

中等专业学校教材

水文地质学

湖北省电力学校主编



水利电力出版社

中等专业学校教材



水文地质学

湖北省电力学校主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为水利电力类中等专业学校教材、适用于《水文地质、工程地质》专业，并可供有关的水文地质、工程地质人员参考。

全书共分三篇。第一篇主要介绍水文地质学的基础知识，包括地下水的形成及其物理性质、化学成分，各类型地下水的埋藏、分布、循环条件等。第二篇主要阐述水力学的基本概念、基本公式以及地下水动力学的基本原理，并侧重介绍水工建筑物地区的水文地质计算及评价，以及供水水文地质基本知识。第三篇主要讲解水文地质调查的基本工作方法。各章附有复习参考题和习题。

中等专业学校教材
水 文 地 质 学
湖北省电力学校主编

水利电力出版社出版
(北京德胜门外、辅航)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 24 $\frac{1}{2}$ 印张 557千字
1979年12月第一版 1979年12月北京第一次印刷

印数 0000—5140册 每册 2.60元
书号 15143·3548

前 言

本书是根据1978年~1981年水利电力类中等专业学校教材编审出版规划组织编写的。《水文地质学》是专业课程之一，通过这门课的讲授，使学生获得必要的有关《水文地质学》的基本理论和基础知识，以及从事水文地质工作的基本技能，培养学生分析问题和解决问题的能力。

根据教学目的和水利电力类中等专业学校的实际需要，本书共分三篇：第一篇“水文地质学基础”，第二篇“水文地质计算和水文地质评价”，第三篇“水文地质调查”。

在编写过程中，力求做到加强理论基础，并注意理论联系实际，加强实际材料的分析。在第二篇各章中选编了一些例题和习题，但对于手册性质的公式及图表则作了精简，运用时，可查阅有关手册。近年来，国内外在水文地质学的基础理论、勘测技术等方面都有许多新的发展，本书对此适当作了一些介绍。

本书从内容上还考虑了水利和电力这两方面的需要，以及四年制学制的要求。书中的小字部分，属选学内容，学生在学习时，可根据实际情况，在保证学好主要内容的前提下，由教师指导，进行学习。

参加本书编写的同志有：湖北省电力学校袁开先、付丽华、徐先领，黄河水利学校余志秀。由袁开先同志主编。

本书由陕西省水利学校杨国清同志主审。参加审稿的有：湖南省水利学校、江西省水利学校、黄河水利委员会设计院、长江流域规划办公室勘测处、陕西省水电设计院、武汉电力设计院勘测室、西北电力设计院勘测室等单位的同志。铁道部第二勘测设计院地质处、水利电力部成都勘测设计院勘测总队等单位用书面对本书提了许多宝贵的意见；在本书的编写过程中，还得到许多生产单位及各兄弟学校和学院的大力支持，并参考了他们的有关实际材料和教材内容，谨此表示感谢。

本书插图由湖北省电力学校周仲文等同志描绘。

对于本书中存在的错误和欠妥之处，诚恳地希望读者提出批评指正。

编 者

1979年4月

目 录

前 言

绪 言	1
一、水文地质学的研究对象、任务以及与其它科学的关系	1
二、水文地质学在国民经济中的作用	2
三、水文地质学发展概况	4

第一篇 水文地质学基础

第一章 地下水的形成	6
第一节 自然界的水循环	6
第二节 岩石中的水	8
第三节 岩石的水理性质	15
第四节 含水层的构成与划分	21
第五节 影响地下水形成的气象水文因素	23
第六节 地下水分类	31
第二章 地下水的物理性质及化学成分	34
第一节 地下水的物理性质	34
第二节 地下水的化学成分	39
第三节 地下水化学成分的研究方法	54
第三章 包气带水和潜水	59
第一节 包气带水	59
第二节 潜水	61
第四章 承压水	69
第一节 承压水的概念和特征	69
第二节 承压水的形成	71
第三节 等水压线图	77
第五章 孔隙水	80
第一节 洪积层中地下水	80
第二节 冲积层中地下水	84
第三节 湖积层中地下水	88
第四节 黄土及黄土类土中地下水	88
第五节 其它松散沉积物中孔隙水	91
第六章 基岩裂隙水	92
第一节 裂隙水埋藏分布特征	93
第二节 影响裂隙水富水性的因素	99

第七章 岩溶水	102
第一节 岩溶的概念及岩溶在我国分布	102
第二节 控制岩溶发育的因素	103
第三节 岩溶水的特征及其富水规律	106
第八章 泉	110
第一节 泉的概念及其实际意义	110
第二节 泉的分类及其特征	111
第三节 泉的动态	114
第四节 几种特殊类型的泉	115
第五节 泉在阐明地区水文地质条件方面的意义	117
第九章 地下水的动态与均衡	118
第一节 地下水的动态	118
第二节 地下水的均衡	124

第二篇 水文地质计算和水文地质评价

第十章 水力学的基本知识	126
第一节 水力学的任务及液体的物理性质	126
第二节 静水力学的基本知识	128
第三节 动水力学基础	136
第十一章 地下水运动基本规律	152
第一节 渗流	152
第二节 渗透基本定律	154
第三节 岩石渗透系数的测定方法	157
第十二章 地下水在含水层中的稳定运动	164
第一节 地下水在均质岩层中的稳定运动	164
第二节 地下水在非均质岩层中的稳定运动	176
第十三章 水工建筑物地区主要的水文地质问题	190
第一节 水库渗透	191
第二节 坝区渗透	203
第三节 潜水回水计算	221
第四节 渠道渗漏量计算	228
第十四章 地下水流向集水建筑物的运动	233
第一节 集水建筑物的分类	233
第二节 均质含水层地下水向完整井的稳定运动	234
第三节 地下水向非完整井的稳定运动	245
第四节 非均质含水层地下水向完整井的运动	248
第五节 集水井涌水量经验公式	249
第六节 干扰完整井群涌水量的计算	263
第七节 地下水向水平集水建筑物的运动	270
第八节 地下水向集水井的非稳定运动简介	272

第九节	利用抽水试验资料确定水文地质参数	281
第十五章	地下水资源评价简介	295
第一节	地下水资源分类	295
第二节	补给量、储存量的计算	299
第三节	地下水开采量的计算	304
第四节	过量开采地下水可能出现的主要问题	311
第五节	地下水水质评价	312

第三篇 水文地质调查

第十六章	水文地质测绘	321
第一节	水文地质测绘的目的、任务及测绘的准备工作	321
第二节	水文地质测绘的工作方法	324
第三节	水文地质测绘的资料整理	330
第十七章	水文地质钻探	333
第一节	勘探线、孔的布置原则及钻探方法	333
第二节	简易水文地质观测	336
第三节	钻孔编录及资料整理	339
第四节	孔内无线电波透视法	341
第十八章	水文地质测试	341
第一节	地下水流速流向的测定	342
第二节	抽水试验	346
第三节	压水试验	369
第四节	注水试验	375
第十九章	水文地质图编制要求	380
第一节	水文地质图的种类	380
第二节	综合水文地质图的编制要求	380
第三节	专门性水文地质图	383

绪 言

一、水文地质学的研究对象、任务以及与其它科学的关系

水文地质学是研究地下水的科学，所以又叫“地下水学”。我们常见的井水或泉水都是地下水。水文地质学的任务是研究地下水的形成、埋藏、分布、循环和运动，地下水与自然界其它水体的相互关系，地下水的物理性质、化学成分等的规律，并探讨应用这些规律去解决有关合理地、充分地开发利用地下水资源，并与地下水害作斗争等各种实际问题。

贮存在地壳上部岩石和土层空隙（孔隙、裂隙和溶隙）中的地下水，其埋藏、分布、运动及水质、水量等都与地质环境（介质）有着极为密切的关系，所以地质学是水文地质分析的基础。事实上，水文地质学是在地质学的基础上发展起来的，是地质学的一门分支学科。因此，地质学中的矿物岩石学、普通地质学（动力地质学）、地层学、构造地质学、地质力学、地貌及第四纪地质学等都是水文地质学的基础科学。

地下水是自然界水循环的一部分，它与大气水、地表水同是一个矛盾的统一体，它们之间可以互相转化。可见，地下水的水质、水量及其运动变化等与大气水、地表水的质和量及其变化关系是多么密切。因此，在解决水文地质任务时，是离不开气象学、水文学和水力学的。

此外，地下水作为一种动力作用，对地壳中原有的物质成分和化学元素的迁移、分散与集中起着十分巨大的作用。在这一过程中，地下水形成和不断改变着自己的物理性质和化学成分。因而在研究地下水水化学的时候，作为研究地球物质运动（如元素的迁移、共生组合、分散和集中等规律）的地球化学，就必然成为它的一门重要的基础科学，它们两者结合形成了一门独立的学科，叫水文地球化学。

钻探学作为勘探和取用地下水的一门工具学科也是重要的，与此有关的还有地球物理勘探学等。

目前，水文地质学已发展成为一门具有多分支的综合性科学。如研究地下水形成、埋藏、分布规律及其物理化学成分的学科——普通水文地质学（或叫水文地质学基础）。研究地下水运动理论的科学——地下水动力学。研究地下水资源的勘探评价及开发利用和管理的科学——供水水文地质学。研究矿床充水条件及评价和相应的排水措施的矿床水文地质学。研究地下热水的成分、贮藏、开发利用的地下热水学，还有研究区域地下水形成规律的区域水文地质学等等。这些科学又各自与有关的科学紧密相关。

近代科学技术如电子计算机、近代数学、近代物理学（包括遥感、遥测技术）大量被引进研究和解决水文地质问题中来。水文地质将利用这些近代科学技术的知识及其丰富的成果和资料，充实和丰富自己的研究内容，不断向前发展。

二、水文地质学在国民经济中的作用

(一) 地下水对国民经济的有利方面

1. 地下水是重要的生活及各项建设事业供水水源

地下水我们的生活及生产建设有着密切的关系，它是城市、工矿企业、国防工程、铁路港湾等的良好供水水源。地下水较之地表水具有更多的优点，它经过岩石的天然过滤，具有良好的水质和卫生条件，不易被污染，水量较稳定可靠。我国许多重要城市如北京、西安、太原、济南、包头、呼和浩特、成都、武汉、上海、天津等都以地下水作生活供水水源或工矿企业供水水源。一座几十万到几百万人口的城市，需水达数立方米/秒至数十立方米/秒的数量级；火力发电厂10万机组冷却用水为15420立方米/小时；一座年产一百万吨的钢厂需水100立方米/小时；制造一吨纸浆需水400吨，而且要水质良好的淡水。炼钢需要低温水，纺织工业需要软水，而热电厂的蒸汽锅炉对水质的要求更加严格。随着社会主义建设事业的发展（如城市扩建，电力部门坑口电站的建立，其它工矿企业的扩建和建设及由于大量取用地下水使区域地下水位下降等问题），研究如何大规模地找寻和合理开发、利用、管理地下水的任务仍然十分迫切。

2. 地下水是农田灌溉、畜牧业供水、保证农牧业丰收的重要水利资源

幅员广大的华北、东北、西北地区是我国农牧业的基地，耕地面积占全国之半，可是地表径流却不到百分之十。这里气候干燥，地表水资源贫乏，严重阻碍着农牧业的发展。但是这些地区的山前地带及广阔的盆地中，有着巨厚的第四纪松散沉积物，在这些沉积物中贮藏着丰富的地下水资源。解放以来，在党的领导下，水文地质工作者与广大群众相结合，在这些地区勘探出了丰富的地下水资源，这对于干旱地区农牧业的发展起了巨大的推动作用。

我国南方虽然地表径流丰富，但分布极不均匀。如广西西部山区的石灰岩分布区，“修塘不装水，筑坝不挡洪”，大量的地表水漏至地下，缺水现象也很严重。广西水文地质工作者与群众相结合，查明了地下暗河84条，其最枯总流量20多立方米/秒，可规划灌溉农田20多万亩，为地区制订农业发展规划提供了可靠的依据。

目前，在农田供水方面仍存在着许多急需解决的问题，灌溉用水仍不充足，井点的布局有待合理安排。要保证农田的高产稳产，还须要水文地质工作者作出极大的努力。

3. 地下水是重要的矿产资源

由于地下水中富集了某些有用元素（如I、Br、B、Li等）形成工业矿水，可作为工业原料开采。我国四川省的盐井卤水，从周秦以来，已经用于制取食盐的原料，历经数千年，至今仍大量采用。

地下水有时含有某些特殊的成分和具有较高的温度，对于治疗某些疾病很有作用，这种水叫医疗矿水。矿水的天然露头常为温泉。我国温泉很多，遍布辽宁、河北、山东、福建、台湾、广东、云南、四川、湖北等省和西藏地区。许多温泉已成了疗养基地，如重庆南温泉和北温泉、北京小汤山温泉、辽宁汤岗子温泉、广东从化温泉、陕西临潼华清池等。

4. 地下热水是极宝贵的热资源

温度较高的地下水是一种重要的地热资源，地热可以用于发电、取暖、农业生产和某些国民经济部门，它对于节约燃料，改变燃料构成有着重要的意义。我国广大地区有极为丰富的地下热水资源（如华北平原、松辽平原、江汉平原、四川盆地、柴达木盆地等），许多地区的地热资源尚待我们去开发利用。

5. 地下水是寻找某些矿床的有效找矿标志

地下水流经某些矿床分布地带，在水中就会含有该矿床的许多元素，形成“水分散晕”，而成为寻找有用矿床的标志。利用“水分散晕”去找矿，叫做水文地球化学找矿。这种方法对于寻找石油、金属硫化矿床，放射性矿床，盐矿床等是十分有效的。

另外地下水富集硝酸盐类，可以成为良好的灌溉“肥水”。

由此可知，地下水对人们生活及工农业生产起着多么重要的作用。

（二）地下水的危害

地下水对国民经济的发展及人民的生活和健康有时造成危害。

1. 地下水的活动是工程建筑效益受损的重要原因

在修建工业或民用建筑时，如不考虑建筑物基础下地下水的情况，会使地基产生不均匀沉陷，破坏建筑物的稳定。当地下水位太高时，为了降低水位，不得不建立高费用的排水设施；在工程施工过程中，开挖基坑，有时可能造成基坑大量涌水，增加施工困难。过量取用地下水，会造成区域地下水位下降，从而可能引起地表建筑物的沉陷。

在建筑物附近的边坡，由于地下水的活动，可引起边坡塌滑，危及建筑物的安全。

在修建水库、坝址等水利工程时，均应十分注意进行水文地质调查，弄清建库前后水文地质条件的变化及其对水工建筑物的危害。坝基下，当地下水流速很大时，就会造成下游坝脚冲刷，危及大坝安全；库区的岩层在分水岭地区如果透水性良好，则库水可能沿着透水性良好的地段向库外渗漏，使水库不能蓄水，这在石灰岩分布地区是十分常见的。例如七十年代中期土耳其凯班地区在石灰岩分布区修建一大型水电站。该电站在勘测设计阶段对石灰岩岩溶研究不够，施工开始后，发现岩溶的发育远比预期的严重；大坝建成后，库水沿左岸石灰岩岩溶通道向下游大量渗漏，后来虽采取了各种补救措施，基本上控制了水库的渗漏，但大大增加了工程造价。国内有些水库也发生过类似的事例。

此外，还应当充分注意地下水对工程建筑的侵蚀性。

2. 地下水是矿床开采的严重威胁

开采矿床时，地下水常涌入坑道，轻则影响探掘工作的进行，重则造成矿山坑道的淹没和破坏，甚至发生毁灭性突水事故，造成人身伤亡，给国家造成损失。如山东某煤矿，一九三五年五月十三日北大井突水，大量岩溶水沿断层涌入坑道，淹死工人 500 多名。此外，露天开采时，地下水活动可引起边坡塌滑等。解放以后，党和国家极其重视矿床水文地质工作，要求在审批矿产时，必须提交足够的水文地质资料，以满足开采设计的要求，并作相应的排水措施，防止危害，保证安全。

3. 地下水可造成土壤盐渍化，破坏土壤肥力

当地下水位升高到达地表附近时，地下水分蒸发，盐分将在土壤表层聚积，造成土壤

盐渍化。土壤盐渍化，破坏土壤肥力，危害作物的生长。我国盐碱地分布很广，华北平原、淮北平原、西北内陆盆地及滨海平原地区均有，总面积达四亿亩。改造盐碱地，提高作物产量是水文地质工作者的一项重要任务。

4. 地下水中含某些有害元素或缺乏某些元素危害人畜健康

地下水在运动过程中富集了某些有害元素，或某些元素过高过低，很多情况下会引起生物害病。如我国吉林、黑龙江、陕西、内蒙、四川等省的克山病，大骨节病等地方病，就是与饮用该区地下水有关。如水中过多的氟会引起牙齿斑釉病，缺氟患牙蛀病；水中缺碘可引起甲状腺肿病、克汀病。另外由于人类生活和生产活动使某些有害成分渗入地下，使地下水受到污染，饮用这些污染的地下水是人畜致病的重要原因。

充分地利用地下水利，防止地下水害，变害为利是水文地质工作的重要任务。

三、水文地质学发展概况

水文地质学是一门年青的科学，它是人们在不断地利用地下水资源以及同地下水危害作斗争的过程中逐步发展起来的。

还在远古时代，人们就已知道了各种各样的利用地下水的方法。在修建城堡和道路，制造生产工具，开采矿床，灌溉和排水的过程中，学会了如何解决给水、开凿渠道和卤水中煮盐等有关的复杂技术问题。

我国是世界上最早利用地下水的国家之一，早在五千多年前就知道凿井取水。2500年前，我们的祖先就已经知道从土质及植物的种类方面，来寻找地下水，并推断地下水的埋藏深度及水质的好坏。公元前二百多年的秦朝时代，我国劳动人民，就开凿了井深达一百多米的盐井，提取地下卤水煮盐。古代大运河，大型灌溉渠道——秦渠、汉渠、唐渠等，以及大型水利工程——都江堰等的修建，都要解决有关的地下水问题。大量事实充分说明，我国劳动人民在生产实践中积累了丰富的地下水知识。但是，由于长期的封建统治和帝国主义压迫，生产力受到极大阻碍，因此，开发利用地下水的有关实际经验没有得到科学的总结，对地下水的研究也不可能系统地进行。

在国外，水文地质科学首先是在欧洲发展起来的。十七世纪初，欧洲资本主义兴起，新的生产关系有力地促进了生产力的向前发展，十八世纪六十年代工业革命产生，更促使科学、技术和文化的蓬勃发展。至此，人们通过广泛的实验及观测，有关地下水形成等理论，与所有自然科学一样逐步建立起来。直到二十世纪初，由于近代自然科学的发展，使水文地质学发展成了一门多分支的综合性科学。

美国水文地质科学研究工作，是随着地下水资源系统的开发利用工作不断扩大而相应地发展起来的。第二次世界大战以前，基本上是研究地下水的地质条件，地下水的运动，以及后来的地下水的水文分析和数学解析为基本课题。第二次世界大战以后，随着全国用水量的剧增，地下水动力学中的非稳定流理论逐步完善；同时，由于工业的发展，提出了许多新的课题，如地下水位区域下降，水质环境污染和水系保护及地下水资源的补充等等。在研究方法上开始把单纯地下水科学研究同地质、水文、地球化学、地球物理和现代数学

科学等方面的方法结合起来。自1969年以后，开始着重研究地下水的管理，地下水扩散理论和地下水的模型试验等。

苏联系统开始水文地质研究工作是在十月革命以后，随着工业、农业及城市供水的需要发展起来的。开始是对地下水的形成、分布规律、贮存条件等进行研究。在二十世纪三十年代，在区域水文地质条件，地下水动力学，地下水渗透理论及矿水分类方面进行了大量工作，研究范围包括区域水文地质条件，淡水、矿水、热水的形成理论及普查勘探方法，地下水的动态与均衡以及地下水的动力作用等。在四十年代初期，在已有研究基础上建立起来了比较完整的有关地下水科学理论。同时把同地下水科学有关的科学成果，如工程地质学、地球物理学、水文地球化学、水文气象学、农业土壤改良学、自然地理学、数学、海洋学等等有效地应用到地下水研究各个方面。

为了提高水文地质科学研究水平，国外普遍采用现代化手段，如利用电网络模拟机进行水文地质作用的模拟试验；广泛采用电子计算机研究区域水文地质问题及水文地质计算问题。另外，利用物理模拟方法解决水工建筑物地区的水文地质计算问题等。

我国水文地质工作，是在解放后随着国民经济的发展而逐步成长和壮大起来的。新中国成立以后，随着国民经济恢复工作的进行及第一个五年计划的提出，对水文地质工作提出了迫切的要求。如新建和扩建城市的供水和矿山的排水，以及水利工程中的许多水文地质问题等等。为此，我国在建国后的五、六年内，在党的正确领导下，迅速地建立了水文地质科学，培养出了新中国第一代的专门水文地质工作者。随着祖国建设事业的发展，这支队伍又不断发展壮大。广大水文地质工作者结合我国各项建设事业开展了地下水的科学研究，如地下水的形成条件，水量评价及水质研究，地下水动态长期观测工作等等。到六十年代初，我国水文地质科学工作者在地下水形成，地下水运动，地下水化学以及地下热水等方面都有许多创见。在为城市、工矿企业、农业、铁道等的供水，矿山及工程建筑等地区的排水，许多水利电力建设，水化学找矿等工农业建设方面，提供了水文地质资料，保证了国民经济各部门的顺利发展。在周总理的亲切关怀下，特别加强了山区水文地质工作，开展了对裂隙水及岩溶水的调查研究，广泛地将地质力学这一门我国自己的地质科学理论应用于水文地质学中来，为山区普查和勘探地下水作出了很大的贡献。另外，在全国范围内已经进行了不同比例尺的区域水文地质普查工作，为完成周总理生前“要把我国水文地质情况搞清楚”的重要指示，打下了良好基础。

现在我国社会主义革命和社会主义建设已进入了一个新的历史时期，在为加速实现我国社会主义四个现代化的新长征中广大水文地质工作者，决不辜负党和人民的期望，一定能够作出自己的贡献。

第一篇 水文地质学基础

第一章 地下水的形成

地下水是埋藏在地壳内岩土空隙之中的、可以流动的水体。常见的泉水、井水等都是地下水。它是自然界水体的一部分。地下水的形成与自然界水体的运移变化（循环）有着密切的关系。

第一节 自然界的水循环

一、水在自然界的分布

地球表面积约为 510×10^6 平方公里，其中海洋面积约为 361×10^6 平方公里，约占地球表面积的70.5%，加上大陆河湖及冰雪覆盖，整个地球约有四分之三为水所覆盖，故有“水的行星”之称。

地球上总的水体体积约为18亿立方公里，占地球质量1%，这些水在不同的物理环境下，以汽态、液态、固态的形式分别存在于大气圈、地球表面及地壳之中。埋藏于地壳岩土中16公里以上的水总容积估算有较大的出入。若以大气圈所含水量为1，其它部分水的比例大致为：大气圈水：岩石圈水：地表水=1:10:100000。

地表水体所占比例虽然很大，但其中97%的水分布于海洋，而分布于河湖的水体仅为751200立方公里，占地表水体的0.05%左右。同时这些水在大陆上分布是极不均匀的，相比之下，地下水较之大陆上地表水分布广泛得多。

二、自然界的水循环

上述大气层中水，地壳岩石中的水及地表水的这种比例是一种统计结果。实际上，上述各部分的水是处在动平衡的状态中。大家知道，任何事物都是在不断地运动变化着。自然界的水体也是一样，这些水在太阳辐射热和地心引力作用下，不断运动和转化。水在太阳辐射热的作用下，从海面、河湖表面、岩土表面及植物叶面不断蒸发，变成水汽上升到大气层中。大气层中水被气流转移，在适当条件下，水汽凝结成液态或固态的水，以各种不同的形式（雨、露、霜、雪、雹）降落到地面上来。降水一部分就地蒸发，一部分沿着地表流动，变成地表径流，汇入河流、湖泊、海洋；另一部分渗入地下成为地下水。地下水在径流过程中一部分又以蒸发的形式升至大气层中（地下水还可以获得河、湖、海洋水的补给）；一部分再度排入河、湖、海洋。这种蒸发、降水、径流的过程在全球范围内每时每刻在不断地进行着，形成了自然界极为复杂的水循环（图1-1）。

自然界的水循环可分为大循环和小循环两种。在全球范围内，水分从海洋表面蒸发，上升的水汽随气流转移到陆地上空，以降水的形式降落到陆地表面，又以地表径流及地下

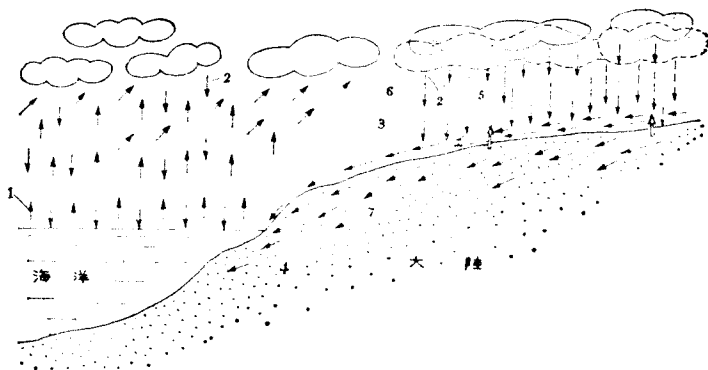


图 1-1 自然界中水循环图

1—海洋面上的蒸发；2—部分降到海洋，部分降到陆地上的大气降水；3—来自大洋的大气降水沿着地表回流海洋；4—来自大洋的大气降水以地下径流方式回流海洋；5—陆地上蒸发；6—由陆地上蒸发所形成的降水，降落到陆地上；7—由陆地蒸发形成的降水渗入地下，以径流的方式流入海洋

径流的形式汇入大海之中，称为大循环。这样，海洋里的水，每年被蒸发而消耗的水量，一部分由河流及地下径流流入海洋中而获得补偿。从海洋面蒸发的水汽，又以降水的形式复降入海洋中；或陆面的河湖、岩土表面、植物叶面蒸发的水分，又以降水形式落到陆面上来，称为小循环。

显然，海洋面的蒸发是构成陆地上大气降水的主要来源。但陆地上河湖、岩土表面、植物叶面的蒸发也是陆地上大气降水的来源。正因为如此，大陆地区，采取修运河、渠道、水库、大面积植树造林等一系列人为地加强小循环的措施，可以有效地改变当地的自然面貌（如改变干旱气候条件等），同时加强小循环也是增加地下水资源的有效途径（如利用地表水体人工灌入地下，增加地下水量）。

必须指出，自然界水的上述运移过程并不是处处相同的。如果说大气圈水及地表水分运移较快，那么广泛分布于地壳中的水，其运移速度是缓慢的，且随深度的增加而更慢。地下水的运移一般是缓慢的，特别是深部地下水的运动，往往是一种长期的极其缓慢的地质迁移过程。因而地下水量较之地表水量恒定得多。由于地下水较地表水有分布广泛、水量较恒定，又可不断得到补给这些特点，故使得地下水成为人类用之不竭的极其宝贵的资源。

从上可知，地下水是自然界水循环的一部分，是大陆上水资源的重要组成部分。地下水的补给、径流、排泄又组成了其本身的循环。地下水的循环将在以后各章节讨论。

三、自然界的水均衡

循环于自然界的水，遵从一定的数量关系，这种从数量上去研究水循环，称为水均衡。

设 Z_m ——海面及洋面的年蒸发量；

X_m ——海面及洋面的年降水量;

Z_e ——陆面年蒸发量;

X_e ——陆面年降水量;

Y ——地表及地下年径流量。

如果都采用多年平均值, 其单位也都采用水层厚度毫米表示, 则

$$Z_m = X_m + Y$$

$$Z_e = X_e - Y$$

在全球范围内

$$Z_m + Z_e = X_m + X_e$$

(1-1)

上式表明, 对于全球来说, 多年平均蒸发量等于多年平均降水量。以上研究均衡的表示式, 称为水均衡方程式。

第二节 岩石中的水

一、岩石的空隙性

自然界的岩石, 无论是松散沉积物还是坚硬的基岩中, 都具有大小不等, 形状不一的空隙。岩石空隙的多少、大小、连通程度及分布状况等性质, 通称为岩石的空隙性。它是岩石的重要物理特性之一。岩石的各种空隙见图1-2。

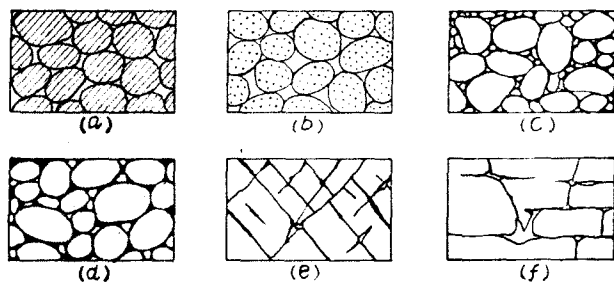


图 1-2 岩石中的各种空隙

(a)滚圆度良好的砂; (b)分选良好的砂; (c)滚圆度及分选性均不好的砂; (d)砂岩中的空隙, 局部被胶结; (e)块状结晶岩石中的裂隙; (f)岩溶岩石中的溶隙

岩石的空隙性是地下水贮存和运动的先决条件, 空隙的大小、多少、均匀程度、连通程度决定着地下水的埋藏、分布和运动状况。因此, 从水文地质观点出发, 为查明地下水的分布、埋藏及运动情况, 必须首先对地下水的存在环境——岩石的空隙性加以研究。

各种岩石的空隙性是极不相同的, 最本质的决定因素是它们的成因。根据岩石空隙成因的不同, 可以把空隙分为松散沉积物中的孔隙, 坚硬岩石中的裂隙, 可溶性岩石中的溶隙(岩溶空洞)等三大类。

1. 孔隙性

孔隙性是松散沉积物及某些胶结不好的半坚硬岩石的普遍特征。在这些岩石的固体颗粒之间都存在孔隙。孔隙的大小、分布状况及连通程度都较坚硬岩石的裂隙均匀得多。

孔隙的大小, 取决于沉积物颗粒大小、排列情况、颗粒形状、均匀程度等。组成松散沉积物的颗粒越粗大, 其间孔隙越大。颗粒大小相等, 颗粒呈立方体排列(疏松的), 其孔隙要大于颗粒呈四面体排列(紧密的)。显然, 颗粒愈不规则, 愈不易形成紧密排列, 故其孔隙就大。沉积物颗粒不均匀, 粗颗粒间的孔隙就常被小颗粒充填, 使孔隙变小。孔

隙大的粗粒沉积物，如卵石、砾石层有利于地下水的流动和富集。

孔隙的数量多少，主要取决于沉积物颗粒的大小及其胶结状况。一般颗粒越细小，孔隙越多；颗粒间被胶结物胶结，则孔隙数量大大减少。

孔隙性的数量指标，以孔隙度表示。所谓孔隙度（ n ）就是岩石中的孔隙体积（ V_n ）与岩石总体积（ V ）之比。可以用小数或百分数表示。即

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

孔隙度的大小，决定于颗粒排列，分选程度，颗粒形状及胶结情况。

为了说明颗粒排列情况对孔隙度的影响，我们假设有一些大小相等的圆球，当以立方体排列时（图1-3a），设圆球直径为 d ，此时，立方体体积为 d^3 ，而其中颗粒所占体积恰为一个圆球，此圆球体积为

$$\frac{\pi d^3}{6}$$

所以

$$n = \frac{V_n}{V} = \frac{d^3 - \frac{\pi d^3}{6}}{d^3} = 1 - \frac{3.14}{6} = 0.476$$

或

$$n = 47.6\%$$

当将圆球按四面体排列时见图1-3(b)，颗粒排列最为紧密，经计算 $n = 25.9\%$ 。

对于圆球颗粒任意排列时，其孔隙度的大小，斯利赫特导出了如下公式

$$n = 1 - \frac{\pi}{6(1 - \cos\theta)\sqrt{1 + 2\cos\theta}} \quad (1-3)$$

式中 θ —— 菱面体菱边所形成的斜方形锐角。

由斯利赫特公式可知，球形颗粒所组成的理想土层，其孔隙度大小仅取决于球体排列相对位置，而相对位置是由 θ 角来决定的。呈立方体排列时 $\theta = 90^\circ$ ，呈四面体排列时 $\theta = 60^\circ$ ，故 θ 角的变化范围是 $60^\circ \sim 90^\circ$ 间。

从上述计算可知，对于圆球颗粒其孔隙度与颗粒大小无关，

仅与排列方式有关，故等粒砂土的孔隙度大小常介于 $48 \sim 26\%$ 之间。颗粒均匀性越差，孔隙度越小，这是因为粗颗粒孔隙之间常为细颗粒充填的缘故。如有两种粒度不同的砂，其混合后的孔隙度为：

$$n_{1,2} = n_1 n_2$$

设

$$n_1 = n_2 = 0.4$$

则

$$n_{1,2} = 0.4 \times 0.4 = 0.16$$

另外颗粒形状与圆球越不相似，其孔隙度便越大。对自然界中岩石的孔隙度大小，还

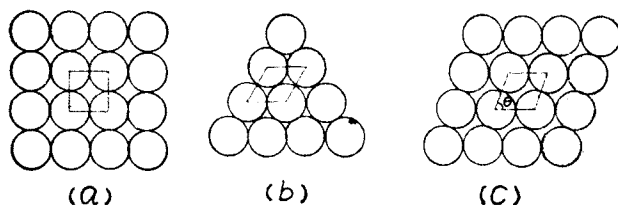


图 1-3 圆球状颗粒的排列方式对孔隙度大小的影响
(a)最小密度的排列方式；(b)最大密度的排列方式；(c)中等密度的排列方式

应注意其自然历史条件。如随深度的增加，土的自重压力增大，其孔隙度将会降低。地质时代较老的沉积物其颗粒之间常被胶结，经过胶结作用后的岩石，其孔隙度便大大降低了。另外，对于粘性土，由于其结构孔隙的存在，孔隙度常很大。几种岩石的近似孔隙度值见表1-1。

表 1-1 几种岩石的近似孔隙度数值

岩石名称	砾石	粗砂	细砂	亚粘土	粘土	泥炭
孔隙度(%)	27	40	42	47	50	80

孔隙度的测定方法很多。例如，为粗略估计砂砾石之类粗颗粒岩石的孔隙度，可采用极简单的方法：取一量筒装入所要测定的砂样，轻捣之，测定其体积（ V ），然后自下而上向筒内缓缓注水，当全部孔隙为水饱和时，砂面上出现发亮的水面，此时，注入的水量可认为是孔隙的体积（ V_n ），则可利用（1-2）式求孔隙度。

通常采用比重容重法测定岩石的孔隙度。即在室内先测定岩石的比重 G （即岩石固体颗粒单位体积的重量）及岩石的干容重 γ_d （即单位体积岩石的固体颗粒重量），然后利用下式计算

$$n = \left(1 - \frac{\gamma_d}{G} \right) \times 100\% \quad (1-4)$$

2. 裂隙性

裂隙是坚硬岩石的普遍特征，它是岩石形成以后的地质历史时期中地质作用的结果。裂隙的宽度、长度、数量及分布、连通情况，随地区的地质条件和环境的不同而有很大的差异。它们在岩石中是不均匀的似层状分布和不均匀的非层状分布。

岩石的裂隙性，在数量上的指标，以“裂隙率”表示，裂隙率 K_T 表示式如下：

$$K_T = \frac{V_T}{V} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 V_T ——岩石的裂隙体积；

V ——岩石的体积。

如露头处用面积计算，计算式如下：

$$K_T = \frac{\sum L \cdot b}{F} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 F ——所研究岩石（层）露头的总面积；

L ——所研究岩石（层）露头的总面积内每条裂隙的长度；

b ——每条裂隙的宽度。

测量裂隙率在岩石露头或坑道中进行。选择一块露头良好，有代表性的地段，将表面稍加清洗，量得总面积（ F ），并逐一量得该露头上每条裂隙的长度（ L ）和宽度（ b ），将该面积内的裂隙统计完毕，然后按上式计算 K_T 。

此外，利用钻探取得的岩心，可以求得线“裂隙率”。