

清末以来洞庭湖区通江湖泊的时空演变

余姝辰^{1,2,3,4}, 王伦澈^{1,3}, 夏卫平^{3,4}, 余德清^{3,4}, 李长安^{1,3}, 贺秋华^{1,3,4}

(1. 中国地质大学(武汉), 武汉 430074; 2. 国土资源评价与利用湖南省重点实验室, 长沙 410007;

3. 洞庭湖区生态环境遥感监测湖南省重点实验室, 长沙 410007;

4. 湖南省自然资源事务中心, 长沙 410007)

摘要: 本文利用清光绪22年以来17个时段的多种历史地图和航天航空遥感数据, 采用遥感解译、数据统计分析与历史对比方法, 分析清末以来洞庭湖区通江湖泊面积的时序变化, 探究空间演变特征。结合水利部门发布的典型年份监测数据, 检验了遥感获取的湖泊面积精度, 误差仅为0.62%。结果显示: 洞庭湖通江湖泊面积从1896年的5216.37 km²减少到2019年的2702.74 km², 萎缩率为48.19%。1949年前的53年为明显萎缩期, 年均萎缩15.66 km²; 20世纪50年代为陡崖式萎缩期, 年均萎缩139.05 km²; 20世纪60—70年代为快速萎缩期, 年均萎缩21.66 km²; 1980年以来为基本稳定期, 年均萎缩0.13 km², 面积仅减少了5.10 km²。就具体湖泊而言, 东洞庭湖是各通江湖泊中面积萎缩最大的湖泊, 减幅为922.60 km²; 其次是目平湖, 减幅为588.05 km²; 再次是南洞庭湖, 减幅为448.37 km²; 七里湖的面积变化很小, 但经历了先扩张后萎缩的过程。1998—2002年实施“退田还湖”工程, 洞庭湖面积增加了10.50 km²。总体而言, 清末以来洞庭湖区通江湖泊的演变主要表现为大通湖的封闭析出、修整南洞庭湖的湖垵置换与南迁、围垦西洞庭湖的局部残存、东洞庭湖的三面合围以及1998年特大洪灾后有限的“退田还湖”。本文为长江流域生态修复和环境保护战略提供了客观资料和技术支撑。

关键词: 清末; 历史地图; 遥感技术; 洞庭湖区; 通江湖泊; 时空演变

DOI: 10.11821/dlxb202011006

1 引言

湖泊演变是湖区泥沙淤积、生态水文、洲滩变迁等生态环境要素变化的客观表现, 制约着湖体自净能力、水体生物群落多样性等而使湖泊生态系统退化。湖泊萎缩是人类目前面临的主要生态环境问题之一^[1]。清朝末年以来, 由于泥沙淤积、围湖造田以及荆江河道的裁弯取直和葛洲坝、三峡等水利工程的修建, 洞庭湖与长江的江湖关系发生了多次调整^[2]。长江水沙条件与河床变化将对洞庭湖引起连锁反应, 洞庭湖的变化又会再反馈于长江, 两者之间的互动改变着江湖蓄泄能力、河湖生态系统的完整性与稳定性、水生生物多样性、湿地功能以及水资源的开发与保护^[3]。

收稿日期: 2019-09-16; 修订日期: 2020-04-07

基金项目: 湖南省国土资源厅专题性项目(HNPCA2014-9-1, NGQJC2015-01, GJGQJC2016-04, HNGQJC2017-13, HNJCCCH-2018-13, HNZRZYJC-2019-02); 湖南省科技研究计划(2018-10) [Foundation: Thematic Project of Hunan Provincial Department of Land and Resources, No.HNPCA2014-9-1, No.NGQJC2015-01, No.GJGQJC2016-04, No.HNGQJC2017-13, No.HNJCCCH-2018-13, No.HNZRZYJC-2019-02; Hunan Science and Technology Research Plan, No.2018-10]

作者简介: 余姝辰(1990-), 女, 湖南汨罗人, 博士生, 工程师, 从事水工环地质与资源环境遥感研究。

E-mail: 22581400@qq.com

通讯作者: 王伦澈(1987-), 男, 安徽安庆人, 教授, 博导, 主要从事气候变化与地理环境遥感研究。

E-mail: wang@cug.edu.cn

宋代《輿地纪胜》用“洞庭八百里,幕阜三千寻”描述洞庭湖的广袤和浩大,由此,“八百里洞庭”之说便被沿袭至今。但是,历史上洞庭湖面积并非稳定在方圆“八百里”(约5480 km²)。根据《元时期洞庭湖图》量算,元大德年间(1297—1307年)洞庭湖面积为5531 km²,是洞庭湖的全盛时期,其后面积逐渐减小。洞庭湖的时空变化一直是学术界和水利工作者关注的热点。《洞庭湖历史变迁地图集》^[4]是系统研究洞庭湖空间演变的图集,编绘了有史以来古云梦泽至1995年21个不同历史时期的地图,但对洞庭湖面积变化最大的清末以来的100多年,该书仅编辑了民国时期、解放初期、20世纪70年代和1995年等4幅图件;王俊乐^[5]建立了洞庭湖区堤垸1949—2013年空间分布数据集,但仅利用1949年、1998年、2008年和2013年4期数据分析了堤垸时空分布特征;《湖南省水文志》^[6]发布的洞庭湖面积数据最具权威性,包括1825年、1896年、1949年、1954年、1958年、1978年和1995年等7个时段的数据,但这些数据主要依据“因堵支并流大圈与洪道整治缩短防洪堤线而缩减洞庭湖面积”等工程实施情况统计估算。现有研究对洞庭湖时空演变的认识并不完整,尚缺少民国时期、20世纪60年代及21世纪以来的信息。

关于洞庭湖未来演变趋势,濮培民^[7]、王克英^[8]、李长安^[9]、姜端午等^[10]、苏岑^[11]、张修桂^[12]等认为“洞庭湖最终将走向消亡”,但童潜明^[13]、梁杏等^[14]、皮建高等^[15]、陆胤昊^[16]、易波林^[17]等认为,由于区域性的现代地壳形变构造趋于沉降,洞庭湖不但不会消亡,而且会扩大。余德清等^[18]研究表明,1998年以来洞庭湖面积基本没有变化,即便是三峡工程的运行也未对洞庭湖的面积造成明显影响。洞庭湖演变趋势的研究结论不一致,主要原因是前人研究洞庭湖萎缩所使用的数据或方法不同,或对湖泊边界定义标准不统一。大多数学者基于历史泥沙淤积数据进行研究,部分学者利用不同历史时期的地图呈现的水域面积予以预测,也有学者将不同年份遥感影像反映的湖泊水面变化视同为湖泊面积变化统计分析。另外,大堤围限、流域水土保持以及江湖关系演变等人为因素,都影响着洞庭湖演变趋势的研究结论^[19]。以往的研究大都是对洞庭湖的定性描述和统计分析,对历史变迁特别是湖泊空间格局变化的研究相对较少。系统分析清末以来洞庭湖的时空演变特征对于客观预测洞庭湖未来演变趋势具有重要的参考作用。本文基于湖南省图书馆珍藏的清末《洞庭湖全图》、湖南省遥感中心存档的1930—1935年日本陆地测量部参谋本部测绘的地形图等历史地形图资料、1954年苏联获取的航空像片、1967年美国锁眼军事卫星(KH-4B)获取的影像以及20世纪70年代以来获取的各类卫星遥感数据,对洞庭湖的变化情况进行系统研究,为调整三峡工程运行后的治湖思路、服务洞庭湖区生态修复与环境保护提供客观资料。

2 研究区概况

洞庭湖区位于长江荆江河段南部,跨湘鄂两省,为外围高耸、中部低平、向北开口的碟形盆地,包括洞庭湖及其外围的垸田、洪道以及盆地周缘的台地,由河湖冲积物长期堆积而成,具有地表平坦、海拔多在50 m以下、地面坡度小于5°等特征。按1:5万地形图50 m等高线圈定,洞庭盆地面积1.88万 km²,其中湖南境内1.52×10⁴ km²,湖北境内0.36万 km²。

洞庭湖承接自身流域的湘、资、沅、澧“四水”以及汨罗江和新墙河尾间来水,接纳荆江藕池、松滋、太平“三口”分流,经泥沙净化后由城陵矶汇入长江(图1),是长江中下游季节性水位涨落特别明显的吞吐型调蓄湖泊。洞庭湖多年年均水量2843×10⁸ m³,占长江年均总水量的31.83%^[20],相当于鄱阳湖的3倍、太湖的10倍^[21],是长江中下游地区至关重要的防洪屏障^[22]。

洞庭湖区的湖泊包括通江湖泊和垸内湖泊2种类型。通江湖泊是指直接连通外部江河,能吸纳湘、资、沅、澧“四水”,吞吐长江松滋、太平、藕池“三口”来水,具有调蓄功能的湖泊。垸内湖泊是指因堤垸阻隔不与外部江河直接连通,仅具备区间蓄水供水的湖泊。本文主要研究通江湖泊的变化。

3 信息源与方法

3.1 信息源

3.1.1 历史地图资料

(1) 清末《洞庭湖全图》。该图编绘于1896年(清光绪22年),四分幅折叠,用毛笔绘制,个别要素用铅笔素描,地名繁体竖排,无坐标系、高程基准与经纬度标示,作为文物被湖南省图书馆收藏。该图是研究中能收集到以经纬度基点为基准测绘的成图时间最早、最详细客观反映洞庭湖区水域水系、洲土堤垸、山丘分布的地图。

(2) 堤垸分布图。包括1911年和1949年2套,由湖南省遥感中心根据湖南省洞庭湖工程管理局提供的历史记录的范围情况编绘,北京54坐标,吴淞高程基准,标绘了堤垸、洲土和水域分布等。

3.1.2 地形图资料

(1) 民国时期地形图。共收集2套:① 1931—1935年国民政府测制的洞庭湖区地形图,该图标高“自吴淞零点上二公尺为零点,以公尺起算”,图式“依据民国24年所修正之地形图图例”,无坐标系但有经纬度标识;② 1935—1939年日本国陆地测量部参谋本部测制的洞庭湖区地形图,该图标高“自湘测量局门首假定标高点百米起算”,图式“据中央参谋部颁布地形原图图例”,无经纬度标识,自由分幅。上述2套地形图的比例尺为1:5万,均未覆盖洞庭湖区全域,但二者互为补充后可全部覆盖。

(2) 1949年以后地形图。共选用2个时段的数据:① 依据1954年11—12月航摄照片调绘的数字栅格地形图,北京54坐标,吴淞高程;② 依据2014年10—12月的航摄影像制作的数字线划地形图,大地2000坐标,1985国家高程基准。

3.1.3 遥感影像数据

(1) 航空正射影像图。共选用2个时段:① 1954年苏联航摄的黑白航片,空间分辨率约为5.0 m,比例尺1:5万,北京54坐标,黄海高程,共67幅;② 2014年10—12月航摄的真彩色航片,空间分辨率为0.2 m,比例尺1:2000,大地2000坐标,1985国家高程基准,约15200幅。

(2) 航天遥感影像。共选用1968年以来11个时相,包括KH-4B、MSS、TM/ETM+、CBERS-1、OLI等卫星影像,空间分辨率1.8~79 m。

总之,本文尽可能地收集了清末以来历史地图、地形图、航空和航天遥感影像等各类资料。在时段选择上,民国时期和20世纪50—60年代受测绘与航空航天遥感技术制约,尽管收集并利用了诸如清光绪年间绘制的地图、日本国陆地测量部参谋本部测制的地形图、苏联航摄图、美国军方解密的锁眼军事卫星数据等前人很少利用的资料,但信

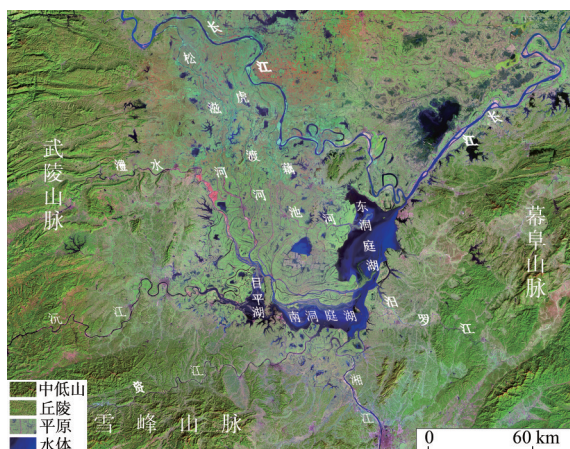


图1 洞庭湖区地理位置图

Fig. 1 The geographical location of the Dongting Lake area

息源仍然极其有限; 20 世纪 70 年代之后, 每 10 年选用了 2~3 个时段的信息源资料, 基本构成了清末以来较完整的时间序列。信息源取舍上, 本文充分兼顾并保证了洞庭湖近现代演变的 3 个关键时段: ① 大通湖封堵、南洞庭湖整修工程的建国初期, ② 洞庭湖停止围湖造田的 1970 年代末期, ③ 洞庭湖特大水灾后实行退田还湖的 1990 年代末期 (表 1)。

表 1 清末以来洞庭湖时空演变研究选用的信息源
Tab. 1 The data sources for studying the evolution of Dongting Lake since the late Qing Dynasty

获取时间	信息源类型	空间分辨率/比例尺	获取时间	信息源类型	空间分辨率/比例尺
1896 年	洞庭湖全图	约 1:500000	1987 年 12 月	Landsat-5 TM	30 m
1911 年	洞庭湖堤垸图	1:320 000	1998 年 1 月	Landsat-5 TM	30 m
1935 年	地形图	1:50 000	1999 年 1 月	Landsat-5 ETM	15 m
1949 年	洞庭湖堤垸图	1:32 000	2000 年 1 月	Landsat-7 ETM	15 m
1954 年 11—12 月	航片+地形图	5 m/1:50000	2002 年 9 月	Landsat-7 ETM	15 m
1968 年 10 月	KH-4B	1.8 m	2007 年 12 月	CBERS-1	19.5 m
1973 年 1 月	Landsat-1 MSS	79 m	2014 年 10—12 月	航片+地形图	0.2 m/1:2000
1978 年 10 月	Landsat-3 MSS	79 m	2019 年 1 月	Landsat-8 OLI	15 m
1983 年 12 月	Landsat-4 TM	30 m			

3.2 技术方法

3.2.1 信息源的处理

(1) 历史地图/地形图处理

清末《洞庭湖全图》由 4 幅组成, 按原图标注的“每方 10 里”换算, 其比例尺约为 1:50 万; 20 世纪 30 年代日本国陆地测量部测制的地形图自由分幅; 1911 年与 1949 年堤垸分布图、20 世纪 30 年代国民政府测制的地形图, 尽管有经纬度标识, 但和当代地形图比较误差较大。

上述历史图件均需进行配准纠正。以 2014 年 1:2000 数字线划地形图平面控制, 通过采集同名地物点, 采用多项式纠正模型, 在 ERDAS Imagine 支持下完成。

(2) 遥感影像处理

① 航空影像处理。本文利用的各类航空摄影像片系测绘部门历年制作的正射影像图数据。使用前, 将各时段航空影像统一转换为大地 2000 坐标系, 并按 5.0 m 重采样。

② 航天影像处理。本文利用的卫星影像数据类型繁多、分辨率相差大。图像处理中, 以重采样后的 2014 年航摄影像为平面控制, 基于星历参数和 1:50000 DEM 数据建立物理纠正模型予以纠正。经纠正后的各类卫星影像统一到大地 2000 坐标系, 按 15.0 m 重采样。

3.2.2 洞庭湖的边界划定与提取 洞庭湖亦即洞庭湖盆, 是指洞庭盆地中由大堤围限的湖泊范围^[23], 局部存在自然岸线和水体断面。洞庭湖的面积不受水面和洲滩出露情况影响, 亦即不因水位的变化而改变。

防洪大堤是指为预防汛期水位上涨导致湖水泛滥而建的堤坝, 以堤坝中心线为界; 自然岸线是指湖泊部分周边不需修筑大堤就能防止湖水外泄的自然陡坡, 以城陵矶历史最高水位 (35.94 m) 时洞庭湖水面所及的水涯线为界; 水体断面是指湖泊与河流之间或相邻湖泊之间的水域分界线, 遵循《湖南省水文志》^[6]划定原则。在 ArcGIS 支持下, 采用人机交互解译方式提取湖泊边界并量算面积。

3.2.3 精度控制与评价 本文利用的信息源类型较多, 精度相差大。地图/地形图的比例尺从 1:2000 到 1:50 万不等, 航空/航天遥感影像的空间分辨率变化于 0.2~79 m 之间。基

于不同精度的信息源解译得到的湖泊面积精度存在差异。为控制并保证调查精度,边界线的圈定由1人统一检查修订,以消除不同人员之间的认知差异。

《湖南省水文志》^[6]发布了7个时段的洞庭湖面积,其中1978年的数据依据1:1万地形图量算,可作为评价精度的基准值。水利部门发布的1978年洞庭湖面积为2691.20 km²,本文利用1978年获取的空间分辨率为79 m的MSS影像监测的洞庭湖面积为2707.84 km²,二者误差为0.62%。本文利用的其它时相的遥感影像的分辨率均高于MSS影像(79 m),因此,本文量算的洞庭湖面积精度较高。

4 结果与讨论

4.1 各历史时段通江湖泊分布

《洞庭湖全图》显示,清光绪22年(1896年)洞庭湖横贯东西,赤山以西的西洞庭湖(大榕湖、倒峡湖、江后湖)浩瀚辽阔,它们与东洞庭湖(坪六湖)连为一体;南洞庭湖尚未形成,仅鹤龙湖、横岭湖、万子湖等规模比现在小得多的相对独立湖泊经湘江、资水与东洞庭湖连接(图2a)。其时,洞庭湖区通江湖泊面积积达5216.37 km²。清宣统3年(1911年),松滋、太平两口和沅、澧两水在湖区西北部沉积,西洞庭湖面积减少了1/3以上。与此同时,藕池河东携带的泥沙在东洞庭湖注滋口一带淤积,河流三角洲快速向东发育;藕池河中支则在大通湖南部沉沙落淤,渐次成洲,形成“广袤二百余里”(324.24 km²)沃野,于民国2年(1913年)建立南县的“南洲”(图2b),洞庭湖面积减小至4932.86 km²。民国中期(1935年),西洞庭湖(鳝鱼湖、西湖)和大通湖周边湖泊进一步淤积成陆,七里湖从鳝鱼湖分离,洞庭湖被分割为东、南、西三个通江湖泊,南洞庭湖南侵扩大,万子湖、横岭湖等原来独立湖泊演变为南洞庭湖的组成部分(图2c)。迨至1949年,因东洞庭湖北部长江沿线洲滩围垦和南洞庭湖北部茶盘洲向南发育扩展(图2d),洞庭湖面积萎缩至4392.47 km²。此时,南洞庭湖中的堤垸错综穿插,西洞庭湖面积仍然有973.31 km²。

1949年之后,洞庭湖的演化进入新的历史阶段。1954年,大通湖从东洞庭湖分离,由通江湖泊演变为垸内湖泊;南洞庭湖基本定型,万子湖和横岭湖由独立湖泊正式演变为南洞庭湖的主体(图2e)。其后,洞庭湖区实施一系列蓄洪垦殖工程,通江湖泊进入快速萎缩阶段。据《湖南省水文志》^[6],20世纪50年代末期(1958年)洞庭湖面积迅猛下降到3141.00 km²;据美国解密的锁眼军事卫星(KH-4B)影像,60年代(1968年)洞庭湖面积仅剩3029.80 km²,原来广阔的东西洞庭湖仅仅残存目平湖、七里湖和围堤湖等3个规模不大的通江湖泊,南洞庭湖北部的茶盘洲和东洞庭湖东、西两侧的高位洲土均已变成堤垸(图2f)。进入70年代初期,西洞庭湖的围堤湖因垦殖而消失,南洞庭湖因茶盘洲的围挽大幅减小(图2g),东洞庭湖东、西两侧的新老高滩被围挽殆尽。1978年以后,洞庭湖区不再出现大的围垦(图2h),面积基本稳定为2707.84 km²。

4.2 洞庭湖面积变化

4.2.1 洞庭湖面积时序变化特征 1896—2019年洞庭湖区通江湖泊各主要时段面积变化见表2。由于1896和1911年洞庭湖尚未分割为东、南、西洞庭湖,故未分湖泊量算面积;大通湖于1951年从东洞庭湖析出,1954年之后东洞庭湖的面积均不包括大通湖;1954年之前目平湖包括赤山以西与目平湖直接相通的所有湖泊,其面积不仅仅局限于目平湖。为更详尽地建立清末以来洞庭湖区通江湖泊面积时序变化,本文缺失信息源的1958年引用了水利部门发布的数据^[6]。

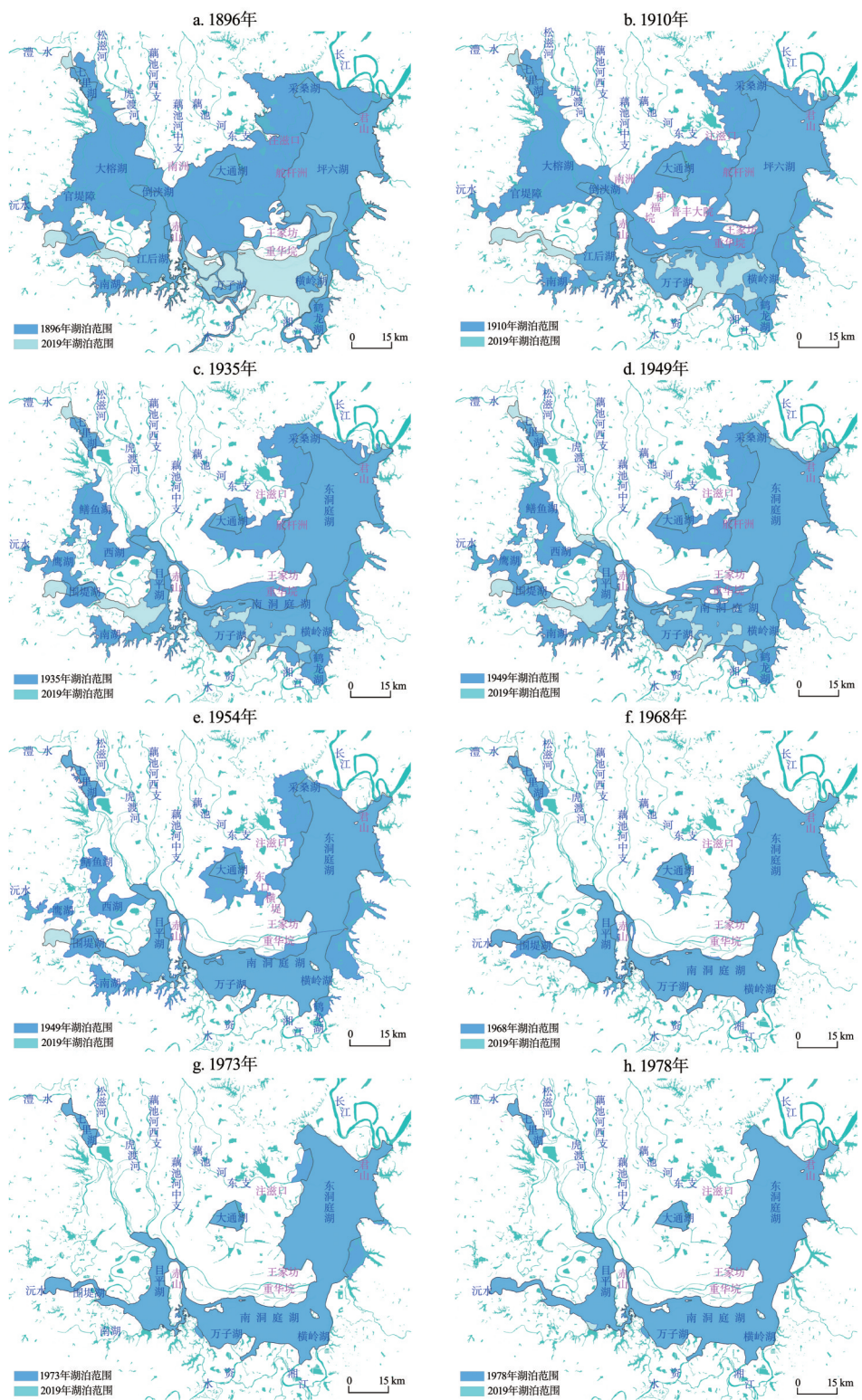


图2 1896—1978年主要历史时段洞庭湖区通江湖泊分布
Fig. 2 Distribution of riparian lakes for the main historical periods during 1896-1978

表2 清末以来洞庭湖通江湖泊面积时序变化(km²)

Tab. 2 Spatio-temporal changes of riparian lakes in Dongting Lake area since the late Qing Dynasty (km²)

时间	东洞庭湖	南洞庭湖	目平湖	七里湖	合计
1896年					5216.37
1911年					4932.86
1935年	2130.02	1349.66	1015.92	67.51	4563.11
1949年	2057.12	1297.20	973.31	64.84	4392.47
1954年11—12月	1754.17	1174.5	915.24	92.22	3936.13
1958年					3141.00
1968年10月	1494.49	931.18	524.09	80.04	3029.80
1973年12月	1441.74	911.74	428.32	68.42	2850.22
1978年12月	1307.42	911.74	420.24	68.42	2707.84
1983年12月	1307.42	900.05	419.77	66.40	2693.40
1987年12月	1307.18	900.05	419.77	66.40	2693.40
1998年01月	1307.18	898.89	419.77	66.40	2692.24
1999年01月	1307.18	898.89	427.81	66.40	2700.28
2000年01月	1307.18	899.97	427.87	66.40	2701.42
2002年09月	1307.18	901.29	427.87	66.40	2702.74
2007年12月	1307.18	901.29	427.87	66.40	2702.74
2014年12月	1307.18	901.29	427.87	66.40	2702.74
2019年01月	1307.18	901.29	427.87	66.40	2702.74

从表2可以看出, 1896年以来的123年, 通江湖泊面积从5216.37 km²减少到2702.74 km², 减幅为2513.63 km², 萎缩率48.19%, 年均萎缩20.44 km²。其中, 东洞庭湖是各通江湖泊中萎缩面积最大的湖泊, 由1935年的2130.02 km²减少到目前的1307.42 km², 减幅为822.60 km², 占1935年以来洞庭湖萎缩总面积1860.37 km²的44.22%; 其次是目平湖, 减幅为588.05 km², 占萎缩总面积的31.61%; 再次是南洞庭湖, 减幅为448.37 km², 占萎缩总面积的24.10%; 七里湖的面积变化很小, 但经历了先扩张后萎缩的过程。1935—1954年, 七里湖的面积一度由67.51 km²增加到92.22 km², 扩大了36.60%, 其后七里湖周边再被次围垦, 使其面积归回到66.40 km²。

据表2作清末以来洞庭湖区通江湖泊面积时序变化曲线(图3)。分析发现清末以来洞庭湖面积的时序变化经历了4个阶段。

第1阶段是1896—1949年, 为明显萎缩期, 洞庭湖面积由5216.37 km²减少至4392.47 km², 减幅为829.90 km², 年均萎缩15.66 km²。

1852年藕池溃口和1870年松滋溃口后, 形成了荆江四口分流入湖的局面, 排入洞庭湖的泥沙急剧增长^[20], 促使湖区淤洲迅速扩展, 为围垦准备了物质条件。光绪初年, 华容县西南, 与安乡、龙阳(今汉寿县)交界处的赤沙湖、天心湖一带淤出纵横两百余里的“南洲”, 龙阳、沅江、益阳等地破垸失业农民纷纷迁往围垸

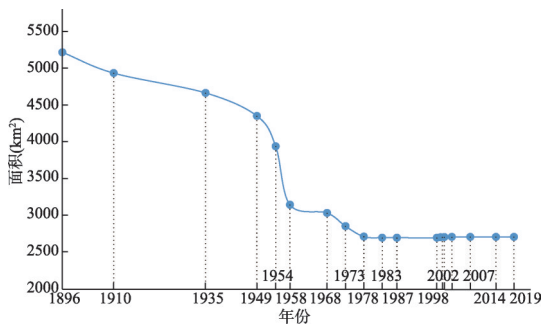


图3 清末以来洞庭湖通江湖泊面积变化
Fig. 3 The variations of riparian lake area in Dongting Lake area since the late Qing Dynasty

垦种^[8]。“鉴于洲土面积日广,人民争执日烈,为息争端而裕库收”,光绪25年(公元1899年),湖南藩司“乃招民纳资承垦,发给藩照”^[24],公开“许民各就荒滩筑围垦田”,鼓励围垦。民国初年,政局动荡,湖南地方军阀为增加赋税收入,发布“凡愿领亩开垦者,可缴费领照,筑堤围垸”令,于是,大批官僚地主、湖痞水霸来湖区围垦,洞庭湖区围湖造田再次进入高峰,通江湖泊快速萎缩,面积由清末(1896年)的5216.37 km²减少至1935年的4563.11 km²,年均萎缩16.75 km²。

民国后期,洞庭湖区遭受1935年、1948年和1949年等特大水灾,北水大量南侵,溃损堤垸难以修复,弃田还湖,原有垸内湖泊连接合并,加之时局不稳,湘省府先后颁令“严禁围垦新垸”“严禁盗修淤洲堤垸”,这期间未曾大举围垦,湖泊萎缩速率有所下降,年均萎缩12.19 km²,比民国前期的年均萎缩16.75 km²降低了27.22%。至1949年,湖泊面积减小至4392.47 km²。

第2阶段是1950—1958年,为陡崖式萎缩期,洞庭湖面积由4392.47 km²减少至3141.00 km²,减幅为1251.47 km²,年均萎缩139.05 km²。

建国初期是洞庭湖演变最大的时期。1949年、1952年和1954年洞庭湖区连续遭受特大洪涝灾害,给湖区人民生命财产带来严重损失,治理洞庭湖进入刚刚建国的中央政府的工作日程,以蓄洪垦殖为重点的湖区水利建设工程有计划地陆续上马,先后3次进行了包括修复堤垸、清隐整险、合并堤垸、培修大堤等为内容的较大规模的治理整修,极大地加快了洞庭湖的演化进程,其面积呈陡崖式萎缩,短短9年时间的萎缩量占1896年以来123年萎缩总量接近一半。

第3阶段是1959—1978年“向湖要粮”年代,为快速萎缩期,洞庭湖面积由3141.00 km²减少至2707.81 km²,减幅为433.16 km²,年均萎缩21.66 km²。

1959—1961年中国连续3年遭受严重的干旱灾害,致使全国性粮食和副食品出现短缺危机^[25]。在此背景下,“以粮为纲”成为其后20年中国农业发展的指导方针,湖区掀起“向湖泊进军,向水面要粮”的热潮,围垦不断升温。进入20世纪70年代,洞庭湖区的围垦一般是结合蓄洪垦殖和血防灭螺进行的,亦即先围挽矮围,后加高加固堤坝变为堤垸。至1976年,沅江在东洞庭湖飘尾洲围挽矮围320 km²,湘阴在南洞庭湖横岭湖围挽矮围253.33 km²,但均没有经受住第一个汛期的洪水考验便溃决,标志着洞庭湖区的外湖洲滩围垦已到难以承受程度。至1978年,洞庭湖仅剩2707.81 km²。

第4阶段是1979—2019年,洞庭湖区停止围垦以来的基本稳定期,洞庭湖面积仅减少5.10 km²。

1980年5月,水利部召开长江中下游防洪座谈会,会上作出停止围垦的决定,洞庭湖区的围垦得到了有效控制。这一阶段,洞庭湖经历了轻微萎缩、基本稳定、有限扩大和稳定不变等过程。轻微萎缩发生在1979—1983年,面积减少14.40 km²,年均萎缩2.89 km²;1984—1998年洞庭湖面积基本稳定,仅减少1.16 km²;1998年洞庭湖区特大洪涝灾害之后实施“退田还湖”,洞庭湖面积有所扩大,但这种面积扩大极其有限,1998—2002年洞庭湖面积仅增加10.50 km²;2003年后洞庭湖面积再也没有发生变化,稳定在2702.74 km²。

4.2.2 数据对比 遥感监测结果与水利部门公布的洞庭湖面积变化数据对比见表3,水利部门公布的1995—2014年数据未统计大通湖面积,为方便对比,监测数据也相应剔除了大通湖面积80.01 km²。可以看出,除1896年的面积相差较大以外,利用航空、航天遥感技术监测的洞庭湖湖泊面积与水利部门公布的数据极为接近,面积差之百分比均在1%以内。

表 3 清末以来洞庭湖湖泊面积变化数据对比

Tab. 3 Comparisons of area variations of Dongting Lake since the late Qing Dynasty

年份	水利部门公布数据(km ²)	监测数据(km ²)	面积差值(km ²)	差值百分比(%)
1896 年	5400.00	5216.37	-183.63	-3.40
1949 年	4350.00	4392.47	42.47	0.98
1954 年	3915.00	3936.13	21.13	0.54
1978 年	2691.00	2707.84	16.84	0.63
1995 年	2623.00	未监测	—	—
2002 年	2620.00	2622.73	2.73	0.10
2014 年	2620.00	2622.73	2.73	0.10

4.3 洞庭湖的空间演变特征

4.3.1 大通湖的封闭析出 1896 年《洞庭湖全图》显示,大通湖位于洞庭湖中部,其南、北部有高位洲滩与堤垸分布,是连通东、西洞庭湖并以此命名的通江湖泊。1852 年荆江藕池口溃决后,在其南部形成巨大冲击扇。《洞庭湖保安湖田志》^[26]记载,当时湖区西北部的水下三角洲迅速淤积并露出水面而成为陆上三角洲,其洲“东抵大通湖”,并且“已淤洲地势,不能以人力强为疏浚复还为湖”。《湖南水利建设》(1945)记载,民国初期,北洋政府在此洲(即大通湖西部)围挽利贞、永乐、同仁等堤垸,使大通湖与西洞庭湖隔断,成为南、西、北三面俱已围垦成田,仅有东部出口与东洞庭湖相连的大湖湾(图 4a)。《整理滨湖十一县堤工意见》(1945)介绍:20 世纪 40 年代,随着大通湖东口逐年淤高,民国政府拟修建东口横堤并围挽面积超过 200 km²的天祐垸,但因战乱等原因未予实施。

为发挥大通湖的蓄洪功效,1952 年 4 月,原中央水利部以(52)规(二)字 15406 号文批准修建大通湖蓄洪垦殖试验区。据此,为修建大通湖蓄洪垦殖区,在大通湖东部筑就东口横堤,致使大通湖唯一出口被封堵,从东洞庭湖析出而成为垸内湖泊,其面积为 313.40 km²。其后,对内湖陆续进行围垦,先后围挽大通湖农场、金盆农场、千山红农场和南湾湖农场(图 4b),湖面日渐缩小,1952 年湖面减少至 268.95 km²,1968 年为 155.56 km²,1978 年为 87.31 km²,至今面积仅 80.01 km²。

4.3.2 南洞庭湖的整体南迁 清末,现今的南洞庭湖南部只有万子湖、横岭湖、鹤龙湖等规模比现在小得多的独立湖泊。民国初期,在荆南四口和湘、资、沅、澧四水的共同作

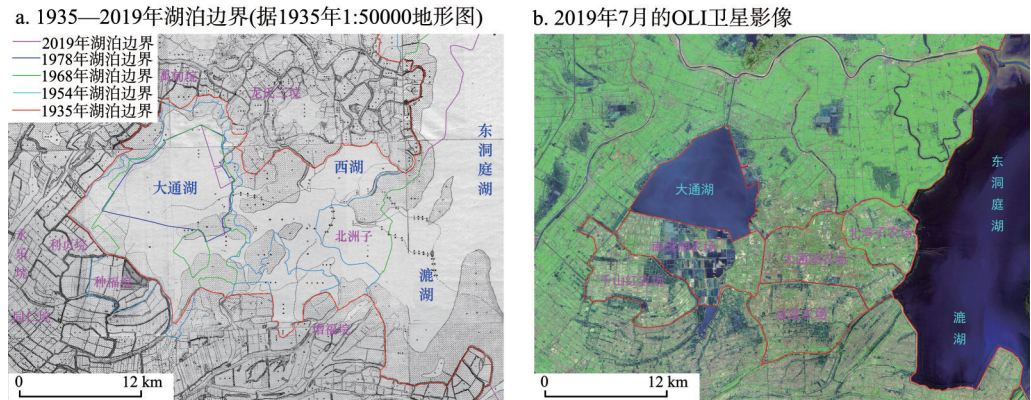


图 4 1935—2019 年大通湖变迁图

Fig. 4 The changing maps of the Datong Lake during 1935-2019

用下,洞庭湖西部和北部加快了淤积速度,藕池三角洲前沿抵达茅草街后,一方面受赤山隆起北缘阻挡和自西向东的松滋、虎渡、沅水、澧水组合水流的夹持拐向东流,形成近东西向的草尾河洪道;另一方面,汛期北水南流,四水往北,使得洞庭湖南部水位抬高并冲刷南部沿岸,湖水主泓冲刷湖底,使南部湖面扩大和湖水加深,部分老垸溃决还湖。至民国中期(1935年),南洞庭湖的水域范围不断扩大,万子湖到横岭湖一线以北的湖群均有河道相连(图5a)。到1949年,湖泊之间的联系更加紧密,但主湖泊主要位于现今共华垸—双华垸—茶盘洲垸一线。

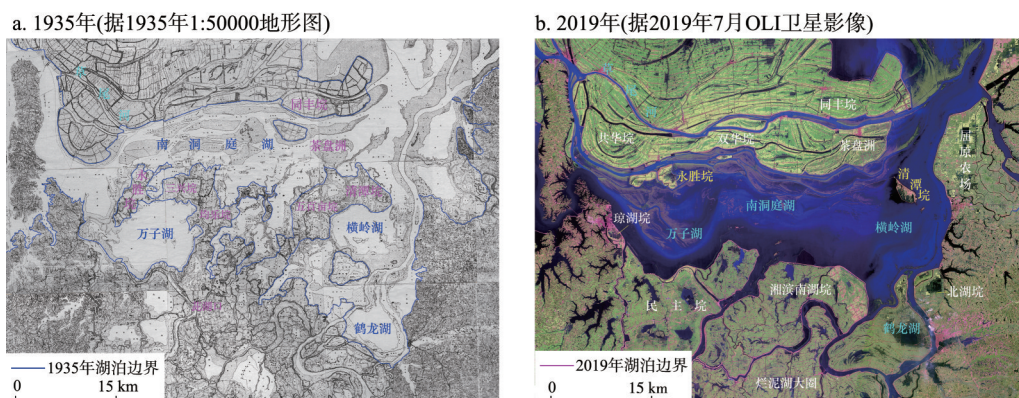


图5 1935—2019年南洞庭湖变迁图

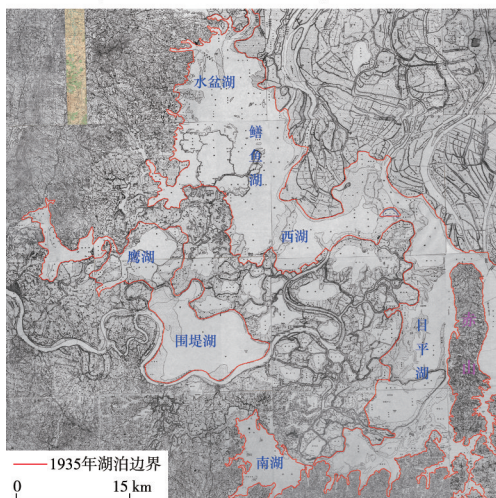
Fig. 5 The changing maps of the South Dongting Lake during 1935-2019

1952年洞庭湖大水灾后,湖南省人民政府决定实施南洞庭湖整修工程(1952年11月10日湖南日报《1952年整修洞庭湖》)。工程以“堵支并流并垸”为主要内容,使湘、资二水分流入湖,缩短一线堤防,缓解汛期湖水顶托,合修了民主垸、湘滨南湖垸和烂泥湖大圈。特别是,工程有计划地实施湖垸置换,南部鹤龙湖、凤凰湖等107.42 km²的通江湖泊被封堵,万子湖—横岭湖一线北部的永兴、三兴、均乐、五百亩和资水尾闾苕湖口—杨柳潭段的永谷、人丰、大山、民垸等13个堤垸112.54 km²的耕地被废田还湖(1955年4月15日洞庭湖修复工程指挥部《关于洞庭湖堤垸修复工程胜利完工的公报》)。由此,从万子湖到横岭湖已连成一片,因洲滩、堤垸错综展布而支离破碎的南洞庭湖成为湖面浩淼的整体。

其后,受西洞庭湖和藕池河中支与西支水流和泥沙影响以及沅江、资水的顶托,进入南洞庭湖的泥沙大都淤积在其北部,1954年溃废的明清时期的古老堤垸及零星洲土连接成片,南洞庭湖被分割为南北两部分:北部是南北宽3~10 km、东西长55 km左右的洲滩,其面积约占南洞庭湖的1/3,共华垸西南出露水面;南部是南洞庭湖的湖面和泄洪道,面积约占南洞庭湖的2/3。20世纪50年代末期,先后整修共华垸、双华垸并围挽茶盘洲垸,原来的湖洲成为堤垸。南洞庭湖南部的湖垸置换与北部的围垦造田,使得南洞庭湖表现为整体南迁。1935年位于南洞庭湖南部的永胜垸、清潭垸,现位于南洞庭湖的北部(图5b),其位置发生了南北转换。

4.3.3 西洞庭湖的局部残存 清末(1896年),西洞庭湖烟波浩渺,贯通南北,包括赤山以西广阔的通江湖泊。至民国中期(1935年),在松滋、虎渡、藕池三河和沅、澧两水相互作用下,沅江、常德、澧县之间的洞庭湖西部不复存在整体湖型,分裂为水盆湖、鳊鱼湖、西湖、鹰湖、围堤湖、南湖、目平湖等湖群(图6a),面积为1349.66 km²。其

a. 1935年(据1935年1:50000地形图)



b. 2019年(据2019年1月OLI卫星影像)

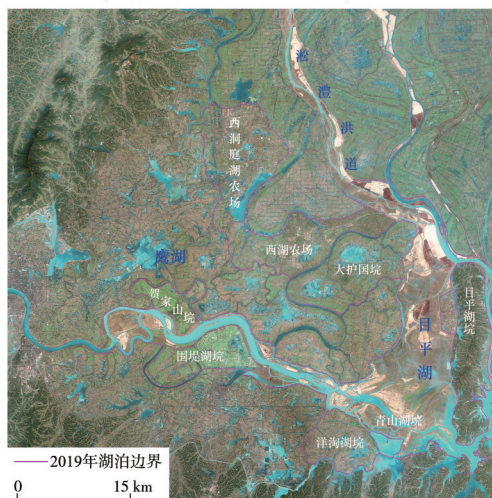


图6 1935—2019年西洞庭湖变迁图

Fig. 6 The changing maps of the West Dongting Lake during 1935-2019

后, 沅、澧二水尾闾处于混流状态, 泥沙沿西洞庭湖北岸淤积, 洲滩迅速扩张, 开始大规模围垦。据《湖南水利建设》(1945) 记载, 先后在北部围挽东湖垸, 东部围挽康成大垸、东城垸, 中部围挽大连障、丰临障等障垸。1940年, 中华民国常德县三民主义青年团在西洞庭湖创办青年农场, 围筑官致障垸, 但三修三溃。1949年《堤垸分布图》显示, 水盆湖、挖窖湖等湖泊面积缩小或被淤积成洲, 目平湖西部也成为洲土, 西湖口西南纵横 36 km 淤积成沃壤, 汉寿目平诸湖仅余宽约 8 km 左右的水道, 余则已挽修成垸。

1955年春, 修建西洞庭湖蓄洪垦区, 以祝丰垸为中心, 将其周边数十个荒洲湖泊兴建为国家商品粮生产基地, 先后围挽西洞庭湖农场、西湖农场和贺家山农场, 并成沅澧大圈, 使沅、澧两水彻底分流, 形成沅水自西向东, 澧水自北而南的水系格局^[26], 围垦湖泊面积 391.15 km²。进入 20 世纪 70 年代, 又在目平湖周边围筑了青山湖垸、目平湖垸和围堤湖垸, 分别围垦湖泊 8.17 km²、11.54 km² 和 55.99 km², 使得西洞庭湖进一步萎缩, 除留有七里湖和目平湖由淤澧洪道连接外, 其它湖泊围垦殆尽 (图 6b)。

七里湖承接长江淞虎洪道泥沙, 目平湖南有沅水注入, 北有松滋、虎渡、澧水汇流, 它们彼此干扰顶托, 利于泥沙淤积。据遥感影像量测目平湖最大宽 7.65 km, 最窄处仅 2.25 km, 仅是其北部澧水洪道平均宽度的 4.25 倍、最大宽度的 2.83 倍, 目平湖可看作是澧水洪道的延伸, 湖内的沉积物具有河道的边滩、心滩等特征。对比 1954 年与 2014 年地形图, 近 60 年来, 目平湖平均淤高超过 4.5 m, 最大淤高达到 22.74 m; 七里湖平均淤高超过 5 m, 最大淤高在 13 m 以上。目前, 目平湖湖底平均高程 31.24 m, 北部高处已达 35 m, 超过了东、西洞庭湖的部分堤垸高程, 平水期仅局部见有水面, 即使在汛期高洪水位, 也难以全部淹没洲滩; 七里湖不再具备蓄洪调节功能, 已名存实亡。正常水情下, 目平湖和七里湖均呈现“江南草原”景观, 仅仅几条河道流过, 难见湖泊水面。

4.3.4 东洞庭湖的三面合围 清末以来, 洞庭湖东部的变化主要受藕池河东支影响。藕池河是荆江入湖泥沙最大的河流, 占长江“四口”入湖泥沙总量的 49.2%, 其东支进入东洞庭湖的泥沙又占东洞庭湖多年入湖泥沙总量的 48.8%^[18]。至民国中期 (1935 年), 藕池河东支河口三角洲前沿已迫近东洞庭湖中心的舵杆洲, 北部自华容沿广兴洲与君山区南

部一线以淤积为高滩, 君山与北部堤垸由洲滩连成一片, 枯水时君山已是半岛 (图 7a)。1947年, 联合国善后救济总署对北部紧邻长江的永成废垸进行挽修, 作为总署的曳引机复耕训练基地, 但因堤身不高, 1948—1949年连续2年大水后成为废垸^[27]。1950年, 战争结束后的解放军南下部队屯垦戎边, 围湖造田, 在藕池河东支南部围挽团山垸, 面积46.87 km², 由此揭开了东洞庭湖三面合围的围垦序幕。

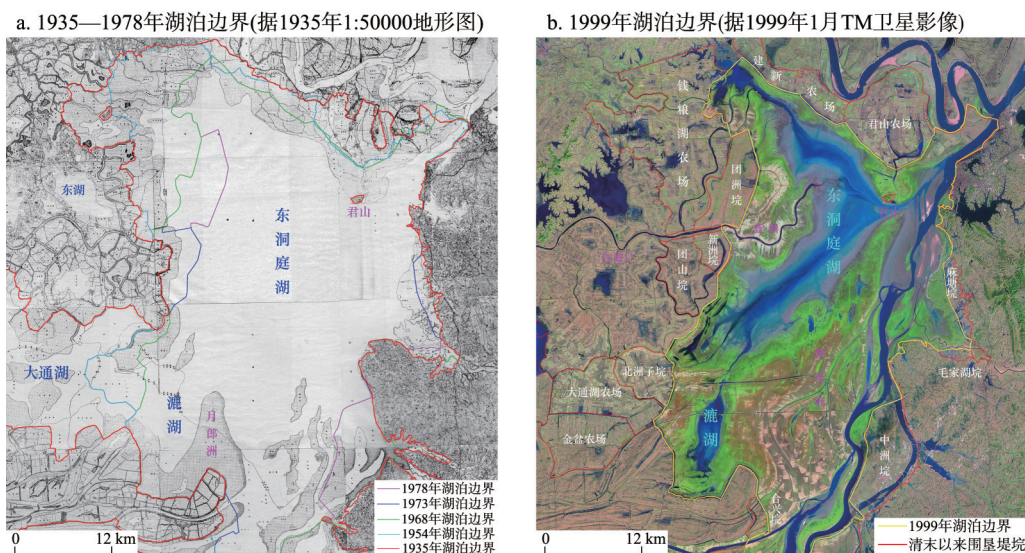


图7 1935—1999年东洞庭湖变迁图

Fig. 7 The changing maps of the East Dongting Lake during 1935-1999

1954年特大洪灾后, 翌年对永成废垸再次进行整修, 在黄家洲、黄家铺一带筑堤围垸59.33 km², 修建建新劳改农场。1958年, 长江调弦口建闸封堵, 19世纪中叶以来形成的松滋、太平、藕池、调弦4口南流入湖局面被改变, 华容河的流量得到有效控制, 在其下游入湖口区域, 通过整修老新生火垸的部分溃废区并围垦采桑湖、方台湖、大东哈、良心堡等洲土, 修建了面积达203.51 km²的钱粮湖农场。与此同时, 君山围挽工程全面铺开, 在东北农垦总队的拖拉机车队支持下, 将五星垸、新河南岸、五溪、楼西湾、壕沟、水垸整修并挽成一个大圈, 围垦荒洲36.35 km²; 对大通湖东口横堤东部的北洲子湖湾的围垦也正式启动, 围挽湖泊与高位洲土38.77 km², 建北洲子农场。

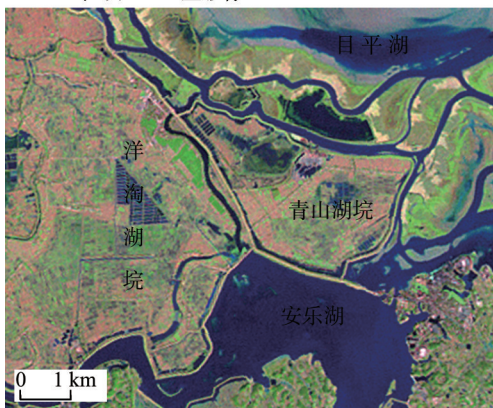
20世纪70年代, 结合血防灭螺为目标的东洞庭湖围垦进入到新一轮高潮。1970年, 在藕池河口南侧的团山垸外围筑新洲垸, 围垦河流冲积洲土16.85 km²; 1971年, 在草尾河东口北侧的漉湖围挽合新垸, 围垦洲土8.93 km²; 1974年, 在新墙河口南北两岸围筑毛家湖垸和麻塘垸, 分别围垦湖积边滩4.57 km²和15.68 km²; 1975年, 在汨罗江口北部湖湾围筑中洲垸, 围垦河流冲积洲土70.63 km²; 1977年, 在藕池河口北侧的钱粮湖外围筑团洲垸, 围垦河流冲积洲土51.13 km²。至此, 东洞庭湖结束围湖造田, 1978年之后湖泊面积再未发生变化 (图 7b), 保持在1307.18 km²。

4.3.5 洞庭湖的有限扩张 1998年汛期, 洞庭湖区发生20世纪仅次于1954年的特大水灾^[20]。国务院在灾后重建中提出“平垸行洪, 退田还湖”方针^[28], 以提高洞庭湖的调蓄能力。退田还湖采用“单退”和“双退”两种模式。“单退”是指垸内居民迁出, 耕地、坑塘、交通、林地等土地利用类型不变, 垸堤预设分洪闸口用于汛期调蓄; “双退”是指

垸内居民迁出,垸堤扒口与垸外河湖连通,土地利用类型转变为河湖用地。“单退”只能提高蓄洪调节能力,只有“双退”才能扩大湖泊面积。

1998—2002年洞庭湖区实施了一系列“退田还湖”工程,但研究表明,受移民安置、搬迁经费等因素制约,在通江湖泊内实际实施的“双退”极其有限,仅6个堤垸,还湖总面积10.50 km²,其中目平湖的青山湖垸是最大的“双退”堤垸(图8),面积为8.17 km²,其它5个堤垸的面积均很小,分别是再西州垸(0.58 km²),南洞庭湖的水上村垸(1.01 km²)、拐棍洲垸(0.82 km²)、团湖洲垸(0.24 km²)和新港垸(0.17 km²)。东洞庭湖和七里湖未实施“双退”。

a. 1998年1月TM卫星影像



b. 1999年1月TM卫星影像

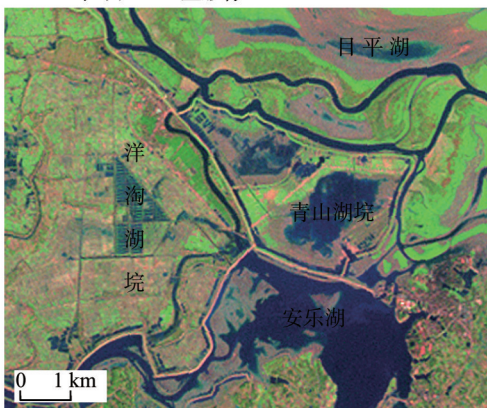


图8 青山湖垸“退田还湖”(双退)前后对比

Fig. 8 The Qingshan Lake embankment before and after the Returning Lake to Farmland

5 结论

本文利用清光绪22年以来多种历史地图和航天航空遥感数据,系统探究了清末以来洞庭湖区通江湖泊面积的时序变化特征,详细分析了空间演变特征。研究表明:

1896年以来,洞庭湖通江湖泊面积从5216.37 km²减少到2019年的2702.74 km²,萎缩率48.19%。1896—1949年为明显萎缩期,年均萎缩16.35 km²;20世纪50年代为陡崖式萎缩期,年均萎缩134.33 km²;20世纪60—70年代为快速萎缩期,年均萎缩21.66 km²;1980年以来为基本稳定期,面积仅减少5.10 km²。1998—2002年实施“退田还湖”,洞庭湖面积增加10.50 km²。

东洞庭湖是各通江湖泊中面积萎缩最大的湖泊,减幅为822.60 km²;其次是目平湖,减幅为588.05 km²;再次是南洞庭湖,减幅为448.37 km²;七里湖的面积变化很小,但经历了先扩张后萎缩的过程。围湖垦殖是洞庭湖萎缩的主要原因,泥沙淤积与洲土扩张是围湖垦殖的基础条件。清末以来洞庭湖区通江湖泊的空间演变主要表现为大通湖的封闭析出、整修南洞庭湖的南迁与湖垸置换、围垦西洞庭湖的局部残存、东洞庭湖的三面合围以及1998年特大洪灾后有限的“退田还湖”。

洞庭湖是重要的国际湿地保护区和长江重要的调蓄湖泊,开展洞庭湖时空变化分析对研究洞庭湖演变趋势、服务蓄洪调节、制定生态水文方案等具有重要意义。三峡水库运行改变了洞庭湖的水沙条件,势必影响洞庭湖未来的时空演变。另外,垸内湖泊变化也是湖泊演变的重要内容。这些工作有待进一步开展。

参考文献(References)

- [1] Ke Changqing. Advances in remote sensing of lakes. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2004, 23(4): 81-86. [柯长青. 湖泊遥感研究进展. *海洋湖泊通报*, 2004, 23(4): 81-86.]
- [2] 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. 洞庭湖年径流量泥沙的演变特征及其动因. *地理学报*, 2005, 60(3): 503-510.]
- [3] Zhong Zhiyu, Hu Weizhong. On relation of river and lake. *Yangtze River*, 2008, 39(1): 20-22. [仲志余, 胡维忠. 试论江湖关系. *人民长江*, 2008, 39(1): 20-22.]
- [4] Department of Land and Resources of Hunan Province. *Atlas of Historical Vicissitude in Dongting Lake*. Changsha: Hunan Map Publishing House, 2011: 96-97. [湖南省国土资源厅. 洞庭湖历史变迁地图集. 长沙: 湖南地图出版社, 2011: 96-97.]
- [5] Wang Junle. Spatial distribution data set of embankments in Dongting Lake area from 1949 to 2013. *Journal of Global Change Data & Discovery*, 2017, 1(1): 93-99. [王俊乐. 洞庭湖区堤垸1949—2013空间分布数据集. *全球变化数据学报*, 2017, 1(1): 93-99.]
- [6] *Hydrography of Hunan Province*. Beijing: China Water & Power Press, 2006: 29-30. [湖南省水文志. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 29-30.]
- [7] Pu Peimin. *Three Gorges Project and Lake Depression Environment in the Middle Reaches of the Yangtze River*. Beijing: Science Press, 1994. [濮培民. 三峡工程与长江中游湖泊洼地环境. 北京: 科学出版社, 1994.]
- [8] Wang Keying. *Harnessing and Development of Dongting Lake*. Changsha: Hunan People's Publishing House, 1998: 33-36. [王克英. 洞庭湖治理与开发. 长沙: 湖南人民出版社, 1998: 33-36.]
- [9] Li Chang'an. *Environmental Evolution and Flood Control Strategies in the Middle Reaches of the Yangtze River*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2001: 54-61. [李长安. 长江中游环境演化与防洪对策. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001: 54-61.]
- [10] Jiang Duanwu, Huang Shuchun, Zhang Yuanping, et al. A discussion on the evolution of the Dongting Lake based on geo-environmental remote sensing investigation and monitoring data. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2010, 22 (Suppl.1): 124-129. [姜端午, 黄树春, 张苑平, 等. 基于地质环境遥感调查与监测数据探讨洞庭湖演变规律. *国土资源遥感*, 2010, 22(Suppl.1): 124-129.]
- [11] Su Cen. Remote sensing monitoring mathematical model for the evolution of the Dongting Lake. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2016, 28(1): 178-182. [苏岑. 洞庭湖演化变迁的遥感监测数学模型. *国土资源遥感*, 2016, 28(1): 178-182.]
- [12] Zhang Xiugui. *Studies on Historical Geomorphology and Ancient Maps of China*. Beijing: Social Sciences Academic Press (China), 2006: 138-162. [张修桂. 中国历史地貌与古地图研究. 北京: 社会科学文献出版社, 2006: 138-162.]
- [13] Tong Qianming. Evolution and ecology of Dongting Lake. *Ecology and Environment*, 2003, 6(1): 1-7. [童潜明. 洞庭湖的演化与生态. *生态与环境*, 2003, 6(1): 1-7.]
- [14] Liang Xing, Zhang Renquan, Pi Jiangao, et al. Contributions of tectonic subsidence to the modern Dongting Lake area evolution. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(6): 690-696. [梁杏, 张人权, 皮建高, 等. 构造沉降对近代洞庭湖区演变的贡献: 答李春初先生对《洞庭湖地质环境将系统分析》的质疑. *海洋与湖沼*, 2001, 32(6): 690-696.]
- [15] Pi Jiangao, Liu Changming, He Jianjun, et al. Report on environmental geological survey and evaluation of Dongting Lake flood-affected area in the middle reaches of the Yangtze River. Changsha: Hunan Provincial Geological Survey, 2002. [皮建高, 刘长明, 何建军, 等. 长江中游洞庭湖水患区环境地质调查评价报告. 长沙: 湖南省地质调查院, 2002.]
- [16] Lu Yinhao. A study on the driving force of the evolution about Dongting Lake [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2009. [陆胤昊. 洞庭湖的演变及其驱动因子研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2009.]
- [17] Yi Bolin. Remote sensing study on lake capacity change of Dongting Lake before and after Three Gorges Reservoir operation. *Scientific and Technological Innovation*, 2018(30): 10-12. [易波林. 三峡水库运行前后洞庭湖湖容变化遥感研究. *科学技术创新*, 2018(30): 10-12.]
- [18] Yu Deqing, Yu Shuchen, He Qiuhua, et al. Monitoring of Dongting Lake atrophy in the past 100 years by combining historical map and remote sensing technology. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2016, 28(3): 116-122. [余德清, 余姝辰, 贺秋华, 等. 联合历史地图与遥感技术的洞庭湖百年萎缩监测. *国土资源遥感*, 2016, 28(3): 116-122.]
- [19] Yu Shuchen, Yu Deqing, Wang Lunche, et al. Remote sensing study of Dongting Lake beach changes before and after

- operation of Three Gorges Reservoir. *Earth Science*, 2019, 44(12): 4275-4283. [余姝辰, 余德清, 王伦澈, 等. 三峡水库运行前后洞庭湖洲滩面积变化遥感认识. *地球科学*, 2019, 44(12): 4275-4283.]
- [20] Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. *China River Water and Sediment Bulletin*. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2018: 3-6. [中华人民共和国水利部. 中国河流泥沙公报(2018). 北京: 中国水利水电出版社, 2018: 3-6.]
- [21] Li Yuelong. A Brief History of the Evolution, Development and Management of Dongting Lake. Changsha: Hunan University Press, 2014: 3-4. [李跃龙. 洞庭湖的演变、开发和治理简史. 长沙: 湖南大学出版社, 2014: 3-4.]
- [22] Chen Baoshun. Comprehensive investigation report on harnessing and development of Dongting Lake area. Changsha: Office of Hunan Provincial Land Commission, 1986: 18-20. [陈宝顺. 洞庭湖区整治开发综合考察研究报告. 长沙: 湖南省国土委员会办公室, 1986: 18-20.]
- [23] Lai Hongzhou, Mo Duowen, Su Cheng. Discussion on the evolutionary trend of Lake Dongting. *Geographical Research*, 2014, 23(1): 78-86. [来红州, 莫多闻, 苏成. 洞庭湖演变趋势探讨. *地理研究*, 2014, 23(1): 78-86.]
- [24] Bian Hongxiang, Gong Xunli. Preliminary study on the reclamation problems in the Dongting Lake area. *Acta Geographica Sinica*, 1985, 40(2): 131-141. [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): 131-141.]
- [25] National Bureau of Statistics of China, Ministry of Civil Affairs of the People's Republic of China. Report of the Damage Caused by Disaster in China: 1949-1995. Beijing: China Statistics Press, 1995. [中华人民共和国国家统计局和中华人民共和国民政部. 中国灾情报告: 1949—1995. 北京: 中国统计出版社, 1995.]
- [26] Zeng Jihui. Farmland of Dongting Lake. Changsha: Yuelu Academy, 2008. [曾继辉. 洞庭湖保安湖田志. 长沙: 岳麓书社, 2008.]
- [27] Office of Water Resources in Hunan Province Records Compilation. *Journal of the Water Resources in Hunan Province*. Changsha: Water and Electricity Authority of the Office Printing Plant in Hunan Province, 1990. [湖南省水利志编纂办公室. 湖南省水利志. 长沙: 湖南省水电厅机关印刷厂, 1990.]
- [28] Huang Qizheng. Returning farmland to lake by plain embankment flood. *People's Daily*, 1999-1-21. [黄其正. 平垸行洪退田还湖(学习通信). 人民日报, 1999-1-21.]

Spatio-temporal evolution of riparian lakes in Dongting Lake area since the late Qing Dynasty

YU Shuchen^{1, 2, 3, 4}, WANG Lunche^{1, 3}, XIA Weiping^{3, 4}, YU Deqing^{3, 4},
LI Chang'an^{1, 3}, HE Qiuhua^{1, 3, 4}

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Hunan Key Lab of Land & Resource Evaluation & Utilization, Changsha 410007, China; 3. Key Laboratory of Hunan Province for Remote Sensing Monitoring of Ecological Environment in Dongting Lake Area, Changsha 410007, China;
4. Hunan Natural Resources Affairs Center, Changsha 410007, China)

Abstract: In order to analyze the spatio-temporal evolutions of Dongting Lake in modern times, this paper investigated the temporal changes of the riparian lake areas in Dongting Lake area since the late Qing Dynasty using various historical maps and remote sensing data since 1896 AD (the 22nd year during the Emperor Guangxu's reign in the Qing Dynasty). The remote sensing data interpretation, statistical analysis and historical comparison methods were used to test the accuracy of the remote sensing based lake areas with the observation data from the Ministry of Water Resources of China. The results showed that the overall error rate was only 0.62%, and after 1896, the riparian lake areas in Dongting Lake decreased from 5126.37 km² to 2702.74 km², with an annual atrophy rate of 48.19%. The 53 years before the founding of the People's Republic of China was a period of obvious lake shrinkage, with an annual average decrease of 15.66 km². The 1950s was a period of rapid atrophy (134.33 km² per year), and the 1960-1970s was a period of rapid shrinkage, with an annual rate of 21.66 km². The riparian lake areas in Dongting Lake only reduced by 5.10 km² since the 1980s. In terms of the areas for each lake, the East Dongting Lake was the lake with the largest shrinkage (922.60 km²) since 1935, followed by the Muping Lake (a decrease of 588.05 km²), and the South Dongting Lake (decrease of 448.37 km²). The change in areas of Qili Lake was relatively small in recent decades. The areas of Dongting Lake increased by 10.50 km² during 1998-2002 due to the implementation of returning farmland to lake. In general, the evolution of riparian lakes in Dongting Lake area since the late Qing Dynasty was characterized by the closure and separation of Datong Lake, the replacement of the embankments for the South Dongting Lake, the local remains of the West Dongting Lake, the three-sided enclosure of East Dongting Lake and the limited operation of returning farmland to lake after the catastrophic flood in 1998. This study may provide data and technical support for the ecological restoration and environmental protection strategy of the Yangtze River Basin.

Keywords: the late Qing Dynasty; historical maps; remote sensing technology; Dongting Lake Area; riparian lake; spatio-temporal evolution