

DOI:10.3969/j.issn.1004-4701.2018.05.09

# 鄱阳湖河湖两相下湖流和水质变化特征研究

欧阳千林,王 婧

(江西省鄱阳湖水文局,江西 庐山 332800)

**摘要:**鄱阳湖是一个过水性通江湖泊,具有独特的河湖两相性,河湖相之间湖流和水质差异较大.本文基于2010~2016年湖流与水质同步监测资料,应用数理统计方法研究鄱阳湖河相、湖相不同情况下湖流和水质变化特征.研究表明:鄱阳湖北部湖区流速大于南部湖区大于东部湖区,主槽流速大于洲滩流速;湖相平均流速低于河相,河相下流速随着水位的升高而增大,湖相下流速随着水位的升高而减小;河相下各水质要素空间分布差异性较湖相小;湖区内TN、TP一般以团状或斑状形式出现、转移,且TN、TP超标水域重叠度较小,水华风险较高区域位于赣江南支及抚河入湖口区、松门山南部环流区、青岚湖、撮箕湖内湖区.

**关键词:**鄱阳湖;湖流;总氮;总磷;分布特征

**中图分类号:**X524

**文献标识码:**B

**文章编号:**1004-4701(2018)05-0356-05

## 0 引言

鄱阳湖是我国最大的吞吐型、季节性淡水湖泊,具有“高水是湖、低水是河”独特水文特性,湖区水域最大面积达5 100 km<sup>2</sup>,最小面积仅为146 km<sup>2</sup>,最大容积达365亿 m<sup>3</sup>,最小容积仅为4.5亿 m<sup>3</sup>[1]。鄱阳湖上承赣、抚、信、饶、修五河来水,经湖盆调蓄后注入长江,受五河和长江干流双重影响,形成了重力型、顶托型、倒灌型和风生流等特殊流型[2-4],湖流特性不同直接影响着泥沙与化学物质输移、沉降与悬浮特征.近年来,随着人类活动和气候变化等因素影响,江湖河关系发生较显著变化,湖泊动力、水质等均随之变化[5,6]。目前,对鄱阳湖湖流与水质变化特征研究成果较多[6-9],但鄱阳湖水位变化剧烈,枯水期湖水落槽,滩地出露,湖水仅限于主槽和内湖洼地,丰水期湖水漫滩,主槽、滩地、蝶形湖等连城一片,湖水浩渺,湖盆形态的不同必然导致湖水面积

和容积的变化,从而影响湖流和水质特征上的差异.本文从鄱阳湖独特河湖两相性出发,基于2010~2016年鄱阳湖7次湖流与水质同步监测数据,探讨河流和湖泊两种状态下湖流和水质变化特征。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

为摸清近年来鄱阳湖湖流变化特征,江西省水文局于2010~2016年对鄱阳湖开展了7次湖流与水质同步监测.在湖区采用网格法,横向沿湖盆南北向每5 km布设断面,全湖共布设34个断面,68条垂线.水质采样与湖流流速、流向监测在相同断面、相同垂线同时进行,现场监测水温、透明度、溶解氧、pH值和叶绿素a等5项,其它16个项目现场取样送实验室分析,数据均经过审查,成果准确可靠(见表1)。

表1 鄱阳湖湖流与水质同步监测情况统计表

序号	时间	水位/m (1985国家基准)	水面面积 /km <sup>2</sup>	容积 /亿 m <sup>3</sup>	入湖流量 /(m <sup>3</sup> /s)	出湖流量 /(m <sup>3</sup> /s)
1	2010年10月9~12日	12.52	2 152	47.00	1 429	7 152
2	2010年10月19~20日	8.68	654	11.20	3 883	5 010
3	2010年10月28~29日	8.53	622	10.60	1 742	4 375
4	2012年5月17~18日	15.22	3 427	120.00	12 446	11 100
5	2013年3月11~12日	8.09	530	8.89	1 950	3 700
6	2014年8月30~31日	14.58	3 273	115.00	3 749	5 040
7	2016年8月10~11日	16.75	3 444	177.00	2 230	6 480

收稿日期:2018-06-06

作者简介:欧阳千林(1987-),男,大学本科.

## 1.2 河湖相区分

鄱阳湖受江西五河来水和长江洪水的双重影响,水位较低时,水流归槽,上下游比降增大,整个湖区如同河流;水位升高时,水流漫滩,各蝶形湖泊与主湖体相连,上下游水位几近相同,湖区恢复为湖泊,而湖泊水情、水环境、水生态等特征均随着湖泊水域特性的不同而发生明显的变化,故按鄱阳湖水域特性不同将其划分为河相、湖相分别分析具有较强的现实意义。目前,如何合理的区分河湖相鲜有研究,部分学者从湖区各站水位关系入手进行鄱阳湖河湖相转换规律研究<sup>[10]</sup>,但未充分考虑鄱阳湖特性。在湖泊中有着换水周期理论,系指全部湖水交换更新一次所需时间的长短( $T_{\text{月换水周期}} = M_{\text{月天数}} \times W_{\text{月均蓄水量}} / Q_{\text{月出湖水量}}$ ),针对鄱阳湖而言,各月水位不同,换水周期不同(见表2),从变化机理分析,换水周期发生变化主要与蓄水量和出口处流速有关,在换水周期变化区间的两端必然表征不同的水文特征,故选取换水周期为6日和28日时对应的水位10.10 m、13.94 m作为绝对河相和绝对湖相分界值。

表2 鄱阳湖历年逐月换水周期平均值

月份	星子水位 /m	换水周期 /d	月份	星子水位 /m	换水周期 /d
1月	7.11	8	7月	15.79	27
2月	7.70	7	8月	14.78	27
3月	9.23	6	9月	13.94	28
4月	10.96	6	10月	12.28	17
5月	12.82	9	11月	9.95	10
6月	14.17	13	12月	7.78	9

另外,从河流定义(指由一定区域内地表水和地下水补给,经常或间歇地沿着狭长凹地流动的水流)可以看出河流主要是沿着狭长凹地流动水流,对鄱阳湖而言,当水流落槽后就能表征为河流形态,故根据星子站水位~湖体面积综合曲线<sup>[11]</sup>,计算面积发生突变时星子站水位。经过计算,星子站水位在10.00 m以下时,湖水基本上均已归槽,呈河流特性,故可综合考虑换水周期条件下河相,取其低者,确定为星子站水位10.00 m以下为绝对河相。

鄱阳湖要想表征为绝对湖相,其应将蝶形湖全部或大部分淹没。据统计鄱阳湖蝶形湖共35个<sup>[1]</sup>,控制高程基本在12.00~15.00 m之间,故可考虑所有蝶形湖泊均被淹没作为其湖相特征,综合考虑换水周期条件下湖相,取其高者,确定为星子站水位15.00 m作为绝对湖相,其余作为河湖相缓冲区,函数表现为分段函数。

$$M = \begin{cases} \text{河相} & Z < 10.00 \text{ m} \\ \text{河湖缓冲区} & 10.00 \text{ m} \leq Z < 15.00 \text{ m} \\ \text{湖相} & Z \geq 15.00 \text{ m} \end{cases}$$

## 2 湖流

### 2.1 分布特征

#### 2.1.1 空间分布

根据河湖相分区原则,7次湖流监测成果中有3次属于河相,2次属于湖相,2次属于河湖缓冲区。从流速空间分布图来看(图2),鄱阳湖湖流具有以下特点:(1)流速空间分布不均,且河相不均匀程度大于湖相,河相下流速变化范围在0.01~1.79 m/s之间,湖相下流速变化范围在0.04~1.11 m/s之间;(2)南北纵向分析,南部、东部小于北部,在东西断面分析,漫滩部位流速小于主槽流速;(3)河相下,蝶形湖脱离主湖体,流速近乎停滞,湖相下,吴城、鄱阳附近流速有所增大,蝶形湖内部流速与主湖体密切相关。

为分析河、湖两相下流速区别,将3次河相和2次湖相栅格数据分别平均,并以平均河相栅格减去平均湖相栅格,获取河相流速大于湖相流速空间分布图。河相流速高于湖区流速主要分布在主航道及入江水道区,而低于湖相流速主要分布在松门山以南、东部、西部湖区、康山湖、青山湖以及吴城附近的蝶形湖。

#### 2.1.2 垂向分布

选取鄱阳湖星子、棠荫、康山典型垂线分别代表入江水道、主湖区和南部湖区,分别选取相对水深0.0、0.2、0.5、0.8、1.0 m处流速值绘制流速垂线分布图,并根据幂函数公式: $\frac{V}{V_*} = 9.5 \times \left(\frac{Z}{Z_*}\right)^{1/6}$ 来拟合流速分布(图2~3)。河相下各典型垂线均较为符合幂函数,少数波动主要受风和测验误差影响;湖相下流速点较为散乱,不符合幂函数分布,也不呈现较为明显函数分布类型,表明湖相下乱流较为明显。

### 2.2 水位~流速关系

为分析鄱阳湖水位与流速之间的关系,将鄱阳湖整体划分为4段,分别以星子站、棠荫站、康山站作为代表站,并参考20世纪湖流监测成果(鄱阳湖仅在20世纪六、七十年代有过湖流监测成果),绘制出水位与流速关系图。其中棠荫站、康山站河湖两相分界点通过与星子站水位相关关系获取,其绝对河相分界点分别为11.50 m、12.50 m,而在星子站水位大于15.00 m时,整个湖区水位基本持平,故将绝对湖相分界点均定为15.00 m。

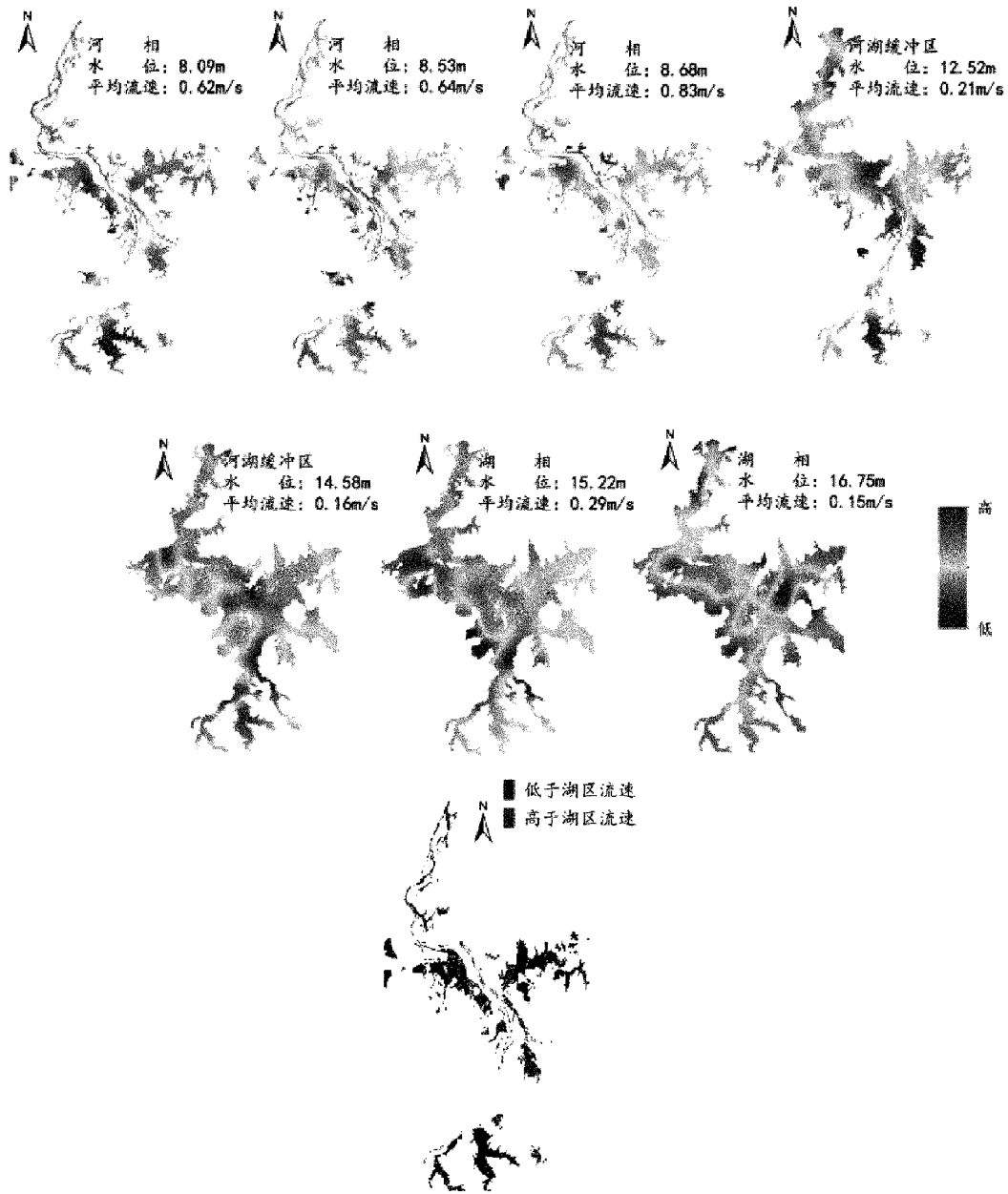


图1 鄱阳湖流速空间分布特征及河湖相流速空间对比

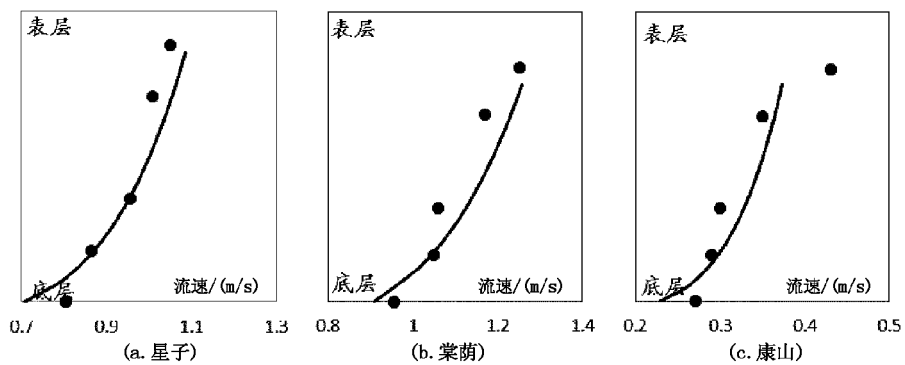


图2 河相下(8.09 m)各典型垂线流速垂向分布图

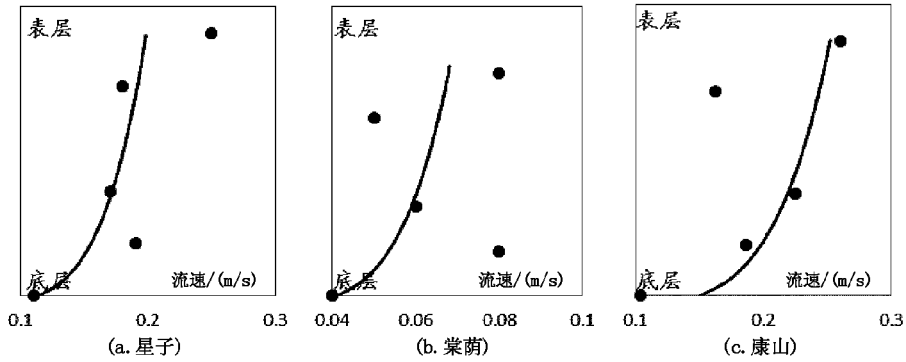


图3 湖相下(16.75 m)各典型垂线流速垂向分布图

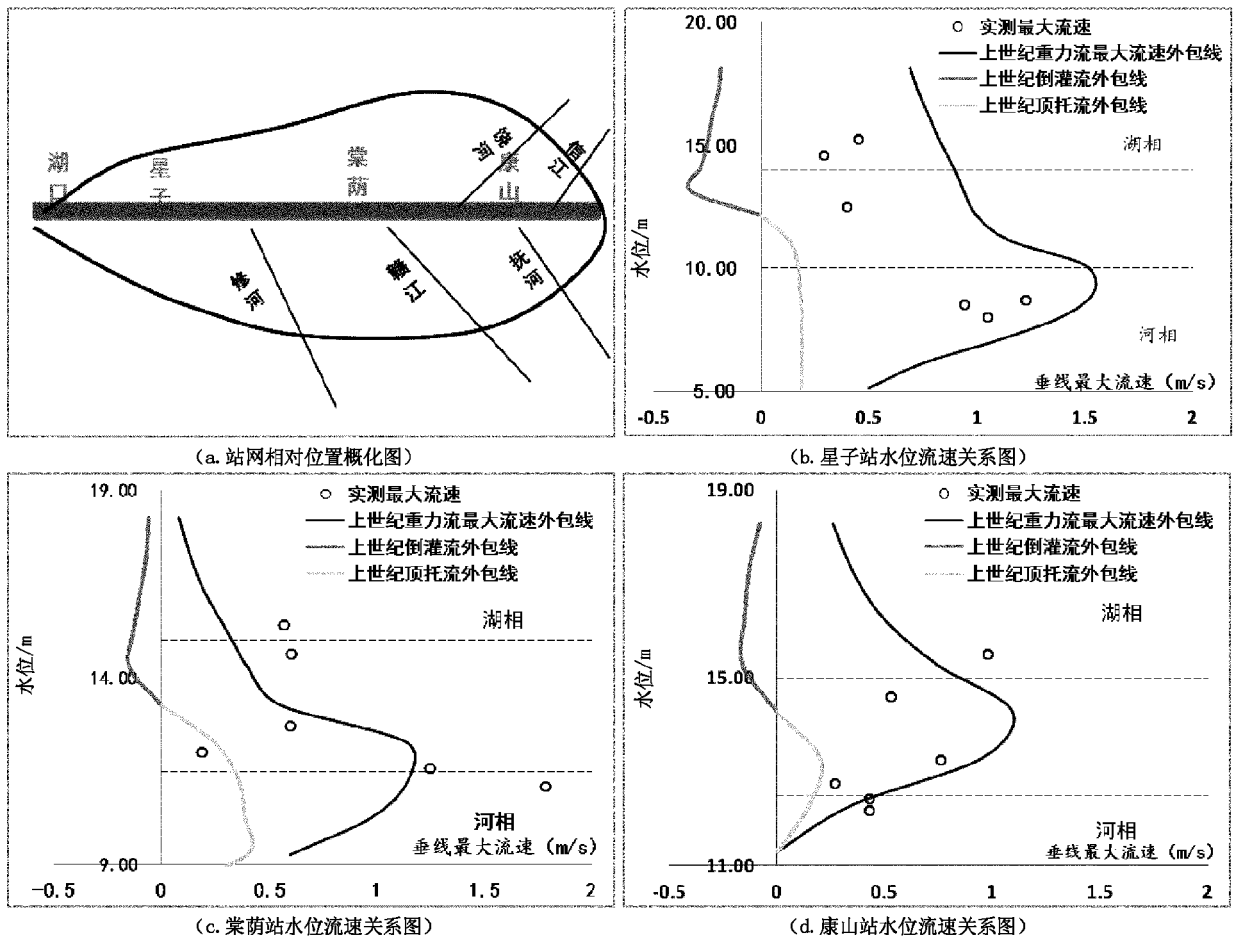


图4 鄱阳湖各站水位~流速关系

从图4看出,鄱阳湖流速与水位之间的关系较为散乱,可将其以河相和湖相分别进行分析。(1)从实测点位分布来看,河相下星子站流速随水位上升而呈较明显增大趋势,湖相下点群较为散乱;棠荫站、康山站水位流速关系并不显著,主要因两站处于河流入湖交汇处,断面较宽,影响流速因素较多,而监测点数较少,难以反映此处流速随水位变化过程。(2)从20世纪六、七十年代垂线最大流速外包线来看,河相下流速随水位的上涨

而呈指数型增大,湖相下流速随水位的上涨而减小;在河湖缓冲区流速与水位关系较为复杂。

### 3 水质

鄱阳湖污染物主要来源于降水、河流来水、周边县市面源污染或部分点源污染。根据2002~2015年江西省水资源公报公布数据,鄱阳湖优于或符合Ⅲ类水比例

均高于50%,但呈水质下降趋势,主要污染物为氨氮、TP、TN等,汛期(4~9月)营养评分均小于50分,属于中营养,总体上水质较好。

受资料影响,选取近4次水质监测成果,其中1次河相,2次湖相,1次河湖缓冲区分析其水温、透明度、TP、TN和叶绿素均值和变差系数与水位变化关系(表3)。

表3 鄱阳湖水质状况统计

序号	水位/m	水温/℃		透明度/cm		TP/(mg/L)	
		均值	变差系数	均值	变差系数	均值	变差系数
1	8.09	14.3	0.049	43.6	0.587	0.080	0.414
2	14.58	29.4	0.068	60.7	0.629	0.055	0.599
3	15.22	24.8	0.061	65.7	0.439	0.031	0.723
4	16.75	33.2	0.051	54.5	0.698	0.055	0.450

序号	水位/m	TN/(mg/L)		叶绿素/(ug/L)		水文情势
		均值	变差系数	均值	变差系数	
1	8.09	0.93	0.517	3.8	0.890	河相、退水、采砂
2	14.58	1.14	0.589	8.4	0.954	河湖缓冲、稳定、少量采砂
3	15.22	1.33	0.665	11.0	0.833	湖相、涨水、采砂
4	16.75	0.89	0.472	5.0	0.442	湖相、退水、少量采砂

从表3看出,河相下各水质要素空间分布差异性较湖相、河湖缓冲区小。两湖相监测时期相差较小,可用于比较分析,表明湖相下,水位越高,各区域内水质要素混合均匀,变差系数较小;透明度受采砂影响较大,降水时湖区周边农药化肥等面源污染物进入湖区,导致涨水时TN偏大,且区域性差异性较为明显;叶绿素与湖区是否处于涨水有一定的关系。

近年来,关于鄱阳湖富营养化问题的讨论频繁见诸报端,且呈愈演愈烈之势。研究富营养化时,通常将透明度,与TP、Chl-a一起用作衡量湖泊营养状态的常规方法,但透明度不适用于作水体色深或存在高无机悬浮固体湖泊的富营养化指标,故采用不同分区富营养化控制指标以Chl-a、TP和TN为必选指标,其它指标(如SD、COD<sub>Mn</sub>为可选指标)<sup>[1]</sup>。一般地,认为TN、TP是导致水体富营养化直接促使水华形成的必要条件,当TN、TP分别超过0.5 mg/L和0.02 mg/L就可能引起水华<sup>[12-14]</sup>,且TN和TP是鄱阳湖湖区主要超标污染物,分析TN和TP空间分布重叠性具有重要的意义。

将各监测点TP、TN浓度值分别减去0.02 mg/L、0.5 mg/L,利用差值进行空间插值,可以看出鄱阳湖TP、TN超出限值的区域较大,污染水域基本上呈斑块或团状向下游转移和扩散,空间分布差异性较大。从TP分布来看,湖相下,北部湖区、主湖区、东部湖区浓度较低,而在入江水道区、南部湖区呈较高浓度特征;河相下,湖区水量减少,稀释能力降低,流速加大,污染物质

扩散加快,TP浓度较湖相增大,且主要分布于入江水道区。从TN分布来看,其高浓度值主要集中在赣江入湖口区域,其出湖口TN能稳定在Ⅱ、Ⅲ类水平,湖相下,入江水道、东部湖区、南部湖区浓度较低,而在北部湖区,特别是赣江入湖口附近呈高浓度特征;河相下,受流速影响,污染物质扩散加快,TN浓度较高区域扩散至入江水道区。

从TN和TP超标分布特征来看,大面积的TP、TN超标水域大部分场合不会同时出现在同一水域。单从TN和TP超标浓度分布来看,河相情况下,水华可能发生区域主要集中在入江水道区、赣江入湖口区、东部湖区;湖相下水华可能发生区域主要集中在赣江南支入湖口、饶河入湖口、青岚湖内湖和入江水道区。从2倍TN、TP超标浓度重叠性来看,重叠度较小,河相下基本没有区域同时超2倍超标浓度;湖相下同时超2倍超标浓度区域主要位于赣江南支及抚河入湖口;河湖缓冲区内同时超2倍超标浓度区域主要位于湖区西部及松门山南部环流区域。总体而言,入江水道区、赣江南支及抚河入湖口区、松门山南部环流区、青岚湖、撮箕湖内湖区有产生水华风险;若同时考虑流速影响,入江水道区流速较大,故水华风险程度有所降低,青岚湖、撮箕湖流速较小,营养盐较丰富,水华风险程度有所升高,故综合考虑,水华风险较高区域位于赣江南支及抚河入湖口区、松门山南部环流区、青岚湖、撮箕湖内湖区。

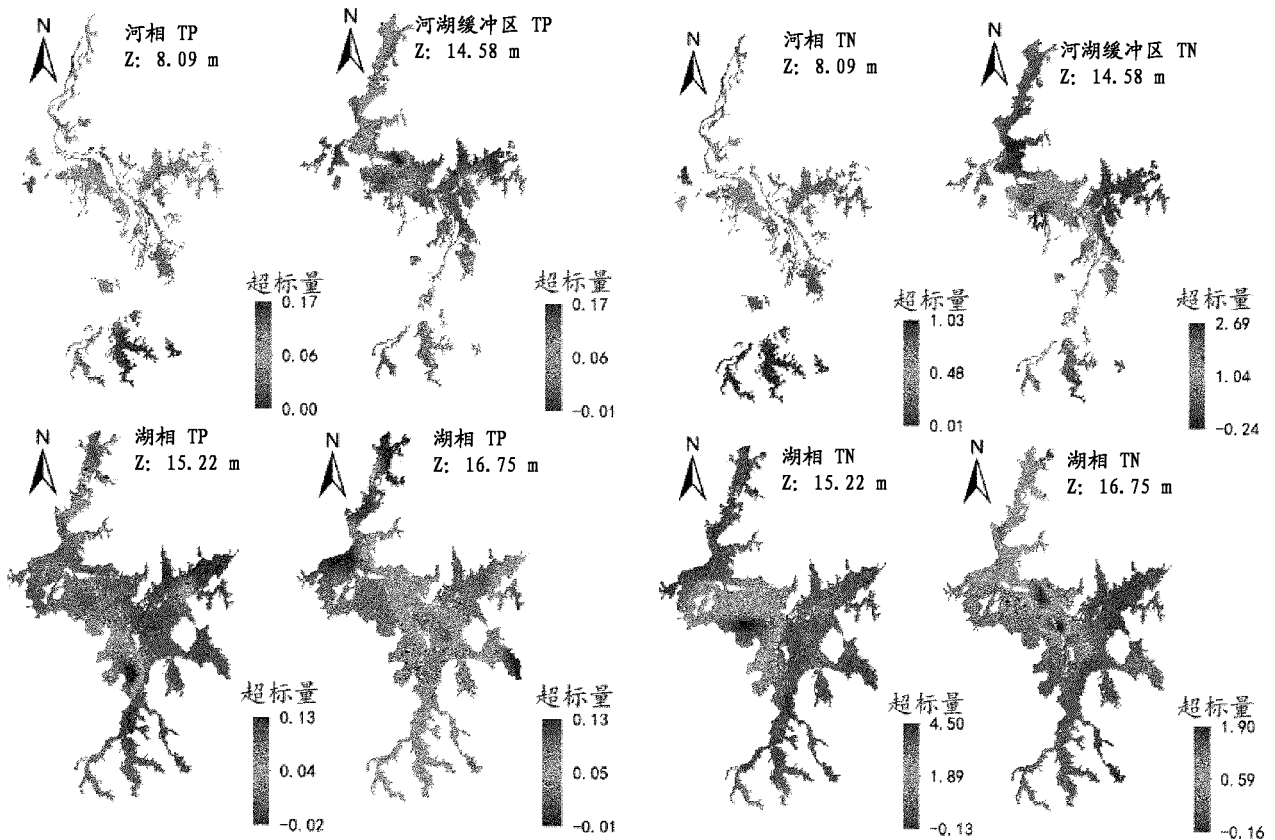


图5 鄱阳湖 TN、TP 浓度超标区域分布图

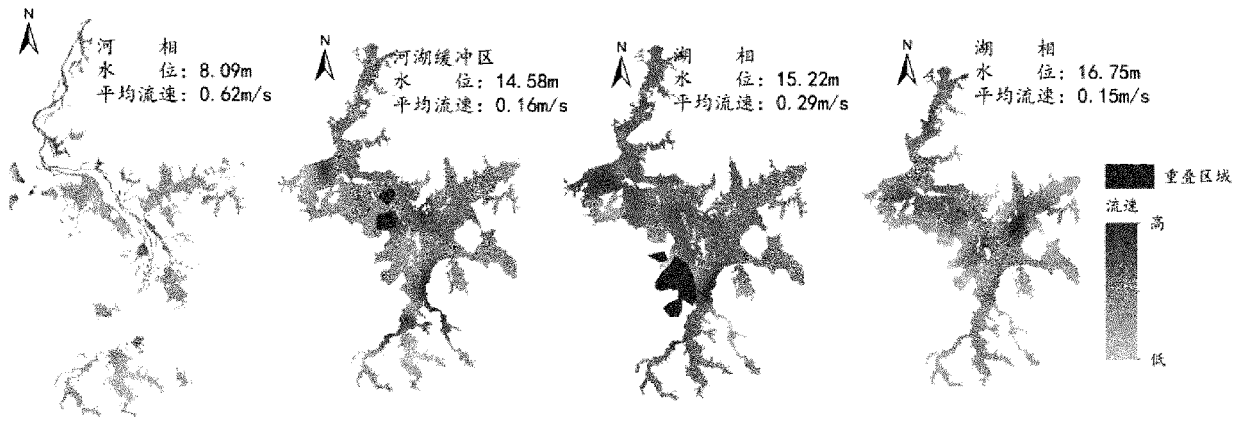


图6 鄱阳湖 TN、TP 浓度 2 倍超标浓度重叠图

### 4 结论

综合考虑湖区面容积突变特征、湖区换水周期等因素影响,确定为星子站水位低于 10.00 m 为绝对河相, 15.00 m 以上为绝对湖相,其余为河湖相缓冲区,函数形式表现为分段函数,依据河湖相分区原则,分析河相、湖相下湖流与水质变化特征,得出以下结论:

(1) 鄱阳湖流速在空间分布上呈北部湖区流速大于南部湖区大于东部湖区,河相下流速大于湖相下流速,主要分布在主航道及入江水道区。河相流速在垂线分布上主要呈幂函数分布,湖相流速在垂线分布不呈稳定函数类型。

(2) 河相下流速随水位的上涨而呈指数型增大,湖相下流速随水位的上涨而减小;在河湖缓冲区流速与水位关系较为复杂。

(3)河相下各水质要素空间分布差异性较湖相、河湖缓冲区小,透明度受采砂影响较大,降水时湖区周边农药化肥等面源污染物进入湖区,导致涨水时TN偏大,且区域性差异性较为明显;叶绿素与湖区是否处于涨水有一定的关系。

(4)污染水域基本上呈斑块或团状向下游转移和扩散,空间分布差异性较大,大面积的TP、TN超标水域大部分场合不会同时出现在同一水域,超标值较大区域重叠度小,水华风险较高区域位于赣江南支及抚河入湖口区、松门山南部环流区、青岚湖、撮箕湖内湖区。

#### 参考文献:

- [1] 江西省水利厅. 江西河湖大典[M]. 武汉:长江出版社,2010.
- [2] 程时长,卢兵. 鄱阳湖湖流特征[J]. 江西水利科技,2003,29(2):105~108.
- [3] 熊道光. 鄱阳湖湖流特性分析与研究[J]. 海洋与湖沼,1991,22(3):200~206.
- [4] 王婧,曹卫芳,司武卫等. 鄱阳湖湖流特征[J]. 南昌工程学院学报,2015(3):71~74.
- [5] 何宗健,吴志强,倪兆奎等. 江湖关系变化对鄱阳湖沉积物氨氮释放风险的影响[J]. 中国环境科学,2014,34(5):1277~1284.
- [6] 杜彦良,周怀东,彭文启. 近10年流域江湖关系变化作用下鄱阳湖水动力及水质特征模拟[J]. 地理科学,2014(12):1488~1496.
- [7] 齐凌艳,黄佳聪,高俊峰等. 鄱阳湖枯水水位及流速时空分布模拟[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(4):572~584.
- [8] 刘倩纯,余潮,张杰,等. 鄱阳湖水体水质变化特征分析[J]. 农业环境科学学报,2013,32(6):1232~1237.
- [9] 毛玉婷,周晓宇,王毛兰. 枯水期鄱阳湖水体富营养化状态评价[J]. 南昌大学学报,2014,38(6):596~599.
- [10] 李子龙,莫淑红,万晓明,等. 鄱阳湖水位变化特征及河湖相转换规律探究[J]. 黑龙江大学工程学报,2016,7(1):17~22.
- [11] 谭国良,郭生练,王俊,等. 鄱阳湖生态经济区水文水资源演变规律研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013.
- [12] 孔繁翔,宋立荣. 蓝藻水华过程及其环境特征研究[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [13] Qin BQ. Progress and prospect on the eco-environmental research of Lake Taihu. Journal of Lake Sciences[J]. 2009,21(4):445~455.
- [14] Hautier Y, Niklaus P A, Hector A. Competition for Light Causes Plant Biodiversity Loss After Eutrophication. Science,2009,324:636~638.
- [15] 王俊,郭生练,谭国良,等. 变化环境下鄱阳湖区水文与水资源研究与应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2017.

编辑:张绍付

## Study on the variation characteristics of lake current and water quality under the river and lake two – phases of Poyang Lake

OUYANG Qianlin, WANG Jing

(Hydrology Bureau of Poyang Lake of Jiangxi Province, Lushan 332800, China)

**Abstract:** Poyang Lake is a water-passing and river-injecting lake with a unique river-lake two-phase nature. The lake current and the water quality is quite different between river shape and lake shape. Based on the simultaneous monitoring data of lake current and water quality from 2010 to 2016, mathematical statistics method is applied to study the variation characteristics of lake current and water quality under the different cases of river shape and lake shape of Poyang Lake. The results show that: 1) The velocity of the lake area in the northern part is greater than that in the southern part than in the eastern part of Poyang Lake. The velocity in the main channel is greater than that in the continental sand beach; 2) The average velocity of the lake phase are lower than that of the river phase. The flow velocity increases from the increase in the water level under the river phase, decreases from the increase in the water level under the lake phase; 3) The TN and TP values of the river phase are larger than that of the lake phase. The eutrophication index of the river phase is lower than that of the lake phase; 4) TN and TP generally appear and transfer in the form of clusters or patches, and the degree of overlap of the over-standard water areas between them are smaller in the lake area.

**Key words:** Poyang Lake; Lake current; TN; TP; Distribution characteristics

翻译:欧阳千林