

中等专业学校教学用书

机 器 学

湖南冶金学院机电教研组编



中国工业出版社

286149
中等专业学校教学用书



机 器 学

湖南冶金学院机电教研组编

中国工业出版社

水

K

10

1

4

8

16

29

77

176

359

673

1181

3122

7104

10266

14480

27140

47600

本書共分三篇：第一篇主要講述水力學的基本知識和一些簡單的水力機械；第二篇講述工程熱力學的基本定律和傳熱學的基本原理；第三篇廣泛地概述了各種熱機的基本知識和工作原理，其中重點講述內燃機的理論基礎、構造、操作與維修的基本知識。

本書系中等專業學校礦山機電專業四年制的教學用書，同時也可作為非機電專業的教學參考之用。

機 器 學

湖南冶金學院機電教研組編

*

中國工業出版社出版（北京佟麟閣路丙10號）

（北京市書刊出版事業許可證出字第110號）

地質印刷廠印刷

新華書店科技發行所發行·各地新華書店經售

*

開本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張 $12^{5/8}$ ·字數297,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印數0001—2,537·定價(9-4)1.20元

統一書號：15165·745（冶金—188）

目 錄

第一篇 水 力 学

第一章 基本概念	4
§1 水力学的研究对象和意义	4
§2 流体的定义, 实际流体的力学性质	4
§3 理想液体的概念及連續性假定	11
第二章 水静力学	12
§1 静水压力及其特性	12
§2 水静力学基本方程	12
§3 测压仪器	14
§4 巴斯噶原理及简单的水力机械	17
§5 作用于固体界壁上的静水总压力	19
第三章 液体动力学	23
§1 基本概念和术语	24
§2 液体运动的連續性方程	26
§3 实际流体总流柏努里方程	27
§4 柏努里方程的实用例	33
第四章 液体在管道中的流动损失	39
§1 液体流动的两种类型管中沿程损失的計算	40
§2 局部损失与损失的迭加	43
第五章 孔口和管咀中液体的出流	46
第六章 工业长管的計算	49
§1 計算长管损失的公式	50
§2 計算例	50

第二篇 工程热力学及傳热原理

第七章 基本概念	53
§1 热能的本质	53
§2 工质、气体状态参数	53
第八章 理想气体的基本定律	54
§1 理想气体与实际气体	54
§2 理想气体的基本定律	55
第九章 热力学第一定律	60
§1 热力过程及其图示——压容图	60
§2 气体膨胀与压缩的绝对功	62
§3 热与功	63
§4 热力学第一定律	65
§5 比热	65
第十章 热力过程	70

§1 定容过程	70
§2 定压过程	72
§3 等温过程	73
§4 绝热过程	76
§5 多变过程	79
第十一章 热力学第二定律	83
§1 封闭过程或循环	83
§2 理想气体的卡诺循环	84
§3 热力学第二定律	86
§4 T-S图。熵的数学表示	86
§5 1公斤理想气体的基本热力学过程在 T-S 图上的图示	87
§6 在 T-S 坐标上的卡诺循环	88
第十二章 传热原理	89
§1 热传播的基本情况	89
§2 平壁的导热传热	89
§3 对流热交换	90
§4 辐射热交换	92
§5 经过平壁的传热	93
§6 热交换器	96

第三篇 热 机 学

第十三章 内燃机	99
§1 内燃机的燃料及内燃机的分类	99
§2 点燃式四冲程内燃机的工作原理与工作循环	101
§3 点燃式二冲程内燃机的工作原理与工作循环	104
§4 压燃式四冲程内燃机的工作原理与工作循环	105
§5 压燃式二冲程内燃机的工作原理与工作循环	108
§6 四冲程内燃机和二冲程内燃机的比较	109
§7 柴油机和汽油机比较	110
§8 内燃机的指示功率	112
§9 内燃机的有效功率	112
§10 内燃机的指示效率与有效效率	113
§11 耗燃率	113
§12 内燃机的转矩马力	114
§13 内燃机的基本零件	114
§14 汽油机的燃料供给系统	121
§15 点火设备	124
§16 内燃机的润滑系统	127
§17 内燃机的冷却系统	130
§18 柴油机的燃料供应系统	132
§19 柴油机的燃烧室	142
§20 内燃机的起动方法	144

§21 內燃机的主要故障	150
§22 煤气机	155
§23 典型內燃机的构造	160
§24 用汽油机或柴油机改装煤气机的方法	165
§25 內燃机起动停车的操作步骤和注意事项	166
§26 柴油机的检修	167
第十四章 鍋爐設備	172
§1 鍋爐設備的一般知識	172
§2 鍋爐的工作特性	173
§3 鍋爐的燃料	173
§4 炉子	174
§5 鍋爐的构造	176
第十五章 蒸汽机	180
§1 蒸汽机的构造及工作原理	180
§2 单流机和复胀机	181
§3 蒸汽机的配汽机构	182
§4 蒸汽机的調节	184
§5 鍋駝机	185
第十六章 汽輪机	186
§1 汽輪机的一般概念及工作原理	186
§2 冲击式汽輪机与反击式汽輪机	186
§3 多級式汽輪机	188
§4 組合式汽輪机	189
第十七章 燃气輪机	190
§1 燃气輪机装置的工作原理	190
§2 閉式燃气輪机装置	192
§3 燃气輪机的特性	193
§4 燃气輪机在工业上的应用及发展前途	193
§5 具有回热器的燃气輪机	194
§6 自由活塞燃气輪机	194
§7 噴气发动机	195

第一篇 水 力 学

第一章 基 本 概 念

§ 1 水力学的研究对象和意义

水力学是运用理論力学的一般原理，借助大量的实验資料，并运用数学的方法研究流体的平衡及机械运动規律的科学。利用这些規律可以解决工程中許多实际問題，因此它是一門实用性科学。

水力学可以分为两大組成部分，即水靜力学和水动力学。前者以研究靜止液体中压力分布規律和作用在固体界壁上的总压力，以及研究作用在全部或部分浸入液体中物体上总压力等問題。后者研究在运动的流体中各运动要素間的变化規律和运动液体对固体界壁动力作用的規律，以及把这些規律应用于具体的工程問題中去等內容。

例如确定輸油管路和輸水、排水管路的尺寸、研究矿井中风流的运动規律和阻力等問題都要应用动力学的基本原理和定律。

可以肯定，在工程技术中的問題无不与气体或液体平衡和运动有关。譬如，水利工程、航空、航海工程、机械制造业和紡織工业（气稜）等，都要利用水力学的原理和定律。因此从理論体系上講，水力学是許多专业課的基础，其中尤以采矿工业中的井巷通风和排水、压气机以及其他热机冷却系統等設計中，得到更为广泛地运用。因此水力学是机电专业的技术基础課程。

§ 2 流体的定义，实际流体的力学性質

1. 流体的定义

气体和液体統称流体，它們与固体不同，有极易流动的特性。因作用于流体上一极微弱的不平衡外力，都会引起流体的机械运动。其对拉力和切力无显著的抵抗能力。因为液体和气体的分子結構与其固体截然不同。

在自然界中液体的种类很多，如：水、石油、煤油和滑油等皆是。根据日常的生活經驗以及研究証明：所有液体对于使其体积发生变化的外界作用（包括温度和压力）有着很大的抵抗能力，对此一般将液体称为不可压縮的流体。此外液体具有显明的自然表面（和气体的分界面），并因其易于流动，故可随盛器而改变自身的形状。此外液体具有显著的表面張力，故当体积很小时便成滴状，因此，液体被称为滴状流体。

气体和液体不同。当温度和外压力改变时，其体积发生显著变化。它无自由表面而永远充滿容器的所有空間。故通常将气体称为可压縮的流体。

在水力学中一般只研究液体（水）的力学特性，其研究結果，也能适用于低压低速的气体中。关于气体（例如空气）的力学特性有專門課程——如气体力学等……加以研究。

2. 液体的力学性質

在开始研究液体平衡和机械运动規律之前，首先須通曉液体的力学性質，并且須制

定表征其各种性质的基本物理量及规定度量这些量的基本制度。

1. **重度和密度** 首先规定表征液体动力特性的参量——重度和密度。

重度——单位体积液体所具有的重量值，叫做该液体的重度^①（或重率），通常用 γ 表示。

现以 W 表示液体的体积；以 G 表示 W 体积内流体的重量，则根据上述定义

$$\gamma = \frac{G}{W}, \quad (1-1)$$

其因次为：

$$[\gamma] = \left[\frac{F}{L^3} \right],$$

工程单位制中用[公斤/米³]表示；物理单位制中用[达因/厘米³] = [克/厘米³·秒²]表示。

此两种单位可用下式进行换算，

$$\gamma_{\text{物}} = 0.981 \gamma_{\text{工}}^{\text{②}}. \quad (1-2)$$

当外压力和温度变化时，液体的重度变化很小：温度增高，液体的重度减小；压力增高，则重度 γ 相应发生极微弱的增大，以致可以忽略。表1-1所列在大气压力下水的重度值随温度而变化的情况（在4°C时水具有最大的重度值，为一特例）。

大气压力下水的重度和温度的关系

表 1-1

°C	γ (克/厘米 ³)	°C	γ (克/厘米 ³)	°C	γ (克/厘米 ³)	°C	γ (克/厘米 ³)	°C	γ (克/厘米 ³)
-10	0.99815	1	0.99993	12	0.99952	23	0.99756	50	0.98807
-9	0.99843	2	0.99997	13	0.99940	24	0.99732	55	0.98573
-8	0.99869	3	0.99999	14	0.99927	25	0.99707	60	0.98342
-7	0.99892	4	1.00000	15	0.99913	26	0.99681	65	0.98059
-6	0.99912	5	0.99999	16	0.99897	27	0.99654	70	0.97781
-5	0.99930	6	0.99997	17	0.99880	28	0.99626	75	0.97489
-4	0.99945	7	0.99993	18	0.99862	29	0.99597	80	0.97183
-3	0.99958	8	0.99988	19	0.99843	30	0.99567	85	0.96865
-2	0.99970	9	0.99981	20	0.99823	35	0.99406	90	0.96534
-1	0.99979	10	0.99973	21	0.99802	40	0.99224	95	0.96192
0	0.99987	11	0.99963	22	0.99780	45	0.99024	100	0.95838

某些液体在正常气压下的重度(克/厘米³)

表 1-2

液 体	重 度	液 体	重 度	液 体	重 度	液 体	重 度	液 体	重 度
丙 酮	0.73	甘油丙三醇	1.26	重 油	0.91—0.95	石 油	0.73—0.94	松 节 油	0.85—0.88
汽 油	0.7—0.75	煤 焦 油	1.05—1.25	植 物 油	0.91—0.94	干 性 油	0.93—0.95	水 玻 璃	1.36—1.53
苯	0.88	煤 油	0.81—0.84	蓖 麻 子 油	0.95—0.97	汞	13.6	三 氯 甲 烷	1.49
水	1.0	雜 酚 油	1.04—1.10	甲 醇 木 精	0.79	二 硫 化 碳	1.27	乙 醇	0.79
								乙 醚	0.71

① 必须和比重区别开来。

② 物理单位制规定：质量（克），长度（厘米）和时间（秒）为基本单位，重量为导出单位；而工程单位制中规定：重量（公斤），长度（米）和时间（秒）为基本单位，质量则为导出单位。因此两者之间除相差以位数关系外，尚有一重力关系。

某些液体在正常气压下的重度值列于表1-2中。由表看出, 气态流体的重度很小, 而仅随压力和温度发生较大的变化, 常态下的空气重度 $\gamma = 1.293$ 公斤/米³。液体的重度可用比重计度量。

密度——单位体积液体所具有的质量, 叫做密度, 通常以 ρ 表示。

现以 M 表示 W 体积液体的质量

则
$$\rho = \frac{M}{W}, \quad (1-3)$$

其因次为:

$$[\rho] = \left[\frac{M}{L^3} \right],$$

物理单位制中用 $[\rho_{\text{物}}] = [\text{克/厘米}^3]$ 表示; 工程单位制中用 $[\rho_{\text{工}}] = \left[\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4} \right]$ 表示。

此两种单位可用下式进行换算,

$$\rho_{\text{物}} = \rho_{\text{工}} / 102 \quad \text{或} \quad \rho_{\text{工}} = 102 \rho_{\text{物}} \quad (1-4)$$

ρ 与 γ 的关系

$$\rho = \frac{M}{W} = \frac{G}{g} \cdot \frac{1}{W} = \frac{\gamma}{g}, \quad (1-5)$$

或
$$\gamma = \rho g, \quad (1-6)$$

式中 $g = 9.81$ 米/秒²。

2. 压缩性与膨胀性

压缩性和膨胀性是液体体积随温度和压力的改变而变化的特性。液体受外压力作用时, 而略微改变其体积的这种性质, 称为压缩性。而当温度发生变化时其体积也相应发生变化的这种性质, 称为热膨胀性。

压缩性——此用压缩系数 β_v 表示, 该系数为压力每变化 1 公斤/厘米² 时, 液体体积的变化量 and 其原来体积之比, 即

$$\beta_v = - \frac{1}{W} \frac{dW}{dP} \text{①}, \quad (1-7)$$

式中 W ——液体的原有体积,

dW ——压力增加 dP 时该液体体积的变化量。

其因次为:

$$[\beta_v] = \left[\frac{L^3}{L^3(F/L^2)} \right] = \left[\frac{L^2}{F} \right],$$

压缩系数的因次和压力的因次相反, 工程单位制中用 $[\text{米}^2/\text{公斤}]$ 表示; 物理单位制中用 $[\text{厘米}^2/\text{达因}]$ 表示。

$1/\beta_v$ 为弹性系数, 常以 E_0 表示, 即

$$E_0 = - \frac{dP}{dW/W}, \quad (1-7')$$

① 式中的负号是为使 β_v 为正值而加的, 因此 dW 与 dP 的符号永远相反。

E_0 的因次和压力相同，它是表征液体抵抗形变特性的参量。

弹性系数 E_0 和压缩系数 β_v ，均随压力和温度而变化。但在工程应用范围内，对于液体而言，因为压力的改变而其体积增减值很小，因此可将 E_0 视为常数。

在工程计算中，水的弹性系数 E_0 可以近似地采用（压力从 1 公斤/厘米² ~ 500 公斤/厘米²），

$$\begin{aligned} E_0 &= 21000 \text{ 公斤/厘米}^2 \\ &= 2.1 \times 10^8 \text{ 公斤/米}^2. \end{aligned}$$

膨胀性——此用温度膨胀系数 β_t 表示液体的热膨胀性，该系数表示液体的温度每增高摄氏 1° 时其体积的相对变化量，即

$$\beta_t = \frac{\Delta W}{W} \cdot \frac{1}{\Delta t}, \quad (1-8)$$

式中 W ——为液体的原有体积；

ΔW ——为当温度变化 $\Delta t^\circ\text{C}$ 时的体积变化量。

β_t 的因次为：

$$[1/t^\circ\text{C}].$$

在水力学中讨论的绝大部分现象中，均可忽略液体的压缩性，即认为液体是不可压缩的（个别情况，例如水未除外）。

3. 粘滞性与表面张力

粘滞性——当液体作机械运动时，由于液体分子间引力的作用，将会表现出对拉力和剪切力的抵抗（即对变形的阻抗）性质，这就是液体的粘滞性，它是流体重要的力学性质。

研究的结果表明，液体对拉力（牵引力）、剪切力的抵抗只在液体的流动速度相当大时才表现得非常显著。并且粘滞性与液体自身的性质以及所处的外界条件（如温度、流速等）有关。当液体处于静止状态亦即速度为零时，这种特性则不存在。就是说：只有作用在液体上的力只是压力时，液体才能够处于静止的状态。

对此用如下实验说明粘滞性的存在和性质。取两块平板，一块固定地放在下面，另一块平板和下平板保持平行，并以速度 u 缓慢的移动着。同时在两板之间充满了液体（图 1-1, a）。

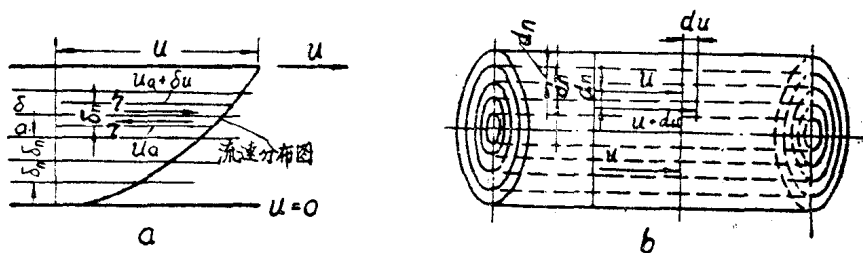


图 1-1

由于液体和平板之间有附着力（摩擦力）作用，则直接与板壁接触的一层液体就和平板一起运动。同时，假定板间的液体是由无数片独立的液体层组成，每层的厚度 dn 是个无穷小值，则由于液体分子间存在着内聚引力，因而，当附着于动板壁上的一层液体

同平板一起运动时, 这层液体将会牵引和它相邻的另一层液体运动。就是这样一层层的曳引着, 板间的液体便逐渐的全部参予运动, 但贴附于固定板壁的一层液体却是固定不动的。

我們在平板間, 任意指定两邻层 a 和 b 来研究。 b 层受其上面一层液体的牵动, 同时它也曳动下层 a 。对 a 层而言, b 层是运动的主动方面, 起拉动 a 层运动的作用; 对 b 层来说 a 层是被动方面, 起阻碍 b 层运动的作用。显然 b 层要比 a 层的速度大一些。若设 a 层的流速为 u_a , 则 b 层的流速则为 $u_a + du$ 。因为 dn 很小, 故 du 不可能很大 (du 很大将会使液体的成层流动破坏), du 是层间的粘性 (分子引力) 造成的。这种由于层间相对运动而发生的层间粘性力作用现象称之为内摩擦现象, 而层间作用力称为内摩擦力 (是内摩擦力阻碍了 b 层的运动, 同时也是它曳动了 a 层的运动)。由此可以联想, 管中的液体流动 (图 1-1, b) 与管壁相接触的液层速度为零。随着与管壁距离的加大, 液体层的速度是渐渐增大的。在圆管的中心线上, 速度达到最大值。

按照牛顿的假定, 内摩擦力是与流体的粘性、摩擦面的大小、以及液体层间速度的变化率 (形变) 有关。苏联学者彼得洛夫证明牛顿的假定是正确的, 且得出了作直线运动的液体中内摩擦力 T 的公式:

$$T = \pm \mu w \frac{du}{dn}, \quad (1-9)$$

或

$$\tau = \frac{T}{w} = \pm \mu \frac{du}{dn}, \quad (1-10)$$

式中 T ——总内摩擦力;

w ——摩擦层的表面积;

τ ——相邻两层间的摩擦应力 (剪应力);

du ——两层间的速度变化量;

dn ——两层间的距离;

du/dn ——速度梯度 (即在流速的方向上单位距离内的速度变化量);

μ ——是表示液体粘滞性的动力粘性系数。

为使摩擦力永为正值, 所以要根据 du/dn 的符号决定 (1-10) 式中的正负号。

τ 的因次为:

$$[F/L^2]$$

工程单位制中用 [公斤/米²] 或 [克/厘米²] 表示; 物理单位制中用 [达因/厘米²] 表示。

若令 (1-10) 式中 $du/dn = 1$ 则可写成:

$$\mu = \tau_0$$

可见动力粘性系数 μ , 与当速度梯度 $du/dn = 1$ 时的液体內摩擦应力在数值上是相等的。

μ 的因次:

$$[\mu] = \left[\frac{F}{L^2} \right] \cdot \left[\frac{L}{L/T} \right] = \left[\frac{FT}{L^2} \right],$$

工程单位制中用[公斤·秒/米²]表示; 物理单位制中用[达因·秒/厘米²]=[克/厘米·秒]=[伯](伯斯)表示。

此两种单位可用下式换算:

$$1 [\text{伯}] = 10^4 / 981 \times 10^3 [\text{公斤} \cdot \text{秒} / \text{米}^2] = 0.01019 [\text{公斤} \cdot \text{秒} / \text{米}^2]$$

在水力学中, 通常用动力粘性系数 μ 与液体密度 ρ 之比值表示液体的粘滞性, 称该比值为运动粘性系数, 通常以 ν 表示, 即

$$\nu = \mu / \rho。$$

ν 的因次为:

$$[\nu] = \left[\frac{F \cdot T}{L^2} / \frac{F \cdot T^2}{L^4} \right] = \left[\frac{L^2}{T} \right],$$

工程单位制中用 $[\nu] = [\text{米}^2/\text{秒}]$; 物理单位制中用 $[\text{厘米}^2/\text{秒}] = [\text{斯}](\text{斯托克斯})$ 表示。

液体的粘性系数随温度的增高而变小, 而与压力几乎无关。表 1-3 列出了水在不同温度时的动力粘性系数的一些数值。粘性系数值, 可用各种粘度计测得。

在不同温度时水的动力粘性系数 μ

表 1-3

°C	μ	°C	μ	°C	μ	°C	μ	°C	μ
-10	2.6	16	1.116	30	0.802	60	0.470	90	0.315
-5	2.12	18	1.060	35	0.721	65	0.436	95	0.298
0	1.789	20	1.005	40	0.653	70	0.406	100	0.282
+5	1.516	22	0.960	45	0.596	75	0.379		
10	1.306	25	0.894	50	0.550	80	0.356		
15	1.141	28	0.836	55	0.507	85	0.334		

表面张力——此为液体表面一层分子相互吸引的作用而引起液体的表面紧张, 使水滴缩为球形的力, 它与粘性力本质相同。

由于工程中大部分的水力问题, 完全可以忽略这种力的影响, 故此不加说明。

4. 作用在液体上的力及其度量的规定

作用在液体上的力——在液体中作用于所研究的那块液体上的诸力, 可分为质量力和表面力:

质量力是作用于所指的液体中之各个液体微团^①上的一种力, 其大小与各微团的质量成正比, 对均质液体而言质量力又可叫做体积力(重力, 惯性力都是质量力)。在水力学中通常用单位质量力表示该力的值。单位质量力系指单位质量液体所具有的质量力。若质量力只有重力时, 单位质量力便是 $g = 9.81 \text{ 米/秒}^2$ 。

表面力是作用于所研究的那块液体表面上的诸力。表面力可分为两种: 一种是切向力——摩擦力; 另一种是法向力——压力。

设有一种液体在管中流动(图 1-2)。我们来研究在此流动液中为某一任意表面 w 所包围的某一体积。用 δF 表示四周液体作用于上述表面上某一微小面积 δw 上之作用力。

① 微团系指, 体积为任意小的一小部分液体, 它是由无数分子组成的。

一般的說, δF 力的作用方向对所研究的这块小面积 δw 而言, 可以是向內的也可以是向外的, 并与其法綫成一夹角 α 。試將 δF 力分为两个分力: 沿微小面积的切綫方向的分力 δT , 和与 δw 面积法綫方向一致的分力 δp 。前一分力 δT 叫做切向力或称摩擦力; 后一分力 δp 叫做法向力, 它可能是压縮力, 也可能是拉力。

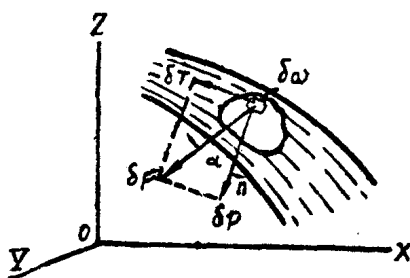


图 1-2

液体和某一表面(如管壁)之外摩擦, 以及各运动微团彼此間的內摩擦, 都可以产生切向力, 它是由于流体运动和微团变形引起的。摩擦力的作用, 影响着液体各微团的速度分布規律。

在作直綫成层运动的液体中之摩擦应力可用(1-10)式求之。

無論在靜止的液体中或在运动的液体中, 都有压縮力(压力)存在, 这是各个外力作用于液体上的結果; 如活塞之压力, 盛器界壁的反作用力和重量等等都是产生压縮力的原因(由于分子热运动产生的压力未計在內)。

我們用平均水力压强值来計量这种力。将作用于所研究的液体表面上单位面积內之压力值称为平均水力压强, 以 p_{cp} 表示, 即

$$p_{cp} = \frac{\delta p}{\delta w} \quad (1-11)$$

若令受力面积 δw 趋近于零时, 則 $\delta p / \delta w$ 的极限比值为

$$p = \lim_{\delta w \rightarrow 0} \frac{\delta p}{\delta w} = \frac{dp}{dw} \quad (1-12)$$

这样便得到定点的水力压强。当然, 一般的說 $p_{cp} \approx p$, 但其差值极小。

度量压力的規定——通常将一滴的水力压强, 叫做絕對压强, 以便和相对压强(剩余压强)以及真空度有所区别。

如果絕對压强大于大气压时, 則絕對压强同大气压之差值, 称为相对压强(相对压力)或剩余压强(剩余压力):

$$p_{us} = p_{ao} - p_{am} \quad (1-13)$$

式中 p_{us} ——剩余压强;

p_{ao} ——絕對压强;

p_{am} ——大气压强。

剩余压强往往又称为“表压”或“計算压力”。

如果絕對压强小于大气压时, 則大气压同絕對压强之差值, 称为真空度, 并用 p_{va} 表示, 即

$$p_{va} = p_{am} - p_{ao}$$

液体中(气体和液体中)水力压强之計量单位为[公斤/米²]或[公斤/厘米²]。

压力 $p=1$ 公斤/厘米², 叫做一工程气压:

$$1 \text{ 气压(工程)} = 1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 1000 \text{ 公斤/米}^2$$

不要把工程气压与物理气压相混淆。

$$1 \text{ 气压(物理)} = 1.033 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10330 \text{ 公斤/米}^2$$

因为流体的抗拉能力比较其抗压能力要小得很多很多，故在水力学上将拉伸力略而不计，即认为液体不能承担拉力。

§ 3 理想液体的概念及連續性假定

当了解了真实流体的上述主要力学性质后，使我们知道，研究真实液体的运动规律是很复杂的工作。影响液体运动的因素往往是多方面的。

在水力学中，为了使某些问题的分析简化，常常以一假想的流体——即所谓理想流体，去代替实际流体。理想流体是力学性质较实际流体简单得多的流体。理想流体有下面一些特性：

- 1) 均质而各向同性；
- 2) 具有不可压缩性；
- 3) 没有粘滞性和表面张力；
- 4) 可视为连续的介质。

不言而喻，在真实的液体中，没有一种液体完全符合理想流体的性质。这主要是由于理想流体是简化了真实流体的某些力学特性，而抽象出来的一种根本不存在的假想流体的缘故。

液体的連續性是指液体連續地充满于有限体积，既不破裂也无空隙。除此而外，液体的連續性还意味着质点运动的連續性以及液体的任何部分的形变的連續性。基于这种假定，便能在液体中的各个任意点进行研究，以及在研究过程中运用数学分析的方法。

由理想流体的假定而得到的研究结论，将其运用于实际流体上时所引起的误差，可以根据大量的实验资料加以修正。

习 題

- 1) 用工程单位制计算液体密度为 $\rho = 95 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4$ ，求以物理单位制计算此液体的比重 γ 。

(答: $\gamma = 914 \text{ 达因/厘米}^3$)

- 2) 输水管作水力实验时，管中水的压力曾达到 55 个计算大气压，经一小时后压力降到 50 计算大气压，并知管径为 400 毫米，管长为 200 米。如不计管的变形，问在此情况下，经漏缝中流出的水量为若干(水的体积压缩系数采用 $1/20000 \text{ 厘米}^3/\text{公斤}$)?

- 3) 充满石油的油槽，处于 5 个计算大气压作用下，今将槽中石油排出 40 公斤，结果槽中之压力降低到一计算大气压，试求油槽的容积(设石油的体积压缩系数等于 $1/13500 \text{ 厘米}^3/\text{公斤}$)。

(答: $W = 135 \text{ 米}^3$)

- 4) 马达油当重度为 $\gamma = 800 \text{ 公斤/米}^3$ 时，其绝对粘滞系数为 $\mu = 0.20$ [伯斯]。求此油的运动粘性系数，并用 [斯托克斯] 表示。

(答: $\nu = 0.25 \text{ 斯}$)

- 5) 圆形容器的直径为 $D = 2 \text{ 米}$ ，高度 $H = 4.5 \text{ 米}$ ，底面半径 $R = 2 \text{ 米}$ 。不计密度之变化，求在水压实验压力达 200 个大气压时，欲充满容器所需水的体积。

(答: $W = 14.59 \text{ 米}^3$)

第二章 水静力学

水静力学是水力学的一个基础部分，它研究液体处于相对平衡状态下的力学规律以及研究这些规律的实际应用。如求潜水物体在水中所受的压力；求液体对其盛器界壁所施的压力；以及求各种浮子的浮力等，都是这些规律的适用实例。

由于在静止液体中，液体的粘性不起作用故在水静力学中所得到的结论，不仅适用于理想流体，同样也适用于实际流体。

§1 静水压力及其特性

在第一章中已经说过，液体中有三种作用力，即：摩擦力、压力和重力（体积力）。

由于在静止液体中粘性力不起作用，并且液体对拉力的抗力很小，故此两种作用，在绝大多数情况下，都不加考虑。

因此，列入研究的作用力，就只有压力（即垂直于平衡状态的液体表面并指向内的作用力）和体积力了。

定义：作用在静止液体内任意点上的水力压强 $P = dp/dw$ 公斤/米²，叫做该点上的水静压强（或静水压力）。

一点上的水静压强，有这样的一个性质，即某指定点上的静水压强值，与所取的受压面积之方向无关，也即作用于任何一点的静水压力的数值，不因方向而改变。

这个特性是很易理解的。可以设想，如果作用于某一点上的压力各方向不等，则这些力是不平衡的，总会有一合力，这一合力必会使该液体质点（由无数液体分子组成的无限小的液体单元）沿合力方向产生一加速度，这与静止液体这一前提矛盾。故作用于静止液体内任意点上的合力必然为零，亦即作用在任意点上的各个方向上的压力值应彼此相等。但是，液体中各不同点上的静水压力在连续的变化着，此可示为点的笛卡尔坐标的某一函数。

$$p = f(x, y, z)。$$

这个函数表示出静水压力的分布规律。这就是我们在下节中要导出的，水静力学基本方程。

§2 水静力学基本方程

液体的静止有两种情况：一种情况是绝对静止（对地球而言）；另一种是相对静止（液体对盛器界壁处于静止状态，而容器对地球来说是运动着的）。

作用在前者的质量力只有重力，故称这种静止的液体为重力液体，这是工程中普遍存在的。作用在后者上除重力质量力外，尚有惯性质量力，故称非重力液体。我们只研究重力液体的平衡规律。这便是水静力学基本方程所要研究的对象。

图2-1表示一密闭容器，其中液体处于静止。假定在液体的自由表面上作用着 p_0 压力。

假想在液体中任意分离出一底面积为 Δw 、高为 h 的长方柱体。该柱体的上端面便是自由液面的一部分，上面作用 p_0 压强；下端面 Δw 处于液面下 h 深处，和液面平行其上作用着压强 p ；柱体的四个侧面和坐标面平行，其上分别的作用着 p_1 、 p_2 、 p_3 和 p_4 总表面力。柱体的重量为 G 。

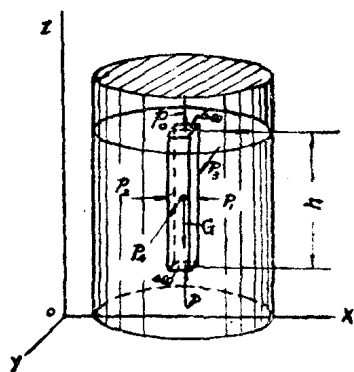


图 2-1

由于柱体是受力平衡的，根据理论力学原理：

$$\sum x = p_2 - p_1 = 0;$$

$$\text{则} \quad p_1 = p_2, \quad (2-1')$$

$$\sum y = p_3 - p_4 = 0;$$

$$\text{则} \quad p_3 = p_4, \quad (2-1'')$$

$$\sum z = p\Delta w - G - p_0\Delta w = 0;$$

$$\text{则} \quad p = p_0 + G/\Delta w, \quad (2-1)$$

$$\text{但} \quad G = \Delta w h \cdot \gamma, \quad (2-2)$$

代入(2-1)式则

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

式中 γ ——液体的重度；

p ——水深为 h 处的点压强。

(2-3)式是水静力学基本方程式。如果容器是开口的，作用于液面上的压力为大气压 p_{am} ，则此式可写成：

$$p = p_{am} + \gamma h \quad \text{公斤/米}^2. \quad (2-4)$$

(2-3)与(2-4)式表明：

1) 作用于液体自由表面上的压强 p_0 或 p_{am} ，可以等值传达到液体的各处。证明巴斯噺原理是正确的。

2) 作用在静止液体內距自由面为 h 深处的压强，是由两部分组成的：其一为作用在液面上并等值传递的压强 p_0 (或 p_{am})；另一部分是由该点上 h 高液柱的重量造成的余压力。

3) 静止的重力液体中，压力的分布规律取决于重力质量力。若忽略液体的自重，则液体各点上的压力便无变化。对于气体，由于其重度很小，故在一般情况下，不计其由重力引起的压力变化而认为各处的压力都是相等的，便是这个道理。

4) 静止而均质的重力液体中，压力分布规律是：液体內各点的压强单纯是该点在液面下淹没深度 h 的函数(即随 h 而变化)；在同一水平面上(h 相同的各点)所有各点的压力是相等的。

我们将由压力相同的各点所组成的面称为等压面。静止的重力液体中的等压面，为所有平行于自由液面的水平面。等压面上的各点位能相等，所以等压面也是等位面。位能相等的各点组成的面便是水平面，所以等压面和质量力(重力)直交，这是等压面的重

要特性；等压面的另一特性是：等压面不能相交割。因为交线上的各点同时位于两个等压面是意味着作用于一一点上有两个压力值，这是不可能的（在水静压强特性中证明了这点）。

5) 当用剩余压力度量液体內某点的压强时，(2-4)式可写成：

$$p = \gamma h \quad (2-5)$$

此式说明压力 p 能使重度为 γ 的液体升高 h 。

(2-5)还可写成：

$$\frac{p}{\gamma} = h \quad \text{米} \quad (2-6)$$

这式表明，可以用一个液柱高度来衡量压力值。对于某一固定液体， $\gamma = \text{常数}$ ，则 h 值便能代表 h 高液柱底面处的压力值。

下节讲的液体压力计，便是利用了这个道理而设计成功的。

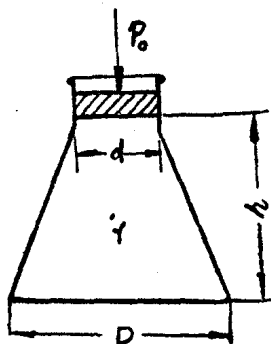


图 2-2

例：容器中充满水，水深 $h = 30$ 厘米（图 2-2）容器的底面直径 $D = 30$ 厘米。在容器的口处有一直径为 $d = 10$ 厘米的活塞，在活塞上施以 $P_0 = 50$ 公斤的力，求容器底所受的总压力值。

$$\text{解：外部压力 } p_0 = P_0 / \frac{\pi d^2}{4} = \frac{4P_0}{\pi d^2}。$$

根据(2-3)式则底面上的静水压强为：

$$p = p_0 + \gamma h = \frac{4P_0}{\pi d^2} + \gamma h。$$

因此容器底上的总压力 p 为

$$\begin{aligned} p &= p \cdot \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{4P_0}{\pi d^2} + \gamma h \right) \\ &= \frac{P_0 D^2}{d^2} + \frac{\pi D^2}{4} \gamma h \\ &= \frac{50 \times 30^2}{10^2} + \frac{3.14 \times 30^2}{4} \times 0.001 \times 30 \\ &= 478 \text{ 公斤} \end{aligned}$$

§ 3 测压仪器

为了测量液体中某点的压力，采用了各种不同的仪器，这些仪器可大略分为两种类型——液体的和金属的。液体测压计中最简单的一种为测压管。

测压管——是一个直径不大（5 厘米以上）的玻璃管，开口的一端向上，另一端连接