

工程水文 地质学

白玉华 主编

GONG CHENG
SHUI WEN
DIZHIXUE



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

要 要 容 内

高 等 院 校 试 用 教 材

工程水文地质学

白玉华 主编

本书共分十章，内容包括：绪论、各类型的地下水、地下水的成因、地下水的循环、地下水的运动、地下水的性质、不同地质构造区的地下水、岩层与地下水、岩土工程地下水勘察工作、工程地质与地下水、工程地质中水文地质学的基本概念、工程地质中水文地质学的基本方法、注重理论联系实际，注意培养学生解决实际问题的能力，以便于读者应用。

本书编写的具体分工是：绪论、第一章、第二章由王学军教授（北京工业大学）执笔；第三、四、五、六、七、八、九章由王三保教授（南京工业大学）执笔；第十、十一章由王学军教授（北京工业大学）执笔。

<p>第一章 绪论</p> <p>第二章 各类型的地下水</p> <p>第三章 地下水的成因</p> <p>第四章 地下水的循环</p> <p>第五章 地下水的运动</p> <p>第六章 地下水的性质</p> <p>第七章 不同地质构造区的地下水</p> <p>第八章 岩层与地下水</p> <p>第九章 岩土工程地下水勘察工作</p> <p>第十章 工程地质与地下水</p> <p>第十一章 工程地质中水文地质学的基本概念</p> <p>第十二章 工程地质中水文地质学的基本方法</p>	<p>王学军教授（北京工业大学）执笔</p> <p>王三保教授（南京工业大学）执笔</p> <p>王学军教授（北京工业大学）执笔</p>
--	--



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材共分9章,内容包括:绪论、自然界的地下水、地下水的类型、地下水的循环、地下水的运动、地下水的水质、不同地貌地区的地下水、岩土工程与地下水、岩土工程地下水勘察工作、岩土工程中地下水处理。

本教材介绍了水文地质学的基本概念,基本定律和常用公式,岩土工程中的地下水问题以及处理地下水的基本方法。注重理论联系实际,注意培养学生分析岩土工程中水文地质的问题及其相关解决问题的方法。

本教材可作为高等院校土木工程专业岩土工程方向与勘察技术等专业的教学用书(适用于60学时),也可供相关专业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程水文地质学/白玉华主编. —北京:中国水利水电出版社,2002

ISBN 7-5084-1451-9

I. 工... II. 白... III. 工程地质:水文地质-高等学校-教材 IV. P64

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第087507号

书 名	工程水文地质学
作 者	白玉华 主编
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:sale@waterpub.com.cn 电话:(010)63202266(总机) 68331835(发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 10.75印张 279千字 3插页
版 次	2002年12月第一版 2002年12月第一次印刷
印 数	0001—2400册
定 价	24.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本教材是为高等院校土木专业岩土工程方向与勘察技术等专业编写的教材。

本教材在编写过程中，为了保持水文地质学内容的系统性、完整性，参照课程教学基本要求的征求意见，对教材的整体内容和深度作了适当的修改、增补和调整，考虑到土木工程专业岩土工程方向与勘察技术专业课程的设置和特点，增加了岩土工程中有关水文地质方面问题的内容。

本教材共分9章，内容包括：绪论、自然界的地下水、地下水的类型、地下水的循环、地下水的运动、地下水的水质、不同地貌地区的地下水、岩土工程与地下水、岩土工程地下水勘察工作、岩土工程中地下水处理。本书全面介绍了水文地质学的基本概念、基本原理和基本定律，以及岩土工程中地下水的问题以及处理地下水的基本方法。注重理论联系实际，注意培养学生分析岩土工程中水文地质问题及其相应解决问题的方法。为了便于读者学习和掌握，每章附有思考题与习题。突出体现了本教材的理论性和实用性。

本教材编写的具体分工是：绪论、第一章、第二章由白玉华副教授（北京工业大学）执笔；第四章、第八章、第九章由严三保工程师（南京工业大学）执笔；第三章由崔玉兰高级工程师（水利部水文局）执笔；第五章由关惠平（兰州铁道学院）执笔；第六章由张钟声高级工程师（北京华茂中天建筑设计有限公司）执笔；第七章由贺大印副教授（南京工业大学）执笔；实验部分由龙北生（长春工程学院）执笔；全书由白玉华主编。

本教材由张永祥教授（北京工业大学）审稿，他对初稿进行了全面细致的审查，并提出许多宝贵意见。本教材在编写与出版过程中得到北京工业大学建筑工程学院领导的支持，同时也得到中国水利水电出版社的领导及陈薇编辑热情帮助，在此谨致谢忱！

本教材可以作为高等院校土木工程专业岩土工程方向与勘察技术专业的教材，也可以供相关专业的工程技术人员参考使用。

由于作者水平所限，本书中疏漏和错误之处难免，恳请读者批评指正。

2002年11月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 自然界的地下水	3
第一节 水文循环	3
第二节 岩石的空隙	5
第三节 岩石中水的赋存形式	8
第四节 岩石的水理性质	10
思考题与习题	13
第二章 地下水的类型	14
第一节 地下水的分类	14
第二节 上层滞水	14
第三节 潜水	15
第四节 承压水	18
思考题与习题	21
第三章 地下水的循环	24
第一节 地下水的补给	24
第二节 地下水的排泄	26
第三节 地下水的径流	27
第四节 地下水的动态与均衡	28
思考题与习题	30
第四章 地下水的运动	32
第一节 渗流的基本概念	32
第二节 渗流的基本定律	40
第三节 地下水的稳定运动	42
第四节 地下水的非稳定运动	58
思考题与习题	79
第五章 地下水的水质	83
第一节 地下水的物理性质	83
第二节 地下水的化学成分和主要化学性质	84
第三节 地下水化学成分的形成作用	89
第四节 地下水的水质分析及其表示方法	91
思考题与习题	93

第六章 不同地貌地区的地下水	95
第一节 松散岩层中的孔隙水	95
第二节 坚硬岩石中的裂隙水	100
第三节 岩溶中的岩溶水	103
思考题与习题	107
第七章 岩土工程与地下水.....	110
第一节 引起地下水环境变化的因素	110
第二节 地面沉降	112
第三节 地面塌陷	114
第四节 滑坡	116
第五节 水位水压变化对地基基础的有害作用	120
第六节 地下水对地基土的渗流破坏	123
第七节 地下水对混凝土基础的侵蚀破坏作用	127
思考题与习题	129
第八章 岩土工程地下水勘察工作.....	130
第一节 地下水位观测与地下水流速流向测定	130
第二节 抽水试验	132
第三节 地下水侵蚀性调查与评价	135
第四节 地下水的监测	139
思考题与习题	140
第九章 岩土工程中地下水处理.....	141
第一节 明沟排水	141
第二节 井点降水	142
第三节 基坑出水量计算	146
第四节 轻型井点降水的水文地质计算	146
第五节 基坑深井井点降水的稳定流计算举例	150
第六节 基坑深井井点降水的非稳定流计算举例	152
第七节 基坑降水工程的施工管理与监测	153
思考题与习题	154
实验.....	155
实验一 孔隙与水	155
实验二 渗流实验	157
实验三 毛细运动	159
实验四 静水压强	162
参考文献.....	165
附图 1 松滨地区潜水等水位线图及埋藏深度图	
附图 2 龙泉镇地区中寒武统承压含水层等水压线图	
附图 3 东王村地区水文地质图	
附图 4 井函数 $W(u) - l/u$ 曲线	

附图 5 井函数 $W(u, r/B) - l/u$ 曲线

附图 6 井函数 $W(u_A, u_y, r/D) - l/u_A$ (或 l/u_y) 曲线

绪 论

工程水文地质学是介于水文地质学与岩土工程学之间的边缘学科。它是应用水文地质学理论与知识,如何有效地防止与消除地下水对岩土工程的各种灾害的一门学科。

水文地质学是研究地下水的科学,主要研究地下水在自然环境(岩石圈、大气圈、地表水圈及生物圈)与人类活动影响下,数量与质量在时间和空间上的变化规律,并研究如何运用这些规律解决与地下水有关的实际问题(包括合理开发利用、调节控制和防治地下水的灾害等方面),以取得较好的经济效益、社会效益和生态效益。

从人类打井取水作为利用地下水开始,至今已有数千年的历史。然而,作为地质科学分支的水文地质学是从 1856 年达西(H.Darcy)定律问世之后才开始建立的,在 20 世纪 20 年代逐渐发展成为一门独立的科学。由于水文地质学与工农业生产和人们的生活有着密切的关系,随着生产实践的发展和科学技术的不断进步,水文地质学获得了迅速的发展。到了 20 世纪 50~60 年代。水文地质学已具备了比较完整的科学体系,形成了若干个独立的组成部分,它可细分为以研究地下水最基本的概念和原理的普通水文地质学;以研究地下水运动规律和各种水文地质计算理论和方法的地下水动力学;以研究地下水的水质及其变化规律的水文地球化学;以上述基本理论为指导,着重研究地下水的一般调查勘探方法及解决各种专门目的(如供水水文地质学、矿床水文地质学等)的专门水文地质学。从水文地质学 100 多年来的发展过程看,地下水这个名词有广义与狭义之分,因而水文地质学的研究对象也有所变化。传统水文地质学从供水角度出发,主要研究狭义地下水——饱水带岩石空隙中的水(从实际情况看,相当长一段时间里水文地质学的研究对象还要窄,基本限于含水层中的重力水)。自从 20 世纪 70 年代中期以来,由于系统科学、环境科学、现代应用数学与计算机技术等新思想、新理论与新技术的输入,使水文地质学的基本概念与研究范畴发生了巨大变革,其结果使水文地质学从定性研究进入到定量研究阶段,纳入到系统工程的轨道,与现代科学更紧密地融合起来,使之从传统水文地质学的束缚中解脱出来,发展成为现代水文地质学,并取得重大进步。这样就使得水文地质学不仅在理论上有所提高,而且在实际应用中,对国民经济规划、国土整治、城市和工业建设、环境保护等,都发挥了重要作用。现代水文地质学的基本特征主要表现为:①与现代科学的新理论、新学科紧密结合,如系统论、信息论、控制论与相应产生的系统科学、环境科学等,对水文地质学的发展产生了重大影响。近年来正在发展的开放复杂巨系统理论、非线性动力系统理论以及耗散结构理论等,都会对今后水文地质学的发展产生深远影响;②应用数学与水文地质学的结合。特点是数值模拟方法得到普遍应用,模型研究成为水资源研究的主要内容,使水文地质学从定性研究发展到定量研究的新阶段;③地下水的研究,从地下水系统与自然环境系统相互关系的研究,扩大到与社会经济系统的研究。地

下水资源的研究，也从数学模型发展到管理模型与经济模型的研究；④许多新的分支学科的产生与发展，如区域水文地质学、岩溶水文地质学、遥感水文地质学、环境水文地质学、医学环境地球化学、污染水文地质学，以及数学水文地质学、水资源水文地质学等，拓宽了水文地质学的研究领域；⑤新技术、新方法的应用。除计算机技术外，如遥感技术、同位素技术、自动监测技术、室内模拟技术，以及高精度水质分析技术等，都得到普遍应用，推动了水文地质学的发展。

不同学科之间的互相渗透是产生新的边缘学科的主要动力。工程水文地质学即是水文地质学与岩土工程学科的互相渗透，派生出的一门新的分支学科。岩土工程是土木工程学科的一个分支，只有 40 多年的历史，而我国自国外引入只有 10 多年的历史。岩土工程是一门把岩土体既作为建筑材料也作为结构进行工程建设的新兴学科，它的研究对象是岩土体，它的研究内容是岩土体的整治、改造和利用问题。岩土工程与水文地质学联系密切。地下水是赋存于地面以下岩土空隙中的水。在岩土工程中地下水常常起着重要的作用，引起很多工程地质问题，并可能造成很多地质灾害。例如，地面沉降、滑坡等都和地下水有关。对岩土体的整治、改造和利用等也都离不开水文地质的问题，故地下水是岩土工程中一个很重要的因素。土木工程在施工中常需开挖基坑，在低于地下水位的部分需要排水，这就需要了解地下水位、含水层的类型及其富水性，以便设计排水方式，计算排水量。如果有的含水层为砂层或砂砾层，还需考虑发生潜蚀流砂的可能性，必要时需大范围降低地下水位后才能进行施工。

地下水具有多方面的作用，与人类有着密切而又复杂的联系，它具有积极与消极两方面意义：一方面，地下水是人类赖以生存的不可缺少的宝贵的自然资源，我们要充分地利用它；另一方面，它常构成工程建设的不利因素，我们要有效地防治它。我们的任务就是要深入调查研究，在掌握地下水分布、形成规律的基础上，充分认识地下水与岩土的关系，以及对工程的影响，控制调节地下水，使之处于对岩土工程最有利的状态，对已经出现的与地下水有关的种种问题，要及时采取控制及防范措施。

工程水文地质学是综合性、应用性都很强的一门科学。运用水文地质学的概念和理论，分析和解决岩土工程中实际问题，是本课程根本之所在。在学习一～六章基本概念和基本原理时，应把水文地质学与地质学的其它相关学科融会起来，以获取对岩土工程中所涉及的水文地质问题进行分析的能力。七～九章所述内容属于岩土工程勘察与施工的业务范围。涉及岩土工程勘察中的水文地质调查和编录、水文地质勘察、试验现场的布置与测试、资料的整理、计算和绘图、基坑降水的设计与施工等。在学习中，需要密切配合教学内容认真完成作业和课程设计，充分利用岩土工程施工现场实习环节，广泛阅读水文地质勘察报告、基坑降水设计和典型基坑的防治地下水经验，以及国家和有关部门颁布的规范中的有关内容。

第一章

自然界的地下水

第一节 水文循环

一、自然界中水的分布

地球上的水以气态、液态及固态三种形式存在于大气圈、地表和地壳中。大气圈中的水降落到地面称为大气降水；地表上江、河、湖、海中的水称为地表水；埋藏在地表下岩土孔隙、裂隙或溶隙中的水称为地下水。三者的关系极为密切，而且是互相转换的。陆地上大部分淡水都埋藏在地表以下，地球上水量的分布状况可见表 1-1 所示。

根据联合国教科文组织资料，不包括生物体中的水与矿物中的水，浅部层圈中水的总体积约为 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。若将这些水均匀平铺在地球体表面，水深约为 2718m。但其中咸水约占 97.47%，淡水只占 2.53%。各类水体的体积及比例见表 1-1。

表 1-1 地球浅部层圈水的分布

各层圈中的水及其分布		体积 (万 km^3)	占总水量 (%)
大气圈	大气水	0.1290	0.001
地表水圈	海洋	13380	96.5
	冰川和永久积雪	240.641	1.74
	湖泊	1.7640	0.013
	沼泽	0.1147	0.0008
	河流	0.0212	0.0002
地壳浅部	包气带水	0.1650	0.001
	饱水带水	234.0000	1.70
	永久冻土带固态水	3.0000	0.022
合计		13859.8349	100

二、自然界中水的循环

自然界的水，包括大气水、地表水和地下水，彼此密切联系，经常不断相互转化。这种彼此转化的过程就是自然界的水循环。在太阳热能和重力作用下，发生于大气水、地表

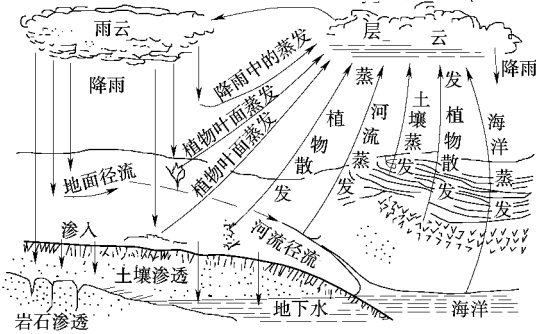


图 1-1 自然界水循环示意图

水和地壳浅部地下水之间的水循环是受水文、气象因素制约的，因此，可称之为水文循环。

如图 1-1 所示，在太阳热能和重力作用下，海洋中水分蒸发成为水汽，进入海洋上空，水汽随季风飘移至陆地上空，在适宜的条件下形成降水。降落的水分，一部分沿地面汇集于低处，成为河流、湖泊等地表水；另一部分渗入地下，形成地下水。形成地表水的那部分水分，有的重新蒸发成为水汽，返回大气圈；有的渗入地下，形成地下水；其余部分则流入海洋。渗入地下的水，部分通过地面蒸发返回大

气圈；部分被植物吸收，通过叶面蒸发（蒸腾）返回大气圈；其余部分则形成地下径流。地下径流或者直接流入海洋，或者经排泄成为地表水，然后返回海洋。如此周而复始，循环不已。

自然界的水循环是由大循环与小循环组成的。水分从海洋经由陆地，最终返回海洋，这种发生于海洋与陆地之间的水循环，称为大循环。在陆地或海洋表面蒸发的水分，重又降落回到陆地或海洋表面，这种局部的水循环，称为小循环，或称为陆地水循环和海洋水循环。大循环是由许多小循环所组成的复杂的水循环过程。

水在自然界中的循环反映了地球水分不断转化的过程，蒸发、降水和径流是这一过程的主要环节。水循环这一客观的规律把地球各层圈的水联系起来，从而保持其各自的相对稳定状态。水是十分重要的自然资源，水循环赋予水具有其它资源所不具有的特征，那就是其再生性。通过水分循环，每年有 47000km^3 的水从海洋转移到陆地，成为可供人类利用的淡水资源。

三、地下的水文循环

参加水循环的部分水量，通过大气降水或地表径流最终可以转换为地下水，其过程可由图 1-1 表示。

地壳浅表部水分如此往复不已地循环转化，乃是维持生命繁衍与人类社会发展的必要前提。一方面，水通过不断转化而使水体得以净化；另一方面，水通过不断循环水量得以更新再生。水作为资源不断更新再生，可以保证在其再生速度水平上的永续利用。大气水总量虽然小，但是循环更新一次只要 8 天，每年平均更换约 45 次。河水的更新期是 16 天。海洋水全部更新一次需要 2500 年。地下水根据其不同埋藏条件，更新的周期由几个月到若干万年不等。

水循环赋予水强大的功能，不断地塑造和改变地球表面，同时也给人类带来灾害，许多工程地质灾害都与地下水有关。

第二节 岩石的空隙

构成地壳表层的岩石，无论是松散的沉积物还是坚硬的岩石，都或多或少存在着空隙。这些空隙是地下水储存的场所和运移的通道。空隙的多少、大小、形状、连通情况和分布规律对地下水的分布和运动具有重要影响。

根据岩石空隙的成因不同，可将其分为：松散岩石中的孔隙、坚硬岩石中的裂隙和可溶岩石中的溶隙（图 1-2）。

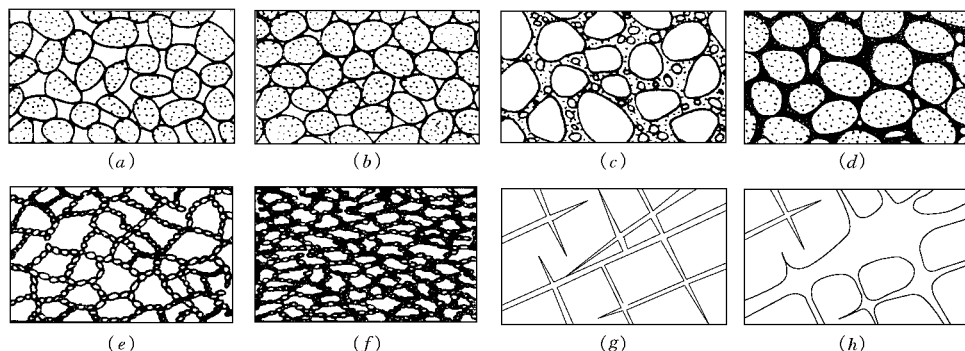


图 1-2 岩石中的各种空隙

- (a) 分选良好，排列疏松的砂；(b) 分选良好，排列紧密的砂；
 (c) 分选不良的，含泥、砂的砾石；(d) 经过部分胶结的砂岩；
 (e) 具有结构性孔隙的粘土；(f) 经过压缩的粘土；
 (g) 具有裂隙的岩石；(h) 具有溶隙及溶穴的可溶岩

一、松散岩石的孔隙

松散岩石是由大小不等、形状各异的颗粒组合而成的，颗粒之间或颗粒集合体之间的空隙，称为孔隙（图 1-2 中 a~f）。

岩石中孔隙体积的多少是决定地下水储存能力的重要因素。孔隙体积的多少以孔隙度表示。孔隙度（ n ）是孔隙的体积（ V_n ）与包括孔隙在内的岩石体积（ V ）的比值，以小数或百分数表示，即

$$n = \frac{V_n}{V} \quad \text{或} \quad n = \frac{V_n}{V} \times 100 \% \quad (1-1)$$

几种典型松散岩石的孔隙度参考数值列于表 1-2。

表 1-2 几种典型松散岩石孔隙度参考数值

岩石名称	砾石	砂	粉砂	粘土
孔隙度范围（%）	25~40	25~50	35~50	40~70

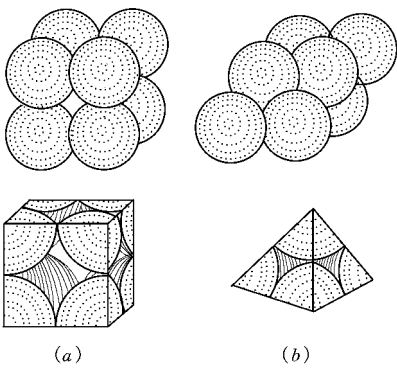


图 1-3 颗粒的排列形式
(a) 立方体排列; (b) 四面体排列

岩石孔隙度的大小主要取决于岩石颗粒大小、岩石的密实程度及分选性。此外,岩石的颗粒形状和胶结程度也有影响。

(1) 岩石的密实程度。岩石越疏松,孔隙度越大(图 1-2 中 a);反之,孔隙度越小(图 1-2 中 b)。岩石的密实程度主要取决于颗粒的排列方式。假设颗粒均为大小相等的圆球(不论其粒径大小),如以立方体排列(图 1-3 中 a),可算出其孔隙度为 47.64%;如作平行四面体排列(图 1-3 中 b),孔隙度仅为 25.95%。上述两种理论上最大孔隙度与最小孔隙度的平均值约为 37%。实际上自然界颗粒大小较均匀的非粘性土(砂、砾石等),其孔隙度大都在 30%~35%

之间,基本上接近理论平均值。

应当注意,上述讨论并未涉及圆球的大小,当颗粒直径不同的等粒岩石,排列方式相同时,孔隙度完全相同。

(2) 岩石的分选性。自然界不存在完全等粒的岩石。岩石大多由大小不等的颗粒组成。常用分选性来表征颗粒组分的不等粒状况。分选性越差,大小颗粒相差越悬殊,细小颗粒可以充填粗粒间较大的孔隙,因此孔隙度就越小(图 1-2 中 c)。反之,分选性越好,颗粒越均匀,孔隙度就越大(图 1-2 中 a~b)。

(3) 岩石颗粒形状。岩石颗粒的滚圆程度称磨圆度。自然界中很少有真正呈圆形的颗粒。一般来说,磨圆度越差,棱角部分接触,常会使颗粒相互架空,故孔隙度往往越大。反之,颗粒磨圆度越好,孔隙度往往越小。

(4) 岩石的胶结程度。岩石受到不同程度的胶结时,由于胶结物充填,孔隙度有所降低(图 1-2 中 d)。

综上所述,通常情况下颗粒越小,岩石越疏松,分选性越好,磨圆度和胶结程度越差,孔隙度越大。反之,孔隙度越小。

粘土的孔隙度往往可以超过上述理论上最大孔隙度值。这是因为粘土颗粒表面常带有电荷,在沉积过程中粘粒聚合,构成颗粒集合体,可形成直径比颗粒还大的结构孔隙(图 1-2 中 e~f)。此外,粘土中往往还发育有虫孔、根孔、干裂缝等次生空隙。显然,对于粘土,决定孔隙大小的不仅是颗粒大小及排列,结构孔隙及次生空隙的影响是不可忽视的。

二、坚硬岩石的裂隙

裂隙主要指固结的坚硬岩石(沉积岩、岩浆岩和变质岩)受力破裂形成的空隙(图 1-2 中 g)。

根据裂隙的成因可分为成岩裂隙、构造裂隙和风化裂隙。

成岩裂隙是岩石在成岩过程中由于冷凝收缩(岩浆岩)或固结干缩(沉积岩)而产生的。岩浆岩中成岩裂隙比较发育,尤以玄武岩中柱状节理最有意义。构造裂隙是岩石在构

造变动中受力而产生的。这种裂隙具有方向性，大小悬殊（由隐蔽的节理到大断层），分布不均匀。风化裂隙是在风化营力作用下，岩石被破坏产生的裂隙，主要分布在地表附近。有关各种成因裂隙的形成分布规律详见第六章。

裂隙的多少以裂隙率表示。裂隙率 (K_r) 是裂隙体积 (V_r) 与包括裂隙在内的岩石体积 (V) 的比值，以小数或百分数表示，即

$$K_r = \frac{V_r}{V} \quad \text{或} \quad K_r = \frac{V_r}{V} \times 100 \% \quad (1-2)$$

除了这种体积裂隙率，还可用面裂隙率^①或线裂隙率^②说明裂隙的多少。野外研究裂隙时，应注意测定裂隙的方向、宽度、延伸长度、充填情况等，因为它们都对水的运动具有重要影响。几种常见岩石的裂隙率的经验值见表 1-3。

三、溶隙

可溶性岩石（石灰岩、白云岩等）中的裂隙经水流长期溶蚀扩展而形成的空隙，称为溶隙（图 2-1 中 h ），此种地质现象称岩溶（喀斯特）。有关溶隙的形成分布规律详见第六章。

溶隙的规模十分悬殊。大的溶洞可宽达数十米，高数十乃至百余米，长达几至几十千米，而小的溶孔直径仅几毫米。

溶隙的多少以岩溶率表示。岩溶率 (K_k) 是溶隙的体积 (V_k) 与包括溶隙在内的岩石体积 (V) 的比值，以小数或百分数表示，即

$$K_k = \frac{V_k}{V} \quad \text{或} \quad K_k = \frac{V_k}{V} \times 100 \% \quad (1-3)$$

在岩芯钻探中，可通过观察测定岩芯计算线岩溶率，方法与线裂隙率相同。

松散岩石的孔隙大小和分布都比较均匀，且连通性好，所以孔隙度可表征一定范围内孔隙的发育情况。与孔隙相比，岩石裂隙无论其宽度、长度和连通性，都因地点不同差异很大，分布不均匀。因此，裂隙率只能代表被测定范围内岩石裂隙的发育情况。溶隙不论大小和分布都很不均匀，所以岩溶率的测定方法和其意义，都值得进一步探讨。

赋存于不同岩石中的地下水，由于其含水介质特征不同，因而具有不同的分布与运动特点。因此，按岩石的空隙类型划分为三种类型的地下水，即孔隙水、裂隙水和岩溶水。这些问题将在第六章中详细讨论。

表 1-3 常见岩石裂隙率的经验值

岩石名称	裂隙率 (%)	岩石名称	裂隙率 (%)
各种砂岩	3.2~15.2	正长岩	0.5~2.8
石英岩	0.008~3.4	辉长岩	0.6~2.0
各种片岩	0.5~1.0	玢岩	0.4~6.7
片麻岩	0~2.4	玄武岩	0.6~1.3
花岗岩	0.02~1.9	玄武岩流	4.4~5.6

① 面裂隙率即单位面积岩石上裂隙面积所占的比例，即 $K_a = \sum b_i \cdot L_i / F$ 或 $K_a = (\sum b_i \cdot L_i / F) \times 100\%$ 。式中： K_a 为面裂隙率； $\sum b_i \cdot L_i$ 为在测量面积内每根裂隙宽度和长度乘积的总和； F 为进行裂隙测量的岩石面积。

② 线裂隙率即与裂隙走向垂直方向上单位长度内裂隙所占的比例，即 $K_l = \sum b_i / L$ 或 $K_l = (\sum b_i / L) \times 100\%$ 。式中： K_l 为线裂隙率； $\sum b_i$ 为裂隙宽度总和； L 为测量线段的长度。

第三节 岩石中水的赋存形式

第二节讨论的是岩层中的空隙，水在岩石空隙中的存在形式是不同的，按其物理状态和其受力情况可分为气态水、结合水、毛细水和重力水以及固态水等。

一、气态水

气态水即水汽存在于未饱和的岩石空隙中。它可以自大气进入岩石空隙中，也可以由液态水的蒸发而形成。气态水可以随空气流动而流动，也可由绝对湿度大的地方向小的地方运移。当岩石空隙内水汽增多而达到饱和时，或是当周围温度降低而达到零点时，水汽开始凝结成液态水而补给地下水。由于气态水的凝结不一定在蒸发地区进行，因此也会影响地下水的重新分布，但气态水本身不能直接开采利用，亦不能被植物吸收。

二、结合水

松散岩石颗粒表面、坚硬岩石空隙壁面均带负电荷，具有静电吸附能力，颗粒越细微，静电吸附能力越大。水分子是带电荷的偶极体，一端带正电，另一端带负电，在岩石颗粒的静电吸附能力的作用下，水分子能牢固地吸附在颗粒表面，形成水分子薄膜，这层水膜就是结合水（图 1-4）。

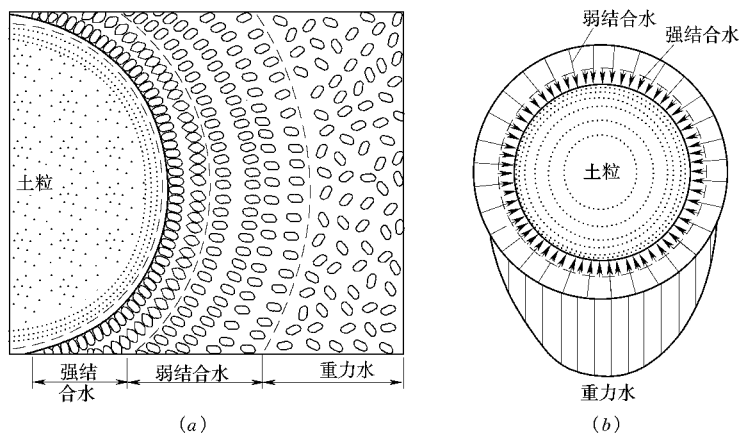


图 1-4 结合水与重力水

(a) 图中椭圆形小粒代表水分子，结合水部分的水分子带正电荷一端朝向颗粒；

(b) 图中箭头代表水分子所受合力方向

结合水，根据其受岩石颗粒表面静电吸附能力的强弱，分为强结合水与弱结合水。强结合水也称吸着水，其厚度一般认为相当于几个水分子直径，也有人认为可达几百个水分子直径。它所受到的引力可相当于 $101325 \times 10^4 \text{Pa}$ 。水分子排列紧密，就其性质而言近似于固体，密度很大，平均为 $2000 \text{kg}/\text{m}^3$ ，具有极大的抗剪强度。强结合水在重力作用下不产生运动，不传递静水压力，只有当温度高于 105°C 时，才能转化为气态水向它处运动。弱结合水也称薄膜水，位于强结合水的外层。其厚度有各种说法，为几十、几百或几千个

水分子厚度。它离岩石颗粒表面较远，受静电引力较小，水分子排列不如强结合水紧密，但仍具有较大的密度和一定的抗剪强度。弱结合水同样在重力作用下不产生运动，不传递静水压力，但能以水膜形式极缓慢地由水膜厚的地方向水膜薄的地方运动（图 1-4）。但当所施外力超过抗剪强度时，弱结合水也能脱离岩石颗粒表面，析出成为重力水。因此，在开采松散沉积物中的承压含水层时，含水层内的粘性土夹层或限制层^①中的弱结合水可能转化为重力水，对承压水的水质和水量都会产生影响。

三、毛细水

赋存在地下水水面以上毛细空隙中的水，称毛细水。在表面张力和重力作用下，水自液面上升到一定高度停止下来，此高度称毛细上升高度。因此，在潜水面以上常形成毛细水带。毛细水会随着潜水面的升降而升降。毛细水上升高度受孔隙直径大小的控制。毛细水只能垂直运动，可以传递静水压力，能为植物根系所吸收。

四、重力水

岩石颗粒表面的水分子增厚到一定程度，重力对它的影响大于颗粒表面对它的吸引力，因而能在自身重力影响下运动，这部分水就是重力水（见图 1-4）。

重力水存在于较大的空隙中，具有液态水的一般特征，能传递静水压力，并具有溶解岩石中可溶盐类的能力。

重力水在地壳岩石空隙中分布最为普遍，数量最多，是浅部地下水最主要的存在形式，从泉眼中流出的水和从井孔中抽出的水都是重力水。重力水是水文地质学研究的主要对象。

五、固态水

当岩石的温度低于水的冰点时，储存于岩石空隙中的水便冻结成冰，从而形成固态水。固态水主要分布于雪线以上的高山和寒冷地带的某些地区，在那里浅层地下水终年以固态冰的形式存在。

上述各种形态的水在地壳中的分布是很有规律的。如挖井时，最上部的岩石比较干燥，但实际上已有气态水和结合水存在（图 1-5 所示）；再往下挖时，发现岩石颜色变暗，并有潮湿感觉，不过井内仍无水滴，说明已挖到毛细管带；继续下挖就会出现渗水现象，并逐渐在井内形成一个水面，这就是重力水带。在重力水面以上，岩石的空隙未被水饱和，通常称为包气带，以下则称为饱水带。毛细水带实际上为两者的过渡带。

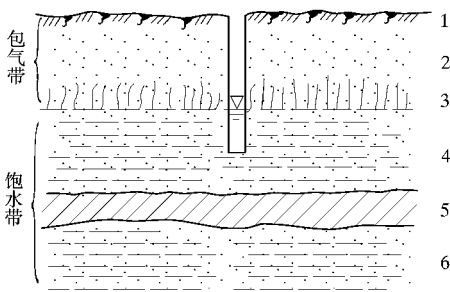


图 1-5 各种状态的水岩层中的分布

- 1—湿度不足带分布有气态水吸着水；
- 2—湿度饱和带分布有气态水吸着水薄膜水；
- 3—上升毛细水带；4—无压重力水带；
- 5—粘土层；6—承压重力水带

^① 限制层对水来说即隔水层，是控制含水层中的水不易自由运动的地层。

第四节 岩石的水理性质

饱水带以下的岩层并不都是含水层。有些岩层中虽已饱含了水分，但水在岩层中却不能自由移动，这种岩层往往被当做隔水层，这是由于岩石具有储存、容纳水分并控制水分运动的性质；而另一些岩层却可在重力作用下释放出较多的水量或允许水通过的能力比较强，这种岩石对水的物理性质通常叫做岩石的水理性质。岩石的水理性质包括：容水性、持水性、给水性、透水性及毛细管性等。岩石的水理性质受岩石空隙大小的控制，并与水在岩石中的形式有关系。

一、容水性

岩石的容水性是指岩石空隙能容纳一定水量的性能，在数量上用容水度表示。容水度 (W_n) 是岩石所能容纳水的最大体积 (V_n) 与岩石总体积 (V) 之比，以小数或百分数表示，即

$$W_n = \frac{V_n}{V} \quad \text{或} \quad W_n = \frac{V_n}{V} \times 100 \% \quad (1-4)$$

岩石的容水度与其空隙多少有关。当空隙全部充满水时，水的体积即为岩石空隙体积。此时，容水度在理论上等于孔隙度、裂隙率或岩溶率。但实际上容水度比它们小，因为有些空隙不相连通，以及空隙中有被水封闭的气泡存在；对于具有膨胀性的粘土来说，由于充水后会膨胀，容水度便会大于原来的孔隙度。

二、持水性

岩石的持水性是指岩石在重力作用下仍能保持一定水量的性能。在数量上用持水度表示。持水度 (W_m) 是饱水岩石在重力作用下仍能保存于岩石中的水的体积 (V_r) 与岩石总体积 (V) 之比，以小数或百分数表示，即

$$W_m = \frac{V_r}{V} \quad \text{或} \quad W_m = \frac{V_r}{V} \times 100 \% \quad (1-5)$$

持水度的大小主要决定于岩石颗粒的大小。颗粒越小，表面静电吸附能力就越大，所吸附的结合水膜就越厚，持水度就越大，其关系见表 1-4。

三、给水性

岩石的给水性是指饱水岩石在重力作用下能自由排出一定水量的性能，在数量上用给水度表示。给水度 (μ) 是在重力作用下从饱水岩石中自由流出的水体积 (V_g) 与岩石总体积 (V) 之比。以小数或百分数表示，即

$$\mu = \frac{V_g}{V} \quad \text{或} \quad \mu = \frac{V_g}{V} \times 100 \% \quad (1-6)$$

表 1-4 分子持水度与颗粒直径关系

颗粒直径 (mm)	持水度 (%)	颗粒直径 (mm)	持水度 (%)
<0.005	44.85	0.1~0.25	2.73
0.005~0.05	10.18	0.25~0.5	1.60
0.05~0.1	4.75	0.5~1	1.57