

79-84

杭州西湖沉积物的若干物理和化学性状<sup>p512.3</sup>李震宇<sup>1</sup> 朱荫湄<sup>2</sup> 王 进<sup>3</sup>

p343.3

(1:浙江省环境监测中心站,杭州 310012;

2:浙江农业大学环境科学系,杭州 310029;3:杭州市环境监测站,杭州 310006)

**提 要** 于1995年4月—1996年1月对杭州西湖沉积物的若干物理、化学性状作了研究。沉降试验表明,沉积物中粒径在0.067—0.0029mm之间的颗粒占沉积物总量的80.8%,0.0029mm以下的占4.3%,基本属于粉砂级范围,沉积物受扰动后再悬浮会明显影响水体的透明度。沉积物处于中性(pH=6.60—7.40)和低厌氧状态(Eh=-3mV至167mV),界面溶解氧含量在1mg/L左右。沉积物生物产量数(BPN=0.4836)和烧失量与全氮量之比(IG/TN=22.54—30.71)表明西湖是富营养的腐殖型湖泊。沉积物参数的主成分分析证实了西湖沉积物的沼泽来源,并表明引水后小南湖沉积物特征与其它湖区相比已有较大差异。

**关键词** 沉积物 杭州西湖 营养物质 主成分分析  
**分类号** P343.3

化学性状, 物理性状

沉积物作为湖泊营养物质的内负荷源,其物理性质、物理化学性质、化学性质以及生物化学性质都对湖泊的富营养化进程产生着重要的影响。富营养化的杭州西湖底泥储量丰富,多年来虽采取了种种治理措施,但水质的改善仍不明显,因此底泥对西湖富营养化的影响不容忽视,据估算西湖沉积物每年的释磷量达1.346t<sup>[1]</sup>。本文选择了若干沉积物物理和化学性质,包括沉降特性、粒径分布、营养物质含量、酶的活性等,对西湖沉积物的特性作一描述。

## 1 材料与方法

### 1.1 样点布置和样品采集

采样船湖面定点采集;采样工具:日产蚌式抓斗采泥器;采样深度:0—10cm。

### 1.2 测定参数及方法

1.2.1 沉降速率和粒径分布 比重计法<sup>[2]</sup>。

1.2.2 pH值和Eh pHB-29c便携式酸度计现场测定。

1.2.3 沉积物营养参数 (1)烧失量(IG):将经105℃烘干后沉积物(W<sub>1</sub>)放入箱式电阻炉内,550℃灼烧1h,得灼烧后沉积物(W<sub>2</sub>)。

$$\text{烧失量(IG)} = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100\%$$

(2)吸湿水(W<sub>d</sub>):重量法<sup>[2]</sup>;(3)有机质(OG):丘林法<sup>[3]</sup>;(4)总氮(TN):开氏消煮法<sup>[2]</sup>;(5)磷酸酶活性:磷酸苯二钠比色法<sup>[4]</sup>;(6)蛋白酶活性:茚三酮比色法<sup>[4]</sup>;(7)纤维素酶活性:硝基水杨酸比色法<sup>[4]</sup>。

\* 浙江省自然科学基金(294059)资助。

收稿日期:1996-11-04;收到修改稿日期:1997-06-28。李震宇,男,1971年生,硕士。

## 2 结果和讨论

### 2.1 西湖沉积物的再悬浮沉降试验

西湖沉积物颗粒粒径有 80.8% 处在 0.067-0.0029mm 之间,属粉砂级范围,有 4.3% 小于 0.0029mm,属粉土范围.实验现象表明,未沉积的颗粒使沉降筒内透明度小于 5cm,而要使沉降筒内水柱见底至少需要 1 个月的时间.沉降在 60-240s 时,产生明显的絮凝现象,如图 1 曲线的起始段所示.

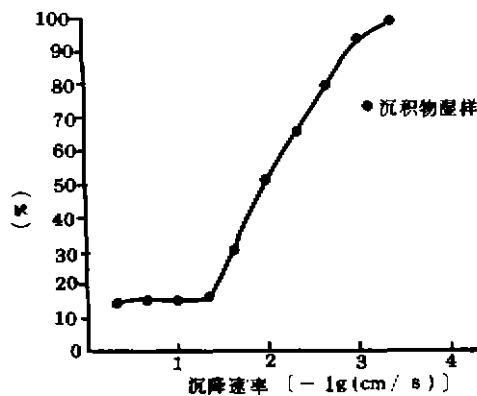


图 1 再悬浮颗粒沉降速率分布曲线

Fig. 1 Distribution curve of suspension particles settling velocity

由于沉积物是最复杂的絮凝体,其中的矿物微粒、粘土矿物、水合金属氧化物、腐殖质、有机质等相互作用,通过各种凝聚、絮凝方式相互絮凝<sup>[5]</sup>,影响了再悬浮沉积物的沉降.作为游览型湖泊,船桨的频繁扰动使西湖沉积物再悬浮,再悬浮后的沉积物不易沉降,这有可能是导致水体透明度得不到改善的重要原因.此外,当湖水的可溶性磷小于 14 $\mu\text{g/L}$ 时,浮游藻类就开始利用吸附在悬浮颗粒上的磷<sup>[6]</sup>.由于西湖水质正好符合了这个条件,因此悬浮颗粒上的磷可以被藻类吸收利用,从而促进了藻类繁殖.再

悬浮后的沉积物长期滞留在水中还会增加水中呈溶解态和结合态(结合在粘土及铁的氢氧化物上)的腐殖质的含量,这也对湖水的透明度造成一定的影响.

### 2.2 沉积物的 pH 值和 Eh

西湖沉积物 pH 和 Eh 的时空分布如表 1 所示.

沉积物 pH 值冬(平均 7.28)、春季(平均 7.28)略高于夏(平均 6.92)、秋季(平均 7.09),全年总体值在 7.0 附近波动,处于中性环境.各点 Eh 变化范围:春季 50-165mV,夏季 2-157mV,秋季 -3mV 至 17mV,冬季 7-157mV,均属还原性环境.界面溶解氧含量用溶解氧测定仪测定在 1mg/L 左右.长桥、湖心、少年宫、北里湖等湖区的沉积物电位相对较高,西部靠山湖区则相对较低.在上述电位范围内,参与氧化还原反应的物质其主要的存在形态是  $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{FeCO}_3$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  和各种形态的有机质<sup>[7]</sup>.

### 2.3 利用沉积物参数对西湖营养状况的判别

目前国内对湖泊营养状况的评价只局限于水体,这里利用以沉积物参数为基准得到的湖泊生物产量数(BPN)和生物产量指数(BPI)对整个西湖(包括水体、沉积物)的营养状况作一初步评价.

**2.3.1 烧失量与有机质含量** 沉积物有机质包括浮游生物有机残体、微生物、微生物的中间分解产物以及微生物生命活动的代谢产物和沉积物中有机残体经过一系列生化反应形成的腐殖质,而烧失量(IG)往往被用作湖泊沉积物中有机质的量度,是沉积物有机质含量的粗略估计,西湖沉积物有机质(OG)和烧失量(IG)的相关关系如下:

$$\text{OG} = -1.5262 + 0.4954\text{IG}, r = 0.9500 (\alpha = 99\%, n = 9)$$

二者之间相关性显著.

表 1 西湖四季的沉积物 pH 和 Eh(mV)(1995 年)<sup>1)</sup>

Tab. 1 pH and Eh value of West Lake sediment in different seasons, 1995

地点	少年宫		北里湖		岳湖		西里湖		三潭印月		小南湖		长桥		湖心		荷花区	
	pH	Eh	pH	Eh	pH	Eh	pH	Eh	pH	Eh	pH	Eh	pH	Eh	pH	Eh	pH	Eh
春季	7.35	50	7.20	70	7.15	100	7.35	120	7.35	120	7.35	50	7.15	154	7.25	165	7.35	130
夏季	6.72	127	6.70	92	7.15	17	6.87	2	6.81	27	7.20	7	6.80	157	7.09	27	-	-
秋季	6.60	37	6.90	-3	7.31	-3	7.38	7	7.30	20	7.30	27	7.00	67	6.90	117	-	-
冬季	7.30	117	6.80	157	7.20	67	7.40	107	7.40	107	7.30	107	7.40	157	7.4	7	-	-

1) 测定时间:春季,4月25日,雨,沉积物温度 16℃;夏季,7月17日,晴,沉积物温度 16℃;

秋季,10月23日,晴,沉积物温度 16℃;冬季,1月15日,雨,沉积物温度 5.5℃.

2.3.2 沉积物烧失量、全氮量和西湖的营养水平 9个样点的沉积物烧失量与总氮(TN)之间有极显著的线性关系:

$$TN = -1.8238 + 0.4836IG, r = 0.9584 (a = 99.9\%, n = 9)$$

利用沉积物的这一特性可以划分湖泊的营养类型.定义总氮量对烧失量(IG)的回归线斜率为生物产量数(BPN)<sup>[8]</sup>,它表示沉积物的 C/N 值,不同营养水平的湖泊具有不同的 BPN 值,贫营养湖的 BPN 小于 0.33,中营养湖为 0.33-0.45,富营养湖为 0.45-0.65.西湖的 BPN 值为 0.4836(图 2),属于富营养湖(图 3),回归线上 IG=10% 处的沉积物总氮定义为生物产量指数 BPI,作为特定有机质含量下的标准度量值,西湖的生物产量指数为 3.0122(图 2).

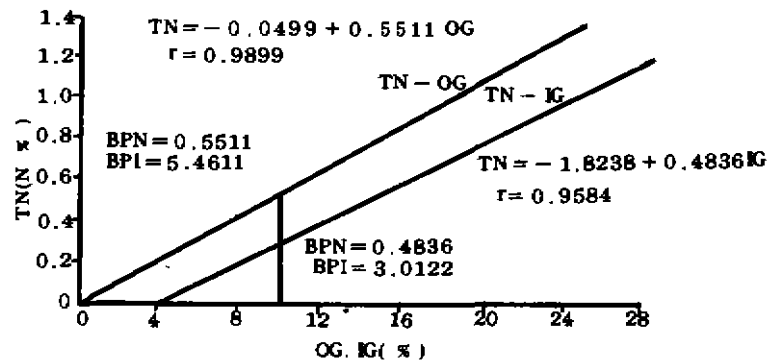


图 2 西湖的生物产量数(BPN)和生物产量指数(BPI)

Fig. 2 Biology production number and biology production index of West Lake

有机质含量与全氮量的线性关系更加显著(图 2):

$$TN = -0.0499 + 0.5511OG, r = 0.9899 (a = 99.9\%, n = 9)$$

反映出烧失量除包含有机质以外,还包括其它一些与生物特性无关的成分,它们在沉积物中含量相对固定,烧失量与有机质含量之差一般在 6% 左右,这些成分可能是矿物化学键结合水及孔隙中的挥发性化合物,这些矿物有粘土矿物、铁锰氧化物、碳酸盐和硫化物等.

2.3.3 西湖的腐殖化程度:沉积物腐殖质是水生物残体及其它有机物质在湖泊沉积物中积累后,经过腐殖化作用形成的高分子高熔点化合物.腐殖化通过微生物进行,微生物的分解

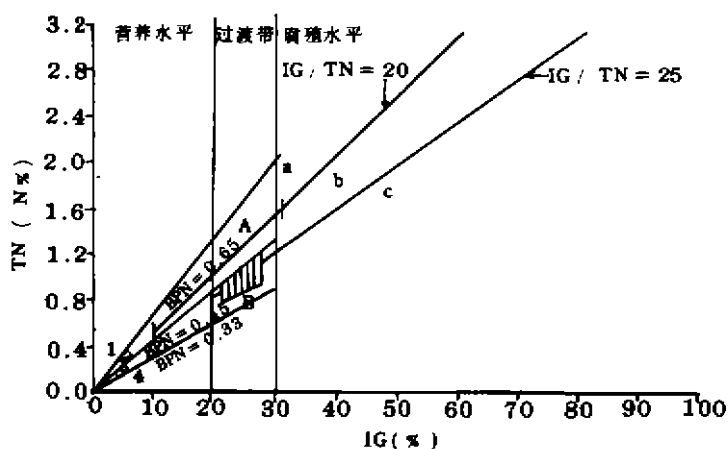


图3 西湖在湖泊沉积物分类中的位置

腐殖水平——a. 寡腐殖湖; b. 中腐殖湖; c. 多腐殖湖;

营养水平——1. 极富营养; 2. 富营养; 3. 中营养; 4. 贫营养;

图中线段 A 代表西湖的营养水平, 方框 B 代表西湖的腐殖水平

Fig. 3 The location of West Lake in sediment classification

合成作用改变了沉积物的碳氮比, 因此可利用烧失量与总氮量之间的关系来划分湖泊的腐殖水平: 当  $IG > 20\%$  时,  $IG/TN < 20$ , 称为寡腐殖湖;  $20 < IG/TN < 25$ , 称为中腐殖湖;  $IG/TN > 25$ , 称为多腐殖湖<sup>[9]</sup>. 按照这种分类法西湖应处在中到多腐殖湖的过渡位置(表 2、图 3).

表 2 西湖各区域的腐殖水平

Tab. 2 Humic level of West Lake

位置	少年宫	北里湖	岳湖 <sup>1)</sup>	西里湖	三潭印月	长桥	湖心	小南湖 <sup>1)</sup>	荷花区
IG/TN	26.14	22.72	27.67	25.11	24.42	22.54	23.43	26.33	30.71
腐殖水平	多腐殖湖	中腐殖湖	-	多腐殖湖	中腐殖湖	中腐殖湖	中腐殖湖	-	多腐殖湖

1) 小南湖和岳湖沉积物由于  $IG < 20\%$ , 故不能用该方法识别其腐殖化水平

2.3.4 沉积物营养参数的主成分分析 对营养参数作主成分分析, 求得数据的相关矩阵, 计算相关阵的特征值和特征向量, 由特征值确定主分量的个数, 对应的特征向量构成计算主分量的变换矩阵. 以上计算通过计算机帮助实现, 所得沉积物各参数的特征值和特征向量如表 3.

经主分量剔除后, 保留主分量个数等于 3, 从表 4 可以看到, 第一主分量 ( $Y_1$ ) 的特征值  $\lambda_1$  为 4.6977, 从它的特征向量可以看出, 它主要由沉积物吸湿水、有机质、烧失量和总氮决定, 是代表沉积物性状的第一要素, 即来源特征, 它体现了西湖沉积物的沼泽来源属性. 第二主分量 ( $Y_2$ ) 的特征值  $\lambda_2$  为 1.5063, 它的特征向量表明它主要由纤维素酶的活性决定, 是可以体现沉积物特征的第二要素, 即有机碳的分解释放能力. 由于西湖沉积物中富含有机质, 从而使底质中纤维素分解酶的活性也相应较高, 第三主分量 ( $Y_3$ ) 的特征值  $\lambda_3$  为 1.2354, 特征向量表明其主要由沉积物总磷和蛋白酶活性决定. 特征值、特征向量分析结合实测数据表明, 西湖沉积物

主要来源于有机质含量丰富的陆地沼泽;沉积物中微生物对有机质的分解能力较强;沉积物含磷量与蛋白酶活性有一定的关系。

表 3 沉积物各参数的特征值和特征向量<sup>1)</sup>  
Tab.3 Eigenvalues and eigenvectors of the sediment partameters

特征值	特征向量							
	吸湿水	有机质	烧失量	总氮	总磷	纤维素酶	蛋白酶	磷酸酶
$\lambda_1 = 4.6977$	0.3290	0.4549	0.4564	0.4501	-0.0545	0.1178	0.2873	-0.4178
$\lambda_2 = 0.0492$	-0.5312	0.3247	-0.1091	0.5040	0.3502	-0.3946	-0.0553	0.2553
$\lambda_3 = 0.0000$	-0.3425	-0.1361	0.8511	-0.3143	-0.0701	-0.1481	-0.0447	0.1099
$\lambda_4 = 0.0069$	0.0017	-0.7856	0.1146	0.6904	0.0087	0.0468	0.2326	-0.0504
$\lambda_5 = 1.2354$	-0.4858	0.0521	-0.0663	0.0395	0.6037	0.1621	0.6033	0.0259
$\lambda_6 = 1.5063$	-0.3181	0.0289	-0.0645	-0.0852	-0.5625	0.7420	0.1120	-0.0847
$\lambda_7 = 0.2894$	0.0608	-0.2194	-0.1525	-0.2629	0.4127	0.4656	0.6190	-0.2924
$\lambda_8 = 0.2151$	0.3891	0.0181	0.1021	0.0486	-0.1352	0.1127	0.3901	0.8077

1) 保留小数点后四位有效数字。

特征值  $\lambda_1$ 、 $\lambda_6$ 、 $\lambda_3$  对应的特征向量组成主分量对应于数据矩阵的变换矩阵 ( $U$ ), 数据矩阵 ( $X$ ) 乘变换矩阵 ( $U$ ) 得到各样点主分量 ( $Y$ ) 座标如表 4。

表 4 各样点的主分量座标  
Tab.4 Coordinates of each samples

位 置	少年宫	北里湖	岳 湖	西里湖	三潭印月	小南湖	长 桥	湖 心
$Y_1$	17.445	16.686	9.935	12.699	20.462	-0.992	16.819	19.708
$Y_2$	-3.808	-3.042	-2.788	-3.371	-4.835	-3.049	-3.570	-4.207
$Y_3$	-2.790	-1.633	-1.776	-1.799	-3.686	-0.433	-1.918	-3.324

主分量坐标显示小南湖 ( $Y_1 = -0.922$ ;  $Y_3 = -0.433$ ) 离群体值较远, 这表明小南湖已显著不同于其它湖区。由于小南湖处于西湖钱塘江引水工程的入口, 因此引水工程也显著影响到小南湖的沉积物性状。

### 3 小结

- (1) 西湖沉积物粒径较细, 不易沉积, 受扰动后再悬浮时, 会明显影响西湖水质。
- (2) 西湖底泥处于中性、低厌氧环境, 有机质含量高。
- (3) 有机质与总氮之间线性相关显著, 利用这一特性, 根据 BPN、BPI、IG/TN 三项指标反映出西湖目前处于富营养(高生物产量)和多腐殖质(高腐殖质含量)的营养状态。
- (4) 营养参数的主成分分析表明小南湖沉积物已明显区别于其它湖区。

## 参 考 文 献

- 1 韩伟明. 底泥释磷及其对杭州西湖富营养化的影响. 湖泊科学, 1993, 5(1): 71-77
- 2 《土壤农业化学常规分析方法》编委会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1989. 42, 79
- 3 《全国主要湖泊、水库富营养化调查研究》课题组. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1987, 188
- 4 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. 291, 301, 309
- 5 汤鸿霄. 环境水化学纲要. 环境科学丛刊, 1988, 9(2): 59-66
- 6 Santiago S, Thomas RL. Phytoplankton utilization of phosphorus bound to suspended sediments from selected tributaries to Lake Geneva. *Journal of Great Lakes Research*, 1992, 18(3): 372-389
- 7 W 斯塔姆, J J 摩尔根著. 水化学. 北京: 科学出版社, 1987. 340
- 8 Hakanson L. On the relationship between lake trophic level and lake sediments. *Manuer Natl Swed Environ Prot Board*, Uppsala, 1983
- 9 Henseu K. Lake types and lake sediments. *Verh Int Ver Limnol*, 1961, 14: 285-290

## Some Physical and Chemical Characteristics of Sediment in West Lake, Hangzhou

Li Zhenyu<sup>1</sup>    Zhu Yinmei<sup>2</sup>    Wang Jin<sup>3</sup>

(1: Environmental Monitoring Center, Zhejiang Province, Hangzhou 310012;

2: Department of Environmental Science, ZAU, hangzhou 310029;

3: Hangzhou Environmental Monitoring Station, Hangzhou 310006)

### Abstract

Some physical and chemical characteristics of sediment in West Lake, Hangzhou are discussed in this article. Precipitation trial test shows that particles with diameter between 0.067mm and 0.0029mm constitute 80.6 per cent of the total sediment in West Lake, and particles with diameter below 0.0029mm constitute 4.3 per cent of the total, and suspended particles can apparently affect the diaphaneity of water. Sediment in West Lake is situated in a neutral anaerobic status (pH = 6.60 - 7.40; Eh = -3mV to 167mV), DO on the interface between water and sediment approximately equals 1mg/L. Biology production number (BPN = 0.4836) and IG - total nitrogen ratio (IG/TN = 22.54 - 30.71) of sediment show that West Lake has a characteristic of both hyperproductive and high humus content. Principal Component Analysis (based on sediment parameters) demonstrates that the precursor of West Lake sediment is bog, and sediment in Xiaonan Lake is apparently different from other areas due to the diversion operation.

**Key Words** Sediment, West Lake(Hangzhou), nutrients, Principal Component Analysis