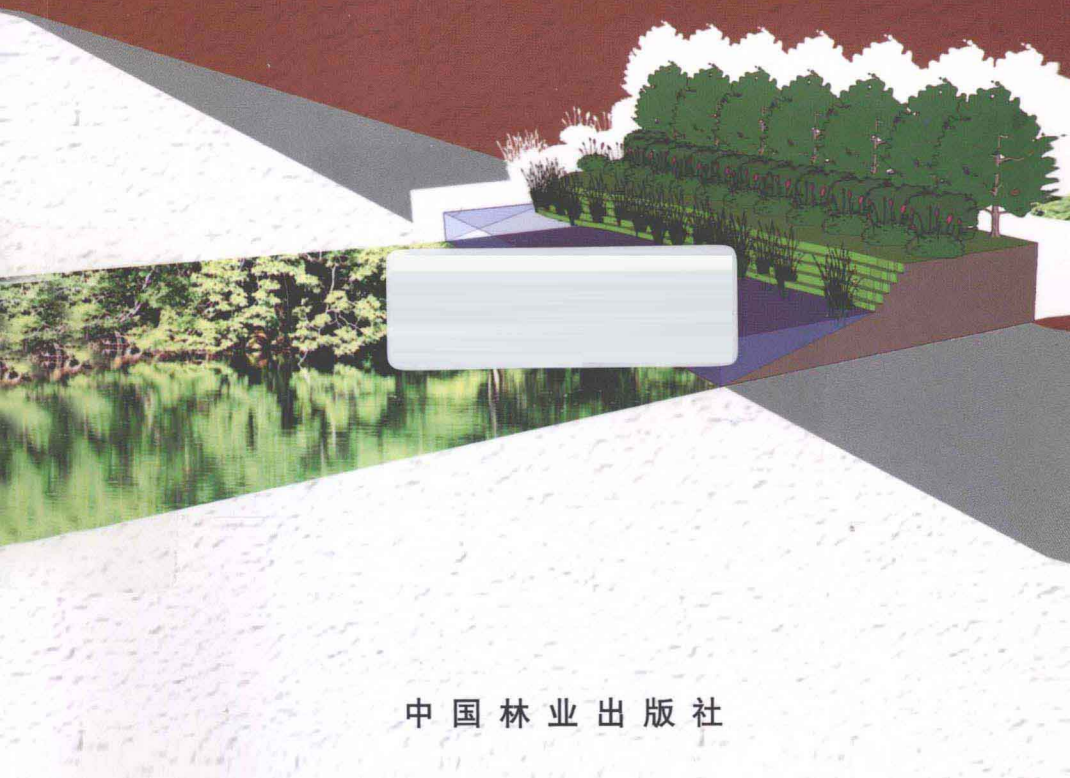


河岸植被带 恢复技术

Restoration Techniques of
Riparian Vegetation Zone

李林英 王 弟 齐 实 刘 劲 编著

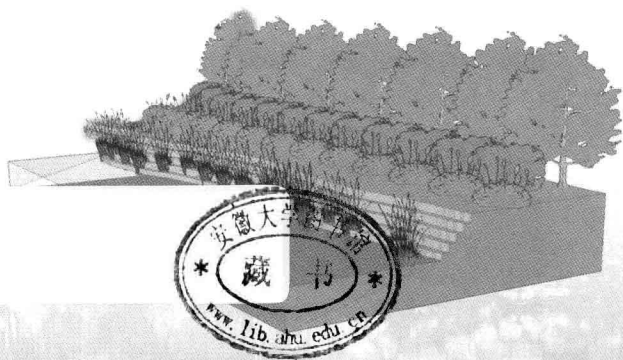


中国林业出版社

河岸植被带 恢复技术

Restoration Techniques of
Riparian Vegetation Zone

李林英 王弟 齐实 刘劲 编著



中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

河岸植被带恢复技术 / 李林英等编著. - 北京: 中国林业出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-5038-6852-8

I. 河… II. ①李… III. ①河岸 - 植被 - 生态恢复 - 中国 IV. ①Q948.52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 289423 号

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区德内大街刘海胡同 7 号)

<http://lycb.forestry.gov.cn> 电话: (010) 83280498

E-mail: lmbj@163.com

印刷 三河祥达印装厂

版次 2013 年 5 月第 1 版

印次 2013 年 5 月第 1 次

开本 880mm × 1230mm 1/32

印数 1 ~ 1500 册

印张 9.875

字数 275 千字

彩插 8 面

定价 40.00 元

前言 / PREFACE

我国是一个水资源奇缺的国家，淡水资源总量约为 $28\,000\text{m}^3$ ，人均大约只有 2300m^3 ，仅为世界平均水平的 $1/4$ ，在世界排第 110 位，是全球人均水资源最贫乏的国家之一。与此同时，经济的高速发展、农村的“三废”、城市化进程的加速和养殖业的快速发展加重了水体污染，尤其是面源污染的比例在逐年上升。目前，我国每年因不合理施肥使得超过 1000 万 t 的氮流失，直接经济损失约 300 亿元；农药浪费造成的损失达 15 亿元以上。我国每年土壤流失量达 50 亿 t，带走的氮、磷、钾及微量元素等养分相当于全国一年的化肥使用总量，其中相当一部分进入了水体中，给生态环境和人类健康带来了严重的危害。

森林植被能降低地表径流速度并对其中的颗粒态污染物起过滤和拦截作用，吸收溶解态的污染物。林下土壤可以通过吸附溶解态的污染物，促进氮的反硝化等过程来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湖系统。森林植被缓冲带作为拦截农业非点源污染、保护水质的一种措施和方法，在保护水质、维持野生动物的栖息环境、保持生物多样性等方面扮演着重要角色，因此河溪森林植被缓冲带的营建和恢复是河岸生态系统恢复的核心问题之一。

2006 年，山西省林业科学研究院承担了国家林业局“948”项目“河溪植被缓冲带恢复综合技术引进”，其目的是建立适合我国不同类型区的植物缓冲带设计和建设技术，保护生物多样性和水质，提高我国在这方面的技术水平，实现人与自然的协调发展。该项目历时 6 年，参加单位包括山西省林业科学研究院、北京林业大学、太岳山国有林管理局、黑茶山国有林管理局，研究分别在沁河源头和汾河开展了相关的引进、试验研究和示范工作。本书就是在上述工作的基础上完成的。本书共分为 9 章，前三章由李林英、王弟、齐实、王惠、席

光超、余晓燕、杨海龙、王劲修、孙嘉编写，主要根据目前国内外的研究现状和成果，从河流生态系统与河岸带、河岸植被缓冲带、河岸植被缓冲带恢复设计等方面进行了论述；第四章河岸带综合评价，由李林英、齐实、刘劲、王惠、王劲修、张广分编写；第五章山西沁河源头河岸植被带恢复，由李林英、齐实、刘劲、王惠、余晓燕编写；第六章山西汾河上游河岸植被带恢复——以岚漪河为例、第七章基于面源污染控制的水环境容量计算——以岚漪河上游为例，由李林英、齐实、刘劲、席光超、苏天扬编写；第八章河岸植被缓冲带重建补偿研究，由王弟、齐实、王劲修编写；第九章河岸植被带建设模式与景观设计——以沁河源头为例，由齐实、王惠编写；全书由李林英、王弟、齐实审定统稿。

感谢对本研究工作和本书编写工作给予大力支持的国家林业局、山西省林业厅、太岳山国有林管理局、黑茶山国有林管理局的有关人员。感谢美国奥本大学张耀启教授、美国密西根州立大学尹润生教授对本研究和本书撰写工作的大力支持。同时感谢引用文献中所有的作者，感谢他们的辛勤劳动，使本研究和本书的撰写有一个好的基础。

《河岸植被带恢复技术》一书是在调查分析山西汾河、沁河当地的基本资料和试验研究的基础上完成的，因时间有限，研究的深度和广度还不够，书中难免有错误和不当之处，敬请读者批评和指正。

编 者
2012 年 3 月

目录 / CONTENTS

前 言

第 1 章 河流生态系统与河岸带	(1)
1.1 河流生态系统及其时空尺度.....	(1)
1.1.1 河流生态系统的時間尺度.....	(2)
1.1.2 河流生态系统的空间尺度.....	(3)
1.2 河流生态系统的结构.....	(5)
1.2.1 河流生态系统结构的纵向特征.....	(5)
1.2.2 河流生态系统结构的横向特征.....	(6)
1.2.3 河流生态系统结构的垂向特征.....	(6)
1.2.4 河流生态系统结构的时间分量特征	(7)
1.3 河流生态系统的概念.....	(8)
1.3.1 河流连续体概念.....	(8)
1.3.2 串连非连续体概念.....	(8)
1.3.3 洪水脉冲概念.....	(9)
1.3.4 流域概念.....	(9)
1.3.5 自然水流范式	(10)
1.4 河岸带	(11)
1.4.1 河岸带概念	(11)
1.4.2 河岸带干扰和影响因素	(12)
1.5 河岸带生态恢复和重建	(16)
1.6 河岸带研究及保护的意義	(18)
1.6.1 土地开发和研究的需要	(18)
1.6.2 河流变化及其保护利用研究的需要 ...	(18)

1.6.3	景观综合研究的需要	(18)
第2章	河岸植被缓冲带	(19)
2.1	河岸植被缓冲带的概念和组成	(19)
2.1.1	概 念	(19)
2.1.2	河岸植被缓冲带的组成	(20)
2.1.3	缓冲带类型	(20)
2.2	河岸植被缓冲带的结构、特性和功能	(21)
2.2.1	河岸植被缓冲带的结构	(21)
2.2.2	河岸植被缓冲带的水文学及水利学特性	(23)
2.2.3	河岸植被缓冲带的地貌学特性	(23)
2.2.4	河岸植被缓冲带的物理及化学特性	(24)
2.2.5	河岸植被缓冲带的生物学特性	(25)
2.2.6	河岸植被缓冲带的功能	(26)
2.2.7	河岸植被缓冲带的作用机理	(28)
2.3	影响河岸植被缓冲带功能的因素	(30)
2.3.1	污染负荷	(30)
2.3.2	河岸宽度与坡度	(30)
2.3.3	植被类型	(31)
2.3.4	水文地质条件	(32)
2.3.5	土壤条件	(32)
第3章	河岸植被缓冲带恢复设计	(33)
3.1	缓冲带恢复设计的原则	(33)
3.2	缓冲带恢复设计的程序和实施要点	(34)
3.2.1	自然概况调查及河岸带现状评价	(34)
3.2.2	植物种选取及合理配置	(38)

3.2.3	宽度的确定	(41)
3.2.4	营造位置的选择	(45)
3.2.5	结构和布局	(45)
3.3	缓冲带恢复的维护、管理及评价	(48)
3.3.1	缓冲带恢复的维护和管理	(48)
3.3.2	缓冲带恢复的评价	(49)
第4章	河岸带综合评价	(54)
4.1	河岸带生态状况综合评价的方法和程序	(54)
4.1.1	多指标综合评价	(54)
4.1.2	层次分析法	(55)
4.1.3	评价程序	(57)
4.2	河岸带生态状况综合评价指标体系的建立	(58)
4.2.1	影响河岸带生态状况的因子分析	(58)
4.2.2	指标选择及层次结构的建立	(60)
4.2.3	指标的含义及评价标准	(63)
4.2.4	指标权重的确定	(74)
4.2.5	综合评价值的计算及评价等级的划分	(76)
4.3	以沁河为例的河岸带特性调查与评价	(77)
4.3.1	河岸带特性调查	(77)
4.3.2	河岸带现状评价	(78)
第5章	山西沁河源头河岸植被带恢复	(90)
5.1	沁河源头河岸带现状	(90)
5.1.1	地 貌	(90)
5.1.2	气 候	(91)
5.1.3	水 文	(93)

5.1.4	土 壤	(93)
5.1.5	植 被	(94)
5.2	试验区河流水质的影响因素	(95)
5.2.1	土地利用类型对断面水质指标的影响	(95)
5.2.2	河水及湿地对三种化肥溶液的净化 效果对比	(101)
5.3	植被缓冲带拦截能力的影响因素	(105)
5.3.1	实验设计	(105)
5.3.2	坡度对缓冲带拦截能力的影响	(108)
5.3.3	植被搭配对缓冲带拦截能力的影响 ...	(112)
5.4	不同类型缓冲带适宜宽度研究	(118)
5.4.1	30°草坡	(118)
5.4.2	18°草坡	(119)
5.4.3	乔灌木搭配方式	(120)
5.4.4	灌木搭配方式	(121)
5.4.5	实际施肥情况下北方河岸植被带适宜 宽度	(122)
5.5	不同抚育措施下河岸植被带恢复情况	(122)
5.5.1	地块现状	(123)
5.5.2	实验设计	(124)
5.5.3	恢复情况	(127)
5.6	植被带建设前后土壤保肥力和土壤养分的变化	(139)
5.6.1	实验设计	(139)
5.6.2	实验结果	(139)

第 6 章 山西汾河上游河岸植被带恢复——以岚漪河为例

.....	(143)
6.1 汾河源头河岸带现状.....	(143)
6.1.1 自然地理概况.....	(143)
6.1.2 气候条件.....	(144)
6.1.3 水文特征.....	(145)
6.1.4 社会经济条件.....	(145)
6.2 不同植被类型缓冲带的污染物截留效果研究	(146)
6.2.1 四种草本缓冲带对污染物的去除效果	(146)
6.2.2 纯草本、纯灌木、纯乔木缓冲带对污染 物的去除效果比较.....	(156)
6.2.3 草灌乔结合缓冲带不同配置方式对 污染物的净化效果.....	(162)
6.3 缓冲带植被类型变化对土壤粒级组成及土壤 水分的影响.....	(170)
6.3.1 实验目的.....	(170)
6.3.2 实验过程.....	(170)
6.3.3 结果分析	(171)

第 7 章 基于面源污染控制的水环境容量计算——

以岚漪河上游为例	(175)
7.1 理论和计算方法.....	(175)
7.1.1 入河系数计算方法.....	(176)
7.1.2 按月分配量.....	(177)
7.1.3 河流氮、磷水环境容量计算与分配 ...	(177)

7.2	汾河源头典型区段面源污染特征	(178)
7.2.1	农药、化肥污染状况	(178)
7.2.2	农村废弃物状况	(179)
7.2.3	农村生活废弃物污染状况	(181)
7.3	氮、磷排放量计算	(181)
7.4	污染物入河系数确定	(185)
7.5	污染物入河量确定及月分配	(187)
7.6	河流氮、磷水环境容量计算与分配	(192)
7.7	水环境剩余容量计算结果	(195)
7.8	基于水环境容量的缓冲带设计	(197)
7.8.1	缓冲带滞留效益	(197)
7.8.2	水环境容量目标的缓冲带设计	(198)
第8章	河岸植被缓冲带重建补偿研究	(202)
8.1	国外的研究现状和美国 CRP 计划	(203)
8.1.1	国外生态补偿研究	(203)
8.1.2	美国 CRP 计划及相关研究	(205)
8.2	Buffer\$程序简介	(209)
8.2.1	应用目的与主要功能	(209)
8.2.2	成本—收益分析	(210)
8.2.3	界面介绍	(212)
8.3	CRP 工程效益计算	(214)
8.3.1	成本计算	(215)
8.3.2	收益计算	(215)
8.4	Buffer\$在沁河源头河岸缓冲带建设实践中的应用	(217)
8.4.1	缓冲带布设	(218)
8.4.2	成本—收益测算	(218)

8.4.3 效益分析	(220)
------------------	-------

第9章 河岸植被带建设模式与景观设计——

以沁河源头为例	(223)
---------------	-------

9.1 河岸植被带设计要素	(223)
---------------------	-------

9.1.1 河岸带地形	(223)
-------------------	-------

9.1.2 土壤特性	(225)
------------------	-------

9.1.3 植物群落	(226)
------------------	-------

9.1.4 河岸栖息地	(230)
-------------------	-------

9.1.5 河道恢复	(231)
------------------	-------

9.1.6 河岸恢复	(232)
------------------	-------

9.1.7 河流栖息地	(236)
-------------------	-------

9.1.8 土地利用方式	(236)
--------------------	-------

9.2 河岸植被带设计实例——以沁河源头为例	(237)
------------------------------	-------

9.2.1 森林河岸植被带	(238)
---------------------	-------

9.2.2 农田河岸植被带	(243)
---------------------	-------

9.2.3 邻路河岸植被带	(247)
---------------------	-------

参考文献	(249)
------------	-------

附录 缓冲带植物	(259)
----------------	-------

第1章

河流生态系统与河岸带

1.1 河流生态系统及其时空尺度

河流是在重力的作用下，经常或间歇地沿着地表或地下长条状槽形洼地流动的水流；或者可以称之为流域地面的天然排水通道，由一定流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。河流一般由五部分组成：河源、上游、中游、下游及河口。

河流生态系统是指由河流生物群落与大气、河水及底质之间连续进行物质交换和能量传递，形成结构、功能统一的流水生态单元。河流生态系统是指在河流内生物群落和河流环境相互作用的统一体，是一个复杂、开放、动态、非平衡和非线性的系统。河流生态系统组成包括生物和非生物环境两大部分。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（碳、氮、磷、二氧化碳、水等）以及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。生物部分则由生产者、消费者和分解者所组成，其中生产者是能用简单的无机物制造有机物的自养生物，主要包括绿色植物（含水草）、藻类和某些细菌，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，建造自身；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质，并最终无机物质的形式还原到环境中。

从景观生态学中的“尺度”(scale)概念来看，尺度是指在研究某一生态现象时所采用的空间和时间单位，同时又可以指某一生态现象或生态过程在空间和时间上所涉及的范围和发生的频率。对河流生态系统时空尺度的认识是研究河流生态系统的重要基础。

1.1.1 河流生态系统的时间尺度

河流生态系统的演进是一个动态过程，不同因子产生动态变化的时间是不同的，如地貌和气候变化，其时间尺度往往是数千年到数百万年；河流的演进变化，也至少有数千年的历史。而由于河流变化而产生的土地利用方式，以及土地利用方式改变造成对河流变化的影响就有多种时间尺度：农业种植结构变化的尺度要几年、城市化进程要数十年、森林植被变化要数百年，靠人工适度干预的河流生态恢复规划的时间尺度往往需要数十年，比如湿地的恢复和重建就需 15~20 年。从河流生态系统恢复而言，其时间尺度可划分为 4 个尺度(表 1-1)。

表 1-1 河流生态系统恢复的时间尺度

类 别	时间跨度	研究内容
极长时间尺度	几百年以上	地理因子、土壤、气候、生物地球化学循环
长时间尺度	几十年至数百年	流域土地利用、流域景观过程与格局、河床地貌、水力干扰机制、生物多样性、完整的水生食物链、水生生物群落结构与动力学、生态作用关系
中时间尺度	几年到数十年	水面面积、水质、河岸带、地质状况、栖息地、部分水生生物种群分布、结构与组成、联通的河流廊道
短时间尺度	几个月至几年	河流生态覆盖、生态护岸与护坡、鱼道设置、水景观建设、河床与河道断面、裁弯取直段恢复

1.1.2 河流生态系统的空间尺度

河流生态系统的空间尺度有多种划分方法,从宏观来讲,大致可以划分为景观(区域)、流域、河流廊道和河段等4种。

1.1.2.1 景观

景观是大尺度的宏观表述。可以定义为土地覆盖(land cover)的陆地格局,这种覆盖包括两类:即自然覆盖(森林、灌丛、沼泽、荒漠等)和人工构筑物(城市、道路、村镇等),反映自然地域和人类活动地域。景观的空间结构中的基底,通常是占支配地位的自然植被群落(如草原型、森林型、湿地型、沙漠型等)或者是以耕地、牧场为主的生态系统。斑块有两类:具有自然属性的斑块包括森林、湖泊、湿地等;具有社会属性的斑块包括耕地、城市带、开发区、村庄等。廊道包括河流、峡谷、道路等。在实际应用时,可以定义为自然地理区域(region),也可以定义为特大型河流流域,如长江、黄河、珠江流域等,或者定义为跨流域的空间尺度。

1.1.2.2 流域

流域是由分水线所包围的河流或湖泊的地面集水区和地下集水区的总和。流域是以河流为中心、被分水岭所包围的区域,在地域上具有明确边界范围(阮本清等,2001)。习惯上人们往往将地表水的集水面积称为流域,用来指一个水系的干流和支流所流经的整个区域(王树义,2000)。流域是介于生态系统和景观之间的一个空间单元,与流域相对应的时间尺度通常是年或数年之类的年际比较。流域作为综合的生态系统,包含河流等自然要素以及社会经济发展等因素,因此流域尺度研究不仅应关注流域内水体、河岸带、陆地等各子系统间的物质、能量和信息流动,还应将流域作为复合生态系统,进一步从大尺度上对流域内社会经济及各种资源的开发利用和保护等进行研究(龙笛,2006)。

流域本身就是一种生态系统,流域的自然地理、气候、地质和土地利用等要素决定着河流的径流、河道、基底类型、水沙特性等物理及水化学特征,这些因素对河流生态系统具有深远影响。在流域内进

行着水文循环的动态过程,包括植被截留、积雪融化、地表产流、河道汇流、地表水与地下水交换、蒸散发等。河流生态系统的生态过程包括系统的结构、功能、景观异质性、斑块性、植被、生物量等因子与水文过程密切相关的过程,流域集水区的土壤、水滋润着大部分陆生植被,无数溪流和支流成为陆生生物与水生生物汇集的纽带,从而形成完善的食物网。在流域尺度上,更应关注水系,上、中、下游,河口三角洲,洪泛滩地,河床结构等这些空间基本元素。流域是生态系统恢复的重要单元。

1.1.2.3 河流廊道

河流廊道(river corridor)包括河道、两岸植物群落、洪泛滩区和支流等,也可按照某一频率下洪水的淹没范围划定河流廊道的宽度。河流廊道具有很高的生态功能。一方面,河流廊道是河流生态系统的物质流、能量流、信息流的重要通道,又是连接流域的上、中、下游以及洪泛平原的纽带。另一方面,河流本身又是大量水生动植物、鸟类、水禽和无脊椎动物的栖息地,由其自身的空间结构元素组合。两岸森林和灌丛是河流廊道的主要基底。空间格局中的斑块包括自然部分(如湿地、草灌、牛轭湖、江心岛等)和人工部分(如居民区、开发区、游览休闲区等)。

1.1.2.4 河段

河段(reach)可以理解为是相对较小的栖息地与生物群落的组合,关键生境因子是河流的地貌形态及其对应的水流流态。比如,河流纵坡、蜿蜒性、河床断面材质和几何形状及其相应的流速、水深、脉动压力等水力学条件产生了不同的栖息地空间异质性。而生物群落多样性则与空间异质性条件具有正相关关系。河段的特征往往用急流、缓流、静水区等描述。结构元素中斑块包括深潭、浅滩、池塘、河滩水生植物区等。从河流利用角度,也常按照物理、化学、生物等属性划分河段,如划分为水功能区、自然保护区等。

河流生态系统空间尺度上的生态恢复内容见表1-2。

表 1-2 河流生态系统恢复的空间尺度

尺 度	关注对象	意 义	研究内容
景 观	社会经济 发展问题	源头上的防治 策略	水生态环境友好的政策与法规颁布、生态长效 建设规划、城市建设活动规划、循环经济模式 构建、跨区域的发展及产业结构调整、区域内 的水资源统一输送配置等
流 域	流域生态 格局与过程	生态景观格局、 生态过程与联 系的重构	流域内景观类型或生态系统之间的联系、流域 生态过程、流域累积影响、地貌形成机制、土 地利用类型与结构、植被覆盖、水土保持、洪 水管理、营养与有机质迁移、非点源及各类污 染物控制、污水处理分区等
河流廊道	河流本 体特征	提高河流廊道 连通性与生态 上的连续性	库坝拆除与流量分配、水力干扰机制恢复、河 岸湿地与河漫滩建设、河岸带植被连通性建 设等
河 段	具体工程	保证恢复的可 操作性与有 效性	排污口设置与排放方式、景观小品、边坡与护 坡、河道断面、鱼类洄游通道、底泥疏浚与控 制、水生植被建设、曝气修复、裁弯取直复原等

1.2 河流生态系统的结构

栾建国等(2004)对河流生态系统从纵向、横向、垂向和时间分量等四维框架模型来描述。

河流生态系统的结构是指系统内各组成因素(生物组分与非生物环境)在时空连续及空间上的排列组合方式,一个完整的河流生态系统应该是动态的、开放的、连续的系统,它应该是从源头开始,流经上游和下游,并最后到达河口的连续整体。这种从源头上游诸多小溪至下游大河及河口的连续,不仅是指河流在地理空间上的连续,而更重要的是生物过程及非生物环境的连续,河流下游中的生态系统过程同河流上游直接相关。

1.2.1 河流生态系统结构的纵向特征

河流纵向包括上游、中游、下游,从河源到河口均发生物理的、