

# 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

陈 玺, 文鹏飞, 付少英\*, 何高文

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。资料存在的主要噪声为异常高能量干扰和多次波干扰, 为了高保真的压制噪声, 在最大限度地保护有效信号的前提下充分地压制噪声, 设计了基于 LIFT(Linear Interference Filter Technique)思想的噪声压制方法。利用这套方法分别针对异常高能量干扰和多次波干扰进行了压制, 压制结果显示, 噪声得到了很好的压制, 有效信号得到了很好的保护, 达到了高保真去噪的目的。

**关键词:** 南极; 多道地震; 异常高能量干扰; 多次波; LIFT

中图分类号: P67; P33 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2018.091703

## The Application of Noise Suppression Technology to Seismic Data of Antarctic Sea Area Based on LIFT

CHEN Xi, WEN Peng-fei, FU Shao-ying\*, HE Gao-wen

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

**Abstract:** During China's 33<sup>rd</sup> 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. The main noises in the seismic data were abnormal high-energy noise and multiples. In order to suppress noises with high fidelity and fully suppress noises under the premise of maximizing the protection of effective signals, the authors designed a noise suppression method based on LIFT (Linear Interference Filter Technology). This method was used to suppress the abnormal high-energy noise and multiples respectively. The results show that the noise is well suppressed, the effective signal is well protected, and the purpose of high-fidelity denoising is achieved.

**Key words:** Antarctica; multichannel seismic; abnormal high-energy noise; multiples; LIFT

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, 而且对维护我国的海洋权益、拓展我海洋活动空间具有重要的战略、经济和科学意义(李兆鼎等, 1990; 王光宇等, 1996; 胡健民等, 2007; 陶维祥等, 2013; 沈中延等, 2015; 陈玺等, 2018; 何高文等, 2018)。

本次地震资料的采集采用了单边放炮单边接

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: 2018-09-19。责任编辑: 魏乐军。

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。

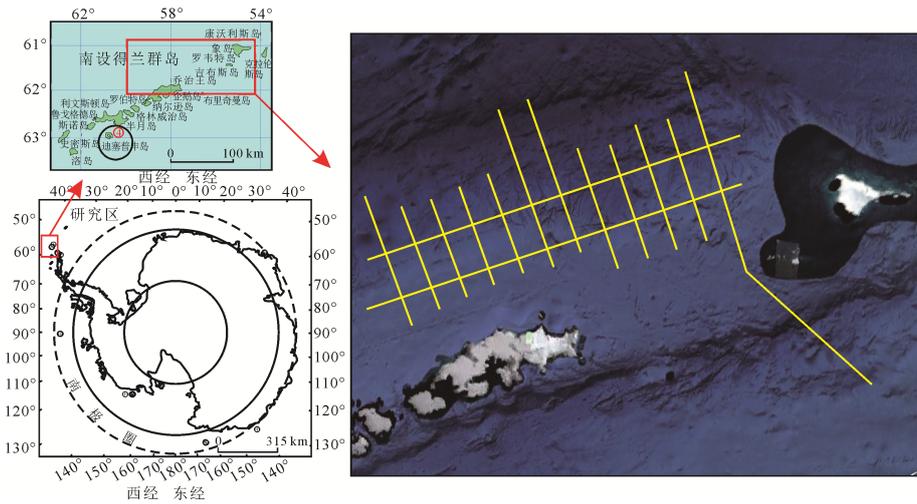


图 1 中国第 33 次南极科学考察“海洋六号”采集的高分辨率多道地震测线位置图

Fig. 1 Location of seismic lines obtained by “Hai Yang Liu Hao” in China’s 33<sup>rd</sup> Antarctic Expedition

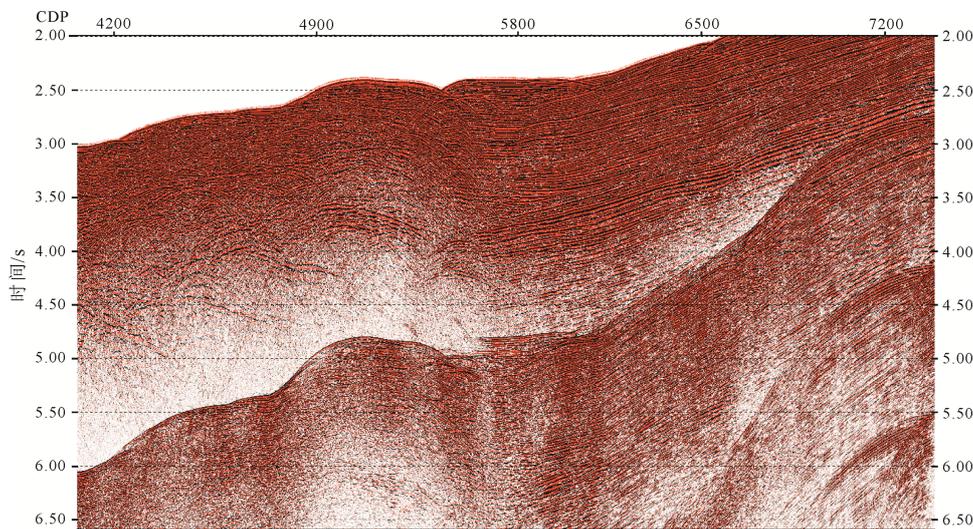


图 2 多次波干扰

Fig. 2 Seismic multiples

收非零炮检距观测系统, 96 道接收排列长度 1 200 m, 炮间距 25 m, 最小偏移距 125 m。

在南极海域, 极少有渔业商船等人类活动, 其地震资料相比于其他地区, 具有频带宽, 信噪比高等特点, 其主要噪声有多次波和异常高能干扰两种。

由于采集横跨陆坡、陆架和海沟, 水深变化较大, 在浅水区存在严重的多次波干扰。同时, 在南设得兰海沟区内进行了多个站点的重力柱状地质取样, 大部分出现了弯管无样或少样的结果, 证实了该地区大部分海底底质均非常坚硬, 为坚硬的岩层。取样结果印证了地震资料上由于海底岩层的吸收, 中深层有效能量衰减严重, 而且由于海面 and 海底两个强反射界面的存在, 使得自由表面多次波能量很强, 有的地方甚至完全无法识别中深层的有效信号(图 2)。

除多次波干扰外, 在部分测线上, 存在着异常高能噪声的影响(图 3), 推测其可能与小的浮冰

块有关, 干扰的频带在 2~15 Hz 之间, 与有效信号的低频成分上重叠。

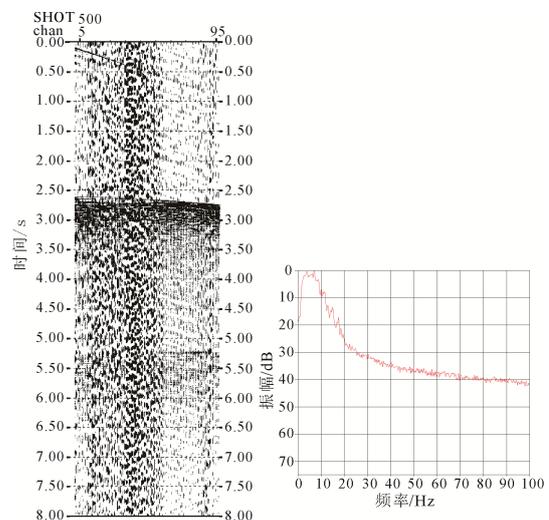


图 3 异常高能干扰及其频带

Fig. 3 Abnormal high-energy noise and its spectrum

### 1 LIFT 去噪思想

地震资料的噪声压制效果直接影响着后续的处理效果。但是由于有效信号和多次波具有重叠性,即在重叠的部分无法完全地将多次波和有效信号分离。常规的噪声压制技术,如 RNA、时变带限随机噪声压制、F-K 滤波等技术在压制噪声的同时,尤其是在压制有效信号频带内的噪声时,虽然提高了信噪比但往往会对有效信号造成一定的损伤,没有达到保真的效果。某些针对特殊类型噪声的压制技术,比如多次波的压制技术,尤其是在组合应用 SWD、SRME、高精度 RADON 变换等技术时,同样存在着损伤效信号特点(Choo and Sudhakar, 2003; 伊尔马兹, 2006; 牟永光和陈小宏,

2007; 陆基孟和王永刚, 2009; Verschur, 2010; 徐强等, 2015)。

为了达到保真处理,需要在保留有效信息的基础上,最大可能地去除噪声的影响,LIFT(Linear Interference Filter Technique)正是为了这种目的而提出的一种去噪思想(图 4)。LIFT 的基本原理是对原始数据进行有效信号的预测,将其分解成模型数据和剩余数据两部分,其中模型数据包含了大部分有效信号能量及极少的噪声能量,而剩余数据中主要为噪声能量,然后针对剩余数据再进行分解,通过各种噪声压制手段将其分解为弱有效信号和噪声两部分,将分解出来的有效信号和模型数据合并进行信号的重构。可以对重构信号进行如上步骤的多次迭代,最后可得到高信噪比高保真的噪声压制效果(Choo et al., 2003; 李来林和魏大力, 2007; 刘含阳等, 2011; 李添才等, 2010; 崔永福等, 2014)。

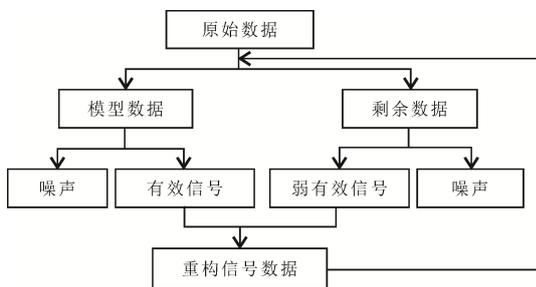


图 4 LIFT 思想去噪基本原理示意图

Fig. 4 Diagram of the basic principle of LIFT denoising

### 2 实际处理效果

#### 2.1 异常高能噪声压制

由前分析,异常高能噪声的频带在 2~15 Hz 之间,与有效信号的低频成分重叠,而常规的噪声压制方法,往往会对有效信号造成的一定的损伤,图 5 为基于 LIFT 思想的噪声压制效果分析,首先将原

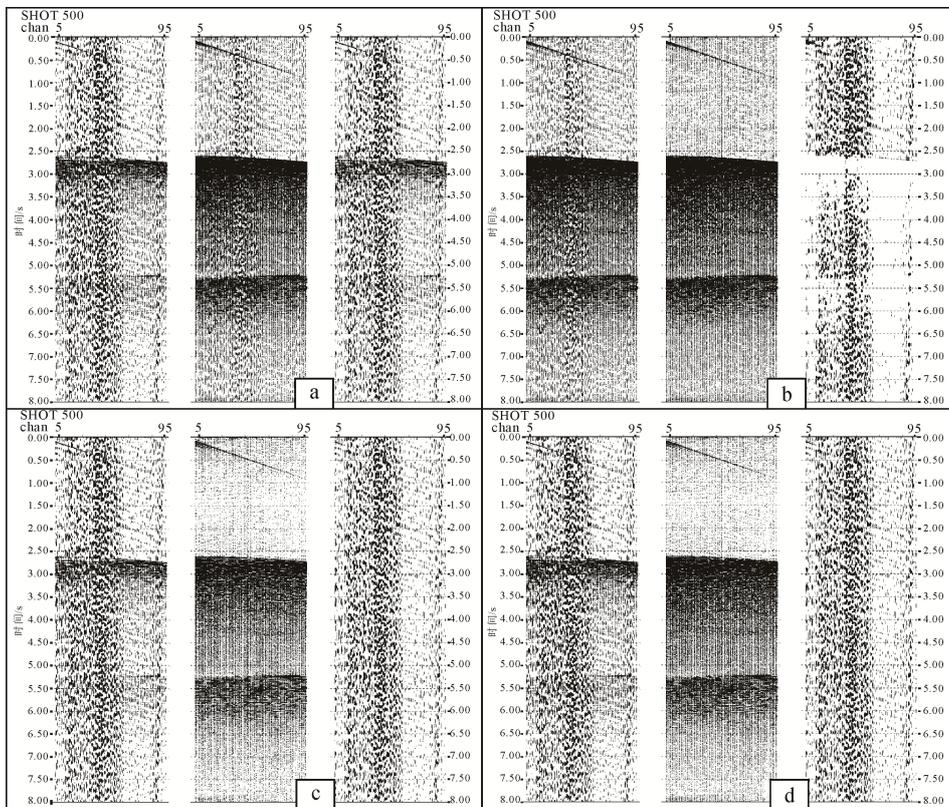


图 5 单炮异常高能噪声压制效果分析

Fig.5 Analysis of suppression effect of abnormal high-energy noise in a single shot

a-分解原始记录; b-对模型数据进行噪声压制; c-对剩余数据进行有效信号提取; d-信号重构

a-decomposing original records; b-noise suppression for model data;

c-effective signal extraction for residual data; d-signal reconstruction

始记录分解为以有效信号为主, 包含少量噪声的模型数据和以噪声为主, 包含少量有效信号的剩余数据(图 5a, 左为原始数据, 中为模型数据, 右为噪声数据); 其次对模型数据进行噪声压制, 压制掉残留的噪声, 得到有效信号(图 5b, 左为模型数据, 中为提取的有效信号, 右为压制掉的残留噪声); 再次对剩余数据进行有效信号提取, 得到弱有效信号(图 5c, 左为剩余数据, 中为提取的有效信号, 右为压制掉的噪声); 最后将在 b 中得到的有效信号和 c 中得到的弱有效信号一起重构, 得到噪声压制后的数据(图 5d, 左为原始数据, 中为重构后的有效信号, 右为压制掉的噪声)。从噪声压制结果可以看出(图 5d), 噪声干扰得到了有效的压制, 而有效信号没有损失, 得到了高信噪比高保真度的地震信号。

**2.2 多次波压制**

针对多次波则通过多种技术组合进行压制, 主要应用了 SRME 和高精度 RADON 变换。SRME 是数据驱动的压制方法, 首先要预测出多次波模型, 之后通过自适应相减技术从原始数据中减掉多次波, 之后通过利用一次波和多次波速度差异的高精度 RADON 变换来压制残留的多次波。传统的组合压制只是各种压制方法的串联(陈见伟等, 2011; 史文英等, 2013; 陈建文等, 2017), 这个过程中, 无论是自适应相减还是基于速度差异, 都会损伤有效信号, 为此, 基于 LIFT 保真处理的思想, 设计了如图 6 所示的压制过程。

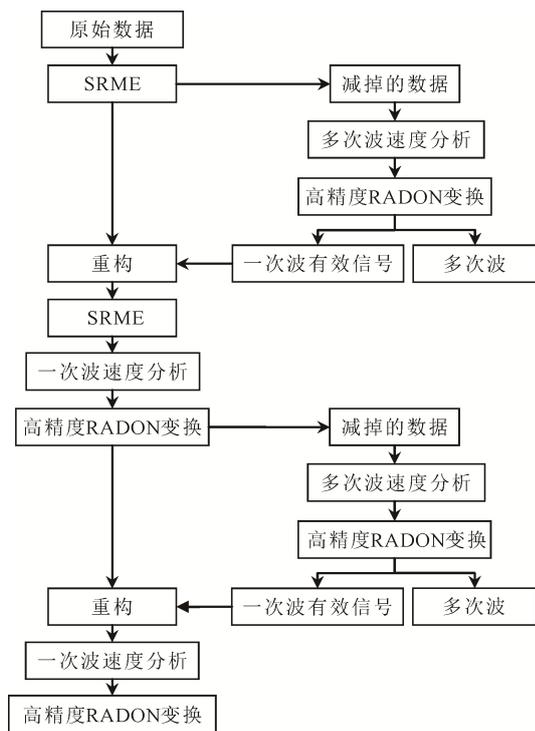


图 6 基于 LIFT 思想的多次波压制流程  
Fig. 6 Multiples suppression process based on LIFT

在第一次 SRME 中, 减掉的数据主要以多次波能量为主, 对其进行速度分析, 利用多次波和一次波的速度差异, 通过高精度 RADON 变换提取出被减掉的有效信号, 与 SRME 结果进行重构。由于方法本身的原因, 提取的一次波有效信号中不可避免地含有少量多次波的能量, 所以要进行第二次 SRME, 之后对 SRME 压制后的结果进行速度分析, 以高精度 RADON 变换为主, 同样重复上边的提取一次波有效信号重构的方法, 完成两次高精度 RADON 变换, 进行残留多次波的压制。

图 7 为多次波的压制效果对比, 从图中可以看出, 传统的多种技术串联组合压制多次波的方式, 往往会损伤有效信号, 会在叠加剖面上多次波的位置上留下“空白”, 而基于 LIFT 思想设计的组合压制多次波的方式, 能最大限度地保护有效信号, 从而减少在叠加剖面上多次波的位置上留下的“空白”。

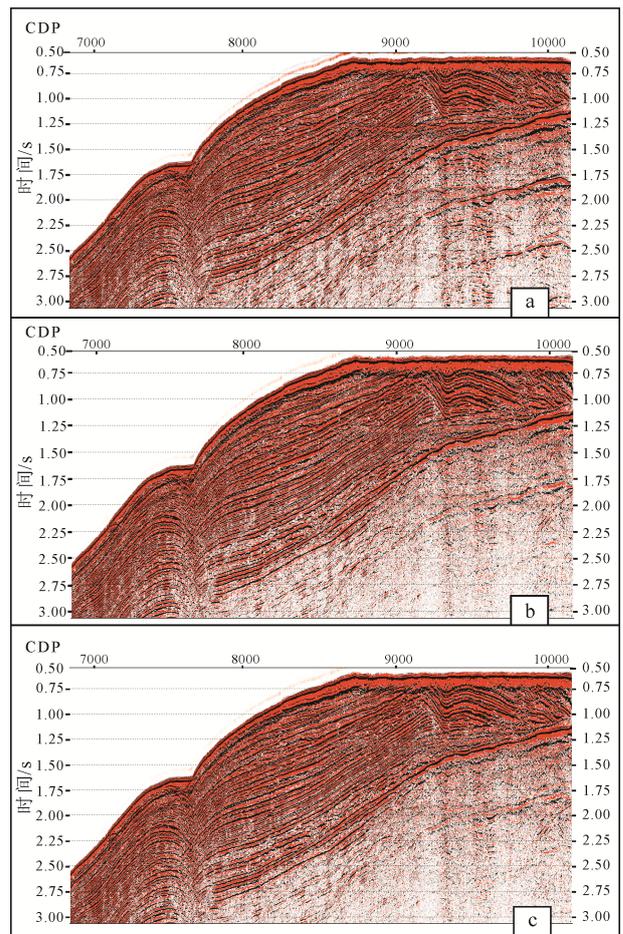


图 7 多次波压制效果  
Fig. 7 Effect of multiple suppression  
a-原始叠加剖面; b-多种技术串联组合压制效果;  
c-基于 LIFT 思想压制效果  
a-original stack section; b-effect of multiple suppression combined series technology; c-effect of suppression based on LIFT

### 3 结论

LIFT 去噪思想的核心是在不断的分离有效信号和噪声,并将有效信号进行重构组合,这个过程可以不断地重复,直到达到满意的效果为止。从实际资料的处理效果上可以看出,经基于 LIFT 思想设计的去噪流程进行噪声后压制,在最大限度保护有效信号的基础上充分地压制了噪声,达到了高保真处理的需求。

### Acknowledgements:

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

### 参考文献:

- VERSCHUR D J. 2010. 地震多次波去除技术的过去、现在和未来[M]. 陈浩林,译. 北京:石油工业出版社.
- 陈见伟,庄锡进,胡冰,张金陵,王兆旗. 2011. 多次波压制组合技术在海洋地震资料处理中的应用[J]. 海相油气地质, 16(1): 68-73.
- 陈建文,施剑,张异彪,刘俊,何玉华. 2017. 地震调查技术突破南黄海海相中—古生界成像技术瓶颈[J]. 地球学报, 38(6): 847-858.
- 陈玺,付少英,何高文,文鹏飞,杨力,刘斌. 2018. 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[J]. 地球学报, 39(6): 673-678.
- 崔永福,吴国忱,郭念民,刘正文,赵锐锐. 2014. LIFT 去噪方法在低信噪比资料处理中的应用[J]. 物探与化探计算技术, 36(2): 215-221.
- 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,吴聪,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.
- 李来林,魏大力. 2007. LIFT 去噪方法在地震资料处理中的应用[J]. 石油物探, 46(2): 193-195.
- 李添才,李列,陈瑜,万欢,刘金朋,丘斌煌. 2010. 利用 LIFT 技术衰减海上近道多次波[J]. 勘探地球物理进展, 33(2): 107-111.
- 李兆鼎,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.
- 刘含阳,王征,麻志国,谭晶. 2011. LIFT 技术在地震资料处理中的应用[J]. 长江大学学报(自然科学版), 8(5): 43-45.
- 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.
- 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.
- 史文英,李列,袁全社,邓勇,张兴岩. 2013. 串联 SRME 在湘西西南地区多次波衰减中的应用[J]. 物探与化探, 37(5): 911-915.
- 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,张国祯,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,王力峰,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.
- 徐强,王征,史增园,魏赟,张善刚. 2015. 浅水多次波衰减[J]. 石油地球物理勘探, 50(2): 238-242.

### References:

- CHEN Jian-wei, ZHUANG Xi-jin, HU Bing, ZHANG Jin-ling, WANG Zhao-qi. 2011. Application of the Combination Method to Multiple Attenuation in Marine Seismic Data Processing[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 16(1): 68-73(in Chinese with English abstract).
- CHEN Jian-wen, SHI Jian, ZHANG Yi-biao, LIU Jun, HE Yu-hua. 2017. The Application of “HRS” Seismic Exploration Technology to Making Breakthrough of the Seismic Imaging “Bottleneck” of the Marine Mesozoic-Paleozoic Strata in the South Yellow Sea Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 38(6): 847-858(in Chinese with English abstract).
- CHEN Xi, FU Shao-ying, HE Gao-wen, WEN Peng-fei, YANG Li, LIU Bin. 2018. An Comparative Analysis of Multichannel Seismic Data of the Sea Area near Antarctic Peninsula and Northern South China Sea[J]. Acta Geoscientica Sinica, 39(6): 673-678(in Chinese with English abstract).
- CHOO J, SUDHAKAR V. 2003. A new processing technique to LIFT noise and multiple[R]. Calgary: CSEG and Canadian Society of Petroleum Geologists Joint National Convention.
- CUI Yong-fu, WU Guo-chen, GUO Nian-min, LIU Zheng-wen, ZHAO Rui-rui. 2014. LIFT de-noising method applied in low SNR seismic data processing[J]. Computing Techniques For Geophysical and Geochemical Exploration, 36(2): 215-221(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 Liuhaio 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 Lai-lin, WEI Da-li. 2007. Application of LIFT de-noise method in seismic data processing[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 46(2): 193-195(in Chinese with English abstract).
- LI Tian-cai, LI Lie, CHEN Yu, WAN Huan, LIU Jin-peng, QIU Bin-huang. 2010. Application of LIFT technology in demultiples of small offset[J]. *Progress in Exploration Geophysics*, 33(2): 107-111(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).
- LIU Han-yang, WANG Zheng, MA Zhi-guo. 2011. Application of LIFT in Seismic Data Processing[J]. *Journal of Yangtze University(Natural Science Edition)*, 8(5): 43-45(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 Chinese).
- MOU Yong-guang, CHEN Xiao-hong. 2007. *Method of Seismic Data Processing*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press(in Chinese).
- YILMAZ O. 2000. *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*[M]. Tulsa, Okla, USA : Society of Exploration Geophysics.
- 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).
- SHI Wen-ying, LI Lie, YUAN Quan-she, DENG Yong, ZHANG Xing-yan. 2013. The Application Of Series Srme Method To Multiple Wave Attenuation In Southwest Weizhou Area[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 37(5): 911-915(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).
- VERSCHUR D J. 2010. *Seismic Multiple Removal Techniques: Past, Present and Future*[M]. CHEN Hao-lin, translate. Beijing: Petroleum Industry Press(in Chinese).
- 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).
- XU Qiang, WANG Zheng, SHI Zeng-yuan, WEI Yun, ZHANG Shan-gang. 2015. Shallow water multiple attenuation[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 50(2): 238-242(in Chinese with English abstract).