



机械工业出版社高职高专土建类“十二五”规划教材

BUILDING

建筑设备工程



第2版

吴根树 主编

- ✓ 适应相关行业岗位考证，有利就业
- ✓ 既有必要的基础理论，又有实训操作内容
- ✓ 与新技术、新规范同步
- ✓ 强化识图、加强技能培训



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

免费提供
电子教案

机械工业出版社高职高专
土建类“十二五”规划教材

建筑设备工程

第2版

主 编 吴根树
副主编 张学著 杜成仁
参 编 (以姓氏笔画为序)
于 薇 朱春英
张艳梅 国向云
主 审 邵宗义



机械工业出版社

本书共 17 章, 内容包括: 流体力学基本知识、建筑内部给水系统、建筑消防给水系统、建筑内部排水系统、建筑热水供应与饮水供应、居住小区给水排水工程、建筑中水工程、传热学基本知识、建筑供暖系统、建筑通风、空气调节、电工基本知识、建筑电气基本系统、供配电系统、电气照明、建筑弱电系统、安全用电与建筑防雷等。

本书可作为高职高专院校土建类专业及其他成人高校相应专业的教材, 也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑设备工程/吴根树主编. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2008. 1

机械工业出版社高职高专土建类“十二五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 44687 - 3

I. 建… II. 吴… III. 房屋建筑设备 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 010664 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: 张荣荣

责任编辑: 张荣荣 责任校对: 陈秀丽

封面设计: 张 静 责任印制: 张 楠

北京京丰印刷厂印刷

2014 年 1 月第 2 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 23.25 印张 · 571 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 44687 - 3

定价: 45.00 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

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版序

近年来,随着国家经济建设的迅速发展,建设工程的发展规模不断扩大,建设速度不断加快,对具备高等职业技能的建筑类人才需求也随之不断加大。2008年,我们通过深入调查,组织了全国三十余所高职高专院校的一批优秀教师,编写出版了本套教材。

本套教材以《高等职业教育土建类专业教育标准和培养方案》为纲,编写中注重培养学生的实践能力,基础理论贯彻“实用为主、必需和够用为度”的原则,基本知识采用广而不深、点到为止的编写方法,基本技能贯穿教学的始终。在教材的编写过程中,力求文字叙述简明扼要、通俗易懂。本套教材结合了专业建设、课程建设和教学改革成果,在广泛的调查和研讨的基础上进行规划和编写,在编写中紧密结合职业要求,力争能满足高职高专教学需要并推动高职高专土建类专业的教材建设。

本套教材出版后,经过四年的教学实践和行业的迅速发展,吸收了广大师生、读者的反馈意见,并按照国家最新颁布的标准、规范进行了修订。第2版教材强调理论与实践的紧密结合,突出职业特色,实用性、实操性强,重点突出,通俗易懂,配备了教学课件,适于高职高专院校、成人高校及二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校的土建类专业使用,也可作为相关从业人员的培训教材。

由于时间仓促,也限于我们的水平,书中疏漏甚至错误之处在所难免,殷切希望能得到专家和广大读者的指正,以便修改和完善。

本教材编审委员会

前 言

本教材内容以室内和建筑（或居住小区）红线内的设施和管网系统为主。从培养生产第一线应用型人才的角度出发，在内容选取、章节编排和文字阐述上力求做到：基本理论简明扼要、深入浅出，注重理论联系实际，重点突出建筑设备工程实用技术，适当介绍国内外建筑设备工程的新技术、新工艺、新材料和新设备。书中名词术语和技术参数符合国家规范标准，并采用法定计量单位。本书可作为普通高校建筑工程专业和相关专业教学用书，也可供工程技术人员参考。

全书共计 17 章，内容包括建筑给水排水、供暖、通风及空气调节、建筑电气等设备工程的基本内容及其与建筑物的关系。还编写了流体力学、传热学及电工基本知识部分。

参加本书编写的人员有吴根树（绪论、第 2、3、4、6 章）、张艳梅（第 1、5、17 章）、国向云（第 7、15 章）、杜成仁（第 8、10 章）、朱春英 [第 9 章（不含第 9 节）、第 12 章]、于薇（第 11、16 章）、张学著（第 13、14 章、第 9 章第 9 节）。全书由吴根树统稿。

本书由北京建筑工程学院邵宗义教授主审。他严格把关、精心审阅，对提高书稿质量帮助极大，在此表示衷心感谢。本书在编写过程中得到了许多同志的大力支持与协助，同时参考了国内外著名学者的著作，在此表示深深的谢意。

本书虽经反复讨论修改，但因编者学识有限，难免有疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第2版序	
前言	
绪论	1
第1章 流体力学基本知识	2
1.1 流体的主要物理性质	2
1.2 流体静力学基础	5
1.3 流体动力学基础	8
1.4 流动阻力与能量损失的基本概念	10
思考题与习题	12
第2章 建筑内部给水系统	13
2.1 给水水质和用水定额	13
2.2 给水系统和给水方式	17
2.3 给水管道的布置和敷设	23
2.4 常用管材、附件和设备	30
2.5 给水管道水力计算简介	38
2.6 高层建筑给水系统特点	45
2.7 施工图中常用图例、符号	48
思考题与习题	50
第3章 建筑消防给水系统	51
3.1 消火栓给水系统	51
3.2 自动喷水灭火系统	61
3.3 其他固定灭火设施简介	68
3.4 高层建筑消防给水系统	70
3.5 施工图中常用图例、符号	71
思考题与习题	72
第4章 建筑内部排水系统	73
4.1 排水系统的分类和污水排放条件	73
4.2 建筑内部排水系统的组成	75
4.3 卫生器具及管材	76
4.4 排水管道的布置和敷设	87
4.5 排水管道计算简介	90
4.6 屋面雨水排水系统	94
4.7 高层建筑排水系统的特点	97
4.8 施工图中常用图例、符号	100
思考题与习题	100
第5章 建筑热水供应与饮水供应	101
5.1 热水供应系统的分类和组成	101
5.2 热水的加热方式和供应方式	102
5.3 热水管网的布置及敷设	114
5.4 高层建筑热水供应系统	117
5.5 饮水系统及制备方法	119
5.6 饮水供应	119
思考题与习题	121
第6章 居住小区给水排水工程	122
6.1 居住小区给水排水工程概述	122
6.2 居住小区给水系统水力计算简介	125
6.3 居住小区排水系统水力计算简介	127
6.4 常用管材、配件和附属构筑物	129
思考题与习题	131
第7章 建筑中水工程	132
7.1 建筑中水系统概述	132
7.2 中水水质与水量平衡	135
7.3 建筑中水处理工艺及设施	136
思考题与习题	138
第8章 传热学基本知识	139
8.1 传热的基本概念	139
8.2 传导、对流、辐射传热	140
8.3 传热过程	148
思考题与习题	149
第9章 建筑供暖系统	150
9.1 供暖系统设计热负荷	150
9.2 供暖系统的散热设备	156
9.3 供暖系统的分类和组成	162

9.4 供暖管网的布置和敷设	169	组成	273
9.5 常用管材、附件及设备	171	思考题与习题	278
9.6 热水供暖系统水力计算简介	178	第 14 章 供配电系统	279
9.7 高层建筑供暖系统特点	179	14.1 电力系统概述	279
9.8 施工图中常用图例、符号	183	14.2 用电负荷的计算简介	280
9.9 低温热水地面辐射供暖	188	14.3 常用低压电气设备	282
思考题与习题	196	14.4 民用建筑供配电线路	287
第 10 章 建筑通风	197	14.5 施工图中常用图例、符号	291
10.1 建筑通风概述	197	思考题与习题	298
10.2 通风方式的分类和组成	197	第 15 章 电气照明	299
10.3 通风量的确定	205	15.1 照明的基本知识	299
10.4 通风设备	209	15.2 电光源和灯具	301
10.5 高层建筑防烟、排烟	218	15.3 人工照明标准和照明设计	312
10.6 施工图中常用图例、符号	224	15.4 照明供配电系统和电照 平面图	318
思考题与习题	228	15.5 施工图中常用图例、符号	323
第 11 章 空气调节	229	思考题与习题	325
11.1 空气调节系统概述	229	第 16 章 建筑弱电系统	326
11.2 室内气流组织	232	16.1 有线电视系统	326
11.3 空气处理和消声减振	238	16.2 火灾自动报警系统	330
11.4 冷热源设备	246	16.3 智能建筑与综合布线	336
11.5 常用的几种空调系统简介	250	16.4 施工图中常用图例、符号	343
11.6 施工图中常用图例、符号	256	思考题与习题	343
11.7 建筑节能简介	258	第 17 章 安全用电与建筑防雷	344
思考题与习题	263	17.1 安全用电	344
第 12 章 电工基本知识	264	17.2 保护接地与保护接零	347
12.1 直流电路	264	17.3 建筑防雷	353
12.2 正弦交流电的基本物理量	266	思考题与习题	356
12.3 三相电路	268	附录	358
第 13 章 建筑基本电气系统	272	参考文献	362
13.1 建筑电气系统的基本作用	272		
13.2 建筑电气系统的分类和 组成	273		

绪 论

近年来,我国大、中城市扩展建设了各种社区和高新技术产业开发区,小城镇建设更是日新月异。各式各样的建筑风格迥异,使用功能增多,装备水平不断提高。为了满足生活和工作上的需要,为用户提供卫生、舒适、安全的生活、工作环境,在建筑物内普遍设置了完善的给水、排水、供暖、通风、空调、供电、电视、电话、火灾自动报警、燃气、保安等设备系统。这些设备系统统称为建筑设备,它们在现代建筑中具有重要的地位。

建筑设备是现代建筑不可缺少的有机组成部分,现代建筑的各种管道及电缆线路遍布各处。同时建筑设备各学科之间与建筑、结构设计及施工方法之间,都存在着相互协调的关系。在使用功能和设备配置方面,彼此相互影响。建筑设备是为使用而服务的,建筑设备对建筑也同时会提出许多要求。如:机房配置、尺寸和结构尺寸要求;管道穿越楼板、墙、基础的要求;对管道保温、隔热、防腐要求;对噪声及吸噪要求;对排水及防漏要求;对防火、防烟、防爆要求;建筑照明、送风、回风、新风管道与装饰的关系等。所有这些需相互配合的问题,相关各专业均应从建筑物总体最佳社会效益和经济效益出发,反复协商,妥善解决。此外,建筑设备运行中的节能、管理也是十分重要的。因此,对于建筑业而言,《建筑设备工程》课程是十分重要的。

近代科学技术的发展,各门学科之间是相互渗透和相互影响的,我国建筑设备工程技术也不例外,由于受到多门学科发展的影响而迅速发展。例如,智能建筑是现代信息处理技术与建筑艺术相结合的产物;塑料工业与安装技术的迅速发展,改变了传统的给水与供热模式。随着新材料、新技术、新工艺的不断涌现,我国建筑设备正朝着体积小、重量轻、能耗少、效率高、噪声低、功能多、造型新颖等多方面发展。其发展趋势归结为如下几个方面:

1. 时尚性

所谓时尚性,是指随着时间的推移会产生观点的不断更新,随着科学技术的发展会产生产品的优胜劣汰。

2. 节能环保

建筑设备是否先进,不仅是安全、适用、美观,还要看是否高效、节能和对环境会不会造成污染。能耗大和污染重的被淘汰,由新兴绿色产品替代。

3. 多学科综合性

现代建筑设备,涉及到所有与建筑本身有密切关系的机电和信息设备,种类繁多,功能丰富,技术含量高,智能化设备将得到迅速发展。

《建筑设备工程》是一门专业技术课,学习本课程的目的,在于掌握建筑设备工程技术的基本知识,领会基本原理,培养综合考虑和合理处理各种建筑设备与建筑主体之间关系的能力,从而做出适用、经济合理的决定,提高建筑整体使用价值,为改善人们的工作和生活环境做出更大贡献。

第1章 流体力学基本知识

本章要点

本章主要讲述流体的主要特征及主要物理性质；流体静压强的概念、单位、单位间的换算及其计算方法；流体动力学的基本概念及流体运动的类型。

物质在自然界中通常按存在状态的不同分为固体（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，被统称为流体，它们具有和固体截然不同的力学性质。研究流体处于静止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，它是力学的一个分支。

1.1 流体的主要物理性质

流体中由于各质点之间的内聚力极小，不能承受拉力，静止流体也不能承受剪切力，所以流体具有较大的流动性，且不能形成固定的形状。但流体在密闭状态下却能承受较大的压力。充分认识以上所说流体的基本特征，深刻研究流体处于静止或运动状态的力学规律，才能很好地把水、空气或其他流体按人们的意愿进行输送和利用，为人们日常生活和生产服务。

1.1.1 流体的密度

流体和其他固体物质一样都具有惯性，即物体维持其原有运动状态的特性。物质惯性的大小是用质量来度量的，质量大的物体，其惯性也大。对于均质流体，单位体积的质量称为流体的密度，即

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

式中 ρ ——流体的密度 (kg/m^3)；

m ——流体的质量 (kg)；

V ——流体的体积 (m^3)。

对于均质流体，单位体积的流体所受的重力称为流体的重力密度，简称重度，即

$$\gamma = G/V \quad (1-2)$$

式中 γ ——重度， $\gamma = \rho g$ (N/m^3)；

G ——流体所受的重力， $G = mg$ (N)；

V ——流体的体积 (m^3)。

因此

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

式中 g ——重力加速度， $g = 9.807\text{m}/\text{s}^2$ 。

流体的密度和重度随其温度和所受压力的变化而变化。也就是说同一流体的密度和重度不是一个固定值。但在实际工程中，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，可视为一固定值；而气体的密度和重度随温度和压力的变化而变化的数值较大，设计计算中通常不能视为一固定值。常用流体的密度和重度如下：

水在标准大气压，温度为 4°C 时密度和重度分别为

$$\rho = 1000\text{kg}/\text{m}^3, \gamma = 9.807\text{kN}/\text{m}^3$$

水银在标准大气压，温度为 0°C 时密度和重度是水的 13.6 倍。

干空气在标准大气压，温度为 20°C 时密度和重度分别为

$$\rho = 1.2\text{kg}/\text{m}^3, \gamma = 11.82\text{N}/\text{m}^3$$

1.1.2 流体的黏滞性

流体在运动时，由于内摩擦力的作用，使流体具有抵抗相对变形（运动）的性质，称为流体的黏滞性。流体的黏滞性可通过流体在管道中流动情况来加以说明。

流体在管道中某一断面的流速分布如图 1-1 所示。流体沿管道直径方向分成很多流层，各层的流速不同，管轴心的流速最大，向着管壁的方向逐渐减小，直至管壁处的流速最小，几乎为零，流速按某种曲线规律连续变化。流速之所以有此分布规律，正是由于相邻两流层的接触面上产生了阻碍流层相对运动的内摩擦力，或称黏滞力，这是流体的黏滞性显示出来的结果。

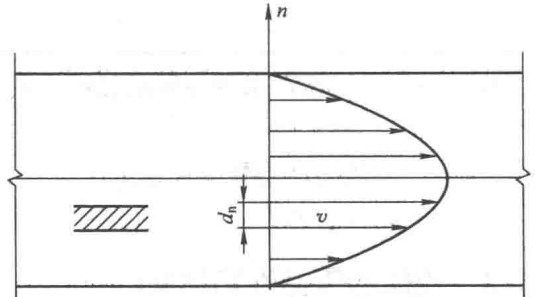


图 1-1 管道中断面流速分布

流体在运动过程中，必须克服内摩擦阻力，因而要不断消耗运动流体所具有的能量，所以流体的黏滞性对流体的运动有很大的影响。在水力计算中，必须考虑黏滞力的重要影响。对于静止流体，由于各流层间没有相对运动，黏滞性不显示。

流体黏滞性的大小，通常用动力黏滞性系数 μ 和运动黏滞性系数 ν 来反映，它们是与流体种类有关的系数，黏滞性大的流体， μ 和 ν 的值也大，它们之间存在一定的比例关系。同时，流体的黏滞性还与流体的温度和所受压力有关，受温度影响大，受压力影响小。试验证明，水的黏滞性随温度的增高而减小，而空气的黏滞性却随温度的增高而增大，见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 水的黏滞性系数

$t/^{\circ}\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}/\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2/\text{s})$	$t/^{\circ}\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}/\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2/\text{s})$
0	1.792	1.792	40	0.656	0.661
5	1.519	1.519	50	0.549	0.556
10	1.308	1.308	60	0.469	0.477
15	1.140	1.140	70	0.406	0.415
20	1.005	1.007	80	0.357	0.367
25	0.894	0.897	90	0.317	0.328
30	0.801	0.804	100	0.284	0.296

内摩擦力的大小可用下式表示：

$$T = \mu A du/dy \quad (1-4)$$

式中 T ——流体的内摩擦力；

μ ——流体的动力黏滞性系数；

A ——层与层的接触面积；

du/dy ——流体的速度梯度。

表 1-2 一个大气压下空气的黏滞性系数

$t/^\circ\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}/\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2/\text{s})$	$t/^\circ\text{C}$	$\mu \times 10^{-3}/\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\nu \times 10^{-6}/(\text{m}^2/\text{s})$
-20	0.0166	11.9	70	0.0204	20.5
0	0.0172	13.7	80	0.0210	21.7
10	0.0178	14.7	90	0.0216	22.9
20	0.0183	15.7	100	0.0218	23.6
30	0.0187	16.6	150	0.0239	29.6
40	0.0192	17.6	200	0.0259	25.8
50	0.0196	18.6	250	0.0280	42.8
60	0.0201	19.6	300	0.0298	49.9

流体的动力黏滞性系数与运动黏滞性系数有如下关系：

$$\mu = \nu \rho \quad (1-5)$$

式中 μ ——流体的动力黏滞性系数；

ρ ——流体的密度。

1.1.3 流体的压缩性和热胀性

流体的压强增大，体积缩小，密度增大的性质，称为流体的压缩性。流体温度升高，体积增大，密度减小的性质，称为流体的热胀性。

液体的压缩性和热胀性都很小。例如，水从 1 个大气压增加到 100 个大气压时，每增加 1 个大气压，水的体积只缩小 0.5/10000；在 10 ~ 20°C 的范围内，温度每增加 1°C，水的体积只增加 1.5/10000；在 90 ~ 100°C 的范围内，温度每增加 1°C，水的体积也只增加 7/10000。因此在很多工程技术领域中，可以把液体的压缩性和热胀性忽略不计。但在研究有压管路中水击现象和热水供热系统时，就要分别考虑水的压缩性和热胀性。

气体与液体有很大不同，其具有显著的压缩性和热胀性。但在供热与通风工程中，气体大多流速较低（远小于音速），压强与温度变化不大，密度变化也很小，因而也可以把气体看成是不可压缩的。

气体和液体具有显著不同的压缩性和热胀性。温度和压强的变化对气体的密度的影响很大。在温度不过低，压强不过高时，气体密度、压强和温度三者之间的关系，有下列气体状态方程式：

$$p = \rho RT \quad (1-6)$$

式中 p ——气体的绝对压强 (N/m^2)；

T ——气体的热力学温度 (K)；

ρ ——气体的密度 (kg/m^3)；

R ——气体常数, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; 对于理想气体有 $R = 8314/n$, n 为气体的摩尔质量。

1.1.4 流体的表面张力

由于流体分子之间的吸引力, 在流体的表面上能够承受极其微小的张力, 这种张力称表面张力。表面张力不仅在液体表面上, 在液体与固体的接触周界面上也有张力。由于表面张力的作用, 如果把两端开口的玻璃管竖在液体中, 液体会在细管中上升或下降一定高度, 这种现象称作毛细现象。表面张力的大小可用表面张力系数 σ 表示, 单位是 N/m 。由于重力和表面张力产生的附加铅直分力相平衡, 所以有下式:

$$\pi r^2 h \gamma = 2 \pi r \sigma \cos \alpha$$

故有

$$h = 2 \sigma \cos \alpha / r \gamma \quad (1-7)$$

式中 γ ——液体的密度;

r ——玻璃管内径;

σ ——液体的表面张力系数。

如果把玻璃管垂直竖立在水中, 则有

$$h = 15/r \quad (1-8)$$

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、汽液两相流的传热与传质的研究中, 将是不可忽略的因素。

1.2 流体静力学基础

流体处于静止(平衡)状态时, 因其不显示黏滞性, 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。

1.2.1 流体静压强及其特性

在一容器的静止水中, 取出小水体 I 作为隔离体来进行研究, 如图 1-2 所示。为保持其静止(平衡)状态, 周围水体对隔离体有压力作用。设作用于隔离体表面某一微小面积 Δw 上的总压力是 ΔP , 则 Δw 面积上的平均压强为

$$p = \Delta P / \Delta w \quad (1-9)$$

当所取的面积无限缩小为一点时, 即 $\Delta w \rightarrow 0$, 则平均压强的极限值为

$$p = \lim \Delta P / \Delta w \quad (1-10)$$

流体静压强具有两个基本特性:

- 1) 静压强的方向指向受压面, 并与受压面垂直。
- 2) 流体内任一点的静压强在各个方向面上的值均相等。

1.2.2 流体静压强的分布规律

在静止液体中任取一垂直小圆柱作为隔离体, 研究其底面点的静压强, 如图 1-3 所示。

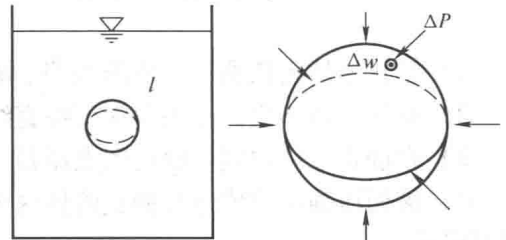


图 1-2 流体的静压强

已知圆柱体高度为 h ，端面面积为 Δw ，圆柱体顶面与自由面重合，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（水平方向，图中未绘出），而且是对称的，故相互平衡。则圆柱体轴向的作用力为：

- 1) 上表面压力 $P_0 = p_0 \Delta w$ ，方向垂直向下。
- 2) 下底面静压力 $P = p \Delta w$ ，方向垂直向上。
- 3) 圆柱体的重力 $G = \gamma h \Delta w$ ，方向垂直向下。

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

$$p \Delta w - \gamma h \Delta w - p_0 \Delta w = 0$$

整理得

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-11)$$

式中 p ——静止流体中任一点的压强 (N/m^2)；

p_0 ——液体表面压强 (N/m^2)；

γ ——液体的重度 (N/m^3)；

h ——所研究的点在液面下的深度 (m)。

式 (1-11) 是静水压强基本方程式，又称为静力学基本方程式。式中 γ 和 P_0 都是常数。方程表达了只有重力作用时流体静压强的分布规律。如图 1-4 所示。

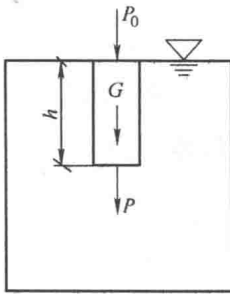


图 1-3 静止液体中的小圆柱体

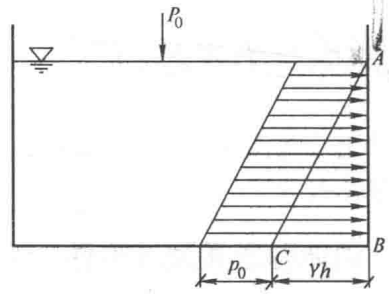


图 1-4 流体静压强分布图

- 1) 静止液体内任意一点的压强等于液面压强加上液体重度与深度乘积之和。
- 2) 在静止液体内，压强随深度按直线规律变化。
- 3) 在静止液体内同一深度的点压强相等，构成一个水平的等压面。
- 4) 液面压强可等值地在静止液体内传递。水压机等一些液压传动装置就是根据这一原理制成的。

静水压强的基本方程式 (1-11) 还可表示成另一种形式 (图 1-5)，设水箱水面的压强为 p_0 ，在箱内的液体中任取两点，在箱底以下任取一基准面 0-0，箱内液面到基准面的高度为 z_0 ，1 点和 2 点到基准面的高度分别为 z_1 和 z_2 ，根据静水压强基本公式，可列出 1 点和 2 点的压强表达式

$$p_1 = p_0 + \gamma(z_0 - z_1)$$

$$p_2 = p_0 + \gamma(z_0 - z_2)$$

将上列等式的两边除以液体重度 γ 并整理得

$$Z_1 + p_1/\gamma = z_0 + p_0/\gamma$$

$$Z_2 + p_2/\gamma = z_0 + p_0/\gamma$$

进而得

$$Z_1 + p_1/\gamma = Z_2 + p_2/\gamma = z_0 + p_0/\gamma$$

由于1点和2点是在箱内液体中任取的,故可推广到整个液体中得到具有普遍意义的规律,即

$$z + p/\gamma = c(\text{常数}) \quad (1-12)$$

这就是静水压强基本方程的另一种表达形式。该方程式表明在同一种静止液体中,任一点的 $z + p/\gamma$ 总是一个常数,常数的值与基准面的位置选择及液面压强值有关。

图1-6所示, z 为任一点的位置相对于基准面的高度,称为位置水头; p/γ 是在该点压强作用下液体沿测压管所能上升的高度,称为压强水头;两水头相加 $z + p/\gamma$ 称为测压管水头。而 $z + p/\gamma = C$ 表示在同一容器内的静止液体中,所有各点的测压管水头均相等。

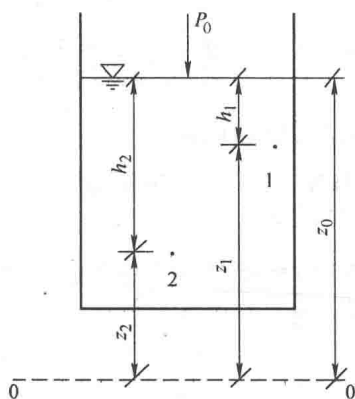


图 1-5 静水压强基本方程的另一形式

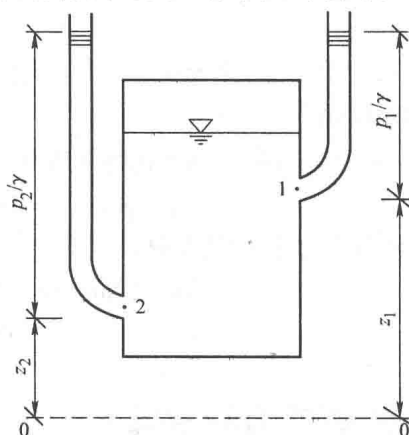


图 1-6 测压管水头

对于静止气体的压强计算,由于气体的重度很小,在高度差不大的情况下可将方程中的 γh 项忽略不计,认为 $p = p_0$ 。也就是说在密闭容器中,可以认为容器内各点的气体压强是相等的。

1.2.3 工程计算中压强的表示方法和度量单位

1. 表示方法

(1) 绝对压强 以绝对真空为零点计算的压强称为绝对压强,用 p_j 表示。

(2) 相对压强 以大气压强 p_a 为零点计算的压强称为相对压强,用 p 表示。

在实际工程中,通常采用相对压强。相对压强与绝对压强的关系为

$$p = p_j - p_a = -p_k \quad (1-13)$$

相对压强可能是正值,也可能是负值。当绝对压强大于大气压强时,相对压强的正值称正压,可用压力表测出,也称表压;当绝对压强小于大气压强时,则相对压强为负值称为负压,这时该流体处于真空状态,通常用真空度 p_k (或真空压强) 来表示流体的真空程度。即

$$p_k = p_a - p_j = -p \quad (1-14)$$

真空度是指某点的绝对压强不足一个大气压强的数值，可用真空表测出。

某点的真空度愈大，说明它的绝对压强愈小。真空度的最大值为 $p_k = p_0 = 98\text{kN/m}^2$ ，即绝对压强为零，处于完全真空状态；真空度的最小值为零时， $p_k = 0$ ，即在一个大气压强下，真空度在 $p_k = 0 \sim 98\text{kN/m}^2$ 的范围内变动。

2. 压强的度量单位

压强的度量单位通常有三种：

- 1) 用单位面积的压力来表示，单位是 N/m^2 （帕，Pa）或 kN/m^2 （千帕，kPa）；
- 2) 用工程大气压来表示，单位是 at， $1\text{at} = 98.07\text{kPa}$ ，在工程单位制中， $1\text{at} = 1\text{kgf/cm}^2$ （千克力/厘米²）；
- 3) 用液柱高度来表示，单位是 mH_2O （米水柱）、 mmHg （毫米汞柱）。

将压强转换为某种液柱高度的计算公式为

$$h = p/\gamma \quad (1-15)$$

当水的重度 $\gamma = 9.807\text{kN/m}^3$ ，汞的重度为 133.38kN/m^3 时，则 1 个工程大气压相应的水柱和汞柱高为

$$h = p_a/\gamma = 98.07\text{kN/m}^2/9.807\text{kN/m}^3 = 10\text{mH}_2\text{O}$$

$$h_{\text{Hg}} = p_a/\gamma_{\text{Hg}} = 98.07\text{kN/m}^2/133.38\text{kN/m}^3 = 735.6\text{mmHg}$$

三种压强单位的关系是：

$$1\text{at} \approx 10\text{mH}_2\text{O} \approx 735.6\text{mmHg} \approx 98\text{kN/m}^2 \approx 9800\text{Pa}$$

$$1\text{atm} = 101.325\text{kPa} = 760\text{mmHg}$$

1.3 流体动力学基础

1.3.1 基本概念

流体在建筑设备中都和运动密切相关，因此我们需要了解一些流体运动的基本概念。

(1) 元流 流体运动时，为研究方便我们把流体中一微小面积形成的一股流束称为元流。

(2) 总流 流体运动时，无数元流的总和称为总流，如图 1-7 所示。

(3) 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。过流断面可能是平面，也可能是曲面，形状有圆形、矩形、梯形等，如图 1-8 所示。

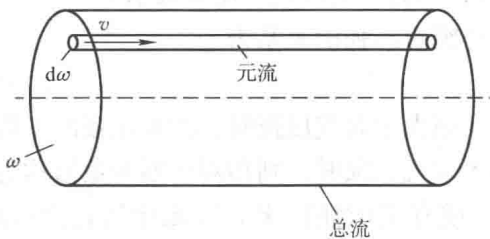


图 1-7 元流与总流

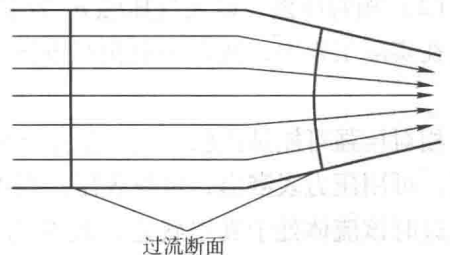


图 1-8 过流断面

(4) 流量 在单位时间内流体通过过流断面的体积或质量。一般流量指的是体积流量，但也可用质量流量来表示。

(5) 流速 在单位时间内流体移动所通过的距离。

流体运动时，由于流体黏滞性的影响，过流断面上的流速不等且一般不易确定，为便于分析和计算，在实际工程中通常采用过流断面上各质点流速的平均值即平均流速。平均流速通过过流断面的流量应等于实际流速通过该断面的流量，这是确定平均流速的假定条件。

流量、过流断面和流速三者之间应符合下面关系：

$$Q = wv \quad (1-16)$$

式中 Q ——体积流量 (m^3/s)；
 v ——平均流速 (m/s)；
 w ——过流断面 (m^2)。

1.3.2 流体运动的类型

影响流体运动的因素有很多，因而流体的运动状态也是多种多样的，根据流体运动的一些主要特征可将流体运动分为以下几种主要类型。

(1) 有压流 流体在压差作用下流动，流体各个过流断面的整个周界都与固体壁面相接触，没有自由表面，这种流体运动称为有压流或压力流，也称为管流。如供热管道中的汽、水带热体，给水管中的水流都是有压流。

(2) 无压流 流体在重力作用下流动，流体各个过流断面的部分周界与固体壁面相接触，具有自由表面，这种流体的运动称为无压流或重力流，或称为明渠流。如天然河道、明渠、排水管中的水流都是无压流。

(3) 恒定流 流体运动时，流体中任一位置的压强、流速等运动要素不随时间变化，这种流体运动称为恒定流，如图 1-19a 所示。

(4) 非恒定流 流体运动时，流体中任一位置的运动要素如压强、流速等随时间变化而变化，这种流体运动称为非恒定流，如图 1-19b 所示。

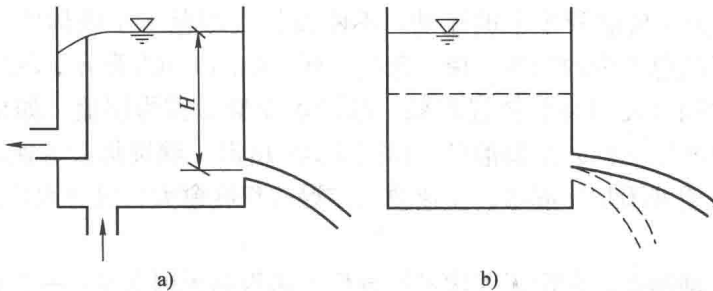


图 1-9 恒定与非恒定流

在实际建筑设备工程中，为使研究的问题得到合理的简化，在绝大多数情况下都可以把流体的运动状态看作是恒定流，但在研究如水泵或风机等启动时的流体运动情况时，因其流速和压强随时间变化较大，流体的运动须看作是非恒定流。

1.4 流动阻力与能量损失的基本概念

1.4.1 流动阻力和能量损失的两种形式

由于流体具有黏滞性，所以流体在流动过程中既受到存在相对运动的各流层间内摩擦力的作用，又受到流体与固体边壁之间摩擦阻力的作用。同时由于固体边壁的不光滑及边壁形状的变化，也会对流体流动产生阻力。为了克服上述流动阻力，必须消耗流体所具有的机械能。单位质量的流体流动中所消耗的机械能，称为能量损失或水头损失。

流动阻力和水头损失可分为两种形式。

1. 沿程阻力和沿程水头损失

流体在长直管（或明渠）中流动时，所受到的摩擦力称为沿程阻力。为了克服沿程阻力，单位质量的流体所消耗的机械能称为沿程水头损失，常用 h_f 来表示。

2. 局部阻力和局部水头损失

流体的边界在局部地区发生急剧变化时，迫使流体流速的大小和方向发生显著变化，甚至使主流脱离边壁形成漩涡，流体质点间产生剧烈的碰撞，从而对流体运动形成了阻力，这种阻力称为局部阻力。为了克服局部阻力，单位质量的流体所消耗的机械能称为局部水头损失，通常用 h_j 表示。

管道系统中，在管径不变的直管段上，只有沿程水头损失 h_f ，在管道入口处和管道变径处以及弯头、闸门等水流边界急剧改变处产生局部水头损失 h_j 。

整个管道的总水头损失等于各管段的沿程水头损失与各局部水头损失分别叠加之和，即

$$h_w = \sum h_f + \sum h_j \quad (1-17)$$

在给水处理与供热工程中，确定管路系统中流体的水头损失是进行工程计算的重要内容之一，也是对工程中有关的设备和管路中的管径进行选择的重要依据。

1.4.2 流态与判定

流体在流动过程中，呈现出两种不同的流动形态——层流和紊流。

图 1-10a 所示为一玻璃管中水的流动。不断投加红颜色水于液体中。当液体流速较低时，玻璃管内有股红色水流的细流，像一条线一样，如图 1-10b 所示，说明水流是成层成束地流动，各流层之间并无质点的掺混现象，这种水流形态称为层流。如果加大管中水的流速，红颜色水随之开始动荡，呈波浪形，如图 1-10c 所示。继续加大流速，将出现红颜色水向四周扩散，质点或液团相互混掺，流速愈大，混掺程度愈大，这种水流形态称为紊流，如图 1-10d 所示。

判断流体的流动形态，常用无因次量纲分析方法得到无因次量——雷诺数 Re 来判别。

$$Re = \rho d v / \mu \quad (1-18)$$

式中 Re ——雷诺数；

v ——圆管中流体的平均流速 (m/s)；

d ——圆管的直径 (m)；

μ ——流体的运动黏滞系数 (m^2/s)。