

中等专业学校试用教材

矿山流体机械

陕西煤矿学校主编

煤炭工业出版社

中等专业学校试用教材

矿山流体力学

陕西煤矿学校 主编

内部发行

煤炭工业出版社

一九七九年

内 容 提 要

本书阐述了水静力学、水动力学的基本知识，以及液体在管路和缝隙中流动时的压头损失；煤矿常用的水泵、通风机和空气压缩机等设备的构造、原理、性能、技术测定，使用维护和选型设计方面的基本技术知识和计算方法。

本书文字上浅显易懂，并配有必需的结构图、性能曲线和表格，还附有计算示例、思考题与习题，以便帮助读者理解和应用。

本书主要作为煤矿中等专业学校“煤矿机械化专业”和“矿山机电专业”的试用教材，也可供具有高中文化水平的煤矿机电工人和技术人员参考。

矿 山 流 体 机 械

陕西煤矿学校 主编

※

煤炭工业出版社 出版

内 部 发 行

汉中地区印刷厂 印刷

※

开本787×1092¹/₁₆ 印张 18¹/₄

字数418千字 印数1—10,000

1979年11月印刷 定价 2.53元

前 言

为了适应煤炭工业教育事业的发展，提高教学质量，我们在总结过去教学实践的基础上，编写了这本教材。

本教材是由“水力学基础”与“矿山流体机械”两个方面的内容组成的，是技术基础课与专业课结合在一起的综合性课程。因此，不但在理论方面作了必要的理论分析和公式推导，以培养学生分析和解决问题的能力；而且，在选材上尽量注意当前煤矿的生产实际和常用的机械设备，密切地与实际相联系，以达到培养中等专业技术人员的目的。

本书由陕西煤校汪德成同志主编，参加编写的有辽源煤校薛秉权同志、鸡西煤校金相钧同志，陕西煤校刘书善同志。参加审稿的有：湖南煤校曾国林同志、广西煤校邱飞行同志、徐州煤校朱先本同志，由金相钧同志主审。

我们在编写本书过程中，得到有关厂矿、兄弟院校和设计部门的大力支持，在此表示衷心感谢。由于我们思想和业务水平不高，编写时间仓促，书中定有不少缺点和错误，恳请广大读者批评指正。意见请寄陕西煤矿学校。

编者

一九七九年五月

绪 论

在以华国锋同志为首的党中央的领导下，全国人民正在以极大的政治热情，为实现社会主义“四个现代化”而战斗。煤炭工业必须现代化的发展，而煤炭工业发展的根本出路在于机械化。一个机械化的矿井是用各种机电设备武装起来的，作为矿山流体机械的排水设备、通风设备和压气设备在其中占重要地位。

矿山排水设备用来排除井下或矿坑的积水，为采、掘、运各项工作建立良好的条件。

矿山通风设备用来向井下输送足够的新鲜空气，排除有害气体保护工人身体健康，保证安全地进行生产。

矿山空压机设备用来生产压缩空气，以驱动风动工具工作。

煤矿机械化和矿山机电专业的学生学习“矿山流体机械”的目的，就是为了掌握上述机械的构造、原理、性能、技术测定、使用维护和选型设计方面的技术知识和计算方法，并经过工作实践，能够运用所学理论，分析上述机械的故障原因，确定排除故障的方法，进行拆装与检修，确保它们在安全可靠与高效率的状态下运转。学习“水力学基础”主要是为学习矿山排水、通风和压气设备建立必要的理论基础，同时也为学习“采掘机械与液压传动”课程准备一定的基础知识。事实上，在煤炭工业的各个部门中，都会或多或少地遇到有关流体的性质、运动及其能量等方面的问题，因此，水力学的基本理论，是煤炭工业机电技术人员所必需具备的基础知识。

目 录

绪 论

第一篇 水力学基础	(1)
第一章 概述	(1)
§ 1—1 水力学的研究对象和任务	(1)
§ 1—2 液体的主要物理性质	(1)
§ 1—3 连续介质与理想液体	(7)
第二章 水静力学	(7)
§ 2—1 水静压力及其特性	(7)
§ 2—2 水静压力的计算	(9)
§ 2—3 水静压力的测量	(11)
§ 2—4 水头	(15)
§ 2—5 巴斯加定理	(17)
§ 2—6 液体对沉浸在液面下平面物体的总压力	(18)
第三章 水动力学基础	(24)
§ 3—1 水动力学基本概念	(25)
§ 3—2 液流的连续性方程式	(29)
§ 3—3 理想液体微小流束的伯努利方程式	(30)
§ 3—4 实际液体微小流束与总流的伯努利方程式	(32)
§ 3—5 伯努利方程式的意义	(34)
§ 3—6 伯努利方程式的应用	(37)
第四章 液流在管路中的水头损失	(42)
§ 4—1 液体的流动状态	(42)
§ 4—2 液流在管路中的水头损失	(44)
§ 4—3 液体的孔口出流	(55)
§ 4—4 液体通过缝隙的流动	(57)
第二篇 矿山排水设备	(63)
第五章 矿用离心式水泵的工作理论	(63)
§ 5—1 离心式水泵排水设备的组成	(63)

§ 5—2	离心式水泵的工作原理	(64)
§ 5—3	离心式水泵的分类	(64)
§ 5—4	离心式水泵的工作参数	(65)
§ 5—5	汽蚀现象和吸水高度	(66)
§ 5—6	离心式水泵的压头特性曲线和效率	(69)
§ 5—7	比例定律和比转速	(77)
§ 5—8	离心式水泵在管路中的工作	(79)
第六章	离心式水泵的构造	(88)
§ 6—1	D型离心式水泵的构造	(88)
§ 6—2	其它型式离心式水泵	(95)
§ 6—3	离心式水泵的轴向推力及其平衡方法	(102)
第七章	离心式水泵的运行	(105)
§ 7—1	离心式水泵的起动、运转、和停止	(105)
§ 7—2	离心式水泵的常见故障、排除方法及完好标准	(106)
§ 7—3	离心式水泵的无底阀排水	(109)
§ 7—4	离心式水泵的拆卸与装配	(110)
§ 7—5	矿用水泵的电动机及其控制	(112)
§ 7—6	离心式水泵的性能测定	(117)
第八章	排水设备的选型设计	(129)
§ 8—1	煤矿排水系统	(129)
§ 8—2	水泵房和水仓	(130)
§ 8—3	排水设备的选型计算	(132)
第三篇	矿井通风设备	(145)
第九章	矿用通风机的 work 理论	(145)
§ 9—1	矿用通风机的功用	(145)
§ 9—2	矿用通风机的 work 原理	(146)
§ 9—3	通风机的 work 参数	(146)
§ 9—4	通风机的个体特性曲线和类型特性曲线	(147)
§ 9—5	通风机在管网中的 work	(153)
§ 9—6	通风机 work 点的调整	(157)
§ 9—7	通风机的联合 work	(160)
第十章	矿用通风机的结构、布置和反风	(163)
§ 10—1	矿用离心式通风机的结构	(163)
§ 10—2	矿用轴流式通风机的结构	(169)
§ 10—3	矿井通风机的布置和反风	(173)
第十一章	通风机的运行	(175)

§ 11—1	通风机的运转、维护和故障处理	(175)
§ 11—2	通风机的完好标准	(177)
§ 11—3	通风机的电动机及风门绞车的电控	(179)
§ 11—4	通风机的性能测定	(180)
§ 11—5	轴流式通风机扩散器的改善	(189)
第十二章	通风机的选型设计	(193)
§ 12—1	对通风机选型设计的要求	(193)
§ 12—2	选型设计的步骤和方法	(193)
第四篇	矿山压缩空气设备	(204)
第十三章	活塞式空压机的工作理论	(204)
§ 13—1	压气设备的概述	(204)
§ 13—2	热力学的基本概念	(209)
§ 13—3	一级活塞式空压机的理论工作循环	(219)
§ 13—4	一级活塞式空压机的实际工作循环	(222)
§ 13—5	活塞式空压机的多级压缩	(225)
§ 13—6	活塞式空压机的排气量、功率与效率	(228)
第十四章	空压机及其附属装置	(233)
§ 14—1	L型空压机的构造及其主要部件	(233)
§ 14—2	空压机的附属装置	(241)
§ 14—3	活塞式空压机排气量的调节	(248)
§ 14—4	其它型式空压机	(252)
§ 14—5	空压机的电动机及其控制	(259)
第十五章	活塞式空压机的使用	(261)
§ 15—1	活塞式空压机的起动、运行和停车	(261)
§ 15—2	空压机的一般维护与检查	(263)
§ 15—3	空压机的常见故障及其排除	(264)
§ 15—4	活塞式空压机的拆卸与装配	(266)
§ 15—5	空压机排气量的测定	(267)
第十六章	矿山空压机设备的选型计算	(274)

第一篇 水力学基础

第一章 概 述

§ 1—1 水力学的研究对象和任务

水力学基础是矿山流体机械的基础理论，它研究液体的平衡与运动规律，并且应用这些规律去解决工程实际中的问题。

水力学可分为两部分：研究液体平衡规律的叫做水静力学；研究液体运动规律的叫做水动力学。

水力学是在物理和理论力学的基础上建立的，但是，许多水力学问题是很复杂，并非能经常得到严密的理论解答，因此，除了理论分析之外，它还广泛地借助于实验的方法，才建立起自己的科学体系。水力学这门科学正是在不断总结生产斗争和科学实验经验的基础上逐渐发展起来的。所以它不仅是理论性较强而且又是实践性较强的一门科学。

水力学的应用范围很广，如农田水利、航运、桥梁涵洞、水能利用、采矿、冶金和各种水力机械的制造等。

本篇主要阐述了水力学中一些最基本的概念及其应用的问题，如水静力学基本方程式、连续性方程式、水动力学基本方程式及液流在管路中的水头损失计算公式等。学习水力学的目的是为了给流体机械和液压传动等课程打下基础。

学习本篇时，必须注意理论和实际相结合，要弄通这些理论的意义，掌握它们的应用条件和应用方法，以提高分析问题和解决问题的能力。

§ 1—2 液体的主要物理性质

研究液体的平衡与运动规律，必须首先了解液体的主要物理性质，下面阐述液体的主要物理性质。

一、流动性

液体和气体统称为流体，流体与固体不同之处在于各个质点之间的内聚力极小，易于流动，不能自由地保持固定的形状，只能随着容器形状而变化，这个特性叫做流动性。

液体与气体的主要区别，在于液体的分子间距离较气体小，在压力作用下体积改变很小。气体的分子间距离较大，在压力作用下体积改变也较大。

在水力学中所研究的对象是液体，而具有代表性的液体是水，对于气体则在“热力学”和“气体动力学”中研究，不过在水力学中所叙述的理论基础及其结论，在一定条件下有很大程度适用于气体，有的甚至是完全相似的。

二、密度与重度

液体单位体积内所具有的质量，叫做液体的密度，用 ρ 表示，即

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{公斤力} \cdot \text{秒}^2/\text{米}^4 \quad (1-1)$$

式中 V ——液体体积，米³；

M ——体积 V 内所具有的液体质量，公斤力·秒²/米。

实验证明，液体的密度 ρ 与压力 p 和温度 t 有关，但在通常状态下液体是处于大气压力之下，并且温度的变化范围不大，所以液体的密度可以看成是不变的。

液体单位体积所具有的重量，叫做液体的重度，用 γ 表示，即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \text{公斤力}/\text{米}^3 \quad (1-2)$$

式中 G ——液体的重量，公斤力。

液体的重度也和密度一样与压力和温度有关，但因其变化很小，所以也忽略不计。

根据物理学中的运动第二定律，重度和密度有如下关系：

$$\gamma = \rho g \quad \text{或} \quad \rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1-3)$$

在工程技术中，4℃的蒸馏水的密度为102公斤力·秒²/米⁴，重度为1000公斤力/米³；矿水的重度一般为1015~1025公斤力/米³，有时可达1050公斤力/米³，0℃时水银的重度为13600公斤力/米³。

在标准状态下（温度为0℃，大气压力为760毫米水银柱），空气的密度为0.132公斤力·秒²/米⁴，重度为1.2公斤力/米³。

油液的密度和重度亦随温度和压力而变化，对于液压系统中所用的矿物油，在使用的温度和压力范围内，计算时一般可取油液的密度 $\rho = 92$ 公斤力·秒²/米⁴。

三、压缩性和膨胀性

如果液体温度不变而作用于液体上的压力增加时，则液体的体积就会减小，密度则增大，这一性质叫作液体可压缩性。液体可压缩性的大小可用压缩系数 β_p 表示，其意义是在温度不变的情况下，对液体的压力增加1单位压力时，液体体积的相对变化量，即

$$\beta_p = \frac{1}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta V}{V_0} \quad \text{厘米}^2/\text{公斤力} \quad (1-4)$$

式中 Δp ——压力的变化值，公斤力/厘米²；

ΔV ——液体被压缩后体积变化值，厘米³；

V_0 ——液体压缩前的体积，厘米³。

液体体积压缩系数是非常小的，例如水的压缩系数：

当压力由1~500大气压时，其平均值为 $\beta_p = 47.5 \times 10^{-6}$ 厘米²/公斤力；

当压力由1000~1500大气压时，其平均值为 $\beta_p = 35.8 \times 10^{-6}$ 厘米²/公斤力；
当压力由2500~3000大气压时，其平均值为 $\beta_p = 26.1 \times 10^{-6}$ 厘米²/公斤力。

由以上可见，随压力的增大，体积压缩系数越小。

因此，实际上可以把液体当作不可压缩的，这种假定可使许多分析计算简化，但在一些特殊情况下，液体的可压缩性还是应当考虑的，如开关阀门发生水击现象时，也即是由于水流运动速度的突然变化而引起的压力增高或降低时，对此情况就必须考虑，不能忽视，否则将导致非常严重的后果。又如如在研究液压传动中的动态特性，包括计算液流的冲击力、抗震稳定性工作的过渡过程，以及计算远距离操纵的液压机构时，往往必须考虑油的可压缩性。

体积压缩系数的倒数，叫做体积弹性系数 K 。

$$K = \frac{1}{\beta_p} \text{ 公斤力/厘米}^2 \quad (1-5)$$

液体的膨胀性，即当温度升高时其体积增大的性质，其大小用体积膨胀系数 β_t 表示，其意义是当温度升高1℃时，其体积相对增大的数值。

对于水，在大气压力下，当温度之变化为4~10℃时，其体积膨胀系数的平均值 $\beta_t = 0.000014$ ，当温度之变化为10~20℃时，其平均值 $\beta_t = 0.000015$ ，当温度之变化为20~30℃时，其平均值 $\beta_t = 0.000025$ 。由此可见 β_t 是一个很小的数，但并不非常数，而是随温度变化而变化的。因为 β_t 很小，所以在一般工程问题中，可以忽略不计，但是当温度变化很大时，则必须注意液体的膨胀性。

四、粘性

当液体流动时，由于液体与固体界壁的附着力及液体本身的内聚力，使液体各处的流速不同。以园筒中的液流为例，愈近轴心处速度愈大，愈靠近管壁处速度愈小。如果液体的质点都沿着轴向运动，则可将管中液流看成是许多无限薄的无数个园筒形液流层的运动，如图1—1。此时各园筒形薄层具有不同的运动速度，如图1—2，在垂直于

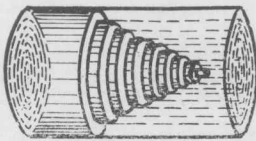


图1—1 园筒形液流层

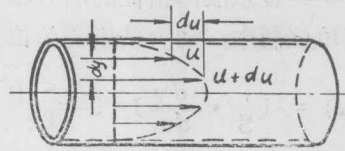


图1—2 园管中液流速度分布情况

管轴的截面上各点液体的运动速度是按一定曲线分布的。各液流层之间，速度较小的薄层将阻止相邻的速度较大的薄层运动，这样，在各液流层的接触面上产生类似于固体的摩擦过程，也就是在液流层之间产生内摩擦力或切应力。液体流动时内部产生内摩擦力或切应力的性质，叫做液体的粘性。

粘性的大小用粘度表示，例如在液压系统中所用的油液主要是根据粘度来选择的。

粘度主要有如下几种：

1. 动力粘度

如用 τ 表示两薄层间的单位面积上的内摩擦力, 则

$$\tau = \frac{T}{S} \text{ 公斤力/米}^2 \quad (1-6)$$

式中 T ——液体薄层间内摩擦力, 公斤力;

S ——相邻两薄层间的接触面积, 米²。

式中 τ 又叫做内摩擦应力或切应力。

1687年牛顿曾作了关于内摩擦应力的假说, 后来经过实验证明, 发展为内摩擦定律。

内摩擦力 T 有如下几种关系:

(1) 与液体薄层间的接触面的大小成正比;

(2) 与液流速度沿横截面的变化率 (即速度梯度) $\frac{du}{dy}$ 成正比;

(3) 与液体的类别有关, 即与液体的动力粘度有关;

(4) 与压力的大小关系不大。

以数学形式表示, 则内摩擦定律为

$$T = \pm \mu S \frac{du}{dy} \quad (1-7)$$

由 (1-6)、(1-7) 式可得

$$\tau = \pm \mu \frac{du}{dy} \quad (1-8)$$

式中 $\frac{du}{dy}$ ——液流的速度梯度 (1/秒), 也就是液体相邻两层的轴线间单位距离的速度增量;

dy ——为相邻层的间隔距离;

du ——为相邻层间的相对流动速度;

μ ——表示液体粘性的动力粘度。

在工程单位制中, 动力粘度的单位为

$$[\mu] = \left[\frac{T}{S} \cdot \frac{dy}{du} \right] = \left[\frac{\text{公斤力}}{\text{米}^2} \cdot \frac{\text{米}}{\text{米/秒}} \right] = [\text{公斤力} \cdot \text{秒/米}^2]$$

在C、G、S制中, 动力粘度的单位为达因·秒/厘米², 称为“泊”, 即

$$1 \text{ 泊} = 1 \text{ 达因} \cdot \text{秒/厘米}^2。$$

因泊单位较大, 应用不便, 常取 $\frac{1}{100}$ 泊叫做厘泊。

$$1 \text{ 泊} = 100 \text{ 厘泊}$$

(1-7)、(1-8) 式中 \pm 符号视摩擦力与液流方向而定。因内摩擦力为一向量, 速度梯度 $\frac{du}{dy}$ 可能为正值, 也可能为负值, 如图1-3, 当沿着法线正方向速度增加时, 则速度梯度为正值, 当沿着法线正方向速度减小时, 则速度梯度 $\frac{du}{dy}$ 为负值。当

摩擦定律中 $\frac{du}{dy}$ 为正值时, 选取 “+” 号, 当 $\frac{du}{dy}$ 为负值时, 则选取 “-” 号, 这样就保证 T 值永远为正值。

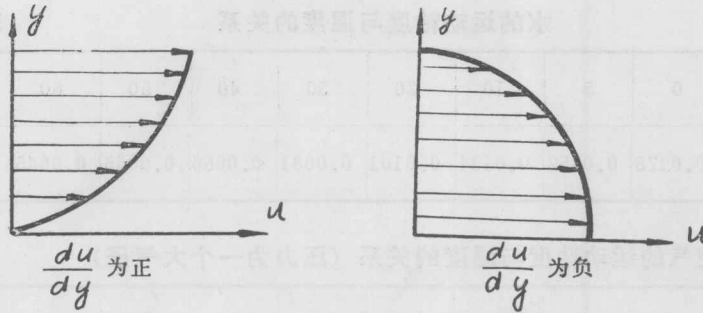


图 1—3

(1—8) 式可写成

$$\mu = \pm \frac{\tau}{\frac{du}{dy}}$$

当 $\frac{du}{dy} = 1$ 时, 在数值上 $\mu = \tau$, 因此, 动力粘度 μ 的物理意义是当速度梯等度于 1 个单位时, 接触液层间单位面积上的内摩擦力数值就等于动力粘度, 所以动力粘度具体反应了液体运动所引起的阻力的大小。

2. 运动粘度

液体的动力粘度和密度 ρ 的比值称为运动粘度, 用 ν 表示, 即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-9)$$

在工程单位制中 ν 的单位为米²/秒。

$$[\nu] = \left[\frac{\mu}{\rho} \right] = \left[\frac{\text{公斤力} \cdot \text{秒} / \text{米}^2}{\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4} \right] = [\text{米}^2 / \text{秒}]$$

在 C、G、S 制中, ν 的单位为厘米²/秒, 称为“施”。有时因“施”的单位较大, 应用不便, 而取“施”的百分之一为“厘施”, 即

$$1 \text{ 厘施} = \frac{1}{100} \text{ 施}$$

以上二种单位的换算关系如下:

$$1 \text{ 米}^2 / \text{秒} = 10^4 \text{ 厘米}^2 / \text{秒} = 10^4 \text{ 施} = 10^6 \text{ 厘施}。$$

μ 和 ν 都表达液体的粘性, 但表达形式不同。 ν 没有什么特殊的物理意义, 只是因为在水力学中动力粘度 μ 和密度 ρ 的比值常常在计算中出现, 所以才采用 ν 这一符号来代替 $\frac{\mu}{\rho}$ 。在系数 μ 的单位中有力的因素, 即有动力学的量, 故对 μ 称为动力粘度, 而系数 ν 的单位中只有运动学的量, 即速度, 故对 ν 则称为运动粘度。

严格说来 μ 与 ν 都是压力和温度的函数, 但在一般情况下, 压力的影响很小, 可忽略

不计，通常只考虑温度对粘性的影响。

水的 ν 与温度的关系如表 1—1 所示。空气在一个大气压下， ν 与温度的关系如表 1—2 所示。表 1—3 列出了几种常见流体的粘度。

水的运动粘度与温度的关系

表 1—1

t °C	0	5	10	20	30	40	50	60	70	100
ν (厘米 ² /秒)	0.0178	0.0152	0.0131	0.0101	0.0081	0.0066	0.0055	0.0045	0.0035	0.0028

空气的运动粘度与温度的关系 (压力为一个大气压)

表 1—2

t °C	0	5	10	15	20	30	40	60	80	100
ν (厘米 ² /秒)	0.133	0.142	0.147	0.152	0.157	0.166	0.176	0.196	0.210	0.238

几种常见流体的粘度

表 1—3

名 称	温度 (°C)	动力粘度 (厘泊)	运动粘度 (厘施)
20号机械油	50		17~23
30号机械油	50		27~33
22号汽轮机油	50		20~23
石 油	18		25~140
甘 油	18		870
水	20	1.005	1.007
空 气	20	1.808×10^{-2}	15.7

动力粘度和运动粘度，通常用恩氏粘度仪（恩格勒粘度仪）来测定，它表示被测量的液体在某一温度下从 $\phi 2.8$ 毫米小孔流出200毫升所需的时间，与蒸馏水在20°C流出相同体积所需时间之比值，所以又称为相对粘度。恩氏粘度用符号 $^{\circ}E$ 表示。

即
$$^{\circ}E_1 = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-10)$$

式中 t_1 ——200毫升的被测液体流过恩氏粘度仪小孔所需的时间，秒；

t_2 ——200毫升的蒸馏水在20°C时流过恩氏粘度仪小孔所需的时间，秒。

在液压传动中，一般以50°C作为测量时的标准温度，用 $^{\circ}E_{50}$ 表示。

将恩氏粘度换算为运动粘度用以下公式：

$$\nu = 0.0731^{\circ}E_1 - \frac{0.0631}{^{\circ}E_1} \quad \text{厘米}^2/\text{秒} \quad (1-11)$$

§ 1—3 连续介质与理想液体

从物理概念来看，任何物质都是由分子组成的，液体也不例外，显然，分子之间是有一定间隙的。在水力学中是不可能详细地研究液体分子机械运动的，因此，为了研究方便，在水力学中我们认为液体是由没有空隙的无限多的微小质点所组成的连续介质。

因为液体质点是连续的，即质点间没有距离，所以我们在液体中取出很小的体积，其特性都是一样的。从这个观点出发，我们在研究液体的平衡和运动的规律时，就有可能从所研究的液体体积中，取出任何一部分，即取出“隔离体”，首先对此“隔离体”进行分析研究得出结论，然后再推广到所需要研究的整个液体中去。这样的假定与实际虽然有一定出入，但所得结果，对研究一般工程技术问题是足够准确的。

在水力学中研究的液体，是自然界中存在的实际液体，它具有如前所述的各种性质，这些性质，尤其是粘性的存在，使液体平衡和运动规律的研究相当复杂，为了研究问题方便起见，常引用理想液体的概念。所谓理想液体，就是一种完全没有压缩性和膨胀性的，并且没有粘性的液体。

显然，理想液体实际上并不存在，对于粘性很小的液体，可以应用理想液体研究所得的结论，如果粘性不可忽略时，则由理想液体研究所得的结论或公式，在应用于实际液体时，必须加以修正或补充。

第二章 水静力学

§ 2—1 水静压力及其特性

一、水静压力

设有一总压力 P 作用在静止液体面积为 S 的平面上，如图2—1，则在此液体内部的单位面积上的压力为

$$p_{cp} = \frac{P}{S} \quad (2-1)$$

p_{cp} 叫作在面积 S 上的平均水静压力，它的单位为公斤力/厘米²或公斤力/米²。

按(2—1)式求得平均水静压力，只能是某已知面积上的平均值，只有在水平作用面的情况下，各部分的平均水静压力才会是一样的。显然，在垂直或倾斜的作用面情况下，其不同部分上的平均水静压力是不一样的。因此，除了平均水静压力之外，现引入“点的水静压力”的概念。

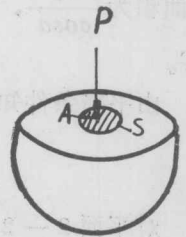


图 2—1 水静压力

当面积 S 趋近于零时， $\frac{P}{S}$ 的极限值，叫作液体内某一点的水静压力，即

$$p = \lim_{S \rightarrow 0} \left(\frac{P}{S} \right) \quad (2-2)$$

点的水静压力也简称为水静压力。

二、水静压力的特性

第一特性：水静压力永远内向垂直于作用面。

现在讨论处于平衡状态的任一液体体积，如图2-2，在液体内部，任取一点 A ，通过 A 点，作 BAC 平面，它把所取液体体积分为I和II两部分。

现假定把上部体积II拿走，那么为了使下部体积I保持平衡，就必须对 BAC 面施以压力 P （其方向如图所示）以代替被拿走的上部体积II对下部体积I的作用力。

把压力 P 分解为垂直于 BAC 面的压力 P_n 及平行于 BAC 面的切应力 P_τ 。

我们知道，在平衡的液体中切应力是不可能存在的，即 $P_\tau = 0$ ，若 $P_\tau \neq 0$ ，则液体平衡遭到破坏， A 点将会沿 BAC 面滑动，因此，静水压力 P 的方向必与受压面相垂直。

又因平衡的液体只能承受压力，而不能抵抗拉力，所以静水压力只能是内向垂直于作用面。

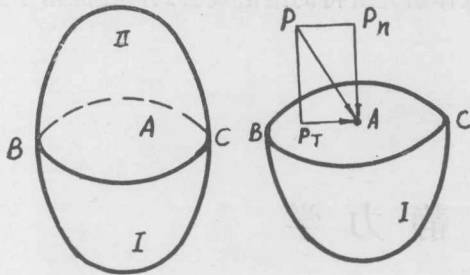


图 2-2

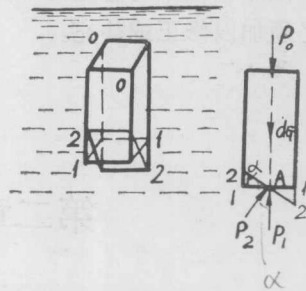


图 2-3

第二特性：液体内任一点所受各方向上的水静压力的大小均相等。

在平衡液体中取出一棱柱体液块，如图2-3所示，通过 A 点取一微小水平面1-1，它与平面0-0相平行，面积都是 ds ，在 A 点再任取一倾斜角为 α 的微小平面2-2，其面积为 $\frac{ds}{\cos\alpha}$ ， p_0 、 p_1 和 p_2 分别为作用在各对应面上的水静压力，棱柱体的重量为 dG 。

由平衡条件知，沿液块中心线方向对平面1-1的平衡方程式为

$$\Sigma F_1 = 0$$

$$p_0 ds + dG = p_1 ds$$

对平面2-2的平衡方程式为

$$\Sigma F_2 = 0$$

$$p_0 ds + dG = p_2 \frac{ds}{\cos\alpha} \cos\alpha$$

由以上二式可知 $p_1 = p_2$

又因 α 角是任意采取的,所以绕 A 点任何方向的水静压力都相等。

§ 2—2 水静压力的计算

一、水静压力基本方程式

水静压力基本方程式是研究相对静止液体中某点的水静压力的大小,以及液体在平衡时水静压力分布规律的数学表达式。

如图 2—4 所示,观察盛于容器中的静止液体,设作用于液体自由面单位面积上的压力为 p_0 ,且不等于大气压力。所谓自由面是指液体和外界气体或真空之间的分界面。现在来确定自由面以下,深度为 h 处 A 点的水静压力 p 。

为确定此压力,先选出围绕 A 点的一个微小的园形水平面积 ds ,并通过其周线作一垂直向上的园柱形面与自由面相交,结果得到一个底面积为 ds ,高度为 h 的垂直园柱体。

把这个垂直园柱体与周围液体分离出来,并分析它的平衡条件。

作用在微小园柱体上的力有:

1. 垂直向上作用于底面上的总压力 $P = p ds$ 。
2. 垂直向下作用于顶面上(即自由面上)的总压力 $P_0 = p_0 ds$ 。
3. 作用于园柱体侧面上的总压力为 P_1 、 P_2 、 P_3 等等,其方向均为水平。
4. 园柱体的自重 $G = \gamma h ds$,此力为垂直向下。

作三向坐标轴,如图 2—4,并将作用于园柱体上的各力均投影在坐标轴上。由理论力学可知:欲使园柱体保持平衡,各力在每一坐标轴上的投影(即分力)之和必等于零。因为液体是静止的,根据水静压力特性,园柱体侧面上的总压力 P_1 、 P_2 、 P_3 等必然是平衡的,所以它们在各坐标轴上的投影之和都等于零。

最后分析垂直方向的各力: P 、 P_0 和 G 在 ox 和 oy 两坐标轴上的投影也必然等于零。因为它们是垂直于这两个坐标轴的。这样一来,欲使分离出来的园柱体保持平衡,只要 P 、 P_0 和 G 在 oz 轴上的投影之和等于零即可,其平衡方程式为:

$$p ds - p_0 ds - dsh\gamma = 0$$

所以
$$p = p_0 + \gamma h \quad \text{公斤力/米}^2 \quad (2-3)$$

式中 p ——深度为 h 处的水静压力;

h ——所研究的点与自由液面之间的距离(深度);

γ ——液体的重度;

p_0 ——作用在自由面上的压力。

二、水静压力基本方程式的意义

如前所述,静止液体中某一点的水静压力 p 的大小,等于作用在其自由面上的外压

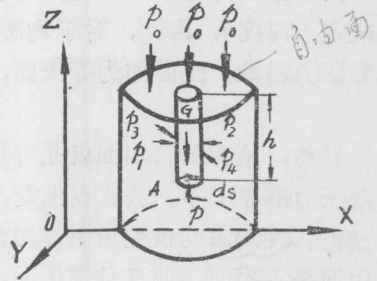


图 2—4