

湖滨带与缓冲带生态修复 工程技术指南

金相灿 等 编著



科学出版社

湖泊生态环境与治理 4

湖滨带与缓冲带生态修复 工程技术指南

金相灿 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共分为上、下两篇,上篇主要阐述湖泊湖滨带与缓冲带生态修复技术的理论与方法,下篇着重介绍有关湖滨带与缓冲带生态修复技术的几个典型案例。全书共分八章。第1~5章为上篇,主要介绍湖滨带与缓冲带的功能与作用;归纳论述湖滨带与缓冲带的类型及其环境问题;阐述湖滨带与缓冲带生态修复的理念与设计方案及其修复对策;同时还介绍了湖滨区低污染水的净化体系。第6~8章为下篇,分别介绍洱海湖滨带的生态修复思路与方案,以星云湖、杞麓湖、长寿湖为例的湖泊湖滨区生态修复思路与方案,抚仙湖缓冲带生态修复的思路与方案。

本书可供湖沼学、环境科学、生态工程、水环境修复及水污染控制与管理等相关领域的科研、管理人员与大专院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

湖泊生态环境与治理/中国环境科学研究院等编著. —北京:科学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-03-046714-0

I. ①湖… II. ①中… III. ①湖泊-生态环境-环境管理-研究 IV. ①X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 302493 号

责任编辑:杨 震 刘 冉 / 责任校对:钟 洋

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:铭轩堂

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 4 月第三次印刷 印张:14 3/4

字数:300 000

定价:3200.00 元(全 24 册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

主 编：金相灿

副主编：储昭升 毕小刚 宣理华 钟 明
赵国良

编 委(按姓名拼音排序)：

白献宇	毕小刚	陈建国	池艳峰	储昭升
杜劲冬	海 啸	胡小贞	华家新	蒋顺杰
金相灿	康德勇	李万文	卢少勇	孟庆宇
聂占军	庞 燕	尚榆民	王国良	王圣瑞
吴献花	武继昌	宣理华	杨雪玲	张长连
张晴波	赵国良	钟 明	周付春	周莉萍

书名题字：华家新

前 言

湖泊是我国重要的国土资源,是陆地水资源的重要组成部分,其生态健康与安全是我国 21 世纪社会经济发展的重要保障。近 30 年来,随着社会经济的快速发展,湖泊富营养化问题日趋突出。在我国经济发达与人口密集的湖区,许多湖泊出现富营养化,甚至水华频发,严重制约了湖区社会经济的可持续发展与当地居民正常的生产、生活活动。在湖泊整个富营养化过程中,湖滨区(湖滨带与缓冲带)往往是流域中受人为干扰最强烈、生态退化最严重的地区,如填滩建房、侵占湿地、围湖造田、网箱养鱼、沿岸旅游、高产农业等活动,造成湖滨区人口密度高、养殖强度大、入湖污染负荷超量、生态系统退化或破坏,成为湖泊水污染防治的重点区,因此湖滨带与缓冲带在湖泊水环境保护与污染防治中应该是最值得关注的区域,构建生物多样性丰富、生态结构稳定、低污染水净化能力强的湖滨生态系统,其意义是不言而喻的。

湖滨带与缓冲带是湖泊水陆重要的生态交错带,具有生物多样性保护、护岸固堤、水质净化等重要生态服务功能,是流域入湖最后的一道屏障,也是湖泊流域生态系统的重要组成部分。其生态功能受损,不仅会破坏湖滨区的生态系统与湖滨低污染水净化体系,而且会威胁湖泊水环境与水生态的安全。因此,湖滨带及缓冲带生态修复是湖泊水污染防治及富营养化控制中最重要的工程举措之一。在我国当前经济快速发展的形式下,开展湖滨带与缓冲带的生态修复,已经成为平衡经济发展和湖泊生态环境保护矛盾的重要手段。

国外在 20 世纪 60 年代开始重视湖滨带与缓冲带的研究与工程实践,我国起步较晚,但在 20 世纪 90 年代后,我国相关的研究与实践大量涌现,尤其是湖滨区修复工作。一个湖泊的湖滨生态修复应立足于湖泊全流域,以绿色流域建设与清水产流机制修复为指导,围绕湖泊整个湖滨区包括湖滨带与缓冲带,因地制宜,一湖一策,在现场调查的基础上开展总体设计。通过湖滨区及外围污染源系统控制、规模化湖滨乔灌草复合系统修复、低污染水截留-净化体系构建、全系列-半系列湖滨水生植物恢复、生物多样性与生态稳定性保护等,使湖滨区污染源得以控制、生态修复与自我净化能力恢复,实现地表径流清水入湖,生态育湖。近十年来,作者在抚仙湖、杞麓湖、星云湖、长寿湖、洱海的水污染防治实践中,完成了一系列湖滨带或缓冲带修复工程的可研与工程设计,有的修复工程已经实施并取得良好效果。同时吸收与借鉴了国内外众多湖滨带或缓冲带修复与保护的理论与方法,作者通过总结归纳,逐步形成了一些湖滨带或缓冲带修复工程的经验与体会,并以湖滨带

与缓冲带生态修复技术指南的方式汇集于本书之中,供同行参考,与大家共勉。

本书共分八章,第1章着重介绍湖滨带与缓冲带的概念与内涵、功能与作用及其生态系统的影响因素;第2章主要介绍湖滨带与缓冲带生态调查、类型与问题,阐述了湖泊区的生态环境特征与主要污染源分布;第3章着重介绍湖滨带与缓冲带生态修复理念、设计原则与技术路线,以及总体空间布局;第4章重点论述湖滨带与缓冲带生态修复的定位与主要对策措施;第5章主要论述湖滨区低污染水的调查与研究、来源与组成,以及低污染水截留、净化工程体系的构建;第6章以洱海为例介绍大规模的湖滨带生态修复工程的设计思路、技术与方法;第7章以星云湖、杞麓湖与长寿湖为案例,论述湖滨区湖滨带与缓冲带一体化修复的思路、技术与方法;第8章以抚仙湖为例阐述大规模缓冲带生态修复工程的设计思路、技术与方法。

本书涉及生态学、水利工程学、环境科学与工程、水生生物学、社会经济学等多个学科,涉及面广,虽经多次修改和完善,但不足之处在所难免,不当之处还请读者批评指正。



2014年6月于北京

目 录

前言

上 篇

第 1 章 湖滨带与缓冲带及其功能与作用	3
1.1 湖滨带与缓冲带生态系统的概念	3
1.1.1 湖滨区生态系统的概念与结构	3
1.1.2 湖滨区生态系统的影响因素	5
1.1.3 湖滨带与缓冲带概念与内涵	6
1.2 湖滨带与缓冲带主要功能	10
1.2.1 湖滨带的主要功能	11
1.2.2 缓冲带的主要功能	13
1.3 湖滨带与缓冲带的生态作用	14
1.3.1 湖滨带的生态作用	15
1.3.2 湖滨缓冲带的生态作用	15
1.3.3 湖滨区生态经济和美学作用	16
参考文献	16
第 2 章 湖滨带与缓冲带调查、类型及问题诊断	18
2.1 湖滨带与缓冲带的综合调查	18
2.1.1 湖滨区调查目的	18
2.1.2 湖滨区调查内容	18
2.1.3 采样与分析方法	21
2.2 湖滨带与缓冲带的类型及特征	22
2.2.1 湖滨区生态系统的类型	22
2.2.2 湖滨带的类型与特征	23
2.2.3 缓冲带的类型与特征	27
2.3 湖滨区生态环境综合特征	30
2.3.1 湖滨区生态环境主要特征	30
2.3.2 湖滨区生态服务功能	31
2.4 湖滨区的主要污染源	35
2.4.1 村落生活污染	35

2.4.2	农田面源污染	36
2.4.3	湖滨景区污染	36
2.4.4	主要污染源的贡献率	37
2.5	湖滨区主要生态环境问题	37
2.5.1	湖滨带主要环境问题	37
2.5.2	缓冲带主要环境问题	40
	参考文献	41
第3章	湖滨带与缓冲带生态修复理念与设计	42
3.1	湖滨区生态修复的原则与思路	42
3.1.1	湖滨区生态修复的原则	42
3.1.2	湖滨区生态修复的思路	43
3.1.3	湖滨生态修复总体构建	44
3.2	湖滨生态修复的总体空间布局	45
3.2.1	缓冲带生态修复空间布局	46
3.2.2	湖滨带生态修复空间布局	50
3.3	湖滨带生态修复理念与设计	53
3.3.1	湖滨带生态修复理念	53
3.3.2	湖滨带生态修复路线图	53
3.3.3	湖滨带生态修复总体设计	54
3.4	缓冲带生态修复理念与设计	58
3.4.1	缓冲带范围界定	58
3.4.2	缓冲带修复理念与路线图	59
3.4.3	缓冲带生态修复总体设计	59
	参考文献	65
第4章	湖滨带与缓冲带生态修复对策	67
4.1	湖滨生态系统整体修复的定位	67
4.1.1	湖滨区生态修复的定位	67
4.1.2	湖滨区生态修复策略	69
4.2	湖滨带生态修复对策	70
4.2.1	湖滨带的组成与结构	70
4.2.2	湖滨带生态系统修复对策	71
4.3	缓冲带生态修复对策	76
4.3.1	缓冲带生态修复总体框架	76
4.3.2	缓冲带绿篱构建对策	78
4.3.3	缓冲带生态透水地面对策	79

4.3.4 缓冲带乔灌草复合系统修复对策	79
4.3.5 缓冲带河口低污染水净化对策	81
参考文献	81
第5章 湖滨区低污染水净化技术	82
5.1 湖滨区低污染水概念与组成	82
5.1.1 湖滨区低污染水的污染贡献	83
5.1.2 湖滨区低污染水的组成	84
5.2 湖滨区低污染水调查与研究	86
5.2.1 低污染水调查内容与方法	86
5.2.2 湖滨区低污染水调查范围	88
5.2.3 湖滨区低污染水类型解析	89
5.2.4 湖滨区低污染水分析计算	91
5.3 湖滨区低污染水控制与净化系统	93
5.3.1 湖滨区低污染水净化系统布局	93
5.3.2 湖滨区低污染水净化系列技术	95
5.3.3 湖滨区低污染水净化系统维护管理	97
参考文献	98

下 篇

第6章 洱海湖滨带生态修复思路与方案	101
6.1 湖滨带概念的提出	101
6.2 洱海湖滨带与修复理念	103
6.2.1 洱海及湖滨带状况	103
6.2.2 湖滨带生态修复目标与理念	103
6.3 湖滨带修复措施与工艺	107
6.3.1 湖滨带基底修复措施	107
6.3.2 湖滨带生态修复工艺	109
6.3.3 建筑物拆除区生态恢复工艺	111
6.3.4 废弃鱼塘生态重建工艺	112
6.3.5 湖滨带湿地工艺	114
6.3.6 陡岸生态修复工艺	115
6.4 洱海西区湖滨带生态修复方案	117
6.4.1 西区湖滨带主要环境问题	117
6.4.2 西区修复工程目标	118
6.4.3 修复思路和技术路线	118

6.4.4	西区湖滨带生态修复总体方案	119
6.5	洱海东区湖滨带修复方案	123
6.5.1	东区湖滨带主要环境问题	123
6.5.2	修复目标与功能定位	125
6.5.3	东区湖滨带类型与修复思路	126
6.5.4	东区湖滨带生态修复与对策	130
6.6	湖滨带满江—机场路段生态修复方案	134
6.6.1	机场路湖滨带主要环境问题	134
6.6.2	修复目标	135
6.6.3	设计思想和技术路线	135
6.6.4	生态修复总体方案	136
6.7	工程效果与维护管理	141
6.7.1	湖滨带植物恢复情况	141
6.7.2	湖滨带修复工程效果	141
6.7.3	湖滨带修复工程的管理	142
第7章	湖泊湖滨区生态修复思路与方案	143
7.1	星云湖湖滨区生态修复方案	143
7.1.1	星云湖湖滨区现状与分析	143
7.1.2	星云湖湖滨区的环境问题	148
7.1.3	星云湖湖滨带生态构建方案	149
7.1.4	星云湖缓冲带生态修复方案	154
7.2	杞麓湖湖滨区生态修复方案	159
7.2.1	杞麓湖湖滨区现状与分析	159
7.2.2	杞麓湖湖滨区的环境问题	162
7.2.3	杞麓湖湖滨带生态修复方案	163
7.2.4	杞麓湖缓冲带生态修复方案	171
7.3	长寿湖湖周生态系统保护与修复方案	174
7.3.1	湖周污染控制与生态构建方案	174
7.3.2	消落带生态保护与修复方案	189
第8章	抚仙湖缓冲带生态修复思路与总体方案	194
8.1	缓冲带概念的提出	194
8.2	抚仙湖及缓冲带现状与问题	195
8.2.1	湖泊及其流域的特征	195
8.2.2	湖滨缓冲带现状与问题	197
8.2.3	缓冲带分类与工程分区	199

8.2.4 缓冲带主要环境问题	201
8.3 缓冲带生态修复的理念与总体设计	203
8.3.1 缓冲带的功能定位	203
8.3.2 缓冲带修复总体思路	204
8.4 抚仙湖湖滨缓冲带生态修复方案	208
8.4.1 规模化生态修复方案	208
8.4.2 环湖低污染水处理方案	214
8.4.3 村落污染控制方案	219
8.4.4 环境综合管理方案	220
8.4.5 维护及相关政策	224

上 篇

第 1 章 湖滨带与缓冲带及其功能与作用

湖滨生态系统是地球生物圈中一种十分重要的过渡型生态类型^[1,2]，它具有明显的边缘效应。作为湖泊水陆交错带的一种类型，湖滨生态系统通常包括其特有的地貌景观、物理化学性质、生态结构与群落组成，同时受水体及陆地两方面的影响，其范围可延伸至湖泊、水库的陆向湖岸带、水位变幅带和湖库近岸浅水区。

湖滨带与缓冲带对湖泊水环境与水生态保护意义重大。这两部分系统也可以合称为“湖滨区生态系统”(图 1. 1)，它已成为我国湖泊水污染防治中“污染源系统控制”、“入湖河流污染治理”、“湖滨区生态系统修复”与“湖泊生境保护与改善”的四大举措之一，很显然，湖滨带生态系统与缓冲带生态系统的保护与修复在湖泊水环境保护中的地位举足轻重，不可或缺。

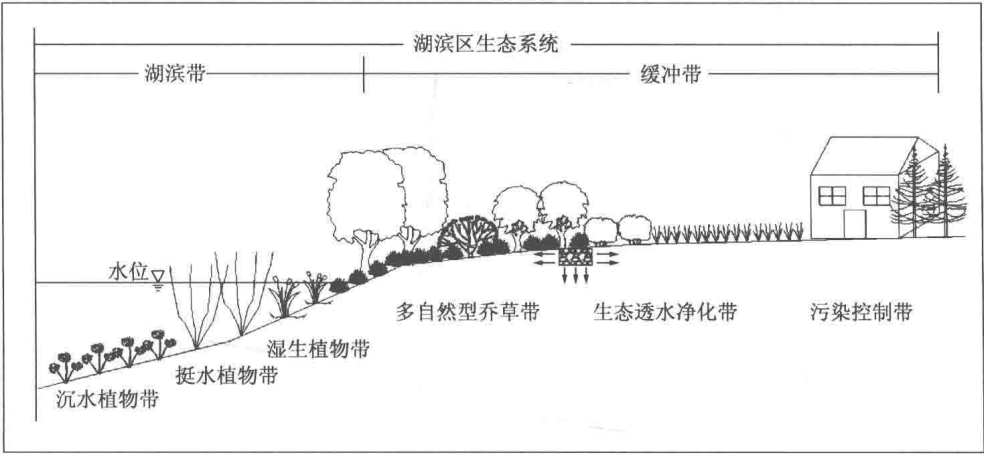


图 1. 1 湖滨区生态系统(湖滨带+缓冲带生态)示意图

1. 1 湖滨带与缓冲带生态系统的概念

1. 1. 1 湖滨区生态系统的概念与结构

湖滨区生态系统具有明显的水文和地形梯度，由于水文和水动力运动过程的作用，湖滨生区态系统基底与生物种类在高程梯度上往往变化明显。常见基底类型包括土壤、基岩、砂石、黏土、淤泥等多种类型；生物种类自陆地向水(由高处向低

处),依次发育着陆生植被、湿生植被和水生植被,分布有底栖生物、着生生物与浮游生物等,以及相应的鱼类和鸟类。在水平格局上,湖滨区生态系统的空间斑块性也十分明显,这与邻近水系、微地形、物理基质和风向等因素相关(图 1. 2)。

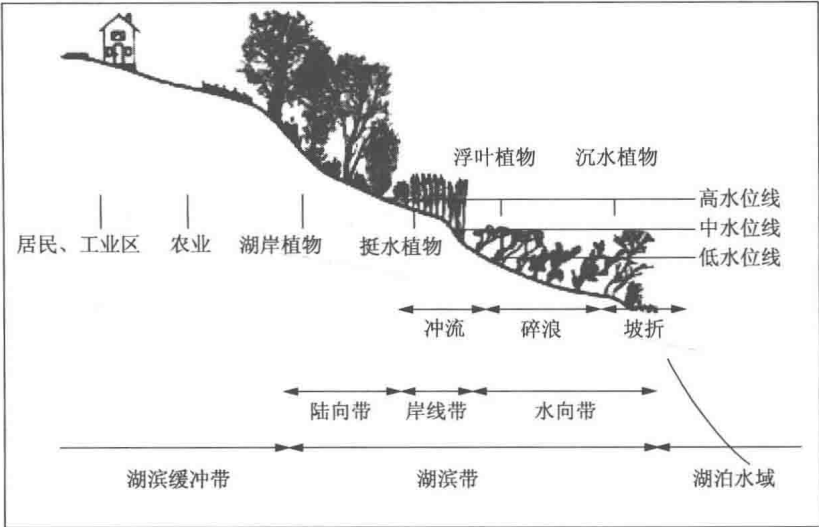


图 1. 2 湖滨区生态系统结构组成示意图

一般来说,湖滨区地形多样,水网密集,由不同的结构单元组成,存在山地、丘陵、平原、河流等众多地貌类型(表 1. 1)。组成湖滨区的结构单元包括具有不同物

表 1. 1 典型湖滨区生态系统结构特征表

	山地陡岸型湖滨区	湖湾型湖滨区	平原型湖滨区
地貌形态	地形单一,滩地不发育,山坡较陡	山坡至水边有一平缓区域,分布有少量洼地,岸边浅滩发育	微地形复杂,地形高低起伏,物理形态多样
空间范围	地势迅速抬升,陆上发育空间狭小	山坡至水边有一平缓区域,陆上发育空间稍大	受地形的局限较小,陆上发育空间很大
水文格局	山坡上几乎无洼地和沟渠	地形稍复杂,有少量洼地及洪沟	微地形复杂多样,洼地、沟渠、河流纵横交错
土壤状况	山坡土壤少、山脚土壤粒度大,多块石,水中沉积物少	山坡土壤薄,山坡至水边土壤逐渐增厚,水陆交界线处多卵石,水中有一定数量的冲积物或淤积物	有较厚的沉积物,土壤丰富,粒度小,富含有机质
生物状况	岸边分布着稀疏的灌木,水边偶尔分布几丛芦苇,水里几乎无大型水生植物生长	湿生植物类型丰富,有大面积芦苇分布,沉水植物在水中有大面积分布,但类型单一	水生、湿生植物物种丰富,生长茂盛
组成要素	山坡、不发育的滩地、湖滨浅水环境	山坡、洼地、发育的滩地、湖滨浅水环境、居民点、缓缓抬升的平地	洼地、沟渠、河流、滩地、村落、农田、鱼塘、堤坝等

理属性和生物属性的滩地洼地、高地陡坡、鱼塘沟渠、人工堤坝、居住点和农田山地等景观斑块,在这些各具特点的生境类型上分布着相应的森林、草地、农作物、水生植物等。由于人类活动和自然因素的影响,这些景观斑块处于不断的变化之中,湖滨区是这些动态变化的各组成斑块的空间镶嵌组合。

1.1.2 湖滨区生态系统的影响因素

湖滨区地质地形地貌、气象气候和生物之间的协同演变形成了当今湖滨生态系统的面貌。气象气候是湖滨生态系统与自然环境形成的基础条件,各类气候带均有其特有的生物区系,尤其是对陆生植物而言。

水是一种重要的生态因子,决定着湖滨生态系统内不同类型生物的分布,在塑造湖滨生态系统景观外貌上发挥着重要的作用。湖泊、水库等周期性水位波动是一种中等程度的干扰,可增强其生境空间异质性,减弱生存竞争,抑制某些类群的过度繁殖,从而使物种异常丰富。自然水位体制既是湖滨生态系统形成的驱动力,又是维持系统生态健康必不可少的条件。

底质状况是影响水生植物生长的重要因素,土壤粒度、有机质含量及肥沃程度等均对水生植物生长有重要影响(图 1.3)。

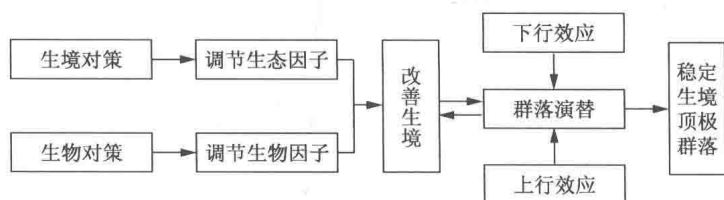


图 1.3 湖滨区生态系统修复的因子与反馈机制

由于湖滨生态系统水因子和土壤因子等生态因子沿地形具有明显的梯度变化,生物群落也表现出明显的梯度变化规律。经常地,影响自然滨水区植物沿小生境梯度变化的主要环境因素是距离水面高度或离水的距离。

考虑到对具体湖滨生态系统而言,地质因素和气候因素随时间变化缓慢,地貌对湖滨生态系统结构的影响就显得特别突出,直接决定着湖滨生态系统的结构及其变化。地形地貌不但决定着湖滨生态系统的物理形态和空间范围,还影响着湖滨生态系统内水的空间分布格局、底质状况及物质循环,地形的高低起伏形成了湖滨生态系统内多种干湿环境交错、底质类型多样的生境类型。较多的湖泊流域野外调查发现,山脚下多砾石基底、缺少淤泥基底和富含有机质的底泥基底,这类基质均不利于水生植物的生长;由于水的长期淘蚀,山脚下湖滨水陆交错区一般多卵石;在平原湖区、湖滨洼地和河口沉积作用强烈,易形成适于水生植物生长的滩地环境。研究表明,引起湖滨生态系统结构破坏和功能退化的主要因子是水流及与

其相关的物质循环,破坏力主要来自人类活动的强烈干扰。近半个世纪以来,人类活动已表现出巨大的地质营力作用,在自然地貌的基础上塑造出许多新的地貌单元,如防洪坝、农田、成片鱼塘、城镇村落、山水景点等,改变了水空间格局和水质,破坏了种子库,干扰了原来处于动态平衡的各生态过程。结果湖滨带带状格局被打破,结构破碎化严重,甚至形成结构单一的人工基质景观。

可见,地形地貌和气候是湖滨生态系统结构的控制因素,是湖滨生态系统发育的基础;地质状况和生物是影响湖滨生态系统演变的因素;最能体现湖滨生态系统特征的因素是地形地貌和生物群落组成(表 1.2)。

表 1.2 湖滨区生态系统影响因素列表

机理	描述	
自然变化	气候变化	气候变化如气温升高、干旱等的长期效应会导致湖泊萎缩、水位降低,引起湖滨带生态系统退化,但其变化过程相当缓慢
	植被演替及生物入侵	植被演替特别是生物入侵可能会造成湖滨带景观、群落结构及食物链的变化,当某种不利变化或负效应积累到一定程度时就会引起湖滨带生态功能的下降
	沉积作用	沉积作用产生促淤成陆的长期效应最终会导致湖泊沼泽化和湖滨带的消失
	其他物理作用	水流漫顶和水流运移泥沙是湖岸表面退化的主要原因;风浪可产生近期湖岸表面破坏退化、减小土壤的抗剪强度,造成堤防崩塌,对于较陡坡度的湖岸。降水、重力等其他物理作用使湖岸表面物质易于脱落,产生崩塌、脱坡等
人类作用	围湖造田(塘)	围垦破坏了湖滨带天然的生态系统,使近岸浅水区大型水生植物减少,湖泊鱼类栖息、索饵、产卵的基地丧失,湖泊生物资源的再生循环过程受到严重影响,也使湖泊蓄洪滞水的功能大大减弱
	不合理的水利设施	堤防增强了湖泊抵御洪水的能力,但使正常蓄水位以上的湖岸带湿地生态系统受到破坏;一些水电站使湖泊长期处于低水位运行,造成滩地长期裸露,植被群落结构遭受破坏,生态条件恶化
	围网养殖	沿岸浅水区大面积围网养殖使湖滨带有机污染负荷明显增加,并且由于鱼类的牧食压力,使养殖区水草无法生长、底栖动物群落结构发生变化
	水质污染	大量未经处理的工业废水和生活污水排入湖泊,使湖滨带水质污染严重,导致大型水生植物死亡,湖体呈现荒漠化现象
	旅游业的过度发展	临湖旅游度假区不仅改变湖滨带土地利用性质,破坏原有的湖滨生态系统,而且生活污水直接排入湖泊,导致湖滨带水体受到污染,产生富营养化,使水生生态系统受到间接的破坏

1.1.3 湖滨带与缓冲带概念与内涵

湖滨区生态系统包括湖滨带与缓冲带生态系统,这两个系统的保护与修复在