

Lake-Watershed
Ecosystem
Management: Theory
and Application

湖泊—流域生态系统管理研究

刘永 郭怀成 著



科学出版社
www.sciencep.com

Lake-Watershed
Ecosystem
Management: Theory
and Application

湖泊—流域生态系统管理研究

刘永 郭怀成 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

水体污染和湖泊富营养化已成为当前我国水环境领域的突出问题。流域生态系统管理作为解决这两大问题的重要途径,自20世纪90年代以来,成为国内外相关研究热点,代表了该领域的前沿发展方向。本书提出了系统性的流域生态系统管理理论、概念和研究方法体系,构建了由4个相互反馈的子模型组成的湖泊—流域生态系统管理综合模型。选用生物多样性和文化多样性均较为重要的四川邛海流域进行案例研究,提出了包含污染物治理、生态修复、生态水位以及渔业生态调控在内的管理策略,并对其时空分布进行了优化。以综合管理机制、管理对策以及适应性管理为核心,提出了邛海流域生态系统的适应性管理机制。

本书可供环境科学、生态学、湖沼学等学科的科研技术人员、高等学校师生以及政府部门有关人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

湖泊—流域生态系统管理研究 / 刘永, 郭怀成 著. —北京: 科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-020487-5

I. 湖… II. ①刘…②郭… III. ①湖泊—生态系统—系统管理—研究—中国②流域—生态系统—系统管理—研究—中国 IV. X832

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 167378 号

责任编辑: 张 震 / 责任校对: 李奕莹

责任印制: 钱玉芬 / 整体设计: 耕者设计

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年1月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

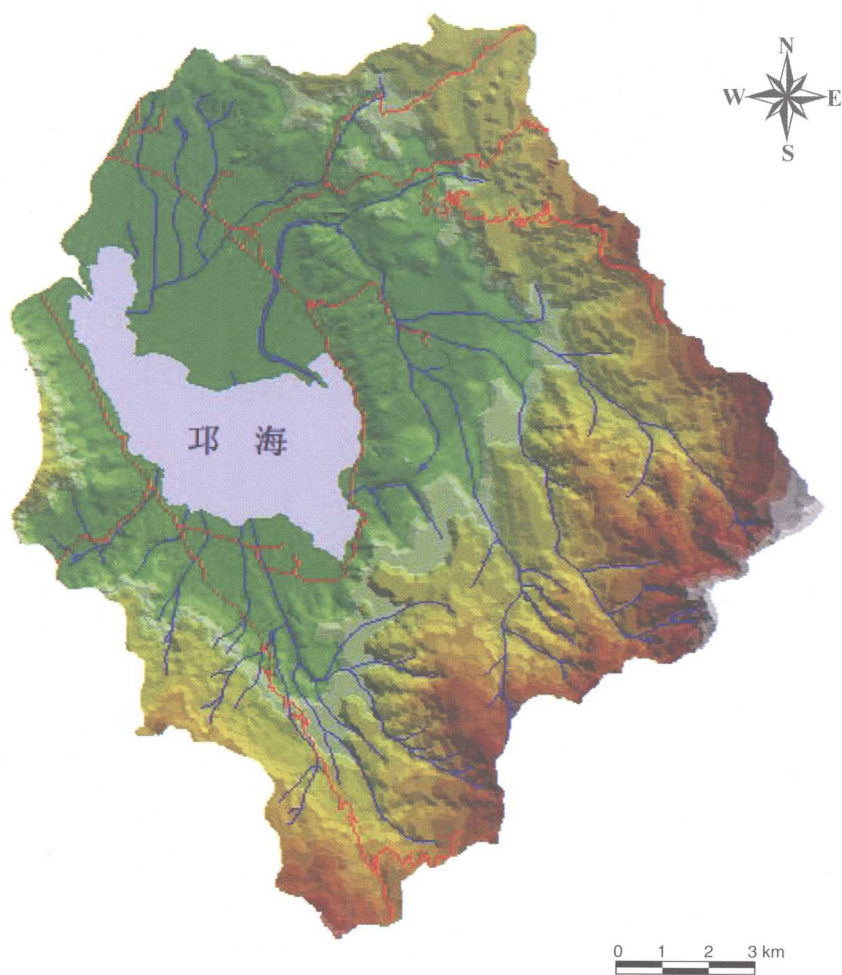
2008年1月第一次印刷 印张: 17 插页: 4

印数: 1—1 500

字数: 325 000

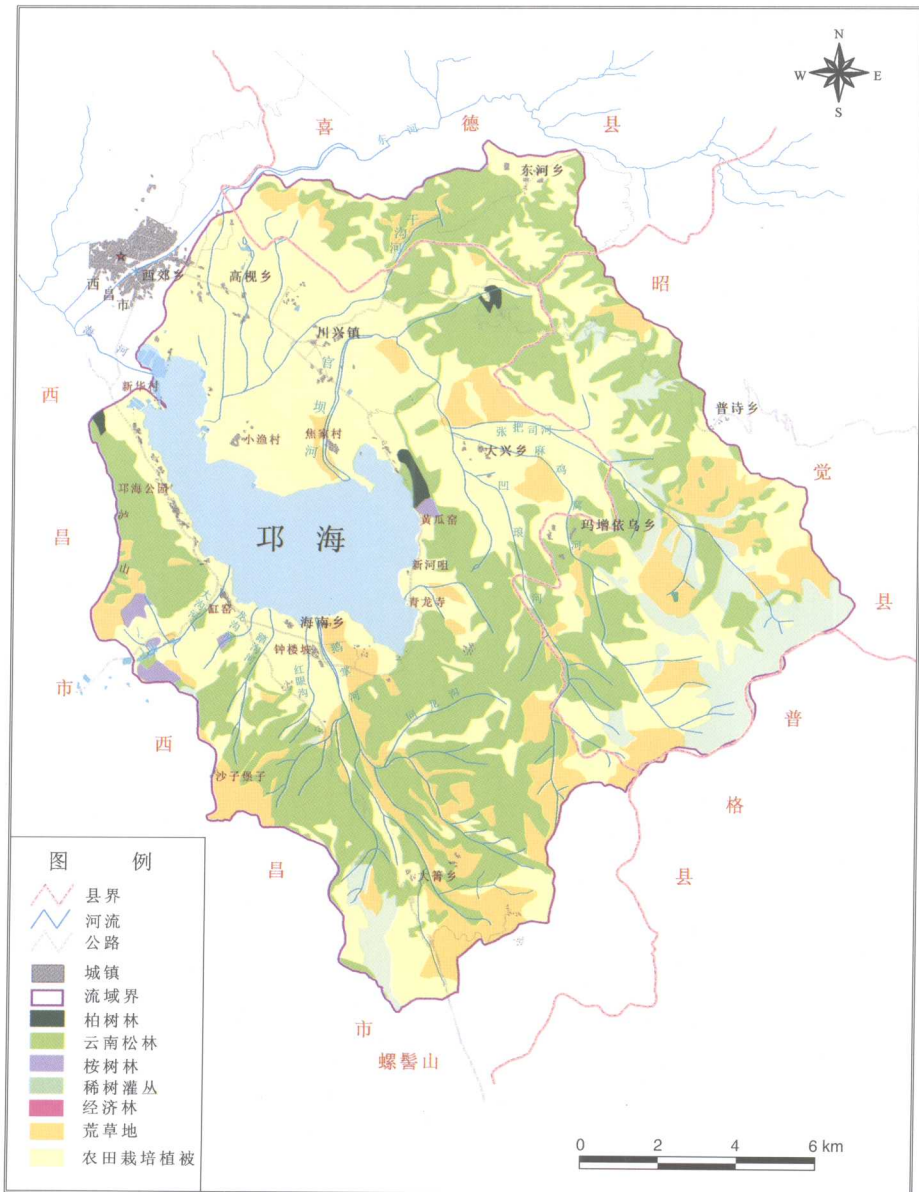
定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)



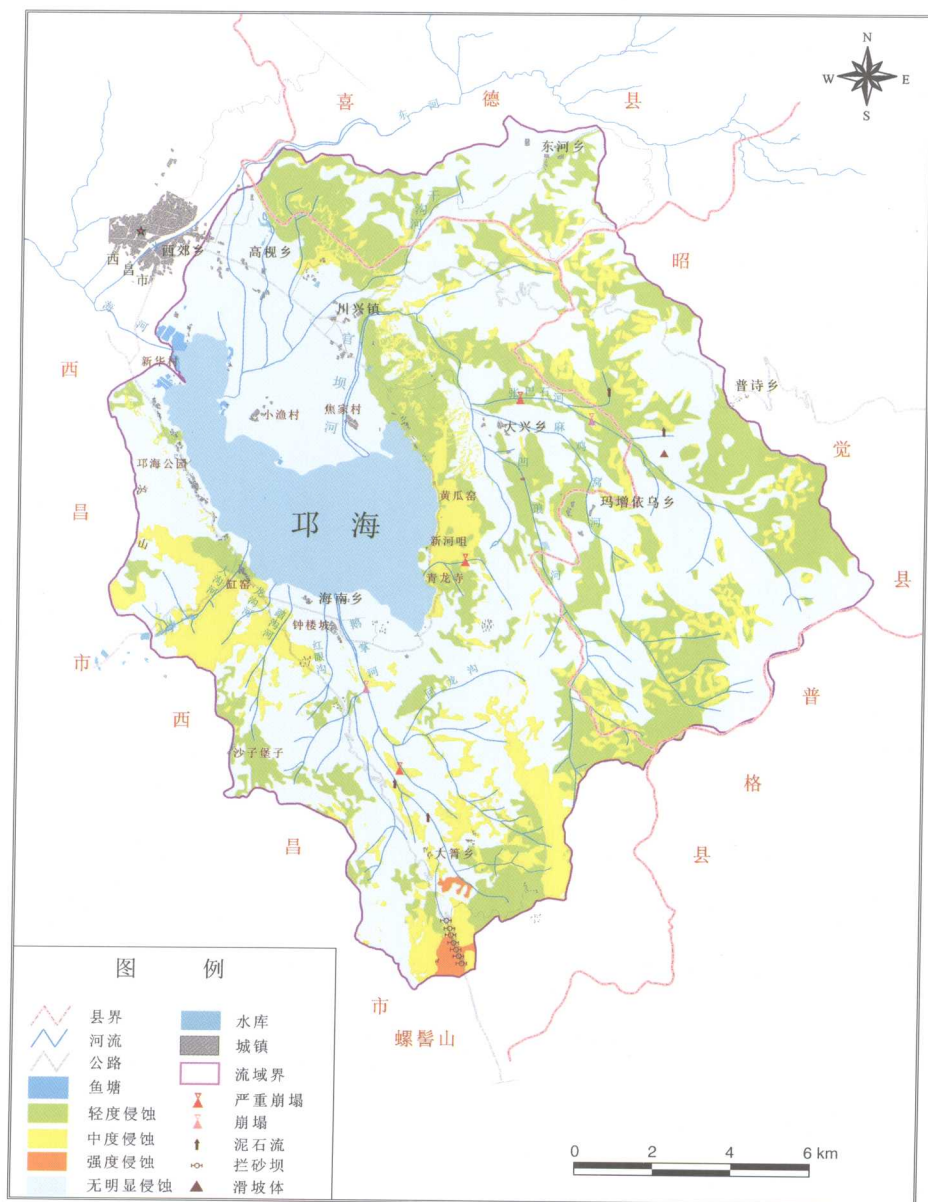
彩图 1 邛海流域的地形图

Fig. 1 The altitude map of Lake Qionghai watershed



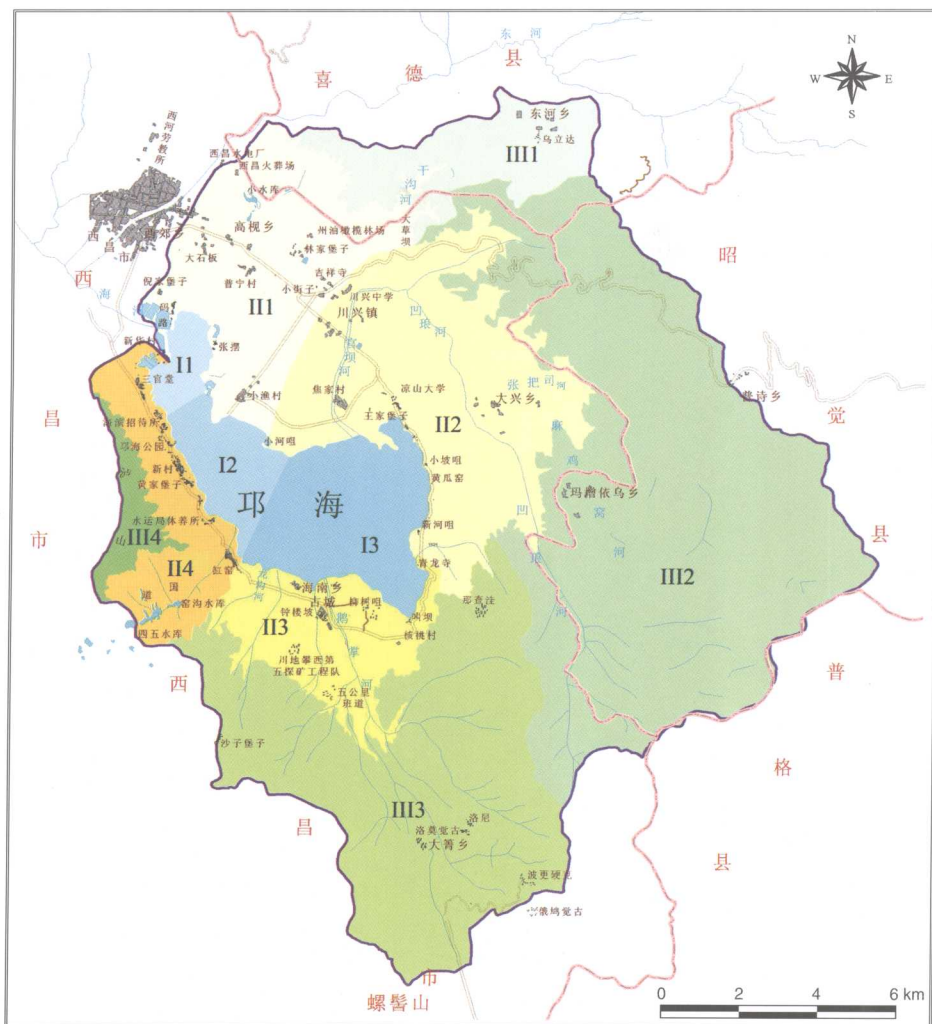
彩图 2 邛海流域陆地生态系统分布

Fig. 2 The terrestrial ecosystem of Lake Qionghai watershed



彩图 3 邛海流域水土流失现状

Fig. 3 The soil losses of Lake Qionghai watershed



彩图4 邛海流域生态系统管理分区

Fig. 4 The zoning for ecosystem management of Lake Qionghai watershed

注：邛海水体核心保护区（I）可分为三部分：邛海主水体重点保护亚区（I1）、邛海未来主要开发利用亚区（I2）、邛海主要控制污染亚区（I3）；邛海湖滨生态经济区（II）可分为：邛海湖滨西北岸城镇生态经济亚区（II1）、邛海湖滨东北岸生态农业旅游亚区（II2）、邛海湖滨南岸生态农业亚区（II3）和邛海湖滨西岸旅游亚区（II4）；邛海湖滨外围陆地生态恢复区（III）可分为：邛海东北部干沟河生态恢复亚区（III1）、邛海东部官坝河陆地生态恢复亚区（III2）、邛海南部鹅掌河陆地生态恢复亚区（III3）和邛海西部庐山天然林保护亚区（III4）。

前 言

流域水系污染和湖泊富营养化是当前我国水环境所面临的三大挑战之一。目前国际上已将水环境研究的重心转向流域生态系统管理,从流域尺度对湖泊进行污染治理、生态恢复以及生态系统管理,在生态系统方法的框架下,实现流域内社会经济与生态系统健康的统一、协调和可持续发展。

生态系统管理(ecosystem management),是在对生态系统组成、结构和功能过程加以充分辨析的基础上,制定适应性的管理策略,以恢复或维持生态系统整体性和可持续性,是目前国内外在流域管理中的研究热点。20世纪90年代以来,生态系统管理在概念与理论、方法与案例等方面取得了显著的进展,但大多集中在对森林生态系统管理的研究。在流域生态系统管理方面,国内外学者只在河流流域中尝试开展过为数不多的研究,但方法和案例非常分散;在湖泊一流域生态系统管理领域尚缺乏系统的研究,尤其在概念界定、理论体系、管理模型以及管理实施中的不确定性等方面均无可直接借鉴的实质性案例。

由于我国水污染和水生态破坏的特殊性,我国在“十五”期间以及之前的研究中,没有充分体现国际研究的前沿理念,更多地将重心放在单个污染的治理上,而忽视了从全流域尺度开展综合性和交叉性的研究。针对目前我国水污染的严峻形势,迫切需要引入国际先进理念并结合我国国情予以发展,从而使得我国的水环境治理和管理更为有效,并尽可能地节省资金和人力投入。此外,在2006年发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》以及随后启动的“水体污染控制与治理”重大科技专项中,首次提到并设立了在流域尺度开展污染治理和生态系统管理的相关专题,作为今后研究的重点领域。我国水环境管理存在的问题以及与国际前沿研究之间存在的巨大差距,迫切需要我们开展湖泊一流域生态系统管理的相关研究,从而更好地服务于国家水环境管理的战略需求。

湖泊一流域生态系统管理作为一个全新的领域,需要在理论、方法和实证三方面开展研究,并充分运用流域综合管理和生态学的相关理论和方法。以此为目标,作者完成了如下的研究和创新:①从内涵、目标、理论基础、理论体系构成等方面,在国内外首次对湖泊一流域生态系统管理的概念和理论体系进行了界定和系统阐释。②针对湖泊一流域生态系统的复杂性和不确定性特征,将流域规划与综合管理、模型不确定性分析以及环境模型优化等方面的研究相结合,以国家高技术研究发展计划(863计划)和国家重点基础研究发展计划(973计划)项目为依托,交叉运用多学科研究方法,创新性地构建了湖泊一流域生态系统管理

综合模型 (IMLWEM)。IMLWEM 包括 4 个紧密联系且相互反馈的子模型, 即湖泊—流域生态系统动力学模拟 (EDMLW)、湖泊—流域生态系统综合评价 (IEA) 模型、流域生态经济结构优化模型 (IMLOPOEEW) 和湖泊—流域生态系统管理策略优选模型 (ICCLP), 并实现了不同模型间的关联与数据共享。③针对目前国内外在湖泊—流域生态系统管理领域尚无系统性和综合性实例研究的状况, 作者将提出的理论体系和研究方法, 成功应用于所承担科研项目的实证研究之中。作者选用生物多样性和文化多样性均较为重要的四川邛海流域开展实证分析, 研究前期所取得的成果已经被地方决策部门采纳并正在实施, 案例研究中所应用的方法, 已在云贵高原的其他多个流域以及相关领域中得到推广, 取得了很好的社会、经济和环境效益。

湖泊—流域生态系统管理研究目前在国内外均处于起步阶段, 研究范围广且方法新。希望本书的工作能够推动我国学者在该领域的理论、方法与实证等方面广泛开展研究, 并促进更多相关问题的提出、发掘、探讨与解决, 从而更好地为国家水环境管理的决策服务。

在研究开展与本书写作的过程中, 北京大学的徐云麟教授和黄润华教授给予了精心的指导; 唐孝炎院士关注研究的开展并给予宝贵支持; 中国环境科学研究院孟伟院长、清华大学程声通教授以及北京大学的毛志锋教授拨冗参与研究评审并给予指正; 北京大学环境科学与工程学院的谢绍东教授、梅凤乔老师、吴为中老师、黄艺老师、温东辉老师、谢曙光老师等提供了宝贵的意见; 加拿大 Regina 大学的黄国和教授及其研究小组、国际生态经济协会 (ISEE) 主席 Martinez-Alier 教授以及远在北美的刘磊博士、邹锐博士和张振兴博士等也在研究的过程中给予了很好的建议和帮助。对他们的支持表示由衷的感谢!

本书案例的基础数据来自于北京大学和云南环境科学研究院联合课题组的调研与监测。感谢贺彬院长、张秀敏正高工、戴永立、王丽婧、李子海、王吉华、郭长雷等课题组成员以及邛海管理局等地方相关机构所给予的协助; 感谢郁亚娟和周丰帮助仔细修改全部书稿; 感谢研究小组的全体成员所给予的帮助、关心与全力支持。

本书是北京大学环境科学与工程学院郭怀成教授环境规划与管理研究小组的成果之一, 敬请访问我们的主页 <http://www.ccepr.org>, 以了解更多的内容。由于作者的知识和经验有限, 加之相关研究尚处于起步阶段, 书中难免出现疏漏, 希望各位同行不吝指正。

本书出版得到了 973 计划项目 (编号: 2005CB724205) 专项经费的资助。

作 者

2007 年 8 月于燕园

目 录

前 言

第1章 绪论	1
1.1 研究背景、选题依据和研究目的	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 选题依据	2
1.1.3 研究目的	4
1.2 国内外研究进展	4
1.2.1 研究进展 (I) ——湖泊一流域生态系统动力学及其模拟	4
1.2.2 研究进展 (II) ——流域生态系统评价	17
1.2.3 研究进展 (III) ——流域生态系统管理	24
1.2.4 存在问题与发展趋势	30
1.3 研究对象、方法及技术路线	31
1.3.1 研究对象与方法	31
1.3.2 技术路线	32
第2章 湖泊一流域生态系统管理理论研究	35
2.1 理论研究概述	35
2.2 湖泊一流域生态系统的组成与特征分析	36
2.2.1 系统组成	36
2.2.2 基本特征	39
2.3 概念界定	41
2.4 理论基础	43
2.4.1 理论基础构成	43
2.4.2 生态系统方法	44
2.4.3 生态系统生态学	47
2.4.4 流域生态学、流域保护方法与流域分析	47
2.4.5 生态系统健康与生态完整性	48
2.5 理论体系	50
2.5.1 理论体系框架	50
2.5.2 管理目标与原则	51

2.5.3 管理基础、要素与框架	60
2.5.4 关键问题分析	61
2.5.5 效益与实施障碍分析	63
2.6 小结	64
第3章 湖泊一流域生态系统管理方法研究	65
3.1 研究方法体系	65
3.2 湖泊一流域生态系统动力学模拟 (EDMLW)	68
3.2.1 基于管理目标的湖泊生态系统动力学	68
3.2.2 湖泊生态系统动力学模拟	73
3.2.3 湖泊一流域生态系统模拟	81
3.3 湖泊一流域生态系统评价 (IEA)	92
3.3.1 湖泊生态系统健康评价	92
3.3.2 湖泊一流域生态系统综合评价	95
3.4 流域生态经济结构优化	102
3.4.1 优化目标	102
3.4.2 IMLOPOEEW 优化方程	103
3.5 湖泊一流域生态系统管理策略及其优选	109
3.5.1 生态胁迫因子控制	109
3.5.2 湖泊一流域生态恢复与管理	117
3.5.3 湖泊一流域生态系统综合管理	122
3.5.4 管理策略布局优化的 ICCLP 模型	124
3.6 湖泊一流域生态系统的适应性管理机制	129
3.6.1 生态系统管理的风险分析	129
3.6.2 管理策略的监测与适应性调整	130
3.7 小结	131
第4章 四川邛海流域生态系统管理研究	132
4.1 邛海流域概况及特征分析	132
4.1.1 研究范围	132
4.1.2 流域陆地生态系统特征分析	134
4.1.3 流域社会经济系统特征分析	135
4.2 邛海流域生态问题分析与管理目标确定	135
4.2.1 流域生态问题的初步诊断	135
4.2.2 管理目标确定	150
4.3 邛海流域生态系统动力学模拟 (EDMLW)	151

4.3.1 基础信息收集与系统分析	151
4.3.2 模型检验	153
4.3.3 情景分析	155
4.3.4 模拟结果	157
4.4 邛海流域生态系统综合评价	162
4.4.1 流域生态脆弱性评价	162
4.4.2 邛海生态系统健康评价	166
4.4.3 流域生态系统综合评价的 RBFNNs 模型	170
4.5 流域生态经济结构优化	174
4.5.1 IMLOPOEEW 模型	174
4.5.2 模型结果与解译	176
4.6 邛海流域生态系统管理策略及其优化	181
4.6.1 流域生态修复与污染控制	181
4.6.2 湖泊生态调控与管理	194
4.6.3 邛海流域生态系统管理策略优化的 ICCLP 模型	206
4.7 邛海流域生态系统适应性管理	221
4.7.1 综合管理机制	221
4.7.2 综合管理对策	221
4.7.3 风险分析与适应性管理机制	224
4.8 小结	228
第 5 章 结论与展望	230
5.1 研究结论	230
5.2 研究展望	233
参考文献	235
主要符号对照表	258

表 目 录

表 1-1	中国主要的湖泊生态系统动力学模型	11
表 1-2	生态系统活力、组织和恢复力的测度方法	19
表 1-3	水生生态系统健康评价方法与指标	19
表 1-4	流域生态承载力研究进展	21
表 1-5	不同机构和学者对生态系统管理的定义	25
表 2-1	水环境管理、流域综合管理与流域生态系统管理之间的差异	41
表 2-2	湖泊生态系统管理目标及其确定程序	53
表 2-3	流域陆地生态系统管理目标及其确定程序	55
表 2-4	流域社会经济系统管理目标及其确定程序	57
表 2-5	流域化学物质管理目标及其确定程序	58
表 2-6	流域制度与政策保障目标及其确定程序	59
表 2-7	湖泊一流域生态系统管理的管理系统要素	60
表 2-8	湖泊一流域生态系统管理中的不确定性来源及其处理方法	61
表 3-1	湖泊生态系统动力学模型的模拟过程	74
表 3-2	湖泊生态系统健康评价的外部指标和环境要素状态指标	93
表 3-3	湖泊生态系统健康评价生态指标	94
表 3-4	与管理目标相对应的湖泊一流域生态系统综合评价指标体系	97
表 3-5	湖泊一流域生态系统综合评价的指标含义与计算方法	98
表 3-6	湖泊一流域生态系统综合评价的指标分级	100
表 3-7	水位变动与湖泊水生植被的响应及基本调控策略	116
表 4-1	邛海流域的河流水文特征值	133
表 4-2	邛海污染评价因子枯、平、丰水期权重向量	137
表 4-3	邛海流域 20 个子区土地利用类型格局	140
表 4-4	2004 年邛海流域森林资源统计	142
表 4-5	邛海流域 20 个子流域的水土流失现状	143
表 4-6	邛海流域泥石流 HDR 评价的训练和验证数据	146
表 4-7	邛海流域 5 个子区的泥石流基本特征	148
表 4-8	邛海水量平衡	149
表 4-9	邛海生态需水量等级	150

表 4-10	邛海流域生态系统管理指标·····	151
表 4-11	EDMLW 模型灵敏度分析结果 ·····	154
表 4-12	邛海流域 2010、2015 和 2020 年社会经济发展的四种情景 ·····	158
表 4-13	S_B 下邛海流域 1998 ~ 2020 年的社会、经济、生态结构变化 ·····	159
表 4-14	邛海流域 20 个分区 2004 ~ 2020 年的 P 年输移量·····	160
表 4-15	1988 ~ 2020 年邛海入湖和出湖的 P 平衡分析 ·····	161
表 4-16	邛海流域生态脆弱度评价结果·····	164
表 4-17	生态脆弱度综合指数分级标准·····	165
表 4-18	1988、2001 和 2004 年邛海的外部指标计算 ·····	166
表 4-19	1988、2001 和 2004 年邛海的环境要素状态指标 ·····	167
表 4-20	1988、2001 和 2004 年邛海的生态指标值 ·····	167
表 4-21	1988、2001 和 2004 年邛海的生态系统健康指数计算 ·····	169
表 4-22	1988 ~ 2004 年邛海的生态系统综合评价指标原始值 ·····	170
表 4-23	邛海流域 IMLOPOEEW 模型中的主要约束 ·····	174
表 4-24	邛海流域 IMLOPOEEW 模型的主要参数 ·····	175
表 4-25	邛海流域 IMLOPOEEW 模型优化的 COD 和 TP 输出 ·····	179
表 4-26	邛海流域生态修复与污染控制总体方案框架·····	182
表 4-27	子流域 Q-III 内生活污水处理技术优选 ·····	184
表 4-28	邛海流域污染源治理方案·····	185
表 4-29	邛海湖滨带生态修复方案·····	187
表 4-30	邛海沉积层疏浚的设计参数·····	188
表 4-31	邛海湖滨区生态修复与景观恢复方案·····	189
表 4-32	邛海上游山区森林生态系统修复与管护方案·····	189
表 4-33	邛海流域水土流失与泥石流防治方案·····	192
表 4-34	邛海流域各子流域内优选的生态修复与污染控制技术·····	193
表 4-35	邛海生物完整性评价指标·····	197
表 4-36	邛海生物完整性评价的原始值·····	197
表 4-37	邛海的鱼类种群变化·····	199
表 4-38	邛海 ICCLP 模型中的主要参数 ·····	207
表 4-39	不同概率水平下邛海 20 个子流域的优化投资 ·····	210
表 4-40	不同概率水平下邛海 20 个子流域的优化 TP 削减量 ·····	213
表 4-41	$p_i = 0.50$ 概率水平下邛海 20 个子流域的优化方案规模 (下限) ···	217
表 4-42	邛海流域生态系统管理的生态监测计划·····	227

图 目 录

彩图 1	邛海流域的地形图	i
彩图 2	邛海流域陆地生态系统分布	ii
彩图 3	邛海流域水土流失现状	iii
彩图 4	邛海流域生态系统管理分区	iv
图 1-1	湖泊生态系统动力学模型中的不确定性来源	14
图 1-2	内哥伦比亚流域生态系统管理研究的系统组成分析	30
图 1-3	本书的技术路线与主要内容	33
图 1-4	本书主要内容的内涵关系	34
图 2-1	水体、陆地自然子系统和社会经济子系统的关系	37
图 2-2	湖泊—流域生态系统管理的系统分析	38
图 2-3	湖泊—流域生态系统管理理论基础的对应关系	44
图 2-4	生态系统健康与生态完整性的关系	50
图 2-5	湖泊—流域生态系统管理目标确定	52
图 3-1	湖泊—流域生态系统管理综合模型 (IMLWEM) 组成	66
图 3-2	湖泊—流域生态系统管理的研究方法体系	67
图 3-3	基于生态系统管理的湖泊生态系统动力学研究技术路线	71
图 3-4	MPDLS 模型的模拟过程	75
图 3-5	湖泊—流域生态系统综合模拟的框架阐释	82
图 3-6	EDMLW 模型中流域生态子系统与社会经济子系统的关系	84
图 3-7	湖泊—流域污染物输移分析的 MFA-SD 方法	87
图 3-8	湖泊—流域生态系统综合模拟中情景分析的基本步骤	90
图 3-9	情景设计中的驱动因子排序	91
图 3-10	湖泊—流域生态系统综合评价的主要步骤	96
图 3-11	湖泊—流域生态系统综合评价指标体系的层级结构	97
图 3-12	径向基神经网络的结构	101
图 3-13	湖泊—流域水污染综合防治的方法框架	113
图 3-14	河岸带生态系统组成	118
图 3-15	河岸带生态系统结构与功能	119

图 3-16	湖泊—流域生态补偿核算方法	124
图 3-17	ICCLP 模型的求解步骤	128
图 3-18	湖泊—流域生态系统适应性管理框架	130
图 4-1	邛海流域及其水系构成	133
图 4-2	邛海流域及其 20 个子区划分	139
图 4-3	邛海流域 2004 年的 P 平衡分析	141
图 4-4	邛海流域泥石流 HDR 评价数据的聚类分析结果	147
图 4-5	邛海流域泥石流 HDR 评价的 BP 网络结构	148
图 4-6	邛海流域泥石流评价分区	148
图 4-7	邛海流域 EDMLW 模型的一致性检验	155
图 4-8	邛海流域生态系统管理的情景因子排序	157
图 4-9	邛海流域生态系统管理中的情景矩阵	157
图 4-10	两种情景下 2003 ~ 2020 年邛海 TP 和 Chla 的浓度变化	161
图 4-11	邛海流域生态脆弱性评价指标体系	164
图 4-12	滇池、洱海和邛海的生态指标值比较	168
图 4-13	隐层神经元个数与 SSE 的关系	172
图 4-14	网络训练步数与 SSE 的关系	172
图 4-15	邛海流域生态系统综合评价中五个子系统的评价值	173
图 4-16	邛海流域农业产业结构优化	177
图 4-17	邛海流域种植业结构优化	178
图 4-18	邛海流域水资源的优化配置 (上、下限值)	180
图 4-19	邛海流域及其 6 个子流域	183
图 4-20	邛海湖滨带的土地利用类型	186
图 4-21	邛海湖滨带分区	187
图 4-22	邛海流域河岸缓冲带分区	190
图 4-23	邛海流域水土流失与泥石流防治体系	191
图 4-24	邛海流域小流域综合防治模式与生态经济系统	192
图 4-25	邛海的主要特征水位	195
图 4-26	邛海渔业在 1949 ~ 2004 年的变化	196
图 4-27	邛海 20 世纪 40 年代、80 年代和 2003 年的生物完整性变化	198
图 4-28	邛海食物网在 20 世纪 40 年代、80 年代和 2003 年的变化	201
图 4-29	邛海的 TP 浓度等值线图	207
图 4-30	不同 p_i 水平下各子流域的优化投资	212

图 4-31	不同概率水平下各种技术方案的优化投资·····	213
图 4-32	不同概率水平不同方案在不同阶段的 TP 削减效果 ·····	215
图 4-33	各子流域的 TP 污染负荷及其在 $p_i = 0.50$ 水平下的 TP 削减量 ·····	216
图 4-34	$X'_{ij,k'}$ 的聚类分析和综合分析 ·····	220
图 4-35	ICCLP 模型优化后 EDMLW 模型的输出结果 ·····	221
图 4-36	邛海流域生态系统综合管理的机构设置·····	222
图 4-37	邛海流域生态补偿政策的实施过程·····	223