

水 科 学 前 沿 丛 书

流域非点源污染负荷定量化 方法研究与应用

李怀恩 李家科 等 著



科学出版社

水科学前沿丛书

流域非点源污染负荷定量化 方法研究与应用

李怀恩 李家科 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

流域非点源污染负荷量化是非点源污染研究的重要基础和前沿问题。本书系统地总结了作者及其团队近 10 多年来的研究成果。全书分为三篇,上篇为流域非点源污染监测与特征研究,中篇为流域非点源污染负荷估算方法研究,下篇为流域非点源污染模拟模型与控制规划研究。本书在理论方面丰富了流域非点源污染数学模型、不同资料条件下非点源负荷估算方法、综合考虑点源与非点源的水质预测及控制规划、非点源污染控制技术等,可进一步促进我国非点源污染研究和治理。

本书可供环境科学与工程、水文学与水资源、水土保持、农业水土工程等领域的科技工作者及研究生参考和借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

流域非点源污染负荷量化方法研究与应用/李怀恩等著. —北京:科学出版社, 2013. 6

(水科学前沿丛书)

ISBN 978-7-03-036713-6

I. ①流… II. ①李… III. ①流域污染-定量控制-研究 IV. ①X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 029994 号

责任编辑: 杨帅英 朱海燕 / 责任校对: 张小霞 鲁素

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 高海英

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 6 月第一次印刷 印张: 40 1/4 插页: 8

字数: 950 000

定价: 169.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《水科学前沿丛书》编委会

(按姓氏汉语拼音排序)

顾	问	曹文宣	陈志恺	程国栋	傅伯杰
		韩其为	康绍忠	雷志栋	林学钰
		茆智	孟伟	王超	王浩
		王光谦	薛禹群	张建云	张勇传

主 编 刘昌明

常务副主编 徐宗学

编	委	蔡崇法	常剑波	陈求稳	陈晓宏
		陈永灿	程春田	方红卫	胡春宏
		黄国和	黄介生	纪昌明	康跃虎
		雷廷武	李怀恩	李义天	林鹏
		刘宝元	梅亚东	倪晋仁	牛翠娟
		彭世彰	任立良	沈冰	王忠静
		吴吉春	吴建华	徐宗学	许唯临
		杨金忠	郑春苗	周建中	

《水科学前沿丛书》出版说明

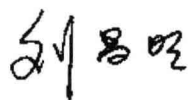
随着全球人口持续增加和自然环境不断恶化，实现人与自然是和谐相处的压力与日俱增，水资源需求与供给之间的矛盾不断加剧。受气候变化和人类活动的双重影响，与水有关的突发性事件也日趋严重。这些问题的出现引起了国际社会对水科学研究的高度重视。

在我国，水科学研究一直是基础研究计划关注的重点。经过科学家们的不懈努力，我国在水科学研究方面取得了重大进展，并在国际上占据了相当地位。为展示相关研究成果、促进学科发展，迫切需要对过去几十年国内外水科学不同分支领域取得的研究成果进行系统性的梳理。有鉴于此，科学出版社与北京师范大学共同发起，联合国内重点高等院校与中国科学院知名中青年水科学专家组成学术团队，策划出版《水科学前沿丛书》。

丛书将紧扣水科学前沿问题，对相关研究成果加以凝练与集成，力求汇集相关领域最新的研究成果和发展动态。丛书拟包含基础理论方面的新观点、新学说，工程应用方面的新实践、新进展和研究技术方法的新突破等。丛书将涵盖水力学、水文学、水资源、泥沙科学、地下水、水环境、水生态、土壤侵蚀、农田水利及水力发电等多个学科领域的优秀国家级科研项目或国际合作重大项目的成果，对水科学研究的基础性、战略性和前瞻性等方面的问题皆有涉及。

为保证本丛书能够体现我国水科学研究水平，经得起同行和时间检验，组织了国内多位知名专家组成丛书编委会，他们皆为国内水科学相关领域研究的领军人物，对各自的分支学科当前的发展动态和未来的发展趋势有诸多独到见解和前瞻思考。

我们相信，通过丛书编委会、编著者和科学出版社的通力合作，会有大批代表当前我国水科学相关领域最优秀科学研究成果和工程管理水平的著作面世，为广大水科学研究者洞悉学科发展规律、了解前沿领域和重点方向发挥积极作用，为推动我国水科学研究和水管理做出应有的贡献。



2012年9月

• i •

前 言

近年来,随着水环境问题的突出以及点源污染控制水平的不断提高,非点源污染已日益成为影响水体质量的主要因素。美国、日本和我国学者的研究表明,非点源已经成为水环境的重要污染源,甚至首要污染源。在北美地区,总氮非点源负荷一般占总负荷的33%~63%,总磷非点源负荷一般占42%~59%。根据相关资料统计,2005年在我国氮、磷的总污染负荷中,非点源污染的贡献率超过50%;化学需氧量的非点源污染贡献率接近40%,并有继续增加的趋势。可见,即使点源污染得到有效控制,河流、湖泊、水库等地表水体的水质也很难达标。发达国家自20世纪60年代开始关注非点源污染,70年代起进行系统研究,并付诸管理实践。我国真正意义上的非点源污染研究始于北京城市径流污染的研究及20世纪80年代初的全国湖泊、水库富营养化调查和河流水质规划研究。但国内非点源污染研究范围较窄,管理实践进展也较为缓慢。西安理工大学自20世纪80年代后期开始关注与研究水环境非点源污染问题,是国内较早开展非点源污染研究的单位之一,并于1996年出版了国内第一本专著《非点源污染数学模型》。本书是作者及团队近十几年来主要研究成果的总结。此次研究工作得到了国家重大水专项[“渭河水污染防治专项技术与示范”课题的专题:渭河关中段非点源特征污染物及对水污染影响的基础研究(2009ZX07212-002-005-02)、沔河 $\text{NH}_3\text{-N}$ 源解析及控制技术集成(2009ZX07212-002-004-002)]、国家自然科学基金项目[水电站水库环境影响评价中的非点源污染预测研究(90610030)、植被过滤带对非点源污染物净化效果的试验研究与模拟(50979090)、考虑非点源污染影响的河流水污染控制规划研究(50909080)]、教育部青年教师奖项目[人类活动的生态水文效应分析与预测(2001-282)]以及陕西省自然科学研究计划项目(2009JQ7008)等课题的资助。

全书分为三篇,共27章。上篇(第2~5章)为流域非点源污染监测与特征研究,研究灌区、城市、流域等不同类型的非点源污染特征及其成因。中篇(第6~14章)为流域非点源污染负荷估算方法研究,从我国资料条件较差的实际出发,提出了一系列有限资料条件下流域非点源污染负荷定量化的方法,包括平均浓度法、改进的输出系数法等。下篇(第15~27章)为流域非点源污染模拟模型与控制规划研究,从我国的资料条件等实际情况出发,开展流域非点源污染模拟模型研究,分别提出了流域暴雨径流非点源污染数学模型、流域磷迁移转化过程的长期连续模拟模型和农业非点源污染模型;对国外模型进行本土化应用,开展城市非点源污染模拟研究、流域非点源污染分布式模拟研究;开展综合考虑点源、非点源的水污染控制规划研究;最后,对非点源污染的典型、共性控制技术进行试验研究,包括植被过滤带、多级串联人工湿地和生态滤沟等。全书各篇(章)层层递进,步步深入,自成体系。

全书由李怀恩、李家科统稿,李怀恩定稿。第1、4、14、27章由李家科执笔;第2、12、13、17章由李强坤、李怀恩、吴喜军执笔;第3章由李家科、李怀恩、董雯、

杜光斐执笔；第5章由李越、李怀恩、李家科执笔；第6、7、9、15章由李怀恩执笔；第8、11章由蔡明、李怀恩、胥彦玲、李家科等执笔；第10章由胥彦玲、朱磊执笔；第16章由张强、李怀恩、吴喜军执笔；第18章由齐苑儒、李家科、李怀恩执笔；第19章由李家科、秦耀民执笔；第20、21章由李怀恩、胥彦玲、秦耀民、李家科等执笔；第22章由毛战坡、李怀恩执笔；第23章由朱磊、李怀恩、李家科等执笔；第24章由李怀恩、孙晓丽、周园园、朱磊执笔；第25章由蔡明、李家科执笔；第26章由李怀恩、杨寅群、邓娜、史冬庆、李家科、汪磊等执笔。此外，博士生吴喜军、硕士生李层、于婕、黄文菁、杜鹃、王华、杜光斐、黄池钧、常明等参与了大量书稿整理和文字校对等工作。

本书作者与团队取得的与本书相关的主要成果如下：学术论文114篇，其中国际刊物与英文论文16篇，国内一级学报与CSCD核心刊物57篇，32篇被SCI和EI收录；申请专利2项；获省部级奖励4项；博、硕士学位论文25篇。据不完全统计，论著成果被国内同行专家引用488次，论文单篇引用达185次之多。本书的研究成果在理论方面丰富了流域非点源污染数学模型和不同资料条件下非点源负荷的预测方法，在一定程度上促进了我国非点源污染负荷定量化研究，获得了同行专家的广泛好评，在学术界具有一定影响。目前部分成果已在西安市黑河引水工程水源保护、丹汉江流域、渭河流域等地得以应用，具有广阔的应用前景。

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，望广大读者给予批评指正。

作 者

2012年7月于西安

目 录

《水科学前沿丛书》出版说明

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 流域非点源污染研究背景	1
1.2 流域非点源污染研究现状	3
1.2.1 非点源污染机理研究	3
1.2.2 非点源污染模拟模型研究	10
1.2.3 非点源污染控制研究	15
1.2.4 我国非点源污染负荷定量化和控制研究的不足	15
1.3 研究流域概况	16
1.3.1 自然地理概况	17
1.3.2 社会经济概况	23
1.3.3 点源与非点源现状	24
1.3.4 渭河水污染研究存在的问题	26
1.4 本书主要内容及技术路线	27
1.4.1 研究内容	27
1.4.2 技术路线	27
1.5 本章小结	28
参考文献	28

上篇 流域非点源污染监测与特征研究

第 2 章 灌区农业非点源污染监测及运移特征分析	37
2.1 农业非点源污染特征	37
2.2 农业非点源污染监测方案	38
2.2.1 试验区概况	38
2.2.2 试验目的及时间安排	39
2.2.3 试验布置	40
2.3 农业非点源污染物运移特征分析	42
2.3.1 输水系统	42
2.3.2 田间系统	43
2.3.3 排水系统分析	47
2.4 本章小结	49

参考文献	49
第 3 章 西安市城市非点源污染监测与特性分析	50
3.1 西安市主城区非点源污染监测与特性分析	51
3.1.1 材料与方法	51
3.1.2 结果与讨论	54
3.2 典型城市小流域非点源污染监测与特性分析	60
3.2.1 材料与方法	61
3.2.2 皂河水污染特征分析	63
3.2.3 皂河流域非点源污染特征分析	69
3.3 西安市融雪径流监测及污染特性分析	73
3.3.1 材料与方法	74
3.3.2 结果分析	76
3.4 本章小结	82
参考文献	83
第 4 章 渭河干支流非点源污染监测和特征分析	85
4.1 监测方案与结果	85
4.1.1 监测方案	85
4.1.2 监测结果	87
4.2 渭河干流典型断面非点源污染特征与影响分析	91
4.2.1 洪水期与非洪水期水质及其变化特征	91
4.2.2 估算模型	96
4.2.3 负荷估算	97
4.2.4 分析与讨论	101
4.2.5 小结	102
4.3 典型支流非点源污染特征与影响分析	103
4.3.1 洪水期与非洪水期水质及其变化特征	104
4.3.2 估算模型	105
4.3.3 负荷估算	105
4.3.4 分析与讨论	106
4.3.5 小结	108
4.4 本章小结	109
参考文献	109
第 5 章 渭河氮污染特征与流域人类活动的响应关系研究	110
5.1 河流水质与流域人类活动之间的关系	110
5.1.1 河流水质与流域人类活动之间关系	110
5.1.2 小结	115
5.2 渭河氮污染特征与流域人类活动的响应关系	116
5.2.1 河流中氮素形态及转化	116
5.2.2 渭河氮污染特征分析	116

5.2.3 渭河氮污染与流域人类活动的响应关系	124
5.3 本章小结	131
参考文献	132

中篇 流域非点源污染负荷估算方法研究

第6章 河流控制断面污染负荷计算方法与比较	135
6.1 污染物负荷估算方法的特点	135
6.2 污染负荷估算方法对比分析	137
6.3 本章小结	144
参考文献	144
第7章 平均浓度法与统计方法	146
7.1 平均浓度法	146
7.1.1 研究思路与方法	146
7.1.2 应用实例	148
7.1.3 小结	150
7.2 水质水量相关法	150
7.2.1 基本思路	150
7.2.2 降雨径流污染水质水量相关分析	151
7.2.3 应用举例	152
7.2.4 小结	153
7.3 非点源营养负荷-泥沙关系法	153
7.3.1 研究思路	153
7.3.2 非点源污染负荷-泥沙关系的建立	154
7.3.3 应用举例	155
7.3.4 小结	156
7.4 土地利用关系法	156
7.4.1 思路与方法	156
7.4.2 应用实例	157
7.4.3 小结	161
7.5 本章小结	161
参考文献	162
第8章 输出系数法及其改进	163
8.1 输出系数法	163
8.1.1 研究进展及应用情况	164
8.1.2 输出系数	167
8.1.3 小结	168
8.2 改进的输出系数模型	168
8.2.1 考虑降雨影响的输出系数模型	168

8.2.2 考虑流域损失的输出系数模型	169
8.3 应用实例	169
8.3.1 Johnes 输出系数模型 (模型 1)	170
8.3.2 考虑降雨影响的输出系数模型 (模型 2)	172
8.3.3 考虑流域损失的输出系数模型 (模型 3)	173
8.3.4 讨论	174
8.4 本章小结	175
参考文献	175
第 9 章 综合平均浓度法与综合输出系数法	176
9.1 材料与方法	176
9.1.1 材料和数据来源	176
9.1.2 研究方法	177
9.2 负荷估算方法的对比与改进	177
9.2.1 负荷估算方法	177
9.2.2 计算结果比较	178
9.2.3 负荷估算方法的改进	179
9.3 香港河流的水文分析	180
9.4 香港非点源污染基本特征	181
9.4.1 目的和方法	181
9.4.2 平均浓度分析	182
9.4.3 输出系数分析	189
9.5 污染负荷估算	194
9.5.1 污染负荷估算方法	194
9.5.2 香港地区污染物年负荷量估计	195
9.6 本章小结	196
参考文献	196
第 10 章 USLE 估算方法与专家评判法	198
10.1 基于 USLE 的非点源负荷估算方法	198
10.1.1 USLE 及参数获取	198
10.1.2 基于 USLE 的氮磷污染负荷估算模型	200
10.1.3 模型应用	200
10.2 非点源污染负荷估算的专家评判法	206
10.2.1 研究方法	206
10.2.2 模型应用	207
10.2.3 小结	208
10.3 本章小结	209
参考文献	209
第 11 章 降雨量差值法与径流量差值法	210
11.1 降雨量差值法	210

11.1.1	降雨量差值法原理	210
11.1.2	模型的建立及应用	211
11.1.3	降雨量差值法与径流分割法的比较	212
11.1.4	小结	214
11.2	径流量差值法	214
11.2.1	径流量差值法原理	214
11.2.2	模型的建立及应用	215
11.3	本章小结	216
	参考文献	216
第 12 章	多沙河流非点源污染负荷估算模型	217
12.1	泥沙对水环境的影响	217
12.2	基于水文分割思想的多沙河流非点源污染模型建立	218
12.3	应用实例	219
12.3.1	研究河流概况	219
12.3.2	监测试验	220
12.3.3	负荷估算	220
12.3.4	分析与讨论	223
12.3.5	小结	224
12.4	基于泥沙-非点源污染负荷关系的多沙河流非点源污染负荷估算模型 ...	225
12.4.1	思路与方法	225
12.4.2	应用实例	226
12.4.3	分析与讨论	228
12.4.4	小结	229
12.5	本章小结	230
	参考文献	230
第 13 章	基于单元分析的灌区农业非点源污染负荷估算	231
13.1	估算方法	231
13.1.1	单元划分	231
13.1.2	负荷贡献率	232
13.1.3	灌区污染负荷	233
13.2	应用实例	233
13.2.1	监测试验	234
13.2.2	负荷贡献率推求	234
13.2.3	研究区产污负荷	236
13.2.4	排污系数	236
13.2.5	区域输出负荷	236
13.3	本章小结	237
	参考文献	237
第 14 章	基于现代分析技术的非点源污染负荷预测方法	238

14.1	偏最小二乘回归模型	238
14.1.1	偏最小二乘回归非点源污染负荷预测模型	238
14.1.2	实例分析	242
14.1.3	小结	246
14.2	支持向量机模型	247
14.2.1	基于支持向量机的非点源污染负荷预测模型	247
14.2.2	应用实例	249
14.2.3	小结	251
14.3	自记忆模型	252
14.3.1	非点源污染负荷自记忆模型的建立	252
14.3.2	应用实例	259
14.3.3	小结	261
14.4	灰色神经网络预测模型	261
14.4.1	多变量灰色神经网络预测模型	262
14.4.2	模型的应用	263
14.4.3	小结	266
14.5	本章小结	266
	参考文献	267

下篇 流域非点源污染模拟模型与控制规划研究

第15章	流域暴雨径流非点源污染数学模型的构建及应用	271
15.1	流域非点源污染数学模型的建立	271
15.1.1	流域产流模型研究	271
15.1.2	流域汇流模型的建立	274
15.1.3	流域非点源污染物产生模型的研究	279
15.1.4	流域非点源污染物迁移模型的建立	283
15.1.5	小结	286
15.2	模型在滇池流域的应用研究	288
15.2.1	滇池流域概况	288
15.2.2	模型应用	289
15.2.3	小结	298
15.3	本章小结	299
	参考文献	300
第16章	流域磷迁移转化过程的长期连续模拟模型及应用	302
16.1	模型的构建思路	302
16.2	产汇流及侵蚀模型	302
16.2.1	产流计算模型	302
16.2.2	汇流模型及其计算	303

16.2.3	侵蚀模型	304
16.3	磷迁移转化模型	305
16.3.1	Viney 模型简介	305
16.3.2	磷循环及计算模型	306
16.3.3	磷循环模型及其微结构	309
16.4	模型的应用	310
16.4.1	模型简化计算	310
16.4.2	模型参数率定	311
16.4.3	结果与讨论	313
16.5	本章小结	314
	参考文献	315
第 17 章	农业非点源污染模型的构建及应用	316
17.1	模型构建	316
17.1.1	整体思路	316
17.1.2	“源”模块构建	318
17.1.3	“汇”模块构建	321
17.1.4	模型特征	324
17.2	模型验证与应用	325
17.2.1	模型验证	325
17.2.2	模型应用	329
17.2.3	合理性分析	333
17.3	本章小结	334
	参考文献	334
第 18 章	基于 SWMM 模型的城市非点源污染模拟研究	336
18.1	SWMM 模型原理	336
18.1.1	SWMM 模型概述	336
18.1.2	径流子系统模拟原理	337
18.1.3	传输子系统模拟原理	341
18.2	研究区域非点源污染 SWMM 模型的建立	343
18.2.1	研究区域概况	343
18.2.2	研究区域非点源污染来源及特性分析	344
18.2.3	研究区域非点源污染 SWMM 模型的建立	344
18.3	研究区域不同情景下的非点源污染模拟	349
18.3.1	不同降雨强度下非点源污染负荷模拟	349
18.3.2	不同雨型下非点源污染负荷模拟	353
18.3.3	不同土地利用类型条件下非点源污染负荷模拟	356
18.4	本章小结	358
	参考文献	359

第 19 章 流域非点源污染分布式模拟与关键源区识别	361
19.1 基于 SWAT 模型的非点源污染分布式模拟与关键源区识别	361
19.1.1 SWAT 模型概述	362
19.1.2 SWAT 模型输入数据库的构建	368
19.1.3 SWAT 模型的率定和验证	369
19.1.4 研究流域	371
19.1.5 渭河流域面源模拟模型建立和负荷关键源区识别	371
19.1.6 灞河流域面源模拟模型建立和负荷关键区识别	390
19.2 基于 AnnAGNPS 模型的非点源污染分布式模拟与关键源区识别	403
19.2.1 AnnAGNPS 模型的概述	403
19.2.2 研究流域及 AnnAGNPS 模型输入数据库	411
19.2.3 模型的率定和检验	416
19.2.4 主要参数敏感性分析	419
19.2.5 黑河流域非点源污染产出的时空分布特征	420
19.3 本章小结	424
参考文献	425
第 20 章 流域土地利用变化对非点源污染的影响研究	428
20.1 景观生态学方法	428
20.1.1 景观格局分析指标	428
20.1.2 马尔可夫转移矩阵	431
20.2 陕西黑河流域土地利用变化对非点源污染的影响分析	431
20.2.1 研究方法	431
20.2.2 土地利用变化分析	432
20.2.3 土地利用变化对非点源污染的影响分析	437
20.2.4 小结	442
20.3 灞河流域土地利用变化对非点源污染的影响分析	443
20.3.1 研究方法	443
20.3.2 土地利用变化分析	443
20.3.3 土地利用格局变化分析	447
20.3.4 土地利用变化趋势分析	448
20.3.5 土地利用变化对非点源污染的影响分析	449
20.3.6 小结	451
20.4 本章小结	451
参考文献	452
第 21 章 流域非点源污染控制措施效果的情景模拟	454
21.1 黑河流域土地利用结构调整对非点源污染影响的效果模拟	454
21.1.1 土地利用结构调整情景设定	454
21.1.2 分析方法	455
21.1.3 不同土地利用结构对非点源污染的影响效果模拟	455

21.1.4	小结	459
21.2	灞河流域非点源污染控制措施效果模拟	460
21.2.1	水土保持措施	460
21.2.2	化肥农药施用水平	460
21.2.3	退耕还林	462
21.2.4	综合措施	463
21.2.5	小结	464
21.3	沔河流域非点源污染控制措施效果模拟	464
21.3.1	情景分析方案设定	464
21.3.2	不同情景模拟结果分析	465
21.3.3	小结	466
21.4	本章小结	467
	参考文献	467
第 22 章	流域非点源污染控制规划研究	468
22.1	流域非点源污染控制措施及效果预测	468
22.1.1	流域非点源污染控制规划原则	468
22.1.2	流域非点源污染控制规划研究思路	469
22.1.3	流域非点源污染控制措施	470
22.1.4	改变土地利用方式	471
22.1.5	设置河岸植被保护带	473
22.1.6	改变土地利用方式及设置植被保护带	479
22.1.7	流域移民	481
22.1.8	流域移民与设置河岸植被保护带	484
22.1.9	小结	486
22.2	非点源污染控制措施经济评价与优选	486
22.2.1	研究方法	486
22.2.2	改变土地利用方式	488
22.2.3	设置植被保护带	492
22.2.4	流域移民	494
22.2.5	流域最优非点源污染控制方案研究	494
22.2.6	小结	496
22.3	本章小结	497
	参考文献	497
第 23 章	考虑非点源污染影响的河流水质水量响应关系研究	499
23.1	渭河关中段水质水量响应关系计算程序	499
23.1.1	渭河关中段水质水量响应关系基础资料 Access 数据库	500
23.1.2	渭河关中段改进型一维稳态水质模型	500
23.1.3	Visual Basic 程序	501
23.2	改进型一维稳态河流水质模型应用于渭河关中段的适用性研究	501

23.2.1	渭河关中段概化图	501
23.2.2	改进型一维稳态河流水质模型参数率定	502
23.2.3	改进型一维稳态河流水质模型率定结果	504
23.2.4	改进型一维稳态河流水质模型验证	509
23.3	基于 Access 和 Visual Basic 的渭河关中段水质水量响应关系研究	510
23.3.1	现状年污染物沿程变化以及污染物在不同来水频率状况下沿程变化	511
23.3.2	规划水平年 (2020 年) 污染物沿程变化以及污染物不同来水频率状况下 沿程变化	514
23.4	本章小结	519
	参考文献	520
第 24 章	考虑非点源污染影响的水库水质预测研究	521
24.1	考虑非点源污染影响的一维垂向水库水质预测	521
24.1.1	水库水温垂向分布预测	522
24.1.2	非点源对水库 BOD、DO 影响	526
24.2	考虑非点源污染影响的二维纵、竖向水库水质预测研究	529
24.2.1	CE-QUAL-W2 模型介绍	529
24.2.2	水库结构概化	531
24.2.3	考虑非点源影响的黑河金盆水库水质预测	531
24.3	考虑非点源污染影响的平面二维湖泊水质预测研究	538
24.3.1	乌梁素海水生生态修复方案	539
24.3.2	MIKE3 模型介绍	541
24.3.3	数学模型的建立	541
24.3.4	不同修复方案下乌梁素海浓度场的模拟结果	542
24.3.5	推荐的水生态修复方案	544
24.4	本章小结	545
	参考文献	546
第 25 章	考虑非点源污染的水污染综合控制规划模型研究	547
25.1	污染物总量控制类型及分配原则	547
25.1.1	总量控制类型	547
25.1.2	总量分配原则	548
25.2	河流水环境容量计算	549
25.2.1	稀释容量	549
25.2.2	自净容量	549
25.2.3	环境总容量	550
25.3	非点源污染负荷容量分配	550
25.3.1	非点源污染负荷的确定	550
25.3.2	非点源污染负荷容量确定	551
25.4	非点源污染影响下的区域最优化模型	551
25.4.1	区域最优化处理模型	551