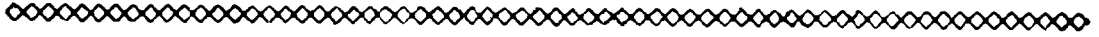


中等专业学校教材



发电厂动力设备

合 肥 电 力 学 校 易大贤
长 春 水 利 电 力 高 等 专 科 学 校 史振声 合编

水利电力出版社

(京) 新登字115号

内 容 提 要

本书主要讲述水力学基本原理、热工学理论基础知识、锅炉设备、汽轮机设备、发电厂的热力系统及主要技术经济指标、水电站动力部分及核电站的基本知识等，紧密联系我国电力工业发展的实际和发电厂的生产过程。内容简明扼要，由浅入深，文字通俗易懂。

本书为电力中专学校发电厂及电力系统专业、电力系统继电保护专业、电厂燃料系统机械化与自动化专业和环境监测专业的统编教材，亦可供发电厂工人、干部及工程技术人员参考。

中等专业学校教材
发电厂动力设备
合肥电力学校 易大贤 合编
长春水利电力高等专科学校 史振声

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市地矿局印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 14.25印张 321千字 1插页

1995年5月第一版 1995年5月北京第一次印刷

印数0001—7570册

ISBN7-120-02302-0/TK·317

定价9.10元

前 言

本书是根据中国电力企业联合会教育培训部《1989~1993年电力中专学校教材建设规划》编写的,作为发电厂及电力系统专业、继电保护及自动装置专业、电厂燃料系统机械化与自动化专业及环境监测专业学生学习发电厂生产过程的基本原理和设备的必修教材。

本书包括水力学基本原理、热工学理论基础、锅炉设备、汽轮机设备、水力发电站及核电站的基本知识等内容。在取材和内容上以发电厂能量转换过程为中心,着重介绍国产设备及其系统,还简单介绍了国内的某些新技术和新设备。该教材基本贯彻少而精的原则,在内容上力求深入浅出,通俗易懂。

全书共分九章,合肥电力学校易大贤编写绪论、第二、三、四、五、六、七、九章;长春水利电力高等专科学校史振声编写第一、八章。全书由易大贤统稿,由南宁电力学校陈克(现名陈家骥)主审。在整个编写过程中,主审为本书提出了很多宝贵的意见和建议,编者谨以万分感激的心情向他表示由衷的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,请读者批评指正。

编 者

1994年元月

目 录

前 言

绪 论..... 1

第一篇 理论基础知识

第一章 水力学基本原理.....	5
第一节 液体的主要物理力学性质.....	5
第二节 水静力学基本原理.....	6
第三节 水动力学基本原理.....	14
第四节 水头损失和有压流.....	22
思考题及习题.....	27
第二章 工质状态参数及热力学基本定律.....	30
第一节 工质及其状态参数.....	30
第二节 热力学第一定律.....	33
第三节 热力学第二定律.....	37
思考题及习题.....	39
第三章 水蒸气流动及动力循环.....	41
第一节 水蒸气的形成过程.....	41
第二节 水蒸气表及 $h-s$ 图.....	43
第三节 水蒸气的流动.....	44
第四节 水蒸气的动力循环.....	48
思考题及习题.....	56
第四章 传热基本知识.....	58
第一节 热量传递的三种基本方式.....	58
第二节 传热与换热器.....	65
第三节 发电厂电气设备中的传热现象.....	67
思考题及习题.....	69

第二篇 电厂动力设备

第五章 锅炉设备.....	71
第一节 概述.....	71
第二节 锅炉的燃烧系统及其设备.....	73
第三节 锅炉的汽水系统及其设备.....	88
第四节 锅炉热平衡.....	96
第五节 输煤系统、除尘及除灰系统.....	100
思考题及习题.....	104

第六章 汽轮机设备	107
第一节 概述	107
第二节 汽轮机的基本原理及主要结构	108
第三节 汽轮机的调节	119
第四节 汽轮机的主要辅助设备	130
思考题及习题	135
第七章 发电厂的热力系统及主要技术经济指标	137
第一节 发电厂的热力系统	137
第二节 火力发电厂的主要技术经济指标	146
思考题及习题	149
第八章 水力发电站	151
第一节 水力发电的基本原理	151
第二节 水电站的型式	153
第三节 水电站的水工建筑物	157
第四节 水轮机	164
第五节 水轮机的调速系统	189
第六节 水轮发电机组的辅助系统	194
思考题及习题	197
第九章 核电站的基本知识	199
第一节 概述	199
第二节 压水堆核电站的基本原理	201
思考题及习题	204
附录	205
附表1 压力单位换算	205
附表2 常用能量单位的互换常数	205
附表3 饱和水与饱和蒸汽性质表 (按温度排列)	205
附表4 饱和水与饱和蒸汽性质表 (按压力排列)	206
附表5 未饱和水与过热蒸汽性质表	209
附图 水蒸气焓-熵图 (插页)	
参考文献	221

绪 论

现在用来发电的能源种类是很多的，如太阳能、海洋能、风能、水能、燃料的化学能、原子（核）能，等等。其中有的能源易受地域和季节的限制，有的能源尚处于小规模实验阶段，有的能源用来发电，因为设备庞大复杂，价格昂贵，达到商业化尚需时日。目前，煤、水、原子（核）能仍然是最大的可用能源。

我国是世界上三大能源大国之一，1993年能源生产和消费总量分别为11.41亿吨原煤和10.61亿吨标准煤，全国发电装机容量已达1.829亿kW，发电量为8364亿kW·h。秦山核电站和大亚湾核电站先后并网发电，标志着我国核电事业的胜利起步。我国要实现本世纪末国民生产总值翻两番，能源供应是一个重要的制约因素，其发电量至少翻两番，即由1980年的3000亿kW·h增至12000亿kW·h，任务是相当艰巨的。要实行因地制宜、水火电并举和适当发展核电的方针。电力能源结构向着大型、高效和混合型的方向发展。

一、火力发电厂的基本生产过程

图0-1为火力发电厂基本生产过程示意图。它的主要系统包括燃料系统、燃烧系统、汽水系统和电气系统。从能量转换的观点来看，在锅炉中燃料的化学能转变为蒸汽的热能；在汽轮机中蒸汽的热能转变为机械能；在发电机中机械能转变为电能。

燃料、燃烧系统包括输煤系统、煤粉制备系统、烟风系统和除尘、除灰系统等。由火车或轮船运到发电厂储煤场的煤，经过碎煤设备破碎后，再用皮带输送机送入锅炉房内的原煤仓。煤从原煤仓落入给煤机，由给煤机送入磨煤机，并将煤磨制成煤粉，同时送入热空气来干燥和输送煤粉。磨制好的煤粉，经粗粉分离器将不合格的粗煤粉分离除去后再进入旋风分离器，在其中将空气和煤粉进行分离，旋风分离器中的空气由排粉机抽出。分离出来的细煤粉进入煤粉仓，再由给粉机送入输粉管，并在其中与空气混合，由燃烧器喷入炉膛内进行燃烧。由送风机送来的空气，先在空气预热器中进行预热，提高空气温度后再进入炉膛以改善燃烧过程。

炉膛内的燃烧产物——高温烟气，在引风机的抽风作用下，依次流过炉膛、过热器、省煤器和空气预热器，将热量逐步传递给水、蒸汽和空气。降温后的烟气再流入除尘器进行净化，分离出来的灰粒通过灰沟排走，净化除尘后的烟气被引风机抽出，经烟囱排入大气。

燃料燃烧时从炉膛内落下的灰渣，从尾部烟道落入空气预热器下面灰斗中的飞灰，还有从除尘器分离下来的飞灰，可以用水冲入灰渣沟中流到灰渣泵房，再用灰渣泵将其送到贮灰场。

火力发电厂的汽水系统是由锅炉、汽轮机、凝汽器、水泵、加热器及其管道组成。锅炉给水先在省煤器中接受烟气的预热，然后引入在锅炉顶部的汽包，经容水空间沿下降管流到下联箱，再进入布置在炉膛四周的水冷壁管，水在其中吸热并部分汽化，形成汽水混

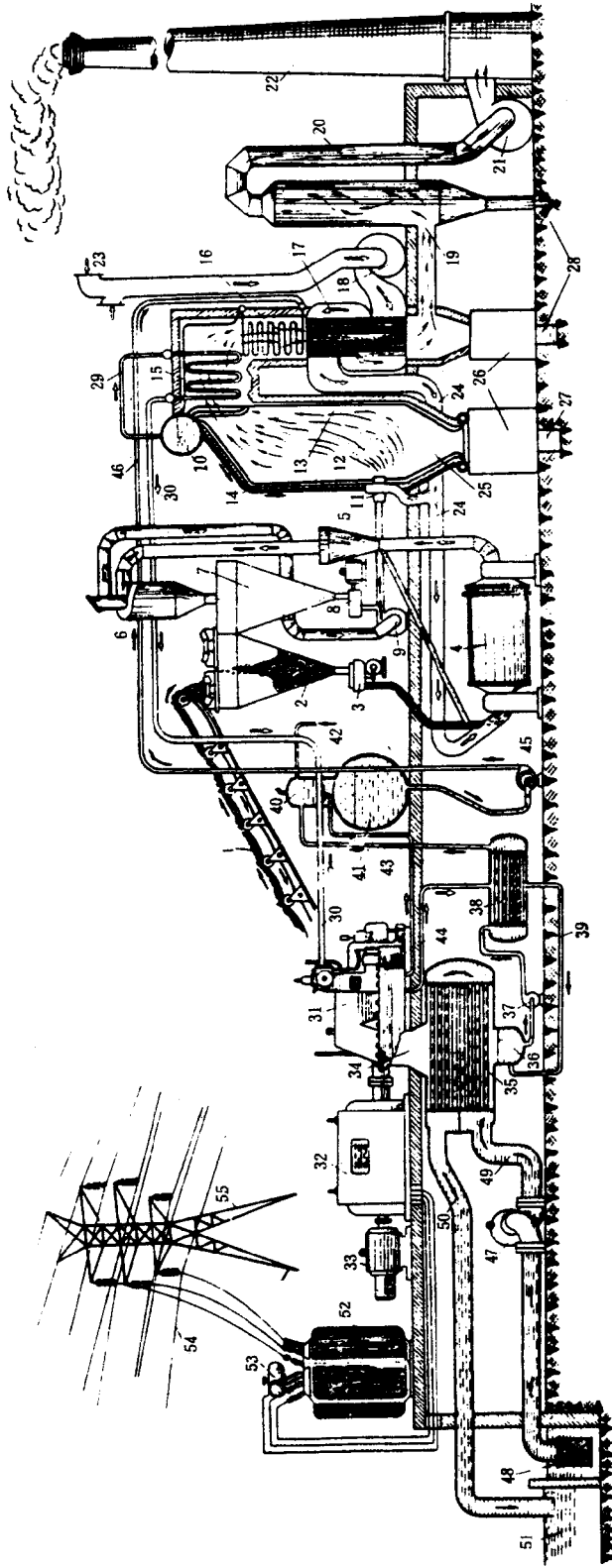


图 0-1 火力发电厂基本生产过程示意图

- 1—运煤皮带；2—原煤仓；3—圆盘给煤机；4—钢球磨煤机；5—粗粉分离器；6—旋风分离器；7—煤粉仓；8—给粉机；9—排粉机；10—除尘器；11—汽包；12—炉膛；13—水冷壁；14—下降管；15—过热器；16—省煤器；17—空气预热器；18—送风机；19—除灰器；20—烟道；21—引风机；22—烟道；23—送风机的吸风口；24—热风道；25—冷灰斗；26—除灰设备；27—冲渣沟；28—冲灰沟；29—饱和蒸汽管；30—主蒸汽管；31—汽轮机；32—发电机；33—励磁机；34—乏汽口；35—凝汽器；36—热井；37—凝结水泵；38—低压加热器；39—低压加热器疏水管；40—除氧器；41—给水箱；42—化学补充水入口；43—汽轮机第一级抽汽；44—汽轮机第二级抽汽；45—给水泵；46—给水管；47—循环水泵；48—吸水滤网；49—冷却水进水管；50—冷却水出水管；51—江河或冷却设备；52—主变压器；53—油枕；54—高压输电线；55—铁塔

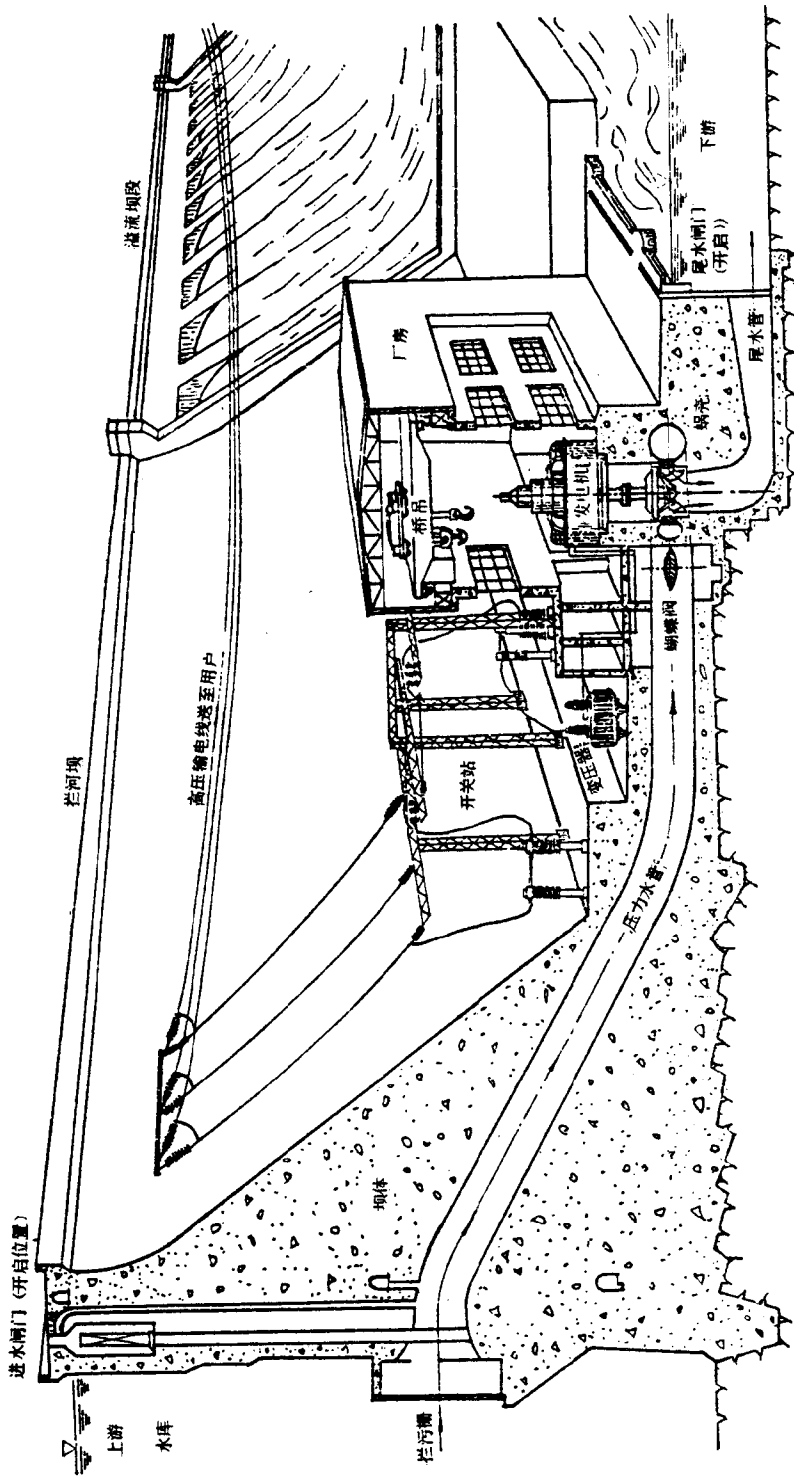


图 0 2 水力发电站基本生产过程示意图

合物上升到汽包内。水不断在下降管、水冷壁管及汽包内循环，不断汽化。将聚集在汽包上部的饱和蒸汽引入过热器继续加热变为过热蒸汽，通过主蒸汽管道进入汽轮机，推动汽轮机“转子”转动，将热能转变为机械能。

作功后的乏汽排入凝汽器，并冷却凝结成水。汇集在凝汽器热井中的主凝结水，用凝结水泵打入低压加热器进行加热，再进入除氧器将溶解于水中的氧气除去。用给水泵将主凝结水和化学补充水打入高压加热器以提高给水温度，再送到锅炉省煤器，如此又重复上述过程。

为使乏汽在凝汽器内冷凝成水，必须用循环水泵把冷却水送入凝汽器来实现。从凝汽器中出来的升高了温度的冷却水回到河流下游或送入其他冷却设备中进行冷却。

发电机由汽轮机直接拖动，将机械能转变为电能，很小一部分作为厂房照明和各种辅助机械的厂用电源，绝大部分电能经主变压器升高电压后送入电网。

二、水力发电站的基本生产过程

图0-2为水力发电站的基本生产过程示意图。水力发电是利用江河水流在高低处之间存在的位能差进行发电的。一般是在河流中拦河筑坝形成水库，从水库引入，利用水流的动能和压力能冲动水轮机旋转，将水能转变为机械能。水轮机带动发电机旋转，将机械能转变为电能。电能由主变压器升高电压后，经高压配电装置和输电线路向外供电。

三、本课程的主要内容

《发电厂动力设备》是发电厂及电力系统专业、继电保护及自动装置专业、电厂燃料系统机械化与自动化专业和环境监测专业的一门综合性的专业课。凡从事电力工程方面工作的技术人员，都必须对火力发电厂的热力部分和水电站的水动部分的基本知识、主要设备构造及基本原理等有所了解，有所掌握。从某种意义上说，热力部分和水动部分的设备比电气部分更多、更复杂，也更容易发生故障和事故，因此学习本课程甚为重要。

本课程的基本内容包括水力学基本原理、热工学理论基础知识、锅炉设备、汽轮机设备、发电厂的热力系统、水电站的水工建筑物及水轮机等。为了紧密结合专业特点，在第四章第三节专门介绍了发电厂电气设备中的传热现象。为了使读者了解国内新设备，将国产600MW机组的主辅设备及热力系统分散在本书有关章节中进行介绍。为了反映科学新技术，还简单介绍了核电站的基本知识。

由于本课程的内容与发电厂生产实际密切相关，所以学习本课程不仅要重视基本理论和基本知识，而且还要注重理论联系实际，从实践中学习。

第一篇 理论知识

第一章 水力学基本原理

第一节 液体的主要物理力学性质

水力学是一门研究以水为代表的液体平衡和机械运动的规律以及如何应用这些规律解决实际工程问题的学科。

液体的静止与运动状态的改变，取决于液体的内因和外部条件。外部条件主要是作用在液体上的外力，但起决定作用的是液体的内因，首先是液体的物理力学性质。所以在研究液体的运动规律之前，需要了解液体的主要物理力学性质。

一、惯性、质量和密度

惯性就是物体保持原有运动状态的特性。液体与其他物体一样具有惯性。液体的惯性，只有在运动状态改变时才显示出来。惯性的大小与液体的质量成正比。质量越大的液体，改变其运动状态所需的外力越大，说明液体的惯性力越大。惯性力是指改变物体运动状态时所遇到的反作用力，它与作用力的大小相等，但方向相反，即

$$F = -ma \quad (1-1)$$

式中 F ——惯性力，N；

m ——质量，kg；

a ——加速度， m/s^2 。

力的单位与质量和加速度的单位之间的关系是，力的单位为N，即以1N的力作用于质量为1kg的物质时，将获得 $1m/s^2$ 的加速度，则

$$1N = 1kg \cdot m/s^2$$

液体的密度是指单位体积的液体所具有的质量，即

$$\rho = m/V \quad (1-2)$$

式中 ρ ——液体的密度， kg/m^3 ；

V ——液体的体积， m^3 。

液体的密度随温度和压强而变化，但变化的幅度很小。在水力学中，一般把水的密度视为常数。在标准大气压下，温度为 $4^\circ C$ 时水的密度为 $\rho_{水} = 1000kg/m^3$ 。水银的密度为 $\rho_{汞} = 13600kg/m^3$ 。

在实际工程中有时采用工程单位，液体主要物理参数单位换算见表1-1。

二、万有引力特性、重量和重力密度

万有引力特性是指任何物体之间具有吸引力的性质，这个吸引力称为万有引力。地球对物体的引力称为重力，它的大小与液体的质量成正比，即

表 1-1

液体参数单位换算表

参数名称	国际单位	工程单位	国际单位	工程单位
力	1 N	0.102 kg·f	9.8 N	1 kgf
质量	1 kg	0.102 kgf·s ² /m	9.8 kg	1 kgf·s ² /m
密度	1 kg/m ³	0.102 kgf·s ² /m ⁴	9.8 kg/m ³	1 kgf·s ² /m ⁴
重力密度	1 N/m ³	0.102 kgf/m ³	9.8 N/m ³	1 kgf/m ³

$$G = mg \quad (1-3)$$

式中 G ——液体的重力, N;

g ——重力加速度, 其值与纬度和海拔高度有关, 在水力学中一般取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

单位体积液体所具有的重力称为重力密度(容重) γ , 即

$$\gamma = G/V = \rho g \quad \text{N/m}^3 \quad (1-4)$$

水力学中, 一般取水的重力密度 $\gamma_{\text{水}} = 9800 \text{ N/m}^3$, 水银的重力密度 $\gamma_{\text{汞}} = 133320 \text{ N/m}^3$ 。

三、液体的流动性和粘滞性

在物质的三种形态中, 液体和气体统称为流体。流体和固体的主要区别是分子间的作用力不同, 流体分子间作用力很弱, 当受到切向力作用时就发生流动, 这就是通常所说的流体的易流动性。

当液体流动时, 液体质点之间存在着相对运动, 则质点之间便产生一种内摩擦力来抵抗相对运动, 这种抵抗相对运动的特性称为液体的粘滞性, 这种内摩擦力称为粘滞力。

当液体运动时便显示出粘滞性, 它所产生的粘滞力对运动的液体产生阻力, 所以, 液体要维持运动就必须克服粘滞性阻力, 从而使液体产生能量消耗, 这种能量消耗称为能量损失。因此, 粘滞性是液体产生能量损失的根源。

有时为使研究问题简化, 可以忽略粘滞性的影响, 一般称此液体为理想液体。

四、液体的压缩性

液体当受到压力或温度变化时所产生的体积变化的性质, 称为弹性。当温度不变时, 使作用在液体上的压力增加, 从而使液体体积减小的特性, 称为压缩性。当压力不变时, 液体的温度变化导致液体体积增加的特性, 称为膨胀性。

一般情况下, 水受压力和温度变化的影响使水的体积变化很小, 一般认为水是不可压缩的。只有在压强变化非常迅速的情况下, 如研究压力管道中的水击问题时, 必须考虑水的压缩性。在温度变化较大的热水循环系统中需考虑水的膨胀性。特别值得注意的是, 当水结冰时不能忽略其膨胀性。液体的压缩性一般用压缩系数 β 表示。液体的弹性系数为压缩系数的倒数, 用 κ 表示。

第二节 水静力学基本原理

水静力学的研究对象是处于静止状态下水的力学规律及其在工程实践中的应用。

一、静水压强基本方程

水处于静止状态时，对与水接触的壁面以及水的内部的质点之间都有压力作用，这种静止状态时的压力，称为静水压力，单位为N。作用在单位面积上的静水压力，称为静水压强 p_0 ，单位为 N/m^2 ，也可写为Pa。

静水压强有两个特性：一是静水压强的大小与作用面的方位无关；二是静水压强的方向永远垂直并指向作用面。

1. 静水压强基本方程的推导

表示静水压强的大小及分布规律的方程，称静水压强基本方程。为导出该方程，需研究静止液体的平衡条件，为此在静水中任取一以 dA 为底、高为 h 的垂直水柱作为隔离体，如图1-1所示。通过分析它的受力情况，列出平衡方程式。

作用在水柱上的力有：

- (1) 重力 水柱的自重 $G = mg = \rho gh dA$ ，其方向垂直向下；
- (2) 自由表面压力 $P_0 = p_{amb} dA$ ，方向垂直向下，其中 p_{amb} 为自由表面压强；
- (3) 底面总压力 $P = p dA$ ，方向垂直向上，其中 p 为作用在底面上的压强；
- (4) 水柱四周表面上的静水压力 四周侧面上的水压力为水平力，由于水柱四周是对称的且水柱平衡不动，所以水平力相互平衡、抵消。

水柱体垂直线上的平衡方程为：

$$p_{amb} dA + \rho gh dA - p dA = 0 \quad (1-5)$$

将上式化简后得：

$$p = p_{amb} + \rho gh \quad (1-6)$$

此式即为静水压强基本方程式。式中 p 为静水压强； p_{amb} 为表面压强，是一个定值； ρgh 为单位面积上的液柱重量。所以，静水压强产生的根本原因是液体所受到的重力作用，是上层水的重量压在下层水上面而形成的，故静水压强与水深成正比，此式给出了静水压强的分布规律。

当式(1-6)中水深 h 用位置高度 z 表示时，即

$h = z_0 - z$ ，则式(1-6)可变为如下形式

$$z + \frac{p}{\rho g} = z_0 + \frac{p_{amb}}{\rho g} \quad (1-7)$$

此式为静水压强分布规律的另一种表达式。它表明，在静止的液体中位置高度 z 越大，静水压强越小； z 越小，静水压强越大。当 z 值相等时，静水压强相等，此面必为等压面。

2. 静水压强基本方程的意义

为分析静水压强的几何意义和物理意义，取一装有静止液体的容器，如图1-2所示：

(1) 几何意义 由图1-2可见， A 、 B 两点位置高分别为 z_A 和 z_B ，水深为 h_A 和 h_B ，液体表面压强为 p_{amb} ，由静水压强基本方程可得 A 、 B 两点压强为

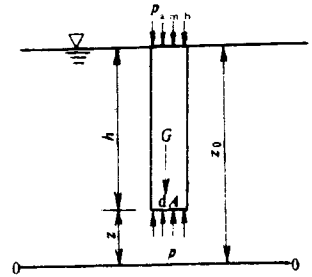


图 1-1 静水压强分析图

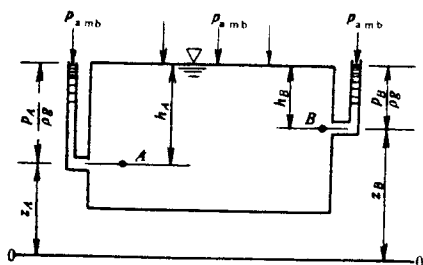


图 1-2 装有静止液体的容器

$$p_A = p_{amb} + \rho g h_A$$

$$p_B = p_{amb} + \rho g h_B$$

当在 A 、 B 两点处安装测压管后，在静水压强作用下，管中液柱升高，升高的高度称为压强水头 $p/\rho g$ 。位置高度称为位置水头 z 。两者之和称为测压管水头 H_p ，即

$$H_p = z + \frac{p}{\rho g} \quad (1-8)$$

当用水头表示 A 、 B 两点压强差时，可得

$$\begin{aligned} \frac{p_A}{\rho g} - \frac{p_B}{\rho g} &= \frac{p_{amb} + \rho g h_A}{\rho g} - \frac{p_{amb} + \rho g h_B}{\rho g} = h_A - h_B \\ &= z_B - z_A \end{aligned}$$

将上式通过变化则得

$$H_p = z_A + \frac{p_A}{\rho g} = z_B + \frac{p_B}{\rho g} = \text{常数} \quad (1-9)$$

由式 (1-9) 可见，静水压强基本方程的几何意义是，在静止状态的水中，各点的位置水头与压强水头之和，即测压管水头为一常数。

(2) 能量意义 当在 A 、 B 处各取一微小质量 m 时，它们所具有的总势能为位置势能与压力势能之和，即

$$mg \left(z_A + \frac{p_A}{\rho g} \right) = mg \left(z_B + \frac{p_B}{\rho g} \right)$$

则单位重量液体所具有的势能为

$$e = z_A + \frac{p_A}{\rho g} = z_B + \frac{p_B}{\rho g} = \text{常数} \quad (1-10)$$

由式 (1-10) 可见，静水压强基本方程的能量意义是，静止液体中各点的单位势能为一常数。

二、静水压强的单位、表示方法及测算

(一) 静水压强的单位

静水压强的单位一般有三种表示方法：

(1) 用压力单位表示 以单位面积上受力的大小表示压强。法定单位制中以 Pa (或 N/m^2)、kPa (或 kN/m^2) 表示。工程单位制以 kgf/cm^2 表示。

(2) 用工程大气压 (at) 表示 在工程中为计算简便，规定：

$$1 \text{ at} = 98.0 \text{ kPa} = 1 \text{ kgf/cm}^2$$

(3) 用液柱高度表示 一定的液柱高度产生一定数值的静水压强。在工程中一般用水柱和水银柱高度表示。

上述三种单位中，工程单位、液柱高度单位现已不用。考虑旧有设备和阅读科技图书的方便，表 1-2 列出了压强单位之间的换算关系。

表 1-2

压强单位换算

法定单位	工程单位		液柱高度	
	kgf/cm ²	工程大气压 (at)	mH ₂ O	mmHg
kPa				
1	0.0102	0.0102	0.102	7.5
98	1	1	10	736
9.8	0.1	0.1	1	73.6
0.133	0.00136	0.00136	0.0136	1

(二) 压强的表示方法

对于同一个压强, 采用不同的起算标准, 会有不同的压强数值。在工程中, 一般用绝对压强、相对压强及真空压强表示。

(1) 绝对压强 以没有空气存在的绝对真空作为起算点的压强, 称为绝对压强, 用 p' 表示。若自由表面压强 p_0 为大气压强 p_{amb} , 则任一点的绝对压强可表示为

$$p' = p_{amb} + \rho g h \quad (1-11)$$

(2) 相对压强 以大气压强作为起算点的压强, 称为相对压强, 用 p 表示。若不加特殊说明, 静水压强即指相对压强, 可表示为

$$p = \rho g h \quad (1-12)$$

相对压强与绝对压强的关系为

$$p = p' - p_{amb} \quad (1-13)$$

(3) 真空压强 水力学中规定, 凡绝对压强小于大气压强时即为真空, 真空值的大小用真空压强 p_v 表示。它可写为大气压强与绝对压强之差, 即

$$p_v = p_{amb} - p' \quad (1-14)$$

对于同一处的真空压强可用该点的负压值来表示, 两者的大小相等、符号相反, 即

$$p_v = -p \quad (1-15)$$

绝对压强、相对压强和真空压强三者之间的关系如图 1-3 所示。图中 0-0 表示绝对压强基准, 0'-0' 表示相对压强基准。1、2、3 三点的绝对压强均为正值。相对压强有三种情况, 1 点为正值, 2 点为零, 3 点为真空或负压。3 点的真空压强也为正值。

(三) 静水压强的测算

任一点压强值可根据连通器原理, 选定等压面后根据静水压强基本方程进行计算。所谓等压面就是在连通的液体中, 静水压强相等各点的连线所构成的液面。同一液体、同一高程的平面必为等压面。不同种液体的分界面及其以下的水平面也定为等压面, 但在分界面以上的水平面则不是等压面。等压面是计算静水压强非常重要的基础面, 必须学会正确选择等压面。

静水压强的测量方法很多, 现简介如下。

1. 测压管

测压管是一种最简单的液体测压计, 如图 1-4 所示。

【例 1-1】 如图 1-4 所示, 已知 A 点测压管高度 $h_p = 0.5\text{m}$, 试求 A 点的绝对压强和

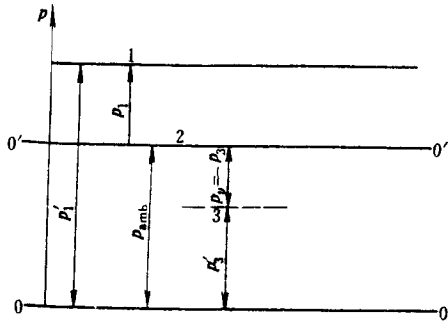


图 1-3 静水压强表示方法

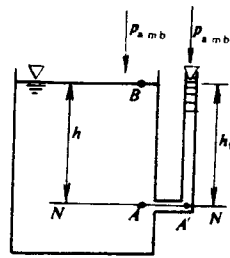


图 1-4 测压管

相对压强各为多少? $\rho g = 9.8 \text{ kN/m}^3$

解 连接 A 、 A' 两点, 取等压面 $N-N$, 则绝对压强

$$p_A' = p_{\text{amb}} + \rho g h_p = 98.0 + 9.8 \times 0.5 = 102.9 \quad (\text{kN/m}^2)$$

相对压强

$$p_A = \rho g h_p = 9.8 \times 0.5 = 4.9 \quad (\text{kN/m}^2)$$

2. U形水银压力计

U形水银压力计是一种测量较大压强的测压计, 在U形管内装有水银, 如图1-5所示。

根据水银压力计可求出表面压强 p_0 和容器出口压强 p , 首先取等压面 $N-N$, 分别求出 1、2 两点压强为

$$p_1 = \gamma_{\text{汞}} h_p = \rho_{\text{汞}} g h_p$$

$$p_2 = p_0 + \gamma_{\text{水}} (h + a) = p_0 + \rho_{\text{水}} g (h + a)$$

由于 $p_1 = p_2$, 则容器表面压强 p_0 为

$$p_0 = \gamma_{\text{汞}} h_p - \gamma_{\text{水}} (h + a) = \rho_{\text{汞}} g h_p - \rho_{\text{水}} g (h + a) \quad (1-16)$$

容器出口压强 p 为

$$p = \gamma_{\text{汞}} h_p - \gamma_{\text{水}} a = \rho_{\text{汞}} g h_p - \rho_{\text{水}} g a \quad (1-17)$$

3. 压差计

压差计在测量两个容器或两点的压差时使用, 如图1-6所示。

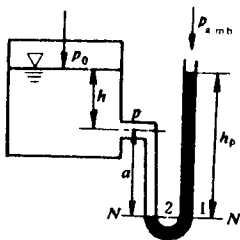


图 1-5 U形测压计

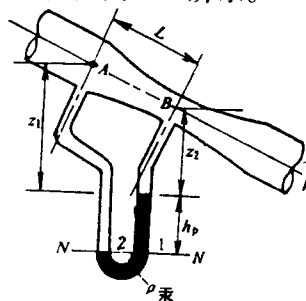


图 1-6 压差计

为求 A 、 B 两点压差, 可取 $N-N$ 为等压面, 先求出 1、2 两点静水压强为

$$p_1 = p_B + \rho_{\text{水}} g z_2 + \rho_{\text{汞}} g h_p$$

$$p_2 = p_A + \rho_{\text{水}} g z_1 + \rho_{\text{水}} g h_p$$

由于 $p_1 = p_2$, 则 A 、 B 两点压差为

$$p_A - p_B = (\rho_{\text{汞}} - \rho_{\text{水}}) g h_p + (z_2 - z_1) \rho_{\text{水}} g \quad (1-18)$$

4. 真空测压计

真空测压计是测量真空压强的仪器, 如图1-7所示。水泵安装高度为 h , 在水泵吸水管 k 点安装真空测压计即可测出吸水管的真空压强 p_v 。

取 $N-N$ 为等压面, 列出 1、2 两点压强为 $p_1 = p_{\text{amb}}$ 和 $p_2 = p_k' - \rho g h_k$, 由于 $p_1 = p_2$, 所以 k 点的真空压强 p_v 为

$$p_v = p_{\text{amb}} - p_k' = \rho g h_k \quad (1-19)$$

三、静水总压力

静水总压力有作用在平面壁和作用在曲面壁上两种情况, 本书只介绍作用在平面壁上的静水总压力。确定作用在平面壁上静水总压力的方法, 有图解法和解析法两种。图解法是根据平面壁上压强分布图来确定总压力的数值, 解析法则是利用计算公式来确定总压力。

(一) 静水压强分布图

静水压强分布图简称为压强图。压强图的绘制是根据 $p = \rho g h$ 确定静水内任一点压强的大小, 按静水压强的特性确定其方向。由于静水压强是一个向量, 总是垂直指向受压面的, 因此可用箭头表示: 箭头的方向表示 p 的作用方向, 用箭杆的长度表示 p 的大小, 如图1-8所示。

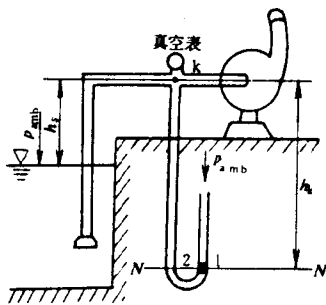


图 1-7 真空压力计

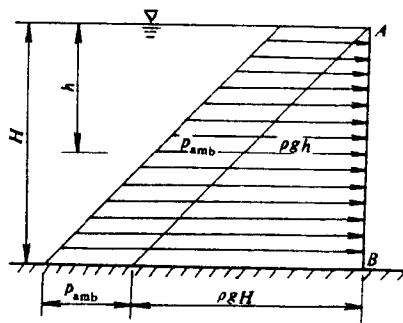


图 1-8 静水压强分布图

绘制受压面为平面的压强图时, 可选受压面最上和最下两点, 用静水压强公式 $p = \rho g h$ 计算出点压强的大小, 再按一定的比例尺绘出箭杆长度, 箭头指向受压面, 表示压强方向, 然后连接箭杆的尾部即得压强图。

(二) 图解法

平面闸门上的静水压强, 如图1-9所示。用图解法确定静水压强的步骤是:

1. 求总压力的大小

首先绘压强分布图, 如图1-9(a)所示。由于压强分布沿闸门宽度不变, 因此一般画成如图1-9(b)的压强分布图, 其分布规律如 $\triangle ABC$ 所示。闸门面积为 A , 作用在闸门单宽上的压力即为 S , 其大小为

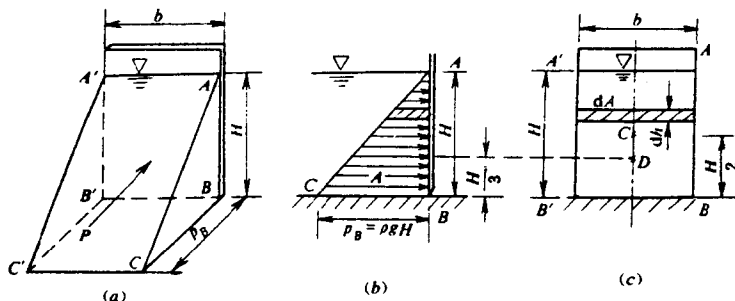


图 1-9 平面闸门静水压强图解法

$$S = \frac{1}{2} \rho g H^2 = \frac{AH}{2} \quad (1-20)$$

则作用在闸门上的总压力 P 为单宽压力与闸门宽度 b 的乘积, 即

$$P = S b \quad (1-21)$$

由上式可见, 作用在矩形平面壁上的静水总压力的大小 P , 实际上就是压强分布图的体积 $S b$, 一般称其为压力体。

2. 求总压力的方向

静水总压力 P 的方向垂直指向受压面。

3. 求总压力的作用点

总压力作用点是指总压力在受压面上的位置, 在水力学中称为压力中心, 用 D 表示。

压力中心位于对称轴上。对于直角三角形的压强分布图, 压力中心 D 点距底边距离为 $\frac{1}{3}H$ 。

(三) 解析法

现在以一倾斜放置的圆形平板闸门为例来研究用解析法求作用在平板上的静水总压力的方法。

闸门平面面积为 A , 形心为 C , 形心在水面下的深度为 h_c 。闸门受压面与水平面倾斜角为 α 。取坐标平面 xoy 与受压面重合, 为把该平面展放在纸面上使 xoy 平面绕 oy 轴转 90° , 如图 1-10 所示。

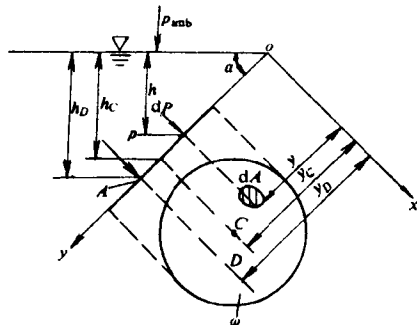


图 1-10 静水压强的解析法

1. 静水总压力的大小

为求出作用在闸门上的静水总压力的大小, 先求出作用在闸门微小面积 dA 上的静水总压力 dP , 然后再用积分的方法求出作用在闸门全部面积 A 上的静水总压力 P 值。

微小面积 dA 上的静水总压力 dP 为

$$dP = \rho g h dA = \rho g y \sin \alpha dA$$

作用在总面积 A 上的静水总压力 P 为

$$P = \int dP = \int_A \rho g y \sin \alpha dA = \rho g \sin \alpha \int_A y dA$$