

高等学校试用教材

水文地球化学

李学礼 编

原子能出版社

高等学校试用教材

水文地球化学

李学礼 编

原子能出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了水文地球化学基础理论。内容包括：地下水的物质成分及其地球化学意义；元素在地下水中的迁移规律；地下水的水平和垂直分带规律；我国热水水文地球化学特征；地下水的水文地球化学分类。要着重指出的是，地下水的水文地球化学分类是本书作者以现代后生地球化学为理论依据，经过对大量资料的综合和分析而提出的。

本书可作为高等院校水文地质专业的试用教材，对水文地质、地球化学、铀矿地质工作者也有参考价值。

责任编辑 陈晓素

高等学校试用教材

水文地球化学

李学礼 编

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

国防科委印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092¹/₃₂·印张12¹/₈·字数269千字

1982年7月第一版·1982年7月第一次印刷

印数001—3500·统一书号：15175·421

定价：1.30元

前 言

水文地球化学是建立在水文地质学、地球化学及水化学基础上的一门新兴学科，它研究地下水化学成分的形成及分布规律，是水文地球化学找矿方法及某些矿床成矿理论研究的基础。

本书主要内容有以下三部分：

第一部分包括第二、三、四章，讲述地下水中的物质成分，按大量组分、微量组分、放射性元素、气体组分、水及水中元素的同位素、有机物质及其地球化学意义分别加以介绍。

第二部分包括第五至九章，阐述水文地球化学的理论：元素在地下水中的迁移规律；地下水化学成分的形成及影响其形成的因素；地下水的水平及垂直分带规律；我国热水的分布规律及水化学特征；地下水的水文地球化学分类。最后一个问题是本书作者在研究前四个问题的基础上，根据现有的大量资料提出的。

第三部分即第十章，叙述水文地球化学在找矿和成矿作用研究中的应用。

本书除较系统地介绍了七十年代以来水文地球化学方面的理论外，还结合我国的实际情况提出了自己的一些新论点。书中部分内容是从外文资料翻译过来的。

本书由北京铀矿地质研究所王慎全、叶政祥工程师审校；

由王超工程师校阅；抚州地质学院潘乃礼工程师校了书中第四、六、七章的译文部分；在本书编写过程中，抚州地质学院水文地质教研室、科研处及绘图室的有关同志，都曾给予大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于时间匆促，加之水平有限，书中错误、缺点在所难免，敬请读者批评指正。

作者

1980年8月

目 录

第一章 绪论	1
一、水文地球化学的主要内容及其与其他学科的关系	1
(一)水文地球化学的主要内容	1
(二)水文地球化学与其他学科的关系	2
二、水文地球化学在国民经济建设中的意义	4
三、水文地球化学的发展简史	5
第二章 地下水的化学成分	9
一、地下水中的大量组分	9
(一)氯离子	10
(二)硫酸根离子	11
(三)重碳酸根和碳酸根离子	13
(四)氮的化合物	15
(五)钠离子	16
(六)钾离子	17
(七)钙离子	18
(八)镁离子	19
(九)氢离子	20
(十)硅酸	22
(十一)铁和铝	24
二、地下水中的微量组分	26
(一)溴	27
(二)碘	28
(三)氟	29

(四)硼	31
(五)铝	32
(六)铜	33
(七)铅	35
(八)锌	36
(九)磷	38
(十)砷	39
(十一)锂	40
(十二)铍	40
(十三)钡	42
(十四)镍	42
(十五)钴	43
(十六)银	44
(十七)铍	45
(十八)汞	46
(十九)铋	47
(二十)铀	48
(二十一)钒	49
(二十二)钨	50
(二十三)铬	51
(二十四)锰	52
三、地下水中的放射性元素	53
(一)铀	53
(二)镭	59
(三)氡	60
(四)钍	61
四、地下水中的主要气体组分	62
(一)氧	63

(二)氮	64
(三)硫化氢	65
(四)二氧化碳	66
(五)甲烷	68
第三章 水及水中元素的同位素成分	69
一、关于同位素的一些基本概念	69
(一)同位素的定义	69
(二)自然条件下同位素的分离	70
(三)同位素研究的地球化学意义	72
二、水的同位素成分	75
(一)水的总同位素特征	75
(二)氢的同位素成分	80
(三)氧的同位素成分	82
(四)氢、氧同位素在解决水文地球化学问题上的 应用	86
三、硫的同位素成分	86
(一)概述	86
(二)硫同位素的分离	88
(三)地表水的硫同位素成分	90
(四)地下水的硫同位素成分	91
(五)火山地区热水中硫酸根离子的成因问题	93
四、碳的同位素成分	94
(一)概述	94
(二)自然界碳同位素的主要分馏过程	97
(三)地表水和地下水中的碳同位素成分	99
第四章 地下水中的有机物质及其地球化学意义	102
一、地下水中有有机物质的形成和分布规律	103
(一)地下水中有有机质的来源	103

(二)地下水中有有机物质的形成过程、形成条件和 形成因素	109
(三)地下水中有有机物质的含量、成分和分布规律	113
二、不同类型地下水中有有机物质的含量和成分	120
(一)淡潜水和层间淡水中的有机物质	120
(二)医疗用矿泉水中的有机物质	121
(三)热水中的有机物质	124
(四)油气田地下水中的有机物质	126
三、地下水中的有机物质在地球化学过程中的作用	131
(一)地下水中有有机物质在油气形成中的作用	131
(二)地下水中水溶性有机物质在化学元素迁移和 富集中的意义	134
(三)铀和有机物质的关系	138
第五章 元素在地下水中的迁移	141
一、元素在地下水中迁移的一般特征	142
(一)元素在地下水中的迁移形式	142
(二)标型元素和元素的水迁移环境	150
(三)元素的水迁移强度	157
(四)地球化学垒	159
二、影响元素在水中迁移的内在因素	160
(一)化学键类型与矿物晶格结构	161
(二)原子价	165
(三)离子和原子的半径	166
(四)离子电位(离子势)	168
(五)元素化合物的溶解度	169
三、元素在水中迁移的某些化学规律	170
(一)复分解反应(离子交换反应)	170
(二)溶度积对元素迁移的影响	171

(三)天然水的离子强度	173
(四)天然水中元素浓度对矿物形成的作用	176
(五)酸碱反应和 pH 的作用	176
(六)氧化还原反应	179
第六章 地下水化学成分的形成及其影响因素	190
一、地下水化学成分形成过程中的几个主要作用	191
(一)溶滤作用	191
(二)阳离子交替吸附作用	194
(三)氧化作用	198
(四)还原作用(生物化学作用)	199
(五)水的混合作用	200
(六)脱碳酸作用	206
(七)浓缩作用	207
二、影响地下水化学成分形成的基本因素	207
(一)自然地理因素	208
(二)地质因素和水文地质因素	217
(三)物理化学因素	229
(四)物理因素	234
(五)生物因素	240
(六)人为因素	243
三、潜水化学成分的形成	247
(一)在潮湿气候区	248
(二)在温暖潮湿的气候区	248
(三)在干旱气候区	249
四、承压水盆地地下水化学成分的形成过程	249
(一)概述	249
(二)海成封存水化学成分的形成	250
(三)承压水盆地地下水化学成分的形成过程	253

第七章 地下水的水文地球化学分带	260
一、潜水的纬度分带	260
二、承压水盆地的水文地质动力分带和深层地下水的地质动力学	263
(一)水文地质动力分带	264
(二)深层地下水的地质动力学	265
三、承压水盆地的水文地球化学分带	271
(一)按矿化度分带(据B. B. 毕涅克尔)	271
(二)各种承压水盆地中,地下水化学成分的水平 和垂直分带类型及其决定因素(据C. A. 沙哥 扬茨)	275
四、承压水盆地地下水的气体(气体地球化学)分带	302
五、山区基岩裂隙水的高程分带性	304
六、地下水分带中的异常	307
(一)潜水的纬度分带异常	307
(二)承压水垂直分带异常	308
第八章 地下热水的分布规律和水化学特征	313
一、我国地下热水分布概况	313
(一)隆起带地下水	313
(二)近期岩浆活动型地下水	314
(三)沉降带地下水	315
二、地下热水的水化学特征	315
(一)隆起带地下水	315
(二)近期岩浆活动型地下水	320
(三)沉降带地下水	323
三、水文地球化学资料在地热勘探中的应用	325
第九章 地下水水文地球化学分类	328
一、地下水的化学成分分类概述	328

二、地下水水文地球化学分类的基本原则	330
(一)地下水水文地球化学分组(按水中溶解气体 分组)	331
(二)地下水水文地球化学分类	336
(三)地下水水文地球化学分类的表示方法	337
三、地下水化学成分中的某些水文地球化学规律	339
(一)地下水化学成分与矿化度的关系	339
(二)硅酸、硅酸-重碳酸及重碳酸-硅酸型微矿 化度水的形成和意义	342
(三)几种在自然界不能形成的水化学类型	345
(四)水的pH值	346
四、地下水水文地球化学分类的意义	347
第十章 水文地球化学在找矿和成矿作用研究中的 应用	355
一、水文地球化学在找矿中的应用	355
(一)水文地球化学找矿标志	356
(二)水文地球化学间接找矿标志的应用	358
(三)地下水微生物找矿标志	364
二、水文地球化学在成矿作用研究中的应用	366
(一)酸性淋积型铀矿床的水文地球化学特征	367
(二)矿床水文地球化学分带及成矿机理	370

第一章 绪 论

一、水文地球化学的主要内容 及其与其他学科的关系

水文地球化学是建立在水文地质学、地球化学及水化学基础上的一门新兴学科。它以地下水的化学成分及其形成规律为主要研究对象。因此，有的学者称它为地下水的地球化学。但更严格地说，水文地球化学是研究地下水圈中化学元素及其同位素的分布、分配、集中分散及迁移循环的形式、规律和历史的科学。水文地球化学是随生产的发展而发展起来的，同时又可以推动一系列实际问题的解决，例如地下水化学成分的形成、成矿规律研究、水文地球化学找矿、地震预报、环境保护等等。

(一)水文地球化学的主要内容

1. 水的结构与地下水物理性质和化学成分之间的关系；
2. 地下水的化学成分及其来源；
3. 地下水化学成分形成的作用及影响地下水成分的各种自然及人为因素；
4. 地下水化学成分在自然因素和人为因素的影响下，

在空间和时间上的变化规律及其对供水、灌溉、水工建筑、医疗卫生和环境保护等方面的影响；

5. 区域水文地球化学条件的变化规律和地下水的垂直和水平分带规律；

6. 地下水水文地球化学分类；

7. 不同化学类型水的成因；

8. 水文地球化学找矿方法；

9. 地下水在某些金属矿床和非金属矿床形成中的作用。

进行水文地球化学研究时，不应将地下水看作是静止的、孤立的，而应将地下水看作是动的、与地质体紧密联系的“流体矿床”。在研究地下水成分的形成作用时，必须考虑地下水盆地的地质发展历史，对地下水盆地进行古水文地质条件的分析。另外，地下水与大气圈中的水和地表水有着互相补给、互相转化的关系，因此，在研究地下水的同时，也要研究地表水和大气圈中的水。

(二)水文地球化学与其他学科的关系

作为一门新兴的发展中的边缘科学，水文地球化学同相邻学科之间的关系是比较复杂的。

首先谈谈水文地球化学与水化学之间的关系。一部分水化学工作者认为，水化学是一门很广泛的学科，它研究所有的天然水，即大气水、河水、海水和地下水的化学。观察到的大气水、河水、海水和地下水之间水化学过程的统一性表明，没有理由将水化学的研究局限在地表水范围内，也没有必要

分出只研究地下水化学成分的学科——水文地球化学。而大部分水文地质工作者则认为，水化学的研究对象不应超出地表水的范围，而由于地下水具有特殊的存在和形成条件，它的化学成分及形成条件应当由另一门与水文地质学紧密相联的学科，即水文地球化学来研究。事实上，水化学工作者主要的研究对象一直仍然是地表水。目前，随着生产和科学的发展，这个争论的问题实际上已经解决了，水文地球化学已经建立起来了。在许多地质科研和生产单位，已经建立了专门研究水文地球化学的实验室和其他机构。国际上已组织了水文地球化学协会，召开过水文地球化学座谈会，并出版了一系列专著。这样，水化学与水文地球化学之间有了明确的分工，前者主要研究地表水，后者则主要研究地下水。当然，地下水参与自然界水的总循环；大气水和地表水对地下水化学成分的形成都有一定的影响。因此，水文地球化学与水化学之间有着密切的关系。

水文地球化学同水文地质学的密切关系是非常明显的。A. M. 奥弗琴尼柯夫认为水文地球化学是水文地质学的一个专门部分。他在《水文地球化学》一书中写道：“水文地球化学是地球化学和水文地质学的一部分，它主要注意地下水。它研究地下水的形成问题和它的成分，也同样研究水和岩石之间存在的动力联系。”地下水化学成分的形成条件明显地不同于地表水，这里起主导作用的经常是地质和水文地质因素。地下水的成分决定于含水构造的性质、构造类型、火山作用、含水综合体的岩石-矿物和粒度成分，决定于地下水本身的动力特征。在解决深层卤水成因这个复杂的问题时，不但要了解它所埋藏地区的地质发展历史，而且要分析形成卤水的古

水文地质条件。在研究地下水的成分时，要以水文地质规律和水文地质方法为依据，对水文地质进行综合研究。

水文地球化学，由其名称就可看出，与地球化学紧密地联系着，某些研究者并把它看作是地球化学的一部分。在有关地下水的著作中，特别是在石油水文地质领域，经常会遇到《水的地球化学》一词，这实际上是水文地球化学一词的同义语。

水文地球化学与地质学、矿物学、岩石学，特别是岩石化学、土壤学等有着密切的关系。近年来，在成岩成矿理论研究过程中都离不开水文地球化学的研究。环境地质学是近年来兴起的一门学科，它对有害元素在地下水中迁移问题的研究，也离不开水文地球化学的知识和研究方法。

二、水文地球化学在国民经济建设中的意义

在自然界水由于自己的物理、化学和生物性质而占有非常重要的地位。在岩石圈、生物圈和大气圈中，几乎所有作用都与水的参加有关。研究水性质的重大问题之一，是水中的离子-盐类成分的生成。解决这些理论问题，就要研究在地下水发生的各种过程，研究影响水的矿化度和成分的自然和人为因素，研究水与岩石的相互作用，确定地下水化学成分形成的一般规律，并且要解释地壳中各种类型地下水的成因。水文地球化学的理论意义在于研究盐在自然界的循环，解释溶解于地下水中的某些组分在形成金属和非金属矿床中的作用。

水文地球化学研究的课题，对于国民经济各部门的发展

也有着十分重大的实际意义。各种形式的供水（农业用水、生活用水、工业用水等）都必须考虑到地下水的化学成分。在水工建筑和矿山建设中，为了预先采取对水泥和金属构件的防腐蚀措施，以及在利用地下水进行灌溉、评价农田盐渍化过程的强度和对植物有害的盐类时，也必须了解地下水的化学成分。近几十年来，由于在河流上建筑了许多巨大的水工建筑物，给水化学和水文地球化学提出了一系列的新问题，其中包括对这些水库、运河、水池及被改造后的河流的水质及水化学动态的预测。这些问题主要是水化学问题，但是不了解基本的水文地球化学知识，是不能解决这些问题的。例如，在干旱地区有些蓄水池建成后几年内，水的矿化度就达到了5—10克/升，既不能用于灌溉，也不能供牲畜饮用，更不能作为生活用水。这些水池的盐化经常是由于没有预计到潜水所带来的盐分所致。

为了从地下卤水和矿水中开采碘、溴、硼等盐类，正进行着广泛而细致的水文地球化学研究。在地质勘探事业中，用水文地球化学方法寻找硫化矿床、多金属矿床、铀矿床、石油、天然气和盐矿床都收到了很好的效果。目前，在成矿作用的研究中，水文地球化学正得到愈来愈广泛的应用。在矿水和疗泥的研究中水文地球化学具有特殊的意义。随着人们对地下水化学成分认识的不断深入，水文地球化学将会在更加广泛的领域中得到应用和发展。

三、水文地球化学的发展简史

作为一门独立的学科，水文地球化学只是在近二十年来