《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：人工智能支持下生成式学习的心理机制：一个动态协同模型

作者：苏佳佳，叶浩生

第一轮

审稿人 1 意见：

尊敬的审稿专家：

非常感谢各位专家对本文提出的细致而中肯的修改意见。我们认真研读了审稿意见，并对原稿进行了较大幅度的重构和修改。总体上，本次修改不只是对文字表述和局部内容进行调整，而是根据专家意见重构了文章的框架结构，重新明确了文章的核心问题、整体框架和理论贡献。

原稿主要围绕“人工智能时代生成式学习的心理机制”展开，但问题意识相对宏观，部分内容仍呈现出概念梳理和变量并列的综述写法。根据审稿专家关于“问题不够聚焦”“结构较松散”“动态协同系统论述不足”“AI 如何作用于心理机制分析不够具体”等意见，我们将全文的核心问题进一步聚焦为：人工智能为何既可能促进生成式学习，也可能削弱生成式学习，其背后的心理机制是什么？ 围绕这一问题，新稿将题目调整为《人工智能支持下生成式学习的心理机制：一个动态协同模型》，并对全文结构作了系统重构。

新稿不再按照原稿中“概念起源—心理机制—理论深化—未来展望”的较宽泛结构展开，而是改为“理论挑战—心理机制—模型建构—区别条件与未来研究”的递进框架。第一部分集中说明人工智能支持下生成式学习为何对传统理论提出挑战；第二部分从动机激活、认知建构、元认知调节和创造性活动四个方面分析 AI 影响生成式学习的心理路径；第三部分进一步提出并具体阐述“动态协同模型”，说明动机、认知、元认知与创造性活动如何在反馈循环中共同影响理解形成；第四部分则讨论模型运行的区分条件及未来研究方向。这样修改后，全文各部分均围绕上述核心问题展开，力求避免原稿中主题并列、观点重复和教科书式综述的问题。

同时，我们根据专家建议补充和更新了大量近年人工智能教育、生成式 AI 学习、智能反馈、自我调节学习、认知卸载和创造性研究方面的文献，特别注意增加实证研究依据，以增强文章论证的经验基础。我们也新增了动态协同模型图，以更清晰地呈现动机、认知、元认知与创造性活动之间的循环反馈关系，以及人工智能在其中的作用位置。

再次感谢专家对本文理论定位、结构安排和文献基础所提出的建设性意见。此次修改使我们更加清楚地认识到，本文真正需要回答的不是“AI 是否影响学习”，而是“AI 如何改变生成式学习中心理过程之间的关系结构”。我们尽力在新稿中对这一问题作出更加集中、具体和系统的回应。

意见 1：*以《心理科学进展》的问题导向型综述这一要求来看，文章的核心问题还不够聚焦和具体。虽然作者在自检报告中提出了科学问题，但这一问题停留在比较宏观的理论表述层面（如从变量取向转向系统取向），但未具体化为一个可在综述中充分分析和展开的心理机制问题。并且，这一研究问题也并未贯穿文章始终而成为文章的主线牵引，文章各部分内容在一定程度上仍呈现出相关主题的教科书式写法，而非围绕该核心问题的递进分析。建议作者进一步具体化研究问题，并且在行文中更加聚焦于该研究问题。*

回应：感谢审稿专家提出这一关键意见。我们认真反思后认为，原稿确实存在核心问题聚焦不足的问题。原稿虽然提出需要从“变量取向”转向“系统取向”，但这一表述偏重理论立场的转换，尚未进一步落实为一个能够贯穿全文并持续展开分析的心理机制问题，导致文章更多表现为相关研究的梳理与归纳，各部分之间的问题牵引不够突出，也未能充分体现《心理科学进展》强调的问题导向型理论综述的写作特点。

根据专家意见，我们对全文进行了重新定位与整体重构，将研究问题进一步聚焦为：“人工智能为何既可能促进生成式学习，也可能削弱生成式学习？其背后的心理机制是什么？”围绕这一核心问题，文章题目调整为《人工智能支持下生成式学习的心理机制：一个动态协同模型》，并将“动态协同模型”作为全文理论建构的中心，使研究问题贯穿全文始终。

在整体结构上，我们重新组织了全文框架，不再按照原稿中相对平行的主题展开，而改为围绕上述核心问题形成层层递进的分析逻辑。第一部分以“人工智能支持生成式学习面临的理论挑战”为主题，从传统生成式学习理论出发，提出人工智能时代为何出现“促进”与“抑制”并存这一理论难题，并指出现有单一变量解释存在局限，由此引出全文需要回答的核心问题。第二部分围绕这一问题，分别从动机激活、认知建构、元认知调节和创造性活动四个相互关联的心理过程分析人工智能影响生成式学习的具体机制，但重点不再停留于分别介绍各心理变量，而是在每一部分均讨论人工智能为何可能同时产生促进与抑制两种效应，并逐步引向心理过程之间相互作用的分析。第三部分进一步突破原稿变量分析的思路，从“机制之间的关系”而非“机制本身”出发，提出人工智能支持生成式学习的动态协同模型，重点说明人工智能影响的不是某一个心理变量，而是动机、认知、元认知和创造性活动之间的关系结构及其反馈循环，从而解释人工智能为何在不同条件下表现出不同的学习效应。第四部分则围绕模型运行的边界条件展开讨论，不再简单罗列学习者因素或技术因素，而是分别回答“为什么不同学习者会进入不同的发展路径”“人工智能如何改变系统运行方向”等问题，进一步说明动态协同模型的适用条件，并提出未来研究应重点关注人工智能如何改变学习过程中不同心理活动之间关系结构及其演化过程。

此外，我们对全文行文方式进行了相应调整。原稿中部分章节偏重概念介绍和文献梳理，新稿则尽量采用“提出问题—分析局限—提出新解释”的论证方式，各部分均围绕核心问题持续推进，避免教科书式的知识介绍和变量并列分析，使文章的问题意识和理论主线更加突出。

经过此次修改，我们进一步明确了文章真正需要回答的问题，并围绕这一问题重新组织全文结构和理论分析，使文章的问题导向更加鲜明，整体逻辑也更加集中和连贯。

意见 2：*2. 参考文献总体较少，尤其是实证研究报告较少（只有 26 篇），甚至远少于理论性综述（34 篇）。*

回应：感谢审稿专家的提醒。我们认真核查了全文参考文献，认同原稿存在实证研究文献相对不足、理论综述文献比例偏高的问题。原稿在论证过程中较多依赖经典理论文献和综述性研究，对近年来人工智能支持学习领域不断积累的实证证据关注不够，导致部分理论分析的经验支撑不足。

我们根据专家意见，对参考文献进行了全面梳理和补充，重点增加了近几年人工智能支持学习、生成式人工智能教育应用、自我调节学习、认知卸载、人机协同学习、创造性学习以及教育聊天机器人等领域的实证研究文献，并尽可能采用近年来发表于高水平期刊的研究成果，为文中各主要观点提供经验依据。特别是在第二部分关于动机激活、认知建构、元认知调节和创造性活动四条心理机制的分析中，增加了大量实验研究、调查研究和元分析文献，使理论分析更多建立在实证研究基础之上，而不仅停留于概念讨论。

同时，在第三部分动态协同模型建构以及第四部分模型区分条件分析中，我们也增加了学习分析、自我调节学习、人机互动、人工智能反馈等方面的过程性研究和实证证据，用以支撑模型提出的理论依据，避免模型建构完全依赖逻辑推演。

经过本次修改，全文参考文献数量已由原稿的 60 篇增加至 76 篇，其中实证研究文献由 26 篇增加至 42 篇，占参考文献总数的比例明显提高；新增文献主要发表于近五年，涵盖实验研究、调查研究、元分析及过程研究等不同研究类型，使全文的论证建立在更加充分的经验研究基础之上，也进一步增强了文章理论分析的可靠性和说服力。

意见 3：*3. 文章论述结构比较松散，逻辑框架可以更加清晰。例如在“2 生成式学习的心理机制”部分，作者首先介绍了“学习不是单一的认知加工，而是动机、注意、思维与创造等心理成分的协同作用”，并逐一进行论述，然后再在人工智能语境下进行相关分析。那么这部分是否可以至少分为两个二级标题？并且在全文当中，多处出现只有三行甚至两行的段落，这些段落是否都有必要独立成段呢？站在读者的角度，在阅读过程中，这种篇碎片化的写作让人很难抓住重点和捋清作者的逻辑。*

回应：根据专家建议，我们对全文结构进行了较大幅度的调整，不仅重新设计了一级标题和

二级标题，而且围绕核心研究问题重新组织了各部分内容，使全文形成更加清晰的递进逻辑。原稿中关于生成式学习心理机制的论述主要按照心理变量依次介绍，再讨论人工智能影响，容易形成“概念介绍+人工智能分析”的并列结构。修改后，我们将第二部分调整为“人工智能影响生成式学习的心理机制”，并设置了四个二级标题——“动机激活：生成式学习发生的起点”“认知建构：理解形成的核心过程”“元认知调节：生成质量的关键保障”“创造性活动：知识重组与新意义形成”。各部分均直接围绕人工智能支持下生成式学习这一核心问题展开讨论，不再将传统理论介绍与人工智能分析人为分离，而是在同一分析过程中讨论人工智能为何可能同时产生促进与抑制两种效应，使第二部分与全文主线保持一致，也使各层次之间形成由学习启动、理解形成、学习调节到意义拓展的递进关系。

我们也重新调整了全文的段落组织方式。原稿中确实存在较多篇幅较短的自然段，部分段落仅承担过渡或简单概括作用，造成文章呈现出一定程度的碎片化特征。此次修改中，我们重新梳理了各段之间的逻辑关系，对内容联系紧密的短段进行了合并，并围绕一个核心观点组织一个自然段，使每一段承担相对完整的论证功能。对于确有必要强调的问题转换或理论转折，则保留独立成段，以增强论证节奏；其余过短、逻辑独立性不强的段落均进行了整合。整体上，全文段落数量有所减少，段落长度更加均衡，各层次之间的衔接也更加自然，文章逻辑更加连贯，读者能够更加清晰地把握全文的问题推进过程。

意见 3：*“动态协同系统”是论文重要的理论贡献，但是作者对这一系统的结构、组成和运行机制的论述还不够充分。例如，动机、认知、元认知与创造性之间的关系如何具体发生？其协同是通过何种路径或反馈机制实现的？在人工智能介入下，这种关系发生了怎样的结构性变化？建议作者更加清晰地进行论述，以突出文章这一理论贡献。建议增加示意图，以帮助读者更好地理解这一系统及其与 AI 的关系。*

回应：我们认真阅读后认识到，感觉审稿专家的意见是中肯的。原稿虽然提出了“动态协同系统”的基本设想，但对模型内部结构及其运行机制阐述不够充分，尤其对于不同心理过程之间如何发生联系、如何形成反馈循环，以及人工智能究竟通过何种方式影响这一系统，论述仍然较为概括，未能充分体现模型作为全文理论贡献的价值。

根据专家建议，我们对第三部分进行了重新设计和扩充，并将其调整为全文理论建构的核心部分。在模型结构方面，我们不再将动机、认知、元认知和创造性活动视为彼此独立的心理变量，而是将其界定为共同构成生成式学习心理系统的四个相互联系、持续互动的组成部分，并重点分析它们之间的关系结构。具体而言，文章进一步阐明了学习动机如何影响认知投入，认知建构如何不断激活元认知监控，元认知调节如何持续修正认知活动并促进创造性活动的发展，而创造性活动形成的新理解和成就体验又会进一步强化学习动机，从而形成持续运行的反馈循环。通过这一分析，文章将原稿中相对静态的变量分析进一步发展为动态运行机制的分析，进一步明确了动态协同模型的内部结构及其运行逻辑。

同时，我们根据专家意见进一步回答了“人工智能如何进入这一系统”这一关键问题。在第三部分新增了“人工智能在协同系统中的作用位置”这一层次，不再将人工智能简单视为学习活动之外的支持工具，而是提出人工智能通过反馈、认知支持、持续互动以及协同创造等方式逐步进入学习过程，并持续影响动机、认知、元认知和创造性活动之间的关系结构。文章强调，人工智能影响的并不是某一个孤立心理过程，而是这些心理过程之间原有的反馈关系，因此生成式学习中的促进效应与抑制效应来源于同一系统在不同条件下形成的不同运行状态，而非彼此独立的两套作用机制。这也是本文提出动态协同模型的主要理论观点。

此外，为了使模型结构和运行机制更加直观，我们依据专家建议新增了“人工智能支持生成式学习动态协同模型”示意图：（见下图）

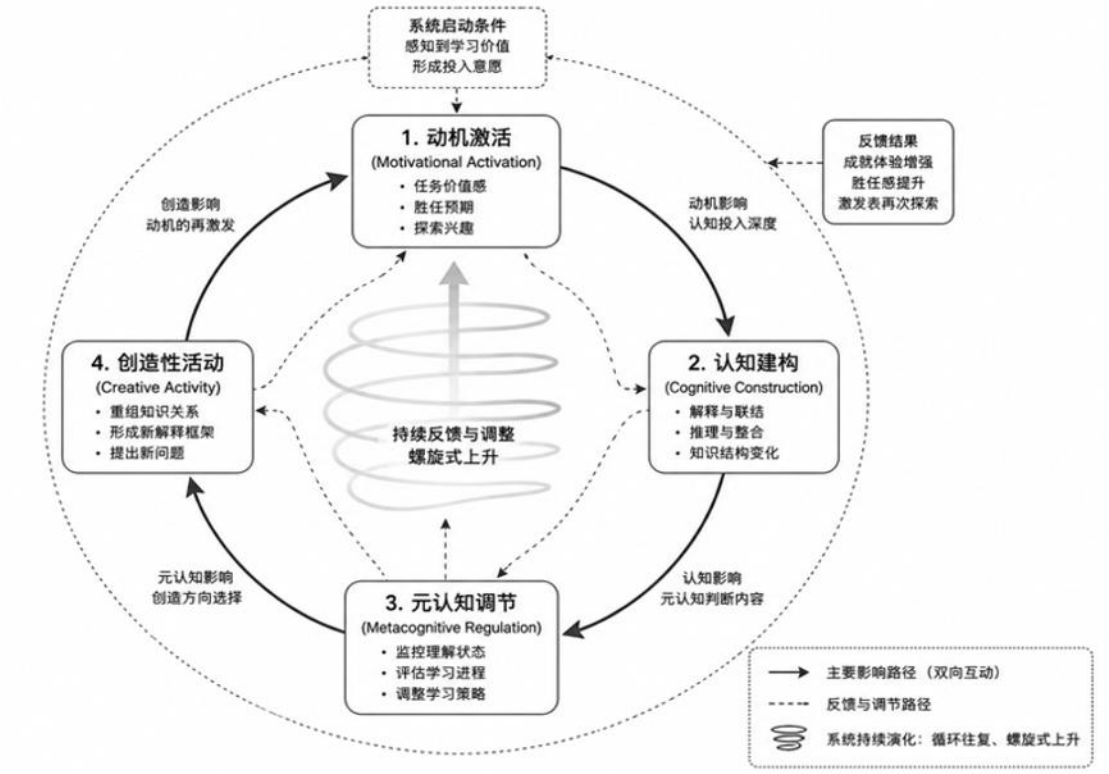


图1 人工智能支持下生成式学习的动态协同模型
(Dynamic Synergy Model of AI-Supported Generative Learning)

该模型图以学习动机、认知建构、元认知调节和创造性活动构成的循环反馈系统为主体，采用螺旋式反馈结构呈现四类心理过程之间持续互动、循环发展的关系，并在图中明确标示人工智能通过反馈、认知支架和人机互动持续影响系统运行，从而更加直观地呈现人工智能与动态协同系统之间的关系，也进一步增强了模型的可理解性和理论表达效果。

意见 4：*人工智能语境增加了文章的前沿性，但是文章对人工智能究竟如何作用于心理机制的分析还不够深入，建议更加具体地说明 AI 如何改变学习者的心理加工过程及其结构关系，并且更加清晰、结构化地提出论点。*

回应：非常感谢审稿专家提出这一重要意见。原稿虽然引入了人工智能这一研究背景，但更多是将人工智能作为外部技术环境加以讨论，对于人工智能究竟如何进入学习过程、如何影响学习者的心理加工过程以及如何改变不同心理过程之间的关系，分析确实不够具体，也未能充分体现人工智能支持生成式学习这一研究主题的理论特色。

按照专家的建议，我们围绕“人工智能如何作用于生成式学习的心理机制”这一问题，对全文进行了较大幅度的修改和深化。一方面，在第二部分“人工智能影响生成式学习的心理机制”中，不再只是分别介绍动机、认知、元认知和创造性活动等心理因素，而是在每一部分均重点分析人工智能如何改变相应心理活动的运行过程。例如，在动机部分，不仅讨论人工智能如何通过即时反馈、个性化支持等方式激活学习动机，同时进一步分析其如何改变学习动机的指向，导致学习者可能由追求理解逐渐转向追求快速获得答案；在认知建构部分，重点分析人工智能如何通过认知支架促进知识整合，同时也可能因认知替代而削弱深层加工；在元认知部分，进一步讨论人工智能如何通过持续反馈促进学习监控，又如何因外部判断替代学习者自身监控而影响元认知调节；在创造性活动部分，则进一步分析人工智能如何扩展联想空间，同时也可能因强化已有知识模式而限制新意义的形成。通过上述修改，人工智能不再只是分析背景，而成为贯穿各心理机制分析的重要主线。

另一方面，我们根据专家意见进一步加强了人工智能作用机制的理论分析。在第三部分新增并重点完善了“人工智能在协同系统中的作用位置”这一内容，不再将人工智能理解为学习活动之外的技术工具，而是提出人工智能通过持续反馈、认知支架、人机互动以及协同创造等方式逐步进入学习系统，并持续影响动机、认知、元认知与创造性活动之间的关系结构。文章强调，人工智能影响的不是某一个孤立心理过程，而是心理过程之间原有的反馈关系和协调方式；生成式学习中的促进效应与抑制效应，也并非分别来自不同机制，而是来源于同一动态系统在不同条件下形成的不同运行状态。这一分析进一步回答了人工智能为何可能同时促进和削弱生成式学习这一核心问题，也更加突出了本文提出动态协同模型的理论价值。

另外，我们对全文论证结构进行了重新调整，使人工智能始终作为全文分析的主线贯穿始终，而不再作为传统理论之后附加讨论的内容。文章从第一部分提出人工智能带来的理论挑战，到第二部分分析人工智能作用于不同心理过程的具体机制，再到第三部分讨论人工智能如何改变心理过程之间的关系结构，最后在第四部分进一步分析人工智能影响系统运行的边界条件，各部分形成了较为完整的递进逻辑，使人工智能作用于生成式学习心理机制的分析更加系统、具体，也更加符合问题导向型理论综述的写作要求。

.....

审稿人 2 意见：

意见 1：*第一，需重新明确本文要回答的科学问题。*

稿件目前提出的问题是“生成式学习的心理机制如何从孤立变量转向动态协同关系”，但正文并未围绕这一问题逐层展开。建议在引言末尾用一段明确交代：本文讨论的“生成式学习”究竟是传统 generative learning，还是生成式 AI 支持下的学习，二者关系是什么；“AI 语境”具体指智能导师、聊天机器人、大语言模型、生成式反馈，还是更广义的 AI 教育系统；本文要解释的是学习效果、理解生成、认知投入、自我调节，还是创造性表现。没有这些边界，文章容易把“生成式学习”和“生成式人工智能”混在一起讨论。

回应：非常感谢审稿专家提出这一关键意见。原稿虽然提出了“从变量取向走向动态协同关系”的总体思路，但科学问题仍然偏宏观，对研究对象、研究情境和研究目标界定不够清晰，也容易造成“生成式学习”与“生成式人工智能”两个概念交叉使用，影响文章主线的聚焦。

根据专家建议，我们重新梳理了全文的问题意识，并对引言和第一部分进行了较大幅度调整，使研究边界更加明确，科学问题更加聚焦，并贯穿全文。

首先，我们重新界定了本文讨论的“生成式学习”。修订稿明确指出，本文讨论的并非一种新的学习类型，而是生成式人工智能支持下的生成式学习（AI-supported generative learning）。文章以 Wittrock 提出的经典生成式学习理论为理论起点，在第一部分首先回顾传统生成式学习强调学习者主动加工、意义建构的基本思想，然后进一步分析人工智能深度介入学习活动以后，生成式学习发生方式由个体内部建构逐渐转向人机协同生成，由此引出传统理论面临的新挑战。这样既保持了传统生成式学习理论的连续性，又明确了本文研究的是人工智能支持情境下生成式学习心理机制的新变化，而非将“生成式学习”与“生成式人工智能”两个概念混为一谈。

其次，我们进一步明确了本文所讨论的人工智能语境。修订稿没有把人工智能泛化为所有教育技术，而是聚焦生成式人工智能（Generative AI）参与学习活动这一新的学习情境，重点讨论大语言模型、智能对话系统等能够提供即时反馈、持续对话、认知支架和协同生成支持的人工智能系统所形成的人机互动过程。全文围绕反馈、认知支架和持续互动等人工智能特征展开分析，使研究情境保持一致，也避免了不同类型人工智能概念交叉使用带来的模糊性。

同时，我们重新聚焦了文章真正需要解释的核心问题。修订稿不再泛泛讨论人工智能是否影响学习成绩或学习效果，而是围绕“人工智能为何既可能促进生成式学习，也可能削弱生成式学习”这一核心问题展开论述，并进一步将这一问题具体化为：人工智能如何改变动机、认知、元认知与创造性活动之间的关系结构，从而使学习系统形成不同的发展轨迹。围

绕这一问题，全文形成了较为完整的递进逻辑：第一部分分析人工智能介入后生成式学习面临的理论挑战；第二部分分别讨论人工智能如何影响四类心理过程；第三部分进一步说明这些心理过程如何形成动态协同系统，以及人工智能如何改变系统内部关系结构；第四部分则分析动态协同模型的边界条件及未来研究方向。文章各部分均围绕这一核心问题展开，而非围绕若干独立主题分别介绍。

此外，我们对摘要、引言和全文有关研究目标的表述进行了统一调整，使文章始终聚焦于人工智能支持下生成式学习心理机制的过程性解释，强调本文重点解释的是学习理解如何形成、心理过程如何协同运行，以及人工智能如何改变心理过程之间的反馈关系，而不是单纯解释学习成绩、学习投入或创造性表现等单一结果变量。通过上述修改，本文的问题边界、理论对象和分析主线均得到进一步明确，也使全文更加符合问题导向型理论综述的写作要求。

意见 2：*第二，需重构全文逻辑。*

现有四个部分“概念起源—心理机制—理论深化—未来”表面上有递进关系，但正文中大量内容重复出现，尤其是“动机、认知、元认知、创造性协同”“AI 改变学习心理机制”“外部反馈导致依赖”等观点反复出现，却没有持续深化。建议改为如下逻辑：

传统生成式学习理论的核心机制及局限；

AI 介入后学习环境发生了哪些心理学意义上的变化；

动机、认知、元认知与创造性分别如何被 AI 反馈、提示、生成内容和人机互动影响；

四类机制如何形成动态协同模型；

该模型的边界条件、负效应和可检验命题；

对未来研究方法的具体建议。

尤其建议增加一幅理论模型图，并用清晰文字解释模型中的变量、过程、反馈环和调节因素。

回应：非常感谢审稿专家提出这一重要建议。原稿虽然具有“概念—机制—理论”的总体框架，但各部分之间的层层推进还不够充分，一些核心观点（如动机、认知、元认知与创造性协同作用、人工智能改变学习心理机制、认知依赖等）在不同章节中存在重复阐述，而理论深化不足。根据专家建议，我们对全文整体逻辑进行了重新组织，使文章由概念介绍转向问题驱动和理论递进，更突出动态协同模型的建构过程。

我们重新调整了第一部分的定位。修订稿不再停留于生成式学习概念的介绍，而是以“人工智能支持下生成式学习面临的理论挑战”为主题，依次讨论传统生成式学习理论的基本逻辑、人机协同学习带来的新变化、人工智能支持下生成式学习出现的“双重效应”现象，

以及现有解释框架的局限。这样，第一部分不再只是概念回顾，而成为提出科学问题和引出全文分析主线的理论起点。

第二部分围绕“人工智能影响生成式学习的心理机制”展开，重点讨论动机激活、认知建构、元认知调节和创造性活动四类心理过程如何受到人工智能反馈、认知支架和持续互动的影响。与原稿相比，修订稿不再简单介绍各心理变量本身，而始终围绕人工智能如何改变生成式学习心理过程这一核心问题展开分析，并进一步揭示四类心理过程各自具有促进与抑制两种可能，为后续系统整合奠定基础。

在此基础上，第三部分进一步完成理论整合，由心理机制分析推进至动态协同模型建构。修订稿新增了“从独立机制到协同系统”和“人工智能在协同系统中的作用位置”等内容，系统阐述动机、认知、元认知与创造性活动之间如何通过反馈循环形成动态协同关系，并进一步分析人工智能如何逐渐由外部工具转变为学习系统运行的重要参与者，改变系统内部各心理过程之间的关系结构。与此同时，我们依据模型绘制了“人工智能支持生成式学习动态协同模型”示意图，并结合正文详细说明模型各组成要素、反馈循环、螺旋上升过程以及人工智能的作用位置，使模型结构更加直观，也进一步突出本文的理论贡献。

第四部分则围绕动态协同模型的适用条件展开讨论，新增学习者因素、技术因素等边界条件分析，并进一步提出未来研究方向。修订稿不再停留于一般性的研究展望，而是结合动态协同模型强调未来研究应更加关注学习过程分析、动态反馈关系及系统运行机制，为后续经验研究提供理论依据和分析框架。

我们还对全文进行了系统删减和整合，尽可能避免不同章节之间的重复论述。例如，将原稿中多次出现的“人工智能改变学习心理机制”“促进与抑制双重效应”“外部反馈导致认知依赖”等内容重新归并至最适合的章节，在后续章节更多承担理论深化而非重复论证的功能，使全文形成由理论挑战提出—心理机制分析—动态模型建构—边界条件讨论逐层推进的整体逻辑。

需要说明的是，我们没有完全采用“理论命题”作为独立章节，而是将模型的区分条件与未来研究方向有机结合。一方面，这样能够避免理论命题与模型内容重复；另一方面，也更符合《心理科学进展》理论综述由理论建构自然过渡到未来研究的写作特点。

意见 3：*第三，需把“动态协同模型”具体化。*

文章多次强调“动态系统”“递归循环”“过程—系统取向”，但没有真正提出模型。建议作者至少提出若干明确命题，例如：AI 反馈通过降低任务不确定性提升认知投入，但其作用受学习者元认知监控水平调节；生成式 AI 提示可促进自我解释，但过高提示密度会导致认知卸载；创造性生成依赖认知冲突与自主调节之间的平衡。只有形成可讨论、可检验、可证伪的命题，文章的理论贡献才会清楚。

回应：感谢审稿专家提出这一富有启发性的建议。原稿虽然提出了“动态协同系统”的基本思想，但模型本身仍停留在概念描述层面，对系统的组成、运行逻辑及其作用机制阐述不够具体，理论建构的完整性和可讨论性都有待加强。

根据专家建议，我们对第三部分进行了全面重构，将“动态协同模型”作为全文理论建构的核心内容，不再停留于“动态系统”“协同关系”等概念性表述，而是围绕模型的组成要素、运行过程和反馈机制展开系统论述。修订稿明确提出，动态协同模型由学习动机、认知建构、元认知调节和创造性活动四个相互联系的心理过程构成，并重点分析四类心理过程如何形成持续运行的反馈循环：学习动机激活认知投入，认知建构不断引发元认知监控，元认知调节持续修正认知活动并促进创造性发展，而创造性活动形成的新理解和成就体验又进一步强化学习动机，从而形成不断循环、持续演化的心理系统。通过上述修改，模型不仅具有明确的组成结构，也具有较为完整的运行机制。

我们也回答了人工智能如何进入这一系统的问题。修订稿新增了“人工智能在协同系统中的作用位置”，提出人工智能并非仅仅作用于某一个心理变量，而是通过反馈、认知支架、人机互动和协同生成等方式持续影响系统内部各心理过程之间的关系结构，并改变反馈循环的运行轨迹。文章进一步指出，人工智能支持下生成式学习中的促进效应与抑制效应，并非来源于两套不同机制，而是来源于同一动态协同系统在不同条件下形成的不同运行状态，从而进一步明确了动态协同模型的解释范围和理论价值。

关于专家提出的“理论命题”建议，我们认真进行了讨论。在修改过程中，我们充分吸收了这一建议所强调的“模型应具有可讨论、可检验”的思想，但考虑到《心理科学进展》理论综述更强调理论框架的建构与整合，而本文目前尚缺乏直接支持具体命题的系统经验证据，因此未将若干理论命题单独列为一个部分，而是将模型的可检验性融入第四部分“模型的区别条件与未来研究”之中。修订稿围绕学习者因素、技术因素等边界条件，进一步提出未来研究应重点考察人工智能如何改变学习过程中不同心理活动之间的关系结构及其演化过程，并建议结合过程追踪、学习分析、多时点纵向研究以及人机互动数据等研究方法，对动态协同模型所揭示的反馈关系和运行机制开展进一步检验。我们希望通过这种处理方式，使模型既保持理论整合的完整性，又为后续经验研究留下进一步发展空间。

此外，根据专家建议，我们新增了“人工智能支持生成式学习动态协同模型”示意图，并结合正文详细说明模型中各组成要素、反馈循环、人工智能作用位置以及系统运行过程，使模型结构和运行机制更加直观，也进一步增强了模型的理论表达效果。

由于本文属于理论综述而非理论模型验证研究，我们认为，与其提出若干尚缺乏充分经验支持的具体命题，不如首先明确模型的组成、运行机制及区别条件，为后续实证研究提出可进一步检验的研究方向。这也是本次修改采用当前结构安排的主要考虑。

意见 4：*第四，需提高文献整合质量，而不是简单罗列。*

当前不少段落采用“某研究发现……某研究指出……”的写法，但缺少比较和评价。综述论文应回答：不同研究结论是否一致？差异来自任务类型、AI 工具类型、学习者年龄、学科领域、研究设计，还是测量指标？例如，AI 反馈可能提升学习投入，也可能导致依赖和浅层加工，作者需要说明这两类结果在什么条件下出现，而不是分别列举。建议增加“正效应—负效应—边界条件”的整合框架。

回应：专家提出的这一意见使我们进一步认识到，理论综述的价值并不在于汇集已有研究，而在于解释已有研究。回顾原稿，我们确实存在较多按照文献顺序逐项介绍研究结论的写法，对不同研究之间的联系、差异及其形成原因分析不足，导致部分内容呈现出“文献罗列”的特点，也没有充分体现综述论文应有的理论整合功能。

本次修改中，我们对全文文献组织方式进行了较大调整，努力由“介绍已有研究”转向“解释已有研究”。在第二部分关于动机激活、认知建构、元认知调节和创造性活动的分析中，不再简单列举支持性和反对性研究，而是围绕“人工智能为何既可能促进生成式学习，也可能削弱生成式学习”这一核心问题，对不同研究结果进行了比较分析。例如，在讨论人工智能反馈时，不再分别列举其促进学习投入和导致认知依赖的研究，而是进一步分析两类结果产生的条件差异，指出人工智能反馈是否促进生成式学习，并不取决于反馈本身，而与学习者是否保持认知投入、是否持续开展元认知监控以及反馈方式是否激活进一步思考密切相关。同样，在创造性活动部分，我们也没有停留于“人工智能促进创造”或“人工智能削弱创造”的简单归纳，而是进一步讨论人工智能扩大联想空间与强化既有知识模式之间的张力，分析促进效应和抑制效应何以可能同时存在。

我们也将原稿中反复出现的“促进”与“抑制”两类研究结果进行了重新整合，不再把它们视为彼此独立甚至相互矛盾的结论，而是在第三部分动态协同模型中统一加以解释。修订稿提出，两类研究结论之所以同时存在，并非因为人工智能产生了两套完全不同的作用机制，而是由于学习系统在不同条件下形成了不同的运行状态。也就是说，学习者因素、任务特点以及人工智能介入方式共同影响系统内部反馈循环，进而决定促进效应或抑制效应何时出现。这一处理既回应了不同研究结论之间为何存在差异的问题，也使动态协同模型成为整合已有研究的重要理论框架，而不仅是对已有观点的简单概括。

我们在第四部分还讨论了学习者因素和技术因素等模型区别条件，将人工智能素养、先验知识、自主学习能力，以及反馈方式、自动化程度和人机互动等因素重新纳入系统运行机制之中，进一步说明不同研究结果可能来源于不同学习条件和不同系统运行状态，而不是单纯来源于研究之间的分歧。通过上述修改，全文更加突出文献之间的比较、联系与整合，努力回答“为什么不同研究会得到不同结论”“这些结论在什么条件下成立”以及“如何用统一理论框架解释这些差异”等关键问题，从而增强了文章的理论解释力和综述价值。

感谢专家提出这一富有建设性的建议。本次修改过程中，我们始终将“由文献罗列转向

理论整合”作为全文修改的重要原则，也希望修订后的稿件能够更加符合《心理科学进展》对于理论综述的写作要求。

意见 5：*第五，需降低因果性和绝对化表述。*

文中常使用“AI 改变了学习者的心理运作方式”“人工智能让心理过程变得可见”“学习理解功能部分外挂于技术系统”“AI 缩短了从问题到答案的距离，却削弱了心理努力”等判断。这些表述具有启发性，但目前证据不足。建议改为更审慎的学术表达，如“可能改变”“在特定任务中表现为”“已有研究提示”“尚需更多纵向和实验研究检验”。综述文章可以提出理论推测，但必须清楚区分经验结论与理论假设。

回应：这一意见对我们完善论文的学术表达很有帮助。修改过程中，我们对全文进行了逐段检查，重点修改了因果性和绝对化表述，将缺乏充分经验依据的判断调整为更加审慎的学术表达。同时，我们进一步补充了相关实证研究文献作为论据支持，并在第四部分未来研究中强调，动态协同模型仍有待更多纵向研究、实验研究和过程研究加以检验。通过上述修改，全文在保持理论解释力的同时，也更加注重经验依据与理论推论之间的边界，使论述更加符合理论综述论文的写作规范。

意见 6：*第六，需调整文风。*

文章文字流畅，但有较明显的散文化和评论性风格，如“眼下的学习，正在悄悄变样”“让心理学重新看见自己”“像一面镜子，也像一个试验场”等。这类表达适合学术随笔，不适合正式综述论文。建议改为概念清楚、证据明确、论证紧凑的学术文体。全文还应减少“可以说”“也许”“从这一意义上看”等过渡性套语，避免重复表达。

回应：感谢审稿专家的建议。我们对全文语言表达进行了系统修改，删除或改写了带有散文化、评论性色彩的表述，将相关内容调整为概念更加明确、证据更加充分、论证更加严谨的学术表达。同时，对“可以说”“也许”“从这一意义上看”等重复出现的过渡性套语进行了统一梳理和精简，尽量避免修辞性表达，突出概念分析和理论论证。经过上述修改，全文语言风格更加符合《心理科学进展》理论综述的写作规范。

意见 7：*第七，需补充边界条件和实践含义。*

文章目前强调理论演变，但对“什么条件下 AI 促进生成式学习，什么条件下削弱生成式学习”讨论不足。建议加入学习者先前知识、AI 素养、任务复杂度、反馈频率、提示质量、学科类型、学习目标、教师调控等边界条件。实践启示也应具体化，例如如何设计 AI 反馈、如何避免认知卸载、如何培养学习者的元认知监控，而不是泛泛提出“保持主动”“加强反思”。

回应：感谢审稿专家提出这一具有重要理论价值和实践意义的建议。原稿更多关注动态协同模型的理论建构，对模型适用的边界条件讨论确实不够充分，也没有进一步回答人工智能为

何在不同学习情境下会产生不同的学习结果。根据专家意见，我们对第四部分进行了重新设计，并将其调整为“模型的区别条件与未来研究”，重点围绕影响动态协同系统运行状态的条件展开分析，以进一步完善模型的解释范围。

我们新增了学习者因素这一部分，不再简单罗列影响变量，而是围绕“为什么同样使用人工智能，不同学习者会进入不同的发展路径”这一问题展开分析，将人工智能素养、先验知识和自主学习能力组织为递进关系，说明学习者能否判断人工智能输出、理解人工智能提供的信息，并进一步自主调节人与人工智能之间的互动过程，将直接影响动态协同系统内部反馈循环的形成方式，从而决定人工智能更可能成为促进理解的认知资源，还是演变为认知替代工具。

我们也进一步补充了技术因素这一区别条件，围绕“人工智能如何进入学习系统，并改变系统运行方向”展开讨论，不再把反馈质量、自动化程度和交互方式作为彼此独立的技术特征分别介绍，而是分析人工智能如何通过反馈进入学习过程，通过自动化参与学习过程，并进一步借助持续对话和协同互动重塑学习过程，说明技术设计实际上影响的是动机、认知、元认知与创造性活动之间的关系结构，而不仅仅影响某一个心理变量。通过上述分析，修订稿进一步回答了人工智能促进效应与抑制效应分别在什么条件下更容易出现，也使动态协同模型具有更加明确的适用边界。

关于实践启示，我们认真吸收了专家建议。考虑到本文定位于理论综述，修订稿没有单独设置实践应用部分，而是在相关理论分析中融入实践意义。例如，在讨论反馈机制时，强调启发式反馈比直接提供答案更有利于维持学习者的认知投入和元认知监控；在讨论自动化程度时，强调适度自动化能够释放认知资源，而过度自动化可能导致认知卸载；在讨论元认知调节时，进一步强调人工智能应支持学习者持续开展自我监控和策略调整，而不应替代学习者完成关键心理活动。这些分析既回应了人工智能如何促进生成式学习的问题，也为人工智能学习系统的设计和教学应用提供了相应的理论依据。

此外，我们在未来研究部分进一步提出，应围绕不同学习者特征、不同任务类型、不同人工智能介入方式以及不同反馈模式，开展过程追踪和纵向研究，进一步检验动态协同模型在不同学习情境中的适用条件。这既有助于完善模型本身，也有助于为人工智能支持学习的实践设计提供更加充分的经验依据。

考虑到本文主要定位于理论综述，而非教学设计或教育应用研究，我们没有将实践启示作为独立章节展开，而是将其自然融入模型边界条件和心理机制分析之中，使理论分析与实践启示保持一致，也避免实践建议脱离理论论证。

通过补充模型区别条件，并将实践意义融入动态协同模型的理论分析之中，我们希望能够更加清晰地回答“人工智能在什么条件下促进生成式学习、在什么条件下可能削弱生成式学习”这一贯穿全文的核心问题，也进一步增强了本文的理论解释力和现实启示。

意见 8：*第八，需全面润色英文题名、摘要和参考文献。*

英文题名中的 “Theoretical advances” 与中文题名“理论演变”不完全对应，可考虑改为 “theoretical evolution” 或 “theoretical development”。英文摘要中 “fundamentally altered” 语气过强，建议改为更审慎的 “may reshape” 或 “has begun to reshape”。关键词、标点和参考文献格式也需统一。

回应：感谢审稿专家的细致审阅和具体建议。我们根据意见对英文题名、英文摘要及关键词进行了全面修改和润色，使其与中文题目和摘要保持一致，并采用更加审慎、准确的学术表达。同时，对全文英文标点、关键词格式及参考文献进行了统一核查，按照 APA 格式逐条校正，统一作者姓名、期刊名称、DOI、大小写及标点等格式，确保全文英文表达和参考文献格式符合期刊规范。

第二轮

审稿人 1 意见：

意见 1：模型图的增加非常好，但对于 AI-supported 的凸显不够，可以加以完善；

回应：非常感谢审稿专家对模型图提出的进一步建议。我们认真重新审视了图 1 后，认同专家所指出的问题。上一轮修改虽然增加了动态协同模型图，但模型主体仍然主要围绕四类心理过程展开，人工智能更多体现为系统运行的外部支持条件，对“AI-supported”的理论特征体现得还不够充分，也未能充分反映人工智能作为学习系统重要参与者的作用位置。

根据专家意见，我们对图 1 进行了重新设计，并同步修改了正文相关论述（见第三部分“动态协同模型” 标红的文字）。修订后的模型不再将人工智能置于模型外围，而是将其作为独立节点纳入模型结构之中，明确人工智能通过反馈、自动化支持和持续交互三种机制进入学习系统，并持续作用于动机激活、认知建构、元认知调节和创造性活动之间的关系，而不仅仅作用于某一个心理过程。与此同时，我们将四类心理过程之间的关系由原来的单向循环调整为双向耦合关系，以体现各心理过程之间持续互动、相互反馈的系统特征。此外，新模型进一步区分了系统可能形成的两种运行轨迹：当人工智能能够促进认知投入、支持元认知监控并激发创造性探索时，系统更容易形成促进理解的积极循环；当人工智能替代必要的认知努力、削弱自主监控或压缩探索空间时，系统则可能逐渐转向认知依赖与浅层加工。这样修改后，模型不仅更加突出人工智能在系统中的作用位置，也更加清晰地呈现了人工智能如何改变心理过程之间的关系结构，并最终影响系统运行方向，更好地体现了“AI-supported Generative Learning”的理论内涵。

再次感谢专家提出这一宝贵意见。我们认为，此次修改进一步强化了本文动态协同模型

的原创性，也使模型图与全文的理论观点保持了更好的一致性。

意见 2：参考文献格式需进一步修改。

回应：感谢审稿专家的细致审阅和提醒。根据专家意见，我们对全文参考文献进行了全面检查和规范调整。具体包括：统一中英文参考文献格式，按照 APA 第 7 版格式要求调整作者、年份、题名、期刊名称、卷期、页码及 DOI 等信息的书写方式；进一步核对了英文文献中的大小写、标点、斜体格式以及在线发表文献的标注方式；同时对中文文献格式进行了统一处理，删除不符合规范的文献类型标识，并完善相关格式细节。通过此次修改，参考文献的规范性和一致性得到进一步提升。

.....

审稿人 2 意见：

本文试图回答一个重要且具有现实意义的问题：为什么生成式人工智能在某些条件下能够促进学习者的理解、投入和创造性，而在另一些条件下又可能导致认知卸载、浅层加工和依赖？作者以传统生成式学习理论为起点，分别讨论动机激活、认知建构、元认知调节和创造性活动，并在此基础上提出“人工智能支持下生成式学习的动态协同模型”。与一般按照技术功能或单一心理变量组织的综述相比，稿件试图将正、负效应放入同一理论框架加以解释，问题意识较为明确，结构也基本形成“理论挑战—心理过程—模型建构—边界条件”的递进关系。尤其值得肯定的是，作者没有简单将人工智能视为必然有益或必然有害的工具，而是强调其作用具有条件性。

回应：感谢审稿专家对本文研究问题、理论框架和整体结构的肯定。专家的评价进一步肯定了本文从动态系统视角解释生成式人工智能双重效应的研究思路。根据后续审稿意见，我们也进一步对模型结构、人工智能作用位置以及边界条件部分进行了补充和完善，以增强动态协同模型的理论清晰度和解释力，使文章能够更加准确地呈现人工智能支持下生成式学习中促进与抑制效应形成的条件与机制。

意见 1：1. 核心问题已经聚焦，但“促进”与“削弱”所指的结果层次仍然混杂，明确区分 AI 使用期间的任务表现与撤除 AI 后的独立学习、即时成绩与延迟保持/迁移、学习投入与真实理解、个体创意质量与群体创意多样性，避免将不同层次的结果笼统视为“双重效应”。

回应：感谢审稿专家指出这一重要的理论边界问题。我们认同原稿中对“促进效应”与“抑制效应”的表述仍然较为宽泛，容易使读者将不同层面的学习结果理解为同一类型的变化。根据专家意见，我们对文章进行了进一步修改。

具体而言，我们在第 1.2 节“生成式学习中的‘双重效应’现象”部分增加了概念澄清，明确指出人工智能支持下生成式学习中的“双重效应”并非指向单一学习结果的简单提

升或下降，而涉及任务表现、学习投入、深层理解、知识迁移、自主学习能力以及创造性发展等不同层面的变化。我们进一步区分了人工智能支持下即时任务表现的提升与撤除人工智能后的独立学习能力发展之间的差异，指出较高的当前表现并不必然意味着更深层次的理解和长期迁移能力提升；同时也区分了创意产出数量增加与创造性质量、创意多样性发展之间的区别。下面这段标红的红字我我们所做的修改：

人工智能支持下生成式学习中的“双重效应”并非指向单一学习结果的简单正负变化，而涉及不同层面的学习过程与发展结果。已有研究中，人工智能带来的积极影响可能表现为任务完成效率提高、即时成绩提升、学习投入增强或创意产出增加；而消极影响则可能表现为独立学习能力下降、认知卸载增加、深层理解不足以及知识迁移受限。不同结果之间并不存在简单对应关系。例如，学习者在人工智能支持下可能完成更高质量的任务，却未必形成更强的自主学习能力；即时反馈可能提高当前表现，却不一定促进长期保持和迁移。因此，本文所讨论的促进与削弱，并非简单比较学习结果的高低，而是关注人工智能如何改变学习过程中动机、认知、元认知与创造性活动之间的关系结构，以及这种变化如何影响学习系统的运行方向。

此外，我们对全文相关表述进行了调整，将原文中较为笼统的“促进”与“削弱”限定为人工智能对学习系统运行状态的不同影响结果。修订后的文章强调，本文关注的并非人工智能是否普遍提升或降低学习效果，而是人工智能如何通过改变动机、认知、元认知和创造性活动之间的关系结构，在不同条件下引发不同层面的学习变化。通过上述修改，我们进一步明确了“双重效应”的理论内涵，也增强了动态协同模型对不同学习结果层次的解释力。最后，我们也根据新修订的文章重写了中英文摘要。

意见 2：2. 将“动态协同模型”真正具体化。明确定义动机、认知、元认知和创造性活动的性质及关系；说明 AI 通过哪些变量进入系统；同时呈现“支架促进”与“认知替代”两类循环；补充时间尺度、反馈机制、转换条件，并提出若干可检验、可证伪的理论命题。- 图 1 需据此重绘：目前仍然没有独立的 AI 节点，也没有“反馈质量、提示形式、答案完整度、自动化程度、人机互动方式”等 AI 变量，更没有显示 AI 究竟作用于哪个节点或哪条关系。图中主要呈现的仍是四类心理活动之间的循环。- 图例将实线标为“主要影响路径（双向互动）”，但图中箭头实际按照动机→认知→元认知→创造性→动机单向排列。若作者认为四类过程彼此耦合，则需要明确哪些关系是双向的，以及各方向的机制是否相同。- “螺旋式上升”只表示良性发展，无法解释抑制效应。

回应：感谢审稿专家对本文核心理论模型提出的深入建议。我们认同原稿虽然提出了“动态协同模型”，但对模型内部结构、人工智能介入方式以及不同运行轨迹的呈现仍不够充分，尤其是原图主要强调了动机、认知、元认知和创造性活动之间的循环关系，对人工智能作为系统参与者的作用位置体现不足。根据专家意见，我们对模型及相关文字进行了系统修改。

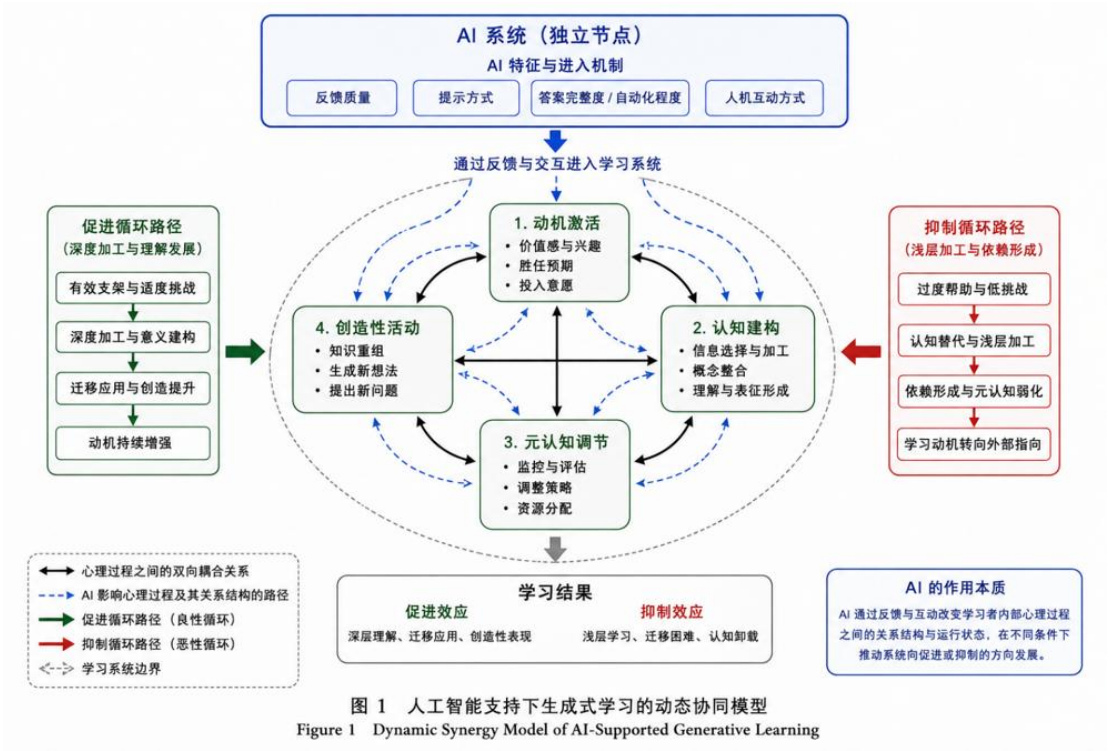


图 1　人工智能支持下生成式学习的动态协同模型

Figure 1　Dynamic Synergy Model of AI-Supported Generative Learning

具体而言，我们进行了以下几个方面的完善：

第一，明确动态协同模型的核心结构。我们在第三部分重新梳理了动机、认知、元认知和创造性活动在生成式学习中的功能定位及相互关系，强调四类心理过程并非线性依次发生，而是在学习过程中形成持续反馈和相互调节的协同系统。修订后的模型不再将四类心理过程简单呈现为单向路径，而是强调其之间的双向耦合关系。例如，动机影响认知投入，认知活动影响元认知判断，元认知调节进一步影响创造性探索，而创造性活动带来的理解深化和成就体验又会反过来影响后续学习动机。

第二，突出人工智能在协同系统中的作用位置。根据专家意见，我们重新绘制了图 1，将人工智能设置为模型中的独立节点，而非外围环境因素，并明确人工智能通过反馈质量、提示方式、自动化程度和人机互动方式等路径进入学习系统。修订后的模型进一步强调，人工智能并非直接作用于某一个心理变量，而是通过改变心理过程之间的联系方式和反馈循环影响整个学习系统的运行状态。

第三，增加对不同运行轨迹的解释。针对原模型中“螺旋式上升”只能体现积极发展的不足，我们删除了单一的上升式表达，改为呈现两种可能的系统运行路径：一类是“支架促进”路径，即人工智能通过提供适度支持促进认知投入、元认知监控和创造性探索，使系统形成积极循环；另一类是“认知替代”路径，即人工智能过度承担分析、判断和生成任务，导致学习者减少必要的认知努力，系统逐渐转向依赖和浅层加工。

第四，补充模型的动态转换机制和理论命题。在第四部分边界条件中进一步讨论了学习

者因素和技术因素如何影响系统运行方向，指出人工智能素养、先验知识、自主学习能力，以及反馈质量、自动化程度和互动方式等因素，可能成为不同运行状态之间转换的重要条件。同时，根据专家建议，我们进一步凝练了模型可检验的理论命题，为未来实证研究提供明确方向。补充了下述内容：

动态协同模型并非假设人工智能支持下的生成式学习必然朝向积极发展，而是认为学习系统可能在不同条件下发生状态转换。人工智能进入学习过程后，其作用效果取决于学习者因素、技术特征和任务要求之间的匹配关系。当学习者具备较高的人工智能素养、较丰富的先验知识和较强的自主学习能力，同时人工智能提供适度反馈和支持性互动时，系统更容易形成“支架促进”路径：人工智能降低信息获取成本，增强学习者的认知投入，并促进元认知监控和创造性探索。相反，当学习者缺乏必要的判断能力，或人工智能承担过多分析、评价和生成任务时，系统可能转向“认知替代”路径，导致学习者减少主动加工，弱化自我监控，并形成技术依赖。

因此，动态协同模型中的关键并非某一因素是否具有促进作用，而是不同因素如何共同影响心理过程之间反馈关系的稳定性。未来研究需要进一步考察这些转换条件在不同时间尺度上的作用方式，例如人工智能支持是否能够促进长期能力发展，还是仅改善短期任务表现。

通过上述修改，动态协同模型不再仅用于描述四类心理过程之间的关系，而是进一步呈现人工智能如何进入学习系统、如何改变心理过程之间的反馈结构，以及为什么同一人工智能环境可能产生促进与抑制两种不同结果。我们认为，这些调整增强了模型的理论完整性，也使图 1 与全文的核心观点保持一致。

意见 3：3. 进一步证明模型的原创性。系统比较本文模型与生成式学习理论、自我调节学习循环、混合人机调节、认知卸载及分布式认知等既有框架，说明本文新增了什么机制，而非仅将既有变量重新排列。

回应：感谢审稿专家指出本文理论原创性阐释不足的问题。我们认同原稿虽然提出了动态协同模型，但对其相对于既有理论的增量贡献说明不够充分。根据专家建议，我们在第三部分增加了模型理论定位的相关论述，系统比较了动态协同模型与生成式学习理论、自我调节学习理论、混合人机调节、分布式认知及认知卸载理论之间的联系与区别。修改后进一步明确，本文模型的核心创新并非增加新的心理变量，而是解释人工智能介入后学习系统内部心理过程之间反馈关系的动态变化，并揭示人工智能支持可能形成“认知支架”或“认知替代”两种不同运行路径的条件机制。下面是修改的文字，插入到了 3.1 的后面：

动态协同模型并非对已有生成式学习理论、自我调节学习理论或分布式认知理论的简单整合，而是试图解释人工智能深度介入后生成式学习心理机制发生的变化。传统生成式学习理论强调学习者通过主动选择、组织和整合信息建构知识，揭示了学习者内部认知加工的重要作用；自我调节学习理论进一步强调目标设定、过程监控和策略调整对学习发展的调节作

用。然而，这些理论主要关注学习者自身的心理活动，较少涉及人工智能作为持续参与者进入学习过程后，心理活动之间的关系如何发生变化。与混合人机调节和分布式认知理论相比，动态协同模型关注的并非认知任务简单地在人与技术之间重新分配，而是人工智能如何通过反馈、提示、自动化和互动方式改变动机、认知、元认知与创造性活动之间的反馈结构。与此同时，认知卸载理论主要解释个体如何借助外部工具降低认知负担，而动态协同模型则关注外部支持何时能够转化为促进理解的认知支架，何时又可能演变为削弱主动加工的认知替代。因此，本文模型的核心贡献并不在于增加新的心理变量，而在于揭示人工智能介入后学习系统内部关系结构的动态变化，并解释同一技术环境为何可能引发促进理解与形成依赖两种不同的发展路径。

意见 4：4. 提高文献整合与证据分级质量。简要交代文献检索和筛选方式；按照研究设计、AI 介入方式、结果类型、测量时间和证据强度整理核心研究。减少“某研究发现……”式罗列，明确区分实证结论、综合推断和模型假设。

回应：感谢审稿专家指出文献整合和证据分级方面的问题。我们认同原稿部分内容存在以单项研究结果支持理论观点的倾向，对不同类型证据之间的区别呈现不足。根据专家建议，我们对文章进行了调整：首先，在引言部分补充了文献选择范围和整合原则，说明本文主要关注人工智能介入学习过程后影响动机、认知、元认知和创造性活动的相关理论与实证研究。其次，在正文中减少简单的“某研究发现”式表述，改为围绕研究设计、AI 介入方式及结果类型进行综合分析，进一步区分即时学习表现与长期能力发展、学习投入与深层理解等不同结果层次。最后，我们对文中的论述层级进行了调整，明确区分已有实证结论、基于多项研究的综合推断以及本文动态协同模型提出的理论假设，以增强论证的严谨性。

引言部分新增加的内容：

本文围绕人工智能支持生成式学习中的心理机制问题，对近年来生成式人工智能、生成式学习、自我调节学习和人工智能教育应用领域的相关研究进行综合分析。文献选择主要关注人工智能介入学习过程后对动机、认知、元认知和创造性活动产生影响的理论与实证研究，并结合实验研究、准实验研究、元分析和理论研究等不同类型证据进行综合讨论。本文并非旨在统计人工智能对学习结果的总体效应，而是试图解释不同心理过程如何在人机互动过程中形成动态协同关系。

修改的文字：

如果人工智能能够提供即时反馈、个性化支持和持续互动，生成式学习似乎应当获得更有利的发展条件。近年来，不同研究设计均观察到人工智能支持学习的积极作用，但这种作用主要体现在不同层面的学习结果之中。基于学习过程数据和问卷调查的实证研究发现，学习者与生成式人工智能的互动能够通过提升自我效能感和认知投入促进学习表现（Liang et al., 2023）；针对人工智能支持的协同生成活动的研究进一步表明，生成式互动有助于增强学

习参与并促进知识理解（Jin & Zhong, 2025）。此外，围绕智能聊天机器人和个性化反馈的实验研究发现，持续反馈和适应性支持能够提高学习投入并改善即时学习表现（Dahri et al., 2025），而教育情境中的应用研究也提示，生成式 AI 可能帮助学习者加深对学科知识的理解（武立毅, 2026）。这些研究主要关注人工智能使用过程中的任务表现、学习投入和知识理解，表明人工智能能够通过降低信息获取成本、提供认知支持和促进互动交流，为生成式学习提供新的条件。然而，另一类研究开始关注人工智能支持可能带来的长期影响和心理过程变化。相关调查研究和理论分析指出，学习者在频繁获得人工智能帮助后，可能减少主动加工和独立判断，出现对外部系统的依赖倾向（Revesai, 2025）。Yan 等（2024）基于综合分析指出，生成式人工智能虽然能够提高学习效率，但也可能削弱学习者主动建构知识的过程；George 等（2024）和 Gerlich（2025）的研究则提示我们，过度依赖技术支持可能影响批判性思维、问题解决和创造性发展。这些研究关注的并非即时任务完成，而是认知过程、自主学习能力和长期能力发展的变化。由此可见，人工智能支持生成式学习所产生的积极与消极效应并不矛盾，而是取决于研究关注的结果层次、人工智能介入方式以及学习过程中的使用条件。人工智能既可能通过反馈和支架促进理解，也可能因替代必要的认知加工而削弱生成式学习赖以发生的心理过程。这一现象意味着，当前研究真正需要解释的问题已经不再是人工智能是否有效，而是人工智能为何会产生方向不同的学习结果。如果人工智能只是单纯增加信息供给，那么促进效应与抑制效应本不应同时出现；如果人工智能只是外部工具，那么学习结果的差异也难以如此显著。生成式学习所面对的挑战正在于此：人工智能所改变的可能不仅是学习资源的获取方式，也不仅是学习活动的组织形式，而是学习过程中不同心理活动之间原有的关系结构。当动机、认知、元认知以及创造性活动同时受到人工智能介入的影响时，促进与抑制并非彼此对立的两种结果，而是同一心理系统在不同条件下表现出的不同状态。对这一现象的理解，也构成了重新审视生成式学习心理机制的重要起点。

自我决定理论认为，胜任感是维持内在动机的重要基础，当学习者相信自己能够理解和解决问题时，更容易持续投入学习活动（Deci & Ryan, 2000）。围绕生成式人工智能的实证研究则表明，人工智能提供的反馈、解释和个性化支持可能通过增强学习者的自我效能感和认知投入促进学习表现（Liang et al., 2023）；针对智能聊天机器人的研究也发现，及时回应和持续互动能够提高学习参与意愿（Dahri et al., 2025）。这些研究主要关注人工智能使用过程中的学习投入和即时表现，提示人工智能可能通过降低任务不确定性和增强胜任体验激活动机过程。这样来看，人工智能的作用并不只是提供信息资源，也可能通过改变学习者对任务难度和自身能力的感知，降低生成式学习的启动门槛，使原本可能因困难和挫折而中断的学习活动获得持续发展的机会。

生成式学习不仅要求学习者开展认知加工，还要求学习者能够监控和评价自身的加工过程，这体现为元认知活动。Flavell（1979）将元认知界定为个体对自身认知活动的认识与监控，后续研究进一步指出，计划、监控和评价共同构成学习持续调节和优化的重要机制（Schraw & Dennison, 1994）。从生成式学习视角来看，元认知并非认知活动之外的附加环

节，而是推动学习者从解释走向反思、从知识组织走向知识重组的重要条件。已有理论研究表明，学习者能否持续觉察自身理解状态，并据此调整学习策略，是影响深层学习发生的重要因素。

人工智能的介入为元认知调节提供了新的支持方式，但其作用主要体现在帮助学习者获得反馈和开展自我检查。学习者可以借助人工智能解释概念、比较观点或检验推理过程，并通过持续互动发现自身理解中的不足。已有实证研究发现，人工智能支持的个性化反馈能够促进学习者进行目标设定、学习监控和策略调整（Chang et al., 2023）；相关智能学习环境研究也表明，及时反馈有助于学习者识别理解薄弱环节并优化学习过程（Roll & Wylie, 2016）。这些研究主要关注学习过程中的元认知行为变化，提示人工智能可能成为促进元认知监控的支持工具，但其能否进一步提升学习者稳定的元认知能力，仍需要更多长期研究加以验证。

以往学习研究更多将动机、认知、元认知和创造性活动作为相对独立的心理过程加以考察，例如关注学习兴趣如何影响投入、认知加工如何促进理解、元认知监控如何调节学习表现，以及创造性活动如何推动知识迁移。这种变量取向有助于识别不同心理因素的作用，也便于研究者开展实验控制，但其主要反映的是研究分析的需要，并不完全对应真实学习过程的运行方式。在实际学习中，学习者不会按照“动机激活—认知加工—元认知监控—创造性活动”的固定顺序展开学习，而是在理解、判断和调整的过程中不断协调不同心理活动。例如，学习者尝试理解某一概念时，既受到学习目标和兴趣的驱动，也会根据自身理解状态调整加工策略，并在新的认识基础上形成进一步探索。已有关于数字学习环境和自我调节学习的研究表明，学习表现并非由单一心理变量决定，而更多取决于动机、认知和元认知活动之间的动态协调（Johnson & Davies, 2014）。相关理论研究进一步指出，自我调节学习具有持续变化和反馈调节的特征，不同心理活动之间存在时间上的依赖关系和相互影响（Molenaar, 2022）。这些研究为理解生成式学习提供了重要启示，即学习的关键并不只是某一心理过程是否发挥作用，而在于不同心理过程如何形成协同关系。

基于这一视角，动机、认知、元认知与创造性活动可以被理解为一个持续运行的心理系统。动机为认知投入提供方向，认知加工推动知识理解，理解的发展又促使学习者不断监控和调整自身策略；在此基础上，学习者通过知识重组和观点转换形成创造性成果，而新的发现和成就体验又可能反过来强化后续学习动机。已有创造性研究表明，创造性发展并非独立发生，而往往伴随知识建构、自我调节和学习动机的共同变化（Beghetto, 2018）。因此，生成式学习并不是若干心理模块的简单叠加，而是一个在反馈、调整和重组中不断发展的动态系统。

人工智能在学习过程中的作用并不局限于信息提供，而是逐渐表现出持续互动和反馈支持的特征。学习者提出问题时，系统能够生成回应；学习者调整观点时，系统可以进一步改变解释方式；这种连续互动使学习活动由单向的信息获取转向动态交流过程。近年来，围绕教育聊天机器人的研究和理论分析开始关注人工智能作为互动性学习资源的可能作用，指出

学习者可能逐渐将人工智能视为问题解决和知识建构过程中的参与对象，而非单纯的信息工具（Holmes et al., 2020）。不过，现有证据更多支持人工智能改变学习互动形式这一判断，对于这种互动是否能够稳定促进深层理解仍需要更多实证研究验证。从动态协同模型的视角来看，人工智能带来的关键变化并不只是信息获取效率的提升，而是学习活动组织方式的变化：学习者开始在与智能系统的持续互动中调整理解、检验观点和推进知识建构，人工智能由此进入学习过程的反馈循环之中。

人工智能作为互动参与者的作用在创造性活动中表现得尤为明显。在开放性任务中，学习者可以借助人工智能生成初步想法、比较不同方案并调整表达方式，创造过程由单纯依赖个体内部加工逐渐转向人与智能系统共同参与的探索过程。围绕这一变化，Mollick 和 Mollick（2023）提出“协同创造”（co-creation）的概念，认为生成式人工智能能够作为创意过程中的支持者，帮助学习者拓展思路并优化表达。进一步的实验研究发现，在开放性创造任务中，人工智能参与能够影响学习者的创意产出和作品特征（Doshi & Hauser, 2024）。不过，现有研究主要关注人工智能对创意结果的影响，对于人工智能如何改变创造过程中的知识重组、评价选择和意义建构机制仍缺乏充分证据。因此，人工智能并非替代学习者完成创造，而是改变了创造活动发生的条件和互动方式；创造性结果仍取决于学习者能否对人工智能生成内容进行筛选、整合和重新解释。

同样使用人工智能开展学习，不同学习者之所以可能进入不同的发展路径，首先与其能否对人工智能输出保持必要的判断能力有关。生成式人工智能能够快速提供信息和建议，但其输出并不必然适用于所有学习任务，学习者仍需要分析、评价和验证这些内容。关于人工智能素养的研究指出，AI 素养不仅涉及对技术原理的理解，也包括判断人工智能输出可靠性、合理性以及适切性的能力（Ng et al., 2021）。对于生成式学习而言，这种能力决定了人工智能输出以何种方式进入学习过程：当学习者缺乏必要的评价能力时，系统生成内容可能被直接接受为答案；而当学习者能够主动审视和修正这些内容时，人工智能则更可能成为促进思考的认知资源。由此可见，AI 素养影响的并非人工智能是否被使用，而是学习者与人工智能之间能否形成有效互动。

然而，能够判断人工智能输出并不意味着学习者一定能够形成深入理解。学习者还需要将外部信息与已有知识结构建立联系，而这一过程受到先验知识水平的影响。认知心理学研究长期表明，专家与新手之间的差异不仅表现为知识数量，更体现在知识组织方式和问题表征能力上的差异（Chi et al., 1981）。面对相同的人工智能反馈，知识基础较丰富的学习者更可能将其作为分析、比较和推理的材料，而知识基础不足的学习者则可能更依赖系统提供的解释。这表明，先验知识不仅影响学习者理解人工智能输出的能力，也影响其发现问题、提出质疑和生成新联系的可能性。

即使学习者具备判断能力和一定知识基础，生成式学习仍取决于其是否能够持续维持主动调节。人工智能可以提供信息支持和认知支架，但无法替代学习者完成目标设定、过程监

控和策略调整。关于在线学习的元分析研究表明，自我调节学习策略与学习成效之间存在稳定关系（Broadbent & Poon, 2015）；近期关于生成式人工智能使用的研究也提示，自主学习能力较强的学习者更倾向于将人工智能作为辅助思考的工具，而非直接获取答案的渠道（Wang et al., 2025）。因此，学习者真正需要驾驭的不仅是人工智能本身，也是自身与人工智能之间的互动关系。当学习者能够保持对学习目标、认知过程和理解状态的主动调节时，人工智能更可能进入促进理解的反馈循环；反之，当人工智能承担过多判断和加工任务时，系统则可能走向认知替代和学习依赖（Er, 2023）。从动态协同模型来看，AI 素养、先验知识和自主学习能力并非彼此独立的影响因素，而是共同决定学习系统能否形成积极运行轨迹的重要条件。

人工智能进入学习活动后，首先表现为一种能够持续回应的反馈资源。学习者提出问题、表达观点或完成任务后，系统能够根据当前输入提供解释、提示和修正建议。与传统学习环境中的反馈相比，人工智能反馈具有即时性和交互性，但其是否能够促进学习，关键并不在于反馈数量，而在于反馈是否能够支持学习者理解问题、调整策略和推进后续加工。反馈理论指出，有效反馈不仅需要说明当前表现，更需要帮助学习者明确改进方向（Hattie & Timperley, 2007）。相关人工智能教育研究进一步表明，具有解释性和适应性的反馈更可能促进深层加工和知识迁移（Khosravi et al., 2022）。这些研究主要支持人工智能作为认知支架的积极作用，提示人工智能反馈可能通过增强学习者的理解、投入和自我监控，改变动机、认知与元认知活动之间的联系。但需要指出的是，反馈本身并不会自动转化为元认知调节，学习者是否主动解释、评价和修正系统输出，仍决定了反馈能否真正进入生成式学习过程。

随着人工智能参与程度的提高，其作用逐渐从提供反馈扩展到参与部分学习活动。生成式人工智能能够帮助学习者完成资料整理、观点归纳和方案生成等任务，使部分原本需要学习者独立完成的认知活动由人机共同承担。自动化研究表明，技术支持虽然能够降低任务负荷，但也可能改变个体对任务过程的参与方式和监控程度（Parasuraman et al., 2000）。在生成式人工智能情境下，这一问题表现为：当系统承担过多分析、评价和生成任务时，学习者可能减少必要的认知加工，并降低对自身理解状态的检查。已有研究和理论讨论提示，过度依赖人工智能可能增加认知卸载风险，使认知建构与元认知监控之间原有的反馈循环受到影响。因此，人工智能自动化程度的提高并不必然带来更高水平的学习效率，其作用取决于自动化是否支持学习者完成更高层次加工，还是替代了学习者本应承担的思考过程。

以上是我们根据专家意见进行的修改。感谢审稿专家指出文献整合与证据分级方面的问题。我们根据专家建议对全文的文献组织方式进行了调整，在正文中减少了简单的“某研究发现”式罗列，改为围绕人工智能介入方式、研究证据类型及学习结果层次进行综合分析。修订过程中，我们进一步区分了理论研究、实证研究、元分析研究和应用研究所提供的不同类型证据，并注意区分即时学习表现、学习投入、知识理解以及长期能力发展等不同结果层面。同时，对相关表述进行了规范，将已有研究支持的经验结论、基于多项研究形成的综合

推断以及本文动态协同模型提出的理论解释加以区分，避免将理论假设与实证发现混同，从而增强文章的证据基础和理论论证的严谨性。

第三轮

审稿人 2 意见：

总回应：非常感谢审稿专家对修改稿的再次细致审阅，也感谢专家对本文问题意识、结构框架和理论定位所给予的肯定。经过前两轮修改，我们深切感受到，专家提出的意见不仅帮助我们发现了原稿在问题聚焦和理论论证方面的不足，也持续推动我们重新思考动态协同模型究竟能够解释什么、通过何种机制进行解释以及如何形成具有预测力的理论框架。在专家的指导下，文章已经从最初较为分散的心理机制综述，逐步形成围绕“人工智能为何既可能促进生成式学习，也可能削弱生成式学习”这一核心问题展开的理论论证，文章的整体论证质量和理论清晰度均有了明显提升。对此，我们十分感谢专家付出的时间和辛苦劳动。

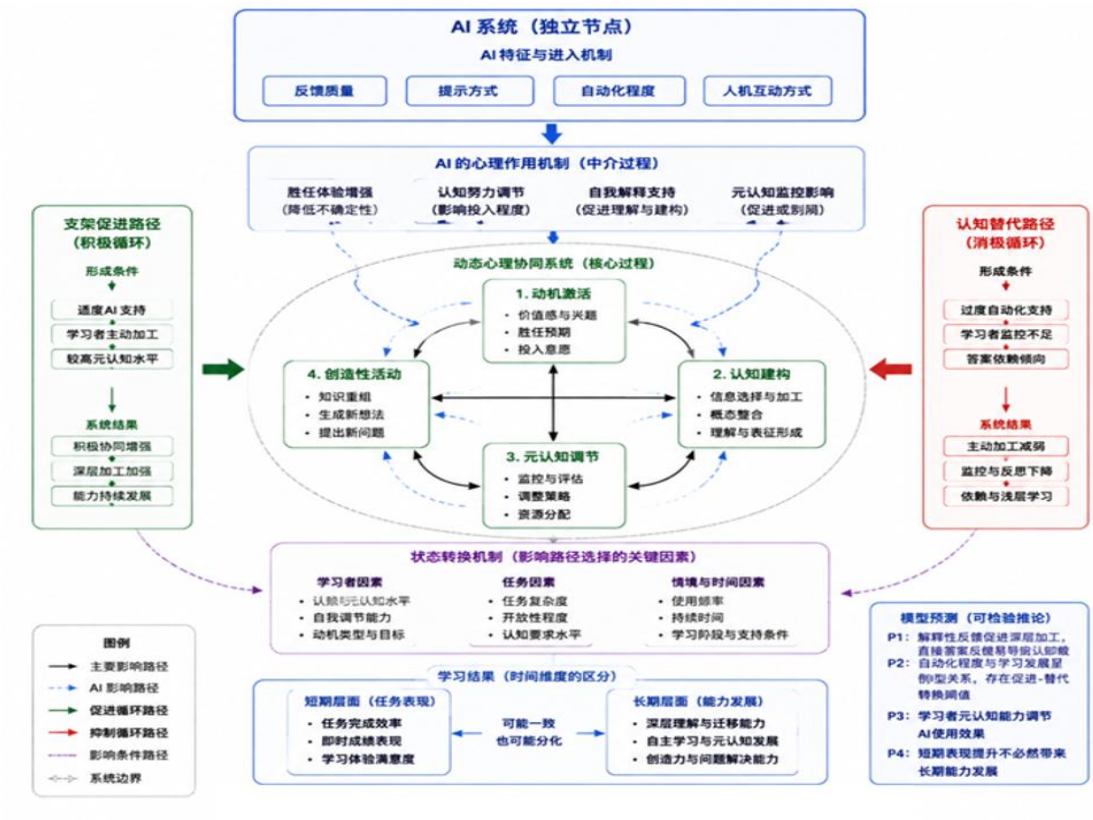


图1　人工智能支持下生成式学习的动态协同模型

对于本轮提出的动态协同模型具体化程度仍然不足的问题，我们认真研读后认为，这些意见触及了本文理论建构的核心。现有模型虽然已经初步建立了人工智能、四类心理过程以及促进与抑制效应之间的联系，但在具体作用路径、心理机制、状态转换、时间尺度以及可检验预测等方面确实还有进一步深化的空间。根据专家意见，我们再次对模型图及相关正文进行了修改和补充，力求使动态协同模型由较为概括的概念框架进一步发展为具有较明确变量关系、作用机制、动态转换条件和理论预测的解释模型。下面是我们修改后的模型：

针对审稿专家关于“动态协同模型具体化程度不足”的意见，我们对图 1 进行了进一步修订，以增强模型的机制解释力和理论预测能力。修改主要体现在以下几个方面：首先，进一步强化人工智能在模型中的独立作用节点，将 AI 特征与进入机制进行了细化，明确区分反馈质量、提示方式、自动化程度和人机互动方式等关键技术变量，说明人工智能并非直接影响学习结果，而是通过特定作用机制进入生成式学习系统。其次，在 AI 与心理过程之间增加“中介机制”层，补充胜任体验增强、认知努力调节、自我解释支持和元认知监控影响等心理作用路径，以解释人工智能如何影响动机激活、认知建构、元认知调节和创造性活动之间的动态关系。再次，对原有“支架促进”和“认知替代”两种运行路径进行了深化，不仅呈现两种不同结果，还进一步补充了其形成条件，说明适度支持、主动加工和较高元认知水平可能促进积极循环，而过度自动化、学习者监控不足和答案依赖则可能导致认知替代。与此同时，增加了状态转换机制，纳入学习者因素、任务因素和情境与时间因素，以说明系统运行方向如何受到不同条件影响。最后，根据专家关于动态性的建议，对学习结果进行了时间维度区分，将短期任务表现与长期能力发展加以区分，并补充了基于模型提出的可检验理论预测，使模型由原来的概念框架发展为具有输入变量、心理机制、状态转换和结果预测的动态协同模型。通过上述调整，图 1 能够更加清晰地体现人工智能如何改变学习过程中不同心理活动之间的反馈关系，以及为何可能产生促进理解或认知替代两种不同的发展路径。

以下对专家提出的具体意见逐一回应。

意见 1：首先，动态协同模型仍较多停留在概念框架层面。作者提出动机、认知、元认知和创造性活动之间存在反馈循环，并指出 AI 通过反馈、提示、自动化支持和互动方式影响系统运行，但不同心理过程之间的具体作用路径、AI 不同功能如何作用于不同心理过程，以及这些关系之间的中介和调节机制仍不够明确。建议进一步细化模型结构，明确输入变量、心理过程变量和学习结果之间的关系。

回应：感谢审稿专家指出动态协同模型在具体作用机制方面仍需深化的问题。我们认同，上一轮修改虽然明确了人工智能作为独立节点进入学习系统，并提出反馈质量、提示方式、答案完整度/自动化程度和人机互动方式等 AI 特征，但对于这些输入变量如何影响不同心理过程、心理过程之间如何传导，以及最终形成何种学习结果，论述仍偏重整体框架，具体作用路径尚不够清晰。根据专家意见，本轮修改将模型由“要素及关系的描述”推进到“输入—心理过程—结果”的机制解释。

我们在第三部分**新增“3.4 动态协同模型的作用路径与心理机制”**，明确了模型中的三类变量及其关系：将反馈质量、提示方式、答案完整度/自动化程度和人机互动方式界定为人工智能进入学习系统的主要输入变量；将动机激活、认知建构、元认知调节和创造性活动界定为相互耦合的心理过程变量；将深层理解、迁移应用、创造性表现以及浅层加工、认知卸载等作为不同方向的学习结果。并且不再笼统表述“AI 影响四类心理过程”，而是深入分析不同 AI 特征的主要作用路径，例如反馈质量主要通过降低任务不确定性、增强胜任体验影响动机与认知投入，提示方式和答案完整度通过改变学习者自主加工的空间影响认知建构及其与元认知监控的联系，人机互动方式则通过追问、解释和观点比较影响元认知调节与创造性探索。同时，我们补充了模型中的中介与调节机制。修订稿将认知投入、深层加工和元认知监控作为人工智能影响学习结果的重要过程机制，并将学习者的 AI 素养、先验知识、自我调节能力以及任务复杂度等作为影响作用方向和强度的重要条件。这样一来，同一种 AI 支持并不必然产生相同结果，而可能因学习者和任务条件不同形成“支架促进”或“认知替代”两种运行路径。我们也同步调整了图 1，使其更加清楚地呈现“AI 特征输入—心理过程耦合—促进/抑制结果”之间的关系。通过这些修改，希望使动态协同模型不再停留于四类心理活动及其循环关系的概念描述，而能够较为具体地说明人工智能通过什么变量进入系统、经由什么心理过程发挥作用、在什么条件下产生不同学习结果，从而增强模型的机制解释力。

意见 2：其次，模型中的“动态性”仍需加强。目前文章强调系统演化和状态转换，但尚未充分说明“支架促进”与“认知替代”两种路径如何形成、何时转换以及受到哪些时间因素影响。建议补充对短期任务表现与长期能力发展的区分，并进一步阐述状态转换机制。

回应：感谢审稿专家对模型“动态性”提出的进一步建议。我们认同，上一轮修改虽然区分了“支架促进”与“认知替代”两种运行路径，但对两种路径如何形成、在什么条件下发生转换，以及这种转换如何随时间发展，说明仍不够充分。**根据专家意见，本轮修改强化了动态协同模型的状态转换机制和时间维度。**

修订稿明确，“支架促进”与“认知替代”并不是两种固定、彼此割裂的学习模式，而是同一学习系统在不同条件下可能形成并相互转换的运行状态。当 AI 提供适度提示、解释性反馈和支持性互动，同时保留学习者必要的解释、判断和生成空间时，认知投入与元认知监控得到维持，系统更容易进入“支架促进”路径；当 AI 提供过于完整的答案、自动化程度过高，或者持续替代学习者本应完成的分析、评价和生成活动时，学习者的认知努力和自我监控可能会慢慢下降，系统则可能由“支架促进”转向“认知替代”。反过来，通过降低自动化程度、增加解释要求、延迟直接答案以及强化学习者的自我检查，也可能使系统重新回到积极运行状态。这样一来，**我们将模型的动态性具体落实为心理过程之间反馈关系随 AI 使用方式和学习条件变化而发生的状态转换**。

同时，我们在修订中进一步引入了时间尺度，明确区分 AI 使用期间的短期任务表现与撤除 AI 后的长期能力发展。文章强调，AI 支持可能在短期内通过降低任务负荷、提高信息

获取效率而改善任务成绩，但这种即时优势并不必然转化为长期的深层理解、知识保持、迁移能力和自主学习能力；如果学习者在反复使用 AI 的过程中持续减少自主加工和元认知监控，短期的“促进”甚至可能会累积为长期的认知依赖。相反，如果 AI 支持能够随着学习进程慢慢撤除，并促使学习者将外部支架转化为内部能力，则短期支持更可能发展为长期能力提升。**通过上述修改，我们进一步回答了两类路径如何形成、何时转换以及如何随时间累积和演化的问题，使“动态协同”不仅表现为空间上的多心理过程互动，也体现为时间上的状态变化与发展过程。**

意见 3：第三，建议增加若干可检验的理论命题，以增强模型的预测力。例如，AI 反馈何时促进深层加工、何时导致认知卸载；自动化程度是否存在促进与抑制之间的阈值；学习者元认知能力如何调节 AI 使用效果等。理论综述不仅需要整合已有研究，也应提出未来研究可以验证的具体预测。

回应：感谢审稿专家提出这一重要建议。我们接受专家关于增强模型可检验性和预测力的意见，并在修订稿相关部分补充了基于动态协同模型形成的若干理论推论，使模型不仅能够解释已有研究中人工智能促进与抑制效应并存的现象，也能够对未来研究作出较为明确预测。

修订稿围绕三个关键问题作出了更清晰的理论判断：一是区分不同 AI 反馈方式可能产生的学习效应，提出当反馈保留解释、比较和反思空间时，更可能促进自我解释、元认知监控和深层加工；而直接提供完整答案、替代判断和推理时，则更可能减少必要的认知努力并产生认知卸载。二是提出 AI 自动化程度与学习发展之间可能并非简单的线性关系，适度自动化有助于释放认知资源，但过高的自动化程度可能压缩学习者主动加工和策略调节的空间，因此其促进效应与抑制效应之间可能存在一定的临界范围。三是明确提出学习者元认知能力具有调节作用，元认知监控能力较强的学习者更可能对 AI 输出进行比较、评价和修正，而元认知水平较低的学习者则更容易直接接受系统生成内容。此外，我们还将短期任务收益与长期能力发展纳入理论预测，提出 AI 带来的即时效率和任务表现优势，只有在学习者持续参与理解、反思和知识重组的条件下，才更可能转化为稳定的迁移能力和自主学习能力。

通过这一修改，本文提出的动态协同模型不再仅用于概括已有研究，而是形成了关于反馈方式、自动化程度、元认知调节以及短期表现与长期发展关系的可检验判断。这些判断均可通过不同反馈条件和自动化水平的实验操纵、学习者元认知水平的交互效应检验，以及纵向追踪和延迟测验等研究设计加以验证，也为模型今后的修正和完善提供了经验依据。

意见 4：总体而言，本文经过修改后已有较好的理论基础，但动态协同模型仍需进一步从“概念描述”发展为“具有明确机制和可检验预测的理论模型”。建议作者围绕上述问题进一步完善，以增强论文的理论创新性和解释力。

回应：感谢审稿专家对本文修改工作的肯定以及对动态协同模型完善方向的指导。专家的意见帮助我们更加清楚地认识到，理论模型不仅需要对已有现象作出整合性解释，还应具有明

确的作用机制和可检验的理论预测。我们已围绕上述意见对模型及相关论述进行了认真修改和补充。再次感谢专家细致、专业的审阅与指导，这些建议对于提升本文的理论严谨性、创新性和解释力具有重要帮助。

第四轮

外审专家 2 意见：同意发表。

编委 1 意见：同意发表。

编委 2 意见：作者进行了多轮认真修改，编委仍有以下建议：

意见：文中动态协同模型的构建 3.3-3.5 部分涉及作用路径与心理机制、状态转换机制，没有一篇文献引用，导致读者难以判断这些关系是有据可循的推论还是纯属作者个人的设想。

建议在这部分回溯核心路径的文献依据，增强模型的理论可信度。

回应：感谢专家的细致与耐心，意见非常准确：目前的文章已经明确提出“AI 特征输入—心理过程—支架促进/认知替代—状态转换—短期/长期结果”的理论链条，但正文对这些关系主要采取理论陈述，没有在关键转折处回溯经验研究，因此读者确实不容易分辨哪些是“已有证据支持的关系”，哪些是“本文在证据基础上的综合推论”。我进一步查找相关文献，确认下面这 7 篇文献可支持这个部分的观点，下面是查找的结果：

1. Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H., Kabakcı, Ö., & Mariman, R. (2025). Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *122*(26), e2422633122.

该研究通过近千名高中生参与的现场实验比较了不同生成式 AI 支持方式。结果发现，学生在使用 GPT 完成数学任务时，当前任务表现明显提高，但在撤除 AI 支持后的独立测试中，使用普通 GPT 的学生反而表现较差；而采用具有学习保护机制的 GPT Tutor 后，这种负面效应得到明显缓解。这项研究为本文模型中的“支架促进—认知替代”两种状态提供了非常直接的实证依据，说明 AI 是否促进学习并不单纯取决于是否使用 AI，而与 AI 提供答案和支架的方式有关。同时，该研究也直接支持本文区分“AI 支持期间的即时任务表现”与“撤除 AI 后的独立学习能力”，说明短期表现改善并不必然转化为长期学习收益。

2. Fan, Y., Tang, L., Le, H., Shen, K., Tan, S., Zhao, Y., ... & Gašević, D. (2025). Beware of metacognitive laziness: Effects of generative artificial intelligence on learning motivation, processes, and performance. *British Journal of Educational Technology*, *56*(2), 489-530.

使用随机实验设计，这项研究将 117 名大学生置于 ChatGPT、人类专家、写作分析工具

和无额外支持等不同条件下，比较学习动机、自我调节过程和学习表现。结果表明，ChatGPT能够明显改善作文任务成绩，但在知识获得和迁移方面并未表现出显著优势，不同支持条件还形成了不同的自我调节学习行为序列。作者特别提出生成式 AI 可能诱发“元认知惰性”。这一发现支持本文关于“任务表现与真实学习不能等同”的判断，也为“AI 介入→自我调节和元认知过程变化→不同学习结果”的机制提供经验依据，有助于解释为什么 AI 能够提高当前产出，却不一定促进知识迁移和长期能力发展。

3. Gerlich, M. (2025a). From offloading to engagement: An experimental study on structured prompting and critical reasoning with generative AI. *Data*, *10*(11), 172.

该研究通过实验比较无 AI、无引导 AI、结构化提示 AI 等不同条件，发现 AI 的作用方向会随着互动方式发生变化：缺少引导的 AI 使用更容易伴随认知卸载，而结构化提示能够增加反思性投入和批判性加工。这项研究尤其能够支持本文将“提示方式”作为 AI 输入变量的理论处理。它说明 AI 并非直接决定学习者是否进行深层加工，同样的生成式 AI 在不同提示和交互设计下，可以改变学习者承担的认知责任及主动加工水平，从而使 AI 支持更接近认知支架或认知替代。

4. Jang, H., & So, H. J. (2025). Adaptive Scaffolding with Generative AI Chatbot for Solving Ill-Structured Problems. In *Proceedings of the 19th International Conference of the Learning Sciences-ICLS 2025, pp. 1555-1559*. International Society of the Learning Sciences.

文章考察了生成式 AI 聊天机器人在结构不良问题解决中的自适应支架作用。证明，当 AI 并非简单提供答案，而是在问题表征、方案生成、论证以及监控评价等阶段提供适应性提示时，学习者会表现出更多分析和精加工活动；相比之下，普通聊天机器人条件下的学习者更倾向于直接寻求信息和解决方案。这为本文“提示方式和答案完整程度通过改变自主加工空间影响认知建构与元认知监控”的判断提供了较直接的依据，也说明 AI 反馈只有在保留解释、判断和问题解决空间时才更可能发挥支架功能。

5. Xu, X., Qiao, L., Cheng, N., Liu, H., & Zhao, W. (2025). Enhancing self-regulated learning and learning experience in generative AI environments: The critical role of metacognitive support. *British Journal of Educational Technology*, *56*(5), 1842-1863.

研究者开展了为期 4 周的准实验。他们将 68 名大学生分为具有明确元认知支持和没有元认知提示的生成式 AI 学习条件。结果发现，虽然两组学业成绩差异并不显著，但接受元认知支持的学习者在任务策略、自我评价和自我调节学习能力方面表现更好；缺乏元认知支持时，学习者的自我调节水平存在下降风险。这项研究可以直接支撑本文将“元认知监控”视为 AI 影响学习效果的重要过程机制，也说明相同的 AI 环境并不会自动产生相同结果，是否保留并强化学习者的监控、评价和策略调节活动，是 AI 由外部支持转化为有效学习支架的重要条件。

6. Prather, J., Reeves, B. N., Leinonen, J., MacNeil, S., Randrianasolo, A. S., Becker, B. A., ... & Briggs, B. (2024). The widening gap: The benefits and harms of generative ai for novice programmers. In *Proceedings of the 2024 ACM Conference on International Computing Education Research-Volume 1* (pp. 469-486).

21 名编程初学者的实验室观察、访谈和眼动研究。能力较强者能利用 GenAI 加速既有思路并拒绝错误建议；遇到困难的学生则更容易出现元认知困难、能力错觉和过度依赖。支持了 3.5 中的状态转换条件：AI 产生支架还是替代，与学习者原有能力、知识基础和元认知判断有关。避免模型给人“技术决定论”的感觉。

7. Feng, S. (2025). Group interaction patterns in generative AI-supported collaborative problem solving: Network analysis of the interactions among students and a GAI chatbot. *British Journal of Educational Technology*, *56*(5), 2125-2145.

小组合作问题解决中的网络分析发现，GAI 进入后形成明显的“AI 中心型互动”，学生与聊天机器人的互动多于与同伴互动；AI 同时参与认知、元认知和社会情绪互动。支持了 3.3 的观点：AI 不是只影响某个单独心理变量，而会改变学习活动中不同过程和参与者之间的关系结构。

编委 2 意见：同意发表。

主编意见：文章经过多轮修改与评审，基本达到《心理科学进展》的要求，建议录用。