

董哲仁 孙东亚 等著

*Principles and Technologies of
Eco-Hydraulic Engineering*

生态水利工程 原理与技术



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

董哲仁 孙东亚 等著

*Principles and Technologies
of Eco-Hydraulic Engineering*

生态水利工程 原理与技术





策划编辑 王照瑜
责任编辑
书籍设计 曲大鹏 刘一黎
责任绘图 樊启玲
责任印制 赵兰英 孙长福
责任校对 张 莉 黄淑娜
正文排版 中国水利水电出版社微机排版中心

特别说明：本书得到水利部科技创新项目“生态水工学关键技术研究”
(SCX2004-01) 支持

图书在版编目 (CIP) 数据

生态水利工程原理与技术/董哲仁等著. —北京：中国
水利水电出版社，2007

ISBN 978-7-5084-4379-9

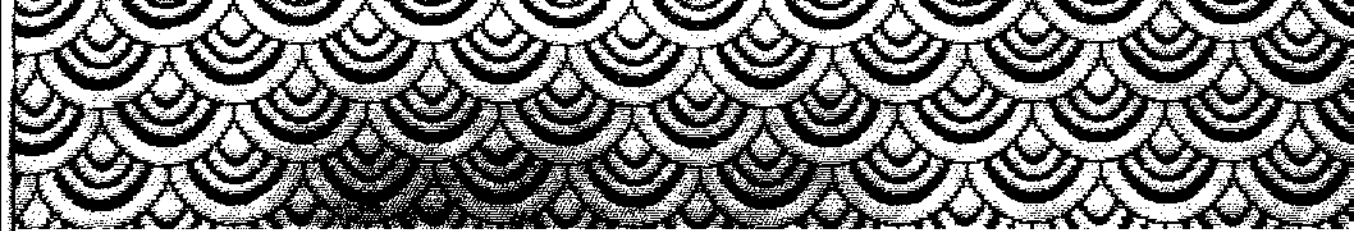
I. 生… II. 董… III. 水利工程—关系—生态系统—研
究 IV. TV-05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 019764 号

书 名	生态水利工程原理与技术
作 者	董哲仁 孙东亚 等 著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	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	北京华联印刷有限公司
规 格	787mm×1092mm 16 开本 36.25 印张 882 千字
版 次	2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	128.00 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



人法地 地法天
天法道 道法自然

——
老子《道德经》



内容提要

本书在系统阐述河流生态系统结构和功能的基础上，分析了水利工程对生态系统的胁迫效应及其机理。针对传统水利工程规划设计和管理方法的不足，提出了生态补偿和生态修复的对策和技术以及构建与生态友好的水利工程的理论和技术体系。内容共分7章，包括概论，河流系统与生态修复，河流生态修复规划与评估，河流廊道生态工程技术，水库的生态治理和生态调度，水环境修复生态工程和城市河流生态景观工程等。书中还链接介绍了大量国内外的工程案例。

本书既可作为水利、水电、生态、环境等方面的相关专业的规划、设计、管理、科研和教学人员的参考书，亦可作为这些专业的研究生教材。

Summary

In this book, river ecosystem structure and its functions are described and stresses of hydraulic engineering on river ecosystems are analyzed comprehensively. Countermeasures and technologies are brought forward for ecological compensations and rehabilitations, which overcome some shortcomings of traditional methodologies in hydraulic project planning, design and management. Systematic theories and techniques are also put forward for constructing eco-friendly hydraulic projects. This book consists of seven chapters, i.e. overview, river systems and river restoration, planning and evaluating river restoration, ecological engineering in river corridor restoration, water pollution control and ecological operation of reservoirs, ecological engineering in water environment restoration, and urban river landscape engineering.

This book is intended for the use of engineers, researchers and officials who involve planning, design and management in the fields of hydraulic and hydroelectric engineering, ecology and environment. This book can also serve as a textbook for post-graduate students in these fields.



序

.....

《生态水利工程原理与技术》和《生态水工学探索》是董哲仁教授和他的同事完成的两本新著。前者综论水利工程生态影响、机理及生态补偿技术；后者辑录了作者近年来发表的有关生态水利的40篇文章。后者是基础，前者是综合，是配套的姊妹篇。作者索序于我，写序，我是不敢当的，但在粗读了原稿后，有些感触，就写在下面以应命吧。

人类的生存离不开水，而水的自然变化状态又不适应人类的需求，所以有史以来，人类就不断地和水打交道。我认为这个过程大体上可分为三个阶段。在远古时期，人们在滔滔洪水或赤地千里的面前无能为力，只能是躲避或乞求神灵保佑。但随后就进入第二阶段，即依靠集体力量，开始对水进行控制和改造。这段历史延续了几千年，特别在最近一二百年中，由于科学技术的突飞猛进，人们在利用水和控制水方面取得了巨大成就。然而同时却出现了新的问题，就是对生态系统和环境造成损害。一些发达国家首先察觉到这个问题，并逐步认识其严重性。从20世纪50年代开始，学者们不断进行探索，渐渐形成系统的思路、理论并取得一些经验。80年代后，“生态水文”、“生态水利”或更广泛的“生态工程”的提法不断出现。水利建设必须适应自然的观点为人们所认识和接受，这就是第三阶段了。当然，三个阶段也不是截然划分的，有一个交错的过程。

我国在水利建设中也走过相似的路。由于受地理、气象条件的影响，我国的水旱灾害特别频繁和严酷，水利建设也开展得很早，从大禹治水以来，中国的水利史几乎和中华民族的

.....

发展史同时开始和延续。当然，只有在新中国成立后，水利建设才取得惊人的发展和举世瞩目的成就。成就是不容否认的：毁灭性的洪灾得到控制和避免，抗旱能力空前增强，以不到世界1/7的耕地养活了占世界1/4的人口，满足了全国城乡工矿用水的需求，开发了1.2亿kW的水能等。总之，水利建设满足和支持了新中国的伟大崛起。而在取得这些成就的同时，也出现了生态环境问题，也是到后来才为人们所认识和重视的。但这方面的认知却比发达国家滞后很多。究其原因，一是中国人口负担过重，落后太多，必须在较短时间内快速发展，以避免在严酷的 global 竞争中被淘汰；二是在相当长的时期内，受“左”的思想统治和影响，人们一直认为依靠先进的社会制度和主观努力可以改造自然、征服自然，根本缺乏人与自然要和谐共处的概念。改革开放以后，借鉴了国际上的发展经验，也受到客观事实的教训，在许多专家学者的呼吁和推动下，水利建设和生态保护的辩证关系才逐渐深入人心。

现在，我相信多数同志能够接受下列的观点：在认识和处理“人”和“自然”之间的关系时，要避免两个极端或错误：一是在自然面前无所作为，或认为不应有所作为，以免破坏原始生态。对发展中的国家来讲，这种偏激的提法尤其有害，我们必须进行科学合理的开发建设来保证经济、社会的进步(也包括生态环境的改善)，以避免永远处于落后挨打或沦为附庸的悲惨局面。二是认为人类能够征服自然，片面强调一切要以人为主，从而无视人与自然必需和谐共处这一基本原则，在盲目的开发建设中严重破坏生态，直到最后也危及自己的生存条件。对于前一种认识比较容易接受，对于后一种认识则需一个过程，很多人是表面认可，面临实际问题时仍走老路的。

大自然经过千百万年的磨合，已经形成一个在一定时期内相对平衡的系统，这是客观的选择结果。修建水利工程必然要在一定程度上改变这个平衡，引起种种变化，然后达到新的平衡。在变动过程中，既可能对生态系统和人类生活环境带来好处，也可能造成一定的损害。以往我们总是强调建设的有利方面，而忽视

.....

了不利影响，以致造成严重后果。某些工程并没有造福当代而是贻误子孙。为了正视这个问题，我曾建议在水利工程系中开设一门“水害学”，专门研究水利建设产生的危害，并提出要动态地而不是静止地研究，要在流域范围内而不是在局部范围内研究，要突破水利水电行业范畴站在国家长远利益高度进行研究等建议。但只在事后反省是不够的，重要的是在汲取教训的基础上，从规划、设计、建设和运行中就予以考虑，从源头上进行协调，使水利建设要以水体本身存在于一个健全生态系统之中为前提，对已造成的损害，则努力进行修复，我想这就是作者提出“生态水工学”的要旨。

水利工程与生态环境间的相互关系，在河流开发治理上表现得最为集中，国外也以此为研究嚆矢。首先触动人们的是水利建设产生的环境影响(如水质污染、饮水安全、泥沙淤积、滑坡地震、移民环境等)，进而发现还存在更深层次的对生态系统的完整性和生物多样性的影响。对于这些影响，普通民众可能一时体会不到其意义，对于专家学者、水利工程师和政府却需要高瞻远瞩充分重视。20世纪50年代，德国创立了“近自然河道治理学”，以后，日本提出“多自然型建设工法”，美国则称为“自然河道设计技术”，董教授在2003年首先提出“生态水工学”一词，在前人的基础上有所开拓，其内容还包括河流健康评价，河流生态系统价值评估，水库生态调度以及河流生态系统修复技术等。作者为引入生态水工的概念，探索和发展生态水工的内容与技术，已牵头做了大量工作，其努力也开始得到重视，一些地方的河流生态修复工程开始采用生态水工学的理念和技术，国内有些院校已经以“生态水工学”为研究方向招收研究生。继续探索和发展，不难形成一门新兴的交叉学科。作者的努力是有成果的。

完成这些论著并不容易。董教授原来从事工程结构研究，很有建树，当他察觉到生态问题已成为水利水电发展的瓶颈后，毅然转向环境问题研究，并进行了艰苦的调研、探索和实践。他组织跨学科的专题组，深入现场参与和指导一些省市的河流生态修复试点工程，为弄清怒江水电开发的生态影响问题，进入怒江上

.....

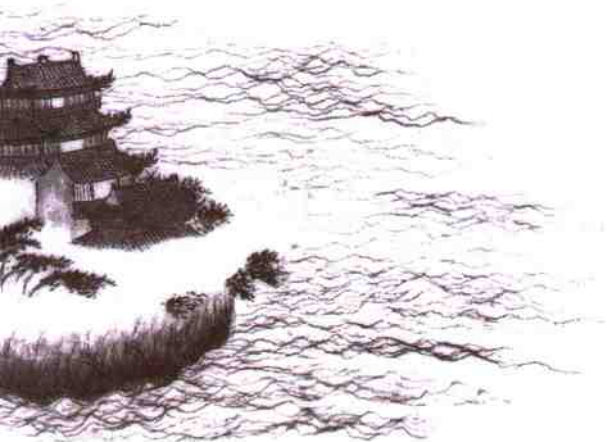
游原始地区深入调查。他详细研究外国的有关理论和经验，并全程考察了欧洲莱茵河和日本、韩国的生态工程，发扬了我国“读万卷书、走万里路”的好传统，这才为撰写这两本书奠定基础。在当前充满浮躁气氛的环境中，这种精神是很值得肯定和提倡的。

总之，在读过许多水利工程的书藉后，再读这两本书，会使人有清新的感觉。这两本书全面分析了水利工程的利弊，总结水利建设对生态系统的负面影响，探讨造成这种影响的机理，反思传统的规划、设计和管理中的不足，而且不停留在总结教训上，进一步提出解决问题的方法和技术，既立足我国国情，又借鉴外国的先进理论和经验，既有理论探索意义，又有工程实用价值。它们为水利工程学和生态学这两个相距很远的学科架设了一座桥梁。书中还向我们传递了一个重要信息：水利工程的生态影响问题，在工程师和科学家的共同努力下，是可以解决的。事实将证明，我国不但在水利工程建设方面居于国际先进水平，在生态保护方面也会探索出符合国情的方法与技术。总之，书中的论述完全符合中央提出的“科学发展观”和“建设和谐社会”的精神。我由衷地祝贺这两本书的出版，并拉杂写了以上一些感触，也算是一篇序吧。

潘家铮

2007年2月

于北京





前言

水利工程在防洪、灌溉、供水、发电、航运和旅游等诸多方面对于保障社会安全、促进经济可持续发展发挥着巨大的作用，这是毋庸置疑的事实。但是另一方面，水坝和堤防、河道整治工程及跨流域调水工程等各类水利工程，对于河流、湖泊生态系统也造成了胁迫效应。水利工程的负面影响主要表现为改变了自然水文规律和引起地貌特征变化，从而不同程度地改变了生境条件，导致淡水生态系统结构和功能的变化。

在最近20余年，水利工程的生态影响问题在世界范围内受到广泛关注，也是国际环境保护领域极具争议的话题。在国际资源与环境研究领域有两种对立的理论：一种称之为“资源主义”，主张最大限度持续地开发可再生资源；另一种称之为“保护主义”，主张对自然界中尚未开发的区域进行保护，反对人类居住和进行经济开发。“资源主义”强调了满足人类经济发展需求的重要性，却忽视了维护健康生态系统对人类利益的长远影响。而“保护主义”虽然高度重视维护自然生态系统，但是反对人们对自然资源的合理开发利用，其结果往往会脱离社会经济发展的实际而成为空谈。比如，当今国际流行的反对建设大坝，进而主张拆除一切大坝的观点，可谓因噎废食，有失偏颇，大体可以归为保护主义这一类主张。

如何全面、辩证地对待水利工程的生态影响问题呢？一方面，要解决社会、经济、人口布局与水资源时空分布不协调的矛盾，或者要开发水电这种清洁能源，都离不开水库大坝等

水利工程，历史和现实确定了水利基础设施在我国社会经济生活中不可动摇的地位。另一方面，水利工程负面的生态影响是客观事实，不能回避或掩饰，应该科学地对待并给予高度重视。现代科学告诉我们，淡水生态系统的退化，生物多样性的减少，生态系统功能的降低，会给人类当前特别是长远利益带来损害。现在建设的水利工程，不但要造福当代，还要对子孙后代负责，为可持续发展留下足够的空间。未来的水利工程在权衡水资源开发利用与生态环境保护这两者关系方面，会理性地寻找资源开发与生态保护之间合理的平衡点，实现可持续发展的目标。

在工程技术层面上，纵观传统意义上水利工程的目标和技术，都是以建设和运行工程设施为手段，通过控制和改造河流，实现预期的经济效益和社会目标。传统意义上的水利工程虽然满足了社会经济需求，但是在不同程度上忽视了淡水生态系统的健康需求，因此对生态系统构成了胁迫效应。面对这个复杂问题，应坚持权衡利弊，趋利避害的辩证思维方法，探索通过工程措施、生物措施和管理措施，尽量避免、缓解或补偿水利工程对于河流生态系统的负面影响，达到社会效益与生态保护双赢的目标。这里，就提出了如何建设与生态友好的水利工程的新课题，提出了建设“生态水利工程”的概念。

什么是生态水利工程？生态水利工程是在满足社会经济需求的同时，兼顾淡水生态系统健康与可持续性的水利工程。

在工程理论和学科建设层面上，水利工程学的学科基础主要是水文学和水力学、结构力学、岩土力学等工程力学体系。学科的进一步发展需要吸收生态学的理论及方法，促进水利工程学与生态学的交叉融合，借以改进和完善水利工程的规划设计理论和管理方法。这样，一个新兴的交叉学科——生态水利工程学自然地成为研究的焦点。

生态水利工程学 (Eco-Hydraulic Engineering) 作为水利工程学一个新的分支，是研究水利工程在满足人类社会需求的同时，

.....
兼顾水域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。

生态水利工程学是对传统水利工程学的补充和完善。生态水利工程学在生态水文学和生态水力学理论的支持下,从技术方法方面研究以下内容:为新建工程提供减轻对河流生态系统所产生胁迫的规划设计方法;对已经人工改造的河流,提供河流生态修复规划设计的原则、方法及河流健康评估技术;对已建大坝工程提供水库生态调度技术。另外,还研究开发污染水体生态修复工程技术等。

本书编写的思路是,在系统阐述河流生态系统结构和功能的基础上,全面分析水利工程对生态系统的胁迫效应及其机理,反思传统水利工程规划设计和管理理论方法的不足,提出生态补偿和生态修复的技术对策和方法。

本书第1章概论——着力阐述了水文循环与生态系统间的耦合关系,论述水文循环的生态学意义。在社会—经济—自然复合生态系统的理论框架下,探讨淡水生态系统与社会经济系统的耦合问题,按照负反馈调节的原理来约束人类自身的活动,提出了人类社会与生态系统共享水资源的命题。全面归纳、分析了水利工程的三类胁迫效应及其影响机理,提出了建设生态水利工程的目标。第2章河流系统与生态修复——在提出“物理—生物—生态功能河流连续体”概念的基础上,探讨了河流生态修复的战略和技术问题。讨论了河流生态修复的关键问题,包括可变性,河流内流量及环境流量,泥沙与生物栖息地关系以及适应性管理等。第3章河流生态修复规划与评估——讨论了河流生态修复的目标与任务,规划设计的基本原则、技术方法和工具。在河流健康评估方面提出了“可持续利用的生态良好的河流”作为健康河流的诠释,并详细论述了河流健康的评价方法。第4章河流廊道生态工程技术——对河流廊道生态工程技术进行了系统总结,把传统水利工程技术 with 生态工程技术有机地融合起来,并结合示范工程

.....

进行阐述,提出了生态修复工程评估的原则。第5章水库的生态治理和生态调度——针对水库的生态阻滞现象所引起的富营养化等问题,大坝对洄游鱼类的阻隔问题以及水体温度分层等问题,重点介绍了大坝鱼道设计、水库水体水温计算方法和生物操纵技术几个专题内容。此外,还重点提出了“兼顾生态的水库多目标调度”的概念和方法,通过改善调度方式,缓解水库运行中对于生态系统的胁迫效应。第6章水环境修复生态工程——叙述了水环境修复生态工程技术,主要介绍了生物—生态类治污技术,包括:人工湿地技术;河道直接净化技术;土壤渗滤技术;稳定塘净化技术以及合并净化槽技术。第7章城市河流生态景观工程——讨论了城市河流的生态景观工程,提倡有别于城市园林景观的生态景观建设,目的是恢复河流的自然状态,展现河流内在的美学价值,同时发掘流域的人文精神,创造良好的人居环境。在相关章节中,还链接介绍了国内外大量的工程案例,期望对读者有所裨益。

近年来,国家提出了建设资源节约型和环境友好型社会的战略目标,水利部河流生态修复规划试点工程已经启动,形势发展之快令人鼓舞。随着形势的发展,河流生态系统的保护与修复工作迫切需要理论指导和技术支撑。在这样的大背景下萌生了撰写一部阐述生态水利工程原理与技术方法专著的想法。这本书是水利部科技创新项目的科研成果,总结了近年来作者参与的相关生态工程实践,同时广泛吸取了国内外的理论前沿成果和工程经验,经过4年的努力终得以完成。

由于本书涉及的专业领域十分广泛,因此需要兼容并包多学科的理论知识和技术方法。本书正是由具有不同专业背景的专家群体共同完成的,是集体智慧的结晶。这些作者是:董哲仁(第1章、第3章);孙东亚(第2章);孙东亚、赵进勇(第4章);陈文祥、蒋红、董哲仁、赵进勇、王东胜(第5章);李文奇、赵进勇、贾永志(第6章);朱晨东、孙东亚、董哲仁(第7章)。全书由董哲仁统稿。

.....

本书的编写和出版，一直得到中国科学院和中国工程院两院院士潘家铮先生的热情鼓励和积极支持，特别宝贵的是潘家铮院士拨冗为本书作序。中国水利水电出版社王照瑜编审早在2003年初就与作者约稿力促这本书的编撰出版，在编辑出版过程中他和曲大鹏、刘一荣美编又倾注了极大的热情，付出了许多心血。水利部黄河水利委员会水资源保护局董保华局长慷慨为本书提供了大量精美照片。在本书出版之际，谨向他们表示诚挚的谢忱。

水利工程的生态影响及对策问题是一个极具争议的复杂课题，涉及诸多学科领域。面对这样的困难，作者本着一种探索的态度撰写了这本书，以期起到抛砖引玉的作用。由于受理论水平和实践经验的局限，书中的疏误和缺陷是不可避免的，诚恳期待着专家和社会各界读者的批评指正。

作者

2007年2月

于北京



目 录

序

前言

第1章 概论

- 002 1.1 生态系统的基本概念
 - 1.1.1 生态系统的组成要素
 - 1.1.2 生态系统的结构
 - 1.1.3 生态系统的功能
- 011 1.2 水文循环与淡水生态系统
 - 1.2.1 湿地生态系统
 - 1.2.2 淡水生态系统及河流形态基本特征
 - 1.2.3 水文循环与淡水生态系统的耦合
- 031 1.3 淡水生态系统与社会经济系统的耦合
 - 1.3.1 社会—经济—自然复合生态系统
 - 1.3.2 生态危机
 - 1.3.3 水资源的开发、利用与调控
 - 1.3.4 来自生态系统的新挑战
 - 1.3.5 正反馈现象与负反馈调节
 - 【链接1.3-1】1998年大洪水后中国的退耕还林和退田还湖
- 041 1.4 我国河流湖泊的生态系统状况
 - 1.4.1 河流湖泊生态系统概况
 - 1.4.2 河流湖泊生态系统面临的问题
- 049 1.5 对河流生态系统的胁迫效应
 - 1.5.1 人类活动对于河流生态系统的胁迫效应
 - 【链接1.5-1】美国土地利用状况的变化
 - 【链接1.5-2】中国生物入侵概况
 - 【链接1.5-3】水葫芦——生物入侵的典型案列
 - 1.5.2 水利水电工程对河流生态系统的胁迫
 - 【链接1.5-4】人类活动对于长江水生动物和鱼类的影响
 - 【链接1.5-5】前苏联卡拉库姆运河的生态影响
- 070 1.6 生态水利工程学的内涵

- 1.6.1 人类与生态系统共享水资源
- 1.6.2 生态工程学的发展沿革
- 1.6.3 生态水利工程学的定义与内涵
- 【链接1.6-1】河流工学的不足

第2章 河流系统与生态修复

- 082 2.1 水系和河流分类
 - 2.1.1 概述
 - 2.1.2 河流分级
 - 2.1.3 河流连续体模型
 - 2.1.4 Rosgen地貌分类模型
- 095 2.2 河流的生态功能
 - 2.2.1 河流形态和功能
 - 2.2.2 生态特征
- 113 2.3 河流生态修复中的可变性
 - 2.3.1 气候的可变性
 - 【链接2.3-1】英国泰晤士河水闸的水位变化
 - 2.3.2 水文地貌特征的可变性
 - 2.3.3 景观和生态系统的可变性
 - 2.3.4 河岸带生态系统的可变性
 - 2.3.5 水域生态系统的可变性
- 123 2.4 河流生态恢复战略
 - 2.4.1 景观尺度
 - 2.4.2 生态系统连通性
 - 2.4.3 干扰和生态反应
 - 2.4.4 气候变化
 - 2.4.5 冲积河流形态调整的随机性
 - 2.4.6 人类活动
- 129 2.5 泥沙与生物栖息地
 - 2.5.1 概述
 - 2.5.2 河床演变
 - 2.5.3 泥沙对水生生物的影响
 - 2.5.4 泥沙的环境作用
- 137 2.6 河流内流量和环境流量
 - 2.6.1 概述