

小型农田水利工程的 水力计算

武汉水利电力学院水力学教研室编



水利出版社

小型农田水利工程的 水 力 计 算

武汉水利电力学院水力学教研室编

水利出版社

小型农田水利工程的水力计算

武汉水利电力学院水力学教研室编

(根据原水利电力出版社纸型重印)

*

水利出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

1978年10月北京第一版

1982年8月北京新一版

1982年8月北京第一次印刷

印数00001—6850册 定价0.74元

书号 15047·4189

内 容 提 要

本书是一本实用的普及性的水力学。书中着重介绍小型农田水利工程水力计算的基本方法，并简明、通俗地介绍水力学的基本理论知识。全书共分六章，第一、二两章，系统、简明、通俗地阐述了水流静止和运动的基本规律；以后四章，分别阐述渠道、水闸、渠道建筑物、小型水库建筑物的水力计算。书中有许多例题和简化计算的图表。

本书可供县、社基层水利技术干部，县、社农田水利或农田基本建设短训班学员和广大农村知识青年等阅读，也可供有关学校和单位参考。

21166/03

前 言

小型水利面广、量大，是农田基本建设的重要组成部分，它对保证农业增产起着重大作用。我们编写本书的目的，就是为了普及水力学基本知识和小型水利的水力计算基本方法，以利于多快好省地搞好农田基本建设。本书的特点是，以阐述小型农田水利工程的水力计算为主，简明地介绍水力学的基本理论，并配备一定数量的例题和简化计算图表，以供实用。

参加本书编写工作的同志有：梁在潮、刘忠潮、王真真、李日渺、胡震宇、于布和胡重民等。

本书编写过程中，得到湖北省水利局和孝感、荆州、黄冈、咸宁等地区水利电力局、应城县水利局和共产主义劳动大学、江西省九江地区水利电力局、湖南省水利电力学校等大力协助，在此我们表示深切感谢。本书存在的缺点和错误，恳请广大读者提出批评指正。

编 者

一九七八年元月

目 录

前 言

第一章 水流静止的基本规律及其在水利工程

中的应用 (1)

第一节 液体的重率和密度 (1)

第二节 静水压强 (2)

第三节 静水压强的特性及水静力学的基本方程 (5)

第四节 静水压强分布图 (15)

第五节 作用在平面上的静水总压力 (17)

第六节 作用在曲面上的静水总压力 (25)

第二章 水流运动的基本规律 (32)

第一节 恒定流的流量方程 (33)

第二节 恒定流的能量方程 (40)

第三节 水流的水头损失的计算 (57)

第四节 水流的能量方程应用实例 (73)

第五节 水流的动量方程 (84)

第三章 明渠水流和渠道的水力计算 (93)

第一节 明渠均匀流的水力特性及均匀流公式 (93)

第二节 渠道的水力计算 (101)

第三节 明渠非均匀流 (117)

第四章 水闸的水力计算 (131)

第一节 闸孔尺寸的确定 (132)

第二节 闸孔出流的流量计算 (148)

第三节 消能计算和消能措施的确定 (161)

第四节	渗流计算	(167)
第五章	渠道建筑物的水力计算.....	(180)
第一节	渠道建筑物的类型	(180)
第二节	渡槽的水力计算	(182)
第三节	倒虹吸管的水力计算	(192)
第四节	涵洞的水力计算	(198)
第五节	跌水和陡坡的水力计算	(203)
第六章	小型水库建筑物的水力计算	(210)
第一节	土坝	(211)
第二节	溢流坝	(227)
第三节	取水涵管	(245)
第四节	溢洪道	(258)

第一章 水流静止的基本规律

及其在水利工程中的应用

水流静止时，静水对于水工建筑物的作用力是水利工程经常遇到而必须解决的问题，如进行闸门设计时，要计算静水对闸门的作用力；在水工建筑物设计中稳定计算时，也要计算静水的作用力。因此，对于水利工程人员来讲，学习并掌握有关水流静止的基本规律，是十分重要的。

第一节 液体的重率和密度

与自然界其他物体一样，地球上的液体也要受到重力的作用，可用重量 G 来表示重力的大小，即

$$G = Mg$$

式中 g ——重力加速度， $g = 9.81$ 米/秒²；

M ——液体的质量，单位为公斤·秒²/米。

单位体积的液体所具有的重量称为重率，如果液体的体积为 W ，重量为 G ，则

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

式中 γ ——液体的重率，单位为公斤/米³或吨/米³；

G ——液体的重量，单位为公斤或吨；

W ——液体的体积，单位为米³。

单位体积的液体所具有的质量称为密度，用 ρ 表示，则

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

式中 ρ ——液体的密度，单位为公斤·秒²/米⁴。

因此液体的重率 γ 与密度的关系为

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

液体的重率和密度随着温度的变化而变化。一般情况下，随着温度的升高，重率和密度要减小，但变化很小。水在一个大气压力下，温度为 4℃ 时，重率为 1000 公斤/米³，这是通常采用的水的重率计算值。

水的重率随着压力的变化很小，所以在实用中可认为水是不可压缩的流体，即密度 $\rho = \text{常数}$ 。

气体的重率和密度随温度和压力的变化而变化，是可压缩流体， ρ 不是常数。

第二节 静 水 压 强

我们挑东西，担子的重量使我们肩头感到有一种向下的压力。担子愈重，这种压力也愈大。手推车在松软的路面上行走，车上的东西愈重，则路面上陷下的槽子就愈深，也就说明向下的压力愈大。由此可以看出，只要物体有重量，就必然存在一个向下的压力。在农业生产和农田水利建设中，我们经常会遇到水、油等液体，这些液体都是有重量的，所以也是会产生压力，只不过水、油等液体不但有向下的压力，而且还有向旁侧及向上的压力。例如一只桶，里面装

水，那么桶底就要受到由水的重量而产生的对桶底的压力，这是容易理解的；如果在水桶侧面开几个孔，水就从桶的侧面流出来，这也说明水对桶的侧面有压力作用着。

为了实现水利化，我们修建了各式各样的水利工程，如常见的水闸、水坝等。这些建筑物拦截了水流，使水流在闸或坝前处于静止状态。静止的水对于闸坝等建筑物所产生的压力就叫做静水压力。

静水压力的大小如何衡量呢？二个孔口，一个孔口盖板面积为10平方米，上面承受着1000公斤的水压力；另一个的面积为3平方米，上面承受着600公斤的水压力，试问那个盖板受的压力大呢？能不能说，前一个盖板上受的压力大？不能，应是后面的盖板承受的压力大。为了搞清楚这个问题，我们举一个例子说明，有10个人抬1000斤东西，另外4个人抬600斤，显然10个人抬的东西比4个人抬的东西多，但是4个人肩上的压力却比10个人肩上的压力大一半。因此我们衡量压力的大小，不能光看作用力的大小，还要看承受这个力的面积的大小，也就是要用单位面积上所承受的压力来表示压力的大小，才能确切地反映物体的受压力情况。单位面积上所受的力，我们称为压力强度，简称压强。压强的大小取决于受压面的面积和总压力的大小。如果受压面的面积不变，总压力愈大，压强愈大。反之，总压力愈小压强愈小。如果总压力不变，受压面的面积愈大，压强愈小，受压面的面积愈小，压强愈大。根据这个道理，往往采用增大受压面面积的办法来减少压强。如履带式拖拉机可以在松软的田地里开动而不会陷下去，就是采用了一种很宽的履带和地面接触，地面受压面积比较大，这样拖拉机虽很重，可是地面所受压强却很小，使拖拉机可以在松软的地里开动不会下陷。

如图1-1为一矩形盛水水箱,在水箱底面积和侧壁上均受到水的作用力,如水箱底面积为 ω ,作用在这个面积上的静水总压力为 P ,则作用在面积 ω 上的压强 p

$$p = \frac{P}{\omega}$$

(1-4)

式中 p —— 为作用在面积 ω 上的压力强度,表示单位面积上作用的静水压力的大小,静水压强的单位为公斤/厘米²或吨/米²;

P —— 作用在面积 ω 上的静水总压力,单位为公斤或吨;

ω —— 受压力作用的面积,单位为厘米²或米²。

如果面积 ω 上各处的静水压强都等于 p ,那么由公式(1-4)可以求出作用在面积 ω 上的静水总压力为

$$P = p\omega \quad (1-5)$$

但是液体作用面上各点的压强不一定是相等的,图1-1水箱侧壁面上各点的静水压强就是随水深变化而变化的。这一点在日常生活中我们也有体会。例如,我们下到河里,水越深就越感到呼吸困难。这是因为水越深,对我们身体的压力越大所造成的。这种受压面积上的静水压强随水深变化的情况,以后会讲到。

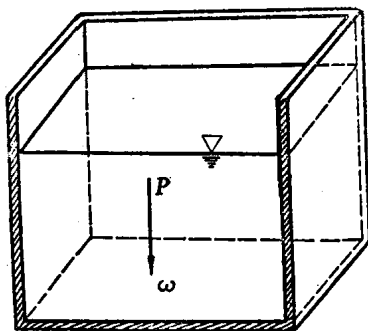


图 1-1

第三节 静水压强的特性及水静力学的基本方程

上节我们介绍了什么是静水压强和静水压力，这一节我们将介绍静水压强特性以及如何计算静水压强的大小。

一、静水压强特性

(一) 静水压强的方向和作用面垂直并指向作用面

如图1-2，有一土坝的迎水面 $A-B$ ，作用着静水压力 P ，如 P 的作用方向是任意的，则可以把 P 分解为两个分力，一个为垂直坝坡方向的分力 P_z ，一个为平行坝坡方向的分力 P_x 。由于液体是静止的，所以 $P_x=0$ ，否则， P_x 会使静水沿坝坡流动，而这是不可能的。这就说明 AB 面上只可能作用着一个垂直于坝坡方向的力。由静水压力垂直于坝坡可进而推知：静水压强是垂直指向受压面的。

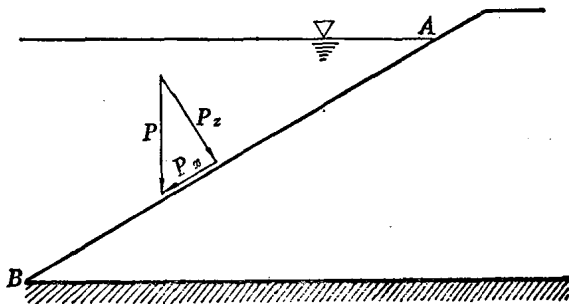


图 1-2

（二）同一点的静水压强各个方向大小相等

在静水中取出一无限小的水团，它的重量为无限小，可以忽略不计，由于这水团是处在静止状态，所以作用在水团上的静水压强必然相等，如果各方向作用着的静水压强不相等，则这个液团就应该发生移动。

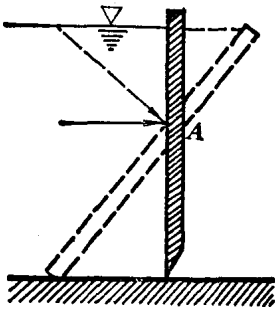


图 1-3

在水利工程中，我们采用的平板闸门如图1-3，它的位置可以是垂直的也可以是倾斜的，但是闸门上任一点A，不管闸门是垂直还是倾斜的，它所受的静水压强大小相等，方向垂直于作用面，如图1-3所示。这个例子说明了静水压强的两个重要特性，即某点的静水压强不论作用面的方位怎样

变化，其大小相等，且都垂直于作用面。

二、水静力学的基本方程

讨论了静水压强的两个重要特性以后，我们要进一步研究静水压强的大小如何计算，也就是要推导一个计算静水压强的基本方程。推导这个公式时，我们要应用到力的平衡原理。什么是力的平衡呢？我们举一个简单的例子来说明，拔河是一项群众性的体育运动项目，当双方运动员势均力敌时，绳子正好在开始的位置上，那么这时双方运动员所用的力是相等的，就是说作用在绳子上所有力之和等于零。这时绳子处于开始的静止状态，这就是力平衡的简单例子。下面我们应用力的平衡原理来推求水静力学的基本方程。

在静水内，如图1-4，取一点 A ， A 点位于水面下的深度为 h ，我们取 A 点周围底面积为 $\Delta\omega$ 的圆柱水体来研究，分析作用在此水体上的力计有：

- (1) 作用在圆柱体顶面的总压力 $P_0 = p_0 \Delta\omega$ 。
- (2) 作用在圆柱体底面上的静水总压力 $P = p \Delta\omega$ 。
- (3) 圆柱体自重 (即圆柱体水的重量) $G = \gamma h \Delta\omega$ 。
- (4) 圆柱体周围水体的侧压力，方向是水平的。

因为圆柱体是静止的，所以作用在圆柱体水平方向的所有作用力和垂直方向的所有作用力之和应等于零。水平方向的作用力，是大小相等，方向相反，因此互相抵消了。

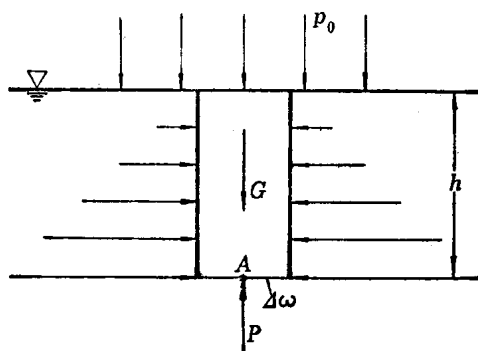


图 1-4

垂直方向的力的平衡方程式为

$$p_0 \Delta\omega + \gamma h \Delta\omega - p \Delta\omega = 0$$

方程式两边同除以 $\Delta\omega$ ，则得

$$p_0 + \gamma h - p = 0$$

所以

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-6)$$

式中 p ——静水中任一点，如 A 点的静水压强，

p_0 ——静水表面的压强，

γ ——液体的重率，水的重率 $\gamma = 1 \text{ 吨/米}^3$ ，

h ——该点所在位置的水深，单位为米或厘米。

公式 (1-6) 就是水静力学基本方程，用它可以计算出静水中任一点处的静水压强大小。

公式 (1-6) 说明静水内任一点处的静水压强为该点水面上的压强（或者表面压强）和该点在水面下深度 h 与水的重率 γ 的乘积。如果表面压强不变，则静水中任一点的静水压强随着深度的变化而变化。水深越大，静水压强就越大。如图 1-5 为两个不同形状的容器，这个容器内的水的体积不同，但盛水的高度一样，即 $h_1 = h_2$ ，那么，根据水静力学基本方程，我们可以知道两容器底面上 A_1 和 A_2 点所承受的压强是相等的。这是因为两容器的表面都与大气相通，都为大气压强，而且液体的深度 $h_1 = h_2$ ，又同样都是水，其重率 γ 均相等，因此两容器底面上 A_1 和 A_2 点的压强必相等，这就证明静水中水深相同的各点，静水压强相等。水深不同的点，静水压强随水深的变化而变化。

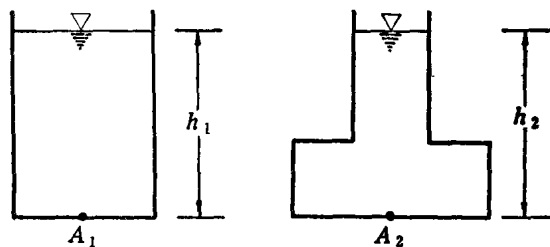


图 1-5

我们利用公式（1-6）来计算静水中的静水压强。如图1-6所示为一水箱，试计算水箱壁面上1点和2点的静水压强，1点和2点的水深分别为 h_1 和 h_2 。

根据公式（1-6），该两点的静水压强分别为

$$p_1 = p_a + \gamma h_1 \quad (p_a \text{ 为大气压})$$

$$p_2 = p_a + \gamma h_2$$

我们取任意一个水平基准面 $O-O$ ，而1点和2点分别距水平基准面的垂直距离为 z_1 和 z_2 。

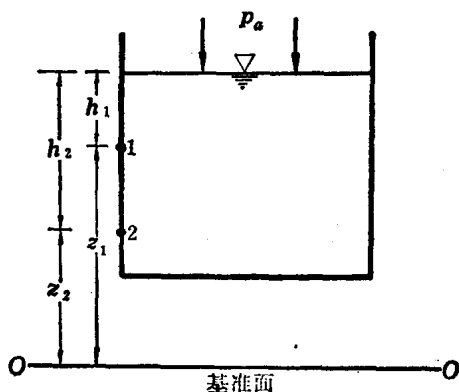


图 1-6

由几何关系可知

$$h_1 + z_1 = h_2 + z_2$$

$$h_2 = h_1 + (z_1 - z_2) = h_1 + \Delta h$$

把 h_2 之值代入可得

$$p_2 = p_a + \gamma(h_1 + \Delta h)$$

对比1点和2点的压强，可知2点的压强比1点的压强

大 $\gamma\Delta h$ 值即

$$p_2 = p_1 + \gamma\Delta h \quad (1-7)$$

公式(1-7)说明,静止液体中,位于不同深度的两点的静水压强,深处的压强比浅处的压强大一个 $\gamma\Delta h$ 值, Δh 为两点的位置差,

$$\text{即} \quad \Delta h = h_2 - h_1 = z_1 - z_2$$

把 Δh 值代入公式(1-7)得

$$p_2 = p_1 + \gamma(z_1 - z_2)$$

把方程两边同除水的重率,并移项得

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \quad (1-8)$$

由于1点和2点是任意选择的,因此公式(1-8)说明静止液体中任意点的 $z + \frac{p}{\gamma}$ 都相等,即

$$z + \frac{p}{\gamma} = \text{常数} \quad (1-9)$$

式中 z ——位置高度,位置水头或叫位能;

$\frac{p}{\gamma}$ ——压力高度,压力水头或叫压能;

$z + \frac{p}{\gamma}$ ——测压管高度,测压管水头或叫势能。

三、等压面

静止液体中静水压强相等各点所连成的面叫做等压面。由公式(1-6)可知,静止液体中,深度 h 相同的各点静水压强相同,或者说等压面上各点的静水压强都是相等的,即 $p = \text{常数}$ 。当然对于不同的等压面,其常数的数值是不相同的。