

环太湖河道污染物负荷量的初步研究*

袁静秀 黄漪平

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 210008)

提要 根据1987—1988年环太湖河道水质、水量实测资料以及环湖主要河道的流量和水质的历史资料,结合平原水网地区的水情特征,提出了环太湖河道污染物负荷量的计算方法,并分析探讨了不同设计水情下环太湖河道污染物负荷量及其时空变化。结果表明,污染物负荷量与水情关系密切,枯水年的河道入湖污染物负荷量大于丰水年。环湖22条主要河道的入湖污染物负荷量占全部河道入湖总量的72%—91%,且不同污染物入湖负荷量的分布不尽相同。

关键词 环太湖河道 水情 污染物负荷量

为分析探讨各种不同水情条件下环太湖河道入湖、出湖污染物负荷量及其时空变化,于1987—1988年对环太湖141条河道进行了丰、平、枯3次和其中的8条典型河道每月一次水质、水量准同步观测(测站分布见表1),同时还对环太湖历年巡测资料和流域历年水文气象资料进行了系统分析计算,对环太湖河道污染物负荷量进行了初步研究。

1 湖区水情

根据历年资料,对环太湖进出水量进行了分析¹⁾,并推求了设计入湖流量(长江流域规划办公室水文处,1980);据已选定的理论频率曲线²⁾,反推观测期间1987和1988年的水情。经分析,1987年相应的设计频率 $P = 17\%$,属偏丰水年;1988年 $P = 70\%$,介于平、枯水年之间,属偏枯水年份;1987年5月—1988年4月 $P = 24\%$ 也属偏丰水年份。

太湖平原地势平坦,湖荡、河港众多,水面比降较小,河湖流向常顺、逆不定(袁静秀,1992),在环湖主要16条河道中,除下游太浦河平望站以外,其余河道几乎都有不同程度的逆流现象(表1)。以逆流最为明显的上游苕溪吴兴杭长桥站和下游梁溪河蠡桥站为例,在水情偏丰的1987年,杭长桥站和蠡桥站的逆、顺流量之比分别为45%和55%;在水情偏枯的1988年,其逆、顺流量之比分别为73%和192%。可见,逆、顺流量之比在偏枯水年份大于偏丰水年份。由图2a, b可见,无论是上游还是下游,水情偏丰或偏枯,几乎每个月都有逆流现象,有时甚至连续几个月以逆流为主。流向如此顺、逆不定,所以,在进行污染物负荷量计算时,必须对每一条河道分别计算其入湖和出湖的污染物负荷量,以入湖为“+”,出湖为“-”(下同)。

* “七五”国家科技攻关“太湖主要入湖河道污染物总量控制研究, 75-59-04-06号。协作单位有江苏省水文总站、浙江省环科所等,参加工作的还有本所范成新、胡维平、潘红玺等同志,均此一并致谢。

收稿日期:1991年11月8日,接受日期:1992年10月20日。

1) 江苏省水文总站、中科院南京地理与湖泊研究所,1990年。环太湖进出水量分析(75-59-04-06-01-01)。

2) 中科院南京地理与湖泊研究所、江苏省水文总站,1990年。太湖水情和设计入湖流量分析(75-59-04-06-01-02)。

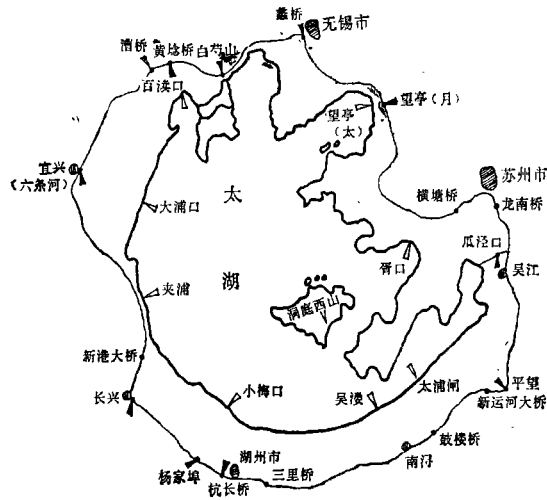


图1 环太湖主要测站分布

Fig. 1 Main observation stations around Taihu Lake

● 基点站; ▲ 水文站; △ 水位站。

表1 环太湖主要河道年平均入湖、出湖流量 Q 和逆、顺流量之比Tab. 1 Annual mean inflow and outflow and the ratio (%) between inverse flow and normal flow Q of the main rivers around Taihu Lake

水系	河名	站名	流入何处	1987年 ($P = 17\%$)			1988年 ($P = 70\%$)			
				$Q_{入湖}$ (m^3/s)	$Q_{出湖}$ (m^3/s)	$\frac{Q_{逆}}{Q_{顺}}$ (%)	$Q_{入湖}$ (m^3/s)	$Q_{出湖}$ (m^3/s)	$\frac{Q_{逆}}{Q_{顺}}$ (%)	
上游	苕溪	西苕溪	吴兴杭长桥	太湖	30.38	13.77	45.33	18.41	13.45	73.06
	苕溪	旄几东港	杨家埠	太湖	20.19	2.16	10.70	11.32	2.53	22.35
	湖区	长兴港	长兴(二)	太湖	9.42	0.569	6.04	5.24	1.422	27.14
	南溪	宜北河	宜兴(张)	东洮	18.22	0.601	3.30	—	—	—
	南溪	城北河	宜兴(福)	东洮	11.66	0.690	5.92	—	—	—
	南溪	城河	宜头(关)	东洮	2.73	0.118	4.32	1.174	0.0257	2.19
	南溪	洙溪河	宜兴(洙)	东洮	17.65	0.709	4.02	12.91	0.69	5.34
	南溪	城南河	宜兴(城)	东洮	18.55	1.46	7.87	14.35	0.852	5.94
	南溪	南仓河	宜兴(南)	东洮	13.96	0.78	5.59	9.51	0.46	4.84
	南溪	槽桥河	槽桥	太湖	8.96	0.32	3.57	5.77	0.22	3.81
	南溪	太溇运河	黄埭桥	太湖	11.47	0.611	5.33	9.43	0.27	2.86
	南溪	直湖港	白茆山	太湖	13.80	3.15	22.83	14.08	0.951	6.75
下游	湖区	梁溪河	蠡桥	大运河	6.57	11.95	54.98	5.73	2.99	191.64
	湖区	月城河	望亭(月)	大运河	0.42	15.47	2.71	0.74	10.81	6.85
	湖区	瓜泾港	瓜泾口	吴淞江	0.025	17.425	0.14	0.023	10.62	0.22
	湖区	太浦河	平望	黄浦江	0	89.9	0	0	61.60	0

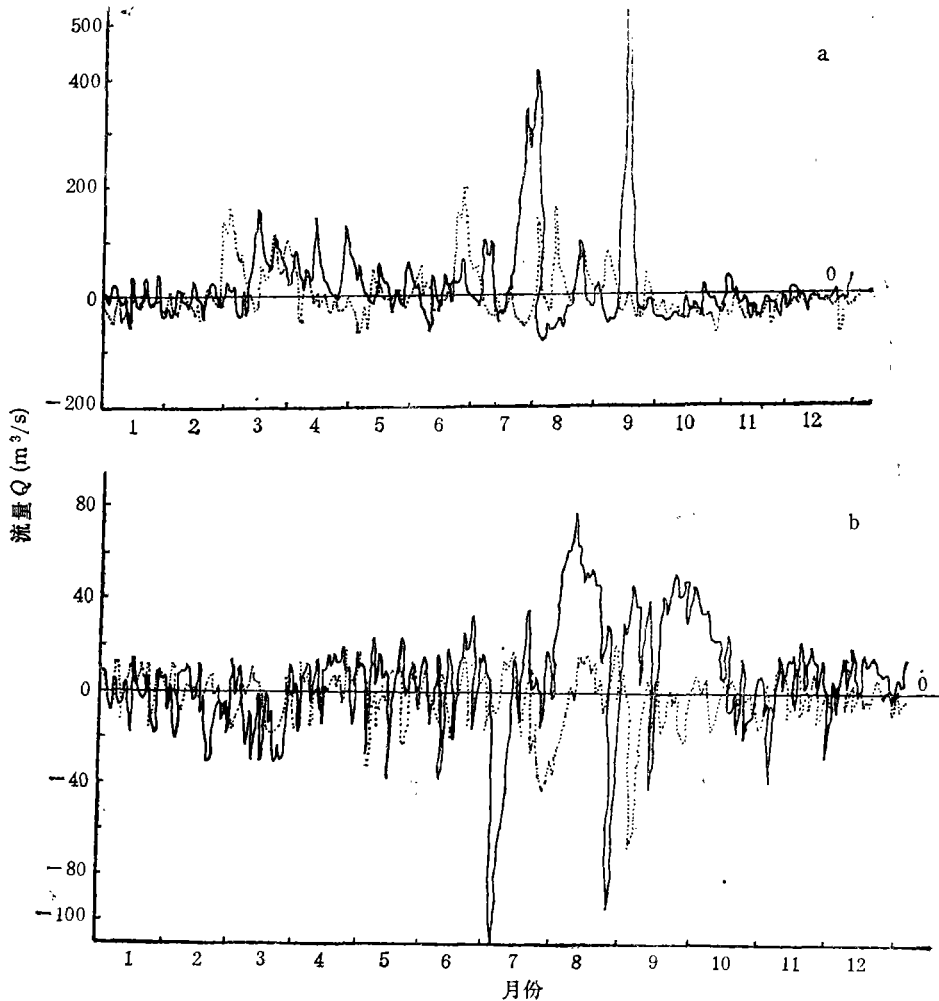
2 不同设计水情年污染物负荷量的计算

由表2可见,环湖河道污染物年平均含量一般在枯水年大于丰水年。而且在同一河道同一断面由于流向不同,污染物含量亦不相同(见表3),这显然是由于污染物来源不同所致。为使求得的污染物负荷量具有一定的代表性,必须进行不同设计水情年的污染物

表 2 环太湖河道污染物年平均含量 (mg/L)

Tab. 2 Annual average Pollutant content of the rivers around Taihu Lake

站 名	COD _{Mn}		NH ₃ -N		NO ₃ -N		NH ₃		挥发酚	
	1987 年 P=17%	1988 年 P=70%	1987 年 P=17%	1988 年 P=70%	1987 年 P=17%	1988 年 P=70%	1987 年 P=17%	1988 年 P=70%	1987 年 P=17%	1988 年 P=70%
宜兴(南)	3.900	4.642	0.608	0.693	0.375	0.435	0.021	0.033	0.0025	0.0013
长兴(二)	4.392	4.883	3.883	4.217	0.347	0.373	0.057	0.087	0.0001	0.0002
蠡 桥	8.383	10.300	3.176	5.014	0.317	0.320	0.094	0.229	0.0067	0.0169
瓜泾口	3.683	4.150	0.470	0.342	0.205	0.297	0.020	0.025	0.0007	0.0017

图 2 西苕溪吴兴杭长桥站 (a) 和梁溪河蠡桥站 (b) 日平均流量 Q 年过程Fig. 2 Annual course of daily average flow Q at St. Hangchang Bridge (Wuxing), Xitiaox Stream (a) and Li Bridge, Liangxi River (b)

— 1987 年; 1988 年。

负荷量的计算(长江流域规划办公室水文处, 1980; 顾丁锡等, 1988)。

这里着重计算观测期间 1987 年 ($P = 17\%$)、1988 年 ($P = 70\%$) 和 1987 年 5 月

表 3 梁溪河蠡桥站入湖、出湖污染物含量平均值 (C) (mg/L)Tab. 3 Average pollutant contents C of inflow and outflow at station Li Bridge, Liangxi River

年份	COD		$\text{NH}_3\text{-N}$		$\text{NO}_2\text{-N}$		$\text{NO}_3\text{-N}$		NH_3		挥发酚	
	$C_{\text{入}}$	$C_{\text{出}}$	$C_{\text{入}}$	$C_{\text{出}}$	$C_{\text{入}}$	$C_{\text{出}}$	$C_{\text{入}}$	$C_{\text{出}}$	$C_{\text{入}}$	$C_{\text{出}}$	$C_{\text{入}}$	$C_{\text{出}}$
1987	11.78	5.957	5.39	1.59	0.198	0.075	0.255	0.360	0.146	0.057	0.012	0.003
1988	12.04	9.213	5.04	5.00	0.149	0.079	0.365	0.292	0.367	0.161	0.020	0.015

注:表中数据为每月一次水质、水量同步观测资料统计而得。

—1988年4月水文年度($P=24\%$)以及1968年($P=90\%$)的环太湖河道污染物负荷量。

2.1 由丰、平、枯3次实测资料推求年负荷量 据环太湖141条河道丰、平、枯3次水质、水量准同步观测资料,推求各类污染物年负荷量,经分析,单站的污染物日负荷量 $\pm L$ 与其对应的日平均流量 $\pm Q$ 基本上都呈直线相关(图3),当观测资料组数 $n=11-13$ 时,相关系数 r 高达0.991—0.801,由相关系数显著性检验得知,图3中的相关关系都较密切。从图3还可看出,同一污染物质在不同河道其直线方程中的斜率 b 比较相近,这说明同一污染物质在环湖河道中其负荷量与流量的关系比较稳定。于是据环太湖141条河道平、丰、枯3次实测的入湖、出湖流量及其对应的各种污染物负荷量,对照1987年5月—1988年4月水文年度内环太湖河道入湖、出湖月平均流量年内分配过程,求得平、丰、枯各次实测流量所占全年流量的权重,作为各次实测污染物负荷量的权重,从而求得污染物年负荷量,其计算公式为:

$$\pm L_i = \pm \sum_{k=1}^3 \left(W_k \sum_{j=1}^n Q_j C_{ij} \right) \quad (1)$$

式中, $\pm L_i$ 为1987年5月—1988年4月第 i 污染物入湖、出湖年负荷量(t/a); W_k 为各次环湖河道实测流量占全年流量的权重; K 为实测水质水量的测次,即5月、7月和3月共3次; Q_j 为第 j 条河道的流量(m^3/s),以入湖为“+”、出湖为“-”; C_{ij} 为第 j 条河道第 i 污染物含量(mg/L); n 为河道条数。

2.2 由基点站实测资料推求全段年负荷量 据分析,环湖河道基点站的入湖总流量约占总入湖流量的80%—90%,基点站的出湖总流量约占总出湖流量的55%—65%¹⁾,可见,基点站控制了进、出湖流量的极大部分,所以利用基点站与环湖全段河道污染物负荷量的比值推求全段河道污染物负荷量,是有一定依据的。列公式表示:

$$\frac{\pm L_{i,8}}{\pm L_{i,17}} = \alpha_{i,1} \quad (2)$$

$$\frac{\pm L_{i,17}}{\pm L_{i,141}} = \alpha_{i,2} \quad (3)$$

式中, $\pm L_{i,8}$ 为第 i 污染物8个基点站²⁾的负荷量之和; $\pm L_{i,17}$ 为第 i 污染物17个基点站的负荷量之和; $\pm L_{i,141}$ 为第 i 污染物141条河道的负荷量之和。由式(2)和式(3)知

1) 江苏省水文总站、中科院南京地理与湖泊研究所,1990年。环太湖进出水量分析,75-59-04-06-01-01。

2) 8个基点站为西苕溪吴兴杭长桥、长兴港长兴(二)、南仓河宜兴(南)、漕桥河漕桥、直湖港白芡山、梁溪河蠡桥、月城河望亭(月)和瓜泾港瓜泾口站。

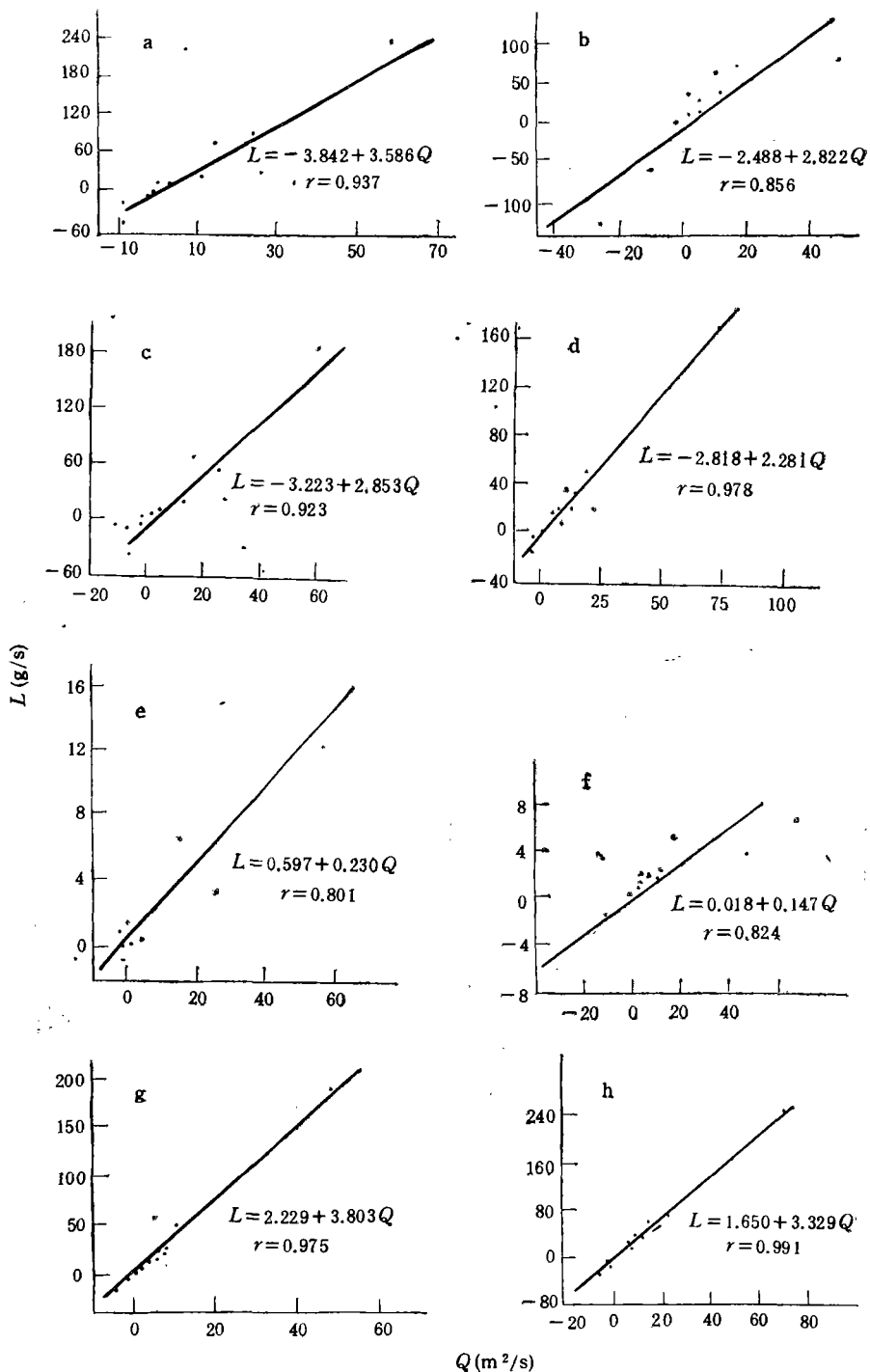


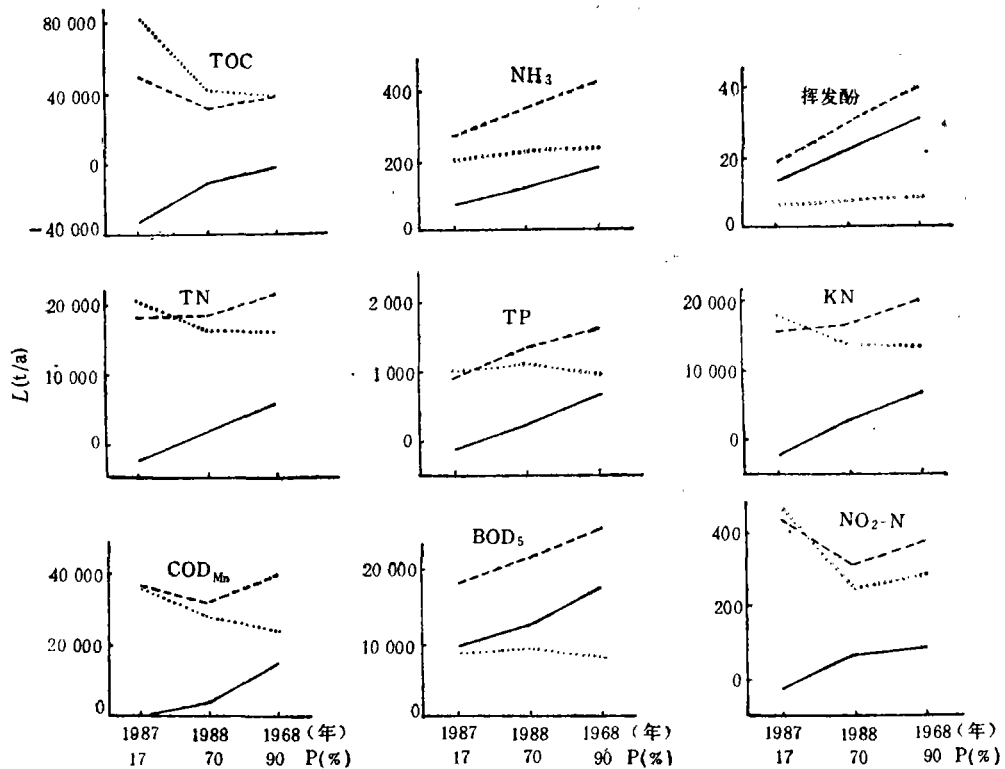
图 3 环太湖河道污染物日负荷量 L 与日平均流量 Q 关系

Fig. 3 Relationship between daily pollutant load L and daily average flow Q in the rivers around Taihu Lake

- a. 白茆山站 TN(1987.5—1988.5); b. 蠡桥站 TN(1987.5—1988.5);
 c. 白茆山站 KN(1987.5—1988.5); d. 宜兴(南)站 KN(1987.5—1988.5);
 e. 白茆山站 TP(1987.5—1988.5); f. 蠡桥站 TP(1987.5—1988.5);
 g. 长兴(二)站 COD_{Mn}(1987.1—12); h. 宜兴(南)站 COD_{Mn}(1987.1—12).

表 4 不同设计年环太湖河道污染物负荷量 (t/a)
Tab. 4 Pollutant load (t/a) of the rivers around Taihu Lake in different years (t/a)

项 目	1987		1988		1987.5—1988.4		1988		1987		1987.5—1988.4	
	17%	70%	70%	90%	24%	90%	70%	90%	17%	70%	24%	90%
COD _{Mn}	入湖	36 171.23	31 815.04	32 359.04	38 927.05	439.64	307.03	365.99	入湖	439.64	353.98	365.99
	出湖	35 594.56	27 781.01	37 602.63	23 826.66	467.81	241.58	282.45	出湖	467.81	438.31	282.45
	净入湖	576.67	4 034.03	-5 243.59	15 100.39	-28.17	65.45	83.54	净入湖	-28.17	-84.33	83.54
BOD ₅	入湖	18 453.23	21 940.89	21 273.00	25 850.57	2.749	0.605	0.883	入湖	2.749	4.86	0.883
	出湖	8 706.45	9 372.40	19 892.65	8 196.21	0.887	0.863	0.552	出湖	0.887	1.017	0.552
	净入湖	9 746.78	12 618.49	1 380.35	17 654.36	1.862	-0.258	0.331	净入湖	1.862	3.843	0.331
TOC	入湖	4 890.80	30 377.23	65 598.43	37 585.59	0.687	1.648	2.135	入湖	0.687	1.168	2.135
	出湖	83 229.09	41 809.85	75 613.97	37 839.29	0	0	0	出湖	0	0	0
	净入湖	-34 319.29	-11 432.62	-10 015.54	-253.70	0.687	1.648	2.135	净入湖	0.687	1.168	2.135
TP	入湖	896.54	1 282.19	1 552.22	1 576.91	28.14	17.635	22.79	入湖	28.14	22.89	22.79
	出湖	996.74	1 029.21	907.71	901.66	17.51	14.160	12.55	出湖	17.51	15.84	12.55
	净入湖	-100.20	252.98	644.51	675.25	10.63	3.475	10.24	净入湖	10.63	7.05	10.24
TN	入湖	17 714.65	17 799.42	20 241.22	21 483.47	18.871	29.652	38.988	入湖	18.871	16.42	38.988
	出湖	20 222.90	16 182.00	21 478.43	15 842.29	6.204	7.552	8.26	出湖	6.204	27.47	8.26
	净入湖	-2 508.25	1 617.42	-1 237.21	5 641.18	12.667	22.100	30.727	净入湖	12.667	-11.05	30.727
KN	入湖	15 643.88	16 347.40	17 991.58	19 940.09	3.133	3.924	4.803	入湖	3.133	4.219	4.803
	出湖	18 009.94	13 868.53	17 075.95	13 644.78	0.853	0.709	0.913	出湖	0.853	1.296	0.913
	净入湖	-2 366.06	2 478.87	915.63	6 295.31	2.28	3.215	3.89	净入湖	2.28	2.923	3.89
NH ₃ -N	入湖	10 084.29	7 836.98	5 362.55	8 857.37	269.47	343.86	413.82	入湖	269.47	132.26	413.82
	出湖	4 519.23	4 833.66	4 336.04	5 151.21	201.23	225.29	234.16	出湖	201.23	189.47	234.16
	净入湖	5 565.06	3 003.32	1 026.51	3 706.16	68.24	118.57	179.66	净入湖	68.24	-57.21	179.66
NO ₃ -N	入湖	3 661.69	2 705.65	2 229.48	3 287.32							
	出湖	2 291.89	1 625.58	3 750.10	1 513.90							
	净入湖	1 369.80	1 080.07	-1 520.62	1 773.42							

图4 不同设计年环太湖河道出、入湖污染物负荷量 L Fig. 4 Outflow and inflow pollutant load L of the rivers around Taihu Lake in different years

--- $L_{入}$; $L_{出}$; —— $L_{净入}$ 。

$$\pm L_{i,141} = \frac{\pm L_{i,8}}{\alpha_{i,1}\alpha_{i,2}} \quad (4)$$

式中, $\alpha_{i,1}$ 和 $\alpha_{i,2}$ 取实测的平、丰、枯 3 次比值的平均值。这样在式(4)中只要求得 $\pm L_{i,8}$, 即可求得 $\pm L_{i,141}$, 而 $\pm L_{i,8}$ 具有每月一次水质、水量同步观测资料, 则 8 个基点站第 i 污染物的年负荷量的计算公式为

$$\pm L_{i,8} = \pm \sum_{j=1}^8 \left(\sum_{n=1}^{12} Q_{n,j} C_{n,ij} \right) \quad (5)$$

式中, $\pm L_{i,8}$ 为第 i 污染物 8 个基点站的年负荷量之和 (t/a); $Q_{n,j}$ 为第 j 条河道月平均流量 (m^3/s), 以入湖为“+”, 出湖为“-”; n 为月份; $C_{n,ij}$ 为第 j 条河道第 i 污染物月平均含量, 但每月仅一次实测资料, 代表月平均值, 显然其误差较大, 所以计算时采用年内入湖或出湖的平均含量 (mg/L)。以第 i 污染物 8 个基点站的年负荷量之和 $\pm L_{i,8}$, 代入式(4), 即得环太湖全段 141 条河道第 i 污染物年负荷量 $\pm L_{i,141}$ (t/a)。

2.3 不同设计水情年环湖河道污染物年负荷量 以不同设计水情年的第 i 污染物 8 个基点站的年负荷量之和 $\pm L_{i,8}$ 分别代入式(4), 即可得不同设计水情年的环太湖全段河道入湖、出湖 i 污染物年负荷量 $\pm L_{i,141}$ (t/a)。其中枯水年 ($P = 90\%$) 1968 年的污染物的入湖、出湖年内平均含量借用偏枯水年 1988 年 8 个基点站的实测含量, 其计算结果

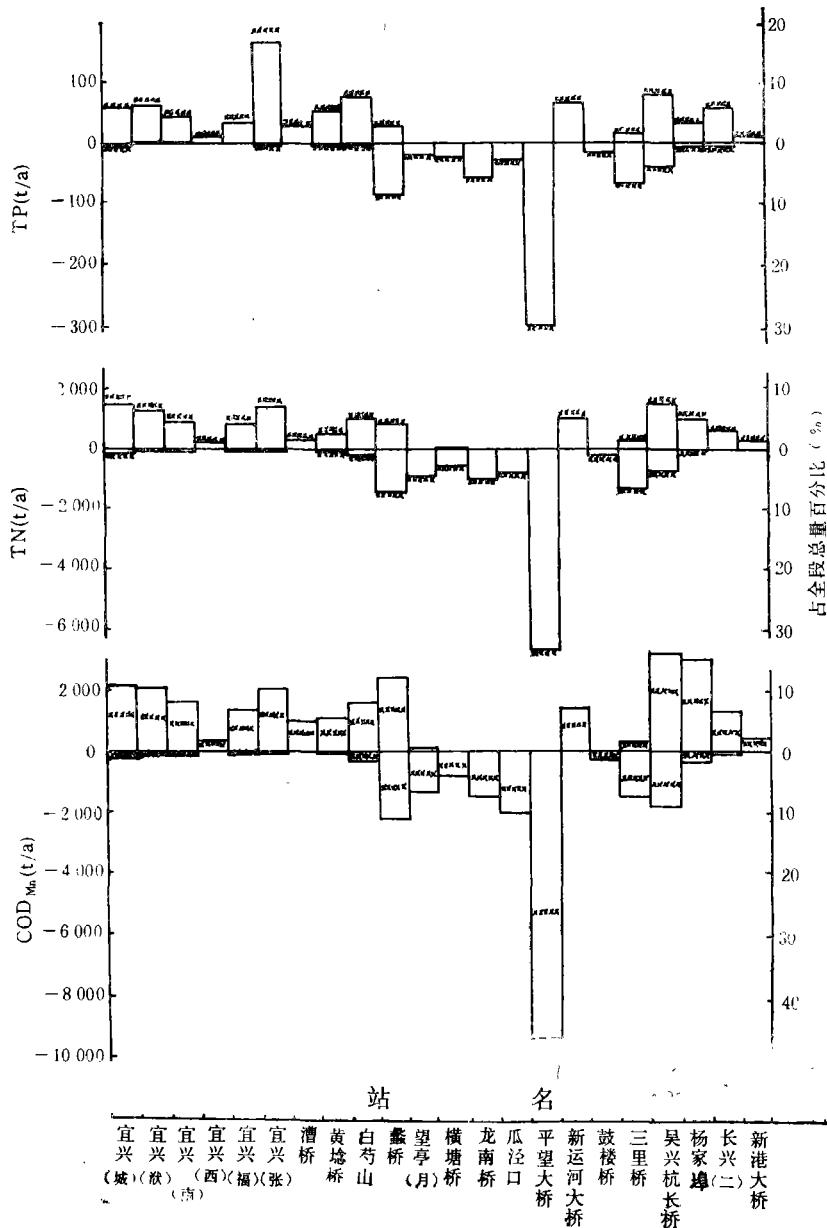


图5 1987年环太湖主要河道污染物年负荷量(t/a)及其占全段总量的百分比(%)

Fig. 5 Annual pollutant load (t/a) of the main rivers around Taihu Lake and its percentage (%) of the total amount (1987)

—年负荷量 (t/a); ××××百分比(%).

见表4。

3 环湖河道污染物负荷量随时间的变化

3.1 环湖河道污染物量年内变化 河道污染物含量及负荷量的年内变化与水情有关,含量的最大值出现在低水期的11月一次年5月,最小值出现在丰水期的6月—9月。而污染物负荷量的年内变化则主要取决于环湖河道流量的变化,入湖、出湖污染物负荷量

$\pm L$ 的最大和最小值分别出现在河道入湖、出湖流量 $\pm Q$ 的最大和最小值的月份。

3.2 环太湖河道污染物负荷量的年际变化 河道污染物负荷量的年际变化同样也取决于河道水情的年际变化。由图 4 看出,不同设计水情年环太湖全段河道入湖、出湖污染物负荷量,一般,枯水年入湖污染物负荷量大于丰水年,而出湖污染物负荷量则相反,枯水年小于丰水年。故净入湖污染物年负荷量往往是枯水年大于丰水年。

4 环湖河道污染物负荷量的分布

环湖河道污染物负荷量的分布,这里以 1987 年的 TP, TN 和 COD_{Mn} 的年负荷量为例,由图 5 可见,环太湖 22 条主要河道的入湖污染物负荷量占全段入湖总量的 72%—91%,出湖污染物负荷量占全段入湖总量的 62%—69%,且不同污染物的入湖、出湖负荷量的分布不尽相同,其具体分布详见图 5。

5 结语

平原水网地区由于水面比降较小,河湖流向常顺、逆不定,在计算环湖河道污染物负荷量时,必须对每一条河道分别计算其入湖和出湖的污染物负荷量。太湖流域水情年际变化悬殊,而污染物负荷量与水情关系密切,为使求得的污染物负荷量具有一定的代表性,在计算时必须首先进行设计水情分析。结果表明,枯水年环湖河道入湖污染物负荷量大于丰水年,河湖水体污染严重。为保护太湖水质,进行环湖河道污染物总量控制,必须在削减环湖河道污染物量的分析研究基础上,进一步探讨和控制河道基点站以上的点源和面源污染物负荷量。

参 考 文 献

- 长江流域规划办公室水文处,1980,水利工程实用水文水利计算,水利出版社(北京),135—150。
 顾丁锡,舒金华,1988,湖泊水污染预测及其防治规划方法,中国环境科学出版社(北京),132—135。
 袁静秀,1992,太湖水情特征,湖泊科学,4(4): 17—20。

PRELIMINARY STUDY OF POLLUTANT LOAD IN THE RIVERS AROUND TAIHU LAKE

Yuan Jingxiu, Huang Yiping

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica 210008)

ABSTRACT

The spatiotemporal changes of the pollutant load in these rivers, their analysis and computation on the basis of the observed data on the water quality and water quantity during 1987—1988, and the historical data of flow and water quality in the main rivers around Taihu Lake, and the characteristic of different water regimes in the plain river network area, are presented in this paper. All the results show that the pollutant load has close relationship with the water regime and that the pollutant load in a low-water year is greater than that in a high-water year. The in flow pollutant load of the twenty-two main rivers around Taihu Lake is 72%—91% of all river-derived pollutant loads. The distribution of inflow load of the different pollutants is not exactly the same.

Key words The rivers around Taihu Lake Water regime Pollutant load