

油气地球物理技术 新进展

——第76届SEG年会论文概要

中国石化石油勘探开发研究院 编
南京石油物探研究所



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

油气地球物理技术新进展

——第 76 届 SEG 年会论文概要

中国石化石油勘探开发研究院南京石油物探研究所 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是美国勘探地球物理学家学会 (SEG) 第 76 届年会论文概要, 内容包括地震采集技术、偏移成像技术、地震解释技术、实例研究、各向异性、岩石物理、油藏描述、AVO、多分量技术、井中及井间地球物理技术、VSP、时延地震、层析成像、近地表与环境、非地震等专题, 基本上反映了近年来物探技术, 尤其是地震勘探技术的最新进展。

本书可供从事地球物理勘探技术研究的专业人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

油气地球物理技术新进展: 第 76 届 SEG 年会论文概要/
中国石化石油勘探开发研究院南京石油物探研究所编.

北京: 石油工业出版社, 2007. 12

ISBN 978-7-5021-6354-9

I. 油…

II. 中…

III. 油气勘探: 地球物理勘探-学术会议-文集

IV. P618.130.8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 181426 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京晨旭印刷厂

2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 21.5

字数: 550 千字 印数: 1—1000 册

定价: 88.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

《油气地球物理技术新进展
——第 76 届 SEG 年会论文概要》

编 委 会

主 任：张永刚

副主任：管路平

编 委：赵改善 杨勤勇 曹 辉 朱成宏 严建文
朱海龙 陈 伟 朱文杰 任 鹏

目 录

地震采集技术	蔡 瑞 (1)
各向异性研究	朱成宏 (22)
AVO 技术	唐金良 邓道静 (43)
井中地球物理技术	张松扬 (62)
井间地球物理技术	张松扬 黄国骞 (92)
实例研究	谭胜章 吴桂玉 (111)
非地震勘探技术	李智宏 王晓云 (140)
地震解释方法技术及实践综述	张卫华 (149)
多分量地震资料解释应用	黄中玉 (162)
近地表和环境地球物理研究	朱文杰 顾石庆 (172)
油藏描述技术	朱海龙 顾石庆 邵 璞 (182)
岩石物理研究	马中高 (190)
地震反演与地震理论	孙晶梅 (223)
从 SEG 看地震数值模拟	李 佩 余德平 (240)
偏移成像技术综述	方伍宝 (263)
时延地震技术	陈 伟 任 鹏 秦 瞳 (284)
地震层析成像	陈国金 (303)
VSP 技术	彭代平 陈 林 (315)

地震采集技术

蔡 瑞

一、引言

本届 SEG 年会地震采集技术共设 3 个专题，其中海洋勘探、陆地勘探各一个专题，张贴一个专题。尽管文章总数与去年持平，但本届年会陆地采集技术的文章明显增多，且超过海洋采集技术的文章。采集技术的进展主要围绕着获得高质量地震资料的采集方法和设备的改进。文章内容涉及复杂地质条件的采集技术和成像方法、优化观测系统设计方法、地震采集中的减噪技术、扩展频率带宽的方法、微地震应用等多方面。可控震源技术仍是陆地高效、低成本的采集技术之一。

二、地震采集技术的进展

1. 海洋地震采集技术

1) 海底地震电缆采集技术

Norris 等介绍了海底地震电缆 (OBC) 多分量采集信号保真性的定量化分析方法。试验证明，当炮检距不是特别大时，联络测线分量的瞬时频率分布图是信号保真性的有效指示器 (图 1)。这为从正常生产数据评估 OBC 信号保真性提供了接近实时的方法。该方法可以及时发现有可疑信号保真性的 OBC 数据，并在处理和评估时不采用或消除。它具有容易实现、不需要庞大数据库、结论明确的特点。

Walker 等通过传感器类型与性能、拖曳式排列接收与静态点接收器、PZ 求和法 (summation)、观测系统 4 个方面对海底地震电缆与拖曳式海洋地震拖缆采集方法进行了比较，指出海底电缆数据采集在改善浅海地震分辨率、展宽频带、深海数据成像、提高信噪比及更有效的 3D 照明和有效宽方位角跨越放炮 (undershooting) 的数据采集等方面有明显优势 (图 2、图 3)，可以改善资料成保质量，且不增加成本。

2) 海洋地震拖缆准确定位的方法

海洋地震拖缆采集的定位误差影响 3D 地震勘探分辨率和成像精度，对 4D 地震勘探的影响更严重。

Musser 等应用全交叉联结的声波定位网络 (fully cross-braced acoustic positioning networks) 解决海洋地震拖缆采集定位稳定性问题 (图 4)。这样的网络改进了定位精度 (图 5)，促进了对地震拖缆掌控和延伸的稳定技术的应用，使地震拖缆分离距离最小化，地震拖缆偏离障碍物的控制更灵活，地震监控测量的重复性误差更小。

Taylor 等利用高终端可视化技术进行采集质量监控，确保船上采集的每一个条带与其他条带的方向一致和定位的准确 (图 6)。船上高端可视化可用于地震采集质量监控 (QC)

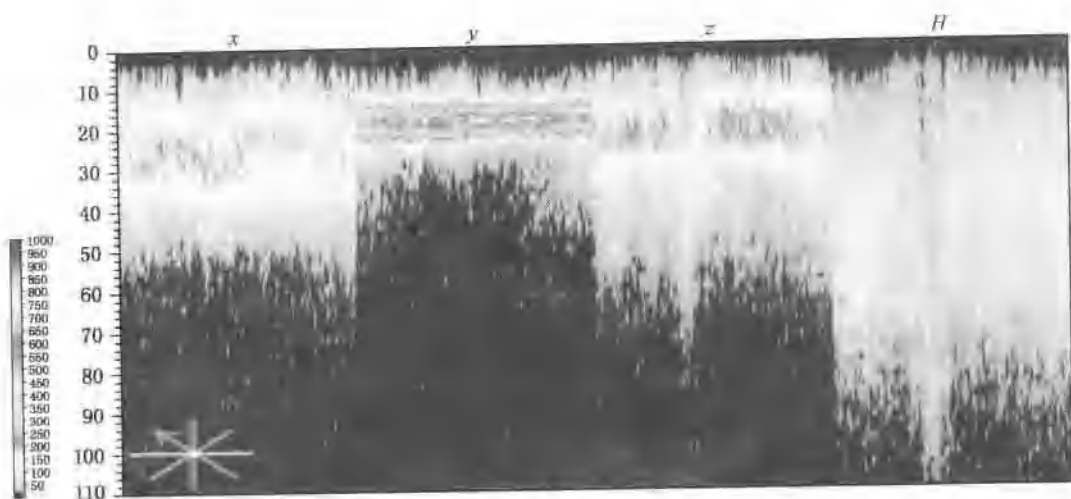


图 1 可疑信号保真性站点的共站点道集瞬时频率分布图^❶

彩色刻度用 2Hz 宽频面元计算。由于频带窄，反射信号对于联络测线传感器（如 Y 传感器）非常敏感，瞬时频率分布图有非常不均匀的峰值响应（参见 ACQ 1.5, Figure 2）

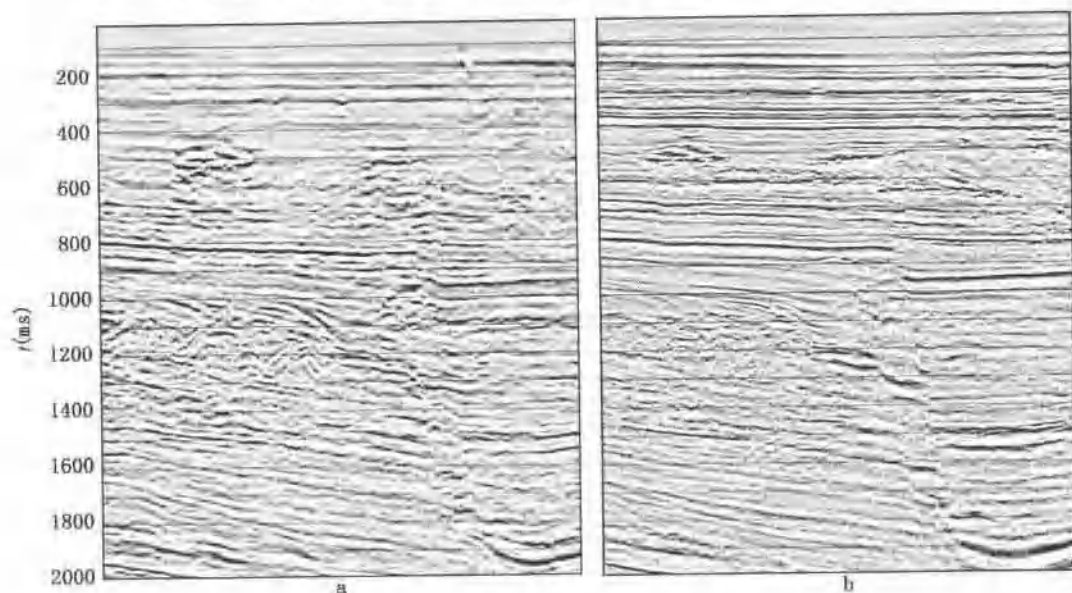


图 2 Line1600 浅海剖面

a—拖曳式海洋地震拖缆采集的剖面；b—海底地震电缆采集的剖面

和船上数据处理，可以满足项目数据采集质量监控（QC）和质量保证（QA）的需要，使船上和陆地项目组一起工作，无缝连接，快捷地存取大数据体，灵活显示多种数据格式和风格，可以较好地控制质量，缩短项目周转时间。

2. 陆上地震采集技术与方法

1) 照明与复杂地质条件采集技术

Bear (2000), Muerdter (2001), Campbell (2002) 和 Ibrahim (2005) 已经论述了上覆

❶ 本书图片主要源自 SEG 第 76 届年会论文摘要，有兴趣的读者请查阅相关原文的彩图。

地层对较深层成像准确度的潜在影响。但是如何布设地震采集观测系统才能使复杂构造很好地成像,受高速层屏蔽的射线的最佳路径是怎样的,仍然有待认识。模拟照明的方法可以借鉴。Comeaux 通过简单模型,利用射线追踪方法,说明目的层最佳定向地震记录采集的分析方法。而 Wuhai 介绍了柴达木盆地复杂逆掩断层下降盘成像的方法。

Wuhai 等通过照明、波动方程正演模拟和 3D 地质模型分析等多种技术手段的综合运用,提出了面向地质目标的 3D 采集观测系统优化设计方法,使逆掩断层下降盘能较好地成像。采取的步骤是,首先分析已有资料,确定采集观测系统的基本参数;再通过 3D 模型的波动方程正演模拟和照明模拟进行优化分析。

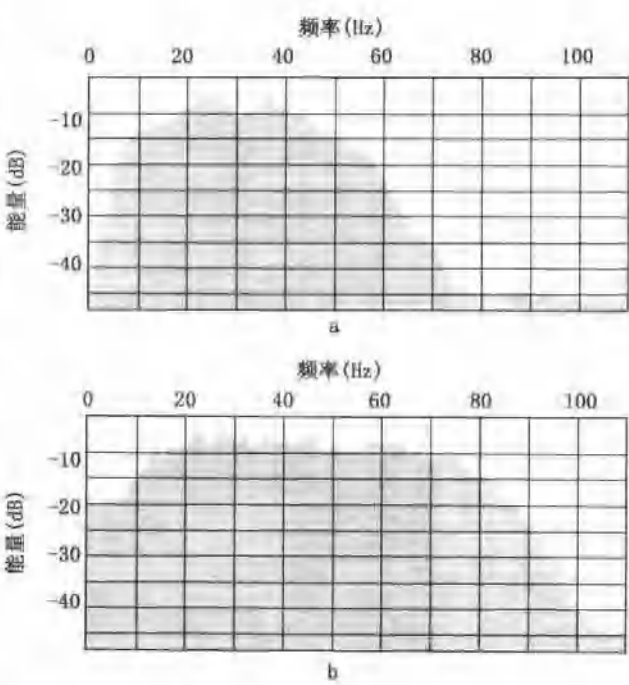


图 3 Line1600 0~2s 频谱图
a—拖曳式海洋地震拖缆采集的剖面; b—海底地震电缆采集的剖面

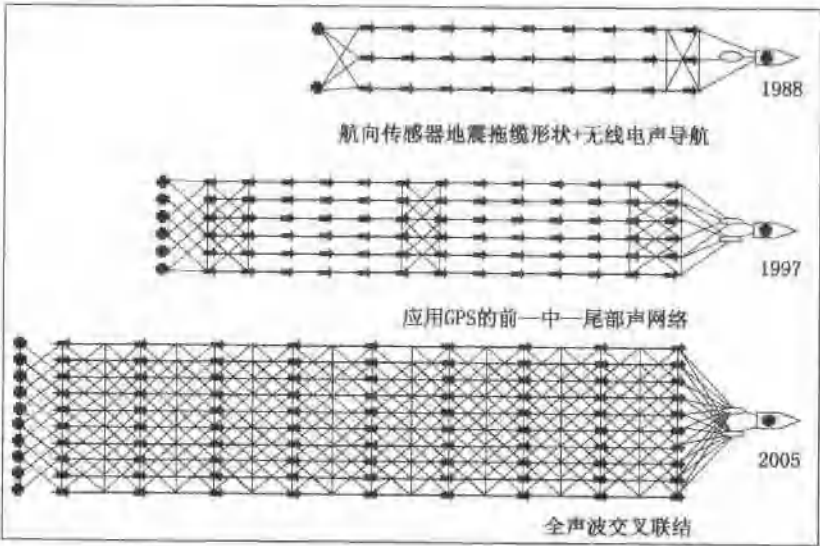


图 4 3D 海洋地震拖缆定位网络的演变

通过一系列测量方案的试验和综合分析得到该区相关的优化设计参数为: (1) 小道间距能使目标体有更多的 CMP 点分布, 有助于落实地质体特征和描述地质体空间分布, 道距为 30m; (2) 增加排列长度有助于深层成像, 选取炮检距为 6285m; (3) 较小的横向滚动距离 (接收线的 1/4 或 1/8), 相邻线的方位角改变很小, 由连续面元得到的反射信息可以最佳叠加, 有助于静校正和消除“采集足印”; (4) CRP 叠加次数随横向接收器排列增加而增加,

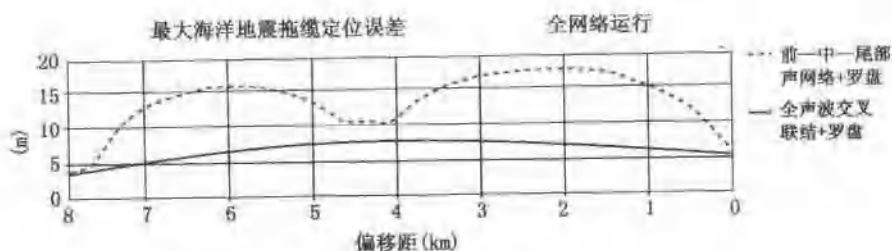


图5 全声波交叉联结对定位精度有实质性改善（实线），误差变小，而前—中—尾部声网络产生的定位误差是炮检距的函数（虚线）

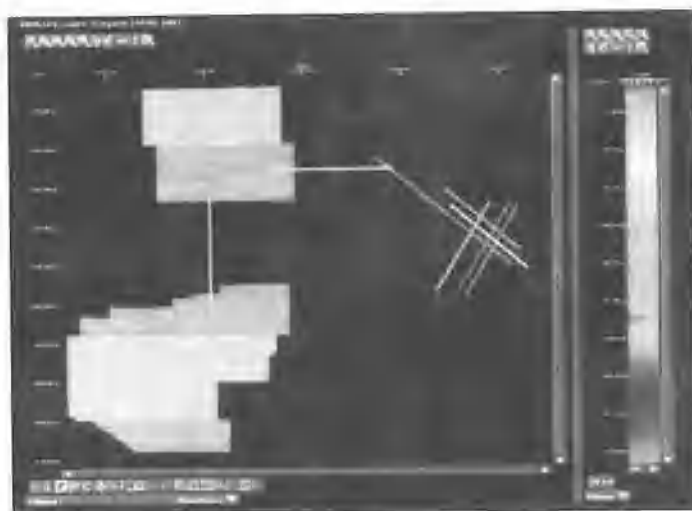


图6 显示船螺旋仪的设定值，确保船上采集的每一个条带与其他条带的方向是一致的（参见 ACQ 1.8, Figure 5）

当接收道增加时，分布的均匀性更好；（5）通过数值模拟选择合理的变观测系统，降低采集成本。图7显示了不同位置的照明和正演模拟记录，当在上升盘或逆掩断裂带放炮时，逆掩断裂带下降盘深层目的层照明强度稍高，从单炮模拟照明记录也可看到下降盘深层目的层反射能量较强；当在下降盘放炮时，逆掩断裂带下降盘深，目的层照明弱，反射能量也弱，但是下降盘浅层的照明相对较强。兼顾浅、中、深层数据质量，最终决定以断裂带为中心采用变观测系统采集。在断裂带上横向接收道数为480，在构造侧面接收道数为360道。新采集资料与老资料对比显示逆掩断层下降盘目的层成像有明显改善（图8）。

Corneaux 等介绍的目的层最佳定向地震记录采集的分析方法中，采用的模型很简单，目的层水平、均匀，构造异常（盐）倾斜且带有一点旋转（图9）。通过目的层射线追踪计算，形成一个完全、均匀采样的炮点和检波点界面网格，将追踪的炮点—接收点在对应的3D波前面的位置进行累加，按射线属性（如方位角和偏移距）重新排序，将统计结果用图的形式给出，形成沿着目的层照明图，并用属性如方位角和偏移距的高亮表示最好或最坏的目的层照明。可用全部属性的统计函数帮助解释结果的分析。计算和显示目的层照明的首选和非首选炮检点方位角。该方法有助于确定地震测量中最佳的定向设计方案

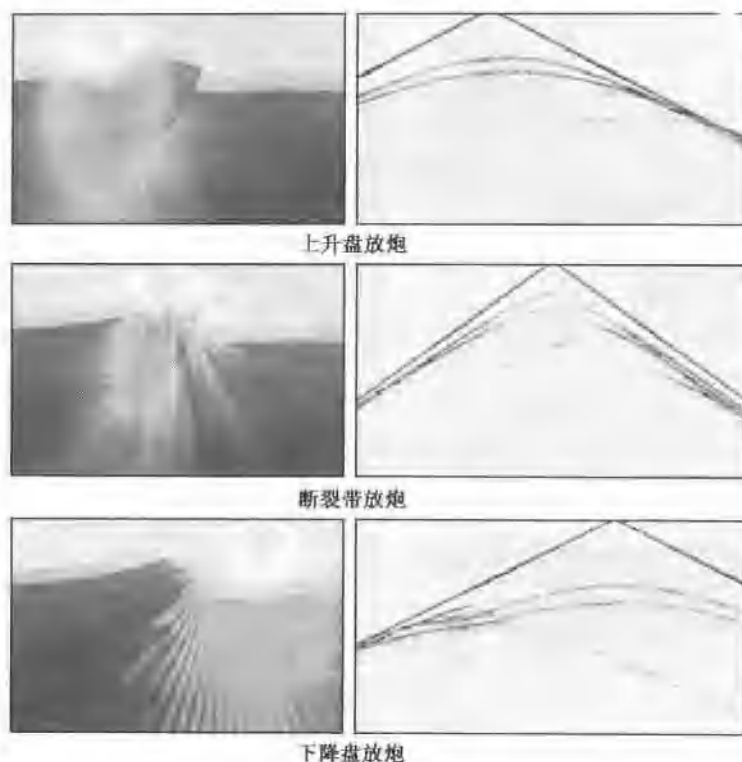


图7 不同照明位置放炮模拟

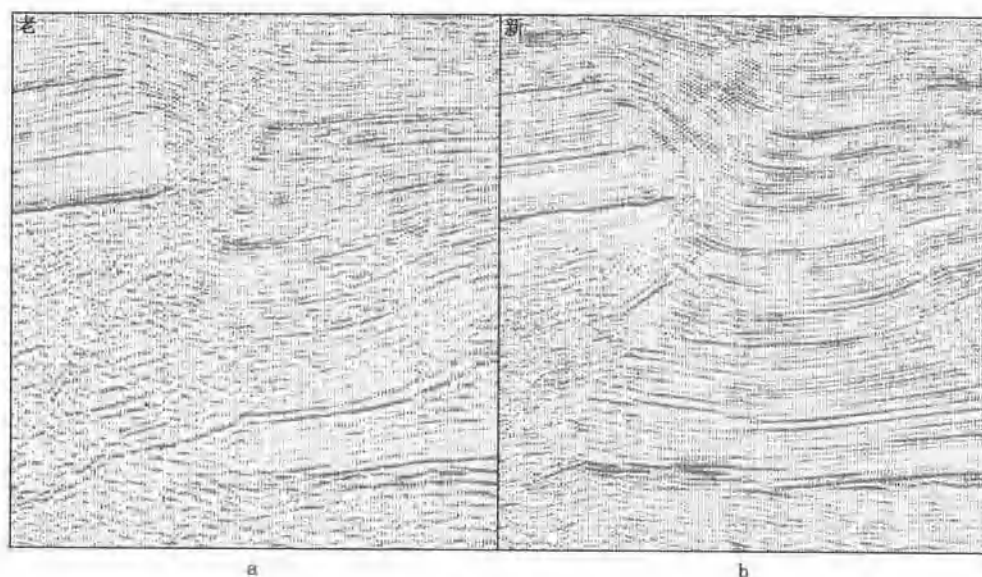


图8 老采集剖面 (a) 和新采集剖面 (b) 对比

(图 10)。

图 10a 显示了在“倾斜蛋”模型下方最适合照明的那些地下面元的方位角范围。白色暗示没有优先方位角出现。推论在有色彩显示的那些方向上按得到的方位角进行测量将得到目

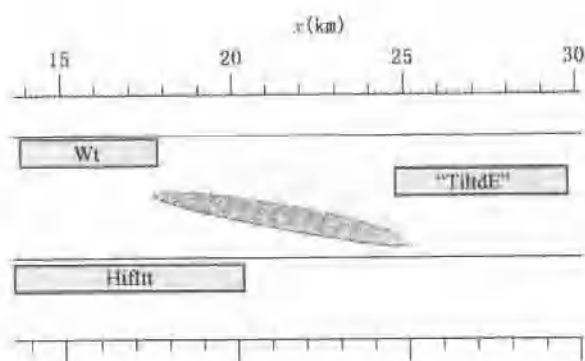
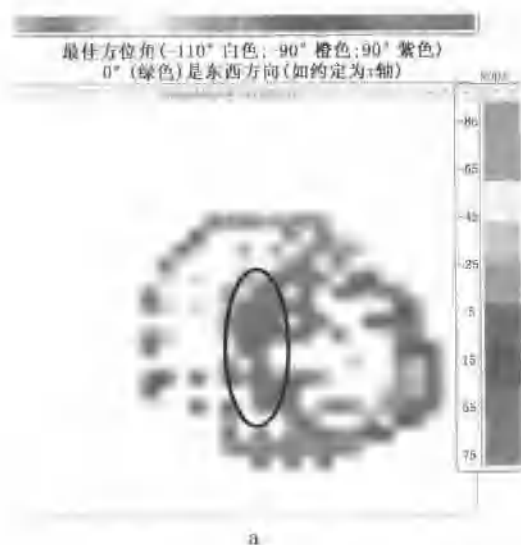
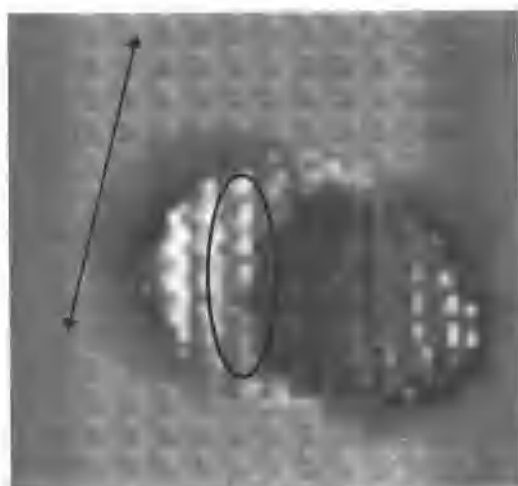


图9 采样模型

红的是水底，黄的是高速体“倾斜蛋”，蓝色是目的层
(参见 ACQ 1.6P, Figure 1)



a



b

图10 图a为在目的层上每一个面元网格点的最佳方位角照明。黑椭圆是有规律的方位角参数区域；图b为75°方位角群的照明叠合图。当方位角旋转到水平线-x轴下方时的角度可以被测到。红箭头指示与该方位角有关的定向，红椭圆与图10a中椭圆区域相应(参见 ACQ 1.6P, Figure 3和 Figure 5)

2) 复杂地质条件的优化观测系统设计方法

Duan Mengchuan 等通过研究观测系统参数和采集足印之间的关系，研究了一套基于“三均匀”(“Three Uniformities”)原理的3D观测系统优化设计方法，即面元属性均匀，叠加次数均匀及观测系统网格均匀。该方法能削弱足印，使地质现象更清楚，能改善钻探成功率。采集足印的形成主要与采集区域的观测系统参数、地形和地貌有关。如果有均匀叠加次数分布和优化观测系统设计，那么足印的产生就主要与偏移距分布是否均匀有关。非均匀偏移距条带周期性分布会产生采集足印，也使地震属性发生周期变化。通常采用面元分布是否均匀评估3D观测系统的方法是不全面的，因为观测系统的几何分布会影响到地震波振幅和其他属性，不能完全满足精细地层勘探要求。新方法不仅考虑了面元属性的均匀，还保证了

的层的成像。图10a的黑椭圆指示了炮点—检波点方位角非常有规律的区域，方位角有强优先权。优先方位角群为x轴上方75°。

图10b显示x轴上方75°优先方位角群的照明叠合图。图中清楚地指示了对“倾斜蛋”存在的极端优先照明模式。当道数增加时颜色变得较亮。暗的区域指示用该方位角照明将有很少的道照射到该层上。红色椭圆与图10a高亮区域对应。箭头指示与这些界面炮点—检波点方位角有关的网格定向。

地震属性如振幅、频率的正确性,并尽可能使采集足印最小化。研究面元属性和地震属性的关系主要是分析由偏移距和方位角的非均匀性引起的地震振幅和频率的变化规律。面元均匀是指在每一个面元内有均匀的偏移距分布,不同面元有相同的面元属性。在满叠加次数覆盖区域,叠加次数均匀直接影响面元属性,叠加次数不足会引起一些方位角和偏移距损失,并对地震属性产生严重影响。均匀的叠加参数对于各向异性和地层学勘探非常重要。横向滚动距离、炮线间距和接收线间距是可能产生采集足印的主要参数,特别是横向滚动距离影响最大。当炮线间距接近检波线间距时,观测系统类型对面元属性分布有较小地影响;当炮线间距远远大于检波线间距时,对面元属性分布有较大地影响。在3D观测系统设计中,取小间距横向滚动距离,炮线间距尽可能等于检波线间距,可以实现观测系统网格均匀,达到面元属性最佳化,减少由观测系统带来的采集足印。

“三均匀”方法在2004—2005年塔中盆地有很多成功的应用实例,实例证明,数据质量有明显改善。3D观测系统接收线数从6线减少到3线,观测系统类型从正交改变为倾斜,得到的资料显示采集足印越来越小,奥陶系碳酸盐岩油藏预测精度得到提高(图11)。并经过钻井证实有好的油气显示。

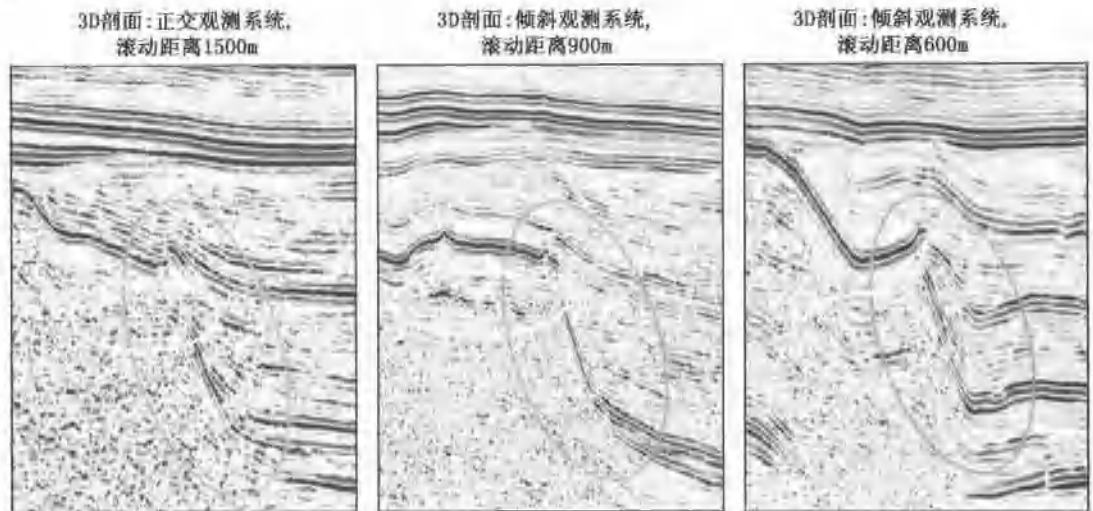


图11 塔中3D资料比较

Gao Guocheng 等针对塔北地面地质条件比较复杂的地区(如河流、沼泽、丛林、粉尘和砂丘等发育地区)提出了高精度地震勘探中保护子波一致性的方法。复杂近地表条件导致野外获得的地震子波发生极大变化,从而造成复杂的一致性子波的处理难度。尽管地震处理在某种程度上减少了近地表条件的影响,但与深部地质体有关的地震属性也被减弱,严重影响地震解释精度。因此,在野外采集中确保在放炮条件不同地区的地震子波一致性,就能为处理和解释提供了一个高分辨率原始野外记录,并且能使地震属性真实地反映地下地质体情况,改善地震解释精度,提高钻井成功率。文中对地震子波不同放炮参数影响进行了分析,得出了高密度硝酸铵炸药和TNT炸药适合于塔北相同放炮介质条件的结论。

Peng Xiao 等介绍了高密度采集技术在中国西部准噶尔盆地的应用。准格尔盆地腹地地形起伏、地表条件恶劣,多为沙漠,靠近地表覆盖着厚沙,起伏的地表能产生严重影响地震资料质量的各种次生噪声。盆地内地下目标多为小断块、低起伏的岩性圈闭,地下构造复

杂。由于地震波被近地表衰减和吸收，主要反射特征常常不明显，炮记录质量很差，有低信噪比和低分辨率，不能满足储层精细描述的要求。高密度采集技术可用于提高原始资料信噪比。在采集阶段，保持一定长度的横测线检波器排列和小组合同距可以得到丰富的高分辨率波场（图 12），小道距会产生较大的通频带，能有效地避免空间假频的出现，小道距数据也能得到像面波和多次折射波这样的线性噪声，这些线性噪声在处理阶段很容易被衰减，进而提高数据成像的质量。

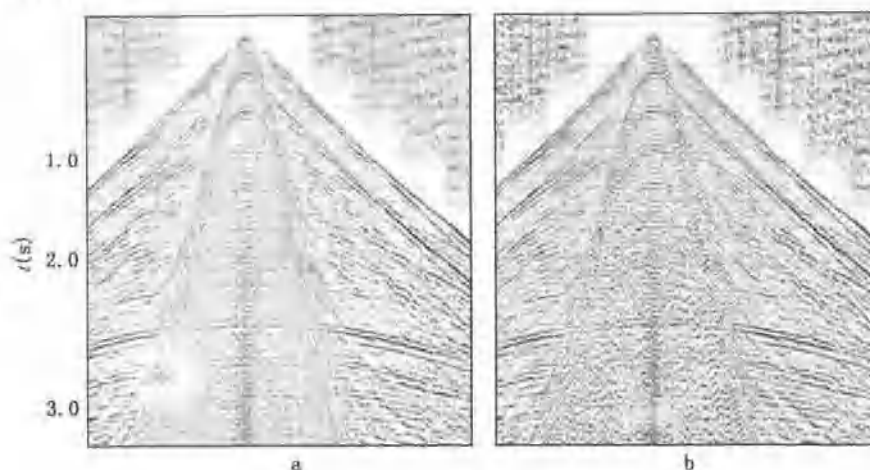


图 12 原始单炮道集

a—5m 组合检波距单炮道集；b—25m 组合检波距单炮道集

该方法不足之处是，检波器组合会产生道干扰。但在低信噪比地区，最重要的是改善原始资料信噪比。在 2D 资料处理中几乎不能消除横向干扰，所以在采集阶段充分压制这种横向干扰非常必要，而野外检波器组合是压制该干扰的好办法。尽管数字检波器具有较大的通频带和较宽的动态范围，能极大地提高勘探精度，但是，到目前为止，还不具备对野外较大检波器间距的横测线排列使用数字检波器的条件，所以模拟检波器仍是低信噪比地区的较好选择。

3) 城市内小 3D 工区快速采集技术

Bowman 等介绍了在城市内地方小、时间紧、干扰和限制多（道路、人流、建筑物等）的情况下开展小 3D 采集的方法。在城市内使用单震源和较小的记录系统，在有些情况下甚至使用无缆单通道记录系统进行采集。初步试验已经表明，小“外科手术”的 3D 勘探目的层已经得到充分地成像，有限的工区大小不是问题。该方法的地震成像能够指示小断层和岩溶，特别适用于钻井有风险地区做地质调查。在城市内许多情况下的测量面积很小、有低叠加次数和不规则观测系统。小工区的测量不能用常规 3D 采集方法。在街道、巷子和不发达地区可以提供最容易的放炮地点，接收器可以放在任何空地。使用单通道无缆采集系统，则只需要布设检波器电缆，但电缆系统在公共场所非常引人注目。如果不依靠电缆检波器网络，那么布设速度会得到极大的提高。大多数小的工区，仅有 1mile^2 或更小，可以利用无缆系统开展测量，在 2~3 天完成采集。当环绕市区时，运用较快的和消音的低影响系统勘探具有优越性。对于任何的地震采集进程震源的选择都很重要。在市区，选择轻的、可动的小振动器，震源点允许被放在城市街道和受限区域内，还可以考虑更小的可控震源。设计振

动器扫描用于控制从振动器输出的振动器地面力,减少对附近建筑物的损坏。这种控制振动器力的输出作为频率的函数,可以形成变力扫描。变力扫描可减轻低频波的百分数,同时允许使用大能量 (Favret 等, 2000)。小的不规则测量数据的处理也是一种挑战。在采集和测量进程中没有规则“模式”,保持好的记录对成像成功非常重要。这些测量需要震源的放置和任一采集过程均保持静止。定位有最高优先权。

3. 高效的和降低成本的采集技术

1) 可控震源采集技术

近年来,可控震源采集技术不断发展,Bagaini 等对 25 年来可控震源技术的发展作了回顾,指出最有希望的可控震源采集方法是同时放炮、级联扫描和滑动扫描,并给出了最恰当的选择标准。滑动扫描中谐波噪声衰减的 2 项技术已经得到开发,详见 Jeffryes (2002)、Meunier 和 Bianchi (2002) 的文章。

可控震源的采集成本主要与每个震源点上振动、数据记录及移动到下一个震源点所需要的时间有关。

可控震源采集技术中最重要的问题是谐波处理。振动器通常由一个变频的控制信号激发,谐波由振动器和地球的非线性产生。当采集资料通过与控制信号或参考值有关的数据进行压缩时,相关的谐波在不同于原来的时间上以虚反射形式产生噪声。

目前已经开发了减轻谐波噪声的几个标准方法。第一种最小化谐波影响的方法是使用升频扫描,即频率随时间增加。升频扫描是指谐波在小于原来反射时间上相关。来自强初至的谐波虚反射将出现在负时间上,并被消除。由于反射振幅在时间上减小,来自较深反射面的虚反射将变得很弱。由于相对较早的时间位置,它们将与较浅的强反射面发生干涉,使信噪比升高。降频扫描是指谐波在大于原来反射时间上相关。在降频扫描时,强谐波将与弱反射层叠加,信噪比将降低。第二种最小化谐波影响的方法是使用变相位。变相位是包含扫描之间相位旋转的多次扫描记录的叠加或求和。相关谐波出现在每次相位旋转有轻微差异的位置,并通过叠加减弱。使用 N 次扫描和 $360^\circ/N$ 的相位旋转将导致谐波的 N 次抑制 (Rietsch, 1981)。例如,如果应用 90° 相位旋转的 4 次扫描 ($0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$), 第 4 次谐波能被抑制。

Krohn 等比较了可以极大地提高可控震源生产力和减少采集成本的 3 种方法。第一种 HFVS™ (高保真可控震源地震) 方法允许同时记录多个振动器点,分离后的记录优于传统的相关数据,但扫描数必须大等于振动器数;第二种级联扫描 (Cascaded Sweeps) 方法,消除了多个扫描之间的监听时间,并部分减轻最后观测的近偏移距道的谐波噪声 (harmonic noise);第三种是连续 HFVS 的联合方法,允许用单长段扫描进行震源分离,谐波噪声受到扫描段末端附近次数的限制。这 3 种方法都得到了较好的数据。

用 C-HFVS 分离会有一些来自下一扫描段的谐波干扰出现在记录底部 (图 13), 如果段长大于目的层双层旅行时,资料就可以不受谐波干扰的影响。该干扰可以用降频扫描方法消除,但是还会有剩余谐波,它出现在记录的强同相轴之后。3 种方法的谐波噪声污染在未偏移的叠加中都可以看到 (图 13)。

Krohn 等通过对同时记录震源点和消除多次扫描之间监听时间方法的比较,提出用较少成本或者增加空间采样率来改善数据质量的方法。该方法的关键是提高目的层信噪比的质量、减弱谐波噪声。

Huang Xianguo 等介绍了在塔河油田 3D 地震开发中将可控震源扫描分离成不同振动点

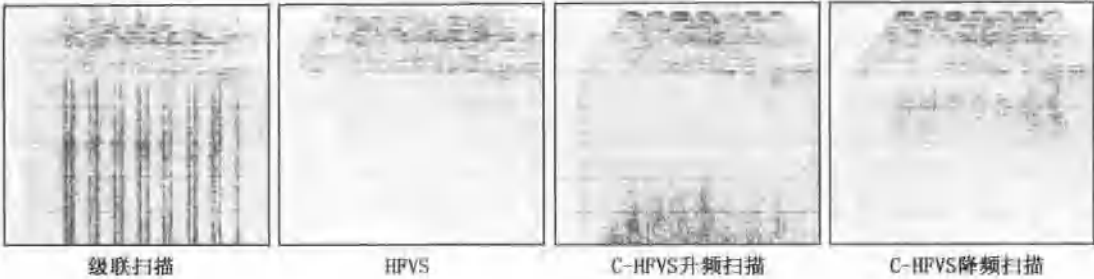


图 13 3 种方法的未偏移叠加剖面

级联扫描叠加剖面仅在锯齿形（Z 字形）采集模式的非常近偏移距的 CMP 点上可以观察到从 2.5s 到底部记录有噪声，并随着后来噪声的减弱，能得到极好的偏移成像；HFVS 剖面没有观察到谐波污染；C-HFVS 升频扫描剖面，谐波低于 5，因为最深目的层在 2.5s，有足够的没被干扰的数据进行偏移；C-HFVS 降频扫描剖面，谐波在近偏移距道上从 2.5~4s 的 CMP 叠加最突出

（SVSDV）扫描的技术。靶区深层构造复杂，断裂发育、储量横向变化大、干扰背景严重，原有的 3D 地震资料不能满足储层预测的需要。应用小面元、高叠加次数的 SVSDV 技术进行 3D 地震采集，获得了高质量的数据，成本则增加很少。

SDSDV 技术的基本概念是将 1 个点的多次扫描分配到几个点上，使每一点上都有 1 到 2 次振动扫描，这就使炮点数成倍增加。如在一个炮点上 6 个振动器的 8 次振动扫描被分配到 4 个点上，则相当于在每一个炮点上执行了 6 个振动器的 2 次振动扫描。用这种方式，炮点密度增加 4 倍，面元减小，叠加次数增加。

应用 SVSDV 技术得到的资料品质有较大改善（图 14）。与以前 3D 地震资料相比，新剖面有更丰富的同相轴、更清楚的层位和较高的信噪比。主频从 25Hz 增加到 45~50Hz。

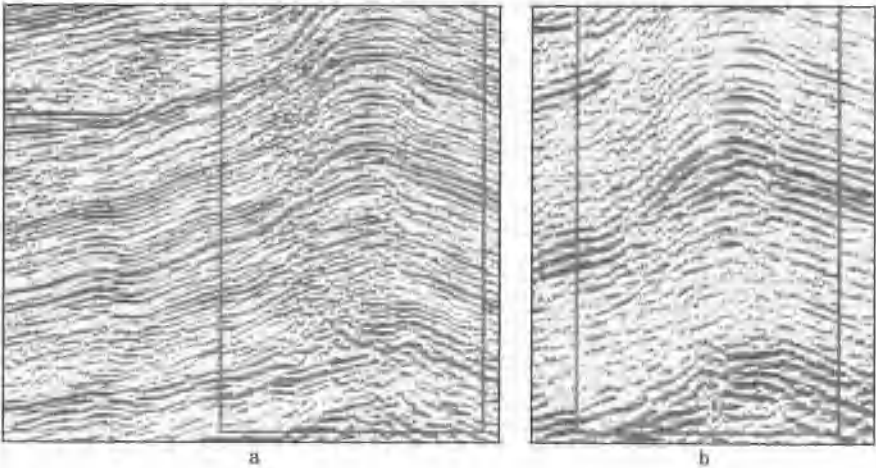


图 14 SVSDV 技术采集剖面（a）和原来的 3D 常规地震采集剖面（b）的比较

Zhou Ruyi 等介绍了可控震源高效交替扫描技术，该技术与传统交替扫描操作方式相比，生产效率可提高 30%；与只用一队振动器的操作方法相比，效率可提高 67%；能保证采集质量，有较大的适用性。它是在操作过程中使用有开关功能的 2 组振动器，当一组振动器工作时，另一组振动器移到下一个炮点。用这一操作模式，2 个连续扫描之间的时间间隔

能大大缩短。采集观测系统设计中每次同时放炮数及每一组振动器工作区块的分配形式会影响实现效率和测量结果。

2) 单传感器采集技术

在地震数据采集集中,为了提高空间初始采样间隔的运算效率,首要的问题是如何将时间采样原理扩展到空间域。在空间域采样会受到有效传感器数量、生产能力、记录仪器动态范围以及成本的限制。单一传感器地震采集的优点是可以克服与不恰当采样有关的假频问题。

Rached 等通过在科威特海岸进行单一传感器 3D 地震勘探的实例说明,单传感器采集和处理相结合可以改善资料品质,消除噪声,提高资料信噪比和分辨率。

到达地面的地震波场是受地下传播过程中波场畸变影响的最后产物。理想的波场应该是在时间域和空间域上炮点、检波点、偏移距和 CDP 均被恰当采样。

在科威特进行的传统 3D 陆地地震采集的炮点和检波点组合距为 50m,因而地面空间采样率等于该长度。常用的野外组合直接模拟叠加的信号采集方式使信号在保存和去假频滤波上很不理想。它们的响应由于内部干扰的存在而失真,地震数据质量也受到影响。残余地滚波产生假频,如果该假频在处理中不被有效除去,组合内部干扰就会引起不同组合器件之间在振幅、相位和计时上的差异,从而引起静校正、耦合、振幅和相位变化、近地表不均匀性、检波器灵敏度、极性反转、不规则空间采样和位置错误等方面的差异。未校正的组合内干扰还能引入伪随机噪声,导致信号损失,增加相干噪声。

单传感器地震数据采集可以减少上述干扰,解决与不充分空间采样有关的假频问题,从而改善地震资料质量。Baeten 等早在 2000 年就提出了与信号和噪声特性有关的空间充分采样概念,建议考虑噪声的时间位置和最大频率限度,使传感器充分空间采样间隔略大于地滚波长的一半。资料处理也很重要,采用最优的 DGF (digital group forming) 处理,在保留深层信号完好的同时进行适当的空间去假频滤波、组合内部干扰校正和有效的相干噪声衰减。最终的处理剖面显示带宽增加、信噪比和空间分辨率提高 (图 15),达到了预期的目的。

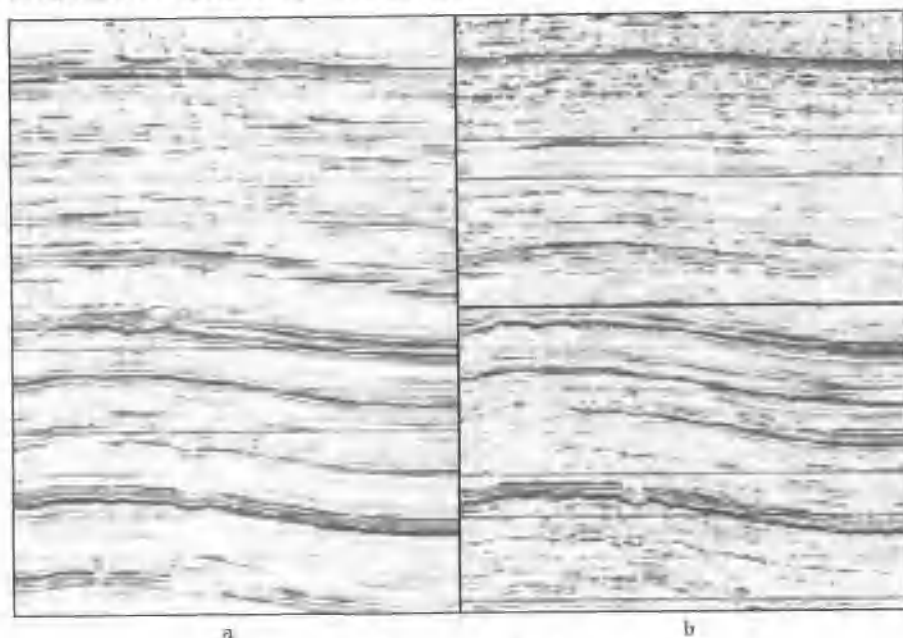


图 15 常规采集 (a) 和单传感器采集 (b)

三、采集中的减噪技术

1. 排列减噪

在地震油藏监测中常常记录到其他地震操作产生的干扰噪声。该噪声可能是由数据采集中分时操作的时延引起的,也可能是由资料处理期间地震干扰(SI)的衰减而派生的。Kommedal等介绍了Valhall地区LoFS项目从4D地震数据中衰减地震干扰的减法实例。

覆盖Valhall野外45km²的LoFS排列布设于2003年(见Kommedal等,2004)。WALHALL西边20~40km处有运行的海洋地震拖缆船。在2003年秋天第一次测量时就遭遇SI,在后来该处的5次勘探中SI的量有变化,每次测量的SI测线的百分数分别是44%,10%,23%,0,12%,25%。第四次勘探采集时间的10%用分时操作,没有SI产生。

在我们记录的数据中SI信号的传播贯穿整个排列,而其他类型的噪声只存在于震源1~200ft半径内。Valhall区域水深大约70~80m,这就意味着水层的作用就像波导管,能产生一个弥散、鸣震的SI信号,该信号强度和长度与震源到LoFS排列的距离有关。

SI噪声衰减的方法有很多,Manning等(2006)介绍了其中的一些方法。本次年会Kommedal等提出的SI噪声衰减减法方法的优点是,LoFS工区与妨碍工区之间的炮间距和记录长度可以不同。这就便于从记录的后来部分得到SI信号,再从最初获得的记录中减去SI信号。LOFS采集炮间距大于20s,用于记录的长度为20s。将最初9s记录用于处理油藏监控。干扰的海洋地震拖缆采集炮间距为10s。在记录的LOFS道的最初9s中有SI信号SI1,在20s记录道的后面部分将有另一个SI信号SI2。SI2能被用于做前述的SI1信号的模型并通过减法消除。2种信号的时间差由自相关决定。为检测SI2,对记录道应用增益;振幅门限值能被用来定义包含该信号的窗口范围。包含SI2信号的窗口随后能够通过估算时间差位移并应用最小二乘法减去,因此消除了SI1。门限值可用于整个工区。该方法工作的前提是炮与炮之间的干扰信号必须是可重复的,炮间距必须小于从干扰震源到检波器排列的距离。图16显示了实际应用效果。

图16a为LOFS电缆中1炮的记录。图中存在的一些其他类型的噪声(如钻井平台噪声)也会被SI衰减。包含SI2的理想窗口应该与主要同相轴分开,并且在放炮大约9s后开始。一些其他噪声类型,如图17a所示的钻井平台噪声,也将在SI2窗口捕捉到。

图16b为常用SI衰减方法的炮记录。首先拾取SI信号窗口,然后拉平信号,消除K滤波。为了节省处理时间,仅用最简单的滤波,即消除 $K = \pm 0.05$ 外所有能量。简单的K滤波方法意味着一些SI残余物、边缘效应和滤波假象仍能被看见(图16d),图16d显示被滤掉了什么。由于SI信号的扩散传播,应用这种滤波去避开弱能量特别难。减法方法的结果见图16c,图左侧的SI噪声很少,去噪效果非常明显。该炮与原来炮的差异见图16e。

海洋地震拖缆排列流动和拖曳引起的噪声是由噪声产生机制、噪声沿排列的传播和传感器噪声场的耦合决定的。DeMetz介绍了改善海洋地震拖缆排列内振动噪声的方法,说明如果新排列设计考虑了振动噪声产生机制和它们对组合检波器的传递函数,并对控制振动产生、传输和在系统内部耦合机制多加注意,确保水中检波器与排列强力构件、软管、耦合和邻近的振动散射分量的机械隔离,海洋地震拖缆排列的自身噪声的性能就可以被极大地改进。

海洋地震拖缆自身噪声的通常标准是2微巴RMS,相当于悬挂在无海浪和空载船的海