

The challenge and breakthrough of teaching numerical analysis in the context of artificial intelligence: reform and practice

Li Li Yingge Zhang Yong Wang Shulong Li Dandan Lei

Chengdu University Institute for Advanced Study, Chengdu, Sichuan, 610106, China

Abstract

With the rapid development and widespread application of artificial intelligence (AI) technology, the teaching of “Numerical Analysis” for graduate students faces unprecedented challenges and opportunities. Traditional graduate numerical analysis courses have long struggled with issues such as excessive theoretical emphasis, poor visual clarity, prominent content-hour conflicts, and a disconnect between theory and practice. These challenges are now compounded by the AI era’s technological shift, waning student interest, and insufficient practical skill development. From an academic perspective, this paper combines years of frontline teaching experience to thoroughly analyze the core challenges in AI-driven course instruction. Building on this analysis, we propose a comprehensive teaching reform centered on “AI empowerment, problem-driven learning, and competency-oriented education.” Teaching practices have demonstrated that this approach effectively stimulates students’ self-directed learning and research innovation capabilities, enhances their practical problem-solving skills, and provides a replicable model for cultivating scientific computing competencies in modern graduate education.

Keywords

artificial intelligence; numerical analysis; teaching reform; graduate education

人工智能背景下研究生数值分析教学的挑战与突破：改革与实践

李莉 张英歌 王勇 李树龙 雷丹丹

成都大学高等研究院, 中国·四川 成都 610010

摘要

随着人工智能技术的迅猛发展与广泛应用,对研究生《数值分析》课程的教学提出了前所未有的挑战与机遇。传统的研究生数值分析教学课程教学中长期存在的理论性强、直观性差、教学内容与学时矛盾突出、理论与实践脱节等问题,正面临与AI时代脱节、学生兴趣衰减、实践能力培养不足等现实困境。本文以高校教师的视角,结合多年一线教学实践经验,深入剖析了人工智能背景下该课程教学面临的核心挑战。在此基础上,提出了以“AI赋能、问题驱动、能力导向”为核心的综合性教学改革路径。通过教学实践表明,该改革有效激发了学生的学习自主性与科研创新力,提高其创新能力和解决实际问题的能力,为新时代研究生科学计算能力的培养提供了可资借鉴的方案。

关键词

人工智能; 数值分析; 教学改革; 研究生教育

1 引言

数值分析(或称计算方法)是研究用计算机求解数学问题数值近似解的理论与方法的学科,是连接数学理论与工程实践的桥梁,其核心目标在于培养学生运用数值技术解决科学与工程实际问题的能力,是理工科研究生必须具备的核

心数学能力和科研基础^[1]。长期以来,该课程的教学已形成相对稳定的范式:以数学理论为基础,以经典算法为核心,以编程实现为手段。随着高性能计算与人工智能技术的快速发展,科学计算已与实验研究、理论分析共同构成现代科学研究的三大支柱。然而,传统《数值分析》课程教学仍面临诸多现实困境:课程内容抽象理论比重大、直观展示不足,公式繁多且推导复杂,导致学生理解困难、记忆负担重;教学涵盖面广与课时有限的矛盾日益突出;教学过程中重理论传授、轻实践应用,学生难以将算法知识转化为解决实际问题的能力。传统“黑板+粉笔”或单向PPT讲授模式缺乏

【作者简介】李莉(1990-),女,中国山东临沂人,博士,助理研究员,从事低维材料可控制备及柔性光电探测研究。

互动性与实践环节，进一步削弱了学生的学习主动性和参与感。

人工智能（Artificial Intelligence, AI）浪潮的席卷，特别是以机器学习、深度学习为代表的智能算法的崛起，正在深刻地重塑科学计算的研究范式与应用场景^[2-3]。一方面，AI 技术本身严重依赖线性代数、优化理论、概率统计等数值计算基础；另一方面，AI 也为解决传统数值问题（如偏微分方程求解、高维积分计算、反问题优化等）提供了全新的思路与工具（如物理信息神经网络（Physics-Informed Neural Networks, PINNs）、深度学习求解器等）。这种深刻的变革意味着，社会对研究生数值计算能力的需求已从“理解和编写经典算法”转向了“融通数值理论与智能技术，以解决跨学科、高维、非线性的复杂问题”^[4]。

反观当前多数高校的研究生数值分析教学，其内容更新缓慢，仍集中于古典数值方法；教学方式单一，常陷入“教师讲、学生听、课后编程”的传统模式；评价体系滞后，多以期末考试和传统作业为主。这种模式难以适应 AI 时代的需求，导致学生普遍感到课程“枯燥、无用、脱离前沿”，学习动力不足，知识迁移与创新能力薄弱。

因此，如何应对 AI 带来的挑战，对研究生数值分析课程进行系统性改革与实践，使其焕发新的活力，已成为一个亟待解决的重大教学课题。本文旨在结合一线教学实践，探讨这一改革的挑战、思路与具体实施方案。

2 人工智能时代数值分析教学面临的核心挑战

2.1 教学内容的前沿性与经典性的平衡困境

传统教材内容体系相对固化，主要涵盖误差分析、非线性方程求解、线性方程组直接与迭代法、插值与拟合、数值微积分、常微分方程数值解等经典模块。然而，AI 领域的诸多新方法，如基于梯度的优化算法（Adam, SGD 等）、自动微分（Auto-Diff）、张量计算、概率数值方法等，虽与课程内容紧密相关，却鲜被纳入教学大纲。这造成了教学内容与科研前沿、技术应用的严重割裂，学生难以将所学知识与当前火热的 AI 研究联系起来，降低了学习价值感。

2.2 教学模式与 AI 赋能学习习惯的适配冲突

当代研究生是“数字原住民”，习惯于交互式、可视化、即时反馈的学习方式。AI 工具如 ChatGPT、Copilot 等能够快速生成代码、解释概念、调试错误，这对传统的“手写代码”作业模式构成了巨大挑战。若简单禁止，无异于鸵鸟政策；若放任自流，则学生无法打下坚实基础。教学模式必须重新设计，从“知识传授”转向“能力引导”，思考如何将 AI 工具从“潜在的作弊威胁”转化为“强大的学习伙伴”^[5]。

2.3 能力培养目标与评价方式的脱节矛盾

AI 时代需要的是能够批判性思考、创造性解决问题、高效利用工具的合作型人才。而传统的闭卷考试侧重于对算法理论细节和推导的记忆，无法有效评估学生解决真实问题的综合能力。一个能熟练调用 SciPy、利用 PINNs 解决实际

问题，但对推导细节不甚了然的学生，与一个精通理论推导但编程实践能力薄弱的学生，孰优孰劣？现有的评价体系难以给出公平且具有导向性的判断。

2.4 学生内在学习动机的激发难题

上述所有挑战最终汇聚为一个核心问题：学生的学习动机。当学生认为课程内容“过时”、教学方式“陈旧”、评价方式“不合理”时，其内在求知欲和探索热情会被极大抑制。他们会选择“功利性”学习，以通过考试为目标，而非以掌握核心能力为导向。如何重塑课程价值，让学生真切感受到数值分析是开启 AI 科研与大科学计算的“钥匙”，是教学改革成功的关键。

3 教学改革的路径探索与实践：AI 赋能下的“三位一体”模式

针对以上挑战，我们对研究生数值分析课程进行了为期两年的教学改革实践，构建了以“内容重构、模式创新、评价改革”三位一体的综合改革方案。

3.1 教学内容重构：构建“理论 - 算法 - 智能”的融合体系

我们在保留数值分析经典数学理论核心精髓的基础上，对教学内容进行了横向拓宽与纵向深化。

3.1.1 理论模块精讲化

压缩繁琐的理论证明篇幅，聚焦于讲清核心数学思想（如稳定性、收敛性、复杂性）的物理直观和几何意义，强调不同算法背后的统一数学原理（如投影思想、变分原理、固定点迭代）。

3.1.2 算法模块现代化

在讲解经典算法（如共轭梯度法、QR 分解、Runge-Kutta 法）的同时，引入其在大规模科学计算和 AI 中的应用实例。例如，讲解线性方程组迭代法时，对比介绍深度学习优化器中常用的 Adam 算法思想。

3.1.3 智能模块前沿化

增设“智能计算专题”模块，作为教学内容的必要延伸。内容包括：自动微分（Auto-Diff）：从原理上对比其与符号微分、数值微分的异同，并实践应用（如使用 JAX 或 PyTorch 实现）。概率数值方法：简介贝叶斯视角下的数值积分与微分方程求解，体现不确定性量化思想。AI 赋能科学计算（AI4Sci）：以案例形式介绍物理信息神经网络（PINNs）、傅里叶神经算子（FNO）等如何用于求解 PDEs，启发学生思考传统方法与新方法的优劣。学计算工具链：系统教授 NumPy/SciPy、JAX、PyTorch（科学计算库）等现代工具的使用，而非拘泥于底层编程。

3.2 教学模式创新

打造“案例沉浸 - 代码实践 - 智能工具协同”的混合式课堂。我们彻底改变了“教师满堂灌”的模式，采用线上线下混合、人机协同的互动式教学。问题驱动的案例沉浸教学：课程伊始，即抛出若干来自人工智能、材料科学、流体力学

等前沿领域的复杂问题（如：“如何模拟湍流？”“如何训练一个巨型神经网络？”），将整个课程的知识点串联为解决这些宏观问题的“工具箱”，让学生带着问题和目标学习。

3.2.1 “翻转课堂”与“代码直播”相结合

将理论推导和基础概念制作成线上微课，要求学生课前自学。线下课堂时间则主要用于“代码直播”和研讨。教师现场编写代码求解问题，展示从问题数学化、算法选择、代码实现到结果可视化的全流程，并鼓励学生随时提问和讨论。

3.2.2 人机协同的实践范式

明确鼓励学生合理使用 AI 编程助手（如 GitHub Copilot, ChatGPT）。作业设计为此进行了专门调整：基础题：仍要求“手写代码”，以巩固对算法细节的理解。开放题：允许并鼓励使用 AI 工具。评价标准不再是代码是否由本人逐行写出，而是问题建模的合理性、工具选择的恰当性、代码的效率和可读性、以及对 AI 生成代码的理解与批判性修正能力。要求学生提交报告时，必须附上与 AI 交互的日志，并解释为何接受或拒绝 AI 的建议。

3.2.3 项目式学习（PBL）

课程中后期，组织学生以 2-3 人小组形式，自选或由教师提供一个与 AI 或科研相关的综合性课题（如：基于 PINNs 的声波方程反问题求解”、“利用随机梯度下降研究不同优化器的收敛性能”）。项目成果包括代码、报告和口头答辩，极大培养了学生的团队协作与科研创新能力。

3.3 评价考核改革：建立“过程性、项目化、开放性”的多元机制

为配合教学目标和模式的转变，我们设计了多维度的考核方式，降低期末笔试权重，增加过程评价和能力评价。

过程性评价（30%）：包括线上微课学习情况、课堂互动与提问、常规作业（基础+开放题）完成质量。重点关注在开放题中体现出的工具使用能力和批判性思维。

项目化评价（40%）：综合性项目成果是考核的重头戏。从问题价值、方案创新性、技术实现难度、代码质量、报告与答辩表现等多个维度进行综合评价。

开放性期末考试（30%）：期末考核采用开卷、上机形式。题目均为综合应用题，允许学生查阅任何资料（包括互联网和 AI 工具）。重点考查学生在有限时间内，快速定位问题、选择合适方法与工具、并给出解决问题的能力，模拟真实的科研场景。

4 改革成效与反思

通过两轮教学实践，通过问卷调查、学生访谈和成绩对比，改革取得了初步的积极成效：

4.1 学生学习兴趣与主动性显著提升

学生普遍反馈“课程变得有趣、有用了”，看到了数值分析与自己研究方向（尤其是 AI 方向）的紧密联系。学

生课堂提问、讨论和汇报积极性明显增强，课后自主学习和项目开发时间也有所增加。

4.2 综合能力与科研素养切实增强

学生不仅掌握了主流数值计算工具，也逐步培养了算法设计、系统仿真和科学写作等综合能力。学生在项目实践中表现出的问题解决能力、工具运用能力和创新思维远超往届学生。多名学生依托课程项目发表学术论文或参与数学建模竞赛并获国家级奖项。

4.3 对 AI 工具形成了健康、理性的使用观

学生不再神秘化或滥用 AI 工具，而是能将其视为像编译器一样的强大辅助工具，并深刻理解其优势与局限，核心编程与算法设计能力并未削弱，反而在更高层次上得到了锻炼。使学生认识到 AI 工具的价值以及项目建设中人作为主体所具有的独特的创造性和综合性，这是 AI 无法替代人类的根本原理。

反思与展望：改革也对教师提出了更高要求，需要投入大量精力设计案例、项目和学习材料，并持续跟踪 AI 领域的最新进展。同时，如何在大班教学中有效实施项目式学习、如何更精准地评估 AI 工具使用过程中的学生贡献，仍是需要进一步探索的难题。未来，我们计划建设一个更完善的在线实践平台，设计更具学科特色的数值问题案例，推动课程向更深度的跨学科融合方向发展。

5 结论

在人工智能的时代背景下，研究生数值分析课程的改革是十分必要的。本文提出的以“AI 赋能、问题驱动、能力导向”为核心的“三位一体”教学改革模式，是对这一挑战的积极回应。实践表明，通过重构融合经典与前沿的教学内容、采用人机协同的混合式教学模式、以及实施聚焦综合能力的多元评价体系，能够有效破解当前教学中的诸多困境，激发研究生的内生学习动力，将更多真实数据与复杂系统建模问题引入课堂；推进课程思政建设，引导学生树立严谨求实的科学精神，培养兼具家国情怀与创新能力的复合型人才。总之，面向人工智能时代的《数值分析》课程教学，须持续推动教育理念、教学内容和教学方法的现代化转型，为培养高层次科研与工程人才提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 陈爱斌, 张钊源. 人工智能专业数值分析课程教学研究与探讨[J]. 计算机教育, 2019, 298(10): 71-73.
- [2] Karniadakis G E, Kevrekidis I G, Lu L, et al. Physics-informed machine learning[J]. Nature Reviews Physics, 2021, 3(6): 422-440
- [3] 李俊林, 孙妮妮, 胡珂珂, 孙怀波. 人工智能背景下数值分析课程教学改革研究[J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(20): 37-40.
- [4] 李伦, 刘梦迪. 人工智能驱动的科学研究的范式革命: 态势与未来[J]. 探索与争鸣, 2024, (10): 143-151.
- [5] 李庆扬, 王能超, 易大义. 数值分析(第5版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2022.