

普通高等教育“十三五”规划教材

水文地质学原理

石河子大学 乔长录 程建军 等 编著
长安大学 李佩成 主审

非
外
借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”规划教材

水文地质学原理

石河子大学 乔长录 程建军 等 编著
长安大学 李佩成 主审



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书以较少的篇幅涵盖了水文地质学基础的核心内容，阐述了水文地质学的基本概念、基本原理和研究方法。全书共 10 章内容：绪论、地球中水的分布与循环、岩土中的空隙和水、地下水的赋存、地下水运动的基本规律、包气带水、地下水的化学成分及其演变、地下水系统及其循环特征、地下水动态与均衡和不同含水介质中地下水。

本书可作为农业水利工程、农业水土工程、水利水电工程、水文与水资源工程、地下水科学与工程及土木工程（岩土、道桥方向）、给水排水工程、环境工程、水土保持与荒漠化防治等专业的大学本科入门教材，也可供高等院校和科研院所相关专业师生及工程技术人员参考使用。

图书在版编目（C I P）数据

水文地质学原理 / 乔长录等编著. -- 北京：中国水利水电出版社，2017.8
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-6017-8

I. ①水… II. ①乔… III. ①水文地质—高等学校—教材 IV. ①P641

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第272404号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 水文地质学原理 SHUIWEN DIZHIXUE YUANLI
作 者	石河子大学 乔长录 程建军 等 编著 长安大学 李佩成 主审
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 9.5 印张 225 千字
版 次	2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	24.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

近年来,随着我国经济社会的快速发展,水资源短缺和生态环境问题受到全社会的高度关注,地下水对经济社会可持续发展的重要性也日益凸显。研究地下水的科学——水文地质学在人类经济社会的可持续发展、地球科学及环境科学体系中具有不可替代的基础和战略地位。在水资源日益紧缺和生态环境问题不断凸显的今天,水利工程各专业(水利水电工程、农业水利工程、水文与水资源工程等)及其他相关工程类专业(地质工程、石油工程、土木工程、水土保持、环境科学与工程等)的专业技术和管理人员,都应具备水文地质学的基础知识。

水文地质学是大学水利工程各专业及其他相关工程类专业的专业教育基础课程,着重阐述水文地质学的基本概念、基本原理和研究方法。为了满足我国高校各专业对水文地质学的需要,我国先后出版了多部水文地质学教材,这些教材各具特色,为各专业水文地质学的教学作出了重大贡献。近年来,随着我国高等教育教学改革的深入,以及为适应工程教育专业认证需要,大部分高校的农业水利工程、农业水土工程、水利水电工程、水文与水资源工程及其他相关专业的《水文地质学》课程已经压缩到1.5个学分(24学时)左右。编写一本适应当前新形势下配套的水文地质学教材实属必要。为此组织编写了本书,意在以较少的篇幅而又涵盖水文地质学基础核心内容的方式,阐述水文地质学的基本概念、基本原理和研究方法。

本书由石河子大学乔长录和程建军组织编写,长安大学李佩成院士主审。参加编写的人员为:石河子大学乔长录(第1章、第2章、第5章、第6章),石河子大学程建军(第3章、第4章),石河子大学乔长录、程建军(第8章、第9章),长安大学刘招、李军媛(第7章),兰州大学李勋贵(第10章)。全

书由乔长录统稿，李佩成院士主审。

本书在编写过程中得到了相关方面的关心和帮助，有关教师和技术人员提出了许多宝贵的意见和建议，特别是新疆兵团勘测设计院副总工程师赵忠贤高级工程师对本书进行了认真审阅，并提出了许多宝贵的修改意见，编者所在单位为本书的编写提供了良好的条件，中国水利水电出版社的编辑对书稿做了大量的完善工作，他们的帮助对提高本书的质量有很大的裨益。对此，我们谨向他们一并表示衷心的感谢！

本书的出版得到了新疆生产建设兵团科技计划项目——兵团应用基础研究计划（2016AG014）和石河子大学高层次人才科研启动项目（RCZX201321）的资助，在此一并表示感谢。

鉴于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请读者不吝指正，针对本书的批评、建议请发至 qiaochanglu@126.com。

作者

2017年2月

目录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 水文地质学的概念	1
1.2 水文地质学的研究内容	1
1.3 水文地质学的研究对象	1
1.4 水文地质学科的分支学科	2
1.5 水文地质学的发展历程	2
1.6 当代水文地质学的发展特点	5
1.7 当代水文地质学今后的研究方向	6
思考题	6
第 2 章 地球中水的分布与循环	7
2.1 地球中水的分布	7
2.1.1 地球浅部层圈中水的分布	7
2.1.2 地球深部层圈中水的分布	9
2.2 地球中水的循环	9
2.2.1 地质循环	9
2.2.2 水文循环	10
2.3 与水文循环有关的气象、水文因素	11
2.3.1 主要气象因素	12
2.3.2 水文因素	12
2.4 水文循环的水量平衡	12
2.4.1 水量平衡的概念	12
2.4.2 通用水量平衡方程	13
2.4.3 流域水量平衡方程	13
2.4.4 全球水量平衡方程	14
2.5 我国水文循环概况	16

思考题	16
第3章 岩土中的空隙和水	17
3.1 岩土中的空隙	17
3.1.1 孔隙	18
3.1.2 裂隙	19
3.1.3 溶隙	19
3.2 岩土中的水	20
3.2.1 结合水	20
3.2.2 重力水	20
3.2.3 毛细水	21
3.2.4 气态水、固体水	22
3.2.5 矿物中的水	22
3.3 岩土的水理性质	22
3.3.1 容水性	22
3.3.2 含水性	23
3.3.3 给水性	23
3.3.4 持水性	24
3.3.5 透水性	24
3.3.6 储水性	24
思考题	25
第4章 地下水的赋存	26
4.1 包气带和饱水带	26
4.2 含水层、隔水层与弱透水层	27
4.3 含水岩组与蓄水构造	28
4.3.1 含水岩组	28
4.3.2 蓄水构造	28
4.4 地下水的分类	29
4.4.1 包气带水	29
4.4.2 潜水	30
4.4.3 承压水	32
4.4.4 潜水与承压水的相互转化	35
思考题	36
第5章 地下水运动的基本规律	37
5.1 渗流的基本概念	37
5.2 渗流的驱动力	38
5.3 渗流的基本定律	39
5.3.1 线性渗透定律	39

5.3.2 非线性渗透定律	43
5.4 渗流的连续性方程	43
5.5 流网	45
5.5.1 均质各向同性介质中的流网	46
5.5.2 层状非均质介质中的流网	49
5.6 饱水黏性土中水的运动规律	51
思考题	52
第6章 包气带水	53
6.1 毛细现象和毛细水	53
6.1.1 毛细现象的本质	53
6.1.2 毛细负压及其测定方法	59
6.1.3 毛细上升高度与悬挂毛细水	60
6.2 土壤水势及其组成	61
6.3 包气带水的分布与运动规律	62
6.3.1 包气带水的垂向分布特征	62
6.3.2 包气带水运动的基本定律	63
6.3.3 包气带水的数量与能量的关系——土壤水分特征曲线	64
6.4 涉及包气带水的主要领域	65
思考题	66
第7章 地下水的化学成分及其演变	67
7.1 概述	67
7.2 地下水的化学特征	68
7.2.1 主要气体成分	68
7.2.2 主要离子成分	68
7.2.3 环境同位素	71
7.2.4 其他组分	72
7.3 地下水中的微生物	73
7.4 地下水的温度	74
7.5 地下水化学成分的形成作用	74
7.5.1 溶滤作用	74
7.5.2 浓缩作用	76
7.5.3 脱碳酸作用	77
7.5.4 脱硫酸作用	77
7.5.5 脱硝(氮)作用	77
7.5.6 阳离子交替吸附作用	78
7.5.7 混合作用	78
7.5.8 人类活动对地下水化学成分的影响	78

7.6 地下水基本成因类型及其化学特征	79
7.6.1 溶滤水	79
7.6.2 沉积水	80
7.6.3 内生水	81
7.7 地下水化学成分分析	81
7.7.1 地下水化学分析内容	81
7.7.2 地下水化学成分的库尔洛夫表示式	81
7.7.3 地下水化学特征分类与图示方法	82
思考题	84
第8章 地下水系统及其循环特征	85
8.1 地下水系统	85
8.1.1 地下水系统的概念	85
8.1.2 地下水含水系统与流动系统的比较	86
8.2 地下水含水系统与流动系统	87
8.2.1 地下水含水系统	87
8.2.2 地下水流动系统	87
8.3 地下水补给	88
8.3.1 大气降水补给	89
8.3.2 地表水补给	94
8.3.3 凝结水补给	96
8.3.4 含水层之间的补给	96
8.3.5 地下水人工补给	96
8.4 地下水排泄	97
8.4.1 泉	98
8.4.2 泄流	99
8.4.3 蒸散	100
8.4.4 径流排泄	101
8.4.5 人工排泄	101
8.5 含水层之间的补给与排泄	102
思考题	104
第9章 地下水动态与均衡	105
9.1 概述	105
9.2 地下水动态	106
9.2.1 地下水动态形成机制	106
9.2.2 影响地下水动态的因素	106
9.2.3 天然地下水动态类型	113
9.3 地下水均衡	114

9.3.1 均衡区与均衡期	114
9.3.2 水均衡方程	114
9.3.3 潜水均衡方程	115
9.3.4 大区域地下水均衡研究中的一些问题	116
9.4 地下水动态与均衡的关系	118
思考题	118
第 10 章 不同含水介质中地下水	119
10.1 孔隙水	119
10.1.1 冲洪积扇中的孔隙水	120
10.1.2 冲积平原中的孔隙水	121
10.1.3 湖积物中的孔隙水	122
10.1.4 黄土区中的孔隙水	123
10.2 裂隙水	124
10.2.1 裂隙水的一般特征	124
10.2.2 裂隙水的类型	125
10.3 岩溶水	132
10.3.1 岩溶发育的基本条件及影响因素	132
10.3.2 岩溶水系统的演变	133
10.3.3 岩溶水的特征	134
10.3.4 我国南北方岩溶及岩溶水的差异	135
思考题	135
参考文献	136

第 1 章 绪 论

学习目标：掌握水文地质学的概念、研究内容、研究对象；了解水文地质学的发展历程、分支学科及其研究内容；了解当代水文地质学的发展特点和今后的研究方向；了解水文地质学课程的主要内容和学习要求。

重点与难点：水文地质学研究对象的不断扩展；水文地质学课程的主要内容和学习要求。

1.1 水文地质学的概念

水文地质学是研究地下水的学科^[1,2]。具体来说，是研究地下水在与周围环境（岩石圈、大气圈、地表水圈、生物圈以及人类活动）的相互作用下，其数量和质量在时空上的变化规律，以及合理地利用地下水和防止其危害的学科。

1.2 水文地质学的研究内容

水文地质学的研究内容包括地下水的起源、分布，赋存状态，补给、径流与排泄，水质水量的时空变化与运动规律，包括在自然因素和人为因素的影响下，地下水作为一种地质营力对环境的改造作用以及在其作用过程中它自身发生的各种变化规律，经济合理地开采利用地下水，有效地防治和消除地下水造成的危害等。简单地说，水文地质学的研究内容是地下水在周围环境（岩石圈、大气圈、地表水圈、生物圈以及人类活动）的影响下，其数量和质量在时空上的变化规律，以及如何应用这一规律有效地利用和调控地下水。

1.3 水文地质学的研究对象

简单地说水文地质学的研究对象就是地下水。

地下水概念有广义和狭义之分。广义上是指赋存于地面以下岩土空隙中的水，狭义上仅指赋存于饱水带岩土空隙中的重力水^[1,3-5]。

水文地质学的研究对象也是随着水文地质学的不断发展而不断扩展。当代水文地质学的研究对象，从传统狭义上的地下水扩展到广义上的地下水，即从饱水带水扩展到地面以下岩土空隙中所有的水，既包括饱水带水，也包括包气带水。

20 世纪 70 年代，苏联学者提出地下水圈的概念，认为从地壳浅部到地幔，以各种不

同形态存在的水是相互转换、不可分割的统一整体，称之为地下水圈。因此提出，水文地质学是研究地下水圈的学科^[2,6,7]。

水文地质学的研究对象在不断扩展，由地壳浅表岩土空隙中的饱水带水扩展到包气带水，正在扩展为从地壳到下地幔的地球各圈层的水。

1.4 水文地质学科的分支学科

水文地质学从寻找和利用地下水源开始发展，围绕实际应用，逐渐开展了理论研究，目前已形成了一系列分支^[3-5,8-10]，其中水文地质学原理、地下水动力学和水文地球化学是水文地质学科的基础学科。部分分支学科简述如下：

水文地质学原理又称为普通水文地质学、水文地质学基础，主要研究水文地质学的基础理论和基本概念。

地下水动力学主要研究地下水的运动规律，探讨地下水水量、水质和温度传输的计算方法，进行水文地质定量模拟，是水文地质学的重要基础。

水文地球化学主要研究各种元素在地下水中的迁移和富集规律，利用这些规律探讨地下水的形成和起源、地下水污染形成机制和污染物在地下水中的迁移与变化、地下水与矿产形成和分布的关系，寻找金属矿床、放射性矿床、石油和天然气，研究矿水的形成和分布等。

供水水文地质学是为了确定供水水源而寻找地下水，通过勘察，查明含水层的分布规律、埋藏条件，进行水质与水量评价。它主要研究合理开发利用并保护地下水资源，按含水系统对地下水资源进行科学管理。

农业水文地质学主要研究沼泽地和盐碱地的土壤改良、防治次生土壤盐碱化等问题。

矿床水文地质学研究采矿时地下水涌入矿坑的条件，预测矿坑涌水量以及其他与采矿有关的水文地质问题。

1.5 水文地质学的发展历程

水文地质学的发展历程大体可以划分为萌芽、奠基和发展三个阶段。

1. 萌芽时期（远古至 1855 年）

人类早在远古时代就已打井取水。中国已知最古老的水井是距今约 5700 年前的浙江余姚河姆渡古文化遗址水井。古波斯时期在德黑兰附近修建了坎儿井，最长达 26km，最深达 150m。约公元前 250 年，在中国四川，为开采地下卤水开凿了深达百米以上的自流井。中国汉代凿的龙首渠是一种井、渠结合的取水建筑物。在利用井泉的过程中，人们也探索了地下水的来源。法国帕利西、中国徐光启和法国马略特先后指出了井泉水来源于大气降水或河水入渗。马略特还提出了含水层与隔水层的概念。

16 世纪以前，人类对地下水现象只限于直接观察和推测。柏拉图推测，地下有个巨

大的洞穴，其中的水是河流的源头。中国唐代柳宗元在《天对》中记叙了地下水在岩土空隙中的存在、入渗、蒸发和流动等现象。

2. 奠基时期（1856—1945 年）

从 17 世纪到 20 世纪初，科学家们通过观察、实验和分析，提出了一系列关于地下水形成和运动的重要概念、定律和方法。法国科学家佩罗（Perrault Pierre, 1608—1680）研究了地下水的毛细管上升现象。1856 年，法国工程师达西（Henry Darcy, 1803—1858）通过室内控制性实验建立了地下水渗流的基本定律，奠定了地下水运动的理论基础。1863 年，法国学者裘布依（Arsene Dupuit, 1804—1866）根据实际的潜水面坡度很小的事实，做了一些简化和假定，运用达西定律导出了地下水的井流公式。1870 年，德国人蒂姆（G. Thiem）改进了裘布依公式，从而可用稳定流抽水试验来计算渗透系数等参数。1885 年，英国的张伯伦确定了自流井出现的地质条件。奥地利人福希海默（P. Forchheimer, 1852—1933）在 1885 年制出了流网图并开始应用映射法。这些工作为水文地质学发展奠定了基础。

19 世纪末 20 世纪初，对地下水起源又提出了一些新学说。1902 年，奥地利人修斯（Eduard Suess, 1831—1914）提出了初生说。1908 年，美国莱恩、戈登和俄国安德鲁索夫分别提出在自然界中存在与沉积岩同时生成的沉积水。1912 年，德国凯尔哈克提出地下水和泉的分类，总结了地下水的埋藏特征和排泄条件。

1928 年，美国学者迈因策尔论述了承压含水层的可压缩性和弹性，为地下水非稳定理论的建立准备了比较丰富的实践基础。由于预测地下水运动过程的需要，促进了水文地质模拟技术的发展。20 世纪 30 年代开展了实验室物理模拟。1935 年，美国人泰斯（Charles Vernon Theis, 1900—1987）利用地下水非稳定流动和热传导之间的相似性，导出了著名的泰斯公式，把地下水定量计算推进到了一个新阶段。1937 年，美国学者马斯克特（Muskat）在《均匀流体通过多孔介质的流动》一书中，用数学方法较系统地论述了地下水的运动。1930 年，荷兰水文工程师德赫莱用数学方法分析了地下水渗过弱透水层的越流现象。第二次世界大战结束时，在地下水的赋存、运动、补给、排泄、起源以及化学成分变化、水量评价等方面，均有了较为系统的理论和研究方法，此时水文地质学已经发展成为一门成熟的学科了。

3. 发展时期（1946 年至今）

第二次世界大战以后，合理开发、科学管理与保护地下水资源的迫切性和有关的环境问题，越来越引起人们的重视。

随着生产力与科学技术的迅猛发展，人类对地下水的需求大为增加，世界各地都出现了地下水水位下降、地下水资源枯竭、地面沉降、海水与咸水入侵淡水含水层以及地下水污染等问题。这一阶段正确地预测在人类活动干预下地下水的变化，从而正确地评价、开发、管理与保护地下水资源以及保护与地下水有关的生态环境成为当务之急。

随着大规模开发利用地下水，某些水文地质过程开始受到人们的注意。20 世纪 40 年代末发展起来的电网络模拟，到 50—60 年代在解决水文地质问题中得到了应用。苏联奥弗琴尼科夫和美国的怀特在水文地球化学方面做出了许多贡献。20 世纪 40—60 年

代，雅可布（Charles Edward Jacob，1914—1970）及汉图什（M. S. Hantush）等研究了松散沉积物承压含水层的越流现象，发现原先认为是不透水的“隔水层”，实际上是透水能力比较弱的透水层。含水层与其间的“隔水层”共同构成水力上相互联系的系统——地下水含水系统。20 世纪 60 年代以来，加拿大的托特（Tóth）提出了地下水流动系统理论，为水文地质学开拓了新的发展前景。贝尔（Jacob Bear）编著出版了《多孔介质流体力学》（1972 年）和《地下水水力学》（1979 年），极大地推动了水文地质计算理论发展。

由于电子计算机技术的发展，20 世纪 70—80 年代，地下水流数值模拟成为处理复杂水文地质问题的主要手段。同时，同位素方法在确定地下水平均储留时间、追踪地下水流动等研究中得到应用。遥感技术及数学地质方法也被用于解决水文地质问题。对于地下水中污染物的运移和开采地下水引起的环境变化，引起广泛重视。

进入 20 世纪 90 年代以来，一些先进的方法和模拟技术得到广泛开发与应用。从地下水模拟软件 ModFlow 的诞生，到目前广泛应用的地下水模拟系统（Groundwater Modeling System, GMS），充分显示了现代计算机技术在地下水研究中划时代的进展。水文地质学在不断的发展中逐步形成完善、独立的学科体系，发展过程中的主要成果见表 1.1。

表 1.1 水文地质学的发展历程

时期		时间	理论或公式	备注
萌芽时期		1855 年以前		
奠基时期 (1856—1945 年)	稳定流	1856 年	达西定律 (Darcy's Law) ^[11-14]	$Q = KAI, v = KI$
		1863 年	裘布依 (Dupuit) 公式 ^[11-14]	$Q = 2.732KM \frac{S_w}{\lg(R/r_w)}$
		1870 年	蒂姆 (Thiem) 公式 ^[11-14]	$Q = 2.732K \frac{h_1^2 - h_2^2}{\lg(r_2/r_1)}$
		1886 年	福希海默 (Forchheimer) 公式 ^[11-14]	流网 (flow net, 1885)
		1928 年	迈因策尔 (Mainzer) ^[11-14]	越流含水层 (leaky aquifer)
	非稳定流	1935 年	泰斯 (Theis) 公式 ^[11-14]	$S = QW(u)/4\pi T,$ $Q = 4\pi TS/W(u)$
		1937 年	马斯凯特 (M. Muskat) ^[4]	均匀流体通过多孔介质的流动
	水文地质学理论	1945 年	在地下水的赋存、运动、补给、排泄、起源以至化学成分变化、水量评价等方面较为系统的理论和研究方法已形成	水文地质学已经发展成为一门成熟的学科

续表

时期		时间	理论或公式	备注
发展时期 (1946 年 至今)	非稳 定流	20 世纪 40— 60 年代	汉图什-雅可布 (Hantush Jacob) 公式 ^{[11][12-15]}	潜水含水层中流向井的非稳 定流
		1954 年	布尔顿 (Boulton) 公式 ^[4,14]	非饱和带滞后释水现象
		1956 年	斯托曼 (Stallman) ^[4]	数值法、计算机模拟
		20 世纪 60 年代	沃尔顿 (Walton) ^[4]	数值法、计算机模拟
		1972 年	贝尔 (J. Bear) ^[4,14]	多孔介质流体力学
		1972 年	纽曼 (Neuman) ^[4,15]	潜水非稳定流公式
		1979 年	贝尔 (J. Bear) ^[4,15]	地下水水力学
	多相流	20 世纪 80 年代	美国地质调查局 (USGS) 的 McDonald 和 Harbaugh	地下水有限差分模拟软件 Visual MODFLOW ^[16]
		20 世纪 90 年代	加拿大 Waterloo 水文地质公司	可视化地下水有限差分模拟软 件 Visual MODFLOW ^[16]
		20 世纪 90 年代	德国 Wasy 水资源研究所	地下水有限单元模拟软件 FE- FLOW ^[16]
		20 世纪 90 年代	美国 Brigham Young University 和美国军队排水工程试验工作站	地下水模拟系统 GMS ^[16]

资料来源：肖长来，2010 年。

1.6 当代水文地质学的发展特点

20 世纪 80 年代，同步发生的两个重要事件——地球系统科学时代的来临与地下水流系统理论的完善，意味着当代水文地质学时期的来临。当代水文地质学具有以下发展特点^[2,17,18]。

- (1) 核心课题转移。找水水文地质学→资源水文地质学→生态环境水文地质学。
- (2) 研究视野扩展。含水层的局部→整个含水层→含水系统及地下水流系统→生态环境系统→技术→社会系统。
- (3) 研究目标改变。由局部性的当前问题，转向全局性可持续发展的课题，转向构建人与自然协调的、良性循环的地下含水系统、水文系统、地质工程系统、地质环境系统以及地质生态系统等。
- (4) 研究内容扩展。从地下水的水量研究为主，转向水量与水质研究并重；从狭义地下水（饱和带水）的研究，扩大到广义地下水（含饱水带与包气带水），乃至地下水圈的研究。
- (5) 研究思路的改变。以现象的规律为主的研究，转向以机理为主的研究。
- (6) 多学科交叉渗透成为主流。作为应用学科的水文地质学正在转换为与其他自然科学以及社会科学交叉渗透的地下水科学。

(7) 多技术手段的应用。计算机硬件及软件、遥感技术、同位素方法、地理信息系统等的引入, 以及向工程方向扩展, 增强了水文地质学解决实际与理论问题的能力。

(8) 学科性质的转变。由单纯的应用性学科分支, 转变为地球系统科学的应用性分支以及理论性基础学科分支。

1.7 当代水文地质学今后的研究方向

预计今后的水文地质研究, 会在地下水运移机制和计算方法、黏性土的渗透机制、地下水中污染物的运移、包气带中水盐的运移机制、水文地球化学和同位素水文地质学等方面进一步展开^[4,5]。

为保护和利用地下水资源, 控制和消除由于水文地质和工程地质问题等造成的各种灾害, 为工程建设对环境的影响评价, 也为水资源的规划和管理提供科学依据, 环境水文地质学的研究将在以下方面取得发展: 抽取地下水引起的地面沉降、岩溶塌陷以及地下水变化引起黄土湿陷、滑坡、潜蚀等对环境的影响, 地下水污染机理和规律, 地下水变化对生态的影响, 水库诱发地震的机理和影响, 水库渗漏、岸边再造等对环境的影响, 浸没对土壤沼泽化、盐碱化、潜育化的影响及原生环境的地下水与地方病的关系, 矿泉水和热水资源的利用和医疗意义^[5]。

思 考 题

1. 简述水文地质学的研究对象及研究内容。
2. 简述当代水文地质学的发展特点。
3. 从水文地质学的发展历程中获得哪些启示?

第 2 章 地球中水的分布与循环

学习目标：了解地球中水的数量与分布；掌握水循环、水文循环和地质循环的概念；一般性理解与水文循环有关的气象、水文因素；熟悉水文循环的水量平衡的概念及各种水量平衡方程。

重点与难点：水文循环与地质循环的区别；水文循环的意义；水文循环的内外因条件；水文循环的水量平衡方程。

2.1 地球中水的分布

地球是一个富水的行星。地球各个层圈，从地球浅部层圈（大气圈至地下数千米范围）直到地球深部层圈（地壳下部、地幔和地核），都存在水。

地球浅部层圈的水大多以集合体的形式存在，例如，大气中的水汽，地表的河流、湖泊、海洋、沼泽、冰川和地下水。这种水的集合体称为水体。地球浅部层圈各种水体组成的具有相互联系的整体，称为地球水圈。

关于地球中水的起源曾有多种假说，目前普遍接受的观点是：地球形成时便有大量的水，地球浅部层圈的水（包括大气、海洋、河湖中水以及地下水）是原始地壳形成以后，在整个地质时期从地球内部不断逸出而形成的^[1,2,5]。

2.1.1 地球浅部层圈中水的分布

地球浅部层圈中赋存有大气水、地表水、地下水、生物体及矿物中的水。这些水均以自由态 H₂O 分子形式存在，以液态为主，也呈气态与固态存在。地球浅部层圈中水量总计为 138.6×10¹⁶ m³。其中，咸水占 97% 以上，淡水不到 3%。淡水中，固态水（冰川、永久积雪等）约占 70%，其余 30% 是液态水。液态淡水中，地下水量约占 99%。具体见表 2.1～表 2.3。

表 2.1 地球浅部层圈中水的数量及分布（一）

主要水体		水量/10 ¹⁶ m ³	占总水量的百分比/%
海 洋		133.800000	96.537868
大陆	包气带水	0.001650	0.001190
	饱水带水	2.340000	1.688330
	永久冻土带固态水	0.030000	0.021645
	冰川、永久积雪等	2.406410	1.736246
	湖泊	0.017640	0.012727