牛顿和非牛顿流体力学

章伯其　编著

兵器工业出版社

牛顿和非牛顿流体力学

章伯其　编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本世纪上半叶，航空工业的起飞，大大推动了牛顿流体力学（主要是气体动力学）的发展，下半叶聚合物工业的崛起，有力地推动了非牛顿流体力学的发展，同时流体力学的发展也为这些工业的发展作出了重大贡献。本书以理工科大学本科数力学基础知识为起点，按连续介质力学系统，较详细地阐述牛顿和非牛顿流体力学基础知识，包括流体力学基本方程，流体力学问题基本解法及其数学预备知识。本书可作为高年级本科生与研究生教材，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

牛顿和非牛顿流体力学/章伯其编著.—北京：兵器工业出版社，1997.2
ISBN 7-80132-068-9

I.牛… II.章… III.流体力学-基本知识 IV.O35

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 17862 号

兵器工業出版社 出版发行
（北京市海淀区车道沟10号）
各地新华书店经销
南京理工大学印刷厂印装
*
开本：787×1092 1/16 印张：35.75 字数：889.2千字
1997年2月第1版 1997年2月第1次印刷
印数：1～1000 定价：36.00元

前　言

力学是物理学的一个分支。力学是研究物质运动以及引起该运动的力的学科。力学建立在时间，空间，力，能量以及物质这些概念的基础上。流体力学是力学的一个分支，它主要研究流体相对于物体静止或运动时，流体与物体之间的相互作用。

力学与建筑、机械、石油、采矿、冶金、水利等方面的应用科学的关系像水稻的根和穗的关系，许多应用科学普遍地且几乎无偿地应用力学的成果。各部门生产的发展与力学的发展互相促进，相得益彰。以流体力学的发展为例，在本世纪的前半叶，流体力学分科空气动力学得到了很大的发展，促进其发展的主要是航空工业。换句话说，若要设计能在空中飞行的飞机，必须了解飞机在飞行时所受到的空气动力作用——阻力与升力。若能改进飞机气动性能，就能研制新一代的飞机。在本世纪的下半叶，非牛顿流体力学这一分科得到很大的发展，发展的推动力则主要是聚合物工业。高聚合物熔体、溶液是典型的非牛顿流体。聚合物的挤出注射、压延涂覆，化纤工业中高聚物的纺丝等过程，都有非牛顿流体力学问题。在石油、冶金、食品等工业中也有各种非牛顿流体流动问题。生物流体，如动物血液、关节液，植物汁液都属非牛顿流体。聚合物工业的发展速度大家有目共睹，其产品已进入工农业各部门，民用产品则早已进入千家万户，高分子新材料、新产品正在迅速地取代各种金属、竹木旧材料、旧产品。

生产技术的发展，导致分工越来越细，多数人局限于越来越小的工作范围，这情形也反映到力学发展上。力学的分支越来越多，可分为固体力学与流体力学。流体力学则有非粘性流体力学、粘流、水力学、气体动力学、非牛顿流体力学、多相流体力学、化学流体力学、电磁流体力学、生物流体力学、计算流体力学等等分科，这是力学发展的必然结果，也有利于力学的发展。事物之间本来就有种种联系，因而各力学分支间必须加强联系，才有利于力学的发展。事实上，许多力学新分支、新学科就是在旧分支、旧学科的边缘交界处产生。比如说，非牛顿流体力学，研究的流体往往既具有类似固体的性质，又具有类似流体的性质，故非牛顿流体力学可以说是产生在固体力学、流体力学、物理化学等边缘交界处。鉴于此，近年来许多学术界人士认为应穿透固体力学与流体力学间某些人为的壁垒去了解它们的总貌，同时应编写这方面的教材，为学生将来的工作更具创造性打下基础，这也是本流体力学教材的宗旨。本教材试图兼容经典性的流体力学教材的基本内容，渗进连续介质力学基础知识，并按连续介质力学系统描述。流体力学内容浩如烟海，本教材主要选取基本概念、基本方程等内容，适当选取空气动力学、非牛顿流体力学内容，以及流体力学问题的基本解法。为了让学生学好这些知识，也为了让学生具有较好的数力学理论基础，还适当选取了一些预备性的数学知识，例如“矢量代数与微积”、“张量分析”等。如果这些数学知识掌握得好，学习流体力学知识就顺利得多，就可事半功倍，触类旁通。选取这些数学知识，也是为了方便只学过高等数学

的读者学习本课程。

因为流体力学中涉及各种曲线坐标系，本教材还列出了各基本方程在一般坐标系中的分量形式。本教材基础部分还配备了一定量的习题，所有习题都给出解答，因此习题也可充作例题，以利自学的读者学习。

本书可作为数学、力学等理工科专业的本科生和研究生的教材，也可供从事与流体力学有关的工程技术人员参考。

借此书出版的机会，向钱士柯、吕坚田、周文、徐世震、钱祖杲、杨应辰、吴礼义、杨岫生、曹起鹏等老师表示我诚挚的敬意。

由于作者的学识有限，书中定有疏误，恳望读者指出。

章伯其

1995年

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

目　　录

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

第一章　矢量代数与微积

1.1　矢量代数

1.1.1　引言

矢量代数与微积是学习流体力学、电磁学等专业课的必备基础知识。本章系统地给出大量实用公式，而且绝大多数公式都有推导。其特点是，基本公式的推导不依赖于具体坐标系，推导后再给出它们在具体坐标系中的形式。本章讨论限于三维空间。

1.1.2　数量和矢量

数量(标量)：不需给出在空间的方向就可完全确定的纯数或物理量称数量。

例　物体个数，物体体积、密度、温度、动能、位能等是数量。

矢量：既要给出大小，又要给定方向才能完全确定的量称矢量。矢量也称向量。

例　物体的位移、速度、加速度，物体所受力等是矢量。

在作某种矢量运算时，应注意矢量能否平移，约定下文中如无特别说明矢量可作平移。

矢量的符号，书写时一字母上加一箭头表示，如 $\vec{F},\vec{v},\vec{a}$ 等，印刷时需用字母的黑斜体(不加箭头)表示。任意矢量 $\boldsymbol{V}$ 的大小(模)可用 $|\boldsymbol{V}|$，或 V 表示。

矢量的几何表示：画一长度正比于它的大小的直线段加一箭头表示。箭头方向为矢量方向，箭头处为矢量的终点，直线段另一端点称为始点，参见图 1.1.1。

矢量相等：如果两个矢量的大小相等且方向相同，则称两矢量相等。

在不同坐标系中，标量具有相同的值。用矢量形式写出的物理定理，如力系平衡条件，与具体坐标系无关。

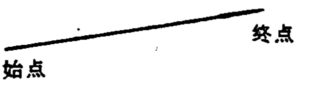

图 1.1.1

1.1.3　矢量加减法

我们要讨论的矢量是物理量，所以必须受到自然规律的支配，矢量运算法则是以这些自然规律为基础的。

加法(平行四边形法则)：移动两矢量使其始点重合，以这两矢量始点为始点，这两矢量为邻边的平行四边形的对角线矢量，即为这两矢量之和。参见图 1.1.2。

加法也可叙述为，经过平移，将第二个矢量 $\boldsymbol{U}$ 的始点置于第一个矢量 $\boldsymbol{V}$ 的终点，则矢量和 $\boldsymbol{V}+\boldsymbol{U}$ 为始点在 $\boldsymbol{V}$ 的始点，终点在 $\boldsymbol{U}$ 的终点的矢量。

矢量加法满足

$$\boldsymbol{V}+\boldsymbol{U}=\boldsymbol{U}+\boldsymbol{V}\text{(交换律)} \tag{1.1.1}$$

$$V + (U + W) = (V + U) + W \text{（结合律）} \tag{1.1.2}$$

零矢量：若 U 与 V 大小相等方向相反，则矢量和 $V + U$ 为零矢量，记作

$$V + U = 0, \quad U = -V, \quad V + (-V) = 0$$

显然

$$V + 0 = V \tag{1.1.3}$$

减法定义为

$$V - U = V + (-U) \tag{1.1.4}$$

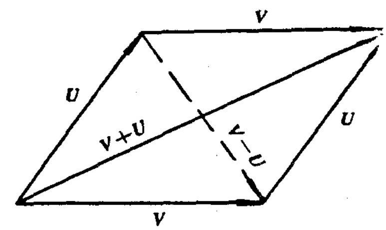

图 1.1.2

1.1.4　数乘矢量

单位矢量：大小为 1 的矢量称单位矢量。

矢量 V 的几何表示中，直线段长度与规定的单位长之比为矢量的大小 $|V|$。若再画一单位长线段平行于 V，并加上与 V 相同方向的箭头，就构成与 V 平行且指向相同的单位矢量 e_V，参看图 1.1.3。显然将 e_V 伸缩 $|V|$ 倍后作平移可与 V 重合，V 可表示为 $V = |V|e_V$，由此规定数乘矢量法则如下。

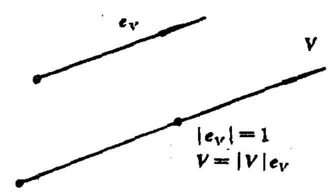

图 1.1.3

数乘矢量：实数 $b \neq 0$ 与矢量 V 相乘所得的矢量 bV 的大小为 $|b||V|$，方向视 $b > 0$ 还是 $b < 0$ 而定，若 $b > 0$ 则 bV 与 V 方向相同，若 $b < 0$，则 bV 与 V 方向相反。如果 $b = 0$，则 bV 为零矢量，参见图 1.1.4。

数乘矢量满足

$$1V = V \tag{1.1.5}$$

$$bV = Vb \tag{1.1.6}$$

$$b(cV) = (bc)V \tag{1.1.7}$$

$$(b + c)V = bV + cV \tag{1.1.8}$$

$$b(U + V) = bU + bV \tag{1.1.9}$$

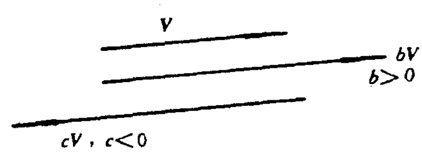

图 1.1.4

1.1.5　矢量的分解

设有 m 个矢量 $V_1, V_2, \cdots, V_m$，存在 m 个不全为零的数 $c_1, c_2, \cdots, c_m$，使下式成立

$$c_1V_1 + c_2V_2 + \cdots + c_mV_m = 0 \tag{1.1.10}$$

则称 $(V_1, V_2, \cdots, V_m)$ 是线性相关矢量系，否则称为线性独立系。

若两矢量线性相关，$c_1V_1 + c_2V_2 = 0$，则称 V_1 与 V_2 平行。

在三维空间中，若三矢量线性相关，则称三矢量共面。若矢量 V_1, V_2, V_3 共面，则

$$c_1V_1 + c_2V_2 + c_3V_3 = 0$$

因 c_1, c_2, c_3 不全为零，设 $c_1 \neq 0$，则（见图 1.1.5）

$$V_1 = -\frac{c_2}{c_1}V_2 - \frac{c_3}{c_1}V_3$$

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com