

# 近 60 年洞庭湖泊形态与水沙过程的互动响应

尹 辉<sup>1,2</sup>, 杨 波<sup>3,\*</sup>, 蒋忠诚<sup>1</sup>, 曾发明<sup>3</sup>, 彭 鹏<sup>3</sup>, 李景保<sup>3</sup>

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 桂林 541004; 2. 惠州学院, 广东 惠州 516007;

3. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410081)

**摘要:**以历史文献、图件及 1951~2009 年长系水沙等资料为依据, 对比分析洞庭湖形态与水沙过程的互动响应, 结果表明: 由于湖泊形态与水沙过程存在着相互作用的关系, 近 60 年间, 水沙过程以多种形式改变湖泊形态特征值, 如湖盆结构破碎、解体, 水深变浅以及湖面、湖容依次减少 1840km<sup>2</sup> 及 130×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>; 同时湖泊形态特征值改变也引起水沙特性变异, 在 1951~2002 年间湖盆蓄水量呈明显的增减波动, 但同流量下汛期水位普遍抬高 1.2~1.90m, 西、南、东洞庭湖水位变幅依次增大 1.61m、1.39m 和 1.35m, 各主要水文站前 5 位最高洪水水位排序的年份均出现在湖面积(容积)历史最低值, 泥沙淤积率为 70% 以上; 2003 年 6 月三峡水库蓄水及“退田还湖”后, 高、中水位下湖盆调蓄量有所减少, 城陵矶丰、枯水位分别降低 1.12m 及 0.35m, 西湖区与东南湖区的泥沙输出比均呈增大趋势, 泥沙淤积率减至 35.9%。其互动响应机制, 可概化为泥沙淤积循环→湖盆结构破碎、解体, 湖面湖容缩小→水沙特性异变→改变湖泊形态→水沙特性变异的互动响应动态演进模式。

**关键词:**洞庭湖泊形态; 水沙过程; 互动响应; 演进模式

**文章编号:** 1000-0585(2012)03-0471-13

## 1 引言

洞庭湖接纳湘、资、沅、澧四水, 以及荆江的松滋、太平、藕池三口水沙, 经湖泊调蓄后于湖口城陵矶泄入长江, 是我国典型的大型通江湖泊。长期以来, 洞庭湖盆一方面不断地接受大量的泥沙淤积, 另一方面由于受新构造运动影响又在不断的沉降<sup>[1]</sup> (其沉降速率为 5.00~31.3 mm/a, 本文未考虑其影响), 再一方面人类对江河水资源开发利用及对湖泊型资源的不断索取。在三者的综合作用下, 洞庭湖泊形态不断地塑造与调整, 使湖泊形态特征值发生变化。由于湖泊形态系统是由湖盆地貌系统与水文系统共同构成的自然综合体, 因而湖泊形态特征值的改变又反过来影响水沙过程, 使水位、泥沙冲淤、调蓄量发生相应变化。在经久不息地水沙过程作用下, 湖泊形态与水沙过程相互依存、相互较量, 相互响应、共同促使着洞庭湖的演变。近几十年来, 由于自然, 特别是人类活动日益剧烈, 洞庭湖形态发生了很大改变, 因而有关洞庭湖的演变问题, 国内许多学者从不同角度上作了有益的研究<sup>[2~6]</sup>, 其主要探讨了淤积、沉降对湖盆、盆地的影响过程; 淤积、围

收稿日期: 2011-04-10; 修订日期: 2011-09-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41071067), 中国地质科学院开放课题 (2002371110006) 和岩溶所所控项目 (2011006) 联合资助。

作者简介: 尹辉 (1983-), 男, 桂林人, 博士研究生, 主要从事生态水土保持研究。

E-mail: yinhui741852963@163.com

作者通讯: 杨波 (1974-), 男, 湖南张家界人, 博士, 副教授, 主要从事遥感, 水文等方面的研究。

E-mail: yb@hunnu.edu.cn

垦与洞庭湖的演变关系;洞庭湖面积对江湖水沙关系调整的响应;城陵矶断面的演变对其水位~流量关系的影响;湖垵、植被洲滩变化对洞庭湖面积的影响等等。从实质上讲,洞庭湖的兴衰与水沙作用过程息息相关,然而至今却很少有研究者,从湖泊形态改变与水沙运动规律的互动响应这一角度来认识现代洞庭湖的演变。本文从水沙过程作用于洞庭湖盆的深层因子入手,分析湖泊形态与水沙过程的互动响应特征及其互动响应机制的动态演进模式,以便从湖泊形态与水沙过程相互作用的层面上来了解现代洞庭湖的演变规律。

## 2 数据来源与研究方法

本文资料来源:径流量、输沙量、特征水位等水文参数,来源于湖南省水文水资源勘测局和洞庭湖区主要水文站。为便于比较分析,将水沙系列划分为7个阶段即:1951~1958年荆江调弦口堵口前,1959~1966年调弦口堵口后,1967~1972年下荆江系统裁弯中,1973~1980年下荆江裁弯后至葛洲坝截流之前,1981~1998年葛洲坝截流后,1999~2002年三峡工程蓄水前,2003~2009年三峡工程蓄水后。泥沙粒径级配资料,1959~1975年引自湖南水利局编写的《湖南省水文特征资料》第二集(上集);1981~2006年泥沙粒径级配资料来源于湖南省水文水资源勘测局。洞庭湖区1:25000与1:10000水下地形图来自于长江水利委员会水文局及湖南省洞庭湖水利工程项目管理局,2004年《湖南省洞庭湖区堤垵图集》来自于湖南省水利水电勘测设计研究总院。本文测定洞庭湖面积的遥感影像,所用的两景Landsat-7 ETM+数据(123/040、124/040)是由中国科学院遥感卫星地面接收站接收,时相分别为2001年9月24日和2001年9月15日。所用29幅地形图(16幅1:100000和13幅1:50000)来自于中国人民解放军总参谋部测绘局(北京54大地坐标系,高斯-克吕格投影,Krassovsky椭球体参数)。

本文运用各个时段的实测原型水文资料对比分析不同时期水文过程的演变规律;现今湖泊形态特征值,运用地形法测量湖底高程,即根据2005年1:10000水下地形测绘资料的七里湖、目平湖、南洞庭湖、东洞庭湖4个天然湖泊面积及容积(相应湖口城陵矶黄海基面水位31.50m)计算各个湖底高程,并根据实测水位减去湖底高程,获得湖泊水深,然后与历史资料作对比分析。本文洞庭湖面积的测定是基于遥感目视解译法量算,首先对遥感影像进行几何校正、镶嵌等图像预处理,制作出用于洞庭湖区堤垵目视解译的遥感影像底图;其次参照洞庭湖堤垵图集矢量化洞庭湖水利工程图,制作成洞庭湖堤垵分布图;再次建立洞庭湖堤垵目视解译标志,并以矢量化的堤垵分布图作为参照,进行洞庭湖区堤垵的遥感目视解译,获取解译成果图;最后,在ENVI软件中计算洞庭湖面积。

## 3 结果分析

### 3.1 水沙过程与洞庭湖泊形态的相互作用关系

湖盆系指蓄纳水体的地表洼地,湖泊是地表洼地积水形成水面宽阔、流速缓慢的水体。湖泊形态则是指湖盆结构及其几何形态大小的概念。洞庭湖是由湖盆、水体和水中所含的有机质、无机质、溶解质等物质共同组成的自然综合体。其水沙来源于长江(荆江段)的松滋、藕池、太平三口和湖南湘、资、沅、澧四水。永不停息地入湖水沙过程,既赋予了洞庭湖的生命活力,又危及其健康安全。这是因为水沙过程具有多种属性,对于洞庭湖自然结构及其形态特征的稳定性均起着重要的制约与调节作用:(1)水流是塑造湖盆形态的直接动力,径流水平、变幅和各级水量的持续时间等水文变化过程决定了水沙两相

流的造盆动力条件; (2) 泥沙则是塑造湖盆形态的物质基础, 沙量的多少, 颗粒的粗细等泥沙特性影响着湖盆结构的稳定及其变化的方向, 同时不同的水沙组合特性及冲淤状态又改变着主湖槽和漫滩的形态; (3) 水沙过程的多样性对保持湖盆结构稳定, 维持湖盆基质组成也起着不同程度的作用。对于水沙特性, 由于湖盆是水沙两相流的载体, 不同的湖盆形态特征对水沙过程的多样性起着重要的制约和调控作用, 首先, 湖泊形态调整引起水沙动力条件变化, 如湖泊输沙能力减弱导致淤积, 而湖盆淤积会导致洪水位壅高; 其次湖泊形态改变会引起泥沙淤积与冲刷交替变异、蓄水量增减、水位涨幅等水沙特性变化。在水沙过程与湖盆的相互作用下, 洞庭湖泊形态不断地塑造与调整, 使湖泊形态特征处于在变化之中, 而变化中的湖泊形态又制约着水沙过程, 使水沙特性处于在变化之中。在历史长河中, 洞庭湖泊形态与水沙过程相互依存, 相互作用, 彼此互为条件, 互为因果, 或彼此互为消涨, 两者共同促使着洞庭湖的演变。

### 3.2 湖泊形态对水沙过程的响应

**3.2.1 湖盆自然结构的响应特征** 依据历史文献<sup>[7~11]</sup>、近代洞庭湖水下地形图、湖泊洲滩发育程度, 以及洲滩显露与淹没时间和范围<sup>[12]</sup>, 将洞庭湖盆自然结构划分为沿岸带, 亚沿岸带和深水带 (湖心散水带)。据历史文献及 1952 年、1968 年、1978 年、1988 年、1998 年、2005 年 1:25000 和 1:10000 地形图等资料综合分析表明: 洞庭湖盆自然结构历经了破碎、解体、消失或重叠的演变过程 (图 1)。

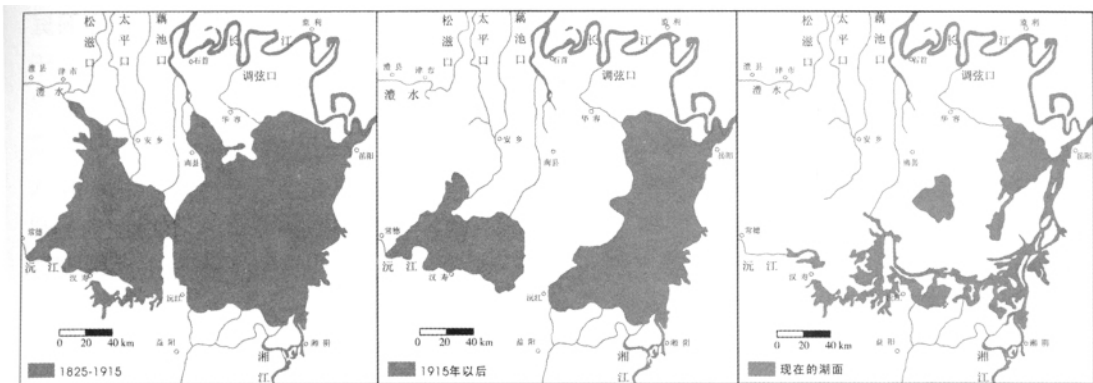


图 1 洞庭湖盆结构及其几何形态演变图

Fig. 1 The evolvement of the structures and geometrical morphological characteristics of Dongting Lake Basin

2000 多年前, 云梦泽南连长江, 北通汉水, 长江穿湖而过, 构成了洞庭湖盆自然结构的基本轮廓; 到公元 1000 年前后, 统一的云梦泽演变成星罗棋布的小湖群, 俗称“千湖之国”, 洞庭湖盆由沿岸带、亚沿岸带和深水带构成一个整体; 到 1825~1915 年, 因 1860 年荆江藕池溃口成河, 1870 年荆江松滋溃口成河, 长江洪水从四口汇入洞庭湖, 形成江湖相通的复杂水系格局, 洞庭湖盆扩大到全盛期; 到 1915~1949 年, 长江大量泥沙淤积洞庭湖, 洲滩发育扩展, 围垦强度随之加大, 使湖盆沿岸带重叠于松滋、藕池、太平、调弦和湘、资、沅、澧入湖河口三角洲中, 深水区与亚沿岸带分离, 破碎的亚沿岸带一部分被 3471km 防洪大堤所占据, 另一部分消失在垸田之中。湖心散水带也被过水洪道

和洲滩分割为七里湖、目平湖、南洞庭湖和东洞庭湖,至此整个洞庭湖盆由 4 个天然湖盆、水体、植被洲滩、入湖三角洲以及沟通湖泊的 8 条主洪道所组成;到 1949~1998 年,随着泥沙淤积累积量的增加,洲滩淤高,西洞庭湖区的七里湖盆变成了澧水洪道,有些高位洲滩已超出东洞庭湖盆和南洞庭湖盆的堤顶高程;南洞庭湖盆边缘不但形成三角洲,而且其北部的东南湖、黄土包河、虾湖、荷叶湖等小湖群洲滩发育成片伸入深水区,其南部被资水和湘水洪道所取代;东洞庭湖盆原属亚沿岸带的柴下洲、武功洲、飘尾洲已向深水区延伸 25~30km,使湖盆变窄呈长条形状。由于围垦和筑堤,当时的一些湖泊如,鳊鱼湖、冲天湖、围堤湖、南湖、洋淘湖、大通湖等湖群都变成了现在的内湖。因此,现今洞庭湖盆是一个被防洪大堤或自然岸线围限的封闭式蓄水洼地,其水域范围缩小(表 1),湖心散水带被割裂成沼泽、零星分流间残留湖湾及多股分流河道。湖盆宏观结构从外向内大体呈圈带状立体景观格局,在荆江四口、湖南四水入湖口三角洲前缘呈多级阶地展布,以疏松沉积物组成;湖盆中的赤山、青山、磊石山、君山等岛状丘陵,突起于滨湖垄岗地之上;而处于三角洲与湖心散水带之间的广阔洲滩地区,多发育起伏不平的泥沙洲滩、水下浅滩,水生植物繁茂;现今的湖心散水区绝大部分已被湖汉、台地、小岛、零星湖泊、过水洪道和水生植物所封锁。真正的湖心散水带的主体部分位于在湘江尾间的鹿角至岳阳城陵矶一段(全长 33km)。通过地形法测定,洞庭湖西北部澧阳平原海拔 30.53~34.21m,安乡 29.30~37.2m,常德东北部 28.80~33.50m,汉寿东北部 26.74~33.43m,益阳东北部 24.81~31.2m,临湘江南乡 23.84~27.44m,西部石龟山为 32.12~38.72m,中部南咀为 28.84~34.63m,东南部柳林潭为 27.20~33.30m,东北部洞庭湖入长江处的城陵矶段为 19.43~32.33m。可见,当今洞庭湖盆各区的海拔高度均高于 20 世纪 80 年代<sup>[13]</sup>。受湖盆高程和堤防环包的制约,西洞庭湖、南洞庭湖与东洞庭湖,以永久性防洪大堤为湖盆边界,共同构成一个由西向南,再由南向东北倾斜的湖盆大势,成为一个典型的洪道型湖盆。洪水期,洞庭湖西部与南部过水洪道相通,北部与荆江三口入湖洪道相接,南部与东部水域沟通,湖水漫滩与东、南、西三湖的湖心散水带相连,呈现一片汪洋;枯水期,白泥滩、泥沙滩、湖草滩、芦苇滩、鸡婆柳滩和防护林滩等洲滩交错出露,整个洞庭湖盆仅呈现几条过水洪道的水情景观。

**3.2.2 湖泊几何形态的响应特征** 湖泊形态大小是以某一水位条件下相应的面积、长度、宽度、岸线周长、湖深、容积和岸线发展系数等几何形态度量指标来表示<sup>[14]</sup>。由此定义可知,不同时期的洞庭湖盆自然结构特征,则决定了其相应的几何形态。据考古发现及史料记载,洞庭湖在距今 4000 年前至公元 3 世纪秦汉时期,湖面积超过 6000km<sup>2</sup>;公元 3~6 世纪魏晋南北朝时期,湖面积接近 6000km<sup>2</sup>;公元 6~13 世纪唐宋年间,湖泊缩小至 3000~5000km<sup>2</sup>;公元 13~17 世纪元明时期,湖泊又扩大到 5000~6000km<sup>2</sup>;清朝时期的 1896 年湖面积为 5400km<sup>2</sup>。随着洞庭湖盆的不断淤高,洲滩迅速扩展和围垦强度增大,曾称“八百里洞庭”的洞庭湖,到 1949 年湖泊水域缩小至各入湖河口三角洲,在高水位情景下湖泊总面积为 4350km<sup>2</sup>,与全盛期相比减少 1650km<sup>2</sup>,递减幅度为 27.2%;1950~1958 年湖面积较 1949 年减少 1209km<sup>2</sup>,递减幅度为 27.8%;1971~1978 年湖面、湖容积分别较 1950~1958 年减少 450km<sup>2</sup>及 54×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,湖面积递减幅度为 14.3%(停止围垦);1985~1990 年湖面、湖容依次减至 2691km<sup>2</sup>及 174×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>;1995~1998 年湖面、湖容依次减至 2625km<sup>2</sup>、165×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,分别较 1971~1978 年减少 181km<sup>2</sup>及 11.0×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。近十多年来,洞庭湖区实施“退田还湖工程”、三峡水库蓄水,湖面积容积又有新的

变化，因而受到相关学者的关注，所测定的湖面积分别为 2800.5km<sup>2</sup>、2797.1km<sup>2</sup>和 2684.3 km<sup>2</sup><sup>[15~18]</sup>。本文依据 2004 年编绘的《湖南省洞庭湖区堤垸图集》，结合与 2001 年 9 月遥感影像的目视解译，并经 ENVI 软件计算得到现今洞庭湖面积为 2713.855km<sup>2</sup>，与彭定志等测定的结果有一定的差异（表 2）。

表 1 现今洞庭湖盆水域范围及长度

Tab 1 Waters range and length of lake basin of Dongting Lake nowadays

区域	湖盆及洪道名称	起点	终点	长度（km）
西洞庭湖	七里湖	澧县小渡口	石龟山水文站	29.3
	澧水洪道	石龟山水文站	汉寿县三角堤	38.0
	目平湖	汉寿县三角堤	小河咀水文站	44.2
	沅水洪道	常德德山枉水口	汉寿县坡头	53.5
	南洞庭湖	小河咀水文站	汨罗磊石山	78.2
	草尾河洪道	沅江市胜天	沅江市北闸	49.8
南洞庭湖	茈湖河口	益阳市甘溪港	湘阴县杨柳潭	28.6
	甘溪港河	益阳市甘溪港	沅江市沈家湾	20.7
	毛角口河	湘阴县毛角口	湘阴县临资口	35.6
	湘水东支	湘阴县濠河口	湘阴县斗米咀	21.1
东洞庭湖	湘水西支	湘阴县濠河口	湘阴县古塘	20.8
	东洞庭湖	汨罗市磊石山	七里山水文站	29.6

表 2 近十多年洞庭湖面积测算结果比较表

Tab 2 The comparison of measured Dongting Lake acreage in recent decade

作者	文献来源	研究时间	研究数据	面积（km <sup>2</sup> ）	备注
长江水利委员会	文献 [19]	1995	1：10000 地形图	2625.0	4 个湖泊面积
黄进良	文献 [16]	1999	1989 年 TM（MSS）	2797.052	1989 年湿地面积
易波琳，等	文献 [17]	2002	2000 年 TM	2684.3	含洪道面积
彭定志，等	文献 [15]	2004	2002 年 MODIS	3261.187	最大水体面积
刘可群，等	文献 [18]	2009	2002 年 MODIS	2525.033	最大水体面积
尹辉，等	本文	2010	2001 年 ETM+	2713.855	近水堤垸围成面积

现今洞庭湖水域范围如表 1，全湖总长为 469.4km，其中，七里湖、目平湖、南洞庭湖和东洞庭湖总长度为 201.3km，8 条主要洪道<sup>①</sup>长度为 268.1km。于是以洞庭湖水域范围为基础，把 2005 年 1：25000 水下地形图与 2004 年《湖南省洞庭湖区堤垸图集》拟合，测定洞庭湖东西长 143.0km，南北最大宽 30.0km，平均湖宽 17.01km，最大水深 23.50m，平均水深 6.39m，湖盆边界总长 912.8km，防洪大堤边界长 758.31km，占边界总长的 83.1%，湖盆自然岸线 189.6km，占总长度的 20.8%。实施“平垸行洪，退田还湖”工程后，特大高洪水年景蓄洪堤垸和单退堤垸高水还湖扩大湖面积约 1343 km<sup>2</sup>及相应容积 86×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>，加上现有的天然湖泊面积 2625km<sup>2</sup>，容积 165×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>，洞庭湖面积

①水洪道、沅水洪道、草尾洪道、资水洪道茈湖口、资水洪道甘溪港、资水洪道毛角口、湘水洪道东支、湘水洪道西支，2006 年湖南省洞庭湖水利工程管理局界定，并量得长度数据。

恢复至  $3968\text{km}^2$ , 相应湖容约  $251 \times 10^8\text{m}^3$ 。如果以 1825 年前洞庭湖面积  $6200\text{km}^2$  视为 100%, 湖面湖容历经了 5 个时期的较大变化: 即 1826~1915 年、1916~1949 年、1950~1978 年、1979~1998 年、1999~2009 年湖面积依次约  $5600\text{km}^2$ 、 $4200\text{km}^2$ 、 $2700\text{km}^2$ 、 $2600\text{km}^2$ 、 $3968\text{km}^2$ , 分别占 1825 年前洞庭湖面积  $6200\text{km}^2$  的 90%、67%、44%、42% 及 64%; 同期相应湖容分别约  $330 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $293 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $228 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $188 \times 10^8\text{m}^3$  和  $251 \times 10^8\text{m}^3$ , 依次占 1825 年前洞庭湖容  $420 \times 10^8\text{m}^3$  的 78.6%、69.8%、54.3%、44.8% 及 59.8%。由上述分析表明, 在长期的水沙过程和人类活动的综合作用下, 洞庭湖历经了较明显的从大变小, 再从小变大的波动过程。

### 3.3 水沙过程对洞庭湖泊形态改变的响应

**3.3.1 洪水位的响应特征** 根据前述 1951~2009 年 (7 个时段) 的湖面积和相应实测水位, 计算湖面积与水位相关程度  $r$ , 得到东洞庭湖面积与城陵矶站水位  $r=0.9023$ , 南洞庭湖面积与湘阴站水位  $r=0.8935$ , 西洞庭湖面积与小河咀站水位  $r=0.8467$ 。这表明, 不同时段的湖面积与相应实测水位关系密切。据湖区主要水文站特征水位统计分析 (表 3), 其水位变化特征表现为: (1) 主汛期 (7~8 月) 洪水位普遍抬高。按总入湖最大洪峰流量频率计算, 1996 年为 50 年一遇水平, 而湖区绝大多数水文站实测水位均达 100 年一遇, 高洪水位期间, 3471km 一线防洪大堤有 2600km 大堤控制区的洪水位超 1954 年最高水位 0.50~2.00m, 甚至平水年或一般洪水年如 1980 年、1983 年、2003 年也出现高洪水位的异常现象。(2) 近 60 年间湖区各主要水文站前 5 位最高洪水位排序的年份, 几乎均出现在洞庭湖面积、容积历史最小值的 1995~2002 年主汛期 (表 3)。(3) 水位变幅增大, 据主要水文站, 各时段多年平均最高水位与多年平均最低水位的差值分析表明: 1951~1958 年西洞庭湖 (石龟山、南咀、小河咀站)、南洞庭湖 (沅江、营田站)、东洞庭湖 (七里山、鹿角站) 多年平均最高水位与多年平均最低水位变幅, 依次为 12.65m、11.08m、14.78m; 1959~1977 年水位变幅为, 南洞庭湖 13.17m, 西洞庭湖 11.53m, 东洞庭湖 15.09m; 1978~1990 年西、南、东洞庭湖水位变幅分别为 13.75m、12.17m 及 15.68m; 1991~1998 年西、南和东洞庭湖水位变幅依次增大至 14.26m、12.47m、16.13m, 与 1951~1958 年相比, 西、南、东三湖分别增大了 1.61m、1.39m 和 1.35m。1999~2009 年“退田还湖”和三峡水库蓄水后, 西、南、东 3 洞庭湖多年平均水位变幅

表 3 洞庭湖区主要测站 1951~2009 年前 5 位最高洪水位排序

Tah. 3 The top 5 flood levels of main stations in Dongting Lake area from 1951 to 2009

湖 名 站 名	1		2		3		4		5	
	洪水位	年月日	洪水位	年月日	洪水位	年月日	洪水位	年月日	洪水位	年月日
西洞庭湖 (石龟山)	42.00	2003.7.11	41.89	1998.7.24	40.82	1991.7.7	40.43	1983.7.8	40.14	1980.8.3
西洞庭湖 (小河咀)	37.57	1996.7.21	37.03	1998.7.25	36.6	1999.7.18	36.23	2002.8.23	36.22	1995.7.4
西洞庭湖 (南咀)	37.62	1996.7.21	37.21	1998.7.25	36.83	1999.7.22	36.51	2002.7.11	36.37	2002.8.24
南洞庭湖 (沅江)	37.09	1996.7.21	36.59	1998.7.31	36.45	1999.7.23	36.08	2002.8.23	35.76	1995.7.4
南洞庭湖 (营田)	36.54	1996.7.22	36.26	1998.7.31	36.15	1999.7.22	35.76	2002.8.23	35.13	1995.7.4
南洞庭湖 (草尾)	37.37	1996.7.21	36.90	1998.7.25	36.61	1999.7.22	36.22	2002.8.24	36.22	2003.7.11
东洞庭湖 (鹿角)	36.14	1998.8.20	35.91	1999.7.23	35.73	1996.7.22	35.24	2002.8.24	35.00	1954.8.3
东洞庭湖 (岳阳)	36.05	1998.8.20	35.77	1999.7.23	35.39	1996.7.22	35.07	2002.8.24	34.82	1954.8.3
东洞庭湖 (七里山)	35.94	1998.8.20	35.68	1999.7.23	35.31	1996.7.2	234.91	2002.8.24	34.55	1954.8.3

依次为 11.02m、12.35m 及 13.25m, 稍低于 1991~1998 年的多年平均水位变幅。(4) 洪水水位涨落波动较大, 本文采用方春明等<sup>[19]</sup>的分析方法, 选取入湖洪峰流量和出口城陵矶最高洪水位基本相似的 1955 年、1996 年两次洪水, 分析湖面积(容积)变化对洪水水位的影响。经分析表明, 对于 1955 年洪水, 以 1995 年洞庭湖面积(容积)曲线取代 1955 年湖面积(容积)曲线, 1955 年在 6 月 25 日至 7 月 29 日洪水过程中, 平均壅高水位 0.68m, 洪水位最大壅高 0.83m, 发生在 7 月 15 日, 对应减少出湖流量约 1768m<sup>3</sup>/s; 而对于 1996 年洪水, 以 2008 年洞庭湖面积(容积)曲线取代 1996 年湖面积(容积)曲线, 1996 年在 5 月 10 日至 8 月 5 日洪水过程中, 平均降低水位 0.38m, 洪水位最大降低 0.68m, 发生在 7 月 23 日, 对应减少出湖流量约 1307m<sup>3</sup>/s。由此认为, 在入湖洪量与出湖洪量大体相近条件下, 洪水水位变幅是随湖面湖容的增减而变化。

**3.3.2 泥沙冲淤的响应特征** 通过点绘 1951~2009 年泥沙淤积体积与湖容积的关系曲线表明, 两者关系较密切, 其相关系数为 0.7132。这意味着洞庭湖盆自然结构及面积(体积)在一定程度上决定了洪水漫滩与水流归槽的交替时间及冲淤特性。近 60 年间湖盆冲淤特性主要表现为:

(1) 多年平均淤积量减少, 年内冲淤趋于均衡。通过分年代和月份分别统计入湖与出湖平均输沙量表明, 在 1951~1958 年、1959~1966 年、1967~1972 年、1973~1980 年、1981~1990 年、1991~2002 年的 6 时段中, 湖盆多年平均淤积率在 76.1~70.4% 之间波动。而各月的冲淤状态是, 11 月至次年 4 月, 出湖沙量大于入湖沙量, 洞庭湖处于冲刷状态, 多年平均冲刷量  $1115.2 \times 10^4 \text{ t}$ ; 5 至 10 月出湖沙量小于入湖沙量, 洞庭湖处于淤积状态, 多年平均淤积量  $13408.69 \times 10^4 \text{ t}$ <sup>[20]</sup>, 约为冲刷量的 12 倍。再统计 2003~2009 年各月入湖与出湖平均泥沙量表明, 多年平均淤积率减少至 39.5%, 10 月至次年 4 月, 出湖沙量大于入湖沙量, 多年平均冲刷量  $1382 \times 10^4 \text{ t}$ ; 5 至 9 月出湖沙量小于入湖沙量, 洞庭湖多年平均淤积量  $893 \times 10^4 \text{ t}$ 。与 1999 年以前相比, 洞庭湖冲刷时间提早约一个月, 而淤积时间却减少约一个月, 冲刷量与淤积量同步减少, 且两者差值均呈减小趋势。

(2) 湖盆淤积泥沙颗粒细化。依据 1959~1975 年实测泥沙和泥沙粒径级配资料分析, 再用沙量平衡原理计算, 得出洞庭湖多年平均淤积量为  $13402 \times 10^4 \text{ t}$ , 其中, 粒径级为 0.500mm 泥沙淤积量为  $3820 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 0.050~0.250mm 泥沙淤积量为  $2052 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 0.005~0.025mm 泥沙淤积量  $1368 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 分别占淤积总量的 28.5%、15.3% 及 10.2%, 而粒径大于 0.010mm 泥沙淤积量达  $6162 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 占淤积总量的 46.0%。又据 1981~2006 年实测泥沙和泥沙粒径级配资料分析, 湖盆多年平均淤积量为  $8741 \times 10^4 \text{ t}$ , 其中, 粒径级为 0.500mm 泥沙淤积量为  $873 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 0.050~0.250mm 泥沙淤积量为  $2835 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 0.005~0.025mm 泥沙淤积量  $3188 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 粒径大于 0.010mm 泥沙淤积量  $1845 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 依次占淤积总量的 10.0%、32.5%、36.4% 及 21.1%, 与 1959~1975 年比较, 目前洞庭湖淤积泥沙颗粒趋于细化。正因为如此, 尽管在入湖泥沙减少条件下, 在湖内的泥沙淤积率却一直在 70~76% 之间变化, 直至三峡水库蓄水运用后才下降至 39.5%。

(3) 泥沙输出比呈增大趋势, 据实测泥沙资料统计表明, 西洞庭湖区和东南洞庭湖区的泥沙输出比, 在 20 世纪 50~80 年代波动幅度较大, 90 年代以来两湖区泥沙输出比的波动均趋于平缓, 2000~2009 年多年平均泥沙输出比, 东南洞庭区与西洞庭湖区均稍呈增大趋势(表 4), 特别是三峡水库蓄水运用后, 西洞庭湖区多年平均泥沙输出比由三

峡水库蓄水前的 56.8% 增至蓄水后的 58.5%，同期东南洞庭湖区多年平均泥沙输出比由 63.83% 增至 66.25%。导致两湖区泥沙输出比有所增大的主要原因：一是三峡水库运行后库内拦截了大量泥沙，荆江三口入湖沙量减少；二是西洞庭湖区面积小落淤范围有限，其水域被分割成小湖泊群，与河流沟通，形成泄流洪道，而洪道过水断面比过去的七里湖和目平湖显著缩小，水面比降增大，流速相应加快，洪道水流输沙能力比原来的湖流更大，使大部分细粒径级泥沙随洪道水流通过南嘴和小河嘴两口门进入东南洞庭湖区；三是东南洞庭湖区水面宽阔，水动力活跃，加之长江洪水对湖口城陵矶出流顶托强度有所减弱。受其综合影响，三峡水库蓄水以来，西洞庭湖区与东南洞庭湖区的泥沙输出比均呈同步增大趋势，致使湖盆年内冲刷量 > 淤积量。

表 4 西洞庭湖区与东、南洞庭湖区泥沙输出、淤积量的变化

Tab 4 Variations of sediment discharge and sedimentation of West, East and South Dongting Lake

时段	西洞庭湖				东、南洞庭湖			
	入湖泥沙 ( $10^4\text{t}$ )	出湖泥沙 ( $10^4\text{t}$ )	输出比 (%)	占总淤量 (%)	入湖泥沙 ( $10^4\text{t}$ )	出湖泥沙 ( $10^4\text{t}$ )	输出比 (%)	占总淤量 (%)
统计年限								
1956~1966	10591	4720	44.6	35.49	16631	5961	35.8	64.51
1967~1972	10122	5221	51.9	37.58	13388	5247	39.2	62.42
1973~1998	8827	4956	56.1	36.52	10138	3270	32.3	63.95
1999~2002	7385	4195	56.8	36.20	8574	2948	34.4	63.83
2003~2009	3135	1805	58.5	32.40	4558	1595	34.8	66.62

注：西洞庭湖泥沙通过南嘴和小河嘴两口门输入南洞庭湖，再由南洞庭湖输入东洞庭湖。

**3.3.3 调蓄量的响应特征** 洞庭湖是长江中游的吞吐调节型湖泊，其调蓄量包括蓄洪调蓄量和削峰调蓄量，前者系指底水以上至漫滩水位调蓄量，后者系指漫滩水位至当年最高水位调蓄量。近 60 年间，洞庭湖面湖容变化对其天然调蓄量的影响集中表现在三个方面：

(1) 调蓄量年际变化，在恒定流条件下，洞庭湖调蓄量是随其容积的缩小而减少的。但李义天等<sup>[21]</sup>认为，在汛期高水位时，相同入湖流量下，20 世纪 80 年代的调蓄量大于 60 年代的调蓄量。经分析发现，90 年代其调蓄量也呈增大趋势，如 1996 年和 1998 年主汛期洞庭湖调蓄量分别为  $257 \times 10^8 \text{m}^3$  及  $280.2 \times 10^8 \text{m}^3$ ，城陵矶水位依次为 35.31m 和 35.94m，1998 年调蓄量比 1996 年增大  $23.2 \times 10^8 \text{m}^3$ ，水位抬高 0.63m。其主要原因：一方面湖盆经长期的淤积，虽有效面积缩小，但在高洪水位状态下，整个洞庭湖水面的被迫延伸至防洪大堤顶部，则扩大了湖盆蓄水空间；另一方面湖盆经长期的淤积，湖底淤高，使湖水面上下游比降趋于平缓，湖流减慢，加之高洪水时城陵矶出流受长江洪水顶托（2000 年前），出流量减少其洪水位被迫抬高，湖盆调蓄量也就被迫增大。

(2) 年内调蓄量是随湖容积的缩小而减少。以汛期入湖水量基本相近的 1955 年、1983 年代表 20 世纪 50 年代、80 年代的调蓄量，绘出这两年逐月平均水位与相应进出湖水量过程线（图 2、图 3）。由这两幅图可知，4~8 月为 1955 年和 1983 年洞庭湖涨水、高水位、落水的调蓄期，经计算这两年调蓄量分别为  $295.6 \times 10^8 \text{m}^3$  及  $263 \times 10^8 \text{m}^3$ ，城陵矶实测最高水位依次为 32.06m、34.21m，1983 年与 1955 年比较，湖泊调蓄量减少  $32.6 \times 10^8 \text{m}^3$ ，而洪水位却抬了 2.14m。(3) 典型洪水年洞庭湖调蓄量差异较大（表 5），在近 60 年间的 5 个典型洪水年中，1954 年的调蓄量是其它 4 个洪水年的 2 倍多，而最高水位



却抬高 0.32m，其中 1996 年总入湖洪量、总出湖洪量、调蓄量只及 1954 年的 26.9%、21.7%、45.8%，而最高洪水水位却抬高 0.76m。2004 年、2010 年总入出湖洪量基本相近，2010 年的调蓄量比 2004 年稍大，而洪水水位偏低 1.01m。这表明湖面湖容积大，调蓄量大，洪水水位相对偏低，反之亦然。（4）削峰能力波动较大，湖泊削峰能力这里以洪峰削减量和洪峰滞后时间表征。经各时段的多年平均最大入湖出湖洪峰流量计算，洞庭湖多年平均削峰能力由 1951~1960 年的 31.1%，下降到 1981~1990 年的 29.0%，到 1999~2009 年又上升到 36.3%，对应的洪峰滞后时间由 4~

5d 减少至 2~3d，以后又增加到 3~4d。由以上分析认为，尽管影响洞庭湖调蓄量的因素复杂，但当其它因素不变时，其天然调蓄量的总体变化规律是随着湖面积湖容积的缩小或增大而变化的。

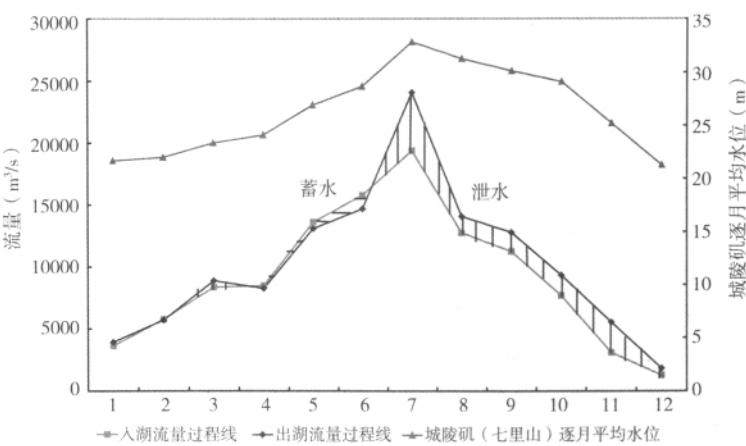


图 2 1983 年逐月平均水位与进出水量过程线  
Fig. 2 Hydrographs of mensal average water level and influent-discharge water quantities in 1983

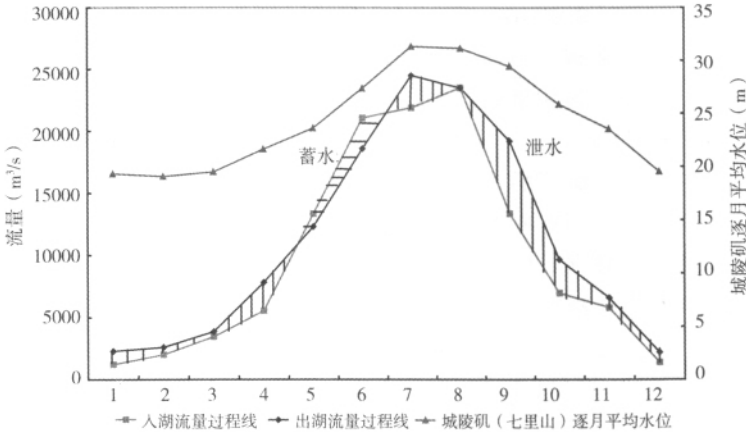


图 3 1955 年逐月平均水位与进出水量过程线  
Fig. 3 Hydrographs of mensal average water level and influent-discharge water quantities in 1955

表 5 典型洪水年洞庭湖的实时调蓄量变化

Tah 5 The changes of storage quantity of Dongting Lake in typical flood years

典型 水年	总入湖洪量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	总出湖洪量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	调蓄洪量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	调蓄时段 (月·日)	超额水量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	最高水位 (m)
1954	2625.5	2065.5	560.5	5.20~8.30	292.5	34.55
1996	705.0	448.4	256.6	6.24~7.30	89.6	35.31
1998	1696.2	1416.0	280.2	6.12~8.30	113.2	35.94
2004	1582.0	1363.8	218.2	6.30~7.24	34.8	34.91
2010	1387.0	1156.5	230.5	7.17~8.4	22.5	33.30

注：超额水量以静态容积计，1954 年为 268×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>，1996、1998 年为 167×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>，2004~2010 年为 253×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。

### 3.4 洞庭湖形态与水沙过程互动响应的动态演进模式

荆江三口、湖南四水水沙汇入洞庭湖后,泥沙在水动力作用下进行分选、搬运和淤积,然后随水流输入长江。据按现状湖面积和多年平均泥沙淤积体积估算,因泥沙的不断淤积使洞庭湖盆平均每年净增洲滩约  $0.40 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。根据洲滩发育程度、植被类型及淹没显露时间、范围,把洲滩划分为水体洲滩、白泥洲滩、泥沙洲滩、湖草洲滩、芦荻洲滩、鸡婆柳洲滩、林木洲滩等类型。可见,这些洲滩都是水沙过程与湖盆长期相互作用形成的特殊自然综合体,因而各类植被洲滩不但直接蚕食湖泊,而且还具有阻流促淤的功能:每年洪水期,当洪峰沙峰受到高、中位洲滩机械阻挡时,湖面发生增减水量现象,此时比降、流向、流速、风浪等水动力活跃,水体挟带的泥沙与洲滩回流掀起的泥沙混为一体,湖浪平静时,一部分泥沙淤积在老洲滩上,另一部分泥沙随湖流迁至湖盆深水带相继淤积下来,这就促长了新洲滩的发育进程;当洪峰沙峰受到中、低位洲滩机械阻挡时,流速减慢,水体挟沙能力减弱,粗粒径级泥沙在重力作用下淤积在洲滩上,使中、低位洲滩淤高浮涨。随着各类洲滩的淤高及面积扩大,一则大量沼泽植物滋生蔓延阻流促淤,实地观测表明:湖区8条主要洪道两侧芦、荻分布密切地段,主汛期水流漫滩,平均流速减慢  $0.25 \text{ m/s}$ ,洲滩平均淤高  $3 \sim 7 \text{ cm/a}$ ,这显然是洲滩植被助长泥沙淤积的结果。二则又促成了人类对洲滩的围垦,大面积洲滩被围垦后,坑内不再承受上淤来沙淤积,而已缩小的湖盆却受着同等数量的入湖泥沙,进而加快了淤积速率,据研究围垦能使泥沙淤积速率提高  $50\%$  以上<sup>[22]</sup>。于是在洞庭湖区形成了泥沙淤积→洲滩发育扩展→水生植物滋生蔓延、围垦→泥沙淤积的正向循环(图4)。在泥沙淤积循环过程中,新的洲滩随着淤积的增加不断升高,而有些老洲滩因失去泥沙补给,在湖水动力侵蚀下,高度有所降低。新形成的洲滩并非独立,而是呈现出新旧交错、互为套叠、交错搭接的状态。经过长时间这种随机的各类植被洲滩之间的穿越叠加,使各类植被洲滩相互组合贯通一体,导致植被洲滩扩

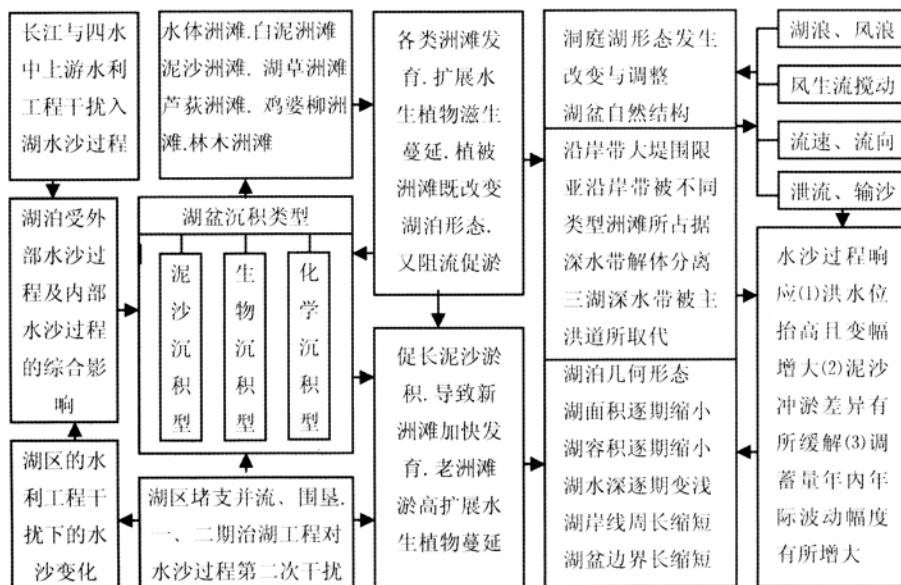


图4 洞庭湖泊形态与水沙过程互动响应的动态演进模式

Fig. 4 Evolution of the interaction between morphology and flow-sediment process in Dongting Lake

表 6 洞庭湖年平均径流泥沙的变化

Tab 6 Variations of annual mean runoff and sediments in Dongting Lake

时段	入湖水量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )				入湖沙量 (10 <sup>4</sup> t)			出湖沙量 泥沙淤积 淤积率		
	三口	四水	区间	合计	三口	四水	合计	(10 <sup>4</sup> t)	(10 <sup>4</sup> t)	(%)
1951~1958	1457	1755	299	3511	21165	4376	25541	6106	19436	76.1
1959~1966	1335	1536	226	3097	19043	2834	21877	5779	16098	73.6
1967~1972	1022	1727	231	2980	14190	4079	18269	5240	13029	71.3
1973~1980	834	1698	256	2788	11090	3663	14753	3832	10921	74.0
1981~1998	699	1704	316	2719	9300	2391	11691	2950	8741	74.7
1999~2002	625	1815	373	2813	5670	1165	6835	2025	4810	70.4
2003~2009	473	1531	252	2256	1213	935	2147	1228	919	39.5

展侵占湖盆，改变洞庭湖形态。湖盆是入湖水沙两相流依赖的载体，因而已改变的湖泊形态则会对其水位、冲淤和调蓄等水沙特性施加影响，水沙特性的变异反过来又会影响湖泊形态。此后洞庭湖又开始了新一轮的互动响应过程，如此循环不止，于是便形成了→泥沙淤积循环→湖盆自然结构破碎、解体、湖面湖容缩小→水沙特性变异→改变湖泊形态→水沙过程异变→泥沙淤积的互动响应循环。以洞庭湖水沙变化幅度较大的近 60 年为例（表 6），本时期较明显的湖泊形态与水沙过程互动响应大体经历了 4 个阶段：1951~1958 年洞庭湖多年平均入湖径流量  $3511 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，多年平均淤积量  $19436 \times 10^4 \text{ t}$ ，洲滩面积  $1238.3 \text{ km}^2$ （1954 年），人类围垦面积  $1035 \text{ km}^2$ ，湖面积、容积分别为  $3915 \text{ km}^2$  及  $210 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，淤积量>冲刷量，平均调蓄量大，洪水位变幅小，但在相近洪峰流量下，城陵矶水位平均壅高 1.05m；1959~1980 年，在此期间长江荆江段历经了调弦口堵口（1958）、下荆江 3 处裁弯取直（1967~1972），以及实施湖区一期治湖工程中，多年平均入湖径流量  $2955 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，多年平均淤积量  $13349.3 \times 10^4 \text{ t}$ ，各类洲滩面积  $1756.6 \text{ km}^2$ （1971 年）， $210 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，淤积量>冲刷量，平均调蓄量大，洪水围垦面积  $660 \text{ km}^2$ ，湖面积、容积依次为  $2820 \text{ km}^2$  及  $174 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，淤积量>冲刷量，高水位下调蓄量增大，洪水位变幅增大，相近洪峰流量下，湖区主要水文站洪水位平均壅高 1.30m~1.65m；1981~2002 年长江葛洲坝截流及湖区“平垸行洪，退田还湖工程”实施中，多年平均入湖径流量  $2766 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、淤积量  $6775.5 \times 10^4 \text{ t}$ ，洲滩面积  $2275.0 \text{ km}^2$ （1980 年），湖面积、容积依次为  $2625 \text{ km}^2$  和  $165 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，淤积量>冲刷量，高水位下调蓄量波动较大，洪水位变幅稍减小，相近洪峰流量下，湖区主要水文站洪水位平均壅高 1.53 m~2.15m；2003~2009 年三峡水库蓄水运用，退田还湖工程实施后，多年平均淤积量为  $919.0 \times 10^4 \text{ t}$ ，洲滩面积累积值为  $2906.6 \text{ km}^2$ （2006 年），湖面积、容积扩大至  $3968 \text{ km}^2$  及  $251 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，冲刷量>淤积量，高、中水位下调蓄量有所减少，洪水位变幅呈减小趋势，城陵矶丰、枯水位分别降低 1.12m 及 0.35m。将上述的泥沙淤积循环→湖盆结构破碎、解体，湖面湖容缩小→水沙特性异变→改变湖泊形态→水沙特性变异的互动响应过程进行概化，可得到洞庭湖泊形态与水沙过程互动响应的动态演进模式（图 4）。在久经不停息地水沙过程作用下，这一互动响应动态演进模式周而复始，循环不止，迫使洞庭湖演变。由上述表明，近 60 年间由于荆江调弦口堵口、下荆江系统裁弯、葛洲坝截流，特别是三峡水库运行后库内平均每年拦截了约 70% 的泥沙<sup>[23]</sup>三口入湖水沙逐期减少，导致洞庭湖入湖泥沙、淤积泥沙

均呈同步减少趋势,显然这一变化趋势对于延长洞庭湖的寿命具有重大意义。

## 4 结论

(1) 洞庭湖盆是水沙两相流的载体,水沙过程对于湖泊形态具有多种属性,导致湖泊形态改变;而已改变的湖泊形态对水沙过程多样性具有制约作用,引起水沙特发生变化。在久经不息地水沙运动过程中,水沙过程与洞庭湖泊形态相互依赖、相互较量,或彼此相互消涨,共同促使着洞庭湖的演变。

(2) 水沙过程以多种形式改变了湖盆结构及其几何形态特征值,如湖盆自然结构破碎、解体,水深变浅以及湖面、湖容分别减少  $1840\text{km}^2$  及  $130 \times 10^8 \text{m}^3$ ;同时也引起了水沙特性变异,在 1951~2002 年间湖盆蓄水量呈明显的增减波动,但同流量下汛期水位普遍抬高  $1.2 \sim 1.90\text{m}$ ,西、南、东洞庭湖水位变幅依次增大了  $1.61\text{m}$ 、 $1.39\text{m}$  和  $1.35\text{m}$ ,各主要水文站前 5 位最高洪水位排序的年份均发生在洞庭湖面积(容积)历史最低值的 1995~2002 年主汛期,泥沙淤积量 > 冲刷量;2003 年 6 月三峡水库蓄水及“退田还湖”后,高、中水位下湖盆调蓄量有所减少,城陵矶丰、枯水位分别降低  $1.12\text{m}$  及  $0.35\text{m}$ ,西洞庭湖区与东南洞庭湖区的泥沙输出比均呈增大趋势,全湖淤积率减至  $35.9\%$ ,现今湖盆处于冲刷量 > 淤积量的状态。

(3) 洞庭湖泊形态与水沙过程的互动响应机制,可概化为水沙过程→泥沙淤积循环→湖盆结构破碎、解体,湖面湖容缩小→水沙特性异变→改变湖泊形态→水沙特性变异的互动响应动态演进模式。在湖泊形态与水沙过程互动响应的演进过程中,两者都是缓慢性的改变或调整,但都存在于长时间的渐进和累积过程。

## 参考文献:

- [1] 余德清,皮建高.洞庭湖区洲土变化特征与地壳沉降遥感研究.湖南地质,2002,21(1):46~50.
- [2] 黄苏.洞庭地洼的形成和发展.见:中国地质学会构造地质专业委员会.第二届全国构造地质学术会议论文集(区域地质).北京:地质出版社,1981.67~73.
- [3] 周国琪.洞庭湖盆的由来和演变.湖南地质,1984,3(1):26~32.
- [4] 卞鸿翔.历史上洞庭湖面积的变迁.湖南师范大学学报:自然科学版,1986,9(2):84~89.
- [5] 杨达源.洞庭湖演变及其整治.地理研究,1986,5(3):39~45.
- [6] 官予和,蔡述明.洞庭湖的形成与演变.泥沙研究,1986,(1):70~72.
- [7] 卞鸿翔.洞庭湖区地貌与环境变迁.热带地理,1988,8(3):65~71.
- [8] 卞鸿翔,龚循礼.洞庭湖的变迁.长沙:湖南科技出版社,1993.1~236.
- [9] 张晓阳,蔡述明,孙顺才.全新世以来洞庭湖的演变.湖泊科学,1994,6(1):13~21.
- [10] 来红州,莫多闻,苏成.洞庭湖演变探讨.地理研究,2004,23(1):78~86.
- [11] 周宏伟.洞庭湖变迁的历史过程再探讨.中国历史地理论丛,2005,20(2):12~21.
- [12] 邹邵林,郭聪,刘晓清.三峡工程对洞庭湖区滩地出露天数的影响.长江流域资源与环境,2000,9(2):32~37.
- [13] 湖南省农业区划委员会.湖南省农业区划(3).长沙:湖南科学技术出版社,1986.20~24.
- [14] 施成熙.中国湖泊概论.北京:科学出版社,1989.7~12.
- [15] 彭定志,徐高洪,等.基于 MODIS 的洞庭湖面积变化对洪水位的影响.人民长江,2004,35(4):14~16.
- [16] 黄进良.洞庭湖湿地的面积变化与演替.地理研究,1999,18(3):297~304.
- [17] 易波琳,李晓明,梅金华.洞庭湖面积容积与水位关系及调蓄能力评估.湖南地质,2000,19(4):267~270.
- [18] 刘可群,梁益同,黄静,等.基于卫星遥感的洞庭湖水体面积变化及影响因子分析.中国农业气象,2009,30(增2):281~284.
- [19] 方春明,钟正琴.洞庭湖容积减小对洞庭湖和长江洪水的影响.水利学报,2001,(11):70~74.

- [20] 湖南政协经济委员会. 长江三峡工程与洞庭湖关系研究. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2002. 9~12.
- [21] 李义天, 邓金运, 孙昭华, 等. 泥沙淤积与洞庭湖调蓄量变化. 水利学报, 2000, (12): 48~52.
- [22] 卞鸿翔, 龚循礼. 洞庭湖滩地围垦问题的研究. 地理学报, 1985, 40(2): 132~140.
- [23] 李景保, 尹辉, 卢承志, 等. 洞庭湖区的泥沙淤积效应. 地理学报, 2008, 63(5): 514~523.

## Mutual effects between morphological characteristics and variations of flow-sediment process of Dongting Lake during 1951~2009

YIN Hui<sup>1,2</sup>, YANG Bo<sup>3</sup>, JIANG Zhong-cheng<sup>1</sup>, ZENG Fa-ming<sup>2</sup>, PENG Peng<sup>3</sup>, LI Jing-bao<sup>3</sup>

(1. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, Guangxi, China; 2. Huizhou University,  
Huizhou 516007, Guangdong, China; 3. College of Resources and Environmental  
Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, Hunan, China)

**Abstract:** Based on historical references, maps and flow-sediment data from 1951 to 2009, mutual effects between the lake morphology and the flow-sediment process of Dongting Lake were comparatively analyzed. The results showed that the lake morphology interacted with the flow-sediment process so that the lake morphology characteristics were changed by the flow-sediment process in several ways. For example, the structure of the lake basin was disaggregated and broken up, the lake became shallow, and the acreage and cubage of the lake decreased by 1840 km<sup>2</sup> and  $130 \times 10^8$  m<sup>3</sup> respectively. Meanwhile, flow-sediment specialties were also changed by the alteration of lake morphology. The water storage of lake basin showed the obvious increase-decrease fluctuation from 1951 to 2002; however, the water levels under the same flux in main flood periods rose by 1.2 m to 1.9 m generally, and the water levels of west, south and east Dongting Lake increased by 1.61 m, 1.39 m and 1.35 m respectively. When the top 5 flood levels of each main hydrological station and the smallest acreage or cubage of the lake appeared at the same time, the silting rate would be over 70%. Due to the Three Gorges Reservoir's water storage and Returning Farmland to Lake Project, the storage amount of the lake basin under the high and middle water levels slightly decreased. The high and low water levels of Chenglingji hydrological station decreased by 1.12 m and 0.35 m respectively. Sediment output ratios of west and southeast lake showed an increasing tendency. The silting rate reduced to 35.9%. The mutual effect mechanism could be summarized as the pattern: sediment siltation → the disaggregation and the break of lake basin structures as well as the decrease of the lake acreage and cubage → the change of flow-sediment specialties → the alteration of lake morphology → the change of flow-sediment specialties.

**Key words:** morphology of Dongting Lake; the flow-sediment process; mutual effects; evolutionary patterns