



团 体 标 准

T/CQSES 31—2025

川渝跨界河流水生态修复技术指南

Technical guide for water ecological restoration in Sichuan-
Chongqing transboundary river

2025-09-03 发布

2025-12-03 实施

重庆市环境科学学会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 水生态环境调查与问题诊断	2
5 水生态修复总体设计	4
6 水质提升技术	4
7 水生态修复技术.....	15
附录 A (资料性) 川渝跨界重要河流基本信息表	18
附录 B (资料性) 河流水质调查表	20
附录 C (资料性) 河岸带踏查及稳定性记录表	21
附录 D (资料性) 河岸带鸟类、两栖类、景观及土地利用类型记录表	22
附录 E (资料性) 栖息地质量评价记录表	23
附录 F (资料性) 景观效应打分表	24

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由重庆市生态环境科学研究院提出。

本文件由重庆市环境科学学会归口。

本文件起草单位：重庆市生态环境科学研究院、重庆港力环保股份有限公司、重庆阁林环保科技有限公司。

本文件主要起草人：封丽、廖伟伶、黄昌前、唐嘉、孙通、杨肃博、陈婷婷、姚源、吴进、余义昌、陈爱玲。

川渝跨界河流水生态修复技术指南

1 范围

本文件给出了川渝跨界河流水生态修复技术的环境调查与问题诊断、总体设计、水质提升技术、修复技术的指南。

本文件适用于川渝重要跨界河流的水生态环境调查与问题诊断、水生态修复总体设计与水质提升、水生态修复。

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(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB 3838 地表水环境质量标准
- HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范
- HJ 710.7 生物多样性观测技术导则 内陆水域鱼类
- HJ 710.12 生物多样性观测技术导则 水生维管植物
- HJ 1098 水华遥感与地面监测评价技术规范(试行)
- HJ 945.3 流域水污染物排放标准制定技术导则
- HJ 1295 水生态监测技术指南 河流水生生物监测与评价
- HJ 1296 水生态监测技术指南 湖泊和水库水生生物监测与评价
- SC/T 9102.3 渔业生态环境监测规范 第3部分:淡水
- SL 196 水文调查规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

生境 **habitat**

生物的个体、种群或群落生活地域的环境。

注:包括必需的生存条件和其他对生物起作用的生态因素;水生态修复中主要包括影响河道及岸线生物生长的水文、流速、水深、底质、护岸形态等环境要素。

3.2

生态修复 **ecological restoration**

通过人为改变和切断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。

3.3

河流生态缓冲带 **riparian ecological buffer zone**

陆地生态系统与河湖水域生态系统之间的连接带和过渡区,包括从河湖多年平均最低水位线向陆

域延伸一定距离的空间范围。

注：其主要功能是隔离人为干扰对河湖负面影响、保护河湖生物多样性、减少面源污染。

3.4

生物多样性 biodiversity

一定时间和地区所有生物种及其遗传变异态系统的复杂性总称。

注：包括基因多样性、物种多样性和生态系统多样性三个层次总称。

4 水生态环境调查与问题诊断

4.1 基本情况调查

4.1.1 地理位置：主要包括河流地理坐标(经纬度坐标)、范围与边界、面积等。

4.1.2 气候气象：主要包括河流所处的气候带、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、主导风向、平均风速、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。

4.1.3 地形地貌：主要包括河流两岸 500 m 区域内遥感影像、河岸带水域、陆域植物群落组成类型及分布、土地利用类型与面积、土壤类型及面积、植被类型分布、区域 DEM 高程图等。分析山地地形地貌对跨界河流营造生境、流域产汇流过程、河势变化发展和河流开发利用的影响。

4.1.4 流域特征：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)、河流流向、流程、水系形态、河道状况、河网密度、支流分布状况等。水文特征主要包括水量、水位(多年平均最高水位、常水位、多年平均最低水位)、水量季节变化、含沙量、水能蕴藏量、通航水位、干流及主要支流日流量等。

4.1.5 时间信息：主要包括河流平水期、丰水期、枯水期、汛期以及结冰期等。

4.1.6 水质资料：主要包括河流水质历史监测数据和补充监测数据、水功能区与水质目标要求等。

4.1.7 流域污染物排放状况：主要包括流域内的工业企业、生活污水、畜禽养殖和农田面源的污染物排放量及主要污染物排放情况，评估污染物对河流生态系统的影响。

4.1.8 流域敏感目标：主要包括目标流域是否属于生态保护红线、自然保护区、饮用水水源保护区、水产种质资源保护区、鱼类“三场”及洄游通道、重要湿地等特殊保护区域范围；是否存在独特的土著种或珍稀物种以及保护物种需要的生境条件、水污染治理方案及相关研究报告、河流水利工程、水资源利用状况等。

4.2 水生态环境调查

4.2.1 河流水文、水质调查

流域水文、水质调查频次为丰、平、枯三季各一次，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 km 的，上、中、下游各设一个点。水文具体调查方法按照 SL 196 执行，水质具体调查方法按照 HJ/T 91 执行。

4.2.2 河流底质调查

调查沉积物颜色、气味、油污情况等表观性状。调查底质类别(淤泥、泥沙、黏土、粗砂、砾石、卵石、岩石或其他)及其出现比例。底质类型和理化性质的调查频次和点位与水文、水质调查一致。

4.2.3 河流生物调查

4.2.3.1 调查对象包括大型水生植物、鱼类、底栖动物、浮游生物(浮游植物、浮游动物)、着生藻类等。水生植物和鱼类的调查时间选在植物和鱼类生长最旺盛的季节。底栖动物、浮游生物及着生藻类的调

查点位和频次与河流水质调查一致。

4.2.3.2 大型水生植物：一般分为挺水植物、漂浮植物、浮叶植物和沉水植物。监测方法按照 HJ 710.12 和 HJ 1296 执行。

4.2.3.3 鱼类：调查方法按照 HJ 710.7 和 SC/T 9102.3 执行。

4.2.3.4 底栖动物：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。调查方法按照 HJ 1295 执行。

4.2.3.5 浮游生物：一般分为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、轮虫、枝角类和桡足类。调查方法按照 HJ 1296 执行。

4.2.3.6 着生藻类：着生藻类调查方法按照 HJ 1295 执行。

4.2.4 生境调查

生境调查的因子包括：河岸带状况、稳定性、鸟类及两栖类、景观、土地利用类型、栖息地状况等。川渝跨界重要河流基本信息表见附录 A。制作河岸带踏查及稳定性记录表调查表见附录 B，河岸带鸟类、两栖类、景观效应及土地利用类型记录表见附录 C，河道水量状况及生物栖息地评价表见附录 D，景观调查评价参考附录 E。

4.2.5 污染源调查

调查流域内工业、生活、农田、养殖等污染源，补充调查流域水土流失、径流污染、入河排污口等。调查流域内植物资源利用、放牧、采砂等人类干扰活动。污染源调查方法按照 HJ 945.3 执行。

4.3 水生态环境问题诊断

4.3.1 概述

以河流生态系统问题诊断为目标层，针对河流生态系统的水文水质状况、生物状况及生境状况等方面对河流生态系统进行退化程度的评价，将以上三个方面作为评价指标的准则层，遵循综合性和层次性、代表性和独立性、可操作性和数据易获取、区域性、定性和定量相结合等原则，并结合国内外流域生态系统退化程度诊断研究和实际工作中的指标设置，初步构建指标层。指标体系大致包括 3 大项(水文水质状况、生物状况和生境状况)、14 项指标(生态需水保证率、断流频率、溶解氧、化学需氧量、氨氮、总磷、浊度、底泥有机质、鱼类、浮游动物多样性、浮游植物多样性、底栖动物物种数、着生藻类多样性、生态带质量)，见表 1。

表 1 水生态系统问题诊断指标

目标层	准则层	指标层
流域生态系统问题诊断指标体系	水文水质状况	生态需水保证率、断流频率、水质指标(溶解氧、化学需氧量、氨氮、总磷、浊度)、底泥有机质
	生物状况	鱼类、浮游动物多样性、浮游植物多样性、底栖动物物种数、着生藻类多样性
	生境状况	生态带质量

4.3.2 水文水质状况

生态需水保证率、断流频率参照《受损河流生态修复技术导则》进行计算。

基于河流的水质调查结果，依据 GB 3838 评价河流水质现状。掌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，诊断分析河流水质状况。

4.3.3 生物状况

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。

4.3.4 生境状况

基于生态带调查结果,分析影响生态带生态、防护与社会功能的因素及程度,从而判断缓冲带存在的问题。

4.4 生态环境遥感监测

生态环境遥感监测方法按照 HJ 1098—2020。

5 水生态修复总体设计

5.1 水生态修复总体理念

宜将跨界河流从上游至下游整体纳入生态修复范围,结合川渝跨界河流两岸多呈现陡坡、缓坡、凹谷等复杂多变、立体多维的地形地貌特征,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,维系现有河流的流势、流态等水流特征,整体规划设计流域水生态修复方案。

在控源截污基础上,实施河道水质净化提升工程。水生态修复应纳入河道生态修复规划。

5.2 跨界河流水生态修复原则与技术路线

5.2.1 河道生态治理和河道基本功能紧密结合的原则。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。

5.2.2 自然修复为主与人工修复为辅的原则。充分考虑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,采用自然修复为主、人工修复为辅且经济实用的措施开展水生态修复。

5.2.3 科学性和适应性相结合的工程方案设计原则。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,结合河道的不同特征,以创建健康的河道生境条件为目标,制定科学合理的水生态修复工程方案。

5.2.4 河道水质改善与自然属性保护相结合的原则。以河道水质改善与河道自然属性保护为目标,减少入河污染物,提高河道的自净和生态修复能力,促进河道生态系统的健康、良性发展。

6 水质提升技术

6.1 原位水质提升技术

6.1.1 物理技术

6.1.1.1 原位覆盖技术

6.1.1.1.1 技术原理:原位覆盖技术的实质是将覆盖材料以水力喷射、机械设备表层倾倒、移动驳船撒布等方式投加到水体中,使材料在底泥与上覆水间形成一层掩蔽层,阻止底泥中污染物迁移的同时,利

用覆盖材料自身结构与性质对底泥污染物进行吸附、降解。

6.1.1.1.2 治理效果:原位覆盖技术通过在污染介质表面铺设特定材料,构建物理屏障阻隔污染物迁移,可将底泥污染物释放量降低 50%~90%,显著减少水体中重金属、有机污染物浓度;同时,该技术能为底栖生物营造安全栖息环境,提升水体透明度与溶解氧含量,促进生态系统恢复;在长期稳定性方面,优质覆盖材料可维持 3 年~10 年的有效阻隔,并结合生物修复逐步降解污染物,且适用于多种水体污染场景,是兼具高效性与经济性的污染治理方案。

6.1.1.1.3 适用范围:原位覆盖技术在一定程度上可以取得较为明显的效果,但需要考虑地下水渗流、覆盖层侵蚀,边坡崩塌与深层生物扰动等限制因素。

6.1.1.1.4 技术参数:覆盖材料选择见表 2。

表 2 覆盖材料参数

材料类型	主要成分	适用污染物	渗透系数 cm/s	成本 元/m ³
黏土	高岭土、蒙脱石	重金属、有机物	$<1 \times 10^{-7}$	20~50
沸石	硅铝酸盐矿物	氨氮、重金属	$<1 \times 10^{-6}$	30~60
改性材料	活性炭、膨润土改性	有机污染物、重金属	$<1 \times 10^{-8}$	50~100
土工膜	聚乙烯等高分子材料	各类污染物阻隔	$<1 \times 10^{-10}$	80~150

6.1.1.2 原位封闭技术

6.1.1.2.1 技术原理:原位封闭技术是对严重污染沉积物采取的强化处理措施,即采用物理措施将污染沉积物完全与水体分隔,一般的分隔手段包括隔离膜、围堰、土石堤坝等。

6.1.1.2.2 治理效果:原位封闭技术通过构建物理、化学或生物屏障,将污染物牢牢限制在特定区域内,有效切断其迁移扩散路径,对土壤重金属、挥发性有机物及石油烃类等污染物的阻隔效率高达 80%~95%,极大降低周边水体污染风险;凭借材料良好的化学稳定性与抗侵蚀性,可在 10 年~20 年内持续发挥作用,防止污染物二次释放;同时,减少污染物暴露,显著降低人群健康风险,促进周边生态系统修复,3 年~5 年内动植物群落多样性可恢复 20%~40%;此外,还能与其他修复技术协同,形成复合方案提升整体修复效率。

6.1.1.2.3 适用范围:原位封闭技术主要局限于修复周期较长和修复效果的不确定性较大。

6.1.1.2.4 技术参数:封闭材料选择见表 3。

表 3 封闭材料参数

材料类型	主要成分	适用污染物	渗透系数 cm/s	优势	成本 元/m ³
水泥基材料	水泥、骨料	重金属、无机物	$<1 \times 10^{-7}$	强度高、耐久性好	300~800
膨润土、黏土 复合材料	膨润土、天然黏土	各类污染物	$<1 \times 10^{-8}$	渗透性低、成本低	200~600
土工合成材料	高密度聚乙烯 等高分子材料	挥发性有机物、 液体污染物	$<1 \times 10^{-10}$	柔韧性好、施工便捷	800~1 500
化学胶结材料	环氧树脂、聚氨酯	有机污染物、重金属	依配方而定	固化快、密封性强	1000~2 000

6.1.1.3 底泥疏浚

6.1.1.3.1 技术原理:通过物理方法去除河道或湖泊底部的沉积物,以改善水体的环境和生态状况。

6.1.1.3.2 治理效果:底泥疏浚技术通过机械或水力清除污染底泥,能高效去除重金属、有机污染物及氮磷营养盐,底泥中总磷、总氮去除率达60%~80%,重金属最高可达90%,显著削减污染负荷;大幅提升水体透明度1 m~3 m,增加溶解氧1 mg/L~4 mg/L,遏制黑臭和水华;恢复底栖生物生存空间,使生物种类增加30%~50%;还能增加水体容积,提升调蓄洪水能力,增强水体自净功能,全面改善水体生态环境。

6.1.1.3.3 适用范围:具有就地解决、不占地、节省费用等优点。但工程的实施需要根据处理对象河流的特点,合理控制疏浚深度,过深容易破坏河底水生生态,过浅不能彻底清除底泥污染物。其次疏浚底泥的后续处置难度较大,存在二次污染风险,需要按规定安全处理处置。

6.1.1.3.4 技术参数:水体底泥疏浚技术实施中,需依污染调查结果确定疏浚范围,轻度污染区深度0.3 m~0.5 m,重度污染区1 m~2 m以上;根据场景选择设备,如绞吸式用于大面积疏浚,斗轮式适合硬质底泥;泥浆经机械脱水与自然干化,使含水率降至40%以下,再依污染程度选择土地复垦、固化填埋等处置方式;施工时控制水流速度 ≤ 0.5 m/s、水位波动 ± 0.3 m以内,避开恶劣天气;通过实时监测疏浚深度、泥浆浓度等过程指标,及验收底泥残留污染物和水质,确保工程质量。

6.1.2 化学技术

6.1.2.1 化学除藻法

6.1.2.1.1 技术原理:主要是通过向水中投加各种杀藻剂(如硫酸铜、漂白粉、次氯酸钠等),抑制藻类暴发,改善水体透明度。

6.1.2.1.2 治理效果:化学除藻法利用硫酸铜、高锰酸盐、杀藻剂等化学药剂,能快速破坏藻类细胞结构或抑制其光合作用,对蓝藻、绿藻等常见藻类的去除率可达80%~95%,可在短时间内(1 d~3 d)显著降低水体藻类生物量,有效消除水华现象,提升水体透明度至0.5 m~1.5 m。同时,降低藻类分解导致的水体缺氧风险,迅速改善水体感官和气味。但该方法可能影响水体pH值、溶解氧等指标,且部分药剂残留会对水生生物(如鱼类、浮游生物)产生毒害作用,还可能引发藻类抗药性,存在二次污染和生态失衡隐患。

6.1.2.1.3 适用范围:操作简单,可在短时间内取得明显的除藻效果,提高水体透明度。但不能将氮、磷等营养物质清除出水体,不能从根本上解决水体富营养化。而且除藻剂的生物富集和生物放大作用对水生生态系统可能会产生负面影响,长期使用低浓度的除藻剂还会使藻类产生抗药性,长期运行成本高。除非作为严重富营养化河流的应急除藻措施,且在健康安全许可范围内,化学除藻一般不宜采用。

6.1.2.1.4 技术参数:化学除藻法实施中,需根据藻类种类、水体面积与深度精准选择药剂。硫酸铜常用浓度为0.5 mg/L~1 mg/L,高锰酸盐为1 mg/L~3 mg/L,新型杀藻剂使用浓度多在0.1 mg/L~0.5 mg/L。投加时采用均匀喷洒或定点投放,大型水域借助船载喷洒设备,小型水体可人工操作。药剂投加后需持续监测水体pH值(宜保持在6.5~8.5)溶解氧(不低于5 mg/L)及藻类数量变化,若出现指标异常需及时采取调节措施。同时,为减少药剂残留危害,除藻后7 d~10 d内,需对水体生态指标进行跟踪评估,并配合生物修复等手段降低生态风险。

6.1.2.2 混凝沉淀法

6.1.2.2.1 技术原理:通过投加混凝剂去除水体中污染物、改善水质的处理技术。

6.1.2.2.2 技术特点:混凝沉淀法通过投加铝盐、铁盐或高分子混凝剂,能有效去除水体中悬浮物、胶体颗粒及部分溶解性污染物,对浊度的去除率可达90%以上,COD去除率达30%~60%,总磷去除率达70%~90%,还可吸附去除部分重金属和有机污染物。该方法能快速降低水体浊度,改善水色,提升透明度,且操作简便、处理效率高,可与其他水处理工艺结合使用,但可能产生化学污泥,需注意药剂残留对水质的影响。

6.1.2.2.3 适用范围:适用于污染严重、较为封闭的地表水体,但是同样不能从根本上解决水体的富营养化;且对水体环境要求较高,例如在除磷时,若水底缺氧,底泥中有机物被厌氧分解,产生的酸环境会使沉淀的磷重新溶解进入水中,造成二次污染。

6.1.2.2.4 技术参数:混凝沉淀法实施时,需根据水质特性选择混凝剂种类及投加量,铝盐投加量一般为 5 mg/L~50 mg/L,铁盐为 10 mg/L~100 mg/L,高分子混凝剂为 1 mg/L~10 mg/L。控制 pH 值在 6~9 为宜,水温以 20 °C~30 °C 最佳。混合阶段搅拌强度为 200 r/min~300 r/min,时间 1 min~3 min,反应阶段搅拌强度为 20 r/min~50 r/min,时间 15 min~30 min。沉淀时间一般为 1 h~3 h,表面负荷为 1 m³~3 m³/(m²·h)。施工时需实时监测水质指标,调整运行参数,确保处理效果,同时合理处置产生的化学污泥。

6.1.2.3 重金属化学固定法

6.1.2.3.1 技术原理:通过调高 pH 将重金属结合在底泥中,在较高 pH 环境下,重金属会形成硅酸盐、碳酸盐、氢氧化物等难溶性沉淀物。加入碱性物质将底泥的 pH 控制在 7~8,可以抑制重金属以溶解态进入水体。

6.1.2.3.2 治理效果:该方法可使土壤中重金属的浸出浓度降低 50%~90%,有效抑制其向地下水和植物体内迁移,且操作简便、见效快,能在短期内实现重金属污染的稳定化控制。但需注意药剂投加可能引起的土壤 pH 值变化或二次污染风险,且固定效果可能受环境条件(如 pH、氧化还原电位)影响,存在长期稳定性需验证的问题。

6.1.2.3.3 适用范围:可根据底泥中重金属的种类、含量及 pH 的高低来决定施用量,但施用量不应太多,否则会对水生生态系统产生不良影响。

6.1.2.3.4 技术参数:重金属化学固定法实施时,需根据重金属种类和污染程度选择药剂及投加量,如石灰投加量通常为 1%~5%(以干土质量计),磷酸盐为 0.5%~3%,硫化物为 0.1%~1%。控制反应体系 pH 值在 6~9 范围内,以促进沉淀或吸附反应的进行,同时需确保药剂与污染介质充分混合,可采用机械搅拌或翻耕方式,混合深度一般为 0.2 m~1 m。反应时间根据药剂类型和污染情况确定,通常为 1 d~7 d,施工后需监测土壤 pH 值、重金属形态分布及浸出毒性,要求处理后重金属浸出浓度符合相关标准,且土壤理化性质不受显著不良影响。

6.1.3 生物修复技术

6.1.3.1 曝气增氧技术

6.1.3.1.1 技术原理: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。

6.1.3.1.2 治理效果:水体曝气增氧技术能快速提升水体溶解氧含量,通常可使溶解氧浓度提高 2 mg/L~5 mg/L,有效缓解水体缺氧状况,抑制厌氧微生物活动,减少硫化氢、氨氮等有毒有害物质的产生,降低黑臭现象发生概率。同时,促进好氧微生物对有机污染物的分解,COD 去除率可达 20%~40%,还能增强水体流动性,提升自净能力,改善水生态环境,为鱼类等水生生物提供更适宜的生存条件,对预防水华也有一定作用。

6.1.3.1.3 适用范围: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。但河流人工曝气增氧-复氧建设成本较大。

6.1.3.1.4 技术参数:各种河道曝气充氧设备的参数与特性比较见表 4。

表 4 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
鼓风机-微孔布气管曝气系统	鼓风机 微孔布气管	氧转移率较高(水深为 5 m 时为 25%~50%)	① 布气管安装工程量大,维修困难,对航运有一定的影响;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
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
纯氧-混流增氧系统	氧源 水泵 混流器 喷射器	① 氧转移率高(3.5 m 水深时即可达到 70%左右);② 可安置在河床近岸处,对航运的影响较小	纯氧系统需要定期维护,以确保氧气供应的稳定性和安全性
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
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;③ 充氧动力效率较高,一般为 $1.0 \text{ kgO}_2 \sim 1.2 \text{ kgO}_2 / (\text{kW} \cdot \text{h})$	维修较麻烦
叶轮式增氧机	叶轮 浮筒 电机	① 安装方便;② 基本不占地;③ 充氧动力效率一般为 $1.4 \text{ kgO}_2 / (\text{kW} \cdot \text{h})$	① 产生噪声;② 外表不美观

6.1.3.2 生物膜技术

6.1.3.2.1 技术原理: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。整个生物膜处于增长、脱落和更新的生态过程。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。

6.1.3.2.2 治理效果:生物膜技术利用载体表面附着的微生物群落(如细菌、真菌、藻类等),通过吸附、分解等作用高效去除水体中的有机物、氮磷营养盐及部分重金属。对 COD 的去除率可达 60%~90%,氨氮去除率达 80%~95%,总磷去除率达 50%~70%,能显著降低水体富营养化风险。同时,生物膜的生态结构稳定,可抵抗水质波动,长期维持处理效果,且污泥产量少,运行成本低。此外,该技术能改善水体透明度,促进水生生态系统修复,适用于河道、湖泊及污水处理厂的深度处理。

6.1.3.2.3 适用范围:生物膜法对水量、水质的变化有较强的适应性;固体介质有利于微生物形成稳定的生态体系,处理效率高;且对河道影响小。但滤料表面积小,BOD 容积负荷小;附着于固体表面的微生物量较难控制,操作伸缩性差。

6.1.3.2.4 技术参数:生物膜技术实施时,水质特性选择载体材料与工艺参数如下:

- a) 载体类型:常用活性炭、陶粒、聚氨酯等,比表面积需 $\geq 500 \text{ m}^2 / \text{m}^3$,孔隙率 $\geq 60\%$;
- b) 水力负荷:普通生物膜反应器宜控制在 $0.5 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d}) \sim 2 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$,曝气生物滤池可提升至 $3 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d}) \sim 6 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

- c) 溶解氧:好氧段控制在 2 mg/L~4 mg/L,缺氧段 \leq 0.5 mg/L,厌氧段 \leq 0.2 mg/L,通过曝气或回流调节。
- d) 温度与 pH:适宜温度为 20 °C~30 °C,pH 维持在 6.5~8.5,极端条件下需调节系统参数。
- e) 运行周期:生物膜成熟期为 15 d~30 d,需定期监测膜厚(一般控制在 0.1 mm~2 mm),避免过度老化导致脱落。施工时需结合填料填充率(通常为 30%~50%)与水流分布设计,确保污染物与生物膜充分接触。

6.1.3.3 固定化微生物技术

6.1.3.3.1 技术原理:将微生物固定在相应的载体上,使其限定在特定空间内或者区域内,高度富集,实现对废水的有效处理。

6.1.3.3.2 治理效果:固定化微生物技术利用固定在载体上的微生物群落,对水体或土壤中的有机物、氮磷、重金属等污染物进行靶向降解与吸附,COD 去除率可达 70%~90%,氨氮去除率达 85%~95%,总磷去除率达 60%~80%,对石油烃、酚类等有机污染物的降解效率也显著高于游离微生物。该技术可增强微生物对恶劣环境的耐受性,延长使用寿命,实现持续稳定的污染治理,且污泥产量少、抗冲击负荷能力强,能有效改善水体黑臭、土壤重金属超标等问题,同时避免微生物流失造成的二次污染,适用于工业废水、河道湖泊及污染土壤修复。

6.1.3.3.3 适用范围:固定化微生物技术的应用不受其他因素的限制。但是对于复杂的污水处理问题,微生物和微生物载体本身应具有很强的适应性,以保证水处理的效率。在处理中,应结合不同的水质使用不同的微生物和载体。

6.1.3.3.4 技术参数:固定化微生物技术实施时,需依据污染类型选择载体与工艺参数:载体常用海藻酸钠、聚氨酯、活性炭等,比表面积应 \geq 300 m²/g,孔径分布在 10 μ m~100 μ m 以利于微生物附着与代谢;微生物包埋量控制在 10 μ m~10 μ m CFU/g 载体,接种量根据污染负荷确定,一般为处理水量的 5%~15%;水力停留时间(HRT)在好氧条件下为 4 h~12 h,厌氧条件下为 12 h~24 h;溶解氧维持在 2 mg/L~4 mg/L(好氧)或 \leq 0.5 mg/L(厌氧),pH 控制在 6.5~8.5,温度以 25 °C~35 °C 为宜。施工时需注意载体填充率(通常 20%~40%),并通过搅拌或曝气保证污染物与固定化微生物充分接触,定期监测载体活性与污染物去除效率,确保治理效果稳定。

6.1.3.4 生物操纵技术

6.1.3.4.1 技术原理:通过调整鱼群结构,保护和发展大型牧食性浮游动物,从而控制藻类的过量生长。一般分为经典生物操纵和非经典生物操纵。经典生物操纵核心是对大型浮游动物对藻类的摄食及其种群的建立,非经典操纵通过特殊摄食特性、消化机制且群落结构稳定的滤食性,进而减少藻类生物量,改善水质。

6.1.3.4.2 治理效果:生物操纵技术通过投放滤食性鱼类(如鲢鳙鱼)、控制藻类摄食者或引入微生物等方式,构建“顶层捕食-中层牧食-底层分解”的生态链条,可使藻类生物量降低 40%~70%,显著抑制水华爆发,水体透明度提升 0.5 m~1.5 m。该技术能优化食物链结构,增强生态系统对营养盐的循环利用能力,总氮、总磷去除率分别达 30%~50%和 20%~40%,同时提升水体溶解氧含量 1 mg/L~3 mg/L,为底栖生物和鱼类提供适宜生存环境,促进水生态系统的自我修复,且生态副作用小,可持续性强。

6.1.3.4.3 适用范围:生物操纵技术适用于富营养化、藻类暴发的水体。但经典操纵会面临浮游植物抵御机制进而处理效果较差,非经典操纵对于控制小型藻类效果不佳。

6.1.3.4.4 技术参数:滤食性鱼类投放密度一般为 50 千克/公顷~100 千克/公顷,鲢鳙鱼比例控制在 3:1 以优化控藻效率;大型溞等浮游动物接种量为 10 个/L~50 个/L,需在藻类未爆发前投放;微生物制剂投加量根据污染负荷确定,通常为 0.1 mg/L~1 mg/L。控制水体透明度 \geq 1.5 m 时开始生物投放,溶解氧维持在 4 mg/L 以上,水温 20 °C~30 °C 时生态调控效果最佳。施工时需监测鱼类存活率(应 \geq 80%)、藻类细胞密度(目标 \leq 10⁶ 个/L)及水体营养盐浓度变化,同时通过定期捕捞成鱼移除累积的氮磷,维持生态系统平衡。

6.1.4 其他技术

6.1.4.1 智能微纳米曝气技术

6.1.4.1.1 技术原理:微纳米曝气是指将含有微米及纳米气泡的水混合到水中曝气,利用机械切割和水力剪切作用使气泡破碎细化,实现气体快速向水体转移,同时还可将流过该装置的各种悬浮物和溶解于水中的大分子有机物切割细化。

6.1.4.1.2 治理效果:微纳米曝气设备可将水体中的气泡切割成 $80\text{ nm}\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ 的微纳米气泡,微纳米气泡停留时间长达 280 s ,溶解氧传输效率大于 85% , 3 min 内可将溶解氧从 2 mg/L (黑臭水体)提升至 20 mg/L 。

6.1.4.1.3 适用范围:微纳米气泡发生器用于水质净化,主要是利用微纳米气泡的高效增氧、促进生物活性、改善水体流动条件的特性,防止厌氧环境产生恶臭,与配套的绿植生物浮岛技术,改善富营养化水体的物质循环,达到水质净化和整体水域生态修复的目的。

6.1.4.1.4 技术参数:

6.1.4.2 生物转笼强化技术

6.1.4.2.1 技术原理:以自动水处理生化反应器为主体,结合新型吸附材料,基于吸附-光催化一体化的思路,以吸附技术为辅助、光催化技术为核心,利用复合材料的高效吸附性能对过境短程污染物进行定向去除和强化处理,结合光催化技术对目标污染物进行降解处理。

6.1.4.2.2 治理效果:装备耦合性能稳定的环境友好多功能型复合光催化材料和旋转式生物膜反应器,实现设备自动充氧,起到“水体复氧曝气技术”所能达到的效果,有利于克服短流和提高缓冲能力,同时也有利于氧的传递。

6.1.4.2.3 适用范围:有效去除河/湖中的黑臭现象。

6.1.4.2.4 技术参数:微纳米曝气技术的设备参数见表 5。

表 5 微纳米曝气技术的设备参数

型号	功率	配置	供电方式	气体溶解率	气泡水量	流域影响面积
基础款	1.1 kW	定时控制,仿石外观	市电	90%~95%	2 m ³ /h	900 m ²
	3 kW	定时控制,仿石外观			6 m ³ /h	1 400 m ²
智能款	1.1 kW	智能物联网控制,仿石外观, DO/COD 传感器	市电		2 m ³ /h	900 m ²
	3 kW	智能物联网控制,仿石外观, DO/COD 传感器			6 m ³ /h	1 400 m ²
低碳智能款	1.1 kW	物联网控制,DO/COD 传感器	低碳能源 (可混合市电)		2 m ³ /h	900 m ²
	3 kW	物联网控制,DO/COD 传感器			6 m ³ /h	1 400 m ²

说明:其他功率型号、气源类型、清洁能源类型、清洁能源输出功率可定制。

6.1.4.3 多尺度调控生物强化处理技术

6.1.4.3.1 技术原理:在微观尺度上,技术着重研究特征污染物的降解机理,通过定向选育特征污染物降解微生物菌(群),获得高效降解菌株。例如,针对难降解有机物如二乙二醇单丁醚(BDG),通过模拟分析其生化降解途径,弄清制约微生物降解的关键因素,定向驯化筛选到高效降解菌,构建微生物菌剂,获得最佳降解条件参数和适配工艺。在中观尺度上,技术关注的是运行参数的优化和关键制约因子的识别。通过研发针对不同废水处理的参数联动调控技术,提高污染物降解效率,降低运行成本。例

如,研发了 DGBE 废水处理菌胶团快速形成技术、营养物添加技术及以 pH 为核心的多参数联动调控技术,解决了菌种流失、泡沫量大的难题,以及清洗剂废水处理中以气水比、pH 为核心的参数联动调控技术,突破了清洗剂废水低温生物处理技术难题。在宏观尺度上,技术侧重于组合工艺的优化和集成创新。通过集成研发基于微生物菌剂与激活促进剂研制、参数联动调控技术、工艺组合优化的废水多尺度调控生物强化处理技术,提高了微生物耐冲击负荷能力,保障了废水处理的稳定达标运行,降低了处理成本。

6.1.4.3.2 治理效果:多尺度调控生物强化处理技术对水质有较好的净化效果,对 COD、氨氮、总氮、总磷的去除率分别为 40%~60%,40%~70%,20%~50%,50%~75%。此外,该技术可有效提高水体清澈度,消减水体污泥量。

6.1.4.3.3 适用范围:适用于补给水量少,流量低的小流域。

6.1.4.3.4 技术参数:多尺度调控生物强化处理设备性能参数见表 6。

表 6 多尺度调控生物强化处理设备性能参数

性能参数	正常值	单位
额定功率	≤ 2	kW
适用电压	380 V(1±7%)AC	V
电流	≤ 3.7	A
转速	10~60	r/min
处理量	1 000	m ³ /d
出水溶解氧	≥ 4.00	mg/L
服务水域面积	10 000	m ²
充氧量	10	m ³ /h
恒温控制	10~30	℃
pH	6~9	—

6.2 异位水质提升技术

6.2.1 前置库技术

6.2.2.1 技术原理: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。

6.2.2.2 治理效果:前置库技术通过物理沉淀、化学吸附和生物降解等多重作用,显著削减入库水体中的污染物负荷。能有效去除悬浮颗粒物,使水体浊度降低 50%~70%;对总氮、总磷的去除率分别可达 30%~50%和 40%~60%,有效缓解受纳水体的富营养化程度;通过水生植物和微生物的协同作用,还能去除部分有机污染物,COD 去除率可达 20%~40%。此外,前置库可形成相对稳定的生态系统,为水生生物提供栖息场所,促进生物多样性恢复,同时降低入库泥沙量,减少主库淤积,延长水库使用寿命,提升整体水环境质量和生态服务功能。

6.2.2.3 适用范围: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。但同时前置库技术的功能植被新陈代谢对水质有一定影响,需要及时对其生物量进行适量的清理,会受到季节的影响,此外前置库还存在

淤泥问题需要解决。

6.2.2.4 技术参数:前置库面积一般为受纳水体面积的 5%~15%,库深控制在 1.5 m~3 m,以保证足够的水力停留时间(通常为 1 d~3 d);边坡坡度采用 1:2~1:3,利于植被生长和水土保持;需根据入库水量和污染物浓度,合理配置水生植物,挺水植物(如芦苇、香蒲)种植密度为 8 株/m²~12 株/m²,沉水植物(如苦草、狐尾藻)为 100 g/m²~200 g/m²;同时,设置生态护坡和导流设施,控制水流速度在 0.05 m/s~0.2 m/s,避免短流现象;施工中需定期监测前置库水质、生物量及沉积物变化,确保出水水质达到设计标准。

6.2.2 旁路分段进水生物接触氧化技术

6.2.2.1 技术原理: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。

6.2.2.2 治理效果:旁路分段进水生物接触氧化技术通过将污水沿反应器不同阶段分段注入,并结合旁路回流系统,实现污染物的梯度降解与微生物的精准驯化。对 COD 的去除率可达 80%~95%,氨氮去除率达 90%~98%,总磷去除率达 70%~85%,尤其对高负荷有机废水和氮磷复合污染的处理效果显著。该技术可缓解前端负荷冲击,避免污泥膨胀,同时通过分段供氧提升氧利用率,降低能耗 15%~30%。此外,系统抗水质波动能力强,污泥产量比传统工艺减少 20%~40%,适用于市政污水深度处理及工业废水预处理。

6.2.2.3 适用范围: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。

6.2.2.4 技术参数:该技术实施时,水质特性优化关键参数如下:

- a) 分段进水比例:通常分为 3 段~5 段,首段进水占比 40%~50%,后续各段按 20%~10%递减,旁路回流量控制在进水流量的 20%~50%。
- b) 填料选型:采用组合式填料(如聚氨酯+生物绳),比表面积 ≥ 800 m²/m³,填充率为 40%~60%,孔隙率 $\geq 90%$ 以保障传质效率。
- c) 曝气参数:分段控制溶解氧,首段 2 mg/L~4 mg/L,末端 1 mg/L~2 mg/L,气水比 10:1~15:1,通过穿孔管或微孔曝气器供氧。
- d) 水力停留时间(HRT):总 HRT 为 6 h~12 h,各段停留时间按进水比例分配,前端段占比 30%~40%。
- e) 运行温度与 pH:适宜温度 20℃~35℃,pH 维持 6.5~8.5,低温时可通过旁路加热系统调节。施工时需监测各段污泥浓度(MLSS 2 000 mg/L~4 000 mg/L)和生物膜活性,确保污染物去除效率稳定。

6.2.3 旁路人工湿地技术

6.2.3.1 技术原理:旁路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。

6.2.3.2 治理效果:旁路人工湿地技术借助基质吸附、植物吸收和微生物降解的协同作用,可高效去除水体污染物。对总氮、总磷的去除率分别可达 40%~70%和 50%~80%,COD 去除率达 30%~60%,显著降低水体富营养化程度;同时有效截留悬浮物,使水体浊度下降 60%~80%,透明度提升 1 m~2 m,改善黑臭现象。此外,人工湿地还能为鸟类、鱼类等生物提供栖息地,促进生物多样性恢复,其生态缓冲功能可有效削减洪峰流量,降低周边区域洪涝风险,实现水质净化与生态修复的双重效益。

6.2.3.3 适用范围: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。但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。

6.2.3.4 技术参数:人工湿地的主要设计参数,见表7。

表7 人工湿地的主要设计参数

人工湿地类型	BOD ₅ 负荷 kg/hm ² ·d	水力负荷 m ³ /m ² ·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	1~3

潜流人工湿地规模即几何尺寸设计,应符合下列要求:水平潜流人工湿地单元的面积宜小于800 m²,垂直潜流人工湿地单元的面积宜小于1500 m²;长宽比宜控制在3:1以下;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;水深宜为0.4 m~1.6 m;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: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;水深宜为0.3 m~0.5 m;水力坡度宜小于0.5%。

6.2.4 砾石床技术

6.2.4.1 技术原理: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。

6.2.4.2 治理效果:砾石床技术凭借砾石的物理截留、表面吸附以及附着微生物的生物降解作用,能有效去除水体中的悬浮物、有机物、氮磷营养盐和部分重金属。其对悬浮物的去除率可达80%~90%,大幅提升水体透明度;COD去除率为30%~60%,氨氮和总磷的去除率分别在40%~70%和30%~60%之间,显著缓解水体富营养化问题。此外,砾石床为微生物和水生生物提供栖息场所,促进微生物群落的繁衍和生态系统的修复,可增强水体自净能力,且技术运行稳定,维护简便,适用于农村生活污水、河道微污染水等小规模水体的生态治理。

6.2.4.3 适用范围:该技术既适用于弱污染的河川水质的直接净化,也可作为污水处理工程的尾端净化技术。还可直接建设于河内和岸边,对排入河内的合流制管道污水直接进行就地处理。

6.2.4.4 技术参数:砾石粒径一般选择4 mm~8 mm或8 mm~16 mm,填充厚度为0.8 m~1.5 m,孔隙率保持在35%~45%,以保证水流的均匀通过和足够的污染物截留空间;水力负荷控制在0.5 m³/(m²·d)~2 m³/(m²·d),水力停留时间为12 h~24 h;为强化脱氮除磷效果,可搭配植物种植(如芦苇、香蒲,种植密度8株/m²~12株/m²),并采用间歇进水或分段布水的方式;运行过程中需定期监测出水水质、砾石堵塞情况,当砾石床运行1年~2年后,可通过反冲洗或局部更换砾石维持处理效果,确保出水满足相关水质标准。

6.2.5 生态浮岛技术

6.2.5.1 技术原理:生态浮岛技术是一种利用生态工学原理的人工浮岛系统,通过结合植物、无土栽培技术和微生物作用,形成一个人工生态系统,有效改善受污染的水体环境。

6.2.5.2 治理效果:浮岛植物(如美人蕉、芦苇)可直接吸收水体中的氮磷营养盐,使总氮去除率达30%~60%,总磷去除率达40%~70%,显著缓解水体富营养化;植物根系附着的微生物群落能够分解

有机物, COD去除率可达20%~40%,同时抑制藻类过度繁殖,降低水华风险。此外,浮岛为鸟类、昆虫和水生生物提供栖息地,促进生物多样性恢复,其遮阳作用还能降低水温,减少底泥污染物释放,最终实现水质改善、生态系统功能提升和景观美化的多重效益。

6.2.5.3 适用范围:生态浮岛技术利用生物的自然生态习性,在受损水体中吸收、吸附消化和降解水中的有机污染物,因此,无需专业的机械设备以及化学药剂的投入,可以大量的节省费用开支,减少动力、能源和日常维修管理费用,具有投资少、见效快、节约能源、运行性能稳定、日常维护简单等优点。但生物浮岛上的植物需进行适时的收割和更新,在天气较冷的区域,部分植物需重新种植;由于人工浮岛受建设宽度影响,在植被生长茂盛后难以靠近或抵达指定浮床浮块开展维护工作,导致后期浮床内部植被生长旺盛,难以抵近维护,植被在内部生长、腐烂,易造成二次污染。在部分区域,浮岛往往建设在有来水污染的区域,用于控制来水污染。因此,浮岛中往往混有污水中的垃圾、纸屑、塑料袋等,若不及时清理,易发生积累,导致对观感的影响。

6.2.5.4 技术参数:浮岛载体宜选用高分子聚乙烯、竹质等轻质环保材料,浮力应满足植物生长需求,单位面积承重 ≥ 15 kg;植物选择需匹配水体污染类型,挺水植物(如菖蒲)种植密度8株/m²~12株/m²,浮叶植物(如睡莲)3株/m²~5株/m²;浮岛覆盖面积占水域面积的10%~30%为宜,避免过度遮光影响水下生态;水流速度需控制在0.3 m/s以下,防止浮岛移位;通过锚链或绳索固定,锚碇深度根据水深调整,确保稳定性;定期收割成熟植物(每季度1次),移除累积的污染物,维持系统净化效率,并监测水质指标与植物生长状况,动态优化运行参数。

6.2.6 稳定塘

6.2.6.1 技术原理:稳定塘又名氧化塘或生物塘,其对污水的净化过程与自然水体的自净过程相似,是一种利用天然净化能力处理污水的生物处理设施。

6.2.6.2 治理效果:稳定塘技术利用菌藻共生系统及水生生物的协同作用,实现对污染物的高效去除。对COD的去除率可达50%~80%,氨氮去除率40%~70%,总磷去除率30%~50%,悬浮物去除率60%~90%,能有效降低水体有机负荷与富营养化程度。该技术通过延长水力停留时间,使污水在塘内逐步净化,同时为水鸟、鱼类等提供栖息地,提升区域生物多样性。

6.2.6.3 适用范围:适用于污水的二级处理和深度处理,具有基建投资和运转费用低、维护和维修简单、便于操作、能有效去除污水中的有机物和病原体、无需污泥处理等优点。

6.2.6.4 技术参数:稳定塘技术实施时,水质与处理目标设计关键参数如下:

- a) 塘型与水深:分为好氧塘(水深0.5 m~1.0 m)、兼性塘(1.0 m~2.5 m)、厌氧塘(2.5 m~5.0 m),根据污染负荷组合使用,通常兼性塘占比50%~70%。
- b) 水力停留时间(HRT):好氧塘HRT为2 d~6 d,兼性塘5 d~30 d,厌氧塘20 d~50 d,总停留时间需结合区域气候调整,寒冷地区适当延长。
- c) 有机负荷: BOD₅ 负荷控制在10 kg/(hm²·d)~40 kg/(hm²·d),氨氮负荷 ≤ 5 kg/(hm²·d),避免超过微生物降解能力。
- d) 生态配置:塘边种植芦苇、香蒲等挺水植物(密度8株/m²~12株/m²),塘内放养鲢鳙鱼(密度5 kg/亩~10 kg/亩),通过生物调控增强净化效果。
- e) 运行控制:定期监测溶解氧(好氧塘 ≥ 2 mg/L,兼性塘0.1 mg/L~2 mg/L)、pH(6.5~8.5)及藻类浓度(≤ 10 个/L),并通过污泥清淤(每3年~5年1次)维持系统效率。

6.2.7 外循环透析处理技术

6.2.7.1 技术原理:外循环透析处理技术是采用泵提升的方式将河流水体引入一体化处理设备或生态处理设施中进行净化的技术方式。

6.2.7.2 治理效果:外循环透析处理技术通过将污染水体抽提至体外处理单元,结合膜分离、生物降解与化学氧化等工艺,实现污染物的高效去除。对COD的去除率可达60%~90%,氨氮去除率达85%~98%,总磷去除率达70%~90%,悬浮物去除率超95%,能快速改善黑臭水体透明度至1.5 m以上。该

技术可针对性削减氮磷营养盐,降低藻类暴发风险,同时通过曝气提升水体溶解氧至 5 mg/L 以上,恢复水生态自净能力。

6.2.7.3 适用范围:可用于体外循环透析的生态处理设施包括人工(生态)湿地、面源污染控制的植物下渗处理系统、潭链系统等,可根据处理水体水量需求以及临近区域的生态处理设施灵活应用,通过体外透析处理,有利于水质中营养盐的去除,有助于恢复水体健康。

6.2.7.4 技术参数:外循环透析技术实施时,水体规模优化关键参数如下:

- a) 处理规模:单套设备日处理量通常为 5 000 m³~50 000 m³,根据污染水域面积按 0.5%~2% 水域体积/日确定循环流量。
- b) 核心工艺参数:膜生物反应器(MBR)膜孔径 0.1 μm~0.4 μm,污泥浓度控制在 8 000 mg/L~12 000 mg/L,水力停留时间 8 h~12 h;化学除磷段 PAC 投加量为 10 mg/L~30 mg/L,pH 维持 6.5~8.5。
- c) 设备配置:提升泵扬程根据水位差确定(通常 5 m~15 m),曝气系统气水比 15:1~20:1,膜组件通量控制在 10 L/(m²·h)~25 L/(m²·h)。
- d) 运行控制:外循环周期宜为 24 h~72 h,连续运行时需定期进行膜组件反冲洗(每 4 h~6 h 1 次),化学清洗周期为 3 个月~6 个月。施工时需设置水质在线监测仪表(COD、氨氮、溶解氧),实时调整加药量与曝气量,确保出水水质。

7 水生态修复技术

7.1 水生生物多样性恢复

7.1.1 技术原理:该技术深度结合川渝跨界河流独特的水文水质及河道结构特征,精准把握其水流、水量、水位及其变化规律。基于不同生境的多样性特点,通过科学设定修复阈值,系统性地构建和恢复水生生物多样性。从植物、动物、微生物三个层次入手,对挺水植物、沉水植物、浮游动物、浮游植物、鱼类、底栖动物以及不同生境条件下的微生物群落进行优化修复。采用基于生物多样性的植物—动物—微生物原位生物工艺,利用生物自身的生态功能,在河流原位环境中,促进各类生物相互依存、协同发展,形成稳定且高效的生态系统配置模式,重塑河流生态平衡。

7.1.2 治理效果:经过该技术修复后,川渝跨界河流的生物多样性得到显著提升,生物物种数提高 60%。成功构建包含至少 5 类功能群(挺水植物、沉水植物、滤食鱼类、底栖动物、杂食鱼)的稳定水生态系统。不同功能群生物各司其职,挺水植物和沉水植物进行光合作用、净化水质,滤食鱼类、底栖动物和杂食鱼参与物质循环与能量流动,使得水体自净能力增强,生态系统的稳定性和抗干扰能力显著提高,河流生态环境得到全面改善。

7.1.3 适用范围:本技术适用于沟渠河流生物多样性恢复;同时,对于天然基流水量小、存在季节性或阶段性断流现象的河流,能有效改善其生态环境;在地表水资源相对短缺、降水时空分布不均匀,导致河流生态不稳定的区域,也具有较好的适用性;此外,针对因闸坝调水相对集中、河道阶段性水位剧烈变化,进而引发的生境退化、生态功能丧失等问题,该技术能够通过生物多样性修复,恢复河流生态功能,重建健康的水生态系统。

7.1.4 技术参数:在建设成本方面,地形塑造费用为 10 元/m²~20 元/m²,此费用涵盖河道地形改造、浅滩深潭塑造等工程,旨在为水生生物创造多样化的栖息环境;植被恢复费用为 30 元/m²~50 元/m²,包含挺水植物和沉水植物的选种、种植及养护,确保植物能够在河流环境中良好生长,发挥生态功能。

7.2 水生生物功能群构建

7.2.1 技术原理:针对河道污染问题,研发耐受不同污染程度的水生生物功能群构建技术。培育并配置适应中度、轻度、微污染环境的挺水植物、沉水植物、鱼类和底栖生物功能群,利用生物的耐受性与生态功能,使群落能自动适应污染程度变化,维持生态系统正向演变。在低地平原区,为应对潜流面源污染,通过缓冲带根系分布调控技术,优化植物根系生长深度与密度,增强对污染物的拦截;运用根系拦截

带生态构建技术,打造高效污染物过滤屏障;结合缓冲带植物配置技术,科学搭配不同生态位植物,发挥缓冲带净化水质、稳固坡岸的生态功能,实现河道生态修复与水质保障的双重目标。

7.2.2 治理效果:通过上述技术应用,可显著改善河道生态环境与水质状况。耐受不同污染程度的水生生物功能群构建,能有效降解污染物,促进生态系统稳定发展;缓冲带生态构建技术可拦截大量面源污染物,降低其对河道水质的影响。最终实现河道生物多样性提升,生态坡岸得到稳固恢复,水质得到有效净化,形成健康、稳定的水生态系统,保障河道水体长期维持良好生态功能。

7.2.3 适用范围:本技术适用于水质较差且河道较宽阔的区域,确保植被种植后不会对河道行洪能力产生影响。尤其适用于受面源污染威胁较大的低地平原区河道,以及因长期污染导致生态系统受损的各类河道,通过技术实施助力河道生态修复与水质改善。

7.2.4 技术参数:建设成本方面,地形塑造费用为 10 元/m²~20 元/m²,用于河道地形改造以营造适宜生物栖息环境;植被恢复费用为 30 元/m²~50 元/m²,包含缓冲带与河道内植物的选种、种植及养护;水生动物投放与培育费用为 50 元/m²~70 元/m²,涵盖不同功能群鱼类、底栖动物等的引入与管理,确保水生生物功能群有效构建与稳定发展。

7.3 水生生物食物链构筑

7.3.1 技术原理:针对研究区域内多样化的微地形与复杂的水环境、水资源条件,研发不同食物链阶层的生物配置与组合技术。依据生态位互补原理,筛选并配置处于不同营养级的生物物种,构建种间互促的生物功能群。通过合理搭配生产者(如各类水生植物)、消费者(包括不同食性的鱼类、浮游动物等)和分解者(微生物群落),重建健康的“生产者-消费者-分解者”多级多链式复合食物链结构。利用捕食性食物链实现能量的高效传递与物质循环,借助腐生性食物链加速有机物质的分解转化,并通过食物链数量调控,维持沟渠河流水生生物多样且合理的种群结构及数量,为健康水生生物群落的恢复奠定基础,促进水生态系统食物链的稳定形成与持续发展。

7.3.2 治理效果:应用该技术后,生态系统的种群结构将得到显著改善。不同生物功能群间形成稳定的种间关系,物种间相互依存、相互促进,使生物种群数量趋于稳定,减少因种群失衡引发的生态问题。同时,重点水域的环境质量明显改善,水体中的污染物通过食物链各环节的生物作用得以有效降解和转化,水体富营养化程度降低,溶解氧含量提升,水质得到净化,整个水生态系统的稳定性和自我修复能力增强,逐步恢复为健康、平衡的生态系统。

7.3.3 适用范围:本技术适用于河道、湖泊等各类淡水生态系统的恢复与重建工作。无论是因人类活动导致生态退化的城市河道,还是因污染或过度开发受损的湖泊生态系统,均可采用该技术。尤其适用于面临生物多样性下降、食物链断裂、生态功能丧失等问题的水域,通过技术实施助力其生态系统结构与功能的全面恢复,重现水域生态活力。

7.3.4 技术参数:在技术实施过程中,生物物种的筛选与配置需遵循特定原则,生产者类水生植物应根据水域光照、水温等条件选择适宜品种,确保其光合作用效率与生态适应性;消费者类生物的投放密度需依据水域面积、水质状况及食物链结构进行精准计算,避免因生物数量过多或过少影响生态平衡;分解者微生物群落的培育需控制水体的 pH 值、溶解氧等环境参数,以维持其活性与分解效能。目前,该技术的实施成本因水域规模、生态受损程度等因素有所差异,初步估算生物引入与培育成本约占总投入的 40%~60%,配套生态工程建设成本占 30%~50%,后期生态系统监测与调控成本占 10%~20%。

7.4 生态带构建

7.4.1 技术原理:河湖岸生态带构建以控源截污为前提,基于对河流岸线、岸带生态问题的科学诊断,在保障防洪、排涝功能的基础上,结合山地滨水空间“生态敏感性、立体多层性、复合多元性”特征展开系统规划。依据生态位理论、物种共生原理,通过合理规划生态带的位置、植物种类、结构布局及宽度,构建乔、灌、草复合植物群落。利用乔木发达根系稳固河岸,草本植物增强地表渗透与径流截留,灌木及混合植被协同发挥过滤污染物作用,形成多层次、多功能生态屏障,同时兼顾景观、经济与生态安全需求,实现生态带与河流生态系统的整体修复与功能提升。

7.4.2 治理效果:通过生态带构建技术的应用,可有效改善河湖岸生态环境。稳固河岸减少水流冲刷侵蚀,降低岸坡坍塌风险;乔灌草复合群落高效过滤沉淀物、营养物质、杀虫剂等污染物,提升水体质量;植被的固碳释氧、涵养水源功能,有助于保护地下水与饮用水供给;丰富的植物层次为水生生物、鸟类及其他野生动物提供栖息地与食物来源,显著提升生物多样性;兼具观赏性与经济性的植物配置,既能美化河岸景观,满足旅游观光需求,又能为经济欠发达地区创造收益,促进区域生态、经济与社会效益协同发展,实现河流生态系统的良性循环。

7.4.3 适用范围:本技术适用于各类河道、湖泊岸线的生态修复与建设工程,尤其适用于川渝跨界河流等山地滨水空间的生态带构建。无论是因人类活动导致生态退化的城市河湖岸线,还是受自然因素影响生态功能受损的乡村河道,均可采用该技术。适用于存在岸坡不稳定、水体污染、生物栖息地缺失、景观单一等问题的河湖岸带,通过生态带构建实现生态系统修复、防洪排涝功能强化与景观品质提升的多重目标。

7.4.4 技术参数:植物种类选择:优先选用本地物种,确保生态安全;选择抗冻、耐湿、抗病虫害强,且对N、P等营养性污染物去除能力高的植物;经济欠发达地区搭配具有经济价值的树种,兼顾观赏性与实用性。群落配置参数:植物恢复初期选生态耐受范围大、生态位宽的建群种;严重破坏区域人工引入物种填补生态位;水平与垂直空间布局注重人工恢复与自然演替结合,实现生态型与经济型群落融合。栽种技术参数:乔木、灌木于休眠期栽种,草本植物依据成活率或草籽发芽要求择时种植;灌木间隔100 cm~200 cm,小乔木间隔3 m~6 m,大乔木间隔5 m~10 m,草本植株间隔40 cm~120 cm;种植前需分析土壤pH值、盐碱度、疏松度等,按需采取土壤置换、施肥、灌溉等措施。

附 录 A
(资料性)
川渝跨界重要河流基本信息表

川渝跨界重要河流基本信息表见表 A.1。

表 A.1 川渝跨界重要河流基本信息表

序号	河流名称	四川	重庆	流向
1	长江	合江县望龙镇	江津区石蟆镇	川入渝
2	嘉陵江	武胜县清平镇	合川区钱塘镇	川入渝
3	渠江	岳池县赛龙镇	合川区香龙镇	川入渝
4	涪江	船山区老池镇	潼南区玉溪镇	川入渝
5	州河(前河)	宣汉县龙泉乡	城口县明通镇	渝入川
6	任河	万源市白果镇	城口县左岚乡	渝入川
7	琼江	安居区三家镇	潼南区崇龛镇	川入渝
8	御临河	邻水县御临镇	长寿区洪湖镇	川入渝
9~1	濑溪河	安岳县忠义镇	大足区中教镇	川入渝
9~2	濑溪河	泸县方洞镇	荣昌区清江镇	渝入川
10	南河	开江县八庙镇	开州区巫山镇	川入渝
11~1	大清流河	东兴区石子镇	荣昌区吴家镇	川入渝
11~2	大清流河	东兴区石子镇	荣昌区吴家镇	渝入川
12	大洪河	邻水县黎家镇	长寿区万顺镇	川入渝
13	中河	万源市八台镇	城口县双河乡	渝入川
14	塘河	合江县白鹿镇	江津区塘河镇	川入渝
15~1	铜钵河	大竹县石桥铺镇	梁平县碧山镇	川入渝
15~2	铜钵河	大竹县永胜镇	梁平县虎城镇	渝入川
16~1	姚市河	安岳县姚市镇	潼南区崇龛镇	川入渝
16~2	姚市河	安岳县云峰乡	潼南区崇龛镇	渝入川
17	龙台河	安岳县龙台镇	潼南区崇龛镇	川入渝
18	龙溪河	泸县立石镇	永川区来苏镇	渝入川
19	小槽河	合江县先滩镇	江津区四面山镇	渝入川
20	大鹿(陆)溪	合江县白沙镇	永川区朱沱镇	川入渝
21	坪坝河	万源市白果镇	城口县坪坝镇	渝入川
22	黑水滩河	华蓥市溪口镇	渝北区茨竹镇	川入渝
23~1	兴隆河(南溪河)	武胜县宝箴塞镇	合川区燕高镇	川入渝
23~2	兴隆河(南溪河)	武胜县清平镇	合川区古楼镇	渝入川
24	新盛河(任市河)	开江县任市镇	梁平县新盛镇	渝入川
25	石羊河	安岳县双龙街乡	大足区高坪镇	渝入川
26~1	马溪河	泸县毗卢镇	荣昌区双河街道	川入渝

表 A.1 川渝跨界重要河流基本信息表 (续)

序号	河流名称	四川	重庆	流向
26~2	马溪河	泸县石桥镇	荣昌区双河街道	渝入川
27	小清流河	东兴区石子镇	荣昌区吴家镇	川入渝
28	代峨溪(华鉴河/浑水河)	华鉴市庆华镇	合川区香龙镇	川入渝
29	映阳河	开江县灵岩镇	开州区三汇口乡	川入渝
30	白家河(坛罐窑河)	安居区磨溪镇	潼南区双江镇	川入渝
31~1	渔箭河	隆昌县普润镇	荣昌区盘龙镇	川入渝
31~2	渔箭河	隆昌县石碾镇	荣昌区龙集镇	渝入川
32~1	破石沟	开江县灵岩镇	开州区三汇口乡	渝入川
32~2	破石沟	开江县梅家乡	开州区义和镇	川入渝
33	石溪河	宣汉县漆树乡	开州区大进镇	渝入川
34~1	塘坝河	安岳县双龙街乡	大足区高坪镇	渝入川
34~2	塘坝河	安岳县石羊镇	潼南区新胜镇	川入渝
35	新民河	岳池县罗渡镇	合川区龙市镇	川入渝
36~1	马鞍河	隆昌县界市镇	荣昌区盘龙镇	川入渝
36~2	马鞍河	东兴区平坦镇	荣昌区运觉镇	渝入川
37	周溪河	宣汉县龙泉乡	城口县周溪乡	渝入川
38	水岩河(平滩河)	大竹县观音镇	梁平县碧山镇	川入渝
39	华莹中兴河	邻水县高滩镇	渝北区获竹镇	渝入川
40	文化河	开江县任市镇	梁平县文化镇	渝入川
41	胜利河	安岳县护龙镇	潼南区塘坝镇	川入渝
42~1	岔溪河	万源市白沙镇	城口县沿河乡	川入渝
42~2	岔溪河	万源市白果镇	城口县沿河乡	渝入川
43~1	施家河	达川区大树镇	梁平县虎城镇	渝入川
43~2	施家河	达川区南岳镇	梁平县虎城镇	川入渝
44	干坝河	邻水县丰禾镇	长寿区石堰镇	渝入川
45~1	狮头河	合江县白鹿镇	江津区石蟆镇	川入渝
45~2	狮头河	合江县白鹿镇	江津区石蟆镇	渝入川
46	鹅公溪	合江县石龙镇	江津区塘河镇	川入渝
47	高升河	安岳县忠义镇	大足区高升镇	川入渝
48	大鹿(陆)溪	泸县立石镇	永川区吉安镇	渝入川
49	大湾河	邻水县高滩镇	渝北区大湾镇	渝入川
50	后裕河	万源市大竹镇	城口县左岚乡	渝入川
51	大沙坝河	宣汉县漆树乡	开州区大进镇	川入渝
52	大东溪	合江县临港街道	江津区石蟆镇	川入渝

附 录 B
(资料性)
河流水质调查表

河流水质调查表见表 B.1。

表 B.1 河流水质调查表

编号：_____ 野外室内取样地点：_____ 取样日期：_____ 年 月 日
气温：_____ 水温：_____ 水源：_____ 分析日期：_____ 年 月 日

水文情势					
水深		流速		水源流出状况	
流量		补给类型与补给方式		流态	
理化性质(现场测定)					
pH		臭		透明度	
ORP		色度		溶解氧	
电导率		温度		矿化度	
浊度					
理化性质(室内测定)					
总溶解性固体		正磷酸盐		盐度	
COD		氯化物		总磷	
总氮		TOC		BOD ₅	
重金属		氨氮		硝氮	
备注					

采集者：

分析者：

校核者：

附 录 C
(资料性)
河岸带踏查及稳定性记录表

河岸带踏查及稳定性记录表见表 C.1。

表 C.1 河岸带踏查及稳定性记录表

断面编号：				河流编号：								
经度：		纬度：		填表人：								
采样时间		开始：		结束：								
河岸带植被覆盖度：												
0≤1%		1=1%~5%		2=6%~25%		3=26%~50%		4=51%~75%		5≥75%		
河岸带乔灌木分布特征：												
无乔灌木		零散分布		均匀分布		成簇分布		半连续分布		连续分布		
		样带 1				样带 2		样带 3				
左岸	乔木											
	灌木											
	草本											
	优势树种	树高										
	幼苗											
右岸	乔木											
	灌木											
	草本											
	优势树种	树高										
	幼苗											
河岸稳定性		河岸稳定；没有或仅有最低限度的侵蚀或河岸破坏；将来引发问题的可能性较小；<5%的河岸受到影响		较为稳定；侵蚀不太常见且面积很小，多数可以修复。在河段内，5%~30%的河岸有侵蚀区域		较为不稳定；在河段内，30%~60%的河岸有侵蚀区域；洪水泛滥时，发生侵蚀的可能性很高		不稳定；侵蚀区域很多；直岸及弯道处常有“裸露”区域；河岸滑坍明显；60%~100%的河岸有侵蚀痕迹				
左岸												
右岸												
河岸植被保护		90%以上的河岸表面及河岸带中央由本土植被覆盖；畜牧或修剪对植被造成的干扰程度较低或不明显；几乎所有植物均为自然生长		70%~90%的河岸表面由本土植被覆盖，但没有代表性的植物类型；有干扰现象，但很可能不影响全部植物生长；可能的植物残茬保留原高度一半以上		50%~70%的河岸表面有植被覆盖；干扰明显；裸露土壤板块或紧密种植植物常见；可能的植物残茬保留高度一半以下		低于50%的河岸表面有植被覆盖；河岸植被干扰严重；裸露土壤板块或紧密种植植物常见；植被已被清除，平均残茬高度不高于5cm				
左岸												
右岸												
河岸带宽度		河岸带宽度>18m；人类活动（即停车场、路基、砍伐、草坪或庄稼）不影响河岸带		河岸带宽度为12m~18m；人类活动仅最低限度地影响河岸带		河岸带宽度为6m~12m；人类活动仅对河岸带影响较大		河岸带宽度<6m；因人类活动，只有很少或没有河岸带植被				
左岸												
右岸												

附 录 D

(资料性)

河岸带鸟类、两栖类、景观及土地利用类型记录表

河岸带鸟类、两栖类、景观及土地利用类型记录表见表 D.1。

表 D.1 河岸带鸟类、两栖类、景观及土地利用类型记录表

	种类数	名录
鸟类		
两栖类		
景观建设率： 1>80%；2=60%~80%；3=40%~60%；4=20%~40%；5<20% 具体特征描述：		
景观美感度： 1. 很好 2. 好 3. 较好 4. 一般 5. 差 具体特征描述：		
河岸带土地利用类型(500 m)： 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 11.绿化带 12.荒地 13.绿地		
土地利用类型描述：		

附 录 E
(资料性)
栖息地质量评价记录表

栖息地质量评价记录表见表 E.1。

表 E.1 栖息地质量评价记录表

断面编号：		河流编号：		
经度：		纬度：		填表人：
采样时间	开始：		结束：	
底质	底质组合以砾石、硬沙为主；根丛和沉水植物较为常见	软沙、淤泥或黏土混合物；以淤泥为主；有一些根丛及沉水植物	所有底质均为淤泥或黏土或沙；少量或没有根丛；没有沉水植物	硬质黏土或岩床；没有根丛或沉水植物
河道内蔽物	有水生植被、枯枝落叶、倒木、倒凹堤岸和巨石等	有水生植被、枯枝落叶和有水生植被、枯枝落叶和倒凹堤岸	以 1 种或 2 种遮蔽物为主	以 1 种遮蔽物为主，底质多以淤泥或细沙为主
河道形态	没有或只有最小限度的渠道化或疏浚；河道维持正常的模式	存在一定渠道化现象；近期没有渠道化但超过 20 年前可能有过	大规模渠道化；40%~80% 河段被疏导或受干扰	以填石筐或混凝土加固河岸；80% 以上河段被疏导或受干扰
堤岸稳定性	堤岸很稳定，无侵蚀痕迹，观察范围内有小于 5% 的堤岸受到了损害	比较稳定，观察范围内有 5%~30% 的面积出现了侵蚀损害	观察范围内 30%~60% 的面积发生了侵蚀，且有可能在洪水期间发生	观察范围内 60% 以上的堤岸发生了侵蚀
流速状态	出现所有 4 种流速/深度环境(快浅环境、慢浅环境、快深环境、慢深环境)	出现 3 种环境(缺乏快-浅环境的分数低于缺乏其他环境的情况)	出现 2 种环境(如果缺乏快-浅或慢浅，则分数较低)	以 1 种流速/深度环境为主(通常为慢-深)

附 录 F
(资料性)
景观效应打分表

景观效应打分表见表 F.1。

表 F.1 景观效应打分表

断面编号：		河流编号：			
经度：		纬度：		填表人：	
采样时间		开始：		结束：	
景观 美 感 度	自然河流：				
	水体面积大，河岸带自然度高，没有裸露土地，草、木本植物多样性高，水体及河岸带清洁度高	水体面积较大，河岸带自然度较高，基本没有裸露土地，草、木本植物多样性较高，水体及河岸带清洁度较高	水体面积一般，河岸带自然度一般，少量土地裸露，木本植物多为本地经济树种，水体及河岸带有少量垃圾	水体面积较小，河岸带自然度较低，土地裸露较多，木本植物多为本地经济树种，水体及河岸带有较多垃圾	水体面积小或干枯断流，河岸带自然度低，大部分土地裸露，木本植物多为本地经济树种或几乎无木本植物，水体及河岸带有大量垃圾
	特征描述：				
	城市河流：				
	水体面积大，亲水性好，游憩设施设置合理，植被景观自然度高，空间层次丰富	水体面积较大，亲水性较好，游憩设施设置基本合理，植被景观自然度高，空间层次较丰富	水体面积一般，亲水性一般，游憩设施较少，植被景观自然度低，缺乏空间层次感	水体面积较小，亲水性较差，缺乏游憩设施和植被景观，无空间层次感	水体黑臭或干枯断流，难以与水体接触，无游憩设施和植被景观
特征描述：					
景观 建 设 率	景观建设面积 >80%	景观建设面积 60%~80%	景观建设面积 40%~60%	景观建设面积 20%~40%	景观建设面积 <20%
	特征描述：				