

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2023.03.007

引用格式:张鸿,周权平,姜月华,等. 基于浅地层剖面仪的鄱阳湖水下沉积地形探测与分析[J].华东地质,2023,44(3):313-322.(ZHANG H,ZHOU Q P,JIANG Y H,et al. Sublacustrine sedimentary topography detection and analysis of Poyang Lake based on sub-bottom profiler[J].East China Geology, 2023, 44(3):313-322.)

## 基于浅地层剖面仪的鄱阳湖水下沉积地形探测与分析

张 鸿<sup>1,2</sup>,周权平<sup>1,2</sup>,姜月华<sup>1,2</sup>,金 阳<sup>1,2,3</sup>,陈 孜<sup>1,2</sup>,贾正阳<sup>1,2</sup>,梅世嘉<sup>1,2</sup>

(1.中国地质调查局南京地质调查中心,江苏 南京 210016;  
2.自然资源部流域生态地质过程重点实验室,江苏 南京 210016;  
3.中国地质科学院,北京 100037)

**摘要:**鄱阳湖是我国重要的淡水和砂石资源提供地,其水下沉积地形现状一直是学术界研究的重点。该文借助浅地层剖面探测手段对鄱阳湖水下地形与沉积特征进行了探测,通过分析 32 条浅地层剖面测线资料发现,鄱阳湖水深变化幅度为 0.16~23.71 m,入江水道与主湖区西北部相对较深;松散沉积物厚度变化范围为 0~8.73 m,主湖区中部松散沉积物较厚,估算松散沉积物总体积约 3.02 km<sup>3</sup>。为检验浅地层剖面探测数据的可靠性,2022 年 9 月在主湖区开展了浅钻探测工作。通过与前人的相关研究对比发现,大规模采砂活动能够对鄱阳湖水下地形产生显著影响。该文较全面地揭示了鄱阳湖水下地形现状与沉积特征,得出的结论与建议对相关研究与管理工具有重要的参考价值。

**关键词:**鄱阳湖;浅地层剖面仪;水下地形;松散沉积物厚度与体积

**中图分类号:**P217;P343.3;P641.71

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-1871(2023)03-313-10

鄱阳湖作为中国最大的淡水湖泊,不仅起到了调蓄长江洪水、维系江湖泥沙冲淤平衡的作用,也为生物提供了重要的水源地和栖息地<sup>[1-2]</sup>。鄱阳湖东、南、西三面环山,中部及北部较平坦,湖盆结构复杂,高程差异明显。受长江水流、泥沙等综合因素的影响,其水下地形近年来发生了显著变化<sup>[3-5]</sup>。系统研究鄱阳湖水下地形结构,分析其变化趋势及可能带来的影响,不仅有助于深入了解江湖关系演变趋势<sup>[6]</sup>,也是进行生态系统评价、水资源调查以及数字模型构建等一系列湖泊研究的基础<sup>[3,7-9]</sup>。

近年来,众多学者在鄱阳湖地区开展了水下地形结构探测与研究。许小华等<sup>[10]</sup>应用地理信息系统空间分析方法,对鄱阳湖 DEM 数据进行了处理,分析了水下地形特征;吴桂平等<sup>[11]</sup>利用鄱阳湖 1980 年、1998 年和 2010 年 3 期的湖盆水下地形数据,探讨了鄱阳湖湖盆冲淤的时空变化特征及其影响因素;王

淑平等<sup>[12]</sup>基于历史及实测水下地形资料,开展了鄱阳湖汇流河段冲淤变化研究;向诗月<sup>[13]</sup>利用实测水下地形数据,探讨了鄱阳湖湖床演变特征。虽然前人的相关研究已初步探明鄱阳湖部分典型地区的水下地形现状,但仍需进一步加强对鄱阳湖水下地形的整体认识和时空变化规律研究。

本次研究利用浅地层剖面仪获取了鄱阳湖的水深和浅部地层结构数据,并采用插值方法简明地展示了鄱阳湖水下地形信息。通过与前人研究成果的对比验证了数据的可靠性。基于这些数据,进一步分析了鄱阳湖水下地形现状及变化发展趋势,旨在为相关的科学研究和政府决策提供依据。

### 1 研究区概况

鄱阳湖位于长江南岸,地处江西北部,坐标范围为 28°22′~29°45′N,115°47′~116°45′E,南北长

\* 收稿日期:2023-04-27 修订日期:2023-06-05 责任编辑:叶海敏

基金项目:中国地质调查局“长江经济带暨长三角一体化发展区资源环境承载能力监测评价(编号:DD20221728)”项目资助。

第一作者简介:张鸿,1992 生,男,高级工程师,博士,主要从事水文地质工程地质调查研究工作。Email:ZhanghongCGS@163.com。

通信作者简介:金阳,1990 生,男,工程师,博士研究生,主要从事水文地质工程地质调查研究工作。Email:jinyang@mail.cgs.gov.cn。

约 170 km, 东西最大宽约 75 km。赣、抚、信、饶、修五河之水汇入鄱阳湖, 经调蓄后在湖口注入长江。

其以松门山为界分为北湖和南湖, 北湖为形状狭长的入江水道, 南湖为主湖区(图 1)。

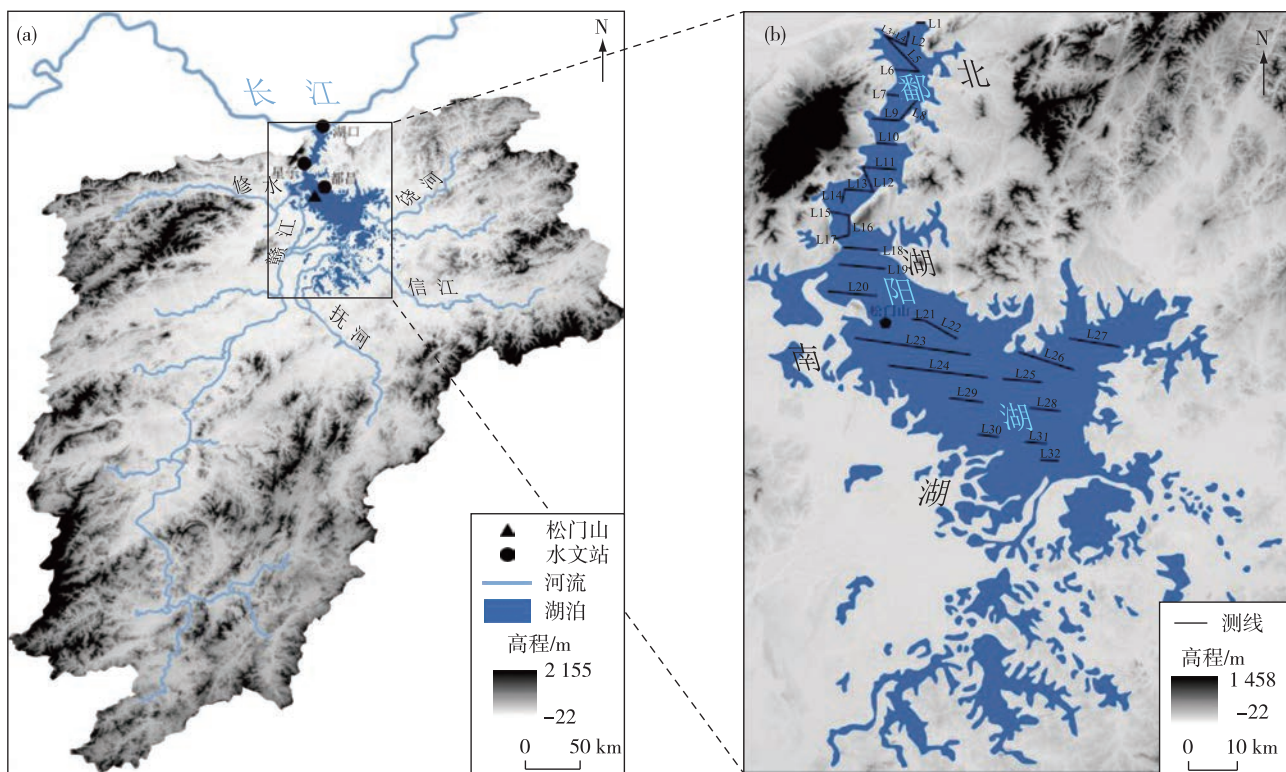


图 1 鄱阳湖地理位置(a)及测线分布图(b)

Fig. 1 Location of the Poyang Lake (a) and distribution of survey lines (b)

鄱阳湖水位年内变幅显著, 最高水位一般在 7 月至 9 月出现, 最低水位一般在 10 月至次年 3 月出现, 北部的星子站年内水位落差可达 10 m 以上。洪水期与枯水期的水面面积差异可达近 30 倍, 湖体容积差异可达 65 倍<sup>[14]</sup>, 形成了典型的“洪水一片, 枯水一线”的独特景观。

鄱阳湖地区属于亚热带湿润季风型气候区, 多年平均气温为 16~20 °C, 多年平均降水量约 1 600 mm, 多年平均陆地平均蒸发量为 700~800 mm, 多年平均水面蒸发量为 800~1 200 mm<sup>[15]</sup>。鄱阳湖地区整体气候温和, 日照充足, 雨量丰沛, 无霜期长, 冰冻期短。

## 2 探测方法与数据处理

### 2.1 仪器与原理

本文采用芬兰 Meridata 公司 (Oy Meridata Finland Ltd) 生产的 MD DSS 型浅地层剖面仪 (Sub-bottom Profiler), 接口单元为 UASP3C, 系统组件主要包括半防护笔记本电脑、信号处理单元、

船体安装 Chirp 声呐脉冲、Boomer 轰鸣器等(图 2)。其中 Chirp 声呐脉冲的地层分辨率高但勘探深度有限, 而 Boomer 轰鸣器的穿透深度较深但分辨率适中。本文主要依据 Chirp 声呐脉冲探测结果进行分析研究(表 1)。

浅地层剖面仪系统通过声波对浅地层剖面结构进行探测, 仪器发射的低频声波具有较高的能量, 可以穿透一定深度的水下底层介质, 在接触不同底层介质分界面时会发生反射和折射现象, 仪器通过识别反射的回波信号即可得到高分辨率的底层介质剖面分层信息, 经济高效地识别水下浅地层剖面结构和构造。

浅地层剖面系统是通过声波反射原理来识别不同底层介质的分界。在浅地层剖面调查中, 决定声波反射条件的关键因素为反射系数  $R$ , 该参数主要由底层介质的密度  $\rho$  和声速  $C$  决定。如图 3 所示, 通常自上而下第一层介质为水体, 假定其密度和声速分别为  $\rho_1$  和  $C_1$ , 水底以下由多层介质组成,



(a).信号处理单元;(b).Boomer 轰鸣器;(c).Chirp 声呐脉冲

图 2 浅地层剖面仪主要组件

Fig. 2 Main components of sub-bottom profiler

表 1 MD DSS 浅地层剖面仪技术参数

Table 1 Technical parameters of MD DSS sub-bottom profiler

项目	内容	指标
发射单元 (Chirp 声呐 脉冲)	频率范围/kHz	2~50
	穿透深度/m	80
	分辨率/mm	25
	传输脉冲持续时间/ms	0~20
接收单元	数据类型	HFC
	采样率/kSPS	100
	道长度/k	128
	导出图像类型	tiff/bmp/png/gif/jpg
	信号处理功能	TVG、AGC、HPF、 LPF、BPF、噪声滤波、 叠加、边缘检测、底追 踪、可调增益和动态范 围等

其密度和声速分别为  $\rho_n$  和  $C_n$ 。以水下首个分界为例,该界面的反射系数  $R_1$  为

$$R_1 = \frac{\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1}{\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1}.$$

从上式可以看出,对于相邻的两种底层介质,其密度和声速差越大,则反射系数  $R$  的绝对值越大,反射波能量就越强,在成果图像上产生的分界线也越容易识别。不同的地层往往在物理特征上存在差异,因此依据不同岩层声学反射特征差异划分的反射界面,通常能够与地层界面相吻合<sup>[16]</sup>。

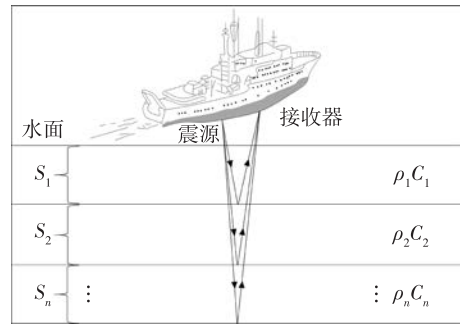


图 3 浅地层剖面仪系统工作原理示意图

Fig. 3 Operating principle of sub-bottom profile

## 2.2 数据采集与处理

本文依托中国地质调查局南京地质调查中心“长江经济带暨长三角一体化发展区资源环境承载能力监测评价”项目,2022 年 5 月使用浅地层剖面仪在鄱阳湖地区开展了水下浅底地层剖面结构探测工作。在浅地层剖面探测作业时,将 Chirp 声呐脉冲安装在船体一侧,并通过钢管进行固定,保证 Chirp 声呐脉冲垂直于水面,以增强信号接收强度。将导航电脑、浅地层剖面数据采集系统等全部安装在测量船驾驶室内。安装完毕后,精确测量 Chirp 声呐脉冲与导航系统之间的相对位置关系,并做好记录(图 4)。

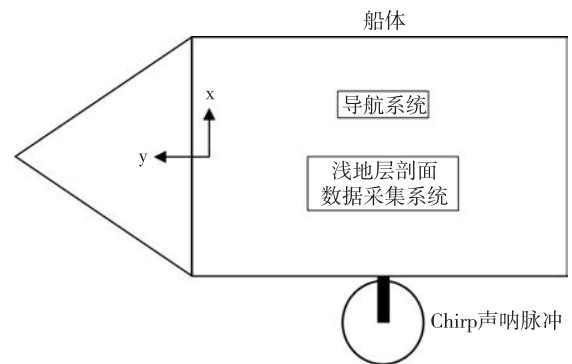


图 4 浅地层剖面仪安装示意图

Fig. 4 Installation schematic of sub-bottom profile

在浅地层剖面测量正式作业前,在测区内对声源脉冲频率、采集增益及船速等参数进行试验,选择获得最佳资料采集效果的参数设置。正式作业过程中,按照布设测线以 3~5 km/h 的船速进行匀速探测,并实时照看采集设备与周围水域状况,在船只航运安全的前提下确保采集数据清晰有效。

调查测线共计 32 条,按照测线实施顺序将测线编号为 L1 至 L32,测线总长度约 190 km。其中,20

条测线位于鄱阳湖北湖(入江通道),总长度约 95 km。12 条测线位于鄱阳湖南湖(主湖区),总长度约 95 km(图 1)。为了进一步验证浅地层剖面调查结果,2022 年 9 月枯水期借助浅钻揭露手段,再次对松散沉积物厚度进行了探测。

数据采集完成后进行检查,确保测线数据严格按照布设测线连续分布且清晰有效,并及时开展复测工作。本文使用 Meridata 公司研发的 MDPS 专业软件对采集数据进行处理,主要步骤包括:

(1)基于软件功能对采集数据进行信号处理,包括基本增益和基本补偿、TVG 可调增益、噪声滤波等。

(2)基于原始图像划分反射界面,确保划分的界面连续清晰且可追踪<sup>[17]</sup>。

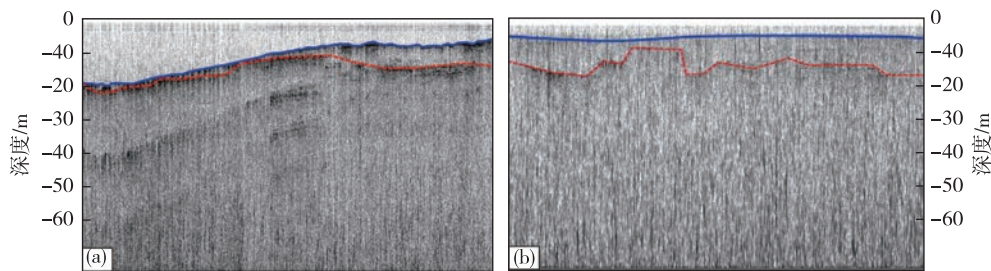
(3)绘制图像,包括基于原始图像的反射界面

图、水深分布图以及泥沙厚度分布图等。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 水深分布

当声波穿透不同介质或沉积物粒度等发生显著变化时,浅地层剖面仪成像内部会产生显著的分层现象<sup>[18-20]</sup>。借助 Origin 软件的图像数字化工具对浅地层剖面成果图像进行读取,即可分别得到测线的水体深度数据和松散沉积物底部深度数据,两者之间的差值即为松散沉积物厚度。图 5 展示了北湖与南湖两条典型测线(L1 和 L26)的水底情况。北湖 L1 测线反映水深起伏较大,松散沉积物不均,总体厚度较薄;南湖 L26 测线指示水深较浅,水底地势较为平缓,松散沉积物厚度较大。



蓝色线和红色线分别代表了湖底面和松散沉积物底面

图 5 鄱阳湖 L1(a)与 L26(b)测线局部段浅地层剖面图

Fig. 5 Partial sub-bottom profile image of L1 (a) and L26 (b) in Poyang Lake

箱形图是初步了解和定量研判数据特征的有效工具,其将数据范围等分为 4 份,每份包含 25% 的数据。通过绘制鄱阳湖水深与松散沉积物厚度数据的箱形图(图 6),能够清晰简明地展示入江通道与主湖区水深数据的全貌及基本特征。如图 6 所示,相较于主湖区,入江通道段总体水深较深,而数据分布则较离散,呈显著的负偏态分布,这表明该段水深变化较大。

通过对本次调查的 32 条测线的处理分析,以 30 m 间距进行点数据读取,得到可用于 ArcGIS 软件插值分析的水深和松散沉积物厚度数据点约 6 300 个。水深插值范围采用鄱阳湖区范围,除北部入江口段外,研究区边界的水深数值都设为 0 m,泥沙厚度插值范围设置为测线所包含的湖区范围,差值方法都选择反距离权重法。

吴桂平等<sup>[11]</sup>运用 2010 年鄱阳湖 1:10 000 水下实测地形数据构建了湖盆数字地形模型(图 7(a)),本

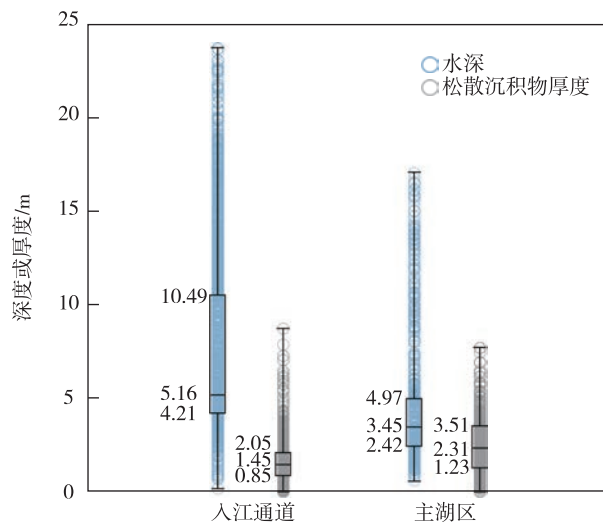


图 6 鄱阳湖入江通道与主湖区的水深及松散沉积物厚度箱形图

Fig. 6 Box plot of water depth and unconsolidated sediment thickness of water channel into Yangtze River and the main area of Poyang Lake

次水深数据的插值结果(图 7(b))与其具有相似的形态,表明本次插值结果具有可信度。从整体上看,鄱阳湖水深分布在 0.16~23.71 m 之间,均值为 5.73 m。其中,过江通道段水深范围为 0.16~

23.71 m,平均水深为 7.37 m;主湖区水深范围为 0.59~17.03 m,平均水深为 4.08 m。总体而言,鄱阳湖水下地形呈向北倾斜的“凹”字型分布,入江水道和主湖区西北部水深较深,南部则水深较浅(图 7)。

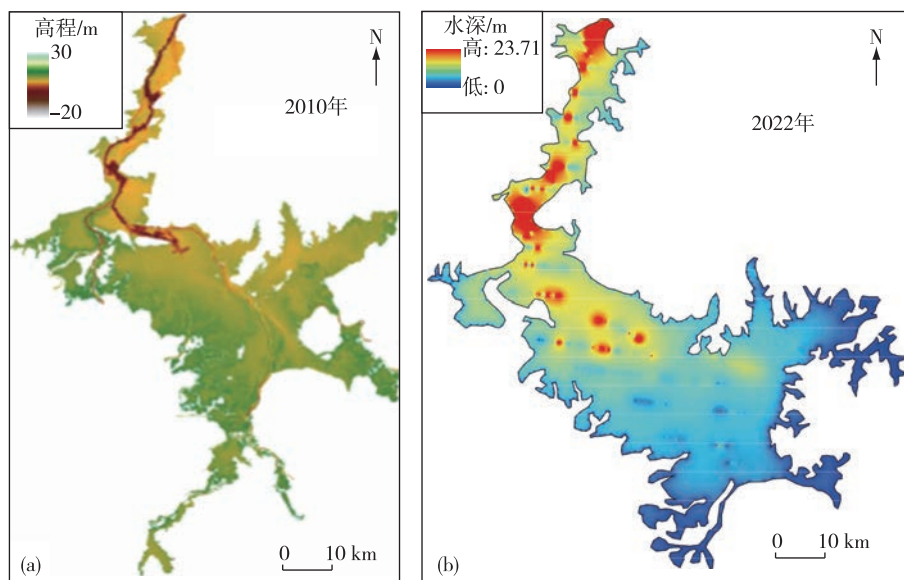


图 7 鄱阳湖湖盆数字地形(a)<sup>[11]</sup>及实测水深分布(b)图

Fig. 7 DEM model of the bottom topography (a)<sup>[11]</sup> and measured water depth (b) of Poyang Lake

### 3.2 沉积物分析

#### 3.2.1 厚度分布

鄱阳湖浅部主要为第四系全新统砂土、砾石土、新近系堆积物、淤泥质土以及粉质黏土,该层总厚度可达 20 m<sup>[21-22]</sup>。根据钻孔资料揭示,全新统顶部以砂砾石层为主,该层底部淤泥质含量显著增高。由于不同岩土层的物理指标存在差异,因此砂砾石层与淤泥层的分界在浅地层剖面仪成像图上能够较为显著地识别,即图 5 中的红色分界线。

从箱形图(图 6)上能够看出,主湖区松散沉积物厚度较入江通道偏厚,主湖区和入江通道的松散沉积物厚度数据基本都保持正态分布,表明数据总体变化较小。鄱阳湖松散沉积物厚度数据插值结果如图 8 所示,图中文献数据点的砂层厚度引自于李燕等<sup>[23]</sup>2021 年发布的钻孔资料。总体来看,鄱阳湖松散沉积物厚度范围为 0~8.73 m,平均厚度为 1.97 m。其中,过江通道段松散沉积物厚度为 0~8.73 m,平均厚度为 1.50 m;主湖区松散沉积物厚度为 0~7.70 m,平均厚度为 2.43 m。ZHENG S W 等<sup>[19]</sup>曾结合鄱阳湖入江通道段的浅地层剖面图像和湖床沉积物特征进行分析,认为该地区的松

散沉积物厚度主要反映了沙坑或采砂区厚度,且该厚度范围为 0.5~8.0 m,这与本研究发现的松散沉积物厚度基本吻合。

前人研究<sup>[24-26]</sup>认为,2000—2020 年鄱阳湖湖盆由淤积向冲刷逐渐转变。本文通过与 2003 年鄱阳湖泥沙淤积状况<sup>[27]</sup>对比发现,鄱阳湖地区松散沉积物厚度有一定的增加,入江通道段有淤有冲,冲刷段主要集中在入江口地区,主湖区以淤积为主(图 8)。

#### 3.2.2 浅钻验证

2022 年 6—8 月,受持续高温少云天气和五河来水减少等因素的共同影响,长江流域遭遇 1961 年以来最严重的干旱气候,鄱阳湖同样遭遇大旱。鄱阳湖于 8 月 6 日提前进入枯水期,水位显著下降,成为 1951 年有记录以来,最早进入枯水期的年份(图 9)。

2022 年 9 月,极端气候为验证工作提供了绝佳机会,“长江经济带暨长三角一体化发展区资源环境承载能力监测评价”项目组借助槽型钻在鄱阳湖主湖区北部开展了浅钻揭露工作,共计浅钻调查点 5 个,并按照经度顺序将浅钻编号为 QZ-1 至 QZ-5

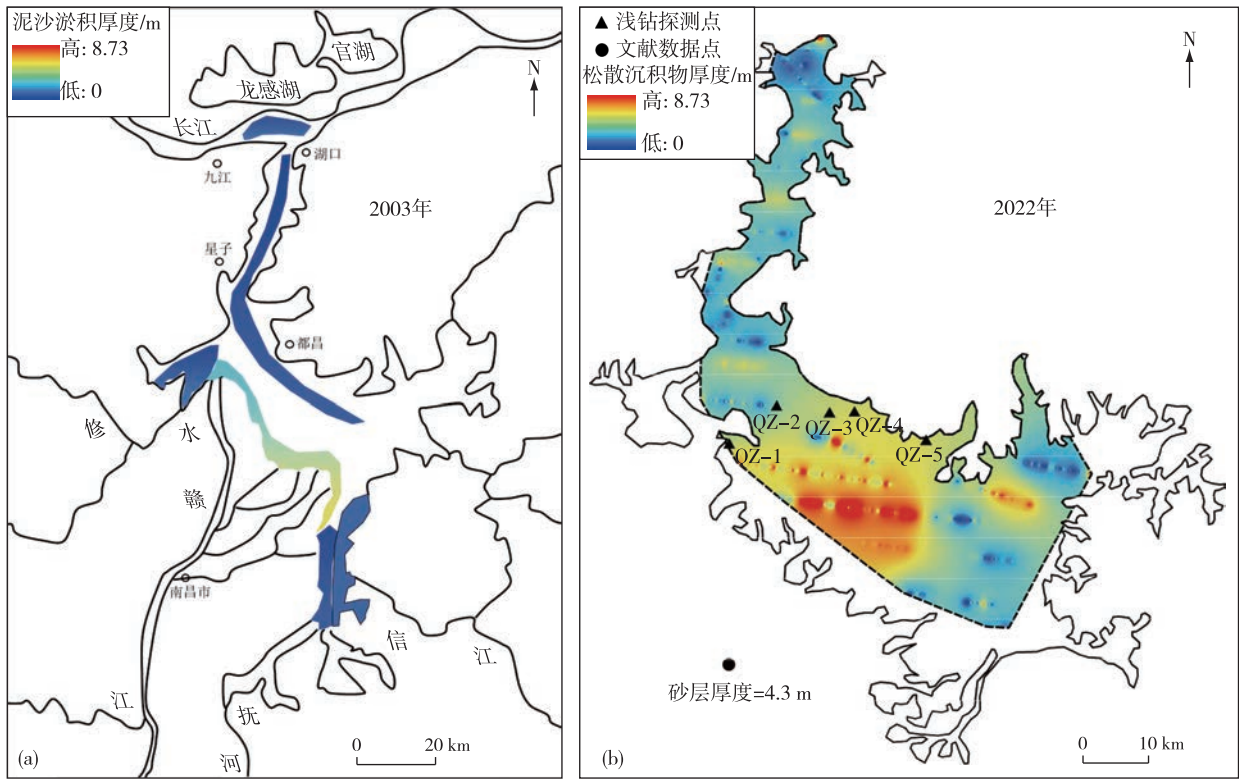


图 8 2003 年鄱阳湖泥沙淤积分布(a)<sup>[27]</sup> 及 2022 年实测松散沉积物厚度分布(b)图  
Fig. 8 Distributions of unconsolidated sediments in 2003(a)<sup>[27]</sup> and 2022(b) in Poyang Lake

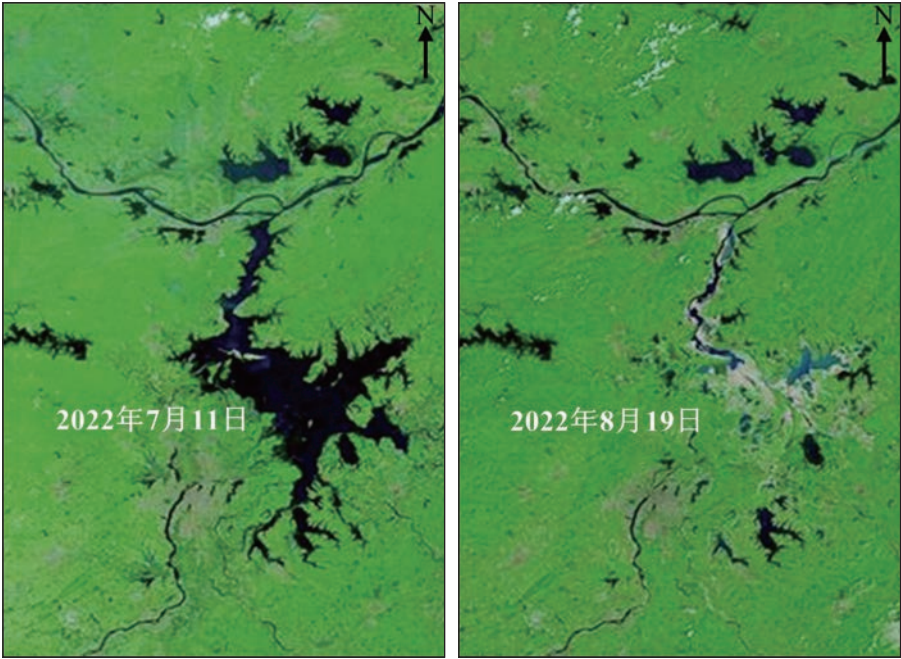


图 9 2022 年夏鄱阳湖遥感监测影像图<sup>[28]</sup>  
Fig. 9 Remote sensing images of Poyang Lake in the summer of 2022<sup>[28]</sup>

(图8)。浅钻钻深为1.5~2.5 m,提取的岩心质量较好,有完整的圆柱形态,便于特征观察。岩心样品从上至下显示出砂土向淤泥的过渡,这一结果与前期相关研究成果吻合<sup>[23, 29]</sup>。本次研究统计了各钻孔点的砂土层厚度用于对比研究。

将浅钻调查得到的松散沉积物厚度结果与软件插值结果进行对比,两者具有很好的对应性,表明浅地层剖面调查结果基本可靠(图10)。值得注意的是,所有点的浅钻探测松散沉积物厚度都略小于浅地层剖面数据插值得到的松散沉积物厚度,这可能是由于:

(1)受地理条件所限,浅钻调查点与测线存在偏差,导致浅钻实测值与插值推算结果产生一定的误差。

(2)本次调查槽型钻主要依靠人力实施,因此部分钻孔深度可能未达到松散沉积物层底部。

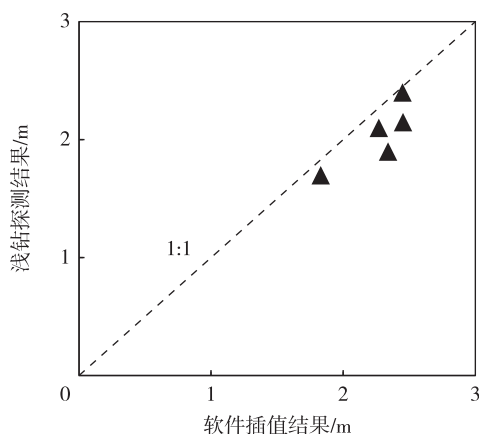


图10 鄱阳湖松散沉积物厚度的浅钻实测值与插值推算结果对比

Fig. 10 Comparison of unconsolidated sediment thicknesses from shallow drilling exploration and interpolation in Poyang Lake

### 3.3 砂量估算

鄱阳湖是重要的泥沙资源产地,2010年该地区提供了中国所需沙量的9%<sup>[30]</sup>。依据行业规范标准《SL42—2010 河流泥沙颗粒分析规程》<sup>[31]</sup>中有关泥沙粒径分类的相关规定,0.1~1 mm的颗粒被界定为砂砾。前人研究<sup>[19, 32]</sup>表明,鄱阳湖湖床沉积物粒度主要集中在0.01~1 mm,是建筑施工、堤防加固等工程的优质用砂<sup>[33]</sup>。

本研究基于插值结果对鄱阳湖松散沉积物层体积进行了估算。

单个像元点的面积  $A(m^2)$  计算如公式所示:  
 $A_i = L_i \times L_i$ ,  $L_i(m)$  为正方形像元的边长。

松散沉积物体积  $V(m^3)$  计算如公式所示:  $V = \sum_{i=1}^n A_i \times H_i$ 。其中  $H_i(m)$  为每个像元点的松散沉积物厚度值,该值能够通过软件的属性表导出获得; $n$  为像元个数。

具体的插值生成像元点共计 29 157 个,像元大小为 224.19 m×224.19 m,通过上述计算过程得到松散沉积物层体积约为 3.02 km<sup>3</sup>。

基于地形数据、水文数据和卫星遥感数据,江丰等<sup>[34]</sup>对鄱阳湖 2001—2010 年的采砂规模进行了计算,10 年间鄱阳湖采砂量达 1.29 km<sup>3</sup>。这一数据占本研究估算的松散沉积物层体积的 42.69%,表明大规模采砂活动能够显著改变鄱阳湖地区水下地形,对该地区的生态环境产生一定影响<sup>[35-37]</sup>。

值得一提的是,本文的调查研究工作仅基于现有测线结果。为了完善与细化对鄱阳湖水下沉积地形的研究,在后续工作中将继续加密测线,并采用取样深度更大的冲击钻进行岩心加密取样验证。

## 4 结论与建议

(1)浅地层剖面探测表明,鄱阳湖水深 0.16~23.71 m,平均值为 5.73 m;入江水道和主湖区西北部水深较深,南部水深较浅。

(2)湖区松散沉积物厚度为 0~8.73m,平均值为 1.97 m。主湖区中部松散沉积物厚度较大,估算的松散沉积物体积为 3.02 km<sup>3</sup>。

(3)大规模采砂活动能够显著改变鄱阳湖水下地形,应进一步加强采砂活动对当地生态环境影响的研究。

**致谢:**感谢匿名专家与编辑部在本文内容和结构上提出的宝贵意见。

## 参考文献

- [1] 朱海虹,张本,郑长苏,等.鄱阳湖:水文生物·沉积·湿地·开发整治[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1997:1-10.  
 ZHU H H, ZHANG B, ZHENG C S, et al. Poyang lake: hydrology and biology·deposit·wetland·development and rehabilitation [M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 1997:

- 1-10.
- [2] 马超, 顾延生, 刘春根, 等. 鄱阳湖东南部地区全新统植硅体组合特征与古环境分析[J]. 华东地质, 2018, 39(3): 187-193.
- MA C, GU Y S, LIU C G, et al. Characteristics of Holocene phytolith assemblage in the southeast of Poyang Lake and its paleoenvironmental implications [J]. East China Geology, 2018, 39(3): 187-193.
- [3] YE X C, GUO Q, ZHANG Z X, et al. Assessing hydrological and sedimentation effects from bottom topography change in a complex river—lake system of Poyang Lake, China [J]. Water, 2019, 11(7): 1489.
- [4] 姚仕明, 胡呈维, 渠庚, 等. 长江通江湖泊演变及其影响效应研究进展[J]. 长江科学院院报, 2022, 39(9): 15-23.
- YAO S M, HU C W, QU G, et al. Research advances in morphological evolution of lakes connecting the Yangtze river and its influences[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2022, 39(9): 15-23.
- [5] 张龚泉, 岳建平, 刘胜男, 等. 基于遥感影像的鄱阳湖地形提取方法[J]. 测绘通报, 2022(5): 62-66.
- ZHANG G Q, YUE J P, LIU S N, et al. Terrain extraction method of Poyang Lake based on remote sensing image [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2022(5): 62-66.
- [6] 邴建平. 长江—鄱阳湖江湖关系演变趋势与调控效应研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- BING J P. The evolution trend and regulation effect of the Yangtze River—Poyang Lake relationship [D]. Wuhan: Wuhan University, 2018.
- [7] FENG L, HU C M, CHEN X L, et al. MODIS observations of the bottom topography and its inter-annual variability of Poyang Lake [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(10): 2729-2741.
- [8] 刘前进, 董毓, 封林波. 九江地区长江沿岸工程地质特征与岸坡稳定性探讨[J]. 华东地质, 2017, 38(2): 147-154.
- LIU Q J, DONG Y, FENG L B. Engineering geological characteristics and bank slope stability in the Jiujiang region along the Yangtze River[J]. East China Geology, 2017, 38(2): 147-154.
- [9] FANG C, LU S L, LI M Y, et al. Lake water storage estimation method based on similar characteristics of above-water and underwater topography [J]. Journal of Hydrology, 2023, 618: 129-146.
- [10] 许小华, 雷声, 王小笑, 等. 基于 DEM 的鄱阳湖水下地形分析[J]. 人民长江, 2014, 45(21): 30-32.
- XU X H, LEI S, WANG X X, et al. Underwater topography analysis of Poyang Lake by DEM [J]. Yangtze River, 2014, 45(21): 30-32.
- [11] 吴桂平, 刘元波, 范兴旺. 近 30 年来鄱阳湖盆地地形演变特征与原因探析[J]. 湖泊科学, 2015, 27(6): 1168-1176.
- WU G P, LIU Y B, FAN X W. Bottom topography change patterns of the Lake Poyang and their influence mechanisms in recent 30 years[J]. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(6): 1168-1176.
- [12] 王淑平, 程和琴, 郑树伟, 等. 近期长江与鄱阳湖汇流河段冲淤变化与微地貌特征[J]. 泥沙研究, 2018, 43(3): 15-20.
- WANG S P, CHENG H Q, ZHENG S W, et al. Fluvial processes and micro-topography characteristics in the Yangtze River and Poyang Lake confluence in recent years[J]. Journal of Sediment Research, 2018, 43(3): 15-20.
- [13] 向诗月. 近期鄱阳湖侵蚀基准面变化及其对水情与湖床演变的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2021.
- XIANG S Y. Recent changes of erosion datum in Poyang Lake and their effects on hydrological regime and lake bed evolution[D]. Shanghai: East China Normal University, 2021.
- [14] 王毛兰. 鄱阳湖流域氮磷时空分布及其地球化学模拟[D]. 南昌: 南昌大学, 2007.
- WANG M L. Spatio-temporal distribution of nitrogen and phosphorus and its geochemical modeling in Poyang Lake catchments [D]. Nanchang: Nanchang University, 2007.
- [15] 霍雨. 鄱阳湖形态特征及其对流域水沙变化响应研究[D]. 南京: 南京大学, 2011.
- HUO Y. Poyang Lake morphological characteristics and its response to runoff and sediment of Poyang Lake Basin [D]. Nanjing: Nanjing University, 2011.
- [16] 李平, 杜军. 浅地层剖面探测综述[J]. 海洋通报, 2011, 30(3): 344-350.
- LI P, DU J. Review on the probing of sub-bottom profiler [J]. Marine Science Bulletin, 2011, 30(3): 344-350.
- [17] 武传鹏, 佟骏. 浅地层剖面探测在水域工程中的应用及问题分析[J]. 港工技术, 2022, 59(5): 117-120.
- WU C P, TONG T. Analysis for application of shallow stratigraphic profiler in marine engineering [J]. Port Engineering Technology, 2022, 59(5): 117-120.
- [18] LAFFERTY B, QUINN R, BREEN C. A side-scan

- sonar and high-resolution Chirp sub-bottom profile study of the natural and anthropogenic sedimentary record of Lower Lough Erne, northwestern Ireland [J]. *Journal of Archaeological Science*, 2006, 33: 756-766.
- [19] ZHENG S W, CHENG H Q, TANG M, et al. Sand mining impact on Poyang Lake: A case study based on high-resolution bathymetry and sub-bottom data [J]. *Journal of Oceanology and Limnology*, 2022, 40(4): 1404-1416.
- [20] 武彬, 林丰增, 张艺武, 等. 福建宁德近岸海域海底浅层气分布特征及成因分析[J]. *华东地质*, 2022, 43(1): 87-93.
- WU B, LIN F Z, ZHANG Y W, et al. Distribution characteristics and genesis analysis of submarine shallow gas in Ningde coastal area, Fujian Province[J]. *East China Geology*, 2022, 43(1): 87-93.
- [21] 朱诚, 张奇, 陈星, 等. 江西鄱阳湖老爷庙水域环境特征与沉船事件的成因研究[J]. *自然灾害学报*, 2021, 30(6): 198-208.
- ZHU C, ZHANG Q, CHEN X, et al. Environmental characteristics of Laoyemiao water area and causes of shipwreck in Poyang Lake[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2021, 30(6): 198-208.
- [22] 马振兴, 蒋玉珍, 魏源, 等. 鄱阳湖组(第四系)的修订及特征[J]. *地层学杂志*, 2003, 27(3): 212-215.
- MA Z X, JIANG Y Z, WEI Y, et al. Revision and characters of the Poyang Formation (quaternary)[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2003, 27(3): 212-215.
- [23] 李燕, 金振奎, 高白水, 等. 汉口滩沉积特征及沉积模式——以鄱阳湖赣江三角洲汉口滩为例[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2021, 51(6): 1678-1688.
- LI Y, JIN Z K, GAO B S, et al. Sedimentary characteristics and model of branch mouth bar: A case study of branch mouth bar in Ganjiang Delta of Poyang Lake [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2021, 51(6): 1678-1688.
- [24] 向诗月, 程和琴, 滕立志. 鄱阳湖流域侵蚀基准面近期变化及其影响[J]. *泥沙研究*, 2021, 46(5): 48-54.
- XIANG S Y, CHENG H Q, TENG L Z. Recent processes of the base level by scour and their impacts on the Poyang Lake Basin[J]. *Journal of Sediment Research*, 2021, 46(5): 48-54.
- [25] 欧阳千林. 鄱阳湖近 10 年来冲淤变化特征及成因分析[J]. *江西水利科技*, 2021, 47(5): 335-340.
- OUYANG Q L. Characteristics and causes of scouring and deposit in Poyang Lake[J]. *Jiangxi Hydraulic science and Technology*, 2021, 47(5): 335-340.
- [26] 胡振鹏, 王仕刚. 鄱阳湖冲淤演变及水文生态效应[J]. *水利水电技术*, 2022, 53(6): 66-78.
- HU Z P, WANG S G. Evolution of scour and sedimentation and its hydrological and ecological effects in Poyang Lake[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2022, 53(6): 66-78.
- [27] 马逸麟, 熊彩云, 易文萍. 鄱阳湖泥沙淤积特征及发展趋势[J]. *资源调查与环境*, 2003, 24(1): 29-37.
- MA Y L, XIONG C Y, YI W P. Sedimentary characteristics and developing trend of sediments in Poyang Lake, Jiangxi Province[J]. *Resources Survey and Environment*, 2003, 24(1): 29-37.
- [28] 刘娟, 李晓云, 李权, 等. 卫星直击长江流域旱情[EB/OL]. (2022-08-24) [2023-05-08]. <http://www.xinhuanet.com/multimediapro/20220824/06c6ea1e0c514-851aeb052b9e9bd890e/c.html>.
- LIU J, LI X Y, LI Q, et al. Drought situations in the Yangtze River Basin observed by satellite imagery [EB/OL]. (2022-08-24) [2023-05-08]. <http://www.xinhuanet.com/multimediapro/20220824/06c6ea1e0c514-851aeb052b9e9bd890e/c.html>.
- [29] 李云良, 许秀丽, 赵贵章, 等. 鄱阳湖典型洲滩湿地土壤质地与水分特征参数研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(8): 1200-1208.
- LI Y L, XU X L, ZHAO G Z, et al. Research of soil textures and soil-water characteristic parameters in a typical wetland of Poyang Lake[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25(8): 1200-1208.
- [30] DE LEEUW J, SHANKMAN D, WU G F, et al. Strategic assessment of the magnitude and impacts of sand mining in Poyang Lake, China [J]. *Regional Environmental Change*, 2010, 10(2): 95-102.
- [31] 中华人民共和国水利部. SL42—2010 河流泥沙颗粒分析规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010:10-65.
- Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. SL42—2010 Technical standard for determination of sediment particle size in open channels[S]. Beijing: China Water and Power Press, 2010:10-65.
- [32] YUAN S Y, TANG H W, LI K, et al. Hydrodynamics, sediment transport and morphological features at the confluence between the Yangtze River and the Poyang Lake [J]. *Water Resources Research*, 2021, 57(3): e2020WR028284.
- [33] 马水山, 徐勤勤. 长江采砂管理中的若干关键技术问题[J]. *中国水利*, 2013(10): 15-18.
- MA S S, XU Q Q. Key technical issues in sand exca-

- vation management in Yangtze River Basin[J]. *China Water Resources*, 2013(10): 15-18.
- [34] 江丰, 齐述华, 廖富强, 等. 2001—2010 年鄱阳湖采砂规模及其水文泥沙效应[J]. *地理学报*, 2015, 70(5): 837-845.
- JIANG F, QI S H, LIAO F Q, et al. Hydrological and sediment effects from sand mining in Poyang Lake during 2001—2010 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(5): 837-845.
- [35] YAO J, ZHANG D, LI Y L, et al. Quantifying the hydrodynamic impacts of cumulative sand mining on a large river-connected floodplain lake: Poyang Lake [J]. *Journal of Hydrology*, 2019, 579: 124156.
- [36] DENG M M, LI Q Y, LI W Y, et al. Impacts of sand mining activities on the wetland ecosystem of Poyang Lake (China) [J]. *Land*, 2022, 11(8): 1364.
- [37] 姜月华, 陈立德, 向芳, 等. 长江演化及其对洪涝灾害防治的启示[J]. *中国地质*, 2022: 1-34.
- JIANG Y H, CHEN L D, XIANG F, et al. Evolution of the Yangtze River and its implications for prevention and control to flood disaster [J]. *Geology in China*, 2022: 1-34.

## Sublacustrine sedimentary topography detection and analysis of Poyang Lake based on sub-bottom profiler

ZHANG Hong<sup>1,2</sup>, ZHOU Quanping<sup>1,2</sup>, JIANG Yuehua<sup>1,2</sup>, JIN Yang<sup>1,2,3</sup>, CHEN Zi<sup>1,2</sup>,  
JIA Zhengyang<sup>1,2</sup>, MEI Shijia<sup>1,2</sup>

(1. *Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China*;

2. *Key Laboratory of Watershed Eco-Geological Processes, Ministry of Natural Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China*; 3. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

**Abstract:** Poyang Lake is an important freshwater, sand and stone source area in China, where its sub-lacustrine sedimentary topography has always drawn much attention in academia. This study systematically investigates the underwater topography and sedimentary characteristics of Poyang Lake with sub-bottom profiler. Data analysis of 32 survey lines revealed that the depth of Poyang Lake varies from 0.16 m to 23.71 m, with the water channel into Yangtze River and the northwest part of the main lake area being relatively deeper. The thickness of unconsolidated sediment varies from 0 m to 8.73 m, with thick layers concentrating in the central part of the main lake area, and the estimated volume of the unconsolidated sediments is approximately 3.02 km<sup>3</sup>. In September 2022, shallow drilling exploration is conducted in the main lake area to verify the reliability of the data from sub-bottom profiler. Comparison with previous studies indicates that large-scale sand mining can significantly impact the bottom topography of Poyang Lake. This study comprehensively reveals the current state of underwater topography and sedimentary characteristics of Poyang Lake, and the conclusion is useful for the relevant research and management.

**Key words:** Poyang Lake; sub-bottom profiler; sublacustrine topography; thickness and volume of unconsolidated sediments