

环境 水质模型概论

● 谢永明 编著

中国科学技术出版社

环境水质模型概论

谢永明 编著

中国科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境水质模型概论/谢永明编. —北京:中国科学技术出版社,
1996

ISBN 7-5046-2169-2

I. 环… II. 谢… III. 环境保护—水质模型—概论 IV. X
832

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 01448 号

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路 32 号 邮政编码:100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京密云印刷厂印刷

*

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:11.9375 插页: 字数:320 千字

1996 年 3 月第 1 版 1996 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册

ISBN 7-5046-2169-2/X·48

定价:26.00 元

序 言

带着专业,由科研单位进入国家机关,结合工作实践,又将专业变成专著,作为国家环保局新型的公务员,谢永明同志的这种精神,可喜可贺。

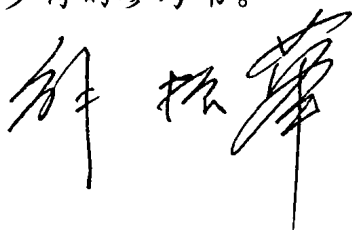
环境保护科学事业发展到今天,已经成为国际社会政治活动的焦点之一,成为我国的基本国策;环境科学发展到今天,已成为一门涉及多种学科的综合性的科学。环境保护的根本出路在于环境科学技术的进步和提高,在于管理水平的科学化和现代化,在于科学及时、广泛的应用和普及。懂技术,会管理,成为新型公务员所应具备的基本素质。对此,谢永明同志无疑为我局年轻同志带了个好头。

从自然科学的角度,研究物质在环境中的迁移转化是环境科学的重要内容,而描述这种转化的主要手段之一则是数学模型。《环境水质模型概论》就是研究和描述污染物在水体环境中的迁移转化规律,是研究这种规律的重要工具和手段,已被广泛地用于水质规划、水环境评价、水污染防治等领域。电子计算机的发展与普及为数学模型在环境研究中的应用提供了可靠的保证。事实证明,数学模型在环境科学研究中发挥着越来越重要的作用。

作者在总结实践经验的基础上,认真地吸收

了国际上水质模型研究的成功经验,融理论与实践为一体,较系统地介绍了水环境研究中的水质模型。本书既有水质模型的基本理论,又有典型实例,并有相关模型的计算机程序,为从事环境科学研究和环境管理的专业人员以及正在大专院校环境专业学习的学生提供学习水质模型的基本方法,基本知识以及作为应用入门的向导。

十几年从事环境水质模型研究的实践经验使作者对本书的编写得以成功,《环境水质模型概论》一书不仅是一本良好的教科书,而且也是环境科学工作者和管理人员不可多得的参考书。



1995年9月于北京

作者简介



作者于 1976 年毕业于中国科学技术大学近代化学系化学物理专业。毕业后曾在中国科学院环境化学研究所(现中国科学院生态环境研究中心)从事化学分析方法研究工作;随着环境科学在中国的发展,于 1979 年把研究兴趣转向研究环境水质模型。四项科研项目分获中国科学院科技进步二、三等奖,先后在国内外杂志上发表论文 40 余篇。

1990 至 1993 年底,作者以访问科学家的身份在加拿大温莎大学工程学院环境工程系从事水质模型和难以处理的有机污染物在水体环境中的生物降解性研究工作,完成研究论文十余篇,7 篇已发表在国际杂志,5 篇被北京图书馆学位论文收藏中心收录。应中国科协特邀,1992 年 4 月回国出席“中国科协首届青年学术年会”。先后在人民日报、中国科学报和科技日报上发表了关于中国和世界环境问题等方面的文章 10 余篇。

作者是国际水质联合会、中国化学学会、中国环境科学学会和中国生态学会会员。现在是国家环境保护局高级项目官员和副研究员。

ABOUT THE AUTHOR

Xie YONGMING is a Senior Program Officer in National Environmental Protection Agency of China and an Associate Professor at the Research Center for Eco-Environmental Sciences, the Chinese Academy of Sciences. He received his B. S. degree in chemical physics from the University of Science and Technology of China in 1976. As a guest scholar, he was invited by The University of Windsor, Canada to do research on biodegradability of recalcitrant chemicals in natural aquatic environment from 1990 to 1994. His principal research interests are in the areas of water quality modelling, wastewater treatment, chemical pollution dynamics, aquatic environmental management, water environmental impact assessment, and environmental planning. He has authored or co-authored over 40 research and/or technical papers and 15 articles in People's Daily, Science and Technology Daily and Chinese Science News etc. He is a member of numerous professional societies, such as China Society of Chemistry; Association of Environmental Science of China and Chinese Association of Ecology, etc.

编 者 的 话

《环境水质模型概论》一书是作者根据所从事水质模型的实践,综合国内外水质模型研究的经验,吸收现有各种水质模型的长处而编著的。水质模型是研究水环境污染、水质规划、水污染控制以及水环境管理必不可少的工具。

在编著过程中,联邦德国环境问题专家金士博(W. KIN—ZELBACH)博士、申葆诚教授和傅国伟教授都给予了很多帮助和指导,受益匪浅。本书引用了他们的一些观点和方法,在此表示诚挚的谢意。

国家环境保护局解振华局长在百忙中为本书题写了序言。在出版过程中的得到了中国科学技术出版社的支持和帮助,对此作者向他们表示衷心的感谢。

《环境水质模型概论》一书终于与读者见面了,希望该书能对读者在实际工作中有所帮助和参考,这是作者写这本书的目的。限于作者水平,书中的缺点和错误在所难免,望读者批评指正。

编 者

1995年7月 北京

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了环境研究中的水质模型,特别是建立水质模型的基本原理和方法学。对河流(第三至第五章)、湖泊(水库)(第六至第八章)、河口(第九章)的水质模型以及模拟技术(第一章)进行了全面的论述,分析、描述了污染物在水体环境中的迁移转化过程及机理(第二章),详细介绍了水质模型的基本解法(第十章)和水质模型在环境管理中的应用(第十一章)。用实例讨论了水质模型的参数估计方法和较为实用的计算机流程图以及 BASIC 语言程序(第十二章)。

本书可供从事环境科学研究、水环境管理和水污染防治与规划、教育工作者以及大专院校学生和有关人员参考。

环境水质模型概论

目 录

第一章 概 论	(1)
1.1 水质模型的主要问题和分类	(2)
1.1.1 问题	(2)
1.1.2 分类	(3)
1.2 水质数学模型建立的一般步骤	(4)
1.3 水质模型的发展过程	(5)
1.4 水质模拟技术	(7)
第二章 污染物在水体中的迁移	(15)
2.1 对流与扩散	(15)
2.2 质量迁移	(15)
2.3 物理化学过程动力学	(19)
2.3.1 溶液平衡	(19)
2.3.2 均相系统	(21)
2.3.3 异相体系	(25)
2.4 微生物生长动力学	(27)
2.5 其他过程	(29)
2.5.1 挥发过程	(29)
2.5.2 水解过程	(29)
2.5.3 光解过程	(30)
第三章 水力学模型	(31)
3.1 零维方程	(31)
3.2 一维方程	(32)
3.2.1 水量平衡连续方程	(32)
3.2.2 污染物迁移方程	(33)
3.3 二维(三维)方程	(39)

3.4	方程中的水力学参数	(39)
3.5	弥散系数 D 的估计方法	(41)
3.5.1	示踪剂法	(41)
3.5.2	Elder 公式	(41)
3.5.3	Fischer 法	(42)
3.6	纵向离散系数的估算	(42)
第四章	河流温度模型	(49)
4.1	水表面与大气间的热平衡	(49)
4.1.1	辐射热	(49)
4.1.2	蒸发热	(50)
4.1.3	对流热	(50)
4.2	非线性温度模型	(51)
4.3	线性温度模型	(52)
4.4	河流温度模型实例	(53)
第五章	河流水质模型	(55)
5.1	Streeter—Phelps 模型的基本形式	(55)
5.1.1	Streeter—Phelps 模型的修正形式	(56)
5.1.2	Streeter—Phelps 修正式的基本解	(58)
5.1.3	Streeter—Phelps 方程的基本解	(59)
5.2	生化耗氧模型	(62)
5.3	溶解氧模型	(66)
5.3.1	河流中的主要耗氧过程	(66)
5.3.2	影响溶解氧的主要因素	(67)
5.4	BOD—DO 多重线性模型	(74)
5.5	氮污染模型	(77)
5.5.1	硝化过程的基本理论	(79)
5.5.2	硝化过程的数学模型	(82)
5.5.3	影响硝化作用的主要因素	(86)
5.5.4	O'Connor 模型	(89)
5.5.5	氮循环模型	(93)

5.6	细菌生长模型	(96)
5.6.1	细菌生长模型	(96)
5.6.2	计算实例	(97)
5.7	河网水质模型	(98)
5.7.1	河网模型的结构	(98)
5.7.2	河网模型的基本形式	(102)
5.7.3	河网模型的计算方法	(104)
5.7.4	河网模型计算实例	(106)
5.8	QUAL—II 模型	(108)
5.8.1	河流体系概念化	(109)
5.8.2	QUAL—II 模型方程	(109)
5.8.3	QUAL—II 模型的反应式	(111)
5.9	水质模型中参数估算	(115)
5.9.1	非线性参数的估计	(116)
5.9.2	河流水质模型的弥散系数	(121)
5.9.3	BOD 衰变系数 K_1 的确定	(124)
5.9.4	最速下降法求 K_1 、 K_2 、 K_N	(129)
5.9.5	大气复氧系数 K_2	(131)
5.9.6	硝化参数估计	(134)

第六章 湖泊(水库)温度模型..... (138)

6.1	概述	(138)
6.2	湖泊(水库)温度分布	(139)
6.3	湖泊(水库)温度预测模型	(142)
6.3.1	质量守恒	(142)
6.3.2	热能守恒	(142)
6.3.3	单元热预算	(144)
6.3.4	热能预算	(144)
6.3.5	边界扩散热	(147)
6.4	隐式有限差分解一维方程	(149)
6.5	MIT 温度模型	(150)

6.5.1	主要假设	(150)
6.5.2	数值计算方法	(152)
第七章	湖泊(水库)富营养化模型	(163)
7.1	概述	(163)
7.2	化学模型	(163)
7.3	生物模型	(166)
7.3.1	藻类生长	(166)
7.3.2	呼吸作用	(168)
7.3.3	沉降与沉淀	(168)
7.3.4	营养物质循环	(169)
7.3.5	氧平衡	(169)
7.4	湖泊的磷预算模型	(169)
7.4.1	模型	(169)
7.4.2	湖泊中磷分布计算	(170)
7.5	Baca—Arnett 模型	(173)
7.6	湖泊(水库)的氮循环模型	(181)
7.6.1	硝化与反硝化模型	(181)
7.6.2	硝化模型计算实例	(186)
7.6.3	湖泊氮循环模型	(188)
7.6.4	N—P—C 模型	(193)
第八章	湖泊(水库)生态模型	(197)
8.1	一维生态模型	(197)
8.2	有限元模型	(201)
8.3	生态模型	(204)
8.3.1	营养物质磷的预算模型	(204)
8.3.2	多组份模型	(208)
第九章	河口及潮汐河流模型	(219)
9.1	河口模型及分类	(219)
9.1.1	河口模型	(219)
9.1.2	河口模型分类	(220)

9.2	一维迁移方程	(222)
9.3	二维迁移方程	(223)
9.4	BOD—DO 模型	(225)
9.4.1	有限段模型	(226)
9.4.2	河口稳态与非稳态模型	(227)
9.4.3	稳态 DO 模型在管理中的应用	(230)
9.5	河口弥散系数 D 的确定	(232)
9.5.1	实测法	(233)
9.5.2	平均潮汐弥散系数	(234)
9.5.3	经验公式	(235)
第十章	水质模型的基本解	(237)
10.1	基本方程的分析解	(237)
10.1.1	基本方程的稳态解	(237)
10.1.2	特征线法求浓度分布	(241)
10.1.3	具有简单边界条件的一维方程解	(243)
10.1.4	污染物浓度纵剖面	(245)
10.1.5	示踪物浓度分布和弥散系数 D 计算实例	(248)
10.2	有限差分法	(250)
10.2.1	显式差分体系	(251)
10.2.2	隐式(混合)差分体系	(255)
10.2.3	微分方程的扩展	(261)
10.3	有限元法	(263)
10.3.1	有限元法的基本原理	(263)
10.3.2	有限元方程的计算公式	(266)
第十一章	模型在水质管理中的应用	(270)
11.1	水质管理问题简述	(270)
11.1.1	简述	(270)
11.1.2	河流水质管理问题	(271)
11.1.3	河口水质管理问题	(280)
11.2	线性规划在水质管理中的应用	(284)
11.2.1	线性规划实例	(285)

11.2.2	线性规划法的应用	(287)
11.3	线性规划中的单纯算法	(297)
11.3.1	线性规划问题的标准型	(297)
11.3.2	单纯型算法的计算原理	(298)
11.3.3	单纯型算法的计算步骤	(300)
11.3.4	单纯型算法应用举例	(301)
11.4	动态规划法	(305)
11.4.1	动态规划问题的实例	(305)
11.4.2	动态规划的应用	(309)
11.5	模型在水质预报中的应用	(320)
11.5.1	漓江水质的估算	(321)
11.5.2	沱江氮污染容量的估算	(322)

第十二章 水质模型的计算机流程图及其程序..... (327)

12.1	水力学参数.....	(328)
12.2	纵向弥散系数.....	(330)
12.3	河流线性化温度模型.....	(332)
12.4	BOD—DO 多重线性模型	(335)
12.5	细菌生长模型.....	(337)
12.6	BOD 衰变系数和初始浓度	(339)
12.7	Thomas 法估算 BOD 参数	(342)
12.8	最速下降法.....	(344)
12.9	综合 DO 模型	(347)
12.10	示踪物浓度分布	(350)
12.11	示踪试验估计	(351)
12.12	显式差分法计算浓度分布	(353)
12.13	隐式差分法计算浓度分布	(356)
12.14	氧亏下垂曲线求 BOD 速率常数	(358)
12.15	单纯型算法	(359)

第一章 概论

自 Streeter—Phelps 水质模型建立以来,水质数学模型在环境问题研究中的应用越来越广泛。水质模型作为水质规划和环境质量管理的有效工具有了较大的发展,特别是近几十年,在环境污染控制和水质规划研究中,水质模型显得尤为重要,利用水质模型进行河流、湖泊、水库及河口等的水质规划已取得了成功。一些在五六十年来曾经严重污染的河流,如芝加哥河、泰晤士河、莱茵河以及特拉华河口等利用所建立的水质模型进行水质规划和管理,近年来有明显的好转,水质大幅度提高。

水,作为自然资源已被人类所关注。然而,只有在近几十年,才认识到这种自然资源是有限的。随着工农业生产的发展和科学技术的进步,人类越来越注意对水资源的保护,保护人类赖以生存的环境是非常重要的。与此同时,水已被认为是人类发展和进步的不可缺少部分,许多河流流域较早地发展了文明文化,如埃及的尼罗河、中国的黄河等等。河流为人类的消费、农业生产、工业需求、航海以及水力动力提供了不可缺少的资源。

自从人类对河流行为的研究开始,逐渐地形成了一套较完整的研究体系,这些研究大致有以下的内容:①现场观测和数据的收集;②现场结果的分析;③野外实验;④在流体、化学和物理基础上进行理论分析;⑤室内模拟(包括化学的、物理的和水力学的模拟等等);⑥借助计算机进行数学模拟;⑦将上述各项进行综合分析研究。

水质模型是一个用于描述物质在水环境中的混合、迁移过程的数学方程,即描述水体中污染物与时间、空间的定量关系。它通常涉及到解基本方程的技术,而其结果的可靠往不会超过所使用的方程的可靠性。在一个较综合的河流水质模型中,有许多影响河流水质的因素,如物理的、化学的、水力学的、生物学以及气象学的因素。

目前已有许多类型的河流水质模型用于水质预报和管理,较合适的模型和所要求的数据很大程度上取决于其研究水质的目的。长期水质规划不要求详细而只要求适当的资料,例如,估计一个单一的工业废水流出和排放位置。从河流规划和所有其他水质规划看,目前还没有一个单一的水质模型能适合于各种河流的水质规划。必须在规划过程的早期作出较重要决策是模拟方法或适合于规划和发展的方法选择。其中还包括模型的校正、验证以及在有限的人力、物力和有限时间内实施。

今天使用的大部分河流水质预测模型应用于点源排放的纳污河流。随着科学研究和水处理技术的应用和发展,点源的废水水量相对地减少了,而非点源或来自农业、城市的径流显得越来越重要。水质模型有助于预测进入表面水的非点源污染规律。因此,水质数学模型在河流水质规划、管理以及水质研究中是一个非常重要的工具。

1.1 水质模型的主要问题和分类

1.1.1 问题

环境工程研究的目的是防止污染、改进环境质量和环境最优化管理。我们在实际工作中可能碰到类似于下列问题:

(1)为了避免一条河流产生厌氧而使水质保持在给定的条件,应当在何处建立污水处理厂?多大规模、什么样的处理效率才能保证溶解氧浓度不低于水质标准?

(2)为了合理地利用某一区域的水资源,该区域应当发展何种工业以及多大规模的工业才能使该地区的水资源得以充分利用并保证水资源不致于受污染。

(3)当在沿某河建立发电厂时,发电厂有热污染进入河流,它将对水生生态系统产生什么样的影响?

(4)由于含高浓度的磷的废物排入某一湖泊,而使湖泊(或水库)产生富营养化,我们必须在何时除去多少磷才能使湖泊不产生