

应用型本科院校校企合作教材

矿山流体机械

主 编 格日乐 卜桂玲

副主编 宋青龙 栗井旺

参 编 吴 晗 李 刚

主 审 任瑞云

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

校企合作教材编委会

主任：侯 岩 马乡林

副主任：梁秀梅 于德勇 孟祥宏 周如刚

卜桂玲

编委：金 芳 任瑞云 王 英 宋国岩

孙 武 栗井旺 陈 峰 丁志勇

谢继华 陈文涛 格日乐 吴 晗

宋青龙 李 刚 宋 辉 王 巍

孙志文 王 丽 田 炜

前 言

本书是根据国家对地方本科院校转型发展的要求，积极探索并实施校企合作等应用型人才培养模式，探索应用型课程内容，结合职业标准教学模式，并总结编者多年从事教学及矿山生产实践的经验编写而成的。

全书共九章，内容有：流体的定义与物理性质、流体静力学、流体动力学、流动阻力与能量损失、管路水力计算等流体力学的基本知识，矿山排水设备、矿井通风设备、矿山压气设备等流体机械内容的详细讲解，最后介绍常用流体机械的电气控制相关知识。其中前五章主要介绍流体的基本概念及相关力学计算与损失计算。矿山流体机械部分主要介绍矿山排水设备、矿井通风设备、矿山压气设备的工作原理、结构、性能测定、工况调节、使用维护、设备检测与维修、常见故障与处理方法、选型计算方法，电气控制部分主要介绍常用流体机械电控知识等。除此之外，还对本领域中新技术、新成果、新产品及其发展动向做了相应介绍。为便于组织教学，每章附有相应的思考题与习题。

本书注重基本概念、基本原理、基本结构的分析，在精选内容的基础上，力求贴近矿山生产实际，使教材内容适应矿山生产的现状和发展的需要，并加强教材的科学性、启发性和技术上的先进性、实践性，突出实践与理论紧密结合的特色，以适应应用型人才的培养需要。本书由呼伦贝尔学院格日乐、卜桂玲担任主编。本书编写的具体分工为：呼伦贝尔学院格日乐编写第一～五章，吴晗、宋青龙编写第六章；华能扎赉诺尔煤业有限责任公司栗井旺编写所有章节的检测、维修部分；呼伦贝尔学院卜桂玲、任瑞云编写第七章和第八章；呼伦贝尔学院李刚编写第九章。全书由格日乐和任瑞云负责统稿，宋青龙、栗井旺担任副主编，承蒙呼伦贝尔学院任瑞云教授、栗井旺工程师对全部书稿进行了仔细审阅，并提出了许多十分中肯的修改意见，对保证和提高本书的编写质量起到了关键性作用。

本书的编写得到了华能扎赉诺尔煤业有限责任公司、神华大雁煤业有限责任公司等单位领导和同事的大力支持，在此表示衷心的感谢。

在编写过程中，我们参考了许多文献、资料，在此对这些文献、资料的编著者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中存在诸多疏漏和不妥之处，敬请使用本书的广大师生和读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 流体的定义与物理性质	1
第一节 流体的定义	1
第二节 连续介质假说	2
第三节 流体的物理性质	2
一、流体的密度	2
二、流体的压缩性和膨胀性	3
三、流体的黏性	4
思考题与习题	6
第二章 流体静力学	8
第一节 作用在流体上的力	8
一、表面力	8
二、质量力	8
第二节 流体静压强及特性	9
第三节 流体静力学基本方程	10
一、流体静力学的基本方程式	10
二、流体静力学基本方程第二表达式	10
第四节 压强的测量	13
一、压强的计量标准	13
二、压强的计量单位	13
三、液柱式测压计	14
四、金属压力计	16
思考题与习题	17
第三章 流体动力学	18
第一节 流体运动的基本概念	18
一、恒定流与非恒定流	18
二、迹线与流线	18
三、流管、流束与元流	19
四、总流、过流断面、湿周与水力直径	20
五、流量与断面平均流速	20

六、缓变流与急变流	21
第二节 流体运动的连续性方程	22
一、元流的连续性方程	22
二、总流的连续性方程	23
第三节 流体运动的伯努利方程	23
一、理想流体元流的伯努利方程	24
二、实际流体元流的伯努利方程	25
三、实际流体总流的伯努利方程	26
四、伯努利方程的能量意义	27
第四节 伯努利方程的应用	27
一、应用条件	27
二、应用方法和步骤	28
三、应用实例	28
思考题与习题	32
第四章 流动阻力与能量损失	35
第一节 流动阻力与能量损失的形式	35
一、沿程阻力与沿程损失	35
二、局部阻力与局部损失	35
第二节 流体的两种流动状态	36
一、雷诺实验	36
二、雷诺数	37
第三节 均匀流	38
一、均匀流的特点	38
二、均匀流切应力公式	38
三、均匀流沿程损失计算公式	39
第四节 圆管层流与紊流	40
一、圆管层流	40
二、圆管紊流	42
第五节 沿程阻力系数	44
一、尼古拉茨实验	44
二、莫迪图	46
三、沿程阻力系数 λ 常用的计算式	49
第六节 局部阻力系数	50
一、局部阻力成因	50
二、常见局部装置阻力系数	50

思考题与习题	52
第五章 管路水力计算	53
第一节 管路的分类	53
一、按管路布置情况分类	53
二、按能量损失比分类	53
第二节 简单管路的水力计算	54
一、长管的水力计算	54
二、短管的水力计算	55
第三节 串联管路的水力计算	56
第四节 并联管路水力计算	58
第五节 分支管路的水力计算	59
思考题与习题	62
第六章 矿山排水设备	64
第一节 概述	64
一、矿山排水系统	64
二、矿山排水设备的组成	68
第二节 离心式水泵的主要结构	69
一、转动部分	69
二、固定部分	71
三、密封部分	73
第三节 离心式水泵的性能测定	77
一、测定原理和方法	77
二、性能参数的测量及计算方法	78
三、性能测定中的注意事项	81
四、离心式水泵的轴向推力及其平衡	81
第四节 离心式水泵在管路上的工作	85
一、排水管路特性	85
二、离心式水泵的汽蚀和吸水高度	86
三、离心式水泵工况分析及调节	90
四、离心式水泵的联合工作	94
第五节 离心式水泵的操作	97
一、离心式水泵的启动	97
二、运行中的注意事项	98
三、离心式水泵的停泵	98
第六节 离心式水泵的检测、检修	98

第七节 排水设备的选型设计	100
一、设计的原始资料 and 任务	100
二、选型设计的步骤和方法	101
思考题与习题	112
第七章 矿井通风设备	114
第一节 概述	114
一、通风设备的作用	114
二、矿井通风方式与通风系统	114
第二节 矿井通风机的工作理论	116
一、通风机的类型	116
二、通风机的工作原理	116
三、通风机的工作参数	117
第三节 通风机的构造	117
一、离心式通风机	117
二、轴流式通风机	120
三、扩散器	125
四、消声装置	127
第四节 通风机在网路中的工作	132
一、通风机在网路中的工作分析	132
二、通风网路的阻力特性及等积孔	133
三、通风机工况分析	135
四、通风机工况点的调节	136
五、通风机的联合工作	141
第五节 通风机及反风的操作	144
一、通风机的操作	144
二、通风机的反风	145
第六节 通风设备的检测、检修	147
第七节 通风设备的选型设计	149
一、通风设备选型设计的任务和要求	149
二、通风设备选型设计的方法和步骤	150
思考题与习题	160
第八章 矿山压气设备	162
第一节 概述	162

第二节 矿用空气压缩机的工作原理及主要结构	164
一、活塞式空压机	164
二、螺杆式压缩机	166
三、滑片式空压机	168
第三节 活塞式空压机的工作理论及构造	169
一、活塞式空压机的理论工作循环	169
二、活塞式空压机的实际工作循环	172
三、活塞式空压机的排气量、功率和效率	175
四、活塞式空压机的构造	178
第四节 活塞式空压机的两级压缩	191
一、采用两级压缩的原因	191
二、两级活塞式空压机的工作循环	192
三、压缩比的分配	193
第五节 螺杆式空压机	195
一、螺杆式空压机的工作理论	195
二、螺杆式空压机的构造	198
第六节 空压设备的操作	206
一、启动前的准备	206
二、启动	206
三、运转中注意事项	206
四、停车	206
第七节 活塞式空压机设备的检测、检修	207
一、活塞式空压机的检测、检修	207
二、活塞式空压机的拆卸、装配	208
第八节 空压机设备的选型设计	209
一、空压机设备选型设计计算	209
二、空压机站位置及机房设备布置	215
思考题与习题	217
第九章 常用流体机械电气控制	220
第一节 矿井排水设备电气控制	220
一、排水设备的降压启动控制	220
二、井下主排水泵的自动控制	223
第二节 矿井通风机电气控制	226
一、同步电动机、直流发电机励磁的电控系统	226

二、同步电动机晶闸管励磁的电控系统	227
第三节 矿井空气压缩机电气控制	240
一、频敏电阻器	240
二、绕线型电动机频敏电阻启动设备	242
思考题与习题	244
参考文献	245

第一章 流体的定义与物理性质

第一节 流体的定义

任何物质都是由原子和分子组成的。在不同的外界条件下，组成物质的原子和分子间的距离及其相互作用会发生变化，因而在自然界和工程技术领域中，物质的一般存在状态有气态、液态和固态三种。

凡具有一定体积和形态的物体均称为固体，它是物质存在的基本状态之一。组成固体的分子之间的距离很小，分子之间的作用力很大，绝大多数分子只能在平衡位置附近做无规则振动，所以固体能保持一定的体积和形状。在受到不太大的外力作用时，其体积和形状改变很小。当撤去外力的作用后，能恢复原状的物体称为弹性体，不能完全恢复的物体称为塑性体。

气体分子间的距离很大，分子间的相互作用力很小，彼此之间不能约束，所以气体分子的运动速度较快，其体积和形状都随着容器而改变。气体分子都在做无规则的热运动，在它们之间没有发生碰撞（或碰撞器壁）之前，气体分子做匀速直线运动，只有在彼此之间发生碰撞时，才改变运动的方向和运动速度的大小。由于气体分子与器壁碰撞和自身相互碰撞会产生压力，因此温度越高，分子运动越剧烈，压力就越大。又因为气体分子间的距离远远大于分子本身的体积，所以气体的密度较小，且很容易被压缩。因此，对一定量的气体而言，它既没有一定的体积，也没有一定的形状，且总是充满盛放它的容器。

液体的分子结构介于固体与气体之间，有一定的体积，却没有一定的形状。液体的形状取决于盛放它的容器的形状。在外力作用下，液体的压缩性小，不易改变其体积，但流动性较大。从微观结构来看，液体分子之间的距离要比气体分子之间的距离小得多，所以液体分子彼此之间是受分子力约束的，在一般情况下液体分子不容易逃逸。液体分子一般只在平衡位置附近做无规则振动，在振动过程中各分子的能量将发生变化。当某些分子的能量大到一定程度时，将做相对的移动并改变它的平衡位置，所以液体具有流动性。

根据以上分析可见，气体和液体都是在自然条件下没有固定形状的物质，我们将其统称为流体，即能够流动的物质，流动性是流体的主要特征。从力学的角度，流体的定义如下。

流体是一种受任何微小剪切力作用都能产生连续变形的物质。

流体不能承受切应力，在切应力作用下能够发生无限制的变形即流动，如空气、水等。固体则能承受一定的切应力，其切应力与变形成一定的比例关系。

流体与固体之间并没有明显的界限，同一物质在不同的条件下可以呈现不同的力学特性，既可能呈现流体的特性，也可能呈现固体的特性。还有些物质介于固体和液体之间，如泥浆、沥青、牙膏等，其必须受到大于某种程度的切应力才会开始流动，因而不能算是严格的流体。

自然界中观察到的流体运动通常都是非常混乱的，然而流体的运动仍然必须符合力学的一般原理，因此力学的基本概念成为研究流体运动不可或缺的工具。

第二节 连续介质假说

流体由大量的分子组成。从微观上看，流体分子间存在大量间隙，每个分子都在不停地、不规则地运动着，互相碰撞，交换动量、能量，因此流体的微观结构和运动无论在时间或空间都充满着不均匀性、离散性、随机性。从宏观上看，人们用仪器测量到的或肉眼观察到的流体的宏观结构和运动却又明显地呈现出均匀性、连续性、确定性。微观运动的不均匀性、离散性、随机性和宏观运动的均匀性、连续性、确定性如此不同却又和谐地统一在流体中，形成了流体运动的两个重要方面。

在关于流体运动的一般工程和科学问题中，将描述流体运动的空间尺度精确到 0.01 mm，也即空间尺度 10^{-6} mm^3 ，就可以满足精度要求。在这样小的体积内，所包含的分子数量仍然满足其统计的平均物理量与个别分子的运动无关。而流体力学研究的是流体的宏观机械运动，它研究的是流体的宏观特性，即大量分子的平均统计特性。因此，在研究流体的宏观机械运动时，我们可以取宏观上足够小的一个流体微团，其尺度与所研究问题的特征尺寸相比足够小，完全可以满足精度要求；同时又包含足够数量的分子，使个别分子的随机性不影响其物理性质，呈现大量分子的平均特性，即微观上足够大。我们将这种宏观上足够小而微观上足够大的流体微团称为流体质点。

根据以上分析，提出流体的连续介质假说如下。

虽然流体是由大量分子组成的非连续介质，但流体力学研究的是流体的宏观机械运动，可以取流体质点作为基本研究对象，从而将流体看成是由空间上连续分布的流体质点所组成的连续介质。

根据流体的连续介质模型，任意时刻流动空间的任一点都被相应的流体质点所占据，表征流体性质和运动特性的物理量一般为时间与空间的连续函数，可以应用数学分析中连续函数这一有力的工具来分析和解决流体力学问题。这就是必须引入流体的连续介质假说的原因。

但是在一些特殊的场合，例如研究高空稀薄气体中飞行的物体，研究问题的特征尺寸与分子平均自由行程达到了同一数量级，就不能用这一假说了。

第三节 流体的物理性质

一、流体的密度

物质维持原有运动状态的特性称为惯性，它是物质本身固有的属性，运动状态的任何变化都必须克服惯性的作用。衡量惯性大小的物理量是质量，也可以用单位体积的质量即密度表示。

流体的密度是指单位体积流体的质量，即

$$\rho = \frac{dm}{dV} \quad (1-1)$$

表 1-1 列出了在标准大气压下常见流体的密度，表 1-2 列出了在标准大气压下不同温度时水、空气的密度。

表 1-1 标准大气压下常见流体的密度

流体名称	蒸馏水	汽油	酒精	水银	润滑油	空气	海水	氧气	氮气
密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1 000	725	800	13 600	900	1.293	1 025	1.492	1.251

表 1-2 标准大气压下不同温度时水、空气的密度

流体密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	温度/ $^{\circ}\text{C}$						
	0	10	20	40	60	80	100
水	999.87	999.72	998.23	992.24	983.24	971.83	958.38
空气	1.293	1.247	1.205	1.128	1.060	1.000	0.946 5

流体的比容是指单位质量流体的体积，即

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

混合气体的密度可按各组分气体所占体积百分数计算，即

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i a_i \quad (1-3)$$

流体的重度是指单位体积流体的重力，即

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

式中 γ ——流体的重度， N/m^3 ；

G ——流体的重力， N 。

因 $G = mg$ ，因此流体的重度与密度的关系为

$$\gamma = \rho g$$

式中 g ——当地重力加速度，一般取 $g = 9.18 \text{ m/s}^2$ 。

二、流体的压缩性和膨胀性

流体的体积随压力变化的特性称为流体的压缩性。压缩性的大小用压缩系数来度量，温度不变时，单位压力的变化所引起的体积的相对变化量称为压缩系数，即

$$k = -\frac{dV/V}{dp} = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (1-4)$$

或

$$k = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dp} \quad (1-5)$$

式(1-4)中，负号表示体积与压力的变化相反，即压力增大时，体积减小，以使压缩系数总为正。压缩系数越大，表示越容易压缩。

压缩系数的倒数称为体积模量（或弹性系数），即

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{V dp}{dV} = \rho \frac{dp}{d\rho} \quad (1-6)$$

体积模量的物理意义是压缩单位体积的流体所需要做的功，它表示了流体反抗压缩的能力。 K 值越大，说明流体越难压缩。

不同温度下水的体积模量列于表 1-3。由表 1-3 可以看出，水的 K 值很大，故它的压缩系数很小，其他液体也是如此。所以，工程实际中常将液体看作不可压缩流体。

表 1-3 水的体积模量

温度/°C	压力/MPa				
	0.49	0.981	1.961	3.923	7.845
0	1.85	1.86	1.88	1.91	1.94
5	1.89	1.91	1.93	1.97	2.03
10	1.91	1.93	1.97	2.01	2.08
15	1.93	1.96	1.99	2.05	2.13
20	1.94	1.98	2.02	2.08	2.17

流体的体积随温度变化的特性称为膨胀性。膨胀性的大小用体膨胀系数来度量。压力不变时，单位温度的变化所引起的体积的相对变化量称为体膨胀系数，即

$$\alpha_v = \frac{dV/V}{dT} = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad (1-7)$$

与压缩性一样，液体的膨胀性也很小。除温度变化很大的场合外，在一般工程问题中不考虑液体的膨胀性。

通常情况下，气体的密度随压力和温度的变化很明显。对实际气体，当压力不大于 10 MPa 时，它们之间的关系遵守理想气体（完全气体）状态方程

$$pV = RT \quad (1-8)$$

由上述可知，流体的压缩性是流体的基本属性，任何流体都是可以压缩的，只是可压缩的程度不同而已。例如，液体的压缩性一般比较小，而气体的压缩性比较大。

在工程实际问题中，通常把液体视为不可压缩流体，即忽略体积的微小变化，而把液体的密度视为常量。这样处理问题，可使工程计算大为简化。只有当液体的温度和压力变化很大，如研究水中爆炸和高压液压系统时，才需要考虑液体的可压缩性。

根据流体的压缩性，可将流体分成可压缩流体和不可压缩流体。

三、流体的黏性

流体在受到外部剪切力作用时会发生变形，其内部相应会产生对变形的抵抗，并以内摩擦力的形式表现出来。

流体的黏性是指流体内部存在内摩擦力的特性，或者说是流体抵抗变形的特性。流体的黏性是流体的固有属性。流体在平衡时不能承受剪切力，即在很小的剪切力作用下流体就会发生连续的变形，但不同的流体在相同的剪切力作用下其变形的速度是不同的，也就是不同的流体抵抗剪切力的能力不同。例如，液体能够沿微小倾斜的平板任意流动，但不同的液体流动速度是不一样的。

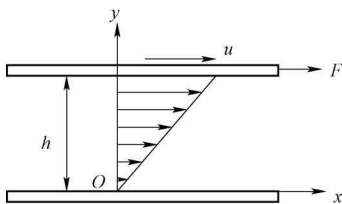


图 1-1 牛顿平板实验

设有两块相距很近且足够大的平行平板，平板之间充满流体，如图 1-1 所示。下平板固定不动，上平板在牵引力 F 的作用下以匀速 u 做惯性运动，与平板接触的流体附着于平板的

表面，与下平板接触的流体速度为 0，与上平板接触的流体速度为 u 。运动平板相当于在流体表面作用了一个剪切力，带动两平板之间的流体运动。在 h 和 u 不大的情况下，两平板之间流体的速度呈线性分布。由于流体内部各流层的运动速度不同，存在相对运动，使得流体内部流层间出现了内摩擦力。内摩擦力总是成对出现的，流体所受的内摩擦力总与相对运动速度相反。内摩擦力方向应根据流体运动的方向进行判别。分析上平板的受力可知，它在数值上与 F 相等。

实验证明： F 与平板面积 A 和速度 u 成正比，而与平板间的距离 h 成反比，即

$$F \propto A \frac{u}{h} \quad (1-9)$$

引入比例系数 μ ，则式 (1-9) 可写成

$$F = \mu A \frac{u}{h} \quad (1-10)$$

于是，单位面积上的摩擦力，即切应力为

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{u}{h} \quad (1-11)$$

式中 μ ——流体的动力黏度，简称黏度，单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

黏度是与流体的种类、温度和压力有关的比例系数。 u/h 表示在垂直于流速的方向上单位长度的速度增量，即流速在其法线方向上的变化率，称为速度梯度。

一般情况下，流体的流动速度并不是线性分布的，即方程 (1-11) 必须改写成更一般的形式

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-12)$$

式 (1-12) 称为牛顿内摩擦定律。该式表明，流体同摩擦力与动力黏度和速度梯度成正比。

速度梯度和流体的变形密切相关，可以证明，速度梯度和角变形速度在数值上是相等的。

动力黏度 μ 表征了流体抵抗变形的能力，即流体黏性的大小。工程中还常用动力黏度 μ 和流体密度 ρ 的比值来表示黏度，称为流体的运动黏度，单位是 m^2/s 。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-13)$$

表 1-4 和表 1-5 给出了不同温度下的水与空气的动力黏度和运动黏度。

表 1-4 水的动力黏度与温度的关系

温度/°C	$\mu / (\times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s})$	$\nu / (\times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	温度/°C	$\mu / (\times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s})$	$\nu / (\times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
0	1.792	1.792	40	0.658	0.661
5	1.519	1.519	45	0.599	0.605
10	1.308	1.308	50	0.549	0.556
15	1.140	1.141	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 1-5 空气的运动黏度与温度的关系

温度/°C	$\mu / (\times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s})$	$\nu / (\times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	温度/°C	$\mu / (\times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s})$	$\nu / (\times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
0	17.09	13.20	260	28.06	42.40
20	18.08	15.00	280	28.77	45.10
40	19.04	16.90	300	29.46	48.10
60	19.97	18.80	320	30.14	50.70
80	20.88	20.90	340	30.80	53.50
100	21.75	23.00	360	31.46	56.50
120	22.60	25.20	380	32.12	59.50
140	23.44	27.40	400	32.77	62.50
160	24.25	29.80	420	33.40	65.60
180	25.05	32.20	440	34.02	68.80
200	25.82	34.60	460	34.63	72.00
220	26.58	37.10	480	35.23	75.20
240	27.33	39.70	500	35.83	78.50

黏度是流体黏性的度量，受流体温度和压力的影响。但压力的影响很小，通常只需考虑温度的影响。

温度对液体和气体黏性的影响规律截然不同。温度升高时，液体的黏性降低。这是因为液体的黏性主要是由液体分子之间的内聚力引起的，温度升高，内聚力减弱，故黏性降低。温度升高时，气体的黏性增加。因为造成气体黏性的主要原因在于气体分子的热运动，温度越高，热运动越强烈，所以黏性就越大。

流体的黏度一般无法直接测量，往往是先测量与其有关的物理量，再通过相关方程进行计算得到。人们对黏度的测量早已开始，并且发展了许多相当成熟的方法，如传统的毛细管法、管流法、落球法、旋转法及振动法等。

但是，并不是所有的流体都遵守牛顿内摩擦定律。将遵守牛顿内摩擦定律的流体称为牛顿流体，反之称为非牛顿流体。常见的牛顿流体有水、空气等，非牛顿流体有血液、泥浆、纸浆、油漆、油墨等。本书只讨论牛顿流体。

实际流体都具有黏性，称为黏性流体。当分析比较复杂的流动时，如果考虑黏性，必将给分析研究带来很大的困难，有时甚至无法进行。为此引入一个所谓的理想流体模型，将复杂的流动问题简化。理想流体就是忽略黏性的流体。

思考题与习题

1. 什么是流体？流体的重度和密度有什么关系？
2. 什么是流体的压缩性和膨胀性？液体与气体的压缩性和膨胀性有何不同？
3. 什么是流体的黏性？压力、温度对液体的黏性和气体的黏性有什么影响？
4. 黏性的度量方法有哪些？几种黏度之间有什么关系？
5. 什么是连续介质、理想流体和不可压缩流体？
6. 已知体积为 1.2 m^3 的某润滑油的质量为 1032 kg ，求该润滑油的密度和重度。
7. 水的重度 $\gamma = 9.792 \text{ kN/m}^3$ ，动力黏度 $\gamma = 1002 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ，求水的运动黏度。

8. 空气的重度 $\gamma = 11.77 \text{ N/m}^3$ ，运动黏度 $\nu = 0.1513 \text{ cm}^2/\text{s}$ ，求空气的动力黏度。

9. 如图 1-2 所示，油缸内径 $D = 0.12 \text{ m}$ ，活塞直径 $d = 0.1196 \text{ m}$ ，活塞长度 $L = 0.14 \text{ m}$ ，活塞与油缸间隙内为 $\mu = 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 的油液，活塞以 $v = 1 \text{ m/s}$ 的速度运动，求作用于活塞上的黏滞力 F 。

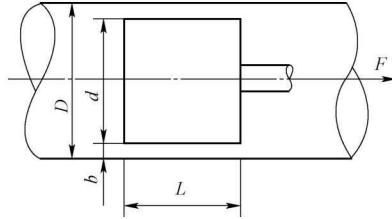


图 1-2 习题 9 图

第二章 流体静力学

流体静力学是基于物体平衡的基本原理，即 $\sum \vec{F} = 0$ 、 $\sum \vec{M} = 0$ ，研究流体静止或平衡时的力学规律及其应用。由于流体黏性只有在流体运动且存在速度梯度时才表现出来，因此流体静力学的结论对理想流体和黏性流体均适用。

流体的平衡包括两种情况：一种是流体相对于地球没有运动，称为静止状态；另一种是容器有运动而流体相对于容器静止，称为相对平衡状态。

第一节 作用在流体上的力

根据流体和外界的相互作用方式，作用在流体上的力可分为表面力和质量力两类。

一、表面力

表面力是指作用在所研究流体外表面上、与表面积大小成正比的力。在流体中任取一体积为 V 、表面积为 A 的分离体为研究对象，则分离体以外的流体必定通过接触面对分离体有作用力。如图 2-1 所示，在分离体表面 a 点处附近取一微元面积 ΔA ，设作用在它上面的表面力为 ΔF ，则 ΔF 可以分解为沿法线方向的法向力 ΔF_n 和沿切线方向的切向力 ΔF_τ 。以微元面积 ΔA 求得作用于 a 点的法向应力 σ 和切向应力 τ 分别为

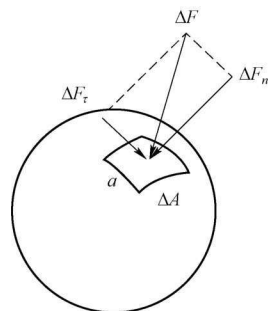


图 2-1 作用在分离体上的力

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A} \quad (2-1)$$

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_\tau}{\Delta A} \quad (2-2)$$

习惯上，把流体的内法向应力称为流体压强，用 p 表示，其单位为 Pa。显然，流体压强表征的是作用在流体单位面积上法向力的大小。当流体处于静止或相对静止时的压强称为静压强。

因此，表面力可分成沿表面内法向的压力和沿表面切线方向的摩擦力（也就是黏性力）。

二、质量力

质量力是流体质点受某种力的作用而产生的，它的大小与流体的质量成正比。例如流体质点受地球引力的作用产生的重力，应用达朗贝尔原理虚加在流体质点上的惯性力，均属于质量力。这种与流体微团质量有关并且集中作用在流体微团质心上的力称为质量力，也称体积力。

习惯上用单位质量流体所受的质量力来表示，简称单位质量力，用 f_x 、 f_y 、 f_z 分别表