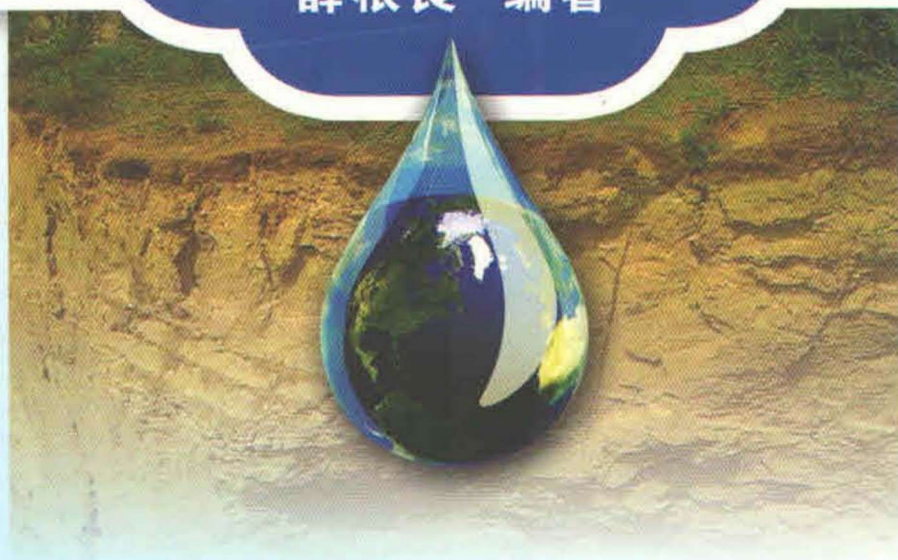


高等学校自选教材

实用 水文地质学基础

SHIYONG SHUIWEN DIZHIXUE JICHU

薛根良 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

高等学校自选教材

实用水文地质学基础

SHIYONG SHUIWEN DIZHIXUE JICHU

薛根良 编著

 中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

实用水文地质学基础/薛根良编著. —武汉:中国地质大学出版社,2014. 11

ISBN 978-7-5625-3539-3

I. ①实…

II. ①薛…

III. ①水文地质学

IV. ①P641

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 242052 号

实用水文地质学基础

薛根良 编著

责任编辑:胡珞兰

选题策划:周 旋

责任校对:戴 莹

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传 真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:170 千字 印张:6.375

版次:2014 年 11 月第 1 版

印次:2014 年 11 月第 1 次印刷

印刷:武汉珞南印务有限公司

印数:1—500 册

ISBN 978-7-5625-3539-3

定价:19.80 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

随着我国水文地质学科的发展,先后有不同版本的《水文地质学》问世,它们深受读者的欢迎,为我国水文地质事业的发展作出了重要的贡献。但是,科学技术的进步日新月异,为了尽可能跟上时代前进的步伐,笔者在前人工作成果的基础上编写了这本《实用水文地质学基础》,希望能对在校师生有所帮助,也可供在岗的水文地质工作者参考。

在写作的总体把握上,本书力求突出实用与基础这两点。在各章内容的安排方面,尽量突出重点。譬如,地下水的补给、径流与排泄是水文地质学的核心,但是,前人在这些方面论述不足,笔者以多年的研究心得,从宏观、立体的角度做了一点补充,强调地下水径流以走捷径和层流为主要特征。在地下水的分类方面,也提出了以人类对地下水利用的主要目的为标准,划分为普通淡水、地热水和地下卤水。笔者认为,沉积是地下卤水原生矿床的唯一成因,指出岩浆岩卤水原生和次生的两种可能。希望本书能起到抛砖引玉的作用。

本书介绍了基本概念,对一些问题也点到为止,目的是给教者有发挥的空间,给学者以思考和与教授互动的余地。所附实例——陕北天桥岩溶水系统墙头水源地边界条件研究,不是作为样板,而是为了能够较生动、鲜活、形象地说明主题。

大学阶段与中小学阶段不同,其分析、研究与动手能力更强,所以,书中章末附有思考题,这只是想提供一个思路,有些可作为今后的研究方向。希望大家在学习中勤于思考,多问几个为什么?而不是教师满堂灌,学生仅仅是被动地接受知识而已。

由于水平有限,或许选漏了别人的一些精华,谬误和不足也在所难免,欢迎指正,以便补充修改。

编著者于临潼

2014年3月13日

目 录

第一章 绪 言	(1)
第二章 地球上的水及其循环	(4)
第一节 地球上有多少水	(4)
第二节 水的循环	(4)
第三节 我国水资源概况	(5)
第三章 岩石中的水	(7)
第一节 岩石中的空隙	(7)
一、孔隙	(7)
二、裂隙	(7)
三、溶隙	(8)
第二节 岩石中水的存在形式	(8)
一、岩石空隙中的水	(8)
二、岩石“骨架”中的水	(9)
第三节 岩石的水文地质性质	(10)
一、容水度	(10)
二、持水度	(10)
三、给水度	(11)
四、透水性	(11)
第四章 地下水的赋存	(12)
第一节 包气带	(12)
一、沼泽	(12)
二、土壤水	(12)
三、上层滞水	(12)
第二节 饱水带	(12)
一、含水层与隔水层	(12)
二、潜水	(13)
三、承压水	(14)

第五章 地下水的化学成分	(16)
第一节 概 述	(16)
第二节 地下水的化学成分	(16)
一、地下水中的主要气体成分	(16)
二、地下水中的主要离子成分	(17)
三、胶体物质	(18)
四、有机质	(19)
五、微生物	(19)
第三节 地下水化学成分的成因及分类	(19)
一、地下水化学成分的成因	(19)
二、地下水化学成分的分析内容与水化学类型的划分	(22)
第六章 地下水的补给、径流与排泄	(25)
第一节 地下水运动的基本规律	(25)
一、达西定律	(25)
二、渗透流速(v)	(26)
三、水力梯度(I)	(26)
四、渗透系数(K)	(26)
五、毛细作用	(27)
六、生物作用	(27)
第二节 地下水的补给、径流与排泄	(27)
一、地下水的补给	(27)
二、地下水的径流	(33)
三、地下水的排泄	(36)
第三节 地下水运动中水与温度和盐的关系	(39)
第四节 地下水系统	(39)
第七章 地下水动态	(41)
第一节 影响地下水动态的因素	(41)
一、气候因素	(41)
二、水文因素	(41)
三、地质构造因素	(42)
四、土壤和生物因素	(42)
五、人为因素	(43)
第二节 地下水动态的类型	(43)
一、自然类型	(43)
二、人为类型	(43)

第三节 地下水的动态均衡	(43)
一、地下水均衡的定义	(43)
二、地下水的均衡方程	(44)
第八章 孔隙水赋存的一般规律	(45)
第一节 冲积层孔隙水	(45)
一、河流阶地	(45)
二、冲积平原	(45)
第二节 洪积层孔隙水	(46)
第三节 湖积层孔隙水	(46)
第四节 沙漠地下水	(46)
一、降水量	(46)
二、地貌	(47)
三、地质	(47)
第五节 黄土地下水	(47)
一、降水	(48)
二、地形地貌	(48)
第九章 裂隙水赋存的一般规律	(49)
第一节 基岩裂隙类型的划分	(49)
一、成岩裂隙	(49)
二、构造裂隙	(49)
三、风化裂隙	(50)
第二节 裂隙水赋存的一般规律	(50)
一、裂隙水的不均匀性	(50)
二、裂隙水也有成层性	(50)
第十章 岩溶水赋存的一般规律	(51)
第一节 岩溶发育的一般规律	(51)
一、岩性是岩溶发育的内因	(51)
二、构造对岩石溶蚀的影响	(51)
三、水对岩石的溶蚀能力	(51)
第二节 岩溶水赋存的一般规律	(52)
一、分布的不均匀性	(52)
二、统一性和各向异性	(52)
第三节 岩溶水的类型划分	(52)
第四节 岩溶水的动态特征	(53)
第五节 岩溶水富集地段的分布规律	(53)

一、岩性决定富水性	(53)
二、构造控制富水地段	(53)
三、地形地貌影响汇水条件	(54)
四、深度与水质水量的关系	(54)
第十一章 冻土地下水	(55)
第一节 冻土的分布与类型划分	(55)
第二节 冻土地下水	(56)
第三节 冻土地下水的开发	(56)
第十二章 地热水	(57)
第一节 地热概述	(57)
一、地球的温度	(57)
二、地球的热源	(57)
三、地热场	(58)
四、地热传递的基本形式	(58)
第二节 地热田分类	(58)
一、地热异常	(58)
二、地热田	(59)
第三节 地下热水	(60)
一、地下热水的温度	(60)
二、地下热水的主要化学类型	(60)
三、地下热水的同位素	(61)
第四节 地热水的分布	(64)
一、世界地下热水的分布概况	(64)
二、我国地热水的分布概况	(64)
第五节 在地热勘查中应该掌握和了解的部分相关知识	(66)
一、如何应用地球化学的方法推断地热温度	(66)
二、如何使用地球物理勘探法	(68)
三、地温测量	(69)
四、钻探	(69)
第六节 当前地热开发中的主要课题	(70)
第十三章 地下卤水	(71)
第一节 卤水的成因	(71)
一、国外的研究概况	(71)
二、我国的卤水成因学说	(72)
三、目前对卤水成因的认识	(72)

第二节 卤水类型的划分	(72)
一、矿化度分类	(72)
二、化学成分分类	(73)
三、成因分类	(73)
第三节 卤水的分布	(73)
第四节 卤水的物理化学特征	(74)
第五节 研究方向	(78)
第十四章 地下水资源评价	(79)
第一节 地下水资源类型的划分	(79)
第二节 地下水资源评价内容	(79)
第三节 地下水资源评价原则	(80)
第四节 地下水资源评价方法概述	(80)
第十五章 地下水与环境	(82)
第一节 过量开采地下水对环境的影响	(82)
第二节 大量引用地表水灌溉造成的危害	(82)
第三节 我国水资源环境的现状	(83)
主要参考文献	(84)
附 件 陕北天桥岩溶水系统墙头水源地边界条件研究	(85)

第一章 绪 言

水文地质学是专门研究地下水的科学。它在地质学的基础上,主要从宏观立体的角度,研究地下水的形成、分布与运动规律以及它的物理性质和化学成分等,目的是寻找地下水、合理开发地下水、防止地下水的危害和应用地下水的地球化学特征来寻找有用矿产等。它可分为普通水文地质学(水文地质学基础)、地下水动力学、地下水普查与勘探学(专门水文地质学)、矿床水文地质学和区域水文地质学等。有些人把放射性水文地质学和矿水学也作为水文地质学的分支。近年来,水文地质学还在地热、地震、环境保护、地方病防治等方面得到了发展。

众所周知,水是生命之源,生物的起源离不开水,生物的进化,一直到人类的生活与生产都离不开水(人体含水达 70%,一个人可以 7 天不吃,但是不能 7 天不喝水。植物缺水会枯萎。据统计,生产 1t 钢需 25t 水,造纸业用水就更多了,造 1t 纸需水 450t)。正因为水与人类关系密切,所以,人类由逐水而居的被动、初级用水方式,逐步发展到主动研究、开发利用水资源的较高级阶段。

“水文地质学”这一术语,虽然早在 20 世纪初,就在欧洲被正式提出来,但真正成为地质学科中一门比较完整、系统的独立学科,还是 20 世纪 30~40 年代的事。特别是二次世界大战结束以后,随着地质科学的迅速发展,西方许多国家以及前苏联对地下水的研究,开始在地质科学(如地层学、岩石学、构造地质学、地球物理学等)的基础上,与一系列基础自然科学(如数学、物理学、化学、生物学等)和水文科学相互结合,相互渗透,逐渐发展成为一门跨学科的综合边缘学科。

水文地质学从研究地下水的自然现象、形成过程和基本规律,发展到对地下水的定性、定量评价;它的基本理论、勘察方法和应用方向也逐步形成。从 20 世纪 80 年代以来,水文地质学又从地下水系统的研究,进一步扩大为研究地下水与人类圈内由资源、环境、生态、技术、经济、社会组成的大系统。因此水文地质学的研究目标,开始转到研究整个水系统与自然环境系统和社会经济系统之间相互关系的新时期。

中国是世界上开发利用地下水最早的国家之一。浙江余姚河姆渡古文化遗址水井,距今约 5 700 年,井为边长 2m 的方形精巧木结构,深 1.35m。四川自贡市公元前 250 年,已凿井数十米乃至百米以上取卤水熬盐。陕西临潼华清池的温泉,已被授予中国御温泉之都。6 000 年前姜寨先民最早受益。3 000 前,周幽王修建“骊宫”,成为我国 2 700 多处温泉中开发最早、利用时间最长、最具文化内涵的温泉,堪称世界沐浴文化的发祥地和世界御汤遗址博物馆。

我国虽然对地下水认识和开发利用的历史悠久,但真正运用水文地质科学理论与方法对地下水进行调查研究,却始于 20 世纪 30 年代。1926 年,老一辈的地质学家章鸿钊曾汇

总我国有关温泉方面的资料写成《中国温泉辑要》一书,同年又发表论文“中国温泉之分布与地质构造之关系”,可称为我国最早有关温泉研究的文献。1929年谢家荣发表“钟山地质与南京井水供给的关系”,也是我国有关地下水研究的最早文献之一。朱庭祜、谢家荣等曾在这一时期分别到过江西、河南及南京等地区,进行地下水的调查研究,并著有论文或报告。

我国水文地质学作为地质科学中的一门独立学科,实际上创立于20世纪50年代。资深院士陈梦熊(1992)曾把我国水文地质学的发展历史划分为4个时期:萌芽时期(20世纪前);初始时期(1900—1950),开始应用地质学的基本理论研究地下水;奠基时期(1950—1975),主要在前苏联学术思想的影响下,奠定水文地质学的理论基础,是区域水文地质学与农业水文地质学的开创时期;成长时期(1975—2000),是水资源水文地质学、城市水文地质学与环境水文地质学的发展时期。主要受西方科学技术思想的影响,如系统论、系统工程、计算机技术等新理论和新技术的输入,使我国的传统水文地质学发展到了一个以研究水资源与环境问题为重点的现代水文地质学。

20世纪50年代——区域水文地质学的开创阶段。50年代地质部成立以后,各省的水文地质专业队伍和有关的研究机构以及地质院校等也先后建立,这为水文地质学的发展创造了必要的条件。当时长春地质学院前苏联专家克里门托夫教授,结合讲学编著了《水文地质学》《水文地质学概论》《普查与勘探水文地质学》《地下水动力学》《矿床水文地质学》等教材,成为我国最早的一批水文地质专业教科书。苏联的新理论,还通过许多著名学者的著述,不断传入中国。如朗格关于区域水文地质分区理论,卡明斯基关于地下水的渗流理论,普洛特尼科夫关于地下水的储量分类与评价,列别捷夫关于灌区地下水动态预测,以及奥弗琴尼柯夫关于矿水方面的专著等,对我国的水文地质科学的发展都产生了深远的影响。

20世纪60年代——农业水文地质学的开创阶段。

60年代,由于在华北开展大规模的抗旱打井运动,成为农业水文地质学的开创时期。针对农田供水与盐土改良两项任务,开展了大量的调查研究,编制了大量图件,为北方地区发展井灌、实行农田水利化作出了重要贡献。70~80年代又进一步开展了许多为发展农业服务的专题研究,如黄、淮、海平原旱、涝、盐等自然灾害综合治理的研究,河南商丘地区潜水资源与人工调蓄的研究,河套平原和银川平原关于水盐均衡与盐土治理的研究,以及河西走廊地下水合理开发利用的研究等,为农业水文地质学的发展奠定了基础。

20世纪70年代——环境水文地质学的开创阶段。

环境水文地质学是介于地质科学、水文科学与环境科学之间的一门综合性、跨学科的边缘学科。它运用地质学、水文地质学的理论和生态学的观点,来研究人类社会与水环境的关系:即专门研究在天然条件和人为活动的影响下,地下水水质与量的变化,与人类的生活和生产发展的相互影响及相互制约的关系,并通过研究它们之间的内在联系与演变规律,达到改善环境、消除有害作用的目的。所以环境水文地质学是水文地质学与环境科学有机结合而形成的一门新科学,在地质科学领域内,它既是水文地质学的一个分支,又是环境地质学的一个分支。水文地质学中的基本理论,如有关地下水动力学、水文地球化学的基本理论,仍然是环境水文地质学中的基本理论;但环境水文地质学把水文地质学中有关分散的环境水文地质问题,系统地综合成为一个整体,并运用环境科学中的基本理论与研究方法,如有关环境质量评价、趋势预测、数值模拟、优化调控与监测技术等理论和方法,与水文地质学相互

渗透,输入新的内容,形成独立的环境水文地质学,并成为水文地质学的一门分支学科。其中包括:

(1) 区域环境水文地质的调查研究。

(2) 污染环境水文地质的调查研究。

(3) 地下水资源开发负环境效应的调查研究。① 超量开采与水量枯竭;② 海水入侵研究;③ 地面沉降研究;④ 岩溶塌陷研究;⑤ 生态环境水文地质研究。

(4) 环境水文地球化学与医学环境水文地质的调查研究。

20 世纪 80 年代——水资源水文地质学的开创阶段。

在地下水资源研究方面,从 80 年代以来,由于地下水系统理论、非稳定理论的输入,以数值解或解析解为代表的现代应用数学以及计算机系统的广泛应用,使地下水资源的研究发生了根本性的变化,把重点从传统研究方法转到模型研究方面,不仅在计算方法上发生了巨大变革,而且其研究范畴,也由单纯研究地下水系统与自然环境系统之间的相互关系,扩大到研究与社会经济系统的相互关系。地质矿产部地质环境管理司 1989 年出版的《中国典型水源地勘察实例汇编》和 1991 年出版的《中国 2000 年城市地下水资源及环境地质问题预测研究》,全面总结了各类地下水水源地勘察方法与资源评价的重要经验和城市环境水文地质研究的重要成果,是我国水源地勘察工作和城市水资源与环境水文地质研究的初步总结。

自 70 年代以来,由于应用数学和地下水动力学的相互渗透,以及电算技术的推广应用,大大丰富和突破了传统水文地质学的内容,使水文地质学从定性研究发展到定量研究的新阶段。地下水资源计算的基本理论,从稳定流发展到非稳定流,从二维流发展到三维流,从一般均衡法、比拟法到解析解、数值解。举凡有限单元或有限差分法、相关分析法以及解析解法等,在地下水资源评价中得到普遍应用,因而不论在理论上和具体计算技术上,都较以前提高到了一个新的水平。

20 世纪 90 年代——信息水文地质学的开创阶段。

为保证提供建立模型所需要的大量水文地质信息,必须建立相应的信息-检索系统和数据库。近年来,通过对数据管理系统的研究,河南环境水文地质总站已先后开发了“河南省地下水资源数据管理系统”和“地下水均衡试验观测数据处理系统”,并都已正常运行。山西环境水文地质总站也建立了山西地下水动态数据库(GWD)管理系统,不仅可对动态资料进行输入、修改、查询、统计、打印报表、绘制图形,而且具有多种数量处理功能。许多城市如秦皇岛、石家庄、新乡等,也都分别建立了数据库与数据管理系统。信息系统的研究已成为水资源研究不可缺少的重要内容之一,主要包括数据管理系统、动态监测系统、遥感信息系统、专家决策系统的开发以及三维地理信息系统在模型研究中的应用等,已逐渐向信息水文地质学的方向发展。

国土资源部全国地质环境监测总站,于 1997 年建立了全国水文地质信息数据库系统。各省、市、自治区分别建立省级数据库中心,监测数据与图形数据已在网上运行。数据库系统主要包括地下水动态监测数据库、水文地质钻孔数据库、地下水资源监测数据库、地下水环境监测数据库、地沉地裂监测数据库,以及海水入侵监测数据库等,为实现全国地下水资源的宏观管理提供了基本条件。

第二章 地球上的水及其循环

第一节 地球上有多少水

地球上的水以气态、液态和固态 3 种形态存在于大气圈、水圈和岩石圈之中。总水量约为 $1.4\times 10^9\text{km}^3$ ，占地球体积的 1%。若将这些水均匀铺在地球表面，水深约为 2 718m。海洋面积占地球总面积的 70%，所以地球又叫水球。水在自然界的分布见表 2-1。

表 2-1 水在自然界的分布

水的分布	大气圈	岩石圈	水圈		
			海洋	河流、湖泊	固态水
水的体积(km^3)	1.29×10^4	2.4×10^7	1.34×10^9	1.90×10^5	2.4×10^7
概略比	1	200	100 000		

第二节 水的循环

大气圈、水圈、岩石圈和生物圈中的水，通过水循环实现彼此之间的转化。水从海面蒸发，凝结降水至陆地，以地表或地下径流的形式返回海洋，即完成一次循环，称大循环。

当海面上水蒸发后又凝结降落在海面，或陆地上的水蒸发再降到陆地，这样的循环叫小循环(图 2-1)。

地球上某一区域在一定时间内，输入的水量与输出的水量差，等于该区域内蓄水量的变量，这一关系称为水量均衡。地球上的水量均衡情况，参见表 2-2。

平均每年约有 $5.8\times 10^6\text{km}^3$ 的水在循环。大气水循环更新一次只要 8d，河水的更新周期是 16d，海洋水全部更新一次需要 2 500a。地下水因其水文地质条件的差异，更新周期短则几个月，长可达几万年。

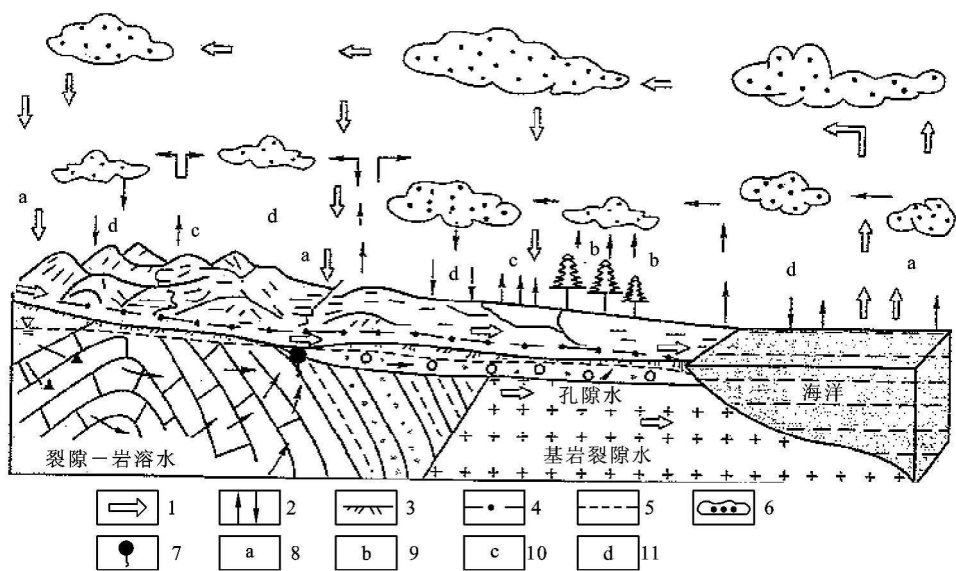


图 2-1 自然界中水的循环

1. 大循环各环节; 2. 小循环各环节; 3. 地面线; 4. 地表径流线; 5. 地下水位;
6. 云层; 7. 泉; 8. 水面蒸发; 9. 蒸腾; 10. 陆面蒸发; 11. 降水

表 2-2 自然界中水的年均衡

区域	面积(km ²)	水均衡要素	水的体积(×10 ³ km ³)	水层厚度(mm)
海洋	360×10 ⁶	降水	411.6	1 140
		蒸发	447.9	1 200
		河水流入量	36.3	100
陆地外流区	117×10 ⁶	降水	99.3	850
		蒸发	63.0	540
		河流径流	36.3	310
陆地内流区	33×10 ⁶	降水	7.7	240
		蒸发	7.7	240
整个地球	510×10 ⁶	降水、蒸发	518.6	1 017

注:表中数据均为概略值。

第三节 我国水资源概况

据水利部中国水资源公报,以 2008 年为例,全国平均降水 654.8mm(多年平均642.5mm),折合 $6.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$,比常年多 1.9%。由东南向西北递减,台湾年降水量达 2 535mm,而柴达木盆地小于 50mm,盆地中心甚至小于 25mm。

松花江、辽河、海河、黄河、淮河、西北诸河 6 个水资源一级区,平均降水 322.6mm,比常年偏少 1.7%。长江(含太湖)、东南诸河、珠江、西南诸河 4 个水资源一级区,平均降水 1 244.3mm,比常年偏多 3.7%。

地表水资源量 $2.6377 \times 10^{12} \text{ m}^3$,折合径流深 278.6mm,比常年偏少 1.2%,境外流入 $2.33 \times 10^{10} \text{ m}^3$,流出境外 $6.057 \times 10^{11} \text{ m}^3$,全国入海流量 $1.6101 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

地下水矿化度小于 2g/L 的资源量 $8.122 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 。

2008 年全国水资源总量为 $2.7434 \times 10^{12} \text{ m}^3$,比常年偏少 1%,地下水与地表水不重复量为 $1.057 \times 10^{11} \text{ m}^3$,占地下水资源量的 13%,即 87%与地表水资源重复。

全国水资源总量占降水总量的 44.2%,平均每平方千米产水 $2.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。但是,分布不均,长江流域及以南地区,国土面积占全国的 36.5%,而水资源占全国的 81%。

中国水资源总量不算多,排世界第 6 位,而人均占有量更少,仅 2240 m^3 ,在世界银行统计的 153 个国家中,排在第 88 位。

到 20 世纪末,全国 600 多座城市已有 400 多个供水不足,较严重缺水的有 110 个,全国城市缺水总量 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

地质矿产部数据与水利部略有差异,见表 2-3 和表 2-4。

表 2-3 中国水资源略表 ($\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)

降水总量	地表水资源	地下水资源	总水资源
60 000	26 000	8 716	28 047

表 2-4 地下水资源分布简表 ($\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)

地区	孔隙水资源	占比(%)	裂隙水资源	占比(%)	岩溶水资源	占比(%)	地下水资源	占比(%)
北方	1 773.17	71	1 139.55	27	192.64	9	3 105.36	36
南方	730.37	29	3 034.08	73	1 847.03	91	5 611.48	64
总计	2 503.54	100	4 173.63	100	2 039.67	100	8 716.84	100

思考题

如何开发利用更多的水资源?

第三章 岩石中的水

第一节 岩石中的空隙

一、孔隙

孔隙指松散岩石与胶结较差的砂岩中的空隙。

岩石中孔隙体积的大小是其容纳地下水能力的重要表现(还有连通性),孔隙体积的多少可用孔隙度表示。孔隙度是指孔隙体积占岩石总体积(包括孔隙)的比例。若以 n 表示岩石的孔隙度, V 表示岩石的体积, V_s 表示岩石中孔隙的体积,那么:

$$n = V_s / V$$

孔隙比 ϵ , 是岩石孔隙体积与颗粒体积之比。

孔隙比与孔隙度的关系: $\epsilon = n / (1 - n)$

孔隙度的大小主要取决于颗粒的形状、分选与排列形式。分选程度差,颗粒大小悬殊,则孔隙度就较小。颗粒的形状不规则,一般排列较松散,其孔隙度也较大,但是,在自然界这类颗粒的分选往往较差,而分选差又是使孔隙度变小的重要因素。这些内容的综合考量,都是在工作中应该特别注意的。

常见松散岩石的孔隙度见表 3-1。

表 3-1 松散岩类孔隙度参考值

岩类	砾石	粗砂	细砂	亚黏土	黏土	泥炭
孔隙度 $n(\%)$	27	40	42	47	50	80

二、裂隙

裂隙指固结岩石的风化、构造、成岩破裂缝隙。

裂隙的发育程度用裂隙率表示,裂隙率(K_r)是裂隙的体积(V_r)与包括裂隙的岩石的总体积(V)的比值。

$$K_r = V_r / V$$

根据需要,也可用面裂隙率或线裂隙率表示。面裂隙率,裂隙所占面积与测量岩层面积之比。测定面积一般取 $1 \sim 2\text{m}^2$ 。线裂隙率,通过裂隙宽度之和与测线长度之比。

三、溶隙

溶隙指可溶岩受构造、地下水溶蚀的影响产生的空隙。

如在灰岩、白云岩,以及岩盐、石膏等可溶岩中,发育的大小不同、形状各异的溶蚀洞穴。溶隙发育强度,一般在钻孔中用线岩溶率表示,即钻探所遇溶隙长度之和与钻孔穿过可溶岩长度之比。在水文地质调查中,有时还用面积岩溶率,即地面漏斗、落水洞、溶洞面积之和与地面面积之比,或体积岩溶率,即山体内洞穴的体积与山体的体积之比。

第二节 岩石中水的存在形式

一、岩石空隙中的水

1. 吸着水

吸着水又称强结合水。一般认为只有几个水分子的厚度,水分子排列紧密,平均密度约 $2\text{g}/\text{cm}^3$ 。不受重力影响,不传递静水压力,不溶解盐类,在 -78°C 以内不冻结, 110°C 时变为气体。

2. 薄膜水

薄膜水又叫弱结合水,位于吸着水的外层,不受重力影响,不传递静水压力,可从薄膜厚处向薄处运动。

上述结合水受分子、静电引力吸引,围绕在固体表面,是不能在重力作用下自由运动的水。

3. 毛细水

毛细水指因毛细管引力的作用,保持在土或岩石毛细管空隙中的水,分布在潜水面以上。它可分为毛细管上升水和毛细管悬着水两种。从地下水沿毛细管上升而保持在毛细管空隙中的水,叫毛细管上升水;降水或灌溉后,保持在上部地层毛细管中,不与地下水面连接的水,叫做毛细管悬着水。毛细管水易被植物利用,但是,由于毛细管水的上升,有时会引起土壤盐碱化以及道路冻胀或翻浆等问题。松散岩石的最大毛细管水上升高度见表 3-2。

表 3-2 松散岩类最大毛细管水上升高度参考值

岩石名称	最大毛细管水上升高度(cm)
粗砂(粒径 $1\sim 2\text{mm}$)	2~12
中砂(粒径 $0.5\sim 1.0\text{mm}$)	12~35
细砂(粒径 $0.25\sim 0.5\text{mm}$)	35~70
粉砂(粒径 $0.1\sim 0.25\text{mm}$)	70~150
亚砂土	70~250
亚黏土、黏性土	250~350
黏土	500~600