

# 千岛湖水环境质量调查与保护对策

韩伟明\*

(杭州市环境保护科学研究所, 杭州 310007)

胡水景

(淳安县环境监测站, 淳安 311700)

金卫

(浙江大学流体工程技术研究所, 杭州 310027)

李瑾 李峻雷 王进

(杭州市环境监测中心站, 杭州 310007)

**摘要** 通过1992~1993年千岛湖水质、底质、生物和污染源调查,对其水环境质量和污染物输入作了综合评价。结果表明,千岛湖水质状况良好,但局部水域水质污染逐年加重,湖泊已属中营养状态。非点源输入量占入湖污染总量的95%,其中50%来自上游安徽来水。建立了对流扩散模型并进行水质预测,提出了千岛湖水环境保护对策。

**关键词** 水环境质量 调查 评价 保护对策 千岛湖

千岛湖系新安江水库的别称,是一个具有多年调节功能的大型水库,具有发电、防洪、饮用及工农业用水、养鱼、航运和游览等功能。1982年被国务院定为国家级风景名胜区,并被林业部定为国家级森林公园。千岛湖水质明净,大部分水域达Ⅰ~Ⅱ类。但是,流域内不合理开发导致的水土流失,以及废水、废渣直接入湖,使局部水域污染加重。因此,调查千岛湖水环境质量、研究保护对策,对于合理开发利用千岛湖资源具有重要的意义。本文根据1992—1993年调查结果并结合历年资料对千岛湖水环境质量进行评价、预测,并提出保护对策。

## 1 环境概况

千岛湖位于浙江淳安县与安徽歙县交界的山区,流域面积10442km<sup>2</sup>(约60%在安徽);正常高水位108m(黄海高程),相应库容178.4×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>;最大水深97m,平均水深34m;相应水面面积583km<sup>2</sup>(约98%在浙江淳安县,图1)。

流域地形多为低山丘陵,土壤氮、磷含量中等偏低,呈微酸性。气候温暖,雨量充沛,年平均气温17℃,年平均降雨量1430mm。淳安境内森林复盖率达68%。百余条溪流纵横入湖,

\* 现在杭州市水系环境保护监测管理总站工作(杭州 310005)

来稿日期:1995-04-12;接受日期:1995-08-20。

作者简介:韩伟明,男,1945年生,高级工程师。1967年毕业于浙江大学化学系。现主要从事环境监测及研究方面的工作,已发表有关论文30余篇。

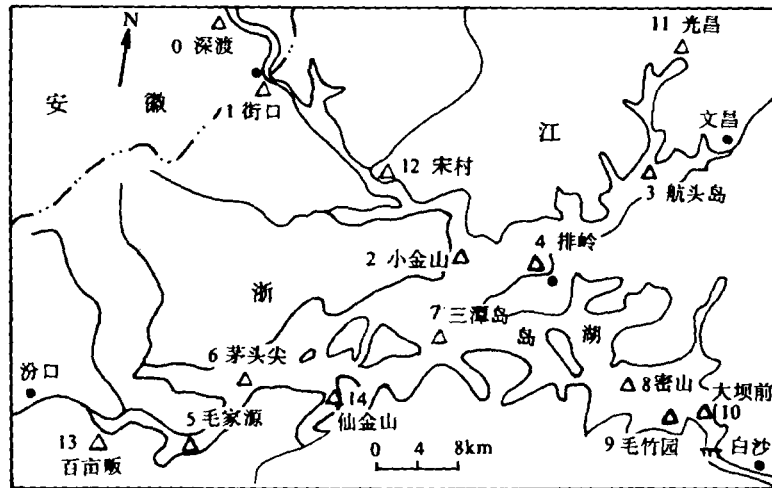


图1 千岛湖地理位置及调查测点分布图

Fig. 1 Location and sampling points of Qiandao Lake

多年平均入湖水量  $94.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 大坝泄水量  $91.07 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。流域内人口偏少, 交通不便, 工农业基础薄弱。

## 2 调查内容和方法

1992~1993年对千岛湖的水质、底质、水生生物及沿岸污染源(以淳安县为界)进行调查。按水流方向共布设15个测点(图1)。调查和监测方法参照有关规范<sup>[1,2]</sup>进行, 深水区加密采样层次, 表层底质于1992年平水期采集, 污染源调查以1992年为基准。调查项目分三大类: ①水质25项: 水温、pH、DO、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TN、TP、水溶性磷、透明度(SD)、硬度、碱度、悬浮物(SS)、电导率、As、Hg、 $\text{Cr}^{6+}$ 、Cu、Pb、Zn、Cd、Fe和Mn; ②水生生物4项: 细菌总数、大肠菌群数、浮游藻类和叶绿素a(Chl-a); ③底质12项: OM、pH、TN、TP、Fe、Mn、Zn、Hg、Cr、Pb、Cd和Cu。采用《GB3838-88标准》等有关标准<sup>[3]</sup>进行评价。

## 3 调查结果

### 3.1 污染物输入、输出

**3.1.1 点源输入** 根据调查区内35家企业、25家医院和28.52万人口调查, 1992年累计生产、生活废水量  $969.49 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 点源输入量: TN为261.38t/a, TP为27.7t/a,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 为3089t/a。

**3.1.2 非点源输入** ①地表输入: 采用单位负荷法计算地表输入量<sup>[1]</sup>。经调查, 地表输入量TN为11657.5t/a, TP为312.9t/a,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 为56740t/a; ②湖面输入: 包括航运、降尘、降雨及养鱼等4个方面输入, 累计TN为168.04t/a, TP为70.75t/a(表1)。

由表1可见, 95%左右的氮、磷污染物以非点源途径输入, 点源输入仅占5%。而非点源输入中又以径流输入为主, TN、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 占总量的90%左右, TP约占70%; 而其中约一半来

自安徽新安江。

表 1 营养物入湖量

Tab. 1 Input of nutrients into the lake

来源	入湖方式	度(污)水量 ( $\times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$ )	COD <sub>Mn</sub>		TN		TP		
			(t/a)	(%)	(t/a)	(%)	(t/a)	(%)	
点源	工业	直接	322.54	1460.3	193.0		18.9		
		间接	356.19	1260.4	24.4		3.9		
	生活	直接	289.76	368.55	0.62	43.98	0.36	5.1	1.24
	小计		968.49	3089.25	5.16	261.38	2.16	27.7	6.73
非点源	安徽新安江	间接	$48.5 \times 10^4$	28227	47.18	6062.5	50.16	194	47.16
	淳安境内径流	间接	$45.87 \times 10^4$	24243.3	40.52	5021.3	41.54	101.6	24.70
	经由径流小计			52470.3	87.70	11083.8	91.70	295.6	71.86
	湖岸区间	直接		4268.5	7.13	573.7	4.75	17.3	4.21
	经由地表小计			56738.8	94.83	11657.5	96.45	312.9	76.07
	船舶航运	直接	3.94	3.84		0.46		0.06	0.01
	降尘	直接				5.96		0.09	0.02
	降水	直接	$7.588 \times 10^4$			159.34	1.37	70.57	17.16
	水产养殖投饵	直接				3.28		0.04	0.01
	经由水面小计			3.84	0.01	168.04	1.39	70.75	17.20
	小计			56742.64	94.84	11825.54	97.84	383.65	93.27
		直接	度(污)水:	6101.19	10.20	978.22	8.10	111.85	27.19
	合计	间接	径流:	537307	89.50	11108.2	91.90	299.5	72.81
		$1.02 \times 10^4$	59831.89	100.00	12086.92	100.00	411.35	100.00	

3.1.3 污染物输出 1992年千岛湖泄水量  $92.92 \times 10^8 \text{m}^3$ , 沿岸生产、生活用水总量约  $0.8 \times 10^8 \text{m}^3$ , 净产鱼类 1597.7t。累计输出量: TN 9317t/a, TP 121.1t/a, COD<sub>Mn</sub> 45761t/a。

3.1.4 污染物收支平衡 1992年千岛湖氮、磷等污染物输入量大于输出量, 湖内剩余量: TN 2770t/a, TP 290.3t/a, COD<sub>Mn</sub> 14071t/a。污染物的积累会加重千岛湖水质污染。

### 3.2 水质

3.2.1 基本状况 千岛湖多年平均水温  $15.8^\circ\text{C}$  ( $12.9 \sim 19.9^\circ\text{C}$ ); SD 4.9 (0.25~10.0)m, 基本上可达无色、透明(汛期除外); 电导率  $93(72 \sim 113) \mu\text{s}/\text{cm}$ ; pH 7.22 (6.70~8.30); 总硬度  $46.52 \text{mg}/\text{L}$ , 属  $\text{HCO}_3\text{-Ca}^{2+}$ -I型水。DO 较高,  $8.19(6.28 \sim 9.80) \text{mg}/\text{L}$ ; COD<sub>Mn</sub> 和 BOD<sub>5</sub> 较低, 分别为  $1.70(0.95 \sim 2.46) \text{mg}/\text{L}$  和  $0.99(0.20 \sim 2.01) \text{mg}/\text{L}$ ; 这 3 项指标全湖均值达 I 类标准。TN、TP 亦较低, 分别为  $0.98(0.80 \sim 1.58) \text{mg}/\text{L}$  和  $0.018(0.031 \sim 0.051) \text{mg}/\text{L}$ ; CN、As、Hg、Cr<sup>6+</sup>、和酚等毒物长年未检出, Pb、Cd 均低于 I 类标准。

3.2.2 时空分布 ①垂向变化: 湖心区水温、DO 的垂向变化示于图 2。千岛湖夏季水温和 DO 明显分层, 表、底层水温相差  $14.3^\circ\text{C}$ , DO 相差  $1.5 \text{mg}/\text{L}$ ; 而冬季呈混合型; ②纵向变化: 自深渡至大坝前沿千岛湖主流方向水质纵向变化示于图 3。各项水质指标总体上呈递减变化(DO 和 SD 呈改善趋势), 这与上游安徽来水夹带泥沙及沿岸集镇污水入湖后, 沉淀、稀释等有关; ③季节变化: 1992年 4 月至 1993年 7 月千岛湖主要水质指标呈现较明显的季节变化。一般来说, 丰水期升至峰值, 枯水期有所回落, 次年平水期降至谷值, 充分显示了汛期入

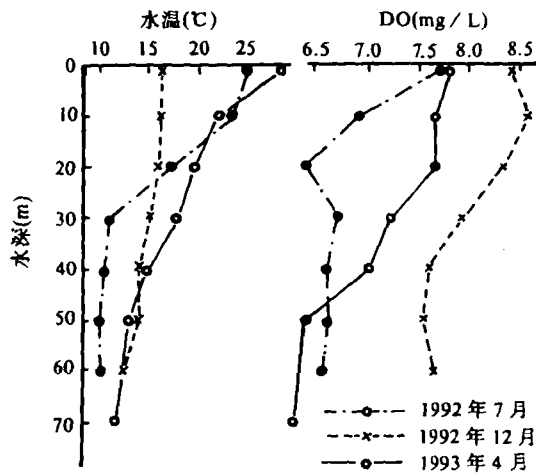


图2 湖心区水温 DO 垂向变化

Fig. 2 Vertical profiler of water temperature and DO in the central part of Qiandao Lake

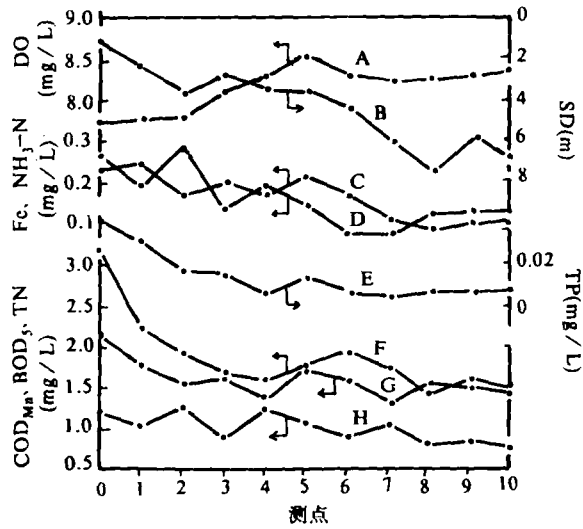


图3 水质纵向变化

Fig. 3 Longitudinal variation of water quality in Qiandao Lake

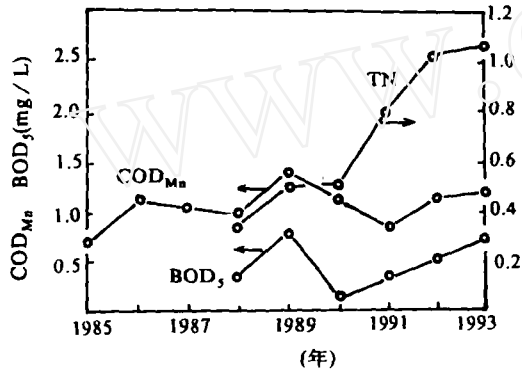


图4 千岛湖水水质历年变化

Fig. 4 Annual variation of water quality in Qiandao Lake

湖的污染物在大型湖库中的沉降、消解过程。④历年变化:综合1985年以来 TN、COD<sub>Mn</sub>等水质指标的年际变化示于图4。经 F 检验,在5%显著性水平下,TN、COD<sub>Mn</sub>两指标年际差异极显著,BOD<sub>5</sub> 差异显著,总体呈上升趋势。

3.2.3 水质评价 采用《GB3838-88 标准》评价,约占全湖 15.73%的水域(街口和小金山),因 TP 超标属 III 类水质;20.24%水域属 I 类水质;其余约 64%水域可达 I 类水质;全湖平均水质可达 I 类水质。满足“水域功能区划”的控制目标。

采用《BG12941-91 景观娱乐用水水质标准》评价,均能满足 B 类国家重点风景游览区水

体标准。

采用“湖泊富营养化评价和分级标准”<sup>[3]</sup>评价,约占全湖 15.6%的水域(街口、航头岛)属中富营养,其余 84.4%水域属中营养;全湖平均属中营养(表 2)。

### 3.3 水生生物

3.3.1 细菌总数和大肠菌群数 全湖平均细菌总数 210 个/mL;各测点大肠菌群数差异悬殊,最大值 16000 个/L(深渡),最小值 20 个/L(三潭岛西)。两项指标呈现明显的纵向变化:上游高、下游低,近岸区高、湖心区低。

3.3.2 浮游藻类 共鉴定浮游藻类 8 门 7 属 112 种,其中蓝藻门 10 属 11 种,绿藻门 30 属 40 种,硅藻门 15 属 24 种,金藻门 9 属 19 种,隐藻门 3 属 4 种,甲藻门 4 属 4 种,裸藻门和黄

藻门各 2 属 2 种。藻类种类绿藻最多,占种类总数的 41.07%,依次是硅藻(21.43%)和金藻(16.96%),其余五门合计占 20.54%。

表 2 千岛湖水水质富营养化程度评价

Tab. 2 Assessment of eutrophic state in Qiandao Lake

站 位	Chl-a (mg/m <sup>3</sup> )	TP (mg/m <sup>3</sup> )	TN (mg/m <sup>3</sup> )	CCD <sub>Mn</sub> (mg/L)	SD (m)	评分值	营养 程度
1. 街口	10.07	40	1250	2.21	2.2	47.0	中富
2. 小金山	4.92	26	1020	1.87	3.6	39.8	中
3. 航头岛	5.96	24	1090	1.64	2.8	40.7	中富
4. 排岭水厂	3.33	14	800	1.54	3.6	37.3	中
5. 毛家源	4.66	22	1180	1.73	3.6	39.8	中
6. 茅头尖岛北	3.39	14	1060	1.89	4.4	38.2	中
7. 三源岛西	1.76	13	770	1.72	6.1	33.9	中
8. 密山	0.83	14	1000	1.39	7.7	31.5	中
9. 毛竹园	1.37	14	990	1.54	6.1	33.7	中
10. 大坝前	0.91	14	850	1.44	6.7	31.6	中
全湖平均	3.47	18	963	1.73	4.6	36.9	中

藻类密度:全湖平均为  $75.82 \times 10^4$  cell/L。各门间有差异,绿藻最高,占总量的 59.11%,硅藻次之(23.03%),两者合计占 82.14%,构成了千岛湖藻类的主要部分,余下是绿藻(7.08%)和金藻(6.5%),其余四门合计占 4.3%。同时呈明显的纵向分布:街口一小金山一线密度最高,西南和东北两湖区次之,均接近甚至超过富营养化的水平,与安徽来水及沿岸集镇污水入湖有关;湖心和出口区最低,仅  $20 \times 10^4$  个/L。各测点藻类密度与 SD 呈负相关:  
(总藻量) =  $179.36 - 23.57(\text{SD})$   $r = -0.769$ 。

3.3.3 Chl-a 全湖平均为  $3.39(0.31 \sim 10.28)$  mg/m<sup>3</sup>。平水期最高( $4.85$  mg/m<sup>3</sup>);枯水期次之( $2.75$  mg/m<sup>3</sup>);丰水期最低( $2.57$  mg/m<sup>3</sup>),与浮游藻类遭洪水冲击而被破坏有关。各测点 Chl-a 与湖水 SD、TP 呈明显的相关性:

$$(\text{Chl-a}) = 10.992 - 1.60(\text{SD}) \quad r = -0.90$$

$$(\text{Chl-a}) = -1.965 + 298.6(\text{TP}) \quad r = 0.949$$

3.3.4 生物指标历年变化 历年的细菌总数和浮游藻类数据经 F 检验,在 5% 显著性水平下,浮游藻类平均总量的年间差异显著。细菌总数差异不显著,但总体呈上升趋势。

#### 3.4 底质

底质 pH 平均为 5.96,呈弱酸性,与流域内土壤微酸性有关。平均 TOC 为 2.38%,TN 为 1441 mg/kg, TP 为 615 mg/kg,均明显低于或接近国内中贫营养湖库的水平。

选用流域内土壤背景值作评价标准,计算金属元素的自然富集系数  $F_i^{[4]}$ 。Cd、Hg 和 Zn 的  $F_i$  值均大于 2,说明底质 Cd、Hg 和 Zn 有污染的迹象。

## 4 水质模型及预测

选择皖浙交界的街口一小金山河段建立对流扩散模型并进行水质预测。

#### 4.1 扩散模型

街口一小金山河段的河深与河宽比以及河宽与河长比均很小, 沿岸地形复杂而现有水文、水质资料均为点测值, 故采用一维扩散模型。

$$\text{扩散方程: } \frac{\partial C}{\partial x} + \left( \frac{1}{Q} \cdot \frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{K_1}{V} \right) C = \frac{M}{Q} \quad (1)$$

式中,  $C$  为污染物浓度 (mg/L);  $K_1$  为综合自净系数;  $Q$  为流量 (m<sup>3</sup>/s);  $V$  为平均流速 (m/s);  $M$  为沿水流方向单位距离内增加的污染负荷 (mg/km)。

求解方程(1)结果如下:

$$C(x) = \frac{1}{1+\gamma X} \left[ C_0 e^{-\frac{K_1}{V}x} + \frac{MV}{K_1 Q_0} (1 - e^{-\frac{K_1}{V}x}) \right] \quad (2)$$

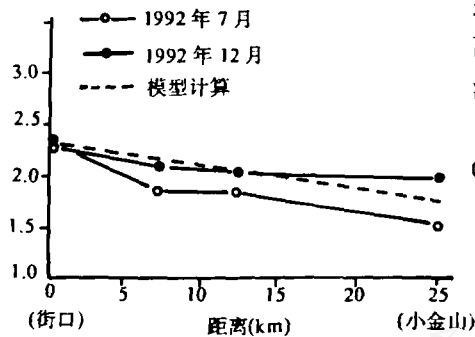


图5 COD<sub>Mn</sub>扩散方程验证

Fig. 5 Verification of COD<sub>Mn</sub> diffusion model

式中,  $\gamma$  为沿岸集水面积变化率;  $X$  为距街口的下游距离 (km);  $C_0$  和  $Q_0$  分别是街口的污染物浓度 (mg/L) 和流量 (m<sup>3</sup>/s)。

调查沿程各测点的集水面积、水质及污染源, 求得 COD<sub>Mn</sub> 沿河流的浓度方程:

$$C(X) = \frac{1}{1+\gamma X} \left[ C_0 e^{-\frac{K_1}{V}x} + \frac{M}{Q_0} \cdot \frac{V}{K_1} (1 - e^{-\frac{K_1}{V}x}) \right] \quad (3)$$

$$\gamma = 8.32 \times 10^{-3}, \quad \frac{K_1}{V} = 1.58 \times 10^{-2}, \quad \frac{M}{Q_0} = 0.028$$

#### 4.2 实测验证

COD<sub>Mn</sub> 扩散方程(3)计算值与实测值列于表3并示于图5。扩散方程具有相当高的预测性, 实测验证误差

大部分在10%以内。

#### 4.3 水质预测

要使小金山测点 COD<sub>Mn</sub> 达到“水功能区划”控制的 I 类标准 (4mg/L), 由方程(3)计算, 街口 COD<sub>Mn</sub> 应控制在 5.02mg/L 以下; 同理, 当街口 COD<sub>Mn</sub> 在 I 类标准时, 小金山 COD<sub>Mn</sub> 浓度约为 3.18mg/L。

表3 COD<sub>Mn</sub> 扩散方程计算值与实测值比较 (mg/L)

Tab. 3 comparison of calculated results of COD<sub>Mn</sub> diffusion model and monitoring data

年 份	街 口		小 金 山		相对误差%
	实测值	计算值	实测值	计算值	
1985	1.4	1.14	1.14	1.264	10.85
1986	2.37	1.86	1.86	1.817	2.31
1987	1.73	1.41	1.41	1.452	2.97
1988	2.37	1.72	1.72	1.317	5.64
1989	2.45	2.17	2.17	1.863	14.16
1990	2.21	1.63	1.63	1.726	5.88
1991	2.06	1.64	1.64	1.640	0.01
1992	2.23	1.75	1.75	1.737	0.73

## 5 水环境保护对策

### 5.1 建立机构、依法管理

建议成立由国家有关部委牵头、浙皖两省政府参加的流域管理机构,编制流域发展规划,制定《千岛湖保护条例》及有关法规,协调经济与环保的矛盾,依法共同保护好千岛湖。本研究草拟的《千岛湖保护条例(讨论稿)》(略),可供有关部门参考。为鼓励湖区人民继续建设和保护好千岛湖,国家及浙皖两省政府应对流域内经济发展给予必要的优惠政策。

### 5.2 全面规划、合理开发

根据《流域规划》、《保护条例》等法规全面规划、合理开发。调整产业结构,严禁新建和扩建水污染严重且难治理的产业,扶持发展少污染、高产值的产业,尽量采用无污染或少污染工艺;推广“生态农业”,合理开垦坡地,25°以上的坡地要限期退耕还林,提高森林复盖率,减少水土流失。

### 5.3 控制污染物输入

在皖浙两省共同参与下,控制上游安徽径流输入污染物;合理施用化肥,减少氮磷流失污染;加强机动船管理,严禁含油废水和生活污水入湖,控制航运污染;适度发展网箱养鱼,增养食水生物鱼类,减少投饵量;增强对重点污染企业和乡镇企业的管理力度,削减工业废水入湖;尽早完善集镇污水处理设施,减少生活污水入湖。

### 5.4 积累资料、加强科研

浙皖两省有关部门共同积累包括水文、水质、气象、经济及污染源等基础技术资料,进一步开展湖泊科学研究。

### 5.5 加强环保宣传教育

加强流域内各级政府领导的环保意识,自觉并督促下属部门遵守环保法规;开展环保宣传教育,提高民众环境意识。

## 6 结论

据 1992—1993 年调查,入湖废水量  $972.43 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$ ,污染负荷:TN 为  $1.21 \times 10^4 \text{t}/\text{a}$ ,TP 为  $0.04 \times 10^4 \text{t}/\text{a}$ ,COD<sub>Mn</sub> 为  $5.98 \times 10^4 \text{t}/\text{a}$ 。非点源输入量占 95%,其一半来自上游安徽来水,点源输入量仅占 5%。全湖平均水质达 I 类标准,满足“水域功能区划”的控制目标,亦达到国家重点风景游览区水体标准,属中等营养程度。底质中氮、磷含量较低。但临近安徽的局部水域(占 15%左右)属 III 类水质;全湖平均 COD<sub>Mn</sub>、TN、藻类总量等指标逐年上升,故防治水环境污染刻不容缓。

建立了街口一小金山河段对流扩散模型,预测误差基本上在 10%以内。为控制上游入湖污染提供科学依据。提出了水环境保护对策:建立流域管理机构,制定《保护条例》和有关法规,依法治水;全面规划,调整产业结构,合理开发;控制污染物(尤其是上游安徽来水)输入;积累资料,进一步开展科研;加强宣传,提高民众的环境意识。

**致谢** 参加课题工作的还有闻定浓、李东平、蒋美珍、沈小东、程咏旻、盛梦秋、王智迅、叶兆征和方志发等；魏印心、施之新、项斯瑞、吴静波等专家给予热情帮助，谨此一并致谢。

### 参 考 文 献

- 1 金相灿、屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范(第二版). 北京:中国环境科学出版社,1990,114
- 2 国家环保局. 水和废水监测分析方法(第三版). 北京:中国环境科学出版社,1989,283
- 3 舒金华. 我国主要湖泊富营养化程度的评价. 海洋与湖沼. 1993,24(6):616~620
- 4 余中盛,孟宪玺等. 松花湖及入湖河流沉积物中重金属的分布规律和污染的调查研究. 海洋湖沼环境污染学术讨论会论文集. 北京:科学出版社,1984:90

## INVESTIGATION AND PROTECTION COUNTERMEASURES OF WATER ENVIRONMENTAL QUALITY IN QIANDAO LAKE

Han Weiming

(Hangzhou Institute of Environ. Protection Sci., Hangzhou 310007)

Hu Shoujing

(Chun-an Station of Environ.  
Monitoring, Chun-an 311700)

Jin Wei

(Institute of Fluid Eng. Technology,  
Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Li Jin

Li Junlei

Wang Jin

(Hangzhou Environ. Monitoring Centre, Hangzhou 310007)

### Abstracts

On the basis of investigation from 1992 to 1993 on water quality, sediment, biology and pollution sources of Qiandao Lake, the status of water environmental quality in Qiandao Lake and total input of pollutants into the lake were comprehensively assessed. The result indicates that the water quality in Qiandao Lake remains well, while the water quality pollution in local region increases with years and trophic status tends to become mesotrophic. 50% of non-point pollution load, equivalent to 95% of total input of pollutants into the lake, were derived from the upper rivers of Anhui Province. A convection diffusion model of water quality was established and the water quality was predicated. Some protection countermeasures of water environmental quality in Qiandao Lake were suggested.

**Key Words** Water environmental quality, investigation, assessment, protection countermeasures, Qiandao Lake