

近 30 年来鄱阳湖湖盆地形演变特征与原因探析*

吴桂平, 刘元波**, 范兴旺

(中国科学院南京地理与湖泊研究所流域地理学重点实验室, 南京 210008)

摘要: 利用鄱阳湖 1980、1998 和 2010 年 3 期湖盆水下地形数据, 结合出、入湖泥沙输移数据以及流域水土流失、水库建设等资料, 较为系统地研究鄱阳湖近 30 年来湖盆冲淤的时空变化特征及其影响因素。研究表明, 1980—1998 年, 松门山以南主湖体位置淤积现象明显, 平均淤高 0.82 m, 该淤积主要是由这一阶段内流域水土流失加剧所引起的; 1998—2010 年, 在大规模植树造林和水库建设等人类活动影响下, 鄱阳湖淤积现象减缓。但是在入江水道上游湖盆高程显著下降, 平均下降速率高达 30.75 cm/a, 这与入江水道处持续采砂和水流冲刷等因素有关; 近 30 年来, “五河”入湖的洲滩区域冲淤变化及趋势有所差异, 修水、抚河及赣江三角洲呈现逐渐降低的趋势, 饶河入湖漫滩总体上以淤积为主, 且地形坡度趋于变缓。研究结果对鄱阳湖水资源合理开发、水利工程建设及航运管理等均具有一定的实践和参考价值。

关键词: 鄱阳湖; 湖盆地形; 冲淤变化; GIS; 影响机制

Bottom topography change patterns of the Lake Poyang and their influence mechanisms in recent 30 years

WU Guiping, LIU Yuanbo & FAN Xingwang

(Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China)

Abstract: In this study, extensive investigation was done on the changes in bottom topography across the Lake Poyang through geographical information systems (GIS) techniques and comparison of underwater topography data of 1980, 1998 and 2010. Possible mechanisms behind the topographic changes were also discussed based on watershed hydrological data (e. g. sediment transport, soil erosion and reservoir construction). The results showed that (1) the main water body region was obviously deposited with an average deposition value of 0.82 m during 1980–1998. These alterations of bottom topography were frequently caused by the increased soil erosion in the upstream of the basin. (2) During 1998–2010, the deposition trend of the bottom topography among Lake Poyang was slowed down to some extent. This was probably caused by the afforestation and reservoir construction program. However, in this period, bottom topography in the channel entrance was decreased remarkably with the average declining rate of 30.75 cm/a. The increases in flow discharge and gravel extraction have been considered as the main causes of this topographic change in the region. (3) In recent 30 years, the changing trends of deposition/erosion among five rivers' alluvial cone were different. Bottom topography elevation in Xiushui, Fuhe and Ganjiang alluvial cone expressed gradually decreasing trend, while Raohe alluvial bay showed a rising tendency as a whole. The results of the study are of great theoretical and practical significance to water resources reasonable utilization, dam construction and shipping management across the Lake Poyang.

Keywords: Lake Poyang; underwater topography; erosion/deposition pattern; GIS; influence mechanism

鄱阳湖是我国第一大淡水通江湖泊, 也是我国入选世界生命湖泊网的唯一成员, 被列入首批国际重要

* 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2012CB417003)、中国科学院南京地理与湖泊研究所“一三五”战略发展规划项目(NIGLAS2012135001)、国家自然科学基金项目(41401506)和江苏省自然科学基金项目(BK20131056)联合资助。2014-12-08 收稿; 2015-03-05 收修改稿。吴桂平(1980~), 男, 博士, 助理研究员; E-mail: gpwu@niglas.ac.cn.

** 通信作者; E-mail: ybliu@niglas.ac.cn.

湿地名录^[1]。作为长江中下游湖群的典型代表,鄱阳湖在涵养水源、调蓄长江洪水、维系江湖泥沙的冲淤平衡、以及为生物提供栖息地等方面发挥着十分重要的作用^[2]。鄱阳湖是一个吞吐型、季节性浅水湖泊,其湖盆结构复杂,南北高程差异明显。长期以来,受流域及长江水流、泥沙的双重影响,形成了鄱阳湖独特而复杂的水文动态和泥沙冲淤变化特征,一定程度上成为制约湖泊上述功能的突出问题之一^[3]。系统研究湖泊水下泥沙冲淤的空间变化模式、变化原因及其可能带来的影响,不仅关系到江湖关系演变、河道变迁、以及水土保持政策制定等重大问题^[4-6],而且对于指导鄱阳湖区水资源管理、生态保护、防洪抗旱、航运安全等方面具有重要的意义^[7]。

鉴于鄱阳湖独特的水文特征和优越的生态系统服务功能,针对其湖盆地貌变迁、泥沙输移等问题的研究历来受到相关研究者的广泛重视^[8-9]。如马逸麟等通过野外实地调查和大量前人资料系统分析的基础上,研究鄱阳湖泥沙淤积的分区特征及未来发展趋势^[10];陈龙泉等利用1989年和2006年枯水期2景影像,分析湖区“五河”入湖口和鄱阳湖入江通道滩地的冲淤变化^[11];胡久伟等利用典型断面实测数据,对鄱阳湖湖口河段近50年的冲淤演变规律进行研究^[12];闵骞等基于江西省五大河流控制水文站与湖口水文站实测悬移质泥沙资料,分析鄱阳湖1956—2005年出、入湖泥沙的基本特征及其发展态势^[13]。然而,由于受到水文测站布点的限制以及研究技术和方法的制约,已有的研究要么只局限于某个较小的范围或河段,要么注重于泥沙的统计与物理分析方面(即基于沙量平衡原理,得到湖区泥沙的冲淤量),因而缺乏对整个湖盆水下地形空间分布及其变迁规律的系统认识。基于此,本文拟以鄱阳湖实测湖盆地形数据为基础,借助于GIS空间分析技术,深入研究鄱阳湖湖盆地形在过去30年来的空间分布与冲淤变化过程,更进一步探讨其在气候和人类活动双重作用下的湖盆地形演变机制与影响,以期为流域水资源管理、渔业生产、航运管理等提供科学依据,同时为湖泊蓄水量、江湖关系演变以及重大水利工程的决策等研究提供参考。

1 研究区概况

鄱阳湖(28°11′~29°51′N,115°49′~116°49′E)地处江西省北部,长江中下游南岸。该湖承纳江西省境内修水、赣江、抚河、信江和饶河的水流及来沙,通过湖盆调蓄后经湖口汇入长江^[1]。鄱阳湖湖盆主要由水道和洲滩组成,从空间形状上来看形似一个葫芦,以松门山为界分为南、北2部分。南部为湖泊主体区,湖面宽而浅;北部为入江水道区,湖面窄且深^[14](图1)。整个湖盆由东南向西北倾斜,湖底高程由12 m降到湖口黄海基面以下约1 m,湖水平均深度为8.4 m。受流域和长江上游丰、枯期的双重影响,鄱阳湖水位呈现显著的季节性变化,影响湖区周围河流的水力坡降,进而影响水道及洲滩的冲淤变化。上半年长江水位较低、入江水道水面比降大、流速大,泥沙随水入江,尤其以湖区入汛初期为甚,湖口河道往往受冲刷,河床降低。下半年长江汛期,长江水位抬高,湖水受长江的顶托,流速减缓,泥沙有时甚至随水流倒灌入湖,使河床抬高^[11]。这种“湖床河流地貌结构”对鄱阳湖水文动态、湖区生物特点等产生重大影响,从而形成了鄱阳湖独特的“高水是湖,低水似河”的自然地理和生态景观^[15]。

2 数据和方法

2.1 研究资料

本文所使用的数据主要包括鄱阳湖区1980、1998年和2010年3个时段的1:10000水下实测地形数据,该数据来源于长江水利委员会和江西省水文局。其中,1980年和1998年地形资料采用1954年北京坐标系、1985国家高程基准和6度分带的高斯克吕格投影;2010年湖盆地形数据采用墨卡托投影和WGS84坐标系。此外,为了探讨不同时期湖盆地形变化的可能影响因素,研究过程中还用到1980—2010年“五河”主要控制水文站(图1)及湖口位置的泥沙输移、流域水土流失、水库建设等数据,该资料来源于江西省水文局。

2.2 分析方法

本文主要采用水文学、数理统计学和GIS空间分析技术相结合的分析方法开展研究。首先,在ArcGIS 9.3操作环境中将不同时期实测的水下地形数据进行配准并统一到相同的地理坐标和地图投影;然后在空间分析模块中,通过对原始高程数据进行三角网插值,生成TIN(不规则三角网)模型,继而采用Kriging插值方法转化成栅格数据模型(GRID),以30 m×30 m作为栅格单元,建立不同时期的数字高程模型(DEM);选择其

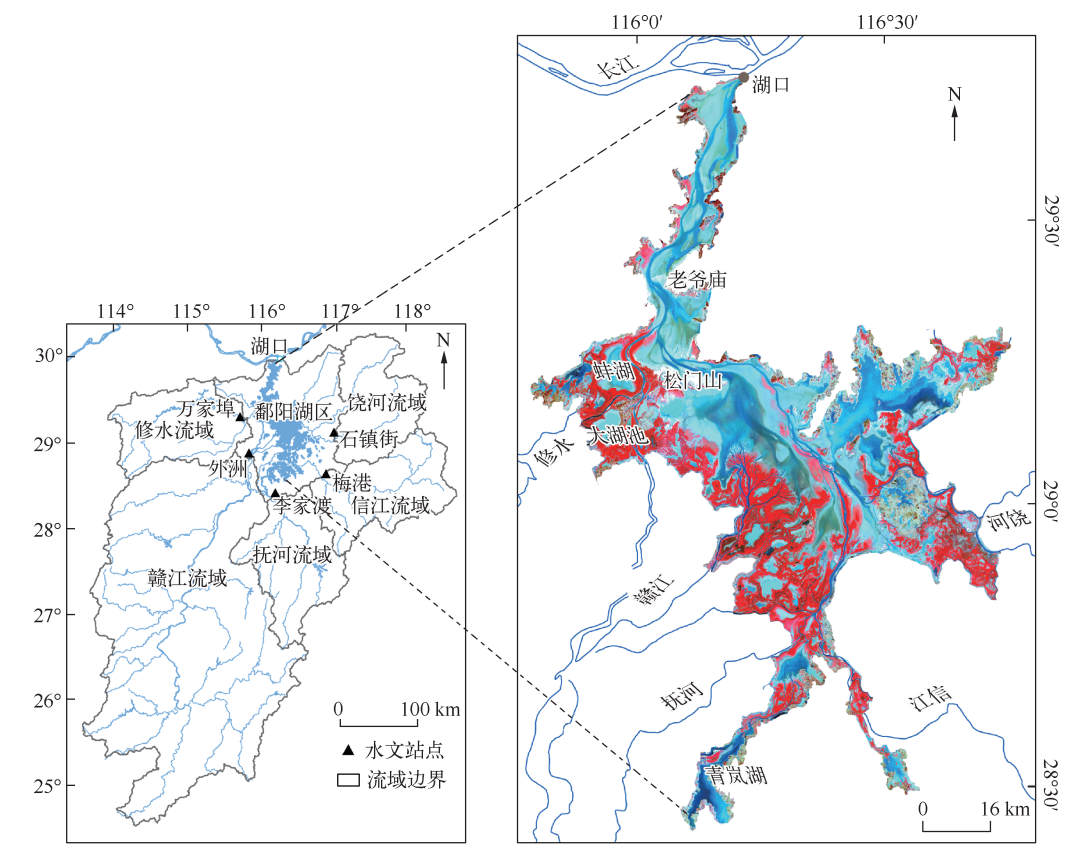


图 1 鄱阳湖区地理位置
Fig. 1 Geographic location of the Lake Poyang

中任意 2 个时间段的 Grid 数据,采用空间叠置分析,获取其湖盆地形的空间演变情况,同时进行冲淤分析的定量化计算,包括冲淤量、冲淤厚度、冲淤速率等。

根据建立的 3 个时间段的 DEM 模型,分别在湖盆的入江水道区、湖泊主体区以及“五河”入口形成的洲滩区域,沿水道或河道垂直方向上布置 5 条典型的水文断面(图 2),生成任意断面、不同时段的高程断面变化图式。通过不同年份典型断面的冲淤变化的对比分析,进一步详细描述湖盆冲淤变化的空间差异性特征和规律。在此基础上,结合对应时段湖盆的出入湖泥沙量、流域水库建设以及水土保持等相关数据,利用数理统计方法探讨鄱阳湖湖盆变化的可能原因及影响。

3 研究结果

3.1 不同时期湖盆地形空间分布及其冲淤变化

鄱阳湖在 1980、1998 和 2010 年 3 个时段的湖盆高程分布图(不包括松门山、太阳山、康山等高程未变化区域)(图 3)可以看出,鄱阳湖湖盆总体上呈现出南高北低、东高西低的分布格局。特别是松门山以北至湖口的通江水道处湖盆地形相对较低,表现为高程变化梯度较小的特点,而在“五河”入湖口所形成的洲滩三角洲区域,湖盆高程相对较高,且梯度变化较大。纵观 30 年来不同时期的湖盆 DEM,鄱阳湖水下地形在局部区域的空间分布模式则有所不同:在松门山以南的大湖体区域,无论是 1998 年还是 2010 年其 DEM 高程值均较 1980 年分布更高,显示出一定的淤积现象;同时,相较于 1980 年和 1998 年,2010 年入江水道处的 DEM 高程表现为较为明显的低值。

不同时间段鄱阳湖湖盆冲淤变化的空间分布情况如图 4 所示,图中的栅格像元值表示对应时间段内该

像元位置的高程差(正值表示湖盆淤积,负值表示湖盆冲刷)。鄱阳湖在 1980—1998 年间湖盆有淤积也有冲刷,淤积量总体上大于冲刷量。其中,冲刷主要发生在“五河”入湖河道和鄱阳湖水道部分区域,棠荫以北部分湖面也有少量冲刷。淤积主要发生在鄱阳湖大湖体、南部青岚湖以及“五河”尾闾三角洲地带,尤以南部青岚湖最甚,其淤积量高达 $0.52 \times 10^8 \text{ m}^3$,平均淤高 1.12 m。松门山以南大湖体淤积也较为明显,平均淤高 0.82 m,淤积速率超过 4 cm/a。此外,星子至湖口入江水道处,局部因长江顶托和倒灌作用,淤积作用也较强;1998—2010 年间,淤积范围明显减少,且无淤积变化较大的区域,仅在松门山到老爷庙的湖体区域、南部抚河、信江三角洲位置有少量的淤积出现。然而 1998—2010 年间,松门山以北入江水道及赣江西支下游河段的湖盆高程明显降低,并且其冲刷程度和范围均比前时间段更广。定量计算结果表明,1998—2010 年间该区域冲刷量高达 $-6.43 \times 10^8 \text{ m}^3$,高程平均降低 -3.69 m,冲刷速率达 30.75 cm/a。

3.2 局部区域典型断面冲淤变化特征

为进一步分析 1980、1998 和 2010 年 3 个历史时期的湖盆局部冲淤变化情况,分别获取 5 个典型断面不同年份的冲淤变化剖面图(图 5)。

入江水道断面 1980—1998 年间,总体上表现为轻度淤积现象,其中入江水道东侧淤积现象较为明

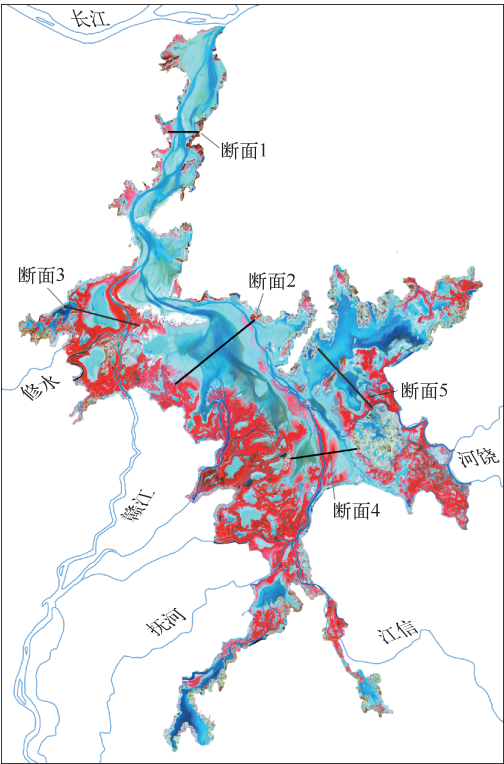


图 2 鄱阳湖断面位置
Fig. 2 Location of the profile lines in Lake Poyang

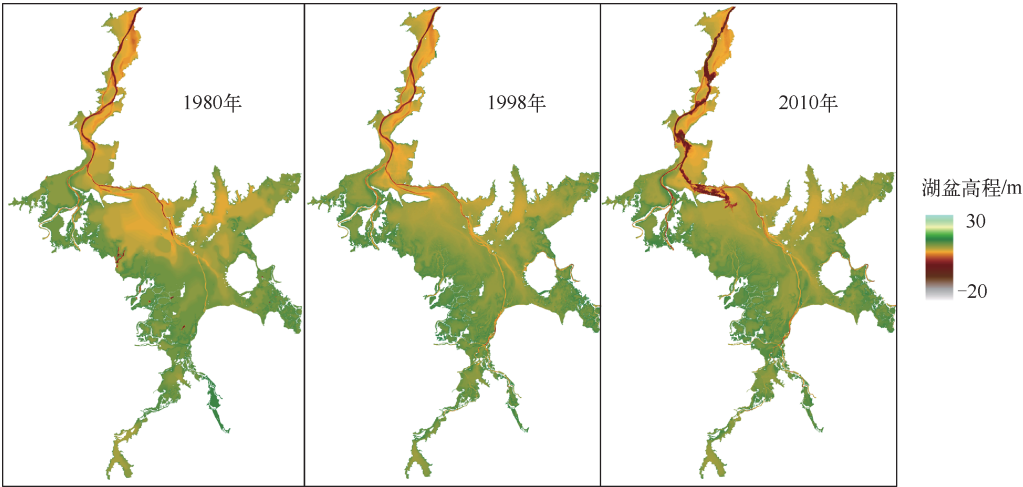


图 3 鄱阳湖不同时期湖盆数字地形模型
Fig. 3 DEM model of the bottom topographic during different periods in Lake Poyang

显,平均淤积幅度为 0.8 m,距离西岸 2.7~4.0 km 区域内淤积达 2 m 左右。与 1980、1998 年相比,入江水道断面在 2010 年表现出十分明显的冲刷现象。除了东、西岸边以外,水道中部(距西岸 1.5~5.5 km 范围内)湖盆高程下降程度高达 2~11 m(图 5a);赣江入湖大湖体区域的断面高程变化情况(图 5b)可以看出,与

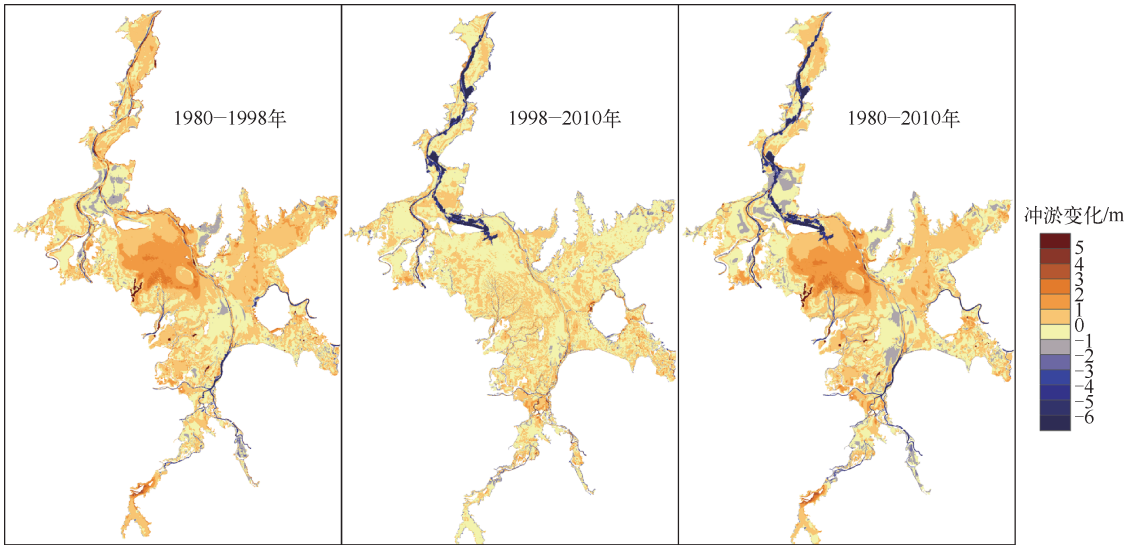


图4 鄱阳湖湖盆地形在不同时期的冲刷(负值)和淤积(正值)变化

Fig. 4 Temporal and spatial distribution of sediment deposition(positive value) and erosion(negative value) conditions in the Lake Poyang Basin during different periods

1980 年相比,1998 和 2010 年该区域湖盆经历较大的淤积变化,且河道东侧较西侧淤积更为明显,局部淤积高度达 2 m. 1998—2010 年间,赣江入湖大湖体区域湖盆断面的高程变化不大,有冲刷也有淤积,总体上表现为轻微的冲刷现象;断面 3(图 5c)是修水、赣江西支与入江水道的交接断面,随着时间的推移,该区域的断面高程有减小的趋势,特别是在蚌湖湖盆位置表现尤为明显,年均减小 4.2 cm. 此外,在修水和赣江交接水道部位高程减小也较为突出,1998—2010 年间,该处水道冲刷深度超过 2 m;图 5d 反映不同时期抚河、信江入湖的洲滩断面高程变化情况. 与断面 3 有所不同的是,断面 4 在相对较深的入湖河道部位高程变化不大,而在河道东、西两侧的漫滩位置变化较大,尤其是 2010 年河道西侧的漫滩处高程增加较明显(达 1 m 左右). 同时,河道东侧的滩地部位总体上呈现出一定的冲刷趋势;另外,图 5f 显示了位于康山大堤北部、饶河入湖口漫滩及湖湾区域(断面 5)的断面高程变化特征. 可以发现,与断面 2 类似,该区域的湖盆断面变化主要发生在 1980—1998 年间,总体上以淤积为主,并且湖湾较深部位与靠近河道较浅的滩地位置,其高程变化有所差异. 其中,在较浅的入湖河岸附近淤积程度较小,而在较深的湖湾区域淤积程度相对较大,平均淤积厚度为 1 m 左右,同时其地形坡度呈现出变缓的趋势.

3.3 冲淤变化原因探析

湖泊系统地形演变受到多种因素的制约,主要有构造运动、上游来水来沙以及人类活动等^[16]. 根据环鄱阳湖测量资料^[10],湖区南北主要沉降区的平均沉积速率为 0.35 mm/a,构造差异升降活动微弱. 目前鄱阳湖正处于一个相对稳定的构造发展阶段,短期内构造运动对湖盆演变的影响不占主导地位^[17-18]. 因此,影响鄱阳湖水下地形变化的主要应力必将归结于其外力作用,主要受控于水动力、泥沙输移和人类活动等之间的非线性相互作用. 通常,在一定的水动力条件下,湖泊水下地形存在一个均衡态势,而当受到人类活动或自然条件变化影响时,该均衡将被打破,湖泊系统将通过自身调整向新的地形均衡演化^[19]. 近 30 年来,鄱阳湖湖盆的地形演变正是在入湖泥沙变化和围垦、采砂、建坝等人类活动背景下向新的地形演进的过程.

通常而言,水流是塑造湖盆形态的直接动力,泥沙则是改变湖盆形态的物质基础^[20]. 因此,处于河-湖交替变化环境中的鄱阳湖,其水流流场分布及泥沙来源的差异一定程度上决定鄱阳湖湖盆在空间上冲淤的不均衡. 鄱阳湖的湖水主要是由“五河”从南往北不断汇入,而后经北部入江水道注入长江的过程,在这一过程中处于“五河”入湖的扩散区通常是湖盆中泥沙的主要淤积部位. 在这些区域由于水流扩散流速较小,“五河”挟带的泥沙首先在这些区域沉积下来,而泥沙淤积的多少则主要取决于上游来沙量的大小和水动力的

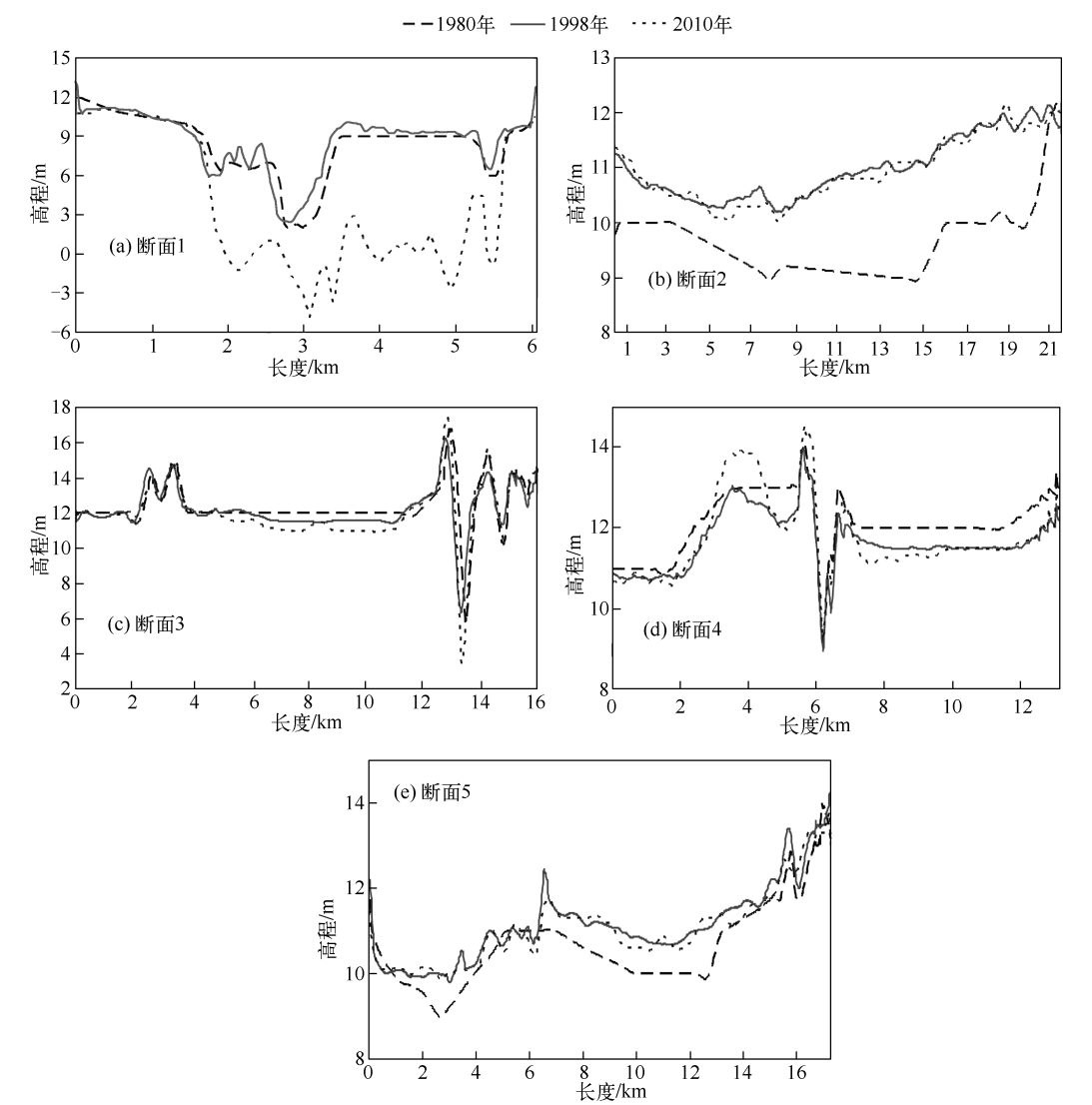


图 5 1980—2010 年间鄱阳湖湖盆地形典型断面高程变化

Fig. 5 Typical profiles of terrain changes on Lake Poyang from 1980 to 2010

强弱。1980s, 鄱阳湖流域处于多雨周期阶段, 相继出现 1994、1995 和 1998 年的大水, 持续的大暴雨致使流域土壤侵蚀增强, 入湖含沙量在 1980—1998 年间显著上升^[13]。据 1980—1998 年“五河”控制水文站和湖口的入、出湖沙量统计, 多年平均入湖沙量为 1387×10^4 t/a, 出湖沙量为 938×10^4 t/a, 淤积总量 449×10^4 t/a, 即每年平均有 30% 的泥沙沉积于湖内。其中, 占鄱阳湖来水量 54% 的赣江, 其输沙量在“五河”中居首位, 1980—1998 年上游具备充足水动力条件和泥沙供给, 从而导致该时间段内赣江入湖大湖体附近的淤积现象明显并向湖东推进。因此, 暴雨洪水所引发的流域土壤侵蚀增强和入湖含沙量增加, 是造成赣江入湖主湖体及湖湾部位在 1980—1998 年间地形增高的主要因素。北部入江水道区域, 每年 6—9 月份, 受长江汛期的影响, 来自长江的水沙部分扩散南下, 通过倒灌的方式由湖口进入鄱阳湖。据统计 (表 1), 1980—2000 年间长江倒灌沙量较大 (达 318.68×10^4 t/a), 是近 10 年来倒灌沙量 (53.84×10^4 t/a) 的近 6 倍。由于长江的泥沙含量总体上高于鄱阳湖入江的泥沙含量^[21], 促使倒灌的泥沙在鄱阳湖入江水道淤积, 从而在一定程度上使得 1980—1998 年入江水道的地形高程表现为略微提升的现象。

表 1 不同时期湖口输运、倒灌沙量的统计情况

Tab. 1 The statistics of sediment runoff and backflow volume in different periods

年代	年倒灌沙量/($\times 10^4$ t)	年输沙量/($\times 10^4$ t)
1980s—1990s	233.71	895.21
1990s—2000s	84.97	623.72
2000s—2010s	53.84	1435.01

1990s 后期开始,受到人类活动和气候变化的影响,鄱阳湖流域进入连续少雨周期阶段,流域降雨量的减少,一定程度上导致流域来水及“五河”入湖沙量的减少.同时,进入到 2000 年以来,鄱阳湖流域的水库建设规模逐年增长,大、中型水库的数量不断增多(图 6),尤其作为输沙量最大的赣江,其干流的峡江水电站的建成和运行,对入湖泥沙的减少起到关键性的作用.再加上近年来“五河”干流上采砂的影响,以及流域森林覆盖率逐年上升,水土流失治理成效显著(图 7),这一系列人工改造活动的实施,是鄱阳湖在 1998—2010 年间淤积范围明显减少的直接原因.就湖口入江通道而言,此时间段内长江水位的降低加大入江水道的水面比降,从而增加湖口河道的冲刷机制,湖口年输沙量显著升高(表 1),致使入江水道的湖盆地貌形态发生改变.同时,自 2001 年长江干流河道实行全面禁采以来,大量采砂船(图 8)涌入鄱阳湖^[22],尤其在鄱阳湖入江水道采砂活动呈现白热化状态.已有研究表明,由于采砂的影响,2008 年湖口水道星子断面平均湖底高程较 1999 年下降了近 2.4 m^[23],仅 2005—2007 年,九江市沿湖区域年均实际采砂量达 2.5×10^8 t 左右^[24].由此可见,采砂和水流冲刷等因素,是入江通道湖盆高程在 1998—2010 年间呈现大幅降低的直接原因.另外,根据前文分析,在这一阶段,松门山至老爷庙区间出现少量淤积现象,究其原因,可能是由于在老爷庙附近分布着一些松散沙粒组成的“沙山”^[25],在风力和重力作用下,松散沙粒吹落至湖底,从而导致该区域的湖体产生淤积所致.同时,近年湖区枯水现象连续出现,在湖区洲滩区域修筑堤埂、蓄水养殖,导致汛期泥沙在围垦区内落淤,也是影响因素之一.

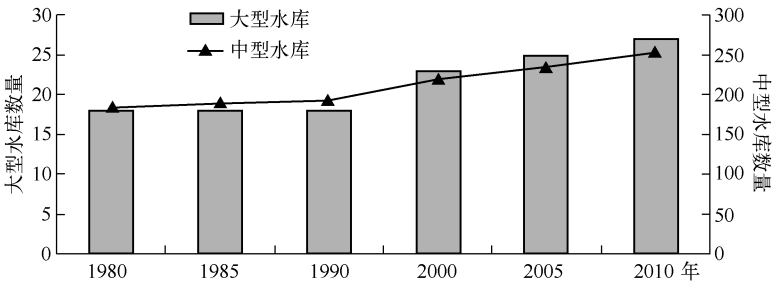


图 6 近 30 年来鄱阳湖流域水库发展情况

Fig. 6 Changes of reservoirs over Lake Poyang Basin in recent 30 years

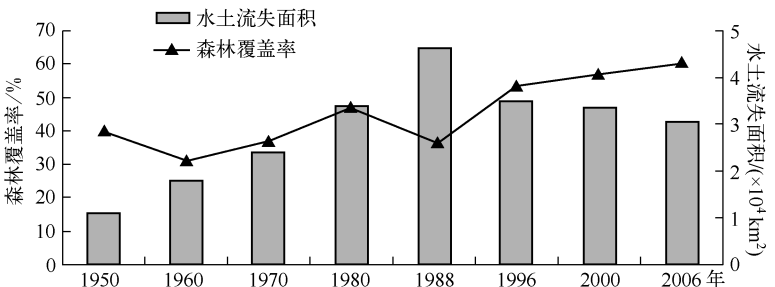


图 7 鄱阳湖流域森林覆盖率和水土流失面积变化情况

Fig. 7 The forest coverage rate and soil erosion area changes in Lake Poyang Basin



图8 鄱阳湖入江水道采砂船(<http://news.sohu.com/2004/02/23/75/news219177578.shtml>)

Fig. 8 Dredging vessels in the channel entrance of Lake Poyang

4 结论与讨论

本文基于鄱阳湖1980、1998和2010年的实测水下地形数据,利用GIS空间分析方法,研究近30年来鄱阳湖湖盆的冲淤变化过程及其影响因素。结果表明:(1)1980—1998年间,除“五河”入湖河道冲刷较为明显以外,鄱阳湖主湖体及湖湾区域淤积现象显著,湖盆高程平均淤高0.82 m。该淤高现象主要与这一时间段内水土流失加剧所造成的泥沙淤积有关;(2)1998—2010年间,在流域大规模的植树造林和水库建设等人类活动下,湖盆淤积范围明显减少。然而,持续采砂和水流冲刷等因素的影响,造成入江水道区域湖盆高程显著下降,高程平均降低3.69 m,冲刷速率高达30.75 cm/a;(3)不同入湖河道及洲滩区域,由于其地理位置、水文条件等各不相同,冲淤变化也有所差异。随着时间的推移,修水、抚河及赣江入湖洲滩的断面高程均呈现逐渐降低的趋势,饶河入湖漫滩及湖湾区域总体上以淤积为主,且地形坡度趋于变缓。

鄱阳湖湖盆地形的变化是其在流域水沙平衡的综合结果,其中水流流场分布及泥沙来源的差异决定了鄱阳湖湖盆在空间上冲淤的不均衡,并对气候变化和人类活动影响具有高度的敏感性。本文的研究结果可以为流域水资源合理开发、生态、防洪、航运管理等方面提供科学的依据和决策参考。同时,随着未来鄱阳湖水利枢纽工程的建成和运行,其对鄱阳湖湖盆的冲淤变化、水沙输移等方面的影响,以及由此而带来的一系列生态、环境、江湖关系重构等问题,必将使得鄱阳湖湖盆地形演变这一应用基础性科学问题引起学术界更为广泛的重视。

致谢:感谢中国科学院南京地理与湖泊研究所陈宇炜研究员、张奇研究员在提供鄱阳湖湖盆地形数据方面给予的帮助。

5 参考文献

- [1] 朱海虹,张本. 鄱阳湖. 合肥:中国科学技术大学出版社,1997.
- [2] 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志. 北京:科学出版社,1998.
- [3] 王云飞. 三峡工程对鄱阳湖冲淤的影响和预测. 湖泊科学,1994,6(2):124-130. DOI 10.18307/1994.0204.
- [4] Dade WB. Grain size, sediment transport and alluvial channel pattern. *Geomorphology*, 2000, 35: 119-126.
- [5] 张强,施雅风,姜彤等. 长江中游马口—田家镇河段40年来河道演变. 地理学报,2007,61(2):62-71.
- [6] 施雅风,张强,陈中原. 长江中游田家镇深槽的特征以及泄洪影响. 地理学报,2005,60(5):425-432.

- [7] 李 鹏, 杨世伦, 戴仕宝等. 近 10 年来长江口水下三角洲的冲淤变化——兼论三峡工程蓄水的影响. 地理学报, 2007, **62**(7): 707-716.
- [8] 江西省水利规划设计院. 鄱阳湖控湖工程前后河势演变研究. 1986.
- [9] 刘 星, 朱 武. 浅谈鄱阳湖湖泊演变. 九江学院学报, 2009, **5**: 28-30.
- [10] 马逸麟, 熊彩云, 易文萍. 鄱阳湖泥沙淤积特征及发展趋势. 资源调查与环境, 2003, **24**(1): 29-37.
- [11] 陈龙泉, 祝润元, 汤崇军. 鄱阳湖滩地冲淤变化的遥感调查研究. 中国水土保持, 2010, **4**: 65-67.
- [12] 胡久伟, 吴敦银, 李荣昉. 鄱阳湖湖口河段近期演变规律及趋势分析. 水文, 2011, **31**(2): 46-49.
- [13] 闵 骞, 时建国, 闵 聃. 1956—2005 年鄱阳湖人出湖悬移质泥沙特征及其变化分析. 水文, 2011, **31**(1): 54-58.
- [14] 刘元波, 张 奇, 刘 健等. 鄱阳湖流域气候水文过程及水环境效应. 北京: 科学出版社, 2012.
- [15] 朱海虹, 苏守德, 王云飞等. 鄱阳湖的成因、演变及三角洲沉积. 中国科学院南京地理研究所集刊, 第一号. 北京: 科学出版社, 1983: 318-332.
- [16] Lanzoni S, Seminara G. Long-term evolution and morphodynamic equilibrium of tidal channels. *Journal of Geophysical Research*, 2002, **107**: C1, 10. 1029/2000JC000468.
- [17] 张 本. 鄱阳湖研究. 北京: 上海科学技术出版社, 1988.
- [18] 程时长, 王仕刚. 鄱阳湖现代冲淤动态分析. 江西水利科技, 2002, **28**(2): 125-128.
- [19] 谢东风, 潘存鸿, 曹 颖等. 近 50a 来杭州湾冲淤变化规律与机制研究. 海洋学报, 2013, **35**(4): 121-128.
- [20] Gautier E, Brunstein D, Vauchel P *et al.* Channel and floodplain sediment dynamics in a reach of the tropical meandering Rio Beni (Bolivian Amazonia). *Earth Surface Process and Landforms*, 2010, **35**: 1838-1853.
- [21] 府仁寿, 虞志英, 方红卫. 长江水沙变化发展趋势. 水利学报, 2003, **11**: 23-29.
- [22] Wu G, de Leeuw J, Skidmore AK *et al.* Concurrent monitoring of vessels and water turbidity enhances the strength of evidence in remotely sensed dredging impact assessment. *Water Research*, 2007, **41**: 3271-3280.
- [23] Lai XJ, Shankman D, Huber C *et al.* Sand mining and increasing Lake Poyang's discharge ability: A reassessment of causes for lake decline in China. *Journal of Hydrology*, 2014, **519**: 1698-1706.
- [24] 长江水利委员会水文局. 三峡工程运行前后江湖水沙与冲淤变化分析. 武汉: 长江水利委员会水文局, 2012.
- [25] 韩志勇, 李徐生, 张兆干等. 鄱阳湖湖滨沙山垄状地形的成因. 地理学报, 2010, **65**(3): 331-338.