

# 微风下异龙湖悬浮物沉降与再悬浮研究

余方,赵磊,张丽,王俊松,白东  
(云南省环境科学研究院,云南 昆明 650034)

**摘要:**在微风或无风条件下,采用沉积物捕获器和 Gansith 公式对异龙湖水体中颗粒物沉降和再悬浮进行了研究。结果表明:在微风或无风状态下,底泥再悬浮对水体悬浮物含量贡献较大;描述底泥再悬浮的动态过程需要的合适监测时间为 48 h。

**关键词:**悬浮物;底泥释放;沉降;风速;异龙湖

**中图分类号:** X823 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-2009(2010)02-0029-03

## Research on Deposition and Re-suspension of Suspend Substances in the Yilong Lake with Breeze

YU Fang, ZHAO Lei, ZHANG Li, WANG Jun-song, BA IDong  
(Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming, Yunnan 650034, China)

**Abstract:** Under windless and breeze conditions, deposition and re-suspension of suspended substance in the Yilong Lake were investigated by using sediment trapper and Gansith equation. The results indicated that under the windless or breeze conditions the re-suspension of bottom sludge made a dominant contribution to the concentration of suspended substances, and that 48 hours was appropriate monitoring time to describe the complex dynamic re-suspension of bottom sludge.

**Key words:** Suspended substance; Substances release from sediment; Deposition; Wind speed; Yilong Lake

底泥颗粒物的悬浮和沉降是导致浅水湖泊中营养物质内源释放的主要动力之一<sup>[1]</sup>,随着人们对湖泊富营养化的关注,底泥释放逐渐成为研究的重点。通过对底泥的再悬浮和沉降过程的讨论,可以全面了解底泥释放的动态机制,掌握水体中悬浮物含量变化的规律,为水体富营养化治理提供依据。

当前对浅水湖泊的底泥悬浮物研究主要集中在风速与底泥悬浮量的关系上<sup>[1-4]</sup>,通过对定点颗粒物含量或营养物质含量的变化判定底泥再悬浮的临界风速(如 4 m/s)<sup>[3,5-6]</sup>。

在此过程中,研究重点为中风和大风的影响,因为此情况下能够在较短的时间内通过水体中颗粒物含量的改变,量化风速对其的影响。在无风或者微风(风速 < 3 m/s)的条件下,较短的监测时间或者瞬时观测值,不能反映水体中细微的悬浮物含量变化,这些变化往往被实验误差所掩盖或忽略。

据统计,全年大型湖泊风速处于无风或微风的天数超过 50%<sup>[3]</sup>,所以对微风条件下悬浮量的研究显得尤为重要。

现以异龙湖这一典型高原湖泊为研究对象,在微风或无风条件下采用沉积物捕获器对悬浮物进行 7 d 连续收集,然后利用 Gansith 公式推算底泥的再悬浮量(干质量),得到了平均沉降通量和平均悬浮通量。通过数据分析,重点讨论异龙湖微风或无风条件下悬浮物的沉降与底泥再悬浮的特点,为探讨湖泊的悬浮物内源性释放和模拟提供参考依据。

收稿日期:2009-11-30;修订日期:2010-02-02

基金项目:滇池营养物质与生命过程的耦合关系及蓝藻水华控制机理研究基金资助项目(U0833603)

作者简介:余方(1982—),女,湖北随州人,助理工程师,硕士,从事湖泊污染控制研究工作。

## 1 样品采集

### 1.1 采样装置

使用沉积物捕获器收集再悬浮物质,该装置为有机玻璃筒,开口面积  $78.5 \text{ cm}^2$ ,漏斗锥形角度为  $40^\circ$ ,直径与高度比为 1.5,符合沉积物捕获器设计要求<sup>[7]</sup>。捕获器瓶口均用网格尺寸为  $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$  的塑料网覆盖,以防止大型悬浮物进入捕获器,在每个沉积捕获器的水平正方形玻璃板对角分别挂两个 2 kg 的重物,以确保沉积物捕获器竖直在水体中。捕获器玻璃板上系有直径约 6 mm 的绳子,可通过对绳长的控制固定捕获器在水中的深度,采样装置见图 1。

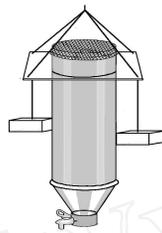


图 1 沉积物捕获器  
Fig 1 Deposits trapper

### 1.2 采样位置及方法

异龙湖是受喜马拉雅山运动影响形成的断层侵蚀湖泊,位于云南省红河哈尼族彝族自治州的石屏县境内,  $102^\circ 28' \text{ E} - 102^\circ 38' \text{ E}$ ,  $23^\circ 28' \text{ N} - 23^\circ 42' \text{ N}$ ,主要涉及异龙、坝心和宝秀 3 个镇。异龙湖湖面  $30 \text{ km}^2$ ,库容  $1.149 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,最大深度 6.55 m,平均水深约 2.75 m,属北亚热带干燥季风与中热带半湿润季风气候区,主要受西南印度洋和东南太平洋暖湿气流及西北大陆干暖气流的影响。

2009 年的 8 月 27 日—9 月 1 日在异龙湖西边水域 ( $102^\circ 52' 12'' \text{ E}$ ,  $23^\circ 68' 38'' \text{ N}$ ) 进行了悬浮物沉降实验,采样期间风速无明显变化,采样点的水深为 2.2 m,接近异龙湖的平均水深。沉积物捕获器放置深度,上层为沉积物捕获器上端瓶口位于水下 1.50 m (湖体中层),下层为沉积物捕获器底端距湖底 0.1 m,以重点监测底泥的悬浮与沉降。所有沉积物捕获器同一时间 (2009 年 8 月 27 日 8:30) 放入水中,分 7 次收回,收回的间隔为 6 h, 12 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h 和 120 h。

采样前,沉积物捕获器先用自来水冲洗干净,然后用采样点水样涮洗数次,最后放入水下指定高

度竖直静置。每组捕获器的距离间隔为 0.5 m,既避免了不同时刻收回的捕获器间相互干扰,又保证了捕获器大致位于同一点位。每次收回捕获器时,在捕获器旁取约 5 L 的原水,所有水样品分别装入玻璃瓶或聚乙烯塑料瓶中,采集的水样当天送到云南省环境科学研究院检测。用底泥采样器采集底泥,装入密封袋。在整个采样期间,采用自动风速仪对采样点的风速进行连续观测。

## 2 样品分析

### 2.1 分析方法

沉积物捕获器内水样测定的项目主要有悬浮物量 (干质量),悬浮物有机质含量<sup>[8]</sup>,并同时测定了取样时刻沉积物捕获器外异龙湖原水相应的悬浮物含量、风速和底泥有机质含量等。样品分析方法参见《湖泊营养化调查规范》<sup>[9]</sup>,有机质含量的分析流程见图 2。

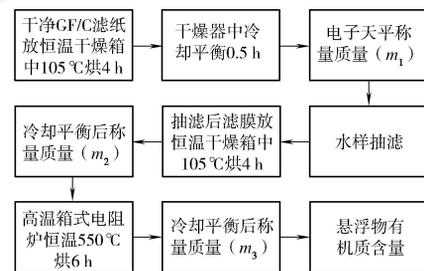


图 2 悬浮物有机质含量检测示意

Fig 2 Schematic diagram of determining organic contents in suspended substances

### 2.2 再悬浮量计算方法

采用 Gansith<sup>[2,10]</sup>公式计算再悬浮物量 (干质量),公式中将沉积物捕获器内收集到的物质 (沉降量) 看作自然沉降物质 (包括入流携带、大气降尘等) 和底泥再悬浮物沉降物质两部分之和。

$$R = S - T$$

$$Rf_R + Tf_T = Sf_S$$

$$R = S \frac{(f_S - f_T)}{(f_R - f_T)}$$

式中:  $R$  为底泥再悬浮量 (干质量, g);  $S$  为沉积物捕获器内收集的悬浮物量 (干质量, g);  $T$  为等体积原水中悬浮物量 (干质量, g);  $f_S$  为沉积物捕获器中收集的悬浮物中有机物所占质量比例 (%);  $f_R$  为表层底泥中有机物所占质量比例 (%);

$f_r$  为水体悬浮物中有机物所占质量比例 (%)。公式的适用条件是  $f_R < f_r$ 。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 沉降通量

沉积物捕获器收集的悬浮物的干质量扣除沉积物捕获器放入初始时刻水样内含有的悬浮物干质量,即为净悬浮物干质量。用该干质量除以沉积物捕获器的横截面积可得到单位面积的沉降量。其拟合曲线为  $y = 1.278x - 16.060$ , 相关系数  $r = 0.9773$ , 其斜率  $1.278 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  为平均沉降通量。实验期间,平均风速为  $2.08 \text{ m/s}$ , 接近 1998 年到 2008 年异龙湖的日平均风速  $1.60 \text{ m/s}$ , 单位面积沉降量约  $80 \text{ g}/\text{m}^2$ 。单位面积沉降量随时间变化趋势见图 3。

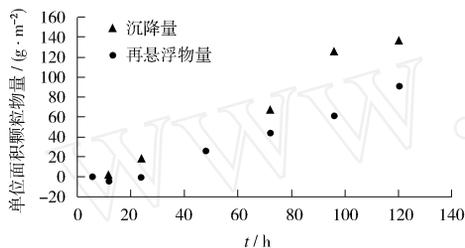


图 3 单位面积沉降量和单位面积再悬浮量随时间的变化

Fig 3 Relationship for the depositing quantity per unit area and re-suspension quantity per unit area with time

#### 3.2 再悬浮物通量

将沉积物捕获器依次取回后,可得悬浮物的干质量、悬浮物有机质含量,以及原水中有机质含量、底泥的有机质含量等。原水水样中悬浮物的有机质含量约 87.1%, 表层底泥中有机质的含量约 14.2%, 原水和底泥中有机质含量变化幅度不大, 沉积物捕获器收集物中有机质含量随时间的延长而降低,符合异龙湖底泥悬浮沉降的实际情况。监测结果表明,各介质有机质含量均高于太湖等浅水湖泊<sup>[3]</sup>,这可能与采样期间正处于蓝藻等生物的繁殖季节有关。

由于水样悬浮物中的有机质含量远高于表层底泥中,符合 Gansith 公式的计算要求。利用公式计算收集到的再悬浮物量(干质量),然后用该干质量除以沉积物捕获器的横截面积即得到单位面积的再悬浮量。单位面积再悬浮量扣除上次取样时单位面积再悬浮量,然后除以相邻两次取样时间

间隔得到相应时间内的再悬浮通量。

单位面积再悬浮量与时间呈现较好的正相关性,直线模拟方程为  $y = 0.812x - 12.991$ , 相关系数  $r = 0.9888$ , 其斜率  $0.812 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  为平均再悬浮通量。对比单位面积沉降量和单位面积再悬浮量,可见监测过程中沉积物捕获器收集的悬浮物除了再悬浮物的沉降,还有自然或外界输入的悬浮物沉降,其中平均再悬浮通量占平均沉降通量的 63.5%,说明微风或者无风条件下,监测点区域底泥再悬浮过程对湖中悬浮物含量贡献较大。

采样风速相对稳定,平均风速为  $2.08 \text{ m/s}$ , 再悬浮通量在  $0.09 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  和  $1.23 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  之间波动,前 24 h 内再悬浮通量较低,24 h 之后开始趋于稳定。这说明在微风或者无风条件下,短时间内的悬浮物监测不能完全表征动态的底泥再悬浮过程,只有对其长时间的监测才能真实地反映出水环境与底泥间颗粒物的动态交换(在风速变化不大的条件下,再悬浮通量也应较为稳定)。所以描述底泥再悬浮动态过程合适的监测时间为 48 h,见图 4。

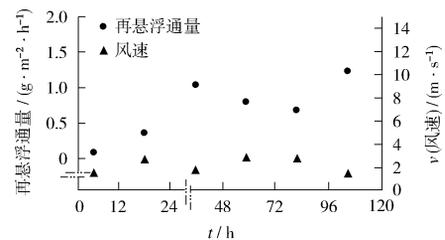


图 4 再悬浮通量和风速随时间的变化

Fig 4 Relationship between re-suspension flux, wind speed and time

#### 3.3 讨论

与太湖相比,异龙湖较深(最大湖深 5.7 m, 平均深度为 3.9 m),水土界面上溶解氧抑制氮、磷的降解和释放能力较差<sup>[11-13]</sup>,因此在再悬浮过程中,特别是在蓝藻繁殖、风浪较小的夏季(采样时间包括在内),底泥和水体有长期缓慢的颗粒物交换。虽携带的营养物质不多,但表层底泥的悬浮有利于下层营养盐的释放,可能造成总氮、总磷等营养物质的持续缓慢释放<sup>[4]</sup>,进而在水体营养物质含量变化不大的条件下被蓝藻等生物利用。

随着管理体制的不断完善和污水处理程度的

(下转第 36 页)

- a source for contaminants [J]. *Hydrobiologia*, 1987, 149 (1): 13 - 30.
- [ 5 ] SEGURA R, ARANCIBIA V, ZUNIGA, et al. Distribution of copper, zinc, lead and cadmium concentrations in stream sediments from the Mapocho River in Santiago, Chile [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2006 (84): 1 - 10.
- [ 6 ] 国家环境保护总局. HJ/T 166 - 2004 土壤环境监测技术规范 [S]. 北京: 中国环境出版社, 2004.
- [ 7 ] 陈静生, 王飞越. 论小于 63  $\mu\text{m}$  粒级作为水体颗粒物重金属研究介质的合理性及有关粒级转化模型研究 [J]. *环境科学学报*, 1994, 12 (4): 419 - 424.
- [ 8 ] 刘红, 何青, 孟翊, 等. 长江口表层沉积物分布特征及动力响应 [J]. *地理学报*, 2007, 62 (1): 81 - 92.
- [ 9 ] 沈敏, 于红霞, 邓西海. 长江下游沉积物中重金属污染现状与特征 [J]. *环境监测管理与技术*, 2006, 18 (5): 15 - 18.
- [ 10 ] 杨清伟, 肖飞, 刘雪莲, 等. 长江重庆城区段表层沉积物重金属污染特征分析 [J]. *水资源保护*, 2009, 25 (1): 28 - 31.
- [ 11 ] 陈振楼, 许世远, 柳林, 等. 上海滨海滩涂沉积物重金属元素的空间分布与累积 [J]. *地理学报*, 2000, 55 (6): 641 - 651.
- [ 12 ] 孟红明, 张振克, 田海涛. 石梁河水库表层沉积物重金属含量与污染研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27 (2): 721 - 725.
- [ 13 ] 张晓东, 翟世奎, 许淑梅, 等. 长江口外缺氧区沉积物中氧化还原敏感性元素的“粒控效应” [J]. *中国海洋大学学报*, 2005, 35 (5): 868 - 874.
- [ 14 ] 乔磊, 袁旭音, 李阿梅. 江苏海岸带的重金属特征及生态分析 [J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24 (增刊): 178 - 182.
- [ 15 ] DE Groot A J. Contents and behavior of mercury as compared with other heavy metals in sediments from the rivers, Rhine and Ems [J]. *Geologic Mijinbow*, 1991 (50): 393 - 398.

(上接第 31 页)

提高, 入湖水体氮、磷含量逐渐降低, 外源性氮、磷将不能满足蓝藻等生物增长的需求, 底泥释放将成为水体污染主要来源。特别是蓝藻生长的微风季节, 水体中营养物质含量虽没有明显变化, 但在水中生物生长的拉动下, 营养物质将随着底泥的再悬浮而释放。因此, 微风条件下的底泥再悬浮研究, 对认识和改善湖泊水体的富营养化过程尤为重要。

#### 4 结论

微风或无风状态下, 异龙湖监测区域平均沉降通量和平均再悬浮通量分别为  $1.278 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  和  $0.812 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ; 底泥再悬浮对水体悬浮物含量贡献达到 63.5%。描述底泥再悬浮的复杂动态过程需要的合适监测时间为 48 h。

#### [参考文献]

- [ 1 ] 秦伯强, 范成新. 大型浅水湖泊内源营养盐释放的概念性模式讨论 [J]. *中国环境科学*, 2002, 22 (2): 150 - 153.
- [ 2 ] 李一平, 逢勇, 李勇. 水动力作用下太湖底泥的在悬浮通量 [J]. *水利学报*, 2007, 8 (5): 558 - 564.
- [ 3 ] 逢勇, 颜润润, 余钟波, 等. 风浪作用下的底泥悬浮沉降及内源释放量研究 [J]. *环境科学*, 2008, 29 (9): 2456 - 2464.
- [ 4 ] 秦伯强, 朱广伟, 张路, 等. 大型浅水湖泊沉积物内源营养盐释放模式及其估算方法——以太湖为例 [J]. *中国科学 D 辑地球科学*, 2005, 35 (增刊 ID): 33 - 44.
- [ 5 ] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖水体中悬浮物研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2004, 13 (3): 266 - 271.
- [ 6 ] 秦伯强, 胡维平, 高光, 等. 太湖沉积物悬浮的动力机制及内源释放的概念模式 [J]. *科学通报*, 2003, 48 (17): 1822 - 1831.
- [ 7 ] 胡小贞, 金相灿, 辛玮光, 等. 浅水湖泊沉积物悬浮颗粒捕获器 [J/OL] [2007 - 10 - 19] <http://www.qianyan.biz/Patent-Display/200710195112.html>
- [ 8 ] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖水体中悬浮物研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2004, 13 (3): 266 - 271.
- [ 9 ] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [ 10 ] BLOESCH I J. A review of methods used to measure sediment re-suspension [J]. *Hydrobiologia*, 1994 (284): 13 - 18.
- [ 11 ] GACHTER R, MEYER S, MARES A. Contribution of bacteria to release and fixation of phosphorus in lake sediments [J]. *Limnology and Oceanography*, 1998 (33): 1542 - 1558.
- [ 12 ] 庄一廷. 湖泊、水库富营养化的检测 [J]. *环境监测管理与技术*, 2005, 17 (4): 26 - 30.
- [ 13 ] 华凤林. 湖泊富营养化与底质磷释放 [J]. *环境监测管理与技术*, 1993, 5 (4): 18 - 20, 37.

本栏目责任编辑 薛光璞

#### · 简讯 ·

### 《2010年度江苏省环境监测工作实施方案》正式发布

为组织做好江苏省环境质量监测工作, 确保为环境管理提供及时有效的环境质量监测数据, 近日, 省环保厅正式印发了《2010年度江苏省环境监测工作实施方案》(简称《方案》)。《方案》详细规定了全省各环境要素例行监测点位、监测项目、监测频次和上报要求, 《方案》内容全面覆盖了空气质量、水环境质量、生物和生态、海洋、噪声、污染源等环境领域, 还新增了全省环境监测质量监督内容, 进一步加强了全省监测工作的质控力度。

摘自 [www.jshh.gov.cn](http://www.jshh.gov.cn) 2010 - 03 - 22