

# 受潮汐影响的半封闭水体活水工程设计与运行

胡和平, 蒋任飞, 文坛花, 卢彦升

(中水珠江规划勘测设计有限公司, 广东 广州 510610)

**摘 要:** 东坡湖是受潮汐影响的半封闭水体,水面面积大,水动力条件差,水体停留时间长,为藻类繁殖创造了有利的水文条件,富营养化特征明显。结合海甸岛自然水系和东坡湖特点,在东坡湖设置活水泵站和节制闸,通过扩大涵口尺寸,并利用闸泵联合调度,增大了纳潮量,水流向由往复流调整为单向流,水体停留时间由 22.3 d 减少到 13.4 d,改善了东坡湖的水动力条件。活水工程实施后,东坡湖的水质稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V 类标准,有效改善了水质和感官指标。

**关键词:** 半封闭水体; 潮汐; 活水工程; 藻类繁殖; 富营养化; 水动力条件

**中图分类号:** TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)16-0103-04

## Design and Operation of Semi-closed Water Flowing Project with Tidal Influence

HU He-ping, JIANG Ren-fei, WEN Tan-hua, LU Yan-sheng

(China Water Resources Pearl River Planning Surveying & Designing Co. Ltd., Guangzhou 510610, China)

**Abstract:** Dongpo Lake is a semi-closed water with tidal influence. It has large water surface area, poor hydrodynamic condition and long retention time, which creates favorable hydrological conditions for algal bloom and leads to eutrophication. Combing the characteristics of natural water system of Haidian Island and Dongpo Lake, a pumping station and a sluice were set up in Dongpo Lake. By expanding the culvert size and using joint scheduling of sluice & pumping station, the tidal influx was increased, the water flow direction was adjusted from reciprocating flow to unidirectional flow, and the retention time was reduced from 22.3 days to 13.4 days, which effectively improved the hydrodynamic conditions of Dongpo Lake. After implementation of the water flowing scheme, the water quality had consistently met level V criteria of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838 - 2002), which effectively improved water quality and sensory indicators.

**Key words:** semi-closed water; tide; water flowing project; algal bloom; eutrophication; hydrodynamic condition

### 1 项目概况

东坡湖位于海口市海甸岛内,北边是海甸沟,南边是海甸溪,东边是鸭尾溪和白沙河,西边是丘海湖,水面面积约 102 500 m<sup>2</sup>,常水位约 1.20 m(85 高程,下同),平均水深约 0.8 m,湖容量约 82 000 m<sup>3</sup>,

湖内种植有红树林,红树林内生活有数量众多的白鹭、灰鹭等水禽。东坡湖现状通过连通渠(宽约 1.5~10 m)与南边的海甸溪自然连通,属于半封闭水体,受潮汐影响,湖内水位周期性变化。海甸岛内自然水系见图 1。

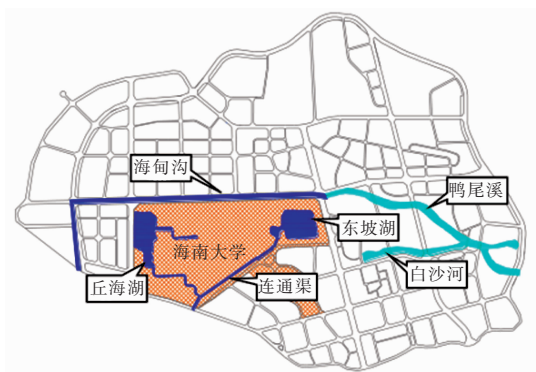


图1 海甸岛内自然水系

Fig.1 Natural water system of Haidian Island

2016年4月,为了实现《水污染防治行动计划》考核目标,海口市启动了鸭尾溪、东坡湖等11个水体环境综合治理项目,采用PPP模式进行建设,并长效运营15年。根据现场调研及资料收集,东坡湖主要的污染源为周边城中村排放的生活污水、校园内部雨污水错接形成的污染源、鸟类排泄的粪便以及集水范围内的面源污染。在详细排查雨污水管网的基础上,实施了控源截污和污染源整改措施,旱季基本不再有污水排入湖内,水质得到了较好的改善。但由于东坡湖水面面积和湖容较大,现状仅通过连通渠与海甸溪连通在一起,导致湖内水体随潮汐涨落而往复运动,水动力条件差,水体滞留时间长,春冬季气温较低时呈淡褐色,夏季气温高时呈绿色,感官效果较差。

## 2 工程实施的必要性

### 2.1 潮汐资料

根据海口站1974年—2015年潮位资料统计,多年平均潮位为0.73 m,多年平均最高潮位为2.14 m,多年平均最低潮位为-0.68 m。该海域潮汐属不规则日潮混合潮型,一个月内日潮天数为15~18 d,其他时间为正规半日潮,且潮汐不等现象显著,日潮平均涨潮历时15 h,半日潮平均涨潮历时5.5 h。

### 2.2 水动力现状

#### ① 活水通道现状

东坡湖现状活水通道由暗渠(宽×高=1.5 m×1.8 m,长约600 m,底板高程约0.0 m)和明渠(宽×高=10.0 m×2.5 m,长约100 m,底板高程约0.1 m)组成,明渠与暗渠接驳点涵口尺寸(宽×高)为0.8 m×0.9 m,涵口底高程约0.70 m。

#### ② 纳潮能力

2018年5月—6月,对东坡湖现状水体交换能力进行了观测。根据潮汐及水位观测结果,东坡湖连通渠纳潮能力约为0.13 m<sup>3</sup>/s,纳潮时间约6 h。

#### ③ 换水周期

水体换水周期按下式计算:

$$T = \frac{W}{86\,400 \times (Q_1 + Q_2)} \quad (1)$$

式中  $T$ ——换水周期,d

$W$ ——水体蓄水量,m<sup>3</sup>

$Q_1$ ——降雨径流量,m<sup>3</sup>/s

$Q_2$ ——潮汐活水量,m<sup>3</sup>/s

东坡湖汇水面积为0.47 km<sup>2</sup>,径流为0.01 m<sup>3</sup>/s,潮汐活水量为0.13 m<sup>3</sup>/s(纳潮时间按6 h计),现状换水周期约22.3 d。

### 2.3 活水必要性

营养盐、气温、水文条件等环境因子是诱导“水华”发生的重要因素。水文条件是影响藻类生长和分布的重要因素之一。藻类的生长需要稳定的水体,在水力滞留时间短的水体中的浮游植物组成会失去竞争优势。水体滞留时间越长,发生水华的可能性越大;滞留时间越短,越不利于藻类的繁殖,较难以维持种群数量,不易形成水华<sup>[1-2]</sup>。一般认为水力滞留时间少于2周时,蓝藻难以有效地聚集形成水华<sup>[3]</sup>。

东坡湖属于半封闭水体,水面面积大,现状仅通过连通渠与海甸溪连通在一起,导致湖内水体随潮汐涨落而往复运动,水动力条件差,水体滞留时间长,换水周期达到22.3 d,容易暴发水华。水体颜色季节性变化表明水体处于明显的富营养化状态,因此实施活水工程,消除藻类大量繁殖的水文条件,防止水体富营养化是非常必要的<sup>[4]</sup>。

## 3 活水方案

### 3.1 活水方案

东坡湖现状水动力条件主要存在水体滞留时间过长和随潮汐往复运动的问题,拟采取如下措施解决。①东坡湖连通渠的明渠与暗渠接驳点涵口断面小,形成阻水效应。拟在现状涵口一侧,新建同等规模涵口一个,将过水断面尺寸由0.8 m×0.9 m增大到1.6 m×0.9 m,增大东坡湖~海甸溪连通渠的纳潮量,减少水体滞留时间。②在东坡湖东北角设置活水泵站,泵站设计规模为15 000 m<sup>3</sup>/d(预留后期东坡湖~丘海湖联合调度活水),将东坡湖水提升

后排入北侧的海甸沟,将双向流调整为单向流,以此解决水体往复运动的问题。③在东坡湖连通渠进口设置节制闸,为闸泵联合调度创造条件。活水方案平面布置示意图见图2。



图2 活水方案示意

Fig. 2 Diagram sketch of water flowing project

### 3.2 调度规则

涨潮期间,利用东坡湖潮汐活水通道(连通渠),将洁净的海水引入东坡湖,至最高潮时,关闭东坡湖西南角的节制闸,防止已进入东坡湖的水随原路退回海甸溪,改由活水泵站提升后排入海甸沟,改善东坡湖水动力条件较差的问题。当东坡湖水位 $<1.05\text{ m}$ 时,活水泵站停止运行,维持东坡湖景观水位。活水调度规则见图3。

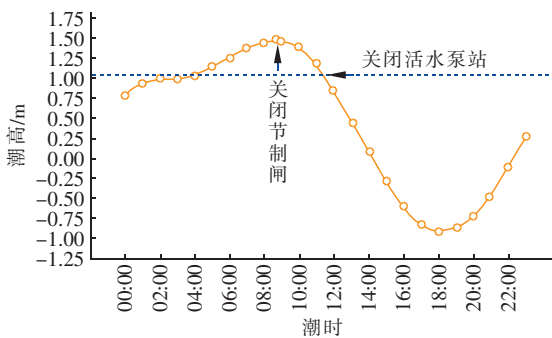


图3 活水调度规则

Fig. 3 Scheduling rule of water flowing project

### 3.3 活水效果

活水工程实施后,纳潮能力约为原来的1.9倍,日均纳潮量由 $2\,808\text{ m}^3$ 增加到 $5\,265\text{ m}^3$ ,水体停留时间由22.3 d下降为13.4 d(近期)。通过闸泵联合调度,将水体流向由“海甸溪 $\rightleftharpoons$ 东坡湖”调整为“海甸溪 $\rightarrow$ 东坡湖 $\rightarrow$ 海甸沟 $\rightarrow$ 海甸溪”,水流方向由往复流调整为单向流,避免了水体在湖内荡来荡去的弊端。后期海南大学实施丘海湖~东坡湖连通工

程(计划2019年实施)后,通闸泵联合调度,可将东坡湖的水体停留时间进一步削减到4.8 d,水体停留时间均小于2周,消除了藻类暴发的水文条件。

### 4 实施效果

2018年10月中旬,活水工程建成并投入使用,通过闸泵联合调度,对东坡湖进行活水,改善了东坡湖的水动力条件,如期消除了藻类大量繁殖的水文条件。2018年5月—2019年1月共计9期监测结果见表1(数据摘自海口市生态环境保护局网站),活水效果见图4。

表1 东坡湖水质变化趋势

Tab. 1 Variation of water quality of Dongpo Lake

时间	水质类别	超标污染物(超标倍数)
2018年5月	劣V	COD(0.6)、高锰酸盐指数(0.17)
2018年6月	劣IV*	无机氮(0.84)
2018年7月	劣V	总磷(0.35)
2018年8月	劣IV*	活性磷酸盐(5.31)、无机氮(3.62)
2018年9月	劣V	COD(0.05)、总磷(0.45)
2018年10月	劣V	总磷(0.6)
2018年11月	V	无
2018年12月	IV	无
2019年1月	V	无

注: \*2018年6月和8月,按海水水质标准进行评价。



图4 活水工程实施效果

Fig. 4 Implementation effect of water flowing project

由表1和图4可知,在活水工程实施前,东坡湖的水质虽然有较大改善,但均存在个别指标超标的



问题;活水工程实施后,水质连续3个月稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V类标准,水质和水体感官指标均有明显改善。

## 5 结语

一些受潮汐影响的半封闭水体,其水动力条件一般较差,水流普遍呈往复运动,滞留时间长,容易富营养化,影响水质和感官效果。东坡湖的实践表明,结合具体项目的特点,针对性地采取活水措施,减少水体滞留时间,消除藻类大量繁殖的水文条件,防止水体富营养化,可以进一步改善水质和感官指标。另外,针对一些水动力差且分布不均的水体,在通过活水泵站实现外循环活水的同时,还可以在水动力差的区域增设活水泵站出水点,实现水体内部循环,促进水体内部流动,更好地改善水动力条件。

## 参考文献:

- [1] Straškraba M, Dostálková I, Hejzlar J, *et al.* The effects of reservoir on phosphorus concentration [J]. Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 1995, 80(3): 403–413.
- [2] Kawara O, Yura E, Fujii S, *et al.* A study on the role of hydraulic retention time in eutrophication of the Asahi River Dam reservoir [J]. Water Sci Technol, 1998, 37(2): 245–252.
- [3] Jones I D, Elliott J A. Modelling the effects of changing

retention time on abundance and composition of phytoplankton species in a small lake [J]. Freshwater Biology, 2007, 52(6): 988–997.

- [4] 胡和平,文坛花,郝永怀,等. 受潮汐影响的断头河道活水工程的设计与运行[J]. 中国给水排水, 2019, 35(2): 49–52.

Hu Heping, Wen Tanhua, Hao Yonghuai, *et al.* Design and operation of water flowing project of the truncated river with tidal influence [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(2): 49–52 (in Chinese).



作者简介:胡和平(1979—),男,江西宜春人,硕士,高级工程师,主要从事水环境保护与水污染防治工作。

E-mail: hhp023@163.com

收稿日期:2019-02-18

节水优先、空间均衡、  
系统治理、两手发力