

张鸿雁 张志政 王元◎编

流体力学

LIUTI LIXUE

 科学出版社
www.sciencep.com

流 体 力 学

张鸿雁 张志政 王 元 编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书系统地阐明了流体力学的基本概念、基本理论和基本方法,并且涉及流动的各种基本形式,如管流、明渠流、射流及绕物体的流动。全书共13章,前面4章介绍了流体运动的基本概念和流体运动所遵循的基本方程,让初学者对流体运动的描述有所了解。第5章对工程应用较多的相似理论做了较为详细的分析。第6章介绍了理想流体的平面无旋运动。后几章从建立一元流动模型入手,通过对流体流动控制方程的简化,逐步分析了黏性管流(第7章)、边界层与绕流阻力(第8章)、明渠流动(第9章)、孔口管嘴、堰流与闸孔出流(第10章)、渗流(第11章)、紊流射流(第12章)和气体可压缩管流(第13章)。每一章后配有小结和习题。

本书是一本工科院校流体力学的教学用书,可适用于建筑环境与设备工程、市政工程、环境工程、土木工程等各专业40~90学时的教学需求,也可作为有关专业科研人员及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

流体力学/张鸿雁,张志政,王元编. —北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-013251-3

I. 流… II. ①张…②张…③王… III. 流体力学-高等学校-教材
IV. 035

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 029771 号

责任编辑:童安齐 沈 建/责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉/封面设计:东方上林工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年7月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004年7月第一次印刷 印张:17 3/4 插页:2

印数:1—4 000 字数:344 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

前 言

为了适应科学技术和高等教育事业改革与发展的需要,新世纪之初,全国土建、环境类各专业教学指导委员会都重新修订了各自的本科生培养计划,力图在教学中充分反映本学科的最新发展,并加强课堂教学与实践性教学环节的有机结合,建设具有各专业特色的教材体系。为此,在多年为工科院校的学生教授“流体力学”课程的基础上,我们对教材内容、教材结构加以改革和调整,编写了此书。

当今科学发展的趋势是学科间的相互渗透,基础科学是技术革新的源泉。在科学技术迅速发展的今天,要具体地预见工程师将来要处理什么问题,实际上是不可能的,因此仅仅依据今天工程的需求来决定学习的内容也是不明智的。本书在内容筛选中,首先强调流体力学的基本概念、基本理论和基本方法的学习和掌握,因为只有这样,才能使认识本学科的普遍规律,同时有助于发展学生的创造性思维能力和善于运用自己所学到的理论和知识去寻找解决实际问题的本领。作为工科专业基础课,也作为本科生流体力学的初级课程,本书希望在保持传统讲授方法优点的同时,尽量用现代观念和方法来叙述,注意数学模型的建立、简化以及运用基本方程对流动问题进行分析,同时也希望能使学生了解流体力学这门学科的发展,领会其内涵,掌握其应用。

全书共13章,前面4章探讨流体运动的基本概念、流体运动所遵循的基本方程,让初学者对流体运动的基本规律有所了解。第5章对工程应用较多的相似理论做了较为详细的分析。第6章以后讨论了工程上常常遇到的各类流动问题及现在常用的分析手段和方法。教学时数可在40~90学时之间灵活掌握,在讲授部分或全部内容时均不破坏本课程的系统性。本书的目的是希望通过对流体力学这门学科简洁、明晰且易于初学者所接受的论述,为学习流体力学的高级课程打下基础,同时也有助于学生阅读流体力学各专题的文献资料,真正做到引导学生打好基础、学以致用。

本书第1、2、4、6、7、8、13章由张鸿雁编写,第3、9、11章由张志政编写,第5、12章由王元编写,第10章由张志政、张鸿雁编写。本书的编写获西安建筑科技大学重点教材资助,由张鸿雁主编,西北工业大学李华星教授主审。在编写过程中得到过不少专家、同事的帮助和鼓励,在此表示衷心的感谢。疏漏和错误之处恳请读者给予批评指正。

目 录

前 言

第 1 章 绪论	1
1-1 流体力学及其任务	1
1-2 流体的属性	2
1-3 作用在流体上的力	10
1-4 物理量的单位与量纲	11
本章小结	13
习题	13
第 2 章 流体运动学基础	15
2-1 研究流体运动的两种方法	15
2-2 流体流动的分类及有关概念	18
2-3 流体微团运动的分解	22
本章小结	28
习题	29
第 3 章 流体静力学	30
3-1 流体静压强及其特性	30
3-2 流体平衡微分方程	32
3-3 重力作用下的流体静压强	35
3-4 压强的度量与测压仪表	37
3-5 液体的相对平衡	41
3-6 静止液体作用于平面壁和曲面壁上的总压力	45
本章小结	52
习题	53
第 4 章 流体动力学基本方程	57
4-1 连续性方程	57
4-2 黏性流体运动微分方程式	59
4-3 欧拉运动微分方程式	65
4-4 流动问题的初始和边界条件	67
4-5 理想流体微分方程的积分	67
本章小结	69
习题	70

第 5 章 相似原理与量纲分析	71
5-1 相似的基本概念	71
5-2 方程分析法	72
5-3 相似准数	75
5-4 量纲分析法	77
5-5 模型律	81
本章小结	83
习题	84
第 6 章 理想流体的平面无旋运动	86
6-1 无旋流动的势函数	86
6-2 平面无旋运动	88
6-3 基本平面势流	92
6-4 势流的叠加	95
本章小结	99
习题	99
第 7 章 黏性管流	101
7-1 一元流动模型	101
7-2 一元流动基本方程	102
7-3 流动水头损失概念	117
7-4 圆管中的流动	122
7-5 有压管流	135
本章小结	138
习题	139
第 8 章 边界层与绕流阻力	144
8-1 边界层概念	144
8-2 边界层微分方程式	148
8-3 边界层动量积分方程式	149
8-4 平板层流边界层	151
8-5 平板紊流边界层	152
8-6 曲壁边界层的分离	153
8-7 绕流物体的作用力	155
本章小结	158
习题	158
第 9 章 明渠流动	160
9-1 明渠概述	160

9-2	明渠均匀流	162
9-3	明渠均匀流的水力计算问题	169
9-4	无压圆管均匀流	173
9-5	明渠非均匀流概述	175
9-6	水跃和水跌	180
9-7	明渠恒定非均匀渐变流的微分方程	186
9-8	棱柱形渠道中恒定非均匀渐变流水面曲线的分析	187
	本章小结	192
	习题	193
第 10 章	孔口管嘴、堰流与闸孔出流	195
10-1	孔口及管嘴的出流	195
10-2	堰流	202
10-3	闸孔出流	212
	本章小结	216
	习题	217
第 11 章	渗流	219
11-1	渗流基本概念	219
11-2	渗流达西定律	220
11-3	地下水的渐变渗流分析	222
11-4	集水廊道和井	226
11-5	井群	231
11-6	恒定渗流的微分方程	233
	本章小结	234
	习题	234
第 12 章	紊流射流	236
12-1	无限空间紊流淹没射流的结构	236
12-2	圆断面射流的运动分析	242
12-3	紊流淹没射流的温度分析和浓度分析	246
12-4	温差射流与浓差射流的轨迹	250
	本章小结	252
	习题	252
第 13 章	一元气体动力学基础	254
13-1	基本概念	254
13-2	一元恒定气体运动的基本方程	257

13-3 一元气体等熵流动	258
13-4 气体在管道中的运动	263
本章小结	267
习题	268
习题参考答案	269

第 1 章 绪 论

1-1 流体力学及其任务

1-1-1 固体与流体

物理学告诉我们,物质通常的存在具有三种不同的状态,即固体、液体和气体,液体和气体状态的物质统称为流体。一般认为固体具有一定的形状和体积,可以承受一定量的压力、拉力和剪切力,不易变形;液体具有一定的体积但无一定的形状;气体既无一定的体积也无一定的形状,它们可以承受压力,但不能承受拉力和剪切力,只有在特殊情况下需要考虑液体可承受的微小拉力(表面张力)。液体和气体在任何微小剪切力的作用下都将发生连续不断的变形,直至剪切力消失。这一特性是液体和气体有别于固体的特征,称为流动性,因此,满足这一特性的物质称为流体。

固体分子间相互作用力较强,不规则运动较弱,不易变形;气体分子间作用力较弱,不规则运动剧烈,易变形和压缩;而液体则介于固体和气体之间,易变形,不易压缩。因此,和固体相比,流体的特点在于其具有易于变形的特性,即易流动性。

1-1-2 流体的连续介质假设

物质是由分子构成的,分子是物质保持其化学性质的最小粒子。物质所表现出来的这些外部宏观特性的差别是由其内部微观结构、分子热运动和分子间的作用力决定的。

在流体力学中,通常我们所研究的是流体的宏观运动,研究的对象不是这些组成物质的粒子本身,考虑的是大量粒子的平均运动及其统计特性,如速度、密度、温度等。研究的是一部分流体和另一部分流体的相互作用(运动和平衡),问题所涉及的范围往往是比诸分子之间的平均距离(分子运动的平均自由程)大得多,即相对于流体力学问题中任何物理尺度来说,流体分子运动的平均自由程非常小(小好几个量级),因此,我们可以把流体看作是连续介质,即认为流体质点完全充满所占空间,没有间隙存在,其物理性质和运动要素都是连续分布的。所谓流体质点是指微观上足够大,宏观上充分小的流体分子团。例如,在常温常压下, 1cm^3 的空气含有 2.7×10^{19} 个分子,在以 10^{-3}cm 为特征尺度的体积上,我们几乎观察不到流体的物理性质或动力学性质存在着什么差别,此时相应的空气体积中包含了约 2.7×10^{10} 这么多个分子,完全能获得确定的统计平均值,同时, 10^{-9}cm^3 的体积小得足以使我们从宏观上忽略其体积的尺度。

1-1-3 流体力学及其任务

流体力学研究流体机械运动规律以及它们和其他物体形态的相互作用,即研究流体在时间、空间中的位置变化,包括移动、转动、流动、变形、扩散等。流体运动应遵循机械运动的普遍规律,如质量守恒、牛顿定律、能量守恒与转换等,并以此作为建立流体力学理论的基础,也就是说,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。

流体力学在现代科学工程中有着广泛的应用,事实上,它是整个应用科学和工程技术的核心和基础之一。航空航天、机械工程,气象、海洋工程、农业工程、环境工程和生物工程等等,都与流体力学有密切的联系,并且在现代工程中,流体力学还与其他学科结合起来形成了许多新兴学科,如磁流体力学、地球物理流体力学、生物流体力学、多相流体力学、环境流体力学、渗流力学等。

目前,解决流体力学问题的方法大致上有理论分析、数值计算和实验研究三种。理论分析的方法是通过流动现象的科学抽象,简化一般的流体运动方程组和初始条件与边界条件,即建立简化的数学模型,并求解此简化后的流动问题。但由于数学上的困难,能获得的分析解的数量有限。现代计算机的发展,使我们能将流动所满足的方程组离散化后求出数值解,即采用数值计算的方法。此方法受计算机容量和运算速度的影响,以及对复杂问题缺乏完善的数学模型的困扰,还是有缺陷的,但是近年来发展很快。实验研究的方法可分为两个方面,一是原型试验即对自然界的流体运动进行观察与测量,二是模型试验,由于自然界中各种条件的限制,往往通过试验设备对模型的流动进行观察与测量,根据量纲分析及相似理论,以找出自然现象的流动规律。实验研究既是对自然流动现象的认识,又是对数值解的验证。上述三种方法相互补充,相互促进,彼此影响,构成了研究流体力学的基本方法。

流体力学既有基础学科性质又有很强的应用性,是工程科学或技术科学的重要组成部分,因此,很好地熟悉和掌握流体力学是必不可少的。

1-2 流体的属性

研究流体的平衡与运动的规律,必须首先对流体的主要物理性质有所了解。

1-2-1 流体的密度和容重

流体和其他物质一样,具有质量和重量。它们是对流体的惯性和重力特性的描述。

单位体积的流体所具有的质量称为流体的密度,用 ρ 来表示。均质流体的密度为

$$\rho = m/V \quad (1-1)$$

式中, m ——流体的质量(kg);

V ——流体的体积(m^3)。

对于非均质流体,某一点处的密度应为

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (1-2)$$

式中, Δm ——所取某微元体的质量(kg);

ΔV ——质量为 dm 的微元体的体积(m^3)。

单位体积的流体所具有的重量称为流体的容重,用 γ 表示。对于均匀流体的容重

$$\gamma = G/V \quad (1-3)$$

式中, γ ——流体的容重(N/m^3);

G ——流体的重量(N);

V ——流体的体积(m^3)。

对非均匀流体,某一点处的重度应为

$$\gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V} \quad (1-4)$$

式中, ΔG ——流体中某微元体的重量(N);

ΔV ——流体中某微元体的体积(m^3)。

显然

$$\gamma = \rho g \quad (1-5)$$

式中, g ——当地的重力加速度(m/s^2)。

应当注意,流体的密度 ρ 与它和海平面的相对位置无关。而流体的重度 γ 由于与重力加速度有关,它将随所处位置的变化而变化。

水和气的物理性质见表 1-4 和表 1-5。几种常见的液体的物理性质见表 1-6。

1-2-2 流体的压缩性和膨胀性

当作用在流体上的压强 p 增加时,流体所占有的体积 V 将减小,这种特性称为流体的压缩性。通常用体积压缩系数 β_p 来表示。 β_p 指的是在温度不变时,压强每增加一个单位,单位体积流体的体积变化量,即

$$\beta_p = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (\text{m}^2/\text{N}) \quad (1-6)$$

压缩系数的倒数,称为流体的体积弹性模量,以 E 表示

$$E = \frac{1}{\beta_p} = \frac{dp}{-dV/V} = \frac{dp}{d\rho/\rho} = \rho \frac{dp}{d\rho} \quad (\text{N}/\text{m}^2) \quad (1-7)$$

0℃时水的压缩系数见表 1-1。

表 1-1 0℃时水的压缩系数

压强/ $\times 10^5 \text{Pa}$	4.90	9.81	19.61	39.23	78.45
压缩系数 $\beta_p / (\times 10^{-9} / \text{Pa})$	0.539	0.537	0.531	0.523	0.515

当温度 T 变化时,流体的体积 V 也随之变化,温度升高、体积膨胀,这种特性称为流体的膨胀性,用温度膨胀系数 β_t 来表示。 β_t 是指当压强保持不变温度升高 1K 时单位体积流体的体积增加量。即

$$\beta_t = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad (1/\text{K}) \quad (1-8)$$

水的温度膨胀系数 β_t 值(1/K)见表 1-2。

表 1-2 水的温度膨胀系数 β_t 值(1/K)

温度/K 压强/ $\times 10^5 \text{Pa}$	274~283	283~293	313~323	333~343	363~373
0.981	0.14×10^{-4}	1.50×10^{-4}	4.22×10^{-4}	5.56×10^{-4}	7.19×10^{-4}
98.1	0.43×10^{-4}	1.65×10^{-4}	4.22×10^{-4}	5.48×10^{-4}	7.04×10^{-4}
196.2	0.72×10^{-4}	1.83×10^{-4}	4.26×10^{-4}	5.39×10^{-4}	—

由表 1-1 和表 1-2 可以看出水的压缩系数和膨胀系数都很小,其他的液体也有类似的特性。所以,工程上一般不考虑它们的压缩性或膨胀性。但当压力、温度的变化比较大时(如在高压锅炉中),就必须考虑液体的压缩性和膨胀性。

对于气体,它不同于液体,压力和温度的改变对气体密度或重度的变化影响很大。在热力学中是用气体状态方程式来描述它们之间的关系的。理想气体的状态方程式为

$$p/\rho = RT \quad (1-9)$$

式中, p —— 气体绝对压力(N/m^2);

ρ —— 气体密度(m^3/kg);

T —— 气体绝对温度(K);与摄氏温度的关系为 $T(\text{K}) = 273 + t(^{\circ}\text{C})$;

R —— 气体常数[$\text{N} \cdot \text{m}/(\text{kg} \cdot \text{K})$],对空气来说 $R = 287 \text{N} \cdot \text{m}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

当气体温度不变时, $p/\rho = \text{常数}$,即

$$p_1/\rho_1 = p_2/\rho_2 \quad (1-10)$$

式(1-10)表明,在等温时,压强与密度成正比,此即波义耳定律。

当气体的压强保持不变时, $\rho T = \text{常数}$,即

$$\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2 \quad (1-11)$$

由此可见,等压时,温度与密度成反比,此即盖·吕萨克定律。

若气体的变化过程是既不向外形热又没有热量输入的绝热过程,由热力学可得下式:

$$p/\rho^k = \text{常数} \quad (1-12)$$

将式(1-11)与式(1-9)联立可得

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1-13)$$

式中, T_1, T_2 ——变化前后的温度(K);

ρ_1, ρ_2 ——变化前后的密度(m^3/kg);

p_1, p_2 ——变化前后的压力(N/m^2);

k ——绝热指数, $k = \frac{C_p}{C_v}$ 。

对于空气和多原子气体,在通常温度下,可取 $k = 1.4$ 。常见气体的一些物理性质见表 1-7。

需要指出:在一般情况下,流体的压缩系数和膨胀系数都很小。对于能够忽略其压缩性的流体称为不可压缩流体。不可压缩流体的密度、容重均可看作常数。反之,对于压缩系数和膨胀系数比较大,不能被忽略,或密度和重度不能看成常数的流体称为可压缩流体。

但是,可压缩流体与不可压缩流体的划分并不是绝对的。例如,通常可把气体看成可压缩流体。但是,当气体的压力和温度在整个流动过程中变化很小时(如通风系统),它的密度的变化也很小,可近似地看为常数。再如,当气体对于固体的相对速度比在这种气体中当时温度下音速小得多时,气体密度的变化也可以被忽略。对于能把气体的密度看成常数的情况,可按不可压缩流体来处理。

1-2-3 流体的黏性

当流体中发生了层与层之间的相对运动时,速度快的层对速度慢的层产生了一个拖动力使它加速,而速度慢的流体层对速度快的就有了一个阻止它向前运动的阻力,拖动力和阻力是大小相等方向相反的一对力,分别作用在两个紧挨着但速度不同的流体层上,这就是流体黏性的表现,称为内摩擦力或叫黏滯力。

实际上,黏性是流体阻止发生剪切变形和角变形的一种特性。这是由于内聚力的存在和流体层间的动量交换而造成的。内摩擦力就是这种特性的表现形式。当流体处于静止或各部分之间相对速度为零时,流体的黏性就表现不出来,内摩擦阻力也就等于零。

1. 牛顿内摩擦定律

1687 年牛顿提出了确定流体内摩擦力的所谓“牛顿内摩擦定律”。如图 1-1 所示, a, b 为宽度和长度都足够大的平板,互相平行,相距为 h ,其间充满某种流体。当拉动 b 板以速度 U 向右移动时, b 板上流体附着层的速度 $u_b = u$ 。因 a 板静止不动,所以附着在 a 板上的流体附着层的速度 $u_a = 0$ 。当速度 u 不是很大时, a, b 板之间流体沿 y 方向的速度变化规律将是线性的(见图 1-1)。实验表明,作用于平板使之

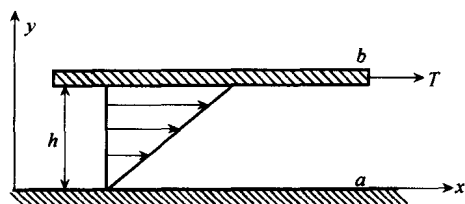


图 1-1 牛顿平板试验

产生等速 U 的外力 T 与平板 b 的速度 U 及面积 A 成正比,与两平板间的距离 h 成反比,即

$$T = \mu \frac{U}{h} A \quad (1-14)$$

或写成剪切应力的形式

$$\tau = \frac{T}{A} = \mu \frac{U}{h} \quad (1-15)$$

式中, U/h ——速度梯度。

如果流体层的速度变化不是线性的而是非线性的,即 $u = u(x)$,则流体层 y 处的剪切力为

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-16)$$

式中, $\frac{du}{dy}$ ——速度梯度,即在与流动方向垂直的方向上单位距离的速度变化率;

μ ——比例系数,称为动力黏性系数。

这就是牛顿内摩擦定律的数学表达式。

显然,流体的内摩擦定律与两固体之间的摩擦定律大不相同。前者摩擦力与速度梯度成正比,而与压力关系甚微。后者与速度的关系甚微,而与两固体间的正压力成正比。

2. 黏滞系数

由式(1-16)可得

$$\mu = \tau / \frac{du}{dy} \quad (1-17)$$

表示当速度梯度为 1 时单位面积上摩擦力的大小,单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。 μ 值越大,流体的黏性也越大。

在工程计算中亦常常采用流体的动力黏度与其密度的比值,称为运动黏滞系数,以 ν 表示,单位为 m^2/s

$$\nu = \mu / \rho \quad (1-18)$$

温度对流体的黏滞系数影响很大。温度升高时液体的黏滞系数降低,流动性增加。气体则相反,温度升高时,它的黏滞系数增大。这是因为液体的黏性主要是由

分子间的内聚力造成的。温度升高时,分子间的内聚力减小, μ 值就要降低。造成气体黏性的主要原因则是气体内部分子的运动,它使得速度不同的相邻气体层之间发生质量和动量的变换。当温度升高时,气体分子运动的速度加大,速度不同的相邻气体层之间的质量和动量交换随之加剧。所以,气体的黏性将增大。

实验证明,只要压力不是特别高时,压力对动力黏度的影响很小。因此一般只考虑温度对 μ 的影响。而运动黏度 ν 则不然,因为它和密度 ρ 有关,所以对于可压缩流体来说, ν 与压力是密切相关的。在考虑到压缩性时,更多的是用 μ 而不用 ν 。

各种流体的动力黏度和运动黏度与温度的关系可查有关资料。

大量实验证明:大多数气体、水和许多润滑油类以及低碳氢化合物都能很好地遵循牛顿内摩擦定律。当温度一定时,流体的黏度 μ 保持不变,即内摩擦力 τ 与速度梯度 $\frac{du}{dy}$ 成线性关系,称这种流体为牛顿流体。

必须指出,还有许多流体不能遵循牛顿内摩擦定律,内摩擦力 τ 和速度梯度 du/dy 并不是简单的直线关系(见图 1-2),这种流体称为非牛顿流体。本书内容只限于牛顿流体,关于非牛顿流体可参阅其他有关资料。

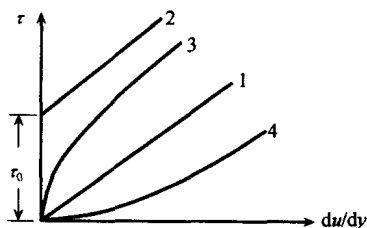


图 1-2

1——牛顿流体;2——塑性流体;3——假塑性流体;4——胀塑性流体

【例 1-1】 图 1-3 所示活塞油缸,已知缸套内径 $D = 12\text{cm}$,活塞直径 $d = 11.9\text{cm}$,活塞厚度 $L = 14\text{cm}$,油的动力黏性系数 $\mu = 65 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$,当活塞的稳定速度 $u = 0.5\text{m/s}$ 时,且不计油的压力,试求拉回活塞所需要的力 F 。

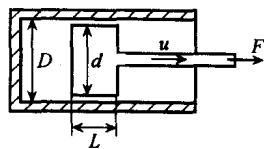


图 1-3

【解】 由于黏性作用,黏附在缸壁上的油层速度为零,黏附在活塞上的油层与活塞运动的速度相同,且活塞的运动是匀速的,因此拉回活塞的力 F 就等于活塞在油中运动的摩擦力 T ,而活塞与缸壁的间隙很小,其中速度可看成直线分布,所以

$$F = T = \mu A \frac{du}{dy} = \mu \cdot \pi d L \cdot u / \left(\frac{D-d}{2} \right)$$

$$= 65 \times 10^{-3} \times \pi \times 11.96 \times 10^{-2} \times 14 \times 10^{-2}$$

$$\begin{aligned} & \times 2 \times 0.5 / (12 \times 10^{-2} - 11.96 \times 10^{-2}) \\ & = 8.55 \text{ (N)} \end{aligned}$$

3. 理想流体和实际流体

自然界中存在的流体都具有黏性,统称为黏性流体或实际流体。对于完全没有黏性的流体称为理想流体。这种流体仅是一种假想,实际并不存在。但是,引进理想流体的概念是有实际意义的。因为,黏性的问题十分复杂,影响因素很多,这对研究实验流体的运动规律带来很大的困难。因此,常常先把问题简化为不考虑黏性因素的理想流体,找出规律后再考虑黏性的影响进行修正。这种修正,常常由于理论分析不能完全解决而借助于试验研究的手段。另外,在很多实际问题中黏滞性并不起主要作用,因此,把实际流体在一定条件下,可当作理想流体处理,这样既抓住了主要矛盾又使问题大大地简化。

1-2-4 表面张力

在液体的自由表面上能够承受极其微小的拉力,这种张力称为表面张力。这种张力不仅产生在液体与气体接触的周界面上,而且产生在与固体接触的表面上,或一种液体与另一种液体的接触面上。流体的这种承受拉力的性能是由作用在表面边界的分子上,分子间相互吸引的合力不等于零形成的。表面张力的大小可用表面张力系数 σ 表示,单位为N/m。

表面张力的影响在一般工程实际中是被忽略的。但在水滴和气泡的形成,液体的雾化,汽液两相流的传热与传质的研究中,将是重要的不可忽略的因素。

1-2-5 汽化压强

在液体中,液体逸出液面向空间扩散的汽化过程和其逆过程——凝结,将同时存在。当这两个过程达到动平衡时,宏观的汽化现象停止,此时液体的压强称为饱和蒸汽压或汽化压强。液体的汽化压强与温度有关,水的汽化压强见表1-3。

表 1-3 汽化压强

水 温/℃	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
汽化压强/(kN/m ²)	0.61	1.23	2.34	4.24	7.38	12.33	19.92	31.16	47.34	70.10	101.33

当水流某处的压强低于汽化压强时,在该处发生汽化,形成空化现象,对水流和相邻固体物发生不良影响,产生气蚀。

流体的属性是流体本质的内在因素。压缩性、膨胀性是流体内在应力的变化引起流体体积的变化,而黏滞性促使切应力的变化引起流体形状的变化。

表 1-4 水的物理性质

温 度 /℃	容 重 γ /(kN/m ³)	密 度 ρ /(kg/m ³)	黏性系数 $\mu \times 10^3$ /(N · s/m ²)	黏性系数 $\nu \times 10^6$ /(m ² /s)	弹性系数 $E \times 10^{-6}$ /(kN/m ²)	表面张力 σ /(N/m)
0	9.805	999.8	1.781	1.785	2.02	0.0756
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	2.06	0.0749
10	9.804	999.7	1.307	1.306	2.10	0.0742
15	9.798	999.1	1.139	1.139	2.15	0.0735
20	9.789	998.2	1.002	1.0013	2.18	0.0728
25	9.777	997.0	0.890	0.893	2.22	0.0720
30	9.764	995.7	0.798	0.800	2.25	0.0712
40	9.730	991.2	0.653	0.658	2.28	0.0696
50	9.689	988.0	0.547	0.553	2.29	0.0679
60	9.642	983.2	0.466	0.474	2.28	0.0662
70	9.589	977.8	0.404	0.413	2.25	0.0644
80	9.530	971.8	0.354	0.364	2.20	0.0626
90	9.466	965.3	0.315	0.326	2.14	0.0608
100	9.399	958.4	0.282	0.294	2.07	0.0589

表 1-5 在标准大气压下空气的物理性质

温 度 /℃	密 度 ρ /(kg/m ³)	容 重 γ /(kN/m ³)	黏性系数 $\mu \times 10^5$ /(N · s/m ²)	黏性系数 $\nu \times 10^5$ /(m ² /s)
-40	1.515	14.86	1.49	0.98
-20	1.395	13.68	1.61	1.15
0	1.293	12.68	1.71	1.32
10	1.248	12.24	1.76	1.41
20	1.205	11.82	1.81	1.50
30	1.165	11.43	1.86	1.60
40	1.128	11.06	1.90	1.68
60	1.060	10.40	2.00	1.87
80	1.000	9.81	2.09	2.09
100	0.946	9.28	2.18	2.31
200	0.747	7.33	2.58	3.45