海底电缆高密度地震采集技术在渤海 B 油田的应用

陈　洋（中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司，天津　300450）

摘　要：随着油田开发不断深入，其对地震资料品质要求不断提升。传统拖缆地震采集技术和海底电缆地震采集技术在一定程度已经难以满足地质人员对地震资料品质的需求。基于此本文在渤海 B 油田应用海底电缆高密度采集技术进行地震资料采集，结果显示高密度地震数据相比老资料品质明显改善。

关键词：海底电缆高密度地震采集技术；地质问题；分辨率

高密度地震采集技术主要是通过提高空间采样率来提高地震勘探的精度，其思想主要源于 1988 年 Ongkiehong 提出的“无约束采集”，即在考虑野外空间采集密度时，不必受到处理、解释条件的约束，可以在采集过程中自由采用高密度高分辨采集方法 [1]。基于该思想，2000 年 westernGeco 公司于提出了“Q”技术，具体发展了陆地高密度、海洋高密度、高密度油藏描述、高密度海底多分量、高密度测井等五大技术。2004 年 CGG 公司提出“EYE-D”高密度地震采集技术，取得了好的应用效果 [2-3]。

经过多年的发展，国内陆地密度采集技术已经比较成熟，该类勘探技术在中国东部油田、西部油田和四川盆地等区块都进行了大量试验和应用，如胜利油田在罗家地区开展的陆上高密度三维地震采集试验，首次进行了超万道全数字单点三分量高密度三维地震采集，取得了较好的应用效果 [4]；准噶尔盆地采用可控震源开展了多轮的高密度地震资料采集，均取得了较好的效果 [5]；四川盆地将全数字高密度地震勘探技术应用于长子地区，取得了较好的应用效果 [6]。但是国内海上油田高密度地震采集技术还处在初期阶段，尤其是海底电缆高密度采集技术的应用还是空白。因此，基于高密度地震采集的优势，本文在渤海 B 油田应用海底电缆高密度采集技术来改善地震资料品质。

1 高密度采集参数论证

1.1 基于靶区地质模型的采集参数论证

B 油田目的层位于明化镇组。为了采集设计能够满足油田主力开发层系成像的需求，通过已有资料和认识，包括多层构造图、断裂系统框架、实钻地层速度和密度等信息，建立三维深度域地质框架模型，在此基础上进行正演模拟和照明分析，对各参数进行精细论证，包括面元尺寸、炮检距、接收线距、道距、干扰波、多次波、照明情况、震源优化、AVO 需求等。以 AVO 需求分析为例，该油田后续研究涉及到储层研究和流体检测等工作，因此地震资料应满足 AVO 分析的需求。AVO 叠前反演要求目的层共反射点道集的入射角度达到 30° -45°，因此基于地质框架模型通过三维射线追踪进行角度计算，结果显示要保障目的层最大角度达到 45° 需采用 8L8S 的观测系统进行施工。但考虑到在海上进行 8L8S 的观测系统施工，时效低而且对电缆设备要求高。根据炮检互换原理，采用以炮补道的观测系统设计思想，最终确定采用 4L16S 的观测系统进行采集。

通过参数论证确定最终采集参数，如表 1 所示。

表 1　A 油田采集参数表

观测系统类型	4L16S（束状）
面元大小	12.5m×12.5m
覆盖次数（P 波）	4 横 ×80 纵
接收道数	320 道 ×4
道距	25m
炮点距	纵 50m/ 横 25m
接收线距	200m
接收线数	4
炮线距	25m
炮线数	16

1.2 震源优化

高品质的地震资料不仅要提高高频能量，同时要保障低频成分，从而为后续的储层研究、流体检测等工作提供高品质资料。因此，震源设计环节非常重要，直接关系到地震资料的信噪比和分辨率。理想情况下应尽量激发出主脉冲强、初泡比大、频带宽、延续时间短、频谱光滑的地震子波，从而提高地震资料的分辨能力 [7]。

海上地震勘探采用气枪震源，震源特性主要取决于气枪容量、压力、沉放深度以及气枪阵列组合方式。受限于制作工艺，单枪激发的子波能量太弱，难以满足勘探作业要求。气枪阵列由若干个子阵列组成，每个子阵列均包含多个气枪单元。理想情况下，气枪阵列可以实现各气枪单元的调谐作用，使其激发的脉冲信号有效叠加，保证子波具有足够的能量和初泡比。但实际在气枪阵列组合的过程中，阵列参数（包括子阵间距、阵列沉放深度、不同容量气枪分布位置等）均会会实际子波形态产生较大影响。本次采集基于点震源阵列进行优化设计，在对阵列参数的调整时更注重子波的能谱分布。以气枪单元 ABCD 组成的气枪阵列为例，在阵列几何图形中选取合适的中心点 O，在球面上取任意一点 X1，计算各能量点 ABCD 在 X1 点处的能量叠加，如果球面上所有点的能量叠加值在允许的一定范围误差内接近某统一值，即可认为该气枪阵列符合点震源阵列的设计。图 2（b）为基于点震源优化后的震源能量分布，看到不同频率的震源能量在各个方位上基本趋于一致，较震源优

化前（图 2（a））有了明显的改善。

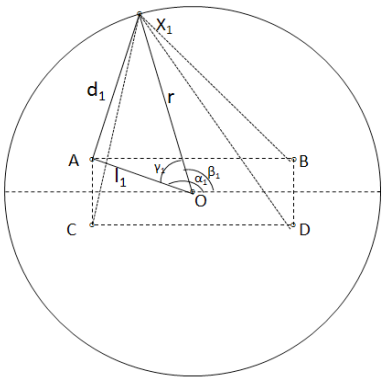
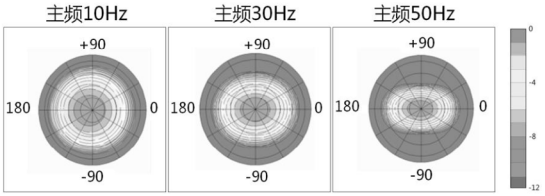
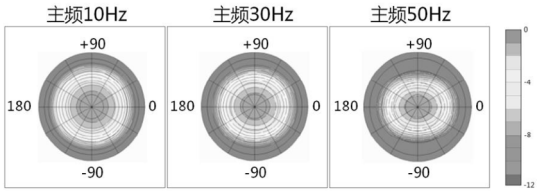


图 1　点震源阵列优化设计示意图



（a）优化前



（b）优化后

图 2　震源优化设计前后不同频率震源能量分布

2 高密度地震数据处理

处理流程。为了取得更好成像效果，获得高品质成果资料，首先对高密度地震数据进行了大量分析试验工作，包括噪音、多次波、速度分析等，反复测试处理参数。在此基础上完成处理流程设计，对高密度地震资料女性处理，处理流程如图 3 所示。

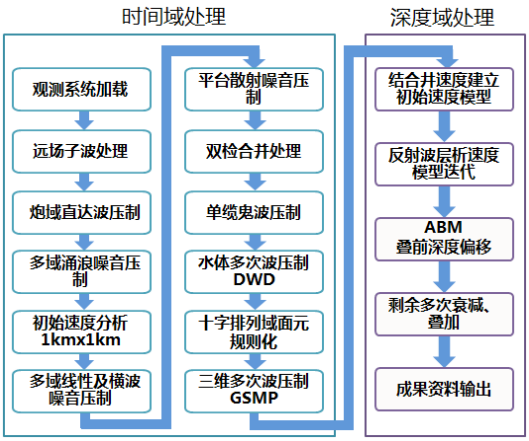
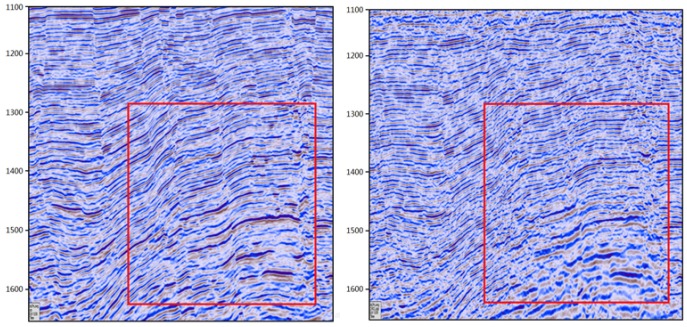


图 3　三维叠前深度偏移处理流程

3 应用效果分析

3.1 新地震资料品质分析

对新老地震资料进行对比，如图 4 所示。相比老资料，新资料信噪比明显提高，波组特征更加清楚，剖面层次感强，储层响应特征更加清晰；地震资料横向分辨率明显提高，砂体边界在地震剖面上响应特征明显，断点更加收敛，中小断层成像更加清晰。对图 4 所示范围分别提取新老地震资料的频谱，看到高密度地震资料频谱形态更加完整，频带更宽，有效拓展了高频和低频成分，如图 5 所示。



（a）高密度地震资料　　（b）老资料

图 4　高密度地震资料与老资料对比分析

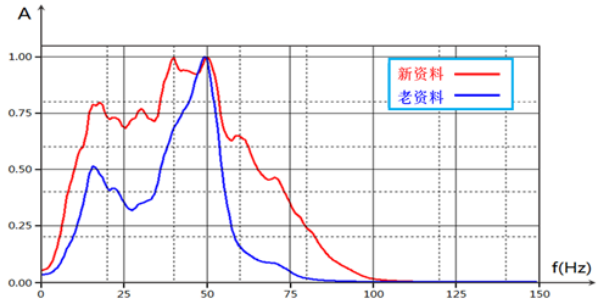


图 5　高密度地震资料与老资料频谱对比分析

4 结论

针对油田开发对高品质地震资料的需求，将高密度地震采集技术应用于海上地震资料采集。高密度地震资料相比老资料品质改善明显，资料信噪比明显提高，频带更宽，波组特征更加清楚，储层响应特征更加清晰，中小断层成像更加准确，地震资料横向分辨率明显提高，为油田构造储层研究奠定了资料基础。

参考文献：

[1] 陈昌旭，周滨，张建峰，等．拖缆高密度采集施工的关键因素及质量控制 [J]. 石油工业技术监督，2016,32(12):16-19.

[2] LEIF L.Q. Marine seismic acquisition results: report from Western Geco[J].First Break,2002,20(12):778-781.

[3] 刘振武，撒利明，董世泰，等．中国石油高密度地震技术的实践与未来 [J]. 石油勘探与开发，2009,36(2):129-135.

[4] 蔡希源，韩文功，于静，等．罗家地区高密度三维地震勘探实例 [J]. 石油地球物理勘探，2011,46(2):182-186.

[5] 潘龙，林娟，罗勇，等．高密度地震资料在准噶尔盆地的应用及面临的问题 [J]. 物探化探计算技术，2016,38(05):637-642.

[6] 刘远志，刘胜，张志锋，等．全数字单点采集技术在四川盆地的应用 [J]. 石油地球物理勘探，2014,49(5):829-838.

[7] 张鹏，李欣，杨凯，等．海洋空气枪点震源阵列优化组合设计与应用 [J]. 石油物探，2015,54(3):292-300.