

面向国际视野的“工程数值方法”研究生全英文课程建设改革与实践

周长红¹, 彭聪¹, 何海琦¹, 岑成贤^{1,*}

1. 桂林电子科技大学, 建筑与交通工程学院, 广西 桂林, 541004

摘要: 开展研究生专业课全英文教学是深化教育教学改革、培养具有国际竞争力高层次人才的重要途径。本文以桂林电子科技大学建筑与交通工程学院研究生学位课程“工程数值方法”的全英文建设项目为例, 系统阐述了课程在“新工科”与“双一流”背景下的建设理念与实践路径。课程立足交通运输与土木水利学科的多尺度、多场耦合特性, 重构了涵盖有限元法、离散元法、非连续变形分析、数值流形法、物质点法及智能计算方法等现代数值方法的全英文知识体系; 创新实施了“以问题为导向、深挖内涵、注重实践、面向未来应用”的教学模式, 并设计了“前沿综述大作业”与终结性考核相结合的多元评价机制。通过全英文教材研发、视频录制及课件建设, 形成了立体化的教学资源库。试点教学表明, 该课程有效提升了研究生的专业英语应用能力、数值分析技能及国际学术交流视野, 为我国工程类研究生全英文课程建设提供了可复制的范式。

关键词: 全英文授课; 工程数值方法; 研究生教育; 课程建设; 教学模式

Reform and Practice of the International Perspective-Oriented Graduate English-Taught Course "Numerical Methods for Engineering"

Zhou Changhong¹, Peng Cong¹, He Haiqi¹, Cen Chengxian^{1,*}

1. School of Architecture and Transportation Engineering, Guilin University of Electronic Technology,
Guilin 541004, Guangxi, China

Abstract: Offering specialized graduate courses entirely in English is a crucial pathway to deepening educational reform and cultivating high-level talents with international competitiveness. Taking the English-taught program of the graduate-level course "Numerical Methods for Engineering" at the School of Architecture and Transportation Engineering, Guilin University of Electronic Technology as a case study, this paper systematically elaborates on the course development philosophy and practical approaches under the contexts of "Emerging Engineering Education" and "Double First-Class" initiative. Grounded in the multi-scale and multi-field coupling characteristics of transportation engineering and civil & hydraulic engineering disciplines, the course restructures a comprehensive English-based knowledge system covering modern numerical methods including the Finite Element Method (FEM), Discrete Element Method (DEM), Discontinuous Deformation Analysis (DDA), Numerical Manifold Method (NMM), Material Point Method (MPM), and intelligent computing approaches. It innovatively implements a "problem-oriented, in-depth connotation exploration, practice-focused, and future-application-oriented" teaching model, and designs a diversified assessment mechanism combining "frontier review final papers" with summative examinations. Through the development of English-language textbooks, video recordings, and courseware construction, a three-dimensional teaching resource library has been established. Pilot teaching demonstrates that the course effectively

enhances graduate students' professional English proficiency, numerical analysis skills, and international academic perspectives, providing a replicable paradigm for English-taught courses in engineering graduate education in China.

Keywords: English-taught courses; Numerical Methods for Engineering; graduate education; course development; teaching model

随着经济全球化和高等教育国际化的纵深发展,全英文课程建设已成为我国高校提升研究生国际竞争力、推进“双一流”建设的核心抓手之一^[1-2]。对于工科研究生而言,数值计算方法不仅是解决复杂工程问题的数学工具,更是连接力学理论、材料科学与计算机科学的桥梁,从而得到各高校的高度重视^[3-4]。然而,传统的《工程数值方法》课程往往存在三个“脱节”现象:教学内容与学科前沿发展脱节(多局限于单一方法)、教学方法与研究生科研能力需求脱节(重理论轻实践)、教学语言与国际学术交流环境脱节(中文授课导致文献阅读与写作短板)^[5]。

桂林电子科技大学面向交通运输工程(学硕)、交通运输(专硕)及土木水利(专硕)三个硕士点,开设了《工程数值方法(全英文)》学位选修课^[6]。针对研究生研究方向分散(涵盖路面材料、岩土结构、交通规划等)、专业背景各异的特点,以及国际上缺乏兼顾连续介质与非连续计算力学综合性教材的痛点,课程团队开展了系统的全英文教学改革。本文从课程体系重构、教学模式创新、立体资源建设及多元化评价机制等方面,阐述该课程的建设经验与相应思考。

1 课程体系重构——面向学科前沿的模块化内容设计

为改变传统数值方法课程“重解析、轻应用,重连续、轻非连续”的陈旧体系,课程教学大纲重新梳理了知识图谱,确立了以“连续-非连续-多尺度-多场耦合-智能化”为主线的八大教学模块,共计48学时。

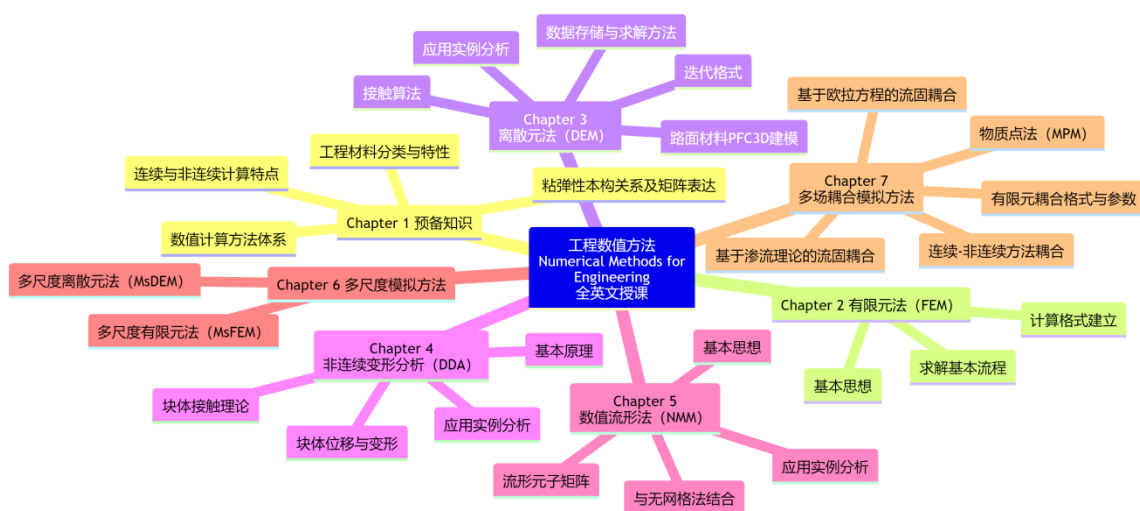


图1 工程数值方法(全英文)课程体系结构

Fig. 1 Curriculum architecture of the English-taught course "Numerical Methods for Engineering"

1.1 基于学科特色的八大核心模块

课程内容从工程材料的特殊性质出发,构建了紧密的逻辑链条。模块一(预备知识)重点讲解工程材料分类、粘弹性本构关系及其矩阵表达,为后续数值实现奠定力学基础;模块二(有限元法)系统讲授连续介质力学的基本求解格式与流程,夯实学生的经典数值分析功底;模块三(离散元法)针对土木工程材料的非连续特性,深入讲解离散元的迭代格式、接触算法及数据存储方法;模块四

至模块七则引入非连续变形分析(DDA)、数值流形法(NMM)、多尺度模拟方法(MsFEM/MsDEM)以及流固耦合计算方法,带领学生接触计算力学的前沿阵地。模块八(智能计算方法)旨在回应人工智能与计算力学深度融合的时代趋势,系统讲授神经网络的基本理论、物理信息神经网络(PINNs)在求解连续介质问题,以及基于能量原理的 PINN 变体和基于图神经网络(GNN)的非连续计算方法,为学生深入智能化数值仿真研究奠定基础。这一体系既覆盖了学位课所需的基础深度,又拓展了学生对现代数值方法的认知广度,形成从经典连续介质力学到智能科学计算的闭环教育。

1.2 理论深度与工程应用的融合

在课时进度安排上,八个课程模块被划分成12个授课单元,采用“2学时理论+2学时研讨/案例”的模式(集中授课)。例如,在离散元模块,前2学时用于讲解接触本构与迭代求解,后2学时专门用于“基于PFC3D的沥青混合料模型建立”与“工程应用实例分析”,确保学生不仅理解算法原理,更能动手解决路面永久变形、混凝土裂纹扩展等实际课题;在智能计算模块,2学时用于PINN和GNN求解理论推导,2学时用于基于PyTorch的简单PINN代码实战演练。

2 教学模式创新——“问题导向”与“全英文浸润”并重

2.1 实施“四维导向”启发式教学

课程摒弃“满堂灌”式的公式推导,提出“以问题为导向、深挖内涵、注重实践、面向未来应用”的教学框架。在每一章节的开篇,教师均引入一个具体的工程悖论或前沿科学问题(如“沥青路面车辙损伤如何跨尺度演化”),引发学生思考“为何经典FEM难以解决此问题”,进而引出DEM或DDA的数学原理。在智能计算模块中,教师以“能否让神经网络自动求解偏微分方程”为驱动问题,引导学生从传统数值格式的离散化思路转向函数逼近与自动微分的全新范式。这种逆向溯源教学法极大地激发了研究生的好奇心和挑战欲,使其由被动接受转向主动探究,也为其后学位论文方向的确定以及在仿真实验上的创新奠定了良好基础。

2.2 特色大作业设计: 前沿文献综述及学术论文写作训练

针对研究生英文学术写作能力薄弱的问题,课程设计了极具特色的终结性大作业环节。课程团队编制了22个前沿综述题目(Final Paper Topics),内容涵盖离散元在混凝土断裂中的应用进展、多尺度有限元在土木中的最新应用、物质点法在轮胎-路面动水滑水模拟中的前沿研究、基于物理信息神经网络的固体力学问题求解新进展、图神经网络在颗粒材料模拟中的应用综述等方向选题。学生需从中自选题目,按照国际学术期刊的投稿格式(含摘要、引言、方法综述、结论、参考文献)撰写一篇完整的英文综述。这一设计契合了“问题导向”理念,学生必须在广泛检索Elsevier、ASCE、TRB等外文数据库的基础上,完成文献批判性阅读与学术英语写作,实现了“以写促学、以研促教”的目标。

2.3 计算辅助工具的开发

为了降低学生从理论到实践的编程门槛,团队开发了easyPFC等数值计算辅助软件,封装了离散元模型建立、复杂本构关系设置及接触检测算法,使学生能够专注于物理模型的建立与计算结果的分析,极大提升了课堂效率与实践动手率。团队还提供了基于PINNs和GNN等架构的代码模板,学生只需修改控制方程和边界条件即可运行,降低了人工智能学习的入门难度。

FINAL PAPER	
<i>Every student should select one of the topics listed below to complete the final paper for this course. The title can be adjusted as appropriate.</i>	
1) New Development and Application of Discrete Element Method in Crack Propagation of Concrete	11) The latest application of multiscale finite element method in civil engineering
2) New Development and Application of Discrete Element Method in Permanent Deformation of Asphalt Pavement	12) The latest application of discontinuous deformation analysis method in civil engineering
3) New Development and Application of Discrete Element Method in Concrete Microstructure Analysis	13) The latest application of numerical manifold method in civil engineering
4) New Development and Application of Discrete Element Method in Research of Concrete Mechanical Parameters	14) The latest application of meshless method in civil engineering
5) New Development and Application of Discrete Element Method in the Study of Concrete Constitutive Relations	15) New Development and Application of Material Point Method in Seepage and Large Deformation Coupled Analysis of Soils
6) Review of Fracture and Damage Analysis of Concrete Using Discrete Element Method	16) New Development and Application of Material Point Method in Fluid-Structure Interaction of Hydraulic Structures
7) Review of Microstructure Analysis of Concrete Using Discrete Element Method	17) Latest Application of Material Point Method in Hydroplaning Simulation of Tire-Pavement Interaction
8) Review of Temperature-Load Coupling Calculation Based on Discrete Element Method	18) Review of Material Point Method in Modeling Microstructure-Induced Cracking and Damage in Heterogeneous Materials
9) Review of Fluid-Solid Coupling Calculation Based on Discrete Element Method	19) Comparative Review of Material Point Method and Other Numerical Techniques for Coupled Pore Pressure-Deformation Problems in Geomaterials
10) New progress of multiscale numerical methods for civil engineering structures	20) New Progress of Coupled Material Point Method and FEM/DEM for Multiphysics Problems in Civil Infrastructure
	21) Recent Advances in Solving Solid Mechanics Problems with Physics-Informed Neural Networks (PINNs)
	22) Review on the Application of Graph Neural Networks (GNNs) in Granular Material Simulation

图2 课程大作业（前沿综述）示例题目

Fig. 2 Example Topics for Final Paper (Frontier Review)

3 立体化教学资源建设——自编教材与数字化平台

全英文课程的成功实施离不开高质量资源的支撑。鉴于国际现有教材多侧重单一方法，且国内尚无针对交通土木特色的全英文综合性教材，项目团队启动了《现代工程数值计算方法——理论与创新》中文教材和《Engineering Numerical Computation- From Theory to Practice》英文教材的编写工作。

3.1 教材建设的“中西合璧”

新编中文教材《现代工程数值计算方法——理论与创新》充分吸收了团队近年来在路面材料力学^[7]及 PFC 应用^[8]方面的中文专著精华，同时参考了石根华教授的 DDA 和经典数值流形法理论^[9]、Itasca 公司的 PFC 用户手册^[10]、张雄教授的无网格法^[11]及物质点法^[12]等著作。教材将连续介质力学与非连续计算力学置于统一框架下论述，并融入了团队在流固耦合、多尺度分析、智能计算方面的最新科研成果。英文教材《Engineering Numerical Computation- From Theory to Practice》专注于数值计算方法理论的分层剖析及编程实践，与中文教材形成优势互补。重点基于 Python 语言和 PyTorch 等人工智能架构，实现有限元、有限差分法、离散元、无网格法、DDA、数值流形法、物质点法、多尺度有限元、PINN、GNN-DEM 等 10 种方法的理论认知、编程实现及算例训练，填补该领域中英文教材的空白。

3.2 数字化资源与平台建设

课程配套完成了 14 讲全英文 PPT 及 48 学时全高清教学视频的录制。此外，收集了 8 种典型数值仿真软件的操作视频和 10 余个工程案例库。鉴于线上资源平台尚在搭建中，团队目前通过校内智慧平台发放电子版讲义、作业模板及视频链接，实现线上线下混合式教学的初步应用。

4 多元化考核评价机制与试点成效

4.1 形成性评价与终结性考核结合

课程考核严格遵循教学大纲要求，打破了“一考定终身”的弊端。平时成绩（总成绩的 50%）由

三大块构成：课堂互动表现（英文提问与讨论，占平时成绩的20%）、章节编程小作业（占平时成绩的20%）、以及全英文前沿综述大作业（占平时成绩的60%）。期末考试（总成绩的50%）采用全英文开卷形式，重点考查学生对各数值方法核心原理的辨析能力与综合应用能力，而非死记硬背公式。

4.2 试点教学效果与反馈

自2024年春季学期起，课程面向2023~2025级研究生进行了试点。教学观察与问卷调查显示：其一，虽有初期语言障碍，但通过提供专业词汇对照表和可调速视频回放，学生在第6周后基本适应全英文语境；其二，在“大作业”环节，学生们普遍检索并精读了5-10篇高水平英文文献，对数值方法的前沿应用理解显著加深，部分学生甚至直接将综述成果转化为了小论文发表；其三，学生普遍反映全英文环境迫使自己“不得不”接触国际数据库，打破了心理畏难情绪，国际视野明显拓宽；其四，学生对智能计算这一前沿方向表现出浓厚兴趣，认为该模块有效弥补了传统数值方法课程与当前AI研究热点之间的鸿沟。

5 存在问题与改进策略

尽管试点效果良好，但建设过程中仍暴露出一些共性问题，需持续改进：

（1）学生英语水平的非均匀性：部分学生英语听说能力相对薄弱，初期存在跟不上节奏的现象。拟改进措施包括：提供对应的中文教材和提供额外中文注释版讲义；课前发布带中英对照的“章节关键词与术语表”；在课程前两周设置“英语强化微课”，着重训练数值计算常用数学表达（如矩阵运算、导数求解等的英文读法）。

（2）配套资源不足问题：鉴于英文教材费用昂贵，学术专著出版流程繁琐，可采取先出版“电子教材”或者使用中文教材临时替代的策略，同时将教材初稿上传至智慧教学系统供学生使用。加快线上资源建设，探索线上线下混合式教学模式，进一步提升课程的可及性和教学效果。寻找合适的云端数值仿真平台，部署在线实验环节，利用AI助教回答基础编程问题，解放教师人力用于高阶思维引导。

6 结语与展望

“工程数值方法”全英文课程的建设，是我校响应研究生教育国际化战略的一次有力探索。通过在课程内容上“去芜存菁、融贯中西”，在教学模式上“问题驱动、研学结合”，在资源建设上“数字赋能、立体支撑”，该课程已初步建成了一套符合交通土木学科特点、兼具理论深度与国际视野的全英文教学体系。特别是智能计算方法模块的引入，使课程从经典数值方法延伸至数据驱动与物理融合的新范式，紧跟“AI for Science”的国际学术前沿，为学生打开了计算力学与人工智能交叉融合的新视窗。

未来，课程团队将重点关注学生“专业理论+English”、课程“力学内涵+Practice”、教学“平台资源+AI”三个核心问题，进一步营造沉浸式国际学术氛围，使本课程在学生思维能力训练、前沿意识培养、学位论文选题、国际化交流等方面发挥重要作用。本课程的实践经验表明，全英文教学不是简单的语言转换，而是深层次的教学理念重塑与科研能力训练，对于培养具有全球胜任力的卓越工程师具有不可替代的价值。

参考文献

- [1] 张洁, 黄宏伟. “双一流”背景下全英文课程建设案例分析及建议[J]. 研究生教育研究, 2021, (3): 57-61.
- [2] 郭嘉, 罗晔, Yoann de Rancourt de Mimérand, 等. 国际化人才培养视角下研究生课程全英文教学的探索与思考[J]. 英语广场, 2024, (2): 96-99.
- [3] 赵金玲, 张超, 常乐. 面向研究生创新能力培养的数值分析课程教学改革与实践[J]. 大学数学, 2023, 39 (6):

- 10-16.
- [4] 孙玉周, 常利武. 《工程结构数值方法》研究生课程的教学改革与实践[J]. 教育现代化, 2020, 7 (32): 75-77.
- [5] 支丽霞. 《数值分析》课程全英文教学模式的探索与实践[J]. 教育教学论坛, 2017, (49): 153-154.
- [6] 周长红, 黎新蓉, 彭聪, 等. 工程数值理论研究生课程内涵式教学方法--以有限元为例[J]. 计算机应用文摘, 2024, 40(18): 21-23.
- [7] 王大为, 邢超, 周长红, (德)Markus Oeser 主编. 路面材料力学与数值仿真方法[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2022.
- [8] 周长红. 沥青混合料性能分析的 PFC 实践[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2015.
- [9] 石根华著, 裴觉民译. 数值流形方法与非连续变形分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [10] ITASCA Consulting Group, Inc. PFC 6.0 Documentation[EB/OL]. (2021-11-19) [2026-07-05]. <https://docs.itascacg.com/pfc600/pfc/docproject/index.html>.
- [11] 张雄, 刘岩. 无网格法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [12] 张雄, 廉艳平, 刘岩, 等. 物质点法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.

基金项目: 广西研究生教育创新计划项目(JGY2022117), 桂林电子科技大学研究生全英文授课课程建设项目(YKC202402)。

¹ 第1作者简介: 周长红(1980-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 交通基础设施工程。 E-mail: czhou@guet.edu.cn。

***通讯作者简介:** 岑成贤(1978-), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向: 工程力学。 E-mail: cenchengxian@guet.edu.cn。