引文格式:陈迪,徐雯慧,高瑞阳,等.地图化在线学习服务模式及其应用效应[J].武汉大学学报(信息科学版),2026,51(1):55-66.DOI:10.13203/j.whugis20250385

Citation:CHEN Di,XU Wenhui,GAO Ruiyang,et al.A Map-Based Online Learning Services Mode and Its Application Effect Evaluation[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2026,51(1):55-66.DOI:10.13203/j.whugis20250385

地图化在线学习服务模式及其应用效应

陈 迪[1] 徐雯慧[2] 高瑞阳[1] 周东波[1]

1 华中师范大学人工智能教育学部,湖北 武汉,430079

2 河南师范大学教育学部,河南 新乡,453007

摘 要:现有的在线学习平台与系统采用目录与列表式的学习资源组织方式,导致在线学习完成度低、投入度不足、学习意愿与满意度不高。提出了一种地图化在线学习服务模式,通过知识地图组织多层次资源,辅以地图交互支持探索式学习,并融合位置服务提供路径规划与个性化资源推荐,并构建相应的在线学习平台。以《数据结构》课程为例开展教育实证,结合问卷调查和日志数据分析,验证了所提模式的应用效果。结果表明,在地图化在线学习服务模式下,学习者的学习资源观看时长与使用率显著提高,学习者的满意度、学习投入与深度学习动机显著提升,有效促进了知识深层加工,且未增加认知负荷。地图化在线学习服务模式不仅促进了在线学习模式的发展,也探索了面向在线学习的教育资源地图化组织模式,拓展了地理信息服务的教育应用范畴。

关键词:泛地图;知识地图;在线学习;应用效果评价;地理信息服务

中图分类号:P208 **文献标识码**:A **收稿日期**:2025-12-02

DOI:10.13203/j.whugis20250385 **文章编号**:1671-8860(2026)01-0055-12

A Map-Based Online Learning Services Mode and Its Application Effect Evaluation

CHEN Di[1] *XU Wenhui*[2] *GAO Ruiyang*[1] *ZHOU Dongbo*[1]

1 Faculty of Artificial Intelligence in Education, Central China Normal University, Wuhan 430079, China

2 Faculty of Education, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China

Abstract: **Objectives**: Current online learning platforms predominantly rely on tabular or hierarchical lists to organize and present learning resources. This conventional approach is associated with several challenges, including low course completion rates, insufficient learner engagement, diminished motivation and satisfaction. These limitations highlight a critical gap in how online learning environments support cognitive processing, exploratory behavior, and sustained interest. As an effective tool for information presentation, maps offer functions such as spatial organization, positioning, and navigation, which can be leveraged to enhance online learning. We aim to apply map-based interfaces to online learning by constructing a support service mode centered on three aspects: Resource organization, learning interaction, and personalized support. Specifically, the mode employs hierarchical map visualization to structure and manage learning resources, utilizes map browsing and interaction (e.g., zooming, panning, layer control) to facilitate exploratory learning, and integrates location-based services, such as positioning, path planning, and resource recommendation to deliver personalized learning support. The goal is to provide a more intuitive, engaging, and efficient online learning experience. **Methods**: A map-based online learning service mode was developed, incorporating a generalized map visualization mechanism to organize learning resources. Subject knowledge maps were created using map elements to represent multi-level knowledge points, with the finest-grained layers used to associate and manage relevant learning resources. Interactive map operations (e.g., positioning,

基金项目:国家社会科学基金教育学一般项目(BCA230278);国家自然科学基金(62293553,62177107)。

第一作者:陈迪,博士,副教授,研究方向为教育媒体理论及其技术应用绩效研究。chendi@ccnu.edu.cn

通信作者:周东波,博士,教授。zhoudongbo@ccnu.edu.cn

zooming, layer control) were designed to support exploratory learning, while location-based services enabled learner positioning, learning path planning, and resource recommendations. To evaluate the mode, a map-based online learning system was implemented and conducted a pilot study in a university data structure course. A mixed-methods approach combining questionnaires and learning log analysis was used to assess differences in learner satisfaction, engagement, deep learning, and academic performance. **Results:** The findings show that the proposed mode significantly increased both the viewing duration of learners and the utilization rate of learning resources. Learners also demonstrated notably higher satisfaction, engagement, and motivation for deep learning. Furthermore, the mode effectively facilitated deeper knowledge processing without increasing cognitive load. **Conclusions:** The proposed mode offers an innovative map-based approach for organizing educational resources, effectively enhances online learning engagement and outcomes and extends the application of geographic information service concepts into the educational domain, thereby broadening the scope of geographic information services technology in learning environments.

Key words: pan-map; knowledge map; online learning; application effect evaluation; geographic information services

地图学已成为人们日常生活、工作和学习中最基本的工具与不可或缺的助手[1]。基于二维抽象表达逻辑的GIS实现了对现实世界的抽象分析与表达,而泛地图化不仅是对地理、社会人文和信息空间的拓展,也是GIS科学化发展的重要方向[2]。利用新一代信息技术变革新时代教育,推进教育数字化是《中国教育现代化2035》提出的重要手段[3],也是构建学习型社会的重要路径[4]。在线教育是实现终身学习、构建学习型社会的重要方式。以慕课平台等为代表的在线学习方式能够突破时空限制[5],为促进个性化学习、终身学习以及教育资源的均衡分配与知识共享提供前所未有的可能[6]。

近年来,中国在线教育规模持续扩大,建设与应用规模居世界首位[7]。但是面临着注册者众而参与度低、持续投入不足、课程完成率不高等现实困境[8],在线学习的质量与成效问题日益凸显,如何适应智能时代学习智能化、个性化与泛在化的新特点,通过系统化设计、整合新兴技术要素,全面提升在线学习平台的整体效能,实现从量的积累到质的飞跃,提升学习者的满意度、动机、学习投入、学习保持和学业成功等[9],成为技术变革教育深入发展的核心挑战。研究表明,学习资源的组织与呈现方式[10]、学习交互设计[11]和学习支持[12]都会影响在线学习投入。资源的丰富程度与学习者的使用行为呈正相关,更多的资源访问与学习交互行为意味着更长的学习时长和更高的学习投入度[13];学习分析仪表盘等可视化工具通过呈现学习状态、引导学习反思,有效帮助学习者进行自我调节,从而提升学习满意度与成绩[14]。然而,当前大多数在线学习平台的学习资源呈现采用线性目录排列方式,难以支持知识的多层次建构与整体性认知[15];学习者与资源之间的交互形式单一[16],缺乏促进深度认知的过程支持;个性化支持机制薄弱,难以适应学习者多样化的学习路径与需求[17]。资源组织与教学设计的局限性易使学习者陷入被动,而有限且单调的交互行为导致在线学习的完成率较低[18]。这些问题易引发学习者的迷航感与认知超载,进而影响其学习投入,导致在线学习的价值与潜力难以充分发挥。

地图学的发展使得地图从一种空间表达工具,转变为人类抽象描述与深刻认知现实世界的重要工具[19],泛地图的拓展进一步推动了多维层次化信息的整体可视化表征[20]。地图学和地理信息服务技术与教育的深度融合可以丰富教育资源的组织与呈现模式,基于地图浏览化学习交互的新型在线学习平台也为在线学习提供了新的发展路径。地图化在教育中的应用探索可总结归纳为3个方面:(1)可视化组织学习材料,知识地图能有效表征知识关系、显化知识体系的内在逻辑结构,帮助学习者理解学科关联、提高学习效率[21]。将地图引入到在线学习服务中,可以直观、全面地展示知识间的关系,并基于知识单元集中地组织其关联的学习资源,从而帮助学习者迅速定位目标知识单元[22];(2)可视分析学习过程,交互式地图能支持学习者主动参与和调适学习过程[23]。(3)个性化学习支持,位置服务为个性化学习路径规划提供了可能[24]。然而,现有研究多聚焦于地图在某一环节的独立应用,尚未从系统化支持服务的角度将地图化的资源组织、交互过程与个性化导航进行深度融合,构建一个覆

盖在线学习全过程的整体性支持模式,也缺乏对该模式教育成效的完整实证检验。

针对上述问题,本文提出构建一种以知识地图为载体、以位置与导航服务为核心的地图化在线学习服务模式,旨在通过泛地图可视化,实现学习资源的层次化、空间化组织,利用地图交互机制支持学习者进行直观、探索式的信息加工与认知建构,融合基于位置的服务,提供包含个体定位、路径规划与资源推荐的个性化学习导航。本文设计构建了对应的地图化在线学习平台进行实证研究,通过具体的本科教学实证来检验该服务模式对学习者在线学习投入及学习效果的影响,为拓展在线学习服务形态、提升在线学习体验与效果提供理论与实践依据,并为GIS技术与教育的深度融合提供有价值的探索。

1　地图化在线学习服务模式

1.1　在线学习服务的地图化理论基础与服务模式架构

地图化在线学习服务模式是将地图学的组织方法与地理信息服务的技术相结合,应用于在线学习的新模式,需要遵循地图学理论与教育学相关的思想。这一模式首先以全视角学习理论为依据,确立了学习是内容、动机与互动3个方面共同作用的整体性框架[25]。该服务模式通过学科知识的地图化表达实现内容的层次化表征,降低认识负荷,维持学习动机;通过地图浏览与交互方式,促进学习者与环境的深度互动,实现学习的深层建构与意义理解。在资源的组织与可视化方面,遵循认知负荷理论,致力于优化由学习材料固有难度决定的内在认知负荷,减少因不当设计引发的外在认知负荷,并增加促进图式建构的相关认知负荷[26]。传统的线性目录式资源呈现方式易引发认知超载问题,而地图化组织通过由全局到局部的结构化呈现,能有效降低外在负荷,帮助管理内在负荷。其非线性探索过程则能主动增加相关负荷,引导深层次的认知加工。在教学交互方面,遵循层次塔模型理论,明确交互设计的路径,将交互分为操作交互、信息交互与概念交互3个递进层次[27]。地图化界面构成了直观的操作交互基础,可视化知识节点的探索实现了丰富的信息交互,最终目标是激发学习者内部的概念交互,完成知识的意义建构。三者相互支撑,共同构成地图化在线学习服务模式的理论基石,确保该模式在理论上的自洽性与教育应用的有效性指向。基于地图化的在线学习服务模式架构如图1所示。

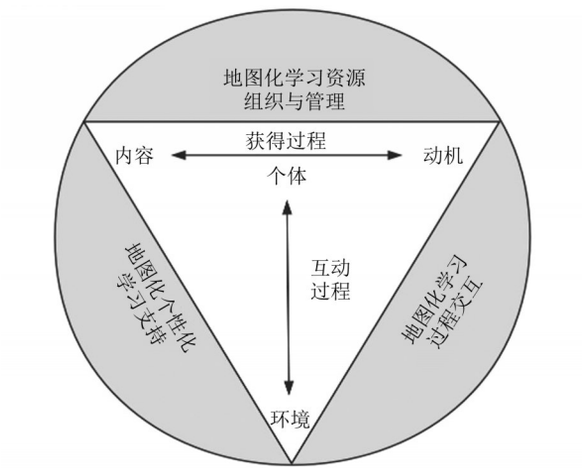


图1　地图化在线学习服务的模式架构

Fig. 1　Mode Architecture of Map-Based Online Learning Service

1.2　在线学习服务的地图化模式特征与功能

地图化在线学习服务模式集知识可视化、深度交互与个性化支持于一体,以地图化的组织形式、表征方式与交互手段为核心开展在线学习,具备学科知识的地图化空间表征、基于地图交互的认知探索机制以及位置推荐与个性化路径导航3个方面的特征。地图化在线学习系统的主要功能模块如图2所示。

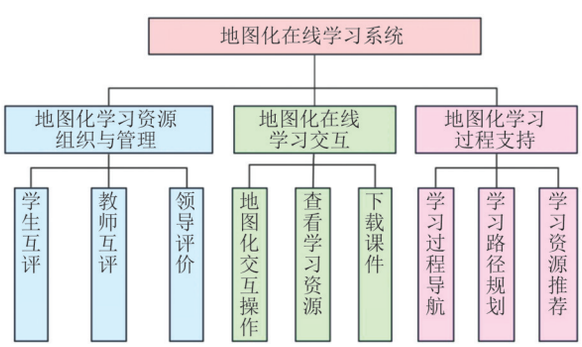


图2　地图化在线学习系统主要功能模块图

Fig. 2　Main Function Module Diagram of Map-Based Online Learning System

1)学科知识的地图化空间表征和学科知识地图。学科知识是在线学习平台组织的基本单元,而学习资源则是学科知识的承载体,围绕同一学科知识点,整合教、学、练等多类型资源,构建面域化空间表达,是地图化在线学习平台的基础底座。本文提出的学科知识结构的地理空间化方法,依据层次化认知过程与地图空间认知过程的原理相似性[28],将传统目录列表式的课程资源(如《数据结构》的排序章节)转化为多层级的

可视化知识地图。同时建立基于地图图层的“章图层-节图层-知识点图层-学习资源图层”组织模式,其中,最细粒度的学习资源图层是将知识点图层中的每一个面域进一步细分为多个子区域,关联视频、课件、习题、代码等不同类型的学习资源,实现资源的结构化、空间化存储与位置关联。

2)地图交互的认知探索机制和浏览式学习。当前的在线学习平台多以目录列表式进行资源组织,学习者的交互过程为点击目录或滑动列表进行学习,固化的路径和预设的方式易导致学习者在学习过程中兴趣降低、学习投入不足。地图交互的空间认知探索交互机制,将地图操作映射为学习行为。在操作交互上,支持符合直觉的缩放(浏览知识层次)、平移(探索关联内容)、图层控制(筛选信息)等操作;在信息交互上,点击地图上任一知识节点或资源图标,即可直接访问、学习相关内容,实现资源查找与学习过程深度融合;在概念交互上,通过可视化呈现知识全局结构与局部关联,促进学习者在头脑中构建系统的认知图谱,深化理解。该地图浏览的学习方式与日常使用地图的生活习惯相类似,可降低额外的学习成本[29]。

3)基于位置的学习资源推荐和个性化路径导航学习模式。学习资源推荐与学习路径的适切性是实现个性化的关键。地图化在线学习系统可利用学科知识点的位置特征来定位学习者的学习状态。在学习者所在位置周边,以热点区域或列表的形式智能推送最相关的学习资源,并将其学习轨迹可视化叠加于知识地图之上,使学习者能够清晰感知自身在知识体系中的实时坐标与进度,减轻传统线性学习中的迷航问题。综合地理信息服务的能力,根据学习者当前位置与目标,生成符合个体认知规律的最优学习序列,为学习者提供清晰的导航指引。

1.3 地图化在线学习服务算法

1)学科知识的地图化生成算法。为实现地图化的学习资源组织与管理,研制学科知识地图生成算法,将线性的、树状的学科知识结构,映射为二维平面的、层次化的可视化地图。具体而言,该算法将知识单元、知识单元之间的关联关系和知识单元的重要性映射在地图平面上,其数学表达式为:

$$L_R(x,y)=G(D_M,K_M,H_M,V_M) \tag{1}$$

式中,D_M、K_M、H_M、V_M分别表示媒介类型、知识单元、关联关系、重要程度;$L(x,y)$为地图平面坐标点,其经纬度取值范围为:$-90^\circ<x<90^\circ$,$-90^\circ<y<90^\circ$;$G(\ )$为位置生成函数,其本质为映射方法。首先,通过知识单元之间的关联关系H_M来确定知识单元到地图的映射位置,即在地图中的布局;其次,根据K_M的重要程度V_M确定映射区域的大小,生成学科知识地图;然后,根据K_M所对应的学习资源R_M数量对知识单元所在区域进行狄洛尼剖分,确定R_M所在的位置,根据学习资源R_M的媒介类型D_M并结合K_M的重要程度V_M,动态调整R_M所在区域的形状和面积大小;最后,R_M被映射为知识地图上具有面积属性的区域,其中心坐标即为资源位置$L_R(x_R,y_R)$。通过上述流程,系统构建了章-节-知识点的多层次图层表达体系。每一知识节点对应一个地图面域,细粒度知识面域嵌套于粗粒度面域内,形成直观的包含视觉关系,从而实现知识结构与学习资源的一体化、空间化组织与管理。

2)个性化学习路径规划算法。个性化的学习路径需要明确定位学习者的当前位置,在学科知识地图中,利用所学知识对学习者进行定位,确定学习者在知识地图的所在位置后,将学习者的特征(如知识掌握程度、学习目标和学习资源媒介偏好等)映射到地图中进行定位,再根据学科知识点的序列关系规划学习路径。学习者特征的数学表达式为:

$$\begin{cases} M=\{M_1,M_2,\cdots,M_S\} \\ A=\{A_1,A_2,\cdots,A_S\} \\ P=\{P_1,P_2,\cdots,P_S\} \end{cases} \tag{2}$$

式中,M、A分别表示学习者的知识掌握程度、学习目标;P表示学习者对不同学习资源媒介的偏好,如视频、幻灯片、在线测试等。

学习者特征映射是根据学习者S的知识掌握程度M_S、学习目标A_S和学习资源的媒介类型偏好P_S来对学习者S进行定位,并将其映射到知识地图上,表达式为:

$$L_S(x_S,y_S)=G'(M_S,A_S,P_S) \tag{3}$$

式中,$G'(\ )$为学习者特征映射函数,该函数的作用是将学习者特征映射至高维空间中,并通过多组非线性变换获取深层隐式信息,然后对特征进行降维以得到学习者在地图平面中的个性化定位,学习者S最终位置为$L_S(x_S,y_S)$。

基于知识点的依赖关系构建有向图模型。首先,将每个知识点建模为一个节点,包含前驱节点集合和学习代价,其中前驱节点为需要优先

掌握的前驱知识点,学习代价为学习该知识点所需的学习时长。然后,根据依赖关系构建学科知识树,并为节点赋予优先级,其中无前驱的根节点优先级为0,后继节点优先级递增。在以知识点次序为依据构建的知识树基础上,将多棵知识树连接成混合知识图,图中包含表示依赖关系的有向边和表示相关关系的无向边。最后,运用Floyd等最短路径算法,结合学习者当前位置(即当前掌握的知识节点)与目标位置计算最优学习序列,为学习者规划出一条从已知到未知、符合认知规律的个性化学习路径。

3)基于协同过滤与缓冲区分析融合的学习资源推荐算法。针对学习者进行个性化资源推荐,提出基于协同过滤的距离缓冲推荐算法。首先,基于学习者历史行为记录,构建协同过滤矩阵,描述学习者对学习资源的偏好程度;然后,结合学习者在个性化知识地图中的映射位置,融合可变缓冲区分析方法,确立推荐学习者学习资源内容。

具体算法流程如下:使用余弦相似度计算目标学习者S和其他学习者i的相似度$F(S,i)$得到与目标学习者S相似度较高的其他学习者集合$N(S)$,余弦相似度公式为:

$$F(S,i)=\frac{Si}{|S||i|}=\frac{\sum_{j=1}^{n}S_j i_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(S_j)^2}\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(i_j)^2}} \quad (4)$$

式中,S_j表示目标学习者S对第j个学习资源的评分;i_j表示学习者i对第j个学习资源的评分。

根据所有$i\in N(S)$对学习资源的兴趣度情况,选出$N(S)$中学习者喜欢且目标学习者S没有学习过的资源R_j推荐给目标学习者S。基于学习者的协同过滤子引擎,计算目标学习者S对第j个学习资源的兴趣度,计算公式为:

$$T_{S,R_j}=\frac{\sum_{i\in N(S)}F(S,i)T_{i,R_j}}{\sum_{i\in N(S)}F(S,i)} \quad (5)$$

式中,T_{S,R_j}和T_{i,R_j}分别表示目标学习者S和i对第j个学习资源的喜好程度。根据T_{S,R_j}来对候选的学习资源进行排序。

根据学习者在地图上的坐标位置和对资源的兴趣度来确定缓冲区大小,即将学习者位置和学习资源位置都描述成知识地图上的点状实体,目标学习者S对第j个学习资源的缓冲区距离$H(S,j)$的计算公式为:

$$H(S,j)=B_0+p_{S,j}D(L_S,L_R) \quad (6)$$

式中,B_0表示基础缓冲区大小,可以根据学习者需求和学习者体验进行设置;$p_{S,j}$表示目标学习者S对第j个学习资源的兴趣度权重;$D(L_S,L_R)$表示距离衰减因子,即学习者在地图上的坐标位置与资源距离之间的关系,该因子可以根据距离的大小决定资源对用户的影响程度。

1.4　地图化在线学习服务的应用与实例

本文搭建的地图化在线学习系统是在Linux环境下,采用Vue+SpringBoot前后端分离架构进行开发,利用OpenLayers实现地图可视化与交互功能,并通过MySQL数据库存储用户行为与资源等结构化数据。

系统整体基于浏览器/服务器模式构建,采用包含基础环境、数据事务、中间服务、业务实现与应用呈现的5层分布式架构,部署于云服务器以保障系统的可维护性、高并发支持与良好的用户体验,主要服务于学生与教师两类用户。前端基于Vue.js框架构建模块化、响应式的用户界面,并集成OpenLayers开源地图库作为地理可视化引擎,实现学科知识地图的渲染与处理用户的缩放、平移、图层控制等地图交互行为。地图数据源由开源地理信息系统服务器GeoServer提供和管理。后端采用SpringBoot框架,以RESTful API的形式提供业务逻辑与数据接口,结合MySQL数据库完成用户信息、学习行为与资源元数据等结构化数据的持久化存储。前后端分离的设计在提升开发效率的同时,也兼顾了系统性能与功能拓展的灵活性,具体系统架构如图3所示。以《数据结构》课程为例进行系统开发,完整实现了从宏观课程地图导航到微观资源学习的全流程,如图4所示。

2　地图化在线学习服务模式应用效应验证

为检验地图化在线学习服务模式的实际效果,本文基于所开发的地图化在线学习系统,采用准实验研究方法系统考察该模式对学习者的学习表现、学习投入、在线学习满意度以及在线学习方式和动机等方面的影响。

2.1　实验设计

1)研究对象。采用实验组-控制组准实验研究方法,选取某高校《数据结构》课程的两个班共

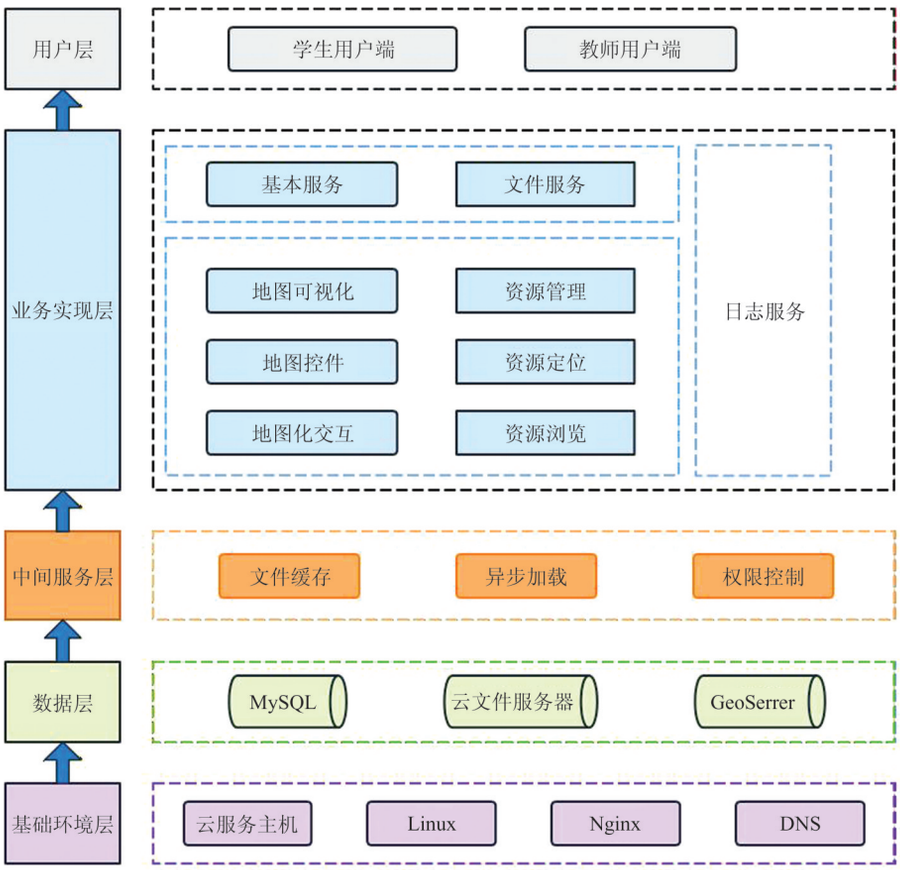
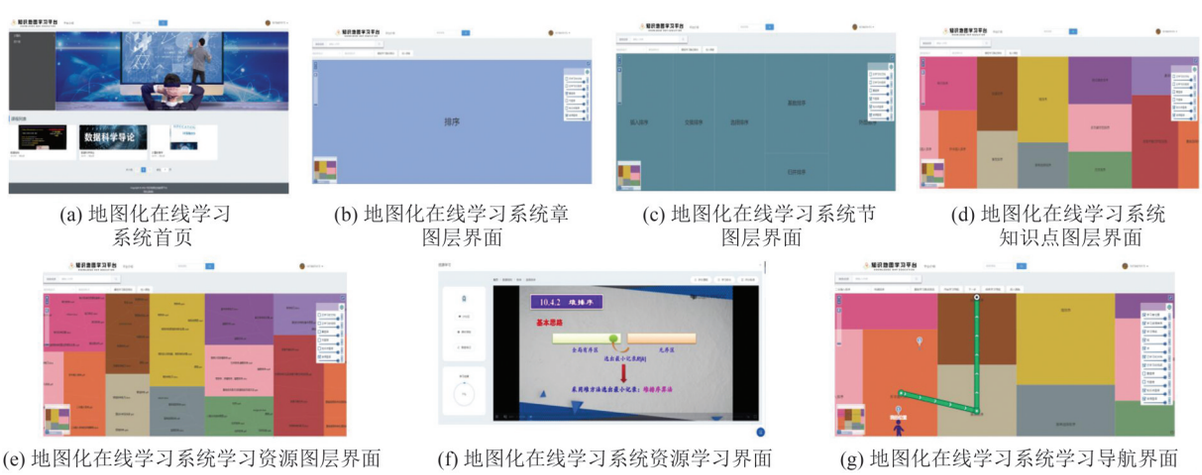


图3 地图化在线学习系统技术架构图

Fig. 3 Technical Architecture of Map-Based Online Learning System



(a) 地图化在线学习系统首页 (b) 地图化在线学习系统章图层界面 (c) 地图化在线学习系统节图层界面 (d) 地图化在线学习系统知识点图层界面

(e) 地图化在线学习系统学习资源图层界面 (f) 地图化在线学习系统资源学习界面 (g) 地图化在线学习系统学习导航界面

图4 地图化在线学习系统学习全流程

Fig. 4 Entire Learning Process of Map-Based Online Learning System

79名学生作为研究对象,实验组使用地图化在线学习系统,对照组则使用传统的在线学习平台,其中,男生36人(45.6%),女生43人(54.4%),平均年龄19.11岁。实验开始前,已向全体学生说明研究目的与流程,并征得其知情同意。

2)实验材料选择。选择《数据结构》课程作为地图化在线学习系统应用案例的原因是:(1)课程的基础性和普适性。《数据结构》是计算机科学及相关专业的重要基础课程,其知识体系广泛渗透于算法设计、软件开发、数据库系统等诸多领域,能够较好地代表高等教育中典型的基础类课程;(2)课程的复杂性和挑战性。《数据结构》课程涵盖众多抽象概念和复杂算法,对学生的逻辑思维和编程能力要求较高,以此课程为案例可以有效检验地图化学习系统在辅助理解复杂知识、提升问题解决能力方面的作用。(3)学习

者需求的广泛性。无论是计算机专业学生,还是相关行业从业者,掌握数据结构知识均为必要,选择该课程能反映广泛学习群体的实际需求,增强研究结果的代表性。(4)具备扎实的研究基础。《数据结构》课程在在线教育领域已有较多教学实践与研究成果,为本文研究提供了丰富的参考与比较依据。

3)实验流程设计。开展为期三周的教学实验,选取《数据结构》课程第八章“排序”作为学习内容,实验组与对照组分别使用地图化在线学习系统与传统在线学习平台进行学习,具体的实验流程如图5所示。第一周是实验准备阶段,由教师讲授第八章第一节导学部分的内容,即排序的概念、排序的稳定性、内部排序和外部排序、内部排序的分类和待排序记录的存储方式,确保学生具备一致的知识起点。同时,在正式实验前的这一阶段,实验组学生接受所开发系统的操作培训,直至熟练使用地图化学习平台。第二周与第三周为正式实验阶段,每周集中开展一次学习任务。第一次学习内容为“插入排序与交换排序”,第二次为“选择排序与归并排序”。每次学习前,两组学生均需完成前测,随后在相应平台上进行自主学习,学习结束后完成后测。全部实验结束后,学生填写后测问卷,从在线学习满意度、认知负荷、学习投入及深度学习动机等维度进行评估。

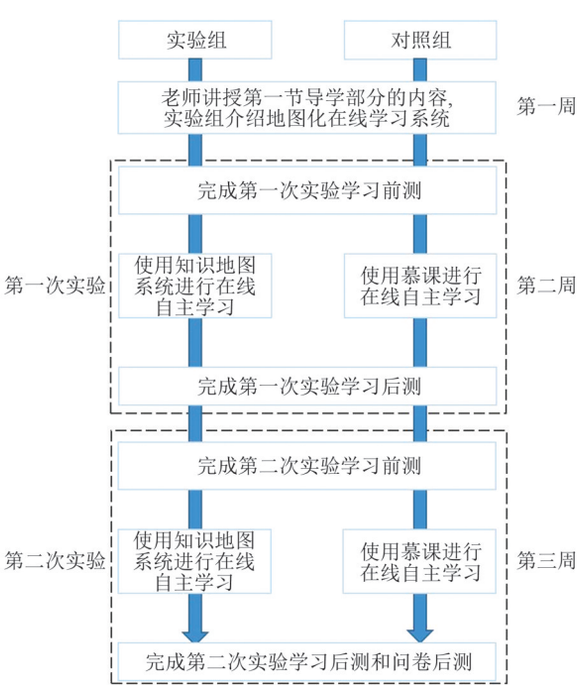


图5　实验流程安排

Fig. 5　Experimental Procedure Arrangement

2.2　测量工具

本文选用文献[30]编制的问卷测量在线学习满意度,文献[31]编制的问卷测量学习投入,文献[32]编制的问卷测量深度学习,文献[33]编制的问卷测量认知负荷。为了使问卷符合本文研究目的,将测量情境限定为在线学习,并对部分表述进行相应修改。最终问卷共包含35个题项,分为学习满意度(3个项目)、学习投入(9个项目)、深度学习(20个项目)和认知负荷(3个项目)4个部分。其中,在线学习满意度、学习投入、深度学习这3个部分问卷采用李克特5点计分(从“完全不同意”到“完全同意”),认知负荷问卷部分采用李克特量表9点计分(从“非常简单”到“非常困难”)。

信度分析结果表明,整体问卷及各子维度均具有良好的内部一致性,在线学习满意度、学习投入、深度学习、认知负荷问卷的克伦巴赫系数分别为0.782、0.904、0.775、0.731。进一步分析子维度显示,学习投入问卷包含的认知投入、情感投入、行为投入3个子维度(各3个项目)的克伦巴赫系数分别为0.755、0.786、0.816。深度学习问卷涵盖的深层学习动机、深层学习方式、浅层学习动机、浅层学习方式4个子维度(各5个项目)的克伦巴赫系数分别为0.775、0.828、0.696、0.691。上述结果表明,本文的问卷具有良好的信度和效度,符合心理测量的要求。

2.3　数据处理与分析

通过为期三周的实证研究,收集了学生的前测与后测学习成绩、问卷数据以及学生使用两个平台的日志数据。在传统的在线学习平台上,收集了学生播放、暂停、跳转和完成视频、打开文档资源等各种操作的记录。除了上述操作,对于地图化在线学习系统,还收集了学生在地图上的操作记录,如放大、缩小、左右拖动、点击等,并记录资源使用的持续时间和使用的资源类型与数量。对于日志数据,通过计算学习资源观看时长和资源使用率来衡量学习者客观的在线学习投入。采用描述性统计分析方法计算核心变量(在线学习满意度、认知负荷、学习投入、深度学习、前后测学习表现)的平均数和标准差等信息;使用独立样本t检验来比较实验组和控制组的核心变量是否存在显著差异。

2.4　实验结果

1)在线学习满意度、认知负荷的分析结果。实验结束后,对学习者使用地图化在线学习系统

和传统在线学习平台的在线学习满意度以及认知负荷情况进行独立样本t检验,结果如表1所示。

表1 在线学习满意度和认知负荷的独立样本t检验结果

Table 1 t Test Results of Satisfaction and Cognitive Load of Online Learning

变量	组别	实验人数	均值	标准差	t	自由度	p
在线学习满意度	实验组	37	4.23	0.55	2.250	77	0.027*
	对照组	42	3.50	0.87			
认知负荷	实验组	37	5.83	1.17	−0.392	77	0.696
	对照组	42	6.00	1.08			

注:p值为结果可信程度的递减指标,*表示t检验在5%水平下有显著差异。

数据分析结果显示,接受地图化在线学习服务的实验组学习者的在线学习满意度显著高于对照组(t=2.25,p=0.027),这说明地图化在线学习服务能够提高学习者在线学习满意度。具体而言,该模式以地图可视化的方式组织与管理学习资源,不仅能够方便学习者查找和获取,还能丰富学习者与学习资源的信息交互,其机制有助于促进学习者的自主学习进程,从而提高学习者的在线学习满意度。与此同时,实验组与对照组在学习过程中的认知负荷无显著差异(t=−0.392,p=0.696),表明尽管地图化系统提供了更丰富的资源组织与交互功能,但并未给学习者带来额外的认知负担,也证明了该系统在增强学习支持的同时,保持了良好的可用性与认知友好性。

2)学习投入的分析结果。对两组学生的在线学习投入进行独立样本t检验,结果如表2所示。接受地图化在线学习服务的实验组学生的学习投入总分显著高于对照组(t=3.41,p=0.001),表明该模式的应用可以有效提高学习者的在线学习投入水平。进一步分析学习投入的3个子维度发现,实验组在认知投入(t=2.21,p=0.030)、情感投入(t=3.60,p=0.001)与行为投入(t=3.17,p=0.002)方面均显著优于对照组。这意味着提供地图化在线学习支持服务,能够促进学习者建构宏观的知识体系,提高学习者在线学习的认知投入,其直观、交互式的学习方式有助于激发学习兴趣,进而提高情感投入,这些因素共同促进学习者行为层面的积极参与。

3)深度学习的分析结果。对两个班学生的深度学习数据进行独立样本t检验,结果如表3所示。使用地图化在线学习系统的实验班学习者的深度学习总分显著高于对照组(t=3.22,p=0.002),说明地图化在线学习服务对促进深度学习具有积极影响。

表2 学习投入的独立样本t检验结果

Table 2 t Test Results of Engagement of Online Learning

变量	组别	实验人数	均值	标准差	t	自由度	p
学习投入	实验组	37	4.19	0.57	3.41	77	0.001**
	对照组	42	3.71	0.67			
认知投入	实验组	37	4.25	0.57	2.21	77	0.030*
	对照组	42	3.94	0.66			
情感投入	实验组	37	4.05	0.69	3.60	77	0.001**
	对照组	42	3.44	0.80			
行为投入	实验组	37	4.27	0.59	3.17	77	0.002**
	对照组	42	3.75	0.86			

注:*表示t检验在5%水平下有显著差异,**表示t检验在1%水平下有显著差异。

表3 深度学习的独立样本t检验结果

Table 3 t Test Results of Deep Learning

变量	组别	实验人数	均值	标准差	t	自由度	p
深度学习	实验组	37	3.45	0.47	3.22	77	0.002**
	对照组	42	3.17	0.31			
深层学习动机	实验组	37	3.89	0.61	2.26	77	0.027*
	对照组	42	3.57	0.63			
深层学习方式	实验组	37	3.86	0.68	2.66	77	0.010*
	对照组	42	3.47	0.65			
浅层学习动机	实验组	37	3.00	0.80	1.16	77	0.250
	对照组	42	2.81	0.58			
浅层学习方式	实验组	37	3.05	0.76	1.51	77	0.135
	对照组	42	2.81	0.65			

注:*表示t检验在5%水平下有显著差异,**表示t检验在1%水平下有显著差异。

进一步分析深度学习的4个子维度,发现实验组在深层学习方式(t=2.66,p=0.010)和深层学习动机(t=2.26,p=0.027)这两个子维度均显著优于对照组,表明提供地图化在线学习服务能够激发学习者的深层学习动机,促进学习者进行深层学习,提高学习效果;但在浅层学习方式(t=1.51,p=0.135)和浅层学习动机(t=1.16,p=0.250)这两个子维度差异不显著,说明地图化在线学习服务并未对学习者的浅层学习倾向产生明显影响,其在该方面与传统学习平台的作用相近。

4)学习表现分析结果。对两次实验前后测

成绩进行独立样本t检验,结果如表4所示。前测成绩分析表明,实验班与对照班之间差异不显著(t=0.37,p=0.710;t=0.99,p=0.590),说明两组学生的先前知识经验水平相当。

在经过不同学习服务模式的干预后,实验班的学生成绩显著高于控制班(t=2.52,p=0.014;t=3.73,p=0.000),表明为学生提供地图化在线学习服务能够有效提高学生的学习成绩。

5)日志数据分析结果。基于学习系统的日志数据,本文以学习资源观看时长和学习资源使用率作为衡量在线学习投入的客观指标,二者的独立样本t检验结果如表5所示。

使用地图化在线学习系统的实验班学习者,学习资源观看时长显著高于对照组学习者(t=3.05,p=0.003)。这表明与传统在线学习平台相比,地图化在线学习系统能够显著提升学习者的在线学习时长,从而有效增加其行为投入。

表4　两次实验前后测成绩的独立样本t检验结果

Table 4　t Test Results of Pre-test and After-Test of Two Experiments

变量	组别	实验人数	均值	标准差	t	自由度	p
第一次前测成绩	实验组	37	13.00	2.78	0.37	77	0.710
	对照组	42	12.76	2.87			
第一次后测成绩	实验组	37	15.41	1.14	2.52	77	0.014*
	对照组	42	14.48	1.97			
第二次前测成绩	实验组	37	11.76	2.47	0.99	77	0.590
	对照组	42	11.17	3.20			
第二次后测成绩	实验组	37	17.19	2.89	3.73	77	0.000***
	对照组	42	15.10	2.08			

注:*表示t检验在5%水平下有显著差异,***表示t检验在0.1%水平下有显著差异。

表5　学习资源观看时长和使用率的独立样本t检验结果

Table 5　t Test Results of Watching Time and Usage Rate of Learning Resources

变量	组别	实验人数	均值	标准差	t	自由度	p
学习资源观看时长/h	实验组	37	7.03	2.79	3.05	77	0.003**
	对照组	42	5.18	2.61			
学习资源使用率	实验组	37	0.28	0.26	4.00	77	0.000***
	对照组	42	0.11	0.10			

注:**表示t检验在1%水平下有显著差异,***表示t检验在0.1%水平下有显著差异。

同时,实验组的学习资源使用率也显著高于对照组(t=4.00,p<0.001)。该结果进一步说明,以地图可视化方式组织和管理学习资源,能够促进学习者更广泛、更主动地利用各类学习材料,从资源使用维度印证了地图化在线学习服务对提高在线学习投入的积极作用。

3　结论与讨论

针对当前在线学习中存在的参与度低、投入不足与效果不佳等问题,本文从学习服务角度出发,提出并构建了地图化在线学习服务模式,并通过实证研究验证了其有效性。研究结论如下:

首先,地图化在线学习系统能显著提升学习者的在线学习满意度与学习投入。具体而言,系统通过可视化呈现知识结构,增强了学习的直观性与趣味性,进而提升学习者的情感投入;以地图层次化的方式组织资源,促进了学习者对知识的深层加工与体系化理解,加强了认知投入。日志数据进一步显示,地图化在线学习服务能够提高学习者的学习资源观看时长和资源使用率,有效促进了学习者的行为投入。从学习心理机制来看,这一效果也符合文献[34]发现的积极情感体验有助于提高学习者的在线学习投入结论。本文构建的地图化学习系统允许学习者自主与知识地图交互、选择学习路径与资源,赋予学生充分的自主性,且交互方式贴近日常地图使用习惯,可以降低学习门槛,增强学习者的胜任感。这一设计符合自我决定理论的核心原则,有助于激发学习者的内在动机,进而提升其学习满意度与投入水平[35]。

其次,研究证实使用地图化在线学习系统能够有效激发学习者的深层学习动机,促进其进行深层次学习,并提高在线学习成效。这一结论与文献[36]的研究结果一致,其积极作用可能源于地图化系统本身具备的探索性与强交互特性,这些特性有助于增强学习兴趣、提升认知投入,从而正向影响学习动机与学业表现。地图化资源组织方式以可视化形式呈现知识结构,支持学习者通过缩放等操作主动探索知识关联,引导其建构个人知识体系,而非被动接受信息,体现了建构主义学习理论中关于知识主动建构的核心观点[37]。同时,学科知识地图采用从整体框架到具体细节的呈现路径,使得学习过程涉及从细粒度层向粗粒度层的转换,有助于学习者将具体细节重新整合到一个整体的认知结构中,促进具体细

节与整体结构的整合,契合奥苏贝尔所提出的“逐渐分化与整合协调”的教学策略[38]。此外,地图化系统中的交互机制要求学习者通过主动操作(如缩放、平移)来探索并获取学习资源,这一过程持续推动学习者在行动中思考与发现知识之间的关系。与传统的直接讲授方式不同,该方式更贴近布鲁纳的发现学习理论[39],强调通过行动与反思来理解概念与原理,从而推动知识的意义建构。

最后,研究发现,尽管地图化在线学习系统提供了更丰富的资源组织与交互功能,但并未给学习者带来显著的额外认知负荷。认知负荷是指在执行某项任务时个体的认知系统所承受的工作量[40]。过高的认知负荷可能会对学习者的学习效果产生负面影响[33]。而本文所设计的地图化系统,其界面布局与交互逻辑不会增加学习过程中的认知负荷,使学习者能更专注于学习任务本身,而未受冗余认知操作的干扰。这一结果进一步说明,该支持模式在实现个性化路径规划与资源推荐的同时,并未以增加认知负担为代价,在优化学习体验的同时保障了学习效率。

4 结 语

本文将地图方法论融入在线学习支持体系,从学习资源组织、学习过程交互与个性化学习支持3个维度系统地构建了服务模式。通过引入泛地图可视化的方式对学习资源进行组织与管理,以地图的图元要素来呈现不同层次与级别的学科知识点,生成学科知识地图;以最小颗粒度的知识点图层来组织和管理与知识点相关的各类学习资源,形成学习资源地图;借助地图的定位、缩放、平移及图层控制等交互操作,支持学习者开展探索式学习,丰富其与资源的信息交互形式。;融合基于位置的服务,实现学习者定位、学习路径规划与资源推荐等个性化支持功能。

为验证该模式的有效性,将此系统应用到真实的教学环境中开展准实验研究,通过问卷调查、系统日志分析等方法,对学习者的满意度、学习投入、深度学习及学业成绩等变量进行检验。结果表明:地图化在线学习支持服务能显著提升学习者的在线学习满意度与学习投入水平,有效激发深层学习动机,促进对知识的深度理解与加工。同时,该模式有助于提高学习者的学业表现,并通过延长学习资源观看时长、提升资源使用率等方式,进一步增强学习者的行为投入。

本文在理论构建与实践验证方面虽具有创新性,但仍存在若干局限,有待后续研究进一步完善:(1)应用情境较为单一。目前仅以计算机专业《数据结构》单门课程为案例,未来可拓展至多学科领域与不同教育阶段,以检验该模式的普遍适用性与迁移效果。(2)个性化支持功能仍处初步阶段。当前系统提供的路径规划与资源推荐在智能性和适应性方面尚有提升空间,后续研究可通过强化知识地图的交互机制,融入协同学习与社交功能,例如借助可视化协作工具与互动模块,促进学习者之间的交流与合作,从而构建更为立体、动态的学习支持生态。(3)实证周期相对较短。受限于单章教学内容,本文实验周期仅为三周,未来应基于完整课程开展一学期乃至更长时间的追踪研究,以更系统、全面地评估该模式的长效影响与稳定性。

参 考 文 献

[1] 王家耀. 地图科学技术:由数字化到智能化[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2022,47(12):1963-1977.
WANG Jiayao. Cartography: From Digital to Intelligent [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 1963-1977.

[2] 郭仁忠, 陈业滨, 赵志刚, 等. ICT时代地图的科学概念及表达框架[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 1978-1987.
GUO Renzhong, CHEN Yebin, ZHAO Zhigang, et al. Scientific Concept and Expression Framework of Maps in ICT Era [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 1978-1987.

[3] 新华社. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗:在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[EB/OL]. (2022-10-25)[2023-04-12]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm.
Xinhua News Agency. Hold High the Great Banner of Socialism with Chinese Characteristics and Strive in Unity to Build a Modern Socialist Country in All Respects: Report to the 20th National Congress of the Communist Party of China [EB/OL]. (2022-10-25)[2023-04-12]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm.

[4] 新华社. 中共中央、国务院印发《中国教育现代化2035》[EB/OL]. (2019-02-23)[2022-09-14]. https://www.gov.cn/zhengce/2019-02/23/content_5367987.htm.

Xinhua News Agency. China's Education Modernization 2035 Issued by the Central Committee of the Communist Party of China and the State Council [EB/OL]. (2019-02-23)[2022-09-14]. https://www.gov.cn/zhengce/2019-02/23/content_5367987.htm.

[5] ROSKI M, SEBASTIAN R, EWERTH R, et al. Learning Analytics and the Universal Design for Learning (UDL): A Clustering Approach[J]. *Computers & Education*, 2024, 214: 105028.

[6] HUANG A Y Q, LU O H T, YANG S J H. Effects of Artificial Intelligence-Enabled Personalized Recommendations on Learners' Learning Engagement, Motivation, and Outcomes in a Flipped Classroom[J]. *Computers & Education*, 2023, 194: 104684.

[7] 中华人民共和国教育部. 中国慕课建设和应用规模成为世界第一[EB/OL]. (2024-01-26)[2024-02-20]. http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2024/55785/mtbd/202401/t20240126_1112617.html.
Ministry of Education of the People's Republic of China. China's MOOC Development and Application Scale Ranks First in the World [EB/OL]. (2024-01-26) [2024-02-20]. http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2024/55785/mtbd/202401/t20240126_1112617.html.

[8] 乔伟峰, 刘威童, 李曼丽. 学生眼里的在线教学:行为、效果与挑战:基于突发公共卫生事件期间清华大学学生在线学习行为调查[J]. 清华大学教育研究, 2021, 42(1): 57-66.
QIAO Weifeng, LIU Weitong, LI Manli. Online Teaching in the Perspective of Students: Behaviors, Effectiveness, and Challenges: Based on an Online Learning Survey at Tsinghua University During COVID-19[J]. *Tsinghua Journal of Education*, 2021, 42(1): 57-66.

[9] 李薇, 王丽娜, 魏顺平. 推进开放和远程学习:研究与实践[J]. 中国远程教育, 2014(23): 5-12.
LI Wei, WANG Lina, WEI Shunping. Promoting Open and Distance Learning: Research and Practice: Summary of the 28th AAOU Annual Meeting[J]. *Chinese Journal of Distance Education*, 2014(23): 5-12.

[10] SHAW R S. A Study of Learning Performance of E-learning Materials Design with Knowledge Maps [J]. *Computers & Education*, 2010, 54(1): 253-264.

[11] LUO N, ZHANG M L, QI D. Effects of Different Interactions on Students' Sense of Community in E-learning Environment[J]. *Computers & Education*, 2017, 115: 153-160.

[12] SHADIEV R, SINTAWATI W. A Review of Research on Intercultural Learning Supported by Technology [J]. *Educational Research Review*, 2020, 31: 100338.

[13] KIM D, LEE Y, LEITE W L, et al. Exploring Student and Teacher Usage Patterns Associated with Student Attrition in an Open Educational Resource-Supported Online Learning Platform [J]. *Computers & Education*, 2020, 156: 103961.

[14] 赵蔚, 程诺, 徐晓青, 等. 学习分析仪表盘真的促进自我调节学习了吗?基于24项实验与准实验的元分析[J]. 电化教育研究, 2023, 44(5): 104-112.
ZHAO Wei, CHENG Nuo, XU Xiaoqing, et al. Study on Impact of Learning Analytics Dashboard on Self-regulated Learning? A Meta-Analysis Based on 24 Experimental and Quasi-Experimental Studies [J]. *E-education Research*, 2023, 44(5): 104-112.

[15] LAU K H, LAM T, KAM B H, et al. The Role of Textbook Learning Resources in E-learning: A Taxonomic Study [J]. *Computers & Education*, 2018, 118: 10-24.

[16] 张伟远. 以互动为核心的网上教学原理及应用[J]. 现代远程教育研究, 2009(5): 10-13.
ZHANG Weiyuan. The Theory and Application of Interaction-Centered Online Instruction[J]. *Modern Distance Education Research*, 2009(5): 10-13.

[17] 杨重阳, 武法提. 精准教学与个性化学习场景中教学支持服务框架研究[J]. 现代教育技术, 2022, 32(1): 111-117.
YANG Chongyang, WU Fati. Research on the Teaching Support Service Framework in the Precision Teaching and Personalized Learning Scene[J]. *Modern Educational Technology*, 2022, 32(1): 111-117.

[18] SHAH V, MURTHY S, WARRIEM J, et al. Learner-Centric MOOC Model: A Pedagogical Design Model Towards Active Learner Participation and Higher Completion Rates[J]. *Educational Technology Research and Development*, 2022, 70(1): 263-288.

[19] 刘慧敏, 曾颖, 邓敏. 泛地图时代下的地理场景地图认知研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2025, DOI: 10.13203/j.whugis20250102.
LIU Huimin, ZENG Ying, DENG Min. Cognitive Research on Geographic Scene Map in Pan-Map Era [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2025, DOI: 10.13203/j.whugis20250102.

[20] 郭仁忠, 陈业滨, 应申, 等. 三元空间下的泛地图可视化维度[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(11): 1603-1610.
GUO Renzhong, CHEN Yebin, YING Shen, et al. Visualization Dimension of Pan-Map in Ternary

Space[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(11): 1603-1610.

[21] 周文杰. 知识资源的序化与数字人文的结构化知识资源基础:基于知识地图和认知结构学说的解析[J]. 情报资料工作, 2020(6): 79-87.
ZHOU Wenjie. The Ordering of Knowledge Resources and the Structuring of Digital Humanities Knowledge Resource Foundation: An Analysis Based on Knowledge Map and Cognitive Structure Theory[J]. *Information and Documentation Services*, 2020(6): 79-87.

[22] BALAID A, ABD ROZAN M Z, HIKMI S N, et al. Knowledge Maps: A Systematic Literature Review and Directions for Future Research[J]. *International Journal of Information Management*, 2016, 36(3): 451-475.

[23] 李千千,苏世亮. 数智媒介下叙事地图的基本理论问题:概念界定、叙事结构与意义生成机制[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2025,DOI:10.13203/j.whugis20250261.
LI Qianqian, SU Shiliang. Fundamental Theoretical Issues of Narrative Maps Under Digital-Intelligent Media: Definition of Concepts, Narrative Structure, and Meaning-Generating Mechanism[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*,2025, DOI: 10.13203/j.whugis20250261.

[24] MAYER R E. Thirty Years of Research on Online Learning[J]. *Applied Cognitive Psychology*, 2019, 33(2): 152-159.

[25] 克努兹·伊列雷斯. 我们如何学习[M]. 北京: 教育科学出版社, 2010.
ILLERIS K. How We Learn[M]. Beijing: Educational Science Publishing House, 2010.

[26] SWELLER J. Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning[J]. *Cognitive Science*, 1988, 12(2): 257-285.

[27] 王志军,陈丽,陈敏,等. 远程学习中教学交互层次塔的哲学基础探讨[J]. 中国远程教育,2016(9): 7-13.
WANG Zhijun,CHEN Li,CHEN Min,et al. Hierarchical Model for Instructional Interaction in Distance Learning: A Philosophical Perspective[J]. *Chinese Journal of Distance Education*, 2016(9): 7-13.

[28] 周东波, 刘三女牙, 钟正, 等. 基于层次认知过程的学科知识结构地理空间化方法研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2017, 51(6): 873-880.
ZHOU Dongbo, LIU Sanya, ZHONG Zheng, et al. A Geo-space Spatialization Method for Disciplinary Knowledge Based on Hierarchical of Cognitive Process[J]. *Journal of Central China Normal University* (*Natural Sciences*), 2017, 51(6): 873-880.

[29] 周东波, 徐雯慧, 赵帅, 等. 地图化在线学习服务的内涵、构成与实现[J]. 现代教育技术, 2022, 32(10): 76-83.
ZHOU Dongbo, XU Wenhui, ZHAO Shuai, et al. The Connotation, Composition and Realization of Map-Based Online Learning Service[J]. *Modern Educational Technology*, 2022, 32(10): 76-83.

[30] BHATTACHERJEE A. Understanding Information Systems Continuance: An Expectation-Confirmation Model1[J]. *MIS Quarterly*, 2001, 25(3): 351-370.

[31] DIXSON M D. Creating Effective Student Engagement in Online Courses: What Do Students Find Engaging[J]. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 2010, 10(2): 1-13.

[32] BIGGS J, KEMBER D, LEUNG D Y. The Revised Two-Factor Study Process Questionnaire: R-SPQ-2F[J]. *The British Journal of Educational Psychology*, 2001, 71(Pt 1): 133-149.

[33] PAAS F, TUOVINEN J E, TABBERS H, et al. Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory[J]. *Educational Psychologist*, 2003, 38(1): 63-71.

[34] PEKRUN R, LINNENBRINK-GARCIA L. Academic Emotions and Student Engagement[M]// Christenson S L, Reschly A L, Wylie C. Handbook of Research on Student Engagement. Boston, MA: Springer US, 2012.

[35] CHIU T K F. Applying the Self-determination Theory (SDT) to Explain Student Engagement in Online Learning During the COVID-19 Pandemic[J]. *Journal of Research on Technology in Education*, 2022, 54(S1): 14-30.

[36] MA N, ZHAO F L, ZHOU P Q, et al. Knowledge Map-Based Online Micro-learning: Impacts on Learning Engagement, Knowledge Structure, and Learning Performance of In-Service Teachers[J]. *Interactive Learning Environments*, 2023, 31(5): 2751-2766.

[37] von GLASERSFELD E. Cognition, Construction of Knowledge, and Teaching[J]. *Synthese*, 1989, 80(1): 121-140.

[38] AUSUBEL D P. The Psychology of Meaningful Verbal Learning:An Introduction to School Learning[M]. New York: Grune & Stratton, 1963.

[39] BRUNER J S. The Process of Education[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1960.

[40] SWELLER J. Cognitive Load Theory[M]//Amsterdam: Elsevier, 2011.