

洞庭湖环境系统变化对水文情势的响应

李景保¹, 秦建新¹, 王克林², 梁成军¹, 袁华斌³

(1. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410081;

2. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; 3. 湖南城市学院, 益阳 413000)

摘要: 为全面揭示洞庭湖近数十年的水情异常与成因, 将湖区视作一个大系统来研究。经水位~流量关系等多种方法研究表明: (1)入湖四水尾间同水位流量减少 1 200~2 800 m³/s, 同流量水位抬高 0.49~1.28 m; (2)荆江三口分水比减少 19.2%, 分沙比减少 25.1%; (3)澧水、松滋、南洞庭湖等主洪道的水位流量关系均发生了较大变化; (4)天然调蓄能力下降 40%, 湖口同流量水位抬高 1.80~2.50 m; (5)7~8 月湖垵关系常处于危急状态。其主要原因是泥沙淤积恶性循环, 导致了湖泊环境系统功能的变化, 而由下荆江 3 处裁弯所引起的江湖水沙调整则加速了其变化过程。这些变化过程对水情的复合响应是: 入湖水沙呈逐渐减少趋势变化, 洪水位普遍抬高 1.50~1.80 m, 湖口有时出现江水倒流, 洪水涨率增大, 高洪水位持续时间长等异常水文现象, 且给湖区造成了巨大的洪水压力。

关键词: 洞庭湖; 水位流量; 泥沙淤积; 水文响应

湖泊系统一般包括入湖水系, 蓄水湖盆和出流湖口等子系统。当湖泊系统处于协调状态下, 湖泊系统发挥较大的生态功能(生物多样性等), 资源功能(供水、航运、水产等)以及环境功能(行洪、泄洪、蓄洪等)。洞庭湖属典型的洪道型湖泊, 是一个由 9 大水系洪道(松滋、虎渡、藕池、三口, 汨罗江、新墙河, 以及湘资沅澧四水, 东、南、西 3 个天然湖盆, 228 个堤垵, 一个湖口(七里山)所构成的复杂而庞大的湖泊系统。水是维持湖泊系统结构稳定, 使其发挥正常功能的动力。在这一庞大系统中, 任何一个子环境系统功能发生变化, 使其他子环境系统功能均会作出相应的调整, 进而对湖泊水文情势产生复合影响。近几年来, 许多专家在荆江与洞庭湖的关系上作了许多研究^[1-3], 但均侧重于荆江三口与洞庭湖的关系。洞庭湖既然是一个复杂而庞大的系统, 就应将其视为一个有机整体来研究。为此, 本文从各项子环境系统功能变化入手, 分析湖泊环境系统整体功能变化对水文情势的复合响应。以全面揭示洞庭湖近数十年水情异常的特点与规律。

1 洞庭湖湖泊环境系统功能的变化

1.1 主要入湖水系洪道行洪泄洪功能变化

洞庭湖入湖河流洪道诸多(图 1), 本文仅对湖泊水情影响较大的湘资沅澧四水, 藕池、松滋、虎渡三口以及澧水、南洞庭湖、藕池 3 条洪道的行洪泄洪功能进行评价。所谓河(洪)道的行洪功能是指在一定水位下河道断面所通过的流量, 用水位流量($Z_{\max} \sim Q$)关系表示, 其变化与泥沙淤积和下游洪水顶托密切相关。(1)四水尾间行洪功能变化, 以 1954 年、1990 年、1991 年、1993 年、1994 年、1995 年、1996 年、1998 年、1999 年

收稿日期: 2003-08-28; 修订日期: 2003-12-10

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-SW-415) [Foundation Item: Knowledge Innovation Project of CAS, No.KZCX2-SW-415]

作者简介: 李景保, (1951-), 男, 湖南桂阳人, 副教授。主要从事水文水资源与灾害方面的研究, 发表论文 50 多篇, 出版专著(含合著) 5 部。

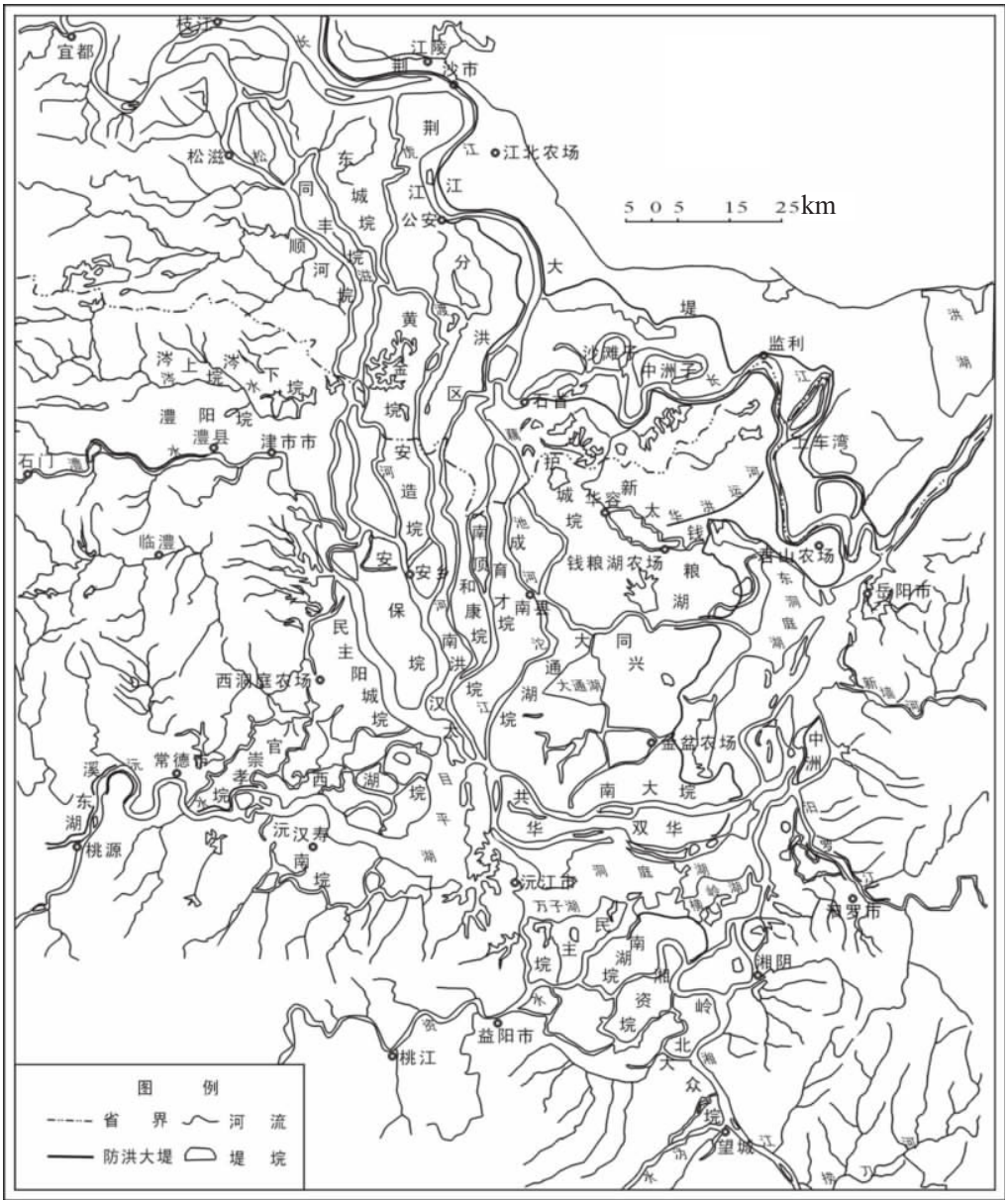


图 1 洞庭湖湖泊环境系统的结构

Fig. 1 Structure of the lake environment system of Dongting Lake

洪水资料为依据，我们根据雷激采用的水位流量数学模型^[4]，即：

$$Q = \alpha_1 + \alpha_1 Z + \alpha_2 Z^2 + \alpha_3 Z_{t-\tau} + \alpha_4 Z_{t-2\tau}$$

式中： Z 、 Q 为测站水位，流量， α 为系数， τ 为河段内的传播时间。按此数学模型拟合得系数，分别计算四水的水位流量关系，再结合历年实测的水位流量关系图分析，所得结果为，湘资沅澧四水尾间控制站，1990年以来水位流量关系线均呈左偏趋势。即在消除洞庭湖洪水顶托和不同场次暴雨等影响下，四水尾间的行洪能力，在大洪水年同水位下洪峰流量减少 1 200~2 800 m³/s，同流量下洪水位抬高 0.49~1.28 m。但各河段存在明显差异；湘水（湘潭站）同流量下洪水位抬 0.49 m，同水位下流量减少 1 200 m³/s；资水

(桃江站) 当洪水水位超 41.00 m 时, 1998 年行洪能力比 1954 年减少 1 500 m³/s, 同流量下水位抬高 0.71 m; 沅水(桃源站) 同流量洪水水位抬高 0.42 m, 同水位流量减少 2 100 m³/s; 澧水(石门站) 同水位减少流量 2 800

表 1 荆江三口分流分沙功能的变化

Tab. 1 Change of dividing-flow and dividing-sand function at the three bayous in Jingjiang River

统计时段 (a)	荆江枝城 年径流量 (10 ⁸ m ³)	三口年 径流量 (10 ⁸ m ³)	分流比 (%)	荆江枝城 年输沙量 (10 ⁴ t)	三口年输 沙量 (10 ⁴ t)	分沙比 (%)
1951~1958	4669	1577	34.0	55071	23046	41.9
1959~1966	4581	1339	29.2	54123	19043	35.2
1967~1972	4302	1022	23.8	50359	14416	28.2
1973~1980	4447	834	18.8	51246	11076	21.6
1981~1990	4577	760	16.6	65119	10917	16.8
1991~1998	4285	621	14.9	42266	7345	17.4

m³/s, 同流量下洪水水位抬高 1.28 m。(2) 荆江四口在历经调弦口堵口(1959年), 下荆江系统裁弯、葛洲坝兴建等工程后, 其分流功能发生了较大变化。为揭示三口分流功能变化, 以 1951~1998 荆江枝城和荆江三口年径流量求得各时期的分流比(表 1)。从三口总分流平均比值来看, 分流比由 20 世纪 50 年代的 34.1% 减至 90 年代的 14.9%。其中以藕池口变化最大, 其次是松滋口。三口分流功能退化, 还反映削峰能力的减弱, 如 1931 年枝城最大流量 69 770 m³/s, 三口分泄最大流量 40 070 m³/s, 洪峰分流比达 57.4%^[1]; 1954 年枝城最大流量 71 900 m³/s, 三口分泄最大流量 29 340 m³/s, 洪峰分流比为 40.8%; 1998 年枝城最大流量 68 800 m³/s (与 1931 年相近) 三口分泄最大流量 19 002 m³/s, 洪峰分流比仅为 27.6%。(3) 洞庭湖内有澧水、目平湖、藕池、资水、沅水、南洞庭湖、松滋、虎渡、湘水、新墙河、汨罗江和东洞庭湖等 12 条河湖洪道贯穿全湖, 它们承泄着 3 018×10⁸~5 268×10⁸ m³/a 的巨大水量。随着洞庭湖的演变, 这些河湖洪道的行洪泄洪功能均发生了较大变化, 尤以澧水、松滋、南洞庭湖洪道变化最大。澧水洪道是 1954 年治湖工程中破垸形成的新洪道, 当时按 1954 年石龟山站水位 38.14 m, 安全泄量 9 000 m³/s 的设计是符合标准的, 然而在 1969 年之后其要求就很不适应了。1973 年比 1964 年水位只低 0.07 m, 而流量却减少 2 840 m³/s。1979 年的水位比 1964 年低 0.44 m, 而泄量则减少 5 050 m³/s, 1996 年最大流量比 1954 年只少 400 m³/s, 水位却抬高 1.87 m。这意味着澧水洪道的泄洪功能已严重退化。藕池河系洪道由一条干流 5 条支流组成, 干流从藕池口经管家铺、黄金咀、梅田湖、注滋口泄入东洞庭湖。目前除干流东支注滋河外, 陈家岭河、沱江、安乡河、鲇鱼须河等 5 条支流均呈萎缩趋势。全河年径流量由 20 世纪 50 年代的 759×10⁸ m³ (1951~1958) 减至 164×10⁸ m³ (1991~1998), 最大洪峰流量由 1954 年的 14 800 m³/s 减至 1998 年的 9 230 m³/s。目前南洞庭湖湖底高程达 29.00~33.00 m, 平均流速仅 0.2~0.3 m/s, 使水位流量关发生很大变化。20 世纪 50 年代平均入湖洪峰流量 23 688 m³/s, 沅江平均洪水水位 32.92 m, 90 年代平均入湖洪峰流量 19 278 m³/s, 沅江平均洪水水位达 33.82 m。

1.2 天然湖泊调蓄功能的变化

天然湖泊调蓄功能大小, 一般用湖泊的实时调蓄量度量。所谓湖泊实时调蓄量是指出湖流量连续小于入湖流量的一个或 n 个时段内湖泊滞蓄的洪水量。它与洪水量级、洪水峰型以及起调水位高低等因素密切相关, 因此每次洪水湖泊的实时调蓄量都不可能相同。由于洞庭湖区间产流无实测资料, 只能用间接的方法计算湖泊的实时调蓄量。根据吴道喜^[5]按面积比计算区间产流法, 即首先根据区间面积占四水控制面积的百分比推求区间流量; 第二, 由四水、三口和区间流量获得总入流过程; 第三, 将总入流过程与七里山出流过程进行比较, 得出一个或 n 个调蓄时段及相应的调蓄量(图 1)。以此方法分别计算出 1954 年、1996 年、1998 年等典型洪水年洞庭湖的实时调蓄量(表 2)。从表 2,

表 2 典型洪水年洞庭湖的实时调蓄量变化

Tab. 2 Change of real-time regulation and storage quantity of the Dongting Lake in typical flood years

典型洪水年份	总入湖洪量 (10^8 m^3)	总出湖洪量 (10^8 m^3)	调蓄洪量 (10^8 m^3)	湖泊调蓄时段 (月、日)	超额水量 (10^8 m^3)
1954	2625.5	2065.5	560.5	5.20-8.30	292.5
1995	944.4	664.8	279.6	5.20-6.12, 6.15-7.5	112.6
1996	705.0	448.4	256.6	6.24-7.30	89.6
1998	1696.2	1416.0	280.2	6.12-8.30	113.2

注: 超额水量以静态容积计算: 1954 为 $268 \times 10^8 \text{ m}^3$, 1995 年以后为 $167 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

图 1 中可以看出, 湖泊的调蓄量随着入湖洪量的增大和出湖洪量的减少而增加, 在持续高洪水位下, 90 年代与 50 年代相比, 湖泊调蓄量递减 40% 以上, 这一变化导致湖泊滞蓄的超额水量增加, 进而给湖区造成巨大洪水压力。

1.3 湖口七里山吐泄功能变化

实测资料显示 (湖南省水利水电勘测设计院, 湖南省洞庭湖区 1994~2000 年防洪治涝规划报告 (近期治理第二期治理工程, 1993.9), 湖口七里山 1931 年、1933 年、1935 年最大吐泄量均超过 $50\,000 \text{ m}^3/\text{s}$, 建国后仅 1954 年达到 $43\,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 。1998 年特大洪水, 七里山第 3 次洪峰 (8.1) 洪水位达 35.53 m 时, 吐泄量仅 $28\,800 \text{ m}^3/\text{s}$, 与 1954 年相比, 水位抬高 1.39 m , 泄量却减少 $14\,600 \text{ m}^3/\text{s}$, 这意味着湖口的吐泄功能发生较大变化。近几年来, 有许多专家用多种方法分析了七里山水位流量关系的变化, 结果颇为相近^[6-8]。如段文忠用点绘七里山历年 $Z_{\text{max}} \sim Q$ 关系图分析结果是, 80 年代以来枯水位较 60 年代以前抬高 $1.80 \sim 1.20 \text{ m}$, 中高水位时水位抬高 $2.50 \sim 1.80 \text{ m}$ 。同时采用水位流量单值化处理即 $q = Q / (\Delta z^\alpha)$ 所得结果于表 3^[6], 可见两种分析结果基本一致。

1.4 湖垸关系的变化

随着洲滩地的增加, 湖区人们由不围而垦发展到围垸垦殖, 东、南、西 3 洞庭湖被堤线层层外包, 使湖垸比例关系进入临界边缘状态。洞庭湖平原区总面积 $13\,027 \text{ km}^2$ (未含环湖丘陵陵区), 全盛时期湖泊水面面积占总面积的 46% (湖南省国土委员会办公室, 洞庭湖区整治开发综合考察研究报告, 1985.12), 1949 年湖面积占 33%, 围垸面积占 45%。目前在洞庭湖平原总面积中, 围垸面积为 $9\,389 \text{ km}^2$, 湖泊水面 $3\,638 \text{ km}^2$ (含洪道面积 $1\,013 \text{ km}^2$), 分别占湖区总面积的 72.1% 及 27.9%。这一重大变化, 导致垸外河湖水位不断抬高, 且削弱了大堤的挡水能力, 使湖垸关系在主汛期 (7~8 月) 经常处于高危水位状态, 甚至发生严重的洪溃缺堤灾害 (表 4)。

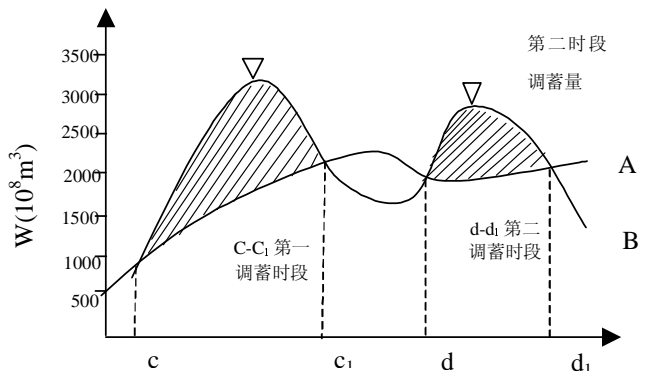


图 2 洞庭湖调洪过程示意图

Fig. 2 The flood-regulating process of the Dongting Lake

表 3 洞庭湖口七里山站水位流量关系变化

Tab. 3 Change of the relation between water-level and runoff of Qilishan in the bayou

时段 (a)	同流量下水位变化 (m)			同水位下泄洪能力变化 (%)		
	低水	中水	高水	低水	中水	高水
1956-1966						
1967-1972	+0.28	+0.33	+0.07	-7.7	-7.3	-1.4
1973-1980	+0.26	+0.31	+0.09	-5.1	-7.2	-1.4
1981-1988	+0.36	+0.43	+0.12	-18.0	-8.8	-2.1
1989-1995	+0.54	+1.03	+0.11	-36.4	-17.9	-2.0
累积	+1.44	+2.10	+0.51	-67.2	-41.2	-8.2

“+”同流量下水位抬升; “-”为同水位下泄洪能力减少

表 4 洞庭湖区历史上三次大的洪溃堤致灾情况

Tab. 4 Disaster situation of three great floodings and dike-breaking in history in the Dongting Lake region

年份	最高水位 (m)	溃缺堤垸 (个)	66.7 hm ² 以上堤垸 (个)	666.7hm ² 以上堤垸 (个)	总面积 (10 ⁴ hm ²)	死亡 人数 (个)	受灾 人口 (10 ⁴ 人)	直接经济 损失 (10 ⁸ 元)
1954	34.55	358		277	32.80	470	164.0	10.66
1996	35.31	145	86	26	15.27	170	113.8	152.14
1998	35.94	142	62	7	4.50	121	37.9	88.81

2 导致湖泊环境系统功能变化的驱动力分析

洞庭湖湖泊环境系统功能变化, 受诸多因素影响。近几十年洞庭湖湖泊环境系统主要经受了泥沙淤积, 围垦、调弦口堵口, 下荆江 3 处裁弯, 资水柘溪水库, 沅水凤滩水库以及葛洲坝截流等因素的不同程度影响^[9], 其中以泥沙淤积、围垦和荆江系统裁弯对湖泊环境系统的影响最为敏感。

2.1 泥沙淤积与围垦

用输沙量法计算, 洞庭湖多年平均入湖沙量 $17\ 302 \times 10^4 \text{ t}$, 由七里山输出 $4\ 674 \times 10^4 \text{ t}$, 湖内淤积泥沙 $12\ 628 \times 10^4 \text{ t}$ 。按洪道面积 $1\ 013 \text{ km}^2$ 和 1951~1995 年湖面积的加权平均值 $3\ 000 \text{ km}^2$ 计算, 湖盆淤高 0.024 m/a , 每年净增洲滩地约 $0.40 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。湖区人们从 20 世纪 50 年代到 70 年代末 (1979 年后基本停止围垦) 共围垦湖滩地 $1\ 659 \text{ km}^2$ (表 5)。由此可见, 泥沙淤积、洲滩扩展, 围垦三者既互为条件, 又互为因果关系。泥沙淤积与洲滩地浮涨的关系是通过洲滩本身的机械阻挡及水生植被阻滞这一双重作用实现的。据观测, 汛期中低位滩地淹没在水下, 当洪峰沙峰受到中低位滩地机械阻挡时, 平均湖流仅 $0.15 \sim 0.17 \text{ m/s}$, 水体挟沙能力急剧减弱, 泥沙淤积速率增大, 这就助长了新滩地的发育进程。随着滩地面积的扩展, 芦苇、荻等水生植物滋生蔓延, 观测表明, 这些水生植物的茎叶能在一定范围内消耗洪流的一部分能量, 使水体挟沙能力减弱, 泥沙淤积量增加, 如松滋、资水、目平湖、澧水等洪道两侧, 主汛期 (7~8 月) 平均流速仅 $0.14 \sim 0.20 \text{ m/s}$, 芦苇滩地平均淤高 $2.0 \sim 3.0 \text{ cm/a}$, 于是形成了泥沙淤积→洲滩植被扩展→泥沙淤积循环。围垦与泥沙淤积的关系是通过湖面、湖容的缩小, 及其相应的水情变化而实现的, 大面积滩地被围垦后, 垸内已不再承受上游来沙淤积, 而已缩小的垸外河湖却承受着同

表 5 洞庭湖区 1949 年后各时期的围垦面积 (km²)Tab. 5 The reclamation areas of the Dongting Lake region in each period since 1949 (km²)

垸名	年份	围垦 面积	垸名	年份	围垦 面积	垸名	年份	围垦 面积
大通湖	1949	313.4	君山农场	1958	80.4	小毛家湖	1969	1.4
杨林寨	1952	30.0	茶盘洲农场	1958	52.6	古家湖	1969	1.3
烂泥、凤凰湖	1952	77.0	北洲子农场	1958	41.5	东湖	1969	5.1
民主阳城垦区	154	143.9	畔山洲	1959	3.8	围堤湖	1969-1975	33.5
冲大湖蓄洪垦区	1954	145.1	万石湖	1963	2.5	六角山	1970	11.7
八官障蓄洪垦区	1954	36.0	铜盆湖	1963	0.1	大毛家湖	1970	5.3
西洞庭湖蓄洪垦区	1954	148.8	洋砂湖	1963	9.8	麻塘	1970	20.0
燎原	1955	1.4	南津港	1964	29.4	新洲	1970	16.7
建新农场	1955	48.7	三汊港	1964	7.3	青潭	1972	2.0
东南湖	1956-1971	11.5	沅江湖汉	1964-1969	39.6	中洲 (含磊石)	1975	66.7
南湖洋柳淘湖垦区	1957	115.0	坪湖、费湖	1964-1969	31.9	目平湖	1976	10.0
钱粮湖农场	1958	168.3	白泥湖	1965	24.9	团洲	1979	50.2
屈原农场	1958	109.2	大明湖	1968	1.3	其他巴院	/	36.5

注: 此表根据洞庭湖水利志三四册整理。1949~1979 年围垦总面积为 $1\ 930.3 \text{ km}^2$, 对湖面湖容有影响的为 $1\ 695 \text{ km}^2$ 。

样数量的入湖泥沙,进而加快了泥沙淤积速率。据参考文献[10],围垦能使泥沙淤积速率提高50%以上。这就人为地助长了泥沙淤积和滩地浮涨,同时也为人类围垦提供了场所。由此认为,滩地机械阻挡,水生植物阻流促淤及滩地围垦的综合作用,扰乱了湖泊水动力条件与泥沙之间互为因果的关系,导致了泥沙淤积→滩地扩展→泥沙淤积,泥沙淤积→滩地围垦→泥沙淤积的双重泥沙淤积恶性循环(图3),并在洞庭湖区特定自然环境条件和人为因素的共同作用下,周而复始、循环不止。其结果:一是减少了湖容积,1951~1998年,湖泊总淤积量 60.14×10^8 t,以泥沙干容重 1.30 t/m^3 计(湖南省水利水电厅,洞庭湖水文气象统计分析,1988年),相当于损失湖容积 $46.63 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在已围垦的总面积中,以滩地平均积水深度1.50 m计,损失湖容 $24.88 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。二是湖盆整体淤高,48年间,全湖累计平均淤高1.162 m。三是水系洪道行洪断面减少。据我们点绘水系洪道水文站1954年、1998年高水位~面积关系图比较可知,1998年松滋河中支自治局站断面减少400~600 m^2 ,澧水洪道石龟山站断面减少800~1000 m^2 ,藕池河三岔河站断面减少400~600 m^2 ,资水尾闾沙头站断面减少800~1100 m^2 ,西洞庭湖洪道出口南嘴站(北端)和小河咀站(南端)断面分别减少500~700 m^2 及600~800 m^2 ,草尾河洪道草尾站断面减少300~400 m^2 。出口七里山站断面减少3100~4400 m^2 ,约占1954年断面面积的13.9%~17.1%。由此可认为,泥沙的不断淤积是导致湖泊环境系统功能变化的症结所在。

2.2 下荆江系统裁弯取直

1967~1972年下荆江3处裁弯,缩短河长78 km,使河道水面比降普遍增大0.24%~0.894‰,河床发生溯源冲刷,下泄量增大。这无疑对洞庭湖湖泊环境系统功能施加影响,首先是三口分流分沙的减少,其平均分流分沙比由裁弯前(1951~1966年)的31.5%、38.6%分别减少到裁弯后(1973~1998年)的16.7%及18.6%。第二是由于三口口门淤高和断面面积缩小,秋冬季断流天数增加(表5)。第三是湖口七里山出流顶托强度加大。三口分流分沙的减少,对维持洞庭湖生态系统的平衡是有利的。但三口入湖减少的那部分水沙量却由长江干流下泄,则增大了监利→城陵矶→螺山江段的水沙量。经统

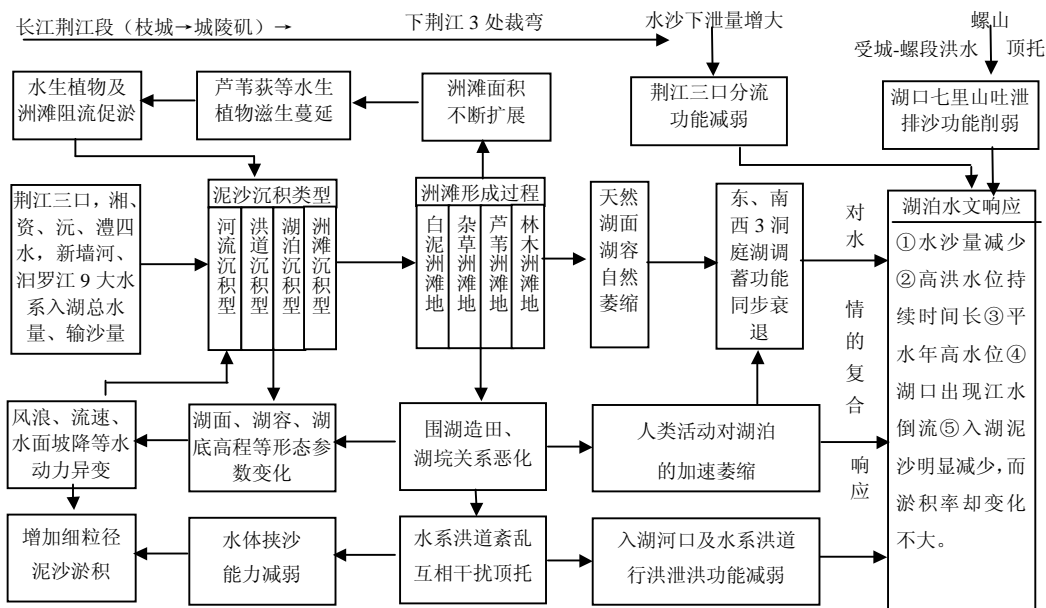


图3 洞庭湖区湖泊环境系统功能的水情复合响应

Fig. 3 The compound response of the lake environment system function of the Dongting Lake to hydrological situation

计荆江监利站裁弯前(1951~1966年)后(1933~1998年)的来水来沙表明, 该站的水量与输沙量分别由裁弯前的 $3\ 249 \times 10^8 \text{ m}^3$ 及 $35\ 100 \times 10^4 \text{ t}$, 增至裁弯后的 $3\ 873 \times 10^8 \text{ m}^3$ 及 $41\ 280 \times 10^4 \text{ t}$ 。裁弯后使城一螺江段的泥沙平均每年增加 $2\ 583 \times 10^4 \text{ t}$ 。大量泥沙在城一螺段的淤积, 抬高了荆江出流的侵蚀基面, 造成荆江出流顶托七里山出流的机遇增多、强度加大, 以致进一步削弱了七里山的吐洪排沙功能。第四是加大了水系洪道的泥沙淤积量。一方面七里山受顶托影响水位抬高, 使湖泊水面坡降趋于平缓, 流速缓慢, 水体挟沙能力减弱。另一方面, 三口、四水入湖水沙因入湖口断面突然展宽比降调平、流速变小, 水体挟沙能力减弱。受这一双重影响, 入湖口三角洲及洪道内的泥沙淤积量增大, 进而加速了水系泄洪功能的退化。可认为, 荆江系统裁弯加快了洞庭湖湖泊环境系统功能的变化过程。

3 湖泊环境系统功能变化对水情的复合响应

在洞庭湖湖泊系统中, 各子系统的环境功能互为因果关系。任何一个子系统的环境功能发生变化, 其他子系统的环境功能均会作出相应的响应。各子系统环境功能变化的综合作用结果对湖泊水文情势产生复合响应, 进而使湖泊水情发生较大变化(图3)。

3.1 洞庭湖年径流泥沙呈明显减少趋势

受湖泊环境系统功能变化的综合影响, 洞庭湖入出湖径流泥沙及淤积量均呈逐期减少趋势(图4, 为了区别入出湖径流, 故出湖径流加上区间径流)。以各时段的多年平均值而言, 1951~1958年、1959~1966年、1967~1972年、1973~1980年和1981~1998年这5个时段的入湖多年平均径流分别为 $3\ 631 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $3\ 097 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $2\ 980 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $2\ 788 \times 10^8 \text{ m}^3$ 及 $2\ 733 \times 10^8 \text{ m}^3$, 各时段间的减少幅度依次为 $534 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $117 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $192 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $55 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。同期入湖多年平均输沙量分别为 $26\ 415 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $21\ 877 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $18\ 495 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $15\ 369 \times 10^4 \text{ t}$ 和 $11\ 473 \times 10^4 \text{ t}$, 诸时段间的减少幅度依次为 $4\ 538 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $3\ 382 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $3\ 126 \times 10^4 \text{ t}$ 及 $3\ 896 \times 10^4 \text{ t}$ 。各时段间的泥沙淤积量减少幅度依次为 $4\ 345 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $2\ 844 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $1\ 717 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $2\ 982 \times 10^4 \text{ t}$ 。但这5时段的泥沙淤积比例却变化不大, 即在72%~74%之间波动。这表明, 尽管入湖泥沙逐渐减少, 但由于湖面缩小, 洪道及湖口输沙功能的退化, 使洞庭湖始终以淤积状态占优势, 这与施修端、高俊峰等人的研究成果完全一致^[12, 13]。洞庭湖径流泥沙及淤积演变特征基本与1959年调弦口堵口建闸, 1967~1972年下荆江系统截弯, 1981年葛洲坝截流发电等水利工程的兴建过程相对应。可以认为, 导致洞庭湖年径流泥沙及淤积量逐期减少的主要因素是荆江与洞庭湖水

表6 荆江三口断面积与断流天数的变化

Tab. 6 Change of cross-section area and the number of days in cut-flow condition at the three bayous in the Jingjiang River

时段 (a)	三口断面积变化 (m^2)*					三口断流天数变化 (d)				
	松滋口		太平口	藕池口		松滋口		太平口	藕池口	
	新江口 (44.0 m)	沙道观 (43.0 m)	弥陀寺 (43.0 m)	康家岗 (38.0 m)	管家铺 (38.0 m)	新江口	沙道观	弥陀寺	康家岗	管家铺
1951~1958	2984	1878	2556	962	4505	0	0	32.1	194.8	24.0
1959~1966	2836	1759	2551	777	3947	0	0	25.1	211.4	24.6
1967~1972	2793	1660	2653	648	3680	0	0	2.8	240.0	79.8
1973~1980	2916	1544	2648	609	2951	2.0	74.9	69.9	256.8	145.2
1981~1988	2846	1423	2550	517	2929	0	160.6	145.4	254.4	156.8
裁弯前平均	2910	1818	2553	870	4226	0	0	28.6	203.1	24.3
裁弯后平均	2881	1484	2599	563	2840	2.0	117.8	107.5	255.6	151.0

* 三口断面积变化, 据南京水文水资源研究所, 长江中游江湖关系研究报告(1994.4)整理。

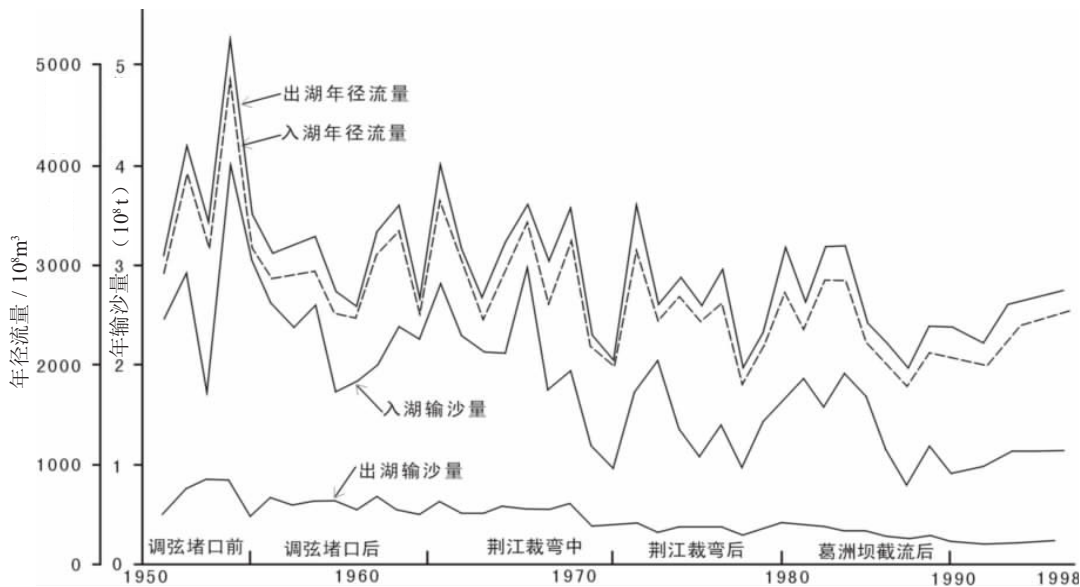


图 4 洞庭湖年径流量与输沙量过程线

Fig. 4 The process curve of annual runoff quantity and annual sand-carrying quantity of the Dongting Lake

沙关系的 3 次调整。洞庭湖水沙的演变特征，汛期对减轻洞庭湖的泥沙淤积和洪水量级是极为有利的，但加重了长江中游河道的泥沙淤积及防洪压力。

3.2 洞庭湖洪水水位普遍抬高

受湖泊环境系统功能变化的综合影响，洞庭湖区主汛期水位普遍抬高。主要表现在两个方面：一是典型洪水年的洪水水位普遍抬高（表 7）。按总入湖最大洪峰流量频率计算，1996 年、1998 年洪水均为 50 年一遇水平，而湖区绝大多数水文站实测水位均属 100 年一遇。1996 年高洪水位期间，3 471 km 一线防洪大堤有 2 600 km 大堤控制区的洪水水位超 1954 年最高水位 0.50~2.00 m；1998 年 7 月 27 日至 8 月 20 日，一线防洪大堤有 2 164 km 大堤的控制区洪水水位超历史（1996 年）最高水位 0.17~0.72 m，给湖区防洪抢险救灾造成了巨大压力。二是平水年出现高洪水位，1980 年总入湖最大流量（39 543 m³/s）仅 2 年一遇，但津市、石龟山、安乡站分别超 1954 年最高水位 1.92 m、1.51 m 和 0.58 m，七里山和南嘴超危险水位 27 d，超警戒水位 46~93 d。1983 年洪水比 1980 年更平，而西洞庭湖的安乡、石龟山地区超 1954 年最高水位 0.40~0.61 m，东洞庭湖洪水水位仅次于 1954 年。值得指出的是 1998 年大水之后，湖区加大了洞庭湖二期治理工程和退田还湖工程建设的力度，使湖区的整体防洪能力有所提高。然而 2003 年 7 月 11 日总入湖最大流量仅 29 700 m³/s，纯

表 7 洞庭湖典型年最高洪水水位与发生时间

Tab. 7 The highest flood-levels and their occurring time of the Dongting Lake in typical years

湖泊	控制 测站	1954 年		1996 年		1998 年	
		Z _{max} /m	日期	Z _{max} /m	日期	Z _{max} /m	日期
西洞庭湖	石龟山	38.14	7.28	40.03	7.21	41.89	7.24
	安乡	38.10	7.31	39.72	7.21	40.44	7.24
南洞庭湖	南嘴	36.05	7.31	37.62	7.21	37.21	7.25
	沅江	35.26	8.1	37.09	7.21	36.58	7.31
东洞庭湖	鹿角	35.00	8.3	35.73	7.21	36.13	8.20
	岳阳	34.82	8.3	35.39	7.22	36.05	8.20
	七里山	34.55	8.3	35.31	7.22	35.94	8.20

属一般洪水，而全湖区洪水水位均超危险水位。即 7 月 14 日，藕池地区洪水水位 35.80 m，西洞庭湖南嘴站 35.40 m，南洞庭湖沅江站 34.74 m，7 月 15 日 5 时东洞庭湖七里山站达 33.61 m，超危险水位（33.00 m）0.61 m。由此表明，减轻洞庭湖的洪水压力，不仅

仅是对湖泊本身的治理, 而且要对整个湖泊环境系统进行综合治理。

3.3 湖口七里山段近期水情进一步恶化

七里山是洞庭湖唯一的出口, 它几乎受整个湖泊环境系统的影响, 水情复杂而特殊, 一是江水倒流, 如 1981 年 7 月 19 日 8 时, 当下荆江出现洪峰时, 岳阳至城陵矶段出现 0.01 m 的负落差, 此时, 楼西弯有一股江水明显向东洞庭湖倒灌 (出流仅 3 290 m³/s)。二是受湖泊环境系统功能变化的影响, 典型洪水年洪水上涨率增大, 1996 年在最高水位期间, 洪水平均上涨 0.37 m/d, 1998 年在高洪水期间, 洪水平均上涨 0.42 m/d, 1999 年 6 月 29 日至 7 月 1 日洪水上涨率均达 0.98 m, 为历史罕见。三是洪水过程持续时间长, 1996 年七里山洪水起涨 (水位 27.43 m) 至最高水位 (35.31 m) 历时 28 d, 其中超危险水位 15 d, 超 35.00 m 的有 4 d。1998 年七里山洪水起涨 (25.86 m) 至最高水位 (35.94 m) 历时 71 d, 其中超危险水位 56 d, 超 35.00 m 以上达 42 d 之久。湖口出现的这一新的水文情势, 使湖区人民在较长时间内承受巨大的抗洪抢险压力, 这正是洞庭湖区近几年洪灾连年的根本所在。

4 结论与讨论

(1) 经水位流量关系等方法分析, 洞庭湖湖泊环境系统功能均有不同程度的衰退, 其中以荆江三口和湖口的分泄, 吐泄功能退化最严重, 前者的退化使荆江水沙下泄量增大, 对洞庭湖有利, 对荆江不利; 后者的退化对洞庭湖不利, 而对荆江有利。

(2) 促使湖泊环境系统功能变化的主要原因是下荆江裁弯和泥沙淤积, 荆江系统裁弯下泄量增大, 不但使 3 口口门水位降低, 削弱了三口分泄能力, 而且引起了江湖水沙关系的重新调整。泥沙淤积→滩地植被扩展→泥沙淤积; 泥沙淤积→滩地围垦→泥沙淤积的双重累积恶性循环, 削弱了水系洪道及湖泊的行洪调洪功能。泥沙淤积和江水的顶托作用削弱了湖口的吐泄能力。显然, 泥沙淤积导致了湖泊环境系统功能的变化, 而荆江裁弯则加速了这种变化过程。

(3) 湖泊环境系统功能变化对水情的复合响应是, 入湖水沙过程呈明显的减少趋势, 湖泊洪水位普遍抬高 1.50~2.00m, 湖口区出现了江水倒流, 洪水上涨率增大, 高危水位持续时间长的异常现象。从水沙变化趋势可知, 进入 20 世纪 80 年代以后, 洞庭湖水沙变化基本处于稳定状态, 这意味着湖泊各子环境系统功能与洞庭湖关系的调整过程已消失 (1986 年后)。长江三峡工程正式运转后, 这种江湖关系将再次重新调整。无疑, 对延长洞庭湖的寿命和减轻湖区洪涝灾害损失是极为有利的。关于三峡工程与洞庭湖关系这一重大课题我们已进行了深入的研究^[14]。

参考文献 (References)

- [1] Li Xueshan, Wang Cuiping. Evolution trend of hydrologic and sediment regime in Jingjiang River and Dongting Lake. Yangtze River, 1997, 28(8): 6-8. [李学山, 王翠平. 荆江与洞庭湖水沙关系演变及对城陵河段水情影响分析. 人民长江, 1997, 28(8): 6-8.]
- [2] Lu Jinyou. Preliminary analysis on variation of the relation between Yangtze River and Dongting Lake. Yangtze River, 1999, 30(4): 24-26. [卢金友. 长江与洞庭湖关系变化初步分析. 人民长江, 1999, 30(4): 24-26.]
- [3] Lu Chengzhi. The relationship between the administration of Dongting Lake and rivers & lakes. Hunan Water Resources and Hydropower, 2001, (1): 13-15. [卢承志. 洞庭湖治理与江湖关系, 湖南水利水电, 2001, (1): 13-15.]
- [4] Lei Ji. Discussion about the floods happened in recent years about the changes of flood-passing capacity on the lower reaches of the Xiang, Zi, Yuan and Li rivers. Hunan Water Resources, 1996, (4): 13-17. [雷激. 从近期洪水谈四水尾间过洪能力的变化. 湖南水利, 1996, (4): 13-17.]
- [5] Wu Daoxi, Tan Qifu. Exploration of the calculation of real-time flood storage capacity of the Dongting Lake and Poyang Lake. Yangtze River, 1996, 27(4): 29-31. [吴道喜, 谭启富. 洞庭、鄱阳两湖实时调蓄量计算的探讨, 人民长

- 江, 1996, 27(4): 29-31.]
- [6] Duan Wenzhong, Zheng Yahui, Liu Jianjun. Causes of weater level rising in Chenglingji-Luoshan reach of Changjiang River. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2001, (2): 29-34. [段文忠, 郑亚慧, 刘建军. 长江城陵矶-螺山河段水位抬高及原因分析. *水利学报*, 2001, (2): 29-34.]
- [7] Li Yitian. Sediment deposition and variation of flood storage capacity in Dongting Lake. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2000, (12): 48-52. [李义天. 泥沙淤积与洞庭湖调蓄量变化. *水利学报*, 2000, (12): 48-52.]
- [8] Lei Ji. The hydrological situation changes of the influxes of Dongting Lake and Yangtze River. *Hunan Water Resources*, 1999, (2): 46-47. [雷激. 洞庭湖口与长江交汇处的水情变化态势. *湖南水利*, 1999, (2): 46-47.]
- [9] Li Jingbao, Liu Xiaoqing. The effect of the curve-cutting of Jingjiang River and the construction of the Gezhou Dam on the hydrological situation in Dongting Lake. *Acta Sci Nat Univ Norm Hunan*, 1993, 16(4): 362-368. [李景保, 刘晓清. 荆江裁弯与葛洲坝兴建对洞庭湖水情的影响. *湖南师范大学自然科学学报*, 1993, 16(4): 362-368.]
- [10] Bian Hongxiang. The preliminary research on the reclamation problem in the Dongting Lake area. *Acta Geographica Sinica*, 1985, 40(2): 132-140. [卞鸿翔. 洞庭湖区围垦问题的初步研究. *地理学报*, 1985, 40 (2): 132-140.]
- [11] Lu Jinyou, Luo Minxun. The change in the water level of the section from Yichang to Chenglingji in the middle reaches of Yangtze River. *Yangtze River*, 1997, 28(5): 25-27. [卢金友, 罗敏逊. 长江中游宜昌至城陵陵河段水位变化分析. *人民长江*, 1997, 28(5): 25-27.]
- [12] Gao Junfeng, Zhang Chen, Jiang Jiahu et al. Changes in sediment deposition and erosion and their spatial distribution in the Dongting Lake. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(3): 269-276. [高俊峰, 张琛, 姜加虎 等. 洞庭湖的冲淤变化和空间分析. *地理学报*, 2001, 56(3): 269-276.]
- [13] Shi Xiuduan, Xia Wei, Yang Bin et al. Sediment deposition and eroscon in Dongting Lake. *Journal of Lake Sciences*, 1999, 11(3): 199-205. [施修端, 夏薇, 杨彬等. 洞庭湖冲淤变化分析. *湖泊科学*, 1999, 11(3): 199-205.]
- [14] The Economy, Science and Technology Committee, PCC of Hunan Province. Research on the relationship between the Three Gorges Project and Dongting Lake. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 2002. [湖南省政协经济科技委员会. 三峡工程与洞庭湖关系研究. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2002.]

The Response of Environment System Changes of Dongting Lake to Hydrological Situation

LI Jingbao¹, QIN Jianxin¹, WANG Kelin², LIANG Chengjun¹, YUAN Huabin³

(1. *College of Resources & Environment, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;*

2. *Institute of Subtropical Agricultural, CAS, Changsha 410125, China;*

3. *Hunan City College, Yiyang 413000, China)*

Abstract: To fully reveal the water abnormity and its formative causes in Dongting Lake during recent decades, this paper takes Dongting Lake as a big system. Researches through a variety of methods such as the relation between water-level and runoff show: (1) The runoff on the same water-level reduces 1200 m³/s-2800 m³/s in the lower reaches of the four rivers flowing into the lake, the water-level with the same runoff runs up 0.49 m-1.28 m; (2) The dividing-water ratios of the three bayous of the Jingjiang River reduces by 19.2%, and the dividing-sand ratios 25.1%; (3) Great changes have taken place in the relation between water-level and runoff in the main flooding roads such as Li River, Songzi and southern Dongting Lake etc.; (4) The natural regulation and storage capacity fall off by 40%, the water-level with the same runoff at the bayous drives up 1.80 m-2.50 m; (5) The relation between lake and protective embankment is often at hazard during the period of July and August. The main reason is that the filling-up of mud-sand arises a vicious circle which leads to environmental function changes of the lake system, and the water-sand adjustment from the three curve-cuttings on the lower reaches of Jingjiang River accelerates the change process.

Key words: Dongting Lake; water-level & runoff; sediment deposition; hydrological response