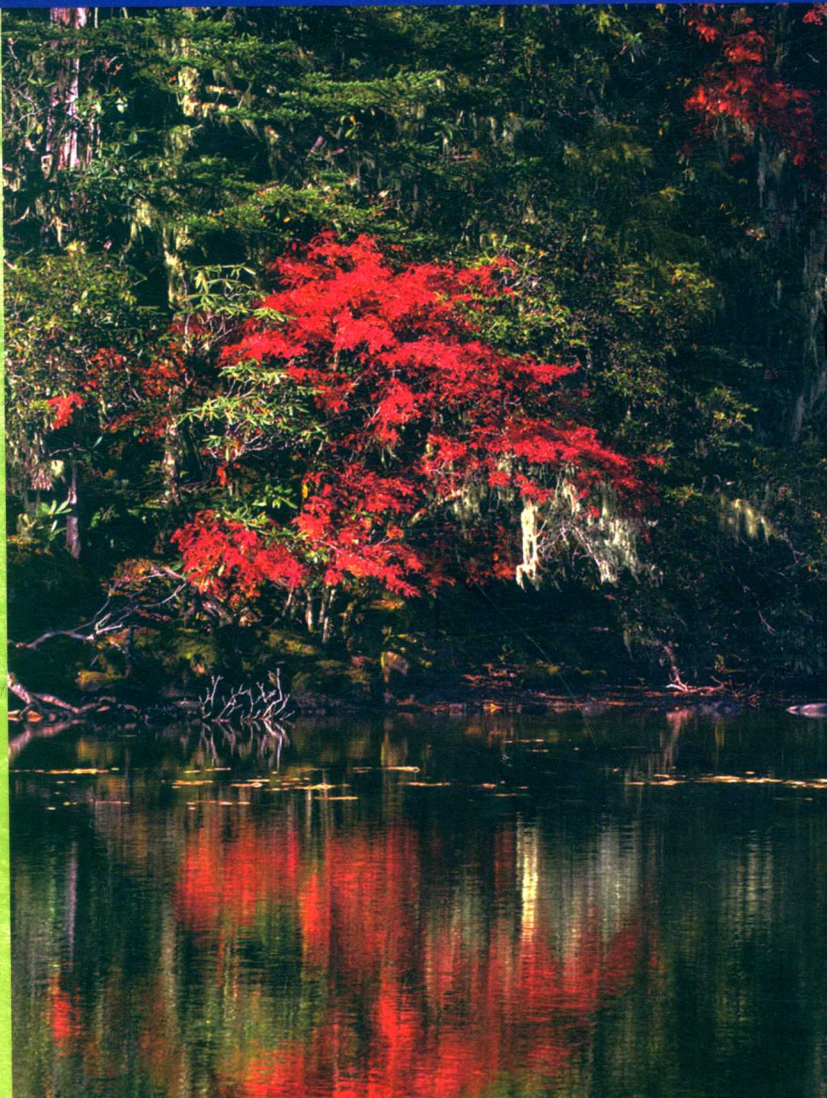
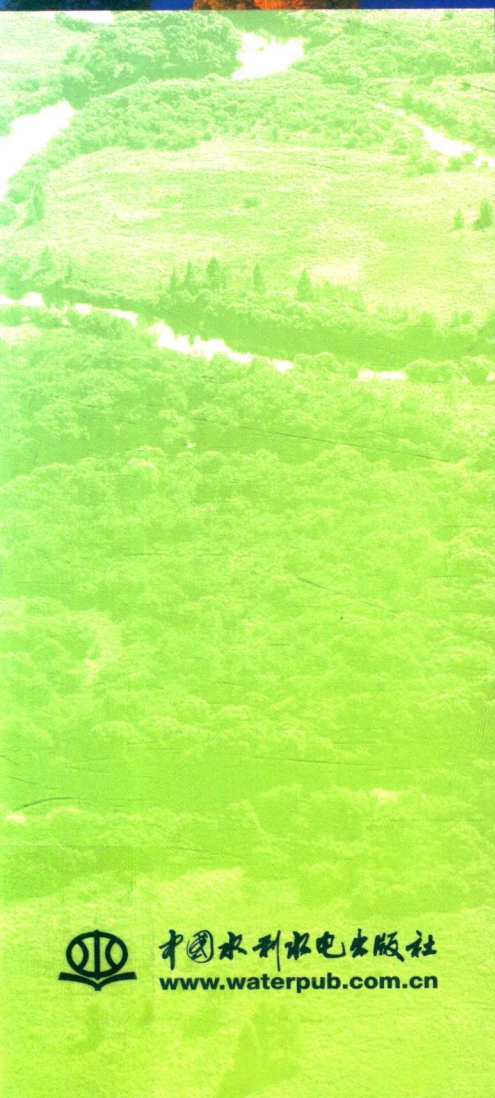


董哲仁 著

Eco-hydraulic Engineering

生态水利工程学

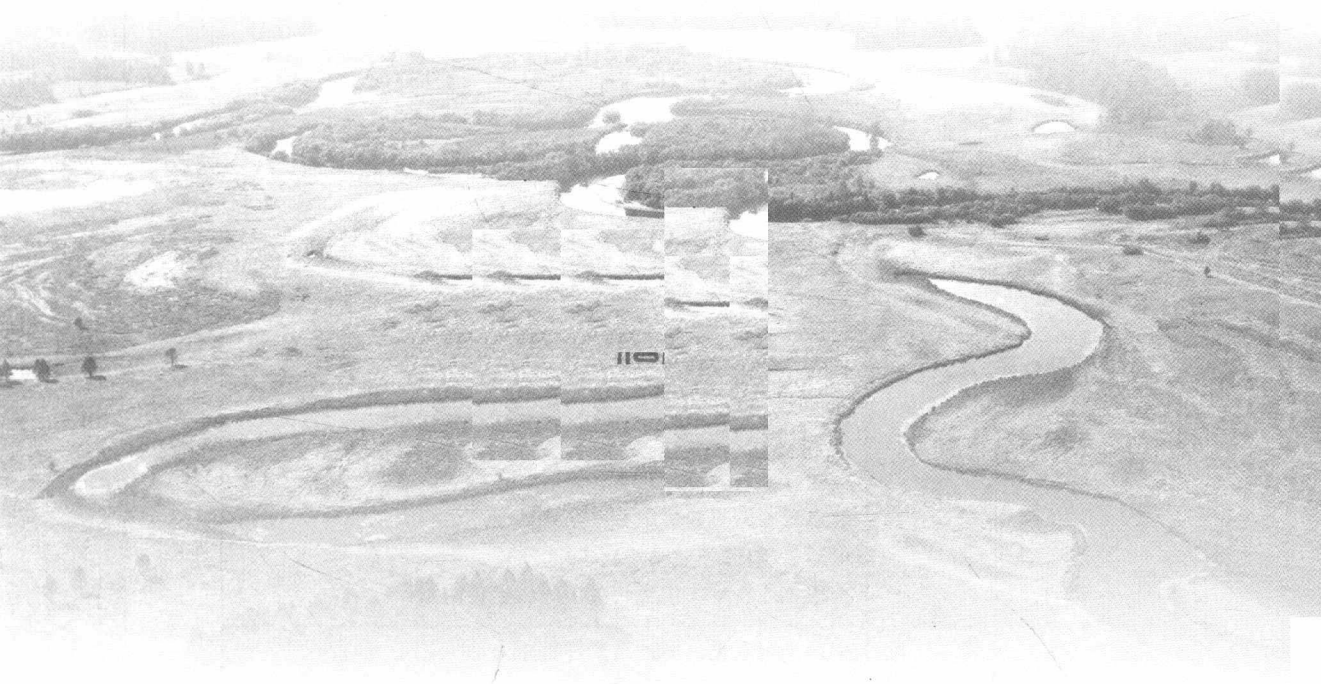


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

董哲仁 著

Eco-hydraulic Engineering

生态水利工程学



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

生态水利工程学是研究水利工程在满足人类社会需求的同时，兼顾水生态系统健康需求的原理与技术方法的工程学。生态水利工程学吸收生态学的理论，改进和完善传统水利工程学的规划设计方法，为水生态系统保护与修复提供理论与技术支持。

本书阐述了水生态系统的特征和河湖生态模型基础理论；介绍了河湖调查与栖息地评价方法；阐述了包括生态水文学、生态水力学、景观分析、环境流以及河道演变在内的生态要素分析与计算方法，提出了水生态修复规划准则；在生态修复工程方面，详细阐述了河流廊道自然化工程、湖泊与湿地生态修复工程、河湖水系连通工程以及鱼道工程的规划设计方法。此外，还讨论了水库生态调度方法和生态水利工程监测与评估方法，并辑录了许多国内外典型工程案例。

本书既有理论系统性，又有技术实用性，可供水利水电工程、生态工程、环境工程、国土规划等领域的规划、设计、科研和管理人员参考使用，也可作高等院校相关专业的教学参考。

图书在版编目（C I P）数据

生态水利工程学 / 董哲仁著. -- 北京：中国水利水电出版社，2019.3
ISBN 978-7-5170-7509-7

I. ①生… II. ①董… III. ①生态工程—水利工程
IV. ①TV

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第042966号

书 名	生态水利工程学 SHENGTAI SHUILI GONGCHENGXUE
作 者	董哲仁 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 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京印匠彩色印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 37.5印张 889千字
版 次	2019年3月第1版 2019年3月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	188.00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

作者简介



董哲仁，1943 年生于北京，满族，1966 年毕业于清华大学，1981 年毕业于中国科学院研究生院，1986 年在美国阿克隆大学做访问学者。中国水利水电科学研究院教授、博士生导师。先后受聘担任清华大学、大连理工大学、四川大学、河海大学等校兼职教授。

1981—1996 年，重点研究水工结构钢筋混凝土非线性分析理论方法，提出了混凝土开裂的正交异性模型，并将钢衬钢筋混凝土压力管道新型结构成功应用于三峡工程。2003 年开创生态水工学学科领域，主张融合水利工程学与生态学理论，构建与生态友好的新型水利工程学体系。经过十余年的研究与实践，基本形成了学科的理论与技术体系。

出版专著 7 部，代表性著作有《河流生态修复》（2013）、《生态水利工程原理与技术》（2007）、《钢衬钢筋混凝土压力管道设计与非线性分析》（1998）、《钢筋混凝土非线性有限元法原理与应用》（1993）等，主编著作《当代水利科技前沿》（2006）等 11 部，发表论文 110 篇。



則天地固有常矣日月固有明矣星辰固有列矣禽獸固有聲矣樹木固有立矣夫
 子之放詭而行循道而趨已至矣

莊子天道書奉

哲仁學兄所著生態水利三程序
 戊戌桂秋浪松王之錦敬題



则天地固有常矣，日月固有明矣，星辰固有列矣，禽兽固有群矣，树木固有立矣。夫子亦放德而行，循道而趋，已至矣。

引自《庄子》——天道

前言

FOREWORD

河流是陆地生态系统的动脉，水资源是社会经济发展的生命线。

近 40 年来，我国经济以空前规模和速度迅猛发展，一方面，给社会经济带来了繁荣；另一方面，也对自然环境形成了巨大压力，特别是对水生态系统形成了重大干扰。在工业化过程中，废水污水倾倒在江河中造成污染。在城市化进程中，大范围改变了土地利用方式，还使自然水文循环方式发生改变。森林无度砍伐、河湖围垦、过度捕鱼和养殖等生产活动，引起水土流失、植被破坏、河湖萎缩及物种多样性下降。大规模的基础设施建设，诸如公路、铁路、矿山建设改变了景观格局，造成水土流失、土地塌陷和生物多样性下降。特别是水利水电工程建设，一方面，在保障供水、发展农业灌溉和水力发电、保障防洪安全等方面发挥了巨大作用；另一方面，也使江河湖泊的面貌发生了巨变。在河流上建设的水坝和各类建筑物大幅度改变了河流地貌景观和水文情势；过度的水资源开发利用，造成河流干涸、断流，对水生态系统产生了重大影响。这些大规模经济活动对于水生态系统的干扰所造成的影响往往是巨大而深远的。水生态系统的退化以及生物多样性的降低，不但危及当代人类福祉，也危及子孙后代的可持续发展。

水利工程学作为一门重要的传统工程学科，以建设水工建筑物为手段，通过改造和控制河流，达到水资源和水能资源开发利用等多方面的经济社会目标。30 多年来，全球生态保护意识空前提高，保护地球家园，维系自然生态，提倡人与自然和谐，坚持可持续发展，已经成为当代国际社会的共识。人们对于包括水利工程在内的基础设施建设有了新的认识。普遍认为工程建设不但要满足人类社会的需求，还需满足维护生态系统可持续性及维系生物多样性的需求。在这个大背景下，新的工程学理论和概念应运而生。具有标志性的事件是 1962 年著名生态学家 Odum 提出将生态系统自组织行为（self-organizing activities）运用到工程之中。他首次提出“生态工程”（Ecological Engineering）一词，旨在促进生态学与工程学相结合。Odum 提出的生态工程

包括河湖、海岸带、森林、草地以及矿山等生态系统的修复工程。1993年,美国科学院主办的生态工程研讨会根据著名生态学家 Mitsch 的建议,把“生态工程学”定义为“生态工程学是可持续生态系统的设计方法,它将人类社会与自然环境相结合并使双方受益”。

我国是一个水资源相对匮乏、洪涝灾害频发的国家,建设大坝水库保障供水和防洪安全是我国治水的成功经验。我国是一个水利水电大国,建成的大坝数量、堤防总长度以及水电总装机容量均居世界首位。如何减缓大量已建水利水电工程对水生态系统的负面影响,对河流、湖泊和湿地实行生态修复,无疑是一项极具挑战性的任务。与西方发达国家不同,我国目前还处于水利水电建设期,为落实我国政府关于减少温室气体排放的国际承诺,作为清洁能源的水电建设还会有更大发展。如何在新建工程中采取预防措施,防止和减轻对水生态系统的负面影响,需要有理论创新和技术研发。我国具有几千年的水利史,大部分河流都经过大规模的人工改造,有些河流如黄河和海河,已经演变成高度人工控制的河流。在这样的河流上实施生态修复,其技术难度可想而知。在此背景下,我们不仅要借鉴国外的先进理论和技术,还要结合我国的国情、水情和河流自然特征,构建和发展与生态友好的水利水电工程规划设计理论和方法,这是一项具有战略意义的课题。

2003年,作者提出了生态水利工程学(Eco-hydraulic Engineering)概念和技术框架并给出如下定义:“生态水利工程学作为水利工程学的一个新的分支,是研究水利工程在满足人类社会需求的同时,兼顾水生态系统健康与可持续性需求的原理与技术方法的工程学”。这个定义具有以下几层含义:①生态水利工程学是对传统水利工程学的补充和完善。水利工程不但要开发利用水资源,还要肩负起保护水生态的重任。水利工程不但要满足社会经济需求,也要符合生态保护的要求。②生态水利工程学的目标是构建与生态友好的水利工程技术体系。③生态水利工程学是融合水利工程学与生态学的交叉学科。④水生态系统保护的目標是保护和恢复水生态系统健康与可持续性。

本书总结了作者及其科研团队15年来取得的大量科学研究成果和工程实践经验,特别是作者主持和参加的多项国家科技支撑项目和水利部公益性行业专项项目所取得的成果,同时吸收了国际相关领域的最新理论和方法,改进和完善了传统水利工程学的规划设计方法,为水生态系统保护与修复提供了理论基础和技术方法。

全书分为3篇。第1篇为水生态系统概论,阐述了水生态系统的特征和河湖生态模型。第2篇为调查评价与生态要素分析计算,介绍了河湖调查与栖息

地评价方法,阐述了包括生态水文学、生态水力学、景观分析、环境流、河道演变等生态要素分析与计算方法。第3篇为生态修复工程规划设计,详细阐述了水生态修复规划准则,河流廊道自然化工程、湖泊与湿地生态修复工程、河湖水系连通工程以及鱼道工程的规划设计方法。讨论了水库生态调度方法和生态水利工程监测与评估方法。各章节有关勘察、调查、评估、规划和设计方法内容,如有国家或行业相关技术标准或规范,一般都予标明和简要介绍,以便读者使用。同时还介绍了部分国外技术规范、设计导则和指南。各章节还包括若干国内外典型工程案例。

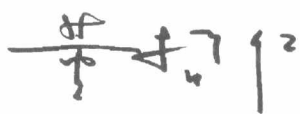
本书力求在以下四个方面有所创新:一是理论创新。以研究水利水电工程对水生态系统胁迫的生态机理为切入点,基于生态完整性理论,从本质和全局上把握河湖生态修复的方向和战略。在此基础上,提出了河流生态系统结构功能整体性概念模型、3流4D连通性生态模型、河流生态状况分级系统以及兼顾生态保护的水库调度方法等理论方法。二是推动了学科的交叉与融合。生态水利工程学是一个全新的科技领域,涉及水利工程学、生态系统生态学、生态水文学、生态水力学、河流地貌学、景观生态学和环境保护科学等,具有明显的跨学科特点,本书在综合应用这些学科知识方面做了大胆尝试。三是力求模型定量化。生态工程学是一门新兴学科,其理论、范式和模型多为定性描述。本书尝试在生态要素计算分析、状况评价和预测分析等方面引进更多数值分析方法和计算机模型。四是强化信息技术应用,力求在河流生态修复中更多地应用包括遥感技术、地理信息系统和全球定位系统在内的信息技术,期望有助于推动河湖生态修复信息化和数字化。

本书得到了诸多专家和朋友的鼎力相助。承蒙著名书法家王之鳞学兄书我国古代哲学家庄子语录,水利部黄河水利委员会董保华教授提供封面照片,中国水利水电科学研究院孙东亚教授撰写6.2.4节,赵进勇教授撰写8.3.2节,蒋云钟教授撰写4.1节算例,王俊娜博士撰写10.2节、10.3节,张晶博士校审1.5.4节、3.11节、7.1.2节,水利部发展研究中心译审刘蓓翻译6.5.3节日语资料;承蒙中国水利水电科学研究院胡春宏院士和赵进勇教授、张晶博士、王俊娜博士,中国科学院生态环境中心刘国华研究员,南京水利科学研究院李云教授,云南大学何大明教授,北京水务局朱晨东副总工,北京市水利规划设计研究院邓卓智副总工,美国大自然协会(TNC)郭乔羽博士,提供了宝贵技术资料。特别需要提出,中国水利水电出版社王照瑜编审与作者多年合作,在本书策划、选题和编辑过程中倾注了大量心血。在本书出版之际,谨向以上各位专家和朋友致以诚挚的谢意。

本书特别鸣谢水利部行业科研专项“河湖水系生态连通规划关键技术研究与示范”(201501030)资金支持。

本书内容既有理论系统性,也有技术实用性,可供水利水电工程、生态工程、环境工程、国土规划等领域的规划、设计、科研和管理人员参考使用,也可作高等院校相关专业的教学参考。

由于生态水利工程学是一个涉及多学科的新兴科技领域,加之受作者理论水平和经验限制,本书的谬误和不足在所难免,诚恳期待业界读者批评指正。



2018年7月

于中国水利水电科学研究院

目 录

CONTENTS

前言

第 1 篇 水生态系统概论

第 1 章 水生态系统..... 3

1.1 河流地貌形态 3

1.1.1 河流生态系统空间与时间尺度 3

1.1.2 河流 3D 地貌形态特征 8

1.1.3 河流自然栖息地 13

1.2 河流生态过程 20

1.2.1 水文过程 21

1.2.2 地貌过程 24

1.2.3 物理化学过程 30

1.2.4 生物过程 34

1.3 湖泊生态系统结构和过程 41

1.3.1 湖泊的起源和演替 41

1.3.2 湖泊地貌形态 43

1.3.3 湖泊生态过程 45

1.3.4 湖泊生态分区 50

1.3.5 生物多样性 55

1.4 水生态系统服务 56

1.4.1 生态系统服务分类 56

1.4.2 生态系统服务价值量化 57

1.4.3 生态系统服务危机 59

1.5 水生态完整性五大生态要素特征 59

1.5.1 水文情势时空变异性 60

1.5.2 河湖地貌形态空间异质性 64

1.5.3 河湖水系 3D 连通性 66

1.5.4	水体物理化学特性范围	68
1.5.5	食物网结构和生物多样性	69
1.6	水生态系统面临的胁迫	71
1.6.1	水资源开发利用和水利水电工程	71
1.6.2	工业化和城市化	79
1.6.3	农业与渔业	81
1.6.4	矿业	82
第2章	河湖生态模型	84
2.1	河流生态系统研究框架	84
2.1.1	背景系统	84
2.1.2	生态要素	86
2.1.3	范式和模型	87
2.1.4	管理战略和技术研发	87
2.2	河流生态模型概述	87
2.2.1	河流连续体概念	88
2.2.2	洪水脉冲概念	89
2.2.3	其他河流生态模型	93
2.2.4	小结	95
2.3	河流生态系统结构功能整体性概念模型	96
2.3.1	概述	96
2.3.2	河流4D连续体子模型	98
2.3.3	水文情势-河流生态过程耦合子模型	100
2.3.4	水力条件-生物生活史特征适宜性子模型	101
2.3.5	地貌景观空间异质性-生物群落多样性关联子模型	103
2.3.6	小结	104
	链接 2.3.1 赤水河地貌空间异质性对鱼类栖息地影响研究	105
2.4	湖泊生态系统模型	113
2.4.1	概述	113
2.4.2	影响-负荷-敏感度模型	114
2.4.3	基于功能组的食物网模型	116

第2篇 调查评价与生态要素分析计算

第3章	河流湖泊调查与栖息地评价	121
3.1	河流湖泊调查与分析	121
3.1.1	河流调查与分析	121
3.1.2	湖泊调查与分析	131
3.1.3	河湖生物调查与分析	133
	链接 3.1.1 瓯江生物调查	137

3.2 河流栖息地评价	138
3.2.1 概述	138
3.2.2 河流栖息地评价方案编制原则	140
3.2.3 遥感影像分析	143
3.2.4 野外调查勘察方法	146
3.2.5 河流栖息地综合评价	150
链接 3.2.1 水质生物学监测技术	160
第4章 生态要素分析与计算	162
4.1 生态水文分析	162
4.1.1 水文频率计算	162
4.1.2 设计洪水	166
4.1.3 低流量频率计算	168
4.1.4 造床流量	171
4.1.5 水文情势变化与生态响应关系	173
4.2 环境流计算	177
4.2.1 环境流概念	178
4.2.2 流量历时曲线分析法 (FDC)	181
4.2.3 Tennant 法	182
4.2.4 湿周法	183
4.2.5 河流内流量增量法 (IFIM)	183
4.2.6 基于自然水流范式的环境流	185
4.2.7 ELOHA 框架	188
链接 4.2.1 美国密歇根州环境流标准	192
链接 4.2.2 美国马萨诸塞州环境流标准	194
4.2.8 湖泊与湿地生态需水计算	196
4.3 生态水力学计算	199
4.3.1 概述	199
4.3.2 生态水力学模型计算	201
4.3.3 栖息地适宜性分析	204
4.3.4 水库水温计算	207
4.4 河道演变数值分析	211
4.4.1 泥沙数学模型概述	211
4.4.2 国外典型泥沙数学模型及软件	214
4.4.3 河道演变及河型转化过程数值模拟	219
4.5 景观格局分析	220
4.5.1 空间景观模式	220
4.5.2 景观空间异质性	223
4.5.3 景观分类	223

4.5.4 景观格局分析方法	224
4.5.5 景观格局分析在水利水电工程中的应用	228
4.5.6 常用软件简介	232

第3篇 生态修复工程规划设计

第5章 水生态修复规划准则	237
5.1 规划设计的时空尺度	237
5.1.1 时间尺度	237
5.1.2 空间尺度	238
5.1.3 生态分区与规划单元	238
5.2 水生态修复目标和指标	240
5.2.1 水生态修复定义	240
5.2.2 河流生态系统现状描述和历史对比分析	240
5.2.3 河流生态状况分级系统	242
5.2.4 河流生态修复目标量化	246
5.3 规划设计基本原则	247
5.3.1 协调发展原则	247
5.3.2 生态完整性原则	248
5.3.3 自然化原则	249
5.3.4 自修复原则	250
5.4 流域生态修复工程优先排序	251
5.4.1 优先排序规划	251
5.4.2 优先排序准则	253
5.4.3 多准则优先排序法	254
链接 5.4.1 多瑙河鱼类洄游连通性恢复规划	255
5.5 河湖生态修复措施和技术工具箱	257
5.5.1 河流生态修复技术工具箱	257
5.5.2 湖泊生态修复技术工具箱	259
5.5.3 河湖生态修复非工程措施工具箱	260
5.6 效益成本分析	262
5.7 规划文本框架	263
第6章 河流廊道自然化工程	265
6.1 河流廊道自然化设计概要	265
6.1.1 河道管理理念的演变	265
6.1.2 人类活动对河道的干扰	266
6.1.3 河道自然化工程沿革	267
链接 6.1.1 “鲑鱼——2000 计划”	267
链接 6.1.2 美国基西米河修复工程	268

6.1.4	河流廊道修复的目标和任务	269
6.1.5	基本设计方法	270
6.2	河道自然化修复设计	271
6.2.1	河道纵剖面设计	271
6.2.2	蜿蜒型河道平面形态设计	272
6.2.3	自然型河道断面设计	275
6.2.4	城市河道修复设计	282
6.2.5	河岸稳定性分析	287
6.3	自然型岸坡防护技术	292
6.3.1	天然植物护岸	292
6.3.2	石笼类护岸	298
6.3.3	木材-块石类护岸	303
6.3.4	多孔透水混凝土构件	305
6.3.5	半干砌石	307
6.3.6	组合式护岸结构	307
6.3.7	反滤层设计	310
6.4	河道内栖息地改善工程	312
6.4.1	卵石群	313
6.4.2	树墩和原木构筑物	314
6.4.3	挑流丁坝	316
6.4.4	堰	320
6.5	河漫滩与河滨带生态修复	324
6.5.1	概述	324
6.5.2	水域岸线保护红线	327
6.5.3	河漫滩生态修复	329
6.5.4	河滨缓冲带修复	332
6.5.5	河滨带植被重建设计	334
链接 6.5.1	南昌市赣东大堤滨水空间营造	339
第 7 章	湖泊与湿地生态修复工程	342
7.1	湖泊生态修复工程	342
7.1.1	湖泊调查评价与修复目标	343
7.1.2	湖泊流域污染控制	347
7.1.3	湖泊内富营养化控制技术	350
7.1.4	湖滨带生态修复	355
7.2	湿地修复与重建工程	362
7.2.1	概述	363
7.2.2	湿地调查	364
7.2.3	湿地修复目标和原则	367

链接 7.2.1 美国大沼泽地生态修复	368
7.2.4 河流湿地生态修复技术	371
7.3 湿地公园规划概要	377
7.3.1 概述	377
7.3.2 湿地公园规划要点	378
7.3.3 生态空间格局构建	380
7.3.4 湿地公园营造技术	382
7.4 人工湿地构建	385
7.4.1 概述	385
7.4.2 表流人工湿地 (FWS)	388
7.4.3 潜流人工湿地 (VSB)	399
7.4.4 人工湿地施工设计	404
7.4.5 人工湿地运行管理	405
第 8 章 河湖水系连通工程	409
8.1 概述	409
8.1.1 3 流 4D 连通性生态模型	409
8.1.2 河湖水系连通性损坏类型	414
8.1.3 恢复连通性的任务和措施	415
链接 8.1.1 《鲟鱼 2020——保护和恢复多瑙河鲟鱼计划》	416
8.2 连通性调查与分析	417
8.2.1 连通性调查	417
8.2.2 连通性分析	419
8.3 恢复河湖水系连通性规划准则和图论方法	419
8.3.1 恢复河湖水系连通性规划准则	420
8.3.2 基于图论的河湖水系连通性定量评价方法	421
链接 8.3.1 扬州主城区河湖水系连通性评价分析	424
8.4 纵向连通性恢复	429
8.4.1 推进绿色小水电发展	430
8.4.2 大坝拆除	430
8.4.3 引水式电站闸坝生态改建	435
链接 8.4.1 珠江三角洲河网区中顺大围闸泵调控计算分析	441
8.5 侧向连通性修复	446
8.5.1 恢复河湖连通	446
8.5.2 堤防后靠和重建	447
8.5.3 连通河漫滩孤立湿地	448
8.6 垂向连通性恢复	450
8.6.1 垂向连通性的损害和恢复	450
链接 8.6.1 济南市保护涌泉措施	451

8.6.2 低影响开发技术	452
8.7 恢复连通性工程效果评估	464
8.7.1 恢复河流-湖泊连通工程效果评估	465
8.7.2 恢复河流-河漫滩连通性工程效果评估	466
第9章 过鱼设施	467
9.1 鱼类洄游与障碍物	467
9.1.1 鱼类洄游	467
9.1.2 障碍物对鱼类洄游的影响	469
9.2 恢复鱼类洄游通道规划要点	471
9.3 鱼类保护方案及过鱼设施技术选择	472
9.3.1 洄游鱼类保护方案优化	472
9.3.2 过鱼设施技术选择	473
9.4 鱼道的一般技术规定	476
9.5 溯河洄游鱼类过鱼设施设计	480
9.5.1 旁路水道	480
9.5.2 砾石缓坡	483
9.5.3 仿自然型鱼道水力计算	484
9.5.4 堰孔组合式鱼道	486
9.5.5 竖缝式鱼道	490
9.5.6 丹尼尔鱼道	495
9.5.7 鱼闸、升鱼机和集运鱼系统	498
9.6 降河洄游鱼类保护措施	500
9.6.1 技术方案选择	500
9.6.2 机械屏蔽	501
9.6.3 行为屏蔽	502
9.6.4 旁通系统	502
9.6.5 调整和替代方法	503
9.7 监测与评估	503
9.7.1 溯河洄游监测与评估	503
9.7.2 降河洄游监测与评估	504
9.7.3 监测评估规程	505
链接 9.7.1 伊泰普水电站鱼道	506
链接 9.7.2 大渡河安谷水电站过鱼设施	507
第10章 兼顾生态保护的水库调度	511
10.1 概述	511
10.2 生态保护目标	511
10.3 环境流过程线及多目标水库调度	514
链接 10.3.1 三峡—葛洲坝梯级水库及下游河流的环境水流需求研究	516