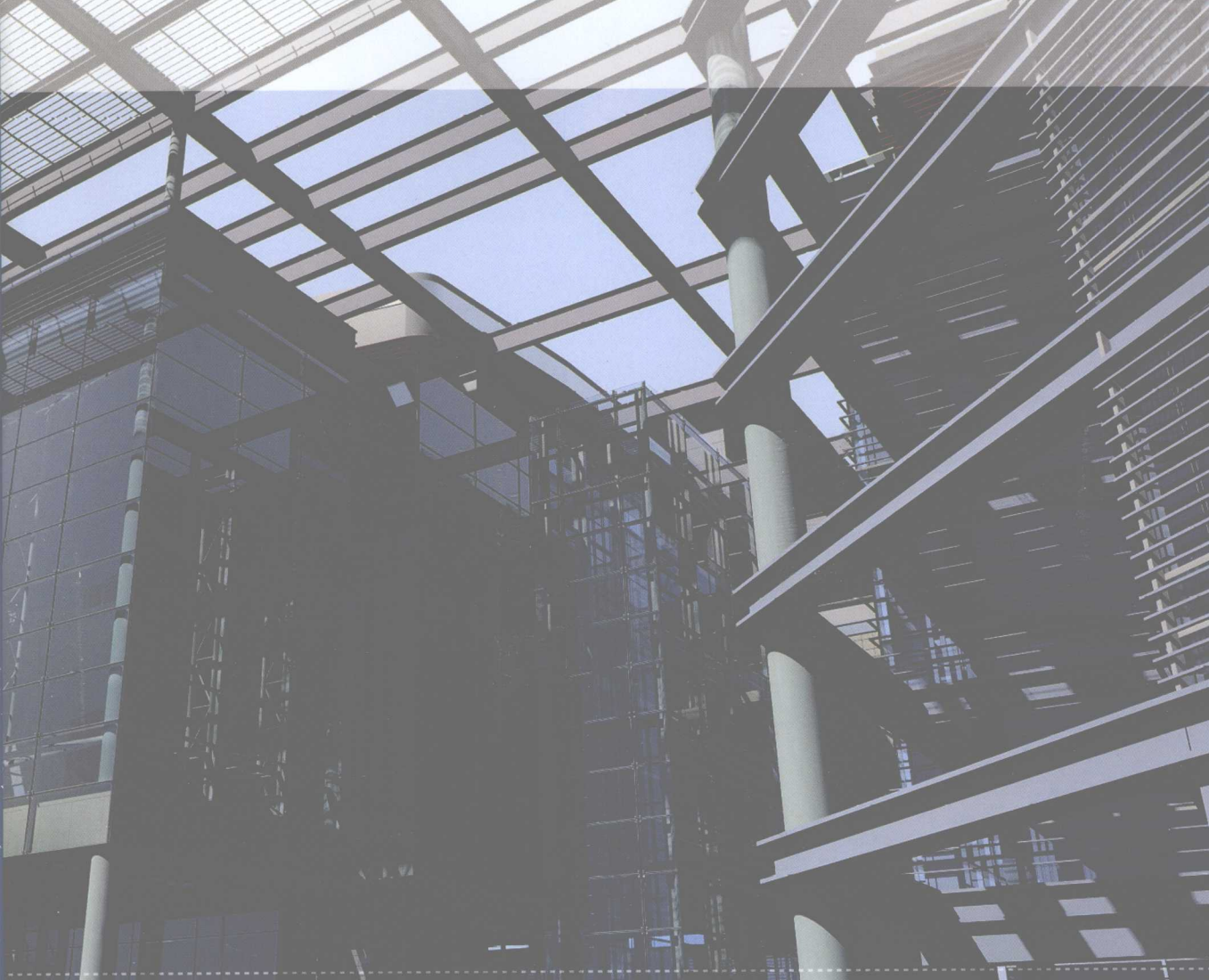




XINBIAN
JIANZHU SHEBEI
GONGCHENG

张玉萍 主编 林立 王冬丽 副主编



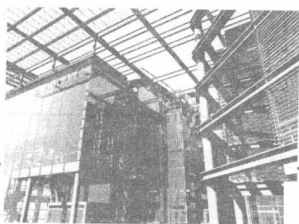
新编建筑设备工程



化学工业出版社

XINBIAN
JIANZHU SHEBEI
GONGCHENG

张玉萍 主编 / 林立 王冬丽 副主编



新编建筑工程



化学工业出版社

· 北京 ·

本书详细介绍了建筑给排水、消防、供暖、燃气和热水供应、通风、空调、建筑供配电、建筑电气照明、建筑弱电工程等系统的分类、组成、作用、特点和原理,以及建筑设备识图、安装、维护、维修和管理等的基本理论和基本技能,内容全面翔实、图文并茂、通俗易懂。本书以实用为目的,以掌握基本知识、强化实际应用为原则,注重理论与实际相结合。本书的编写采用了国家最新标准和规范,还介绍了有关建筑设备的新技术、新产品、新功能,以帮助读者开拓眼界、提高兴趣、激发探索、进取、创新的意思。

本书既适合大中专院校建筑工程、建筑设备、物业管理及相关专业作为教材使用,也适合广大从事建筑设备的安装、维护、管理的操作工人、技术人员、管理人员等做参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

新编建筑设备工程/张玉萍主编. —北京:化学工业出版社, 2008.10
ISBN 978-7-122-03627-8

I. 新… II. 张… III. 房屋建筑设备 IV. TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 139004 号

责任编辑:伍大维 陈 丽
责任校对:蒋 宇

装帧设计:周 遥

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市彩桥印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张16½ 字数471千字 2009年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:33.00 元

版权所有 违者必究

前 言

建筑设备是建筑物的一个必不可少的、重要的组成部分,它的作用是实现建筑物的各种功能。随着科学技术的进步、国民经济的不断发展,人民的物质文化生活水平越来越高,对建筑物的使用功能和质量的要求也越来越高。在现代建筑中,建筑设备也日趋复杂,种类越来越多,功能越来越完善,建筑设备投资在建筑物总投资中所占的比例也越来越高。也就是说,建筑设备的发展前景广阔。

本书详细讲述了建筑给排水、消防、供暖、燃气和热水供应、通风、空调、建筑供配电、建筑电气照明、建筑弱电工程等系统的分类、组成、作用、特点和原理,以及建筑设备识图、安装、维护、维修与管理等的基本理论和基本技能,内容全面翔实、深入浅出、通俗易懂,内容的讲解与图、表紧密结合,图文并茂、主题鲜明。本书以实用为目的,以必需、够用为度,以掌握基本知识、强化实际应用为原则,注重理论与实际相结合。

为使读者能够更加深入的理解和掌握基本理论,本书还有选择地讲解了有关流体力学、传热学的基础知识,使读者既能掌握有关建筑设备的基本理论和基本技能,又具有一定的基础理论知识,为今后的发展打下基础。

为适应时代的发展,做到与时俱进,本书的编写采用了国家最新标准和规范,还介绍了有关建筑设备的新技术、新产品、新功能,如建筑中水系统、采暖新技术、建筑弱电系统等,以帮助读者开拓眼界,提高兴趣,激发探索、进取、创新的认识。

本书既适合大中专院校建筑工程、建筑设备、物业管理及相关专业作为教材使用,也适合广大从事建筑设备的安装、维护、管理的操作工人、技术人员、管理人员等做参考用书。

全书共16章,其中,第1章、第7章由河北建材职业技术学院张向红老师编写;第2章、第6章由大庆石油学院应用技术学院王冬丽老师编写;第3章由大庆石油学院应用技术学院李通老师编写;第4章由河北建材职业技术学院林立老师编写;第5章由河北建材职业技术学院赵萍老师编写;第8章由河北建材职业技术学院计凌峰老师编写;第9章至第11章由河北建材职业技术学院张玉萍老师编写;第12章由河北建材职业技术学院丁楠老师编写;第13章由河北建材职业技术学院张文会老师编写;第14章、第15章由河北建材职业技术学院高敬媛老师编写;第16章由河北建材职业技术学院陶晓坤老师编写。

本书编写过程中参考并引用了有关教材和论著,在此谨对作者表示衷心感谢。

因编者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2008年7月

目 录

第1章 流体力学基本知识	1
1.1 流体的主要力学性质	1
1.2 流体静力学基础	3
1.3 流体动力学基础	6
第2章 管材、管件及常用材料	12
2.1 管子及其附件的通用标准	12
2.2 管材	13
2.3 常用管道附件	18
2.4 水表	21
2.5 管道连接	22
2.6 管道安装常用填料和垫料	24
2.7 通风空调工程常用材料	25
第3章 建筑给水系统	27
3.1 给水系统的分类和组成	27
3.2 给水系统的供水压力与供水方式	28
3.3 给水水质和用水定额	33
3.4 给水升压设备	36
3.5 给水管道的布置与敷设	43
3.6 建筑给水系统安装	46
3.7 建筑给水系统水力计算	49
3.8 建筑中水系统	53
3.9 室内给水管道的管理与维护	55
第4章 建筑消防	57
4.1 室内消防给水设置原则	57
4.2 室内消火栓系统	57
4.3 自动喷水灭火系统	64
第5章 排水系统	70
5.1 排水系统概述	70
5.2 室内排水系统的组成	70
5.3 排水管道布置与敷设	73
5.4 高层建筑排水系统	74
5.5 屋面雨水排水系统	77
5.6 排水系统安装	80
5.7 常用卫生器具安装	82
5.8 排水管道水力计算	90
5.9 室内排水管道的维护与管理	93
第6章 建筑热水供应与直饮水工艺	98
6.1 热水供应系统的分类和组成	98
6.2 热水的加热方式	99

6.3	热水供应方式	102
6.4	热水水温、水质及用水量标准	103
6.5	直饮水供应工艺	106
第7章	传热学的基本知识	108
7.1	稳定传热的基本概念	108
7.2	传导传热	109
7.3	对流换热	110
7.4	辐射换热	112
7.5	传热过程及传热的增强与削弱	115
第8章	采暖系统	117
8.1	采暖系统的分类与组成	117
8.2	热水采暖系统	118
8.3	蒸汽采暖系统	122
8.4	热风供暖系统	123
8.5	辐射采暖	125
8.6	高层建筑采暖系统	128
8.7	采暖热负荷	129
8.8	采暖系统的设备及附件	132
8.9	采暖系统的布置	140
8.10	管道保温	145
8.11	采暖新技术	146
8.12	供暖系统维护与管理	148
第9章	燃气供应	151
9.1	燃气的种类	151
9.2	燃气的供应方式	151
9.3	燃气供应系统	152
第10章	通风工程	155
10.1	建筑通风的任务和意义	155
10.2	通风系统的分类	155
10.3	通风设备	159
10.4	高层建筑防火排烟	165
第11章	空气调节	172
11.1	空气调节概述	172
11.2	空调系统的分类	173
11.3	空调房间	180
11.4	空气处理及设备	187
11.5	空调冷源	195
第12章	建筑供配电系统	197
12.1	三相电路	197
12.2	常用电工材料	199
12.3	电力系统的组成	202
12.4	电力负荷	204
12.5	低压配电系统的供电方案	205
12.6	低压配电系统的接线方式	206

12.7	配电线路·····	207
12.8	常用低压电器·····	208
第 13 章	建筑电气照明 ·····	210
13.1	照明的基本概念·····	210
13.2	常用电光源·····	212
13.3	照明器的布置·····	215
13.4	照明供配电系统·····	219
第 14 章	安全用电与建筑防雷 ·····	220
14.1	安全用电·····	220
14.2	建筑防雷·····	222
14.3	建筑物的接地·····	225
第 15 章	建筑弱电系统 ·····	227
15.1	有线电视系统 (CATV) ·····	227
15.2	通信系统·····	229
15.3	火灾自动报警与灭火系统·····	229
15.4	防盗与保安系统·····	232
15.5	广播音响系统·····	234
第 16 章	建筑设备工程读图识图 ·····	236
16.1	水暖施工图的识读·····	236
16.2	通风与空调系统施工图的识读·····	244
16.3	建筑电气工程施工图的识读·····	250
参考文献	·····	255

第 1 章 流体力学基本知识

1.1 流体的主要力学性质

物质在自然界中有三种存在状态：固体、液体和气体，其中液体和气体因有较大的流动性而被统称为流体。流体具有和固体截然不同的力学性质。研究流体平衡和运动规律及其在工程技术中的应用的学科称为流体力学。

现代生产和生活中会遇到许多流体力学问题，如水在江河中的流动；水、燃气、空气在管道中的输送等。

气体和液体都具有复杂的内部结构，它们都是由大量的分子组成，分子之间存在一定的空隙，并处于不规则的运动状态，所以流体的内部结构是不连续的。但流体力学不是研究个别分子的运动，而是研究分子集体的运动。将整个流体分成许许多多的集团——质点，将质点作为最小单位来研究它的运动，即流体力学是研究大量分子的统计平均宏观属性。

流体内部质点之间的内聚力极小，当承受拉力或剪切力后，会变形流动，因此流体具有较大的流动性，不能形成固定的形状。

流体在密闭状态下能承受较大的压力。充分认识以上所说的流体的基本特征，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，为人们日常生产和生活服务。

液体分子间的内聚力远大于气体，所以液体的形状虽然随容器的形状而改变，但其体积不变，而气体的形状和体积都不一定，它总是充满着容器。

1.1.1 流体的惯性

流体和其他固体一样，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：

$$\rho = m/V$$

式中， m 为流体的质量， kg ； V 为流体的体积， m^3 ； ρ 为流体的密度， kg/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：

$$\gamma = G/V$$

式中， G 为流体所受的重力， N ； V 为流体的体积， m^3 ； γ 为流体的重度， N/m^3 。

由牛顿第二定律得： $G = mg$ 。因此，

$$\gamma = G/V = mg/V = \rho g$$

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

流体的密度和重度随温度和所受压力的变化而变化。也就是说，同一种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较小，可视为一个固定值；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，不能视为一个固定值。常用的流体的密度和重度的数值如下：

水在标准大气压和 4°C 时的密度和重度分别为： $\rho = 1000 \text{kg}/\text{m}^3$ ， $\gamma = 9.81 \text{kN}/\text{m}^3$ 。

水银在标准大气压和 0°C 时的密度和重度是水的 13.6 倍。

干空气在标准大气压和 20℃时的密度和重度分别为： $\rho=1.2\text{kg/m}^3$ ， $\gamma=11.82\text{kN/m}^3$ 。

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。

流体的黏滞性可以用流体在管道中流动的情况来加以说明。用流速仪测出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层，流速各不相同，并按某种曲线规律连续变化，管中心的流速最大，向着管壁的方向逐渐递减，直到管壁处为零。

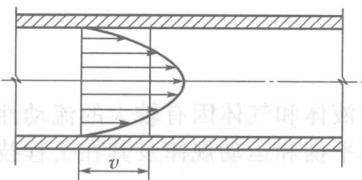


图 1-1 断面流速示意图

流速的这种分布规律就是由于相邻两层流体的接触面上存在阻碍流体相对运动的内摩擦力，即黏滞力。

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和运动黏滞性系数来表示，它们是与流体种类有关的系数，如表 1-1、表 1-2 所列。

表 1-1 水的黏滞性系数

$t/^\circ\text{C}$	$\mu\times10^{-3}/\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\nu\times10^{-6}/(\text{m}^2/\text{s})$	$t/^\circ\text{C}$	$\mu\times10^{-3}/\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\nu\times10^{-6}/(\text{m}^2/\text{s})$
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

表 1-2 1 个标准大气压下空气的黏滞性系数

$t/^\circ\text{C}$	$\mu\times10^{-3}/\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\nu\times10^{-6}/(\text{m}^2/\text{s})$	$t/^\circ\text{C}$	$\mu\times10^{-3}/\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\nu\times10^{-6}/(\text{m}^2/\text{s})$
-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

流体的黏滞性还与流体的温度和所受的压力有关。

1.1.3 流体的压缩性和膨胀性

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。流体的温度升高，体积增大，密度减小的性质，称为流体的膨胀性。

气体和液体的主要差别在于压缩性和膨胀性。液体的体积几乎不随压力和温度的变化而改变。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，水的体积只缩小万分之五；温度在 80~100℃ 范围内的水，温度升高 1℃，体积膨胀万分之七。因此，液体常被称为不可压缩流体。

水的膨胀性有特殊性。当水温在 0~4℃ 时，水的体积随温度的升高而减小，密度和容重相应增大；水温大于 4℃ 时，水的体积则随温度的升高而增大，密度和容重相应减小。因此，在北方冬季施工时，当水暖管道注水试压之后，应及时将水放掉，以免由于水冻结体积膨胀，而将散热器及管道胀裂而损坏。

气体的体积则随压力和温度的变化而改变，其密度和容重也有较大变化。当温度一定时，气体的体积与压强成反比，压强增加一倍，气体的体积就减小一半；当压强一定时，温度每升高 1℃，气体的体积就比 0℃ 时的体积增大 1/273。气体被称为可压缩流体。

在很多工程技术领域中，可以把液体的压缩性和膨胀性忽略不计。但在研究有压管路中水击现象的热水供热系统时，就要分别考虑水的压缩性和热胀性。

在采暖与通风工程中，气体大多流速较低，压强与温度变化不大，密度变化也小，气体体积的变化也较小，因而也可以把气体看成是不可压缩流体。

1.2 流体静力学基础

流体静力学是研究流体在相对静止状态下的平衡规律及其应用的科学。

1.2.1 流体静压强及其特性

1. 流体的静压强

处于相对静止状态下的流体，由于本身的重力或其他外力的作用，在流体内部及流体与容器壁之间，存在着垂直于接触面的作用力，这种作用力称为流体的静压力。

单位面积上流体的静压力称为流体的静压强，常用 p 表示，单位为 N/m^2 。

流体的静压强有平均静压强及点压强。

如图 1-2 所示，在静止的流体内部取一团任何形状的流体，周围流体对这团流体有压力作用，设作用于这团流体表面某一微小面积 $\Delta\omega$ 上的总压力是 ΔP ，则 $\Delta\omega$ 面积上的平均静压强为：

$$p = \Delta P / \Delta\omega$$

式中， p 为作用面上流体的平均静压强， N/m^2 ； ΔP 为作用面上流体总静压力， N ； $\Delta\omega$ 为受压面积， m^2 。

平均静压强不能说明流体内部压强的真正分布规律。

如果将流体微团无限缩小为一点 a ，即 $\Delta\omega \rightarrow 0$ ，则平均压强的极限值为：

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega}$$

此极限值称为 a 点处的点压强。

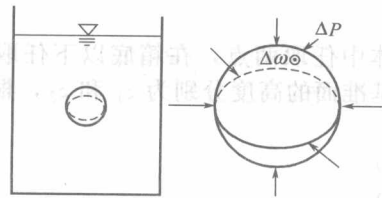


图 1-2 流体的静压强

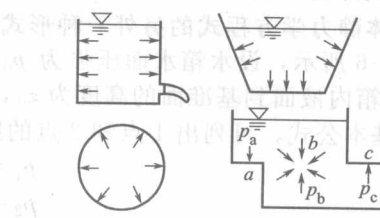


图 1-3 各种容器中液体静压强的方向

2. 流体静压强的特性

流体静压强有两个基本特性：

- 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。

图 1-3 为各种容器中液体静压强的方向。

1.2.2 流体静压强的分布规律

1. 流体静力学基本方程式

在静止的流体内部中任取一小圆柱体作为隔离体，研究其底面的静压强，如图 1-4 所示。已知圆柱体的高度为 h ，截面面积为 $\Delta\omega$ ，其上表面与自由表面重合，所受压强为 p_0 。圆柱体侧面所受的静压力方向与轴垂直且完全对称，故相互平衡。圆柱体轴向所受的力有：

- ① 上表面静压力 $P_0 = p_0 \Delta\omega$ 方向垂直向下；
- ② 底面静压力 $P = p \Delta\omega$ 方向垂直向上；
- ③ 圆柱体自身的重力 $G = \gamma h \Delta\omega$ 方向垂直向下。

圆柱体处于静止状态时，它所受的作用力的合力为 0，则有：

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

整理得：

$$p = p_0 + \gamma h$$

此式说明，同一液体内部的静压强只与深度及重度有关。

式中， p 为静止流体中任一点的压强， N/m^2 ； p_0 为液体表面压强， N/m^2 ； γ 为液体的重度， N/m^3 ； h 为所研究的点在液面下的深度， m 。

上式是流体静力学基本方程式，它表达了只有重力作用时流体静压强的分布规律。如图 1-5 所示。

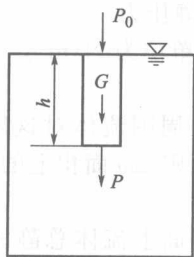


图 1-4 静止液体中的小圆柱体

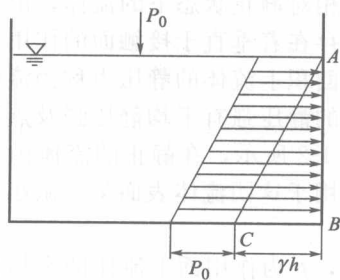


图 1-5 流体静压强分布图

- ① 静止液体内部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 在静止液体内任一深度的所有点的压强相等，构成一个水平的等压面。
- ④ 液面处的压强可以等值地在静止液体内部传递。

2. 流体静力学方程式的另外一种形式

如图 1-6 所示，设水箱水面压强为 p_0 ，在箱内的液体中任取两点，在箱底以下任取一个基准面 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 ，根据流体静压强的基本公式，可列出 1 点和 2 点的压强表达式：

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

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

将上式的两边除以液体的重度，并整理得：

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_0 + \frac{p_0}{\gamma}; \quad z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = z_0 + \frac{p_0}{\gamma}$$

则有：

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_0 + \frac{p_0}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$$

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：

$$z + \frac{p}{\gamma} = \text{常数}$$

式中， z 为任一点的位置相对于基准面的高度，称为流体的位置水头，也称为位能、势能、几何压头等； p/γ 为在该点压强作用下液体测压管所能上升的高度，称为压强水头，也称为流体的静压能、静压头等； $z + p/\gamma$ 为测压管水头，如图 1-7 所示。

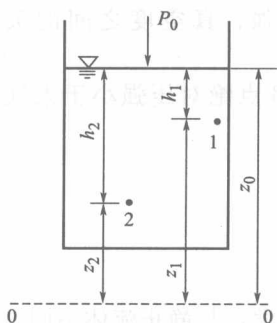


图 1-6 流体静力学方程的另一形式

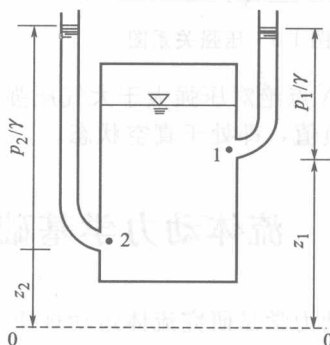


图 1-7 测压管水头

上式是流体静力学方程的另一种表达形式。该式说明在同一容器的静止液体中，任意一点的测压管水头总是一个常数。常数的值与基准面的位置选择及液面压强有关。

1.2.3 压强的表示方法和度量单位

1. 压强的度量制

国际单位制压强的单位为帕斯卡 (Pa)，1 帕斯卡表示每平方米面积上承受 1N 的压力。

工程上还有毫米水柱、汞柱、大气压、工程大气压等压强单位，它们之间的关系如下。

设一横截面为 1m^2 的容器，里面装了 1m 深的水，则容器底部的压强为 1m^2 底面积所受水的重力，水的重力为 $\gamma V = \gamma \rho g = 1 \times 1000 \times 9.8 = 9800 \text{ (N)}$ 。静压强 $p = 9800/1 = 9800 \text{ (Pa)}$ 。所以有：

1m 水柱 = 9800Pa；

1mmH₂O = 9.8Pa = 1kgf/m²；

1atm = 760mmHg = 10332mmH₂O = 101325Pa；

1at = 735.6mmHg = 10000mmH₂O = 98067Pa。

2. 表示方法

按基准点的不同，流体的压强有两种表示方法。

(1) 绝对压强

以绝对真空为起点计算的压强称为绝对压强，用 p_j 表示。

(2) 相对压强

以周围环境大气压 p_a 为起点计算的压强称为相对压强，用 p 表示。也称为表压强，一般由测压表上直接读得。

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：

$$p = p_j - p_a$$

(3) 真空度

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，相对压强为正值，称为正压，可用压力表测出，又称为表压强；当绝对压强小于大气压强时，相对压强为负值，称为负压或真空度，这时该流体处于真空状态，通常用真空度 p_k 来表示。真空度是处于真空状态下任意点的绝对压强 p_j 不足于大气压强 p_a 的那一部分，它表示了流体的真空程度。即：

$$p_k = p_a - p_j = -p$$

真空度可用真空表测出，某点的真空度越大，说明它的绝对压强越小。

绝对压强、相对压强、真空度之间的关系如图 1-8 所示。

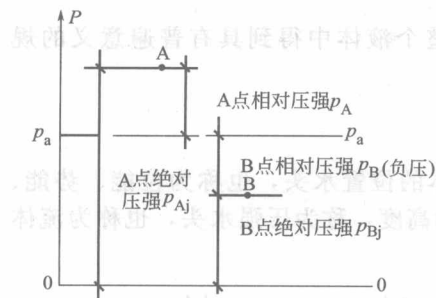


图 1-8 压强关系图

图中 A 点绝对压强大于大气压强，其相对压强为正值；B 点绝对压强小于大气压强，其相对压强为负值，即处于真空状态。

1.3 流体动力学基础

流体动力学是研究流体运动规律及其在工程中的应用的科学，与静止流体不同，运动流体内部任一点的压强不仅与该点所处的空间位置有关，也与质点的速度、大小及方向有关。因此，运动流体的基本物理参数除压强、温度、密度之外，还有流速。流速是流体动力学研究的主要对象。

1.3.1 基本概念

1. 元流

运动的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。

元流和总流如图 1-9 所示。

3. 过流断面、湿周与水力半径

流体运动时，与流体的运动方向垂直的流体横断面称为过流断面。过流断面可能是平面，也可能是曲面。过流断面如图 1-10 所示。

过流断面上，流动的流体周界与固体壁接触的长度称为湿周。

过流断面面积与湿周之比称为水力半径。水力半径反映了过流断面对流速的过水能力的影响，水力半径越大，过流能力越强，产生的流动阻力越小。圆管满流时，水力半径为管径的 1/4。

过流断面、湿周与水力半径如图 1-11 所示。

4. 流量

单位时间内通过过流断面的流体的体积或质量称为流量。前者为体积流量，用 V 表示，单位为 m^3/s ；后者称为质量流量，用 M 表示，单位为 kg/s 。

5. 流速

单位时间内流体流过的距离称为流速。

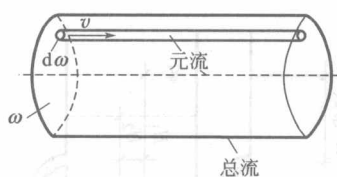


图 1-9 元流与总流

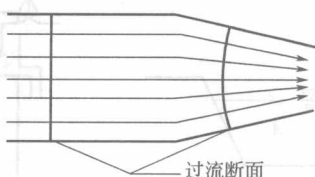


图 1-10 过流断面

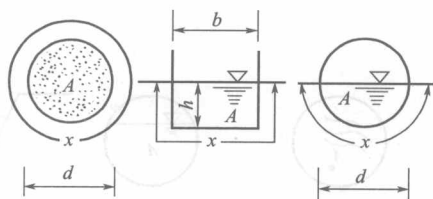


图 1-11 过流断面与湿周

A —过流断面面积, m^2 ; x —湿周, m

流体运动时, 由于流体黏滞性的影响, 过流断面上的质点流速不等且一般不易确定, 如图 1-1 所示, 管道中心处的流体质点流速最大, 贴近管壁的流体质点流速最小, 而处在管壁与管中心之间的流体质点的流速是逐渐变化的。为便于分析和计算, 在实际工程中常采用过流断面上各质点的流速的平均值, 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 (Q)、流速 (v)、过流断面 (A) 之间的关系如图 1-12 所示: 流体在过流断面面积为 A 的管道中流动, 在单位时间内, 从断面 1-1 流动到断面 2-2 处, 则断面 1-1 与断面 2-2 之间的距离, 就是单位时间内流体所通过的距离, 即断面平均流速 v 。两个断面之间的流体的体积, 就是在单位时间内通过过流断面的流体体积, 即体积流量 Q 。所以, 流量 (Q)、流速 (v)、过流断面 (A) 之间的关系为:

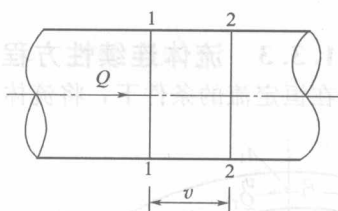


图 1-12 体积流量、断面平均流速及断面面积之间的关系

或

$$Q = Av$$

$$M = \rho Q = \rho Av$$

式中, Q 为体积流量, m^3/s ; M 为质量流量, kg/s ; v 为过流断面上各质点的平均流速, m/s ; A 为过流断面的面积, m^2 。

上式称为流量公式。

1.3.2 流体运动的类型

1. 压力流与重力流

流体在压差作用下流动时, 流体充满管道, 整个周界与固体壁接触, 无自由表面, 这种流动称为压力流。如建筑给水管道中水的流动。

液体在重力作用下流动时, 液体周界仅部分与固体壁接触, 有自由表面, 这种流动称为重力流, 又称为无压流。如天然河流、排水管道中水的流动等。

压力流与重力流如图 1-13 所示。

2. 恒定流与非恒定流

流体运动时, 流体中任一点的流速、压强等要素不随时间变化的流动称为恒定流。

流体运动时, 流体中任一点的流速、压强等要素随时间变化的流动称为非恒定流。

恒定流与非恒定流如图 1-14 所示。

工程上常假设在压头不变的情况下的流动为恒定流。

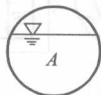
3. 射流

流体流动时, 其整个周界都被包围在液体或气体之中, 这种流动称为射流。

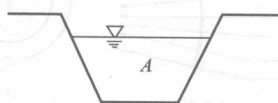
液流被包围在气体之中或者气流被包围在液体之中的射流称为自由射流。如消防水枪喷射的水柱。



(a) 压力流(满流)

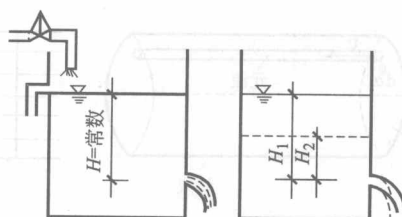


(b) 重力流(非满流)



(c) 重力流(明渠流)

图 1-13 压力流与重力流



(a) 恒定流



(b) 非恒定流

图 1-14 恒定流与非恒定流

液流被包围在液体之中或者气流被包围在气体之中的射流称为淹没射流。如空调系统送风口处的气流。

1.3.3 流体连续性方程

在恒定流的条件下,将流体的流动看作是一种连续介质的流动,一段流体紧跟另一段流体,中间没有空隙、也没有流体质点超越现象。一般情况下这种假设是符合实际的,只有在特殊情况时,如液体内部发生汽化,形成气穴时,液流的连续性才被破坏。

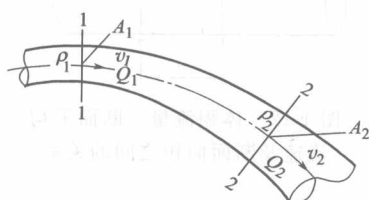


图 1-15 恒定流的连续性方程

在工程中常假设流体为不可压缩的介质,在恒定流中取某一流段,如图 1-15 所示,流体从 1-1 断面流进,从 2-2 断面流出,其断面积分别为 A_1 、 A_2 ,平均流速为 v_1 、 v_2 ,因质量守恒,则通过断面 1-1 和通过断面 2-2 的流量必相等,即:

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

此式即为恒定流的连续性方程式。

1.3.4 流体动力学方程

在流体流动系统里,流体的能量主要表现为内能和机械能。内能是物质的属性,在一定状态下,物质的内能是一定的。对于不可压缩流体,其密度、温度不变,系统的内能不变。所以进行能量的衡算时,可以只考虑机械能。

流动的流体的能量有三种:静压头(又称压强水头、静压能)、动压头(又称流速水头、动能)、几何压头(又称位能、位置水头)。单位重量流体所具有的能量称为水头。

1. 流体的能量与水头

(1) 位能和位置水头

具有一定重量的流体,因位置高出某一基准面而具有的做功能力称为位能。如图 1-16 所示的流体,重量为 G ,其位置高出基准面 0-0 的高度为 z ,其位能为 Gz ,而单位重量流体对基准面 0-0 的位能,即位置水头为 z ,它的单位是 m 。

(2) 压能和压强水头

具有一定重量的流体,因其压强所具有的做功能力,称为压能。如图 1-16 中,重量为 G 的流体内部的压强为 p ,若在管道侧壁上接一根开口的玻璃(测压管),则液体会沿测压管上升一个高度 h ,且有 $h = p/\gamma$ 。重量为 G 的流体因压强 p 的作用而上升 p/γ 的高度,它具有的压能为 Gp/γ ,而单位重量

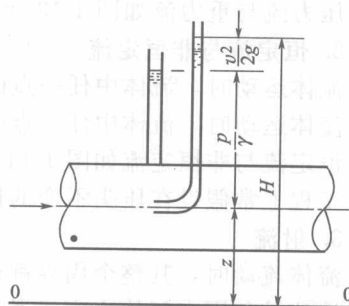


图 1-16 流体的能量和水头

流体的压能 p/γ ，称为压强水头，其单位是 m。

(3) 动能和流速水头

具有一定重量的流体，因其一定的流速所具有的做功能力，称为动能。

图 1-16 中，重量为 G 的流体，质量为 M ，流速（断面平均流速）为 v ，则其动能为： $Mv^2/2$ ，而单位重量流体的动能为 $v^2/2g$ ，称为流速水头，其单位也为 m。

由上可知，流动的流体具有位能、动能和压能，这三种能量之和即为流体的总机械能。

流体力学中，流体的机械能常用“压头”来表示。压头的意义是表示单位重量的流体所具有的能量。单位重量的流体的总机械能，称为流体的总水头，用 H 表示，单位为 m，即：

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

2. 流体动力学方程

1738 年瑞士科学家伯努利导出了流体运动的能量方程，又称伯努利方程，它是能量守恒与转化定律在运动流体中的表现形式。

在流体的流动过程中，其位能、压能和动能三者之间可以转化，若没有能量损失，总机械能保持不变。

由于实际流体具有黏滞性，所以在流动过程中有阻力产生，因而要消耗流体的能量或压头。损失的能量变为热能，其中部分被流体吸收，部分通过管壁散失。单位重量的流体，由于克服阻力所损失的能量，称为水头损失，用符号 h_w 表示，单位是 m。

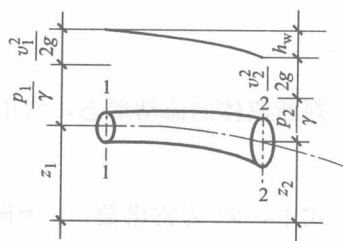


图 1-17 实际流体过流断面总水头

如图 1-17 所示，流体从断面 1-1 流动到断面 2-2，其中因克服阻力而产生的水头损失为 h_{w1-2} ，则实际流体 1-1 断面和 2-2 断面间的伯努利方程为：

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w1-2}$$

式中， z_1 、 z_2 为 1-1 断面、2-2 断面到基准面的位置水头，m； $\frac{p_1}{\gamma}$ 、 $\frac{p_2}{\gamma}$ 为 1-1 断面、2-2 断面的压强水头，m； $\frac{v_1^2}{2g}$ 、 $\frac{v_2^2}{2g}$ 为 1-1 断面、2-2 断面的流速水头，m； h_{w1-2} 为流体从 1-1 断面流动到 2-2 断面过程中的水头损失，m。

伯努利方程还有其他的表达形式：

$$p_1 + z_1 \rho g + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + z_2 \rho g + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + h_{w1-2}$$

上式即为流动动力学方程，它说明，在恒定流的条件下，流体流动过程中，在管道任一截面上，流体的静压头、动压头、几何压头三者之间可以相互转化，其中有一部分机械能因克服阻力转化为热能而损失，但总能量保持不变。

在应用伯努利方程时应注意：

- ① 流体的流动必须是恒定的；
- ② 所取的截面 1-1 至截面 2-2 应是渐变流截面；
- ③ 伯努利方程是由不可压缩流体导出的，但对工程中的大多数气体，当压强温度变化不大时，也近似适用。

1.3.5 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。

如图 1-18(a) 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，玻璃管内有股红色的细流，像一条线一样，如图 1-18(b) 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 1-18(c) 所示。继续加大流速，将出现红颜色水向四周扩散，质点或液团相互掺混，流速愈大，掺混程度愈大，这种水流形态称为紊流，如图 1-18(d) 所示。

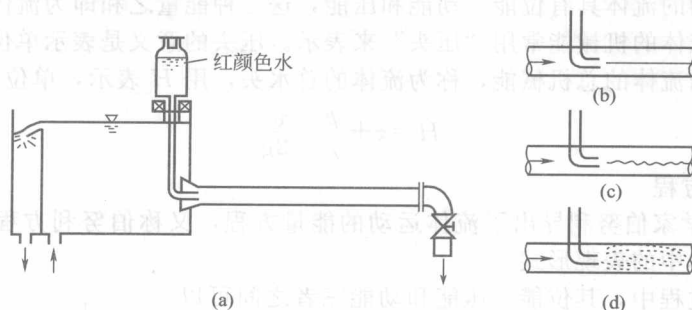


图 1-18 管中液流的流动形态

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。

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

式中， Re 为雷诺数； v 为圆管中流体的平均流速，m/s； d 为圆管的直径，m； ν 为流体的运动黏滞系数， m^2/s 。

对于圆管的有压管流： $Re < 2320$ 时，流体为层流形态； $Re > 2320$ 时，流体为紊流形态。

对于明渠流，雷诺数按下式计算：

$$Re = \frac{vR}{\nu}$$

式中， R 为水力半径， $R = \omega/x$ ，其中 ω 是过流断面面积， x 是湿周。

1.3.6 沿程水头损失与局部水头损失

1. 沿程阻力和沿程水头损失

流体在长直管（或明渠）中流动所受的摩擦阻力称为沿程阻力。为了克服沿程阻力而消耗的单位重量流体的能量称为沿程水头损失。沿程水头损失按下式计算：

$$h_f = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

式中， h_f 为沿程水头损失， mH_2O ； λ 为沿程阻力系数，无量纲； l 为管道长度，m； d 为管道内径，m； v 为管中平均流速，m/s； g 为重力加速度，取 $9.8m/s^2$ 。

式中沿程阻力系数 λ 与流动状态和管壁粗糙度有关，一般可通过实验或按经验公式计算求得。

在工程计算中，沿程水头损失亦可按下式计算：

$$h_f = il$$

式中， i 为水力坡度（Pa/m 或 kPa/m）， $i = \frac{h_w}{l}$ ，既单位长度上的水头损失； l 为计算管段的长度，m。

2. 局部阻力和局部水头损失

当流体通过管道上的阀门、弯头、三通、异径管等附件时，由于固体边界的急剧变化而形成漩涡和流速分布的改变而造成的阻力称为局部阻力，相应的能量损失称为局部水头损失。