

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.16.019

基于闸、泵联合调度的半封闭水体活水工程

肖许沐^{1,2}, 陈德业^{1,2}, 胡和平^{1,2}, 游胜^{1,2}

(1. 中水珠江规划勘测设计有限公司, 广东 广州 510610; 2. 水利部珠江水利委员会水生
态工程中心, 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,有利于藻类繁殖,富营养化特征明显。为了改善东坡湖的水动力条件,采取了进出口改造、设置活水泵站和节制闸等活水工程措施。通过闸、泵联合调度,水体活水时间由22.3 d减少到13.2 d。活水工程实施后,综合营养状态指数为48~66,呈现逐渐下降的趋势,处于中营养~中度富营养化状态,但现状已实施的活水工程不足以彻底解决东坡湖的富营养化问题,亟需实施其余规划工程。

关键词: 半封闭水体; 闸; 泵站; 联合调度; 活水工程

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)16-0113-04

Semi-closed Water Flowing Project Based on Joint Scheduling of Sluice & Pumping Station

XIAO Xu-mu^{1,2}, CHEN De-ye^{1,2}, HU He-ping^{1,2}, YOU Sheng^{1,2}

(1. China Water Resources Pearl River Planning Surveying & Designing Co. Ltd., Guangzhou 510610, China; 2. Aquatic Ecological Engineering Center, Pearl River Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources, 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-term retention time, which create favorable hydrological conditions for algae bloom and lead to eutrophication. In order to improve the hydrodynamic conditions of Dongpo Lake, water flowing engineering measures such as culvert reconstruction, setting pumping station and sluice were adopted. Through the joint scheduling of sluice & pumping station, the retention time of water was reduced from 22.3 days to 13.2 days. After the implementation of the water flowing project, the trophic level index (TLI) is 48~66 in a state of mesotropher to middle eutropher, showing a gradual decline. Since the current water flowing projects that have been implemented are not enough to completely solve the eutropher problem of Dongpo Lake, the other planning projects are urgently needed.

Key words: semi-closed water; sluice; pumping station; joint scheduling; water flowing project

1 水体概况

东坡湖、丘海湖是海南大学海甸岛(见图1)校

区内的2座人工湖,北边是海甸沟,南边是海甸溪,东边是鸭尾溪和白沙河。东坡湖、丘海湖现状通过

基金项目: 中水珠江规划勘测设计有限公司研究项目(201903)

通信作者: 胡和平 E-mail: hhp023@163.com

连通渠与南边的海甸溪自然连通,受潮汐影响,湖内水位呈周期性变化。涨潮时,海甸溪水(地表Ⅲ~Ⅴ类水)经连通渠流入东坡湖和丘海湖;退潮时,东坡湖和丘海湖湖水经连通渠流入海甸溪。东坡湖水面面积约102 500 m²,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 m³,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。丘海湖水面面积约90 000 m²,常水位约1.20 m,平均水深约0.55 m,湖容量约49 500 m³,东北侧与断头河道木榄溪连在一起。

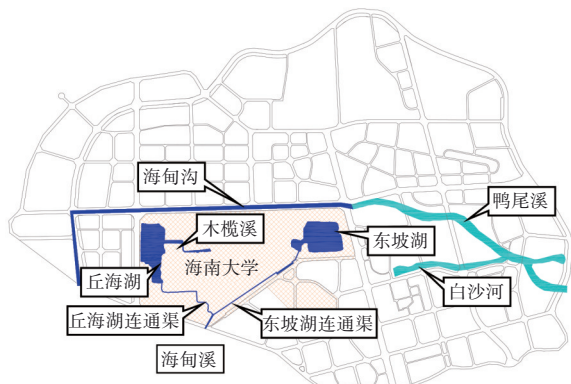


图1 海甸岛内自然水系

Fig.1 Natural water system of Haidian Island

2 工程实施的必要性

2.1 存在的问题

根据现场调研及相关资料可知,东坡湖和丘海湖主要的污染源为周边城中村排放的生活污水、海南大学校内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。在详细的雨污水管网排查的基础上,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,水质得到了较大改善。由于水面面积较大,现状仅通过连通渠与海甸溪连通在一起,导致湖水随潮汐涨落而往复运动,水动力条件差,水体滞留时间长,易富营养化。

2.2 水动力现状

① 活水通道现状

东坡湖-海甸溪连通渠长约1.1 km,明暗交接,自上而下由4段组成,分别为暗渠段1、明渠段1、暗渠段2和明渠段2,最不利过水点为暗渠段1和明渠段1转换位置,过水断面宽×高为0.8 m×0.9 m,底高程约0.7 m。丘海湖-海甸溪连通渠长约0.8 km,全部为明渠,宽约3.0~14 m,渠底高程0~0.81 m,入丘

海湖位置有简易木闸门,宽约1.5 m。

② 纳潮能力现状

国家海洋部门每年都会根据地球、月亮的运行轨道对国内主要港口的逐时潮高进行预测,编写潮汐表供相关行业参考使用。2018年6月,考虑到本项目与最近的秀英港有一定距离(约5 km),潮水口门进入内河涌过程中,水波会坦化,故组织技术力量结合区域潮汐预测资料,对东坡湖、丘海湖的现状纳潮能力(潮高、纳潮量)进行了1周的补充观测,验证本项目区域潮汐涨落过程。根据潮汐预测资料和补充观测资料分析,东坡湖连通渠年均纳潮能力约0.13 m³/s,纳潮时间约6 h,纳潮量约2 808 m³/d;丘海湖连通渠年均纳潮能力约0.34 m³/s,纳潮时间约4.6 h,纳潮量约5 664 m³/d。

③ 换水周期

水体换水周期按下式计算:

$$T = \frac{W}{3600 \times (24 \times Q_1 + Q_2 \times t)} \quad (1)$$

式中: T 为换水周期,d; W 为水体蓄水量,m³; Q_1 为降雨径流量,m³/s; Q_2 为纳潮量,m³/s; t 为纳潮时间,h。

东坡湖汇水面积为0.47 km²,径流量为0.01 m³/s,潮汐活水量为0.13 m³/s(纳潮时间为6 h),现状换水周期约22.3 d(年均值,下同)。丘海湖汇水面积为0.38 km²,径流为0.008 m³/s,潮汐活水量为0.34 m³/s(纳潮时间为4.6 h),现状换水周期约7.8 d。

2.3 活水必要性

环境因子是诱导“水华”发生的重要因素,如营养盐、气温、水文条件等。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,其在水力滞留时间短的水体中会失去竞争优势。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。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。

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,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22.3 d,易暴发水华。水体颜色呈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。

3 活水方案及预期效果

3.1 活水方案

为了改善东坡湖、丘海湖、木榄溪水动力条件差和水动力分布不均的问题,防止水体富营养化,规划实施如下工程措施:①将东坡湖连通渠的明渠与暗渠接驳点进出水口过水断面尺寸由 0.8 m×0.9 m 增至 1.5 m×0.9 m,东坡湖的纳潮量由 2 808 m³/d 增至约 5 265 m³/d。②将东坡湖进口(宽×高=1.6 m×1.6 m)位置的木闸门改造为电动闸门。③将丘海湖连通渠末端木闸门处的过水断面尺寸由 1.5 m 增至 2.5 m,并将木闸门改造为电动闸门,丘海湖的纳潮量由 5 664 m³/d 增至约 9 440 m³/d。④结合海南大学美丽校园建设需求,将木榄溪往东延伸,接入东坡湖,为东坡湖-丘海湖联合调度活水创造条件。⑤在东坡湖设置活水泵站,设计规模为 15 000 m³/d (按东坡湖、丘海湖增大纳潮量确定),将东坡湖和丘海湖纳潮新水提升后排入北侧的海甸沟,将水流方向由双向流调整为单向流,解决水体水动力不足和水动力分布不均的问题。活水方案平面布置见图 2。

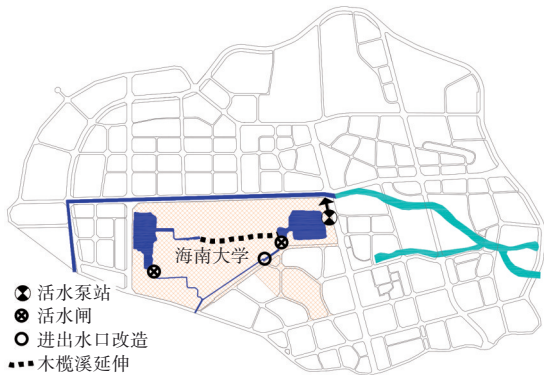


图2 活水方案示意

Fig.2 Diagrammatic sketch of water flowing project

3.2 调度规则

涨潮期间,利用东坡湖连通渠和丘海湖连通渠,将海甸溪河水引入东坡湖和丘海湖,至最高潮时,关闭东坡湖活水泵站和丘海湖活水泵站,防止已进入东坡湖和丘海湖的新水退回海甸溪,改由活水泵站提升后排入北侧海甸沟,丘海湖的新水经木榄溪流入东坡湖,缓解东坡湖水动力条件较差的问题。当水位低于 1.05 m 时,活水泵站停止运行,维持东坡湖和丘海湖的景观水位。

活水调度规则示意图见图 3。

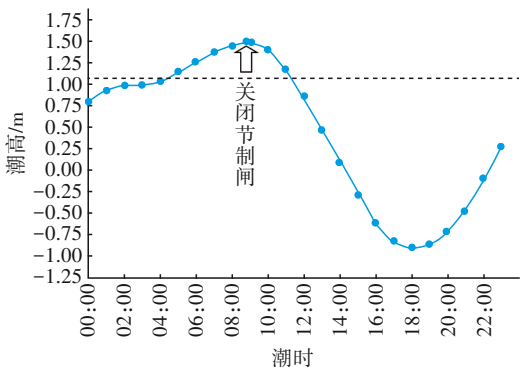


图3 活水调度规则

Fig.3 Scheduling rule of water flowing project

3.3 预期效果

本项目利用丘海湖较好的水动力条件,通过联合调度,改善东坡湖、丘海湖(北侧)和木榄溪水动力较差的问题。项目实施的预期效果见表 1。

表 1 东坡湖、丘海湖预期活水效果

Tab.1 Expected water flowing effect in Dongpo Lake and Qiuha Lake

水体	阶段	库容/ m ³	径流 活水/ (m ³ ·d ⁻¹)	潮汐 活水/ (m ³ ·d ⁻¹)	调度 活水/ (m ³ ·d ⁻¹)	换水 周期/ d
东坡湖	现状	82 000	864	2 808	0	22.3
	活水后(两湖 连通前)	82 000	864	5 265	0	13.4
	活水后(两湖 连通后)	82 000	864	5 265	9 440	5.3
丘海湖	现状	49 500	691	5 664	0	7.8
	活水后	49 500	691	9 440	0	4.9

4 实施效果

由于各种原因,活水方案规划只实施了东坡湖周边的①、②和⑤三项工程措施,丘海湖节制闸和木榄溪延伸工程尚未实施,现阶段不能实施东坡湖-丘海湖联合调度活水,只能依靠东坡湖活水泵站和活水泵站联合调度活水。

2018 年 10 月,上述三项活水工程实施完毕并投入使用,对活水工程的富营养化和水动力改善效果进行了观测。

① 富营养化改善效果

项目刚投运时,气温较低,藻类繁殖速度较慢,水体颜色较浅,富营养化改善效果较好^[1]。2019 年一季度—2021 年一季度,继续对活水工程的实施效果进行观测,发现东坡湖水体感官效果虽较活水前有较大幅度的改善,但水体依然泛绿。根据水质监

测数据,采用综合营养状态指数(TLI)法对东坡湖富营养状况进行评价,结果表明其综合营养状态指数为48~66,呈现逐渐下降的趋势,处于中营养~中度富营养化状态。

② 水动力改善效果

活水泵站运行期间(2019年6月13日—7月15日)最大活水量为9 661 m³/d,最小活水量为0,平均活水量为5 331 m³/d,预测值为5 265 m³/d,实测值和预测值基本一致,见表2。

表2 实测活水量

Tab.2 Measured volume of water flowing

项 目	活水量/(m ³ ·d ⁻¹)	低潮位/cm	高潮位/cm
2019-06-13	5 467	103	175
2019-06-14	3 484	128	176
2019-06-15	4 896	83	196
2019-06-16	4 919	54	215
2019-06-17	3 429	33	229
2019-06-18	7 443	22	237
2019-06-19	8 689	20	239
2019-06-20	5 131	25	237
2019-06-21	7 353	33	230
2019-06-22	9 224	43	222
2019-06-23	8 959	53	212
2019-06-24	4 525	63	208
2019-06-25	5 824	75	199
2019-06-26	6 053	89	185
2019-06-27	0	104	168
2019-06-28	0	116	169
2019-06-29	193	106	182
2019-06-30	1 665	79	197
2019-07-01	4 597	54	214
2019-07-02	4 842	32	229
2019-07-03	1 671	17	242
2019-07-04	5 228	7	249
2019-07-05	8 955	4	250
2019-07-06	8 909	4	250
2019-07-07	9 661	17	236
2019-07-08	8 237	34	222
2019-07-09	7 905	58	220
2019-07-10	7 005	85	202
2019-07-11	6 469	114	179
2019-07-12	3 891	88	184
2019-07-13	5 452	88	204
2019-07-14	4 171	64	219
2019-07-15	1 690	45	230
平均值	5 331	59	212

注: 2019年6月27日和28日潮差低,未活水。

已建活水工程实施后,东坡湖实际换水周期由开始的22.3 d减少为13.2 d,水动力条件有了一定改善。由于规划的活水方案仅实施了部分内容,尚不足以彻底解决东坡湖的富营养化问题,亟需实施其他规划措施。

③ 后续实施效果预判

后续丘海湖节制闸和木榄溪延伸工程建设完毕后,通过闸、泵联合调度,同时对东坡湖-丘海湖进行活水,彼时东坡湖换水周期将由现状的13.2 d减少为5.3 d,水动力和富营养化状态将进一步得到改善,最终实现工程规划水质改善目标。

5 结语

某些水动力条件差的半封闭水体或断头河道实施活水工程后,可以改善水体的水动力状况,缓解富营养化现象,改善水质和感官指标。但是,不同地区的类似水体,类似地区的不同水体,类似的活水工程,可能取得不同的实施效果;同一活水工程,在不同的季节,也可能取得不同的实施效果。另外,对于长宽比较小的大面积水体,在加大外循环活水的同时,兼顾考虑内循环,改善水体内部流动性,减少死水区,也是值得尝试的活水措施。对活水工程实施后的实际水动力条件和富营养化改善效果进行观测与记录,有助于对水体富营养化的研究,也有利于相关活水工程设计参考使用。

参考文献:

- [1] 胡和平,蒋任飞,文坛花,等. 受潮汐影响的半封闭水体活水工程设计与运行[J]. 中国给水排水,2019,35(16):103-106.
HU Heping, JIANG Renfei, WEN Tanhua, et al. Design and operation of semi-closed water flowing project with tidal influence[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(16):103-106(in Chinese).

作者简介:肖许沐(1981-),男,福建宁德人,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:2021-03-20

修回日期:2021-12-03

(编辑:衣春敏)