

YINGYONG SHUIWEN  
DIQIU  
HUAXUE

# 应用水文地球化学

史维浚 孙占学 编著



原子能出版社

东华理工学院核特色系列教材

# 应用水文地球化学

史维浚 孙占学 编著

原子能出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

应用水文地球化学/史维浚,孙占学编著. —北京:原子能出版社,2005.12

ISBN 7-5022-3539-6

I. 应… II. ①史…②孙… III. 水文化学:地球化学 IV. P641.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 133579 号

## 内 容 简 介

本书是为高等学校资源勘查工程、水文与水资源工程、环境工程和地质工程专业编写的教材。全书分三篇,第一篇为基础篇,阐述了应用水文地球化学的基本原理,着重介绍了水—岩作用、水文地球化学作用和水文地球化学参数等;第二篇为工作方法篇,介绍了水文地球化学工作方法,包括野外调查、实验室工作、资料整理和综合研究、水文地球化学计算、同位素方法等;第三篇为应用篇,分资源、环境、地质工程三个方面选择性地介绍了应用实例,并对水资源开发利用和保护、水文地球化学找矿、矿床水文地球化学工作、辐射环境评价与保护、地浸采铀、核废物地质处置等专门性水文地球化学工作作了简单介绍。

本书可供地质、水利、矿山、环境、土木等专业师生和生产科研单位有关专业工作人员学习参考。

## 应用水文地球化学

---

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100037)

责任编辑 谭俊

责任校对 李建慧

责任印制 丁怀兰 刘芳燕

印刷 保定市印刷厂

经销 全国新华书店

开本 787 mm×1092 mm 1/16

字数 954 千字

印张 38.375

版次 2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

书号 ISBN 7-5022-3539-6

定价 78.00 元

---

版权所有 侵权必究(如有缺页、倒装,请与出版社联系调换) 网址:<http://www.aep.com.cn>

# 总序

东华理工学院(原华东地质学院)创建于1956年,经过近50年的办学历程,该院形成了以本科教育为主体,以研究生教育为先导,以高职、专科、成人教育为补充的多层次办学格局,发展成为一所以工为主,理工结合,文、管、经、法兼备的多科性普通高等学校。

在光荣而曲折的办学历程中,东华理工学院始终牢记办学使命,形成、保持、发展了鲜明的“东华理工特色”:**艰苦奋斗,为国奉献,构建核军工学科群优势**。伴随着祖国核工业前进的步伐,学院自力更生,艰苦奋斗,励精图治,勤俭办学,成为我国核工业开路先锋——核燃料循环工程人才培养的摇篮,为我国国防科技工业和社会经济发展做出了重大贡献。面对新的挑战 and 机遇,学院紧紧抓住发展这个第一要务,牢记“两个务必”,以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导,与时俱进,开拓创新,以质量求生存,以特色求发展,以社会需求为导向,主动适应高等教育由精英式教育向大众化教育的转变,稳定外延,注重内涵拓展和可持续发展,为早日实现“省内一流,全国知名,部分优势学科进入国际先进行列”而不懈努力。

东华理工学院被联合国国际原子能机构指定为铀矿地质和同位素水文学高级培训中心以及东亚地区同位素水文数据库主办单位,学院的国家级“分析测试研究中心”被国际原子能机构指定为参比实验室。依托“核设施数字工程实验中心”和“地理信息与数字影像技术研究中

心”建设的“江西省空间信息与数字国土实验室”，于 2004 年 2 月被确定为省级重点实验室。2005 年，“核资源与环境工程”省、部共建教育部重点实验室又获批准立项建设。

为了系统地总结东华理工学院在核科学技术相关学科教学和科研中积累的知识和经验，更好地培养核科技人才，促进我国核科技事业的发展，我院决定组织出版《东华理工学院核特色系列教材》，并选定《应用水文地球化学》、《水文地球化学》、《场论》、《场论解题指南》、《核辐射测量原理》、《水文地质学》、《环境水文地质学》、《铀矿石的化学分析》、《同位素水文学导论》和《应用地球物理仪器》等 10 本教材首批出版，今后还将组织撰写更多的特色教材纳入本教材系列。

《东华理工学院核特色系列教材》出版委员会

2005 年 11 月 26 日

# 前 言

应用水文地球化学是研究如何应用水文地球化学原理解决国民经济建设中的相关问题的学科。中国是最早应用水文地球化学的国家,早在 2000 多年前的秦朝,自贡便开始凿井求盐。近代由于水资源和矿产资源开发,特别是铀和石油及矿泉(热)水等的开发利用,使水文地球化学发展成为一门学科。在我国,1980 年,原子能出版社出版了国内第一本由华东地质学院(即现在的东华理工学院)李学礼教授编写的《水文地球化学》高校教材;1986 年,地质出版社出版了中国地质大学沈照理教授等编写的《水文地球化学基础》;1988 年,《水文地球化学(第二版)》出版;1990 年原子能出版社出版了史维浚教授编著的《铀水文地球化学原理》;1993 年《水文地球化学基础》(第二版)出版。这些教材的出版发行,大大推动了水文地球化学这门学科在我国的发展和应用。

近 20 年来,随着国际上水文地球化学发展的日新月异和我国现代化建设事业的迅速发展,促进了水文地球化学在资源、环境和地质工程等更多方面的应用。为了适应这一需要,在江西省和国防科工委重点学科建设经费的资助下,2003 年东华理工学院决定编写出版《应用水文地球化学》教材。编写宗旨为:一、先进性:总结反映国内外最新的教学科研成果,偶合西方欧美和东方独联体的先进思想;二、系统性:包括基本原理、工作方法和专门性应用;三、实用性:不仅介绍国内外先进知识,而且注重介绍工作方法,强调动手能力培养。

本书是为高等学校资源勘查工程、水文与水资源工程、环境工程和地质工程等专业编写的教材。全书分三篇,第一篇为基础篇,它涉及与应用水文地球化学有关的、必备的水文地球化学概念和基础理论,着重介绍了水-岩作用、水文地球化学作用和水文地球化学参数等。本篇参考并引用了独联体 E. B. Пиннекер 院士,С. Л. Шварцев 教授的水岩作用理论;参考应用了欧美 D. Langmuir 教授, D. D. Runnells 教授, W. Stumm 教授, J. J. Morgan 教授的水文地球化学作用和反应动力学原理;参考引用了我国沈照理、李学礼教授的资料,也包括了本书作者在教学科研工作中总结的新概念。这些知识是制定生产、科研工作方案和工作

设计的基础,是高级水文地球化学专业人员必须掌握的知识。第二篇为工作方法篇,介绍了水文地球化学工作方法,包括野外调查、实验室分析测试、实验室模拟实验、数据处理和资料综合整理,以及水文地球化学计算等。除了常规工作方法,本书还介绍了一些先进手段,如地球化学模式、水同位素和放射性同位素方法等。作者认为,认识来自于实践,正确的数据来自于对科学的工作方法的熟练掌握。故本书用了较大篇幅介绍工作方法、采样分析方法和工具以及工作要求。第三篇为应用篇,在概述中介绍了近十年来我国在解决资源、环境、地质工程中的生产科研任务的实例,它们对读者掌握水文地球化学的应用有启发和借鉴作用。本篇对资源、环境、地质工程中与应用水文地球化学有关的专门性工程的工作内容、方法和要求作了简要介绍。它们占据了本书的较大篇幅,旨在对学生和有关专业人员,起到启蒙、引导和参考的作用。

本书出版过程中,原子能出版社编辑谭俊付出了繁重辛勤的劳动,在此深表谢意。本书的出版还得到了东华理工学院江西省“十五”重点建设学科——“地质工程”建设经费的资助。由于作者学识有限,书中难免存在不足之处,谨请批评指正。

史维浚 孙占学

2005.11.26

# 目 录

绪言 .....	(1)
----------	-----

<b>第一篇 基础篇</b> .....	(7)
----------------------	-----

简要温习有关的水文地球化学概念,介绍水文地球化学作用原理,总结水文地球化学参数,达到由普通水文地球化学转向应用水文地球化学的目的,以能在学习应用水文地球化学的过程中,随时运用水文地球化学的原理。

<b>第一章 水文地球化学基础</b> .....	(9)
---------------------------	-----

第一节 应用水文地球化学的某些基本概念 .....	(9)
---------------------------	-----

第二节 元素水文地球化学性质及其物性参数 .....	(16)
----------------------------	------

第三节 水岩作用原理 .....	(24)
------------------	------

<b>第二章 水文地球化学作用</b> .....	(68)
---------------------------	------

第一节 水文地球化学作用中的质量作用定律 .....	(68)
----------------------------	------

第二节 溶度积和溶解—沉淀作用 .....	(76)
-----------------------	------

第三节 离解作用 .....	(80)
----------------	------

第四节 水解作用 .....	(85)
----------------	------

第五节 配合作用 .....	(87)
----------------	------

第六节 氧化还原作用 .....	(92)
------------------	------

第七节 吸附作用 .....	(99)
----------------	------

第八节 微生物的地球化学作用 .....	(111)
----------------------	-------

第九节 有机水文地球化学作用 .....	(119)
----------------------	-------

<b>第三章 水文地球化学作用过程中的反应动力学</b> .....	(128)
------------------------------------	-------

第一节 化学动力学的某些基本概念 .....	(128)
------------------------	-------

第二节 $\text{SiO}_2$ 沉淀作用的反应动力学计算实例 .....	(135)
---	-------



<b>第四章 水文地球化学参数</b> .....	(137)
第一节 物性和条件水文地球化学参数 .....	(137)
第二节 参比和综合性水文地球化学参数 .....	(137)

## **第二篇 工作方法篇** ..... (147)

在学习了从理论上研究应用水文地球化学的基础上,介绍如何进行资料调研;介绍实地水文地球化学调查工作方法和实验室测试及模拟试验方法;介绍与研究溶质迁移有关的水文地球化学计算方法;介绍同位素在应用水文地球化学中的运用。

### **第五章 水文地球化学调查方法** ..... (149)

第一节 水文地球化学调查设计与出队准备 .....	(149)
第二节 水文地球化学调查的基本方法 .....	(156)
第三节 野外水样分析和处理 .....	(166)

### **第六章 实验室测试和模拟试验** ..... (179)

第一节 选择分析方法的原则 .....	(179)
第二节 分析方法 .....	(180)
第三节 水文地球化学模拟试验 .....	(198)

### **第七章 资料整理** ..... (207)

第一节 数据评价 .....	(207)
第二节 水文地球化学场特征值的确定 .....	(211)
第三节 水文地球化学特征研究方法 .....	(225)
第四节 报告编写 .....	(244)

### **第八章 水文地球化学计算**..... (246)

第一节 元素在水中存在形式 .....	(246)
第二节 地球化学模式 .....	(257)
第三节 溶质迁移 .....	(266)

### **第九章 同位素水文地球化学方法**..... (278)

第一节 同位素测定地下水年龄法 .....	(278)
第二节 同位素测温法 .....	(285)
第三节 同位素示踪法 .....	(288)
第四节 放射性同位素 .....	(299)

## **第三篇 应用篇** ..... (313)

应用水文地球化学分三个方面:资源水文地球化学、环境水文地球化

学、工程工艺水文地球化学,分别根据这三个方面选择性地介绍了应用实例,并对水资源开发利用和保护、水文地球化学找矿、矿床水文地球化学工作、辐射环境评价与保护、地浸采铀、核废物地质处置等专门性水文地球化学工作做了简单介绍。

<b>第十章</b>	<b>水文地球化学应用概述</b> .....	(315)
第一节	准噶尔盆地第三系砂岩含水层地下水的补给来源 .....	(316)
第二节	水源点的水文地质属性判断 .....	(319)
第三节	砂岩铀矿的氧化还原带特征和成矿预测 .....	(321)
第四节	地浸过程中溶质迁移规律的研究 .....	(324)
第五节	溶浸场地对地下水环境影响预测 .....	(331)
第六节	溶浸场地地下水环境的复原研究 .....	(338)
第七节	铀的中和还原成矿作用的研究 .....	(343)
第八节	氡在地震监测预报中的应用 .....	(344)
第九节	核废物处置中的水文地球化学工作 .....	(346)
第十节	地浸工艺条件研究 .....	(348)
<b>第十一章</b>	<b>水文地球化学在水资源开发利用保护中的应用</b> .....	(351)
第一节	水文地球化学在水资源开发利用中的应用 .....	(351)
第二节	水文地球化学在水资源环境保护中的应用 .....	(357)
<b>第十二章</b>	<b>水文地球化学找矿</b> .....	(390)
第一节	水文地球化学找矿法的应用条件、优缺点及发展方向 .....	(390)
第二节	水文地球化学找矿理论 .....	(392)
第三节	水文地球化学找矿工作方法 .....	(398)
<b>第十三章</b>	<b>矿床水文地球化学工作方法</b> .....	(412)
第一节	矿床水文地球化学工作的任务 .....	(412)
第二节	氧化还原环境分带划分方法 .....	(416)
第三节	成矿古水文地质条件分析(以铀矿为例) .....	(421)
第四节	砂岩盆地铀成矿远景区古水文地质分析 .....	(441)
第五节	砂岩铀矿床找矿远景区的圈定 .....	(456)
<b>第十四章</b>	<b>辐射环境质量评价与环境保护</b> .....	(467)
第一节	铀矿地质辐射环境质量评价 .....	(467)
第二节	辐射环境质量要求和控制 .....	(480)
<b>第十五章</b>	<b>地浸采铀</b> .....	(485)
第一节	地浸采铀的经济价值 .....	(485)

第二节	地浸地球化学原理 .....	(491)
第三节	地质工艺参数与地质工程指标计算 .....	(499)
第四节	野外地质工艺研究 .....	(508)
<b>第十六章</b>	<b>核废物地质处置</b> .....	<b>(518)</b>
第一节	核废物的产生和放射性危害 .....	(518)
第二节	放射性废物管理和处理 .....	(523)
第三节	放射性废物处置 .....	(529)
第四节	核素迁移 .....	(537)
第五节	高放废物深部处置库场址选择 .....	(551)
第六节	低放废物的浅部埋藏 .....	(554)
第七节	辐射安全评价 .....	(557)
<b>附表</b>	.....	<b>(561)</b>
附表 1	在 25℃ 与 101 325Pa, 某些物质的 $\Delta H_f^\ominus, S^\ominus, \Delta G_f^\ominus$ 值 .....	(561)
附表 2	铀及其化合物的热力学参数(据 D. 朗格穆尔) .....	(590)
附表 3	水中常见离子和化合物的热力学常数(据 D. 朗格穆尔) .....	(593)
附表 4	与离子力有关的活度系数值 .....	(595)
附表 5	某些化合物在蒸馏水中的溶解度(g/L, 20℃) .....	(596)
附表 6	某些有机化合物在蒸馏水的溶解度(g/L, 20℃) .....	(597)
附表 7	某些化合物的溶度积(25℃) .....	(598)
附表 8	几种常见酸度离解常数和边界 pH 值 .....	(599)
附表 9	酸性水溶液中的标准氧化还原电位系列 .....	(600)
附表 10	碱性水溶液中的标准氧化还原电位系列 .....	(601)
附表 11	铀存在形式溶度系数计算公式 .....	(602)
附表 12	六价铀还原为沥青铀矿的氧化还原电位边界值计算公式 .....	(603)

# 绪 言

## 一、水文地质学与水文地球化学

水是人类不可缺少的资源,也是人类赖以生存的生态环境体系的重要组成部分之一。没有水,就不能维持生命。人类起初只能在江河附近活动,自从发明了井,人类就可以在远离地表水源地的地方居住和活动。中国是历史悠久的文明古国。据现有资料报道,我国在新石器时代便已有水井,其中最早的一眼井在浙江省余姚县河姆渡,2米见方,木料支护,至今已有5700年历史<sup>[1]</sup>。

科学是在经济发展的需求中产生的。中国不仅是最早应用地下水的文明古国,而且我们的祖先很早就知道应用水文地球化学知识来解决生产生活中的问题。

水文地球化学的应用首先是在供水方面,特别是在具有一定质量要求的水方面。现在应用面越来越宽。

19世纪产生工业革命,在对水资源需求量猛烈增长的形势下,水文地质学脱颖而出。R. A. 唐宁和 G. P. 琼斯于1985年在国际水文地质协会第18届大会上提出的关于水文地质学概念如下:水文地质学是研究(天然)水溶液的赋存条件,迁移及其化学成分,以及赋存水溶液的透水介质的科学(包括管理)<sup>[2]</sup>。从以上定义可见,水文地质学研究包括两大内容:水的数量(水溶液的赋存条件,透水介质,水本身的迁移运动——水动力等)和水的质量(水溶液的化学成分,水溶液的迁移,溶质迁移,水溶液与赋存水的介质之间的相互作用等)。

随着经济的发展,水文地质学与水化学、工程地质学、地质学、矿产资源学、地热学、环境学、工程工艺学等许多学科发生联系,出现许多跨学科性的专门水文地球化学问题(水文地球化学找矿、矿产资源开采工程和工艺、地热能开发利用、废物处理和处置、医疗卫生和环境保护等)。对水资源的需求量的日益增长和对水资源利用中的不合理行为不仅加剧了水资源紧缺的形势,而且出现了一系列环境水文地质问题,如水位持续下降、水量枯竭、盐渍化、海水入侵、水质污染、水质恶化、岩溶塌陷、地面沉降、沙漠化、沼泽化等问题。它们不仅加剧了水资源紧缺的程度,而且还使水的质量变劣,破坏了生态环境,给人民生活和工农业建设带来了严重影响和巨大损失。粗略地划分,20世纪上半叶水文地质学主要应用于研究水的数量,开发水资源,保证供水水量;则20世纪下半叶除了改进和发展对预测水量的研究以外,水文地质学加强了对水溶液质量的研究,以解决国民经济和人民生活中产生的各种问题。这一形势可从1987年国际水文地质协会第18届大会的讨论内容清楚地见到。该大会的主要议题有以下9个方面:

- (1) 海水入侵及沿海地区含水层的开发和管理;
- (2) 防止和保护地下水免受污染的法律和技术措施;
- (3) 工农业生产中的三废和居民生活垃圾、污水的排放对地下水质的影响;
- (4) 城市垃圾填埋区附近,地下水中污染物质分布场的变化和污染物质的迁移,污染状况

的监测和评价；

- (5) 放射性废物和有害、有毒物质的处理和地下处置；
- (6) 非饱水带在防护地下水免受污染中的作用；
- (7) 同位素在测定地下水的年龄和调查地下水起源中的应用；
- (8) 地热能的开发和利用；
- (9) 地下水动力学模型和水文地球化学模型。

在研究以上问题过程中经常出现水文地质学中地下水动力学和水文地球化学两个分支之间的交叉和耦合，这一更高层次的结合说明了水文地质学正在进一步向前发展，这种水文地质学科中的新发展必然导致它的应用范围更加宽广，更加提高它在国民经济和人民生活中的作用和地位。

## 二、水文地球化学和应用水文地球化学

### 1 水文地球化学定义

水文地球化学是研究水与地壳岩石、气体和有机物质互相作用的科学，是研究地下水圈中化学元素的分布、分配、集中分散及迁移循环的形式、规律和历史的科学<sup>[3]</sup>。

### 2 水文地球化学的分类

按照水文地球化学研究内容的不同侧重面，它可分为以下分支：

- (1) 普通水文地球化学——全面、系统、简要地阐明水文地球化学各项内容，包括水化学成分的形成、分布、类型、分区规律、水文地球化学作用及其在国民经济中的意义；
- (2) 成因水文地球化学——研究天然水中化学成分的来源和成因；
- (3) 元素水文地球化学——研究天然水中化学元素及其同位素的存在形式、形成、分布、迁移沉淀、集中分散及其实际应用<sup>[4]</sup>；
- (4) 区域水文地球化学——研究各类天然水的水文地球化学特征、分布和区域性变化规律；
- (5) 应用水文地球化学——研究水文地球化学在国民经济、人民生活、环境保护（或者说在资源、能源和地质工程）中的应用原理和工作方法；
- (6) 专门水文地球化学——研究水文地球化学在某种专门领域中的具体应用，如水文地球化学找矿、成矿水文地球化学、某种具体元素的水文地球化学、废物处置水文地球化学、地浸工艺水文地球化学、环境水文地球化学、农业水文地球化学、医疗卫生水文地球化学、地质作用中的水文地球化学、矿水水文地球化学等等。

### 3 应用水文地球化学的特点

由上可见，应用水文地球化学是水文地球化学的一个分支，它是在国民经济发展需要中成长起来的，是与人民生活密切相关的一门新兴的边缘科学。由于水几乎与一切事物都有关系，因此水文地质学、水文地球化学的联系面和生长点是非常多的，它们的应用面是十分广阔的。随着生产和科技的不断发展，水文地球化学的应用范围也在不断扩展。这说明了水文地球化

学在应用上有很大的灵活性和交叉性。在应用水文地球化学的过程中往往需要与其他有关学科和工种相配合和结合。应用水文地球化学家与地质学家、水文学家、土壤学家、农业技师、森林工作者、地理学家、生物学家、土力学工程师、采矿工程师、石油工程师以及其他方面专家有紧密联系<sup>[5]</sup>。因此在研究应用水文地球化学的过程中既有其复杂性,又有其广泛的前景。

### 三、应用水文地球化学与其他学科的关系及其课程内容

#### 1 应用水文地球化学与其他学科的关系

应用水文地球化学是一门边缘性的实用专业课,它与许多学科具有不同程度的联系。以上所说的水文地质学、水文地球化学,以及地质学和地球化学是应用水文地球化学课程的基础专业学科;数、理、化,其中尤其是各类化学,是其基础理论学科;它们相结合产生应用水文地球化学的基础,将应用水文地球化学基础用来解决生产、环境和社会中的问题而形成各种专门水文地球化学。应用水文地球化学与其他学科的关系示于图 0.1。

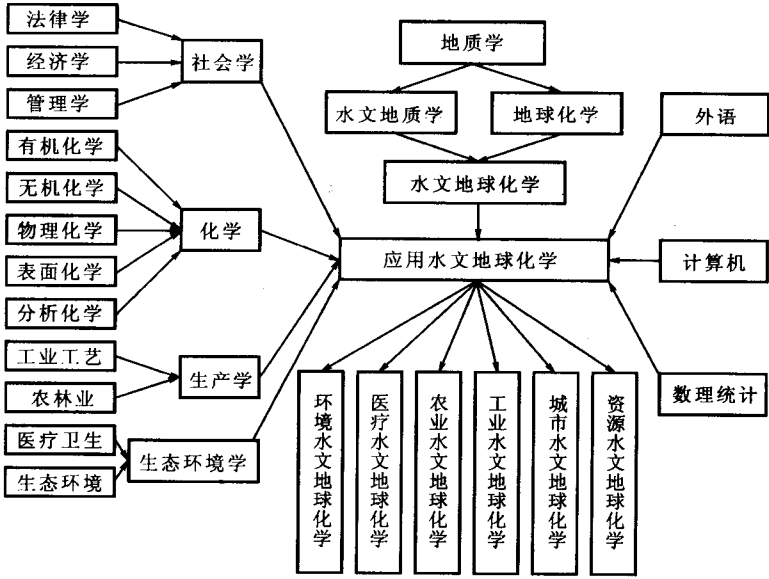


图 0.1 应用水文地球化学与其他相关学科的关系

学习应用水文地球化学应该具备以下方面的知识:

(1) 要有一定的化学知识,特别是水化学的知识。络合化学、电化学、表面化学、物理化学、有机化学等都是解决应用水文地球化学中问题的基础理论。有了这些基础理论知识,把它们用来解决地学中遇到的各种问题,不仅能保证研究过程中有正确的、科学的理论基础做指导,而且保证在解决实际问题时有科学、先进的工作方法。

(2) 要有一定的地学基础,避免单一的水文地质、水化学观点,要有水岩(固液)作用的观点。

(3) 要扩大知识面,除了地学外还需要了解一些环境、医疗保健、工农业生产、甚至工程工

艺方面的知识。

(4) 为了研究和进行应用水文地球化学方面的工作,还需要掌握一些有用的工具,如计算机技术、数理统计手段、工程工艺技术和外语知识。

## 2 应用水文地球化学的内容

本书包括三部分内容:基础篇、工作方法篇和应用篇。

第一篇:基础篇,应用水文地球化学的基础

简要温习有关的水文地球化学概念,介绍水文地球化学作用原理,总结水文地球化学参数,达到由普通水文地球化学转向应用水文地球化学的目的,以便能在学习应用水文地球化学的过程中,随时运用水文地球化学的原理。

第二篇:工作方法篇,研究水文地球化学的工作方法

在学习了从理论上研究应用水文地球化学的基础上,介绍如何进行资料调研;介绍实地水文地球化学调查工作方法和实验室测试及模拟试验方法;介绍与研究溶质迁移有关的水文地球化学计算方法;介绍同位素在应用水文地球化学中的运用。

第三篇:应用篇,水文地球化学在国民经济中的应用及其工作方法

应用水文地球化学分三个方面:资源水文地球化学、环境水文地球化学、工程工艺水文地球化学。

资源水文地球化学,介绍水资源地球化学和矿产资源水文地球化学。矿产资源水文地球化学包括矿床成因水文地球化学、水文地球化学找矿和矿业开采(地浸)水文地球化学。在介绍矿产资源水文地球化学时,通过学习铀的水文地球化学,掌握运用元素水文地球化学的知识研究矿产资源水文地球化学的方法。学习运用水文地球化学来研究矿床成因和进行水文地球化学找矿的方法。

环境水文地球化学,介绍城市三废污染水质的现象,其水文地球化学原理,介绍废物处理处置和保护环境中的水文地球化学问题。

工程工艺水文地球化学,了解工业生产对水质的要求和特定水质在工业生产中的作用,解决矿山溶浸开采和废水处理工程工艺中的问题;了解水文地球化学在废物处置工程中的作用。

## 3 主要参考资料

- (1) 铀水文地球化学原理. 史维浚. 北京:原子能出版社,1990.
- (2) 水文地质为人类服务. 水文地质工程地质选辑,23,北京:地质出版社,1987.
- (3) 水文地球化学. 李学礼. 北京:原子能出版社,1988.
- (4) 水文地球化学基础. 沈照理. 北京:地质出版社,1987.
- (5) 水溶液理论概念. 李雨新. 西北工业大学出版社,1993.
- (6) 铀水文地球化学找矿. 郝士胤. 北京:原子能出版社,1992.
- (7) 放射性水文地球化学找矿. 高万林等. 北京:原子能出版社,1980.
- (8) 地下水. R. A. 弗里泽, J. A. 彻里. 北京:地震出版社,1987.
- (9) 环境水文地质学. 杨忠耀, 潘乃理. 北京:原子能出版社,1988.
- (10) 环境水文地质问题. 水文地质工程地质选辑,20,北京:地质出版社,1984.
- (11) 水化学——水溶液平衡原理. 斯坦姆和摩根. 北京:科学出版社,1981.

## 复习思考题

- 1 以水文地球化学过程发展为例,说明科学与生产发展和国民经济需要之间的关系。
- 2 近年来水文地质学发展的特点是什么?
- 3 不合理应用水资源会引起哪些环境问题?其中有哪些与水文地球化学有关?
- 4 讨论水文地质学的定义。
- 5 水文地球化学的定义是什么?它有哪些分支学科?
- 6 什么是元素水文地球化学?
- 7 什么是应用水文地球化学?
- 8 专门水文地球化学包括哪些方面?
- 9 列举应用水文地球化学的基础理论学科和基础专业学科。
- 10 你认为哪些工具学科对应用水文地球化学较重要?
- 11 应用水文地球化学课程主要内容有哪些?

## 参 考 文 献

- 1 水文地质史话·札记. 水文地质工程地质选辑, 21. 北京:地质出版社, 1985. 14
- 2 水文地质为人类服务. 水文地质工程地质选辑, 23. 北京:地质出版社, 1987. 14
- 3 李学礼. 水文地球化学. 北京:原子能出版社, 1988. 5
- 4 史维浚. 铀水文地球化学原理. 北京:原子能出版社, 1990. 1
- 5 R. A 弗里泽, J. A. 彻里. 地下水. 北京:地震出版社, 1987



