



普通高等教育土建类规划教材

建筑设备

● 傅海军 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育土建类规划教材

建筑设计

主 编 傅海军
副主编 王惠敏 韩喜莲
参 编 张格红 王珍娟 张新桥
主 审 方 晞 段晨东



机械工业出版社

本书是高等工科院校土木工程、工程管理、建筑学、城市规划等土建类专业的教材。全书共分15章,主要讲述了流体力学、热工学基本知识,重点介绍了建筑给水、排水、热水、消防、采暖、燃气、通风、空气调节、建筑供配电系统、建筑照明、建筑防雷及接地系统、建筑设备自动化等方面的基本知识。

本书以教学大纲为主要依据,注意与实践知识的衔接,突出以实用性内容为主,以学术性内容为辅的特点,理论知识根据“必需、够用”的原则编写,充分体现实用性、针对性、简约性、及时性和直观性的特点;注重与工程实践的结合程度,体现了为培养高技能人才服务的特色,突出了土木建筑行业的特点。本书注重理论与工程应用的有机结合,并加入大量形象化的图例,便于读者理解和掌握有关的学习内容。书中各章都附有思考题,可供读者复习巩固所学知识。

本书配有电子课件,免费提供给选用本教材的授课教师。需要者请根据书末的“信息反馈表”索取。

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备/傅海军主编. —北京:机械工业出版社, 2010. 10

普通高等教育土建类规划教材

ISBN 978-7-111-31479-0

I. ①建… II. ①傅… III. ①建筑设备—高等学校—教材 IV. ①TU8

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第151330号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘涛 责任编辑:刘涛

版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2010年9月第1版第1次印刷

169mm×239mm·30.25印张·587千字

标准书号:ISBN 978-7-111-31479-0

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

建筑设备是一门内容广泛、综合性强的学科,它能充分发挥建筑物使用功能,为人们提供卫生、舒适和方便的生活与工作环境,为提高生产效率与产品质量提供必要的环境保障条件。其中的建筑消防系统在保护人民生命财产、经济建设安全等方面起着重要作用。它是现代化建筑的重要组成部分,其设置的完善程度和技术水平已成为社会生产、房屋建筑和物质生活水平的重要标志。

随着现代建筑,特别是高层建筑的迅猛发展,人民物质生活水平提高,对建筑的使用功能和质量提出了越来越高的要求,以至建筑设备投资在建筑总投资中的比重日益增大,建筑设备在建筑工程中的地位也彰显重要。近年来节约不可再生资源,发展和利用可再生资源呼声日益高涨,所以从事建筑类各专业的工程技术人员,只有对现代建筑物中的给水排水、供暖、通风、空调、燃气供应、消防、供配电、智能建筑等系统和设备的工作原理和功能及在建筑中的设置应用情况有所了解,才能在建筑设计、建筑施工、室内装饰、建筑管理等工作中合理的配置及使用能源和资源,真正做到既能完美体现建筑的设计和使用功能,又能尽量减少能量的损耗和资源的浪费。

本书是为高等工科院校土木工程、建筑学、城市规划、工程管理等土建类专业编写的教材,主要讲述了流体力学、热工学基本知识,重点介绍了建筑给水、排水、热水、消防、采暖、燃气、通风、空气调节、建筑供配电系统、建筑照明、建筑防雷及接地系统、建筑设备自动化等方面的基本知识。介绍了建筑设备的基本理论、规划设计原则、简要计算方法、应用材料设备。同时对近年来专业发展的新技术、新材料和新设备也做了阐述,反映了本学科现代化的科学技术水平。

本书在编写体系上注重基础理论与工程应用的有机结合,并加入了大量形象化的图例,便于读者理解和掌握有关的学习内容。在编排上将建筑消防独成一篇,章节安排明晰清楚,内容全面。书中各章都附有思考题,可供读者复习巩固所学的主要内容。

本书由江苏大学傅海军,兰州理工大学王惠敏、韩喜莲、王珍娟,四川理工学院张格红,湖南城市学院张新桥共同编写,由傅海军任主编,王惠敏、韩喜莲任副主编,负责全书的统稿和审定。

本书承蒙长安大学方晞教授、段展东教授审阅,并提出了许多宝贵意见。在此表示感谢!

IV 建筑设备

本书在编写过程中参考了有关专家、学者的著作，并且应用了国家发布的最新规范，在此对各参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于本书侧重于土建类专业，加之篇幅所限，故对各类建筑设备系统的设计计算基本略去。这样编排的目的是使土建类专业设计者、施工者能够充分了解建筑设备的系统布置、系统要求，并能很好地把握建筑设备和建筑设计、结构之间的关系，形成一个有机、和谐的整体。

由于编者水平有限，不妥之处在所难免，衷心希望广大读者批评指正，以便再版时修订完善。来信请寄 hjfu21@126.com。

编者

目 录

前言

第一篇 建筑设备基础知识

第 1 章 流体力学基本知识 1

1.1 流体的主要物理性质 1

1.2 流体静压强及其分布

规律 7

1.3 流体运动基本知识 15

1.4 流动阻力和水头损失 23

1.5 孔口、管嘴出流 30

思考题 33

第 2 章 热工学基础 34

2.1 工质的热力学状态 34

2.2 水蒸气和湿空气 36

2.3 传热的基本方式 39

2.4 传热过程 41

思考题 42

第二篇 给水排水工程

第 3 章 室外给水排水工程 43

3.1 室外给水工程 43

3.2 室外排水系统 50

3.3 室外给水排水工程规划

概要 56

思考题 58

第 4 章 建筑给水 59

4.1 建筑给水系统及给水方式 59

4.2 给水管材、附件及水表 65

4.3 室内给水管道的布置与敷设 70

4.4 建筑给水系统计算 73

4.5 给水增压与调节设备 80

思考题 87

第 5 章 建筑消防 89

5.1 城市消防给水系统 89

5.2 消火栓消防给水系统 94

5.3 自动喷水灭火系统 102

5.4 其他灭火系统 109

思考题 111

第 6 章 建筑排水工程 112

6.1 建筑排水系统的分类和污水排放条件 112

6.2 建筑排水系统的组成 113

6.3 建筑排水管道的布置与敷设 116

6.4 建筑排水系统计算 120

6.5 排水管材、附件及卫生器具 126

6.6 屋面雨水排放 138

6.7 建筑中水工程.....	144	7.5 饮水供应系统.....	173
6.8 污水局部处理构筑物.....	148	7.6 燃气供应系统.....	175
思考题	154	思考题	182
第7章 热水及燃气供应	155	第8章 高层建筑给水排水	
7.1 热水供应系统.....	155	概述	183
7.2 热水管网的布置与敷设 ..	166	8.1 高层建筑给水.....	184
7.3 耗热量、热水量和热媒耗		8.2 高层建筑排水.....	187
量的计算及加热设备.....	168	8.3 高层建筑热水.....	191
7.4 热水管网水力计算.....	173	思考题	193

第三篇 暖通空调工程

第9章 建筑采暖	194	10.3 机械通风	250
9.1 采暖方式、热媒及系统		10.4 通风系统的主要设备	
分类.....	194	和构件	254
9.2 采暖热负荷.....	196	思考题	261
9.3 对流采暖系统.....	201	第11章 空气调节	262
9.4 辐射采暖系统.....	218	11.1 概述	262
9.5 采暖系统的末端设备.....	221	11.2 空调系统的组成与分	
9.6 采暖系统的管路布置与		类	263
主要设备.....	225	11.3 空调负荷与送风量	267
9.7 热源.....	230	11.4 空调房间的气流组织 ..	272
思考题	238	11.5 空气处理设备	276
第10章 通风系统的主要设		11.6 空调水系统	282
备	239	11.7 空调冷源	286
10.1 建筑通风概述	239	11.8 空调系统的消声减振 ..	293
10.2 自然通风	243	思考题	297

第四篇 建筑电气及建筑设备自动化

第12章 建筑供电系统	298	12.4 电力线路常用的几种	
12.1 建筑电气的含义及分		供电方式	302
类	298	12.5 变配电所的组成	305
12.2 建筑电气系统的分类 ..	299	12.6 高压配电系统	311
12.3 建筑对供电的要求	301	12.7 低压配电系统	316

12.8 线路的敷设、导线截面 选择及线路的保护	326	14.6 常见低压系统中的几种 保护接地方式	376
思考题	338	14.7 建筑物的等电位联接 ...	380
第13章 建筑照明系统	339	思考题	382
13.1 照明要点	339	第15章 建筑设备自动化 基础	383
13.2 照明种类	343	15.1 概述	383
13.3 照明电光源	344	15.2 建筑设备自控网络	386
13.4 灯具的种类与选择	347	15.3 空调通风监控系统	407
13.5 灯具的布置与照度计 算	353	15.4 给排水监控系统	413
13.6 照明线路的控制	360	15.5 供配电监控系统	416
思考题	362	15.6 照明监控系统	418
第14章 建筑防雷及接地 系统	363	15.7 电梯监控系统	419
14.1 雷电的形成及对建筑的 危害	363	15.8 安全防范系统	422
14.2 建筑防雷等级分类	365	15.9 火灾自动报警与消防联 动控制系统	429
14.3 建筑防雷措施	367	15.10 综合布线系统	443
14.4 接地的类型及作用	373	15.11 智能建筑的系统集成 ...	464
14.5 接地装置与接地电阻 ...	374	思考题	470
		参考文献	472

第一篇 建筑设备基础知识

第 1 章 流体力学基本知识

自然界中的物体一般有三种存在状态：固体（固相）、液体（液相）和气体（气相）。液体和气体因具有较大的流动性而被统称为流体，它们具有和固体完全不同的力学性质。研究流体平衡状态与运动状态的力学规律及其实际应用的科学称为流体力学。

流体力学按介质可分为两类：液体力学和气体力学。液体力学的主要研究对象是液体，但当气体的流速和压力不大、密度变化不大、压缩性的影响可以忽略不计时，液体的各种规律对于气体也是适用的。

流体力学在建筑工程中有广泛的应用。给水、排水、供热、供燃气、通风和空气调节等工程设计、计算和分析都是以流体力学作为理论基础的，因此，必须了解和掌握流体力学的基本知识。

1.1 流体的主要物理性质

为了研究流体的力学规律，首先应掌握流体的主要物理性质。流体中由于各质点间的内聚力极小，不能承受拉力，也不能承受剪切力。任何微小的剪切力都能使静止流体发生很大的变形，因此流体具有很大流动性，不能形成固定的形状，而只能随时被限定为其所在容器的形状，但流体在密闭状态下却能承受较大的压力。

充分认识流体的基本特征，深入研究流体处于静止或运动状态的力学规律，才能很好地输送和利用水、空气或其他流体，以服务于人们的生活和生产。

1.1.1 流体的密度和重度

流体和固体一样具有质量。均质流体单位体积所具有的质量称为密度，用 ρ 表示，单位为 kg/m^3 。

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

式中 m ——流体的质量, 单位为 kg ;

V ——流体的体积, 单位为 m^3 。

同理, 单位体积流体所受的重力称为重度, 用 γ 表示, 单位为 N/m^3 。

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

式中 G ——流体的重力, 单位为 N 。

根据牛顿第二定律 $G = mg$, 则流体的重度和密度有如下的关系

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

式中 g ——重力加速度, 通常取 $g = 9.80\text{m/s}^2$ 。

流体的密度和重度随外界压力和温度而变化, 即同一流体的密度和重度不是一个固定值。在实际工程中, 液体的密度和重度随温度和压力的变化而变化的数值不大, 可视为固定值, 而气体的密度和重度随温度和压力的变化较大, 不能视为固定值, 其变化规律可按气体状态方程来计算。

在建筑设备中, 涉及的流体主要是水、干空气、汞等, 其密度和重度见表 1-1。

表 1-1 几种常见物质的密度和重度

物 质	密度/(kg/m^3)	重度/(N/m^3)	备 注
水	1000	9800	4℃及 1 个标准大气压
水银 (汞)	13600	133280	0℃及 1 个标准大气压
干空气	1.2	11.80	20℃及 1 个标准大气压

注: 1 标准大气压 = $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

水和空气在一个标准大气压下的密度和重度, 见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 一个标准大气压下水的密度和重度

温度 /℃	密度/ (kg/m^3)	重度/ (N/m^3)	温度 /℃	密度/ (kg/m^3)	重度/ (N/m^3)	温度 /℃	密度/ (kg/m^3)	重度/ (N/m^3)
0	999.87	9805	10	999.73	9804	60	983.24	9642
2	999.97	9806	20	998.23	9789	70	977.81	9589
4	1000.00	9807	30	995.67	9764	80	971.83	9530
6	999.97	9806	40	992.24	9731	90	965.34	9467
8	999.88	9805	50	998.07	9690	100	958.38	9399

表 1-3 一个标准大气压下空气的密度和重度

温度 /℃	密度/ (kg/m^3)	重度/ (N/m^3)	温度 /℃	密度/ (kg/m^3)	重度/ (N/m^3)	温度 /℃	密度/ (kg/m^3)	重度/ (N/m^3)
0	1.293	12.70	10	1.248	12.24	20	1.205	11.80
5	1.270	12.47	15	1.226	12.02	25	1.185	11.62

(续)

温度 /°C	密度/ (kg/m ³)	重度/ (N/m ³)	温度 /°C	密度/ (kg/m ³)	重度/ (N/m ³)	温度 /°C	密度/ (kg/m ³)	重度/ (N/m ³)
30	1.165	11.43	50	1.093	10.72	80	1.000	9.81
35	1.146	11.23	60	1.060	10.40	90	0.973	9.55
40	1.128	11.07	70	1.029	10.10	100	0.947	9.30

1.1.2 流体的粘性

一切实际流体都是有粘性的，这也是流体的典型特征。流体的粘性是在流动中呈现出来的，不同流体的流动性能不同，这主要是因为流体内部质点间相对运动时存在不同的内摩擦力，阻碍流体质点间的相对运动。流体由静止到开始流动，是一个流体内部产生剪切力，形成剪切变形，以使静止状态受到破坏的过程。这种表明流体流动时产生内摩擦力阻碍流体质点或流层间相对运动的特性称为粘性，内摩擦力称为粘滞力。

粘性是流体阻止其发生剪切变形的一种特性，流体的粘性越大，其流动性越小。

当相邻的流体层有相对移动时，各层之间因具有粘性而产生摩擦力。摩擦力使流体摩擦而生热，流体的机械能部分地转化为热能而损失掉。所以，运动流体的机械能总是沿程减少的。

为了说明流体的粘性，先观察流体的流动，如图 1-1 所示。设有上、下两块面积很大且相距很近的平行平板，板间充满某种静止液体。将下板固定，对上板施加一个恒定的外力，上板以恒速 u 沿水平方向运动。若 u 较小，则两板间的液体就会分成无数平行的薄层而运动。上板底面下的一薄层流体以速度 u 随上板运动，各层液体的速度依次降低，紧贴在下板表面的一层液体速度为零，流速的分布呈直线。将它们的流速矢量顶点连接起来，即成为流速分布曲线。

平行平板间的流体，流速分布呈直线，而流体在圆管内流动时，速度分布呈抛物线形，如图 1-2 所示。当流体在圆管中缓慢流动时，紧贴管壁的流体质点粘附在管壁上，流速为零，而位于管轴心线上的流体质点流速最大。在介乎其间的流体质点具有不同的流速，将它们的流速矢量顶点连接起来，即成为流速分布曲线。

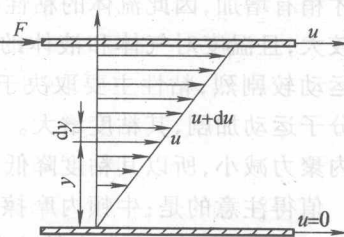


图 1-1 平板间液体速度变化

牛顿在总结实验的基础上,提出了流体内摩擦力假说——牛顿内摩擦定律,其数学表达式可写为

$$F_{\text{内}} = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

单位面积上的内摩擦力称为切应力,以 τ 表示,单位为 Pa。

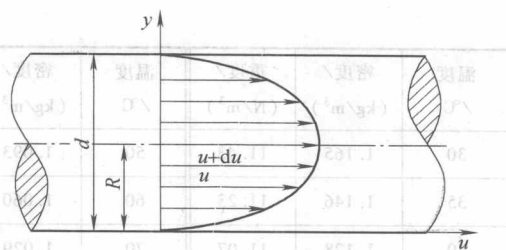


图 1-2 液体在圆管内的速度变化

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

上两式中 $F_{\text{内}}$ ——内摩擦力,单位为 N;

τ ——切应力,或称单位面积的内摩擦力,单位为 N/m^2 , Pa;

μ ——流体动力粘度,单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 或 $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$;

$\frac{du}{dy}$ ——流速梯度,速度沿垂直于流速方向的变化率,单位为 s^{-1} 。

式(1-4)中的流体动力粘度 μ 表示流体粘性的大小,它决定于流体的种类和温度,通常也称为粘度或动力粘度。流体粘性除用动力粘度 μ 表示外,还常用运动粘度 ν 表示,单位为 m^2/s 。液体的运动粘度列于表 1-4。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-6)$$

表 1-4 几种液体的运动粘度

液体名称	温度/℃	$\nu/(\text{cm}^2/\text{s})$	液体名称	温度/℃	$\nu/(\text{cm}^2/\text{s})$
汽油	18	0.0065	石油	18	0.2500
酒精	18	0.0133	重油	18	1.4000
煤油	18	0.0250	甘油	20	8.7000

运动粘度更能说明流体流动的难易程度。运动粘度越大,反映流体质点相互牵制的作用越明显,流动性能越差。压强对流体粘度基本无影响,仅在高压系统中才稍有增加,因此流体的粘性与压强的大小几乎无关。但温度对流体粘性的影响较大,且温度对气体和液体的粘性影响情况不相同。气体分子内聚力较小,分子运动较剧烈,粘性主要取决于流层间分子的动量交换,所以,当温度升高时,气体分子运动加剧,其粘度增大。液体的情况则与此相反,当温度升高时,液体分子的内聚力减小,所以其粘度降低。

值得注意的是:牛顿内摩擦定律只适用于部分流体,对于某些特殊流体是不适用的。把符合牛顿内摩擦定律的流体称为牛顿流体,不符合的称为非牛顿流体,如泥浆、血浆、油漆和颜料等。本书研究的主要是牛顿流体。

1.1.3 流体的压缩性和热膨胀性

当流体受压,体积缩小、密度增大的性质称为流体的压缩性。流体受热,体积膨胀、密度减小的性质称为流体的膨胀性(也称热胀性)。液体和气体的压缩性和膨胀性是有所区别的。

液体的压缩性和膨胀性都很小。在实际工程中可认为液体是不可压缩流体。而液体随着温度的升高体积膨胀的现象较为明显,所以认为液体具有膨胀性。但是水的膨胀性比较特殊,当水温在 $0 \sim 4^{\circ}\text{C}$ 时,水的体积随温度的降低而增大,密度和重度相应减小。气体和液体不同,具有显著的压缩性和膨胀性,即气体的体积随压强和温度的变化较大,因而其密度和重度也有较大的变化,气体是很容易被压缩或膨胀的。有少数气体的压强和温度不变或变化很小时,气体的密度和重度可以视为常数,此种气体称为不可压缩气体。

流体的膨胀性的大小用热膨胀系数 α ($1/\text{K}$ 或 $1/^{\circ}\text{C}$) 来表示,热膨胀系数表示单位温度所引起的体积相对变化量,即

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \frac{dV}{dT} \quad (1-7)$$

式中 V_0 ——初温度 T_0 (K) 时的流体体积,单位为 m^3 ;

T ——温度,单位为 K 或 $^{\circ}\text{C}$ 。

流体压缩性的大小一般用压缩系数 β (单位为 Pa^{-1}) 来表示。压缩系数是指单位压强所引起的体积相对变化量。

$$\beta = - \frac{1}{V_0} \frac{dV}{dp} \quad (1-8)$$

式中 V_0 ——受压缩前流体体积,单位为 m^3 ;

V ——流体的体积,单位为 m^3 ;

p ——流体的压强,单位为 Pa 。

式(1-8)中等号右边的负号,表示 dV 与 dp 的变化相反。

液体分子之间的间隙小,在很大的外力作用下,其体积只有极微小的变化。水从一个大气压增加到一百个大气压时,每增加一个大气压,水的密度只增加两千分之一;水的温度在 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 时,温度每增加 1°C ,水的密度减小还不到万分之二;当水的温度在 $90 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 时,温度每增加 1°C ,水的密度减小也只有万分之七。因此,水的压缩性和热膨胀性是很小的,一般计算时可看成是不可压缩流体。在建筑设备工程中,一般计算均不考虑液体的压缩性和热膨胀性,即我们研究的主要对象是不可压缩流体。

从流体的分子结构来看,气体分子之间的间隙大,分子之间的引力很小,气体的体积随压强和温度的变化是非常明显的,故称为可压缩流体,若在一定容器内

气体的质量不变,则两个稳定状态之间的参数关系可由理想气体状态方程确定

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (1-9)$$

式中 p_1 、 V_1 和 T_1 ——气体状态变化前的压强、体积和热力学温度;

p_2 、 V_2 和 T_2 ——气体状态变化后的压强、体积和热力学温度。

1.1.4 流体的惯性

流体和其他物体一样,具有惯性。流体具有的反抗改变其原有运动状态的物理特性称为惯性。惯性是物体保持原有运动状态的性质。运动状态的任何改变,都必须克服惯性的作用。质量是衡量惯性的唯一尺度。质量越大,惯性越大,运动状态越难改变。

1.1.5 表面张力

表面张力是自由表面上液体分子受两侧分子引力不平衡,使液体分子受有极其微小的拉力,这种拉力称为表面张力。液体表面,包括液体与其他流体或固体的接触表面。表面张力是由液体分子的内聚力引起的,发生在曲面上,液体表面的曲率越大,表面张力就越大。气体分子由于具有扩散作用,不存在自由表面,故气体不存在表面张力。

将细玻璃管竖立在液体中,由于表面张力的作用,液体就会在细管中上升或下降,称此为毛细管现象。在工程实际中,有时需要消除测量仪器中因毛细管现象所造成的误差。

在水流实验中,经常用盛有水或水银的细玻璃管作测压管,就要消除毛细管现象。故测量压强的玻璃管内径不宜太小,否则会造成很大的误差。

水的毛细升高,所造成的误差是正的;水银的毛细降低,所造成的误差是负的,如图 1-3 所示。

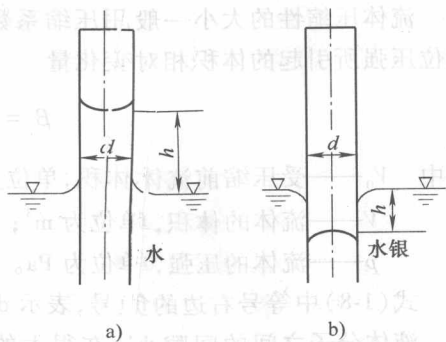


图 1-3 毛细管现象

$$\text{水的毛细升高} \quad h = \frac{30}{d} \quad (1-10)$$

$$\text{水银的毛细降低} \quad h = \frac{10.15}{d} \quad (1-11)$$

式中 h ——毛细升高,单位为 mm;

d ——玻璃管内径,单位为 mm;

管的内径越小,毛细管升高或下降值越大。

1.1.6 作用于流体上的力

作用于流体上的力包括质量力和表面力两大类。

1. 质量力

质量力是指通过所研究流体的每一部分质量而作用于流体的力,其大小与流体的质量成正比。常见的质量力有重力和各种惯性力(如直线加速运动时的直线惯性力和圆周运动时的离心力等)。质量力的单位为牛顿(N)。

质量力除用总作用力度量外,常用单位质量力来表示。作用在单位质量流体上的质量力称单位质量力。

若质量为 m 的均质流体,总质量力为 F ,则单位质量力 f 为

$$f = \frac{F}{m} \quad (1-12)$$

设总质量力 F 在空间坐标上的投影分别为 F_x 、 F_y 、 F_z ,则单位质量力 f 在相应坐标轴上的投影为 f_x 、 f_y 、 f_z ,即

$$f_x = \frac{F_x}{m}, f_y = \frac{F_y}{m}, f_z = \frac{F_z}{m} \quad (1-13)$$

当液体所受的质量力只有重力时,重力 $G = mg$ 在直角坐标系的三个轴向分量分别为 $G_x = 0$ 、 $G_y = 0$ 、 $G_z = -mg$,则单位质量重力的轴向分量为

$$f_x = 0, f_y = 0, f_z = -g \quad (1-14)$$

2. 表面力

表面力是指作用在流体表面上的力,其大小与受力表面的面积成正比。例如,固体边界对流体的摩擦力、边界对流体的反作用力、一部分流体对相邻流体产生的压力等。表面力可分解为垂直于作用面的压力和沿作用面方向的剪切力。表面力的单位为牛顿。与作用面垂直的称为压应力或压强;与作用面平行方向的称为切应力。

流体处于静止状态时,不存在粘性力引起的内摩擦力(切向力为零),表面力只有法向压力。对于理想流体,无论是静止或处于运动状态,都不存在内摩擦力,表面力只有法向压力。

1.2 流体静压强及其分布规律

流体质点间没有相对运动,认为流体处于静止状态或相对静止状态(统称为平衡状态)。当流体处于平衡状态时,流体各质点之间均不产生相对运动。因而流体的粘滞性不起作用,流体只受重力和法向压力。

1.2.1 流体静压强

液体和固体一样,由于自重而产生压力。但流体和固体不同,因为流体具有流动性,流体对任何方向的接触面都显示压力。流体对容器壁面、液体内部之间都存在压力。

在静止或相对静止的流体中,单位面积上的内法向表面力称为静压强。在静水中取一表面积为 A 的水体,设周围水体对 A 表面上某一微小面积 ΔS 产生的作用力为 ΔP ,则该微小面积上的平均压强为

$$\bar{p} = \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (1-15)$$

当 ΔS 无限缩小到 a 点时,比值趋于某一极限值,该极限值为 a 点的静压强,以 p 表示

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow a} \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (1-16)$$

1.2.2 流体静压强的特性

流体静压强有两个重要特性:

特性一:流体静压强永远垂直于作用面,并指向该作用面的内法线方向即垂直性。

特性一表明静压强的方向总是和受压面垂直,并且只能是压力,不能是拉力。这一特性可用反证法证明。在平衡状态液体中,取出某一体积的液体,现假设作用在这一部分液体表面上的流体静压强的方向不是垂直于该作用面的。此时将该压强分解为垂直于作用面和平行于作用面的两个力。后者即为剪切摩擦力,这表明流体存在相对运动,与静止或平衡的约束条件相矛盾。故流体的静压强只能是垂直并指向受压面。

特性二:静止流体中任一点的静压强只有一个值,与作用面的方向无关,即任意点处各方向的静压强均相等,即各向等值性。

1.2.3 流体静压强的分布

1. 分界面、自由表面和等压面

两种密度不同且互不混合液体之间的接触面为分界面;液面和气体的交界面称为自由表面。流体中由压强相等的各点组成的面叫做等压面。静止流体在重力作用下,分界面和自由表面既是等压面,又是水平面,这一规律只适于满足同种、静止和连续三个条件的流体。

等压面具有两个重要性质:一是在平衡液体中等压面即等势面;二是等压面

与质量力正交。只有重力作用下的静止液体,其等压面必然是水平面。

敞口容器内静止液体中任一水平面均为等压面,液体的自由表面上所受的压强相同,为大气压强。若在连通器内,相联通的同一种液体在同高度上的压强相等。相联通的液体可以是在此水平面之下或之上。如图 1-4 中 1-1 面、4-4 面不是等压面。

2. 静压强的分布规律

在静止的流体内部中任取一圆柱体作为隔离体,研究其底面的静压强,如图 1-5 所示。已知圆柱体的高度为 h , 断面面积为 ΔA , 其上表面与自由表面重合,所受压强为 p_0 。在圆柱体侧面上的静水压力方向与轴向垂直,而且对称,故相互平衡,则圆柱体轴向的作用力有三个:上表面压力 $P_0 = p_0 \Delta A$, 方向垂直向下;下表面压力 $P = p \Delta A$, 方向垂直向上;圆柱体的重力 $G = \rho g h \Delta A$, 方向垂直向下。

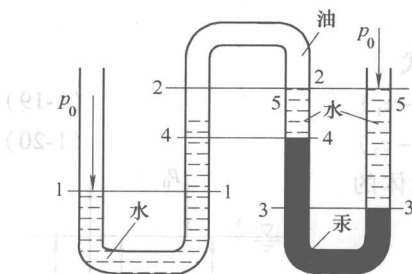


图 1-4 等压面与水平面

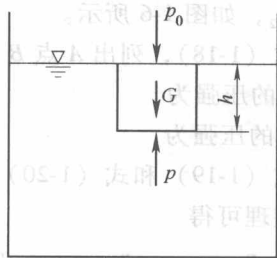


图 1-5 静止液体中的小圆柱体

根据圆柱体静止状态的平衡条件,令方向向上为正,向下为负,则可得圆柱体轴向的力的平衡方程,即

$$p \Delta A - \rho g h \Delta A - p_0 \Delta A = 0 \quad (1-17)$$

即

$$p = p_0 + \rho g h = p_0 + \gamma h \quad (1-18)$$

式中 p ——静止流体中任一点的压强,单位为 N/m^2 ;

p_0 ——液体表面压强,单位为 N/m^2 ;

γ ——液体的重度,单位为 N/m^2 ;

h ——所研究的点在液面下的深度,单位为 m 。

式(1-18)是静水压强基本方程式。式中 γ 和 p_0 都是常数。该方程表达了只有重力作用时流体静压强的分布规律。由式(1-18)说明流体的静压强与深度成直线分布规律,且流体中某点静压由两部分组成,即液面上的压强 p_0 和由单位断面液柱自重引起的压强 γh 。式(1-18)还说明流体内任一点的静压强都包含液面上的压强 p_0 , 因此,液面压强若有任何增量,都会使其内部各处的压强有同样的增量,即 $(p_B + \Delta p) = (p_0 + \Delta p) + \gamma h$, 这称为液面压强等值地在液体内部传递的原理,即帕斯卡原理。