

文章编号: 1004-8227(2010)06-0703-04

太湖沉积速率分布演化及其淤积程度健康评价

朱金格^{1,2}, 胡维平^{1*}, 胡春华¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 分阶段(1963~1986, 1986~2002)分析了太湖各湖区沉积速率空间分布, 发现各湖区沉积速率均有不同程度的增加, 以东太湖最为显著, 从2.9 mm/a增加至12.4 mm/a。同一沉积速率对不同水深的湖泊有不同的意义, 因此为了对太湖各湖区淤积程度进行健康评价, 提出相对沉积速率的概念, 即沉积速率与湖泊平均水深的比值, 并将其作为评价湖泊淤积程度健康与否的指标。健康评价标准根据国内主要湖泊的相对沉积速率确定, 即最大相对沉积速率健康得分为0, 相对沉积速率为0, 健康得分为100, 归一化求得太湖各湖区淤积程度健康得分。结果表明, 贡湖、湖心区处于健康状态, 东太湖为不健康, 其他湖区为亚健康, 全湖有从亚健康向不健康发展的趋势。

关键词: 沉积速率; 健康评价; 太湖

文献标识码: A

泥沙淤积是湖泊生态环境演变制约性因素之一, 也是江湖关系演变的重要因素。泥沙淤积趋势可用单位时间内形成的沉积厚度(mm/a)即沉积速率来表征。其综合体现沉积过程的特征, 是确定沉积环境的定量指标, 长期平均沉积速率反映了河流、湖泊、海岸地质历史的形成和发育, 短期平均沉积速率则反映本区现代沉积动力及水体与沉积物交换过程^[1,2]。太湖近50 a来在人类活动影响下沉积步伐有所加快, 时空上呈现较大差异, 研究各湖区沉积速率分布及变化趋势, 通过建立评价指标, 对太湖淤积程度进行健康评价, 以加深对太湖各湖区淤积现状及发展趋势的理解, 对于短周期太湖沉积过程研究及太湖管理有一定的借鉴意义。

1 研究区域

太湖是我国五大淡水湖之一, 位于长三角南翼, 地形以平原为主。按吴淞基面计算, 其水域面积2338 km², 平均水深1.89 m, 最大水深2.6 m, 是一个大型浅水湖泊或积水碟形洼地^[3,4]。太湖西部、西南部为主要入流湖区, 属上游, 主要水系为苕溪

系、宜溧河水系、洮滬水系、武进港—直湖港水系; 太湖东部为主要出水湖区, 属下游, 主要水系为长江北排水系、黄浦江水系、杭州湾南排水系。

太湖水域广阔, 出入湖河道众多, 不同区域沉积速率差异较大。本文综合考虑湖泊岸线形态、水动力特征、湖盆形态等影响沉积速率的因素, 将太湖分为梅梁湾、贡湖、东部沿岸区、东太湖、南部沿岸区、西部沿岸区、湖心区7个区域(图1)进行对比分析。



图1 太湖分区示意图

Fig. 1 Sketch Map of Different Zones of Lake Taihu

收稿日期: 2009-08-03; 修回日期: 2009-10-09

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-012); 太湖流域管理局水资源保护局太湖生态系统健康评价与指标研究项目

作者简介: 朱金格(1983~), 男, 河南省灵宝人, 博士研究生, 主要从事水动力学研究。E-mail: zhujige@yahoo.com.cn

* 通讯作者 E-mail: wphu@njlas.ac.cn

2 太湖各湖区沉积速率

早在上世纪 70 年代就有学者通过放射性同位素²¹⁰Pb 及¹³⁷Cs 对湖泊沉积速率进行测定^[5,6]。朱广伟等^[7-12]分别于近几年采用放射性同位素²¹⁰Pb 及¹³⁷Cs 方法对太湖梅梁湾、湖心区、东太湖等区域的沉积速率进行了测定,结果见表 1。按照国际¹³⁷Cs 时标,1952 年出现¹³⁷Cs 蓄积初始值,1963 年和 1986 年分别出现两个次峰值,由于太湖在近 20 a 沉积速率有所加快,因此本文以 1986 年峰值为分界线,对太湖各湖区沉积速率分阶段进行讨论。由于沉积速率由柱状样深度推算求得,因此未能对不同性质的沉积物进行分别讨论,只能综合反映粘土、粉砂、植物碎屑等无机、有机质带来的沉积效应。

表 1 太湖各湖区沉积速率变化
Tab. 1 Changes of Deposition Rates
in Different Zones of Lake Taihu

区域	湖区面积 (km ²)	沉积速率(mm/a)		测定方法
		1963~1986	1986~2002	
梅梁湾	175.2	1.80	1.90	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs
贡湖	207	0.76	∕	²¹⁰ Pb
东部滨岸区	223.6	2.99	2.50	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs
东太湖	298.3	1.83	12.40	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs
西南区	267.6	∕	2.80	¹³⁷ Cs
西北区	577.1	1.66	1.50	²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs
湖心区	589.2	1.11	∕	¹³⁷ Cs
全湖	2338	1.53	3.30	∕

注:全湖沉积速率通过各湖区面积加权平均求得:Σ(区域面积/全湖面积×区域沉积速率)

从表 1 看出,近 40 a 来,太湖各湖区沉积速率基本维持在同一数量级。其中最大沉积速率发生在 1986~2002 年的东太湖(12.4 mm/a),沉积最慢为 1963~1986 年的贡湖(0.76 mm/a),太湖淤积过程表现出明显的时空差异。从时间来看,近 20 a 来全湖由 1.53 mm/a 增大至 3.3 mm/a,各湖区除东太湖增加 10.57 mm 以外,其他湖区增幅<2 mm,沉积速率基本集中在 0~3 mm/a,反应了全湖淤积步伐呈微弱增加的趋势;从空间来看,东太湖一直是全湖沉积速率最大的区域,其次是东部滨岸区、西南区、西北区,贡湖、湖心区最小。

3 评价方法

对我国大型浅水湖泊,特别是长江中下游湖泊的沉积速率及其平均水深^[13-22]进行综合分析,见表

2,以确立合适的评价指标及标准,对太湖各湖区淤积状况进行评价。

表 2 太湖与国内主要湖泊相对沉积速率
及其淤积程度健康得分
Tab. 2 Relatively Deposition Rate of Lake Taihu
and Other Major Lakes in China

湖泊	平均水深 (m)	沉积速率 (mm/a)	相对沉积 速率	淤积程度 健康得分	沉积速率 统计年限
太湖Ⅰ	1.9	1.5	0.79	77.75	1963~1986
太湖Ⅱ	1.9	3.3	1.74	50.99	1986~2002
洪湖	2.0	1.6	0.8	77.46	1954~2002
巢湖	3.0	2.5	0.83	76.62	1954~2002
滇池	4.4	15.6	3.55	0.00	1960s~1990s
洞庭湖	6.4	18.4	2.88	18.87	1956~1995
鄱阳湖	8.4	3.2	0.38	89.30	1954~1995
固城湖	1.6	1.7	1.06	70.14	∕
青海湖	21.0	1.1	0.05	98.59	近百年

3.1 评价指标

评价指标应能综合反映湖泊淤积发展趋势,若从沉积速率大小来看,太湖并不严重,但考虑到其 2 m 左右的浅水环境,太湖面临的淤积威胁还是比较大的,因此,单一的沉积速率指标并不能代表湖泊面临的真实的淤积情况,在此我们利用相对沉积速率这一指标来评价湖泊平均水深与沉积速率的综合影响(相对沉积速率=沉积速率/平均水深)。

3.2 评价标准

相对沉积速率反映了湖泊淤积发展趋势及面临的淤积威胁,某种程度上为各湖泊之间提供了可比性。相对沉积速率越大,则湖泊的淤积程度越严重,健康得分越低,将国内主要湖泊出现的最大相对沉积速率健康得分定义为 0,将相对沉积速率为 0 健康得分定义为 100,则相对沉积速率可归一化为各湖泊的淤积程度健康得分,其用公式为:

健康得分=100×(S_{max}-S)/S_{max}

式中:S_{max}为最大相对沉积速率,S为各湖泊相对沉积速率,计算结果见表 2。

根据健康得分可将各湖泊划分为不健康、亚健康和健康 3 个等级。其代表的状态分别为:湖泊泥沙年淤积量少,库容减小率低,为健康;湖泊库容率显著减小,湖底高程抬升明显,面临较为严重淤积威胁或沼泽化进程,为不健康;二者之间为亚健康。因此,从国内各湖泊的现实情况出发,初步将得分 80~100 定义为健康(相对沉积速率小于 0.71);50~80 为亚健康(相对沉积速率大于 0.71 小于 1.73);50 分以下为不健康(相对沉积速率大于 1.73)。

4 结果与讨论

4.1 评价结果

据上述评价指标及评价标准, 可对太湖各湖区进行健康打分并划分健康等级(图 2)。图 2 中实线以上为健康, 虚线以下为不健康, 二者之间为亚健康。可以看出, 除贡湖和湖心区为健康之外, 其他各湖区基本处于亚健康状态, 东太湖第一阶段(1963~1986)尚属全湖中等水平, 第二阶段(1986~2002)急剧下降, 成为太湖唯一不健康区域。全湖处于亚健康状况, 但健康得分较上一阶段显著下降, 如不采取适当的防护措施, 很有可能步入不健康阶段。通过划分相应的健康等级, 可以了解太湖各湖区淤积现状与发展趋势, 采取相应的防护措施。

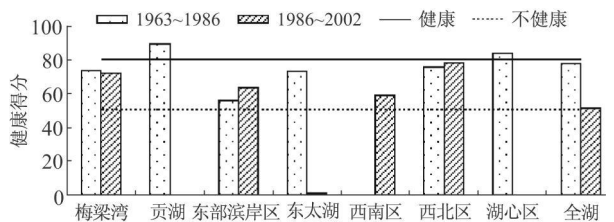


图 2 太湖各湖区健康指数得分

Fig. 2 Health Index of Different Zone of Lake Taihu

4.2 讨论

从太湖沉积速率分布及健康得分情况来看, 全湖存在明显的时空差异, 其中东太湖、西南区应引起重视。就太湖而言, 其主要驱动因素有 3 方面: 湖泊泥沙来源及分布; 崩岸物质; 水生植被促淤效应。

太湖水系虽河网密布, 但无大江大河注入, 河道大都短小水浅, 比较平缓, 因此入湖泥沙量不大, 平均含沙量约为 0.025 kg/m^3 。两条主要携沙水系为宜溧河水系和苕溪水系, 宜溧河流经宜兴 3 个过水湖泊: 西汊、团汊、东汊时, 大部分泥沙沉积下来, 进入太湖沙量很少, 苕溪输沙成为太湖泥沙重要来源, 多年平均输沙量为 $2.43 \times 10^5\text{ t}$ 。泥沙经小梅口汇入之后, 在吞吐流作用下沿湖南部沿岸至东太湖地带堆积, 堆积带沉积物中粉沙含量占 70%~80% 以上, 质地均匀, 因此南部泥沙含量要远远大于西北部, 沉积速率较高, 健康得分低。

崩岸物质的主要动力因素是风生流及风暴, 后者有很强的季节性, 能在短时间内导致湖岸崩退, 在湖底形成风暴流堆积带, 主要作用区域为西北部及湖心区。从太湖全年平均二维流场(图 3)来看,

其存在极强的空间分布不均匀性, 但存在一明显的主流区, 其在西部沿岸方向为西南方向^[24], 搬运悬浮物质沿太湖西岸自北向南形成堆积带, 沉积物中粉砂占 80% 左右, 但泥沙来源少于南部, 健康指数较西南区好。同时, 湖心区在不同风场作用下大多存在一环流^[24, 25], 水体中的悬浮物难以沉降和凝聚, 因此健康得分较其他湖区高。

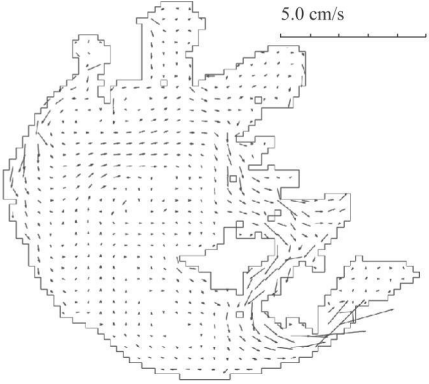


图 3 1997 年太湖全年平均流场^[24] (垂向平均)

Fig. 3 Average 2D Current Field of Taihu Lake in 1997(vertical average)

对于水生植被茂盛的东部滨岸区特别是东太湖而言, 水生植被促淤效应是湖区淤积程度健康指数得分较低的重要原因。东太湖 95% 以上湖面被微齿眼子菜、茭草、茭草+ 苻菜+ 水鳖、苻菜+ 野菱+ 黑藻、芦苇等群丛所盖^[4]。水生植物一方面阻滞来自南部的泥沙, 促使悬浮沉降落淤, 加快东太湖的淤浅, 另一方面其残体堆积加速湖底高程抬升。东太湖茭草区表层 30 cm 沉积物中有明显可辩的茭草残渣, TOC 含量高达 5.6~17.3%, 折合有机物 10~30%^[26], 表明生物残体显著提高了东太湖的淤积速度, 同时, 生物沉积物的疏松效应给东太湖增加了大约 0.2 m 的淤积厚度, 总体来讲水生植物沉积效应对东太湖的淤积贡献率约 22.2%^[27]。因此, 近 20 多年来东太湖沼泽化程度的加剧引起湖区健康指数剧减, 成为全湖唯一不健康区域, 面临淤积威胁严重。

5 结论

(1) 1986~2002 年, 太湖平均沉积速率 3.3 mm/a , 与 1963~1986 年 1.53 mm/a 相比有所增大, 各湖区也呈大小不一的增加趋势, 东太湖增幅最大, 从 1.83 mm/a 增加至 12.4 mm/a 。

(2) 从空间分布上看, 太湖东南部及环湖沿岸区沉积速率较大, 受流域来沙及沼泽化等因素影响, 沉

积速率变化较大,湖心区泥沙不易落淤,沉积速率及变化较小;

(3)全湖除贡湖、湖心区淤积程度处于健康水平外,其他湖区处于亚健康或不健康(东太湖)状态,全湖有向不健康状态发展的趋势。

参考文献:

[1] 章伟燕,张富元,陈荣华,等.南海深水区晚更新世以来沉积速率、沉积物通量与物质组成[J].沉积学报,2002,20(4):668~674.
[2] 王永红,沈焕庭.河口海岸环境沉积速率研究方法[J].海洋地质与第四纪地质,2002,22(2):115~120.
[3] 孙顺才,黄漪平.太湖[M].北京:海洋出版社,1993,126~127.
[4] 秦伯强,罗淑葱.太湖生态环境演化及其原因分析[J].第四纪研究,2004,24(5):561~568.
[5] HAWORTH E Y, LUND J W G. Lake Sediments and Environmental History[M]. Leicester: Leicester University press, UK, 1984, 93~124.
[6] ROBBINS J A, EDGINGTON D N. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs[J]. Geochimica Cosmochimica Acta, 1975, 39: 285~305.
[7] 朱广伟,秦伯强,高 光.太湖现代沉积物中磷的沉积通量及空间差异性[J].海洋与湖沼,2007,38(4):329~335.
[8] 秦伯强,胡维平,陈伟民.太湖水环境演化过程与机理[M].北京:科学出版社,2004,9~11.
[9] 黄漪平,范成新,濮培民,等.太湖水环境及其污染控制[M].北京:科学出版社,2001,21~23.
[10] 姚书春,薛 滨,李世杰,等.长江中下游湖泊沉积速率的测定及环境意义——以洪湖、巢湖、太湖为例[J].长江流域资源与环境,2006,15(5):569~573.
[11] 刘恩峰,沈 吉,朱育新.西太湖沉积物污染的地球化学记录

及对比研究[J].地理科学,2005,25(1):102~107.
[12] 刘建军,吴敬禄.太湖大浦湖区近百年来湖泊记录的环境信息[J].古地理学报,2006,8(4):559~564.
[13] 姚书春,薛 滨,朱育新,等.长江中下游湖泊沉积物铅污染记录——以洪湖、固城湖和太湖为例[J].第四纪研究,2008,28(4):659~666.
[14] 谢兴勇,钱 新,张玉超,等.引江济巢对巢湖的水环境影响分析[J].环境科学研究,2009,22(8):897~901.
[15] 吕利军,王嘉学,袁 花,等.滇池水体环境污染的综合研究[J].云南化工,2009,36(3):57~61.
[16] 于银亭,李培泉,吴 润,等.昆明滇池沉积速率的测定[J].海洋与湖沼,1996,27(1):41~45.
[17] 姜加虎,黄 群.洞庭湖区生态环境退化状况及其原因分析[J].生态环境,2004,13(2):2772~2780.
[18] 马逸麟,熊彩云,易文萍.鄱阳湖泥沙淤积特征及发展趋势[J].资源调查与环境,2003,24(1):29~37.
[19] 沈 吉,张恩楼,夏威岚.青海湖近千年来气候环境变化的湖泊沉积记录[J].第四纪研究,2001,21(6):508~513.
[20] 冯钟葵,李晓辉.青海湖近20年水域变化及湖岸演变遥感监测研究[J].古地理学报,2006,8(1):131~141.
[21] 顾成军,戴雪荣,何小勤,等.巢湖泥沙淤积问题的探讨[J].国土资源与环境,2005,1:52~54.
[22] 姚书春,薛 滨,王小林.人类活动影响下的固城湖环境变迁[J].湖泊科学,2008,20(1):88~92.
[23] 吴小根.太湖的泥沙与演变[J].湖泊科学,1992,4(3):54~60.
[24] 胡维平.浅水湖泊湖流特征[M]//范成新,王春霞.长江中下游湖泊环境地球化学与富营养化.北京:科学出版社,2006:164~166.
[25] 马生伟,蔡启铭.浅水湖泊风生流的迎风有限元数值模型研究[J].水科学进展,2000,11(1):70~75.
[26] 吴庆龙,胡耀辉,李文朝,等.东太湖沼泽化发展趋势及驱动因素分析[J].环境科学学报,2000,20(3):275~279.
[27] 李文朝.东太湖水生植物的促淤效应与磷的沉积[J].环境科学,1997,18(3):9~12.

DISTRIBUTION OF DEPOSITION RATE OF
LAKE TAIHU AND ITS HEALTH ASSESSMENT

ZHU Jin-ge^{1,2}, HU Wei-ping¹, HU Chun-hua¹

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The deposition rate of different zones of Lake Taihu was evaluated at two stages (1963~1983, 1983~2002). The results showed that the deposition rates increased at different degrees in space, and the East Lake was the most significant in Lake Taihu. It increased from 2.9 mm/a to 12.4 mm/a. Since deposition rate has different meaning to different depth of shallow lake, the relative deposition rate (RDR) was proposed to assess the health states of Lake Taihu in deposition. RDR is the ratio of deposition rate to depth. The health index was determined by the deposition situation of the principal domestic lakes. The lake of maximum RDR was defined as health score of 0, and the lake of RDR being 0 was defined as health score of 100, thus the health index of Lake Taihu could be calculated by linear interpolate. The RDR shows that Gonghu bay and Centre lake are in health states, East lake is the only unhealth zone, and the others are subhealth. The whole lake has a deteriorate trend from sub-health to unhealth.

Key words: deposition rate; health assessment; Lake Taihu