

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2018.03.014

南黄海崂山隆起地震采集参数设计

张异彪¹, 李玉剑^{1,2}, 陈建文³, 李斌¹, 刘璐晨¹, 黄涛^{1,2}, 施剑³, 刘俊³

1. 中石化海洋石油工程有限公司上海物探分公司, 上海 201208

2. 同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092

3. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071

摘要:南黄海崂山隆起中-古生界海相碳酸盐岩沉积层是重要的油气勘探目的层,但因工区水深较浅,新生界陆相地层与中生界海相地层之间存在强波阻抗界面,中-古生界碳酸盐岩地层结构较为均匀、速度和密度梯度较小、厚度较大等原因,造成中-古生界地震有效反射波存在能量弱、信噪比低等问题。针对如何增强中-古生界有效反射波能量、提高其信噪比展开采集参数设计。在大量设计方案的基础上,优选出2组强能量、富低频的容量为6390in³的平面组合和立体组合气枪震源;设计接收缆长度7200m,优选接收缆沉放深度16m和20m。对气枪震源和接收缆沉放深度组成的4组试验方案进行外业采集并分析,确定低频能量更强的6390in³平面震源沉放10m、接收缆沉放16m作为地震采集方案,并在空间采样间隔和工区施工环境分析等基础上提出了适合现阶段南黄海崂山隆起中-古生界地震勘探的单源6缆采集方式和采集参数,形成了高覆盖、富低频、强能量地震采集技术。与以往地震资料进行了对比,本次采集的地震资料中-古生界地层反射能量更强,信噪比更高,整体提高了中-古生界地震资料的品质,为后续南黄海地震勘探积累了经验,为下一步井位论证等工作奠定了扎实的基础。

关键词:气枪震源设计;富低频;高信噪比;崂山隆起;中-古生界

中图分类号:P738

文献标识码:A

Seismic acquisition design for Laoshan uplift of the South Yellow Sea

ZHANG Yibiao¹, LI Yujian^{1,2}, CHEN Jianwen³, LI Bin¹, LIU Luchen¹, HUANG Tao^{1,2}, SHI Jian³, LIU Jun³

1. Shanghai Geophysical Branch of Sinopec Offshore Oilfield Services Company, Shanghai 201208, China

2. School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China

3. Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China

Abstract: The Mesozoic-Paleozoic marine carbonate deposits on the Laoshan uplift of South Yellow Sea are critically important for petroleum exploration. However, the seismic reflection of the Mesozoic-Paleozoic strata has the problems of weak energy and low S/N ratio, owing to the facts that water is relatively shallow, the interface between the terrestrial Cenozoic and the marine Mesozoic is too strong as a seismic impedance reflector, the structure of Mesozoic-Paleozoic strata is uniform with little velocity and density difference, and the thickness of Mesozoic-Paleozoic strata is too large. In the seismic survey of the project, measures were taken to enhance the seismic reflection wave's energy and increase the S/N ratio of the Mesozoic-Paleozoic strata, with specific design on both seismic source and acquisition parameters. A 6390in³ air gun source with strong energy and low frequency, and with both single level mode and multi-level mode was designed. Two streamer depth candidates (16m and 20m) were chosen. The streamer length was designed to be 7200m. 4 acquisition tests were conducted and the 6390in³ in single level mode with depth of 10m and streamer depth of 16m were settled as the final acquisition parameters. A single source-6 streamer is used to increase the spatial sampling. All these formed a seismic acquisition design with high folds, rich low frequency and strong energy. Compared to the previous seismic data, the seismic data of this survey had an overall improvement in quality for the Mesozoic-Paleozoic strata, as the seismic reflection energy of the Mesozoic-Paleozoic was enhanced and the S/N ratio increased. The breakthrough in seismic data quality will lay a solid foundation for the next drilling site determination.

Key words: air gun seismic source design; low frequency; high S/N ratio; Laoshan uplift of the South Yellow Sea; Mesozoic-Paleozoic strata

资助项目:“南黄海油气资源调查”(DD20160512);“南黄海海域油气资源普查”(GZH20080503);“南黄海前三系油气前景研究”(XQ-2005-01)

作者简介:张异彪(1969—),男,高级工程师,主要从事海洋地质、地球物理调查研究,E-mail:zyb@sopgc.com

通讯作者:陈建文(1965—),男,博士,研究员,主要从事海域油气资源调查评价与研究工作,E-mail:jwchen2012@126.com

收稿日期:2018-01-23;**改回日期:**2018-04-03. 蔡秋蓉编辑

南黄海盆地位于我国和韩国之间的陆架区,该盆地是扬子地块背景上形成的多旋回的残留盆地,其海相层构造区划由北向南依次为千里岩隆起、烟台坳陷、崂山隆起、青岛坳陷和勿南沙隆起,形成了“两坳三隆”的构造格局^[1-3]。经过40多年的油气勘探认为,南黄海中-古生界海相碳酸盐岩沉积层分布广、埋藏深、厚度大,具有良好的油气前景,是重要的油气勘探远景区^[4-7]。

南黄海海域水深偏浅,且海底浅表层沉积物多为粉砂质砂、砂质粉砂,海面、海底成为鬼波、多次波发育界面^[8,9];南黄海崂山隆起新生界陆相地层直接覆盖在中生界海相地层之上,由于新生界陆相地层与中生界海相地层速度差异很大,该分界面成为一个很强的波阻抗差异界面,形成屏蔽层和多次波发育界面^[10,11];中-古生界发育3套碳酸盐岩地层,其地层结构较为均匀、速度和密度梯度较小、厚度较大,地震波速度较高,内部反射能量偏弱,和上覆、下伏地层存在较大的波阻抗差,易形成层间多次波,与下伏地层构成速度反转,不利于下伏地层反射信号的回传^[12,14]。虽然将南黄海崂山隆起中-古生界地层作为油气勘探重点领域,但因其特殊的地震地质条件,造成中-古生界地层反射波能量弱、连续性差、分辨率和信噪比偏低,难以满足中-古生界油气勘探的需求。

针对中-古生界地震勘探存在的问题,从2005年开始,青岛海洋地质研究所联合第一海洋地质调查大队等单位通过加长接收缆长度、增大气枪震源容量、加深震源和接收缆沉放深度等在南黄海盆地开展了地震采集技术攻关^[15,16],中-古生界地震资料得到了一定的改善,但仍存在有效反射波能量较弱、分辨率和信噪比偏低等问题。

本文在系统分析南黄海崂山隆起地震地质条件及十几年地震采集技术攻关情况的基础上,针对如何增强中-古生界有效反射波能量、提高其信噪比展开地震采集参数设计;设计优选了2组强能量、富低频容量为6390in³的平面组合和立体组合气枪震源;优选了2组接收缆沉放深度;论证了接收缆长度。通过对气枪震源和接收缆沉放深度组成的4组试验方案进行外业采集并分析,确定低频更强的平面震源、接收缆沉放16m作为地震采集方案,并提出了适合现阶段南黄海崂山隆起中-古生界地震勘探的单源6缆采集方式和采集参数。与以往地震资料进行了对比,本次采集的地震资料中-古生界地层反射能量更强,反射波组连续性更好,信噪比更高,较好呈现了中-古生界地层反射特征。

1 地震地质条件分析

南黄海海域水深偏浅,一般在20~70m之间,海底底质主要受控于现代沉积环境及动力沉积体系,南黄海崂山隆起区底质以粉砂质砂、砂质粉砂为主^[17],与海水形成较强的波阻抗差,自由表面多次波较发育^[18](图1),影响海底以下反射波资料的信噪比。为了较清晰示意多次波,图1中水深和反射界面埋深非实际比例。

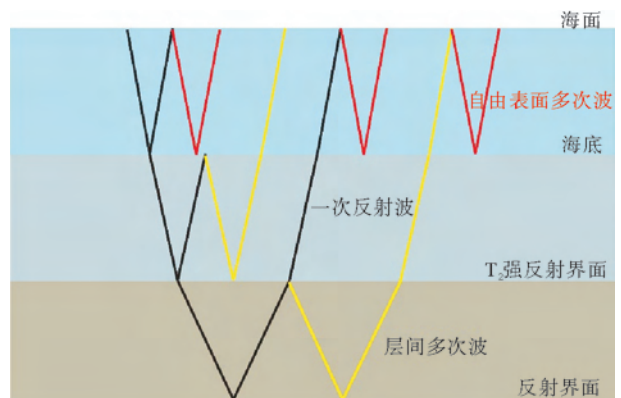


图1 部分自由表面和层间多次波示意图

Fig.1 A schematic illustration for some free surfaces and inner multiples

南黄海是发育碎屑岩和碳酸盐岩的叠合盆地^[1],新近系地层为松散或较疏松的沉积物,速度约为1700~2500m/s,密度约为2.00~2.25g/cm³;古近系地层速度一般为2200~4500m/s,随深度增加而明显增加,密度约为2.15~2.35g/cm³;中生界碎屑岩地层速度约为3800~5500m/s,密度约为2.35~2.50g/cm³;其中的砂、泥岩地层存在200~800m/s的速度差,是较好的反射界面;下三叠统灰岩速度约为5700~6200m/s,密度约为2.68~2.70g/cm³;古生界碎屑岩速度约为3800~4300m/s,密度约为2.43~2.55g/cm³;古生界及震旦系碳酸盐岩速度约为5400~6200m/s,密度约为2.70~2.72g/cm³。

青岛海洋地质研究所陈建文等根据最新地震资料,在地震剖面上划分出T₂、T₈、T₉、T₁₀、T₁₁、T₁₁₋₁、T₁₂、T₁₃和T_g等主要反射界面(表1);南黄海崂山隆起缺失古近系和陆相中生界地层,T₂和T₈为同一界面,新近系与下三叠统海相碳酸盐岩或更老的地层直接接触,界面上下地层层速度相差2.5倍以上,仅有10%以下的透射波能量,使得中-古生界反

射波能量弱^[1];另外该界面也是多次波发育界面,易形成层间多次波^[19](图 1),进而降低界面以下反射波资料的信噪比;碳酸盐岩地层内部非均质性差,厚度较大,速度和密度变化梯度小,即波阻抗差小,反射波能量弱。

表 1 南黄海主要地震地质层位标定

(据青岛海洋地质研究所,2016 年)

Table 1 Calibration of seismic strata of South Yellow Sea (Source:QIMG,2016)

主要反射层	地质属性
T ₂	新近系底界反射,角度不整合界面
T ₈	侏罗系底界反射,角度不整合界面
T ₉	三叠系下统青龙组底界反射,平行不整合界面
T ₁₀	下二叠统栖霞组顶界反射,平行不整合界面
T ₁₁	中下石炭统地层灰岩、砂泥岩地层界面反射,平行不整合界面
T ₁₁₋₁	下志留统高家边组顶界反射,整合界面
T ₁₂	下志留统高家边组底界反射,平行不整合界面
T ₁₃	中上寒武统一奥陶系碳酸盐岩地层底界反射,整合界面
T _g	震旦系底界反射,角度不整合界面

2005 年启动的全国油气资源战略选区调查评价专项“南黄海前第三系油气前景研究”项目,确定海相中-古生界地层为主要目的层。2005—2012 年,青岛海洋地质研究所联合第一海洋地质调查大队等单位在南黄海开展了地震采集技术攻关(表 2):接收缆长度不断加长,从 3000m 加长到 8100m;气枪震源容量不断增大,从 2940in³ 增大到 6420in³;震源和接收缆沉放深度不断加深,震源沉放深度从 6m 加深到 10m,接收缆沉放深度从 9m 加深到 14m,覆盖次数不断增加,从 30 次增加到 108 次^[20]。中-古生界地震资料得到一定的改善,但仍存在有效反射波能量弱、信噪比不高、反射波组连续性较差等问题。

2 地震采集参数设计

根据南黄海崂山隆起的地震地质条件,针对如何增强中-古生界有效反射波能量、提高其信噪比进行气枪震源方案、接收缆沉放深度、接收缆长度等参数设计,避免中-古生界地层出现空间假频设计合理的空间采样间隔,提出适合现阶段南黄海崂山隆起中-古生界地震勘探的采集方案及主要参数。

2.1 增强中-古生界有效反射波能量

2.1.1 气枪震源

南黄海崂山隆起 T₂ 或 T₈ 地震反射层是新生界陆相地层与中生界海相地层分界面,是一个很强的波阻抗差异界面,对地震波有很强的屏蔽作用,造成中-古生界有效反射波能量较弱,难以形成连续的反射波组^[21]。2010 年进行的地震采集技术攻关,采用大容量气枪震源(总容量为 6420in³)激发,7200m 长接收缆接收,震源和接收缆分别沉放 10m 和 14m (图 2),经过地震资料处理,中-古生界(3s 附近)可见连续的反射波同相轴,整体而言有所改善,但仍不能满足油气勘探的需要。

相比 2010 年以前的地震采集参数(表 2),其中气枪震源容量明显增大,其他参数有所变化,震源、接收缆沉放深度有所加深,接收缆长度有所加长,覆盖次数有所增加。气枪震源容量与激发产生的地震波能量正相关,说明通过增大激发能量来增强中-古生界有效波能量是可行的。所以本次设计气枪震源的目标为激发能量强(主峰值大)、有效频段频谱光滑,为了进一步提高地震波的穿透性,注重提高 60Hz 以内频段的能量。

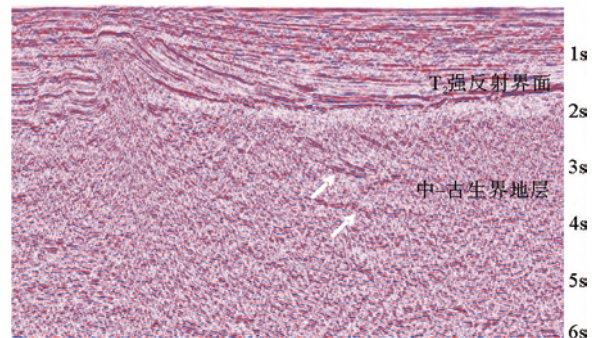


图 2 2010 年发现号物探船采集地震剖面

Fig.2 Seismic profile by M/V Discoverer in 2010

基于以上认识及气枪震源设计目标,设计了多组气枪震源,经对比分析,优选出 2 组容量为 6390in³ 的 4 子阵气枪震源,分别是平面震源(4 子阵沉放深度均为 10m)和立体震源(4 子阵沉放深度分别为 7m、10m、10m、7m)。模拟其远场子波,并与容量相当的 6420in³ 气枪震源进行对比:相比 6420in³ 气枪震源,6390in³ 平面震源主峰值约提高 28%,立体震源主峰值约提高 30%,均增强了激发能量(表 3);6390in³ 平面震源 200Hz 以内频段振幅能量提高 2~6 dB,10 Hz 附近频段提高 5~6 dB,

表2 2005—2012年南黄海地震采集参数

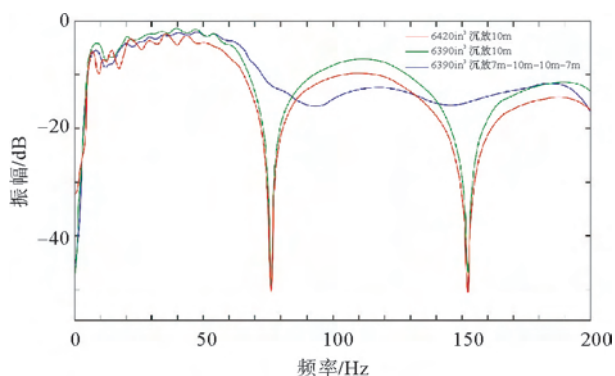
Table 2 The Seismic acquisition parameters in South Yellow Sea, 2005-2012

施工时间	2005年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2012年
调查船	奋斗七号	探宝号	奋斗七号	奋斗七号	奋斗七号	奋斗七号	发现号	发现2号
接收缆长度/m	3000	4600	4200	5700	6000	6000	7200	8100
震源容量/in ³	2940	5080	2940	2940	2940	3580	6420	5040
震源深度/m	6	8	8	8	8	8	10	10-7-7-10
接收缆深度/m	9	10	12	12	12	12	14	12
道间距/m	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
炮间距/m	50	50	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5
覆盖次数	30	46	56	76	80	80	96	108

表3 6390in³和6420in³气枪震源沉放10m模拟远场子波参数统计Table 3 The far field seismic wavelet of the 6390in³ and 6420in³ source with depth of 10m

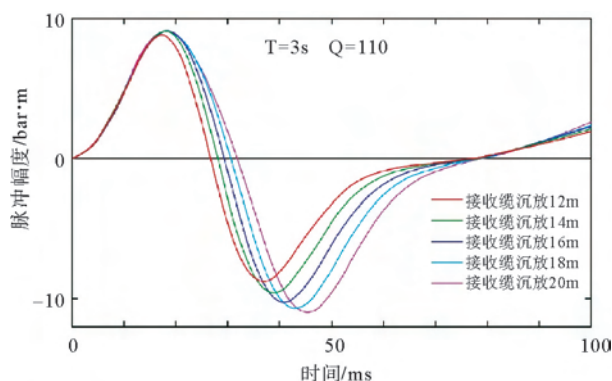
震源容量/in ³	沉放深度/m	主峰值/(bar.m)	峰-峰值/(bar.m)	初泡比	低截频/(-6dB, Hz)	高截频/(-6dB, Hz)	优势频宽/(-6dB, Hz)	主频/(-6dB, Hz)
6420	10	86.3	179.6	15.4	6	64	58	35
6390	10	110.6	228.0	19.9	6	66	60	36
6390	7-10-10-7	112.6	182.5	20.6	6	70	64	38

6390in³ 立体震源 70~80Hz 频段因立体震源压制了虚反射陷波效应,平均约提高 10dB,60Hz 以内频段振幅能量提高 1~3dB(图 3),更利于地震波穿透屏蔽层;6390in³ 平面组合震源和立体组合震源初泡比分别提高 29%、34%,进一步提高了震源激发子波自身的信噪比。根据勘探目的,6390in³ 平面震源和立体震源远场子波性能整体上优于 6420in³ 气枪震源;6390in³ 平面震源远场子波主峰值略低于立体震源,远场子波频谱各有特点,所以将这两组震源方案进行外业试验,根据实际效果进一步优选出后续地震勘探所用的气枪震源。

图3 6390in³平面震源、立体震源和6420in³气枪震源模拟远场子波频谱对比Fig.3 The far field seismic wavelet spectrum of the 6390in³ and 6420in³ source

2.1.2 接收缆沉放深度

在优选出 6390in³、沉放 10m 的气枪震源方案基础上,进一步探讨接收缆的沉放深度。因接收缆接收的反射波信号已经过大地滤波,模拟分析时为了更接近实际采集的地震波信号,根据南黄海地层地球物理特征,针对双程旅行时 3s 的反射层,赋值地层吸收衰减因子 $Q=110$,模拟在接收缆沉放 12m、14m、16m、18m、20m 情况下的子波波形及频谱(图 4、图 5)。

图4 接收缆不同沉放深度模拟子波对比
Fig.4 The seismic wavelet signature with different streamer depths

将接收缆不同沉放深度模拟子波及频谱进行对比:接收缆沉放越深,子波能量越强,20Hz 以内的低

频成分越丰富,但因虚反射陷波效应的影响,有效频带变窄;接收缆沉放较深,如沉放 18m、20m 陷波频率分别出现在 41.6Hz 和 37.5Hz 附近,限制了一定的有效频带宽度;接收缆沉放较浅,如沉放 12m 时,陷波频率出现在 62.5Hz 附近,和实际中深层地震信号的有效频带相匹配,但 6~20Hz 频段内振幅能量偏低,不利于提高中-古生界有效反射波能量;沉放 14m、16m 陷波频率分别出现在 53.6Hz 和 46.9Hz,沉放 16m 较沉放 14m 的有效频带偏窄,能量偏大。

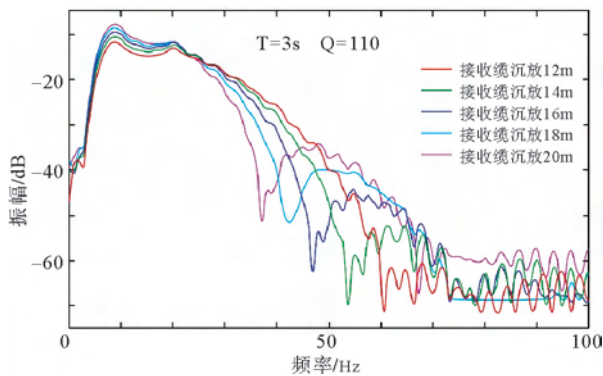


图 5 接收缆不同沉放深度模拟子波频谱对比

Fig.5 The seismic wavelet spectrum with different streamer depths

2010 年地震采集参数中接收缆沉放深度为 14m,较之前有所加深,如前所述取得了一定的改善,说明接收缆深沉放也是增强深部有效波能量的途径之一;目前发展中的单缆去鬼波技术通过压制水平缆接收端的鬼波,弱化虚反射陷波效应达到拓宽频谱的目的,所以可以通过接收缆深沉放获得更强的深部有效波能量,后期再用单缆去鬼波技术拓宽一定的频谱;基于勘探目的,为了提高有效波频带宽度,并兼顾到目前处理技术的发展进步,优选接收缆沉放 16m、20m 作为试验方案。

2.1.3 震源/接收缆沉放深度组合试验

根据上述分析,设计并进行了 4 组外业试验,分别是:6390in³ 平面震源,接收缆沉放 16m;6390in³ 平面震源,接收缆沉放 20m;6390in³ 立体震源,接收缆沉放 16m;6390in³ 立体震源,接收缆沉放 20m。现场对 4 组试验方案采集资料进行相同处理,分析叠加剖面双程旅行时 1.5~3s 之间反射波组的频谱特征(图 6),在 6~40Hz 频段,6390in³ 平面震源、接收缆沉放 16m 试验方案相比其他试验方案振幅能量更强,并且在 45Hz 以内频段无明显陷波点,确定该震

源/接收缆沉放深度组合作为本区地震采集方案。

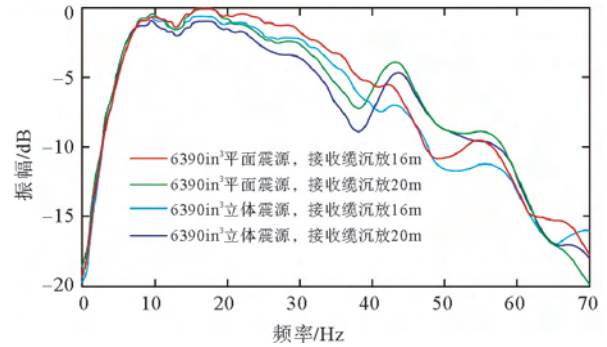


图 6 叠加剖面双程旅行时 1.5~3s 频谱分析

Fig.6 The spectrum analysis of stacked profile with double travel time of 1.5-3s

2.2 提高信噪比

海上采集地震资料噪音主要来源于随机噪音和多次波等。其中随机噪音中有一部分是环境噪音,接收缆沉放越浅,接收到的环境噪音越大,所以可以通过将接收缆沉放深度加深,来降低环境噪音。本次接收缆沉放深度试验方案为 16m、20m,较以往采集时深,能够降低一定的环境噪音。

其他随机噪音可以通过提高覆盖次数进行压制,理论上在覆盖次数达到 36 次之前,信噪比随着覆盖次数的增加迅速提高,覆盖次数在 36~106 次之间,信噪比能够较快地增加,之后信噪比缓慢地增加^[22,23]。海上地震采集在道间距、炮间距一定的情况下,可通过增加接收缆长度来增加覆盖次数,但接收缆加长施工时对远偏移距的质量控制十分不利,所以设计时要在覆盖次数和施工质量上有所取舍。

通过增加最大偏移距与最小偏移距之间多次波剩余时差,可以更好地压制多次波,这就需要增加一定的偏移距(即接收缆长度);海底和 T₂ 强反射界面多次波比较发育,建立这两个界面的多次波模型并进行计算分析(图 7),当接收缆长度 4000m 时,就能较好地压制海底、T₂ 强反射界面有关的多次波,但考虑到中-古生界强反射界面也会产生多次波,接收缆长度要超过 4000m。

接收缆长度的选择还与速度拾取精度有关。南黄海崂山隆起下古生界目的层埋深约 6~7km,选取不同偏移距进行速度谱分析,偏移距 0~7km 和 0~8km 时能量团收敛性都较好,且两者差异不大,7km 偏移距已能满足速度拾取精度的要求^[20],提高有效波叠加能量,进而提高信噪比。

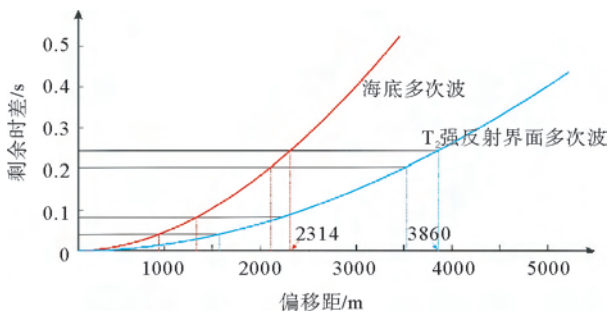


图7 海底、T₂强反射界面多次波分析

Fig.7 The multiple analysis of seabed and T₂ strong reflector

基于以上分析,初步确定接收缆长度 7000m 左右。受空压机供气能力、船速等因素的影响,炮间距以 37.5m 为宜;道间距是固定的,为 12.5m;当接收缆长度 7200m 时,覆盖次数 96 次,满足压制随机噪声、多次波进而提高信噪比的要求。

2.3 空间采样间隔

空间采样间隔设计时主要考虑最高无混叠频率和横向分辨率。每个倾斜同相轴在偏移前都有一个最高无混叠频率 f_{max} ,如果频率高于这个值就会发生混叠,造成同相轴不能连续追踪;按照信号可恢复的采样定理,每个反射波的波长至少需要取 2 个样点;空间采样间隔应小于两者的最小值^[24,25]。

计算南黄海 T₂ 及下伏反射层的空间采样间隔要求(表 4),反射层越浅,横向分辨率越高,要求的空间采样间隔也越小,T₂ 和 T₈ 反射层要求的空间采样间隔分别为 34.2m 和 76.1m。常规海上多缆地震采集接收缆间距为 100m,双震源交替放炮,道间距 12.5m;平行和垂直于测线方向的空间采样间隔分别为 6.25m、25m,均满足 T₂ 及下伏反射层空

表 4 T₂ 及以下反射层的空间采样间隔要求
Table 4 Spatial sampling requirements for T₂ and sub-T₂ reflectors

主要反射层	最高无混叠频率 要求空间采样间隔/m	横向最大分辨率 要求空间采样间隔/m
T ₂	140.1	34.2
T ₈	311.7	76.1
T ₉	453.7	110.7
T ₁₀	376.9	92.0
T ₁₁	497.1	145.5
T ₁₁₋₁	517.6	126.3
T ₁₂	618.3	150.9
T ₁₃	1009.5	246.4
T _g	1269.9	309.9

间采样要求。

本次针对中-古生界设计的气枪震源为 4 子阵大容量震源,双震源就需要 8 个子阵。目前主流多缆物探船均配置 2 个震源,每个震源有 3 个子阵,3 子阵组合成的气枪震源达不到强能量、富低频的效果。为了达到增强中-古生界有效反射波能量目的,建议选用 4 子阵大容量气枪震源,限于物探船设备情况,采用单震源进行地震采集;对应的平行和垂直于测线方向的空间采样间隔分别为 6.25m、50m,虽不能满足 T₂ 及上覆反射层空间采样要求,但能够满足 T₈ 及下伏反射层空间采样要求。南黄海崂山隆起缺失古近系和陆相中生界地层,T₂ 和 T₈ 为同一反射界面,本次勘探重点目的层段为 T₂ 或 T₈ 下伏中-古生界地层,垂直于测线方向 50m 的空间采样间隔也能满足中-古生界勘探要求。另外,还可以对实际采集资料垂直于测线方向的地震数据进行叠前插值、规则化处理,形成 12.5m×25m 面元,相比原始的 6.25m×50m 面元,偏移后空间假频得以改善(图 8)。

此外,南黄海崂山隆起调查区水深较浅,渔捞作业发达,多条航道穿越其中,且接收缆长度超过 7km。为保证外业采集时水下设备的安全,结合以往外业采集施工经验,设计拖带 6 条接收缆,接收缆间距为 100m,即采用单源 6 缆进行外业采集。

2.4 地震采集主要参数

经以上地震采集参数论证、设计及海上试验,适合现阶段南黄海崂山隆起中-古生界地震勘探的采集方式为单源 6 缆,主要采集参数详见表 5。

表 5 南黄海崂山隆起地震采集主要参数
Table 5 Seismic acquisition parameters for Laoshan Uplift in South Yellow Sea

参数名称	参数值
震源数	1
震源容量(in ³)	6390
震源沉放深度(m)	10(4子阵平面震源)
炮间距(m)	37.5
接收缆沉放深度(m)	16
接收缆长度(m)	7200×6
接收缆间距(m)	100
道间距(m)	12.5
空间采样间隔	6.25m×50m
覆盖次数	96×1

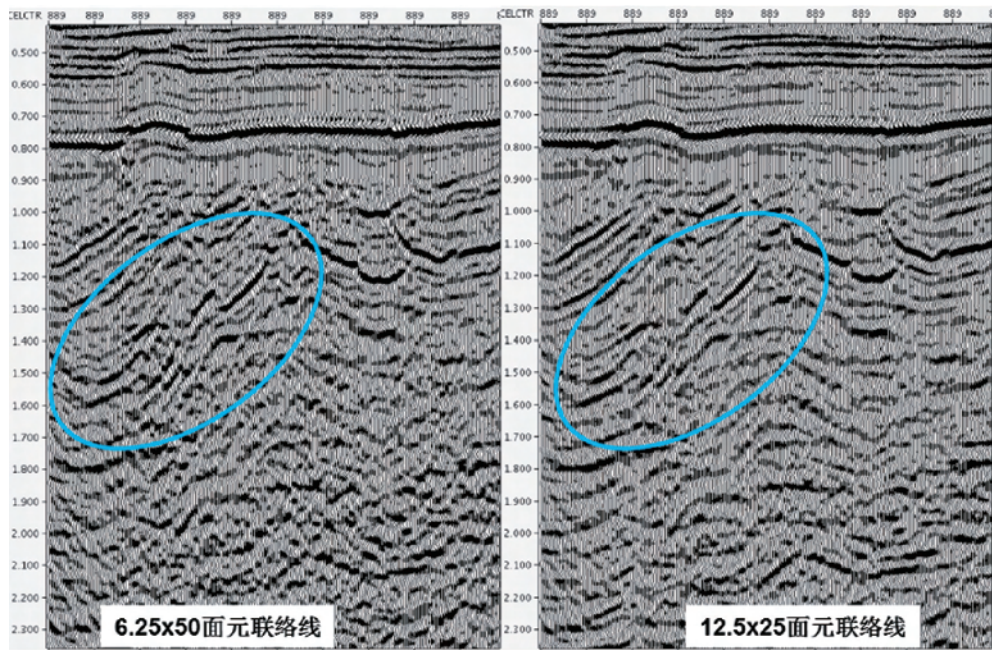


图 8 垂直于测线方向不同面元偏移效果对比

Fig.8 Comparison of migration seismic profile with different bin size

3 采集效果分析

经过全面的分析对比,相比以往采集的地震剖

面,采用本设计方案采集的地震剖面,中-古生界地层反射能量更强,信噪比更高,反射波组连续性更好,整体提高了南黄海崂山隆起中-古生界地震资料的品质(图 9),内幕揭示清晰。

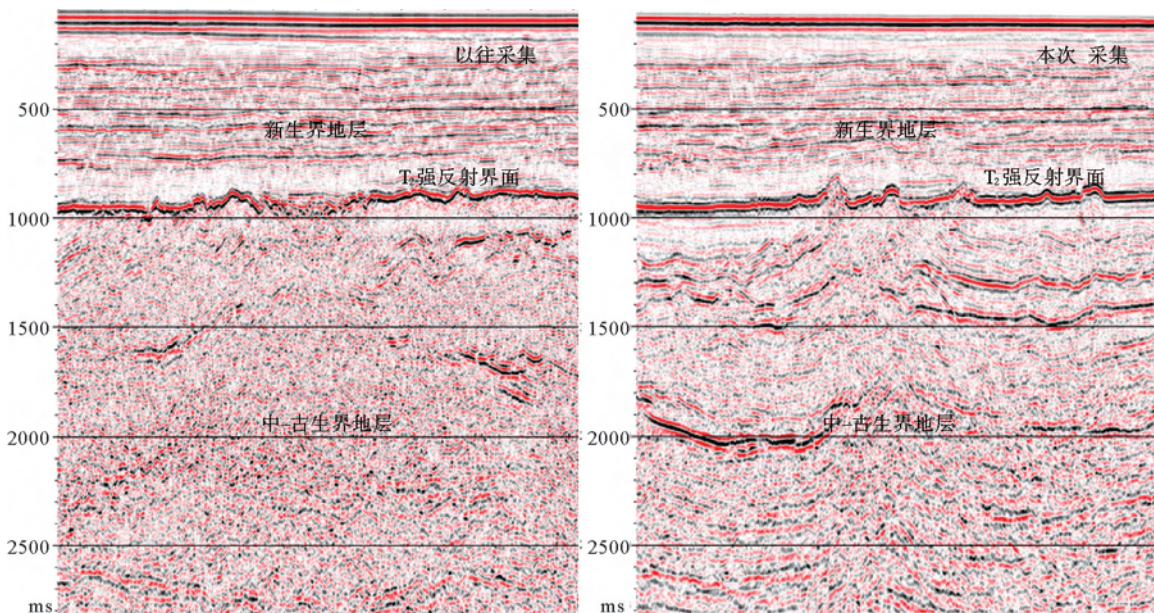


图 9 本次采集地震资料(右)和以往采集资料(左)对比

Fig.9 Comparison of seismic profiles by this survey and a previous survey

4 结论

(1) 在已有攻关成果和分析工区地震地质条件的基础上,本次地震采集针对增强中-古生界有效反射波能量、提高其信噪比展开参数设计。优选了6390in³平面组合震源沉放10m、7200m×6接收缆沉放16m作为本区地震采集方案,形成了高覆盖、富低频、强能量地震采集技术;

(2) 通过与以往地震资料的对比,本次采集的地震资料中-古生界地层反射能量更强,信噪比更高,反射波组连续性更好,整体提高了南黄海崂山隆起中-古生界地震资料的品质,有利于对崂山隆起中-古生界地层的认识,为后续南黄海地震勘探积累了经验,为下一步井位论证等工作奠定了扎实的基础。

致谢: 特别感谢青岛海洋地质研究所在本研究工作中提供的资料! 衷心感谢杨文达、徐洪斌、周云和等专家的帮助和指导!

参考文献 (References)

- [1] 陈建文, 施剑, 刘俊, 等. 南黄海海相中-古生界地震地质条件[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(10): 1-8. [CHEN Jianwen, SHI Jian, LIU Jun, et al. Seismic geological conditions of the marine Meso-Paleozoic in the South Yellow Sea basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(10): 1-8.]
- [2] 刘亚楠. 南黄海中部中更新世以来地震地层学特征与构造-沉积环境演化[D]. 国家海洋局第一海洋研究所硕士学位论文, 2016. [LIU Yanan. The characteristics of seismic stratigraphy and evolution of the Tectonic-Sedimentary environment in the South Yellow Sea since the middle Pleistocene[D]. Master Dissertation of the First Institute of Oceanography, SOA, 2016.]
- [3] 庞玉茂, 张训华, 肖国林, 等. 下扬子南黄海沉积盆地构造地质特征[J]. 地质论评, 2016, 62(3): 604-616. [PANG Yumao, ZHANG Xunhua, XIAO Guolin, et al. Structural and geological characteristics of the South Yellow Sea basin in Lower Yangtze block[J]. Geological Review, 2016, 62(3): 604-616.]
- [4] 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探特殊性问题[J]. 地质前缘, 2005, 12(3): 15-22. [JIN Zhijun. Particularity of petroleum exploration on marine carbonate strata in China sedimentary basins[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 15-22.]
- [5] 闫桂京, 李慧君, 何玉华, 等. 南黄海海相层石油地质条件分析与勘探方向[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(5): 107-113. [YAN Guijing, LI Huijun, HE Yuhua, et al. Petroleum geologic characteristics analysis and future exploration targets for marine strata in the South Yellow Sea basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(5): 107-113.]
- [6] 张训华, 吴志强, 肖国林, 等. 新世纪南黄海地震勘探成果与展望[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(7): 1-8. [ZHANG Xunhua, WU Zhiqiang, XIAO Guolin, et al. Progress and prospect of seismic survey in the South Yellow Sea in the New Century[J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(7): 1-8.]
- [7] 陈建文, 龚建明, 李刚, 等. 南黄海盆地海相中-古生界油气资源潜力巨大[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(1): 1-7. [CHEN Jianwen, GONG Jianming, LI Gang, et al. Great resources potential of the marine Mesozoic-Paleozoic in the South Yellow Sea basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(1): 1-7.]
- [8] 童思友. 南黄海地震资料多次波形成机理及压制技术研究[D]. 中国海洋大学博士学位论文, 2010. [TONG Siyou. The formation mechanism and the suppression technology study of multiple wave of the South Yellow Sea seismic data[D]. Doctor Dissertation of Ocean University of China, 2010.]
- [9] 孟祥梅, 刘保华, 阚光明, 等. 南黄海海底沉积物声学特性及其影响因素试验研究[J]. 海洋学报, 2012, 34(6): 74-83. [MENG Xiangmei, LIU Baohua, KAN Guangmin, et al. An experimental study on acoustic properties and their influencing factors of marine sediment in the southern Huanghai Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 34(6): 74-83.]
- [10] 王建花, 李庆忠, 邱睿. 浅层强反射界面的能量屏蔽作用[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(6): 589-596, 602. [WANG Jianhua, LI Qingzhong, QIU Rui. Energy shielding action of shallow strong reflector[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2003, 38(6): 589-596, 602.]
- [11] 吴志强. 南黄海中部隆起海相地层油气地震勘探关键技术研究[D]. 中国海洋大学博士学位论文, 2009. [WU Zhiqiang. The seismic techniques for exploring marine facies stratigraphic hydrocarbon entrapped in the Middle uplift of the South Yellow Sea[D]. Doctor Dissertation of Ocean University of China, 2009.]
- [12] 张雷, 魏赞, 高顺莉, 等. 南黄海中-古生界地震反射特征模拟分析与勘探对策[J]. 中国石油勘探, 2013, 18(2): 26-29. [ZHANG Lei, WEI Yun, GAO Shunli, et al. Analog analysis and exploration solution of seismic reflection characteristics of Mesozoic-Paleozoic in South Yellow Sea[J]. China Petroleum Exploration, 2013, 18(2): 26-29.]
- [13] 杨艳秋, 李刚, 易春燕. 南黄海盆地海相地层地震反射特征及地震层序地质时代[J]. 东北石油大学学报, 2015, 39(3): 50-59, 124. [YANG Yanqiu, LI Gang, YI Chunyan. Characteristics of seismic reflection and geological ages of seismic sequences for marine strata in the South Yellow Sea basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2015, 39(3): 50-59, 124.]
- [14] 张丽莹. 南黄海海域高速屏蔽层地震正演模拟及广角反射研究[D]. 中国海洋大学硕士学位论文, 2013. [ZHANG Liying. Seismic forward modeling and wide-angle reflection research in the area of high velocity shielding layers of the South Yellow Sea[D]. Master Dissertation of Ocean University of China, 2013.]

- sity of China, 2013.]
- [15] 吴志强, 吴时国, 童思友, 等. 基于南黄海海相油气勘探的地震采集技术研究[J]. 地球物理学报, 2011, 54(4): 1061-1070. [WU Zhiqiang, WU Shiguo, TONG Siyou, et al. A study on seismic acquisition basic on marine carbonate hydrocarbon exploration in the Southern Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(4): 1061-1070.]
- [16] 高顺莉, 张敏强, 陈华. 大震源长缆深沉放地震采集技术在南黄海中古生代盆地的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(1): 95-101. [GAO Shunli, ZHANG Minqiang, CHEN Hua. A large-scale seismic source, deep gun and cable sinking and long cable pength application in Mesozoic-Paleozoic basin in the South Huanghai Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2014, 34(1): 95-101.]
- [17] 庄丽华. 黄东海陆架晚第四纪古环境演化及海平面变化[D]. 中国科学院研究生院(海洋研究所)博士学位论文, 2002. [ZHUANG Lihua. The late quaternary paleo-environment evolution and sea level change in the Yellow Sea and the east China Sea[D]. Doctor Dissertation of University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology), 2002.]
- [18] 李唐律. 浅海地震资料自由表面多次波压制方法研究[D]. 中国海洋大学硕士学位论文, 2014. [LI Tanglv. The study on free surface-related multiple attenuation of seismic data in shallow sea[D]. Master Dissertation of Ocean University of China, 2014.]
- [19] 刘俊, 吴淑玉, 高金耀, 等. 南黄海中部浅水区多次波衰减技术及其效果分析[J]. 物探与化探, 2016, 40(3): 568-577. [LIU Jun, WU Shuyu, GAO Jinyao, et al. An effectiveness analysis of multiple depression technique in the shallow water of the central uplift in South Yellow Sea[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(3): 568-577.]
- [20] 刘俊, 吴淑玉, 施剑, 等. 南黄海崂山隆起地震采集方法[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(10): 24-29. [LIU Jun, WU Shuyu, SHI Jian, et al. On seismic acquisition methods on the Laoshan uplift of the South Yellow Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(10): 24-29.]
- [21] 熊忠, 张敏强, 高顺莉, 等. 南黄海中、古生界地震波场反射特征模拟与采集技术攻关[J]. 地球物理学进展, 2016, 31(5): 2172-2180. [XIONG Zhong, ZHANG Minqiang, GAO Shunli, et al. Seismic wave field simulation for reflection characteristics and technology study on seismic acquisition of Mesozoic-Paleozoic in the South Yellow Sea[J]. Progress in Geophysics, 2016, 31(5): 2172-2180.]
- [22] 李庆忠. 关于低信噪比地震资料的基本概念和质量改进方向[J]. 石油地球物理勘探, 1986, 21(4): 343-364. [LI Qingzhong. The concept of low S/N seismic data and the measures for improving the data quality[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1986, 21(4): 343-364.]
- [23] 莫延刚, 段卫星, 李玉兴, 等. 浅析覆盖次数和信噪比的关系[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(S2): 77-79. [MO Yangang, DUAN Weixing, LI Yuxing, et al. Briefly analyzing relationship between folds and S/N ratio[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2008, 43(S2): 77-79.]
- [24] 王桂华. 海上地震数据采集主要参数选取方法[J]. 海洋石油, 2004, 24(3): 35-39. [WANG Guihua. A study on selection of marine seismic data acquisition parameters[J]. Off-shore Oil, 2004, 24(3): 35-39.]
- [25] 罗文造, 韦成龙, 王立明, 等. 海上地震勘探主要采集参数的选取与验证——以南海北部某调查区为例[J]. 热带海洋学报, 2009, 28(4): 93-101. [LUO Wenzao, WEI Chenglong, WANG Liming, et al. Selection and validation of the main acquisition parameters in marine seismic exploration: A case on land-slope deep water area in northern South China Sea[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2009, 28(4): 93-101.]