

# 面向医工航交叉的多相流理论及应用基础课程的教学实践

崔新光<sup>1\*</sup>, 胡麟<sup>1#</sup>, 李毅超<sup>1</sup>, 管汉雄<sup>2</sup>, 周莹<sup>2</sup>, 胡玉娜<sup>2</sup>, 张进华<sup>2</sup>, 韩自强<sup>3</sup>

1. 华中科技大学, 航空航天学院, 湖北 武汉 430074

2. 华中科技大学, 同济医学院, 湖北 武汉 430074

3. 航宇救生装备有限公司, 武汉创新中心, 湖北 武汉 430074

**摘要** 本文在当前医工航多学科交叉形势下, 分析了多相流理论及应用基础课程的教学实践在学科交叉方面存在的问题, 并进一步阐述了如何在实践中促进课程教学的改革, 从而更好地利用多学科交叉优势, 推动多相流理论及应用的科学研究与教学实践的发展。

**关键词** 医工航交叉; 多相流理论; 教学改革

## Teaching Practice of Fundamentals of Multiphase Flow Theory and Applications Course for Interdisciplinary Medical, Industrial and Aerospace Education

Cui Xinguang<sup>1\*</sup>, Hu Lin<sup>1#</sup>, Li Yichao<sup>1</sup>, Guan Hanxiong<sup>2</sup>, Zhou Ying<sup>2</sup>, Hu Yuna<sup>2</sup>, Zhang Jinhua<sup>2</sup>, Han Ziqiang<sup>3</sup>

1. School of Aerospace Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074

2. Tongji Medical College of HUST, Wuhan, Hubei 430074

3. Wuhan Innovation Center of Hangyu Lifesaving Equipment Co., LTD, Wuhan, Hubei 430074

**Abstract** : In the context of the interdisciplinary education of medical engineering and aerospace, this article analyzes the challenges faced in the teaching practices of fundamentals of multiphase flow theory and application course from an interdisciplinary perspective. Furthermore, it elaborates on strategies for promoting curriculum reform in practice, aiming to better leverage the advantages of interdisciplinary collaboration to enhance scientific research and teaching practices related to multiphase flow theory and applications.

**Keywords** : interdisciplinary education of medical engineering and aerospace; multiphase flow theory and applications; teaching reform

## 引言

随着社会对科技创新的要求日益提升, 实现多学科之间的交叉与优势互补已经成为一种必然的趋势。近年来, 生物信息学、数字医学等新兴学科取得的丰硕成果, 都是交叉科学的研究的产物<sup>[1]</sup>。我国在空间站建设以及载人登月<sup>[2]</sup>等方面的工作亟须大量掌握医工航交叉学科知识的人才。多相流理论及应用基础虽然是流体力学方向的传统课程<sup>[3]</sup>, 但是当与人体呼吸系统、航天航空环境结合以后, 就具有了医工航交叉的特点。然而, 现有多相流理论及应用基础课程在教学实践中的学科交叉融合程度尚显不足。因此, 笔者对面向医工航交叉学科的多相流理论及应用基础的课程体系和人才培养策略进行了探索和研究, 引导学生在课程学习过程中学会发现问题、领会研究问题的方法, 培养具备跨学科知识和创新能力的复合型人才, 同时推动多相流理论及应用的科学研究向更深层次迈进。

基金项目: 国家自然科学基金面上资助项目 (12172146)

作者简介: 崔新光副教授先后分别在北京航空航天大学、清华大学和德国海德堡大学获得流体力学专业方向的学士、硕士和博士学位, 并先后在新加坡南洋理工和美国伯克利国家实验室从事科研工作。现为华中科技大学航空航天学院呼吸多相流课题组组长, 主要从事以呼吸多相流为主的医工航交叉研究。现任世界华人生物医学工程协会终身会员、中国力学学会会员、中国生物工程学会高级会员、中国颗粒学会青年理事、中国颗粒协会气溶胶专委会常务委员、中国颗粒学会吸入颗粒专委会委员、中国解剖学会智慧解剖学分会委员等。担任 Medicine in Novel Technology and Devices 杂志的 section editor 以及其他数个杂志的编委和审稿人。主持/参与近20个世界前沿项目, 共发表50余篇 SCI 文章, 获得专利7项, 出版译著一本。

#与第一作者具有同等贡献, \*通讯作者, 电子邮箱: xinguang\_cui@hust.edu.cn

## 一、课程教学实践在学科交叉方面的难点

### (一) 教材选择

虽然新医学、新工科、航空航天和交叉科学成为当前的热门学科并拥有广泛的发展前景，但是目前缺乏面向医工航交叉的教材<sup>[4-5]</sup>。多相流是一门传统的课程，虽然国内著名高校有大量优秀的教材介绍多相流的基本理论知识<sup>[6]</sup>，但是还未见面向医工航交叉的教学参考书。国外已经有了医工交叉方面的教材<sup>[7]</sup>，如墨尔本皇家理工大学屠基元教授编写的《Computational Fluid and Particle Dynamics in the Human Respiratory System》。然而，这本教材也仅介绍了多相流、医学和数值仿真的交叉科学的知识，仍然缺乏航空航天方面的相关知识。

### (二) 教学内容

目前课程教学内容主要侧重于传统的多相流基本理论和经典应用案例，虽然涵盖了多个学科的基础知识，但各学科知识之间的融合较为生硬，缺乏有机整合，未能充分体现医工航等不同学科领域中多相流问题的独特性和复杂性。例如，在讲解人体呼吸系统的时候，没有人体呼吸道模型来展示呼吸道的生理解剖结构和生理特性；在讲解宇航员在太空环境下工作的时候，无法讲解太空舱的内部结构。

### (三) 教学方法

当前的医工航交叉学科的教学主要是课堂讲解为主，教师往往从自身学科背景出发进行授课，教学方法和思维方式较为单一，缺乏对不同学科教学方法的融合和借鉴。例如，在理论推导和公式讲解时，通常注重数学逻辑和理论分析，而忽视了结合医学、航空航天等学科中直观的实验现象、实际工程案例和数值模拟结果进行讲解，使得学生对抽象的多相流理论理解困难，无法将理论知识与实际应用有效联系起来，不利于培养学生的跨学科分析和解决问题的能力。

## 二、课程教学改革的实践策略

### (一) 科教融合，聚焦前沿

针对多相流研究的前沿性问题，教学团队采用科教融合<sup>[8]</sup>的方法，践行教育部《关于深化本科教育教学改革全面提高人才培养质量的意见》的文件精神，增强本科生课程内容的前沿性，并通过高质量的课程学习强化本科生的科学素质培养。

针对目前国内缺乏符合医工航交叉学科教材的问题，课程教学团队引入了澳大利亚的一本教材，出版了译著《人体呼吸系统的计算流体与粒子动力学》，并同时采用双语教学。然而，该教材没有包含航空航天领域的理论知识和实用案例。因此，课程教学团队在上述译著以及前期教学经验的基础上，进一步积累教学素材，为将来出版更加符合医工航交叉的多相流教学要求的教材做准备，并形成了初稿。

### (二) 优化内容，目标导向

课程教学团队以目标为导向加强课程建设，立足经济社会发展需求和人才培养目标，优化重构教学内容与课程体系。例如，

在现有教学课件的基础上改进内容，增加动画演示的教学素材，特别是在医学、载人航天领域的教学素材。

引入跨学科案例，例如，讲解航空航天飞行器在高空稀薄大气层中多相流的气液固相互作用现象及其对飞行性能的影响、结合航空航天发动机的热管理系统探讨多相流在高温高压环境下的传热强化和优化设计方法等前沿案例。

### (三) 改革方法，活跃课堂

课程教学团队尝试形式多样的教学方法和手段。例如，通过和同济医学院放射科和呼吸科的医生合作，进行线上远程教学、开展医学方面的知识教学；通过对人体模型的医学参观，来深入了解人体的结构；通过科技馆的航空航天领域区块的参观，来让学生对载人航天有进一步的认识。

## 三、课程案例分析

考虑到学科交叉课程的教学难点，课程教学团队在遵循上述课程建设理念的基础上，开展了多相流理论及应用基础课程的建设，具体如下：

### (一) 教学目标

知识目标：使学生了解航空航天领域的需求和多相流的特征，掌握多相流的经典计算方法和仿真试验方法。

技能目标：在学习多相流计算和仿真方法的基础上，将相关理论迁移应用到医学、航空航天等技术领域中，拓展学习深度，强化解决实际问题的能力。

思维目标：以课程的教学内容为核心，通过课程学习，使学生了解多相流算法研究的演进脉络和多学科交叉的应用技巧。

### (二) 教学素材

(1) 改进原有教学大纲。在原有课堂课时基础上，增加课外交学时。课外交学时主要用于医学和航空航天领域的实践教学。计划安排附属医院的主任医师进行有关呼吸道医学图像的现场教学，主要讲解医疗成像原理以及利用医疗图像诊断呼吸道疾病；另外，组织航空航天领域专家完成有关先进飞行员装备的课堂教学，讲解飞行员面罩的相关原理以及面临的问题。

(2) 翻译此领域的经典英文版著作《Computational Fluid and Particle Dynamics in the Human Respiratory System》为《人体呼吸系统的计算流体力学与粒子动力学基础》<sup>[9]</sup>，并将此书的中文和英文书籍同时作为课堂教材，有利于开展双语教学。此外，组织有经验的教师总结现有教材的优缺点，规划一本英文教材，并联合国际学者进行撰写。

(3) 组织采购适用于医工航交叉学科教学的教具，如肺泡模型、人工肺工作原理演示模型以及天宫空间站模型。<sup>[10]</sup>同时，利用CT图像构建呼吸道模型，通过3D打印技术打印人体上气道模型和人体上气道-气管树模型，并收集关于多相流应用和教学的视频资料。<sup>[11]</sup>

### (三) 教学方法

(1) 在每次课程之前，让学生利用大约5分钟时间进行课程复习，让学生把复习内容写在纸上，作为课堂作业和课程成绩的

一部分。然后再点几名同学进行上节课内容的回顾，并加以评论和互动。等学生回顾完上课的内容以后，再引出下节课学习的内容，这样就起到一个承上启下的过程。<sup>[12]</sup>

(2) 强化师生间的互动，启发学生积极思考，唤醒学生的表达兴趣。在课堂当中主动地引导学生进行思考，进行发问，唤醒学生的表达兴趣。对学生的回答问题保持一个开放的态度，即使他们回答的错误或者答案不够准确，但还是要鼓励学生们多说。<sup>[13]</sup>在课堂当中，经常组织学生进行小型的讨论，可以让学生更深入地了解相关知识。

(3) 本课堂不但包括多相流的理论知识，也包括多相流在环境、医学和航空航天领域的应用。因而，本课程大约用16个学时讲解理论，8个学时讲解数值技术，8个学时讲解应用。通过这样的教学设计，达到学生把理论和实际应用结合的目的。<sup>[14]</sup>

(4) 在每次课程结束前，都带领学生进行课程复习，不留课

后作业。每节课结束之前的复习，作为课程复习的一部分，节省了学生的业余时间。更重要的是在课程结束之前，带领学生进行整个课程复习，使得学生对整门课程有一个比较好的理解。<sup>[15]</sup>

## 四、结论

通过此次教学实践的改革，多相流理论及应用基础课程的教学质量得到了进一步提高。同时，扩展了多相流理论在医工航领域的知识边界，并提高了学生的课程兴趣，这些教学实践经验也为开展医工航方面的工作奠定了较好基础。虽然本课程的教学改革实践取得一定成效，但是仍然存在着医工航交叉融合不够强，教学素材不够成熟等弱点，因而有必要在现有成果的基础上，继续深入进行教学改革。

## 参考文献

- [1] 夏伟, 李彭平, 邵娇芳, 等. 医工信交叉学科背景下大学生创新能力培养模式研究 [J]. 教育教学论坛, 2020(38):317-318.
- [2] 王翔, 张桥, 王为. 中国空间站建设系统方案特点与展望 [J]. 航天器工程, 2022, 31(06):26-39.
- [3] 季斌, 罗先武, 龙新平. 服务于高水平研究生培养的课程教学探索与实践——以流体机械空化多相流课程为例 [J]. 教育教学论坛, 2018(43):140-142.
- [4] 孙丽珍. 研究型大学交叉学科研究的组织与管理 [D]. 上海交通大学, 2010.
- [5] 李严兵, 孙秋敏, 王爱平等. 医工交叉培养体系的构建与创新型研究生教育 [J]. 教育现代化, 2015(15):35-38.
- [6] 许建良, 李伟峰, 代正华等. “多相流体力学”课程教学改革的探索 [J]. 中国电力教育, 2013(17):73-74+76.
- [7] 姜天悦. 研究型大学医工交叉研究生培养机制研究 [D]. 浙江大学, 2018.
- [8] 侯德义, 邢佳, 宗汶静. 基于科教融合理念的课内外深度协同教学体系改革与探索 [J]. 高等理科教育, 2023 (1) : 9-15.
- [9] 崔新光, 李仁府. 人体呼吸系统的计算流体与粒子动力学基础 [译著]. 哈尔滨工程大学出版社, 2021.
- [10] 王小力, 王傅民, 吕腾博. 医工学科交叉“物理治疗医学”课程建设研究与实践 [J]. 中国大学教学, 2024(9).
- [11] 孟璐, 王若飞, 翁莹莹, 等. 基于 CT 数据的人体下呼吸道模型三维重建 [J]. 现代医药卫生, 2021, 37(16):4.
- [12] 彭进业, 冯晓毅, 蒋晓悦, 等. 课程教学中提升研究生综合素养的探索与实践 [J]. 科教导刊, 2021(14):3.
- [13] 亓玉栋, 宋桂梅, 李慧敏. 流体力学教学过程中的思考与探索 [J]. 高教学刊, 2017(5):3.
- [14] 王俏, 郭永昌. 工程流体力学实验教学改革与实践探讨 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 教育, 2022(12):3.
- [15] 顾媛媛, 梅冠华, 王晓英, 等. 《流体力学》课程教学改革探索 [J]. 科技资讯, 2022, 20(3):198-201.