

基于学习者认知地图的个性化学习设计机理与应用评估

摘要：构建个性化的学习环境保证学习者有效地且更加主动地投入学习，促进个性化学习与发展，是教育信息化发展新阶段的核心诉求。研究基于数据挖掘、认知诊断、可视化反馈等构建具有认知水平量化评估、认知地图精准构建、学习路径动态推送、学习同伴相似推荐的个性化学习平台，以实现学习分析技术支持下的“精准教学”。应用分析表明，此平台对于学生掌控自身学情、动态调整学习过程、学习效率提高等具有较显著的推动作用。

关键词：个性化学习；认知诊断；认知地图；学习路径

一、背景与动机

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020年）》指出，“关注学生不同的特点和个性差异，发展每一个学生的优势潜能。”^{[国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020年）[R].北京：人民出版社，2010：38.]}。教育部2021年工作要点指出，积极推进教育信息化建设的目标任务是加快推进教育信息化高质量发展，积极发展“互联网+教育”^{[中华人民共和国教育部.教育部2021年工作要点[EB/OL].(2021-02-04).2021-05-20].http://www.cesi.cn/201908/5522.html.]}。文献整理发现，近年来教育大数据下的研究逐步倾向于学习分析、自适应学习等，更加突出强调“以学习者为中心”的教学理念^{[高巍,周嘉腾,经湛,许娜.后疫情时代的高等教育技术转向：实践反思与未来图景——《2021地平线报告（教与学版）》要点分析[J].现代远程教育研究,2021,33(03):63-72.]}。在此背景下，实现对学习者外显行为和内隐状态精准化的表示与计算^{[刘三女牙,杨宗凯,李卿.计算教育学：内涵与进路[J].教育研究,2020,41(03):152-159.]}，全方位诊断与评测学习者成为教育数据挖掘中的研究重点。应用学习分析技术挖掘学生行为数据，并推荐个性化的服务和产品已经成为主流。然而，大多数研究没有考虑到学习者在学习过程中的知识结构与方法的加工等潜在信息，对于考试成绩的分析仍集中于学习者及格率、学习者所处分数段以及学习者成绩统计量等的分析上，缺乏更为深入的研究，没有考虑同

一分数下学习者不同的认知状态，因而无法对学习者的提供最合适的学习方法，实现有效的教学补充。因此，评测、诊断出学习者对于知识和技能的真实认知水平，确定学习者现有的认知水平与潜在发展水平之间的发展区间，能有的放矢地确定其个性化教育的起点，为智能化精准教学提供指导。

根据认知主义理论观点，学习是面对真实的问题情境，通过学习者的心理加工和信息处理，形成和建立认知结构的过程。通过学习诊断能够对学习者的认知结构进行评估[祝智庭, CAI 的教学策略设计(之四)[J], 电化教育研究, 1998(4): 49-52.]。认知诊断评估(Cognitive Diagnosis Assessment, CDA)强调，应同时考察个体的“能力水平”和“认知水平”，不仅能评估个体宏观层面上的能力水平，更重要的是能在微观层面上评估个体内部心理加工过程[涂冬波, 蔡艳, 丁树良, 认知诊断理论、方法与应用[M], 北京师范大学出版社, 2012.]。随着互联网技术、人工智能的发展与普及，以及“以学生为中心”教育理念的越来越受重视，学生的学习特点和学习方式发生了根本的变化，因而学习资料、学习条件、学习环境也必须发生相应的变化。面对这种形势，经过探索和实践，个性化的教与学环境构建成了个性化教育的重要基础。基于此，研究通过采集学习过程数据进行精细的认知诊断，计算学习者的学习认知状态，继而刻画认知地图并叠加学习者个体的认知过程信息，形成能够真正描述学习者个体与领域知识交互状态的学习认知地图。更多地，在之后学习过程中为学习者提供及时的学习认知状态反馈，融合学习者认知特征进行资源和个性化路径的推荐，促进深度学习的真正发生。

二、基于认知地图的个性化学习平台模型设计

2.1 设计理念与目标

2.1.1 从传统教育寻求个性化教学的新突破

传统教育，更确切地说传统学校教育，之所以与个性化教育形成冲突原因有很多，其中一个最重要的原因应该是传统教育的目的是为了选拔人才，也就造成了学校教育普遍忽视个性化教育的现状。传统教育是“使学习者成为程序教学的产品”，个性化教育则是“根据个体差异与需求培养学习的综合能力”。蔡元培先生认为，人既是“群性的人”，又是“个性的人”，他是“群性”与“个性”的统一生命体[隗瀛涛, 教育之梦——蔡元培传, 四川人民出版社, 1995.]。未来学家阿尔温·托夫勒(Alvin Toffler)认为未来教育则是分散的、不集中的、个别化的。个性化教育，

除了教育过程方面的个性化,更重要的是学习成果的评估个性化。教育部高等教育司司长吴岩表示,中国高等教育已经进入到普及化新阶段,呈现四个特征,即多样化、学习化、个性化和现代化,个性化教育将成为普及化阶段高等教育重要特征[教育部:个性化教育将成为普及化阶段高等教育重要特征[EB/OL].(2020-12-03)[2021-05-28].
http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2020/52717/mtbd/202012/t20201204_503499.html.]。

(1)为学习者提供足够多样化的选择。当教师为学习者提供一份任务清单,对完成目标和方法有清晰描述后,学习者会隐形强迫地参与,降低了对学习过程中趣味性低的抵制,同时不同学习者可以根据个人专长和兴趣选择匹配的任务。

(2)学生表现的个性化评估。只有尊重学生的个性差异,才会有平等的教育和公正的评价。

2.1.2 从粗粒度分析转向最近发展区的认知诊断

维果斯基用“最近发展区”来描述学生的现有发展水平和潜在发展水平之间的差距,学习者认知地图能够映射学习者的知识学习状态,把握学习者知识薄弱点以及总体的学习情况,有利于呈现符合学习者“临近发展区”知识水平的认知网络。维果斯基关于高级心理发展的结论中提到,为学生将外在学科认知结构内化为个体的知识和技能,转化成认知地图,这种转化过程得到了心理学的实验证明。

认知心理学认为,认知结构作为个体通过编码系统对知识体系做出的有层次安排的结果[24],是以符号表征的形式存在的[25]。从知识组织的发展趋向看,编码后的客观知识体系与个体知识结构衔接的前提是需要把握学科知识结构与个体认知结构之间的关联。认知学派的代表人物布鲁纳,曾就学科内部的知识结构与个体认知结构之间的对应关系做过大量阐释[28]。如前文所述,知识资源能够得到应用的前提,往往在于经过结构化的知识资源与用户的认知结构之间存在契合。那么,从个体认知的角度看,这种契合的要点是什么呢?不难看出,认知学说已经为知识地图的构建提供了坚实的理论支撑。正是由于知识地图设想与认知理论之间存在着如此紧密的关联,关注于客观知识世界内部结构揭示的知识组织研究就不能忽视认知结构及相关理论。相反,应该把认知结构与认知发展相关学说作为知识组织等旨在揭示客观知识世界结构的职业活动的理论基础。

2.1.3 从因材施教的口号迈向精准教学的实践

2.2 平台概念模型

学习分析的引入可为个性化学习平台的构建提供过程模型和技术框架的支持。考虑到学习分析涉及从数据收集、模型化、分析到反馈的完整过程，由此个性化学习平台的体系架构和数据流程设计也必然发生根本的改变。学习分析建构个性化学习支持系统的要点在于将学习分析的过程模型转换为可运行的软件体系架构模型。

平台设计基于分层教学的思想，根据学习者的认知水平对学生进行动态分层，进而为每个层级的学生推送个性化的学习资源，定制学习路径，使每个学生都能找到自己的“最近发展区”，最大限度地调动学习积极性，发挥潜能，超越其最近发展区而达到下一发展阶段的水平。平台的概念模型如图 1 所示，该模型包括数据采集模块、学习分析与处理模块与个性化服务模块。

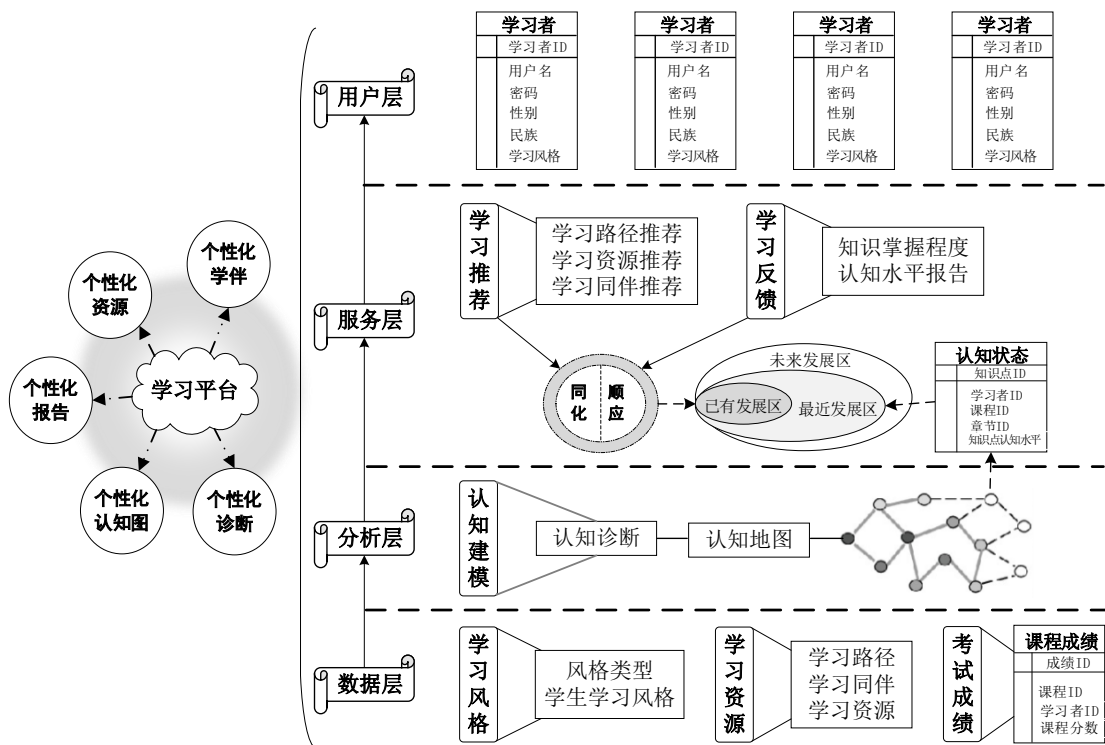


图 1 个性化学习概念模型

准确把握学生思维的“最近发展区”，遵循由简单到复杂，由具体到抽象，由低级到高级的认识顺序，适当设置不同知识、练习的层次，适当增减坡度，把分段学习与系统知识的多层次训练相结合，使学生增强“弹跳力”，能跳起来“够得着果子”，这样中差生的稳固积累知识，发展提高能力的目标就能实现。

三、个性化学习平台的体系架构及功能实现

3.1 体系架构

基于上述概念功能模型，本研究细化了个体需求，设计了以认知诊断辅助个性化推荐为主体中心的学习平台。该平台由四大模块组成，分别是数据采集模块、学习分析与处理模块、个性化服务模块。各模块紧密联合，高内聚，低耦合。

表 1 技术实现架构

前端技术	后端技术	后台数据库	开发工具	服务器
Bootstrap、JavaScript	Java	MySQL	Eclipse、WebStorm	Tomcat 8.5.9

3.1.1 数据采集模块

由于电子书包中教育大数据的获取是多层面的且数据价值密度低，因此，需要从教育云服务平台中采集与个性化评价内容相关的信息点。美国教育部教育技术办公室在《通过教育数据挖掘和学习分析促进教与学：问题概述》中指出，教育数据是分层的，包括键击层、回答层、学生层、学期层、教室层、教师层和学校层[20]。在信息采集模块中主要是面向键击层、回答层和学生层的数据进行采集，各类数据信息来源于云存储池中的数据库，包括课程内容学习数据库、互动交流信息数据库、考试与作品数据库、课外资源学习数据库和学习者特征信息数据库。其中学习者特征数据库包括学生的知识基础、认知能力、学习动机和学习风格，依据该数据库的信息可以为后面的个性化评价和学习补救提供科学依据。

3.1.2 学习分析与处理模块

数据分析与处理模块主要是对信息采集模块中的各类数据信息进行清洗、提取和加工，并采用相关分析、模式识别、预测分析和文本挖掘等方法进行数据统计和挖掘。该模块对学习行为数据要完成两方面的处理，一是对学生在学习管理系统中完成的信息点进行统计分析，二是采用数据挖掘技术对学生在不同学习模块中的行为数据进行挖掘，探寻不同信息点之间的相互关系以及学生个性化特征信息与行为数据之间的对应关系。

3.1.3 个性化服务模块

个性化评价模块主要是从学习过程和学习结果两个方面对学习者的课内外学习活动完成情况进行评价，它包括个性化学习评价模型和个性化评价层次塔。

在个性化评价模型部分, 依据前面数据分析和处理的结果, 对模型中各部分内容的权重比例以及各评价信息点的分值转换进行设定, 得出学习活动评价结果。之后依据学生的个性特征信息并结合学习活动评价, 同时参照个性化评价层次塔和学习测量工具, 对学习结果所达到的能力层次进行评判, 为后面调整学习活动设计提供依据。

3.1.4 用户模块

3.2 功能实现

3.2.1 学习风格倾向测试

3.2.2 认知水平量化评估

学生导入成绩后, 利用模糊认知诊断模型 (FuzzyCDF)^[32]、四参数 Logistic 模型^[33]分析学生的认知水平 (知识点掌握程度、猜测率、失误率等), 提供学生的个性化认知诊断结果。FuzzyCDF 的概率图结构如图 4 所示, 其中, J 是学生集, θ_j 表示学生 j 的高阶潜在特质, α_{jk} 表示学生 j 对于知识点 k 的技能知识能力水平, q_{ik} 表示题目 i 是否需要知识技能 k , η_{ji} 表示学生 j 在问题 i 上的知识点掌握程度, R_{ji} 表示学生 j 在问题 i 上不受失误和猜测因素影响的实际得分, s_i 和 g_i 表示学生 j 在问题 i 上的失误和猜测率。

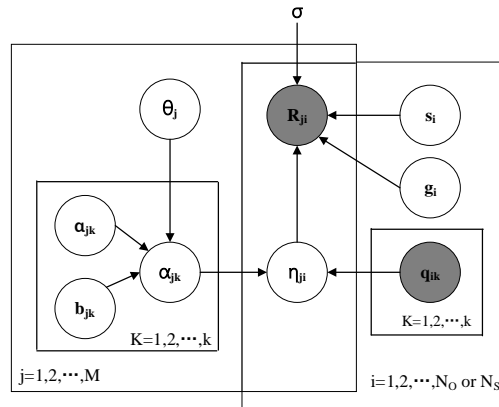


图 4 概率图结构

对于每个学生 $j \in J$, 定义学生 j 在技能 k 上的知识能力水平 α_{jk} 为学生 j 在模糊集 (J, μ_k) 、 $\mu_k(j)$ 中的隶属度。学生 j 在技能 k 上的知识能力水平 α_{jk} 可以根据项目反应理论中的 Logistic 模型计算得出^[36]。学生的知识能力水平 (α_{jk})

取决于学生的高阶潜在特质 (θ_j) 和知识技能 k 对于学生 j 的难度 (b_{jk}) 和区分度 (a_{jk})^[37]。系数 1.7 是 logistic 模型中的经验参数^[38]。因此, 如果学生 j 在某种程度上掌握了技能 k , 那么学生 j 属于模糊集, 即 $0 \leq \alpha_{jk} = \mu_k(j) \leq 1$ 。 α_{jk} 和 $\mu_k(j)$ 定义为公式 (1) :

$$\alpha_{jk} = \mu_k(j) = \frac{1}{1 + \exp[-1.7a_{jk}(\theta_j - b_{jk})]} \quad \text{公式 (1)}$$

在联结型假设下, 学生 j 在客观题 i 上的掌握程度 η_{ji} 如公式 (2) 所示。在补偿性假设下, 学生 j 在主观题 i 上的知识点掌握程度 η_{ji} 如公式 (3) 所示。采用标准模糊交并运算分别如公式 (4) 和公式 (5) 所示^[39]。这样, 无论是客观题还是主观题, 便可以精确表示出学生的知识点掌握程度。

$$\eta_{ji} = \bigcap_{1 \leq k \leq K, q_{ik}=1} \mu_k(j) \quad \text{公式 (2)}$$

$$\eta_{ji} = \bigcup_{1 \leq k \leq K, q_{ik}=1} \mu_k(j) \quad \text{公式 (3)}$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \text{公式 (4)}$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \text{公式 (5)}$$

根据知识点掌握程度, 考虑失误和猜测因素可以估算出学生的实际作答得分。利用四参数 Logistic 模型对失误、猜测参数进行估计, 四参数 Logistic 模型如公式 (6) 所示, a_j, b_j, c_j, d_j 分别表示区分度、难度、猜测参数与睡眠参数。

$$P(X_{ij}=1 | \theta_i; a_j, b_j, c_j, d_j) = c_j + (d_j - c_j) \frac{e^{1.7a_j(\theta_i - b_j)}}{1 + e^{1.7a_j(\theta_i - b_j)}} \quad \text{公式 (6)}$$

学生在客观题、主观题的分数可以分别被编码为 $\{0,1\}$ 、 $[0,1]$ 之间的变量。FuzzyCDF 采用公式 (7) 和 (8) 分别来计算学生在客观题与主观题上的实际作答得分^[40]。

$$P(R_{ji} = 1 | \eta_{ji}, s_i, g_i) = (1 - s_i)\eta_{ji} + g_i(1 - \eta_{ji}) \quad \text{公式 (7)}$$

$$P(R_{ji} | \eta_{ji}, s_i, g_i) = N(R_{ji} | [(1 - s_i)\eta_{ji} + g_i(1 - \eta_{ji})], \sigma^2) \quad \text{公式 (8)}$$

基于此, 平台为学生诊断出试题中每道题目上的认知水平和每位学生的诊断

结果详情。

3.2.3 认知地图精准构建

当平台确定出学生的认知水平时，就会自动形成学习者的认知地图。应用认知地图能将知识体系连同学生蕴涵的认知水平，清楚、直观、生动地进行图形化表达，通过认知地图融合新知识与已有经验，进而对知识重新建构，最终达到抽象思维的进阶。

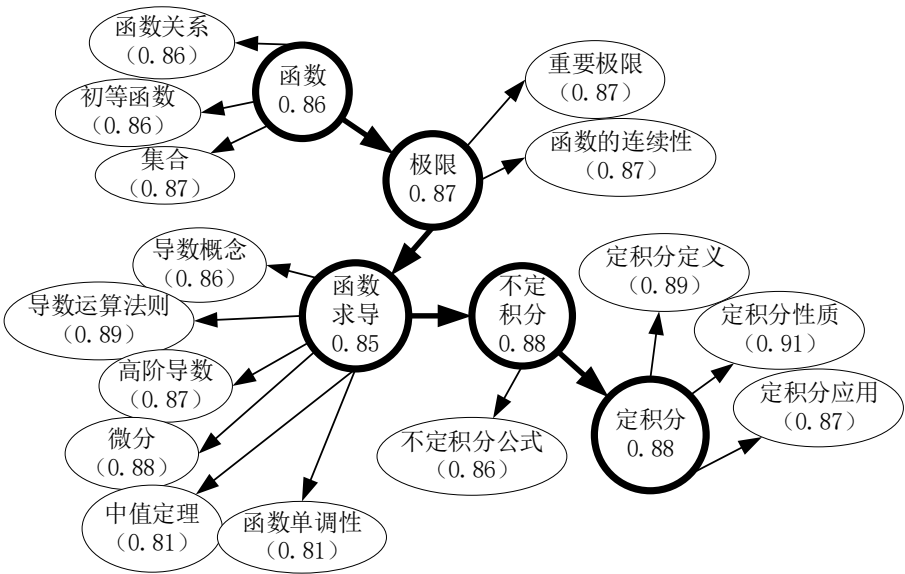


图 1 认知地图示例

3.2.4 学习路径动态推送

依据布鲁姆教育目标分类中认知领域视角，对学习者的认知水平（模糊认知地图中的认知状态）值进行分类：识记[0.4-0.6]；基本理解[0.6-0.7]；理解[0.7-0.8]；掌握[0.8-0.9]；熟练掌握[0.9-1.0]。由维果斯基[43]最近发展区理论可知，最适合学习者的学习内容应该略高于学习者的当前认知水平。因此对应资源推荐层级分别为：达到基本理解[0.8-1.0]；达到理解[0.5-0.8]；达到掌握[0.3-0.5]；达到熟练掌握[0.0-0.3]；根据最近发展区理论，只要学生掌握了的知识就不再进行学习。因此，认知状态为熟练掌握[0.9-1.0]的不再推荐学习。个性学路径推荐主要为学习者推荐从当前知识点到目标知识点之间的学习对象序列以及学习活动序列。

由于学生学习系统知识主要以学科课程方式进行，将诊测出的学习者模糊认知地图同学科知识结构进行对照，考虑课程知识点之间的影响强度，如图 1 所示，即可明确学生需要重新学习的知识和技能层次，即学科知识划分不同的推荐资源层级。

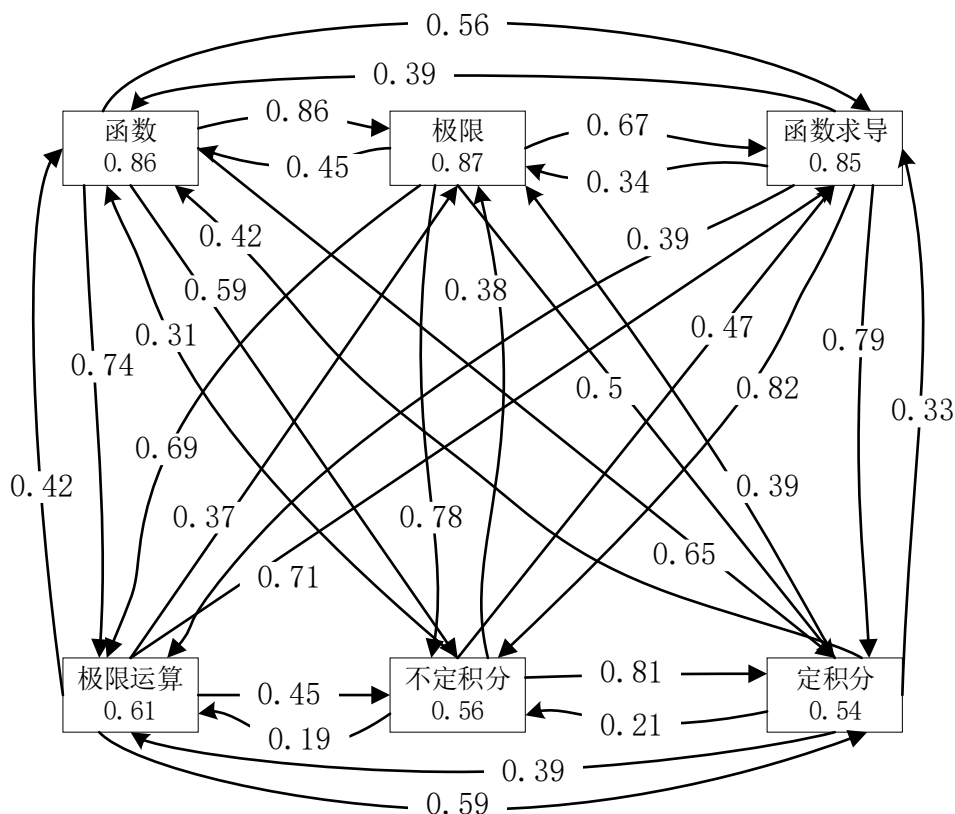


图 1 知识点之间的影响强度及学生的认知状态

然后，根据推荐资源的难度层级划分作业层级。在每个作业层次题库内部，尽可能地穷尽难度基本一致但题型各异的变式，以便让学生通过智能化地推送练习，掌握同一层次多种变式题型的解题思路 and 技巧，逐步达到熟练掌握该层次题型的水平。学生每次做对推送层次习题作业总题量的 60%，即为基本掌握；真正熟练掌握指定练习层级学科知识点，则至少需要做对推送作业题量的 80%以上。根据其练习指定层次习题的正确率，判断出学生对某学科知识的认知层次，继而循环推荐，直至掌握。基于以上分析，考虑到学习者的学习风格，分别为不同认知状态的学习者匹配差异化的学习资源以及巩固习题，如表 2 所示，为不同认知层次和不同学习风格的学生推送相应的差异化学习资源、巩固习题。

表 2 个性化层级推荐

认知状态层级	推荐资源层级	层级资源	巩固习题
识记 [0.4-0.6]	基本理解 [0.6-0.7]	1.Other food nouns（已过的关于食物的单词	
基本理解 [0.6-0.7]	理解 [0.7-0.8]	1.Other food nouns（已过的关于食物的单词	
理解 [0.7-0.8]	掌握 [0.8-0.9]	1.Other food nouns（已过的关于食物的单词，flash 动画格式）	

		2.Vegetables songs（含个别没学过的单词	
掌握 [0.8-0.9]	熟练掌握 [0.9-1.0]	1.Other food nouns（已过的关于食物的单词，flash 动画格式）	
熟练掌握 [0.9-1.0]	已掌握 无须推荐	1.Other food nouns（已过的关于食物的单词，flash 动画格式）	

根据首次测试结果和学习过程中的多次测试结果，学生基于适配自身认知状态的推荐资源，循序渐进，进入更高层级的动态学习序列，给学生呈现不同的学习资源，形成个性化的学习路径，直至全部掌握。形成的学习路径如图所示。

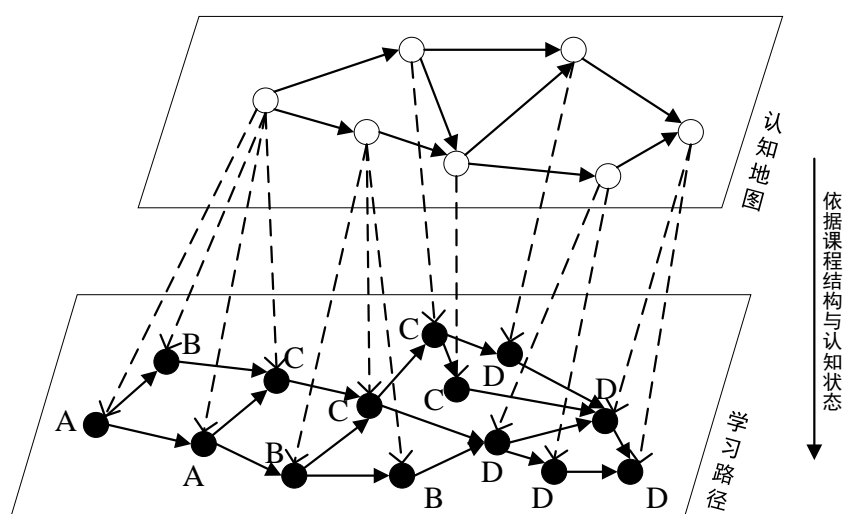


图 2 个性化层级推荐

3.2.5 学习同伴相似推荐

协同知识建构理论认为，知识建构应该多重考虑社会和认知等因素，通过同化和顺应逐步实现个人认知到社会认知的提升，并依靠集体反思和交流不断对自我认知进行完善和改进，实现对知识的协同共建，对促进学习者的深度学习具有重要促进作用^[47]。此外，根据社会比较理论，人们倾向于将自己的成就、表现与他们程度相似的人进行比较^[48]。因此，可以将具有相似学习水平的学习者组织在一起，避免相对独立的自学模式导致学习者的学习热情、效率降低。通过分析学习者的学习数据，建立不同学习者认知地图之间的内在关联规则，计算不同学习者在某个知识节点的认知状态相似度，依据相似度为其推荐认知能力相近、学习层次相近的学习同伴。帮助学习者构建虚拟的社会化学习网络，使其更加有效地学习。

3.3 资源建设

依据教育资源建设技术规范,本文对学习平台中学习资源的建设,如章、节、知识点、练习题等制定了相关要求,详细划分依据描述如下:

3.3.1 资源分类

(1) 课程章节。要求:①命名规则,如,第一章循环;②章的介绍,使用文字描述。

(2) 课程小节。要求:①命名规则,如,第一节 for;②节的介绍,使用文字描述。

(3) 课程知识点。①要明确本知识点所属哪一章节哪一节;②知识点 title 命名规则,如, for;③知识点描述,可以用文本或图片(.jpg, 尺寸: 500×450 像素)显示;④确定知识点的难度系数 Difficulty (0.1-1.0);⑤确定知识点的重要程度 Importance(0.1-1.0);⑥确定知识点的语义密度 Destinationdegree(0.1-1.0);⑦确定本知识点的前项知识点;⑧确定本知识点的相关知识点。

(4) 课程辅助练习题。①要明确练习题所属哪一章节哪一节哪个知识点;②练习题 title 命名规则,这点与媒体类型结合起来起名,例如媒体类型是视频,那么名字就可以起为: for(视频 _1), 依次类推;

3.3.2 资源类型

(1) 媒体类型是视频(.flv, 尺寸: 500×450 像素), 至少 3 个, 设定抽象系数是 0 或 0.5 或 1.0;

(2) 媒体类型是图片(.jpg, 尺寸: 500×450 像素), 至少 3 个, 设定抽象系数是 0 或 0.5 或 1.0;

(3) 媒体类型是文本, 至少 3 个, 设定抽象系数是 0 或 0.5 或 1.0;

(4) 媒体类型是图片(.jpg, 尺寸: 500×450 像素), 至少 3 个, 设定抽象系数是 0 或 0.5 或 1.0;

(5) 媒体类型是文本, 至少 3 个, 设定抽象系数是 0 或 0.5 或 1.0。

四、个性化学习平台的应用案例研究

可见,基于学习者认知地图的个性化学习推荐,能够根据课程知识结构之间蕴含的前驱和后继关系,考虑学习者当前的知识状态等特征,为他们推送个性化、有针对性的学习资源,激发其高水平行为和认知投入的深度学习。本平台在完成

开发后，在云南省德宏州一所高校进行了为期一年的应用试验，对稳定性和有效性进行了验证。

4.1 测试对象

以《高等数学》课程为例，开展基于学习分析技术的个性化学习平台的应用研究，选取云南省某高校电子技术专业 2020 级的全体 80 名学生作为研究对象。该课程共有八章内容，第一、二章内容采用课堂教学，第三至八章内容应用本个性化在线学习系统，并辅以课堂指导。

4.2 应用流程

学生首次登录平台，会按照一组个人认知风格的心理量表（学习动机、学习风格、自我效能感），进行学习风格测试，分类统计分析见图2，并把测试结果作为学生个性化资源推送以及个性化学习路径的参考依据之一。

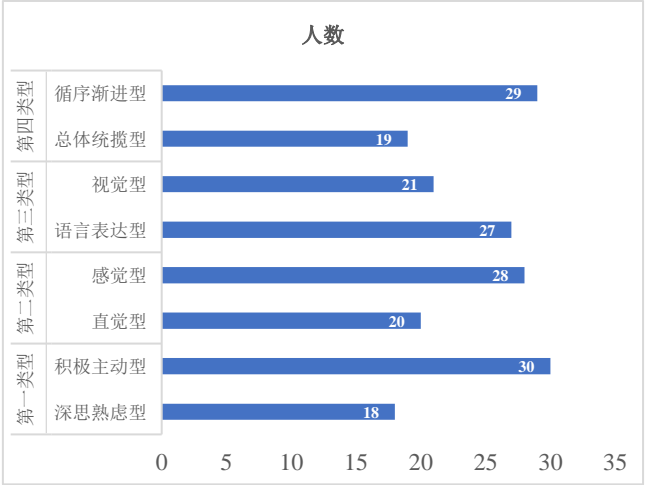


图2 学习风格统计图

导入自己的成绩，平台生成学习者的认知地图，根据学习者认知地图与学生的学习风格，划分学生的层次，推送相应层次的学习序列。如某个学生的学习风格是序列式的、按部就班地开展学习，则系统左侧给出知识树，点击进入；同时知识点界面的右上角有调节箭头，指向前项知识或后项知识，如图4所示。



图4 学习内容导航

利用学习者认知地图，学生可掌握自己的学习状态，认清目前学习情况，激发学习动机，规划未来学习计划。图 5 表示某一名学生学习第三章内容的学习进度。学生学习每章内容后完成进行习题测试，进行其用时时间和得分情况可视化反馈。通过反馈学生可以了解哪一部分知识还没有完全掌握，需要进一步复习与巩固，同时明确自己的学习效率。教师根据这些数据，可以掌握每个学生的学习情况，进行有针对性的指导。图 6 表示某一名学生所学过的章节测试结果。

学习进度			
章	节	进度	百分比
第三章顺序程序设计	3.1数据类型及表达式	<div></div>	100%
第三章顺序程序设计	3.2C语句	<div></div>	80%

图5 学习进度可视化

章节测试情况								
章节	第一章	第二章	第三章	第四章	第五章	第六章	第七章	第八章
得分(分)	95	85	83	89	78	75	0	0
用时(分钟)	20	30	25	30	35	45	0	0

图6 测试水平可视化

4.3 效果分析

前、后测问卷均采用李克特五点量表（1 表示完全不同意，5 表示完全同意）。其中，前测问卷的学习态度包括 7 题，改编自 Hwang 等[Hwang G J, Chang H F. A formative assessment-based mobile learning approach to improving the learning attitudes and achievements of students[J]. Computers & Education, 2011,(4):1023-1031.]设计的问卷选项；后测问卷共 14 题，由学习态度和学习方式满意度两个维度构成。后测中的学习态度（1~7 题）的题项与前测

问卷相同，学习方式满意度（8~14 题）改编自 Chu 等[Chu H C, Hwang G J, Tsai C C, et al. A two-tier test approach to developing location-aware mobile learning systems for natural science courses[J]. Computers & Education, 2010, (4): 1618-1627.]设计的问卷选项。

本研究采用独立样本 T 检验，对两个班学生进行在线学习前后的学习态度变和学习成绩变化进行分析，结果如表 2 所示。经分析可知，在学习开始之前，实验班和对照班在学习态度维度上不存在显著差异（ $t=0.63$ ， $p=0.534>0.05$ ），且均具有较为积极向上的学习态度。随着在线学习的开展，实验班的学习态度值比学习开始之前有略微的提升，而对照班的学习态度值有所下降，且学习后两个班在学习态度维度上存在显著差异（ $t=2.85$ ， $p=0.006<0.01$ ）。上述差异的产生很可能得益于学习认知地图展示的认知状态和知识结构，这些可视化的反馈信息有助于学习者进行自我反思、规划学习进度，从而提升学习者的在线学习过程体验与学习态度。

表 2 学习态度前后测 T 检验结果

	班别	人数	平均值	标准差	t 值
前测	实验班	27	4.32	0.83	0.63
	对照班	27	4.16	0.97	
后测	实验班	27	4.35	0.59	2.85**
	对照班	27	3.58	1.28	

注：** $p<0.01$ 。

表 3 学习方式满意度 T 检验结果

	班别	人数	平均值	标准差	t 值
学习方式满意度	实验班	27	4.00	0.80	2.56*
	对照班	27	3.27	1.26	

注：* $p<0.05$ 。

本研究采用独立样本 T 检验，对两个班学生有关学习方式的满意度进行分析，结果如表 3 所示。经分析可知，实验班和对照班在利用学习元平台学习信息技术课程的满意度方面存在显著差异（ $t=2.56$ ， $p=0.013<0.05$ ）。与单纯利用学习元平台进行在线课程学习相比，通过融入学习认知地图可以提升学习者对在线学习的满意度，这很可能是借助学习认知地图，学习者能更好地理解平台进行资源推荐背后的逻辑与原因，从而更好地利用平台进行适应性学习。

通过对教育技术应用效果评价等相关文献的分析，结合具体研究内容，本研究自编教师版和学生版“精准教学支持服务框架应用效果调查问卷”。为保证信

度与效度，问卷的编制经历了原始问题生成、内容效度审核、专家意见咨询、初始问卷试测四个流程。学生问卷包含基本信息（3 题）、学习满意度（3 题）、学习能力发展（14 题）和学习成绩变化（2 题）四部分，共 22 道题。两份问卷除第一部分内容外，其他均涉及数据、技术、方法、管理以及文化层面的相关要素，并以李克特五点量表形式呈现，选项中“非常不同意、不同意、一般、同意、非常同意”分别计“1 分、2 分、3 分、4 分、5 分”。

本研究选取实验学校教师和学生进行较大规模的分层抽样调查，样本覆盖我国东、中、西部 18 个省（直辖市、自治区）来自城区学校和乡镇学校的部分高中数学教师和学生。问卷通过网络进行发放，共回收 1116 份，有效问卷 1009 份，有效率为 90.41%。

在信度方面，通过 Cronbach's Alpha 信度值进行检验，一般认为 $\alpha \geq 0.7$ 表示具有高信度。学生问卷中学习满意度、学习能力发展以及学习成绩变化的 α 值分别为 0.892、0.965、0.913，说明问卷具有高信度。在效度方面，使用内容效度和结构效度对问卷效度进行判定。本研究问卷经历了规范的编制流程，因此，具有良好的内容效度。问卷的 KMO 值为 0.971。整体而言，问卷结构效度良好。

学生在学习满意度、学习能力发展以及学习成绩变化层面的平均得分分别为 3.60、3.58、3.35，总平均分为 3.51。表明该支持服务框架在学生在学习方面的应用效果处于中等偏上水平，也说明提供的五维支持服务对学生的个性化学习有一定的促进作用，但上升空间还很大。其中，学习成绩变化得分最低（小于 3.5），说明基于该支持服务框架开展精准教学能否促进学习成绩发生明显变化有待深入调查。本研究从学习结果、学习兴趣、学习情绪三个方面了解该支持服务框架的应用对学习满意度的影响（见表 4）。数据显示，学习结果、学习兴趣以及学习情绪的平均得分均大于 3.5，说明借助该支持服务框架开展精准教学，学生对自我学习满意度持比较积极的态度。

表 4 学生学习满意度层面评估值

维度	测评内容	均值
学习结果	能更好地掌握新授课、复习课、习题课、试卷讲评课教学中所教授的知识点	3.71
学习兴趣	对数学学科的学习产生了更浓厚的兴趣	3.53
学习情绪	学习过程中能够感到快乐并愿意将这种快乐分享给别人	3.56

五、结论与展望

学习认知地图优化了学习平台的导航，增强了学习的自主性，促进了学习者的自我反思。在学习分析技术支持下，本文所构建的个性化学习平台能够分析学习者学习行为，了解学习状态，给予适当的反馈干预；实现了智能化的、适应性的学习资源的推送。基于学习认知地图的实践应用进一步证实了对于提升学习效率的显著成效，研究数据表明，学生更喜欢利用这样的系统来学习，充分适应个体差异，他们很容易获得需要的知识，从而提高学习效果。在后续研究中，将以学习分析技术为支撑，基于学习认知地图的应用实践研究将聚焦面向学习者群体开放的学习认知地图设计、多元可视化展示形式的自适应学习系统设计等方面，通过实践研究反馈进一步提高平台的可靠性和和准确性。