

文章编号: 1001—1749(2011)03—0340—06

## 舟山海域海砂资源声地层剖面探测研究

赵铁虎<sup>1 2</sup>, 李 军<sup>1 2</sup>, 张异彪<sup>3</sup>, 冯 京<sup>1 2</sup>

(1. 国土资源部 海洋油气资源与环境重点实验室, 青岛 266071;

2. 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

3. 上海海洋石油局 第一海洋地质调查大队, 上海 201208)

**摘 要:** 在对研究区实测声地层剖面资料进行分析解释的基础上, 对比地质浅钻资料, 将浅部地层划分为四个地震相单元, 对研究区浅地层的沉积格架有了进一步的认识。对区内海底潮流沙脊、沙席、埋藏潮流沙脊、海底沙波等砂质地体的地质特征有了较深入的了解, 并对砂矿的物质来源、成因进行了讨论, 揭示出本区砂体近源沉积、快速堆积的特点。

**关键词:** 声地层剖面; 浅地层; 海砂资源; 舟山近海

**中图分类号:** P 315.3 **文献标识码:** A

效果。

### 0 前言

利用声地层剖面方法来探测海水层下的疏松沉积及其固结基底, 属于地震声学系统方法的一种。它可以在航行中实现数据采集, 并在剖面上或平面上表现其结果, 因而具有高效、低耗和直观的特点<sup>[1]</sup>, 是目前研究海洋浅地层构造的主要技术手段, 也是海砂资源调查中使用的主要方法之一<sup>[1~8]</sup>。应用声地层剖面探测方法对舟山近海海砂资源进行调查研究, 其结果不仅可以为政府部门对海砂资源的规划、评价和管理提供基础科学依据, 同时, 还可以为海洋环境地质、灾害地质的研究, 以及海洋资源的综合开发利用、工程建设提供基础资料。

在本次调查中, 作者在研究区布设了浅剖测线22条, 主测线根据区内地形特点沿垂直峡道走向布设, 联络测线沿峡道走向展布与主测线相交(见下页图1)。结合测扫声纳、多波束测深及地质浅钻和取样资料进行分析、解释, 取得了良好的勘测

### 1 研究区自然环境

研究区位于舟山近海峡道海区, 北依舟山本岛, 西侧毗邻杭州湾, 南至六横岛, 东侧有朱家尖、登步、桃花、虾峙等岛屿环抱。海域内岛屿星罗棋布, 水道纵横交叉, 具有典型峡道型海区的地质地貌和沉积动力特征。由于受岛屿及海底峡道地形影响, 这里水深地形变化较大。峡道宽度一般不超过10 km, 峡道中的水深一般在60 m~70 m, 最大水深超过百米。由多波束测量结果显示(如下页图2所示), 在螺头水道最大水深超过110 m。受海底峡道地形影响, 两侧潮滩坡度较陡, 平均坡度为2.0%~2.5%, 最大坡度可达3.5%左右。因此, 这一区块主要特征是水深、流急, 底质以粗粒沉积物为主, 甚至基岩出露。在浅地层剖面测线上, 发现有大面积基岩裸露, 海底地形复杂, 深槽底部多呈冲刷状态, 有典型的沙波发育, 水道边坡坡度大, 边坡上部有细颗粒沉积物覆盖。在区内, 水下地貌主要有侵蚀冲刷沟槽、淤涨型水下岸坡,

基金项目: 国土资源大调查专项工作项目(1212010511302)

收稿日期: 2010-11-02

改回日期: 2011-03-21

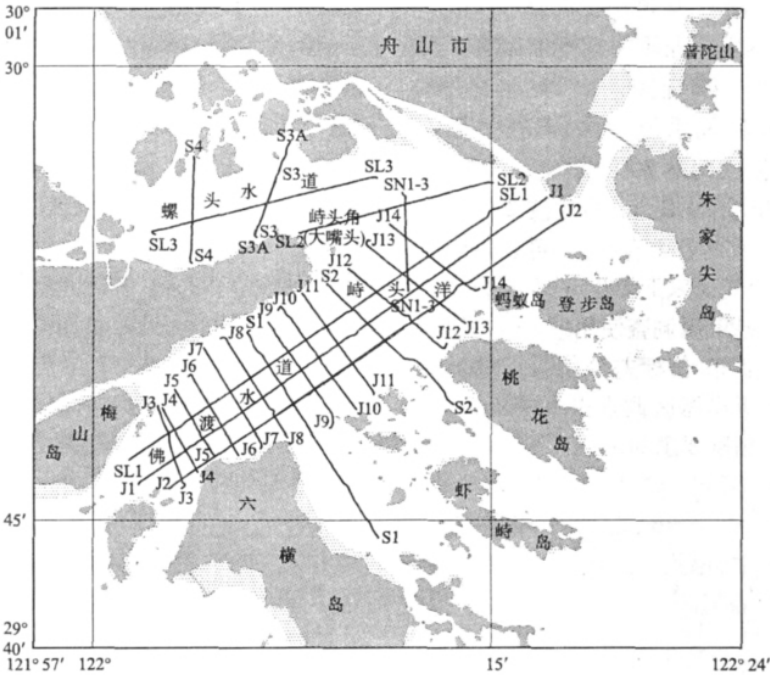


图 1 调查区位置与测线布置

Fig. 1 Location of survey area and lines

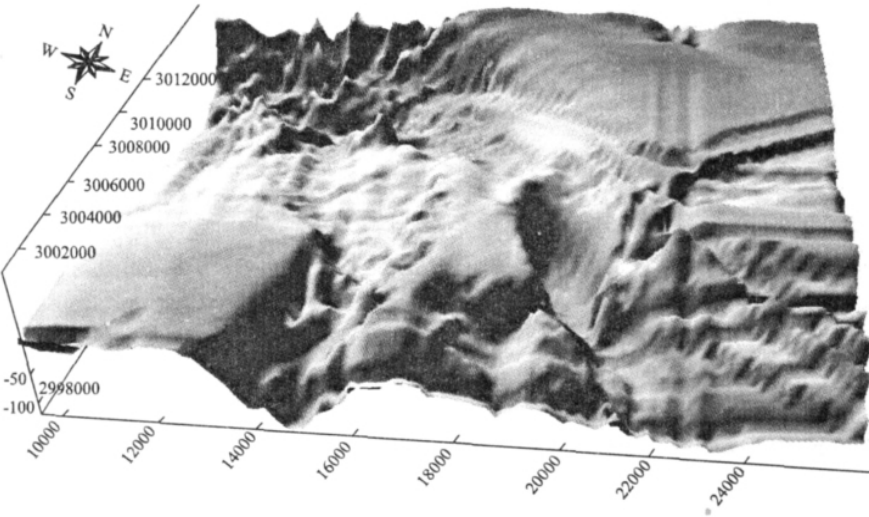


图 2 研究区海底地势图

Fig. 2 Morphological map on seabed in the study area

以及浅滩、冲刷型潮流脊槽系等类型<sup>[9~11]</sup>。

2 调查方法与分析结果

2.1 调查方法

(1) 观测系统。声地层剖面调查作业方法与海洋单道地震方法类似,为避开尾流,采用船尾一侧水听器与震源平行拖曳方式进行测量,二者间距

一般为 5 m~7 m,拖曳长度通常在 20 m~30 m 之间。作业船速应控制在 5 节左右,以降低船体噪声的影响。

(2) 震源方式。通常砂质沉积物较其它底质更为松散,对声波的吸收和衰减作用更强。因此,对震源方式的选择尤为重要。拖曳式数字声地层剖面系统的震源有两种方式,即电磁激震(Boomer)和电火花(Sparker)。电磁激震方式具有良好

的高频特性,但能量较小,穿透深度有限。目前声地层剖面系统配备的电火花震源技术上已有很大改进,具有良好的电~声转换效率,探测能力大大提高。以 SBP/AAE 剖面系统为例,调查中使用 500J Sparker 声源,激发间隔 800 ms,使用 TVG 功能,高通滤波 300 Hz~500 Hz,低通滤波 2 000 Hz~5 000 Hz,20 单元水听器组合检波,可以达到探测地层深度不小于海底面以下 100 m,垂向分辨率 0.2 m~0.5 m,在海砂资源调查使用效果较好<sup>[12]</sup>。

(3) 导航定位:目前,信标差分信号在我国沿海已实现全覆盖,在近岸海区调查作业使用 DGPS 设备,可以获得满足精度要求的定位数据。在调查中使用美国 Trimble 公司 DSM132 型 DGPS 接收机,数据更新率最大 10 Hz,定位中误差小于 1.0 m。在测量过程中,位置信息实时送入声地层剖面系统,记入数据文件。

2.2 分析结果  
2.2.1 地层划分

在研究区进行的浅地层探测,获得了比较理想的剖面记录,穿透深度可达基岩顶面。依据文献[13]中地层剖面反射界面划分的原则进行地层划分,即同一层组波反射连续清晰且可区域追踪,层组内反射结构、形态、能量、频率等基本相似,并且与相邻层组有显著差异,主测线与检测线剖面相同层组的反射界面应能闭合。通过对研究区声地层剖面的分析可以看出,一个显著特点就是基岩界面横向起伏变化很大,剖面上往往呈现为粗黑条带,多次反射明显的特征。受凸起基岩影响,尤其在接近海底的凸起基岩两侧,地层层序、内部反射结构和沉积物性质,往往存在较大差异。

图 3 为一段典型剖面,它清楚地反映了基岩面以上的地层结构及其内部的反射特征。自海底面向下至基岩顶面间,存在多个明显的反射界面,以  $T_0$ (海底)、 $T_1$ (包括  $T_1^1$ 、 $T_1^2$  和  $T_1^3$ ) 及  $T_2$ (基岩顶面)表示。对应的地层划分为 A、B 二套层序,其中,A 层内部根据反射结构的变化,可进一步划分为  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$  等四个亚层。位于这一测线段上的钻孔深为 40 m,基本达到 A 层底界,对比情况如下。

(1)  $A_1$  亚层:主要由灰褐色粘土质粉砂组成,厚约 12.8 m,由灰褐色粘土质粉砂为主,平均粒径变化较为稳定,为 10  $\mu\text{m}$  左右。在沉积物中还含有一定的砂质组份(<10%),局部层位还含有少量的砾质组份。在本层下部(10 m 和 11.4 m 左右)夹有厚度达 20 cm 的薄层砂层。

(2)  $A_2$  亚层:主要由深灰色含砾的中粗砂组成,层厚 10.0 m,平均粒径介于 300  $\mu\text{m}$  左右,砂质组份含量多介于 60%~100% 左右,砂质组份含量 <10%。在本层下部,是一层 40 cm 厚的砂砾,平均粒径达 1.6 mm 左右,磨圆度较好。其顶面( $T_1^1$ )反射较强,横向连续性非常好,在一些地段发育起伏较小的埋藏潮流砂脊。 $A_2$  亚层的下界面( $T_1^2$ ),由于砂体对声波的散射作用变得模糊不清。

(3)  $A_3$  亚层:主要由浅灰色的细砂组成,层厚约为 5.0 m,中间夹数层较薄的粉砂层,砂质组份含量介于 60%~80% 之间。

(4)  $A_4$  亚层:主要由青灰色粉砂组成,层厚约 11.5 m,夹数层细砂,粉砂组份含量大于 60%,砂质组份含量多小于 20%。

2.2.2 砂体剖面特征

(1) 海底潮流沙脊、沙席:在螺头水道和佛渡

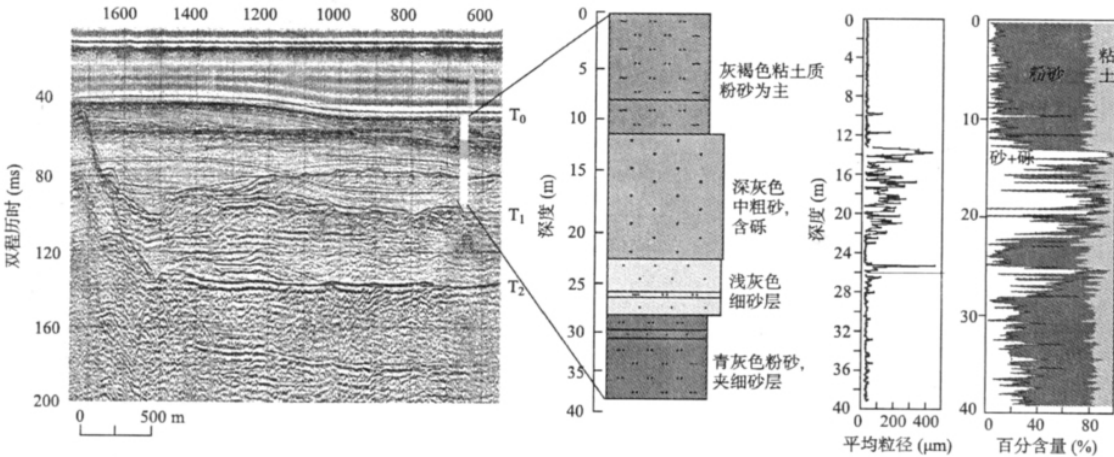


图 3 声学地层与钻孔地层的对比划分

Fig. 3 Stratigraphic contrast between acoustic profile and drilling data

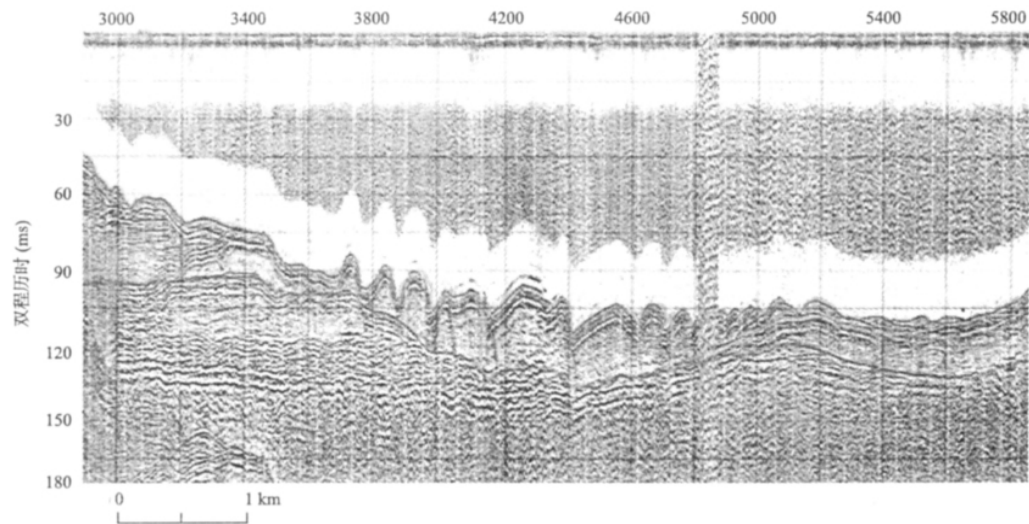


图 4 海底潮流沙脊

Fig.4 Acoustic profile of tide sand ridges on seabed

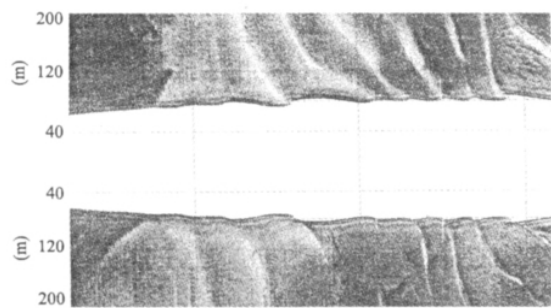


图 5 海底潮流沙脊的声纳图像

Fig.5 Sonar images of tide sand ridges on seabed

水道的转折部位, 洋小猫岛周围水深较大的低凹处, 发育着一组较大规模的海底潮流沙脊, 在 SL2 线上沙脊的断面形态反映的尤为典型( 见图 4

和图 5)。在冲刷槽底部沙脊规模较小, 向陡坡一侧逐渐加大, 宽度从几十米变化到几百米, 沙脊高度由几米增加到十几米。沙脊顶面为强反射面, 内部呈均一的细小麻点状反射, 这表明砂体是由单一的砂质沉积物组成。在远离水道的转折处, 则沙脊逐渐演变成沙席形态。分析该处海底地形认为, 潮流到达转折部位后受阻方向发生改变, 使流速降低, 从而堆积形成沙脊或沙席。

(2) 埋藏潮流沙脊: 埋藏砂质地体是指埋藏于细粒沉积层之下的砂质地体, 它形成于海进进程中的某一个特定的地质时期。由于陆架地壳下沉或海平面上升, 上覆后来新的沉积物, 沙脊的内部形态和结构基本保留下来, 形成埋藏沙脊。本区埋藏潮流沙脊, 在 J14 线上反映较为典型( 如图 6

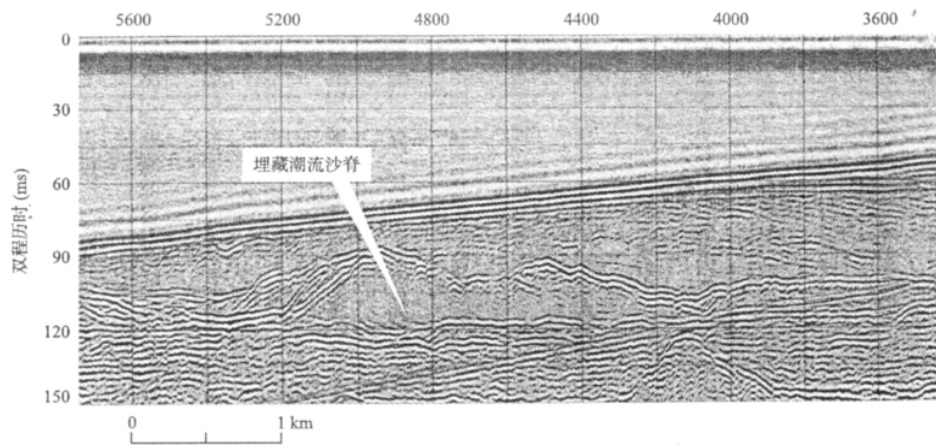


图 6 埋藏潮流沙脊

Fig.6 Burial tide sand ridges

所示) ,它的底部是一个潮流侵蚀面 ,侵蚀面的沟槽中有具备发散充填结构的充填沉积物。当充填使海底较为平坦时 ,开始发育潮流沙脊。它具有丘状反射结构和进积平行反射结构。

(3) 海底沙波:海底沙波在声地层剖面上较难判断 ,仅发现海底反射面比较粗糙 ,粗糙表面表现为不规则的微起伏波状面 ,但不似沙波那样的规则起伏 ,但在同步测深剖面上的显示则很清晰。在声地层剖面强烈的多次波背景下 ,发现断续的弱反射的丘状或弧形反射结构。穿过沙波的声波有明显的衰减现象 ,对下部地层造成严重的声学屏蔽。产生屏蔽的原因 ,可能是由沉积物颗粒中的较高的含气量导致。

图 7 反映出密集小沙波区的剖面特征。

图 8 中的测深记录更直观地反映了小沙波的断面形态 ,海底沙波仅在局部地方发育。

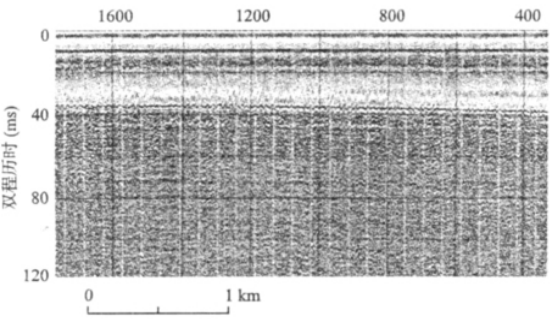


图 7 海底沙波的剖面特征

Fig. 7 Profile features of sand waves on seabed

(4) 砂质海底:由声图记录显示 ,在发射频率和增益等采集参数保持不变的前提下 ,有些地段的声图色调会出现显著变化。根据侧扫声纳的成像

原理 ,不同底质的海底 ,其粗糙度横向变化存在一定的差异 ,造成回波信号强弱改变 ,反映在反射声纳图像的面貌上会有很大差异。在砂砾质沉积物分布区 ,具有较大的粗糙度和较强的回波信号 ,声图上易于识别(如下页图 9 所示)。在进入海砂底质区后 ,声图记录出现界线分明的色调变化 ,色调较深的地方也是海砂富集的区域。这些都可以从声图显示的人工挖砂所引起的原始海底面状况 ,海底地形的改变 ,以及沙波分布等信息中得到佐证。底质的变化整体上呈条带状展布。

3 海砂成因探讨

研究区海域入海的河流主要有长江、钱塘江、曹娥江及闽江等。长江每年入海泥沙为  $4.86 \times 10^8 \text{ t}$  ,钱塘江流域包括曹娥江流域在年内入海泥沙总量仅为  $0.89 \times 10^8 \text{ t}$  左右<sup>[14]</sup>。长江冲淡水携带的粗粒物质组分以细砂为主 ,粉砂次之 ,并且主要沉积在河口地区 ,形成了砂岛和拦门沙。携带到舟山海域的泥沙主要为细粒的粉砂和粘土粒级 ,而形成大面积分布的全新世粉砂、粘土质粉砂沉积。岛屿地区的河流多为山川小溪 ,携带泥沙的能力有限 ,粗粒物质(粗砂和砾砂为主)则主要在岸边狭窄地带沉积 ,形成潮滩或边滩 ,向外则为细粒的粘土质粉砂条带分布。因此 ,在调查区内的海砂和砾砂 ,不可能是现代和全新世的海相沉积物。作者在本次调查中获得的浅钻沉积物的物质组成 ,也证实了此种推断。主要证据有:

- (1) 在声地层剖面上 ,砂体局部被泥质沉积所覆盖 ,这表明其形成时代明显早于泥质沉积。
- (2) 声地层剖面测量和同步测深结果显示出 ,

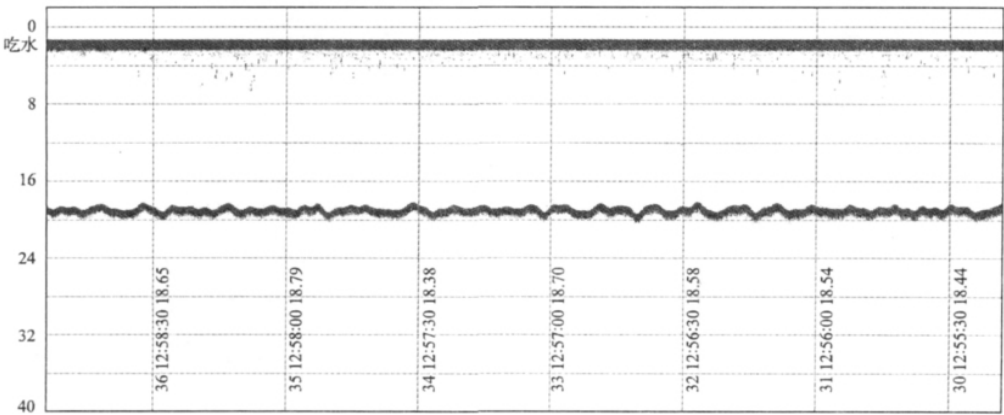


图 8 海底沙波的水深剖面

Fig. 8 Sounding section of sand waves on seabed

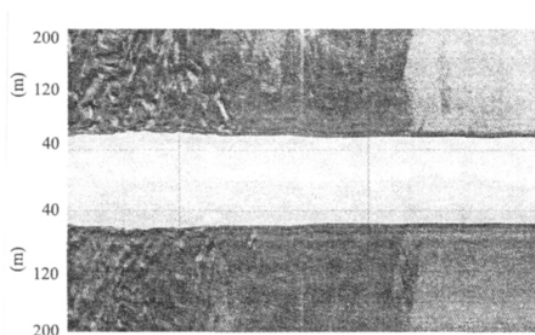


图9 反映底质变化的声纳图像

Fig. 9 Sonar images from character of the bottom

这些砂体主要发育于岛屿斜坡之上,平面形态上呈椭圆至纺锤状,受局部地形的控制。

(3) 砂质沉积物多分选不好,磨圆度差,尤其是砾石,基本呈棱角状发育,显示出近源沉积的特征。

(4) 根据砂质沉积物中的生物碎屑鉴定结果表明,生物碎屑主要是陆相的双瓣类,未发现海相生物。另外,由地质取样结果表明,生物碎屑或碎片的排列无序而杂乱,显示出快速堆积的特征。而上伏的泥质沉积物中的生物碎屑或壳体,主要为典型的海相浮游有孔虫和底栖有孔虫,为海相沉积,这两者在古生物组成上差异较大。

## 4 结论

声地层剖面方法用于海砂资源调查的关键之一是对声源的选择,即声源的频谱和激发能量与剖面的分辨率和探测的深度密切相关。在本次调查中,作者获得的剖面分辨率较高,波组特征明显,信噪比适中,干扰波得到了较好的压制,各类砂质地体反映明显。通过钻孔地质资料与声学反射界面的对比分析,将探测目的层海底( $T_0$ )至 $T_1$ 界面间的一套地层,划分为四个地震相单元,清楚地揭示了基岩顶面以上松散沉积层的内部反射结构和沉积特征。同时,将声地层剖面资料与侧扫声纳、多波束测深资料结合,对研究区进行了有效的面积测量,了解了区内地形地貌,浅地层结构和沉积格架,查明了砂体发育的平面分布。结合相关的地质分析资料,揭示出本区砂体近源沉积、快速堆积的

特点。

## 参考文献:

- [1] 刘光鼎. 中国海洋物探在成长中[J]. 地球物理学报, 1994 (增刊1): 361.
- [2] 刘保华, 丁继胜, 裴彦良, 等. 海洋地球物理探测技术及其在近海工程中的应用[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(3): 374.
- [3] 赵铁虎, 张志珣, 许枫. 浅水区浅地层剖面测量典型问题分析[J]. 物探化探计算技术, 2002, 24(3): 215.
- [4] 金翔龙. 海洋地球物理研究与海底探测声学技术的发展[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(4): 1243.
- [5] 吴自银, 郑玉龙, 初凤友, 等. 海底浅表层信息声探测技术研究现状及发展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(11): 1210.
- [6] CRIMES T P, CHESTER D K, THOMAS G S P. Exploration of sand and gravel resources by geomorphological analysis in the glacial sediments of the Eastern Llyn Peninsula[J]. Gwynedd, North Wales. Engineering Geology, 1992, 32: 137.
- [7] JU YONG KIM. Quaternary geology and assessment of aggregate resources of Korea for the national industrial resources exploration and development[J]. Quaternary International, 2001, 82: 87.
- [8] ARITA M, MORIMOTO I, MIZUNO A, et al. Exploration and exploitation of off shore sand in Japan[J]. UN ESCAP CCOP Technical Bulletin, 1985, 17: 81.
- [9] 中国海湾志编纂委员会. 《中国海湾志》第五分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [10] 宋伟建. 东海大陆架地貌研究[J]. 海洋石油, 2005 (1): 89.
- [11] 蒋国俊. 舟山群岛峡道水动力及沉积特性[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2001(1): 82.
- [12] 赵铁虎, 张训华, 王修田, 等. 广东珠江口-东平近海浅地层剖面的声学特征及地质意义[J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(3): 183.
- [13] 中华人民共和国国家标准. 海洋调查规范-第8部分: 海洋地质地球物理调查(GB/T 12763.8-2007)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [14] 贺松林. 东海近岸带沉积物陆源矿物组份的比较研究[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 1991(1): 78.

作者简介: 赵铁虎(1962-), 男, 研究员, 主要从事海洋地球物理调查与研究。



and exploitation, Chengdu Sichuan 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(3): 331

Complex fault oil field is an important kind of oil field in development of Chinese oil field, the structure of this kind of reservoir is complicated with strong elusiveness and is difficult to describe. Liuxi oilfield belongs to complex fault block reservoir because of its characteristics such as highly developing faults, complicated structures and obvious heterogeneity. The software Petrel is used to build its three-dimensional structure model based on 3D seismic data interpretation and the combination with drilling, logging and stratigraphic correlation data, to analysis the crosscutting relationship of the faults on scope, which make the structure feature of the study area more accurately. By use of facies-controlled-kriging reservoir parameters modeling software and facies-controlled-kriging modeling technology, the reservoir parameters model is constructed under the constraints of sedimentary facies and fluid facies. Through using of facies-controlled-kriging modeling technology, adding virtual wells and retrieving the error when predicting the interwell reservoir parameters caused by less of actual well, the structure of the oilfield, heterogeneity property and oil-water distribution are displayed, which have provided basis for the coming reservoir study such as precise reservoir numerical stimulation.

**Key words:** geology modeling; structure model; reservoir parameters model; facies-controlled-kriging

#### EVALUATION ON TOTAL AND AVAILABLE CONTENT OF MICRO-ELEMENTS IN PURPLE SOIL OF SANCHI TOWN IN JIANYANG CITY OF SICHUAN PROVINCE

XU Wei<sup>1</sup>, LIU Ying-ping<sup>1,2</sup>, PENG Pei-hao<sup>1</sup>, et al. (1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu Sichuan 610081, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(3): 335

Taking total and available content of B, Mn, Zn, Cu, Mo elements, content of organic matter and pH value in purple soil of the land consolidation area, Shacha Town, Jianyang city as data base, this paper analyzed the content features of micro-elements in soil, and carried out classification evaluation on available content of these elements. Combining with the correlation between elements' available content and their total content, and organic matter's content, and pH value, the nutrient management suggestions for the study area made. The study indicated that the total content of micro-elements and available content of Mn in the purple soil of this area are relatively normal, while the available content of B, Zn, Cu, Mo elements is badly lacking. Therefore, fertilizer contain-

ing these four elements should be increased in the growth of crops to enhance the agricultural productivity.

**Key words:** purple soil; micronutrient elements; total content; available content; sancha town; Jianyang city

#### STUDY OF HIGH-RESOLUTION SBP EXPLORATION FOR SEA SAND RESOURCES IN THE ZHOUSHAN OFFSHORE

ZHAO Tie-hu<sup>1</sup>, LI Jun<sup>1</sup>, ZHANG Yi-biao<sup>2</sup> (1. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; 2. No. 1 Marine Geological Investigation Party, Shanghai Offshore Petroleum Bureau, SINOPEC, Shanghai 201208, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(3): 340

Based on the geological interpretation of sub-bottom profiling which was acquired in study area, The paper divided the shallow strata ( or sub-strata) into 4 units with contrasting to drilled data, and have further understanding of the frame of shallow strata in surveying area. Some geological structures which developed in the seafloor such as sand ridges, deposits of tidal channel, sand waves or mat, and those buried under the seafloor are studied in depth, and the discussion to origin of sand resource and supplying of sediments revealed that the sand bodies has characteristics of near-sources deposition and rapid accumulation.

**Key words:** high-resolution SBP; shallow strata; sea sand resources; Zhoushan offshore

#### THE DISCUSSION ON CGCS2000 APPLYING TO THE REGION GRAVITY SURVEY

YANG Ya-bin, HAN Ge-ming, LIANG Meng (Institute of Geophysical and Geochemical Exploration CAGS Langfang, Hebei 065000, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(3): 346

This paper briefly introduces China geodetic coordinate system 2000 and frame, and also analyzes the influence of Beijing 54 coordinate system on regional gravity survey. On the basis of policy that State Bureau of Surveying and Mapping requires to promote CGCS2000, this paper discusses the new problems on regional gravity survey, and puts forward the solution and suggestion on implementation of CGCS2000. It is proposed that some active and effective approaches should be taken to apply the relevant CGCS2000 coordinates to the work of the regional gravity survey in detailed the technical aspects of exploration and research, and the management system should be developed to promote the regional gravity survey of technological progress.

**Key words:** CGCS2000; Beijing1954 coordinate system; geodetic coordinate system; coordinate transformation; region gravity survey