

注册土木工程师(水利水电工程)

资格考试指定辅导教材

水利水电工程 专业基础知识

全国勘察设计注册工程师水利水电工程专业管理委员会 编
中国水利水电勘测设计协会



黄河水利出版社

注册土木工程师(水利水电工程)资格考试指定辅导教材

水利水电工程专业基础知识

全国勘察设计注册工程师水利水电工程专业管理委员会 编
中国水利水电勘测设计协会

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程专业基础知识/全国勘察设计注册工程师
水利水电工程专业管理委员会、中国水利水电勘测设计协
会编. —郑州:黄河水利出版社, 2007. 4

注册土木工程师(水利水电工程)资格考试指定辅导教材
ISBN 978-7-80734-083-6

I. 水… II. ①全… ②中… III. ①水利工程-工程技
术人员-资格考核-教学参考资料②水力发电工程-工程
技术人员-资格考核-教学参考资料 IV. TV-42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 060506 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

E-hhslcbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:45

字数:1 040 千字

印数:1—4 000

版次:2007 年 4 月第 1 版

印次:2007 年 4 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-80734-083-6/TV·462

定价:105.00 元

《水利水电工程专业基础知识》编写人员安排

主 编：姜 峰

参 编 人 员(按姓氏笔画排序)：

王立久 王清湘 年廷凯 伊晓东

刘亚坤 关增伟 杨 庆 宋玉谱

金 生 袁静煊 崔 莉 郭 莹

前 言

为加强对水利水电工程勘察、设计人员的管理,保证工程质量,国家对从事水利水电工程勘察、设计活动的专业技术人员实行职业准入制度,注册土木工程师(水利水电工程)执业制度于2005年9月起正式实施。今后,在水利水电工程勘察、设计活动中形成的勘察、设计文件,必须由注册土木工程师(水利水电工程)签字并加盖执业印章后方可生效。专业技术人员经考试合格并注册后方可注册土木工程师(水利水电工程)名义执业。根据执业岗位需要,注册土木工程师(水利水电工程)执业岗位划分为水利水电工程规划、水工结构、水利水电工程地质、水利水电工程移民、水利水电工程水土保持5个执业类别。

注册土木工程师(水利水电工程)资格考试分为基础考试和专业考试,基础考试合格后方可报名参加专业考试。基础考试分为两个半天,分别进行公共基础、专业基础考试;专业考试分为两天,分别进行专业知识、专业案例考试。基础考试、专业知识考试不分执业类别,专业案例考试分执业类别进行。

为更好地帮助考生复习,全国勘察设计注册工程师水利水电工程专业管理委员会和中国水利水电勘测设计协会成立了由行业资深专家、教授组成的考试复习教材编审委员会,组织编写了参加资格考试的专用复习教材,全套复习教材共分《水利水电工程专业基础知识》、《水利水电工程专业知识》及《水利水电工程专业案例(水工结构与工程地质篇)》、《水利水电工程专业案例(工程规划、水土保持与工程移民篇)》四册,分别供考生参加专业基础、专业知识、专业案例考试参考。本套复习教材及《勘察设计注册土木工程师(水利水电工程)资格考试大纲》由黄河水利出版社出版发行。《注册土木工程师(水利水电工程)专业考试技术标准汇编》由中国水利水电出版社出版发行。

本复习教材以《勘察设计注册土木工程师(水利水电工程)资格考试大纲》为依据,以注册工程师应掌握的专业知识、勘察设计技术标准为重点,紧密联系工程实践,不仅能帮助考生系统掌握专业知识和正确运用设计规范、标准处理工程实际问题,而且可作为水利水电专业技术人员从事勘察、设计、咨询、建设项目管理、专业技术管理的辅导读本和高等院校师生教学、学习的参考用书。

参加本教材编写的专家以其强烈的责任感、深厚的理论功底、丰富的工程实践经验以及对技术标准的准确理解,对复习教材字斟句酌,精心编撰,付出了辛勤劳动。我们对各位作者表示深切的谢意,对编者所在单位给予的关心和支持表示衷心的感谢,对黄河水利出版社展现的专业精神表示敬意。

全国勘察设计注册工程师水利水电工程专业管理委员会

中国水利水电勘测设计协会

2007年3月

目 录

第 1 章 水力学	(1)
1.1 水静力学	(1)
1.2 液体运动的一元流分析法.....	(14)
1.3 液体的流动型态(层流、紊流)及水头损失	(29)
1.4 恒定有压管道均匀流动.....	(51)
1.5 恒定明渠均匀流动.....	(74)
1.6 明渠恒定非均匀流动.....	(88)
1.7 堰流及闸孔出流的水力计算	(123)
1.8 泄水建筑物下游的水力衔接与消能	(141)
1.9 隧洞的水力计算	(155)
1.10 渗 流.....	(165)
1.11 高速水流.....	(178)
1.12 水工模型试验基础.....	(186)
第 2 章 岩土力学	(202)
2.1 土的组成和物理性质指标	(202)
2.2 土中应力	(213)
2.3 地基变形	(218)
2.4 土的抗剪强度	(226)
2.5 特殊性土	(233)
2.6 土压力	(238)
2.7 土坡稳定	(244)
2.8 地基承载力	(249)
2.9 岩石力学基础	(255)
第 3 章 结构力学	(264)
3.1 平面体系的几何组成分析	(264)
3.2 静定结构的受力分析与特性	(269)
3.3 静定结构的位移	(288)
3.4 超静定结构受力分析及特性	(302)
3.5 影响线及其应用	(330)
3.6 结构动力特性与动力反应	(343)
第 4 章 钢筋混凝土结构	(356)
4.1 材料的力学性能	(356)
4.2 钢筋混凝土结构基本设计原则	(368)

4.3	承载能力极限状态计算	(377)
4.4	正常使用极限状态验算	(434)
4.5	预应力混凝土结构	(445)
4.6	肋形结构及刚架结构	(471)
4.7	钢筋混凝土结构构件的抗震设计	(501)
第5章	工程测量	(516)
5.1	测量的基本概念	(516)
5.2	水准测量	(518)
5.3	角度测量	(521)
5.4	距离测量	(524)
5.5	测量误差的基本知识	(526)
5.6	控制测量	(529)
5.7	地形图测绘	(531)
5.8	地形图应用	(533)
5.9	工程测量	(535)
5.10	“3S”技术基础	(541)
第6章	建筑材料	(547)
6.1	材料组成与物质结构	(547)
6.2	建筑材料密实性	(550)
6.3	建筑材料的工程特征	(552)
6.4	气硬性无机胶凝材料	(559)
6.5	水硬性胶凝材料(水泥)	(563)
6.6	水泥混凝土	(574)
6.7	建筑钢材	(600)
6.8	土工合成材料	(613)
第7章	工程水文学基础	(624)
7.1	绪论	(624)
7.2	水文循环与径流形成	(626)
7.3	水文测验及水文资料收集	(641)
7.4	流域产汇流计算	(656)
7.5	水文统计的基本知识及方法	(674)
7.6	设计年径流	(701)

第 1 章 水力学

1.1 水静力学

本章主要研究以水为代表的液体在外力作用下处于静止状态的平衡规律及其在工程上的应用。当液体处于静止状态时,液体质点之间没有相对运动,这时液体内部不存在切应力。因此,静止液体质点间的相互作用是通过压强的形式表现出来的。

1.1.1 静水压强及其特性

1.1.1.1 静水压强

在静止液体中,围绕某点取一微小受力作用面,设其面积为 ΔA ,作用于该面上的压力为 ΔP ,那么平均压强 $\Delta P/\Delta A$ 的极限值就定义为该点的静水压强,用符号 p 表示,即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1.1.1)$$

在国际单位制中,静水压强 p 的单位为 $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$ 。

1.1.1.2 静水压强的特性

静水压强有两个重要的特性。

特性一:静水压强的方向沿受力作用面的内法线方向。

在静止液体中取一块水体,以任一平面 $N-N$ 将水体切割成 I 和 II 两部分,则切割面上任取一点 A ,如图 1.1.1 所示。假设其所受的静水压强 p 是任意方向的,则 p 可以被分解为法向分量 p_n 和切向分量 τ 。切向分量 τ 将使液层产生相对运动,这和静止液体的前提相矛盾;若静水压强指向外法线方向,这势必使液体受到拉力作用,而液体是不能承受拉力的。所以,只有受作用面的内法线方向才是静水压强唯一可能的作用方向。

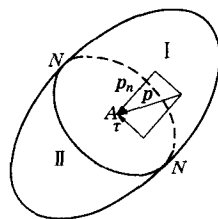


图 1.1.1

特性二:静止液体中任一点上各方向压强的大小都相等。

在静止液体中任一点 $A(x, y, z)$, 并设直角坐标系如图 1.1.2 所示。在 A 点附近,取微小四面体 $ABCD$ 。为方便起见,三个正交面与坐标平面方向一致,棱长分别为 dx, dy, dz 。设斜面 BCD 的面积为 dA ,其外法线 n 的方向余弦分别为 $\cos(n, x), \cos(n, y), \cos(n, z)$, 则

$$dA \cos(n, x) = \frac{1}{2} dy dz$$

$$dA \cos(n, y) = \frac{1}{2} dz dx$$

$$dA \cos(n, z) = \frac{1}{2} dy dx$$

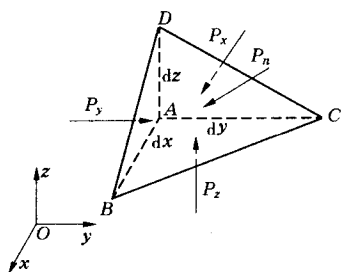


图 1.1.2

以 p_x, p_y, p_z, p_n 分别表示与坐标轴一致的平面和斜面上的平均压强, 以 P_x, P_y, P_z, P_n 分别表示各面上的总压力(见图 1.1.2), 则有

$$P_x = \frac{1}{2} dy dz \cdot p_x$$

$$P_y = \frac{1}{2} dz dx \cdot p_y$$

$$P_z = \frac{1}{2} dy dx \cdot p_z$$

$$P_n = dA \cdot p_n$$

四面体的体积为 $\frac{1}{6} dx dy dz$, 质量为 $\frac{1}{6} \rho dx dy dz$ 。设单位质量的质量力在坐标轴方向上的分量分别为 X, Y, Z , 则质量力在坐标轴方向的分量分别为 $\frac{1}{6} \rho dx dy dz \cdot X$, $\frac{1}{6} \rho dx dy dz \cdot Y$, $\frac{1}{6} \rho dx dy dz \cdot Z$ 。

由力的平衡可知, 作用于平衡体上的所有外力沿任一坐标轴方向投影的总和等于零, 故对 x, y, z 轴可写出下列平衡方程式:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{2} dy dz \cdot p_x - p_n dA \cos(n, x) + \frac{1}{6} \rho dx dy dz \cdot X &= 0 \\ \frac{1}{2} dz dx \cdot p_y - p_n dA \cos(n, y) + \frac{1}{6} \rho dx dy dz \cdot Y &= 0 \\ \frac{1}{2} dx dy \cdot p_z - p_n dA \cos(n, z) + \frac{1}{6} \rho dx dy dz \cdot Z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.1.2)$$

注意到 $dA \cos(n, x) = \frac{1}{2} dy dz$, 则式(1.1.2)中的第一式可写成

$$\frac{1}{2} dy dz (p_x - p_n) + \frac{1}{6} \rho dx dy dz \cdot X = 0$$

即

$$p_x - p_n + \frac{1}{3} \rho dx \cdot X = 0$$

忽略含 dx 的微小量项, 则上式可写为

$$p_x = p_n$$

同理, 由式(1.1.2)中第二、第三式分别可得

$$p_y = p_n, p_z = p_n$$

故

$$p_n = p_x = p_y = p_z \quad (1.1.3)$$

式(1.1.3)表明, 静止液体中同一点上的压强大小与作用面的方位无关, 即同一点上各个方向静水压强的的大小是相等的。

1.1.2 液体平衡微分方程及综合式

1.1.2.1 液体平衡的微分方程

液体平衡的微分方程是描述液体处于平衡状态时作用于液体上各种力之间关系的方程式。

如图 1.1.3 所示,在静止液体中取一个质量为 dM 微小六面体,各边长分别为 dx 、 dy 、 dz ,并与相应的坐标轴平行。作用在平衡六面体上的力有质量力和表面力。设单位质量的质量力在 x 、 y 、 z 坐标轴方向上的三个分量分别为 X 、 Y 、 Z ,则质量力在 x 、 y 、 z 坐标轴方向的分量分别为

$$XdM = X \cdot \rho dx dy dz$$

$$YdM = Y \cdot \rho dx dy dz$$

$$ZdM = Z \cdot \rho dx dy dz$$

在液体静止的条件下,液体内部不存在切应力,

表面力中只有沿法线方向的静水压力。根据液体连续性的假定,压强是坐标的连续函数,则六面体中心 O 点的压强为 $p = p(x, y, z)$,用泰勒级数展开得 L 点与 R 点的压强分别为

$$p_L = p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx$$

$$p_R = p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx$$

上式忽略了级数展开后的高阶微量。

由于六面体中各面的面积微小,可以认为平面各点所受的压强与该面中点的压强一样。由此推出作用在左右两个平面上的压力分别为

$$P_L = (p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx) dy dz$$

$$P_R = (p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx) dy dz$$

根据液体平衡条件,作用在平衡微小六面体上一切外力在任一坐标轴上的投影总和应为零,对于 x 轴则有

$$(p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx) dy dz - (p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx) dy dz + X \rho dx dy dz = 0$$

或
$$-\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz + X \rho dx dy dz = 0$$

以 $\rho dx dy dz$ 除以上各式,整理后得

$$X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

同理,对 y 、 z 轴方向可推出类似结果,从而可得

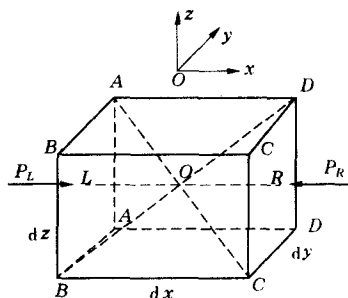


图 1.1.3

$$\left. \begin{aligned} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= 0 \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= 0 \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.1.4)$$

式(1.1.4)称为液体平衡微分方程。它指出液体处于平衡状态时,单位质量液体所受的表面力与质量力彼此相等。该方程是1775年由瑞士学者欧拉(Euler)导出的,故又称为欧拉平衡微分方程。该方程对于不可压缩液体和可压缩液体均适用。

1.1.2.2 液体平衡微分方程的综合式

将方程(1.1.4)中各式依次乘以 dx 、 dy 、 dz 并将它们相加,得

$$\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = \rho(Xdx + Ydy + Zdz)$$

上式左边是连续函数 $p(x, y, z)$ 的全微分 dp , 这样有

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz) \quad (1.1.5)$$

式(1.1.5)称为液体平衡微分方程的综合式。当液体所受的质量力已知时,可用以求出液体内部的压强分布规律。

1.1.3 水静力学基本方程及基本概念

1.1.3.1 水静力学基本方程

在实际应用中,作用于平衡液体上的质量力常常只有重力,即所谓静止液体。

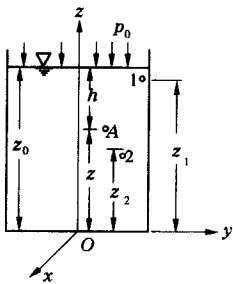


图 1.1.4

取坐标系如图 1.1.4 所示,令 xOy 平面与容器底面重合,设液面上压强为 p_0 ,在质量力只有重力时,作用在单位质量液体上的质量力在各坐标轴上的分量为

$$X = 0, Y = 0, Z = \frac{-Mg}{M} = -g$$

式中 M ——液体的质量。

将上式代入式(1.1.5)得

$$dp = -\rho g dz = -\gamma dz$$

当液体的密度为常数时,积分后得

$$z + \frac{p}{\gamma} = C \quad (1.1.6)$$

式(1.1.6)就是重力作用下的水静力学基本方程。式中 C 为积分常数,可由边界条件确定。

当 $z = z_0$ 时, $p = p_0$, 所以 $C = z_0 + \frac{p_0}{\gamma}$, 代入式(1.1.6)后得

$$p = p_0 + \gamma(z_0 - z)$$

由图 1.1.4 可见, $z_0 - z = h$, 于是得静止液体中任一点的压强为

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1.1.7)$$

式中, h 为该点的水深。式(1.1.7)为水静力学基本方程的另一种形式。

由式(1.1.6), 对液体中任意两点有

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \quad (1.1.8)$$

由式(1.1.7)、式(1.1.8)可得出以下结论:

在均匀连续介质中, 有:

(1) 表面压强 p_0 对液体内部任何点的压强都有影响, 即 p_0 向液体内部任何地方传递, 这就是著名的帕斯卡(B. Pascal)定律。

(2) 静水压强与水深成正比, 并沿水深按直线规律分布。

(3) 当 $z_1 = z_2$ 时, 则 $p_1 = p_2$, 即在均质连续的静止液体中, 水平面是等压面。

(4) 若 $z_1 > z_2$, 则 $p_1 < p_2$, 即位置较低点的压强大于位置较高点的压强。

1.1.3.2 水静力学的基本概念

1) 等压面

静止液体中压强相等的各点所组成的面称为等压面。例如液体与气体的交界面(自由表面)、处于平衡状态下的两种液体的交界面都是等压面。等压面可能是平面, 也可能是曲面。

根据等压面的定义, 在等压面上, $p = C$, C 为常数, 因而 $dp = 0$, 由式(1.1.5)可得到等压面的方程为

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0$$

2) 位置水头、压强水头、测压管水头

分析式(1.1.8)各项, 其量纲如下:

$$\dim z = L \quad \text{位置水头}$$

$$\dim \frac{p}{\gamma} = \frac{\dim(F/L^2)}{\dim(F/L^3)} = L \quad \text{压强水头}$$

$$\dim(z + \frac{p}{\gamma}) = L \quad \text{测压管水头}$$

可见, 各项均为长度的量纲。因此, 各项均命名为相应的水头。 z 为位置水头, $\frac{p}{\gamma}$ 称为压强水头, $(z + \frac{p}{\gamma})$ 称为测压管水头。

在容器的侧壁上开一个小孔, 接上一开口的玻璃管与大气相通, 就形成一根测压管, 如图 1.1.5 所示。假设图中容器内液面上为大气压强 p_a , 即 $p_0 = p_a$, 则无论连在哪一点上, 测压管内液面都与容器液面齐平。如取基准面为 0—0, 测压管液面到基准面的高度由 z 和 $\frac{p}{\gamma}$ 两部分组成, z 表示某点位置到基准面的高度, $\frac{p}{\gamma}$ 表示该点压强的液柱高度。

由图 1.1.5 可见

$$z_A + \frac{p_A}{\gamma} = z_B + \frac{p_B}{\gamma}$$

因此, 在重力作用下, 静止液体内各点的测压管水头 $(z + \frac{p}{\gamma})$ 总是一个常数。如果容器内

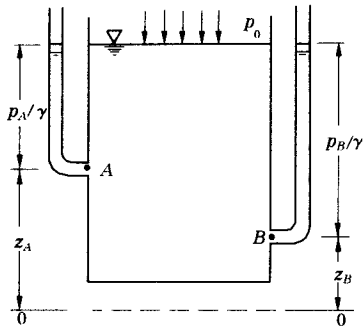


图 1.1.5

同。

压强水头 $\frac{p}{\gamma}$ 表示单位重量液体从压强为大气压强算起所具有的压强势能,简称压能。压能是一种潜在的势能。由图 1.1.5 可见,在 A 点安置一测压管后,由于 A 点的压强为 p_A ,在此压力作用下,液面会沿管上升,其高度为 $h_A = \frac{p_A}{\gamma}$ 。对于单位重量液体,压强势能为 $[mg(\frac{p}{\gamma})]/mg = h$ 。测压管水头 $(z + \frac{p}{\gamma})$ 为位置水头和压强水头之和,它代表了总势能。

在静止液体中,各点的测压管水头相等,说明单位重量液体的总势能是守恒的。

3) 绝对压强、相对压强、真空度

压强 p 的大小可以根据起算点的不同,分别用绝对压强与相对压强来表示。

以物理上绝对真空状态下的压强为零点计量的压强称为绝对压强,以 p_{abs} 表示。以当地大气压强 p_a 作为零点计量的压强称为相对压强,以 p_r 表示,相对压强与绝对压强之间存在如下关系:

$$p_r = p_{abs} - p_a \quad (1.1.9)$$

绝对压强的数值总是正的,而相对压强的数值要根据该压强高于或低于当地大气压强而决定其正负。如图 1.1.6 所示,如果液体中某处的绝对压强小于大气压强,则相对压强为负值,称为负压,负压的绝对值称为真空压强,以 p_v 表示,即

$$p_v = |p_{abs} - p_a| = p_a - p_{abs} \quad (1.1.10)$$

真空压强用水柱高度表示时称为真空度,记为 h_v ,即

$$h_v = \frac{p_v}{\gamma} = \frac{p_a - p_{abs}}{\gamma} \text{ (m 水柱)} \quad (1.1.11)$$

图 1.1.6 为用几种不同方法表示的液体中 A、B 两点处压强值的关系。

【例 1.1.1】 某点处绝对压强为 49kPa,试将其换算成相对压强和真空度。

液面压强 p_0 大于或小于大气压强 p_a ,则测压管内液面会高于或低于容器内的液面,但液体各点的测压管水头仍然是相等的。

下面进一步说明位置水头、压强水头和测压管水头的物理意义。

位置水头表示单位重量液体从某一基准面算起所具有的位置势能,简称位能。把质量为 m 的物体从基准面举到高度 z 后,该液体所具有的位能为 mgz 。对于单位重量液体而言,位能就是 $mgz/mg = z$ 。基准面不同, z 值也不

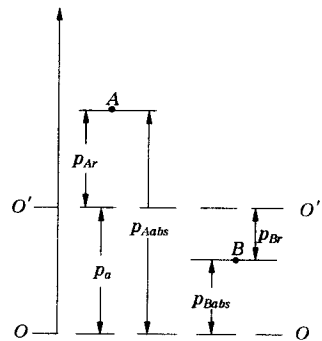


图 1.1.6

(当地大气压强的绝对压强为 98kN/m^2)

解:

(1) 相对压强

$$p_r = p_{abs} - p_a = 49 - 98 = -49(\text{kN/m}^2) = -49\text{kPa}$$

(2) 真空度

$$h_v = \frac{p_v}{\gamma} = \frac{p_a - p_{abs}}{\gamma} = \frac{49}{9.8} = 5(\text{m 水柱})$$

1.1.4 静水压强的图示及量测

1.1.4.1 静水压强的图示

根据基本方程(1.1.7), 可以绘出作用在受压面上的各点压强方向及其大小的图示。

例如, 在液体内取一铅直壁面 AB , 以 p 为横坐标, h 为纵坐标, 如图 1.1.7 所示。作用在壁面 AB 上的静水压强分为两部分, 其中表面压强 p_0 按照帕斯卡定律等值传递, 压强图形为矩形 $ABCD$ 。另一部分为 γh 。因为 γ 为常数, 故 p 与 h 值连一直线, 如图 1.1.7 中 DE 线所示, $ADEB$ 即铅直壁面 AB 上所受静水压强的图示。矢线的长短表示压强大小, 箭头的方向即压强的方向, 垂直于受压面。同理, 可绘出各种受压面上的静水压强分布图。

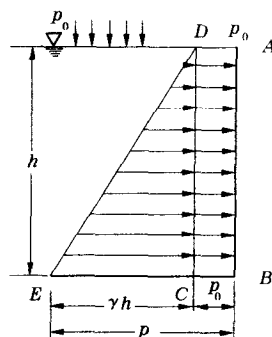


图 1.1.7

注意到静水压强的作用方向垂直于受压面, 用相对压强表示的斜面、折面及曲线上的静水压强分布图如图 1.1.8 所示。

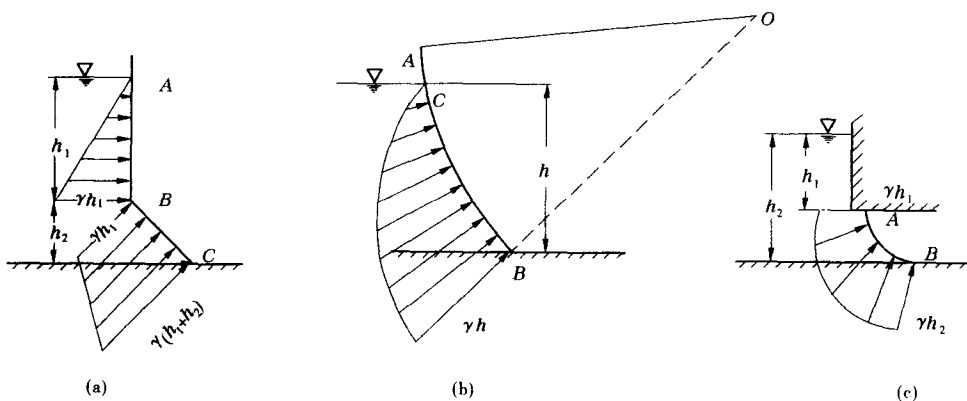


图 1.1.8

1.1.4.2 压强的量测

量测压强的仪器种类很多, 常用的有液柱式压力计和金属压力表。

1) 液柱式压力计

液柱式压力计的基本原理是用已知密度的液柱高度产生的压力与被测压力相平衡,

由液柱高度或高差来确定被测压强的大小。常用的液柱式压力计有以下几种。

(1)测压管。测压管是一支两端开口的玻璃管,下端与被测液体相连,上端与大气相通。由于液体相对压强的作用,使测压管内液面上升。如图 1.1.9(a)所示,若要测量 A 点的压强,则由被测点 A 量起到测压管内液面高度 h_A 便可算出 A 点的相对压强 γh_A 。若被测量点处压强较小,可使用倾斜的测压管,如图 1.1.9(b)所示。

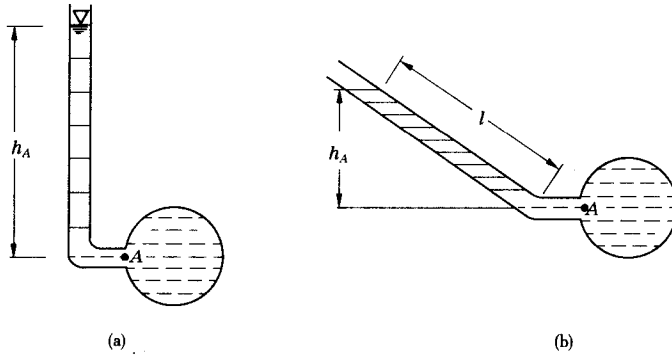


图 1.1.9

(2)U形压力计。U形压力计为一U形管,如图 1.1.10所示。U形管内装与被测液体不相混的其他液体,根据U形管内液面的位置应用等压面原理换算出被测点的压强。如图 1.1.10所示的U形管内装有水银,容器内液体为水,水银面之高差为 h_p ,则

$$p_A = \gamma_m h_p - \gamma h_A \quad (1.1.12)$$

式中, γ_m 为水银的容重。读者可由等压面 $N-N$ 推导出式(1.1.12)。

(3)压差计(比压计)。图 1.1.11所示为一水银压差计,用于测量两点的测压管水头差或压强差。水银压差计弯管内装有水银,两端分别与所测点 A、B 相连,容器 A、B 内均为水,管内水银差为 Δh_p ,现在来推导 A、B 两点的测压管水头差。由图可知 $M-N$ 为等压面,因此 $p_N = p_M$ 。

$$p_B + \gamma(\Delta z + x) + \gamma_m \Delta h_p = p_A + \gamma(x + \Delta h_p)$$

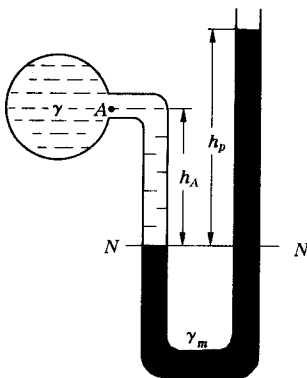


图 1.1.10

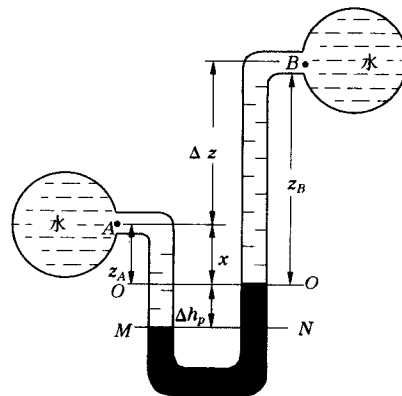


图 1.1.11

整理简化为

$$(z_A + \frac{p_A}{\gamma}) - (z_B + \frac{p_B}{\gamma}) = (\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1)\Delta h_p \quad (1.1.13)$$

由于 U 形管中液体为水银, 则式(1.1.13)可写为

$$(z_A + \frac{p_A}{\gamma}) - (z_B + \frac{p_B}{\gamma}) = 12.6\Delta h_p$$

式中 Δh_p 由水银压差计测出。若 $z_A - z_B = -\Delta z$ 已知, 可求得:

$$p_A - p_B = \gamma(12.6\Delta h_p + \Delta z) \quad (1.1.14)$$

若所测的压强差很小, 则可采用较轻的液体代替水银, 但这时 U 形管需倒置, 或倾斜安置压差计。

2) 压力表、真空表

上面介绍的测压计的优点是精确度高, 缺点是量测范围有限, 携带不便, 多在实验室使用。

常用的压力表是弹簧压力表, 构造如图 1.1.12 所示。表内有一根一端开口、另一端封闭的镰刀形黄铜管, 开口端与测压点相连, 封闭端有细链条与齿轮连接。测压时, 黄铜管在相对压强作用下发生伸张, 从而牵动齿轮旋转, 齿轮上的指针便把压强大小在表盘上指示出来。压力表一般用 kN/m^2 作为压强的单位, 其值为相对压强。

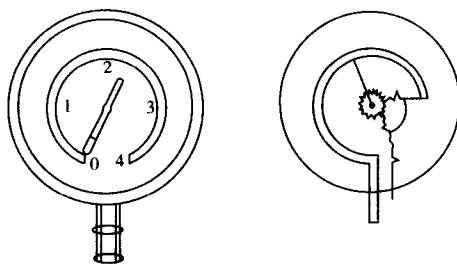


图 1.1.12

真空表是用来测量真空值的仪表, 也可分为液柱式与金属式两种, 其工作原理和上述各液压计与金属压力计相同。表盘度数单位常用 N/m^2 表示。

目前在实际工程中还沿用一些其他单位, 例如液柱高表示, 它们与法定计量单位之间的换算关系如下:

1 个工程大气压 = 10m 水柱 = 735.6mm 水银柱 = $98\text{kN}/\text{m}^2$

【例 1.1.2】 如图 1.1.13 所示, 用一水银压差计量测两水管中 A 与 B 的压强差。A、B 两点的高差为 $\Delta z = 1.0\text{m}$, 水银压差计中液面差 $\Delta h_p = 1.0\text{m}$, 求 A、B 两点的压差。

解: 应用等压面原理, M—N 为等压面:

$$p_M = p_A + \gamma(\Delta z + x) + \gamma_m \Delta h_p$$

$$p_N = p_B + \gamma(x + \Delta h_p)$$

$$p_N = p_M$$

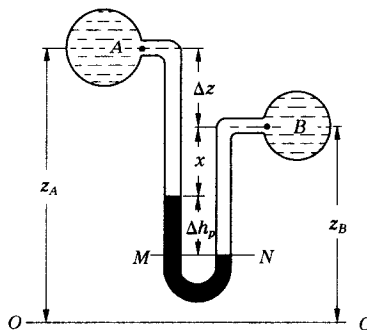


图 1.1.13

故

$$p_B - p_A = -\gamma(x + \Delta h_p) + \gamma(\Delta z + x) + \gamma_m \Delta h_p$$