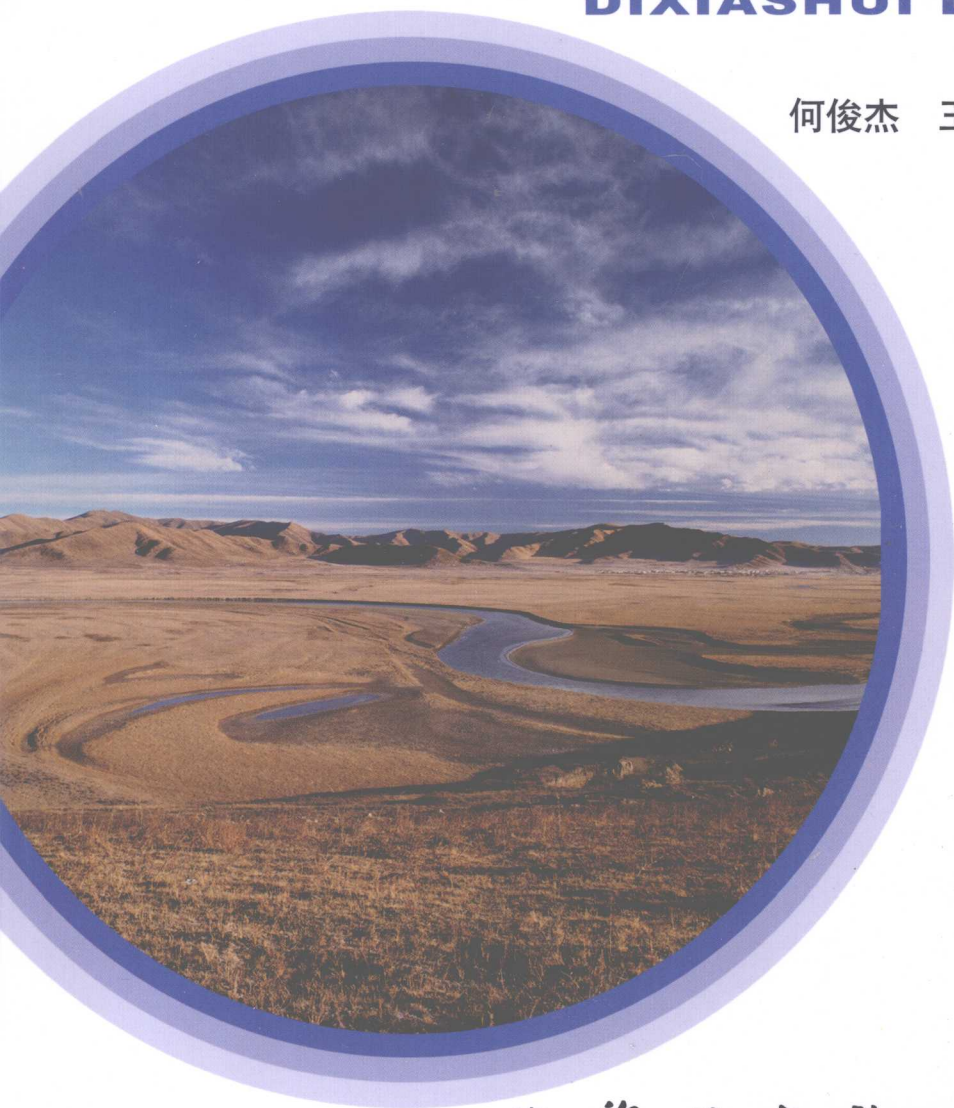


地下水动力学

DIXIASHUI DONGGLIXUE

何俊杰 王明伟 王廷国 编著



地质出版社

地下水动力学

何俊杰 王明伟 王廷国 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书既保持了地下水动力学教材基本结构的完整性,也考虑了其适用性。主体内容共7个部分:渗流理论基础;地下水在含水层中的运动;地下水向完整单井的稳定运动;地下水向完整井的非稳定运动;地下水向边界附近井的运动;地下水向不完整井的运动;有关地下水运动的某些问题及模拟方法简介。水力学基础、泰斯公式的推导等内容列入附录。

本书既是高职高专院校水文地质、工程地质、环境地质、水文与水资源工程等专业的适用教材,也可供相关专业领域的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

地下水动力学/何俊杰等编著. —北京:地质出版社,
2009. 1

ISBN 978-7-116-05965-8

I. 地… II. 何… III. 地下水动力学 IV. P641.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 011474 号

责任编辑:孙亚芸

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

咨询电话:(010)82324508(邮购部);(010)82324569(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京地质印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:11.625 插页:3页

字 数:280千字

印 数:1—2200册

版 次:2009年1月北京第1版·第1次印刷

定 价:18.00元

书 号:ISBN 978-7-116-05965-8

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

目前, 高职高专教育所采用的《地下水动力学》教材多为本科教材, 具有内容丰富、学科体系完整、理论性强等特点, 但与高职高专学生的认知规律不相适应, 对实践与实训环节的重视尤为不足, 不能完全满足高职高专教育对应用性人才培养的要求。

我国幅员辽阔, 东部沿海、中部平原及西部山区、半山区水文地质条件显著不同。以往《地下水动力学》教材的内容, 多数注重基础理论和普遍规律的介绍, 对于解决区域性尤其是西部山区、半山区的地下水运移规律及问题具有一定的局限性。再者, 国内许多版本的《地下水动力学》主要考虑中、东部地区地下水资源开采中涉及的流量计算理论问题, 而对于西部多种成因的地下水演化规律的介绍较少, 无法满足区域客观需求。因此, 高职高专的教学, 特别需要一本既具备必需的地下水动力学基础理论, 又具有区域针对性的教材。

我们从多年的教学实践出发, 以云南基础供水设施建设、矿业开发利用、道路交通建设、垃圾填埋及污水处理等实际需求为基础, 结合西部山区、半山区地下水埋藏、赋存、运移特点和实际案例, 编著了本教材。

东部沿海地区海水倒灌问题的解决, 可以《地下水动力学》中海岸带含水层中咸淡水界面的理论为支撑; 西部远离海岸, 存在尾矿库水和垃圾掩埋场、库岸污染水对相邻含水层的入侵问题, 高含盐和重金属的库水与海水在容重上有许多相似之处; 中部广袤平原的水文地质条件与西部小型河谷盆地的水文地质条件差异明显。在供水源地水量计算中, 中、东部地区遇到的是复杂多变的水文地质条件, 要借助《地下水动力学》中数值解方法的支持, 而西部地区遇到的大多是单井稳定流或非稳定流问题; 西部地区中小型水库遍布, 不论是水

库的设计还是运行，都会遇到库岸及坝区枢纽工程的渗漏问题；中、东部地区地下热水形成的热源主要依赖于地热增温级，而西部不少地区形成地下热水的热源是岩浆余热，地热资源评价时所选用的参数有很大差异。

鉴于上述原因，本教材的主要内容确定为：①渗流理论基础；②地下水流向集水构筑物（水平的、垂向的）；③地下水运动的某些专门问题；④实验与实训。

本教材具有以下特点：

1) 重点讨论以井为主要取水构筑物的稳定流及非稳定流流量计算，并且突出计算公式的应用条件及使用中可能存在的问题分析。

2) 对中小型水利工程地质病害治理中可能遇到的坝基和库岸渗漏流量计算问题进行专门讨论。

3) 地下热水热量垂向运移概算问题的讨论，不但可以为热量评价提供依据，而且有利于拓宽同学们的知识面，如对热液成矿理论的理解。

本书由何俊杰负责编写大纲及全书的统编定稿。各章编写分工如下：第一章、第二章及第四章由王明伟编写；第三章、第五章及第六章由王廷国编写；第七章、附录由何俊杰编写。

教材编写过程中，参考了多个版本的《地下水动力学》教材和《地下水动力学》讲义（何俊杰等）；得到了云南国土资源职业学院领导的热情关心和大力支持，学院教务处、科技处、地质工程系提供了有利条件，相关老师和同学也给予了热忱帮助。在此，作者向他们致以最诚挚的谢意！

由于作者水平所限，加之时间仓促，书中难免存在错漏之处，敬请读者批评指正，以便修改完善。

作者

2008年8月于昆明

目 次

前 言	
绪 论	(1)
一、地下水动力学研究的内容及意义	(1)
二、地下水动力学的发展简况	(1)
三、学习地下水动力学的目的及要求	(2)
第一章 渗流理论基础	(3)
第一节 渗流的基本概念	(3)
一、渗透与渗流	(3)
二、渗流的运动要素	(4)
三、渗流的分类	(7)
四、储水系数及储水率	(8)
第二节 渗流的基本定律	(11)
一、水均衡原理	(11)
二、渗流定律	(11)
第三节 地下水在均质各向异性介质中的运动特征	(15)
一、主渗透系数与方向性渗透系数	(15)
二、各向异性与流线偏转	(17)
第四节 地下水在非均质各向同性介质中的运动特征	(17)
一、流线与非均质岩层面斜交	(17)
二、流线垂直非均质岩层界面	(18)
三、流线与非均质界面平行	(18)
第五节 描述地下水运动的数学模型及解算方法	(19)
一、关于模型的一般概念	(19)
二、描述地下水运动的数学模型	(20)
三、数学模型的解算方法	(21)
第二章 地下水在含水层中的运动	(22)
第一节 承压含水层中地下水运动的基本微分方程	(22)
一、地下水非稳定运动的基本微分方程	(22)
二、地下水稳定运动的基本微分方程	(24)
第二节 潜水含水层中地下水运动的基本微分方程	(24)
一、地下水非稳定运动的基本微分方程	(24)
二、地下水稳定运动的基本微分方程	(26)

第三节 地下水一维流微分方程的应用	(27)
一、承压含水层中的一维流稳定运动	(27)
二、潜水含水层中的一维流稳定运动	(28)
三、河(渠)间地块中潜水稳定运动(有垂向补给及排泄时)	(30)
四、河渠附近地下水的非稳定运动	(34)
五、田面入渗区潜水的非稳定运动	(44)
第三章 地下水向完整单井的稳定运动	(47)
第一节 概述	(47)
一、水井的类型	(47)
二、井附近的水位降深	(47)
第二节 地下水向承压井和潜水井的稳定运动	(49)
一、承压井的裘布依公式	(49)
二、潜水井的裘布依公式	(51)
三、裘布依公式的应用	(54)
四、裘布依公式讨论	(55)
第三节 非线性流时地下水向完整单井的稳定运动	(56)
一、承压井	(56)
二、潜水井	(57)
第四节 流量与水位降深关系的经验公式	(57)
第五节 地下水向干扰井的稳定运动	(60)
一、叠加原理的含义	(60)
二、干扰井群	(60)
第六节 均匀流中的井	(63)
第七节 井损与有效井径的确定方法	(64)
一、井损	(64)
二、利用抽水资料求有效井径	(65)
第四章 地下水向完整井的非稳定运动	(67)
第一节 承压含水层中的完整井流	(67)
一、定流量抽水时的泰斯公式	(67)
二、流量变化时的计算公式	(69)
三、泰斯公式的近似表达式	(69)
四、对泰斯公式及有关问题的讨论	(70)
五、利用泰斯公式确定水文地质参数常用的方法	(73)
六、定降深井流计算	(79)
第二节 有越流补给的完整井流	(81)
一、基本方程	(81)
二、公式讨论	(83)
三、利用抽水试验资料确定越流系统的参数	(85)

第三节 潜水完整井流	(92)
一、考虑滞后疏干的博尔顿第二模型	(92)
二、潜水完整井的近似计算公式	(98)
第五章 地下水向边界附近井的运动	(100)
第一节 镜像法原理及直线边界附近的井流	(100)
一、镜像法原理	(100)
二、直线边界附近的井	(101)
第二节 扇形含水层中的井流	(106)
一、象限含水层 ($\theta=90^\circ$)	(106)
二、其他角度的扇形含水层	(108)
第三节 条形含水层中的井流	(109)
第六章 地下水向不完整井的运动	(111)
第一节 地下水向不完整井运动的特点	(111)
一、不完整井及其应用	(111)
二、不完整井的类型	(111)
三、不完整井附近水流特征	(111)
第二节 地下水向不完整井的稳定运动	(112)
一、半无限含水层中的不完整井	(112)
二、有限厚含水层中不完整井	(115)
第三节 地下水向承压不完整井的非稳定运动简介	(117)
一、基本方程	(117)
二、根据抽水试验资料求水文地质参数	(118)
第七章 有关地下水运动的某些问题及模拟方法简介	(121)
第一节 研究地下水运动的模拟方法简介	(121)
一、模拟法 (物理模拟)	(121)
二、数值模拟	(125)
第二节 水动力弥散理论简介	(129)
一、水动力弥散现象及其机理	(129)
二、水动力弥散系数	(131)
三、对流-弥散方程及其定解条件	(131)
四、一维弥散问题的解	(134)
第三节 多孔介质中的热量运移	(134)
一、研究热量运移的意义	(134)
二、热量的水平向运移	(135)
三、热量的垂向 (由地壳深处向地表) 运移	(136)
第四节 水库病害治理及水工建筑中有关地下水渗流问题	(139)
一、概述	(139)
二、坝基渗流量计算	(139)

三、绕坝渗流量计算	(142)
四、库岸渗流量计算	(144)
第五节 库岸带污染水入侵	(146)
一、吉本-赫尔兹伯格模式	(147)
二、裘布依-吉本-赫尔兹伯格模式 (I)	(147)
三、裘布依-吉本-赫尔兹伯格模式 (II)	(148)
第六节 “大井”流、辐射流与沟流	(148)
一、“大井”流	(149)
二、辐射流	(149)
三、沟流	(151)
参考文献	(157)
附录 1 水力学基础	(158)
附录 2 关于泰斯公式的推导	(174)
附录 3 关于河渠附近地下水非稳定流公式的推导	(177)
附图 1 $W(u) - \frac{1}{u}$ 标准曲线	
附图 2 $W\left(u, \frac{r}{B}\right) - \frac{1}{u}$ 标准曲线	
附图 3 $W\left(u_a, u_y, \frac{r}{D}\right) - \frac{1}{u_a}$ (或 $\frac{1}{u_y}$) 标准曲线	

绪 论

一、地下水动力学研究的内容及意义

地下水动力学是研究地下水在岩石空隙中运动规律的科学。它是进行地下水定量评价及合理开发利用的理论基础。

地下水是宝贵的资源，它对人们的日常生活、工业、农业发展以及国防建设均起着重要的作用。这就要求正确评价地下水资源，合理布置取水建筑物，既要保证充分利用资源又不能使资源枯竭或水质恶化。

地下水在一定条件下也会对矿床开采、基坑开挖、水坝安全产生危害，使土层产生次生盐渍化及沼泽化。

随着人类活动的发展还会出现新的问题，如华北平原过量集中开采地下水，引起上千平方千米的地面沉降；上海近海开采地下水，引起海水倒灌所开采的含水层；三废排放也会使地下水污染等。因此，我们应当根据地下水动力学的理论和方法，在开发利用地下水的同时，研究预测上述问题的影响范围和发展速度，以便提出比较合理的治理措施。

另外，数十年来人们把含水层当做“储冷”和“存热”的地下仓库。近年来水工建筑的地质灾害治理研究中，也有人利用地下水的温度变化来评价水库渗漏途径存在的可能性。这些问题的解决需要研究水热量的水平和垂向运移。

二、地下水动力学的发展简况

人类利用地下水已有几千年的历史（自贡盐井、新疆坎儿井、平原地区的水井），但真正从科学的角度进行地下水定量计算，是从19世纪中叶开始的。

1. 达西渗透定律的提出

1856年，达西通过渗流试验提出了水在多空介质中运动的渗透定律，即著名的达西定律。这个定律是定量认识地下水运动的开始，至今它仍然是研究地下水运动的理论基础。

2. 裘布依方程的提出

1863年，裘布依以达西定律为基础，研究了一维和径向二维流稳定运动。之后弗尔赫格尔衣麦尔研究了更为复杂的渗流问题。裘布依和弗尔赫格尔衣麦尔共同奠定了稳定流的理论基础。此后，对地下水稳定流的研究成为地下水动力学的重要内容。稳定流至今对生产起着重要作用，具有使用价值。

3. 泰斯方程的建立

20世纪20年代以来，鉴于美国农场地下水开采规模越来越大，地下水的天然状态受到破坏，水位持续下降。水的运动状态随时间变化的特征越来越明显，即地下水运动的不稳定性和承压含水层的储水性特征明显。1935年，泰斯在此基础上提出了地下水流向承

压井的非稳定流公式。泰斯公式的提出开创了研究地下水运动的新纪元，随之而来的三四十年间，求解非稳定流的解析解法得到了迅速发展，进而提出了越流理论、潜水含水层非稳定流理论等。

4. 模拟技术在地下水研究中的应用

在1950~1960年期间，为了解决地下水需求规模扩大而引发的诸多水文地质问题，研究对象不再是单一的含水层，而是含水系统，使模拟技术（如电网络模拟技术）成为解决上述问题的有力工具。

5. 数值技术的快速发展

20世纪60年代后期，数值模拟能在地下水计算中得到广泛应用，得益于计算的进步及计算机的飞速发展。

6. 地下水动力学的发展趋势

近百年来，尽管地下水动力学有了很大发展，但仍存在不少薄弱环节，许多新问题成为今后研究的重心，例如：①地下水在裂隙及溶隙介质中的运动机制及运动规律；②地下水的最优化管理问题；③热量在含水介质中的运移问题；④数值模拟技术在解决生产实践问题上的应用研究等。

三、学习地下水动力学的目的及要求

结合高职高专学生的专业知识及基础理论，学习地下水动力学的主要目的是：掌握地下水运动的基础理论，并能初步运用这些理论分析基本的水文地质问题；学会建立相应的数学模型，并能使用相应的计算或模拟方法对地下水资源进行定量评价。

地下水动力学的学习过程有一定困难。学习过程中要多思考分析水文地质条件概化、数学模型建立的基本思路；要重点掌握地下水稳定流及非稳定流在不同条件下解析解的原理和方法，并深刻理解这些方法的应用条件。

第一章 渗流理论基础

渗流理论是学习地下水动力学的基础。渗流理论中将沿用水力学的许多概念和原理，将在附录1中加以阐述。本章着重介绍渗流的基本概念、渗流定律及地下水在介质中的运动特征。

第一节 渗流的基本概念

一、渗透与渗流

(一) 渗透

地下水受重力作用在空隙介质中的运动称渗透。空隙介质是指由固体骨架和相互联通的孔隙或裂隙（包括溶蚀裂隙等）两部分组成的整体。

如图1-1所示，由于固体骨架排列的随机性，必然使空隙大小、形状、延伸方向及相互排列没有固定规律。这就使得在孔隙中的地下水运动方向、速度大小随时而改变，就是在同一孔隙中也会因距固体骨架的距离不同而速度不同。针对地下水运动的复杂性，地下水动力学中一般采用两种研究方法：一种是研究地下水在孔隙介质中的微观运动，用统计学的方法来确定地下水运动的宏观性规律；另一种是对大量微观运动进行宏观研究，采用试验及数学分析方法，得出各种运动条件下地下水运动的基本规律。第二种方法简单有效，常被采用，要求对实际地下水流进行概化。

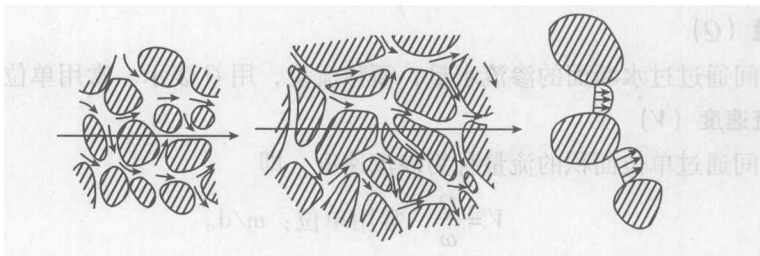


图1-1 地下水在空隙介质中的运动

(二) 渗流

渗流就是对实际水流进行概化了的假想渗透水流。

对实际水流进行概化时，一不考虑骨架的存在，认为孔隙和骨架所占的空间都被水充满；二不考虑地下水实际运动的方向和途径，用地下水总的运动方向代替，如图1-1所示。

使用渗流时，须满足以下条件，才能正确地反映实际地下水流的特征：

- 1) 通过任一过水断面的渗流量与通过该断面的实际流量相等；
- 2) 作用于任一断面上的渗流压强（压力）与作用于该面积上的实际水流渗透压强（压力）相等；
- 3) 渗流通过任一体积所受的阻力与实际水流通过该体积所受的阻力相等。

为了满足上述条件，要求渗流场边界条件与实际水流的边界条件相同。

由于渗流在渗流场内是连续的，表征渗流特征的运动要素，如渗流压强、渗流速度等应是流场坐标的连续函数。

（三）渗流与渗透的关系

在渗流场中取一个过水断面，面积为 ω ，其中的空隙断面为 ω' 。通过 ω' 的实际地下水流量为 Q ，则地下水的实际流速（即断面 ω' 上的平均值）为

$$U = \frac{Q}{\omega'} \quad (1-1)$$

而渗流速度（即面积为 ω 上的平均值）为

$$V = \frac{Q}{\omega} \quad (1-2)$$

$$\text{因 } \frac{\omega'}{\omega} = n$$

$$\text{所以 } V = nU \quad (1-3)$$

而通常空隙率 $n \ll 1$ ，所以 $U \gg V$ ，即地下水的实际流速总是大于渗流速度。

二、渗流的运动要素

渗流的运动要素是描绘渗流运动特征的物理量，如渗流速度、渗流量、渗流压强、水头、水力坡度等。它们是时间和空间的连续函数。

（一）渗流量与渗流速度

1. 流量（ Q ）

单位时间通过过水断面的渗流水量，简称流量，用 Q 表示。常用单位： m^3/d 或 L/s 。

2. 渗流速度（ V ）

单位时间通过单位面积的流量称为渗流速度，即

$$V = \frac{Q}{\omega}, \text{ 常用单位: } \text{m}/\text{d}.$$

（二）渗流压强、测压管水头、水力坡度

1. 渗流压强

在实验室中常用测压管来测量渗流压强。测压管一端开口向上，另一端置于测量点处如图1-2中点A。当A点渗流压强（ p ）大于大气压强（ p_a ）时，则地下水在压强差（ $p - p_a$ ）的作用下，沿测压管上升到某一高度 h_n ，这时水柱高度恰好等于上述压强差。其关系式如下：

$$p - p_a = \gamma h_n \quad (1-4)$$

$$\text{令} \quad p - p_a = p' = \gamma h_n \quad (1-4a)$$

$$\text{则} \quad h_n = \frac{p'}{\gamma}; \quad h_n = \frac{p}{\gamma} \quad (1-4b)$$

式中： γ 为水的容重； p' 为作用于 A 点的相对压强； h_n 为自 A 点到其测压管水面的垂直距离，称测压管高度（测压高度）。

由式（1-4）可看出，作用于 A 点上的渗流压强 p 等于作用于 A 点的测压管水面上大气压强 p_a 与由 A 点到测压管水面间水柱高度的重量所产生的压强 γh_n 之和。

在地下水动力学中，把相对压强称为渗流压强，并记为 p' （书写为 p ），即

$$p = p' = \gamma h_n; \quad h_n = \frac{p}{\gamma}$$

2. 测压水头 (H_n)

测压水头是指由测压管水面到计算基准面的垂直距离。通常用 H_n 表示。显然，渗流场中任一点的测压水头是该点的测压高度 h_n 与该点到基准面的距离 z 之和，即

$$H_n = z + \frac{p}{\gamma} \quad (1-5)$$

式中： z 为位置水头，从能量的角度看 z 为单位位能； $\frac{p}{\gamma}$ 为单位压能； $z + \frac{p}{\gamma}$ 为单位势能。

若在水流运动途径上取过水断面 1 和 2（图 1-3），则在断面上所具有的能量，可用伯诺里能量方程表示：

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (1-6)$$

$$\text{或} \quad H_1 = H_2 + h_{w1-2} \quad (1-6a)$$

$$\text{或} \quad z + \frac{p}{\gamma} + \frac{U^2}{2g} + h_w = H + h_w = C \quad (1-6b)$$

式中： H 为总水头值； U 为水流的实际流速； g 为重力加速度； C 为常数； h_{w1-2} 为断面 1 与 2 间由于水流克服阻力导致的水头损失（主要转换为热能）；其他符号意义同前。

对方程式中的 $\frac{U^2}{2g}$ 讨论如下：

由于地下水在含水层中实际流速很小，例如，在添砂的渗流槽中，当上下游形成较大的水力坡度（ $J=0.1$ ），且实际流速 $U \approx 1\text{m/d}$ 时，流速水头 $h_u = \frac{U^2}{2g} = 3.9 \times 10^{-7}\text{cm}$ ，是一个相当小的值。但自然界中地下水很难达到上述水力坡度和实际流速这样大的值。因此，在地下水运动的研究中往往不考虑流速水头，渗流的伯诺里能量方程可写为

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + h_{w1-2} \quad (1-7)$$

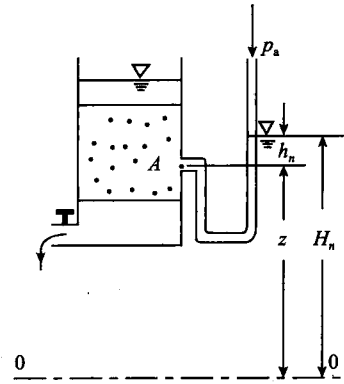


图 1-2 渗流压强测量示意图

或
$$H_1 = H_2 + h_{w1-2} \quad (1-7a)$$

地下水总水头近似等于测压水头，二者不加区别，均称水头并用 H 表示，则

$$H = z + \frac{p}{\gamma} \quad (1-8)$$

3. 水力坡度 (J)

地下水在运动过程中要不断克服阻力，要不断地消耗机械能。对于机械能（水头）沿流程的变化特征，我们常用水力坡度 (J) 来表示。

渗流场中某点的水力坡度定义为渗流通过该点单位渗流途径长度上的水头损失 (图 1-3, 图 1-4)。即

$$J = - \frac{dH}{dl} \quad (1-8a)$$

由于随着渗流途径增加，水头值减小，则水头值增量 dH 沿渗流运动方向为负值。但习惯上规定水力坡度为正值，所以在上式的右侧加一负号。水力坡度无量纲。

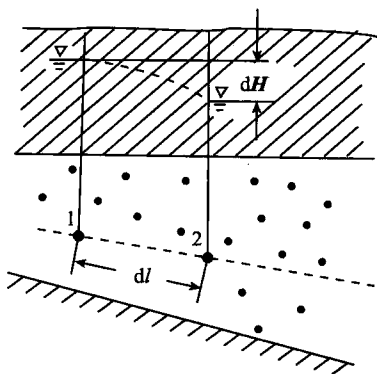


图 1-3 隔水底板倾斜时水头损失示意图

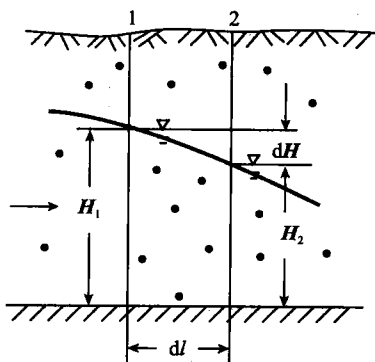


图 1-4 隔水底板水平时水头损失图

(三) 流线、等水头线和流网

1. 流线

流线是在给定的时刻、在渗流场中人为绘制的一条曲线，曲线上各点处渗流的流向与该点处的曲线相切，如图 1-5 所示。

流线的特点：流线是互不相交的光滑曲线，流线的形状受边界形状及性质的控制，通常在供水（补给）边界处流线应垂直边界，而在隔水边界处流线往往平行边界；流线起着“隔水”作用，即流线两侧的质点不能穿越流线运动；瞬时的流线方向就是水头变化最大的方向。

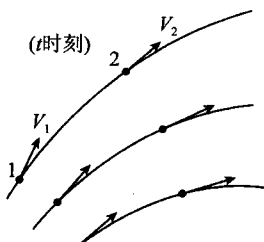


图 1-5 流线

2. 等水头线

渗流场内水头值相等的点连成的面称等水头面（可以是平面也可以是曲面）。在剖面上表现为等水头线（直线或曲线）。在均质各向同性的含水层中等水头线与流线正交，等水头面就是过水断面。等水头线（面）的特点是：等水头线（面）具有“透水”性。

3. 流网

在渗流场中，由流线、等水头线组成的网格称为流网。流网能全面地反映渗流运动要素的分布及变化特征，所以流网成为研究渗流运动的一种图示图解方法。例如，利用流网分析地下水的补给、径流、排泄条件，地表水与地下水的相互关系等，有利于较全面地掌握渗流场的水动力条件。

三、渗流的分类

(一) 稳定流与非稳定流

稳定流与非稳定流是根据渗流运动要素是否随时间变化而划分的。

1. 稳定流

渗流场中任一点处运动要素不随时间变化，这种渗流称为稳定流，其运动称为稳定运动。稳定流的运动要素与时间无关，它们是空间坐标的函数。若以水头及渗流速度为例，其表达式为

$$H = f(x, y, z)$$

$$V = \varphi(x, y, z)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = 0;$$

或

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0$$

2. 非稳定流

渗流场中任一点处运动要素随时间而改变，此渗流称为非稳定流，其运动称为非稳定运动。非稳定流的运动要素是时间和空间坐标的函数，可表示为

$$H = f(x, y, z, t)$$

$$V = \varphi(x, y, z, t)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} \neq 0;$$

或

$$\frac{\partial V}{\partial t} \neq 0$$

(二) 有压流与无压流

在饱和流中，有压流与无压流是根据渗流是否具有自由表面，即自由表面上的压强是否为大气压强来划分的。

1. 有压流

渗流场中任一点处的相对压强不为零，即不具备与大气相连通的自由水面，这种渗流称为有压流（如承压水流）。

2. 无压流

渗流场中任一点处的相对压强为零，即具备与大气连通的自由水面，这种渗流称为无压流（如潜水流）。

(三) 缓变流与急变流

根据流线随流程变化的缓急程度来划分。

1. 缓变流 (渐变流)

流线的曲率很小, 即流线呈近似相互平行的直线。

特点: ①过水断面上各点的水头 (单位势能) 近似相等; ②过水断面通常被视为平面。当隔水底板近似水平时, 过水断面可近似地当做铅垂平面。

2. 急变流

流线沿流程变化大, 其曲率半径小。

(四) 一维流、二维流及三维流

根据渗流速度向量 (V) 与所选的坐标系 $\{o-xyz\}$ 的关系来划分, 通常可划分为一维流、二维流和三维流。

1. 一维流

在渗流场中流线相互平行, 渗流方向与任一坐标轴 (如 ox 轴) 方向一致。例如承压含水层的隔水顶底板在剖面上呈平行直线, 等厚、等宽, 均质承压含水层中的水流就是一维流。

2. 二维流

各点的速度向量与某一平面平行 (又称平面流), 流速向量可分解为两个速度分量, 即 V 可分为 V_x, V_y 。如两平行河间地块中的潜水流。

3. 三维流 (空间流)

各点的速度向量相互之间不平行, 可分解为 3 个速度分量, 即 V 分为 V_x, V_y, V_z 。例如潜水含水层中抽水所呈现的水流。

通常, 渗流在水平方向上的速度分量远大于垂直方向上的速度分量, 因此有可能忽略后者, 把三维流近似地当做二维流 (在某些条件下甚至可以近似地作为一维流) 进行研究, 以便于求解。

四、储水系数及储水率

迈因策尔等人根据观测资料证明承压含水层是可压缩和有弹性的。随着抽水引起承压水位下降, 承压含水层就能释放一部分弹性储存水。在无限延伸的承压含水抽水过程中, 当无其他补给来源时抽出的水就是消耗弹性储存的水量。

(一) 平衡状态下的受力分析

从处于平衡状态下的承压含水层中, 取出一个柱体进行分析, 如图 1-6 所示。

1. 天然条件下

令: ①含水层上覆地层对承压含水层的骨架及地层中地下水的压强为 F , 单位 Pa; ②含水层骨架反压强为 p_s , 单位 Pa; ③地下水对隔水顶板的浮托压强为 p , 单位 Pa; 则平衡状态下, 有

$$F = p_s + p$$