

ICS 13.020.01

CCS Z 05

LNSES

辽宁省环境科学学会团体标准

T/LNSES 002-2020

山区段河流生态修复与功能提升 技术指南

Technical Guide for Ecological Restoration and Function
Improvement of Mountain Section Rivers

2020 - 06 - 20 发布

2020 - 07 - 20 实施

辽宁省环境科学学会 发布

目 录

前言.....	1
1 总则.....	2
2 河流生态环境调查.....	8
3 河流生态安全评估.....	11
4 河流生态修复总体设计.....	17
5 河流上游生境脆弱区生态保护.....	21
6 河流中游城区段生境改善.....	29
7 矿区水陆交错带生态修复.....	36
8 维护与管理.....	42
9 投资估算.....	46

前言

为贯彻落实党中央十八大及十八届三中全会关于“生态文明建设”的战略部署，推进《国家环境保护“十三五”规划》、《辽宁省“十三五”环境保护规划》的实施，指导开展山区段河流生态修复与功能提升工作，在国家水体污染控制与治理重大专项“太子河流域山区段河流生态修复与功能提升关键技术与工程示范”课题等相关科研成果基础上，制定本指南。

本指南的内容涵盖了河流生态环境调查与生态安全评估，河流上游生境脆弱区生态保护，河流中游城区段生境改善，矿区水陆交错带生态修复等方面，以及相关工程项目的维护与管理、投资估算方法等。

本指南有助于指导各地开展山区段河流生态环境保护工作，改善河流生境，提高河道自净能力，为维护河流水质持续提升、流域生态系统健康提供保障。

本指南为指导性文件，各地可参考本指南提出的山区段河流生态修复共性保护措施及技术方法，根据本地河流所处的自然、社会环境和河流生态环境特征，参考与之对应的保护措施和技术方法。

本指南为首次发布，将根据区域人居环境管理要求及山区段河流生态恢复与功能提升技术发展情况适时修订。

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能设计专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由辽宁大学提出。

本文件由辽宁省环境科学学会归口。

本文件起草单位：辽宁大学、中国科学院沈阳应用生态研究所、国环（辽宁）生态环境研究院有限公司。

本文件主要起草人：宋有涛、付保荣、陈欣、王俭、迟光宇、王欣若、马建、于英潭、包红旭、布乃顺、张国徽、李志辉、刘利、李健、纪嘉阳、李刚、李春林、郝喆、吴波、徐连满、张朝星、迟新东、刘伟鹏、李皓芯、于鹏飞、燕国辉、鲁彩艳、黄斌、靳文凯。

1 总则

1.1 适用范围

本文件规定了河流生态环境调查与生态安全评估、河流上游生境脆弱区生态保护、河流中游城区段生境改善、矿区水陆交错带生态修复等技术要求，以及相关工程项目的维护与管理、投资估算方法。

本文件适用于山区段河流生态环境保护工作，改善河流生境，提高河道自净能力，为维护河流水质持续提升、流域生态系统健康提供参考依据。

1.2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本适用于本文件。

GB 3838	地表水环境质量标准
GB 50201	防洪标准
GB 50286	堤防工程设计规范
GB 50707	河道整治设计规范
GB/T 37573	露天煤矿边坡稳定性年度评价技术规范
GB/T 50805	城市防洪工程设计规范
HJ 192	生态环境状况评价技术规范
HJ 2005	人工湿地污水处理工程技术规范
HJ/T 91	地表水和污水监测技术规范
JTS 154	防波堤设计与施工规范
SL 196	水文调查规范
SL 210	土石坝养护修理规程
SL 219	水环境监测规范
SL 379	水工挡土墙设计规范
DL/T 5129	碾压式土石坝施工规范
DB 21/T 2230	矿山及其他工程破损山体植被恢复治理验收规范

DB 11/T 213 城市园林绿化养护管理标准

DB 44/T 499 道路边坡生态防护工程施工及验收技术规范

关于印发《流域生态健康评估技术指南（试行）》的通知 环办函[2013]320号

1.3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

1.3.1 北方河流 Northern rivers

水量较小且多为季节性河流，补给水源以雨水补给为主，但纬度较高的地方有季节性积雪补给，受冰雪融水的影响，有冬季两汛，水位通常较低且变化大，有结冰期，含沙量大。

1.3.2 山区段河流 Mountainous rivers

山区段河流是指源于山区和位于山区区域内的河流。河流河床底质栖息地常见为浅滩和深潭两类，底质状况亦随栖息地的结构落差呈现出由上到下的，砾石、片石、卵砾石、卵石、卵石-河沙等阶段性变化，并随不同小流域的汇入点分布呈现间接或连续性变化。

1.3.3 河道 Riverway

已经修建堤防的河段，或者已经明确规划堤线的河段，河道在横断面方向上的范围包括两岸堤线之间的水面、河边滩和沙洲；对于未建堤防的河段，河道横断面方向上的范围包括河岸线之间的水面、河边滩和沙洲。其功能包括泄洪排涝、供水灌溉、输水排沙、交通运输、景观休闲、水量调蓄、水质保护、渔业生产、生态环境等。

1.3.4 消落区 Falling area

又称为水位涨落带、消涨带、消落带等，是指河流、湖泊、水库中由于季节性水位涨落，而使被水淹没的土地周期性出露水面，成为陆地的一段特殊区域，属于湿地范畴。

1.3.5 河岸带 Riparian zone

可称作河岸缓冲带或河岸植被缓冲带，是水生生态系统和陆地生态系统的过渡带，包括显著影响水生生态系统物质和能量交换的陆地生态系统部分（即能够对水体产生影响的陆地区域）。

1.3.6 汇水区 Collection area

又称作集水区域、集水盆地、流域盆地，是指地表径流或其他物质。汇聚到一共同的出水口的过程中所流经的地表区域，它是一个封闭的区域。出水口是指水流离开汇水区的点，这个点是汇水区边界上的最低点。通常一条河流的汇水区没有其他的地表径流流入且只有唯一的出水点。

1.3.7 生态修复 Ecological restoration

通过人为和间接改变导致生态系统退化的主导因子或过程，减轻负荷压力，调整、配置和优化系统内部及其与外界的物质、能量和信息流动过程，依靠生态系统的自我恢复能力使其向有序的方向演化，使遭到破坏的生态系统逐步恢复并向良性循环方向发展。

1.3.8 原位生态修复 Ecological restoration

在不改变土壤、河流位置的情况下，通过添加微生物试剂、营养元素以及土壤改良剂等，提高土壤土著微生物或外源微生物对土壤、河流有机污染物的降解，从而使得土壤、河流得到修复的过程。

1.3.9 水土流失 Soil erosion and water loss

在水力、风力、重力及冻融等自然营力和人类活动作用下，水土资源和土地生产能力的破坏和损失，包括土地表层侵蚀及水的损失。

1.3.10 水土保持 Soil and water conservation

防治水土流失、保护、改良与合理利用水土资源，维护和提高土地生产力，减轻洪水、干旱和风沙灾害，以利于充分发挥水、土资源的生态效益、经济效益和社会效益，建立良好生态环境，支撑可持续发展的生产活动和社会公益事业。

1.3.11 脆弱生境 fragile habitat

部分北方山区段上游河道多狭窄，比降大，河道底质以卵石为主，水生动植物群落易受干扰，缓冲能力弱，由此导致在水质自净及水生态功能维系方面，河流自身缓冲能力差，自净能力偏弱；河流汇水区多以丘陵山地为主，地貌起伏大、土层薄贫瘠，侵蚀作用强，汇区内植被受干扰破坏后，生境改变大，生物群落恢复能力差。

1.3.12 植被覆盖度 Vegetation coverage

指植被（包括叶、茎、枝）在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比。可分为高、中高、中、低四种覆盖类型。植被覆盖度是衡量地表植被状况的一个重要指标，是描述生态系统的重要基础数据，也是区域生态系统环境变化的重要指示，对水文、生态、区域变化等都具有重要意义。

1.3.13 生态安全 Ecological security

生态安全是指生态系统的健康和完整情况，健康的生态系统是稳定的和可持续发展的，在时间上能够维持它的组织结构和自治，以及保持对胁迫的恢复力。反之，不健康的生态系统，是功能不完全或不正常的生态系统，其安全状况则处于受威胁之中。

1.3.14 水体生境 Habitat of water

水体生物的个体、种群或群落生活地域的环境，由生物和非生物因子综合形成，包括必需的生存条件和其他对生物起作用的生态因素。

1.3.15 生态岸堤 Ecological embankment

在岸堤防护功能的基础上，具备一定河道自净能力和自然景观效果，并能满足河道生物生活习性的自然型岸堤。

1.3.16 带状湿地 Zonal wetland

在河流消落区天然或人工形成的湿地，一般沿河道呈条带状，周期性出露水面，是连接河道与河岸的一段特殊区域，具有重要的生境维持作用。

1.3.17 生态位 Ecological niche

众多环境资源因子的供应和限制所构成的环境资源组合,物种在一定的生态位中得到生存繁衍,是环境功能和物种分布的基础。一定生态位中生物物种、种群或个体具有特定的形态适应、生理反应以及行为特征。

1.3.18 生物链 Biological chain

由动物、植物和微生物互相提供食物而形成的相互依存的链条关系。

1.3.19 矿区水陆交错带 Water-land ecotone in mining area

矿区水陆交错带是指矿区与周边河流之间污染物传输的过渡带,是指陆地生态系统与水生生态系统之间的交错区。

1.3.20 矿区生态修复 Ecological restoration in mining areas

矿区生态修复是指通过土壤改良和植被选育等人工措施,加快矿区受损生态系统的快速恢复,能够阻断或控制水土流失、污染的传输途径,促进生态系统的良性循环发展。

1.4 基本原则

指南编制组参考国内外河流生境维护方法,结合我国多年来对河流的生态保护实例,制定本指南,不仅考虑到技术的可靠性,而且考虑到实用性。本指南的制定原则有:

1.4.1 科学性原则

充分利用相关领域的科学原理,严谨地体现技术的科学性,吸取技术实施和试验工作所取得的成果和经验。

1.4.2 普适性原则

充分考虑不同的生境程度,合理选择技术和方法,适用于大多数山区段地区开展工作。

1.4.3 可操作性原则

技术操作过程简单,便于对山区段河流生境的维护,便于技术的实施与监督。

1.4.4 综合性原则

必须要把影响生态质量的因素充分考虑和研究,既要考虑自然环境因素,也要考虑人为作用因素,坚持综合性原则。

1.4.5 实用性原则

根据评价目标和对象的特点,要尽可能地采用通用指标,使同类指标的涵义、范围和计算方法保持统一,在总体上计算口径也应该保持一致。

2 河流生态环境调查

2.1 河流概况

2.1.1 自然概况

a) 地理位置

主要包括河流名称、位置（经纬度坐标）、流域范围与边界、流域面积等。

b) 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、降水量年分布状况和蒸发量年分布状况等。

c) 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

a) 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。

b) 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。

c) 流域自然资源状况

主要包括水资源、矿产资源、森林资源等。

d) 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。

e) 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。

f) 土地利用状况

主要包括流域内土地作为耕地、林地、草地、建设用地等的规划及现状。

2.1.3 河流特征

a) 河流形态特征

主要包括河流形态（不同类型河段的长度、宽度、深度、河岸状况及其体现出来的河流沿程的岸线、横断面、纵断面等形态变化特征）、支流分布状况等。

b) 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。

c) 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。

d) 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。点位设置原则上沿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《水文调查规范》 SL 196。

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，具体调查方法见《地表水和污水监测技术规范》 HJ/T91。

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《水文调查规范》 SL 196、《河流生态

调查技术方法》（科学出版社，2011）。

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。

3 河流生态安全评估

3.1 评估指标体系

根据 PSFR 模型框架，考虑引发河流生态系统改变的原因和生态系统在压力作用下的现状、生态系统服务功能，以及人类为减缓生态危机和生态破坏采取的响应措施，参考原环境保护部办公厅关于印发《流域生态健康评估技术指南（试行）》的通知（环办函[2013]320 号）等相关技术文件，建立山区段河流生态安全评估指标体系，同时协调各评估因子之间的相互关联性，构建了包括指标体系水生态压力（A）、水生态状态（B）、水生态系统服务功能（C）和社会响应（D）在内的 4 个方案层、11 个要素层和 23 个指标层的评估体系（表 3-1），使得流域自身生态安全基本状况能够从相应的层级和不同尺度上加以反映。

表 3-1 山区段河流生态安全评估指标体系及数据来源

目标	方案	要素	指标	数据来源	
水生态 安全	水生态压力(A)	土地利用	农田面积比例(A1)	遥感数据解译	
			工业用地面积比例(A2)	遥感数据解译	
			矿山面积比例(A3)	遥感数据解译	
			居住地面积比例(A4)	遥感数据解译	
	水生态状态(B)	污染物排放	农药化肥 (A5)	地方统计年鉴	
			植被覆盖率(B1)	遥感数据解译	
	水生态状态(B)	生境状态	栖境质量(B2)	实地调查数据	
			河床底质 (B3)	实地调查数据	
		水质状态	理化状态 (B4)	实地调查数据	
			营养盐状态(B5)	实地调查数据	
			鱼类状态 (B6)	实地调查数据	
			生物状态	大型底栖动物状态(B7)	实地调查数据
		生态系统服务功能(C)	景观娱乐	清洁物种 (B8)	实地调查数据
				渔业供给(C1)	地方统计年鉴
	旅游资源(C2)			辽宁旅游资源统计	
	物种保护		水域休闲(C3)	遥感数据解译	
			珍稀和特有物种 (C4)	实地调查数据及地方动物志	

		生物多样性(C5)	实地调查数据
	自然优良生境	自然保护区资源(C6)	辽宁自然保护区名录
	饮用水源地	集中饮用水水质达标率(C7)	水质月报
社会响应(D)	生态响应	人工林(D1)	遥感数据解译
	经济响应	污水处理率(D2)	水质月报
		环保投入(D3)	地方统计年鉴

3.2 评估指标计算方法

3.2.1 水生态压力指标层 (A)

农田面积比例 (A1) 包括旱田、水田、大棚和园地面积所占比例, 计算公式为:

$$\text{农田面积比例 (A1)} = \frac{\text{农田面积}}{\text{流域面积}}$$

工业用地面积比例 (A2) 包括工矿用地、道路和建筑用地面积所占比例, 计算公式为:

$$\text{工业用地面积比例 (A2)} = \frac{\text{工业用地面积}}{\text{流域面积}}$$

矿山面积比例 (A3) 包括正在开采中的矿山、停采矿山和尾矿区所占比例, 计算公式为:

$$\text{矿山面积比例 (A3)} = \frac{\text{矿山面积}}{\text{流域面积}}$$

居民地面积比例 (A4) 包括城镇及农村居住地所占比例, 计算公式为:

$$\text{居民地面积比例 (A4)} = \frac{\text{居民用地面积}}{\text{流域面积}}$$

农药化肥 (A5) 包括农药使用量与化肥使用量之和与流域面积的比例, 计算公式为:

$$\text{农药化肥 (A5)} = \frac{\text{农药化肥使用量}}{\text{流域面积}}$$

其中, 农药化肥施用量 = (单位面积农药使用量 + 单位面积化肥使用量) × 农

田面积。

3.2.2 水生态状态指标层 (B)

植被覆盖率 (B1) 包括山地森林和草地面积的覆盖率之和, 计算公式为:

$$\text{植被覆盖率 (B1)} = \frac{\text{山地森林} + \text{草地面积}}{\text{流域面积}}$$

栖息质量 (B2) 通过野外实地调查打分获取栖息地环境质量得分, 栖息质量。计算公式为:

$$\text{栖息质量 (B2)} = \sum_{i=1}^{10} X_i$$

其中, X_i 为河流物理生境打分表第 i 个参数 (共 10 个参数)。

河床底质 (B3) 通过野外实地调查打分获取河床底质得分。

理化状态 (B4) 为电导率 (EC)、溶解氧 (DO) 的综合指标, 计算公式为:

$$\text{理化状态 (B4)} = \frac{S_{ec} + S_{DO}}{2}$$

其中, $S_{ec}=1-(D_{ec}-100)/(900-100)$; $S_{DO}=1-(7.5-D_{DO})/(7.5-4)$; S_{ec} 为电导率标准化值; D_{ec} 为电导率实测值, S_{DO} 为溶解氧的标准化值, D_{DO} 为溶解氧的实测值。

营养盐 (B5) 为氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$)、总氮 (TN) 和总磷 (TP) 的综合指标, 计算公式为:

$$\text{营养盐 (B5)} = \frac{S_{\text{NH}_3\text{-N}} + S_{\text{TN}} + S_{\text{TP}}}{3}$$

其中, $S_{\text{NH}_3\text{-N}}=1-(D_{\text{NH}_3\text{-N}}-0.08)/(0.5-0.08)$; $S_{\text{TN}}=1-(D_{\text{TN}}-0.2)/(1-0.2)$; $S_{\text{TP}}=1-(D_{\text{TP}}-0.02)/(0.2-0.02)$; $S_{\text{NH}_3\text{-N}}$ 为氨氮标准化值; $D_{\text{NH}_3\text{-N}}$ 为氨氮实测值, S_{TN} 为总氮的标准化值, D_{TN} 为总氮的实测值, S_{TP} 为总磷的标准化值, D_{TP} 为总磷的实测值。

鱼类状态 (B6) 为鱼类物种数, 反映鱼类的多样性特征, 计算公式为:

$$\text{鱼类状态 (B6)} = \frac{\text{鱼类实测物种数}}{\text{鱼类物种数参考标准}}$$

其中, 鱼类物种数参考标准为 20, 来自参考文献 (解玉浩, 1987)。

大型底栖动物 (B7) 为大型底栖动物实测多样性指数和密度的综合指标,

计算公式为：

$$\text{大型底栖动物 (B7)} = \frac{S_{\text{BioD}} + S_{\text{Den}}}{2}$$

其中， S_{BioD} 和 S_{Den} 分别为大型底栖动物实测多样性指数和密度标准化值。

清洁生物 (B8) 为山区段的代表性清洁鱼类数量 (尾)。

3.2.3 生态系统服务功能指标层 (C)

渔业供给 (C1) 为水产品产量，通过地方统计年鉴数据计算。

旅游资源 (C2) 为旅游资源量，指标为旅游景点数量，根据地方旅游资源统计数据计算。

水域休闲 (C3) 为水域面积占流域面积的比例，计算公式为：

$$\text{水域休闲 (C3)} = \frac{\text{水域面积}}{\text{流域面积}}$$

珍稀和特有物种 (C4) 为实测珍稀和特有鱼类的综合指标，计算公式为：

$$\text{珍稀和特有物种 (C4)} = \frac{S_{\text{D}} + S_{\text{N}}}{2}$$

其中， S_{D} 和 S_{N} 分别为实测珍稀和特有 (鱼类) 物种种类数和总数量标准化值。

生物多样性 (C5) 为鱼类和大型底栖动物多样性的综合指标，计算公式为：

$$\text{珍稀和特有物种 (C4)} = \frac{S_{\text{F}} + S_{\text{M}}}{2}$$

其中， S_{F} 和 S_{M} 分别为鱼类和大型底栖动物多样性指数标准化值。

自然保护区 (C6) 为流域内保护区等级 (C)、面积得分 (A) 乘积的加和，等级标准得分计算见表 7-2。计算公式为：

$$\text{自然保护区 (C6)} = \sum_{i=1}^n C_i A_i$$

其中， C_i 为流域内第 i 个保护区等级得分， A_i 为流域内第 i 个保护区面积得分。

表 3-2 自然保护区得分计算标准

面积 (ha)	≤1000	(1000, 5000]	(5000, 10000]	(10000, 20000]
得分	1	2	3	4
级别	县级	市级	省级	国家级
得分	2	3	4	5

集中饮用水水质达标率（C7）为流域内水源地个数（N）乘以水源地水质达标率（S）的加和，计算公式为：

$$\text{集中饮用水水质达标率 (C7)} = N \sum_{i=1}^n S_i$$

其中， S_i 为流域内第*i*个水源地的水质达标率。

3.2.4 社会响应指标层（D）

人工林（D1）为人工林面积占流域面积的比例，计算公式为：

$$\text{人工林 (D1)} = \frac{\text{人工林面积}}{\text{流域面积}}$$

污水处理率（D2）为水质月报上公布的流域内行政单元污水处理率。

环保投入（D3）为统计年鉴公布的流域内行政单元的人均环保投入（元）。

3.3 指标分值计算方法

3.3.1 数据标准化

对于正向指标，即数值越大越安全指标，通过以下方法对数据进行标准化处理：

$$S_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

对于负向指标，即数值越小越安全指标，通过以下方法对数据进行标准化处理：

$$S_i = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}}$$

上述式中： S_i 为*i*指标的标准化值， X_i 为*i*指标的原始值， X_{\max} 、 X_{\min} 分别为*i*指标在评估流域内最大值和最小值。

3.3.2 指标权重确定

本指南中以变异系数法为例，确定各项指标的初步权重，然后进行专家判别、文献和实地调研，最后调整部分指标权重。

3.3.3 评估等级标准

通过对方案层评估指数加权求和，计算目标层得分，即生态安全指数 ESI ，以该指数评估流域整体的生态安全状况。

$$ESI = \sum_{i=1}^{i=23} W_i Y_i$$

式中： ESI 为生态安全综合指数； W_i 为第 i 个指标的权重， Y_i 为指标得分。 ESI 值越高，水生态安全状况就越好，安全等级越高，反之，水生态安全状况就越差，安全等级越低。

4 河流生态修复总体设计

4.1 生态修复区划

4.1.1 上游生境脆弱区

该区段为基于水生态功能二级分区的上游山地森林河流水生态亚区，三级分区的上游生境维持与水资源支持功能区。山区段上游，河道多狭窄，比降大，河道底质以卵石为主，水生动植物群落易受干扰，缓冲能力弱，由此导致在水质自净及水生态功能维系方面，河流自身缓冲能力差，自净能力偏弱；河流汇水区多以丘陵山地为主，地貌起伏大、土层薄贫瘠，侵蚀作用强，汇水区内植被受干扰破坏后，生境改变大，生物群落恢复能力差。北方山区河流，目前相关研究多集中在水质改善方面，缺乏对河流及汇水区水生态系统功能的定量描述，对上游区生态系统完整性及不同生态过程与河流水质水量关系不清，无法基于流域生态过程有针对性地提出修复和保护策略。由此，如何在此生境脆弱易受干扰区内，制定有针对性的恢复策略，研发适用性强的生境恢复技术是维持上游区水生态功能稳定，进而保障流域水质、水量安全的重要支撑，是该区域水生态修复与功能提升的关键所在。

4.1.2 中游城区段

该区段为基于水生态功能二级分区的中游丘陵森林河流水生态亚区中，三级分区的社会承载功能区。城区段干流周边区域人口密集，工业生产发达，河流长期污染导致水生态系统退化，生物多样性减少。流域降雨量年内分配极不均匀，主要集中在 6-9 月，降雨量约占全年的 71.4%，增加了水资源利用的难度。此外，在该河段修建了大量的水库、堤防和闸坝工程，这些水利工程满足了流域经济社会发展和城市景观的需求，但同时也截断径流，特别是在枯水期，城区段下游流量较小，水环境容量十分有限。河岸陆域现有护岸、河势稳定工程，虽防护效果较好，但也破坏了生态、景观与生物栖息环境。硬化和渠化后的硬质河道，改变了河岸的自然景观生态系统，破坏了河道两岸动植物的生存环境，部分岸边的芦苇和水草被清除，两栖类动物的生境廊道被切断，造成食物链中断，水生昆虫不能正常羽化，降低了水生生物多样性，影响了河流的自净能力。城区段河流水质

水量不稳，变动幅度较大，特别是在枯水期水质考核断面氨氮稍高。城区段河流污染源虽然得到一定控制，但仍是影响河流水环境质量持续提升的主要因素。另外，城区段河流两侧大部分为公路，且地势较高，部分公路仍然没有集中排水设施，当雨量较大时，污染物会随雨水淋洗作用迁移，影响河流水质。需要进一步统筹水域和陆域开展河流水体生境修复、河岸径流污染阻控与景观修复集成技术研究，从而为中游城区段生态化建设提供技术支持。

4.1.3 矿区水陆交错带

该区段为基于水生态功能二级分区的中游丘陵森林河流水生态亚区中，三级分区的营养物循环维持功能区。矿区段经过近百年的大规模露天开采，形成了尾矿库、排土场和采场等典型矿山生态退化区，普遍存在阶梯状地形、缺乏土壤、基质含潜在污染物等限制性因子，基质保水能力差、肥力低、不利于植被着生和边坡稳定等问题，从而导致严重的土壤侵蚀、水土流失以及植被破坏。暴雨天气易形成山体滑坡、泥石流等重大自然灾害。矿区水陆交错带是指矿区与周边河流之间污染物传输的过渡带，是指陆地生态系统与水生生态系统之间的交错区。目前的矿山环境治理多集中于陆域植被恢复，缺乏对水域-陆域的统筹考虑，并将矿区及流经河段作为生态系统的污染阻控及生态修复技术体系。同时，陆域植被恢复技术多通过客土后人工补种植被的手段等措施进行，并已成为成套的技术规范，但客土工程量巨大、成本较高，如何针对矿山实际情况结合少有化学药剂污染的特点，提出一套基于演替原理，利用生物措施先期改善植被恢复生境条件的技术并解决相关科学问题，是在矿山污染河流所需的科技支撑。

4.2 生态修复目标

4.2.1 水质目标

a) 理想目标：有条件的情况下，山区段河流上游水质应该达到地表水Ⅱ类及以上水质标准，中游水质应该达到地表水Ⅲ类及以上水质标准。

b) 基本目标：河流水质达到当地地表水环境质量功能区划要求。

c) 原则目标：修复后，河流水质标准有所提高。

4.2.2 水生态目标

- a) 理想目标：达到人为扰动前的原生态河流状况。
- b) 基本目标：修复河段的水文地貌等级应达到Ⅱ级（含）以上等级的标准，河流纵向连续、横向联通、生物多样性提高明显。
- c) 原则目标：修复后河流水文地貌等级提升，河流纵横向连续性改善，生物多样性有一定程度提高。

4.2.3 矿区水陆交错带修复目标

- a) 理想目标：有条件的情况下，矿区实现汇水零排放。
- b) 基本目标：矿区坡面稳定，水土流失得到有效控制。
- c) 原则目标：修复后，矿区河流水质标准不降低。

4.3 生态修复设计

4.3.1 设计理念

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。

4.3.2 设计原则

工程总体方案设计时，宜遵循如下原则：

a) 河流生态治理和河流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。

b) 实用性和经济性为工程重要目标的原则。需适应河流所在地域的地貌、地形、形态、水文、周边区域发展等特点，注重与河流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。

c) 科学性和适应性为工程重要条件的原则。应全面考虑河流水文、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性,并能适应河流的不同特征,创建健康的生境条件。

d) 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。

e) 兼顾河流水质改善、突出河流自然属性的原则。应兼顾对河流水质的改善、减少入河污染物的作用,体现河流的自然属性,提高河流的自净和生态修复能力,促进河流生态系统的健康、良性发展。

4.3.3 设计要求

河流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。

河流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。

a) 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;

b) 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;

c) 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详见相关《技术指南》,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。

5 河流上游生境脆弱区生态保护

5.1 河流交错底质生境优化技术

5.1.1 概述

为了充分利用阶梯深潭结构提高河流生物多样性，提高河流水体自净能力，针对北方山区型河流上游部分河段人为干扰较大，生物多样性下降；河流河道较宽处，物理结构不满足底质多样性需要，不易形成阶梯深潭结构的问题，提供一种人工微型阶梯-深潭群组构建及应用技术，辅以沉床微生态复合袋，为河流鱼类藻类维系生境，阻控污染，提升河流水体自净能力。

5.1.2 类型和结构

由阶梯-深潭群组、沉床微生态复合袋组成。

5.1.3 技术设计

单个阶梯深潭单元以梯形体结构为基本元件，由石笼网结构填充卵石构成。每个梯形体石笼网结构的下底面的宽度为 70-100cm，上底面的宽度为 20-40cm，将 5-10 个所述梯形体结构沿各个元件长度方向紧固连接形成基本单元。纵向 $L = 0.5H/\alpha \square S$ ；横向 α 为 1.2~2.0，数量 $W = 1/(0.03-S)$ 。在形成阶梯深潭基本元件的基础上，通过对单个阶梯-深潭单元的组合应用形成工阶梯深潭群组，来改善河流生境。

沉床微生态复合袋技术参数为：生态袋孔径 0.25-0.4mm，卵石粒径 5-15cm，流速控制范围 0.4-0.6m/s，生态袋区面积 9-25m²，袋间面积为 1/3~1/2 袋区域长度。

“阶梯—深潭”群组单元尺寸及结构图：

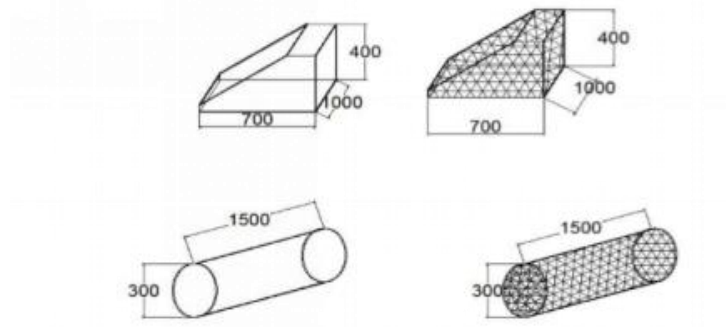


图 5-1“阶梯—深潭”群组单元尺寸及结构图

5.1.4 施工事项

施工设计可参考《河道整治设计规范》GB50707、《防洪标准》GB 50201。阶梯深潭单元按鱼鳞状交错摆放于河道中，沿河道的宽度方向，每两个阶梯深潭单元的间距为阶梯深潭单元总长度的 5-10 倍。施工结束后，通过对环境生态的维护及营造、河岸林的维护及营造、河岸带的维护及营造等环境影响和指示物种的考虑，可以最大化的减少对环境的影响。

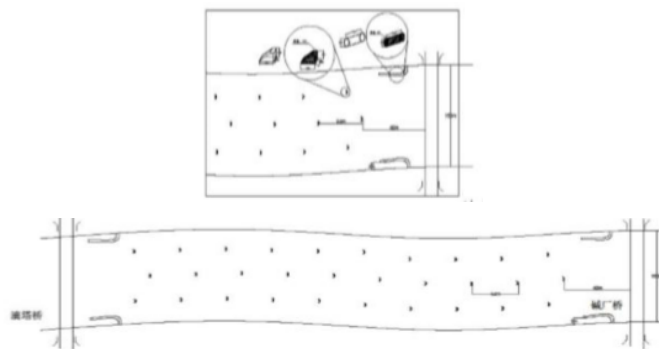


图 5-2 河道施工设计图

5.1.5 工程管理

项目建设期间每月巡查，观察区域河流变化及阶梯深潭单元运行情况，并检测区域内水质、藻类等指标的变化。定期检查内容为汛期前后工程的全面检查，一般结合年度检查进行，主要由管理单位的技术人员开展。

5.2 河岸带基质改善和植被恢复技术

5.2.1 概述

受损河岸生态系统修复的理论基础是恢复生态学,即通过河岸生态系统受损的原因及退化机理的诊断,运用生物、生态及工程的技术与方法,依据人为设定的目标,使河岸生态系统的结构、功能和生态学潜力尽可能地恢复到健康的水平。受损河岸生态系统的修复根据不同的自然地带性规律等选择适宜的优势植物、构造种群和生态系统,实行土壤、植被与生物同步分级恢复,以逐步使退化河岸带生态系统恢复到一定的功能水平,达到固沙、减少河岸带入河污染物的危害。

5.2.2 类型和结构

针对河岸带坡面植被恢复,工程以当地优势物种及微生物筛选、土壤水分流失分析等为技术基础,通过优势植物培育结合物种群落搭配恢复河岸带植被,为植被结构优化与生态恢复提供基础。经抚育的植被群落固土后,修复的河岸带即可进行自然演替,自行优化植被结构,恢复生态功能。

针对河岸带近水区,该区域紧邻水体,受河流汛期影响最为显著,在该区域内采用生态袋与多孔砖相结合的“生物砖”,搭配工程措施形成可在动态水体中保持少量泥沙的微观环境,改善上游区河流由于河道坡度大不易形成亲水植物生境的问题,并通过亲水植物的生长连通河道与河岸带间的生态纽带,结合河道内石笼等工程措施改善受损河岸生境,促进河流整体恢复。

5.2.3 技术设计

基质稳定袋、生物砖的适宜物料组合为微生物功能菌剂 3g/kg、秸秆 5g/kg、有机肥 15g/kg。

根据河岸带地区优势植被和深根浅根的搭配进行植被群落组合设计,如图 5-3、5-4 所示。

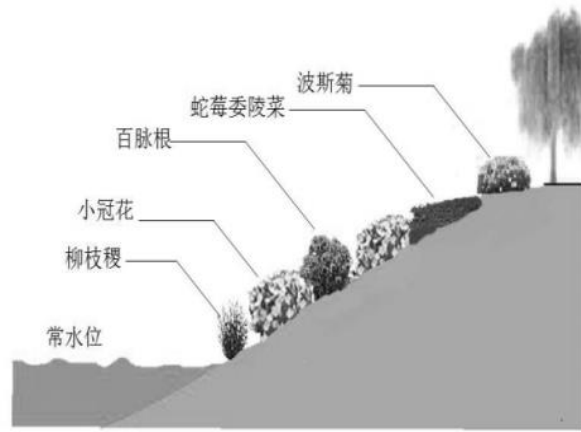


图 5-3 河岸带修复植被设计

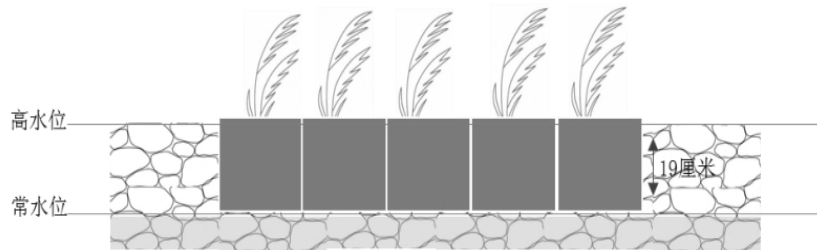


图 5-4 生物砖设计图

5.2.4 施工事项

施工设计可参考《堤防工程设计规范》GB 50286、《防波堤设计与施工规范》JTS 154、《防洪标准》GB 50201。河堤总体横向条带种植，河堤顶端开始依次种植所选择的优势植被，并形成深根-浅根的结构搭配（图 5-5）。将建筑用空心砖盛放少量砂石包裹于亲水无纺布袋内，嵌入河岸带形成修复单元，根据实地情况确定河岸带工程修复的面积（图 5-6）。

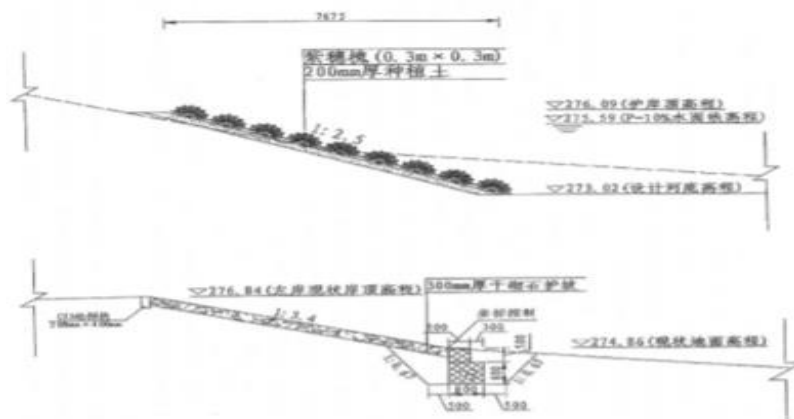


图 5-5 河岸带生态修复施工设计图

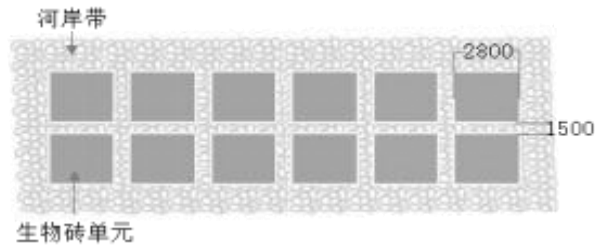


图 5-6 生物砖施工设计图

5.2.5 工程管理

项目建设期间每月巡查，观察植被恢复状况及滴灌等设备运行情况，并长期跟踪观察植被覆盖变化，保护工程不被人为破坏。

5.3 汇水区脆弱生境植物群落保护技术

5.3.1 概述

河流汇水区多以丘陵山地为主，地貌起伏大、土层薄贫瘠，侵蚀作用强，汇水区内植被受干扰破坏后，生境改变大，生物群落恢复能力差。针对汇水区结构破坏、功能退化的生态系统，实现陆域生境保护、生物群落优化及生物多样性恢复，达到区域生态环境质量提升、水量增加、水质改善，径流调节等功能恢复目标。

5.3.2 类型与结构

主要包括基于生态位分异的受胁群落封育与优化技术、基于林窗更新的次生林灌丛层恢复与保护技术、基于缓释土壤改良剂的石灰岩基质土壤养分调控技术。

5.3.3 技术设计

a) 受胁群落封育与优化技术

基于生态位分异的受胁群落封育与优化技术可分为封育技术（封育技术主要

是将封育模式作为变量，根据生态效益和经济效益作为指标判断最优模式）、补植技术（筛选优势物种，改变林下植物结构）、间伐抚育技术（间伐是对树而言，考虑最大效益的情况下对种植密度进行调整以求最佳的生物生存密度）、松枝修剪技术（松枝修剪技术是指控制树木最低的分枝高度，因其影响下层灌木及草本对阳光的吸收，因此可以控制松枝修剪高度，对群落进行控制）、枯落物调整技术（已有研究表明，枯落物对于草本及灌木发芽及生长存在一定的负面影响，同时还可提供养分，因此根据当地条件找出最适的枯落物厚度）。通过间伐抚育、封育与补植，让灌丛层和草本层得以最大丰度的生存，提高了生物多样性，减少了水土流失和入河污染。

b) 次生林灌丛层恢复与保护技术

基于林窗更新的次生林灌丛层恢复与保护技术主要应用于需要人工调控的林地生态系统，可与其他林隙技术结合，通过生物多样性指标确定调控程度。根据物种多样性、林分组成、优势物种及植物群落演替变化、对林下微环境（光照强度、温度、湿度）、土壤理化（土壤温湿度、营养成分）性质、水源涵养能力（林冠层、枯落物、土壤）、水土流失、植物病虫害、经济效益等指标，视具体情况进行相关设计。通过技术的实施提高水源涵养能力，减少经济林的灌丛层破坏，可阻控暴雨期和融雪期的面源污染。

c) 石灰岩基质土壤养分调控技术

以土壤养分调节和当地优势物种筛选为技术基础，通过对当地植被群落、土壤及微生物群落情况调查，选择当地林、农废弃物青植秸秆、松针、羊粪等材料，经小试、中试实验，筛选出当地优势乡土物种和适宜植物生长的改良剂组合，让青植秸秆、羊粪等更好地释放养分，得到具有微生物调节作用的缓释土壤改良剂，调节石灰岩基质土壤的物理、化学和生物性质功能，调节土壤中 N、P、有机质的含量，使其更适宜于植物生长，从而通过植物来进行污染阻控，减少水土的流失。土壤改良剂应当根据实际情况因地制宜进行设计和施用。设计时首先确定土壤理化性质，并根据当地的植被、地质、地貌、气候等条件选择相应类型进行设计。

5.3.4 施工事项

a) 基于生态位分异的受胁群落封育与优化技术：补植红松 2 年生苗株距 4*4m；

补植生态类灌木珍珠梅、山刺玫、绣线菊种子比为 3:1:0.5, 使用量约为 180g/100m², 经济类黄芪、刺五加、刺龙芽种子比为 2:1:0.5, 使用量约为 120g/100m²。

b) 基于林窗更新的次生林灌丛层恢复与保护技术: 林地补植最佳配比乔: 灌=11 棵: 300g/100m²; 根据树木生长情况, 间伐强度、修剪高度也有所不同, 其中以 30%间伐强度效果最优, 修枝高度 4m 效果最优; 枯落物厚度为 2-4cm 时, 植物群落长势较好。

c) 基于缓释土壤改良剂的石灰岩基质土壤养分调控技术: 青植秸秆、羊粪、松针、聚丙烯酰胺、多功能菌剂的配比为: 13: 75: 7.4: 1.4: 3.2; 6-9 月均可, 最佳制备时间为 8 月, 田间土坑覆黑色薄膜, 发酵 45-60 天, 最佳施用量 25-28kg/100m², 针对不同土壤类型, 对土壤改良剂用量进行调整。

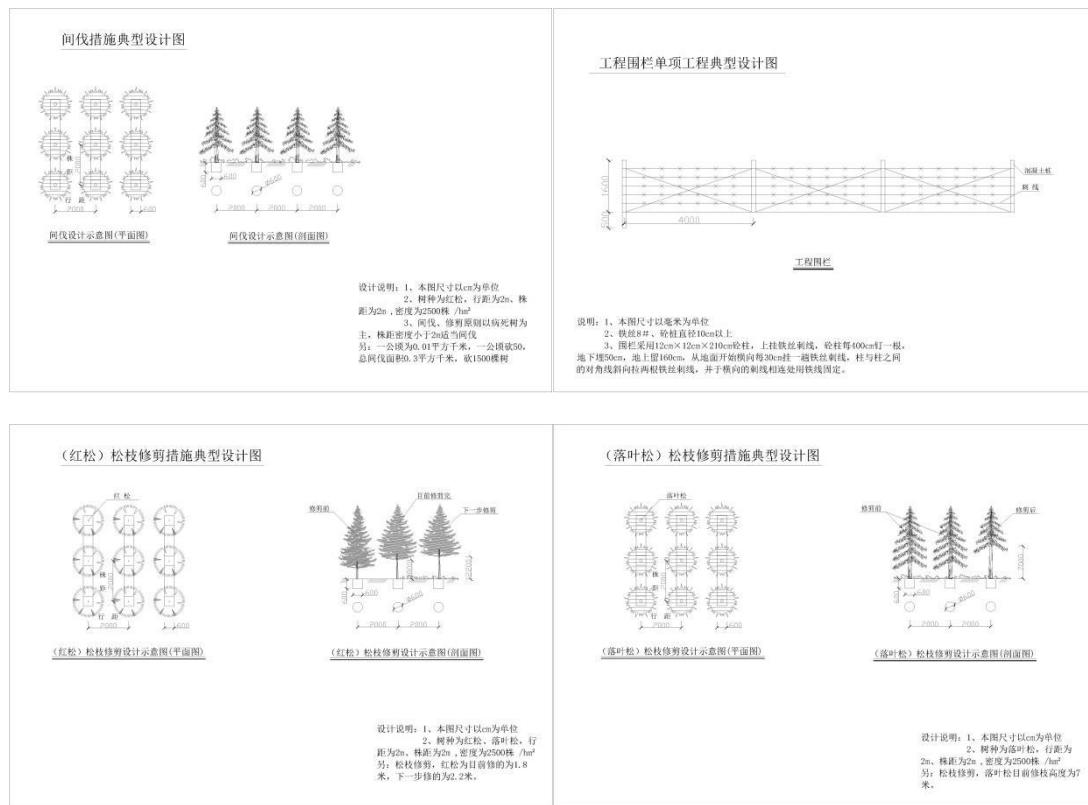


图 5-7 间伐、松枝修剪施工设计图

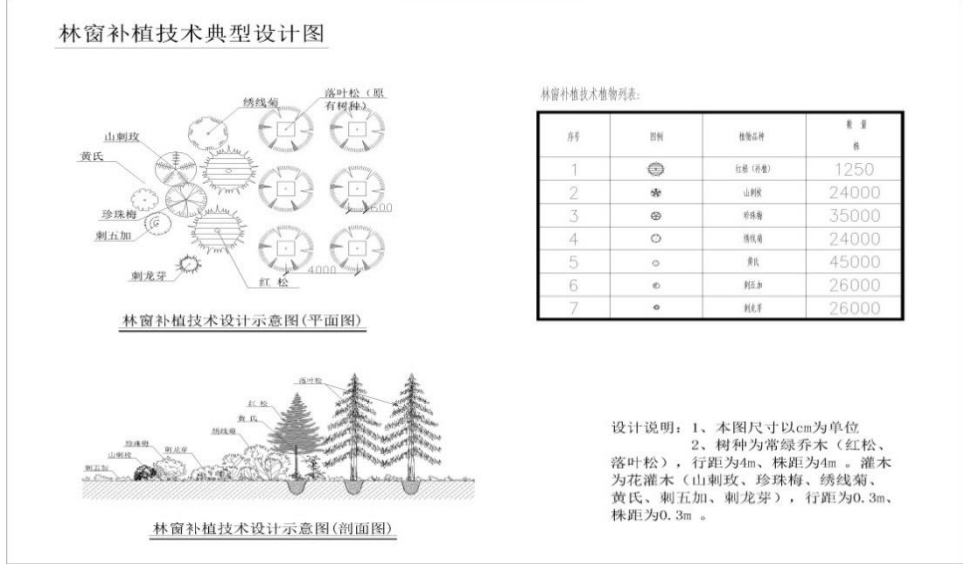


图 5-8 补植施工设计图

5.3.5 工程管理

a) 土壤改良剂的施工简便, 所需要的维护工作较少。日常维护中要注意保护植物的生长以及土壤质量, 保证土壤改良剂的实施效果。在管理方面, 土壤改良剂的缓释和保水效果是检查的重点, 要注意定期检测, 以查看有无失效。

b) 灌木移栽后, 设立专人, 严加看管, 防止人畜进入破坏, 防火灾和病虫害发生, 禁止采挖树苗, 确保恢复成灌丛层。

c) 根据当地气候条件适时浇水, 浇水应浇透, 在管护期内, 应及时补植, 确保造林保存率在 100%以上。在暴雨暴雪过后, 要仔细检查有无冲刷损坏。对灌木受损情况严重的地块, 应立即采取补植措施。

d) 在适宜季抚育, 松土除草, 割除萌发的杂草和灌木, 剪枝整形, 随时剪去枯死枝、衰老枝、病腐枝和畸形枝, 保持树木卫生状况及旺盛长势, 保持林间清洁。

6 河流中游城区段生境改善

6.1 河道仿自然生境营造技术

6.1.1 概述

自然河流中深潭和浅滩是交互存在的。深潭是低于周边河床 0.3 m 以上的部分，浅滩是高出周边河床 0.3~0.5 m 的部分，且其顶高程的连线坡度应与河道坡降一致。本技术主要利用河道现有地形，营造深潭-浅滩交错的仿自然生境，用于河道生境改善，提高河流溶解氧浓度和生物多样性。

6.1.2 类型和结构

河道仿自然生境营造，是以深潭-浅滩单元为基本单元构建的，深潭-浅滩单元由生态丁坝、潜坝、深潭和浅滩组成。

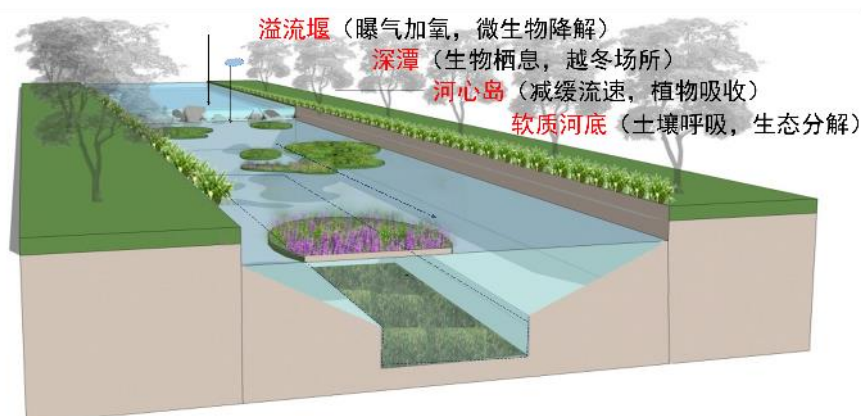


图 6-1 河道仿自然生境营造示意图

6.1.3 技术设计

基于深潭-浅滩的河道仿自然生境营造技术需求，整个工艺包括深潭-浅滩构建地点、深潭-浅滩的构建、植被恢复，如图6-2所示。

a) 深潭-浅滩构建地点：通过对河流溶解氧浓度和常规水质指标进行监测分析，确定河流的关键补氧点。结合实际河流的水文和地形特征及遥感信息，确定构建地点。

b) 深潭-浅滩的构建：利用河道中现有地形地貌和水文，结合使用生态丁坝、生态潜坝、浅滩等手段在河流中构建深潭-浅滩序列。

c) 植被恢复：在构建的生态丁坝、生态潜坝和浅滩中种植本地的草本、挺水植物，在深潭中种植本地水生植物。

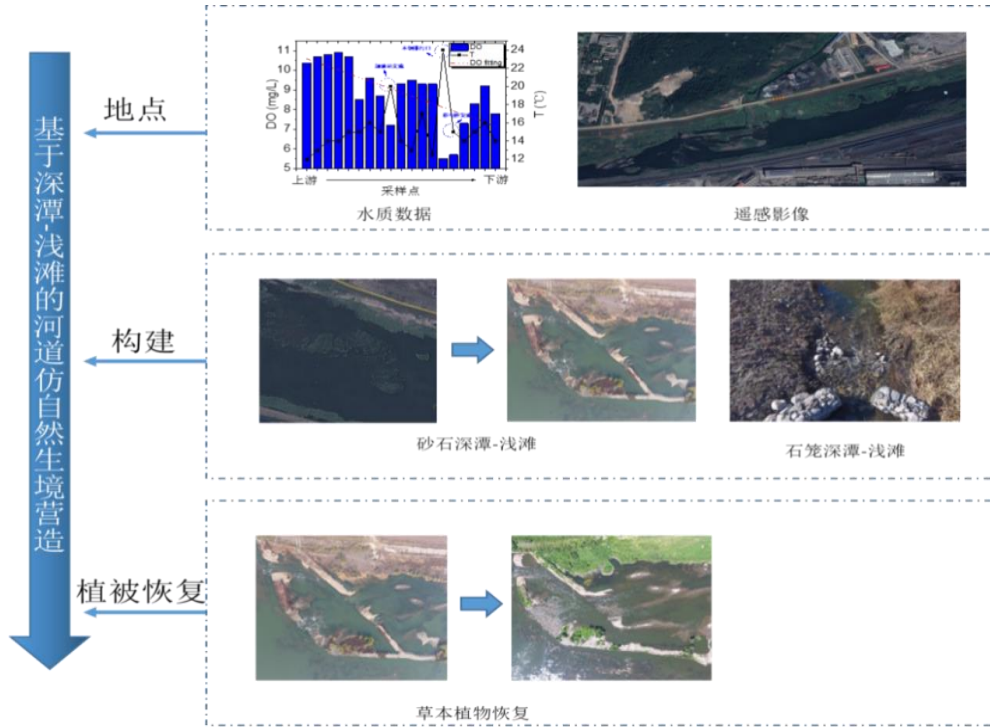


图 6-2 河道仿自然生境营造技术设计

6.1.4 施工事项

施工时间应选在枯水期，可参照《碾压式土石坝施工规范》 DL/T 5129、《防洪标准》 GB 50201，施工设计图如图6-3所示。

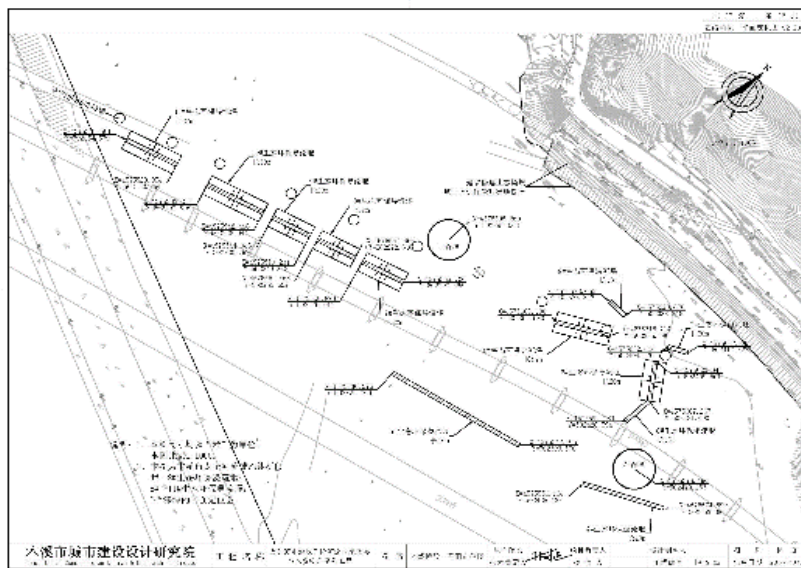


图6-3 河道仿自然生境营造施工设计图

6.1.5 工程管理

- a) 每年上游水库放水过后应对坝体进行检查、维修养护；
- b) 每年汛期结束后应对坝体进行检查、维修养护；
- c) 养护工作应做到及时消除坝体表面的缺陷和局部工程问题，随时防护可能发生的损坏，保持工程和设施的安全、完整、正常运用；
- d) 严禁在坝体管理和保护范围内进行爆破、采石、采矿、挖沙、取土等危害坝体安全的活动。

6.2 消落区带状湿地构建技术

6.2.1 概述

带状湿地为表面流湿地，主要修建在河道周边或闸坝下浅水区域，利用季节性水位差异或地势条件将部分污染水体引入湿地净化系统中，污水经净化后，再次回到原水体。河流消落区主要用于构建带状湿地。

6.2.2 类型和结构

消落区带状湿地根据水深情况，主要分为沉水植物区、浮水/叶植物区、挺水植物区和湿生植物区，如图6-5所示。

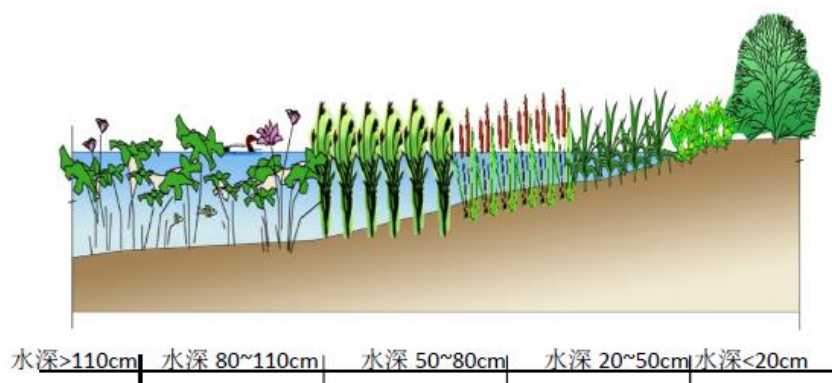


图 6-4 消落区带状湿地示意图

6.2.3 技术设计

带状湿地一般由进水区、处理区、出水区组成。进水区包括沉淀池及其附属

设施，用于去除雨水入流中的（通常为直径不小于 $125\mu\text{m}$ ）泥砂颗粒，减轻固体颗粒对湿地处理区内植物处理效果的影响；处理区内生长的植物可以去除细颗粒和溶解性污染物；湿地应当根据河道实际情况因地制宜进行设计和运行；湿地基质填料可利用河道原有砾石，经过加工筛选后使用；植物选择：选择芦苇、香蒲、美人蕉、黑麦草、水葱等生长速度快、生物量大、成活率高、种植和维护费用低、木质素含量较高、对水位变化适应性强乡土植物；湿生植物宜选择项目所在地区的适宜品种。

一般情况下，根据岸坡带水深变化范围，可选择沉水植物、浮叶植物及挺水植物等相结合的种植方式。其中挺水植物选择水体所在区域常见植物，例如香蒲、芦苇等，沉水植物选择不同季相的种类来修复水体生态系统。挺水植物一般以 $2\sim 10$ 丛/ m^2 ，沉水植物以 $30\sim 100$ 株/ m^2 的密度种植；水生植物的栽种时，水深 $>110\text{cm}$ 时，除部分荷花品种外，不适宜其他挺水植物布置；水深 $80\sim 110\text{cm}$ 时，适宜布置的植物有荷花等；水深 $20\sim 80\text{cm}$ 时，适宜布置的植物有芦苇、香蒲、水葱等；水深 $<20\text{cm}$ 时，适宜生长的植物较多，除上述植物外还有千屈菜等。

6.2.4 施工事项

带状湿地施工较简单，主要包括基质改善、进出水口结构及布置、植物栽植等。可参照《人工湿地污水处理工程技术规范》HJ2005、《防洪标准》GB 50201，如图9-6所示。

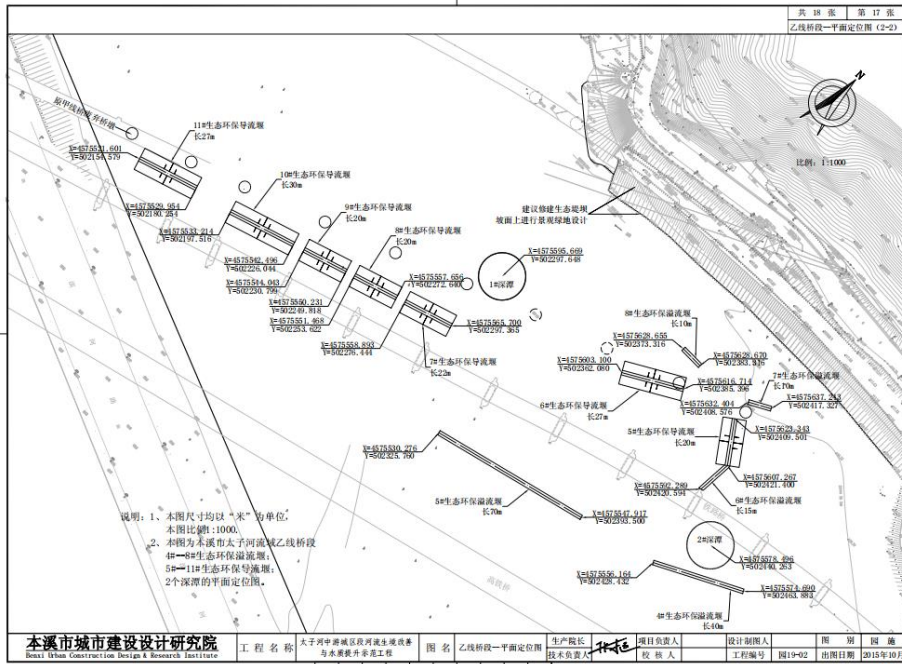


图6-5 消落区带状湿地构建施工设计图

6.2.5 工程管理

- 每年上游水库放水过后应对坝体进行检查、维修养护；
- 每年汛期结束后应对坝体进行检查、维修养护；
- 应及时收割、补种修剪植物、清除杂草。

6.3 硬质河岸原位生态修复技术

6.3.1 概述

硬质河岸是指由坚硬的石块或混凝土材料组成的与土体完全隔绝的结构体，河道硬质护岸的生态修复方法主要有两种：一是再生式生态修复，即破除硬质岸坡后进行生态化改造；另一种是保留现状硬质岸坡，直接在其表面进行生态修复。本技术属于保留现状硬质岸坡，直接在其表面进行原位生态修复。

6.3.2 类型和结构

- 多孔混凝土结构硬质堤岸生态修复
- 天然或人工渣山河岸生态修复

6.3.3 技术设计

a) 硬质堤岸生态修复：对岸坡现状及其护岸特征进行充分调查，分析现状岸坡的存在问题；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。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，进行经技术经济比较后确定；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，应充分考虑项目区的场所特性，因地制宜地进行布置。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。硬质护岸生态修复设计可参照《河道整治设计规范》 GB50707。

b) 天然或人工渣山河岸生态修复：本技术主要采用植被混凝土对坡度大于60度的高陡渣山岸坡进行原位生态修复。通过成孔物质的合理配置，在渣山坡面上营造一个既能让植物生长发育，而种植基质又不被冲刷的多孔稳定结构，使建植层固，液，气三相物质基本平衡。从而达到恢复植被，改善景观，保护生态环境的目的。修复层有一定强度且不易产生龟裂，抗冲刷能力强，特别适用于陡峭岩石边坡；喷植的基质有强度，不开裂，抗冲刷，不流失，能使岩石边坡永久恢复植被。

6.3.4 施工事项

a) 硬质堤岸生态修复：施工事项参照《道路边坡生态防护工程施工及验收技术规范》 DB44/T 499。

b) 渣山河岸生态修复：植被混凝土应用前应进行抗压强度、抗折强度、透水系数、坍落度和孔隙率测试；喷混凝土前，先喷一层水泥砂浆，待终凝后再喷射混凝土，所形成的土壤基质层的厚度为7-9cm。将配好的高羊茅和狗尾草种子和纸浆等混合材料用液压喷播植草机直接喷射在种植基材表面上，所形成的植物种子层的厚度为2-3cm。选高羊茅和狗尾草按1:1混合种植；爬山虎通过生态袋种植。

6.3.5 工程管理

a) 项目工程竣工后，即进入养护管理期。为巩固绿化成果，保障绿化效果，

发挥其功能和作用，必须加强养护管理期的养护管理力度。按照《城市园林绿化养护管理标准》 DB11/T 213中二级标准进行养护。

b) 重视各类植物的病虫害防治工作，贯彻“预防为主，综合防治”的方针，依照生物防治、物理防治和化学防治相结合的原则控制各类病虫害的发生。

c) 根据工程的实际情况，选派对工程环境熟悉、技术好、素质高、工程能力强的人员组成养护队，进行工程缺陷责任期的养护管理。配备施工机械设备，满足养护管理需求。及时进行施肥、浇水、及时修剪。

d) 在渣山生态修复中，喷播后及时覆盖无纺土工布，根据气候情况及边坡坡度，来确定在喷播层面盖单层或多层无纺布，以减少因强降水造成对喷播基材的冲刷，同时也减少边坡表面水分的蒸发，进一步改善种子的发芽、生长环境。

e) 在渣山生态修复后，苗期注意浇水，确保种子发芽、生长所需的水分。前期喷灌水养护为 60天，中期靠自然雨水养护若遇干旱，每月喷水2~3 次。后期养护每月喷水2 次；适时揭开无纺布，保证草苗生长正常；适度施肥，一般使用进口复合肥，为植物生长提供所需养分。在苗高8cm~10cm 时进行第一次追肥，还可依据实际情况进行叶面追肥；定时针对性地喷洒农药，定期清除杂草，保证植物健康生长。

7 矿区水陆交错带生态修复

7.1 矿区水陆过渡带污染阻控技术

7.1.1 概述

夏秋雨季矿区污染物随水历经水陆过渡带冲刷入河，其中，水陆过渡带作为矿区汇流区域，具有坡度变化大、生态脆弱、空间异质性高、动态性强等特点。针对上述问题，对矿山水陆过渡带地形地貌、水文特征、土壤性质及植被类型等进行相关调研，同时结合水陆过渡带地表水质污染现状的调查和分析结果，以及陆源污染物在汇流过程中的入河规律，确定基于侵蚀量的最佳植物篱种植密度、长度与空间配置的技术参数，以植物篱定量化应用为主体，综合构建并优化植物群落，构建坡面面源污染植物防控屏障，形成矿区水陆过渡带面源污染植物篱阻控技术体。

7.1.2 技术设计

以矿区水陆过渡段基质改良和养分调节和物种筛选为技术基础，利用山皮土掺秸秆作为物理改良措施，以刺槐、紫穗槐为主要植被，构建等高固氮植物篱，通过穴状客土减缓水土流失，有效降低侵蚀模数。同时厘清植株间距对截留效果的影响，提出植物篱定量化参数(穴坑呈品字形排列，适宜穴间距为 0.8m-1.2m)。通过添加功能菌剂(丛枝菌根真菌、根瘤菌)，增强了植物篱养分自给能力，满足复垦植物持续生长需求。

针对原位修复过程排土场基质较为贫瘠，无法直接复垦的问题，以山皮土、秸秆及有机肥为原料，通过物理调控及微生物改良试验，确定基质每百克山皮土加入 3g 有机肥、1g-5g 秸秆和 0.5g-1.5g 菌剂可达到修复效果。

针对常规复垦植物只能起到短期修复效果，长时间容易出现养分贫瘠的问题，通过研究筛选，以豆科耐贫瘠植物为对象，确定刺槐、紫穗槐为矿区排土场水陆过渡带污染阻控植物篱适宜先锋物种。

针对传统的沟植的种植模式，水土保持效果差，水土流失较为严重的问题，通过研究确定构建固氮植物篱过程中，采用穴植方式可有效缓解水土流失，综合衡量植株生长需求及污染阻控效果(图 7-1、7-2)。

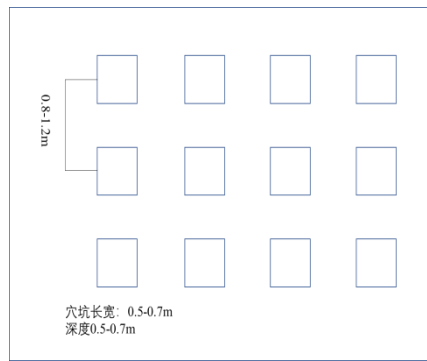


图 7-1 斜坡种植坑穴平面图

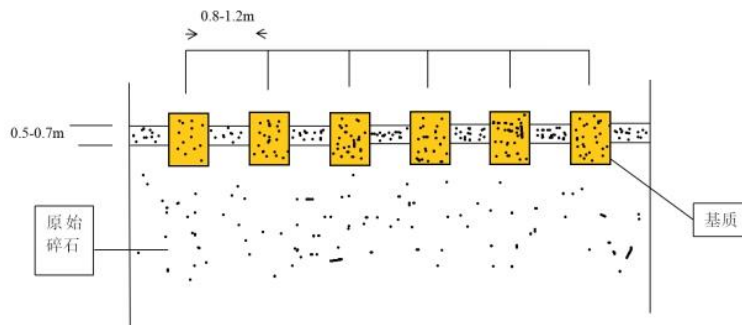


图 7-2 斜坡种植坑穴立面图

7.1.3 施工事项

施工事项参照《露天煤矿边坡稳定性年度评价技术规范》GB/T 37573、《矿山及其他工程破损山体植被恢复治理验收规范》DB21/T 2230。施工过程中，采用穴植方式可有效缓解水土流失，综合衡量植株生长需求及污染阻控效果，植物篱行距设计要与株距相结合，行间植株错开呈“品”字形的锯齿状分布具有较好的拦水挡沙效果，种植距离在 0.8-1.2m，形成基于植物篱的矿区水陆过渡带污染阻控技术。

7.1.4 工程管理

项目建设期间每月巡查，观察植被生长状况，并长期跟踪观察植被覆盖变化，保护工程不被人为破坏。

7.2 矿山坡面汇流区地表径流调控技术

7.2.1 概述

明确不同因素对汇流区产流、产沙规律的影响，其中包括不同降雨强度、降雨时间等降水参数，不同坡度、质地、渗透系数等下垫面参数。明确汇流产沙关键区域，确定矿山汇流区地表径流调控技术，优化相关技术参数，集成汇流坡面改善、缓流抑沙、控流降沙等物理措施，形成汇流区径流调控关键技术体系，旨在延长产流时间，降低径流系数，最终实现降低流域产沙量、优化矿山汇流区生境的目标。

7.2.2 技术设计

针对尾矿坝下垫面地质及水文特征，开展了下垫面改良及植被筛选研究，结合室内盆栽小试及现场中试试验，确定以山皮土、有机肥掺尾矿砂为主要复垦基质，辅以微生物改良策略，以非豆科固氮类沙棘为主要物种，结合汇流截流沟，形成矿山坡面汇流区地表径流生物物理综合调控技术。

针对目前尾矿坝库存紧张的问题，以山皮土、秸秆及有机肥为辅料，通过物理调控及微生物改良试验，将尾矿砂改造为矿区复垦基质，确定每百克尾矿砂，添加 80g-90g 山皮土、3g 有机肥、2-10g 玉米秸秆以及 5g 保水剂，可达到最好复垦效果。

针对尾矿坝保水保肥能力较差，容易水土流失的问题，在植物篱阻控基础上，辅以坡面截流汇流措施，形成径流水体生物物理耦合调控系统，通过现场中试试验进行实验研究，确定大人字沟外沟宽 1400-1600mm，外沟高 700-900mm，内沟宽 400-600mm，内沟高 300-500mm；小人字沟外沟宽 1000-1400mm，外沟高 600-800mm，内沟宽 300-500mm，内沟高 300-500mm。

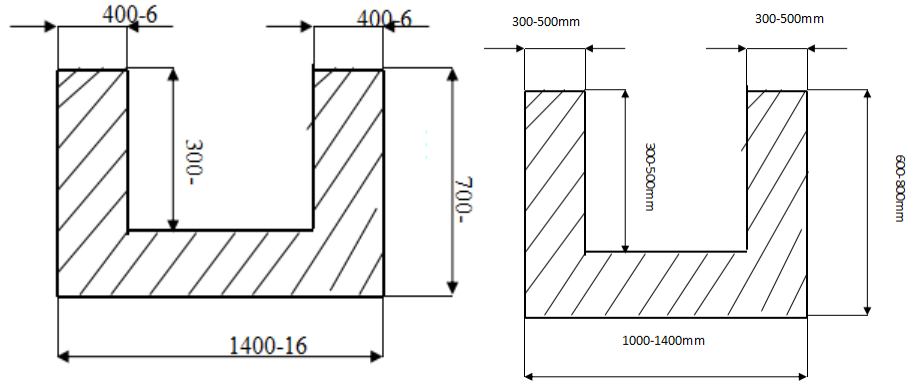


图 7-3 大、小人字沟断面尺寸示意图

7.2.3 施工事项

施工事项参照《露天煤矿边坡稳定性年度评价技术规范》GB/T 37573、《矿山及其他工程破损山体植被恢复治理验收规范》DB21/T 2230。在施工过程中，以尾矿坝复垦工程为依托，以沙棘、紫穗槐为主要先锋物种，在歪头山铁矿尾矿坝构建阻控植物篱-汇流截流沟组合体系。通过植物+工程措施阻控可以提升效果，不同尺寸的人字沟对水土保持效果也有一定影响。针对目前尾矿坝库存紧张的问题，以山皮土、秸秆及有机肥为辅料，通过物理调控及微生物改良试验，将尾矿砂改造为矿区复垦基质，确定每百克尾矿砂，添加 80g-90 克山皮土、3g 有机肥、2g-10g 玉米秸秆以及 5g 保水剂，可达到最好复垦效果。

7.2.4 工程管理

定期观察植被生长状况，并长期跟踪观察植被覆盖变化，保护工程不被人为破坏。

7.3 矿山生态退化区生境改善技术

7.3.1 概述

针对不同生态退化区特征，依据恢复生态学原理，采用再造生境法，对比并筛选不同先期生境改造技术，并综合养分调节措施，集成研发适宜矿区生态退化区的下垫面改善技术，形成北方矿山生态退化区下垫面改善与基质养分调控集成技术。依据密度-质量调控原理，集成相关技术，构建具有高生态位互补性-高生

态系统稳定性的矿山生态退化区植被修复群落结构。

7.3.2 技术设计

利用采场土、山皮土和有机肥制成复垦基质，提高原采场基质的黏粒含量、改善空隙结构、提高植物成活率和生长速度；采用非豆科火炬树与豆科刺槐分层立体种植，形成不同生态区，以适应区域环境，同时具有红绿相间的景观效果。依据采场基质改良、先锋植物抚育和群落结构优化技术的相关成果，主要技术参数为：

a) 应用采场土掺拌山皮土和有机肥的基质改良方案，改良土壤厚度 500~600mm，确定采场土基质掺拌 40%山皮土+5%有机肥为最佳配比。

b) 先锋植物采用非豆科火炬树与豆科刺槐分层立体种植，设计株行距 1~1.5m，胸径 3~4cm、高 60cm 小苗，采用穴栽模式。

c) 进行边坡整形，以保证边坡稳定和植物种植坡度，整体边坡角 24°，台阶坡面角 37~ 45；台阶高度 7~10m，水平投影宽度 10m，平盘宽度均为 10m；盘面纵向坡率 2%，横向坡率 3%，纵坡倾向由相邻断面确定，平盘上的水有组织汇入纵向排水沟内。

7.3.3 施工事项

施工过程中，应当注意到：采场土砂砾含量高、缺乏养分，山皮土黏粒含量高、但空隙结构不够合理，有机肥可提高幼苗成活率和生长速度，三者掺拌混合可取长补短，有利于植物生长；非豆科与豆科的优良树种分层立体种植，可以更好适应恶劣自然环境。

- 说明:
1. 6-6'断面削坡后整体边坡角24°，顶部台阶坡面角37°，其他各台阶坡面角45°；
 2. 顶部台阶高度为10m，底部台阶高度为7.69m，其他台阶高度均为10m。
 3. 台阶边坡水平投影宽度均为10m，平台宽度均为10m。
 4. 盘面纵向坡度2%，横向坡度3%，纵坡倾向由相邻断面确定。
 5. 平台上的水有组织地汇入3条纵向排水沟内。

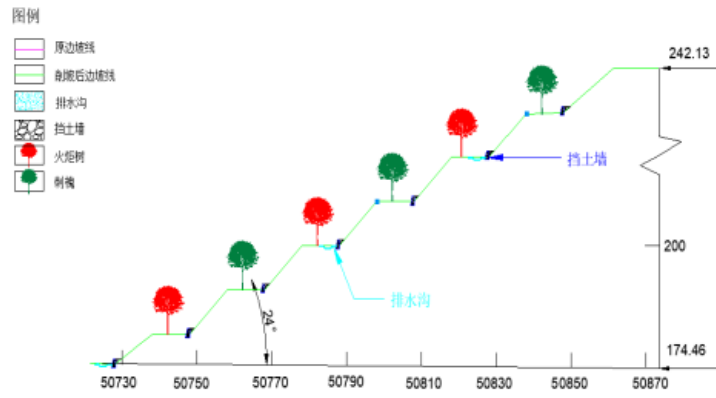


图 7-4 采场示范区生态修复剖面图



图 7-5 采场治理区生态修复平面图

7.3.4 工程管理

项目建设期间每月巡查，观察植被生长状况，并长期跟踪观察植被覆盖变化，保护工程不被人为破坏。

8 维护与管理

8.1 维护与管理的总体原则

a) 山区段河流生态修复按照“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山区段河流的生态修复实施方案中。

b) 在全面把握历史、自然环境、地方经济、人文情况等方面的基础上，对山区段河流生态修复实施方案工程前后进行全过程管理。

c) 山区段河流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。

d) 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。

e) 建立公众参与监督机制，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

a) 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。

b) 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、岸线功能转化或其他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、道路和其他临河设施等，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。

c) 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、功能转化或其他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。

d) 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。

e) 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。

f) 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。

g) 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。

h) 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。

i) 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。

j) 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。

k) 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。

1) 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 投资估算一般要求

a) 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。

b) 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。

c) 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。

d) 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。

e) 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：

a) 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；

b) 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；

c) 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。

d) 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。

e) 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

a) 投资估算主要包括建设投资、建设期利息等内容。

b) 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。

c) 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

a) 分别估算建筑工程费、设备购置费和安装工程费。

b) 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。

c) 在工程费用的基础上估算工程建设其他费用。

d) 以工程费用和工程建设其他费用为基础估算基本预备费。

e) 在确定工程费用分年投资计划的基础上估算涨价预备费。

f) 汇总求得建设投资。

g) 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

9.5.1 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）。

9.5.2 编制范围

编制范围一般包括工程费用、工程建设其他费用、预备费及建设期贷款利息。

9.5.3 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：

- a) 国家、行业和地方政府的有关规定；
- b) 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；
- c) 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；
- d) 类似工程的各种技术经济指标和参数；
- e) 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；
- f) 政府有关部门、金融机构等部门发布的价格指数、利率、汇率、税率等参数；
- g) 与项目建设相关的工程地质资料、设计文件、图纸等。

9.5.4 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：

- a) 主要人工、材料、机械价格计取说明；
- b) 工程费用计算说明；

- c) 工程建设其他费用计算说明；
- d) 预备费及建设期贷款利息计算说明。

9.5.5 投资估算结果

投资估算结果为各技术部分的造价指标。