

洞庭湖湖区水质时空演化(1983–2004年)*

申锐莉^{1,2}, 鲍征宇¹, 周旻², 乔胜英¹, 谢淑云¹

(1: 中国地质大学(武汉)地球科学学院地球化学研究所, 武汉 430074)

(2: 湖北省地质调查院, 武汉 430030)

(3: 武汉大学资源与环境学院环境工程系, 武汉 430079)

摘要:根据洞庭湖湖区的1983–2004年的水质监测数据,参照GB3838–2002中Ⅲ类水质标准,运用内梅罗水污染指数法进行水质评价,分析了洞庭湖湖区22年来的水质时空变化。结果表明:洞庭湖湖区水质污染在时间上呈有升有降的波动变化。洞庭湖湖区丰水期和洪水期的水质较差,但是从2002年以后,丰水期的水质逐渐好于平水期。污染空间变化表现为入湖河道的污染程度高于湖体,湖体污染呈西洞庭湖的污染较为严重,南洞庭湖其次,东洞庭湖的水质仍较好的格局。

关键词:洞庭湖;水质;内梅罗指数;演化

Temporal-spatial evolution of water quality in Lake Dongting, China

SHEN Ruili^{1,2}, BAO Zhengyu¹, ZHOU Min², QIAO Shengying¹ & XIE Shuxun¹

(1: *Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, P. R. China*)

(2: *Hubei Institute of Geological Survey, Wuhan 430030, P. R. China*)

(3: *Department of Environmental Engineering, School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, P. R. China*)

Abstract: According to Basic Analytical Methods of Environmental Quality Standards for surface water, GB3838-2002, we used the 1983–2004 monitoring data to evaluate and characterize water quality condition and to analyze water quality temporal-spatial evolution trend of Lake Dongting, based on the application of comprehensive index methods such as Nemerow Index. The results showed that Water quality changed in Lake Dongting which fluctuated between up and down temporally. In 1983–1985, water quality was clean in Lake Dongting. From then on, water quality had been polluted seriously in 1988 and graduated in light pollution after 1991, and then ran down in 1999 and dropped to light pollution in 2001 again, as well as had begun to aggravate in 2004. The main pollutant was total phosphorus (TP) in Lake Dongting. Water quality was worse in the flood water season than in the other water seasons, but after 2002, water quality in the flood water season had been better than in the normal water season. The water pollution could be more serious in the entering riverways than in the lake bodies of Lake Dongting spatially. Water quality in Lake West Dongting was worst, in Lake South Dongting was worse, and in Lake East Dongting was not polluted badly.

Keywords: Lake Dongting; water quality; Nemerow index; evolution

洞庭湖位于湖南省北部,长江中下游南岸,地理坐标为东经111°40′–113°10′,北纬28°30′–30°20′。西南有湘、资、沅、澧四水入湖,北有长江的藕池、松滋、太平三口流入,湖水在北部的城陵矶与长江相遇,为一典型的过水吞吐型湖泊^[1,2]。洞庭湖是我国的第二大淡水湖泊,因泥沙淤积严重和历史上围湖造垸,现已分

* 湖南省洞庭湖区生态地球化学调查项目(200314200021)资助。2006–11–28收稿;2007–03–04收修改稿。申锐莉,女,1977年生,博士;E-mail: shenruili_sab@sina.com.

割为东洞庭湖(1478 km²)、南洞庭湖(917 km²)、西洞庭湖(约345 km²)三部分^[3]。

1999年的调查显示,洞庭湖纯湖区人口为1079.63万,其中农业人口825.29万,非农业人口254.34万。纯湖区土地主要以耕地、林地、水面为主,占了土地总面积的80%以上,说明湖区农业主要以农业耕作及水产品养殖为主。湖区工业也有较雄厚的基础,基本上形成了资源开发型的工业产业格局,其中石油、化工产值占全省的98%以上,造纸业产值占全省的43%以上。1999年纯湖区地表水用水量统计,农业灌溉用水占89.4%,工业用水占6.3%,生活用水占4.3%,以农业用水为主。洞庭湖水域具有生活饮用、航运、渔业养殖、工业、农田灌溉、旅游、调节气候等多种用途和功能,它作为长江中游重要的“江河吞吐器”,除了调蓄、滞洪外,每年还接纳大量的来自沿湖和三口四水上游的工业废水和生活污水。

研究大区域和大流域的水质变化是全球变化研究的一个重要方面,Gert Knutsson^[4]指出,进行这样的研究至少需15年以上的水质监测资料,这样才能从水质正常的自然波动中区分出人类活动的影响。本文根据湖南省沅江市洞庭湖环境监测站提供的洞庭湖湖区1983-2004年的水质环境监测数据,运用内梅罗水污染指数法进行水质评价,研究洞庭湖湖区22年来水质的时空演化。

1 材料与方法

为了全面监测洞庭湖水水质变化,掌握和了解其水质污染状况,分别在各入湖河道及湖中设置了29个常规监测断面(图1),入湖口设置监测断面14个,湖体断面数为13个,其中西洞庭湖4个,南洞庭湖6个,东洞庭湖3个,出湖口断面数为2个。从1983-1993年,洞庭湖的水质监测按每年的平水期(2或3月)、洪水期(5或6月)、丰水期(8或9月)、枯水期(11或12月)进行,每个水期监测1次,全年共4次。从1994-2004年,水质监测改为按每年的平水期(5月)、丰水期(9月)和枯水期(1月)进行,每个水期监测1或3次,全年共3或9次。由于每个监测断面有3个采样点,每个水期监测1或3次,与此相应的有3-9个监测值,在分析中取其算术平均值作为断面的监测值。

从1983-2004年,洞庭湖共计有47项水质监测指标。为了更好地说明洞庭湖水水质的时空演化,选取24项监测指标进行水质评价,包括水温,pH,溶解氧(DO),高锰酸钾指数,COD,BOD₅,NH₃-N,TP,TN,Cu,Zn,Fe,Se,As,Hg,Cd,Cr⁶⁺,Pb,氰化物,挥发酚,石油类,阴离子表面活性剂,硫化物和粪大肠菌群。运用内梅罗水污染指数法选择上述24项作为计算水质指标的参数。内梅罗水污染指数公式如下:

$$I = \sqrt{\frac{[\frac{1}{n} \sum (\frac{c_i}{s_i})]^2 + [\max(\frac{c_i}{s_i})]^2}{2}}$$

式中, c_i 为第*i*个水质参数的实际监测值; s_i 为第*i*个水质参数的标准值; n 为参与评价水质监测指标的项数。选取GB3838-2002中Ⅲ类水质标准限值作为标准值。同时,参考内梅罗水质指数污染等级划分标准^[5]

对洞庭湖水水质进行评价, $I < 1$,清洁; $1 \leq I < 2$,轻污染; $2 \leq I < 3$,污染; $3 \leq I < 5$,重污染; $I \geq 5$,严重污染。

2 结果与讨论

2.1 洞庭湖湖区水质的时间演化

洞庭湖湖区共有29个水质监测断面,为了更好地说明洞庭湖水水质随时间变化,在洞庭湖湖区选择了10个

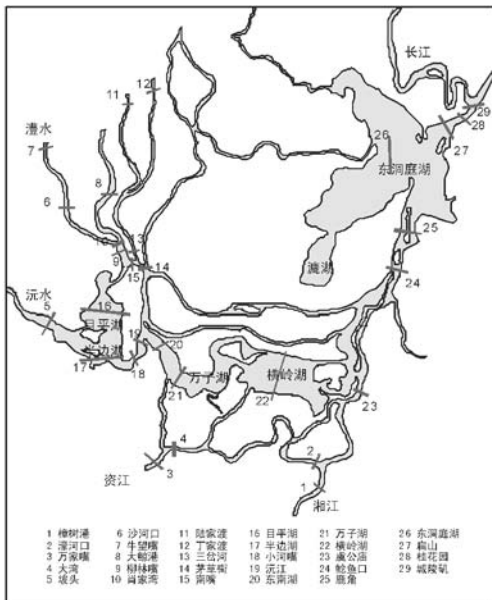


图1 洞庭湖湖区29个监测断面
(1983-2004年)

Fig. 1 Monitoring sections in Lake Dongting
(1983-2004)

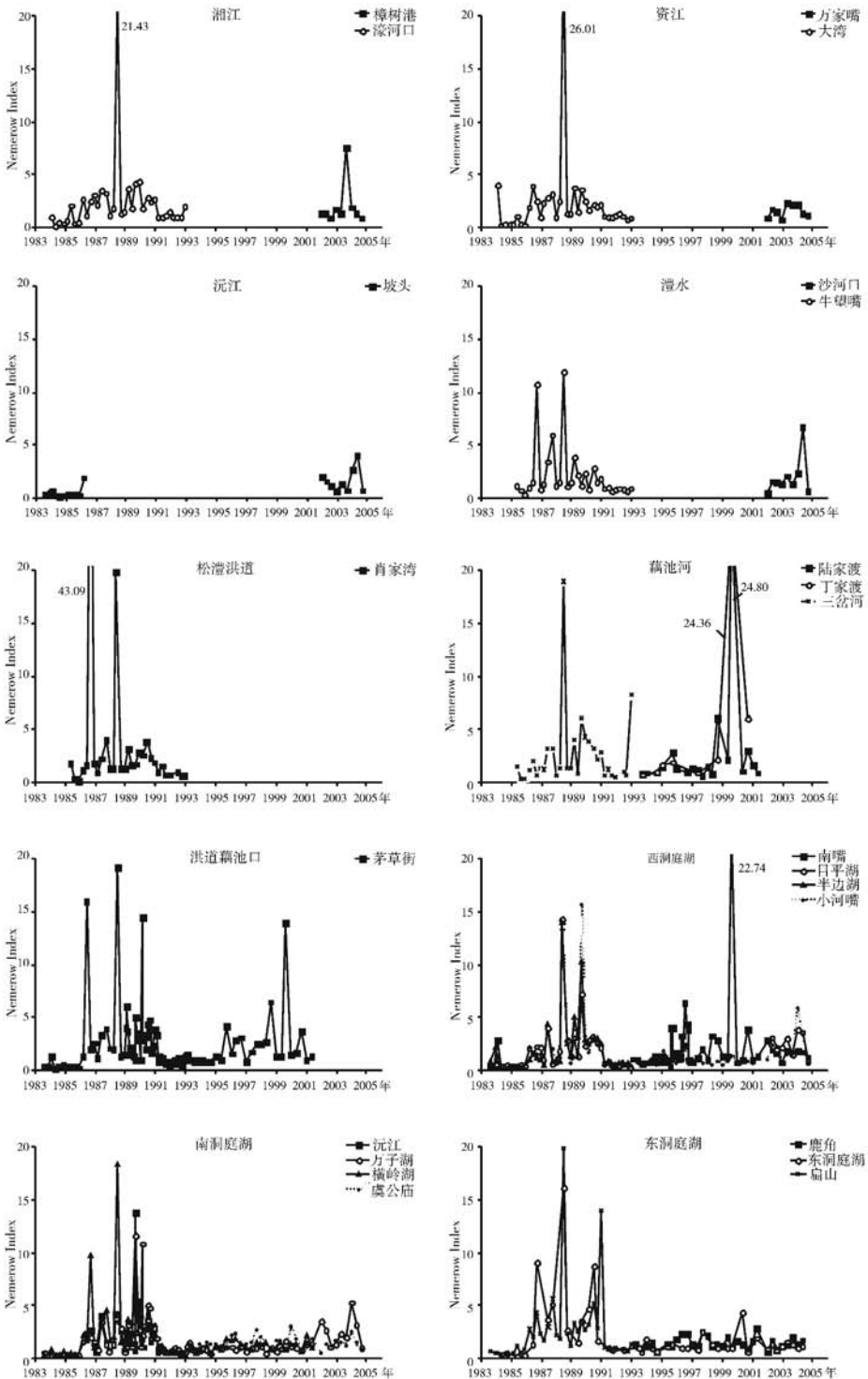


图2 洞庭湖不同水域的水质内梅罗指数(III类)随时间变化曲线

Fig.2 Nemerow water quality index in different parts of Lake Dongting, from 1983 to 2004

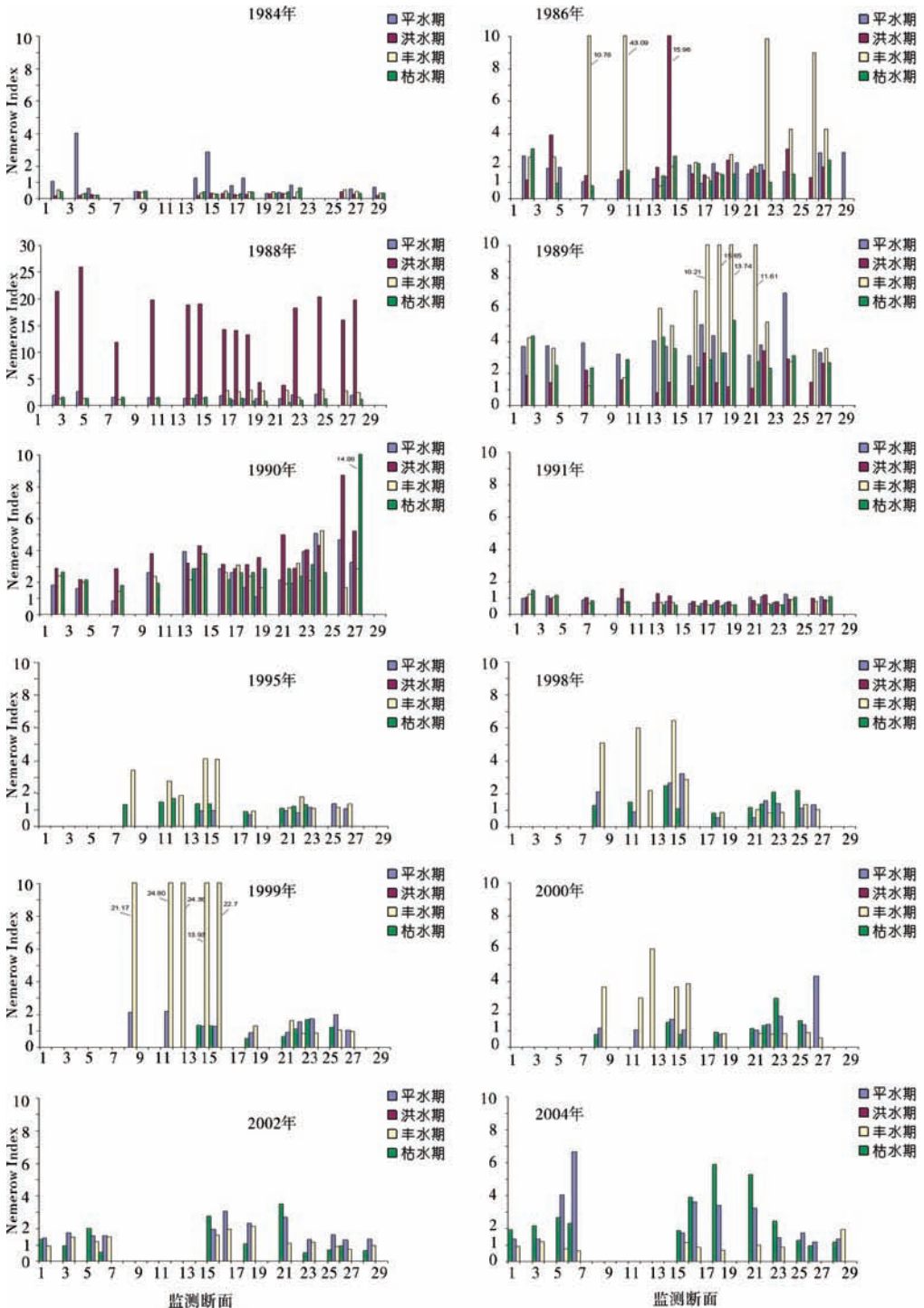


图3 不同年份洞庭湖各水质监测断面 III 类内梅罗指数变化

Fig. 3 Nemerow water quality index of Lake Dongting during the drought water season, normal water season, and flood water season in different years

有代表意义的水域,共23个监测断面。

入湖河道:1984-1985年间,湘江、资江和沅江水质符合Ⅲ类水质标准,水质处于清洁状态,偶尔在丰水期有点轻度污染。在1986年丰水期,松澧洪道出现最高一次峰值,内梅罗指数为43.09,主要原因是总磷严重超过Ⅴ类水质标准,从1986年开始,湘江、资江和澧水水质污染开始加重,在1988年丰水期所有检测断面均达到峰值,主要原因是总磷严重超标。到1991年,水质状况逐渐变好,基本处于清洁—轻污染状态。但从1995年开始,水质污染逐渐加重,到1999年丰水期,水质再度遭到严重污染,陆家渡、丁家渡和茅草街断面的内梅罗指数同时达到峰值,分别为24.80、24.36和13.93,主要原因是总磷严重超标,远远超过Ⅴ类水质标准。从2002-2004年,湘江、资江、沅江和澧水水质达不到Ⅲ类水质标准,污染状态加重。在2003年丰水期,湘江水质遭遇到严重污染,主要原因是石油类超标,达到Ⅴ类水质标准(图2)。

主要湖体:1983-1985年间,西洞庭湖、南洞庭湖和东洞庭湖水质基本处于清洁状态,符合Ⅲ类水质标准。从1986年开始,水质污染加重,横岭湖断面内梅罗指数达到9.84,东洞庭湖断面内梅罗指数为9.02,主要原因是总磷超标。在1988年洪水期,几乎所有湖体的监测断面同时达到峰值,主要原因均是总磷严重超标,较大幅度超过Ⅴ类水质标准。到1989年丰水期,西洞庭湖和南洞庭湖断面又一次达到峰值,主要原因是石油类超标。在1990年枯水期,万子湖断面的内梅罗指数为10.79,这次主要原因是总汞超标。1991年以后,水质逐渐好转,从污染状态逐渐达到清洁状态。但从1995年开始,水质污染逐渐加重,到1999年丰水期,南嘴段面的内梅罗指数达到22.74,主要原因是总磷严重超标,远远超过Ⅴ类水质标准。以后,西洞庭湖和南洞庭湖水质都处在污染甚至重污染的状态,东洞庭湖水质逐渐好转,处于清洁状态—轻污染状态(图2)。

另外,1991-2001年间,万子湖、横岭湖和虞公庙3条断面的水质曲线接近重合,说明南洞庭湖接纳的沿湖排污的累积污染物相对较少;1993-2004年间,小河嘴断面(西洞庭湖出口)的水质状况要好于南嘴断面(西洞庭湖入口),这说明西洞庭湖的水质虽然在逐渐恶化,但是西洞庭湖对水质仍有一定的净化作用;鹿角(东洞庭湖入口)和东洞庭湖2条断面的水质曲线也接近重合,说明东洞庭湖接纳的沿湖排污的累积污染物能力较强,即水质的净化作用较强,水质没有遭到进一步的污染(图2)。

2.2 洞庭湖湖区水质的空间演化

洞庭湖水情的年际变化特征,与其年内变化的特征类似,也具有丰、平和枯的周期性变化。20世纪50年代是洞庭湖的丰水期,60-70年代则相对是平、枯水期,进入80年代后又转入丰水期,每三到四年一次大水;尤其是90年代以来,洪涝灾害平均1.5年发生一次。洞庭湖发生特大及大洪涝灾害的年份有1988年、1994年、1995年、1996年、1998年、1999年和2002年等,其中以1996和1998年最为严重^[6]。根据洞庭湖29个监测断面1983-2004年共22年的水质监测资料,结合洞庭湖水情的年际变化特征,从中选出具有代表意义的1984、1986、1988、1989、1990、1991、1995、1998、1999、2000、2002和2004共12年的水质监测资料,来分析水质空间变化。

1988年,宜昌流量48200 m³/s,螺山水位32.80 m,属于较大洪水年份。1988年的各个断面中,洪水期的水质状况最差,达到了极严重污染状态,主要原因是总磷严重超标(图3)。洪水期的内梅罗指数的最高值26.01,出现在断面4——资江的大湾断面。就湖体而言,洞庭湖在洪水期的污染都达到严重污染状态,只是西洞庭湖的污染相对较轻,万子湖断面出现内梅罗指数最低值3.76。1988年的水质分析结果表明,洪水期的污染远远比其他水期的严重,而且总磷的严重超标,这说明洞庭湖流域的面源较严重,主要是水土流失、水产养殖、农药化肥、畜禽粪便等污染造成的。

1989年的水质分析结果表明,丰水期的污染远远比其他水期的严重,而且石油类的严重超标,这说明洞庭湖流域的遭受了较严重的工业污染或船只油污染,严重影响了洞庭湖的水质。1990年经过水动力作用,污染物质已经从西洞庭湖和南洞庭湖逐渐迁移到东洞庭湖,致使东洞庭湖成为污染的严重区域。同时,由于湖泊本身的净化作用,石油类的污染有一定程度的减轻。但是工业污染源的排放依然存在,致使洞庭湖枯水期的水质遭受进一步的恶化。

1991年洞庭湖的水质开始好转,并且是22年中的洞庭湖水质最好的一年。1991年的各个断面中,整个洞庭湖的水质均处于清洁—轻污染状态,基本符合Ⅲ类水质标准(图3)。

1998年长江中下游干流发生了20世纪继1954年之后的又一次全流域性大洪水。入湖河道的水质状况较差,甚至达到严重污染的状态;湖体的水质状况较好(图3)。

1999年2月下旬至3月上旬,洞庭湖的澧水尾闾、松虎洪道乃至整个西洞庭湖区水质遭受严重污染^[7]。污染事件发生时,污染水体呈酱油色,澧水尾闾六角尾以至柳林嘴,形成长达数十公里的污染带,化学耗氧量最高达56.0 mg/L,水体功能都已丧失,给工农业生产及人民生活造成严重影响。入湖河道的丰水期水质最差,均达到极严重污染;湖体的水质状况较好,基本处于清洁-轻污染状态。丰水期内梅罗指数的最高值24.80,出现在藕池河的陆家渡断面。由于受到1999年春季水质污染事件的影响,澧水尾闾、松澧洪道和藕池河等入湖河道丰水期的内梅罗指数达到异常高值,处于15-25之间,主要原因是总磷严重超标。而在平水期和枯水期,洞庭湖水质较好,入湖河道和湖体均处于清洁-轻污染状态(图3)。

大致来说,洞庭湖丰水期和洪水期的水质较差,但是从2002年以后,丰水期的水质逐渐好于平水期^[8]。由于枯水期(低流量状态下)水质主要反映点源的污染情况,而丰水期(高流量状态下)水质主要受到面源污染的影响,是点源和面源的综合作用的结果^[9]。在2004年,除桂花园断面外,洞庭湖枯水期的内梅罗水污染指数均大于丰水期,同时,枯水期的内梅罗水污染指数最大值与最小值相差6.09倍,丰水期的内梅罗水污染指数最大值与最小值相差3.10倍,说明枯水期各个监测断面的内梅罗水污染指数值差异较大。所以,洞庭湖水质以点源污染为主^[10],随着城镇化建设和旅游资源开发,产生的大量垃圾和污水的直接排放仍是洞庭湖水质污染的主要原因。

3 结语

洞庭湖在1983-1985年间处于清洁状态,1986年水质开始恶化,1988年达到严重污染状态,主要原因是总磷严重超标,到了1991年洞庭湖水质好转,基本处于清洁或轻污染状态,在1999年,又因为总磷的严重超标,洞庭湖水质又处于严重污染状态,到了2001年水质污染程度减轻,大致处于轻污染状态,但是到了2004年水质污染又开始加重。从整体上看,1983-2004年间,洞庭湖水质污染呈有升有降的波动变化,并且总磷和石油类的污染问题严重。大致来说,洞庭湖丰水期和洪水期的水质较差,但是从2002年以后,丰水期的水质逐渐好于平水期。

从污染空间变化上讲,严重污染状态的峰值大多出现在资江、松澧洪道、洪道藕池口、藕池河和澧水等入湖河道的监测断面上,因此,入湖河道的污染程度较为严重,洞庭湖湖体的水质相对较好。就湖体而言,西洞庭湖的污染较为严重。虽然,东洞庭湖的监测断面也会出现严重污染程度的峰值,但是由于东洞庭湖的水环境容量最大,东洞庭湖的水质仍较好,基本处于轻污染状态。南洞庭湖的水质在三个湖体中水质居中。

致谢:非常感谢湖南省洞庭湖环境监测站提供1983-2004年洞庭湖的水质监测数据。

4 参考文献

- [1] Yin R L, Shen D X, Che Z G. Disasters and environmental management in the Lake Dongting lowlands. *Lowland Technology International*, 2003, 5: 39 - 45.
- [2] 姜加虎, 黄群. 洞庭湖近几十年来湖盆变化及冲淤特征. *湖泊科学*, 2004, 16(3): 209 - 214.
- [3] 余德清, 皮建高. 洞庭湖区洲土变化特征与地壳沉降遥感研究. *湖南地质*, 2002, 21(1): 46 - 76.
- [4] Gert Knutsson. Trends in the Acidification of Groundwater. *Groundwater Quality Management* (Proceedings of the GOM 93 Conference held at Yallin, September 1993). LAHS Publ, 1994: 5 - 15.
- [5] 李建军, 冯慕华, 喻龙. 辽东浅水区水环境质量现状评价. *海洋环境科学*, 2001, 20: 42 - 45.
- [6] 湖南省政协经济科技委员会编. 三峡工程于洞庭湖关系研究. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2002: 201.
- [7] 李正最. 洞庭湖河湖疏浚综合效益研究[工程硕士学位论文]. 河海大学, 2004.
- [8] 申锐莉, 张建新, 鲍征宇等. 洞庭湖水质评价(2002-2004年). *湖泊科学*, 2006, 18(3): 243 - 249.
- [9] 赵佩伦, 申献辰, 夏军等. 泥沙对黄河水质影响及重点河段水污染控制. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.
- [10] 曾光明, 卢宏伟, 金相灿等. 洞庭湖水体水质状况及运用小波神经网络对营养状态的评价. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2005, 32(1): 91 - 94.