中等专业学校试用教材

水文地质学

(二)

水文地质计算原理及方法

地质出版社

中等专业学校试用教材

水文地质学

（二）

水文地质计算原理及方法

西安地质学院
广西地质学校　编
郑州地质学校

地质出版社

水文地质学

（二）

水文地质计算原理及方法

西安地质学院
广西地质学校　　编
郑州地质学校

*

国家地质总局教育司教材室编辑
地质出版社出版
沧州地区印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1979年8月北京第一版·1979年8月北京第一次印刷
印数1—9,690册·定价0.75元
统一书号：15038·教44

绪　言

水文地质计算原理及方法，即地下水动力学。它是研究地下水在孔隙岩层、裂隙岩层和溶洞中运动规律的科学。是水文地质学的重要组成部分。它要求在搞清水文地质条件定性评价的基础上，对地下水运动状态进行定量评价。因此是解决地下水资源评价问题的理论基础。

在我国社会主义建设事业中，水文地质计算正在广泛地用来解决国民经济建设中的重大问题。例如：

在城市、工矿企业供水中，不但要指出那里有地下水，并且还要通过水文地质计算，确定允许的开采量有多少；提出合理的布置取水建筑物的方案；确定允许利用的地下水资源，确保供水的要求。

在农田灌溉地区，通过水文地质计算预测灌区的潜水动态，制定合理的灌溉定额和允许的开采量及回灌量，预防盐渍化的发生，为科学种田提供依据。

在矿山开采，建筑基坑和沼泽化地区的疏干等问题上，通过水文地质计算，预测疏干区的可能排水量，选择合理的疏干方案，以便有效地同地下水的危害作斗争，保证生产和建设的顺利进行。

水文地质计算同其它科学一样，也是在长期的生产实践中逐渐形成和发展起来的。作为理论也是随着地下水大规模开发利用逐步完善起来的。尤其近百年来发展速度更为迅速。

1856年，法国人达西根据水在砂中的渗透试验，提出了水在孔隙介质中的层流线性渗透定律，即达西定律。1857年，法国人裘布依以达西定律为基础，结合天然状态下含水层中地下水稳定运

动的特征，推导出地下水单向和平面径向稳定流公式，奠定了地下水稳定运动的理论基础。裘布依公式的出现，对当时水文地质计算理论的发展和生产实践起了推动作用。直到今天仍有一定的实用价值。但是，地下水稳定流理论还是有很大的局限性。这是因为稳定流理论仅仅是在特定条件下，地下水运动经过较长时间所达到的一种平衡状态，这种状态是人们设想不随时间而变化的，而实际上地下水运动状态却是随时间不断变化的。因此，稳定流理论只能限于一定条件下解释地下水的运动状态。而不能说明地下水从一个状态发展到另一个状态的过程。所以稳定流理论最大的缺陷是没有包括时间这个变量。

随着地下水开发利用规模的扩大，往往在开采区地下水位年年下降，地下水运动状态随着时间不断变化，稳定流理论在这方面是无能为力的，这就促进了非稳定流的产生和发展。

1925年前基本上认为承压含水层是把补给区的水输送到集水建筑物被开发利用，并没有考虑到承压含水层具有贮水性质。1928年，迈因策尔通过试验研究，说明承压含水层是可压缩的，且具有弹性，并说明由于抽水，承压水头下降，含水层产生释水。1931年，温策尔根据大量长观资料分析，解释了潜水含水层中发生非稳定运动过程与含水层被疏干等有关。因此，迈因策尔、温策尔在三十年代初就已经为承压水和潜水的非稳定运动准备了比较丰富的实践基础。而热传导理论的发展又为非稳定流理论准备了数学工具，这样为非稳定流理论出现打下了基础。

1935年美国人泰斯就利用了迈因策尔和温策尔等人的实际资料和观点，在数学家柳宾的帮助下，利用热传导中的理论公式加以适当的改造，在世界上第一个提出了实用的地下水径向非稳定流公式——泰斯公式。以后40—60年代又有雅各布、洛曼、汉土什等人，对越流补给及无压含水层的滞后补给等一系列非稳定运动理论的研究，极大地丰富了水文地质计算理论的内容。当然还有许多问题没有完全解决。如：裂隙、岩溶、非均质含水层中地下

水运动规律等问题。

解放以来，在党中央和毛主席领导下，在伟大的社会主义建设事业中，我国的水文地质计算的理论和方法得到一定程度的发展，解决了一些工农业生产中遇到的一些理论问题，冲出了传统理论的束缚，在解决生产实际问题上效果显著。

当前，我们水文地质工作者，在以华国锋同志为首的党中央领导下，高举毛泽东思想伟大红旗，要为实现新时期的总任务，为高速度的发展社会主义经济，提供地下水资源，加强水文地质计算理论的研究，努力攀登科学高峰，为我国早日实现四个现代化作出贡献。

全书共分三个部分阐述：

一、水力学基础；

三、稳定流部分；

二、非稳定流部分。

目　录

第一章　水力学基础

水力学是研究液体的平衡和运动规律，并应用这些规律去解决实际问题的一门科学。它是应用力学的一部分，属于实用工程学。

水力学基本理论，可分为两大部分：静水力学和动水力学。前者研究液体的平衡规律，而后者是研究液体的运动规律。

了解水力学的基本知识是学习地下水动力学的基础。而水文地质计算，是应用地下水动力学的理论，解决水文地质勘探实际问题的一种方法，所以学习水文地质计算前，必须知道一些水力学的基本知识。

第一节　静水压力及其特征

静水中是有压力的，人们在水中游泳，当水淹没过胸部就会感到呼吸困难；桶底有漏洞，水就会不断的流出来，这说明有静水压力作用。

在静止液体中取某一体积，如图1—1所示。用任意平面 A、B 把这个液体体积分成Ⅰ、Ⅱ两部分。

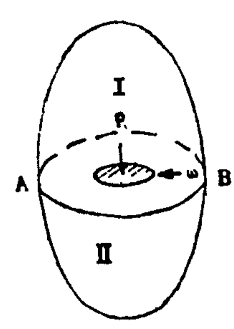

图 1—1

这两部分液体在接触面 A、B 上是相互作用的。假如我们取掉其中的一个部分，如：取掉上面的Ⅰ部分液体后，那么为了使下面的Ⅱ部分液体保持原来平衡状态，就必须在它的隔离面 A、B 上加一个力，并且使这个力的大小相当于取出那一

部分液体Ⅰ作用在所研究部分液体Ⅱ上面的力，用来代替原来Ⅰ部分液体对Ⅱ部分液体的作用。

设在隔离面A、B上划出某一部分面积ω，被取走的Ⅰ部分液体方面有一个力作用在这一面积上（以大写的P来表示），这个力P称为作用面积ω上的总静水压力，而面积ω就称为力P的作用面。于是它们的比值P/ω就表示了在面积ω上的平均静水压力，并且用小写p来表示，其单位为公斤/厘米²或公斤/米²等表示。

$$p_{平均}=\frac{P}{\omega}公斤/米^2$$

式中：P——总静水压力（公斤）

ω——力P的作用面积（米²）

但一般情况在面积ω上的静水压力分布是不均匀的，（只有当作用面水平时，静水压力才均匀分布）。为了得到某一点的静水压力而不是面积上的平均静水压力，可以把面积ω无限地缩小使它成为一个点A，这时比例P/ω的极限就表示出A点的静水压力，以小写 p_A表示。

$$\lim_{\omega\to 0}\left(\frac{P}{\omega}\right)=p_A \qquad (1—1)$$

静水压力的两个特性：

（1）静水压力的方向总是与作用面垂直，并指向作用面。

下面我们根据液体的基本性质证明之。

首先，如果压力p不垂直于作用面，则它可分解为垂直作用面的法向应力p_n及平行作用面的切向应力p_E。然而切向应力只有在液体运动时才能产生。这同我们所讨论的前题——平衡液体不相吻合，所以这种情况下是不可能存在的。

其次，假如压力p沿外法线方向，则将产生拉力。因为液体不能抗拉力，如果有拉力存在，则液体的静止平衡状态必然被破坏，这也与我们讨论的前题不符合。所以静水压力只能垂直作用

面，并指向作用面。液体的压缩性非常小，它能够抵抗压力，而不产生变形，即保持平衡状态。

（2）某点的静水压力，在一切方向上都是相等的，它与作用面的方向无关。

在静止液体中有一点A，取包含着A点的微小方块作为隔离体，则其周围液体对它的静水压力可作为外力考虑如图1—2。这些作用在小方块六个方面上的静水压力分别为p_1、p_2……p_6。另外还有重力作用，但因方块极小，故其重力略去不计。

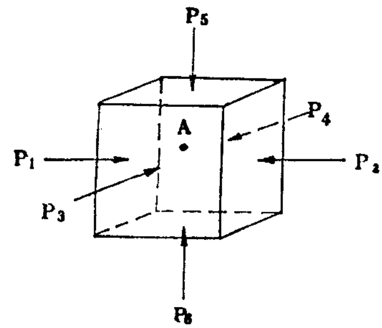

图1—2

首先作用在小方块三个方向上对应的三组静水压力相等，即$p_1=p_2$，$p_3=p_4$，$p_5=p_6$，如果有一组不等，小方块必然要发生移动；其次，作用在六个面上的六个压力也必须相等，即$p_1=p_2=$……p_6，否则，由于液体的不可压缩和易流动性，这个小六面体必然沿较大压力的方向被压扁，即要发生变形。移动和变形都不符合液体静止这个前题条件，所以是不可能产生的。因此，静止液体中某点的静水压力不论来自什么方向都相等。

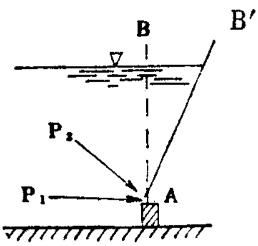

图1—3

假设有一可以转动的平板闸门AB，如图1—3所示。对于定点A来说，闸门垂直时是p，倾斜时是p_2，尽管静水压力方向不同，但静水压力大小是不变的，即$p_1=p_2$。所以，静止液体中某定点的静水压力大小，与作用面方向无关。

总之，静水压力对液体中一定位置的点来说，其值是不变的，对液体中一定位置的作用面来说它是垂直作用面的正压力。

第二节　静水力学基本方程式

为求静止液体自由表面下任意深度h处A点的静水压力p。

设x y z坐标系，z轴垂直向上，x和y轴取在自由表面上，如图1—4所示。

从点A到自由表面，标出一个液柱体，其高度为h，顶和底面积均为dω。将这一柱体作为隔离体来研究作用其上的力之间的关系。这一隔离体是整个静止液体的一部分，所以隔离体本身是静止的，那么作用其上的力应该包括：

①作用在底面垂直向上的总压力

$$P = pd\omega$$

②作用在顶面垂直向下的自由表面上的总压力

$$P_0 = p_0 d\omega$$

③作用在侧面积上的水平压力在z轴上的投影等于零。

④重力 $G=\gamma\cdot hd\omega$，方向垂直向下。液体在平衡条件下向上及向下的力之总和等于零。并设向上力为负，向下力为正。则

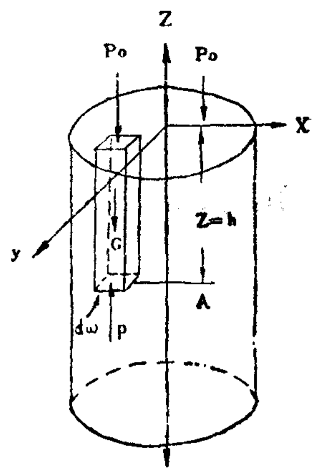

图1—4

$$-p\cdot d\omega + p_0 d\omega + G = 0$$

$$-p\cdot d\omega + p_0 d\omega + \gamma\cdot h\cdot d\omega = 0$$

以dω除上式后，移项得　$p = p_0 + \gamma h$　　（1—2）

式中：p——静水全压力（属平均压力）公斤/米²；

p_0——表面压力或大气压力（公斤/米²）；

γ——液体容重（即液体单位体积的重量）公斤/米³；

h——液柱的高度（A点的水深）米。

（1—2）式为静水力学的基本方程式。由公式可看出，静

止液体中任一点的静水压力 p是由两部分组成，所以静水压力 p 可称为静水全压力。而 p_0是表示液体表面上的压力，故称表面压力。在实际工程制中，$p_0 = p_a$（p_a为一个大气压力）。一个大气压力＝1公斤/厘米^2＝10吨/米^2＝10米水柱高度。γh 是全压力中超过表面压力的压力，因此又可称为静水超压力，可用p'表示，它是由液体的自重产生的。由此（1—2）式可写为：

$$p = p_0 + p' \qquad (1—3)$$

第三节　测管高度和测管水头

如图1—5所示，在一个盛有液体的封闭容器两侧连接两根管子，左管上端开口通大气，它的表面压力等于一个大气压力，即$p_{02} = p_a$。

右管上端是封闭的，与大气隔绝，我们假定将其中的空气全部抽出，使$p_{03} = 0$。而容器中的表面压力为 p_{01}（$p_{01} > p_a$）。

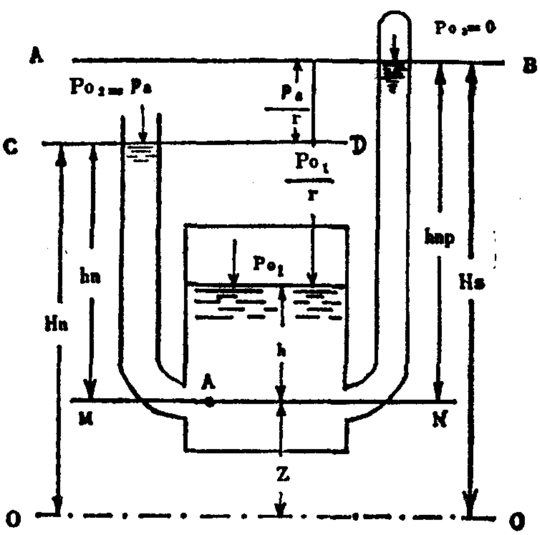

图1—5

这时容器中A点的静水压力为：

$$p_A = p_{01} + \gamma h$$

通过A点作一水平面M—N，在M—N面上任何一点的静水力都是相等的。这一平面称为等压面。应用静水力学的基本公式可以写出左、右两管A点的静水压力 p_A 的不同表示式：

左管 $$p_A = p_a + \gamma h_n$$

移项得

$$h_n = \frac{p_A - p_a}{\gamma} \qquad (1—4)$$

h_n 称为测管高度。它是由某点（如A点）往上到压力等于大气压力的等压面的高度。即测管高度 h_n 表征了某点当表面压力等于大气压力时的静水超压力。

右管 $$p_A = p_{03} + \gamma h_{np} = \gamma h_{np}$$

移项得 $$h_{np} = \frac{p_A}{\gamma} = h_n + \frac{p_a}{\gamma} \qquad (1—5)$$

h_{np} 称为静力高度，它是某点（如A点）往上到压力等于零的等压面的高度。它表征了该点的静水全压力。某点的静力高度 h_{np} 比同点的测压管高度总是大 $\frac{p_a}{\gamma} = 10$ 米水柱。测管高度和静力高度是相对于任意高度而言，它没有统一的比较标准。在实践中，一般要求规定出一个统一的基准面，以便对液体内各点的势能进行比较，考虑到基准面问题，就引进了水头的概念。

在图1—5中，0—0是容器下的基准面，是一个水平面，以它作为测量高度的零点标准。各点相对于基准面的高度用Z表示，并规定向上为正，向下为负。

静止液体中某点（如A点）的高度Z与静力高度 h_{np} 之和称为该点的静力水头。

即 $$H_s = Z + h_{np} = Z + h_n + \frac{p_a}{\gamma} \qquad (1—6)$$

（一）静力水头的性质：