# **超越通用：数学教师如何通过“再开发”生成式AI提升教学信息化水平**

## **I. 引言：生成式AI在数学教育中的演进角色与“授课信息化”的深化探索**

### **通用型生成式AI在数学教育中的双刃剑：前景与挑战**

通用型生成式人工智能（Generative AI, GenAI），例如ChatGPT、Microsoft Copilot和Google Gemini等工具，凭借其生成文本、图像乃至代码和模型的能力，正迅速渗透到教育的各个领域，预示着学习方式的潜在变革 1。在数学教育中，这些工具展现出辅助教师进行课程规划、创建教学材料，甚至扮演初步辅导角色的潜力 3。它们似乎为教育工作者提供了一条提升效率、丰富教学手段的新路径。

然而，通用型GenAI在数学这一高度依赖精确性、逻辑性和抽象推理的学科中，其应用并非一帆风顺。“未经调节的使用对批判性思维、公平性和道德实践构成了重大风险” 1。数学教师在实践中发现，这些通用工具往往难以满足其特定的教学需求。这种“水土不服”的现象，构成了本报告探讨的核心问题：通用型GenAI的固有局限性，使其在未经改造的情况下，难以成为数学课堂中理想的教学助手。

与此同时，“授课信息化”作为教育改革的关键议题，旨在通过数字技术提升教学质量与效率 7。尽管中国高等职业教育等领域已经建立了诸多数字化学习平台和资源库 9，为教学信息化奠定了基础，但GenAI的出现带来了实现更动态、更个性化教学内容的新机遇——前提是这些AI工具能够被有效“再开发”以适应数学教学的独特需求。国家层面推动教育数字化的战略 7，也为这种探索提供了宏观背景和动力。但若仅仅依赖通用型GenAI，其在数学领域的固有缺陷可能反而阻碍高质量信息化的进程。这种内在的矛盾——即对更优信息化的追求与通用AI工具能力不足之间的矛盾——凸显了教师主导的“AI再开发”的必要性。

### **“AI再开发”的定义：赋能教师为特定教学需求定制AI**

“AI再开发”并非要求数学教师从零开始构建复杂的AI模型，而是指教师主动地、有针对性地对现有GenAI工具或其生成的内容进行定制、调适、优化和再创造，使其更符合具体的数学教学目标、学生认知特点和特定数学概念的教学需求。这标志着教师从AI技术的被动使用者转变为主动的塑造者和设计者。

“AI再开发”的具体形式多种多样，例如：

* **利用AI辅助编程创建动态教学资源**：如借助AI生成Python代码，用Manim程序库创作数学概念的可视化动画 21，或开发互动式数学实验，将抽象概念具体化、过程化。
* **定制化现有教学资源**：如利用AI对已有的数学题库、案例库或知识平台进行增强，生成个性化的练习题、补充解释、不同难度的变式题，或将行业案例融入数学教学中，提升职业教育的针对性 3。
* **微调或构建专用AI模型/提示**：例如，教师可以基于特定的教学理论（如“思维建构型课堂” 3）构建定制化的GPT模型，或精心设计系列提示词（Prompt Engineering）以引导通用AI生成更符合数学教学规范的内容。

这种“再开发”的核心目标是克服通用型AI的局限性，使其产出更具数学学科的严谨性、教学法的适配性和学生认知过程的针对性，从而更有效地服务于“授课信息化”，实现教学过程的优化和学习效果的提升。这一过程不仅关乎技术工具的改进，更深层次地，它促进了教师专业发展，特别是提升了教师的AI素养和技术整合能力，使他们能够在新技术时代扮演更主动、更核心的教学设计者角色 3。这种转变对于推动教育数字化战略，特别是在需要高度专业化和实践性的高等职业教育数学教学中，具有重要意义 63。

### **报告目标与结构**

本报告旨在深入研究通用型生成式AI在数学教学中存在的局限性，并系统探讨数学教师如何通过“AI再开发”策略克服这些局限，以期为实现更有效的数学“授课信息化”提供理论依据和实践路径。报告将首先剖析通用型GenAI在数学准确性、教学法契合度及促进学生深度学习等方面的不足；随后，详细阐述教师主导的“AI再开发”的多种策略与具体案例，特别关注AI辅助编程创建Manim视频、互动实验以及定制化教学资源等方面；接着，报告将讨论“AI再开发”过程中可能面临的挑战及应对方案；最后，总结教师“再开发”AI对提升数学教学信息化的核心价值，并对未来发展方向和相关支持体系建设提出展望。

## **II. 通用型生成式AI在数学课堂的固有局限**

尽管通用型生成式AI（GenAI）在内容生成方面展现出惊人的能力，但在直接应用于严谨且高度结构化的数学教学时，其固有的局限性便凸显出来，难以满足数学教师对准确性、教学深度和学生认知发展的特定需求。

### **数学准确性、可靠性与逻辑推理的缺陷**

数学学科对准确性和逻辑的极致要求是通用型GenAI面临的首要挑战。研究和实践均表明，GenAI工具在处理数学问题时，频繁出现错误解答或不严谨的解释 1。例如，像ChatGPT这样的AI模型，其工作原理是基于大规模文本数据进行预测，而非遵循严格的数学公理和推理规则，这导致它们在进行数学运算或逻辑推导时可能“犯错” 64。具体案例包括Khan Academy的AI辅导工具Khanmigo在基础计算上遇到困难 64，以及ChatGPT提供不存在的参考资料或曲解用户提出的数学问题 64。这种不可靠性对于数学教学是致命的，因为数学知识体系的构建依赖于每一步的精确无误 65。一项调查显示，高达85%的学生承认GenAI的输出常常缺乏可靠性和情境适切性 1。此外，GenAI在生成学术内容时，有时会编造或错误引用参考文献，这直接冲击了学术诚信的基础 68。

这种准确性的缺失并非简单的技术瑕疵，而是构成了根本性的教学障碍。它不仅可能误导学生，使其习得错误的数学概念或解题方法，更危险的是，如果学生——特别是那些对相关知识点掌握尚不牢固的学生——过度信赖并高估GenAI输出的准确性 1，其学习过程可能会受到严重干扰，甚至形成难以纠正的错误认知。通用型AI往往缺乏对解题过程的细致步骤解释，即便偶尔能给出正确答案，学生也难以理解其背后的数学原理和逻辑链条 67，这与数学教育强调过程性理解和思维训练的目标背道而驰。这直接影响了“授课信息化”的初衷，即通过技术手段提升教学质量和学习效果。

### **缺乏针对特定数学概念的教学法深度与情境理解**

通用型GenAI本质上是“通才”，而非针对某一学科（尤其是数学）的“专才”。因此，它们往往缺乏对特定数学概念背后深层教学法原理的理解，也难以把握复杂数学知识点在不同教学情境下的恰当呈现方式。AI生成的解释可能在表面上覆盖了知识点，但往往无法像经验丰富的教师那样，根据学生的认知水平、先前知识和常见误区，提供富有启发性、循序渐进的引导 4。它们可能难以处理复杂的数学符号、公式或特定领域的专业术语，导致输出内容与数学教学的规范表达不兼容 70。

传统数学教学模式本身就面临资源有限、教法单一等问题 38。虽然GenAI理论上能提供多样化的教学内容和方法，但其“通用”特性决定了它在未经“再开发”的情况下，其输出往往是标准化的、缺乏个性化和情境化设计的 4。例如，在高等职业教育中，数学教学强调与专业应用的结合以及学生实践能力的培养 9。通用型AI难以自动生成深度融合行业案例或符合职业教育特点的数学教学内容。即使AI可以生成多样的例题 50，但其能否真正实现根据学生个体差异进行有效的个性化教学，仍需教师进行大量的定制和引导。这种“一刀切”的特性，与现代数学教育日益强调的个性化学习和差异化教学趋势相悖，尤其在学生背景和学习需求多样化的高等职业教育环境中，这一矛盾更为突出 72。

### **可能导致浅层学习并阻碍批判性思维发展**

过度依赖AI获取答案，可能使学生忽视自身解题能力和逻辑推理能力的培养 1。如果学生仅仅将AI作为“答案机器”，满足于快速获得结果，而不去深入探究解题思路和数学原理，那么他们对数学的理解将停留在浅表层面 1。一些教师担忧，“AI夺走了学生的思考”，并呼吁教学中应“减少自动化，增加思考” 67。教育界也存在一种顾虑，即如果AI工具使用不当，可能会降低学生在学习过程中的认知负荷，从而影响深度学习和高阶思维能力的养成 75。

### **“黑箱”问题：透明度与信任危机**

许多先进的GenAI模型，特别是基于深度学习的模型，其决策过程对用户而言是不透明的“黑箱” 2。这意味着教师和学生往往不清楚AI是如何生成特定答案或教学建议的。这种不透明性在教育领域，尤其是在强调逻辑思辨和过程理解的数学学科中，会引发信任危机 76。如果教师无法理解AI的“思考”过程，就难以判断其输出的可靠性，也无法在AI出错时有效地引导学生辨析和纠正。AI有时会以非常可信的方式呈现错误信息 69，这进一步加剧了信任问题。

### **偏见与伦理困境**

AI模型的训练数据可能包含各种偏见，这些偏见可能在AI生成的内容中得以延续甚至放大，导致不公平或歧视性的教育结果 2。例如，AI生成的例题或情境可能无意中强化了某些刻板印象。此外，伦理问题还包括利用AI进行学术不端行为（如抄袭）的风险 1，以及学生数据隐私和安全问题 2。这些问题若不加以妥善处理，将严重影响AI在教育中的健康发展。

通用型GenAI在数学教育中的应用，若不加批判地直接引入，不仅难以满足教学的特定需求，甚至可能对学生的学习过程和思维发展产生负面影响。教师若仅仅依赖AI快速生成教案、课件或习题，而不进行深度加工和严格甄别，可能导致教学内容的同质化，削弱教学的创新性和教师的专业创造力。AI可以快速生成大量材料 3，但如果这些材料缺乏针对性和 pedagogical rigor（教学严谨性），反而会成为提升“授课信息化”质量的阻碍。因此，教师主导的“AI再开发”不仅是对AI工具的优化，更是对教学质量和教师专业性的坚守与提升。

为了更清晰地对比通用型GenAI与经过教师“再开发”的AI在数学教育中的应用效果，下表从多个维度进行了分析：

**表1：通用型GenAI与教师“再开发”的AI在数学教育中的对比分析**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **特征/维度** | **通用型生成式AI** | **经教师“再开发”/定制化的AI** |
| **数学准确性** | 容易出错，逻辑不严谨，不遵循严格数学规则 1 | 通过筛选数据、限定逻辑、人工校验等方式提升准确性 35 |
| **教学法契合度** | 通用教学策略，缺乏针对性，难以适应特定数学概念或学生认知特点 38 | 融入教师的教学经验与特定教学法（如探究式学习、项目式学习），更符合教学需求 3 |
| **内容特异性** | 内容宽泛，但对特定或高阶数学知识点的深度和专业性不足 70 | 能够生成针对特定课程标准、教材内容或学生群体的定制化内容 3 |
| **学生参与度** | 可能引发初步兴趣，但若内容质量不高或互动性不足，易导致被动接收或浅层参与 1 | 通过精心设计的互动（如Manim动画、交互实验）和个性化反馈，能更有效地激发和维持学生深度参与 4 |
| **批判性思维支持** | 可能因直接提供答案而削弱学生独立思考和解决问题的能力 1 | 可设计为引导学生进行错误分析、多角度思考，或通过提问式交互促进批判性思维 4 |
| **透明度与可解释性** | 通常是“黑箱”，决策过程不透明 2 | 教师若参与设计或微调过程，对AI的行为和逻辑有更清晰的理解，从而提高信任度和可控性 48 |
| **对多样化学习者的适应性** | 在没有大量、精细化提示的情况下，难以自动适应不同学习风格和水平的学生 4 | 可通过教师设定参数、引入学生数据或设计差异化路径，更好地满足个性化学习需求 35 |
| **教师角色** | 教师可能沦为AI工具的操作者或内容的简单搬运工 | 教师成为AI工具的设计者、协作者和教学创新的主导者，提升专业自主性 3 |

此表清晰地揭示了为何直接使用通用型GenAI难以满足数学教师的特定教学需求，并突出了教师主导的“AI再开发”在克服这些局限性方面的巨大潜力。通过“再开发”，AI不再仅仅是一个外部工具，而是可以被教师深度整合到教学设计中，成为实现高质量“授课信息化”的有力伙伴。

## **III. 教师主导的“AI再开发”：打造高效数学教学工具与推进“授课信息化”的策略**

面对通用型生成式AI在数学教育中的局限性，教师主动进行的“AI再开发”成为提升教学效果和深化“授课信息化”的关键路径。这不仅仅是对AI工具的简单应用，更是教师凭借其专业知识和教学经验，对AI能力进行引导、塑造和创新的过程。本章节将详细探讨教师如何通过多种策略，特别是利用AI辅助编程创建动态可视化内容和定制化现有教学资源，将通用AI转化为强大的数学教学助手。

### **A. 运用AI打造动态可视化与互动式教学内容**

数学概念的抽象性常常是学生学习的难点。动态可视化和互动式实验能够将抽象的数学关系、定理和过程直观地呈现出来，极大地帮助学生建立直观感知，深化概念理解，激发学习兴趣 4。这与“授课信息化”中强调利用信息技术改进教学方法、丰富教学形式的目标高度一致 9。Manim动画和交互式实验正是实现这一目标的有效载体。

#### **1. AI辅助编程赋能Manim动画创作：为非程序员教师开启新可能**

**Manim简介及其教学价值**：Manim是一个由Python语言驱动的开源动画引擎，专为创作高质量的数学动画而设计 26。它允许通过编程精确控制动画的每一个细节，非常适合展示数学公式的推演、几何图形的变换、函数图像的动态生成等复杂过程，从而将抽象的数学知识变得生动形象。

**AI在Manim动画创作中的角色**：对于不具备深厚编程背景的数学教师而言，直接使用Manim创作动画可能存在较高的技术门槛。然而，大型语言模型（LLMs）的发展为这一难题提供了解决方案。AI能够根据教师提供的自然语言描述或数学概念阐述，自动生成相应的Manim Python脚本代码 21。

**AI辅助Manim动画创作的工具与项目实例**：

* **TheoremExplainAgent**：该系统包含一个规划器代理和一个编码器代理（负责生成Manim脚本），能够创建长达数分钟的定理讲解视频 24。它展示了AI在自动化复杂数学内容可视化方面的潜力，尽管其对非编程人员的直接易用性还有待进一步明确，但其自动化程度已预示了方向。
* **GitHub上的开源项目**：
  + makefinks/manim-generator：此项目通过LLM自动生成Manim视频，并引入了代码编写器与代码审阅器的反馈循环机制，以期减少生成代码中的错误 23。对教师而言，这可能意味着只需提供核心内容描述，AI即可完成大部分编码工作，但初始安装配置和潜在的错误排查仍可能需要一定的技术支持。
  + HarleyCoops/Math-To-Manim：该项目利用DeepSeek AI、Gemini等模型从文本（特别是包含LaTeX数学公式的文本）生成Manim动画，并致力于实现动画代码与LaTeX学习笔记的同步输出 29。项目承认当前对提示词的细节要求较高，但其正在开发的“smolagents”集成功能，旨在将自然语言描述转化为Manim代码，这有望显著降低非程序员教师的使用门槛。
* **提示工程与专用工具**：
  + DocsBot.ai Manim Animation Script Prompt：提供了一个结构化的提示词模板，用以指导AI生成Manim脚本 25。虽然最终产出仍是Python代码，但清晰的提示结构有助于教师更准确地表达其动画需求。
  + DeepSeek-Manim-Animation-Generator：结合了DeepSeek语言模型和Manim引擎，允许用户通过简单的文本指令生成数学和科学动画，目标用户群包括教育工作者 28。

**非程序员教师的机遇与挑战**：尽管Manim本身基于Python编程，但AI辅助工具的出现，特别是那些致力于实现“自然语言到Manim代码”转换的工具（如Math-To-Manim的smolagents 29），为不擅长编程的数学教师打开了利用Manim进行教学创新的大门。然而，教师仍需学习有效的提示词工程技巧，并可能在工具安装、配置以及对AI生成代码进行微调和纠错时面临挑战 23。

#### **2. 利用无代码/低代码AI平台创建交互式数学模拟实验**

除了Manim动画，教师还可以利用更多无需或仅需少量编程的AI平台来创建互动式的数学模拟和实验，这对于提升学生的实践探究能力尤为重要，尤其是在强调“知行合一”的高等职业教育数学教学中 9。

* **GeoGebra**：作为一个功能强大的动态数学软件，GeoGebra允许用户创建交互式的几何构图、函数图像、代数表示和数据分析 78。虽然其核心功能并非由AI驱动生成，但其高度的互动性和可视化能力使其成为教师“再开发”数学内容的理想平台。例如，培生（Pearson）的MyLab Math教学平台就集成了GeoGebra练习，以增强学生的视觉和概念理解 17。教师可以利用GeoGebra设计探索性活动，让学生通过拖拽、改变参数等方式，亲身体验数学规律。
* **Edraw.AI**：这款AI驱动的图表制作工具，能够根据用户输入的提示词（如数学公式、数据或概念描述）自动生成专业的图表、流程图等可视化内容，无需编程技能 82。教师可以利用它快速创建用于解释数学概念或展示数据分析结果的视觉材料。
* **其他AI驱动的互动内容创作工具**：市场上涌现出不少AI工具，如Breshna（无代码游戏设计平台）、Curipod（互动课程制作工具）、Nolej（将静态材料转化为互动课件的工具）44，以及Mathigon Polypad（提供虚拟数学教具）84。这些工具各有侧重，但共同点是降低了互动教学资源开发的门槛，使教师能更容易地将游戏化、探究性学习等元素融入数学课堂。

通过AI辅助编程创作Manim动画，或利用无代码/低代码平台设计交互式实验，数学教师能够将抽象的数学知识转化为学生可感知、可操作、可探索的学习体验。这不仅丰富了教学手段，提升了“授课信息化”的水平，更重要的是，它赋予了教师更大的教学设计自主权，使其能够根据自身教学理念和学生具体情况，创造出真正个性化和高效率的数字化教学内容。这种从技术使用者到技术创造者（或至少是深度参与的共同创造者）的角色转变，对教师的专业发展提出了新的要求，同时也带来了前所未有的机遇。教师通过参与AI的“再开发”，不仅提升了自身的技术应用能力，更深化了对教学内容和教学过程的理解，从而能够更智慧地驾驭信息技术，服务于立德树人的根本任务 9。

### **B. 利用AI定制与增强现有教学资源**

除了从头创建动态可视化内容，数学教师还可以通过“AI再开发”来定制和增强已有的教学资源，如题库、教案、课件和知识平台等。这种方式更为便捷，能够快速提升现有资源的针对性和有效性，是实现“授课信息化”日常化的重要途径。

#### **1. AI驱动的差异化教学：定制化习题、解释与反馈**

每个学生的学习起点、认知风格和掌握程度都存在差异。AI技术，特别是生成式AI，为实现真正意义上的差异化教学提供了有力工具。

* **个性化习题集生成**：教师可以利用GenAI，根据学生的个体理解水平、薄弱环节或特定学习目标，生成定制化的数学题集 35。例如，输入某学生在特定知识点上的掌握情况，AI可以生成难度适中、题型多样的练习题。
* **多层次解释与辅导**：针对同一数学概念或难题，AI能够生成不同深度、不同侧重点的解释版本，或采用不同的表达方式（如更通俗的语言、更具象的比喻），以适应不同学生的理解需求 48。例如，Vega AI据称能适应学生的学习节奏，并模仿教师的教学风格提供辅导 51。
* **即时与个性化反馈**：AI可以对学生的解题过程或答案提供即时的、有针对性的反馈，帮助学生及时发现并纠正错误，巩固正确方法 4。这比传统的教师批改作业模式效率更高，反馈也更具个性化。

#### **2. 静态内容动态化：将传统讲义、习题册转化为互动学习模块**

大量的传统教学资源以静态形式存在，如PDF讲义、纸质习题册等。AI工具能够帮助教师将这些静态资源转化为富有互动性的数字化学习模块。

* **互动化转换工具**：诸如Monsha、MagicSchool AI、Diffit、Worksheep等AI工具，可以将教师上传的文本、PDF等材料，自动转化为包含多种题型（选择、填空、简答等）的互动练习，或生成不同阅读水平的文本材料 49。
* **Nolej平台**：该平台专注于将静态教育材料（如教科书章节、视频脚本）转化为包含小测验、抽认卡、互动游戏等元素的动态课件，增强学生的学习参与感 44。
* **Snorkl应用**：此应用允许学生通过口述或绘图的方式解答数学问题，AI则对这些非标准化的输入进行分析并提供反馈 45。这种方式极大地拓展了传统习题的互动边界，使得对学生思维过程的评估成为可能。

#### **3. 构建定制化AI辅导系统与聊天机器人：基于教师课程与知识库**

为了使AI辅导更贴合自身教学内容和风格，教师可以尝试构建或定制AI辅导系统。

* **自定义GPT模型**：教师可以利用OpenAI等平台提供的接口，结合自身的教学大纲、典型案例、解题思路、常见学生问题等，训练或微调一个专门服务于自己课程的GPT模型 3。例如，Karabinos老师基于“构建思考型课堂”的理念和相关研究文献，训练了一个定制化的GPT，用于生成符合该教学法思想的高阶思维任务 3。
* **专用聊天机器人构建平台**：Edcafe AI、Mizou、TeachMateAI等平台允许教师创建可定制的聊天机器人，这些机器人可以被教师“喂养”特定的课程材料、知识点、FAQ等，从而能够针对性地回答学生提问，提供课程相关的辅导 55。Class Companion则允许教师上传作业，学生在练习时可以获得AI提供的反馈 47。 通过这种方式，AI的知识库由教师策划和审核，确保了内容的准确性和教学的连贯性。

#### **4. AI增强型题库：智能生成提示、变式与解析**

传统题库往往是静态的。AI可以为现有题库注入活力，使其更具辅导价值。

* **智能提示与多级解释**：AI可以为题库中的题目自动生成不同层次的解题提示，或者在学生遇到困难时提供逐步深入的引导性解释 37。
* **题目变式与拓展**：基于现有题目，AI能够生成不同难度、不同情境或考察不同侧重点的变式题，丰富题库资源，满足不同学生的练习需求。
* **MATH²框架的启示**：该框架展示了AI如何从现有问题中提取核心技能，并将这些技能进行创新性组合，以生成更具挑战性的新问题 36。教师可以借鉴此思路，利用AI分析自有题库中的知识点和技能点，辅助生成高质量的原创或改编题目。

通过上述策略，教师能够将AI深度融入日常教学资源的建设与应用中。AI不再仅仅是辅助工具，而是成为教师教学智慧的延伸和放大器。这种“再开发”过程，虽然减轻了教师从零开始创造教学内容的负担，但对教师的专业素养提出了新的要求：教师需要具备甄别AI生成内容质量的能力，能够批判性地评估其数学准确性和教学适切性，并在此基础上进行有效的整合与优化。AI辅助内容生成节省下来的时间，应更多地投入到对学生学习过程的观察、分析、指导以及更深层次的教学研究与创新中。这正是“授课信息化”从技术应用层面走向与教学深度融合的关键一步。

为了系统地展示教师“AI再开发”的各种策略及其对应的工具和潜力，下表进行了总结：

**表2：数学教师“AI再开发”策略、工具及潜力分析**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **“AI再开发”策略** | **描述与教学目标** | **示例工具/平台 (及相关研究文献ID)** | **对数学教师（尤其非编程人员）的潜力** |
| **AI辅助Manim视频创作** | 利用LLM生成Python脚本，创建Manim动画，可视化复杂数学定理、概念和过程，增强学生概念理解和学习兴趣。 | TheoremExplainAgent 24, makefinks/manim-generator 23, Math-To-Manim (smolagents) 29, DeepSeek-Manim-Animation-Generator 28, DocsBot.ai Manim Prompt 25 | 潜力巨大，尤其随着自然语言到Manim代码转换工具的成熟（如smolagents）；但目前在安装配置、提示工程、代码调试方面仍有学习曲线。 |
| **无代码/低代码交互式模拟** | 使用图形化界面或简单脚本创建互动式数学实验、几何探索、数据分析等，让学生动手操作，体验数学规律。 | GeoGebra 17, Edraw.AI 82, Mathigon Polypad 84, Breshna, Curipod, Nolej 44 | 非常易于上手，教师可快速创建可视化、互动性强的教学任务，特别适合探究式学习。 |
| **定制化AI辅导系统/聊天机器人** | 基于教师提供的课程大纲、教材内容、常见问题等，训练或微调AI模型，使其能提供高度针对性的辅导和答疑。 | 教师自建Custom GPTs 3, Edcafe AI, Mizou, TeachMateAI 55, Class Companion 47 | 掌握提示工程和基本数据整理技能即可进行定制，能显著提升AI辅导与课程的契合度。 |
| **AI增强型题库与习题** | 利用AI为现有题目生成多级提示、详细解析、不同难度或情境的变式题，或根据学生表现动态调整题目。 | MATH² 框架启发 36, ChatGPT等通用LLM 35, Vega AI 51, 专用数学解题工具 (Photomath, Mathway) 42 | 相对容易实现，教师可通过精心设计提示词，让AI辅助丰富题库资源，实现个性化练习。 |
| **AI驱动的差异化教学材料** | AI根据学生的不同学习水平、风格或需求，生成不同版本的教学文本、解释、练习或评估材料。 | ChatGPT, Claude 3, Diffit 49, Monsha 49 | 教师可通过设定不同参数（如阅读等级、认知复杂度）引导AI生成差异化材料，操作简便。 |
| **静态教学资源互动化改造** | 将传统的PDF讲义、Word文档、图片等静态材料，通过AI工具转化为包含测验、游戏、互动元素的动态学习模块。 | Nolej 44, Monsha 49, Snorkl 45, Quizizz (AI功能) 44 | 许多工具提供便捷的上传和转换功能，教师无需编程即可盘活现有静态资源，提升其互动性和吸引力。 |

此表为数学教师提供了一个清晰的“AI再开发”行动指南。它不仅列举了多样化的再开发路径，还指明了可资利用的工具和平台，并特别关注了非编程背景教师的可行性。这表明，教师主导的“AI再开发”并非遥不可及，而是可以通过选择合适的策略和工具，逐步融入日常教学实践，从而有力推动数学“授课信息化”向更深层次、更高质量发展。

## **IV. “AI再开发”之路：挑战与实践对策**

尽管教师主导的“AI再开发”为数学教学信息化带来了巨大潜力，但在实践过程中，教师们，尤其是那些缺乏深厚编程背景的教师，可能会遇到一系列挑战。克服这些挑战需要相应的策略和支持。

### **技术技能差距的弥合：AI辅助编码与用户友好型工具设计**

* **挑战**：许多数学教师缺乏创建复杂Manim动画或深度定制AI模型所需的编程技能 30。直接操作Python代码或理解AI模型的底层逻辑对他们而言门槛过高。
* **对策**：
  + **AI辅助编码**：大型语言模型（LLMs）本身就可以作为编程助手，根据自然语言指令生成代码片段，甚至协助调试 52。像GitHub Copilot这样的工具能够直接在编程环境中提供代码建议和修复 88。这意味着教师即使不完全掌握编程，也可以在AI的辅助下逐步尝试代码生成与修改。
  + **无代码/低代码平台**：针对非程序员设计的教育技术平台日益增多。例如，Edraw.AI 82、GeoGebra 78 以及多种AI驱动的互动练习、工作表生成器 44 允许教师通过图形化界面或简单的指令创建丰富的教学内容。LabDeck甚至提供了无代码的PyTorch AI模型生成器 89，预示着更复杂的AI定制也可能走向无代码化。
  + **用户友好的界面与提示工程支持**：一些AI工具正致力于简化用户与AI的交互方式。例如，将自然语言直接转化为Manim动画的项目（如Math-To-Manim中的“smolagents”概念 29）代表了这一趋势。同时，针对教育者的提示工程指南和辅助工具（如Prompt Professor、IDEA框架 90）能够帮助教师更有效地与AI沟通，获得期望的输出，即使他们不是技术专家。
  + **“代理式AI系统”的演进**：像TheoremExplainAgent 24 或manim-generator 23 这样的系统，其设计目标就是通过多智能体协作（如规划代理、编码代理）来自动化更多技术细节，使得用户（教师）能更专注于教学内容的策划。

### **确保AI再开发材料的数学准确性与教学适切性**

* **挑战**：AI生成的内容，无论是文本解释、数学解题步骤还是可视化动画脚本，都可能存在数学概念错误、逻辑缺陷或不符合教学法原则的情况 1。Manim动画的视觉元素布局不当或对概念的错误呈现也是常见问题 24。
* **对策**：
  + **教师作为最终的“守门人”和“质量官”**：这是最核心的对策。教师必须凭借自身的专业知识和教学经验，对AI生成的所有内容进行严格的审查、筛选和修改，确保其数学上的准确无误和教学上的恰当有效 32。如Magic School网站FAQ所建议：“将AI用于初步工作，但务必加入你最终的润色，审查偏见和准确性，并根据情境进行适当调整” 48。
  + **优先选用数学领域专用AI工具**：对于计算密集型或需要高度数学精确性的任务，应优先选择那些经过数学领域数据专门训练或优化的AI工具（如Wolfram Alpha、Photomath、Symbolab等），而非通用的LLMs 35。一些AI工具已经开始集成计算器功能或调用Wolfram Alpha等外部引擎来提高数学运算的准确性 34。
  + **建立和运用评估清单/框架**：教师可以参照或自行开发评估清单，从数学正确性、教学法契合度、内容清晰度、学生参与度、伦理考量等多个维度系统评估AI再开发的教学材料 94。例如，TheoremExplainBench为评估定理讲解视频提供了具体的度量指标 24。
  + **聚焦于支持“富有成效的挣扎”（Productive Struggle）**：在设计或调整AI辅助的教学活动时，要确保AI工具是帮助学生思考、探索，而不是直接给出答案、剥夺学生宝贵的认知建构过程 35。

### **AI生成代码的调试与优化策略（尤其针对非编程教师）**

* **挑战**：AI生成的代码（例如用于Manim动画或交互式实验的Python脚本）可能包含错误（bugs），或者运行结果与预期不符 23。对于没有编程经验的教师来说，调试这些代码几乎是不可能的任务。
* **对策**：
  + **与AI迭代对话进行调试**：教师可以将AI生成的代码运行后出现的错误信息或不符合预期的行为反馈给同一个（或另一个）AI模型，请求其帮助定位问题并修正代码 98。这是一种“以AI治AI”的策略。
  + **利用AI辅助调试工具**：一些AI工具或集成开发环境（IDE）插件正致力于提供智能化的代码调试支持，它们能够分析代码、识别潜在错误并给出修改建议 31。例如，Workik AI提供上下文感知的Python调试功能 100，JetBrains也在其教育研究中探索AI辅助调试 31。
  + **简化和分解任务**：当需要AI生成复杂代码时，教师可以尝试将复杂的动画或交互逻辑分解为若干个更小、更简单的子任务，分别让AI生成代码，然后（可能在有一定技术基础的同事协助下）进行组合。
  + **侧重于高层逻辑的验证**：即使不懂具体代码，教师也可以评估AI生成的动画脚本或交互逻辑在教学设计层面是否合理。例如，动画的步骤顺序是否符合概念的认知规律？交互环节是否能有效引导学生思考？这种高层逻辑的把关同样重要。
  + **寻求社群支持与借鉴成熟脚本**：利用Manim等开源工具的开发者社群或教师交流平台（如Reddit上的Manim社群 22），寻求帮助或查找已经过验证的AI生成脚本案例。
  + **可视化输出作为调试线索**：对于Manim这类可视化工具，即使教师不完全理解代码，也可以通过观察生成的动画效果与预期效果之间的差异，来大致判断问题可能出在哪些环节，并据此调整给AI的指令。

教师在进行AI代码调试的过程中，即便是在AI的辅助下完成，本身也是一种宝贵的学习经历。它能够帮助教师提升计算思维，更深入地理解算法的运作方式及其潜在的缺陷，这无疑有助于增强教师的整体AI素养 62。同时，对AI生成内容进行细致的验证，意味着“AI再开发”并非一次性的创造活动，而是一个持续的“生成—评估—优化—再评估”的迭代循环。这个过程要求教师保持长期的批判性参与和投入，确保AI辅助教学的质量和效果。

要使教师主导的“AI再开发”在“授课信息化”中发挥持久和广泛的作用，仅仅依靠教师个体的努力是远远不够的。这需要用户友好型AI开发工具的不断进步，以及强有力的教师专业发展体系的支撑。专业发展不应仅停留在工具操作层面，更要深入到培养教师的批判性AI素养和教学整合能力，使他们能够明辨AI的优劣，并将其智慧地融入数学教学实践中。这种工具与人的协同进化，是实现有效且负责任的“授课信息化”的关键。

为了帮助教育工作者系统地评估AI生成或再开发的数学教学内容，以下提供一个评估清单：

**表3：教育工作者评估AI生成/再开发数学教学内容的清单**

|  |  |
| --- | --- |
| **评估维度** | **具体考量点 (及相关研究文献ID)** |
| **1. 数学准确性与严谨性** | - 所有数学事实、定义、定理、公式、计算是否完全正确？ 64 <br> - 数学语言（符号、术语）的运用是否精确、规范、无歧义？ <br> - 内容是否避免引入或强化学生可能产生的数学概念混淆或错误认知？ 73 <br> - 若包含图表、图像等可视化元素，其绘制是否准确，标注是否清晰正确？ 24 |
| **2. 教学法适切性与对齐度** | - 内容是否与特定的学习目标、课程标准（如中国高职数学课程要求）紧密对齐？ 35 <br> - 难度水平是否适合目标学生群体？是否支持或易于进行差异化调整以适应不同层次学生？ 35 <br> - 是否能有效支持学生进行“富有成效的挣扎”（productive struggle），而非简单提供答案？ 35 <br> - 是否有助于促进学生对数学概念的深层理解和批判性思维，而非仅仅是程序性技能的记忆和操练？ 1 <br> - 解释和引导是否清晰、富有逻辑，易于学生理解和跟随？ 37 <br> - 是否运用了有效的教学策略（如多重表征、真实情境联系、探究式活动引导等）？ 9 |
| **3. 参与度与互动性 (针对模拟、视频等)** | - 内容呈现方式是否能够吸引并维持学生的学习兴趣和动机？ 4 <br> - 若为互动内容，互动环节的设计是否有助于学习？是否能有效促进学生的主动参与和探索？ <br> - 视觉设计（如Manim动画的布局、色彩）是否清晰、美观，且没有不必要的干扰元素？ 24 |
| **4. 伦理考量与偏见** | - 内容（例题情境、语言表达等）是否避免了文化、性别或其他潜在偏见？ 2 <br> - 若涉及学生数据的使用或收集（如在个性化学习系统中），是否充分考虑并解决了隐私保护问题？ 46 <br> - 是否引导学生负责任地使用AI工具（如适用）？ 62 |
| **5. 可用性与技术层面 (针对工具/代码)** | - 若生成了代码（如Manim脚本），其效率和可维护性如何（尤其在AI辅助下）？ 96 <br> - 开发的工具或内容是否对所有学生（包括有特殊需求的学生）都具有良好的可访问性？ 1 <br> - 生成的教学资源是否易于整合到教师现有的教学流程或LMS平台中？ 44 |

这份清单为教师提供了一个结构化的框架，帮助他们在“AI再开发”过程中，对产出的教学内容进行全面而细致的评估。通过系统地考察这些维度，教师能够更自信地驾驭AI工具，确保其再开发的成果不仅技术上新颖，更在数学专业性、教学有效性和伦理安全性上达到高标准，从而真正服务于提升“授课信息化”的质量。

## **V. 促进有效实施：“AI再开发”中专业发展与支持的关键作用**

数学教师要成功地对AI进行“再开发”，并将其有效融入教学实践，从而提升“授课信息化”水平，离不开系统性的专业发展和持续性的支持。这不仅要求教师掌握新的技术技能，更需要培养其在AI时代的教学智慧和批判性思维。

### **AI再开发专项培训的必要性**

当前，许多数学教师尚未接受过关于如何在教学中使用AI的系统培训，部分教师甚至对AI持保留或疑虑态度，担心AI会削弱学生的思维能力或技术过于复杂难以驾驭 3。据报道，仅有约21%的数学教师表示在教学或备课中使用AI 3。要有效地利用GenAI进行“再开发”，教师需要掌握一系列新技能，包括但不限于：有效的提示工程（prompt engineering）、对AI输出内容的批判性评估能力、对AI能力边界的清晰认知，以及将AI再开发成果融入教学设计的策略等 35。

因此，专门的、高质量的专业发展（Professional Development, PD）项目对于装备教师必要的知识和技能，使其能够自信、有效且负责任地整合GenAI至关重要 65。这与中国教育领域对教师信息技术应用能力提升的普遍需求相一致，也是深化教育数字化战略、提升教师队伍整体素质的内在要求 16。

### **有效专业发展的核心要素**

一个成功的AI再开发专业发展项目应包含以下关键组成部分：

* **AI素养基础**：帮助教师理解GenAI的基本原理（如大型语言模型、训练数据等）、核心能力及其固有的局限性 2。
* **提示工程技能**：系统培训教师如何针对特定的数学教学任务和内容创作需求，设计和优化提示词，以引导GenAI生成更符合要求的输出 3。例如，可以引入像IDEA框架（Include, Develop, Evaluate, Apply）这样的实用策略 91。
* **AI输出内容的批判性评估**：培养教师从数学准确性、教学法适切性、潜在偏见和伦理风险等多个维度，审慎评估AI生成内容的能力 62。这包括识别AI可能产生的“幻觉”（hallucinations）或逻辑谬误 64。
* **“AI再开发”工具的实践操作**：
  + **AI辅助编程体验**：即使是基础层面，也应让教师体验如何利用AI生成Manim等动画的脚本代码，并尝试进行简单的修改和调试 21。
  + **无代码/低代码平台应用**：指导教师使用用户友好的平台创建交互式数学模拟、可视化图表等 58。
  + **定制化AI辅导工具构建**：引导教师探索如何利用自身课程数据或特定教学需求，定制或微调AI辅导系统或聊天机器人 3。
  + **AI增强现有资源策略**：分享如何利用AI为现有习题集、讲义等添加提示、变式、反馈，或将其转化为互动模块的实用方法 35。
* **教学整合策略**：重点研讨如何将“再开发”的AI工具和资源有效地融入数学教学过程，以支持学生的深度学习、探究性学习和“富有成效的挣扎”，而非简单替代教师或降低认知需求 3。教师应被定位为AI增强学习环境的设计者和引导者 48。
* **伦理规范与负责任使用**：深入讨论AI在教育中应用所涉及的数据隐私保护、算法偏见、学术诚信以及如何引导学生负责任地使用AI等议题 1。

有效的专业发展不应是一次性的培训，而应是持续的、强调协作的、并提供充分探索和实践机会的学习过程 103。可以借鉴哈佛大学、佐治亚理工学院、ISTE、谷歌AI教育等机构提供的课程和资源 103。

### **构建协作社群：共享实践经验与共研AI增强资源**

促进教师之间的交流与合作，对于推广“AI再开发”的成功经验至关重要。

* 鼓励教师建立学习共同体，分享他们在AI提示工程、工具选择、内容评估、教学整合等方面的有效做法和遇到的问题 103。
* 推动数学教师、教育技术研究者、课程开发者以及AI技术开发者之间的跨界合作，共同设计和优化更符合数学教学需求的AI工具和数字化资源 16。这种合作模式与中国教育界已有的教研组、备课组等同行交流机制一脉相承，可以相互借鉴和促进 115。

对教师进行AI再开发的专业发展，其核心目标不应仅仅是教会他们如何操作某几款AI工具，更深远的意义在于培养教师的**批判性AI素养**和**数学教学的智慧**。教师需要理解AI的本质，才能在复杂的教学情境中做出明智的判断：何时使用AI？为何使用？如何使用才能最大限度地促进学生的数学理解和思维发展？这要求专业发展超越技术层面，深入到教学法层面，将AI技术的学习与数学学科知识（CK）、教学法知识（PK）以及技术知识（TK）深度融合，即提升教师的TPACK（技术教学内容知识）能力 65。

教师参与AI工具的“再开发”过程本身，就是一种极具价值的专业学习方式。当教师尝试构建定制化的GPT模型 3 或利用AI辅助创作Manim视频 29 时，他们不仅仅是在生产教学资源，更是在主动解决问题，反思技术如何更好地表征数学思想，如何更有效地支持学生学习。这种基于实践的、创造性的学习体验 103，对提升教师的综合素养和创新能力，可能远比被动接受现成AI工具更为有效。

然而，要使教师主导的“AI再开发”成为一种可持续、可规模化的实践，从而系统性地提升“授课信息化”水平，离不开制度层面的大力支持。教育机构和相关部门需要为教师提供易于获取且功能强大的AI工具 4，组织高质量的专业发展项目 3，并保障教师有充足的时间和空间进行学习、探索和协作 103。同时，对教师在这方面付出的努力和取得的成果应给予充分的认可和激励。这与解决职业教育中普遍存在的师资水平、资源配置等问题息息相关 72。缺乏这种系统性的支持，教师主导的“AI再开发”可能仅停留在少数先行者的探索层面，难以真正成为推动“授课信息化”广泛而深入发展的持久动力。

## **VI. 结论：迈向数学教师与AI协同共进的数字化教学未来**

### **总结：教师主导的AI再开发的变革潜力**

通用型生成式AI因其在数学准确性、教学法契合度以及促进学生批判性思维等方面的固有局限，往往难以直接满足数学教育的特定需求。然而，本报告深入探讨了数学教师如何通过“AI再开发”——例如利用AI辅助编程创作Manim可视化动画、开发互动式数学实验、以及定制化现有教学资源（如题库、知识平台）等方式——来有效克服这些局限。教师主导的AI再开发，确保了AI技术能够真正服务于教学目标，成为教师教学智慧的延伸和放大器，而非简单替代 1。通过这一过程，AI不再是“一刀切”的工具，而是可以被精细打磨，以适应不同学生、不同概念、不同教学情境的需求，从而催生出更具个性化、参与性和概念深度的数学学习体验 4。

真正的“授课信息化”并非简单地将技术引入课堂，而是要实现技术与教学的深度融合，最终服务于提升育人质量。在这个意义上，教师对AI的“再开发”能力，是推动数学“授课信息化”从量变到质变的关键。它意味着AI不再仅仅作为信息传递的渠道或效率提升的工具，而是成为教师创新教学方法、优化教学过程、实现因材施教的有力伙伴。这种协同关系，是AI时代数学教育发展的必然趋势。

### **未来展望：AI作为数学教育者的强大可定制化“副驾驶”**

展望未来，理想的教育AI应如同一个高度智能且可定制化的“副驾驶”，辅助数学教师更高效、更智慧地完成教学任务。这意味着AI工具需要具备以下特征：

* **高度适应性与可定制性**：教师能够便捷地将自己的课程大纲、教学案例、习题数据、甚至教学理念融入AI系统中，使其输出的内容和交互方式与教师的教学风格和特定需求高度一致 46。
* **透明度与可解释性**：AI的决策过程和内容生成逻辑应对教师更为透明，便于教师理解、信任和在必要时进行干预。
* **强大的数学能力与教学法支持**：AI不仅要具备精准的数学运算和推理能力，还要能理解和应用基本的教学法原则，如提供多重表征、设计探究式提问、生成符合认知规律的解释等。

在这样的愿景下，数学教师的角色将从传统的知识传授者，进一步转变为学习过程的设计者、AI辅助教学的引导者、学生高阶思维的激发者以及AI系统表现的诊断者和优化者 48。AI负责处理重复性的信息整合、初步内容生成、个性化练习推送等任务，而教师则能将更多精力投入到与学生的深度互动、复杂问题的研讨以及创造性教学活动的设计上。这种人机协同，将极大地提升数学“授课信息化”的层次和效能。

教师主导的“AI再开发”，还有可能成为推动更广泛课程创新和教学改革的催化剂。当教师掌握了利用AI创造动态可视化（如Manim视频 21）或交互式实验 78 的能力时，他们不仅仅是在数字化已有的教学方法，更是在探索全新的方式来表征和互动数学思想。这个过程本身就能激发教师对现有教学实践的反思，并可能催生出以往难以实现或成本过高的创新性学习体验 4。这种由教师驱动的、自下而上的AI应用创新，能够为数学教育注入新的活力，使其更贴近时代需求和学生认知特点。

### **支持这一愿景的建议**

为实现数学教师与AI协同共进的未来，需要教育者、AI工具开发者、政策制定者及研究机构的多方努力：

* **对教育者**：
  + **提升AI素养与再开发技能**：积极参与相关专业发展项目，学习AI基础知识、提示工程、AI内容评估方法以及AI辅助内容创作工具（如Manim辅助编程、无代码平台）的使用 1。
  + **保持批判性思维**：在拥抱AI带来便利的同时，始终对AI生成内容进行严格的数学准确性和教学适切性审查，确保AI服务于教学而非主导教学。
  + **加强合作与分享**：积极参与教师社群，分享AI再开发的成功案例、有效提示词、自建资源和教学策略，共同提升区域或全国范围内的数学教学信息化水平。
* **对AI工具开发者**：
  + **聚焦教育专用与教师赋能**：开发更易于教师（包括非编程背景教师）进行定制和“再开发”的AI工具。例如，提供更直观的界面让教师导入自有课程数据、调整AI行为参数；研发更强大的自然语言到代码（如Manim脚本）的转换能力，并降低其使用门槛（类似Math-To-Manim的smolagents设想 29）；增强AI对数学符号、逻辑和教学法原则的理解。
  + **提升透明度与可解释性**：努力使AI的推理过程和决策依据对教师更加清晰可见，帮助教师建立信任并有效干预。
  + **与教育者紧密合作**：在AI教育工具的设计、研发和迭代过程中，应广泛吸纳一线数学教师的参与和反馈，确保工具的实用性和有效性 16。
* **对政策制定者与教育机构**：
  + **加大投入与支持**：为教师提供持续的、高质量的AI再开发专业发展机会，并保障必要的软硬件资源、时间和政策支持 7。
  + **鼓励研究与创新**：支持开展关于AI在数学教育中有效应用、伦理规范、效果评估等方面的深入研究，特别是针对高等职业教育等具体情境的研究 39。
  + **制定国家层面的指导策略**：出台引导AI在教育领域健康发展的国家战略和指导意见，强调教师在AI整合中的核心作用，确保AI的应用符合教育规律和育人目标 7。

AI在数学教育中的伦理和公平问题，尤其是在教师进行“再开发”并可能将其应用于多样化的学生群体（如高等职业教育）时，需要得到持续的关注和审慎的处理。AI的偏见问题 69、数据隐私问题 77、以及可能加剧数字鸿沟的风险 1，都要求教育者、开发者和政策制定者进行持续的对话与协作。必须确保这些强大的AI工具在被“再开发”和应用时，能够促进所有学生的公平学习机会，而不是制造新的不平等。这需要一个多方参与的治理框架和发展路径，以保障AI技术在数学教育中的应用既富有创新，又充满人文关怀。

通过上述多方面的协同努力，数学教师将能够更好地驾驭生成式AI这一强大的技术工具，通过富有创造性的“再开发”，使其真正成为提升数学“授课信息化”水平、促进学生深度学习和个性化发展的得力助手，共同塑造一个更智能、更高效、更具人文关怀的数学教育新生态。

#### 引用的著作

1. Embracing Generative AI in Mathematics Education: A Double-Edged Sword, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://jrogel.com/embracing-generative-ai-in-mathematics-education-a-double-edged-sword/>
2. Traditional AI vs. Generative AI: What's the Difference? | Illinois - College of Education, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://education.illinois.edu/about/news-events/news/article/2024/11/11/what-is-generative-ai-vs-ai>
3. How AI Is Changing the Way Math Teachers Plan Lessons - Education Week, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.edweek.org/technology/how-ai-is-changing-the-way-math-teachers-plan-lessons/2025/03>
4. AI for math: Transforming learning and teaching in education | SchoolAI, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://schoolai.com/blog/ai-for-math-transforming-learning-and-teaching-in-education?ref=taaft&utm_source=taaft&utm_medium=referral>
5. Math Teachers Find Uses for AI in Lesson Planning, Tutoring - GovTech, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.govtech.com/education/k-12/math-teachers-find-uses-for-ai-in-lesson-planning-tutoring>
6. Middle School Girls Using Generative AI to Engage in Mathematical Problem-Posing, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.researchgate.net/publication/389738765_Middle_School_Girls_Using_Generative_AI_to_Engage_in_Mathematical_Problem-Posing>
7. 国务院公报 - 中国政府网, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.gov.cn/gongbao/2025/issue_11846/material/gwygb202504.pdf>
8. 30篇【教育数字化转型】论文合集, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://cit.bnu.edu.cn/docs/2022-05/20220526162518557651.pdf>
9. 基于知识图谱的AI智慧型混合式高等数学课程建设研究Research on ..., 访问时间为 五月 16, 2025， <https://pdf.hanspub.org/ae20241412_541168146.pdf>
10. AI 赋能集成电路教育数字化发展白皮书, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://ic.bupt.edu.cn/__local/3/46/7D/F72B109D401998033FC21339FBA_9AB8D3B8_17E738.pdf>
11. openedu.sou.edu.cn, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://openedu.sou.edu.cn/upload/qikanfile/202209272249011798.pdf>
12. 专题策划\_在线教学新常态混合金课再出征 - 计算机教育, 访问时间为 五月 16, 2025， <http://jyjs.cbpt.cnki.net/wki/WebPublication/wkTextContent.aspx?colType=4&yt=2020&st=07>
13. 科技查新报告, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://ein.ynnu.edu.cn/__local/4/B0/2F/0E47981569FF6A6C67D7E26A227_1C93032C_3ADDDB.pdf>
14. 发展素质教育培养时代新人, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://case.bit.edu.cn/pub/dxszjyyjfk/docs//2024-03/46871cd247a5442cbfc9ea68fee29c0e.pdf>
15. 本刊重稿 - 科技信息, 访问时间为 五月 16, 2025， [https://kjxx.cbpt.cnki.net/WKE/WebPublication/wkTextContent.aspx?contentID=&colType=4&yt=2008&st=24](https://kjxx.cbpt.cnki.net/WKE/WebPublication/wkTextContent.aspx?contentID&colType=4&yt=2008&st=24)
16. (PDF) On the Design and Development of Digital Mathematics ..., 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.researchgate.net/publication/385683746_On_the_Design_and_Development_of_Digital_Mathematics_Textbooks_Findings_from_a_Systematic_Review>
17. MyLab Math - Digital Learning Platforms | Pearson, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.pearson.com/en-us/higher-education/products-services/mylab/math.html>
18. 现代高等职业技术教育网, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.tech.net.cn/>
19. 访问时间为 一月 1, 1970， <https://www.icve.com.cn/>
20. 访问时间为 一月 1, 1970， <https://www.icve.com.cn/portal/school/information/index>
21. CA Learning Lab AI Fast Challenge Award 2025 | CSU AI Commons, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://genai.calstate.edu/systemwide/research-and-grants/ca-learning-lab-ai-fast-challenge-award-2025>
22. I built an AI tool that turns text prompts into Manim animations — still a work in progress, but would love feedback! : r/3Blue1Brown - Reddit, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.reddit.com/r/3Blue1Brown/comments/1kn85x7/i_built_an_ai_tool_that_turns_text_prompts_into/>
23. makefinks/manim-generator: Automatic LLM-based video ... - GitHub, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://github.com/makefinks/manim-generator>
24. TheoremExplainAgent: Towards Multimodal Explanations for LLM Theorem Understanding, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://tiger-ai-lab.github.io/TheoremExplainAgent/>
25. Manim Animation Script - AI Prompt - DocsBot AI, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://docsbot.ai/prompts/education/manim-animation-script>
26. Using Manim For Making UI Animations - Smashing Magazine, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.smashingmagazine.com/2025/04/using-manim-making-ui-animations/>
27. TheoremExplainAgent: Towards Multimodal Explanations for LLM Theorem Understanding - arXiv, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://arxiv.org/html/2502.19400v1>
28. DeepSeek-Manim-Animation-Generator - AIbase, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.aibase.com/tool/35819>
29. HarleyCoops/Math-To-Manim: Create Epic Math and Physics Animations From Text. - GitHub, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://github.com/HarleyCoops/Math-To-Manim>
30. Giving up cuz of AI? : r/manim - Reddit, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.reddit.com/r/manim/comments/1ibachv/giving_up_cuz_of_ai/>
31. Education Research - JetBrains, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://lp.jetbrains.com/research/education/>
32. Show HN: I'm a teacher and built an AI presentation tool - Hacker News, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://news.ycombinator.com/item?id=43451141>
33. Guide to Building an AI-Powered Mathematical Animation Generator - Sevalla, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://sevalla.com/blog/guide-to-building-an-ai-powered-mathematical-animation-generator/>
34. I built a AI that can generate Manim animations! - Reddit, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.reddit.com/r/manim/comments/1i4qvfv/i_built_a_ai_that_can_generate_manim_animations/>
35. Guide to Integrating Generative AI for Deeper Math Learning, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.aiforeducation.io/ai-resources/guide-to-integrating-generative-ai-for-deeper-math-learning>
36. AI-Assisted Generation of Difficult Math Questions | PromptLayer, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.promptlayer.com/research-papers/ai-assisted-generation-of-difficult-math-questions>
37. How Is AI Good for Math? 5 Benefits to Consider, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://julius.ai/articles/how-is-ai-good-for-math-5-benefits-to-consider>
38. Factors Influencing College Students' Generative Artificial Intelligence Usage Behavior in Mathematics Learning: A Case from China - MDPI, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.mdpi.com/2076-328X/15/3/295>
39. (PDF) Artificial Intelligence in Mathematics Education: The Pros and Cons - ResearchGate, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.researchgate.net/publication/382985021_Artificial_Intelligence_in_Mathematics_Education_The_Pros_and_Cons>
40. Brisk AI Tools for Math teachers, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.briskteaching.com/subject/ai-tools-for-math-teachers>
41. Top 7 AI Math Tools to Solve Complex Math Problems in May, 2025 - Powerdrill, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://powerdrill.ai/blog/top-ai-math-tools-to-solve-complex-math-problems>
42. Top ChatGPT Alternative for Math: Enhance Your Problem-Solving Skills - Edubrain, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://edubrain.ai/blog/top-chatgpt-alternative-for-math-enhance-your-problem-solving-skills/>
43. How Generative AI Can Support Research-Based Math Instruction - Edutopia, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.edutopia.org/article/using-ai-math-instruction/>
44. 13 Best AI Tools for Teachers: Your Ultimate AI Stack! (with Infographic) - Monsha, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.monsha.ai/blog/13-best-ai-tools-for-teachers-ultimate-ai-stack>
45. AI Tools for Educators Support Students' Math Learning, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://jumpmath.org/us/blog/ai-tools-for-educators-support-students-math-learning/>
46. AI for math: Transforming learning and teaching in education | SchoolAI, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://schoolai.com/blog/ai-for-math-transforming-learning-and-teaching-in-education>
47. Generative AI for Teachers: Resources - Research Guides at Southern Illinois University, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://libguides.lib.siu.edu/ai-for-teachers>
48. How Teachers Can Orchestrate a Classroom Filled with AI Tools | Getting Smart, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.gettingsmart.com/2025/01/07/how-teachers-can-orchestrate-a-classroom-filled-with-ai-tools/>
49. 7 Best AI Worksheet Generator Tools for Teachers (2025) | Top Free Choices for Educators, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.monsha.ai/blog/7-best-ai-worksheet-generator-tools-for-teachers>
50. Using Generative AI Tools to Improve Learning Outcomes - Education Corner, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.educationcorner.com/generative-ai-tools-improve-learning/>
51. Best AI Tools for Math Education: Using AI in Math By Teacher - LearnQ.ai, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://blogs.learnq.ai/ai-tools-for-math-teachers-enhancement/>
52. AI and Teaching | Center for Teaching Excellence | SIU, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://cte.siu.edu/instructional-support/ai-teaching/>
53. Generative AI in STEM Teaching: Opportunities and Tradeoffs - CADRE, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://cadrek12.org/sites/default/files/2025-01/edc-CADRE-REPORT-AI-Teaching-2025.pdf>
54. 7 Best AI Worksheet Generator Tools for Teachers (2025) | Top Free Choices for Educators, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://monsha.ai/blog/7-best-ai-worksheet-generator-tools-for-teachers>
55. 11 Best AI Chatbot Makers Teachers & Schools Can Use for Student Support - Edcafe AI, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.edcafe.ai/blog/best-ai-chatbot-makers>
56. TeachMateAI, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://teachmateai.com/>
57. 7 Best AI Worksheet Generator Tools for Teachers (2025) | Top Free Choices for Educators, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://monsha.ai/blog/7-best-ai-worksheet-generator-tools-for-teachers/>
58. Eduaide.Ai: AI Created for Teachers, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.eduaide.ai/>
59. Create Your Own AI-Powered Virtual Tutor: An Easy Tutorial - DZone, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://dzone.com/articles/create-ai-powered-virtual-tutor-tutorial>
60. Meet Khanmigo: Khan Academy's AI-powered teaching assistant & tutor, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.khanmigo.ai/>
61. The Implications of Generative Artificial Intelligence for Mathematics Education, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.researchgate.net/publication/390127758_The_Implications_of_Generative_Artificial_Intelligence_for_Mathematics_Education>
62. AI Literacy Guide: How To Teach It, Plus Resources To Help - We Are Teachers, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.weareteachers.com/ai-literacy-guide/>
63. 高等学校大学数学教学研究与发展中心2024年教改立项指南-高等学校 ..., 访问时间为 五月 16, 2025， <https://cmc.xjtu.edu.cn/info/1037/1994.htm>
64. AI Gets Math Wrong Sometimes. How Teachers Deal With Its ..., 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.edweek.org/teaching-learning/ai-gets-math-wrong-sometimes-how-teachers-deal-with-its-shortcomings/2024/09>
65. Pre-Service Teachers' Perceptions of Adopting Generative AI Tools in Teaching Mathematics: Insights from a TPACK, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://dr.lib.iastate.edu/bitstreams/c1639ffe-fbf3-4170-a15e-831e7dc847b4/download>
66. A comparative analysis of four AI chatbots for calculus and statistics - Journal of Applied Learning and Teaching, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://jalt.journals.publicknowledgeproject.org/index.php/jalt/article/download/1053/645>
67. Why Some Math Teachers Don't Want Professional Development on AI - Education Week, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.edweek.org/technology/why-some-math-teachers-dont-want-professional-development-on-ai/2025/04>
68. www.nctm.org, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.nctm.org/standards-and-positions/Position-Statements/Artificial-Intelligence-and-Mathematics-Teaching/#:~:text=Problem%2Dsolving%20and%20strong%20fundamentals,to%20be%20cited%20or%20vetted.>
69. AI Considerations for Teaching and Learning, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://teaching.resources.osu.edu/teaching-topics/ai-considerations-teaching-learning>
70. Awareness, acceptance, and adoption of Gen-AI by K-12 mathematics teachers: an empirical study integrating TAM and TPB, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12057034/>
71. pdf.hanspub.org, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://pdf.hanspub.org/ae20241412_71167717.pdf>
72. www.ewadirect.com, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.ewadirect.com/proceedings/LNEP/article/view/22928/pdf>
73. How Does AI Affect Education Negatively? Understanding the Challenges and Risks, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.eself.ai/blog/ethics-and-ai/how-does-ai-affect-education-negatively-understanding-the-challenges-and-risks/>
74. Gen AI Should Not Be Considered A Tool - For Students or Teachers - Reddit, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.reddit.com/r/Teachers/comments/1jmeg46/gen_ai_should_not_be_considered_a_tool_for/>
75. We want to hear from you: How Might Generative Artificial Intelligence Further Enhance Mathematics Teaching and Learning? - CPM Educational Program, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://cpm.org/we-want-to-hear-from-you-how-might-generative-artificial-intelligence-further-enhance-mathematics-teaching-and-learning/>
76. Opportunities and challenges of using generative AI to personalize educational assessment, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.frontiersin.org/journals/artificial-intelligence/articles/10.3389/frai.2024.1460651/full>
77. AI in Education: Revolutionizing Learning with Intelligent Tools - Podcastle, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://podcastle.ai/blog/ai-in-education/>
78. 8 Best AI for Math Tools (May 2025) - Unite.AI, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.unite.ai/best-ai-for-math-tools/>
79. (PDF) Perspectives of secondary school teachers on the strengths ..., 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.researchgate.net/publication/389399539_Perspectives_of_secondary_school_teachers_on_the_strengths_and_limitations_of_digital_mathematics_textbooks_an_exploratory_research_in_China>
80. Developing a Personalised Learning Model Based on Interactive Novels to Improve the Quality of Mathematics Education, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.ejmste.com/download/developing-a-personalised-learning-model-based-on-interactive-novels-to-improve-the-quality-of-11590.pdf>
81. 10 Best AI for Math Problems - AutoGPT, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://autogpt.net/10-best-ai-for-math/>
82. Free Online Math Diagram Creator - Edraw.AI, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.edraw.ai/feature/online-math-diagram-maker.html>
83. AI Tools for Teachers - Resources: Mathematics - Libguides, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://teachers-ab.libguides.com/math/ai>
84. Top AI Math Tools for Teachers and Students in 2025, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.toolify.ai/ai-news/top-ai-math-tools-for-teachers-and-students-in-2025-3369608>
85. 5 Teacher-Tested AI Tools for Beginners - Edutopia, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.edutopia.org/article/ai-tools-teachers-try/>
86. Leveraging Generative AI for STEM courses: Coding and Math Hacks - TILT@colostate.edu, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://tilt.colostate.edu/leveraging-generative-ai-for-stem-courses-coding-and-math-hacks/>
87. Case Studies: Using Generative AI for Coding - Codecademy, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.codecademy.com/resources/blog/case-studies-using-generative-ai-coding/>
88. 7 Python Debugging Techniques Every Beginner Should Know - KDnuggets, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.kdnuggets.com/7-python-debugging-techniques-every-beginner-should-know>
89. PyTorch No-Code AI Generator - LabDeck, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://labdeck.com/ai-models/pytorch-no-code-ai-generator/>
90. How to write effective AI prompts for teachers using Nearpod's AI Create tool, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://nearpod.com/blog/ai-create-prompts/>
91. CIDDL Research and Practice Brief: Generative AI Prompt Engineering for Educators, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://ciddl.org/ciddl-research-and-practice-brief-generative-ai-prompt-engineering-for-educators/>
92. How AI Might Be Used to Motivate and Assess Students in Math - Education Week, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.edweek.org/technology/how-ai-might-be-used-to-motivate-and-assess-students-in-math/2025/03>
93. TheoremExplainAgent: Towards Multimodal Explanations for LLM Theorem Understanding, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://arxiv.org/html/2502.19400>
94. CBS Faculty Guide to Generative AI Integration Checklist - Columbia Business School, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://business.columbia.edu/samberg/ai/ai-in-the-classroom/checklist>
95. Exploring The Use of Artificial Intelligence as an Instructional Learning Tool in Middle School Mathematics Classrooms - A-State Research & Creativity Hub (ARCH), 访问时间为 五月 16, 2025， <https://arch.astate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=all-etd>
96. Challenges and Paths Towards AI for Software Engineering - arXiv, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://arxiv.org/html/2503.22625v1>
97. Teaching Code in the AI Era: Why Fundamentals Still Matter - DEV Community, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://dev.to/aspittel/teaching-code-in-the-ai-era-why-fundamentals-still-matter-1k1g>
98. Agentic Ai generated python/manim test program example. - Reddit, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.reddit.com/r/manim/comments/1jpc9pk/agentic_ai_generated_pythonmanim_test_program/>
99. Debug AI Code: 10 Tips to Solve Common Errors - Phaedra Solutions, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.phaedrasolutions.com/blog/debug-ai-code>
100. Free AI-Powered Python Code Debugger | Debug and Resolve Instantly - Workik, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://workik.com/ai-powered-python-code-debugger>
101. International Best Practices of Digital Education, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://wcmfileapi.zznu.edu.cn:8002/jinengxunlianzhongxin/file/2024/2/6/133516785203810438.pdf>
102. The Use of Generative Artificial Intelligence for Upper Secondary Mathematics Education Through the Lens of Technology Acceptance - arXiv, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://arxiv.org/pdf/2501.14779>
103. AI Professional Development Helps Teachers With Tech Integration | Edutopia, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.edutopia.org/article/ai-professional-development-helps-teachers-tech-integration/>
104. (PDF) Exploring the Integration of Artificial Intelligence-Based ChatGPT into Mathematics Instruction: Perceptions, Challenges, and Implications for Educators - ResearchGate, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.researchgate.net/publication/382078539_Exploring_the_Integration_of_Artificial_Intelligence-Based_ChatGPT_into_Mathematics_Instruction_Perceptions_Challenges_and_Implications_for_Educators>
105. AI Courses for Educators in Education - The School House Anywhere, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.tshanywhere.org/post/ai-education-courses-educators>
106. 《教师教育专题信息》2025年第3卷第1期, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://nhb.shnu.edu.cn/8b/ed/c30218a822253/page.htm>
107. www.scholink.org, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.scholink.org/ojs/index.php/wjeh/article/download/56057/11808>
108. EDITORS Emily Abd Rahman Nur Khadirah Ab. Rahman Harwati Hashim PUBLISHED BY Faculty of Education Universiti Kebangsaan Malaysia 2025 - Fakulti Pendidikan UKM, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://fpendidikan.ukm.my/wp-content/uploads/2025/03/Proceeding-iTELLS-2024-eISBN.pdf>
109. (PDF) Vocational Education in China - ResearchGate, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.researchgate.net/publication/385821015_Vocational_Education_in_China>
110. (PDF) Digital Skills and Technology Integration Challenges in ..., 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.researchgate.net/publication/387630002_Digital_Skills_and_Technology_Integration_Challenges_in_Vocational_High_School_Teacher_Learning>
111. Student e-learning effectiveness based on pedagogy, evaluation ..., 访问时间为 五月 16, 2025， <https://malque.pub/ojs/index.php/msj/article/download/3317/1661>
112. Trends and Issues of Promoting Digital Learning in High-Digital-Competitiveness Countries - ERIC, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED636595.pdf>
113. AI 101 for Teachers | Code.org, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://code.org/ai/pl/101>
114. Generative AI in Education: From Foundational Insights to the Socratic Playground for Learning - arXiv, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://arxiv.org/html/2501.06682v1>
115. 教学质量简报, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://jxzljk.gdbtu.edu.cn/upload/files/2025/4/19209b7afa5be92e.pdf>
116. 一、学位授权点基本情况 - 南京财经大学研究生院, 访问时间为 五月 16, 2025， <http://yjsc.nufe.edu.cn/__local/8/66/6E/9F80D630D0142FEA08080A13451_9347C96C_5CE2FF.pdf>
117. Meet Khanmigo: Khan Academy's AI-powered teaching assistant & tutor, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://khanmigo.ai/>
118. (PDF) Artificial Intelligence in Education: Mathematics Teachers' Perspectives, Practices and Challenges - ResearchGate, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.researchgate.net/publication/375999281_Artificial_Intelligence_in_Education_Mathematics_Teachers'_Perspectives_Practices_and_Challenges>
119. Current practices and future direction of artificial intelligence in mathematics education: A systematic review, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.iejme.com/download/current-practices-and-future-direction-of-artificial-intelligence-in-mathematics-education-a-16006.pdf>
120. Laboratory for Artificial Intelligence in Mathematics Education at Stevens, 访问时间为 五月 16, 2025， <https://www.stevens.edu/school-engineering-science/departments/mathematical-sciences/laboratory-for-artificial-intelligence-in-mathematics-education>