

## 理实融合导向下 MATLAB 仿真在高等传热学教学中的改革与实践

何晓祥 颜福龙 张志威

湘潭大学 机械工程与力学学院, 湖南 湘潭 411100

**[摘要]** 高等传热学是能源动力专业硕士研究生的专业基础课, 兼具强理论性与高工程应用价值。针对传统教学中, 理论与实践脱节及理论抽象理解困难的痛点, 文中以理实融合为核心思想, 将 MATLAB 系统仿真融入教学, 构建理论讲解+数值仿真+可视化分析的教学路径。借助 MATLAB 数值计算与可视化功能, 将抽象传热理论与求解过程直观化, 有效降低学习难度、提升学生数值计算与工程实践能力。该教学模式契合研究生创新能力培养需求, 可为高等传热学及同类工科课程教学改革提供一定的参考。

**[关键词]** 高等传热学; MATLAB 工具; 能源动力

DOI: 10.33142/fme.v7i4.19677

中图分类号: G642

文献标识码: A

### Reform and Practice of MATLAB Simulation in Advanced Heat Transfer Teaching under the Guidance of Integration of Theory and Practice

HE Xiaoxiang, YAN Fulong, ZHANG Zhiwei

School of Mechanical Engineering and Mechanics, Xiangtan University, Xiangtan, Hunan, 411100, China

**Abstract:** Advanced Heat Transfer is a fundamental course for master's students majoring in Energy and Power, which combines strong theoretical knowledge with high engineering application value. In response to the pain points of the disconnect between theory and practice and the difficulty in understanding theoretical abstraction in traditional teaching, this article takes the integration of theory and practice as the core idea, integrates MATLAB system simulation into teaching, and constructs a teaching path of theoretical explanation+numerical simulation+visual analysis. By utilizing MATLAB's numerical calculation and visualization functions, abstract heat transfer theory and solution processes can be visualized, effectively reducing learning difficulty and enhancing students' numerical calculation and engineering practice abilities. This teaching model is in line with the needs of cultivating graduate students' innovative abilities and can provide some reference for the teaching reform of advanced heat transfer and similar engineering courses.

**Keywords:** advanced heat transfer; MATLAB tool; energy and power

#### 引言

高等传热学作为我校能源动力专业硕士研究生的专业基础课程, 承担着夯实传热理论基础、培养科学研究思维、提升工程问题解决能力的重要任务。课程依托我校数学与计算学科特色优势, 紧密结合能源动力行业发展与学科前沿需求, 系统讲授稳态与非稳态导热、对流换热, 以及流动与传热数值计算三大内容<sup>[1,2]</sup>。课程引导学生从传热机制、数学建模、问题求解、工程应用四个维度搭建完备的传热理论与知识体系, 着力强化学生的系统分析能力、科学计算能力与复杂工程问题解决能力; 同时立足国家能源安全、双碳实施战略、高效节能技术发展与先进热能装备研发等重大战略需求, 厚植研究生使命担当, 为培养具备家国情怀、创新精神与工程总师素养的高层次能源动力

人才筑牢理论与能力根基。

然而, 在实际教学实践中, 高等传热学课程面临诸多问题: 其一, 理论教学与工程实践存在脱节。课程虽然以工程应用为核心导向, 但传统教学模式以理论讲授为主, 学生缺乏充分的动手实践机会, 难以将抽象的传热理论与复杂的实际工程场景有效衔接, 缺少通过实践深化理论认知、验证知识体系的关键途径。其二, 核心理论抽象性强, 学生理解难度大。课程理论体系严谨精密, 蕴含深厚的物理与数学内核, 涉及大量控制微分方程的建立、推导与求解过程, 数学逻辑繁杂且物理本质不够直观, 易导致学生陷入“重公式推导、轻物理机理”的认知误区<sup>[3]</sup>。双重因素叠加导致学生学习难点集中凸显: 实践环节缺失导致抽象原理难以具象化、直接加剧理论理解障碍; 而复杂数学

推导形成学习壁垒，进一步固化了“重形式、轻本质”的学习偏差。两者共同作用下，学生不仅难以扎实掌握理论基础，工程实践能力也无法得到有效培养，最终形成“理论不扎实、实践弱能力”的双重短板，严重影响课程教学目标的达成。

针对上述问题，本文提出以理实融合为教学指导思想，将 MATLAB 系统仿真全面融入高等传热学教学全过程的改革思路。依托 MATLAB 在高效数值计算、符号推导、数据可视化及编程仿真功能的优势<sup>[4,5]</sup>，构建“理论讲解-数值仿真-可视化分析”的递进式教学模式，通过仿真将抽象传热理论转化为直观可感的曲线图谱、场分布云图及动态演化过程，破解理论抽象难懂的难题；通过动手编程、参数化探究与工程场景模拟，搭建理论与实践的衔接桥梁，弥补实践环节缺失的短板，最终助力学生深刻洞悉物理本质、夯实数值计算基础，同步提升工程实践与创新应用能力。

## 1 MATLAB 系统仿真在高等传热课程教学过程中的应用实践

### 1.1 稳态导热问题：具象化理论内涵，衔接工程应用

稳态导热是高等传热学的基础内容，也是连接理论推导与工程实践的关键载体。传统教学中，解析解推导繁琐、物理意义抽象，学生难以将理论公式与工程实际关联。借助 MATLAB 仿真的可视化与参数化优势，可实现理论推导-数值仿真-可视化分析的教学，有效破解理论与实践脱节、原理抽象难懂的痛点。

#### 1.1.1 一维稳态导热问题-等截面直肋仿真分析

等截面直肋是工业换热、涡轮叶片散热等工程场景中广泛应用的典型扩展换热结构。教学中，首先引导学生基于工程实际进行模型简化：在常物性、无内热源前提下，忽略肋片厚度方向导热热阻，将三维实际导热问题合理简化为一维稳态导热模型，并推导出对应的控制方程与边界

条件。通过理论分析采用分离变量法，进一步求得温度分布的解析解<sup>[6-9]</sup>：

$$\theta = \theta_0 \frac{\text{ch}[m(x-H)]}{\text{ch}(mH)} \quad (1)$$

传统教学中，学生仅能通过公式推导理解规律，难以直观感知参数变化对传热效果的影响。引入 MATLAB 后，教学流程优化为：①引导学生基于解析解编写仿真程序，求解过余温度沿肋高的分布并绘制曲线，将抽象公式转化为直观图形，快速把握温度衰减规律；②设计参数化探究任务，让学生自主修改肋片几何参数、物性参数及工况参数，实时观察温度分布与传热量的变化趋势；③结合工程实际设问（如“如何设计肋片参数以提升散热效果？”），引导学生通过仿真对比不同方案的优劣，深化对肋片强化传热机理的理解，实现从理论认知到工程设计的跨越，有效衔接理论与实践。

#### 1.1.2 多维稳态导热：二维平板温度场的可视化与机理认知

对于温度梯度在两个及以上方向不可忽略的多维稳态导热问题，其解析解通常为复杂级数形式，物理图景极不直观，学生难以理解多维传热的本质特征。以无内热源、常物性二维平板导热为典型案例，理论推导得到的解析解<sup>[6-8]</sup>[式(2)]形式复杂，学生仅能机械记忆公式，无法建立清晰的物理图像。

$$\theta(x, y) = t_0 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{m+1} + 1}{m} \frac{\sinh(m\pi y/A)}{\sinh(m\pi B/A)} \sin(m\pi x/A) \quad (2)$$

借助 MATLAB 仿真，可实现解析解的可视化呈现：

①基于解析解编写程序，绘制二维温度分布云图（图1），将抽象的级数解转化为直观的物理图景，帮助学生快速掌握多维导热的温度场分布规律；②设计对比实验，让学生调整边界温度、平板尺寸、导热系数等关键参数，通过仿真观察温度场的变化特征，量化分析参数对传热效果的影响；

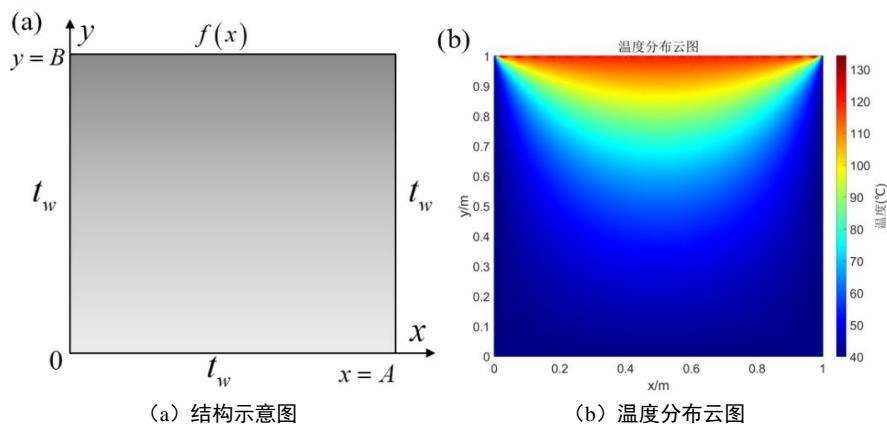


图1 二维平板导热问题

③结合工程场景（如电子器件散热基板的温度控制），引导学生通过仿真优化基板尺寸与材料选型，强化数学建模、仿真分析与工程参数优化的综合能力，破解理论抽象与工程应用脱节的难题。

### 1.2 非稳态导热问题：动态化演化过程，深化数值方法理解

非稳态导热广泛存在于热力设备启停、余热回收、应急冷却等动态工程场景中，具有时间与空间双变量耦合的特征。非稳态导热的理论解析难度高、解的形式抽象，数值求解中“离散格式稳定性”等核心知识点难以直观讲解，是教学中的重点与难点。引入 MATLAB 仿真后，可通过动态可视化、数值验证等方式，帮助学生突破抽象理论壁垒，掌握数值方法的核心逻辑。

#### 1.2.1 一维非稳态导热：解析解的动态可视化

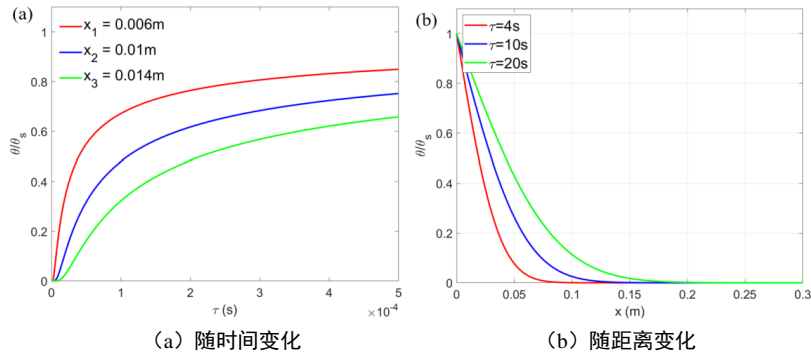


图2 温度分布解析解示意图

#### 1.2.2 离散格式稳定性分析：理论验证与数值仿真的闭环教学

数值方法是复杂非稳态导热问题的重要求解手段，而离散格式稳定性直接决定数值解的可靠性，但其理论推导抽象、物理意义不直观，是传统教学的难点。依托 MATLAB 构建“理论推导-数值仿真-可视化分析”的教学链条，有效破解这一痛点：①教师引导学生采用控制容积积分法推导一维非稳态导热的离散格式[式(4)]<sup>[9,10]</sup>；②引入 von Neumann 稳定性分析方法<sup>[10]</sup>，推导得到离散格

半无限大物体的非稳态导热是传热学经典案例，其解析解以误差函数形式表达[式(3)]<sup>[6]</sup>，学生难以直观理解温度随时间、空间的动态演化规律。

$$\theta(x, \tau) = \theta_s \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right) \right] \quad (3)$$

教学中，借助 MATLAB 实现理论推导-动态仿真-机理认知的递进：①引导学生基于解析解编写 MATLAB 程序，绘制不同时刻温度随距离的分布曲线、不同位置温度随时间的变化曲线（图2），动态呈现热扰动的传播过程、边界条件的影响及非稳态导热的典型动态特性；②通过曲线对比分析，让学生直观感知傅里叶数、毕渥数 Bi 对温度场演化的影响，将抽象的无量纲数转化为具体的物理意义，有效破解理论理解障碍。

式的稳定条件[式(5)]；③引导学生编写 MATLAB 数值求解程序，设置不同网格傅里叶数（如  $Fo_{\Delta} = 0.48$  与  $Fo_{\Delta} = 0.52$ ）开展对比仿真，并将数值解与解析解进行量化对比（图3）。通过可视化结果，学生可直观观察到：满足稳定性条件时，数值解与解析解高度吻合；不满足条件时，数值解出现明显振荡，无法得到物理解。这一过程让学生从理论认知到实践验证全面掌握离散格式稳定性的核心逻辑，强化理论与数值方法的融合应用能力。

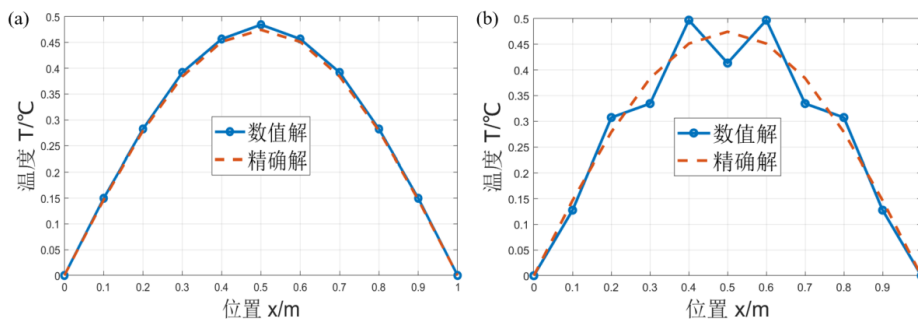


图3 (a)  $Fo_{\Delta} = 0.48$  和 (b)  $Fo_{\Delta} = 0.52$  时，精确解与数值解对比

$$a_p T_p = a_E [f T_E + (1-f) T_E^0] + a_w [f T_w + (1-f) T_w^0] + T_p^0 [a_p^0 - (1-f) a_E - (1-f) a_w + (1-f) S_p A_p \Delta x] + S_c A_p \Delta x \quad (4)$$

$$F_{O_\Delta} \leq \frac{1}{2(1-f)} \quad (5)$$

## 2 结语

高等传热学作为能源动力专业硕士研究生的专业基础课,兼具强理论性与高工程应用价值。针对传统教学中“理论与工程实践脱节”“核心理论抽象难懂”的两大痛点,本文以理实融合教学思想为引领,将 MATLAB 系统仿真全面融入教学全过程,构建“理论讲解-数值仿真-可视化分析”的递进式教学模式。依托 MATLAB 在数值计算、可视化与参数化分析的优势,以稳态导热、非稳态导热及离散格式稳定性等知识点为应用载体,通过工程场景建模、抽象公式可视化呈现、理论与仿真验证闭环等方式,为破解传统教学痛点提供了可行路径。该教学模式有助于降低学习门槛,助力学生深化理论认知、提升编程实现与工程实践相关能力,搭建理论解析、数值方法与工程应用之间的衔接桥梁。本文的教学改革探索与实践案例,可为高等传热学及同类工科课程的教学优化提供参考。

基金项目:2024 年度湖南省学位与研究生教学改革研究项目“生成式 AI 助力 CBL 教学法在《数值传热学》课程中的应用与实践探索”(2024JGYB122);2024 年度湘潭大学学位与研究生教学改革研究项目“生成式 AI 助力 CBL 教学法在《数值传热学》课程中的应用与实践探索”(YJGYB20240037);2025 年度湖南省普通本科高校教学改革研究项目“基于人工智能与知识图谱的《控制理

论基础》课程改革与实践一面向工程教育专业认证的探索”(202502000375)。

### [参考文献]

- [1]毛前军.高等传热学学习体会及案例库课堂教学[J].教育教学论坛,2020(41):285-286.
- [2]徐震.以兴趣为先导的高等传热学课程教学改革探索和实践[J].黑龙江教育(高教研究与评估),2024(3):77-79.
- [3]杨帆,姜文权,郑平等.以科教融合为导向的高等传热学课程教学改革[J].大学教育,2022(9):129-131.
- [4]张程宾,韩群,陈永平.基于 MATLAB 的传热学课程虚拟仿真实验平台设计[J].实验技术与管理,2020,37(1):132-136.
- [5]赵志广,瞿晓玲.MATLAB 数值模拟在材料工程基础教学中的应用——以多孔材料的三维导热过程为例[J].广东化工,2024,17(51):195-231.
- [6]张靖周.高等传热学[M].北京:科学出版社,2009.
- [7]黄素逸,刘伟.高等工程传热学[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [8]李友荣.高等传热学[M].北京:科学出版社,2013.
- [9]宇波,李敬法,孙东亮等.数值传热学实训[M].北京:科学出版社,2018.
- [10]陶文铨.数值传热学[M].西安:西安交通大学出版社,2001.

作者简介:何晓祥(1986—),女,福建南平人,博士,湘潭大学机械工程与力学学院讲师,主要从事过程装备方向的研究。