

# AI 赋能通识数学课程中大学生高阶思维与素养发展的实证研究\*

张悦\*\* 肖仕维 王立婧 代鸿

重庆城市科技学院 智能制造与能源工程学院数学与物理系, 重庆 402167

**摘要** 在高等教育内涵式发展与智能技术深度融合的背景下, 如何破解通识课程“知识传授与价值引领脱节”的困境, 成为教学改革的关键。本研究基于“三以立本、三位铸径、五策育人(335)”教学模式, 以某应用型本科院校180名修读通识数学课程的大学生为对象, 采用准实验设计与混合研究方法, 系统考察AI赋能下的教学改革路径。该模式通过价值引领层(三以立本)、教学实施层(三位铸径)与思政融合层(五策育人)三层架构, 将AI技术作为“素养赋能者”, 以精准诊断、动态反馈与多维评价贯穿教学全流程。结果表明: 实验组在批判性思维、创新能力、数学建模能力及社会责任感等维度上的后测得分均显著高于对照组( $p<0.001$ , Cohen's  $d=0.72\sim1.05$ ); 学习投入在AI赋能与素养发展之间起部分中介作用(间接效应占比38.2%); 技术接受度正向调节AI赋能对学习投入的影响( $\beta=0.24, p<0.01$ )。该模式验证了“技术—投入—素养”的链式作用机制, 为智能时代高校通识课程的素养导向教学改革提供了实证依据。

**关键词** AI赋能, 通识数学课程, 高阶思维与全人素养, “335”教学模式, 中介模型与准实验研究

## Empirical Study on the Development of Advanced Thinking and Literacy of College Students in General Mathematics Courses Empowered by AI \*

Yue Zhang Shiwei Xiao Lijing Wang Hong Dai

College of Intelligent Manufacturing and Energy Engineering, Chongqing Metropolitan College of Science and Technology, Chongqing 402167, China

**Abstract**—In the context of the connotative development of higher education and the deep integration of intelligent technology, how to solve the dilemma of the disconnect between knowledge imparting and value guidance in general education courses has become the key to teaching reform. This study is based on the teaching model of "Three in One, Three in One, and Five Strategies for Education (335)". 180 college students studying general mathematics courses in an applied undergraduate institution are selected as the subjects, and a quasi experimental design and mixed research method are used to systematically examine the teaching reform path under AI empowerment. This model adopts a three-layer architecture consisting of a value driven layer (based on the three pillars), a teaching implementation layer (based on the three pillars), and an ideological and political integration layer (based on the five strategies for educating people). AI technology is regarded as a "competence enabler", and precise diagnosis, dynamic feedback, and multidimensional evaluation are integrated throughout the entire teaching process. The results showed that the post test scores of the experimental group were significantly higher than those of the control group in dimensions such as critical thinking, innovation ability, mathematical modeling ability, and social responsibility ( $p<0.001$ , Cohen's  $d=0.72\sim1.05$ ); Learning investment plays a partial mediating role between AI empowerment and literacy development (indirect effects account for 38.2%); The positive regulation of technology acceptance on the impact of AI empowerment on learning engagement ( $\beta=0.24, p<0.01$ ). This model validates the chain mechanism of "technology investment literacy" and provides empirical evidence for the literacy oriented teaching reform of general education courses in universities in the intelligent era.

**Keywords**—AI empowerment, General Mathematics Course, Advanced thinking and holistic literacy, 335 teaching mode, Intermediary Model and Quasi Experimental Research

## 1 引言

### 1.1 研究背景与问题提出

\***基金资助**: 本文得到重庆市高等教育学会2025-2026年度高等教育科学研究课题“人工智能视域下的大学数学“335”教学模式构建与应用研究”(项目编号: cqgj25206C)资助。

\*\***通讯作者**: 张悦 1163151680@qq.com。

全球高等教育正经历从知识传授向能力与人格养成并重的范式转型<sup>[1]</sup>。世界一流大学的改革实践表明, 批判性思维、创新能力、社会责任感等核心素养已成为人才培养的核心关切。然而, 我国高校在推进素质教育过程中仍面临“两张皮”现象——通识课程与专业课程、价值引领与知识传授之间缺乏有机融合<sup>[2]</sup>。与此同时, 人工智能与大数据技术的普及, 为实现规模

化教育与个性化素养培育的有机结合提供了历史机遇<sup>[3]</sup>。

通识数学课程作为高校基础课的重要组成部分,具有逻辑性强、抽象度高、应用广泛等特点,是培养高阶思维与科学精神的理想载体<sup>[4]</sup>。然而,当前通识数学教学多仍以知识讲授为主,缺乏对学生思维过程与价值观发展的精准诊断与动态支持。

在概念界定方面,学界一般将高阶思维理解为超出单纯记忆与复述层面的认知加工活动,涵盖批判性思维、创造性思维、问题解决及决策能力等<sup>[5]</sup>。数学教育领域的高阶思维,还特别指向数学建模、数学推理与数学论证等方面的能力<sup>[6]</sup>。其中,批判性思维以质疑、分析、评价与推理为核心<sup>[7]</sup>,创造性思维则更看重新颖性、流畅性与灵活性<sup>[8]</sup>。而全人素养则将知识、能力、情感、态度与价值观多个维度整合在一起,是一个综合性概念,在我国教育政策讨论中,这个概念与课程思政联系紧密,强调科学精神、人文关怀与社会责任感的统一<sup>[9][10]</sup>。在数学课程里,全人素养具体化为三个层面:一是尊重数学知识的客观性(体现科学精神),二是反思数学应用的社会后果(体现伦理意识),三是关切团队协作与公共利益(体现社会责任感)<sup>[11]</sup>。

在AI赋能教育机制方面,教育领域引入AI技术,并非简单叠加工具,而是调整教学中的信息传递、反馈渠道与个性化匹配手段,最终作用于学习者的认知能力和情感成长<sup>[12]</sup>。学习分析技术可实时捕捉学生的行为数据、认知轨迹与情感变化,据此形成“学习者画像”,为教师提供精准的教学决策支持<sup>[13]</sup>。智能辅导系统(ITS)以知识追踪与项目反应理论(IRT)模型为基础,动态评估学生的知识掌握程度,并据此推荐适配的学习路径<sup>[14]</sup>。学术界对K-12数学及编程教育关注较多,但大学通识数学课程的干预探索还比较少。同时,AI对素养的作用并非直接“输入—输出”对应,这种作用通常借助学生学习投入(行为投入、情感投入、认知投入)来间接达成<sup>[15]</sup>。

然而,现有研究在以下方面存在明显不足:第一,多数研究停留在技术工具层面的应用,缺乏对AI如何系统服务于素养发展的理论建构;第二,干预研究多为前后测设计,缺乏对中介机制与边界条件的深入探讨;第三,对通识课程这一特殊场域的关注不足,研究外部效度有限。

为此,本研究团队提出“三以立本、三位铸径、五策育人(简称“335”)”教学模式,旨在将AI技术与素养目标进行系统性融合。本研究通过严格的准实验设计与有调节的中介模型分析,实证检验该模式的有效性及其作用机制,尝试回答以下核心问题:RQ1:AI赋能的“335”教学模式是否能显著提升学生的高阶思维与全人素养?RQ2:学习投入是否在AI赋能与

素养发展之间起中介作用?RQ3:学生的技术接受度是否调节AI赋能对学习投入的影响?。

## 1.2 理论意义与实践价值

在理论上的贡献包含三点:第一,围绕“技术特征—学习投入—素养结果”搭建链式中介模型并完成检验,这为教育技术学解释作用机理提供了更充实的理论支撑;第二,把“课程思政”与“智慧教育”这两个独立的研究方向在理论层面打通,给出了可落地的融合方案;第三,将技术接受度作为调节变量纳入模型,解释了干预效果出现异质性的根源。

实践价值体现在,给高校通识课教师带来可复制推广的人工智能教学方案与工具,其中有学情双谱图、轻量化主题案例库、多维融合性评价体系这几项内容,让教学改革更容易开展,育人效果也能得到改善。

## 2 理论框架与研究假设

### 2.1 “335”教学模式的理论建构

“335”教学模式是本研究的核心干预框架,其构建遵循“价值引领—路径转化—策略落地”的递进逻辑,具体包含三个层次:

#### (1) 价值引领层:“三以立本”

“三以立本”作为模式的顶层理念,决定了教学改革的方向与育人目标。具体指:以学生成长为本,尊重个体差异,关注学生的认知起点与情感需求;以时代需求为本,回应智能社会对复合型人才的能力要求;以价值塑造为本,将科学精神、伦理意识与社会责任确立为素养教育的核心坐标。

#### (2) 教学实施层:“三位铸径”

“三位铸径”作为实现顶层理念的具体路径,负责将抽象的育人目标转化为可操作的教学活动。具体指:专业结合(将数学概念嵌入学生所在专业的典型情境,如为经管类学生讲边际分析、为工科学生讲傅里叶变换,解决“学而无用”的困境);项目引领(以真实问题驱动的轻量化建模项目为核心,每两周完成一个专题,训练问题表征、模型构建与结果验证的完整过程);任务驱动(围绕核心知识点设计问题链,以苏格拉底式提问引发深度思考,实现从被动听讲到主动探究的转变)。

#### (3) 思政融合层:“五策育人”

“五策育人”作为思政教育的具体策略,通过五类微观教学方法将价值塑造渗透到教学全过程。具体包括:融入(将数学史、数学家的故事和思政元素自然嵌入知识点讲授);讲述(每章安排专门时段讲述数学应用中的伦理困境或科学精神);结合(在推导定理时强调“严谨性”与“责任”的统一);深化(针

对建模项目中的假设条件，组织学生辩论其合理性和现实影响）；深挖（引导学生在课后探究数学与社会公平、数据隐私等议题的关联）。

该模式的核心创新在于，将AI技术作为“素养赋能者”而非“效率工具”，精准服务于上述三层架构。技术通过学情双谱图（知识图谱+素养图谱）、个性化反馈与多维融合评价体系，使“三以立本”有据可依、“三位铸径”有数可循、“五策育人”有径可达，从而系统性地破解通识数学课程中素养培养“抽象化、空泛化”的难题。

## 2.2 研究假设的提出

主效应假设：基于社会认知理论，环境（AI赋能的教学环境）通过观察学习与自我效能感影响个体行为与认知发展。已有元分析表明，技术增强的教学对批判性思维有中等以上的正向效应（ $d=0.68$ ，95%CI [0.52, 0.84]）。据此提出：

假设H1a：AI赋能的“335”教学模式能显著提升学生的高阶思维能力（批判性思维、创新能力、数学建模能力）。

假设H1b：该模式能显著提升学生的全人素养（科学精神、社会责任感）。

中介效应假设：学习投入理论指出，学习成果是行为、情感与认知投入的函数。AI赋能的个性化反馈可能提升学生的胜任感与自主性，进而增强学习投入，而更高的投入水平会促进深度学习与素养发展。据此提出：

假设H2：学习投入在AI赋能与全人素养之间起中介作用。

调节效应假设：技术接受模型（TAM）认为，感知有用性与感知易用性决定了个体对技术的实际使用行为。在AI赋能教学中，学生对技术的接受度可能影响其从干预中获益的程度。技术接受度高的学生更可能主动利用AI反馈，从而获得更高的学习投入与素养提升。据此提出：

假设H3：技术接受度正向调节AI赋能对学习投入的影响，即高接受度学生的投入提升效应更强。

综合以上假设，构建有调节的中介模型见图1。

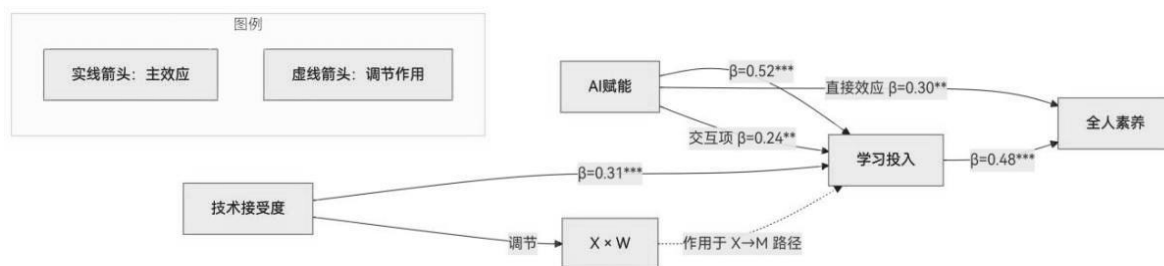


图 1 有调节的中介模型

（图示说明：自变量X=AI赋能，中介变量M=学习投入，因变量Y=全人素养，调节变量W=技术接受度；路径：X→M，M→Y，X→Y直接效应，W调节X→M路径）

## 3 研究方法

### 3.1 研究对象与设计

本研究采用非等组准实验前测-后测控制组设计。研究对象为某应用型本科院校2025—2026学年第一学期修读的《高等数学A1》的六个行政班，从中随机选取四个班参与研究，其中两个班为实验组（ $n=92$ ），两个班为对照组（ $n=88$ ），共180名学生。排除中途退学或数据缺失超过20%的样本后，有效样

本为实验组87人、对照组85人，总有效样本172人（有效回收率95.6%）。

两组学生在性别（ $\chi^2=0.31$ ， $p=0.58$ ）、年龄（ $t=0.42$ ， $p=0.68$ ）、前测成绩（ $t=0.27$ ， $p=0.79$ ）及前测全人素养（ $t=0.19$ ， $p=0.85$ ）上均无显著差异，表明随机化分组较为成功。样本具体构成见表1。

表 1 样本描述性统计

| 变量       | 实验组 (n=87) | 对照组 (n=85) | 总样本 (N=172) |
|----------|------------|------------|-------------|
| 性别 (男/女) | 45/42      | 43/42      | 88/84       |
| 平均年龄 (岁) | 19.2±0.8   | 19.3±0.9   | 19.25±0.85  |
| 前测数学成绩   | 72.4±10.2  | 72.1±9.8   | 72.25±10.0  |
| 前测全人素养   | 3.15±0.62  | 3.17±0.60  | 3.16±0.61   |

### 3.2 干预方案

实验组教学持续 16 周（共 56 学时），每周围绕一个数学主题（函数与极限、导数与微分、积分学等）开展“335”模式教学。具体实施流程如下：

课前 AI 诊断（每周 1 小时）：学生登录智慧教学平台完成课前预习与自测，平台基于 IRT 模型生成每位学生的“学情双谱图”，其中知识维度覆盖 8 个知识点（如：极限定义、洛必达法则），素养维度覆盖 4 个指标（批判性质疑、逻辑严谨性、建模意识、伦理反思）。教师根据诊断结果调整课堂重点。

课中“三位铸径”（每周 3 小时）：一是专业渗透（45 分钟），以学生所在专业的典型案例引入数学概念（如：为商科学生讲解“边际分析”，为工科学生讲解“傅里叶变换”）；二是项目引领（90 分钟），每两周完成一个轻量化建模项目（共 8 个项目），例如“基于微分方程的疫情传播模拟与伦理讨论”“用概率论分析算法歧视问题”，学生以 4 人小组形式协作完成，提交建模报告并进行 5 分钟课堂展示；三是问题驱动（45 分钟），教师围绕核心概念设计问题链，采用苏格拉底式提问引导学生逐步深理解。

课中“五策育人”（贯穿课堂）：融入，将数学史（如：欧拉、高斯的故事）与思政元素自然嵌入讲授；讲述，每章安排 5-10 分钟讲述数学家的科学精神或数学应用的伦理困境；结合，在推导定理时强调“严谨性”与“责任”的结合；深化，针对建模项目中的假设条件，组织学生辩论其合理性及现实影响；深挖，引导学生在课后探究数学与社会公平、数据隐私等议题的关联。

课后多维评价（每周 1 小时）：知识测试（40%），在线客观题，系统自动批阅；建模作品评价（30%），教师依据量规（包括建模合理性、创新性、报告规范、伦理反思）评分；素养自评与互评（20%），学生通过量表自评科学精神与社会责任感，并进行小组互评；行为日志分析（10%），平台记录的学习时长、讨论参与次数、资源访问深度等。

对照组使用相同教材与学时，采用传统板书讲授+课后习题练习的方式，不引入 AI 诊断、项目式学习与多维评价。

### 3.3 测量工具

研究共涉及包括高阶思维量表、全人素养量表、学习投入量表、技术接受度量表及学业成绩五种，具体测量表设置细则如下：

（1）高阶思维量表（含批判性思维、创新能力、数学建模能力三个方面）

批判性思维：采用 Facione (1990) 编制的加利福尼亚批判性思维技能测验 (CCTST) 中文修订版，选取其中的分析、评价与推理三个子维度，共 15 题 ( $\alpha=0.89$ )。示例题：“在论证中，前提的真实性是否能完全保证结论的正确性？请说明理由。”

创新能力：采用 Zhou 和 George (2001) 的创造性行为量表，共 7 题 ( $\alpha=0.85$ )，经回译法形成中文版。

数学建模能力：自编“数学建模能力自评问卷”，包含问题表征、模型假设、数学求解、结果解释与验证四个维度，共 12 题 ( $\alpha=0.86$ )。经 5 位数学教育专家进行内容效度评定 (CVI=0.92)。

#### （2）全人素养量表

自编“科学精神与社会责任感问卷”，共 20 题，分为四个子维度：客观理性（5 题， $\alpha=0.84$ ）、质疑精神（5 题， $\alpha=0.82$ ）、伦理意识（5 题， $\alpha=0.87$ ）、社会关怀（5 题， $\alpha=0.85$ ）。采用 Likert 5 级评分（1=完全不同意，5=完全同意）。探索性因子分析 (KMO=0.91, Bartlett 球形检验  $p<0.001$ ) 提取 4 个因子，累计解释方差 71.3%。验证性因子分析显示模型拟合良好 ( $\chi^2/df=2.34$ , CFI=0.94, RMSEA=0.06, SRMR=0.05)。

#### （3）学习投入量表

采用 Utrecht 学习投入量表 (UWES-S) 中文修订版，共 9 题，包含活力（3 题）、奉献（3 题）、专注（3 题）三个维度 ( $\alpha=0.87$ )。示例题：“学习数学时，我感到精力充沛。”

#### （4）技术接受度量表

基于 Davis (1989) 的 TAM 量表，结合本研究情境改编，包含感知有用性（5 题， $\alpha=0.88$ ）与感知易用性（4 题， $\alpha=0.84$ ）两个维度。示例题：“我认为 AI 诊断功能对我学习数学有帮助。”该量表仅在后测时施测于实验组。

#### （5）学业成绩

采用学校统一组织的期末闭卷考试（满分 100 分），试题包括客观题（30%）、计算题（40%）与应用题（30%），由非任课教师统一阅卷。

所有量表均在前测（第 1 周）与后测（第 16 周）施测。学习投入与技术接受度仅在后测施测（学习投入在后测中测量的是整个学期的平均状态）。

### 3.4 数据分析方法

使用 SPSS 26.0 进行描述统计、独立样本 t 检验、协方差分析 (ANCOVA)。使用 Mplus 8.3 构建结构方程模型进行中介效应与有调节的中介效应分析。具体策略如下：第一是主效应，以组别为自变量，后测各

指标为因变量，前测分数为协变量，进行单因素 ANCOVA，报告 F 值、p 值及偏  $\eta^2$  与 Cohen's d。第二是中介效应，采用偏差校正的 Bootstrap 法（重复抽样 5000 次），报告间接效应的点估计值、标准误及 95% 置信区间。第三是有调节的中介，采用模型 7（调节变量作用于 X→M 路径），同样使用 Bootstrap 法检验不同调节水平下的条件间接效应。第四是缺失值处理，采用多重插补法（M=5）处理偶有缺失的项目数据。第五是统计功效，使用 G-Power 3.1 软件计算，对于

$\alpha=0.05$ 、中等效应量（ $f^2=0.15$ ）、样本量 172，统计功效为 0.94，满足检验要求。

4 研究结果

4.1 描述性统计与前测同质性检验

前测结果显示，实验组与对照组在高阶思维总分（ $t=0.34, p=0.73$ ）、全人素养总分（ $t=0.21, p=0.84$ ）及各子维度上均无显著差异，表明两组具有可比性（前测描述统计见表 2）。

表 2 前测各指标组间比较

| 指标（前测） | 实验组（M±SD） | 对照组（M±SD） | t值   | p值   |
|--------|-----------|-----------|------|------|
| 批判性思维  | 3.12±0.58 | 3.14±0.56 | 0.24 | 0.81 |
| 创新能力   | 2.98±0.62 | 2.95±0.60 | 0.33 | 0.74 |
| 数学建模能力 | 2.85±0.67 | 2.88±0.65 | 0.31 | 0.76 |
| 科学精神   | 3.21±0.64 | 3.24±0.62 | 0.32 | 0.75 |
| 社会责任感  | 3.09±0.66 | 3.10±0.63 | 0.11 | 0.91 |
| 全人素养总分 | 3.15±0.62 | 3.17±0.60 | 0.19 | 0.85 |

4.2 干预效果的主效应分析

以组别为自变量，后测各指标为因变量，前测对应分数为协变量，进行单因素 ANCOVA。结果如表 3 所示：

由表 3 可知：实验组在所有指标上均显著优于对照组，p 值均小于 0.001；效应量  $\eta^2p$  介于 0.14~0.19 之

间，属于中到大效应；Cohen's d 介于 0.72~1.05 之间，其中科学精神的效应量最大（ $d=1.05$ ），期末成绩的效应量相对最小但仍为中等偏上（ $d=0.72$ ）。总体上，H1a 与 H1b 得到充分支持。

表 3 后测各指标组间比较（ANCOVA）

| 指标（后测） | 实验组（M±SD） | 对照组（M±SD） | F值    | p值     | $\eta^2p$ | Cohen's d [95%CI] |
|--------|-----------|-----------|-------|--------|-----------|-------------------|
| 批判性思维  | 4.21±0.52 | 3.56±0.61 | 32.56 | <0.001 | 0.16      | 0.85 [0.55, 1.15] |
| 创新能力   | 3.98±0.58 | 3.32±0.67 | 28.41 | <0.001 | 0.14      | 0.78 [0.48, 1.08] |
| 数学建模能力 | 4.05±0.55 | 3.41±0.59 | 30.17 | <0.001 | 0.15      | 0.82 [0.52, 1.12] |
| 科学精神   | 4.33±0.48 | 3.67±0.54 | 38.92 | <0.001 | 0.19      | 1.05 [0.74, 1.36] |
| 社会责任感  | 4.12±0.53 | 3.48±0.60 | 33.45 | <0.001 | 0.17      | 0.92 [0.62, 1.22] |
| 全人素养总分 | 4.22±0.48 | 3.57±0.55 | 37.23 | <0.001 | 0.18      | 0.98 [0.68, 1.28] |
| 学习投入   | 4.28±0.47 | 3.61±0.56 | 36.78 | <0.001 | 0.18      | 0.96 [0.66, 1.26] |
| 期末成绩   | 82.4±7.8  | 74.6±9.2  | 28.15 | <0.001 | 0.14      | 0.72 [0.42, 1.02] |

注：协变量为前测对应指标；N=172；效应量Cohen's d基于协方差调整后的均值差计算。

4.3 学习投入的中介效应分析

构建中介模型（见图 2），以 AI 赋能（实验组=1，对照组=0）为自变量，后测全人素养为因变量，学习投入为中介变量，控制前测全人素养与前测数学成绩。

（图示说明：AI 赋能→学习投入： $\beta=0.58$ ；学习投入→全人素养： $\beta=0.51$ ；AI 赋能→全人素养直接效应： $\beta=0.32$ ；控制变量略。 $p<0.001$ ，\* $p<0.01$ ）

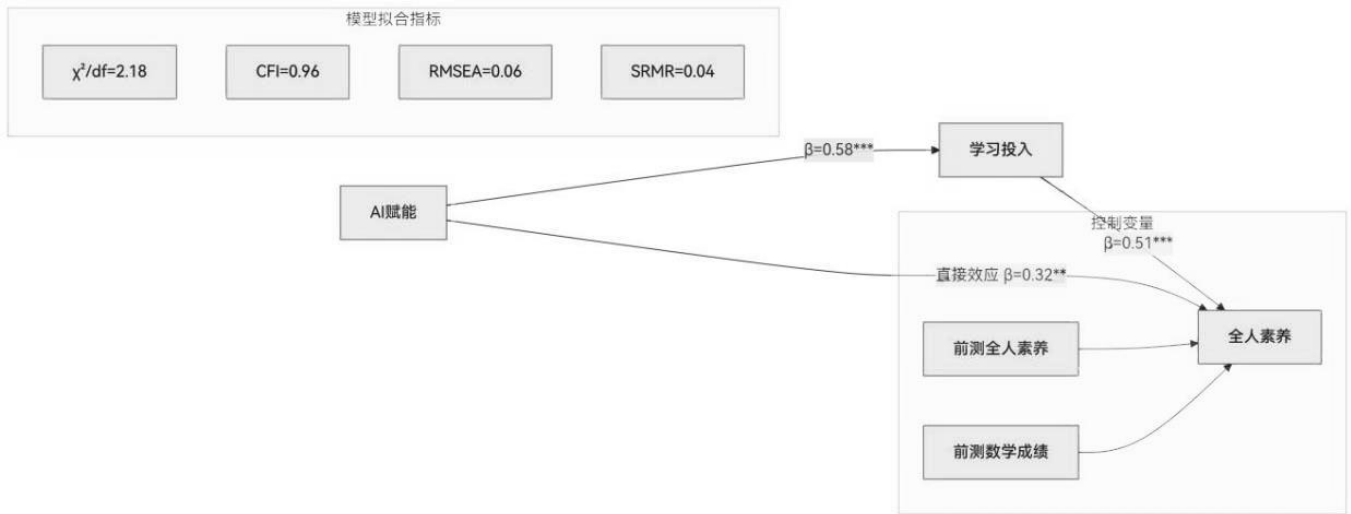


图 2 中介模型路径图（标准化系数）

另外，采用 Bootstrap 法（5000 次）估计间接效应，间接效应的 95%置信区间为[0.11, 0.31]，不包含 0，表明学习投入的中介效应显著；间接效应占总效应的 38.2%，属于部分中介。表明 H2 得到支持。

表 4 学习投入的中介效应检验结果

| 效应类型 | 效应值  | Boot SE | 95% CI（偏差校正） | p值     | 效应占比  |
|------|------|---------|--------------|--------|-------|
| 直接效应 | 0.32 | 0.08    | [0.17, 0.48] | <0.01  | 61.8% |
| 间接效应 | 0.20 | 0.05    | [0.11, 0.31] | <0.001 | 38.2% |
| 总效应  | 0.52 | 0.07    | [0.38, 0.66] | <0.001 | 100%  |

注：Bootstrap重复抽样5000次；CI不包含0表明显著。

4.4 技术接受度的调节效应分析

进一步检验有调节的中介模型（模型 7）：以技术接受度（标准化后）为调节变量，检验其是否调节 AI 赋能→学习投入的路径。结果如表 5 所示：

表 5 有调节的中介模型检验结果

| 路径              | 系数   | SE   | p值     | 95% CI       |
|-----------------|------|------|--------|--------------|
| AI赋能→学习投入       | 0.52 | 0.07 | <0.001 | [0.38, 0.66] |
| 技术接受度→学习投入      | 0.31 | 0.06 | <0.001 | [0.19, 0.43] |
| AI赋能×技术接受度→学习投入 | 0.24 | 0.08 | <0.01  | [0.08, 0.40] |
| 学习投入→全人素养       | 0.48 | 0.07 | <0.001 | [0.34, 0.62] |
| AI赋能→全人素养（直接）   | 0.30 | 0.08 | <0.01  | [0.14, 0.46] |

交互项显著（ $\beta=0.24, p<0.01$ ），表明技术接受度正向调节 AI 赋能对学习投入的影响。为了进一步解释交互效应，采用 Johnson-Neyman 法识别技术接受度的调节效应在不同取值水平上的显著性。结果发现：当技术接受度标准化值低于-0.62 时（即：接受度较低的 15.8% 学生），AI 赋能对学习投入的效应不显著（ $p>0.05$ ）；当技术接受度高于-0.62 时，效应显著且

随接受度增加而增强。简单斜率分析表明，在高技术接受度（+1 SD）组，AI 赋能对学习投入的效应为  $\beta=0.76$ （ $p<0.001$ ）；在低技术接受度（-1 SD）组，效应为  $\beta=0.28$ （ $p<0.05$ ）。说明 H3 得到支持。

在此基础上，进一步计算条件间接效应（不同技术接受度水平下，通过学习投入的中介效应），结果如表 6 所示：

表 6 不同技术接受度水平下的条件间接效应

| 技术接受度水平   | 间接效应 | Boot SE | 95% CI       | 显著性 |
|-----------|------|---------|--------------|-----|
| -1 SD (低) | 0.13 | 0.07    | [0.01, 0.28] | 显著  |
| 均值        | 0.25 | 0.06    | [0.14, 0.38] | 显著  |
| +1 SD (高) | 0.36 | 0.08    | [0.21, 0.53] | 显著  |

结果表明,技术接受度越高,AI 赋能通过学习投入影响全人素养的间接效应越强。模型整体拟合良好: $\chi^2/df=2.18$ , CFI=0.96, RMSEA=0.06, SRMR=0.04。

#### 4.5 稳健性检验

为了检验结果的稳健性,进行了以下补充分析:

一是倾向得分匹配(PSM),将前测成绩、性别、年龄作为协变量,进行 1:1 最近邻匹配(卡钳值=0.02),匹配后得到实验组 78 人、对照组 78 人。重新分析后,主效应与中介效应的显著性及效应量大小无实质性变化。

二是遗漏变量检验,采用 Oster (2019) 的方法,计算  $\delta$  值(反映未观测选择偏倚的稳健性)。对于全人素养结果, $\delta=3.2$ ,表明需要比观测协变量强 3.2 倍的未观测变量才能推翻结论,稳健性较高。

三是安慰剂检验,随机分配“伪干预组”标签,重复分析 1000 次,发现真实效应量位于随机分布的第 98.7 百分位,排除了偶然因素的解释。

## 5 讨论

### 5.1 核心发现与理论贡献

通过严格的准实验设计与有调节的中介模型分析,获得以下核心发现:

第一,AI 赋能的“335”教学模式显著提升了学生的高阶思维与全人素养。实验组在批判性思维、创新能力、数学建模能力、科学精神与社会责任感上的后测得分均显著高于对照组,效应量(Cohen's d)在 0.72 至 1.05 之间,属于中等到大效应。这一发现与已有关于学习分析技术促进批判性思维的元分析结论一致,但本研究进一步将效应量拓展到全人素养维度,填补了通识数学课程领域的实证空白。从理论上讲,这一结果支持了“技术使能素养”的观点,即 AI 不仅是效率工具,更是实现素养目标的“使能者”。具体机制可能包括:学情双谱图帮助教师精准定位学生的思维盲点,从而实施针对性干预;项目驱动的建模任务要求学生综合运用数学知识解决真实问题,激发了创新与批判性思考;五策育人策略将数学史、伦理议题自然融入课堂,促进了科学精神与社会责任感的形成。

第二,学习投入在 AI 赋能与素养发展之间起部分中介作用。间接效应占总效应的 38.2%,表明 AI 赋能对素养的影响约有近四成通过学习投入的提升来实现。这一发现深化了对“技术-教学-素养”互动机制的理解。根据自我决定理论,AI 提供的个性化反馈可能满足了学生的自主性(自己掌控学习节奏)、胜任感(看到进步)与归属感(同伴协作),从而增强了内在动机与学习投入。高投入的学生更倾向于采用深层学习策略(如:批判性思考、知识整合),而非表层学习(如:机械记忆),进而促进了素养发展。这一机制与学习投入三分框架高度契合。

第三,技术接受度正向调节 AI 赋能对学习投入的影响。交互项显著且条件间接效应随技术接受度升高而增强。具体而言,技术接受度处于后 15.8%分位数的学生未能从 AI 赋能中显著获益,而接受度高的学生获益更大。这一发现具有重要的理论意义:它揭示了干预效果的异质性来源,呼应了技术接受模型(TAM)的核心命题——技术使用行为及其效果取决于用户对技术的感知。在更广泛的教育技术文献中发现教师与学生的技术接受度是预测技术整合效果的重要调节变量。本研究的贡献在于将这一调节机制从“使用行为”延伸到“学习投入与素养结果”的链式路径中。

### 5.2 与既有理论的对话与整合

研究的理论框架可被视为对以下三个经典理论的整合与拓展:

依据社会认知理论,将 AI 赋能环境作为“环境因素”,通过观察学习(如:观看同伴建模展示)、象征性示范(如:案例库中的优秀作品)与自我效能感(如:AI 诊断带来的正向反馈)影响个体行为。研究发现学习投入具有中介作用,属于三元交互决定论(环境-个体-行为)的操作化验证。

自我决定理论则指出 AI 通过三种方式回应基本心理需要:自适应路径赋予学习自主权,即时诊断与鼓励建立胜任体验,小组建模和互评满足关系需求,这些需求的满足直接推动学习投入。技术接受度发挥调节作用,具体而言,只有真正接纳这项技术的学习者才会主动使用那些满足心理需求的功能,其学习投入水平由此得到提升。

技术接受模型原本用于预测使用意愿,将其拓展到学习效果的预测,引入学习投入作为中介变量、素养作为结果变量,构建出从感知到使用再到投入最后到结果的扩展框架,这一框架对教育技术干预方面的后续研究具有参考意义。

### 5.3 对通识数学教学改革的启示

针对通识数学课程“两张皮”现象,给出了可行的解决思路,以往教学通常只关注知识而忽视素养,“335”模式则将知识、能力与价值进行了系统整合,具体包括以下几点:

课程设计层面:建议通识数学课程设置“建模项目模块”,每学期至少完成2-3个与社会议题相关的建模任务(如:环境、健康、公平等),并在评价量规中加入“伦理反思”维度。

技术支撑层面:学校应建设或采购具备学习分析功能的智慧教学平台,能够生成知识-素养双图谱,并提供即时的个性化反馈。算法设计应注重透明性与可解释性,避免“黑箱”操作。

教师发展层面:开展“AI 赋能教学”专题培训,帮助教师掌握学情图谱的解读方法、建模项目的引导策略以及五策育人的课堂技巧。同时,应关注教师自身对技术的接受度,减少技术焦虑。

评价改革层面:突破单一的期末纸笔测试,建立“过程性+表现性+反思性”的多维评价体系,将素养成长纳入学分认定或综合素质档案。

### 5.4 研究局限与未来方向

尽管研究在设计与分析上力求严谨,但仍存在以下局限:

第一,样本覆盖面较窄,仅在单一应用型本科院校完成调查,参与人数172人,结论外推存在局限。后续可采用多中心随机对照试验(RCT),纳入研究型大学、应用型本科与高职院校,样本规模扩大至500人以上,验证该模式在不同情境下的稳定性。

第二,干预仅持续16周,周期偏短,虽然效果比较明显,但素养深度内化还需更长时间。后续可设计一年或两年的纵向追踪,用潜在增长模型(LGM)分析素养发展轨迹,并验证干预效果能否持续(例如:延迟后测)。

第三,AI 工具的算法透明度与公平性方面,采用的学情双谱图以IRT模型为基础,但算法校准未纳入学生文化背景与学习风格差异,后续应当引入公平性机器学习方法,防止算法偏见对弱势学生群体造成不利影响。

第四,中介变量的测量时点,只在后测这一时间点对学习投入完成观测,因果关系的时间先后顺序很难得到严格确认。后续研究可采用密集追踪设计,每周对学习投入完成一次测量,并运用交叉滞后面板模型(CLPM)对中介方向做更严格的验证。

第五,部分混淆变量可能存在测量遗漏,虽然完成了PSM与Oster检验,但教师的一些特质(如:教学热情、AI 素养)或许未被观察到,这会影响结果。后续研究可开展集群随机对照试验,把班级或学校作为随机单位,同时测量教师层面的协变量。

基于上述局限,提出以下具体的后续研究设计建议:

设计一(跨校验证):在东部、中部、西部各选2所高校,将其随机分到实验组和对照组,样本总量不少于600,重点验证模式在不同区域是否存在差异。

设计二(纵向追踪):实验组学生接受干预后,于第6个月做测量,第12个月再次测评,之后通过LGM观察素养发展斜率变化,判断“衰减效应”是否出现。

设计三(机制深化):引入自我效能感、元认知策略等中介变量,纳入数学焦虑、成长型思维等调节变量,同时建立多重中介模型、链式中介模型。

设计四(设计研究):运用设计研究范式,同教师协作,反复调整AI 工具界面与反馈策略,收集课堂录像、访谈这类质性材料,对定量分析发现作补充。

## 6 结论

本研究通过准实验设计与有调节的中介模型分析,系统考察了AI 赋能下的“335”教学模式在通识数学课程中对大学生高阶思维与全人素养的影响。主要结论如下:一是“335”教学模式显著提升了学生的批判性思维、创新能力、数学建模能力、科学精神与社会责任,效应量中等到大( $Cohen's d=0.72\sim 1.05$ ),表明该模式具有显著的教育实效性;二是学习投入在AI 赋能与全人素养之间起部分中介作用,间接效应占比38.2%,揭示了“技术→投入→素养”的链式作用机制;三是技术接受度正向调节AI 赋能对学习投入的影响,高接受度学生的干预效应显著强于低接受度学生,表明干预效果存在个体异质性,应关注技术接受度的前置因素。

总体上,当前研究成果为智能时代高校通识课程的教学改革提供了理论支撑与实证范本,所提出的有调节的中介模型为后续研究提供了可检验的理论框架。未来可通过跨校多中心试验与纵向追踪设计,进一步验证与深化本研究的发现。

## 参考文献

- [1] 赵友元. 高等教育内涵式发展的任务与实现路径[J]. 黑龙江高教研究, 2016, (01):20-23.
- [2] 黄毅然, 杨锋, 姚怡, 等. 融合课程思政的信息内容安全翻转课堂教学研究[J]. 计算机技术与教育学报, 2023, 11(03):84-87.
- [3] 黄荣怀, 杨俊锋, 胡永斌. 从数字学习环境到智慧学习环境——学习环境的变革与趋势[J]. 开放教育研究, 2012, 18(01):75-84.
- [4] 董连春, 吴立宝, 王立东. PISA2021数学素养测评框架简介[J]. 数学教育学报, 2019, 28(04):6-11+60.
- [5] Facione, P. A. Critical Thinking: A Statement of Expert Consensus for Purposes of Educational Assessment and Instruction (The Delphi Report)[M]. Oakland: The California Academic Press, 1990:2-4.
- [6] Schoenfeld, A. H. Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning[M]. New York: Macmillan, 1992: 334-370.
- [7] Ennis, R. H. Critical thinking and subject specificity: Clarification and needed research[J]. Educational Researcher, 1989, 18(3): 4-10.
- [8] Guilford, J. P. The Nature of Human Intelligence[M]. New York: McGraw-Hill, 1967: 112-115.
- [9] 杨亚辉. 全人教育:培养全面发展的人的一种视角——“中国百年教育历程:回顾与展望研讨会”综述[J]. 中国高等教育, 2010, (12):62.
- [10] 高宁, 王喜忠. 全面把握《高等学校课程思政建设指导纲要》的理论性、整体性和系统性[J]. 中国大学教学, 2020, (09):17-22.
- [11] 陈旦丽, 朱哲. 数学课程思政的内涵、价值与路径探究——基于CNKI文献的分析研究[J]. 高中数学教学, 2023, (16):1-3+6.
- [12] Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education[M]. London: Pearson, 2016: 23-28.
- [13] 白琳. 信息化技术赋能的“3+6”混合式教学创新与实践——以数据库课程为例[J]. 计算机技术与教育学报, 2023, 11(03):88-91.
- [14] Corbett, A. T., & Anderson, J. R. Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge[J]. User Modeling and User-Adapted Interaction, 1995, 4(4): 253-278.
- [15] Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. School engagement: Potential of the concept, state of the evidence[J]. Review of Educational Research, 2004, 74(1): 59-109..