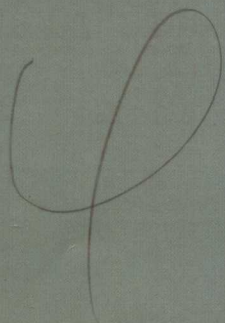




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

流体力学 (第2版)

■ 李玉柱 苑明顺 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

035/60=3

2008



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

流体力学

第2版

李玉柱 苑明顺 编著

陈 专 图 绘 主 责

李 玉 柱 苑 明 顺 编 著

010-28281118 赵 燕 许 颖
800-810-0298 顾 咨 费 矣

http://www.hep.edu.cn 址 网
http://www.hep.com.cn
http://www.hep.cn
http://www.hep.com.cn



高等教育出版社

Higher Education Press

00-810021 号 址 网

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在1998年出版的第一版的基础上修订而成。这次修订除保持原书“注意加强理论基础,注重能力培养,力求思路清晰、物理概念明确、理论联系实际”的特点外,内容做了适当调整,适用于土建类各专业;同时精选了复习思考题、自测题和习题,更便于学生自学。

全书共分11章,内容包括:绪论,流体静力学,流体运动学,流体动力学基础,层流、紊流及其能量损失,孔口、管嘴出流与有压管流,明渠流动,堰流,渗流,量纲分析和相似原理,流动要素量测。

本教材可作为高等学校土建类的土木工程、给水排水工程以及交通工程等各专业的流体力学(水力学)课程教学用书,更是全国注册结构工程师流体力学考试的首选参考书。

本书配有电子教案。

图书在版编目(CIP)数据

流体力学/李玉柱,苑明顺编著. —2版. —北京:高等教育出版社,2008.1

ISBN 978-7-04-0-22678-2

I. 流… II. ①李…②苑… III. 流体力学-高等学校-教材 IV. O35

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第196094号

策划编辑 杨倩 责任编辑 水渊 封面设计 张志奇 责任绘图 尹莉
版式设计 陆瑞红 责任校对 殷然 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 高等教育出版社印刷厂

开本 787×960 1/16
印张 23.75
字数 440 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 1998年6月第1版
2008年1月第2版
印次 2008年1月第1次印刷
定价 27.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22678-00

第1版前言

本书是为高等学校结构工程等专业流体力学课程编写的教材(适用于50学时)。教材内容覆盖了全国注册结构工程师流体力学考试大纲的全部内容。

本书根据结构工程专业的需要,介绍了工程流体力学的基本概念、基本原理和基本方法,注意加强理论基础和能力的培养,力求思路清晰,物理概念明确,理论联系实际。

在编写过程中,考虑到各院校的学时数不同,要求不完全一样,任课教师在具体教学中可以根据各院校的不同情况,对某些章节有所取舍。根据全国注册结构工程师考试大纲的要求,专门设置了第十章,介绍流动要素的量测,不仅介绍了根据流体力学原理设计的一些传统的量测方法,而且还介绍了近代一些先进的量测技术,开阔了眼界,拓宽了思路。

本书由清华大学李玉柱、苑明顺共同编写。全书内容经编者共同讨论,分工执笔:李玉柱编写第一、七、八、九章,苑明顺编写第二、三、四、五、六、十章,全书由李玉柱统稿审定。

本书由哈尔滨建筑大学刘鹤年教授审阅,提出了许多宝贵意见。在本书的编写过程中,还得到了国家教委高等学校水力学及流体力学课程教学指导小组一些专家教授的热情鼓励和支持,在此一并致谢。

由于时间紧张,加之编者水平所限,不妥之处恳请读者批评指正。

编者于清华园

1997年12月

第2版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是1998年出版的《流体力学》教材的修订版。这次修订除保持原书“注意加强理论基础，注重能力的培养，力求思路清晰、物理概念明确、理论联系实际”的特点外，主要在以下几个方面进行了修订。

在保持原版体系的基础上，对内容做了适当调整，增加了潜体与浮体的平衡和稳定、明渠水流的流态与判别、水跃与水跌、水面曲线的分析与计算、堰流等内容，使之更加符合土建类土木工程、给水排水工程以及交通工程各专业流体力学课程的基本要求。

注重流场分析，注意运用基本方程来分析流动问题，加深加宽了理论基础，有利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

新编习题组合，包括复习思考题、自测题和习题，是教材编选习题的一种新的形式，利于学生自学。所选计算证明题类型多样，难易搭配，便于教学选用。

在修订过程中，对内容的编排考虑到各院校流体力学课程的学时数不同，要求也不完全一样，主讲教师在具体教学过程中可以根据各院校的不同情况，对某些章节有所取舍。如学时较少，新增内容和流动要素量测等内容均可以不讲。

书后新增了各章习题参考答案和中英文对照的术语索引。

本书由原编者清华大学李玉柱、苑明顺负责修订，李玉柱负责修订一、七、八、九、十章，苑明顺负责修订二、三、四、五、六、十一章，全书由李玉柱统稿审定。

本书由哈尔滨工业大学刘鹤年教授审阅，提出了很多宝贵意见和建议，对此表示衷心的感谢。

由于水平有限，时间较紧，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

2007年10月

作者简介

李玉柱 清华大学教授、博士生导师,1964年毕业于清华大学水利工程系。现任高等学校水利学科教学指导委员会副主任委员。曾任中国水利教育协会高等教育分会常务理事、教学管理研究会主任、学术委员会委员,高等学校工科力学课程教学指导委员会委员,水力学及流体力学课程教学指导组副组长,清华大学水利水电工程系副系主任,清华大学水力学一类课负责人。多年来一直从事水力学及河流动力学方向的教学和科研工作。先后主讲本科生水力学、流体力学和研究生工程流体力学等5门课程。主编《流体力学》和《工程流体力学》教材、参编《水力学》、《水利概论》等教材和《中国水利百科全书》,主持研制土建类工程流体力学试题库。主审《水力学》和《流体力学》等10本教材。发表论文50余篇。曾获北京市高等学校优秀教学成果一等奖,北京市优秀教师称号,电力部科技进步二等奖、云南省科技进步一等奖,国务院政府特殊津贴。



苑明顺 清华大学水利水电工程系副教授。1981年获武汉大学河流工程系工学学士学位,分别于1985、1988年获明尼苏达大学土木工程系工学硕士和工学博士学位。兼任中国水利学会水力学专业委员会委员。主讲研究生计算流体力学和本科生水工模型试验等课程,从事水动力学和工程水力学的科研和教学工作,发表论文30余篇。曾获清华之友—优秀青年教师奖、中国科委八五国家重点科技攻关项目优秀成果奖以及长江科学院优秀科技成果奖等。



目 录

第一章 绪 论 1

§ 1-1 流体力学的任务及其发展简史	1
§ 1-2 流体的主要物理力学性质	3
§ 1-3 作用在流体上的力	11
§ 1-4 流体的力学模型	13
复习思考题	14
自测题	14
习题	15

第二章 流体静力学 18

§ 2-1 流体静压强特性	18
§ 2-2 流体平衡微分方程	20
§ 2-3 重力场中静压强的分布	24
§ 2-4 平面上静止液体的总压力	28
§ 2-5 曲面上静止液体的总压力	33
§ 2-6 潜体与浮体的平衡和稳定	38
复习思考题	42
自测题	43
习题	44

第三章 流体运动学 49

§ 3-1 流体运动的描述方法	49
§ 3-2 流场的基本概念	54
§ 3-3 流动的质量守恒方程	60
§ 3-4 流体微团运动的分解	65
复习思考题	71
自测题	71
习题	72

第四章 流体动力学基础	74
§ 4-1 流体运动微分方程	74
§ 4-2 实际流体的能量方程	83
§ 4-3 恒定流的动量方程	91
§ 4-4 理想流体的无旋流动	96
复习思考题	107
自测题	108
习题	109
第五章 层流、紊流及其能量损失	117
§ 5-1 层流与紊流的概念	118
§ 5-2 均匀流沿程损失的理论分析	123
§ 5-3 紊流流动的特征	127
§ 5-4 紊流的流速剖面	133
§ 5-5 紊流的沿程损失	141
§ 5-6 流动的局部损失	150
§ 5-7 边界层与物体绕流	159
复习思考题	168
自测题	169
习题	171
第六章 孔口、管嘴出流与有压管流	174
§ 6-1 孔口和管嘴出流	174
§ 6-2 有压管流	184
§ 6-3 管网流动计算基础	193
§ 6-4 有压管道中的水击	199
复习思考题	206
自测题	207
习题	208
第七章 明渠流动	213
§ 7-1 概述	213

§ 7-2	明渠均匀流	216
§ 7-3	无压圆管均匀流	227
§ 7-4	明渠水流的流态与判别	231
§ 7-5	水跃与水跌	240
§ 7-6	棱柱形渠道恒定非均匀渐变流水面曲线的分析	246
§ 7-7	明渠非均匀渐变流水面曲线的计算	254
	复习思考题	256
	自测题	257
	习题	258

第八章 堰 流 262

§ 8-1	堰流的类型及计算公式	262
§ 8-2	薄壁堰流	265
§ 8-3	实用堰流	268
§ 8-4	宽顶堰流	269
§ 8-5	小桥孔径的水力计算	273
	复习思考题	277
	自测题	278
	习题	278

第九章 渗 流 280

§ 9-1	渗流的基本概念	280
§ 9-2	渗流基本定律	282
§ 9-3	单井的渗流计算	288
§ 9-4	集水廊道的渗流计算	292
§ 9-5	大口井的渗流计算	294
§ 9-6	井群的渗流计算	296
	复习思考题	299
	自测题	300
	习题	300

第十章 量纲分析和相似原理 303

§ 10-1	量纲和谐原理	303
--------	--------------	-----

§ 10-2 量纲分析方法	307
§ 10-3 流动相似原理	313
§ 10-4 模型试验	320
复习思考题	326
自测题	326
习题	327

第十一章 流动要素量测 329

§ 11-1 压强与液位的量测	329
§ 11-2 流速量测	336
§ 11-3 流量量测	343
§ 11-4 流动显示与全流场测速	347
复习思考题	348
自测题	349
习题	349

习题答案 353

术语索引 358

参考文献 367

§ 1-1 流体力学的任务及其发展 简史

流体力学是研究流体在各种力作用下的平衡和机械运动规律及其在工程实际应用的一门学科。流体力学是力学的一个分支。流体力学研究的对象是流体,包括液体和气体。

流体最基本的特征是它具有流动性,也就是说流体在一个微小的剪切力作用下,就能够连续不断地发生变形,即发生流动,只有在外力停止作用后,变形才能停止。这正是流体不同于固体最基本的特征。固体则不同,固体能维持它固有的形状,它可以承受一定的拉力、压力和剪切力。液体由于具有流动性,因此没有一定的形状,它随容器的形状而变。液体具有自由表面,不能承受拉力,静止时不能承受剪切力。气体不能承受拉力,静止时不能承受剪切力,具有明显的压缩性,因此也不具有一定的体积,可以充满整个容器。

流体作为物质的一种基本形态,必须遵循自然界一切物质运动的普遍规律,如牛顿的力学定律、质量守恒定律和能量守恒定律等有关物体宏观机械运动的一般规律。所以,流体力学中的基本定理实质上都是这些普遍规律在流体力学中的具体体现和应用。

流体力学在许多工业部门中都有着广泛的应用。航空工业中飞机的制造离不开空气动力学;造船工业部门要用到水动力学。空气动力学、水动力学都是流体力学的一个分支。电力工业中,无论是水电站、火电站,还是核电站、地热电站,工作介质都是流体。机械工业中的润滑、冷却、液压传动都要用

到流体力学基本原理。冶金工业中,炉内气体的流动、冷却、通风等有着许多流体力学问题。水利工程中的水资源运用、泄洪消能、河道整治、灌溉排水等有着大量水力学问题。此外,化工流程、石油输送、环境保护、交通运输等也都遇到不少流体力学问题。所以,可以说流体力学几乎在所有的工业部门中都有着广泛的应用。

流体力学和土建类各专业有着更加密切的关系。在土建工程中,城市的生活和工业用水,从开拓水渠、取水口布置、水的净化与消毒、水泵选择、水塔修建、管路布置等需要解决一系列水力学问题。在公路与桥梁工程中,路基的沉陷、崩塌、滑坡、排水,桥梁、涵洞、倒虹吸管和透水路堤的修建都与水密切相关。采暖通风工程中,热风采暖、冷风降温、燃气输送都以流体为工作介质。此外土建工程施工中,修建围堰、基坑排水、污水排放都要用到水力学的基本原理。因此,必须掌握好流体的各种力学性质和运动规律,才能有效地、正确地解决工程实际中所遇到的各种流体力学问题。

流体力学是在人类同自然界作斗争、在长期的生产实践中,通过科学实验逐步发展起来的。早在几千年以前,随着农业、航运事业的发展,人们逐渐认识了一些水流运动规律。我国古代劳动人民早在春秋战国和秦朝时期就已修建了都江堰、郑国渠和灵渠。以后则有汉渠和唐徕渠,大大发展了灌溉事业。特别是都江堰工程所总结的“深淘滩,低作堰”,反映了当时人们对明渠水流和堰流已有了一定的认识。公元前485年开始修建,隋朝最后完成的从杭州到北京的大运河长达1782 km,大大改善了我国南北运输的条件,特别是在运河上大量地使用船闸,表明我国劳动人民的高度智慧。公元1363年制作的我国古代计时工具——铜壶滴漏就是利用孔口出流,水位随时间变化的规律制成的,反映当时人们对孔口出流已有相当认识。与我国情况相类似,早在几千年前,在埃及、巴比伦、希腊和印度等地,为了发展农业和航运事业,也修建了大量的渠系。古罗马人则修建了大规模的供水管道系统。这些事例说明人们在大量的生产实践中也认识了一些水流运动的规律。但是,真正对流体力学学科形成最早作出贡献的是古希腊的阿基米德(Archimedes),他在公元前3世纪撰写了“论浮体”,奠定了流体静力学的基础。此后千余年间,流体力学没有重大发展。

公元15世纪至17世纪,达·芬奇、伽利略、E·托里拆利、B·帕斯卡、I·牛顿等人用实验方法研究了水静压力、大气压力、孔口出流、压力传递和水的切应力等问题。公元18世纪以后,流体力学得到了较快的发展,流体运动规律的研究大致可分为两大类:一类是用数学分析的方法进行比较严格的推导,建立流体运动的基本方程,在这一方面做出杰出贡献有D·伯努利、L·欧拉、C.-L.-M.-H.纳维、G·G·斯托克斯、O·雷诺等人,他们分别建立了伯努利方程、欧拉方程、纳维-斯托克斯方程、雷诺方程等。但是由于这些纯理论的推导所作的某些假定与实际

不尽相符,或由于数学上难于求解,所以无法用于解决实际工程中一些复杂问题。与此同时,另一类的研究是为了解决生产实际问题,从大量的实验和实际观测中总结出来一些经验关系式,并根据简化后的一维方程进行数学分析,建立各运动要素间的定量关系。从事这类研究并作出贡献的主要有:H·毕托、G·B·文丘里、A·de 谢齐、R·曼宁等人。使上述两类研究得到统一的是由德国人 L·普朗特在1904年创立的边界层理论。这一理论既明确了理想流体的适用范围,又能计算实际物体运动时的摩阻力。

20世纪以来,随着生产和科学技术的发展,特别是航空技术的迅速发展,使得理论分析和实验方法日益结合,形成了现代流体力学。根据侧重不同,又可将侧重于理论分析的流体力学称为理论流体力学,将侧重于应用研究的流体力学称为工程流体力学。

§ 1-2 流体的主要物理力学性质

外因是变化的条件,内因是变化的依据。流体在外力作用下是处于相对平衡还是作机械运动是由流体本身的物理力学性质决定的,因此,流体的物理力学性质是我们研究流体相对平衡和机械运动的基本出发点,在流体力学中,有关流体的主要物理力学性质有以下几个方面。

1.2.1 惯性

惯性是物体保持其原有运动状态的一种性质。物体运动状态的任何改变,都必须克服惯性作用。表示惯性大小的物理量是质量。质量愈大,惯性愈大,运动状态愈难于改变。一个物体反抗改变原有运动状态而作用于其他物体上的反作用力称为惯性力。设物体质量为 m ,加速度为 a ,则惯性力 F 的数值为

$$F = -ma \quad (1-1)$$

负号表示惯性力的方向与物体加速度的方向相反。

流体单位体积内所具有的质量称为密度,以 ρ 表示。对于均质流体,若其体积为 \bar{V} ,质量为 m ,则

$$\rho = \frac{m}{\bar{V}} \quad (1-2)$$

对于非均质流体,各点的密度不同。要确定空间某点流体的密度,可在该点周围取微元体积 $\Delta\bar{V}$,若它的质量为 Δm ,则该点的密度为

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \quad (1-3)$$

在国际单位制中,密度的单位为 kg/m^3 。

流体的密度随温度和压强的变化而变化。在一个标准大气压下,不同温度下水和空气的密度值见表 1-1。实验表明,液体的密度随温度和压强的变化甚微,在绝大多数实际工程流体力学问题中,可近似认为液体的密度为一常数。计算时,一般采用水的密度值为 $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

表 1-1 在标准大气压时不同温度下水和空气的密度/ (kg/m^3)

温度/ $^{\circ}\text{C}$	水	空气	温度/ $^{\circ}\text{C}$	水	空气
0	999.9	1.293	40	992.2	1.128
5	1000.0	1.270	50	988.1	1.093
10	999.7	1.248	60	983.2	1.060
15	999.1	1.226	70	977.8	1.029
20	998.2	1.205	80	971.8	1.000
25	997.1	1.185	90	965.3	0.973
30	995.7	1.165	100	958.4	0.947

1.2.2 万有引力特性

物体之间具有相互吸引的性质,这个吸引力称为万有引力。在流体运动中,一般只需要考虑地球对流体的引力,这个引力就是重力,用重量 G 表示。设物体的质量为 m ,重力加速度为 g ,则重量

$$G = mg \quad (1-4)$$

1.2.3 粘性

由于流体具有流动性,在静止时不能承受剪切力以抵抗剪切变形,但在运动状态下,流体内部质点间或流层间因相对运动而产生内摩擦力以抵抗剪切变形,这种性质叫做粘性。内摩擦力又称为粘滞力。流体的粘性是流体中发生机械能损失的根源,是流体的一个非常重要的性质。

由牛顿在 1686 年首先提出的,并经后人加以验证的牛顿内摩擦定律可表述为:处于相对运动的两层相邻流体之间的内摩擦力(或切力) T ,其大小与流体的物理性质有关,并与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 和流层的接触面积 A 成正比,而与接触面上的

压力无关。其数学表达式为：

$$T = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

式中 μ 为比例系数, 在 A 和 $\frac{du}{dy}$ 相同的条件下粘性越大的流体, 其内摩擦力越大, 因而 μ 也越大, 故可以用 μ 来量度流体的粘性。 μ 称为动力粘度, 可简称粘度。在国际单位制中, μ 的单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

若以 τ 代表单位面积上的内摩擦力即切应力, 则

$$\tau = \frac{T}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-6)$$

切应力 τ 的单位为 Pa 。

式(1-6)中 $\frac{du}{dy}$ 表示速度沿垂直于速度方向的变化率。为了更好地理解速度梯度的意义, 在图 1-1a 中垂直于流动方向的 y 轴上任取一边长为 dy 的方形流体质点 $acdb$, 并将它放大成图 1-1b。由于其下表面的速度 u 小于上表面的速度 $u+du$, 经过 dt 时段以后, 下表面移动的距离 udt 小于上表面移动的距离 $(u+du)dt$, 因而方形 $acdb$ 变形为 $a'c'd'b'$, 两流层间的垂直连线 ac 和 bd 在 dt 时段里变化了角度 $d\theta$, 由于 dt 是一个微小时段, 因此转角 $d\theta$ 也很小, 所以

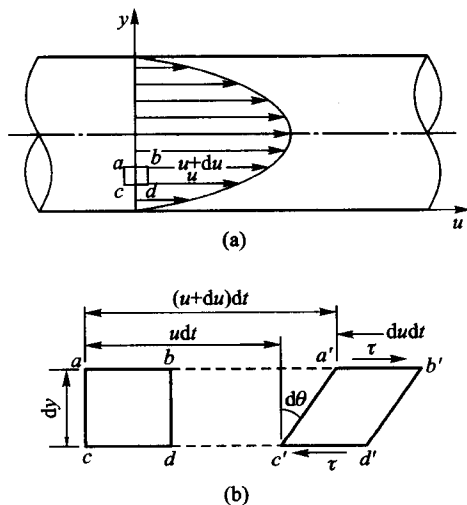


图 1-1 流体质点的直角变形速度

$$d\theta \approx \tan(d\theta) = \frac{du dt}{dy}$$

故

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{du}{dy} \quad (1-7)$$

可见,速度梯度就是直角变形速度,它是在切应力作用下发生的,故又称为剪切变形速度。所以,牛顿内摩擦定律也可以理解为切应力与剪切变形速度成正比。

在分析粘性流体的运动规律时,经常同时出现 μ 和 ρ 的比值,流体力学中习惯于把它们组合成一个量,用 ν 来表示,称为运动粘度,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-8)$$

在国际单位制中 ν 的单位是 m^2/s 。

流体的粘性一般是随温度和压强而变化的,但实验表明,在低压情况下(通常指低于100个大气压),压强的变化对流体的粘性影响很小,一般可以忽略。温度则是影响流体粘性的主要因素,而且液体和气体的粘度随温度的变化规律是不同的,液体的 μ 随温度的升高而减小,而气体的 μ 值则随温度的升高而加大。这可以从分子的微观运动来说明:粘性是分子间的吸引力和分子不规则的热运动产生动量交换的结果,温度升高,分子间的吸引力降低,分子间热运动增强,动量增大;反之,温度降低,分子间吸引力增大,分子间热运动减弱,动量减小。对于液体来说,分子间的吸引力是决定性的因素,所以,液体的粘性随温度的升高而减小;对于气体来说,分子间的热运动产生的动量交换是决定因素,所以,气体的粘性随温度的升高而增大。在实际计算中,可查阅有关手册中各种流体的粘温曲线,或用经验公式计算粘度。限于篇幅,本书仅介绍水和空气的粘度。表1-2给出在常压下不同温度时水的粘度,表1-3给出了在一个大气压下不同温度时空气的粘度。

表 1-2 水的粘度

$t/^\circ\text{C}$	$\mu/(10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s})$	$\nu/(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$	$t/^\circ\text{C}$	$\mu/(10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s})$	$\nu/(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$
0	1.792	1.792	40	0.656	0.661
5	1.519	1.519	45	0.599	0.605
10	1.308	1.308	50	0.549	0.556
15	1.14	1.14	60	0.469	0.477
20	1.005	1.007	70	0.406	0.415
25	0.894	0.897	80	0.357	0.367
30	0.801	0.804	90	0.317	0.328
35	0.723	0.727	100	0.284	0.296

表 1-3 一个大气压下空气的粘度

$t/^\circ\text{C}$	$\mu/(10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s})$	$\nu/(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$	$t/^\circ\text{C}$	$\mu/(10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s})$	$\nu/(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$
0	0.017 2	13.7	90	0.021 6	22.9
10	0.017 8	14.7	100	0.021 8	23.6
20	0.018 3	15.7	120	0.022 8	26.2
30	0.018 7	16.6	140	0.023 6	28.5
40	0.019 2	17.6	160	0.024 2	30.6
50	0.019 6	18.6	180	0.025 1	33.2
60	0.020 1	19.6	200	0.025 9	35.8
70	0.020 4	20.5	250	0.028	42.8
80	0.021	21.7	300	0.029 8	49.9

最后还要指出牛顿内摩擦定律只适于**牛顿流体**，即切应力与剪切变形速度成线性比例关系的流体，如水、汽油、酒精和空气等，均为牛顿流体。而将不符合牛顿内摩擦定律的流体称为**非牛顿流体**，如油漆、泥浆、浓淀粉糊等。根据本书的任务，我们仅限于研究牛顿流体。对于非牛顿流体，可参阅有关的专门著作。

1.2.4 压缩性和膨胀性

流体的压缩性是指流体受压，体积缩小，密度增大，除去外力后能恢复原状的性质。

流体的膨胀性是指流体受热，体积膨胀，密度减小，温度下降后能恢复原状的性质。

液体和气体虽然都是流体，但它们的压缩性和膨胀性大不一样，下面分别介绍。

1. 液体的压缩性和膨胀性

液体的压缩性一般用**体积压缩系数** α_p 来表示。它表示在一定温度下单位压强所引起的体积相对减小值， α_p 愈大，液体愈易压缩。设液体的原有体积为 \bar{V} ，如压强增加 $d\rho$ 后，体积减小 $d\bar{V}$ ，则体积压缩系数为：

$$\alpha_p = -\frac{d\bar{V}/\bar{V}}{d\rho} \quad (1-9)$$

α_p 的单位是压强单位的倒数，即 Pa^{-1} 。由于体积随压强的增大而减小，所以 $\frac{d\bar{V}}{\bar{V}}$ 和 $d\rho$ 异号，式中右侧加一负号，以保证 α_p 为正值。