



基于浅地层剖面振幅属性的海底沉积物类型反演

高军锋, 唐松华, 张胜江, 姜胜辉, 刘龙龙, 王圣民, 林 森, 黄 瑶

Using amplitude properties of shallow seismic profiles to reveal the seabed sediment types: A case study in Zhoushan Islands

GAO Junfeng, TANG Songhua, ZHANG Shengjiang, JIANG Shenghui, LIU Longlong, WANG Shengmin, LIN Sen, and HUANG Yao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2023050401>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

浅地层剖面 and 单道地震测量在海砂勘查中的联合应用

Combined application of sub-bottom and single-channel seismic profiles to marine sand and gravel resource prospecting
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(4): 207–214

舟山海域悬浮体的特征及输运机制

Characteristics and transport mechanism of suspended particles in offshore area of Zhoushan Islands
海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(6): 39–48

砂质海底沉积物压缩波速与物理参数关系试验研究

Experimental study on the relation between compressional wave velocity and physical properties of sandy sediments
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(2): 222–230

现代长江水下三角洲浅地层地震相特征

Shallow seismic facies characteristics of the modern underwater delta of the Yangtze River
海洋地质与第四纪地质. 2019, 39(2): 114–122

九州-帕劳海脊两侧深海盆地浅部地层结构特征与分析

Characteristics of the stratigraphic architectures of the shallow sections in deep sea basin on both sides of Kyushu–Palau ridge
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(1): 14–21

曹娥江沉积物黏土矿物与磁性特征及其指示意义

Magnetic properties and clay mineralogy of the surface sediments of Cao'e River basin and implications
海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(1): 108–117



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

高军锋, 唐松华, 张胜江, 等. 基于浅地层剖面振幅属性的海底沉积物类型反演—以舟山群岛为例[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2023, 43(6): 131-144.
GAO Junfeng, TANG Songhua, ZHANG Shengjiang, et al. Using amplitude properties of shallow seismic profiles to reveal the seabed sediment types: A case study in Zhoushan Islands[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2023, 43(6): 131-144.

基于浅地层剖面振幅属性的海底沉积物类型反演 ——以舟山群岛为例

高军锋¹, 唐松华², 张胜江¹, 姜胜辉³, 刘龙龙¹, 王圣民⁴, 林森¹, 黄瑶⁴

1. 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 烟台 264000

2. 中石化海洋石油工程有限公司, 上海 200120

3. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100

4. 浙江省工程勘察设计院集团有限公司, 宁波 315000

摘要:应用声学方法反演海底沉积物类型对于研究海洋和开发海洋具有重要意义。基于有限的海底取样或原位测试获取海底沉积物类型,其成本高、效率低、连续性差,而声学反演方法由于其迅速、连续、方便、经济等优点受到普遍重视。本文基于在舟山群岛海域获取的高密度高分辨率浅地层剖面数据,利用前处理、振幅属性提取等技术进行海底表层沉积物类型反演,通过与侧扫声呐数据解释的地貌类型和实测海底表层沉积物类型对比,发现浅地层剖面振幅均方根 RMS 属性值可较准确地反演海底表层沉积物类型。利用最近获得的 1 100 km 浅地层剖面振幅 RMS 属性值反演出舟山群岛的沉积物类型主要有黏土、黏土质粉砂、粉砂、砂和基岩 5 种类型,通过与实测数据对比,初步估算准确率在 72% 以上,表明作为一种新的利用浅地层剖面振幅属性反演海底表层沉积物类型的方法在该区是可行的。

关键词:浅地层剖面; 振幅属性; RMS 属性值; 沉积物类型; 舟山群岛

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: [10.16562/j.cnki.0256-1492.2023050401](https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2023050401)

Using amplitude properties of shallow seismic profiles to reveal the seabed sediment types: A case study in Zhoushan Islands

GAO Junfeng¹, TANG Songhua², ZHANG Shengjiang¹, JIANG Shenghui³, LIU Longlong¹, WANG Shengmin⁴, LIN Sen¹, HUANG Yao⁴

1. Yantai Coastal Zones Geological Survey, China Geological Survey, Yantai 264000, China

2. Sinopec Offshore Oil Engineering Co. Ltd., Shanghai 200120, China

3. College of Marine Geoscience, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

4. Zhejiang Engineering Survey and Design Institute Group Co. Ltd., Ningbo 315000, China

Abstract: Using acoustic parameters to reveal sediment types is of great significance for ocean research and development. Obtaining sediment types based on limited seabed sampling or in situ testing has often high cost, low efficiency, and poor continuity, to which acoustic profiling provides an advantageous tool that is rapid, continuous, convenient, and economical. Based on the high density and high resolution shallow stratigraphic profile data obtained in Zhoushan Islands periphery, East Chia Sea, technologies of pre-processing, amplitude attribute extraction, and so on were used to decipher the submarine surface sediment types. By comparing the geomorphic types interpreted from side scan sonar data and measured submarine surface sediment types, we found that the RMS (root mean square) attribute of the amplitude on shallow strata profile could accurately reflect the types of seafloor surface sediments. According to the amplitude RMS attribute of 1 100 km shallow stratum profile obtained recently, the sediment types of Zhoushan Islands were interpreted, including mainly clay, clay silt, silt, sand, and bedrock. Compared to the measured data, the rate of successful match reached over 72%. This study provided a feasible way using the amplitude attribute of shallow seismic profiling to determine the surface sediment type in the study area and beyond.

Key words: shallow seismic profile; amplitude properties; RMS (root mean square) property; seabed sediment types; Zhoushan Islands

资助项目: 中国地质调查项目“浙江舟山市等 6 幅 1:5 万综合地质调查”(DD20211586)

作者简介: 高军锋(1985—), 男, 硕士, 工程师, 从事海岸带基础地质调查方面的研究工作, E-mail: 17697115278@163.com

通讯作者: 姜胜辉(1981—), 男, 硕士, 副教授, 从事海洋环境地质与工程的研究工作, E-mail: jsh254677@ouc.edu.cn

收稿日期: 2023-05-04; 改回日期: 2023-08-31. 张现荣编辑

海底作为一个具有重要意义的地质界面,一直都是海洋科学研究的热点。海底底质的开发和利用在许多领域上都具有重要意义,特别是海洋军事^[1]、海洋资源勘探^[2]、水下考古^[3]、海洋工程建设^[4]、海洋渔业^[5]等重要领域。传统的海底底质分类通常采用箱式取样、重力取样、抓斗等方式,按一定网格离散现场区域,通过室内测试分析后进行底质类型划分,但是该方式效率低,取样有限,作业成本高,所需时间长,且只能获取离散的海底底质点数据,需通过内插或外延的方式才能获得连续的底质分布。随着声学技术的不断发展,出现了多波束、侧扫声呐等一系列非接触式的声学底质探测方法^[6-10],不仅改善了作业效率,而且明显减少了投入成本。目前应用较多的声学探测系统有多波束、侧扫声呐、浅地层剖面仪等。这些方法基本上都是基于沉积物类型与散射强度、回波波形等物理量的相关性,进行相关改正后再进行特征提取和统计分析^[11-12]。多波束和侧扫声呐通过采集多角度反向散射信号来获取大面积的海底底质信息,多波束的回波强度数据往往侧重于统计特征参数的分类,而侧扫声呐的回波强度数据更倾向于图像纹理分类^[13]。然而,海底以下的沉积层中包含了很多可以表征底质特征的声学参数,如声阻抗、声衰减等,由于多波束和侧扫仅能穿透海底表面以下数厘米的深度,无法提取这些特征信息^[14-16]。

浅地层剖面仪,使用的是低频、高能量的正入射信号,能穿透至浅地层数十乃至数百米深度,获取这一深度区间内的高分辨率垂直剖面资料,其回波中包含更多浅地层沉积物信息,可用较高置信度推断底质类型^[17-18]。关于浅地层剖面的底质分类方法主要有 3 种:一是组合系统分类,将浅地层剖面与多波束或侧扫声呐相结合来识别不同的底质特征;二是基于模型的声学参数底质反演分类,Shock^[19-20]在 Biot-Stoll 模型的基础上计算了快波波速和衰减系数来预测表层沉积物的类型,反演方法在计算连续较深的沉积层性质时被证明是可靠的。郑红波等^[21]利用 Biot-Stoll 模型反演海底沉积物的孔隙度和渗透率,并计算平均粒径实现底质分类,结果表明,Biot-Stoll 模型适用于软质海底沉积物的分类;三是无模型的回波信号统计特征量底质自动分类,Yegireddi 等^[22]利用灰度共生矩阵统计数据进行浅地层特征识别和纹理特征向量提取,并选择一种名为自组织映射的无监督神经网络算法进行分类,成功从海底图像中分离出 4 种不同底质类型的沉积层。陈佳兵^[23]等提取图像的相关系数、角二阶矩、

同质性等 6 个特征向量,并提出将粒子群优化算法与 BP 神经网络相结合,通过优化 BP 神经网络的初始权值和阈值提高底质分类的精度。本文基于最近在舟山群岛采集的高密度高分辨率浅地层剖面测线,从处理后的浅地层数据中提取用于底质分类研究的关键参数,在此基础上,用无模型的回波信号统计特征量反演海底表层沉积物类型,并与高密度侧扫声呐数据解释的地貌类型和实测海底沉积物类型进行对比,分析该反演方法的准确率和可靠性,并绘制海底底质分布类型图,作为一种海底沉积物类型反演的新方法探索,为后期开展相关研究提供参考。

1 区域背景

研究区主要位于舟山群岛海域,舟山群岛是浙东天台山脉向海延伸的余脉。在 10~8 ka 前,由于海平面上升将山体淹没才形成今天的岛群。古近纪和新近纪沿海及海岛地区全面隆起,处于剥蚀、侵蚀构造环境。进入第四纪,气候明显变冷,早更新世浙江沿海及海岛地区仍处于上升阶段,遭受构造侵蚀,形成了低山丘陵地貌。第四纪以来,伴随着海平面的多次升降,沉积了海相砂砾层和淤泥滩堆积^[24-25]。

舟山群岛及其附近海域海流主要由东海沿岸流、长江冲淡水、台湾暖流等组成,季节性变化显著。受沿岸流影响,长江口入海泥沙经舟山群岛向东南搬运到水深小于 60 m 的内陆架区域。舟山群岛海域为典型往复流,岛屿间泥沙输运沿水道方向,潮流作用复杂,以峡道沉积作用为主,泥沙输运具有北进南出特征。已有研究表明,舟山群岛海域沉积物类型主要有 5 种,包括粉砂、砾质砂、砂质粉砂、粉砂质砂、砂,其中粉砂含量最高,呈片状广泛分布于舟山群岛东部宽阔海域^[26-28]。

2 材料与方法

2021 年 7—8 月中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心在舟山海域开展了 1 100 km 浅地层剖面 and 523 km 侧扫声呐测量(图 1),作业过程中导航定位采用美国 Trimble 公司产 SPS351-DGPS 差分信标接收机,CGCS2000 坐标系,投影方式采用高斯克吕格 6°带投影。

浅地层剖面采集仪器为英国应用声学公司生产的 AAE 型电火花浅地层剖面仪,测线间距 1 km×

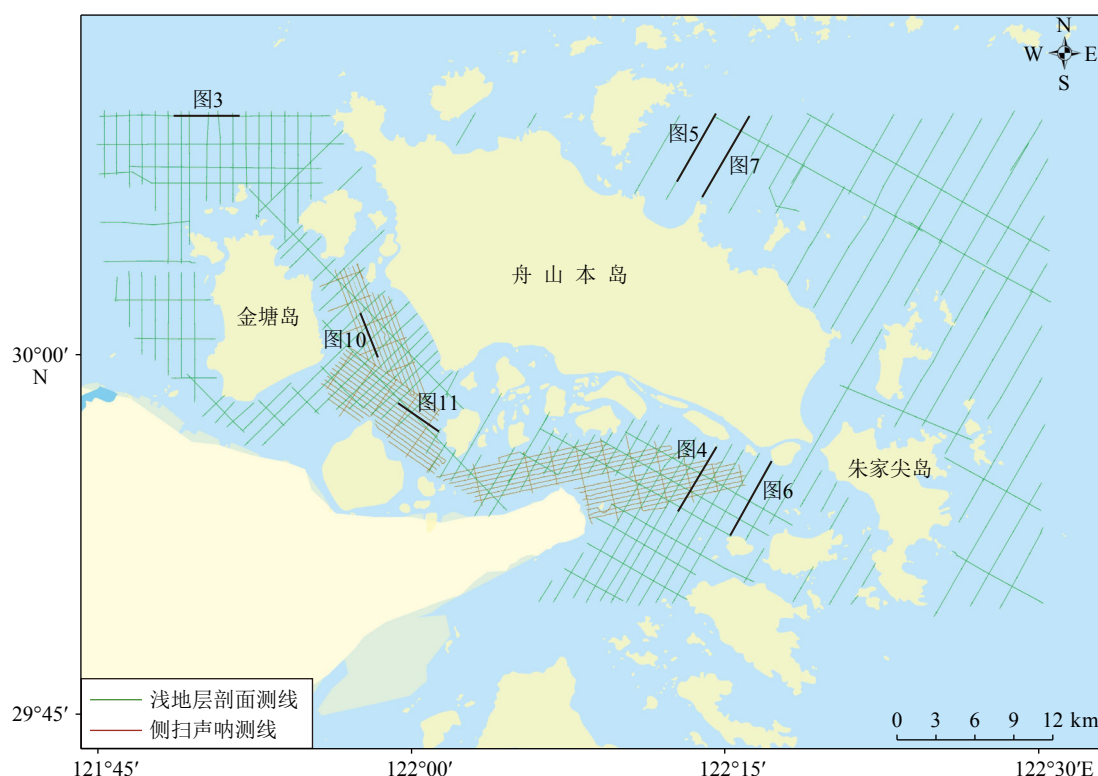


图 1 研究区内浅地层剖面 and 侧扫声呐测线图

Fig.1 Deployment of shallow seismic profiles and side scan sonar lines in the study area

2 km,震源为 CSP-D(50-2400 J),水下声源 Squid 2000,水听器为 20 单元组合检波水听器,频率响应范围为 145~7 000 Hz,探测地层垂向分辨率优于 0.5 m。通过试验确定的采集参数为:激发能量 750 J,激发间隔 800 ms,带通滤波 100~5 000 Hz,电火花震源距离船尾 30 m,水听器与电火花震源 5 m,数据记录格式为 SEG Y,记录量程 200 ms。

侧扫声呐采用美国 Klein 公司生产的 Klein4900 型数字式双频侧扫声呐,主测线平行等深线,联络测线垂直主测线,主测线间距 350 m,测量分两个区,金塘海域主测线共 30 条,联络测线共 11 条;定海海域主测线共 17 条,联络测线共 11 条。试验取得的剖面以具有较高分辨率和良好的记录面貌为原则,最终确定的侧扫声呐工作参数为:455 kHz 低频采集,量程 200 m,TVG 选择自动,后拖时拖缆放长 15 m,船速保持在 5 节左右。实际作业时根据回波信号的强度及声图质量,适时调整船速、量程等施工参数,确保声图能够清楚地反映海底的地貌特征。

3 浅地层剖面数据处理与地震振幅属性提取

浅地层剖面数据处理采用集成开发的运行在 Windows 平台的处理系统,在浅地层剖面数据处理

方面,有针对性地编写了特有模块和算法,目前成熟的模块有:能量分析、频谱分析、频率域滤波、时变滤波、真振幅恢复、道间能量均衡、非相干及相干噪音压制、水体噪音压制、鬼波压制、海底多次波压制、涌浪改正、潮位改正、道坐标归算等。根据浅地层剖面特点,本次使用的模块包括频谱分析、频率扫描、频率域滤波、振幅恢复、能量均衡、层位平滑、多次波衰减、噪音衰减等,通过数据处理,压制了噪音和多次波,突出了有效波,提高了信噪比,并加强了层位连续性,方便后续属性数据的提取。

3.1 浅地层剖面数据处理

对原始 SEG Y 数据进行前处理,包括滤波、真振幅恢复、振幅衰减补偿、振幅校正、振幅属性提取、多次波提取及反射系数计算等,方便后续属性数据的提取^[29]。

3.1.1 滤波

通过对原始数据进行频率扫描,频谱分析等,大致确定数据资料的频率范围,以确定频率域滤波参数,通过分析对比,本次数据资料的有效频带范围大致在 150~1 800,根据分析结果进而选择相应的滤波参数,滤波后高频和甚低频干扰噪音都得到了压制,同时也避免了噪音对后期海底振幅属性提取的干扰(图 2)。

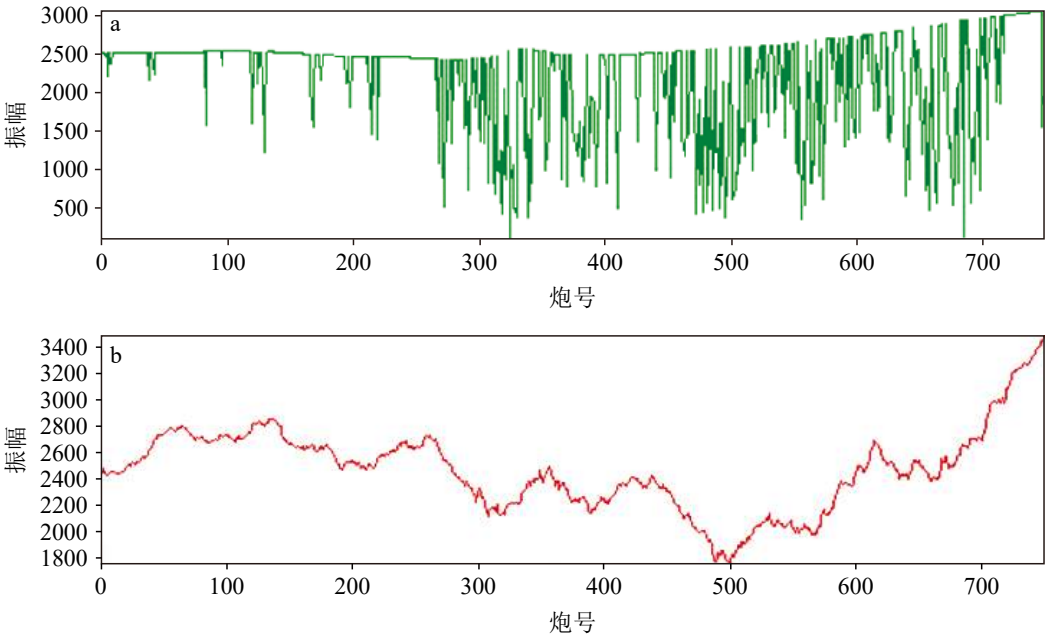


图 2 带通滤波前 (a) 和滤波后 (b) 海底振幅属性对比
Fig.2 Comparison of seafloor amplitude properties before (a) and after (b) bandpass filtering

3.1.2 浅深层振幅分析及补偿

地震波在传播过程中,受波前扩散、大地滤波、吸收、散射、投射损失等多种因素影响,后处理过程中使用振幅恢复模块对地震波能量进行补偿和校正,以恢复较深层的弱反射能量,处理效果及补偿前后能量衰减对比见图 3,从剖面图和能量曲线上可以看出,振幅补偿后深层能量得到有效恢复。

3.1.3 水平能量均衡

外业采集过程中接收端能量往往受电缆沉放深度、震源深度、激发能量、海况等多种因素的影响,反映到资料剖面上,各道能量出现不均衡现象,同时也影响了海底反射能量,为减少这方面的影响,后处理过程中使用能量均衡模块,恢复因不同激发能量等因素引起的海底能量不一致性。通过互相关、能量匹配等方法对主要反射层位进行跟踪

分析,采用拟合平滑局部层位以提高连续性、横向分辨率等。

3.1.4 多次波衰减

针对测区剖面上的短程多次波、海底多次波,采用预测反褶积模块对多次波进行衰减,特别是针对海底振幅能量有影响的鬼波,在提取能量前进行去鬼波处理(图 4)。

3.2 地震振幅属性提取分析

3.2.1 属性提取

通过浅地层剖面数据处理,对振幅进行校正后,先拾取海底反射(图 5),再根据剖面判读反射特征与子波波形,推测实际地震子波长度大约为 2 ms (图 6),然后分别计算海底反射所在的波段和 2 ms 长度(下面简称区段)其对应的多个振幅属性,包括

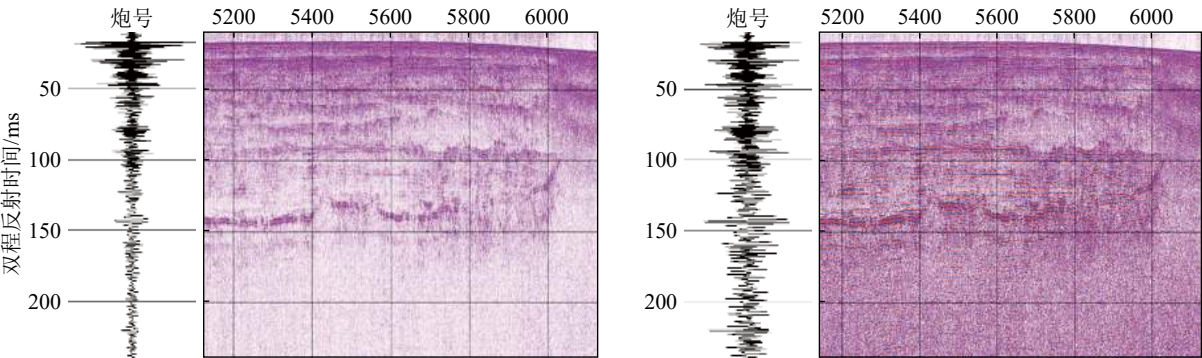


图 3 振幅补偿前 (左) 和补偿后 (右) 剖面对比
Fig.3 Amplitude compensation Profiles comparison before (left) and after (b) profiles comparison amplitude compensation

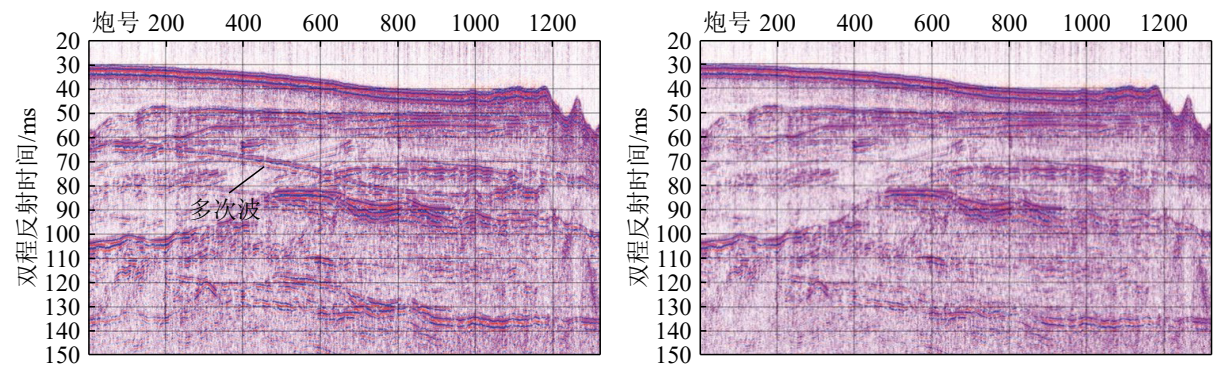


图 4 海底多次波处理前 (左) 和处理后 (右) 效果对比图
Fig.4 Before (left) and after (right) seabed multiple multi-wave processing

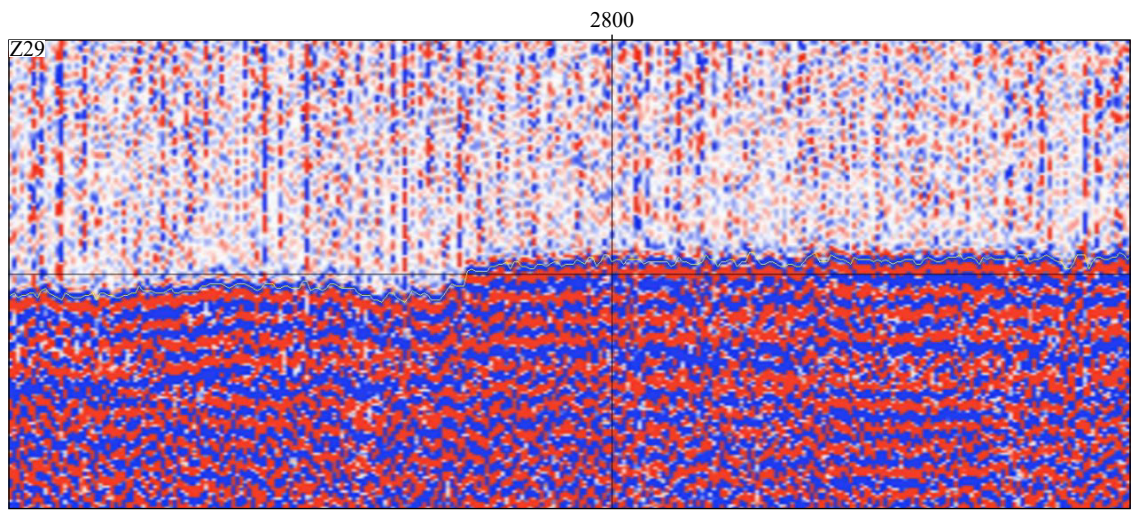
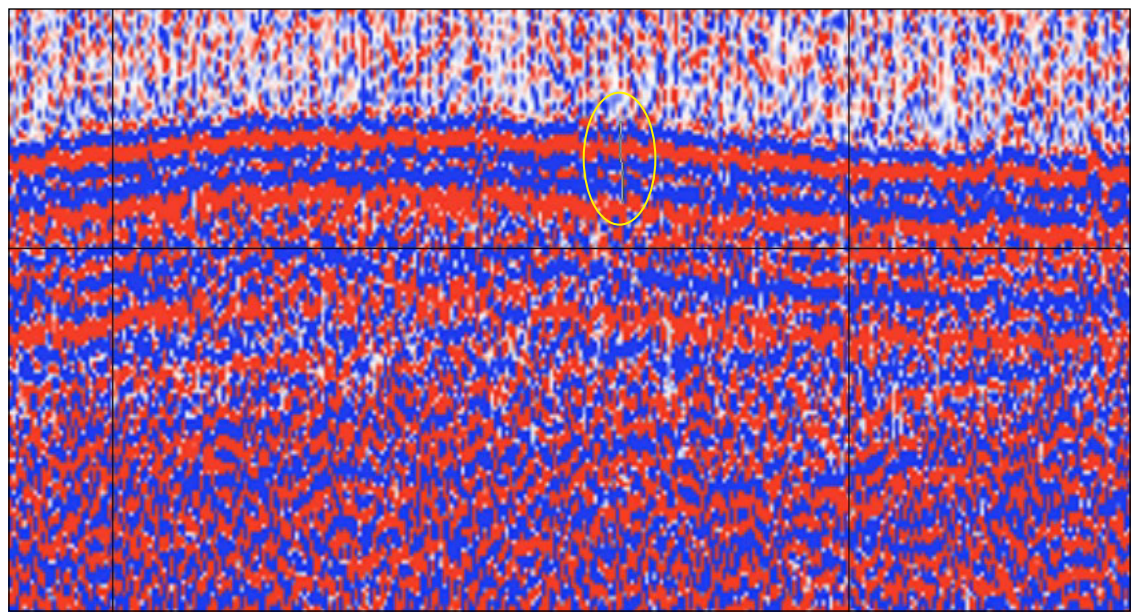


图 5 海底跟踪拾取
Fig.5 Seafloor tracking pickup



A: 137.92745972, T (ms): 18.88, TraceNo: 2938, FFID: 2938, SN: 189 Vertical: 1.50 m, 2.01 ms, Horizontal: 0.00 m

图 6 子波长度估测
Fig.6 Wavelet length estimation

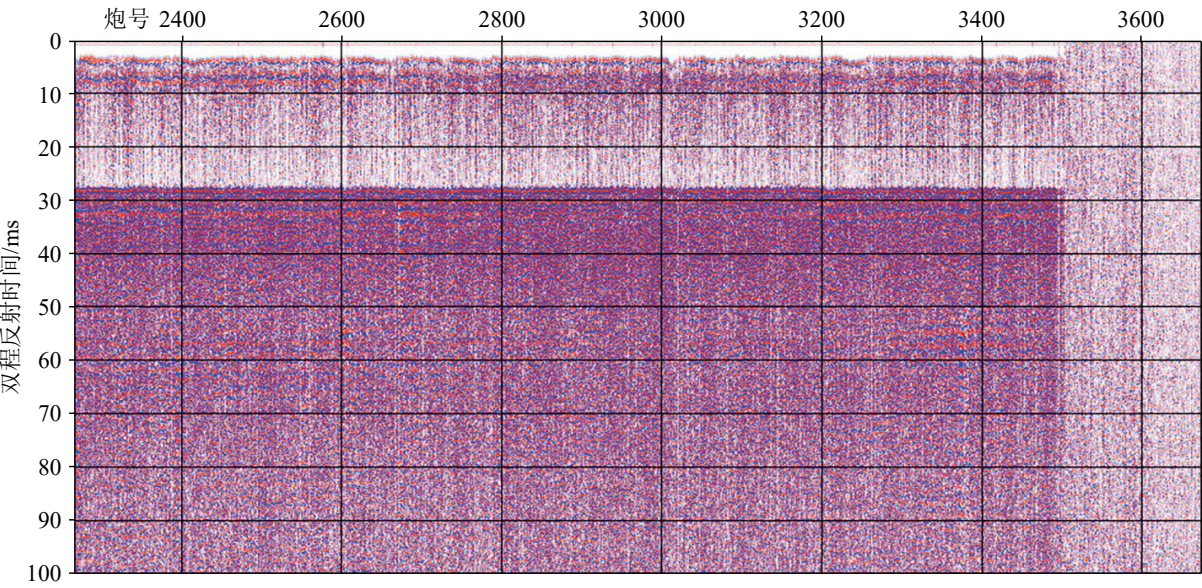


图 7 测线 3500—3670 炮震源无激发记录

Fig.7 Source record of no excitation from 3500 to the 3670 shot

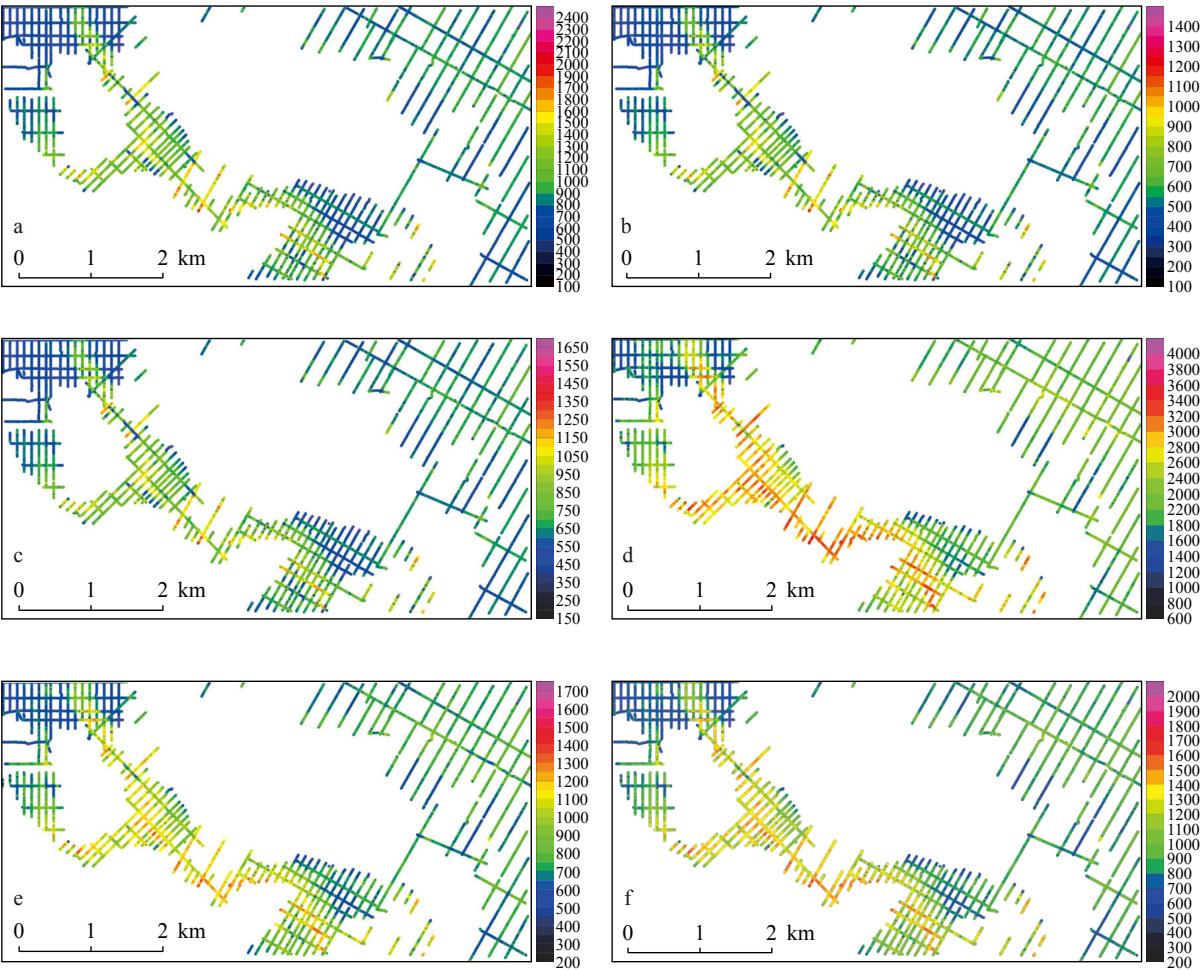


图 8 根据浅地层剖面数据提取的各振幅属性值

a: 波段 Max, b: 波段 Average, c: 波段 RMS, d: 区段 Max, e: 区段 Average, f: 区段 RMS。

Fig.8 Amplitude attribute values extracted from shallow seismic profiles

a:Band Max, b: band Average, c:band RMS, d:section Max, e:section Average, f:section RMS.

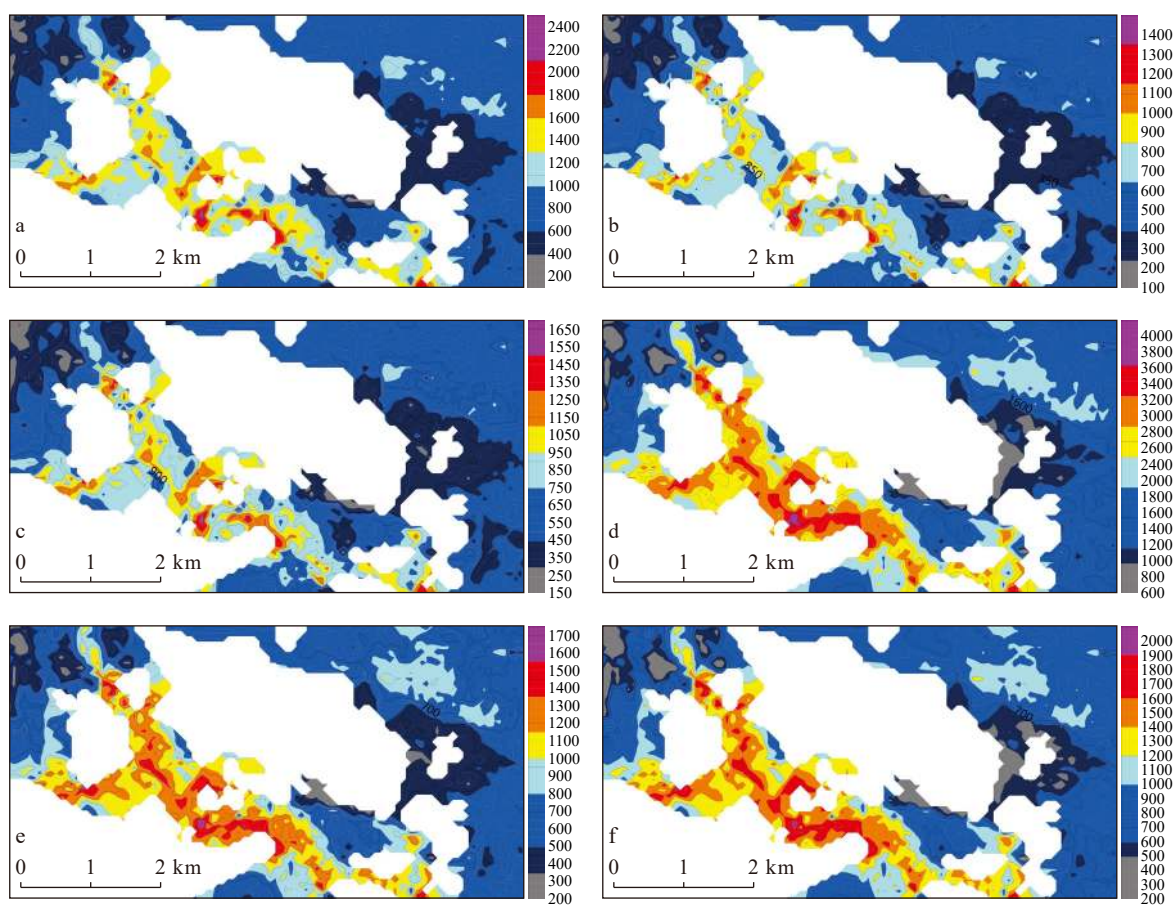


图 9 各振幅属性值克里金栅格化后等值线图

a: 波段 Max, b: 波段 Average, c: 波段 RMS, d: 区段 Max, e: 区段 Average, f: 区段 RMS。

Fig.9 Each amplitude properties values Kriging rasterized contour map
Contour map of each amplitude attribute value after Kriging rasterization

a: Band Max; b: band Average; c: band RMS; d: section Max; e: section Average; f: section RMS.

振幅最大值 Max, 振幅平均值 Average 及振幅均方根 RMS 等属性值。

3.2.2 异常振幅整理

对于异常振幅段要进行剔除, 如震源无激发的记录道(图 7), 海底过浅以致海底反射受直达波影响的记录道, 这类异常一般出现在测线开始或结尾处。

3.2.3 振幅解释分析成图

根据高密度高分辨率浅地层剖面数据提取的各振幅属性值, 包括波段 Max、波段 Average、波段 RMS、区段 Max、区段 Average、区段 RMS, 见图 8。对各属性体采用克里金栅格化后形成的等值线如图 9 所示。振幅属性值越大对应海底沉积物越硬, 反之, 值越小对应海底沉积物越软。

4 声呐数据解释

通过对所有侧扫声呐测线的地貌进行分析, 发现测区范围内主要存在冲刷沟槽(潮道)和海底平

原地貌类型。在冲刷沟槽中分布大量的浅埋基岩和出露基岩、沙波、岩石台地和滑坡体等(图 10), 海底平原地区发育大量沙波以及人类活动留下的痕迹等, 其中人类活动留下的痕迹又包括拖痕区、采砂区、渔网等(图 11), 测区侧扫声呐数据解释获得的地貌分类及其分布见图 12。

4.1 基岩/风化壳

出露基岩在本次调查范围内主要有两种, 基本分布在冲刷沟槽(潮道)底部和潮道边缘, 一种是在声呐图像上主要表现为反射深浅相间在水深 100 m 左右, 由于拖鱼距离海底较大, 声呐反射成像较差, 但是岩石纹理仍然清晰, 此类型在本次调查范围内的冲刷底部大面积出露, 另一种是出露基岩表现为海底高高突起(图 10), 在声呐图像上的表现为海底水深线剧烈起伏, 垂直拖鱼航向上近拖鱼位置反射强, 随后为阴影暗反射区, 基岩/风化壳分布范围见图 12 中红色区域所示。

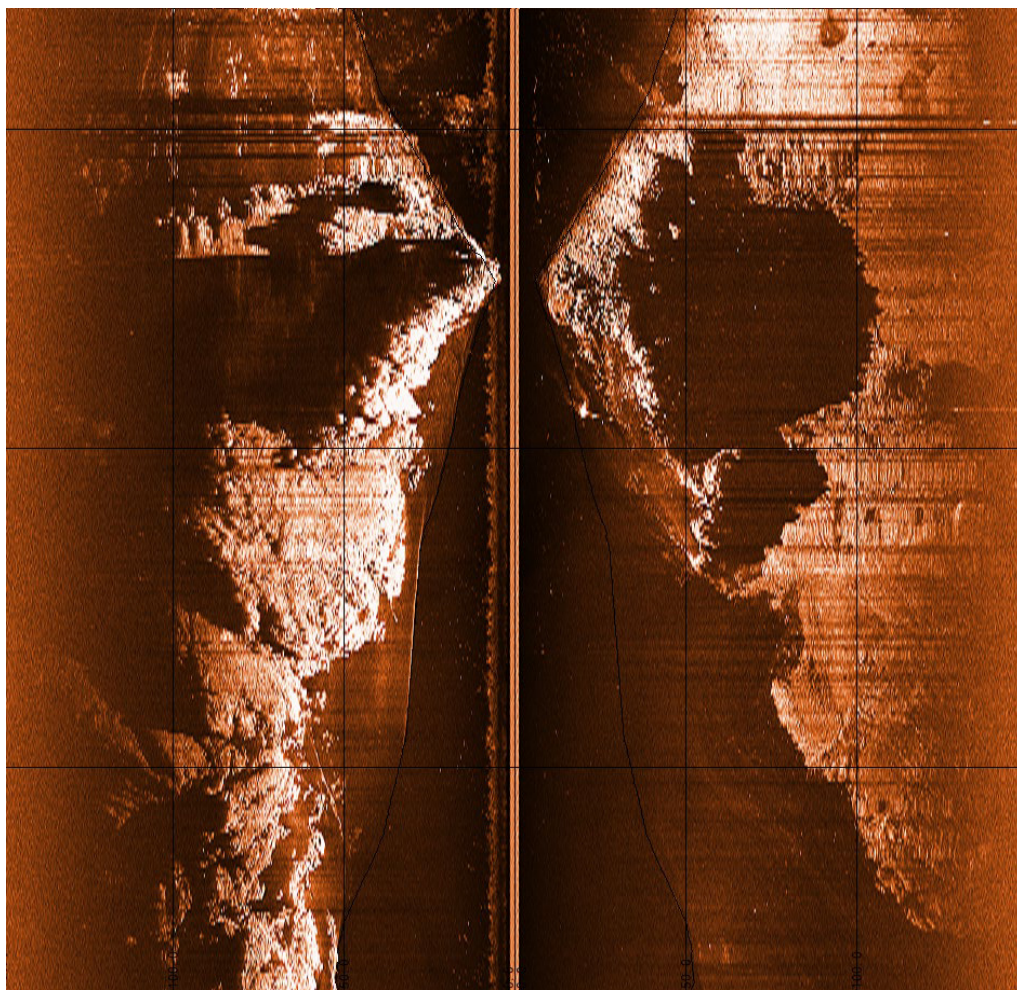


图 10 侧扫声呐数据揭示的潮道底部出露的基岩
高出海底近 50 m。

Fig.10 Bedrock outcrop at the bottom of the tidal channel revealed by side-scan sonar data
Nearly 50 m above the sea floor.

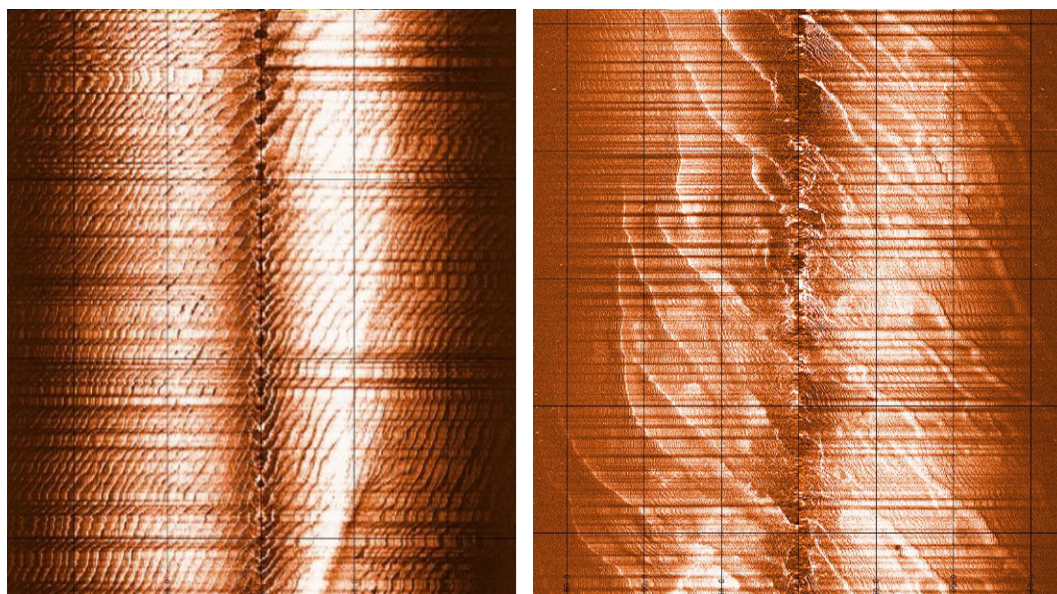


图 11 侧扫声呐揭示的沙波
Fig.11 Sand waves revealed by side scan sonar

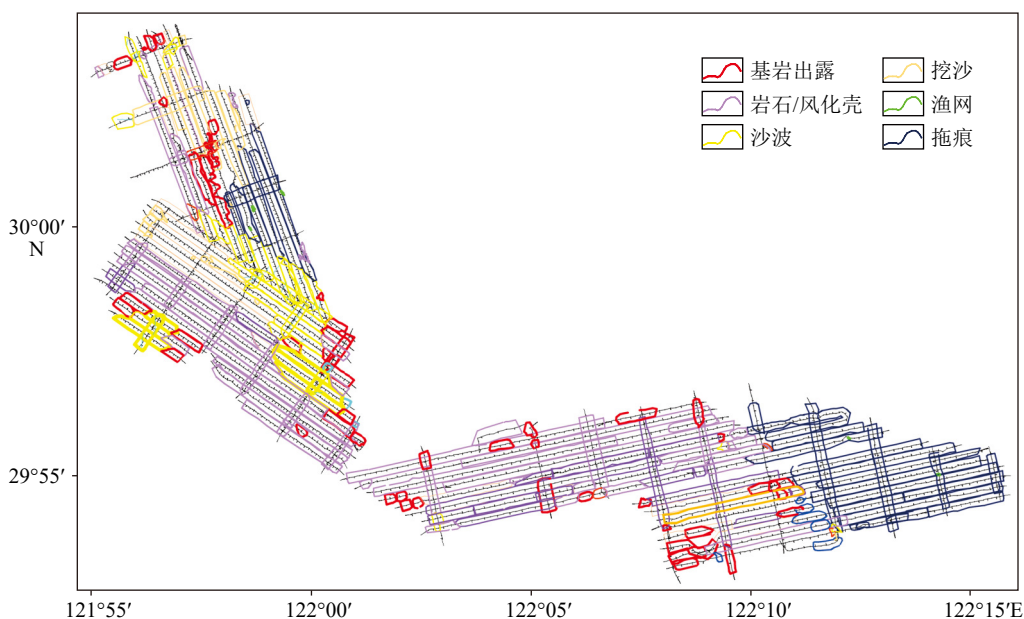


图 12 侧扫声呐数据解释的地貌分类及其分布

Fig.12 Geomorphic classification and distribution interpreted by side scan sonar data

4.2 沙波

沙波一般是指浅水区河床中的泥沙质堆积地貌,在浅水区,水面受河床底部起伏影响呈波形,水流流速受上坡和下坡影响存在差异,进而导致沙波背水坡泥沙被侵蚀,而被侵蚀的泥沙会在下一个沙波的迎水坡堆积^[30]。从平面上看,沙波的波峰大致互相平行,并与水流方向垂直或略显斜交。有时,它们呈时断时续的蛇曲形状或显弧形。测区范围内存在 3 处明显的沙波(图 12 中黄色范围),册子岛南边海域仅观察到少量沙波分布,估计是受挖沙影响,沙波沉积遭到破坏。大榭岛正北及东北海域的沙波,其沙波长达数百米,波高可达 2~5 m(图 11)。

5 底质类型反演

5.1 多次波识别和海底反射系数计算

针对测区剖面上的海底多次波,采用预测反褶积模块对多次波进行求取(图 13)。

提取多次波后,再利用去多次波模块计算获得反射系数,图 14 为计算得到的反射系数属性体图。值越大对应海底沉积物越硬,反之,值越小反映海底沉积物越软。

由于测区范围内浅层气特别发育,除了基岩出露的部分测线段以外,几乎遍布整个测区,以致计算所获的反射系数整体偏高(图 15)。

5.2 底质类型反演及与实测数据的对比

结合基岩出露、侧扫声呐资料解释后的沉积分区(图 12)进行对比分析,可以明显看出,振幅属性对底质的刻画,特别是潮道区,区段振幅属性要优于波段振幅属性,3 个区段振幅属性整体上差别不大。再根据 2015 年收集的实测表层样资料^[31-32],进行综合对比(图 16),并结合以往属性计算经验,最终采用区段 RMS 属性进行海底底质反演。为了方便对比,最终对区段 RMS 属性进行归一化处理。根据 RMS 属性值和粒度分析的相关关系,推测海底沉积物类型,研究区海底沉积物类型见图 17,反演质量整体上较好。

部分推测区与表层样存在不符合的情况,研究区东北角反演推测的粉砂区,有 2 个黏土质粉砂表层样及 2 个砂质粉砂表层样落在此范围,1 个砂质粉砂落在推测的黏土质粉砂范围内;另有桃花岛北边 2 个黏土质站位落在潮道边缘,推测为砂质区,全部 29 个站位中,其余 22 个站位(占总站位的 72.41%)与推测的底质类型一致。

反演推测区与表层样存在不符合的情况,原因可能为:一是表层样取样时间是 2015 年,地球物理测线采集是 2021 年,期间相隔 6 年,舟山海区流速大、沉积物源丰富,水动力(波浪、恒流、潮汐等)强,都会引起局部沉积物的成分变化,对比相关海域已公开发表的资料,可以发现不同年份的取样其底质分析结果也存在些许差异^[33];二是研究区范围

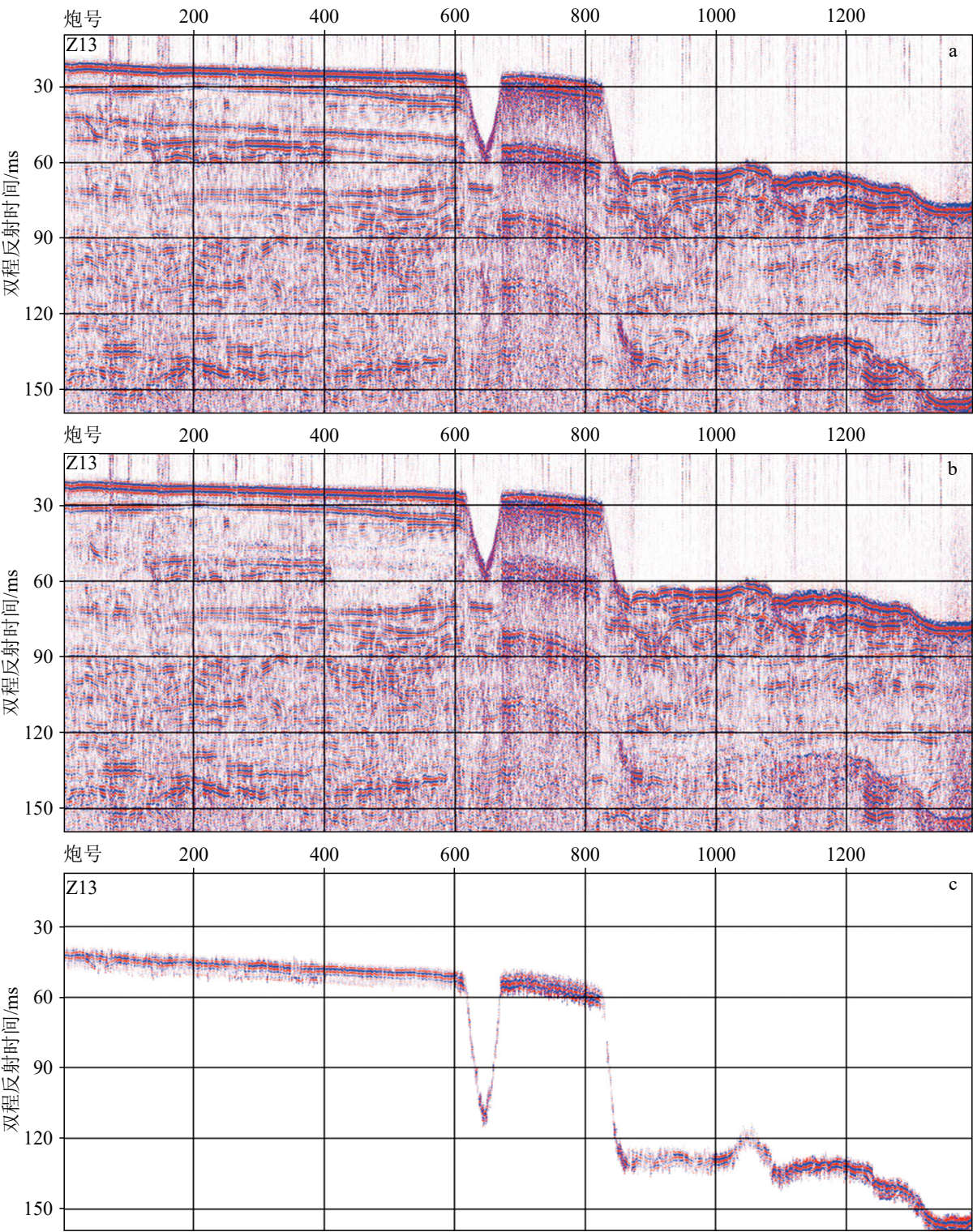


图 13 多次波提取前后剖面对比
a: 去多次波前, b: 去多次波后, c: 多次波。

Fig.13 Profile comparison before and after multiplex extraction

a: Before multiplex extraction; b: after multiplex extraction; v: the multiplex.

内浅层气特别发育,除基岩出露的区域外,浅层气几乎遍布其他区域,对沉积物类型反演有一定影响;三是受测线稀疏程度的影响,反演得到的海底底质分类的分辨率有限^[34-35]。

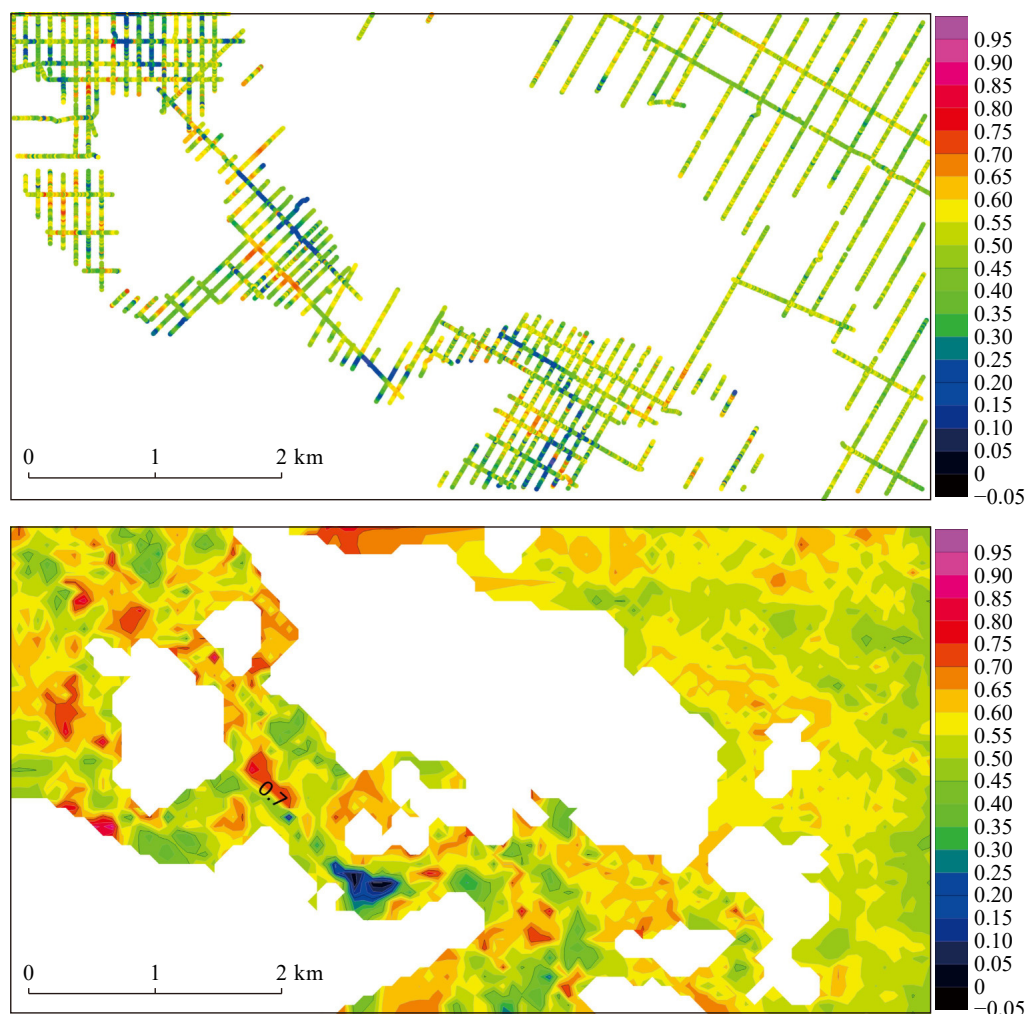


图 14 研究区浅地层剖面测线反射系数属性体(上)及等值线图(下)

Fig.14 Reflection coefficient properties (up) and contour map (down) of shallow seismic profiles

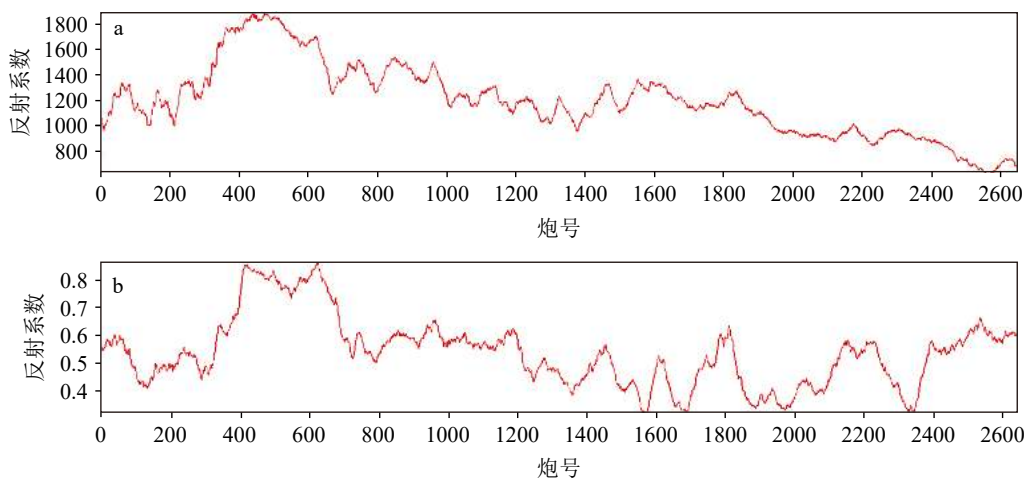


图 15 测线反射系数(a)与 RMS 属性(b)对比图

Fig.15 Comparison of reflection coefficient (a) and RMS attributes (b)

6 结论与建议

本文探索了一种利用高密度高分辨率浅地层

剖面资料振幅属性反演海底表层沉积物类型的新方法,利用地震数据前处理、振幅提取等技术,提取了浅地层剖面波段 Max、波段 Average、波段 RMS、区段 Max、区段 Average、区段 RMS 等多个振幅属

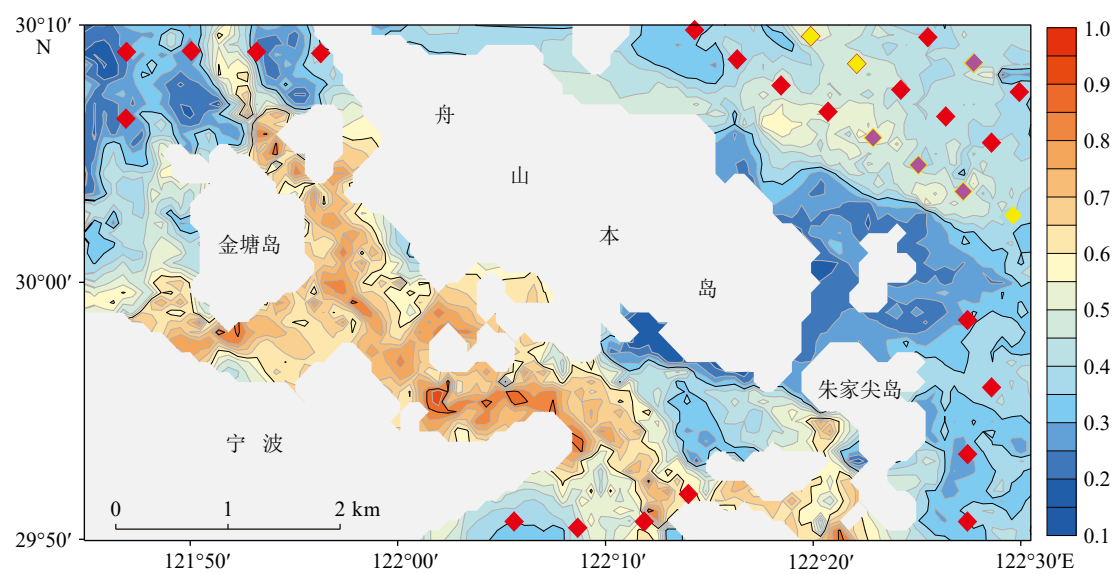


图 16 研究区实测表层沉积物类型及浅地层剖面区段振幅属性对比

2015 年实测沉积物类型: ◆黏土质粉砂 ◆粉砂 ◆砂质粉砂。

Fig.16 Comparison of measured surface sediment types and amplitude attributes of shallow seismic profiles in the study area

Measured sediment types in 2015: ◆clayey silt ◆silt ◆sandy silt.

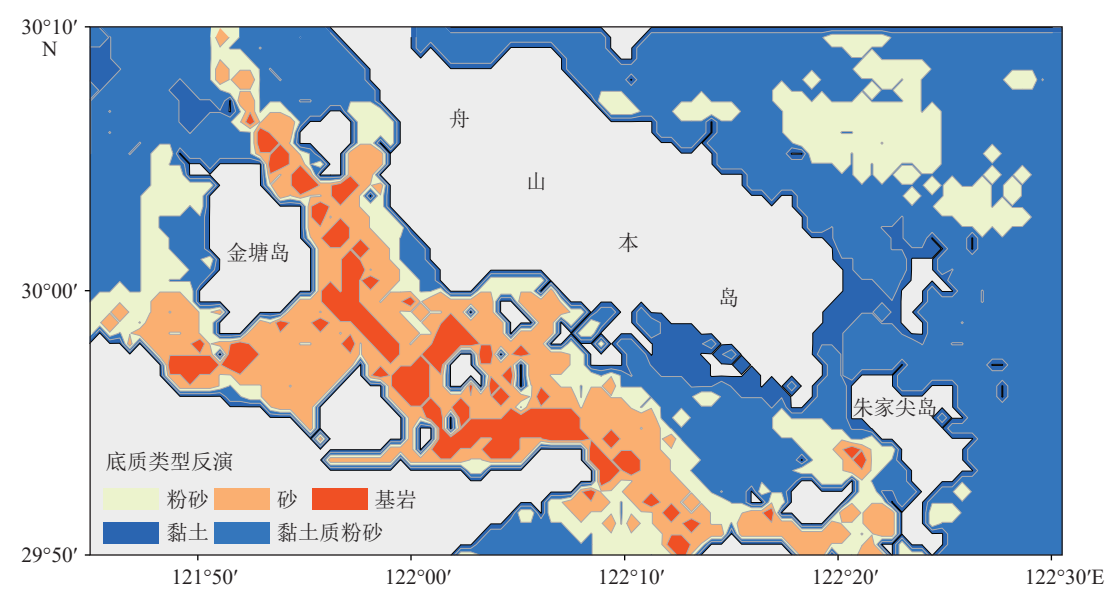


图 17 根据浅地层剖面 RMS 振幅属性反演的海底表层沉积物类型

Fig.17 Seafloor surface sediment types derived from RMS amplitude attributes based on shallow seismic profiles

性值,对比分析发现区段 RMS 属性可较准确地反演沉积物类型。利用最近获得的浅地层剖面数据振幅 RMS 属性值反演出舟山群岛的沉积物类型主要有黏土、黏土质粉砂、粉砂、砂和基岩 5 种类型,通过与侧扫声呐数据解释的地貌单位和实测海底表层沉积物类型数据对比,初步估算准确率在 72% 以上,该反演方法在研究区可行。

同时,该反演方法准确率受测线稀疏程度、数据原始采集质量等因素影响,因此结合本次资料处

理及反演过程,为使后期提取的振幅属性更真实、多次波的计算更准确,在外业采集过程中应提高外业采集质量,保证记录长度超过多次波的到达时间在 30 ms 以上,尽量减小背景噪音,电缆沉放深度可以适当加大,可以减少水面噪音等。

参考文献 (References)

[1] Schiermeier Q. Deep-sea sub aims to get to the bottom of a muddy is-

- sue[J]. *Nature*, 2003, 423(6939): 469.
- [2] 黄泽鹏, 许江, 胡毅, 等. 泉州海域海砂资源开采区选划与管理[J]. *海洋开发与管理*, 2021, 38(3): 9-13. [HUANG Zepeng, XU Jiang, HU Yi, et al. The selecting and management of sea sand resources in coastal areas of Quanzhou[J]. *Ocean Development and Management*, 2021, 38(3): 9-13.]
 - [3] Shang X D, Zhao J H, Zhang H M. Obtaining high-resolution seabed topography and surface details by co-registration of side-scan sonar and multibeam echo sounder images[J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(12): 1496.
 - [4] Schock S G, Leblanc L R, Mayer L A. Chirp subbottom profiler for quantitative sediment analysis[J]. *Geophysics*, 1989, 54(4): 445-450.
 - [5] 孟珊, 房景辉, 蒋增杰, 等. 双齿围沙蚕对潮间带不同类型底质选择行为的研究[J]. *渔业科学进展*, 2020, 41(4): 110-116. [MENG Shan, FANG Jinghui, JIANG Zengjie, et al. Experimental study of the choice behavior of *Perinereis aibuhitensis* Grube among different sediment types[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(4): 110-116.]
 - [6] 陈炜, 邝晗宇, 蔡梦雅, 等. 基于 SonarWiz 的多波束声呐图像智能底质分类技术研究[J]. *海洋测绘*, 2022, 42(1): 41-45. [CHEN Wei, KUANG Hanyu, CAI Mengya, et al. Research on intelligent seabed sediment classification technology of multibeam sonar image based on Sonarwiz[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2022, 42(1): 41-45.]
 - [7] 何林帮. 基于多波束和浅剖的海底浅表层沉积物分类关键问题研究[J]. *测绘学报*, 2016, 45(12): 1498-1512. [HE Linbang. Research on key issues of sediment classification for seabed and sub-bottom based on multi-beam and sub-bottom profile echo intensity[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2016, 45(12): 1498-1512.]
 - [8] 朱正任. 基于多波束海底反向散射强度的底质分类研究[D]. 山东科技大学, 2021. [ZHU Zhengren. Research on seabed sediment classification using multibeam backscatter intensity[D]. Shandong University of Science and Technology, 2021.]
 - [9] Fonseca L, Mayer L. Remote estimation of surficial seafloor properties through the application Angular Range Analysis to multibeam sonar data[J]. *Marine Geophysical Researches*, 2007, 28(2): 119-126.
 - [10] Reed S, Petillot Y, Bell J. An automatic approach to the detection and extraction of mine features in sidescan sonar[J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2003, 28(1): 90-105.
 - [11] 唐秋华, 纪雪, 丁继胜, 等. 多波束声学底质分类研究进展与展望[J]. *海洋科学进展*, 2019, 37(1): 1-10. [TANG Qiuhua, JI Xue, DING Jisheng, et al. Research progress and prospect of acoustic seabed classification using multibeam echo sounder[J]. *Advances in Marine Science*, 2019, 37(1): 1-10.]
 - [12] Diesing M, Mitchell P, Stephens D. Image-based seabed classification: what can we learn from terrestrial remote sensing?[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2016, 73(10): 2425-2441.
 - [13] 陶春辉. 海底沉积物声学原位测试和特性研究[D]. 浙江大学博士学位论文, 2005. [TAO Chunhui. In situ acoustic experiment and properties study in marine sediments[D]. Doctor Dissertation of Zhejiang University, 2005.]
 - [14] Yan J, Meng J X, Zhao J H. Real-time bottom tracking using side scan sonar data through one-dimensional convolutional neural networks[J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(1): 37.
 - [15] Alevizos E, Snellen M, Simons D, et al. Multi-angle backscatter classification and sub-bottom profiling for improved seafloor characterization[J]. *Marine Geophysical Research*, 2018, 39(1-2): 289-306.
 - [16] Cukur D, Um I K, Chun J H, et al. A multi-factor approach for process-based seabed characterization: example from the northeastern continental margin of the Korean peninsula (East Sea)[J]. *Geo-Marine Letters*, 2018, 38(4): 323-339.
 - [17] 黄必桂, 李家钢, 周庆杰, 等. 基于浅地层剖面的海底浅表层沉积物物理性质参数反演技术研究: 以渤海海底管线路由区为例[J]. *海洋学报*, 2022, 44(9): 156-164. [HUANG Bigui, LI Jiagang, ZHOU Qingjie, et al. Research on inversion technology of physical properties parameters of seafloor sediments based on sub-bottom profile: Taking the Bohai sea submarine pipeline route as an example[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2022, 44(9): 156-164.]
 - [18] 陈静, 吕修亚, 陈亮, 等. 基于 Chirp 数据反演琼州海峡海底沉积物物性[J]. *热带地理*, 2017, 37(6): 874-879. [CHEN Jing, LV Xiuya, CHEN Liang, et al. Physical properties of the seabed inverted by chirp data in the Qiongzhou strait[J]. *Tropical Geography*, 2017, 37(6): 874-879.]
 - [19] Schock S G. A method for estimating the physical and acoustic properties of the sea bed using chirp sonar data[J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2004, 29(4): 1200-1217.
 - [20] Schock S G. Remote estimates of physical and acoustic sediment properties in the South China Sea using chirp sonar data and the Biot model[J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2004, 29(4): 1218-1230.
 - [21] Zheng H B, Yan P, Chen J, et al. Seabed sediment classification in the northern South China Sea using inversion method[J]. *Applied Ocean Research*, 2013, 39: 131-136.
 - [22] Yegireddi S, Thomas N. Segmentation and classification of shallow subbottom acoustic data, using image processing and neural networks[J]. *Marine Geophysical Research*, 2014, 35(2): 149-156.
 - [23] 陈佳兵, 吴自银, 赵获能, 等. 基于粒子群优化算法的 PSO-BP 海底声学底质分类方法[J]. *海洋学报*, 2017, 39(9): 51-57. [CHEN Jiabing, WU Ziyin, ZHAO Dineng, et al. Back propagation neural network classification of sediment seabed acoustic sonar images based on particle swarm optimization algorithms[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2017, 39(9): 51-57.]
 - [24] 孙英, 黄文盛. 浙江海岸的淤涨及其泥沙来源[J]. *东海海洋*, 1984(4): 34-42. [SUN Ying, HUANG Wensheng. The siltation process and silt sources of the Zhejiang coast[J]. *Donghai Marine Science*, 1984(4): 34-42.]
 - [25] 梁小龙, 杨守业, 印萍, 等. 黄海与东海周边河流及泥质区沉积物黏土矿物的分布特征和控制因素[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2015, 35(6): 1-15. [LIANG Xiaolong, YANG Shouye, YIN Ping, et al. Distribution of clay mineral assemblages in the rivers entering Yellow Sea and East China Sea and the muddy shelves deposits and control factors[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2015, 35(6): 1-15.]
 - [26] 胡日军, 吴建政, 朱龙海, 等. 东海舟山群岛海域表层沉积物运移特性[J]. *中国海洋大学学报*, 2009, 39(3): 495-500, 442. [HU Rijnun, WU Jianzheng, ZHU Longhai, et al. Characteristic of surface sediment

- transport in Zhoushan archipelago sea area, East China Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(3): 495-500,442.]
- [27] 沈昆明, 蒋玉波, 李安龙, 等. 舟山群岛表层沉积物粒度和黏土矿物分布特征与物源指示 [J]. 海岸工程, 2020, 39(1): 24-33. [SHEN Kunming, JIANG Yubo, LI Anlong, et al. Distributions of grain size and clay minerals in the surface sediments of Zhoushan Islands and their material source indication[J]. Coastal Engineering, 2020, 39(1): 24-33.]
- [28] 朱祖扬, 王东, 周建平, 等. 基于非饱和 Biot-Stoll 模型的海底沉积物介质声频散特性研究 [J]. 地球物理学报, 2012, 55(1): 180-188. [ZHU Zuyang, WANG Dong, ZHOU Jianping, et al. Acoustic wave dispersion and attenuation in marine sediment based on partially gas-saturated Biot-Stoll model[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55(1): 180-188.]
- [29] Blott S J, Pye K. Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: Review and recommended procedures[J]. Sedimentology, 2012, 59(7): 2071-2096.
- [30] Kim G Y, Richardson M D, Bibee D L, et al. Sediment types determination using acoustic techniques in the northeastern Gulf of Mexico[J]. Geosciences Journal, 2004, 8(1): 95-103.
- [31] Zheng H B, Yan P, Chen J. The discussion of acoustic seabed sediment classification methods[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 226-228: 1811-1816.
- [32] Herkül K, Peterson A, Paekivi S. Applying multibeam sonar and mathematical modeling for mapping seabed substrate and biota of offshore shallows[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2017, 192: 57-71.
- [33] 唐保根. 东海西部海域现代沉积环境分区及沉积特征的初步研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1992, 3(4): 29-40. [TANG Baogen. Preliminary study on the modern sedimentary environment and sedimentary characteristics in the western part of the East China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1992, 3(4): 29-40.]
- [34] 周庆杰, 李西双, 刘乐军, 等. 基于 Chirp 数据和 Biot-Stoll 模型反演南海北部陆坡海底表层沉积物物理性质 [J]. 海洋学报, 2020, 42(3): 72-82. [ZHOU Qingjie, LI Xishuang, LIU Lejun, et al. Physical properties of the seabed inversed based on Chirp data and the Biot-Stoll model in the northern continental slope of the South China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2020, 42(3): 72-82.]
- [35] 李铭珂. 浅地层剖面数据处理与海底底质分类研究 [D]. 天津大学硕士学位论文, 2021. [LI Mingke. Research on sub-bottom profile data processing and seabed sediment classification[D]. Master Dissertation of Tianjin University, 2021.]