



世纪高等教育土建类规划教材

# 建筑设备工程

李亚峰 邵宗义 李英姿 主编



免费电子课件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等教育土建类规划教材

# 建筑设备工程

主 编 李亚峰 邵宗义 李英姿  
参 编 谢 慧 杨 晖 许秀红  
刘 强 杨 辉  
主 审 裴立德



机械工业出版社

本书包括流体力学与传热学基础知识, 建筑给水排水工程, 供热通风、空气调节与燃气供应, 建筑电气四部分内容, 主要介绍建筑给水、排水、热水、消防、供热、通风、空调、燃气、照明、供配电的基本知识和基本原理, 以及相应的设计、计算方法和材料设备等, 并扼要讲述了建筑设备工程与土建工程的关系和设计、施工相配合等方面的内容。

本书可供高等院校建筑学、土木工程、工程管理专业及其他建筑类专业的师生使用, 也可供从事建筑设计、结构设计、工程管理、工程造价与施工、工程预算的工程技术人员以及准备参加注册建筑师、注册造价师、注册建造师的考生使用。

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

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑设备工程/李亚峰, 邵宗义, 李英姿主编. —北京: 机械工业出版社, 2009.6

21世纪高等教育土建类规划教材

ISBN 978-7-111-27374-5

I. 建… II. ①李…②邵…③李… III. 房屋建筑设备—高等学校—教材 IV. TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 089913 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: 霍永明 责任校对: 陈延翔

封面设计: 王伟光 责任印制: 杨曦

唐山丰电印务有限公司印刷

2009年8月第1版第1次印刷

169mm×239mm·26印张·501千字

标准书号: ISBN 978-7-111-27374-5

定价: 35.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379720

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

建筑设备工程是建筑学、土木工程、工程管理等专业的一门专业拓展课程，也是我国注册建筑师、注册造价师执业资格考试的主要内容之一。建筑设备包括建筑给水排水设备、暖通空调设备、建筑电气设备三部分，是建筑工程的重要组成部分。随着社会经济的发展和人民生活水平的提高，对现代建筑的功能与设施提出了更高的要求，为了创造卫生、舒适、美好的生活和工作环境，要求建筑内设置完善的给水、排水、供暖、空调、燃气、照明、供配电等设备。建筑设备的完善程度和技术水平的先进性已成为社会生产、房屋建筑和物质生活水平的重要标志。建筑学、土木工程、工程管理等专业类的学生和工程技术人员都应具有建筑设备工程的基本知识，这样才能将建筑、结构、建筑设备三大部分有机地结合成一个整体，使其更出色地完成今后的工作任务。

本书主要包括流体力学与传热学基础知识，建筑给水排水工程，供热通风、空气调节与燃气供应，建筑电气四部分内容，分别介绍了建筑给水、排水、热水、消防、供暖、通风、空调、燃气、照明、供配电的基本知识和基本原理，以及相应的设计、计算方法和材料设备等，并扼要讲述了建筑设备工程与土建工程的关系和设计、施工相配合等方面的内容。同时，本书也介绍了近年来的新技术、新理论、新方法、新工艺和新设备，尽量反映本学科现代科学技术水平。

本书力求简明扼要、通俗易懂，兼顾不同专业的学生和工程技术人员需要。理论密切联系实际，以便于读者进一步理解和掌握书中的理论知识。

本书共分4篇17章，第1章、第2章、第3章、第9章、第12章由北京建筑工程学院邵宗义编写；第4章、第5章由沈阳建筑大学李亚峰、许秀红编写；第6章、第8章由沈阳建筑大学李亚峰、刘强编写；第7章由沈阳建筑大学李亚峰、杨辉编写；第10章由北京建筑工程学院杨晖、邵宗义编写；第11章由北京科技大学谢慧编写；第13章、第14章、第15章、第16章、第17章由北京建筑工程学院李英姿编写。全书由李亚峰、邵宗义、李英姿统编定稿，由裴立德主审。

由于编者的编写水平有限，对于书中的缺点和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第 1 篇 流体力学与传热学基础知识

第 1 章 流体的主要物理性质及流体静力学 .....	2
1.1 流体的主要物理性质 .....	2
1.2 流体静力学知识 .....	4
第 2 章 流体动力学知识 .....	6
2.1 流体运动的基本概念 .....	6
2.2 流动阻力和水头损失 .....	10
2.3 孔口、管嘴出流及气体射流简介 .....	13
第 3 章 传热学基础知识 .....	17
3.1 传热学的基本概念 .....	17
3.2 传热方式与传热过程 .....	18

## 第 2 篇 建筑给水排水工程

第 4 章 建筑给水系统 .....	24
4.1 给水系统的分类与组成 .....	24
4.2 给水方式 .....	26
4.3 给水管道的材料及给水附件 .....	30
4.4 水泵 .....	36
4.5 储水池、水箱和气压给水设备 .....	37
4.6 给水管道的布置与敷设 .....	42
4.7 用水定额与给水设计秒流量 .....	45
4.8 建筑给水管道的的设计计算简介 .....	52
4.9 高层建筑给水系统 .....	54
第 5 章 建筑消防给水系统 .....	57
5.1 室内消火栓给水系统 .....	57
5.2 自动喷水灭火系统 .....	69
5.3 其他灭火设施简介 .....	80

<b>第 6 章 建筑热水供应系统</b> .....	86
6.1 热水供应系统 .....	86
6.2 热水供应系统的主要设备 .....	89
6.3 热水供应系统的管材和附件 .....	94
6.4 热水供应系统的管道敷设与保温 .....	97
6.5 建筑内部热水供应系统计算简介 .....	98
6.6 高层建筑热水供应系统 .....	105
6.7 饮水供应 .....	107
<b>第 7 章 建筑排水系统</b> .....	113
7.1 排水系统的分类和组成 .....	113
7.2 排水管材、附件及卫生器具 .....	115
7.3 排水系统的布置与管道敷设 .....	126
7.4 排水系统的设计计算 .....	128
7.5 污(废)水的提升和局部处理 .....	132
7.6 屋面雨水排水系统 .....	134
7.7 高层建筑排水系统 .....	139
<b>第 8 章 建筑中水系统及游泳池给水排水</b> .....	142
8.1 建筑中水系统简介 .....	142
8.2 游泳池给水排水 .....	146

### 第 3 篇 供热通风、空气调节与燃气供应

<b>第 9 章 建筑供热采暖系统</b> .....	154
9.1 建筑设计热负荷 .....	154
9.2 采暖系统的形式 .....	161
9.3 供热采暖系统的安装 .....	175
9.4 散热设备 .....	187
9.5 低温地板辐射采暖 .....	190
9.6 高层建筑供暖系统 .....	192
9.7 供热热源概述 .....	195
<b>第 10 章 建筑通风系统</b> .....	201
10.1 建筑通风概述 .....	201
10.2 自然通风 .....	202
10.3 局部通风 .....	207
10.4 全面通风 .....	211
10.5 通风系统的设备与构件 .....	214

10.6	有害气体的净化与除尘 .....	219
10.7	建筑消防通风 .....	223
10.8	人防建筑通风简介 .....	233
<b>第 11 章</b>	<b>空气调节系统</b> .....	<b>235</b>
11.1	空气调节的基础知识 .....	235
11.2	空调系统的冷负荷 .....	239
11.3	空调系统 .....	242
11.4	空气处理设备 .....	254
11.5	空气的输送与分配 .....	261
11.6	空调水系统 .....	269
11.7	空调系统的冷热源 .....	274
11.8	空调系统的消声与隔振 .....	281
<b>第 12 章</b>	<b>燃气供应</b> .....	<b>287</b>
12.1	燃气系统 .....	287
12.2	建筑内部燃气管道计算 .....	296

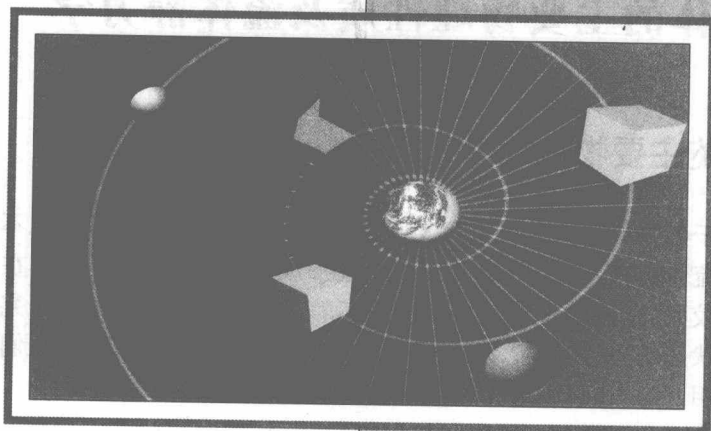
## 第 4 篇 建筑电气

<b>第 13 章</b>	<b>电工基础知识</b> .....	<b>302</b>
13.1	电路的基本概念 .....	302
13.2	直流电路的基本定律 .....	307
13.3	负载的连接 .....	308
13.4	正弦交流电路的基本概念 .....	310
13.5	三相交流电路 .....	315
<b>第 14 章</b>	<b>建筑供配电系统</b> .....	<b>322</b>
14.1	供配电系统 .....	322
14.2	用电负荷的计算 .....	327
14.3	电气设备的选择 .....	330
14.4	导线和电缆的选择 .....	340
<b>第 15 章</b>	<b>电气照明系统</b> .....	<b>343</b>
15.1	照明的基础知识 .....	343
15.2	电光源 .....	346
15.3	照明器 .....	349
<b>第 16 章</b>	<b>建筑弱电系统</b> .....	<b>354</b>
16.1	有线电视系统 .....	354
16.2	通信系统 .....	359

16.3	火灾自动报警及消防联动系统 .....	362
16.4	安全防范系统 .....	367
16.5	建筑设备监控系统 .....	373
<b>第 17 章</b>	<b>建筑防雷与接地 .....</b>	<b>380</b>
17.1	建筑物的防雷措施 .....	380
17.2	建筑物的接地系统 .....	383
17.3	等电位联结 .....	389
17.4	安全用电 .....	392
<b>附录</b>	<b>.....</b>	<b>397</b>
附录 A	给水钢管(水煤气管)水力计算表 .....	397
附录 B	给水塑料管水力计算表 .....	399
附录 C	排水塑料管水力计算表 ( $n = 0.009$ ) .....	400
附录 D	机制铸铁排水管水力计算表 ( $n = 0.009$ ) .....	401
附录 E	$k_1 = 1$ 时雨水斗最大汇水面积 .....	402
附录 F	$k_1 = 1$ , $h_5 = 100\text{mm/h}$ 时多斗悬吊管最大允许汇水面积 .....	402
附录 G	$k_1 = 1$ 时立管最大汇水面积 .....	403
附录 H	$k_1 = 1$ , $h_5 = 100\text{mm/h}$ 时敞开系统埋地管最大允许汇水面积 .....	403
附录 I	$k_1 = 1$ , $h_5 = 100\text{mm/h}$ 时密闭系统埋地管最大允许汇水面积 .....	404
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>405</b>



## 第 1 篇



# 流体力学与传热学基础知识

# 第 1 章

## 流体的主要物理性质及流体静力学

### 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. 密度

流体和固体一样，也具有质量。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  $m$ ——流体的质量 (kg);

$V$ ——流体的体积 ( $\text{m}^3$ )。

流体的密度随外界压力和温度而变化。

#### 2. 流体的粘滞性

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流层，各流层的流速不同，并按照某种曲线规律连续变化，管轴心的流速最大，沿着管道壁的方向递减，直至管壁处的流速为零。

牛顿在总结实验的基础上，首先提出了流体内摩擦力的假说——牛顿内摩擦定律，如用切应力表示，可写为

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{du}{dn} \quad (1-2)$$

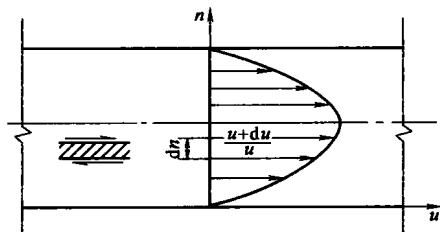


图 1-1 管道中断面流速分布

式中  $F$ ——内摩擦力 (N);  
 $S$ ——摩擦流层的接触面面积 ( $\text{m}^2$ );  
 $\tau$ ——流层单位面积上的内摩擦力, 又称切应力 ( $\text{N}/\text{m}^2$ , 或称 Pa);  
 $\mu$ ——与流体种类有关的系数, 称为动力粘度 ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ , 或称  $\text{Pa}\cdot\text{s}$ );  
 $\frac{du}{dn}$ ——流速梯度, 表示速度沿垂直于速度方向的变化率 ( $1/\text{s}$ )。

流体粘滞性的大小, 可用粘度表达, 除动力粘度  $\mu$  外, 常用运动粘度  $\nu = \mu/\rho$  表示, 单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ 。

### 3. 流体的压缩性和热胀性

流体压强增大体积减小的性质称为流体的压缩性, 流体温度升高体积膨胀的性质称为流体的热胀性。

液体的压缩性和热胀性都很小, 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。

气体与液体不同, 具有显著的压缩性和热胀性。在温度不过低, 压强不过高时, 气体的密度、压强和温度三者之间的关系服从理想气体状态方程

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (1-3)$$

式中  $p$ ——气体的绝对压强 ( $\text{N}/\text{m}^2$ );  
 $\rho$ ——气体的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  
 $T$ ——气体的热力学温度 (K);  
 $R$ ——气体常数 [ $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ]。

对于空气  $R = 287$ ; 对于其他气体  $R = 8314/N$ ,  $N$  为该气体的相对分子质量。

对于速度较低 (远小于声速) 的气体, 其压强和温度在流动过程中变化较小, 密度可视为常数, 这种气体称为不可压缩气体。反之, 速度较高 (接近或超过声速) 的气体, 在流动过程中密度变化很大,  $\rho$  不能视为常数, 这种气体称为可压缩气体。

综上所述, 流体的各项主要物理性质, 对于建筑设备工程中的水、气流体, 由于其流速在大多情况下均较低, 因而密度在流动过程中变化不大, 密度可视为常数, 一般将这种水、气流体, 可以认为是一种易于流动的、具有粘滞性的和不可压缩的流体。

在研究流体运动规律中, 还需要了解“连续介质”的概念。所谓连续介质, 是把流体看成是全部充满的、内部无任何空隙的质点所组成的连续体。

## 1.2 流体静力学知识

流体处于静止状态时,因其不显示粘滞性,所以流体静力学的中心问题是研究流体压强的分布规律。

### 1.2.1 流体静压强及其分布规律

#### 1. 流体静压强及其特性

如图 1-2 所示,这种情况必须把周围流体对部分流体的作用力加上,以保持其静止状态不变。设作用于隔离体表面某一微小面积  $\Delta\omega$  上的总压力是  $\Delta p$ ,当所取的面积无限缩小为一点  $a$ ,即  $\Delta\omega \rightarrow 0$ ,则

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta\omega} \quad (1-4)$$

这个极限值  $p$  称为  $a$  点的静压强。

流体静压强的量纲为 [力/面积],在国际单位制中,单位常用 Pa 表示。

流体静压强有两个特性:

- 1) 流体静压强的方向必定沿着作用面的内法线方向。
- 2) 任意点的流体静压强只有一个值,它不因作用面的方位改变而改变。

#### 2. 流体静压强的分布规律

静水压强基本方程式,又称为静水力学基本方程式

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-5)$$

式中  $p$ ——静止液体中任意点的压强 ( $\text{kN}/\text{m}^2$  或  $\text{kPa}$ );

$p_0$ ——表面压强 ( $\text{kN}/\text{m}^2$  或  $\text{kPa}$ );

$\gamma$ ——液体的重度 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ );

$h$ ——所研究点在自由表面下的深度 (m)。

该方程表示静水压强与水深成正比的直线分布规律。应用静水压强基本方程式分析问题时,要抓住等压面这个概念,即流体中压强相等的各点所组成的面为等压面,如图 1-3 所示。

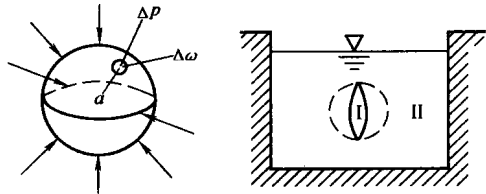


图 1-2 流体的静压强

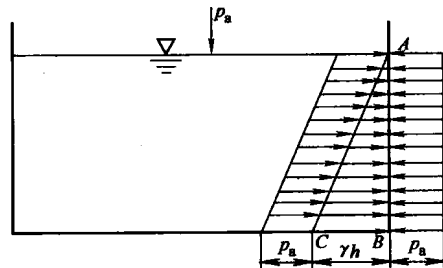


图 1-3 静止液体中压强分布

### 1.2.2 压强的测量

工程计算中，压强有不同的量度基准：

(1) 绝对压强 是以完全真空为零点计算的压强，用  $p_A$  表示。

(2) 相对压强 是以大气压强为零点计算的压强，用  $p$  表示。

由上所述，相对压强与绝对压强的关系为

$$p = p_A - p_a \quad (1-6)$$

式中  $p_a$ ——大气压强。

相对压强的正值称为正压（即压力表读数），负值称为负压，这时流体处于真空状态，通常用真空度（或真空压强）来度量流体的真空程度。所谓真空度，是指某点的绝对压强不足于一个大气压强的部分，用  $p_k$  表示，即

$$p_k = p_a - p_A = -p \quad (1-7)$$

真空度实际上等于相对压强的绝对值。图 1-4 为压力计量基本图示。

压强单位如前所述，除可用单位面积上的压力和工程大气压表示外，还可用液柱高度表示，三者的关系为：1 个工程大气压  $\approx 10\text{mH}_2\text{O} \approx 735.6\text{mmHg} \approx 98\text{kN/m}^2 \approx 98000\text{Pa}$ 。

测量流体静压强常用的测压仪器有液柱测压计、金属压力表和真空表等，多数测量仪表的显示值为相对压力值，也称为表面压力。

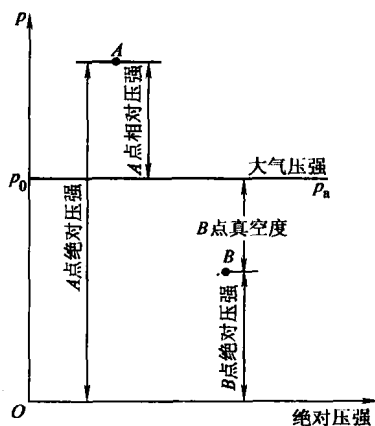


图 1-4 压力计量基本图示

# 第 2 章

## 流体动力学知识

### 2.1 流体运动的基本概念

建筑设备中的流体多为运动状态，因此需要了解流体运动的基本概念。

#### 2.1.1 流体运动的基本原理与运动分类

##### 1. 压力流与无压流

(1) 压力流 流体在压差作用下流动时，流体整个周围都和固体壁相接触，没有自由表面。

(2) 无压流 流体在重力作用下流动时，流体的部分周界与固体壁相接触，部分周界与气体相接触，形成自由表面。

##### 2. 恒定流与非恒定流

(1) 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的变化而变化的流动称为恒定流动，如图 2-1a 所示。

(2) 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动的流动称为非恒定流动，如图 2-1b 所示。

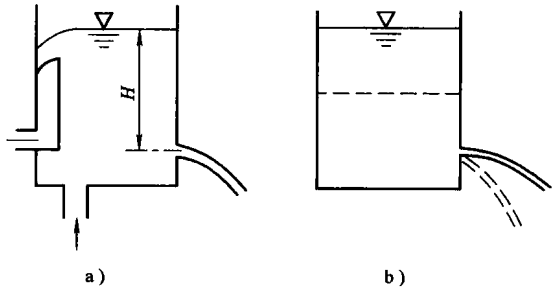


图 2-1 恒定流与非恒定流

a) 恒定流 b) 非恒定流

自然界中流体都是非恒定流，工程中多将其取为恒定流。

##### 3. 流线与迹线

(1) 流线 流体运动时，在流速场中画出某时刻的一条空间曲线，它上面所有流体质点在该时刻的流速矢量都与这条曲线相切，这条曲线就称为该时刻的一条流线。

(2) 迹线 流体运动时, 流体中某一个质点在连续时间内的运动轨迹称为迹线。

#### 4. 均匀流与非均匀流

(1) 均匀流 流体运动时, 流线是平行直线的流动称为均匀流。

(2) 非均匀流 流体运动时, 流线不是平行直线的流动称为非均匀流。非均匀流又可分为渐变流和急变流, 流体运动中流线几乎近于平行直线的流动称为渐变流, 如图 2-2 中 A 所示; 流体运动中流线不能视为平行直线的流动称为急变流。如图 2-2 中所示的 B、C、D。

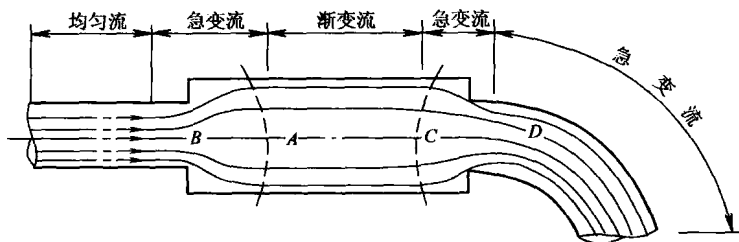


图 2-2 均匀流和非均匀流

#### 5. 元流、总流

(1) 元流 流体运动时, 在流体中取一微小面积  $d\omega$ , 并在  $d\omega$  面积上各点引出流线并形成了一股流束称为元流。

(2) 总流 流体运动时, 无数元流的总和称为总流, 如图 2-3 所示。

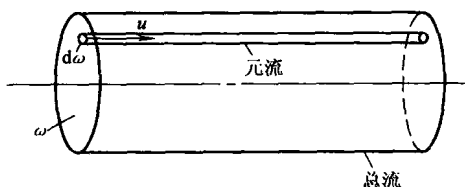


图 2-3 元流与总流

#### 6. 过流断面、流量与断面平均流速

(1) 过流断面 流体运动时, 与元流或总流全部流线正交的横断面称为过流断面, 用  $d\omega$  或  $\omega$  表示, 单位为  $\text{m}^2$  或  $\text{cm}^2$ , 如图 2-4 所示。

(2) 流量 流体运动时, 单位时间内通过过流断面的流体体积称为体积流量, 用符号  $Q$  表示, 单位是  $\text{m}^3/\text{s}$  或  $\text{L}/\text{s}$ 。一般流量指的是体积流量, 但有时也引用质量流量, 它表示单位时间内通过过流断面的流体质量, 单位为  $\text{kg}/\text{s}$ 。

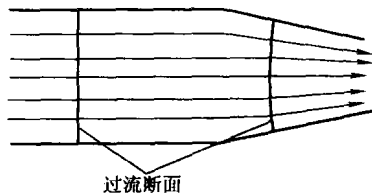


图 2-4 流线与过流断面

(3) 断面平均流速 指断面上各点流速的平均值。因此, 过流断面面积  $\omega$  乘以断面平均流速  $v$  所得到的流量, 等于实际流速通过该断面的流量, 即

$$Q = v\omega = \int_{\omega} u d\omega \quad (2-1)$$

显然，断面平均流速计算式为

$$v = \frac{\int_{\omega} u d\omega}{\omega} = \frac{Q}{\omega} \quad (2-2)$$

## 2.1.2 流体运动的基本方程

### 1. 恒定流的连续性方程式

在恒定总流中任取一元流，应用质量守恒定律，流进 1-1 断面的质量必然等于流出 2-2 断面的质量。因此，质量流量连续性方程式为

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \quad (2-3)$$

或 
$$\rho_1 \omega_1 v_1 = \rho_2 \omega_2 v_2 \quad (2-4)$$

式中  $\rho$ ——密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\omega$ ——总流过流断面面积 ( $\text{m}^2$ );

$v$ ——总流的断面平均流速 ( $\text{m}/\text{s}$ );

$Q$ ——总流的流量 ( $\text{kg}/\text{s}$ )。

由于重度  $\gamma = \rho g$ ，同一地区重力加速度  $g$  又相同，故

$$\gamma_1 Q_1 = \gamma_2 Q_2 \quad (2-5)$$

或 
$$\gamma_1 \omega_1 v_1 = \gamma_2 \omega_2 v_2 \quad (2-6)$$

或 
$$G_1 = G_2 \quad (2-7)$$

式中  $\gamma$ ——重度 ( $\text{N}/\text{m}^3$ );

$G$ ——重力流量 ( $\text{N}/\text{s}$ )。

以上式 (2-5) ~ 式 (2-7) 系总流重力流量的连续性方程式。

当流体不可压缩时，流体的重度  $\gamma$  不变，故

$$Q_1 = Q_2 \quad (2-8)$$

或 
$$\omega_1 v_1 = \omega_2 v_2 \quad (2-9)$$

以上两式 (2-8)、式 (2-9) 系不可压缩流体的总流连续性方程——体积流量的连续性方程式。

若在工程中遇到可压缩流体，可用总流重力流量的连续性方程式或质量流量的连续性方程式。

### 2. 恒定总流能量方程式

能量守恒及其转化规律是物质运动的一个普遍规律。1738 年瑞士科学家伯努利建立了不考虑粘性作用的理想液体的能量方程式，然后，考虑液体的粘性影响，推导出实际液体恒定总流的能量方程，即伯努利方程式。式 (2-10) 为几何



意义上表示的能量方程。

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{\omega 1-2} \quad (2-10)$$

式中  $z_1$ 、 $z_2$ ——过流断面 1-1、2-2 上位置水头 (m);  
 $p_1/\gamma$ 、 $p_2/\gamma$ ——过流断面 1-1、2-2 上压强水头 (m);  
 $\alpha_1 v_1^2/2g$ 、 $\alpha_2 v_2^2/2g$ ——过流断面 1-1、2-2 上流速水头 (m);  
 $h_{\omega 1-2}$ ——单位质量液体通过流段 1~2 的平均水头损失 (m);  
 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ ——动能修正系数, 一般  $\alpha = 1.05 \sim 1.1$ , 为计算方便, 常取  $\alpha = 1.0$ 。

几何意义上的恒定总流能量方程式中每一项都表示某一几何高度, 因此都可以在过流断面上用垂直线段在图中表示出来。这就可对方程式各项在流体流动过程中的变化关系以更形象的描述。

各断面上的总水头  $H$  的表达式为

$$H = z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g} \quad (2-11)$$

如果把各断面上的总水头顶点连成一条线, 则此线称为总水头线。由于水从 1-1 断面流到 2-2 断面有水头损失  $h_{\omega 1-2}$  的存在, 所以总水头线总是沿流程下降的倾斜线, 如图 2-5 虚线所示。总水头线沿流程的降低值  $h_{\omega 1-2}$  与沿程长度  $l$  的比值, 称为总水头坡度或水力坡度, 它表示沿流程单位长度上的水头损失, 用  $i$  表示, 即

$$i = \frac{h_{\omega}}{l} \quad (2-12)$$

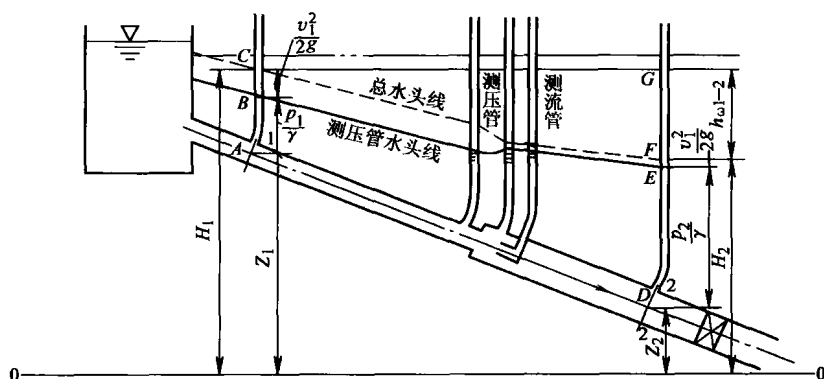


图 2-5 圆管中有压流动的总水头线与测压管水头线

如果把各过流断面的测压管水头 ( $z + p/\gamma$ ) 连成线, 该线称为测压管水头