



“十三五”普通高等教育本科规划教材

# 建筑环境与能源 应用工程概论

韦节廷 主 编

王杨洋 张 锐 副主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

# 建筑环境与能源 应用工程概论

主 编 韦节廷  
副主编 王杨洋 张 锐  
编 写 刘 扬 王 靖 杨雷亭 于春艳 金洪文  
主 审 李德英

常州大学图书馆  
藏书章



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。全书共分十三章，主要讲述了流体力学基本知识，热工学基本知识，建筑给排水系统的设备及组成，供热工程基本知识，供燃气工程的基本知识，空气调节、通风工程、建筑供电、楼宇自动化及太阳能，以及风能发电建筑应用技术等方面的基本知识。通过对这些知识的学习，可使读者对建筑设备有一个全面的了解。

本书可作为普通高等院校土建类专业教材，也可作为高职高专院校相关专业教材，还可作为函授和自考辅导用书及从事相关专业技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑环境与能源应用工程概论/韦节廷主编. —北京：中国电力出版社，2018.8

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-2069-5

I. ①建… II. ①韦… III. ①建筑工程-环境管理-高等学校-教材 IV. ①TU-023

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 108335 号

---

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街 19 号（邮政编码 100005）

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：孙 静

责任校对：常燕昆

装帧设计：张俊霞

责任印制：吴 迪

---

印 刷：北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次：2018 年 8 月第一版

印 次：2018 年 8 月北京第一次印刷

开 本：787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张：19.75

字 数：482 千字

定 价：50.00 元

---

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

# 前 言

《建筑环境与能源应用工程概论》主要叙述建筑物内的给水、排水、供热、通风、空气调节、燃气输配、供电、照明、通信等设备的基本知识和技术。这些设备及组成的系统置于建筑物内，在设计和施工过程中，必须和建筑、结构良好的配合，才能既不影响建筑的美观，又能达到理想的使用效果。

建筑环境与能源应用工程概论课程是土木工程、建筑学、建筑环境与能源应用工程、新能源科学与工程、给排水科学与工程等专业的专业课。主要讲授流体力学和热工学的基本知识；建筑设备系统的组成、工作原理及对建筑的要求。使建筑工程技术人员对设备专业有一个全面的了解。由于我国幅员辽阔，南北气象条件相差很大，对建筑环境与能源应用工程的内容的要求也不一致。在编写过程中我们力争满足不同的要求，尽量反映国内外新的技术和设备，尽量满足新编规范的要求。

本书第一、六章由长春工程学院张锐编写；第三、四章由河南城建学院王靖编写；第七、八章由长春工程学院韦节廷编写；第九~十二章由河南城建学院杨雷亭编写；第二、十三章及第三、八章修订内容由吉林建筑大学城建学院刘扬编写；第五章及第四~七章的修订内容由吉林建筑大学城建学院王杨洋编写。全书由韦节廷任主编，王杨洋、张锐任副主编。全书插图由长春工程学院于春艳、金洪文绘制，并对本书的书稿进行了校对。

本书由北京建筑大学李德英审阅，提出许多宝贵意见，在此表示感谢！

限于编者水平，书中不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

2018年5月

# 目 录

前言

## 第一篇 建筑设备基础知识

第一章 流体力学基本知识	1
第一节 流体的主要力学性质	1
第二节 流体静力学的基本概念	5
第三节 流体动力学的基本概念	8
第四节 流动阻力与能量损失的基本概念	10
第二章 传热学基本知识	14
第一节 稳定传热的基本概念	14
第二节 对流换热的基本概念	18
第三节 辐射换热的基本概念	29
第四节 传热和换热器	44

## 第二篇 建筑给水排水工程

第三章 建筑给水工程	52
第一节 建筑给水系统的分类	52
第二节 建筑给水系统的设备	54
第三节 给水管道及给水设备的布置	60
第四节 建筑消防给水	63
第五节 建筑热水系统	77
第六节 给水系统与建筑的配合	86
第四章 建筑排水工程	89
第一节 建筑排水系统的组成	89
第二节 排水管道的布置与敷设	91
第三节 建筑排水设计举例	94
第四节 海绵城市设计	97

## 第三篇 暖通空调工程

第五章 供热与供燃气	102
第一节 供热系统的形式与特点	102

第二节	供暖热负荷	113
第三节	供暖系统的设备及附件	116
第四节	供暖系统管网的布置	123
第五节	高层建筑采暖的特点	124
第六节	燃气供应	127
第七节	电采暖及其控制	130
<b>第六章</b>	<b>通风</b>	137
第一节	概述	137
第二节	室内外空气计算参数	138
第三节	局部通风	140
第四节	自然通风	142
第五节	通风系统的主要设备和构件	146
第六节	通风系统的节能技术	156
<b>第七章</b>	<b>空气调节</b>	160
第一节	概述	160
第二节	空气调节方式和设备的组成	161
第三节	空气处理及设备	166
第四节	空调系统的节能技术	182
第五节	空气调节系统与建筑的配合	185
<b>第八章</b>	<b>冷热源</b>	187
第一节	冷热源组成	187
第二节	空调冷热源流程	196
第三节	清洁能源综合应用技术	206
第四节	冷热源设备布置及实例	208

## 第四篇 建筑电气工程

<b>第九章</b>	<b>建筑供配电系统</b>	212
第一节	变电所的形式及对建筑的要求	212
第二节	供电系统线路及对建筑物的要求	219
<b>第十章</b>	<b>电气照明</b>	226
第一节	电气照明常用参数	226
第二节	电光源与灯具	229
第三节	配电设备、配电箱的布置	239
第四节	电气照明线路的布置及敷设	243
第五节	电气照明网络计算	245
第六节	电气工程照明设计实例	253
第七节	建筑电气识图	258

第十一章 电气安全、接地和防雷	271
第一节 电气安全	271
第二节 接地、接零和等电位连接	273
第三节 防雷	282
第十二章 智能建筑	285
第一节 电话系统	285
第二节 有线电视与监控电视系统	291
第三节 建筑火灾报警及消防联动系统	294
第四节 建筑自动化系统	296
第十三章 太阳能与风能发电建筑应用技术	299
第一节 概论	299
第二节 太阳能发电系统	300
第三节 太阳能发电系统与建筑一体化	303
第四节 风能发电系统	305
第五节 风能发电与建筑一体化	306
参考文献	308

# 第一篇 建筑设备基础知识

## 第一章 流体力学基本知识

物质在自然界中通常按其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。

在建筑设备工程技术领域的许多内容，包括建筑物内部的给水、排水及采暖、通风、空调工程等，都是以流体为工作介质，因此，掌握好流体力学的基本原理、概念和方法，对分析和解决一些实际工程中的问题大有帮助。

### 第一节 流体的主要力学性质

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。正因为如此，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，深入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。

下面介绍一下流体主要的力学性质。

#### 一、流体的惯性

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

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

式中  $\rho$ ——流体的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$m$ ——流体的质量， $\text{kg}$ ；

$V$ ——流体的体积， $\text{m}^3$ 。

对于非均质流体，任一点的密度为

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

式中  $\rho$ ——某点的流体密度；

$\Delta M$ ——微小体积  $\Delta V$  的流体质量；

$\Delta V$ ——包含该点在内的流体体积。

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



$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-3)$$

式中  $\gamma$ ——流体的重度,  $\text{N}/\text{m}^3$ ;  
 $G$ ——流体所受的重力,  $\text{N}$ ;  
 $V$ ——流体的体积,  $\text{m}^3$ 。

由牛顿第二定律得:  $G=mg$ 。因此

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (1-4)$$

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在不同状态下不是一个固定值。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  $4^\circ\text{C}$  时密度和重度分别为

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

水银在标准大气压, 温度为  $0^\circ\text{C}$  时其密度和重度是水的 13.6 倍。

干空气在标准大气压, 温度为  $20^\circ\text{C}$  时密度和重度分别为

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

## 二、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。流体之间层与层流动时将产生摩擦力以反抗本身的相对运动。流体的黏滞性可通过流体在管道中流动情况来加以说明。

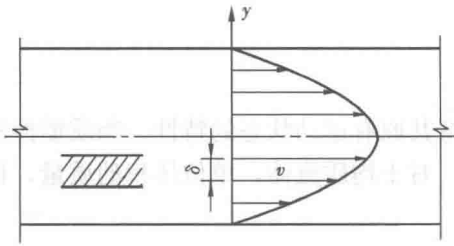


图 1-1 管道中断面流速分布

当流体在管内缓慢流动时, 紧贴管壁的流体质点, 黏附在管壁上, 流速为零。位于管轴上的流体质点, 离管壁的距离最远, 受管壁的影响最小, 因而流速最大。介于管壁和管轴的流体质点, 将以不同的速度向前流动, 它们的速度从管壁到管轴, 从零增大到最大的轴心速度。用流速仪可测得流体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体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。

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, 由于各流体层间没有相对运动, 黏滞性不表现出来。

流体黏滞性的大小, 通常用动力黏滞性系数  $\mu$  和运动黏滞性系数  $\nu$  来反映, 它们是与流体种类有关的系数。黏滞性大的流体,  $\mu$  和  $\nu$  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。实验证明, 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(参见表 1-1、表 1-2)。

表 1-1 水的黏滞性系数

$t$ (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m <sup>2</sup> /s)	$t$ (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m <sup>2</sup> /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 一个大气压下空气的黏滞性系数

$t$ (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m <sup>2</sup> /s)	$t$ (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m <sup>2</sup> /s)
-20	0.016 6	11.9	70	0.020 4	20.5
0	0.017 2	13.7	80	0.021 0	21.7
10	0.017 8	14.7	90	0.021 6	22.9
20	0.018 3	15.7	100	0.021 8	23.6
30	0.018 7	16.6	110	0.023 9	29.6
40	0.019 2	17.6	120	0.025 9	25.8
50	0.019 6	18.6	130	0.028	42.8
60	0.020 1	19.6	140	0.029 8	49.9

内摩擦力的大小可用下式表示

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

式中  $T$ ——流体的内摩擦力；

$\mu$ ——流体的动力黏性系数；

$A$ ——层与层的接触面积；

$\frac{du}{dy}$ ——流体的速度梯度。

流体的动力黏性系数与运动黏性系数有如下关系

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

式中  $\nu$ ——流体的运动黏性系数；

$\rho$ ——流体的密度。

### 三、流体的压缩性和热胀性

温度一定，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。压强一定，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 0.5/10 000；在 10~20°C 的范围内，温度每增加 1°C，水的体积只增加 1.5/10 000；在 90~100°C 的范围内，温度每增加 1°C，水的体积也只增加 7/10 000。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。气体虽然是可以压缩和热胀的，但是，具体问题也要具体分析。我们在分析任何一种具体流动中，主要关心的是压缩性是否起显著作用。对于气体速度较低（远小于音速）情况，在流动过程中压强和温度的

变化较小，密度仍然可以看作是常数，这种气体称为不可压缩气体。反之，对于气体速度较高（接近或超过音速）的情况，在流动的过程中其密度的变化很大，密度已经不能视为常数的气体，称为可压缩气体。在供热通风空调工程中，所遇到的大多数的气体流动，速度远小于音速，其密度变化不大，因此可以当作不可压缩流体对待。也就是说，将空气认为和水一样是不可压缩流体。

气体的压缩性和热胀性可用如下两式表示

$$\beta = \frac{\rho}{dp} \quad (1-7)$$

式中  $\beta$ ——压缩系数， $\text{m}^2/\text{N}$ 。

$$\alpha = \frac{\rho}{dT} \quad (1-8)$$

式中  $\alpha$ ——流体的热胀系数， $\text{T}^{-1}$ 。

温度和压强的变化对气体的容重影响很大。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表示

$$p = \rho RT \quad (1-9)$$

式中  $p$ ——气体的绝对压强， $\text{N}/\text{m}^2$ ；

$T$ ——气体的热力学温度， $\text{K}$ ；

$\rho$ ——气体的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$R$ ——气体常数， $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。对于理想气体有  $R = \frac{8314}{n}$ ， $n$  为气体的分子量。

#### 四、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。表面张力不仅存在于液体表面，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  $\sigma$  表示，单位是  $\text{N}/\text{m}$ 。

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

$$h = \frac{2\sigma}{r\gamma} \cos \alpha \quad (1-10)$$

式中  $\gamma$ ——液体的容重；

$r$ ——玻璃管内径；

$\sigma$ ——液体的表面张力系数。

如果把玻璃管垂直竖立在水中，则有下式

$$h = \frac{15}{r} \quad (1-11)$$

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，将是不可忽略的因素。

## 第二节 流体静力学的基本概念

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。

### 一、流体静压强及其特性

在一个容器的静止水中，取出微小水体 I 作为隔离体来进行研究，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  $\Delta\omega$  上的总压力是  $\Delta P$ ，则  $\Delta\omega$  面积上的平均压强为

$$p = \frac{\Delta P}{\Delta\omega} \quad (1-12)$$

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

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega} \quad (1-13)$$

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。

### 二、流体静压强的分布规律

在静止液体中任取一垂直小圆柱体作为隔离体，研究其底面点的静压强，如图 1-3 所示。已知圆柱体高度为  $h$ ，端面面积为  $\Delta\omega$ ，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 1-3 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有：

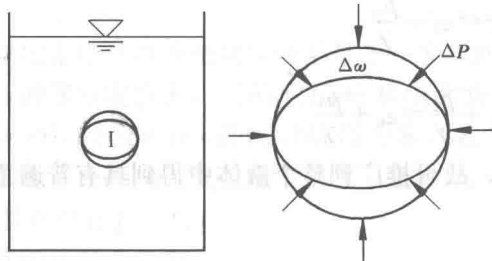


图 1-2 流体的静压强

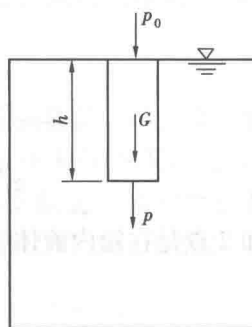


图 1-3 静止液体中的小圆柱体

- (1) 上表面压力  $p_0 = p_0 \Delta\omega$ ，方向垂直向下。
- (2) 下底面静压力  $P = p \Delta\omega$ ，方向垂直向上。
- (3) 圆柱体的重力  $G = \gamma h \Delta\omega$ ，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，则可得圆柱体轴向平衡方程，即

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

整理得

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-14)$$

式中  $p$ ——静止流体中任一点的压强,  $\text{N}/\text{m}^2$ ;  
 $p_0$ ——液体表面压强,  $\text{N}/\text{m}^2$ ;  
 $\gamma$ ——液体的重度,  $\text{N}/\text{m}$ ;  
 $h$ ——所研究的点在液面下的深度,  $\text{m}$ 。

式(1-14)是静水压强基本方程式,又称为静水力学基本方程式。方程式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。

(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。

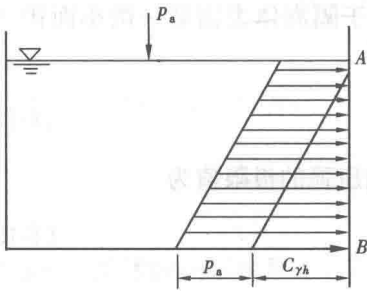


图1-4 流体静压强分布图

(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) 液面压强可等值的在静止液体内传递。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(1-14)还可表示成为另一种形式,如图1-5所示。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

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

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

将上等式的两边除以液体重度  $\gamma$ 并整理得

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

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

进而得

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

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

$$z + \frac{p}{\gamma} = c \quad (\text{常数}) \quad (1-15)$$

这就是静水压强基本方程式的另一种表达形式。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。

如图1-6所示,以  $z$  为任一点的位置相对于基准面的高度,称为位置水头;  $p/\gamma$  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。

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  $\gamma h$  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。

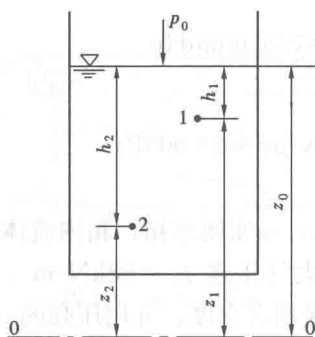


图 1-5 静水压强基本方程的另一形式

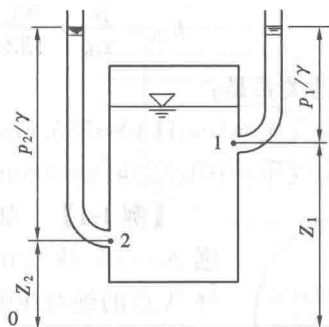


图 1-6 测压管水头

### 三、工程计算中压强的表示方法和计量单位

#### 1. 压强的两种计算基准

(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。绝对压强是流体的全部压强，当讨论流体的本身的性质时，当采用状态方程时都要用到绝对压强。

(2) 相对压强。以当地大气压强  $p_0$  为零点计算的压强称为相对压强，用  $p_a$  表示。采用相对压强基准，则当地大气压强的相对压强值为零。

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

$$p_a = p_j - p_0 \quad (1-16)$$

相对压强可能是正值，也可能是负值。当绝对压强大于当地大气压强时，相对压强的正值称正压，可用压力表测出，也称表压；当绝对压强小于当地大气压强时，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

$$p_k = p_0 - p_j = -p_a \quad (1-17)$$

真空度是指某点的绝对压强不足于一个当地大气压强的数值，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。在标准大气压下，真空度的最大值为  $p_k = p_0 = 101.325 \text{ kN/m}^2$ ，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， $p_k = 0$ ，即在一个标准大气压强下，真空度在  $p_k = 0 \sim 101.325 \text{ kN/m}^2$  的范围内变动。

#### 2. 压强的计量单位

压强的计量单位为：

(1) 用单位面积的压力来表示，单位是  $\text{N/m}^2$  (帕，Pa) 或  $\text{kN/m}^2$  (千帕，kPa)。

(2) 用工程大气压来表示，单位是工程大气压，1 工程大气压 = 98.07 kPa，在工程单位制中，1 工程大气压 = 1 kgf/cm<sup>2</sup> (千克力/厘米<sup>2</sup>)。

(3) 用液柱高度来表示，单位是 mH<sub>2</sub>O (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

$$h = p/\gamma \quad (1-18)$$

当水的重度  $\gamma = 9.807 \text{ kN/m}^3$ ，汞的重度为  $133.38 \text{ kN/m}^3$ ，则 1 个大气压相应于水柱和汞柱高度为

$$h = \frac{p_0}{\gamma} = \frac{98.07 \text{ kN/m}^2}{9.807 \text{ kN/m}^3} = 10 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$h_{\text{Hg}} = \frac{p_0}{\gamma_{\text{Hg}}} = \frac{98.07 \text{ kN/m}^2}{133.38 \text{ kN/m}^3} = 735.6 \text{ mmHg}$$

三种压强的关系是:

1 个工程大气压  $\approx 10 \text{ mH}_2\text{O} \approx 735.6 \text{ mmHg} \approx 98 \text{ kN/m}^2 \approx 98\,000 \text{ Pa}$

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

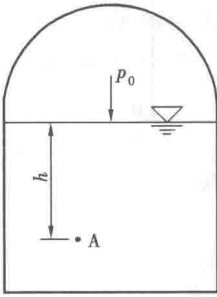


图 1-7 密闭水箱

**【例 1-1】** 如图 1-7 所示, 一密闭水箱, 箱内流体表面的绝对压强  $p_0 = 78.4 \text{ kN/m}^2$ , 箱外的大气压强  $p_0 = 98 \text{ kN/m}^2$ , 求水深 1.5m 处 A 点的绝对压强、相对压强和真空度, 并用压强的三种单位表示。

**解:** 根据静水压强基本方程式, 则 A 点的绝对压强为

$$p_{jA} = p_0 + \gamma h = 78.4 + 9.807 \times 1.5 = 78.3 + 14.811 = 93.111 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

A 点的相对压强为

$$p_A = p_{jA} - p_0 = 93.111 - 98 = -4.889 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

因为 A 点的相对压强是负值, 说明 A 点处于真空状态, 其真空度为

$$p_{kA} = p_0 - p_{jA} = 98 - 93.111 = 4.889 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

用工程大气压表示 A 点的压强

$$p_{jA} = 93.111/98 = 0.95 \text{ 个工程大气压}$$

$$p_A = -4.889/98 = -0.05 \text{ 个工程大气压}$$

$$p_{kA} = 4.889/98 = 0.05 \text{ 个工程大气压}$$

用  $\text{mH}_2\text{O}$  表示 A 点的压强:

因为 1 个工程大气压  $= 10 \text{ mH}_2\text{O}$ , 则 A 点的压强可表示为

$$p_{jA} = 0.95 \times 10 = 9.5 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$p_A = -0.95 \times 10 = -9.5 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$p_{kA} = 0.05 \times 10 = 0.5 \text{ mH}_2\text{O}$$

### 第三节 流体动力学的基本概念

流体在建筑设备工程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。

#### 一、流体动力学的一些基本概念

(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 1-8 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 1-9 所示。

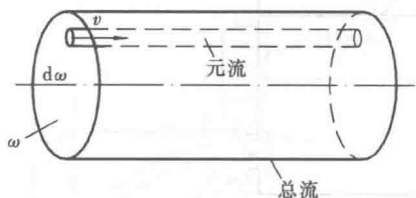


图 1-8 元流与总流

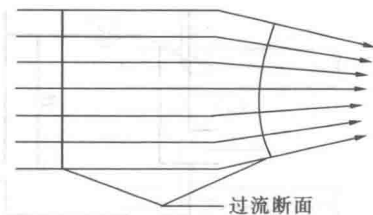


图 1-9 过流断面

(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断面流速如图 1-10 所示。

流量、过流断面和流速三者之间应符合下面关系

$$Q = \omega v \quad (1-19)$$

式中  $Q$ ——体积流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$v$ ——平均流速， $\text{m}/\text{s}$ ；

$\omega$ ——过流断面， $\text{m}^2$ 。

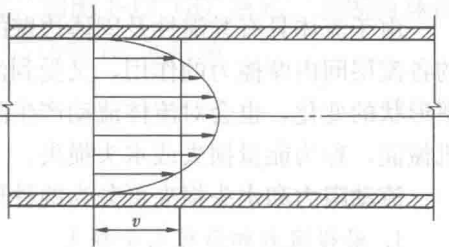


图 1-10 断面流速

## 二、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、排水管道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 1-11 (a) 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 1-11 (b) 所示。

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。



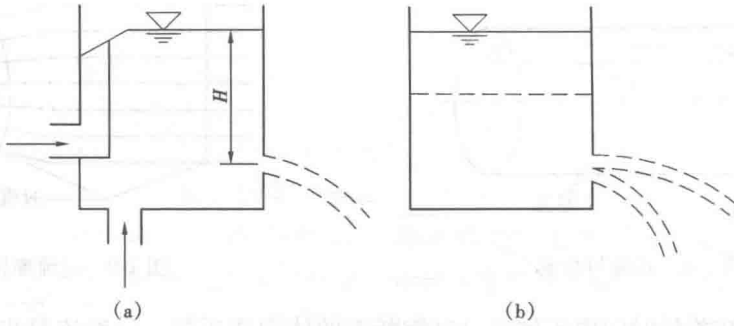


图 1-11 恒定流与非恒定流

(a) 恒定流; (b) 非恒定流

## 第四节 流动阻力与能量损失的基本概念

### 一、流动阻力与能量损失的两种形式

由于流体具有黏滞性及固体边壁的不光滑, 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, 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, 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旋涡, 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。除旋涡之外, 摩擦损失和扩散损失等也是局部阻力形成的主要因素。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

$$h_w = \sum h_f + h_j \quad (1-20)$$

在给排水与采暖工程中, 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。

### 二、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 1-12 (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, 玻璃管内有股红色水流的细流, 像一条线一样, 如图 1-12 (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