



Comparative Study of Metacognitive Scaffolds at Home and Abroad in Intelligent Learning Environment

Mengdan Ma

School of Network Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing, China

Email address

ainmmd@bupt.edu.cn

To cite this article:

Mengdan Ma. Comparative Study of Metacognitive Scaffolds at Home and Abroad in Intelligent Learning Environment. *Science Innovation*. Vol. 10, No. 6, 2022, pp. 214-220. doi: 10.11648/j.si.20221006.16

Received: November 13, 2022; **Accepted:** December 22, 2022; **Published:** December 28, 2022

Abstract: The design of metacognitive scaffolding in intelligent learning environment helps learners to manage their own thinking. In this study, 36 experimental studies on the influence of metacognitive scaffolds on learning effect in intelligent learning environment at home and abroad in the past eleven years were chosen to sort out and analyze. The author constructs the coding and analysis framework from the aspects of experimental object, experimental environment, metacognitive scaffold type and research topic. The results show that the research objects are mainly middle school students and college students. There are great differences in the research environment at home and abroad. In China, network teaching platform is the main teaching platform, while in foreign countries, more intelligent learning guide system is preferred. Metacognitive scaffolds have developed from fixed scaffolds to adaptive scaffolds. In the field of research, monitoring and control interact dynamically in the field of metacognitive skills, and monitoring may trigger the control process. With the deep integration of artificial intelligence and education, learner behavior and emotion data will help researchers use metacognitive scaffolding to more accurately intervene in the learning process. Based on this, the following suggestions are put forward to promote the development of metacognitive scaffolds in China, including long-term intervention by teachers to promote the development of students' metacognitive ability, systematic promotion of the development of metacognitive scaffolds in intelligent learning environment, and strengthening the exploration of learners' emotional experience process.

Keywords: Metacognitive Scaffold, Intelligent Learning Environment, Metacognition, Empirical Research

智能学习环境下国内外元认知支架研究现状

马梦单

北京邮电大学网络教育学院, 北京, 中国

邮箱

ainmmd@bupt.edu.cn

摘要: 在智能学习环境中设计元认知支架有助于学习者管理自己的思维。本研究选取近十一年国内外在智能学习环境中研究元认知支架对学习效果影响的36项实验研究进行梳理和分析。笔者从实验对象、实验环境、元认知支架类型和研究主题等方面构建编码和分析框架。分析结果发现研究对象主要以中学生和大学生为主; 国内外研究环境存在较大差异, 国内以网络教学平台为主, 国外更多倾向于智能导学系统; 元认知支架类型已经实现了从固定支架向适应性支架的发展。从研究领域来看, 监控和控制元认知技能领域进行动态交互, 监控可能引发控制过程; 随着人工智能和教育的深度融合, 学习者行为和情感数据将帮助研究者利用元认知支架更加准确地对学习过程采取干预措施。基于此, 提出以下促进国内元认知支架发展的对策建议, 包括教师要通过长期干预促进学生元认知能力的发展、系统推进智能学习环境中元认知支架的开发、加强学习者的情感体验过程探究。

关键词：元认知支架，智能学习环境，元认知，实验研究

1. 引言

21世纪对人才培养提出了更高的要求，智能学习环境中的信息复杂多变，这就要求学习者具有信息加工能力，能够对自身的认知知识和认知体验进行监控和调节。元认知支架有助于学习者利用先进技术获得更好的学习表现，能够培养学习者的元认知意识，调节学习者的情感状态。目前，该领域在国外已出现了大量的研究，本文将对智能学习环境下元认知支架的研究进行系统梳理，并提出针对我国智能学习环境下元认知支架研究的几点建议。

2. 相关概念界定

2.1. 元认知

元认知的概念最早由Flavell于20世纪70年代提出，其认为元认知可定义为反映或调节认知活动的任一方面的知识或者认知活动，包含三个主要成分：元认知知识、元认知体验和元认知监控[1]。元认知主要涉及对新的领域或现有认知结构的反思，是内在建构的过程，强调学习者的发展。其他学者也对元认知进行解读。大多数元认知概念的共同之处在于从更高阶认知的角度来看待认知。比如，Sternebrg通过比较认知和元认知来揭示元认知的含义，指出元认知是“关于认知的认知”，涉及对个人知识和策略的监测、控制和理解[2]。Brown等人将元认知定义为个人对认知领域的知识和控制，认为元认知包括对认知知识的建构和认知活动的调节[3]，其中认知知识类似于Flavell提出的元认知知识，而认知调节包括一系列的调节技能，如计划、检查、监测、检验等。

综上所述，本研究认为元认知包括元认知知识和元认知调节。元认知主要是指可以使学习者根据实际情况选择合适的认知策略，调节和控制认知过程和行为过程，事后反思以提高认知能力，更好地解决未来遇到的问题。元认知强调学习者的发展，是内在建构的过程，其概念内涵包含监控、控制、调节、知识。

2.2. 智能学习环境中的元认知支架

Hill和Hannafin根据功能标准，将支架分为了概念支架、元认知支架、过程支架和策略支架[4]。其中，元认知支架作为以元认知为基础的支架结构，它为学习者在学习过程中实施元认知策略提供特定的帮助，支持学习者管理自己的思维和学习过程，培养学习者的监控、反思、调整和改进能力。元认知支架与其他支架不同，主要是因为它关注任务的阶段，而不是特定的内容，因此，元认知支架可以在具有相似结构的不同问题之间进行重复使用。搭建元认知支架有两重目的：一是在学生无法成功完成的活动中提供支持；二是发展学生在未来任务中所需的知识和技能[5]。评价元认知支架使用的研究结果表明，支架可以支

持学生个体的元认知活动[6]，能够增加元认知活动的数量[7]，从而在个人学习环境中提高学习成绩、元认知知识和动机[8]。

本研究中的智能学习环境都是基于计算机的开放式学习环境，其类型主要包含智能导学系统（ITS）、超媒体学习环境、智慧教室和在线学习平台等。智能学习环境为元认知支架提供了更多的表现形式，主要有暗示、提示、反馈、插图或交互功能等[9]。大量的研究证实了搭建元认知支架对基于智能学习环境中的学习有着积极影响。在智能学习环境中开展元认知支架研究是非常必要的。这取决于智能学习环境便于大规模收集学习者在学习过程中产生的行为数据，以不易察觉、自动收集和自动分析的方式处理数据。越来越多研究者倾向于使用分析技术，利用多通道数据（如日志文件、眼球跟踪、行为测量）来捕捉元认知过程的复杂变化。

3. 研究方法和研究过程

3.1. 研究方法

本研究采用内容分析法为主要研究方法。内容分析法是一种对研究内容进行客观、系统和定量描述的研究方法，其目的是梳理和了解研究对象的本质性事实和发展趋势，进一步揭示蕴含的深层次内容，并对其发展趋势加以预测和把握。内容分析法一般要经过选择、分类和统计三个阶段。本研究将按照内容分析法的步骤对文献内容进行分析。

3.2. 研究样本的选择

3.2.1. 文献检索

文献来源数据库主要包括“中国知网”、“谷歌学术”、“Web of Science”、“SpringerLink”、“ScienceDirect”、“Engineering Village”等。检索条件是标题、摘要和关键词，包括：“Artificial intelligence”、“Intelligent environment”、“Metacognition”、“Metacognition scaffolding”、“metacognitive prompts”、“Metacognition Strategy”、“Metacognition skills”、“Intelligent”、“ITS”等；文献发表时间为2011年1月至2021年12月。另外，为确保该领域文献的全面覆盖，通过引文回溯法进行人工筛选。

3.2.2. 筛选标准

本研究对检索到的文献进行人工筛选，遵循以下标准：(1)实验研究论文；(2)发表在期刊上的论文；(3)教育研究领域；(4)智能学习环境下进行的研究。(5)元认知支架对学习效果的影响研究。剔除综述和概念性的文章。最终，本研究得到英文文献30篇，中文文献6篇。对这36篇文献进行统计，发文量见表1所示。

表1 2010年-2021年发文量。

年份	国内文献量	国外文献量
2010	0	2
2011	0	3
2012	0	2
2013	0	3
2014	1	3
2015	0	0
2016	0	3
2017	3	2
2018	1	2
2019	0	5
2020	0	2
2021	1	3
总计	6	30

3.3. 研究框架

本研究对筛选出的36篇文献进行编码，编码框架以实验对象、实验环境、元认知支架类型和研究主题为主，编码结果见表2。

- (1) 实验对象，实验样本的学段分为小学生、中学生、大学生。由于英文文献中有两篇文献只介绍样本为中学生，所以本研究不区分初中生和高中生，统一称为中学生。
- (2) 实验环境，根据开发环境的不同，将实验环境分为基于超媒体的开放式学习环境、基于游戏化的开放式学习环境、基于虚拟协作的开放式学习环境、基于多形式的开放式学习环境等[10]。
- (3) 元认知支架类型，元认知支架在智能学习环境中至关重要，Azevedo（2005）等人根据交互作用将支架分为固定支架和适应性支架[11]。
- (4) 研究主题，根据元认知的概念内涵，笔者将研究主题划分为监控、控制、调节、知识、行为、情感。

表2 元认知支架内容分析框架。

一级维度	二级维度
实验对象	小学生
	中学生
	大学生
研究环境	基于超媒体的开放式学习环境
	基于游戏化的开放式学习环境
	基于虚拟协作的学习环境
	基于多形式的开放式学习环境
元认知支架类型	固定支架
	适应性支架
研究主题	监控
	控制
	调节
	行为
	知识
	情感

4. 研究结果和分析

本研究对2010年以来国内外元认知支架研究进展进行梳理，以期能够掌握该领域国内外研究差异。下面将从实验对象、实验环境、研究领域和元认知支架类型四个方面呈现研究结果。

4.1. 实验对象

36篇文献均报告了样本的学段，其中英文和中文各有一篇跨学段研究，即涉及小学和中学两个学段，各学段样本分布如图1所示。元认知支架研究的实验对象主要是大学生，其次是中学生，小学生最少。这与实验环境相关，在智能学习环境中需要学习者能够熟练操作学习工具，而中学生和大学生有一定的计算机知识储备，实验过程可控性较高。通过对比研究发现，研究者选取大学生为研究对象时，主要通过学习分析和过程挖掘方法探究不同形式的元认知支架对学习行为的影响，而对中学生的研究侧重元认知支架是否影响了学习者的学习效果，对小学生的研究主要探讨了不同形式的元认知支架对群体元认知活动的影响。造成研究内容的差异除了与不同学段的学习者具有不同的认知水平和技能特征以外，还与研究人员使用的智能学习环境密切相关。

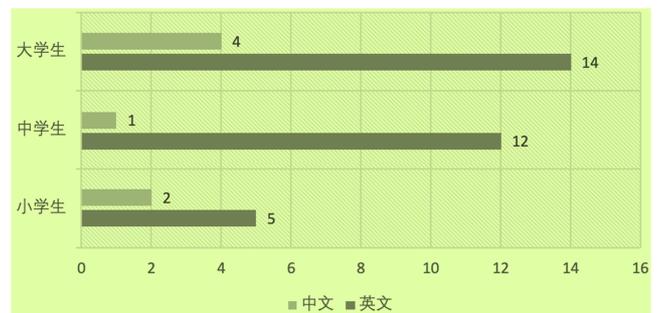


图1 实验对象统计。

4.2. 研究环境多样化

根据开发环境的不同，本研究将研究环境分为基于超媒体、游戏化、虚拟协作和多形式的开放式学习环境[10]。对36篇实验研究（英文30篇，中文6篇）涉及的智能学习环境进行统计分析（见表3）。由表3可知，国外不仅依托基于多形式的开放式学习环境（43.3%），而且在基于超媒体（26.7%）、游戏化（10%）和虚拟协作（20%）的开放式学习环境也进行了大量研究。由此可见，国外在元认知支架领域依托的智能学习环境形式多样。另外，国外的相关研究更青睐智能导学系统（ITS）。文献中用到ITS的种类主要有MetaTutor、Simstudent、iSTART、Ontdeknet、Betty’s Brain、The Web-based inquiry Science Environment（WISE）和Geometry Cognitive Tutor等，这些系统都是基于以计算机为基础的开放式学习环境。在30篇英文文献中，有15篇具体介绍了如何在ITS中开展元认知支架教学。比如iSTART是一套帮助学习者更好地理解学习内容的策略训练系统，该系统有两大基本思想：利用自然语言加工使学生运用其自身的思想、观念与计算机系统进行交流，在练习过程中获得反馈并根据反馈信息及时的调整；设计了边游戏边学习的活动，即基于游戏的练习活动，从而起到维持学习者学习动机的效果。

国内主要依托基于多形式的开放式学习环境（100%），如李士平等人基于Moodle平台对学习者的学习行为和元认知能力进行分析和测量，用学习行为数据表证元认知，

以期建立自主学习行为与元认知间的关系[12]。值得注意的是，国内研究人员虽然很少基于ITS开展元认知支架的研究，但顺应了国内智慧教室快速发展的浪潮，在智慧教室中去开展元认知支架教学的研究[13]（张屹等人）。

表3 研究环境统计。

研究环境	百分比		典型系统
	英文	中文	
基于超媒体的开放式学习环境	26.7%	0	MetaTutor
基于游戏化的开放式学习环境	10.0%	0	iSTART
基于虚拟协作的学习环境	20.0%	0	Ontdeknet
基于多形式的开放式学习环境	43.3%	100%	Moodle

4.3. 元认知支架类型

元认知支架能支持学习者管理自己的思维和学习过程，引导反思行为。以学习者为中心的智能学习环境需要为学习者的思维和行动提供支架，以促进学习者对自身学习行为的持续管理和调节。在文献中，研究人员除了直接使用元认知“支架”术语，还经常使用“提示”、“反馈”和“支持”等术语，这些也通常被称为支架。提示是一种旨在支持自主学习的教学支架，一般通过向学生提出相关的问题或者给出明确的指示来实现。例如，教学提示可能会询问学习者的学习计划或学习目标，也可能会提醒学习者思考自己的表现。

Azevedo等人将元认知支架分为固定支架和适应性支架[11]。在含有固定支架的智能学习环境中，学习者有相同的学习目标，学习内容不会随着学习者的表现而发生变化，并且支架内容对于每个学习者都是相同的；在智能学习环境中提供的适应性支架能够帮助学习者掌握元认知策略，如规划学习内容、监控学习状态、反思学习行为等，在学习过程中动态地、自适应地给予学习者反馈。对36篇文献中的支架类型进行统计。其中，中文文献中元认知支架类型为固定支架和适应性支架的文献各有3篇。英文文献中元认知支架类型为固定支架的文献仅有5篇，而涉及适应性支架的文献有25篇，这与国外多基于特定学科的智能导学系统开展实验研究有关。智能导学系统可以提供问题提示，帮助学习者朝着合适的学习目标前进，集中学习者的注意力，建模学习者应该学习提出的问题种类。另外智能导学系统还支持自我解释机制和教程对话等，其中计算机扮演着认知导师的角色。

研究人员根据支架的其它属性将支架分为问题化支架和结构化支架、领域通用型支架和特定领域型支架、教师增强型支架和技术增强型支架等。在实验中，研究人员探究了不同类型的支架是否促进学习者产生更多的元认知活动、群体互动，是否对学习者的学习成绩有影响。一般来说，接受元认知支架的学习者能从事更多的元认知活动，且学业成就更突出。问题化支架促进学习者对元认知观念的表达，且比结构化支架产生更多的群体元认知活动[14]。先前知识水平、元认知能力和问题表达水平较低的学习者在领域通用型支架中受益较多，支架对具有高先前知识水平和高元认知能力的学习者的作用较小[15]。支架丰富的类型为研究提供了更加多样的思路。

4.4. 研究主题

本研究将研究主题分为监控、控制、调节、行为、知识和情感，对36篇文献中元认知支架研究涉及的主题进行统计分析，见表4。一项研究可以对多个研究主题进行研究，如监控和控制，行为和调节等，因此研究主题的频次超出文献样本总数。由表4可知，自2010年以来，国外研究者在元认知支架研究领域主要研究调节（22.4%）、监控（22.4%）、知识（18.4%）、控制（17.1%）和行为（14.5%），情感（5.3%）研究相对较少。国内主要集中在监控（44.4%）、控制（22.2%）、行为（22.2%）和调节（11.1%），而知识和情感方面的研究相对匮乏，国内还未有相关文献。以下将对这六个研究主题逐个分析：

表4 元认知支架研究主题。

研究主题	英文		中文	
	频次	百分比	频次	百分比
监控	17	22.4%	4	44.4%
控制	13	17.1%	2	22.2%
调节	17	22.4%	1	11.1%
行为	11	14.5%	2	22.2%
知识	14	18.4%	0	0
情感	4	5.3%	0	0
总计	76	100%	9	100%

4.4.1. 监控

在36篇文献中，共有21篇涉及元认知监控，国内外在监控方面的研究要超过其他研究主题，可见自2010年以来监控是元认知支架的研究热点之一。Flavell指出认知监控是由元认知知识、元认知体验、目标（或任务）和行动（或策略）这四部分的作用以及相互作用产生的[16]。监控可以描述为对自己正在进行的认知状态的加工和对加工结果的调节，通过对学习进展的评估改变低层次的认知加工。当学习者在有限的时间内面对多项不同类型的任务时，需要时刻监督自己的学习行为，考虑做什么？怎么做？做多少？这一过程的关键在于学习者要主动地、有意识地监控当前的学习进度，以便与学习目标或其他任务的进度做比较。

元认知监控领域主要有两种不同的研究方法。第一种方法通常为认知心理学家使用的方法，让学生对自己当前的理解水平做出明确的判断（学习判断），并将这些判断与心理表征质量的客观衡量标准进行比较，来重点关注学习者对当前学习的监控。这种研究方法的重点是确定哪些条件支持准确监控。准确监控具体地说是当学习目标是记忆时，监控元记忆准确性；当学习目标是理解时，监控元理解准确性。另一种研究方法通常为教育研究人员使用的方法，倾向于使用“理解监控”这样的术语，包括目标监控、使用策略和监控、学习监控等。这种方法注重学习策略的使用和量表评估，而不是专注于准确监控当前的学习。

以上两种研究方法的理论基础体现在Flavell提出的元认知概念中。学习者通过监控当前与学习相关的内部元认知体验，判断学习的实际进展，进而调整自身的认知行为。虽然元认知知识有助于认知加工，但是只有对当前的学习进行监控才能保证加工质量。否则，学习者往往会受到错误的先验知识的影响。

4.4.2. 控制

在元认知支架领域，外文文献有13篇，中文文献有2篇，可见控制也是研究热点之一。通过对文献进行梳理可知，监控和控制总是相伴出现，在元认知技能领域中进行动态交互。例如，学习者为了缩小学习目标与当前学习状态之间的差异，通过监控当前的学习状态，来做出如何分配学习时间的判断。Nelson提出了一个自底向上的过程模型，将控制过程描述为人们利用自己的判断做出各种研究决策的过程，他强调监控过程可能引发控制过程[17]。但是控制过程也可以在没有监控的情况下被激活。Veenman扩展了Nelson的模型，元认知技能被看作控制任务表现的一种后天形成的自我指令程序[18]。当学习者面对熟悉的任务（以前练习过的任务或者和其他熟悉的任务相似）时，自我指令程序就会被激活。自我指令程序可以通过经验和训练获得，学习者的经验越丰富，越能更加准确地从记忆中检索与该任务相关的知识、更容易从计划转换到行动和识别出潜在的错误。

在智能学习环境中，元认知控制也包含对工具使用的控制。当给予学习者对元认知支架元素的控制时，支架元素可以适应学习者的需要。例如，Elisabeth Pieger等人研究了自我导向提示对学习者的学习行为和学习结果的影响，在实验中学学生被要求配置自我导向提示，学生可以决定在学习过程中何时接收提示，也可以决定他们必须选择的学习活动的顺序（如计划、目标说明和方向）[19]。然而，如果学生没有相应的元认知知识和元认知技能，便不能很好地判断自己当前的学习，这将导致无法正确使用元认知支持。学生通过控制工具的使用，对学习过程有了更多的自主权，这可能意味着学习者在接受元认知支持时可以避免认知超载。

4.4.3. 调节

在本研究中，将自我调节学习作为元认知的下位概念，36篇文献中，英文文献中有17篇涉及了自我调节学习，中文有1篇。在元认知、认知信念和智能学习环境下的研究中，研究者依赖了多种理论框架，其中COPEs学习模式从信息加工的角度阐述了自我调节学习，该模型包含四个阶段：定义任务、设定目标并计划、制定学习策略和适应性学习，主要关注认知和元认知过程[20]。

18篇文献中描述了很多调节技能，其中包括计划、监控和评估这三个基本技能。计划是指学习者在任务开始之前选择适当的学习策略和分配学习资源。调节的监控技能表现为学习者的在线理解意识和任务绩效，能够在学习过程中进行周期性的自我测试。学习者试图通过监控智能学习环境中的内容与他们学习目标的相关性，并结合使用有效和无效的策略调节他们的学习。学习者关注学习环境的特点，加强信息的阅读和观看，有意识地控制自己的学习，进而处理任务困难和需求。评估是指对学习成果和调节过程进行评价，具体表现为学习者对内容、目标和结论的重新评估。当学习者对学习目标的某一学习材料做了积极的评价，那学习者就会将更多的认知资源偏向该材料。相反，当某一材料被认为与

学习目标不一致，元认知能力强的学习者将重新寻找更合适的学习内容。

4.4.4. 行为

36篇文献中，涉及行为研究的英文文献有11篇，中文文献有2篇。智能学习环境为数据获取提供了便利，主要包括眼动数据、表情数据和学习行为数据，其中学习行为数据主要指学习者在元认知支架的作用下发生的行为，比如做笔记、做推断、创建总结、激活先验知识、学习判断、认知感觉、内容评价和目标进展监控等。通过对这13篇文献仔细阅读可知，研究者通常使用学习分析技术，对学习者的行为序列进行数据挖掘，以期评估学习者在智能学习环境中如何使用认知技能和元认知策略。序列挖掘算法能够找到频繁序列模式，研究者可以检查事件中的行为模式和这些模式发生的频率。为了更好的理解学习行为，研究人员将序列挖掘技术应用到教育数据中，当应用到学生活动日志时，频繁序列模式可以用来解释被观察到的学生行为。除了应用学习分析技术对学习行为进行序列分析，还可以通过整体观察法，对学习者的行为、言语和面部表情进行编码。

数据挖掘技术和学习分析被证明可以用于跟踪学习者在智能学习环境中如何使用认知技能和元认知策略[21]。研究者利用智能学习环境收集学习行为数据以及与这些行为相关的情景数据，通过对研究结果进行统计分析，笔者发现研究者对数据的挖掘和分析揭示了一些有趣的结果：一是使用探索性数据挖掘技术跟踪和识别学习者的认知技能和学习行为，通过元认知策略来进一步解释学习行为；二是将学习者表现和情景信息与行为模式联系起来，然后进行干预，跟踪学习者的行为演变，便于研究者能够更好地将行为划分为有效的学习策略和无效的学习策略。

4.4.5. 知识

30篇英文文献中，有14篇涉及了元认知知识的研究，中文文献中未提及。在这14篇文献中，研究者将元认知知识描述为“levels of prior knowledge”、“domain knowledge”等，其中先前知识水平出现频次最高。Flavell将元认知知识定义为个体关于自己或他人的认知活动、过程、结果以及与之有关的知识[1]。董奇指出元认知知识包含三方面的内容，分别为认知主体方面的知识、认知在材料和认知任务方面的知识、认知策略方面的知识[22]。学习者具备的元认知知识是学习的一个重要因素，元认知监控、控制、调节和行为都会受到学习者的先前知识水平的影 响。不同类型的支架可以使低先前知识水平和低元认知技能的学习者达到与高先前知识水平和高元认知技能的学习者相同的问题解决能力水平[15]。

根据文献中对知识的描述可将研究者在知识方面的研究分为两大类，一类测量学习者的先前知识水平，研究不同知识水平的学习者的学习成效。先前知识对元认知监控策略的使用有积极的影响，而先前知识水平是否对制定策略有积极影响还未有统一的说法。另一类研究学习者在 学习过程中是否产生了更多的元认知知识，主要用到了Ontdeknet智能导学系统。学习者参与群体元认知互动有助

于获得元认知知识，这为教学工作者提供了新的思路，即通过同伴互动来培养学习者的元认知知识。在未来复杂的智能学习环境中，为了提高学习者的元认知知识和技能，应该更加关注元认知活动的构建、同伴协作和元认知知识这三者之间的关系。

4.4.6. 情感

在元认知支架研究领域，30篇英文文献中有4篇提到了情感，中文未有情感研究。神经科学、心理学和教育学等研究表明，学习者情感显著影响学习行为和学习效果。元认知最初并不关注情感方面的研究，情感本不属于元认知研究范畴，但是由于个性化学习需求增长和情感计算技术不断突破，研究人员开始关注学习者的情感。

对这4篇英文文献涉及的情感进行梳理可得，主要包含困惑、喜悦、惊讶、愤怒、蔑视、沮丧和交互距离等情感。有3篇文献提到了D'Mello和Graesser的情感动力模型[23]，该模型试图使用认知情感状态来解释学习过程中情感的复杂性，强调了认知失衡的作用，当学习者在学习目标阶段遇到障碍时，就会引发这种不平衡。当学习者能够恢复平衡状态时，这种认知失衡会对学生的深度学习产生重要影响。学习者的情感困惑状态就是这种不平衡的一个关键指标，如果不解决，困惑会引发沮丧、无聊，直至脱离学习状态。在智能学习环境中，学习者的困惑与元认知策略之间是否存在联系？Yingbin Zhang指出元认知策略的使用与困惑状态有关，学习者会更频繁的阅读和使用测试结果中的信息，但是，困惑的解决却与元认知行为无关[24]。Michelle Taub等人研究了学习者的情感与元认知准确性之间的关系，实验结果表明，惊讶能够预测元认知判断的准确性、挫折能够预测记笔记的准确性[25]。这些结果表明理解负面情绪在智能学习环境中具有重要意义，也证明了使用面部表情数据来探究情绪的优势，而依赖自我报告数据和观察数据会有一定的偏差，缺乏客观性。使用多模态数据可以为研究人员提供情绪在学习过程中的变化，比如使用带有日志文件数据的面部表情数据，可以帮助研究人员捕捉学习随着时间推移展开的时间性质。

5. 结论

综上，智能学习环境为元认知支架提供了更多可能，支持支架从固定支架向适应性支架转变，以更自由、更灵活、更智能的手段培养学习者的元认知策略。元认知支架依托智能学习环境，应用数据挖掘技术和学习分析，在监控、控制、调节、行为、知识和情感等多个领域产生了丰富的研究成果。整体来看，元认知监控与控制通常动态交互出现，监控可能引发控制过程。随着人工智能和教育的深度融合，学习者行为数据和情感数据将帮助研究者利用元认知支架更加准确地采取干预措施，帮助学习者获得更多的元认知知识和元认知技能。遗憾的是，就目前国内元认知支架在智能学习环境中的应用现状来看，并未得到重视和广泛实践。

6. 建议

6.1. 教师要通过长期干预促进学生元认知能力的发展

国内的教学更多强调知识的增长和学生思维能力的发展，缺乏对学生元认知能力的关注。而元认知能力能够缩小学习目标和当前学习状态之间的差距，表现为对认知的发展，在学习过程中起到了重要作用，让学习者真正成为学习的主导者。元认知能力强的学习者能够进行自我监控和自我控制，更好的适应社会，解决生活中的问题。因此，教师要通过长期的干预促进学生元认知能力的发展。例如，教学设计者应明晰教学和学习之间的关系，调节教学干预对学习的影响，可以通过提供学习策略提示和元认知反馈，以提高学习质量和元认知能力。在设计元认知支架时，教师应该为先验知识水平和认知能力较低的学生提供多类型支架，例如结构化支架和问题化支架、教师增强型支架和技术增强型支架、领域通用支架和特定领域支架等。

6.2. 系统推进智能学习环境中如何设计元认知支架

学生拥有不同水平的元认知能力和学科领域知识，这就需要智能学习环境能够提供适应性元认知支架，以应对学生的个性化需求。为结构不良的任务提供元认知支架可以有效激发学习者之间有意义的元认知互动，激发学习者的监控意识，促进学习者根据自身的学习情况进行学习判断，做出各种学习决策。学习者的线上互动反映出他们知识建构的过程，在一定程度上，也能反应他们的理解水平。因此，在基于计算机的学习环境中开发智能教学代理将能够有助于发展群体凝聚力和群体氛围。我们建议教育工作者可以从宏观的角度出发，为探究性学习开发元认知提示系统，利用序列分析技术探索学习者的学习行为和教学设计之间的模式。当技术逐渐成熟时，未来有价值的研究将考察在智能导学系统中提供的适应性元认知反馈系统对学习者的知识生成过程和学习绩效的影响。

6.3. 加强学习者的情感体验过程探究

学习者的情感过程包含学习者的情感和如何调节情感促进学习。智能学习环境中应该更多关注学习者的情感体验，积极的情感体验能够促进学习者产生学习动机，从而提高学习效果，达到持续学习的目的。目前关于情感的研究逐渐受到重视，研究人员主要分析面部表情数据和眼动跟踪数据，未来可以在这两种数据的基础上增加皮肤电数据，以便更好的量化情绪数据。研究人员要转换研究角度，从仅研究情感与元认知过程的相互作用转换到让学习者意识到自己的情感，让恰当的、有益的情感促进学习。例如，可以确定最有效的情感水平，指导学习者如何调节自己的情感，确保这些情感水平在学习过程中发挥积极的作用。因此，未来在元认知支架方面的研究，可以评估认知、情感、元认知和动机之间的联系，以便开发出能够更好地适应学习者发展的情感导学系统，满足每个学习者的个人实时需求。这将确保所有的学习者都能获得积极的学习体验。

参考文献

- [1] Flavell J H. First Discussant's Comments: What is Memory Development the Development of? [J]. *Human Development*, 1971, 14 (4): 272-278.
- [2] Sternberg R J. *Encyclopedia of Human Intelligence* [G]. Macmillan Publishing House, 1994.
- [3] L B, L B A. *Metacognitive skills and reading* [C]. New York: Longman: 1984.
- [4] Hill J R, Hannafin M J. Teaching and learning in digital environments: The resurgence of resource-based learning [J]. *Educational Technology Research and Development*, 2001, 49 (3): 37-52.
- [5] Sharma P, Hannafin M J. Scaffolding in technology-enhanced learning environments [J]. *INTERACTIVE LEARNING ENVIRONMENTS*, 2007, 15 (1): 27-46.
- [6] Davis E A. Scaffolding students' knowledge integration: prompts for reflection in KIE [J]. *International Journal of Science Education*, 2010, 22 (8): 819-837.
- [7] Azevedo R, Moos D C, Greene J A, et al. Why is externally-facilitated regulated learning more effective than self-regulated learning with hypermedia? [J]. *ETR&D-EDUCATIONAL TECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT*, 2008, 56 (1): 45-72.
- [8] Azevedo R, Hadwin A F. Scaffolding Self-regulated Learning and Metacognition – Implications for the Design of Computer-based Scaffolds [J]. *Instructional Science*, 2005, 33 (5-6): 367-379.
- [9] Devolder A, van Braak J, Tondeur J. Supporting self-regulated learning in computer-based learning environments: systematic review of effects of scaffolding in the domain of science education [J]. *Journal of Computer Assisted Learning*, 2012, 28 (6): 557-573.
- [10] Segedy J R, Gautam B, Sulcer B. A Model-Based Behavior Analysis Approach for Open-Ended Environments [J]. *Educational Technology & Society*, 2014, 1 (17): 272-282.
- [11] Azevedo R, Cromley J G, Winters F I, et al. Adaptive Human Scaffolding Facilitates Adolescents' Self-regulated Learning with Hypermedia [J]. *Instructional Science*, 2005, 33 (5): 381-412.
- [12] 李士平, 赵蔚, 刘红霞, 等. 数据表征元认知: 基于学习分析的网络自主学习行为研究 [J]. *电化教育研究*, 2017, 38 (03): 41-47.
- [13] 张屹, 陈珍, 白清玉, 等. 基于移动终端的PBL教学对小学生元认知能力的影响研究——以小学科学课程“地球的运动”为例 [J]. *中国电化教育*, 2017 (07): 79-87.
- [14] Molenaar I, Slegers P, van Boxtel C. Metacognitive scaffolding during collaborative learning: a promising combination [J]. *Metacognition and Learning*, 2014, 9 (3): 309-332.
- [15] Bulu S T, Pedersen S. Supporting problem-solving performance in a hypermedia learning environment: The role of students' prior knowledge and metacognitive skills [J]. *Computers in Human Behavior*, 2012, 28 (4): 1162-1169.
- [16] Flavell J H. Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry [J]. *American psychologist*, 1979, 10 (34): 906.
- [17] Nelson T O. *Metacognition: core readings* [M]. Boston: Allyn and Bacon, 1992.
- [18] Mayer R E, Alexander P A. *Handbook of research on learning and instruction* [M]. New York: Routledge, 2011.
- [19] Pieger E, Bannert M. Differential effects of students' self-directed metacognitive prompts [J]. *Computers in Human Behavior*, 2018, 86: 165-173.
- [20] Winne P H, Hadwin A F. *Studying as self-regulated learning* [C]. Mahwah NJ: Erlbaum, 1998.
- [21] Hsu Y, Wang C, Zhang W. Supporting technology-enhanced inquiry through metacognitive and cognitive prompts: Sequential analysis of metacognitive actions in response to mixed prompts [J]. *Computers in Human Behavior*, 2017, 72: 701-712.
- [22] 董奇. 论元认知 [J]. *北京师范大学学报*, 1989 (01): 68-74.
- [23] Molenaar I, Chiu M M, Slegers P, et al. Scaffolding of small groups' metacognitive activities with an avatar. [J]. *International journal of computer-supported collaborative learning*, 2011, 6 (4): 601-624.
- [24] D Mello S, Graesser A. Dynamics of affective states during complex learning [J]. *Learning and Instruction*, 2012, 22 (2): 145-157.
- [25] Zhang Y, Paquette L, Baker R S, et al. Can Strategic Behaviour Facilitate Confusion Resolution? The Interplay Between Confusion and Metacognitive Strategies in Betty's Brain [J]. *Journal of Learning Analytics*, 2021, 8 (3): 28-44.