

中等专业学校试用教材

流体力学与传热学基础

北京机械学校 主编

机械工业出版社

中等专业学校试用教材

流体力学与传热学基础

北京机械学校 主编

机械工业出版社

流体力学与传热学基础

北京机械学校 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $10 \frac{3}{4}$ · 字数 254 千字

1979年7月北京第一版·1979年7月北京第一次印刷

印数 00,001—26,000 · 定价 0.81 元

*

统一书号: 15033 · 4826

编 者 的 话

本书系根据 1978 年 2 月一机部组织召开的中等专业学校铸造专业教材会议所制订的“流体力学与传热学基础”教材编写提纲编写的。在内容上，既注意了加强理论基础，也考虑到运用理论解决专业生产实际问题。在论述时，力求物理概念明确；而在公式方面，不苛求数学推导的严格。

本书共分两篇：第一篇讲述流体静力学和流体动力学的基本知识和基本定理，以及气力输送的基本理论；第二篇讲述传热学的基本概念和各种传热的基本计算方法，以及炉子的热平衡计算。

本书系中等专业学校铸造专业的试用教材，对其它热加工专业也可以作为参考之用。全书总学时数为 70 学时。

本书由北京机械学校牟乃让同志编写。编写本书时，山东机械工业学校韩真善同志、德阳机器制造学校沈锦丰同志、沈阳冶金机械制造学校张自助同志、福建机电学校庄金水同志提出了很多宝贵意见。编者在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，教学经验不足，编写时间仓促，因此书中难免存在很多片面、不妥、甚至谬误之处，深望使用本书的同志予以批评和指正，以便今后修改。

编 者

一九七八年十一月于北京

基本符号表

符 号	在流体力学中代表内容	在传热学中代表内容	符 号	在流体力学中代表内容	在传热学中代表内容
a	加速度	加速度	K		传热系数
b	宽度	温度系数, 宽度	L	长度	长度
c	比热	比热	M	质量, 分子量	质量, 分子量
c_p	定压比热	定压比热	P	总压力, 作用力	
c_v	定容比热	定容比热	Q	流量	传热热量
d	直径	直径	R	气体常数, 半径	反射率, 半径
e	能		S	面积	面积
f	截面积, 摩擦系数	截面积	T	力, 绝对温度	绝对温度
g	重力加速度	重力加速度	V	体积	体积
h	高度, 深度, 阻力损失	高度	W	重量, 功, 速度	速度
h_L	沿程水头损失		Gr		戈拉司克数
h_w	局部水头损失		Nu		努赛尔数
l	长度	长度	Pr		普来得数
m	质量	质量	Re	雷诺数	雷诺数
n	转速		α	平面角	平面角, 换热系数, 散
p	压力(压强)	压强	β	平面角	热系数 平面角, 体膨胀系数
q		热流	γ	重度	重度
r	半径	半径	δ	厚度	厚度
s	距离, 面积	距离, 厚度	ϵ	孔口收缩系数	黑度
t	温度, 时间	温度	ζ	阻力系数	
u	速度		ζ_L	沿程阻力系数	
v	速度, 平均速度		ζ_w	局部阻力系数	
w	速度		η	效率	效率
x	座标	座标, 透热深度	θ	平面角	平面角
y	座标	座标	λ	摩擦阻力系数	导热系数, 波长
z	座标, 高度	座标	μ	动力粘性系数, 流量系	动力粘性系数, 长度单
A	面积	吸收率	数	运动粘性系数	运动粘性系数
B		燃料消耗量	ρ	密度	密度
C	常数, 热容	辐射常数	σ	表面张力, 正应力	
D	直径	直径, 穿透率	σ_s		黑体辐射系数
E	能	辐射能	τ	时间, 摩擦切应力	时间
F	力, 面积	表面积, 换热面积	φ	平面角, 流速系数	平面角
G	重量	重量	ω	面积, 角速度	
H	高度, 深度	高度, 有效辐射受热面			

单 位 换 算 表

类 别	符号	制 别	单 位	代 号	换 算 关 系
质量	M	国际制	公斤	kg	
		工程制	公斤·秒 ² /米	kg·s ² /m	9.8公斤
密度	ρ	国际制	公斤/米 ³	kg/m ³	
		工程制	公斤·秒 ² /米 ⁴	kg·s ² /m ⁴	9.8公斤/米 ³
重量	G	国际制	牛顿	N	
		工程制	公斤力	kgf	9.8牛顿
重度	γ	国际制	牛顿/米 ³	N/m ³	
		工程制	公斤/米 ³	kg/m ³	9.8牛顿/米 ³
力	P	国际制	牛顿	N	
		工程制	公斤力	kgf	9.8牛顿
压力	p	国际制	牛顿/米 ²	N/m ²	
		工程制	公斤力/米 ²	kgf/m ²	9.8牛顿/米 ²
			大气压	kgf/cm ²	9.8×10 ⁴ 牛顿/米 ²
		毫米水柱	mmH ₂ O	9.8牛顿/米 ²	
动力粘性系数	μ	国际制	牛顿·秒/米 ²	N·s/m ²	
		工程制	公斤力·秒/米 ²	kgf·s/m ²	9.8牛顿·秒/米 ²
热量	Q	国际制	焦耳	J	
		工程制	千卡	kcal	4186焦耳
比热	c	国际制	焦耳/公斤·度	J/kg·deg·K	
		工程制	千卡/公斤·度	kcal/kg·deg·K	4186焦耳/公斤·度
导热系数	λ	国际制	焦耳/米·时·度	J/m·h·deg·K	
		工程制	千卡/米·时·度	kcal/m·h·deg·K	4186焦耳/米·时·度
换热系数或 传热系数	α K	国际制	焦耳/米 ² ·时·度	J/m ² ·h·deg·K	
		工程制	千卡/米 ² ·时·度	kcal/m ² ·h·deg·K	4186焦耳/米 ² ·时·度

目 录

基本符号表	
单位换算表	
绪论	1

第一篇 流体力学基础

第一章 流体及其主要物理性质	3
§ 1-1 液体和气体	3
§ 1-2 关于流体作为连续介质的概念	4
§ 1-3 流体的主要力学性质、理想流体与实际流体	4
§ 1-4 作用在流体上的力	7
第二章 流体静力学	7
§ 2-1 流体静压力及其特性、等压面	7
§ 2-2 流体的平衡、流体静力学基本方程式	9
§ 2-3 巴斯噶定律及其应用	11
§ 2-4 压力表示法	13
§ 2-5 压力测量法	16
§ 2-6 静止液体作用在平壁上的总压力	19
§ 2-7 静止液体作用在曲壁上的总压力	22
§ 2-8 阿基米德原理、物体的浮沉	24
§ 2-9 浇注时抬箱力的计算	24
§ 2-10 气体静力学基础	26
第二章习题	30
第三章 流体动力学	31
§ 3-1 研究流体运动的两种方法	32
§ 3-2 流体运动的分类	33
§ 3-3 基本定义和概念	34
§ 3-4 流体运动的连续方程式	38
§ 3-5 流体动压强	39
§ 3-6 理想液体流束的伯努利方程式及其意义	39
§ 3-7 实际液体流束的伯努利方程式及其意义	44
§ 3-8 实际液体总流的伯努利方程式及其意义	45
§ 3-9 气体的流动	48
第三章习题	48
第四章 流体在管道中的流动和孔口出流	50
§ 4-1 流体运动的两种状态和雷诺实验	50
§ 4-2 雷诺数及临界流速	51

§ 4-3	流体的粘性和内摩擦定律	53
§ 4-4	在圆管内层流与紊流的简单分析	55
§ 4-5	流体的沿程水头损失	56
§ 4-6	局部水头损失的计算和管道阻力系数	58
§ 4-7	管道的水力计算	59
§ 4-8	孔口和管嘴的液体出流	66
§ 4-9	流速与流量的测量	71
§ 4-10	使炉内气体流动的方法; 通风机和烟囱的选择计算	75
第四章习题		82
第五章 气力输送基本理论及初步设计计算方法		84
§ 5-1	气力输送概述	84
§ 5-2	固体物料的性质	85
§ 5-3	固气混合体的性质	91
§ 5-4	固体颗粒的运动状态及两相流的阻力特性	92
§ 5-5	颗粒群在管道内沿轴向的运动速度	94
§ 5-6	输料管中的压力损失	95
§ 5-7	输送系统中各局部压力损失	97
§ 5-8	水平管道中临界风速、气流工作速度及管径的确定	99
§ 5-9	低压压送和低真空吸送的设计计算方法	101
第二篇 传热学基础		
第六章 导热		112
§ 6-1	温度场	112
§ 6-2	导热基本定律——傅立叶定律	113
§ 6-3	平壁稳定导热	114
§ 6-4	圆筒壁稳定导热	117
第六章习题		119
第七章 热的对流		120
§ 7-1	热的对流概念及其研究方法	120
§ 7-2	相似原理及其在对流换热中的应用	121
§ 7-3	流体在自由流动时的换热	122
§ 7-4	流体在强迫流动时的换热	123
§ 7-5	传热系数及单层平壁传热的计算	124
§ 7-6	多层平面壁传热的计算	125
§ 7-7	通过圆柱壁传热的计算公式	126
§ 7-8	增强或削弱传热的讨论	127
第七章习题		128
第八章 热的辐射		129
§ 8-1	热辐射的基本概念	129
§ 8-2	热辐射的基本定律	130
§ 8-3	实际物体的辐射和吸收, 灰体、黑率的概念	131
§ 8-4	辐射高温计测温原理	132

VI

§ 8-5 特殊排列的两物体之间的辐射换热	134
§ 8-6 遮热原理	136
§ 8-7 气体和火焰辐射	138
第八章习题	140
第九章 复合换热及换热器	140
§ 9-1 复合换热	140
§ 9-2 换热器的种类	141
§ 9-3 间壁式换热器的构造特点	141
§ 9-4 间壁式换热器的热计算	143
§ 9-5 顺流与逆流的比较	144
第九章习题	144
第十章 不稳定态传热概述	144
§ 10-1 经过炉壁的不稳定传热	145
§ 10-2 无限厚壁加热	145
第十一章 炉子的热平衡计算及炉子设计的一般原则	146
§ 11-1 燃料及其燃烧概述	146
§ 11-2 炉子的热平衡计算	153
§ 11-3 炉子设计的一般原则	161

绪 论

一、流体力学、传热学的研究对象及其在科学技术上的重要性

流体力学是依据理论力学的一般原理，借助大量的实际资料，运用数学和实验方法，研究流体平衡和运动的规律及其实际应用的一门科学。

流体，实际上是液体和气体的统称。因此，流体力学研究的对象也就包括液体和气体。从分析研究液体着手，建立的关于液体的一些基本规律，对于平衡的或运动时速度远低于声速的气体，也将是适用的。

流体力学分流体静力学和流体动力学两大部分。前者研究静止流体中的压力分布规律及流体对固体接触面的总作用力等问题。后者研究运动流体的各运动参数的变化规律及流体对固体接触面的作用力等问题。

同样是研究流体平衡和运动的规律，但却存在着两个分支：一个是流体力学，一个是水力学。

流体力学偏重于数学分析。它在研究问题时，往往要求数学上的严密性和精确性。但因流体的运动极为复杂，某些实际问题很难纯粹用数学方法获得解决。

水力学则偏重于实验研究。它以流体力学的理论为基础，但不受数学上严密性的束缚，遇到用数学方法不能解决问题时，便通过实验，以实验资料和经验公式来解决。但在现代的流体力学中，也引入了某些实验资料和经验公式，因而两门科学已在逐步接近而成为一门理论与实践紧密结合的科学。

流体力学已经发展成为一门独立而又比较完善的科学，并已广泛的应用到国民经济的各个部门，为生产实际作出了极为有益的贡献。例如，在水利建设、水力工程、船舶制造、飞机制造、锅炉制造、动力机械、交通运输及化学、冶金、机器制造等各个工业部门中都将遇到各种水力现象，因而必须应用流体力学的知识来解决这些问题。很难指出有那些工程技术部门中是不利用流体和不需要流体力学所建立起的规律的。

传热学的研究对象是热的传播过程，即研究两物体间或物体的两部分之间热量传递的规律。热力学第二定律指出：只要有温度差存在，热量总是自发地从高温处传向低温处。温度差普遍地出现在自然界里，所以热的传播是一个很普遍的自然现象。

传热学在工程技术上的应用是很广泛的。如：动力、建筑、冶金、制冷、机械制造、电工、化工及航空等工程领域的生产技术，都涉及到传热问题。必须应用传热学规律来解决这些实际问题。但总起来不外乎两种类型：一种类型是力求增强热量的传递过程，另一类型则是力求削弱热量的传递过程。为达到此目的，就必须对热量传递规律有充分的认识。

二、流体力学、传热学的发展概况和我国的成就

流体力学和其它一切学科一样，也是人类在生产实践过程中建立和发展起来的，而且它的发展也是和社会生产力的发展基本相适应的。

由于生活和生产的需要，远在纪元前许多世纪，我国和其它一些文明古国就已经有了船只和水渠。我国是最早应用水轮和水车的国家之一。我国古代大禹治水的故事，至今犹为人们所称颂。勤劳勇敢的我国人民在历史上曾经修建了数量和规模都很巨大的灌溉系统。纪元前 250 年左右，李冰主持修建的都江堰，灌溉成都平原 500 万亩农田，至今还在使用。我国人民曾开凿了长达 1400 公里的南北大运河，并在海运工具方面积累了丰富的经验。在与黄河

水患作斗争的过程中，还积累了不少治河的知识。由此可见，我国人民在同自然界的斗争中，早就有了关于流体力学方面的实际知识和经验。

纪元前 250 年，希腊的阿基米德提出了水静力学的一条基本定律，即现在的阿基米德原理。它是一篇最早的水力学论文。十六世纪末叶以后，水力学方面的知识才被许多学者作了深入的研究。1585 年斯蒂芬得出了水对容器侧壁和底部压强的计算方法。随后，伽利略，托里析利，巴斯噶和牛顿等著名学者，就水力学中的某些问题作了一系列的研究。而水力学的理论基础，则是十八世纪时由伯努里和欧拉建立的。所有这些科学家的成就，都是他们在总结劳动人民长期实践经验的基础上，对流体进行了长期大量的研究工作，取得了显著的成果，为流体力学的发展作出了可贵的贡献。

我国劳动人民，是勤劳、勇敢、富有创造才能的人民。在水利工程方面创造了伟大的业绩，积累了关于水力学方面的丰富实际知识和经验。但由于我国长期受封建反动势力的统治和帝国主义的侵略，根本不可能将已有的经验和知识加以系统化和理论化。与其它科学一样，流体力学的发展也受到了束缚。解放以后，社会制度根本改变，在党和毛主席的英明领导下，我国工业、农业以及科学文化等各项事业，得到了飞跃的发展，并取得了辉煌的成就。在水利工程方面，有著名的治淮工程，根治黄河工程……；在水电事业方面，我国修建了一系列大型、中型水电站，制造了许多巨型水轮机和各种类型的水泵，……；在农田水利方面，更是气象万千，遍地开花，……；机械制造工业和航空工业的迅速发展等等。这一切不但改变了祖国的面貌，而且使流体力学的应用更加广泛，同时也促进了流体力学更进一步的发展。在向科学技术现代化的伟大进军中，我国人民必将在流体力学方面作出更大的贡献，使我国的科学技术事业更加向前发展。

传热学是在热的一般学说的基础上发展起来的。在十八和十九世纪里，由于蒸汽机，接着是汽轮机和内燃机的相继出现，热学作为物理学的一部分而日益发展起来。它研究了一些普遍的原理，其中也包括热的传播的各种问题。在本世纪里，伴随着大工业的迅速发展，传热学发展成为一门独立的科学。

在传热学方面，我国劳动人民在向自然界斗争的过程中，积累了极其丰富的经验，卓越地运用了符合客观规律的科学原理。可是，长期的封建和反动派统治阻碍了生产力的发展，使我国这些早期的实践经验也就只能停留在纯经验的水平上。解放后，生产力的迅速发展也给传热学的发展奠定了可靠的基础。科学院、高等学校和一些工业企业部门建立了专门的传热研究机构。传热研究联系了我国的生产实际，取得了初步的研究成果，出现了蓬勃发展的气象。为实现四个现代化的宏伟目标，对传热学提出了更高的要求，将有力地推动这一科学的进一步发展。可以确信，传热学在为四个现代化服务的过程中，一定会取得辉煌的成绩。

三、本课程的任务及其与铸造专业的关系

《流体力学与传热学基础》是铸造专业的一门技术基础课程，其任务在于使学生掌握流体力学和传热学的基本理论知识及计算技能，为学习有关专业课（铸造工艺学，铸造合金与熔炼、铸造车间设备）和解决生产技术问题奠定一定的基础。

在铸造生产中，流体力学和传热学的基本理论知识和计算得到广泛的应用。例如：液态金属在浇注和充填铸型过程中流动情况的分析，浇注系统的计算，抬箱力的计算，冲天炉中炉气的流动，烟囱原理及其计算，风力输送，通风除尘，水力清砂，气动装置和液压传动，熔化炉和干燥炉中传热的分析和计算以及铸件在砂型中凝固时间的讨论等等，都需要这方面的知识。因此，学习本课的目的，就是要掌握这方面的客观规律，为解决生产实际问题服务。

第一篇 流体力学基础

流体力学是一门工程技术理论基础课。它运用理论并通过实验的方法来研究流体平衡和运动的规律以及实际应用这些规律的方法。其中研究流体平衡规律的部分叫做流体静力学，研究流体运动规律的部分叫做流体动力学。

流体，包括液体和气体，它们的共同特征为“流动性”。它们的凝聚力极小，因而实际上对拉力，对形状的缓慢改变产生的阻力很微小。流体的质点在相互移动时有极大的自由性，它不象固体那样保持一定的形状。由于液体和气体之间存在着这种共同性，因而它们也有相同的规律。本课程所研究的主要对象是这种相同的规律。但是，气体和液体毕竟还有很大区别，所以有些现象在气体和液体里是有不同规律的。因而在研究其共同规律的基础上，对它们各自的特殊性也予以必要的分析说明。

第一章 流体及其主要物理性质

§ 1-1 液体和气体

液体和气体都没有一定的形状，它们的各部分都是很容易流动的，所以液体和气体又总称为流体。

液体在重力作用下有边界（自由）液面，在实用意义上，具有不可压缩的特性，有一定的容积，但其形状是随容器的形状而改变。液体的这种特性是由它的分子结构和分子运动特点造成的。液体分子间的距离比固体分子（或离子）间的距离大，其间的引力已减弱，不能保持一定的形状；但却比气体分子之间的距离小，分子之间的引力尚能使液体保持一定的体积。而在受到压缩时，由于分子之间的斥力较大，阻抗压缩，因而具有实用意义上的不可压缩性。

气体也具有“流动性”，对拉力和形状的缓慢改变不产生阻力，与液体不同之点就在于气体是有弹性的，它很容易膨胀或者被压缩。气体没有自由面，它总是完全地充满所占容器的空间。由于气体分子之间的距离很大，引力很弱，因此，它既不能保持一定的形状，也不能保持一定的体积。由于气体分子之间的斥力很弱，因而它很容易被压缩。气体分子的自由运动使它能够充满所占容器的空间。

自然界中的流体还有一个重要的特性——粘滞性（流体内部质点间的摩擦力）。但是只有在流体流动时才呈现出来。各种流体的粘滞性是不同的。象甘油、浓的油类等具有较大的粘滞性，水、汽油、酒精等的粘滞性就较小，而气体的粘滞性就更小了。

§ 1-2 关于流体作为连续介质的概念

流体是由分子所组成。由于分子力的作用,这些分子总是不断地作混乱无规则的热运动。因此,如果要从研究每一个分子的运动出发,进而掌握整个流体平衡与运动的规律,那是很困难的。因为每一个分子的运动是很复杂的,而且即使在一个很小的体积内所包含的分子数目也是特别的多,要列出这些分子的运动方程式几乎是不可能的。既然这条道路行不通,那就只能另找出路了。

1753年,欧拉建议采用一种连续的流体介质这一概念来解决这个问题。即在流体力学的研究中,将流体加以理想化。我们把流体认为是一种假想的、无间隙的、充满了它所占据的空间的连续介质,而且这种连续介质仍然具有流体的一切基本力学性质。

将流体认为是一种连续介质,这是否可能呢?我们知道,虽然流体是由大量分子所组成,但是在工程上所研究的流体总是具有一定的体积,即使在很小的体积中,也包含有大量的分子。例如1厘米³体积的空气,在标准状态下平均包含有约 2.7×10^{19} 个分子。在这块小体积中,如果研究一下其中各部分(例如1/10厘米³),其分子数目及其性质也可以认为是完全相同的。因此我们在研究时,可以不考虑其分子组成。另外,更重要的是从工程实用的观点来看,主要要求研究与掌握流体的宏观运动规律,而关于流体的分子运动是没有什么实用意义的。

根据流体力学的计算与实验数据相比较的结果,同样也可以确定这种将流体作为连续介质的概念是合理的。比较结果证明,按照小的体积或小的面积取平均的平衡状态及运动状态的力学特性,正确地反映出实际流体内的真实情况。例如:作用在相应的微小面积上的各种力,无论在实际流体内和在连续流体介质内,实际上是相同的。

把流体当作连续介质以后,我们就可撇开流体内部复杂的分子运动和分子之间的相互作用,而仅考虑流体在外力作用之下宏观的机械运动,便于我们抓住客观事物的本质。同时使我们可以认为流体中的速度、压力等运动要素是连续分布的,可以应用连续函数来描述。因此在研究中可以利用根据连续函数得出的一系列数学成果来解决流体力学中的各类问题。

综上所述,可以看出,将流体看成是一种连续介质不仅是必要的,而且是完全可能的。同时,在研究中将具有极大的优越性。因此在今后的研究中,我们不再将流体看成是由分子组成的了,而认为是一种连续介质。这种连续介质本身是由无穷多个连续分布的微小流体团所组成,这种微小的流体团我们称之为流体质点,也有称之为流体微团的。

§ 1-3 流体的主要力学性质、理想流体与实际流体

我们在研究流体的平衡与运动的时候,必须知道作为连续介质的流体所具有的主要力学性质。下面我们就流体的几个主要力学性质分别加以介绍:

一、流体具有质量、具有重量

流体和固体一样,也具有质量,具有重量。流体的重量和质量用重度和密度表示。

1. 重度 在均质流体中,流体具有的重量与其所占有的容积之比称为重度(或重率),常以 γ 表示。

若以 V 表示所取流体的体积，以 G 表示该体积流体的重量，根据定义：

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-1)$$

国际单位制中用牛/米³表示重度的单位；工程制中用公斤力/米³。

2. 密度 在均质流体中，流体所具有的质量与其所占有的体积之比称为密度，以 ρ 表示。若以 M 代表体积为 V 的流体的质量，则：

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

国际单位制中密度的单位是：公斤/米³。

3. 密度与重度的关系 由公式 (1-1) 及 (1-2) 得：

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{G}{gV} = \frac{\gamma V}{gV} = \frac{\gamma}{g}$$

或

$$\gamma = \rho g \quad (1-3)$$

式中 g ——重力加速度， $g = 9.81 \text{米/秒}^2 = 981 \text{厘米/秒}^2$ 。

所谓某物质的比重是指该物质的重度与温度为 4°C 时蒸馏水的重度之比，是一个无因次数。但在有些书上和习惯用语中，常把重度直接称为比重。

根据铸件图纸尺寸，可以计算出铸件的体积 V ，乘以重度 γ ，就可算出铸件的重量 G 。这对单件生产大铸件时，浇注之前事先算好铁水需要量是非常重要的。

利用比重的概念，没有芯子的简单铸件的近似重量可用模型的重量计算出来。例如：以松木模型（比重为 0.51）翻灰铸铁件（比重为 7.2）时，称出模型的重量，然后乘以 14（7.2:0.51），就能得出铸件的重量。

二、流体的压缩性和膨胀性

当作用在流体上的压力增加时，流体所占的体积就会减小。流体的这种特性称为压缩性。流体压缩性的大小，以体积压缩系数 β_r 来表示。也就是在温度不变的情况下，每增加一个工程大气压时，流体体积相对减小的数值。由实验得知，液体的体积压缩系数非常小。例如，水在 0°C 时，当压力增加 1 个大气压时， $\beta_r = \frac{1}{20000} \approx 0$ 。因此在解决实际问题时，可把液体当作是不可压缩的流体。这样所研究出的结果，对实际应用并无影响。只有在研究某些预先说明的个别问题（如管中水击现象，高压造型机的液压传动）时，要考虑液体的压缩性。

把液体当作不可压缩的流体看待时，液体的密度和重度将不随压强的改变而改变。

气体的压缩性很大，密度和重度随着压强的改变而改变。理想气体的压强和体积之间的关系由气体状态方程式决定。这将在第二章的气体静力学基础中加以讨论。

流体的体积（或密度）随温度而改变的性质叫做流体的膨胀性，可用体膨胀系数 β_t 来表示。所谓体膨胀系数就是在压力不变的情况下，温度上升 1°C 时，流体体积相对增加的数值。据实验得知，液体的体膨胀系数也是非常小的。例如，对于水来说，在一个大气压下，温度在 0°C~10°C 范围内变化时，其体膨胀系数 $\beta_t = 0.000014 \approx 0$ ，其他液体的体膨胀系数也很小，在一般的温度变动下，液体的密度和重度改变也很小。因此，在大多数的工程问题中，都把液体的体膨胀系数当零处理。但在某些个别情况下，液体的体膨胀系数不能忽略。例如，对密封在较大容器内的液体来说，由于热膨胀，会造成容器破裂的危险，应予注意。

气体的膨胀性却很大。气体体积随温度升高而增加的规律，也将在气体静力学基础中加

以讨论。

三、流体的粘性

流体抵抗切向力的性能虽然很弱,但这种性能还是存在的,并且在某些情况下不能忽略。如图 1-1 中所示的两层相接触的流层 a 和 b , a 层质点以速度 u 运动, b 层质点以速度 u' 运动。 $u \neq u'$, 故流层之间有相对运动,流层的接触面上必然要发生摩擦,必然要产生如图所示的切向力 T 。

这种由于分子运动的影响,当流体的各部分之间具有相对运动时,就会产生摩擦切应力来阻止相对运动的特性,称为流体的粘性,或称粘滞性。

关于流体粘性对流体运动的影响以及影响流体粘性的因素,我们将在本书第四章中深入讨论。

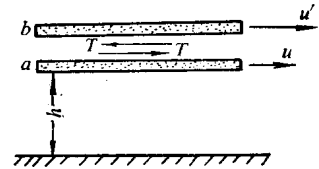


图1-1 流层间摩擦应力示意图

摩擦阻力是流体粘性的表现形式。而且只有当流体的各部分之间具有相对运动的时候,流体的粘性才会表现出来。如果当流体是静止的或者各部分之间没有相对运动的时候,流体的粘性就不会表现出来。亦即这时流体内部不会再有摩擦阻力存在。这就说明,流体的静摩擦力是不存在的。这一点流体与固体大不相同。对静止的固体,必须作用以足够的力量克服其静摩擦力以后,才会开始运动;可是流体却不然,由于它不存在有静摩擦力,我们只要在静止液体上稍稍加上一点外力,它就会开始流动。因此我们说流体具有极大的易流动性。

四、凝聚力 and 表面张力

流体中分子间相互作用的结果就产生了凝聚力。凝聚力是内力,且相互平衡。只有在流体的边界上,这种力才表现出来。流体的凝聚力很小,实用上可以忽略不计,认为流体不能抵抗拉伸。水抵抗拉伸的阻力仅为 3.52×10^{-3} 牛顿/厘米² 左右。

液体是具有自由表面的。由于液体自由表面一层分子相互吸引的结果而产生了表面张力,使液体表面好象具有一层紧张的橡皮薄膜。由于表面张力作用的结果,液体受到表面法线方向的附加压强。但这种力很小,在一般的水力计算中影响极微,通常忽略不计。但在有些情况下,如在艺术铸造中和分析液态金属中气泡形成的条件时,就必须考虑表面张力的作用。

五、理想流体和实际流体

综合上面的讨论,我们知道,所有流体都具有质量、重量、粘性,以及压缩性、膨胀性、凝聚力与表面张力等。不过对于液体而言,在一般情况下,后者都是比较小的。因而在实际研究中可以忽略不计,而仅考虑其质量、重量与粘性。

但是,由于流体的粘性是比较复杂的,影响因素很多。我们对流体进行解析研究的时候,如果要考虑流体的粘性将是极为困难的,甚至无法进行。因此我们引入了一个新的概念,即所谓理想流体。

所谓理想流体是一种假想的不具有粘性的流体。而在自然界中所有实际存在的具有粘性的流体称之为实际流体,或称为粘性流体。

引入理想流体的概念,是为了将我们所研究的对象——流体加以简化,便于应用解析的研究方法得出比较完善的结果。这样做,对于一些粘性很小,或者相对运动速度很小的流动情况而言,研究结果与实际情况出入很小;而对于一些粘性较大,或者相对运动速度比较大的流动情况而言,误差就比较大了。这就必须通过实验研究的办法将理论分析结果加以修正,以求达到与实际情况相一致。

§ 1-4 作用在流体上的力

流体力学既然是研究流体平衡和运动的各种力学规律的科学，那么首先就要了解流体都受那些力的作用。因为平衡指的是所受的力的平衡，运动是在力的作用下产生的。

流体所受的力，可以分为外力和内力两大类。流体内部分子间的相互作用力称为内力。它包括分子间的吸引力和压力以及内摩擦力。它们在流体内部，对所研究那块流体来讲是相互平衡的。对流体的运动没有影响。流体的运动情况取决于外力。

外界作用于所研究的那块流体上的力称为外力。外力又分为表面力和质量力（体积力）两种。

作用在所研究的那块流体表面上的力称为表面力。属于这种力的有与该表面垂直的法向力以及与该表面相切的切向力。对流体来讲，切向力是一种摩擦力，所以只有当实际流体流动时与某一表面（如壁面）发生外摩擦以及流体质点间发生内摩擦时才产生。

质量力是作用在所研究的流体各个质点上的一种力，其大小与质点的质量成正比。对均质流体来讲，这种力的大小与所研究的流体的体积成正比，所以也称为体积力。属于这种力的有重力和惯性力。

第二章 流体静力学

流体静力学研究流体平衡（静止）时的规律以及这些规律的实际应用；同时这也是进一步研究流体运动时的必要基础。

由于流体在静止时是不显示粘性的，所以本章的一切结论不管对理想流体还是对粘性流体都是适合的。

严格地讲，宇宙间没有绝对静止的物体。任何静止都是相对的。对地球相对静止的液体称为对地静止液；对运动着的容器来说，其中处于相对静止状态的液体，称为相对静止液。

§ 2-1 流体静压力及其特性、等压面

一、流体静压力与流体静压强

我们在力平衡状态的流体中取出一个体积，如图 2-1 a) 所示。以平面 ab 将它分为两部分 I 和 II，并取去其中上边部分 I。现研究下边部分 II [图 2-1 b)]。设 A 为 ab 平面上的任意一点， S 为包括 A 点在内的一个任意大小的平面面积。因为第 I 部分流体受有外力（表面力和质量力），所以在平面 S 上各点必对第 II 部分流体产生一分布的作用力。我们既将上边 I 部分取去，那么为了保持 II 部分的平衡，就必须在 II 部分的分割面上加上这个分布的作用力，来代替被取掉的 I 部分对 II 部分的作用。今用 P 表示作用于平面 S 上的分布力的合力，则 P 就称为作用于平面 S 上的流体静压力。所以流体静压力的定义是：

由于外力作用的结果，在静止流体任一面积上所产生的总作用力，称为该面上的流体

静压力。

单位面积上的流体静压力称为流体静压强。作用于平面 S 上的平均流体静压强为：

$$p_{\text{平均}} = \frac{P}{S} \quad (\text{牛顿/厘米}^2 \text{ 或 牛顿/米}^2) \quad (2-1)$$

设 p 为 A 点的流体静压强，则

$$p = \lim_{S \rightarrow 0} \frac{P}{S} = \frac{dP}{dS} \quad (\text{牛顿/厘米}^2 \text{ 或 牛顿/米}^2) \quad (2-2)$$

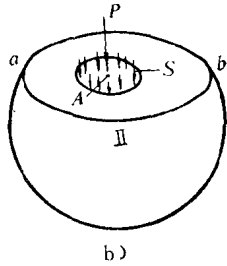
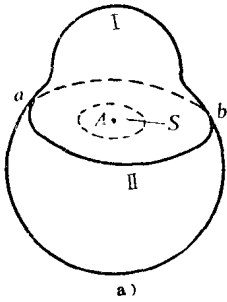


图2-1 水静压力示意图

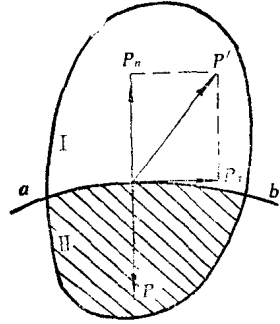


图2-2 流体静压强特性

二、流体静压强的特性

静止流体中一点上的静压强与固体中一点的压强比较，有下列两个非常重要的特性：

第一特性 任何一点的静压强，必垂直于作用面，并指向所考虑的那部分流体的内部。

现在用反证法来证明这一特性。设图 2-2 所示为一块静止的流体，以曲面 ab 分为两部分。根据上节讨论，第 I 部分流体对第 II 部分流体在 ab 曲面上任何一点都有流体静压力。我们假定作用在 II 部分 ab 表面上的静压力为任意方向的力 P' ，那么，就可将它分解为沿外法线方向的 P_n 及沿切线方向的 P_t 两个分力。

但是，在静止流体中，表面上的切向分力 P_t 是不可能存在的。因为静止流体中不存在静摩擦力，流体完全不能抵抗由于剪切应力所引起的变形。如果有 P_t 存在，则流体要产生滑动。这就与流体是静止的前提条件相矛盾。

同时，在静止流体表面上沿外法线方向的力 P_n 也是不可能存在的。因为流体完全不能抵抗由于拉力所引起的变形，如果有 P_n 存在，则流体必然要运动。这也与流体是静止的条件相矛盾。

既然在静止流体表面上不可能有外法线方向的及切线方向的力作用，那么作用在静止流体表面上的力，就只能沿内法线方向。即必然垂直于作用面，并指向所考虑的那部分流体的内部。

第二特性 静止流体内任何一点处的流体静压力在各个方向都是相等的。

这种特性既可用实验加以验证（物理课中已讲），又可用理论力学的方法加以严格证明，本书从略。

三、等压面

静止的流体内，流体的静压强相等的点所组成的面称为等压面。如液体和气体相接触的自由表面，就是等压面的最显著的例子。它有个重要的特性：等压面上各点所受的质量力（重力与惯性力的合力）均与该面垂直。所以对于只受重力作用的液体，它的等压面必然是水平面。这种等压面的特性，同样也可用理论力学加以证明。