

Urban River Restoration Technology
Theory and Practice

城市河流环境修复技术 原理及实践

贾海峰 ◎等编著



化学工业出版社

Urban River Restoration Technology
Theory and Practice

城市河流环境修复技术 原理及实践

贾海峰 ◎等编著



化学工业出版社

·北京·

本书针对城市河流环境修复技术的原理、特点、适用条件、相关案例和运行管理等有关问题进行总结和梳理,主要介绍了城市河流污染现状及问题、城市河流环境修复基础与技术体系、城市河流外源污染控制与治理、城市河流的原位水质净化、城市河流水质旁位处理、城市河流生态修复与重构,以及城市河流污染和修复技术的发展趋势等内容。

本书可供环境工程、市政工程等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考,也供高等学校相关专业师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

城市河流环境修复技术原理及实践/贾海峰等编著. —北京:化学工业出版社, 2016.10
ISBN 978-7-122-27907-1

I. ①城… II. ①贾… 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 (2016) 第 201477 号

责任编辑:刘兴春

文字编辑:汲永臻

责任校对:吴静

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张15³/₄ 彩插2 字数368千字 2017年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 80.00 元

版权所有 违者必究

前言

河流是城市生态系统和城市空间的重要组成部分，随着社会经济及城市建设的发展，城市河道空间及其结构被大规模、广泛地人工改造，改变了城市河流系统的自然连通性、生态多样性，影响了水体的水环境自净能力；同时入河污染物量增加，一些城市河流变为城市的排污沟，致使城市河流水质污染、生态系统退化和破坏，成为当今全球性的生态环境问题。城市河流污染治理与生态修复已成为保障城市健康、持续发展的必要条件和重要任务。

笔者首次涉足的城市河流水环境修复项目是在1989年大学毕业后参与的由北京市科委和英国海外发展署（ODA）联合资助的中英合作国际项目《北京清河水环境综合整治规划研究》。当时的清河是一条黑臭严重的“城市排污沟”，流域内没有污水处理厂，众多的入河排污口排放着工业废水和生活污水。控制污染源、消除河道黑臭成了河流治理的首要任务，生态修复尚未提上日程。期间还配合北京亚运会（1990年）的召开，为改善亚运会场馆周边环境，在清河体院段开展河道曝气水环境改善试验工程。之后经过北京市十多年的努力，逐步完善了入河污染负荷的截除、污水厂建设、河道整治等工作，实现了清河上段黑臭现象的消除和水环境的改善。

博士毕业后，城市河流水环境保护与生态修复始终是笔者重要的研究方向，在北京、佛山、苏州、深圳、东营等城市开展了侧重点有所不同的城市河流水环境保护研究。特别是从2003年开始，在佛山市环境保护局等部门的支持下，针对城市河网的环境修复开展了较为系统的研究，完成了十多项不同空间尺度的城市水资源保护与水污染控制规划、污染源减排方案、河流修复技术、城市降雨径流管理LID-BMPs技术方案与工程示范等。基于上述成果的《佛山市水环境保护修复与建设集成研究》获广东省环境保护科学技术一等奖。2014年开始，又进一步针对佛山市河涌修复的技术需求，在前期工作成果的基础上，广泛收集和梳理国内外城市河流修复技术进展和实际工程或示范案例，开展了佛山市河涌水环境修复技术指南的编制工作。同期，在国家“十一五”、“十二五”水体污染控制与治理科技重大专项（即水专项）的支持下，针对人口和产业密集的平原河网地区城市河流水环境修复，开展了关键技术研发。并在苏州市区、同里镇、甪直镇展开了城市河流水环境修复的工程示范。

城市河流水污染控制与水环境修复技术众多，然而不同城市河流所处的自然条件以及当地的经济发展阶段不同，而各种水环境修复技术又具有不同的技术、经济特征，因此针对不同的城市河流，要根据其面临的主要问题，综合考虑自然、社会、经济等因素，选用适用的技术，并进行技术优化耦合和集成，以实现城市河流的水环境改善和水生态修复。当前，我国城市河流污染控制和修复工作非常急迫，2015年4月，国务院发布了《水污染防治行动计划》（简称“水十条”），其提出的主要指标包括：到2020年，地级及以上城市建成区黑

臭水体均控制在 10% 以内；京津冀区域丧失使用功能（劣 V 类）的水体断面比例下降 15% 左右，长江三角洲、珠江三角洲区域力争消除丧失使用功能的水体；到 2030 年，城市建成区黑臭水体总体得到消除。2015 年 8 月，住房和城乡建设部会同环境保护部、水利部、农业部组织编制发布了《城市黑臭水体整治工作指南》，部署了城市黑臭水体排查、整治、考核和监管工作。

可以预见，在今后的一段时期内，城市河流的污染控制和水环境修复将会出现一个高潮，一大批环保、城建、水利领域的工程师、经济师、管理专家将会参与其中，各种污染治理和生态修复技术将会争奇斗艳。为了有助于制订合理的城市河流污染控制与环境修复规划方案、选择适用技术、优化工程计划、提高投资效率和修复效果，本书对城市河流环境修复技术的原理、特点、适用条件、相关案例和运行管理等有关问题进行总结和梳理，以期参与此项工作的相关决策人员、管理人员和工程技术人员提供一些支持。

本书所引用资料和数据来源，除了笔者主持和参与的项目外，还有不少引用自国内外的文献，在引用时结合当地、当时的具体条件进行了取舍。

在本书编著过程中，程声通、李广贺、胡洪营、刘翔等老师对本书架构和技术体系提供了指点和帮助，高郑娟重点收集和梳理了城市河流外源污染控制、原位水质净化、水质旁位处理等方面的资料和案例；孙朝霞重点收集和梳理了生态系统修复与重构方面的资料和案例；初稿成稿后，程声通老师又对全文进行了认真修改。为本书提供素材的还有张玉虎、罗群、丁一、杨聪、王相文、张大春、唐颖以及美国的 Shaw L Yu、韩国的 Hyunook Kim 等。书中还引用了很多研究人员的成果，在此一并表示衷心感谢！

限于编著时间和编著者水平，书中不足和疏漏之处在所难免，敬请读者提出修改建议。

编著者

2016 年 8 月

1 绪论

1

1.1 河流生态系统构成和功能	1
1.1.1 河流生态系统的组成	2
1.1.2 河流生态系统的功能	2
1.2 城市河水环境现状及问题	3
1.2.1 城市河水环境现状	3
1.2.2 城市河流的主要问题	4
1.3 城市河流的污染源和污染物	5
1.3.1 城市河流的污染源	5
1.3.2 水体污染及危害	6
1.4 国内外城市河流环境修复概况	10
1.4.1 国外城市河流环境修复的历程	10
1.4.2 我国城市河流环境修复进展	11
参考文献	12

2 城市河流环境修复基础与技术体系

14

2.1 城市河流环境修复的理论基础	14
2.1.1 水环境容量理论	14
2.1.2 河流生态需水理论	18
2.1.3 河流生态健康理论	21
2.2 城市河流环境修复技术体系	24
2.2.1 城市河流环境修复的技术路线	24
2.2.2 城市河水环境修复技术分类	26
2.3 城市河流环境修复技术的筛选	29
2.3.1 城市河流环境修复技术筛选的目标与方法	29
2.3.2 技术筛选的指标体系	30
2.3.3 技术评价和筛选	32

2.4	城市河流环境修复方案的编制与实施	34
2.4.1	城市河流环境修复方案	34
2.4.2	城市河流环境修复实施的阶段	35
	参考文献	36

3 城市河流外源污染控制与治理

38

3.1	污水收集技术	38
3.1.1	重力收集系统	38
3.1.2	污水负压收集系统	39
3.1.3	负压收集实例——甬直密集居民区负压收集系统	44
3.2	城市河流截污技术	46
3.2.1	城市河流截污技术的形式	46
3.2.2	负压截污实例——常州北市河沿河负压截污系统	49
3.3	入河分散污水处理技术	52
3.3.1	入河分散污水特征	52
3.3.2	入河分散污水处理模式与技术	53
3.3.3	实例——利用氧化沟处理村落污水的工程实例	54
3.4	城市地表径流污染控制技术	56
3.4.1	概述	56
3.4.2	LID-BMPs 控制技术及其经济特征分析	58
3.4.3	实例——广东环境保护工程职业学院降雨径流控制示范	74
	参考文献	79

4 城市河流的原位水质净化

82

4.1	内源污染控制与治理	82
4.1.1	底泥污染现状	82
4.1.2	底泥覆盖技术	83
4.1.3	底泥化学修复技术	85
4.1.4	底泥的原位生物修复	85
4.1.5	底泥的联合修复	86
4.2	河流结构优化与水动力调控	87
4.2.1	河流流态与水环境修复的关系	87
4.2.2	水系沟通与结构优化	88
4.2.3	水体推流与动力学调控	88
4.2.4	闸坝调度与水动力调控	92
4.2.5	实例——甬直古镇水系结构优化与动力学调控	94

4.2.6	实例——同里古镇水系水动力优化调控示范	99
4.3	河流曝气复氧技术	108
4.3.1	跌水曝气复氧技术	108
4.3.2	人工曝气复氧技术	109
4.4	生物膜法	111
4.4.1	砾间接触氧化法	111
4.4.2	人工水草	121
4.5	生态浮床	126
4.5.1	技术原理	126
4.5.2	技术经济特征	128
4.6	微生物强化技术	129
4.6.1	技术原理	129
4.6.2	技术经济特征	130
4.6.3	微生物菌剂的种类	131
4.6.4	固定化微生物技术	135
	参考文献	136

5 城市河流水质旁位处理

140

5.1	人工强化快滤技术	140
5.1.1	连续砂滤技术	140
5.1.2	纤维过滤技术	142
5.2	化学絮凝技术	148
5.2.1	强化混凝技术	149
5.2.2	磁絮凝分离技术	150
5.3	生物膜技术	153
5.3.1	砾间接触氧化技术	153
5.3.2	曝气生物滤池	157
5.3.3	生物接触氧化	159
5.3.4	生物流化床	161
5.4	自然生物处理技术	163
5.4.1	稳定塘	163
5.4.2	人工湿地技术	167
5.4.3	土地渗滤处理技术	176
	参考文献	181

6 城市河流生态修复与重构

184

6.1	城市生态河道的空间结构	184
6.1.1	生态河流的形态	184
6.1.2	城市生态河流的结构修复	187
6.1.3	城市河道的生态护岸	196
6.2	城市河流生态系统的营造	213
6.2.1	河流水体垂向特征与生态系统构建	213
6.2.2	生态河道水生植物系统的营造	214
6.2.3	水生动物系统的营造	216
6.3	城市河流亲水景观	219
6.3.1	景观要素及亲水景观类型	219
6.3.2	亲水景观设计原则及步骤	221
6.3.3	亲水景观类型	221
6.4	清溪川生态修复与重构的案例	225
6.4.1	清溪川的沿革	225
6.4.2	清溪川复原	226
6.4.3	清溪川水体补水水源与水质复原	227
6.4.4	清溪川复原中的河道空间结构设计	228
6.4.5	清溪川修复中的生态景观设计	231
6.4.6	清溪川改造实施效果	234
	参考文献	237

7 后记

239

7.1	结语	239
7.2	展望	241

1 绪论

城市河流是指流经城市，且其汇水区也主要在城市地区，并与城市融为一体（包括景观文化、生态环保、建筑艺术等方面）的中小型河流。城市河流作为河流流域的重要组成部分，受到自然和人类活动的双重影响，其总体上可分为三大类：自然河流、人工河流和受到人工干预的半自然河流。对于生态环境状况良好的自然河流，其结构形态主要表现在纵向的蜿蜒性、横向的断面多样性、河床的透水性；人工河流主要是为了行洪、排涝、供水、排水以及沟通水系而开挖的，河流形态设计的基本指导思想为有利于快速行洪和排水或有利于城市供水，因此与自然河流相比，其纵向一般顺直或折弯，横向断面形式也比较单一，主要为矩形或梯形，一般没有滩地，生态系统较为简单，水生动物和植物的人工化程度高，缺乏自然性和生物多样性；人工改造后的半自然河流，部分具有自然河流的生态特征，又能达到人类要求的快速行洪和排涝的目的，但在一定程度上降低了自然河流形态的多样性，生境的变化导致了水域生物多样性的降低，河流生态系统的健康和稳定性都受到不同程度的影响。

作为城市空间的一部分，城市河流具有自然和社会双重功能和特征。城市河流的自然功能和特征表现为：一方面通过不断的水循环及时空变化，对地区内生物活动状态、生态平衡、小气候变化、水资源再生和可持续利用产生影响；另一方面也对地区洪、涝、旱等自然灾害的形成产生相应的影响。城市河流是城市天然的生态廊道，河流与河滩、河岸植被一起，控制着水和其他有机物、无机物的流动和交换。城市河流也是动、植物在城市中重要的迁移路径，为鱼类、鸟类、昆虫、小型哺乳动物以及各种植物提供了生存环境和迁徙廊道。在河流流经的区域，生存于其中的物种也呈现出丰富的生物多样性。

城市河流的社会功能和特征主要是指河流在满足人的需求方面所表现出的能力，包括泄洪、排涝功能，水资源供给功能，游览休息、亲近自然的功能，改善城市形象的景观文化功能，探索自然奥妙的科研和教育功能等。

随着城市的迅速发展，城市人口急剧扩张，污染物排放量大幅增加，而很多城市的环境保护基础设施建设严重滞后，一些城市河流变为城市的排污沟，水质日趋恶化，严重影响了城市河流自然和社会功能的发挥，城市河流环境整治迫在眉睫。

1.1 河流生态系统构成和功能

河流是汇集和接纳地表和地下径流的场所及连通上下游水体的通道。河流生态系统是陆地生态系统和水生生态系统间物质循环的主要连接通道，主要受到河流形态和河流水文条件、流域内土地覆被和利用状况等的影响。



1.1.1 河流生态系统的组成

河流生态系统是指河流的生物群落与周围环境构成的统一整体，由河道水体（含河床）和河岸带两部分系统组成。河道水体生态系统主要由河床内的水生生物及其生境组成；河岸带生态系统主要由岸边的植物、迁徙的鸟群及其环境组成，是陆地生态系统和河流生态系统进行物质、能量、信息交换的过渡地带。河岸带作为河道水体运动的外边界条件，是河道稳定的关键地带。

河流生态系统组成主要包括非生物环境和生物环境两大部分。

(1) 非生物环境

非生物环境由能源、气候、基质和介质、物质代谢原料等因素组成，其中能源包括太阳能、水能；气候包括光照、温度、降水、风等；基质包括岩石、土壤及河床地质、地貌；介质包括水、空气；物质代谢原料包括参加物质循环的无机物质（C、N、P、CO₂、H₂O等）和联系生物和非生物的有机化合物（蛋白质、脂肪、碳水化合物、腐殖质等）。这些非生物成分是河流生态系统中各种生物赖以生存的基础。

(2) 生物环境

生物环境由生产者、消费者和分解者所组成，三者构成了河流的生物群落的结构。其中生产者是能用简单的无机物制造有机物的自养生物，主要包括大型植物（漂浮植物、挺水植物、沉水植物等）、浮游植物、附着植物和某些细菌，它们通过光合作用制造初级产品碳水化合物，并进一步合成脂肪和蛋白质，维持自身活动；消费者是不能用无机物制造有机物质的生物，称异养生物，主要包括各类水禽、鱼类、浮游动物等水生或两栖动物，它们直接或间接地利用生产者所制造的有机物质，起着对初级生产物质的加工和再生产的作用；分解者皆为异养生物，又称还原者，主要指细菌、真菌、放线菌等微生物及原生动物等，它们把复杂的有机物质逐步分解为简单的无机物，并最终以无机物的形式还原到水环境中。

河流中的生物群落经由食物网紧密地联系在一起，食物网是指植物所固定的太阳光能量通过取食和被取食在生态系统中的传递关系。一般认为食物网越简单，生态系统就越脆弱，越易受到破坏。

1.1.2 河流生态系统的功能

根据河流生态系统组成特点、结构特征和生态过程，河流生态系统的功能具体体现在水生生物栖息、调节局地气候、补给地下水、泄洪、雨洪调蓄、排水、输沙、景观、文化等多个方面。按照河流生态系统服务功能的不同分类，同时依据河流生态系统的组成特点、结构特征、生态过程和效用，并按照功能作用性质的不同，河流生态系统服务功能可归纳划分为调节支持功能、环境净化功能、提供产品功能及娱乐文化功能。

(1) 调节支持功能

河流系统的调节支持功能，一方面主要表现为河流生态系统对灾害的调节功能和生态支持功能；另一方面河流生态系统为河道及河岸的各种动植物提供了其生存所必需的淡水和栖

息环境。

河流生态系统对灾害的调节功能主要体现在减缓洪涝和干旱、输移泥沙等方面。作为河流本身，即具有纳洪、行洪、排水、输沙功能。在洪涝季节，河流沿岸的洪泛区具有蓄洪能力，可自动调节水文过程，从而减缓水的流速，削减了洪峰，缓解洪水向陆地的袭击。而在干旱季节，河水可供灌溉。河流生态系统的生态支持功能具体体现在调节水文循环、调节气候、补给地下水、涵养水源等方面，对生态系统的稳定具有很好的支持功能。

(2) 环境净化功能

河流生态系统在一定程度上能够通过自然稀释、扩散、氧化等一系列物理和生物化学反应来净化由径流带入河道的污染物。河流生态系统中的各种植物、微生物能够吸附水中的悬浮颗粒和有机或无机化合物等营养物质，将水域中氮、磷等营养物质有选择地吸收、分解、同化或排出。水生动物可以对活的或死的有机体进行机械的或生物化学的切割和分解，然后把物质加以吸收、加工、利用或排出。这些生物在河流生态系统中进行新陈代谢的摄食、吸收、分解、组合，并随着氧化还原作用使化学元素进行种种分分合合，在不断的循环过程中，保证了各种物质在河流生态系统中的循环利用，有效地防止了物质的过分积累所形成的污染。一些有毒有害物质经过生物的吸收和降解后得以消除或减少，河道的水质因而得到维持。河岸植被还可减缓地表水流速，使水中的泥沙得以沉降，并使水中的各种有机的和无机的溶解物和悬浮物被截留，同时可将许多有毒有害的复合物分解转化为无害的甚至是有用的物质。

(3) 提供产品功能

河流生态系统中自养生物（高等植物和藻类等）通过光合作用，将二氧化碳、水和无机盐等合成为有机物质，并把太阳能转化为化学能储存在有机物质中，而异养生物对初级生产的物质进行取食加工和再生产而形成次级生产。河流生态系统通过这些初级生产和次级生产过程，生产了丰富的水生植物和水生动物产品。

(4) 娱乐文化功能

河道及河岸生态系统具有美学、艺术、文化、文体休闲等方面的价值，为城市居民提供独特的休闲、娱乐、文体活动的场所

河流生态系统景观独特，具有很好的休闲娱乐功能。河道森林、草地景观和河滩、湿地景观相结合，“高地—河岸—河面—水体”格局镶嵌，流水与河岸、鱼鸟与林草的动与静对照呼应，河谷急流、弯道险滩、沿岸柳摆、浅底鱼翔等景致构成河流景观的和谐与统一，给人们以视觉上的享受及精神上的美感体验。人们在闲暇节日进行休闲活动，如远足、露营、摄影等，有助于促进人们的身心健康，享受生命的美好，提高生活的质量。不同的河流生态系统深刻地影响着人们的美学倾向、艺术创造、感性认知和理性智慧。

1.2 城市河流环境现状及问题

1.2.1 城市河流环境现状

近年来随着经济的高速增长，我国江河水系也在经历西方发达国家走过的“先污染后治

理”历程，如今污染越来越严重、生态越来越失衡。根据《2014年中国环境状况公报》，十大流域的国控断面水质监测结果表明，Ⅰ类水质断面占2.8%，Ⅱ类占36.9%，Ⅲ类占31.5%；Ⅳ类占15.0%；Ⅴ类占4.8%，劣Ⅴ类占9.0%。主要污染指标为化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD₅)和总磷(TP)。中小型河流，特别是流经城市的河段，环境容量相对较小，污染负荷有较重，水质状况通常比江流干流更差。

即使在干流水质较好的长江中下游区域(包括太湖流域)，城市河流的水质污染也很严重，比如地处长江下游太湖流域河网地区的苏州市，20世纪90年代以来，随着经济的快速发展，水质严重恶化，生态系统严重退化。2011年，苏州古城区及周边水系中，共有56条严重污染的河道，在这些重污染河道中，常年黑臭的20条，间隔性黑臭的14条，暂无明显黑臭但水质严重污染的22条。这些河道不但丧失了景观娱乐等使用功能，同时还因臭味污染等问题成为周边居民投诉的对象。

除了水体污染和水生态退化，很多城市水体被覆盖、填埋，致使水系面积严重萎缩。例如，苏州市的甪直镇，通过分析其1979年、2002年、2009年三个时间序列的河网分布图，发现河道数量由421条减少到187条，水系面积由13.72km²减少到4.61km²。表征单位国土面积上河流面积、长度和数量的河网水面率、河网密度、河频率变化如表1-1所列。

表 1-1 甪直河网水系特征 30 年变化

年份/年	河网水面率/%	河网密度/(km/km ²)	河频率/(条/km ²)
1979	27.44	5	8.42
2002	12.32	3.5	4.82
2009	9.22	3.4	3.74

甪直镇30年来水系形态特征变化主要体现在以下3个方面：a. 河道裁弯取直，自然弯曲的河道被人为地改造为直线型河道；b. 河道连通性降低，目前甪直的断头河(浜)数量较多，水系连通性较差，水动力状况下降；c. 自然河道逐渐被人工或半人工河道取代，城镇建成区域河道多为水泥护岸，河道固化、渠化比重逐年增加。

1.2.2 城市河流的主要问题

城市河流面临的环境生态问题主要有以下几方面。

① 河道被建设用地侵占，水面萎缩，连通性降低。随着城镇化的发展，不少河道被填埋，河道长度缩短、宽度变窄，甚至完全消失；很多河道被截断，形成断头河(浜)或独立的水塘等，降低甚至失去连通性。

② 河流形状单一，结构性硬化严重。早期城市河流整治主要目的是防洪和行洪。大规模的裁弯取直与河床硬化处理不仅减少了水面面积，也改变了原有河道的形态和走向，原有生物赖以生存的生境系统产生变异或完全消失。

③ 河流水环境恶化，水污染加剧。水资源过量利用和污染物的大量输入，再加上城市环保基础设施的滞后，致使入河污染负荷超过自净能力，河流污染日趋严重。

④ 河流生态系统严重破坏。河道硬化改变了城市河流的边界条件，阻断了水体、陆地、大气之间的物质、能量和信息交换，原有河流的生态系统运动功能逐渐丧失，成了单纯的过

水通道，河流生态系统严重退化。

⑤ 河道自然景观严重丧失。受人类活动干扰，城市用地挤占河道，原有的河道空间变成了道路或其他建筑用地，河流自然景观逐渐消失。

1.3 城市河流的污染源和污染物

1.3.1 城市河流的污染源

城市河流的污染源是指造成城市水体污染的污染物发生源，通常指向水体排放的有害物质或对水环境产生有害影响的场所、设备和装置。根据污染物的来源可以将污染源分为两大类：自然污染源和人为污染源。自然污染源又可以分为生物类污染源（如各种病原菌或带菌体等）和非生物类污染源（如泥石流导致的水污染等）。人为污染源又可以分为生产性污染源（如工业污染源、农业污染源等）和生活污染源（如生活污水等）。工业、农业污染源比较复杂，可以根据各种方法进一步分类。根据研究或管理的需要，污染源还存在其他的分类方法，比如按照污染物种类可分为物理性、化学性和生物性污染源等。

根据污染源相对于水体的位置可以将其分为外源和内源。外源按照空间形态又分点污染源、线污染源和面污染源（简称点源、线源和面源，点源之外的线源、面源又称非点源）。内源是指水体内的污染源，通常包括河道底泥、水产养殖以及水体中水生动植物的排放和释放。最常用的污染源分类如图 1-1 所示。

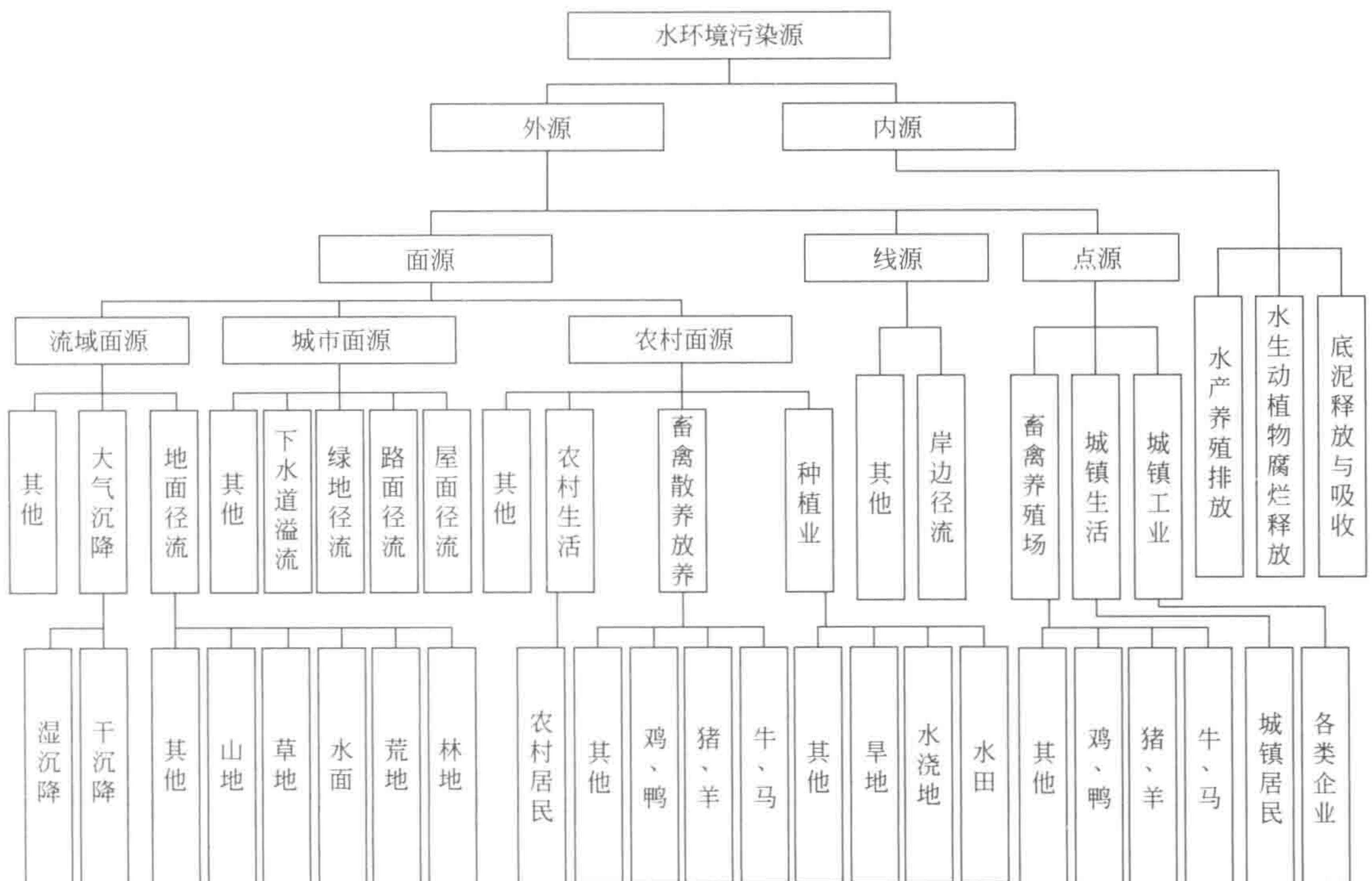


图 1-1 水环境污染源谱系图

点源是指那些污染源的产生地点比较集中，以“点”的形式将污染物排放到环境中的污染源，例如工厂的污水排放、建有下水道系统的城市污水排放等；线源是指那些以“线”的形式向环境排放污染物的污染源，例如由径流造成的沿河岸边的污染物排放等；面污染源是指以“面”的形式向环境排放污染物的污染源，广大的森林、农田、没有下水道的农村和城镇都属于面污染源，它们在降水径流过程中产生的大量污染物都以“面”的形式进入水体。

在各类污染源中，人们最先关注的是点源，因为点源最为接近人们的日常生活，其环境污染效应又非常快速、直观和明显。在水环境受到污染的初期，点源通常是水污染的主要因素，也是能最早得到治理的污染源，并且点源治理的效果也最为明显的。随着点源治理的进展，水环境质量不断得以改善。当点源治理达到一定水平，人们发现水环境质量改善的速度就会逐渐减慢，甚至止步不前，即使加大点源治理的力度也收效甚小。这时，水污染的主要原因已经发生了转移，面源和内源的影响凸现了出来。据报道，即使在点源治理率和污水处理水平很高的美国，由于存在面源和内源污染，江河的水质达标率也大大低于人们的期望值。在日本和欧洲等水污染控制十分完善的国家和地区也有类似的情况。

1.3.2 水体污染及危害

水体污染是指排入河流中的不同性质的污染物在数量上超过该物质在河流水体所能承受的纳污容量，从而导致水的物理、化学及微生物性质发生变坏，使河流生态系统和功能受到不同程度的破坏。从污染物来源看，河流水体污染通常包括物理性污染、无机物污染、有机物污染、病原微生物污染等。

1.3.2.1 物理性污染及危害

水体的物理性污染是指水温、色度、臭味、悬浮物及泡沫等。这类污染易被人们感官所觉察，并使人们感官不悦。

(1) 水温

高温废水，如温度超过 60°C 的高温工业废水（直接冷却水），未经冷却直接排入河流水体后，使水温升高，物理性质发生变化，危害水生动、植物的繁殖与生长，称为水体的热污染。热污染造成的危害包括：

① 水温升高，大气中的氧向水体传递的速率减慢，即水体复氧速率减慢；同时，水生生物的耗氧速率加快，加速水体中溶解氧的消耗，逐渐造成鱼类和水生生物的窒息死亡，使水质迅速恶化。

② 水温升高导致水体中的化学反应速率加快，可引发水体物理化学性质（如电导率、溶解度、离子浓度和腐蚀性）的变化。

③ 使水体中的细菌繁殖加速，该水体如作为给水水源时，所需投加的混凝剂与消毒剂将增加，造成处理成本升高。

④ 加速藻类的繁殖，加快水体的富营养化进程。

我国《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）规定人为造成的环境水温变化应限制

在：周平均最大温升 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ ，周平均最大温降 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 色度

城市污水，特别是有色工业废水，如印染、造纸、农药、焦化及有机化工废水等，排入水体后，使水体形成色度，引起人们的感官不悦。色度有表色与真色之分。由悬浮物（如泥沙、纸浆、纤维、焦油等）造成的色度称表色；由胶体物质与溶解物质（如染料、化学药剂、生物色素、无机盐等）形成的色度称真色，由于水体色度加深，使水体的透光性减弱，影响水生生物的光合作用，抑制其生长繁殖，妨碍水体的自净作用。

我国《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）规定，一级标准要求色度 ≤ 30 倍；二级标准要求色度 ≤ 40 倍。

(3) 固体物质污染

固体物质污染包括漂浮在水面上的固体垃圾、已经死亡的动、植物等固体废物以及悬浮固体（相对于固体废物而言的小颗粒固体悬浮物）和溶解固体。

城市河流的固体废物主要来源于人类生产和生活活动，如建筑垃圾、生活垃圾、工业垃圾等，也包括污水处理厂格栅渣和污泥等次生污染物，还包括来源于河道沿岸和河槽中的植物残体（枯枝、落叶等）和河槽内大量滋生的水葫芦、水花生等。大量固体废物或漂浮于城市河流水面上或堆积于河岸边及河槽中，不仅严重恶化城市河流景观（浊度增加、透光度减弱），还分解释放出有害物质和有毒气体，污染水体，甚至散发出恶臭，严重影响河道两岸居民正常生活，且造成河道淤塞，是城市河流的主要污染源之一。

水体受悬浮固体污染后，浊度增加、透明度减弱，产生的危害主要有：悬浮固体可能堵塞鱼鳃，导致鱼类窒息死亡，如纸浆造成的此类危害最为明显；悬浮固体中的可沉固体，还会沉积于河底，造成底泥积累与腐化，使水质恶化；悬浮固体还可作为污染载体，吸附其他污染物，随水流迁移污染。

水体受溶解固体污染后，使溶解性无机盐浓度增加，如作为给水水源，水味涩口，甚至引起腹泻，危害人体健康，故饮用水的溶解固体含量应不高于 500mg/L 。工业锅炉用水要求更加严格。农田灌溉用水，要求不宜超过 1000mg/L ，否则会引起土壤板结。

《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）对悬浮物的最高允许排放浓度规定，一级标准（A） 10mg/L ；一级标准（B） 20mg/L ；二级标准 30mg/L 。

1.3.2.2 无机物污染及危害

(1) 酸、碱及无机盐污染

工业废水的酸、碱，以及降雨淋洗受污染空气中的 SO_2 、 NO_x 所产生的酸雨，都会使水体受到酸、碱污染。酸、碱进入水体后，互相中和产生无机盐类。同时又会与水体存在的地表矿物质如石灰石、白云石、硅石以及游离二氧化碳发生中和反应，产生无机盐类，故水体的酸、碱污染往往伴随无机盐污染。

酸、碱污染可能使水体的pH值发生变化，微生物生长受到抑制，水体的自净能力受到影响。渔业水体的pH值不得低于6或高于9.2，超过此限值时鱼类的生殖率下降甚至死亡。

无机盐污染使水体硬度增加，造成的危害与前述溶解性固体相同。

(2) 氮、磷的污染

氮、磷属于植物营养物质，水体中过量的氮、磷等营养盐是水体发生富营养化的必要条件和重要原因之一。水体富营养化的危害包括以下几种。

① 造成水体透明度降低，从而影响水中植物的光合作用，同时浮游生物的大量繁殖，会消耗水中大量的氧，使水中溶解氧严重不足。由于水面植物的光合作用，则可能造成局部表层溶解氧的过饱和。溶解氧过饱和以及水中溶解氧少，都对水生动物（主要是鱼类）有害。

② 富营养化水体底层堆积的有机物质在厌氧条件下分解产生的有害气体，以及一些浮游生物产生的生物毒素也会伤害水生动物。

③ 富营养化水中含有亚硝酸盐和硝酸盐，人畜长期饮用这些物质含量超标的水，会中毒致病等。

④ 水体富营养化，常导致水生生态系统紊乱，水生生物种类减少，生物多样性受到破坏。

此外，由于藻类带有明显的鱼腥味，从而影响饮用水水质，而某些藻类产生的毒素则会危害人类和动物的健康。

(3) 硫酸盐与硫化物污染

水体中的硫酸盐含量以 SO_4^{2-} 浓度表示。饮用水中含少量硫酸盐对人体无甚影响，浓度过高也会产生危害，在《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）中的“水质常规指标及限值”和《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）中的“集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值”都规定水中硫酸盐限值为 250mg/L。

如果水体缺氧，则 SO_4^{2-} 在反硫化菌的作用下产生反硫化反应，当水体 pH 值低时，以 H_2S 形式存在为主（如 $\text{pH} < 5$ ， H_2S 占总硫化物的 98%）；当 pH 值高时，以 S^{2-} 形式存在为主。 H_2S 浓度达 0.5mg/L 时即有异臭。硫化物会使水色变黑。

(4) 重金属污染

水体重金属污染产生的毒性有如下特点：a. 水体中不同种类重金属离子浓度在 0.01~10mg/L 之间，即可产生不同程度的毒性效应；b. 重金属不能被微生物降解，反而可在微生物的作用下，转化为有机化合物，使毒性增加；c. 水生生物从水体中摄取重金属并在体内大量积累，经过食物链进入人体，甚至通过遗传或母乳传给婴儿；d. 重金属进入人体后，能与体内的蛋白质及酶等发生化学反应而使其失去活性，并可能在体内某些器官中积累，造成慢性中毒，这种积累的危害，有时需 10~30 年才显露出来。我国《污水综合排放标准》（GB 8978—1996）、《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）、《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）等标准，都对重金属离子的浓度做严格的限制。通常水体中毒性较大重金属包括汞、镉、铬、铅，这也是我国《重金属污染综合防治“十二五”规划》中力求控制的 4 种重金属。

1.3.2.3 有机物污染及危害

有机污染物是指进入并污染水环境的有机化合物。其来源主要为生活污水、畜禽废水及食品、造纸、化工、制革、印染等工业废水。有机污染物多数能在环境中被降解成简单无机物，其降解产物或对人类无害，或对人类有害。有些有机污染物具有长期残留性、生物累积性、半挥发性和高毒性，称为持久性有机污染物（POPs），如有机氯农药、多氯联苯等。