

中等专业学校教学用书

冶金工厂 给水送风设备

鞍山钢铁学院冶金机械教研组编



中国工业出版社

原

书

缺

页

原

书

缺

页

原

书

缺

页

原

书

缺

页

原

书

缺

页

原

书

缺

页

目 录

緒論	9
----------	---

第一篇 水力学理論基础

第一章 液体靜力学	14
§ 1-1 水靜压力及其性质	14
§ 1-2 水靜力学基本方程式。 水头和比势能	16
§ 1-3 测压仪器	17
§ 1-4 液体对平面壁的压力	20
§ 1-5 液体对曲面壁的压力	24
第二章 液体动力学	26
§ 2-1 液体运动的要素	26
§ 2-2 液体运动的基本概念	27
§ 2-3 液体运动的种类	23
§ 2-4 液体运动的連續方程式	29
§ 2-5 理想液体流束的伯諾里方程式	30
§ 2-6 实际液体流束的伯諾里方程式	33
§ 2-7 实际液体流的伯諾里方程式	34
§ 2-8 液体流量和流速的測量	37
第三章 液体运动的阻力	41
§ 3-1 液体的粘滯性和內摩擦定律	41
§ 3-2 液体运动的两种状态 及其判別方法	43
§ 3-3 管內的层流状态与紊流状态	45
§ 3-4 等速流的基本方程式	46
§ 3-5 沿程阻力和阻力系数	48
§ 3-6 局部阻力和阻力系数	52
§ 3-7 总水头損失的計算	54
第四章 管路水力計算	56
§ 4-1 管路的用途和分类	56
§ 4-2 管路計算的基本公式	57
§ 4-3 简单管路	59
§ 4-4 复杂管路	60
§ 4-5 管路的水力特性	62
§ 4-6 管路的經濟直径	64
§ 4-7 管路中水击的概念	65
第五章 液体經過孔口及管咀的出流	66
§ 5-1 孔口的分类及其出流的基本特征	66
§ 5-2 液体通过不淹沒的薄壁 孔口的出流	68
§ 5-3 液体通过薄壁淹沒孔口的出流	69

§ 5-4 管咀的分类及其运用范围	70
§ 5-5 管咀的水力計算	71

第二篇 給水設備

第六章 往复式水泵	74
§ 6-1 往复泵的工作原理、分类和应用	74
§ 6-2 往复泵所产生的揚程	75
§ 6-3 往复泵的揚量及其图示法	77
§ 6-4 往复泵的吸水和排水过程。 空气室	80
§ 6-5 往复泵的功率	84
§ 6-6 往复泵在管路中的工作 及揚量調节	86
§ 6-7 往复泵的主要零件和构造型式	87
§ 6-8 往复泵的運轉和維修	92
第七章 离心式水泵	94
§ 7-1 离心水泵的工作原理、 分类和应用	94
§ 7-2 离心泵的基本方程式	96
§ 7-3 离心泵工作輪的型式	99
§ 7-4 离心泵的汽蝕現象和吸水高度	101
§ 7-5 离心泵的功率	102
§ 7-6 离心泵的特性曲綫	104
§ 7-7 离心泵在管路中的工作	109
§ 7-8 离心泵的調节	112
§ 7-9 离心泵的軸向推力及其平衡	113
§ 7-10 比轉数及其应用	115
§ 7-11 离心泵的主要零件及构造型式	116
§ 7-12 离心泵的选择	121
§ 7-13 离心泵的運轉和維修	121
§ 7-14 冶金工厂水泵站	124
第八章 其它型式的泵	129
§ 8-1 軸流式泵	129
§ 8-2 轉动活板式泵	130
§ 8-3 齒輪泵	130
§ 8-4 膈膜泵	130
§ 8-5 喷射泵	131

第三篇 热工学理論基础

第九章 工程热力学基本知識	132
§ 9-1 概述	132
§ 9-2 工质的状态参数	133

§ 9-3 气体定律.....	133
§ 9-4 功量和热量.....	134
§ 9-5 热力学基本定律.....	137
§ 9-6 焓和熵.....	138
§ 9-7 热机中变热为功过程的分析.....	142

第十章 传热学基本知识..... 152

§ 10-1 传热的一般概念.....	152
§ 10-2 导热.....	153
§ 10-3 对流换热.....	156
§ 10-4 热辐射.....	159
§ 10-5 通过壁的传热.....	161
§ 10-6 换热器的基本概念.....	163

第四篇 送风设备

第十一章 往复式压气机..... 167

§ 11-1 压气机的工作原理、 分类和应用.....	167
§ 11-2 单机压气机的理论过程 和压缩总功.....	169
§ 11-3 单级压气机的实际过程 和生产率.....	173
§ 11-4 两级和多级压缩.....	175
§ 11-5 压气机的功率.....	179
§ 11-6 压气机的冷却和润滑.....	182
§ 11-7 压气机的主要零件和构造型式.....	183
§ 11-8 压气机生产量和压力的调节.....	188
§ 11-9 压气机的辅助设备.....	191
§ 11-10 压气机的运转和维修.....	193
§ 11-11 冶金工厂压气站.....	195
§ 11-12 迴轉式压气机和鼓风机.....	196

第十二章 离心式鼓风机..... 199

§ 12-1 离心式鼓风机的工作 原理和应用.....	199
§ 12-2 离心式鼓风机的压缩过程.....	200
§ 12-3 离心式鼓风机的功率.....	202
§ 12-4 离心式鼓风机的特性曲线 及其在管网中的工作.....	202
§ 12-5 离心式鼓风机的主要零件 和构造型式.....	204
§ 12-6 离心式鼓风机的调节.....	209
§ 12-7 离心式鼓风机的运转和维修.....	212
§ 12-8 冶金工厂鼓风站.....	213

第十三章 离心式通风机..... 216

§ 13-1 离心通风机的工作原理及 所产生的压头.....	216
§ 13-2 离心通风机的总压头.....	217
§ 13-3 离心通风机工作轮的型式.....	219
§ 13-4 通风机的功率.....	219
§ 13-5 离心通风机的特性曲线及 其在管网中的工作.....	219
§ 13-6 离心式通风机风量的调节.....	220
§ 13-7 离心通风机的构造和型式.....	221

第十四章 轴流式通风机..... 223

§ 14-1 轴流式通风机的装置 和工作原理.....	223
§ 14-2 轴流式通风机所产生的压头.....	224
§ 14-3 轴流式通风机的功率.....	225
§ 14-4 轴流式通风机的特性曲线 和在管网中的工作.....	225
§ 14-5 轴流式通风机的应用范围 及与离心通风机的比较.....	226

第十五章 真空泵..... 227

§ 15-1 真空泵的概念及种类.....	227
§ 15-2 往复式真空泵.....	227
§ 15-3 迴轉式真空泵.....	230
§ 15-4 水环式真空泵.....	231

第五篇 热力设备

第十六章 蒸汽及其动力装置的 基本工作循环..... 233

§ 16-1 蒸汽的形成.....	233
§ 16-2 饱和蒸汽与过热蒸汽 状态的确定.....	235
§ 16-3 蒸汽的焓熵图 ($i-s$ 图) 及其应用.....	237
§ 16-4 蒸汽动力装置的基本热力循环.....	238

第十七章 锅炉..... 241

§ 17-1 锅炉的一般介绍.....	241
§ 17-2 汽锅.....	242
§ 17-3 炉子.....	244
§ 17-4 锅炉的主要型式举例.....	245

第十八章 蒸汽机..... 249

§ 18-1 蒸汽的构造和工作过程.....	249
§ 18-2 蒸汽机的功率.....	250
§ 18-3 鍋駝机简介.....	251

第十九章 汽轮机..... 252

§ 19-1 汽轮机的工作原理.....	252
§ 19-2 喷嘴的作用原理及其构造.....	255
§ 19-3 蒸汽在冲击式叶片内的 能量转变.....	256
§ 19-4 速度级汽轮机.....	258
§ 19-5 多级汽轮机.....	259
§ 19-6 汽轮机的调节与油系统.....	259
§ 19-7 汽轮机的凝汽设备.....	262
§ 19-8 汽轮机与蒸汽机的比较.....	263

第二十章 内燃机..... 264

§ 20-1 内燃机一般介绍.....	264
§ 20-2 四冲程和二冲程内燃机的 工作循环.....	264
§ 20-3 内燃机的理想热力循环.....	267
§ 20-4 内燃机的功率.....	271
§ 20-5 内燃机的气阀机构.....	272
§ 20-6 柴油机的喷油设备和燃烧室.....	273
§ 20-7 汽油机的化油器和点火设备.....	275
§ 20-8 燃气轮机简介.....	277

緒 論

本課程的內容與任務 冶金工業企業的生計，同其他企業比較起來，一般地具有如下的顯著特點：冶煉和加熱金屬，需要大量的燃燒和加熱過程，以及由此而帶來所使用的設備及其工作環境的高溫。

針對上述冶金生產中的這一特點，就需要人們在這方面進行研究，並採取相應的措施，以保證生產的正常進行和保障工作人員的身體健康。

在冶煉和加熱金屬過程中，必須供給大量的空氣、燃氣以及排出廢氣。例如：大中型高爐每煉1噸鐵，約需2200~2500米³的空氣；轉爐煉1噸鋼，也大約需空氣450~500米³。因此，每一個冶金工廠，都需要建立有強大的鼓風站，集中或分別地用各種類型的鼓風機械來完成這項工作。

對於各種冶金爐、鍋爐的送風；以及為了保障在高溫下工作人員的身體健康和提高勞動生產率，所必需的廠房通風，都需要使用大量的通風機。

在煉鐵、煉鋼以及軋鋼等一系列的生產過程中，大部分的設備都是處在高溫下工作。為了保證這些設備的正常工計，就必須使其溫度不能過高。辦法之一就是設法冷卻設備。在冶金工廠中，大多數是採用水作為介質來進行冷卻的。例如：高爐每1米³的有效容積，每小時就需要冷卻水1米³；平爐每小時需要的冷卻水量比爐子的容量還要多。其它方面如加熱爐、軋鋼設備，也都需要大量的冷卻用水。一個完整的年產量為1500萬噸的鋼鐵廠，一晝夜要消耗水量達100萬噸之多。因此，每一個冶金工廠都需要擁有大型的水泵站和複雜的給排水系統。在一些車間和設備上，還要根據生產要求，裝置各種類型的水泵，以滿足用水的需要。

在冶金工廠中，有一些機械設備，如推鋼機、翻鋼機等，是採用高壓的水力（或油）和風力（4~8氣壓最多，有的可達100氣壓以上）來傳動的。在這些地方，就需要採用各種類型的高壓水泵、油泵和壓氣機。

上述這些機械在它們工作時，都需要以動力機械來帶動。其中用得最多的是電動機。但汽輪機、蒸汽機（需要有鍋爐生產蒸汽）和內燃機，在冶金工廠中也較為廣泛地被採用着。

冶金工廠生產過程中對水和空氣（或其它氣體）的需要，就如同我們人對水和空氣的需要一樣，是一時一刻也不能間斷的，一時的間斷，將會給生產和安全帶來很大的損失。所以，給水送風機械設備在冶金生產中雖然不是主要的生產設備，但它却是生產中不可缺少的重要設備。

給水送風機械設備在國民經濟的其它部門，也同樣被廣泛地應用着。農業方面需要大量的水泵，進行農田灌溉。在采礦方面，通風、排水和壓氣的使用，也對生產起着重要作用。

綜合以上所述，對每一個在冶金工廠工作的機械人員來說，就要求必須具有關於給水送風設備的構造、工作原理、基本計算以及選擇和運轉維修的知識。

應該指出，為了達到這些目的，及解決其它有關工程問題，必須首先要具備關於水

力学、工程热力学和传热学的理论基础。

发展概述 我国是世界上文化历史最悠久的国家之一。我们勤劳智慧的祖先，远在几千年以前，为了获得社会生存和发展所必需的物质财富，通过生产斗争的实践，有着非常多的令人自豪的创造与发明。在给水送风机械方面也是这样。我国是第一个发明简单水力机械的国家。远在公元前十七世纪时，人们为了取水和农田灌溉，就已发明了戽斗、桔槔、轆轤这些简单的水力机械。水车、水磨、水轮也都在很早就被使用了。在古代冶炼方面，同样也是最早就发明并利用了风箱、风扇来鼓风。

由于几千年来的封建统治，使得劳动人民在生产实践中的这些创造与发明，没有能够进行系统的总结和提高，甚至还有很多已经失传。特别是近百年来，我们一直受着帝国主义和国内封建主义结合起来的反动统治，更加严重地阻碍了我国科学的发展。

给水送风设备最原始出现的是往复式机器，由于当时技术水平低，使其制造和发展受到了限制。直到十九世纪，由于钢铁工业发达和蒸汽机的出现，才有了比较完善的往复式机器。

在十六世纪时，曾发明了数种类型的转子泵，但由于缺乏高转速的原动机，它们没有得到发展。到了十九世纪末，由于生产力的发展，往复式机器的流量太小，不能满足生产上的要求，同时又由于出现了高转速的原动机（电动机、汽轮机），为离心式机器的发展，提供了有利条件。于是出现了较为完善的离心式水泵、通风机、鼓风机和压气机。

在总结劳动人民丰富的生产实践经验的基础上，有些科学家，如欧拉、茹柯夫斯基等人，为发展这些有关的理论而作出了贡献。

在解放前的旧中国，给水通风用的设备大部分依靠外国进口，本国在制造方面发展很慢，甚至没有专门的制造工厂。解放后，由于社会制度发生了根本的改变，生产关系发生了彻底的变革，从而，使得生产力完全解放出来。这就为我国国民经济和科学的发展，提供了根本的有利条件。在中国共产党和毛主席的领导下，我国经过了经济恢复时期和第一个五年计划，特别是从1958年大跃进以来，整个国民经济已经有了飞跃的发展。与此同时，我们也得到了苏联和其它兄弟国家的无私援助。到目前为止，我国已经有很多专门制造这些机器的工厂。无论在产品的种类及数量和质量方面，都在不断地发展和提高。目前某些工厂所生产的设备，已经赶上并超过了国外水平，并且有些已经输出国外。

在理论研究方面，我国已经建立了专门的科学研究机关。在应用这些设备方面，广大人员爱护设备，精心维修并不断革新，已使设备的利用率和使用期限大大提高。

综上所述，我国建国以来，在中国共产党和毛主席的领导下，在总路线、大跃进、人民公社三面红旗的光辉照耀下，与其它各项事业一样，在给水送风设备的研究、制造和维修等方面都取得了很大的成就。可以坚信，在我国社会主义建设事业飞跃发展的今天，用马列主义和毛泽东思想武装起来的我国人民，今后必将在这些方面，做出更大的贡献。

第一篇 水力学理論基础

一、水力学的內容及其任务

水力学是一門实用的科学，它是研究液体平衡和运动的規律，并利用这些規律来解决实际工程中的問題。例如在冶金工厂中所用的泵和液压传动以及管路敷設等計算，都广泛地运用了水力学定律。其他如水力发电站、水利工程、农田灌溉，供水排水、石油工业等方面，水力学也有着极为重要的作用，因此水力学成为从事各种专业工程人員所必须具备的理論基础。

水力学可分为液体靜力学与液体动力学两大部分。研究液体平衡規律的称为液体靜力学。研究液体运动規律的称为液体动力学。除了水力学之外，另一門科学——流体力学，也是从事于液体平衡与运动規律的研究。流体力学具有严密的純理論的数学性质，給予一般的和精确的解答。但水力学則是比較簡單地研究各种各样的問題，进行水力现象主要因素的鑑定，并常常借助于实验的結果。

根据本专业的性质，本篇将着重研究液体动力学、液体运动的阻力以及管路計算等內容。在研究方法上必須是理論联系实际，理論分析和生产实践、科学实验密切相結合。強調理論的探討而忽視实践抑或专重观察与实验而不从事总结提高理論，这都是片面的。因此我們只有学习和运用辯証唯物的观点，刻苦钻研，才能提高我們的科学水平。

二、液体的特征及其主要物理性質

液体的特征：液体和固体的主要区别在于，液体各质点間仅有很小的內聚力和液体的易流动性。液体具有保持其体积几乎不变的性质，它对企图改变其体积的力表現极大的反抗。

由此可見，液体的一般特征是：是质点的易流动性和体形变化极小性。

除液体之外，气体也具有质点易流动性，但是气体不同于液体的是：气体易于压缩，并且有力求占据尽可能大的容积，也就是說它的特点是体积的易变性。

因为质点的易流动性是液体和气体所共有的通性，所以有时把这两类物体統称为流体。在这种情形下，为了彼此有区别起見，把液体（实际上是不可能压缩的）称为**滴态流体**，而把气体称为**气态流体**。在水力学中，只研討滴态流体。至于气态流体或气体，則由热力学和气体动力学来研究。

液体的主要物理性質：

1. **质量和重量** 液体单位体积內所具有的质量称为**密度**，以 ρ 表示。对于均质的液体來說，設体积为 V 的液体具有质量为 M ，則密度 ρ 为

$$\rho = \frac{\text{质量}}{\text{体积}} = \frac{M}{V}, \quad \text{单位：公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^3$$

地球表面上的一切物体都处在地球引力的作用之下，因此具有质量的液体也必具有

重量。液体单位体积内所具有的重量称为**重度**（或称为重率、容重），以 γ 表示。设体积为 V 的均质液体具有重量为 G_1 ，则重度 γ 为

$$\gamma = \frac{G}{V}, \text{单位: 公斤/米}^3$$

由于液体的重量系等于液体的质量与重力加速度 g 的乘积，即

$$G = Mg$$

因此，根据上述两个公式可知，密度与重度间存在有下列的关系

$$\rho = \frac{\gamma}{g}, \text{或 } \gamma = \rho g$$

各种不同液体其密度及重度是不同的。对于同一种液体来说，密度及重度是与压力及温度有关的。不过由于它的变动很小，在实用上往往可以认为是常数。

对于水来说，在一个大气压力下，当温度为 4°C 时水具有最大的密度。此时的重度为

$$\gamma = 1 \text{ 公斤/升} = 1000 \text{ 公斤/米}^3 = 1 \text{ 吨/米}^3$$

在其他温度下，水的 γ 值如第1表所示。

从第一表可知，在温度变化由 $0^\circ \sim 30^\circ$ 时，水的单位体积重量变化，尚不到0.5%，因此在这一温度范围内，解决实际问题时，可认为 γ 是常数，取它等于 1000 公斤/米^3 。以

$$g = 9.81 \text{ 米/秒}^2 \text{ 计算，相应的密度 } \rho = \frac{1000}{9.81} = 102 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2/\text{米}^4。$$

其他液体在一大气压下重度值列于第2表内。

2. 压缩性和膨胀性 液体在外界压力的作用下，其体积是会有微略的变化，这种性质称为液体的**压缩性**。压缩性的大小一般用体积压缩系数 β_v 来表示。所谓体积压缩系数是单位面积上的压力（即压强）增加一个单位时，液体体积的相对减少值。以 ΔP 表示压强的增值， ΔV 表示体积的缩减， V 表示原体积，则

$$\beta_v = -\frac{1}{V} \times \frac{\Delta V}{\Delta P}。$$

式中负号表示在压力增加，体积相对减小。

有时液体的压缩性也用 β_v 的倒数 K 来表示， K 称为**体积弹性系数**：

$$K = \frac{1}{\beta_v}。$$

由此可见体积弹性系数的单位和压强的单位相同。

水在不同温度时的 β_v 和 K 值，如第3表所示

由表中数值可见水的体积压缩系数很小，它对水力学中所讨论的各现象的影响微不足道，所以在解决大多数水力学问题时，都不考虑液体的压缩性，而把它当作是实际上不可压缩的。但注意在某些特殊问题上，例如水电站或水泵站等急速开关水管闸门时，所发生的水击现象，就要考虑液体体积的改变，否则得出的结果便会和实际完全不符。

液体体积随温度的升高而发生的变化量，用**膨胀系数**来表示。该系数表示液体温度每增高 1°C 时，体积的相对变化，可按下式确定：

第1表 水的重量

t °C	0	10	20	30	40	60	80	100
r (公斤/米 ³)	999.9	999.4	998.2	995.4	992.2	983.3	971.9	958.6

$$\beta_t = \frac{1}{V} \times \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

式中V为液体原有体积, ΔV 为温度每升高 Δt 时的体积变化。温度膨胀系数的因次为 $\frac{1}{t^\circ}$ 摄氏。不可压缩的液体, 其温度膨胀系数是极其微小的(例如水, 当温度为 $0^\circ \sim 10^\circ \text{C}$ 之间, 而压力为1公斤/厘米²时, $\beta_t = 0.000014$), 因而在实际的计算中, 仍然不加考虑。

3. 抗拉力和抗剪力 液体中的抗拉力表现为各个质点之间的内聚力的形式, 此内聚力是由于分子的吸引力而产生的。在液体的表面上, 分子吸引力的作用表现为表面张力的形式。

自由液面曲线单位长度上的表面张力值 σ , 决定于液体种类及其温度。水在 20°C 时, $\sigma \approx 0.0074$ 公斤/米, 而温度增加, 则其 σ 减小; 水银的 $\sigma = 0.005$ 公斤/米。

在大多数的情况下, 解决水力学实际问题时, 人们都忽略表面张力。计算它们的这种必要, 仅在很小直径的管中才会发生, 在这种管中, 由于表面张力的缘故, 液体或者上升(设若液体使管壁润湿), 或者下降(设若液体不被管壁润湿); 这种现象, 称

第2表 几种液体的重量

液体名称	重量 r (公斤/米 ³)	温度 (°C)
汽油	650~760	15
煤油	760~800	15
压气机油	891~926	20
马达油	916~921	20
变压器油	876	20
酒精	790	15
水银	13600	15

第3表 水的压缩系数和弹性系数

t (°C)	0	10	20	30
β_v (米 ² /公斤)	50.2×10^{-10}	48.2×10^{-10}	46.5×10^{-10}	45.6×10^{-10}
K (公斤/米 ²)	1.99×10^8	2.07×10^8	2.15×10^8	2.19×10^8

为毛细管现象。

在液体运动时, 其各个质点之间, 以及质点和管路、渠道等等的表面之间, 都产生摩擦力, 此摩擦力决定于液体质点的抗剪力和槽子、管子内壁的粗糙程度。液体的抗剪力, 以液体的粘滞性为其表征, 液体的粘滞性决定于其温度, 并随温度的升高而减小。

关于粘滯性較詳細的內容，以后还要进一步的探討。

三、理想液体的概念

在水力学中有时采用自然界实际上不存在的“理想液体”的概念。它的特征是完全没有抗拉力和抗剪力（即沒有粘滯性），以及体积不随溫度和压力的变更而改变。

水力学中引用理想液体的概念，簡化了某些原理的推导，这些原理是有助于理解实际液体的运动規律。

第一章 液体靜力学

液体靜力学是水力学的一部份，它研究液体平衡的基本定律，并指出这些定律的实际应用。

§ 1—1 水靜压力及其性質

水靜压力的概念 为了闡明水靜压力这一概念起見，我們自处于平衡状态的液体中取出某一体积，并引AB平面将其截为Ⅰ和Ⅱ两部份（图1—1）。液体的Ⅰ部对于Ⅱ部的作用力将經過分界面AB而传递。在分界面上取出面积为F的一小块。設作用在这个面积上的力为P，則称此力为面积F上的**总水靜压力**，比值 $\frac{P}{F}$ 就是单位面积F上的所具有的

平均水靜压力。若将面积F縮小到无穷小量，則比值 $\frac{P}{F}$ 就是C点处的水靜压力值，此水靜压力值，我們用p来表示。数学上可以表为下式：

$$p = \lim_{F \rightarrow 0} \left(\frac{P}{F} \right) \quad (1-1)$$

水靜压力表征着液体任一点处的內压力的大小并具有 $\frac{\text{力}}{\text{面积}}$ 的因次。通常用公斤/厘米²或吨/米²来衡量。

水靜压力的性质 水靜压力具有两种性质：

（1）水靜压力总是垂直于其作用面。

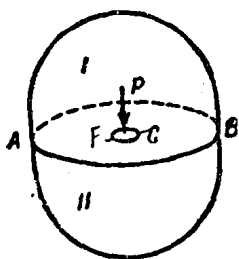


图 1—1

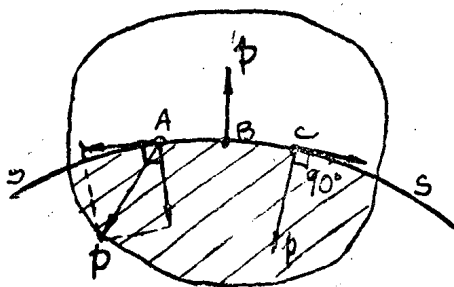


图 1—2

这个性质很容易用反証法来証明。在任意靜止液体中割划一表面S，分出某一体积如图1—2上所繪的影綫部份。假定A点的水靜压力p不指向法綫的方向，我們就可以把它分解为垂直于和切于表面S的两个力。切向力，只有在实际液体流动时才能产生，但

在平衡情况中它不会存在。因此，我們以上所作的关于A点水静压力的方向的假定是不正确的。由于液体內不可能存在拉力，因而水静压力的方向沿外法綫（例如在B点）也是不可能的。由此可見，水静压力 p 只可能是沿內法綫方向（也就是它只能是压力）。这就是我們要証明的。

(2) 液体中任一定点处的水静压力在各个方向均相等。

在处于静止状态的液体中取一点A（图1-3a），并围绕A点，分离出一个尺寸为无穷小的 Δx 、 Δy 、 Δn 和 Δl 的三稜体。在三稜体三側面的单位面积上，水静压力 p_x 、 p_y 和 p_n 都垂直于这些側面而作用着（根据第一种性质），作用于三稜体重心的重力 G 等于 $-\frac{1}{2}r\Delta y\Delta Z\Delta l$ 。

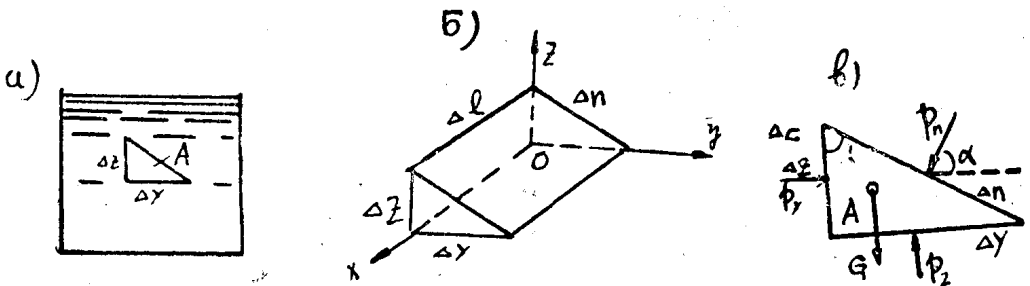


图 1-3

根据力学上的定律，若力系作用于平衡状态，则作用于它的一切力在 y 軸上的，以及 Z 軸上的投影之和必須等于零。

使 $\Sigma P_y = 0$ ，得： $P_y\Delta Z\Delta l - p_n \cos\alpha \Delta n \Delta l = 0$

用 ΔZ 代替 $\Delta n \cos\alpha$ ，并用 $\Delta Z\Delta l$ 除方程式之后，乃得：

$$p_y - p_n = 0 \quad \text{或} \quad p_y = p_n$$

同样使 $\Sigma P_z = 0$ ，可得：

$$p_z \Delta y \Delta l - p_n \sin\alpha \Delta n \Delta l - \frac{1}{2} r \Delta y \Delta Z \Delta l = 0$$

用 Δy 代替 $\Delta n \sin\alpha$ ，并用 $\Delta y \Delta l$ 除方程式之后，乃得：

$$p_z - p_n - \frac{1}{2} r \Delta Z = 0$$

因为 ΔZ 是无穷小量，所以最后一项 $\frac{1}{2} r \Delta Z$ 和前两项相比較，也还是一个无穷小量，

可忽略不計，乃得：

$$p_z - p_n = 0 \quad \text{或} \quad p_z = p_n$$

同理， $\Sigma P_x = 0$

則得 $p_x = p_n$

所以

$$p_x = p_y = p_z = p_n$$

由此可見，在該点处，水静压力在一切方向上均以相等的力作用着。

§ 1—2 水静力学基本方程式。水头和比势能

水静力学基本方程式 为了说明水静压力的大小和质点淹没深度的关系，我们研究液体中的一个高度为 h 的垂直液柱（图1—4），其上顶与自由液面相重合，而底面积等于 F 。研究作用于所分离出来的液柱上的各力。在液柱侧面上，垂直于它而作用着的是大小相等、方向相反的诸水静压力的水平力；在液柱的上底面上，有单位面积上强度为 p_0 的自由液面上的压力作用着；在液柱的下底面上，垂直于它而作用着的是单位面积上强度为 p 的水静压力。除此之外，在我们所分离出来的柱体体积上，还有作用于其重心的重力 $G = \gamma Fh$ 作用着。根据力学上所讲的物体平衡条件，即若物体处于平衡状态，则作用于其上的一切力在任意轴上的投影之和必须等于零。将作用于所分离出来的柱体上的一切力都投影于垂直轴上：

$$p_0 F + \gamma Fh - pF = 0$$

作用于柱体侧面的水平诸力，在 y 轴上的投影为零。用 F 除方程式的各项，乃得：

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-2)$$

此方程式称为水静力学基本方程式。由此可得出结论：静止液体任意一点的水静压力等于自由面上的压力加上液柱的重量，此液柱之底面积等于 1，而其高度等于该点在自由面以下的深度。

绝对压力、剩余压力和计示压力 按公式 (1—2) 求得的水静压力 p ，称为绝对压力（或绝对水静压力）。 γh 值称为某点的剩余压力。绝对水静压力与大气压之差称为计示压力。

自由液面上的 p_0 值，通常都等于大气压力 p_a ，不难看出： γh 值的因次是 $\frac{\text{公斤}}{\text{米}^3}$

$\times \text{米} = \frac{\text{公斤}}{\text{米}^2}$ ，即 $\frac{\text{力}}{\text{面积}}$ ，一般以公斤/厘米² 或吨/米² 来计量的。除此之外，水静压力还可以用工程大气压来计量：1 大气压相当于 1 公斤/厘米² 或 10 吨/米² 的压力。

水头和比势能 选择容器内一点 A，A 点距自由面的深度为 h_A ，而距任意选定的基

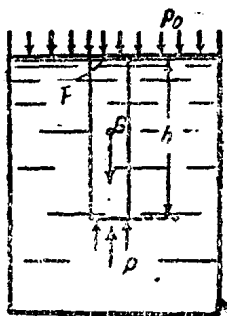


图 1—4

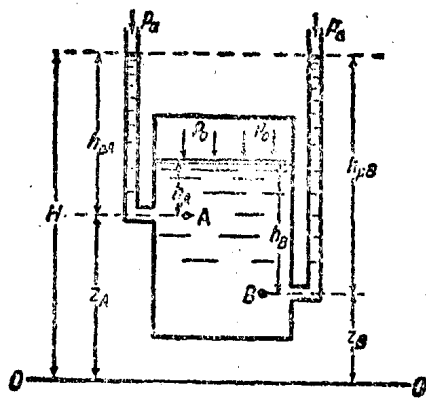


图 1—5

准面 O—O 的高度为 z_A （图 1—5）。

在 A 点同一平面的器壁上，装设一测压管，液体上升高度为 h_{pA} ， h_{pA} 称为测压高