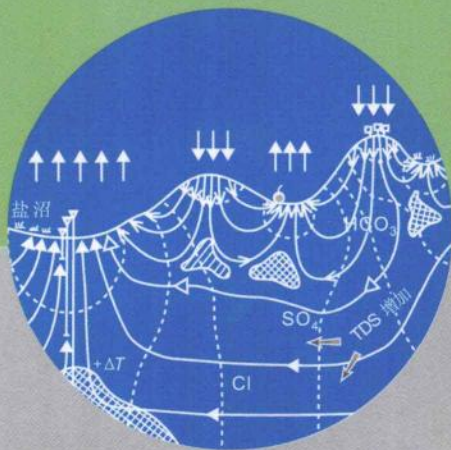
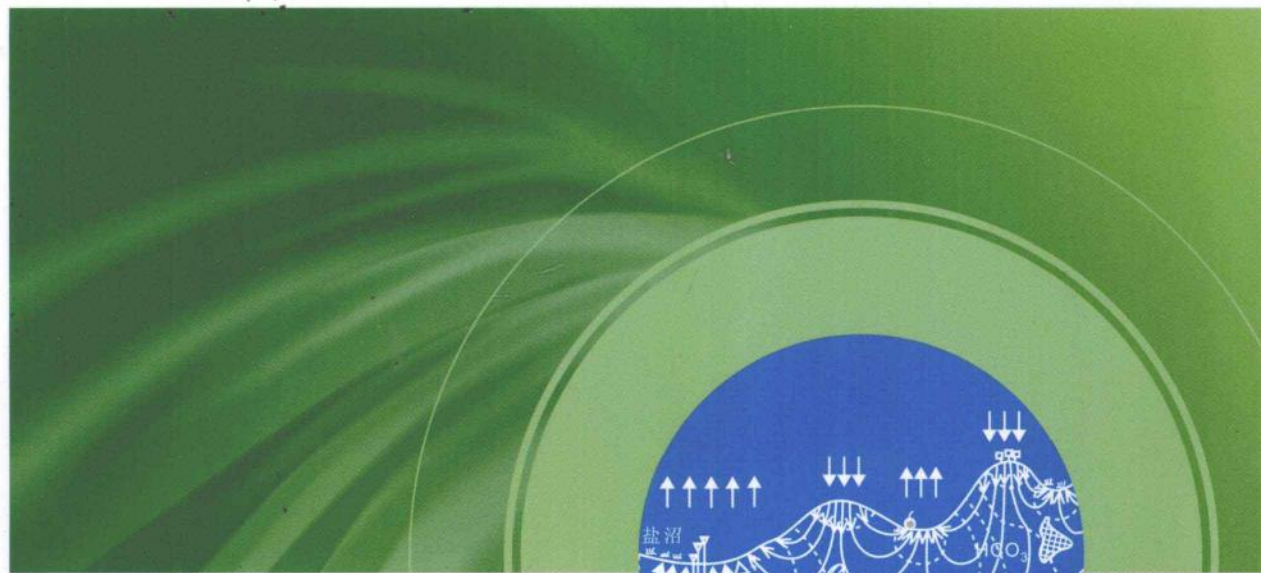




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

SHUIWEN DIZHIXUE JICHU

# 水文地质学基础 (第六版)



张人权 梁杏 靳孟贵  
万力 于青春 编著

地质出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 水文地质学基础

(第六版)

张人权 梁杏 靳孟贵 万力 于青春 编著

地质出版社

· 北 京 ·

## 内 容 简 介

本书着重于阐述水文地质学基本概念、基本原理及基本分析方法。力求概念清晰,逻辑严谨,文字清新,图件可读。在坚持“削枝强干,以少胜多,内容精当,深入浅出”的基础上,力求体现当代水文地质学的概念、理论与方法体系。

本书是水文与水资源工程、地下水科学与工程,以及土木工程(工程地质方向)等专业的大学本科入门教材,对于从事水文地质、工程地质、环境地质、油气及金属非金属矿产勘查、水利、农业以及生态保护工作的教学、科研及生产人员,有一定参考价值。

## 图书在版编目(CIP)数据

水文地质学基础 / 张人权等编著. — 6 版. — 北京:地质出版社, 2011. 1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-116-06494-2

I. ①水… II. ①张… 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(2010)第 262396 号

---

责任编辑:李惠娣

责任校对:黄苏晔

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)82324514 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: [zbs@gph.com.cn](mailto:zbs@gph.com.cn)

传 真: (010)82324340

印 刷: 北京纪元彩艺印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm  $\frac{1}{16}$

印 张: 13.75

字 数: 330 千字

印 数: 1—5000 册

版 次: 2011 年 1 月第 6 版

印 次: 2011 年 1 月第 1 次印刷

审图号: GS (2010) 1504 号

定 价: 20.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-06494-2

---

(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

1960年,本书以《普通水文地质学》书名初版问世,1964年再版,1980年更名为《水文地质学基础》修订出版,1986年及1995年分别修订再版。此版为本书历时50年的第六个版本。

50年来,水文地质学蓬勃发展,由单纯的应用学科,发展为具有多个应用及理论分支的地下水科学,成为地球系统科学最为活跃的基础学科之一。

50年来,水文地质学面临巨大的挑战和难得的机遇,学科迅猛发展,新问题、新理论和新方法不断涌现,知识总量翻倍扩展,如行山阴道上,目不暇接。此时,以不变应万变,排除浮躁,回归基础,方是正确应对之道。

以能力培养为中心,力求初学者能够“举一反三,以少胜多”,是本书一贯追求的目标。作为地下水科学入门教科书,我们无意对水文地质学作面面俱到的讨论。本书力求阐明水文地质学基本概念、基本原理及基本分析方法。期望初学者经过艰苦思考、反复练习,并通过今后工作实践,扎实理解基本概念,融会贯通基本原理,灵活掌握基本分析方法,不断提高分析问题和提出问题的能力。

同时运用逻辑思维和形象思维,才有可能创造性地解决复杂的水文地质问题。为此,本书着意精选图件,尤其是概念模型图件。我们相信,如能细心研读图件,必可获得文字无法提供的启示。

为使初学者了解国内外最新研究成果及发展趋势,本书还增添了一些拓展视野的章节(如第9章、第15章等),对于初学者,不可能也不要求完全掌握其内容,请使用此书的教师酌情明示学生考核范围及要求。

本书编写分工如下:靳孟贵执笔第5章、第6章,梁杏执笔第7章、第9章,于青春执笔第12章,万力执笔第15章,张人权执笔其余各章并承担全书统稿。修编事务、图件格式设计,以及部分图件编绘,由梁杏承担,王新峰、彭凤娟协同完成。本版增添了英文目录及中英文对照名词索引。英文目录及索引承蒙焦赳赳审阅,英文目录还经托特(József Tóth)审核,最终由作者定夺取舍。虽经努力,英文部分难免有不妥之处,仅供读者参考。

我们深切缅怀本书此前各版的主编王大纯先生。20世纪中期,水文地质

学作为新的学科引入中国之际，王大纯先生主持编写了第一本结合中国实际的水文地质学教科书。书中提出适合中国的地下水分类、中国潜水分带以及裂隙水分类。20世纪80~90年代以来，广泛吸收国内外最新研究成果，深入探讨地下水资源及地下含水系统概念，引入地下水流系统理论，强调与地下水有关的生态环境问题。50年来，本书不断充实完善的过程，正是中国水文地质学理论体系形成的缩影。王大纯先生是中国水文地质学当之无愧的重要奠基人。

王大纯先生视野开阔、勇于开拓，求真务实，与时俱进，为本书奠定了“重视基本概念，强调分析思路，论述深入浅出、语言平实清新”的学术风格。这种学术风格，对精心研读本书的一批读者已经产生深刻影响。1988年，本书荣获全国高等教育优秀教材奖。1988年及1992年，两度获得地质矿产部高等地质院校优秀教材奖。

本书此前各版作者，还有以下几位：张咸恭、郭竹第、史毅虹、许绍倬。他们辛勤劳动的成果依然凝结于此书之中，谨此向他们表达深切敬意。

本书承蒙以下诸位师友审阅部分章节，并提供宝贵建议及参考资料：张蔚榛、张倬元、袁道先、段永侯、王瑞久、李文鹏、焦赳赳、文冬光、蒋小伟、王焰新、周爱国，谨此表示诚挚感谢。我们谨向本书所引用的参考文献的作者表示感谢，他们的成果为撰写本书提供了基础。感谢地质出版社王章俊副社长、魏智如主任的关注，感谢本书责任编辑李惠娣博士的辛勤劳动，使得本书得以顺利出版。

本书的思考题仅供读者理解内容参考之用，我们不希望用标准答案束缚他们的思路。

与本书有关的某些内容，请读者登录中国地质大学（武汉）水文地质学基础精品课程网页浏览：<http://jpkc.cug.edu.cn/2007jpkc/swdxxjc4/>。

对本书内容的批评及建议，请发至以下电子邮箱：[xliang@cug.edu.cn](mailto:xliang@cug.edu.cn)。

作 者

2010年8月

# 目 录

## 前 言

|                     |      |
|---------------------|------|
| 第1章 绪 论             | (1)  |
| 1.1 水文地质学的研究对象      | (1)  |
| 1.2 地下水的功能          | (1)  |
| 1.2.1 宝贵的资源         | (1)  |
| 1.2.2 重要的地质营力       | (2)  |
| 1.2.3 不可忽视的致灾因子     | (3)  |
| 1.2.4 活跃灵敏的生态环境因子   | (4)  |
| 1.2.5 极有价值的信息载体     | (5)  |
| 1.3 水文地质学发展简史       | (5)  |
| 1.4 当代水文地质学的特点      | (7)  |
| 第2章 地球中水的分布与循环      | (9)  |
| 2.1 地球中水的分布         | (9)  |
| 2.2 地球中水的循环         | (10) |
| 2.2.1 水文循环          | (10) |
| 2.2.2 地质循环          | (11) |
| 2.3 中国水资源概况         | (12) |
| 2.4 中国地下水概况         | (13) |
| 2.4.1 地下水的供水意义      | (13) |
| 2.4.2 中国地下水分区       | (13) |
| 第3章 岩土中的空隙和水        | (16) |
| 3.1 岩土中的空隙          | (16) |
| 3.1.1 孔隙            | (16) |
| 3.1.2 裂隙和溶穴         | (18) |
| 3.2 岩土中的水           | (18) |
| 3.2.1 结合水           | (19) |
| 3.2.2 重力水           | (19) |
| 3.2.3 毛细水(毛管水)      | (20) |
| 3.2.4 气态水、固态水及矿物中的水 | (20) |
| 3.3 与水有关的岩土性质       | (20) |
| 3.3.1 容水度           | (21) |

|       |                            |      |
|-------|----------------------------|------|
| 3.3.2 | 含水量                        | (21) |
| 3.3.3 | 给水度 (重力疏干给水度)              | (21) |
| 3.3.4 | 持水度                        | (21) |
| 3.3.5 | 渗透性                        | (22) |
| 3.4   | 有效应力原理与岩土体变形破坏             | (23) |
| 3.4.1 | 有效应力原理                     | (23) |
| 3.4.2 | 地下水位变化引起的土体变形              | (23) |
| 3.4.3 | 地下水位变化引起岩土体位移破坏            | (24) |
| 第4章   | 地下水的赋存                     | (25) |
| 4.1   | 含水层、隔水层与弱透水层               | (25) |
| 4.2   | 含水系统                       | (26) |
| 4.3   | 潜水、承压水和上层滞水                | (27) |
| 4.3.1 | 潜水                         | (27) |
| 4.3.2 | 承压水                        | (28) |
| 4.3.3 | 上层滞水                       | (30) |
| 第5章   | 地下水运动的基本规律                 | (32) |
| 5.1   | 渗流基本概念                     | (32) |
| 5.2   | 重力水运动的基本规律                 | (33) |
| 5.2.1 | 达西定律                       | (33) |
| 5.2.2 | 渗透流速 ( $v$ ) 与实际流速 ( $u$ ) | (33) |
| 5.2.3 | 水力梯度 ( $I$ )               | (34) |
| 5.2.4 | 渗透系数 ( $K$ ) 与渗透率 ( $k$ )  | (35) |
| 5.2.5 | 达西定律的实质及适用范围               | (36) |
| 5.3   | 流网                         | (36) |
| 5.3.1 | 均质各向同性介质中的流网               | (36) |
| 5.3.2 | 层状非均质介质中的流网                | (38) |
| 5.4   | 饱水粘性土中水的运动规律               | (40) |
| 第6章   | 包气带水                       | (42) |
| 6.1   | 毛细现象和毛细水                   | (42) |
| 6.1.1 | 毛细现象的实质                    | (42) |
| 6.1.2 | 毛细负压及其测定方法                 | (43) |
| 6.1.3 | 毛细上升高度与悬挂毛细水               | (44) |
| 6.2   | 土壤水势及其组成                   | (45) |
| 6.3   | 包气带水的分布与运动规律               | (46) |
| 6.3.1 | 包气带水的垂向分布特征                | (46) |
| 6.3.2 | 包气带水运动的基本定律                | (48) |
| 6.3.3 | 包气带水的数量与能量的关系——水分特征曲线      | (49) |

|            |                                            |             |
|------------|--------------------------------------------|-------------|
| 6.3.4      | 重力疏干给水度的讨论                                 | (49)        |
| 6.4        | 涉及包气带水的主要领域                                | (50)        |
| <b>第7章</b> | <b>地下水的化学组分及其演变</b>                        | <b>(52)</b> |
| 7.1        | 概述                                         | (52)        |
| 7.2        | 地下水化学特征                                    | (52)        |
| 7.2.1      | 地下水主要气体成分                                  | (52)        |
| 7.2.2      | 地下水主要离子成分                                  | (53)        |
| 7.2.3      | 地下水中的同位素组分                                 | (56)        |
| 7.2.4      | 地下水其他组分                                    | (56)        |
| 7.3        | 地下水中的微生物                                   | (57)        |
| 7.4        | 地下水的温度                                     | (59)        |
| 7.5        | 地下水化学成分形成作用                                | (59)        |
| 7.5.1      | 溶滤作用 (leaching/dissolution)                | (60)        |
| 7.5.2      | 浓缩作用 (concentration)                       | (61)        |
| 7.5.3      | 脱碳酸作用 (decarbonation)                      | (62)        |
| 7.5.4      | 脱硫酸作用 (desulphidation)                     | (62)        |
| 7.5.5      | 阳离子交替吸附作用 (cation exchange and adsorption) | (62)        |
| 7.5.6      | 混合作用 (mixing)                              | (63)        |
| 7.5.7      | 人类活动对地下水化学成分的影响                            | (63)        |
| 7.6        | 地下水基本成因类型及其化学特征                            | (63)        |
| 7.6.1      | 溶滤水 (groundwater of atmospheric origin)    | (64)        |
| 7.6.2      | 沉积水 (connate groundwater)                  | (64)        |
| 7.6.3      | 内生水 (endogenous groundwater)               | (65)        |
| 7.7        | 地下水化学成分分析及其图示                              | (66)        |
| 7.7.1      | 地下水化学分析内容                                  | (66)        |
| 7.7.2      | 地下水化学成分的库尔洛夫表示式                            | (66)        |
| 7.7.3      | 地下水化学特征分类及图示                               | (67)        |
| <b>第8章</b> | <b>地下水的补给与排泄</b>                           | <b>(70)</b> |
| 8.1        | 概述                                         | (70)        |
| 8.2        | 地下水补给                                      | (71)        |
| 8.2.1      | 大气降水补给地下水                                  | (71)        |
| 8.2.2      | 地表水补给地下水                                   | (76)        |
| 8.2.3      | 地下水的其他补给来源                                 | (77)        |
| 8.2.4      | 地下水人工补给                                    | (78)        |
| 8.3        | 地下水排泄                                      | (79)        |
| 8.3.1      | 泉                                          | (79)        |
| 8.3.2      | 泄流                                         | (81)        |

|             |                         |              |
|-------------|-------------------------|--------------|
| 8.3.3       | 蒸发与蒸腾 .....             | (82)         |
| 8.3.4       | 地下水的人工排泄 .....          | (83)         |
| 8.4         | 含水层之间的补给与排泄 .....       | (84)         |
| <b>第9章</b>  | <b>地下水流系统 .....</b>     | <b>(86)</b>  |
| 9.1         | 水文地质学中系统概念的引入 .....     | (86)         |
| 9.1.1       | 系统概念向水文地质学的渗透 .....     | (86)         |
| 9.1.2       | 与地下水有关的系统概念及其含义 .....   | (86)         |
| 9.2         | 地下水流系统理论的形成与演变 .....    | (88)         |
| 9.3         | 地下水流系统的水动力特征 .....      | (91)         |
| 9.4         | 流域盆地地下水流模式 .....        | (92)         |
| 9.4.1       | 地下水盆地水流模式及其影响因素 .....   | (92)         |
| 9.4.2       | 地下水盆地水流模式的物理模拟 .....    | (92)         |
| 9.4.3       | 地下水盆地水流模式的数学模拟 .....    | (92)         |
| 9.5         | 地下水流系统的水化学特征 .....      | (96)         |
| 9.6         | 地下水流系统的水温度特征 .....      | (97)         |
| 9.7         | 不同介质中的地下水流系统 .....      | (97)         |
| 9.7.1       | 岩溶水流系统 .....            | (98)         |
| 9.7.2       | 孔隙水流系统 .....            | (98)         |
| 9.7.3       | 裂隙水流系统 .....            | (98)         |
| <b>第10章</b> | <b>地下水动态与均衡 .....</b>   | <b>(101)</b> |
| 10.1        | 地下水动态与均衡的概念 .....       | (101)        |
| 10.2        | 地下水动态的影响因素 .....        | (101)        |
| 10.2.1      | 地下水动态的两类影响因素 .....      | (101)        |
| 10.2.2      | 气象(气候)因素影响下的地下水动态 ..... | (102)        |
| 10.2.3      | 水文因素影响下的地下水动态 .....     | (104)        |
| 10.2.4      | 其他因素影响下的地下水动态 .....     | (104)        |
| 10.2.5      | 人为活动影响下的地下水动态 .....     | (105)        |
| 10.2.6      | 影响地下水动态的地质因素 .....      | (107)        |
| 10.3        | 地下水动态类型 .....           | (107)        |
| 10.3.1      | 入渗-径流型动态 .....          | (108)        |
| 10.3.2      | 径流-蒸发型动态 .....          | (108)        |
| 10.3.3      | 入渗-蒸发型动态 .....          | (108)        |
| 10.3.4      | 入渗-弱径流型动态 .....         | (108)        |
| 10.4        | 天然条件下的地下水均衡 .....       | (109)        |
| 10.4.1      | 均衡区与均衡期 .....           | (109)        |
| 10.4.2      | 水均衡方程式 .....            | (109)        |
| 10.5        | 人为活动影响下的地下水均衡 .....     | (111)        |

|             |                                                              |       |
|-------------|--------------------------------------------------------------|-------|
| 10.6        | 大区域地下水均衡研究中的一些问题                                             | (111) |
| <b>第11章</b> | <b>孔隙水</b>                                                   | (114) |
| 11.1        | 孔隙水的特征                                                       | (114) |
| 11.2        | 洪积物中的孔隙水                                                     | (114) |
| 11.3        | 冲积物中的孔隙水                                                     | (116) |
| 11.4        | 湖积物中的孔隙水                                                     | (117) |
| 11.5        | 干旱内陆盆地孔隙水系统: 石羊河流域                                           | (118) |
| 11.6        | 干旱半干旱黄土高原孔隙水系统                                               | (120) |
| 11.7        | 半干旱平原孔隙水系统: 河北平原                                             | (122) |
| <b>第12章</b> | <b>裂隙水</b>                                                   | (128) |
| 12.1        | 概述                                                           | (128) |
| 12.2        | 裂隙的成因类型及其中的地下水                                               | (129) |
| 12.2.1      | 成岩裂隙水                                                        | (129) |
| 12.2.2      | 风化裂隙水                                                        | (129) |
| 12.2.3      | 构造裂隙水                                                        | (130) |
| 12.3        | 裂隙介质及其渗流                                                     | (132) |
| 12.3.1      | 裂隙及裂隙网络                                                      | (132) |
| 12.3.2      | 裂隙水流的基本特征                                                    | (134) |
| 12.4        | 裂隙及裂隙水的研究方法                                                  | (134) |
| 12.4.1      | 岩层(岩体)裂隙野外调查统计                                               | (134) |
| 12.4.2      | 裂隙水的模型化方法                                                    | (136) |
| 12.5        | 断层的水文地质意义                                                    | (139) |
| <b>第13章</b> | <b>岩溶水(喀斯特水)</b>                                             | (141) |
| 13.1        | 岩溶及其研究意义                                                     | (141) |
| 13.2        | 岩溶发育基本条件                                                     | (142) |
| 13.2.1      | 岩石的可溶性: 碳酸盐岩的成分与结构                                           | (142) |
| 13.2.2      | 可溶岩的透水性                                                      | (143) |
| 13.2.3      | 水的侵蚀性: $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ 体系 | (143) |
| 13.2.4      | 水流对岩溶发育的控制作用                                                 | (144) |
| 13.2.5      | 生物对岩溶发育的影响                                                   | (144) |
| 13.3        | 岩溶水系统的改造与演变                                                  | (144) |
| 13.3.1      | 介质改造机制: 溶蚀-机械侵蚀-重力崩塌                                         | (144) |
| 13.3.2      | 差异性水流与介质差异性改造                                                | (145) |
| 13.3.3      | 我国南方岩溶的地下河系化                                                 | (146) |
| 13.3.4      | 新构造运动对岩溶发育的影响                                                | (149) |
| 13.4        | 岩溶水特征                                                        | (150) |
| 13.4.1      | 中国南北方岩溶及岩溶水发育的差异                                             | (150) |

|             |                           |              |
|-------------|---------------------------|--------------|
| 13.4.2      | 岩溶含水介质特征 .....            | (152)        |
| 13.4.3      | 岩溶水运动特征 .....             | (152)        |
| 13.4.4      | 岩溶水补给、径流及排泄特征 .....       | (153)        |
| 13.4.5      | 岩溶水动态特征 .....             | (154)        |
| 13.4.6      | 岩溶水化学特征 .....             | (154)        |
| <b>第14章</b> | <b>地下水资源与水资源管理 .....</b>  | <b>(156)</b> |
| 14.1        | 作为资源的地下水 .....            | (156)        |
| 14.2        | 地下水资源的特性 .....            | (157)        |
| 14.2.1      | 地下水资源的系统性 .....           | (157)        |
| 14.2.2      | 地下水资源的可再生性 .....          | (157)        |
| 14.2.3      | 地下水资源的变动性与调节性 .....       | (158)        |
| 14.3        | 地下水资源分类及其意义 .....         | (159)        |
| 14.3.1      | 储存资源及其供水意义及生态环境价值 .....   | (159)        |
| 14.3.2      | 补给资源及其供水意义 .....          | (160)        |
| 14.3.3      | 补给资源评价方法 .....            | (160)        |
| 14.4        | 地下水可持续开采量的含义与评价方法探讨 ..... | (160)        |
| 14.4.1      | 可持续开采量的由来与含义 .....        | (161)        |
| 14.4.2      | 可持续开采量评价原理探讨 .....        | (161)        |
| 14.5        | 水资源管理及地下水资源管理 .....       | (162)        |
| <b>第15章</b> | <b>地下水与环境 .....</b>       | <b>(164)</b> |
| 15.1        | 地下水是活跃的环境因子 .....         | (164)        |
| 15.2        | 地下水环境效应概述 .....           | (165)        |
| 15.3        | 地下水水质危害 .....             | (165)        |
| 15.3.1      | 天然地下水有害水质与地方病 .....       | (165)        |
| 15.3.2      | 地下水污染 .....               | (166)        |
| 15.3.3      | 海水及咸水入侵淡含水层 .....         | (167)        |
| 15.4        | 地下水引起的岩土体变形与位移 .....      | (167)        |
| 15.4.1      | 地面沉降及地裂缝 .....            | (167)        |
| 15.4.2      | 岩溶塌陷 .....                | (168)        |
| 15.4.3      | 滑坡 .....                  | (169)        |
| 15.4.4      | 水库诱发地震 .....              | (169)        |
| 15.4.5      | 潜蚀与管涌 .....               | (169)        |
| 15.5        | 地下及地面开挖引起的涌水 .....        | (170)        |
| 15.6        | 岩溶地区的干旱与洪涝 .....          | (171)        |
| 15.7        | 地下水与土壤 .....              | (171)        |
| 15.8        | 地下水支撑的生态系统 .....          | (171)        |
| 15.8.1      | 陆地生态系统与地下水生态水位 .....      | (172)        |

|                 |                                 |              |
|-----------------|---------------------------------|--------------|
| 15.8.2          | 含水层中的生物 .....                   | (172)        |
| 15.8.3          | 地下水支撑的湿地生态系统 .....              | (172)        |
| 15.8.4          | 河流生态系统与潜流带 .....                | (173)        |
| 15.8.5          | 生态需水量 .....                     | (173)        |
| 15.8.6          | 海底地下水排泄带与近岸海洋生态系统 .....         | (174)        |
| <b>第 16 章</b>   | <b>当代水文地质学发展趋势与方法论 .....</b>    | <b>(175)</b> |
| 16.1            | 当代水文地质学发展趋势 .....               | (175)        |
| 16.2            | 水文地质学科发展的某些关键问题 .....           | (176)        |
| 16.2.1          | 概念是学科发展的基石 .....                | (176)        |
| 16.2.2          | 控制性实验是探索自然本质的重要途径 .....         | (177)        |
| 16.2.3          | 方法论对学科发展的导向作用 .....             | (177)        |
| 16.2.4          | 多学科交叉渗透,多技术方法综合应用是学科发展的方向 ..... | (178)        |
| 16.2.5          | 向工程领域延伸是学科发展的要求 .....           | (179)        |
| 16.3            | 水文地质调查及研究中的某些理念与方法 .....        | (179)        |
| 16.3.1          | 重视地质成因分析的必要性 .....              | (180)        |
| 16.3.2          | 信息提取与组织 .....                   | (181)        |
| 16.3.3          | 目标导向与问题导向 .....                 | (183)        |
| 16.3.4          | 定性分析和定量模拟 .....                 | (184)        |
| 主要参考文献和资料 ..... |                                 | (185)        |
| 索 引 .....       |                                 | (196)        |

# FUNDAMENTALS OF HYDROGEOLOGY

## Contents

### Preface

|                                                               |      |
|---------------------------------------------------------------|------|
| <b>Chapter 1 Introduction</b>                                 | (1)  |
| 1.1 The scope of hydrogeology                                 | (1)  |
| 1.2 Functions of groundwater                                  | (1)  |
| 1.2.1 A precious resource                                     | (1)  |
| 1.2.2 A universal geological agent                            | (2)  |
| 1.2.3 An unnegligible hazard factor                           | (3)  |
| 1.2.4 A sensitive and active composition of the environment   | (4)  |
| 1.2.5 A valuable source of information                        | (5)  |
| 1.3 Brief history of hydrogeology                             | (5)  |
| 1.4 The features of modern hydrogeology                       | (7)  |
| <b>Chapter 2 Distribution and Cycle of Water on the Earth</b> | (9)  |
| 2.1 Water distribution of the Earth                           | (9)  |
| 2.2 Water cycle of the Earth                                  | (10) |
| 2.2.1 The hydrologic cycle                                    | (10) |
| 2.2.2 The geological cycle                                    | (11) |
| 2.3 An overview of water resources in China                   | (12) |
| 2.4 An overview of groundwater in China                       | (13) |
| 2.4.1 Significance of groundwater for water supply            | (13) |
| 2.4.2 Groundwater provinces in China                          | (13) |
| <b>Chapter 3 Interstices and Water in Rocks</b>               | (16) |
| 3.1 Interstices in rocks                                      | (16) |
| 3.1.1 Pores                                                   | (16) |
| 3.1.2 Fractures and solution-enlarged interstices             | (18) |
| 3.2 Water in rocks                                            | (18) |
| 3.2.1 Bound water (cohesive water)                            | (19) |
| 3.2.2 Gravitational water                                     | (19) |
| 3.2.3 Capillary water                                         | (20) |

|                  |                                                                                           |             |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 3.2.4            | Water vapor, solid water and water in minerals .....                                      | (20)        |
| 3.3              | Rock properties related to water .....                                                    | (20)        |
| 3.3.1            | Storativity .....                                                                         | (21)        |
| 3.3.2            | Moisture content .....                                                                    | (21)        |
| 3.3.3            | Specific yield .....                                                                      | (21)        |
| 3.3.4            | Specific retention .....                                                                  | (21)        |
| 3.3.5            | Permeability .....                                                                        | (22)        |
| 3.4              | The principle of effective stress, deformation and failure of rock-soil mass .....        | (23)        |
| 3.4.1            | The principle of effective stress .....                                                   | (23)        |
| 3.4.2            | Soil mass deformation caused by change in groundwater level .....                         | (23)        |
| 3.4.3            | Displacement and failure of rock-soil mass caused by change in<br>groundwater level ..... | (24)        |
| <b>Chapter 4</b> | <b>Occurrence of Groundwater .....</b>                                                    | <b>(25)</b> |
| 4.1              | Aquifer, aquiclude and aquitard .....                                                     | (25)        |
| 4.2              | Aquifer system .....                                                                      | (26)        |
| 4.3              | Unconfined groundwater, confined groundwater and perched groundwater .....                | (27)        |
| 4.3.1            | Unconfined groundwater .....                                                              | (27)        |
| 4.3.2            | Confined groundwater .....                                                                | (28)        |
| 4.3.3            | Perched groundwater .....                                                                 | (30)        |
| <b>Chapter 5</b> | <b>The Basic Law of Groundwater Movement .....</b>                                        | <b>(32)</b> |
| 5.1              | Basic concepts of groundwater flow .....                                                  | (32)        |
| 5.2              | The basic law of gravitational water flow .....                                           | (33)        |
| 5.2.1            | Darcy's law .....                                                                         | (33)        |
| 5.2.2            | Darcy velocity and true flow velocity .....                                               | (33)        |
| 5.2.3            | Hydraulic gradient .....                                                                  | (34)        |
| 5.2.4            | Hydraulic conductivity and permeability .....                                             | (35)        |
| 5.2.5            | The physical meaning of Darcy's law and its application .....                             | (36)        |
| 5.3              | Flow nets .....                                                                           | (36)        |
| 5.3.1            | Flow nets in homogeneous and isotropic media .....                                        | (36)        |
| 5.3.2            | Flow nets in stratified media .....                                                       | (38)        |
| 5.4              | Flow in saturated clayey soils .....                                                      | (40)        |
| <b>Chapter 6</b> | <b>Water in the Vadose Zone .....</b>                                                     | <b>(42)</b> |
| 6.1              | Capillary phenomenon and capillary water .....                                            | (42)        |
| 6.1.1            | The nature of capillary phenomenon .....                                                  | (42)        |
| 6.1.2            | Capillary pressure and its measurement .....                                              | (43)        |
| 6.1.3            | The height of capillary rise and suspended capillary water .....                          | (44)        |
| 6.2              | Soil water potential and its components .....                                             | (45)        |

|                  |                                                                          |             |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 6.3              | Water distribution and movement in the vadose zone .....                 | (46)        |
| 6.3.1            | Vertical distribution of water in the vadose zone .....                  | (46)        |
| 6.3.2            | Movement of water in the vadose zone .....                               | (48)        |
| 6.3.3            | Characteristic curves of soil water .....                                | (49)        |
| 6.3.4            | A discussion on specific yield .....                                     | (49)        |
| 6.4              | Main research fields related to water in the vadose zone .....           | (50)        |
| <b>Chapter 7</b> | <b>Chemical Compositions and Processes in Groundwater .....</b>          | <b>(52)</b> |
| 7.1              | An overview .....                                                        | (52)        |
| 7.2              | The chemical characteristics of groundwater .....                        | (52)        |
| 7.2.1            | Main dissolved gases in groundwater .....                                | (52)        |
| 7.2.2            | Main ions in groundwater .....                                           | (53)        |
| 7.2.3            | Isotopes in groundwater .....                                            | (56)        |
| 7.2.4            | Other constituents in groundwater .....                                  | (56)        |
| 7.3              | Microorganisms in groundwater .....                                      | (57)        |
| 7.4              | Temperature of groundwater .....                                         | (59)        |
| 7.5              | Chemical processes in groundwater .....                                  | (59)        |
| 7.5.1            | Leaching and/or dissolution .....                                        | (60)        |
| 7.5.2            | Concentration .....                                                      | (61)        |
| 7.5.3            | Decarbonation .....                                                      | (62)        |
| 7.5.4            | Desulphidation .....                                                     | (62)        |
| 7.5.5            | Cation exchange and adsorption .....                                     | (62)        |
| 7.5.6            | Mixing .....                                                             | (63)        |
| 7.5.7            | Composition changes caused by human activities .....                     | (63)        |
| 7.6              | Basic chemical characteristics of groundwater of different origins ..... | (63)        |
| 7.6.1            | Groundwater of atmospheric origin .....                                  | (64)        |
| 7.6.2            | Connate groundwater .....                                                | (64)        |
| 7.6.3            | Endogenous groundwater .....                                             | (65)        |
| 7.7              | Chemical analysis of groundwater and its graphical presentation .....    | (66)        |
| 7.7.1            | Chemical analysis of groundwater .....                                   | (66)        |
| 7.7.2            | The formula of Kulrov .....                                              | (66)        |
| 7.7.3            | Classification of groundwater chemistry and graphical presentation ..... | (67)        |
| <b>Chapter 8</b> | <b>Recharge and Discharge of Groundwater .....</b>                       | <b>(70)</b> |
| 8.1              | An overview .....                                                        | (70)        |
| 8.2              | Groundwater recharge .....                                               | (71)        |
| 8.2.1            | Groundwater recharge from precipitation .....                            | (71)        |
| 8.2.2            | Groundwater recharge from surface water .....                            | (76)        |
| 8.2.3            | Other sources of groundwater recharge .....                              | (77)        |

|                   |                                                                          |       |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------|
| 8. 2. 4           | Artificial recharge of groundwater                                       | (78)  |
| 8. 3              | Groundwater discharge                                                    | (79)  |
| 8. 3. 1           | Springs                                                                  | (79)  |
| 8. 3. 2           | Discharge to surface water                                               | (81)  |
| 8. 3. 3           | Evaporation and transpiration                                            | (82)  |
| 8. 3. 4           | Artificial discharge                                                     | (83)  |
| 8. 4              | Recharge and discharge between aquifers                                  | (84)  |
| <b>Chapter 9</b>  | <b>Groundwater Flow System</b>                                           | (86)  |
| 9. 1              | Application of system concepts to hydrogeology                           | (86)  |
| 9. 1. 1           | Application of system concepts to hydrogeology                           | (86)  |
| 9. 1. 2           | Concepts and connotation of systems relevant to groundwater              | (86)  |
| 9. 2              | Generation and evolution of the theory of groundwater flow system        | (88)  |
| 9. 3              | Dynamic characteristics of basinal groundwater flow systems              | (91)  |
| 9. 4              | Groundwater flow pattern in a drainage basins                            | (92)  |
| 9. 4. 1           | Groundwater flow pattern in a drainage basin and its influencing factors | (92)  |
| 9. 4. 2           | Physical modeling of groundwater flow pattern in a drainage basin        | (92)  |
| 9. 4. 3           | Mathematical modeling of groundwater flow pattern in a drainage basin    | (92)  |
| 9. 5              | Chemical characteristics of groundwater flow systems                     | (96)  |
| 9. 6              | Temperature characteristics of groundwater flow systems                  | (97)  |
| 9. 7              | Groundwater flow systems in different rocks                              | (97)  |
| 9. 7. 1           | Groundwater flow system in karstified rocks                              | (98)  |
| 9. 7. 2           | Groundwater flow system in unconsolidated sediments                      | (98)  |
| 9. 7. 3           | Groundwater flow system in fractured rocks                               | (98)  |
| <b>Chapter 10</b> | <b>Groundwater Regime and Budget</b>                                     | (101) |
| 10. 1             | Concepts of groundwater regime and budget                                | (101) |
| 10. 2             | Factors affecting groundwater regime                                     | (101) |
| 10. 2. 1          | Two kinds of factors influencing groundwater regimes                     | (101) |
| 10. 2. 2          | Groundwater regime under the influence of climate                        | (102) |
| 10. 2. 3          | Groundwater regime under the influence of surface water                  | (104) |
| 10. 2. 4          | Groundwater regime under the influence of other natural factors          | (104) |
| 10. 2. 5          | Groundwater regime under the influence of human activities               | (105) |
| 10. 2. 6          | Geological factors affecting groundwater regimes                         | (107) |
| 10. 3             | Classifications of groundwater regimes                                   | (107) |
| 10. 3. 1          | Infiltration-run off                                                     | (108) |
| 10. 3. 2          | Run off-evaporation                                                      | (108) |
| 10. 3. 3          | Infiltration-evaporation                                                 | (108) |
| 10. 3. 4          | Infiltration-weak run off                                                | (108) |

|                   |                                                                                                               |              |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 10.4              | Water budget of a groundwater basin under natural condition .....                                             | (109)        |
| 10.4.1            | Budget area and duration .....                                                                                | (109)        |
| 10.4.2            | Water budget equation .....                                                                                   | (109)        |
| 10.5              | Budget of a groundwater basin disturbed by human activities .....                                             | (111)        |
| 10.6              | Some problems of budget analysis of a large regional groundwater basin .....                                  | (111)        |
| <b>Chapter 11</b> | <b>Groundwater in unconsolidated sediments .....</b>                                                          | <b>(114)</b> |
| 11.1              | Characteristics of groundwater in unconsolidated sediments .....                                              | (114)        |
| 11.2              | Groundwater in proluvium .....                                                                                | (114)        |
| 11.3              | Groundwater in alluvium .....                                                                                 | (116)        |
| 11.4              | Groundwater in lacustrine deposits .....                                                                      | (117)        |
| 11.5              | Groundwater of an arid inner basin; Shiyanghe river basin .....                                               | (118)        |
| 11.6              | Groundwater of arid and semi-arid loess plateaus .....                                                        | (120)        |
| 11.7              | Groundwater of a semi-arid basin; Hebei Plain .....                                                           | (122)        |
| <b>Chapter 12</b> | <b>Groundwater in fractured aquifers .....</b>                                                                | <b>(128)</b> |
| 12.1              | An overview .....                                                                                             | (128)        |
| 12.2              | Fractures of different origins and occurrence of groundwater .....                                            | (129)        |
| 12.2.1            | Diagenetic fracture network and occurrence of groundwater .....                                               | (129)        |
| 12.2.2            | Weathering fracture network and occurrence of groundwater .....                                               | (129)        |
| 12.2.3            | Structural fracture network and occurrence of groundwater .....                                               | (130)        |
| 12.3              | Fracture network and fracture water flow .....                                                                | (132)        |
| 12.3.1            | Fracture and fracture network .....                                                                           | (132)        |
| 12.3.2            | Basic characteristics of water flow in fractures .....                                                        | (134)        |
| 12.4              | Investigation methods of fractures and groundwater in fractured aquifers .....                                | (134)        |
| 12.4.1            | In-situ measurement and statistics of fractures .....                                                         | (134)        |
| 12.4.2            | Model of groundwater flow in fractured aquifers .....                                                         | (136)        |
| 12.5              | Hydrogeological effects of faults .....                                                                       | (139)        |
| <b>Chapter 13</b> | <b>Karst Water; Groundwater in Karstified Region .....</b>                                                    | <b>(141)</b> |
| 13.1              | Karst and its significance of research .....                                                                  | (141)        |
| 13.2              | The basic factors controlling karst .....                                                                     | (142)        |
| 13.2.1            | Solubility of rocks; compositions and structures of carbonate rocks .....                                     | (142)        |
| 13.2.2            | Permeability of dissolvable rocks .....                                                                       | (143)        |
| 13.2.3            | Aggressiveness of water; $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ system .....                      | (143)        |
| 13.2.4            | The controlling effect of flowing water on karst .....                                                        | (144)        |
| 13.2.5            | Influence of microorganisms on karst .....                                                                    | (144)        |
| 13.3              | Modification and evolution of karst water systems .....                                                       | (144)        |
| 13.3.1            | Mechanisms of modification of soluble medium; chemical corrosion-mechanical<br>erosion-gravity collapse ..... | (144)        |