

混合学习中认知负荷调控的理论整合与研究进展

——基于资源与活动协同视角的文献综述

李 欣

福建师范大学教育学院, 福建 福州

收稿日期: 2026年6月5日; 录用日期: 2026年7月6日; 发布日期: 2026年7月13日

摘 要

人工智能与大数据赋能的混合学习常因资源过载与活动无序引发学习者认知负荷失衡。本文基于认知负荷理论, 系统梳理了混合学习中资源与活动的负荷特征及调控路径。研究发现: 资源呈现冗余与组织不当易引发外在负荷超载; 高阶任务与协作活动缺乏支架则导致内在负荷过高; 二者共同抑制相关负荷生成, 阻碍深度加工。据此, 本文提出阶段性负荷分配视角, 主张超越单一维度的局部优化, 构建“信息呈现 - 任务复杂度 - 支架水平”三维协同调控机制, 为混合式教学设计提供系统化理论依据。

关键词

认知负荷理论, 混合学习, 资源 - 活动协同

Theoretical Integration and Research Progress of Cognitive Load Regulation in Blended Learning

—A Literature Review from the Perspective of Resource-Activity Synergy

Xin Li

College of Education, Fujian Normal University, Fuzhou Fujian

Received: June 5, 2026; accepted: July 6, 2026; published: July 13, 2026

文章引用: 李欣. 混合学习中认知负荷调控的理论整合与研究进展[J]. 教育进展, 2026, 16(7): 359-367.
DOI: 10.12677/ae.2026.1671377

Abstract

Blended learning empowered by artificial intelligence and big data often leads to cognitive load imbalance among learners due to information overload and disorganized learning activities. Grounded in cognitive load theory, this paper systematically reviews the load characteristics and regulation mechanisms of resources and activities in blended learning. The findings indicate that redundant presentation and poor organization of resources easily cause excessive extraneous cognitive load, while high-order tasks and collaborative activities without adequate scaffolding result in high intrinsic cognitive load. Together, they inhibit the generation of germane cognitive load and hinder deep learning. Accordingly, this paper proposes a phased load distribution perspective, advocating moving beyond isolated optimization of single dimensions and constructing a three-dimensional synergistic regulation mechanism covering information presentation, task complexity, and scaffolding level, so as to provide a systematic theoretical basis for blended learning design.

Keywords

Cognitive Load Theory, Blended Learning, Resource-Activity Synergy

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

人工智能、大数据推动混合学习成为教育信息化主流，丰富资源与灵活路径显著拓展学习边界[1]。但资源指数增长、场境复杂化，使学习者面临信息超载与认知负荷失衡风险[2]。

基于Web of Science核心合集的“混合学习”与“认知负荷”主题检索结果（2015–2025年）

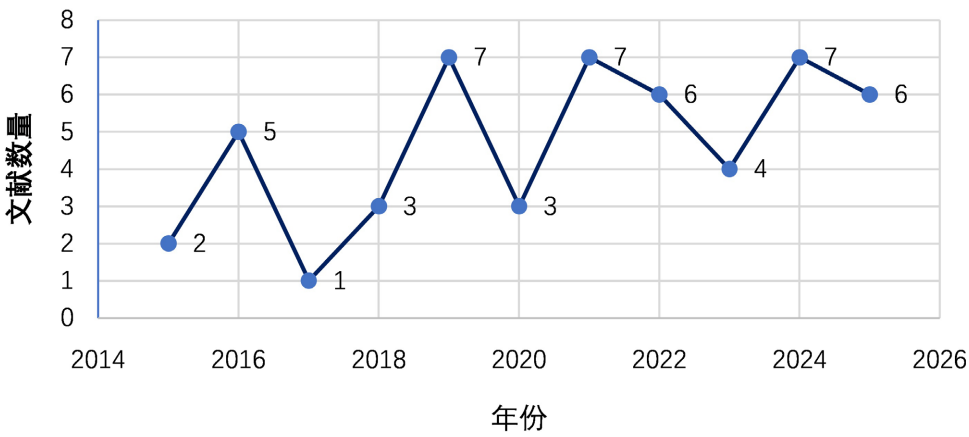


Figure 1. Retrieval results of “blended learning” and “cognitive load” in web of science core collection (2015~2025)
图 1. 基于 Web of Science 核心合集数据库，以 “blended learning” 和 “cognitive load” 为主题词的检索结果 (2015~2025)

近十年的计量分析,如图1所示“混合学习”与“认知负荷”交叉研究在2018~2019年显著升温,近年持续回升,反映学界对技术赋能背后认知机制的重视。现有研究多从资源或活动单一维度展开,缺乏从学习流程整体审视二者协同对认知分配的影响。为此,本文基于认知负荷理论,系统整合混合学习中的负荷调控研究,构建资源-活动协同框架,为教学实践提供理论参考。

2. 理论基础与分析框架

2.1. 认知负荷理论的核心内涵与分类

认知负荷理论由 Sweller 等人基于人类认知结构提出,核心观点是:学习成效取决于工作记忆在处理新信息时的负荷水平,由于工作记忆的容量有限,而长期记忆以图式形式存储大量结构化知识,因此图式的建构与自动化可有效降低工作记忆的认知负担[3]。

该理论将负荷分为三类:内在认知负荷由学习材料的元素互动性与学习者先备知识共同决定,是任务本身复杂性的体现;外在认知负荷来自信息呈现方式的不合理设计,会无效占用认知资源,需通过优化教学材料予以最小化;相关认知负荷,指向图式建构与自动化的有效投入,是促进深度学习的关键[4]。三类负荷在有限的认知资源框架下相互制约,总和不能超过工作记忆的最大容量。

2.2. 混合学习中资源与活动的互补共生关系

混合学习是资源与活动相互依存的系统,非线上线下简单叠加[5]。线下高阶交互活动依赖线上资源奠定知识基础,线上资源优化则依托线下活动暴露的认知缺口[6]。资源影响外在负荷,活动决定内在与相关负荷分配,二者共同构成混合学习的认知调控体系[7]。

2.3. “资源-活动”协同调控的逻辑框架构建

本研究构建了“资源-活动”协同调控框架。通过资源与活动在时序上的“功能补偿”与逻辑上的“职责对位”维持负荷稳态。职责对位层面,资源聚焦“外在负荷剥离”,用信号、冗余控制减少无效干扰;活动聚焦“内在负荷重塑”,以梯度任务、动态支架激活相关投入。时序补偿层面,遵循“前置降负荷、后置建构”,线上初构图式,为线下高阶协作释放工作记忆。

这种静态导航与动态交互的深度耦合,形成信息呈现、任务复杂度、支架水平三维协同调控闭环。三维度呈逻辑层级关系:信息呈现为基础,控制外在认知负荷;任务复杂度为核心,设定内在认知负荷基准;支架水平为调节器,动态适配前两者、激发相关认知负荷。三者联动,构成完整的认知负荷调控系统。

2.4. 三维模型的理论推演与情境适配

“资源-活动”协同并非三个维度的简单叠加,而是存在明确的认知机制与动态交互逻辑,核心在于工作记忆资源的阶段性优化分配与学习者图式水平的适应性匹配。

1. 协同效应的认知机制

信息呈现维度(外在负荷控制)为任务复杂度维度(内在负荷设定)提供认知资源释放基础。通过信号原则、冗余控制和空间邻近原则,最小化无效加工,使工作记忆容量更多地被释放至内在负荷和相关负荷。支架水平维度则作为动态调节器,通过实时感知学习者当前认知状态(先备知识、元认知水平),对前两个维度进行负反馈调节:当内在负荷过高时,增加支架强度或降低任务复杂度;当学习者图式水平提升时,适度减少支架、提升任务挑战,以维持最佳认知负荷区间。

2. 情境依赖的动态联动规则

为更清晰地展示三维调控机制在不同学习情境下的具体应用,本研究总结了以下适应性调整策略,如表1所示:

Table 1. Situational adaptive adjustment strategies of the three-dimensional synergistic regulation mechanism
表 1. 三维协同调控机制的情境适应性调整策略

情境变量	信息呈现维度调整	任务复杂度维度调整	支架水平维度调整	预期协同效应
低先备知识学习者	加强结构化、分段、信号提示	降低初始元素互动性，采用阶梯任务	高强度、显性支架 (示例 + 步骤提示)	快速建立基础图式，避免认知过载
高先备知识学习者	减少冗余，提供精炼资源	提高任务开放性与元素互动性	降低支架强度，转向隐性/元认知支架	激发高水平图式建构与迁移
线上自学阶段	优先多媒体原则与节奏控制	中低复杂度，聚焦基础图式建构	静态支架 + 自我调节提示	前置降荷，为线下活动释放容量
线下协作阶段	提供共享可视化资源	高阶任务(问题解决、项目式)	动态协作脚本 + 实时反馈	集体工作记忆效应，转化交易成本
认知过载节点	即时简化呈现、突出核心信息	临时降低任务粒度	即时节点式提示 + 纠错支架	快速恢复认知平衡
认知低负荷节点	适当增加丰富性/扩展材料	提升挑战水平	减少外部支架，鼓励自主探索	激发相关负荷，促进深度加工

3. 研究设计与样本文献概况

为确保文献检索的系统性与规范性，本研究以 Web of Science 核心合集数据库为主要数据来源，采用主题词进行高级检索。使用“Cognitive Load”与“Blended Learning”作为核心检索概念，并结合相关的同义或近义教学模式，包括“Flipped Learning”“Hybrid Learning”与“Flipped Classroom”组合检索。随后进行文献筛选，筛选的标准：(1) 时间的限定：出版年为 2015 年到 2025 年。(2) 研究类型：。(3) 研究类别：教育研究。(4) 主题相关性：文献必须涉及认知负荷理论和混合学习/在线学习，并至少探讨了资源(或媒体)设计、活动(或任务)设计两者之一，或直接探讨两者的协同关系。通过综合关键词检索和后续的严格四步筛选与人工判断，最终获得 35 篇具有高度集中性与代表性的实证研究文献。

4. 混合学习中认知负荷的调控路径研究进展

4.1. 资源设计维度：从信息呈现到图式建构的负荷优化

教学资源是调控学习者信息加工的关键，在混合学习与技术赋能环境中，其呈现方式、内容结构及多模态组合，直接影响外在、内在认知负荷，并间接作用于相关认知负荷[8]。现有实证研究主要围绕资源呈现方式、内容结构化策略、多媒体资源优化及认知效率评估四个维度，探讨混合学习中教学资源的认知负荷调控路径。为清晰呈现资源设计策略与不同认知负荷类型间的对应关系，以下从三类负荷的角度对主要研究发现加以整合。

1. 视觉呈现与多模态表征：降低外在认知负荷

多媒体原则(空间邻近、时间邻近、信号原则)常用于降低外在认知负荷[9]。文本与图示位置分离或信息缺乏标记时，学习者需额外进行跨模态整合，从而增加无效认知加工[10]。AR/VR 等多模态环境中，过多视觉刺激、复杂界面与多信道竞争会显著抬升外在负荷，而清晰提示、视觉引导与界面简化能有效改善学习效率[11]。图文冗余或视听干扰会迫使学习者额外筛选信息，进一步降低学习效果[12]。这些策略的核心作用机制在于减少因信息呈现不当而引发的外在认知负荷。

2. 内容组织与碎片化加工：调控内在认知负荷

图式化组织、概念框架、分段呈现可降低内在负荷，帮助学习者逐步构建知识结构[13]。翻转课堂预

习材料提供结构化概要、关键词、目标，可缓解高信息密度压力[14]。分段视频与材料减少瞬时信息量，让工作记忆聚焦核心概念。此类策略直接作用于学习材料本身的内在认知负荷，通过降低材料的元素互动性或将其分解呈现，使任务复杂度与学习者当前图式水平相匹配[15]。

3. 视频交互与节奏控制：激发相关认知负荷

视频资源的优化需聚焦节奏控制、信息突出、冗余剔除及短视频结构化设计四大核心策略[16]。节奏过快、信息密集或视觉刺激过多会推高外在认知负荷；而短时长、层次清晰、逻辑明确的视频更利于维持认知投入[17]。适时交互提示可提升注意力与加工效率[18]，减少动画冗余则能降低干扰负荷[19]。优化视频结构、精简内容可提升认知效率，促进深度学习[20]。视频设计兼具双重作用：通过去冗余、加信号降低外在负荷，同时以节奏调控与交互提示激发相关认知投入。

4.2. 活动组织维度：从任务复杂度到社会互动的负荷调节

在认知负荷理论的支持下，学习活动的设计被视为调控学习过程认知资源配置的重要环节。现有研究主要围绕高阶任务、协作活动、提示与支架介入时机以及活动中认知负荷的动态变化展开。

1. 任务分层与阶梯式支架：应对高阶任务挑战

探究式、项目式与问题解决活动元素互动性强，显著提升内在认知负荷[21][22]。缺乏支架时直接开展开放性高阶任务，会因搜索空间过大引发无效加工，导致内在认知负荷超载[23][24]。任务分解、目标显化、示例引导、逐步开放可降低初始认知压力，聚焦核心概念加工[25]。近年研究从“降难度”转向“控难度增长节奏”，即依据学习者前置学习形成的图式水平，分阶段提升任务复杂度，维持认知负荷适中[26]。

2. 协作脚本与共享认知空间：转换社会性交易成本

协作学习可通过共享认知资源形成集体工作记忆效应，提升复杂任务处理能力，间接降低个体内在认知负荷[27][28]。但协作会产生协调、沟通、共识建立等额外成本：成员能力差异大、分工不清、沟通不畅时，易推高外在认知负荷、抑制相关认知投入[29]。合理的协作结构设计(脚本化协作、角色分工、共享可视化空间)可减少交易成本，引导认知资源投向知识理解、推理与图式整合。协作中，交易成本与相关认知负荷存在动态转化：脚本合理、认知互补时，协调成本可转化为促进图式建构的相关负荷。

3. 动态提示与元认知监控：实现负荷的精准节律

支架介入时机影响负荷调控效果：过早削弱自主加工，过晚易致认知过载[30]。节点式提示在任务转折或认知迷失时给出精简提示(步骤、关键概念、纠错信号)，临时降低外在负荷、聚焦核心加工、促进相关认知投入[31]。元认知提示(自我监控、判断)可增强任务感知，间接优化负荷分配[32]。

研究视角已从静态转向动态：认知负荷随任务阶段、协作状态、资源使用持续波动，单时点测量难以反映全貌。过程性数据被用于捕捉实时负荷、识别高风险节点。推动活动设计从静态难度预设走向动态负荷调节，强调教学系统的实时感知与即时干预能力。

4.3. 协同联动维度：资源与活动在时空维度的耦合机制

有效的认知负荷调控需突破单一维度优化，构建资源-活动耦合的系统化机制。本节协同维度提炼自文献中反复出现的耦合模式：资源优化前置减负，活动设计调用深化图式，二者互动构成协同分析基础。

1. 认知空间的“时空补偿”：从前置降荷到高阶增荷

资源与活动协同体现为工作记忆容量在学习进程中的动态分配：线上资源阶段通过预处理为后续活

动释放认知空间：运用信号与分段原则，将复杂知识拆解为低元素互动的基础图式，降低初始内在负荷、避免自主学习中的认知溢出。基础图式在线上初步形成后，线下协作等高互动活动可释放更多工作记忆，支撑社会性交互与高阶推理。

2. 支架设计的“动态流转”：从静态引导到实时干预

支架是调控认知负荷的关键手段，在混合学习中需实现从资源侧到活动侧的连续、适配性转化。资源侧为静态显性支架(思维导图、导航图、预习清单)，旨在最小化外在负荷、提供认知路径、减少无效检索损耗。活动侧为动态隐性支架(协作脚本、启发式提问、同伴反馈模板)，重在优化相关负荷，引导认知资源投向意义建构与自我调节。

3. 任务难度的“梯度迭代”：构建系统化认知阶梯

资源与活动的协同，最终体现为学习任务难度与复杂度的递进逻辑。教学设计需遵循负荷增量原则：资源阶段以人机交互实现低负荷输入，建立认知锚点；活动阶段引入人际交互带来的社会性负荷，通过认知冲突与协同建构深化加工。该梯度设计，让学习者始终在最近发展区内保持适度认知负荷。为了进一步阐明两者的耦合关系，表 2 总结了协同调控的核心维度：

Table 2. Core dimensions and effects of resource-activity synergistic regulation
表 2. 资源 - 活动协同调控的核心维度与效应

协同维度	资源端的职责(输入与降荷)	活动端的职责(加工与增荷)	协同效应(深度学习)
内容衔接	提供结构化、低密度的基础图式	引入高元素互动的应用情境	实现从陈述性知识向程序性知识转化
负荷分配	最小化外在负荷(去除冗余)	优化内在负荷(挑战与探究)	确保总负荷持续处于“最佳可控区间”
反馈循环	记录学习轨迹，识别认知缺口	针对缺口开展协作与反思	构建“诊断 - 干预”的负荷调控闭环

5. 复杂技术环境对认知负荷的重塑与挑战

新型技术改变了资源与任务的组织方式，也重塑了认知负荷结构。这些技术环境带来的新负荷类型，对前述“资源 - 活动”协同框架提出了拓展性要求。

1. 沉浸式环境(AR/VR)中的知觉干扰与空间负荷

沉浸式技术(AR/VR)以多模态呈现丰富学习体验，也易造成信息过载。其高情境性要求学习者同步完成观察、操作、推理与空间定位，形成双重负荷挑战：多重输入流叠加抬升知觉与注意成本；界面缺乏连贯与信号设计，会增加跨模态整合负担，推高外在认知负荷[33]。混合学习中，AR/VR 多用于预习或探究自学，设计缺陷易转化为不可控认知压力[34]。探究活动若缺少分步提示，高内在负荷将阻碍知识建构。为此，协同框架的信息呈现维度需新增空间信号化、操作流程线化原则，以应对知觉层面额外负荷。

2. 异步自学情境下的自我调节压力与认知迷失

新型技术资源的自主性与开放性，虽利于探究式与个性化学习，却显著加重学习者自我调节负担。异步学习中，学习者需自主规划节奏、筛选整合信息，认知消耗更大，心理负荷显著高于同步模式[35]。混合学习若过度依赖自主探索、缺乏结构化引导与支架，将进一步放大认知压力，增加决策与监控负荷，削弱学习深度与效率[36]。因此，协同框架的支架维度需从外部支持延伸至学习者自我调节能力培养，实现长效负荷管理。

6. 研究的局限与未来展望

本综述系统梳理认知负荷理论在混合学习优化中的研究进展,发现现有研究虽在资源呈现与活动设计上形成初步理论基础,但在应对复杂情境、实现个性化负荷干预方面,仍存在方法论局限与理论-实践脱节问题。

6.1. 现有不足

1. 静态研究与单点负荷测量的局限

现有认知负荷实证研究多采用静态平均范式,依赖单次或间隔测量(主观量表、后测)评估教学设计效果。学习是动态非线性过程,静态方法难以捕捉难度突变、情境转换等节点的瞬时负荷波动[37]。研究尚缺统一评估框架,复杂负荷结构解析呈碎片化。

2. 理论模型与实践情境的生态断裂

理论层面,降外在负荷的多媒体准则与控内在负荷的结构化策略互补,但缺乏高阶整合模型,难依据认知水平与先备知识动态协同设计。实践层面,研究多基于实验室或小规模短期试验,普适性受限;常态化混合学习中,理论落地面临干预成本高、实操难的阻碍。

3. 元认知监控与调节机制的关注不足

高自主异步场景中,自我调节负荷显著攀升。现有研究聚焦外部支架,对学习者的内源性元认知能力(感知、评估、调整策略)关注不足;技术沉浸性易致流畅度感知偏差,研究需从系统干预转向学习者自我校准与调节机制。

6.2. 未来研究的聚焦与展望

针对现存研究局限,后续认知负荷研究将朝着动态化、系统化、情境化调控方向推进,并依托本文构建的资源-活动协同框架,推动其由静态理论描述转向动态实证检验与落地应用。

1. 依托过程数据实现动态负荷诊断与自适应干预

整合多模态生物计量数据与行为痕迹数据,利用深度学习等技术实时识别学习者在任务执行中的负荷拐点[38]。研发具备情境敏感性的自适应支架系统,根据实时负荷状态,动态调整教学任务的分解粒度、支架的复杂程度或资源的呈现模式,从而确保认知负荷持续处于“最佳可控区间”。

2. 建立多重负荷协同管理框架

构建过程性数据驱动的动态诊断模型,融合眼动、心率变异等多模态生理数据,以及操作时长、浏览轨迹等行为数据,借助智能算法实时捕捉学习过程中的认知负荷突变节点。搭建情境适配型自适应支架系统,依据实时负荷状态动态调整任务拆分尺度、支架层级与资源展示形式,保障学习者认知负荷始终维持在合理可控范围。

3. 加强元认知支持与负荷调节能力培养

强化学习者内源性认知自我调节能力的培育。设计无干扰的认知负荷可视化反馈界面,将工作记忆使用率、学习投入度等实时负荷数据直观呈现给学习者,帮助其精准感知自身认知状态,校正元认知判断偏差。针对高自主学习场景开发专属元认知策略支架,引导学习者在认知过载时主动开展策略性暂停、知识复盘,推动负荷管理从系统外部干预,转化为学习者主动的内生调控行为。

7. 结论

认知负荷理论为混合学习设计提供清晰框架。现有研究在资源与活动组织上积累分离式经验,但缺乏贯通全流程的系统化调控思路。本文提出的资源-活动协同框架,主张通过信息呈现、任务复杂度、

支架水平三维联动, 实现负荷“前置降荷、后置建构”, 超越单一环节优化, 为认知资源配置提供新视角。未来需在复杂技术环境中验证并丰富框架, 推动负荷调控从静态走向动态, 最终实现认知负荷可控下的深度学习。

参考文献

- [1] 兰国帅, 郭倩, 魏家财, 等. 5G+智能技术: 构筑“智能+”时代的智能教育新生态系统[J]. 远程教育杂志, 2019, 37(3): 3-16.
- [2] 陈明选, 来智玲. 智能时代教学范式的转型与重构[J]. 现代远程教育研究, 2020, 32(4): 19-26.
- [3] Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G. and Paas, F. (2019) Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, **31**, 261-292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- [4] Sweller, J. (2011) Cognitive Load Theory. *Psychology of Learning and Motivation*, **55**, 37-76. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-387691-1.00002-8>
- [5] 温慧群, 穆肃. 殊途如何同归?——不同复杂度混合教学实践效果的分析[J]. 中国远程教育, 2023, 43(2): 64-72.
- [6] 易祯, 吴美玉. 从“混合”到“融合”: 线上线下融合式教学设计研究[J]. 中国教育信息化, 2023, 29(11): 84-96.
- [7] Müller, F.A. and Wulf, T. (2024) Differences in Learning Effectiveness across Management Learning Environments: A Cognitive Load Theory Perspective. *Journal of Management Education*, **48**, 802-828. <https://doi.org/10.1177/10525629231200206>
- [8] Kalyuga, S. (2011) Cognitive Load Theory: How Many Types of Load Does It Really Need? *Educational Psychology Review*, **23**, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9150-7>
- [9] Fiorella, L. and Mayer, R.E. (2021) Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In: Mayer, R.E., Ed., *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, 185-198. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.019>
- [10] Liu, T., Lin, Y. and Kalyuga, S. (2021) Effects of Complexity-Determined System Pausing on Learning from Multimedia Presentations. *Australasian Journal of Educational Technology*, **38**, 102-114. <https://doi.org/10.14742/ajet.7267>
- [11] Khacharem, A., Zoudji, B. and Kalyuga, S. (2015) Expertise Reversal for Different Forms of Instructional Designs in Dynamic Visual Representations. *British Journal of Educational Technology*, **46**, 756-767. <https://doi.org/10.1111/bjet.12167>
- [12] Chen, C.M. and Wu, C.H. (2015) Effects of Different Video Lecture Types on Sustained Attention, Emotion, Cognitive Load, and Learning Performance. *Computers & Education*, **80**, 108-121. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.08.015>
- [13] Wirzberger, M., Herms, R., Esmaeili Bijarsari, S., Eibl, M. and Rey, G.D. (2018) Schema-Related Cognitive Load Influences Performance, Speech, and Physiology in a Dual-Task Setting: A Continuous Multi-Measure Approach. *Cognitive Research: Principles and Implications*, **3**, Article No. 46. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0138-z>
- [14] van Alten, D.C.D., Phielix, C., Janssen, J. and Kester, L. (2019) Effects of Flipping the Classroom on Learning Outcomes and Satisfaction: A Meta-Analysis. *Educational Research Review*, **28**, Article 100281. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.05.003>
- [15] Fischer, K., Sullivan, A.M., Cohen, A.P., King, R.W., Cockrill, B.A. and Besche, H.C. (2023) Using Cognitive Load Theory to Evaluate and Improve Preparatory Materials and Study Time for the Flipped Classroom. *BMC Medical Education*, **23**, Article No. 345. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04325-x>
- [16] Guo, P.J., Kim, J. and Rubin, R. (2014) How Video Production Affects Student Engagement. *Proceedings of the First ACM conference on Learning @ Scale Conference*, Atlanta, 4-5 March 2014, 41-50. <https://doi.org/10.1145/2556325.2566239>
- [17] 王燕青, 杨晓梦, 赵婷婷, 等. 分段是视频学习的有效方式吗? [J]. 心理发展与教育, 2022, 38(4): 600-608.
- [18] 王雪, 周围, 王志军. 教学视频中交互控制促进有意义学习的实验研究[J]. 远程教育杂志, 2018, 36(1): 97-105.
- [19] 高媛, 黄真真, 李冀红, 等. 智慧学习环境中的认知负荷问题[J]. 开放教育研究, 2017, 23(1): 56-64.
- [20] Lo, C.K. and Hew, K.F. (2017) A Critical Review of Flipped Classroom Challenges in K-12 Education: Possible Solutions and Recommendations for Future Research. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, **12**, Article No. 4. <https://doi.org/10.1186/s41039-016-0044-2>
- [21] Chen, O., Kalyuga, S. and Sweller, J. (2017) The Expertise Reversal Effect Is a Variant of the More General Element Interactivity Effect. *Educational Psychology Review*, **29**, 393-405. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9359-1>
- [22] Kastaun, M., Meier, M., Küchemann, S. and Kuhn, J. (2021) Validation of Cognitive Load during Inquiry-Based

- Learning with Multimedia Scaffolds Using Subjective Measurement and Eye Movements. *Frontiers in Psychology*, **12**, Article ID: 703857. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.703857>
- [23] Blikstein, P., Gomes, J.S., Akiba, H.T. and Schneider, B. (2017) The Effect of Highly Scaffolded versus General Instruction on Students' Exploratory Behavior and Arousal. *Technology, Knowledge and Learning*, **22**, 105-128. <https://doi.org/10.1007/s10758-016-9291-y>
- [24] Kirschner, P.A., Sweller, J. and Clark, R.E. (2006) Why Minimal Guidance during Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, **41**, 75-86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- [25] Khudhur, N., Pinandito, A., Hayashi, Y. and Hirashima, T. (2024) Investigating the Efficacy of Partial Decomposition in Kit-Build Concept Maps for Reducing Cognitive Load and Enhancing Reading Comprehension. *IEICE Transactions on Information and Systems*, **107**, 714-727. <https://doi.org/10.1587/transinf.2023edp7145>
- [26] Costley, J., Gorbunova, A., Courtney, M., Chen, O. and Lange, C. (2024) Problem-Solving Support and Instructional Sequence: Impact on Cognitive Load and Student Performance. *European Journal of Psychology of Education*, **39**, 1817-1840. <https://doi.org/10.1007/s10212-023-00757-7>
- [27] Sankaranarayanan, R., Kwon, K. and Cho, Y. (2021) Exploring the Differences between Individuals and Groups during the Problem-Solving Process: The Collective Working-Memory Effect and the Role of Collaborative Interactions. *Journal of Interactive Learning Research*, **32**, 43-66. <https://doi.org/10.70725/636732aueosi>
- [28] Kirschner, F., Paas, F. and Kirschner, P.A. (2010) Task Complexity as a Driver for Collaborative Learning Efficiency: The Collective Working-Memory Effect. *Applied Cognitive Psychology*, **25**, 615-624. <https://doi.org/10.1002/acp.1730>
- [29] Kirschner, P.A., Sweller, J., Kirschner, F. and Zambrano R., J. (2018) From Cognitive Load Theory to Collaborative Cognitive Load Theory. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, **13**, 213-233. <https://doi.org/10.1007/s11412-018-9277-y>
- [30] Sawyer, R.K. (2005) *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. Cambridge University Press.
- [31] Antonenko, P.D. and Niederhauser, D.S. (2010) The Influence of Leads on Cognitive Load and Learning in a Hypertext Environment. *Computers in Human Behavior*, **26**, 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2009.10.014>
- [32] Munshi, A., Biswas, G., Baker, R., Ocumpaugh, J., Hutt, S. and Paquette, L. (2023) Analysing Adaptive Scaffolds That Help Students Develop Self-Regulated Learning Behaviours. *Journal of Computer Assisted Learning*, **39**, 351-368. <https://doi.org/10.1111/jcal.12761>
- [33] Tugtekin, U. and Odabasi, H.F. (2023) Effect of Multitasking and Task Characteristics Interaction on Cognitive Load and Learning Outcomes in Virtual Reality Learning Environments. *Education and Information Technologies*, **28**, 14915-14942. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11813-6>
- [34] Poupard, M., Larrue, F., Sauzéon, H. and Tricot, A. (2025) A Systematic Review of Immersive Technologies for Education: Learning Performance, Cognitive Load and Intrinsic Motivation. *British Journal of Educational Technology*, **56**, 5-41. <https://doi.org/10.1111/bjet.13503>
- [35] Hung, C.T., Wu, S.E., Chen, Y.H., Soong, C., Chiang, C. and Wang, W. (2024) The Evaluation of Synchronous and Asynchronous Online Learning: Student Experience, Learning Outcomes, and Cognitive Load. *BMC Medical Education*, **24**, Article No. 326. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05311-7>
- [36] Lee, H. and Wu, T. (2025) Enhancing Blended Learning Discussions with a Scaffolded Knowledge Integration-Based ChatGPT Mobile Instant Messaging System. *Computers & Education*, **237**, Article 105375. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.105375>
- [37] 刘娟, 胡雪莲, 王军豪, 等. 数字化学习中认知负荷智能化评估研究进展[J]. 武汉大学学报(理学版), 2025, 71(4): 427-441.
- [38] 薛耀锋, 王坤, 邱奕盛, 等. 基于多模态数据的在线学习认知负荷评估[J]. 现代教育技术, 2024, 34(3): 79-88.