

897851

高等学校试用教材

环境与放射性 水质分析



雙 主编
北 民 审校

原子能出版社

高等学校试用教材

环境与放射性水质分析

张 燮 主编

吴铁民 审校

原子能出版社

内 容 简 介

本书简明、系统地介绍了水质分析的基础理论和基本知识,内容分为三部分:第一部分包括第一、二章,介绍了环境的基本概念及其与天然水的关系,水质分析的基本概念和基础知识;第二部分包括第三至第八章,介绍了滴定分析法、吸光光度分析法、光谱分析法、荧光分析法、电化学分析法、色谱分析法、流动注射分析法和放射化学分析法的原理及其在水质分析中的应用;第三部分是第九章,简要地介绍了水质分析的科学管理与水质评价。

本书可作为高等学校水文地质和工程地质专业水质分析课程的试用教材,工业分析专业、环境保护专业环境监测课程的教学参考书,也可供有关部门和科研单位从事水质分析工作的人员学习和参考。



本书由吴铁民主审,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、吴铁民主持召开的审稿会审定,同意作为高等学校试用教材。

高等学校试用教材
环境与放射性水质分析

张 燮 主编

吴铁民 审校

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787×1092 $\frac{1}{32}$ ·印张11.375·字数 255千字

1989年12月北京第一版·1989年12月北京第一次印刷

印数 1—1500

ISBN 7-5022-0169-6

0.21(课) 定价: 2.30元

前 言

本书是根据原核工业部教育司于1984年12月组织审定的编写大纲编写的，可作为地质院校水文地质、工程地质专业的水质分析试用教材和工业分析专业、环境保护专业环境监测课程的教学参考书。

环境与放射性水质分析是水文地质与工程地质专业的专业基础课之一。要求学生通过本课程学习，掌握水质分析的基础理论和基本的测试技能；了解水质分析中近代仪器分析方法的原理、应用及进展；熟悉水中一些主要化学成分和核素测定的常规方法；学会审查、综合、解释和评价水质分析资料的方法，培养分析问题和解决问题的能力。

环境与放射性水质分析是一门综合性课程，它所包括的内容非常广泛。根据专业教学计划和教学大纲的要求，本书仅叙述环境水中无机物和天然放射性核素分析及其有关理论基础。本书内容主要包括：在介绍环境与天然水的不可分割关系和水质分析的基本概念的基础上，重点讲述化学分析法、吸光光度分析法、光谱分析法、电化学分析法和放射化学分析法的原理及其在水质分析中的应用，并对九种天然放射性元素（或核素）与三种放射性核素组成值的测定方法作了较详细的叙述。对色谱分析法和新近发展的流动注射分析法只作一般介绍。最后介绍了水质分析的科学管理和水质评价，作为前述各章的升华和总结。

本书将分析化学的基础理论和基本知识与其在水质分析

中的应用有机地结合起来，是我们的一次尝试。讲授本课程前，学生应学习过普通化学；本课程与水文地球化学、环境水文地质课程相衔接；讲授本课程需要50学时（包括实验课）。

本书由华东地质学院张燮主编，原核工业部中南地质勘探局吴铁民审校。参加编写的有：卢治平（负责编写第一、五、六、七、八章初稿）、张燮（负责编写第二、三、四、九章和改写第七、八章）、龚治湘（负责改写第五、六章）、吴铁民（负责改写第一章）。北京大学江林根修改和改写了第八章。

本书在编写时，曾经得到了郑州化工厂程忠和同志的支持和帮助。在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1988年2月

目 录

第一章 环境与天然水	(1)
第一节 环境	(1)
一、环境的内涵	(1)
二、环境的自然变迁和环境污染	(3)
三、环境保护	(9)
第二节 水和水体	(10)
一、天然水的循环	(10)
二、水的性质和天然水的成分	(11)
三、水污染和水资源保护	(15)
第三节 水质分析在环境和水文地质工作中的作用	(21)
习 题	(24)
参考文献	(24)
第二章 水分析概论	(25)
第一节 水质指标和水质分析	(25)
一、水质、水质指标的概念和分类	(25)
二、水质分析及其特点	(26)
三、水质分析技术	(27)
第二节 水样的采集与保存	(29)
一、一般水样的采集	(29)
二、专项水样的采集	(32)
三、水样的保存	(35)
第三节 水分析中常用的分离与富集方法	(36)
一、沉淀法	(38)

二、溶剂萃取法	(39)
三、离子交换法	(42)
四、色谱分离法	(47)
五、吸附分离法	(50)
六、挥发和蒸馏分离法	(51)
七、电化学分离法	(52)
第四节 分析结果的表示形式与数据处理	(53)
一、水分析结果的表示方法	(53)
二、分析误差	(55)
三、准确度、精密度和灵敏度	(56)
四、有效数字及其计算规则	(57)
五、可疑数据的取舍	(59)
习 题	(62)
参考文献	(63)
第三章 化学分析法	(64)
第一节 重量分析法	(64)
一、沉淀法	(64)
二、气化法	(65)
三、重量分析法在水质分析中的应用	(66)
第二节 滴定分析法概述	(66)
一、基本概念	(66)
二、标准溶液和基准物质	(69)
三、滴定分析法的计算	(72)
第三节 酸碱滴定法	(76)
一、基本原理	(76)
二、酸碱指示剂	(78)
三、酸碱滴定法的滴定曲线和指示剂的选择	(81)
第四节 络合滴定法	(88)
一、概述	(88)

二、乙二胺四乙酸的性质及其络合物	(90)
三、络合滴定曲线	(92)
四、络合滴定指示剂	(96)
第五节 氧化还原滴定法	(101)
一、概述	(101)
二、氧化还原滴定曲线	(106)
三、氧化还原滴定的指示剂	(108)
四、氧化还原滴定方法	(109)
第六节 沉淀滴定法	(111)
一、概述	(111)
二、银量法确定化学计量点的几种方法	(112)
第七节 滴定法在水质分析中的应用	(114)
习 题	(114)
参考文献	(118)
第四章 吸光光度法	(119)
第一节 概述	(119)
一、吸光光度法的特点	(119)
二、物质的颜色和光的选择性吸收	(120)
第二节 光吸收的基本定律	(127)
一、朗伯-比尔定律	(127)
二、朗伯-比尔定律的适用范围及偏离朗伯-比尔定律的原因	(130)
第三节 吸光光度分析的方法	(132)
一、目视比色法	(132)
二、光电比色法	(133)
三、分光光度法	(137)
第四节 显色反应	(144)
一、显色反应和显色剂	(144)
二、显色反应的类型	(145)

三、影响显色反应的因素	(148)
第五节 吸光光度法在环境与放射性水质分析中 的应用	(153)
习 题	(167)
参考文献	(167)
第五章 光谱分析法和荧光分析法	(169)
第一节 概述	(169)
第二节 原子的能级和原子光谱特性	(172)
一、原子的能级和跃迁	(172)
二、原子光谱线的特性	(173)
第三节 发射光谱法(AES)	(177)
一、光谱分析仪器	(177)
二、光谱分析方法	(181)
第四节 原子吸收光谱法(AAS)	(183)
一、锐线光源	(183)
二、原子化器及原子化过程	(184)
三、原子吸收信号的测量	(187)
四、干扰效应及消除方法	(189)
第五节 荧光分析法	(190)
一、荧光成因及种类	(190)
二、荧光强度与物质浓度的关系	(193)
三、荧光分析仪器	(193)
第六节 光谱分析法和荧光分析法在水分析中应 用简介	(194)
一、发射光谱法在水分析中的应用	(194)
二、原子吸收光谱法在水分析中的应用	(196)
三、荧光分析法在水分析中的应用	(197)
习 题	(198)

参考文献	(199)
第六章 电化学分析法	(201)
第一节 化学电池的基本原理	(201)
一、化学电池	(201)
二、电极电位	(203)
三、电池电动势	(205)
第二节 电位分析法	(207)
一、离子选择性电极	(208)
二、离子选择性电极的主要性能	(208)
三、主要的离子选择性电极	(210)
四、分析方法	(217)
第三节 极谱分析法	(219)
一、经典极谱法	(219)
二、其他极谱技术	(226)
第四节 电化学分析在水分析中应用简介	(231)
一、直接电位法的应用	(231)
二、极谱分析法的应用	(233)
习 题	(234)
参考文献	(234)
第七章 色谱分析法和流动注射分析法	(235)
第一节 色谱分析法	(235)
一、色谱分析法的特点	(235)
二、气相色谱法	(235)
三、高效液相色谱法	(245)
四、离子色谱法	(249)
五、色谱分析法在环境与放射性水质分析中的应用	(253)
第二节 流动注射分析法	(255)
一、流动注射分析法的基本原理	(255)
二、流动注射分析法的仪器	(258)

三、流动注射分析法在环境与放射性水质分析中的应用	(260)
习 题	(261)
参考文献	(261)
第八章 放射化学分析方法和天然放射性核素分析	(262)
第一节 元素的放射性和核衰变规律	(262)
一、元素的放射性	(262)
二、核衰变规律和放射性平衡	(263)
第二节 核辐射测量仪器	(269)
一、气体探测器	(270)
二、闪烁计数器	(274)
三、半导体探测器	(275)
第三节 放射化学分析方法	(276)
一、概述	(276)
二、样品的预处理	(277)
三、放射性测量方法及测量误差	(279)
四、放射化学分析方法	(283)
第四节 水中天然放射性核素的分析	(288)
一、概述	(289)
二、总 α 放射性的测定	(290)
三、总 β 放射性的测定	(291)
四、铀及 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 值的测定	(291)
五、钍及 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 值的测定	(292)
六、氡的测定	(293)
七、镭及 $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ 值的测定	(294)
八、 ^{210}Po 的测定	(297)
九、氟的测定	(297)
十、 ^{14}C 的测定	(298)

习 题	(299)
参考文献	(300)
第九章 水质分析的科学管理与水质评价	(301)
第一节 分析方法的评价与选用	(301)
一、水质分析方法的评价	(301)
二、分析方法的选用	(302)
第二节 水质多项分析流程合理化	(304)
一、分析项目的确定	(305)
二、水质多项分析流程设计的合理化	(307)
第三节 水质分析的质量控制	(313)
一、标准分析的质量控制试验法	(315)
二、经常性分析的质量控制方法	(316)
三、应用水化学知识和化学平衡理论对分析结果进行质 量审查的方法	(320)
第四节 水质评价	(326)
一、概述	(327)
二、水质评价的基本程序及各程序的要求、内容和方法	(327)
三、水质评价的综合指数法简介	(331)
习 题	(336)
参考文献	(336)
附 录	(337)
表 I 地面水环境质量标准	(339)
表 II 生活饮用水卫生标准	(341)
表 III 天然放射性铀系($4n+2$)核素	(342)
表 IV 天然放射性钍系($4n$)核素	(344)
表 V 天然放射性锕系($4n+3$)核素	(345)
表 VI 天然放射性核素(天然放射系除外)	(347)
表 VII e^{-x} 函数表	(348)

第一章 环境与天然水

水是环境的介质之一，是环境的要素。因此，以水作为主要研究对象的水文地质工作和水分析工作，必然和环境科学工作密切相关。为此，有关工作者必须对环境、水和水体以及水分析在环境和水文地质工作中的作用有所了解。本章就此三个问题分别予以讨论。

第一节 环 境

一、环境的内涵

环境是相对于某一中心事物而言的。环境科学所指的环境，是以人类为主体的外部世界，是一个多层次、多结构的复杂系统。而自然环境和社会环境是这一系统所涉及的各种环境的粗略分类和概括^[1]。

1. 自然环境

自然环境是人们赖以生存和发展的必要物质条件，是人类周围的各种自然因素的总和，即客观物质世界或自然界。其中，大气、水、土壤和岩石、生物、阳光是构成自然环境的主要物质，称为环境要素。根据环境的主体、范围、利用目的和功能的不同，对每一要素还可作多种分类。例如水，可分为淡水环境和咸水环境；而淡水环境又可分为河流、湖泊、地下水等环境；咸水环境可分为海洋环境和咸湖环境；海洋环境又可分为浅海环境和深海环境等。

2. 社会环境

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。它是人类精神文明及物质文明的标志，并随人类文明的演进而不断演化。人类活动的多样性决定了社会环境的复杂性和多变性。因此，它不可能象自然环境那样包含着确定的环境要素，在分类方面，也有众多的体系。有人将社会环境分为物理社会环境（包括建筑物、工厂、农场、道路等）、生物社会环境（包括驯化和饲养的动物和栽培的植物）、心理社会环境（包括人的行为、风俗习惯、语言、法律等）；也有按环境的功能把社会环境分为聚落环境（包括院落、村落、乡镇、城市）、工业环境、农业环境、文化娱乐环境、旅游环境和医疗环境等。

3. 环境问题

自然界在阳光的作用下，进行着能量的流动和物质的循环，从而使自然界的生物世代繁衍，生生不息。地球环境演变至某一阶段，产生了人类。组成人体的元素种类及其含量与地壳中元素及其丰度之间存在着一定的对应关系，表明了人类是环境的产物；我国古代哲学家们反复阐述“天人合一”的观点，近代科学赋予了新的含义。人类在生活、生产和相互斗争中，既改造了自然，也破坏了自然。尤其是进入本世纪以来，人类对环境的损害，已超过了自然界所能承受的限度。在这种严峻的事实面前，社会必须从速作出选择：是继续无收敛地向自然界索取，无休止地把大量废物抛向自然界，使这个有限的地球的环境质量日益恶化，直至最后人类把自己逼向绝境？还是精心地保护和合理地利用自然资源，积极增殖可再生资源，严格防治环境污染，不断改善环境质量，以保持和发展生态平衡，使人与自然协调地发展？两者

只能选其一。这就是当前全球所面临的环境问题。

二、环境的自然变迁和环境污染

1. 环境的自然变迁

地球自形成至今，经历了太古代、元古代、古生代、中生代和新生代五个地质年代，历时约45~60亿年。其间，沧海桑田，反复变迁，约至30亿年前，地球上有了生物。从此，开始了生物与其周围环境相互作用的历史，但生物对环境变迁的作用微乎其微，而总是被自然规律所控制；即使在出现人类后的几百万年中也是如此。生物在环境变迁过程中，不断演变，不断进化，总是与其所在的周围环境基本协调的。即使有时发生地震、地层断裂、海啸、火山爆发、森林火灾等局部性的剧烈变动，部分生物在一定时间和一定范围内遭到破坏，但至最后，生物总可以经过一段时间来调整它与周围环境的协调关系。在生物群内部，有时也会出现某一物种兴旺，另一物种衰落的现象，然而，物竞天择，适者生存，最终总可以形成生物种类组成、各物种群的数量和比例以及能量和物质的输入、输出等都处于相对平衡的状态——建立生态平衡。

人类为了生存和发展，就要利用和改造环境，其结果虽可以起着改善环境的作用，但也会产生一些副作用，即不同程度地污染和破坏环境。这些副作用反过来又影响人类的生活状况。所以，环境变迁的部分原因是人类活动的结果，而环境污染也就成了环境变迁的重要内容。

2. 环境自净和环境污染

(1) 环境自净能力

人类在生活过程中，不断地从自然界摄取物质和能量，

同时把废物返回给自然界；在生产过程中，从自然界取得原料，同时又把废气、废水和废渣（即“三废”）排向周围环境。如果这种活动的规模并不大或有节制地排放“三废”，则对大自然不致引起严重的影响。所排出的废物，在环境中经历一段时间后，如从宏观到微观来看都可认为消失，则可认为环境没有受到污染。物质不灭，环境之所以能够保持这样的水平，是因为它具有一定的自净能力。

环境自净能力是指环境受污染后，它本身能够通过物理、化学和生物的作用，经过有限时间之后将污染物消除而达到自然净化。环境自净按其机理可分为物理净化，化学净化和生物净化。

物理净化：污物被扩散、稀释、淋洗、挥发、沉降和物理吸附，均属物理净化。例如大气中的碳、氮、硫氧化物和飘尘，通过气流（风）的扩散，雨水的淋洗，重力作用的沉降而得到净化；水体中的污物，被流水冲刷扩散、稀释或重力作用、物理吸附而沉降，从而净化了水中的污染物；又如土壤或水中的氰化物，因气温较高或介质偏酸性而有可能挥发除去。环境的物理净化能力，除了与污染物性质有关外，环境本身的物理、地理条件，也起着重要的作用。

化学净化：通过污染与环境介质或污染物与污染物之间的化学反应而得到净化，称为化学净化。净化过程的反应有氧化还原反应、化合和分解反应、络合反应、离子交换反应和化学吸附等。例如由制革厂排出的废水中的 CrO_4^{2-} 或 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 与水冶厂排出的废水中的 Fe^{2+} 反应而分别生成 Cr^{3+} 和 Fe^{3+} ， Cr^{3+} 和 Fe^{3+} 水解分别生成 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀而净化；有机酸与金属离子络合， Al^{3+} 对 F^- 的络合而净化了金属离子和 F^- ；磷酸盐与高价金属离子形成沉淀；粘土矿物、土壤、

水底沉积物对金属离子的离子交换吸附或形成沉淀物的吸附以及碳酸盐岩石对废水中游离酸的中和作用等。环境的化学净化能力,取决于污染物的形态、化学性质以及环境的温度、化学成分、介质的pH和氧化还原性等。

生物净化:生物净化也可归属于化学净化——生物与污染物发生生物化学反应而达到净化。由于环境介质中的生物对污染物的吸收或降解作用,环境污染物的浓度降低至允许水平或污染物的毒性消失。例如,绿色植物可吸收 CO_2 并放出 O_2 ;陆生或水生植物可分别从土壤或水中吸收酚、氰并转化为糖甙;鱼、虾把人类粪便作为自己的食物;球菌可将酚、氰分解成 CO_2 和 H_2O ;微生物可将脂肪、蛋白质和其他碳水化合物分解成 CO_2 和 H_2O 。这些都属于生物净化。在温度较高、供氧充足的条件下,环境的生物净化效果较佳。

(2) 环境污染

随着人口的激增和生产力的发展,人类对自然开发的面积和频数与日俱增,地球表面的生态环境日趋恶化。城市人口高度集中,工厂遍地林立,矿山频频开发,化学物质源源涌流,交通立体展开。人类的生活、生产活动的规模如此之大,其排出的废物潮水般地涌向地表面,靠环境自身的净化能力已远远不足以净化这些废物。于是“三废”已影响着人类的健康和生物的正常生长和繁衍。这时,自然界对人类发出了警报:环境受到了污染!

污染源:污染物来自于污染源。环境污染源是指向环境排放有害物质或对环境产生有害影响的场所、设备和装置,可分天然的和人为的两类。天然污染源具有区域性或间歇性,环境科学研究的重点是人为污染源。按其功能分类,人为污染源可分为工业污染源、农业污染源,交通运输污染源和生