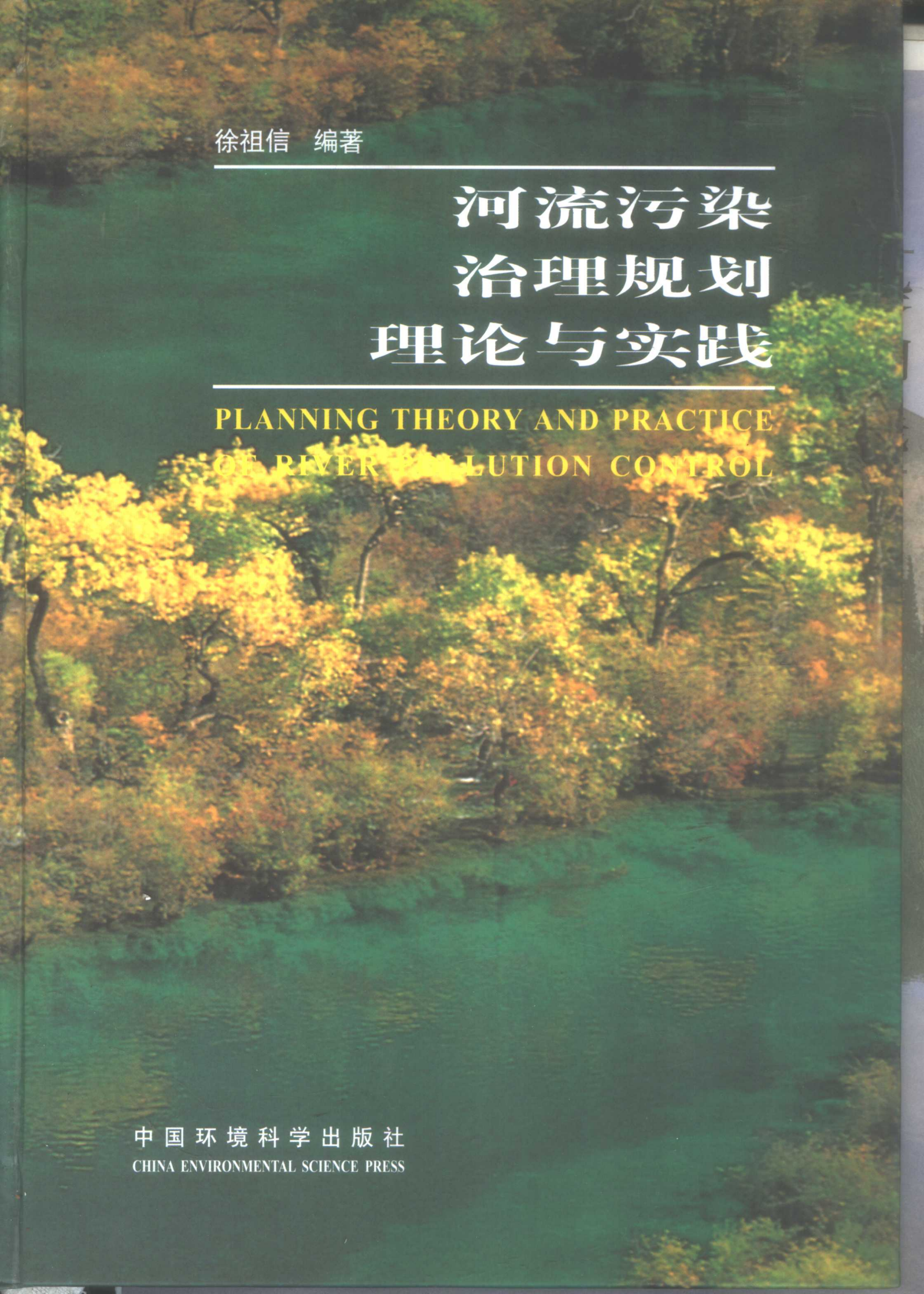


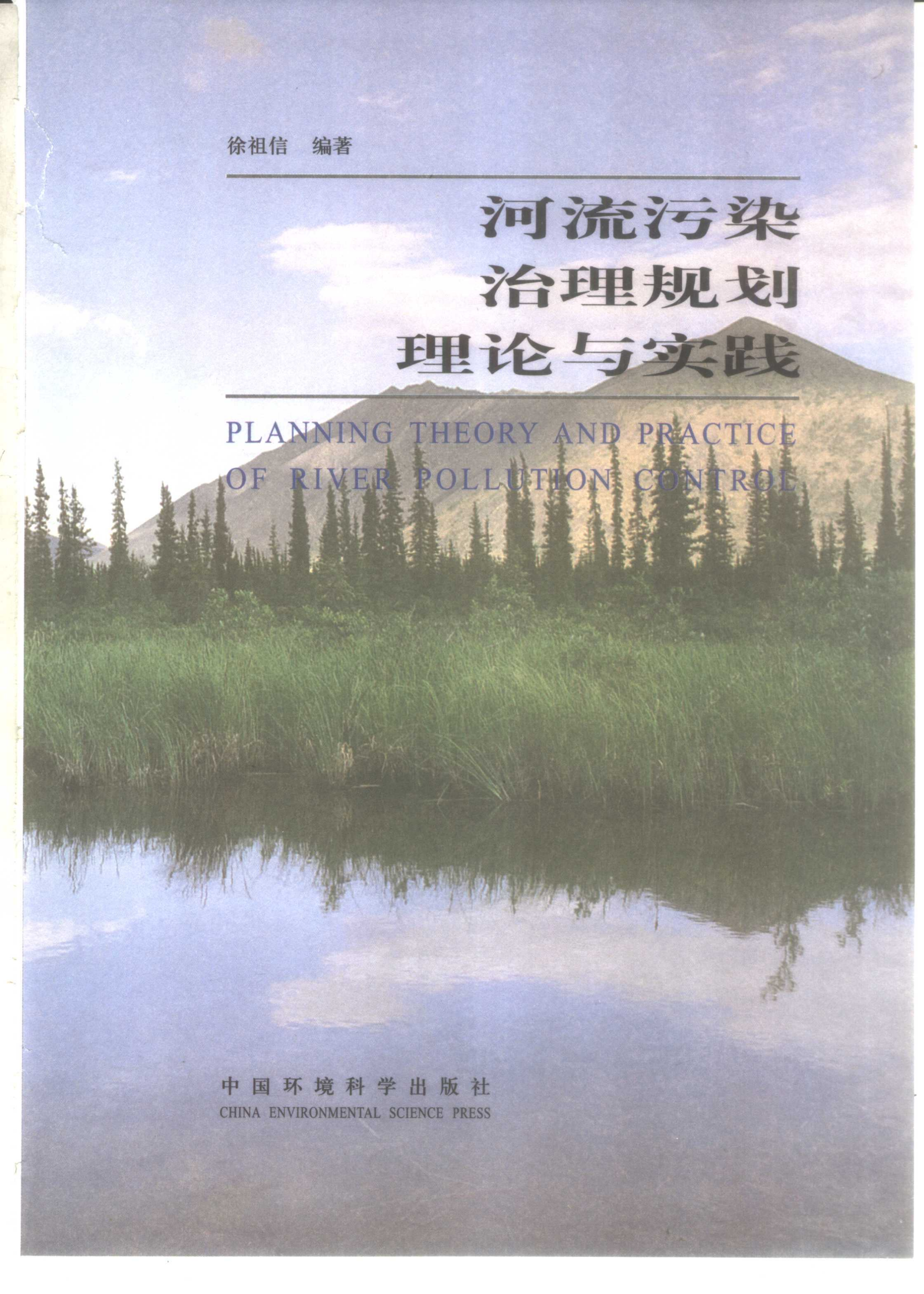


徐祖信 编著

河流污染 治理规划 理论与实践

PLANNING THEORY AND PRACTICE
OF RIVER POLLUTION CONTROL

中国环境科学出版社
CHINA ENVIRONMENTAL SCIENCE PRESS



徐祖信 编著

河流污染 治理规划 理论与实践

PLANNING THEORY AND PRACTICE
OF RIVER POLLUTION CONTROL

中国环境科学出版社
CHINA ENVIRONMENTAL SCIENCE PRESS

图书在版编目(CIP)数据

河流污染治理规划理论与实践 / 徐祖信编著.

—北京: 中国环境科学出版社, 2003.2

ISBN 7-80163-517-5

I. 河… II. 徐… III. 河流污染—污染防治—
环境规划 IV. X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 005676 号



即中国环境科学出版社环境科学编辑部。

工作室以出品环境类图书为宗旨, 服务社会。工作室同仁愿成为您的朋友。

出 版 中国环境科学出版社
(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子信箱: sanyecao@cesp.com.cn
联系电话: (010) 68224798 传真: (010) 68164074

印 刷 北京中科印刷有限公司

经 销 各地新华书店

版 次 2003 年 2 月第一版 2003 年 2 月第一次印刷

印 数 1—5 000

开 本 787×1092 1/16

印 张 53.75

字 数 1110 千字

定 价 120.00 元

【版权所有, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本工作室更换

序

人类对环境问题的认识,经历了曲折的道路,得到了惨痛的教训。现代工业的发展为人类创造巨大物质财富的同时,人类环境也为它支付了相当的代价。随着全球经济的高度发展,大量污染物排入自然环境,环境问题相继出现,敲响了警钟。人类的生存和发展面临巨大的挑战,开始看到以破坏生态环境为前提的发展不能持久,会给人类的生存带来灭顶之灾,必须走可持续发展之路,实现经济和环境的协调发展,才能为我们自己和我们的子孙后代保留生存和发展的良好条件,这是全人类共同的责任。

在环境问题中,水资源短缺日益突出。生态破坏使原本不缺水的地区水资源枯竭,水环境污染使大江大河水质恶化,严重威胁人民健康安全。在严酷的现实面前,人类终于认识到水是基础性的自然资源 and 战略性的经济资源。水污染的治理和水资源的可持续利用,是经济和社会可持续发展的重要保证,是治国安邦的大事,必须下大力气解决水污染问题,在水资源的开发利用中,既要遵循自然规律,也要遵循价值规律。

水污染控制是一个复杂的系统工程,受到技术、经济、社会等诸多因素的影响。要使水污染的治理工作卓有成效,关键是要制订一个科学的、合理的、统揽全局、符合实际的治理规划,以有计划、有步骤地安排水环境污染治理工程,合理调整社会经济活动,有效管理水资源开发,协调水污染治理各组成部分的关系,达到技术经济和社会效果整体最优。

本书是作者在多年从事教学和水环境污染治理工作的基础上,对水环境污染治理规划编制原则和技术的总结。该书系统阐述了河流的水文、环境和生态要素、污染物质在河流中的迁移转化规律。详细论述了水环境的一维数学模型、二维数学模型和三维数学模型的数值解法和水环境容量的计算技术。还专题讲述了水环境功能区的划分、环境经济学基本概念、河流地理信息系统和水环境污染治理决策支持系统。以上述

技术分析为依据,介绍了制订污水处理系统规划、河流污染治理规划和河网地区水污染治理规划的程序、框架和规划实施的政策、法规,构筑了完整的制定河流污染治理规划的理论体系。

上海市委、市政府多年来高度重视水环境的污染治理工作,苏州河的治理卓有成效。本书除了系统的理论体系外,另一个鲜明特点是理论结合实践,详细总结和介绍了上海河流污染治理的规划和实践经验,这对于全国城市河流污染治理的深入展开,很有参考价值。

我很高兴为本书作序,希望全国各地从事水环境污染治理、水资源管理的各级领导和专业技术人员在工作实践中对《河流污染治理规划理论与实践》一书予以注意和参考。我国河流污染治理任重道远,由衷希望我们大家共同探讨水环境污染治理问题,通过大家的共同努力,改善水环境质量,造福全国人民。



2002年12月于北京

前言

长期以来,我国环境基础设施的建设速度滞后于经济发展,导致大量工业废水、生活污水、农业污染未经处理直接排入江、河、湖、海,造成水环境严重污染。为了改善水环境质量,几十年来,各级政府在水环境污染控制方面投入了大量的人力和物力,采取了一些有效措施,取得了一些成效。但是,仍然有许多亟待解决的问题,如城市污水处理率低下,工业废水不能全面达标排放,农业污染成为水环境富营养化的主要根源之一,环境激素、二噁英等新的环境污染问题又摆在了我们前面。许多城市河道水体黑臭,农村河道水葫芦泛滥,饮用水源区的水质达不到国家规定的标准。

总之,我国水环境污染治理任务艰巨。水污染趋势的控制和水污染问题的解决,需要几十年持之以恒的努力,需要巨大资金投入,更需要全国人民共同参与。完成这么一项长期而艰巨的任务,迫切需要制订一项合理、科学、全面、符合实际情况的,可以解决实际问题的水污染治理规划。

从历史的经验教训中可以看出,水环境污染的形成不是孤立的,它们实际上是在当代技术经济条件下,人类活动与生态平衡、经济发展与环境质量、污染物排放与环境容量、生产工艺与污染治理、人工处理与自然净化,以及各种处理过程之间一系列关系的失调所致。水环境污染治理规划的重要内容是综合协调好这些关系,以可持续发展的观点,制订水污染治理的长期目标、中期目标和短期目标,对实现目标的措施进行环境经济分析,以达到水环境治理的技术经济和环境效果整体最优。

1970年代以来,水环境污染控制开始把人类活动与水环境放在一起作为一个系统来看待和处理。水环境污染控制过程中客观存在的种种制约关系以及系统论的思想和现代系统工程方法的发展都促使人们去系统研究水环境污染控制问题,更为迫切需要能够模拟水体中污染物迁移、转化规律的数学模型,能够定量计算水环境自净容量的模式以及技术经济和环境效益最优的分析方法,为制订水环境污染治理规划提供重要信息。

随着水污染控制技术的发展,水污染控制的方法越来越多。除了传统的对外部点污染源进行截流和处理外,面源污染的控制、水体内部的污染治理也是水污染控制系统中的重要组成部分。水污染治理规划的核

心是综合利用各种措施以改善水质和水生态系统并使水污染治理的投资效益最大。

计算机技术和决策支持系统的发展使水环境信息管理、流动模拟和决策支持更加简便,为水环境污染治理规划的制订提供了高效、实用的手段;此外,水环境污染治理的政策、法规是水污染控制和水环境管理的重要依据,对于水环境保护有重要意义。

多年来,作者一直从事环境流体力学的教学、科研和河流污染治理工作。在工作实践中,深深感到要使河流污染治理做到投资和效益最优,至关重要的是在大量调查的基础上,运用科学手段制订合理的规划。在多年教学、研究和工作实践的基础上,借苏州河治理一期工程技术总结机会,编写了这本书,期望和全国同行共同奋斗,为我国河流污染治理尽绵薄之力。限于学术水平和实践经验的不足,难免有错误和疏漏。敬请批评指正。

本书共分16章:第1~2章,主要介绍河流环境质量调查和评价方法;第3~9章,主要阐述了水环境数学模型及数值求解方法、环境容量的计算模式、总量控制方法和水环境功能区的划分;第10章介绍了环境经济评述的常用方法;第11~15章,介绍水环境污染治理规划编制,包括污水处理系统规划编制、河流污染治理规划编制和河网地区水污染治理规划的编制;最后,第16章,介绍了上海水环境治理与保护规划及“十五”行动计划。每一章的后面都附有一个实例,一方面是介绍上海水环境污染治理的实践经验;另一方面是为了帮助读者对每一章的理论加深理解,以对全国各地水污染治理工作有所启迪。

参与本书编写的同志还有上海市环境科学院的曹芦林常务副院长、黄沈发院长助理、林卫青总工程师,上海市环保局的罗海林处长,上海市监测中心张锦平副总工程师,上海市环境信息中心刘东胜高级工程师,作者的数十个博士研究生和硕士研究生也参与了本书的资料收集与整理工作,付出了辛勤的劳动,尤其是廖振良、尹海龙、卢士强、王晟和王正达等同学不仅参与了编写工作,还承担了部分科研任务。在编写过程中,得到了上海市环保局、上海市环境监测中心、上海市苏州河整治领导小组办公室和上海市政府各有关委、办、局的支持。借本书出版之际,表示真挚的感谢。

本书承蒙国家环保总局解振华局长作序。多年来,解局长对上海的环境保护工作给予了大力支持,对作者的学习、研究和工作给予关怀和指导,在此一并表示感谢。

徐祖信

2002年11月于上海

母亲河的比喻，表达了我们内心对河流的赞美。有了奔腾不息的河流，才有了大地万物欣荣。我们曾在母亲的怀抱肆掠，忽略了母亲的呻吟。母亲流出了浑浊的泪水，河流不再滋润生命。扪心自问，我们怎么可以虐待生命之源？仰天长叹，怎样才能赎回母亲的青春？

徐祖信



徐祖信，同济大学教授、博士生导师、学术委员会委员，上海市环境科学研究院院长，上海市环境科学学会副理事长，上海市人民政府水环境整治专家组组长，上海市苏州河环境综合整治领导小组办公室常务副主任，上海市环境保护局副局长。主要研究领域为工程可靠度计算和风险分析、水力学及河流动力学、环境流体力学、环境规划和水环境污染治理。近期集中于水环境整治决策支持系统的开发、水环境治理与保护规划的制定、河流污染控制理论与技术的研究，及其在苏州河污染治理中的应用。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 河流的环境问题	3
第二节 河流污染治理规划制订步骤	25
第三节 上海黄浦江、苏州河概况	30
第二章 河流环境质量评价	38
第一节 河流环境要素调查	38
第二节 河流环境质量评价	79
第三节 2000 年上海市水环境污染源调查	107
第四节 黄浦江水环境生态质量现状评价	119
第三章 环境流体力学基本理论	128
第一节 引论	128
第二节 流体运动学预备知识	133
第三节 流体运动的基本方程	145
第四节 紊流基础	154
第五节 扩散理论	175
第六节 剪切流中的离散	193
第七节 河流中污染物的迁移与转化	201
第八节 苏州河污染物迁移转化规律研究	231
第四章 水环境数学模型基础	258
第一节 水环境数学模型简介与分类	258
第二节 水动力学基本方程	261
第三节 水质数学模型及解析解	273
第四节 水环境数学模型的建立步骤	297
第五节 数学模型参数确定	298
第六节 数学模型的数值求解方法	301
第七节 初始条件及边界条件的处理	307
第八节 国外常用水环境数学模型简介	310

第五章 河网一维水动力、水质模型的数值模拟	316
第一节 一维水动力、水质数学模型基本方程.....	316
第二节 河网概化.....	317
第三节 一维水动力、水质模型的数值计算.....	322
第四节 苏州河水系一维水动力、水质模型研究.....	342
第六章 二维水动力、水质模型的数值模拟	389
第一节 二维水动力模型基本方程.....	389
第二节 二维水质模型基本方程.....	392
第三节 浅水方程的数值计算方法.....	393
第四节 二维水质数学模型数值计算方法.....	408
第五节 二维水动力与水质模型计算网格.....	416
第六节 常用二维水动力和水质数学模型简介.....	423
第七节 黄浦江二维水动力与水质数学模型研究.....	426
第八节 长江口、杭州湾二维模型研究.....	443
第七章 三维水动力、水质模型的数值模拟	447
第一节 三维水动力、水质数学模型基本方程.....	447
第二节 三维水质数学模型解析解.....	448
第三节 三维水动力和水质模型数值解.....	451
第四节 长江口南支水流及污染物质输运数值模拟.....	463
第八章 水环境容量计算和总量控制	471
第一节 水环境容量的基本概念.....	471
第二节 水环境容量的分类和特征.....	473
第三节 河流零维问题水环境容量计算.....	475
第四节 一维问题的河流水环境容量计算.....	478
第五节 河网动态水环境容量的计算.....	481
第六节 总量控制的概念.....	483
第七节 总量控制污染负荷的分配.....	486
第八节 水环境容量计算实例.....	490
第九章 河流环境功能区划	500
第一节 功能区划分的指导思想和原则.....	500
第二节 河流环境功能与其他因素的关系.....	504
第三节 河流环境功能区的划分方法与步骤.....	506
第四节 上海市水环境功能区划.....	508

第十章 环境经济学的基本理论	515
第一节 环境与经济的关系	515
第二节 环境经济学概要	521
第三节 环境经济学运用的主要经济学原理	522
第四节 环境恶化的经济学原因分析	531
第五节 解决环境问题的经济学对策	537
第六节 环境经济学的基本分析方法	539
第七节 环境保护投资	546
第八节 环境管理的经济手段	551
第九节 上海江桥垃圾焚烧厂环境费用效益分析	561
 第十一章 城市污水系统规划编制	 568
第一节 城市污水系统	568
第二节 城市污水系统规划的程序、原则与内容	570
第三节 城市排水系统规划	574
第四节 规划的技术方法	582
第五节 排放口设置最优规划	612
第六节 城市污水处理厂规划	631
第七节 城市污水系统最优规划	638
第八节 上海市苏州河水系污水系统规划	647
 第十二章 河流污染治理与保护规划编制	 658
第一节 河流功能分析	658
第二节 河流污染治理与保护目标	658
第三节 规划指导思想和基本原则	661
第四节 河流污染治理规划模型	664
第五节 外源污染治理	667
第六节 内源污染治理	688
第七节 苏州河整治二期工程目标分析	690
 第十三章 河网地区水污染治理规划编制	 696
第一节 河网地区水污染治理规划编制的指导思想、目标和原则	696
第二节 河网地区水污染治理规划编制程序	703
第三节 苏州河第三次调水试验	710
第四节 浦东新区水污染防治规划编制	723

第十四章	水环境决策支持系统 (DSS)	734
第一节	决策支持系统概述	734
第二节	水环境地理信息系统	740
第三节	水环境模型库系统	743
第四节	水环境决策人机交互系统	748
第五节	水环境决策支持系统的开发方法	752
第六节	上海市苏州河水环境决策支持系统	757
第十五章	河流污染治理规划实施的政策和法规	774
第一节	河流污染治理规划的实施	774
第二节	水环境保护标准	777
第三节	水环境保护政策	792
第四节	水环境保护法律法规	797
第五节	水环境管理	799
第六节	上海水环境保护法规体系	804
第十六章	上海市水环境治理与保护规划暨“十五”计划	813
第一节	总则	813
第二节	自然、社会、水环境和治理设施概况	815
第三节	水环境治理基础设施现状	817
第四节	水环境治理区域划分	820
第五节	水环境污染治理规划	823
第六节	河网水流调度规划	836
第七节	配套措施	840
第八节	“十五”水环境治理与保护行动计划	845

第一章 绪论

水是生命之源，是人类发展最重要的自然资源。水与人类关系密切，工农业生产和人类生活都消耗大量的水。除了支撑地球生命外，水是热容量最大的物质之一，能吸收大量的热量，起到调节气候的作用。流动的水具有物质输运和分解功能，在一定容量范围内，自动降解人类活动排泄的污染物质从而净化水质。在水的流动过程中，重新塑造地形地貌，为人类构筑生存的土地。总之，人类所有的活动都离不开水的支持。

地球表面的水在太阳辐射能和地心引力的作用下，不断蒸发到大气中，在大气环流的作用下，运动到不同的地方，再以降雨或降雪的形式回到地球表面，形成地球圈的水循环。全世界水的总储存量为 14 亿 km^3 ，其中 97% 为海洋咸水，只占总水量 3% 的淡水中，77% 以冰川的形式存在，22.4% 为地下水和土壤水，江、湖等地表水的总量大约只有 23 万 km^3 。

由于水资源分布不均匀，致使许多国家和地区缺乏可用水资源。世界人口增长和社会经济发展，对水的需求量越来越大，有些地方甚至超过了当地的水资源供给能力。每天，人类生产和生活产生大量污水，大部分未经处理就排入了水体，造成水资源污染逐年加重。在水资源受到污染的同时，用水浪费的现象也很严重。许多统计数据表明，工业从水源的取水量远远大于实际耗水量；农业灌溉利用率低，不仅浪费了水资源，还降低了土壤质量；城市管网和卫生设施漏水是城市生活用水中浪费最大的一项。此外，地下水的盲目开采，导致地下水位降低，海水入侵，使地下水含盐量增加，失去了使用价值。所有这些问题都进一步减少了可用的水资源量，据联合国预测，水将成为 21 世纪人类发展面临的最严重的挑战。全世界将有近 10 亿人得不到清洁的饮用水，17 亿人缺乏起码的公共用水设施，这两个问题将威胁人类的发展和世界和平。

我国江河众多，流域面积在 100km^2 以上的河流有 5 万多条， 1000km^2 以上的河流有 1500 多条，年平均降水量 61889 亿 m^3 ，平均降水 650mm，河川年径流量约为 2800 km^3 ，居世界第 6 位。我国还有 1km^2 以上的湖泊 2711 个，总面积 90864 km^2 ，淡水湖的总储水量为 2240 亿 m^3 。此外，我国还有大约 43000 个冰川，总面积 58700 km^2 ，占亚洲冰川总量的 50%。以上数据表明，我国水资源总

量比较丰富,但我国人口总量大,人均水资源仅相当于世界人均占有量的 $1/4$,排在世界第 121 位。

我国水资源分布极不均匀,绝大部分河流分布在我国东部多雨的季风区,西北地区河流很少,气候干燥,水资源缺乏。我国水污染趋势还没有得到控制,河流污染严重,全国七大水系中有近 50% 的河段遭受了严重污染,尤以辽河、海河、淮河最为严重。1994 年 7 月,2 亿多 m^3 的污水从淮河上游宣泄而下,形成了长 70km 的污染带,又黑又臭的河水使鱼类大量死亡,工厂生产停顿,沿河城市、乡村近 20 万居民喝不到卫生的饮用水,淮河告急。污染造成的水资源功能降低或丧失对原本不足的水资源犹如雪上加霜。我们曾愚昧地只知向自然挑战,不知尊重自然,一味筑坝堵水、滥伐森林、侵占湿地、围湖造田,导致大片森林消失在崇山峻岭间,许多湖泊湿地萎缩退化,众多河网水系干涸消亡,洪涝干旱灾害频繁。此外,水的浪费现象仍十分严重,种种因素综合的结果是我国水资源日益短缺,已被联合国列为 13 个贫水国家之一。

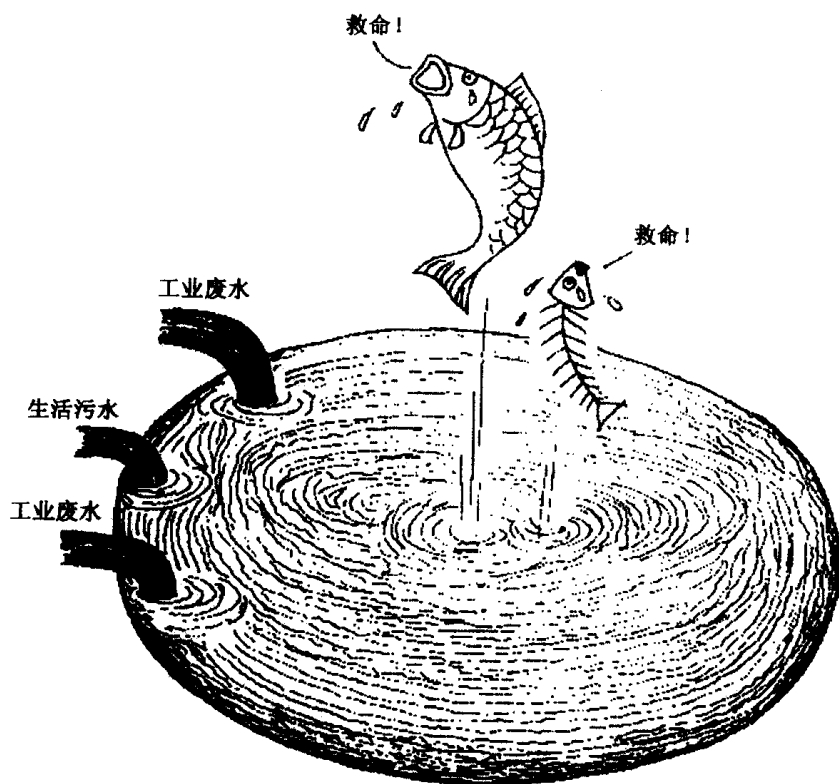


图 1-1 河流污染治理刻不容缓

要解决这些问题,应该采取积极的措施。主要包括:

(1) 农业是我国的用水大户,由于效率低下,用水浪费现象严重。因此,科学灌溉、减少浪费是减少农业用水的最有效的办法。同时,针对我国水资源分布不均匀的特点,在西北缺水地区禁止种植高耗水作物,因地制宜,调整农业结构。

(2) 推行清洁生产,减少工业生产用水量和废水量是源头治理和预防为主治理路线,只有这样,才能从根本上解决工业污染问题。提高工业循环用水率,也是降低工业用水量的有效方法,尤其在北方水资源紧张的地区,更要坚持工业废水的重复利用,不仅可以减少工业用水量,还能减轻工业废水的处理量,社会效益和经济效益都十分可观。

(3) 提高城市下水道普及率、建设城市污水处理厂是解决城市污水对水体污染的根本途径。在水资源缺乏的地区,城市污水处理厂的建设要考虑中水回用问题,合理确定污水处理厂的选址和处理技术。

(4) 加强畜禽养殖污染的治理,控制畜禽养殖业的发展规模和速度,合理布局饲养密度,建立种养结合的生态工程,对畜禽废水进行处理和综合利用。

(5) 加强水资源的管理,制定合理的污染防治法律、法规,完善用水的经济政策,提高全民节约用水的意识,加强城市供水管网的养护,减少浪费。

以上列举的是解决水资源污染的部分主要措施,可以看出,水资源污染治理涉及到社会、经济、环境等各个方面,要统筹解决水资源的污染问题,将涉及到不同的部门、不同的技术专业领域,也涉及到巨大的投资。因此,必须制定一个科学的污染治理规划,不同部门、不同专业技术领域中的工作必须在污染治理规划所确定的框架范围内协同进行,才有可能解决水资源的污染问题。

鉴于水资源污染问题牵涉面广,影响因素多,不同水域的污染特性不一致,治理的方法也不相同。另外,几十年来,我国在河流污染治理与保护上投入了大量的人力、物力,也取得了一定的成效。但是,我国河流污染的趋势并没有得到根本解决,有些城市和地区的河流污染仍在加重。所以,本书着重对河流污染治理规划的制订进行一些深入的探讨。治理和恢复已受到污染的河流系统是放在环境科学工作者面前的一个重要课题,是一项复杂而艰巨的系统工程,任重而道远。

第一节 河流的环境问题

一、河流的环境要素

河流系统是陆地水环境中重要的组成部分,河流系统环境质量的好坏通常直接影响到湖泊和海洋的环境质量。衡量河流环境质量的要素可以分成水文要素、水质要素和水生态系统要素。

(一) 水文要素

河流的水文要素包括流量、水位、泥沙量等,水文要素的变化取决于当地的气象条件、下垫面因素和河道几何特征。气象条件又是主要影响因子,降水、蒸发、气温、气压、湿度、风速、风向、日照强度等都会影响河流的径流量和水深。

下垫面因素是指河流集水区的面积、河网密度、地形、坡度、土壤、地质、植被、人类活动等；河道几何特征包括河流长度、河面与河底宽度、坡降等。

1. 水位与水深

河流、湖泊、沼泽、水库等水体的自由水面离开某一固定基面的高程称为水位。虽然已规定在全国范围内统一采用青岛附近黄海海平面为高程的基准面，但由于历史的原因，许多大江大河使用大沽基面、吴淞基面、珠江基面作为基准面。河流水深，则是指河流的自由水面离开河床底面的高度，受河床地形变化，岸边水深较浅、河流中心或航道线的水深较深。显然，河流水深是绝对高度指标，可以直接反映出河流流量的大小，而水位是相对高度指标，必须明确某一固定基面才有实际意义。

2. 流速与流量

流速是描述河水流动快慢的指标，流量是指单位时间内流经过水断面的水量，流量是断面平均流速与过水断面面积的乘积。流量大小直接影响到河流对污染物的稀释、扩散能力。

3. 泥沙

河流水体中的泥沙，一般来自于水土流失和河床底质的再悬浮。泥沙颗粒物的粒径和重量直接影响泥沙的悬浮、沉积、移动和滚动。天然河水挟带的泥沙在流速减慢的地方会发生沉降，使河道淤积、河床升高，对流动、航运、灌溉和取水产生影响。全国主要外流河流域的泥沙量见表 1-1。

表 1-1 全国外流河流域的河流泥沙特性

	东北 各河	华北 各河	黄河	淮河	长江 (大通站)	浙闽	珠江 华南	西南 各河	合计
平均含沙量(kg/m ³)	0.50	8.72	37.05	0.25	0.54	0.11	0.20	0.08	5.93
输沙量(10 ⁸ t)	0.86	1.50	15.93	0.15	5.02	0.26	0.95	1.62	26.29
输沙量占总量比(%)	3.2	5.7	60.6	0.6	19.1	1.0	3.6	6.2	100

4. 潮汐

地球与月球之间的引力及其变化特征，引发了地球表面海洋的潮汐现象，不同地方、不同时间，海洋有不同潮汐涨落规律。潮流沿着入海河流溯流向上，直接影响着河流的水位、流速和流量。潮汐现象相当复杂，但大致可分成三种基本类型，即：半日潮型（一日内出现两次高潮和两次低潮）、全日潮型（一日内只有一次高潮和一次低潮）和混合潮型（一月内有半日潮型和全日潮型出现）。

（二）水质要素

在环境学中，河流水体是水、溶解性物质、悬浮性物质、水生生物、底泥组