

流体力学基础 Elementary Fluid Mechanics

孙德军

Email: dsun@ustc.edu.cn
<http://staff.ustc.edu.cn/~dsun>
 Tel: 3606797 (O)

■ 辅导老师

- ◆ 郭志伟 juice@mail.ustc.edu.cn
- ◆ 王伯福 wbf@mail.ustc.edu.cn
- ◆ 办公室: 西区力学一楼526
- ◆ 电话: 3606954

教材与参考书

- 教材
 - ◆ 庄礼贤, 尹协远, 马晖扬. 《流体力学》, 中国科大出版社 (1991第1版, 2009第2版)
- 主要参考书
 - ◆ G.K. Batchler. *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge, 1967.
 - ▷ 中译本: 《流体动力学引论》, 沈青等译. 世界名著, 应用数学风格.
 - ◆ 吴望一: 《流体力学》(上下册), 北京大学出版社, 1982.
 - ◆ 周光炯, 严宗毅, 许世雄, 章克本: 《流体力学》(上下册), 高等教育出版社 (面向21世纪课程教材) (1991第1版, 2000第2版)
- 辅导书
 - ◆ 沈钧涛, 鲍慧芸. 《流体力学习题集》, 北京大学出版社, 1990.
- 电子版图书
 - ◆ 超星图书馆等网上图书馆
 - ◆ 流体中文网 <http://www.cfluid.com/index.htm>

教材与参考书

- 其它世界名著
 - ◆ Sir H. Lamb. *Hydrodynamics*. Cambridge, 1932 (6th ed., 1st ed. in 1879).
 - ▷ 中译本: 《理论流体动力学》(上下册). 应用数学风格.
 - ◆ L.D. Landau and E.M. Lifshitz. *Fluid Mechanics*. Pergamon, 1987 (2nd ed.).
 - ▷ 理论物理教程卷6, 第1版有中译本, 科大老师翻译.
 - ◆ R. L. Panton. *Incompressible Flow*. John Wiley & Sons, Inc., 2005 (3rd ed.).
 - ▷ 适合理科力学, 内容较新.
 - ◆ F.M. White. *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill, 2003 (5th ed.).
 - ▷ 清华大学出版社影印版. 适合工科力学, 附光盘.
 - ◆ H. Oertel (ed.). *Prandtl-Essentials of Fluid Mechanics*. Springer, 2009 (3rd ed.).
 - ▷ L. Prandtl. 1st ed. in 1942.
 - ▷ 中译本: 《流体力学概论》(1966年郭永怀、陆士嘉译). 工程技术派风格.
 - ◆ L.M. Milne-Thomson. *Theoretical Hydrodynamics*. The Macmillan Press LTD, 1968 (5th ed.).
 - ▷ 中译本: 《理论流体动力学》. 习题多.
 - ◆ Y.C. Fung(冯元桢): 《连续介质力学导论》(第3版中译本).
 - ▷ 笛卡儿张量的介绍本教程够用了!

课程安排

- 完整流体力学基础理论课程还包括:
 - ◆ 理论课: 《气体动力学》、《粘性流体力学》
- 重点讲前六章, 七、八章部分讲授, 后四章简介
 - ◆ 部分次序可能与教材有变动
- 习题
 - ◆ 做一定量的习题是必要的
 - ◆ 一般每周第一次课交作业
- 成绩计算
 - ◆ 平时占20 - 30 %
 - ◆ 闭卷考试占70 - 80 %

中国科大力学系

Lecture 1

5

第一章 引论

- 流体和流体力学 (§ 1.1)
- 连续介质假设 (§ 1.2)
- 笛卡尔张量 (附录一)
- 应力张量 (§ 1.3)
- 热力学基础 (§ 1.4)

中国科大力学系

Lecture 1

6

第一讲 流体和流体力学

Lecture 1 Fluid and Fluid Mechanics

中国科大力学系

Lecture 1

7

主要内容

- § 1.1 流体力学的研究对象和研究方法
 - ◆ 力学定义的回顾
 - ◆ 流体力学的定义
 - ◆ 流体力学的研究对象: 流体的概念
 - ◆ 流体力学的学科特点
 - ◆ 流体力学的研究方法
 - ◆ 流体力学的学习要点

中国科大力学系

Lecture 1

8

力学的定义

- 回顾：什么是力学？
 - ◆ 研究客观实体的宏观机械运动和力的相互作用的学科
 - 已拓展到细/微观
 - 与物理、化学、生物学等的耦合(交叉力学)
 - ◆ 力学的三要素

```

            graph TD
            A([研究对象]) --> B([力])
            A --> C([运动])
            B <--> |关系| C
            
```

力学是关于力、运动及其关系的科学：缺少一个要素

中国科大力学系Lecture 19

流体力学的定义

- 什么是流体力学？
 - ◆ 研究流体的宏观机械运动和力的相互作用的学科
 - ◆ 关于流体的运动、力及其相互关系的科学
 - 流体静力学 (fluid statics)
 - 流体运动学 (kinematics of fluid)
 - 流体动力学 (fluid dynamics)

```

            graph TD
            A([研究对象: 流体]) --> B([力])
            A --> C([运动])
            B <--> |关系| C
            
```

中国科大力学系Lecture 110

流体力学的研究对象

- 什么是流体？
 - ◆ 气体、液体都是流体：流体概念的外延
 - ◆ 流体是力学模型的一种
- ◆ 力学模型
 - 质点、质点系
 - 刚体
 - 非变形固体
 - 变形体
 - 流体
 - 固体：变形固体

```

            graph LR
            A[质点、质点系] --> B[一般力学  
(即动力学和控制)]
            C[刚体] --> B
            D[非变形固体] --- C
            E[流体] --> F[流体力学]
            G[固体：变形固体] --> H[固体力学]
            I[工程力学]
            F --- J[二级学科]
            H --- J
            I --- J
            
```

中国科大力学系Lecture 111

流体力学的研究对象

- 什么是流体？
 - ◆ 流体的定义 (本质属性, 概念的内涵)：流体不能承受任意小的剪切外力而不变形，且变形会持续下去。
 - 剪切力：与物体表面相切的力；任意小：没有阈值
 - 持续的变形——流动。流体的本质属性是“易流动性”
 - 没有变形大小的概念，但有变形快慢的概念：变形(速)率
 - 相同剪切力作用下，流体的变形快慢反映的是流体的“粘性”
 - 可以承受法向外力的作用，体积弹性(可压缩性)
 - 弹性变形是可恢复的

中国科大力学系Lecture 112

流体力学的研究对象

■ 对照：其它变形体力学模型

◆ 固体：剪切外力作用下，变形达到一定程度，内部抗拒力将阻止其继续变形。

- 只变形，不流动
- 法向力作用下也会有变形，不能区分流体与固体
- 变形：弹性、塑性、弹塑性

◆ 非流非固

- 树脂、油漆等；高分子聚合物，双重性质。粘弹，粘塑
- 现在也有把这些归结为“复杂流体”

流体力学的学科特点

■ 流体力学既是一门基础学科，又是一门应用学科！

◆ (1) 流体力学是一门基础学科

- 物理学的一部分。
 - 孤立波、混沌 (chaos)，首先从流体力学研究中发现
 - 超流体的研究获得了诺贝尔奖
- 现代流体力学的基础研究
 - 基本问题：湍流、稳定性等等
 - 微细观、多尺度、非线性、远离平衡态
 - 学科交叉：与热力学、化学、电磁、生物等交叉
- 数、理、化、天、地、生、力。力学为应用基础。

流体力学的学科特点

◆ (2) 流体力学又是一门应用学科

- 航空航天工程（两弹一星、神舟、高超、大飞机。空气动力学）
- 能源工程（石油、天然气等。渗流力学）
- 海洋工程（海洋平台、海洋资源等。水动力学，地球流体力学）
- 船舶工程（航海、探测。水动力学）
- 水利工程（城市供水、灌溉、防洪、水力发电等。水动力学）
- 生物工程（生物流体力学）
- 环境工程（环境流体力学）
- 机械工程（内燃机、MEMS等。流体机械）
- 化学工程（流体混合等）
- 材料工程（晶体生长、电磁流变等）

■ 工程科学的概念：技术科学，解决工程中的科学问题

流体力学的研究方法

■ 三种研究方法：理论方法、计算方法、实验方法

■ 理论方法：本课程仅涉及理论流体力学。

◆ 建立模型

- 物理模型；数学模型

◆ 数学求解

- 解析求解越来越困难，独立使用已越来越少

◆ 物理分析

- 总结规律；机理分析

流体力学的研究方法

- **计算方法：计算流体力学(CFD)**
 - ◆ **建立模型**
 - 物理模型；数学模型；数值模型
 - ◆ **数值求解**
 - 解析求解越来越困难，数值求解取而代之
 - ◆ **物理分析**
 - 总结规律；机理分析
 - ◆ **CFD形成的条件**
 - 模型成熟；计算条件具备
 - ◆ **CFD的优点**
 - 数值求解不能解析求解的问题
 - 数值模拟实验结果（实验条件限制；给出更多细节）
 - 减少实验次数，大幅度降低成本（关键）

流体力学的研究方法

- **实验方法：实验流体力学**
 - ◆ **物理学的认识路线：实践-理论-再实践**
 - ◆ **即使理论模型已知，实验仍十分重要**
 - 解析或数值手段有局限性
 - 实验验证
 - ◆ **实验条件：主要设备和测试手段**
 - 风洞、水洞、水槽等
 - 速度、压强、力等定量测量；流场显示
 - ◆ **建模、物理分析过程仍离不开理论指导**
- **理论分析是大脑，数值计算、实验是手！**

流体力学的学习要点

- **流体力学的学习要点：四个“基本”**
 - ◆ **基本（物理）概念**
 - ◆ **基本原理（物理规律、数学形式）**
 - ◆ **基本方法**
 - ◆ **基本流动**

■ Homework:

- ◆ 阅读 § 1.4 “热力学基础”，不仔细讲授。

■ 下讲内容:

- ◆ 连续介质假设（§ 1.2）
- ◆ 笛卡尔张量（附录一）

谢谢!