

油气地球物理技术 新进展

—— 第74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
Petroleum Industry Press

油气地球物理技术新进展

——第 74 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 74 届年会论文概要。内容包括地震采集技术、地震处理技术、地震解释技术、各向异性、AVO、多分量技术、井中地球物理、岩石物理、时移地震等 18 个专题,基本上反映了近年来的物探技术,尤其是地震勘探技术的最新发展。

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 74 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,2006.1

ISBN 7-5021-5386-1

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 (2005) 第 159153 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.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:14.5

字数:370 千字 印数:1—1000 册

定价:58.00 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 74 届 SEG 年会论文概要》
编 委 会

主 任：张永刚

副主任：李剑峰

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

目 录

地震采集技术	郭 建 (1)
各向异性研究	朱成宏 (12)
AVO 技术	薛 冈 郭全仕 (28)
井中地球物理技术	张松扬 黄国骞 刘百红 (40)
地震解释技术	张秀容 张卫华 (55)
非地震物探技术	李智宏 (63)
多分量地震处理和解释技术	黄中玉 余 波 (72)
多次波处理	朱海龙 顾石庆 邵 瑛 (85)
偏移成像技术	朱海波 方伍宝 (96)
近地表和环境地球物理研究	朱文杰 (109)
岩石物理研究	马中高 (122)
地震反演与地震理论	孙晶梅 (135)
波场数值模拟技术	余德平 李 佩 (148)
地震处理技术	郝守玲 胡中平 (158)
时移地震与无源地震技术	杨勤勇 陈 伟 任 鹏 (173)
地震层析成像	陈国金 (187)
层速度计算及偏移速度分析方法	孙开峰 潘宏勋 解吉高 (197)
VSP 技术	陈 林 (208)

地震采集技术

郭 建

一、引言

数字检波器和点震源/点检波器陆地连续采集技术是本次年会的重点,不但在采集技术主题中有大量介绍,而且在其他主题中也有不少论文涉及。地震波激发技术主要介绍了加金炸药和一种新的可控重锤震源。采集设计介绍了一种以最佳方式接收信号和尽可能压制噪声为目标的三维观测系统方法。照明技术介绍了用单程波动方程和全波波动方程分析照明的差别。最后介绍了在复杂地表和复杂地下构造情况下山地地震中如何压制噪声、提高信噪比的方法。

二、数字检波器和点震源/点检波器陆地连续采集技术

MEMS 是微机电系统 (Micro Electro Mechanical System) 的英文缩写,是一种能进行电子感应或反应的超小型化机械器件。基于 MEMS 的数字检波器和点震源/点检波器陆地连续采集技术在本次年会有大量介绍。

Mougenot 详细比较了 MEMS 数字检波器和常规检波器的差别:(1) 数字检波器是加速度传感器,工作区在谐振频率之下,而常规检波器是速度传感器,工作区在谐振频率之上,这导致了两种检波器的性能有非常大的差别;(2) MEMS 检波器是一个小硅片,只有 1cm 长,1g 重,而常规检波器有 3cm 长,重达 75g,在 MEMS 芯片中,惯性质量和框架的残留位移只有几个纳米,而常规检波器的移动可达 2mm;(3) MEMS 检波器有比常规检波器好得多的振幅和频率响应,在振幅畸变不超过 $\pm 1\%$ 、时间畸变不超过 $\pm 20\mu\text{s}$ 时其频率响应范围是 0~800Hz;(4) MEMS 检波器的动态范围 (大于 90dB) 优于常规检波器 (小于 70dB),但常规检波器可用组合方式来改善动态范围;(5) 虽然 MEMS 硅片输出的也是模拟信号,但在检波器内就进行了数字化,可以认为,所有的信号采用数字方式传送,而常规检波器还有部分模拟信号的传送,容易产生道间串音和工业干扰。

MEMS 检波器的谐振频率达 1kHz,远远高于地震波频带,这使得 MEMS 传感器可无衰减地记录 10Hz 以下的频率成分,包括与重力加速度 (g) 有关的直流信号。通过分析传感器检测到的静态加速度 g 的大小,判断其埋放倾斜度,可作为方向余弦与该道的地震数据存储在一起,并能在数据处理中心恢复其真正的垂直方向的矢量值,这样有利于提高埋放检波器的野外施工效率。因为在常速情况下,随着频率的增加,加速度也增加,所以 MEMS 加速度传感器也非常适用于高频测量,在高于 50Hz 时,MEMS 的背景噪声低于常规检波器和记录仪组合的背景噪声。这种宽带特征可有效地提高地震数据的垂直分辨率 (用信号的最大频率和最小频率之比来表达, $f_{\max}/f_{\min} = 2n$, n 是倍频数)。MEMS 加速度传感器特别适用于记录低频反射信号,如来自主要岩石地层边界的反射,在这个频率范围内,信

号的接收主要受震源的限制，因为无法激发具有一定信噪比的低频信号。记录高频的信号受波传播过程中衰减的限制，但将 MEMS 检波器埋于井中时，可检测油气生产时油藏中流体流动的微震事件（频率约在 500Hz 左右）。

BP Upstream Technology 公司的 Leon Thomsen 给三分量检波器的矢量保真度做了如下定义：如果一个单位脉冲平行作用于某一分量产生的响应与同样脉冲平行作用于其他分量产生的响应完全一致，并且在其他未作用分量上没有任何响应。Peter W. Maxwell 等人提出了矢量波场采集的概念，并指出要得到准确的矢量数据，采用的接收器必须符合：高标准精度、正交三分量、最小轴间串音和足够大的带宽。而基于 MEMS 的检波器正好符合这些条件，非常适合作为矢量采集的检波器。矢量采集能获得多分量的数据，利用全波场记录和矢量滤波可以压制 P 波数据的噪声和各种干扰。图 1 比较了炮检方位角为 45° 时 MEMS 加速度传感器和常规检波器接收的共检波点道集水平分量数据。显然，MEMS 检波器数据的两个水平分量非常相似，具有良好的矢量保真性。图 2 是利用矢量滤波器对 P 波数据进行压制面波的结果，面波得到了非常好的消除。

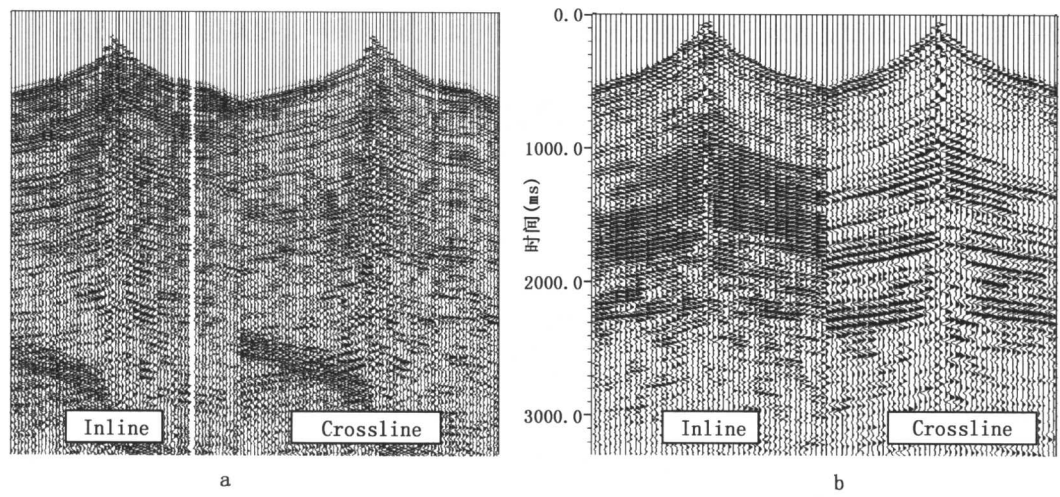


图 1 MEMS 加速度传感器（矢量保真性好）(a) 和常规检波器（矢量保真性差）(b)

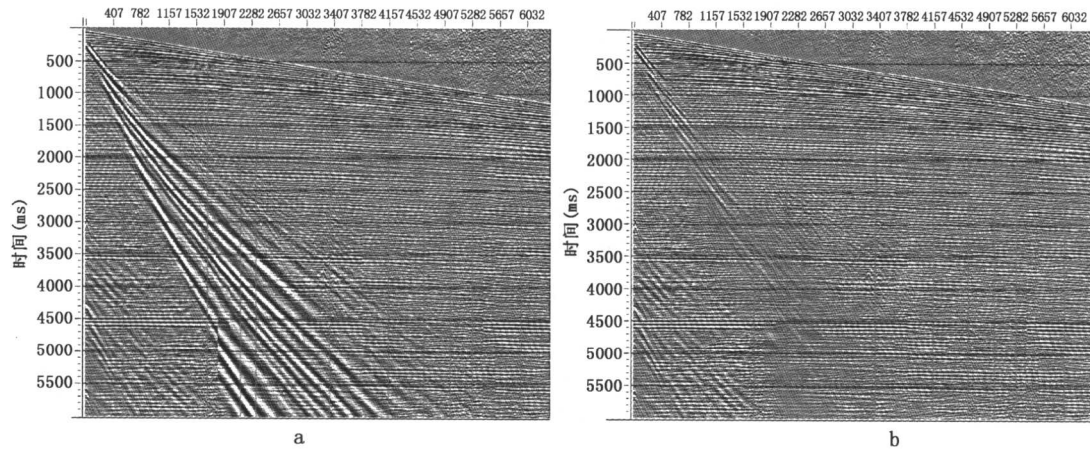


图 2 用矢量滤波方法压制面波
a—原始数据；b—压制后的结果

野外检波器组合由于能有效地压制干扰波和提高信噪声比而在地震勘探界已经有长期和广泛的应用，是一项非常成熟的技术，但检波器组合也带来了高频信号损失、分辨率下降等缺陷。Burch 等人分析了检波器组合接收和单检波器接收的优缺点（见表 1 和表 2），认为随着对勘探分辨率要求的进一步提高，常规组合技术已经成为制约提高分辨率的瓶颈，应用单检波器接收是下一步提高分辨率的关键技术措施。虽然单检波器没有检波器组合压制随机噪声和面波的作用，但可利用单检波器道距较小的优点在处理中消除面波。该文分别用自适应滤波技术（Adaptive filtering）和面波消除技术（Surface Wave Noise Attenuation）来压制存在空间假频的面波。其中，自适应滤波技术在多分量数据上应用的结果见图 3。

表 1 检波器组合接收的优缺点

组合的优点	组合的缺点
可以调节组合形式以压制特定波长的波	往往难以设计合适的组合形式
可防止短波长的空间假频	存在不合适的陷波响应和方位角响应
多个检波器的耦合和倾斜响应具有平均效应	表现为一个低通滤波器
可以衰减随机噪声	组内静校正影响高频成分
信噪比提高 N 倍	埋置和收放困难，工效低

表 2 单检波器接收的优缺点

单检波器接收的优点	单检波器接收的缺点
在所有方位有同样的响应	需要高矢量保真性的接收器
适用于所有的空间采样间隔甚至是不规则采样间隔	不利于耦合
适用于多种波长的波	没有改善信噪比的特性
不会对数据造成任何损害	缺少业界认可
快速埋置和收放，工效高	没有压制特定波长的能力

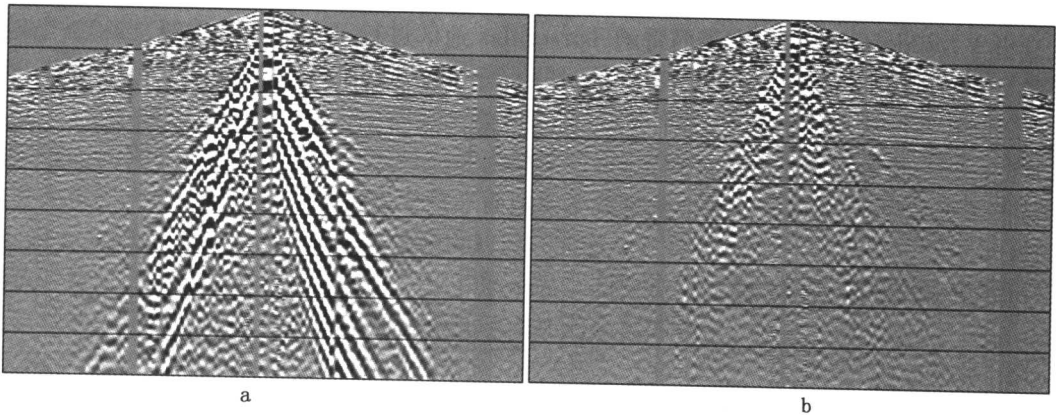


图 3 存在空间假频的原始数据 (a) 和自适应滤波后的结果 (b)

John Quigley 提出了一种 3D 点震源/点检波器连续波场采集和处理技术，引入了宏排列 (macro-geometry) 和微排列 (micro-geometry) 的概念。对于地震采集来说，宏排列

定义为记录排列模板，及其在空间上的重复形式，以便确定地下 CMP 面元网格属性、叠加次数、偏移距和方位分布。在常规地震采集中，宏排列是固定的，每道的位置在检波器组合的中心点。而对于点震源/点检波器的连续波场采集技术来说，在震源点和检波器布置确定后，宏排列可认为是一个处理参数，是可以变化的，比如说可以输出 25m 而不是 50m 的空间采样道集。微排列要解决的是在由宏排列定义的空间采样位置如何进行空间去假频、噪声压制和信号保真。在常规地震采集中，微排列是震源组合和检波器组合；在点震源/点检波器的连续波场采集中，微排列通过数字组合处理技术（Digital Group Forming）来体现。图 4 是进行数字组合处理压制随机噪声前后的结果。

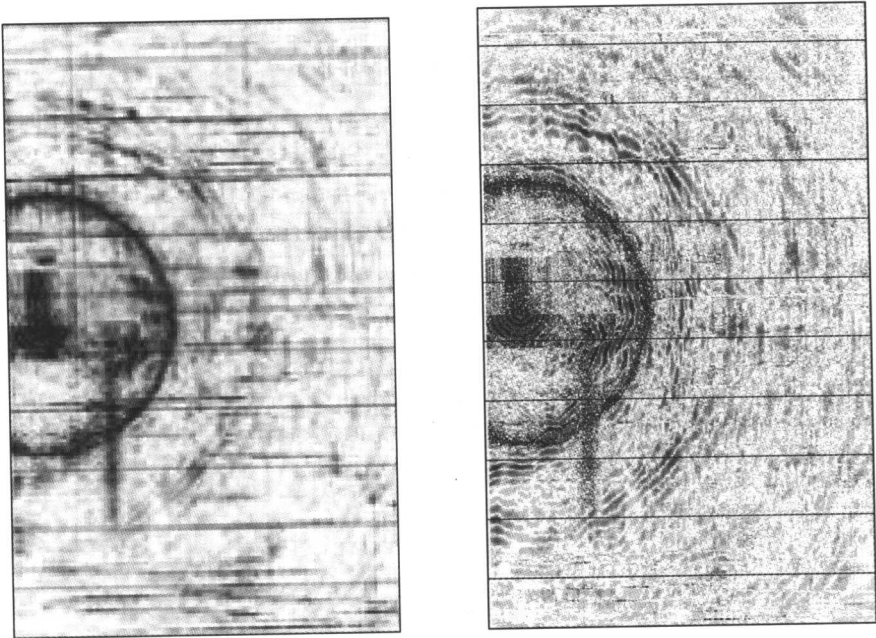


图 4 数值组合处理压制随机噪声前后的比较

Nick Moldoveanu 等人在墨西哥的 Torrecillas 地区进行了实际的点震源/点检波器陆地采集工作，采用 5m 间距，处理流程包括：（1）野外静校正和折射静校正；（2）共炮点道集噪声压制和共检波点道集噪声压制；（3）地表一致性反褶积；（4）地表一致性标定；（5）速度分析；（6）地表一致性剩余静校正；（7）叠加。剖面见图 5a。图 5b 为道距 40m 的常规地震剖面（从点震源/点检波器陆地采集数据模拟而来）。

三、地震波激发技术

1. 加金炸药

Quigley 认为要提高地震数据的质量（主要考虑因素为信噪比、频率范围和子波稳定性），陆地地震勘探的震源炸药一般要满足下列要求：（1）爆炸速度高；（2）气体产生量低；（3）与炮井有良好的耦合；（4）总能量高；（5）能量释放时间短；（6）能量向下传播。他介绍了一种新的地震专用炸药 dBX，也称为加金炸药。dBX 是一种添加了镁、硼、钙等易氧化金属的混合爆炸物，其作用机理为：当爆炸反应开始时，起爆冲击波传向炸药，压缩内部

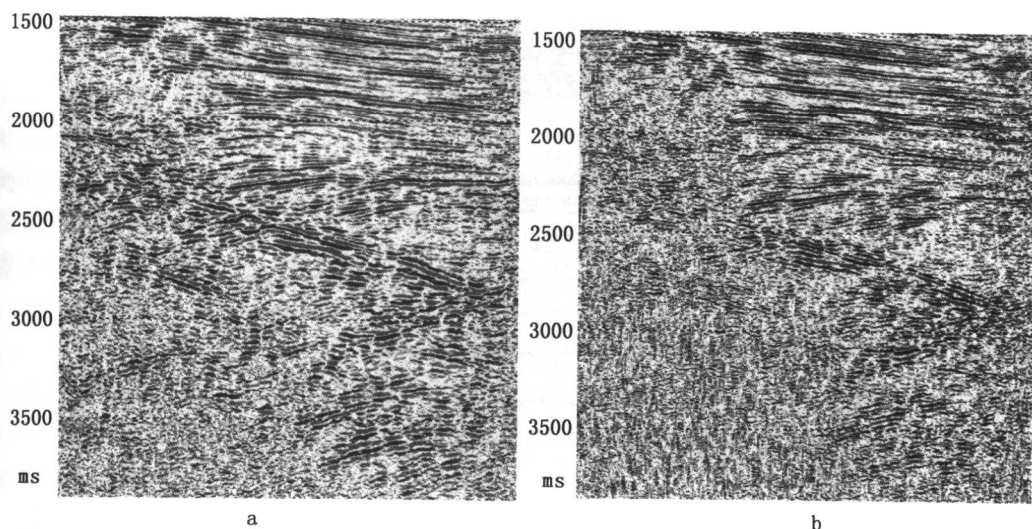


图5 点震源/点检波器陆地采集数据 (a) 与常规地震采集数据的比较 (b)
(从点震源/点检波器陆地采集数据模拟得到)

空间产生强大的内部压力。这种内部压力提供了启动燃料和氧化剂产生化学燃烧反应的热量，添加的金属作为敏感剂，增加了化学反应发生的部位。一旦化学反应启动，金属氧化物增加了爆炸混合物的温度，从而加快了反应速度和增强爆炸能量。这种金属炸药的输出能量明显高于常规炸药，而且由于燃料或氧化剂反应产生的氧气在金属转化成金属氧化物的化学反应中被完全利用，从而减少了反应中气体的产生。

在加州 Los Banos 附近的湖相均匀粘土层中分别用常规炸药和地震专用炸药进行了地震数据的采集，在背景噪声相同的情况下，地震专用炸药采集的地震记录在 40~60Hz 的范围内信号振幅大约提高 12dB。而且无论是信号还是面波噪声，地震专用炸药激发的相邻炮均有更好的一致性。较好的相邻炮一致性有利于提高数据处理的质量，对于四维地震方法来说更有潜力。

2. 可控重锤震源

重锤震源已有几十年的历史，但由于精度低、重复性差和难以控制等问题而难于投入实际应用。Polaris Explorer 公司研制的新型可控重锤震源 (Explorer 860) 可产生非常大的地表撞击，具有很高的重复性，并且可根据需要控制撞击力度。由于系统的定时非常正确，多台震源可同时进行组合以提高撞击力度。每台震源配有 GPS，可实时确定激发点位置。Explorer 860 的优点有：(1) 环保，对环境的破坏非常小；(2) 安全，没有炸药的运输和使用的危险性；(3) 成本低，无须打井；(4) 效率高。图 6 是可控重锤震源和炸药采集数据的对比，显然，用可控重锤震源采集的数据优于用炸药采集的数据。

四、采集设计

设计 3D 观测系统的目标有 2 个：以最佳方式接收信号和尽可能压制噪声。Seismic Image Software 公司的 Mike Galbraith 认为，只要按下列方法，设计的观测系统可以更好地满足上述 2 个目标。

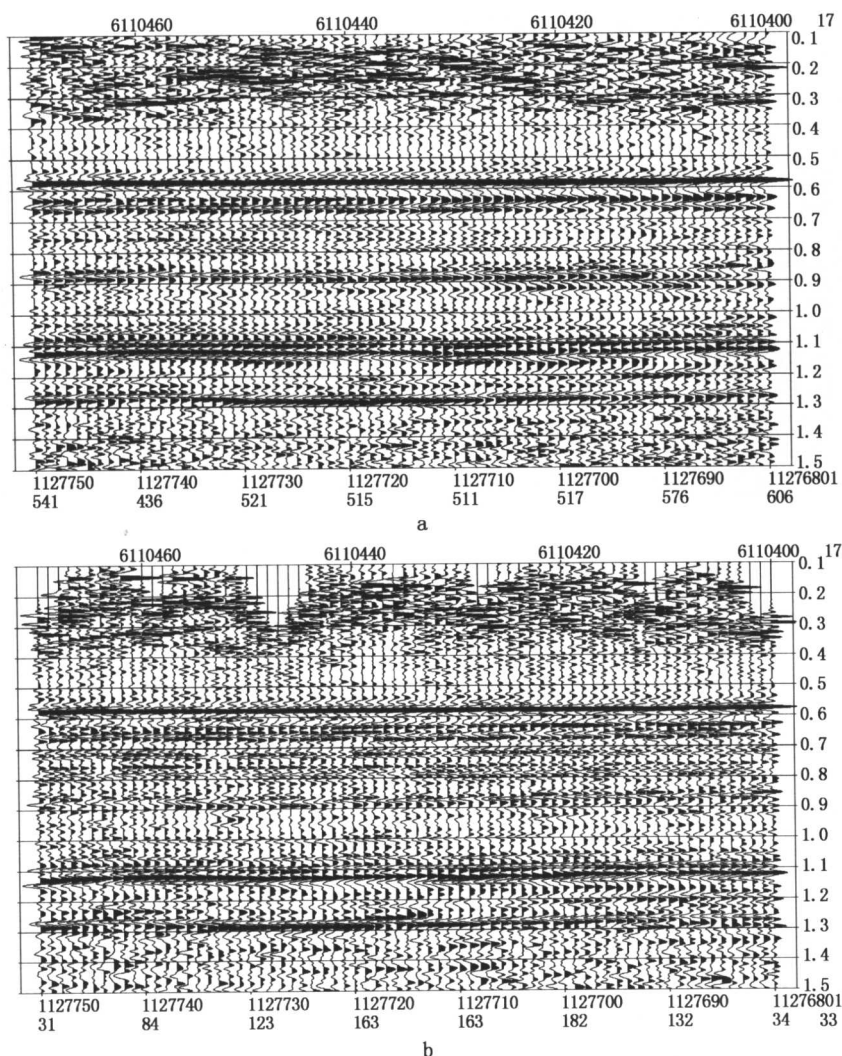


图6 可控重锤震源 (a) 和炸药 (b) 采集数据的对比

(1) 利用从井资料求得的合成记录确定分辨目标层厚度所需的最高频率 $f_{\max}$ 。

(2) 估算从地表到目的层的平均非弹性衰减 Q (品质因子), 最好利用谱比法从零偏VSP下行子波中求取。

(3) 从估算的 Q 值可以得到有效频率与时间或深度的关系图 (如图7), 它综合考虑了球面扩散、透射和反射损失。一旦高频信号的振幅低于近地表振幅达 110dB 或更多, 我们则认为信号不能被接收到, 因为这时数字化以后只有 5 位或更少。像反褶积这类处理会使“数字化不足”的信号严重畸变。

(4) 用岩石物性信息 (如声阻抗与孔隙度交绘图) 建立探测能力的准则, 例如: 孔隙度 5% 的变化表现在地震记录的声阻抗变化是 8%, 假如地震记录的噪声高于这个水平, 我们就不能检测到这个变化, 因此我们可以建立识别目的层的最低信噪比。

(5) 从上述第 (3) 条得到的最高频率可能小于由第 (1) 条得到的最高频率 $f_{\max}$, 这时, 应采用这个较低的新 $f_{\max}$, 因为这时地层的作用使我们接收不到目的层的更高频信号。

接下来就可以估算需要的震源强度了。在海上情况下, 计算比较简单, 随机噪声是已知的 (微巴级), 震源强度也可用类似单位进行计量。所以, 一旦探测能力的衰减量已知, 我们就可以计算需要的震源强度以使信号强度优于随机噪声的强度。在陆上, 情况比较复杂, 通常采用野外试验来确定震源强度。

(6) 估算原始炮记录的预期信噪比 (S/N)。可用典型的测试炮记录直接进行估算, 也可用下列方法进行估算。

$$\text{因为 叠加次数 } Fold = (S/N_{\text{叠加}} / S/N_{\text{原始}})^2$$

$$\text{所以 } S/N_{\text{原始}} = S/N_{\text{叠加}} / Fold^{0.5}$$

(7) 从最低信噪比 [上面第 (4) 条] 和估算的原始数据信噪比 [上面第 (6) 条] 可确定观测系统的叠加次数。

(8) 计算需要的面元尺寸。

用上述的 $f_{\max}$, 可估算水平和垂直分辨率, 即

$$R_x = \frac{v_{\text{rms}} \times 0.715}{2 \times f_{\max} \times \sin \theta_{\max} \times \cos i}$$

式中, $\theta_{\max}$ 和 i 的定义见图 8, 在最佳情况下, 分辨率约等于最高频率的四分之一波长。面元尺寸 (Δx)、倾角 ($\theta_{\max}$)、速度 (v_{rms}) 与最高无假频频率 ($f_{\max}$) 之间的关系为

$$\Delta x = v_{\text{rms}} / (4 \times f_{\max} \times \sin \theta_{\max})$$

最高频率 ($f_{\max}$) 的选取 (决定了面元的选取) 是极为关键的, 必须注意实效, 换句话说, 选取的最高频率必须可以有效地从地面传播到目的层并返回到地面。

(9) 确定最小和最大偏移距 ($x_{\min}$ 和 $x_{\max}$)。最小和最大偏移距与处理中的切除函数密切相关, 最小偏移距对应于最浅的目的层, 最大偏移距对应于最深的目的层。最小和最大偏移

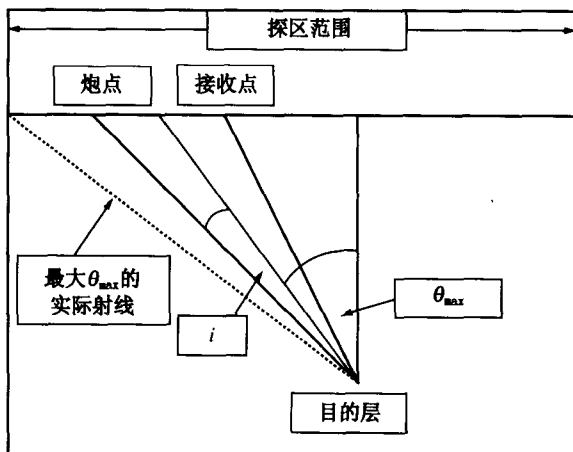


图 8 $\theta_{\max}$ 和 i 的定义图

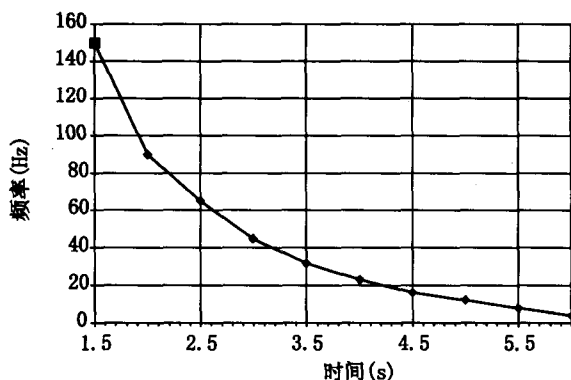


图 7 有效频率与时间或深度的关系图 (假设 $Q=200$)

距还被用于确定炮线和检波线间距。

(10) 偏移孔径。每一炮的排列要有足够的空间分布以接收记录区 (偏移孔径) 所有目标体的发射波。在复杂地区, 需要开展 3D 模拟以确定偏移孔径。

(11) 确定排列参数。上述第 (7)、(8)、(9) 条已经确定了面元尺寸、叠加次数和最大偏移距, 根据这些参数, 我们可以确定若干个符合上述条件的检波线和炮线的排列方式。

(12) 通过对不同的噪声 (如线性噪声和多次波等) 的响应测试, 分析这

些排列方式过障碍物的能力，具有最佳消除噪声能力和最佳成像特征的排列方式被选中。

(13) 这时我们可以考虑采集的保障工作和成本问题，并根据预算对排列方式进行适当调整，但需遵循上面这些原则。

(14) 最后，必须进行精心的野外试验来确定接收和激发参数。

五、照明技术

加州大学 Santa Cruz 分校的 Mingqiu Luo 比较了用单程波动方程和全波波动方程分析照明的差别。图 9 给出了著名的盐丘模型（分别用单程波动方程和全波波动方程计算）的直接照明图（Directional Illumination Map）的比较，从图中可看出其空间分布和角度分布基本类似，但在盐丘区有一定差别，这可能是由于在用单程波动方程方法计算中在通过盐体时忽略了散射的损失。

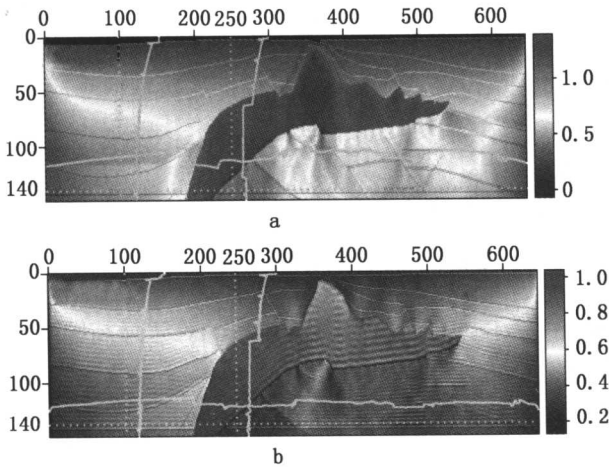


图 9 用单程波动方程 (a) 和全波波动方程 (b) 计算的直接照明结果比较

六、山地地震

Huang Xianguo 等人介绍了中国西部复杂山前带的三维地震勘探。由于受复杂地表及地下条件的影响，该区三维地震采集主要存在以下难点：(1) YKB 构造深度大（埋深大于 6000m）、构造幅度低，主要目的层为薄互层，波阻抗差小，反射能量弱，要求地震资料在提高信噪比的同时保护好分辨率；(2) 工区中部地表被大面积的巨厚第四系砾石覆盖，规则、散射等各种干扰发育，地震波激发能量衰减严重，尤其是高频成分衰减快，降低了原始资料的信噪比和分辨率，同时也影响了速度的精度。

根据该区的特点及难点，在三维地震采集过程中，采取了如下针对性的技术措施。

(1) 应用基于模型的目标设计，优化观测系统参数。

针对 YKB 构造对资料采集、处理速度分析精度及静校正精度要求高的特点，在观测系统设计中，进行了基于地球物理模型的三维观测系统目标论证分析，选用了 8L24S280T 非正式观测系统，使三维面元的炮检距和方位角分布更加均匀，以保证观测系统在横向上具

有较高的耦合度，有利于速度分析和静校正问题的解决。

(2) 采用“震井”联合激发，提高资料信噪比。

单一的激发方式难以满足该区不同地表与地质条件的要求。在该区施工中，针对中部巨厚砾石区地震波能量及频率衰减的问题，采用了多台套（8 台）大吨位可控震源（30t）联合激发方式，有效地解决了构造主体部位的激发难题。在北部山体与南部亚肯山、农田与河床区，根据表层调查结果，建立数据库，逐点设计激发因素，结合微测井的动力学分析，科学选择激发岩性，确保每一炮的资料品质，采用了单深井、深井组合的激发方式。

(3) 通过科学变观设计，解决复杂区的施工难题。

针对北部断崖采用“以炮补道”的变观方式，保证了资料完整和品质，针对南部的强干扰发育的障碍区，采用加炮、加道提高覆盖次数的“高覆盖噪声压制”变观设计思路，经过严密论证，优化方案，保证了干扰区资料品质。

(4) 解剖冲积扇，精细做好野外静校正工作。

精细表层调查，详细解剖冲积扇，建立高精度的表层结构数据库，并充分利用大炮初至信息，利用多信息综合建模的静校正方法，提高低幅度构造成像精度。

图 10 显示了经过上述针对性的技术措施后地震剖面的显著改善。

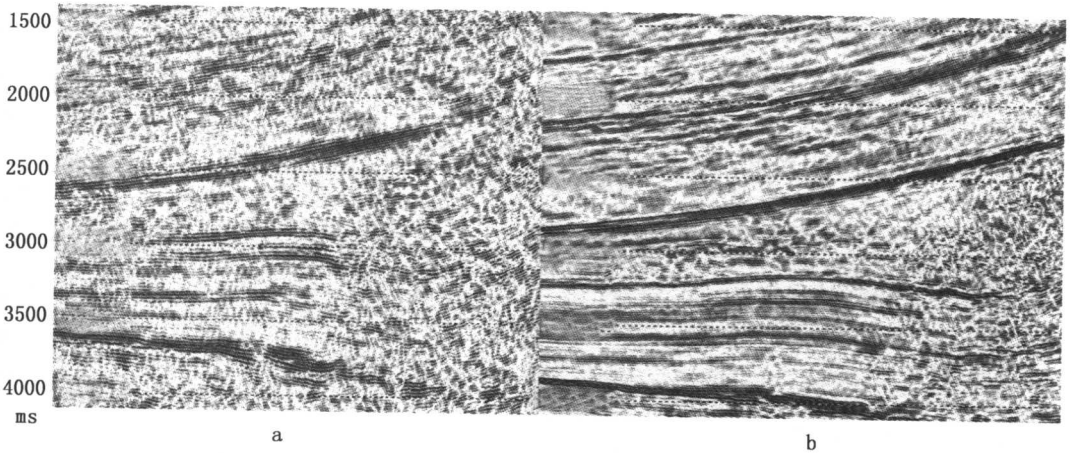


图 10 针对性的技术措施前 (a) 后 (b) 地震剖面的对比

在复杂地表和复杂地下构造情况下的山地 2D 地震勘探中，我们面临的关键问题是强干扰噪声，而目前的处理方法对压制垂直于测线方向的干扰波几乎没有可行的方法，Liu Xin-wen 等人采用了高密度采集，结合应用采集和处理技术来解决压制干扰波的问题。其具体方法如下：用高密度采集方法增加有效叠加次数，而采用垂直于测线方向加长组合基距压制侧面干扰波，见图 11，在测线方向没有进行组合，在数据处理时再进行道组合或 CMP 组合，应用效果见图 12。

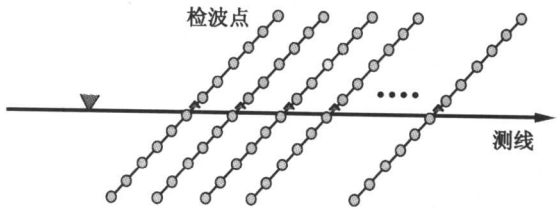


图 11 检波器埋置示意图

垂直测线方向采用加长组合基距压制侧面干扰波，在测线方向没有进行组合

Daniele Colombo 等人用计算机模拟方法探讨了长偏移距地震记录对复杂覆

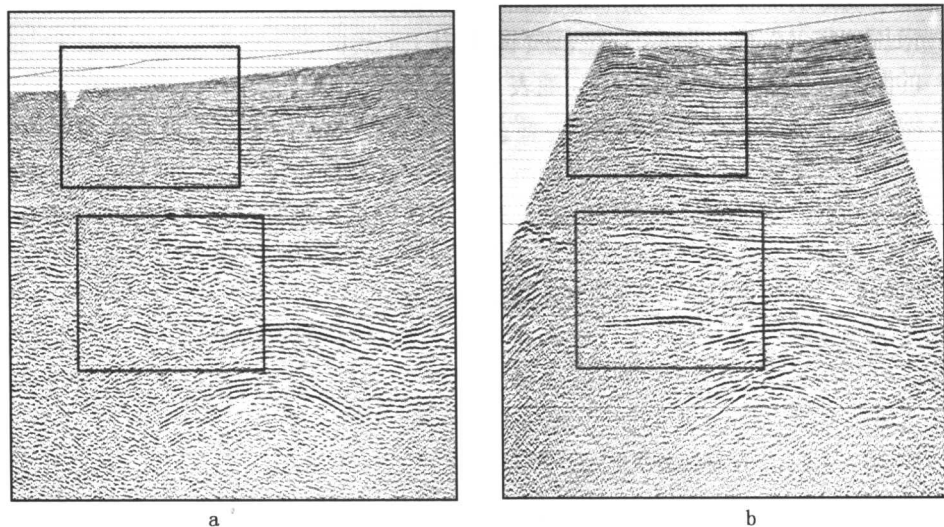


图 12 常规采集方法 (a) 与高密度采集方法 (b) 的比较

盖层下目标层的成像影响, 图 13 给出了相同速度模型 (图 13d) 不同偏移距或不同频率的数据的叠前深度偏移 (PSDM) 结果, 其中, 图 13b 是最大偏移距为 3km 时的 PSDM 结果, 图 13b 是最大偏移距为 8km 时的 PSDM 结果, 显然, 大偏移距的结果比小偏移距的结果好很多。图 13c 是图 13b 经低通滤波后的结果, 信噪比得到了进一步改善。

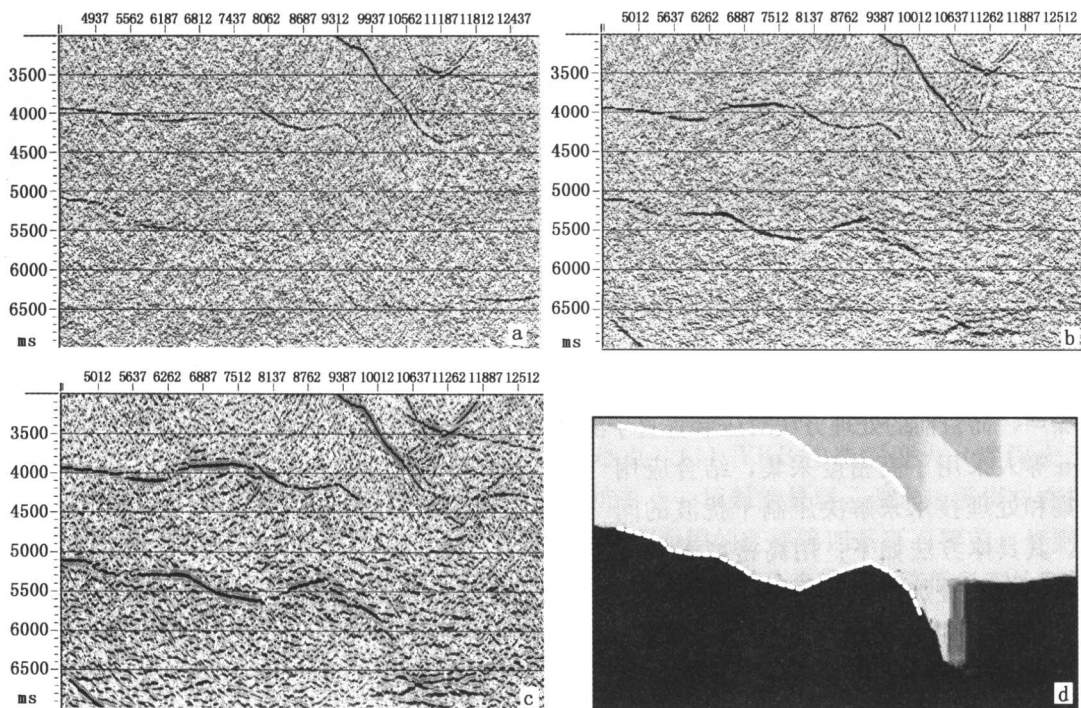


图 13 目标区的 PSDM 测试 (合成数据加有噪声)

a—最大偏移距为 3km 时的 PSDM 结果; b—最大偏移距为 8km 时的 PSDM 结果; c—最大偏移距为 8km 时的 PSDM 结果经低通滤波 (0-6-13-20) 后的结果; d—目标区模型

七、结束语

正像当年 24 位地震记录仪器的引入使得地震勘探技术取得了长足进步一样, MEMS 数字检波器的发明将给陆地地震勘探技术带来新的技术革命。与常规检波器相比, 数字检波器具有好得多的振幅和频率响应、更宽的动态范围、小得多的体积和重量, 并且还采用了全数字传送, 是理想的地震检波器。数字检波器可以实现单点检波器陆地连续采集, 提高地震勘探的分辨率, 是解决复杂地区和提高采收率的有效工具。但是, 由于是单检波器接收, 其信噪比相对较低, 存在严重的面波和随机噪声。如何处理数字检波器接收的地震数据, 提高压制随机噪声和面波的能力, 提高信噪比, 并保证其高分辨率和高保真特性, 是我们下一步需要解决的关键问题, 应该尽早开展方法技术的研究工作。

受管理规定的限制, 提高炸药激发能量和下传能量的研究比较难以开展, 国内也进行了加金炸药的试验工作, 但由于多种条件限制, 试验效果不太理想。中国石化新区勘探指挥部在塔里木盆地进行了大口径炸药的试验, 取得了很好的效果。

Mike Galbraith 在观测系统设计中引入了 Q 因子和岩石物性等地层参数, 使观测系统的设计更加符合两个目标, 即以最佳方式接收信号和尽可能压制噪声。对合理设计地震观测系统具有重要意义。

山地地震由于地表的复杂性而难于取得好的地震资料, 应用基于模型的目标设计, 优化观测系统参数; 采用“震井”联合激发, 提高资料信噪比; 通过科学变观设计, 解决复杂区的施工难题和精细做好野外静校正工作是提高山地地震资料的有效方法。

各向异性研究

朱成宏

一、引言

地下介质各向异性特征逐渐被人们认同,有关地震各向异性的研究近年来一直维持一个较高的水平。主要研究集中在两个方面:(1)将各向异性研究加入到常规地震处理流程中,在提高地震数据处理效果的同时,选择合理的处理流程,保护各向异性信息免受常规处理方法的破坏;通过比较不同表现方法的优缺点,寻找合适的各向异性信息提取方法,应用于地下裂隙及流体的相关参数描述;(2)地震各向异性的深入研究,包括非弹性各向异性介质中的地震波特征,地震波吸收衰减所反映的各向异性。

本文在对 74 届 SEG 年会各向异性研究专题相关文章学习的基础上,对几项主要的研究成果作了重点编译。它们包括,用叠前方位相干体检测裂隙,由速度方位变化确定亚地震尺度的裂隙,分方位处理对方位各向异性属性的影响,各向异性叠前深度偏移(APSDM),裂隙层的频变方位各向异性,裂隙储层的 P-P 和 P-S 响应,P 波衰减各向异性等,它们基本反映了近年来各向异性研究的最新进展。

二、用叠前方位相干体检测裂隙

将叠前多次覆盖数据叠加合并成一道会模糊相邻道之间的差别,增强图像之间的相干性,不利于地下地质界线或其他不连续体边界的检测。休斯敦大学的 Saleh Al-Dossary 等通过对叠前共反射面元道集,计算相同偏移距(远、近偏移距)不同方位道之间的相干系数,更精确地描述了地下不连续性,揭示了小于地震分辨率的小断裂、裂隙。他们将叠前数据按平行和垂直构造走向分成两个方位,以入射角 20° 为界划分成远、近两种偏移距,然后对相同的偏移距计算不同方位道之间的相干系数。

图 1a 为一个二维三层模型,顶、底层为各向同性层,中间层为方位各向异性裂隙层。图 1b 为中间层厚 100m 情况下,垂直裂隙走向观测的地震响应,裂隙层顶、底面能够分开。图 1c 为对应于图 1b 的垂直与平行裂隙走向的地震道互相关结果,互相关系数低的位置对应于裂隙发育带。

图 1d 为裂隙层厚 25m 情况下,垂直裂隙走向观测的地震响应,图中裂隙层顶、底无法分辨,这里用层速度分析各向异性已不可能。图 1e 为平行及垂直裂隙走向的地震道互相关结果,与 100m 厚相似,互相关值清晰地指出了裂隙带发育位置。

图 2a、图 2b 分别是 Texas 裂隙油气藏上方 NE 和 NW 两个方位数据体的近、远偏移距波形互相关结果。图中可以看出 NE-SE 和 NE-SW 的线状体,它们与该区的自然应力方向、岩心测试微裂隙方向一致。