

文章编号:1000-0550(1999)增-0769-06

云南洱海的环境沉积学研究

——表层沉积物的粒度分布、水流方向和能量^①

李原¹ 李任伟¹ 尚榆民² 李宁波³

1(中国科学院地质研究所 北京 100029) 2(云南省大理白族自治州城乡建设环保局 云南大理 671000)

3(云南省大理白族自治州环境科学研究所 云南大理 671000)

摘要 根据粒度分布特征、聚类分析和因子分析研究结果,推测洱海存在以下几种湖水流动特征:第一、弥苴河水流,方向由北向南形成了洱海北区水流向南部的原水动力,其沉积物在北区形成大的弥苴河三角洲;第二、由洱海西岸向东岸,入湖的溪流引起的辐射流,这种辐射流体现在入湖河流沉积物形成的扇三角洲上,沿西岸向湖心推进,在湖心和东岸被减缓;第三、存在沿西岸的南北向的湖水流动;第四、受水下地形影响,存在围绕湖心的环状流动,由粒度分布推测水流方向为顺时针。它形成了现今表层沉积物粒度分布的主要格局,是多向多源水流共同作用的结果。

关键词 洱海 环境沉积学 粒度分布 水流方向 能量分布

第一作者简介 李原 男 1964年出生 博士后 生物地球化学及环境沉积学

中图分类号 X141 **文献标识码** A

1 前言

由于点源和非点源污染物质、水土流失的无机营养盐和矿物质等的长期输入,在湖泊和表层沉积物中会积淀含量高的N、P、C的营养盐和有毒污染物,从而加速了湖泊的人为富营养化进程。湖泊营养盐和污染物在表层沉积物中分布和迁移转化,直接受湖泊的入湖河流、水下地形和水能量分布的影响,而湖泊的入湖河流、水下地形和水能量分布都集中在表层沉积物的粒度分布特征上。因此,对表层沉积物进行粒度分布特征的研究,将有助于了解和认识湖泊的入湖河流、水下地形和水能量分布,对深入认识营养盐和污染物在湖泊中的分布、迁移和转化,以及与沉积物的相互关系,有十分重要的环境学意义,至今人们对洱海这个方面研究的还很少^①。

本文从沉积学角度研究了洱海表层沉积物的粒度分布特征,探讨了洱海的粒度分布特征与湖泊水下地形、入湖河流的相互关系,并对湖泊的水能量分布和湖泊水流的可能方向进行了研究,它不仅补充了洱海水文地质的内容,而且为进一步开展洱海环境沉积学研究和环境综合治理提供了科学依据。

2 研究区概况

洱海位于中国云南省大理白族自治州境内,流域面积2565 km²,地处25°25'~26°10'N,99°32'~100°27'E,跨大理市和洱源县(图1)。湖面面积250 km²。洱海是典型的内陆断陷盆地,东侧临宾川县金沙江分水岭,海拔2800 m,属扬子准台地,西部为藏滇褶皱系,以洱海深(大)断裂构造为界。点苍山屏列于洱海西岸,海拔3074~4122 m,苍洱之间,自更新世早期盆地形成后,堆积了多种不同的松散堆积物,形成大理坝子。整个地势西高东低。湖区第四纪新构造运动迹象明显,洱海西岸点苍山强烈上升,河谷剧烈下降,从而形成不对称侵蚀性地貌景观。湖滨经洱海水长期冲刷,湖湾和岛屿显得特别曲折,湖中有诸多岛屿和沙洲。

洱海补给水主要为降水和融雪,入湖河流大小共117条,北有茈碧湖、西湖和海西海,经洱源盆地、邓川盆地分别由弥苴河、罗时江、永安江等进入洱海,西部有苍山十八溪水、南纳波罗江,东有海潮河、凤尾阱、玉龙河等小溪水注入。天然出湖河流为西洱河,该河全长23 km,总落差610 m,至平坡入

① 中国科学院广州地球化学所有机地球化学国家重点实验室基金的资助。

收稿日期:1999-06-01 收修改稿日期:1999-07-13

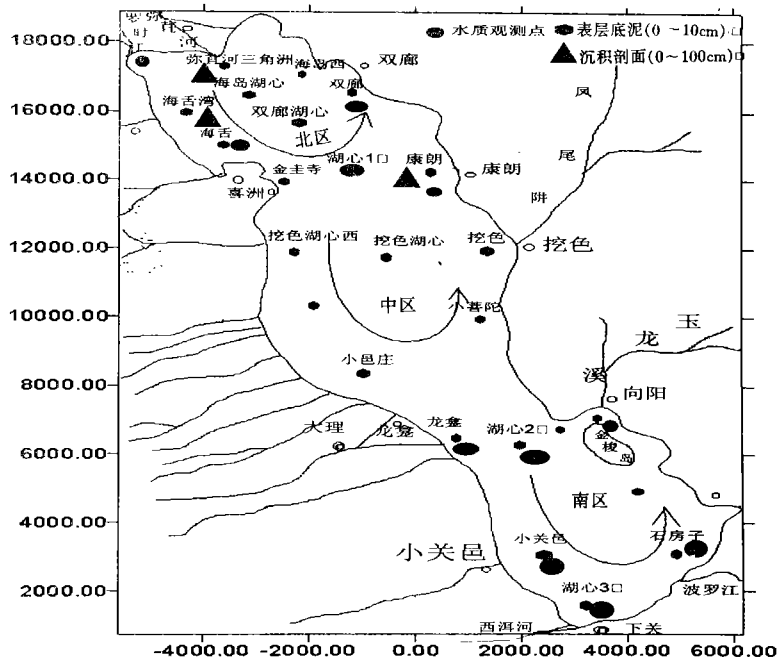


图1 洱海沉积物和水样的采样位置图

Fig. 1 Location map of sediment and water samples for Erhai Lake

黑惠江, 流向澜沧江, 属湄公河水系^[1,2,3]①②。

3 样品采集和研究方法

样点位置和名称如图1所示(图的边框的坐标代表 WINSURFER 图的矢量坐标值, 文中平面图也是一样)。表层沉积物样点以洱海水质观测点为主, 插入了额外的十三个样点, 基本覆盖全湖, 沉积剖面样点以洱海北区为主。

粒度分布、矿物组成由中国科学院广州地球化学研究所矿物室分析完成, 仪器为: JL-1155 型激光粒度分布测试仪、X 荧光光谱分析仪和岩石 X 衍射分析仪。

4 结果与讨论

湖泊表层沉积物的粒度分布受湖泊的水下地形、入湖河流的性质、湖泊湖流等因素的控制和影响。相反, 表层沉积物的粒度分布又可以反映湖泊的上述性质, 可以指示湖泊的水能量分布特征和水动力。湖泊的水下地形、入湖河流的性质, 湖泊湖流和水动力还影响着沉积物的矿物、营养盐和污染物质的组成和分布。因此, 通过研究湖泊沉积物的粒度分布, 可以间接认识营养盐和有毒有机污染物在湖泊内的迁移、分布和富积。洱海沉积物的粒度分布研究从以下几个方面进行:

- * 表层沉积物的平均粒径, 累积 10%、50%、90% 和 97% 平均粒径的平面分布特征。
- * 表层沉积物粒度分布与湖泊水深的关系。
- * 表层沉积物粒度分布与湖流能量大小和方向的关系。

4.1 洱海水下地形与表层沉积物平均粒径的关系

洱海盆地的水下地形较为复杂, 主要受新构造运动强烈差异性活动影响。同图1可见, 洱海盆地是一个沿北北西向展布的“耳状”的盆地, 最深处在中部的挖色湖心, 另外的一个深水处在洱海的康朗—海舌以北的湖心地带, 南部的深水位于小关邑—龙龕的沿苍山的深水区和金梭岛西北的深水区域, 而南部湖心主要是湖心平台, 水深不超过 8 m。根据洱海水下地形的上述特征, 可以将洱海水下地形划分为三个分区: 北区(康朗—海舌以北), 中区(挖色湖心为中心)和南区(龙龕以南的水域)。

中区位于康朗—海舌以南, 龙龕以北以挖色湖心为中心的水域, 水深最深可达 20 米左右, 湖心水域是洱海的深水静水区。靠近苍山的近岸水域, 水下坡降很大, 近岸浅水区很窄, 来自苍山十八溪的溪水

① 大理白族自治州环境监测站. 水质监测数据, 内部资料. 1989—1997

② 金相灿, 郭慧光, Merv Fingas 等. 联合国 UNDP 洱海非点源控制项目. 内部资料. 1996

注入该区形成扇三角洲,使得粒径由西向东逐渐变细。

北区位于洱海北部水域,最大水深8~12 m。东西近岸多以湖湾和原网箱养鱼区为主,如海舌湾、双廊和康朗水域。北部区为洱海最大的入湖河流——弥苴河,北区的沉积物主要以弥苴河三角洲的沉积物为主,其次是西岸苍山十八溪注入的沉积物。

南区主要以龙龕为界,湖心主要为台地,水较浅(6~8 m),而东西岸处为走向与洱海断陷湖泊走向一致的深水沟槽,水深最大15 m。

洱海表层沉积物的粒度分布基本上受水下地形的制约。由图2和图3可见,洱海的表层沉积物主

要围绕前述的三个分区的湖心分布。地形对湖泊近岸、浅水—深水过渡区和深水区的沉积物的性质影响显著。地形限制着近岸水区(4.5 m)和浅水—深水过渡区(4.5~10 m),它们沿湖岸呈狭窄的条带分布。平均粒径<4φ的表层沉积物分布面积约占全湖底面积的40%,平均粒径4~8φ约占38%,>8φ的约占22%,如果对沉积物累积50%的平均粒径的平面分布进行对比,4~8φ和>8φ的沉积物的分布面积约占全湖底面积的60%左右,由沉积物粒度分布可见(图4),洱海的表层沉积物主要以粉砂、含粉砂质泥和泥质为主,其分布受水下地形的影响和制约。近岸浅水过渡区主要以粉砂和粉砂质泥,反映中等能量带,湖心区主要以泥(包括粘土矿物)为主,平均粒径>8φ,指示了低水能静水区。

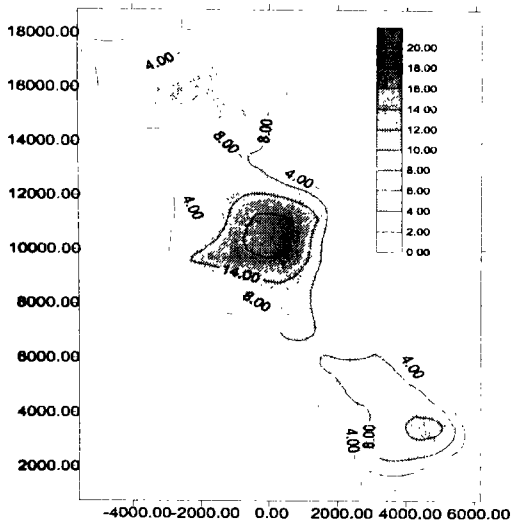


图2 洱海水下地形分布图
Fig. 2 Submersed topographical distribution map of Erhai Lake

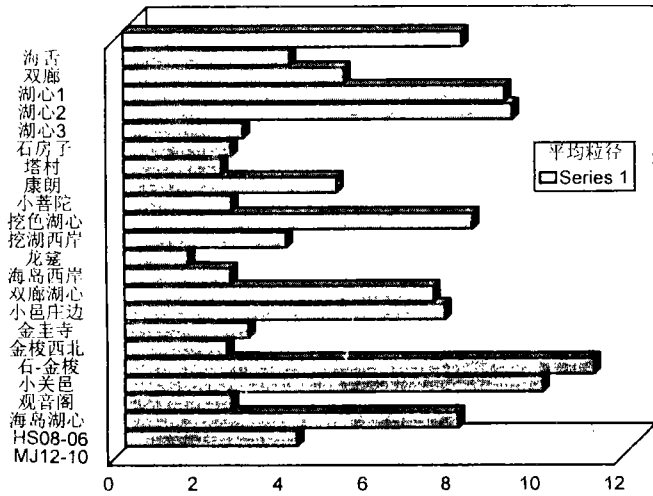


图4 洱海表层沉积物的平均粒径平面分布图
Fig. 4 Mean particle diameter distribution planar map of superficial sediment in Erhai Lake

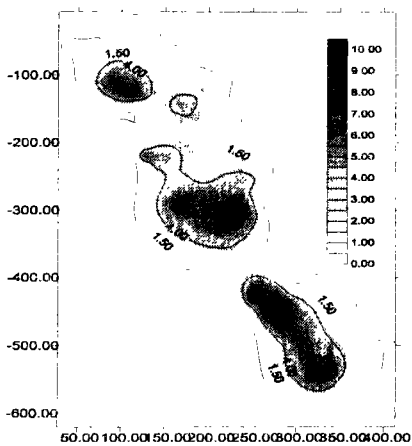


图3 表层沉积物的平均粒径的等值线图
Fig. 3 Mean particle diameter isogram of superficial sediment in Erhai Lake

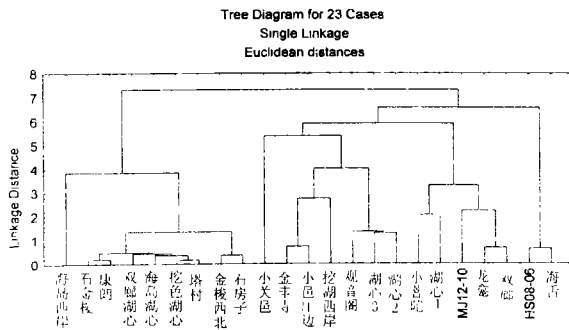


图5 洱海表层沉积物的粒度分布的聚类分析
Fig. 5 Particle diameter distribution cluster analysis map of superficial sediment in Erhai Lake

4.2 表层沉积物的粒度分布与湖流方向

洱海表层沉积物的累积10%、50%、90%、97%的平均粒径以及全湖表层沉积物平均粒径的聚类分析(图5)和因子载荷(图6)的结果表明,尽管洱海湖底表层沉积物的粒度大多 $>4\phi$,但是,粒度分布仍然存在很大的差异,指示了不同能量带和水流方向,通常在水下障碍时,水由高能区向低能区运动,在表层沉积物的粒度分布上,水流由低 ϕ 值向高 ϕ 值运动。

之间,而洱海东岸的平均粒径的 ϕ 值在7.9~9.36之间,表明东岸为相对静水区,而西岸水能量较高为较高水能区。

根据表层沉积物的粒度分布曲线和频率分布特征,可将洱海底划分为以下几个粒度分布类型:

第一类为双峰型:如图7所示,具有两个众数分布反映两种水流共同作用,水能量较高,多分布在洱海西岸沿苍山一线,如挖湖西岸,小关邑,湖心2(洱海较窄处的湖心)和湖心3, $\phi_{\text{平}}$ 在6.657~6.92之

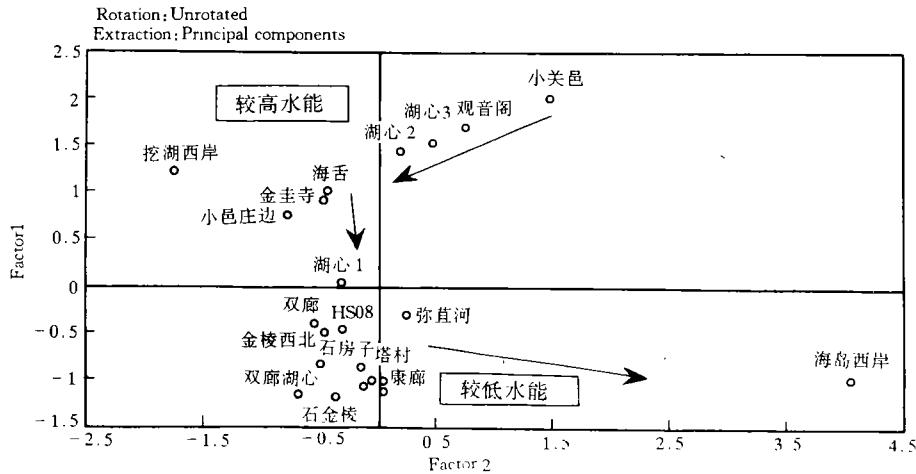


图6 洱海表层沉积物的粒度因子载荷图

Fig. 6 Particle diameter distribution factor loading map of superficial sediment in Erhai Lake

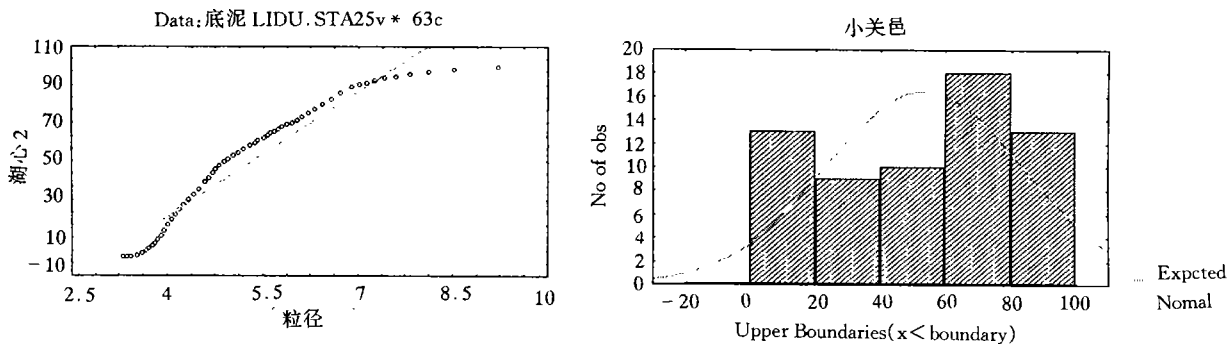


图7 洱海表层沉积物的粒度分布(较高水能区)和频率分布(bimodality 双峰型)

Fig. 7 Particle diameter distribution (high hydroenergy area) and frequency distribution (bimodality) maps of superficial sediment in Erhai Lake

从图1至图8可见,洱海近岸水动力比湖心高,西岸的能量比东岸的高。沿洱海西岸苍山十八溪的人湖区的水能量较大,而东岸因入湖水流较少,水能量相对较低。

洱海近岸水动力比湖心的高。如挖色湖心西岸、金圭寺、小普陀都比挖色湖心高,海舌湾和弥苴河三角洲的平均粒径($\phi_{\text{平}}$)比湖心的平均粒径 ϕ 低,苍山沿岸的表层沉积物平均粒径值的 ϕ 值在6.4~7.0

间,是洱海自北向南水流与苍山十八溪由西向东水流共同作用的结果,属于较高水能区。

第二类是多峰或三峰型,表层沉积物粒径比第一类细(图8),能量比第一类低,是三种水流交汇的水势减弱处,如海舌、金圭寺和小邑庄边。频率分布有三个峰,表明有多个不同方向水流的叠加或消减,这些水流可以是溪流、湖流(包括底流,表层流,沿岸和不同方向的水流),海舌、金圭寺、小邑庄都是潮流

和多个溪流交汇处,小邑庄是洱海水下地形抬高,水势减弱的水域,这些水域均处在洱海西岸, φ_{P} 在6.96~7.098之间。

大的三角洲。也带来大量的富含P的粘土沉积物,是巨大的潜在的P库^[4,5]。水流入双廊——湖心处被减缓,后沿海舌至康朗一线辐射向挖色湖心流动。

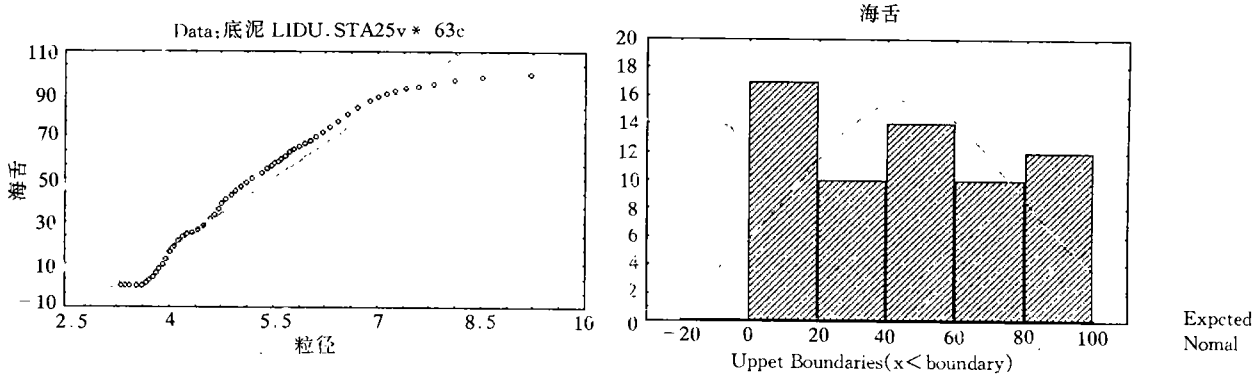


图8 洱海表层沉积物的粒度分布(多水流区)频率分布(多峰型)

Fig. 8 Particle diameter distribution (many flows area) and frequency distribution (multimodality)map of superficial sediment in Erhai Lake

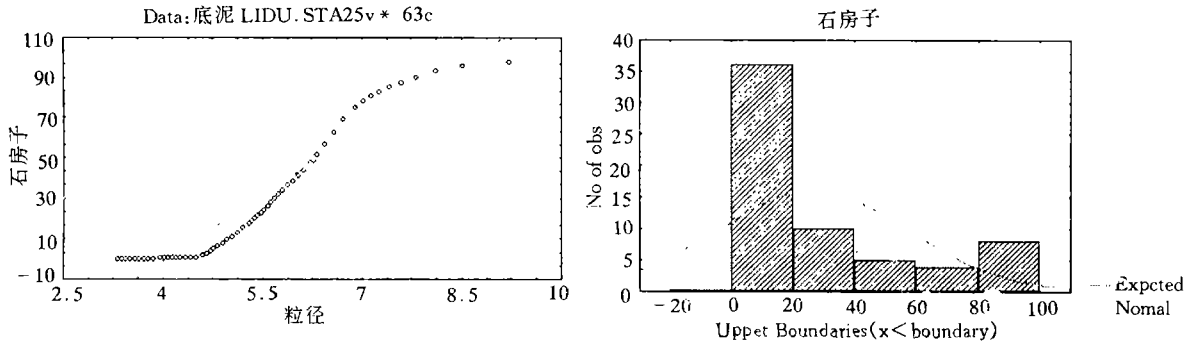


图9 洱海表层沉积物的粒度分布(静水区)和频率分布(单峰)

Fig. 9 Particle diameter distribution (standing water area) and frequency distribution (monomodality) map of superficial sediment in Erhai Lake

第三类是单峰型,如图9所示,主要以高 φ_{P} 的静水区的表层沉积物为主, φ_{P} 在8.47~9.362之间,水能量较低。频率分布图为单峰型,粒度分布曲线的冲刷一回流分界点的粒径 $\varphi > 8.0$ 。如石房子、金陵岛西北、塔村、海岛湖心、挖色湖心、双廊—湖心之间和康朗水域均属于静水区,水动力最弱的水域在洱海双廊以南玉几岛西部水域, $\varphi_{\text{P}} = 9.362$,是最平静的水域。总之,该类型主要分布在洱海东岸。

(2) 由洱海西岸向东岸,入湖的河流引起的辐射流,这种辐射流体现在入湖河流沉积物形成的扇三角洲上,沿西岸向湖心推进,在湖心和东岸被减缓。如前所述,由西岸入湖河流作用的水动力较强,由西向东能量逐渐减弱,入湖时携带的泥砂自西向东沉积下来,反映在粒度上,西岸>东岸>湖心,使得沉积中心向东迁移,与盆地中心(三个水下分区的中心)不吻合。

5 结论

根据粒度分布、聚类分析和因子分析结果,推测洱海存在以下几种湖水流动特征:

(3) 存在沿西岸的南北向的湖水流动。由喜洲(海舌)($\varphi_{\text{P}} = 6.966$)—金圭寺(7.045)—挖色湖心西岸(6.92)—龙龕(8.036)—小邑庄边(7.098),存在可能的由南向北流向龙龕的湖流,另外从挖色湖心西岸向金圭寺,由小邑庄向龙龕的沿岸向北的流动,这与水下地形有关。

(1) 弥苴河入湖水流动方向由北向南形成了洱海北区水流向南部的原水动力,其沉积物在北区形成

(4) 受水下地形影响,存在围绕湖心的环状流动,由粒度分布推测水流方向为反时针。如围绕双廊—湖心1、挖色湖心和南部湖心的环状流动,它形成了现今表层沉积物粒度分布的主要格局,是多向多源水流共同作用的结果。

参 考 文 献

- 1 大理白族自治州科学技术委员会编. 云南洱海科学论文集[C]. 昆明:云南民族出版社,1989
- 2 金相灿,刘鸿亮等主编. 中国湖泊富营养化[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990
- 3 金相灿,屠清瑛主编. 湖泊富营养化调查规范.(第二版)中国环境[C]. 北京:科学出版社,1990
- 4 李任伟. 沉积物污染和环境沉积学[J]. 地球科学进展,1998,13(4):398~402
- 5 李原. 洱海环境化学和环境沉积学研究[D]. 中国博士后管理委员会. 中国科学院地质所,1998

The Environment Sedimentological Study on Erhai Lake, Yunnan Province ——Sediments particle size distribution, flow direction and energy distribution

LI Yuan¹ LI Ren-wei¹ SHANG Yu-min² LI Ning-bo³

1 (Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Dewai Street Beijing, 100029)

2 (Urban Rural Construction and Environment-protection Bureau of Dali Bei Nationality
Autonomous Prefecture, Dali, Yunnan, P R China 671000)

3 (Institute of Environment Sciences of Dali Bei Nationality Autonomous Prefecture, Dali, Yunnan, P R China 671000)

Abstract

The superficial sediment layer in lake, only a few centimeters in thickness, may contain more organic matter, nutrients and anthropogenic pollutants than the entire water-column. The particle size distribution can be used to indicate the flow direction and energy distribution of the lake. The water energy and flow's feature controlled the nutrients and pollutants distributions in the lake.

In the light of research results about particle size distribution, cluster analysis and factor analysis, the author surmises that there are several types of lake flows with different direction and power existing in Erhai Lake. First, there is a flow from Miju River, which is the biggest input river of Erhai Lake, forming the primary dynamic flow. Second, the Cangshan streams along the western side of Lake Erhai forms the radical canal flows from west side to the east, which are diminished gradually, and built fan delta along west side. Third, along the west side, exists lake flows with the direction from north to south; fourth, affecting by the topography of Lake Erhai, there are three relatively big annular flows in Lake Erhai with anticyclone direction. In a word, the flows' features control nowadays size distribution framework.

Key words Erhai Lake environment sedimentology particle size distribution flow direction energy distribution