



普通高等教育“十二五”规划教材

建筑设备工程

主 编 刘 妍 黄向阳
副主编 马红艳 刘方亮 牛铮铮



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

建筑设备工程

主 编 刘 妍 黄向阳
副主编 马红艳 刘方亮 牛铮铮



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了建筑中的给水(包括热水)、排水、供暖、通风、空调、建筑电气基本知识、供配电系统、电气照明、有线电视、火灾自动报警、智能建筑与综合布线、建筑防雷与接地等系统和设备的基础理论知识和基本概念方法,还涉及国内外在建筑设备技术方面的最新发展,以及设备在建筑中的设置和应用情况。本书注重理论联系实际,强调建筑设备工程设计和施工的密切结合,通过工程实例介绍了最新的规范、技术措施和新技术、新设备等。

本书不仅可以作为应用型普通本科院校建筑学、土木工程、建筑设备工程、建筑工程管理、环境工程等专业的教材或教学参考书,也可供从事建筑工程、市政工程设计、施工、监理等相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备工程 / 刘妍, 黄向阳主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 2
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5084-9430-2

I. ①建… II. ①刘… ②黄… III. ①房屋建筑设备—高等学校—教材 IV. ①TU8

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第010650号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 建筑设备工程
作 者	主编 刘妍 黄向阳 副主编 马红艳 刘方亮 牛铮铮
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 20.25印张 480千字
版 次	2012年2月第1版 2012年2月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

建筑设备是普通本科院校建筑学、土木工程、建筑工程管理等专业的一门工程技术基础课，内容包括给排水、供暖通风与空调、建筑电气等三大部分。学习本课程目的在于掌握建筑设备的基本知识，了解各种建筑设备的工作原理、各种设备系统的特点与选用，掌握建筑设备工程设计与计算的有关知识。

本书结合现代社会经济发展和现代化建设对工程技术人才的要求来编写。在本书的编写过程中，为了解决好教学课时少与课程内容多、新技术多的矛盾，采用了内容相对集中的方法，着重讲解水、暖、电方面的基本知识与设计方法。重要章节后面都有工程设计实例，便于读者理解消化。

本书内容充实、图文并茂、深入浅出、系统性强，注重实践性和实用性，突出现行规范和标准。使用学校可根据自己的教学计划有所侧重，以满足教学要求。

本书第二～六章、第十三章和第十四章由北华航天工业学院刘妍编写，第七章、第十一章、第十六章由长江大学黄向阳编写，第八章、第十章由西南石油大学马红艳编写，第一章、第九章由哈尔滨理工大学刘方亮编写，第十二章、第十五章、第十七章由北华航天工业学院牛铮铮编写。

本书在编写过程中，查阅了大量相关参考书籍和文献资料，也吸收了很多国内外建筑设备方面的新技术、新成果和工程实例等，在此向原作者表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，欢迎广大师生、工程技术人员以及其他读者给予批评指正，以便我们修订和完善。

作 者

2011年10月

目 录

前言

第一章 流体力学基本知识	1
第一节 流体的主要物理性质	1
第二节 流体静力学基础	5
第三节 流体动力学基础	8
思考题	11
第二章 建筑内部给水系统	12
第一节 给水水质和用水定额	12
第二节 给水系统和给水方式	16
第三节 给水管道的布置和敷设	22
第四节 常用的管材、附件和设备	29
第五节 给水管道水力计算简介	38
第六节 高层建筑给水系统特点	45
第七节 施工图中常用的图例、符号	48
第八节 建筑给水系统设计实例	50
思考题	52
第三章 建筑消防给水系统	53
第一节 建筑消防概述	53
第二节 室内消火栓给水系统	56
第三节 自动喷水灭火系统	65
第四节 其他固定灭火设施简介	71
第五节 施工图中常用的图例、符号	73
思考题	74
第四章 建筑内部排水系统	75
第一节 排水系统的分类和污水排放条件	75
第二节 建筑内部排水系统	76
第三节 卫生器具及管材	78

第四节	排水管道的布置及敷设	88
第五节	建筑内部排水管道计算简介	91
第六节	屋面雨水排水系统	97
第七节	高层建筑内部排水系统	101
第八节	施工图中常用图例、符号	104
第九节	建筑排水系统设计实例	104
思考题	.....	105
第五章	建筑内部热水与饮水供应系统	107
第一节	建筑内部热水供应系统的分类和组成	107
第二节	建筑内部热水加热方式与供应方式	109
第三节	建筑内部热水供应系统的布置及敷设	112
第四节	高层建筑热水供应系统	114
第五节	饮水水系统及饮水供应	116
思考题	.....	117
第六章	居住小区给水排水工程	118
第一节	居住小区给水排水工程概述	118
第二节	居住小区给水系统水力计算简介	122
第三节	居住小区排水系统水力计算简介	124
第四节	居住小区给排水管道常用管材、配件和附属构筑物	126
思考题	.....	128
第七章	建筑中水工程	129
第一节	建筑中水系统概述	129
第二节	中水水质与水量平衡	132
第三节	建筑中水处理工艺及设施	135
思考题	.....	137
第八章	传热学基本知识	138
第一节	传热的基本概念	138
第二节	传导、对流、辐射传热	138
第三节	传热过程	143
思考题	.....	143
第九章	建筑供暖系统	144
第一节	供暖系统的分类和选择	144
第二节	供暖系统的相关设备及附件	162
第三节	供暖系统设计热负荷	166
第四节	供暖管网的布置和敷设	170
第五节	热水供暖系统水力计算简介	172

第六节	高层建筑供暖系统特点	174
第七节	施工图中常用图例、符号	177
思考题	.....	178
第十章	建筑通风	179
第一节	建筑通风概述	179
第二节	通风系统	180
第三节	全面通风量的确定	183
第四节	通风设备	184
第五节	高层建筑防烟、排烟	189
第六节	施工图中常用图例、符号	191
思考题	.....	194
第十一章	空气调节	195
第一节	空气调节系统概述	195
第二节	室内气流组织	197
第三节	空调系统的消声减振	201
第四节	空气处理设备	203
第五节	常用空调系统简介	205
第六节	施工图中常用图例、符号	209
第七节	建筑节能简介	212
思考题	.....	215
第十二章	电工基本知识	216
第一节	直流电路	216
第二节	单相正弦交流电	223
第三节	三相交流电路	226
第十三章	建筑电气的基本系统	231
第一节	建筑电气的基本作用	231
第二节	建筑电气系统的分类和组成	232
思考题	.....	233
第十四章	供配电系统	234
第一节	电力系统概述	234
第二节	用电负荷计算	235
第三节	常用的电气设备	237
第四节	民用建筑供配电线路	241
第五节	室内电气施工图中常用图例、符号	245
思考题	.....	250
第十五章	电气照明	251
第一节	照明的基本知识	251

第二节	电光源和灯具	255
第三节	照度标准和照明设计	264
第四节	照明供配电系统和电照施工图	269
第五节	照明施工图中常用图例、符号	278
思考题	.....	280
第十六章	建筑弱电系统	281
第一节	有线电视系统	281
第二节	建筑火灾报警与消防联动控制系统	285
第三节	智能建筑与综合布线	289
第四节	施工图中常用图例、符号	295
思考题	.....	298
第十七章	安全用电与建筑防雷	299
第一节	安全用电	299
第二节	保护接地与保护接零	302
第三节	建筑防雷	306
思考题	.....	312
参考文献	.....	313

第一章 流体力学基本知识

流体是液体和气体的总称，是由大量的、不断地作热运动而且无固定平衡位置的分子构成的。流体力学，是研究流体的力学运动规律及其应用的学科，主要研究流体本身的静止、运动状态，以及流体和固体界壁间有相对运动时的相互作用和流动的规律。

在建筑设备工程中，流体力学的应用十分广泛。建筑给排水中，液体在管道内的流动阻力计算、水泵的选型；建筑采暖中，热媒在采暖管道中流动的水力计算；通风、空调房间送、排风管道的尺寸计算；建筑内部消防系统所需水压的计算等，都离不开流体力学的理论支持。

第一节 流体的主要物理性质

流体的机械运动规律既取决于液体的外部因素，也受到流体自身物理性质的影响。

一、流动性

流体内部各质点不断地发生相对运动，这个性质称为流动性。

流动性是流体与固体的最显著的区别。流体没有一定的形状，不能承受拉力，静止时也不能承受剪切力，但流体的抗压能力较强。

二、惯性

物质惯性的大小是用密度来衡量的。对于均质流体，单位体积的质量，称为流体的密度，用符号 ρ 来表示

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

式中 ρ ——均质流体的密度， kg/m^3 ；

m ——流体的质量， kg ；

V ——流体的体积， m^3 。

对于非均质流体，任一点的密度为

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

三、粘滞性

在外力作用下，流体内部质点间或流层间因相对运动，随之产生阻抗相对运动的内摩擦力，这种内摩擦力（内力）具有反抗相对运动的性质，称为粘滞性；内摩擦力称为粘滞力。

（一）牛顿内摩擦定律

如图 1-1 所示，流速分布图反映了流体在流动过程中，各流层流速不同，进而在各

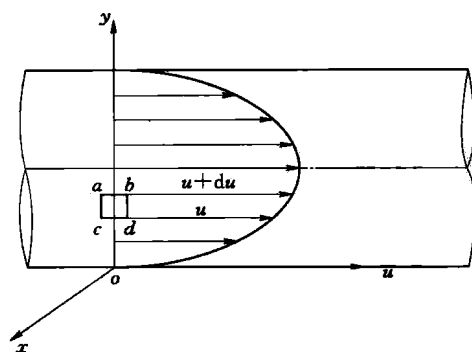


图 1-1 管道中断面流速分布

流层间形成内摩擦力。作用在两个流体层接触面上的内摩擦力总是成对出现的，即大小相等而方向相反，分别作用在相对运动的流层上。速度较大的流体层作用在速度较小的流体层上的内摩擦力 F ，其方向与流体流动方向相同，带动下流层流体向前运动，而速度较小的流体层作用在速度较大的流体层上的内摩擦力 F' ，其方向与流体流动方向相反，阻碍上层流体运动。

图 1-1 中假设某一流层流速大小为 u 。其上一流层由于靠近管轴，流速大小为 $u + du$ 。

根据牛顿（Newton）实验研究的结果得知

$$F \propto A \frac{du}{dy} \quad (1-3)$$

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

式中 F ——流层接触面上的内摩擦力，N；

A ——流层间的接触面积， m^2 ；

du/dy ——垂直于流动方向上的速度梯度， $1/s$ ；

μ ——动力粘度， $Pa \cdot s$ 。

式（1-4）为牛顿内摩擦定律。流层间单位面积上的内摩擦力称为切向应力，即

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

式中 τ ——切向应力， Pa 。

在流体力学中还常使用动力粘度与密度的比值，称为运动粘度或运动粘滞系数。用符号 ν 表示，即

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

式中 ν ——运动粘度， m^2/s ，因次为 $L^2 T^{-1}$ 。

流体粘性随压强和温度的变化而变化。在通常的压强下，压强对流体的粘性影响很小，可忽略不计。在高压下，流体（包括气体和液体）的粘性随压强升高而增大。为了讨论影响流体粘性的因素，表 1-1 给出了水和空气不同温度时的粘度。表中列举的数据指压强为 98kPa（一个标准大气压）时的状况。

表 1-1

水和空气的粘度趋势对比

温度 $T(^{\circ}C)$	水的动力粘度 $\mu(10^{-3} N \cdot s/m^2)$	水的运动粘度 $\nu(10^{-6} m^2/s)$	空气的动力粘度 $\mu(10^{-3} N \cdot s/m^2)$	空气的运动粘度 $\nu(10^{-6} m^2/s)$
0	1.792	1.792	0.0172	13.7
5	1.519	1.519		
10	1.308	1.308	0.0178	14.7

续表

温度 T (°C)	水的动力粘度 $\mu(10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2)$	水的运动粘度 $\nu(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$	空气的动力粘度 $\mu(10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2)$	空气的运动粘度 $\nu(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$
15	1.100	1.141		
20	1.005	1.007	0.0183	15.7
25	0.894	0.897		
30	0.801	0.804	0.0187	16.6
35	0.723	0.727		
40	0.656	0.661	0.0192	17.6
45	0.599	0.605		
50	0.549	0.556	0.0196	18.6
60	0.496	0.477	0.0201	19.6
70	0.406	0.415	0.0204	20.5
80	0.357	0.367	0.0210	21.7
90	0.317	0.328	0.0216	22.9
100	0.284	0.296	0.0218	23.6

从表 1-1 中可看出：流体的粘性受温度的影响很大，而且液体和气体的粘性随温度的变化是不同的。水的粘性随温度升高而减小，空气的粘性随温度升高而增大。造成液体和气体的粘性随温度不同变化的原因是由于构成它们粘性的主要因素不同。

(二) 牛顿体与非牛顿体

牛顿内摩擦定律仅适用于一般性的流体（如水、空气等）。流体的内摩擦力符合牛顿内摩擦定律，称为牛顿体。不遵循牛顿内摩擦定律的流体称为非牛顿体。

四、压缩性和热胀性

在温度不变的条件下，随着压强的增加，流体体积缩小；在压强不变的条件下，随着温度的增高，流体体积膨胀。这是所有流体的共同属性，即流体的压缩性和膨胀性。

(一) 液体的压缩性和热胀性

1. 压缩系数 α_p

液体的压缩性用压缩系数 α_p 来表示

$$\alpha_p = \frac{d\rho/\rho}{dp} = -\frac{dV/V}{dp} \quad (1-7)$$

式中 $d\rho/\rho$ ——密度的增加率；

$-dV/V$ ——压强的减小量。

压缩系数 α_p 的单位为 m^2/N 或 Pa^{-1} 。流体的压缩系数 α_p 越大，则反映其压缩性也越大。

流体的压缩性在工程上常用弹性模量来表示。弹性模量是压缩系数 α_p 的倒数，用 E 来表示，其单位为 Pa 。

$$E = \frac{1}{\alpha_p} \quad (1-8)$$

实验指出,液体的体积压缩系数很小,例如水,当压强在 $(1\sim 490)\times 10^7\text{Pa}$ 、温度在 $0\sim 20^\circ\text{C}$ 的范围内时,水的体积压缩系数仅约为二万分之一,即每增加 10^5Pa ,水的体积相对缩小约为二万分之一。表 1-2 列出了 0°C 水在不同压强下的 α_p 值。

表 1-2 0°C 水在不同压强下的 α_p 值

压强 $p(10^5\text{Pa})$	4.9	9.8	19.6	39.2	78.4
$\alpha_p(10^{-9}\text{m}^2/\text{N})$	0.539	0.537	0.531	0.523	0.515

2. 热胀系数 α_v

液体的热胀性用热胀系数 α_v 来表示

$$\alpha_v = -\frac{d\rho/\rho}{dT} = \frac{dV/V}{dT} \quad (1-9)$$

液体的热胀系数 α_v 单位为 $1/^\circ\text{C}$ 或 $1/\text{K}$ 。它表示当压强不变时,升高一个单位温度所引起流体体积的相对增加量。流体的热胀系数越大,其热胀性就越强。

实验指出,液体的体积膨胀系数很小,例如在 98kPa 下,温度在 $1\sim 10^\circ\text{C}$ 范围内,水的体积膨胀系数 $\alpha_v = 14\times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$; 温度在 $10\sim 20^\circ\text{C}$ 范围内,水的体积膨胀系数 $\alpha_v = 150\times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$ 。在常温下,温度每升高 1°C ,水的体积相对增量仅为万分之一点五;温度较高时,如 $90\sim 100^\circ\text{C}$,也只增加万分之七。其他液体的热膨胀系数也是很小的。

流体的热膨胀系数还取决于压强。对于大多数液体,热膨胀系数随压强的增加稍微减小。水的热胀系数在高于 50°C 时随压强的增加而增大。

在一定压强作用下,水的热胀系数与温度的关系如表 1-3 所示。

表 1-3 水的热胀系数 单位: $1/^\circ\text{C}$

温度 $(^\circ\text{C})$ 压强 (10^5Pa)	1~10	10~20	40~50	60~70	90~100
0.98	14×10^{-6}	150×10^{-6}	422×10^{-6}	556×10^{-6}	719×10^{-6}
98	43×10^{-6}	165×10^{-6}	422×10^{-6}	548×10^{-6}	704×10^{-6}
196	72×10^{-6}	83×10^{-6}	426×10^{-6}	539×10^{-6}	
490	149×10^{-6}	236×10^{-6}	429×10^{-6}	523×10^{-6}	661×10^{-6}
882	229×10^{-6}	289×10^{-6}	437×10^{-6}	514×10^{-6}	621×10^{-6}

(二) 气体的压缩性和热胀性

气体与液体相比,具有显著的压缩性和热胀性。这是由于气体的密度随着温度和压强的改变将发生显著的变化。在温度不过低 ($>253\text{K}$),压强不很高 ($<20\text{MPa}$) 的情况下,其密度与温度和压强的关系可用热力学中的状态方程表示,即

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (1-10)$$

式中 p ——气体的绝对压强, Pa ;

ρ ——气体的密度, kg/m^3 ;

T ——热力学温度, K ;

R ——气体常数, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, 对于空气, $R=8.31/0.029=287\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

根据流体压缩性的定义, 温度不变的条件下, 随着压强的增加, 流体体积缩小。对于气体来说, 温度不变的过程为等温过程, 即 $T=C$ (常数)。则根据理想气体状态方程可知, $RT=C$ (常数)。因此, $\frac{p}{\rho}=C$ (常数) 理想气体状态方程变为

$$\frac{p_1}{\rho_1} = \frac{p_2}{\rho_2} \quad (1-11)$$

式 (1-11) 中下角标 1 表示初状态, 2 表示终状态。在等温过程中, 初始和终了状态的压强均可求解, 从而得出气体压缩后的参数。

同样, 气体热胀性是在压强不变的等压过程中发生的。即压强 $p=C$ (常数), 则 $\frac{p}{R}=C$ (常数), 理想气体状态方程变为

$$\begin{aligned} \rho V &= C(\text{常数}) \\ \rho_1 V_1 &= \rho_2 V_2 \end{aligned} \quad (1-12)$$

式 (1-12) 中下角标 1 表示初状态, 2 表示终状态。在压过程中, 初始和终了状态的密度均可求解, 从而得出气体热胀后的参数。

五、表面张力特性

多相体系中, 相之间存在着界面。习惯上人们仅将气—液, 气—固界面称为表面。通常, 由于环境不同, 处于界面的分子与处于相本体内的分子所受力是不同的。在水内部的一个水分子受到周围水分子的作用力的合力为零, 但在表面的一个水分子却不如此。因上层空间气相分子对它的吸引力小于内部液相分子对它的吸引力, 所以该分子所受合力不等于零, 其合力方向垂直指向液体内部, 结果导致液体表面具有自动缩小的趋势, 这种收缩力称为表面张力。

液体表面张力的大小可用表面张力系数 σ 表示, σ 的单位为 N/m。

由于表面张力的作用, 如果把两端开口的细玻璃管竖在液体中, 液体将在管内上升或下降一定高度, 这种现象称为毛细现象。

表面张力的影响在一般工程中可以忽略, 但在水滴和气泡的形成、液体的雾化、气液两相流的传热与传质的研究中, 是不可忽略的。

第二节 流体静力学基础

流体处于静止 (平衡) 状态时, 质点间没有相对运动, 粘滞力不起作用, 所以流体静力学的中心问题是研究流体静压强的分布规律。

一、流体静压强及其特性

流体静压强指流体处于平衡或相对平衡状态时, 作用在流体上的应力只有法向应力, 而没有切向应力, 此时, 流体作用面上的负的法向应力即为流体静压强, 用符号 p 表示, 单位为 Pa。

如图 1-2 所示, 在静止的均质流体中任意取出一个体积为 V 的分离体, 用一个平面 $ABCD$ 截取该分离体为 I 和 II 两部分。

在截面 $ABCD$ 上任意选取一个封闭的平面 ΔA , 平面 ΔA 的中心为 a 点。把 I 部分去

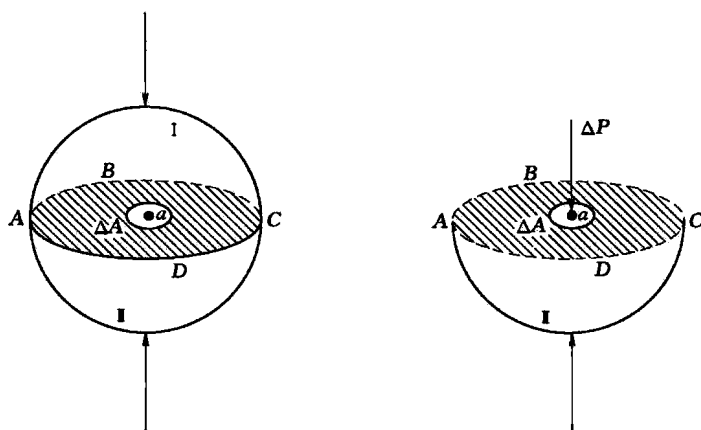


图 1-2 流体的静压强

掉，为了保持原有的平衡，需用一个等效的力代替 I 部分对 II 部分的作用。设 ΔP 为移去的部分作用在面积 ΔA 上的总作用力。则力 ΔP 称为作用在面积 ΔA 上的流体静压力，面积 ΔA 称为流体静压力 ΔP 的作用面积。则该模型中面积 ΔA 上的平均流体静压强表示为

$$p = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-13)$$

作用在 a 点上的流体静压强表示为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow a} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-14)$$

流体静压强具有两个基本特性：流体静压强的方向与作用面相垂直，并指向作用面的内法线方向；静止流体中任意一点流体压强的大小与作用面的方向无关，即任一点上各方向的流体静压强都相同，仅与该点在流体中的位置有关。

二、流体静压强分布规律（水静力学基本方程）

流体静力学基本方程的一种表达形式为：均质静止液体中任意两点的压强等于两点间的深度差乘以密度和重力加速度

$$p_2 = p_1 + \rho g \Delta h \quad (1-15)$$

式 (1-15) 说明，压强随着深度不断增加，而深度增加的方向是静止液体的质量力作用的方向，对于静止液体，质量力只有重力。所以压强增加的方向是质量力（重力）作用的方向。

如图 1-3 所示，假设液面处压强为 p_0 ，液体密度为 ρ ，液面下某点深度为 h ，则根据上面的结论可知，该点处液体静压强大小为

$$p = p_0 + \rho g h \quad (1-16)$$

式中 p ——液体中某点压强，Pa；

p_0 ——液面气体压强，Pa；

ρ ——液体密度， kg/m^3 ；

h ——某点在液面下的深度，m。

式 (1-16) 为液体静力学的基本方程式。表示静止液体中，压强随深度按直线变化

的规律。通过这个规律可以得到三个重要的结论：

(1) 静止液体内部，压强大小与容器形状无关，由液面压强、该点在液面下深度与液体密度和重力加速度决定其大小。

(2) 水平面是等压面。对于同一静止液体而言，深度相同各点压强也相同。深度相同的各点组成的平面为水平面，故水平面是等压面。

(3) 水静压强等值传递的帕斯卡定律。即静止液体任一边界上压强的变化将等值传递到其他各点。

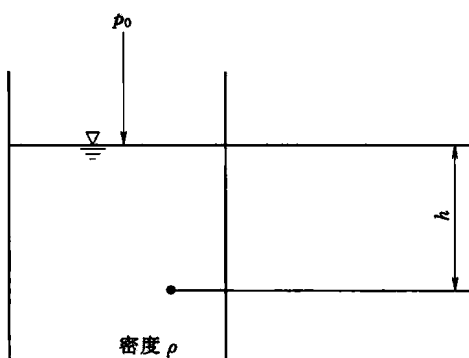


图 1-3 静止容器内某点压强

液体静力学基本方程还可表示成另一种形式

$$z + \frac{p}{\rho g} = C \text{ (常数)} \quad (1-17)$$

如图 1-4 所示， z 表示静止液体内某点位置到基准面的高度，称为位置水头，具有长度单位，是流体质点距离基准面的高度； $\frac{p}{\rho g}$ 称为压强水头，表示液体在该点在压强作用下沿测压管所能上升的高度，也是长度单位； $z + \frac{p}{\rho g}$ 称为测压管水头或静水头，表示测压管液面至相对基准面的高度。

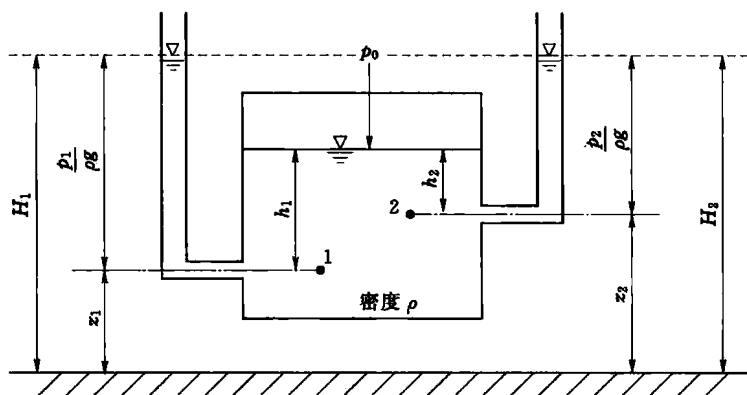


图 1-4 测压管水头

三、压强的表示方法和计量单位

1. 绝对压强与相对压强

以绝对真空为零点计算的压强称为绝对压强，用 p_j 表示。绝对压强是流体的全部压强，讨论流体本身的性质，应用状态方程时都要用到绝对压强。

以大气压强 p_0 为零点计算的压强称为相对压强，用 p_a 表示。

在工程实际中，通常采用相对压强。当绝对压强大于大气压强时，相对压强的正值可用压力表测出，也称表压；当绝对压强小于大气压强时，相对压强为负值，这时流体处于

真空状态, 通常用真空度 p_k 来表示流体的真空程度

$$p_k = p_0 - p_i = -p_a \quad (1-18)$$

2. 压强的计量单位

用单位面积的压力来表示: $\text{N/m}^2 (\text{Pa})$ 或 $\text{kN/m}^2 (\text{kPa})$; 用工程大气压来表示: 1 工程大气压 $= 98 \text{kPa}$; 用液柱高度来表示: mH_2O (米水柱)、 mmHg (毫米汞柱)。

三种压强的关系是: 1 个工程大气压 $\approx 10 \text{mH}_2\text{O} \approx 735.6 \text{mmHg} \approx 98 \text{kN/m}^2 \approx 98000 \text{Pa}$

1 个标准大气压 $= 101.325 \text{kPa} = 760 \text{mmHg}$

第三节 流体动力学基础

一、基本概念

(1) 有压流: 整个封闭横断面被水流充满、无自由水面的流动。即液体在压差作用下流动, 液体周围与固体壁面相接触, 无自由面 (液体与气体接触的表面)。

(2) 无压流: 自由水面上通常仅作用着大气压力的流动。即液体在重力作用下流动, 液体部分与周界固体壁面相接触, 部分与气体接触。

(3) 恒定流: 属于运动平衡的流动, 恒定流流场中各点流速不随时间变化, 由流速决定的参数 (压强、粘性力和惯性力) 也不随时间变化。

(4) 非恒定流: 属于运动不平衡的流动, 非恒定流流场中各点流速随时间变化, 由流速决定的参数 (压强、粘性力和惯性力) 也随时间变化。

(5) 流线: 流体流动的某一时刻, 各点切线方向与通过该点的流体质点的流速方向重合的空间曲线称为流线。即某一瞬时, 流体速度场中与各点的速度矢量相切的曲线。流线分布满整个流场, 通过流场内每一个流体质点都可绘制一条流线。流线切线方向为该点在某时刻的流速方向, 流线的密度则表示流速的大小。流场内流线不相交, 不弯折。见图 1-5。

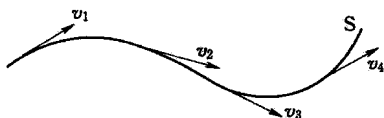


图 1-5 流线

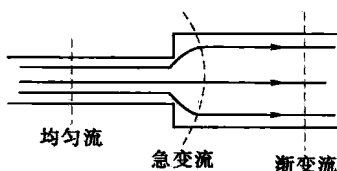


图 1-6 均匀流、急变流和渐变流

(6) 迹线: 流体流动过程中, 同一流体质点在不同时刻形成的轨迹曲线。恒定流中, 流线和迹线重合。

(7) 均匀流: 流场内同一质点流速的大小和方向沿程均不变的流动。均匀流的流线是相互平行的直线。均匀流的过流断面为平面。

(8) 非均匀流: 流场内同一质点流速的大小或方向沿程发生变化的流动。非均匀流又分为急变流和渐变流, 见图 1-6。

(9) 急变流: 流线曲率较大或流线间夹角较大、流速沿程变化较急剧的流动。

(10) 渐变流: 流线曲率很小、流速沿程变化平缓, 且流线间近乎平行的流动。渐变

流的流线近似于平行直线，流速沿流向变化所形成的惯性力小，其过流断面可认为是平面。

(11) 过流断面：流体运动时与流体的运动方向垂直的流体横断面，以 A 表示。过流断面可能是平面也可能是曲面。

(12) 体积流量：单位时间内通过过流断面的流体体积称为体积流量，以 Q 表示。其单位为 m^3/s 、 m^3/h 等。

(13) 断面平均流速

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1-19)$$

二、连续性方程

连续性方程是质量守恒定律在流体力学中的应用。如图 1-7 所示，在一定时间内，流出的流体质量等于流入的流体质量（流体是连续的、不可压缩的介质）。

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_2 \\ v_1 A_1 &= v_2 A_2 \end{aligned} \quad (1-20)$$

式中 Q_1 ——过流断面 1 对应的体积流量；

v_1 ——过流断面 1 的平均流速；

Q_2 ——过流断面 2 对应的体积流量；

v_2 ——过流断面 2 的平均流速。

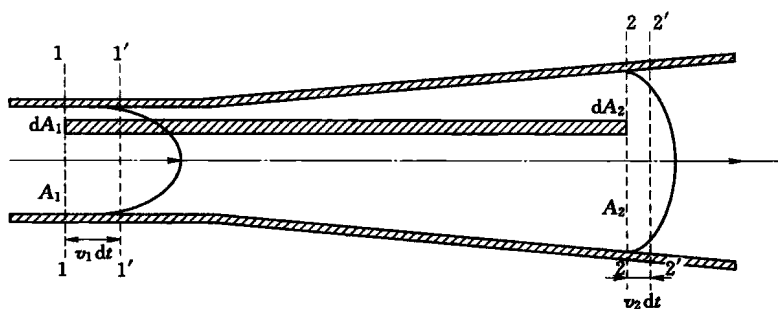


图 1-7 连续性方程的原理

三、恒定流能量方程

恒定流能量方程反映了恒定流动中，任意两个渐变流过流断面上的能量关系

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{11-2} \quad (1-21)$$

$$H_1 = H_2 + h_{11-2} \quad (1-22)$$

式中 z_1 、 z_2 ——过流断面上同一流线上的两个计算点相对于基准面的高程，又称为位置水头；

p_1 、 p_2 ——对应 z_1 、 z_2 点的压强（同为绝对压强或同为相对压强）；

$\frac{p}{\rho g}$ ——压强水头；