

城市河流污染控制理论与生态修复技术

金相灿 周付春 华家新 钟 明◎主编



科学出版社

城市河流污染控制理论与生态修复技术

金相灿 周付春 华家新 钟明 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书着重研究与讨论城市河流在城市化进程中的自然特征变迁、环境状态变化、生态系统演变及其带来的主要环境问题,阐述了城市河流中的有机化合物、重金属与营养盐的污染机理,同时系统地提出了城市河流污染治理与修复的理念、集成工程技术、管理平台与总体方案,系统介绍了城市河流清水产流机制修复体系与方法,并提供了三条城市河流综合治理的案例。

本书分上下两篇,共8章。上篇第1章着重介绍城市化过程中河流自然特征变迁以及河流城市化措施的思考;第2章说明目前城市河流水污染现状与主要环境问题;第3章分析城市河流中有机化合物、重金属、氮磷等水体污染的机理与过程;第4章阐述城市河流污染治理与修复的理念及思路、核心内涵以及总体思路和框架;第5章论述城市河流清水产流机制的修复与改善方法。下篇第6~8章介绍三个案例,分别是南方沿海某城市的河流污染的治理与修复方法,江南水网城市河流生态水系的保护,以及我国西南某城市河流的污染治理与修复理论。

本书涉及生态学、水利工程学、环境工程、有机化学、社会经济学等多个学科,可供相关领域科研、管理人员与高等院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市河流污染控制理论与生态修复技术/金相灿等主编. —北京:科学出版社,2015.5

ISBN 978-7-03-044186-7

I. ①城… II. ①金… III. ①城市-河流污染-污染防治-研究
IV. ①X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 087444 号

责任编辑:杨震 刘冉 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:肖兴 / 封面设计:铭轩堂

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>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年5月第一版 开本:720×1000 1/16

2015年5月第一次印刷 印张:16 3/4

字数:340 000

定价:88.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

编 委 会

主 编:金相灿 周付春 华家新 钟 明

副 主 编:蒋顺杰 孟庆宇 张金有 李万文 江伟斌

编 委:(按姓氏汉语拼音排序)

陈小斌 甘 磊 华家新 江伟斌 蒋顺杰

金相灿 来海亮 李 映 李万文 刘 霞

马 征 孟庆宇 孟宪东 王仕钦 徐岳华

杨雪玲 张金有 张志彬 邹结富 钟 明

周付春

书名题字:华家新

前 言

城市河流是我国水资源的重要组成部分,保持城市河流的生态健康是我国现阶段环境保护的重要内容之一,也是城市化建设过程中不可分割的一部分。河流是有生命的,临水而居,择水而憩,自古就是人类亲近水源、亲近自然的本性。不是每条河流边上都会有城市,但几乎每座城市中都会有一条或几条河流。城市河流是重要的陆地生态系统之一,也是人类文明赖以生存和发展的基础,它孕育了人类的早期文明,大量繁荣的城市群依河流而生。

随着人类文明进入新的时代,城市河流承担了越来越多的功能,主要包括防洪功能、航运功能、供水功能、排污功能、景观功能、休憩功能等。在城市形成和发展中,城市河流作为最关键的资源和环境载体,关系到城市生存,制约着城市发展,是影响城市风格和城市环境的重要因素。城市河流是城市生态文明建设的重要组成部分,只有城市与河流和谐相处才能获得持续健康的发展。

河流的变迁和城市的发展息息相关。河流孕育了城市,也深深受到城市发展的影响。随着城市化和工业化的日益发展,城市河流水环境问题日益突出:城市河流流域下垫面的硬化造成或加重了城市内涝与洪灾的威胁,同时也造成了汛期内涝旱季无水的尴尬情况;超过城市河流环境承载力的污染排放进入城市河流,大量的城市河流水质恶化,一些城市出现了“有水皆污、有河皆枯”的情况;对于城市河流进行了大量的渠道化改造,“裁弯取直”、“三面光”等情况屡见不鲜,对城市河流的生态系统造成了巨大的影响,生态用水缺乏更加剧了城市河流生态系统的破坏。由于以上的环境问题的出现造成了城市河流的各种功能均受到不同程度的影响,如何有效开展城市河流污染综合治理与生态修复的工作已成为社会普遍关注的热点问题及各个城市的当务之急。

城市河流污染综合治理与生态修复的工作应从城市河流作为城市生态文明建设重要组成部分的高度出发,要将城市河流视作一个有生命的河流生态系统来开展治理与修复工作;要将城市河流治理与修复目标定位为尽可能地还原其原始河流的生态系统功能;要从城市河流的整个流域的范围整体考虑治理与修复的工作内容,不能仅仅对河流本身进行治理与修复;同时治理与修复的工作内容也要考虑城市河流与城市本身的和谐统一,要根据城市生态文明发展现状与规划,使城市河流生态系统与城市的可持续发展相适应,使城市河流生态系统达到新的生态平衡,实现城市河流的“新常态”。

本书分上下两篇,详细介绍城市河流的污染状况及污染控制理论,并将生态修

复技术应用到城市河流污染治理之中。上篇着重介绍城市化过程中河流自然特征变迁及河流城市化措施的思考以及目前城市河流水污染现状与主要环境问题,分析城市河流中有机化合物、重金属、氮磷等水体污染的机理与过程,并阐述城市河流污染治理与修复的原则、核心内涵以及总体思路和框架,城市河流清水产流机制的修复与改善方法。下篇介绍三个案例,分别是南方沿海某城市的河流污染的治理与修复方法,江南水网城市河流生态水系的保护,以及我国西南某城市河流的污染治理与修复理论。

本书涉及生态学、水利工程学、环境工程、有机化学、社会经济学等多个学科,涉及面广,虽经多次修改与完善,但不足之处仍在所难免,还望读者同仁给予批评指正。



2015年4月

目 录

前言

上篇 理论与方法

第 1 章 城市化过程中河流自然特征变迁	3
1.1 河流的主要城市化措施	3
1.1.1 对城市化的理解	3
1.1.2 河道的综合整治措施	4
1.1.3 河滨区城市建设措施	5
1.1.4 上游水库建设措施	6
1.1.5 河流防洪与排水安全措施	6
1.1.6 河流环境保护与治理措施	7
1.1.7 河流景观建设措施	9
1.2 城市化对河流的影响与变迁	10
1.2.1 城市河流概念及其表征	10
1.2.2 对河流流域形态的影响及改变	11
1.2.3 对河流的流量影响及变化	14
1.2.4 对流域透水地面的影响及变化	15
1.2.5 河流流域人口压力的变化	19
1.2.6 城市河流水环境的变化	20
1.3 河流城市化措施的思考	23
1.3.1 河流人为化措施的反思	24
1.3.2 城市河流治理的新探索	24
参考文献	25
第 2 章 城市河流水污染现状与主要环境问题	27
2.1 城市河流水环境中的主要污染物	27
2.1.1 百条城市河流主要污染物浓度分布	27
2.1.2 四区城市河流水质浓度分布	33
2.2 百条城市河流水污染现状	40
2.2.1 百条城市河流水污染总体评价	40
2.2.2 城市河流水污染现状空间分布	45

2.3	城市河流的主要环境问题	51
2.3.1	城市河流呈高污染态势, 普遍出现复合污染	52
2.3.2	城市河流呈“缺水”窘境, 显现水资源短缺	55
2.3.3	城市河流水生态退化, “生命水体”出现危机	56
2.3.4	城市河流整治渠道化, 河流水力联系阻断	59
2.3.5	城市河流生态管理缺失, 河流服务功能退化	61
	参考文献	62
第3章	城市河流水体污染机理与过程	66
3.1	城市河流自然胶体及其主要反应	66
3.1.1	城市河流的水环境总体特征	66
3.1.2	城市河流水环境中的自然胶体	67
3.1.3	城市河流底泥-水界面主要反应	73
3.2	城市河流有机化合物污染机理	75
3.2.1	有机化合物的分配理论	75
3.2.2	生物富集作用	82
3.2.3	光解、水解与生物降解作用	86
3.2.4	城市河流有机化合物污染估算	87
3.3	城市河流重金属污染机理	88
3.3.1	底泥对重金属的吸附作用	88
3.3.2	底泥中重金属的释放作用	91
3.3.3	底泥中重金属的赋存形态	97
3.3.4	城市河流底泥重金属生态危害评估	100
3.4	城市河流氮磷污染机理	101
3.4.1	营养盐在底泥中的累积与分布	101
3.4.2	营养盐在底泥中的赋存形态	104
3.4.3	底泥对氮与磷的吸附作用	106
3.4.4	底泥中营养盐的释放	108
3.4.5	城市河流营养性污染评估	111
	参考文献	111
第4章	城市河流污染治理与修复的理念及思路	112
4.1	城市河流污染治理与修复的原则	112
4.1.1	从流域出发, 综合治理	112
4.1.2	保护河流, 城区持续发展	113
4.1.3	水质改善, 自然修复	113
4.1.4	水量、水质与水生态修复	114

4.1.5 “一河一策”,分类治理	114
4.2 城市河流污染治理与修复的核心内涵	114
4.2.1 城市河流水量修复	115
4.2.2 城市河流防洪与排水安全	115
4.2.3 城市河流水质修复	115
4.2.4 城市河流生态修复	115
4.2.5 城市河流河区文明管理	115
4.3 城市河流类型、区划及其特征	116
4.3.1 城市河流的特征	116
4.3.2 城市河流类型区划	116
4.4 城市河流污染治理与修复总体思路	121
4.4.1 城市河流污染治理与修复目标	121
4.4.2 城市河流污染治理的工作程序	122
4.4.3 城市河流污染治理与修复总体思路	123
4.5 城市河流污染治理与修复总体框架	125
4.5.1 城市河流污染治理与修复技术路线	125
4.5.2 城市河流污染治理与修复的总体框架	126
4.5.3 黑臭水体与高藻水体的治理	126
4.5.4 总体框架的成套工程体系	129
参考文献	132
第5章 城市河流清水产流机制修复与改善方法	133
5.1 河流自然“清水产流机制”表征	133
5.1.1 河流“清水产流机制”概述	133
5.1.2 城市河流“清水产流机制”内涵	134
5.2 河流“清水产流机制”退化与破坏	136
5.2.1 产流区清水产流机制退化	136
5.2.2 养护区清水输移机制消失	139
5.2.3 河流生态系统退化与破坏	141
5.3 城市河流“清水产流机制”修复与改善	143
5.3.1 “清水产流机制”总体修复思路	143
5.3.2 清水产流区修复与改善	146
5.3.3 清水养护区修复与改善	149
5.3.4 清水输出区的修复与改善	153
参考文献	156

下篇 案例与实践

第 6 章 南方沿海城市河流水污染治理与修复案例	159
6.1 城市概况与自然社会经济条件	159
6.1.1 城市概况及其社会经济水平	159
6.1.2 自然地理条件	160
6.1.3 城市河流水网与商业中心河	160
6.2 商业中心河现状及主要环境问题	163
6.2.1 商业中心河的环境现状	163
6.2.2 商业中心河的主要污染源	164
6.2.3 商业中心河的水质状况	164
6.2.4 商业中心河的主要环境问题	165
6.3 河流污染底泥及其特征	168
6.3.1 河流污染底泥特征	168
6.3.2 底泥重金属生态危害分析	173
6.4 商业中心河水污染治理总体思路与方案	174
6.4.1 治理工程目标	174
6.4.2 商业中心河的总体治理思路	175
6.4.3 商业中心河的治理总体方案	176
6.5 河流污染治理核心工程	178
6.5.1 河流底泥疏挖与处理工程	178
6.5.2 河流水体原位净化工程	181
6.5.3 生态堤岸修复与重建工程	184
6.5.4 河流生态景观建设工程	187
6.5.5 工程效益分析	188
参考文献.....	189
第 7 章 江南水网城市河流生态水系保护案例	191
7.1 江南水网新城河流水系及其特征	191
7.1.1 江南水网新城河流水系	191
7.1.2 新城河流水系的特征	192
7.1.3 新城河流水系的水质现状	193
7.1.4 新城河流水系的水生生物	195
7.1.5 新城河流水系的修复分区	196
7.2 新城河流水系污染底泥分析	196
7.2.1 河流底泥的污染特征	196

7.2.2 底泥的有效疏挖深度	198
7.3 新城河流污染源与水生态评价	199
7.3.1 新城河流主要污染源	199
7.3.2 河流生态健康分析	199
7.3.3 新城水系主要环境问题	200
7.3.4 新城水系水环境综合分区规划	202
7.4 新城河流水系污染防治的总体思路	202
7.4.1 规划指导思想	202
7.4.2 规划总体思路	203
7.4.3 新城生态水系规划的技术路线	204
7.5 新城生态水系规划目标	205
7.6 新城河流水系治理与修复方案	206
7.6.1 规划思路	206
7.6.2 治理与修复方案	207
7.7 典型河流水质改善与原生态保护方案	209
7.7.1 “三横三纵”水系河流生态要求与目标	209
7.7.2 典型河流水质改善与原生态保护方案	210
7.8 环境效益分析	216
7.8.1 改善市区水环境与生态环境	217
7.8.2 提供资源可持续利用的环境	218
7.8.3 经济效益	219
参考文献	220
第8章 西南城市河流水污染治理与修复案例	221
8.1 河流流域与自然社会经济条件	221
8.1.1 河流流域概况与自然条件	221
8.1.2 河流流域社会经济	223
8.2 河流水环境与入河污染负荷	223
8.2.1 河流水质现状与分析	223
8.2.2 流域主要污染源与排放总量	230
8.2.3 流域主要污染物入河总量	231
8.3 曲江流域水量平衡与污染物平衡	234
8.3.1 曲江水资源总量与水量平衡	235
8.3.2 曲江流域主要污染负荷变化趋势预测	239
8.4 曲江流域水污染防治理念与总体方案	241
8.4.1 水污染治理理念与总体思路	241

8.4.2	规划总体方案	245
8.5	曲江流域水污染治理规划的工程方案	247
8.5.1	东风水库上游水源保护与涵养林生态修复工程方案	247
8.5.2	红塔区城镇污染控制与生态景观构建方案	248
8.5.3	下游平坝污染控制与河谷水土保持方案	249
8.5.4	水利防洪与水资源优化调度方案	250
8.5.5	流域综合管理和生态文明构建方案	251
8.6	规划方案的可达性分析	252
8.6.1	综合治理规划可达性分析	252
8.6.2	水环境质量目标可达性分析	252
8.6.3	流域管理目标可达性分析	252
	参考文献	253

上篇 理论与方法

第 1 章 城市化过程中河流自然特征变迁

从河流的概念理解,它是由一定区域内地表水和地下水补给、经常或间歇地沿着狭长凹地流动的水流。河流一般以高山区域为源头,然后沿地势向下流,汇流成江河,一直流入湖泊或海洋^[1]。城市河流是指地处城市地区,或流经城市地区的河流或河段,也包括一些历史上虽属人工开挖,但经多年演化已具有自然河流特点的运河、大型渠道或水系。按河流城市化程度,城市河流又可分为城区全覆盖河流、城区半覆盖河流与城区少覆盖河流。

河流与人类的关系极为密切,因为河流暴露在地表,河水取用方便,是人类可依赖的最主要的淡水资源,也是可更新的自然资源,城市河流是人类喜水而居的必然选择与栖息文明。但是,随着城市经济的快速发展,城市规模日益膨胀,人口数量增加,工农商贸强度升高,市政废水量及低污染水水量不断增加,作为重要水资源与城区景观水体的城市河流已受到严重影响,在城市化进程中出现了一系列非自然化与人为化的特征变迁^[2,3]。

在本章重点讨论针对城市河流的主要城市化措施与城市河流自然特征四个方面的变迁,即河流流域形态的变化、流量过程线的变化、透水地面剧减与改变、流域人口压力激增与河流水环境变迁等。通过研究与讨论,了解城市河流的自然特征的变化、趋势与规律,为城市河流生态环境整治与生态修复提供技术支持^[3-5]。

1.1 河流的主要城市化措施

1.1.1 对城市化的理解

按照国家相关定义,城市化指是“人类生产与生活方式由农村型向城市型转化的历史过程,主要表现为农村人口转化为城市人口及城市不断发展完善的过程”。一般认为城市化是一个国家或地区实现人口集聚、财富集聚、技术集聚和服务集聚的过程,同时也是一个生活方式转变、生产方式转变、组织方式转变和传统方式转变的过程。

人口学把城市化定义为农村人口转化为城镇人口的过程。从社会学的角度来说,城市化就是农村生活方式转化为城市生活方式的过程。经济学上从工业化的角度来定义城市化,认为城市化就是农村经济转化为城市化大生产的过程。城市化进程促进了工业化,增强了人类改造自然的能力,提高了对物质和能量的利用效

率,节约了空间和时间,给人类带来了巨大的效益。但同时又带来住房困难、交通拥挤、环境污染等问题。

城市化是一个复杂的系统工程,从本质上讲城市化是一个农业人口转化为非农业人口、农村地域转化为非农业地域、农业活动转化为非农业活动的过程,是人类社会关系的转变。从形式上看,城市化是一个人口从面向点集中的过程,原有的分散、低效的居住模式转变为密集、高效的居住模式,是人们生活方式的转变。城市能够创造出比较多的就业机会,大量吸收农村剩余人口,促使劳动力从第一产业向第二产业、第三产业、第四产业逐渐转移。城市化过程能够卓有成效地带动广大农村的发展,有利于改善地区产业结构。城市化有助于提高工业生产的效率,工业化使城市化获得持续推进的动力。科学技术的进步和信息化的推进,使现代化大城市成为主要的科技创新基地和信息交流中心,进而提高区域的整体发展水平。城市文化向乡村广泛地扩散和渗透,影响着乡村的生产生活方式,并提高乡村的对外开放程度。有利于城市与乡村的交流,缩小城乡发展差距。

无论哪一个方面,城市化过程都伴随着与之相应程度的基础设施建设,城市道路桥梁、给水、排水、电力、通信、热力、燃气等基础设施是城市发挥集聚效应和中心作用的物质保障,是城市现代化水平的标志。这些基础设施同时也发挥着保障城市安全、改善环境质量的作用。合理的城市化可以改善环境,例如通过平整土地、修建水利设施、绿化环境等措施,使得环境向着有利于提高人们生活水平和促进社会发展的方向转变,降低人类活动对环境的压力。

城市化过程一般包括城市建设总体规划,包括社会、经济、文化、基础建设等,涉及的领域与方面错综复杂。但是在此讨论的重点主要集中于城市化过程中,城市河流是如何被改变的?主要采取了哪些工程措施?从目前我国城市生态环境的现状来看,尽管不同河流城市化措施不尽相同,同一工程内容也未必类似,但均已对河流产生了重大影响,这一点是无须质疑的。

经过多年的调查研究发现,城市河流通常的城市化措施有五大方面:①河道综合整治工程;②滨河区城市建设工程;③河流上游水库建设工程;④防洪与排水安全水利工程;⑤河流景观工程等。

1.1.2 河道的综合整治措施

以河流水量与水位优化控制为目标,以充分利用河区的土地空间,规划河流域尤其滨区的黄金地段,往往从源头到下游进行综合设计,主要考虑在于节约土地与空间,保证城市防洪水位要求,排水流量安全,为景观需要与人们休闲安全,有时还会设置石质栏杆等。图 1-1 展示了综合整治后河流景观的一个案例,在我国许多城市河流堤岸被衬砌、河道被裁弯取直形成直立堤岸型的河道形态,呈几何图形,河道形态被简单化与人为化。例如在我国西南地区的一个城市建设过程中,把

一条城市河流改造成 20 m 宽、近 10 km 长的矩形形状的渠道型河流(图 1-1), 这样的改造在我国其他城市河流中也随处可见(图 1-2), 尽管形态有所不同, 但均导致占用或破坏了河流的自然河床空间、各种植物生长区与动物栖息地, 形成河流城市化与非生态化的趋势。这一现象在城市建设中普遍存在, 这也是城市河流高污染、生态破坏与服务功能大幅下降的根源之一。

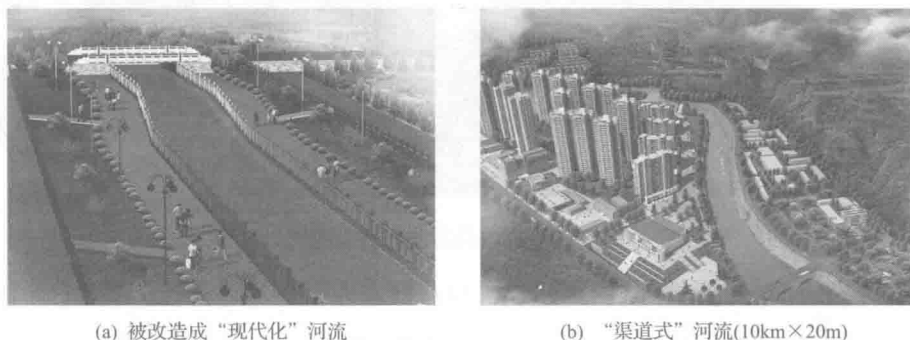


图 1-1 我国一些城市河流的形态示意图

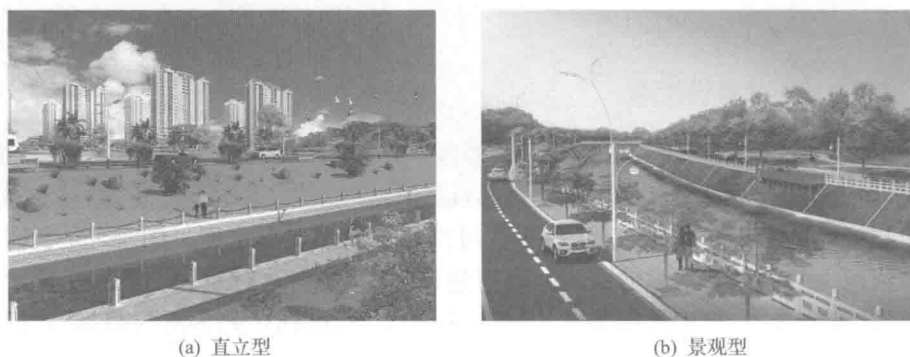


图 1-2 一些城市河流的堤岸形态示意图

在河道整治中, 普遍采用“裁弯取直, 毛石衬砌、混凝土浇底”工程措施, 结果导致出现“两面光、三面光”的形态, 城市河流被渠道化、人为化。这些改造措施虽有利于防洪、灌溉与排水安全, 却完全破坏了河道原有的自然生态系统, 河流自净功能基本丧失, 给城市河流带来了无穷无尽的损害(图 1-3)。

1.1.3 河滨区城市建设措施

在城市化开发中, 河滨区的土地空间最具吸引力, 往往成为建设者的黄金地段, 人们喜水而居, 沿河地段商业价值高昂, 因此在河滨区到处建设办公大楼、高档小区, 商业大厦、重要产业场所、星级饭店宾馆、大型商场等, 寸土寸金, 容积率很