

中等专业学校教材

水 力 学

陕西省水利学校主编

水利电力出版社



中等专业学校教材

水 力 学

陕西省水利学校主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是为水利水电中等专业学校编写的一本通用教材。全书分为绪论、水静力学、水流运动的基本原理、水流型态和水头损失、管流、明渠均匀流、明渠非均匀流、孔流与堰流、水工建筑物上下游水流衔接与消能、高速水流简介、水工模型试验基础等共十一章。

本书适用于水利工程建筑、农田水利、水电站动力装置专业，并可供水利水电技术人员工作中参考。

中等专业学校教材

水 力 学

陕西省水利学校主编

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

1978年12月北京第一版

1978年12月北京第一次印刷

印数 00001—33170 册 每册 1.65 元

书号 15143·3407

前 言

为了适应新时期教育事业的大发展,满足教学需要,提高教学质量,我们总结二十八年来正反两方面的经验,根据《中等专业学校〈水利工程建筑〉专业教学计划》征求意见稿(一九七八年一月制订)的要求,编写了这本教材。

在编写过程中,我们力求做到:以毛主席关于马克思主义的认识论的光辉思想为指导,阐述水流运动的基本规律以及各种水力学问题,培养学生分析问题和解决问题的能力;加强对水流运动的基本理论以及水力计算和实验操作等基本技能的训练和培养;教材内容尽量结合水利工程的实际,并适应水利水电学校有关专业的特点;文字通俗易懂,每章均有例题、内容提要、小结、思考题和习题,以便于自学。

本教材由陕西省水利学校李序量、程学文,黄河水利学校邵平江、赵彦南、白济民,安徽省水利电力学校蔡可法,成都水力发电学校龙孝谦等七位同志编写,李序量同志主编。孟丰秀等同志绘图。

本教材由吉林省水利电力学校刘翰湘、陈浩两同志主审,水电部东北勘测设计院孙思惠、吉林省水利勘测设计院张彤、长春地质学院刘一贯等同志参加审稿,提出不少宝贵意见,并得到了吉林省水利电力学校的大力协助,编者谨在此表示谢意。

我们恳切希望广大师生对书中缺点错误给以批评指正。

编 者

1978年7月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 水力学的任务及其在水利工程中的应用	1
第二节 液体的基本特性和主要物理性质	3
第二章 水静力学	8
第一节 静水压强及其特性	8
第二节 静水压强的基本规律	10
第三节 静水压强的表示方法及量测	14
第四节 静水压强分布图	18
第五节 作用在平面壁上的静水总压力	19
第六节 作用在曲面壁上的静水总压力	24
第七节 重力和惯性力同时作用下液体相对平衡举例	28
第三章 水流运动的基本原理	37
第一节 表示水流运动的几个概念	37
第二节 恒定总流的连续性原理	42
第三节 恒定流的能量守恒原理	44
第四节 相对运动的能量方程	56
第五节 恒定流的动量原理	58
第四章 水流型态和水头损失	71
第一节 液体的粘滞性	71
第二节 运动液体的两种基本流态	73
第三节 紊流运动	76
第四节 水头损失及其分类	80
第五节 沿程水头损失的分析 and 计算	81
第六节 局部水头损失的分析 and 计算	88
第五章 管流	99
第一节 概述	99
第二节 简单管路的水力计算	100
第三节 复杂管路的水力计算	103
第四节 短管的水力计算	110
第五节 管流计算举例	114
第六节 压力管中的水锤	119
第六章 明渠均匀流	137
第一节 概述	137

第二节	明渠均匀流的基本特性与发生条件	140
第三节	明渠均匀流的基本公式	142
第四节	渠道的水力计算	144
第五节	渠道水力计算中的几个问题	148
第七章	明渠非均匀流	154
第一节	概述	154
第二节	明渠恒定非均匀渐变流基本方程式	155
第三节	断面比能, 临界水深, 急流、缓流, 临界坡度	156
第四节	水跌与水跃	162
第五节	棱柱体渠道非均匀渐变流水面曲线定性分析	169
第六节	明渠非均匀渐变流水面曲线的计算与绘制	179
第七节	天然河道水面曲线的计算	193
第八节	弯曲河段的水流简介	195
第八章	孔流与堰流	204
第一节	概述	204
第二节	孔口与管嘴出流	205
第三节	闸孔出流	213
第四节	堰流	221
第五节	无压隧洞的水力计算	241
第九章	水工建筑物上下游水流衔接与消能	255
第一节	概述	255
第二节	底流式衔接与消能	256
第三节	挑流式衔接与消能	273
第四节	关于水工建筑物上下游水流衔接消能问题综述	277
第十章	高速水流简介	283
第一节	高速水流的脉动压强	283
第二节	高速明流的掺气	286
第三节	气穴与气蚀	289
第四节	明槽急流冲击波现象	294
第十一章	水工模型试验基础	297
第一节	概述	297
第二节	水流的相似原理和相似准则	299
第三节	模型设计与算例	305
附录 I	工程单位制和国际单位制对照表	
附录 II	谢才系数 C 值表	
附录 III	梯形断面渠道均匀流水深求解图	
附录 IV	各种水力指数 α 时的函数值	
附录 V	矩形断面渠道收缩断面水深及水跃共轭水深求解图	

第一章 绪 论

内 容 提 要

本章包括两个内容：首先，介绍水力学的任务及其在水利工程中的应用，以明确学习水力学的目的性；其次，介绍液体的主要物理性质，以便在以后各章分析液体运动时对它的内因有所认识。

第一节 水力学的任务及其在水利工程中的应用

水和人类生活、生产有着十分密切的关系。早在几千年以前，我国劳动人民就已开始与洪水灾害进行不懈的斗争。以后，随着生产发展的需要，在与水害作斗争的同时，还兴修了许多巨大的灌溉、航运工程。人类在与水作斗争、防止水害、兴修水利的过程中，逐渐认识了水的运动规律，而对这些规律的认识，又进一步促进了水利事业的发展。这样反复循环，加以现代自然科学与科学实验的发展，逐渐形成了一种专门研究液体静止和运动的规律，并探讨应用这些规律解决实际问题的科学。这门科学就是水力学。

水力学分为水静力学和水动力学两部分。水静力学研究液体处于静止状态下的力学规律。水动力学研究液体在管道中、河渠中以及流经各种水工建筑物时的运动规律。

水力学在水利、机械、冶金、化工、石油开采和城市建筑等工程中有广泛的应用。特别是在水利工程的勘测、规划、设计、施工与管理中，更会遇到很多的水力学问题。

例如，在河道上修建水库工程，用来调节洪水、储蓄水量和抬高水位，以满足防洪、灌溉和发电等方面的要求。修水库要在河道中筑坝挡水（图 1-1 为水库工程平面布置示意图）。重力坝受水的作用力后必须保持稳定，不被推倒。对于土坝，要考虑坝身和坝基的渗流造成的水量损失和它可能对土坝的破坏作用。从水库取水要修输水管道。管道首部的闸门必须能承受水的作用力，管道本身还要有足够的过水能力。为了保证拦河坝的安全要修溢洪道，溢洪道必须有足够的泄洪能力。洪水从溢洪道下泄形成高速水流，往往冲刷下游河床危及建筑物的安全，因而必须采取消能措施。修水库还要考虑对河道的影响，计算坝上游的回水长度以确定水库的淹没范围，计算坝下游河道的安全泄量，以及上游的淤积和下游的冲刷等问题。

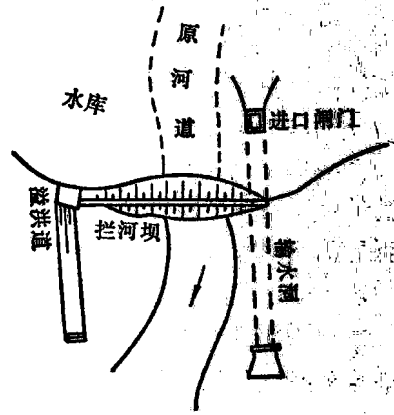


图 1-1

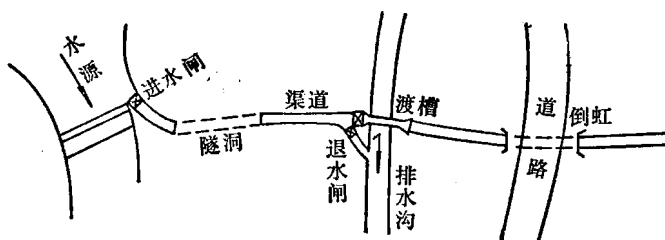


图 1-2

又如，修灌溉工程（图 1-2）。把水从水源引到田地里，沿途要修水闸、隧洞、渠道、渡槽、倒虹吸管和跌水等一系列水工建筑物。设计这些建筑物都必须计算其过水能力，也就是根据过流量确定建筑物的尺寸。

再如，修水电工程和抽水工程。水电站把水能转变为电能，究竟能够发出多少电力，要根据上下游的落差（图 1-3）、设计流量和沿流的能量损失来计算。抽水站用动力把水从低处抽到高处，抽上一定的水量究竟需要多大功率的抽水机，要根据抽水高度（图 1-4）、设计流量和沿流能量损失来计算。

从以上所举例子看来，每项水利工程都有不同的水力学问题。归纳起来，主要有下列五个方面：

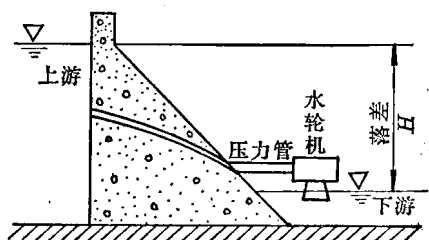


图 1-3

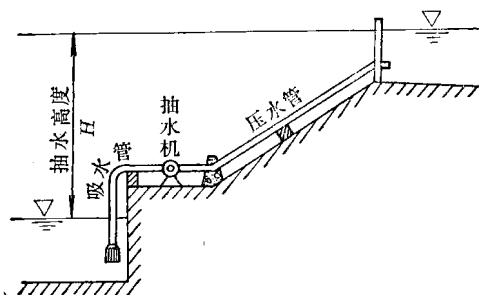


图 1-4

一、水对水工建筑物的作用力问题。研究坝身、闸门、闸身、管壁上的静水压力和动水压力等的计算，并探讨如何减小水的作用力的不利方面而运用其有利方面。

二、水工建筑物的过水能力问题。研究渠道、水闸、管道和溢洪道的过水能力的计算，并探讨如何提高其过水能力。

三、水流通过水工建筑物时的能量损耗问题。研究水流通过水电站、抽水站和各种渠道建筑物所引起的能量损失的计算和滚水坝、溢洪道、水闸和跌水下游水流的消能计算，并探讨如何减少有效能量的损耗和加大多余能量的销毁。

四、河渠的水面曲线问题。研究河道、渠道、溢洪道和陡坡中的水面曲线的计算。

五、水工建筑物中水流的形态问题。研究水流在各种水工建筑物中的流动形态及其对工程的影响，并探讨如何改善水流形态，以免产生不利的作用。

以上五个方面不是彼此孤立的，也不是水力学的全部问题，只是概括水利工程中常见的水力学的主要问题。除此以外，还有其他一些水力学问题，如闸坝的渗流问题、挟沙水流问题、高速水流问题、波浪运动问题，以及水工模型试验的有关问题，等等。

建国以来，在毛主席“水利是农业的命脉”、“一定要把淮河修好”、“要把黄河的

事情办好”和“一定要根治海河”等一系列伟大号召指引下，在中国共产党的领导下，我国的水利建设事业蓬勃发展，水力学方面的研究工作也有了广泛开展。我们学习和研究水力学，不仅是认识液体运动的各种规律，更重要的是要利用这些规律有效地解决工程中的实际问题，努力为发展祖国的水利事业和水利科学、为把我国在本世纪内建设成为具有现代农业、现代工业、现代国防和现代科学技术的伟大的社会主义国家而奋斗！

第二节 液体的基本特性和主要物理性质

水力学的任务是研究并应用液体静止和运动的规律，研究的对象是液体。液体的静止和运动的规律，一方面和液体外部的作用条件有关，更主要的是决定于液体本身的内在性质。本节将介绍液体的基本特性和主要物理性质。

一、液体的基本特性

我们知道，物质的存在有三种状态：固体、液体和气体。液体和固体的基本区别在于：固体有一定的形状；而液体没有一定的形状，很容易流动，它的形状随容器而异（因为液体几乎不能承受拉力，抵抗拉伸变形，静止时还不能承受切力，抵抗剪切变形），也就是说液体具有易流动性。气体和液体一样，也具有易流动性，所以统称为流体。液体和气体的基本区别在于：气体易于压缩，并且力求占据尽可能大的容积，能充满任何容器；而液体的体积有一定大小，还可能有自由表面，并且和固体一样能承受压力，对于压缩变形有很大的抵抗能力，很不容易压缩，也就是说液体具有不易压缩性。

液体的真实结构是由运动着的分子所组成，分子与分子间具有空隙。从微观角度来看，液体是不连续的、不均匀的。但是在水力学中，研究的不是液体的分子运动，而是液体的宏观机械运动，把液体的质点作为最小的研究对象。所谓质点是由许多液体分子所组成，但它的尺寸仍然非常微小，和所研究问题中的一般尺度相比可以忽略不计。因此，我们可以把液体看作是液体的质点一个挨着一个地充满着液体的全部体积，这样就可以把液体当作连续介质来看待，而且可以把这种连续介质看作均质的和各向同性的，就是说它的各部分和各方向的物理性质是一样的。这种假定是为了便于充分利用数学上连续函数这一有力的工具，而实践证明，所得结论在一般情况下也是符合客观实际的。

总之，在水力学中研究的液体是一种容易流动的、不易压缩的、均匀等向的连续介质。水力学的研究成果，可以应用于以水为代表的一般液体。

二、液体的主要物理性质

下面来介绍影响液体运动的液体的几个主要物理性质。

（一）惯性

惯性是物体所具有的反抗改变原有运动状况的物理性质。根据牛顿第一定律，改变物体的运动状况时必须施加力，其大小与该物体的质量和运动的加速度成正比。这里的力就是用以克服物体惯性的。因此，物体惯性的大小可以用质量来度量。质量愈大，惯性也就

愈大。根据牛顿第三定律，作用力与反作用力应该相等。改变物体运动状态所遇的反作用力一般称为**惯性力**，其数值和作用力相等，但方向相反。如果物体的质量为 m ，加速度为 a ，则惯性力 F 为

$$F = -ma. \quad (1-1)$$

液体在运动过程中，改变其运动状态，无论是加速还是减速，都必须克服其惯性的影响。因此，我们对于液体的质量，必须有所了解。

液体单位体积内所具有的质量称为**密度** ρ 。对于均质液体，如果体积为 V ，质量为 m ，则密度 ρ 为

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1-2)$$

液体的密度随压强和温度而变化，但变化不大，一般可看作常数。在实用上，水的密度，是以在一个大气压下、温度为 4°C 时的最大密度值作为日常计算值，其数值采用**国际单位制**时为 1000千克/米^3 。

(二) 万有引力特性

万有引力特性是物体之间相互具有吸引力的性质。这个吸引力就是**万有引力**。在液体运动中，一般只需要考虑地球对液体的引力，也就是**重力**，并用**重量** G 来表示。若物体的质量为 m ，重力加速度为 g ，则根据牛顿第二定律，重量 G 为

$$G = mg. \quad (1-3)$$

液体单位体积内所具有的重量称为**容重** γ 。对于均质液体，如果体积为 V ，重量为 G ，则容重 γ 为

$$\gamma = \frac{G}{V}. \quad (1-4)$$

由公式(1-2)、(1-3)和(1-4)可得

$$\gamma = \rho g \quad \text{或} \quad \rho = \frac{\gamma}{g}. \quad (1-5)$$

式中 g 一般可看作常数，并采用 9.80米/秒^2 的数值。

液体的容重虽随压强和温度而不同，但在一般情况下，可以看作常数。水在一个大气压下，温度为 4°C 时的容重值就作为日常计算值，其大小采用**工程单位制**时为 1吨/米^3 。

从公式(1-1)和(1-3)知道，液体的惯性力和重力的大小都和液体的质量成比例，所以这两种力称为**质量力**。

公式(1-5)表示密度和容重的关系。水的容重和密度的关系可用该式换算如下：采用工程单位制时，水的容重 $\gamma = 1\text{吨/米}^3$ ，则密度 $\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1 \times 1000}{9.80} = 102\text{公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4$ ；采用国际单位制时，水的密度 $\rho = 1000\text{千克/米}^3$ ，则容重 $\gamma = \rho g = 1000 \times 9.80 = 9800\text{牛顿/米}^3 = 9.8\text{千牛/米}^3$ 。

例 1-1 求在一个大气压下， 4°C 时体积为1升的水的重量和质量。

解 已知体积 $V = 1\text{升} = 0.001\text{米}^3$ ，采用工程单位制时，水在一个大气压下， 4°C 时的容重 $\gamma = 1\text{吨/米}^3 = 1000\text{公斤/米}^3$ ，密度 $\rho = 102\text{公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4$ 。

由公式(1-4)得重量 $G = \gamma V = 1000 \times 0.001 = 1$ 公斤;

由公式(1-2)得质量 $m = \rho V = 102 \times 0.001 = 0.102$ 公斤·秒²/米。

采用国际单位制时, 已知水在一个大气压下, 4℃时的密度 $\rho = 1000$ 千克/米³, 容重 $\gamma = 9.8$ 千牛/米³ = 9800牛顿/米³。

由公式(1-2)得质量 $m = \rho V = 1000 \times 0.001 = 1$ 千克;

由公式(1-4)得重量 $G = \gamma V = 9800 \times 0.001 = 9.80$ 牛顿。

以上数值指的是纯水的密度和容重。如果水中含有较多的细质泥沙或溶解物时, 则在计算中应按实际情况采用相应的密度和容重。

关于液体的重力、容重、质量和密度的单位在不同的单位制中是不同的。

力的单位, 在工程单位制中是公斤(代号 kg)、吨(代号 t); 在国际单位制中是牛顿(代号牛或 N)、千牛顿(代号千牛或 kN)。

容重的单位, 在工程单位制中是吨每立方米(代号吨/米³或 t/m^3); 在国际单位制中是千牛顿每立方米(代号千牛/米³或 kN/m^3)。

质量的单位, 在工程单位制中是公斤·秒²/米(代号 $kg \cdot s^2/m$); 在国际单位制中是千克(代号 kg)。

密度的单位, 在工程单位制中是公斤·秒²/米⁴(代号 $kg \cdot s^2/m^4$); 在国际单位制中是千克每立方米(代号千克/米³或 kg/m^3)。

工程单位制和国际单位制进行换算时, 可参阅附录 I 工程单位制和国际单位制对照表。

(三) 粘滞性

液体的粘滞性又叫粘性, 是液体在运动状态下具有抵抗剪切变形的物理性质。液体是易于流动的, 静止时不能承受切力抵抗剪切变形(一旦发生剪切变形, 静止状态即遭破坏), 但在运动状态下, 液体就具有抵抗剪切变形的能力。例如, 把水装在一只桶里, 用木棍搅动, 我们需要用一定的力气。又如, 把柴油装在另一只桶里, 也用木棍搅动, 搅动的快慢相同, 我们会感到在油里比在水里用的力气要大。这说明液体有粘滞性, 油的粘滞性比水要大。当液体的内部发生相对变形, 即发生剪切变形时, 液体的粘滞性使液体内部出现成对的剪切力(也称内摩擦力), 其作用是抗拒液体内部的相对运动, 从而影响液体的运动状况。

再举一个液体有粘滞性的例子。如果测出渠道水流的横断面上各点的流速 u , 并绘出

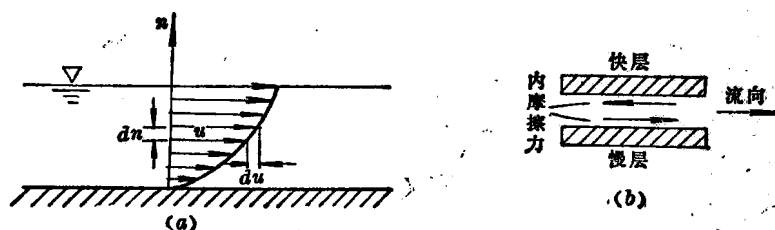


图 1-5

横断面流速分布，如图1-5（a）所示（图中每根带箭头的线段的长度表示该点流速的大小），就会发现横断面上的流速分布是不均匀的。渠底流速为零，随着离开固体边界的距离的增加，流速逐渐增大，至水面附近流速最大。为什么水流横断面上会形成不均匀的流速分布呢？因为水流有粘滞性。紧靠固体壁面的第一层极薄水层由于附着力的作用而贴附在壁面上不动。第一水层将通过粘滞（摩阻）作用而影响第二水层的流速。第二水层又通过粘滞作用而影响第三水层的流速。如此逐层影响下去。离开壁面的距离愈大，壁面对流速的影响愈小，其结果就形成了图1-5（a）所示的流速分布规律。就是这样，固体边界通过液体的粘滞性，而对液体运动起着阻滞作用。液体的粘滞性可用粘滞力即内摩擦力来表达。流得快的水层对流得慢的水层起拖动作用，因而快层作用于慢层的摩擦力与流向一致。反之，慢层对快层起阻滞作用，则慢层作用于快层的摩擦力与流向相反，如图1-5（b）所示。

还要指出，由于运动液体的内部存在内摩擦力，液体在流动过程中，为克服内摩擦力而不断消耗本身的机械能，即液流的部分机械能，通过液体内部的摩阻作用，不断转化为热能而散逸。这种液流机械能的消耗称为液流的能量损失。因此，液体的粘滞性是引起液流能量损失的根源。液流能量损失问题，是水力学中的一个重要问题，它和每一个水动力学问题都有密切关系，将在第四章中详细讨论。

（四）压缩性

压缩性是液体在压力下所表现的弹性性质。和固体一样，液体也具有弹性，即液体受压力作用后产生压缩变形（体积的缩小），除去压力后变形即消失。但液体不能抗拉，只能抗压。

在一般的情况下，水的压缩程度不大，增加一个大气压，水体的缩小不足 $1/20000$ 。因此，在一般的水力学计算中，水的压缩性可以不考虑，即认为水是不可压缩的，只有某些特殊问题如水锤计算时才予以考虑。

（五）表面张力特性

液体表层由于分子间的吸力，而形成一个类似薄膜的表面。这个表面能承受一定的拉力，称为**表面张力**。通常表面张力数值很小。仅在水的表面形成曲率极大的曲面时，表面张力才产生显著的影响。因此，在一般的水力学问题中，都可以忽略表面张力的影响。但在试验室中设置测压管时，就会发现用一根细玻璃管插入静水中，管中的水面将高于静水面，这便是受了表面张力的影响。因此，为了减小观测误差，采用的管径不要小于一厘米。

以上介绍了液体的几种主要物理性质，其中以惯性、万有引力特性和粘滞性最为重要，它们对液体运动影响最大。

实际液体的物理性质是很复杂的。为了简化问题便于进行理论分析，在研究液体运动时，常常先把实际液体看作**理想液体**，即把所研究的液体假定为完全无粘滞性，得出有关规律后，再进一步去研究较复杂的实际液体的运动规律。研究理想液体的运动，可以作为分析实际液体运动的台阶，同时也可近似地反映粘滞性作用不大的实际液体流动的情况。

本章小结

一、兴修水利工程，不论是规划、设计、还是施工或管理阶段都会遇到水力学方面的问题。主要的水力学问题可归纳为：1. 水的作用力；2. 过水能力；3. 能量损耗；4. 水面曲线；5. 水流形态等几个方面。要解决这些问题，就得研究并应用液体静止和运动的规律，这就是水力学的任务，也是学习水力学课程的目的。

二、在水力学中研究的液体，可视为一种容易流动的、不易压缩的、均匀等向的连续介质。影响运动的液体的主要物理性质有：惯性、万有引力特性、粘滞性、压缩性和表面张力特性等，其中特别重要的是液体的粘滞性。对于固体边界通过液体的粘滞性对液体运动起阻滞作用，和液体的粘滞性是引起液流能量损失的根源，这两个问题要搞清楚。

思考题

1-1 学习水力学课程的目的是什么？

1-2 液体的粘滞性在什么条件下才表现出来？

试举几个例子。

1-3 图1-6为管中水流横断面上的流速分布图。试说明为什么流速分布不均匀。

1-4 一物体作等速圆周运动。这物体的质量为 m ，转速为 ω ，圆半径为 R ，用式子表达向心加速度 a 和离心惯性力 F 。

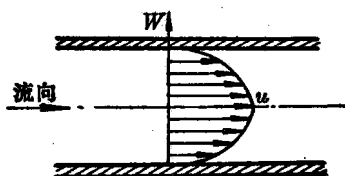


图 1-6

习题

1-1 500升的水在一个大气压下 4°C 时，它的重量和质量按工程单位制计算各有多大？

1-2 把上题计算结果换算成国际单位制。

第二章 水 静 力 学

内 容 提 要

本章主要研究水在静止状态下的两个问题：一是静水中以及与静水接触的壁面上各点压强的分布规律；二是挡水面上所受的静水总压力。最后，还简单介绍了液体在重力和惯性力作用下相对平衡的规律。

第一节 静水压强及其特性

一、静 水 压 强

人们在实践中都知道：木桶没有箍，盛水就会散开；没有钉结实的木桶底，盛水是会掉的；游泳时水淹过胸部，人就会感到胸部受压。把一根管子从水箱侧壁水平地伸入水的内部，用手堵住管子另一端，也会感到手心受压。通过这些现象，人们形成一个概念：处于静止状态的水体，对与水接触的壁面（侧壁和底面）以及水的内部质点之间都有压力的作用。所以，闸门的门板必须有足够的厚度，不然，挡水后就会被压弯；堤坝必须有足够的重量，不然，挡水后就会被水冲垮。闸门的厚度和堤坝的重量与水压力的大小有关。下面研究水压力的规律和它的大小。

水在静止状态时的压力叫**静水压力**，在流动时的压力叫**动水压力**。本章只研究静水压力。

衡量压力的大小，常用单位面积上所受的力，即压力强度（或简称压强）来表示。

例如，有一面积 ω_1 为10米²，其上作用着 $P_1=20$ 公斤的压力，压强 $p_1=\frac{P_1}{\omega_1}=2$ 公斤/米²；另一面积 ω_2 为2米²，其上作用着 $P_2=8$ 公斤的压力，压强 $p_2=\frac{P_2}{\omega_2}=4$ 公斤/米²。虽然，面积 ω_1 上作用的力 P_1 比面积 ω_2 上作用的力 P_2 大，但是，面积 ω_1 上作用的压强 p_1 却比面积 ω_2 上作用的压强 p_2 小。因此，在某种意义上讲，压强才真实地反映了所受压力的情况。

静止液体内的压力，同上述方法一样，也是用单位面积上静水的压力——**静水压强**（习惯上也叫静水压力）来表示的。用数学式表达为

$$p = \frac{P}{\omega}.$$

式中 P ——静止液体作用于某受压面上总的静水压力，也叫**静水总压力**，单位为公斤或吨；

ω ——受力面积，单位为厘米²或米²；

p ——静水压强，单位为公斤/厘米²或吨/米²。

用上式计算出的静水压强，表示了某受压面单位面积上受压的平均值，是平均静水压强。它只有在均匀受力情况下，才真实地反映了受压面各处的受压状况。但通常受压面上的受力是不均匀的，所以，用上式计算出的平均静水压强，不能代表受压面上各处的受力状况，因而还必须建立点静水压强的概念。

图2-1为一盛水的圆柱形桶。在桶中取一点 A ，以点 A 为核心，围绕它任取一倾斜的微小面积 $\Delta\omega$ ， $\Delta\omega$ 上作用的静水总压力为 ΔP ， ΔP 的方向是垂直于 $\Delta\omega$ 的。

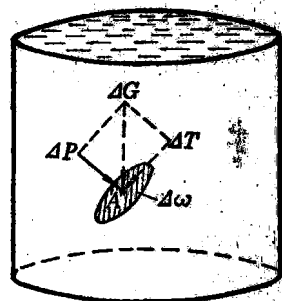


图 2-1

这样，我们即可求出作用于微小面积上的平均静水压强，为

$$p = \frac{\Delta P}{\Delta \omega}.$$

当面积 $\Delta\omega$ 无限缩小，而趋近于 A 点时， $\frac{\Delta P}{\Delta \omega}$ 的极限值，即为 A 点的静水压强，可写成

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

点静水压强或叫点静水压力，简称点压强或点压力。今后，在水力学中遇到静水压强（或静水压力）这一名词，若无特别说明，均系点静水压强这一概念。

最后指出，静水总压力和静水压强都可表征静水产生的压力，但它们是两个不同的概念，因此它们的单位也是不同的。

静水总压力的单位，在工程单位制中是公斤（ kg ）、吨（ t ）；在国际单位制中是牛顿（ N ）、千牛顿（ kN ）。

静水压强的单位，在工程单位制中是公斤/厘米²（ kg/cm^2 ）、吨/米²（ t/m^2 ）；在国际单位制中是帕斯卡（ Pa ）、千帕（ kPa ）。

$$1 \text{ 吨/米}^2 = \frac{1000 \text{ 公斤}}{(100 \text{ 厘米})^2} = 0.1 \text{ 公斤/厘米}^2,$$

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10 \text{ 吨/米}^2.$$

工程单位制与国际单位制换算，可查附录 I 的对照表。

二、静水压强的特性

首先，让我们观察一个实验。

图2-2是一个两端开口的U形玻璃管制成的测压计。玻璃管内盛着有色的液体。实验前管两端都通大气，这时管中液面在同一高度。用橡皮管把一个扎有橡皮薄膜的小圆盒连到测压管 A 端， B 端仍与大气相通。这时管中液面仍在同一水平面上。

实验开始, 我们用手指压橡皮膜, 则 A 管液面降至 C 点, 管 B 的液面升高到 D 点。若手指压力加大, 则两管的液面差 h 亦加大; 手指放开, 则液面恢复同一水平面上。

如果把橡皮膜放入水中, 同样可看到 A 管液面降低, B 管液面升高。入水愈深, 与加大手指压力相似, 测压管液面差 h 也愈大。这个实验说明, 静水中是存在压力的, 而且静水压力随水深的增加而增大。

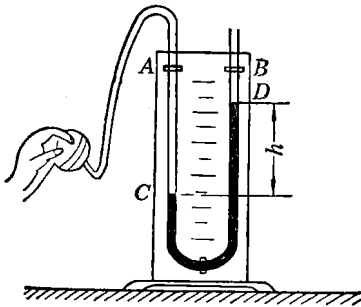


图 2-2

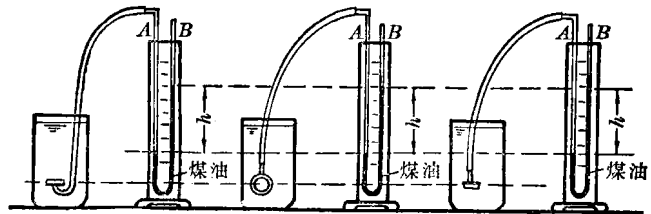


图 2-3

当扎有橡皮薄膜的小圆盒在水中的中心位置不变, 使橡皮膜向上、向下、向旁侧转动, 测压计两边的液面都是不变的 (图2-3)。

上述实验表明: 静水内部任何一点各方向的压强大小是相等的, 静水压强大小与作用面的方位无关。这是静水压强的第一个特性。

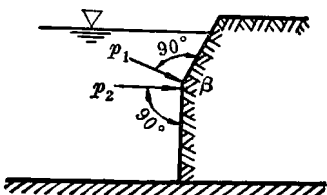


图 2-4

静水压强的第二个特性是, 静水压强的方向必然是垂直并且指向作用面 (也叫受压面) 的。因为水易于流动, 抵抗剪切力的能力极小, 如果静水压强不垂直作用面, 则水体将受有剪切力作用, 水体就会产生流动。因此, 处于静止状态的水体内部不可能有剪切力存在。同时, 水又不可能抵抗拉力, 只能承受垂直并指向作用面的压力。

在研究水处于静止状态的规律时, 静水压强的这两个特性是很重要的。例如, 在图2-4中的边壁转折处 B 点, 对不同方位的受压面来说, 其静水压强的作用方向不同 (各自垂直于它的受压面), 但静水压强的大小是相等的。

第二节 静水压强的基本规律

一、静水压强基本方程

从前面的实验知道, 静水压强是随水深的增加而增加的, 但它是按怎样的规律变化呢? 感觉只解决现象问题, 理论才解决本质问题。我们必须从力的观点来分析静止液体的平衡条件, 导出静水压强的大小及其分布规律。这是水静力学的基本课题。

图2-5(a)所示, 为在重力作用下处于静止状态的水体。水的自由表面受有一压强 p_0 的作用, p_0 称为表面压强。现在来研究位于水面下铅直线上任意两点 1、2 压强 p_1 和 p_2 间

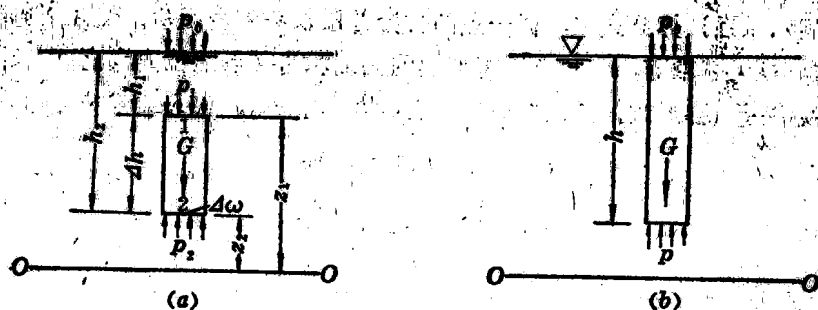


图 2-5

的关系。围绕 2 点取微小面积 $\Delta\omega$ ，现取以 $\Delta\omega$ 为底， Δh 为高的铅直小水体为脱离体，进一步分析作用在这一小水体上的力：

1. 小水柱的自重（即重力）

$$G = \gamma \Delta h \Delta\omega \quad \text{方向铅直向下，}$$

2. 由于 $\Delta\omega$ 很小，可认为该面积上各点的压强是相等的，所以作用于小水柱顶面上的总压力为 $p_1 \Delta\omega$ ，方向铅直向下；

3. 同样道理，作用于小水柱底面上的总压力为 $p_2 \Delta\omega$ ，方向铅直向上；

4. 作用于小水柱周围表面上的水压力，因小水柱侧面皆为铅直面，侧面所受水压力皆为水平力，因小水柱处于静止状态，侧面上所受的水平力是相互平衡的。

根据静力学平衡方程，从铅直方向看，作用于静止小水柱上的向上的力必然等于向下的力和，即

$$p_2 \Delta\omega = p_1 \Delta\omega + \gamma \Delta h \Delta\omega.$$

等式两端除以 $\Delta\omega$ ，就可得出压强的基本关系式

$$p_2 = p_1 + \gamma \Delta h, \quad (2-1)$$

或

$$p_2 - p_1 = \gamma \Delta h. \quad (2-2)$$

上式表明：1、2 两点的压强差就等于作用在单位面积上、高度为 Δh 的液柱的重量。显然，在水中深处的静水压强比浅处大。向下每增加 1 米深度，静水压强就增大 $\gamma \Delta h = 1$ （吨/米³） $\times 1$ （米）= 1 吨/米²。

若根据表面压强 p_0 ，来推算水面下深度为 h 的任一点静水压强 p ，即当图 2-5(a) 中的 $h_1 = 0$ 、 $h_2 = \Delta h = h$ 、 $p_1 = p_0$ 、 $p_2 = p$ 时图 2-5(b)，式 (2-1) 可写成

$$p = p_0 + \gamma h. \quad (2-3)$$

公式 (2-3) 是常见的静水压强基本方程式。它表明：仅在重力作用下，水中某一点的静水压强等于表面压强加上水的容重与该点水深的乘积。

由此看出，在深度为 h 处的静水压强 p 是由两部分组成的，一是从液面传来的表面压强 p_0 ，二是单位面积上高度为 h 的液柱重量。

由式 (2-3) 可推知，若表面压强 p_0 由某种方式使之增大，则此压强增量可不变大小地传至液体中的各个部分。这就是帕斯卡原理。静止液体中的压强传递特性是制作液压千