

高等学校试用教材

环境水文地质学

杨忠耀 主编

王秉忱 主审

原子能出版社

高等学校试用教材

环境水文地质学

(初 版)

杨忠耀 主编

王秉忱 主审

潘乃礼 编

潘乃礼

原子能出版社

内 容 简 介

本书分七章，系统地阐述环境水文地质学的基本理论、基本方法及与该新兴学科有关的基础知识(生态学、环境系统工程等)。书中重点论述原生环境水文地质条件、次生环境水文地质条件、环境水文地质作用、环境水文地质勘查和地下水环境质量评价等。

本书可作为高等学校水文地质及工程地质专业教材，也可供环境保护、城市地质、水资源等有关专业的学生及工程技术人员、研究人员和教学人员参考。

☆ ☆ ☆

本书由王秉忱主审，经铀矿地质教材委员会水文地质课程组于1987年1月由李学礼、潘乃礼主持召开的审稿会议审定，同意作为高等学校试用教材。

高等学校试用教材

环境水文地质学

(初版)

杨忠耀 主编

王秉忱
潘乃礼 编

王秉忱 主审

责任编辑 姜利民

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

国防科工委印刷厂印刷

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14.125 · 字数379千字
1990年12月北京第一版·1990年12月北京第一次印刷

印数 1—1500

ISBN7-5022-0252-8

X·8(课)定价: 2.85元

目 录

前 言

第一章 绪论	3
第一节 人类活动对地下水环境的影响及发达国家的地下水保护状况.....	3
一、人类的生产和生活活动对地下水环境的影响.....	3
二、发达国家的地下水保护状况.....	6
第二节 我国的环境水文地质问题和勘查研究现状概述.....	7
第三节 关于环境科学和环境水文地质问题的基本概念.....	9
一、环境.....	9
二、环境科学和环境问题.....	10
三、地质环境和环境地质问题.....	11
四、水文地质环境和环境水文地质问题.....	11
第四节 环境水文地质学的定义、研究范畴和分科.....	12
一、环境水文地质学的学科定义和研究范畴.....	12
二、环境水文地质学的分科及其与其他学科的关系.....	14
第二章 生态学基础及环境系统工程概述	16
第一节 生态学理论的基本要点.....	16
一、生态学和生态系统.....	16
二、生态系统的组成、结构和类型.....	17
三、生态系统的功能.....	19
四、生态平衡.....	29
第二节 生态学研究的环境保护意义.....	31
一、生态学在经济建设中的应用.....	31
二、生态学在环境保护工作中的应用.....	34
第三节 环境系统工程概述.....	37
一、环境系统工程的任务和研究意义.....	37

二、环境系统工程的基本原则和一般程序·····	40
三、环境系统工程实例·····	42
第三章 原生环境水文地质条件与地方病 ·····	51
第一节 原生环境水文地质条件 ·····	51
一、元素与人体健康·····	51
二、环境中元素迁移的水文地质条件·····	56
三、不同水文地球化学环境中元素的聚散·····	66
四、生物地球化学病带·····	69
第二节 氟病的水文地球化学成因类型 ·····	76
一、氟病水文地球化学成因类型的划分·····	77
二、氟病水文地球化学各种成因类型的特征·····	78
三、氟病致病机制和防治措施·····	89
第三节 地甲病的水文地球化学成因类型 ·····	90
一、碘的物理化学特性及其自然循环·····	94
二、环境中碘迁移的水文地球化学作用·····	97
三、地甲病的水文地球化学成因类型划分·····	100
四、地甲病的防治措施·····	102
第四节 克山病、大骨节病病区的水文地球化学特征 ·····	103
一、病区自然条件的一般特征·····	103
二、病区的环境水文地球化学特征·····	106
三、致病的环境水文地球化学作用·····	111
四、克山病和大骨节病的成因类型及病理假说·····	114
五、克山病和大骨节病的防治措施·····	116
第五节 心血管病和脑溢血病病区的水文地球化学特征 ·····	117
一、概述·····	117
二、心血管病区饮水化学特征及病因·····	118
三、高血压、脑溢血病死亡率与水质的关系·····	121
第四章 次生环境水文地质条件与地下水污染 ·····	123
第一节 地下水污染的基本概念 ·····	123

一、地下水污染的定义和特点	123
二、地下水污染的评价标准和等级	126
三、地下水污染源的分类	134
四、地下水污染质的分类	138
五、地下水污染途径和污染方式	142
六、地下水污染范围和污染规模	149
第二节 自然环境污染对地下水的影响	155
一、大气和大气降水污染的影响	155
二、土壤层和包气带对地下水污染的影响	164
三、地表水对地下水污染的影响	175
第三节 城市和工矿区的地下水污染	182
一、城市地下水的污染	182
二、矿业与地下水污染	195
三、核废物处置与地下水污染	201
第四节 污染物的环境水文地球化学特征	214
一、酚、氰的环境水文地球化学特征	214
二、氮的环境水文地球化学特征	219
三、地下水硬度升高的水文地球化学机制	223
四、重金属的环境水文地球化学特征	227
五、微量元素的环境水文地球化学特征	233
六、放射性元素的环境水文地球化学特征	235
第五节 地下水污染与人体健康	240
一、概述	240
二、地下水污染物的毒理学知识	240
第五章 环境水文地质作用	246
第一节 环境水文地质作用分类	246
一、水文地质环境和环境水文地质作用概述	246
二、环境水文地质作用的类别	246
三、各种环境水文地质作用的关系	248
四、地表水和大气水的环境水文地质作用	249
第二节 环境水文地球化学作用	250

一、概述	250
二、常见的环境水文地球化学作用	251
三、污染质的弥散作用	257
第三节 环境水动力学作用	264
一、水诱发地震	264
二、地面沉降	271
三、岩溶地面塌陷	277
第四节 环境水物理学作用	289
一、概述	289
二、地下水物理状态转化的环境效应	289
三、水体热污染	291
第五节 环境水文地质生态作用	296
一、疏干生态作用	296
二、充水生态作用	296
三、水污染的生态效应	296
四、富营养化	297
五、热污染生态作用	297
第六章 环境水文地质勘查	298
第一节 环境水文地质勘查概述	298
一、环境水文地质勘查的目的和任务	298
二、环境水文地质勘查阶段的划分	299
三、环境水文地质勘查精度的确定原则	300
四、环境水文地质勘查方法	304
第二节 环境水文地质勘查技术	304
一、环境水文地质调查	304
二、环境水文地质勘探	309
三、环境水文地质监测	311
四、环境水文地质试验	314
五、现代勘查技术的应用	319
第三节 环境水文地质图系及报告编制	323
一、地方病环境水文地质图系的编制	323

二、城市环境水文地质图系的编制	324
三、环境水文地质报告的编写	328
第四节 地下水污染的防治	329
一、预防地下水污染的措施	329
二、治理地下水污染的措施	330
三、废污水无害化处理及综合利用	331
四、建立水源地的卫生防护带	332
第七章 地下水环境质量和环境影响评价	335
第一节 概述	335
一、环境质量评价的意义和地下水环境质量评价的内容	335
二、地下水环境质量评价的一般要求和原则	337
第二节 地下水环境质量评价	338
一、地下水环境质量评价的一般程序	338
二、地下水水质综合评价指数(模式)的构成	340
三、水质综合评价指数(模式)简介	343
四、地下水环境质量评价实例介绍	357
第三节 地下水环境影响评价	381
一、地下水环境影响评价的一般程序	383
二、确定性水质模型的近似计算方法——污染地下水的水地质计算	385
三、污染地下水运移的图解—分析方法——水动力渗流网法	403
四、随机水质模型方法	408
五、根据溶度积原理的环境影响评价方法	424
六、地下水环境影响评价的其他实例简介	426
第四节 与地下水排、灌有关的环境影响评价方法简介	429
一、地面沉降的影响评价	429
二、岩溶塌陷的预断评价	434
三、灌区人工作用影响评价简介	437
主要参考文献	442

前 言

本书是根据原核工业部教材委员会于1985年5月召开的原子能类教材规划会议所审定的编写提纲编写的。本书可作为高等学校水文地质及工程地质专业的教材。环境保护是我国的一项基本国策，根据国家教委1984年公布的高等学校专业目录的要求，一些学校在水文地质专业开设了环境水文地质课程，为了满足教学需要，作者在华东地质学院环境水文地质学讲义的基础上，编写了本书。我们本着“抓基、去杂、去繁、添新”的精神，在书中主要论述环境水文地质学的基本理论、基本知识和基本技术，并着眼于培养学生解决实际问题的能力。此外，本书还从核能和核技术利用日益广泛的现状出发，在内容上适当地注意了放射性污染及核废物处置中的水文地质问题。

本书共分七章。第一章绪论，论述环境水文地质学的基本概念、研究范畴、内容和研究意义；第二章生态学基础和环境系统工程概述，除介绍生态学基本理论及其在环境保护中的应用外，还着重介绍环境系统工程的基本内容和应用实例；第三章原生环境水文地质条件与地方病，论述原生环境中生命元素分布不均匀性对地方病的控制作用，常见地方病的水文地球化学成因类型；第四章次生环境水文地质条件与地下水污染，在论述地下水污染基本概念和机制的基础上，讨论常见污染质的水文地球化学特征及城市、矿业和废物处置中的地下水污染问题；第五章环境水文地质作用，较广泛地探讨地下水的环境地质作用；第六章环境水

文地质勘查，从原生环境水文地质、城市环境水文地质和工程环境水文地质等方面，讨论环境水文地质调查、勘探、监测、试验等基本工作方法和新技术的应用；第七章地下水环境质量评价和环境影响评价，介绍了放射性同位素示踪剂、电子计算机等技术，在地下水水质模型（精确的、随机的、模糊的）研究中的应用实例，以及地下水环境现状评价和未来发展趋势的预测评价方法。

本书由杨忠耀主编，第一章由王秉忱编写，第七章由潘乃礼编写，前言、第二、三、四、五、六章由杨忠耀编写。本书由王秉忱主审。在审稿会上及编写过程中王秉忱、姜利民、王慎全、曾昭华、陈晓秦、李学礼、潘乃礼、钟时雨、杨解等同志对书稿提出了宝贵意见。在书稿编辑加工过程中姜利民同志对书稿的内容和文字做了大量修改工作，付出了辛勤劳动。在资料搜集复印等方面得到牛小平、周文斌、王德生、宋宝城等同志的帮助。本书图件由桂林冶金地质学院绘图室清绘。对以上同志的帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，而且环境水文地质学科处于初创阶段，书中错误和不当之处在所难免，敬请批评指正。

编者

1988年6月

第一章 绪 论

第一节 人类活动对地下水环境的影响及发达国家的地下水保护状况

一、人类的生产和生活活动对地下水环境的影响

地下水的开采利用、工农业生产、水工建筑、土壤改良、矿山开采及其他工程措施等人类生产和生活活动对环境水文地质条件有很大影响，甚至会造成地下径流和深部地层间压力重新分布及隔水层渗透性质彻底改变等现象。

1. 地下水的大规模开采利用对地下水环境的影响

地下水的大规模开采可能导致水井的互阻、停止自喷、出水量减少、含水层被疏干等现象及区域性地下水位下降，地面沉降等由地下水量（包括地下水位）的变化带来的环境公害，也会造成海水侵入，地下水水质污染等由地下水水质变化带来的环境公害。

利用水井等集水建筑物开采地下水，一般会影响到区域内地下水均衡的变化，除形成地下水位降落漏斗外，还会改变地下水流的方向，变排泄区为补给区，并在水平与垂直方向上改变地下水水质。开采利用过程中地下水水质变化的主要原因包括①不同成分水的混合。②含水层的水动力条件改变。③包气带金属矿物氧化产物的进入。④引水工程本身对水质的影响。开采过程中，地下水化学成分变化的特点和条件是各种各样的，而且变化幅度各

异。这都是由于开采而使地下水天然动态遭到破坏后，旧的水盐均衡关系被新的水盐均衡关系代替之故。有些地区的地下水水质因强烈开采而转向恶化，有些地区的地下水水质则在开采过程中得到改善。

2. 工业生产对地下水环境的影响

工业生产对地下水环境的影响是造成地下水污染。这种污染主要来自工业生产的废物，首先是工业废水，其次来自堆存物资的渗漏和偶然事故。渗漏是造成地下水环境污染的重要来源。收集、分配或运输工业液体的管道是另一种污染源。与运输有关事故也可能导致地下水污染。这些都为工业废水向包气带土壤及含水层中渗透提供良好机会。发生在断裂带中的渗漏事故是最严重的。

来自工业生产的固体、液体、无机、有机废物，包括重金属及其他化合物，氰化物，各种化学药品，焚烧的植物和发电站的灰尘等都是地下水的污染源。固体和液体的有机化学废物来自许多工厂和水处理厂，它们的主要组分是碳氢化合物和含在原材料及最终产物中的衍生物。其中有些是有毒的（重金属）和可活动的（溶剂，油类产品，化工产品废物等），大多均能溶于水中并可降解。

3. 农业生产对地下水环境的影响

在许多地区，长时期的农业活动已使原有的生态系统完全改观。在农田灌溉地区，灌溉能够增加渗透补给，而在水文网回水地带和无人工排水设施的局部低洼地区则使蒸发量加大。目前，在任何灌溉工程与灌水动态情况下，实际上均不能避免灌溉地区大面积范围内潜水补给条件的变化而导致水位与水化学动态的改变。在天然排水条件差的地区，灌溉使潜水面接近地表，造成土壤次生盐碱化。如果进行人工排水，则可重新降低潜水的矿化度。

人类农业生产活动对地下水环境的影响还表现在对地下水的污染方面。农业活动产生了大量废弃物，它们可与地下水溶混在

一起，因而降低地下水的水质。

肥料和农药对地下水环境的危害值得特别重视。其中，氮肥引起的地下水硝酸盐污染问题已进行了较多的研究。与地下水污染有关的三大主要杀虫剂是有机氯、有机磷及氨基甲酸酯。有机氯能长期滞留在环境中。

4. 水工建筑及跨区域调水对地下水环境的影响

水工建筑可以平原水库为例。水库建成后，在大多数情况下，地下水天然资源减少，减少量取决于冲积层淹没面积的大小和在非淹没地段范围内发生的变化情况。此外，地下水资源的开采量在水库修建前后也必然会发生变化。

大型的跨流域调水对地下水环境的影响是很大的，将在广大范围内改变地表水和地下水资源的区域分布状况，导致该地区水循环的巨大变化。

5. 矿山开采对地下水环境的影响

开采露天矿床会大大改变地表形态，提高含水岩石及弱透水岩石的渗透性能。与露天采矿场本身相比，露天采掘对地下水环境的影响大得多。因为露天采掘要采用人工降低地下水位工程，在采掘场周围形成水位降落漏斗，改变了地下水的补给、迳流、排泄条件。

在地下开采固体矿床时，矿山排水对地下水资源的影响与露天开采情况相近。此外，由于改变了大气降水通过岩石破坏和移动带的渗透条件，地下水化学成分形成作用发生了变化。

在复杂的水文地质条件下开采矿床，常常要抽出大量矿坑水。这些矿坑水一般是被污染的，而且由于酸性很高对金属设备有腐蚀作用。从深矿坑抽到地表的水，一般具有很高的矿化度，把这种污染和矿化了的矿坑水排入地表水体，必然会污染地表水和地下水环境。

二、发达国家的地下水保护状况

在发达国家中，随着人口的增多和经济的迅速发展，对水资源的需求日益增长。地下水虽然是一种易受超采和有水质恶化危险的资源，但由于它与地表水资源比较具有易开采等优点，仍成为可用水资源中的重要组成部分。这些国家，对地下水的防护工作十分重视，一般均设有水务和水资源管理机构，并提出制定地下水防护策略时，不应脱离开水资源开发利用的总战略方针，也不应脱离包括开采其他地下资源在内的地表和地下的土地利用策略。对发达国家的地下水保护状况和主要经验简介如下：

(1)对地下水资源的保护，不是局限在个体生产者的局部范围内，而是在整个含水层的区域范围内。由于构成天然地下水管理单元的含水层系统与构成地表水管理单元的河流流域不尽相同，因此，管理部门只能采用间接方法控制影响地下水动态或水质变化的生产活动或经济因素。

(2)地下水的保护工作，不仅要针对保护它的优点，从而保持住作为现在和将来的一种资源的量和质的再生能力，而且也要保护地表水资源，并保护与生态平衡有关的地下水天然作用。地下水保护的这些不同方面不一定没有矛盾，因此需要加以协调。

发达国家的研究现状表明，地下水资源的保护问题是近代水文地质学理论与实践领域内的崭新课题。它包括保护地下水资源免于涸竭和免于污染两方面的内容。对前者采取人工补给地下水资源的措施以增新补欠，对后者则进行水质监测以防患于未然。这些国家的实践证明，防止已进入含水层中的污染物质的污染是一项非常复杂的任务，要消耗巨额资金，而且所采用的措施一般难以实现，即使实现了也只能起到防止污染物质继续蔓延的作用。因此，发达国家提出，地下水资源的保护应立足于地下水污染的预防，因为一旦发生了污染，再来采取限制和恢复措施，要比采

取预防措施复杂。

(3)许多国家都在积极进行地下水资源的保护工作。例如,美国近年来采取了如下几项措施:①大力发展国家水质监测网和长期观测工作,在美国组成了250余个水质监测网,对26个州的地下水污染情况进行了全面调查及专门性区域地下水污染的系统监测工作。②建立和发展地下水化学分析自动化设备,在水质监测工作中进行每日24小时的连续测定,以便取得准确的第一性资料。③广泛利用电子计算机计算及储存数据(到1976年末,美国地质调查所已用电子计算机储存了50万个地下水点资料和大约100万次的水质分析成果),统计全国的观测、分析资料。④建立中央级大型水质分析实验室,其规模相当于地方实验室的20倍,现已在美国建成3个。⑤发展遥感遥测技术,应用地球资源卫星及航空红外摄影等新技术,取得研究分析地下水的有关资料。又如联邦德国也很重视地下水资源的保护工作。在防止地下水污染方面,联邦德国的水文地质人员为研究污水、废热水及垃圾等的处理问题,做了大量工作。

还应强调指出,许多国家为了保护地下水资源,防止过量开采所造成的严重后果,加强了地下水资源的管理工作,并为此成立了一些专门机构全面规划,统筹安排,收到了良好效果。例如,法国把全国按流域划分成立了6个水资源规划处,负责研究制定地下水资源在各区的合理开发利用、保护政策和规划。

第二节 我国的环境水文地质问题 和勘查研究现状概述

据1982年环保部门的统计资料,我国全国废水排放量为31Gt。其中,工业废水为24Gt,占77.2%,工业废水中的83%未经处理便直接排入环境。每年随废水排出的Hg, Cd, Pb, Cr, As等重金属约4kt, 酚和氰化物2万余吨,石油类105kt。

若以万元产值废水排放量计算，我国相当于日本和联邦德国的两倍多。全国每天排放废水在100kt 以上的城市约有64个，其废水量占全国排放总量的 51%，其余 49% 为中小城镇排放。不经处理或未达标排放的废水进入地下水含水层，造成地下水的严重污染。

我国地下水污染主要集中在大、中城市的建成区，污灌区和排污河流沿线。据39个城市地下水的监测资料，除广州、秦皇岛两市地下水没有超标项目外，其余 37 个城市均有超标项目。在统计的 10 项污染指标中，超标 5 项以上的城市有 21 个，占统计城市的 54%。按各项污染指标的超标率来看，硬度超标者普遍，有 26 个城市；三氮超标的城市有 23 个；酚、氰、汞、铬、砷 5 项毒物超标的城市达 34 个。

另据 27 个城市 33 个饮用水源地的水质监测资料，未受污染的有 14 个，占统计水源的 42.4%，其余 19 个水源地均有不同项目的超标，占统计水源的 57.6%。受污染水源地的主要污染物是有机质。有 12 个水源地的 COD 超标，6 个水源地的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 超标，5 个水源地的 DO 超标，4 个水源地的 $\text{NO}_2\text{-N}$ 超标。有毒有害物质，如挥发酚、氰化物和总汞只有 2 个水源地超标，污染程度也较轻。

我国的水环境污染对工农业生产及人体健康产生严重的影响和危害，破坏了水土资源和水产资源，直接的经济损失很大，潜在的威胁尚无法估算。目前，我国经济还不发达，但环境的污染和破坏已相当于西方国家经济大发展时期的程度。到 2000 年，我国生产要翻两番，排入环境的污染物必然相应增加，如不及时采取有效措施，则环境质量将更趋恶化。

此外，与原生水文地球化学环境有关的地方病，如克山病、大骨节病、氟病、地甲病等病区，在我国有比较广泛的分布，直接影响人民的身体健康，常导致严重后果。其中，大骨节病和克山病是我国分布最广，危害最大的地方病，它们的病因至今未被查明。大骨节病造成人体骨骼的畸形发育，破坏了劳动生产力；

克山病造成心肌病变，患者的死亡率较高，对人民的生存构成严重威胁。

近些年来，我国在地下水污染的勘查研究方面做了不少工作。例如，地质部门曾在1979年和1982年分别召开了北方地区和南方地区的环境水文地质工作经验交流会，讨论了城市地下水污染规律及其预测，地下水污染的机制与环境质量评价方法，环境水文地质图系的编制方法及地下水水质测试技术等问题，认识到地下水的污染规律受环境水文地质条件制约。因此，环境水文地质勘查不仅要查明污染源，也要查明区域环境水文地质条件。我国的环境水文地质人员为了查明污染物在水环境中的迁移、聚集、转化和自净规律，加强了野外和室内的模拟试验研究，建立能客观反映地下水污染机制的环境模式和借以进行地下水环境影响评价的数学模型，进行地下水污染发展趋势的定量预测工作。

在地方病的环境水文地质勘查研究方面，我国水文地质人员也进行了不少工作，取得了一些成果，尤其针对氟病、克山病、大骨节病的病因和防治问题做了很多有益的工作，但任务还很艰巨。例如，在我国大骨节病、克山病病区进行过环境水文地质勘查研究的范围仅占百分之几，而且对每个典型病区的研究周期又较长，因此，有人建议按完整的自然单元，采取路线考察、重点取样的方法进行研究，以加快研究工作的步伐，要求查明病区的环境水文地球化学特征、致病因子和防病措施。

第三节 关于环境科学和环境水文地质问题的基本概念

一、环 境

人类的环境可分为社会环境和自然环境两种。社会环境是指人们生活的社会经济制度和上层建筑的环境条件。我们说每一个