

## 云南洱海桃溪河口净化工程的设计思路及初步净化效果\*

胡小贞<sup>1</sup>, 叶春<sup>1</sup>, 金相灿<sup>1</sup>, 李宁波<sup>2</sup>, 刘滨<sup>2</sup>, 张晴波<sup>3</sup>

(1: 中国环境科学研究院, 北京 100012)

(2: 大理州环境保护局, 大理 671000)

(3: 上海航道勘察设计研究院, 上海 200120)

**摘要:** 湖泊生态工程因其净化效果好、投资小、运行简单等优点, 近十多年来在我国受到了广泛关注, 并得到了越来越多的应用. 本文介绍了云南洱海污染治理的工程技术之一——桃溪河口净化工程的设计思路. 该工程基于暴雨径流输送污染物的特征, 将水力工程、土石工程与生物工程有效结合, 通过在桃溪河口建立溢流堰, 将桃溪正常来水导截入由桃溪河口 9 个废弃鱼塘改造而成的净化池进行净化. 工程运行的水质监测表明, 该工程已发挥一定的净化效果, 对 TN 的去除率达 55.2% - 86.9%, 其中对  $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的去除率都较高, 对 P 的去除率达 76.4% - 88.2%, 对悬浮物的去除率达 29.4% - 49.5%.

**关键词:** 洱海; 河口净化; 生态工程

## River mouth ecotechnology for purification of River Taoxi in Lake Erhai Basin: the design and purification effects

HU Xiaozhen<sup>1</sup>, YE Chun<sup>1</sup>, JIN Xiangcan<sup>1</sup>, LI Ningbo<sup>2</sup>, LIU Bin<sup>2</sup> & ZHANG Qingbo<sup>3</sup>

(1: Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, P. R. China)

(2: Dali Environmental Protection Agency, Dali 671000, P. R. China)

(3: Shanghai Channel Investigation, Design and Research Institute, Shanghai 200120, P. R. China)

**Abstract:** Ecotechnology or ecological engineering is booming as a new water treatment technology in our country in recent decade for its advantages of high purification effects, low investment and easy operation. This article presented river mouth ecotechnology for purification of River Taoxi in Lake Erhai Basin. Through constructing a flooding weir at river mouth, River Taoxi water was intercepted into a purification system which was reconstructed by 9 abandoned fish ponds with total area of 55000<sup>2</sup> at left-side of river mouth. This purification system consists of 5 parts: 1) inflowing system consisting of constructed flooding weir and diversion wall; 2) sand sedimentation system reconstructed by 4 ponds with an area of 27280 m<sup>2</sup>; 3) biological purification system reconstructed by 5 ponds with an area of 27720 m<sup>2</sup> which is designed to plant different life style aquatic plant; 4) water flow distributing system which is responsible for long and uniformly water path and 5) outflowing system which is discontinuous gaps for water flowing out to Lake Erhai. The system has a design flow of 6.25 m<sup>3</sup>/s. It exerts purification effects for non-point pollution of River Taoxi mainly through sand sedimentation and plant purification. Water quality monitoring data in the operation period revealed that the system exert purification effects with TN removal rate of 55.2% - 86.9%, TP removal rate of 76.4% - 88.2%, SS removal rate of 29.4% - 49.5%.

**Keywords:** Lake Erhai; river mouth purification; ecological engineering

生态工程是由上个世纪八十年代发展起来的, 它是一种全新的技术和方法, 在无需大量能源的情况下, 保护生态系统和非再生资源, 解决污染问题, 并将污染物转化为人类可以利用的再生资源<sup>[1]</sup>. 我国是利用

\* 国家高技术研究发展计划(2005AA6010100502)资助. 2006-04-22 收稿; 2006-10-11 收修改稿. 胡小贞, 女, 1975 年生, 硕士, 助理研究员; E-mail: huxz@cras.org.cn.

生态技术最早的国家之一,但主要集中于农业生态工程领域,在水体生态技术领域开展较晚.九十年代之后,随着我国湖泊污染治理与富营养化控制的倍受关注,我国湖泊专家提出了控源与生态修复相结合的治理思路<sup>[2]</sup>,并开始关注湖泊生态工程.近十多年来,通过借鉴国外较成熟的生态工程或技术,结合中国湖泊的特点,在该领域开展了较多的研究与实践,提出了湖滨带生态恢复技术、人工湿地净化技术、物理生态工程技术、生物浮床技术、沉水植物恢复技术等生态工程技术并在我国许多湖泊如太湖、滇池、武汉东湖、洱海、长春南湖、北京什刹海等进行了一定规模的试验、示范工程或工程建设<sup>[3-10]</sup>.

本文介绍了云南洱海富营养化治理生态工程之一——桃溪河口净化工程,该工程借鉴日本的湖内湖净化技术<sup>[11]</sup>,基于暴雨径流的基本特征,因地制宜地利用当地的9个废弃鱼塘,将其改造成河口净化工程,对桃溪河水进行净化.目前该工程已运行两年,并取得良好净化效果.该工程的实施是我国利用生态技术治理湖泊富营养化的又一尝试,该工程的良好运行表明该技术可行并值得因地制宜地推广应用.

## 1 桃溪河口工程区概况

洱海是云南省第二大高原湖泊,是大理州的水源地,历史上湖水清澈,水质优良<sup>[12]</sup>.近三十年来,随着城市化进程与社会经济的快速发展,洱海水质明显恶化,TN和TP逐年上升,九十年代后期整个湖泊由中营养向富营养状态转变,局部湖湾已处于富营养状态<sup>[13]</sup>.为遏制洱海的富营养化,保护其水源地功能,大理州政府采取了一系列的工程措施.本文介绍的桃溪河口净化工程是洱海西岸10 km湖滨带生态恢复工程中的一项目内容.

桃溪是洱海西岸的一条入湖河流,属苍山十八溪中的一溪.主沟全长12.87 km,流域面积12.2 km<sup>2</sup>(图1).该河源自苍山,沿途汇集了河两岸密集住户的生活污水污染、湖滨平坝区农田面源污染等后,流入洱海.据2001年4月的监测,桃溪入湖口处水质为:TN 1.59 mg/L,TP 0.217 mg/L,SS 12.67 mg/L,COD<sub>Mn</sub> 8.02 mg/L.汛期暴雨径流带来大量的泥沙与污染物入湖,对洱海造成一定的污染.

桃溪入湖口北侧现有9个鱼塘,平均水深3m,总面积约55000 m<sup>2</sup>.由于这9个鱼塘均在洱海湖滨带保护范围内,2002年3月实施退塘还湖后,该9个鱼塘均废弃.为防农民再度养鱼,每个鱼塘均开了6 m宽的缺口,与洱海连通(图1).



图1 桃溪河口工程区鱼塘分布图

Fig. 1 Layout of fish ponds at rivermouth of River Taoxi

## 2 工程净化原理

日本湖内湖净化法通过在入湖河口设置内湖,净化河流的面源污染,它实质上是用人工的方式再现与湖泊相连的内湖所拥有的净化作用和生态功能的方法<sup>[11]</sup>.本工程巧妙地借鉴了日本湖内湖的思路,利用桃溪河口湖滨带范围内的9个废弃鱼塘,一方面不完全拆除塘埂,充分利用塘埂的防护作用,另一由方面将鱼塘改造成净化系统,发挥其净化作用,恢复其本该具有的屏障与生态功能,同时作为废弃鱼塘逐步回复到完全自然的湖滨带的过渡.

将水利工程、土石工程与生物工程有效结合,通过在桃溪河口建立溢流堰,将桃溪正常来水导入由9个鱼塘改造而成的净化池进行净化.沉砂池的沉砂作用和植物净化系统的净化作用是去除污染物的主要机理,即携带污染物的入流经溢流堰导流进入河口净化系统后,径流中较粗颗粒泥沙在沉砂池中沉降,较细颗粒泥沙及溶解态污染物进入后续的植物净化系统,经植物的拦截、吸附、吸收作用<sup>[14]</sup>,去除一定的污染物后,进入洱海(图2).

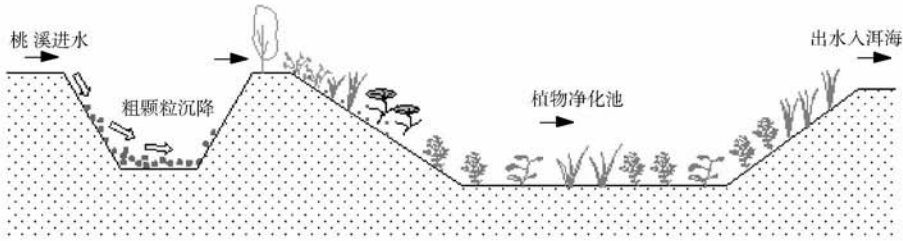


图2 河口净化工程净化原理图

Fig. 2 Purification principle of rivermouth ecotechnology

### 3 工程设计思路

#### 3.1 设计基础

桃溪大量的污染物主要是在雨季由暴雨径流携带入湖的,因而暴雨径流的特征是该工程设计的基础。根据中国环境科学研究院“八五”期间在滇池的研究结果,暴雨径流输送污染物具两大主要特征:(1)初期暴雨径流和降雨产生的前期径流携带污染物浓度较高,初次暴雨径流和前期暴雨径流是净化的重点;(2)暴雨径流输送过程中,径流量与污染物的输出有一定的规律,多数污染物在降雨初期随着流量的增长浓度迅速增大,并在流量峰之前出现浓度峰<sup>①</sup>。因而进行工程设计时,只需考虑将前期暴雨径流截入净化系统便可有效去除大部分污染物。

#### 3.2 设计流量

基于暴雨径流输送污染物的特征,设计流量取桃溪一年一遇暴雨径流。根据当地水文资料分析计算得:

$$Q_{\text{设}} = Q_{\text{一年一遇}} = 6.25 \text{ m}^3/\text{s}.$$

#### 3.3 进水系统

工程进水系统包括溢流堰和导流墙。溢流堰设置在桃溪入湖口处,导流墙为弧形,其目的是引导河水顺畅进入净化系统(图3)。



图3 桃溪河口净化工程平面布置图(虚线为塘埂开口)

Fig. 3 Layout of the rivermouth purification project

溢流堰高程:根据工程将一年一遇的暴雨径流截入净化系统,超过的流量由溢流堰流走的原则,根据洱海水位的变化,由水利公式计算得,溢流堰顶高程为海防海高程1973.0 m。(洱海水陆交错带水位变幅为1971-1974 m)

#### 3.4 沉砂系统

将1,2,3,4这4个鱼塘设为沉砂池,组成面积为27280 m<sup>2</sup>的沉砂系统。由于鱼塘水深平均3 m,可直接用作沉砂池而不必挖泥斗,仅对接纳较多粗颗粒物的沉砂池1设置泥斗。

沉砂池1面积为7965 m<sup>2</sup>,根据桃溪粗颗粒泥沙输送量计算出泥斗深度为1.78 m。

#### 3.5 生物净化系统

将5,6,7,8,9号鱼塘设为生物净化池,组成总面积为27720 m<sup>2</sup>的生物净化系统。适当改善其基底条件,保证良好配水与均匀布水;鱼塘挖出的土方填于塘堤内侧,为湿生与挺水植物的生长提供良好基底条件;8、9号鱼塘接纳其它鱼塘挖出的部分土方,抬高基

<sup>①</sup> 中国环境科学研究院. 滇池城市饮用水源地地面源污染控制技术研究报告.“八五”国家科技攻关项目研究报告(85-908-02-01),1995.

底后种植湿生乔木.各池间相互连通,不同生物池根据底质、水深的不同分别种植不同的水生植物,见生物配置部分.

根据各个鱼塘位置、水深、基底条件的不同,设置不同的净化功能.生物池1接纳携带部分细颗粒的沉淀池出水,所以设计以挺水、沉水植物为主;生物池2设计以浮叶、沉水植物为主,可有效吸收水中的溶解态营养盐;生物池3为净化系统的出水塘,为使出水顺畅,并使与洱海开阔水面自然协接,设计以沉水植物为主;生物池4修复后的鱼塘基底高程较高,设计以种植湿生乔、灌、草为主.

### 3.6 配水系统

配水系统为本工程中重要的内容.通过鱼塘间交错开口,延长水的水力流程;通过对鱼塘基底进行改造,设置低水位通道,使水流均匀流过整个过水段面,提高植物的净化效果.①桃溪进水:为保证桃溪水能顺畅地流入净化系统,将桃溪入水口侧鱼塘埂拆除,拆至与塘底齐平,并设置导流墙.②主水流配水:沉淀池2与生物池1及主水流方向的鱼塘埂均开4个口,每个3m,间距2m.不同的塘埂开口呈对角线错开,以保证水流较长的流经.③低水位通道设置方案:由于生物池1、2、3的现状基底较高(1972m左右),为了保证整个净化系统水流的顺畅及发挥水生植物较好的净化作用,对生物池1、2、3三个鱼塘的基底进行开沟改造,设置低水位渠道4条,宽度均为3m,这样既可满足低水位水流正常流动,又可为设计洪水分洪.④出水:整个净化工程的出水由生物池3临湖侧出水.出水口采用花墙,将生物池3塘埂开口,开口长2m,开口间距2m,开口敲至塘底齐平.

## 4 工程净化效果初步分析

2003年7月份完成工程施工后,同年8月雨期、11月非雨期进行了监测,由监测结果初步分析该工程的净化效果(表1).

表1 桃溪河口净化工程效果初步分析  
Tab.1 Purification effects of the rivermouth project

指标		NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	悬浮物 (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)
8月(雨期)	进水	0.229	0.891	1.401	0.167	57.8	4.63
	出水	0.066	0.056	0.510	0.027	34.4	3.405
	削减率(%)	71.2	93.7	63.6	83.8	40.5	26.5
11月(平水期)	进水	0.272	0.443	1.618	0.146	18.6	5.97
	出水	0.052	0.091	0.270	0.030	9.7	3.34
	削减率(%)	80.9	79.5	83.3	79.5	47.8	44.05
削减率范围(%)		60-87.9	66.1-96.7	55.2-86.9	76.4-88.2	29.4-49.5	25-49.3

### 4.1 工程已经发挥一定的净化效果

由表1各指标的去除率可以看出,不管是8月份暴雨期还是11月份平水期,出水N、P指标的值明显低于进水的值,说明尽管该工程刚刚完成,但已发挥一定的净化效果.

### 4.2 对氮的净化效果

该工程对TN的去除率为55.2% - 86.9%,其中对NO<sub>3</sub>-N和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的去除率都较高.11月份平水期时对TN的去除率为83.3%,比8月份暴雨期时高19.7%,这是由于该河口净化系统中,N的去除主要靠植物的吸收与净化作用,8月份生物净化池中植物刚种植不久,有些生活型植物如浮叶植物还未达到设计覆盖率,净化效果相对较低,而11月份水生植物已形成一定的覆盖面积和生长达最大生物量,可有效去除N污染物.

### 4.3 对磷的净化效果

工程对TP的去除率为76.4% - 88.2%.8月份暴雨期的去除率为83.8%,比11月份平水期时去除率

高 3.8%, 这是因为暴雨径流中 P 主要以颗粒态磷形式存在, P 的去除是沉砂作用与植物净化作用的共同结果. 虽然 8 月份植物净化系统还未达到设计覆盖率, 但沉砂作用与植物净化作用的共同效果使 P 去除率仍较高.

#### 4.4 对悬浮物的去除效果

工程对悬浮物的去除效果为 29.4% - 49.5%, 工程刚刚完工的 8 月份, 对颗粒物的去除主要依靠沉砂池的沉砂作用, 11 月份生物池中的水生植物得到一定的扩张后, 对细颗粒物的去除有一定的作用. 8 月分与 11 月份平均可去除 40% 左右的悬浮物, 达到了工程去除 40% 粗颗粒物的设计目标.

### 5 参考文献

- [1] 钦 佩, 张晟途. 生态工程及其研究进展. 科技进展, 1997, 20(1): 24 - 28.
- [2] 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [3] 叶 春, 金相灿, 王临清, 孔海南. 洱海湖滨带生态修复设计原则与工程模式. 中国环境科学, 2004, 24(6): 717 - 721.
- [4] 屠清瑛, 章永泰, 杨贤智. 北京什刹海生态修复试验工程. 湖泊科学, 2004, 16(1): 62 - 67.
- [5] 邱东菇, 吴振斌, 刘保元. 武汉东湖水生植被的恢复试验研究. 湖泊科学, 1997, 9(2): 168 - 174.
- [6] 濮培民, 胡维平, 逢 勇, 魏阳春. 净化湖泊饮用水源的物理 - 生态工程实验研究. 湖泊科学, 1997, 9(2): 159 - 167.
- [7] 井艳文, 胡秀琳, 许志兰, 刘虎城. 利用生物浮床技术进行水体修复研究与示范. 水利科学研究, 2003, 6: 20 - 22.
- [8] 陈荷生, 宋祥甫, 邹国燕. 利用生态浮床技术治理污染水体. 水文水资源, 2005, 5: 50 - 53.
- [9] 邓辅唐, 孙佩石等. 人工湿地净化滇池入湖河道污水的示范工程研究. 环境工程, 2005, 23(3): 29 - 32.
- [10] 孙 刚, 盛连喜. 湖泊富营养化治理的生态工程. 应用生态学报, 2001, 12(4): 590 - 592.
- [11] Keigo Nakamura, Morikawa T, Shimatani Y. Pollutants control by the artificial lagoon, Environmental System Research, JSCE, 2000, 28: 115 - 123 (in Japanese).
- [12] 赵凤琴. 洱海 1980 - 1990 年水质分析及综合评价. 大理洱海科学研究. 昆明: 云南民族出版社, 2001: 313 - 317.
- [13] 李宁波, 李锦胜, 李杰君. 洱海 1992 - 2001 年水质现状及变化趋势分析. 大理洱海科学研究. 昆明: 云南民族出版社, 2001: 317 - 323.
- [14] 高吉喜, 叶 春等. 水生植物对面源污水净化效率研究. 中国环境科学, 1997, 17(3): 247 - 251.