

介绍一本流体力学教科书

—《物理流体力学》—

《物理流体力学》(McCormack P.D. & Crane L., 《Physical Fluid Dynamics》, Academic, 1973)一书对现代流体力学作了简明扼要的介绍,是作者们在爱尔兰和美国执教多年的基础上写成的,主要内容是牛顿粘性流体。书中强调流体力学问题的物理方面,因而书名冠以“物理”二字,以与通常的流体力学的数学理论相区别。

全书共十一章。第一章“引言和数学基础”,主要介绍矢量运算和张量的指标符号记法,以使描述简明。(想要进一步深入的读者,可参看:Flügge W., 《Tensor Analysis & Continuum Mechanics》, Springer, 1972)。例如,为了消去运动方程中的压力 p ,利用 $\text{curl grad } p \equiv 0$,只须对方程两边取旋度即可。此外,也简单地介绍了一些流体的流变性状,以便了解本书中所着重论述的牛顿流体在一般流体中的地位。

为了强调物理基础,特地辟出第二章“流体的物理性质”,其中除了介绍气体和液体的特性、流体中的输运现象等之外(有兴趣的读者可参看专著:Chapman S. & Cowling T.G., etc., 《The Mathematical Theory of Non-Uniform Gases》, 3rd ed., Cambridge Univ., 1970),特别阐述了连续统概念,并以此建立各量的场的概念。(关于连续统假设的严格数学论证,可参看专著:Cohen P.J., 《Set Theory & the Continuum Hypothesis》, Benjamin, 1966)。同时,还阐明了物理相似的概念和量纲分析法,引进了一系列重要的无量纲特征量。(关于力学中的相似与量纲法,可参看:Седов Л.И., 《Методы подобия и размерности в механике》, изд. 7-ое, Наука, 1972)。

在头两章的预备基础上,书中用了四章的篇幅论述真实流体(粘性流体)动力学,它们是:第三章“流体运动学”,第四章“流体运动方程”,第六章“涡量和层流边界层”(关于边界层方面的全面而详尽的著作,可参看专著:Schlichting H., 《Boundary-Layer Theory》, 6th ed., McGraw-Hill, 1968),第九章“可压缩流体流动”。这几章着重阐明物理本质而不作冗长的数学推导。在第九章中,还特地在“传播波”一节(第6节)中用实例阐明了如何从有限振幅波演变为激波;同时,还用第8, 9两节分别介绍了从物理上理解非等熵流的性状很有教益的瑞利线和法诺线(温-熵图)。

第五章论述重要的课题“涡旋动力学”,包括一些关于环量和涡量的著名定理和涡丝、涡环、卡门涡街以及粘性效应等等;而第七章则专门介绍“缓慢粘性流动”,即小雷诺数流动。

第八章分四部分介绍了流体力学中互有联系的几个重要课题: I. “非定常流”,着重介绍了外部流速度(高频)脉动下的边界层流动; II. “边界层流动的不稳定性”,其中引进了涡旋粘性系数的概念,还讲到从层流向湍流的转捩以及粘性效应等; III. (充分发展了的)“湍流”; IV. “湍流的结构”,包括速度关联、湍流谱等等。(关于湍流的

数学模型,可参看: Launder B.E. & Spalding D.B., 《Lectures in Mathematical Models of Turbulence》, Academic, 1972; 关于均匀湍流,有经典性的著作: Batchelor G.K., 《The Theory of Homogeneous Turbulence》, Cambridge Univ., 1959; 关于湍流剪流则有: Townsend A.A., 《The Structure of Turbulent Shear Flow》, Cambridge, 1956, 据了解国外正在准备新版。)

以上九章,构成了当代牛顿流体力学的导论,作者认为可作为大学生教程。

最后两章是较专门的材料,作者认为可作为研究生教学和阅读的基础材料,它们是:第十章“微粒流体动力学”,主要介绍了非单相流的概念、微粒连续统及简单二相流的宏观连续介质描述(利用专门定义的平均量);第十一章“超流体动力学”,主要介绍了超流体的概念、液氮的性状以及几个简单问题的唯象理论处理。

各章末附有习题,以便加深对各章内容的理解。

(倪锄非)