

南极半岛附近海域与南海北部海域 多道地震资料对比分析

陈 垚, 付少英*, 何高文, 文鹏飞, 杨 力, 刘 斌

自然资源部海底矿产资源重点实验室, 广州海洋地质调查局, 广东广州 510075

摘要: 在中国第33次南极科学考察中, 自然资源部中国地质调查局下属的广州海洋地质调查局“海洋六号”船于2016年12月到2017年2月在南极半岛南设得兰海沟海域获得了1 400多km的高分辨率多道地震资料。这是我国首次在南极海域获得高分辨率多道地震资料, 是一次艰辛的探索和尝试。在出航南极之前, 为了保证采集设备的稳定和取得合理的采集参数, “海洋六号”船在我国南海北部海域多次对采集设备和采集参数进行了检测和试验, 获得了多条高分辨率多道地震资料。通过对比南极半岛附近海域和南海北部海域的地震资料, 在相同采集设备和采集参数的情况下, 表现出了明显不同的特征。

关键词: 南极半岛; 南海北部; 多道地震; 对比分析

中图分类号: P67; P33 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2018.092604

An Comparative Analysis of Multichannel Seismic Data of the Sea Area near Antarctic Peninsula and Northern South China Sea

CHEN Xi, FU Shao-ying*, HE Gao-wen, WEN Peng-fei, YANG Li, LIU Bin

*Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Natural Resources,
Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou, Guangdong 510075*

Abstract: During China's 33rd Antarctic Expedition, the vessel “Hai Yang Liu Hao” of Guangzhou Marine Geological Survey, which is subordinated to China Geological Survey of Ministry of Natural Resources, obtained more than 1 400 km of high resolution multichannel seismic data in the South Shetland Trench area of the Antarctic Peninsula, from December 2016 to February 2017. This was for the first time that China obtained high-resolution multichannel seismic data in the Antarctic sea area, which was really an arduous exploration and attempt. Before sailing to Antarctica, in order to ensure the stability of the acquisition equipment and obtain reasonable acquisition parameters, the “Hai Yang Liu Hao” carried out many inspections and tests in northern South China Sea and obtained many high-resolution multichannel seismic data. By comparing the seismic data between the Antarctic Peninsula and northern South China Sea, the seismic data show distinct characteristics under the same acquisition equipment and parameters.

Key words: Antarctica Peninsula; northern South China Sea; multichannel earthquake; comparative analysis

1 资料获取

在中国第33次南极科学考察中, “海洋六号”在南极半岛南设得兰群岛附近海域开展了一个航次的综合地质地球物理调查, 其中采集到高分辨率多

道地震测线共1 400多km, 大部分沿线位于南设得兰海沟, 有一条测线穿越了布兰斯菲尔海峡(图1)。这是我国首次在南极海域获得高分辨率多道地震资料, 不仅为我国未来的科考工作积累了宝贵的经验, 而且为维护我国的海洋权益、拓展我海洋活动空间

本文由自然资源部国家专项(编号: DD20160214)和中国地质调查局海洋地质调查计划项目(编号: GZH201100303)联合资助。为中国地质调查局、中国地质科学院2017年度地质科技十大进展第九名“‘海洋六号’南极科考取得多项突破性创新成果”的成果之一。

收稿日期: 2018-06-13; 改回日期: 2018-09-15; 网络首发日期: 2018-09-26。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 陈玺, 男, 1984年生。硕士, 工程师。主要从事海洋物地球物理资料处理及研究工作。E-mail: cxfox_2000@163.com。

*通讯作者: 付少英, 男, 1973年生。博士, 教授级高级工程师。主要从事海洋地质与地球化学研究工作。E-mail: fushao@foxmail.com。

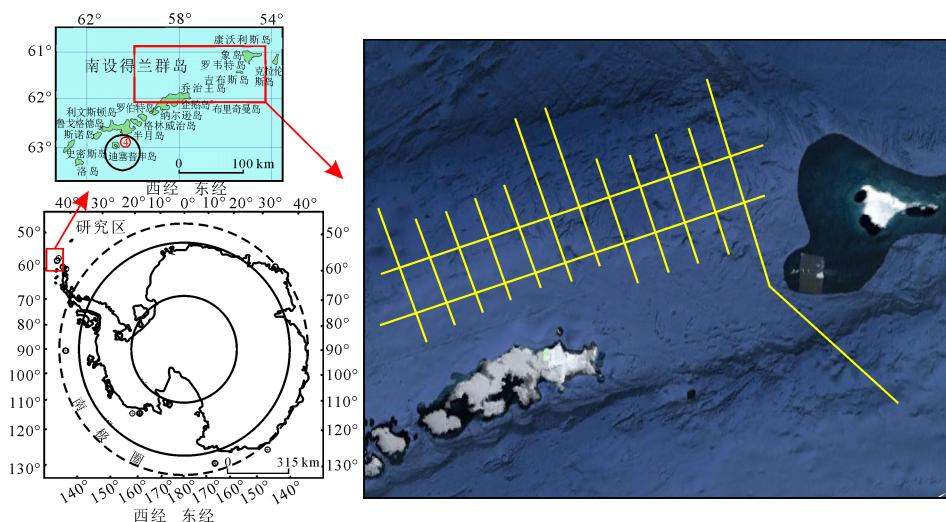


图 1 中国第 33 次南极科学考察“海洋六号”采集的高分辨率多道地震测线位置图
Fig. 1 Location of seismic lines obtained by “Hai Yang Liu Hao” in China’s 33rd Antarctic Expedition

具有重要的战略、经济和科学意义(李兆鼐等, 1990; 王光宇等, 1996; 胡健民等, 2007; 沈中延等, 2015; 何高文等, 2018; 吴聪等, 2018; 陈玺等, 2018)。

“海洋六号”船为国际无限航区海洋地质地球物理调查船, 集地质、地震等多项调查功能为一体, 具备极地夏季轻度冰区航行和综合调查能力。针对航次多道地震调查任务, 海上作业采用的记录参数如表 1 所示, 主要调查设备包括:

(1) 导航定位: 包括 SeaProNav 综合导航系统、DGPS 接收机、Octans 姿态传感器;

(2) 多道地震调查: 包括 GI 气枪震源、GUNLINK 气枪控制器、LMF 空压机系统、SERCEL 地震采集记录系统、PCS 缆源跟踪系统、DESO-25 回声测深仪、Focus 地震资料处理系统。

2 资料对比

在出航南极之前, “海洋六号”船在我国南海北部海域多次对采集设备和采集参数进行了检测和

表 1 多道地震采集参数

Table 1 Multichannel seismic acquisition parameters

采集参数	参数值
接收道数	96
道间距/m	12.5
覆盖次数	24
炮间距/m	25
采样率/ms	1
记录长度/s	8 或 9
震源	GI 枪
震源容量(c.i.)	540 Cu.in.
工作压力(p.s.i.)	2000
震源沉放深度/m	5
电缆沉放深度/m	5
记录介质	3592 磁带
偏移距/m	125

试验, 不仅保证了采集设备稳定性和可靠性, 而且以相同的采集参数获得了多条南海北部海域的高分辨率多道地震资料, 方便与南极半岛附近海域所采集到的高分辨率多道地震资料进行对比, 为未来深入的研究提供了宝贵的经验(聂汉林和王玉兰, 1996; 涅·伊尔马兹, 2006; 牟永光和陈小宏, 2007; 陆基孟和王永刚, 2009; 陈见伟等, 2012; 陶维祥等, 2013; 孙雷鸣等, 2014)。

2.1 SVP 对比

南极海域温盐等状况与有南海较大区别, 地震资料采集前分别在南设德兰海沟和布兰斯菲尔德海峡进行了 svp 测量, 取得了海水的声速剖面(图 2), 表层海水声速要比南海低 100 m/s 左右(图 1), 海水温度在 0.5~2 °C 之间, 南海的海水温度在 28 °C 左右。

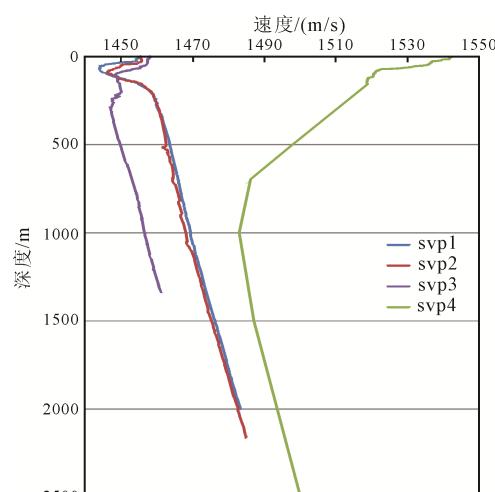


图 2 海水声速曲线

Fig. 2 Sea water velocity curves

svp1 和 svp2 为南设德兰海沟, svp3 为布兰斯菲尔德海峡,
svp4 为南海北部海域

svp1 and svp2 are sea water velocity curves in the South Shetland trench and svp3 is in the Bransfield Strait, svp4 is the sea area of northern South China Sea

2.2 直达波波形特征对比

从单次剖面(滤去背景低频噪音)中的直达波可以明显看出震源子波一致性的差别(图 3): 在南极的寒带海域环境下, 子波一致性较差, 而在南海的热带海域环境下, 子波一致性较好。

南极和南海都是在海况较好的情况下进行的采集作业, 海面只有轻微的涌, 从图 3 中也可以看出, 南极资料的直达波同相轴有轻微的抖动, 表明在寒带海域采集时电缆对涌浪较为敏感。

在相同的偏移距下, 因表层水速的不同(图 2), 直达波的起跳时间也明显的不同, 南极海域地震资料的直达波起跳时间约为 0.86 s, 而南海海域地震资料的直达波起跳时间约为 0.81 s。

2.3 频率特征对比

图 4 选择了不同区域、相同水深的 3 个单炮进行比较, 从图中可以看出, 南海资料的低频干扰较为严重。单炮①的有效频带约为 10~120 Hz, 主频大约为 60 Hz; 单炮②的有效频带约为 10~110 Hz, 主频约为 60 Hz; 南海单炮的有效频带约为 10~100 Hz, 主频大约为 50 Hz。

为了进一步对比资料的真实频带范围, 进行了频率扫描, 扫描频率依次为 0~4 Hz、4~8 Hz、

8~16 Hz、16~32 Hz、32~64 Hz、64~128 Hz、128~256 Hz、256 Hz 以上。从图 5 中可以看出, 当频率扫描范围为 4~8 Hz 时, 南极海域资料中可见到较微弱的有效信号(图 5a), 而南海海域资料中没有明显的有效信号(图 5b), 表明南极海域资料有更丰富的低频信息。

2.4 振幅能量特征对比

整体上讲, 南极海域地震资料的反射振幅比较强, 采集排列长度 1.325 km, 远偏移距上的能量衰减并不非常明显, 主要是中、深部有效能量衰减严重(图 6b, c), 多次波的能量很强。相比而言, 南海所采集的资料(图 6a)在海底以下衰减较慢, 多次波的能量并不强。同时, 地质取样多个站位弯管无样或少样结果证实, 南极地区大部分海底底质均非常坚硬, 从另一个侧面印证了地震资料上中深层有效能量衰减严重, 多次波能量强的振幅能量衰减特征。

2.5 信噪比分析

简单来说, 信噪比为信号能量与噪声能量的比值, 图 7 对比分析了图 4 中的单炮记录的信噪比, 可以看出南极半岛附近海域所采集的数据的信噪比要远远高于南海的资料, 这可能是由于该海域很少人类活动, 比如渔业和商船等。

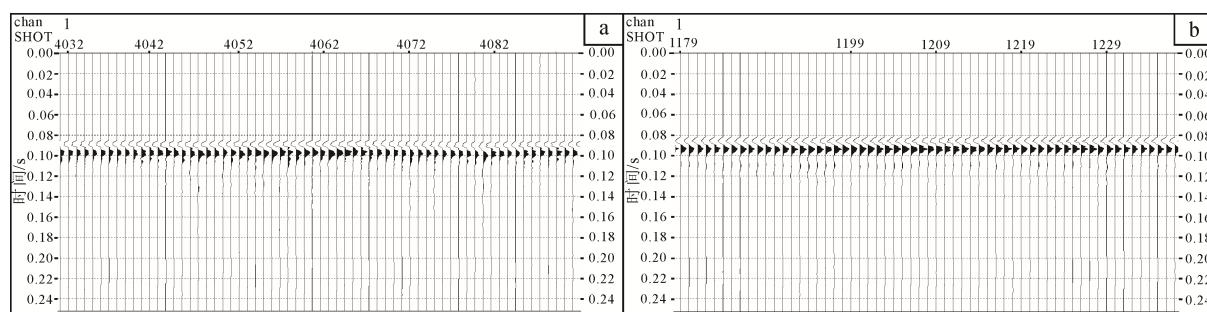


图 3 直达波单次剖面

Fig. 3 Single channel section of direct wave

a-南极半岛附近海域; b-南海北部海域

a-sea area near Antarctic Peninsula; b-sea area of northern South China Sea

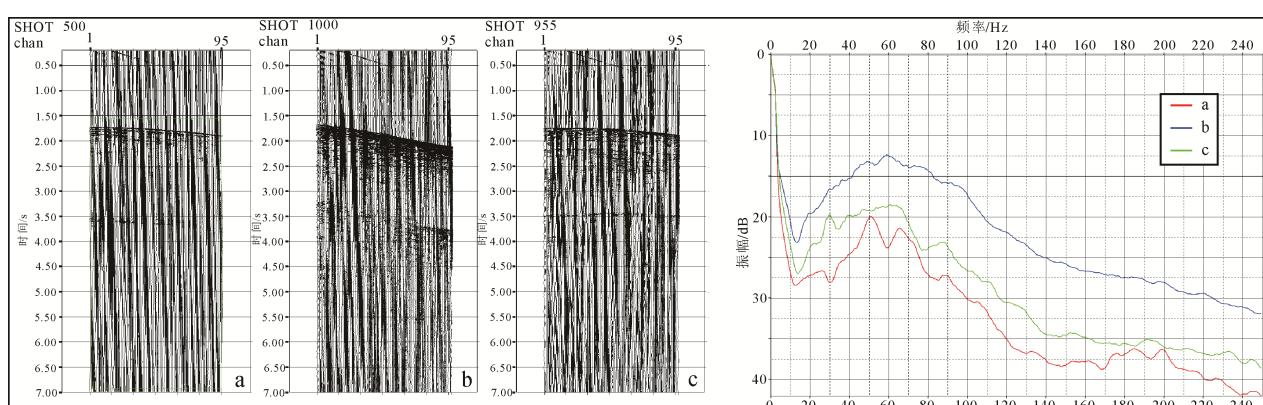


图 4 单炮地震资料及其频谱的对比

Fig. 4 Comparison of single shot seismic data and their spectra

a-南海北部海域; b-南设德兰海沟海域; c-布兰斯菲尔德海峡海域

a-sea area of northern South China Sea; b-sea area of South Shetland Trench; c-sea area of Bransfield Strait

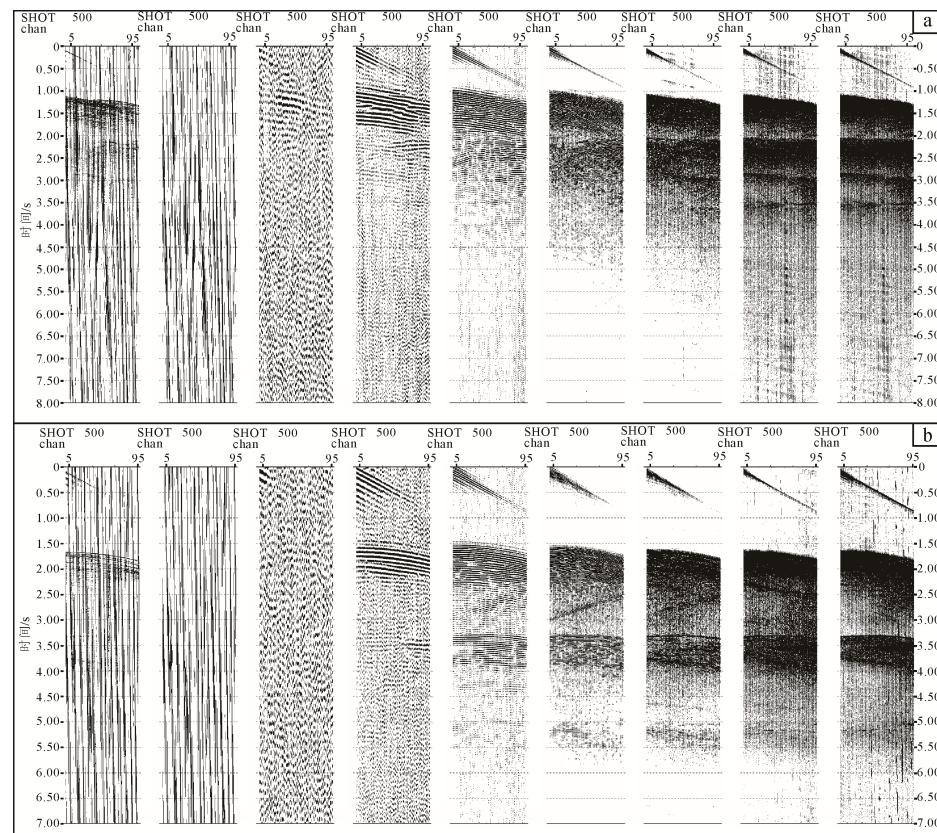


图 5 单炮地震资料的频率扫描对比

Fig. 5 comparison of frequency scan of single shot seismic data

a-南极半岛海域; b-南海北部海域; 依次为原始资料、0~4 Hz、4~8 Hz、8~16 Hz、16~32 Hz、32~64 Hz、64~128 Hz、128~256 Hz、>256 Hz
a-sea area of northern South China Sea; b-sea area near Antarctic Peninsula; In turn, raw data, 0~4 Hz, 4~8 Hz, 8~16 Hz, 16~32 Hz, 32~64 Hz, 64~128 Hz, 128~256 Hz, >256 Hz

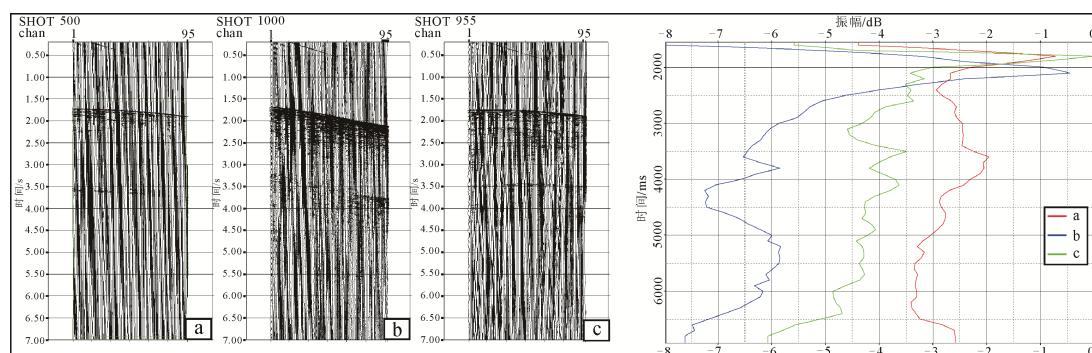


图 6 单炮地震资料及其能量衰减曲线频谱的对比

Fig. 6 Comparison of single shot seismic data and their energy attenuation curves

a-南海北部海域; b-南设德兰海沟海域; c-布兰斯菲尔德海峡海域
a-sea area of northern South China Sea; b-sea area of South Shetland Trench; c-sea area of Bransfield Strait

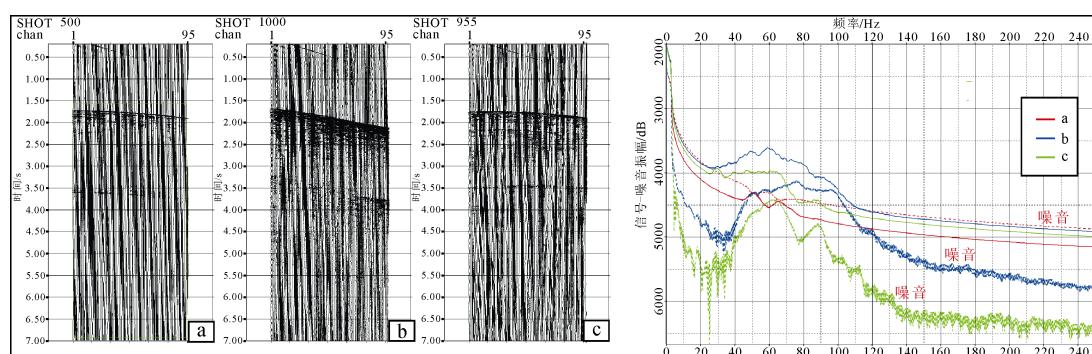


图 7 信噪比对比

Fig. 7 Comparison of signal-to-noise ratio

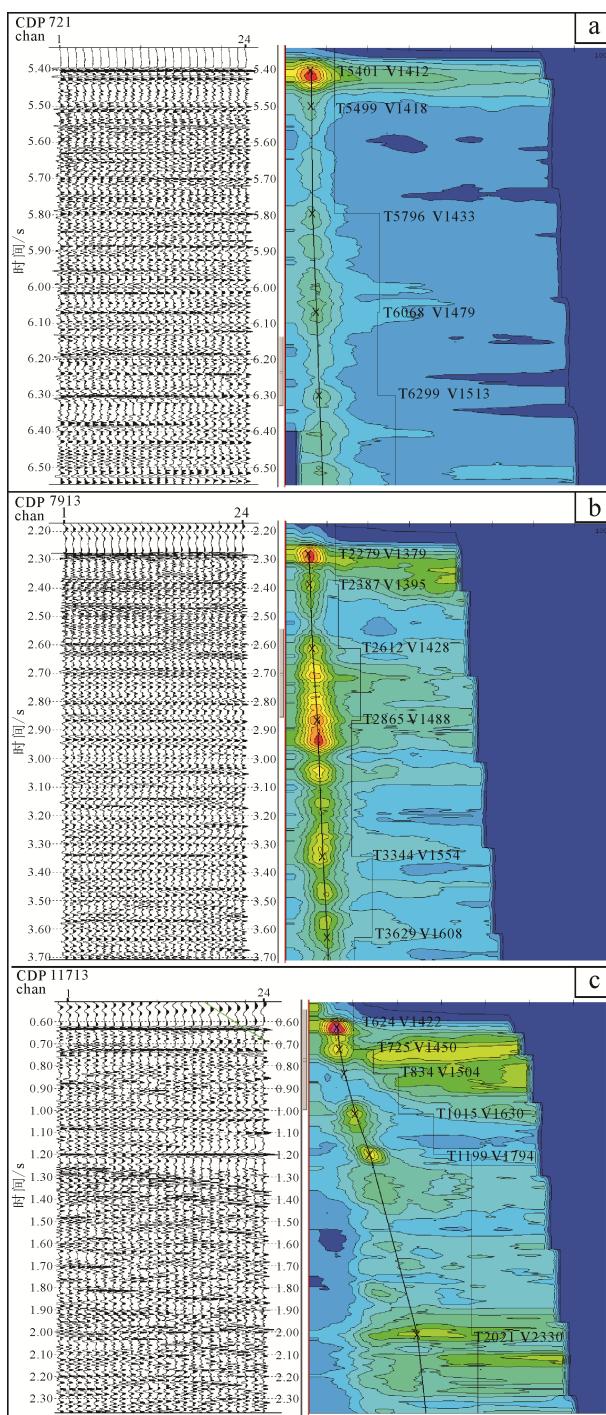


图 8 南极半岛海域不同区域的速度特征

Fig. 8 Velocity characteristics in different regions of Antarctic Peninsula sea area

a-海沟区; b-岛坡区; c-岛架区

a-trench area; b-insular slope area; c-insular shelf area

2.6 速度分析

图 8 分别针对南极资料某测线的三个不同的区域展示了叠加速度分析过程, 说明南极海域地层整体的速度较低, 海底的速度大约在 1 400 m/s 左右, 而在南海; 地震资料的海底速度通常在 1 500 m/s 左右。而且叠加速度只在水深较浅的岛架区随深度有较大的变化, 表现为速度随深度很快地增大, 而在水深较大的在海沟区和岛坡区速度随深度的变化

较为平缓。与图 2 中 svp 声速剖面相印证, 较低的水体速度反应出了较低的海底速度。

3 结论

在相同采集设备和采集参数的情况下, 南极海域的地震资料和南海海域的地震资料表现出了明显不同的特征, 包括较宽的有效频带和较高的主频, 以及更为丰富的低频信息、较高的信噪比等; 同时, 由于南极海域大部分海底底质非常坚硬, 造成了地震资料上中深层有效能量衰减严重, 多次波能量很强; 另外, 由于不同的温盐条件, 使的浅层海水声速要比南海低 100 m/s 左右; 通过速度分析也可以看出, 海底以海底以下的叠加速度也明显偏低, 比南海海域要低 100 m/s 左右。

Acknowledgements:

This study was supported by Ministry of Natural Resources (No. DD20160214), and China Geological Survey (No. GZH201100303).

参考文献:

- 陈玺, 文鹏飞, 付少英, 何高文. 2018a. 基于 LIFT 思想的噪声压制技术在南极海域地震资料中的应用[J]. 地球学报, 39(6): 667-672.
- 陈见伟, 庄锡进, 胡冰, 王兆旗, 张金陵. 2012. 海洋拖缆地震资料关键问题分析与处理对策[J]. 科学技术与工程, 12(27): 186-192.
- 何高文, 付少英, 邓希光, 赵庆献, 王力峰, 王海峰, 关晓春, 刘胜旋, 庞云天, 陈玺, 柴祎, 罗贤虎, 朱本铎, 朱振华, 李强, 苏丕波, 何赵, 吴聰, 黄宁, 何发光, 蓝明华, 中国第 33 次南极科考海洋六号科考队. 2018. 南极南设得兰群岛海域地质新进展: “海洋六号” 南极科考初步成果[J]. 地球学报, 39(6): 643-656.
- 胡健民, 刘晓春, 赵越, 徐刚, 任留东. 2008. 南极普里兹造山带性质及构造变形过程[J]. 地球学报, 29(3): 343-354.
- 李兆鼐, 刘小汉, 郑祥身, 金庆民, 尚如相, 李果. 1990. 南极乔治王岛菲尔德斯半岛第三纪火山作用特点和形成机制[J]. 地球学报, 11(1): 32-40.
- 陆基孟, 王永刚. 2009. 地震勘探勘探原理(第三版)[M]. 北京: 石油工业出版社.
- 牟永光, 陈小宏. 2007. 地震资料处理方法[M]. 北京: 石油工业出版社.
- 聂汉林, 王玉兰. 1993. 海洋地震资料特点及其数据处理[J]. 江汉石油科技, (3): 49-53.
- 沈中延, 杨春国, 高金耀, 纪飞. 2015. 东南极普里兹湾陆隆区脊状沉积体的结构和形成过程[J]. 地球学报, 36(6): 709-717.
- 孙雷鸣, 李三福, 方中于, 万欢. 2014. 基于潮汐和水速校正的

- 深水地震资料品质处理[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 16(6): 69-72.
- 陶维祥, 赵志刚, 何仕斌, 丁放. 2005. 南海北部深水西区石油地质特征及勘探前景[J]. 地球学报, 26(4): 359-364.
- 王光宇, 陈邦彦, 张国桢, 段威武, 陈圣源. 1996. 南极布兰斯菲尔德海区地质[M]. 北京: 地质出版社.
- 渥·伊尔马兹. 2006. 地震资料分析-地震资料处理、解释和反演[M]. 刘怀山, 译. 北京: 石油工业出版社.
- 吴聪, 王金莲, 何高文, 付少英, 王力锋, 赖佩欣. 2018. 南极乔治王岛与象岛邻近海域表层沉积硅藻组成及分布特征[J]. 地球学报, 39(6): 657-665.

References:

- CHEN Jian-wei, ZHUANG Xi-jin, HU Bing, WANG Zhao-qi, ZHANG Jing-lin. 2012. The Key Question Analysis and Processing Technologies Research in Two-dimensional Marine Seismic Data Processing[J]. Science Technology and Engineering, 12(27): 186-92(in Chinese with English abstract).
- CHEN Xi, WEN Peng-fei, FU Shao-ying, HE Gao-wen. 2018. The Application of Noise Suppression Technology to Seismic Data of Antarctic Sea Area Based on LIFT[J]. Acta Geoscientica Sinica, 39(6): 667-672(in Chinese with English abstract).
- HE Gao-wen, FU Shao-ying, DENG Xi-guang, ZHAO Qing-xian, WANG Li-feng, WANG Hai-feng, GUAN Xiao-chun, LIU Sheng-xuan, PANG Yun-tian, CHEN Xi, CHAI Yi, LUO Xian-hu, ZHU Ben-duo, ZHU Zhen-hua, LI Qiang, SU Pi-bo, HE Zhao, WU Cong, HUANG Ning, HE Fa-guang, LAN Ming-hua, Haiyang Liuha Team of Chinare 33rd. 2018. New Geological Progress in Offshore Area of South Shetland Islands, Antarctic: Preliminary Results of R/V "HAI YANG LIU HAO" Expedition[J]. Acta Geoscientica Sinica, 39(6): 643-656(in Chinese with English abstract).
- HU Jian-min, LIU Xiao-chun, ZHAO Yu, XU Gang, REN Liu-dong. 2008. Advances in the Study of the Orogeny and Structural Deformation of Prydz Tectonic Belt in East Antarctica[J]. Acta Geoscientica Sinica, 29(3): 343-354(in Chinese with English abstract).
- LI Zhao-nai, LIU Xiao-han, ZHENG Xiang-shen, JIN Qing-min, SHANG Ru-xiang, LI Guo. 1990. Tertiary Volcanism And Formation Of Volcanic Rocks In The Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica[J]. Acta Geoscientica Sinica, 11(1): 32-40(in Chinese with English abstract).
- LU Ji-meng, WANG Yong-gang. 2009. The Principle of Seismic Exploration (Third Edition)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press(in Chiense).
- MOU Yong-guang, CHEN Xiao-hong. 2007. Method of Seismic Data Processing[M]. Beijing: Petroleum Industry Press(in Chinese).
- NIE Han-lin, WANG Yu-lan. 1993. Characteristics and data processing of marine seismic data[J]. Jianghan Petroleum Science and Technology, (3): 49-53(in Chinese).
- SHEN Zhong-yan, YANG Chun-guo, GAO Jin-yao, JI Fei. 2015. Structure and Development Processes of the Sediment Ridges on the Continental Rise off the Prydz Bay Margin, East Antarctica[J]. Acta Geoscientica Sinica, 36(6): 709-717(in Chinese with English abstract).
- SUN Lei-ming, LI San-fu, FANG Zhong-yu, WAN Huan. 2014. Improving Deep-water Seismic Data Quality Based on the Method of Tidal Calibration and Water Velocity Correction[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology: Natural Science Edition, 16(6): 69-72(in Chinese with English abstract).
- TAO Wei-xiang, ZHAO Zhi-gang, HE Shi-bin, DING Fang. 2005. Petroleum Geological Conditions and Exploration Prospects in Deepwater Area of Northwestern South China Sea[J]. Acta Geoscientica Sinica, 26(4): 359-364(in Chinese with English abstract).
- WANG Guang-yu, CHEN Bang-yang, ZHANG Guo-zhen, DUAN Wei-wu, CHEN Sheng-yuan. 1996. Geology of Shetland Islands, Antarctic[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WU Cong, WANG Jin-lian, HE Gao-wen, FU Shao-ying, WANG Li-feng, LAI Pei-xin. 2018. Distribution of Diatom Assemblages in the Surface Sediments near the King George Island and Elephant Island, Antarctica[J]. Acta Geoscientica Sinica, 39(6): 657-665(in Chinese with English abstract).
- YILMAZ O. 2000. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data[M]. Tulsa, Okla, USA : Society of Exploration Geophysics.