城乡建设电视中专教材

给水排水工程

苏福临　编

中国建筑工业出版社

城乡建设电视中专教材

给水排水工程

苏福临　编

中国建筑工业出版社

本书是电视中专乡镇建设专业的教材，内容包括水力学基础、给水工程、排水工程三个部分，系统介绍了给水排水工程的系统组成、构造和工作原理，以及管道系统的简单计算方法。内容注意理论联系实际，给出了一定量的例题、思考题和习题以及农村供水实例。通过本课程的学习，能够使学生对给水排水工程有个整体性概念，能从事简单的给水排水工程设计计算。

本书可作为乡镇建设专业的教材，也可作为给水排水工作人员的技术读物。

城乡建设电视中专教材
给 水 排 水 工 程
苏福临　编
*
中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)
*
开本：787×1092毫米 1/16 印张：$13^1/_2$ 字数：326千字
1988年7月第一版　1988年7月第一次印刷
印数：1—25,070册　定价：2.60元
ISBN7—112—00152—8/G·19

统一书号：15040·5464

目　录

第一篇　水 力 学 基 础

第一章　水力学基本知识

第一节　绪　论

一、水力学与给水排水工程的关系

水力学是研究液体平衡和运动规律，以及这些规律在工程实际问题方面的应用。

在“给水排水”专业中，水力学是一门主要技术基础课程。许多给水排水工程实际问题都与水流现象有着密切的联系。在正常情况下，人们的生活用水和工业生产用水，一般都是通过净水厂集中供应的，水厂通过抽水机械（即水泵）将江、河、湖水或井水抽上到地面上来，然后通过净水厂内的各种净水构筑物将原水进行净化处理和消毒，使水质达到合格标准，最后再用水泵通过供水管路系统输送到各个用水点供用户使用。经过城乡居住区和工厂工业生产设备使用过的水就成了污水或废水了，这些污、废水一般采用排水管、渠集中收集并输送到处水处理厂，经过适当的处理之后，使其达到国家规定的排放标准，最后再用污水泵将其排到水体中去或者进一步深度处理而回用。上述的一系列给水排水工程实际问题，都得应用水力学的基本理论加以分析、解决。如为了输送一定的水量，如何确定管、渠的断面尺寸问题；水泵选型的问题；水塔位置的选择以及高度的计算问题等。所以，在学习给水排水工程知识之前，必须学习一定的水力学基本知识。

二、液体的主要物理性质

在人们的生活和生产活动中，经常能接触到许多关于液体的流动现象如江、河、管、渠中的水流流动，自来水从水龙头流出，下雨时雨水在地面上流动等等。这些流动现象表明了液体具有流动性这一基本特征。而固体则不存在流动性。

液体中分子之间的聚合力比固体小得多，因此，液体的抗拉、抗剪能力是很小的，但具有相当大的抗压能力。

由于液体具有流动性，所以它没有固定的形状，但具有固定的体积，并能形成自由表面。

以下分别介绍液体的几个主要物理性质。

（一）密度和容重

液体和固体一样具有质量。质量愈大，其惯性就愈大。对于匀质液体，单位体积所具有的质量称为密度，以符号ρ表示之，即：

$$\rho=\frac{M}{V} \tag{1-1}$$

式中　ρ——液体的密度，kg/m³；

　　M——液体的质量，kg；

V——液体的体积，m^3。

对于匀质液体，单位体积所具有的重量称为容重，以符号γ表示之，即：

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

式中 γ——液体的容重，N/m^3；

G——液体的重量，N；

V——液体的体积，m^3。

由于物体的重量G等于质量M与重力加速度g的乘积，所以密度ρ和容重γ之间的关系为：

$$\gamma=\rho\cdot g \qquad (1\text{-}3)$$

式中 g——重力加速度，取$g=9.81m/s^2$。

以上关系式表明：液体的容重等于液体的密度与重力加速度的乘积。

液体的密度和容重受外界压力和温度的影响。因此，当表示某种液体的密度或容重值时，必须指出所处外界压力和温度条件。

水和水银的密度和容重如下。

1.在标准大气压条件下，温度为4℃的水，其密度和容重是：

$$\rho=1000kg/m^3$$
$$\gamma=9810N/m^3$$

2.在标准大气压条件下，温度为0℃的水银，其密度和容重是：

$$\rho=13590kg/m^3$$
$$\gamma=133318N/m^3$$

从以上数据可以看出，水银的密度和容重比水大13.59倍。习惯上取13.6倍。

【例题 1-1】 某矩形水箱，尺寸为长×宽×高＝2m×1.5m×2m。当水箱充满水时，试求水箱内水的重量是多少？

设外界为标准大气压，水温为4℃

【解】 水的体积

$$V=2\times1.5\times2=6m^3$$

水的重量$G=\gamma V=9810\times6=58860N=58.86kN$

（二）液体的压缩性与膨胀性

当液体的温度不变，而外界的压强增大时，液体的体积减小，这种物理性质称为液体的压缩性。

当液体的外界压强不变，而温度升高时，液体的体积增大，这种物理性质称为液体的膨胀性。

液体的压缩性，一般用体积压缩系数β_p表示。它是指：当温度条件不变时，外界压强每增加一个大气压，液体体积的相对减小量。通过实验证明：在外界压强于10个大气压范围内，每增加一个大气压，水的体积相对减小量仅为5.44×10^{-5}，即体积相对减小量仅为十万分之五左右，这说明在外界压强条件增大时，液体的压缩性是很微小的，所以在实际工程中，可以不考虑压缩比的影响，将流体视为不可压缩液体看待。

液体的膨胀性，一般用体积膨胀系数β_t表示。它是指：当外界压强条件不变时，温度

每升高1℃，液体体积的相对增加量。通过实验证明：在一个大气压条件下，温度在10～20℃范围内，温度每增加1℃，水的体积相对增加量约为万分之一点五；当温度在70～95℃范围内，温度每增加1℃，水的体积相对增加量也只有万分之六。这种增加量也是很微小的。

根据以上分析，在实际给水排水工程问题中，水的压缩性和膨胀性一般均不考虑，也就是将水的密度和容重视为常数。

（三）液体的粘滞性

在管、渠中的水流，通过实验可以证实：在过流断面上各质点的流速不相同。如图1-1所示：在明渠中做无压流动的水流，自由表面的液体质点流速最大，渠底水质点的流速为零；在圆管中做压力流动的水流，管中心水质点的流速最大，管内壁处的水质点流速为零。

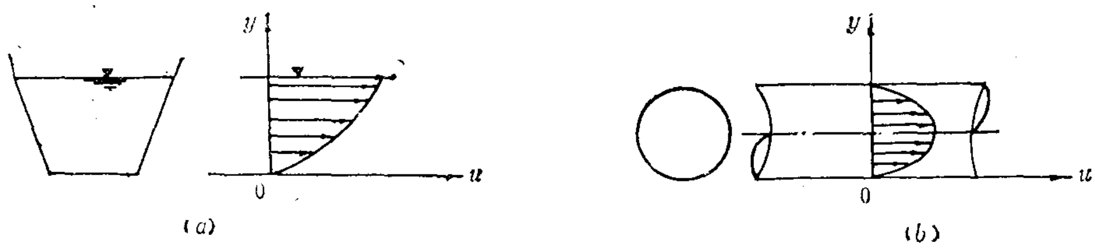

图 1-1　管、渠中断面流速分布

（a）明渠无压流动；（b）圆管压力流动

由于水流中各流层的流速不同，相邻两流层存在相对运动，这种相对运动使各流层的接触面上产生一种相互作用的剪切力。速度快的薄层对速度慢的薄层产生一种拖力；而速度慢的薄层对速度快的薄层产生一种反拖力（即阻力）。这种拖动与反拖动的剪切力是成对出现的，是作用与反作用力的具体表现，这种剪切力称为液体内摩擦力或称粘滞力。液体具有粘滞力的性质，就称为液体的粘滞性。必须指出，当液体处于静止状态时，粘滞力不存在，粘滞性显示不出来。

液体粘滞性的大小，可用粘度来表达。

1.动力粘度：用符号μ表示，单位是$N\cdot s/m^2$。因为$1\,Pa = 1\,N/m^2$，所以μ的单位可用$Pa\cdot s$表示。

2.运动粘度：用符号ν表示，它与动力粘度的关系是：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \tag{1-4}$$

式中　ν——运动粘度，m^2/s；

μ——动力粘度，$Pa\cdot s$；

ρ——液体的密度，kg/m^3。

不同的液体具有不同的μ、ν值。实验证明：外界压强条件对液体的粘度影响甚小，而温度条件对液体粘度的影响明显。对于某种液体，温度增高，粘度减小；温度降低，粘度增大。

表1-1列举了在不同温度条件下水的动力粘度和运动粘度。

水 的 粘 度 表 1-1

t (°C)	μ 10^{-3}(Pa·s)	ν 10^{-6}(m^2/s)	t (0°C)	μ 10^{-3}(Pa·s)	ν 10^{-6}(m^2/s)
0	1.792	1.792	40	0.656	0.661
5	1.519	1.519	45	0.599	0.605
10	1.308	1.308	50	0.549	0.556
15	1.140	1.140	60	0.469	0.477
20	1.005	1.007	70	0.406	0.415
25	0.894	0.897	80	0.357	0.367
30	0.801	0.804	90	0.317	0.328
35	0.723	0.727	100	0.284	0.296

复习思考题

1.水力学与给水排水工程有何联系？

2.什么是液体的密度与容重？它们之间有何关系？

3.在工程单位制（M制）中，质量的单位是什么？

4.什么叫做不可压缩液体？

5.什么叫做液体的粘滞性，温度不同对粘度有何变化？

第二节 静 水 力 学

静水力学是研究水在静止状态下的力学规律，以及这些规律在工程上的应用。静止状态是指对地球不作相对运动的状态。

如上所述，水几乎不能承受拉力，在静止状态下也不存在剪切力，所以只能承受压力。我们所说的水在静止状态下的力学规律，也就是水在静止状态下压强在空间的分布规律。

一、静水压强及其特性

（一）静水压强

一个盛水的容器，如果在容器的侧面或底面开有小孔，水立即从小孔流出，这种现象说明了静止液体有压力存在（称这种压力为静压力），在静压力的作用下，水从容器的小孔流出。

作用在整个容器表面积上的静水压力，称为静水总压力，用符号P表示；作用在单位面积上的静水压力，称为静水压强，用符号p表示。

如图1-2所示，一个盛水的水箱，设作用在水箱底面积A上的静水总压力为P，则平均静压强$\bar{p}$为：

$$\bar{p}=\frac{P}{A} \tag{1-5}$$

式中 $\bar{p}$——平均静水压强，N/m^2或Pa；

P——总静压力，N；

A——受压面积，m^2。

在水箱底面上围绕任意点m取微小面积ΔA，设作用在ΔA上的总静水压力为ΔP，则

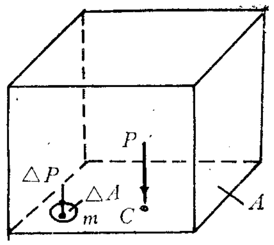

图 1-2 静水压强

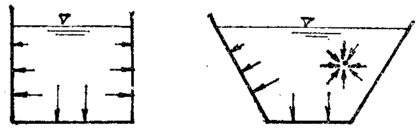

图 1-3 静压强特性

质点m的静水压强p为：

$$p=\lim_{\Delta A\to 0}\frac{\Delta P}{\Delta A} \qquad (1-6)$$

平均静水压强是指作用面上各点静水压强的平均值，而点静水压强才是准确地反映了作用面上各水质点的实际静压强值。当作用面上的静水压强为均匀分布时（如水箱的底面），点静水压强值和平均静水压强值相等。

（二）静水压强的特性

静水压强有两个基本特性：

1.静水压强的方向垂直于作用面，并指向作用面。

2.任意一点各方向的静水压强均相等。

图1-3表示静水压强特性。

二、静水压强基本方程式

（一）自由表面和表面压强

所谓自由表面是指水体中液体与气体的交界面。在重力作用下静止液体的自由表面是水平面，如水箱、水池、江河的水面。

液体的自由表面受上部气体压强的作用，此压强称为表面压强，用符号p_0表示；当自由表面上的压强为当地大气压，用符号p_a表示，则$p_0=p_a$。自由表面所处的海拔高度不同，其大气压强值也就不同，当$p_a=101337$Pa时，称为1个标准大气压。工程上为了计算方便，一般取用$p_a=98100\text{Pa}=98.1\text{kPa}$，称为1个工程大气压。

（二）静水压强的分布规律

由于水本身具有重量和易流动性，使其容器的底面和侧面均受到静水压力的作用。如图1-4所示，在盛满水的容器侧面上开三个小孔，三个小孔的高度不同，水分别从三个小孔流出。从图中明显可见，愈靠近下部的孔口，水流喷射得愈远，这种水流现象说明了水对容器侧壁不同深度处的压强是不一样的，并可得到一个感性概念：静水压强随着水深的增加而增大。如果在容器侧面上同一深度处开几个小孔，可以想象，各小孔喷出的水流情况是一样的，这又说明了：同一水深处的静水压强相等。

如图1-5所示，在静水中任取一质点m，m点在自由表面以下水深为h，自由表面上的压强为p_0，设m点的静压强为p。从静水中取一铅直微小圆柱体，使质点m位于微小圆柱体底面中心处，圆柱体上表面与自由表面重合。微小圆柱体的高度等于水深h，并设横截面积为ΔA。

以微小圆柱水体为隔离体，它是在力的作用下处于静止状态。作用在微小圆柱体上的

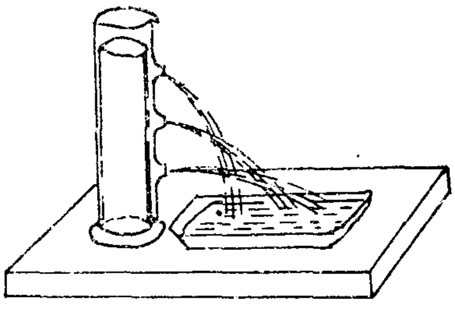

图 1-4 静水压强与水深的关系

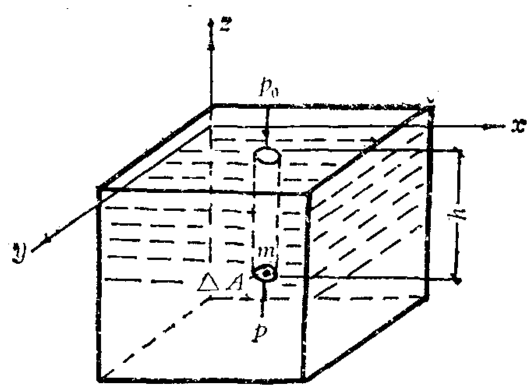

图 1-5 静水压强基本方程式推导

力有：

1.作用在上表面上的压力$P_0=p_0\varDelta A$，方向垂直向下；

2.作用在下表面上的静水压力$P=p\varDelta A$，方向垂直向上；

3.微小圆柱水体本身重量$G=\gamma\varDelta V=\gamma h\varDelta A$，方向垂直向下；

4.作用在圆柱体侧面上的静水压力。根据静水压强特性，侧压力来自四周，并互相平衡。

根据力学平衡条件，与 z 轴方向的力平衡方程式：

$$p\varDelta A-\gamma h\varDelta A-p_0\varDelta A=0$$

化简、移项，得：

$$p=p_0+\gamma h \tag{1-7}$$

式中 p——静水中任意点的静水压强；

p_0——表面压强；

γ——水的容重；

h——任意点在自由表面下的深度。

公式（1-7）就是在重力作用下，静止液体内部静水压强分布规律的数学表达式，称为静水力学基本方程式。根据式（1-7），就可以求出静水中任意点的压强值。方程式反映了静水压强与水深成正比的分布规律（式中γ和p_0均为常数）。方程式的意义是：静水中任一点的静压强值 p 等于表面压强p_0和该点所处的水深 h 与容重γ乘积之和。

如图1-6所示，设水箱水面的压强为p_0，水面到任选基准面0-0的高度为Z_0，从静水中任意选择两质点 1 和 2，它们离基准面0-0的高度分别为Z_1和Z_2，质点 1 和质点 2 的静压强为p_1和p_2。则：

$$p_1=p_0+\gamma(Z_0-Z_1)$$
$$p_2=p_0+\gamma(Z_0-Z_2)$$

将以上两式均除以γ，整理后得：

$$Z_1+\frac{p_1}{\gamma}=Z_0+\frac{p_0}{\gamma}$$
$$Z_2+\frac{p_2}{\gamma}=Z_0+\frac{p_0}{\gamma}$$

从以上关系式可得出：

$$Z_1+\frac{p_1}{\gamma}=Z_2+\frac{p_2}{\gamma}=Z_0+\frac{p_0}{\gamma}$$

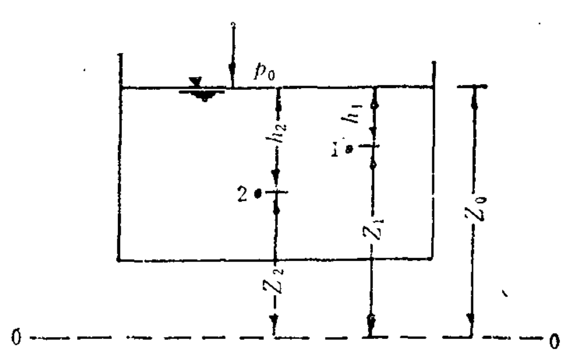

图 1-6 静压强基本方程式的另一种形式

因为质点1、2是任选的，所以以上关系式可以推广到静水中任意质点，得出一般性的规律如下：

$$Z+\frac{p}{\gamma}=c\ (\text{常数}) \tag{1-8}$$

公式（1-8）也是常用的水静力学基本方程式的另一表达式。该式的意义是：在同一静止液体中，任意点的$Z+\frac{p}{\gamma}$都是一个常数。

三、压强的表示方法

压强的大小，可以采用不同的计算基准（或称起量点）和量度单位。

（一）两种计算基准

以完全没有气体存在的绝对真空为零点起算的压强称为绝对压强，用符号p_j表示。根据此定义，公式（1-7）可写成：

$$p_j=p_{0j}+\gamma h \tag{1-7}^a$$

式中，p_{0j}代表以绝对真空为零点起算的表面压强。

以大气压强p_a为零点起算的压强称为相对压强，用符号p_x表示。绝对压强与相对压强之间的关系为：

$$p_x=p_j-p_a=p_{0j}+\gamma h-p_a \tag{1-9}$$

当液体自由表面的压强等于大气压强时，即$p_{0j}=p_a$，式（1-9）可写成：

$$p_x=\gamma h \tag{1-10}$$

图1-7表示了绝对压强与相对压强的关系。

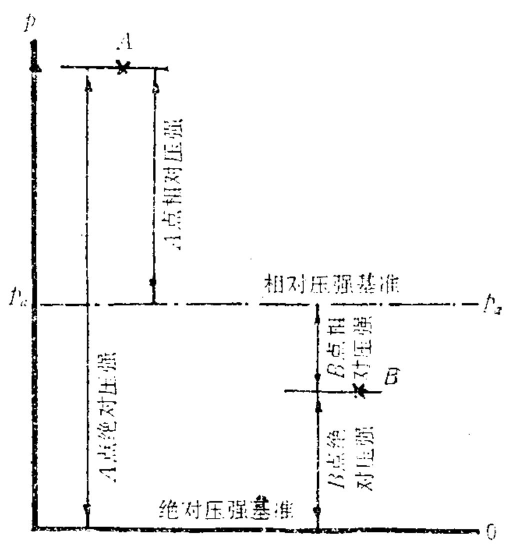

图 1-7 压强关系图

当液体中某质点的绝对压强值小于大气压强p_a时，该质点就处于真空状态。处于真空状态的静止液体质点，其真空程度的大小用真空度或真空压强来量度，符号为p_v。所谓真空度是指处于真空状态某点的绝对压强值p_j不足于大气压强值p_a的部分，可用下式表示：

$$p_v=p_a-p_j \tag{1-11}$$

从图1-7可以看出，绝对压强值只能是正值，但是，当与大气压强相比较，绝对压强值可以大于大气压强，也可以小于大气压强。当绝对压强值小于大气压强时，相对压强则为负值，称为负压；反之，相对压强为正值，称为正压。出现负压的状态就是真空状态，真空度（真空压强）p_v等于相对压强p_x的绝对值。则在真空状态时：

$$p_v=|p_x| \tag{1-12}$$

（二）压强的两种量度单位

1.用单位面积上所受的压力表示。单位是N/m^2或kN/m^2，也就是，Pa或kPa。

2.用液柱的高度表示。常用的单位是米水柱（mH_2O）、毫米水柱（mmH_2O）或毫米汞柱（mmHg）。

根据公式（1-10），$p=\gamma h$，所以$h=\frac{p}{\gamma}$。该式说明，只要已知某液体的容重γ，压强p与该液柱的高度h有一定的比例关系；所以可用液柱的高度来表示压强值。

一个工程大气压强相应的水柱高度为：

$$h=\frac{98100\mathrm{N/m^2}}{9810\mathrm{N/m^3}}=10\mathrm{mH_2O}=10000\mathrm{mmH_2O}$$

一个工程大气压强相应的汞柱高度为

$$h=\frac{98100\mathrm{N/m^2}}{133318\mathrm{N/m^3}}=0.7358\mathrm{mHg}=736\mathrm{mmHg}$$

对于法定计量单位制：$1\mathrm{mmH_2O}=9.81\mathrm{N/m^2}$；

【例题 1-2】 有一个密闭水箱，如图1-8所示。自由表面上的绝对压强$p_0=132.4$ kPa，水箱内水的深度$h=4.0$m，试求水箱底面上的绝对压强p_j和相对压强p_x。（设当地的大气压强值$p_a=98.1\mathrm{kN/m^2}$）。

【解】 根据式（1-7）a，

$$\begin{aligned}p_j&=p_{0j}+\gamma h=132.4\mathrm{kPa}+9.81\mathrm{kN/m^3}\times4\mathrm{m}\\&=(132.4+39.24)\mathrm{kN/m^2}=171.64\mathrm{kPa}=17.5\mathrm{mH_2O}\end{aligned}$$

由于$p_x=p_j-p_a$，所以：

$$p_x=(171.64-98.1)\mathrm{kN/m^2}=73.54\mathrm{kPa}=7.5\mathrm{mH_2O}$$

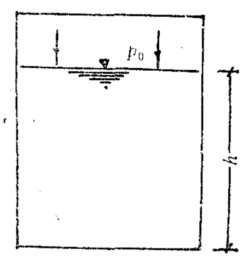

图 1-8 密闭水箱

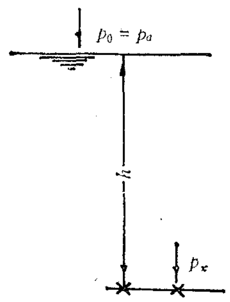

图 1-9 水深计算

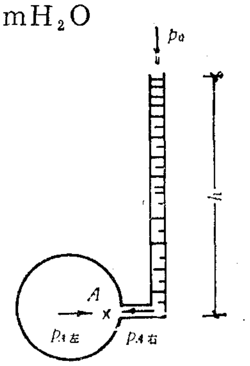

图 1-10 测压管

【例题 1-3】 如图1-9所示，水池的表面压强等于大气压，$p_0=p_a$，试求相对压强$p_x=784.8\mathrm{kN/m^2}$处的水深h为多少？

【解】 根据公式（1-10），$p_x=\gamma h$，所以：

$$h=\frac{p_x}{\gamma}=\frac{784.8\mathrm{kN/m^2}}{9.81\mathrm{kN/m^3}}=80\mathrm{m}$$

【例题 1-4】 如图1-10所示，用一根玻璃管与压力管道连接，就可以通过玻璃管内液柱上升的高度h来量测管道的压强，该玻璃管称为测压管。已知测压管中水位上升的高度为5m，试求管道A点的绝对压强值p_{Aj}为多少？（设当地的大气压强$p_a=98.1\mathrm{kN/m^2}$，管内液体是水）。

【解】 如图示，考查管内静止液体A点左、右两侧的压强，根据静水压强的特性：

$$\begin{aligned}p_{A左}=p_{A右}&=p_a+\gamma h=98.1\mathrm{kN/m^2}+9.81\mathrm{kN/m^3}\times5\mathrm{m}\\&=(98.1+49.05)\mathrm{kN/m^2}=147.15\mathrm{kN/m^2}\end{aligned}$$

根据以上的分析可以看出，液体中任意点的相对压强可以用测压管的液柱高度来表示，称为测压管高度。由于大气压强来自四面八方，在工程计算中，相对压强更带有实际意义，所以相对压强又称为工作压强。

复习思考题

1.什么叫做静压力？什么叫做静压强？
2.静压强的基本特性是什么？
3.什么叫做绝对压强？什么叫做相对压强？
4.什么叫做真空度？它与相对压强有什么关系？
5.压强的二种量度单位是什么？它们之间如何换算？

第三节　动水力学的连续性方程和能量方程

动水力学是研究水在运动状态下的运动规律，以及这些规律在工程上的应用。

一、几个基本概念

（一）压力流及无压流

当液体流动时，流体整个周界和固体壁面相接触，没有自由表面，并对接触壁面均具有压力，这种流动称为压力流。例如，液体在管道中做压力流动，其特点是流体充满整个管道，当管道顶部连接测压管时，测压管的水面就会升高，如图1-11(*a*)所示。给水管道一般都是压力流。

当液体流动时，液体部分周界和固体壁面相接触，而部分周界与大气相接触，并具有自由表面，这种流动称为无压流，如图1-11(*b*)、(*c*)所示。无压流是借助于流体本身的重力作用而产生流动的，所以又称重力流。各种排水管、渠一般都是无压流。

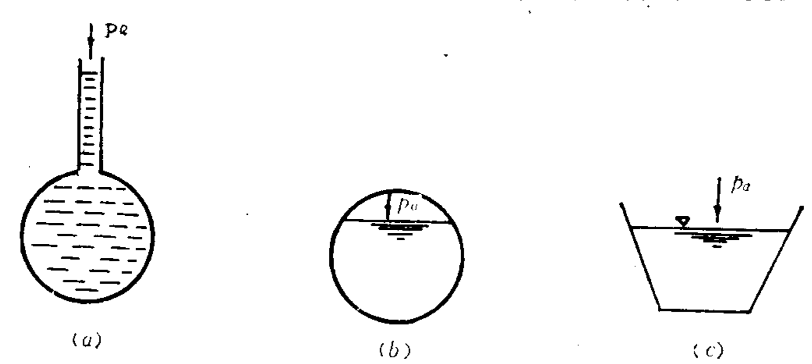

图 1-11　压力流与无压流
（*a*）圆管压力流；（*b*）圆管无压流；（*c*）梯形渠道

（二）恒定流与非恒定流

当液体流动时，对于任意空间点，在不同时刻所通过的液流质点的流速、压强等运动要素不变的流动称为恒定流。如图1-12(*a*)所示，当水从水箱侧孔出流时，由于水箱上部有补水装置，保持水箱水位不下降，因此，任何时刻从侧孔流出的水质点流速不变，这就是恒定流的例子。

当液体流动时，对于任意空间点，在不同时刻所通过的液流质点的流速、压强等运动要素是变化的，这种流动称为非恒定流。图1-12(*b*)所示的水箱侧孔出流，就是非恒定流的例子。

在给水排水工程设计计算时，一般可以将水流运动视为恒定流，所以恒定流是本文的主要课题。

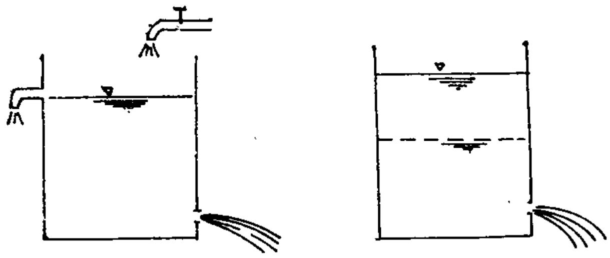
(a)　　(b)

图 1-12　恒定流与非恒定流

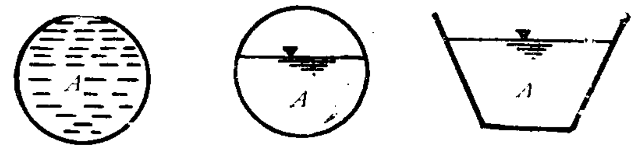

图 1-13　过流断面

（三）过流断面、流量、断面平均流速

1.过流断面

与液流运动方向垂直的液体横断面积称为过流断面。液体在圆管和梯形渠道中的过流断面见图1-13。过流断面面积用符号A表示，单位为m^2或cm^2。

2.流量

水流在单位时间内通过某过流断面的体积称为流量，以符号Q表示。单位为m^3/s或L/s。

3.断面平均流速

水流质点在单位时间内所流经的流程长度称为点流速，用符号u表示，单位为m/s或cm/s。由于液体具有粘滞性，所以在过流断面上，各液流质点的流速并不相等。如水在管道内流动，靠近管壁的水质点流速较小，在管中心处的水流质点流速最大，图1-14为管流中过流断面上流速分布情况。

采用点流速来计算流量显然是不方便的，在实际工程中，通常引用断面平均流速的概念，断面平均流速是一种设想的流速，它的定义是：假设过流断面上各水流质点以相同的平均流速v流动，所通过的流量等于过流断面上各水流质点以实际点流速u流动所通过的流量。这样就可以简化为采用平均流速v来计算流量。

流量、平均流速和过流断面面积三者之间的关系为：

$$Q = vA \tag{1-13}$$

式中　Q——流量，m^3/s或L/s；

v——断面平均流速（简称平均流速）m/s；

A——过流断面面积，m^2或cm^2。

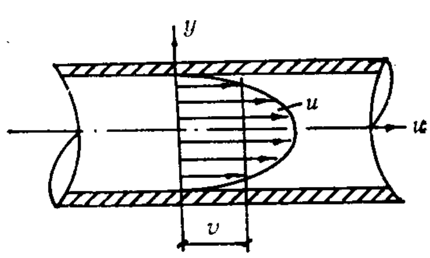

图 1-14　点流速与断面平均流速

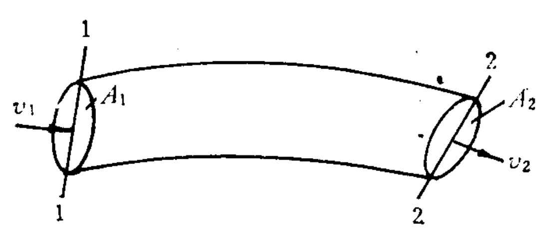

图 1-15　恒定流连续性方程式的推导

二、恒定流连续性方程式

恒定流连续性方程式，是物理学质量守恒定律在水力学中的具体应用。我们研究恒定流连续性方程式，就是在恒定流条件下，分析水流在一定空间内的质量平衡规律。

如图1-15所示，在水流中取一流段，并选取断面1-1和断面2-2作为起端和终端断面，其过流断面积分别为A_1和A_2，断面平均流速分别为v_1和v_2。并考虑到下列因素：

1.由于水流是恒定流动，所以流段的形状及流段各空间点所通过水质点的流速不随时间而变化。

2.液体是一种连续介质，密度ρ为常数。

3.液流不能从流段的侧面流入或流出。

因此，在Δt时间内，流入断面A_1的液体质量必然等于流出断面A_2的液体质量，即：

$$\rho_1 v_1 A_1 \Delta t = \rho_2 v_2 A_2 \Delta t$$

由于$\rho_1 = \rho_2 = \rho$，将上式同除以$\rho \Delta t$，得：

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \qquad (1\text{-}14)$$

或

$$Q_1 = Q_2 \qquad (1\text{-}15)$$

式（1-15）就是恒定流不可压缩液体的连续性方程式。该方程式说明了在同一流段上通过各过流断面的流量相等。也表明了平均流速和过流断面积成反比的关系。也就是说，在通过流量相同的前提下，断面积大、流速小；断面积小，流速大；当流段上各过流断面积相等，则流速沿途不变。流速沿途不变的流动称为等速流。

恒定流连续性方程式确定了平均流速沿流动方向的变化规律。应用这一规律，在流量和某一断面平均流速已知的前提下，根据其它断面积的大小，就可以确定任意断面上的平均流速。

【例题 1-5】 如图1-16所示，有一段变径圆形水管，已知直径$d_1 = 100$mm，$d_2 = 50$mm，若d_1断面相应的平均流速$v_1 = 0.5$m/s，求d_2断面的平均流速v_2等于多少？

【解】 由于圆管的面积$A = 1/4\pi d^2$，根据式（1-14），

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{1/4\pi d_2^2}{1/4\pi d_1^2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

从以上分析可以看出，对于圆管满流情况，平均流速与圆管直径的平方成反比。

将已知数据代入：

$$v_2 = v_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} = 0.5 \times \frac{0.1^2}{0.05^2} = 2 \text{ m/s}$$

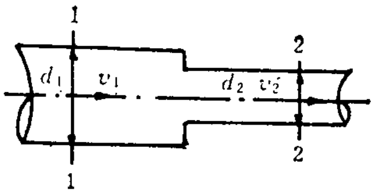

图 1-16 变径水管

三、恒定流能量方程式

恒定流能量方程式，是物理学能量守恒定律在水力学中的具体应用。根据物理学概念，能量既不能消灭，也不能创造，只能从一种形式转变为另一种形式。液体的流动过程也完全遵循能量守恒。因此，能量方程式意义重要，应用十分广泛。恒定流能量方程式又称伯诺里（Bernoulli）方程式。

如图1-17所示，几根直径不同的管段与水箱连接，水箱有补水和溢流装置，使水位保持不变，水流为恒定流。在管段A、B、C三个断面上装置测压管。当阀门关闭时，液体处于静止状态，各测压管中的水位上升到同一高度；当阀门打开，液体处于流动状态，虽然保持水箱的水位不变（即恒定流条件），但各测压管中水位上升的高度就不同了。从图1-17可以看出，沿水的流动方向，管段的断面积由大变小，也就是流速由小变大，而各测压管的水面高度却逐渐下降，它们之间究竟存在什么内在联系呢？恒定流能量方程式将给

出在液体流动过程中，过流断面的位置、压强和流速三者之间的关系，并展现了液体的运动规律。

下文简要地论述建立恒定流能量方程式的过程。方程式推导的依据是物理学的功能原理即：所有作用力对物体作功的总和等于该物体动能的变化量，即：

$$\Sigma U = 1/2mv_2^2 - 1/2mv_1^2 \tag{1-16}$$

式中 ΣU——所有作用力对物体作功的总和；

m——物体的质量；

v_1——物体处于起始位置的速度；

v_2——在力的作用下，物体由起始位置运动至另一位置处的速度。

如图1-18所示，在恒定液流中取出某一流段作为研究对象，并选取断面1-1和断面2-2作为起端和终端断面，其过流断面积分别为A_1和A_2；平均流速分别为v_1和v_2；压强分别为p_1和p_2。任取水平基准面0-0，两断面中心离基准面的高度分别为Z_1和Z_2。

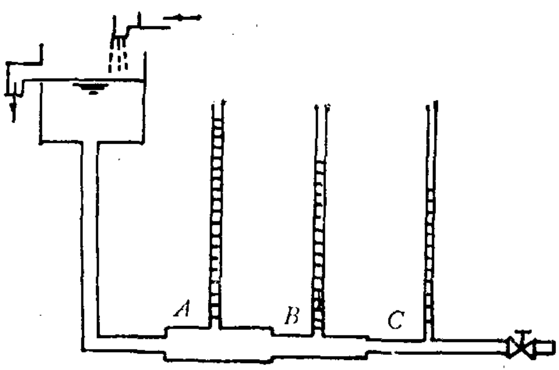

图 1-17　水流的能量变化

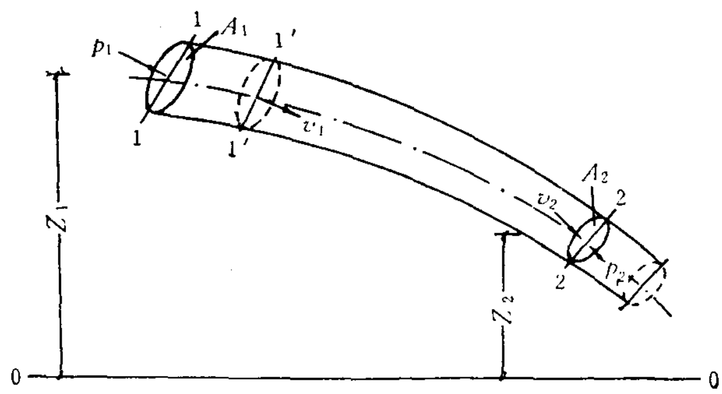

图 1-18　能量方程式的推导

如图1-18所示，在很短的时间间隔Δt，液流从原来位置1-2移动到另一位置1′-2′。原处于过流断面A_1上各液体质点流过一段微小距离$v_1\Delta t$，移至1′-1′位置；原处于过流断面A_2上各液体质点流过一段微小距离$v_2\Delta t$，移至2′-2′位置。流段在所有外力作用下，动能也发生了变化。根据功能原理：所有外力对流段作功的总和等于该流段动能的变化量。分项分析如下：

（一）流段动能的变化量

见图1-18，当流段1-2经时间间隔Δt移至1′-2′位置时，可以认为，断面1′-1′和2-2之间的流段是时间间隔Δt前后所共有的，尽管在Δt间隔内该流段的液体质点有所更换，但在恒定流条件下，这部分液体的质量和流速均不随时间而变化，所以该流段经过Δt间隔动能没有变化。因此，对于整个流段1-1～2-2，经过时间间隔Δt，其动能变化量等2-2′段的动能减去1-1′段的动能。设动能的变化量为ΔE_k，即：

$$\Delta E_k = 1/2m_2v_2^2 - 1/2m_1v_1^2$$

式中 m_1、m_2——流段1-1′、2-2′的质量。

$$m_1 = \rho_1 v_1 A_1 \Delta t$$

$$m_2 = \rho_2 v_2 A_2 \Delta t$$

对于不可压缩液体，$\rho_1 = \rho_2 = \rho$。根据连续性方程式

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = Q$$