索利用人工智能、虚拟现实等技术手段改进和强化实验教学,重视开展实验和探究实践活动^[2]。在相关政策的推动下,借助各类数字技术开发的探究式虚拟科学实验不断涌现,已被广泛应用在很多教育场景中,然而目前尚缺乏对于探究学习过程和学习结果的深度分析与评价研究。究其原因,在于缺乏虚拟实验中行为数据采集与记录的统一标准,大部分虚拟实验未预留行为数据采集的接口,研究人员无法详细地采集、保存和分析学习者的学习行为。基于此,本研究针对 Web3D 虚拟实验中的探究式学习活动,试图构建一个具备行为记录属性的学习行为模型,通过对学习者探究式学习行为的实时分析,洞察关键问题和内在机制,为后续探究式虚拟实验平台的研发和应用提供参考。

一 研究综述

1 探究式虚拟实验平台的发展现状

虚拟实验在一定程度上是对真实实验的模拟、替代和创新,探究式虚拟实验则是一种在探究式学习理念指导下设计开发的学习环境。探究是科学学习的核心,学生可以通过将科学知识 with 推理和思维技能相结合,积极发展其对科学的理解^[3]。近 30 年来,国内外研究机构 and 高校均在积极开展基于探究式学习理念的实验平台与虚拟实验的设计开发。例如,PhET 提倡学习者以自主实验的方式探究科学问题^[4]; WISE 同时提供了在线动画制作工具、图表工具和内容管理工具,以丰富知识建构方式^[5]; NOBOOK 通过提供精准的实验相关数据和真实的实验现象与反馈,增强实验探究性^[6]。这些平台包含生物、化学、物理、科学和地理等学科领域的虚拟实验,探究性强,但其中大部分探究式虚拟实验的用户界面为 2D 形态。随着浏览器性能和网络带宽的大幅

度提升,以及 WebGL 技术的出现,3D 技术不再局限于桌面程序,越来越多的 Web 应用纳入 3D 技术,Web3D 由此开始受到越来越多的关注。Web3D 核心技术涉及 VRML、JavaScript、XML、动画脚本以及流式传输等,在网络教学资源和网络学习环境的开发中已被广泛应用。其中,基于 Web3D 的虚拟实验能够还原真实实验场景,使学习者通过与 3D 实验器材的自主交互开展实验活动,从而提高实验操作技能水平,建构科学知识,提升科学探究能力。

2 探究式学习行为分析的研究现状

学习分析是基于学习者学习信息的相关数据,运用不同的分析方法和数据模型探究学习者的学习过程与情境,阐释学习者的学习表现,发现学习规律,以提供学习反馈改进学习效果的技术^[7]。当前,已有针对课堂探究式学习行为分析的研究,如杨晓露^[8]从学习行为的表现、水平和背景三方面构建了探究式学习行为研究分析模型,通过课堂观察和录像分析研究高中化学探究式课堂教学实例,发现我国目前的探究式教学在一定程度上忽略了学生的“提出问题”“反思与评价”等行为。黄慧^[9]使用问卷调查法、课堂观察法、访谈法对淮安生物工程分院共 460 名大专在读学生进行了学习行为研究,发现探究式学习对于营造学生积极的内部学习动机具有显著的正面作用。通过梳理探究式学习行为分析的相关研究,发现学习行为相关模型多为学习行为分析模型,用于描述学习行为分析的整个过程^[10],其基于行为分析的过程增加了特定的分析技术、手段和目标等内容^[11]。行为数据的采集是进一步开展学习行为分析的基础,但针对学习行为数据进行建模的研究不多,现有的数据模型只是阐述了行为要素^[12]或是将数据集进行分类^[13],而在明确行为数据采集与记录的要素与属性的基础上,构建其内在的联系是数据建模的关键。

综上所述,尽管围绕探究式虚拟实验已经开展了大量实践,也有研究者针对课堂探究式学习行为进行了研究,但尚缺少探究式虚拟实验中学习行为数据建模与分析的相关研究案例。为此,本研究在现有模型的基础上结合虚拟实验和探究式学习的特点,试图构建一个针对虚拟实验中探究式学习行为的、可清晰描述各主体属性与联系的模型,进而基于该模型研发创新的 Web3D 学习环境,通过开展教学应用实践,获取学生的探究式学习行为数据以进行数据挖掘和聚类分析。

二 Web3D 虚拟实验中探究式学习行为模型的构建

1 模型构建的要素分析

在 Web3D 虚拟实验中,学习者行为相关数据是学习行为分析的基础,因此在数据采集前首先需要了解 Web3D 虚拟实验可能产生的数据种类,从而提高采集效率。关于学习与学习活动,Bruner 等提出了发现学习理论,即学习者应该自主发现问题,自发寻求答案,主动建构知识,以此学会“如何学习”^[14]。Lave 等^[15]提出了情境学习理论,认为学习者应在应用情境中进行知识、技能的学习。在学习过程中,学习者会因环境因素的影响发生一系列学习行为,如在图书馆查询浏览资料、在考场参与测试等,进一步总结后可将其描述为:谁在哪里做了什么。细化该描述,可以将其分为四个问题:①who(学习者);②how(学习行为);③what(学习资源);④where(学习环境)。前三个问题对应了发现学习理论,最后一个问题则对应了情境学习理论。学习者是在教育或教学活动中进行学习活动的对象或主体,并不局限于学生;学习行为是学习者在学习活动中发生的一系列行为;学习资源既可以是学习者在学习活动中的学习对象,也可

以是教育者或教育平台所提供的资料，还可以是在观察、思考、实验等过程中获得的经验与技能；学习环境可以是学校环境、图书馆等线下环境，也可以是在线学习平台等线上环境。

结合上述理论分析，本研究提出的虚拟实验环境中的学习行为模型涉及四个要素，包括学习者、学习行为、学习资源与学习环境。

2 探究式学习过程分析

传统实验过程一般包括提出实验问题、实验设计、实验实施、实验结果分析与处理、实验结论报告与交流 5 个步骤^[16]。探究式学习以提出问题为导向，通过探索发现解决问题，具有问题性、情境性、自主性、建构性及协作性等特征^[17]。Pedaste 等^[18]将探究式学习的一般过程归纳为 5 个阶段：情境导入、概念形成、探索调查、结论形成、交流讨论。本研究基于上述实验过程分类，提出 Web3D 虚拟实验中探究式学习的基本过程（如图 1 所示）：平台或教育者将研究主题呈现给学习者，借用技术构建学习者感兴趣的学习情境，学习者自主针对问题提出假设并设计实验方案，再对问题的答案进行探寻及验证，最后得出结论并进行自我评价与反思。此外，探究式学习流程不仅需要激发学习者的求知欲，还应具有一定的学习成效，因此增加了实验前测和实验后测环节，以了解学习者的实验预备知识情况和知识理解、建构情况。考虑到虚拟实验不仅适用于有讲解的课堂环境，也适用于自主学习环境，因此增加了知识预习环节。

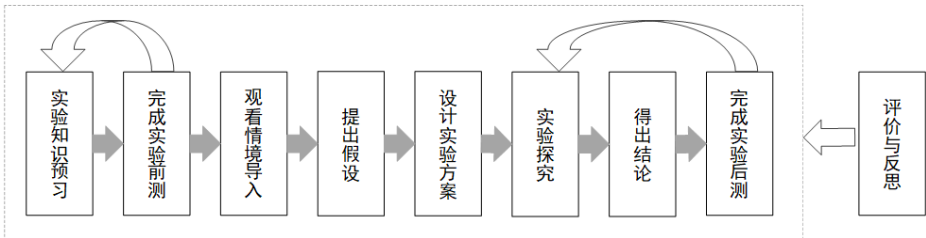


图 1 Web3D 虚拟实验中探究式学习的基本过程

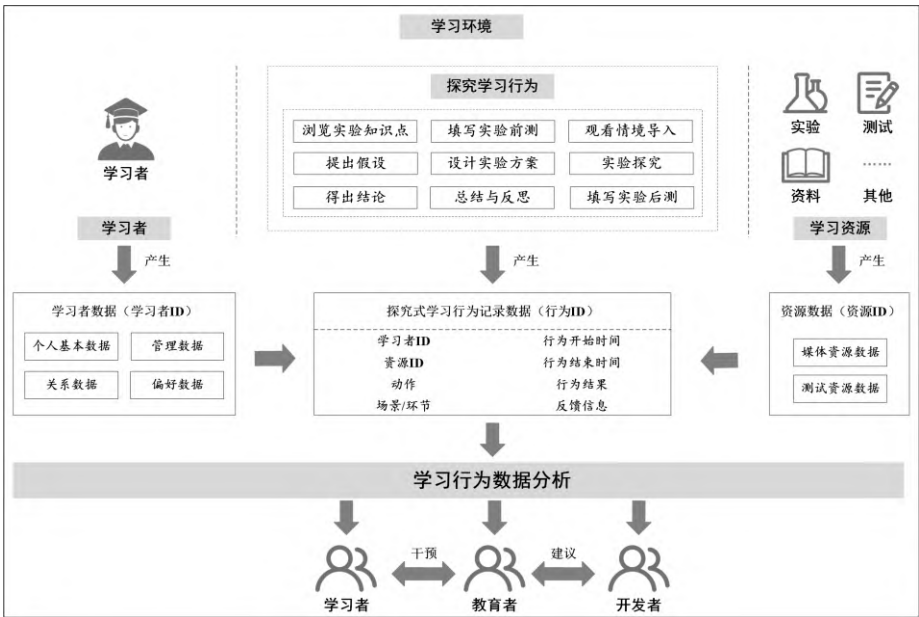


图 2 Web3D 虚拟实验探究式学习行为模型

3 Web3D 虚拟实验中探究式学习行为模型

基于上述模型构建的要素及探究式学习过程分析,本研究构建了 Web3D 虚拟实验探究式学习行为模型(如图 2 所示),作为采集与记录学习环境中学习者利用多样化学习资源开展探究式学习活动的基础架构。

(1) 学习者

学习者是学习行为的产生者及学习行为数据的创造者。CELT5-11 是关于学习者信息的数据交换标准,该标准依照逻辑与概念对学习者的学习信息进行分类,Web3D 虚拟实验中学习者信息数据的获取形式主要参考了这一标准。本模型中,学习者 ID 是每个学习者独一无二的身份标识,主要包括四类数据:个人基本数据,包含姓名、性别和学号等固有信息;管理数据,包括注册信息、登录信息等,用以管理用户账号、检测账号异动;关系数据,包括师生关系、生生关系等关系的描述;偏好数据,包括用户点赞、收藏等体现学习者与虚拟实验关联的信息。

(2) 探究学习行为

学习行为是学习者在环境因素的影响及自身某种意识的控制下,以取得某种学习结果为目的而与外界进行双向交互活动的总和^[19]。探究学习行为则强调学习者基于对“探究”的自主控制以开展学习的行为。人类行为包含五个行为要素,分别是行为主体、行为客体、行为结果、行为环境、行为手段^[20]。探究学习行为主要包含浏览实验知识点、填写实验前测、观看情境导入、提出假设、设计实验方案、实验探究、得出结论、总结与反思和填写实验后测等行为,探究学习行为产生的数据将被记录,包含行为主体——学习者;行为客体——Web3D 虚拟实验、学习资源;行为结果——反馈信息、行为结果;行为环境——场景/环节、时间;行为手段——动作,并被赋予一个新建虚拟实验记录 ID(学习者进入某一虚拟实验时产生的自增 ID),用以区别某一学习者多次进行同一虚拟实验时产生的学习行为记录。

(3) 学习资源

广义上来说,有助于学习的技术、物质、信息、自然资源、设备、多媒体资源、地区独特的文化历史资源等都可称为学习资源。为了方便各类型资源的管理,本模型将学习资源分为媒体资源与测试资源两类:媒体资源按照格式主要分为文本类(如知识点名称、知识点介绍)、图像类(如实验配图、知识点配图等)、视频类(如实验介绍视频、实验情境视频等);测试资源按照题型进行分类存储,主要分为选择题、填空题、判断题。每条文本、图像、视频、选择题、填空题、判断题等资源均具有唯一 ID。

(4) 学习环境

本模型中的学习环境主要为基于行为模型设计开发的 Web3D 探究式虚拟实验平台,所使用的系统架构为 B/S 架构,将浏览器作为主要的客户端应用软件,以减轻终端设备渲染 3D 模型的负载。此外,本研究通过 Node.js+Express 框架开发平台,使用 Babylon.js 3D 图形引擎开发 Web3D 虚拟实验。Web3D 探究式虚拟实验平台的模块结构如图 3 所示,主要包含个人中心模块、资源模块和实验模块,具备情境创设、问题提出、实验假设、实验设计、自由探究、引导式探究、实验回顾等功能,能够伴随式收集、存储学生的行为操作,借助嵌入式评价模块,针对学生不同的实验操作,及时提供适应性引导与反馈。

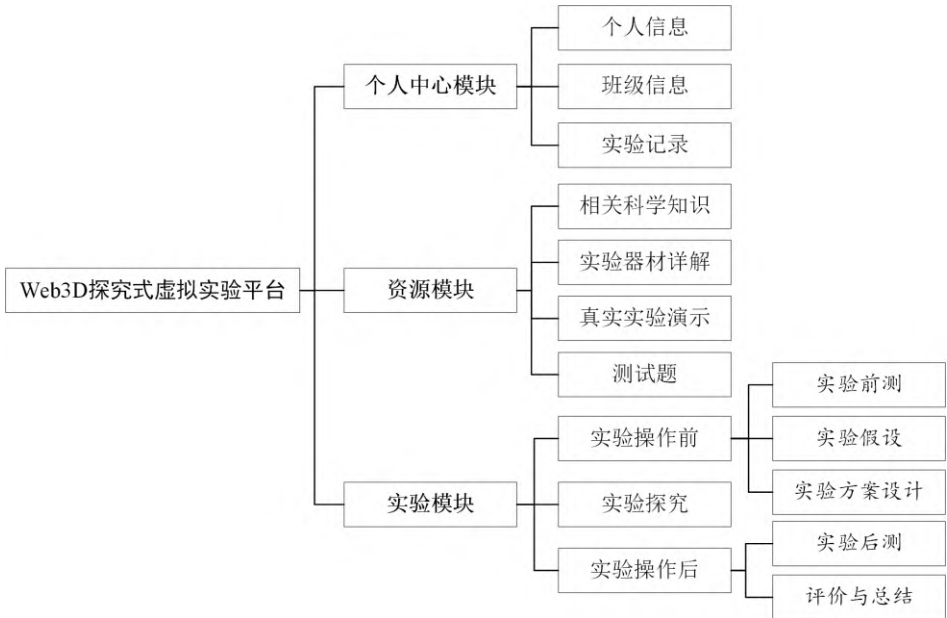


图3 Web3D探究式虚拟实验平台模块结构

三 探究式学习行为数据的获取与分析

1 Web3D 探究式虚拟实验平台的教学应用实证研究

(1) 研究对象及学习环境

本研究选取浙江省杭州市余杭区某中学的 193 名七年级学生作为研究对象，其中男生 102 人，女生 91 人。学习环境为本团队研发的 Web3D 探究式虚拟实验平台，具体实验为“盐的溶解”，实验内容来源于浙教版《科学（八年级上册）》“物质的溶解”一节。这 193 名学生此前尚未学习过该小节内容，其先验知识储备较为一致。

(2) 研究过程

实验前，教师先使用平台中的其他实验作为示例为学生讲解平台理念、规范操作标准、学习流程与形式等内容，为后续正式实验的顺利开展作铺垫。

实验时，学生需要在平台中自主完成实验，具体的过程如下：①学生登录平台后，进行“盐的溶解”实验知识点的学习，在完成知识点页面学习后填写实验前测问卷。②学生需要经历“情境导入、实验假设、方案设计、实验探究、得出结论”等一系列环节，完整地开展探究式实验，然后根据实验探究阶段针对科学知识的建构与理解情况填写后测问卷。③学生自主浏览平台提供的实验评价与反馈信息，借助实验复盘，对实验过程中存在的问题以及后期的改进方向进行思考。

实验后，通过 Web3D 探究式虚拟实验平台中的对应算法对学习行为数据进行采集与记录，将数据记录到相应的数据库表中，实验结束后将数据导出并进行清理、过滤及重组。

(3) 研究方法与工具

①统计分析法。该方法主要用于采集和分析学习行为数据。本研究主要选用描述性分析、聚类分析和相关性分析对学生学习行为进行分类。使用 MySQL 语句与 Excel 对收集到的数据进

行筛选与整理，并通过 SPSS 26.0 软件进行统计分析。

②案例分析法。该方法主要通过对代表性案例的深入分析以认识整体。本研究选取 Web3D 探究式虚拟实验平台上的“盐的溶解”实验作为实验课程，收集了 193 名学生的学习行为数据，通过数据模型分析为学习者的学习提供策略与建议。

表 1 学习行为相关分析矩阵

变量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
浏览知识点页面 时长	--	.454**	.240**	.218**	.295**	.039	.278**	.114	.100	.020	.395**	-.023	-.008
观看情境导入 时长		--	.233**	-.042	.387**	-.020	.297**	-.018	.158*	-.039	.227**	-.001	.040
实验前测试时长			--	.162*	.345**	-.067	.297**	-.020	.255**	.185*	.419**	-.093	.007
实验前测试得分				--	.060	.133	.199**	.383**	-.187**	.278**	.285**	.200**	.070
提出假设时长					--	.134	.352**	-.0023	.215**	.147*	.225**	-.148*	.009
提出假设得分						--	.048	.202**	-.253**	.224**	.126	.158*	.005
设计实验方案 时长							--	.024	.061	.137	.305**	.253**	.132
设计实验方案 得分								--	-.366**	.255**	.331**	.228**	.028
实验探究时长									--	-.146*	-.058	-.309**	-.097
得出实验结论 得分										--	.220**	.071	.098
实验后测试时长											--	.136	.097
实验后测试得分												--	.170*
浏览实验评价 时长													--

注：**表示 $p<0.01$ ，*表示 $p<0.05$ 。

2 学习行为模式聚类分析

为验证与改进 Web3D 虚拟实验探究式学习行为模型，同时更好地帮助学习者改进学习策略，需要对学习者的学习行为数据进行分析。聚类分析将批量数据通过算法处理分成不同的几个类别，要求相同类别中的数据之间比其他类别更具有类同性，适用于帮助不同类型的学习者改进学习策略。本研究使用 SPSS 26.0 软件对数据集进行分析，具体包括检查数据、清除无关数据、确认数据无遗漏、过滤敏感数据（如学习者个人信息）等预处理，得到 193 位学习者的 2314 条学习行为数据。其中，页面停留时长是判断学习者学习情况的基本数据，尽管学习者在每一个页面停留的原因不明，但聚类分析可以聚集大部分具有相同学习规律的学习者，避免了少量错误数据对研究结果的影响。因此，本研究基于提出的学习行为模型，在探究式学习行为模块中，将学习者的浏览知识点页面时长、观看情境导入时长、实验前测试时长、提出假设时长、设计实验方案时长、实验探究时长、实验后测试时长、浏览实验评价时长作为基本的聚类训练

变量。考虑到得分并非严格的学习行为，但能够体现学习者的学习情况，因此本研究将实验前测试得分、提出假设得分、设计实验方案得分、得出实验结论得分、实验后测试得分也作为训练变量，所有训练变量均来自学习行为模型。确定训练变量后，本研究使用 K-S 检验进行正态分布检验，检验结果显示数据不符合正态分布，因此使用斯皮尔曼等级相关对数据进行两两相关分析，学习行为相关分析矩阵如表 1 所示。

根据矩阵分析结果可以看出：①所有得分与实验探究时长负相关，但实验前测试时长、提出假设时长、设计实验方案时长均与实验探究时长正相关，判断为部分学习者无法理解学习内容，需要在整个实验探究过程中花费大量时间；②得出实验结论得分与实验前测试得分、提出假设得分、设计实验方案得分正相关，与实验探究时长负相关，判断为部分学习者较好地理解了实验探究过程，能快速完成实验探究；③浏览实验评价时长仅与实验后测试得分有关，可判定其对绝大部分数据的预测性弱，故在后续分析中仅将其作辅助参考。

完成相关分析后，本研究采用 K-means 聚类分析方法对学习数据进行聚类训练。使用 K-means 聚类分析方法的关键在于 K 值的确定。肘部法则 (Elbow Method) 常用于寻找 K-means 方法中最佳的聚类数量，随着 K 值增大，平均畸变程度变小。一般而言，畸变程度改善效果下降最多的位置就是肘部对应的 K 值^[21]。肘部法则计算结果如图 4 所示。

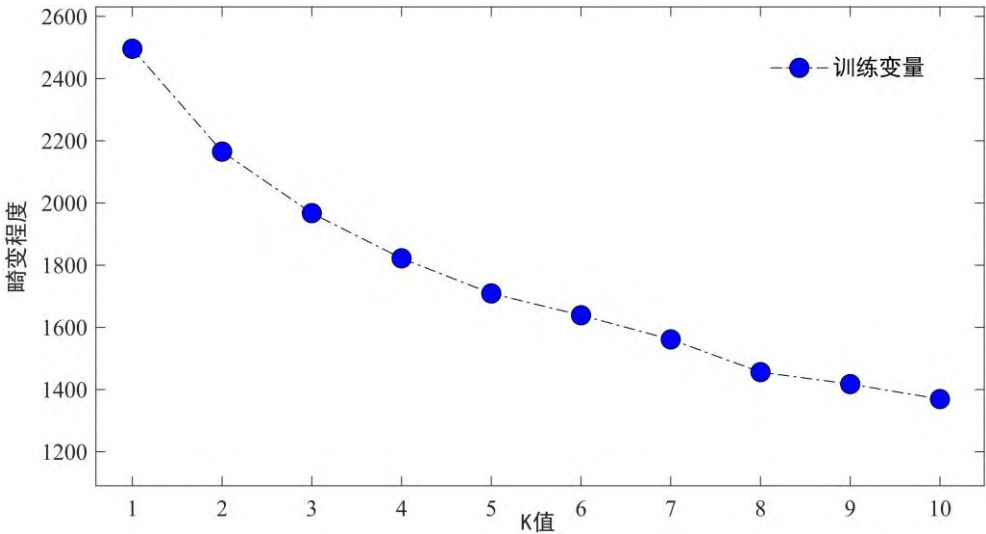


图 4 肘部法则计算结果

由图 4 可知，当 $K \geq 4$ 后，随着 K 值变大，畸变程度下降速率变慢。由此确定本次聚类的聚类数为 4，迭代次数最大设置为 10 次。最终聚类得到四类学习者，此四类学习者的占比分别是 19.69%、10.36%、38.34%、31.61%。对聚类结果的合理性进行检验，关键在于选取的探究式行为中的变量是否存在显著差异。使用方差分析法可知，四类学习者聚类对于的学习行为指标项均呈现出显著性 ($p < 0.01$)。四类学习者分布较为均匀，说明聚类结果合理，效果较好。聚类类别方差分析差异对比结果如表 2 所示。

为了探索四类学习者的行为模式，以更详细地了解不同聚类间的差异，从而总结出不同行为模式学习者的特征，本研究根据已有聚类结果进行进一步分析。

表 2 聚类类别方差分析差异对比结果

探究式行为	分析指标	聚类类别方差分析差异对比结果（平均值）				F	p
		聚类_1 (n=38)	聚类_2 (n=20)	聚类_3 (n=74)	聚类_4 (n=61)		
浏览知识点页面	时长	210.21	67.35	26.27	24.67	70.441	0.000**
观看情境导入	时长	46.16	176.5	13.22	18.34	163.081	0.000**
实验前测试	时长	185.37	144.25	125.19	120.3	10.365	0.000**
	得分	5.16	4.25	4.78	3.07	32.789	0.000**
提出假设	时长	22.74	12.85	8.74	10.23	16.567	0.000**
	得分	3.11	2.58	2.31	2.23	21.412	0.000**
设计实验方案	时长	117.08	121.55	137.16	79.1	8.440	0.000**
	得分	10.74	10.4	11.26	7.92	25.653	0.000**
实验探究	时长	248.95	263.5	231.22	296.93	6.298	0.000**
得出实验结论	得分	2.92	2.85	2.96	2.49	20.488	0.000**
实验后测试	时长	321.89	214.5	184.84	114.72	30.467	0.000**
	得分	3.16	3.9	4.14	2.43	18.980	0.000**
浏览实验评价	时长	160.84	256.45	152.27	112.16	5.143	0.002**

注：**表示 $p<0.01$ 。

聚类 1：此类学习者包含 38 人，占比 19.69%。此类学习者浏览知识点页面、实验前测试时长、实验后测试时长显著超过其余三类学习者，尤其是学习者浏览知识点页面时长超出其余三类学习者 3~8 倍，除此之外的其余各探究环节的时间分配较为合理。此类学习者的实验前测试得分、提出假设得分是四类学习者中平均分数最高的，设计实验方案、得出实验结论的平均得分在四类学习者中排名第二。综上分析可知，此类学习者在进行虚拟实验的学习时可以保持较高的学习积极性。理论学习时间较长，提出假设、实验前测试得分较高，说明此类学习者善于理解与消化概念类知识；实验前、后测试时长较长，说明此类学习者面对测试问题时较为谨慎，对所选择答案的正确性进行反复审思，思考的时间较长，也侧面反映出其较为重视自己的测试结果。可将此类学习者定义为“擅长理论学习，重视测试结果的学习者”。

聚类 2：此类学习者包含 20 人，占比 10.36%。此类学习者观看情境导入时长、浏览实验评价时长超过其余三类学习者，尤其是学习者观看情境导入时长远远超过其余三类学习者，其余各探究环节的时间分配较为合理。在相关得分中，此类学习者实验前测试、设计实验方案、得出实验结论、实验后测试的平均得分在四类学习者中排名均为第三。综上分析可知，此类学习者在进行虚拟实验的学习时对视频类或动画类的情境导入具有浓厚的兴趣，有些学习者甚至进行了多次情境导入的观看。结合实验前、后测得分可以看出，此类学习者对实验过程中相关知识掌握不够，浏览实验评价时长较长，说明此类学习者重视评价与反思环节，关注自身各个实验阶段的正误情况。可将此类学习者定义为“喜欢视频/动画类学习资料，重视评价与反思的学习者”。

聚类 3：此类学习者包含 74 人，占比 38.34%。此类学习者设计实验方案时长略微超过其余

三类学习者,观看情境导入、提出假设、实验探究时长是四类学习者中最短的,浏览知识点页面时长在四类学习者中排名第三。除此之外,此类学习者的设计实验方案、得出实验结论、实验后测试的平均得分在四类学习者中最高,实验前测试得分在四类学习者中排名第二。综合分析可知,此类学习者在进行虚拟实验的学习时将较多的时间与精力放在了设计实验方案环节,并且设计的方案得分较高,说明其更为重视并擅长实验方案的建构。另外,此类学习者浏览知识点页面时长较短,说明其对理论性概念的学习不感兴趣,更希望通过实验探究验证假设的方式得出结论。可将此类学习者定义为“擅长建构实验,对理论性的概念学习不感兴趣的学习者”。

聚类 4: 此类学习者包含 61 人,占比 31.61%。此类学习者浏览知识点页面、实验前测试、设计实验方案、实验后测试、浏览实验评价时长相较于其余三类学习者均为最短,尤其是设计实验方案时长差距较大,但其在四类学习者中进行实验探究的时长最长。除此之外,此类学习者的实验前测试、提出假设、设计实验方案、得出实验结论、实验后测试的平均得分在四类学习者中均为最低。综合分析可知,此类学习者在进行虚拟实验探究时缺乏学习动力与兴趣。另外,从投入的时间角度分析,此类学习者整体的投入程度较低,部分学习者只是为了完成实验任务而进行虚拟实验的探究学习;从学习成效角度分析,此类学习者对于是否能在实验中有良好表现并获得较好的测试成绩不够重视,整体缺乏积极性。可将此类学习者定义为“投入程度低,完成任务型的学习者”。

四 Web3D 虚拟实验学习效果的优化策略

本研究中基于 Web3D 探究式虚拟实验的学习者学习行为分析结果,对于学习环境的优化设计和探究式教学活动的有效开展具有重要的参考价值。根据上述聚类分析,可从中挖掘学习者的特征与需求,通过平台功能完善或学习干预等方式提高学习者的学习效果,优化策略如下:

1 设计激励机制

在虚拟实验平台中,针对聚类 4 的学习者投入程度低的现象,可通过设计更具体和可操作性的激励机制,以提高其学习积极性。可以采取以下优化策略:①设计个性化积分系统。为每个学习者设计个性化的积分系统,根据学习者实验表现实时更新积分,可包括准确性、创造性、实验时间等方面的评估。②展示实时排名。不仅呈现学习者自己的积分状态,还实时展示班级中前三名同学的积分,以通过积分差对比,激发学习者的竞争意识和学习动力。③设置奖励体系。例如,可为积分达到一定水平的学习者发放小礼品、颁发荣誉证书或采取其他激励措施,以更直接地激发学习者的积极性。

2 优化学习资源

为满足不同学习者的喜好和需求,可以更具体地优化学习资源。可以采取以下优化策略:①定制学习路径。针对聚类 1 的学习者偏好理论学习,聚类 2 的学习者偏好视频/动画学习,分别定制个性化学习路径,让学习者更便捷地找到符合自身学习风格的资源。②外部资源推送。面向聚类 1 的学习者,增加平台外的高质量学习资源推送;面向聚类 4 的学习者,推送趣味性强的科学实验视频,并通过超链接、代码嵌入视频等形式呈现,以激发其学习兴趣,拓宽其知识面。

3 优化实验方案设计环节

更具体地优化实验方案设计环节,以满足聚类 3 的学习者需求。可以采取以下优化策略:

①设计详细方案。在实验方案设计环节采用填写表格的方式,明确设计思路、实验原理、实验器材、实验步骤、注意事项等方面的内容,帮助学习者更深入地思考和理解实验。②设置探索性问题引导。提供探索性问题引导,激励学习者在方案设计阶段发散思维,促使其更深入地认识与理解实验。

4 增加讨论与交流功能

针对“浏览实验评价时长相关数据难以反映学习者的学习情况”这一现象,在 Web3D 探究式虚拟实验平台上增加更具体、更实用的讨论与交流功能。可以采取以下优化策略:①增加主题分类讨论板块。设立主题分类的讨论板块,让学习者能够针对不同实验探究阶段存在的问题进行有针对性的讨论与交流。②展示问题整理与解答。在“讨论与交流”区中展示整理出的问题及相应的答复,以便学习者在后期实验过程中能够迅速得到解答与启发。

参考文献

- [1]教育部.教育部关于印发义务教育课程方案和课程标准(2022 年版)的通知[OL].
<http://www.moe.gov.cn/srcsite/A26/s8001/202204/t20220420_619921.html>
- [2]教育部等十八部门.教育部等十八部门关于加强新时代中小学科学教育工作的意见[OL].
<http://www.moe.gov.cn/srcsite/A29/202305/t20230529_1061838.html>
- [3]National Science Foundation. Thoughts, views, and strategies for the K-5 classroom[OL].
<<https://www.nsf.gov/pubs/2000/nsf99148/intro.htm>>
- [4]University of Colorado Boulder. PhET: Free online physics, chemistry, biology, earth science and math simulations[OL]. <<https://phet.colorado.edu>>
- [5]UC Berkeley. WISE: Web-based inquiry science environment[OL]. <<https://wise.berkeley.edu/zh-Hans/>>
- [6]NOBOOK. NOBOOK_模拟实验_仿真实验_虚拟仿真实验-NOBOOK 虚拟实验室[OL].
<<https://www.nobook.com/index.html>>
- [7]顾小清,张进良,蔡慧英.学习分析:正在浮现中的数据技术[J].远程教育杂志,2012,(1):18-25.
- [8]杨晓露.高中化学探究式课堂教学中学生学习行为研究[D].北京:北京师范大学,2010:38-57.
- [9]黄慧.探究式学习对高职语文课堂学习行为影响的调研[J].文教资料,2021,(11):217-219.
- [10]胡艺龄,顾小清,赵春.在线学习行为分析建模及挖掘[J].开放教育研究,2014,(2):102-110.
- [11]吴林静,劳传媛,刘清堂,等.网络学习空间中的在线学习行为分析模型及应用研究[J].现代教育技术,2018,(6):46-53.
- [12]Verbert K, Manouselis N, Drachsler H, et al. Dataset-driven research to support learning and knowledge analytics[J]. Educational Technology Society, 2012,(3):133-148.
- [13]张艳霞,孙洪涛,李爽,等.数据表征学习过程及其应用——学习分析数据集国际研究综述[J],2021,(9):85-93.
- [14]Ozdem-Yilmaz Y, Bilican K. Discovery learning—Jerome Bruner[A]. Science Education in Theory and Practice: An Introductory Guide to Learning Theory[C]. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2020:177-190.
- [15]Lave J, Wenger E. Situated learning: Legitimate peripheral participation[M]. Cambridge: Cambridge university press, 1991:1-138.
- [16]彭蜀晋,林长春.科学课程与教学论[M].北京:高等教育出版社,2005:131-133.

- [17]徐光涛.信息技术赋能科学教育[M].上海:华东师范大学出版社,2022:1-217.
- [18]Pedaste M, Maeots M, Siiman L A, et al. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle[J]. Educational Research Review, 2015,14:47-61.
- [19]吴青,罗儒国,王权于.基于关联规则的网络学习行为实证研究[J].现代教育技术,2015,(7):88-94.
- [20]刘丹丹.基于在线学习平台的学习行为数据模型研究[D].武汉:华中师范大学,2017:17-19.
- [21]Syakur M A, Khotimah B K, Rochman E M S, et al. Integration k-means clustering method and elbow method for identification of the best customer profile cluster[A]. The 2nd International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE)[C]. Surabaya, Indonesia: IOP Publishing, 2018:1-6.

Research on Modelling and Analysis of Inquiry Learning Behavior in Web3D Virtual Experiment

XU Guang-Tao¹ LU Jun-Jie¹ LI Ying-Qian²

(1. Educational Modernization Research Institute, Hangzhou Normal University, Hangzhou, Zhejiang, China 311121; 2. Hangzhou University Road Primary School, Hangzhou, Zhejiang, China 310009)

Abstract: At present, inquiry-based virtual experiments have played a positive role in transforming science education and implementing core competency objectives. However, there is limited research on the analysis of inquiry-based learning behaviors, and a systematic theoretical framework has yet to be established to better guide teaching practices. Therefore, aiming at the inquiry-based learning activities in the Web3D virtual experiment, this paper constructed a learning behavior model with behavioral recording attributes, and utilized this model to design and implement the empirical research of teaching applications. Through cluster analysis, four main types of learners were identified, namely learners who were proficient in theoretical learning and attached importance to test results, learners who preferred video/animation learning materials and valued evaluation and reflection, learners who were skilled in experiment construction but disinterested in theoretical concept learning, learners who completed tasks-oriented learning with low engagement degree. Finally, combined with the analysis results of learners' learning behaviors, this paper proposed optimization strategies from four aspects of incentive mechanisms, learning resources, experimental design, and discussion communication, aiming to provide reference for the development and application of subsequent inquiry-based virtual experiment platforms.

Keywords: Web3D virtual experiment; inquiry learning; learning behavior; learning analytics

作者简介: 徐光涛, 副教授, 博士, 研究方向为学习科学与技术、教育人工智能, 邮箱为 xuguangtao@hznu.edu.cn.
收稿日期: 2023 年 9 月 14 日

编辑: 小时