

多智能体系统如何塑造未来教师？——AI-TPACK 素养提升的实验研究

How Do Multi-Agent Systems Shape Future Teachers? — An Experimental Study on AI-TPACK Competency Development

陈小娇¹, 陈思^{1*}, 王成梁², 王浩名²,

¹浙江工业大学 教育学院

²华东师范大学 教育学部

* sichen@zjut.edu.cn

【摘要】 人工智能（GAI）正推动教师教育向智能化转型，但职前教师在教学设计中仍面临 AI 工具整合能力不足、教学方法选择受限、教学设计创新性不足等挑战。如何借助智能系统提升其 AI-TPACK 素养，已成为教师教育领域亟待解决的问题。本研究构建了一个基于多智能体系统（MAS）的教学设计支持工具，其中包括学科知识智能体（CK-Agent）、教学方法智能体（PK-Agent）和教学工具智能体（TK-Agent），协同支持教师的教学设计过程。实验招募 20 位职前教师，随机分为实验组（使用 MAS）和对照组（使用传统工具），要求他们完成教学设计任务，并基于 AI-TPACK 框架进行教学方案评估。此外，实验组在干预前后进行了 AI-TPACK 素养测评。研究结果表明，MAS 能有效提升职前教师的教学设计质量，并显著促进 AI-TPACK 素养的发展。本研究的贡献在于验证了 MAS 在教师教育中的可行性，拓展了 AI-TPACK 的应用场景，并为未来智能教师培训系统的设计提供了实证依据。

【关键词】 多智能体系统；AI-TPACK 素养；职前教师；教学设计；人工智能

Abstract: Artificial intelligence (GAI) is driving the intelligent transformation of teacher education, but pre-service teachers still face challenges in integrating AI tools, selecting teaching methods, and fostering innovation in instructional design. Addressing how intelligent systems can enhance their AI-TPACK literacy has become a critical issue in teacher education. This study developed a multi-agent system (MAS)-based teaching design support tool, which includes subject knowledge agents (CK-Agent), teaching method agents (PK-Agent), and teaching tool agents (TK-Agent), working collaboratively to support the teaching design process. The experiment involved 20 pre-service teachers, randomly assigned to an experimental group (using MAS) and a control group (using traditional tools), who were tasked with completing teaching design tasks and evaluating their teaching plans based on the AI-TPACK framework. Additionally, the experimental group underwent pre- and post-intervention AI-TPACK literacy assessments. The results showed that MAS significantly improved the teaching design quality and promoted AI-TPACK literacy development among pre-service teachers. The contribution of this study lies in validating the feasibility of MAS in teacher education, expanding the application of AI-TPACK, and providing empirical evidence for the design of future intelligent teacher training systems.

Keywords: Multi-Agent System; AI-TPACK Literacy; Pre-service Teachers; Instructional Design; Artificial Intelligence

1.前言

人工智能（AI）正以前所未有的速度变革教育生态，其在教师专业发展中的应用尤为关键。在智能教育环境下，教师不仅需要掌握学科内容（CK）和教学方法（PK），更需要熟练整合 AI 技术工具（TK），以提升教学设计质量，实现个性化与智能化教学（张群 & 田格格, 2023）。AI-TPACK 框架的提出正是对这一时代需求的回应，它在传统 TPACK 模型的基础上，强调 AI 技术在教学决策中的深度嵌入。然而，现有研究表明，职前教师在 AI 工具整合、教学方法选择及教学设计创新等方面仍存在显著不足，导致教学方案的适切性与智能化程度受限（王伟, 2020）。如何通过智能化手段提升职前教师的 AI-TPACK 素养，已成为当前教师教育领域亟待解决的核心问题。

多智能体系统（MAS）作为一种分布式人工智能架构，凭借其协同推理、自主决策和动态适应能力，在教育领域展现出广泛的应用前景（Hava & Babayiğit, 2025）。MAS 能够模拟复杂的教学设计过程，动态分析教师的教学需求，并提供针对性的智能支持。因此，将 MAS 应用于职前教师的教学设计训练，或能有效弥补其 AI-TPACK 素养的短板，助力未来教师适应智能教育环境的变革。

尽管 AI-TPACK 框架已为教师教育提供了理论指导，但如何在实践中提升职前教师的 AI-TPACK 素养仍然缺乏有效的教学支持工具（Karataş & Ataç, 2024）。本研究提出并构建了一种基于 MAS 的智能教学设计支持系统，旨在通过学科知识智能体（CK-Agent）、教学方法智能体（PK-Agent）和教学工具智能体（TK-Agent）的协同作用，优化职前教师的教学设计过程。本研究拟通过实验验证 MAS 在教师教育中的可行性，并探讨其对 AI-TPACK 素养提升的影响，为未来智能教师培训系统的构建提供实证支持。

RQ1: MAS 是否能有效提升职前教师的教学设计能力？

RQ2: 使用 MAS 进行教学设计是否能促进职前教师的 AI-TPACK 素养发展？

RQ3: 实验组（MAS 支持）与对照组（传统工具）在教学设计质量上是否存在显著差异？

2.文献综述

AI 在教师教育中的应用主要体现在智能导师系统、智能反馈机制及个性化学习支持等方面。例如，智能导师系统能够实时分析教师的教学行为，为其提供精准的教学建议（Park et al., 2023）；智能反馈机制则可通过大数据分析学生的学习轨迹，辅助教师优化教学策略（Chen et al., 2024）。此外，研究表明，AI 驱动的个性化学习支持能够有效提高教师的教学适配能力，使其在教学过程中更灵活地调整教学方法（Jin et al., 2024; Zhang et al., 2024）。然而，目前关于 AI 如何具体增强教师的 TPACK 素养，特别是 AI-TPACK 素养的研究仍较为有限。

MAS 由多个自主智能体（Agent）协同工作，能够模拟复杂的学习和教学环境，已在智能辅导、协作学习等领域得到了广泛应用。例如，智能辅导系统基于 MAS 架构，可提供动态的学习路径推荐（Johnson et al., 2014）；协作学习系统中的智能体能够调节小组互动模式，优化协同学习体验（Dillenbourg et al., 2011）。在教师教育领域，MAS 的应用仍处于探索阶段，但已有研究显示，MAS 能够有效支持教师的决策过程，提高其教学设计的精准性和创新性（Pugh et al., 2016）。本研究在此基础上，提出以 MAS 支持职前教师的教学设计，以弥补现有 AI-TPACK 素养培养方式的不足。

AI-TPACK 框架基于传统 TPACK 模型，扩展了技术知识（TK）的定义，将 AI 工具的应用纳入教师核心素养范畴（Mishra & Koehler, 2006）。该框架强调，教师不仅需要掌握学科知识（CK）和教学方法（PK），更需理解 AI 技术的教育价值，并能在教学设计中恰当地整合 AI 工具（TK）。现有研究表明，通过系统性的培训和实践，教师能够显著提升 AI-

TPACK 素养，从而优化其教学方案的智能化程度（Koehler et al., 2013）。然而，如何通过智能技术系统化地提升职前教师的 AI-TPACK 素养，仍是当前研究的空白。

3.研究方法

3.1 多智能体系统设计

本研究构建了一个基于 MAS 的教学设计支持工具，以提升职前教师的 AI-TPACK 素养。该系统由学科智能体（CK-Agent）、教学法智能体（PK-Agent）和教学工具智能体（TK-Agent）协同工作，通过智能化手段优化教学设计能力。其中，学科智能体基于自然语言处理（Natural Language Processing, NLP）技术，能够自动分析课程内容，提取核心知识点，并生成知识点图谱，以帮助教师快速理解学科内容结构并优化教学内容设计。教学法智能体通过集成教育学理论与人工智能算法，提供包括探究式、项目式和互动式在内的多种教学策略，以支持教师根据教学目标和学习者特点匹配适合的教学方法。教学工具智能体则依据课程需求和教学设计目标，推荐合适的 AI 工具、教育软件及数据分析工具，以促进 AI 在教学中的合理整合和应用。

为了提高多智能体系统的协同工作效率，本研究开发的 MAS 采用 Mixture of Experts（MoE）架构，利用强化学习的优化策略，实现智能体之间的动态任务分配。系统通过持续的学习和优化，为职前教师提供个性化的教学设计建议，并动态调整不同智能体的任务权重，以优化教学设计的整体效果。图 1 展示了本研究构建的多智能体协作架构。

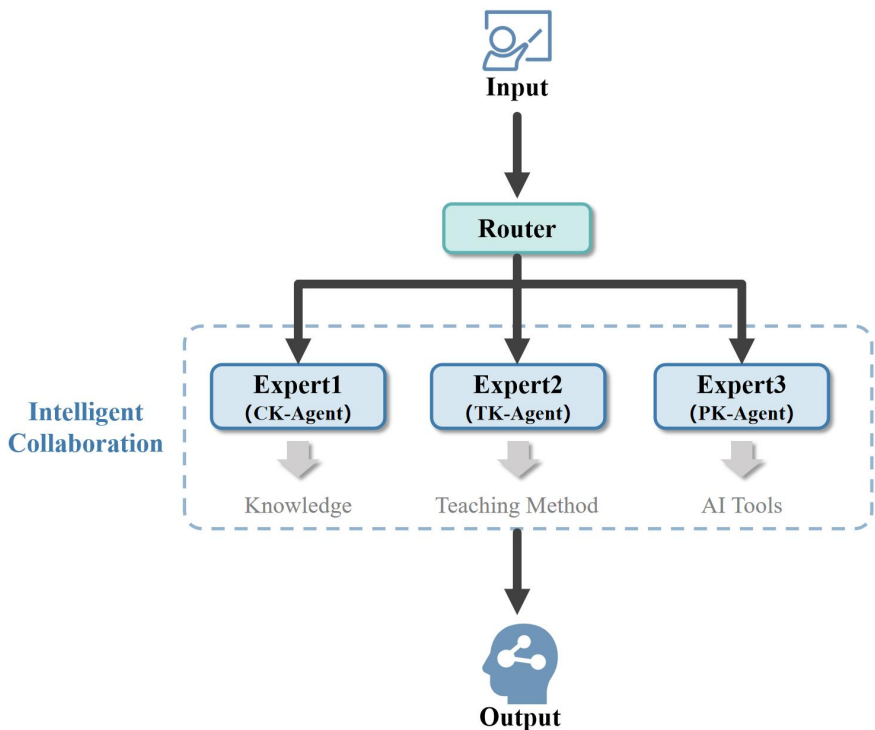


图 1 多智能体协作架构图

为了进一步提升 MAS 在不同教学情境下的泛化能力与个性化适应性，本研究引入元学习（Meta-Learning）机制，使智能体能够通过有限的训练样本迅速调整模型参数，以优化教学设计支持的精准度与个性化水平。

具体而言，MAS 采用 Model-Agnostic Meta-Learning（MAML）算法（Finn et al., 2017），以 CK-Agent、PK-Agent 和 TK-Agent 为元学习任务的优化对象。假设在多个教学任务 T_i 上进行元训练，每个任务包含一个数据集 $D_i=(X_i, Y_i)$ ，MAML 通过以下双层优化机制进行训练：

(1) 内层优化 (Inner Loop)：对于每个任务 T_i ，智能体基于当前参数 θ 进行梯度下降更新：

$$\theta'_i = \theta - \alpha \nabla \theta L_{T_i}(\theta)$$

其中， α 为学习率， L_{T_i} 为任务 T_i 上的损失函数。

(2) 外层优化 (Outer Loop)：在多个任务上进行参数聚合，使模型具备快速适应新任务的能力：

$$\theta \leftarrow \theta - \beta \nabla \theta \sum_i L_{T_i}(\theta'_i)$$

其中， β 为元学习率 (meta-learning rate)。

结合 MoE 框架，智能体可通过任务级专家分配不同权重，并通过强化学习机制进行持续优化，使其动态调整教学设计建议，提高 MAS 在 AI-TPACK 素养提升中的应用价值。如图 2 所示，该优化框架能够同时提升 MAS 的泛化能力、个性化适应性和动态优化能力，为未来的智能教师培训系统奠定基础。

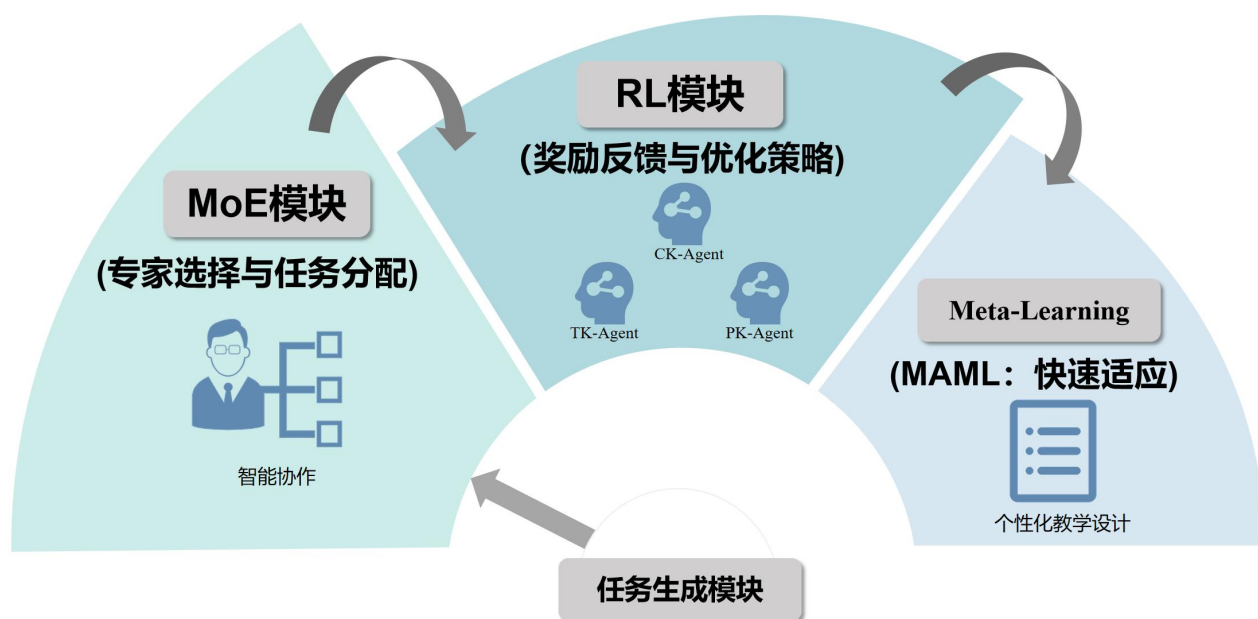


图 2 MoE + RL + Meta-Learning 协同架构

3.2 实验设计

本研究采用实验对照设计，以探究 MAS 对职前教师 AI-TPACK 素养的影响。研究对象为 20 名职前教师，随机分为实验组和对照组，每组各 10 人。实验组使用 MAS 进行教学设计，而对照组则使用传统教学设计工具（如 PPT、Word 等）。实验任务要求所有被试完成一项完整的教学设计方案，包括教学目标设定、知识点梳理、教学方法选择和教学工具整合等环节。通过这种方式，可以考察 MAS 在支持职前教师教学设计方面的有效性。

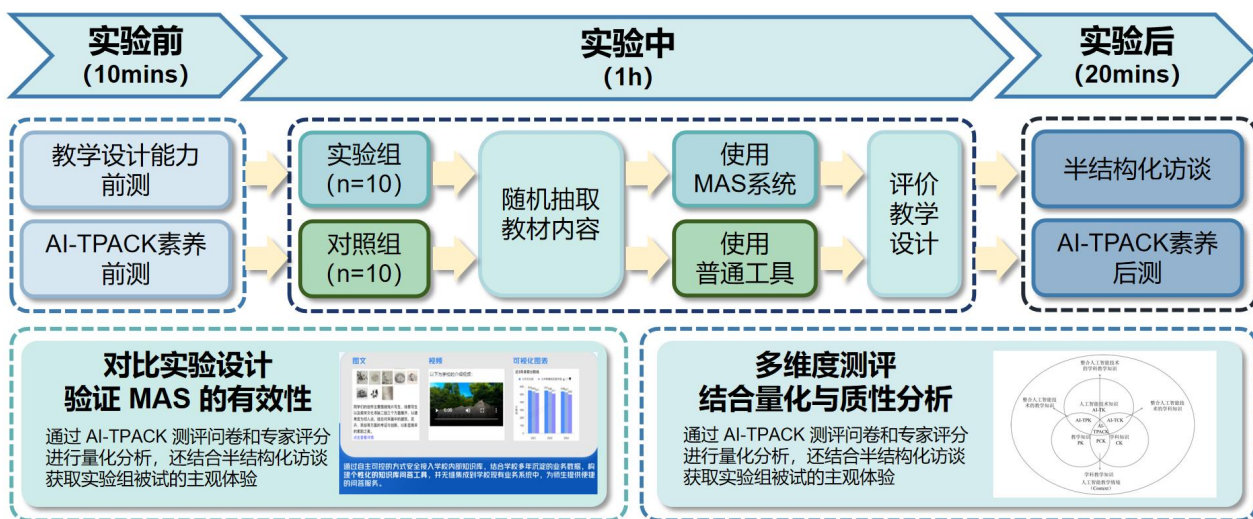


图 3 实验流程图

实验分为四个阶段进行，具体的实验流程图如图 3 所示。首先，所有被试在实验前需完成 AI-TPACK 素养测评问卷，以评估其基线水平。接着，在教学设计任务阶段，实验组借助 MAS 进行教学方案设计(交互界面如图 4 所示)，而对照组则采用传统方法独立完成任务。教学设计任务完成后，所有被试需再次进行 AI-TPACK 素养测评，以评估实验干预对其素养提升的影响。此外，为了深入了解 MAS 在教学设计过程中的具体作用，实验组的被试需参与半结构化访谈，以收集其使用体验及对教学设计能力提升的反馈。最后，为了量化 MAS 对教学设计质量的影响，研究邀请三位教育技术领域的专家对两组被试提交的教学方案进行评分，评分标准涵盖知识点分析准确性、教学法选择合理性、AI 工具整合效果及创新性等维度。

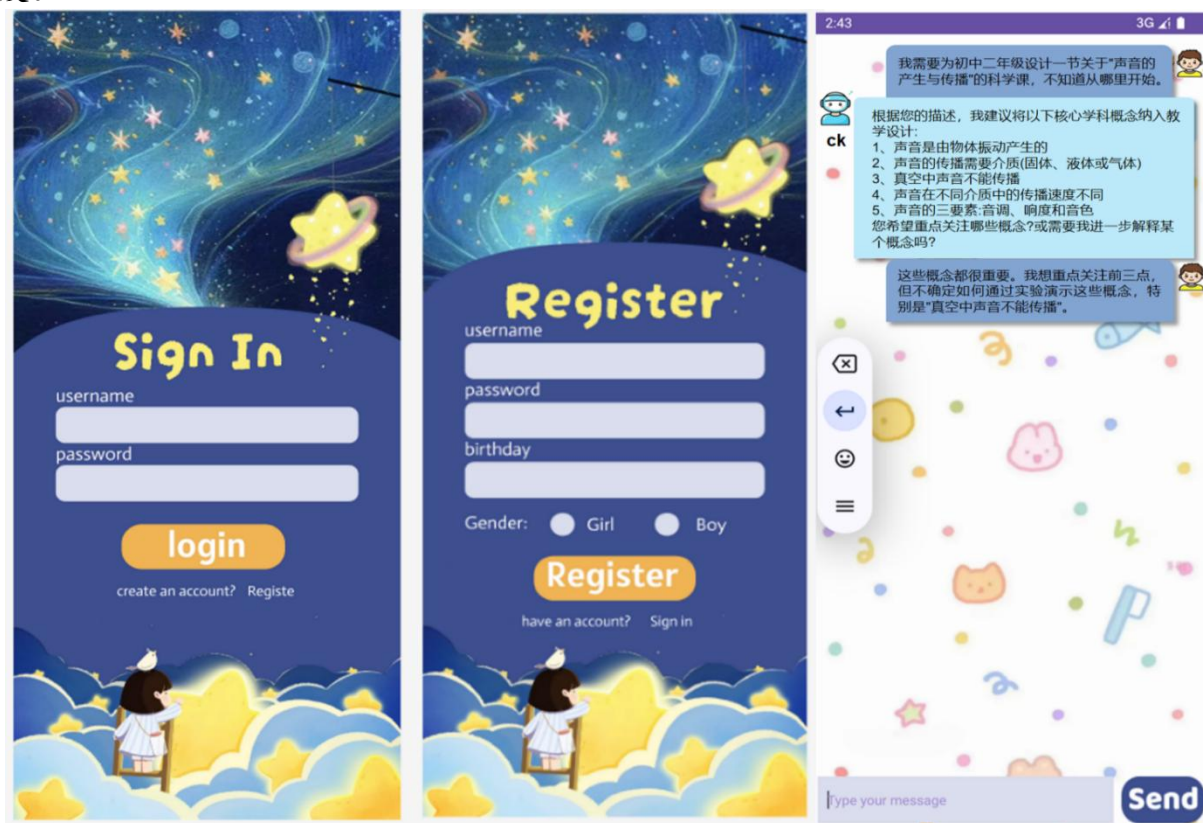


图 4 MAS 系统交互界面

3.3 评估方法

本研究采用定量与定性结合的方法，以综合评估 MAS 对职前教师教学设计质量和 AI-TPACK 素养的影响。首先，在教学设计质量的评估方面，由三位专家基于标准化评分量表对两组被试的教学方案进行评分，并计算实验组与对照组的平均评分差异。其次，在 AI-TPACK 素养的评估方面，研究采用 AI-TPACK 测评问卷，从技术知识（TK）、教学法知识（PK）、学科知识（CK）及其交叉领域（TCK、TPK、TPACK）六个维度测量职前教师的 AI-TPACK 素养。对实验组被试的问卷结果进行前测和后测比较，以分析 AI-TPACK 素养的发展情况。此外，实验组被试的访谈数据将采用主题分析（Thematic Analysis）方法，归纳其对 MAS 的使用体验及其对教学设计能力提升的看法。

4.结果与分析

本研究基于实验数据，对 MAS 在提升职前教师 AI-TPACK 素养和教学设计质量方面的有效性进行了分析。本部分主要包括教学设计质量评分的对比分析、AI-TPACK 素养的提升情况，以及访谈数据的主题分析，以探讨 MAS 在教师教育中的作用。

4.1 教学设计质量评分分析

为了评估 MAS 对职前教师教学设计质量的影响，研究邀请三位教育技术专家对实验组和对照组提交的教学方案进行了评分，评分维度包括知识点分析（CK）、教学方法选择（PK）、AI 工具整合（TK）、创新性（IN）及整体质量（OQ）。评分采用 5 分制（1=极差，5=优秀），两组的评分均取三位专家的平均值。表 1 显示了实验组和对照组在各评分维度上的均值（M）和标准差（SD）。

表 1 教学设计质量评分

组别	知识点分析 (CK)	教学法选择 (PK)	AI 工具整合 (TK)	创新性 (IN)	整体质量 (OQ)
实验组 (n=10)	4.32 ± 0.48	4.21 ± 0.52	4.45 ± 0.50	4.18 ± 0.47	4.29 ± 0.42
对照组 (n=10)	3.65 ± 0.55	3.72 ± 0.60	2.94 ± 0.58	3.21 ± 0.54	3.38 ± 0.50
t 值	3.24**	2.89**	5.21***	3.56**	4.12***
p 值	0.004	0.008	<0.001	0.003	<0.001

（注：**p < 0.01，***p < 0.001）

图 5 展示了实验组和对照组在教学设计质量评分上的对比，揭示了 MAS 在促进职前教师教学设计能力提升方面的显著作用。独立样本 t 检验结果显示，实验组在所有评分维度上均显著高于对照组（p < 0.01），尤其是在 AI 工具整合（t = 5.21, p < 0.001）和整体质量（t = 4.12, p < 0.001）方面差异最为显著。这表明，MAS 通过 CK-Agent、PK-Agent 和 TK-Agent 的协同支持，帮助职前教师更有效地整合 AI 工具，优化教学策略，并提升整体教学设计的创新性和质量。

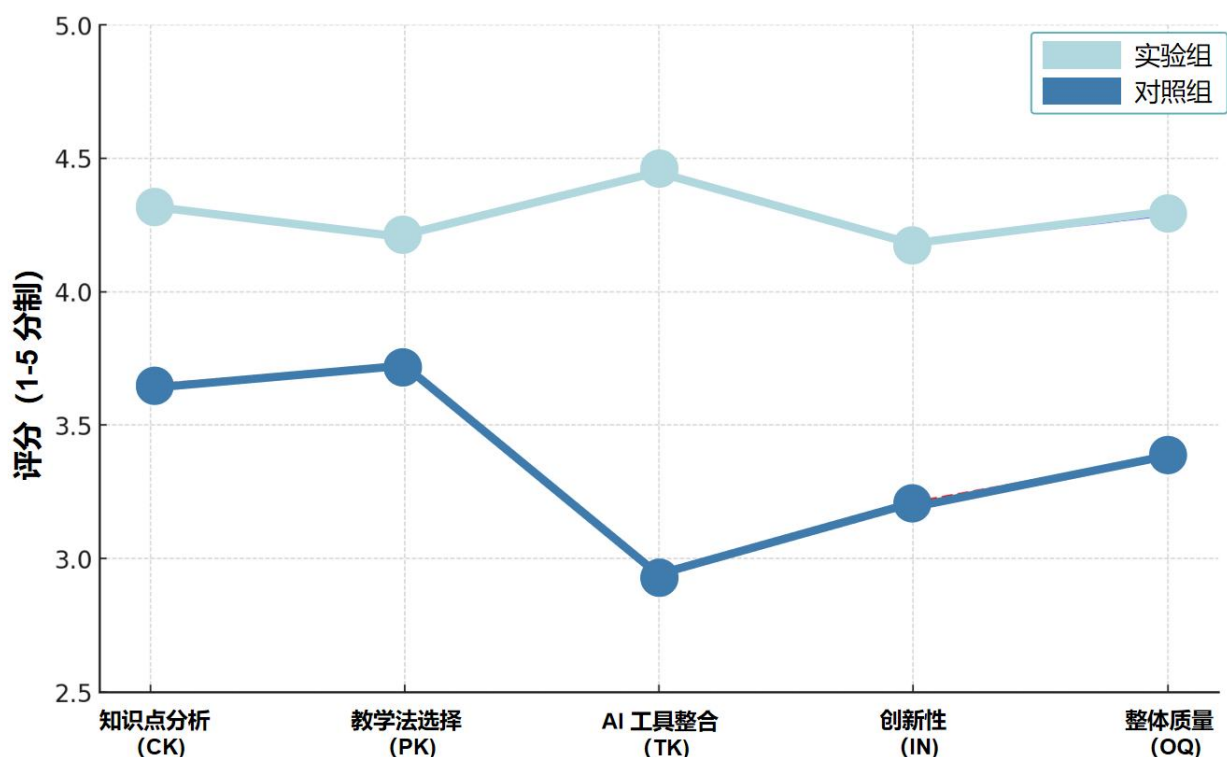


图 5 实验组与对照组的的教学设计评分对比

这一结果验证了 MAS 在教师教育中的可行性，说明智能系统可以在教学设计过程中提供针对性的智能反馈，弥补职前教师在 AI 工具应用和教学创新方面的短板。特别是 TK-Agent 在 AI 工具整合方面的支持，使得实验组教师能够更加熟练地运用 AI 技术进行教学设计，符合 AI-TPACK 素养提升的核心目标。

4.2 AI-TPACK 素养提升分析

本研究采用 AI-TPACK 素养测评问卷，对实验组的职前教师在实验前（前测）和实验后（后测）的 AI-TPACK 素养进行了测量，以探讨 MAS 对教师 AI-TPACK 发展的影响。测评涵盖六个维度：技术知识（TK）、学科知识（CK）、教学法知识（PK）、技术与学科整合（TCK）、技术与教学法整合（TPK）以及整体 AI-TPACK 水平（TPACK）。表 2 展示了实验组前测与后测的均值（M）和标准差（SD），并采用配对样本 t 检验进行统计分析。

表 2 实验组 AI-TPACK 素养前后测对比

维度	前测 (M±SD)	后测 (M±SD)	t 值	p 值
技术知识	3.41 ± 0.62	4.38 ± 0.51	4.92***	<0.001
学科知识	4.02 ± 0.58	4.21 ± 0.56	1.32	0.212
教学法知识 (PK)	3.78 ± 0.59	4.32 ± 0.53	3.75**	0.003
技术-学科整合 (TCK)	3.54 ± 0.60	4.29 ± 0.52	4.45***	<0.001
技术-教学法整合 (TPK)	3.62 ± 0.65	4.42 ± 0.57	4.89***	<0.001
综合 AI-TPACK (TPACK)	3.58 ± 0.57	3.58 ± 0.57	5.12***	<0.001

（注：** $p < 0.01$ ，*** $p < 0.001$ ）

配对样本 t 检验结果表明，实验组在技术知识（ $t = 4.92, p < 0.001$ ）、教学法知识（ $t = 3.75, p = 0.003$ ）、技术-学科整合（ $t = 4.45, p < 0.001$ ）、技术-教学法整合（ $t = 4.89, p < 0.001$ ）及综合 AI-TPACK 素养（ $t = 5.12, p < 0.001$ ）方面均有显著提升，而学科知识（ $t =$

1.32, $p = 0.012$) 未出现显著变化。这说明 MAS 主要促进了职前教师在 AI 工具应用、教学方法选择及跨学科整合能力方面的提升, 而对学科知识本身的影响较小。

4.3 访谈分析

为了进一步理解 MAS 在支持职前教师教学设计中的作用, 本研究对实验组的 10 名被试进行了半结构化访谈, 并采用主题分析法提取关键主题。

分析结果表明, 受试者普遍认为 MAS 在教学工具推荐、教学方法指导和知识点结构化方面提供了有力支持。其中, 80% 的被试表示 MAS 提供的 AI 工具推荐提高了他们的工具整合能力, 70% 的被试认为系统生成的知识点图谱帮助他们更好地梳理课程内容, 60% 的被试认为 PK-Agent 推荐的教学策略拓展了他们对不同教学方法的认知。然而, 也有 40% 的被试表示, 在面对较为复杂的教学情境时, MAS 的推荐策略仍然需要进一步优化, 以提供更具有针对性的个性化支持。

5. 讨论与结论

5.1 讨论

基于 MAS 的教学设计支持工具为职前教师的 AI-TPACK 素养提升提供了深刻的推动力。学科知识智能体 (CK-Agent)、教学法智能体 (PK-Agent) 与教学工具智能体 (TK-Agent) 在智能协作中形成了强大的支持框架, 使教师能够更加有效地将技术与教学策略结合。在技术知识 (TK) 和技术-教学法整合 (TPK) 方面, MAS 展现出了显著的优势, 帮助教师不仅更好地理解 AI 工具的应用, 还提升了他们在教学设计中的创新性与科学性。尽管如此, 学科内容知识的支持仍然相对薄弱, 显示出未来 MAS 系统在学科领域深度挖掘的空间和需求。

MAS 不仅仅是在提升 AI-TPACK 素养方面发挥作用, 它更激发了教师在教学设计中的创新潜力。智能推荐系统为教师提供了更加灵活、前瞻性的教学策略, 使他们能够打破传统教学框架, 采用更适合当前教育环境的方式。教师在使用 MAS 时反映, 系统使他们能更自然地结合探究式学习、项目式学习等多样的教学方法, 进而推动教学思维的变革。然而, 部分教师也指出, 在具体教学情境下, MAS 的智能推荐有时未能准确捕捉到情境的复杂性, 缺乏足够的个性化反馈。这个问题揭示了 MAS 系统在情境感知与适应性方面的不足, 要求未来的智能体系统在细致的个性化支持上做出改进。

技术的引入往往是复杂且带有挑战的, 教师的接受度在 MAS 应用中的表现尤为关键。虽然 MAS 为教师提供了丰富的教学支持, 但在实际使用中, 部分教师因缺乏充分的技术背景和培训而感到困惑或抗拒。技术恐惧感和自我效能感的缺乏, 往往导致教师未能完全拥抱系统的潜力。这一现象再次强调了技术融入教学过程的复杂性, 提出了在未来研究中应加强教师技术接受度的培养和技术适应性支持, 确保技术能够更好地服务于教师的个体需求和教学情境。

5.2 结论

本研究表明, 基于 MAS 的教学设计支持工具在提升职前教师 AI-TPACK 素养和教学设计能力方面具有显著效果。MAS 通过智能体协作, 为教师提供了跨学科的支持, 推动了教学设计的创新, 并帮助教师更有效地将 AI 工具与教学方法结合。然而, 尽管 MAS 展现了强大的潜力, 个性化支持和情境感知能力的提升仍是其发展的关键。未来的 MAS 系统需要在个性化适应性和情境分析能力上进行进一步的优化, 同时, 加强教师对新技术的接受度和自我认同, 确保技术能够真正服务于教学实践。通过这些改进, MAS 将在教师培训和教育创新中发挥更大的作用, 推动教育领域的智能化进程。

致谢

本研究受国家大学生创新创业训练项目计划(202310337023)资助。

参考文献

- Chen, X. J., Hu, Z. B., & Wang, C. L. (2024). Empowering Education Development through AIGC: A Systematic Literature Review. *Education and Information Technologies*. 1-53. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12549-7>
- Dillenbourg, P., et al. (2011). Technology for collaborative learning. *The Oxford Handbook of Learning Sciences*, 539-558.
- Finn, C., Abbeel, P., & Levine, S. (2017). Model-agnostic meta-learning for fast adaptation of deep networks. *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning (ICML 2017)*, 70, 1126–1135. PMLR.
- Hava, K., Babayiğit, Ö. (2025). Exploring the relationship between teachers' competencies in AI-TPACK and digital proficiency. *Educ Inf Technol* 30, 3491–3508. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12939-x>
- Jin, H., Lee, S., Shin, H., & Kim, J. (2024, May). Teach AI How to Code: Using Large Language Models as Teachable Agents for Programming Education. In *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-28).
- Johnson, W. L., et al. (2014). The use of intelligent tutoring systems to teach mathematical problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 62(3), 311-334.
- Karataş, F., Ataç, B.A. (2024). When TPACK meets artificial intelligence: Analyzing TPACK and AI-TPACK components through structural equation modelling. *Educ Inf Technol*. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13164-2>
- Koehler, M. J., et al. (2013). TPACK: A framework for teacher knowledge. In *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 101-111). Springer.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054.
- Park, J. S., O'Brien, J., Cai, C. J., Morris, M. R., Liang, P., & Bernstein, M. S. (2023, October). Generative agents: Interactive simulacra of human behavior. In *Proceedings of the 36th annual acm symposium on user interface software and technology* (pp. 1-22). <https://doi.org/10.1145/3586183.3606763>
- Pugh, K. J., et al. (2016). The role of agents in supporting teacher decision-making. *Educational Technology Research and Development*, 64(6), 1063-1079.
- Zhang, Z., Zhang-Li, D., Yu, J., Gong, L., Zhou, J., Liu, Z., ... & Li, J. (2024). Simulating classroom education with llm-empowered agents. *arXiv preprint arXiv:2406.19226*.
- 王玮. (2020). 人工智能时代职前教师 TPACK 培养研究. 河南师范大学硕士论文.
- 张群, 田格格. (2023). AI-TPACK 理论视角下教师智能教育素养: 模型构建及培养策略. *开放学习研究*, 6.