

星湖水动力条件及水质模型的研究

I. 水动力条件与水环境质量调查*

李耀初 李适宇 周劲风[†] 贾艳双 杨广杏 谢镜明

(中山大学环境科学研究所 [†]中山大学环境科学系 广州 510275)

提要 对广东省肇庆市星湖水位、水量平衡、入湖污染源和水质现状进行了近 2 年的实测调查,并结合历史资料,分析了星湖水动力特征、水质现状特征和水质变化趋势。结果表明:星湖水源补给主要是北岭山汇集的雨水和湖面降雨;湖水位主要受人工调节及降雨的影响,常年变幅不大;湖泊交换系数为 1.17;生活污水是主要的污染源,主要的水环境问题是有机污染和富营养化;最近几年来,总体水质状况变化不大。针对以上特点,提出了几条治理建议。

关键词 水量平衡,污染源,水环境质量,肇庆星湖

中图分类号 X524

广东肇庆星湖是国家级的重点风景名胜区。近年来,由于经济的发展和观光旅游业的兴起,在景区内及附近区域开业的旅馆和餐厅日益增多,其排出的部分污水未经充分处理就排入湖内,对星湖水质造成了严重的污染。为了保护这颗南粤明珠,广东省已把星湖风景名胜区的综合整治列入全省“九五”重大环保工程计划;广东省高教厅于 1996 年立项对星湖水污染进行全面调查研究。本文研究了星湖水位与降雨量的关系,运用水量平衡原理研究星湖水动力条件,根据现状与近几年来水质监测资料全面研究水质变化规律,并结合研究成果提出了治理对策;为星湖合理开发利用和保护,为控制、调节旅游发展与湖泊水环境的关系提供依据。

1 湖泊概况

肇庆星湖地处广东省肇庆市北郊的七星岩风景名胜区内,由中心湖、仙女湖、波海湖、青莲湖和里湖等 5 个人工调节水位的封闭型子湖组成(刘明安,1989)。湖水主要来源为北岭山汇集的降雨和湖面降雨,雨季湖水位较高时由闸门排水入西江,旱季则蓄水保持水位;湖泊的常年水位为 5m,最高水位为 6m,低水位为 3.6m 以下。各子湖的主要形态参数见表 1,相对位置见图 1。

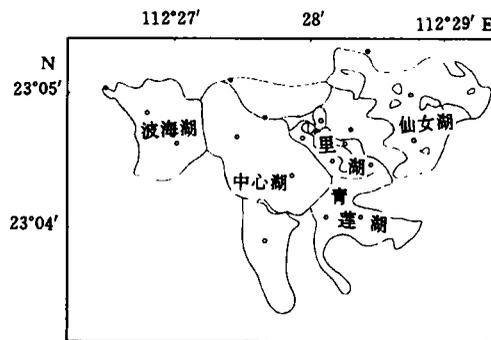


图 1 星湖位置及调查测点分布图

Fig. 1 Location of Xinghu Lake and investigation stations

○ 水质采样点; ● 污染源采样点

* 广东省高校重点学科重点科研项目资助。李耀初,男,出生于 1965 年 9 月,讲师,E-mail:eeslyc@zsu.edu.cn

收稿日期:1998-07-05,收修改稿日期:1998-12-09

表1 各子湖形态参数

Tab.1 Form parameters of the small sub-Lake

名称	面积 ¹⁾ (km ²)	设计最大 深度(m)	最大深度 水量(10 ⁴ m ³)	设计最小 深度(m)	最小深度 水量(10 ⁴ m ³)	实测深度 (m)	实测深度 水量(10 ⁴ m ³)
仙女湖	1.42(1.48)	6	852	3	426	2.2	312.4
波海湖	1.28(1.33)	6	768	3	384	2.4	307.2
中心湖	2.12(2.20)	6	1272	3	636	2.6	551.2
青莲湖	1.16(1.21)	6	696	3	348	2.1	243.6
里湖	0.26(0.27)					1.3	33.8

1) 括号内数据为设计面积

2 水动力条件调查分析

2.1 湖泊水系

北岭山 32.5km² 范围内汇集的雨水由两条排洪渠分别排进波海湖和仙女湖湖泊。波海湖、中心湖、青莲湖和仙女湖是相互连通的,水可以自由流动;里湖自成一体,水位较低,水量由湖面降雨和中心湖补给。星湖的排水有三条途径:(1)由青莲湖的闸门排入西江;(2)由仙女湖的闸门排入农田;(3)由里湖的暗渠将受污染的水排入西江。

星湖水量补给、支出以及各湖泊间水流流向见图 2。

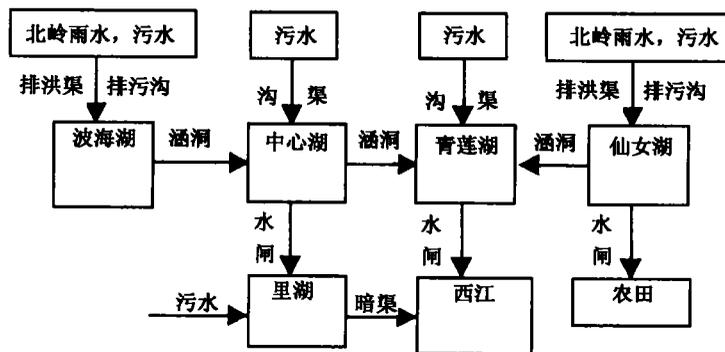


图2 星湖水系概化图

Fig.2 General water system of Xinghu Lake

2.2 湖泊水位

星湖 1986—1997 年的年均水位与年均降雨量变化见图 3, 年均水位变幅不大, 仅为多年平均水位的 16.3%; 年均水位与降雨量呈正相关, 经相关检验, 二者的相关系数为 0.9。星湖 1986—1997 年的月均水位与月降雨量变化见图 4, 月平均水位变幅也不大, 最高与最低相差 0.642m; 从降雨量来判断, 最低月均水位应是 12 月, 而不是 4 月, 这正是人工调节的结果。在雨季来临之前, 为了防洪的需要而预先把湖水排入西江, 故 4、5 月份水位较低; 到了 7、8 月份, 受降雨及西江水位顶托的影响, 湖泊水位上涨; 之后, 由于降雨减少, 湖泊水位又缓缓回落。

2.3 水量平衡

根据水量平衡原理, 利用有关资料推算出的星湖总体及各子湖的年均水量平衡情况见表 2。从表 2 可见, 星湖水体交换能力不强, 年交换系数仅为 1.17。

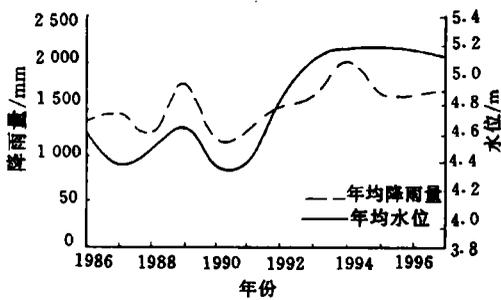


图3 星湖年均降雨量与年均湖泊水位
Fig.3 Annually-averaged rainfall and water levels of the Xinghu Lake

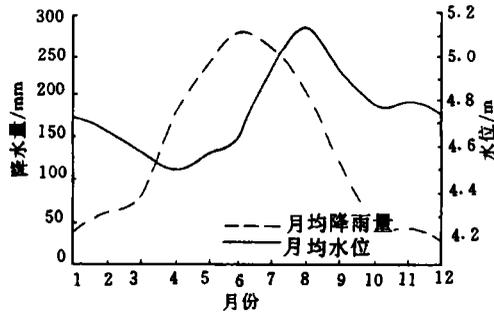


图4 星湖月均降雨量与月均湖泊水位
Fig.4 Averaged monthly rainfall and water level of the Xinghu Lake

表2 星湖水量平衡表

Tab.2 Water balance of Xinghu Lake

湖泊	基本参数			水量收入(m ³ /a)				支出(m ³ /a)				交换系数 (年出湖流量/体积)
	面积 (km ²)	平均深 度(m)	体积 (m ³)	污水	湖面 降雨	入湖 径流	合计	蒸发	灌溉	出湖 径流	合计	
仙女湖	1.42	2.2	3124000	160700	2450288	8286278 ¹⁾	10897266	2233172	300000	8364094 ²⁾	10897266	2.77
波海湖	1.28	2.4	3072000	343400	2201948	6779682 ¹⁾	9325030	2006837		7318193 ²⁾	9325030	2.38
中心湖	2.12	2.6	5512000	216000	3642320	7318193 ²⁾	11176513	3319580		7856933 ²⁾	11176513	1.43
青莲湖	1.16	2.1	2436000	52100	2003276	15545027 ²⁾	17599503	1825769		15773734 ³⁾	17599503	6.48
里湖	0.26	1.3	338000	150400	447012	676000 ²⁾	1273412	407403	300000	866009 ³⁾	1273412	2.56
星湖	6.24	2.32	14482000	921700	10744844	15065960 ¹⁾	26732504	9792761		16639743 ³⁾	26732504	1.17

1) 降雨径流; 2) 各湖之间的交换水量; 3) 流入西江的水量

3 污染源调查

1996—1997年对入湖的6个主要点污染源进行6次(即1996年4月、7月、11月, 1997年1月、5月、8月)水质和水量监测调查,布点见图1。表3即为根据监测数据推算出点源污染物输入量及据有关资料计算北岭降雨径流面源污染物输入量。

表3 星湖纳污统计

Tab.3 Statistics of the quantity of pollutants entering Xinghu Lake

来源	污水量 (10 ⁴ m ³ /a)	BOD ₅		NH ₄ ⁺ - N		TP	
		(t/a)	(%)	(t/a)	(%)	(t/a)	(%)
点源	92.17	86.82	72.3	28.94	82.2	14.47	87.4
面源	1506.596	33.25	27.7	6.26	17.8	2.09	12.6
合计	1598.766	120.07	100	35.2	100	16.56	100

4 水质调查评价

1996—1997年对星湖进行6次(与污染源同步)水质监测调查,共布设了15个点(图1),水质监测统计结果见表4;收集了1989—1995年的水质监测资料,见表5。1989—1995年,仙女湖和中心湖水水质较好且历年变化不大,里湖1989—1992年水质明显差于前二者;从1993年开始,里湖水水质明显好转,1993年COD_{Mn}、NH₄⁺ - N浓度仅为

1992 年的 50%；受此影响，星湖部分水质指标呈回落的趋势。用地面水 II 类标准评价可知，各子湖石油类超标，历年平均超标倍数为 3—4 倍；里湖 COD_{Mn} 超标，历年平均超标倍数为 2—18 倍；星湖历年来水质问题主要是有机污染和石油类污染(表 5)。

表 4 星湖水质现状监测主要项目统计结果(1996—1997 年 6 次)

Tab. 4 Monitored data showing the present status of the major water quality parameters of Xinghu Lake (1996—1997, 6 times)

湖泊	浓度 ¹⁾	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_2^- - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	TN	TP	DO	COD_{Mn}	BOD_5	Chl _a	石油类
仙女湖	范围	0.043—	Y ²⁾ —	0.016—	0.505—	0.038—	7.26—	0.8—3.2	0.81—	0.87—	Y—0.29
		0.942	0.002	0.233	0.693	0.134	9.37		1.97	11.62	
	均值	0.230	0.001	0.099	0.591	0.072	8.25	2.04	1.34	5.25	0.14
里湖	范围	0.008—	Y—	0.001—	0.420—	0.021—	4.93—	0.7—6.3	0.52—	0.47—	Y—0.34
		0.890	0.012	0.600	0.790	0.153	9.27		2.24	10.17	
	均值	0.150	0.004	0.200	0.570	0.058	6.65	3.72	1.17	3.15	0.16
中心湖	范围	0.006—	Y—	Y—	0.216—	0.013—	6.22—	1.5—6.7	0.13—	0.08—	Y—0.37
		1.385	0.004	0.446	1.147	0.116	10.18		1.50	8.20	
	均值	0.300	0.002	0.100	0.561	0.039	7.80	4.04	1.05	3.03	0.15
波海湖	范围	0.027—	0.003—	0.212—	0.420—	0.044—	5.70—	3.1—7.9	1.51—	0.82—	Y—0.49
		0.515	0.028	1.375	1.408	0.142	11.49		4.54	25.45	
	均值	0.300	0.014	0.711	0.824	0.093	8.58	5.32	2.59	11.63	0.23
青莲湖	范围	0.006—	Y—	Y—	0.500—	0.003—	6.74—	1.3—5.0	0.46—	0.75—	Y—0.32
		0.405	0.003	0.496	1.280	0.145	9.58		1.68	10.86	
	均值	0.130	0.002	0.104	0.661	0.060	8.03	2.96	0.94	4.17	0.17

1) Chl. a 浓度单位为 $\mu\text{g/L}$ ，其余项目浓度单位均为 mg/L ；2) Y 为未检出

表 5 星湖历年主要水质项目监测统计(mg/L)

Tab. 5 Monitored data of the major water quality parameters of Xinghu Lake over the past years(mg/L)

湖泊	年份	DO	COD_{Mn}	BOD_5	$\text{NH}_3 - \text{N}$	$\text{NO}_2^- \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	石油
星湖	1989	6.6	27.6	2.0	0.08	0.002	0.19	0.31
	1990	7.1	7.1	2.2	0.15	0.002	0.19	0.12
	1991	7.5	11.0	2.5	0.22	0.003	0.22	0.32
	1992	7.9	11.6	1.4	0.22	0.003	0.16	0.15
	1993	7.6	6.1	1.8	0.13	0.002	0.09	0.22
	1995	6.8	3.5	1.0	—	—	—	0.19
仙女湖	1989	6.3	2.8	0.69	0.06	0.002	0.14	0.33
	1990	7.4	3.1	0.57	0.12	0.002	0.11	0.12
	1991	7.9	5.2	0.83	0.12	0.003	0.20	0.27
	1992	8.5	4.2	0.5	0.07	0.002	0.07	0.09
	1993	8.3	3.0	0.43	0.06	0.003	0.01	0.12
中心湖	1989	7.1	2.9	0.81	0.07	0.002	0.21	0.28
	1990	6.6	3.8	0.94	0.15	0.002	0.11	0.07
	1991	6.9	5.6	1.32	0.15	0.004	0.22	0.37
	1992	6.5	3.7	0.65	0.08	0.003	0.26	0.13
	1993	6.3	3.4	0.7	0.09	0.002	0.09	0.11
里湖	1989	6.4	77	4.6	0.1	0.002	0.22	0.31
	1990	7.4	14.5	5.0	0.18	0.002	0.34	0.16
	1991	7.7	22.3	5.2	0.39	0.003	0.24	0.32
	1992	8.6	26.9	3.0	0.52	0.004	0.15	0.23
	1993	8.3	12.0	4.3	0.25	0.001	0.09	0.43

用浓度指数法和富营养化指标法分别对 1996—1997 年 6 次水质现状调查结果的平均值进行评价。各水质指标的浓度指数值见表 6,星湖的石油类超标 2.4 倍,总磷(TP)超标 1.58 倍,部分子湖 COD_{Mn} 超标,其余指标均符合地面水 II 类标准;各子湖主要指标平均浓度指数从高到低排序为:波海湖、里湖、青莲湖、仙女湖、中心湖。经过几年的治理,里湖水质有所改善,波海湖跃居为污染最严重的子湖。

当湖中 TN/TP>9 时,认为 P 是限制性因素(金相灿等,1990)。根据星湖水质现状资料,计算出各子湖的 TN/TP 为 10.53,故 P 是星湖富营养化的限制因素。参考 OECD 提出的湖泊富营养化分级标准,结合星湖水质污染的特点,制定了星湖的富营养化评价标准(表 7),运用该标准对星湖进行评价可知:富营养化程度最高的子湖是波海湖,属富营养型,其次是仙女湖、青莲湖和里湖,属中-富营养型;中心湖富营养化程度较轻,属中营养型(表 8),这与浓度指数法的评价结果相吻合。

表 6 1996—1997 年星湖水质现状浓度指数值

Tab.6 Concentration index of water quality for Xinghu Lake during 1996—1997

水质指标	NH ₃ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	TP	DO	BOD ₅	COD _{Mn}	石油类	平均值
仙女湖	0.23	0.01	0.01	2.88	0.25	0.45	0.51	2.8	0.89
里湖	0.15	0.04	0.02	2.32	0.78	0.39	0.93	3.2	0.97
中心湖	0.30	0.02	0.01	1.56	0.40	0.35	1.01	3.0	0.83
波海湖	0.30	0.14	0.07	3.72	0.15	0.86	1.33	4.6	1.40
青莲湖	0.13	0.02	0.01	2.40	0.32	0.31	0.74	3.4	0.92
星湖	0.22	0.05	0.02	2.58	0.38	0.47	0.90	3.4	1.00
GB3838-88 II 类	≤1 ¹⁾	≤0.1	≤10	≤0.025	≥6	≤3	≤4	≤0.05	

1) 《环境质量报告书编写技术规定》推荐值

表 7 星湖富营养化评价标准

Tab.7 Criteria for assessing the eutrophication of Xinghu Lake

指 标	贫营养型	中营养型	中-富营养型	富营养型
TP(10 ⁻³ mg/L)	<10	10—50	50—80	80—100
Chl. a(μg/L)	<2.5	2.5—5	5—12	12—25

表 8 各子湖富营养化评价结果

Tab.8 Result of eutrophication assessment for the small sub-Lake

湖泊名称	仙女湖	波海湖	中心湖	青莲湖	里湖
TP(10 ⁻³ mg/L)	0.066	0.094	0.048	0.053	0.053
Chl. a(μg/L)	4.17	12.94	3.77	3.77	4.33
富营养等级	中-富营养型	富营养型	中营养型	中-富营养型	中-富营养型

综上所述,可以得出如下结论:星湖水质问题主要是有机污染和富营养化,P 是星湖富营养化限制性因素,生活污水是星湖水质污染的主要来源。

5 治理对策研究

5.1 健全湖泊管理机构,制定保护管理条例,重点解决有机污染

星湖风景名胜管理局应增设专门的湖泊环境管理机构,制定湖泊保护条例,对湖区内新建和现有排污单位提出相应的规定和限制。引进和开发宾馆、饮食业污水处理技术,重点解决动植物油、有机污染物的处理技术和除磷脱氮技术。把现有的燃油游船更换为电

瓶游船。

5.2 治理入湖污染源

拟结合“广东碧水工程”的实施,湖区污染源分北、中、南三片治理。即北片沿过境公路修建截污渠,将过境公路沿线(包括石牌村)的污染源引到东岗附近接入城市污水处理厂管道;中片自波海楼经松涛宾馆、星岩宾馆、玉屏酒家过聚星桥铺设截污管将沿线的污染源集中,再接入现在的象岗截污管于象岗东面附近接入城市污水处理厂管道;南片沿青莲湖自星湖管理局经青莲村铺设截污管,将沿线的污染源引到广东仪表厂附近接入城市污水处理厂管道。今后条件成熟时应建立湖区污水处理厂,将现有污染源和以后新增污染源全部集中处理,将景区四周村舍生活污水统一引至排污渠,纳入污水处理厂处理。

5.3 建立以湖泊生物调控为目标的湖泊生态系统

在波海湖底质较好的浅水区开展全面恢复水生植被的研究试点(李文朝,1994、1997)。先种植凤眼莲、水花生等浮水植物,待水体透明度增加后,引种竹叶眼子和密齿苦草等先锋沉水植物,随后跟进菱、菰和浮萍等;以形成新的植物群落,改善水质;定期人工收获水生植物,综合利用于沼气、农家肥和鱼饲料,控制水生植物的生长,充分利用水生植物来去除磷、氮。为保护其它子湖的水生植被,应调整投放的鱼种结构。禁止投放草食性鱼类(如草鱼等),增加投放凶猛的肉食性鱼类(如鲈鱼等),加强对现有鲢、鳊、鲤、鲫的捕捞。福寿螺是水生植物的破坏者,需放养食螺鱼类,并定期人工清除其附着于湖岸边及树干上的红色卵块。

6 结语

星湖是由5个人工调节水位的封闭型子湖组成的旅游湖泊,水源补给主要是北岭山汇流和湖面降雨,水体交换能力不强,年交换系数仅为1.17。星湖年均水位与降雨量呈正相关、变幅不大。星湖水质问题主要是有机污染和富营养化,各子湖石油类超标,P是星湖富营养化限制性因素,生活污水是星湖水质污染的主要来源。经过近几年的治理,里湖水质有所改善,波海湖因纳污量较大而成为污染最严重的子湖。为合理开发利用和保护星湖、调节旅游发展与湖泊水环境的关系,必须健全湖泊管理机构、制定保护管理条例、重点解决有机污染、切实治理入湖污染源、建立以湖泊生物调控为目标的湖泊生态系统。

参 考 文 献

- 刘明安主编,1989.七星岩志,广州:广东省地图出版社,7,42
李文朝,1994.五里湖营养状况及治理对策探讨.湖泊科学,6(2):136—143
李文朝,1997.浅水湖泊富营养化防治中的生物调控.见:陈晓峰等主编.生态环境研究与可持续发展.北京:中国环境科学出版社,154—160
金相灿,刘鸿亮,屠清瑛等,1990.中国湖泊富营养化.北京:中国环境科学出版社,17

RESEARCH OF HYDROLOGICAL CONDITION AND WATER QUALITY MODEL OF XINGHU LAKE

I . INVESTIGATION OF HYDROLOGICAL CONDITION AND WATER QUALITY

LI Yao-Chu, LI Shi-Yu, ZHOU Jing-Feng[†], JIA Yan-Shuang, YANG Guang-Xing, XIE Jing-Ming

(*Institute of Environmental Science of Zhongshan University, Guangzhou, 510275*)

[†](*Department of Environmental Science of Zhongshan University, Guangzhou, 510275*)

Abstract 2 years of on-spot investigations were undertaken into the water level, the water cycle, sources of pollution and water quality of Xinghu Lake, located in the city of Zhaoqing, Guangdong Province. The characteristics of hydrological condition, water quality and its changing tendency were analyzed. The results show that the supply of Xinghu Lake consisted mostly of runoff from the mountain of Beiling and the rainfall on the surface of the Lake; the water level varied in a small range, affected by the artificial regulation and the precipitation; the water exchanging rate was 1.17, which reflected the poor condition for the diffusion of pollutants; domestic sewage was the main source of pollution; and the water problems include were organic pollution and eutrophication. Some countermeasures were provided: an improvement of the Lake management, stressing the control of organic pollution, and re-building of the Lake ecosystem aimed at pollution control.

Key words Water balance, Source of pollution, Water quality, Xinghu Lake in Zhaoqing City