

附件 7

江河湖泊生态环境保护专项技术指南系列

# 湖泊流域入湖河流河道生态修复 技术指南

(征求意见稿)

二〇一四年五月

# 目 录

1 总 则.....	1
1.1 适用范围 .....	1
1.2 规范性引用文件 .....	1
1.3 专业术语 .....	1
2 河流生态环境调查与问题诊断.....	4
2.1 河流概况 .....	4
2.2 河流生态环境调查 .....	6
2.3 河流生态环境问题诊断 .....	9
3 河流生态修复总体设计.....	11
3.1 河道结构与功能定位 .....	11
3.2 河道生态修复总体理念 .....	12
3.3 河道生态修复原则与技术路线 .....	12
3.4 河道生态修复工程总体设计要求 .....	14
4 河道形态保持、基底及岸坡修复.....	21
4.1 河道形态保持 .....	21
4.2 污染基底修复工程设计 .....	32
4.3 岸坡生境修复技术 .....	34
5 河道缓冲带构建技术.....	47
5.1 缓冲带构建及布置要求 .....	47
5.2 缓冲带植物配置及栽种技术要求 .....	51
6 河道生态多样性修复.....	54

6.1 水生植物群落多样性修复技术 .....	54
6.2 沉水植物优势种定植技术 .....	55
6.3 沉水植物模块化种植技术 .....	55
6.4 水生动物群落多样性修复技术 .....	57
7 河道水质净化技术 .....	58
7.1 原位净化技术 .....	58
7.2 异位净化技术 .....	72
8 维护与管理 .....	82
8.1 维护与管理的总体原则 .....	82
8.2 主要修复工程的维护与管理 .....	82
9 投资估算 .....	88
9.1 投资估算的一般要求 .....	88
9.2 投资估算的主要方法 .....	88
9.3 投资估算的主要内容组成 .....	89
9.4 投资估算的编制步骤 .....	90
9.5 投资估算编制 .....	90
附件 国内外案例分析 .....	93
一 国内河流案例 .....	93
二 国外河流案例 .....	98
参考文献 .....	102
附表 .....	107

# 1 总 则

## 1.1 适用范围

本指南适用于江河湖泊流域中小型河流河道的生态建设与修复工作。中小型河流是指流域面积在 200-3000 平方公里的河流。

## 1.2 规范性引用文件

《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)

《人工湿地污水处理技术规程》(DG J2010)

《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005-2010)

《生物接触氧化法污水处理工程技术规范》(HJ 2009-2011)

《河道整治设计规范》(GB 50707)

《防洪标准》(GB 50201)

《内河通航标准》(GB 50139)

《城市防洪工程设计规范》(CJJ 50)

《堤防工程设计规范》(GB 50286)

《水工挡土墙设计规范》(SL 379)

《港口与航道护岸工程设计与施工规范》(JTJ 300)

《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)

《工程测量规范》(GB 50026)

《岩土工程勘察规范》(GB 50021)

## 1.3 专业术语

### 1.3.1 河道陆域侧岸坡边线

指河道岸坡带和河道缓冲带的分界线。

### 1.3.2 河道水域侧岸坡边线

指河道岸坡带和河道基底范围的分界线。

### 1.3.3 河道基底

指沿河道纵断面走向，河道水域侧岸坡边线之间的河床基底。

### 1.3.4 河道岸坡带

指为满足河岸稳定安全及生态环境改善需要，进行河道岸坡防护及生境修复工程设计而划定的范围。本指南中指河道陆域侧岸坡边线和河道水域侧岸坡边线之间的范围。

### 1.3.5 河道缓冲带

指河道陆域侧岸坡边线以外由树木(乔、灌木)及其他植被组成的缓冲区域，是为保持河道生态环境健康而划定的、具有一定宽度的范围，具有防止地表径流、废水排放、地下径流等所带来的养分、沉积物、有机质、杀虫剂及其他污染物进入河道的功能。

### 1.3.6 河道岸线形态

指河道整治或规划确定的河道两侧岸线(一般指河道蓝线或驳岸前沿线)沿河道走向的平面形态。

### 1.3.7 河道横断面形态

指垂直于河道中泓线，横截河流，以湿周和自由水面为界的垂直剖面的形态。

### 1.3.8 河道纵断面形态

指河床沿河道走向的纵剖面形态。

### 1.3.9 生态护岸

指在具备岸坡防护基本功能的基础上，具有河水与土壤相互渗透、一定的植物生长条件和生态恢复功能以及一定程度上增强河道自净能力和自然景观效果的护岸结构形式。

### 1.3.10 水生维管束植物

水生维管束植物是生活在水体当中的维管束植物的总称，它包括水生蕨类植物和水生被子植物。水生维管束植物（俗称水草）是个生态学名词而不是分类学名词。

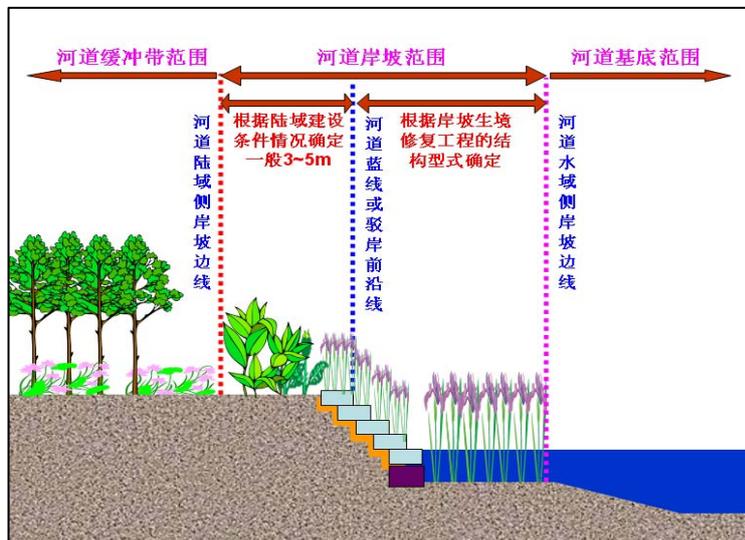


图 1.1 河道基底、岸坡及缓冲带范围区分示意图

## 2 河流生态环境调查与问题诊断

### 2.1 河流概况

#### 2.1.1 自然概况

##### (1) 地理位置

主要包括名称、位置（经纬度坐标）、流域范围与边界、流域面积等。

##### (2) 气候气象

主要包括河流所处流域的年平均温度、最高温度及其出现的时间、最低温度及其出现的时间、平均风速、主导风向、平均日照时数、年平均降水量、年平均蒸发量、年降水量年分布状况和蒸发量年分布状况等。

##### (3) 地形地貌

主要包括地形地貌、土地利用类型与面积、土壤类型及面积、植被类型与面积。

#### 2.1.2 社会经济概况

##### (1) 流域行政区划及人口

主要包括流域行政区的划分及人口状况等。

##### (2) 流域经济水平

主要包括人均 GDP 总量，各个产业 GDP 贡献比重、主导工业类型及相应规模、种植业种类与规模、畜禽养殖类型与规模等。

##### (3) 流域自然资源状况

主要包括水资源、矿产资源、森林资源等。

#### (4) 流域自然资源保护状况

主要包括是否设有保护区，保护区的建设时间、类型、级别与保护内容；自然森林、草地、湿地面积及近 10 年的变化趋势等。

#### (5) 流域污染物排放状况

主要包括流域内的工业企业的污染物排放量、生活污水排放量、畜禽养殖和农田面源的污染物排放量等。

### 2.1.3 河流特征

#### (1) 河流形态特征

主要包括河流形态（长、宽、深、河岸类型等）、支流分布状况等。

#### (2) 河流水文特征

主要包括水量大小、水位变化、汛期、水量季节变化、含沙量、结冰期、水能蕴藏量、通航水位等。

#### (3) 水系特征

主要包括河流流向、流程、水系形态、流域面积、河道状况、河网密度等。

#### (4) 河流治理和资源利用现状

主要包括水源地保护、水污染治理、河流工程、水利、水资源利用状况等。

## **2.2 河流生态环境调查**

### **2.2.1 河流水文调查**

河流水文调查频次为丰、平、枯三季各一次，指标包括水位、流速和流量。点位设置原则上河流自上而下每公里不少于一个点，河流总长小于 3 公里的，上、中、下游各设一个点。具体调查方法见《河流生态调查技术方法》（科学出版社，2011）章节 4.3。

### **2.2.2 河流水质调查**

河流水质调查的点位及采样频次与河流水文调查一致。调查指标包括现场水质指标和实验室分析指标，现场水质指标包括水温、水深、pH、DO、Eh、透明度等，实验室分析指标包括营养盐、有机物和重金属等，具体测定方法见《河流生态调查技术方法》章节 6.1 及附表 1。

### **2.2.3 河流基底调查**

调查的指标包括河床形态特征、堤岸形态特征、底质类型和理化性质。其中河床和堤岸的形态特征调查一年一次，底质类型和理化性质的调查频次与点位与水文、水质调查一致。具体调查方法见《河流生态调查技术方法》章节 4.2、4.4 和 6.2。底质理化性质指标测定方法见附表 2。

### **2.2.4 河流生态调查**

调查对象包括河岸带植被、大型水生植物、鱼类、大型底栖动物

和浮游生物。河岸带植被、大型水生植物和鱼类的调查时间选在植被和鱼类生长最旺盛的季节。大型底栖动物及浮游生物的调查点位和频次与河流水质调查一致。

### (1) 河岸带植被

宜选用踏查的方法了解河岸带植被的概况并进行植被健康评估。

踏查法是沿河岸带行走，记录所看到的河岸带宽度、植被类型、优势物种、物种分布以及高度、盖度等生长和简单群落结构特征的一种调查方法。由于河岸带长度长，全河流的河岸带调查费时费力，花费巨大且无必要，因此踏查时可主要选择样区进行。

踏查采用样带法或样线法进行，每样区可根据情况选择 50m，或更长距离的样带（线），每个区域做 3 个重复调查，调查记录每样带内的树种、灌木、草本物种分布等特征。调查人员需要具有植被物种识别基础，否则应采集标本或拍照记录物种信息。踏查速度相对较快，应至少开展 3 组重复调查，以保证数据有统计学意义。由于河岸带受人类活动影响严重，因此河岸带调查时通常记录河岸带土地利用特征信息以及河岸带周围的土地利用以及人类活动情况。河岸带踏查记录表见附表 3。具体调查方法见《河流生态调查技术方法》章节 5.2。

### (2) 大型水生植物

大型水生植物是生态学范畴上的类群，不仅包括生活在河流河道中的植物，还包括在河岸带长期适应湿生生境的植物。通过大型水生植物的生长形态，一般可将其分为挺水植物、漂浮植物、浮叶植物和沉水植物。样品采集、种类鉴定和数据分析的具体方法见《河流生态

调查技术方法》章节 8.3。

### (3) 鱼类

鱼类是河流生态系统中最重要生物类群之一，作为生态系统中主要的捕食者，对整个河流生态系统的物质循环和能量流动起着重要作用。关于鱼类的种群组成、鱼类食性、鱼类的生长、渔获量的调查以及鱼类死亡的调查方法详见《湖泊生态安全调查与评估》章节 2.3。

### (4) 大型底栖动物

河流底栖动物的概念属生态学范畴，可界定为生活史的全部或大部分时间生活于河流底部或其他基质上的水生无脊椎动物，主要包括扁形动物（涡虫）、环节动物（寡毛类）、线形动物（线虫）、软体动物、甲壳动物和各类水生昆虫等。

关于采样点的规划，采样工具与设备，样品的保存与转运，实验室内底栖动物样品的处理以及参数计算见《河流生态调查技术方法》章节 8.1。

### (5) 浮游生物

浮游生物是指在水中悬浮生活的生物，一般都很微小，要借助显微镜进行观察。一般来说，浮游生物分浮游植物和浮游动物两大类。前者主要为浮游藻类，后者主要包括原生动物、轮虫、枝角类和桡足类。

关于浮游生物采样设备与工具，采样点的选择，样品采集的方法，样品的保存与固定，样品的定量检验，种类的鉴定与数据处理见《河流生态调查技术方法》章节 7.1。

## 2.3 河流生态环境问题诊断

### 2.3.1 水质

基于河流的水质调查结果，按照《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)，对河流的水质现状进行评价。把握影响河流水质的主要污染物及来源，研究其时间和空间变化特征，从而对河流的水质状况进行诊断分析。

### 2.3.2 河道形态、基底及岸坡

基于河道形态的调查结果，综合考虑防洪、排涝、灌溉、供水、航运、水力发电、文化景观、生态环境、河势控制和岸线利用等各项开发、利用和保护措施对于河道形态的要求，诊断河道形态存在的问题。

根据河道基底的调查结果，分析河床基底的底质特性及其污染特征、河床的纵断面和横断面形态对河道生态环境的影响等等，诊断河道基底存在的问题。

岸坡是河流水陆交错带的主要组成部分，基于岸坡的调查结果，判断其是否充分发挥了以下功能：(1) 生物生息环境的功能：1) 移动路径；2) 生息、生育及繁殖空间；3) 避难场所。(2) 良好的河流景观。宜在此基础上，对其存在的问题进行诊断。

### 2.3.3 河道缓冲带

河道缓冲带的主要功能分为：(1) 生态功能。增加物种种类的多样性；相邻地区之间物质和能量的交换；为陆地动植物提供栖息地及

迁徙通道，为水生生物提供能量及食物，改善生存环境。(2) 防护功能。过滤径流，吸收养分，改善河流水质；调节河流流量，降低洪、旱灾害机率；保护河岸，稳定河势。(3) 社会功能。草木丛生的河道缓冲带与周围的景观结合，在河岸、滨水地带构建出一片绿色的风景，可为人类提供休闲户外活动的场所。(4) 经济功能。河道缓冲带处于水、陆交接处，水分充足，一些木质优良的树种，如云杉、冷杉、柏木等，具有可观的经济价值。

基于河道缓冲带的调查结果，分析已有现状在哪些方面、何种程度上影响了其主要功能的发挥，从而判断河道缓冲带存在的问题。

#### **2.3.4 生态多样性**

基于河流生态调查的结果，结合各类生物种群的生物多样性、丰富度、完整性等相关指数的计算，对河岸带植被、大型水生植物、鱼类、大型底栖动物和浮游生物的生态多样性和完整性进行评估，判断整个河流生态系统在生态多样性方面存在的问题以及面临的风险等等。

### 3 河流生态修复总体设计

#### 3.1 河道结构与功能定位

本指南从河道治理及生态修复的角度，将河道结构划分为河道基底、河道岸坡及河道缓冲带三部分，见图 1.1。

##### 3.1.1 河道基底

河道基底作为河床土质类型及构成、污染状况、河床形态及其演变、河床稳定性等综合内容的一部分，具有水利、航运、环保、节能、生态等专业领域的综合功能。河道基底宜在生物生息环境的构建和污染基底的清除等方面，体现生态及环保功能。

##### 3.1.2 河道岸坡

河道岸坡是水陆交错带的重要区域，具有安全防护、生态、景观等综合功能。岸坡区域应在满足安全防护功能前提下，从生态环境改善角度构建良好的生物生息环境。生息环境主要包括移动路径、生育繁殖空间及避难场所等。

##### 3.1.3 河道缓冲带

河道缓冲带是陆地生态系统与水生生态系统的过渡带，是河道周边生态系统中各陆生物种的重要栖息地，也是河道中物质和能量的重要来源，直接影响整个河道的水质以及流域的生态景观价值。其主要功能宜从生态功能、防护功能、社会功能及经济功能等进行体现，一般内容如下：

- 1、生态功能主要包括物种的多样性、物质和能量的交换、栖息

地及迁徙通道、生存环境等。

2、防护功能主要包括过滤径流，吸收养分，改善河流水质；调节河流流量，降低洪、旱灾害机率；保护河岸，稳定河势等。

3、社会功能主要包括河道缓冲带与周围的景观协调性，在滨水地带构建人类休闲、户外和亲水活动的场所等，体现人类与生俱来的亲水性。

4、经济功能主要包括选择适宜的优良树种，体现经济价值。

### **3.2 河道生态修复总体理念**

宜把河流从上游至下游整体纳入生态修复范围，整体规划设计。

遵从河流自身的功能与生态定位，保持自然河道现有良好的河岸及河床走向，确保河床的安定性与连续性，不宜恶化现有河流的流势、流态等水流特征。

河道水质净化是河道生态修复的前提条件，应在流域实施污染源控制措施与对策（详见污染源控制相关技术指南）的基础上，实施河道的水质净化工程。

河道生态修复规划应将维护管理纳入其中。

### **3.3 河道生态修复原则与技术路线**

河道基底、岸坡及缓冲带生态修复工程总体方案设计时，宜遵循如下原则：

1、河道生态治理和河道基本功能紧密结合的原则。应在保证河道防洪、航运、灌溉等基本功能的前提下，充分考虑生态环境、水质净化、亲水景观等需要，使河道资源可持续利用和生态环境健康紧密

结合。

2、实用性和经济性为工程重要目标的原则。需适应河道所在地域的地貌、地形、形态、水文、周边区域发展等特点，注重与河道沿线的整体风貌相协调，以自然修复为主、人工修复为辅，把实用性和经济性作为工程的重要目标。

3、科学性和适应性为工程重要条件的原则。应全面考虑河道水文、水深、流速、断面和平面形态、河道底质、工程材料等多因素的综合影响，保障工程方案的科学合理性，并能适应河道的不同特征，创建健康的河道生境条件。

4、材料和工艺的创新原则。应尽可能采用新型的生态岸坡建筑材料，减少混凝土、浆砌块石等“硬质”材料的使用，促进材料和工艺的创新。

5、兼顾河道水质改善、突出河道自然属性的原则。应兼顾对河道水质的改善、减少入河污染物的作用，体现河道的自然属性，提高河道自然生态的修复能力，促进河道生态系统的健康良性发展。

河道基底、岸坡及缓冲带修复工程是一项复杂的、综合性的工程，综合国内外相关工程的设计及实施经验，提出总体设计的技术路线框架见图 3.1。

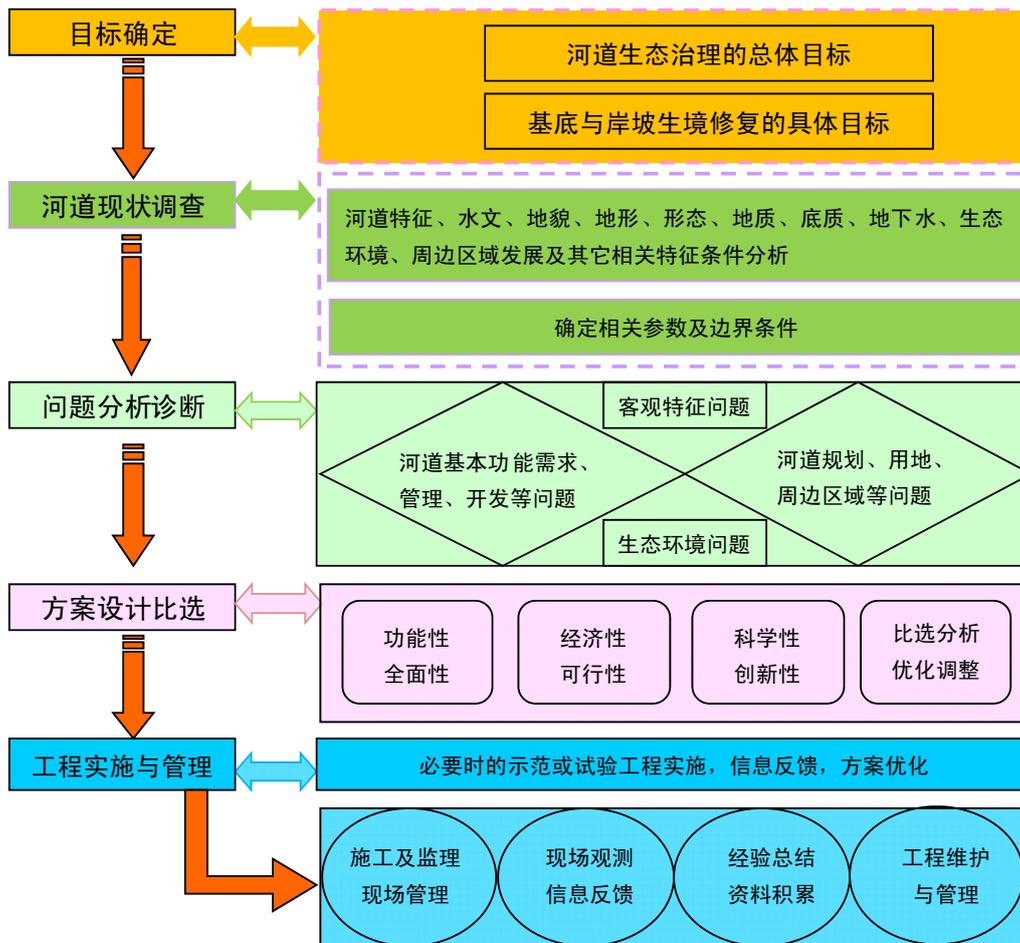


图 3.1 总体技术路线框架图

### 3.4 河道生态修复工程总体设计要求

常见河道整治工程中存在的主要问题：横断面和纵断面由于行洪、排涝、航运等整治建设要求，一般均采用几何形态规则化的梯形、矩形等断面型式。自然河流呈现出的蜿蜒形态，急流、缓流、浅滩相间的格局，在河道或航道整治工程中往往被忽视，河道纵、横断面的几何规则化改变了河道深潭、浅滩交错的形态，导致河道生境的异质性降低，水域生态系统的结构与功能随之发生变化，特别是生物群落多样性将随之降低，生态系统走向退化。

自然河道与河道整治的平面形态比较示意图 3.2，纵横断面形

态比较示意图 3.3。

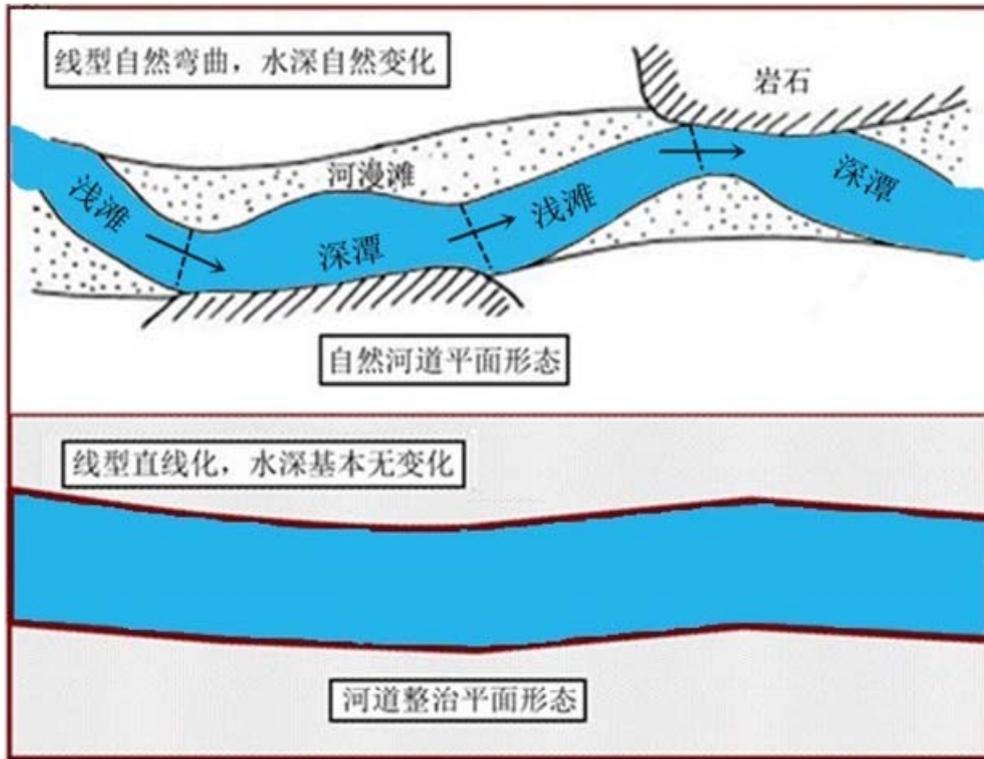


图 3.2 河道平面形态示意图

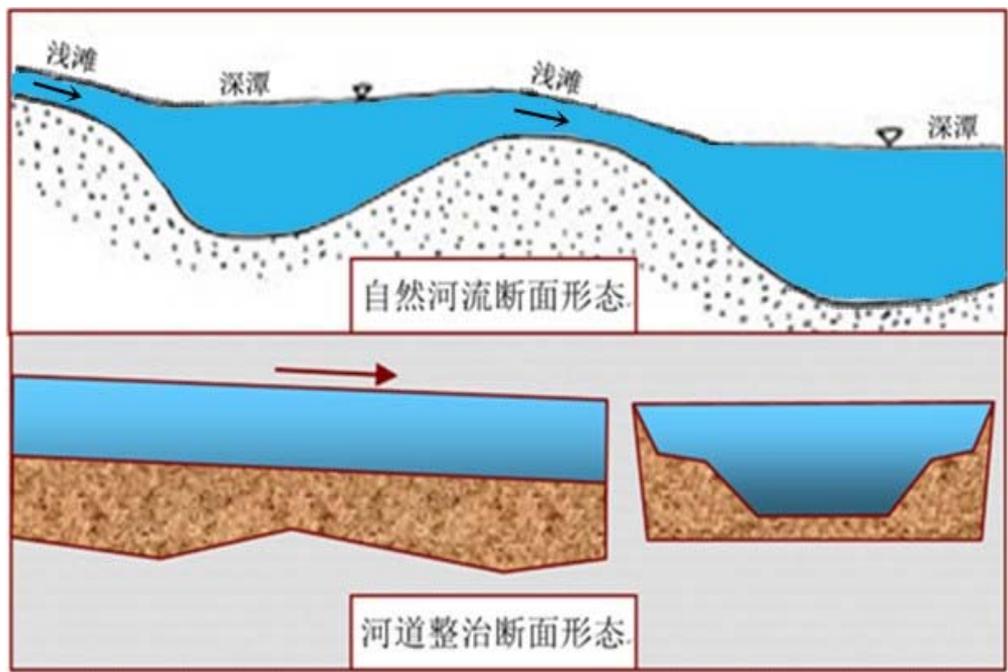


图 3.3 河道纵横断面示意图

河道形态保持工程总体方案设计应从岸线形态、横断面形态、纵断面形态进行研究和布置, 设计方案应处理好河道形态保持与河道水

利、航运等基本功能需求的关系，重视河道形态的保持，体现河道平面、断面形态的自然属性，为河道水生态、水环境的健康及水生动植物的生长提供良好的条件。

河道基底总体设计主要从河道纵、横断面形态上满足河道形态保持工程的总体要求。此外，当河道底泥内源负荷和污染风险较大时，宜通过环保疏浚的方法，有效清除河道底泥中的各种污染物，如营养盐、重金属、有毒有害有机物等，并对疏浚的底泥进行安全处置，改善河道基底环境。

河道岸坡总体设计应充分考虑河岸现状、设计标准、总体布置等内容，一般要求如下：

- 1、应对现状河岸及其护岸特征进行充分调查，分析现状岸坡的存在问题。

- 2、具有水利、航运等基本功能的河道，岸坡设计标准应满足相应的行业规范及标准规定。

- 3、岸坡的平面总体布置应根据河道断面、水深、地质、地形及周边环境等条件的变化进行分段布置。一般情况下，河道面宽条件较好的河段，可选用斜坡式；河道较狭窄的区段，可采用直立式；介于两者之间的河段，可采用复合式。并应根据河道水深、工程地质、岸线资源等综合因素，选用不同的组合型式。

- 4、生态护岸结构型式应根据自然条件、材料来源、使用要求和施工条件等因素，经技术经济比较确定。结构型式从构造上可分为：直立式、斜坡式、下直上斜式、阶梯式、复合式、综合式等；从结构

分类上可分为：护坡式、重力式、悬臂式、高桩承台式、墙体式等。本指南仅从生态护岸构造型式上分斜坡式和阶梯式、直立式、复合式及综合式。

5、岸坡带植被修复总体设计应主要考虑种类选择、布置、种植及景观等，应充分考虑工程河段的场所特性，进行因地制宜的布置。植被配置应符合原有的生态结构，充分利用乡土植物和当地优势物种，择优选取自维持效果及生态效果好的植被，减少人工维护需求。

河道缓冲带修复工程的总体设计应充分考虑缓冲带位置、植物种类、结构、布局及宽度等因素，以充分发挥其功能，一般要求如下：

1、应根据流域的水文、地形和环境特点选择合适的位置。缓冲带宜设置在下坡位置，与地表径流的方向垂直；对于长坡，可以沿等高线设置多道以削减水流的能量。在溪流和沟谷边缘，宜全部设置缓冲带。

2、宜从缓冲带的净污效果、受纳水体的水质保护要求、非点源污染有效控制以及环境、经济和社会等角度对缓冲带的适宜宽度进行综合研究，科学界定缓冲带的适宜宽度。

3、应根据实际情况进行乔、灌、草的合理搭配，宜采用以灌、草为主的植物在农田附近阻沙、滤污，宜布置根系发达的乔、灌木保护岸坡和滞水消能。

4、缓冲带的结构和布局应综合考虑去污效果、吸附能力、系统稳定性及流域的生物多样性。

河道基底、岸坡及缓冲带生态修复工程的工程测量及地质勘察一

般应满足如下要求:

1、工程测量应为工程设计提供可靠的依据,在满足国家、地方及行业一般工程测量要求的基础上,在保持规划、设计、施工等阶段平面和高程控制一致的基础上,须符合河道基底与岸坡生境修复工程的要求,应至少包括地形测量和水深测量两项内容,一般要求如下:

1) 水域水深测量前应检查平面和高程控制点,校对基准面与水尺零点或自记水位计零点的关系。对水位随时间变化较大的河段,水深测量时须分段连续观测水位,且应与水位站和定位站校对时间,进行延时改正及结果修正。

2) 可采用断面测量法,断面间距研究阶段可为 100~200 m,设计阶段需加密至 20~50 m。水域范围内测点间距不宜大于 2 m,近岸处 5 m 范围内点距应加密至 0.5~1 m。水深测量的深度误差限制不宜大于 0.15 m。

3) 凡是水中障碍物,即使不在测量断面位置,也需测出障碍物范围、标注物名。

4) 陆域地形测量研究阶段的测图比例不宜小于 1:5000,设计阶段不宜小于 1:1000。

5) 陆域地形测量范围不宜小于河道两岸沿线各 30m 宽度的横向范围。测量内容及要求除相关规范的常规内容及要求外,建(构)筑物(包括沿线道路、桥梁、房屋、管线、电杆、支流、鱼塘、水塘、沟渠、农用设施、垃圾池、厕所等)必须明确标示出位置及轮廓范围;房屋结构还应标示出层数;鱼塘、水塘、沟渠等水域范围内需有一定

密度的测点高程值。

6) 陆域地形测量须对现有河道两岸的驳岸建设情况进行测量和标示, 要注明驳岸的结构形式、分布长度和完好程度。应调查两岸沿线 30 m 宽度范围内的沿河及跨河管线(如煤气管、水管、电缆、光缆等)的分布情况、概位、走向、数量等, 并在图上进行明确标示。

7) 成图时应将水深测图与陆域地形测图拼绘, 测点水深值放入平面图中。水深测量断面图横向、竖向宜采用正比例绘制在网格上。测图必须明确标示采用的平面坐标系及高程系统。

2、工程地质勘察的钻孔类型、平面布置、孔位布置、孔深布置、土样要求、土工试验分析等在满足国家、地方及行业工程勘察要求的基础上, 宜查明或提供以下内容:

1) 查明场地地形、地貌(尤其是微地貌单元的划分)、各层岩石的岩性、类型特征、深度、分布、工程特性和变化规律。查明沿线的暗浜、坑塘、低洼地带、古河道等的分布范围、埋深等。

2) 查明水文地质条件、地下水类型、埋藏条件、补给来源、腐蚀性 & 污染状况等。评价地下水对建筑材料的腐蚀性。

3) 查明场地不良地质现象、特殊地质问题及古河道地下洞穴等, 查明场地内有无地震液化土层、液化指数, 并进行评价。

4) 查明场地内及其附近有无影响工程稳定性的不良地质现象; 若有, 对不良地质情况进行评价, 提出预防和处理的建议措施。

5) 对工程地基土分布特征及工程地质条件提出评价; 对拟建场地的稳定性和适宜性进行评价。查明场地土类型及类别、成因、性质

及软弱土夹层。

6) 提供设计所需的各种物理力学指标及其它的技术参数, 提出适宜的地基处理技术措施及合理的建议。

7) 对于河道基底修复或环保疏浚工程, 底质勘察的有关要求还需满足《湖泊河流环保疏浚工程技术指南》的有关要求。必要时, 应对工程范围内的土壤、水体、地下水等, 按设计提出的要求进行化学取样分析。

## 4 河道形态保持、基底及岸坡修复

### 4.1 河道形态保持

#### 4.1.1 总体原则要求

(1) 河道形态保持工程主要包括河道平面形态（直观上指河道整治或规划确定的河道两侧岸线沿河道走向的平面形态，本指南或称为河道岸线形态）、河道横断面形态及河道纵断面形态。

(2) 河道形态保持技术或工艺应符合下列总体原则要求：

1) 应分析防洪、排涝、灌溉、供水、航运、水力发电、文化景观、生态环境、河势控制和岸线利用等各项开发、利用和保护措施对河道整治的要求，确定河道整治的主要任务。

2) 协调好各项整治任务之间的关系，综合分析确定河道整治的范围。

3) 符合整治河段的防洪标准、排涝标准、灌溉标准、航运标准等，并应符合经审批的相关规划；当整治设计具有两种或两种以上设计标准时，应协调各标准间的关系。

4) 和岸线控制、岸线利用功能分区控制等要求相一致，并应符合经审批的岸线利用规划。

5) 满足河道整治任务、标准、治导线制定、整治河宽、水深、比降、设计流量等河道整治工程总体布置要求，并满足河道整治设计相关规范、标准的规定。

6) 宜从有利于河道生态环境健康的角度，进行河道生态治理的平面形态布置、断面形式设计，分析确定河道不同季节（或不同时段）

适宜的生态径流量。

#### 4.1.2 河段类型划分

河道的总体分类根据不同的划分原则，有不同的分类。一般情况下，主要有以下三类：

根据河型、平面形态和河段特点分类，可分为顺直型、弯曲（蜿蜒）型、分汊型、游荡型等典型河段；

根据河型动态分类，可分为稳定和不稳定型，或相对稳定和游荡型两类。然后，再按平面形态分为顺直、弯曲、分汊等类型；

根据地区分类，可分为山区（包括高原）河流和平原河流两类。

此外，根据河道流经的不同区段，也可分为城（镇）市区段、城（镇）郊区段、农村段（村落段、田野段）、重要保护区段（如：自然保护区、风景名胜区、山地森林区、自然文化遗产区、水源保护区等）及其它自然形态区段等。

#### 4.1.3 形态保持技术重点

（1）根据河型、平面形态和河段特点分类，不同类型河段生态治理的形态保持技术重点和相关要求总体如下：

##### 1) 顺直型河段

从河道整治的角度，顺直型河段应在分析浅滩演变规律的基础上，进行必要的整治稳定现有河势，并满足安全通过设计泄洪流量和航运相关要求。

从河道生态保护角度，生态治理工程技术可侧重于河岸的生态化

改造或保留稳定的自然岸坡，突出自然属性，并应充分保护河道浅滩所具有的生境条件。当有利于形成稳定的河槽时，也可采取必要的疏浚措施改善浅滩。

## （2）弯曲（蜿蜒）型河段

从水利防洪角度，弯道水流所遇到的阻力比同样长度的顺直河段要大，将抬高弯道上游河段的水位，从而对宣泄洪水不利。此外，曲率半径过小的弯道，汛期水流不平顺，形成顶冲凹岸的现象，危及堤岸安全。从航运角度，河流过于弯曲，航道弯曲半径将不满足航行安全要求，且航行视线不利，弯道往往也形成不利航行安全的流势、流态。一般情况下，对适度的弯曲型河段宜维护、稳定现有的河型、河势，可根据情况采取如下措施：

1) 稳定现状，防止其向不利的方向发展。当河湾发展至适度弯曲时，采用防护工程或控导工程控制凹岸发展及改善弯道，防止弯道继续恶化。

2) 改变现状，使其向有利的方向发展。即因势利导，通过人工裁弯工程将迂回曲折的河道改变为有适度弯曲的连续河湾，从而稳定河势。

从河道生态保护角度，弯曲（蜿蜒）型河段形态蜿蜒曲折，是自然河流的重要特征，河流的蜿蜒性使得河流形成主流、支流、河湾、沼泽、急流和浅滩等丰富多样的生境。此外，由于弯曲河段的流速不同，在急流和缓流的不同生境条件下，可形成丰富多样的生物群落，如急流生物群落和缓流生物群落。

生态治理工程应在满足河道水利防洪、航运等行业综合整治基础上，尽量顺应河道平面形态的蜿蜒特征，保持岸线和河槽的适度弯曲形态。平面形态布置在充分调查和论证基础上，可采用经验关系推算、模拟复制、模型研究等技术方法，确定适宜的布置方案。

### 3) 分汊型河段

从河道整治的角度，分汊型河段的整治技术措施一般主要有：汉道的稳定、改善与堵塞。其中，汉道的稳定与改善，目的在于调整汉道的水流条件及汉道间的分流比等，维持与创造有利河势，从而对防洪和航运有利，并与经济社会发展相适应；汉道的堵塞，往往是从汉道通航环境条件和对泄洪能力的影响等角度分析考虑，经技术经济充分论证确定后，有意淤废或堵塞一汊，常见的工程措施为修建锁坝。

从河道生态保护角度，分汊型河道作为一种常见的天然河道形态，可形成较为丰富多样的生物群落，应侧重汉道生态流量的研究，保护河流生态环境，维持河流健康，科学开发和利用水资源。当条件允许时，亦可结合地形、水文条件等，因地制宜的布置浅滩湿地、江心洲湿地或生态岛等。

目前，对于生态需水规律的研究及生态流量的计算方法尚不成熟，可在河道总体生态环境研究成果基础上，采用水文学方法、水力学方法、生物栖息地或生境模拟法，以及合适的模型研究方法等，提出汉道不同季节适宜的最小、最大生态流量要求。

### 4) 游荡型河段

从河道整治的角度，游荡型河段的整治应采取逐步缩小主流的游

荡摆动范围、稳定河势及流路的工程措施，工程布局宜以坝护湾、以湾导流、保堤护滩。

从河道生态保护角度，游荡型河道应充分利用水利工程逐步稳定下来的河势，采取必要的工程、生物等措施，发挥河漫滩及边滩丰富的生态价值，并利用部分滩地串沟，尤其是堤防临水侧堤脚附近的水沟，构筑生态水槽，提供良好的生物栖息条件。此外，尚可利用自然或人工放淤的边滩，构筑滩地小型的湿地环境，恢复或保持生物的多样性。

(2) 根据地区分类，不同类型河段生态治理的形态保持技术重点和相关要求可综合体现如下：

#### 1) 山区（包括高原）河流

山区河流尤其是中小型山区（包括高原）河流分布广泛，因山区地形和地质结构复杂、气候差异悬殊、自然条件恶劣等特征，山区河流具有暴雨后洪峰出现时间短、洪峰流量大、河道坡降陡、洪水洪枯变幅大、洪水冲刷力强、河岸植被脆弱、水土流失严重等显著特点。

山区性河流的规划整治宜首先满足河道水利防洪整治的需要，确定整治的重要河段和重点部位，一般以城镇、集镇、村庄、耕地面积集中成片的河段为重要河段，以易垮塌易冲刷决口损失较大的地段为重点部位。对河道的岸线、堤线进行上下游、左右岸统筹布置，河道转弯半径不宜太小，适度调整河势和流向，充分发挥天然河道的作用。此外，尚需处理好整条河道的平面、断面之间的关系，提高堤防护岸迎水面的防冲能力。

从河道生态保护角度，应注重整治的整体效果，结合城镇建设、生态环境建设、农田改造项目，统筹规划，协调布置，互不干扰，分步分项逐步实施。生态治理技术形式主要可从如下方面重点体现：

①在流域内采取水土保持措施，退耕还林，封山育林，拦截地面径流，减少泥沙进入河道；

②进行河道整治，科学采取上堵、下排措施，修建堤防、护岸工程。上堵就是在河道上游修建一定的拦沙坝、谷坊坝等拦截泥沙；下排就是疏浚河道，清除阻水障碍，保持河道畅通；

③关键河段修建堤防或护岸工程，约束水流，保护岸坡稳定；适宜的水文、地质条件下可选择生态型护坡型式。

## 2) 平原河流

平原地区一般人口稠密，农业和经济发达，地形地势平坦，河道行洪排涝不畅，从而成为洪涝灾害的多发地。

平原河流具有线状分布里程长、河道周边农田分布广、自然河流和人工运河交叉密布（包括行洪、排涝、灌溉等渠道）、水流受人工泵闸调控等显著特征。

从河道整治的角度，平原河流以提高地区河道防洪、除涝标准为主，保障人民群众生命财产安全、改善农业生产环境、促进国民经济持续发展。水利工程的主要整治措施一般有：分洪道（灌渠）或人工运河开挖、河道疏浚、弯道裁弯取直、护岸堤防建设等，主要整治建筑物一般包括：防洪闸、水闸（节制闸）、船闸、泵站、防洪堤防、渠道等。

从河道生态保护角度，排洪、除涝、设闸等措施可能导致污染转移、河道原有水文条件改变、水体流动性变差、纳污能力下降以及对地下水水质造成不利影响等情况。此外，人工运河、排洪渠或灌溉沟渠等挖填土方工程量较大，可能扰动和破坏原有地貌形态并侵占土地、林地、水塘、农田等。根据平原河流的相关特征，生态保护治理工程技术应注重如下：

①尽量保持河道岸线原有的自然形态，对改善行洪排涝条件的人工运河、排洪渠、裁弯取直河段以及灌溉渠等宜进行生态化改造或建设。结合堤防或护岸建设要求，河道两侧尽量留有一定宽度的缓冲带范围（一般不宜少于 15m），改善河岸带生境条件；

②设闸的河道，根据河道洄游生物情况，宜设置洄游道，并提出泵闸工程的生态调度需求，改善河道的水文条件；

③疏浚工程、裁弯取直工程等应重点论证，减少对河道底栖生物生存环境的破坏，河道裁弯取直后对原有弯曲河段不应轻易填埋，而应通过技术经济和生态环保需求的充分论证，综合确定处理措施，宜最大限度保持原有弯曲河段的生境条件。

④进行护岸、堤防建设时，应在满足河岸稳定的基础上，尽量采用生态护坡形式。在条件允许时，应优先采用斜坡式结构。

（3）根据河道流经的不同区段，不同类型河段生态治理的形态保持技术重点和相关要求总体如下：

#### 1) 城（镇）市区段河道

由于城市（尤其是老城区）的建设基本成型，一般情况下城（镇）

市区段河道的形态已基本固定，河道两侧或周边的用地基本受限，规模化改造河道的平面形态及布局难以实现。此外，城（镇）市区段河道两岸大部分建有各种型式的护岸，并以硬质护岸结构型式为主，且一般分布有大量不同类型的排水口。

生态治理工程的形态保持重点一般可考虑：河道两侧沿线的护岸、堤防或防汛墙的生态化改造、景观绿化节点布置、河道局部形态改变等。此外，宜充分利用河道两侧的城市绿地或景观带，进行必要的水质净化工程布置，最大限度的提升城（镇）市区段河道的生态、人文、环境等品质。

## 2) 城（镇）郊区段河道

总体来说，城（镇）郊区段河道两岸用地相对较为宽裕，一般情况下尚保留着河道原有的岸线形态。随着城市的经济建设和发展，城（镇）郊区也逐步纳入城（镇）相关的规划发展范围，相关用地规划也逐步呈现。

从河道生态保护角度，应首先将河道生态保护或治理的相关要求纳入城（镇）开发建设的总体规划内容中，从规划开始就体现河道生态保护的控制要求，将属于河道的水域和陆域，通过规划保护起来。

河道形态保持工程的技术重点可体现在河道自然形态的保持、生境条件的改善、河道两侧缓冲带的建设，最大限度保留河道沿线的自然属性。当条件允许时，尚可结合河道的地形、地貌和水文条件等，进行局部形态的改变，适当增加河道的蜿蜒性，构筑必要的滩、洲湿地等，提升河道的生物或生境多样性。

### 3) 农村段河道

农村段根据村落和农田的分布情况，又可细分为农村村落段和农村田野段。农村段河道周边主要为村落、耕地、农田、经济林、果园等，受农业生产发展的影响，农村段河道周边可能分布有一定的农业生产设施，如：取、排水口、灌溉沟渠、闸涵以及堤防、田埂等，但河道总体形态一般保持着自然状态。

一般来说，田野段的耕地保护要求较高。农村段河道形态保持不宜过多占用耕地，宜总体保持原有的河道形态，因地制宜布置局部适宜规模的湿地、生态沟槽等，改善河道生境条件，恢复生物多样性。村落段由于居民房屋、农村道路等一般临河而建，拆迁产生的社会问题较大，宜在符合区域建设整体规划的基础上，结合村落环境的综合治理要求，在有条件的情况下进行河道生态堤岸建设，并沿河设置必要的提倡环保的宣传、教育及提示性标志标牌，规范垃圾倾倒行为，保持或美化村落区河道沿岸的良好环境。必要时，可设置供村民休闲、散步的临河亲水步道或景观节点。

农村段河道生态治理，尚应充分调查和研究农田面源污染入河情况，尤其对村落生活污水直排入河以及农灌渠的灌溉余水入河进行必要的沿岸分散处理。可充分利用现场的地形、地貌条件，结合水塘、池塘的分布，选取适宜的位置布置湿地或其它分散处理工程。在有条件时，可在农灌渠入河口布置河口小型湿地，或沿河岸坡脚布置与河道基本平行的生态沟槽，拦截并处理入河生活污水或灌溉余水。

此外，农村段河道根据河岸的稳定情况，宜进行必要的岸坡防护，

并宜首先采用生态化护坡及斜坡式结构型式。

#### 4) 重要保护区段及其它自然形态区段

重要保护区段河道原则上位于自然保护区、风景名胜区、山地森林区、自然文化遗产区、水源保护区等，往往保持着自然的、原始的河道形态，其它自然形态区段的河道，一般也具有相同的自然或原始属性。

对于重要保护区段及其它自然形态区段河道，以保持现状形态和生态环境为重，一般不应采取过多的人工干预措施，宜从河道来水、来沙等情况，分析河槽、河岸以及河床的稳定性，研究确定是否采取必要的工程措施，减少自然灾害，防止水土流失，增强重要保护区范围的保护能力。

#### 4.1.4 断面形式设计

对应于不同的河道平面形态，在满足河道水利、航运等行业规划断面的基础上，应充分考虑河道的生态保护需求，根据河道的水位、流量、流速、流态、泥沙等水文要素，结合河道的堤防、护岸及防汛道路等工程建设方案，合理确定河道的断面设计形式。河道断面形式总体可分为横断面形式、纵断面形式两大类。

横断面形式根据河道断面的几何形态，主要可分为矩形、梯形、复合型等。

矩形断面主要受河道两岸用地限制，一般布置于城(镇)市区段，河道生态系统恢复条件较差。

梯形断面适用于河道面宽较宽、用地相对充裕的河段，一般布置

于城（镇）郊区段、农村村落段等，河道生态系统恢复条件一般。

复合型断面更加贴合河道的自然特征，适用于河道自然形态保持较好的河段，往往可体现河道浅滩、边滩、水槽、滩地串沟等河道自然特征，河道范围占地面积一般较大，生境条件较好，且易构建利于河道生态修复的平面形态和断面条件。此外，对于水利、航运等整治工程为主的河道，顺直河段一般以对称型、几何尺度规则化为主；而对于现状自然属性显著的河道，可根据水流、泥沙及河床演变等特性，宜保留其自然的、不规则、不对称的河道复合断面形态。

河道横断面形式设计，主要包括下列内容：

（1）根据河道基本功能要求，确定河槽底宽及底高程。

（2）根据河道地质和水文等条件，确定水下开挖或疏浚边坡。

（3）确定水下平台、护岸、堤防、缓冲带等河道相关整治工程和生态工程各部位的竖向高程及横向尺度。

（4）根据河道平面或岸线形态保持要求，确定深槽、浅滩、边滩、生态沟渠、支流、汊道、沙洲、水槽、生态沟渠及其它生态修复工程的断面布置范围及其相关尺度。

（5）复式断面的主槽糙率和滩地糙率应分别确定。河道过水断面湿周上各部分糙率不同时，应求出断面的综合糙率，当沿河长方向的变化较大时，尚应分段确定糙率，从而进行必要的河道水力计算。

河道纵断面布置应统筹协调好各项河道整治任务和相应专业规划的关系，宜根据相关水力计算、河床演变分析等河道整治工程研究结论，在不影响河道整治效果的基础上，适度形成深浅交替的浅滩和

深槽，构建急流、缓流和滩槽等丰富多样的水流条件及多样化的生境条件。有条件时，尚可结合河道纵向的基底特征，进行局部水下微地形的改造，如：构建局部砾石（抛石）河床、生态潜堤、人工鱼巢等，形成多样性的河床基底及流态，改善河道纵断面生境条件。

## 4.2 污染基底修复工程设计

### 4.2.1 污染基底修复工程设计要求

（1）河道污染基底环保疏浚、底泥处理等要求，参照《湖泊河流环保疏浚工程技术指南》的有关规定执行。

（2）河道疏浚、开挖设计应取得下列基础资料：

- 1) 水深测量和地形测量资料。
- 2) 勘察资料。
- 3) 水文气象资料。
- 4) 相关法规、规划、环保、防汛及引水灌溉等要求。

（3）当河道水域断面形态沿河道纵向较为单一时，宜采用断面测量。当河道水域断面形态沿河道纵向复杂多变时，应采用水下地形测量。

（4）河道疏浚、开挖工程地质勘察应按有关勘察规范要求执行，并符合环保疏浚的相关勘察要求。

### 4.2.2 工程量计算规定

疏浚、开挖边坡及工程量计算，应符合下列规定：

(1) 疏浚边坡应根据土质、河道水动力条件、疏浚开挖工艺及设备，结合护岸结构安全和河道基本功能要求综合分析确定。

(2) 采用疏浚船机水下疏浚工艺时，疏浚开挖工程的设计工程量应包括设计断面工程量、计算超深和计算超宽工程量、施工期回淤工程量。施工期回淤工程量应根据回淤强度和施工工期，经研究确定。采用人工或机械干地开挖时，可根据设计要求确定超深、超宽工程量。

(3) 疏浚、开挖工程的计算超深、计算超宽尺度应根据河道条件、施工工艺、施工设备及设计边坡等因素分析确定。

(4) 疏浚、开挖的允许超深、允许超宽不应影响护岸、临河建筑物的安全，不宜超过计算超深、计算超宽的 2 倍。

#### 4.2.3 工艺设计要求

疏浚、开挖工艺设计，应满足下列要求：

(1) 河道疏浚、开挖工艺应根据地形条件、水域水深及宽度条件、泥土处理条件、水上交通条件、陆上交通条件，经论证确定。一般有干地开挖工艺、水力疏浚工艺、挖泥船挖泥——泥驳运泥——吹泥船吹泥的“挖、运、吹”工艺、绞吸船直接绞吹工艺、环保疏浚工艺等。

(2) 河道疏浚工艺应根据工期、质量和环境要求，考虑水下地形、土质、水流、水位、水域宽度、通航条件等因素，结合疏浚土处理方式以及疏浚设备性能等合理确定。

(3) 当场地条件允许并经验算能保证边坡稳定时，可采用干地放坡开挖方式，开挖边坡应根据土质、地下水位、开挖深度等因素确

定，当开挖厚度超过 4.0m 时应多级放坡。一般情况下，淤泥质土层的开挖边坡不宜陡于 1: 3，其它土层的开挖边坡不宜陡于 1: 2；多级开挖的坡间平台宽度不应小于 1.5m。

(4) 应对施工的安全性和措施进行详细的研究和设计，并充分考虑暴雨、渗流、卸土、堆土的不利影响。当开挖底边线与周边已有建筑物和设施的净距小于等于 4 倍开挖深度且开挖坡面暴露时间较长时，应对开挖坡面采取合理有效的防护措施。

(5) 遇沙性土、粉性土，应采取合理的降水措施。施工期间边坡的整体稳定、渗透稳定、开挖及降水对周边已有建筑物和设施的影响等应符合相关规范要求，防止滑坡、流沙、管涌等危害周边已有建筑物和设施安全的灾害发生。

### 4.3 岸坡生境修复技术

#### 4.3.1 岸坡生境修复设计要求

(1) 岸坡生境修复工程设计需确定生态护岸工程的设计要求、稳定计算、结构型式等内容，并应满足相关规范的规定。

(2) 生态护岸的设计一般包括结构材料的自然性、结构的软质化及岸坡自然形态的保持等要求，并宜符合下列规定：

1) 宜采用自然属性较强的材料作为主体结构，结合适宜生态护岸结构采用的块石、生态混凝土、植草砌块、石笼、土工合成材料等，构筑可以抵抗水流淘刷侵蚀的结构，同时适合植物的生长和自然演替。在水位变动区范围内，应充分考虑反滤层结构的稳定性，并可通

过设置小型挡墙、块石堤、人工预制块体等构筑物加强防护，并构造适宜水生植物生长的水流条件。

2) 宜选用利于生态系统稳定的斜坡式结构，结构构造为水体与土体、水体和生物、生物和土体的相互涵养创造良好条件，创造适合生物生存和繁衍的岸坡带环境。

3) 宜顺应河道的自然岸坡断面形态，不宜进行过多的人工干预而改变原有河流岸坡断面形态。

(3) 生态护岸工程结构设计除满足生态效果的设计要求外，尚应满足护岸设计的稳定安全要求，宜遵循如下原则：

1) 结构及构造设计应适应河道及周边环境条件，具有可实施性，并满足稳定安全及河道管理的相关要求。

2) 宜使用效果好、质量及技术可靠的材料。

3) 宜根据环境、景观、生物生长、养护等要求，结合土壤、气候、水文条件和植物适应性等因素，从自然恢复和人工种植两方面综合进行植物设计。

4) 宜减少后续的养护管理工作量。

(4) 生态护岸应按持久状况、短暂状况和偶然（地震）状况设计，并应符合下列规定：

1) 对持久状况，结构使用期应按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

2) 对短暂状况，施工期和使用期临时承受某种特殊荷载时，应按承载能力极限状态设计，必要时尚应按正常使用极限状态设计。

3) 对偶然(地震)状况,使用期遭受地震作用时,应按承载能力极限状态设计。

(5)生态护岸承载能力极限状态设计应考虑下列三种作用组合:

1) 持久组合应为持久状况下的永久作用与可变作用组合。一般情况下,应采用设计高水位、设计低水位、极端低水位或历史最低水位、设计最高通航水位、设计最低通航水位与相应地下水位的不利水位组合。

2) 短暂组合应为短暂状态下的永久作用与可变作用组合。使用期应采用设计高水位、设计低水位与相应地下水位的不利水位组合。施工期应考虑施工期暴雨组合。当采用围堰和降水施工时,尚应考虑施工期围堰内水位和降水后的地下水位的不利水位组合。当短暂组合稳定性不满足要求时,应首先考虑从施工上采取措施。

3) 地震组合应包括地震作用,地震作用和计算水位应按现行有关行业标准的规定执行。

(6)生态护岸设计的稳定安全要求,尚应进行下列规定内容的计算分析:

1) 斜坡式护岸宜按现行有关行业标准的规定,计算或验算护面结构的稳定重量或厚度、护面结构的强度、岸坡整体稳定性等。

2) 直立式结构护岸宜按现行有关行业标准的规定,计算或验算抗滑稳定性、抗倾稳定性、基床和地基承载力、整体稳定性、构件内力及强度、构件的裂缝宽度、地基沉降、位移等。

3) 设有桩基的护岸,应计算桩基内力和桩基承载力,确定桩基

规格和桩长。

4) 当护岸邻近已有建筑物和设施时, 护岸设计应考虑护岸建成投入运行后对周边已有建筑物和设施的影响, 不应影响其结构安全。

5) 当护岸邻近已有建筑物和设施时, 护岸设计应考虑护岸施工对周边已有建筑物和设施的影响, 包括挤土、震动, 以及基槽开挖的影响, 不应影响周边已有建筑物和设施的结构安全。

6) 护岸墙后基槽回填设计应根据护岸结构尺度及对护岸整体稳定、渗透稳定、结构内力和变形的控制要求, 结合回填土料来源、回填作业条件、绿化种植需要等因素, 对回填土料、干密度、回填时机、排水要求、回填方法、施工顺序、回填速率和变形观测等提出要求。

(7) 护岸结构型式应根据河道断面型式、沿线岸坡挡土高度、工程地质等自然条件、施工条件、邻近建筑物和设施等环境条件, 以及工期、防汛、生态、环境协调等要求, 遵循技术可靠、经济合理的原则, 经论证确定。

#### **4.3.2 生态护岸构造型式**

(1) 生态护岸结构型式应根据自然条件、材料来源、使用要求和施工条件等因素, 经技术经济比较确定。

(2) 结构型式从构造上可分为: 直立式、斜坡式、下直上斜式、阶梯式、复合式、综合式等; 从结构分类上可分为: 护坡式、重力式、悬臂式、高桩承台式、墙体式等。本指南仅从生态护岸构造型式上分斜坡式或阶梯式、直立式、复合式及综合式。

(3) 典型的护岸结构构造型式及设计技术理念可参照下列要求:

### 1) 仿自然护坡的斜坡式或阶梯式结构型式

一般可采用木桩和特制的植物机床组成可抵挡水流、波浪冲刷及植物生存空间的结构，基本保持原有河道岸坡形态，保持相对稳定的原河道生态环境，并满足岸坡防护的要求。

结构型式示意图 4.1。

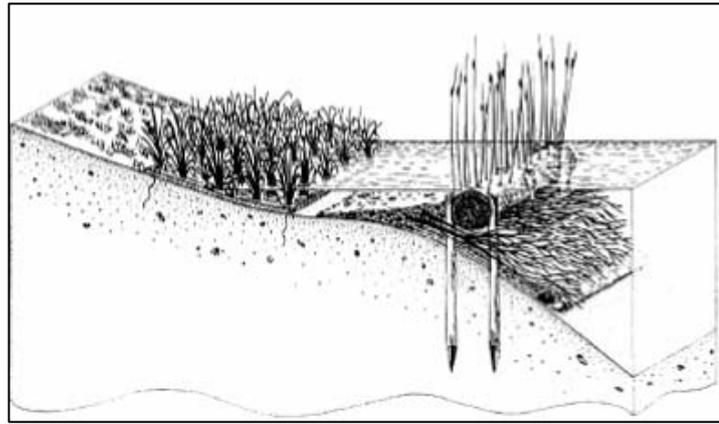


图 4.1 仿自然护坡的斜坡式或阶梯式结构型式示意图

### 2) 抛石防护的斜坡式结构型式

一般利用自然的卵石或块石，自然抛置成具有防护效果的结构层，抛石结构层可以直接在岸坡上形成，亦可在岸坡和其之间形成一定宽度的水域。利用抛石的自然缝隙保持水体与土体的相互涵养，并为生物提供生存的空间，同时满足岸坡防护要求。结构型式示意图 4.2。

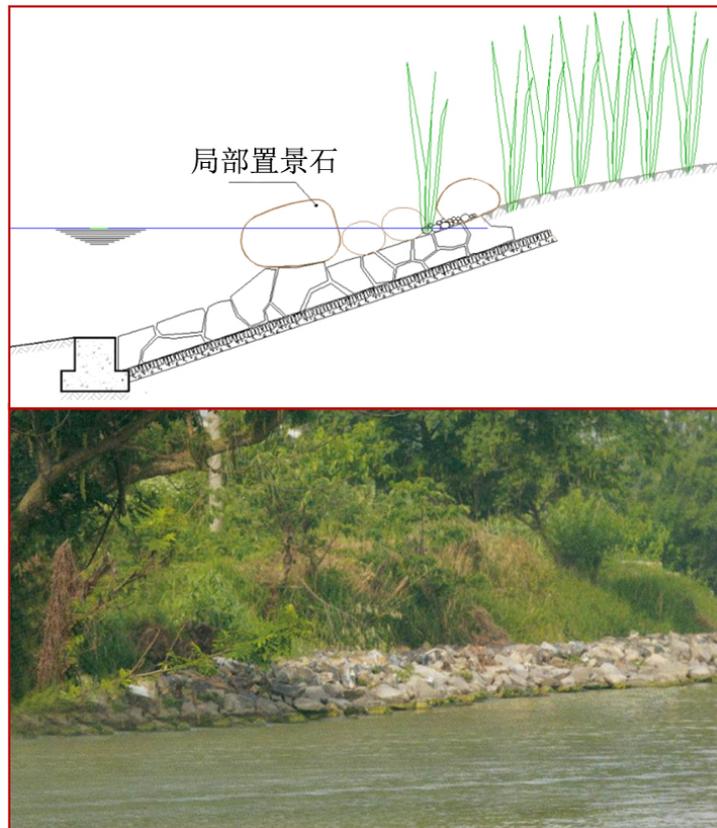


图 4.2 抛石防护的斜坡式结构型式示意图

### 3) 植草砌块、生态混凝土、石笼基床等阶梯式结构型式

利用植草空心砌块、生态混凝土（球、块、砖）、石笼基床等作为护面材料，错缝砌筑，形成斜坡或阶梯状，利用结构体抵抗水流或船行波对岸坡的冲刷，利用结构体本身及空心筒内的土壤为生物提供友好的生存空间，并满足水土相互涵养的需求，优化传统重力式护岸墙壁隔绝水土相互涵养的硬质界面。

结构型式示意图 4.3。



小型的抬升式、水沟式或悬挂式断面，创造局部适合水生植物生长的物理基础，恢复沿岸挺水植物，优化直立式护岸的岸边生态环境。

结构型式示意图见图 4.4、图 4.5。

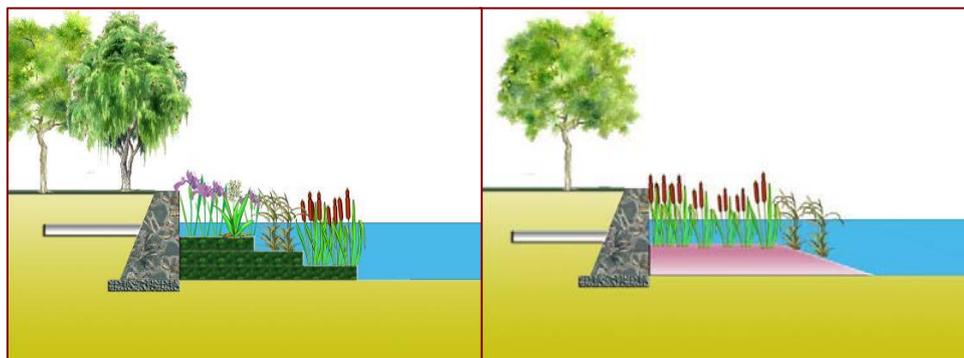


图 4.4 直立护岸墙前抬升式结构示意图

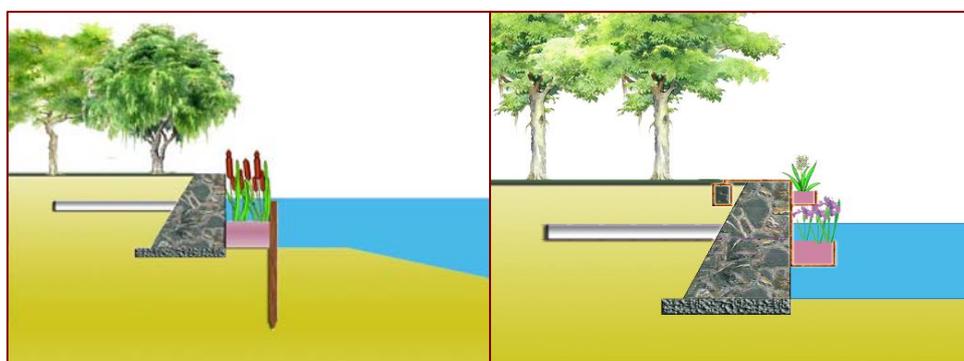


图 4.5 直立护岸墙前水沟式、悬挂式结构示意图

此外，对于不可避免采用直立式结构的护岸，可从护岸结构材料类型上采用新型砌块结构，提高护岸墙身的透空率和植物根系的生长空间，见图 4.6。



图 4.6 新型砌块挡墙结构示意图

### 5) 复合式结构型式

一般可分为下直上斜型、斜直斜式。在河道宽度受到限制的情况下，宜利用圆木桩、钢板桩或板式墙体等形成下部直立的防护结构，并可设置供水土相互交换和涵养的空隙，上部斜坡区域则采用仿自然护坡结构。当有条件改善直立式挡墙的高度，宜考虑斜直斜式结构，并宜通过开孔透水提升直立挡墙段的透水性，提供生态环境价值。

结构型式示意图见图 4.7、图 4.8。

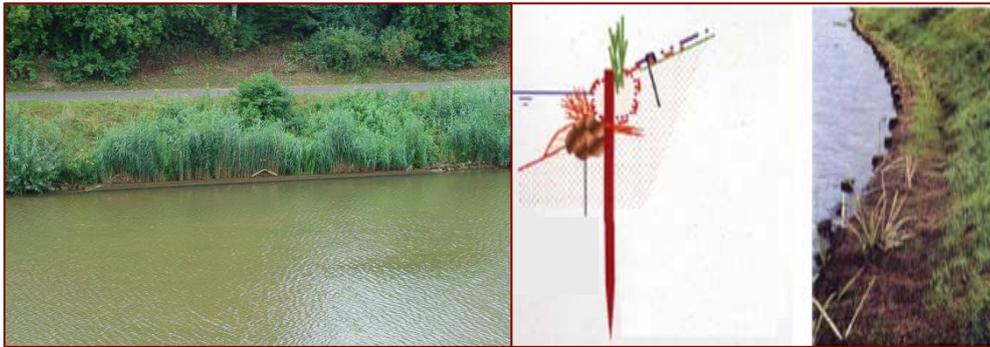


图 4.7 下直上斜式护岸结构示意图

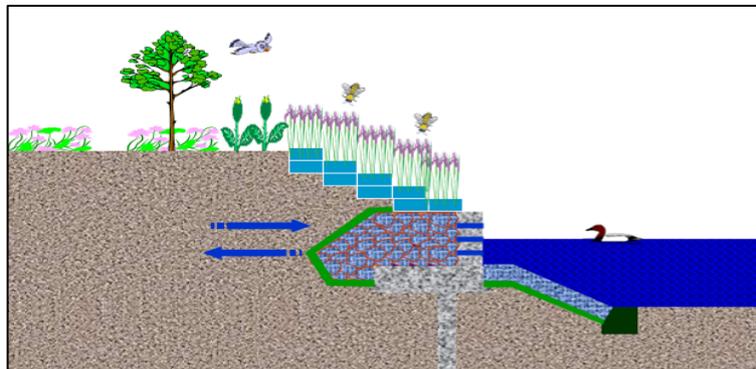


图 4.8 斜直斜式护岸结构示意图

### 6) 综合式结构型式

护岸结构主体一般由三部分组成：防护带、生态湿地（或水槽）带、仿自然岸坡带。防护带结构设计宜采用利于生物栖息的小型抛石堤、连排木桩等，结构顶高程一般在常水位以上 30cm 左右，尚应根据河道实际水位变幅进行综合分析确定。生态湿地（或水槽）带须适

应挺水植物、浮水/叶植物、亲水湿生植物的生长演替，提供生物栖息、产卵和繁殖的空间。仿自然岸坡带可由植物形成具有一定防护作用的自然型岸坡，营造水域到陆域的斜坡过渡环境，且满足水陆生态系统的自然衔接要求。

结构型式示意图 4.9。

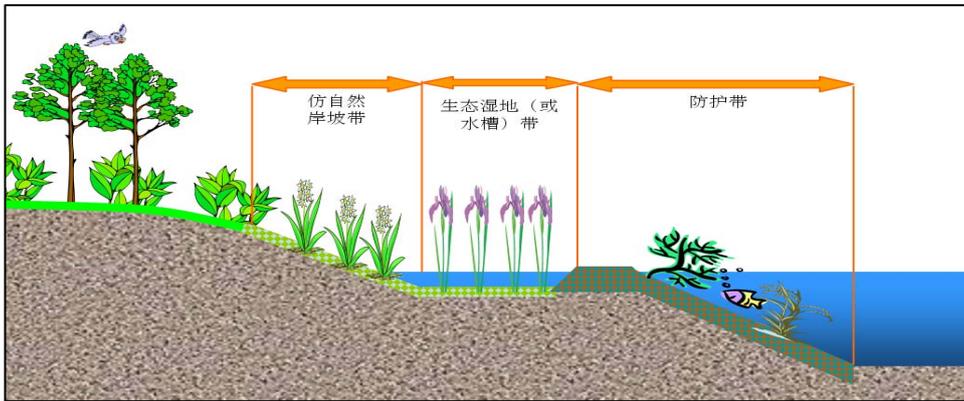


图 4.9 综合式护岸结构示意图

(4) 生态护岸的构造尺度、竖向设计高程、建筑材料使用要求及相关验收标准等应符合现行有关行业规范、标准的规定。

### 4.3.3 岸坡带植被修复设计

(1) 岸坡带植被修复设计宜遵循如下原则：

1) 生态学原则，主要包括生态演替规律、生物多样性规律、生态位原则等。在植物生态恢复的过程中宜根据生态系统自身的演替规律分步骤分阶段进行恢复，并根据生态位和生物多样性的原则构建生态系统结构和生物群落，达到水文、植被、生物的自然演替。

2) 景观性原则，在岸坡带生态修复过程中，宜自然美和人文景观和谐统一，营造一个舒适、优美的景观环境。

3) 亲水性原则，岸坡带的植物修复宜体现人们亲水的要求，以

满足人们亲水和赏景的要求。

(2) 河道岸坡带修复范围宜为设计高、低水位之间的岸边水域。设计高水位之上至河水影响完全消失为止的地带应进行适宜的植物修复，一般宜保证有 3~5m 的宽度范围。

(3) 植物栽种时间一般宜满足下列要求：

1) 一般陆生植物、球宿根植物的最佳种植时间为植物休眠期。

2) 水生湿地植物种植的最佳时间一般是春夏或初夏，设计时应考虑各种配置植物的生长旺季以及越冬时的苗情，防止在栽种后出现因植株生长未恢复或越冬植物弱小而不能正常越冬的情况出现。

3) 耐水性差的种类宜在生长期种植，耐寒性强的种类一般可在休眠期种植，耐寒性差的种类不宜在休眠期种植。

4) 低温或高海拔地区宜在生长期种植。

(4) 水生植物根据其生活方式和形态特征可分为沉水植物、浮水(叶)植物、挺水植物和湿生植物。河道有通航、行洪排涝的要求时，一般不宜在河道岸坡带修复沉水植物和浮水(叶)植物。岸坡带水生植物选则主要面向挺水植物和湿生植物。

(5) 水生植物的栽种水深一般宜满足下列要求：

1) 水深 > 110cm 时，除部分荷花品种外，不适宜其它挺水植物布置；

2) 水深 80-110cm 时，适宜布置的植物有荷花、芦苇等；

3) 水深 50-80cm 时，适宜布置的植物有芦苇、香蒲、水葱等；

4) 水深 20-50cm 时，适宜布置的植物有芦苇、香蒲、水葱、黄

菖蒲、旱伞草、梭鱼草等；

5) 水深 < 20cm 时，适宜生长的植物较多，除上述植物外还有千屈菜、长根草、薏苡等。

栽种水深示意图 4.10。

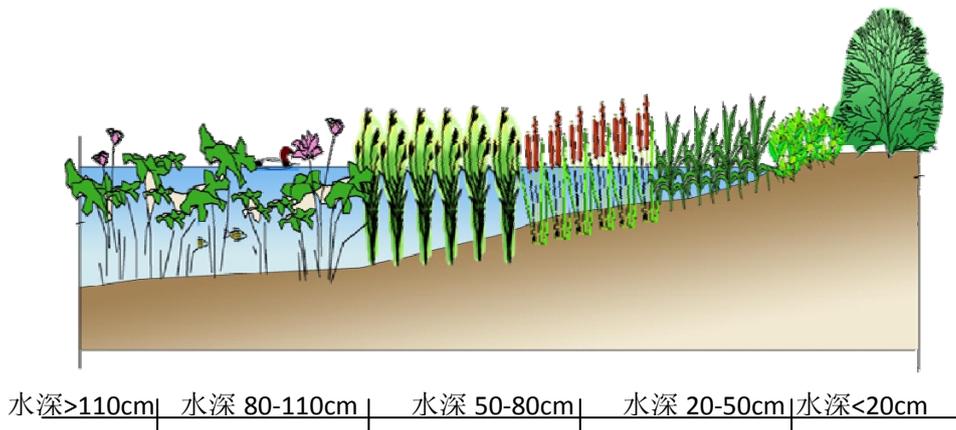


图 4.10 岸坡带植物栽种水深要求示意图

(6) 植物种植方式选择宜满足下列要求：

1) 挺水植物一般可以采用裸根幼苗移植、收割大苗的移植以及盆栽移植方法栽种，一般选择前两种。

2) 浮叶植物可采用先放浅水进行栽种，再逐渐加深的方法，如睡莲、荇菜、菱、中华萍逢草等。

3) 浮水植物（漂浮植物）一般采用打捞引种法，并注意控制生长范围，如大藻、槐叶萍、凤眼莲和浮萍。

(7) 植物种植密度的确定宜满足下列要求：

1) 植物种植的设计密度根据植物类型、生长特性、成活率等要求，按有关标准确定。

2) 一般情况下，若时间充裕，湿地植物施工密度可以适当小于

设计密度。

3) 分生能力强的植物一般可以稀植。种植密度从分蘖特性大致可分三类：一类是不分蘖，如慈姑；第二类是一年只分蘖一次，如玉蝉花、黄花鸢尾、德国鸢尾等；第三类是生长期内不断分蘖，如再力花、水葱等。针对不同的差别，种植密度可有小范围的调整。

(8) 植物品种的选择宜满足下列要求：

1) 岸坡带水生、湿生植物宜选择项目所在地区的适宜品种。一般情况下，岸坡带水深变化范围在 0~60cm，可选择芦苇、长根草、千屈菜、黄菖蒲、水葱、香蒲等植物。

2) 陆缘植物主要为乔、灌木，可根据河道所在地区的盐碱情况、土壤、地下水及项目建设要求，宜首先选择当地成熟品种，并考虑植物的耐水湿性，如杉科、杨柳科等物种。

3) 岸坡带的野生植被也可达到良好的护坡和生态效果，宜进行利用和自然恢复，维持野生植被的自然演替状态。

## 5 河道缓冲带构建技术

### 5.1 缓冲带构建及布置要求

#### 5.1.1 缓冲带构建原则

河道缓冲带构建宜遵循下列原则：

(1) 分类治理的原则，河道缓冲带的不同区段应根据地质、水文、土壤、植被及土地利用状况的差别，实行分类治理。

(2) “因地制宜、整体优化”的原则，河道缓冲带生态环境功能应考虑土地利用、经济投入等因素，因地、因类的优化组合，合理有效的确定其功能及其适用的恢复措施。

(3) “解决突出问题，重要功能优先”的原则，河道缓冲带宜充分考虑河流的主要环境功能和使用功能，突出解决主要问题，如：平原河岸带，工农业用水、旅游、渔业为主的河流，应重点考虑生态功能的修复；山区河道则宜重点考虑水土保持的功能修复。

(4) “可操作性、实用性、可持续发展”的原则，河道缓冲带的功能区确定宜充分考虑缓冲带修复工程的可实施性、实用性以及技术、经济的合理性，是否利于当地经济、环境的可持续发展。

(5) 便于管理的原则，河道缓冲带各功能区边界分类和确定时，应综合考虑土地的行政隶属关系和流域界线，便于地方管理。

(6) 充分结合河道蓝线及相关用地规划的原则，河道缓冲带布置应满足河道蓝线及陆域建筑物控制线规划的有关要求。当没有相关规划要求时，应充分结合地方有关用地规划，从土地综合利用、减少征地拆迁和耕地及农用地侵占、满足环境需求、经济可行和便于实施

等方面综合考虑，进行缓冲带总体布置。

### 5.1.2 河道缓冲带构建技术

河道缓冲带构建技术应充分考虑缓冲带位置、植物种类、结构和布局及宽度等因素，以充分发挥其功能，并满足下列要求：

(1) 缓冲带位置确定应调查河道所属区域的水文特征、洪水泛滥影响等基础资料，宜选择在泛洪区边缘。

(2) 从地形的角度，缓冲带一般设置在下坡位置，与地表径流的方向垂直。对于长坡，可以沿等高线多设置几道缓冲带以削减水流的能量。溪流和沟谷边缘宜全部设置缓冲带。

(3) 河道缓冲带种植结构设置应考虑系统的稳定性，设置规模宜综合考虑水土保持功效和生产效益。

(4) 植被缓冲区域面积占所保护的农业用地总面积比例宜为3%~10%。

(5) 河道缓冲带宽度确定应综合考虑净污效果、受纳水体水质保护的总体要求，尚需综合考虑经济、社会等其它方面的因素进行综合研究，确定沿河不同分段的设置宽度。

缓冲带宽度设置建议可参考图 5.1。

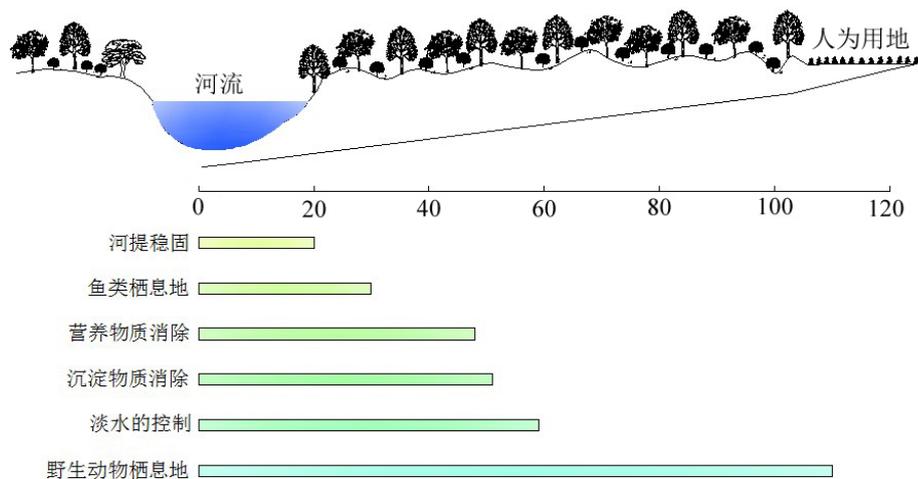


图 5.1 缓冲带宽度设置参考示意图

### 5.1.3 缓冲带的植物种类配置

(1) 河道缓冲带的植物种类配置及设计宜满足下列要求:

1) 缓冲带植物配置应具有控制径流和污染的功能，并宜根据所在地的实际情况进行乔、灌、草的合理搭配。

2) 宜充分利用乔木发达的根系稳固河岸，防止水流的冲刷和侵蚀，并为沿水道迁移的鸟类和野生动植物提供食物及为河水提供良好的遮蔽。

3) 宜通过草本植物增加地表粗糙度，增强对地表径流的渗透能力和减小径流流速，提高缓冲带的沉积能力。

4) 宜兼顾旅游和观光价值，合理搭配景观树种。

5) 经济欠发达地区，宜选择具有一定经济价值的树种。

(2) 河道缓冲带应防范外来物种侵害对缓冲带功能造成的不利影响，外来植物品种的引进应进行必要的研究论证。

(3) 河道缓冲带植物种类的设计，应结合不同的要求进行综合研究确定。不同植物种类对缓冲带作用的影响及对污染物的截流效果

可参考表 5.1、5.2。

表 5.1 不同植被类型对缓冲带作用的影响参考表

作用	草地	灌木	乔木
稳固河岸	低	高	中
过滤沉淀物、营养物质、杀虫剂	高	低	中
过滤地表径流中的营养物质、杀虫剂和微生物	高	低	中
保护地下水和饮用水的供给	低	中	高
改善水生生物栖息地	低	中	高
抵制洪水	低	中	高

表 5.2 不同植被类型缓冲带对污染物的截流效果参考表

实验植被类型	最佳植被类型	最佳植被截污效果
无植被带、芦苇带、芦苇与香蒲混合带	芦苇与香蒲混合带	对 COD、TN、TP 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率的周平均值分别为 31~62%、37~84%、30~65%和 34~31%
香根草+沉水植物、湿生植物+香蒲+芦苇	香根草+沉水植物	对 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 的去除率分别为 43.5%、71.1%和 69.3%
芦苇带、茭白带和香蒲带	芦苇带	对 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 的去除率分别为 43.7%、79.5%和 75.2%
农田、森林和草地	森林和草地	对 N 的截留转化率大于 80%

(4) 植物的种植密度或空间设计, 应结合植物的不同生长要求、特性、种植方式及生态环境功能要求等综合研究确定, 一般要求可参照如下:

- 1) 灌木间隔空间宜为 100 ~ 200cm;
- 2) 小乔木间隔空间宜为 3 ~ 6m;
- 3) 大乔木间隔空间宜为 5 ~ 10m;
- 4) 草本植株间隔宜为 40 ~ 120cm。

#### 5.1.4 缓冲带景观设计要求

景观设计宜以植物多样性为基础，构建稳定的、景观层次鲜明与优美的复合生态系统。其遵循原则：以自然景观为主；注重人工景观与自然景观的协调性；体现生态价值的景观美学。一般要求如下：

(1) 提出合适的景观功能定位；

(2) 空间及平面关系适宜，平面布局合理，与周边建（构）筑物协调，空间感觉自然舒适；

(3) 景观主线明确，苗木、小品、水体等设置合理；

(4) 方案和理念先进、适宜，关键部位节点突出，有代表性；

(5) 工艺科学经济，性价比高。

#### 5.2 缓冲带植物配置及栽种技术要求

##### 5.2.1 缓冲带植物配置原则

河道缓冲带植物配置应结合生态恢复、功能定位等要求进行综合分析，一般宜遵循如下原则：

(1) 适应性原则，植物配置应适应河道缓冲带的现状条件，且宜首先选择土著种，进行因地制宜布置。

(2) 强净化原则，宜选择对 N、P 等营养性污染物去除能力较强的物种。

(3) 经济性和实用性原则，宜选择在河流所在区域具有广泛用途或经济价值较高的生物种。

(4) 多样性或协调性原则，应考虑河道缓冲带生态系统的生物

多样性和系统稳定性要求，选择相互协调的物种。

(5) 观赏性原则，宜结合河道部分区段的观赏和休闲需要，综合考虑工程投资、维护管理方便、易于实施的要求，选择部分适宜的观赏性物种。

### 5.2.2 缓冲带植物栽种技术要求

(1) 河道缓冲带植物一般由林地、草地、灌木、混合植被和沼泽湿地等组成，不同植被类型配置应满足河道缓冲带的功能需求。一般情况下，河道缓冲带植物配置的要求可参照如下：

1) 植物恢复初期的建群种，宜选择具有较大生态耐受范围及较宽生态位的物种，以适应初期的生境状况。

2) 河道缓冲带植物群落破坏较为严重、生态位存在较多空白河段，宜进行人工恢复，引入合适的物种，填补空白的生态位，增加生物多样性，提供群落生产力。

3) 植物配置在水平空间格局和垂直空间格局上，应重视人工恢复和群落自然建立的结合。

4) 针对不同区域的特点，宜通过论证分析，进行生态型植物群落和经济型植物群落的结合布置。

5) 应对缓冲带土壤的 PH 值、盐碱度、疏松状态、透水性、肥沃性等进行分析，研究确定是否采取置换或回填种植土、施肥、浇水灌溉等要求。

(2) 河道缓冲带植物配置的一般程序可参照图 5.2。

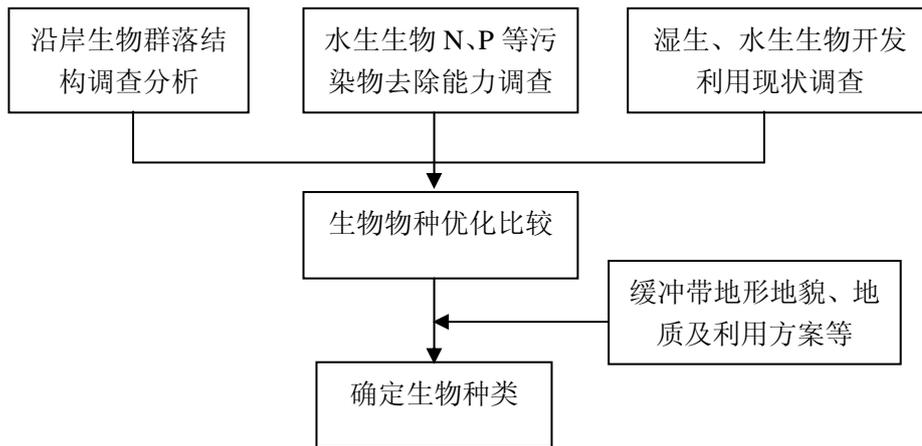


图 5.2 缓冲带植物配置一般流程参考示意图

(3) 河道缓冲带的植物栽种宜制定详细的栽种计划，确保植物种植满足设计要求。一般情况下，宜编制种植计划和进度表，乔木和灌木应在休眠期栽种。草本植物栽种宜结合成活率或草籽发芽要求，择时栽种或撒播草籽。

## 6 河道生态多样性修复

### 6.1 水生植物群落多样性修复技术

#### 6.1.1 适用范围

水生植物群落多样性修复适用流速缓慢、河岸带缓坡、水深小于1m、岸线复杂性高的河段。

#### 6.1.2 设计要求

基于物理基底设计，选择对应植物种类、生活型，设计植物群落结构配置、节律匹配和景观结构，实现净化功能。采用生境和生物对策，因地制宜，设计以挺水植被为主、沉水植被为辅，结合少量漂浮植被的全系列生态系统修复模式。

#### 6.1.3 工艺原理与技术参数

挺水植物选择河流所在区域常见植物，例如香蒲、芦苇，种植面积占2km河流岸带恢复区的水面20%，沉水植物选择不同季相的种类来恢复疏浚后的河流生态系统，约占恢复河段水面的10%，挺水植物一般以2-10丛/m<sup>2</sup>，沉水植物以30-100株/m<sup>2</sup>的密度种植。

#### 6.1.4 注意事项

注意恢复早期的水体光和流速的稳定；同时注意进行防浪隔离和鱼类隔离。

## 6.2 沉水植物优势种定植技术

### 6.2.1 适用范围

水生植物优势种定植技术适用流速缓慢、河岸带缓坡、水深小于1m、岸线复杂性高的河段。

### 6.2.2 设计要求

基于物理基底设计，选择对应沉水植物种类、生活型，设计优势物种结构配置、节律匹配（季节）和景观结构，实现稳定群落功能。采用生境和生物对策，因地制宜，设计定植优势物种的种类和生长期。

### 6.2.3 工艺原理与技术参数

定植物种密度参考环境优势种平均丰度；快速定植选取生长旺盛的种类，株高通常20-30cm，用固定物如石块、竹竿固定上部与底部，垂直插入水体底部基质中，待生长稳定后取出固定物。

### 6.2.4 注意事项

注意定植早期的水体光和流速的稳定；同时注意进行防浪隔离和鱼类隔离。

## 6.3 沉水植物模块化种植技术

### 6.3.1 适用范围

水生植物优势种定植技术适用流速缓慢、河岸带缓坡、水深小于1m、岸线复杂性高的河段。

### 6.3.2 设计要求

在沉水植物种植上，以集中种植最适宜，这样可以使种植的沉水植物形成一个群体，增强个体的存活能力。由于沉水植物物种的不同，因此在种植方式上存在草甸种植、播撒草种、扦插等工作方式，这些可以在优质土层回填时同步完成。

### 6.3.3 工艺原理与技术参数

采集肥沃湖泥、粘土及可降解纤维，按比例配制培养基质，并填入可拆卸模具中；将模具放入光照条件良好、可调节水位的小型水体中；培养基质中按一定密度种植植物种子，并随着生长高度适时调节水位，使其能快速生长，结成草甸。在沉水植物草甸种植上，先通过细绳将多块草甸联结在一起，通过河段两岸将绳索两端带入水体，分别向两个方向伸展，将草甸完全拉平后将两端固定，或者先将一端固定在水底，通过向另一端拉直，这样就完成了一条草甸的种植工作，然后再将其他草甸按照顺序种植。在草甸的联结间距及两条草甸间的间跟上，可根据种植密度的需要进行调整。在沉水植物扦插种植方式上，可一次扦插数十根水生植物，效率较高。在播撒草种的种植方式上，可直接播种在淤泥层上，这样可以避免草种可能悬浮在水体中而影响种植效率。

### 6.3.4 注意事项

注意模块化种植早期的水体光和流速的稳定；同时注意进行防浪隔离和鱼类隔离。

## 6.4 水生动物群落多样性修复技术

### 6.4.1 适用范围

适用流速缓慢、河岸带缓坡、水深小于 1m、岸线复杂性高的河段。

### 6.4.2 设计要求

水体生态水生动物的修复应当遵循从低等向高等的进化缩影修复原则去进行，避免系统不稳定性。当水体沉水植物生态修复和多样性恢复后，开展水系现存物种调查，首先选择修复水生昆虫、螺类、贝类、杂食性虾类和小型杂食性蟹类；待群落稳定后，引入本地肉食性的凶猛鱼类。

### 6.4.3 工艺原理与技术参数

底栖动物选择河流所在区域常见动物，投放面积占 2km 河流岸带恢复区的水面 10%，动物选择不同季相的种类，水生昆虫、螺类、贝类一般以 50~100 个/m<sup>2</sup>，杂食性虾类和小型杂食性蟹类以 5~30 个/m<sup>3</sup> 的密度投放。

### 6.4.4 注意事项

注意流速的稳定；同时注意进行防浪隔离和杂食性鱼类隔离。

## 7 河道水质净化技术

### 7.1 原位净化技术

#### 7.1.1 生物膜技术

##### (1) 一般生物膜技术

##### 1) 技术特点

生物膜技术结合河道污染特点及土著微生物类型和生长特点，培养适宜的条件使微生物固定生长或附着生长在固体填料载体的表面，形成胶质相连的生物膜。通过水的流动和空气的搅动，生物膜表面不断和水接触，污水中的有机污染物和溶解氧为生物膜所吸收从而使生物膜上的微生物生长壮大。

生物膜技术的优点：①对水量、水质的变化有较强的适应性。②固体介质有利于微生物形成稳定的生态体系，处理效率高。③对河道影响小。缺点：①滤料表面积小，**BOD** 容积负荷小。②附着于固体表面的微生物量较难控制，操作伸缩性差。

当前，国内用于净化河流的生物膜技术主要有弹性立体填料-微孔曝气富氧生物接触氧化法、生物活性炭填充柱净化法、悬浮填料移动床、强化生物接触氧化等技术。

##### 2) 设计要求

##### ①污染河道中污染物的生物可利用性分析

污染环境中污染物的种类、浓度、存在形式等都是影响微生物降解性能的重要因素。不同的污染物对微生物来说具有不同的可利用性，例如自然界中存在的绝大多数有机污染物都可以被微生物利用并

降解，而大部分人工合成的大分子有机污染物不能够被微生物利用并降解。重金属在污染环境中往往以不同的形式存在，其不同的化学形态对微生物的转化和固定都会产生很大的影响。

## ② 生物载体选择—生物填料

在生物膜法中，填料作为微生物赖以栖息的场所是关键因素之一，其性能直接影响着处理效果和投资费用。生物填料的选择依据是：附着力强、水力学特性好、造价成本低等。理想的填充材料应该是具有多孔及尽量大的比表面积、具有一定的亲疏水平衡值。

## 3) 工艺原理与技术参数

借助于挂膜介质，当有机废水流过介质表面时，微生物在其表面生长繁殖，形成生物膜。当污染的河水经过生物膜时，污水和滤料或载体上附着生长的菌胶团开始接触，菌胶团表面由于细菌和胞外聚合物的作用，絮凝或吸附了水中的有机物，与介质中的有机物浓度形成一种动态的平衡，使菌胶团表面既附有大量的活性细菌，又有较高浓度的有机物，成为细菌繁殖活动的适宜场所。由于这种有利条件，菌胶团表层的细菌迅速繁殖，很快消耗水中有机物。整个膜处于增长、脱落和更新的生态系统。微生物的生长代谢将污水中的有机物作为营养物质，从而使污染物得到降解。另外，在生物膜上还可能大量出现丝状菌、轮虫、线虫等，从而使生物膜净化能力大大增强。

## 4) 维护管理

① 河道水体要有充足的溶解氧（可以结合曝气复氧技术），供异养菌及硝化菌等微生物生长。

②水体混合要较充分，以持续不断地提供生物所需的基质(有机物)，曝气复氧既可以提升 DO 水平，也可推动水流，使污染物与膜上微生物充分结合。

③水体对生物膜要有适当的冲刷强度。一方面不宜过大或者过小，既利于微生物在生物填料表面的挂膜，又可保证生物膜的不断更新以保持其生物活性。

④培养降解效率高的土著菌种的培养，在河道中创造出其生长的适宜环境，并进行诱导、激活、培养，使之成为优势菌种，有效降解污染物。

## (2) 碳素纤维生态草

### 1) 技术特点 (适用范围)

碳素纤维 (Carbon Fiber, 简称 CF) 是一种碳含量超过 90% 的无机高分子纤维，经过表面处理后具有高吸附性、生物亲和性、优异韧性与强度，对微生物有高效的富集、激活作用，能吸引多种水生生物构建生态卵床，改善和恢复水生态环境<sup>[1-4]</sup>。

碳素纤维生态草技术的优点：①通过改善水生境恢复水体自然健康环境，无二次污染，对水体无任何负影响；②微生物粘合速度快，粘合量多且粘合微生物不易剥离，微生物活性高；③在水中分散性强，传质效果好，能促进污浊物质的吸附、分解、释放，脱氮除磷效果显著；④原位修复，具有永久性，与浮岛技术结合，景观效果与修复效果双重结合；⑤对蓝藻爆发具有一定的控制效果，能显著改善水体透明度，利于其它水生动植物的繁殖生长<sup>[6]</sup>；⑥安装方便，运行管理简

单，材质稳定，使用寿命长。缺点：①材料加工制造困难，投资费用偏高；②对于封闭性水体、水位变化大、波浪大的水体需要其它辅助技术和设备配合碳素纤维生态草使用；③对于间歇性排水，具有干涸期的河道碳素纤维生态草修复技术维护管理难度较大。

## 2) 设计要求

### ①河流所在区域的自然条件分析

调查工程实施地的水文气象资料，区域的人口密度、工业、农业、土地利用等情况，水体的社会服务功能、水利规划等信息。分析水域的污染负荷，区域水生动、植物的生物多样性，评估水生动、植物生息状况。

### ②水体污染特点分析

分析河流的污染类型，是黑臭河流或富营养化河流。分析水体溶解氧、生物化学需氧量、总氮、总磷等指标，尤其是水体的可生化降解性、溶解氧、有毒有害物质种类及含量等。通过多种污染参数指标确定水体污染状况，分析水体污染物类型与特征，指导碳素纤维生态草的工艺参数选定和选择合适辅助技术。

### ③河道水流动力特征状况分析

分析河流水流动力学特征和规律，选择合适的设置方法、设置量，指导安装和确定碳素纤维生态草的布置结构与方式。

### ④根据水体修复目标和功能与其他技术组合

根据治理水体的改善程度及目标要求，确定不同的目标指标项目。根据水质改善目标和区域水体的服务功能等要素确定工程实施地

点及净水区域等事项。根据水体服务功能，如排洪、景观、饮用水等不同功能配置相关的辅助技术。如通过浮岛技术达到美观的效果，通过设置阻拦带进行消浪，通过铁碳纤维微电极污水处理方法强化污水降解效果和脱磷效果。

### 3) 工艺原理与技术参数

碳素纤维材料具有很大的比表面积来捕捉污染物，附着的有益微生物群能够快速形成生物膜将污染物进行吸收、降解和转化。碳素纤维因高弹性而具有的形状维持能力和由于纤维生物膜在水中摆动而形成的很强的污染物捕捉和分解效果。

碳素纤维利于水生生物的生长，有着良好的生物亲和性，鱼类可以在碳素纤维周围产卵，碳素纤维可成为鱼类隐蔽的藏身地，是良好的栖息场所，还是水生植物的良好着床基，在促进植物多样性以及利用海藻类净化水质等方面有积极作用。

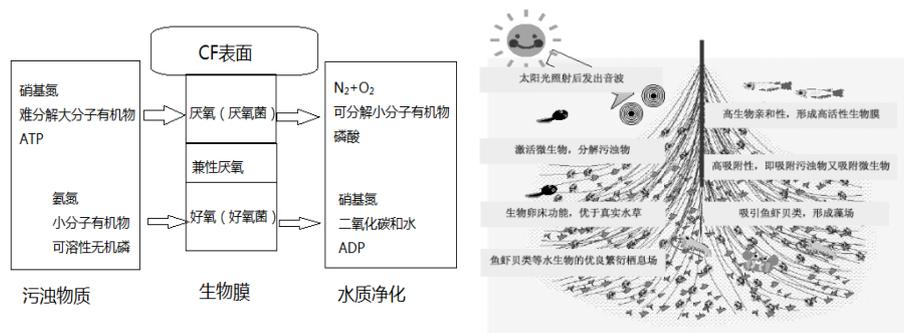


图 7.1 碳素纤维生态草水质净化与生态修复原理示意图

碳素纤维生态草设置量与使用场合、单位处理污染负荷、设置场所（河道、封闭水系等）、水域形状、水深、水质、流速、滞留时间、净化效率等因素有关。水质净化效果要求越高，则碳素纤维的设置比例越大。



图 7.2 碳素纤维生态草布置方式

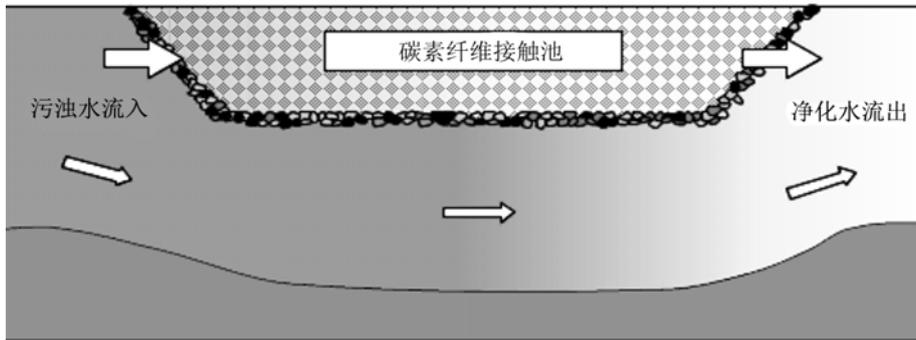


图 7.3 碳素纤维生态草直接净化示意图

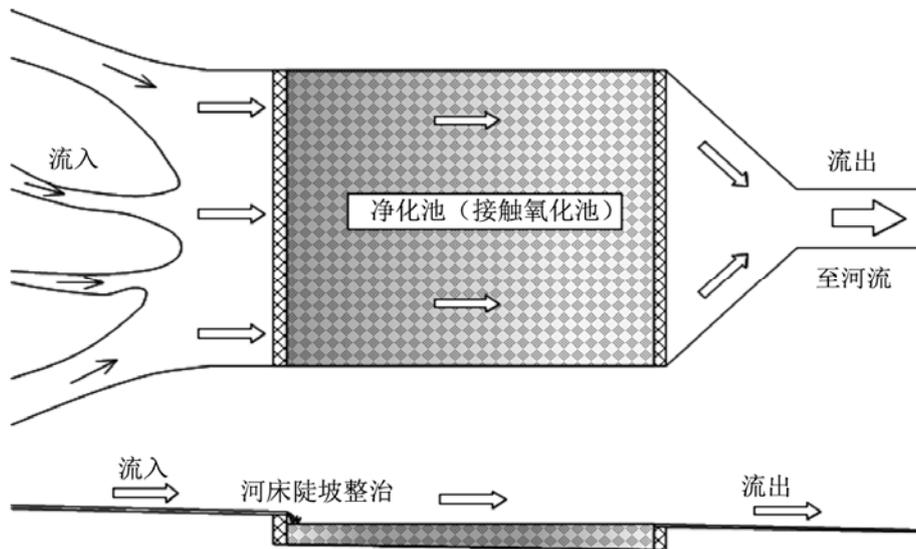


图 7.4 碳素纤维生态草流入水净化设置方式示意图

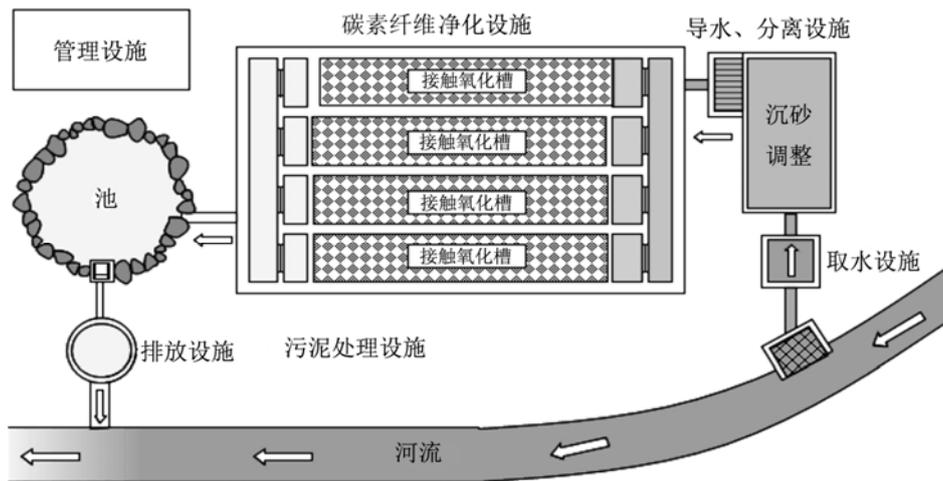


图 7.5 碳纤维生态草分离式净化设置方式示意图

#### (4) 维护管理

①在微生物少的环境可通过外界加入微生物菌提高处理效果。

②在缺氧的环境中需要适当的曝气增氧，提高生物膜的处理能力。

③在封闭水体无水流的情况下，因为无法充分接触污浊物质而不能净化，需要增加循环水流。

④维护过程中应避免材料缠结以及防止材料露出水面干化。

### 7.1.2 曝气增氧技术

#### (1) 技术特点

人工曝气复氧是指向处于缺氧(或厌氧)状态的河道进行人工充氧，增强河道的自净能力，净化水质、改善或恢复河道的生态环境。该技术具有设备简单、机动灵活、安全可靠、见效快、操作便利、适应性广、对水生生态不产生任何危害等优点，非常适合于城市景观河道和微污染源水的治理。但河流曝气增氧—复氧成本较大。

#### (2) 设计要求

### 1) 水体需氧量的计算

需氧量主要取决于水体的类型、水体目前的水质以及河道治理的预期目标，计算方法主要有组合推流式反应器模型、箱式模型和耗氧特性曲线法。

### 2) 曝气设备充氧量及设备容量的确定

机械曝气设备的主要技术参数是以动力效率[以  $\text{kgO}_2/(\text{kw}\cdot\text{h})$ 计]，根据校正计算得到的氧转移速率与设备的动力效率来确定设备的总功率和数量；鼓风曝气设备的设备容量可参考污水处理工程设计手册中的相关内容进行计算。

### 3) 曝气设备的选型

根据需曝气河道水质改善的要求(如消除黑臭、改善水质、恢复生态环境)、河道条件(包括水深、流速、河道断面形状、周边环境等)、河段功能要求(如航运功能、景观功能等)、污染源特征(如长期污染负荷、冲击污染负荷等)的不同，一般采用固定式充氧站和移动充氧平台两种形式。

固定式充氧站主要分为鼓风曝气、纯氧曝气和机械曝气 3 种形式。当河水较深，需要长期曝气复氧，且曝气河段有航运功能要求或有景观功能要求时，一般宜采用鼓风曝气或纯氧曝气的形式，即在河岸上设置一个固定的鼓风机房或液氧站，通过管道将空气或氧气引入设置在河道底部的曝气扩散系统，达到增加水中溶解氧的目的。而当河道较浅，没有航运功能要求或景观要求，主要针对短时间的冲击污染负荷时，一般采用机械曝气的形式，即将机械曝气设备(多为浮桶

式结构)直接固定安装在河道中对水体进行曝气,以增加水体中的溶解氧。

移动式充氧平台是在不影响航运的基础上,在需要曝气的河段设置可以自由移动的曝气增氧设施,主要用于在紧急情况下对局部河段实施有目的的复氧。目前使用最多的是曝气船。

此外,曝气设备的选择还需要考虑如何消除曝气产生的泡沫、与周周环境相协调等因素。

表 7.1 各种河道曝气充氧设备的特性比较

曝气设备类型	组成	优点	缺点	适用范围
鼓风机—微孔布气管曝气系统	鼓风机 微孔布气管系统	氧转移速率较高	① 布气管安装工程量大,维修困难,对航运有一定的影; ② 鼓风机房占地面积大,投资大,运行噪声较大,影响周围居民的生活	郊区不通航河道
纯氧—微孔布气管曝气系统	氧源 微孔布气管	① 不需建造专门的构筑物,占地面积小;②系统无动力装置,运行费用小,运行可靠,无噪声;③ 安装方便,不易堵塞;④ 氧转移率高	对航运有一定的影响	不通航河道
纯氧—混流增氧系统	氧源 水泵 混流器 喷射器	① 氧转移率高;②可安置在河床近岸处,对航运的影响较小		既可用于固定式充氧站,也可用于移动式水上充氧平台
叶轮吸气推流式曝气器	电动机 传动轴 进气通道 叶轮	①安装方便、调整灵活;②漂浮在水面,受水位影响小;③基本不占地;④ 维修简单方便	① 叶轮易被堵塞缠绕;②影响航运;③会在水面形成泡沫,影响水体美观	不通航河道
水下射流曝气设备	潜水泵 水射器	①安装方便;② 基本不占地	维修较麻烦	不通航河道
叶轮式增氧机	叶轮 浮筒 电机	①安装方便;②基本不占地	① 产生噪音;②外表不美观	多用于渔业水体,尤适用于较浅的水体

### (3) 工艺原理与技术参数

河流曝气技术是根据河流受到污染后缺氧的特点,利用自然跌水(瀑布、喷泉、假山等)或人工曝气对水体复氧,促进上下层水体的混合,使水体保持好氧状态,以提高水中的溶解氧含量,加速水体复氧过程,抑制底泥 N、P 的释放,防止水体黑臭现象的发生。恢复和增强水体中好氧微生物的活力,使水体中的污染物质得以净化,从而改善河流的水质。

### (4) 维护管理

1) 根据河道的实际特征得出需氧量,进而确定曝气设备的容量、运行方式、季节最优化组合等。

2) 可分阶段制定水体改善的目标,然后根据每一个阶段的水质目标确定所需的曝气设备的容量,而不必一次性备足充氧能力,以免造成资金、物力、人力上的浪费。

3) 对于城市中的河道,为了配合城市景观的建设,可以充分利用水闸泄流、活水喷池等方式增氧。

4) 要充分考虑河流曝气增氧——复氧成本,结合太阳能曝气治理技术,加速氧气的传质过程,增加水中溶氧量,从而保证水生生物生命活动及微生物氧化分解有机物所需的氧量,实现水体的生态修复,并达到节能和减排的目的。

## 7.1.3 生态浮床技术

### (1) 技术特点

生态浮床是指将植物种植于浮于水面的床体上,利用植物根系直

接吸收和植物根系附着微生物的降解作用有效进行水体修复的技术。

生态浮床技术优点：1) 充分利用我国广阔的水域面积，将景观设计与水体修复相结合；2) 可选择的浮床植物的种类较多，载体材料来源广，成本低，无污染；3) 浮床的浮体结构新颖，形状变化多样，不受水位限制，不会造成河道淤积。

但生态浮床仍存在一些问题和不足：1) 不易进行标准化推广应用；2) 现有生态浮岛难以推行机械化操作；3) 生态植物的补种与清理较难。

## (2) 设计要求

生态浮床是绿化技术与漂浮技术的结合体，一般由四个部分组成，即浮床框架、植物浮床、水下固定装置以及水生植被。

### 1) 设计原则

根据不同的目标、水文水质条件、气候条件、费用，进行浮床的设计，选择合适的类型、结构、材质和植物。浮床的设计必须综合考虑以下 5 个因素：

①稳定性：从浮床选材和结构组合方面考虑，设计出的浮床需能抵抗一定的风浪、水流的冲击而不至于被冲坏。

②耐久性：正确选择浮床材质，保证浮床能历经多年而不会腐烂，能重复使用。

③景观性：考虑气候、水质条件，选择成活率高、去除污染效果好的观赏性植物，能给人以愉悦的享受。

④经济性：结合上述条件，选择适合的材料，适当降低建造的成

本。

⑤便利性：设计过程中要考虑施工、运行、维护的便利性。

除此之外，可以考虑浮床技术和其他技术的组合，如生态浮床和削减波浪设备的组合，如消浪栅、消浪排等，缓解水流、风浪对浮床的冲击，保证浮床能在广阔的湖面、风浪较大的区域得以应用。考虑生态浮床可与填料、曝气等技术组合，提高整个浮床的处理效率。

## 2) 大小和形状

一块浮床的大小一般来说边长 1~5 m 不等，形状以四边形居多，也有三角形、六角形或各种不同形状组合起来的。以往施工时单元之间不留间隙，现在趋向各单元之间留一定的间隔，相互间用绳索连接，这样做①可防止由波浪引起的撞击破坏；②可为大面积的景观构造降低造价；③单元和单元之间会长出浮叶植物、沉水植物，丝状藻类等，成为鱼类良好的产卵场所、生物的移动路径。

## 3) 材料

①浮床框体。要求坚固、耐用、抗风浪，目前一般用 PVC 管、不锈钢管、木材、毛竹等作为框架。

②浮床床体。目前主要使用的是聚苯乙烯泡沫板。此外还有将陶粒、蛭石、珍珠岩等无机材料作为床体。

③浮床基质。目前使用的多为海绵、椰子纤维等。

④浮床植物。需要满足以下要求：适宜当地气候、水质条件，成活率高，优先选择本地种；根系发达、根茎繁殖能力强；植物生长快、生物量大；植株优美，具有一定的观赏性；具有一定的经济价值。目

前经常使用的浮床植物有美人蕉、芦苇、荻、水稻、香根草、香蒲、菖蒲、石菖蒲、水浮莲、凤眼莲、水芹菜、水雍菜等。在实际工作中要根据现场气候、水质条件等影响因素进行植物筛选。

#### 4) 人工浮床的水下固定设计

水下固定形式要视地基状况而定，常用的有重量式、锚固式、杭式等。另外，为了缓解因水位变动引起的浮床间的相互碰撞，一般在浮床本体和水下固定端之间设置一个小型的浮子。

### (3) 工艺原理与技术参数

工艺原理：一方面，利用表面积很大的植物根系在水中形成浓密的网，吸附水体中大量的悬浮物，并逐渐在植物根系表面形成生物膜，膜中微生物吞噬和代谢水中的污染物成为无机物，使其成为植物的营养物质，通过光合作用转化为植物细胞的成分，促进其生长，最后通过收割浮床植物和捕获鱼虾减少水中营养盐；另一方面，浮床通过遮挡阳光抑制藻类的光合作用，减少浮游植物生长量，通过接触沉淀作用促使浮游植物沉降，有效防止“水华”发生，提高水体的透明度，其作用相对于前者更为明显。同时浮床上的植物可供鸟类栖息，下部植物根系形成鱼类和水生昆虫生息环境。

#### (4) 维护管理

1) 浮床植物的管理与收获：对生长不好的植物进行补种，在植物枯萎之前对其地上部分进行不同强度的收割。

2) 浮床支架的稳定与修缮：对支架进行定期的检查，将不稳定的支架进行加固，更换掉老旧的支架。

#### 7.1.4 其它技术

##### (1) 物理技术

###### 1) 人工打捞

人工打捞的主要对象是水体内的藻类、树叶、枯草、垃圾等。打捞的目的是消除水体污染源，具有造价低、见效快的特点。

###### 2) 引水稀释

通过外调水提高河道的自净能力、冲刷河道内污染物，改善河道水质，但该方法需要耗费大量优质水资源，因而不适合于水资源相对紧张地区。

###### 3) 底泥处理

底泥疏浚的主要目的是去除底泥所含的污染物（水体中的 N、P 及重金属等），清除污染水体的内源，减少底泥污染物向水体的释放。底泥污染控制技术主要分为异位控制技术和原位控制技术。原位控制技术具有就地解决、不占地、节省费用的特点，主要包括底泥疏浚、底泥覆盖、底泥自然恢复、底泥固化等方法。底泥处理工程的实施需要根据处理对象河流的特点，分析各种方法的利弊，合理选择处理方法，避免二次污染。

疏浚技术在一定程度上取得了较为明显的效果，但总体来说存在以下几个主要问题：①成本高。②疏浚过深将会破坏原有的生态系统。③疏浚底泥的后续处理问题。

##### (2) 化学絮凝

化学絮凝处理技术是一种通过投加化学药剂去除水层污染物以

达到改善水质的污水处理技术。对严重污染的水体如黑臭水体的治理，化学絮凝处理技术的快速和高效显示其一定的优越性。但是化学絮凝处理的效果容易受水体环境变化的影响，且必须顾及化学药物对水生生物的毒性及对生态系统的二次污染，这种技术的应用有很大的局限性，一般作为临时应急措施使用。

### (3) 生物-生态修复技术

生物-生态方法包括生物修复技术和水生植被恢复工程。这类技术主要是利用微生物、植物等生物的生命活动，对水中污染物进行转移、转化及降解，最大程度地恢复水体的自净能力，使水质得到净化，重建并恢复适宜多种生物生息繁衍的水生生态系统。这类技术具有处理效果好、工程造价相对较低、不需耗能或低耗能、运行成本低廉，同时不用向水体投放药剂，不会形成二次污染等优点，同时可以与绿化环境及景观改善相结合，创造人与自然相融合的优美环境。

## 7.2 异位净化技术

### 7.2.1 旁路多级人工湿地技术

#### (1) 技术特点

旁路多级人工湿地即指湿地修建在河道周边，利用地势高低或机械动力将河水部分引入湿地净化系统中，污水经净化后，再次回到原水体的一种处理方法。优点：投资费用低，建设、运行成本低；处理过程能耗低；污水处理效果稳定可靠；污水处理系统的组合具有多样性和针对性，减少或减缓外界因素对处理效果的影响；可以和城市景观建设紧密结合，起到美化环境作用，改善相邻地区的景观。缺点：

受气候条件限制较大；设计，运行参数不精确；占地面积相对较大；容易产生淤积、饱和现象；对恶劣气候条件抵御能力弱；净化能力受作物生长成熟程度的影响大。

## （2）设计要求

### 1) 湿地结构

人工湿地结构上分为垂直潜流、水平潜流和表面流 3 种，在采用人工湿地对河水污染进行治疗时，如果建造面积有限，可优先选择对于总氮、总磷等去除较好的垂直潜流和水平潜流人工湿地；如果可使用面积较为宽松，可选择表面流人工湿地。

### 2) 湿地的构成

人工湿地污水处理系统由预处理单元和人工湿地单元组成。预处理单元包括双层沉淀池、化粪池、稳定塘或初沉池。多级人工湿地可由一个或多个个人工湿地单位组成。每个湿地单元包括配水装置、集水装置、基质、防渗层、水生植物及通气装置等。

### 3) 人工湿地的设计规范

按照环境保护部《人工湿地污水处理工程技术规范》进行人工湿地设计，包括水力停留时间、表面有机负荷、表面水力负荷、水力坡度等。

### 4) 植物的选择

一般来说，选择植物要注意的几个原则是：①净化能力强，耐污能力和抗寒能力强，对不同的污染物采用不同的植物种类；②选择在本地适应性好的植物，最好是本地原有植物；③植物根系发达，生物

量大；④抗病虫害能力强；⑤所选的植物最好有广泛用途或经济价值高；⑥易管理，综合利用价值高。

在湿地设计中一般参照所选植物的根系深度来确定池型深度。

### 5) 填料的选择

在填料选择的过程中，充分利用当地的自然资源，选择廉价易得的多级填料，常见的有砾石和废弃矿渣等。为解决堵塞问题，湿地基质一般采取分层装填，进水端设置滤料层拦截悬浮物。

## (3) 工艺原理与技术参数

### 1) 人工湿地的主要设计参数，见表 7.2

表 7.2 人工湿地的主要设计参数

人工湿地类型	BOD5 负荷 (kg/hm <sup>2</sup> .d)	水力负荷 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	水力停留时间 (d)
表面流人工湿地	15 ~ 50	<0.1	4 ~ 8
水平潜流人工湿地	80 ~ 120	<0.5	1 ~ 3
垂直潜流人工湿地	80 ~ 120	<1.0 (建议值: 北方: 0.2 ~ 0.5; 南方: 0.4 ~ 0.8)	1 ~ 3

### 2) 人工湿地规模

潜流人工湿地规模即几何尺寸设计，应符合下列要求：a) 水平潜流人工湿地单元的面积宜小于 800 m<sup>2</sup>，垂直潜流人工湿地单元的面积宜小于 1500 m<sup>2</sup>；b) 长宽比宜控制在 3:1 以下；c) 规则的潜流人工湿地单元的长度宜为 20 m ~ 50 m。对于不规则潜流人工湿地单元，应考虑均匀布水和集水的问题；d) 水深宜为 0.4 m ~ 1.6 m；e) 水力坡度宜为 0.5% ~ 1%。

表面流人工湿地规模应符合下列要求：a) 长宽比宜控制在 3:1 ~ 5:1，当区域受限，长宽比 > 10:1 时，需要计算死水曲线；b) 水深宜为 0.3 m ~ 0.5 m；c) 水力坡度宜小于 0.5%。

#### (4) 维护管理

1) 加强冬季强化处理，在实际河水处理中，通过改进湿地结构和优化曝气设备，可为冬季湿地运行时提高溶解氧量，保证硝化作用的进行。此外，为了防止冬季湿地内植物释放已经吸收了的污染物，可以通过在植物枯萎之前对其地上部分进行收割的方法来降低冬季湿地出水污染物含量。

2) 综合生态工程技术，以人工湿地处理为核心部分，加入生态浮床、生态护坡以及生物塘等多种生态技术，作为人工湿地处理的预处理或出水稳定部分，使河水污染物净化系统更为稳定。

3) 注重生态景观效应，由于工程建设的地点是在河道水体与其周边环境之中，故必须要考虑到工程实施对河流上下游生态环境的影响。注意施工地点的选择，景观的设计。在景观考虑上，可以生态公园或花园的方式实现观赏休闲性，体现人与自然的和谐。

### 7.2.2 分段进水生物接触氧化技术

#### (1) 技术特点

分段进水生物接触氧化技术在多级分段进水的情况下，将传统的生物接触氧化法与 A/O 工艺相结合，形成短时缺氧与好氧交替的流程。通过调整各段进水流量比率、气水比、水力停留时间等参数，有效去除 COD 及脱氮除磷，河水得到净化后排放至原河道下游。可作为旁路处理系统，因地制宜地建设于河岸带，能适应来水和气候条件的大幅度波动，耐冲击负荷；适用于受有机污染较为严重河流的旁路分流处理，能有效消除河水的黑臭现象，且不产生大量的有机淤泥，

对有机碳和氮、磷都有较好的去除效果。

## (2) 设计要求

生物接触氧化法由接触氧化池和沉淀池两部分组成，可根据进水水质和处理效果选用一级接触氧化池或多级接触氧化池。接触氧化工艺可单独应用，也可与其他处理工艺组合应用。按照环境保护部《生物接触氧化法污水处理工程技术规范》的要求进行面积负荷、容积负荷、填充比、气水比、循环流速、接触时间、需氧量、填料比表面积等设计参数的计算。

### 1) 填料选择

生物接触氧化池应根据进水水质和处理程度确定总生物量，依据填料附着生物量确定填料品种，依据池型、流态和施工安装条件等选择填料类别。填料应选择对微生物无毒害、易挂膜、比表面积较大、空隙率较高、氧转移性能较好、机械强度较大、经久耐用、价格低廉的材料。不同类型的填料可组合应用。

### 2) 曝气设备选型

悬挂式填料宜采用鼓风式穿孔曝气管、中孔曝气管，悬浮填料宜采用穿孔曝气管、中孔曝气管、射流曝气管、螺旋曝气管。

## (3) 工艺原理与技术参数

接触氧化技术是一种好氧生物膜法工艺。接触氧化池内设有填料，部分微生物以生物膜的形式固着生长于填料表面，部分则是絮状悬浮生长于水中。因此它兼有活性污泥法与生物滤池二者的特点。接触氧化工艺中微生物所需的氧通常由机械曝气供给。生物膜生长至一

定厚度后，近填料壁的微生物将由于缺氧而进行厌氧代谢，产生的气体及曝气形成的冲刷作用会造成生物膜的脱落，并促进新生膜的生长，形成生物膜的新陈代谢。

#### (4) 维护管理

1) 生物接触氧化池应根据进水水质和处理程度确定采用一段式或多段式。

2) 生物接触氧化池的填料应具有对微生物无毒害、易挂膜、质轻、高强度、抗老化、比表面积大和空隙率高的特性。

### 7.2.3 前置库技术

#### (1) 技术特点

前置库技术是指在受保护的湖泊水体上游支流，利用天然或人工库塘拦截暴雨径流，通过物理、化学以及生物过程使径流中的污染物得到去除的技术。在面源污染控制中，前置库技术可以充分利用当地特有的地形特点，有效解决面源污染的突发性、大流量等问题，对减少外源有机污染负荷，特别是去除地表径流中的氮、磷安全有效，而且费用较低，可以多方受益，适合多种条件，是目前防治河道面源污染的有效途径之一。

#### (2) 设计要求

##### 1) 选址要求

①因地制宜，选择适宜区域，如沟渠、小河、水塘或低洼地等进行改造。②在汇水区域，径流易于收集，并且距离入湖河流、入湖河口较近，排水便利。③所涉及的河网水系流向相对清晰。

## 2) 前置库系统的规模设计

根据汇水量的计算设计前置库的库容和库区面积。

## 3) 前置库系统的结构设计

①植物选择原则为以当地的土著物种为主，宜于在当地生长；对 N、P 等有机物有较好的去除能力；易收获，有一定的经济价值；不会产生不良的后果，如泛滥成灾，引起二次污染等。②在三维空间内充分发挥物理、化学、生物过程对污染物的净化作用，以提高对 N、P 的去除效率；③污染控制与综合利用相结合，实现环境效益与经济效益的统一，便于长效管理。

### (3) 工艺原理与技术参数

前置库技术，是利用水质浓度变化梯度特点，根据水库形态，将水库分为一个或者若干个子库与主库相连，通过延长水力停留时间，促进水中泥沙及营养盐的沉降，同时利用子库中大型水生植物、藻类等进一步吸收、吸附、拦截营养盐，改善水质。发挥多种水生植物联合净化作用，考虑水生动物作用，采用复合生物浮床技术，引进生物操纵的概念，构建以食物链为核心的(水生、陆生)生态系统。治理污染同时，回收资源、固定能源。

一般的前置库通常由三部分构成，即拦截沉降系统、强化净化系统和导流回用系统。

①拦截沉降系统：利用入湖/库河口，加以适当改造，在引入全部或部分地表径流的同时，通过泥沙及污染物颗粒的自然沉淀，结合系统内的水生植物有效吸收去除底部沉淀物中的营养物质，从而达到

初步净化水体水质的效果。

②强化净化系统：通过砾石床过滤、植物滤床净化、深水区强化净化、岸边湿地建设等系统进一步沉降粒径较小的泥沙、氮磷污染物。

③导流回用系统：通过设置控制闸门，防止连续大雨或暴雨期间库区暴溢，超过设计暴雨强度的径流通过导流系统流出，从而不会影响水体净化处理效果，最大限度去除截留的面源污染物，同时处理后的水可进行回用。

#### （4）维护管理

1) 定期清淤：前置库工程的沉降系统为主要的淤积部位，需要定期进行清淤，清淤频度为2年一次。其他净化区清淤视实际淤积情况，3-5年清淤一次。

2) 库区水生生态系统维护：对水生植物和鱼、螺类和蚌等水生动物进行定期维护。主要工作为及时收集和清理水生植物和动物残体，保持前置库良好的水环境和自然景观。

3) 绿化景观的维护：为景观设计和绿化改造而种植的草坪和各种花草树木，需要定期进行维护。

### 7.2.4 砾石床技术

#### （1）技术特点

与相近的人工湿地技术相比，砾石床具有以下特点：①无需动力提升，节省了提升系统的投资，还可以抬升河道水位，使得后续的处理单元处于自流状态，保证了整个系统的连续运行，减少能耗，特别适合平原河网地区无动力河道生态修复工程，每年可节省大量电费；

②砾石床的可控渗流是在当地的气象水文资料基础上进行设计的，渗流的周期与降雨的规律相吻合，自动完成湿干周期，可以连续运行，无需人工湿地的复氧过程，降低了后期运行的管理难度，节省了管理费用；③砾石床筑坝材料的渗透系数一般都比人工湿地大，所以径流在床体内的流动通畅，可以充分地植物根系接触，使得水力特性得到了改善，同时也大大降低了堵塞的风险，通过反冲洗等处理措施，可以保证连续运行。

## （2）设计要求

砾石床的设计包括可控渗流和净化效果两部分。可控渗流主要涉及透水坝的渗流计算、坝体结构、渗透系数等；净化效果主要涉及径流在透水坝中的停留时间、筑坝材料、植物等。

应用渗流力学中的渗流方程和达西定律，结合砾石床的水流方式进行，表面流和潜流可以用矩形模型和梯形模型来计算，垂直流用垂直流模型来计算，进行砾石床的几何尺寸、渗流量、停留时间等参数的推导，并确定砾石的级配和床体结构、植物的种类等。

考虑到与砾石床的基建成本，构筑材料可以选用石灰石，不推荐使用沸石（价格昂贵），也不推荐使用煤渣（质轻、涵水性能差）。砾石床的植物应选用根系发达、株秆粗壮、枝叶茂盛的种类。推荐使用美人蕉、香蒲、香根草、菖蒲，再力花，芦苇。

## （3）工艺原理与技术参数

砾石床是采用人工湿地的原理，用砾石在河道中适当位置人工垒筑床体，抬高上游水位，通过控制上下游水位差调节床体的过水流量。

在床体上种植高效脱氮除磷植物，通过植物的根系及砾石吸附、微生物作用去除河流中的营养物质。

砾石床的技术参数见表 7.3。

表 7.3 砾石床的技术参数表

名称	砾石床		
	高锰酸盐指数	TN	TP
进水浓度/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	5~15	1~4	0.05~0.20
去除率/ (%)	5~10 (5)	10~50 (20)	20~40 (30)
停留时间/ (hr)		2~5	
水力负荷/ ( $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )		0.50~5.50	
植物密度/ ( $\text{株}\cdot\text{m}^{-2}$ )		50~100	
单位面积脱氮量/ ( $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ )		0.3~1.2	
单位面积除磷量/ ( $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ )		0.02~0.08	

\*括号内数值为推荐的设计去除率

砾石床建设过程中要注意：①适宜砾石床种植植物的选择和栽培；②床体内高效脱氮除磷菌的筛选和培育；③堵塞问题；④砾石床渗流模型的建立以及设计流程、设计规范的建立。

#### (4) 维护管理

1) 植物根系生长、砾石表面生物膜生长以及泥沙沉降容易是的砾石床发生堵塞，因根据实际情况定期进行反冲洗。

2) 对砾石床体上的植物进行维护和收割，避免植物的二次污染并减少砾石床的堵塞现象。

## 8 维护与管理

### 8.1 维护与管理的总体原则

河道生态修复按照“调查-规划-设计-施工-维持管理”的技术路线，应将维护与管理纳入整个河道生态修复实施方案中。

在全面把握自然环境、景观、历史及文化等方面的基础上，对河道生态修复实施方案工程前后进行全过程管理。

河道生态修复工程的维护与管理不仅在施工结束时，宜在明确生态修复目标的基础上，进行长期的监测、维护与管理。

建立维护与管理的长效运行机制，明确责任主体及其维护管理职责。

建立公众参与与监督机制，提高公众参与水平与环保意识。

### 8.2 主要修复工程的维护与管理

(1) 河道形态、护岸维护与管理的主要内容一般包括河道岸线功能的保持、护岸结构的观测和保养、生态护岸的植物保护、防止人为破坏、垃圾清理等。

(2) 河道形态、护岸维护与管理的一般要求如下：

1) 对河道开展岸线布局重新调整、岸线功能转化或其它改变河道岸线形态的活动，应通过河道及环保主管部门的审查或审批，并应遵守国家法律、法规和相关技术标准的规定。

2) 在河道岸边新建房屋、道路和其它临河设施等，不得占用已确定的河道岸线保护范围，破坏河道岸线形态。

3) 对已实施的生态护岸及其植物，应对护岸的防护功能、植物

的生长情况进行定期的观测，观测周期宜为每季度一次。根据观测的情况，对确定需要进行保养维修的岸段进行护岸及植物维护，以确保护岸满足安全和稳定的要求，并确保植物生长状况良好。

(3) 河道形态、护岸维护与管理的方法可从法律方法、行政主管部门的职责履行及专业养护工作三方面开展，一般要求如下：

1) 以法律和地方法规的形式，明确河道岸线的保护范围和内容，通过法律、法规禁止擅自进行岸线重新调整、功能转化或其它改变河道岸线形态的活动；

2) 确定行政主管部门的职责，对河道岸线形态、功能及生态护岸建筑物的技术状况进行定期检查，对受损坏的建筑物进行必要的维修，对功能明显存在缺陷的建筑物或植物进行局部改善。

3) 行政主管部门可安排专业养护人员，或采取委托专业公司社会化管理的形式，进行专门的维护管理。

(4) 河道基底维护与管理的主要内容一般包括河道断面尺度的保持、防止挖砂或采石等人为破坏河床基底的活动，以及禁止一切向河道内排污的行为等。

(5) 河道基底维护与管理的一般要求如下：

1) 对河道开展功能（通航、防洪等）调整、河道断面尺度改造、河道疏浚开挖等活动，应通过河道及环保主管部门的审查或审批，并应遵守国家法律、法规和相关技术标准的规定。

2) 对影响河道基底生态环境健康的排污、采砂、取土、取石等活动，应严格禁止。特殊情况下，需进行专门的论证，确定相关活动

对河道生态环境破坏在允许的范围内，并经河道及环保主管部门的审查或审批通过，方可按相关要求实施。

3) 布设相应的水文观测设施，应对河道的水文、泥沙、水下地形、滩涂等进行定期的观测和测量，及时掌握相关的情况，并制定相应的维护方案。

4) 水文观测应根据河道维护管理要求，进行水位、流量、流速、流态和泥沙等水文测验，及时掌握河床的冲淤情况及浅滩、边滩、沙洲等变化情况。

(6) 河道基底的维护管理方法可从法律方法、行政主管部门的职责履行及专业观测工作三方面开展，一般要求如下：

1) 以法律和地方法规的形式，明确河道基底的保护范围和内容，通过法律、法规禁止擅自进行河道功能及尺度调整、疏浚、开挖、排污、采砂、取土、取石等活动；

2) 确定行政主管部门的职责，由相应的行政主管部门布设河道水文观测设施，对河道的水文、泥沙、水下地形、滩涂等进行定期的观测和测量，形成长效观测和数据成果管理。

3) 行政主管部门可安排专业公司进行定期的水下地形测量，或对水文观测设施及数据进行管理，以及定期检查非法排污、采砂等活动，并及时将有关信息或成果反馈给相关主管部门，相关主管部门应针对有关情况制定有效的解决措施，落实维护管理工作。

(7) 岸坡带植物维护与管理的主要内容一般包括植物残体的收获处理、植物病虫害防治、防止人为破坏、定期垃圾清理等内容。

(8) 岸坡带植物维护管理的一般要求如下:

1) 当湿地植物长到一定大小时, 应及时将枯萎的湿地植物残体进行收割, 以保证湿地系统的良好运行状态, 同时防止大量的腐烂植物残体对水域造成二次污染。

2) 植物在生长过程中容易滋生病虫害, 应进行防治。但是在病虫害防治时, 不能引入新污染源, 如农药等化学剂, 应尽量采取绿色防治方式进行。

(9) 岸坡带植物维护管理的一般方法及要求如下:

1) 挺水植物一般采用地上部分收割的方式进行管理, 留下必要的生存根茎, 保证翌年春季的发芽。

2) 浮水(叶)植物生长迅速、繁殖速率较高时, 宜进行及时的收割和清捞, 保持一定的植物密度以维持净化效果。

3) 病虫害的绿色防治方式可采用物理方法诱杀害虫, 如灯光诱杀、粘虫板诱杀等; 亦可考虑应用一些生物农药或植物性农药, 如微生物农药、植物提取物等; 也可在病虫害发生初期及时收割植物地上部分; 根部发病时应及时拔除。

4) 配置必要的维护管理工人进行日常的管理, 如垃圾清理、植物收割补种等。

5) 加强宣传教育, 设置必要的宣传标志标牌, 提高区域内居民对生态治理工程的理解和认识, 加强生态环保意识, 自觉参与到生态环保工程的保护行动中, 减少人为破坏和干扰。

(10) 河道缓冲带维护与管理的主要内容一般包括植物的生长控

制、生态系统完整性及健康程度、植物病虫害防治、人为侵占破坏、定期垃圾清理等内容。

(11) 河道缓冲带维护管理的一般要求如下:

1) 河道缓冲带应维持原生生态系统的完整性, 不应破坏当地原有的生态环境, 且需辅助河道生态系统向有序、健康的方向发展。

2) 缓冲带植被生长应具有适当的通达性, 以方便水生及陆生动植物的迁移、交流, 并宜兼顾人类亲近河道、亲近自然的要求。

3) 缓冲带宜维持生态价值和经济价值的平衡, 不宜追求其中之一而改变缓冲带的设计功能目标。

4) 宜采用界碑明确河道缓冲带的保护范围。

5) 严格控制人类经济和社会活动占用缓冲带的保护范围, 制定适宜的度量限制标准, 明确缓冲带范围内的人类活动限度。原则上不应在缓冲带范围内扩建生活用地设施, 或将生活用地变性为生产和商业用地。

6) 管理行为及方式应有利于河道缓冲带生态系统向有序、健康的方向发展。

7) 应定期对河道缓冲带内的植物进行收割、清理、优化, 辅助河道缓冲带的生态系统趋于完善。

(12) 河道缓冲带维护管理的一般方法及要求如下:

1) 以法律和地方法规的形式, 明确河道缓冲带的范围和保护内容, 河道缓冲带范围内, 可通过法律、法规禁止下列行为:

新建公共基础设施以外的建筑物、构筑物;

挖砂、取土、采石等；

堆放废弃物、倾倒垃圾；

擅自砍伐树木、毁坏花草；

擅自截流引水；

建房、建窑、建坟。

使用剧毒、高残留农药、含磷洗涤剂及不可降解塑料制品等有害物质。

2) 明确河道缓冲带的行政主管部门，安排专门的责任人。

3) 行政主管部门可自行安排专业养护人员，或采取委托专业公司社会化管理的形式，进行专门的维护管理。

## 9 投资估算

### 9.1 投资估算的一般要求

(1) 根据主体专业设计的阶段和深度，结合行业的特点，以及编制单位所掌握的国家及地区、行业或部门相关投资估算基础资料和数据合理、可靠、完整程度，采用合适的方法进行建设项目投资估算。

(2) 应做到工程内容和费用构成齐全，计算合理，不重复计算，不提高或者降低估算标准，不漏项、不少算。

(3) 应充分考虑拟建项目设计的技术参数和投资估算所采用的估算系数、估算指标在质和量方面所综合的内容，遵循口径一致的原则。

(4) 所采用的估算系数和估算指标价格、费用水平应与项目建设所在地及投资估算编制年的实际水平一致。

(5) 投资估算精度应满足控制初步设计概算要求，并尽量减少投资估算的误差。

### 9.2 投资估算的主要方法

#### 9.2.1 估算指标法

估算指标法以独立的建设项目、单项工程或单位工程为对象，综合项目全过程投资和建设中的各类成本和费用，反映出其扩大的技术经济指标，具有较强的综合性和概括性。投资估算指标分为建设项目综合指标、单项工程指标和单位工程指标三种，一般规定如下：

(1) 建设项目综合指标一般以项目的综合生产能力单位投资表示，如元/吨；

(2) 单项工程指标一般以单项工程生产能力单位投资表示如：  
元/平方米；

(3) 单位工程指标按规定应列入能独立设计、施工的工程项目  
的费用，即建筑安装工程费用。例如：管道区别不同材质、管径以元  
/米表示。

(4) 估算指标在使用过程中应根据不同地区、不同时期的实际  
情况进行适当调整，因为地区、时期不同，设备、材料及人工的价格  
均有差异。

(5) 估算指标法精确度相对比概算指标法低，主要用于初步可  
行性研究阶段，可行性研究阶段也可采用。

### 9.2.2 概算指标法

概算指标法以成套设备装置或整个建筑物或构筑物的建筑面积、  
体积为计量单位而规定的人工、材料、机械台班的消耗量标准和造价  
指标。

采用这种方法需要详细的工程量资料、材料价格和工程费用指  
标，工作量较大，相对准确度较高。

一般建设项目估算主体工程应尽量采用概算指标法进行投资估  
算。

### 9.3 投资估算的主要内容组成

(1) 投资估算主要包括建设投资、建设期利息等内容。

(2) 建设投资包括建筑安装工程费、设备及工器具购置费、工  
程建设其他费用、基本预备费及涨价预备费。其中，建筑工程费、设

备及工器具购置费、安装工程费直接形成实体固定资产，被称为工程费用。

(3) 工程建设其他费用是指建设投资中除建筑工程费、设备购置费、安装工程费以外的，为保证工程建设顺利完成和交付使用后能够正常发挥效用而发生的各项费用。按其内容大体可分为三类：第一类是建设用地费用；第二类是与项目建设有关的费用；第三类是与项目运营有关的费用。

#### 9.4 投资估算的编制步骤

投资估算的编制步骤一般如下：

- (1) 分别估算建筑工程费、设备购置费和安装工程费。
- (2) 汇总建筑工程费、设备购置费和安装工程费，得出分装置的工程费用，加总得出项目建设所需的工程费用。
- (3) 在工程费用的基础上估算工程建设其他费用。
- (4) 以工程费用和工程建设其他费用为基础估算基本预备费。
- (5) 在确定工程费用分年投资计划的基础上估算涨价预备费。
- (6) 汇总求得建设投资。
- (7) 根据项目建设贷款使用情况，估算建设期利息。

#### 9.5 投资估算编制

投资估算章节内容编制一般应含工程概况、编制范围、编制依据、编制说明及投资估算表等，一般规定及内容如下：

##### (1) 工程概况

概述工程概况，汇总工程方案主要内容和主要工程量（含征地、

拆迁)。

## (2) 编制范围

编制范围一般包括工程费用、工程建设其它费用、预备费及建设期贷款利息。

## (3) 编制依据

简要说明投资估算编制所依据的国家有关规定、定额及计费标准、设备价格及地方材料价格的取定依据，相关工程与其他工程的取费标准等。建设项目投资估算编制依据是指编制投资估算时需要计量、价格确定、工程计价有关参数、率值确定的基础资料，主要包括以下几个方面：

- 1) 国家、行业和地方政府的有关规定；
- 2) 工程勘察与设计文件，图示计量或有关专业提供的主要工程量和主要设备清单；
- 3) 行业部门、项目所在地工程造价管理机构或行业协会等编制的投资估算指标、概算指标(定额)、工程建设其他费用定额(规定)、综合单价、价格指数和有关造价文件等；
- 4) 类似工程的各种技术经济指标和参数；
- 5) 工程所在地的同期的人工、材料、机械市场价格，建筑、工艺及附属设备的市场价格和有关费用；
- 6) 政府有关部门、金融机构等部门发布的价格指数、利率、汇率、税率等有关参数；
- 7) 与项目建设相关的工程地质资料、设计文件、图纸等。

#### (4) 编制说明

列出编制工程投资估算需要说明的问题，一般包括以下内容：

- 1) 主要人工、材料、机械价格计取说明；
- 2) 工程费用计算说明；
- 3) 工程建设其他费用计算说明；
- 4) 预备费及建设期贷款利息计算说明。

#### 5、投资估算成果

投资估算成果为投资估算表。以某工程为例，见附表。

# 附件 国内外案例分析

## 一 国内河流案例

### 1 生态堤岸构建工程—大理苍山灵泉溪生态环境保护与清水入湖示范工程

#### (1) 生态堤岸工艺介绍

该项目中河道两岸主要采用生态堤岸修复工艺，生态护岸采用了孔隙率为 15% ~ 30% 的多孔生态混凝土。生态混凝土是由低碱度水泥、粗骨料、保水材料等按照特殊工艺制成的混凝土，具有一定的抗压强度以及多孔的结构和巨大的比表面积，使得生态混凝土表面适宜富集微生物及生长绿色植物，为岸边植物提供相应的生存空间，同时为微生物提供栖息附着场所。

#### (2) 生态堤岸建设工程设计

硬质堤岸生态建设分为 2 部分，生态堤岸建设 A 段和生态堤岸建设 B 段，各段起止点分别为：大风路—银桥中学东侧小桥、银桥中学东侧小桥—河口。工程设计采用生态混凝土堤岸形式对两侧堤岸进行生态建设，工程建设总长度 5.4km。

##### 1) 生态堤岸建设 A 段（村落、学校型）

生态堤岸建设 A 段（见下图）的堤岸周边紧邻村落和学校，可利用地的宽度较小，本段堤岸建设总长度为 1.8km。

工程在河道北侧堤岸内侧堆放袋装土，并在袋装土表面铺设单排生态混凝土球，坡比为 1:1；部分拆除河道南侧堤岸，按照坡比 1:1

建设生态堤岸，岸坡种植湿生草被，河堤护脚使用混凝土桩，在其中填充袋装土，种植挺水植物香蒲、芦苇、菖蒲，片植规格 5000mm × 500mm。芦苇株高 60cm，种植密度 25 棵/m<sup>2</sup>；香蒲株高 50-60cm，种植密度 20 棵/m<sup>2</sup>；菖蒲株高 50cm，种植密度 40 棵/m<sup>2</sup>。

岸坡播撒小型植物黑麦草，拦截周边入河污染物，河道内自然恢复沉水植物，使其成为微生物、水生植物与动物的生存场所，改善周边水体的水质。

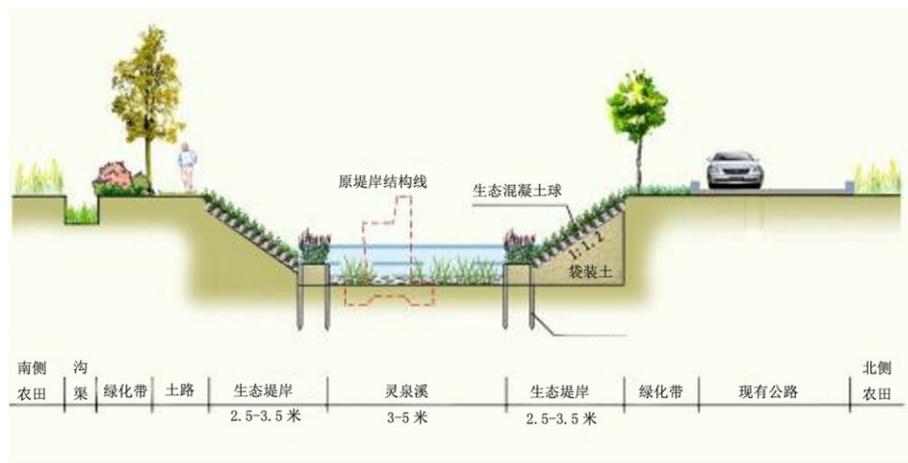


## 2) 生态堤岸建设 B 段（土路型）

生态堤岸建设 B 段（见下图）河道南侧周边紧邻乡村土路，本段堤岸建设总长度为 3.6km。

工程保留河道北侧堤岸结构，并在北侧堤岸内部加建生态混凝土堤岸，坡比 1:1.2；拆除河道南侧浆砌石堤岸，并向南侧拓宽 4 米，利用现有绿化带和部分土路，建设生态堤岸。生态堤岸打破河道堤坝平直僵硬的形式，堤岸外移使河道更为宽阔，且改造后的河道断面两侧坡度相同，过水断面大于原有河道断面。

堤岸底部使用混凝土桩做框架，在其中填充袋装土，表面种植挺水植物香蒲、芦苇、菖蒲，片植规格 5000mm × 500mm。芦苇株高 60cm，种植密度 25 棵/m<sup>2</sup>；香蒲株高 50-60cm，种植密度 20 棵/m<sup>2</sup>；菖蒲株高 50cm，种植密度 40 棵/m<sup>2</sup>。岸坡表面播撒小型草类植物，河道内自然恢复沉水植物。



## 2 小河流生态修复组合技术—北方季节性河流生态修复示范工程

### (1) 工程概况

该河流为季节性乡村小型河流，故径流随季节变化较大，平水期径流量很小，降雨期径流量很大，河流的水源补给主要是自然降雨和上游净水厂的废水以及教育基地内的生活污水。

修复工程主要由四部分构成，即：河岸修复区的护岸工程、河岸带修复工程、河床上的溢流堰工程、人工湿地构建工程。河流修复工程自上游到下游主要由以下几部分组成：单排木桩区（100m）、湿地区（沿河长 100m）、双排木桩区（200m）、小湿地区（50m）、三排木桩区（230m）、抛石区（320m）以及 10 个溢流堰共同组成，并根据土地实际征用情况（南侧农地、北侧公路）尽量最大化保留更多的河

岸带，在河床上随机安放抛石，增加水流活力，并布置 10 个溢流堰形成深水域，以保持枯水期河流的水体连续性，同时增加河流的弯曲度以延长水流在河道内的滞留时间。

## (2) 工程内容

### 1) 木桩护岸设计

在河流的土质岸坡采用萌芽或不萌芽的木桩，以 30-50cm 间距并排打入土中，用来固定不稳定的土质河岸，改善坡度，防止水土流失，创造利于植物生长的环境。其中木桩排距 1-3m，每根木桩直径 5-8cm，长 90-120cm，地上保留 2/3，间距 10cm。该工法（见下图）主要应用在凸出的河岸和非水流直接作用的直线段，静水或溪流流速较低（即低于 3m/s）的情况。当水流最高值达 4m/s，则考虑添加抛石稳固木桩，为植物提供稳定的生长基盘，也为昆虫、鱼类、两栖提供生存和繁殖的环境。



### 2) 河岸带设计

河岸带设计一方面对原有河岸带边界进行界定，划清河岸带与南侧农地及北侧公路之间的用地范围，将河岸带用地上的玉米篓子、茅厕、柴堆等转移到其他地方，并保证河岸带的宽度不受农地和居民堆

积物的二次侵占；另一方面则是在河岸带其余土地上铺种紫花苜蓿，作为草本先锋种以实现早期的河岸防护，不仅稳固河岸土壤，防止降雨对土质河岸的侵蚀，还可为河岸生物提供多样的生境。河岸带修复效果见下图。



### 3) 河床设计

河床设计基于近自然的修复理念，采用人工堆放自然抛石，借助水流自然冲刷的方式来恢复浅滩—深潭结构，为不同水生生物提供多样性的栖息环境，同时也有利于河岸植被的演替。

该工程理念基于北方季节性河流的特殊需求而设置溢流堰，从而实现下述功能：

功能一：其透水性结构能够实现对水流的部分拦截，形成具有一定水深的水体，增加降水在河流内的停留时间，减缓雨季降水的快速入库，从而实现自然降水向生态用水和景观用水的转换。此外，考虑到河流的连续性，这样的结构也避免了河流内出现明显断流，保障了河流的连续性，同时形成高低落差水面，营造了水流活力，有利于生物多样性的提高。

功能二：形成较宽的水迹线和一定深度的水体为两栖类和鱼类提

供了适宜的生境。

功能三：鉴于国内河流内经常有垃圾堵塞河流，修复河段最上游和最下游的两个溢流堰将垃圾进行了有效的截留，提高了后期河流管理的工作效率。

## 二 国外河流案例

### 1 河滨带修复案例-日本小田川河滨带修复工程

#### 1.工程概况

小田川多自然型河流建设工程是“家乡河流示范工程”的一部分。在约 2.1 km 的改造河段中，重点为下游 500m 河道的河岸建设。具体方法是，将左岸枯水河床护岸岸线后移在平缓倾斜的河床上抛石，形成随水位变化而变化的具有水、陆两种生态环境的过渡带。施工中，在提高河岸防洪能力的同时，借助水流作用，形成自然的水边形态，而不对过渡带的水陆交界线进行人为设定。

#### 2.主要修复工程

##### 1) 过渡带位置的确定及对泥沙淤积的预测

为避免河水冲刷，在确定过渡带位置和规模时，查看了 1955 年以来历年的航拍照片，掌握了河道的主泓线、顶冲部位及泥沙淤积等多年演变规律。研究显示，洪水会带来泥沙淤泥，为确保过渡带的水循环和渗透，维持其湿润状态，采用抛石法解决泥沙淤积问题。

##### 2) 建造枯水河床护岸

用 2t 左右的巨石建造的干砌石枯水河床护岸。石材的尺寸可能

有些大，但考虑到洪水流量，不得不慎重。所用石材为施工河段附近出产的细方石。护岸施工结束后，选择适宜植物移植的季节，在巨石的缝隙间插种小田川产的柳树条。

### 3) 抛石

在过渡带和干流河床间，沿水流方向抛石。适当降低抛石工程上游进水口处的顶部工程，以使过渡带内的水位能随干流水量变化而变化。

### 4) 确保水循环及湿润状态的措施

在计划进行抛石的河床附近，按不等距离设置保证水循环的桩式格栅下铺碎石。

### 5) 改造植物生长的河岸

为改善植物的生长条件，在枯水河床护岸上覆盖弃土。同时，在河岸各处设置巨石，以利生物栖息和藏身。刚完工时极为显眼的巨石随着植物的生长，逐渐被掩映在草丛中。但在河滩上放置的巨石还是显得有些不自然，因此，今后设置巨石要慎重。

## 3.施工前后的变化

### 1) 底质及泥沙



左图是建造过渡带时的河道状况。已在对岸进行了护岸施工，但

河床中央到左岸间，淤积有大量阻碍过水的泥沙（1991年5月）。右图是竣工约2年后的过渡带。主流线向右岸偏移，被沙洲分成2汉的河水，从过渡带旁蜿蜒流过（1995年5月）。

## 2) 草本植物的复原状况



左图为施工后约半年，在覆过土的地方，植物开始一点点儿生长。（1992年11月）。右图是施工后2年，在过渡带细小流水旁生长的茂密芦苇，逐渐向河床中央蔓延。（1995年8月）

## 2 河床改造及植被修复案例-日本□川河床改造及植被修复工程

### 1. 工程概况

在过去的河流整治中，□川被改造成水流平浅、单调乏味的河道，从1982年起，横滨市为恢复□川的自然景观，对其进行了河道再改造施工，到目前为止，已完成了约3km河段的改造工程。□川的改造工程包括，恢复原河流水深的施工和恢复河岸植被及原有浅滩和深潭等河床局部地形的施工。在不断总结经验教训及对各种施工方法进行尝试的基础上，现在□川的河岸自然景观终于得到了恢复，成了深受当地人民喜爱的河流。

### 2. 修复工程

1) 在以前的河流治理工程中，由于拓宽河床，致使中水时水深变

浅，河岸植物消失。所以，本次改造工程的目的是，以整治前的水面宽度为标准，开挖河床，恢复河流原有的水深和河岸植被。代替混凝土及大的细方石，用植物固定河岸。

2)用打木桩和抛石的方法，建造急流浅滩和深潭。依靠河流自然演变，创出多样的河道局部地形。

### 3.修复工程前后变化

#### 1) 河床



左图是施工前的河床，水很浅，就像排水渠。右图为施工后约9年的情况，填土没有流失，茂盛的植物使水边出现了微妙的凹凸变化。

#### 2) 植被



左图为在洪水易冲刷部位，用植物纤维网固定表土。右图是施工后约3年后，水边的植物完全成活了，水域环境呈现多样化的小水湾。

## 参考文献

- [1] 孟伟, 张远, 渠晓东, 等. 2010. 河流生态调查技术方法. 北京: 科学出版社.
- [2] 中国环境科学研究院, 等. 2012. 湖泊生态安全调查与评估. 北京: 科学出版社.
- [3] 陈航, 黄可谈, 陈中平等. 生物膜技术在受污染地表水修复中的应用[J]. 浙江水利水电专科学校学报, 2010, 01:
- [4] 王风贺, 王国祥, 刘波等. 曝气增氧技术在城市黑臭河流水质改善中的应用与研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(10): 6137-6138, 6141.
- [5] 刘恩生. 生物操纵与非经典生物操纵的应用分析及对策探讨[J]. 湖泊科学, 2010, 22(3): 307-314.
- [6] 曹勇, 孙从军. 生态浮床的结构设计[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(2): 121-124
- [7] 陈兴茹, 许凤. 城市河流水质原位净化技术综述[J]. 水利水电技术, 2011, 42(7): 19-23.
- [8] 张辉, 温东辉, 李璐, 谢曙光. 分段进水生物接触氧化工艺净化河道水质的旁路示范工程研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2009, 45(4): 677-684.
- [9] 张永春, 张毅敏, 胡孟春, 张龙江, 唐晓燕, 田猛, 吴小敏. 平原河网地区面源污染控制的前置库技术研究[J]. 中国水利, 2006, 17: 14-18.

- [10] 田 猛,张永春,张龙江. 透水坝渗流流量计算模型的选择[J]. 中国给水排水.
- [11] 赵利. 河岸缓冲带水质净化与生态护岸研究综述[D]. 天津:南开大学环境科学与工程学院,2011.
- [12] 曾力雄,黄志霖,肖文发等. 河岸植被缓冲带的功能及其设计与 管理[J]. 林业科学. 2010, 2: 128-133.
- [13] 钱进,王超,王沛芳,侯俊. 河湖滨岸缓冲带净污机理及适宜宽度研究进展[J]. 水科学进展. 2009, 1: 139-144.
- [14] 赵杭美,由文辉,罗扬,王金凤,黄沈,吴健,吴建强. 滨岸缓冲带在河道生态修复中的应用研究[J]. 环境科学与技术. 2008, 4: 116-122.
- [15] 张建春,彭补拙. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 56-63.
- [16] 颜昌宙,叶春,刘文祥. 云南洱海湖滨带生态重建方案研究[J]. 上海环境科学, 2003, 23(7): 459-515.
- [17] 高阳,高甲荣,刘瑛等. 河溪缓冲带的功能及其科学管理[J]. 林业调查规划, 200, 31(5): 37-40.
- [18] 邓红兵,王青春,王庆礼等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 951-954.
- [19] 侯利萍,何萍,钱金平等. 河岸缓冲带宽度确定方法研究综述[J]. 湿地科学, 2012, 10(4): 500-506.
- [20] Syversen N, Oygardon L ,Salbu B. Cesium-134 as a tracer

to study particle transport processes with in a small catchment with a buffer zone[J]. Journal of Environmental Quality, 2001, 30: 1771-1783.

[21] 纪旻,姚明博,叶倩岚等.基于断面法的航道疏浚工程土方量算法优化研究[J],中国水运(下半月),2013,(2)267-268.

[22] 曹承进,陈振楼,王军等.城市黑臭河道底泥生态疏浚技术进展[J].华东师范大学学报(自然科学版),2011,(1)32-42.

[23] 张晴波.环保疏浚及其控制研究[D],南京河海大学硕士论文,2007.

[24] 金相灿,李进军,张晴波等.湖泊河流环保疏浚工程技术指南[M].北京:科学出版社,2013年:51-68.

[25] 刘鸿亮,金相灿,荆一凤.湖泊底泥环境疏浚工程技术[J].重大工程,1999,1(1):81-84.

[26] 刘敏.城市滨湖人工湿地景观生态恢复设计[D].四川:四川农业大学,2009:6.

[27] 张明哲.城市湖泊植被缓冲带的构建技术研究—以墨水湖为例[D].武汉:华中农业大学,2010:8-14.

[28] 汪冬冬.上海城市河流滨岸带生态系统退化评价研究——以苏州河为例[D].上海:华东师范大学,2010:6-19.

[29] 于瑞东.城市河道滨岸带改建与重构技术及应用分析[D].上海:华东师范大学,2010:2.

[30] 邓辅唐等.湿地植物及其工程应用[M].云南:云南科技出版

社, 2007, 130-135.

[31] 陈永华、吴晓芙等. 人工湿地植物配置与管理 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2007, 17-20.

[32] 赵东华、陈虹等. 内河航道生态护岸关键技术的研究与应用 [R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2007. 11.

[33] 周怀东等. 多自然型河流建设的施工方法及要点 [M]. 中国水利水电出版社, 2003.

[34] KOJIMA AKIRA, MATSUMOTO HISAMI, KAMIISHI, et al. Effect of experimental factors on water purification of reservoir with carbon fibers [J]. *Fiber*, 2000, 56 (3): 574-583.

[35] KOJIMA AKIRA, TANAKA TAKASHI. The perspective on the advanced environmental technology development. Water purification and underwater forest formation by the carbon fiber [J]. *Chemical engineering (Tokyo)*. 2005, 50 (2): 134-138.

[36] TAKAHASHI, H, SHIBUYA, M, KOJIMA, A. Situation of fishes appearance in artificial grass bed of carbon fibers [J].

*Japanese journal of limnology*, 2008, 69 (1): 51-62.

[37] YAMASAKI TAKASHI, MINE TSUTOMU, FURUKAWA ETSUKO, et al. The adhesive properties of marine organisms onto the carbon fiber and the possibility for the formation of artificial seaweed beds using carbon fiber [J]. *Tanso*, 2002, 1 (201): 2-6.

[38] 小島昭, 佐藤誠. 炭素繊維の生物亲和性を活用した新しい水

环境保全技术[J]. 材料科学, 1998, 6 (35): 25-32.

[39] 姚理为, 余辉, 田学达等. 碳素纤维对富营养化水体的水质改善与藻类群落结构的影响[J]. 环境科学研究, 2012, 25 (8): 890-895.

[40] 小岛. 利用炭素纤维净化水质以及藻场的形成. 2008年中国水环境污染控制与生态修复技术高级研讨会, 1080-1089.

## 附表：

附表 1 水质指标的测定		
分析项目	测定方法	资料来源
色度	铂钴比色法	GB 11903-1989
浊度	分光光度法 目视比浊法	GB 13200-1991
悬浮物 (SS)	重量法	GB 11903-1989
酸度及碱度	酸碱指示剂滴定法 电位滴定法	《水和废水监测分析方法》
CO <sub>2</sub>	酚酞指示剂滴定法	《水和废水监测分析方法》
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	甲基橙指示剂滴定法	《水和废水监测分析方法》
硫化物	气相分子吸收光谱法 离子色谱法 碘量法 直接显色分光光度法 亚甲基蓝分光光度法	HJ/T200-2005 HJ/T84-2001 HJ/T60-2000 HJ/T17133-1997 HJ/T16489-1996
氟化物	硝酸银滴定法 异烟酸-吡唑啉酮比色法 吡啶-巴比妥酸比色法	GB 7487-1987
硫酸盐	铬酸钡分光光度法 (试行) 离子色谱法 火焰原子吸收分光光度法 重量法	HJ/T342-2007 HJ/T84-2001 GB 13196-1991 GB 16489-1996
硅酸盐	硅钼黄法 硅钼蓝法	GB17378.4-2007
氯化物	硝酸汞滴定法 (试行) 离子色谱法 硝酸银滴定法	HJ/T343-2007 HJ/T84-2001 GB 11897-1989

余氯	N, N-二乙基-1,4-苯二胺分光光度法 N,N-二乙基-1,4-苯二胺滴定法 碘量法	GB 11898-1989 GB 11897-1989 《水和废水监测分析方法》
氟化物	离子色谱法 离子选择电极法 茜素磺酸锆目视比色法 氟试剂分光光度法	HJ/T84-2001 GB7484-1987 GB7482-1987 GB/T7483-1987
碘化物	催化比色法	《水和废水监测分析方法》
COD	快速消解分光光度法 重铬酸盐法 高锰酸盐指数的测定	HJ/T 399 — 2007 GB 11914 — 1989 GB 11892 — 1989
BOD	微生物传感器快速测定法 稀释与接种法	HJ / T 86 — 2002 GB 7488 — 1987
TOC	燃烧氧化—非分散红外吸收法 非色散红外线吸收法	HJ/T 71 — 2001 GB13193 — 1991
TP	钼酸铁分光光度法	GB11893 — 1989
正磷酸盐	钼锑抗分光光度法	《水和废水监测分析方法》
TN	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法 气相分子吸收光谱法	GB11894 — 1989 HJ/T 199 — 2005
硝酸盐氮	紫外分光光度法（试行） 气相分子吸收光谱法离子色谱法 酚二磺酸分光光度法	HJ/T 346 — 007 HJ/T 198 -2005 HJ/T 84 — 001 GB 7480 — 1987
亚硝酸盐氮	气相分子吸收光谱法 离子色谱法分光光度法	HJ / T 197-2005 HJ / T 84 — 2001 GB 7493 — 1987
铵态氮	气相分子吸收光谱法 水杨酸分光光度法 纳氏试剂比色法	HJ / T 195 — 2005 GB 7481 — 1987 GB 7479 — 1987

砷	二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法 硼氢化钾-硝酸银分光光度法	GB 7485 — 1987 GB 11900 — 1989
锡	原子吸收分光光度法 双硫踪分光光度法	GB 7475 — 1987 GB 7471 — 1987
汞	冷原子吸收法（试行） 高锰酸钾-过硫酸钾消解法 双硫腺分光光度法 冷原子吸收分光光度法	HJ/T 341 — 2007 GB 7469 — 1987 GB 7468 — 1987
铬	高锰酸钾氧化-二苯碳酞二磷分光光度法 硫酸亚铁铁滴定法 ICP — AES	GB 7466 — 1987 《水和废水监测分析方法》
铜	二乙基二硫代氨基甲酸钠分光光度法 原子吸收分光光度法	GB 7474 — 1987 GB 7475 — 1987
锌	原子吸收分光光度法 双硫腺分光光度法	GB 7475 — 1987 GB 7472 — 198784
铅	示波极谱法原子吸收分光光度法 双硫踪分光光度法	GB 13896 — 1992 GB 7475 — 1987 GB 7470 — 1987
锰	甲醛脲分光光度法（试行） 火焰原子吸收分光光度法 高碘酸钾分光光度法	HJ 344 — 2007 GB 11911 — 1989 GB 11906 — 1989
镍	火焰原子吸收分光光度法 丁二酮脲分光光度法	GB 11912 — 1989 GB 11910 — 1989
叶绿素	丙酮一分光光度法	《水和废水监测分析方法》
挥发酚	蒸馏后 4-氨基安替比林分光光度法 蒸馏后溴化容量法	GB 7490 — 1987 GB 7491 — 1987
有机氯农药	气相色谱法	GB 7492 — 1987
有机磷农药	气相色谱法	GB 14552 — 1993 GB 13192 — 1991

附表 2 沉积物样品的分析方法		
分析项目	测定方法	资料来源
PH	玻璃电极法比色法	《土壤和固体废物监测分析技术》
有机质	重铬酸钾氧化法	NY 85 — 1988
水分	土壤水分测定法	NY 52 — 1987
可溶性盐分	法量导重电	《土壤和固体废物监测分析技术》
全硫	全硫的测定法	LY 1255 — 1
有效硫	磷酸盐—乙酸提取，硫酸钡比浊法	《土壤和固体废物监测分析技术》
磷	土壤全磷测定法	GB 9837 — 1988
石灰性有效磷	石灰性有效磷的测定方法	GB 12297 — 1990
全氮	半微量凯氏法	GB 7173 — 1987
铁态氮	纳氏试剂法	《土壤和固体废物监测分析技术》
硝态氮及亚硝态氮	还原蒸馏法 镀铜锅还原—重氮偶合比色法	《土壤和固体废物监测分析技术》
砷	二乙基二硫代氨基甲酸银光度法	GB 17134 — 1997
	硼氢化钾—硝酸银分光光度法	GB 17135 — 1997
	氢化物发生原子吸收法	《土壤和固体废物监测分析技术》
	氢化物发生原子荧光法	同上
	ICP — AES	同上
	ICP-MS	同上
镉	火焰原子吸收法	CB 17137 — 1997
	KI-MIBK 萃取火焰原子吸收法	《土壤和固体废物监测分析技术》
	石墨炉原子吸收法	同上
	ICP — AES	同上
	ICP — MS	同上

铬	火焰原子吸收分光光度法 二苯碳酰二磷光度法 硫酸亚铁钱滴定法 ICP-AES ICP - MS 差示脉冲导数极谱法	CB17138 - 1997 《土壤和固体废弃物监测分析技术》 同上 同上 同上 同上
铜	火焰原子吸收法 石墨炉原子吸收法 铜试剂光度法 ICP - AES ICP-MS	CB17138 - 1997 《土壤和固体废弃物监测分析技术》 同上 同上 同上
汞	冷原子吸收法 冷原子荧光光谱法 ICP - AES ICP - MS	CB 17136 - 1997 《土壤和固体废弃物监测分析技术》 同上 同上
镍	火焰原子吸收法 锡试剂萃取光度法 5 - Br—PADAP 光度法	CB17139 - 1997 《土壤和固体废弃物监测分析技术》 同上
铅	火焰原子吸收法 石墨炉原子吸收法	《土壤和固体废弃物监测分析技术》 同上
锌	火焰原子吸收光度法	《土壤和固体废弃物监测分析技术》
锰	火焰原子吸收光度法	《土壤和固体废弃物监测分析技术》
铁	火焰原子吸收光度法 邻菲哆琳光度法	《土壤和固体废弃物监测分析技术》 同上
钴	火焰原子吸收法 5 - Cl - PADAP 光度法 5 - Br-PADAP 光度法 ICP - AES ICP - MS	《土壤和固体废弃物监测分析技术》 同上 同上 同上 同上

农药	气相色谱/质谱法	《土壤和固体废物监测分析技术》		
PAH&PCBs	GC/MS	《土壤和固体废物监测分析技术》		
<b>附表3 河岸带踏查记录表</b>				
河流名称:	调查时间:	点位号		
河岸带宽度/m				
	样带 1	样带 2	样带 3	
左岸				
右岸				
河岸带植被组分结构特征				
覆盖度: 0=<1%;1=1%~5%;2=6%~25%;3=26%~50%;4=51%~75%;5=>75%				
		样带 1	样带 2	样带 3
左岸	乔木			
	灌木			
	草本			
右岸	乔木			
	灌木			
	草本			
河岸带乔灌分布特征				
0.无乔灌木 1.零散分布 2.均匀分布 3.成簇分布 4.半连续分布 5.连续分布				
		样带 1	样带 2	样带 3
左岸				
右岸#				
		样带 1	样带 2	样带 3
优势树种				
树高 左岸				
树高 右岸				
幼苗 左岸				

幼苗 右岸			
河岸带土地利用类型			
1.原生林 2.人工林 3.原生草地 4.牧场 5.农田 6.居民点 7.城市 8.工业 9.旅游区 10.道路			
	样带 1	样带 2	样带 3
土地利用类型			

注：沿河道由上游向下游方向确定左右。树高测定最高、最低和平均。

附表4 某建设项目投资估算表（概算指标法）

序号	工程项目或费用名称	合计 (万元)	工程价值(万元)				技术经济指标			占总投 资比例
			建筑 工程费	设备 购置费	安装 工程费	其他 费用	单位	数量	指标(元)	
一	工程费用	<b>16321.09</b>	<b>13575.95</b>	<b>462.61</b>	<b>2282.53</b>	<b>0.00</b>				<b>62.37%</b>
(一)	水源涵养林与水土流失防治工程	795.21	795.21							3.04%
(二)	山区零星村落污染控制工程	267.09	261.49	5.60						1.02%
1	村落一	32.06	31.36	0.70						0.12%
省略										
(三)	生态农业和资源化利用	296.50	296.50							1.13%
(四)	农田低污染水处理系统	9404.06	9404.06							35.93%
(五)	村落污染控制	3720.20	1289.67	148.00	2282.53					14.22%
1	污水管网	2279.76			2279.76					8.71%
2	土壤净化槽	21.01	21.01							0.08%
省略										
(六)	水质净化工程	1303.22	994.21	309.01						4.98%

序号	工程项目或费用名称	合计 (万元)	工程价值(万元)				技术经济指标			占总投 资比例
			建筑 工程费	设备 购置费	安装 工程费	其他 费用	单位	数量	指标(元)	
(七)	湖滨区环境综合治理工程	34.82	34.82							0.13%
(八)	零星工程费	500.00	500.00							1.91%
二	其他费用	<b>6585.99</b>				<b>6585.99</b>				<b>25.17%</b>
1	征地拆迁补偿费	4222.48				4222.48				16.13%
1.1	农田租用费用	3933.80				3933.80	亩	442	89000	15.03%
1.2	青苗补偿费用	194.80				194.80	亩	974	2000	0.74%
1.3	砖混房屋拆除	13.86				13.86	m2	77	1800	0.05%
1.4	简易房屋拆除	3.00				3.00	m2	50	600	0.01%
1.5	大棚、暖房拆除	77.02				77.02	m2	9627	80	0.29%
2	场地准备费及临时设施费	326.42				326.42				1.25%
3	建设单位管理费	242.36				242.36				0.93%
4	生产准备及开办费	16.20				16.2				0.06%
5	办公和生活家具购置费	4.50				4.5				0.02%
6	建设工程监理费	300.14				300.14				1.15%

序号	工程项目或费用名称	合计 (万元)	工程价值(万元)				技术经济指标			占总投 资比例
			建筑 工程费	设备 购置费	安装 工程费	其他 费用	单位	数量	指标(元)	
7	建设前期工作费	160.00				160.00				0.61%
8	监测设备费	71.43				71.43				0.27%
9	研究试验费	100.00				100.00				0.38%
10	勘察设计费	562.41				562.41				2.15%
10.1	勘察测量费	130.57				130.57				0.50%
10.2	基本设计费	399.85				399.85				1.53%
10.3	竣工图编制费	31.99				31.99				0.12%
11	环境影响咨询服务费	24.60				24.60				0.09%
12	劳动安全卫生评审费	81.61				81.61				0.31%
13	工程保险费	48.96				48.96				0.19%
14	招标代理服务费	42.22				42.22				0.16%
15	施工图设计审查费	44.99				44.99				0.17%
16	建设工程造价咨询服务费	297.68				297.68				1.14%
16.1	投资估算审核费	8.79				8.79				0.03%

序号	工程项目或费用名称	合计 (万元)	工程价值(万元)				技术经济指标			占总投 资比例
			建筑 工程费	设备 购置费	安装 工程费	其他 费用	单位	数量	指标(元)	
省略										
17	水土保持评价费	20.00				20.00				0.08%
18	地质灾害性评价费	20.00				20.00				0.08%
三	预备费用	<b>1145.35</b>				<b>1145.35</b>				<b>4.38%</b>
1	基本预备费	1145.35				1145.35				4.38%
四	建设期贷款利息	<b>2117.74</b>				<b>2117.74</b>				<b>8.09%</b>
五	工程总投资	<b>26170.17</b>				<b>26170.17</b>				<b>100.00%</b>