

中等专业学校教材試用本

勘探掘进的 排水与通风

昆明地质学校編

只限学校内部使用



中国工业出版社

本书包括水力学基础、涡轮机的基本理论、勘探掘进的排水设备、勘探掘进时的排水、勘探掘进的通风设备及勘探掘进时的通风等六章。其中着重论述了水泵、通风机的基本理论、构造部件、工作性能、选择方法及排水、通风工作的组织与设计。

本书由邹和主编。可作为中等地质学校坑探专业教材，并可供有关工程技术人员参考。

勘探掘进的排水与通风

昆明地质学校编

*

地质部地质书刊编辑部编辑（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $11\frac{1}{8}$ ·字数265,000

1963年7月北京第一版·1963年7月北京第一次印刷

印数001—570·定价(9-4)1.20元

*

统一书号：K15165·1776（地质-177）

前 言

今年三月地质部召开的编写教科书工作会议，确定我校编写坑探专业适用的勘探掘进的排水与通风教学用书。

这本书的编写是在我校党总支的领导和云南省地质厅的关怀与指导下，根据最新修订的教学大纲和我校原有的讲义，以及几年来的教学实践，并结合当前坑探的生产实际，参考其他有关专业的教科书，吸取国内外最新科学技术成就而进行编写的。

在编写过程中承云南省地质厅工程师欧阳申等同志参加此项工作，我校部分教师参加讨论和校稿，使这本书能够如期完成。

由于编写小组成员较少，水平有限，经验不足，加以时间仓促，错误和不妥之处，在所难免，希望使用这些书的教师和读者，提出指正意见，以便再版时修正。

編 者

1961年5月

目 录

前 言

緒 論 3

第一章 水力学基础 5

- § 1. 流体的基本特征及其重要的物理性质 5
- § 2. 水静力学 8
- § 3. 水动力学 12
- § 4. 水流阻力 24
- § 5. 薄壁孔口和管嘴出流 32

第二章 涡轮机的理论基础 36

- § 1. 涡轮机的概念及其分类 36
- § 2. 涡轮机的工作参数 36
- § 3. 离心式涡轮机 38
- § 4. 轴流式涡轮机 43
- § 5. 涡轮机的外部管道性能曲线和等积孔 46
- § 6. 涡轮机的工作性能 (工作点) 47
- § 7. 涡轮机的类型特性 (无因次特性) 曲线 49
- § 8. 比例定律 51
- § 9. 涡轮机的联合运转 53

第三章 勘探掘进的排水设备 55

- § 1. 掘进工作对排水设备的要求 55
- § 2. 离心式水泵 55
- § 3. 轻便低扬程离心式水泵 74
- § 4. 往复式水泵 79

- § 5. 喷射式水泵 83

- § 6. 气泡泵 84

- § 7. 掘进排水设备的管道及测量仪表 85

- § 8. 排水设备的计算 87

第四章 勘探掘进时的排水 94

- § 1. 坑内涌水 94
- § 2. 勘探竖井的排水 97
- § 3. 勘探斜井的排水 100
- § 4. 井下平巷掘进的排水 102
- § 5. 勘探浅井的简易排水方法 104

第五章 勘探掘进的通风设备 108

- § 1. 勘探掘进对通风设备的要求 108
- § 2. 通风机在管网中的工作 108
- § 3. 离心式通风机 109
- § 4. 轴流式通风机 111
- § 5. 通风机的调节 118
- § 6. 通风机的安装与维护 118

第六章 勘探掘进时的通风 120

- § 1. 坑内大气 120
- § 2. 井巷通风原理 125
- § 3. 掘进巷道的通风 139
- § 4. 简易通风方法 161
- § 5. 小型简易通风机的设计知识 163

附录 1 通风机性能试验指导书 173

附录 2 离心式水泵性能试验指导书 174

前 言

今年三月地质部召开的编写教科书工作会议，确定我校编写坑探专业适用的勘探掘进的排水与通风教学用书。

这本书的编写是在我校党总支的领导和云南省地质厅的关怀与指导下，根据最新修订的教学大纲和我校原有的讲义，以及几年来的教学实践，并结合当前坑探的生产实际，参考其他有关专业的教科书，吸取国内外最新科学技术成就而进行编写的。

在编写过程中承云南省地质厅工程师欧阳申等同志参加此项工作，我校部分教师参加讨论和校稿，使这本书能够如期完成。

由于编写小组成员较少，水平有限，经验不足，加以时间仓促，错误和不妥之处，在所难免，希望使用这些书的教师和读者，提出指正意见，以便再版时修正。

編 者

1961年5月

目 录

前 言

緒 論 3

第一章 水力学基础 5

- § 1. 流体的基本特征及其重要的物理性质 5
- § 2. 水静力学 8
- § 3. 水动力学 12
- § 4. 水流阻力 24
- § 5. 薄壁孔口和管嘴出流 32

第二章 涡轮机的理论基础 36

- § 1. 涡轮机的概念及其分类 36
- § 2. 涡轮机的工作参数 36
- § 3. 离心式涡轮机 38
- § 4. 轴流式涡轮机 43
- § 5. 涡轮机的外部管道性能曲线和等积孔 46
- § 6. 涡轮机的工作性能 (工作点) 47
- § 7. 涡轮机的类型特性 (无因次特性) 曲线 49
- § 8. 比例定律 51
- § 9. 涡轮机的联合运转 53

第三章 勘探掘进的排水设备 55

- § 1. 掘进工作对排水设备的要求 55
- § 2. 离心式水泵 55
- § 3. 轻便低扬程离心式水泵 74
- § 4. 往复式水泵 79

- § 5. 喷射式水泵 83

- § 6. 气泡泵 84

- § 7. 掘进排水设备的管道及测量仪表 85

- § 8. 排水设备的计算 87

第四章 勘探掘进时的排水 94

- § 1. 坑内涌水 94
- § 2. 勘探竖井的排水 97
- § 3. 勘探斜井的排水 100
- § 4. 井下平巷掘进的排水 102
- § 5. 勘探浅井的简易排水方法 104

第五章 勘探掘进的通风设备 108

- § 1. 勘探掘进对通风设备的要求 108
- § 2. 通风机在管网中的工作 108
- § 3. 离心式通风机 109
- § 4. 轴流式通风机 111
- § 5. 通风机的调节 118
- § 6. 通风机的安装与维护 118

第六章 勘探掘进时的通风 120

- § 1. 坑内大气 120
- § 2. 井巷通风原理 125
- § 3. 掘进巷道的通风 139
- § 4. 简易通风方法 161
- § 5. 小型简易通风机的设计知识 163

附录 1 通风机性能试验指导书 173

附录 2 离心式水泵性能试验指导书 174

緒 論

(一)

無論是勘探坑道的掘进或矿床的开采，都需要利用通风設備向井下供給新鮮空气，維持井下工作人員在正常条件下进行工作，以保障安全生产和工作人員的身体健康，并为提高劳动生产率創造良好条件。同时还需要利用排水設備排出坑內的涌水，为掘进工作創造有利的工作环境。

排水工作組織的不正确、不可靠，往往造成掘进工作停頓或巷道被淹沒的危險。通风工作如未能有效解决，爆破后通风的时间过长，或炮烟的排除未能达到預期的限度，不仅使劳动生产率不能提高，并且将使工人的健康受到严重的影响。

通风排水和其他安全設施的重要意义虽然不难理解，但是对于这些設施的实行却与社会制度有密切的关系。在資本主义国家中对矿山企业安全設施首先考虑的是資本家的利潤，而对于保护工人生命安全和身体健康的各种措施的开支却認為是无謂的损失。所以資本家在改善劳动条件上最多是为維持它的生产剝削而采取某些措施，对工人的生命和身体健康却是置之不理的。在反动剝削階級統治下的旧中国，地质、采矿等各项工业都极端落后，采矿工业掌握在帝国主义和买办官僚資本家手里，采用掠夺式的生产方法，既不考虑合理的利用資源，更談不上安全生产和保障工人的健康，工人是处在极其恶劣的环境下工作的。

在工人階級掌握政权的社会主义国家，既重視物质財富的生产，更关心劳动人民的生命安全和身体健康，而把人看成为最宝贵、最有决定意义的因素。我国在解放后，迅速地改变了矿山生产落后面貌和恶劣的劳动条件。我們的党和政府所頒布的有关劳动保护的指示，技术保安的規定和各企业中有关安全技术的措施，都是体现了党和政府对劳动人民的关怀。

(二)

坑內通风和排水方面的知識和其它工程技术知識一样，都是由生产实践中积累和总结起来的。通风和排水工具在我国古代早就有之，在四千多年前就創造了轆轤、桔杆等經繩杠杆机构用来提水。由于冶金技术上的需要，冶炼用的鼓风設備在公元前六百年代初就有創造发明，当时的风箱是由大皮囊制成的，以后改用木扇，后来又更进了一步改为风箱。

吸水工具在各时代各地区都有創造和改进。四川井盐开采在北宋已进入深部（达数十丈），汲卤水用的容器已改装为装有活門的通节竹杆。而轆轤已发展为复杂的立式絞車，称为刮板式液体运输机（龙骨水車），在明代宋应星所著的“天工开物”一书中，指出我国劳动人民已經利用自然压差排放矿井瓦斯的事实。但由于当时处在封建社会制度下，劳动人民創造的物质財富受到剝削階級的残酷掠夺，而劳动人民的劳动却受到它們的鄙視，劳动人民丰富的生产技术更不为它們所注意，因此古代有关生产技术方面的知識长期得不到发展。

在国民党反动統治时代，矿山均采用落后方法开采，通风方式一直是使用木制通风机的人工通风法或者采用自然通风。排水方式一直沿用孔明車或者用水桶传水。为帝国主义所霸占的一些矿山，它們为了尽快地搶劫我国資源，虽然使用了一些通风排水机械設備，但这些都是陈旧而落后的。

解放后，我国在伟大的中国共产党的正确领导下，地质勘探和采矿工业获得了飞跃的发展。不但对旧有的矿山机械装备进行了技术上的改造，而且建立了自己的矿山机械制造厂和探矿机械厂，培养了大批技术人員，并成立了各种科学技术部門和研究机构。勘探掘进所用的机械設備全部是我国自己制造的。

特別值得提出的是我国人民在党的社会主义建設总路綫的光輝照耀下，1958年出現了全面大跃进的局面，在解放思想，破除迷信，人民群众大搞技术革新和技术革命的形势下，很多地质勘探队創造了多种多样的风車、通风机以及各种排水工具，而且有关研究机关和机械制造厂还生产了許多适合地质勘探用的电力自动水泵和小型軸流式通风机。这将进一步促进了我国地质勘探事业的发展。

(三)

本課程主要講授通风排水的設備性能、构造、使用和維護检修，以及勘探坑道掘进时的排水和通风工作的組織和設計。为了学习上的方便，首先講述了一些水力学基础知識。

考虑到掘进用的通风机和水泵都属于工作渦輪机之列，二者的主要理論基础及作用原理均相似。因此將它們合併到渦輪机部分进行討論。讀者應該注意到，由于通风机和水泵工作所消耗的电能都比較大，如何合理的配置这些設備并保証其正常運轉与高度經濟性，在实际工作中是十分重要的。

排水和通风工作的組織和設計，應該很好去理解和掌握其安全可靠、技术合理、經濟有利的設計原則。此外还必须指出，坑內排水和通风工作广泛涉及了坑內安全設施的內容，因此在学习本課程时，應該加强貫徹执行党的安全生产方針的責任感，而在此基础上深入钻研有关排水和通风的理論及生产实践知識。只有这样才能学好这門課程和做好这项工作。

第一章 水力学基础

引言

水力学是一门实用的科学。它研究液体平衡及运动时的规律，因此可分为两部分：研究液体平衡时的规律称为水静力学；研究液体运动时的规律称为水动力学。水力学无论在水利工程建设或机械制造中均获得广泛应用。在本课程内研究涡轮机理论及通风排水设备时亦须用到水力学知识，故首先讲述一些水力学基础，为本课程学习提供条件。

§1. 流体的基本特征及其重要的物理性质

流体是一种质点间粘接力极小，且易于流动的连续性物质，它可分为滴状流体（液体）与气态流体（水蒸汽和空气）两种。

在水力学中，我们仅研究滴状流体，而气态流体则在专门的学科中研究，如热力学、空气动力学等。由于水力学中的许多原理都可推广到气态流体中去，所以在这里概略地介绍它们共同的物理性质及其特征。

（一）流体的重率和密度

I. 重率（ γ ）：是指物质单位体积的重量，可作如下表示：

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

式中 V ——体积，米³；

G ——重量，公斤；

γ ——重率，公斤/米³或吨/米³。

水的重率是随温度而变，当水在4°C时重率最大，自4°C增至100°C时，重率变化不到4.2%，而实际工程上水温一般在0°C—35°C范围内变化，故在此范围内我们假定水的重率不变，均为1000公斤/米³。

II. 密度（ ρ ）：是指物质单位体积内所含的质量，通常表示为：

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

式中 M ——质量， $M = \frac{G}{g}$ （ G 为物体重量， g 为重力加速度）；

V ——体积。

物体密度和重率间的关系，可用下式表示之：

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

在工程单位制中密度的单位为： $\frac{\text{公斤-秒}^2}{\text{米}^3}$ 。

因为滴状流体属于非压缩性流体，所以 ρ, γ 可看成是一个不变值。但在气体中上述参数 ρ, γ 是随外界条件不同而有改变。

(二) 流体的压缩性与膨胀性

液体的压缩性是采用压缩系数 β_P 来表示，它代表液体压力增加一个大气压时，其体积相应减小的百分数。由实验得知水当压力增加的范围在 1~500 个大气压力，温度变化范围由 $0^\circ\text{C}\sim 20^\circ\text{C}$ 时， $\beta_P = \frac{1}{20000}$ 。因其数值甚小，故在工程实用上，认为液体是不可压缩的。

液体的膨胀性，是用膨胀系数 β_T 来表示，它代表液体温度升高 1°C 时，其体积相应增加的百分数。实验证明，当水之温度由 0°C 增至 10°C 时， $\beta_T = 0.000014$ ；当温度由 10°C 增至 20°C 时， $\beta_T = 0.00015$ 。所以从实用的观点来看，温度对液体体积的影响可忽略不计。

液体与气体不同之处，首先在于气体具有显著的可压缩性及膨胀性。但在矿井通风实用上，由于通风机产生的压力不大，空气也可认为是不可压缩的，这一概念在以后研究涡轮机械的流体运动过程时是很重要的。

(三) 流体的粘滞性

粘滞性是流体抵抗拉应力及切应力的一种本领，这种性质与流体分子结构及其内聚力的大小有关。流体的粘滞性只在流体层作相对运动时才呈现出来，当流体处于静止状态时，并不呈现有抵抗阻力。

这种由于流体粘滞性的存在，就对流体质点的移动形成了阻力，这种阻力就称为内摩擦力。这种具有内摩擦力的流体称为粘滞性流体。

因为任何的摩擦均会产生能量损失，所以粘性流体运动时亦不可避免要损失液流中所含能量的一部分。进一步分析粘性流体内摩擦力的特性，这对以后研究流体运动阻力具有重要意义。

牛顿在公元 1867 年研究发现，当流体作层状运动时，相邻两层间所产生的内摩擦力与相对运动的流速及接触面（沿此接触面发生相对运动）面积成正比，并与流体的类别有关。

根据俄国学者 H. II. 彼得洛夫教授的证明，内摩擦力可用下面公式表示：

$$T = S \mu \frac{du}{dh} \quad (1-4)$$

式中 T ——内摩擦力；
 du ——流体相邻接触层间流速的差值；
 dh ——相邻两层间距离（图 1—1）；
 S ——接触层面积；
 μ ——表征流体粘性的粘性系数；
 $\frac{du}{dh}$ ——流速梯度。

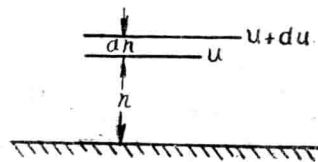


图 1—1

由于粘性流体中的内摩擦而发生切应力，此切应力可用内摩擦力 T 除以摩擦面积 S 来求得：

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

当流体的滑动速度 $du=0$ 时，则切应力 $\tau=0$ ，所以静止流体中不呈现有内摩擦力，

因而也不呈现切应力。粘性系数 $\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dh}}$ 表征滴状流体的粘性,称为动力粘性系数,其单位

在物理单位制中为 $\frac{\text{达因} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2}$ 或简称为“泊”;在工程单位制中为 $\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2}$ 。

在水力学中也常用到所谓运动粘性系数 ν , 此系数是动力粘性系数和密度之比值:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-6)$$

运动粘性系数的单位在物理单位制中为 $\frac{\text{厘米}^2}{\text{秒}}$; 在工程单位制中为 $\frac{\text{米}^2}{\text{秒}}$ 。

流体的粘滞性随温度变化而有改变, 水的运动粘性系数与温度的关系式表示为:

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \quad (1-7)$$

式中 t 为水之温度 $^{\circ}\text{C}$ 。

在实际应用上, 任何一种液体的粘滞性的数值可以用专门的仪器——粘度计来测定, 在工程上应用得最广的是恩格列粘度计。

恩格列粘度计 (图1-2) 是一个底部为球状的黄铜圆筒形的贮液器 1, 安置于水槽 2 内。贮液器内部装有一定的试验液。在贮液器中注入温度为 20°C 的蒸馏水, 升起小棍 3 以后, 打开小孔使水流经铜管 4 而入容器 5。同时开动计时器记下从贮液器 1 流出 200 立方厘米的水的时间 t_1 , 此后又在贮液器 1 中注入 200 立方厘米的试验液, 并在指定温度下测定这液体流出的时间 t_2 , 在此温度下, 200 立方厘米的试验液流出的时间与等体积 20°C 的蒸馏水流出的时间的比值叫做恩格列度数, 以符号 $^{\circ}\text{E}$ 表示即为:

$$^{\circ}\text{E} = \frac{t_2}{t_1} \quad (1-8)$$

恩格列度数与运动粘滞系数间的关系, 可由经验公式求出:

$$\nu = 0.0731^{\circ}\text{E} - \frac{0.0631}{^{\circ}\text{E}}, \text{厘米}^2/\text{秒} \quad (1-9)$$

在概略的介绍了流体的几个主要物理性质以后, 还要就“理想液体”这一概念加以阐释;

在水力学中, 为了使某些问题的分析简化, 常常以理想液体去代替实际液体。

所谓理想液体它是一种绝对不可压缩, 且完全失去粘性的液体, 显然它与实际液体是不相同的。虽然利用理想液体研究液体现象时, 可能使所得结果与实际情况有一定的误差, 但可通过实验及实际观测予以修正。由于液体在静止时不存在粘性, 所以在解决水静力学问题时, 利用理想液体的概念将会得出比较精确的结果。

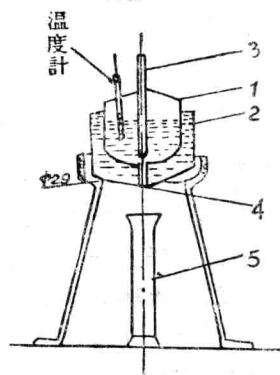


图 1-2 恩格列粘度计
1—贮液器; 2—水槽; 3—小棍;
4—铜管; 5—容器

§2. 水 静 力 学

(一) 水静压力及其特征

静止液体受到两类外力的作用，即质量力和表面力。质量力是与液体质量成正比的力，例如重力及惯性力。表面力是作用在被研究液体体积表面上的，例如作用液体自由表面上的大气压力。由于外力作用的结果在液体内部产生了压力，这种压力称为水静压力。

设取液体的某一个体积如图1—3所示。将这液体的体积用某一平面分成Ⅰ及Ⅱ两部分。如果我们假想取去其上面部分Ⅰ，为了使下部Ⅱ保持平衡，必须在它的分界面（设面积为 ω ）上加一个作用相当的力 P 则面积 ω 上所受的平均水静压力为：

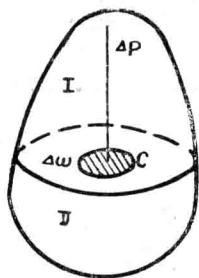


图 1—3

$$p = \frac{P}{\omega} \quad (1-10)$$

设包含任一点 C 在内的微小面积为 $\Delta\omega$ ，作用在此微小面积上的微小力为 ΔP ，当 $\Delta\omega \rightarrow 0$ 时， $\frac{\Delta P}{\Delta\omega}$ 的极限值称为 C 点的水静压力即

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega} = \frac{dP}{d\omega} \quad (1-11)$$

从上面方程式可以看出，水静压力单位是一种应力单位，通常采用公斤/米²，公斤/厘米²或吨/米²来表示。

水静压力具有两个特性：第一个特性是水静压力永远垂直于液体的受压面；第二个特性是液体内部任意一点上的水静压力不论来自何方其值均等。

(二) 水静力学基本方程式

水静力学基本方程式是用来计算液体内部水静压力的大小的。现在我们以当液体处于重力作用下推求这一方程式。

在静止液体中取一脱离柱体(图1—4)，柱体的横断面积为 $d\omega$ ，柱体的长度为 h ，柱体本身的重力为 G 。作用于柱体四壁之水平力 P_1 、 P_2 、 P_3 及 P_4 由于方向相反，大小相等，彼此相互平衡。作用于柱体上下断面的压力 P_0 及 P 以及液柱本身的重力 G 按力学原理，当平衡时，各力在某一轴上投影之和必须等于零，故得

$$P_0 + G - P = 0$$

或

$$d\omega P_0 + r d\omega h - d\omega p = 0$$

化简得

$$p = P_0 + rh \quad (1-12)$$

方程式(1—12)称为水静力学基本方程式，它说明：重力液体内部任意一点的压力系由自由液面上的压力 P_0 与该点的深度 h 和液体重量 r 的乘积两部分组成。同时也不难看出，在重力液体内部同一水平面的压力必然是相等的。

若 P_0 等于大气压力 $p_{\text{大}}$ 时，则

$$P = p_{\text{大}} + rh \quad (1-13)$$

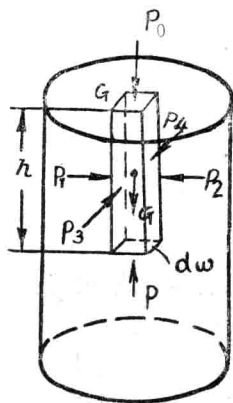


图 1—4

(三) 巴斯加定律

从水静力学基本方程式(1-12)得知: p_0 系静止液面上的压力, 若 p_0 值有任何增加或减少, 则液面下任一点的压力 p , 亦因 p_0 之增减而增减。于是巴斯加定律可叙述如下:

在平衡液体里由于部分边界面上的外力作用而产生的压力, 将均匀地传播到液体中的所有各点上。

此一原理广泛用于水压机、油压千斤顶等机械方面。图1-5为一水压机原理简图, 通过左边活塞的作用, 向液体施加总压力 P_1 , 因而使液体与活塞的接触面上产生一个数值为 $p = \frac{P_1}{\omega_1}$ 的压力, 这一压力 p 将无所增减地传到液体内部各点。由于右边水箱中的活塞面积为 ω_2 , 故在活塞上所构成的总压力为:

$$P_2 = p \omega_2$$

$$\text{或 } P_2 = P_1 \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (1-14)$$

若 ω_2 远较 ω_1 为大, 则 P_2 也必然远较 P_1 为大。

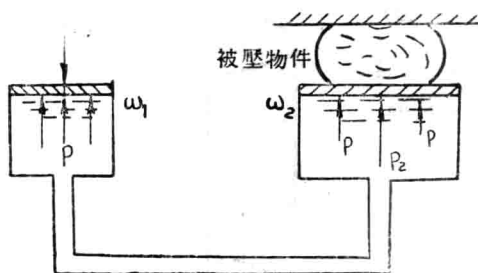


图 1-5

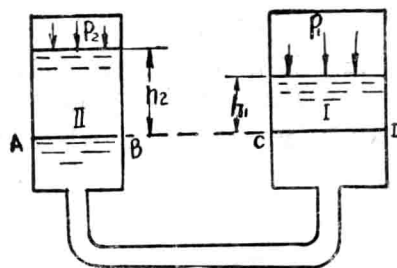


图 1-6

(四) 连通器内液体的平衡

将两种不同的液体 I 和 II 盛于连通器内 (图1-6) 内, 其重率各为 γ_1 及 γ_2 , 二容器自由液面上的压力分别等于 p_1 和 p_2 , 设 A B 为两种液体的分界面, 则位于同一水平面上的 AB 与 CD 二面上各点的压力应该是相等的。根据方程式 (1-12), 得

$$p_1 + \gamma_1 h_1 = p_2 + \gamma_2 h_2 \quad (1-15)$$

当 $p_1 = p_2$ 时, 则

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \quad (1-16)$$

即液柱的高度与液体的重率成反比。

当自由液面的压力 p_1 与 p_2 不相等, 而连通器内只盛一种液体, 或虽盛两种液体, 但二者的重率 γ_1 与 γ_2 相同 ($= \gamma$), 则

$$p_1 - p_2 = \gamma (h_2 - h_1) \quad (1-17)$$

若 $p_1 = p_2$, 同时 $\gamma_1 = \gamma_2$, 则

$$h_1 = h_2 \quad (1-18)$$

上述关于连通器内重力液体平衡的理论, 被广泛应用于测量静水压力及通风管网内压力的各种装置中。

(五) 液体的相对静止

研究液体的相对静止，就是研究液体在相对运动容器中的静止。此时液体的质点彼此间无相对运动。

如图1-7所示，将上端开口，内盛液体的容器以等角速度 ω 绕轴心线旋转。在圆筒与液体之间以及液体内部各层之间都没有相对运动，因而液体处于相对平衡状态之下。此时作用于液体任一质点上的有重力 $F_z = -g$ 及离心力 $F_r = \omega^2 r$ 的单位质量力。液体的表面将在每一点上垂直于各该力的合力 R ，并形成一旋转的抛物面。

关于抛物面的证明及液体内部压力分布情况叙述如下：

如图1-8， ω 为液体旋转的角速度， r 为所考虑的液体质点离 Oz 轴的垂直距离，离心力 F_r 在 oz 轴上的分力为零，在 ox 及 oy 轴上的分力分别为 $F_x = \omega^2 x$ 及 $F_y = \omega^2 y$ 。

令 $F_x dx + F_y dy + F_z dz = 0$ 。

将前面所得的 F_x ， F_y 及 F_z 的数值代入上式，得

$$\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz = 0$$

$$\text{积分后得 } \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2) - gz = C$$

$$\text{或 } \frac{1}{2} \omega^2 r^2 - gz = C \quad (1-19)$$

由上式可以看出，各等压面呈抛物面形式，若给积分常数 C 以不同的数值，即可得出不同位置的抛物面形式的等压面。

液体内部压力的分布情况，根据数学证明为：

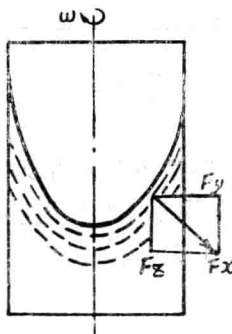


图 1-7 根据力学平衡原理

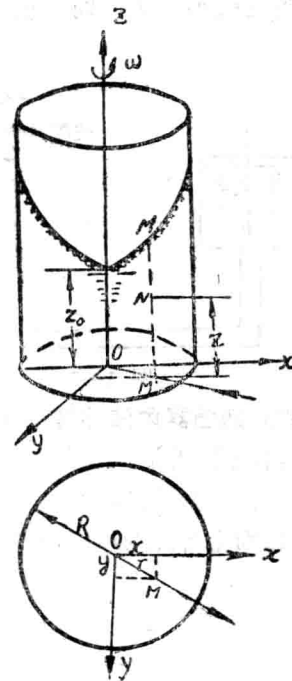


图 1-8

$$p = p_0 + \gamma(z_0 - z) + \frac{\gamma \omega^2 r^2}{2g} \quad (1-20)$$

式中 z_0 ——容器轴处的水面高出容器底的距离；

z ——任意质点距容器底的距离。

相对静止液体内部任意点 N 的压力值即可由上式求出。

离心水泵和分离机的工作就是建立在上述离心原理基础之上的。

(六) 绝对水静压力、相对水静压力、真空、水头

前面所讲的水静压力 p ，在水力学中常被称为绝对水静压力 $p_{\text{绝}}$ ，或简称绝对压力，它是从绝对真空算起的；在绝对静水压力中减去大气压力 $p_{\text{大}}$ 以后所剩下的部份，在水力

学中常被称为相对水静压力 $p_{\text{計}}$ 或简称相对压力（或测压管压力，或計示压力），它是从大气压力算起的。绝对压力与相对压力之间的关系为：

$$p_{\text{計}} = p_{\text{絕}} - p_{\text{大}} \quad (1-21)$$

在重力液体中，如自由液面所受的压力系大气压力，则根据方程式（1-13）可得

$$p_{\text{計}} = \gamma h \quad (1-22)$$

当绝对水静压力小于大气压力时，则用真空 $p_{\text{真}}$ 或称真空压力来表示大气压力与绝对水静压力之差，即

$$p_{\text{真}} = p_{\text{大}} - p_{\text{絕}} \quad (1-23)$$

虽然大气压力的数值系随所在地的高度及气候条件而改变，但在通风排水工程的计算中，通常令大气压力等于 10000 公斤/米²（即 1 公斤/厘米²），并将这一数值的压力称为 1 个工程大气压，它等于高 10 米的水柱所造成的压力。

现将绝对压力、相对压力及真空的关系用图表示于图 1-9 中。

表达压力的大小，除采用单位面积上受力多少的方式之外，也可分别采用与之相当的液柱高 $\frac{p_{\text{絕}}}{\gamma}$ 、 $\frac{p_{\text{計}}}{\gamma}$ 来表示（ γ 为液体的重率）。

$\frac{p_{\text{絕}}}{\gamma}$ 被称为绝对水静压力高度；或简称静压高度； $\frac{p_{\text{計}}}{\gamma}$ 被称为計示水静压力高度，或简称計示高度（或测压管高度）。液体內某一点高出于基准面的几何高度与该点的绝对水静压力高度之和被称为该点的绝对静水头 $H_{\text{絕}}$ 即

$$H_{\text{絕}} = z + \frac{p_{\text{絕}}}{\gamma} \quad (1-24)$$

液体內某一点高出于基准面的几何高度与该点的計示水静压力高度之和被称为该点的相对静水头（或测压管水头），即

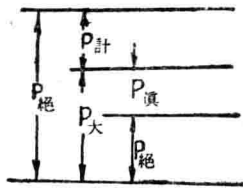


图 1-9

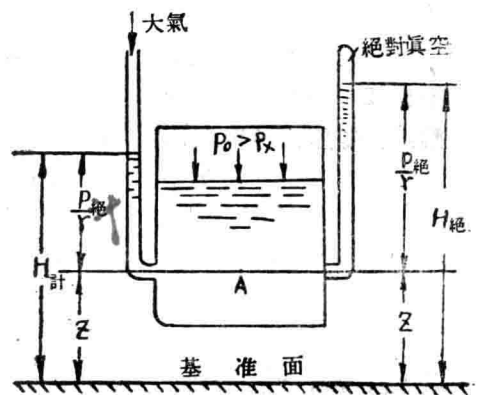


图 1-10

$$H_{\text{計}} = z + \frac{p_{\text{計}}}{\gamma} \quad (1-25)$$

图 1-10 系表示密闭的重力液体中 A 点的绝对水静压力高度，計示水静压力高度，几何高度以及绝对静水头和相对静水头。

图 1-11 表示密闭液体另一种情况。在 AB 水平面以下的任意点 M' 所受的压力较大气压力为大，与之相当的計示压力高度为 $\frac{p_{\text{計}}}{\gamma}$ 。在 AB 水平面以上的任意点 M' 所受的压力较大气

气压力为小，与之相当的真空度为 $\frac{p}{\gamma}$ 。图中所示的小水管为测压管，测压管内的液面为与大气接触的自由液面。

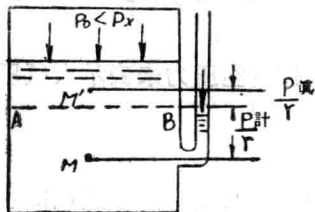


图 1-11

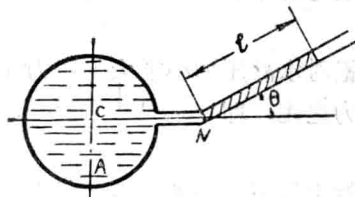


图 1-12

例1-1 如图 1-12，A 为水管的横断面，管中充满着水，处于静止状态，试求出管中心 C 点的相对水静压力。为使读数更加精确起见，将侧压管管口与大气相通。问 C 点的相对水静压力为若干？

解：如令 p_N 为 N 点的相对水静压力，则 N 点的相对水静压力高度为

$$\frac{p_N}{\gamma} = l \sin \theta$$

因此，N 点的相对水静压力为

$$p_N = \gamma l \sin \theta .$$

管中心 C 点与 N 点在同一等压面上，故 C 点的相对水静压力为

$$p_C = p_N = \gamma l \sin \theta .$$

例1-2 在图 1-13 所示的装置中，求 $h = ?$

解：在等压线 AB 上各点的压力应相等，因此：

$$p_{\text{大}} + \gamma h = p_0 + \gamma \times 500$$

$$\text{因 } p_{\text{大}} = 1 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$\text{故 } p_0 = p_{\text{大}} - 0.2 = 0.8 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$\text{又 } \gamma = \frac{1}{1000} \text{ 公斤/厘米}^3$$

以 $p_{\text{大}}$ ， p_0 ， γ 的数值代入上式，可得

$$h = (0.8 + 500 \times \frac{1}{1000} - 1) \times 1000 = 300 \text{ 厘米}$$

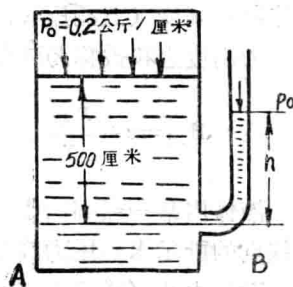


图 1-13

§ 3. 水 动 力 学

(一) 水动力学的基本概念和定义

我們前面所討論的是靜止的液体，但工程上所遇到的大多数是运动的液体，如管流、河渠水流、堰流等。在坑道排水工程方面所遇到的主要是管流問題，所謂“管流”是一根水管內部完全充滿水流，它沒有与大气接触的自由面。管流必須在压力之下进行，这种压力称之为动水压力，这种流动则称之为有压导管中的流动。

下面我們將要討論管流情況下液體各點的运动要素及與之有關的一些術語。

I. 液體的运动要素

液體的运动要素是用來表示液體运动的特性的，可以分為：

1. 动水压力 p ：即推动液體在导管中流动的压力，它是空間坐标和時間的函数，換言之它是隨空間位置和時間的变化而变化的，以公式表示为 $p = f_1(x \cdot y \cdot z \cdot t)$ ；
2. 液流速度 $u = f_2(x \cdot y \cdot z \cdot t)$ ；
3. 液流的加速度 $a = f_3(x \cdot y \cdot z \cdot t)$ ；
4. 流體的“密度” ρ 和“重率” γ ：对不可壓縮的液體來說， ρ 与 γ 都是常数。

II. 稳定流与不稳定流

1. 稳定流：液體內某指定点的流速及压力均不随時間的变化而变化，这种运动称为稳定运动。換言之，在不同時間內，液體质点是在同一速度和压力下流过空間某一指定点（图 1—14）。可見稳定流的流速及压力仅决定于液體质点在空間的坐标，而与時間无关，亦即是坐标的函数。

$$u = f_2(x \cdot y \cdot z), \quad p = f_1(x \cdot y \cdot z)。$$

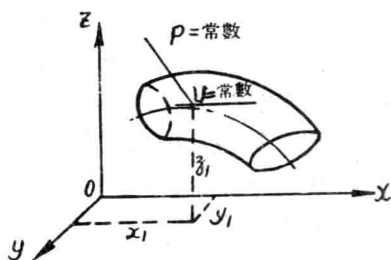


图 1—14

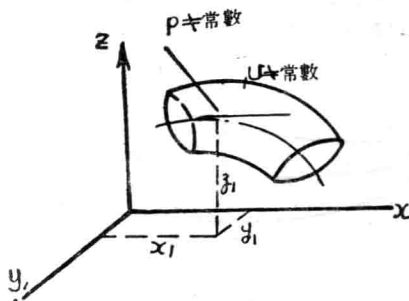


图 1—15

2. 不稳定流：在不同時間內，液體质点是在不同的流速和压力下流过空間某一指定点（图 1—15），亦即是液體內某指定点的流速及压力不但是空間坐标的函数，而且为時間的函数。

$$u = f_2(x \cdot y \cdot z \cdot t), \quad p = f_1(x \cdot y \cdot z \cdot t)$$

III. 流线、跡线、流管、流束、过水断面、流量、微小流束等定义的解释

1. 流线：所謂流线，它是一根空間的几何曲綫，在某一特定的时刻处，在該曲綫上的一切点的速度向量均与該曲綫相切，它表示一系列质点在同一瞬間处于不同位置时的动向，而且在稳定流中流线是一根稳定不变的曲綫（图 1—16）。

2. 跡线：流綫与跡綫不同，它是空間某一液體质点在某一時間間隔內移动的軌跡，它代表某一质点在不同时刻处于不同位置时的动向，只有稳定流中流綫和跡綫才是互相重合的。

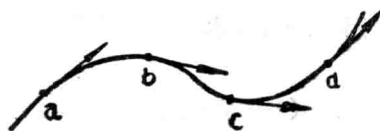


图 1—16

3. 流管：由无数流綫所組成的管状封閉曲面称为流管。由于流管表面上的速度向量永远是和表面相切的，所以流管具有这样的特性：在任何时候，流綫不能穿过流管的表面流