

工业与民用建筑专业试用教材

# 建筑设备工程

工民建专业《建筑设备工程》

编写组

哈尔滨

一九八六年

工业与民用建筑专业试用教材

# 建筑设备工程

工民建专业《建筑设备工程》

编写组

哈尔滨

一九八六年

# 前 言

一九八二年，太原工学院、重庆建工学院、南京建工学院、云南工学院、北方交通大学以及哈尔滨建工学院等校的有关教师在太原工学院共同讨论了用于高等工业学校工民建专业《建筑设备工程》教材的编写提纲。本书是根据上述提纲编写的内部试用教材。内容包括流体力学及热工学的一些基本知识、室内给水排水工程、供热通风及空气调节工程、热水及燃气供应以及建筑电气等。

我国幅员广大，南北气候各异，不同地区的学校在讲授建筑设备工程时，内容也就不尽相同。在编写本教材过程中，力求在加强基本理论的同时，尽量全面地反映建筑设备工程所涉及的各个技术领域的先进技术成就。不同地区的学校，在教学过程中，可根据地区的特点，对讲授的内容有所侧重。

本教材编写分工如下：绪论由哈尔滨建工学院荆元福编写；流体力学的一些基本知识由太原工学院吴锡福编写；热工学与传热原理由太原工学院曹后志编写；室内外给水排水工程概述由云南工学院蒋传鑫编写；室内给水由南京建工学院关塘编写；室内排水由蒋传鑫编写；高层建筑室内给水排水工程特点和给水排水工程设计举例由重庆建工学院肖维盛编写；供暖由荆元福编写；通风由哈尔滨建工学院刘克升和华南工学院杜一民共同编写；空气调节由太原工学院景呈祥编写；室内热水及煤气供应由哈尔滨建工学院郭玉茹编写；建筑电气设备由太原工学院邓庆茂编写。书稿的汇总编辑是荆元福、肖维盛和刘克升，由刘克升校订并组织付印。

编写本教材，因水平所限，在内容取舍、叙述深度、体系组织、例题安排等方面都会存在不少缺点和错误，恳切希望使用本教材的同志们提出意见和批评。

编 者

一九八六年五月

# 目 录

绪言	1
----	---

## 第一篇 流体力学及热工学的一些基本知识

### 第一章 流体力学的一些基本知识

§ 1-1 流体的主要物理性质	3
§ 1-2 流体的连续性方程式	7
§ 1-3 恒定流能量方程式	8
§ 1-4 层流与紊流	16
§ 1-5 流体阻力和水头损失	18

### 第二章 热工学与传热原理

§ 2-1 热力学第一定律	23
§ 2-2 热力学第二定律	28
§ 2-3 传热原理	31

## 第二篇 给水排水工程

### 第三章 室外给水排水工程概述

§ 3-1 室外给水工程	37
§ 3-2 室外排水工程	40

### 第四章 室内给水工程

§ 4-1 室内给水系统的组成和分类	42
§ 4-2 室内给水方式	43
§ 4-3 卫生器具、管材、水箱和水泵装置	44
§ 4-4 给水管道的布置及敷设	58
§ 4-5 室内给水消防系统	61
§ 4-6 室内给水管网计算	67

### 第五章 室内排水

§ 5-1 室内污水排放条件及排水系统的分类和组成	74
§ 5-2 室内排水管网的布置、敷设和水力计算	77
§ 5-3 屋面雨水排放	80
§ 5-4 庭院排水系统	83

### 第六章 室内给水排水工程设计

§ 6-1 设计方法和步骤	85
---------------	----

§ 6-2 设计举例 .....	87
<b>第七章 高层建筑室内给水排水工程</b>	
§ 7-1 高层建筑给水 .....	92
§ 7-2 高层建筑消防给水 .....	94
§ 7-3 高层建筑热水集中供应 .....	96
§ 7-4 高层建筑排水 .....	97

### 第三篇 供暖、通风及空气调节

#### 第八章 供暖

§ 8-1 供暖系统及其分类 .....	98
§ 8-2 热负荷 .....	107
§ 8-3 集中供暖系统的散热器 .....	110
§ 8-4 供暖管网的布置和敷设 .....	114
§ 8-5 高层建筑供暖特点 .....	117
§ 8-6 热源 .....	119

#### 第九章 热水及煤气供应

§ 9-1 室内热水供应系统、图式及管道布置与敷设 .....	127
§ 9-2 室内饮水供应 .....	137
§ 9-3 室内煤气供应 .....	142

#### 第十章 通风

§ 10-1 建筑通风概述 .....	148
§ 10-2 全面通风量的确定 .....	152
§ 10-3 自然通风 .....	155
§ 10-4 加强自然通风效果的主要措施 .....	167
§ 10-5 通风系统的主要设备和构件 .....	170
§ 10-6 局部排风 .....	177

#### 第十一章 空气调节

§ 11-1 概述 .....	180
§ 11-2 空调系统的组成、分类和常用的空气调节系统 .....	180
§ 11-3 空调工程对建筑的要求 .....	184

### 第四篇 建筑电气

#### 第十二章 供电系统及其对建筑的要求

§ 12-1 电能的生产、输送和分配 .....	187
§ 12-2 变配电所型式及其对建筑的要求 .....	189
§ 12-3 供电线路对建筑的要求 .....	191

#### 第十三章 建筑电气照明

§ 13-1 概述 .....	195
-----------------	-----

§ 13-2	灯具的选择和布置 .....	200
§ 13-3	电气照明供电系统 .....	208
§ 13-4	照明配电箱(盘)位置的选择 .....	212
§ 13-5	电气照明计算 .....	214
§ 13-6	电气照明设计示例 .....	224
<b>第十四章 建筑防雷及安全用电</b>		
§ 14-1	建筑防雷等级的分类 .....	230
§ 14-2	建筑物的防雷装置 .....	231
§ 14-3	安全用电 .....	236
<b>第十五章 共用天线电视系统工程设计</b>		
§ 15-1	共用天线电视系统的基本组成 .....	239
§ 15-2	共用天线电视系统的设计 .....	246
<b>第十六章 高层建筑电气设计特点</b>		
§ 16-1	电气照明设计的特点 .....	252
§ 16-2	高层建筑供电系统与变配电所 .....	253
§ 16-3	高层建筑的输送系统 .....	256
§ 16-4	高层建筑防雷特点 .....	260

## 附 录

I-1	国际单位制与工程单位制对照表 .....	261
II-1	生活饮用水水质标准 .....	262
III-1	室外气象参数 .....	263
III-2	民用及工业辅助建筑的冬季室温要求 .....	264
III-3	生产车间的冬季室温要求 .....	264
III-4	允许温差 $\Delta t_v$ 值 .....	264
III-5	北京地区建筑物供暖热指标 .....	264
III-6	散热器的技术数据 .....	265
III-7	散热器安装方式的修正系数 $\beta_1$ .....	265
III-8	每个人的散热量 $q$ 和散湿量 $W$ .....	266
III-9	电气照明散热量 .....	266
III-10	太阳辐射计算资料 .....	266
III-11	车间空气中有害物质的最高容许浓度 .....	267
III-12	居住及公共建筑室内换气次数 .....	268
III-13	进风有效系数 $\beta$ 值 .....	268
III-14	不同车间的有效热量系数 $m$ 值 .....	268
III-15	进排风窗的局部阻力系数 $\xi$ .....	269
III-16	空气的物理性质表 .....	269
IV-1	照明照度参考值 .....	270

IV-2	白炽灯、荧光灯特性数据 .....	271
IV-3	灯具最低悬挂高度 .....	272
IV-4	部分灯具单位面积安装功率 .....	272
IV-5	不同型式灯具的利用系数 .....	274
IV-6	<i>BBLX</i> 、 <i>BLV</i> 型橡皮和塑料绝缘导线明装时及导线穿管敷设时的 安全载流量(安) .....	274
IV-7	单相220伏两线制及三相380/220伏三线制或各相负荷均匀的四线制 铝导线负荷矩(千瓦·米)与电压损失百分值对照表( $\cos\phi = 1$ ) .....	275
IV-8	<i>BBLX</i> 、 <i>BLV</i> 型单芯导线穿管选择表 .....	277

## 绪 言

对于近代的房屋建筑，为了更好地满足生产上或生活上的要求，在建筑物内装设了给水、排水、热水、供暖、通风、空气调节、煤气、供电等设备。讲授上述设备的工作原理、运行管理、有关的设计计算以及对房屋建筑的要求等方面的知识，便是本课程的基本内容。“工民建”专业的工程技术人员，设计任何一幢建筑物时都应综合考虑土建工程和建筑设备工程的相互协调问题。只有这样，才能合理地处理土建工程和建筑设备工程之间的关系，使建筑物达到适用、经济、卫生、舒适等各方面的要求，高效能地发挥建筑物为生产和生活服务的目的。

建筑设备工程一方面起着改善居住建筑、公共建筑和生产车间的生活和生产条件、保护人民健康、提高劳动生产率的重要作用，另一方面在许多工业部门又是保证生产正常进行、提高产品质量不可缺少的一个组成部分。随着生产的不断发展和生活条件的不断改善，在房屋建筑中对建筑设备工程的要求也越来越高。在现代化的建筑物中给水、排水、热水、供暖、通风、空气调节、煤气、供电等系统的管道、设备、线路不仅在建筑物中占去了大量的面积，并且也形成了不同管道系统在建筑物中的错综复杂关系。因此“工民建”专业和建筑类其它专业的工程技术人员，为了能更好地做好设计、施工、管理工作，必须具有建筑设备工程方面的知识。

我国在解放前，由于剥削阶级的反动统治，使建筑设备工程这门学科得不到应有的发展。广大群众常年累月地生活、劳动在污浊的环境里。解放后，党和政府不断加强劳动人民的劳动保护措施，十分重视环境保护事业，关心人民的健康并大力提高人民的生活水平，这就为建筑设备工程的迅速发展提供了十分有利的条件。

目前，建筑设备工程这门学科，从科学研究到生产制造；从工程设计、施工安装到运行管理，都有了专门的队伍。随着我国大型工矿企业的不断建立，城市中高层建筑的陆续兴建，工业化施工的迅速发展，建筑设备工程技术的水平正在迅速提高。

建筑设备工程技术的发展还与其它学科的发展切密相关。新材料、新设备、新技术的出现以及新能源的利用，给建筑设备工程技术开辟了广阔发展的新领域。例如太阳能的利用为供暖、空调技术提供了新的冷、热源，它不仅促进了建筑物供暖、热水供应新技术的发展，而且也一定会对与建筑设备工程密切相关的制冷技术有较大的影响；用计算机对空气调节系统进行自动控制，既能保证高精度的室内温度、湿度自控，也能节省能量，使运行费用降低；利用真空排除污水的特制便器，能大量节约冲洗用水；在高层建筑中，广泛采用水锤消除器，能有效地减少管道的噪声；用聚合物材料代替不受高温、高压作用的金属材料，可使管材、配件、给水器材、卫生器具等重量轻、耐腐蚀，既保证了设备的使用质量，也大量节省了金属材料 and 费用。



建筑设备工程是一门专业基础课，学习这门课程应在领会其基本原理的基础上，加强设计和施工实践，才能完整地掌握这门技术。

学习建筑设备工程是实现四个现代化的需要，既要认真总结我国的经验，也应掌握世界上的先进技术，这样才能不断地丰富它的内容，把它提到一个新的水平。

# 第一篇 流体力学及热工学

## 的一些基本知识

### 第一章 流体力学的一些基本知识

#### § 1—1 流体的主要物理性质

##### 一、密度和容重

流体和固体一样，都具有惯性。惯性的大小是用质量来度量的。对于均质流体，单位体积的质量，称为流体的密度，其表达式：

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

式中  $\rho$ ——流体的密度（公斤力·秒<sup>2</sup>/米<sup>4</sup>）或[公斤/米<sup>3</sup>]\*；

$M$ ——流体的质量（公斤力·秒<sup>2</sup>/米）或[公斤]；

$V$ ——流体的体积（米<sup>3</sup>）或[米<sup>3</sup>]。

流体在重力作用下，具有重量。单位体积流体所具有的重量，称为流体的容重，其表达式：

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

\* [公斤/米<sup>3</sup>] 是密度 $\rho$ 的国际单位制的表示法。

我国在一九七七年五月二十七日国务院颁发的《中华人民共和国计量管理条例》第三条规定：“我国的基本计量制是米制（即公制），逐步采用国际单位制。”为此本书的“流体力学基本知识”一章的单位采用国际单位制。两种单位制即国际单位制与工程单位制之间的换算关系如下：

国际单位制是把长度（米）、时间（秒）、质量（千克或公斤）等三个物理量规定为基本物理量。而力不是基本物理量，可是力则用公式 $F=Ma$ 导出。由物理学知道，如质量 $M$ 为1千克（或1公斤）的物体，在力的作用下，得到的加速度 $a$ 为1米/秒<sup>2</sup>，那么这个力的大小叫1牛顿，用符号 $N$ 表示，即

$$1\text{牛}=1\text{千克}\times 1\text{米}/\text{秒}^2=1\text{千克米}/\text{秒}^2=1\text{公斤米}/\text{秒}^2。$$

而工程单位制中，力的单位是千克力（或称公斤力），它是这样规定的：质量为1千克的物体，在重力加速度 $g$ 为9.80665米/秒<sup>2</sup>的地点所受的重力的大小为1千克力。如果用国际单位制来计算质量为1千克（1公斤）的物体所受的重力的大小，应为

$$G=Ma=1\text{千克}\times 9.80665\text{米}/\text{秒}^2=9.80665\text{牛}。$$

因此，1千克力（或1公斤力）=9.80665牛 $\approx$ 9.807牛。一般计算时，可取1千克力（1公斤力）=9.8牛。这就是工程单位制中的1公斤力和国际单位制中的1牛顿力的换算关系式。

在流体力学中，其它导出物理量的两种单位制的换算关系和结果，列出对照表，见附录 I—1，以供换算使用。

本章中的国际单位制的单位用[ ]表示，而工程单位制中的单位用（ ）表示。

式中  $\gamma$  ——流体的容重 (公斤力/米<sup>3</sup>) 或 [牛/米<sup>3</sup>];

$G$  ——流体的重量 (公斤力) 或 [牛];

$V$  ——流体的体积 (米<sup>3</sup>) 或 [米<sup>3</sup>].

由牛顿第二定律知道:  $G = Mg$ , 因此

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

式中  $g$  ——重力加速度,  $g = 9.807$  米/秒<sup>2</sup>, 工程上可采用  $g = 9.8$  米/秒<sup>2</sup>.

流体的密度和容重受外界压力和温度的影响, 因此, 当指出某种流体的密度或容重时, 必须指明其所处外界的压力和温度条件, 譬如: 在标准大气压和温度为 4°C 时, 水的密度和容重分别是

$$\rho = 1000 [\text{公斤/米}^3] = \frac{1000}{9.807} (\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4) = 102 (\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4),$$

$$\gamma = 9.807 \left[ \frac{\text{千牛}}{\text{米}^3} \right] = \frac{9.807 \times 1000}{9.807} \left( \frac{\text{公斤力}}{\text{米}^3} \right) = 1000 (\text{公斤力/米}^3).$$

在标准大气压和 0°C 时, 水银的密度和容重分别是

$$\rho_H = 13600 [\text{公斤/米}^3] = \frac{13600}{9.807} (\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4) = 1387 (\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4),$$

$$\gamma_H = 133.38 [\text{千牛/米}^3] = \frac{133.38 \times 1000}{9.807} (\text{公斤力/米}^3) = 13600 (\text{公斤力/米}^3).$$

不难算出, 水银的密度和容重是水的 13.6 倍。

干空气在温度为 20°C、压强为 760 毫米汞柱时的密度和容重分别是

$$\rho_a = 1.2 [\text{公斤/米}^3] = \frac{1.2}{9.807} (\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4) = 0.122 (\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4),$$

$$\gamma_a = 11.80 [\text{牛/米}^3] = \frac{11.80}{9.807} (\text{公斤力/米}^3) = 1.2 (\text{公斤力/米}^3).$$

## 二、流体的粘滞性

流体的粘滞性可以用下列实验和分析了解到: 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, 各层的流速不同, 并按某种曲线规律连续变化, 管轴心的流速最大, 向着管道壁的方向递减, 直至管壁处的流速为零。

如图 1—1 所示, 取流速方向的座标为  $u$ , 垂流速度方向的座标为  $n$ , 若令水流中某一流层的速度为  $u$ , 则与其相邻的流层为  $(u + du)$ ,  $du$  为相邻两流层的速度增量。令两流层的厚度为  $dn$ , 沿垂流速度方向单位长度的流速增量  $\frac{du}{dn}$ , 叫做流速梯度。由于流体

各流层的流速不同，相邻两流层有相对运动，在流体两流层的接触面上产生一种相互作用的剪切力，这个力叫做流体的内摩擦力，或称粘滞力。流体具有粘滞力的性质（或说具有抵抗剪切变形的性质），称为流体的粘滞性。

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。流体内摩擦力与两流层的流速梯度及流层间接触面积的乘积成正比，并与流体的性质有关。即

$$F = \mu s \frac{du}{dn} \quad (1-4)$$

式中  $F$ ——内摩擦力（公斤力）或[牛顿]；

$s$ ——摩擦流层的接触面面积（米<sup>2</sup>）或[米<sup>2</sup>]；

$\mu$ ——与流体种类有关的系数，称为动力粘滞性系数，其单位为（公斤力·秒/米<sup>2</sup>）

或[牛顿/米<sup>2</sup>·秒]，也可称帕·秒，用符号[ $P_a \cdot s$ ]表示；

$\frac{du}{dn}$ ——流速梯度，表示速度沿垂直于速度方向的变化率（1/秒）或[1/秒]。

如用切应力表示，上式可写为

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

式中 $\tau$ ——流层单位面积上的内摩擦力，又称切应力，因次为力/面积，常用单位为（公斤力/米<sup>2</sup>）或[牛/米<sup>2</sup>]，简称帕[ $P_a$ ]。

流体的粘滞性大小，可用粘滞性系数表达。除上述的动力粘滞性系数 $\mu$ 外，常用的还有一种叫做运动粘滞性系数，以 $\nu$ 表示，单位是（厘米<sup>2</sup>/秒）或[厘米<sup>2</sup>/秒]，简称斯。

$\mu$ 与 $\nu$ 的关系是： $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ， $\rho$ 为流体的密度。它们都与流体的种类有关，不同的流体有不同的 $\mu$ 、 $\nu$ 值，实验得出规律指出：压力对同一流体的 $\mu$ 值影响小，而温度对 $\mu$ 值影响大。

从表1-1及表1-2中可以看出：水的粘滞性随温度升高而减小，空气的粘滞性随温度升高而增大，这是因为粘滞性是分子间的吸引力和分子不规则的热运动产生动量交换的结果。温度升高，分子间的吸引力降低，动量增大。反之，温度降低，分子间的吸引力增大，动量减小。对于液体，分子间的吸引力是决定性的因素，所以，液体的粘滞性随温度升高而减小；对于气体，动量交换是决定性的因素，所以气体的粘滞性随温度升高而增大。

流体的粘滞性对流体运动有很大的影响，因为内摩擦阻力作负功，不断损耗运动流体的能量，从而成为实际工程水力计算中必须考虑的一个重要问题。对此，将在后面有关部分讨论。

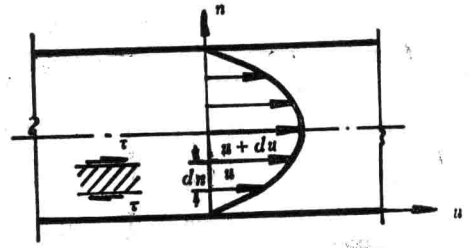


图1-1 管道中断面流速分布图

水的粘性系数

表1-1

$t$ (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ [帕·秒]	$\nu \times 10^{-6}$ [米 <sup>2</sup> /秒]	$t$ (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ [帕·秒]	$\nu \times 10^{-6}$ [米 <sup>2</sup> /秒]
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

一个大气压下空气的粘性系数

表1-2

$t$ (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ [帕·秒]	$\nu \times 10^{-6}$ [米 <sup>2</sup> /秒]	$t$ (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ [帕·秒]	$\nu \times 10^{-6}$ [米 <sup>2</sup> /秒]
-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	35.8
50	0.0196	18.6	250	0.0280	42.8
60	0.0201	19.6	300	0.0298	49.9

### 三、流体的压缩性和热胀性

流体压力增大时体积缩小的性质，称为流体的压缩性。流体温度升高时，其体积膨胀的性质，称为流体的热胀性。

液体的压缩性和热胀性都很小。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，水的密度增加1/20000。水在温度较低(10~20°C)时，温度每增加1°C，水的密度减小1.5/10000，当温度较高(90~100°C)时，温度每增加1°C，水的密度减小也只为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，在计算结果上所带来的误差是很小的，例如，在建筑设备课程中，一般计算不考虑液体的压缩性和热胀性。

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，容

重、压强和温度三者之间的关系是以理想气体状态方程表达的：

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

式中  $p$  —— 气体的绝对压强（公斤力/米<sup>2</sup>）或[牛/米<sup>2</sup>]；

$\rho$  —— 气体的密度（公斤力/米<sup>3</sup>）或[公斤/米<sup>3</sup>]；

$T$  —— 气体的绝对温度（开）或[开]；

$R$  —— 气体常数（公斤力·米/公斤·开）或[焦耳/公斤·开]。

对于空气， $R = 287$ ；对于其它气体， $R = \frac{8314}{N}$ ， $N$ 为该气体的分子量。

对于速度较低（远小于音速）的气体，其压强和温度在流动过程中变化较小，容重变化是很小的，在一些工程技术上容重可视为常数，这种气体称为不可压缩气体。反之，速度较高（接近或超过音速）的气体，其压强和温度在流动过程中变化较大（当速度等于50米/秒时，密度变化为1%，也可以当作不可压缩气体对待）。

综合上述流体的各项物理性质，从建筑设备的水、气工程中所接触到的流体，因其流速大多较低，一般可以认为它是一种易于流动的、具有粘滞性的和不易压缩的介质。

在研究流体运动规律中，还需了解“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。作为研究单元的质点，也认为是由无数分子所组成。这样忽略了分子的复杂运动的研究，只考虑在外力作用下的机械运动，亦即能运用数学的连续函数的工具。

## § 1—2 流体的连续性方程式

为了研究流体的运动规律，首先介绍流体运动的几个基本概念。

### 一、过流断面

与流体运动方向垂直的流体横断面，称为过流断面( $w$ )，如图 1—2 所示，单位为米<sup>2</sup>或厘米<sup>2</sup>。

### 二、流量

流体在单位时间内通过某一过流断面的体积称为体积流量或简称流量( $Q$ )，单位为(米<sup>3</sup>/秒)、(升/秒)或[米<sup>3</sup>/秒]。单位时间流过某一过流断面的流体重量称重量流量( $G$ )，单位为(公斤力/秒)或[牛/秒]。显然，体积流量和重量流量之间有如下关系：

$$G = \gamma Q \quad (1-7)$$

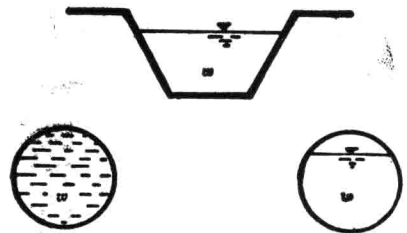


图1—2 过流断面

### 三、流速

流体在单位时间内所移动的距离为流速，单位为（米/秒）、（厘米/秒）或〔米/秒〕。对一个流体质点在单位时间内所通过的距离，称为点流速（ $u$ ）。由于流体粘滞性的影响，流体过流断面上各点的流速并不相等，在管道流动中，靠近管壁的质点流速较小，在管中心的流体质点流速最大，如图1—3所示。

在实际工程中，常用断面平均流速（简称平均流速 $v$ ）来描述水流运动。

断面平均流速 $v$ 是过流断面上各质点流速 $u$ 的平均值。因此某一过流断面所通过的流量为

$$Q = wv \quad (1-8)$$

公式（1—8）表达了流量、过流断面面积和平均流速三者之间的关系。

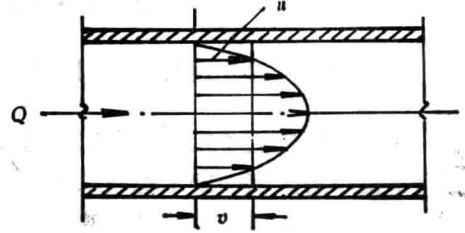


图1—3 圆管过流断面质点流速

### 四、流体的连续性方程式

流体运动和其它物质运动一样，也遵守质量守恒定律。此定律在流体运动中可用连续性方程式来表达。

在流体运动的总流中，任取两个过流断面，如图1—4所示之1—1与2—2断面。 $w_1$ 、 $v_1$ 、 $Q_1$ 和 $w_2$ 、 $v_2$ 、 $Q_2$ 分别为1—1与2—2过流断面面积、平均流速和所通过的流量。按式（1—8）有

$$Q_1 = w_1 v_1$$

$$Q_2 = w_2 v_2$$

如果流体作恒定流动（即 $w$ 、 $v$ 、 $Q$ 均不随时间而变化的流动），流体是连续介质（即流体中不出现空隙和间断现象），并且固体边界内外无质量交换，此时， $Q_1$ 必等于 $Q_2$ 。所以

$$w_1 v_1 = w_2 v_2 = Q_1 = Q_2 = Q \quad (1-9)$$

公式（1—9）就是恒定流体的连续性方程式，它说明在同一总流上通过各过流断面的流量相等，并且平均流速与过流断面面积成反比，即断面大流速小，断面小流速大，断面不变流速亦不变（在长直等直径管道中和等水深渠道中的流动即属此种情况，称为均匀流）。

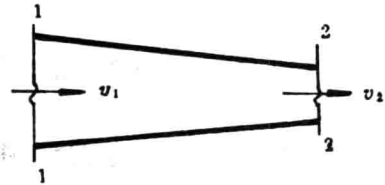


图1—4 变断面压力水管

## § 1—3 恒定流能量方程式

能量守恒及其转化规律是物质运动的一个普遍规律。

古典力学中对物体机械运动的功能原理提出：外力对物体所作的功等于物体动能的变化，即

$$\sum F S = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

流体是连续介质，同样可以用功能原理阐述。其分析方法是：

先在恒定总流中取一个元流进行分析\*，得出一定的规律后，再运用积分的方法，将元流的结果推广到总流中去，从而得出总流的能量方程式。

### 一、元流的能量方程式

如图1—5a的总流中，取过流断面1—1和2—2间某一元流段的流体，将其放大成图1—5b来分析。设元流的过流断面1—1的面积为 $d\omega_1$ ，其形心到基准面0—0的高度为 $Z_1$ ，压强为 $p_1$ ，流速为 $u_1$ ；2—2断面的相应各值为 $d\omega_2$ 、 $Z_2$ 、 $p_2$ 和 $u_2$ 。

断面1—1和2—2间的元流段，经过某一时间 $dt$ 后，移动到1'—1'和2'—2'段的位置。根据功能原理，在 $dt$ 时段内，流段动能的变化，等于在同一时段 $dt$ 内所有作用在流段上的外力作功的总和。

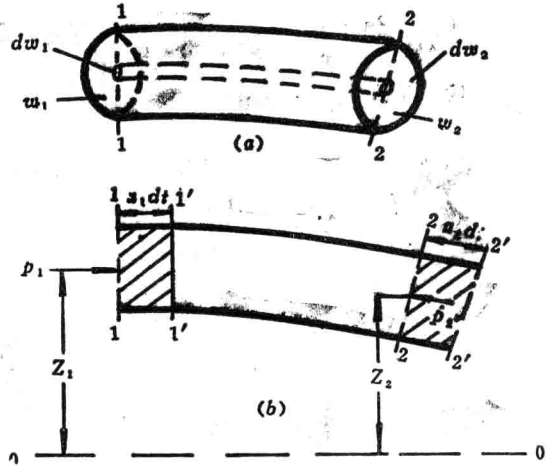


图1—5 元流能量方程式推导用图

现在分别求出流段上外力所作的功和动能的变化。

#### (一) 压力作功

由于作用于元流侧表面的压力垂直于流段的位移方向，对流段不作功。所以只有作用于两个过流断面的压力作功，即

$$p_1 d\omega_1 u_1 dt - p_2 d\omega_2 u_2 dt$$

式中负号表示2—2断面压力的方向与位移方向相反。

根据连续性方程式 $u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2 = dQ$ ，上式可写成

$$(p_1 - p_2) dQ dt \quad (1)$$

#### (二) 重力作功

由图1—5b可看出，元流段1—1—2—2经过 $dt$ 时段后，流动到1'—1'—2'—2'位置。其中1'—1'—2—2段虽有重力作用，但沿着重力的方向没有发生位移，因此，重力对此流段不作功。所以整个流段的重力作功，可以看作重力 $\gamma dQ dt$ 把左边1—1—1'—1'段移至右边2—2—2'—2'段的位置（其位移为 $Z_1 - Z_2$ ）所作的功，即

$$(Z_1 - Z_2) \gamma dQ dt \quad (2)$$

#### (三) 摩擦阻力作功

因为流体具有粘滞性，在流动的过程中，其摩擦阻力就要作功。假设元流在 $dt$ 时段流经1—1至2—2时摩擦阻力作功为

\* 元流可以这样来理解：总流可以认为是由通过过流断面的无数细流所组成的，而这些细流就称为元流。



$$-Aw_{1-2} \quad (3)$$

式中负号是因为摩擦阻力永远与流速方向相反，其所作的功表现为流体的机械能耗散为热能，对于流体的机械能来说是一种损失，故称能量损失。

以上三项就是在 $dt$ 时段内元流1—2段上各外力所作的功。

现在，再来分析元流1—2段上流体动能的变化。在确定动能变化时，同样应该注意到1'—1'—2—2'流段是 $dt$ 前后所共有的，尽管在 $dt$ 时间内流段的流体有交换和转移，但对于恒定流来讲，各点流速不随时间变化，因此，动能也不会改变。所以，整个流段动能的变化就等于2—2'—2'—2'流段的动能减去1—1'—1'—1'流段的动能，即

$$\frac{1}{2} \left( \frac{\gamma dQdt}{g} \right) u_2^2 - \frac{1}{2} \left( \frac{\gamma dQdt}{g} \right) u_1^2 = \left( \frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} \right) \gamma dQdt \quad (4)$$

根据功能原理，可以得到

$$(Z_1 - Z_2)\gamma dQdt + (p_1 - p_2) dQdt - Aw_{1-2} = \left( \frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} \right) \gamma dQdt$$

以流体重量 $\gamma dQdt$ 除以上式，则各项变成单位重量流体的功和能。并令 $\frac{Aw_{1-2}}{\gamma dQdt} = h'_{w_{1-2}}$ ，把属于1—1断面的值放在等式左边，其余值放在等式右边，整理后得

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_{w_{1-2}} \quad (1-10)$$

式(1-10)就是恒定流不可压缩流体的元流能量方程式，也称元流的伯努利方程式。

## 二、总流的能量方程式

将元流的能量方程式推广到总流上去，便是总流的能量方程式。但是，总流过流断面上各点的运动要素，不像元流那样可以认为是相等的，为此，应该首先研究一下过流断面上的压强分布。

### (一) 渐变流过流断面上的压强分布规律\*<sup>1</sup>

如果在一等直径管段的任一过流断面上安装二根测压管，如图1—6a所示，则会发现它们的测压管内的水面都处在同一水平面上。如果在一弯管段的过流断面上安装二根测压管，如图1—6b所示，它的测压管水面不在一个水平面上，测压管A比B的水位高。

这说明：在渐变流动的过流断面上的动水压强符合静水压强的分布规律\*<sup>2</sup>，即 $Z + \frac{p}{\gamma} = \text{常数}$

\*1渐变流是属于非均匀流动，其特点是质点流速沿流程变化较缓慢。否则称为急变流动。渐变流动的例子如渐扩和渐缩管流等。

\*2在物理学中已经知道静水压强的分布规律：

$$p = p_a + \gamma h$$

如果任选一水平基准面，让静止液体中各质点相对于水平基准面的距离用 $Z$ 来表示的话，则可把上式改换为如下的表达形式：

$$z + \frac{p}{\gamma} = \text{常数。}$$