

洞庭湖区的泥沙淤积效应

李景保¹, 尹 辉¹, 卢承志², 毛德华¹, 周和平¹

(1. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410081;

2. 湖南水利水电勘测设计研究总院, 长沙 410007)

摘要: 以 1951-2005 年长系列实测泥沙等资料为依据, 从泥沙淤积特性与资源环境之间的关系上, 探讨了洞庭湖区的泥沙淤积效应。研究表明: 由于洞庭湖区始终处于淤积状态, 加之人类活动影响, 导致了泥沙淤积循环演进的格局, 以至于使泥沙的灾害性效应与资源性效应均在湖区得到充分的显示。主要表现在: ① 塑造了水体滩地、泥沙滩地、湖草滩地、芦苇滩地等类型滩地, 构成了湖泊巨系统的主体; ② 孕育或诱发了泥沙淤积→洲滩扩展、围垦→调洪功能下降、鱼类资源枯竭、生物多样性减少灾害链; 泥沙淤积→洲滩扩展→洪涝、水质污染; 泥沙淤积→植被洲滩浮涨→血吸虫病、害鼠致害灾害链; 泥沙淤积→洪溃决堤→土地沙化灾害链。这些淤积型泥沙灾害链给湖区直接或间接地造成巨大的经济损失。③ 近 55 年间, 泥沙塑造土地约 $98.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 人类合理开发利用洲滩资源获得了巨大的经济效益, 就地挖沙加高防洪大堤 2~3 m, 累积土石方约 $55 \times 10^8 \text{ m}^3$, 节省了购买大量原材料的开支。

关键词: 泥沙淤积; 湖泊滩地; 泥沙灾害链; 洞庭湖

地球表层的泥沙循环包括泥沙的产生、输移、堆积等过程。在漫长的泥沙淤积过程中, 既直接或间接地危害资源环境, 造成经济财产损失, 甚至危及人身安全, 同时也为人类塑造了美丽富饶的平原陆地, 随着社会经济发展的需求, 泥沙逐渐成为被人类利用的资源。因此, 泥沙灾害性与资源性的双重属性问题, 也就成为泥沙科学研究领域的前沿热点之一。近十几年来国内学者从不同角度对江湖泥沙淤积特点, 泥沙运动规律, 冲淤时空变化, 泥沙灾害以及泥沙资源化的配置技术与利用途径等方面进行了研究^[1-7]。但对湖泊泥沙淤积效应的系统性研究至今较少。洞庭湖区长期的泥沙淤积一方面塑造了著称“鱼米之乡”的洞庭湖平原, 另一方面蚕食湖泊, 进而造成了一系列生态环境问题危害着洞庭湖的健康。于是从泥沙淤积特性与环境资源的关系上探讨泥沙淤积的灾害性效应与资源性效应, 可为合理开发洞庭湖泊资源, 保护生态环境提供理论指导。

1 洞庭湖区的泥沙来源组成及淤积特性

洞庭湖容纳湖南湘、资、沅、澧四水和长江荆江段的淞滋、虎渡、藕池、调弦四口以及汨罗江、新墙河等中小河流, 经湖泊调蓄后于湖口七里山泄入长江。1958 年调弦口堵口建闸后, 荆江变成了三口分流分沙入湖。现状洞庭湖区包括 3740 km 一线防洪大堤、218 个大小堤垸、以及西洞庭湖(目平湖和七里湖)、南洞庭湖、东洞庭湖和连接 3 个天然泊的 8 条主要洪道的水域。这一特定的自然与人文环境则决定了洞庭湖区泥沙组成特征及其淤积特性。

收稿日期: 2007-12-07; 修订日期: 2008-01-27

基金项目: 湖南省自然地理学重点学科项目; 湖南省科技计划项目 (2007FG302) [Foundation: The Key Discipline Building Program on Physical Geography of Hunan Province; Project for Science & Technology of Hunan Province, No.2007FG302]

作者简介: 李景保, 男, (1951-), 教授, 主要从事水文学与水资源及自然灾害研究。E-mail: lijingbao1951@126.com

表 1 洞庭湖及入湖河流泥沙颗粒粒配
Tab. 1 Sediment grading of Dongting Lake and inlet rivers

河湖名称	控制站名	不同粒径 (mm) 泥沙重量百分数 (%)								中值粒径 (mm)	平均粒径 (mm)	统计时段 (a)
		0.005	0.01	0.025	0.05	0.10	0.25	0.50	1.0			
淞滋	新江口	5.3	12.1	20.3	34.2	23.7	2.8	1.5	0.1	0.0382	0.0474	1961-1963, 1973-1998
	沙道观	4.1	11.8	22.5	30.1	26.9	3.3	1.3	0.0	0.0354	0.0486	1961-1963, 1973-1998
虎渡	弥陀寺	9.6	11.0	22.7	32.2	21.1	2.9	0.4	0.1	0.0313	0.0381	1961-1965
藕池	管家铺	4.1	7.3	20.2	32.9	24.3	9.2	2.0	0.0	0.0391	0.0501	1961-1965, 1973-1988
	康家康	4.6	6.8	23.3	35.2	20.9	7.4	1.5	0.3	0.0372	0.0403	1961-1962, 1973-1988
湘水	湘潭	22.8	17.2	27.8	19.4	8.2	3.5	2.1	0.5	0.0139	0.0281	1965-1988
资水	桃江	23.2	8.3	16.7	18.3	28.7	5.9	1.6	0.3	0.0634	0.0501	1965-1988
沅水	桃源	16.9	14.7	22.9	19.2	18.1	4.8	3.6	0.2	0.0201	0.0298	1965-1988
澧水	三江口	21.4	14.3	20.6	21.5	13.3	4.2	3.8	0.9	0.0327	0.0293	1965-1988
洞	七里山	14.4	26.6	22.8	18.3	16.2	1.3	0.4	0.0	0.0164	0.0219	1961-1963, 1973-1988
庭	南咀	16.2	22.3	23.3	22.8	13.2	1.0	0.2	0.0	0.1525	0.0243	1961-1963, 1974-1988
湖	小河咀	12.4	25.8	30.5	23.9	6.4	0.4	0.3	0.0	0.0154	0.0319	1961-1963, 1974-1988

1.1 泥沙组成及泥沙颗粒粒配特性

据洞庭湖区 1951–2005 年主要水文站实测泥沙资料统计，荆江四口及湖南四水多年平均入湖总沙量为 $15615 \times 10^4 \text{ t}$ ，其中三（四）口入湖沙量为 $12681 \times 10^4 \text{ t}$ ，占入湖总泥沙量的 81.2%，四水仅占 19.8%。在三（四）口入湖沙量中，以藕池口最大，其次是淞滋口，两口泥沙占入湖沙量的 67.8%。另据四水、三口及洞庭湖主要水文站多年泥沙颗粒分析统计资料（表 1）表明：四水粒径为 0.005~0.025 mm 的泥沙含量占 53.8%~67.9%，而三口该粒径级泥沙只占 31.8%~42.6%；> 0.05 mm 粒径级泥沙含量四水仅占 31.8%~42.4%，而三口却占 54.9%~68.7%；湖口七里山出口处有 61.8% 的泥沙粒径小于 0.025 mm，与四水该粒径级泥沙所占 51.8%~64.4% 较为接近；湖口出口处 0.025~0.10 mm 的泥沙只占 33.2%~41.8%，而三口该粒径级泥沙却占 57.2%~62.8%。由此认为，荆江三口入湖泥沙量大、颗粒粗、沉速较快，是洞庭湖区淤积的主要沙源。

1.2 泥沙淤积特性

根据湖区的淤积部位，泥沙淤积可分为 3 种类型：① 入湖河流泥沙淤积；三口、四水及中小河流水沙进入湖区后，因比降减小、流速减慢、水体挟沙能力减弱，粗粒径级泥沙相继淤积在河口段，使河床淤高，泄水输沙能力减弱；② 洪道淤积；入湖泥沙在河口淤积形成三角洲，并向湖泊延伸，将洞庭湖分裂成许多小湖泊，如大通湖、目平湖、横岭湖等。入湖四水、四口河流贯通于这些小湖泊即成为行洪输沙洪道。在每年汛期，这 8 条主洪道与湖群联成广阔的水域。入湖泥沙经水流分选作用后，部分泥沙淤积在洪道两侧发育成洲滩，导致过水断面缩小。③ 湖泊泥沙淤积；入湖泥沙经河流、洪道分选淤积后进入湖泊。由于水面突然展宽，水动力减弱，细粒径级泥沙分别在西、南、东洞庭湖淤积，使湖盆淤高，这是湖区主要的淤积类型。根据泥沙来源组成，泥沙淤积部位以及泥沙平衡原理，洞庭湖区淤积量应满足如下方程：

$$V_1 + V_2 + V_3 = V_A + V_B + V_C - V_d$$

式中： V_1 、 V_2 、 V_3 分别为入湖河流、洪道和湖泊的淤积量； V_A 、 V_B 、 V_C 分别为四水、四（三）口、区间入湖泥沙量； V_d 为出湖沙量。

据此式计算出洞庭湖区多年平均淤积量为 $1.1427 \times 10^8 \text{ t}$ 。由于受调弦口堵口、下荆江系统截弯、葛洲坝截流发电、以及正在实施的三峡工程的影响，洞庭湖区泥沙淤积量呈逐期减少趋势。尽管如此，淤积量仍占入湖沙量的 70% 左右（表 2）。施修端等人运用输沙量法和地形法测算表明：在 1956-1995 年间天然湖泊年均淤积量、淤积体积、淤积厚度分别为 $0.8 \times 10^8 \text{ t}$ 、 $0.57 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $0.018 \text{ m}^{[2]}$ 。高俊峰等人分析了 1974–1988，1988–1998 年

表 2 洞庭湖区泥沙组成及淤积量的变化

Tab. 2 Silt composition and variation of deposition amount of Dongting Lake

统计时段	多年平均入湖沙量 (10 ⁴ t)			四口所占比例	出湖泥沙	泥沙淤积量	多年平均淤积率
(a)	四 (三) 口	四水	总入湖	(%)	(10 ⁴ t)	(10 ⁴ t)	(%)
1951-1958	22039	4376	26415	83.4	6979	19436	73.6
1959-1966	19043	2834	21877	87.0	5779	16098	73.6
1967-1972	14416	4079	18495	77.9	5240	13255	71.7
1973-1980	11076	3663	14739	75.1	3832	10907	74.0
1981-1990	10917	2381	13298	82.1	3209	10089	75.9
1991-1998	7345	2303	9648	76.1	2626	7022	72.8
1999-2005	2652	1141	3793	70.0	2289	1504	40.0
1951-2005	12681	2934	15615	81.2	4188	11427	73.2

两个时期的冲淤规律，结果表明：洞庭湖总体上是淤积量大于冲刷量，湖盆平均淤高 0.43 m，2 个时期年均冲淤厚度没有明显变化，均为 0.017 m/a^[3]，与前者分析结果基本一致。姜加虎等人研究表明，在 1974-1998 年的 25 年间，前 15 年洞庭湖淤积主要集中在中高滩，南、东洞庭湖在中低位滩地还存在冲刷；后 10 年洞庭湖泥沙淤积呈现全湖性特征，而且有向中低位滩地转化的特征，东洞庭湖一直处于快速淤积的状态^[3]。由此认为，近几十年来洞庭湖区始终处于淤积状态，促使着湖泊系统结构与功能发生变化。

2 泥沙淤积的复合效应

2.1 洲滩对泥沙淤积循环演进的响应

入湖水流是搬运泥沙的动力，而入湖泥沙则是洲滩发育、植物滋生的物质基础。泥沙在水流作用下对湖盆进行塑造，使洲滩发育扩展。按照湖盆地势高低及植被差异，洲滩呈顺向演变过程^[8, 9]，即随着泥沙的不断淤积，湖盆浅水区地势增高，在水动力较为平缓的条件下开始滋生水生植物，发育成水生植物洲滩地；水动力活跃的区域，泥沙淤积速率大，不能滋生水生植物，发育成为泥沙滩地；随着泥沙淤积体增大和延伸，洲滩地势再度增高扩大，苔草等草本植物开始侵入，水生植物滩地和泥沙滩地逐渐演变为湖草滩地；泥沙继续淤积在湖草滩上，加上生物残体的堆积，湖草滩地又不断抬高，枯水期湖草滩显露水面，芦苇、鸡婆柳等植物在湖草滩地上滋生形成芦苇滩地或鸡婆柳滩地；这两类滩地继续被泥沙淤积增高扩展，一般年份全年裸露，旱柳、枫杨等木本植物相继侵入芦苇滩地和鸡婆柳滩地，于是演变为林木滩地。洲滩是水沙与湖泊系统长期相互作用形成的特殊自然综合体。各类植被洲滩不但具有阻流促淤的功能，而且不同高程的植被洲滩，对湖泊水动力条件及泥沙淤积特性的影响程度不尽一致。每年洪水期洲滩淹没于水下，当洪峰沙峰受到中、低位洲滩地的机械阻挡时，流速减慢，水体挟沙能力减弱，粗粒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；当洪峰沙峰受到高位洲滩的机械阻挡时，比降、流向、流速等水动力发生变异，湖面波浪起伏，水体挟带的泥沙和通过底部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中央相继淤积下来，加速了新洲滩的发育进程。随着洲滩淤高及面积扩大，一方面大量沼泽水生植物滋生蔓延阻流促淤，实地定点观测表明：湖区 8 条主洪道两侧芦苇分布密切地段，主汛期 (7-8 月) 平均流速减慢 0.25 m/s，洲滩平均淤高 3~7 cm/a，高于全湖区平均淤高 (5.8 cm/a) 1~2 倍。这显然是洲滩植被助长泥沙淤积的结果；另一方面又促成了人类对洲滩的围垦。据统计，1949-1979 年共围垦洲滩 1659 km²，大面积洲滩被围垦后，垸内已不再承受上游来沙淤积，而已缩小的垸外湖盆却承受着同等数量入湖泥沙的淤积，进而加快了泥沙淤积速率，据报道^[10]，围垦能使泥沙淤积速率提高 50% 以上。与此同时，湖区历经了堵支并流合修大圈、整治洪道、洞庭湖区一、

二期治理工程以及平垸行洪、退田还湖等工程。这些重大工程的实施，破坏了洲滩表土结构，改变了水动力条件，造成二次泥沙淤积，这就人为地促长了泥沙淤积。可见，泥沙淤积，洲滩扩展、植物滋生、围垦加工程建设这四者之间存在着彼此互为条件、相互影响和制约，或者彼此互为消涨的有机联系。于是在洞庭湖区导致了泥沙淤积→洲滩扩展→沼泽水生植物滋生蔓延→人类活动→泥沙淤积的正向循环。并在湖区特定自然因素和人为因素的综合作用下，周而复始、循环不止。其结果是尽管入湖泥沙呈减少趋势，但泥沙淤积仍占绝对优势，进而促使着湖泊洲滩以 $3.9\times10^4\text{ hm}^2/\text{a}$ 的速率增长，大面积洲滩的扩展则构成了洞庭湖湖泊系统中的子系统。江河湖泊是由一系列存在相互作用和联系的子系统组成，具有完整结构的巨系统。其中任何一个子系统受到干扰或破坏，都将危及整个系统的良性循环^[1]。长期以来，由于洲滩的过快增长及人类过度的开发利用，既破坏了生态环境，又干扰了湖泊巨系统功能的正常发挥和运转，进而孕育或诱发了洪涝灾害、水质污染、土地沙化、血吸虫病、东方田鼠暴发成灾等一系列泥沙灾害。同时由泥沙塑造的陆地即洲滩是自然界重要的自然资源和生态系统，在扩大土地面积、涵养水源、调蓄行洪、净化环境、维持生物多样性等方面起着重要作用。由此认为，泥沙淤积循环演进的直接效应是洲滩发育扩展，而自然灾害及滩地资源化是泥沙淤积循环演进的间接性效应（图1）。

2.2 泥沙淤积的灾害性效应

洞庭湖区的泥沙灾害是指泥沙淤积量超越湖泊环境承载力时，对资源环境，甚至生命财产直接或间接地破坏损失的现象。在泥沙淤积累积及破坏过程中，孕育或诱发一连串的次一级灾害即称为泥沙灾害链。

2.2.1 泥沙淤积→洲滩浮涨、围垦→水体空间缩小→调洪功能下降、鱼类资源枯竭、生物多样性减少灾害链。泥沙的不断淤积，洞庭湖广阔的水域已被大面积洲滩地及人为垦殖形成的大小堤垸所肢解，成为水道相通的日平湖、七里湖、南洞庭湖、东洞庭湖等湖群，湖面、湖容分别由1949年的4350 km²及293×10⁸ m³缩小至1998年的2625 km²

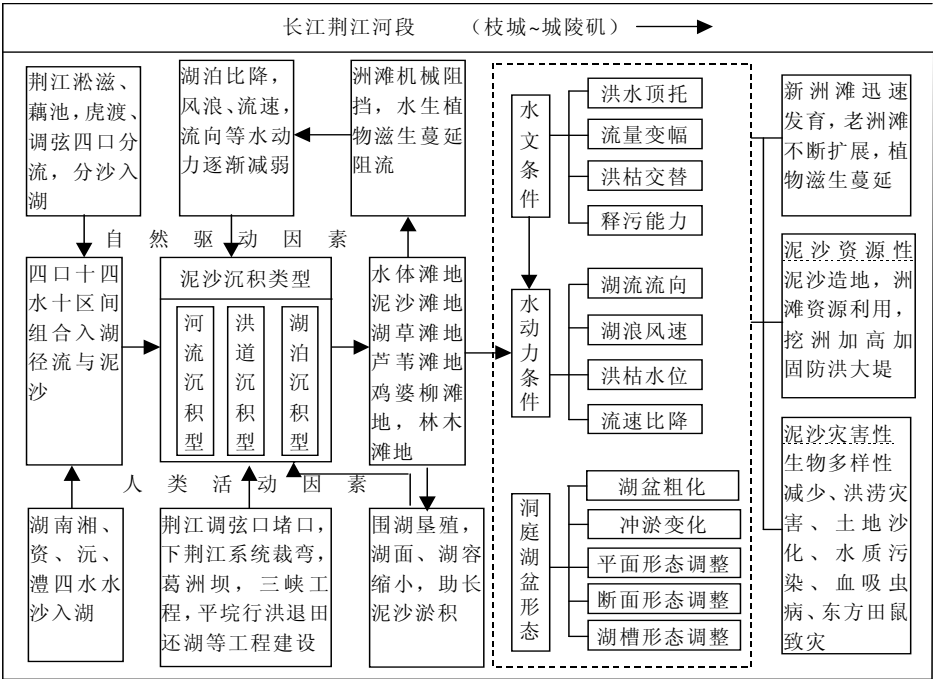


图1 洞庭湖区泥沙淤积循环演进的危害性与资源性效应模式示意图

Fig. 1 The model diagram of the disaster and resources effects on sedimentation cycle stages of Dongting Lake

和 $167 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1998 年底实施退田还湖工程以来稍有扩大), 分别减小了 $126 \times 10^8 \text{ m}^3$ 及 1725 km^2 。这相当于湖泊少蓄 $126 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水量, 也即减少了 1725 km^2 的生物栖息繁衍空间。采用替代工程法估算, 单位蓄水容积成本按 1988-1991 年全国水库建设投资计算, 加上价格上涨指数, 每建设 1 m^3 库容投入成本 0.67 元/a^[12]。据此计算, 湖泊调蓄能力下降造成的经济损失约 84.42×10^8 元。由于损失了 1725 km^2 的生物栖息繁衍空间, 导致渔业资源枯竭, 生物多样性减少。据近十几年来的研究成果显示^[13, 14]: 湖区渔业产量在 20 世纪 50 年代呈增长趋势, 从 70 年代开始渔业产量呈明显的减少趋势, 到 90 年代, 年平均渔业产量已减少到 $1.25 \times 10^4 \text{ t}$ 。在洞庭湖区的“四大家鱼”中, 1963 年在捕捞鱼类中占 21%, 而鲤、鲫、鲢等湖泊定居性鱼类却占 63% 左右; 1981 年“四大家鱼”的比例下降至 14.1%, 而湖泊定居性鱼类占 63.7%; 1999 年至 2000 年以后, 江湖半洄游性鱼类下降至 10% 左右, 其中“四大家鱼”仅占 9.3%, 鲤、鲫、鲢等湖泊定居性鱼类所占比例最高达 86.1%^[15]。洞庭湖区的越冬鸭类的种类在 60 年代最多, 1959-1962 年有雁鸭类约 31 种, 20 世纪 60-70 年代鸭类种类锐减, 1988 年仅出现了 16 种鸭类, 90 年代雁鸭类下降到历年最低值。2001 年以后, 由于加大了保护力度, 鸭类种群数量有所增加。根据 costanza 等人研究成果, 即沼泽或泛滥平原提供栖息地或避难所的服务功能年生态效益为 439 美元/hm²^[16], 折合人民币 3633.6 元/hm², 以此计算得到生物栖息, 繁衍空间缩小所造成的生态经济损失为 6.27×10^8 元。

2.2.2 泥沙淤积→洲滩浮涨→洪涝、水体污染灾害链。 泥沙淤积循环演进与洪涝灾害的关系主要指因泥沙淤积损失湖容对同等洪涝灾害的放大作用。泥沙淤积与水体污染的关系主要指湖泊泥沙环境对水质的影响。近 55 年间湖区累计淤积总量达 $62.8 \times 10^8 \text{ t}$ (表 1), 即为 $49.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ (以泥沙容重 1.28 t/m^3 计), 此外, 在已围垦的 1695 km^2 滩地面积中, 以平均水深 1.5 m 计, 相当于损失湖容 $29.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 这意味着在相同水位下洞庭湖区容水体积减少了 $78.66 \times 10^8 \text{ m}^3$, 也即在发生同频率洪水时, 增加了 $78.66 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水量。其结果是促使洪水位抬高, 洪溃决堤灾情惨重 (表 3)。同时, 所增加的水量以 0.25 m 水深即可造成涝灾为标准^[17]计算, 即使湖区增加涝灾面积约 $285.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。受其影响洞庭湖区洪涝灾害发生频率增大, 以湖区洪涝成灾面积 $\geq 8.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 湖口七里山洪水位 $\geq 32.50 \text{ m}$ 的年份为大洪涝灾害, 1951-1958 年间平均 4.1 年发生 1 次, 1959-1984 年间平均 3.7 年发生一次, 1985-1990 年平均 3 年发生一次洪涝灾害。1991-1999 年间几乎连年发生大涝灾害, 且社会经济损失严重 (表 4)。在洞庭湖区水环境中, 泥沙与水流共同成为污染物的主要载体, 其中泥沙运动状态和吸持特征的变化是影响水质的两个方面, 这种作用可以称为泥沙的环境作用^[18]。一方面, 泥沙颗粒可以吸附多种污染物, 一定动力条件下沉积于河湖床底部, 在一定时间内减少了赋存于水体中的污染物质; 另一方面, 当化学、动力等外部条件发生改变, 吸附在泥沙颗粒上的污染物可能改变赋存状态, 从吸附态 (固相) 转移到溶解态 (水相), 或者沉积在底泥的污染物随着冲刷泥沙重新进入水体, 从而显著改变着上覆水体的化学构成, 甚至造成水体的二次污染^[19]。洞庭湖区水污染来源包括工业、农业、生活、血防和水上交通等方面, 以工业废水和生活污水最多, 2006 年全湖区废水排放总量达 $10.28 \times 10^8 \text{ t}$, 其中工业废水排放量占 68.7%。入湖污水在水流和泥沙的作用下, 导致洞庭湖区水质污染特征表现为富营养化指标值较高。洞庭湖环境保护监测站的长期监测表明, 水体中总氮、总磷等营养物质含量较高, 均在地表水 GHZB1-1999 的 V 类以上。其他指标如挥发酚、Cu、Hg、As、BOD₅ 也有超标现象。通过多功能湖泊损害程度综合评价模型的评价表明, 洞庭湖区因水污染引起的各种损失达 257×10^8 元, 其中损失量集中在饮用水源和游泳这两项功能上, 约占总损量的 97.88%^[20]。

2.2.3 泥沙淤积→洲滩扩展→血吸虫病、东方田鼠暴发致灾害链。 血吸虫唯一的中间宿主—钉螺, 生活在水位波动线上下, 孳生在冬陆夏水、杂草丛生的洲滩上或沟港、

表 3 典型洪水年洞庭湖区最大水量与湖口洪水位持续时间
Tab. 3 The lasting time of annual maximal water amount and lake outlet flood level of Dongting Lake in typical flood years

典型年份	最大入湖洪峰流量 (m ³ /s)	最大蓄水量 (10 ⁸ m ³)	最高水位 (m)	超危险水位持续时间 (天)			灾情 溃堤数 受灾人口
				33.00 m	34.00 m	35.00 m	
1954	64053	469.5	34.55	56d (7.1~8.25)	24d (7.14~7.17 7.27~7.28)	0	358 个 154×10 ⁴ 人
1996	58427	256.6	35.31	29d (7.16~8.13)	12d (7.17~7.28)	4d (7.20~7.23)	145 个 114×10 ⁴ 人
1998	63360	330.0	35.94	78d (6.29~9.14)	56d (7.2~7.9 7.24~9.9)	42d (7.25~9.4)	142 个 38×10 ⁴ 人

表 4 洞庭湖堤垸区 1991–1999 年大洪涝灾情统计
Tab. 4 Disaster statistics of 1991–1999 floods in dike and polder regions of Dongting Lake

大洪涝 灾害年	年最高水位 (m)	受灾面积 (10 ⁴ hm ²)	成灾面积 (10 ⁴ hm ²)	直接经济损失 (10 ⁸ 元)			受灾人口 (10 ⁴ 人)	死亡人口 (人)
				合计	农村	城镇		
1991	33.52	17.41	9.62	8.42	5.36	3.06	287.32	52
1993	33.04	31.50	14.42	11.84	7.90	3.94	436.35	48
1995	33.68	42.82	28.10	48.56	30.61	17.95	599.11	92
1996	35.31	47.80	25.24	152.14	85.94	66.20	672.44	107
1998	35.94	38.58	28.76	88.81	51.85	36.96	757.30	184
1999	35.68	16.28	8.37	15.60	4.60	11.00	235.90	-

堤坡、涵闸等潮湿环境中。人们常因放牧、打草、种田、捕鱼虾及防洪抢险等活动而被钉螺感染患上血吸虫病，人是血吸虫的终宿主。洞庭湖区大面积洲滩的相继出露为钉螺孳生，繁衍提供了良好的场所。致使钉螺灭而复发，血吸虫病防不胜防。据湖南省血防部门统计，目前全湖区有螺面积 $17.47 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，其中垸内钉螺面积 $0.39 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，垸外 $17.08 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，沿防洪堤易感长度 1340 km，血吸虫病患者 20.5×10^4 人。血吸虫病的流行给湖区人们造成了持久性的灾难和忧患。以药灭螺、易感区人畜预防以及血吸虫病患者医疗费投入计为血吸虫灾害损失，2000 年以来全湖区平均每年投入经费为 1534×10^4 元。东方田鼠以湖洲滩的苔草沼泽和芦苇、荻为最适栖息地，以草本植物的绿色部分为食，也啃吃种子和地上、地下茎，各种农作物及树皮，在苔草地以苔草为食，它不仅给农牧业造成严重危害，而且还是流行性出血热、钩端螺旋体等病原体的自然宿主^[21]，是洞庭湖区最为典型的害鼠。泥沙的不断淤积，显露洲滩地面积逐渐扩大，这就为东方田鼠提供了最适栖息空间，而各类洲滩上生长的苔草、青管、水田碎米茅等植物又为东方田鼠提供了丰富的喜食物，导致湖草洲滩上东方田鼠种群数量不断增大。据王勇等人在东洞庭湖岳阳县春风镇设定位点监测表明：1993 年和 1994 年为东方田鼠种群数量膨胀期，鼠洞口密度分别为 230.8 个 /hm² 及 450 个 /hm²，鼠密度依次为 16.2 只 /hm² 及 62.4 只 /hm²^[22]。2007 年 1 月春风镇堤外湖滩洞群密度为 250 个 /hm²，北洲子外滩 560 个 /hm²，相应捕获率分别为 11.27% 及 17.84%。5 月初在春风镇和北洲子洲滩捕获率分别达 52.05% 及 63.86%，以至于 2007 年 5 月下旬约有 20×10^8 只东方田鼠栖息在 $2.92 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 湖洲滩上^[23]。6–7 月随着湖水水位上涨，洲滩淹没于水下，成千上万的东方田鼠为避开洪水以游泳方式迁至垸内农田区危害农作物，于是在洞庭湖区暴发了一触目惊心的“群鼠闹洞庭”事件。给湖区造成了巨大的直接经济损失。按 1986–1998 年、2004、2005、2007 年东方田鼠暴发成灾高峰期的农牧业减产估算，东方田鼠平均每年造成农牧业损失约 1250×10^4 元。

2.2.4 泥沙淤积→洪溃决堤→土地沙化灾害链。 随着泥沙淤积量的不断积累，洞庭湖

区有些地段的洲滩沃土层逐渐淤厚形成形状不规则的固定沙丘、沙地,在防洪大堤内侧 100~200m 处形成半固定沙滩,在洪道、沟港、湖汊形成流动沙地。由于泥沙淤积受“急落沙,缓落泥”的作用影响,沙化土地主要沿河流、洪道两侧呈断续的念珠状分布。此外湖区防洪大堤绝大多数都是用沙泥土而构筑的,大洪水年洪溃决堤成为垸内淤积的沙源。据统计,湖区在 1951–1999 年间共溃决大小堤垸 1685 个(次),洪水冲毁堤垸挟带大量泥沙进入垸内淤积旱地、水田,形成固定沙地,降低生产力。目前湖区沙化土地面积达 55409 hm²,比 1949 年前净增 21230 hm²,累计增长 62.1%,年均扩大 451.7 hm²[24]。土地沙化使湖区受害村庄 900 个,约占沙区总村数的 42%,还有 68600 hm² 耕地、18800 hm² 草地、542.8 km 的公路及 1279.8 km 的渠系均遭受不同程度的沙害。按照机会成本法估算,以折合土地的总收益作为沙害地区的年经济损失值,2006 年湖区单位土地面积收益为 15845 元/hm²,据沙害区抽样调查,沙化土地单位面积收入减少 40%,即为 6338 元/hm²,按湖区沙化土地总面积计算,每年因土地沙化造成的经济损失为 3.52×10^8 元。

由上述 4 条泥沙灾害链的成链过程可知,泥沙灾害是泥沙灾害链的首级灾害或链首灾害,按照金德生等人的泥沙灾害类型划分[25],洞庭湖区属典型的淤积型泥沙灾害,由它孕育或诱发的一些次生灾害即为淤积型泥沙灾害链。灾害链所造成的损失比单一灾害大得多,可见,淤积型泥沙灾害链的形成与致灾是洞庭湖区泥沙灾害属性的主要表现形式。

2.3 泥沙淤积的资源性效应

泥沙塑造陆地是洞庭湖区泥沙资源化最直接的体现,经过漫长的泥沙淤积,塑造出当今美丽富饶的洞庭湖平原。在近 55 年间湖泊淤积量为 62.8×10^8 t,取土壤表土平均厚度 0.5 m,平均容重 1.28 t/m³,估算得到其折合的土地面积为 98.13×10^4 hm²,即为水体浅滩、泥沙滩地、湖草滩地、芦苇滩地、鸡婆柳滩地和人工防护林滩地等洲滩类型的集合体。洲滩地土壤成土母质为河流冲击物和湖积物,紫潮泥土占 80%,土层深厚,土质肥沃。洪水淹没时,大量泥沙和生物残体沉落于洲滩上,弥补被芦苇、荻等植物带走的养分,使洲土肥力长期保持稳定状态[8],适宜于发展农业生产,这就为湖区人们提供了丰富的土地资源。由于湖泊洪枯水位的季变化,使洲滩呈现出水陆交替的生态环境,既生长有水生植物成分,又生长有湿生植物成分;还繁衍着许多水生,陆生和两栖动物。根据现有资料统计,湖区管维束植物 170 科、637 属、1428 种。在水域中由挺水浮叶或漂浮及沉水植物群落构成了水生植被的主体,而洲滩地则以多年生根茎丛生苔草和根茎禾草及大量随洪水侵入的陆生杂草组成的草甸与沼泽植被。其中,常见的经济植物有芦苇(*Phragmites communis Trin*)、苔草(*Carex spp*)、荻(*Miscanthus sacchariflorus*)、鬲鸟草(*Phalaris arundinacea*)、黑藻(*Hydrilla verticillata*)、苦草(*Vallisneria spiralis*)等 10 余种[26]。苇、荻茎秆是优质的造纸原料,因为每吨芦苇、荻的出浆量相当于 2 m³ 木材的出浆量,同时也是手工编织和建筑的良好材料。苔草植株含有较高的粗蛋白,粗脂肪以及磷,钙,因而是优质饲料和饵料。全区现有鱼类 119 种、11 目、22 科、70 属,主要经济鱼类有青、草、鲢、鳙、鲫、鳊鱼等 20 余种,另有中华鲟、白鲟、银鱼、胭脂鱼等 5 种珍贵鱼类。珍贵鸟类有 32 种,其中属国家一级保护的有白鹤、黑鹤、白鹤、中化秋沙鸭、大鸨、白头鹤等 6 种[27]。由此表明,洲滩资源除具有土地资源的一般功能外还包括赋存于洲滩上的水资源、生物资源、光热资源及环境资源,是洞庭湖泊资源中具有多种功能和巨大生态经济价值的资源。因而也就由此衍生出对湖洲滩不同的开发利用方式和对象。从历史上看,人类对湖洲滩地开发利用的方式及对象有三种:一是原始利用即在洲滩上捕鱼捞虾,采摘野菜为食,割草盖房和砍芦作薪;二是围滩造田,集中在唐宋、清朝和 20 世纪 70 年代末期;三是商品开发,特别是近二十多年来,在保护湖泊生态环境的前提下,湖区人们对洲滩资源进行综合开发利用。目前已在湖区开发了水面网箱养鱼与流水围栏精养模式,以林为主的林、草、禽、鱼生态模式,以草为主的草禽、畜牧业生态模

式、林、稻、鱼、油共生模式与麻、鱼、稻复合模式等^[26-29]，并逐渐形成了具有一定规模的芦苇、荻生产基地，粮、棉、油、麻生产基地，特种水产养

表 5 洞庭湖区 2000–2006 年主要经济指标
Tab. 5 The major economic indicators of Dongting Lake from 2000 to 2006

经济指标	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
国内生产总值 (10 ⁸ 元)	981.39	1080.60	1251.88	1363.57	1343.47	1529.15	1808.80
粮食总产量 (10 ⁴ t)	778.63	707.68	661.25	671.86	847.58	891.16	936.79
油料产量 (10 ⁴ t)	57.18	55.21	43.60	48.13	56.28	55.57	59.96
棉花产量 (10 ⁴ t)	13.49	16.52	13.46	16.30	17.01	15.45	17.39
肉类总产量 (10 ⁴ t)	127.02	1333.33	144.21	151.11	160.75	171.94	175.70
水产品总量 (10 ⁴ t)	66.70	70.77	75.20	79.48	83.64	92.10	96.57
水果产量 (10 ⁴ t)	33.95	154.02	133.09	144.19	118.17	119.20	136.03

注：此数据来源于 2007 年湖南统计年鉴

殖基地，优质林木生产基地等，使洞庭湖区生态经济呈现持续增长趋势（表 5），这显然是人类对泥沙塑造的洲滩资源合理开发利用的结果。人类利用泥沙修筑防洪大堤是将泥沙资源化的另一途径。为了对付洞庭湖区的水患，自古以来，湖区人们挖沙筑堤，修建了约 5800 km 防洪大堤。为了提高防洪大堤的抗洪能力，自 1949 年以来湖区防洪大堤用泥沙筑高了 23 m，累积土沙方约 $55\times10^8\text{ m}^3$ 。这相当于节省了购买 $55\times10^8\text{ m}^3$ 建筑材料的开支。同时也保护了 $582\times10^4\text{ hm}^2$ 耕地避免洪灾损失。取平均综合农业受灾损失 5532.9 元 / hm^2 ^[30]，防洪大堤抗灾效益约 322.0×10^8 元。上述分析表明，泥沙在一定区域或一定条件下可以为社会经济建设服务，直接或间接性地创造出巨大的经济效应。

3 结论与讨论

(1) 在 1951-2005 年间湖南四水及荆江三（四）口多年平均入湖泥沙量为 $15615\times10^4\text{ t}$ ，其中三（四）口占入湖总沙量的 81.2%，大于 0.05 mm 粒径级泥沙含量占 54.9%68.7%。荆江三口入湖沙量大，泥沙颗粒粗，沉速快，是洞庭湖区淤积的主要沙源。尽管入湖泥沙呈减少趋势，但洞庭湖始终处于淤积状态即多年平均淤积率为 73.2%。长江三峡工程正式运转后，泥沙淤积量将会大为减少。

(2) 泥沙淤积，洲滩浮涨，水生植物滋生，人类活动（围垦，重大工程建设等）这四者彼此之间存在着互为条件，相互影响和制约，或彼此互为消涨的内在联系，于是形成了泥沙淤积循环。而在泥沙淤积循环演进过程中则扩展了湖泊滩地。按照湖盆地势和水动力的差异，滩地呈现正向演变规律，即水体滩地→泥沙滩地→湖草滩地→芦苇滩地→鸡婆柳滩地→人工防护林滩地，各类植被滩地则构成了洞庭湖泊巨系统的主体，这是洞庭湖区泥沙淤积最直接的效应。

(3) 相对于社会经济系统而言，泥沙具有灾害性和资源性的双重属性，灾害属性集中体现在泥沙淤积→洲滩扩展、人类围垦→水体空间缩小→调洪功能下降、鱼类资源枯竭、生物多样性减少灾害链；泥沙淤积→洲滩扩展→洪涝、水体污染灾害链；泥沙淤积→洲滩扩展→血吸虫病、东方田鼠致害灾害链；泥沙淤积→洪溃决堤→土地沙化等泥沙灾害链。这些淤积型泥沙灾害链给洞庭湖区造成了巨大的经济损失。泥沙资源化属性主要反应在三个方面：一是泥沙塑造陆地，近 55 年来，泥沙造地面积约 $98.13\times10^4\text{ hm}^2$ ；二是合理开发利用洲滩资源发展生态经济；三是清淤筑堤或加高加固堤防，为建设防洪大堤就地提供了良价的原材料，长期以来洲滩资源为湖区经济建设发挥了不可替代的作用。

(4) 泥沙并非都会造成泥沙灾害，在一定范围及一定技术条件下，泥沙可以直接或间接地创造出巨大的经济效益。科学地调控水沙，使泥沙资源化的经济效益达到最大值，将泥沙灾害的经济损失达到最小值是泥沙科学研究领域中亟待深入探讨的科学问题。

参考文献 (References)

- [1] Li Jingbao, Wang Kelin, Qin Jianxin et al. The evolution of annual runoff and sediment in the Dongting Lake and their driving forces. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(3): 503-510. [李景保, 王克林, 秦建新 等. 洞庭湖年径流泥沙的演变特征及成因. *地理学报*, 2005, 60(3): 503-510.]
- [2] Shi Xiuduan, Xia Wei. Sediment deposition and erosion in Dongting Lake (1956-1995). *Journal of Lake Sciences*, 1999, 11(3): 199-205. [施修端, 夏薇. 洞庭湖冲淤变化分析 (1956-1995 年). *湖泊科学*, 1999, 11(3): 199-205.]
- [3] 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布. *地理学报*, 2001, 56(3): 269-276.]
- [4] Jiang Jiahu, Huang Qun. Analysis of the lake basin change and the rushing-silting features in the past decades of Dongting Lake. *Journal of Lake Sciences*, 2004, 16(3): 209-214. [姜加虎, 黄群. 洞庭湖近几十年来湖盆变化及冲淤特征. *湖泊科学*, 2004, 16(3): 209-214.]
- [5] Li Yitian, Deng Jinyun, Sun Zhaohua et al. Sediment deposition and variation of flood storage capacity in Dongting Lake. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2000, 31(12): 48-52. [李义天, 邓金运, 孙昭华 等. 泥沙淤积与洞庭湖调蓄量的变化. *水利学报*, 2000, 31(12): 48-52.]
- [6] Hu Chunhong, Wang Yangui, Chen Xujian. Optimal deployment of sediment resources in river basins. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2005, 36(12): 1405-1413. [胡春宏, 王延贵, 陈绪坚. 流域泥沙资源优化配置关键技术的探讨. *水利学报*, 2005, 36(12): 1405-1413.]
- [7] Wang Yangui, Hu Chunhong. Utilizing the basin sedimentation as a kind of natural resources and the ways for realization. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 37(1): 21-27. [王延贵, 胡春宏. 流域泥沙的资源化及其实现途径. *水利学报*, 2006, 37(1): 21-27.]
- [8] Du Senyao, Hu Shengguo. Probes on evolution of marshland resources in Dongting Lake and its integrated exploitation. *Journal of Lake Sciences*, 1993, 5(4): 367-372. [杜森尧, 胡圣国. 洞庭湖湖洲资源演变与综合开发探讨. *湖泊科学*, 1993, 5(4): 367-372.]
- [9] Huang Jinliang. The area change and succession of Dongtinghu wetland. *Geographical Research*, 1999, 18(3): 297-304. [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.]
- [10] Bian Hongxiang, Gong Xunli. Preliminary study on the reclamation problems in the Dongting Lake area. *Acta Geographica Sinica*, 1985, 40(2): 131-139. [卞鸿翔, 龚循礼. 洞庭湖区围垦问题的初步研究. *地理学报*, 1985, 40(2): 131-139.]
- [11] Jiang Jiahu, Dou Hongshen, Huang Qun. Relational analysis of the features of resources and functions of lakes. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(3): 386-391. [姜加虎, 窦鸿身, 黄群. 湖泊资源特征及其功能的关系分析. *自然资源学报*, 2004, 19(3): 386-391.]
- [12] Zhuang Dachang, Ou Weixin, Ding Dengshan. Evaluation of the lake recovery area eco-economy benefit in Dongting Lake wetland. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(5): 536-542. [庄大昌, 欧维新, 丁登山. 洞庭湖湿地退田还湖的生态经济效益研究. *自然资源学报*, 2003, 18(5): 536-542.]
- [13] Li Jingbao, Deng Luojin. Environmental impacts of land reclamation in the Dongtinghu Area. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1993, 2(4): 304-308. [李景保, 邓铭金. 洞庭湖区滩地围垦及其对生态环境的影响. *长沙流域资源与环境*, 1993, 2(4): 304-308.]
- [14] Xie Yonghong, Wang Kelin, Ren Bo et al. Evolution, problems and protection measures of ecological environments in Dongting Lake area. *Research of Agricultural Modernization*, 2007, 28(6): 677-681. [谢永宏, 王克林, 任勃 等. 洞庭湖生态环境的演变、问题及保护措施. *农业现代化研究*, 2007, 28(6): 677-681.]
- [15] Liao Fuchu. Present situation and change on fishery resources of Dongting Lake. *Journal of Aquatic Organism*, 2002, 26(2): 623-627. [廖伏初. 洞庭湖渔业资源现状及其变化. *水生生物学报*, 2002, 26(2): 623-627.]
- [16] Costanzar et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [17] Shi Changxing, Zhang Dian. Analysis of impacts of sedimentation on flooding disasters in China. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 627-634. [师长兴, 章典. 中国洪涝灾害与泥沙关系. *地理学报*, 2000, 55(5): 627-634.]
- [18] Yu Xuezhong, Zhong Deyu. Review of studies on sediment in water environment. *Journal of Sediment Research*, 2004, (6): 75-81. [禹雪中, 钟德钰. 水环境中泥沙作用研究进展及分析. *泥沙研究*, 2004, (6): 75-81.]
- [19] Yu Xuezhong, Yang Zhifeng, Zhong Deyu et al. Numerical model for interaction between sediment and pollutant in river. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 37(1): 10-15. [禹雪中, 杨志峰, 钟德钰 等. 河流泥沙与污染物相互作用数学模型. *水利学报*, 2006, 37(1): 10-15.]
- [20] Bu Yuexian, Chai Ming. Preliminary assessment of economic loss caused by water pollution in Dongting Lake. *Yangtze River*, 2001, 32(4): 27-36. [卜跃先, 柴铭. 洞庭湖水污染环境经济损失初步评价. *人民长江*, 2001, 32(4): 27-36.]
- [21] Hu Zhongjun, Wang Yong, Guo Cong et al. Research advances in biology and ecology of *Microtus fortis* in China. *Chinese Agronomy Bulletin*, 2006, 22(12): 307-311. [胡忠军, 王勇, 郭聪 等. 中国东方田鼠生物生态学研究进展. *中*

- 国农学通报, 2006, 22(12): 307-311.]
- [22] Zhang Meiwen, Li Bo, Wang Yong. Analysis on causes of population outbreak of *Microtus fortis* in Dongting Lake Region in 2007. Research of Agricultural Modernization, 2007, 28(5): 601-605. [张美文, 李波, 王勇. 洞庭湖东方田鼠 2007 年暴发成灾的原因分析. 农业现代化研究, 2007, 28(5): 601-605.]
- [23] Zhang Zhixin. Who should know the Dongting Lake's ecology alarm caused by rat. Chinese Disaster Mitigation, 2007, (9): 32-33. [张智新. 鼠闹洞庭的生态警钟为谁而鸣. 中国减灾, 2007, (9): 32-33.]
- [24] Zhou Xueyun, Ning Zuodun. Elementary analysis on soil being sandy in Dongting Lake area and its control countermeasures. Territory and Natural Resources Study, 1999, (4): 14-16. [周雪云, 宁佐敦. 洞庭湖区土地沙化与治理对策浅析. 国土与自然资源研究, 1999, (4): 14-16.]
- [25] Jin Desheng, Shi Changxing, Chen Hao et al. Sediment disasters, their types and classification principles in drainage system. Acta Geographica Sinica, 2002, 57(2): 238-248. [金德生, 师长兴, 陈浩 等. 流域系统的泥沙灾害类型及其划分原则. 地理学报, 2002, 57(2): 238-248.]
- [26] Dou Hongshen. The basic characteristics of the beach resources of the three big lakes in the middle-lower Yangtze River region and their exploitation and utilization. Journal of Natural Resources, 1991, 6(1): 34-44. [窦鸿身. 长江中下游三大湖泊滩地资源的基本特征及其开发利用. 自然资源学报, 1991, 6(1): 34-44.]
- [27] Dong Minghui, Zhu Youzhi, Zhuang Dachang et al. Dongting Lake Area Wetland Resources on Sustainable Development. Changsha: Hunan People's Publishing House, 2001. 1-251. [董明辉, 朱有志, 庄大昌 等. 洞庭湖区湿地资源可持续开发研究. 长沙: 湖南人民出版社, 2001. 1-251.]
- [28] Wang Kelin. Ecological deterioration of wetland and construction of ecosystem for reducing disasters in Dongting Lake region. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 1999, 8(2): 191-197. [王克林. 洞庭湖区湿地生态功能退化与避洪、耐涝高效农业建设. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 191-197.]
- [29] Li Jingbao, Zhu Xiang, Cai Binghua et al. A study on approaches to sustainable utilization of wetland in the Dongting Lake. Journal of Natural Resources, 2002, 17(3): 387-392. [李景保, 朱翔, 蔡炳华 等. 洞庭湖区湿地资源可持续利用途径研究. 自然资源学报, 2002, 17(3): 387-392.]
- [30] Zhang Zongjiao, Zhang Shibao, Feng Tianhua. Calculation of flood control benefit for economic past-evaluation for Taolinkou Reservoir Project. China Rural Water and Hydropower, 2002, (8): 6-7. [张淙皎, 张世宝, 冯田华. 桃林口水库工程经济后评价防洪效益计算. 中国农村水利水电, 2002, (8): 6-7.]

Impact of Sedimentation on Dongting Lake

LI Jingbao¹, YIN Hui¹, LU Chengzhi², MAO Dehua¹, ZHOU Heping¹

(1. College of Resources and Environment Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

2. Hunan Hydro & Power Design Institute, Changsha 410007, China)

Abstract: According to a long series of measured sediment data, the sedimentation effects of Dongting Lake were studied in light of the relationship between sedimentation characteristics and the resources & environment. The result shows that the long-term deposition and the impact of human activities has led to a cycle of the evolution of sedimentation pattern, resulting in sediment disaster effects and resources effects in Dongting Lake. The main features are as follows: 1) The water beach, silt beach, lake marsh beach, reed beach and other types of beach shaped by sedimentation effects, constitute the main body of the giant lake system. 2) The disaster chains are induced, i.e. sedimentation → marshland expansion & reclamation → flood function decline, the fish resource depletion, biodiversity reduction disaster chain, sedimentation → marshland expansion → floods, water pollution disaster chain, sedimentation → marshland floating vegetation rising → schistosomiasis, rodents virulence disaster chain, sedimentation → flood embankment bursting → land desertification disaster chain. 3) Sedimentation has created about 98.13×10^4 hm² of land in the past 55 years. Rational development and utilization of marshland resources have produced tremendous economic benefits.

Key words: sediment; lake beach; sediment disaster chain; sand resources