

董哲仁 著

*Exploration of
Eco-Hydraulic Engineering*

生态水工学探索



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

董哲仁 著

*Exploration of
Eco-Hydraulic Engineering*

生态水工学探索



内 容 提 要

本书收录了作者近年来发表的 40 篇文章。围绕大坝和水利工程的生态影响问题,阐述了水利工程对于河流生态系统的胁迫效应以及进行河流生态补偿的理念和工程技术途径,提出了生态水工学的理论框架和技术体系。本书内容分为 6 篇,包括生态水工学的理论框架,水利工程的生态影响及其补偿,河流生态修复规划方法,河流生态修复工程技术,河流健康及评估,受损水体的生态修复技术等。

本书既可供水利、水电、生态、环境等方面的相关专业的规划、设计、管理、科研和教学人员参考,也可供相关院校的师生教学参考。

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

责任编辑 王照瑜

封面设计 刘一桢

图书在版编目(CIP)数据

生态水工学探索 / 董哲仁著. —北京:中国水利水电出版社, 2007

ISBN 978-7-5084-4380-5

I. 生… II. 董… III. 水利工程—生态学—研究 IV. TV

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 019770 号

书 名	生态水工学探索
作 者	董哲仁 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	北京中科印刷有限公司
规 格	787mm×1092mm 16 开本 19 印张 450 千字
版 次	2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—2200 册
定 价	55.00 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

智者樂水

仁者樂山

——
孔子《论语》

作者简介



董哲仁，满族，工学博士。1943年2月6日出生于北京。1966年毕业于清华大学水利工程系。现任中国水利水电科学研究院教授、博士生导师，全球水伙伴（GWP）中国委员会主席，水利部科学技术委员会委员，中国水利学会常务理事，清华大学、大连理工大学、四川大学、河海大学兼职教授。

主要研究领域为水工结构分析和生态水工学。著有《钢筋混凝土非线性有限元分析原理与应用》、《钢衬钢筋混凝土压力管道设计与非线性分析》、《水工结构分析论文集》和《生态水利工程原理与技术》等5部，主编《当代水利科技前沿》、《莱茵河——治理保护与国际合作》等10部，发表论文100余篇。

EXPLORING ECO-HYDRAULIC ENGINEERING

Summary

This book embodies 40 articles published by the writer in recent years. In this book, stresses of dams and other hydraulic engineering on river ecosystems are analyzed comprehensively. Concepts and technologies are brought forward for ecological compensations and rehabilitations. Theoretical framework and techniques of Eco-Hydraulic Engineering are also put forward. This book consists of 6 chapters, i. e. theoretical framework for Eco-Hydraulic Engineering, ecological impacts and compensations of hydraulic engineering, river restoration planning and design methods, river restoration technologies, river health and its evaluation, ecological rehabilitation techniques for polluted water bodies.

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.

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，是配套的姐妹篇。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，以避免在严酷的全球竞争中被淘汰；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须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，以至造成严重后果。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，普通人民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籍后，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

水利水电工程在防洪、供水、发电、灌溉和航运等诸方面对于社会经济发展贡献巨大，为举世公认。可是在水利水电工程的生态影响方面，无论是国际还是国内长期以来都一直存在着不同认识。

在我国，近年来就水电开发建设水坝问题上出现了一场争论。有些环保人士提出大坝严重破坏了河流生态系统，他们认为世界已经进入了“后大坝”时期，需要进行冷思考，因而坚决反对大坝和水电站建设，呼吁“保留原生态河流”。在国外，从20世纪80年代开始在欧美国家就出现了“反坝运动”，同期在前苏联，社会上也出现了反对跨流域调水工程的舆论浪潮，这些社会浪潮造成的后果是一些重要的水利水电工程计划因此而束之高阁。

近100多年来，依靠巨大的经济力量，利用现代科技手段，对河流进行了大规模的开发利用，兴建了大量工程设施。这些工程设施在防洪、供水、发电、灌溉、航运等方面，对保障社会安全，促进经济发展发挥了巨大的作用，这是毋庸置疑的事实。人类对于河流改造的规模是空前的。据联合国机构的一份报告估计，至今全世界有大约60%以上的河流经过了人工改造，包括建设水坝和堤防、河道整治工程以及跨流域调水工程，河流100多年的人工改造超过了数万年的自然演进。水利工程在不同程度上改变了河流的地貌特征和水文特征，改变了生物栖息地条件，对淡水生态系统的结构和功能产生影响，导致生态系统不同程度的损害。

国内外反坝人士强调了水利水电工程的负面生态影响，但是却片面夸大了这种影响，以偏概全，同时也脱离了我国的国情，得出了有失偏颇的结论。在我国讨论生态保护问题必须与国家社会经济可持续发展相结合。具体在水资源利用上，要解决社会经济格局、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，都离不开水利水电工程。历史和现实早就确定了水利水电工程在社会经济生活中不可动摇的地位。反坝人士忽视了这种经济社会需要，只管反对工程建设，却没有给出解决问题的方法，从而把问题推向了一个极端。

但是,另一方面,如果在开发与保护问题上,片面追求经济效益,为了促水利水电工程尽快立项上马,而对其产生的负面生态影响采取回避甚至掩饰的态度,也是一种对历史不负责任的短视行为。建设水利水电工程不但要把经济效益留给子孙后代,还有责任把河流生物多样性和丰富的自然遗产留给后代,为可持续发展留下足够空间而不是留下遗憾。正确的态度应该是敢于面对,高度重视,寻求解决办法。摆在我们面前的问题是,如何立足于中国国情,以一种辩证的思维方法,力求趋利避害,既要开发水资源和水力资源,又要尽量降低对于生态系统的负面影响或者给予必要的补偿,力争资源开发与生态保护达到双赢,实现可持续发展的目标。除了立法、环评、规划等宏观问题以外,从工程技术的层面上看,就提出了构建与生态友好的水利工程技术体系的新课题。

现在的水利工程学以工程设施为手段,通过对河流的控制和改造,达到为人类社会谋取经济利益的目的。无论是我们的工程教育体系,还是现行的技术规程规范,都告诉我们如何建设一个安全的、具备特定功能的水利水电工程以满足社会经济的需要,但是却没有系统地告诉我们如何善待河流生态系统,如何兼顾满足生态系统的需求。

同一条河流,在水利工程师眼里与在生态学家眼里大概是不一样的。水利工程师眼中的河流是具有资源属性的河流,包括它的水量、水质和水头等。生态学家的眼中看到的则是具有生态属性的河流,是河流生态系统的整体性以及结构和功能等。如果没有不同专业背景专家之间的沟通,就可能各执一词,难以取得共识。由此看来有必要架设一座桥梁来沟通两个相距很远的学科。生态学家可能需要了解水利工程的重要作用和功能。水利工程师可能需要重新认识河流,不仅仅是具有水文、水力学特征的河流,更需要认识作为淡水生态系统的动脉、具有生命特征的河流。可能需要了解淡水水域生态系统的基本特征,研究水利工程到底对于生态系统产生什么负面影响,这些负面影响的作用机理是什么。在此基础上,水利工程师可能需要反思现行的水利工程规划设计和管理的技術方法,考虑规划设计水利水电工程时,是否不自觉地形成了对河流生态系统的某些损坏,进一步的问题是如何采取工程措施、生物措施和管理措施,减轻负面影响,对生态系统实施补偿,这就需要探索新的理论、方法和技术。

生态水利工程学(eco-hydraulic engineering)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。

现在的水利工程学的学科基础主要是水文学和水力学、结构力学、岩石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,用以改进和完善水利工程的规划方法及设计理论。所以生态水利工程学将是一门交叉学科,也是一门应用的工程学科。

在这样的背景下,在水利部创新课题研究项目的支持下,笔者一方面总结参与的国内河流生态修复示范工程实践;另一方面充分借鉴国外先进的理论和技术,针对水利工程生态影响及其技术对策问题,自2002年提出了发展生态水工学的理念,随后发表了一系列文章,就工程的生态影响和技术对策问题进行探讨,又应邀在一些大型研讨会上发表主旨演讲,这些文章在水利行业 and 环境保护领域都引起了广泛的反响。

为方便读者,本书选取了作者近年发表的40篇文章,由中国水利水电出版社结集出版以飨读者。文章内容包括生态水工学理论框架、水利工程的生态影响及其补偿、河流生态修复规划方法、河流生态修复工程技术、河流健康及评估以及受损水体的生态修复技术等6个方面内容。

近年来,水利部提出人与自然和谐相处发展水利事业的新理念。2005年颁布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中提出:“在保护生态基础上有序开发水电”的原则。同年,水利部召开了“河流生态修复研讨会”。由《今日中国论坛》发起召开了“水利工程生态影响研讨会”。另外《第二届黄河国际论坛》和《首届长江论坛》都把河流生态健康问题作为会议主题。2006年水利部召开了“水域生态保护和修复规划研讨会”。以全面、辩证的观点对待水利水电工程的生态影响问题渐成主流。几十年传统的“改造自然,征服河流”的观念已经成为历史的一页,代之以人水和谐,可持续发展的新理念。同时,水利部一批河流生态修复的试点工程陆续启动。这样,几年前在水利系统还很陌生的“河流生态修复”这样的词语,现在已经耳熟能详了。形势的发展令笔者备感欣喜,同时进一步认识到,有了正确的理念还需要有工程技术方法的支撑,因此要加倍努力工作来满足社会新的需求。

在本书付梓之际,作者由衷感谢母校老师张光斗院士对我的鼓励。2003年初张先生看了我的文章“生态水工学的理论框架”后即写信给我,认为文章“具有学科创新意义”,并要求我多关注流域生态问题。中国科学院、中国工程院两院院士潘家铮先生对于我专注于水利水电发展的瓶颈问题研究更是勉励有加,并嘱我“吸纳百家,自成一家”,特别可贵的是潘家铮院士拨冗为

本书作序。

作者由衷感谢中国水利水电科学研究院的孙东亚博士、彭静博士、李文奇博士等在课题研究中的贡献与合作精神。由衷感谢张代娣女士和博士研究生赵进勇在整理文稿、编辑本书所作的努力。

水利工程生态影响及技术对策问题是涉及诸多学科的崭新课题，对作者来说，研究这个课题是一个巨大的挑战，需要重新学习、重新认识、重新探索。可以说，目前生态水工学还是一个学科发展目标，处于襁褓之中远未成熟，需要不同学科的更多研究者共同努力，需要有更多的工程实践。当前，我们仅仅迈开了探索的第一步。由于作者理论知识的欠缺和研究能力的局限，本书中的错误和缺陷在所难免，作者本着求教于科技界的愿望出版此书，望各界专家和广大读者不吝赐教。

作者

2007年1月21日于北京木樨地

目 录

序 前言

■ 第 1 篇 生态水工学理论框架	1
探索生态水利工程学	3
生态水工学的理论框架	14
试论生态水利工程的基本设计原则	22
水利工程经济效益与生态功能综合评价的矩阵方法	30
在发展与保护间寻找和谐平衡点——与葛里高利·托马斯的对话	37
天人合一与生态保护	43
河流治理生态工程学的发展沿革与趋势	49
■ 第 2 篇 水利工程生态影响及其补偿	55
保护和恢复河流形态多样性	57
河流形态多样性与生物群落多样性	65
水利工程对生态系统的胁迫	73
筑坝河流的生态补偿	82
水坝建设与生态保护	90
水库多目标生态调度	92
怒江水电开发的生态影响	99
■ 第 3 篇 河流生态修复规划方法	107
河流生态恢复的目标	109
试论河流生态修复规划的原则	116
流域尺度的河流生态修复	122
河流生态修复的尺度、格局和模型	129
中国水土保持可持续发展战略初探	137

河流保护的发展阶段及思考·····	142
河流生态修复工程的评估准则·····	146
对河流生态修复的几点认识·····	153
中国的河流生态修复进展·····	155
■ 第4篇 河流生态修复工程技术 ·····	163
关于在堤防工程规范中增加生态技术内容的建议·····	165
河流生态修复的适应性管理方法·····	173
河流生态修复的技术和实践·····	178
河流地貌多样性的修复方法·····	185
生态型护岸工程的设计要点·····	195
重庆市苦溪河生态治理的实践·····	202
美国基西米河生态恢复工程的启示·····	210
荷兰围垦区生态重建的启示·····	219
■ 第5篇 河流健康及其评估 ·····	225
河流健康的内涵·····	227
可持续利用的生态健康河流·····	234
维护河流健康与流域一体化管理·····	237
河流健康评估的原则和方法·····	242
河流生态功能综合评价的层次决策分析·····	247
国外河流健康的评估技术·····	255
■ 第6篇 受损水体的生态修复技术 ·····	263
受污染水体的生物—生态修复技术·····	265
亟待建立突发性水污染事故应急管理体系·····	272
受损水体修复的生态工程研究与示范·····	274
附录·····	280
后记·····	283

Contents

 Chapter 1 Theoretical Framework of Eco-Hydraulic Engineering	1
Exploration of Eco-Hydraulic Engineering	3
Theoretical Framework for Eco-Hydraulics	14
On the Design Principles of Eco-Hydraulic Engineering	22
Matrix Method of Comprehensive Evaluation on Economic Benefits and Ecological Functions of Hydraulic Engineering	30
Seeking Balances between Development and Ecological Conservation	37
Harmony between Nature and Humanity and Ecosystem Conservation	43
Development and Trends of Ecological Engineering in River Training Practices	49
 Chapter 2 Ecological Impacts and Compensations of Hydropower Projects	55
Conservation and Restoration of River Morphology Diversity	57
Diversity of River Morphology and Diversity of Bio-Communities	65
Stresses of Hydraulic Projects on Ecosystem	73
Ecological Compensations for Damed Rivers	82
Dam Construction and Ecological Conservation	90
Multi-Objective Ecological Operations of Reservoirs	92
Ecological Impacts of Hydropower Development on the Nujiang River, China	99
 Chapter 3 Planning of River Restoration	107
Objectives of River Restoration	109
Discussion on Principles of River Ecological Restoration Planning	116
River Rehabilitation on Watershed Scales	122
Scale and Pattern for Ecological Restoration of River	129
Strategies for Sustainable Soil and Water Conservations	137
Development Stage and Thinking of River Restoration	142
Assessment Standards of River Restoration Projects	146
Opinions on the Practices in River Restoration	153
Progresses of River Restoration in China	155
 Chapter 4 Techniques for River Restoration	163
Suggestions on the Supplement of Technologies of Ecological Engineering to Dike Codes	165

Adaptive Management Methodologies in River Restoration	173
River Ecological Restoration; Techniques and Practices	178
Techniques for the Restoration of River Geomorphology Diversity	185
Design Points for the Ecological Riverbank Protection Projects	195
Practice of Kuxi River Ecological Improvement in Chongqing City	202
The Enlightenment from Kissimmee River Ecological Restoration Project	210
Revelations of Ecological Restoration of Land Reclamation Areas of the Netherlands	219
 Chapter 5 River Health and Assessment	225
River Health Connotation	227
Sustainable Ecological Healthy Rivers	234
Sustaining Health of Rivers with Integrated River Basin Management	237
Principles and Methods of River Health Assessment	242
Analytic Hierarchy Process in Evaluating River Ecosystem's Function	247
Overseas Assessing Technology for River Health	255
 Chapter 6 Ecological Technologies for the Rehabilitation of Polluted	
Water Bodies	263
Biological/Ecological Rehabilitation Techniques of Polluted Water Bodies	265
Urgent Need to Set up Emergency Management System for Outburst Water	
Pollution Accidents	272
Studies and Demonstrations of Ecological Engineering Technologies for the	
Rehabilitation of Polluted Water Body	274