

# 水化学与水污染

汪晋三 黄新华 程国佩 编著



中山大学出版社

# 水化学与水污染

汪晋三 黄新华 程国佩 编著

中山大学出版

## 内 容 提 要

全书分为三篇。第一篇水化学,较全面系统地阐述了天然水化学成分的形成、类型、分布及其与环境条件的联系。第二篇水污染,讨论了水污染形成原因,主要类型及污染源,着重论述了各种主要污染物在水环境中的降解、转化和迁移的机制,介绍了水质评价的各种方法。第三篇水环境保护,阐述了水污染控制的基本对策,废水处理与自然净化的基本原理和方法,水环境管理等。每篇列有主要的参考文献。

本书可作为高等院校环境科学有关专业的教材和参考书,也可供从事环境科学工作者参考。

## 水化学与水污染

汪晋三 黄新华 程国佩 编著



中山大学出版社出版发行

广东省新华书店经销

广东第二新华印刷厂印刷



850×1168毫米 32开本 19.75印张 2插页 49.4万字

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数: 1—1500册

ISBN 7-306-00278-3

X·5 定价: 5.10元

## 前 言

水化学与水污染,或称水环境化学,是环境化学的分支学科。

随着工农业的发展,地表水受到污染日益明显,对水生生态系统和人类健康已构成危害,引起世界各国的重视。环境科学界正在大力开展有关水环境背景值,水污染的发生及其机制,以及综合防治的研究工作。

本书的主要内容分三个部分:一是以不同水域为主要对象,讨论了天然水的化学成分的形成和特点,与环境条件的联系,使读者对天然水的化学状况获得较全面的了解;二是讨论了水污染形成原因,主要类型及污染源,着重论述各类主要污染物在水环境中的降解、转化和迁移的机制,介绍水质评价的各种方法;三是讨论了废水处理的基本原理和方法,水污染控制的基本对策等水环境保护问题。

水化学与水污染多年来作为中山大学地理系本科生高年级教材,注意吸收和反映国内外当前的研究成果,内容经过多次修改和充实,才完成现在出版的稿子。

本书第一篇由汪晋三编写,第二篇由黄新华编写,第三篇由程国佩编写。

本书在写作和教学实践过程中得到中山大学地理系的领导和环境地学教研室的同事们多方面的支持,蔡明同志为本书清绘图表,在此对以上同志一并表示衷心谢意。

由于本书内容涉及领域广泛,且编者水平所限,书中内容不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1989年10月

PKBS7/04

## 绪 论

水化学与水污染或称水环境化学，是环境化学的分支学科，包括水化学、水污染和水环境保护。

### 1. 水化学的研究任务和内容

研究天然水化学成分的科学称水化学，所谓天然水是指自然条件所形成的水，区别于人类活动所产生的工业废水和生活污水。

水化学是从生产实践中发展起来的学科，水工建筑需要了解水的化学成分对水工建筑的影响；医疗卫生需要了解水的化学成分对人类饮用和治疗的作用；地质部门利用水化学找矿；工业部门须了解水的化学成分是否适合于锅炉工业用水；农、渔业须了解水的化学成分是否适合于灌溉或养殖。

在国外全面的开展对水体的水化学观测始于30年代，40年代有许多水化学研究专著问世。我国在50年代对各江河、湖泊、海洋和地下水进行水化学监测，60年代出现一批水化学研究的成果。

水化学的研究任务 研究天然水化学成分的形成和形态，研究天然水化学成分的成因、含量和分布规律；研究天然水化学成分在自然环境形成过程中的作用以及为各种生产部门用水和环境保护方面提供科学依据。

水化学的研究内容 ①自然环境的水源和水分循环；②溶液理论；③天然水的化学成分，包括天然水中含有那些主要成分，它的成因、含量、变化规律；④水化学的研究方法，包括野

外调查和采样，水质的监测、成果的整理和评价；⑤各种不同类型水体的化学成分的研究；⑥水化学成分的知识直接应用于实践。

## **2. 水污染和水环境保护的研究任务和内容**

所谓水污染，是指排入水体的污染物质超过了水的自净能力，使水的组成及性质发生变化。

水污染和水环境保护的研究任务 研究水污染的产生和分类、污染物质的迁移、转化和自净作用；水中主要污染物对人类和生产的危害；防止水体污染和保护水体。

水污染和水环境保护的研究内容 ①水污染的形成原因与主要类型；②工业废水中主要污染物质与来源；③水污染危害；④水体中污染物质的迁移和自净作用；⑤水污染的环境标准；⑥废水的净化处理；⑦水体污染的综合防治。

# 目 录

## 绪 论

## 第一篇 水 化 学

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| <b>第一章 自然环境中的水源和水的循环</b> ..... | ( 1 )  |
| 第一节 水的起源和分布.....               | ( 1 )  |
| 第二节 水的作用.....                  | ( 2 )  |
| 第三节 自然环境中的水分循环.....            | ( 4 )  |
| 第四节 地球上水分循环的平衡.....            | ( 5 )  |
| <b>第二章 水、溶液和胶体溶液</b> .....     | ( 8 )  |
| 第一节 水的物理化学特性.....              | ( 8 )  |
| 一、水的组成和结构 .....                | ( 8 )  |
| 二、水的物理性质.....                  | ( 9 )  |
| 三、水的缔合现象.....                  | ( 10 ) |
| 第二节 溶液及其性质.....                | ( 12 ) |
| 一、分散系.....                     | ( 12 ) |
| 二、溶液和溶解度.....                  | ( 12 ) |
| 三、溶液的物理化学性质 .....              | ( 17 ) |
| 第三节 电解质和电离平衡.....              | ( 18 ) |
| 一、电解质和电离.....                  | ( 18 ) |
| 二、电离度和电离常数.....                | ( 19 ) |
| 三、溶度积.....                     | ( 22 ) |
| 四、活度.....                      | ( 24 ) |

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| 第四节 胶体溶液.....            | ( 25 ) |
| 一、胶体溶液的性质.....           | ( 26 ) |
| 二、溶胶的结构.....             | ( 27 ) |
| 第三章 天然水的化学成分.....        | ( 29 ) |
| 第一节 天然水富含各种化学成分.....     | ( 29 ) |
| 一、天然水化学成分的形 成过程.....     | ( 29 ) |
| 二、天然水化学成分复杂 .....        | ( 30 ) |
| 第二节 天然水化学成分的形 成条件.....   | ( 31 ) |
| 一、影响天然水化学成分的直 接因素.....   | ( 32 ) |
| 二、影响天然水化学成分的间 接因素.....   | ( 40 ) |
| 第三节 天然水中的溶解气体.....       | ( 44 ) |
| 第四节 天然水中的氢离子浓度.....      | ( 51 ) |
| 第五节 天然水中的主要离子.....       | ( 53 ) |
| 第六节 天然水中的生物生成物.....      | ( 65 ) |
| 第七节 天然水中的有机物.....        | ( 74 ) |
| 第八节 天然水中的微量元素.....       | ( 76 ) |
| 第四章 天然水的分类和分析成果表示法.....  | ( 79 ) |
| 第一节 天然水的化学分类.....        | ( 79 ) |
| 一、按矿化度分类.....            | ( 79 ) |
| 二、按阴离子及阳离子含量分类.....      | ( 80 ) |
| 三、按主要组分和离子相互间的对比分类 ..... | ( 81 ) |
| 四、按天然水的化学地理分类.....       | ( 82 ) |
| 第二节 水化学分析成果的直 观表示法.....  | ( 84 ) |
| 一、特性系数.....              | ( 84 ) |
| 二、表示矿物水的专门公式 .....       | ( 85 ) |
| 三、矩形图解法.....             | ( 86 ) |
| 四、坐标系图表.....             | ( 86 ) |
| 五、水文化学图.....             | ( 90 ) |



|                        |         |
|------------------------|---------|
| <b>第五章 大气降水的化学成分</b>   | ( 94 )  |
| 第一节 大气降水化学成分的来源        | ( 94 )  |
| 第二节 大气降水化学成分的分布和变化     | ( 100 ) |
| 一、大气降水化学成分的地区分布        | ( 100 ) |
| 二、大气降水化学成分的季节变化        | ( 106 ) |
| 第三节 大气降水化学成分的研究在实践上的意义 | ( 106 ) |
| <b>第六章 地下水的化学成分</b>    | ( 109 ) |
| 第一节 地下水化学成分的基本特点       | ( 109 ) |
| 第二节 地下水化学成分的形成因素       | ( 110 ) |
| 一、地下水源的原始化学性质          | ( 110 ) |
| 二、滞水层的性质及其与地下水的相互作用    | ( 111 ) |
| 三、有机体对地下水矿化形成的影响       | ( 113 ) |
| 四、地下水的水平衡性质对地下水矿化的影响   | ( 114 ) |
| 第三节 地下水的化学成分           | ( 115 ) |
| 一、主要离子                 | ( 115 ) |
| 二、气体成分                 | ( 118 ) |
| 三、生物生成物质               | ( 119 ) |
| 四、微量元素                 | ( 119 ) |
| 五、放射性元素                | ( 119 ) |
| <b>第七章 河水的化学</b>       | ( 122 ) |
| 第一节 河水化学成分的特征          | ( 122 ) |
| 第二节 河水化学成分的动态          | ( 123 ) |
| 一、主要离子动态               | ( 123 ) |
| 二、生物生成物质的动态            | ( 125 ) |
| 三、有机物质的动态              | ( 126 ) |
| 四、溶解气体及氢离子的动态          | ( 127 ) |
| 第三节 河流的离子径流            | ( 128 ) |
| 一、离子径流概念               | ( 128 ) |

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| 二、影响离子径流的因素 .....          | ( 129 ) |
| 第四节 中国河流的水化学 .....         | ( 130 ) |
| <b>第八章 湖水的化学</b> .....     | ( 132 ) |
| 第一节 湖水化学成分的特征 .....        | ( 132 ) |
| 第二节 湖水的化学分类 .....          | ( 133 ) |
| 一、根据矿化度分类 .....            | ( 133 ) |
| 二、根据阴阳离子组合分类 .....         | ( 133 ) |
| 三、根据营养物质分类 ( 纳乌曼分类 ) ..... | ( 134 ) |
| 第三节 湖水的化学成分 .....          | ( 134 ) |
| 一、主要离子 .....               | ( 134 ) |
| 二、生物生成物质 .....             | ( 138 ) |
| 三、溶解气体及pH值 .....           | ( 139 ) |
| 四、有机物质 .....               | ( 141 ) |
| 第四节 湖泊的泥积物及其化学成分 .....     | ( 143 ) |
| 一、湖泊泥积物的分类 .....           | ( 143 ) |
| 二、湖泊泥积物的化学成分 .....         | ( 144 ) |
| <b>第九章 海水化学</b> .....      | ( 148 ) |
| 第一节 海水化学成分的特征 .....        | ( 148 ) |
| 第二节 海水的化学成分 .....          | ( 149 ) |
| 一、主要离子 .....               | ( 149 ) |
| 二、生物生成物质 .....             | ( 150 ) |
| 三、溶解气体及pH值 .....           | ( 151 ) |
| 第三节 大洋中的化学作用 .....         | ( 152 ) |
| 第四节 海洋的沉积物 .....           | ( 156 ) |
| 一、海洋沉积物的分类 .....           | ( 156 ) |
| 二、海洋中主要沉积物的成分和分布 .....     | ( 158 ) |
| <b>参考文献</b> .....          | ( 160 ) |

## 第二篇 水 污 染

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| <b>第十章 水污染的形成原因与主要类型</b> ..... | ( 161 ) |
| 第一节 水污染的形成原因和途径.....           | ( 161 ) |
| 第二节 水污染的主要类型.....              | ( 162 ) |
| 一、化学性污染.....                   | ( 163 ) |
| 二、物理性污染.....                   | ( 210 ) |
| 三、放射性污染.....                   | ( 213 ) |
| 四、生物性污染.....                   | ( 220 ) |
| 五、生理性污染.....                   | ( 224 ) |
| <b>第十一章 工业废水与生活污水中主要污染物质</b>   |         |
| <b>及其来源</b> .....              | ( 239 ) |
| 第一节 轻工业废水中的主要污染物质.....         | ( 239 ) |
| 一、造纸工业废水 .....                 | ( 240 ) |
| 二、纺织印染工业废水 .....               | ( 243 ) |
| 三、制革工业废水.....                  | ( 244 ) |
| 四、食品工业废水.....                  | ( 247 ) |
| 第二节 冶金工业废水中的主要污染物质.....        | ( 247 ) |
| 一、金属矿山废水.....                  | ( 247 ) |
| 二、钢铁工业废水.....                  | ( 249 ) |
| 三、有色金属冶炼工业废水 .....             | ( 251 ) |
| 第三节 化学工业废水中的主要污染物质.....        | ( 257 ) |
| 一、化学肥料工业废水 .....               | ( 257 ) |
| 二、无机酸类工业废水.....                | ( 258 ) |
| 三、制碱工业废水.....                  | ( 258 ) |
| 四、塑料工业废水.....                  | ( 260 ) |
| 五、橡胶工业废水.....                  | ( 262 ) |
| 第四节 石油和石油化学工业废水中的主要污染物质        | ( 262 ) |

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| 一、石油工业废水                     | ( 262 ) |
| 二、石油化工废水                     | ( 263 ) |
| 第五节 生活污水                     | ( 268 ) |
| <b>第十二章 水体中污染物质的迁移、转化和自净</b> | ( 274 ) |
| 第一节 影响水体污染物质迁移与净化的因素         | ( 275 ) |
| 一、水文                         | ( 275 ) |
| 二、水中微生物                      | ( 280 ) |
| 三、水面上的氧气交换速度                 | ( 280 ) |
| 四、水温                         | ( 280 ) |
| 五、太阳辐射                       | ( 281 ) |
| 六、污染物质的性质与浓度                 | ( 281 ) |
| 七、水体的化学性质                    | ( 282 ) |
| 八、时间                         | ( 282 ) |
| 第二节 河流中需氧有机污染质的自净            | ( 283 ) |
| 第三节 有机物的生物降解机制               | ( 293 ) |
| 一、糖类的降解                      | ( 293 ) |
| 二、脂肪和油类的降解                   | ( 295 ) |
| 三、含氮有机物的降解                   | ( 296 ) |
| 第四节 需氧有机污染物降解速度与耗氧           | ( 301 ) |
| 一、需氧有机污染物降解模式                | ( 301 ) |
| 二、脱氧速度常数 $K_1$ 的几种计算方法       | ( 306 ) |
| 第五节 河流的复氧作用                  | ( 314 ) |
| 第六节 河流自净过程中溶解氧下垂曲线的分析        | ( 320 ) |
| 第七节 水体中酚、氰化物的自净              | ( 324 ) |
| 第八节 水体中金属与类金属的迁移和转化          | ( 326 ) |
| 一、汞                          | ( 328 ) |
| 二、镉                          | ( 333 ) |
| 三、铬                          | ( 337 ) |

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| 四、铅.....                      | ( 341 ) |
| 五、砷.....                      | ( 343 ) |
| 第九节 河流水质模型.....               | ( 345 ) |
| 一、Streeter-Phelps 模型.....     | ( 346 ) |
| 二、Streeter-Phelps 模型的修正式..... | ( 348 ) |
| 三、综合水质模型QUAL-I.....           | ( 354 ) |
| <b>第十三章 水质评价</b> .....        | ( 361 ) |
| 第一节 水质评价的程序、评价因子和评价标准的选择..... | ( 361 ) |
| 一、评价程序.....                   | ( 361 ) |
| 二、评价因子的选择.....                | ( 363 ) |
| 三、评价标准的选择.....                | ( 364 ) |
| 第二节 水质评价方法.....               | ( 364 ) |
| 一、国外运用指数评价水质简介.....           | ( 365 ) |
| 二、我国水质评价研究.....               | ( 391 ) |
| <b>参考文献</b> .....             | ( 408 ) |

### 第三篇 水环境保护

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| <b>第十四章 水污染控制的对策</b> ..... | ( 411 ) |
| 第一节 水污染控制的发展过程.....        | ( 411 ) |
| 第二节 水污染控制的基本对策.....        | ( 413 ) |
| 一、加强水资源的评价和水质保护.....       | ( 413 ) |
| 二、加强对工业污染源的控制.....         | ( 414 ) |
| 三、合理利用自然净化能力.....          | ( 417 ) |
| 四、综合防治水污染.....             | ( 417 ) |
| 第三节 我国的水环境问题.....          | ( 418 ) |
| 一、我国水资源的特点.....            | ( 418 ) |
| 二、水资源利用中存在的问题.....         | ( 421 ) |
| 三、废水排放和农药使用情况.....         | ( 425 ) |

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| 四、水污染状况和特点 .....              | ( 432 ) |
| <b>第四节 我国水环境保护战略对策</b> .....  | ( 442 ) |
| 一、按流域、区域综合防治水污染 .....         | ( 443 ) |
| 二、城市污水综合治理 .....              | ( 444 ) |
| 三、工矿企业水污染防治 .....             | ( 445 ) |
| 四、乡镇企业水污染防治 .....             | ( 446 ) |
| 五、海域污染防治 .....                | ( 447 ) |
| <b>第十五章 废水处理技术</b> .....      | ( 449 ) |
| <b>第一节 物理处理的原理和方法</b> .....   | ( 449 ) |
| 一、重力分离 .....                  | ( 449 ) |
| 二、过滤 .....                    | ( 449 ) |
| 三、离心分离 .....                  | ( 450 ) |
| 四、浮选 .....                    | ( 450 ) |
| 五、蒸发结晶 .....                  | ( 450 ) |
| <b>第二节 化学处理的原理和方法</b> .....   | ( 451 ) |
| 一、中和 .....                    | ( 451 ) |
| 二、氧化还原 .....                  | ( 451 ) |
| 三、混凝 .....                    | ( 453 ) |
| <b>第三节 物理化学处理的原理和方法</b> ..... | ( 453 ) |
| 一、萃取 .....                    | ( 453 ) |
| 二、汽提 .....                    | ( 454 ) |
| 三、吸附 .....                    | ( 454 ) |
| 四、离子交换 .....                  | ( 455 ) |
| 五、反渗透 .....                   | ( 455 ) |
| 六、电渗析 .....                   | ( 457 ) |
| <b>第四节 生物处理的原理和方法</b> .....   | ( 458 ) |
| 一、微生物的生活特性 .....              | ( 458 ) |
| 二、微生物的繁殖和生长曲线 .....           | ( 460 ) |

|                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| 三、好气性生物处理与厌气性生物处理 .....       | ( 462 )        |
| 四、好气生物处理方法 .....              | ( 465 )        |
| 五、污泥的厌气消化 .....               | ( 468 )        |
| <b>第五节 几种工业废水的处理和利用 .....</b> | <b>( 475 )</b> |
| 一、石油炼厂废水 .....                | ( 475 )        |
| 二、电镀废水 .....                  | ( 483 )        |
| <b>第六节 城市生活污水处理 .....</b>     | <b>( 493 )</b> |
| 一、城市污水处理系统 .....              | ( 493 )        |
| 二、普及下水道, 兴建污水处理厂 .....        | ( 495 )        |
| <b>第十六章 自然净化与水污染控制 .....</b>  | <b>( 499 )</b> |
| <b>第一节 自然净化作用 .....</b>       | <b>( 499 )</b> |
| <b>第二节 藻菌共生氧化塘 .....</b>      | <b>( 502 )</b> |
| 一、氧化塘净化污水的机理 .....            | ( 503 )        |
| 二、氧化塘的类型 .....                | ( 505 )        |
| 三、氧化塘处理效果 .....               | ( 507 )        |
| 四、氧化塘的设计 .....                | ( 508 )        |
| 五、氧化塘处理的工艺流程 .....            | ( 511 )        |
| <b>第三节 土地处理系统 .....</b>       | <b>( 513 )</b> |
| 一、土地处理系统的特点 .....             | ( 513 )        |
| 二、土地处理系统的类型 .....             | ( 514 )        |
| 三、土地处理系统的净化机理 .....           | ( 516 )        |
| <b>第四节 河流的自然净化 .....</b>      | <b>( 520 )</b> |
| 一、水体自净是一种“资源” .....           | ( 520 )        |
| 二、影响河流自净能力的因素 .....           | ( 520 )        |
| 三、合理利用河流自净能力 .....            | ( 521 )        |
| <b>第十七章 水环境管理 .....</b>       | <b>( 524 )</b> |
| <b>第一节 概述 .....</b>           | <b>( 524 )</b> |
| 一、环境管理的重要性 .....              | ( 524 )        |

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| 二、环境管理的基本特点.....           | ( 524 ) |
| <b>第二节 水环境规划</b> .....     | ( 525 ) |
| 一、水环境规划在经济发展中的作用 .....     | ( 525 ) |
| 二、制定水环境规划的基本原则.....        | ( 526 ) |
| 三、水环境规划的组成 .....           | ( 526 ) |
| <b>第三节 水环境标准</b> .....     | ( 529 ) |
| 一、水环境标准及其分类 .....          | ( 529 ) |
| 二、水环境标准的作用.....            | ( 529 ) |
| 三、水环境标准的制订原则和程序.....       | ( 530 ) |
| 四、污染物排放标准制订原则和排放标准形式.....  | ( 532 ) |
| <b>第四节 水环境监测</b> .....     | ( 535 ) |
| 一、水环境监测的目的和原则.....         | ( 535 ) |
| 二、水环境监测的程序及质量保证.....       | ( 537 ) |
| 三、水环境监测的组织体系.....          | ( 538 ) |
| <b>第五节 水环境法规</b> .....     | ( 539 ) |
| 一、水污染防治法.....              | ( 540 ) |
| 二、防治水污染技术政策 .....          | ( 543 ) |
| <b>参考文献</b> .....          | ( 546 ) |
| <b>附录 I 我国环境保护法规</b> ..... | ( 548 ) |
| <b>附录 II 水质标准</b> .....    | ( 588 ) |



# 第一篇 水 化 学

## 第一章 自然环境中的水源和水的循环

### 第一节 水的起源和分布

关于水的起源，比较普遍的看法，是认为在地球形成的开始阶段，由于大规模的火山活动释放出大量挥发气体，这些气体的主要成分是水蒸汽、二氧化碳、氮和其他微量的气体。水蒸汽凝结为液态的水降落到地壳表面，汇集到地壳低洼的地方，形成现今地球上的海洋和天然湖泊。

水是地球上分布最广的物质之一，地球表面上大约有70%以上是被水所覆盖着。据估计，整个地球上的水量约13.6亿立方公里。水在地球上分布很不平衡（表1-1）其中大部分分布于海洋，海洋水量为13.2亿立方公里，占地球上总水量的97%。海洋水中矿物质的含量高，属于咸水，这种水不能为人类直接利用。地球上剩余的3%水量，人类也不能全部利用它，高山和极地的冰雪占地球总水量的2.14%。人类能利用的地下水、湖泊和江河淡水，约850万立方公里，占地球总水量的0.64%。

能被人类利用的水资源在世界上的分布是不均匀的，这是由