

潮汕坳陷中生代沉积的折射波2D速度结构和密度

阮爱国^{1,2}, 牛雄伟^{1,2}, 吴振利^{1,2}, 吴招才^{1,2}, 薛彬^{1,2}

(1. 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012; 2. 国家海洋局海底科学重点实验室, 杭州 310012)

摘要: 2006年秋, 国家海洋局第二海洋研究所在东沙隆起和潮汕(潮南)坳陷完成了OBS2006-3剖面。在整条剖面速度模型的基础上, 采用2D层析成像方法, 对潮汕(潮南)坳陷区7个站位的中生界折射震相进行了精细的反演成像。结果表明, 坳陷内可分3个沉积层, 前两层是新生代沉积, 速度分别为2.2 km/s和3.6 km/s, 厚度较小, 不超过2 km。中生代沉积地层的速度从顶部的4.4 km/s向下逐渐增加到底部的5.4 km/s, 厚度较大, 最厚处为8 km左右。坳陷内速度是比较均匀地随深度增加的, 成水平层状分布。重力反演表明, 潮汕坳陷中生代沉积的平均密度为2.45 g/cm³, 地壳密度为2.86 g/cm³, 下地壳高速层密度为3.05 g/cm³, 莫霍面下面的上地幔密度为3.32 g/cm³。

关键词: 潮汕坳陷; 中生代沉积; 速度结构; 海底地震仪; 中国南海

中图分类号: P631.4; P624

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493(2009)-04-0522-07

The 2D Velocity and Density Structure of the Mesozoic Sediments in the Chaoshan Depression

RUAN Ai-guo^{1,2}, NIU Xiong-wei^{1,2}, WU Zhen-li^{1,2}, WU Zhao-cai^{1,2}, XUE Bin^{1,2}

(1. The Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China;

2. The Key Laboratory of Submarine Geosciences, SOA, Hangzhou 310012, China)

Abstract: The wide angle seismic profile OBS2006-3 crossing the Dongsha Rise and the Chaoshan and Chaonan Depressions of South China Sea was completed by the Second Institute of Oceanography, SOA in the autumn of 2006. Based on the inversed velocity model of the whole profile, a more accurate 2D tomography imaging was carried out in this paper for a smaller model and only refracted waves recorded by seven OBS stations in the Chaoshan and Chaonan Depressions were used. The imaging results show that there are three sediment layers in the depression area. The thicknesses of the first two layers of the Cenozoic sediments are very thin, less than 2 km with velocities of 2.2 km/s and 3.6 km/s, respectively. In the Mesozoic sediment layer the velocity increases gradually from 4.4 km/s at the top to 5.4 km/s at the bottom with a maximum thickness of 8 km and can be considered as a horizontal sub-layer. Based on the gravity simulation of OBS2006-3, the average density of the Mesozoic layer in the Chaoshan and Chaonan Depressions is 2.45 g/cm³. The average densities of the profile OBS2006-3 in the crust, the high velocity layer and the upper mantle beneath Moho are 2.86 g/cm³, 3.05 g/cm³ and 3.32 g/cm³, respectively.

Key words: Chaoshan Depression; Mesozoic sediments; velocity structure; ocean bottom seismometers; South China Sea

收稿日期: 2009-05-21; 修回日期: 2009-09-07

基金项目: 国家自然科学基金(40876035); 国家重点基础研究发展计划(2007CB411701)共同资助

作者简介: 阮爱国, 1963年生, 男, 博士, 浙江温岭人, 现为国家海洋局海底科学重点实验室责任研究员, 主要从事海底地震仪的勘测与海底构造研究; E-mail: Ruanag@163.com

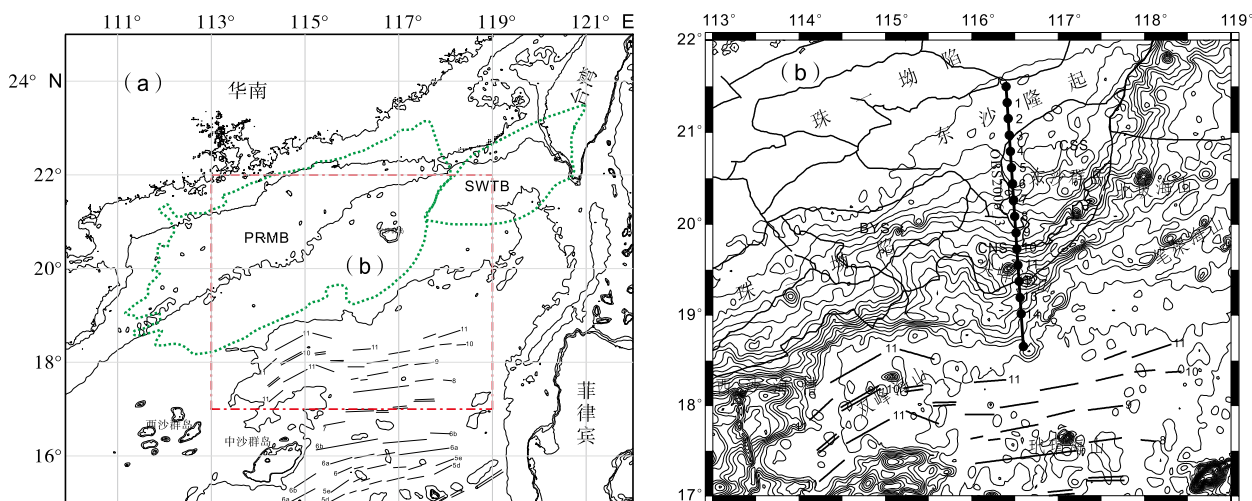
南海中生界的油气潜力是近年较为关注的一个领域（刘光鼎和陈洁，2005），潮汕坳陷被认为是中生代古太平洋板块向东亚陆缘俯冲形成的弧前盆地（姚伯初等，1995；黄春菊等，2005；周蒂等，2006），残留了巨厚的中生代沉积，具有良好的油气前景（苏乃容等，1995；郝沪军等，2001；杨少坤等，2002；陈洁，2007）。潮汕坳陷位于南海北部陆缘的陆坡区，北接东沙隆起，东与东南为台西南盆地，南近深海盆地，水深范围200~3 000 m（陈冰等，2005）。中海油在位于潮汕中部的预钻井 MZ-1-1 井钻探证实了中生界的存在（吴国瑄等，2007；邵磊等，2007），但未获油气发现。因此有待于用地震方法进行更深入的调查和研究。但由于潮汕坳陷中生界较浅部速度就比较高，使得反射地震调查多次波严重，深部地质结构模糊。对此可以利用反射调查中的少量折射震相和海底地震仪（Ocean Bottom Seismometer，以下简称OBS）广角记录来进行研究（阎贫等，2008；吕修亚等，2008）。2006年国家海洋局第二海洋研究所在南海中北部陆缘完成了3条OBS测线，其中的OBS2006-3测线穿过东沙隆起和潮汕（潮南）坳陷（李湘云等，2007；吴振利等，2008）。在这条测线上有7个OBS站位在潮

汕（潮南）坳陷地区，获取了大量的来自沉积层内部的折射记录。本文拟利用2D层析成像反演，对潮汕坳陷的中生代沉积进行折射波成像。

1 数据采集和处理

OBS2006-3广角反射\折射剖面的测线方向为NNW-SSE，北端位于珠一坳陷东南缘，经东沙隆起、潮汕和潮南坳陷到达海盆边缘，总长319 km，水深从224 m增加到3 484 m（图1）。使用了14台德国GeoPro GmbH制造的SEDIS IV型OBS，台站平均间距19.87 km。上海海洋石油局第一海洋地质调查大队“奋斗七号”船提供气枪震源和水深测量。5160立方英寸的枪阵由4支BOLT（2100ci）和18支SLEEVE-II（3060ci）气枪组成，工作压力138 kg/cm²，炮间距200 m，放炮间隔约87s。OBS数据采样间隔4 ms。在甲板上安放了陆地型短周期地震仪，并使用GPS定时，给出了精确的放炮时间。采用全球差分定位系统将OBS投放到设计位置上。地震记录分量除了OBS的三分量，另外还有一个水听器记录，本文只使用了垂直分量。在调查过程中，由于不明的原因，7号站位OBS没有及时在现场回收，30多天以后被渔民拾到送回。

OBS资料的处理包括放炮时间校正、炮点坐



PRMB为珠江口盆地，SWTB为台西南盆地，洋盆中带编号的直线为磁异常条带，(b)为OBS2006-3的测线位置，其中的黑点为OBS站位；CSS为潮汕坳陷，CNS为潮南坳陷，BYS为白云坳陷。

PRMB and SWTB represent the Pearl River Mouth Basin and Southwestern Taiwan Basin, respectively. The straight numbered lines in the ocean basin indicate magnetic anomaly lineations. (b) The deployment of the profile OBS2006-3. The black dots represent OBS, and CSS, CNS and BYS represent the Chaoshan Depression, the Chaonan Depression and the Baiyun Depression, respectively.

图1 南海北部陆缘区域图(a)和研究区(b)(图a中的虚线方框范围内)

Fig. 1 Regional map of the northern continental margin of the South China Sea (a) and the study area (b)

标局部化、海底地震仪位置校正、OBS记录器时间漂移校正。首先利用甲板上安放的地震仪所记录的精确的放炮时间并考虑滤波延时对地震船确定的放炮时间进行校正。根据炮点坐标的GPS导航数据，利用最小二乘法确定一条直线作为剖面，并将所有的炮点和OBS站位投影到剖面上，得到炮点的局部化坐标和OBS的水平坐标，进而求取偏移距。然后按修正后的放炮时间和偏移距得到每一个OBS的折合时间剖面（折合速度6 km/s）。OBS数据带通滤波频率为4~30 Hz。利用同时测得的水深资料确定剖面下的海底面，并得到OBS的垂直坐标。将记录器的时间漂移视为线性函数，根据OBS的开始记录时间和终止时间以及总漂移时间，求

取漂移增量，然后将时间漂移量加到折合时间剖面的各道中。计算小偏移距附近直达水波理论走时并与折合时间剖面走时进行对比，对OBS的坐标进行微调，使得两者得到很好的拟合。图2a为处理后的OBS9站位的折合时间剖面，其中的P4就是来自中生界的折射震相，图3是7个站位（OBS4-OBS10）的中生界全部折射震相的拾取情况，可以看出对模型具有很好的覆盖。

2 反演方法

OBS广角地震数据的反演一般可以分三步进行（White et al, 2008）。一是对初至波进行层析成像，这是一种射线追踪自动反演算法，将所有的初至震

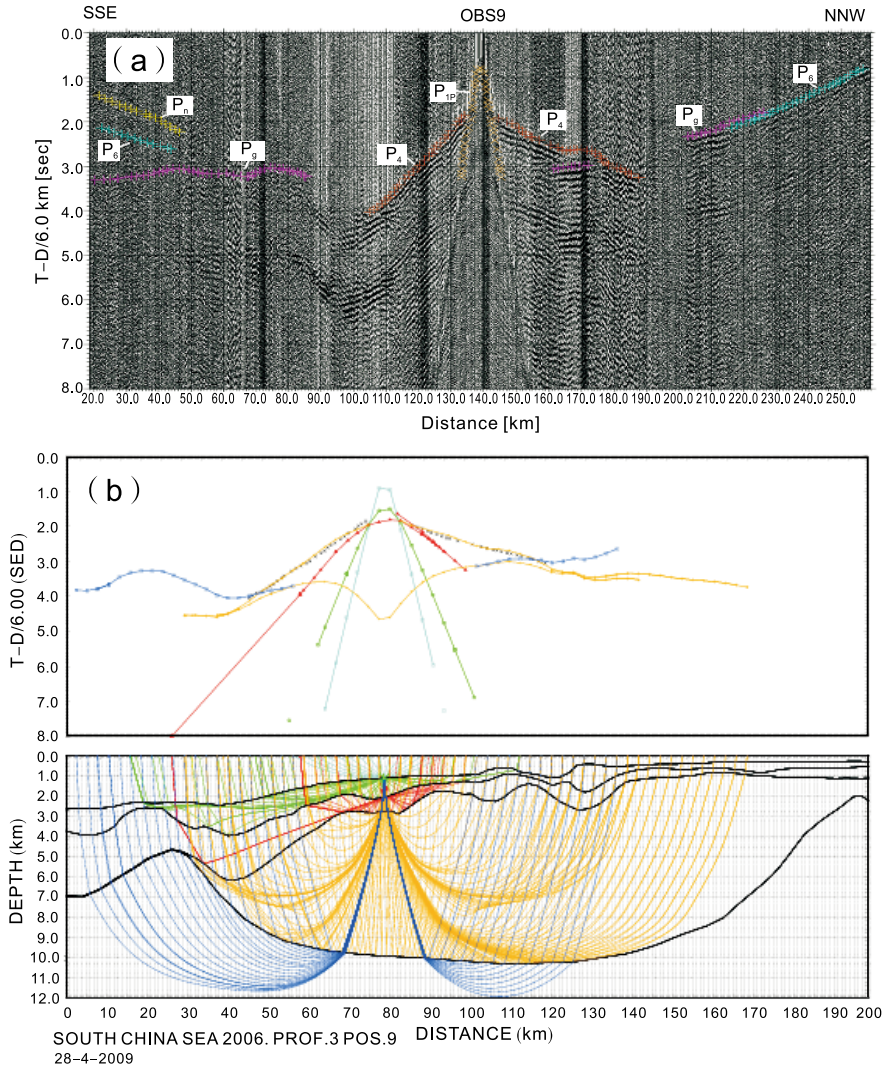


图2 OBS9站位的折合时间剖面 (a) 和OBS9的中生界折射波的射线追踪拟合情况 (b)
Fig. 2 The reduced seismic recording section of OBS 9 station (a) and the ray-tracing of refracted wave of the Mesozoic sediments recorded at OBS 9 station (b)

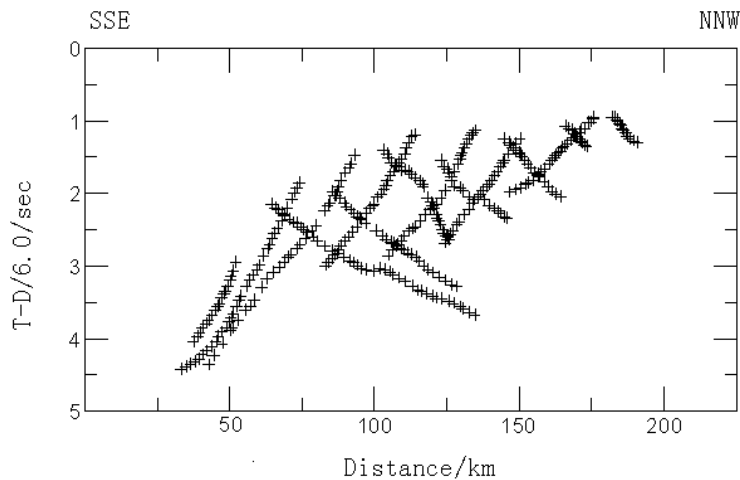


图3 潮汕（潮南）坳陷区域7个OBS站位的中生界折射震相拾取情况

Fig. 3 The picked seismic refraction phases from the Mesozoic sediments in the Chaoshan (Chaonan) Depression recorded at seven OBS stations

相都视为模型内的折射波,除了海底面和底界面,模型内部一般不设分界面,只对速度进行网格化,得到的模型作为下一步的初始模型。二是射线追踪正演,利用所有可识别的反射波和折射波震相,模型内设置界面,从上到下逐层进行。实际上就采用人工干预的试错法。三是采用与第一步相同的层析成像自动算法(但增加了反射震相,如莫霍面反射波PmP),对第二步得到的模型进行反演成像。从目的上讲,第一步主要是为了对资料总体情况有个判断,第二步是工作的核心,第三步是对第二步得到的模型进行光滑和细化。采用上述方法已完成了OBS2006-3剖面整个模型的反演,主要结果及动力学讨论将另文发表。

由于反演技术的限制,当模型较大,层数又较多时,速度网格设置不能太精细。本文是在完全模型的基础上,将模型局限于具有中生界折射波记录的OBS4-OBS10,利用层析成像反演算法对潮汕(潮南)坳陷的中生代沉积的速度结构进行精细化成像。具体做法是将原来的速度网格成倍减小后,横向间距为5 km,垂向间距为0.5 km。除了对上覆新生代沉积层的界面作微小的改动外,对原模型的其它各层界面和速度不作改变。所用软件为WARRP (Makris and Thießen, 1984),其核心是SEIS83射线追踪 (Cerveny et al, 1977),反演方法为阻尼最小二乘法和试错法相结合。

同时,作者进行了整条剖面的重力模拟。利用速度与密度的转换关系式(Christensen and Walter,

1995),将P波速度模型转换成密度的初始模型。实测的重力数据来自网上公开的全球重力数据集grav. img.16.1,原始数据集是1'×1'的数据网格上的自由空间重力异常。理论重力异常的计算采用参数化方法(Cady, 1980)。用试错法和阻尼最小二乘法相结合来拟合理论和实测重力异常。

3 结果及讨论

最终获得潮汕坳陷中生代沉积的速度模型如图4所示,反演前走时均方差0.079 s,反演目标走时均方差0.001 s。各OBS记录的来自中生界的折射震相得到了很好的拟合,图2b是其中的OBS9的拟合情况。

本文模型长230 km,坳陷宽166 km,其北边界为东沙隆起,南边界为与古俯冲带有关的向北倾斜的深大断裂(Hayes et al, 1995; 丘学林等, 2003; 周蒂等, 2006)。坳陷下面的结晶基底深达10 km。坳陷内共有三个沉积层,前两层是新生代沉积,速度分别为2.2 km/s, 3.6 km/s,在整个模型范围内都很薄,厚度不超过2 km。中生代沉积地层厚度约8 km,速度从顶部的4.4 km/s向下逐渐增加到底部的5.4 km/s。坳陷内速度是比较均匀地随深度增加的,成水平层状分布。

郝沪军等(2001)指出潮汕坳陷地区经历了晚三叠世的下陷、中晚侏罗世的挤压隆起、晚侏罗世末-早白垩世初的再次下沉。早白垩世末又开始隆起,早第三纪末开始沉降。潮汕坳陷新生代

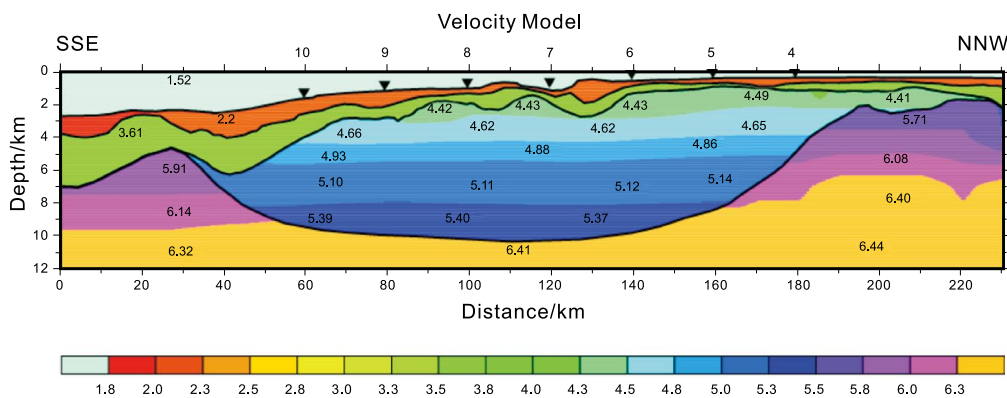
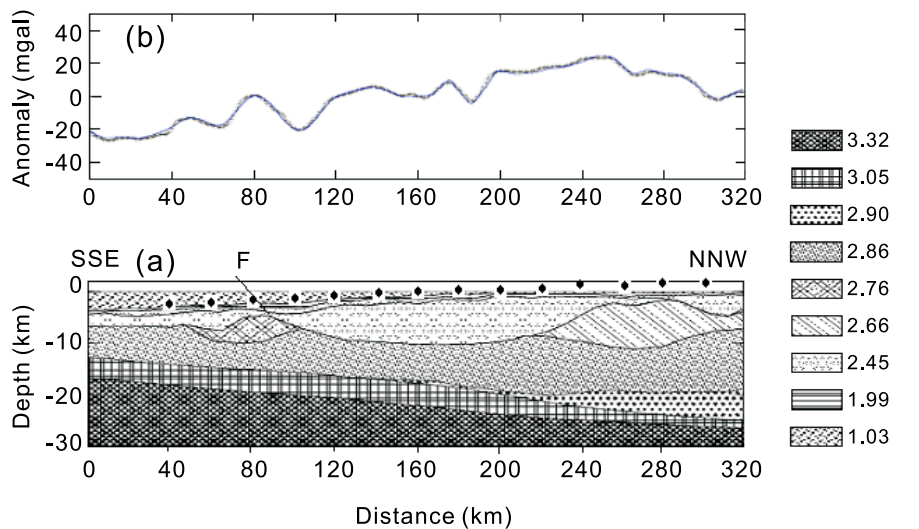


图4 潮汕（潮南）坳陷中生界折射波层析成像结果（图中和色标中的数值单位为km/s）
Fig. 4 The refracted wave tomography of the Mesozoic sediments of Chaoshan (Channan) Depression
(The unit of numbers in the figure and the color bar is km/s)

地层为中新世—第四纪的广海沉积，中生界为上三叠统一下侏罗统、下白垩统和上白垩3套海相地层。中生界岩层根据速度从上到下分4 km/s，4~5 km/s和大于5 km/s三层，最大速度约5.4 km/s。不同学者提出的中生界划分略有不同。例如，陈洁（2007）将潮汕坳陷中生界划分为上三叠统、下侏罗统和下白垩统，并指出新生界速度1.9~4.7 km/s，中生界从上到下三层速度分别为3.6~4.6 km/s，4.5~5.0 km/s，4.9~5.2 km/s。从图4 可以看出，本文关于潮汕坳陷的速度成像结果与前人的研究是基本一致的。前人的结果一般都是由反射地震结合钻井资料得到的，但关于较大深度的速度结构其结论往

往是推测的。研究中充分利用了难得的广角折射资料通过层析成像反演，直接获取了整个坳陷的速度分布特征，其结果支持了前人的结论，使得后续的研究有了踏实的基础。吕修亚等（2008）通过从多道地震中拾取的折射震相，计算后认为：潮汕坳陷西南部中生界的地震折射波速度在3.5~4.2 km/s，低于潮汕坳陷中东部中生界的地震波速度。这与本文的结果存在较明显的差异。原因可能有两点。一是多道地震资料中折射波的偏移距较小，最大只有6 km，导致不能得到较深层位的速度。本文的OBS中生界折射波震相覆盖密集，每个OBS的最大偏移距都在30 km以上，最大



(a) 图中的黑圆点为OBS位置，F表示推测的深大断裂；自由空间重力异常的拟合均方差为1.6 mgal。
The simulated curve (solid line) fitted to the observed curve (dashed line) with a rms-error of 1.6 mgal.
The black solid circles in Fig. 5 (a) represent OBS and the letter F indicates the location of a large fault.

图5 OBS2006-3测线重力反演得到的密度模型（a）和重力异常曲线（b）（密度单位为g/cm³）

Fig. 5 Density model (a) and gravity anomaly curve (b) of the profile OBS2006-3 (The unit of density is g/cm³ and the gravity anomaly is free air gravity.)

偏移距为62 km。二是他们采用的是层状介质的解析算法, 可能对实际射线来说不够精确。

图5为OBS2006-3整条剖面的最佳密度模型。从重力反演结果可以看出, 潮汕坳陷中生界岩层的平均密度为 2.45 g/cm^3 , 成岩程度较高。还可以看出下地壳底部存在平均厚4 km、密度 3.05 g/cm^3 (速度 7.2 km/s) 的高速层, 可能是中中新世海底扩张之后上地幔岩浆的底侵作用形成的, 还可能中生代古太平洋板块向欧亚板块俯冲的残留影响 (徐鸣洁 和舒良树, 2001), 导致东沙隆起下部地壳较巨厚, 达23 km (包括高速层)。潮汕坳陷区南端有深达地壳的北倾断裂, 其位置与前人的推测相近 (Hayes et al, 1995; 丘学林等, 2003; 周蒂等, 2006)。基本结论是潮汕坳陷南端存在向北倾城斜的深大断裂可能与中生代古俯冲带有关, 潮汕坳陷为弧前盆地, 东沙隆起为古火山弧, 与前人的一些看法是较为一致的。

致谢: 参加2006年南海中北部OBS调查工作的还有丘学林、丁巍伟、赵明辉、李湘云和郭兴伟。楼海研究员在重力模拟上做了大量工作。上海海洋石油局第一海洋地质调查大队的“奋斗七号”地震船提供了震源和水深测量, OBS的回收得到了船员们的大力协助, 对此我们表示衷心的感谢。广东省地震局和海南省地震局在设备方面给予了大力支持。德国 Geopro GmbH 公司向我们提供了性能良好的OBS和数据处理及反演软件。

References:

- Cady John. 1980. Calculation of gravity and magnetic anomalies of finite-length right polygonal prisms [J]. *Geophysics*, 45: 1507–1520.
- Cerveny V, Molotkov I A and Psencik I. 1977. *Ray Method in Seismology* [M]. Prague Charles University, pp. 355.
- Chen Bing, Wang Jialin, Zhong Huizhi, et al. 2005. Geophysical study of pre-Tertiary basin style of Chaoshan Sag in south China Sea [J]. *Journal of Tongji University*, 33 (9): 1275–1280. (in Chinese with English abstract)
- Chen Jie. 2007. Geophysical characteristics of the Chaoshan depression and its hydrocarbon exploration potential [J]. *Progress in Geophysics*, 22 (1): 147–155. (in Chinese with English abstract)
- Christensen N I and Walter D M. 1995. Seismic velocity structure and composition of the continental crust: A global view [J]. *Journal of Geophysical Research*, 100 (B7): 9761–9788.
- Hao Hujun, Lin Heming, Yang Mengxiong, et al. 2001. The Mesozoic in Chaoshan Depression: A new domain of petroleum exploration [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 15 (3): 157–163. (in Chinese with English abstract)
- Hayes D E, Nissen S S, Buhl P, et al. 1995. Thoroughgoing crustal faults along the northern margin of the South China Sea and their role in crustal extension [J]. *Journal of Geophysical Research*, 100 (B11): 22435–22446.
- Huang Chunji, Zhou Di and Chen Changmin. 2005. The deep-crustal structures of Baiyun Sag revealed by deep seismic reflection profile [J]. *Chinese Science Bulletin*, 50 (10): 1024–1031. (in Chinese with English abstract)
- Huang Meiyang, Li Fangzhi and Li Pinglu. 1993. Pre-Tertiary–Paleogene depression characteristics and petroleum potential in the eastern Pearl River Mouth Basin [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 7 (3): 1–9. (in Chinese with English abstract)
- Li Xiangyun, Wu Zhenli, Xue Bin, et al. 2007. Short-period auto-floating ocean bottom seismometer and its operational experiences [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 26 (5): 35–39. (in Chinese with English abstract)
- Liu Guangding and Chen Jie. 2005. Analysis of difficulties in gas-petroleum prospecting in Chinese Pre-cenozoic relic basin and the corresponding solutions [J]. *Progress in Geophysics*, 20 (2): 1–3. (in Chinese with English abstract)
- Lü Xiuya, Yan Pin, Zheng Hongbo, et al. 2008. Application of refraction velocity in studying Mesozoic strata in Chaoshan depression on northern margin of south China Sea [C] // Jin Xianglong et al, *Progress in Chinese Geology and Geophysics Research*. Beijing, Ocean Press. 501–507. (in Chinese with English abstract)
- Makris J and Thieβen J. 1984. Wide-angle reflections: a tool to penetrate horizons with high acoustic impedance contrasts [C]. *Expanded Abstracts, SEG 54th Annual Meeting, Atlanta*.
- Qiu Xuelin, Zhao Minghui and Ye Chunming. 2003. Ocean bottom seismometer and onshore-offshore seismic experiment in northeastern South China Sea [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 27 (4): 295–299. (in Chinese with English abstract)
- Shao Lei, You Hongqing, Hao Hujun, et al. 2007. Petrology and depositional environments of Mesozoic strata in the northeastern South China Sea [J]. *Geological Review*, 53 (2): 164–169. (in Chinese with English abstract)
- Su Nairong, Zeng Lin and Li Pinglu. 1995. Geological features of Mesozoic sags in the eastern part of Pearl River Mouth Basin [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 9 (4): 228–236. (in Chinese with English abstract)
- White R S, Smith L K, Roberts A W, et al. 2008. Lower-crustal intrusion on the north Atlantic continental margin [J]. *Nature*, 452 (27): 460–464.
- Wu Guoxuan, Wang Rujian, Hao Hujun, et al. 2007. Microfossil evidence for development of marine Mesozoic in the north of south China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 27 (1): 79–85. (in Chinese with English abstract)
- Wu Zhenli, Ruan Aiguo, Li Jiabiao, et al. 2008. New progress of deep crust sounding in the mid-northern south China Sea using ocean bottom seismometers [J]. *South China Journal of Seismology*, 28 (1): 21–28. (in Chinese with English abstract)
- Xu Mingjie and Shu Liangshu. 2001. Deep geological conditions constraining the late Mesozoic magmatism in SE China [J]. *Geological Journal of China Universities*, 7 (1): 21–33. (in Chinese with English abstract)
- Yan Pin, Luo Wenzao, Wen Ning, et al. 2008. Ocean bottom seismometer experiment across Chaoshan Sag in the northern South China

- Sea [C] // Jin Xianglong, et al. Progress in Chinese Geology and Geophysics Research. Beijing: Ocean Press, 494–500. (in Chinese with English abstract)
- Yang Shaokun, Lin Heming and Hao Hujun. 2002. Oil and gas exploration prospect of Mesozoic in the eastern part of Pearl River Mouth Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 23 (5): 28–34. (in Chinese with English abstract)
- Yao Bochu, Zeng Weijun, Chen Yizhong, et al. 1995. Seismic reflective characteristics of the Mesozoic sediments on the eastern continental margin in the north of the south China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 15 (1): 81–90. (in Chinese with English abstract)
- Zhou Di, Wang Wanyin, Pang Xiong, et al. 2006. The Mesozoic subduction zone in northeastern South China Sea revealed by geophysics data [J]. Science in China Series (D), 36 (3): 209–218. (in Chinese).
- 参考文献:**
- 陈冰, 王家林, 钟慧智, 等. 2005. 南海潮汕坳陷前第三纪盆地结构地球物理研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 33 (9): 1275–1280.
- 陈洁. 2007. 潮汕坳陷地球物理特征及油气勘探潜力[J]. 地球物理学进展, 22 (1): 147–155.
- 郝沪军, 林鹤鸣, 杨梦雄, 等. 2001. 潮汕坳陷中生界—油气勘探的新领域[J]. 中国海上油气(地质), 15 (3): 157–163.
- 黄春菊, 周蒂, 陈长民, 等. 2005. 深反射地震剖面所揭示的白云凹陷的深部地壳结构[J]. 科学通报, 50 (10): 1024–1031.
- 李湘云, 吴振利, 薛彬, 等. 2007. SEDIS IV 型短周期自浮式海底地震仪及应用体会[J]. 热带海洋学报, 26 (5): 35–39.
- 刘光鼎, 陈洁. 2005. 中国前新生代残留盆地油气勘探难点分析及对策[J]. 地球物理学进展, 20 (2): 1–3.
- 吕修亚, 阎贫, 郑红波, 等. 2008. 折射方法在南海北部潮汕坳陷中生界研究中的应用[C] // 金翔龙等. 中国地质地球物理研究进展——庆贺刘光鼎院士八十华诞. 北京: 海洋出版社, 501–507.
- 丘学林, 赵明辉, 叶春明, 等. 2003. 南海东北部海陆联测与海底地震仪探测[J]. 大地构造与成矿学, 27 (4): 295–299.
- 邵磊, 尤洪庆, 郝沪军, 等. 2007. 南海东北部中生界岩石学特征及沉积环境[J]. 地质评论, 53 (2): 164–169.
- 苏乃容, 曾麟, 李平鲁. 1995. 珠江口盆地东部中生代凹陷地质特征[J]. 中国海上油气(地质), 9 (4): 228–236.
- 吴国瑄, 王汝建, 郝沪军, 等. 2007. 南海北部海相中生界发育的微体化石证据[J]. 海洋地质与第四纪地质, 27 (1): 79–85.
- 吴振利, 阮爱国, 李家彪, 等. 2008. 南海中北部地壳深部结构探测新进展[J]. 华南地震, 28 (1): 21–28.
- 徐鸣洁, 舒良树. 2001. 中国东南部晚中生代岩浆作用的深部条件制约[J]. 高校地质学报, 7 (1): 21–33.
- 阎贫, 罗文造, 温宁, 等. 2008. 南海北部跨越潮汕凹陷的海底地震仪调查[C] // 金翔龙等主编, 中国地质地球物理研究进展——庆贺刘光鼎院士八十华诞. 北京: 海洋出版社, 494–500.
- 杨少坤, 林鹤鸣, 郝沪军. 2002. 珠江口盆地东部中生界海相油气勘探前景[J]. 石油学报, 23 (5): 28–34.
- 姚伯初, 曾维军, 陈艺中, 等. 1995. 南海北部陆缘中生代沉积的地震反射特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 15 (1): 81–90.
- 周蒂, 王万银, 庞雄, 等. 2006. 地球物理资料所揭示的南海东北部中生代俯冲增生带[J]. 中国科学(D), 36 (3): 209–218.