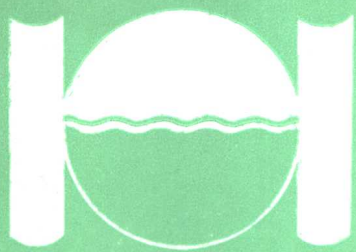


水污染理论与控制



水污染理论与控制

叶常明 著

2
15

水污染理论与控制

学术书刊出版社

水污染理论与控制

叶常明 著

学术书刊出版社

内 容 提 要

本书以水污染的热力学和动力学为基础,就自然界水的循环与平衡、水污染的发生机制与过程、污染物的水环境行为与归宿、水质模拟与管理规划、废水资源化的原理与方法以及水环境容量与综合防治等方面,从微观机理到宏观控制作了系统而详尽的阐述。

全书共15章,内容系统全面,图文并茂。所论及的问题具有较高的深度,反映了当前在水污染理论与控制方面的最新研究成果。同时又深入浅出,易于理解,在涉及复杂的数学计算方面的问题时,一般都给出计算实例。因此本书不仅可作为大专院校环境专业的教学参考书,亦可供从事环境保护的科技人员参考。

水污染理论与控制

叶常明 著

学术书刊出版社出版 (北京海淀区学院南路86号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京密云县印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 18.375 字数: 421千字

1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷

印数: 1—1440册 定价: 14.70元

ISBN 7-80045-535-1/X·5

前 言

水是地球上一切生命赖以生存、人类社会生活和生产活动不可缺少的基本物质。没有水,任何生态系统都不能发挥作用。在人类社会活动,诸如保健卫生、农业生产、工业加工、水力发电、水上运输、水产养殖、文化娱乐和废物同化等方面,都需要足够数量和一定质量的水。因此,可以毫不夸张地说,水是人类社会不可替代的重要自然资源,是现代社会进步和文明的重要制约因素。水资源同能源一样,同属国民经济的基础结构。

水是地球上最丰富、最重要的一项自然资源。地球上自由水的总体积约17亿立方公里,水的总储量约为13.6亿立方公里,其中海水约占97.3%,淡水约占2.7%。在淡水资源中,冰山、冰冠水占77.2%,地下水和土壤中水占22.4%,湖泊、沼泽水占0.35%,河水仅占0.1%。在地球的水中,便于取用的淡水主要是河水、淡水湖水和浅层地下水,估计约为300万立方公里,仅占地球总水量的0.2%左右。

随着经济的发展、人口的增长以及物质生活和文化生活水平的提高,人类社会对水资源的需求量日益增长。近年来,世界总需水量平均每年递增4%,有些国家每10年就增长1倍,出现了水的供需矛盾日趋尖锐化局面。

在人类社会对水资源需求量日益增长的同时,水体的污染也日益加重。由于对水是生态环境保护系统的一个重要组成要素缺乏深刻的认识,在工业迅速发展的时候,人们把大量未经净化处理的废水、生活污水和有毒废物以最简单而廉价的方式排入河流和海洋。据估计,70年代全世界每年排入水体的污水量约6 000~7 000亿立方米,对水生生态系统的平衡和水资源的质量造成了严重的破坏。据世界卫生组织统计,1980年全世界有13.2亿人口得不到清洁的饮用水。如莱茵河成为欧洲的“污水渠”,纽约附近的大西洋数十平方公里的海域成为“漂浮垃圾场”。因此,目前水资源短缺和水体污染,已成为世界许多国家和地区的重要生态环境问题之一,并成为社会经济发展和生活进一步改善的重要制约因素。

为了减轻污染,保护水资源,世界各国投入了巨大的人力、物力开展水污染的研究和控制,使局部地区的水质得到明显的改善。水污染的研究已成为环境科学研究的重要组成部分。人们最大限度地现代科学技术的理论与方法应用于水污染的研究和水污染的控制之中,诸如化学、生物学、生态学、地学、医学、系统论、控制论、信息论、耗散结构论、协同学和突变论等基础学科和理论,以及化工技术、生物技术、生态工程技术、计算机技术、遥测遥控技术等先进的技术手段的广泛应用,使得水污染研究的理论和水污染控制技术得到迅速发展。

近10年来,关于水污染的研究趋向于综合性和区域性。从区域或流域系统出发进行水质评价和水污染控制,综合应用各种技术对水污染进行治理和控制。另外一个特点是从定性描述向定量表达,以至于向预测预报方面发展,如从过去和现在,通过数学模式来预测未来,从污染物的化学结构来预测它的毒性和在水环境中的行为,这就使我们有可能在不久的将来真正作到防患于未然。

本书的目的是想通过在总结前人研究成果的基础上,结合作者多年研究工作的经验和体会,针对我国的实际情况,就水污染研究的基本理论问题和污染控制的方法,进行较为系

统而详尽的总结和论述，为读者提供水污染理论和控制方面的最新成果和今后的发展趋向。

本书共分15章。其中第一章水资源；第二章水文学与水环境；第三章水体污染；第四章水质评价；第五章污染物的水环境过程——物理过程；第六章污染物的水环境过程——化学过程；第七章污染物的水环境过程——生物过程；第八章污染物的水环境过程——水体富营养化；第九章水质模式；第十章水质模式的参数估计；第十一章水环境容量；第十二章水质预测；第十三章水质管理；第十四章废水资源化；第十五章水污染综合防治。

为了读者应用的方便，书后附录中附有在水污染研究和工程实践中常用的数学计算方法，以BASIC语言编的某些重要的计算机程序，以及某些数据表格。

由于作者水平所限，在某些观点和内容上，错误之处在所难免，敬请读者指正。

叶常明

1989. 3. 北京

目 录

第一章 水资源

第一节 水资源的基本概念.....	(1)
第二节 水资源系统.....	(2)
(一) 河流水资源.....	(2)
(二) 湖泊水资源.....	(4)
(三) 地下水资源.....	(5)
(四) 海洋水资源.....	(6)
第三节 水资源的特性.....	(6)
(一) 时空分布的不均匀性.....	(6)
(二) 可流动性.....	(6)
(三) 可更新性.....	(6)
(四) 不可代替性.....	(6)
(五) 对其它物质的溶解性.....	(7)
第四节 水资源的影响因素.....	(7)
(一) 气候.....	(7)
(二) 地形.....	(7)
(三) 土壤和地质.....	(7)
(四) 人类活动.....	(7)
第五节 水资源利用.....	(8)
第六节 有效水资源.....	(8)
第七节 加强水资源管理, 建立节水型社会.....	(9)
(一) 对社会民众加强节水意识教育.....	(9)
(二) 强化水资源管理.....	(9)
(三) 建立节水型经济.....	(9)

第二章 水文学与水环境

第一节 自然界的水循环.....	(10)
(一) 太阳辐射.....	(11)
(二) 蒸发作用.....	(12)
(三) 降雨.....	(12)
(四) 截拦.....	(12)
(五) 内滤.....	(12)
(六) 地下水潜流.....	(12)

(七) 地下水外流.....	(12)
(八) 深层渗滤.....	(12)
第二节 自然界中水的平衡.....	(12)
(一) 大气中的水平衡.....	(13)
(二) 海洋中的水平衡.....	(13)
(三) 陆地上的水平衡.....	(13)
(四) 大河流域的水平衡.....	(13)
(五) 湖泊水库的水平衡.....	(13)
第三节 流量测定对水质研究的意义.....	(14)
(一) 流量的测定.....	(14)
(二) 流量测定的必要性.....	(15)

第三章 水体污染

第一节 水体污染的基本概念.....	(16)
(一) 水体是一个开放系统.....	(16)
(二) 水的特殊物化性状.....	(16)
(三) 自然界不存在纯水.....	(17)
第二节 水体中的污染物.....	(18)
(一) 物理性污染物.....	(18)
(二) 化学性污染物.....	(18)
(三) 生物性污染物.....	(19)
第三节 水体污染的类型.....	(19)
(一) 河流污染.....	(19)
(二) 湖泊污染.....	(21)
(三) 海洋污染.....	(21)
(四) 地下水污染.....	(21)
(五) 河口污染.....	(21)
第四节 水体污染的危害.....	(22)
(一) 对人体健康的影响.....	(22)
(二) 对水生生态的影响.....	(22)
(三) 对社会经济的影响.....	(22)
第五节 水体污染与其它环境污染的关系.....	(23)
(一) 水是重要的环境要素.....	(23)
(二) 污染物在多环境介质间的迁移.....	(23)
(三) 界面效应.....	(23)

第四章 水质评价

第一节 水质评价的基本概念.....	(24)
(一) 水质评价的分类.....	(24)
(二) 水质评价的基本程序.....	(24)

第二节 水质评价的指数法	(25)
(一) 参数分级评分叠加型指数	(25)
(二) 参数的相对质量叠加型指数	(26)
(三) 生物多样性指数	(26)
第三节 模糊数学集的水质综合评价	(27)
(一) 模糊集合的基本概念	(27)
(二) 模糊集合的运算	(28)
(三) 用模糊数学集求水质综合指数的步骤	(29)
第四节 水质综合评价的统计模式	(30)
(一) 水质变化的统计学意义	(30)
(二) 水质评价的统计数学模式	(30)
(三) 用统计学模式进行水质评价的步骤	(31)
第五节 污水生物体系法评价水质	(31)
第六节 水质评价中的几个关键问题	(32)
(一) 监测数据的可靠性与代表性	(32)
(二) 水质标准的正确选用	(33)
(三) 权重系数的确定	(33)
(四) 评价的数学模式	(33)

第五章 污染物的水环境过程

——物理过程

第一节 稀释扩散过程	(34)
(一) 稀释扩散的概念	(34)
(二) 扩散方程	(35)
(三) 紊动扩散系数	(37)
(四) 河流纵向离散系数	(38)
第二节 挥发过程	(40)
(一) 挥发的双膜理论	(40)
(二) 挥发质量通量和时间的计算实例	(41)
第三节 沉降过程	(43)
(一) 沉降理论	(43)
(二) 沉降速度计算实例	(44)
(三) 真实水体中的沉降过程	(45)

第六章 污染物的水环境过程

——化学过程

第一节 化学热力学	(47)
(一) 热力学的几个基本术语	(47)
(二) 热力学定律	(47)
第二节 水体中的化学平衡	(49)

(一) 水中的化学平衡条件	(49)
(二) 质量作用定律	(50)
(三) 温度对化学平衡的影响	(51)
第三节 水解反应	(52)
(一) 水解反应的基本概念	(52)
(二) 水解反应速率常数的测定	(52)
(三) 水解反应的影响因素	(53)
第四节 氧化还原反应	(55)
(一) 氧化与还原	(55)
(二) 氧化反应动力学	(56)
(三) 氧化反应速率的测定	(58)
第五节 光解反应	(59)
(一) 光解反应的分类	(59)
(二) 光解动力学	(60)
(三) 光解速率常数的测定	(62)
第六节 沉积物的吸附作用	(64)
(一) 吸附的基本理论	(64)
(二) 吸附等温线	(65)

第七章 污染物的水环境过程

——生物过程

第一节 酶反应动力学	(67)
(一) 酶的催化性质	(67)
(二) 酶反应动力学	(69)
(三) 酶反应的抑制作用	(72)
第二节 生物氧化反应	(74)
(一) BOD	(74)
(二) 硝化反应	(75)
(三) 还原态无机硫化物的生物氧化	(81)
(四) 某些生物氧化反应方程式	(81)
第三节 生物还原反应	(82)
(一) 有机物的厌氧反应	(82)
(二) 反硝化过程	(84)
(三) 氧化态无机硫化物的还原	(86)
第四节 藻类的吸收作用	(86)
(一) 藻类所需的营养物质	(86)
(二) 藻类消耗营养物动力学	(86)
第五节 化学结构与生物降解性关系	(88)
(一) 化学结构与生物降解性的定性关系	(88)
(二) 化学结构与生物降解性的定量关系	(89)

第八章 污染物的水环境过程

——水体富营养化

第一节 水体富营养化的概念	(96)
(一) 水体富营养化的定义	(96)
(二) 支配水体富营养化的因素	(96)
第二节 富营养化的综合评价	(97)
(一) 湖泊营养类型的判定标准	(97)
(二) 富营养化判定项目间的定量关系	(98)
第三节 富营养化度的评价	(99)
(一) 富营养化度指数 (TSI)	(99)
(二) 富营养化度的评价步骤	(101)
第四节 富营养化湖泊的水质模式	(101)
(一) 模式的基本形式	(101)
(二) 有限元法求解湖泊富营养化模式	(103)
第五节 湖泊富营养化的危害	(106)
(一) 恶化水质感官性状	(106)
(二) 对鱼类的毒害	(106)
(三) 加速湖泊衰亡过程	(107)

第九章 水质模式

第一节 水质模式的概念	(108)
(一) 水质模式的定义	(108)
(二) 建立水质模式的步骤	(109)
第二节 河流水质模式	(110)
(一) 斯重托尔—菲尔甫斯模式	(110)
(二) 多宾斯氧平衡模式	(111)
(三) 一维河流基本方程的解析解	(112)
第三节 河口水质模式	(113)
(一) 河口的基本特征	(113)
(二) 一维河口水质模式	(115)
(三) 二维河口水质模式	(116)
第四节 湖泊 (水库) 水质模式	(119)
(一) 湖泊 (水库) 的水力学行为	(119)
(二) 湖泊 (水库) 的一维水质模式	(120)
第五节 地下水污染模式	(121)
(一) 地下水污染的可能途径	(121)
(二) 保守物质的地下水迁移模式	(121)
(三) 衰变污染物在地下水中迁移模式	(122)
第六节 有机污染物暴露模式	(124)

(一) 有毒有机污染物的特征.....	(124)
(二) 有机毒物暴露模式.....	(125)
第七节 农田径流水质模式.....	(127)
(一) 农田径流污染.....	(127)
(二) 径流模拟.....	(128)
(三) 泥沙流失模拟.....	(128)
(四) 污染物模拟.....	(129)
第八节 多介质系统内污染物迁移模式.....	(131)
(一) 概述.....	(131)
(二) 气—水界面气体的质量迁移模式.....	(132)
(三) 气体污染物的雨水淋洗.....	(134)
(四) 束缚在颗粒物上污染物的雨水淋洗.....	(134)
(五) 由于沉降污染物到水面的迁移.....	(135)
(六) 多介质箱式模式.....	(135)

第十章 水质模式的参数估计

第一节 概述.....	(137)
第二节 实验测定法.....	(137)
(一) BOD反应速率常数 k_1 的确定.....	(137)
(二) 硝化速率常数 k_N 的测定.....	(139)
(三) 底泥耗氧速率常数测定.....	(140)
第三节 经验公式估算法.....	(142)
(一) 河流水力学参数.....	(142)
(二) 离散系数D的经验公式.....	(143)
(三) 复氧系数的经验公式.....	(143)
第四节 现场测定数据单参数估算法.....	(145)
(一) 单独估计 k_1	(145)
(二) 单独估计 k_2	(148)
(三) 单独确定氨氮硝化速率系数 k_N	(149)
第五节 现场测定数据多参数同时估值.....	(150)
(一) 梯度法.....	(150)
(二) 卡尔曼滤波法.....	(154)
(三) 网格法.....	(158)
(四) 有机物结构参数计算法.....	(160)

第十一章 水环境容量

第一节 水环境容量的基本概念.....	(171)
(一) 水环境容量的定义.....	(171)
(二) 环境容量基本概念的修订.....	(171)
(三) 水环境容量的概念.....	(171)

第二节 水环境容量的计算方法.....	(172)
(一) 稀释容量.....	(172)
(二) 迁移容量.....	(172)
(三) 净化容量.....	(172)
(四) 总水环境容量.....	(173)
第三节 水环境容量的特征.....	(174)
(一) 多样性.....	(174)
(二) 缓冲性.....	(174)
(三) 易变性.....	(174)
(四) 不可叠加性.....	(175)
第四节 水环境容量的确定步骤.....	(175)
(一) 确定目标.....	(175)
(二) 水环境水力学与地理特征的研究.....	(175)
(三) 污染物特征的评价.....	(175)
(四) 污染物水环境比容的确定.....	(175)
(五) 水环境容量的估算.....	(176)
第五节 水环境容量的应用.....	(176)
(一) 制订地区水污染物排放标准.....	(176)
(二) 在环境规划中的应用.....	(176)
(三) 水资源综合开发、利用规划中应用.....	(176)

第十二章 水质预测

第一节 概论.....	(177)
(一) 水质预测的意义.....	(177)
(二) 水质预测的理论依据.....	(177)
(三) 水质预测的基本步骤.....	(177)
第二节 水质预测方法.....	(178)
(一) 水量预测.....	(178)
(二) 污染量预测.....	(178)
(三) 水质预测.....	(180)
第三节 水质模拟和仿真.....	(180)
(一) 一维河流水质的模拟.....	(180)
(二) 二维河流水质的模拟.....	(183)

第十三章 水质管理

第一节 水质管理的概念.....	(188)
(一) 水质管理规划.....	(188)
(二) 水污染控制系统规划.....	(189)
第二节 水环境系统的组成.....	(189)
(一) 水污染发生系统.....	(189)

(二) 污染物容纳系统.....	(189)
(三) 水污染控制系统.....	(190)
第三节 水污染控制系统规划的依据和步骤.....	(191)
(一) 基本原理.....	(191)
(二) 规划的依据.....	(191)
(三) 规划的步骤.....	(192)
第四节 最优规划方法.....	(193)
(一) 排放口最优化处理.....	(193)
(二) 区域最优化处理.....	(196)

第十四章 废水资源化

第一节 废水资源化的基本概念.....	(198)
第二节 废水的一级处理.....	(198)
(一) 格栅.....	(198)
(二) 沉淀.....	(199)
(三) 浮选.....	(202)
(四) 中和.....	(203)
第三节 废水的二级处理.....	(205)
(一) 活性污泥法.....	(205)
(二) 其它好氧处理方法.....	(210)
(三) 废水的厌氧处理.....	(213)
第四节 废水的三级处理.....	(216)
(一) 炭吸附.....	(216)
(二) 离子交换.....	(219)
(三) 反渗透和超滤.....	(220)
(四) 化学氧化过程.....	(222)
第五节 废水的土地处理系统.....	(223)
(一) 氧化塘.....	(224)
(二) 土地处理的方式.....	(224)
(三) 土地处理的净化效果.....	(225)

第十五章 水污染综合防治

第一节 概述.....	(226)
第二节 水污染综合防治的基本原则.....	(226)
(一) 综合的原则.....	(226)
(二) 区域的原则.....	(226)
(三) 系统的原则.....	(227)
(四) 优化的原则.....	(227)
第三节 区域水污染综合治理.....	(227)
第四节 行业水污染综合治理.....	(228)

(一) 改革工艺.....	(228)
(二) 节约用水.....	(230)
(三) 综合利用, 回收资源.....	(230)
(四) 技术优化组合, 强调整体效益.....	(230)
第五节 系统水污染综合防治.....	(231)
主要参考文献.....	(232)
附录1 用BASIC语言编的计算机程序.....	(234)
附录2 某些有机官能团的UNIFAC结构参数.....	(252)
附录3 有机污染物物化性质和水污染动力学参数.....	(262)

第一章 水资源

第一节 水资源的基本概念

水是地球上一切生命赖以生存，人类生活和生产活动不能缺少的基本物质，是地球上自然资源中不可替代的重要物质。对于人类社会来说，所谓水资源通常是指逐年可以得到更新的那部分淡水量，它是一种动态的和不可替代的资源。除生物水外，在自然水中，以大气水和河川水最为活跃。这部分逐年可以得到更替，在较长时间内又可以保持动态平衡的淡水量，是目前我们在狭义上的“水资源”。

从微观结构考查，水是由2个氢原子和1个氧原子组成的化学物质。它的特殊性质，决定了它的多种用途，如在保健卫生、农业生产、工业加工、水力发电、矿物开采、石油工业、水上运输、水产养殖、文化娱乐、废物同化、生态平衡等方面，都离不开水。因此，水是现代社会发展和人类文明建设的基本物质条件和制约因素。

我国水资源总量为2.7万亿立方米，居世界第5位，但人均占有水量仅为2500立方米，远远低于世界人均占有水量10240立方米的水平（见表1-1）。特别是在缺水的北方地区，

表 1-1 世界部分国家可得的总水量和人均水量

类 型	国家名称	总水量 (km ³ /年)	人均占有水量 (1000m ³ /年)
富 水 国 家	加拿大	3 122	121.93
	巴拿马	144	66.06
	尼加拉瓜	175	53.48
	巴西	5 190	38.28
	厄瓜多尔	314	33.48
	马来西亚	456	29.32
	瑞典	183	22.11
	喀麦隆	208	21.41
	芬兰	104	21.33
	苏联	4 714	16.93
	印度尼西亚	2 530	15.34
	澳大利亚	90	12.02
	美国	2 478	10.43

续表

类 型	国家名称	总水量 ($\text{km}^3/\text{年}$)	人均占有水量 ($1000\text{m}^3/\text{年}$)
贫 水 国 家	马耳他	0.025	0.07
	利比亚	0.700	0.19
	巴巴多斯	0.053	0.20
	阿曼	0.660	0.54
	肯尼亚	14.800	0.72
	埃及	56.000	1.20
	比利时	12.500	1.27
	南非	50.000	1.54
	波兰	58.800	1.57
	海地	11.000	1.67
	秘鲁	40.000	2.03
	印度	1 850.	2.43
	中国	2 680.	2.25

* 世界资源, 能源出版社出版, 1987. 171~172页。

工农业产值占我国工农业总产值的80%, 人口密集、城市众多, 是我国政治经济文化的中心地带。但是这一地区的水资源总量为945.4亿立方米, 人均拥有水资源为517立方米, 约为全国人均水资源占有量的1/5, 世界人均占有量的1/21。这说明, 在我国管理和保护好水资源具有特殊重要的意义。

第二节 水资源系统

一般而言, 水资源是由地表水(河流、湖泊、水库)、地下水和海洋等子系统组成的大系统。由于我国幅员辽阔, 海岸线长, 水资源的类型较为齐全。下面主要从3个方面来讨论我国的水资源系统。

(一) 河流水资源

河流是最便于取用的水资源。

我国江河众多, 流域面积在100平方公里以上的就有5万多条, 在10000平方公里以上的有79条。绝大多数河流分布在我国东南部的湿润、多雨的季风区内。我国河流分为直接注入海洋的外流河和不与海洋勾通的内陆河两大系。外流河区域约占国土总面积的65%, 内陆河区域占国土总面积的35% (见表1-2)⁽¹⁾。

我国主要河流径流量的大小, 一方面与流域面积的大小有关, 另一方面还与河流所处的自然地理条件有关。从形态上大致可以分为以下几种类型:

表 1-2 中国主要河流的径流资源

	水 系	流 域	流域面积		年径流均值	
			面积 (km ²)	占全国面 积 (%)	总 量 (10 ⁸ m ³)	占全国总量 (%)
外 流 河	太 平 洋	黑龙江及绥芬河	875 342	9.16	1 192	4.52
		辽河、鸭绿江及辽东沿海诸河	345 207	3.61	486	1.84
		海滦河	319 029	3.34	292	1.11
		黄河	752 443	7.87	688	2.61
		淮河及山东沿海诸河	327 443	3.43	766	2.90
		长江	1 803 500	18.92	9 600	35.39
		浙、闽、台诸河	241 155	2.52	2 714	10.29
		珠江及两广沿海诸河	578 141	6.05	4 739	17.96
		元江及澜沧江	240 194	2.51	1 101.9	4.18
		小 计	5 487 454	57.41	21 578.9	81.80
	印 度 洋	怒江及滇西诸河	154 756	1.62	848.8	3.22
		雅鲁藏布江及藏南诸河	369 588	3.87	2 716.9	10.30
		藏西诸河	52 930	0.55	16.8	0.06
		小 计	577 274	6.04	3 582.5	13.58
	北 冰 洋	额尔齐斯河	50 000	0.52	103	0.39
		合 计	6 114 728	63.97	25 264.4	95.77
内 陆 河		内蒙内陆河	309 923	3.24	11.4	0.04
		河西内陆河	517 822	5.42	66.3	0.25
		准噶尔内陆河	322 316	3.37	126.9	0.48
		中亚细亚内陆河	79 516	0.83	195.6	0.74
		塔里木内陆河	1 121 636	11.73	381.5	1.45
		青海内陆河	301 587	3.15	67.9	0.29
		羌塘内陆河	701 489	7.34	265.9	1.01
		松花江、黄河、藏南闭流区	90 353	0.95		
		合 计	3 444 642	36.03	1 115.5	4.23
总 计			9 559 370	100.00	26 379.9	100.00