



徐祖信 编著

河流污染治理 技术与实践

TECHNOLOGY AND PRACTICE
OF RIVER POLLUTION REHABILITATION

中国水利水电出版社
China WaterPower Press

徐祖信 编著

河流污染治理 技术与实践

TECHNOLOGY AND PRACTICE
OF RIVER POLLUTION REHABILITATION

中国水利水电出版社
China WaterPower Press

内 容 简 介

本书从理论和实际应用及发展现状等方面对河流污染治理技术进行了深入的探讨。在分析河流生态系统组成和功能的基础上,介绍了点污染源和面污染源治理技术、河水微生物就地净化技术、河流曝气复氧技术、河水絮凝技术、河流生态系统恢复技术、底泥处置技术和综合调水技术;还对河流水质和生态系统的监测指标体系和方法作了扼要的介绍;最后,对河流污染治理技术体系的优化论证进行了探讨。每一章都附有实例,以帮助读者加深理解。

本书可作为从事水环境污染治理工作的决策人员、管理人员、科技人员和大专院校师生的参考书,也可作为环境科学与工程本科专业本科生或研究生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

河流污染治理技术与实践/徐祖信编著. —北京:中国水利水电出版社, 2003

ISBN 7-5084-1419-5

I. 河… II. 徐… III. 河流污染—污染防治 IV. X522

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第014557号

书 名	河流污染治理技术与实践
作 者	徐祖信 编著
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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	涿州市星河印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 49.5印张 1088千字 2插页
版 次	2003年2月第1版 2003年2月第一次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	136.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

曾记否？

河水流淌着生命的血脉，

清泉滋润了大地的精灵，

浪花欢唱起原野的赞歌，

江河奔腾出万物的复苏。

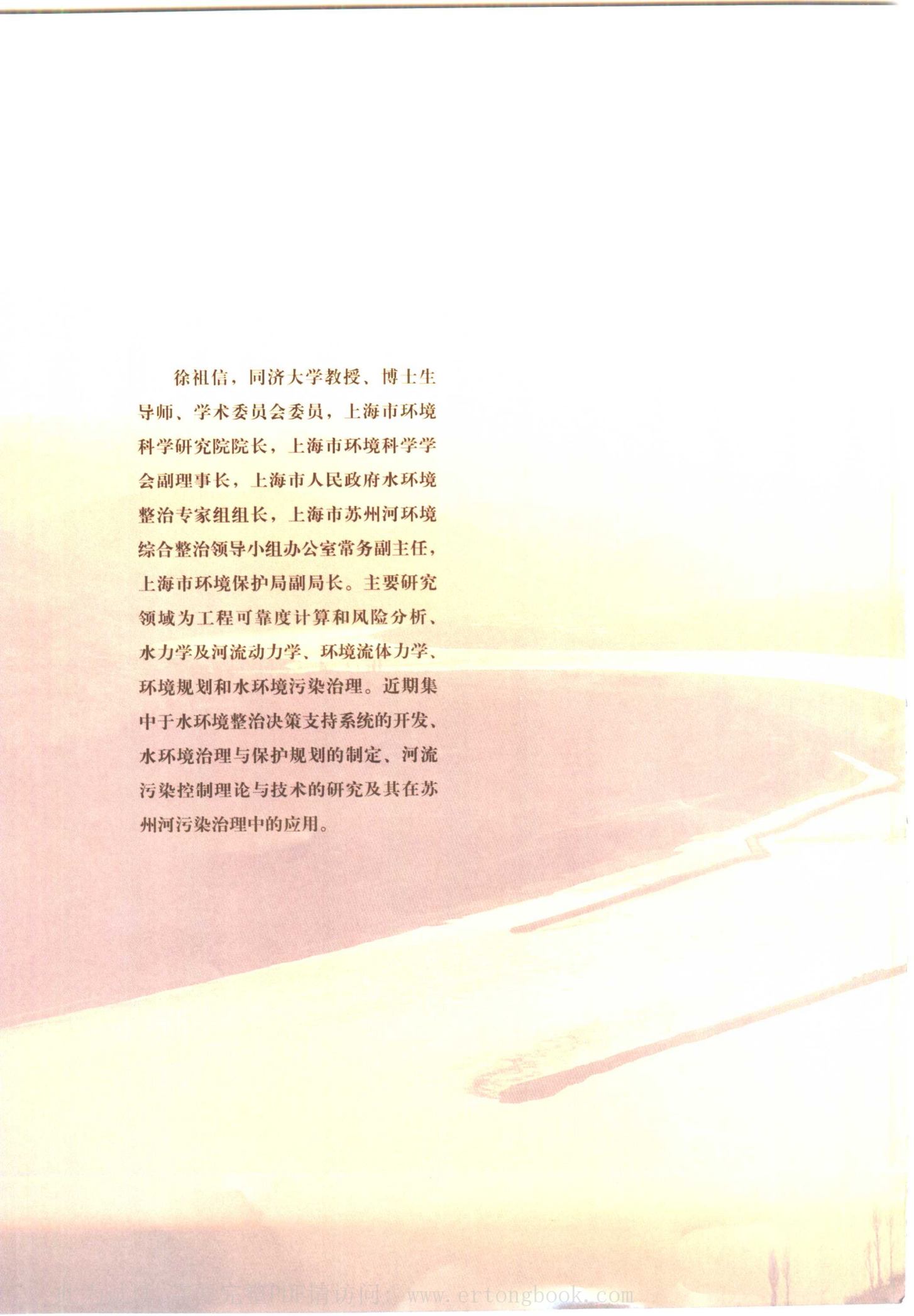
共携手！

重塑生命之源的湖光山色，

再现大地母亲的鸟语花香。

—— 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综合整治专家组组长，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。

前 言

“秋水时至，百川灌河，泾流之大，两溪渚崖之间不辨牛马。于是焉，河伯欣然自喜，以天下之美尽在己”

——《庄子·秋水》

几千年寒暑交替，如真有河神，今天会怎样黯然神伤呢？中华大地上，一条河流恶疾缠身，无数湖泊湿地萎缩干涸，大片森林消失在崇山峻岭之间。我们面临着前所未有的水危机，“狼来了”并非危言耸听。

富兰克林曾说过，只要水井不干，我们就不会了解水的价值。中华大地上日趋严重的水资源短缺和水质污染使各级领导认识到，必须花大力气解决水污染的问题。解决水资源问题摆上了重要议程。痛定思痛，总结上下五千年的经验教训，最大的失误是我们曾一味试图征服自然、改造自然。今天，我们在品尝过度掠夺自然资源埋下的苦果。

所幸的是，党中央、国务院已经把水资源的问题提到了关系国计民生大事的高度。中国政府已经开始全面禁伐天然林，“一棵树也不能砍”，这蕴含巨大魄力的决定，表明我们已开始尊重自然，保护生态。中国的水危机是严重的，但我们应充满希望，共同努力，科学治水，生态治水。

忆苏州河曾是黑臭的代名词，见证了上海开埠以来日渐繁荣的河流逐日失去风采。上海人民爱这条河，又不忍走近这条河。上海市委、市政府急人民所急，想人民所想，以极大的勇气拉开了治理苏州河的帷幕。十几年光阴流逝，苏州河开始焕发生机，基本消除了黑臭，水质日见好转。“亲水住宅”感召市民重新伴水而居，环境改善伴生了经济效益。

借苏州河环境综合整治一期工程竣工之时，编写了这本书。全书共有 12 章，分成四大部分。第一部分探讨河流生态系统的组成和功能；第二部分介绍河流污染源的治理技术，包括点源污染治理和面源污染治理；第三部分阐述生态治水的概念和理论；第四部分讨论河流环境的监测指标体系和污染治理技术的优化论证。每章都附有苏州河治理技术实例，以抛砖引玉，和全国同行共同探讨生态治水的理念和技术，为中国河流污染治理共同努力。

借本书出版之际，对所有支持、关心、帮助我的领导、老师和同志，表示衷心的感谢。苏州河治理取得了阶段性的成果，如果说其中有我一份绵薄之力，是因为有三个重要条件：

第一，上海市委、市政府各级领导高度重视环境保护工作，上海市民积极参与环境建设，有一个非常好的工作环境。我们要高度称颂党中央、国务院创立的尊重自然、保护环境的新时代。

第二，有一个尊重知识、尊重专家并能接受专家建议的领导层。来自专家的意见，只有被握有决策权的领导采纳，才可能产生结果。上海很幸运，有一个能

采纳专家意见的领导层。

第三，有一批全力支持的老专家，有一批通力合作的同道者。苏州河治理的许多观点的形成都是向老专家请教、与同事们反复切磋的结果，苏州河的治理凝聚了他们的心血和智慧。我衷心地感谢培养我的老师们，感谢苏州河治理专家委员会的全体专家，感谢和我一起共同努力的上海市政府水环境整治专家组的同志们。我庆幸有这样一批为事业共同奋斗的伙伴，我们的友谊就是在共同工作的日子里形成的，我怀念我们共同研讨的时光。

参与本书编写的同志还有：华东师范大学的徐亚同教授，上海市环境科学研究院的黄沈发院长助理、张明旭副总工程师、袁峻峰教授，上海市环境保护局的罗海林处长、屈计宁副处长，上海市环境监测中心的张锦平副总工程师。作者的数十位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。本书在编写过程中，得到了上海市环境保护局、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，在此一并谨向他们表示衷心的真挚感谢。

徐祖信

2003.2 于上海

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 河流的环境特征	1
第二节 河流污染的成因分析	18
第三节 河流污染的危害	23
第四节 我国主要河流水环境的质量状况	32
第五节 河流污染的治理原则	37
第六节 苏州河环境综合整治概述	44
第二章 河流生态系统与自净作用	51
第一节 河流生态系统的结构	51
第二节 河流生态系统的功能	57
第三节 河流污染的作用机理和生态效应	73
第四节 河流污染的自净作用	88
第五节 河流的环境容量	93
第六节 苏州河中污染物迁移与转化规律的研究	104
第三章 点源污染治理对策	125
第一节 排水系统的设计与改造	125
第二节 污水排放的标准	144
第三节 点源污染治理的技术概述	147
第四节 因地制宜的点源污染治理技术及实例	181
第四章 面源污染的治理措施	198
第一节 面源污染的形成	198
第二节 面源污染的研究方法	199
第三节 主要面源污染的排放特征	206
第四节 面源污染的有效控制与治理	221
第五章 微生物就地处理技术	283
第一节 微生物处理的基本原理	283
第二节 污染河流微生物修复的方法	332
第三节 苏州河污染支流的生物修复试验	342
第六章 河流曝气复氧技术	359
第一节 概述	359
第二节 河流水体耗氧动力学	364
第三节 河流曝气复氧工程基础	376

第四节 苏州河曝气复氧工程简介	387
第七章 河水化学絮凝处理技术	401
第一节 概述	401
第二节 混凝的基本原理和影响因素	405
第三节 常用的药剂	420
第四节 化学絮凝处理的工程设计	436
第五节 硅藻土在污染水体治理中的应用	441
第八章 河流的生态恢复	447
第一节 河流生态恢复的原则与程序	447
第二节 水体富营养化和水华的控制	452
第三节 河流生物群落的恢复	458
第四节 河流滨岸带的生态恢复	466
第五节 莱茵河的生态恢复	478
第六节 河流生态恢复的监测和指标体系	483
第九章 综合调水	498
第一节 综合调水的基本原则	498
第二节 明渠水力学的基本原理	500
第三节 泵与闸的水力计算	511
第四节 河流水动力的数值计算	515
第五节 河流水质的数值计算	533
第六节 综合调水对河流溶解氧的影响分析	541
第七节 闸门的自动控制	545
第八节 苏州河的第三次调水试验	552
第十章 底泥疏浚与处置	565
第一节 概述	565
第二节 底泥的耗氧与污染物的释放	574
第三节 底泥中重金属的释放	586
第四节 污染底泥的治理技术概述	593
第五节 污染底泥的疏浚	598
第六节 疏浚底泥的处置	612
第七节 苏州河底泥的勘测与处置研究	617
第十一章 河流环境要素的监测与评价	656
第一节 水文要素	656
第二节 水质要素	662
第三节 底质监测	672
第四节 水生态系统调查	674
第五节 河流环境质量在线自动监控系统	689
第六节 河流环境质量评价	698
第七节 苏州河水质和生态系统的监测与评价	726

第十二章 河流污染治理技术体系	733
第一节 河流污染的治理规划	733
第二节 河流污染治理技术的优化论证	739
第三节 河流生态系统改善技术的比选	755
第四节 河流污染的治理工程及其运行管理	762
第五节 苏州河治理的关键技术体系	765

第一章 绪 论

第一节 河流的环境特征

河流是人类文明的摇篮，如中国的黄河与长江，印度的恒河、古埃及的尼罗河和古巴比伦的两河流域，都是人类的古代文明的发源地。河流是地球淡水循环的关键环节，是地表特殊的地理和生态单元，对地球生物圈和生态系统，尤其是陆地生态系统，具有重要的影响。

一、河流的基本概念及类型

（一）河流的地理概念

河流由雨水、冰川或者地下水在地球引力的作用下汇集，从细小的水流逐渐发展成为汹涌的激流，奔流于蜿蜒的河床（槽）中。因此，河流包括河床与在河床中流动的水流两个部分。大小不同的河流形成的相互流通的水道系统称为河系或者水系，而供给地面和地下径流的集水区域称为流域。

（二）河流的形成

河流形成的过程极为复杂，可以分为以下阶段。

1. 流域的蓄渗和径流的形成

降雨初期，除一小部分（一般不超过 5%）降落在河槽水面上的雨水直接形成径流外，其余雨水均降落在地表。地表径流的形成与植被类型和郁闭程度有关。茂密的森林，全年最大截留量可达年降水量的 20%~30%，而被截留的雨水最终消耗于蒸发。下渗发生在降雨期间及雨停后地面尚有积水的地方，下渗强度的时空变化很大。在降雨过程中，当降雨强度小于下渗能力时，雨水将全都渗入土壤中。渗入土中的水，首先满足土壤吸收的需要，一部分滞蓄于土壤中，在雨停后耗于蒸发，超出土壤持水力的水将继续向下渗透；当降雨强度大于下渗能力时，

超出下渗强度的降雨（也称超渗雨），形成地面积水，蓄积于地面洼地，称为填注。地面洼地通常都有一定的面积和蓄水容量，填注的雨水在雨停后也消耗于蒸发和下渗。在平原和坡地流域的地面洼地较多，填注水量可高达 100mm，一般流域的填注水量约 10mm 左右。随着降雨继续进行，满足填注后的水开始产生地面径流。在一次降雨过程中，流域各处的蓄渗量及蓄渗过程的发展是不均匀的，因此，地面径流产生的时间、地方有先有后，满足蓄渗以后才形成径流。

流域上继续不断降雨，渗入土壤的水使土壤含水量不断增加，当土壤层含水达到饱和后，在一定条件下，部分水沿坡地上层侧向流动，形成壤中径流，也称表层径流。下渗水流达到地下水面后，以地下水的形式沿坡地上层汇入河槽，形成地下径流。因此，流域上的降水，经过蓄渗过程产生了地面径流、壤中径流和地下径流三种。

在流域过程中，无论是植物截留、下渗、填注、蒸发还是土壤水的运动，水的运行均受制于垂向运行机制，水的垂向运行过程构成了降雨在流域空间上的再分配，从而构成了流域的不同产流机制，形成了不同主流成分的产流过程。

2. 坡地汇流过程

超过蓄渗的雨水在地面上呈片流、细沟流运动的现象，称为坡面漫流。满足填注后的降水开始产生大量的地面径流，沿坡面流动进入正式的漫流阶段。在漫流过程中，坡面水流一方面继续接受降雨的直接补给而增加地面径流，另一方面又在运行中不断地消耗于下渗和蒸发，使地面径流减少。地面径流产流过程与坡面汇流过程是相互交织在一起的，前者是后者发生的必要条件，后者是前者的继续和发展。

坡面漫流通常是在蓄渗容易得到满足的地方先发生，例如，透水性较低的地面（包括小部分不透水的地面）或较潮湿的地方（例如河边）等，然后其范围逐渐扩大。坡面水流可能呈紊流或层流，其流态与降雨强度有关，其运行受重力和摩擦力支配，遵循能量守恒和质量守恒规律的侧向运动的水流，可以用水流的运动方程和连续方程来进行描述。坡面漫流的流程一般不超过数百米，历时亦短，但对小流域很重要，而大流域则因历时短而在整个过程中可以忽略。地面径流经过坡面漫流后注入河网，一般仅在大雨或高强度的降雨后，地面径流才是构成河流流量的主要源流。

壤中流及地下径流也同样具有沿坡地土层的汇流过程，它们都是在有孔介质中的水流运动。由于它们所通过介质的性质不同，所流经的途径各异，沿途所受阻力也有差别，所以水的流速不等。壤中流（表层流）主要发生在近地面透水性较弱的土层中，它是在临时饱和带内的非毛管空隙中侧向运动的水流。通常壤中流汇流速度比地面径流慢，但比地下径流快得多。壤中流在总径流中的比例与流域土壤和地质条件有关。当表层土层薄而透水性好，下覆有相对不透水层时，可能产生大量的壤中流。在这种情况下，虽然其流速比地面径流缓慢，但遇到中强度暴雨时，壤中流的流量可以增加很多，而成为河流流量的主要组成部分。壤中流与地面径流有时可以相互转化，例如，在坡地上部渗入土中流动的壤中流，可能在坡地下部以地面径流形式汇入河槽，部分地面径流也可能在漫流过程中渗入

土壤中流动,故也有人将壤中流归到地面径流一类。均匀透水的土壤有利于水渗透到地下水面,形成地下径流。地下径流运动缓慢,补给河流的地下径流平稳而持续时间长,是构成流量的基流。但地下径流是否完全通过本流域的出口断面流出,取决于地质的构造条件。

上述三种河流的汇流过程,构成了坡地汇流的全部内容,就特性而言,它们之间有量级大小、过程缓急、出现时间先后、历时长短等方面的差别。应当指出,对一个具体的流域而言,它们并不一定同时存在于同一次径流形成过程中。

在河流形成中,坡地汇流过程起着对各种径流成分在时程上的第一次再分配作用。降雨停止后,坡地汇流仍将持续一段时间。

3. 河网汇流过程

各种径流成分经过坡地汇流注入河网,即称为河网汇流过程。这一过程自坡地汇流注入河网开始,直至将最后汇入河网的降水输送到出口断面为止。坡地汇流注入河网后,使河网水量增加、水位上涨、流量增大,成为流量过程线的涨洪段。此时,由于河网水位上升速度大于其两岸地下水位的上升速度,当河水与两岸地下水之间有水力联系时,一部分河水补给地下水,增加两岸的地下蓄水量,称为**河岸容蓄**;同时,涨洪阶段,出口断面以上坡地汇入河网的总水量必然大于出口断面的流量,这是因为,河网本身可以滞蓄一部分水量,称为**河网容蓄**。当降水和坡地汇流停止时,河岸和河网容蓄的水量达最大值,而河网汇流过程仍在继续进行。当上游补给量小于出口排泄量时,就进入一次洪水过程的退水段。此时,河网蓄水开始消退,流量逐渐减小,水位相应降低,涨洪时容蓄于两岸土层的水量又补充回河网,直到降水最后排到出口断面为止。此时,河槽泄水量与地下水补给量相等,河槽水流趋向稳定,上述河岸调节及河槽调节的现象,统称为河网调节作用。河网调蓄是对净雨量在时程上的又一次再分配,故出口断面的流量过程线比降雨过程线平缓得多。

河网汇流的水运行过程,是河槽中不稳定水流运动过程,是河道洪水波的形成和运动过程,而河流断面上的水位、流量的变化过程是洪水波通过该断面的直接反映,当洪水波全部通过出口断面时,河槽水位及流量恢复到原有的稳定状态,一次降雨的径流形成过程即告结束。

在径流形成中,通常将流域蓄渗过程和到形成地面汇流及早期的表层流过程,称为产流过程,坡地汇流与河网汇流合称为流域汇流过程或汇流过程。径流形成过程实质上是水在流域上的再分配与运行过程。产流过程中水以垂向运行为主,它构成降雨在流域空间上的再分配过程,是构成不同产流机制和形成不同径流成分的基本过程。汇流过程中水以水平侧向运行为主,水平运行机制是构成降雨在时程上再分配的过程,是构成流域汇流过程的基本机制。

(三) 河流的类型

河流根据其形态可以分为山区河流和平原河流两大类。山区河流两岸陡峭,河道深而狭窄,一般呈现“V”形或者“U”形(图 1-1)。山区河流的河道往往表现为阶梯状,由一级一级顶部平坦的平台和它们之间的斜坡构成。平台称为阶地面,而斜坡称为阶地前坡。最下一级与河谷谷地相连,称为一级阶地。在山区,

由于坡度大, 汇流时间短, 径流速度大, 有时甚至达到 7m/s 以上, 所以, 一旦降雨, 就容易形成强烈的洪水冲刷。在这种情况下, 如果植被遭到破坏, 就会导致严重的水土流失和河流污染。

平原地势开阔平坦, 水流比较舒缓, 流速一般在 3m/s 以下。平原河流容易产生泥沙淤积, 使得河流的形态变化多样, 如边滩、浅滩、沙咀、江心滩等, 容易形成大面积的冲积区, 厚度可以达到数十米以上。平原河流形态主要概括为 4 种类型: ①顺直型即中心河槽顺直, 而边滩呈犬牙交错状分布, 并在洪水期间向下游平移; ②蜿蜒曲折型呈现蛇型弯曲形, 河槽比较深的部分靠近凹岸, 而边滩靠近凸岸; ③分汉型流水河槽分汉, 分双汉或者分多汉, 并且交替消长; ④散乱游荡型河床分布着较密集的沙滩, 河汉纵横交错, 而且变化比较频繁 (图 1-2)。

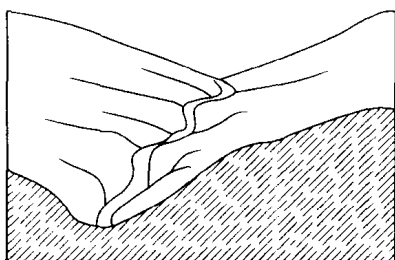


图 1-1 山区河流

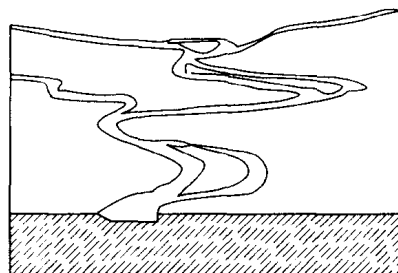


图 1-2 平原河流

河流的积水区域, 称为流域, 如图 1-3 所示。在一定汇水区域内, 大小不一的河流构成脉络相通的河流系统, 统称为水系或者河网。在形态上, 河网又有树枝状、长方状、羽毛状、放射状、平行状、环状、格栅状、分散状等各种不同的形态。

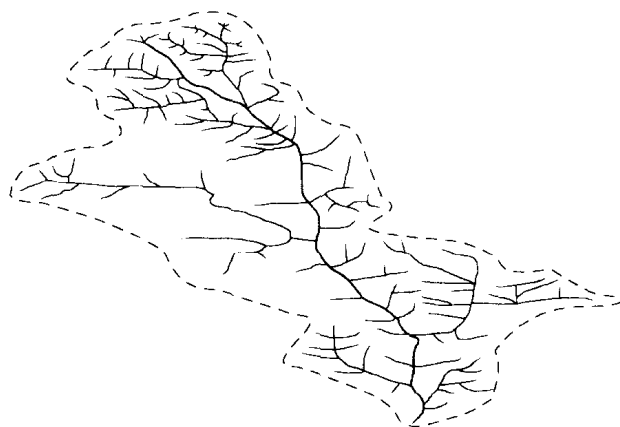


图 1-3 河流流域示意图

我国的河网多分布在平原三角洲地区, 这是由于这种地区的地势比较平坦, 河道纵横交错, 形成四通八达的河网。平原河网地区的地理位置优越, 土地肥沃, 交通便利, 因而经济一般比较发达, 河网地区的污染也往往比较严重。我国河网水环境的主要特点是: ①河道纵横交错, 并且与大小湖泊相互串连, 水流方向变化不定, 水质不均匀; ②污染源排放呈间歇式, 点源排放与生产生活节奏相关,

面源污染排放与降雨等相关, 水体流动缓慢, 常常呈现好氧、缺氧和厌氧三种状态, 容易出现黑臭现象, 对整个河网的生态系统影响比较大; ③底泥受到比较严重的污染, 这是一个重要的内污染源。

据统计, 在我国, 流域面积在 100km^2 以上的河流达 5 万多条。这些河流分为两类: 流入海洋的外流河和不与海洋相通的内陆河。大多数河流分布在气候比较湿润的东南部, 而西北内陆干燥少雨, 河流稀少。外流河占全国河流的 $2/3$, 顺地势向东或者东南流入太平洋; 内陆河占全国河流的 $1/3$, 主要分布在内蒙古、河西、准噶尔、中亚细亚、塔里木、青海等地区。长江是我国的第一大河, 全长 6300km , 流域面积约 180万 km^2 , 接近全国总面积的 $1/5$ 。黄河是我国的第二大河, 干流河道全长 5464km , 流域面积 75万 km^2 。

二、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, 受河床地形变化影响, 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 (图 1-4)。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。

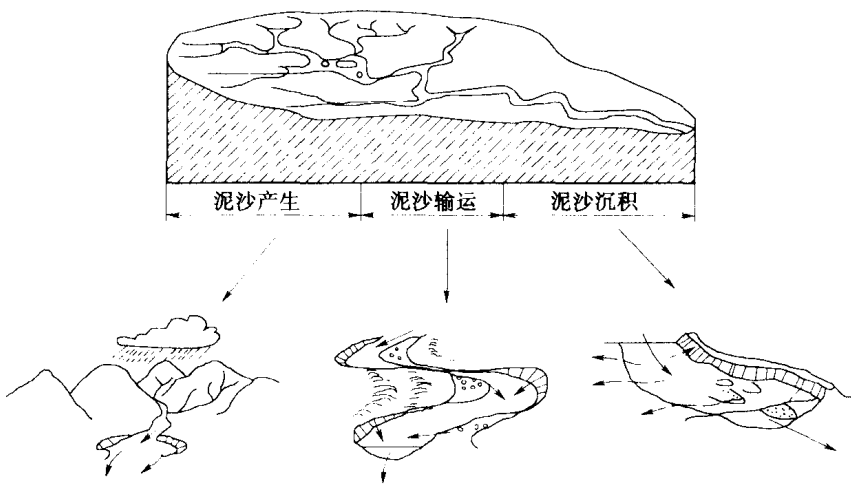


图 1-4 河流泥沙运动阶段示意图

表 1-1 全国外流河流域的河流泥沙量

项目	东北各河	华北各河	黄河	淮海	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

河流挟带的泥沙与河流的流速有密切的关系，当河流流速较慢，流量减少，坡度减缓，含沙量增多时，水流中的泥沙会发生沉积现象。泥沙沉积导致河床由深变浅，河床和河谷形成各种形态的堆积地貌，弯曲河岸线的不对称性加剧。河床上的泥沙在一定的条件下能够起动，随着水流迁移。泥沙起动的条件是河床上的泥沙刚刚开始运动的水流条件，或者称为临界水流条件。在临界条件下，泥沙颗粒受的作用力包括：有效重力、水流推移力（又称拖曳力）、水流上举力、颗粒摩擦力、颗粒间的黏结力等。泥沙含量高是我国河流的显著特点，因此，深刻理解泥沙的作用对于我国河流修复具有特殊重要的意义。根据有关研究，我国黄河的最大含沙量超过 1500kg/m³。

泥沙与河槽的相互作用在很大程度上影响着河流的形态及其演化趋势。河流形态主要是由河道地质条件、水流流量、速度、能量以及泥沙运动等因素相互作用而决定的。在流动过程中，水流产生对河底和河岸的冲刷剪切应力作用，水流挟带的泥沙也具有很强的摩擦侵蚀作用，如果应力大于河床和河岸物质的抗剪力，则造成冲刷效果，导致河床物质发生运动；如果水流速度小于泥沙的止动流速，就会发生淤积，从而塑造出一定的河床形态。河床形态的改变反过来又会影响水流流场和相应的剪切应力作用的大小和方向，例如淤积本身又会导致水流的加快，从而减少淤积速率。总之，两种力量交替作用，当达到相对平衡状态时，水流和河床呈现出相对稳定的状态。因此，河床和河谷是水流在漫长的运动中逐渐形成的，并且处于不断变化的过程中。

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，时

间不同，地点不同，海洋就有不同的潮汐涨落规律。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，但大致可以分成三种基本类型，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（一日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、底泥组成的自然综合体。因此，河流水质不可避免地会受河水挟带物的影响，图 1-5 列出了水中各种物质对水质的作用，水和这些物质相互作用，共同决定了水质状况。

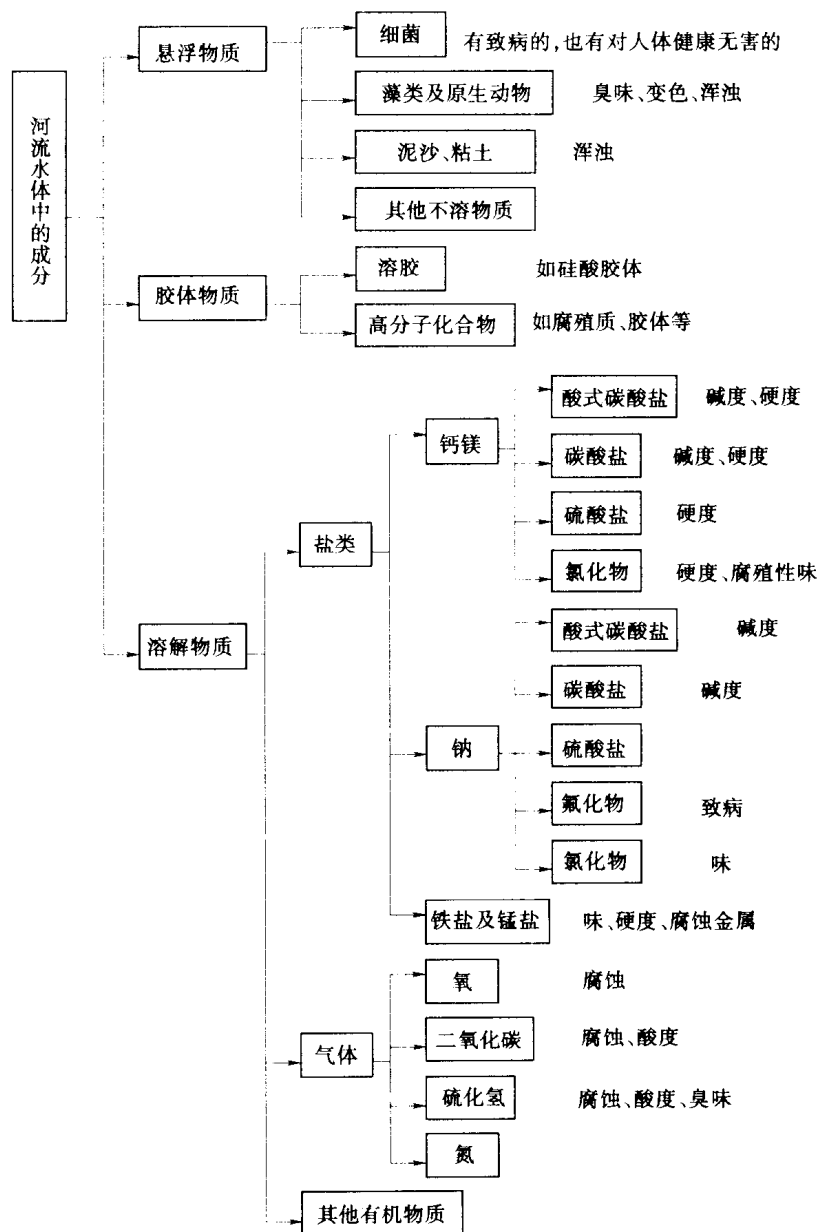


图 1-5 河流水体中的成分及其对水质的影响