

# 滇池东北部沿岸带生态修复技术研究及工程示范 ——环境恶化、生态退化现状及其成因\*

李文朝 刘正文 胡耀辉 吴庆龙 陈开宁 潘继征

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**提 要** 本文作为“滇池沿岸带生态修复技术研究及工程示范”系列研究论文之一, 主要研究了滇池东北部沿岸带环境恶化与生态退化现状、成因及妨碍自然生态恢复的主要限制因素。风浪强烈侵蚀、湖底坚硬贫瘠、水质严重污染、大型水生植物和底栖动物消失, 滇池东北部沿岸带已经蜕变成了“水域荒漠”。湖滩湿地围垦、人工岸堤修建和水质污染是导致沿岸带环境恶化、生态退化的主要原因, 强烈的风浪冲刷和严重的水质污染是阻碍沿岸带自然生态恢复的主要限制因素。生态恢复必须从基础环境改造入手, 实施生态修复。

**关键词** 滇池 沿岸带 生态修复

**分类号** Q147

2000年4月, 由科技部立项、云南省和昆明市政府联合资助的国家重大科技专项“滇池水污染控制技术研究”(K99-05-35)启动, 下设课题“滇池蓝藻水华污染控制技术”(K99-05-35-01)和“滇池流域面源污染控制技术”(K99-05-35-02), 旨在研究开发有效控制面源污染、控制蓝藻水华灾害、实现局部湖区有限生态修复的技术, 并建设一定规模的技术示范工程, 为滇池及其它严重富营养化湖泊的污染治理与生态修复提供技术和样板。“滇池沿岸带生态修复技术研究及工程示范”作为这一项目的三级专题(K99-05-35-01-02), 定位在滇池东北部人工岸堤前风浪强烈冲刷、水质严重污染、蓝藻水华堆集成灾的极端严酷条件下创建以挺水植物为主的沿岸带湿地生态系统, 借以控制蓝藻水华和内源污染。

“滇池沿岸带生态修复技术研究及工程示范”专题由中国科学院南京地理与湖泊研究所主持, 昆明市环境科学研究所和云南大学生命科学学院参加。在科技部、云南省科技厅、专题主持单位和参加单位的领导支持下, 在项目专家咨询小组的指导帮助下, 经过4周年的研究探索和实践, 比较圆满地完成了技术研究和示范工程建设任务, 在2004年6月由科技部和云南省科技厅组织的课题验收中获得好评。在人工岸堤前创造浅滩环境、创建沿岸带湿地生态的生态修复思路和成套技术深得专家和领导的赞同, 认为这是一个大胆的创新, 可以解决难以退垦还湖岸段的生态修复问题, 避免因退垦引起的诸多社会矛盾, 投资比较节省, 可以推广应用。作者意欲通过一系列论文将此研究成果发表, 供从事湖泊科学研究和管理的同行参考。本文对专题研究地点——滇池东北岸因湖滩地围垦引起的基础环境恶化和由此而造成的生态破坏情况进行论述。

\* 中国科学技术部国家重大科技专项“滇池水污染控制技术研究”(K-99-05-35)资助。  
2004-05-28 收稿; 2004-09-10 收修改稿。李文朝, 男, 1957年生, 研究员。

## 1 研究方法

本研究在滇池外海东北部沿岸带开展(图 1),范围包括福堡半岛与宝丰半岛之间的海湾(简称西湾,面积约 2 km<sup>2</sup>)、宝丰半岛东侧湖湾(简称东湾,面积约 4 km<sup>2</sup>)、以及呈贡以北的沿岸带. 这一带原有的湖滩湿地已经全部被围垦,修筑了直立的混凝土大堤. 滇池地区常年主导风向为西南风<sup>[1]</sup>,研究地点处在迎风岸,不仅存在强烈的风浪侵蚀,而且是飘浮性垃圾杂物和蓝藻的聚集场所.

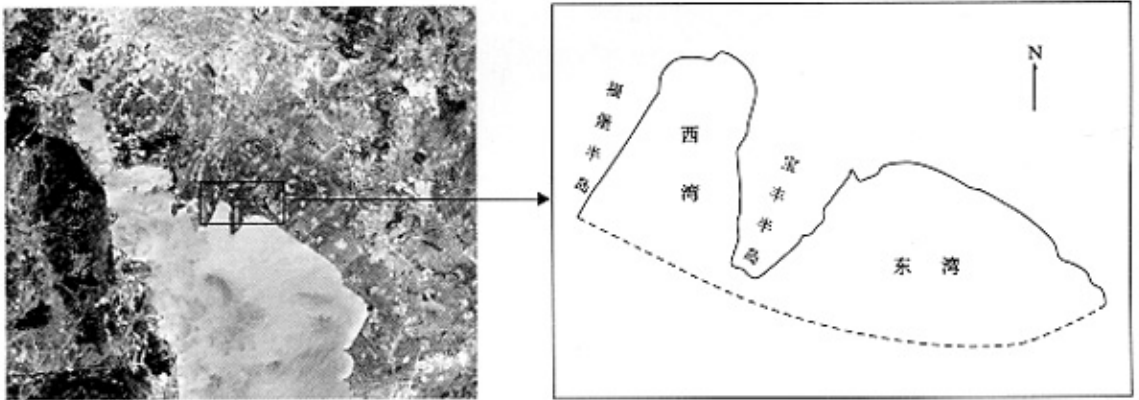


图 1 研究地点和区域

Fig. 1 Research area in Dianchi Lake

### 1.1 沿岸带水下地形调查

于 2001 年 2 月用垂线测深法<sup>[2]</sup>对东湾、西湾水下地形作了测量. 测量以 1:50000 军事地形图为底图,采用 Garmin - II GPS 定位,沿湖堤测量岸线位置,用小船在水面上测量 500 多个接近均匀分布测点上的水深,根据滇池水文站水位资料,计算出湖底高程,借助计算机软件勾画出湖岸线和湖底等高线.

### 1.2 沿岸带底质条件调查

与水下地形测量同步,对底质分布情况作了调查. 采用测杆探测了解底质的硬度和松软沉积层的厚度,通过对表层沉积物的目测鉴别其类型.

对照水下地形图,对沉积物类型和松软沉积层厚度的空间分布进行分析讨论,探讨其分布规律及其与水深和风浪之间的关系.

在西湾 20 个测点上采集表层沉积物,风干后进行全氮、全磷、TOC 含量测定<sup>[3]</sup>.

分别在西湾轴线方向水深 2.5m 和 4m 处各采集柱状沉积物样品,按照性状分层切割,风干后进行全氮、全磷、TOC 含量测定.

### 1.3 沿岸带水质条件调查

在西湾均匀布设 23 个水质监测点,于 2001 年每月进行一次表层水质采样分析,采样及分析均采用标准方法(GB3838 - 2002).

### 1.4 风浪的观测

在东湾距离湖岸 150m 的湖面上设置水位标尺,于 2002 年 1 - 3 月(当地的风季),每天下午 5 - 6 时观测最大波浪高度. 观测方法为,用高倍望远镜自湖岸连续观测 50 组浪峰( $a_i$ )

和浪谷 ( $b_i$ ) 在水位标尺上的读数, 用几何平均法计算出平均波高 ( $H$ ):

$$H = \sqrt{\frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} (a_i - b_i)^2}$$

### 1.5 沿岸带残存大型水生植物调查

以西湾为重点, 于 2001 年 5 月对大型水生植物的种类组成、分布范围和生物量作了调查<sup>[4]</sup>. 种类组成和生物量同步调查, 在分布区内随机选取 8 个样点, 用 0.5m × 0.5m 气动大型底栖生物采样器采集, 分种类称取鲜重. 由于只有高体型沉水植物, 分布范围调查采用沿群落边界巡测法, 用 Garmin - II GPS 定位.

东湾很少有大型水生植物, 因而仅用目视法粗略调查沉水植物零星分布范围.

### 1.6 沿岸带底栖动物调查

在西湾均匀布设 12 个采样点, 用彼德森采泥器采集筛选底栖动物<sup>[5]</sup>, 按照种类分拣、计数并称取鲜重. 对每个种类出现的频次、平均密度和生物量进行统计分析, 在环境背景上进行分布规律的分析.

## 2 结果

### 2.1 沿岸带水下地形

东湾、西湾水下地形如图 2. 滇池最高运行水位 1887.4m, 西湾湖底高程均低于 1886m, 因而湖水相对比较深, 没有适合挺水植物生长的沿岸浅水带; 东湾沿岸带湖底比较平缓, 北部湖底高于 1886m 的沿岸浅水带宽度约 200m, 适合大型挺水植物生长.

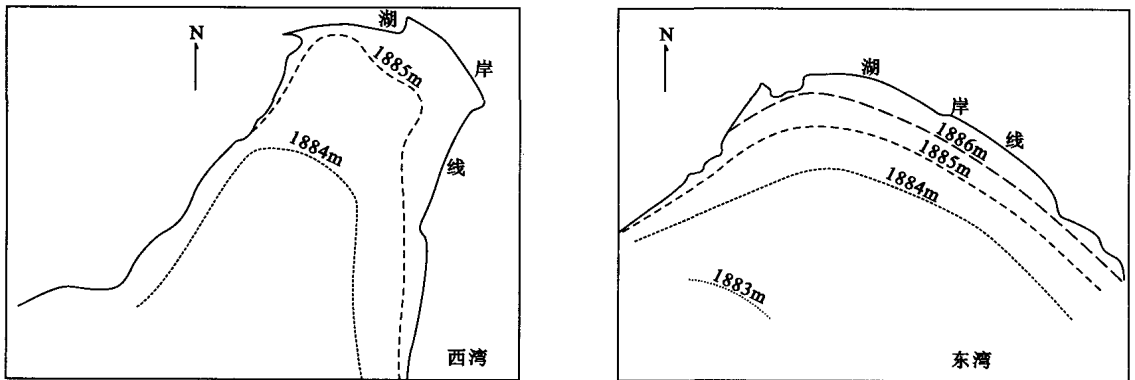


图 2 西湾、东湾水下地形图

Fig. 2 Topography of the west bay and the east bay

### 2.2 沿岸带底质条件

底质分布情况调查结果, 在水深小于 2m 的沿岸带浅水区, 由于长期的浪蚀作用, 沉积下来的是坚硬的板结状沙质沉积物. 在西湾, 来自大湖面的风浪受到宝丰半岛的遮挡, 西湾东部和北部水深 2 - 3m 范围有松软的含泥粉沙沉积物, 适合高体型沉水植物的生长; 水深超过 3m 时, 很少受风浪扰动, 有深厚的粘土质淤泥. 东湾比较开敞, 风浪冲刷非常强烈, 在水深 2.5m 以下才出现含泥粉沙沉积物, 粘土质淤泥分布在 4m 水深以下.

对西湾 23 个样点表层沉积物中 TOC、全氮、全磷分析结果, 可以按照沉积物性质归为 3 类(表 1). 近岸风浪侵蚀严重的坚硬沙质沉积物相当贫瘠, 水深 3m 以下深水区的粉沙质淤积状沉积物则比较肥沃, TOC、氮、磷主要含在泥质成分中.

西湾两个样点上的柱状沉积物分析结果见表 2. 1# 样点水深 2.5m, 表层沉积物受到轻度侵蚀, TOC 含量显著降低, 氮、磷含量亦低于下层沉积物. 2# 样点水深 4m, 表层沉积物中 TOC、氮、磷大量积累, 影响深度达到 7.5cm.

表 1 表层沉积物中 TOC、TN、TP 含量分类统计表  
Tab. 1 TOC, TN, TP content in different type of top-layer sediment

底质类型及分布范围	TOC(%)	TN(%)	TP(%)
沙质硬底(水深 $\leq$ 2m)	0.376 $\pm$ 0.303	0.048 $\pm$ 0.031	0.067 $\pm$ 0.008
含泥粉沙(2m <水深 $\leq$ 3m)	1.442 $\pm$ 0.330	0.170 $\pm$ 0.380	0.095 $\pm$ 0.022
粉沙质淤泥(水深>3m)	2.297 $\pm$ 0.268	0.259 $\pm$ 0.026	0.108 $\pm$ 0.016

表 2 两个样点上的柱状沉积物性状及 TOC、TN、TP 含量  
Tab. 2 Different sediment layer and TOC, TN, TP content on two sampling points

1# 柱状样(水深 2.5 m)					2# 柱状样(水深 4 m)				
性状	深度 (cm)	TN (%)	TP (%)	TOC (%)	性状	深度 (cm)	TN (%)	TP (%)	TOC (%)
含泥粉沙	0-5	0.115	0.051	0.154	粉沙质泥	0-3.5	0.223	0.140	1.458
含泥细沙	5-10	0.128	0.069	0.567	粘土质泥	3.5-7.5	0.209	0.131	0.956
泥质粉沙	10-15	0.121	0.078	0.703	粘土质泥	7.5-15	0.136	0.121	0.693
泥质粉沙	15-20	0.084	0.078	0.649	粘土质泥	15-25	0.136	0.120	0.680
泥质粉沙	20-24	0.114	0.084	0.539	粘土质泥	25-34	0.135	0.121	0.658

### 2.3 水质条件

沿岸带水质受到严重污染, 尤其是在夏季, 蓝藻水华污染和入湖河水污染在沿岸带叠加, 其污染程度无法用地面水标准来衡量(表 3), 有时甚至远远超过生活污水的污染物含量. 蓝藻严重堆积, 形成粘稠的藻浆, 加上风浪的搅扰, 使得其它任何生物(包括凤眼莲)无法生存.

表 3 2001 年 6 月沿岸带水质  
Tab. 3 Water quality in the littoral zone in June, 2001

地点	样号	SD (m)	Chl. a (mg/m <sup>3</sup> )	TN (mg/L)	TP (mg/L)	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)
沿岸带	1	0	70566	394.64	75.52	1975.6
	2	0	4735	44.93	3.85	97.80
远 岸	20	0.25	79.5	2.79	0.270	12.02
	21	0.25	72.3	2.62	0.242	12.02

### 2.4 风浪

早春季节为滇池地区的风季, 几乎每天午后都会有强劲的西南风. 2002 年 1-3 月, 仅有 6d 未观测到风浪, 70% 以上时间风浪波高 0.4-0.8m(图 3), 偶尔会出现 1m 以上的大

浪。2001 年春季一场大风持续 3d, 试验区最大波高达到 1.5m, 几乎将试验区所有船只颠覆。在沿岸带, 人工岸堤可以反射波浪, 来自湖面的波浪与反射浪发生干涉叠加作用, 使得岸堤前波高倍增, 具有更大的破坏性。

2.5 沿岸带大型水生植物

在西湾东岸和北部, 分布着连片的篦齿眼子菜 (*Potamogeton pectilatus* Linn.) 群落(图 4)。2001 年 5 月调查时, 群落面积 33.8 hm<sup>2</sup>, 占西湾总面积的 25%。基本上为篦齿眼子菜单种群落, 偶见马来眼子菜 (*P. malaianus* Miq.), 没有其它植物种类。最大群落盖度 70% 左右, 平均盖度在 30% 以上, 比较均一。最大现存量 4220 g/m<sup>2</sup>(鲜重), 平均现存量 2830 g/m<sup>2</sup>。调查之后, 由于高密度养鱼和蓝藻水华的影响, 这片沉水植物群落迅速消亡, 此后未能自然恢复。

2.6 沿岸带底栖动物

在 12 个样点中, 风浪严重侵蚀的近岸带有 6 个样点没有采到底栖动物。其它 6 个样点仅有隶属于水丝蚓、苏氏尾鳃蚓、颤蚓、摇蚊幼虫四类小型底栖动物(表 3), 前两类密度和生物量较高。在 12 个样点, 未发现任何腹足类和双壳类底栖动物。东湾沿岸带浅水区风浪冲刷更为强烈, 也没有大型底栖动物。

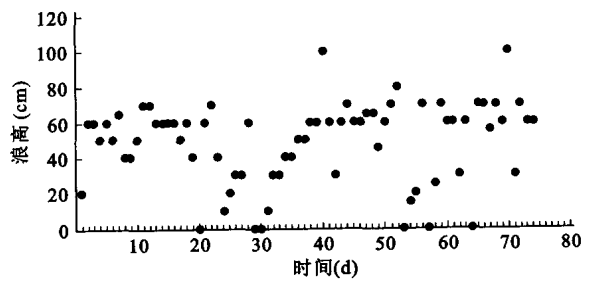


图 3 2002 年 1-3 月波浪观测结果

Fig. 3 Wave height measured from Jan. to Mar. in 2002

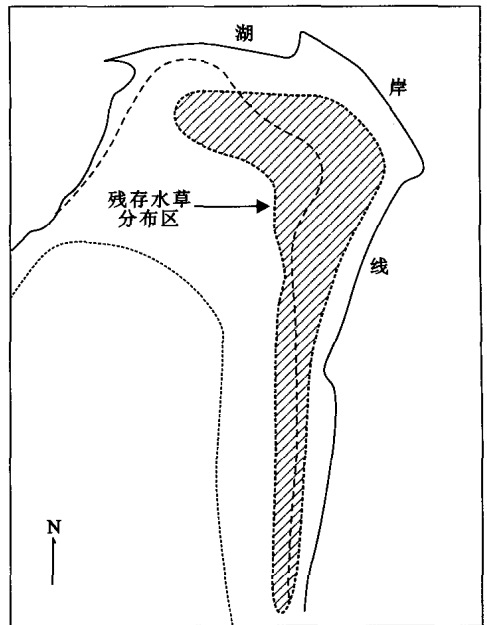


图 4 西湾沉水植物分布区(2001 年 5 月)

Fig. 3 Distribution of submerged macrophytes in the west bay

表 3 西湾 12 个样点底栖动物统计

Tab. 3 Statistics of benthonic animals on 12 points in the west bay

种类	出现频次	密度(ind/m <sup>2</sup> )	生物量(g/m <sup>2</sup> )	无底栖动物频次
水丝蚓 ( <i>Limnodrilus</i> sp.)	6/12	269 ± 90	36.3 ± 25.9	
苏氏尾鳃蚓 ( <i>Branchiura sowerbyi</i> )	6/12	211 ± 118	33.9 ± 21.9	
颤蚓 ( <i>Tubifex sinicus</i> )	3/12	32 ± 16	4.1 ± 0.7	6/12
摇蚊幼虫 ( <i>Chironomidae</i> larvae)	4/12	52 ± 20	3.9 ± 2.2	

3 分析讨论

3.1 沿岸带环境、生态现状分析

滇池东北部沿岸带基础环境已经遭到严重破坏, 生态极度退化, 形成了“水域荒漠”。

(1) 原有的湖滩湿地全部被围垦, 湖岸为混凝土“防浪堤”, 丧失了沿岸带环境连续性和生态连续过渡特点。

(2) 人工岸堤前风浪强烈冲刷, 造成湖底侵蚀, 湖水较深, 湖底为坚硬而贫瘠的沙质沉积物, 不利于水生植物和底栖动物的生长。

(3) 沿岸带没有挺水植物和大型底栖动物, 西湾仅有的沉水植物群落在研究期间消失, 说明沿岸带环境在进一步恶化。

### 3.2 引起沿岸带生态退化的原因分析

引起沿岸带生态退化的根本原因在于滩地围垦和人工岸堤的建设。

(1) 滇池东北岸入湖河流密集, 水土流失引起的淤积在这一带发育形成了广阔平缓的湖滩, 以芦苇为主的挺水植被发育良好, 素有“芦柴湾”之称。这些湖滩湿地由于围垦而全部消失, 围垦区大部分被开垦为农田和鱼塘, 有些地段已经建成度假区或居民区。

(2) 自然的缓坡湖岸和滩地植被具有很好的消浪吸波能力, 可以保持稳定平和的沿岸带环境, 为各类生物提供适宜的生境。直立的混凝土堤岸修筑之后, 由于它能反射波浪, 反射波与来自湖面的波浪产生干涉叠加, 形成强烈的浪蚀作用, 摧毁了人工堤岸前所有大型生物, 并淘蚀湖底土壤, 留下坚硬的沙质湖底, 形成水深坡陡的沿岸带环境, 为恢复水生植被造成很大的困难。

(3) 在原初缓坡湖岸条件下, 风吹浪打可以将湖水中的垃圾杂物和漂浮性蓝藻推上湖滩, 经自然风化降解或被打捞。人工堤岸修筑之后, 垃圾杂物和漂浮性蓝藻在湖堤前水体中聚集, 形成严重的水质污染, 使得大型水生植物和底栖动物难以生存。比如 2002 年 6-7 月修复区 70% 水面被浓厚的蓝藻藻浆覆盖, 这是西湾 33.8hm<sup>2</sup> 沉水植物迅速消失的重要原因。

蓝藻水华覆盖、水质严重污染是大型底栖动物和深水区沉水植物消失的重要原因。这两类生物都需要清洁的水质、必须的光照和氧气, 水质污染和蓝藻覆盖水面破坏了它们的生存环境, 因而导致其消亡。研究期间西湾沉水植物群落的消失还可能与高密度养鱼有关, 草鱼和鲤鱼是严重危害水生植物的主要鱼类, 放养鲢鱼时混杂了部分草鱼, 鲤鱼为自然繁殖的原有物种, 它们在实验区保护条件下得以发展而危及水生植物。

### 3.3 影响自然生态恢复的主要限制因素

强烈的风浪冲刷和严重的水质污染是阻碍沿岸带自然生态恢复的主要限制因素。首先人工岸堤前波浪的反射、干涉碰撞极具破坏性, 它可以翻起湖底泥沙, 掩埋底栖生物, 撕碎沉水植物, 打烂漂浮植物, 将挺水植物连根拔起。同时, 蓝藻和垃圾杂物覆盖水面, 充斥近岸水体, 使得任何大型生物无法生存。

沿岸带环境的破坏是导致滇池生态退化、妨碍自然生态恢复的根本原因。适宜的环境是任何一个生态系统存在的先决条件, 改造基础环境、实施生态修复是恢复沿岸带健康生态的必由之路。

## 4 结论

湖滩地围垦和水质污染造成了滇池东北部沿岸带环境的极度恶化, 进而导致了生态严重退化, 人工岸堤前风浪强烈侵蚀、蓝藻覆盖水面、垃圾杂物充斥水体、大型水生植物和底栖动物消失, 湖底坚硬而贫瘠, 形成了“水域荒漠”。在如此严酷的环境条件下, 自然生态恢复是

不可能的,必须从基础环境改造入手,实施生态修复。

### 参 考 文 献

- 1 王苏民, 窦鸿身主编. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 2002
- 2 施成熙主编. 陆地水文学. 北京: 科学出版社, 1959
- 3 中国科学院土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978
- 4 Chapman S B O. Methods in plant ecology. London: Blackwell Publications, 1976
- 5 黄祥飞主编. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1999

## Studies and Demonstration Engineering on Ecological Restoration Technique in the Littoral Zone of Dianchi Lake: the State and Cause of Environmental Depravation and Ecological Degradation

LI Wenchao, LIU Zhengwen, HU Yaohui, CHEN Kainin, WU Qinglong & PAN Jizheng  
(*Lanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China*)

### Abstract

As part of the series studies on ecological restoration technique in the littoral zone of Dianchi Lake, Yunnan Province, this paper revealed the state and cause of environmental depravation and ecological degradation in the North-East littoral zone of Dianchi Lake, and discussed the key obstacle factor for natural restoration.

Dianchi Lake is one of the most seriously polluted lakes in the world. Surely the wastewater discharge is the main cause, but another cause is usually ignored, that is the ecological destruction of the littoral zones which ever played a very important role in pollutant degradation and sedimentation. The wetland around the lake has been cut off by constructed concrete dikes, which enhanced wave action in front of the dike and therefore caused soil erosion and destruction of the littoral zone ecosystem. In addition to serious water pollution, all the macrophytes and benthic invertebrate animals have disappeared from the littoral zone. It has become "desert" in the water.

The construction of the concrete dike around the lake and pollution are the causes of environmental depravation and ecological degradation in the littoral zone, and wave erosion is the key obstacle for natural restoration. Hence, special ecological engineering technique is urgently needed to restore the littoral zone environment and ecosystem in such a lake.

**Keywords:** Dianchi Lake; littoral zone; ecological restoration