

杭州西湖的环境水文条件与 水体富营养化问题*

毛 发 新
(杭州大学地理系)

关键词 环境水文条件 水体富营养化 杭州西湖

内 容 提 要

本文根据作者调查所得的西湖环境水文条件资料,分析水体富营养化产生的原因,提出改善西湖水质的对策。

杭州西湖,湖光山色、丰姿绚丽,是驰名中外的游览胜地。然而,西湖水体混浊晦暗、藻类疯长,已成为富营养型湖泊,严重影响人们观赏。

本文拟就西湖的环境水文条件,对促使西湖富营养化问题进行初步分析,为改善西湖水质提供依据。

一、西湖的环境水文条件

我国是一个多湖泊的国家之一,天然湖泊面积在1平方公里以上的有2800多个,西湖是其中之一。每个湖泊,由于形成原因和所处地理环境的不同,都具有它本身所特有的水文状态,西湖也不例外,其水文特征可归纳以下几方面。

1. 小型浅水湖泊:西湖位于杭州市西侧,南北长3.3公里,东西宽2.8公里,周长约15公里,外形呈椭圆形,总面积6.03平方公里。其中除去湖中的孤山及挖湖泥堆积而成的三潭印月、湖心亭、阮公墩诸岛外,水面积5.66平方公里,是小型的湖泊。

西湖的集水面积包括湖面积在内为27.25平方公里,有金沙涧、龙泓涧、长桥溪注入,构成一个小小的西湖水系(见图1)。

金沙涧是西湖水系中最长的溪流,发源于流域内最高的天竺山(海拔为412.2米)北坡,自西南流向东北,在金沙港注入西里湖,全长6公里。龙泓涧是第二大溪,源出龙井,在卧龙桥注入西里湖,全长3.4公里。本流域溪流,源短流急,属山溪性河流,汛期水势凶猛,久晴往往干涸断流。

按成因,西湖是一泻湖,在漫长的形成和发育过程中,曾经沼泽化和多次严重淤塞。

* 参加工作的有:刘经雨、何绍箕、吴板祖、陈田耕、洪紫萍、吴德秀、陆旭东等同志,本文并经林显钰高级工程师审阅,提出宝贵修改意见,特此致谢。

解放前夕，西湖水深仅 0.5 米左右，建国后虽经疏浚，水深达 1.8 米。但由湖水中藻类机体和排入湖中淤泥不断沉积，（沉积厚度达 0.5—1.0 米），致使湖水日益变浅。

西湖水位为 7.07 米（黄海），测得湖水最深值为 2.43 米，最浅值为 0.68 米，水深等值线见图 2。当水位为 5.07 米时，面积为 0.126 平方公里，容积为 54 万立方米；水位为 6.07 米时，面积为 4.811 平方公里，容积为 315 万立方米；当水位为 7.07 米时，面积为 5.66 平方公里，容积为 878 万立方米。西湖平均水深为 1.55 米，是一个浅水湖泊。

2. 水位受人工控制，变幅小：西湖水位，从建立圣塘闸堵塞涌金门等两处出流后，完全受人工控制。为了湖周与湖中小岛上的花木与建筑物不受水淹以及保持一定的游船航行，确定西湖的控制水位为 7.15 米。

历史上，西湖从未进行过水位观测，这对分析西湖水位带来困难，从 1979 年 3 月至 1980 年 12 月，在圣圹闸进行水位与水温的定点观测。

据 1980 年的水位数值分析，最低水位 7.00 米，出现在 1 月 1 日；最高水位 7.25 米，出现在 8 月 5 日，年内变幅极值为 0.27 米。月内变幅各月不一，最小 11、12 月，其变幅值为 0.05 米；最高 8 月为 0.17 米。这足以表明西湖水位的稳定性，同时亦说明西湖调节水量的功能极小，一旦暴雨，汇

入湖内的地表径流，全由闸门放走，水位上升幅度受到人为的限制。久晴不雨，入湖溪流断水，加上湖面蒸发损失水量甚大，水位下降。与此同时，西湖周围每天约有 4000 吨污水入湖，补偿水份损失，致使水位下降较缓和。

虽然西湖水位变幅不大，但由于年内降水有明显差异，水位仍有起伏。冬季为枯水期，水位最低。4 月雨季开始，水位上涨，至 6、7 月梅雨期达最高峰。8、9 月若无

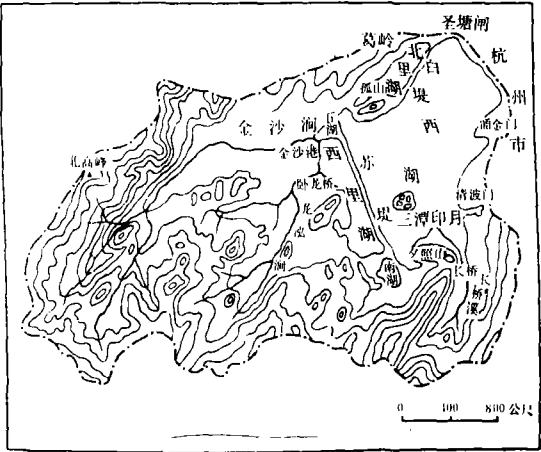


图 1 杭州西湖流域图
Fig.1 The basin of the West Lake, Hangzhou

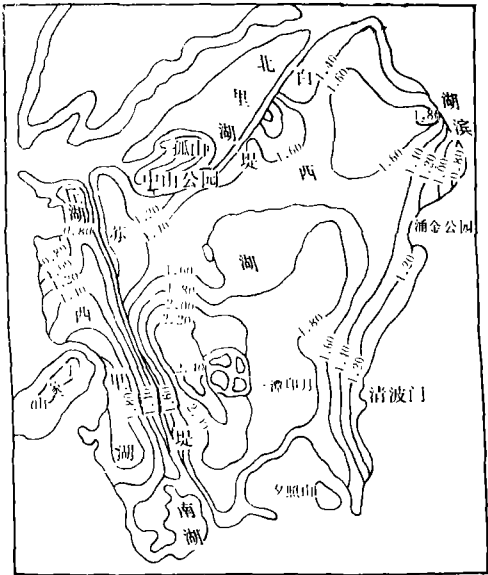


图 2 杭州西湖水深等值线图
Fig.2 Isobaths of the West Lake

台风影响, 气温高、蒸发强, 水位不高。10月后逐渐进入枯水期, (图 3、4)。

3. 流速微弱, 流向有规律: 湖流是湖泊水文要素之一, 不仅关系到水体交换速

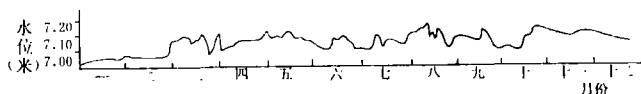


图 3 杭州西湖 (1980年) 逐日水位过程线图

Fig.3 Daily hydrography of the West Lake (1980)

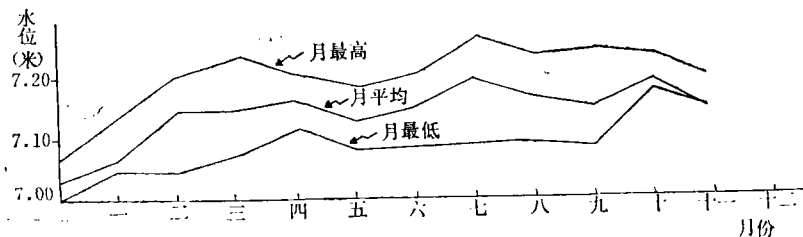


图 4、杭州西湖特征水位过程线图 (1980年)

Fig.4 Characteristics of hydrography of the West Lake

度, 而且也涉及入湖物质的扩散, 迁移与水体的自净能力。

西湖湖流实测数据表明, 西湖湖流完全取决于天然降水。洪水期, 当入湖水流与出湖水流均达很大值时, 湖流流速可大于0.1米/秒, 反之, 枯水期, 入湖溪流断流, 闸门封闭, 则流速为零, 成为“死水湖”。西湖的枯水期, 各年长短不一, 视梅雨持续时间与台风出现次数而异; 一般说, 一年中约半年左右处于来水少, 或无来水状态。表 1 为 1979年 7 月 7 日——雨后第三天实测的流速和流向值

表 1 数值, 大致可代表西湖有较大进出流的湖流情况。最大值为0.042米/秒, 最小值为0.023米/秒。从平面分布看, 溪涧水流进入的西里湖和出流的圣圻闸一带流速较大 (大于0.032米/秒); 涌金公园、中山公园一带水域, 流速较小, 为0.028米/秒。

西湖的湖流, 由于注入湖内较大的溪——金沙涧、龙泓涧均位于湖的西侧, 而出流处在湖的东北角, 因而湖水有规律地从入口地带流向出口处。在西里湖大致呈东西向, 西湖 (主体湖) 的中部和西北侧呈西南——东北向, 东侧呈东南——西北向 (图 5)。

4. 水源不足, 水体更新缓慢: 流量是湖泊水文的重要要素, 其大小及动态与水质关系很密切, 西湖水量, 可经水量平衡计算加以阐明。计算时以西湖湖面积 5.6 平方公里为尺度, 时段为 1979 年。其水量平衡方程式为: $V_P + V_R + V_{污} = V_E + V_{闸泄} + V_{疏泄} + V_{工农} \pm \Delta V$ 。式中 V_P 为湖面降水量; V_R 为入湖径流量; $V_{污}$ 为入湖污水量; V_E 为湖面蒸发量; $V_{闸泄}$ 为闸门泄水量; $V_{疏泄}$ 为疏浚西湖挖泥出水量; $V_{工农}$ 为工农业和生活用水量; ΔV 为蓄水变量。

根据实测与调查资料分析计算，各要素值为：

- 湖面降水量 (V_P)：562.9万立方米；
- 入湖径流量 (V_R)：708.6万立方米；
- 入湖污水量 ($V_{污}$)：146.0万立方米；
- 湖面蒸发量 (V_E)：522.0万立方米；
- 闸门泄水量 ($V_{闸泄}$)：468.0万立方米；
- 疏浚西湖挖泥出水量 ($V_{疏泄}$)：38.1万立方米；
- 工农业和生活用水量 ($V_{工}$)：171.0万立方米；
- ΔV 为水量总收入与总支出之差。

表 1 杭州西湖湖流实测数据
Table 1 Data of the lacustrine current in the West Lake

测点	流速 (米/秒)	流向
清波门	0.023	N35°W
涌金公园	0.028	N5°E
三潭印月南	0.036	N35°E
西里湖	0.042	N85°E
中山公园	0.028	N55°E
湖中心	0.024	N25°E
锦带桥	0.032	N35°E
少年宫	0.032	N20°E

从1979年的西湖水量收支情况看，收入总水量约为1417万立方米，支出总水量约为1199万立方米。

西湖水体的更换清洁水次数可按下式计算： $n = V_P + V_R / V_O + V_{污}$ 。式中 V_P 、 V_R 、 $V_{污}$ 同前， V_O 为年内平均湖库容。如假设 V_P 、 V_R 都是清洁水， V_O 取880万立方米，则1979年的更换清洁水次数为1.2次。1979年是杭州市特大枯旱年，据计算： $P = 95\%$ ，即20年一遇的干旱年。如果是平水年，则交换清洁水次数为2.3次。丰水年则 n 值可更大。

5. 水温分布差异小，年内变幅不大：水温直接影响水体中的生物过程和化学过程。西湖水温的平面分布，根据1978年7月实测资料绘制的水温等值线图（图6）可以看出，水温从岸边32.6℃向湖心下降为31.4℃；岳湖、西里湖北面以及中山公园南面的浅水区，水温为33.0℃，全湖最深的三潭印月一带为31.4℃，平面最大差值仅为1.6℃。

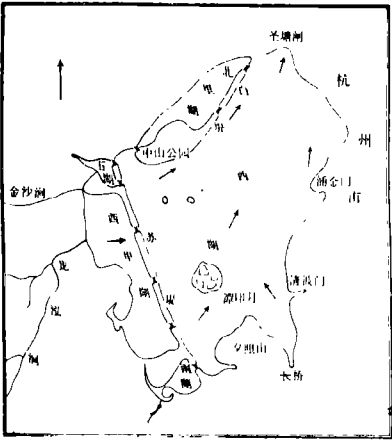


图5 杭州西湖湖流分布图
Fig.5 Distribution of lacustrine currents in the West Lake

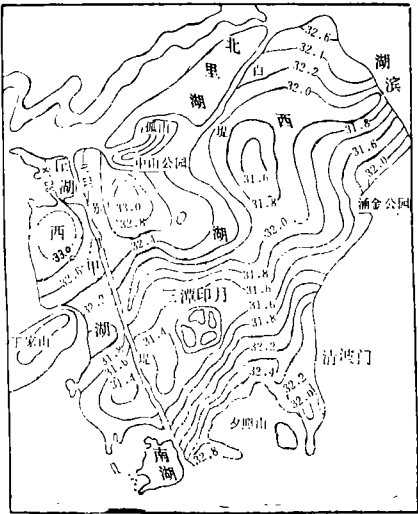


图6 杭州西湖水温等值线图
Fig.6 Isopleth of water temperature of the West Lake

西湖属浅水湖泊，湖水不断发生对流。湖上游船来往如梭，对湖水扰动极为强烈，促使湖水全面混合。上下层的温度梯度极小。据1978年5月和7月两次所测的4条垂线，上下层温差为0.3—1.4℃（图7）。影响西湖水温的年变化，主要是太阳辐射，最高月出现在7月，最低月出现在2月，与气温变化趋势相一致（见图8和图9）。年内温度最大差值达35℃。

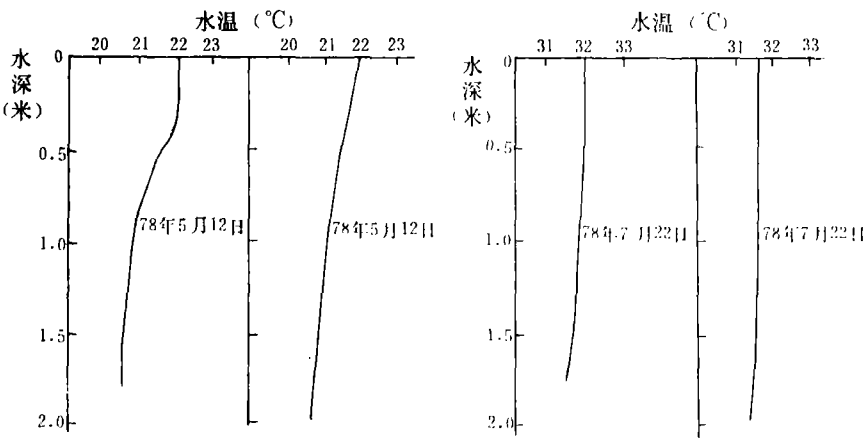


图 7 杭州西湖水温垂直变化曲线图
Fig.7 Vertical variations of water temperatures of the West Lake

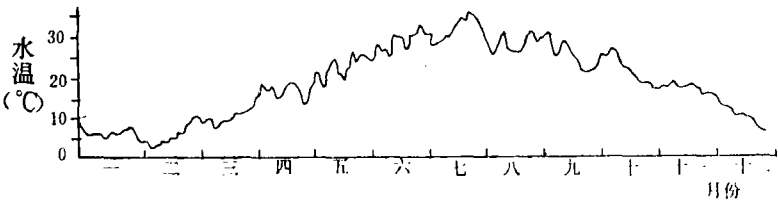


图 8 杭州西湖（1980年）逐日水温过程线图
Fig.8 Curve for daily variation of water temperatures in the West Lake

二、西湖水体的富营养化问题

1. 西湖水体富营养化现状 经过几年的调查研究表明，西湖水体严重污染，水质恶化，已成为富营养型湖泊，具体表现在以下几个方面。

（1）透明度和水色：建国初，西湖水质良好，湖水虽浅，但清彻见底，透明度较高，在0.5米以上。后来，由于水中悬浮物（主要是有机物及浮游藻类）的逐年增加，至1979年透明度下降为0.25—0.35米之间。西湖水色，也由于藻类的影响，呈现黄绿色，

在水色计上,变化在11—13号之间。

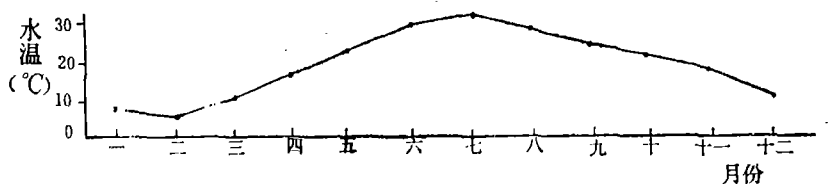


图9 杭州西湖月平均水温过程线图(1980年)

Fig.9 Curve for mean monthly water temperature in the West Lake

(2) pH值: 西湖的 pH值有逐年增高的趋势,五十年代波动在7.1—9.2之间,到八十年代上升为8.1—10.2,属偏碱性水。西湖的pH值,有利于藻类的繁殖。同时,由于大量的藻类存在,在光合作用下,消耗大量的 CO_2 又使湖水的pH值上升。

(3) 氨态氮: 它的高低直接反映湖水遭受生活污染的程度。1957年以前,西湖水体的氨态氮波动在0.04—3.00毫克/升之间。随着西湖周围陆续兴建疗养院、医院、宾馆、饭店、工厂等,平均每天约有4000吨生活污水和工业废水排入湖内,使氨态氮含量目前已高达0.04—12.00毫克/升。

(4) 溶解氧: 是反映水体污染程度的指标之一。富营养化湖泊一般缺氧,尤其是在深层可处于氧气不足状态。然而西湖水体中的溶解氧非常充沛,且有递增之势,全湖均值在5.9—10.2毫克/升之间,追索其原因是由于藻类在进行光合作用时放出氧气所致。西湖水体中溶解氧逐年增高的现象,并不能说明水质好转。相反,表明藻类在不断递增。

藻类在光合作用下放出氧气,可从溶解氧的昼夜变化曲线中得到证实。上午9点钟左右溶解氧开始升高,至下午2—3点钟为最高,在一次24小时连续观测中,测得值为9.8毫克/升,晚上由于光合作用停止,21点以后下降速度较快,到次日早晨4—5点钟达最低,其含量为7.0毫克/升。

(5) 营养盐类: 水中的营养盐类一般包括N、P、 SiO_2 、Ca、Na等,其中N、P是藻类繁殖最重要的营养盐类,是引起富营化的主要因子,尤其P,是多数湖泊形成富营养化的决定因素,西湖水体中N、P含量很高,总氮均值达2.76ppm,总磷为0.13ppm,每年入湖的N、P总量相当可观。N的单位面积负荷量为24.45克/米²,P的单位面积负荷量为2.63克/米²。比我国武昌东湖N的负荷量(17.24克/米²)、P的负荷量(1.71克/米²)还高。为日本富营养湖精进湖N负荷量的3.5倍,P负荷量的4.5倍。

(6) 藻类: 西湖水体中藻类数量大、种类多。在组成上以兰、绿藻为主,其中尤以兰藻占绝对优势。若按我国大伙房水库制定的标准,每毫升藻量大于0.1万个为富营养湖,测西湖(主体湖)的藻类数量大于6万个¹⁾,大大超过此标准。

综上所述,从水色、透明度、溶解氧、营养盐类和藻类等评定水质的主要指标来看,西湖水体遭受严重污染,水质恶化,已进入富营养化阶段。

2. 西湖环境水文条件对富营养化的影响 富营养化的形成,可分为自然与人为两个方面。人为的原因,主要由于人口的不断增长,工业的迅速发展,大量的生活污水和

1) 杭州西湖环境质量研究协作组,杭州西湖环境质量研究,1982年

工业废水不加处理排入湖泊,使水域中的营养盐类不断增加。自然的原因是多方面的,诸如地理、土壤、水文等。

引起西湖富营化的主要原因,是由于每天有4000吨生活污水和工业废水排入湖内,以及流域内农田和园林投施化肥、农药,因淋溶作用而随着田间排水和地表径流汇入湖内。然而,西湖的自然环境,特别是环境水文条件,对形成西湖富营养化也起着重要作用,这也是本文所要阐明的主要方面。

自然环境具有抵御和适应外来干扰的调节能力,通常把它称为“环境容量”,水体的环境容量,是指不对生态系统造成危害的前提下,水体容纳污染物的能力,表达式为:

$$W_v = V(S_w - B_w) + C_w$$

式中 W_v 代表某水体的环境容量; V 代表水体的容积; S_w 代表该水体某污染物的环境标准; B_w 代表该水体某污染物的本底值; C_w 代表该水体对某污染物的同化能力。

上式表明,某水体的环境容量与该水体的容积成正相关,也就是说,在同等的排污量下,欲提高环境容量,则必须增加水体容积。然而,西湖面积小,水又浅、容积少,容纳污染物的能力就低。

流速、流量等水文条件,对水体的自净作用有着直接影响,它对污染物的扩散、稀释、迁移和沉降都有密切的关系。每个湖泊,虽都有其天然的自净能力,但其差别很大。一般随该水体的水文变化以及排入水体的污水量、污水浓度等改变而变化。西湖的流速极为微弱,枯水期则成“死水湖”。加之由于集水面积小,来水不足,蒸发旺盛,因而水体更新次数少,水体稀释速度缓慢,进入湖内的营养盐类基本上悬溶在水体中或沉向底部,蓄积在底泥中,这是引起西湖富营养化的重要因素之一。

五十年代西湖曾进行一次疏浚,加大水深,增加容积,但由于流域内来水并未增加,反而改变疏浚前来水与蓄水的比例关系,造成水体更新次数减少,水体在湖内停留时间延长,水流速度减慢。嗣后,涌金门出流口的堵塞,致使湖水循环更为减弱。

水温也是影响水体自净的因素之一,它不仅关系到污染物的物理变化和化学变化,还涉及水体中的生物活动。如当表层水温在 4°C 时,上下层水则进行混和。兰、绿藻类繁殖要求有较高的水温,西湖水温较高,适应藻类的繁殖,较高水温还导致细菌的繁殖,致使水质恶化。

三、加速湖水循环,改善西湖水质

富营养化的形成是长期的,要根治它也不是一年半载所能奏效的。因此,采取的措施不应局限某一方面,而要综合防治。

从外流域引水入湖,补充新水源是改变西湖水文条件的关键,也是改善西湖富营养化的重要措施。流量的增加,不但加快流速,加速湖水循环,同时还可改变水温。随之,湖水的理化性质,生物条件、营养盐类以及藻类在水体中滞留时间也将发生变化。

据国外蓄水池实验结果表明,营养盐类在池内的滞留时间缩短以后,蓄水池内的营养盐只能生产出极为有限的生物,增加流量就可人为地缩短滞留时间。

在日本东京, 为了改善隅田川的水质, 曾从利根川和荒川引入流量为16.6立方米/秒(为隅田川原有流量的3—5倍)的清洁河水进行冲污, 效果较好, 改变了隅田川的黑臭现象。美国的格林湖, 从西亚图城市中引入低养分浓度的水, 莫珊斯湖从哥伦比亚河引进低养分浓度的河水, 在1977年春天和夏天曾进行三次引水稀释, 其结果超出了预想的效果, 湖水中的养分浓度减少了百分之五十。

根据我们对西湖入湖流量与N、P浓度关系的两次同步测量, N、P浓度随着流量的增大而下降。例如1980年8月5日, 在金沙涧的洪春桥断面测得入湖流量为0.247立方米/秒时, 各测点总氮的含量为: 洪春桥1.62毫克/升; 湖心2.31毫克/升; 少年宫2.49毫克/升, 同年7月9日, 当测得洪春桥断面流量为0.518立方米/秒时, 各测点总氮的含量为: 洪春桥0.29毫克/升; 湖心1.95毫克/升; 少年宫0.75毫克/升, 总磷的含量也同样随流量的增大而减少。因而不难看出, 增大流量具有稀释营养盐类的功能。

在西湖浮游藻类的调查中, 所得数据表明, 降水量增加, 流入西湖的水量增大, 湖水中的藻类降低; 反之、藻类增加。表明西湖各月藻类的消长与各月降雨量, 入湖地表径流量呈负相关。

1981年曾进行西湖引流试验, 每天约有6万吨钱江江水引入湖内。引流后增强了湖流, 降低了水温, 缩短营养盐类泄留时间, 提高了湖水自净能力, 降低了湖水中氮、磷等营养物质含量, 减少了生物种类和生物量。据观测, 藻类数量和轮虫、小甲壳动物比1980年减少, 透明度略有提高。同时, 在夏季, 对降低湖周的气温有一定效益。

可见, 引流将能引起水体物理、化学和生物环境的变化, 改变旧的生态系统, 建立新的动态平衡, 使水质不断改善。

必须指出, 在引钱江江水入湖时, 除了应科学地计算引水流量外, 对引流路线、引流方式、引流时间以及出流等问题均应慎重考虑。既要达到西湖五个湖区水体的交换更新, 又要防止湖盆的冲淤变化。含盐度高的咸潮和含沙量高的混浊水切不可引入湖内。与此同时, 还应加强营养盐类、藻类、水文动态的观测研究。

从西湖富营养化的形成原因可以说明, 严格控制污水进入湖内, 是解决西湖水质的根本途径。西湖的环湖污水截留工程现已完成, 湖周的污水将纳入市区污水总管。

此外, 如果疏浚、生物、管理等防治措施也一起付诸实施。那么, 西湖水体的富营养化将会得到彻底根治, 西湖将以碧水涟涟, 清澈见底重见人间。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会: 中国自然地理(地表水), 科学出版社, 1981年。
- [2] 毛发新: 杭州西湖水质的初步分析, 中国地理学会陆地水文学学术会议文集, 科学出版社, 1981。
- [3] 刘经雨、毛发新、何绍箕: 杭州西湖水质特征及综合评价, 杭州大学学报, 1981年, 3期。
- [4] 何绍箕、刘经雨、毛发新: 杭州西湖浮游藻类的初步研究, 杭州大学学报, 1980年, 1期

THE HYDROLOGICAL CONDITIONS OF THE ENVIRONMENT OF THE WEST LAKE, HANGZHOU, AND EUTROPHICATION PROBLEMS OF ITS WATER BODY

Mao Faxin

(Hangzhou University)

Key words: Hydrological conditions of environment; Eutrophication
of water body; The West Lake of Hangzhou

ABSTRACT

The West Lake of Hangzhou, a famous scenic spot for tourist, has become a nutritive lake with a turbid water body and unchecked proliferation of algae, which has seriously damaged the attractiveness of its beauty.

The Lake, with an area of 5.6 square kilometres and an average depth of 1.55 metres, is artificially controlled in its water level, whereas the current velocity of the Lake may exceed 0.1m/sec. during flood water period, but it turns a "dead lake" during dry season. The Lake has a regular current direction but meagre sources of water, the water body was renewed for 1.2 times during the dry year of 1979. The temperatures of water vary very little both horizontally and vertically.

The transparency of the Lake water has reduced from 0.5 to 0.35m, while the pH value risen from 7.1—9.2 to 8.1—10.2 over thirty years. In recent years, in consequence of 400 tons of sewerage drained daily into the Lake, the ammonia nitrogen rises to 0.04—12.0mg/l, the average value of total nitrogen to 2.76 ppm and that of total phosphorus to 0.13ppm. The Lake, containing 60,000 algae, primarily blue and green algae, each millimetre of water, has become eutrophic.

The unfavourable hydrological conditions of environment and the large quantities of sewerage drained into the Lake account primarily for eutrophication of the water body. To draw water from outside of the valley as an additional source so as to quicken water circulation in the Lake is one of important measures for improvement of the hydrological conditions and the cure of eutrophication of the West Lake.