

近二十年洞庭湖区洲滩演变及其影响研究

邹银翔, 张泽

长沙理工大学水利与海洋工程学院, 湖南 长沙 410114

DOI:10.61369/WCEST.2025010006

摘 要 : 为更充分认识洞庭湖区近年来洞庭湖区湖盆高程演变规律及变化趋势, 为湖区洲滩资源保护提供技术支撑。本文基于 landsat5/8 历史遥感数据, 分析近二十年洞庭湖区洲滩变化情况, 结合 2003、2022 年实测地形点数据通过 ANUDEM 模型进行湖盆重构, 对比湖盆地形变化情况, 探究洞庭湖区湖盆及洲滩演变形势。结果表明, 各湖区洲滩平均面积呈现出上涨趋势, 滩扩张意味着湖区水体范围萎缩。通过 DEM 空间量化分析, 湖区整体表现为平均高程下降 0.69m, 对应区域变化表现为“高淤低冲”, 洲滩及其附近水域高程呈微弱上升, 湖区中河槽呈明显下切。22~30m 区域向低区域转移 710.55km², 24~28m 区域向更高区域转移 148.69km², 洲滩出露时间持续延长, 将导致湿生群落向旱生群落转移, 降低植被种群多样性, 将对湿地植被组成结构稳定性造成影响。

关 键 词 : 洞庭湖; 高程; 遥感; 时空演变

Analysis of the Spatiotemporal Changes in Wetland Vegetation and the Lake Basin Variation Patterns in the Dongting Lake Area

Zou Yinxiong, Zhang Ze

School of Hydraulic and Ocean Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hunan 410114

Abstract : In order to more fully understand the evolution patterns and trends of the lake bed elevation in the Dongting Lake area in recent years, and to provide technical support for the protection of the lake's sandbar resources. This study is based on historical remote – sensing data from Landsat 5/8. It analyzes the changes in sandbars of the Dongting Lake area over the past two decades. Combined with actual topographic point data from 2003 and 2022, the ANUDEM model is used to reconstruct the lake basin. Then, comparisons of the lake basin's topographic changes are carried out to explore the evolution of the lake basin and sandbars in the Dongting Lake area. The results show that the average area of sandbars in each lake area has shown an upward trend. The expansion of sandbars implies the shrinkage of the water body range in the lake area. Through DEM spatial quantitative analysis, the average elevation of the whole lake area has decreased by 0.69 m. The corresponding regional changes show "high siltation and low scouring", with a slight increase in the elevation of sandbars and their adjacent waters, and obvious downcutting of the river channel in the lake area. 710.55 km² of the 22 – 30 m elevation zone shifts to lower areas, and 148.69 km² of the 24 – 28 m elevation zone shifts to higher areas. The continuous prolongation of sandbar exposure time leads to the shift of wetland communities from wet to dry types, reduces vegetation population diversity, and impacts the stability of wetland vegetation composition.

Keywords : Dongting Lake; elevation; remote sensing; spatiotemporal evolution

引言

近些年受到自然演变及人类活动共同影响, 江湖关系进入新一轮转变^[1], 洞庭湖湖区经历淤积—微冲刷复合演变过程, 沟槽演变进一步加剧湖区水体交换的复杂性。加上人为影响导致洞庭湖湿地植被组成发生变化, 促使洞庭湖湿地格局^[2]、湖区生态状况发生改变, 引起一系列水生态、水环境问题^[3,4], 因此探究湖盆发育规律及其对生态影响变得格外重要。

目前, 一些学者针对都给洞庭湖植被变化及湖盆冲淤进行了大量的研究分析, 取得了丰硕的成果, 朱玲玲^[5]、宋平^[6]、张琳^[7]、李义天^[8]、胡春宏^[9]等通过实测数据, 聚焦水沙关系及地形高程变化, 进一步分析洞庭湖湖盆冲淤及发育状况。白宽宽^[10]、王婉婉^[11]、邱罗^[12]、余姝辰^[13]等通过遥感技术, 针对湖区洲滩水体覆盖情况, 进而总结湖区洲滩时空演变规律。Yan^[14]、白玉川^[15]、刘易庄^[16]等通

过物理模型及数学模型等方式，开展洲滩、湖盆演变对水动力过程影响研究，进而探究洲滩演变对河湖水动力过程影响机制，因此，探究长时序洞庭湖区洲滩及湖盆发育规律，分析洲滩、湖盆变化与植被覆盖之间关系是十分有必要的。

前人的研究主要集中于河湖地形、水沙过程变化，对于近年来洞庭湖区湖盆高精演变状况及影响分析较少。因此，本文基于近二十年 landsa 遥感数据，结合 2003、2022 年实测地形点数据，通过遥感及 ANUDEM 模型对湖区洲滩及湖盆进行识别、重构，对比湖盆地形变化情况，探究近二十年洞庭湖区湖盆及洲滩演变形势。并结合洞庭湖区植被分布状况，分析湖盆发育与植被格局变化关系，研究成果可为洞庭湖区湖盆演变及植被资源保护提供理论依据及技术参考。

一、研究区域概况及方法

（一）研究区域概况

洞庭湖（28°30′~30°20′N，111°40′~113°10′E）位于湖南省东北部，地处长江下荆江南岸，是我国第二大淡水湖泊，见图 1.1。洞庭湖整体呈现盆地形态，地势为西高东低，内部可分为东洞庭湖、南洞庭湖、西洞庭湖三部分，属于国家级、省级自然保护区范围，生态价值重大。洞庭湖作为长江与洞庭湖流域交汇的关键节点，其湖区面积达 2847km³，承接湘资沅澧四水及长江三口季节性来流，多年平均入湖水量达 2897*10⁸m³，经调蓄后由城陵矶汇入长江，湿地洪泛特性显著，加之受江湖关系影响，使得湖区湖盆发育机制变得十分显著。

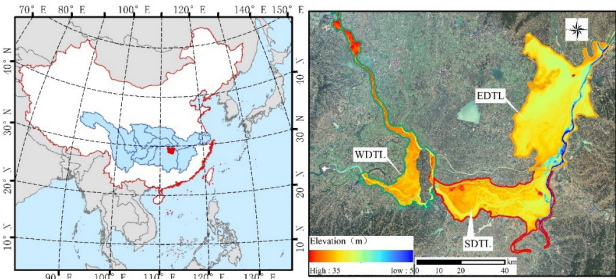


图 1.1 洞庭湖位置及高程示意图

（二）研究方法

本文选取 2001—2023 年间无云条件下的 LandsatTM/ETM+（空间分辨率 30m）遥感影像数据 9 期，共 18 景数据来源于 USGS，影像轨道编号及采集具体时间见表 1.1，选取影像采集时间全部在 10 月至次年 1 月份之间，依据亚米级高精度实拍影像，捕捉洲滩信息作为遥感影像解译提取的样本点。

表 1.1 影像类型及成像时间汇总表

序号	卫星	时间	南咀	小河咀	杨柳潭	城陵矶
1	Landsat5-TM	LT2001--12.21	30.25	28.45	27.73	21.54
2		LT2004--12.13	30.32	28.52	27.68	21.93
3		LT2008--12.31	30.06	28.31	27.52	20.86
4		LT2011--01.15	30.66	28.95	28.22	22.10
5	Landsat8-OLI_TIRS	LC2014--01.23	30.18	28.44	27.81	21.10
6		LC2016--12.30	30.54	28.75	27.86	21.01
7		LC2017--12.17	30.08	28.16	27.37	20.37
8		LC2020--12.25	30.14	28.27	27.44	21.37
9		LC2023--12.25	30.24	28.31	27.37	21.60

遥感影像受到传感器、太阳、大气和地形的影响而失真，因

此，需对采集的影像进行预处理，包括辐射定标、大气校正、光谱增强、图像融合、图像镶嵌与裁剪等工作。本文基于随机森林算法构建湖区植被反演模型见图 1.2，通过对由输入变量和输出变量构成的训练样本数据集，构建多个决策树并将它们的预测结果进行汇总后应用于分类和回归问题其数学定义如下：

$$\text{Entropy}(S)=\sum_{i=1}^c p_i \log_2(p_i) \quad (0.1)$$

式中， S 为包含多个类别的数据集合， c 为数据集中不同类别的数量， P_i 为某一类别在数据集中所占比例。

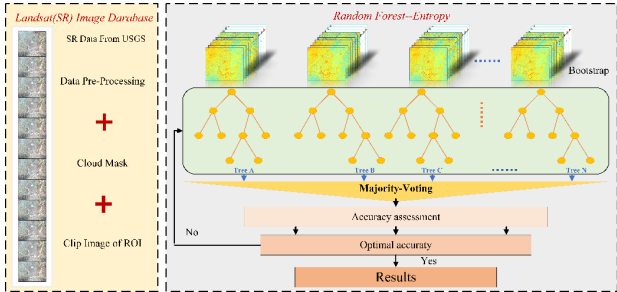


图 1.2 基于 RF 算法洞庭湖植被分类模型

本文对两种不同类型遥感卫星（Landsat5、Landsat8），依据商用亚米级高分辨率遥感数据，选取感兴趣区域构建高质量训练数据库，训练水体分离模型，并利用混淆矩阵对影像进行精度评价，水体分离精度 Kaapa 系数达 0.93。

二、结论与探讨

（一）基于 landsat 遥感数据洞庭湖区洲滩变化分析

洞庭湖各子湖区中，典型湿地洲滩分布呈现出明显时空异质性，通过 GIS 空间分析工具统计研究区域面积，东洞庭湖（EDTL）、南洞庭湖（SDTL）、西洞庭湖（WDTL）面积分别为 1400.07km²、884.82km²、564.03km²。由图 2.4 可知 1987—2023 年洲滩面积变化情况，洲滩面积多年平均分别为：EDTL：1114.13 km²、SDTL：652.79 km²、WDTL：438.98km²，同时，各湖区洲滩面积呈现出上涨趋势，滩扩张意味着湖区水体范围萎缩，水生植被群落经历着从沉水植物（如苦草、黑藻）向挺水植物（如芦苇、荻）的演替^[17]，湿地系统正经历着从“洪泛型”生态系统向“陆生型”生态系统的结构性转变，这种群落结构改变将直接影响湿地碳循环和生物多样性维持能力^[18]。

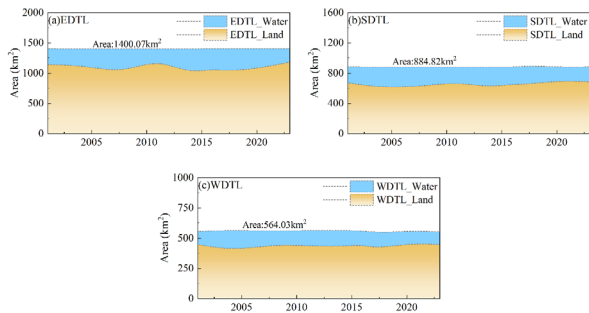


图2.4 洞庭湖 1987—2023 陆地面积变化图

（二）基于 landsat 遥感数据洞庭湖区采砂影响分析

通过对洞庭湖 2001—2023 年洲滩进行影像对比，洞庭湖水域面积辽阔，砂石资源丰富，是沿岸周边基建砂石开采的主要源区。开采面呈明显的锯齿状是人类采砂活动遥感译解特征之一^[10]。由图 2.5 可得，与 2001 年相比，2023 年的自然洲滩岸线由于人类采砂活动出现一定范围的萎缩，湖区岸线出现明显萎缩，其主要位置集中于湘江尾闾区域，有研究表明，近 15 年以来，洞庭湖受到采砂影响，引起湖区洲滩年均降幅达 12.67mm/a^[19]，其中 2006 至 2016 年，仅东洞庭湖飘尾洲采砂导致洲滩缩减面积为 2221.99hm²^[20]。可见，洞庭湖人为采砂是造成近 10 年洞庭湖岸边滩萎缩的重要原因，人为采砂影响范围集中且明显，对洞庭湖区影响范围有限，且多发生于湖内边滩位置。

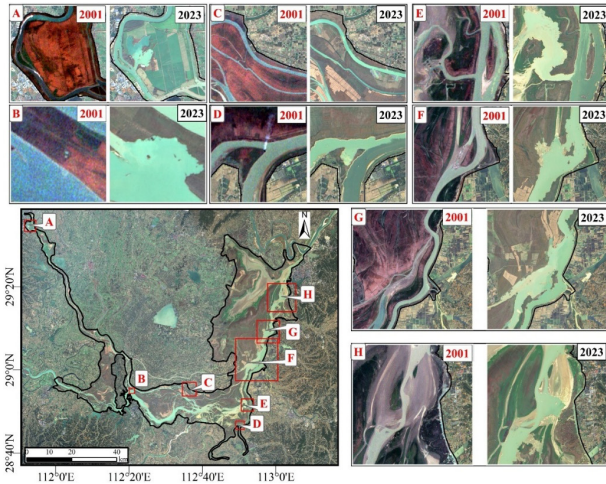


图 2.5 洞庭湖人为采砂前后对比示意图

（三）洞庭湖湖盆高程变化分析

洞庭湖受水沙关系影响，20 世纪湖区范围呈现出萎缩状态，湖区内部呈现出淤积状态，湖区洲滩面积扩张明显，高程变化上升显著^[13]。本节基于洞庭湖 2003 年、2022 年实测地形点数据采用 ANUDEM 模型^[21]，实现对洞庭湖区高程模型构建（栅格大小为 10m*10m），通过栅格计算实现差值计算，湖盆 2003—2022 地形变化情况见图 2.6。

结合表 2.4 分析可知，洞庭湖区地形变化呈“高淤低冲”，洲滩及周边水域地形升高，湖区主洪道区域地形下降。湖盆整体表现为下降，全湖平均高程下降 0.69m，下降超过 1m 区域主要集中于湖区内部河槽，以湘江尾闾下降最为明显，最大下降深度达 18.0m，其次是沅、澧水洪道、草尾河段、蒿竹河段以及南洞庭

湖内部交互水系，下降范围 0.5m—15.0m。三峡运行后受来沙条件，泥沙沉积量与来沙量变化影响，洞庭湖整体处于自然冲刷状态^[7]，叠加人为采砂、挖沟排水及航道建设影响，加剧洞庭湖盆地地形变化。

通过分析湖区内部地形变化发现，洲滩升高区域主要集中于东洞庭湖西南部（澧湖周边）、南洞庭湖中东部及西部（横岭湖及车便湖周边）及西洞庭湖东南部（目平湖周边）、澧水七里湖周边，最大淤积超过 3.0m。相较于湖区冲刷范围，淤积范围面积更小，同时其淤积高程更小。通过对湖盆升高进行归因分析，可得湖泊主要高程升高区域即在 2011 年前后就已存在^[5]，在三峡建成后湖区淤积主要影响因素来自人为围垦。洞庭湖区不同高程区域呈不同变化趋势，这种差异化地形变迁将加剧洞庭湖河湖两相转变过程。

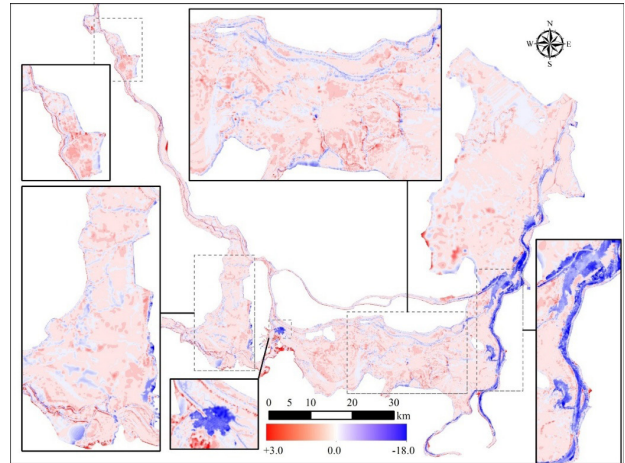


图 2.6 洞庭湖区 2003—2022 地形变化图

表 2.2 洞庭湖高程区域面积统计表

	DEM (m)	2003		2022		Difference	
		Area (km ²)	PCT (%)	Area (km ²)	PCT (%)	Area (km ²)	PCT (%)
1	<20	120.70	4.39	207.19	7.54	86.49	3.15
2	20—21	64.92	2.36	121.09	4.41	56.17	2.04
3	21—22	200.77	7.30	206.47	7.51	5.70	0.21
4	22—23	241.15	8.77	244.13	8.88	2.98	0.11
5	23—24	360.18	13.10	341.69	12.43	-18.49	-0.67
6	24—25	400.29	14.56	370.60	13.48	-29.70	-1.08
7	25—26	346.26	12.60	337.74	12.29	-8.52	-0.31
8	26—27	311.56	11.34	285.82	10.40	-25.74	-0.94
9	27—28	255.18	9.28	225.68	8.21	-29.49	-1.07
10	28—29	164.52	5.99	152.48	5.55	-12.04	-0.44
11	29—30	89.85	3.27	85.42	3.11	-4.43	-0.16
12	>30	193.02	7.02	170.08	6.19	-22.94	-0.83

由表 2.2 分析可得湖盆不同高程区域面积变化情况。洞庭湖盆高程主要集中于 23—27m 区间，其中 2003 年、2022 年此区间面积占比分别为 51.6%、48.6%，其中 24—25m 区间均属于各自年份面积最大区域，2022 年相较于 2003 年面积减少 29.7km²，此区域属于东洞庭湖洲滩、南洞庭湖河槽区域；仅 21m 及以下区域面积增大超过 50km²，此区域对应湘江尾闾区域及湖内河槽，受人为采砂影响，此区域面积略微增大。整体而言，湖盆呈现为高程

降低,其中30m以上区域面积变化小,结合区域矢量概况,可知该高程区域大部分属于澧水洪道范围。

(四) 洞庭湖湖盆各高程区域转移矩阵分析

通过分析2003–2022高程区域转移情况可得,红色箭头代表由高向低转移面积超过 20km^2 ,蓝色箭头则代表由低向高转移面积超过 20km^2 ,箭头越宽代表着转换面积越大,由图2.7可知,22—30m高程区域向低区域转移 710.55km^2 ,以25m区域向24m区域转移面积最大,达 93.97km^2 ,说明该区域主要为冲刷及人为疏浚的河槽区域,24—28m高程区域向更高区域转移 148.69km^2 ,说明该区域主要为水陆交接区域向洲滩转移。通过对比洞庭湖典型植被时空演变规律,可知高程变化显著影响陆生植被的可生长区域^[2]。随着地形的降低和高程区域的转移,原本被水体覆盖区域逐渐露出,以芦苇为代表的陆生植被因其较强的耐淹性,使得能够在此区域逐渐扎根并扩张。

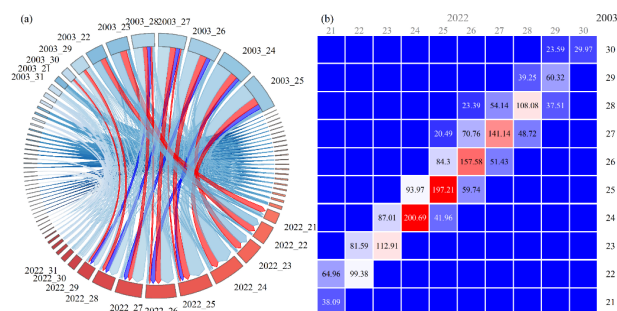


图 2.7 洞庭湖高程区域转移矩阵

随着长江干流及四水上游水库的建成运行,持续发挥拦沙作用,洞庭湖河槽区域将会持续保持微冲刷状态。从植被分布角度

出发,河槽的降低将会延长洞庭湖区河相持续时间,导致洲滩露出水面时间延长,滩地旱化致使湿生植被向旱地植被转化,将会加剧洞庭湖区典型湿地植被结构的转变。

三、结论

本章通过遥感分类模型对2001—2023年 Landsat 影像进行洞庭湖区水陆识别分离,结合2003、2022年实测地形点数据通过 ANUDEM 模型进行湖盆重构,探究洞庭湖区湖盆及洲滩演变形势。本章主要结论如下:

(1) 典型湿地洲滩分布呈现出明显时空异质性,对2001–2023年洲滩面积变化分析可得洲滩平均面积:EDTL: 1185.66km^2 、SDTL: 652.79km^2 、WDTL: 438.98km^2 ,同时,各湖区洲滩面积呈现出上涨趋势,滩扩张意味着湖区水体范围萎缩。

(2) 自然冲淤及人为疏挖共同影响下,湖区整体平均高程下降 0.69m ,对应区域变化表现“高淤低冲”,洲滩及其附近水域高程出现微弱上升,湖区中河槽出现明显下切,这种差异化地形变迁将加剧洞庭湖河湖两相转变过程

(3) 通过对不同高程区域面积转移情况进行分析,22–30m区域向低区域转移 710.55km^2 ,24–28m区域向更高区域转移 148.69km^2 。同时,植被演替区域与洲滩发育区域高度重合,洲滩出露时间持续延长,将会导致湿生植被群落向旱生植被群落转移加剧湿地旱化,降低植被种群多样性,从而对湿地植被组成结构的稳定性造成影响。

参考文献

- [1] 卢金友,朱勇辉.三峡水库下游江湖演变与治理若干问题探讨[J].长江科学院院报,2014,31(2):98–107.
- [2] 周静,万荣荣,吴兴华,等.洞庭湖湿地植被长期格局变化(1987–2016年)及其对水文过程的响应[J].湖泊科学,2020,32(6):1723–1735.
- [3] Hu W, Li G, Gao Z, et al. Assessment of the impact of the Poplar Ecological Retreat Project on water conservation in the Dongting Lake wetland region using the InVEST model[J]. Science of The Total Environment, 2020, 733: 139423.
- [4] 徐力刚,谢永宏,王晓龙.长江中游通江湖泊洪泛湿地生态环境问题与研究展望[J].中国科学基金,2022,36(3):406–411.
- [5] 朱玲珍,陈剑池,袁晶,等.洞庭湖和鄱阳湖泥沙淤积特征及三峡水库对其影响[J].水科学进展,2014,25(3):348–357.
- [6] 宋平,方春明,黎昔春,等.洞庭湖泥沙输移和淤积分布特性研究[J].长江科学院院报,2014,31(6):130–134.
- [7] 张琳,马敬旭,张倩,等.近60多年洞庭湖水沙演变特征及其与人类活动的关系[J].长江科学院院报,2021,38(9):14–20.
- [8] 李义天,邓金运,孙昭华,等.泥沙淤积与洞庭湖调蓄量变化[J].水利学报,2000(12):48–52.
- [9] 胡春宏.长江与洞庭湖 鄱阳湖关系演变及其调控[M].—,译.中国科技出版传媒股份有限公司,2017.
- [10] 白宽宽,李志威,张鹏,等.基于多源遥感解译的洞庭湖区自然岸线演变过程研究[J].湖泊科学,2024,36(5):1537–1549.
- [11] 王婉婉,陈明珠,雷雷.西洞庭湖洲滩植物物种与功能多样性空间分布特征及其相关性[J].生态与农村环境学报,2024(6):780–789.
- [12] 邱罗,余姝辰,唐辉,等.民国中期以来洞庭湖洲滩演变特征[J].长江流域资源与环境,2024,33(6):1250–1261.
- [13] 余姝辰,邱罗,贺秋华,等.基于多源遥感的洞庭湖洲滩时空演变研究[J].自然资源遥感,2024:1–7.
- [14] Yan G, Yuan S, Tang H, et al. Hydrodynamic Response of Channel Flow Confluence to the Tributary Floodplain Topography[J]. Water Resources Research, 2024, 60(8): e2023WR036244.
- [15] 白玉川,孙艳杰,宋晓龙,等.尾间河道形态演变特征的模拟试验研究[J].水科学进展,2024,35(3):508–520.
- [16] 刘易庄,蒋昌波,向朝晖,等.洞庭湖地形变化对洪水过程的影响研究[J].水资源与水工程学报,2023,34(2):99–106.
- [17] 胡振鹏,葛刚,刘成林.鄱阳湖湿地植被退化原因分析及其预警[J].长江流域资源与环境,2015,24(3):381–386.
- [18] 余蓉,项文化.洞庭湖湿地3种植被类型生态系统的碳循环[J].华中农业大学学报,2016,35(3):66–71.
- [19] 余姝辰.三峡水库运行前后洞庭湖洲滩面积变化遥感认识[J].地球科学,2019,44(12):4275.
- [20] 唐辉,邹娟,尹向红,等.基于高分遥感的洞庭湖区河湖采砂监管及典型案例研究[J].自然资源遥感,2023,35(3):302–309.
- [21] 杨勤科, R.Mcivcar T, 李领涛,等. Anudem—专业化数字高程模型插值算法及其特点[J].干旱地区农业研究,2006(3):36–41.