

SHUI SHENG TAI XITONG BAOHU YU XIUFU LILUN HE SHIJIAN

# 水生生态系统保护与修复 理论和实践

王浩 唐克旺 杨爱民 王研 唐蕴 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 水生生态系统保护与修复 理论和实践

王浩 唐克旺 杨爱民 王研 唐蕴 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书是迄今为止国内外首部系统研究水生态系统保护与修复理论、方法和实践方面的学术专著。本书分上、中、下3篇。上篇论述了水生态系统保护与修复理论与方法,内容包括:水生态系统保护与修复研究进展和技术,生态需水,滨水景观,河流健康评价,水生态系统保护与修复的技术、方法和典型设计。中篇论述了水生态系统调查评价的技术体系,内容包括:沈阳市自然经济复合生态系统概况,水生态系统调查评价的内容与方法,河流水系现状调查,湖泊水库现状调查,水质调查与评价,水生生物现状调查与评价,水生态系统动态演变遥感调查,径流演变规律分析,河流健康评价,沈阳市生态环境问题诊断。下篇论述了水生态系统保护与修复规划技术体系,内容包括:规划总则,生态需水及保障,河流生态治理和修复,水质安全保障,湖泊及湿地的保护与修复,地下水保护及超采治理,水土保持,管理措施,投资、效益分析及监测评估,保障措施。

本书可供从事水资源、水环境、水土保持、水景观、水生态等领域的科研、教学和管理工作者使用,也可供高等院校相关专业师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

水生态系统保护与修复理论和实践 / 王浩等著. --  
北京:中国水利水电出版社, 2010.6  
ISBN 978-7-5084-7676-6

I. ①水… II. ①王… III. ①水环境:生态环境—环境保护 IV. ①X143

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第126362号

书 名	水生态系统保护与修复理论和实践
作 者	王浩 唐克旺 杨爱民 王研 唐蕴 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 19印张 481千字 13插页
版 次	2010年6月第1版 2010年6月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	68.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换  
版权所有·侵权必究

# 前 言

河流、湖泊等水生态系统是自然界最重要的生态系统之一。维护水生态系统健康、实现人与水和谐共存是水生态系统保护与修复的根本目标。人类与水生态系统的关系，尤其是与河流的关系虽然十分复杂，但是可以大致分为4个阶段，即原始自然阶段、工程控制阶段、污染治理阶段和水生态修复阶段。

(1) 原始自然阶段。在漫长的原始自然阶段，人类多选河流流经的水草丰美之地聚居，对河流的利用仅为简单的农业灌溉和日常生活取水。在这一阶段，河流能提供远多于人类发展需求的服务，河流系统的许多功能尚未被人类认识、开发和利用，河流在复杂多变的外部条件下通过系统的自动调整得以发展和演变，不受或少受人类影响，人类与河流基本和谐相处。同时，由于在该阶段人类对河流自然灾害的防御能力很弱，因此对洪水等灾害多以被动躲避为主。

(2) 工程控制阶段。采用工程方法控制河流的实践源于防洪减灾的努力。早在公元前3400年，古埃及人就修建了尼罗河左岸大堤保护西部的首都和农田；2500年前，在我国安徽寿县就已修建芍陂水库。与防洪相关的河流工程控制措施除修建水库和堤防外，还有河道取直、蓄滞洪区、双层河道、边堰系统和地下水库、堤坝加固等。人口增长和工农业发展使得河流工程控制措施扩展并使供水、发电、航运等方面的工程措施不断完善。人类对河流的治理经历了从单纯防洪到多功能开发利用的过程，使得河流可以同时发挥多种功能，从而能够更好地满足人类发展的需求。

(3) 污染治理阶段。随着经济社会的发展和科技进步，人类对水生态系统的干扰越来越强烈，能力也越来越大。很多水利工程的修建几乎全面地改造了河流、湖泊的自然形态和水文特性，并进而改变了其水生态系统的特征。在这个经济社会快速发展阶段，人类对河流、湖泊的作用主要体现在对径流的控制和污染排放的严重影响。很多人类社会经济活动密集和强烈的地区，河流的侧枝循环量甚至超过主循环通量，造成河道、湖泊天然径流枯竭，水体的自净能力减小甚至全部丧失。而随着用水量的增加，污染排放量也随之上升，同时由于技术经济和管理等方面的原因，污染治理与削减工作却远落

后于污染的增长。这个阶段的主要水生态问题就是河道人工化、水生生物物种消失以及水体污染。这个阶段也是人与河流、湖泊矛盾最尖锐的阶段。人类对河流、湖泊的严重影响，最终反作用到人类自身，导致土地沙化、生物资源（渔业等）枯竭，尤其是污染水体反过来直接危害到人类自身的健康甚至生命。在这个阶段，人与河流、湖泊的关系主要侧重在水污染方面，污染防治成为重要的工作内容。

(4) 水生态修复阶段。随着社会的进步，人们逐步认识到人与水和谐共存的重要性。人们对贴近自然的愿望不断增强。对过去掠夺式开发和污染进行自我反省，开展了河流、湖泊生态修复方面的尝试。水生态修复的根本是恢复人类严重干扰的河流生态系统的状态，包括上中下游纵向和河床、水陆交错带以及洪泛平原之间的横向生态系统的恢复和重建工作。在研究和回顾河流、湖泊天然生态系统特征基础上，根据社会经济发展需求和可能，确定修复目标，并提出和实施一系列修复措施。

上述4个阶段是紧密伴随经济社会发展水平的提高而不断演替的。目前，一些发达国家开始重视并实施水生态修复，尤其重视河流生态的修复，并取得了很好的效果。我国在这方面还处于起步阶段，对于水生态修复在理念、方法、实践和制度等方面尚无系统的研究。

在我国开展水生态系统修复工作是贯彻《中华人民共和国水法》（以下简称《水法》）与建设生态文明的双重要求。《水法》明确提出：“开发、利用、节约、保护水资源和防治水害，应当全面规划、统筹兼顾、标本兼治、综合利用、讲求效益，发挥水资源的多种功能，协调好生活、生产经营和生态环境用水。”开展水生态系统保护与修复工作是贯彻《水法》、落实科学发展观、实现人与自然和谐相处、发展民生水利、建设生态文明的重要内容，是各级水行政主管部门的重要职责。《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》把保护和修复自然生态作为一项主要任务。水利部自2004年开始，组织开展了水生态系统保护与修复相关工作，并选择不同类型的水生态系统开展试点。自2005年以来，水利部先后将桂林、武汉、无锡、莱州和丽水市等城市作为水生态系统保护与修复试点。此后，不少省、市也纷纷开展了试点工作。水利部将通过试点，探索水生态系统保护与修复的模式和技术，积累经验，为全面开展水生态系统保护与修复工作创造条件，力争在“十一五”规划末，建立起水生态系统保护与修复的工作体系、技术规范体系和保障机制，以保障水资源的可持续利用。

“水多、水少、水脏、水浑”等四大水问题在沈阳市同时兼具，尤其是

“水少、水脏、水浑”诱发水生态系统严重退化。在上述全国水生态系统保护和修复的大背景下，沈阳市将“人水和谐”与“可持续发展”作为城市水资源开发利用与管理追求的终极目标，希望从根本上修复与维护水生态系统的健康。为此，对其水生态系统的现状进行调查与评价，并编制水生态系统保护和修复规划是十分必要和迫切的。这也是沈阳市建设生态市不可或缺的重要内容。

本书分上、中、下3篇。上篇理论与方法，论述了水生态系统保护与修复，包括5章内容：水生态系统保护与修复研究进展和技术，生态需水，滨水景观，河流健康评价，水生态系统保护与修复的技术、方法和典型设计。

中篇调查与评价，论述了水生态系统调查评价的技术体系，包括10章内容：沈阳市自然经济复合生态系统概况，水生态系统调查评价的内容与方法，河流水系现状调查，湖泊水库现状调查，水质调查与评价，水生生物现状调查与评价，水生态系统动态演变遥感调查，径流演变规律分析，河流健康评价，沈阳市生态环境问题诊断。

下篇规划研究，论述了水生态系统保护与修复规划技术体系，包括10章内容：规划总则，生态需水及保障，河流生态治理和修复，水质安全保障，湖泊及湿地的保护与修复，地下水保护及超采治理，水土保持，管理措施，投资、效益分析及监测评估，保障措施。

各篇章主要撰写人如下。上篇理论与方法：第1章王浩、杨爱民、唐克旺；第2章唐克旺、杨爱民、唐蕴；第3章杨爱民、王先杰、包雅妮；第4章杨爱民、唐克旺；第5章杨爱民、孟莉、吴赛男、张璐。中篇调查与评价：第1章杨爱民、孟莉；第2章王浩、杨爱民；第3章杨爱民、杜龙江、孟莉、吴赛男、张璐；第4章杨爱民、杜龙江、孟莉、吴赛男、张璐；第5章王研、杨爱民；第6章蔡庆华、唐涛、李凤清、杨爱民；第7章杜龙江、杨爱民、孟莉；第8章唐蕴、杨爱民；第9章杨爱民、蔡庆华、唐涛、李凤清；第10章杨爱民、王研、孟莉。下篇规划研究：第1章王浩、唐克旺、杨爱民；第2章唐蕴、唐克旺、杨爱民；第3章王浩、唐克旺、杨爱民、王先杰、包雅妮；第4章王研、唐克旺、杨爱民；第5章王浩、唐克旺、杨爱民、王研、唐蕴；第6章唐克旺、杨爱民；第7章：唐克旺、杨爱民、吴赛男、张璐；第8章唐克旺、王研、唐蕴；第9章唐克旺、王研、唐蕴；第10章唐克旺、王研、唐蕴。全书由王浩、唐克旺、杨爱民统稿。

由于印刷限制，书中有些彩图单色印刷后不太清楚，为了保证阅读效果，在文后附印上了这些彩图，彩图编号与正文中相同。正文中图名后加“\* ”

号者表示在文后有其对应的彩色图。

我国水生态系统保护与修复工作起步较晚，但内容却比发达国家宽泛得多，涉及水资源、水环境、水土保持、水景观与水生态等多个领域以及水利、环保、农业、林业、城建、土地、园林等多个部门，一些问题仍处于探索研究阶段，加之作者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者不吝指正。

**作者**

2010年3月

# 目 录

## 前言

---

### 上篇 理论与方法

---

第 1 章 水生态系统保护与修复研究进展和技术	3
1.1 河流生态系统的特征	3
1.2 国外水生态系统保护与修复研究进展和实践	9
1.3 国内水生态系统保护与修复研究进展和技术内容构成	22
第 2 章 生态需水	26
2.1 国外生态需水研究进展	26
2.2 国内生态需水研究进展	27
2.3 生态需水概念	27
2.4 生态需水计算方法	28
第 3 章 滨水景观	33
3.1 滨水景观对城市的重要意义	33
3.2 国内外城市滨水景观研究进展	34
3.3 城市滨水景观设计	37
第 4 章 河流健康评价	39
4.1 河流健康的概念	39
4.2 河流健康评价指标体系	40
4.3 河流健康评价标准和方法	43
第 5 章 水生态系统保护与修复的技术、方法和典型设计	46
5.1 水生态系统保护与修复的技术与方法	46
5.2 水生态系统保护与修复的典型设计	50

---

### 中篇 调查与评价

---

第 1 章 沈阳市自然经济复合生态系统概况	55
1.1 自然生态系统概况	55
1.2 社会经济系统概况	61



<b>第 2 章 水生态系统调查评价的内容与方法</b> .....	66
2.1 调查评价范围与对象 .....	66
2.2 调查评价任务 .....	66
2.3 调查评价内容 .....	66
2.4 调查评价方法 .....	72
<b>第 3 章 河流水系现状调查</b> .....	74
3.1 河流面积及其演变 .....	74
3.2 辽河水系 .....	76
3.3 浑河水系 .....	84
<b>第 4 章 湖泊水库现状调查</b> .....	95
4.1 湖泊水库面积及其演变 .....	95
4.2 湖泊 .....	97
4.3 水库 .....	100
<b>第 5 章 水质调查与评价</b> .....	113
5.1 评价方法和标准 .....	113
5.2 水功能区划 .....	114
5.3 地表水质评价 .....	115
5.4 地下水水质状况 .....	118
5.5 城市集中饮用水源水质状况 .....	118
5.6 水质变化趋势分析 .....	120
5.7 点污染源调查与评价 .....	124
5.8 面污染源调查与评价 .....	128
5.9 水体污染成因分析 .....	130
<b>第 6 章 水生生物现状调查与评价</b> .....	133
6.1 调查方法 .....	133
6.2 水环境因子空间分布特征 .....	134
6.3 藻类群落特征及水体间的差异 .....	136
6.4 底栖动物群落特征及水体间的差异 .....	139
6.5 鱼类多样性及渔业生产量 .....	143
6.6 小结 .....	144
<b>第 7 章 水生态系统动态演变遥感调查</b> .....	149
7.1 遥感调查技术路线与基本原理 .....	149
7.2 土地利用动态演变遥感调查 .....	159
7.3 湿地动态演变遥感调查 .....	166
7.4 重点河流廊道动态演变遥感调查 .....	171
7.5 小结 .....	179

<b>第 8 章 径流演变规律分析</b> .....	180
8.1 天然年径流与实测年径流的差异分析 .....	180
8.2 实测年径流的变化趋势分析 .....	180
<b>第 9 章 河流健康评价</b> .....	185
9.1 评价标准 .....	185
9.2 健康评价结果 .....	188
<b>第 10 章 沈阳市生态环境问题诊断</b> .....	190
10.1 土地开发利用率高, 自然生态系统破坏殆尽.....	190
10.2 斑块密度大, 景观连通性差.....	190
10.3 水土流失尚未得到有效治理, 局部地区严重.....	191
10.4 植被结构单一, 生态功能低下.....	192
10.5 湿地面积总体增加, 局部萎缩.....	192
10.6 河流断流严重, 变成季节性河流.....	192
10.7 西部地区河流含沙量大, 地上悬河现象明显.....	194
10.8 区域性地下水超采严重, 地下水位下降显著.....	194
10.9 废污水排放量大, 化肥农药过量施用, 水环境污染突出.....	195
10.10 河流健康处于病态水平 .....	196
10.11 空气质量不容乐观, 达标难度大 .....	197
10.12 农村水、气、声、渣复合污染逐步显现 .....	197

---

## 下篇 规 划 研 究

---

<b>第 1 章 规划总则</b> .....	201
1.1 指导思想 .....	201
1.2 规划原则 .....	201
1.3 规划依据 .....	202
1.4 规划范围及分区 .....	202
1.5 规划思路和总体布局 .....	202
1.6 规划目标及任务 .....	205
<b>第 2 章 生态需水及保障</b> .....	208
2.1 生态需水计算的基本思路及原则 .....	208
2.2 沈阳市生态需水类型及保护目标 .....	209
2.3 沈阳市生态需水内涵与计算方法 .....	209
2.4 河流生态需水计算 .....	212
2.5 湖泊系统生态需水计算 .....	217
2.6 生态需水保障措施 .....	219

<b>第3章 河流生态治理和修复</b> .....	221
3.1 河流功能分区 .....	221
3.2 主要治理方向和任务 .....	221
3.3 河岸生态治理 .....	223
3.4 绿色廊道建设 .....	224
3.5 滨水区建设（以蒲河为例） .....	225
3.6 蒲河生态治理工程 .....	230
<b>第4章 水质安全保障</b> .....	238
4.1 水功能区划 .....	238
4.2 城市排水系统现状 .....	239
4.3 水体污染成因分析 .....	241
4.4 水质安全保障措施 .....	244
4.5 规划实施效果分析 .....	248
<b>第5章 湖泊及湿地的保护与修复</b> .....	249
5.1 湖泊保护清单 .....	249
5.2 卧龙湖保护 .....	250
5.3 獾子洞水库保护 .....	255
5.4 团结湖等其他湖泊保护 .....	259
<b>第6章 地下水保护及超采治理</b> .....	261
6.1 沈阳市地下水功能区划 .....	261
6.2 地下水超采现状 .....	265
6.3 地下水保护的目标 .....	266
6.4 主要工程措施 .....	266
6.5 实施计划 .....	268
<b>第7章 水土保持</b> .....	269
7.1 水土保持分区 .....	269
7.2 水土保持目标 .....	269
7.3 主要措施 .....	270
<b>第8章 管理措施</b> .....	275
8.1 加强水生态系统的监测，提高信息化水平 .....	275
8.2 划分自然保护区，依法保护水生态系统 .....	275
8.3 加强面向生态的水资源管理和保护能力 .....	275
8.4 管理和参与机制 .....	276
8.5 生态补偿制度 .....	276
<b>第9章 投资、效益分析及监测评估</b> .....	277
9.1 项目投资 .....	277

9.2	优先项目 .....	282
9.3	效益分析 .....	283
9.4	监测与评估指标体系 .....	283
9.5	对规划实施的几点建议 .....	285
<b>第 10 章</b>	<b>保障措施 .....</b>	<b>287</b>
10.1	加强领导，部门协作.....	287
10.2	强化法制，依法保护.....	287
10.3	加强管理，完善制度.....	288
10.4	开展研究，科技创新.....	288
10.5	社会参与，国际交流.....	288
<b>参考文献</b>	.....	<b>290</b>

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This not only helps in tracking expenses but also ensures compliance with tax regulations. The second part of the document provides a detailed breakdown of the company's revenue streams. It identifies the primary sources of income and analyzes their contribution to the overall financial performance. The third part of the document outlines the company's financial goals for the upcoming year. It includes a comprehensive budget and a strategy for achieving these goals. The final part of the document concludes with a summary of the key findings and recommendations. It highlights the areas where the company is performing well and identifies the challenges it faces. The document is intended to provide a clear and concise overview of the company's financial health and to guide its future operations.

# 上篇 理论与方法

---

# 第 1 章 水生态系统保护与修复 研究进展和技术

水生态系统是指河流、湖泊、水库与池塘等地表水生态系统和地下水生态系统，但主要是指河流与湖泊等地表水生态系统。河流生态系统是最重要的水生态系统。各类地表水生态系统也可统称为湿地生态系统。

水生态系统修复是指基于系统生态学、恢复生态学、生态水工学、景观生态学等基本原理，采用人工或自然措施，使受损的水生态系统的结构、功能与景观恢复到人们所期望的人水和谐的理想状态。

## 1.1 河流生态系统的特征

### 1.1.1 河流生态系统的空间结构

#### 1.1.1.1 横向结构

横向上，河流生态系统一般由 3 个主要部分组成：河道、洪泛平原和陆地过渡边缘带。河道：至少每年有部分时间有水流。洪泛平原：在河流一侧或两侧，面积变化很大的洪水间歇性淹没区，可能是频繁淹没，也可能是很少淹没。陆地过渡边缘带：洪泛平原一侧或两侧的陆地部分区域，是洪泛平原和周边陆地的过渡地带或边缘。

这些部分在景观上动态交叉着，共同发挥功能。水和其他物质、能量以及有机质在河流生态系统内结合并发生时空上的相互作用。这些作用为维持河流生命提供重要的基本功能，例如营养物循环、径流中的污染过滤、蓄滞洪水、维持鱼类和野生生物的栖息地、补给地下水和维持河道流量。

洪泛平原是季节性淹没区，其中包括了洪泛平原林地、临时出现的沼泽和湿地草甸等。陆地过渡边缘带包括陆地森林和山区草原。

#### 1. 河道结构

几乎所有的河道都是由水以及由水携带的泥沙构造、维持和改变的。一般来说，河道在形状上是蜿蜒曲折的，大体上类似抛物线，但形态可以千差万别。

河道平衡和径流是河道的两个重要属性，对生态修复尤其重要。

河道平衡涉及到 4 个基本因素：泥沙量 ( $Q_s$ )，泥沙粒径 ( $D_{50}$ )，径流量 ( $Q_w$ )，水力梯度 ( $S$ )。Lane (1955 年) 定性地提出了下列关系：

$$Q_s D_{50} \propto Q_w S$$

该方程可以表示作为“天平”一侧的泥沙负荷和“天平”另一侧的径流之间的平衡关系。“天平”一侧为泥沙的含沙量和粒径大小，而“天平”另一侧为径流量和水力梯度。在上述 4 个变量处于平衡状态时，河道也处于平衡状态。如果发生变化，平衡将暂时倾