

独墅湖枯水期水动力与水质状况分析*

Analysis on Hydrodynamics and Water Quality Statuses of Dushuhu Lake in Dry Season

舒颢俊¹, 侯 棚², 朱文谨³, 秦 毅⁴

SHU Xie-jun¹, HOU Peng², ZHU Wen-jin³, QIN Yi⁴

(1. 国家海洋局南海海洋工程勘察与环境研究院, 广东广州 510300; 2. 珠江水利科学研究院, 广东广州 510611; 3. 淮海工学院, 江苏连云港 222005; 4. 如皋港区管理委员会, 江苏南通 226532)

(1. South China Sea Marine Engineering and Environment Institute, SOA, Guangzhou, Guangdong, 510300, China; 2. Pearl River Hydraulic Research Institute, Guangzhou, Guangdong, 510611, China; 3. College of Civil Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang, Jiangsu, 222005, China; 4. Administratlve Committee of Rugao Harbour District, Nantong, Jiangsu, 226532, China)

摘要:【目的】研究分析独墅湖的水动力和水质状况。【方法】采用现场调查的方法,对独墅湖枯水期多个测点的水动力和水质状况进行取样分析。【结果】独墅湖水面坡降、水流流速和进出湖流量都非常小,不利于污染物随水流排出。水质方面总磷(TP)、总氮(TN)和化学需氧量(COD_{Mn})等因子含量高的水域溶解氧(DO)含量低而叶绿素 a 含量高,反之亦然。【结论】受周围河网影响,独墅湖水体中 TP 和 TN 含量非常高,已属于富营养化,需要对进出湖污染物和过度养殖的影响进一步研究,为采取相关措施改善独墅湖水质提供参考。

关键词:独墅湖 水动力 水质状况 污染物分布 富营养化

中图分类号:X832 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2014)03-0156-05

Abstract:【Objective】Investigation on hydrodynamics and water quality in the Dushuhu Lake. 【Methods】The research on hydrodynamics and water quality statuses of several monitoring spots in the Dushuhu Lake was studied. 【Results】Data show that water-surface gradient, flow velocity and flux of in- and out-lake are all very small, which is difficult for the pollutant discharge. In the aspect of water quality, low DO concentration and high chlorophyll-a concentration appears in the water area where the concentrations of TP, TN and COD_{Mn} are high, and vice versa. 【Conclusion】Affected by around rivers, the high concentrations of TP and TN in the Dushuhu Lake shows that it becomes a eutrophic lake. It is necessary that the effects of pollutant and over culturing are studied in order to provide reference for improving water quality of the Dushuhu Lake.

Key words: Dushuhu lake, hydrodynamics, water quality status, pollutant distribution, eutrophication

【研究意义】处于苏州市区的独墅湖属于城市天然小型湖泊,位于东经 120°42', 北纬 31°16'。独墅湖水面面积约 14.21km²,最长处达 5.9km,年平均气温 15.5℃,多年平均降水量 1100mm。根据《苏州市规划湖泊统计表》,独墅湖主要功能是调水蓄

收稿日期:2014-05-15

修回日期:2014-06-31

作者简介:舒颢俊(1983-),男,工程师,主要从事水文动力及环境研究。

* 国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金项目(1407)资助。

洪,水产养殖^[1],主要放养鲢鱼、鳙鱼、鲫鱼、鲤鱼等鱼类,每年产量可达1100t左右。近年来,随着苏州市经济的快速发展,苏州市的企业越来越多,但随之给湖泊带来的污染也越来越严重,独墅湖也不例外。对于独墅湖湖水污染程度和水环境容量进一步研究有重要意义,也有利于政府部门采取相关的控制措施,研究制定相应的保护规划,加强对独墅湖的保护,实现资源的永续利用。【前人研究进展】文献[2]研究表明,城镇的生活污水和工业污水造成湖水污染,影响了独墅湖的水质环境,容易导致生产的鱼类品种减少,质量下降。【本研究切入点】水动力因素对污染物质的扩散分布有重要影响。【拟解决的关键问题】研究分析独墅湖的水动力和水质状况。

1 独墅湖调查

为清楚地了解独墅湖水动力和水质状况,2005年12月中旬进行了一次为期两天的现场调查,水动力和水质同步监测,每天8:00和16:00各一次,其中水位监测是每天7:00~17:00逐时整点观测。每年的12月份属于独墅湖的枯水期,水位和蓄水量都是一年当中最低的时期。

1.1 基本水动力情况调查

水位测点一共有3个,分别是塘北桥、新华桥和高垫塘,流量测点分布在独墅湖主要进出口;流速采用5点垂线法测量,水深太浅时改用3点法,测点有金独间、小桥、独1#、大西江桥、大仓3#和独斜渔簰等6个;流速测点在流量测点的基础上多一个独墅湖中测点。

1.2 水质情况调查

水质测点一共设置了5个,分别是金独间、新华桥、小桥、独斜渔簰和独墅湖中,由于现场实测时独1#、大西江桥和大仓3#3个测点基本上没有流量,所以没有选为水质测点。水质监测指标为:水温、pH值、溶解氧(DO)、总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮(NH₃-N)、亚硝酸氮(NO₂-N)、硝酸氮(NO₃-N)、化学需氧量(COD_{Mn})、叶绿素a。

2 监测数据分析

2.1 水动力

如图1所示,横坐标时刻1~11代表第一天7:00~17:00的测量结果,横坐标时刻12~22代表第二天7:00~17:00的测量结果。塘北桥、新华桥和高垫塘3个水位测点的水位在2.775~2.798m(黄海基面)之间,3者之间相差非常小,同一时刻水

位的最大差值不超过1cm。第一天塘北桥和新华桥的水位比高垫塘高,第二天前二者的水位大多时刻比高垫塘高,只有个别时刻略低。而同一个测点在两天的实测中第一天的水位实测值比第二天的大,但差别也很小,最高水位与最低水位相差在2cm左右,从图1也可以看出3个水位测点的实测数据基本在同一直线上,第二天的水位值略小。独墅湖的入水口在东侧,出水口在湖的西侧,整体上水位基本呈东高西低的趋势,但数值十分接近,水面坡降非常小,因此水位差不是影响湖水流速的主要因素。

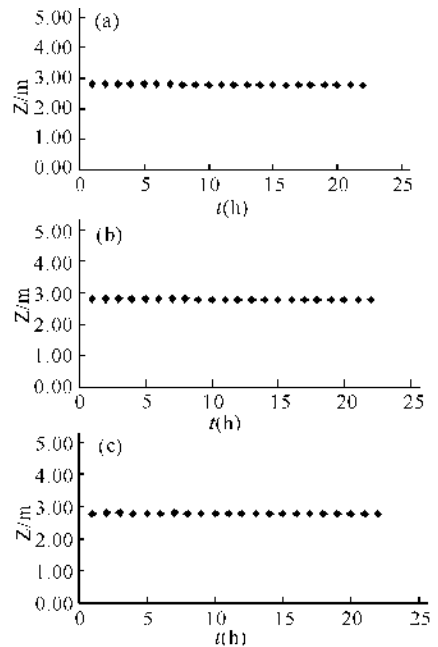


图1 水位监测结果

Fig. 1 Measured data of water level

a:塘北桥,b:新华桥,c:高垫塘

a: Tangbei bridge, b: Xinhua bridge, c: Gaodiantang.

由于独墅湖周围河网的一些河道上设有闸门,测量流速流量时独1#、大西江桥和大仓3#3个测点遇到闸门关闭的情况,造成在4次测量中独1#和大西江桥测点的流速流量实测值都为0,而大仓3#测点也只在测次2中得到流速流量的数据,但数值也非常小。从表1可以看出金独间、小桥和独斜渔簰3个测点的流量为0.78~2.08m³/s,其中小桥和独斜渔簰测点由于靠近独墅湖的出水口,流速在0.1m/s左右,而金独间和独墅湖中测点的流速相对于小桥和独斜渔簰而言比较小,只有前两个测点的1/5左右。造成这种现象的原因是金独间测点的流量与其他测点差别不大,但过水断面面积超过54m²,是所有测点中最大的;独墅湖中测点离入水口和出水口较远,加上每个入水口和出水口的流量

表1 各监测点的流量与垂向平均流速

Table 1 The flow and depth-averaged horizontal velocity

测次 Measurement times	金独间 Jindujian		小桥 Small bridge		独1# Du 1#		大西江桥 Daxijiang bridge		大仓3# Dacang 3#		独斜渔簰 Duxieyuduan		独墅湖中 Dushu lake	
	流量 Flow (m ³ /s)	流速 Speed (m/s)	流量 Flow (m ³ /s)	流速 Speed (m/s)	流量 Flow (m ³ /s)	流速 Speed (m/s)	流量 Flow (m ³ /s)	流速 Speed (m/s)	流量 Flow (m ³ /s)	流速 Speed (m/s)	流量 Flow (m ³ /s)	流速 Speed (m/s)	流量 Flow (m ³ /s)	流速 Speed (m/s)
1	1.94	0.035	1.18	0.12	0	0	0	0	0	0	1.51	0.084	—	0
2	1.78	0.033	1.62	0.17	0	0	0	0	0.09	0.005	1.58	0.088	—	0
3	1.58	0.029	0.78	0.081	0	0	0	0	0	0	1.83	0.1	—	0.025
4	2.08	0.038	1.06	0.11	0	0	0	0	0	0	1.64	0.092	—	0.024

都在2m³/s以内,进出湖流量对此测点的影响很弱,流速主要是受风应力作用引起的^[3]。

2.2 水质

表2监测结果表明,冬季时独墅湖的水温较低,一般为4.0~6.8℃,下午的水温比上午高1℃左右,其中独墅湖中心区的水温是整个湖区最低的。5个测点的pH值为8.4~8.8,即独墅湖湖水呈弱碱性。水生生物维持生命活动要求水中的溶解氧含量高于4mg/L,当溶解氧含量低于4mg/L时容易导致水生生物缺氧死亡,独墅湖湖水中的溶解氧含量在6.8~14.4mg/L之间,大部分在10mg/L以上,湖中心的含量最高,不存在低氧区,有利于湖区的水产养殖业。TP浓度在0.062~0.190mg/L之间,在空间分布上新华桥附近TP含量最高,4次测量

表2 水质监测数据

Table 2 Water quality monitoring data

测点 Measurement point	测次 Measurement times	水温 Temperature	pH值 pH value	溶解氧 DO (mg/L)	总磷 TP (mg/L)	总氮 TN (mg/L)	氨氮 NH ₃ -N (mg/L)	亚硝酸盐 NO ₂ -N (mg/L)	硝酸盐 NO ₃ -N (mg/L)	化学需氧量 COD _{Mn} (mg/L)	叶绿素a Chlorophyll-a (mg/L)
金独间 Jindujian	1	4.8	8.6	11.6	0.086	4.98	2.62	0.046	0.90	6.70	63.70
	2	6.2	8.6	13.6	0.104	4.42	2.65	0.049	1.17	6.30	69.50
	3	4.8	8.5	9.7	0.130	5.18	3.37	0.018	1.72	7.00	61.10
	4	5.4	8.6	12.5	0.108	6.24	3.17	0.018	1.58	7.70	58.00
新华桥 Xinhua bridge	1	5.4	8.7	6.8	0.164	3.84	1.64	0.068	0.73	8.90	76.10
	2	6.8	8.6	7.5	0.178	3.86	2.00	0.068	0.68	9.30	72.70
	3	5.8	8.7	10.2	0.190	5.50	3.93	0.016	1.05	9.00	75.10
	4	6.2	8.7	12.0	0.180	6.46	4.09	0.019	1.10	9.90	74.50
小桥 Small bridge	1	4.4	8.6	12.6	0.124	3.52	0.42	0.028	0.72	6.30	48.10
	2	5.8	8.6	12.7	0.128	2.22	0.42	0.035	0.47	7.00	48.70
	3	5.6	8.7	11.5	0.110	3.88	1.53	0.024	0.78	6.80	43.40
	4	6.0	8.7	11.0	0.112	3.76	2.17	0.027	0.78	7.10	44.80
独斜 渔簰 Duxie- yuduan	1	4.2	8.4	12.9	0.086	2.08	0.58	0.024	0.62	6.50	45.90
	2	5.2	8.7	13.5	0.124	2.40	0.58	0.034	0.61	6.80	43.10
	3	4.4	8.8	12.0	0.106	2.36	0.35	0.039	0.80	6.60	45.50
	4	5.4	8.8	14.0	0.116	3.32	0.25	0.039	0.84	6.70	42.70
独墅 湖中 Dushu lake	1	4.0	8.6	13.9	0.062	2.10	0.86	0.023	0.60	6.50	45.60
	2	5.0	8.8	14.4	0.120	2.18	0.97	0.027	0.60	7.00	42.10
	3	4.6	8.8	13.1	0.090	3.18	1.59	0.022	0.90	6.70	40.20
	4	5.4	8.8	13.2	0.102	3.60	0.67	0.022	0.91	6.50	41.10

数值都大于0.160mg/L,其他4个测点的浓度基本在0.100mg/L左右。湖水中TN的浓度较高,其中金独间和新华桥测点的TN浓度高达3.84~6.46mg/L,其他3个测点的浓度也在2.08~3.88mg/L之间,甚至达不到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中V类水TN浓度不高于2.0mg/L的要求,从表2中还可以看出独墅湖水域TN的构成中,氨氮、硝酸盐和亚硝酸盐等无机氮含量较高,在TN含量中所占比例为69.3%,只有小桥测点测次1和测次2、独斜渔簰测点和独墅湖中测点测次4的实测结果所占比例低于50%,其中亚硝酸盐含量较低,氨氮和硝酸盐的含量较高,在空间分布上氨氮和硝酸盐明显从入水口至出水口含量逐渐降低,亚硝酸盐含量虽也呈降低趋势,但幅度不如

前二者大。COD_{Mn}含量以新华桥测点最高,为8.9~9.9mg/L,其他4个测点含量在6.3~7.7mg/L之间,只达到国家IV类水标准要求。独墅湖水体中叶绿素a含量分布呈东高西低的趋势,最高值出现在新华桥测点,叶绿素a含量超过70mg/L,金独间测点的叶绿素a含量次之,为58.0~69.5mg/L,其他3个测点均小于50mg/L。

2.2.1 DO与TP、TN和COD_{Mn}的关系

独墅湖各测点水体中DO、TP、TN和COD_{Mn}浓度平均值变化关系如图2所示(TP浓度扩大了100倍作图),可以看出5个测点的水质因子TP、TN和COD_{Mn}含量之间呈明显的正相关关系,而DO与TP、TN和COD_{Mn}的含量呈负相关关系,说明独墅湖各水质因子空间分布趋势基本一致,入水口附近水体污染物含量明显较高,而出水口附近水体污染物含量相对较低。

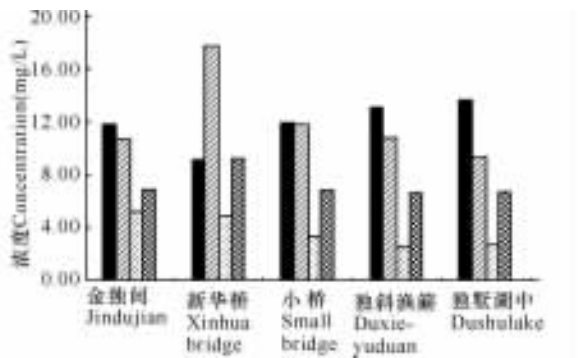


图2 各测点水质因子含量平均值的变化关系

Fig. 2 The concentration relations of water quality factors

■: Do, ▨: TP, ▩: TN, ⊠: COD.

2.2.2 叶绿素a与DO、TP、TN、COD_{Mn}的关系

独墅湖水体中的叶绿素a含量非常高,但从图3可以看出(TP浓度扩大了100倍作图),溶解氧含量与叶绿素a含量存在负相关关系,说明叶绿素a含量对水体中溶解氧含量影响较小,不是溶解氧含量的决定性因素。叶绿素a与水质因子TP、TN、COD_{Mn}含量的空间分布变化呈正相关关系,据研究资料表明,当水体中TP和TN含量均超过0.015mg/L时,藻类繁殖现象会加剧^[4],独墅湖水体中的TP和TN含量已远远大于0.015mg/L,给藻类的生长提供了有利的营养条件,是影响独墅湖水体中叶绿素a含量的关键因素。

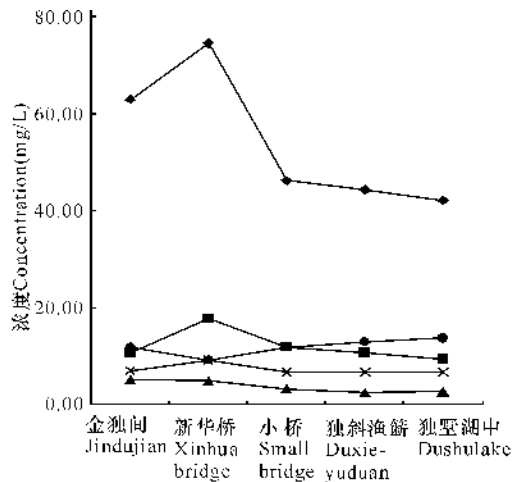


图3 叶绿素a与水质因子平均值变化曲线

Fig. 3 The averaged concentration change curves of the chlorophyll-a and water quality factors

●: 叶绿素a Chlorophyll-a, ■: TP, ▲: TN, ×: COD, ○: DO.

3 结论

(1) 枯水期独墅湖整个湖区水位十分相近,水面坡降非常小,水流流速和进出湖流量也很小,不利于水体交换和污染物质随水流排出,对独墅湖湖水水质存在负面影响。

(2) 独墅湖枯水期TP、TN、COD_{Mn}和叶绿素a等因子空间含量分布都呈东高西低的趋势,DO与之相反,它同TP、TN、COD_{Mn}、叶绿素a含量分布存在负相关关系,而TP、TN与叶绿素a含量分布存在正相关关系,污染物含量高的水域叶绿素a含量相对较高,说明叶绿素a对DO含量影响不大,TP、TN等因子在水体中的含量对DO含量有限制作用,而且对藻类生长繁殖具有促进作用,是造成独墅湖水体中叶绿素a含量高的主要原因。

(3) 独墅湖的水产养殖功能要求水质达到国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中Ⅲ类水标准,枯水期除了DO达标外,独墅湖TP、TN和COD_{Mn}含量都已经超标,尤其是TP超标1~3倍, TN超标1~5倍,根据湖泊水质富营养化程度划分标准^[5-8],属于富营养化湖泊。独墅湖周围网围受工业污水和生活污水污染,导致入湖水体中氮磷含量普遍较高,是造成独墅湖水体富营养化的主要原因,另外过度养殖也有一定影响^[9],需要对此进一步深入研究,为采取有力措施改善独墅湖水质与合理利用独墅湖提供参考。

参考文献:

[1] 凌去非,吴健伟,杨彩根,等.苏州地区中小型湖泊渔业

- 现状[J]. 淡水渔业, 1999, 29(12): 35-38.
- Ling Q F, Wu J W, Yang C G, et al. Current status fishery in small-and middle-size lakes in Suzhou area [J]. Freshwater Fisheries, 1999, 29(12): 35-38.
- [2] 范成新, 羊向东, 史龙新, 等. 江苏湖泊富营养化特征、成因及解决途径[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(2): 218-222.
- Fan C X, Yang X D, Shi L X, et al. Characteristic and cause of lake eutrophication in Jiangsu province with suggestions on its control measures[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(2): 218-222.
- [3] 龚春生, 姚琪, 赵棣华, 等. 浅水湖泊平面二维水流-水质-底泥污染研究[J]. 水科学进展, 2006, 17(4): 496-501.
- Gong C S, Yao Q, Zhao D H, et al. Plane 2D flow-water quality-sediment pollution couple model in shallow lake [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(4): 496-501.
- [4] 刘培桐. 环境学概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- Liu P T. Introduction of environmental[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003.
- [5] 舒金华. 我国湖泊富营养化程度评价方法的探讨[J]. 环境污染与防治, 1990, 12(5): 2-7.
- Shu J H. The Assessment methodology for eutrophication of lakes in China[J]. Environmental Pollution & Control, 1990, 12(5): 2-7.
- [6] 杨晓华, 杨志峰, 郦建强, 等. 水环境质量综合评价的多目标决策-理想区间法[J]. 水科学进展, 2004, 15(2): 202-205.
- Yang X H, Yang Z F, Li J Q, et al. Multiple objective decision making-ideal interval method for comprehensive assessment of water environmental quality [J]. Advances in Water Science, 2004, 15(2): 202-205.
- [7] 李丽和, 周小宁, 韦丽群, 等. 南宁市南湖水质富营养化评价[J]. 广西科学院学报, 2012, 28(3): 219-223.
- Li L H, Zhou X N, Wei L Q, et al. Eutrophication evaluation of water quality in Nanning Nanhu Lake [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2012, 28(3): 219-223.
- [8] 白海强, 吕保玉. 广西河流型湖泊和水库的水质富营养化评价[J]. 广西科学院学报, 2012, 28(4): 330-332.
- Bai H Q, Lv B Y. Eutrophication assessment of river-type lakes and reservirs in Guangxi [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2012, 28(4): 330-332.
- [9] 黄欢, 汪小泉, 韦肖杭, 等. 杭嘉湖地区淡水水产养殖污染物排放总量的研究[J]. 中国环境监测, 2007, 23(2): 94-97.
- Huang H, Wang X Q, Wei X H, et al. An research on the quantity of discharged pollutant of freshwater breed aquatics in Hangjiahu Area [J]. Environmental Monitoring in China, 2007, 23(2): 94-97.

(责任编辑: 陆雁)

(上接第 151 页 Continue from page 151)

- [12] Dalrymple R A, Kirby J T, Hwang P A. Wave Diffraction due to areas of energy dissipation [J]. J Wtrwy Port Coast and Oc Engrg ASCE, 1984, 110(1): 67-78.
- [13] 洪广文. 波浪折射、绕射数学模型[C]//第七届全国海岸工程学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 1993, 808-815.
- Hong G W. Numerical model for combined refraction and diffraction of water waves [C]//The 7th national coastal engineering symposium. Beijing: Ocean Press, 1993: 808-815.
- [14] 李孟国, 蒋德才. 关于波浪缓坡方程的研究[J]. 海洋通报, 1999, 18(4): 70-92.
- Li M G, Jiang D C. A review on the study of mild-Slope equation [J]. Marine Science Bulletin, 1999, 18(4): 70-92.
- [15] Kirby J T, Dalrymple R A. An approximate model for nonlinear dispersion in monochromatic wave propagation models [J]. Coastal Eng, 1986(9): 545-561.
- [16] Hedges T S. An approximate model for nonlinear dispersion in monochromatic wave propagation models by Kirby J T and Dalrymple R A discussion [J]. Coastal Eng, 1987(11): 87-89.
- [17] Li R J, Yan Y X, Cao H S. Nonlinear dispersion relation in wave transformation [J]. China Ocean Engrg, 2003, 17: 117-122.
- [18] Li R J, Tao J F. Analysis of wave nonlinear dispersion relations [J]. China Ocean Engineering, 2005, 19(1): 167-174.
- [19] Berkhoff J C W, Booy N, Radder A C. Verification of numerical wave propagation models for simple harmonic water wave [J]. Coastal Engineering, 1982, 6: 255-279.
- [20] Massel S R. Ocean surface waves: their physics and prediction [M]. Singapore: World Scientific Public, 1995: 339-343.
- [21] Maa J P Y, Hsu T W, Lee D Y. The RIDE mode: an enhanced computer program for wave transformation [J]. Ocean Engineering, 2002, 29: 1441-1458.

(责任编辑: 陆雁)