

# 以欧拉方程为主线的工程流体力学教学体系探索

郭桐 段闯闯 林添良

华侨大学机电及自动化学院, 中国·福建 厦门 361021

**摘要:** 流体力学作为工程类专业的重要基础课程, 其传统“静力学-动力学”教学顺序虽符合认知规律, 但易导致内容重复、主线不清。本文提出以欧拉方程为核心重构教学体系的新思路: 在课程前期直接引入欧拉动量方程, 并以其为逻辑主线, 辐射式地组织控制体方法、流体运动描述、伯努利方程及静力平衡方程等内容。这一架构将静力学视为动力学在速度为零时的特例, 有效减少教学冗余, 强化知识间的内在联系, 引导学生构建树状与网络化的知识体系。该教学方法能显著提升教学效率与学生理解深度, 有力培养其科学思维与系统建模能力。

**关键词:** 流体力学; 教学体系; 欧拉方程; 伯努利方程; 教学改革

## Exploration of a fluid mechanics teaching framework centered on the euler equation

Guo Tong, Duan Chuangchuang, Lin Tianliang

College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, China Fujian Xiamen 361021

**Abstract:** Fluid mechanics is an essential foundational course for engineering majors. While the traditional pedagogical sequence of "statics before dynamics" aligns with cognitive learning principles, it often leads to content redundancy and a fragmented knowledge framework. This paper proposes a novel approach to restructure the teaching system by centering on the Euler equations. Specifically, the Euler momentum equations are introduced early in the curriculum, establishing them as the logical backbone. Key concepts such as the control volume method, descriptions of fluid motion, Bernoulli's equation, and the hydrostatic equilibrium equation are developed in a radiating manner. This architecture effectively treats fluid statics as a special case of dynamics where velocity is zero, thereby minimizing instructional repetition and strengthening the intrinsic connections between concepts. It guides students in constructing a tree-like and networked knowledge structure. The proposed teaching methodology demonstrates significant potential in enhancing instructional efficiency and deepening student comprehension, while robustly cultivating their scientific thinking and systemic modeling capabilities.

**Keywords:** Fluid mechanics; Teaching framework; Euler equations; Bernoulli's equation; Educational reform

## 0 引言

流体力学作为一门理论性极强的基础课程, 在高等教育中占有重要地位。其内容不仅涉及抽象的物理概念和复杂的数学推导, 还广泛应用于机械、土木、航空航天和能源动力等工程领域<sup>[1,2]</sup>。然而, 受限于其高度的抽象性和大量的微分方程模型, 学生在学习过程中普遍存在学习门槛高、难以形成系统性理解的问题。因此, 构建科学合理、易于理解与掌握的教学体系, 采用契合课程特点的教学方法, 对于提升教学效果、增强学生的接受度, 以及帮助学生建立完整、系统且准确的知识体系, 具有重要意义<sup>[3,4]</sup>。

为了不断改善流体力学的教学效果, 教育界同仁开展了众多卓有成效的探索, 积累了大量可供借鉴的经验。易文彬等人探讨了伯努利方程教学设计中的常见实验误解、

压强项的物理意义以及其与欧拉方程和能量方程的底层联系<sup>[5]</sup>。黄忠文等人利用弹性固体力学中微元体的受力分析方法结合流体的设定条件, 推导除了流体力学基本方程, 论证了弹性力学与流体力学基本方程的统一性<sup>[6]</sup>。然而, 在高校的传统教学实践中, 流体力学课程往往按照“先流体静力学, 后流体动力学”的顺序展开, 教师依据教材编排从基本概念入手, 再逐步过渡到控制方程及其应用。这种线性式教学框架虽然具有一定的合理性, 但在实际教学中暴露出若干不足: 一是内容重复, 如流体静力学与流体动力学部分均涉及平衡方程; 二是逻辑关联不足, 学生难以建立完整的知识网络; 三是高阶知识如输运方程、控制体方法等常被弱化, 学生对其理解停留于浅层。

近年来, 工程教育认证的推广对课程教学提出了更高要求, 强调以学生为中心、突出能力培养。在这一背景下,

探索更加契合流体力学知识逻辑、能够强化学生理解力和应用力的教学新模式，显得尤为迫切。本文结合多年教学实践，提出以欧拉方程为主线构建流体力学教学体系，并对其理论依据、教学设计与应用效果进行系统分析。

### 1 流体力学传统教学架构问题辨析

#### 1.1 由“流体”到“流体动力学”的传统教学架构

目前，大部分国内高校的流体力学教学依循传统教材的编排思路，即采用“流体运动描述方法—静力学方程——运动方程、伯努利方程”的顺序。国外一流大学的课程安排在整体框架上与国内相似，但在部分章节的讲授顺序略有差异<sup>[7]</sup>。这种教学总体上符合流体力学理论的历史发展顺序，并且与大部分教材的章节顺序一致，能够便于开展教学安排和规划，同时在讲授时，能够使逐步体会学术发展的基本逻辑。然而，在实际教学过程中，将导致以下问题：（1）流体静力学与动力学方程均涉及压强平衡，内容重复；（2）课程主线不够突出，学生在各模块之间缺乏清晰的逻辑联系；（3）高阶知识如雷诺输运方程往往在课程后期被弱化，学生对其理解停留在浅层。

#### 1.2 知识学习的规律性探讨

人类认识世界的过程，本质上是不断探索自然界运行规律、扩展理论的解释能力的过程。真实规律是大自然运行的法则，它独立于人的意志而存在。人类能够通过与自然交互逐步探索这些规律，我们的知识体系与真实规律越接近，越能有效地指导认知与工程设计。人类的知识体系可以划分为：“日常经验和直觉”“逻辑推论”和“科学知识”三个范畴，但遗憾的是：它们与客观存在的自然规律都不完全重合，人类永远无法得到真实规律本身。

学习流体力学的知识涉及三个层次的目标：（1）解释自然界中的流体现象；（2）根据已知条件预测尚未发生的流体行为；（3）根据人的需要利用流体力学原理设计新装置。三个层次的目标分别对应了以流体力学理论的视角看待有关流体的已发生、待发生和可发生的现象，其核心是流体力学理论的解释能力。概而论之，越基础的知识其适用范围越广，解释能力越强，但其内容更倾向于抽象和普遍，离具体工程实践较远；反之，越受约束的理论，虽然更近于具体问题，但适用范围也更狭窄，解释能力较弱。

### 2 以欧拉方程为核心的教学思路

传统课程教材的编排顺序往往并非按解释能力由强到弱来组织，而是遵循“由浅入深、先例后理、科学史沿革”等原则。虽然按这种顺序开展教学活动自有其合理性和趣味性，并已被广泛采用，但也存在明显的弊端：首先，由

具体到抽象，由特性到通性的教学顺序必然导致部分教学内容的重复——在未介绍通用理论前，无法概要地分析具体问题，而须展开阐释问题的前提、条件和结论，引入通用理论后，也往往还需要结合具体情况进行重复解释。研究表明：从特例到一般的教学过程中的重复推导可能多消耗40%的授课时间，且特例中的简化知识点往往不能与通用理论知识点完全对应，反而会增加学生的理解负担<sup>[8]</sup>。其次，传统顺序往往难以突出知识点之间的内在关联，也不利于呈现理论模块之间的完整逻辑体系；学生在接收大量旁支信息的过程中容易忽视主线各部分之间的联系，难以形成系统的知识框架。

具体到流体力学教学，传统体系通常从流体静力学开始，深入介绍静力学基本微分方程、流体内部压强分布、压力测量原理、静止流体对平壁和曲面的作用力等内容。这种安排表面上符合学生已有的力学背景，但存在起点过低、难以激发学习兴趣的问题。一方面，流体静力学内容与高中物理中的基础知识有较多重合，在课程开端过多赘述这些内容很可能导致学生注意力分散、兴趣下降；随着后续课程难度增加，学生在前期耗散的注意力已不足以支持对深层次流体动力学理论的学习。另一方面，从理论层面看，流体静力学恰好是流体动力学的一种特例：当流体的速度为零时，流体动力学理论即退化为流体静力学理论，即教学过程中存在重复和冗余。因此，在学生注意力最集中的课程初期，应更多地安排流体动力学内容的讲授，从动力学视角出发强化高阶思维训练，而仅将流体静力学内容作为一个简单特例来介绍。

### 3 以欧拉方程为核心的教学体系

#### 3.1 欧拉动量方程及其与静力平衡方程、伯努利方程的联系

欧拉动量方程的核心是动量守恒方程，其本质是以控制体为研究对象并在其各个维度方向上应用动量守恒定律。如图1所示，与欧拉方程相关的知识模块和知识点包括：控制体思想、连续性方程、沿流线的伯努利方程<sup>[9]</sup>以及静力平衡方程等。这些知识点或包含在欧拉方程的内涵中或可由欧拉方程推导得出，因此可据此构建以欧拉方程为中心的知识网络。

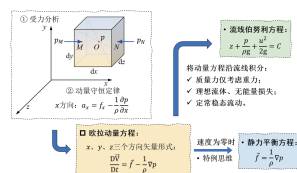


图1 流体力学主要知识点体系关系

3.1.1 欧拉动量方程

在流体力学的教学体系中，欧拉方程常作为学生理解流体运动规律和后续深入学习 Navier - Stokes 方程的重要过渡。如图 1 所示，以 x 方向为例，基于对控制体的受力分析建立 x 方向上的欧拉方程

$$a_x = f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1)$$

进一步以矢量方程形式写出 x、y、z 三个方向的欧拉方程

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = \vec{f} - \frac{1}{\rho} \nabla p \quad (2)$$

3.1.2 控制体概念及其与流体运动描述方法的关系

控制体是流体力学的核心概念，其与流体运动描述方法（拉格朗日法和欧拉法）共同构成了对流体运动进行数学描述和物理分析的基础框架。在教学中，应在引入欧拉描述法后，立即引出控制体作为其分析工具，并强调雷诺输运定理的核心枢纽作用。这种讲授顺序能帮助学生从一开始就建立“观察方法（欧拉法）→分析工具（控制体）→数学转换（RTT）→最终方程”的完整逻辑框架，深刻理解流体力学是如何对流动进行定量描述的，从而为后续学习各种守恒方程打下坚实基础。

3.2 以欧拉方程为切入点的教学主线

本文基于欧拉方程在理论体系中的基础性与强关联性，提出一种以其为逻辑线索与切入点的教学新架构。该架构旨在将课程重构为一个以核心方程为中心、各知识点有机联动的辐射状知识网络（图 2），从根本上提升教学的系统性与高阶性。

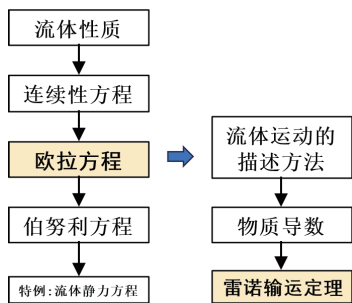


图2 流体力学主要知识点体系关系

新架构的起点与贯穿始终的线索是欧拉方程，逐步从其空间描述属性引入欧拉法与控制体概念。这种方法虽与日常“追踪物体”的固体思维（拉格朗日法）相异，但学生此时正处于学习新理论模式的“白纸期”，更易先入为主地接受这种基于固定空间点的分析框架。待学生对欧拉法与控制体分析初步熟悉后，再有意地引入拉格朗日法进行对比。通过这种“先建立、后对比”的两次认知接触，学生能在过渡中更深刻地理解两种描述方法的本质区别、

联系与各自优势。在此基础上，重点剖析物质导数。阐明其正是连接欧拉场（空间固定点观察变化）与拉格朗日描述（跟随质点观察变化）的核心数学桥梁。这一分析揭示了流体力学模型建立的本质：即通过物质导数，实现欧拉场变量到拉格朗日质点物理量的变换。

在理解物质导数的基础上，自然地将研究对象从“一个质点”扩展到“一个充满流体的有限区域”。通过应用雷诺输运定理——该定理本质上是物质导数对控制体积分形式的表达——将针对流体微元的欧拉方程，转化为针对有限控制体的积分形式动量方程。此过程不仅推导出工程计算的关键工具，更完整地演绎了如何从基本的物理定律出发，建立适用于宏观工程问题的数学模型。这使学生清晰地看到，连续性方程、动量方程（积分形式）等均是这一普适推导过程在不同守恒律下的具体体现，知识间的逻辑链条由此贯通。

4 结语

以欧拉方程为切入点的教学新架构，实现了从“知识点并列罗列”到“理论树有机生长”的根本转变。它将教学起点锚定于最具解释力的核心方程，通过精心设计的辐射路径，将描述方法、基本概念、数学工具和守恒定律编织成一个逻辑自洽的网络。这一架构不仅显著减少了重复教学、提升了理论深度，更重要的是引导学生掌握了“从普适原理出发，通过逻辑推演解决具体问题”的科学思维方法，有效培养了其高阶建模能力与系统性的工程分析能力，为应对复杂工程挑战奠定了坚实的理论基础。

参考文献：

[1] 林建忠, 阮晓东, 陈邦国等. 流体力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.

[2] 王洪伟. 我所理解的流体力学(第2版)[M]. 北京: 国防工业出版社, 2019.4.

[3] 叶菲楠, 李侠. 流体力学演进的多重解释: 范式转换、模型依赖现实观与复杂系统视角[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2025, 1-12.

[4] 朱伟, 王国华. 浅谈流体力学发展——从 Batchelor 百年诞辰纪念大会谈起[J]. 力学学报, 2023, 55(01): 24-37.

[5] 易文彬, 孟庆昌, 邓辉等. 伯努利方程教学设计中的若干问题[J]. 力学与实践, 2021, 43(06): 967-972.

[6] 黄忠文, 张博文, 唐明哲等. 弹性力学与流体力学基本方程的统一性[J]. 力学与实践, 2022, 44(03): 672-676.

[7] Massachusetts Institute Of Technology. Fluid Mechanics[EB/OL]. (2025-8-16)[2025-8-16]. <https://ocw.mit.edu/courses/2-25-fluid-mechanics/>

mit.edu/courses/2-25-advanced-fluid-mechanics-fall-2013/pages/calendar/.

[8] 滕桂荣, 朱绪力, 陈俊国等. 教学顺序的逻辑优化及其在力学类课程中的应用[J]. 大学教育, 2023, (07): 85-88.

[9] 张仪萍, 邵煜, 张土乔等. 关于欧拉方程和伯努利方程适用条件的探讨[J]. 力学与实践, 2024, 46(05): 1059-

1065.

基金项目: 福建省本科高校教育教学研究项目(FBJY20240198)、(FBJY20240211)。

作者简介: 郭桐(1988.03-), 男, 汉族, 北京市, 博士, 副教授, 研究方向: 流体力学、液压传动的教学科研。