

ShengTaiHeAnDaiZongHePingJiaLiLunYuXiuFuJiShu

# 生态河岸带综合评价理论与修复技术

● 夏继红 严忠民 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 生态河岸带综合评价理论与修复技术

● 夏继红 严忠民 著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书以生态河岸带为独立研究对象,从基本概念到基本建设,再到管理方法,全面系统地阐述了生态河岸带的有关理论和修复技术。全书共10章,重点论述生态河岸带的内涵、边缘效应、综合评价理论、修复技术及GIS技术在生态河岸带中的应用。

本书系统性强,理论与实践相结合,方法与应用相结合,既适合从事水利、生态、环境等专业的科研与教学人员阅读和参考,又适合从事河道管理与建设的技术和管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

生态河岸带综合评价理论与修复技术 / 夏继红, 严忠民著. —北京: 中国水利水电出版社, 2009  
ISBN 978 - 7 - 5084 - 5832 - 8

I. 生… II. ①夏…②严… III. ①河岸—生态系统—综合评价②河岸—生态系统—环境保护 IV. X171.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第120732号

书 名	生态河岸带综合评价理论与修复技术
作 者	夏继红 严忠民 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: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 63202266(总机)、68367658(营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 9.75印张 231千字
版 次	2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷
印 数	0001—2500册
定 价	30.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

随着社会经济的发展，河流生态问题已不容忽视，保护河流生态是目前人们非常关注的问题。河岸带作为河流生态系统与陆地生态系统进行物质、能量、信息交换的一个重要过渡带，它对水陆生态系统起着廊道、过滤器和屏障的作用。河岸带作为一种生态交错带，是很多水生生物和陆生生物的良好栖息地，它对增加动植物物种源、提高生物多样性和生态系统生产力、保护水土环境、稳定河岸、调节微气候和美化环境、开展旅游活动均有着重要的现实意义和潜在价值。

目前，河岸带生态系统的重要性逐渐为人们所认识，有关学者已开始研究生态河岸带的有关问题，在理论上和实践上均取得了一定的进展。但是由于人们对生态河岸带认识的局限性，目前对生态河岸带的认识还非常肤浅，理论研究相对缺乏。如关于什么是生态河岸带，什么样的河岸带生态系统才具有生态完整性、生态安全性、生态健康性等问题还没有较为系统完善的答案。

本书在国内外有关研究的基础上，从生态河岸带的基本概念出发，提出生态河岸带的含义、特征、内涵和功能，并对生态河岸带进行功能区划。从生态学、地貌学、水力学的角度，研究生态河岸带的生态边缘效应、力学边缘效应、社会经济边缘效应等边缘作用机理。根据生态河岸带的特征和要求，建立了生态河岸带综合评价指标体系和评价模型。在此基础上，讨论了生态河岸带修复、规划和管理的方法，提出了生态河岸带的主要修复技术、规划步骤和管理措施。同时，探讨了GIS技术在生态河岸带中的应用领域以及GIS与综合评价的耦合技术。并结合淮河入江水道的具体特点，利用GIS技术和综合评价理论，对该河道河岸带的生态状况进行了综合评价，分析了存在的主要问题 and 原因，提出了治理措施和对策。

本书是在作者博士学位论文《生态河岸带综合评价理论与应用研究》、已

发表学术论文以及实验室关于河岸稳定性保护试验研究成果的基础上完成的。本书以生态河岸带为独立的研究对象，从基本概念到基本建设，再到管理方法，全面系统地简述生态河岸带的有关理论和生态修复技术。

全书共10章，重点论述生态河岸带的边缘效应、修复技术、综合评价理论以及GIS的应用。特点是系统性强、理论与实践相结合、方法与应用相结合。本书可以为河岸带的生态建设提供理论依据和技术参考。

本书在完成过程中，蒋传丰教授、俞国青教授、汪德耀教授、唐洪武教授、王占惠高工、张辛农教授级高工给予了大量的指导，并提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢。感谢周春天副研究员、傅宗甫副研究员、李若华硕士、Lannia 硕士在试验成果上的帮助。感谢江苏省水利厅朱德伦高工、辛华荣高工、高士佩高工给予的帮助。感谢浙江省河道管理总站韩玉玲教授级高工、胡玲工程师给予的指正。感谢上海市水务局魏梓兴处长、赵政处长、卢智灵工程师给予的帮助。感谢沈雁女士在资料收集、篇章整理过程中给予的帮助。

本书中数据资料得到江苏省水利厅、扬州市水利局的大力支持，在此表示衷心感谢。

本书的研究工作得到国家自然科学基金“生态河岸带边缘效应及适宜宽度定量研究(40871050)”江苏省水利科技项目“江苏省河道生态治理研究(2003037)”、浙江省水利科技重点项目“浙江省河流健康诊断模型研究(RB0811)”和江苏省研究生创新计划项目“河岸带生态综合评价理论与应用研究(XM04—41)”的资助，在此表示感谢。

通过本书研究，作者在生态河岸带领域做了一些探索，取得了一点成果，但限于作者的学识水平和工程经验，书中不当之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

作 者

2008年3月于南京

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 研究目的与意义 .....	1
1.2 研究进展与发展趋势.....	3
1.3 主要研究内容及方法 .....	11
<b>第 2 章 生态河岸带的概念与功能</b> .....	14
2.1 生态河岸带的概念 .....	14
2.2 生态河岸带的功能 .....	16
2.3 生态河岸带的功能区划 .....	18
<b>第 3 章 生态河岸带的边缘效应</b> .....	25
3.1 水动力边缘效应 .....	25
3.2 生态边缘效应 .....	27
3.3 文化与经济边缘效应 .....	29
<b>第 4 章 生态河岸带综合评价指标体系</b> .....	31
4.1 生态河岸带综合评价内容及特点 .....	31
4.2 生态河岸带的影响因素 .....	33
4.3 生态河岸带综合评价指标体系的建立 .....	34
4.4 指标值的获取方法 .....	38
<b>第 5 章 生态河岸带综合评价方法及评价模型</b> .....	45
5.1 生态河岸带综合评价方法的选择 .....	45
5.2 生态河岸带综合评价体系结构 .....	48
5.3 生态河岸带综合评价的方法模型 .....	49
5.4 生态河岸带综合评价的等级划分 .....	52
5.5 评价指标标准及隶属度模型 .....	54

<b>第 6 章 河岸带生态修复技术</b> .....	61
6.1 传统河岸带建设方式的负面影响 .....	61
6.2 河岸带生态修复模式 .....	62
6.3 河岸带生态修复材料的选择 .....	66
6.4 河岸带生态修复关键技术的试验研究 .....	68
<b>第 7 章 生态河岸带的管理与规划</b> .....	80
7.1 生态河岸带管理的含义与特点 .....	80
7.2 生态河岸带的管理体系与保障机制 .....	82
7.3 生态河岸带的规划 .....	86
<b>第 8 章 基于 GIS 的生态河岸带建设与管理</b> .....	92
8.1 GIS 的概述 .....	92
8.2 GIS 在生态河岸带建设管理中的应用 .....	93
8.3 生态河岸带的数据类型及特征 .....	96
8.4 生态河岸带综合评价与 GIS 的耦合 .....	97
8.5 生态河岸带综合评价 GIS 的设计与实现 .....	108
<b>第 9 章 淮河入江水道河岸带生态综合评价与治理</b> .....	112
9.1 淮河入江水道的概况 .....	112
9.2 淮河入江水道河岸带生态综合评价 .....	118
9.3 存在的问题及生态治理 .....	131
<b>第 10 章 结语</b> .....	138
10.1 结论 .....	138
10.2 研究展望 .....	139
<b>参考文献</b> .....	141



# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 研究目的与意义

#### 1.1.1 河岸带与河岸缓冲带

“河岸”一词起源于拉丁词“Riparius”，是 1785 年瑞典植物学家 Carolus Linnaeus 首先使用，后经英语化形成了“Riaprian”一词。该词最初是指河湖岸的生物群落，后来逐步发展，在 20 世纪 70 年代出现了河岸带一词，并形成了多种定义<sup>[1]</sup>。如：Warner 和 Hendrix (1984) 提出河岸带是包围着水道、河口、泉水、渗漏水等水体的河岸和其他相邻陆地区域<sup>[2]</sup>。马萨诸塞州环境保护局 (1997) 和美国农业自然资源保护署 (USDA/NRCS 1996) 把河岸带定义为沿水体岸边的土地，如洪泛平原、河岸等<sup>[3]</sup>。Manson (1993) 指出河岸区包括了高水位区和地表水水域<sup>[4]</sup>。Swanson 等 (1982) 认为河岸带是陆地生态系统和水生生态系统间的三维交接区，其范围外至洪水到达的界线，上至河岸带植物林冠的顶端<sup>[5]</sup>。

近年来，随着生态学理论的蓬勃发展，生态思想已渗入河岸带的设计、建设、管理和研究中，对河岸带的概念作了拓展。Naiman 和 Decamps (1993) 从地理学、生物学、生态学等方面提出河岸带包括高低水位的河道以及高水位以上的植被，受洪水和土壤持水能力影响的陆地区域<sup>[6,7]</sup>。河岸带外的植物虽然不直接受水文条件的影响，但可以为洪泛区或河道提供有机质，还可以影响洪泛区或河道的物理机制，所以这部分植被也常常被考虑为河岸带的一部分。

相对于河岸带而言，河岸缓冲带是管理方面的一个概念，它是指河岸两边向岸坡爬升的由树木（乔木）及其他植被组成的，防止或转移由坡地地表径流、废水排放、地下径流和深层地下水流所带来的养分、沉积物、有机质、杀虫剂及其他污染物进入河溪系统的缓冲区域。河岸缓冲带一词在欧美国家较为常用，在美国已被推荐为最优管理模式<sup>[8]</sup>。美国农业部林务局 (USDA - FS) 早在 1991 年就制定了“河岸植被缓冲带区划标准”<sup>[9]</sup>。

#### 1.1.2 研究背景

河流是流水作用形成的主要地貌类型，汇集和接纳地面径流和地下径流，沟通内陆和大海，是自然界物质循环和能量流动的一个重要通道，人们常常把河流看作地球的动脉<sup>[10]</sup>。我国是一个河流众多，径流资源十分丰富的国家。据统计，我国大小河流总长度约 42 万 km，其中流域面积在 100km<sup>2</sup> 以上的河流达 5 万多条，1000km<sup>2</sup> 以上的河流有 1580 多条，超过 1 万 km<sup>2</sup> 的河流有 79 条。以径流资源来说，全国径流总量约 2.6 万亿 m<sup>3</sup>，占世界河川径流总量的 6.8%，为亚洲全部径流量的 20.1%。仅次于巴西和前苏联，居世界第



三位。如此众多的河流,丰富的径流资源,为灌溉、航运、发电、城市供水等提供了有利条件<sup>[11]</sup>。河流不仅提供了丰富的水资源,还通过水位涨落变化、补充地下、滋润两岸土地等形式提供各种生态服务;而且水陆交错,或依山傍水,或河湖相连,生境丰富,物种繁多,在生物多样性发生与养育上极富特点。

但是随着人口增长、工业进步和社会发展,土地利用需求快速增加,河流域亦受到过度开发,人们往往缺乏对于水资源生态的认识,造成水系退化,大量河道被填埋,水面积锐减,从而严重影响了河流的水文、生态过程,河流水质污染日趋严重,水土流失日益加剧,河流断流频繁发生(有些河流乃至枯萎),河流生态环境严重退化,甚至出现毁灭性的破坏。据中科院1996年发布的一份国情研究报告,全国532条主要河流中,有436条受到不同程度的污染,七大江河流经的15个主要城市河段中,有13个河段水质污染严重。据统计,从1972~1998年的27年中,黄河下游利津水文站有21年发生断流,断流年份平均断流50天,平均断流长度321km。黄河流域多年平均土壤侵蚀3700万 $\text{km}^2$ ,年水土流失量为230万 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,居世界首位<sup>[11]</sup>。河流的生态状况已越来越不适应社会经济发展的需要,河流的生态问题越来越受人们的关注。

河流生态系统自身内部具有一套完整的信息、物质、能量循环机制,同时它又与其他相邻生态系统之间进行着物质、能量、信息交换。这其中与陆地生态系统的相互作用最为显著,水体中很多生物的物质和能量源都来自于陆地生态系统(如河流中许多初级消费者以碎屑为食,这主要来源于由陆地植被冲入或落入的有机物质)。而两者之间主要是通过河岸带相互作用的,河岸带将两者紧密地联系起来,它是河流生态系统与陆地生态系统进行物质、能量、信息交换的一个重要过渡带,成为两者间相互作用的重要纽带和桥梁。如河岸带上的植被对水陆生态系统间的物流、能流、信息流和生物流等发挥着廊道(corridor)、过滤器(filter)和屏障(barrier)作用功能<sup>[12,13]</sup>。河岸带作为一种生态交错带,具有明显的边缘效应,其植物群落组成、结构和分布格局以及生态环境因子等与远离河流的森林内部的植物群落相比有着较大的差异<sup>[7]</sup>。河岸带生态系统对增加动植物物种种源、提高生物多样性和生态系统生产力、进行水土污染治理和保护、稳定河岸、调节微气候和美化环境、开展旅游活动均有着重要的现实意义和潜在价值<sup>[14~17]</sup>。所以保持河岸带生态系统的生态平衡、生态安全、生态健康,对维持河流生态系统的生态功能,保护河流生态具有十分重要的意义和价值。

### 1.1.3 研究目的和意义

河岸带的重要性逐渐为人们所认识,逐渐成为人们关注的热点区域,一些学者已开始研究河岸带的有关问题,并取得了一定的进展。在理论上,主要集中在生态河岸带定义、功能、管理及保护技术等方面的宏观性研究,已取得了一定的定性成果。在实践上,主要集中在河岸带保护技术的研究。现在很多城市为了使河岸建设与城市建设规划发展相一致、与周边生态环境相协调、与城市居民的需求相符合,在进行河道整治工程中,河岸带的生态保护、生态治理以及生态修复等工程相继实施,对河岸带的生态景观进行了详细周密的设计。如上海市大富浜、横港河道整治工程<sup>[18]</sup>,扬州市二道河整治工程<sup>[19]</sup>,成都市府河整治工程<sup>[20]</sup>。这些工程在一定程度上改善了生态,美化了景观。

但是由于人们对生态河岸带认识的有限性,所谓的生态工程建设大多是根据设计人员自己对生态河岸带的理解来进行的,缺乏一定的规范标准,具有一定的片面性和盲目性。而且由于人们对生态河岸带的认识较肤浅,理论研究相对缺乏。如关于什么是生态河岸带,什么样的河岸生态系统才具有生态完整性、生态安全性,什么样的河岸生态系统才能保持生态健康等问题目前还存在着很大的争议。就生态河岸带的含义而言,目前还没有为广大学者统一接受的明确定义和评价标准,对其内涵的理解更是仁者见仁。生物生态学家对生态河岸带的理解大多仅从保护生物物种多样性,维持完整食物链的角度来认识。而水利学家对生态河岸带的理解大都仅从保持河岸稳定、减少水土流失、提高防洪标准的角度来认识。这两方面的理解都具有一定的片面性,前者对防洪、护岸要求缺乏考虑,后者对河流生态及物种保护缺乏考虑。而河岸带是水陆交界带,具有水域与陆地双重属性,既包含了单纯的生态内涵,也包含了水利特性的内涵。所以对生态河岸带内涵的理解应从这两方面全面地理解。为了全面地掌握生态河岸概念,给河岸带生态建设和管理提供理论依据和施工标准,必须对生态河岸带进行综合评价,而这方面的理论目前尚处于空缺状态。

由于有关生态河岸带定量方面的研究很少,这就给河岸带生态系统的建设、保护与管理带来了一定的困难,缺乏统一的衡量标准,可操作性较差,所以造成目前生态河岸带的保护的片面性和盲目性。因此,为了能够给生态河岸带建设提供统一的衡量标准,必须加强生态河岸带的定量研究。本书通过探究生态河岸带的概念、内涵、评价内容、影响指标以及评价模型等,让人们从定性的角度去理解生态河岸带,从定量的角度把握影响生态河岸带的因子,研究河岸带生态修复的技术、生态河岸带规划和管理的方法,为生态河岸带的建设提供理论依据和施工标准。从而使河道在满足行洪排涝要求和保证岸坡结构稳定的前提下,能与周围生态系统(陆地生态系统、水体生态系统等)相互和谐、协同发展,能维持物种多样性、减少对资源的剥夺、保持营养和水循环、提供丰富的食物链、维持植物生境和动物栖息地的质量有助于改善人居环境及生态系统的健康,保持河道生态平衡、水资源的可持续发展。不仅可以保证河道的稳定、满足河道行洪排涝的要求,而且还可为人们提供“安全、舒适、优美”的生态环境,有利于提高水资源的生态承载能力,有利于提高河道生态系统的自我调节、自我平衡能力,有利于提高水体的自净化能力,提高水环境的自然净化功能、抑制和减轻水质恶化,以维系良好的生态系统,推进水利和经济社会的协同发展。

## 1.2 研究进展与发展趋势

### 1.2.1 国内外研究进展

从“河岸带”一词开始出现至今,国内外学者对其已开展了一系列研究工作,如基本概念、护岸技术、岸线资源调查等。目前有关河岸带的研究主要集中在河岸带定义的研究、河岸带功能的研究、河岸带管理的研究、河岸带宽度确定的研究以及河岸带保护技术的研究等方面。特别是对河岸带保护技术已有相当多的研究,安全保护的护岸结构型式、护岸材料选择等方面已积累了丰富的技术经验。

#### 1.2.1.1 河岸带的定义研究

“河岸带”这一词语最早出现在行政管理人员中,后来逐渐被工程技术人员所采用。直

到 20 世纪 70 年代末<sup>[21~24]</sup>, 在学术界才出现了河岸带的定义, 其最初定义为陆地上同河水发生作用的植被区域。在此基础上, Lowrance R.、Malanson 以及陈吉泉等人概括总结并进一步拓展, 形成了目前为大多数学者所采用的广义和狭义两种定义<sup>[25~31]</sup>。广义上是指靠近河边受水流直接影响的植物群落, 其组成、植物种群复杂度以及微气候等与周边区域明显不同; 狭义上是指从水—陆交界处至河水影响消失的地带。这两种定义都具有一定的模糊性, 很难把握其度, 而且这两种定义仅仅是从定性的角度进行概括的, 仅注重了其影响区域及河岸植物, 没有考虑河岸带的动物及微生物。另外, 由于河岸带是一个完整的生态系统, 它不仅包括植物还包括动物及微生物, 而且系统内部和与相邻系统间均发生着能量和物质交换, 所以这两种定义均忽略了其动态性。另外, 河岸带是水陆交界带, 具有水域与陆地双重属性, 所以生态河岸带既要包含单纯的生态内涵, 也要包含水利特性的内涵。

### 1.2.1.2 河岸带的功能研究

目前国内外很多学者对河岸带的功能进行了大量的研究, 最具代表性的是 Naiman 及张建春等人将河岸带功能概括为廊道功能、缓冲带功能和植物护岸功能<sup>[9,10]</sup>。Naiman 等人指出生态交错群落区与其相邻的生态系统相比, 具有很大的差异性<sup>[32]</sup>。根据张建春等人的概括, 河岸带主要包括以下几方面的功能: ①保护自然河岸廊道以及与之相联系的地表和地下水径流; ②拦截径流中的泥沙; ③稳定岸坡, 减少侵蚀; ④拦截、吸附氮、磷、杀虫剂等污染物; ⑤减缓水流, 降低其破坏性; ⑥维持生物物种多样性, 调节水流温度等微气候环境; ⑦提供生物栖息地, 保护野生动植物生境以及其他特殊地和旅行廊道, 保持生态系统的动态稳定性; ⑧美化河流廊道景观; ⑨提供良好的多用途娱乐、教育场所和舒适的环境<sup>[13,33]</sup>。河岸带的这些功能主要是针对河岸带植被而言的, 河岸带植被对岸坡主要有水文和机械两方面的效应, 见表 1.1。

表 1.1 植被对岸坡的水文效应和机械效应

水文效应		作用	机械效应		作用
植物枝叶截留降雨, 引起	(1) 雨水被吸收和蒸发, 减少了产生土壤渗透的水分	B	根束缚土壤颗粒并穿透土层, 引起	(1) 抑制土壤迁移, 增加土壤抗蚀性	B
	(2) 减少雨滴的动能和侵蚀能力	B		(2) 通过根系提高土壤强度	B
	(3) 通过形成叶滴增加水滴尺寸, 因而增加了林下溅蚀	A		(3) 表面根系产生根网效应, 固持下层土层	B
植物枝叶阻拦地表径流, 引起	(1) 蓄积地表雨水, 导致较高潜在渗透水量	A/B	深根穿入深层土层, 引起	(1) 把浅层土壤锚固到稳固的土层或基岩上, 固持土体	B
	(2) 提高气流和水流的阻隔程度, 减低两者的流速	B		(2) 通过拱顶和斜向支撑稳定上坡一侧土壤	B
	(3) 簇团植物引起局部增强的水流, 增加其侵蚀力	A			
根穿透土壤, 引起	(1) 在土壤中产生空隙, 增加土壤渗透	A	生长高大的树木, 引起	(1) 提高坡面负载, 增加土体下潜力和正压力	A/B
	(2) 吸收土壤水分, 降低孔隙水压, 提高土壤负压, 增强土壤强度	B		(2) 在有风情况下, 树木把风力转变为地面的推力	A
	(3) 加重地表干裂, 导致高渗透	A	枝叶覆盖于地表, 引起	(1) 保护地表免遭车辆碾压破坏	B
				(2) 枝叶削弱湍急水流的冲击力并保护土壤	B

注 1. B 表示有利影响; A 表示不利影响。

2. 该表引自参考文献 [34]。

### 1.2.1.3 河岸带的管理研究

在实际生产中, 河岸带管理常常被忽视。而陈吉泉、邓红兵、尹澄清等人认为河岸带管理是河流保护和流域生态系统管理极为重要的一步, 加强河岸带生态管理可以保证河岸带自身各种功能的实现, 可以有效地保护河流生态系统<sup>[30,35,36]</sup>。可见加强河岸带管理是非常必要的。河岸带管理不能盲目进行, 而应该遵循一定的原则。张建春等人就河岸带管理提出了以下几方面的原则: ①保护河岸带生物物理特征, 提高自然资源的利用价值; ②保护地表和地下潜水的相互作用, 维持河岸带生态系统的完整性; ③允许河流横向迁移, 保证河岸带生物生境的异质性; ④充分利用自然的河床水流特性, 以提高河岸带生物多样性和恢复力; ⑤保护河岸带物种种源; ⑥提供和扩大河岸带的娱乐旅游服务设施以方便居民和旅游者<sup>[13]</sup>。这些原则是宏观性的, 只能从概念上加以理解, 可操作性不强, 甚至某些原则根本就无法把握。

### 1.2.1.4 河岸带的宽度确定研究

Swanson 等认为河岸带的范围外至洪水到达的界线, 上至河岸带植物林冠的顶端<sup>[5]</sup>。Paul Bennett 等人认为河岸带的宽度应从河岸岸趾起算, 到河岸顶部的一定距离范围内<sup>[37]</sup>。这些大多是一种定性的范围划分, 至于河岸带向岸上森林延伸多宽以及在河岸顶部的距离为多大等都没有给出明确的数据范围, 而且这些数据的确定也一直是一个存在争议的问题。如澳大利亚水资源与河流委员会及 Chester Ridley Crum 流域管理委员会认为河岸带宽度大于 39m 时河岸带最优, 在 15~39m 之间时较好, 不能低于 7m<sup>[38,39]</sup>。由于影响河岸带宽度的因素很多, 它主要取决于河流的类型、地质、土壤、水位以及相邻土地的使用情况等, 不同的河道其宽度是不同的, 小则几米, 大到几百米, 甚至几千米, 所以不能用统一标准来衡量。

### 1.2.1.5 河岸带保护技术的研究进展

以往, 由于洪涝灾害非常严重, 所以人们就非常重视河岸带的防洪标准的要求, 因此, 为了提高河岸带的防洪标准, 长期以来人们非常注重河岸带保护技术的研究。目前相关河岸带保护技术的研究已相当丰富, 河岸带保护技术的研究主要集中在传统护岸型式和现代生态护岸型式的研究。

#### 1. 传统的河道护岸型式

传统的河道护岸型式主要有浆砌或干砌块石护坡、现浇混凝土护坡、预制混凝土块体护坡等<sup>[40~46]</sup>, 另外, 还有以下几种护岸型式。

(1) 绳索铰链混凝土板块<sup>[47,48]</sup>。绳索铰链混凝土板块技术是利用土工布作反滤层, 用高强度合成纤维绳索将混凝土块体按照一定的要求纵横向联结在一起作压载, 形成一个可以适应地形变化, 且具有一定稳定性的柔性整体结构。其结构从上至下依次为绳索混凝土块、土工布。绳索链接混凝土块的作用为压载和抗冲刷, 土工布的作用为反滤、保土。绳索铰链混凝土板块护面具有工程量小, 板块厚度薄, 抗冲刷、抗风浪能力强, 施工速度快, 造价低等特点。但是由于结构比较复杂, 在施工上必需加强管理, 严格控制各个施工质量。另外, 工程建成后更要对运用情况进行有计划、有目的的原地观测, 如观测风向、风速、气温、冰冻、水位、流量、混凝土板的变形老化情况等要素, 以便进行管理。

(2) 导流屏<sup>[49~51]</sup>。导流屏是一种小型导流结构,用于改变近床流态,重新分布水流与河道横断面内的泥沙。其作用是在水中激起次生环流,用以消除由河道弯段离心力引起横向环流。次生环流改变原剪应力大小和方向,在导流屏控制区域内引起流速分布、水深和泥沙运移的变化。单个导流屏的作用比较有限,但多个导流屏组成的系统作用就非常明显,通过计算布置的导流屏完全可达到所期望的护岸目的。这种导流屏适用于河道的弯道部分岸坡的防护,适用范围较小。

(3) 机织模袋<sup>[52~54]</sup>。机织模袋是利用输送泵将灌注材料输送到成型的模袋内,通过泵压和模袋的张力挤压使混凝土的水灰比大幅度降低,它具有不受地形限制、施工机械化程度高、施工速度快、成形效果好、整体性强、成品充填密实、外形美观等优点。但由于机织模袋的成品与施工速度直接取决于机械的优劣,在模袋灌注过程中,一旦出现机械故障,前台对其维修处理工作相当麻烦,因此,在施工前要对机械设备作严格的检查。

(4) 四面六边透水框架<sup>[55~58]</sup>。四面六边透水框架是一种透水护岸。透水框架由预制的6根长度相等的钢筋混凝土框杆相互连接组成,呈正三棱锥体。将透水框架群布设在需要防护的堤岸临河侧,当水流通过时,利用本身构件来逐渐消减水流的动能,减缓流速,促使水中泥沙淤积,达到淤滩护岸目的。利用四面六边透水框架群护岸能有效地避免实体护岸工程基础容易被淘刷而影响自身稳定的问题。与传统护岸工程技术相比,四面六边透水框架适应河床地形变化能力强,不需要地基处理,不易下沉,自身稳定,便于工厂化大批量生产,施工简单且成本低等。但是,由于框架较轻,如果水流流速过大,则框架容易被水流冲走。不同河道对框架群的布置方式、架空率等的要求都不一样。而且水流本身也是不断变化的,所以很难确定框架的大小、框架的架空率以及布置方式。

## 2. 现代河道生态型护岸形式

以往,国内外在河岸防护工程中多采用浆砌或干砌块石、现浇混凝土、预制混凝土块体等结构型式,如抛石护岸、机织模袋护岸、软体沉排护岸、混凝土铰链沉排、预应力锚杆无底扶壁挡土墙等。虽然这些结构型式在保持岸坡的结构稳定性、防止水土流失以及防洪等方面起到了一定的作用,但是它们在不同程度上对景观、环境和生态均产生了不良的影响,造成水体与陆地环境恶化和生态破坏,甚至严重威胁着人们赖以生产、生活的生态环境<sup>[59,60]</sup>,可见,这些结构型式已不能满足社会经济发展和人们生产、生活、生存对生态环境的需要<sup>[61~64]</sup>。这一问题越来越受到人们的重视,国内外工程技术人员已开始研究生态型护岸技术,并已提出了很多种不同生态型护岸结构形式,但是这些技术只是从保护岸坡结构稳定的角度来研究问题的,并没有考虑其对环境、生态的影响,这并非真正意义上的河道生态护岸<sup>[62]</sup>。

(1) 国内生态型护岸技术。据历史记载,早在公元前28世纪,我国在渠道修整过程中就使用了柳枝、竹子等编织成的篮子装上石块来稳固河岸和渠道。这种最原始最古老的方法,现在越来越受到人们的青睐,国内有不少人在此基础上开始研究生态型护岸技术,并取得了一定的成绩,如季永兴等人根据上海市河道情况讨论了生态型护岸结构型式<sup>[61]</sup>;胡海泓等人在广西漓江治理工程中提出了笼石挡墙、网笼垫块护坡、复合植被护坡等生态型护岸技术<sup>[65]</sup>;陈海波等人在引滦入唐工程中提出网格反滤生物组合护坡技术<sup>[66,67]</sup>;另

外,周跃提出了“坡面生物工程”技术<sup>[68~70]</sup>,俞孔坚等人提出水位多变情况下的亲水生态护岸设计<sup>[71]</sup>。这些不同的生态型护岸技术综合起来可以归纳为两种:一种是单纯利用植物护岸;一种是植物护岸与工程措施相结合的护岸技术。下面介绍几种国内常用的生态型护坡技术。

1) 植草护坡技术。植草护坡技术常用于河道岸坡及道路路坡的保护上。目前,国内很多河道治理及道路建设中都使用了这一技术,如在吉林省西部嫩江流域治理工程中,吉林省水土保持科学研究所许晓鸿、王跃邦、刘明义等人提出了以当地的牛毛草、早熟禾、翦股颖等草本植物为护坡植物,以河柳等灌木为迎水坡脚防浪林的植物护坡技术<sup>[72]</sup>。这一技术主要是利用植物地上部分形成堤防迎水坡面软覆盖,减少坡面的裸露面积和外营力与坡面土壤的直接接触面积,起消能护坡作用;利用植物根系与坡面土壤的结合,改善土壤结构,增加坡面表层土壤团粒体,提高坡面表层的抗剪强度,有效地提高了迎水坡面的抗蚀性,大大减少了坡面土壤流失,不仅其护坡效果显著,且投资仅为工程护坡的10.9%~22.1%<sup>[73]</sup>。

2) 三维植被网护岸<sup>[74,75]</sup>。三维植被网技术主要是指利用活性植物并结合土工合成材料等工程材料,在坡面构建一个具有自身生长能力的防护系统,通过植物的生长对边坡进行加固的一门新技术,根据边坡地形地貌、土质和区域气候的特点,在边坡表面覆盖一层土工合成材料并按一定的组合与间距种植多种植物,通过植物的生长活动达到根系加筋、茎叶防冲蚀的目的,可在坡面形成茂密的植被覆盖,在表土层形成盘根错节的根系,有效抑制暴雨径流对边坡的侵蚀,增加土体的抗剪强度,减小孔隙水压力和土体自重,从而大幅度提高边坡的稳定性和抗冲刷能力。三维植被网技术多见于山坡及高速公路路坡的保护中,这一技术现在也开始被用于河道岸坡的防护上。三维植被网护坡技术综合了土工网和植物护坡的优点,起到了复合护坡的作用。

3) 河岸防护林护岸<sup>[76]</sup>。在河岸带种植树木或竹子,形成河岸防护林,洪水经过河岸防护林区时,在防护林的拦截下,流速大大减慢,减小了水流对表土的冲击,减少了土壤流失。其作用主要体现在以下三方面:首先,茎叶的覆盖作用,避免雨滴、风力对土壤表面的直接侵蚀作用,减少了水土流失的外营力,同时茎叶的栅栏作用,减缓了河水的流速,减少了对土壤的冲刷侵蚀,增加了淤泥堆积固定;其次,根系丛生发达,穿孔力强,增加了土壤抗侵蚀的机械强度,减少了河岸的崩塌量和冲刷量;第三,根茎叶的生长对土壤具有改良作用,增加了土壤有机质的含量,改善了土壤结构与性能,提高了土壤持水性,增加了土壤抗侵蚀能力。所以河岸防护林既保持水土起到固土护岸作用,又提高了河岸土壤肥力,改善了生态环境。

(2) 国外生态型护岸技术。在国外,对环境、生态退化问题的认识较早,他们很早就开始研究传统护岸技术对环境与生态的影响,认为传统的混凝土护岸会引起生态与环境的退化。为了能有效地保护河道岸坡以及生态环境,他们提出了一些生态型护岸技术,如瑞士、德国等于20世纪80年代末就已提出了“自然型护岸”技术<sup>[20,77]</sup>,日本在20世纪90年代初提出了“多自然型河道治理”技术<sup>[78]</sup>,并且在生态型护坡结构型式方面做了大量的实践工作。目前,在美国以及欧洲一些国家较为常用的技术是“土壤生物工程”(Soil-Bioengineering)护岸技术<sup>[79~82]</sup>。该项技术是从最原始的柴木枝

条防护措施发展而来的,经过多年的研究,现已形成一套完整的理论和施工方法,并得到了广泛应用。

1) 土壤生物工程技术的发展<sup>[83~92]</sup>。早在公元前 28 世纪,在欧洲,凯尔特人和伊里利来人就开始发展柳枝编织篱笆的技术。后来罗马人将柳枝柴笼和草捆应用于水利建筑工程防护。到 16 世纪,从阿尔卑斯山到波罗的海,土壤生物工程技术已在整个欧洲广泛使用。1791 年 Woltmann 的一部著作中记述了关于活性桩用于绿化和稳定河岸的技术。同时期,在澳大利亚的河道工程中利用活性促淤技术和柳条剪枝技术等来固沙,使河道重新成形。工业革命后,欧洲一些地区出现了大量坡面侵蚀、频繁的山体滑坡和崩塌以及严重的河岸退化等一系列环境问题,引起了人们的重视。到 20 世纪初,一些学者和工程技术人员开始从理论的角度研究土壤生物工程技术,并出版了他们的著作。这为后来土壤生物工程技术的发展奠定了基础。20 世纪 30 年代,在欧洲土壤生物工程技术得到了新的发展。如 1936 年,在慕尼黑专门成立了土壤生物工程技术研究所,专门研究该项技术在道路建设中的应用,该研究所所长 Arthur von Krundener 为该项技术的发展作出了很大的贡献(通常工程技术人员将他看做是中欧地区土壤生物工程技术之父)。同时期,在加利福尼亚 USDA 森林局工作的 Charles Kraebel 开发出一种“轮廓篱笆”(contour wattling)的技术,主要是应用组合生物技术(包括活性桩、活性柴捆和植物移植等)来保护坡的稳定。不久,当时的美国土壤保护局(即现在的自然资源保护局)开始将 Kraebel 的活性柴捆和活性桩等土壤生物工程技术应用于密西根湖岸的稳定保护中。这期间出现的各种技术没有统一名词,也没有固定的施工标准。

战后,欧洲对这一技术的研究又重新开始。20 世纪 50~60 年代,来自德国、奥地利和瑞典的土壤生物工程师组成了一个委员会,开始对已出现的技术进行标准化。这为形成更多的结构方法走出了重要一步,也为发展土壤生物工程专业领域奠定了基础。另外,直到 1951 年德国人 Arthur von Kruedener 的《工程生物学》(Ingenieurbiologie)一书的出版才将这些技术统称为“生物工程”(bioengineering)一词。后来,为了避免与其他学科产生混淆,美国 NRCS 将其改为“土壤生物工程”一词。

20 世纪 70 年代以来该项技术得到了长足的发展,并形成了大量的文献资料,其中加拿大人 Hugo Schiechl 撰写的《土地利用与保护的生物工程技术》(Bioengineering for Land Reclamation)(1980)和《护坡与侵蚀控制的地面生物工程技术》(Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control)(1997)对“土壤生物工程技术”作了系统的介绍,为土壤生物工程技术的发展奠定了理论基础,这两部著作可以说是土壤生物工程技术最重要的著作。除此之外还有 Gray 和 Leiser 的《护坡与侵蚀控制的生物技术》、Sotir 和 Gray 的《美国山地护坡与减蚀的土壤生物工程》、1996 年 Gray 和 Sotir 的《坡稳定的生物技术与土壤生物工程》以及英国建设工业局和信息协会的《土木工程中植物的应用》等重要文献资料。

2) “土壤生物工程”技术的主要形式。土壤生物护岸技术主要是利用植物对气候、水文、土壤等的作用来保持岸坡稳定的,其主要作用包括:降雨截留、径流延滞、土壤增渗、蒸腾、土层固结、根系土壤的增强、土壤湿度调节、土体支撑、负重、根的楔劈作用和风力传递作用等<sup>[93]</sup>。常用土壤生物护岸技术主要包括:①土壤保持技术,



它通过植物对坡面的有效覆盖,使其免受表面侵蚀和土壤退化,从而起到土壤保持的作用,主要有草皮移植(turfing)、草播种(grass seeding)、乔灌木种直播(direct seeding of shrubs and trees)、侵蚀控制网(erosion control nets)和活枝灌丛席(live brush mats)等技术;②地表加固技术,它通过植物根系降低土壤空隙水压来加固土层和提高抗滑力,主要有灌丛席(brush mat)、灌丛层(brush laying)、原木式椰子壳纤维(coir logs)、根系填塞(root wads)、活性淤泥植物(live siltation)、草卷(grass rolls)、活枝扦插(live cutting)、枝条篱墙(wattle fences)、活枝柴捆(fascine)、排水式活枝柴捆(fascine drains)、垄沟式种植(furrow planting)、压枝(laying)和枝干篱墙(stake fences)等技术;③生物技术与工程技术相结合的综合保护技术,它通过植物与石块、水泥、钢筋、塑料和木材等相互搭配,稳固和加强河岸,提高它们的防护使用年限,主要有绿化干砌石墙(vegetated dry stone block walls)、渗透式植被边坡(filter wedge)、绿化网箱(vegetated gabions)、绿化土工织物固土结构(vegetated geotextile earth structures)、绿化栅栏(vegetated crib walls)、活性栅栏(live grating)等技术<sup>[85~100]</sup>。上述技术在欧美国家已得到广泛运用,如美国伊利诺伊州的鸦河流域(Crow Creek West)的保护、美国阿拉斯加州Kenai河护岸、加拿大Jacques Cartier公园中河岸保护、加勒比地区的圣拉西亚岛西海岸公路(West Coast Road)建设项目、英国约克郡戴尔斯三峰地区(Three Peaks)国家公园自然环境恢复项目、美国新泽西州雷里坦河保护工程<sup>[79~81]</sup>。

### 3. 现有生态型护岸技术分析

现有生态型护岸技术与传统护岸工程方法相比较,除了具有增强岸坡的稳定性、防止水土流失等工程措施所具有功能外,还具有成本小、工程量小、环境景观协调性好、适应性好等优点。在坡面发生不稳定时可以调整自身状况来适应坡面变化,维持较高侵蚀控制能力,不断发挥护坡的工程潜能。

但是这些技术仅仅是从引进植物物种的角度来保护岸坡稳定的,对于真正意义上的生态,不仅包括植物,还包括动物以及其他微生物等,所以这些技术还不是真正意义上的生态护岸。而且这些技术中植物的护岸作用是有条件的,Smith通过试验研究认为,在河岸较低时,由于植物根系可以垂直深入河岸内部,故植树可以加强河岸的稳定性;但当河岸较高时,由于植物根系不能深入到河堤堤脚,植树则会增加河岸的不稳定性;而且草本植物对岸坡的保护效果也受水位的影响<sup>[21]</sup>。主要存在以下缺点:①植被的生长发育有极大的时空变化限制,由于水流对岸坡坡脚的冲刷,易导致岸坡的崩坍,从而影响岸坡上植物的生长;②植物种植季节、种植位置均受到一定的限制,植物种植下限受到水位的限制,如果下限设置在水中太低时,一些植物不易成活;③可选用的植物物种也受到一定的限制,如在水面以下的坡面上种植植物,其耐水性应较好;④施工中对工人的技术要求较高,施工前必须对施工人员进行一定的技术培训;⑤后续的维护保养工作要求较高,一旦植物发生枯萎或病变都会影响岸坡的稳定<sup>[1,62]</sup>。此外,尚不能用精确的科学理论来定量描述,从而使生物护岸技术的结果缺乏可测性和可控性。

可见,目前有关河岸带生态方面的研究主要集中在定性方面(这些定性的结论可操作性大多较差,很难将其应用到实际生产管理中),而定量方面的研究却很少或几乎没有,

这就导致了河岸带生态系统的建设、保护和管理缺乏统一的衡量和评价标准,给生态河岸带的建设、保护和管理带来了一定的困难,从而造成目前河岸带生态系统的建设、保护与管理具有一定的片面性和盲目性。

### 1.2.1.6 GIS在河岸带中的应用研究

目前, GIS技术在河岸带研究中的应用尚处于起步阶段,仅仅在资源调查、水土流失等方面得到应用,如利用GIS岸线资源并对岸线资源进行评价<sup>[101,102]</sup>、河岸稳定性评价<sup>[103,104]</sup>。另外也有学者将GIS用于河岸生物栖息地廊道的评价、河岸带景观评价以及河岸带植被缓冲带研究<sup>[105~107]</sup>。

## 1.2.2 研究现状分析

河岸带的研究取得了一定的成果,但绝大多数研究都是宏观性的定性研究,而且有些定性研究仅仅是在总结某一特定地区情况的基础上得出的结论,缺乏一定的普遍适用性。有关定量方面的研究目前还很少。这就给河岸带生态系统的建设、保护与管理带来了一定的困难,缺乏统一的衡量标准,可操作性较差。在研究方法和工具上,河岸带的相关研究主要是利用数理统计方法来分析问题的,但是从流域的角度来看,河岸带是一个大尺度的问题,使用普通的数据统计方法和手段,在效率、精确度、准确性等方面很难满足要求。目前有关河岸带的研究都是从单一角度研究相关问题,而将河岸带看作一个完整生态系统进行研究的却很少见。

## 1.2.3 河岸带研究的发展趋势

河岸带是水陆相互作用的地带,既有水流的作用又有生物环境的作用,还有人为的作用。它是一个特殊的相对独立的复合生态系统,具有纵向(上游—下游)、横向(河床—泛滥平原)、垂直方向(河川径流—地下水)和时间变化(如河岸形态变化及河岸生物群落演替)4个方向四维结构特征<sup>[13]</sup>。其中前三个特征均与空间位置有关,是属于空间特征。通常,生态河岸工程要考虑的因素很多,在纵向上,工程所涉及的范围都很广,要考虑工程尺度因素;在横向上,要考虑水面、水流条件以及陆上田地等因素;在垂向上,要考虑土质、地形以及地下水等因素;另外,还有水文、气象、地质等因素。对于这些众多因素,普通的人工方法是很难兼顾统筹考虑的。所以河岸带的研究应以完整生态系统为对象,从多方面、多角度,借助于现代计算机技术,以现代数学、生态学、水力学等科学理论为依据,利用GIS技术实现河道生态河岸带的统筹规划、优化设计、监控管理,并对其生态影响进行有效的评估。使河岸带生态系统能与周围环境相互协调、协同发展,保持岸坡生态系统的完整性、安全性、健康性、可持续性和动态平衡,有效地保护河岸带的生态稳定与结构稳定。未来生态河岸带研究主要包括以下几方面的内容<sup>[1]</sup>。

(1) 生态河岸带内涵研究。定性研究生态河岸带的概念、特征、内涵和功能,定量研究生态河岸带的功能区划方法。

(2) 生态河岸带综合评价理论研究。充分了解河岸带生态现状是河岸带建设、修复、规划和管理的基础工作。研究分析影响河岸带生态安全、景观适宜、生态健康以及结构稳定的主要因素,建立评价指标体系,分析研究河岸带综合评价数学模型,利用该评价模型