

附件 4
湖泊生态环境保护系列技术指南之四

湖滨带生态修复工程技术指南

（试行）

前 言

为贯彻落实党中央、国务院“让江河湖泊休养生息”和十八大及十八届三中全会关于“生态文明建设”的战略部署，加快对水质较好湖泊的保护，避免众多水质较好湖泊走“先污染、后治理”的老路，环境保护部、国家发展和改革委员会、财政部印发了《水质较好湖泊生态环境保护总体规划（2013-2020年）》（以下简称《规划》）。为推进《规划》实施，指导各地开展水质较好湖泊生态环境保护工作，加强湖滨生态环境保护，指导湖滨带生态修复工程，在国家水体污染控制与治理重大专项湖泊富营养化控制与治理技术及综合示范主题等相关科研成果基础上，特制定本指南。

本指南还可用于指导其他类型湖泊以水质改善和生态修复为目标的湖滨带生态修复建设。

本指南以湖滨带生态功能保护为核心，提出湖滨带生态环境调查与问题诊断、生态修复总体设计、生态修复工艺、湖滨带生态修复工程维护管理、投资估算、生态环境效益评估等方面的技术方法。本指南有助于指导各地开展湖滨带生态环境保护工作，改善湖滨生态环境，减少入湖污染负荷，为维护湖泊及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湖滨带生态修复共性保护措施及技术方法，根据本地湖泊所处的自然、社会环境和生态环境特征，参考与之对应的保护措施和技术方法。

本指南为首次发布。

本指南由环境保护部污染防治司、规划财务司组织制订。

本指南主要起草单位：中国环境科学研究院、中交上海航道勘察设计研究院有限公司。

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 术语和定义.....	1
2 湖滨带生态环境调查与问题诊断	3
2.1 湖滨带调查范围.....	3
2.2 湖滨带生境调查.....	3
2.3 湖滨带生物调查.....	4
2.4 湖滨带现状类型划分.....	5
2.5 湖滨带生态环境问题诊断.....	5
2.6 湖滨带调查结果表达.....	6
3 湖滨带生态修复总体设计	7
3.1 湖滨带生态修复工程设计的主要内容.....	7
3.2 湖滨带生态修复设计总体原则.....	7
3.3 湖滨带生态功能定位及区划.....	8
3.4 湖滨带生态修复工程目标和指标.....	10
3.5 全湖湖滨带生态修复整体设计要求.....	11
4 湖滨带生态修复工艺	14
4.1 生态修复模式设计.....	14
4.2 湖滨带基底修复.....	19
4.3 湖滨带群落配置设计.....	32

4.4	景观设计.....	34
5	湖滨带生态修复工程维护管理.....	35
5.1	总体要求.....	35
5.2	管理经费与机制.....	35
5.3	工程生态环境监测.....	35
5.4	植物群落管理.....	35
5.5	工程设施维护管理.....	36
5.6	人为活动管理.....	36
6	投资估算.....	37
6.1	投资估算组成.....	37
6.2	建筑工程主要费用计算.....	37
7	工程生态环境效益评估.....	40
7.1	生物多样性保护效益评估.....	40
7.2	水体净化效益评估.....	40
7.3	水土保持与护岸效益.....	40

1 总则

1.1 适用范围

本指南适用于水质较好湖泊湖滨带的生态修复工程，水库库滨带及其他类型湖泊湖滨带的生态修复可以参考使用。

1.2 规范性引用文件

《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)

《堤防工程设计规范》(GB 50286-2013)

《水工挡土墙设计规范》(SL 379-2007)

《防波堤设计与施工规范》(JTS 154-1-2011)

1.3 术语和定义

1.3.1 湖滨带

湖滨带又称湖滨水-陆交错带，是湖泊流域陆生生态系统与水生生态系统间的过渡带，其核心范围是最高水位线和最低水位线之间的水位变幅区，依据湖泊水-陆生态系统的作用特征，其范围可分别向陆向和水向辐射一定的距离。

1.3.2 生态修复

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。

1.3.3 湖滨带自然化率

湖滨带范围内未经人工破坏的区域或经人工修复且符合自然生

态要求的区域面积占湖滨带总面积的比例。

1.3.4 水体生境

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的，包括必需的生存条件和其他对生物起作用的生态因素。

1.3.5 基底

湖滨带基底是生态系统发育与存在的载体，包括底质、地形、地貌等。

1.3.6 护岸（坡）

为保护湖区的岸坡，防止水流、波浪侵蚀而构筑的建（构）筑物。

1.3.7 消浪潜坝

潜没于湖泊常水位以下，防止或减缓波浪对湖泊岸线侵蚀而构筑的建（构）筑物。

2 湖滨带生态环境调查与问题诊断

湖滨带生态环境调查的目的是甄别湖滨生态退化因子及其作用强度，为湖滨带生态修复设计提供依据。

2.1 湖滨带调查范围

湖滨带调查范围：包括整个湖滨带范围，根据湖滨带外围实际情况，可向陆向和水向纵深适当外延 200~1000 m。

2.2 湖滨带生境调查

湖滨带生境调查因子包括湖滨带地形地貌、土地利用、污染源，水文、水质、底质等。

2.2.1 地形

对项目区地形需进行工程测量，一般要求进行地形图和断面测量。地形测图比例一般采用为 1:2000~1:5000（研究阶段）、1:500~1:2000（设计阶段），对于地形复杂、有重要构筑设施的区域，测图比例宜进一步加大。地形测图除一般常规要求外，还应标明现有植被的分布区域、各种污染源位置以及进入湖滨带的河流、沟渠底高程及水流向，必要时还应专门进行雨、污水通道测绘。断面测量比例一般采用竖向 1:100~1:200、横向 1:500~1:2000，断面一般垂直于岸线，断面间距一般为 200~1000m（研究阶段）、20~200m（设计阶段），若湖滨带横断面变化较大区域宜缩小间距，此外，必要时还须进行河道、沟渠纵断面测量。

2.2.2 土地利用

土地利用重点调查湖滨带内村落、农田、鱼塘、码头、旅游点、水利设施等用地情况，土地利用应根据湖滨带外围人类活动压力适当向湖滨带外围扩展 500-2000m。

2.2.3 污染源及人类对湖滨带干扰活动

污染源重点调查湖滨带内工业、生活、农田、养殖、旅游等污染，同时，还需调查湖滨带外围水土流失以及进入湖滨带内的径流污染、管道排污情况等。调查湖滨带内植物资源利用、放牧、采砂等人类干扰活动。

2.2.4 水文

水文重点调查进入湖滨带内的河流、沟渠等径流量情况等，湖泊水位季节性变化，风浪特征，岸坡侵蚀及岸线稳定性等，调研区域降雨、蒸发、洪水等情况。

2.2.5 水质、底质

水质、底质理化特征调查应包含所有二级类型湖滨带(参见 2.4)，并分别在挺水植物、浮叶植物、沉水植物、无植物的敞水区进行布点监测，水质重点调查总氮、氨氮、总磷、高锰酸盐指数、COD、透明度（或浊度）、溶解氧等指标，底质重点调查淤泥厚度、含水率、总氮、总磷、有机质等指标，调查方法参考《水和废水监测分析方法》第四版。

2.3 湖滨带生物调查

湖滨带生物调查应针对生物多样性保护目标展开，一般保护湖滨

带内植被、浮游生物、底栖动物、鱼类、水鸟、两栖动物、爬行动物等；通常以湖滨带内植被调查为主，主要调查乔木、灌木、陆生草本植物、挺水植物、沉水植物、浮叶植物及漂浮植物等。采用陆生-水生断面调查，每个植被类型区分别布点调查植物种类、生物量、盖度等指标。调查时需同时记录保护物种及外来物种入侵情况，湖滨带生物调查方法参考《湖泊富营养化调查规范》。

2.4 湖滨带现状类型划分

湖滨带的类型可以依据生态特征、生态功能等进行划分。本指南一级分类主要依据地貌特征进行划分，二级分类主要依据生境、现状土地利用类型进行划分。

2.4.1 一级分类

根据湖滨带地貌将湖滨带划分为缓坡型湖滨带与陡坡型湖滨带2种一级类型。缓坡型湖滨带平均坡度小于 20° ，初级生产者一般以高等植物为主；陡坡型湖滨带平均坡度大于 20° ，初级生产者往往以附生生物为主的低等生物为主。

2.4.2 二级分类

根据湖滨带的生境及土地利用类型，又可将湖滨带进一步划分二级类型。主要包括滩地型、农田型、房基型、河口型、鱼塘型、自然山地型、路基型和堤防型湖滨带等。

2.5 湖滨带生态环境问题诊断

在湖滨带污染现状、生境、生物调查的基础上，结合收集的湖滨带自然、社会经济等资料，对生态环境问题进行诊断与评估（表1）。

表 1 湖滨带退化因素分析与生态环境问题诊断表

序号	压力	生物				生境		
		植被	鸟类	底栖动物	鱼类	水质	底质	基底物理结构
1	人为因素							
1.1	农田							
1.2	鱼塘							
1.3	村落							
1.4	旅游							
1.5	植物资源利用							
1.6	挖沙采石							
1.7	外围污染							
1.8	人工水位调控							
1.9	……							
2	自然因素							
2.1	洪水							
2.2	水量减少							
2.3	风浪侵蚀							
2.4	……							
3	复合因素							
3.1	外来物种入侵							
3.2	……							

+++表示重度影响，++表示中度影响，+表示轻度影响，-表示无影响。

2.6 湖滨带调查结果表达

测量调查成果需提供地形图、土地利用图、植被类型图、水质分布图、底质分布图、多年水位过程线图、风玫瑰图等。

评估成果应包括湖滨带类型及分布、湖滨带退化关键因子、湖滨带自然化率、植被物种数、修复区植被盖度、物种多样性指数等现状数值。

3 湖滨带生态修复总体设计

3.1 湖滨带生态修复工程设计的主要内容

湖滨带生态修复工程设计一般应包括以下主要内容：

（1）湖滨带生态修复总体设计，包括湖滨带生态功能定位、生态修复目标和设计原则的确定、整体设计、分区修复设计等。

（2）湖滨带分区生态修复工艺设计，主要对基底修复与群落配置的工艺进行设计。

（3）湖滨带生态修复工程的维护管理，主要包括工程区基底修复设施维护、湖滨植物群落维护等。

3.2 湖滨带生态修复设计总体原则

（1）自然恢复为主的原则

湖滨带生态修复应符合湖滨地质发育特点，遵循湖滨带水-陆生态系统的作用及演化规律，充分发挥自然恢复的能力。

（2）保护优先的原则

湖滨带生态修复应注意对湖滨带自然状态良好区域的保护，避免对其进行人工干预或干扰。

（3）生态功能保护为主的原则

坚持以湖滨带生态功能保护为主，避免利用湖滨带对流域污水进行处理净化。

（4）生境改善先行的原则

依据生境决定生态系统的原理，控制湖滨带内及外围污染源，

恢复湖滨生境，为湖滨带生态修复创造条件。

（5）整体设计、分阶段修复的原则

全湖湖滨带生态修复应进行整体设计，充分考虑湖滨带与全湖泊生态环境的相互作用，同时与流域污染及生态工程相衔接，将生态修复分阶段设计，以适应湖滨生态自然演变的规律。

（6）以本土物种为主的原则

湖滨带生态修复应充分利用本土物种进行生态修复。

3.3 湖滨带生态功能定位及区划

湖滨带生态修复设计应从全湖出发，重点考虑生物多样性保护、水质净化、水土保持与护岸等生态功能，同时尽量兼顾景观美学价值、经济价值等。根据湖滨带生态功能定位，结合湖滨带历史特征、现状特征，对湖滨带要实现的主体功能进行划分。每个区域除一种主体功能外，还可划分多种非主体功能。具有多种生态功能的，主体功能优先划定为生物多样性保护功能。

3.3.1 生物多样性保护功能区划分

湖滨带作为重要的生态交错带，其干湿交替变化造成了湖滨栖息地和植被斑块多样性和时间变化性，产生一些依赖这种生境的特有物种，增加了湖滨带边缘种的丰富度。具有保护脆弱栖息地、增强栖息地连通性、改善栖息地质量、增加物种丰富度的功能。同时，湖滨带作为湖泊鱼类、鸟类、底栖动物等生物的重要栖息地，对湖泊敞水区生物多样性保护具有非常重要的作用。

可以将以下区域划定为生物多样性保护功能区：1）湖滨坡度较

缓、变幅带较宽的区域；2) 湖滨地形变化丰富、湖湾发育度高的区域；3) 水鸟、鱼类、两栖和爬行动物类比较丰富的区域。根据保护的對象，生物多样性保护区可进一步细化为湖泊鱼类栖息地、湖泊底栖动物栖息地、水鸟栖息地、植被、两栖和爬行动物栖息地、小型哺乳动物栖息地等保护区域；湖滨生境复杂的区域也可以单独划定，如河口湿地区、特殊湖湾区。

3.3.2 水质净化功能区划分

湖滨带是湖泊的“天然生态屏障”，其水-土壤（沉积物）-植物系统的过滤、渗透、吸收、滞留、沉积等物理、化学和生物作用，具有控制、减少来自湖泊流域地表径流中的污染物的功能。同时，湖滨带也可以通过营养竞争、化感作用等抑制湖泊水华藻类，改善湖体水质。

水质净化功能区可分为入湖径流水质净化区和湖泊水质净化区。湖滨外围农田分布面积较大、山体水土流失较重、入湖径流较多、浅层地下径流丰富的区域都可划定为入湖径流净化区；湖滨藻华暴发风险较高的区域可划定为湖泊水质净化区。

3.3.3 水土保持与护岸功能区划分

湖滨带植被可降低湖滨径流冲刷，减轻水土流失；湖滨带植被的消浪、固岸等作用可以降低风浪对湖岸线的侵蚀强度，提高湖岸的稳定性。

水土保持与护岸功能区包括水土保持功能区和护岸功能区。湖滨带内坡度较大、水土流失风险较高的区域划定为水土保持功能

区；对岸基不稳、护岸要求较高的区域划定为护岸功能区。

3.3.4 景观美学功能区划分

湖滨带丰富的空间格局和物种造就了独特而秀丽的湿地景观，可提供人群休闲娱乐，具有很高的美学价值。

对景观美学价值较高的区域，可适当选择部分区域划定为休闲娱乐区，但应严格控制休闲娱乐区范围，其面积一般不超过湖滨区域的 10%，休闲娱乐功能区也需同时强调生物多样性保护、水质净化、水土保持与护岸等生态功能。

3.3.5 经济价值区划分

湖滨带内丰富的植物资源和野生动物资源，使湖滨带具有很高的生物资源开发潜力和经济价值。

对湖滨带内植物资源利用价值高、且生长旺盛的区域，可划定为植物资源利用区；对于良好湖泊，应严格控制植物资源利用区的面积，植物资源利用区域面积一般不超过湖滨带面积的 30%。

3.4 湖滨带生态修复工程目标和指标

湖滨带生态修复的目标以一定历史时期的生态特征为参考，或相近区域湖泊湖滨带生态特征为参考，重点确定湖滨带生物多样性保护、水质净化及护岸（坡）等生态修复目标。根据湖滨带生态修复目标，进一步细化主要修复指标，如表 2 所示。

表 2 湖滨带生态修复具体目标和指标设定

修复目标	修复指标	现状值	恢复值
生物多样性保护	湖滨带修复面积 (Km ²)		
	湖滨带自然化率增加值 (%)		
	湖滨带平均宽度 (m)		
	景观连通性*		
	植被物种数 (种)		
	修复区植被盖度 (%)		
	植被平均生物量 (Kg/m ²)		
	生物多样性指数 (维纳香浓指数)		
	特殊保护物种* (保护物种名称)		
			
水质净化	径流拦截净化量 (m ³ /年)		
	径流污染物净化率 (%)		
			
水土保持与护岸	稳固岸线长度 (Km ²)		
			
休闲娱乐*			
经济价值*			
.....			

注：*可半定量或定性描述

3.5 全湖湖滨带生态修复整体设计要求

从湖滨带的生态功能出发，结合水文地质、土地利用、生态环境等现状特征，进行系统考虑，确定全湖湖滨带生态修复整体指标参数。

3.5.1 湖滨带自然化率

遵循现状湖滨带自然化率不降低的原则。对于水功能区划要求为Ⅰ类水体的湖泊，湖滨带自然化率不应低于 85%~90%；对于Ⅱ~Ⅲ类的湖泊，湖滨带自然化率不应低于 75%~85%；对于Ⅳ~Ⅴ类的湖泊，自然化率不应低于 75%~80%。

3.5.2 湖滨带陆向辐射带宽度

湖滨带陆向辐射带是湖滨带核心区及整个湖泊的重要保护带。浅水湖泊湖滨带陆向辐射带平均宽度不应小于 50 m，深水湖泊湖滨带陆向辐射带平均宽度不应小于 30 m。湖滨带陆向辐射带宽度可根据外围汇水区径流量、湖滨带基底坡度和土壤渗透性等进行相应调整。

3.5.3 景观连通性

湖滨带整体应保持高连通性，防止景观破碎化，每 10km 被人为建（构）筑物中断（>100m）不应超过 2 处，中断处应尽量通过宽度大于 30 m 的绿色廊道连接。

3.5.4 水上建（构）筑物

码头、房屋、泵站等水上建（构）筑物设计时应考虑对湖滨带生物多样性、水文水质等影响，尽量减少对湖滨带的干扰和破坏，并设计廊道连接被隔断的湖滨带。建（构）筑物应远离环境敏感区、生物多样性保护区、特征物种分布区、鱼类及底栖动物栖息地、小型湖湾等环境重要保护区域，距离不应小于 20m；现有建（构）筑物对环境重要保护区域造成影响的，应进行拆除和搬迁；建（构）筑物尽

量架空小体量建设，以保持湖滨带的自然状态；建（构）筑物及管线应利用植被系统进行遮挡，尽量避免破坏湖滨生态景观。

3.5.5 外围污染控制要求

为了保持湖滨带生态健康，湖滨带不应承担污水处理的功能，进入湖滨带的水质应控制在低污染水平，并在其自然净化能力范围之内。进入湖滨带的径流污染应按照水环境功能区划要求控制在相应水质目标内，没有明确要求或水质要求不高的情况下，进入缓坡型湖滨带的径流水质不应劣于地表水环境质量标准（GB 3838-2002）Ⅴ类；进入陡岸型湖滨带径流水质不应劣于地表水环境质量标准Ⅳ类。

4 湖滨带生态修复工艺

4.1 生态修复模式设计

考虑湖滨带类型、要实现的生态功能、生态修复目标等，提出湖滨带生态修复模式，详见表 3。

4.1.1 缓坡型湖滨带

(1) 滩地型

该类型湖滨带现状地势平缓，原有湖滨带生态系统仍有保留，但人为干扰造成其生态退化。该类型湖滨带生态修复重点考虑生物多样性保护功能，一般按陆生生态系统向水生生态系统逐渐过渡的完全演替系列设计，植被类型包括乔灌草带、挺水植物带、浮叶植物带、沉水植物带四带（图 1）。湖滨大型底栖动物、鱼类退化严重的区域，可在沉水植物带增加大型底栖动物和鱼类的栖息地的设计。

根据水位高程及其变化设计植物带。水位变幅小的湖泊，陆生乔木带设计在最高水位线以上，湿生乔木和挺水植物设计在常水位 1m 水深以内的区域，浮叶植物设计在常水位 0~2m 水深的区域，沉水植物设计在常水位 0.5~3m 水深的区域。水位变幅大的湖泊湖滨带植被应充分参考湖泊植被的历史状况及现状的季节性变化，并以湿生草本植物带自然恢复为主。

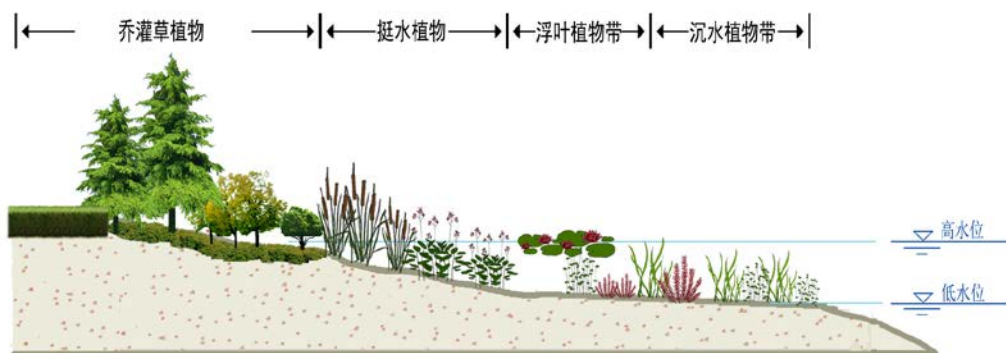


图 1 滩地型湖滨带生态修复示意图

(2) 农田型

该类型湖滨带现状受农田侵占，地形地貌受到一定的破坏。退田后在湖滨带外围一般仍存在大量农田。农田型湖滨带以农田径流水质净化功能为主，尽量恢复成完全演替系列（图 1）。植物配置中应采用根系发达的大型乔木净化农田区浅层地下径流；在基底修复中应加固原有农田外围的护岸设施维持基底的稳定性（详见 4.2）。由于护岸工程对浮叶带植物生长影响大，植物配置中也可设计成浮叶带缺失的不完全演替系列（图 2）。

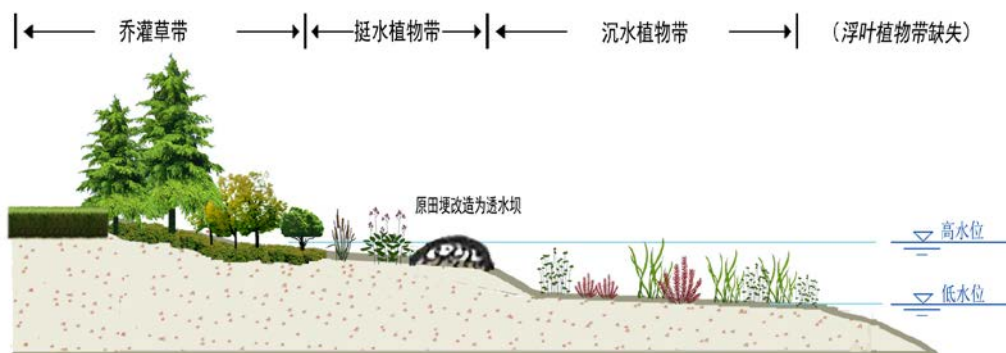


图 2 农田型湖滨带生态修复断面示意图

(3) 房基型

该类型湖滨带现状被村落房屋侵占，湖滨生态系统被破坏。以生物多样性保护为主的修复区，全部退房还湖并进行基底修复。植

被尽量修复为完全演替系列（图 1）。

房屋不能完全清退的，拆除部分房屋并设计生态岸坡，做护岸处理，坡度小于 25° （详见 4.2）；植被带可设计成陆生植被带或浮叶植物带或挺水带缺失的不完全演替系列（图 3）。

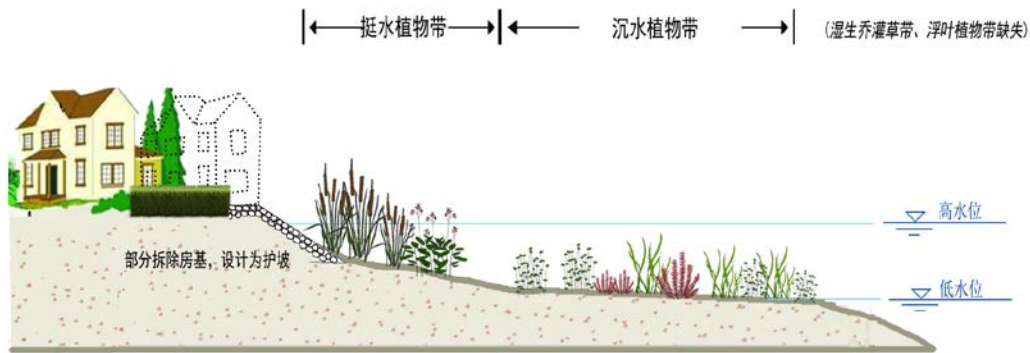


图 3 房基型湖滨带生态修复示意图

（4）鱼塘型

该类型湖滨带现状为大面积鱼塘，湖滨水质恶化、生态系统受损。鱼塘型湖滨带一般修复为多塘湿地，基底修复是将鱼塘塘埂拆除至水面以下而仅保留塘基，上部石料与塘埂内的土料混合后，就地抛填在塘埂两侧形成斜坡；水面以下部分应每隔一定距离将塘基清除，使塘内外土层沟通，塘基呈散落状分布，同时覆土覆盖鱼塘污染底泥。针对底质污染较重、底泥较厚的鱼塘，应对污染底泥先进行清淤，再拆除塘基，防止退塘时淤泥再悬浮污染湖泊水质。植物修复根据各鱼塘水深、水位波动种植挺水、浮叶、沉水植物等（图 4）。

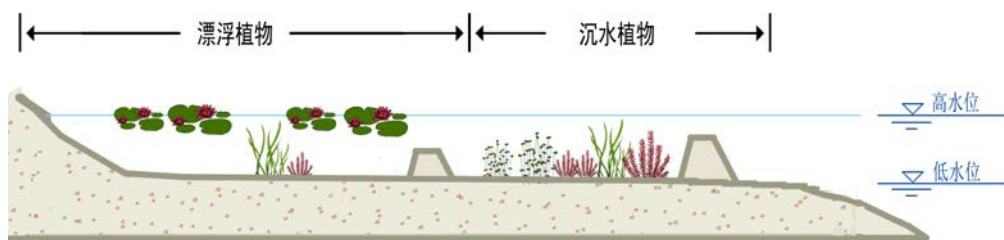


图 4 鱼塘型湖滨带生态修复示意图

(5) 堤防型

该类型湖滨带被大堤隔断，外湖滨带（大堤外）被用地侵占，内湖滨带（大堤内）受风浪侵蚀，植被退化。对外湖滨带，构建人工湿地，修复乔灌草带、挺水植物带、浮叶植物带；对内湖滨带，有条件的采用抛石消浪或进行生态堤岸改造（具体见 4.2），植物修复以恢复沉水植物为主。

(6) 码头型

规划新建或改造的码头，尽量考虑架空设计，减少硬化面积，未硬化区域可修复为不完全演替系列的植被系统，被码头隔断的湖滨带应通过廊道连接。

(7) 其他专有修复模式

其他专有修复应遵循湖滨带生态功能定位，采用因地制宜的原则进行设计，维持湖滨带的自然性和生境复杂性。

表3 各类型湖滨带主要生态功能及修复模式

湖滨带类型		要实现的主体生态功能													主要修复模式
		生物多样性保护							水质净化				水土保持与护岸		
		植被	湖滨 鱼类 栖息	水鸟 栖息 地	底栖 动物	爬行和 两栖动 物	小型哺 乳动物	附着 生物	农田地 表径流	山地水 土流失	地下 径流	湖泊 水质 净化	水土 保持	护岸	
缓坡型	滩地型	√	√	√	√	√	√	/	√	/	√	√	√	√	完全演替系列
	农田型	√	√	√	√	√	√	/	√	/	√	√	√	√	完全演替系列 或不完全演替系列
	房基型	√	√	√	√	√	√	/	/	/	√	√	√	√	完全演替系列 或不完全演替系列
	鱼塘型	√	√	√	√	√	√	/	/	/	/	√	√	√	不完全演替系列
	堤防型	/								/					
	河口型	√	√	/	√	/	/	/	/	/	/	/	/	√	不完全演替系列
															
陡岸型	山地型	/	√	/	√	/	√	√	/	√	/	/	√	√	不完全演替系列
	房基型	/	√	/	√	/	√	√	/	√	/	/	√	√	不完全演替系列
	路基型	/	√	/	√	/	√	√	/	√	/	/	√	√	不完全演替系列
	堤防型	/	√	/	√	/	√	√	/	√	/	/	√	√	不完全演替系列
	河口型	/	√	/	√	/	/	/	/	√	/	/	√	√	不完全演替系列
															

4.1.2 陡坡型湖滨带

(1) 山地型

该类型湖滨带现状为山体直接入湖，地势较陡，湖滨带宽度较窄。生态功能定位为水土流失控制区的，仅修复陆生植被，采用不完全演替系列修复模式。具有大型底栖动物和鱼类重要栖息地功能且生态受损的，通过基底构建、生态岸坡构建、群落调整等，恢复附生藻类生物多样性，构建底栖动物和鱼类栖息地。

(2) 路基型

该类型湖滨带现状为路基侵占湖滨带，生境受损。路基型湖滨带以护岸功能为主，但应同时考虑生物多样性保护。实施消浪、生态岸坡构建、修复营造鱼类及其他水生动物栖息地。

(3) 房基型

该类型湖滨带现状被房基侵占，生境受损。因陡岸型湖滨带生态脆弱，侵占房屋应全部清退。房基型湖滨带主要以生物多样性保护功能区为主，通过消浪、生态岸坡构建、修复营造鱼类及其他水生动物栖息地进行生态修复。

(4) 其他专有修复模式

其他专有修复应遵循湖滨带生态功能定位，采用因地制宜的原则进行设计，维持湖滨带的自然性和生境复杂性，同时兼顾岸坡的稳定性。

4.2 湖滨带基底修复

基底修复的目的主要包括：(1) 控制沉积和侵蚀，保持湖滨带

物理基底的相对稳定；(2) 解决风浪、水流等不利水文条件对湖滨带生物的负面影响；(3) 对由于人类活动改变的地形地貌(如鱼塘、村落、堤防)进行修复与改造；(4)对底质的物理化学性质进行适当的调整和改造。基底修复内容主要包括物理基底稳定性设计和基底修复与改造。

4.2.1 物理基底稳定性设计

主要是解决物理基底的沉积和侵蚀对生物的影响，控制沉积和侵蚀，保持湖滨带物理基底的相对稳定，为湖滨带的生态恢复创造条件。

消浪技术是基底稳定性设计中的重要内容，可通过设置消浪潜坝或消浪丁坝的方式进行消浪。潜坝或丁坝可按结构材料、坝高及与水流流向关系等，选用透水或不透水、淹没或非淹没等形式。在消浪的同时，根据湖滨带地貌、周边设施、岸坡形态、风浪条件等，确定湖滨护岸（坡）结构型式。

消浪及护岸（坡）结构的标准及级别确定、总体布置、地基处理、稳定计算及安全系数、建筑材料、构造要求以及相关尺度的确定等设计要求，可参照《堤防工程设计规范》(GB 50286-2013)、《水工挡土墙设计规范》(SL 379-2007)、《防波堤设计与施工规范》(JTS 154-1-2011)、等现行国家标准或行业标准的有关要求执行，并应满足相关的工程建设强制性标准条文的要求。

(1) 潜坝消浪技术

消浪潜坝的构筑根据风浪作用情况一般可考虑抛毛石(或袋装土

堤心外抛毛石)结构体消浪、块石和人工预制块体组合结构体消浪、钢丝石笼结构体消浪等技术(图 5~7)。

当有鱼类恢复需要时,潜坝结构体可通过人工预制空腔块体或块石、人造构筑物、鱼礁、涵管等形成空腔,并视湖滨带现场情况结合利用乔木根部绑扎竹排,或抛石坡脚位置投放树枝及柴捆等,在竹排之间形成缓流区,供鱼类栖息繁衍。

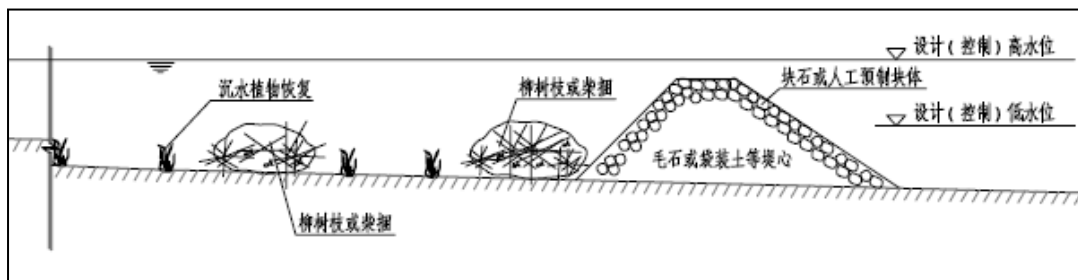


图 5 毛石（或袋装土堤心外抛毛石）消浪潜坝示意图

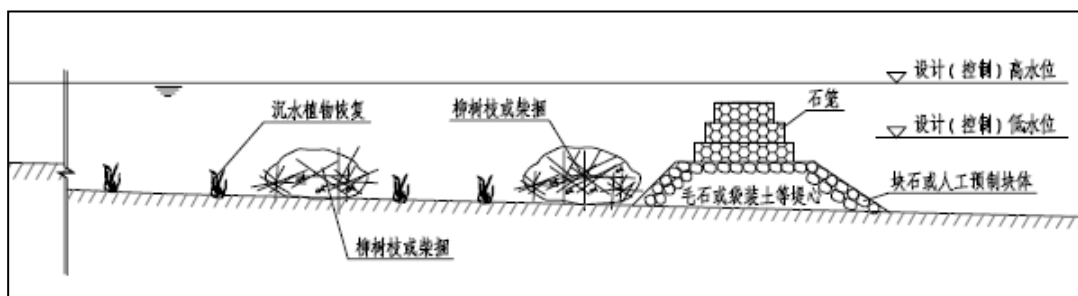


图 6 钢丝石笼结构体消浪潜坝示意图

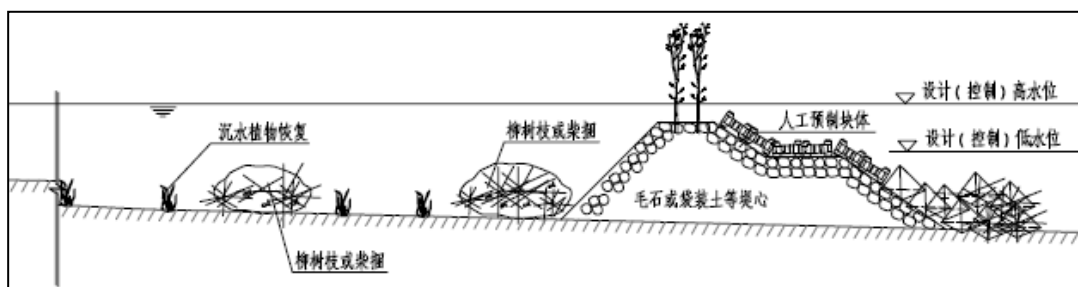


图 7 人工预制块体消浪潜坝示意图

(2) 丁坝消浪技术

当湖滨带受风浪影响方向较为固定时，根据地质、地形、风浪及水流条件，宜布置丁坝或丁坝群进行消浪或减小水流冲蚀作用。

丁坝结构体与潜坝基本相似，可一定程度上参照潜坝结构进行设计，也可结合鱼礁、涵管等构筑物形成空腔，供鱼类栖息繁衍（图 8）。

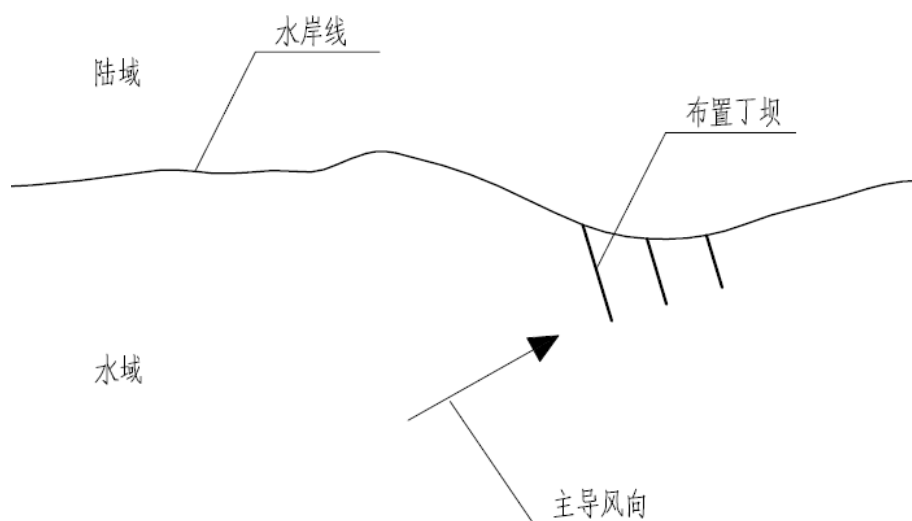


图8 丁坝消浪或减小水流作用布置示意图

(3) 湖滨护岸技术

湖滨护岸结构型式应遵循因地制宜、技术可靠、经济合理的原则，分类型研究确定。一般情况下，湖滨带自然形态无需刻意突出人工护岸（坡）结构的实施，宜在满足其稳定状态下保留其自然特征。

为满足湖滨带生态修复工艺需求，确保湖滨带的稳定，根据湖滨带的不同特征，从构建合适的湖滨带物理基底层面，一般可将湖滨带护岸（坡）在构造型式上分为路堤型、农田型、山坡型、房基拆除型等。

对于部分土质陡坡湖滨带或由于堤防等建设，导致湖滨岸线长期受风浪、水流冲蚀影响，存在岸坡土方坍塌或危及湖滨岸坡、大堤安全时，应结合风、浪、流、水文、地质等工程设计要素，进行必要的护岸（坡）工程建设。一般情况下，宜首先考虑采用生态型护岸（坡）结构。

常规的护岸（坡）结构型式或工艺如下：

①路堤型湖滨带护岸（坡）

为满足路基的稳定安全，一般需构建直立式挡墙或路堤斜坡护面结构。从湖滨带生态修复的工艺角度，可在坡脚抛置块石、人工预制块体等，形成既具有防护能力、又具有生态功能的多空隙结构体（图9）。

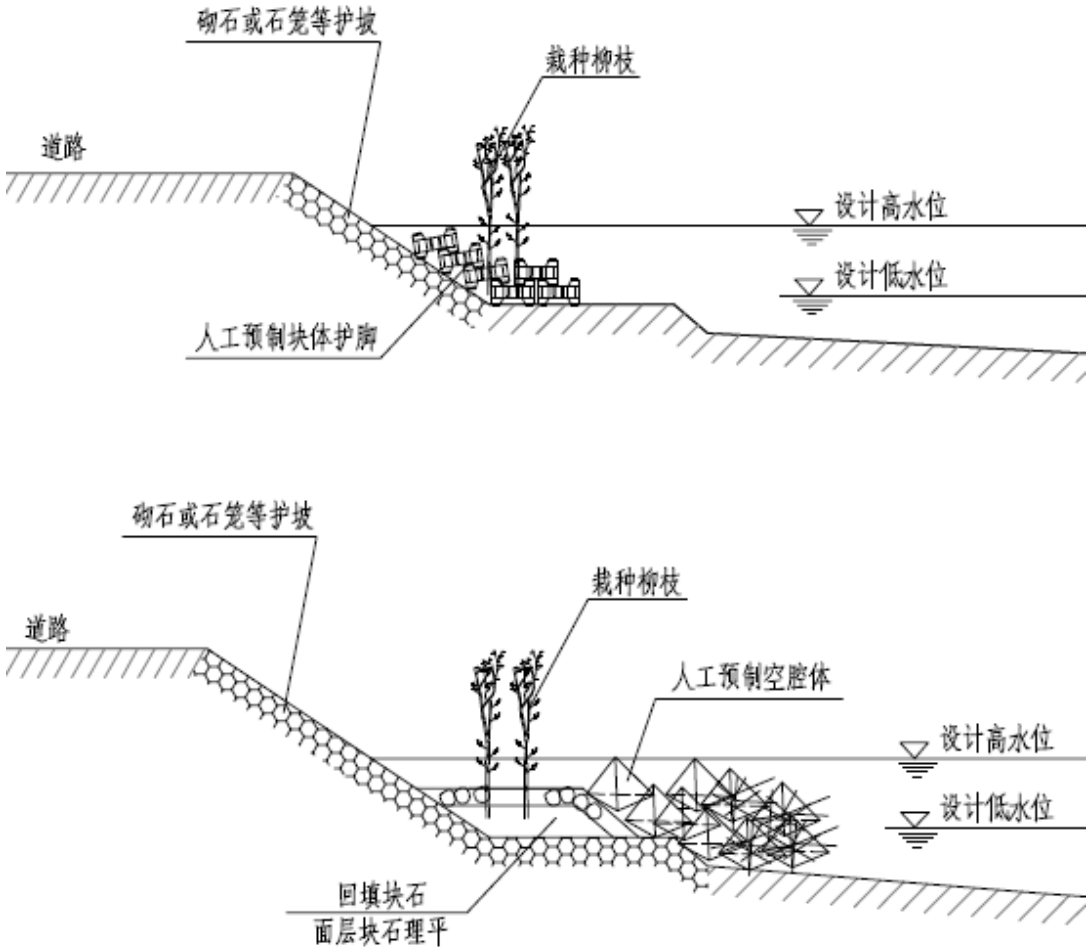


图9 路堤型湖滨带护岸（坡）示意图

②农田型湖滨带护岸（坡）

缓坡型湖滨带应视水位变幅区的冲刷情况，布置植被生态护坡，宜以植物根系护坡为优先考虑方式，并宜考虑布置植物绿篱带，降低人类活动的干扰。对于陡坡型，宜在水位变幅区及其附近

区域设置砌石、石笼等具有植物恢复或生长条件的多空隙护坡结构，并宜在坡脚位置构筑抛石护脚结构体，对现有树木的生长形成防护能力（图 10）。

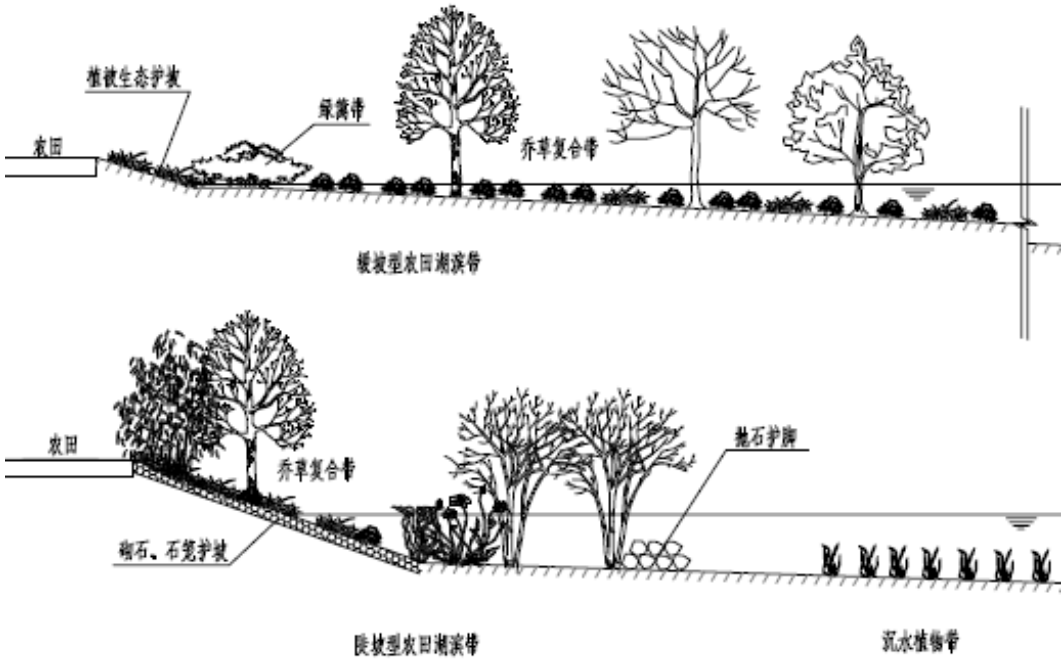


图 10 农田型湖滨带护岸（坡）示意图

③山坡型湖滨带护岸（坡）

应视山体地质条件情况，判别山坡的整体稳定性状况，对于山坡存在边坡坍塌失稳情况的，宜首先对山坡进行加固处理。对于稳定的山坡区湖滨带，宜在必要的情况下，结合消浪构筑物的布置，从改善陡岸山坡坡脚的生境条件角度，通过零散抛置大块石或人工预制构件，营造具有鱼类或其它水生动植物栖息繁衍的环境条件（图 11）。

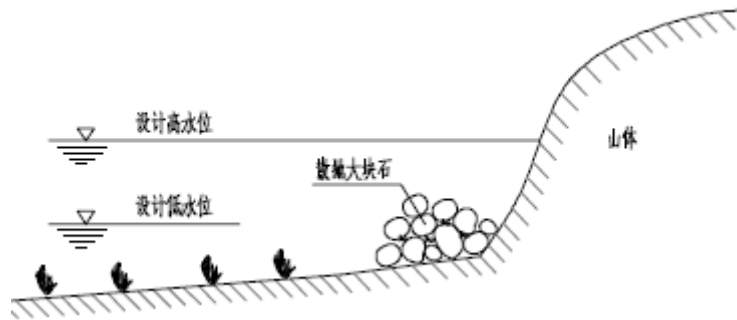


图 11 山坡型湖滨带护岸（坡）示意图

④房基拆除型湖滨带护岸（坡）

宜结合拆除的块石物料进行合理布置。一般临湖房屋具有较高的房基块石填料，形成直立型的湖滨岸线，宜恢复成斜坡形态。在拆除区域的湖滨带有岸坡防护需求时，可铺设必要的反滤层，并利用拆除块石构筑护面和镇脚结构。镇脚部位的块石宜选用大块径石料，护面层可选用较小块径石料，但应满足稳定性要求（图 12）。

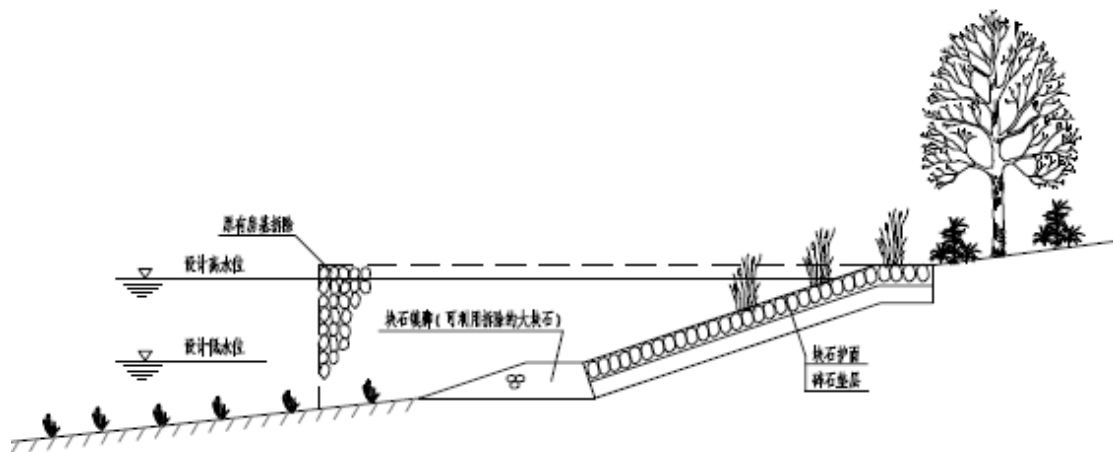


图 12 房基拆除型湖滨带护岸（坡）示意图

⑤植草空心块（砖）生态型护岸

植草空心块（砖）生态型护岸利用自身结构满足护面稳定要求，且块（砖）孔洞内可提供较好的生物生存环境，为植物根系提供生存空隙。护岸具有较好的渗透性、良好的生态和景观效果（图 13）。

植草空心块（砖）从形式上一般可分为植草砖、六角螺母块、日

字型砌块、田字形砌块及其他人工预制空心块体。从铺筑形式上，可为斜坡面层铺设、阶梯式或台阶式堆砌等。

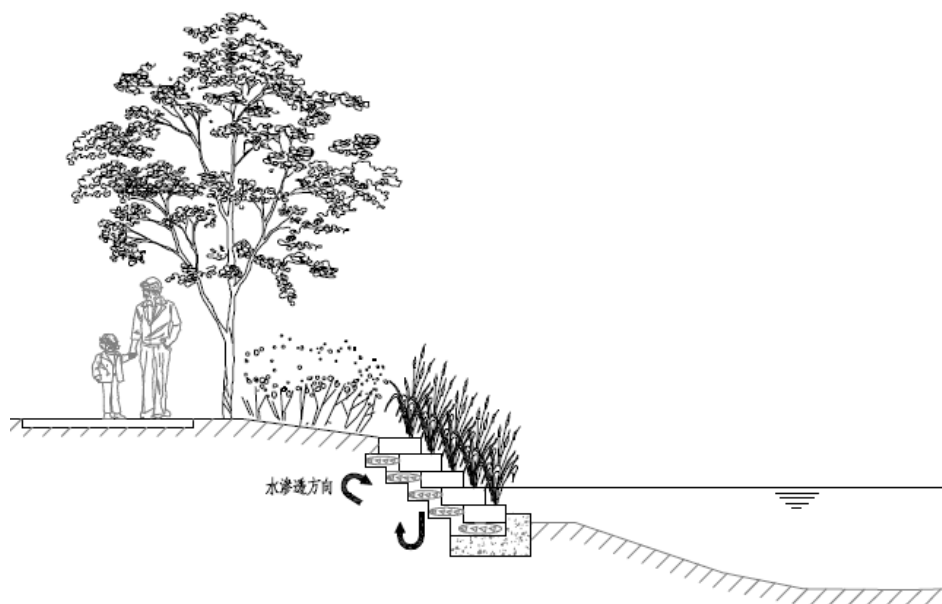


图 13 植草空心砌块生态型护岸示意图

⑥石笼生态型护岸

石笼生态型护岸将自然生态与人工构筑物相结合，用于抵御水流、波浪冲刷，具有良好的防护性能，而且为植物的生长提供良好的基础。护岸不仅具有很好的渗透性，而且可以适应阶梯式、斜坡式等不同的型式要求，又可多种型式组合使用，达到更好的效果（图 14）。

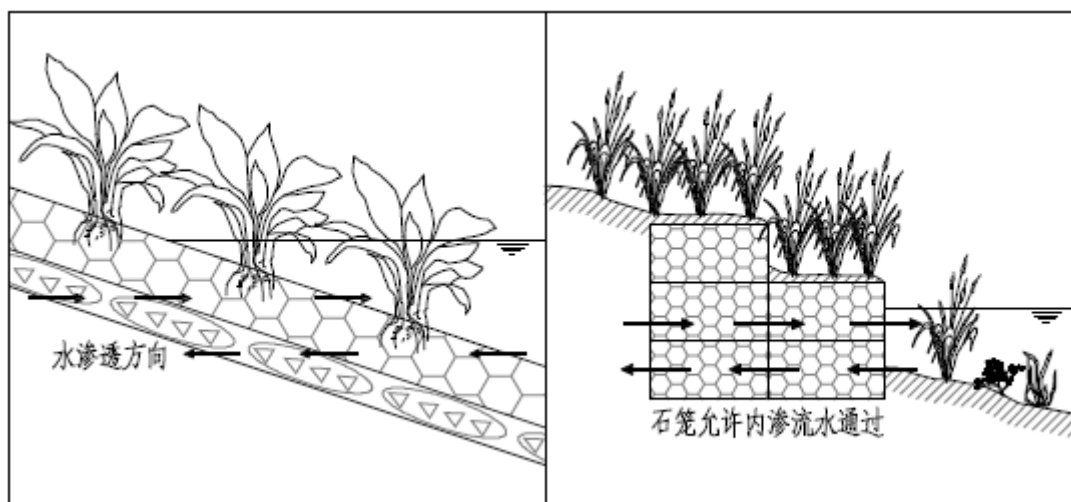


图 14 石笼生态型护岸示意图

⑦生态混凝土（球、块）生态型护岸

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，具有多孔结构和较大的比表面积、良好的透气性和透水性。既能保护堤岸，防止其受到侵蚀，又使其表面适宜富集植物和微生物，并为岸边植物提供相应的生存空间（图 15）。

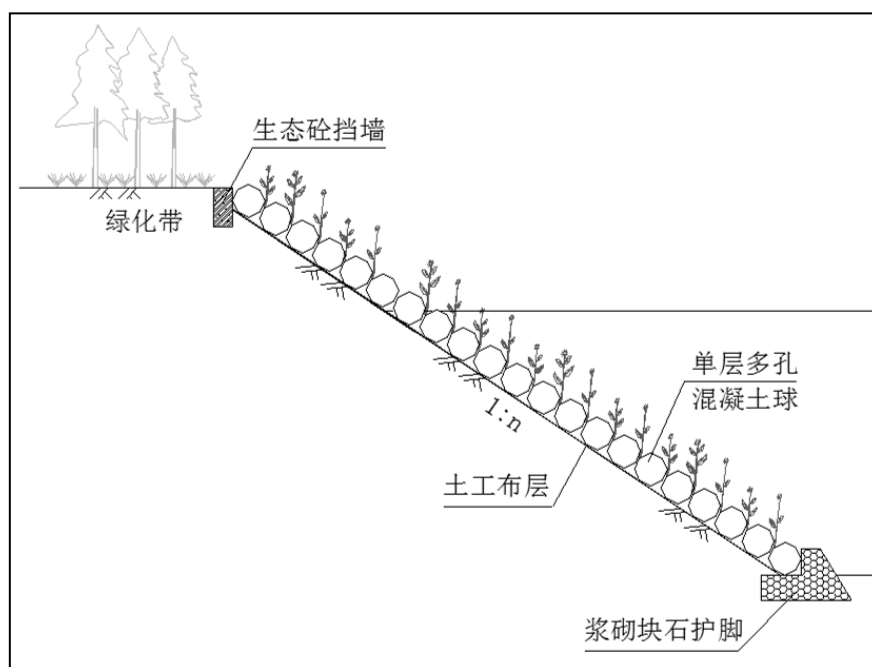


图 15 生态混凝土球生态型护岸示意图

⑧抛石防护生态型护岸

抛石防护生态型护岸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，一般在抛石体下部设置袋装碎石和无纺土工布组合反滤层，阻止岸坡的土体流失，并利用抛石的自然缝隙保持水体与土体的相互涵养，为生物提供生存的空间，同时满足岸坡防护要求（图 16）。

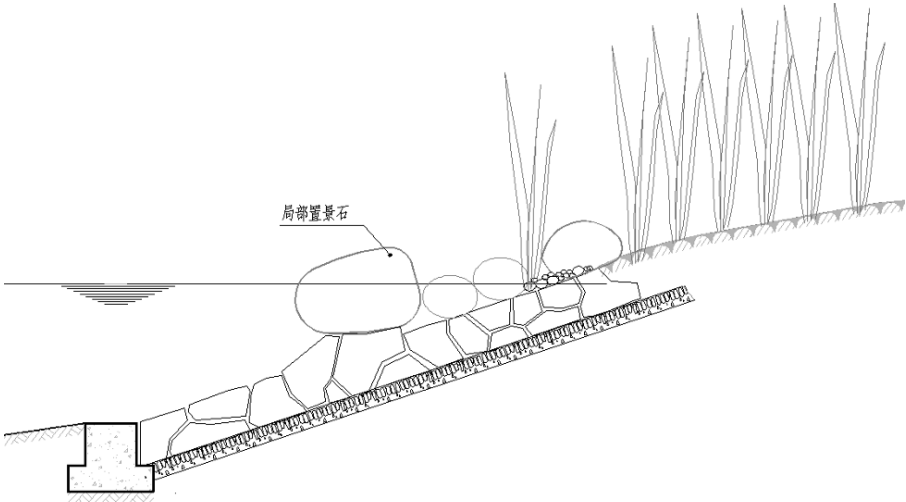


图 16 抛石防护生态型护岸示意图

⑨景观石护岸

为突出景观节点的布置需要，在局部湖滨带可通过结构设计，采用混凝土结构基础，设置必要的碎石反滤层，并利用黄石等景观石突出景观效果，实现护岸防护与景观配套的综合效果（图 17）。

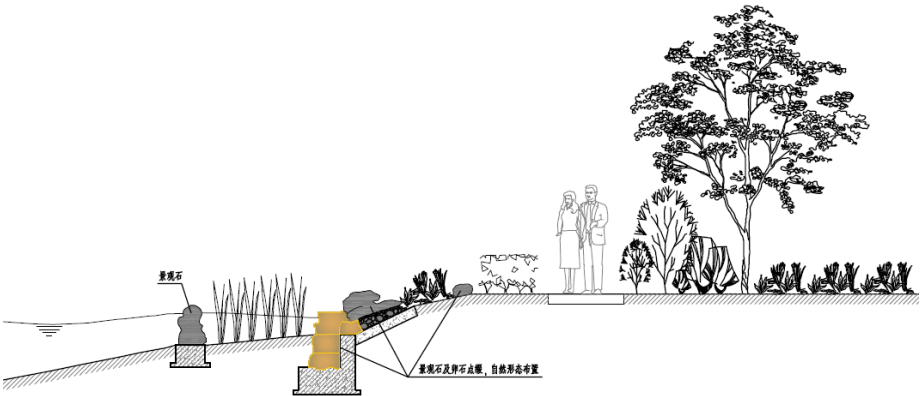


图 17 景观石护岸示意图

⑩新型砌块挡墙护岸

新型砌块材料一般由水泥、机制砂、细沙、氧化铁颜料等组成，为干硬性混凝土振压成型，具有施工简便快捷、对地基的要求低、占地少、形式多样、造型美观、结构耐久性好、与传统挡土墙比较综合成本低等优点（图 18）。

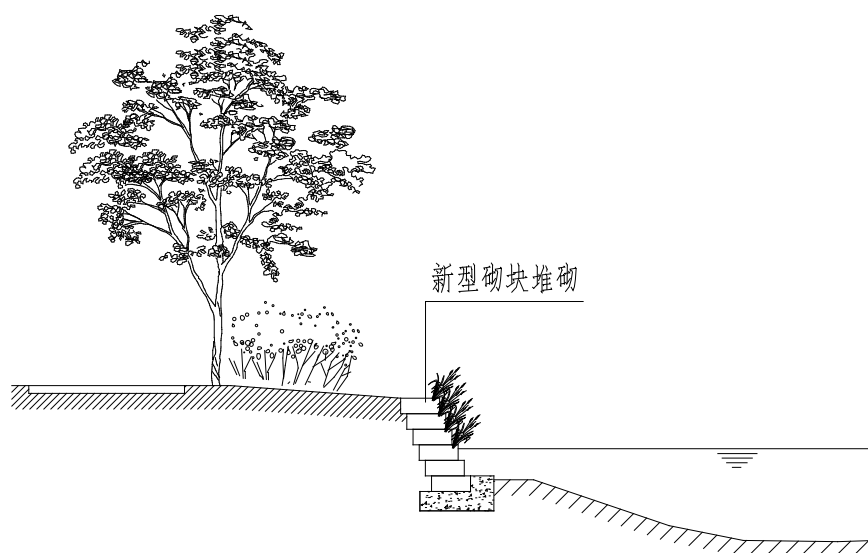


图 18 新型砌块挡墙护岸示意图

4.2.2 基底修复与改造

针对湖滨带被侵占与破坏的现状，对湖滨带地形、地貌、底质进行适当的改造，改善水流和物质循环状况，调整和改造底质物理化学特性，以恢复湖滨交错带复杂的生境，满足生物要素所要求的基底条件；基底修复与改造以湖滨带原有状态及其发育特征为参考，尽量减少工程措施。

（1）基底地形地貌的修复

基底地形地貌改造主要包括侵占物拆除、地形平整和重建。侵占物拆除指将侵占湖滨带的鱼塘、房屋等构筑物拆除；基底平整指根据水生生物生存要求因地制宜地对地形进行整理，包括不合理的

沟谷、凸脊、坑塘等平整和改造，植被重建区地表植物的清理；基底重建指再塑原有基底，重建湖滨带生境。

部分湖滨带应结合动植物生长的需要，适当布置相关的构筑物，如鱼礁，底栖动物生长的基质等；部分湖滨带视其水质净化需求，可结合湖滨带地形改造增加布水等设施，布设埂、坑塘、过水通道构筑物，增加湖滨带水质净化效果。

（2）基底底质的调整

基底的底质物理化学特性调整改造包括淤泥清除、污染底泥覆盖、部分换土等，以满足水生生物生长、栖息要求，同时也减缓湖滨污染底泥在风浪作用下再悬浮，防止其影响植被恢复。乔草带除特殊物种有特殊要求外，一般无需调整底质的物理化学特性；挺水植物恢复区为增强生境多样性，可适当清理污染底泥及腐殖质堆积区，或采取覆盖、部分换土的方法进行土质调整；沉水植物恢复区应清除淤泥，加强植物根系固着能力，针对清水型植物恢复区，应清除污染底泥，以维持良好水质和底质。

（3）典型基底改造设计

村落、鱼塘、农田往往是进行基底改造时的主要土地利用形式，本指南提出这几种典型基底改造设计，以达到不同生态功能需求。

①鱼塘基底改造设计

a. 全部拆除设计

鱼塘塘埂暂时保留，待湖滨带生态系统恢复到一定规模后再全部

拆除，并通过基底改造，恢复至原滩面高程。拆除鱼塘的废弃物运出湖滨区处理。局部风浪作用强烈区段，可用鱼塘拆除材料进行人工仿自然方式护坡。

b. 部分保留设计

将鱼塘塘埂拆除至水面以下而仅留塘基，上部石料与塘埂内的土料混合后，就地抛填在塘埂两侧，形成斜坡；同时间隔将塘基清除，使塘基呈散落状分布，内外土层沟通，以利于湖滨带生态系统的演替。

c. 不拆设计

若需将鱼塘改造成湿地净化系统，可保留鱼塘塘埂现状，基本不拆除。将不同塘埂之间开挖，使其水流相通。

②村落基底改造设计

清除民房人工填筑的直立砌石基础，就近抛填在湖滨区，使湖滨带滩地恢复成原有平缓渐变、高低错落自然的岸坡；将宅基按自然坡比拆除至水面以下，上部石料与宅基内的土料混合后，就地抛填在宅基外侧，形成斜坡。这样既不影响湖滨带生态结构的完整恢复，又适当保留了村落下部基础，发挥其护岸固岸与消浪的作用，为水生植物的生长与恢复创造有利条件。

4.3 湖滨带群落配置设计

恢复初期，首先选择合适的修复模式，筛选较大的生态耐受范围及较宽生态位的先锋植物种类，以适应初期的生境环境，补充缺失植物带，初步构建水生植物序列；恢复中期，湖滨带物种多样性不高，植物配置以填补空白生态位为主，对群落结构进行优化，使

原有群落逐渐稳定；恢复后期，应充分考虑湖滨动—植物整体生态系统的健康性、稳定性，全面恢复水鸟、鱼类、底栖动物、水生植物等高级生态系统，保育和维护湖滨带生物多样性。

植物物种选择上，以生物多样性保护为主的修复区，应根据历史调查数据，确定合理的物种数及种类，在此基础上，尽量多地选择物种；以入湖径流净化为主的修复区，应选择耐污且污染物富集能力强的本土物种；以水土保持与护岸为主的修复区，应选择固土能力强的物种。

4.3.1 先锋种的选择

筛选先锋种应考虑水生植物生物学特性、耐污性、对 N、P 去除能力及生态系统演替规律，并遵循：①满足功能需求；②本地种优先；③适应当地环境；④最小风险和最大效益原则。

4.3.2 植物群落配置

水生植物群落的配置常以植被的历史演变特征或相近健康湖滨带的群落结构为参考，配置多种、多层、高效、稳定的植物群落，主要措施包括确定合适的物种数、进行合理的空间配置和季节性演替节律匹配等。

一般情况下，由沿岸向湖心方向依次配置由乔灌草、挺水植物、浮叶植物和沉水植物所组成的植物系列。节律匹配可保证植物群落生态环境功能具有较强的周年连续性。

4.3.3 动植物群落优化配置

通过一定的措施或生境干扰，调整各种群组成的比例和数量、

种群的平面布局，以优化种群稳定性。主要措施包括生境控制、人工捕捞收割、引入竞争种等，但在引入时要谨慎。

通过栖息地生境营造、食物补充、人工招引和野化放归等措施，实现湖滨动物群落优化配置。生境营造包括调整水位及水域面积、营造生境阻断、恢复自然驳岸、营造鱼洞和微生境等。

4.3.4 湖滨特征物种恢复

分析湖滨特征物种现状和历史变化趋势，探明影响其变化的主导因子，通过适当人工干预，包括物种筛选、生境营造、人工培育、野外放归等措施，恢复湖滨特征物种。

4.4 景观设计

景观设计应遵循以自然景观为主、注重人文景观与自然景观的协调性，体现生态价值的景观美学的原则对生态修复进行指导。应以湖滨生境类型多样性为基础，构建层次鲜明、季节变化的优美湖滨景观。

5 湖滨带生态修复工程维护管理

5.1 总体要求

以保障整个工程区的稳定性和工程效益的持续性为目标，在对工程区生态环境监测的基础上，建立合理的管理机制，通过植物群落的管理、工程设施的管理以及区域内人为活动的管理，使得生态修复后的湖滨带趋于自我维持的状态。

5.2 管理经费与机制

在工程设计时，应测算工程后续管理所需经费、设备、人员，明确工程建成后的管理机制。

5.3 工程生态环境监测

调查内容参考 2.2 和 2.3 中水质和水生生物调查内容，每年应至少进行湖泊高、中、低水位期的 3 次监测。

5.4 植物群落管理

植物群落管理主要包括对生长较好区植物的保育，生长过于旺盛区植物的收割管理，枯死期的植物收割移除，生长较差区的植物的补植，工程区外来物种的控制和清除，另外还包括植物病虫害的防治。

在水质净化功能区，对于植被生物量过大的局部区域，在生长旺盛期（7-8 月）进行适当的收割调整，保证水生植物有合适的现存量，起到抑制藻类生长，吸收、吸附和拦截营养盐及颗粒物的作用；在植被枯死期（一般在 10 月-翌年 2 月），实施收割并将植物残

体及时移出湖滨带。

病虫害防治应以防为主，早观察、早发现，要防早、治小，将病虫害控制在发展初期。除了尽早发现病虫害，还要慎重对待，科学防治，尽量采用生物控制的方法，利用虫害天敌等驱虫治病，减少农药施用量，保护环境。

及时清除外来入侵物种，连同垃圾清理时同步清除，防止对湖滨带生态系统产生危害。

对于湖滨带内的死亡水生植物和枯枝败叶要及时清理，防止产生二次污染。

5.5 工程设施维护管理

对于工程区净化设施以及护岸（坡）建（构）筑物等工程设施要进行定期的检查维护，发现功能出现障碍或有损坏时，要及时进行清理和维护，发现严重问题时要及时报告相关管理部门并采取必要的管护措施。

5.6 人为活动管理

（1）人为损坏活动的管理

定期巡查并防止居民对湖滨植被采收等人为损坏的活动。

（2）放牧等人类活动的管理

定期巡查并禁止工程区内的放牧活动。

（3）垃圾清理

在径流入口有设置格栅处，每天清理垃圾，水生植物残体按垃圾处理。定期清理湖滨带外围输移进入湖滨区的垃圾。

6 投资估算

6.1 投资估算组成

湖滨带生态修复项目投资估算主要为建设投资估算。本指南采用《建设项目经济评价方法与参数》（第三版）的用法，所指的建设投资由工程费用（包括建筑工程费、设备购置费和安装工程费）、工程建设其他费用、预备费（包括基本预备费和涨价预备费）三项内容构成，不包括建设期利息。

6.2 建筑工程主要费用计算

建筑工程费主要指为建造永久性建筑物和构筑物所需要的费用。建筑工程费的估算方法一般有单位建筑工程投资估算法、单位实物工程量投资估算法和概算指标投资估算法等。

湖滨带生态修复工程的建筑工程一般包括：拆除工程、基底改造工程、消浪堤坝、护岸（坡）等建（构）筑物工程，以及生态修复和植物种植工程等。

（1）拆除工程

拆除工程是指房屋、田埂、塘埂、驳岸等湖滨带内各类建（构）筑物的拆除及废弃物的处理。一般按照拆除及处理的实物方量进行估算。

（2）基底改造工程

基底改造工程主要指湖滨带的地形改造，主要内容为土石方工程，包括土方开挖和回填工程。根据施工期水位控制的不同，需按

水上、水下分开计算，且需考虑是否存在夯实、排水等费用。一般按照土石方挖、填的实物方量进行估算。

（3）消浪堤坝等构筑物工程

消浪堤坝等构筑物工程一般主要指为减少湖滨带范围受波浪的冲刷侵蚀，而在湖滨带或其外围构筑的具有消浪作用的建（构）筑物，如：潜堤、丁坝等，建（构）筑物的材料一般由天然块石、人工预制块体、袋装砂（土）等。

一般按照建（构）筑物的材料组成，根据各种材料的实物方量进行估算，并汇总得出每单位长度的费用。

（4）护坡工程

护坡工程指为保护湖滨带岸坡的稳定性而实施的必要的建（构）筑物，宜首先选择生态护坡方案。护坡工程主体结构工艺及其材料组成是费用估算的重点，适宜的材料一般可采用天然块石、生态混凝土、植草砌块、石笼、土工合成材料、植物基床等。

一般按照建（构）筑物的材料组成，根据各种材料的实物方量进行估算，并汇总得出每单位长度的费用。

（5）植物种植工程

植物种植工程指湖滨带生态修复工程实施过程中的植物购置、栽种等。植被种植的估算费用与植物种类、苗木规格、种植密度等密切相关，不同种类的植物以及不同规格的同种植物其单价相差甚远。

一般按照植物的种类、苗木规格、种植密度等要求，根据单位

面积的植物种植设计指标进行估算，得出每单位面积的费用。

（6）湖滨带生态修复常用设备及工器具

主要指湖滨带基底修复、植被恢复、湖滨径流调整等工程中所需的设备及工器具，可按照部门或行业规定的设备及工器具购置费计算方法进行估算。

（7）其他费用、预备费

工程建设其他费用、预备费等应按照国家有关规定及相关文件要求进行计算，不应漏项，确保投资估算的合理、准确。

7 工程生态环境效益评估

生态工程完工后，应开展生态环境效益评估。实施周期长，分阶段实施的重大生态修复工程，应补充阶段性生态环境效益评估。生态环境效益评估应采用定性和定量相结合的方法，对湖滨带生物多样性保护、水质净化效益、水土保持与护岸等生态环境效益进行评估。

7.1 生物多样性保护效益评估

湖滨带生物多样性保护效益包括湖滨带自身的生物多样性保护效益和对整个湖泊的生物多样性保护效益。湖滨带自身的生物多样性保护效益通过生态修复面积、修复区新增物种数、生物多样性指数等指标，利用专家打分法进行定量或半定量评估。对全湖的生物多样性保护效益评估包括对鱼类栖息地、水鸟栖息地保护等进行定性或半定量的评估。

7.2 水体净化效益评估

主要估算对水体中氮、磷的净化量和净化效率。湖滨带是个半开放体系，其水体净化效益较难定量评估。入湖径流污染净化效益可参考表面流人工湿地按湿地面积及处理率估算，或通过现场选取的相对封闭的湖滨湿地进、出水中污染物浓度差进行估算。

7.3 水土保持与护岸效益

水土保持效益按水土保持面积及侵蚀模数的变化估算，护岸效益按护岸长度及单位长度护岸价值估算。