

338273

成都工学院图书馆

基本馆藏

中等专业学校教材

# 矿山流体机械

王弘圻 崔明思 刘树栋 编

只限学校内部使用



中国工业出版社

# 矿山流体机械

王弘圻 崔明思 刘树栋 編  
陈湘楚 赵新水 高永升 王美兰 审校

中国工业出版社

## 矿山流体机械

王弘圻 崔明思 刘树栋 編  
陈湘楚 赵新水 高永升 王美兰 审校

煤炭工业部书刊編輯室編輯(北京东长安街煤炭工业部大楼)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张17·插頁1·字数385,000

1965年1月北京第一版·1965年1月北京第一次印刷

印数0001- 3,160·定价(科四)1.80元

統一书号: K 15165·3539(煤炭-240)

本书是根据教学大纲编写的。内容包括水力学基础、通风设备、排水设备、压气设备四篇。第一篇介绍与矿山流体机械有关的水力学理论。后三篇分别阐述通风机和水泵的理论基础——涡轮机理论、空气压缩机的理论基础——工程热力学，以及通风机、水泵、空气压缩机的工作原理、结构、计算、安装、实验、使用、维修等等。

在第三篇中概括地介绍了水力采煤机械。

本书是煤矿中等专业学校矿山机电专业教学用书。

# 目 录

绪 言 .....	1
-----------	---

## 第一篇 水力学基础

第一章 水力学概述 .....	2
§ 1-1 水力学的性质、内容和在本课程中的任务 .....	2
§ 1-2 液体的几个物理性质 .....	2
§ 1-3 作用在平衡液体上的力 .....	5
第二章 水静力学 .....	5
§ 1-4 水静压力及其特性 .....	5
§ 1-5 水静力学基本方程式 .....	7
§ 1-6 水静压力的测量 .....	8
§ 1-7 水头 .....	11
习题 1-1 .....	13
第三章 水动力学 .....	14
§ 1-8 迹线、流线和微流束 .....	14
§ 1-9 液流的水力要素、流量和平均流速 .....	15
§ 1-10 液体流动的种类 .....	17
§ 1-11 液流的连续性方程式 .....	17
§ 1-12 液流的柏努利方程式 .....	19
§ 1-13 柏努利方程式的意义及其应用 .....	22
习题 1-2 .....	26
第四章 水力阻力 .....	27
§ 1-14 液流运动状态和均匀流动基本方程式 .....	28
§ 1-15 液流在流道中的损失水头 .....	29
习题 1-3 .....	34

## 第二篇 矿山通风设备

第一章 涡轮机的理论基础 .....	35
§ 2-1 矿用涡轮机的分类及其工作原理 .....	35
§ 2-2 涡轮机的工作参数 .....	36
§ 2-3 涡轮机的理论压力基本方程式 .....	37
§ 2-4 涡轮机的理论流量 .....	40
§ 2-5 涡轮机的理论压力特性曲线 .....	40
§ 2-6 涡轮机实际压力特性曲线 .....	43
§ 2-7 涡轮机的管网特性曲线 .....	44
§ 2-8 等积孔及其与管网阻力的关系 .....	45
§ 2-9 涡轮机的工作点 .....	47

## IV

§ 2-10 涡轮机的类型特性曲线	49
§ 2-11 涡轮机的运转基本原理	52
§ 2-12 涡轮机的比转数	56
习题 2-1	57
第二章 矿用通风机的构造	58
§ 2-13 矿用离心式通风机	58
§ 2-14 矿用轴流式通风机	66
§ 2-15 矿用通风机的反风装置	75
§ 2-16 离心式与轴流式通风机的比较	77
习题 2-2	77
第三章 风量和风压的调整	78
§ 2-17 离心式通风机的调整方法	78
§ 2-18 轴流式通风机的调整方法	80
习题 2-3	81
第四章 矿用通风机的联合工作	81
§ 2-19 通风机及通风网路的全特性曲线	81
§ 2-20 通风机的并联工作	83
§ 2-21 通风机的串联工作	86
§ 2-22 通风机与自然通风的联合工作	87
习题 2-4	87
第五章 通风机的电气设备及其自动化原则	88
§ 2-23 矿用通风机电动机的功率及电能消耗量	88
§ 2-24 通风机的配电设备	89
§ 2-25 矿用通风设备的自动化原则	89
习题 2-5	90
第六章 通风设备的安装、运转、维护及检修	91
§ 2-26 通风设备的配置与安装	91
§ 2-27 通风设备的运转	92
§ 2-28 通风设备的维护检修	93
习题 2-6	94
第七章 矿用通风机的实验	94
§ 2-29 测量压力用的仪表	94
§ 2-30 测量风速和流量用的仪表	97
§ 2-31 通风机的实验	98
习题 2-7	101
第八章 通风设备的选型设计	101
§ 2-32 对于通风设备的要求	101
§ 2-33 矿用通风机的选择设计	102
习题 2-8	107

## 第三篇 矿山排水设备与水采机械

第一章 离心式水泵	108
-----------	-----

§ 3-1	离心式排水设备的主要组成部分及它们的功用	108
§ 3-2	离心式水泵的总排水高度、气蚀现象和临界吸水高度	109
§ 3-3	离心式水泵的工作原理与分类	111
§ 3-4	离心式水泵的构造	114
§ 3-5	离心式水泵的轴向推力及其平衡方法	117
§ 3-6	矿用离心式水泵的主要型式及其构造特点	120
习题 3-1		125
第二章	离心式水泵与管道工作	126
§ 3-7	离心式水泵的工况与管道阻力	126
§ 3-8	离心式水泵的联合工作	127
§ 3-9	离心式水泵的调整	129
习题 3-2		131
第三章	矿山排水设备	132
§ 3-10	矿井涌水量和矿水的性质	132
§ 3-11	矿山排水设备的分类及对它们的要求	133
§ 3-12	矿山排水系统方案	134
§ 3-13	水泵房和水仓的布置	136
§ 3-14	矿山排水设备与高压供水设备的管道	139
§ 3-15	管道的附件	142
§ 3-16	管道的布置与敷设	145
§ 3-17	管道的计算	148
习题 3-3		150
第四章	矿山排水设备的电力装置与自动化原则	151
§ 3-18	矿山排水设备的电动机与电力装置	151
§ 3-19	矿山排水设备的自动化原则	153
习题 3-4		154
第五章	矿山排水设备的安装、运转、维护和检修	155
§ 3-20	矿山排水设备的安装	155
§ 3-21	矿山排水设备的运转须知	155
§ 3-22	矿山排水设备的维护	156
§ 3-23	矿用离心式水泵的检修	158
第六章	离心式水泵的实验	159
§ 3-24	离心式水泵的实验	159
§ 3-25	测量用的仪表	159
§ 3-26	测定的内容与方法	161
习题 3-5		162
第七章	矿山排水设备的选择设计	162
§ 3-27	矿山排水设备选择设计的原则要求与内容	162
§ 3-28	矿山排水设备选择设计示例	163
第八章	矿山高压供水	167
§ 3-29	高压供水方式	167
§ 3-30	高压供水的特点	168

## VI

习题 3-7	168
第九章 水枪	168
§ 3-31 水枪的作用、构造	168
§ 3-32 水枪射流理论的概述	171
§ 3-33 水枪的主要工作参数的确定	172
习题 3-8	174
第十章 水力运输提升设备	174
§ 3-34 水力运输系统的概述	174
§ 3-35 有压水力运输概述	176
§ 3-36 煤水泵的构造和主要型式	178
§ 3-37 煤水泵房和煤水仓	181
§ 3-38 煤水泵的运转	183
§ 3-39 给煤机水力提升	184
§ 3-40 无压水力运输	185
习题 3-9	186

## 第四篇 矿山压气设备

第一章 工程热力学的基础知识	187
§ 4-1 引言	187
§ 4-2 气体状态参数及其相互的关系	187
§ 4-3 热力学第一、第二定律及热力学基本方程式	190
§ 4-4 气体的状态变化过程	193
习题 4-1	200
第二章 往复式压气机的理论	201
§ 4-5 概述	201
§ 4-6 往复式压气机的理论工作循环	202
§ 4-7 往复式压气机的实际工作循环	205
§ 4-8 两级及多级压缩	208
§ 4-9 往复式压气机排气量的确定	212
§ 4-10 压气机的功率	213
§ 4-11 压缩空气的冷却	215
习题 4-2	216
第三章 往复式压气机	217
§ 4-12 往复式压气机的构造	217
§ 4-13 往复式压气机的主要部件	224
§ 4-14 往复式压气机排气量的调整	228
习题 4-3	230
第四章 压气机的辅助装置	230
§ 4-15 滤风器	230
§ 4-16 压气机的润滑装置	232
§ 4-17 风包	233
§ 4-18 水冷却设备	234



习题 4-4	235
第五章 压气机的电动机及其控制线路图	235
§ 4-19 压气机的电动机及配电系统	235
§ 4-20 压气机的自动化控制原则及其检视装置	237
习题 4-5	239
第六章 压气管道	239
§ 4-21 压气管道及其敷设	239
§ 4-22 压气管道的计算	240
习题 4-6	243
第七章 压气设备的布置、安装、运转、维护和检修	244
§ 4-23 压气站的布置	244
§ 4-24 压气机的安装	244
§ 4-25 压气设备的运转和维护	247
§ 4-26 压气机的检修	250
§ 4-27 压气机的润滑油	252
习题 4-7	252
第八章 压气机的实验	253
§ 4-28 压气机的实验目的及内容	253
§ 4-29 压气机的实验方法	254
习题 4-8	255
第九章 压气设备的选择设计	255
§ 4-30 选择设计的基本原则及内容	255
§ 4-31 矿山压气设备选择示例	258
习题 4-9	262

# 緒 言

矿山流体机械在矿井的生产建設过程中使用很多，它对提高矿井开采机械化水平、減輕笨重体力劳动、提高劳动生产率和創造安全生产条件等方面起着重要作用。

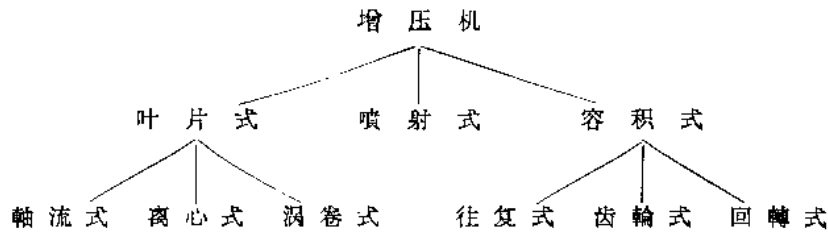
在水力采煤过程中，主要工序和輔助工序所使用的机械大多是流体机械。因此，矿山流体机械在水力化开采的矿井更为重要。

矿山流体机械的机械功与流体能量互相轉化的形式基本上有两大类：

1. 机械功轉化为流体的能量，如通风机和水泵；
2. 机械功轉化为流体的能量，然后再由流体的能量轉化为机械功，如高压供水設備与水枪及压气設備与风动工具。

矿山所使用的流体机械，如从輸送流体这一角度出发，均可称之为增压机，其中用以輸送液体的增压机叫做泵，如水泵等；用以輸送气体的增压机，如通风机、压气机等。

矿山流体机械按工作原理可做如下分类：



《矿山流体机械》这门課程主要是研究在矿山工作条件下，机械功与流体能量互相轉化所使用的机械及其輔助設備。《矿山流体机械》包括以下几个部分：

1. 水力学基础；
2. 渦輪机的理論基础；
3. 矿山通风設備；
4. 矿山排水設備及水力采煤机械；
5. 矿山压气設備。

学习《矿山流体机械》这门課程的目的，是在掌握主要流体机械的工作原理和結構的基础上，能正确地选择、使用主要流体机械，并能及时組織有效的維修，保証流体机械在安全、經濟的条件下运轉。

为此，除了掌握主要流体机械的工作原理和結構外，还应对各种流体机械的使用条件、各种輔助裝置的用途和机械的驅动特点等給予足够的重視。

# 第一篇 水力学基础

## 第一章 水力学概述

水力学的理论基础是由流体力学得来的，流体力学具有严密的纯理论的性质。18世纪时水力学才开始成为一门独立的科学。水力学和流体力学曾长期各自地发展着，但是近来已日趋一致。

液体和气体统称为流体，它们都具有易流动的特性，它们的主要区别在于液体体积变化的微小性和气体体积的易变性。

在水力学中所研究的物质对象是液体，具有代表性的液体就是“水”。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在一定条件下有很大程度适用于气体，甚至有的是完全相似的。

### § 1-1 水力学的性质、内容和在本课程中的任务

水力学是一门实用科学，它研究液体平衡和运动的规律，并应用这些规律来研究各种实际问题的解决方法。

水力学分为两大基本部分：水静力学和水动力学。

水静力学是研究液体平衡的规律，而水动力学则是研究液体运动的规律。

水力学奠基于物理学和理论力学的诸定律。不过有许多水力学问题是很复杂的，并非经常能得到严密的理论解答。因此，除了理论研究之外，还要广泛地利用实验方法。

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。

对于煤炭工业来说，矿井的通风、排水、水砂充填、水力运输、水力采煤、重力选煤以及矿山机械的液压传动和润滑理论等方面，莫不以水力学的基本理论为基础。

矿山流体机械的工作原理、水力计算和起动运转等也应用了水力学的基本知识。

由此可见，学习水力学的基本知识，对于掌握流体机械的运转规律是十分必要的。本篇着重阐述与矿山流体机械有关的水力学基础部分，而对其他部分只是作一般介绍。

### § 1-2 液体的几个物理性质

液体所以易于流动，在于液体各个质点间的内聚力极小，它不能自由地保持固定的形状，只能随着容器的形状变化。

下面简单地介绍液体的几个重要的物理性质：

#### 一、密度

液体单位体积内所具有的液体质量，叫做液体的密度，用希腊字母  $\rho$  表示，即

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ (公斤·秒}^2\text{/米}^3\text{)}, \quad (1-1)$$

式中  $V$ ——液体体积 (米<sup>3</sup>)；

$M$ ——体积  $V$  内所具有的液体质量 (公斤·秒<sup>2</sup>/米<sup>3</sup>)。

实验证明液体的密度  $\rho$  是与压力  $p$  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固定不变。

在标准大气压力下，温度为 15°C 时的蒸馏水的密度为 102 (公斤·秒<sup>2</sup>/米<sup>3</sup>)；空气的密度为 0.125 (公斤·秒<sup>2</sup>/米<sup>3</sup>)。

## 二、重度<sup>①</sup>

液体在单位体积内所具有的重量叫做液体的重度。用希腊字母  $\gamma$  表示，即

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

式中  $G$ ——液体的重量 (公斤)。

液体的重度也和密度一样与压力和温度有关，但通常也看成固定不变。

在标准大气压力下，温度为 4°C 时的蒸馏水的重度为 1000 (公斤/米<sup>3</sup>)。0°C 时的水银的重度为 13600 (公斤/米<sup>3</sup>)。20°C 时的空气重度为 1.2 (公斤/米<sup>3</sup>)。

重度和密度之间有下列关系：

$$\gamma = \rho g, \quad (1-3)$$

式中  $g$ ——重力加速度 (米/秒<sup>2</sup>)。

## 三、压缩性和膨胀性

液体在压力的作用下其体积改变的性质叫做液体的压缩性。

液体的压缩性可用体积压缩系数  $\alpha_v$  表示。它的意义为：当增加一个大气压力时，液体体积相对减少的数值。对于水，当压力在 1~500 大气压和温度 0~20°C 的范围内， $\alpha_v = 1/20000$  厘米<sup>3</sup>/公斤  $\approx 0$ ，由于液体的压缩性极小，因此在水力学中，除个别情形（如水击）需要考虑其压缩性外，一般不把液体看成是可压缩的。

液体在温度的变化下，其体积改变的性质叫做液体的膨胀性。

液体的膨胀性可用体积膨胀系数  $\alpha_r$  表示，它的意义为：当温度上升 1°C 时液体体积相对增大的数值。对于水，当温度为 0~10°C 和压力为一个大气压时， $\alpha_r = 0.000014$ ，由于液体体积受温度的影响极小，所以在进行计算时一般也不予考虑。

## 四、粘性

液体作相对流动时，运动得较慢的那一层对快的那一层产生阻滞作用的这一性质，叫做液体的粘滞性，简称为粘性。所产生的阻力叫做液体的粘滞性阻力或内摩擦力。

粘性只有在液体运动时才表现出来。

粘性的大小有时用动力粘性系数  $\mu$  来表示。

现在研究液体在圆管中运动的情况（详见第四章），沿管道任取一截面，与管壁相接触的液体的流速等于零，而在管的轴线的流速为最大。

沿管道截面液体流速的分布如图 1-1 所示。若将全部液流的运动用无数个圆筒形的而又非常薄的液流层流动表示时，则各圆筒形薄层具有不同的运动速度（图 1-2），速度较小的薄层阻止相邻速度较大的薄层的运动，也就是在这些薄层的接触面上将产生内摩擦

① 与比重不同。

力。

用  $\tau$  表示两薄层间的单位面积上的内摩擦力，则

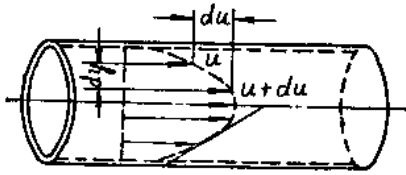


图 1-1 管中液流速度分布情形

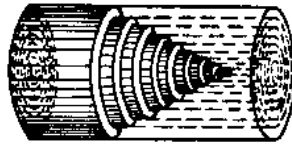


图 1-2 象若干圆筒形层的液流

$$\tau = \frac{T}{S} \quad (\text{公斤/米}^2), \quad (1-4)$$

式中  $T$  —— 液体薄层间的内摩擦力 (公斤)；

$S$  —— 相邻两薄层间的接触面积 (米<sup>2</sup>)。

(1-4) 式中的  $\tau$  又叫做内摩擦应力或切应力。

1687年牛頓曾作了关于内摩擦力的假說，以后俄国学者彼得洛夫用实验方法給以証实，即现在的液体内摩擦定律。

内摩擦力  $T$  对下列各项的关系为：

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)  $du/dy$  成正比；
3. 与液体的类别有关，即与液体的动力粘性系数  $\mu$  有关；
4. 与压力的大小无关。

以数学形式表示，则内摩擦定律为

$$T = -\mu S \frac{du}{dy}, \quad (1-5)$$

于是

$$\tau = -\mu \frac{du}{dy}. \quad (1-6)$$

式中负号在取摩擦力方向与流动方向相反时用之。

动力粘性系数  $\mu$  具有公斤·秒/米<sup>2</sup> 的单位。

在实际应用中常采用运动粘性系数  $\nu$ ，它是动力粘性系数与密度的比值，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{厘米}^2/\text{秒}). \quad (1-7)$$

$\nu$  所以叫做运动粘性系数的原因是由于它的单位只含有运动的要素。表 1-1 中载有水在各种温度时的运动粘性系数值。

实验证明流体的粘性是随温度的变化而变化。液体的粘性随温度的增高而迅速减小，而气体的粘性则随温度的增加而增加。

### 五、理想液体的概念

由于液体的粘性的存在，使实际液体运动的研究变得相当复杂，为了简化水力学问题的求解和正确理解实际液体的运动规律，现在引入理想液体的概念。

所谓理想液体是一种认为完全不可压缩的、完全不可膨胀的以及没有粘性的液体。

表 1-1

温 度	$\nu$ (厘米 <sup>2</sup> /秒)	温 度	$\nu$ (厘米 <sup>2</sup> /秒)	温 度	$\nu$ (厘米 <sup>2</sup> /秒)
0°	0.0178	15°	0.0114	50°	0.0055
5°	0.0152	20°	0.0101	70°	0.0041
10°	0.0131	30°	0.0081	90°	0.0031
12°	0.0124	40°	0.0066	100°	0.0028

显然，理想液体实际上并不存在，对于粘性很小的液体，理想液体的理论可以应用到实际液体中去。如果粘性不可忽略时，则由理想液体所得出的结果必须加以修正。

### § 1-3 作用在平衡液体上的力

静止的液体受有两种外力的作用，即质量力和表面力。

质量力是作用在所研究的液体体积中的所有质点上的力。质量力的大小与液体的质量成正比。属于这种力的有重力和惯性力（相对静止情形下）。

通常按单位质量来计算质量力，此时它的大小和单位与加速度的相同。例如，对于单位质量的重力，其大小和单位都是以重力加速度  $g$  来表示。

质量力也叫做体积力。

表面力是作用在被研究液体表面上的力。属于这种力的有作用在液体表面上的压力和摩擦力。

虽然所研究的液体与界面之间的摩擦力也属于表面力的一种，但是对于静止的液体不出现摩擦力。

## 第二章 水 静 力 学

水静力学研究处于相对静止状态的液体所遵循的规律，并指出它们的实际应用。

### § 1-4 水静压力及其特性

#### 一、水静压力

由于外压力作用的结果，在液体内部产生的压力叫做水静压力。它的单位用公斤/厘米<sup>2</sup>或公斤/米<sup>2</sup>表示。

若从某一容器中任取一块液体，如图 1-3 所示，对于这块液体来说，显然在它的上表面  $S$  上作用有外力  $P$ ，就是在它上方的液体重量和表面压力。若表面  $S$  上的微小面积  $\Delta S$  上作用有  $\Delta P$  的力，则微小面积上的平均水静压力为

$$p_{cp} = \frac{\Delta P}{\Delta S}, \quad (1-8)$$

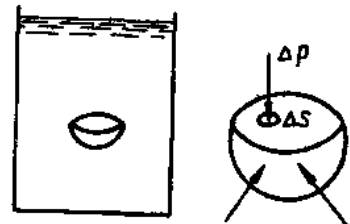


图 1-3 水静压力定义用图

当 $\Delta S$ 趋近于零时, 比值 $\Delta P/\Delta S$ 的极限叫做液体内一点上的水静压力(即压强), 即

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta S},$$

作用在面积为 $S$ 上的表面力如果很均匀时, 则

$$p = \frac{P}{S} \text{ (公斤/米}^2\text{)}。 \quad (1-9)$$

可见液体内部任何地方所产生的水静压力都是由外力作用所引起的。

## 二、水静压力的两个特性

1. 第一特性: 水静压力永远内向垂直于作用面。

现在我们来讨论处于相对静止状态(平衡状态)的任一液体体积, 如图1-4, 在液体内部取任一点 $A$ , 通过 $A$ 点作 $BAC$ 平面, 它把所取的液体分为I和II两部分。

假定把上部II拿走, 那么为了保持下部I的平衡, 就必须对 $BAC$ 平面施以压力 $P$ 以代替被拿走的上部II对下部I的作用力。

显然力 $P$ 就是总水静压力, 现在把它分解为两个分力: 垂直于 $BAC$ 面的压力 $P_n$ 及平行于 $BAC$ 面的剪切力 $P_r$ 。

在平衡的液体中剪切力是不存在的, 即 $P_r=0$ 。因为 $P_r \neq 0$ 时, 液体的相对静止状态将遭到破坏,  $A$ 点必将沿 $BAC$ 面滑动。因此, 水静压力 $P$ 的方向必与作用面相垂直。

再者, 如水静压力 $P$ 的指向是沿着 $BAC$ 面的外向法线方向, 则抗拉力极为微弱的液体将不能保持相对静止, 所以水静压力只能是内向垂直于作用面。

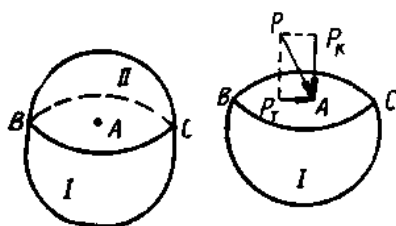


图 1-4 静水压力特性

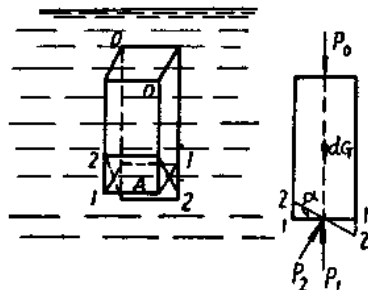


图 1-5 静水压力特性

2. 第二特性: 在液体内任一点上的水静压力不论来自何方皆相等。

在平衡液体中取出一稜柱体液块, 如图1-5所示, 通过 $A$ 点取一微小水平平面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 $\alpha$ 的微小平面2-2, 其面积为 $ds/\cos\alpha$ 。  $p_0$ 、 $p_1$ 和 $p_2$ 分别为作用各对应面上的水静压力。稜柱体的重量为 $dG$ 。

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:

$$p_0 ds + dG = p_1 ds;$$

对平面2-2的平衡方程式:

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

观察以上两式可知:

$$p_1 = p_2,$$

又因 $\alpha$ 角是我们任意采取的, 所以绕 $A$ 点任何方向的水静压力都相等。

### § 1-5 水静力学基本方程式

现在我们来研究相对静止液体内部某点的水静压力的大小，以及在相对静止液体中水静压力的分布规律。如以数学形式表示，就是水静力学基本方程式。

如图1-6所示，在盛有液体的容器中，取出一正六面体，其上下两面的面积皆为  $ds$ ，高为  $h$ ，且上面系在自由液面的平面中。所谓自由液面是指液体与气体的分界面。

作用在六面体上的力有：

1. 作用在底面上沿着铅直方向自下而上的总压力  $P$ ，这个力现在为未知数；
2. 作用在上面上的自上而下的总压力  $P_0$ （不一定等于大气压力）；
3. 作用在六面体各侧面上的水平方向的压力分别为  $P_x$ 、 $-P_x$ 、 $P_y$  和  $-P_y$ ；
4. 沿铅直方向自上而下的重力，等于分离出的六面体的重量  $dG = \gamma \cdot ds \cdot h$ 。

将作用在六面体上的一切力都投影于坐标轴上，因六面体是处于平衡状态，故各力在每一坐标上的投影之代数和均等于零。显然作用在六面体的四个侧面上的压力  $P_x$  和  $-P_x$  以及  $P_y$  和  $-P_y$  互相抵消，所以我们只需研究各力在  $z$  轴上的合成  $\Sigma F_z = 0$  的情形，

$$P - P_0 - dG = 0,$$

或

$$p ds - p_0 ds - \gamma \cdot ds \cdot h = 0,$$

则

$$p = p_0 + \gamma h \quad (\text{公斤/米}^2), \quad (1-10)$$

式中  $p$ ——深度  $h$  处的水静压力；  
 $h$ ——所研究的点与自由液面之间的距离（深度）；  
 $\gamma$ ——液体的重度；  
 $p_0$ ——作用在自由液面上的压力。

(1-10) 式即为水静力学基本方程式。

从(1-10)式可以看出：作用在液体内部任意一点的水静压力等于作用在液面上的压力  $p_0$  与由于液体自重所造成的压力（余压力） $\gamma h$  之和。

如果  $p_0$  为一定值，则液体内部某点的水静压力与其所在的深度成正比。

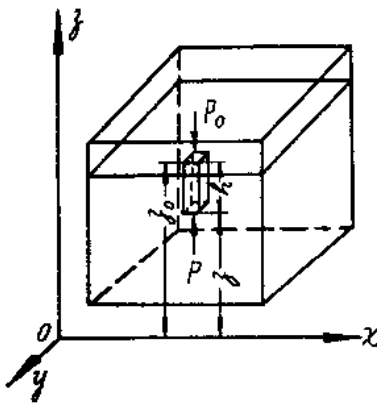


图 1-6 推导水静力学基本方程式用图

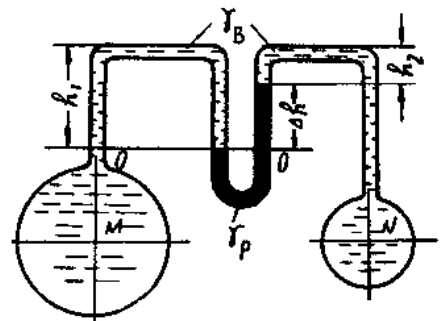


图 1-7 水银差压计



同时由(1-10)式知,在同一容器、同一液体及同一液面深度下的水静压力相等。由压力相等的各点所组成的面叫做等压面。液体和空气的接触面就是等压面。当质量力仅为重力时,液体中的任一水平面为等压面。

应该注意,在同一容器中不同的等压面的压力数值是不同的。

**例题1-1.**如图1-7所示,水银差压计中的水银面之高度差 $\Delta h=50$ 厘米,容器M中的压力大于容器N中的压力,试求盛满水的容器M和容器N中的压力差。

**〔解〕:**

设容器M中的压力为 $p_M$ ,容器N中的压力为 $p_N$ , $\gamma_0$ 为水的重度, $\gamma_p$ 为水银的重度,因为0-0面是等压面,所以

$$\begin{aligned} p_M + \gamma_0 h_1 &= p_N + \gamma_0 h_2 + \gamma_p \Delta h, \\ \Delta p = p_M - p_N &= \gamma_p \Delta h + \gamma_0 h_2 - \gamma_0 h_1, \\ &= \gamma_p \Delta h - \gamma_0 (h_1 - h_2), \\ &= \gamma_p \Delta h - \gamma_0 \Delta h, \\ &= \Delta h (\gamma_p - \gamma_0). \end{aligned}$$

因此

$$\begin{aligned} \Delta p &= 50(0.0136 - 0.001), \\ &= 0.63 \text{ 公斤/厘米}^2, \\ &= 0.63 \text{ 大气压}. \end{aligned}$$

## § 1-6 水静压力的测量

### 一、绝对压力、相对压力和真空值

按水静力学基本方程式(1-10)所求得的水静压力 $p$ 叫做绝对水静压力,简称绝对压力,以 $p_{abs}$ 表示之。液体内部某点的绝对压力表示该点所具有或作用有的实际压力。

大于大气压的绝对压力与大气压力之差叫做相对压力。以 $p_{man}$ 表示之。一般压力计所给出的读数表示相对压力,所以它又叫做表计压力。

若大气压力用 $p_a$ 表示,则三种压力的关系式为

$$p_{abs} = p_a + p_{man}, \quad (1-11)$$

或

$$p_{man} = p_{abs} - p_a \quad (1-11')$$

在工程计算中,均以工程大气压来表示 $p_a$ ,即 $p_a = 1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10000 \text{ 公斤/米}^2$ 。

当(1-10)式中的 $p_0 = p_a$ 时,余压力 $\gamma h$ 就表示相对压力。

**例题1-2.**如图1-8所示的a、b、c三种情况,所用的液体为水,其重度 $\gamma_0 = 1000 \text{ 公斤/米}^3 = 0.001 \text{ 公斤/厘米}^3$ 。设 $h = 100$ 厘米,作用于自由液面上的压力为一大气压,试求玻璃管中的水静压力 $p$ (用绝对压力及相对压力表示)。

**〔解〕:**

根据水静力学基本方程式有,

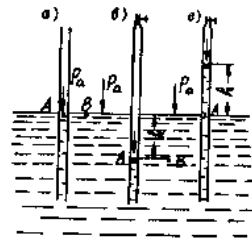


图 1-8 三种压力情况