

苏州河 底泥污染与整治

许世远 陈振楼 俞立中 著
周乃晟 郑祥民



科学出版社

www.sciencep.com

苏州河底泥污染与整治

许世远 陈振楼 俞立中 著
周乃晟 郑祥民

科学出版社

北 京

Sediment Pollution and Rehabilitation in Suzhou Creek

**Xu Shiyuan Chen Zhenlou Yu Lizhong
Zhou Naisheng Zheng Xiangmin**

Science Press

Beijing

内 容 简 介

城市河流污染是当今世界各国普遍存在的突出环境问题之一。上海苏州河在我国以污染历史最长、污染程度最重、整治力度最大的城市河流著称。本书旨在进一步探讨苏州河资源环境结构、污染底泥的三维空间分布、底泥主要污染物含量和分布特征、底泥水质影响及其整治方案、底泥疏浚对河势和环境的影响、河流水动力和水质模拟与预测,以及国外城市河流污染整治经验与范例,这是一本理论和实践紧密结合的学术专著。本书为城市河流污染的研究和治理提供了一系列原创性的独特思路和方法,拓展和丰富了环境生态学和城市自然地理学的理论体系,具有重要的学术和应用价值。

本书可供地理、地质、水利、环境保护、水土资源和城乡规划等专业的科技工作者、管理决策者及相关专业大专院校师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

苏州河底泥污染与整治/许世远等著. —北京:科学出版社, 2003

ISBN 7-03-012211-9

I. 苏... II. 许... III. 河流—底泥—污染防治 IV. X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 082005 号

策划编辑:彭 斌 朱海燕/文案编辑:李久进/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社编务公司编辑制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2003年9月第一次印刷 印张:11 1/4 插页:2

印数:1~1500 字数:224 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前言

城市河流污染是目前全球范围内普遍存在的突出环境问题之一。第二次世界大战以后,西方发达国家一味追求经济的高速发展,忽视了环境保护工作,急剧增长的大量工业废水和生活污水直接排入城市水系中,将河流当成天然的排污沟,导致城市河流水质严重恶化,甚至出现季节性和常年性的水体黑臭现象,鱼虾绝迹,河流生态系统遭到毁灭性破坏。为此,从20世纪60年代起,西方发达国家先后投入巨资,对城市河流污染开展了大规模的综合治理工作。经过数十年的努力,终于使昔日污浊不堪的泰晤士河、莱茵河、塞纳河等著名城市河流恢复了生机,重现河中鱼群嬉戏、岸边绿树成荫的自然生态景观,成为一道亮丽的城市风景线。

我国在1978年改革开放以前,国民经济长期处于低速发展状况,当西方发达国家纷纷出现严重的城市河流污染问题,并开展大规模治理的时候,我国除少数城市外,这一问题并不突出。从20世纪80年代起,随着改革开放力度的不断加大,我国社会经济进入了持续高速发展阶段。由于各地在经济发展过程中往往以牺牲环境为代价,大量工业废水和生活污水就近直排入河,致使许多城市河流重蹈西方发达国家之覆辙,走上了先污染后治理的老路。到20世纪90年代中期,日趋严重的城市河流污染问题引起了全国各地政府和公众的强烈关注,许多大中城市都将城市河流污染治理作为改善城市形象、提升城市品位、促进城市经济持续发展的重大实事工程之一,纷纷制定了雄心勃勃的、庞大的城市水环境综合整治规划。近年来,部分城市的河流污染治理已初步取得了阶段性成效,虽然距离完全恢复河流的生态环境功能尚有很大的差距,但毕竟在攻克城市河流污染这一顽症的路途上迈出了坚实的一步。

在城市河流污染治理过程中,底泥污染与整治一直是主要的难点之一。作为排入河中的各类污染物主要归宿场所之一,城市河流底泥中累积了大量的有毒、有害有机和无机污染物,通过与上覆水体间的物理、化学和生物交换作用,底泥中的污染物在适当条件下会重新释放,成为影响和制约上覆水质的主要二次污染源;同时,城市河流底泥中还混杂有大量种类繁多、被两岸居民随意抛弃的生活垃圾,直接影响河道景观,特别是在感潮型河流中,落潮期间垃圾随底泥出露,十分有碍观瞻。但是,一方面由于城市河流沿岸污染源分布、河道形态、水动力条件、沉积环境等存在较大差异,底泥沉积结构构造、污染物种类和含量水平、污染

底泥的三维空间分布及其水质影响程度和机制等相当复杂;另一方面,因受防汛墙安全、船舶航运、桥梁通行高度、底泥毒性和垃圾、环境影响、生态效益等因素的制约,对城市河流污染底泥的疏浚和处置技术有很多特殊要求,经济成本较大。因此,在底泥污染的治理上,长期以来一直存在争议,决策者也往往在这一问题上举棋不定。究其原因,主要在于国内外有关城市河流底泥污染的理论 and 实践比较薄弱,对污染底泥的空间分布规律、水质影响程度和机制、疏浚和处置技术、环境和生态效应等关键的科学问题,缺乏系统深入的全方位研究和探讨所致。

苏州河是上海的母亲河,全长约 125km,在上海境内长 53.1km,横贯市区约 23.8km。上海开埠以前,苏州河水质清澈,水产品种类繁多,渔业兴盛。但是,近百年来,随着上海近代工业的兴起和城市规模的扩大,美丽的苏州河因接纳大量城市污水而不断蒙垢。从 1920 年起,苏州河市区段就出现季节性的水质恶化现象,到 1978 年苏州河在上海境内已全部遭受污染,市区段水质远劣于国家地表水 V 类标准,终年黑臭难闻,成为一条远近闻名的污水浜,不仅严重影响了市民的日常生活和健康,而且极大地损害了上海国际大都市的形象。因此,综合整治苏州河水环境,重塑城市整体形象,成为上海可持续发展过程中迫切需要解决的重大问题。

1996 年,上海市政府将苏州河污染综合整治列为“九五”期间上海水环境防治的重中之重,专门成立了苏州河环境综合整治指挥部和办公室,明确提出了苏州河的功能定位和综合整治目标,揭开了全面整治苏州河环境的序幕。1998 年苏州河水环境综合整治一期工程正式启动,实施了包括截污、引清、调水、疏浚、建闸等十大工程项目,总投资 86.5 亿元。2003 年 1 月一期工程全面竣工,取得了世人瞩目的显著治理成效:困扰上海 80 余年的苏州河干流黑臭现象基本消除,主要水质指标达到国家地表水 V 类景观用水标准。为了巩固一期工程的整治成果,2003 年 4 月苏州河水环境综合整治二期工程又正式启动,继续以治水为中心、截污治污为重点,计划用 5 年的时间使苏州河的水质和两岸景观得到进一步的显著改善,初步恢复苏州河水环境的生态功能。

在苏州河水环境综合整治一期工程启动之前,为了给工程项目的设置和顺利实施提供科学的决策依据,上海市科学技术委员会和苏州河整治领导小组办公室组织国内外有关院校、科研院所和公司企业,对苏州河治理过程中的若干重要科学问题和应用技术开展了协同攻关,资助了一系列“九五”科技攻关项目。其中,由华东师范大学承担了“苏州河底泥污染特征、三维空间分布及其水质影响研究”和“苏州河底泥对水环境的影响及其处理对策”两个攻关项目的研究工作。同时,上海市教育委员会结合重点学科建设,资助华东师范大学开展了“苏州河沿岸资源环境结构与污染底泥三维分布研究”。本书就是在这三个项目研究成果和研究

报告的基础上,经过进一步的综合、集成、凝练、提高、深化撰写而成的。

本书共分9章:第一章绪论,主要论述了城市河流污染历史与现状、国内外研究进展与存在的问题、底泥污染与水质变化的关系,并简要介绍了苏州河水环境综合整治规划;第二章分析了苏州河的资源环境结构,包括自然地理特征、水质污染历史、沿岸区域社会经济结构、土地利用、点源与非点源污染等;第三章论述了苏州河污染底泥的勘测方法和三维空间分布特征,建立了底泥数字高程模型,估算了底泥疏浚土方量;第四章探讨了苏州河底泥主要污染物包括 COD_{Cr} 、 NH_4^+-N 、重金属和微量有机物的含量水平和空间分布规律,评价了底泥的污染程度;第五章实验模拟了苏州河污染底泥对上覆水质的影响程度,比较了底泥整治的各种方案,并进行了工程投资和效益评估;第六章分析了苏州河底泥疏浚对河势的可能影响;第七章评价了两种不同疏浚工艺及底泥处置过程中产生的环境影响;第八章运用 WASP4 模型,对苏州河水动力和水质进行了模拟,预测了引清和截污两种治理措施的效果;第九章总结了国外城市河流污染治理的基本经验,并介绍了英国泰晤士河、俄罗斯莫斯科河、德国莱茵河三个典型范例。

苏州河是我国污染历史最长、污染程度最重、治理经费投资最大的城市河流。其成功的整治经验,对我国各地正在进行的城市河流污染治理具有示范和借鉴意义。本书针对苏州河底泥污染问题,从环境、生态和城市自然地理角度,对苏州河底泥污染规律与治理技术进行了系统的总结和深入的探讨,在理论和实践上为我国城市河流底泥污染的研究和治理提供了一个比较完整的范例,拓展和丰富了环境科学和地理科学的理论体系和研究方向,具有重要的学术和应用价值。本书以大量第一手资料和数据为写作基础,研究方法上注重多学科交叉、宏观规律与微观机制相结合、野外实地观测与实验和计算机数值模拟相结合,采用了国内外最新的底泥勘测、采样、分析和 GIS 建模技术,研究内容上涵盖了城市河流底泥污染的几乎所有重要科学问题,具有明显的原创性。本书还十分关注理论与具体应用的结合,书中提出的许多方法均具有很强的可操作性。本书可供我国地理、地质、水利、环境保护、水土资源和城乡规划等专业的科技工作者、管理决策者及相关专业大专院校师生参考。

本书基础资料主要来自我们承担的苏州河底泥污染系列攻关项目的研究报告。参与这些项目工作的同志还有:陈邦林、汤建中、贺宝根、束炯、吴健平、杨凯、孙以义、刘敏、顾志文、陈学林、高效江、张卫国、许羽、冯立平、沈铭能、黄昌发、张立、宋韬、侯玉国、顾群、许强、袁努、陶静、郑晓阳、袁宣民、史守正等。在本书写作过程中,毕春娟、王军、姚春霞、李丽娜、胡玲珍、张菊、路月仙、张兴正、邓焕广、刘伟等同志协助参与了资料的整理和编辑工作。科学出版社彭斌、朱海燕、李久进同志为本书的出版付出了辛勤劳动;上海市科学技术委员会、

教育委员会和苏州河整治领导小组办公室对我们的研究工作给予了大力支持；上海市自然地理学重点学科建设项目资助了本书的出版。作者在此一并致以衷心感谢！

城市河流底泥污染的研究难度较大，限于时间、条件和水平，书中错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

苏州河市区段污染底泥的疏浚工作，因种种原因至今尚未进行，我们殷切希望本书的出版能给底泥疏浚工程的顺利实施，提供科学的决策依据，以彻底根治苏州河水污染，还上海母亲河逝去百年的清丽容颜！

许世远 陈振楼 俞立中 周乃晟 郑祥民

2003年6月28日于华东师范大学丽娃河畔

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 城市河流污染历史与现状.....	1
一、概述	1
二、城市河流污染历史	1
三、城市河流污染现状	3
第二节 城市河流污染研究进展.....	5
一、国外城市河流污染研究进展	5
二、国内城市河流污染研究进展	7
三、存在问题和今后的努力方向	9
第三节 城市河流底泥污染与水质变化	10
第四节 苏州河水环境综合整治规划	11
第二章 苏州河资源环境结构分析	13
第一节 自然地理特征与历史变迁	13
一、自然地理特征	13
二、历史变迁	14
第二节 水质污染历史与现状	15
一、水质污染历史	15
二、水质污染现状	15
第三节 沿岸区域社会经济结构分析	18
一、沿岸区域社会经济结构现状	18
二、沿岸区域社会经济结构演变趋势及其对苏州河水质影响	21
第四节 沿岸土地利用调查与分析	23
一、土地利用现状调查	23
二、土地利用现状、变化及存在的问题	23
三、沿岸土地利用结构调整的设想与建议	25
第五节 沿岸点源和非点源污染调查与分析	26
一、沿岸点源污染调查与分析	27
二、沿岸非点源污染调查与分析	31
第三章 苏州河污染底泥的三维空间分布	33
第一节 野外调查勘测与采样方法	33

一、底泥三维空间分布勘测方法	33
二、底泥柱样采集方法	34
三、水位测量方法	36
第二节 污染底泥的空间分布特征	37
一、底泥岩性特征	37
二、空间分布基本特征	38
三、重点河段分布特征	41
四、重点部位分布特征	43
五、分段分布特征	43
第三节 污染底泥的三维空间分布模型	52
一、底泥柱样数据库的建立	53
二、河底数字高程模型的建立	54
三、空间形态视觉化的实现	55
第四节 污染底泥的土方量计算	56
一、设计标高的污泥疏浚土方量计算	56
二、污泥量的计算	58
第四章 苏州河底泥主要污染物的含量和分布特征	60
第一节 底泥实验分析方法	60
一、COD _{Cr} 分析	60
二、NH ₄ ⁺ -N分析	60
三、重金属分析	60
四、难降解有机污染物	60
第二节 底泥典型钻孔岩性描述	61
一、S005-2 孔	61
二、SZ2-1 孔	62
三、S007-1 孔	62
四、Z006-3 孔	62
五、Z013-1 孔	62
六、S015-1 孔	62
七、S016-3A 孔	63
八、S003-1 孔	63
九、Z029-1 孔	63
十、S031-3 孔	63
第三节 底泥 COD _{Cr} 、NH ₄ ⁺ -N 的含量和分布	63
一、含量水平	64
二、沿程分布	64
三、垂直分布	66

第四节 底泥重金属的含量和分布	68
一、含量水平	68
二、沿程分布	69
三、垂直分布	71
四、讨论	75
第五节 底泥微量有机污染物的种类、含量和分布	76
一、种类鉴别	77
二、含量水平	77
三、垂直分布	78
第五章 苏州河污染底泥的水质影响及其整治方案	79
第一节 底泥耗氧速率 SOD 和 COD 释放速率 R_{COD} 的实验模拟	79
一、静态实验	79
二、动态实验	80
三、流速历时曲线测验	80
第二节 污染底泥对上覆水水质的影响	80
一、泥沙颗粒的再悬浮条件	81
二、泥沙颗粒再悬浮与耗氧速率的关系	82
三、底泥污染物释放对上覆水水质的影响程度	83
第三节 污染底泥整治方案的比较和选择	84
一、不清除底泥以维持现状	84
二、彻底清除污染底泥	85
三、不清除底泥以曝气供氧的方式消除底泥对上覆水质影响	86
四、用砂石覆盖底泥	86
五、开挖疏浚、覆盖砂石和曝气复氧相结合	87
第四节 拟用方案工程投资和方案实施后效益评估	88
一、开挖疏浚	88
二、覆盖砂石	89
三、曝气复氧	89
第六章 苏州河底泥疏浚对河势的影响	91
第一节 河势特征	91
一、河道及断面	91
二、水位变化	92
三、流速分布	93
四、流量变化	95
五、含沙量分布及泥沙级配	96
第二节 底泥疏浚对沿程高水位的影响	98
第三节 底泥疏浚对流速流量的影响	99

第四节 底泥疏浚对悬移质泥沙运动的影响	99
一、疏浚对含沙量的影响	99
二、疏浚对河床冲淤平衡的影响	104
第五节 河势变化对水质的影响	104
一、对耗氧性有机污染物含量的影响	104
二、对耗氧性有机污染物降解速率和有毒金属含量的影响	106
第七章 苏州河底泥疏浚过程的环境影响	107
第一节 底泥疏浚工艺试验方案	107
一、试验目的和内容	107
二、试验时间及河段	107
三、试验监测方案	108
四、试验监测项目和分析方法	108
第二节 底泥疏浚工艺环境影响评价	108
一、试验河段水质现状评价	108
二、冲吸式和抓斗式疏浚工艺的环境影响评价	110
第三节 底泥处置方法及其环境影响	111
一、作为农肥堆田	111
二、作为城市绿地用泥	112
三、作为垃圾堆场覆盖泥	112
四、制作陶粒,用来替代黏土作建筑材料	113
五、投海和填地	113
第四节 底泥疏浚施工过程的环境保护措施	113
一、支流全面截流是底泥疏浚的先决条件	113
二、疏浚过程中船舶废水的污染控制措施	114
三、施工噪声的控制措施	115
第八章 苏州河水动力和水质模拟及预测	116
第一节 WASP4 模型简介	117
一、水动力模型	118
二、水质模型	121
第二节 河网概化及模型变量确定	123
一、资料来源与河网概化	123
二、模型变量的确定	123
第三节 水动力和水质模拟	124
一、水动力模拟	124
二、水质模拟	127
第四节 水污染治理效果的预测	130

一、污水截流试验·····	131
二、引清冲污试验·····	131
三、引清与截污组合试验·····	133
四、结论和讨论·····	135
第九章 国外城市河流污染整治经验与范例·····	136
第一节 国外城市河流污染整治的基本经验·····	136
一、制定法律使水污染治理有法可依·····	136
二、建立统一的区域水管理体制·····	136
三、完备下水道系统并建立污水处理厂·····	137
四、建立完善的水质监测体系·····	139
五、建筑大坝并引水冲污·····	139
六、多渠道筹集资金使水污染防治产业化·····	140
第二节 国外城市河流污染的评价指标·····	140
第三节 国外城市河流污染底泥的处置·····	141
第四节 国外城市河流污染整治范例·····	142
一、英国泰晤士河的水污染防治·····	142
二、俄罗斯莫斯科河的污染治理·····	148
三、德国莱茵河的污染治理·····	151
参考文献·····	154

CONTENTS

Preface

Chapter 1 Introduction	1
1. History and present pollution of city rivers	1
1.1 General	1
1.2 History pollution of city rivers	1
1.3 Present pollution of city rivers	3
2. Research developments of city river pollution	5
2.1 International research developments of city river pollution	5
2.2 Chinese research developments of city river pollution	7
2.3 Problems and trends	9
3. Relationship between sediment pollution and water quality	10
4. Rehabilitation program of water environments in Suzhou Creek	11
Chapter 2 Analysis of resource and environmental structure	13
1. Physical geographical characteristics and history changes	13
1.1 Physical geographical characteristics	13
1.2 History of Suzhou Creek	14
2. History and present water pollution	15
2.1 History water pollution	15
2.2 Present water pollution	15
3. Analysis of social and economic structure in coastwise areas	18
3.1 Present situation of social and economic structure	18
3.2 Trends and impacts	21
4. Investigation and analysis of land exploitation in coastwise areas	23
4.1 Investigation of land exploitation	23
4.2 Present situation, variation and problems of land exploitation	23
4.3 Regulative suggestion of land exploitation	25
5. Investigation and analysis of point and nonpoint source pollution	26
5.1 Point source pollution	27
5.2 Nonpoint source pollution	31
Chapter 3 Spatial distribution of polluted sediments	33
1. Investigation and sampling methods	33

1.1	Investigation methods	33
1.2	Sampling methods	34
1.3	Hydrological survey methods	36
2.	Spatial distribution characteristics of polluted sediments	37
2.1	Lithology of sediments	37
2.2	General characteristics of spatial distribution	38
2.3	Distribution in key segments	41
2.4	Distribution in key parts	43
2.5	Distribution in each segment	43
3.	Three dimension distribution model of polluted sediments	52
3.1	Establishment of sediment core database	53
3.2	Establishment of the numeric altitude model	54
3.3	Visualization of spatial shape of polluted sediments	55
4.	Estimation of polluted sediment volume	56
4.1	Estimation of dredged sediment volume at a certain sea level	56
4.2	Estimation of total polluted sediments	58
Chapter 4	Contents and distribution of main pollutants	60
1.	Analytical methods of sediments	60
1.1	COD _{Cr}	60
1.2	NH ₄ ⁺ -N	60
1.3	Heavy metals	60
1.4	Persistent organic pollutants	60
2.	Lithology of sediment cores	61
2.1	Core S005-2	61
2.2	Core SZ2-1	62
2.3	Core S007-1	62
2.4	Core Z006-3	62
2.5	Core Z013-1	62
2.6	Core S015-1	62
2.7	Core S016-3A	63
2.8	Core S003-1	63
2.9	Core Z029-1	63
2.10	Core S031-3	63
3.	Contents and distribution of COD _{Cr} and NH ₄ ⁺ -N	63
3.1	Content degree	64
3.2	Longitudinal distribution	64
3.3	Vertical distribution	66

4. Contents and distribution of heavy metals	68
4.1 Content degree	68
4.2 Longitudinal distribution	69
4.3 Vertical distribution	71
4.4 Discussion	75
5. Species, contents and distribution of persistent organic pollutants	76
5.1 Species	77
5.2 Content degree	77
5.3 Vertical distribution	78
Chapter 5 Impacts of polluted sediments on water quality and rehabilitation measure	79
1. Simulation of SOD and R_{COD}	79
1.1 Static experiment	79
1.2 Dynamic experiment	80
1.3 Examination of water velocity	80
2. Impact of polluted sediments on water quality	80
2.1 Sediment resuspension condition	81
2.2 Relationship between the sediment resuspension and SOD	82
2.3 Impact extent of pollutant releasing from sediments	83
3. Comparative of rehabilitation measure	84
3.1 Scheme 1	84
3.2 Scheme 2	85
3.3 Scheme 3	86
3.4 Scheme 4	86
3.5 Scheme 5	87
4. Investment of selected scheme and benefit evaluation	88
4.1 Dredge	88
4.2 Sand cover	89
4.3 Oxygen charge	89
Chapter 6 Impacts of dredge on river	91
1. Characteristics of river potential	91
1.1 Riverway and cross-section	91
1.2 Water level	92
1.3 Velocity	93
1.4 Flux	95
1.5 Sandiness distribution	96
2. Impacts of dredge on water level	98

3. Impacts of dredge on velocity and flux	99
4. Impacts of dredge on mud movement	99
4.1 Impacts of dredge on sandiness contents	99
4.2 Impact of dredge on eroding and silting balance	104
5. Impact of river potential on water quality	104
5.1 Impact on COD concentrations	104
5.2 Impact on COD degradable velocity and heavy metal concentrations	106
Chapter 7 Environmental impact of sediment dredge	107
1. Test program of sediment dredge techniques	107
1.1 Aim and content	107
1.2 Date and segment	107
1.3 Monitor scheme	108
1.4 Analytical methods	108
2. Environmental impact evaluation of dredge techniques	108
2.1 Evaluation of present water quality	108
2.2 Environmental impact evaluation of two dredge techniques	110
3. Sediment treatment and its environmental impact	111
3.1 Farming	111
3.2 Greenbelt cover	112
3.3 Rubbish cover	112
3.4 Pottery material	113
3.5 Delivery to sea and filling	113
4. Environmental protection of sediment dredge	113
4.1 Waste water cutting of branches	113
4.2 Waste water control of shipping	114
4.3 Noise control	115
Chapter 8 Simulation and forecast of water dynamics and water quality	116
1. Introduction of WASP4 model	117
1.1 Water dynamic model	118
1.2 Water quality model	121
2. Conceptual river and model variable	123
2.1 Data source and river conceptualization	123
2.2 Model variable	123
3. Simulation of water dynamics and water quality	124
3.1 Simulation of water dynamics	124
3.2 Simulation of water quality	127