

高等学校试用教材

铀矿水文地质基础

杨 解 主编

薛 裕 鹤 主审

原子能出版社

高等学校试用教材

铀矿水文地质基础

(初 版)

杨 解 主编

朱发洲 钟时雨 周玉富 编

薛裕鹤 主审

叶政祥 余厚敬 审

原子能出版社

高等学校试用教材
袖矿水文地质基础
(初版)

杨 解 主编

朱发洲 钟时雨 周玉富 编

薛裕鹤 主审

叶政祥 余厚敬 审

责任编辑 姜利民

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

重庆印制一厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本850×1168 $1/32$ ·印张10.25 ·字数264千字

1991年6月北京第一版·1991年6月北京第一次印刷

印数1—1500

ISBN7-5022-0280-3

P·14(课) 定价: 3.15元

内 容 简 介

本书简要地介绍水文地质和放射性水文地质的基础理论, 铀矿水文地球化学找矿、矿床(山)水文地质和工程地质工作的基本原理、要求和方法。

本书可作为高等学校铀矿地质勘查专业的水文地质学试用教材, 对铀矿水文地质和工程地质方面的生产、科研人员有一定的参考价值, 也可供水文地质和工程地质专业的师生及有关人员参考。

★ ☆ ★

本书由薛裕鹤主审, 经原核工业部铀矿地质教材委员会水文地质学课程组于1987年1月由李学礼、潘乃礼主持召开的审稿会审定, 同意作为高等学校试用教材。

前 言

本书是根据原核工业部教育司于1985年1月召开的教材会议审定的编写提纲编写的,可作为铀矿地质勘查专业的水文地质学试用教材,讲授50学时。

在铀矿地质勘查工作中,铀矿水文地球化学找矿的作用和地下水对铀矿床形成与破坏的作用被日益重视。为了配合铀矿成矿预测,进一步寻找铀矿和对矿床成因进行研究以及开展铀矿床(山)的水文地质、工程地质工作,编写一本适宜地质专业使用的水文地质学,系统地介绍有关的基础知识和基本的工作方法,是十分必要的。

本书共分11章,前4章简要介绍水文地质基础理论;第5、6章简述放射性水文地质基本理论和铀矿水文地球化学找矿方法;后5章扼要阐述矿床(山)水文地质、工程地质工作的基本原理、要求和方法。书中的铀矿水文地球化学找矿和铀矿床(山)水文地质工程地质两部分内容,引用了核工业系统多年积累的资料。

本书由杨解主编,编写提纲的初稿是朱发洲提出的。书中的序言、第4章由钟时雨编写,第1~3章由周玉富编写,第5章由杨解根据朱发洲的讲稿改写补充,第6~11章由杨解编写。本书由薛裕鹤高级工程师主审,叶政祥高级工程师、余厚敬副教授审校,全书的附图由刘元敏清绘。在编写过程中,薛裕鹤、叶政祥提供了许多有关资料,在此特表示衷心感谢。

本书涉及面较广,由于编者水平有限,掌握资料不全,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

1988年5月

序 言

水文地质学的主要研究对象是地下水。它主要研究地下水的形成、运动及其分布规律；研究地下水的合理开发和利用以及地下水危害的防治。

地下水是地壳上部岩石空隙中的水，是地球总水量的一部分。一个地区地下水的分布、赋存等的状态，取决于该地区的气候和地质地貌等条件；它一方面受地区水循环总量的影响，另一方面又受赋存和运移环境的制约。如同所有矿产资源一样，地下水也是地壳中最常见的一种宝贵资源。

城市乡镇的生活用水、厂矿企业的生产用水、农业的灌溉及畜牧业的用水等，都把地下水作为重要的供水水源。我国首都北京，城市总供水量的2/3左右取自地下水，据1986年统计，地下水开采量为 $25 \times 10^8 \text{t/a}$ 。在我国北方干旱、半干旱地区，地表水资源贫乏，地下水的开发利用就显得更为重要。

在某些情况下，地下水也可作为有价值的矿产资源和动力资源被开采和利用。如在地质历史时期中埋藏于地壳较深处的地下水，由于某种物理、化学作用的结果，往往富集了某些元素或化合物，如溴、碘、铯、钡、食盐等，这样的地下水可成为有工业价值的液体矿床。含有对人体有益的某些特殊化学成分或气体成分的地下温热水和矿泉水，则是目前发展医疗保健事业和饮料业的珍贵水资源；而热水具有的地热能，又是当前世界各地普遍重视开发的新能源之一。

在地下水流经矿床的过程中，常常溶解和带走矿体中的某些元素或化合物，形成水中含量异常或分散晕。因此，利用地下水中某些标志性元素和化学组分的变化，可以寻找矿体，特别是寻找盲矿体。这就是水化学找矿或水文地球化学找矿。

几乎所有的铀矿床，都能在其周围形成明显的水分散晕。根据水分散晕形成原理，在我国的铀矿地质勘查工作中，广泛地开

展了铀矿水文地球化学找矿和水文地球化学研究。不论在铀矿的区调、普查、矿点揭露评价中，还是在矿床勘探中，铀矿水文地球化学找矿和水文地球化学研究都发挥了重要作用。例如，应用铀矿水文地球化学找矿方法，在许多地区找到了有工业价值的铀矿床（体）；对某些铀矿床，通过水文地球化学的研究，客观地揭示了地下水成矿作用的机制。从而证明铀矿水文地球化学找矿和水文地球化学研究，不仅是寻找铀矿的有效手段，也是铀矿地质研究的重要课题。

开采铀矿床与开采其他矿床或开凿非采矿目的的地下工程一样，都会出现地下水的涌入和某些工程地质问题，其后果轻则延缓采矿工程的进展，增加生产成本；重则淹没矿井，造成生命财产的巨大损失；或因防治矿坑水的措施不当，引起排、供矛盾，破坏地下水资源和造成矿山环境污染；或造成露天采矿场边坡失稳，地下矿井和硐室围岩塌落；或因采矿造成地压活动危及地面建筑物等等。因此，矿床水文地质和工程地质工作，直接关系到矿产资源的经济合理开发和矿山生产安全。所以，在铀矿地质勘探和开采过程中，都必须及时地做好相应的水文地质和工程地质工作，为综合评价矿床和为矿山开采设计提供必需的水文地质和工程地质资料，并以此作为批准矿产储量报告的依据之一。

现代科学技术的迅速发展，促进了放射性水文地质技术工作的发展。近十几年来，水中放射性同位素比值在找矿方面的应用，遥感技术在铀矿水文地球化学找矿和铀矿床（山）水文地质、工程地质勘查中的应用，开辟了寻找铀矿成矿远景区和评价水异常以及查明铀矿床（山）水文地质、工程地质条件的新途径，丰富了水文地质学的研究内容。

为铀矿地质勘查专业开设的水文地质课程，除讲述水文地质学的基础理论外，将着重叙述放射性水文地质基础理论，铀矿水文地球化学找矿和矿床（山）水文地质、工程地质工作的基本原理、要求和方法。

目 录

序 言

第一章 地下水的赋存条件和存在形式	1
第一节 自然界的水循环	1
第二节 岩石的空隙	3
一、孔隙	3
二、裂隙	5
三、溶隙	6
第三节 水在岩石中的存在形式	6
第四节 岩石的水理性质	8
第五节 含水层与隔水层	10
第二章 地下水的运动	12
第一节 渗流及其特征	12
一、渗透水流	12
二、渗透流速和实际流速	13
三、渗透水头和水力坡度	15
第二节 地下水运动的基本形式	17
第三节 渗透的基本定律	19
一、线性渗透定律——达西定律	19
二、非线性渗透定律	21
第四节 线性渗透定律在地下水计算中的应用	22
一、地下水渗透流量的计算	22
二、渗透系数 (K) 的测定	24
第五节 地下水向井的稳定运动	25
一、地下水向完整单井的稳定运动涌水量方程	25
二、根据抽水试验资料确定井的涌水量经验公式	29
第六节 地下水向井的非稳定运动	37
一、含水层的弹性理论	37
二、无越流补给时承压水向完整井的非稳定运动	39
三、泰斯公式的应用	41

四、根据非稳定流抽水试验资料计算参数	42
第三章 地下水的物理性质和化学成分	54
第一节 地下水的物理性质	54
第二节 地下水的化学成分	58
第三节 地下水的矿化度、硬度及酸碱度	61
第四节 地下水化学成分的形成及其影响因素	64
一、地下水化学成分的形成作用	64
二、影响地下水化学成分形成的主要因素	67
第五节 矿水	69
第六节 地下水化学成分的分析与资料整理	71
一、水分析的内容和项目	71
二、水分析结果的表示方法	72
三、地下水水化学分析资料的整理	75
四、地下水水化学图	77
第四章 各类地下水的特征	79
第一节 按含水层埋藏条件划分的地下水特征	79
一、潜水	79
二、承压水	89
三、上层滞水	94
第二节 按含水层空隙性质划分的地下水特征	94
一、孔隙水	94
二、裂隙水	100
三、岩溶水	107
第五章 放射性水文地质基本理论	114
第一节 天然水的放射性	114
第二节 影响地下水富集铀和镭的基本因素	116
一、岩石中铀、镭的含量及其存在形式	116
二、岩石的吸附作用	119
三、地下水的物理和化学性质	122
四、气候及水动力分带	132
第三节 氡在地下水中的富集条件	137
一、岩石中镭含量的影响	138

二、岩石射气性能的影响	138
第四节 放射性水的类型及其形成条件	141
一、放射性水及其分类	141
二、各类放射性水的形成条件和特征	142
第五节 地下水对铀矿床的形成作用和破坏作用	148
一、地下水对铀矿床的形成作用和破坏作用	148
二、铀在地下水中迁移和沉淀	151
三、地下水成矿的有利部位	155
四、利用地下水成矿模式找矿	162
第六章 铀矿水文地球化学找矿	171
第一节 基本原理和方法	171
第二节 找矿的阶段划分和任务要求	173
一、阶段划分和任务	173
二、各阶段的工作目标和地质任务	173
第三节 找矿设计书的编写	174
一、文字报告的内容	175
二、附图和表格	175
第四节 野外工作	176
一、基本要求	176
二、采样要求	177
三、工作质量要求、检查和资料整理	179
第五节 异常的确定、揭露评价和成矿预测	180
一、自然底数和异常值的确定	180
二、异常的确定、检查和揭露	181
三、水化揭露点的标准	183
四、异常评价和成矿远景预测	184
五、成矿预测图的编制和说明书的编写	187
第六节 资料整理和报告编写	187
一、资料整理	187
二、文字报告(图系说明书)和附表	189
第七节 探矿工程中铀矿水文地球化学找矿	190
一、基本原理	190

二、工作目的和意义	190
三、工作任务	191
四、样品采集	192
五、资料整理要求和成果解释	193
第八节 水样分析与质量监控	194
一、水分析的基本要求	194
二、质量监控	195
第九节 水中放射性同位素比值对水异常评价解释	196
一、用放射性同位素比值解释水异常的一般原则	196
二、用同位素比值解释水异常的方法	197
第十节 遥感技术在放射性水文地球化学找矿中的应用	203
一、解译与放射性水异常有联系的地质构造	203
二、圈定与铀矿化有联系的地热异常区和热水活动带	204
三、追踪古河道、湖沼洼地、冲洪积扇(群), 圈定铀成 矿有利部位	206
第七章 矿床充水条件	209
第一节 矿床充水水源	209
一、大气降水水源	209
二、地表水水源	212
三、地下水水源	214
四、废旧矿井(老窑)积水水源	217
第二节 矿床充水通道	218
一、溃入性通道	218
二、渗入性通道	224
第八章 矿床水文地质类型和工程地质类型的划分	226
第一节 矿床水文地质类型划分	226
一、矿床水文地质分类概述	226
二、我国铀矿床水文地质分类	227
第二节 矿床工程地质类型划分	236
一、矿床工程地质分类简介	236
二、铀矿床工程地质类型初步划分	238
第九章 矿坑涌水量预测	240

第一节 类比外推法	241
一、涌水量曲线 ($Q-S$ 曲线) 方程 外推法	242
二、水文地质比拟法	246
第二节 水均衡法	248
一、矿区充水含水层的收入项和支出项	249
二、水均衡方程	250
第三节 解析法	251
一、“水井”法	252
二、辐射流分区法	256
第十章 矿床的防水、治水和矿山(区)环境地质、 水文地质	258
第一节 矿床的防水和治水	258
一、防水措施	258
二、治水措施	267
三、矿床疏干与地面塌陷	272
四、矿坑(井)水的综合利用	273
第二节 矿区(山)环境地质、水文地质	274
一、矿区(山)环境污染的来源及危害	274
二、矿区(山)环境质量评价	275
三、矿区(山)环境地质调查	276
第十一章 矿床水文地质和工程地质勘查	279
第一节 矿床水文地质勘查	281
一、水文地质测绘	281
二、水文地质钻探	289
三、水文地质试验	294
四、水动态长期观测	302
第二节 矿床工程地质勘查	305
一、工程地质测绘	305
二、工程地质勘探	306
三、岩(土)样品的采集和分析	307
四、工程地质现象和动态调查观测	307
第三节 矿床水文地质和工程地质勘查中遥感技术的应用	308
一、红外遥感	308

二、侧视雷达	310
第四节 矿床水文地质和工程地质勘查报告书的编制	310
一、详细普查报告	311
二、详细勘探报告	312
三、附图和附表	313
主要参考文献	314

第一章 地下水的赋存条件和存在形式

第一节 自然界的水循环

地球上的水以气态、液态和固态形式分布于大气圈、地球表面和地壳岩石空隙中，分别称为大气水、地表水和地下水。这些水组成地球的水圈。

水圈的总水量，有许多不同的估计，表1-1就是其中的一种。

表1-1 地球上水的分布
(据中山大学，自然地理学上册，1978)

水的分布		水量(km ³)	占总水量的比例(%)
大气水		13000	0.001
地表水	海洋水	1370000000	97.31
	冰盖及冰川	29200000	2.0741
	淡水湖	125000	0.009
	咸湖及内陆海	104000	0.0074
	河流水	1250	0.001
地下水	土壤水	67000	0.0048
	地下水(至4km深度内，土壤水除外)	8350000	0.5931
总计		1407860200	100

一般认为地球上水的总体积约为 $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$ 。分布于海洋中的水，占总水量的97.31%，分布在陆地上的水，占总水量的2.69%。在陆地水中，冰盖、冰川、咸湖和内陆海占到78%以上；剩下的可供人类直接利用的淡水量有限，其中地表水量甚少，主要是地下水。据统计地表以下4km深度内地下水的总量约 $8.35 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。

(除土壤水外),其中约有50%以上分布于地面以下1km深的范围内。

大气水、地表水和地下水,不是孤立存在、彼此无关的,它们都在不停地运动和变化着。

在太阳辐射作用下,水从洋面、海面和陆地水面上蒸发变成水汽,上升至空中,被气流带动输送至各地,水汽在上升和输送过程中遇冷凝结为极细的水滴——云,云再变成雨、雪、冰雹并下降。大气水降落地面或水面后,有三种归宿:一部分从地面、水面或植物表面等蒸发,重新回到空中;一部分顺着地面流动,汇集到江河,返回湖泊和海洋;还有一部分渗入土壤岩石,成为地下水,示于图1-1。渗入地下的这部分水,其经历是最复杂的,有的通过地面蒸发;有的被植物吸收通过植物的叶面蒸发返回大气圈;其余部分则形成地下径流。地下径流或者直接流入海洋;或者经排泄成为地表水,然后返回海洋;或者在径流过程中多次地由地下转到地表,又由地表转入地下,最终返回海洋。如此周而复始,循环不已。

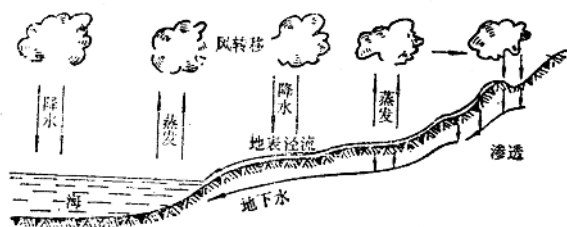


图1-1 自然界中水循环圈

根据水循环的过程,自然界水循环可分为大循环和小循环两种类型:水分从海洋经陆地,最终返回海洋,这种发生于海洋陆地之间的水循环,称为大循环。在大陆(或海洋)表面蒸发的水分,又重新降落回到大陆(或海洋)表面,这种就地蒸发,就地形成降水的循环,称为小循环。

人类活动对于小循环有很大的影响,如兴修大、小型水库,

建立大面积的灌溉系统，培植森林等措施都能促使水的小循环增强，从而增加就地降水的总量。小循环对气候起调节作用，改善干旱气候，我国在干旱地区改造自然的基本任务之一就是要加强小循环。

水循环的内因是水的物理特征。随着温度不同，水以固态、液态和气态三种形态出现，因而水在循环过程中的转移，交换才成为可能。水循环的外因是太阳的辐射和地心引力。太阳辐射是地表热能的主要源泉，它促使冰雪融化、水分蒸发、空气流动。而地心引力，促使大气降水和促使地表水及地下水在重力作用下流归海洋。

第二节 岩石的空隙

地下水存在于岩石空隙之中。岩石的空隙是地下水的贮存空间，又是地下水循环运动的通道。因此，其空隙的多少、大小、方向、均匀程度和连通状况，都直接影响地下水的贮存和运动。根据岩石的空隙成因及分布特点，可将空隙分为：松散岩石的孔隙、坚硬岩石中的裂隙和可溶岩中的溶隙三种类型，示于图1-2。

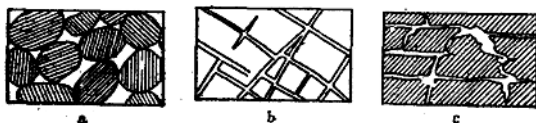


图1-2 岩石空隙的类型
a——孔隙；b——裂隙；c——溶隙

一、孔隙

孔隙是指松散岩石中固体颗粒或颗粒集合体之间存在的空隙，其特征是在岩石中分布较均匀，相互连通，呈小孔状。

孔隙的多少用孔隙度表示。孔隙度是指某一体积岩石（包括孔隙在内）中孔隙体积所占的比例。用 n 表示孔隙度， V_n 表示孔隙体积， V 表示岩石体积，则得

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

孔隙度可用小数或百分数表示。

孔隙度的大小主要取决于颗粒排列情况及分选程度，其次，颗粒形状及胶结情况也影响孔隙度。

松散岩石是由大小不同的岩石碎屑组成的，如果碎屑为等径圆球状，按立方体排列，示于图1-3，其孔隙度为47.65%，如果按四面体排列，则孔隙度为25.95%。这两种排列的孔隙度是等径圆球互相接触排列时孔隙度的极大值和极小值，其他形式排列的孔隙度介于上述数值之间，平均值接近于37%，自然界中松散岩石的孔隙度与此大体相近。

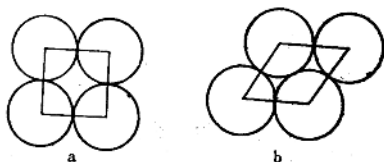


图1-3 圆球状颗粒的排列方式对孔隙度大小的影响

a——最小密度的排列法；b——最大密度的排列法

应当指出，孔隙度是一个比例数，与颗粒大小无关。直径大小不同的等径圆球分别按立方体排列，其结果具有相同的孔隙度。但是，含有不同直径颗粒的松散岩石，即分选差的松散岩石，其孔隙度降低，这是由于大颗粒之间的空隙被细小颗粒充填的缘故。分选性愈差，即颗粒直径相差愈大，孔隙度愈低。

除颗粒排列、分选之外，松散岩石的孔隙度还受颗粒形状及粘土结构的影响。自然界中很少有完全呈圆形的颗粒，许多颗粒的外形是不规则的，有长条形、板形、页片形等，它们的突出部分相互接触，会使颗粒架空，所以颗粒形状愈是不接近圆形，孔隙度就愈大。粘土颗粒是特殊的团聚结构，即由表面带电荷的细小粘粒（ $d < 0.005\text{mm}$ ）连结形成的颗粒团聚体堆积而成。团聚结构松散，使孔隙度大。因此，粘土的孔隙度可以很大，甚至超过理论上的最大值。