

油气地球物理技术 新进展

——第78届SEG年会论文概要

中国石化石油物探技术研究院 编

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

油气地球物理技术新进展

——第 78 届 SEG 年会论文概要

中国石化石油物探技术研究院 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是根据美国勘探地球物理学家学会 (SEG) 第 78 届年会论文摘要分专题编写而成的, 内容包括: 地震理论、地震采集技术、地震反演技术、地震解释技术、多分量勘探技术、综合地球物理技术、实例研究等 22 个专题, 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 78 届 SEG 年会论文概要/
中国石化石油物探技术研究院编. —北京: 石油工业出版社, 2010. 1

ISBN 978-7-5021-7621-1

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 (2010) 第 007392 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

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 27

字数: 700 千字 印数: 1—1000 册

定价: 98.00 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 78 届 SEG 年会论文概要》
编 委 会

主 任：张永刚

副主任：曲寿利

编 委：管路平 赵改善 杨勤勇 胡中平 曹 辉
关 达 魏 嘉 严建文 朱海龙 陈 伟

目 录

地震采集技术	吕公河 徐锦奎 张在武 卢湘鹏 何京国 (1)
方位各向异性属性研究	徐国庆 (36)
同时段震源技术	徐国庆 李 莹 (44)
随机噪声和相干噪声衰减技术	崔树果 郭全仕 (50)
地震偏移成像与速度建模技术	杨祥森 方伍宝 (71)
地震速度分析技术	孙武亮 孙开峰 (98)
地震层析成像技术	陈国金 (107)
AVO 技术	唐金良 马小刚 (125)
地震反演技术	朱海龙 戴春秋 顾石庆 (145)
油藏描述技术	蔡 俩 严建文 (157)
地震解释技术	蔡玉华 张秀容 郑四连 (177)
实例研究	谭胜章 (217)
井中地球物理技术	张松扬 张 杨 胡 瑶 (239)
VSP 技术	彭代平 陈 林 (263)
多分量勘探技术	余 波 徐亦鸣 (294)
地震理论	孙晶梅 (311)
波场数值模拟技术及应用	李 佩 余德平 (325)
岩石物理分析、建模和应用	王炳章 (339)
时延地震技术	陈 伟 顾石庆 任 鹏 (364)
近地表和环境地球物理研究	朱文杰 任 鹏 戴春秋 (380)
重磁电技术	肖鹏飞 (392)
综合地球物理技术	朱蓓蓓 (407)

地震采集技术

吕公河 徐锦奎 张在武 卢湘鹏 何京国

一、引言

本届年会在地震采集及设计技术方面共设立 5 个专题 39 篇论文,其中包括地震装备、方法和模拟、海洋地震勘探和陆上地震勘探 3 个报告专题,陆上和海洋及对比和分析两个张贴专题。论文数量比往年有所增加,对当前涉及的地震勘探难点和热点问题,比如地震采集“脚印”分析、复杂构造带地震勘探、可控震源方法及有关北极地区冰上地震勘探等方面进行了探讨,并提出了许多好的方法。涉及的内容有:复杂构造地震勘探设计、数据采集和处理,复杂冲断带地区单点可控震源采集,复杂山地地震采集技术,用实际表层模型优化设计新方法;地震勘探中不同类型检波器对比,包括用速度检波器和加速度检波器采集的 2D3C 野外数据比较,3 分量陆地拖缆与埋置检波器野外数据对比;地震采集“脚印”数值模拟分析,海上拖缆采集“脚印”模拟分析;利用波动方程对目标定向照明分析,向下照明识别阴影区和优化目标成像;高可重复性时延地震采集新方法;多缆双震源参数试验,海底地震节点可重复性研究,单船宽方位拖揽采集方法;实现高品质的 HFVS 数据问题,应用同步伪随机扫描的宽频带可控震源方法;散射噪声压制策略,三维观测系统压制噪声评价及其应用;可控震源施工中有效波场采样等。本文从复杂地区地震勘探技术、地震采集“脚印”模拟分析技术、地震采集中噪声压制技术、其他采集技术等 4 个方面介绍本届年会地震采集技术的进展。

二、复杂地区地震勘探技术

随着油气勘探领域的不断扩大,像山前冲断带等复杂构造和复杂地表区的地震勘探逐渐增多,复杂的地表和地下地质构造给地震勘探带来巨大的挑战。在地表条件复杂及地下地质条件复杂的地区进行地震勘探,提高数据的信噪比(S/N)是主要目标,例如中国西部前陆盆地复杂山区等。这些区域由于复杂地表和复杂的地质条件,获得的地震数据信噪比低,地下地质目标成像困难,为了提高地震资料的信噪比和目标成像,采用长排列接收和宽线地震采集是一种有效手段。这两项技术通过提高覆盖次数,达到提高地震记录的信噪比,最终有效地提高了地震剖面的质量。随着地震装备技术的不断发展,大道数记录系统、大出力的可控震源以及数字处理技术的不断进步,也促进了新方法的应用。Pedro Muñoz 等人认为常规方法采用小排列长度的地震数据在复杂构造区域有一定的局限性,同时地震采集成本也抑制获得高质量的地震数据,采集成本与地震数据质量很难平衡。而采用长排列地震记录,处理时在炮—检域用波动方程偏移(WEM)进行处理等综合技术是较合理的做法。通过减少采集中的炮点数量可以降低采集成本。但在勘探设计初应建立模型,并进行波动方程偏移模

拟, 根据噪声估算最佳炮点, 以避免某些构造信息的丢失。后来在秘鲁安第斯山脉丘陵地区二维地震采集中采用这种方法, 用抽稀炮点后的成像证实模拟预测结果。也评估了炮域波动方程偏移对相干噪声和随机噪声的衰减能力。

Peter van Baaren 等人认为在资料品质差的复杂地质区域应用新技术可得到高质量的地震数据。可用的技术是采用 80000lb 出力的可控震源、高能低频扫描以及单点加速度检波器进行高密度采集。在阿曼的边缘冲断带, 研究区覆盖一层厚的干砂和大沙丘。根据老资料, 选择大药量激发或多次长扫描高效震源, 能够提供足够低频能量的宽频带地震数据。这种采集“技术”能够提供信号质量好的最终剖面。

施丽娟等人认为复杂地区的勘探设计面临着许多挑战, 例如行进困难的地区、施工困难地区, 以及地表情况复杂的地区等, 这些都是设计需要考虑的因素。在复杂地区进行地震勘探, 设计优化包括以下几个步骤: (1) 实际地表模拟; (2) 实际地表模型勘测; (3) 从实际地表模型中提取地貌特征; (4) 根据实际模型优化勘探设计。该技术依赖许多 GPS, RS 和 GIS 等高精度的地理数据。近些年地理学快速发展, 比较容易获取较经济的高精度数据。由于 3S 数据量巨大, 大数据处理和有效管理也是一个重要的因素。利用地表高程和影像数据, 采用三维可视化技术建立虚拟的起伏真地表环境, 然后进行观测系统设计, 可以大大提高复杂地表区的设计精度。在地震数据采集系统软件中可以进行最优化技术, 并在中国西部地区三维采集设计中使用这种技术, 数据质量和生产效率都得到满意的结果。

1. 安达斯山脉复杂构造地震勘探的设计、数据的采集和处理技术

该区地表情况复杂, 地形变化剧烈, 近地表从松散的冲积物到高速的坚硬岩层。设计就是获得高质量地下成像和勘探费用优化的过程。流程包括以下步骤: (1) 基于地质模型的射线追踪分析; (2) 相干和随机噪声模拟; (3) 有限差分弹性波模拟; (4) 不同噪声水平的合成数据成像。根据设计预测的结果可以在后期得到验证。(1) 数据采集阶段, 需要详细控制震源激发参数; (2) 数据处理阶段, 在复杂近地表条件下, 静校正、噪声衰减等处理要加强。

在基于地质模型的射线追踪分析方面, 根据已知二维测线和测井数据建立地质模型, 并通过射线追踪完成模型验证。合成地震道集可以检查反射同相轴特征, 在阴影区, 射线追踪有助于直观显示较宽的炮检距对深层的照明。这些阴影区域与通过断层的横向速度变化引起的射线弯曲有关。射线追踪同样提供了复杂构造成像所需要的偏移孔径等信息。图 1 展示了窄炮检距在二维地震勘探上的不足^①。

相干噪声代表了相对振幅和空间变化的真实特征 (N/S)。通过波动方程有限差分模拟合成二维炮集 (图 2), 并在不同的噪声水平下, 通过波动方程叠前深度偏移 (PSDM) 来对地下构造成像 (图 3)。

目前, 弹性波波动方程模拟应用越来越广。由于射线追踪模拟不能描述地震波场的全部特征, 比如振幅的变化。如果评价的目标是相干噪声和随机噪声对构造成像的影响, 那么需要真实振幅。全波场弹性波模拟可以提供准确和真实的结果, 包括首波、多次波和绕射波。这里用 GeoTomo 公司开发的 VECON 软件的弹性波动方程有限差分模拟生成二维地震炮道集, 一共获得 881 炮记录, 炮间距 25m, 检波点间距 25m。最大炮检距 10000m。有限差分模拟的震源中心频率为 25Hz、最大频率 75Hz 的雷克子波, 合成记录长度 5s、采样率 4ms。

而对于叠前深度偏移成像, 无论存不存在噪声, 都可以用合成炮记录的垂直分量对地下

① 本书图件主要源自第 78 届 SEG 年会论文摘要, 有兴趣的读者请查阅相关原文的彩图。

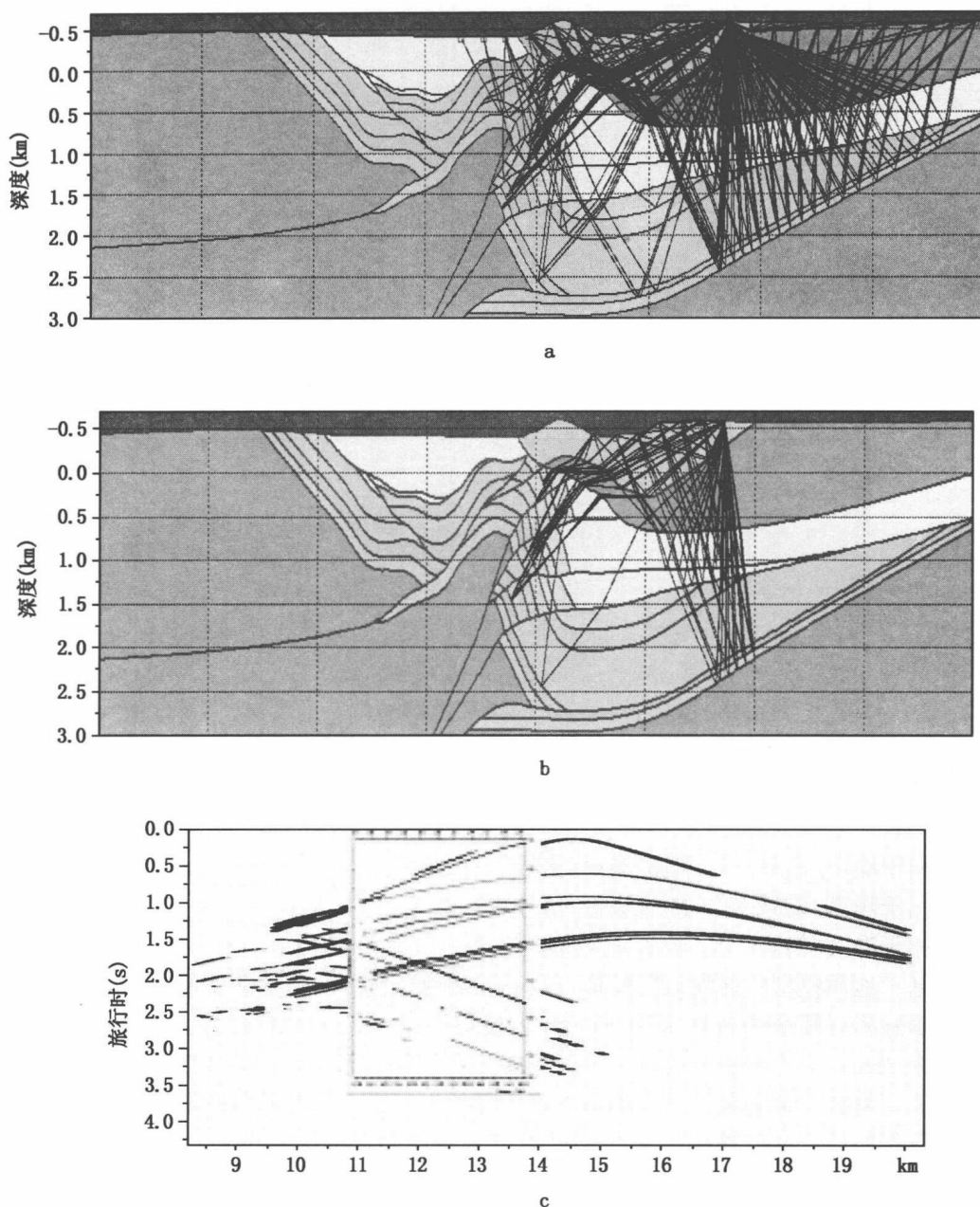


图1 二维射线追踪对比分析
a—偏移距 6.0km; b—偏移距 3.5km

构造进行波动方程叠前深度偏移成像。叠前深度偏移中使用的速度模型是从实际二维地震数据中提取 P 波的层速度。对 881 炮记录都进行偏移, 然后进行叠加得到 4 个不同的叠加成像剖面 (图 4)。(1) 使用所有炮记录, 炮点距 25m; (2) 使用一半的炮记录, 炮点距 50m; (3) 使用三分之一的炮记录, 炮点距 75m; (4) 使用四分之一的炮记录, 炮点距 100m。然后在弱、中、强三种不同的噪声水平上进行叠前深度偏移成像 (图 5)。

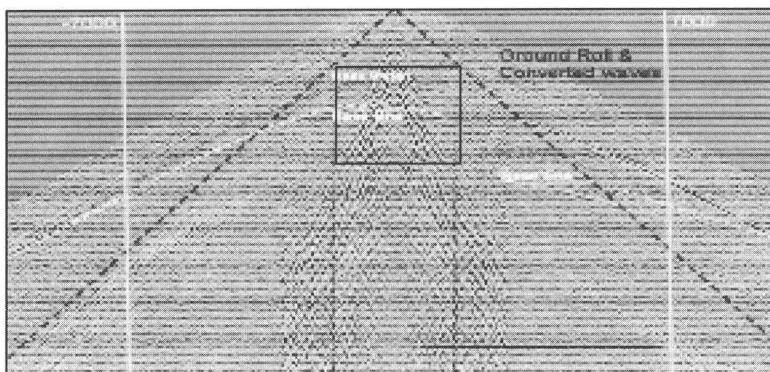


图2 含有相干噪声和随机噪声的合成地震记录

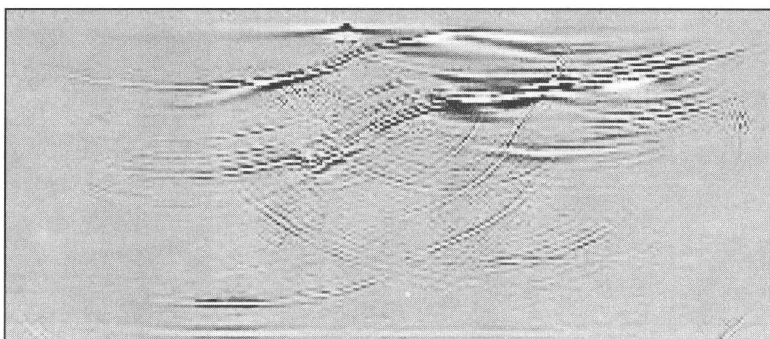


图3 单炮叠前深度偏移成像

弱：相干噪声/信号 = 1，随机噪声/信号 = 1；

中：相干噪声/信号 = 2，随机噪声/信号 = 2；

强：相干噪声/信号 = 4，随机噪声/信号 = 2。

根据基于地质模型的射线追踪模拟以及不同噪声条件下的叠前深度偏移剖面分析，在秘鲁安达斯山脉附近复杂构造区采用 8500m 大偏移距进行二维地震勘探。设计炮间距 50m，检波点间距 25m，沿主线地形高低不平并且海拔在 400~1500m 范围内变化。该地区近地表岩性变化大，复杂的地表条件不仅带来严重的静校正问题，也对激发能量影响很大。图 6 为 1500m 偏移距时原始共偏移距道集和经过噪声衰减后的共偏移距道集对比。这些道集可直观地显示信噪比与岩性的关系。一般在古近—新近纪和白垩纪地层中用正常的井深和药量就能得到高质量的地震记录。

在这类地区进行资料处理，处理顺序包括常规信号处理和精细的层析折射静校正、剩余折射静校正和剩余反射静校正，目前是采用克希霍夫叠前时间偏移。如果从大偏移距地震数据中抽取炮道进行叠前时间偏移处理，炮间距分别为 100m、200m 和 400m，与原始炮间距 50m 作对比（图 7）。经过分析对比，实际地震数据与人工合成地震模拟数据结果一致。

在不同噪声下，对合成地震记录波动方程叠前深度偏移结果进行分析，表明当炮间距到 100m 时对构造成像没有影响。而在典型采集条件下，当炮间距为 75m 或 100m 时，实际叠前时间偏移数据结果能满足目标层的构造解释。所以，复杂构造区的地震采集要求较高的激发参数和恰当的道密度及偏移距等接收参数。在这些条件下，不需要小炮间距。

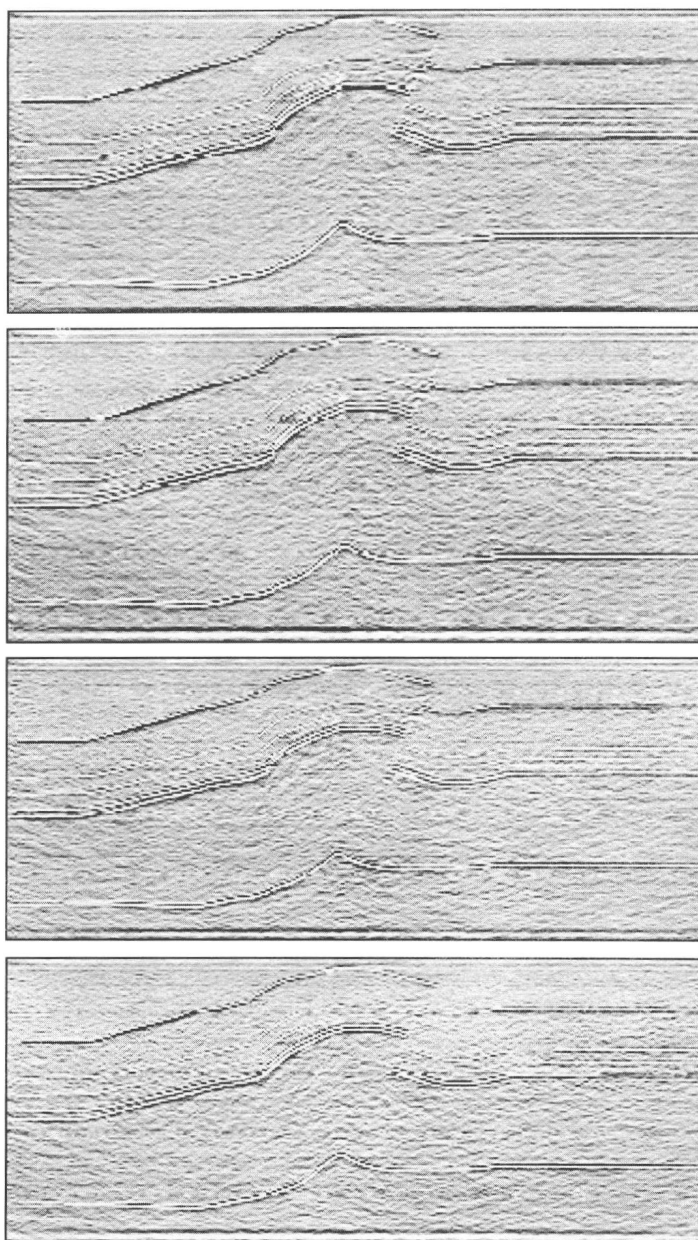


图 4 中等噪声水平下的叠前深度偏移剖面
炮点距 (SPT) 分别为 25m, 50m, 75m, 100m

2. 复杂逆掩断裂带单传感器可控震源采集方法

逆掩断层带地震成像在全世界都是个难题，主要原因是难以获得高质量的地震数据。由于反射能量不会在共炮域或共检波点域成像水平层反射那样完美的双曲时距曲线。若不经偏移，在共中心点域的反射能量很少或根本没有相关性。在历年的 SEG 年会上都有各种各样的方法，一般采用大药量、大组合等方法。而在阿曼逆掩断裂带，由于阿鲁马组速度的变化、复杂的构造以及哈杰尔组的陡倾角造成的地震资料质量很差；多次波和散射也使记录更加复杂；特别是逆掩断裂带需要大偏移距资料，但复杂的射线路径导致传播时间过长，地

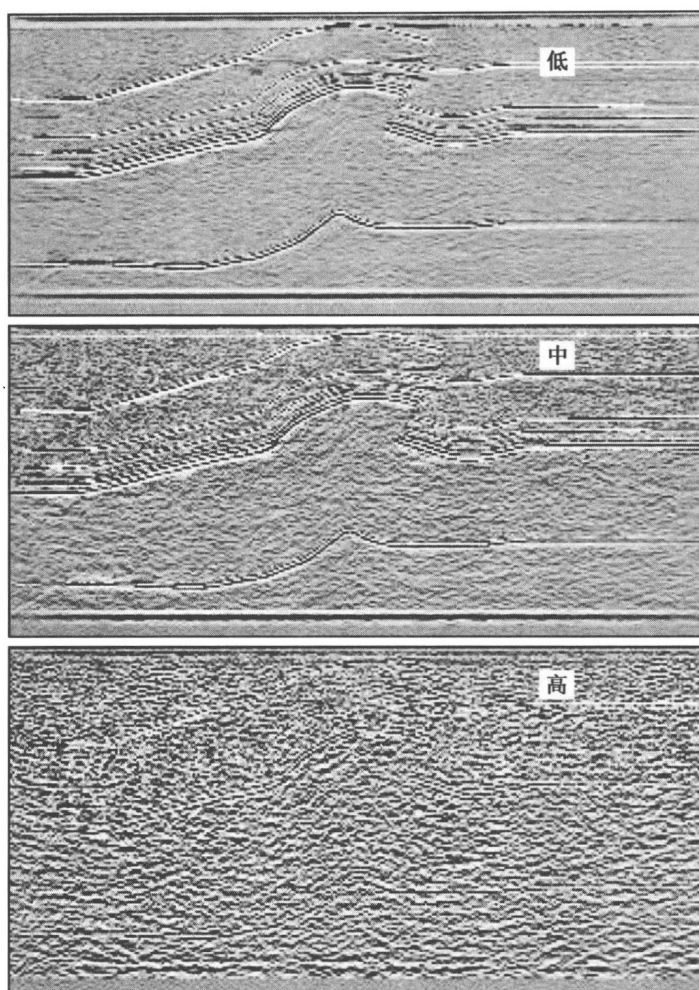


图5 不同噪声水平下的叠前深度偏移剖面

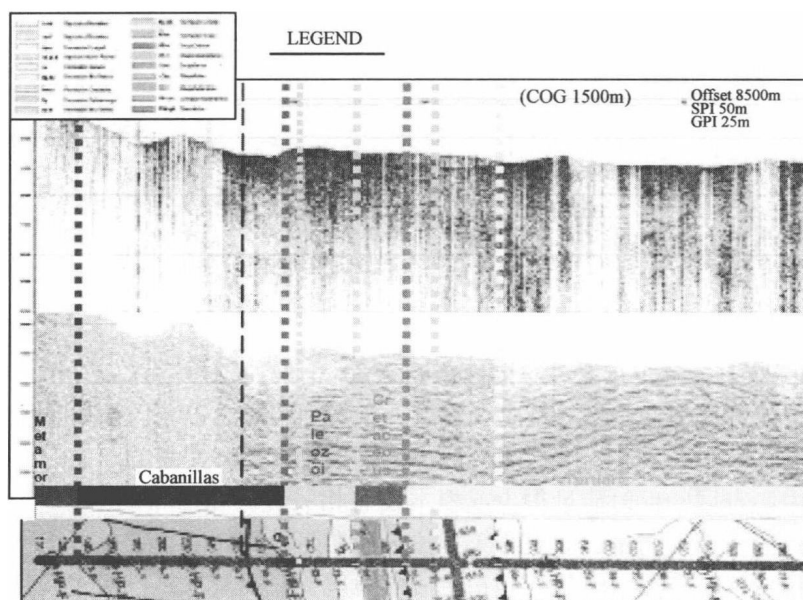


图6 二维测线共偏移距道集

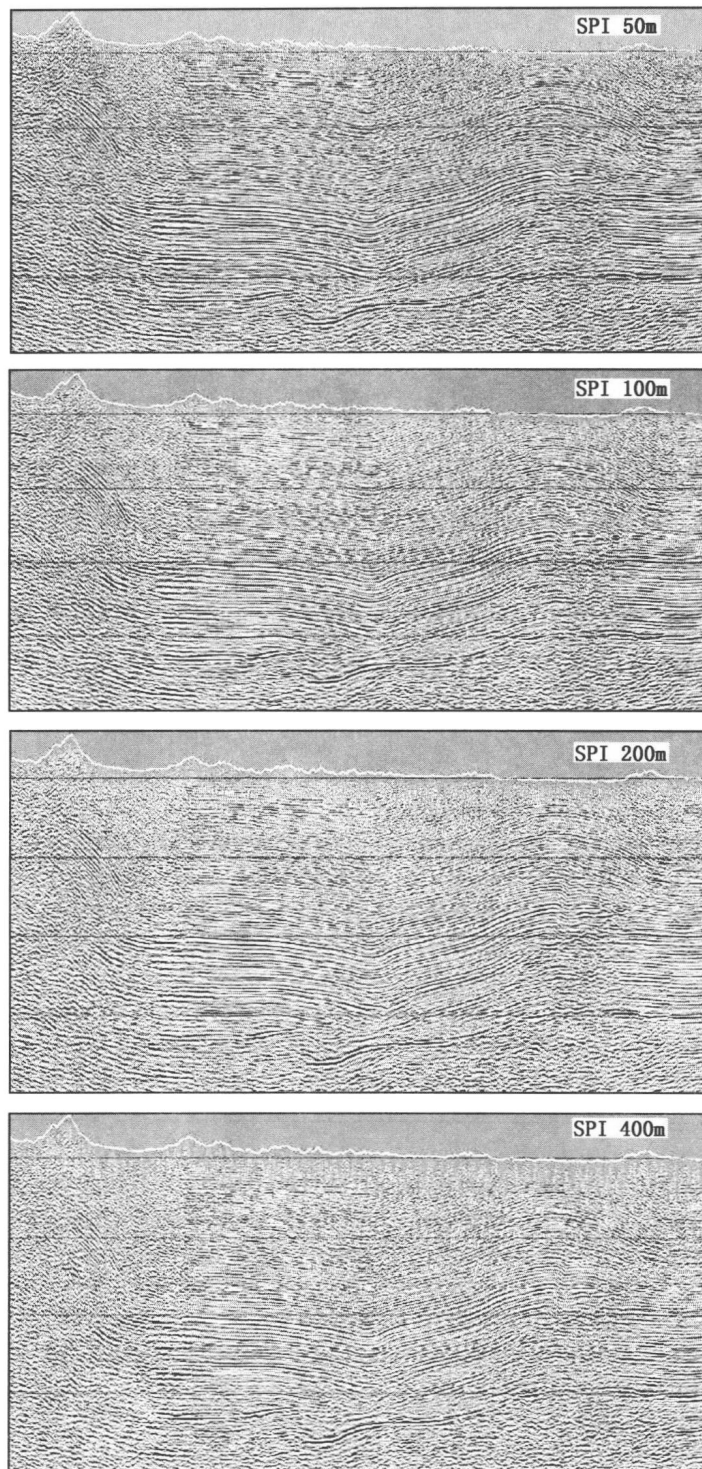


图 7 二维测线不同炮间距叠前时间偏移对比
(50m, 100m, 200m, 400m)

震波能量衰减比水平地层中衰减得更快。根据以往资料分析，要得好地震资料，需要大炸药量，但该区沙丘厚 30~60m，钻到沙底费用太大，所以炸药震源在这个勘探地区不适用。

为了取得好的地震资料，进行了多种方法分析。首先实施 420km 二维地震采集方案进行噪声测试，目的是查明该区北部为什么三维地震勘探不能对目标进行成像，同时也分析新的可控震源方法能否获得高品质地震数据。与老方法比较，新的采集方法主要变化是采用 6000 道单分量加速检波器和峰值出力为 80000lb 的宽频可控震源。这样有 3 个优点：(1) 能记录到宽频带的记录，尤其记录地震低频信号；(2) 能以好的空间采样获得大偏移距记录；(3) 在复杂沙丘区，单检波器可以对信号校正，并通过预组合对噪声进行衰减。

在生产中采用如下做法。关于震源，在该区最好采用大可控震源，能产生足够大的出力，并采用长扫描及多套可控震源。在震源的组合形式上，要考虑到可控震源基距的大小，如果用平行于接收排列的线性震源排列，这种线性排列长约 50m，所以不是最佳的。最终采用 12.5m 长、20m 宽的面积组合。由于沙丘的影响，不同震源之间的高程可能有很大不同。为了减小高程变化的影响，要提前将沙丘顶部弄平，使两个震源的高程变化最小；在处理时，垂直叠加之前要对各炮记录进行高程静校正。由于可控震源往前移动的时间几乎与扫描和接收的时间接近，在生产效率方面有临界效应，证实这种方法采集的数据与采用 4 个可控震源一组获得的效果一样。为了拓宽地震资料的低频信号，试验并采用最大位移扫描法 (Bagaini, 2006, 2007)。为了获得好的低频响应，在 4.5~64Hz 以 -3dB 斜度扫描，在高频端点处以标准斜度扫描。地震采集参数如表 1 所示。

表 1 采集参数表

道 数	5796 道 (中间激发)	扫 描 长 度	18s
道距	10m	接收长度	6s
接收线数	4~5 交错	采样率	4ms
接收线间距	5m	扫描频率	4.5~64Hz 以 -3dB 下降
最大偏移距	7240m	扫描类型	最大位移
震源线数	2	扫描次数	1
震源距	20m	出力	80000lb
震源测线方位	平行于接收测线	驱动幅度	70%

复杂断裂带地震勘探，近地表建模很关键。在设计阶段，考虑到厚砂层会对最终结果产生很大影响，设计了很多微测井，在测线交叉点和测线末端采用微测井，而每隔 500~1000m 采用时域电磁测量结果。在大部分勘探区，砂层的基底都是黏土层，并成为储集水的隔挡层，水在隔层的上面，潜水面高度会起伏变化。一般近地表的速度与含水量有很大关系，所以潜水面会对近地表的静校正产生影响。根据微测井的结果，潜水面变化有 5m。然后用微测井资料建立近地表模型，用时域电磁法资料进行补充，以获得更密集的网络，这对于在数据处理阶段获取更好的近地表模型非常有用。

在复杂断裂带数据处理方面，采用了两种不同的处理流程，包括时间域成像和深度域成像。根据好剖面求取速度函数，并用该速度函数对大部分野外参数进行测试分析。时间处理流程如下：

(1) 相关；

- (2) 用 40m 的空间抗混叠滤波器进行 DGF 处理，生成 20m 道距记录；
- (3) 道集 A 和道集 B 的炮进行垂直叠加；
- (4) 几何扩散补偿；
- (5) 在炮域进行 FXCNS 2；
- (6) 用时长为 240ms 算子进行地表一致性脉冲反褶积；
- (7) 第一次剩余静校正；
- (8) 第二次剩余静校正；
- (9) 修饰性静校正，最大允许时移 4ms；
- (10) 3D-RNA；
- (11) 各向异性叠前时间偏移；
- (12) 四阶动校正；
- (13) 用拉伸切除因子 3.2 进行切除；
- (14) 叠加；
- (15) 用间隔为 40ms、240ms 的算子长度对数据进行叠后反褶积；
- (16) 时变滤波。

对于复杂断裂带地震资料处理，很多处理方法需要信噪比高的资料才能得到好的结果。不论在时间域还是深度域，正确的速度对获取真实的地下资料至关重要。地震采集的目标就是在一定的成本内，得到符合要求的信噪比的地震资料。要解决环境噪声，主要在地表用多个检波器采用排列大组合，但大组合在陡倾角和起伏地面大面积分布的工区不合适。要解决探区内陡倾角问题需要对地表地震数据精细采样。采用大组合，将导致组内静校正大大削弱有效信号，也使高频信号受到的影响最大。因此，单传感器是个好的解决办法，单传感器可以处理组内扰动。例如，通过道组合在形成单道之前，可以应用高程校正对信号进行校正，并对噪声进行衰减。在本项目中，道组合前进行的信号校正显示出叠加阶段的信噪比得到提高。意味着信号校正有利于提高信噪比。由于采用较低的最高扫描频率，地震数据的高频端没有明显提升，这样的扫描频率主要是为深层目标体设计的。最大的提升在震源方面，它和加速度检波器的低频能力匹配较好。大可控震源扫描产生的相干能量低于 6Hz，这样的低频能量衰减很小，并表现出很好的穿透力，增加了反射能量。由于增加低频能量，震源相关子波旁瓣较少。从处理角度来看，如果完全消除相干源产生的能量，并在采集和处理过程中保留低频信号，低频趋势将更明显，并有利于获得精确的速度分析。采用时域电磁测量 (TDEM)，并结合微测井可进一步完善近地表模型，有利于进行信号校准。图 8 为采集中间阶段成果。信号的连续性和带宽都优于以前的老记录。经过综合研究，在低质量的复杂逆掩断裂构造区，使用可控震源系统可以获得高质量的地震数据，主要是将传统有效频带向低频端拓展了，例如小于 8Hz，从而提高了地震数据的质量。总而言之，使用最大位移扫描法和 80000lb 可控震源、宽频带接收和高道数的单检波器记录系统将保证勘探成功。

3. 实际地表模型下的采集系统优化设计新技术

目前复杂地区地震勘探越来越多，虽然地震勘探技术取得了许多进展，但勘探设计仍然面临着许多挑战。由于受软件的限制，传统采集方法设计基本上是基于水平地表假设，考虑实际地面情况很少。但在起伏地表的情况下，如果还是用这种假设进行设计，按照这种方法施工得到的地震数据和成像结果质量就会很差。所以应该在观测系统设计中应用实际起伏地表模型进行设计。随着空间技术迅速发展，3S 数据和图像越来越精确，并广泛应用于各个

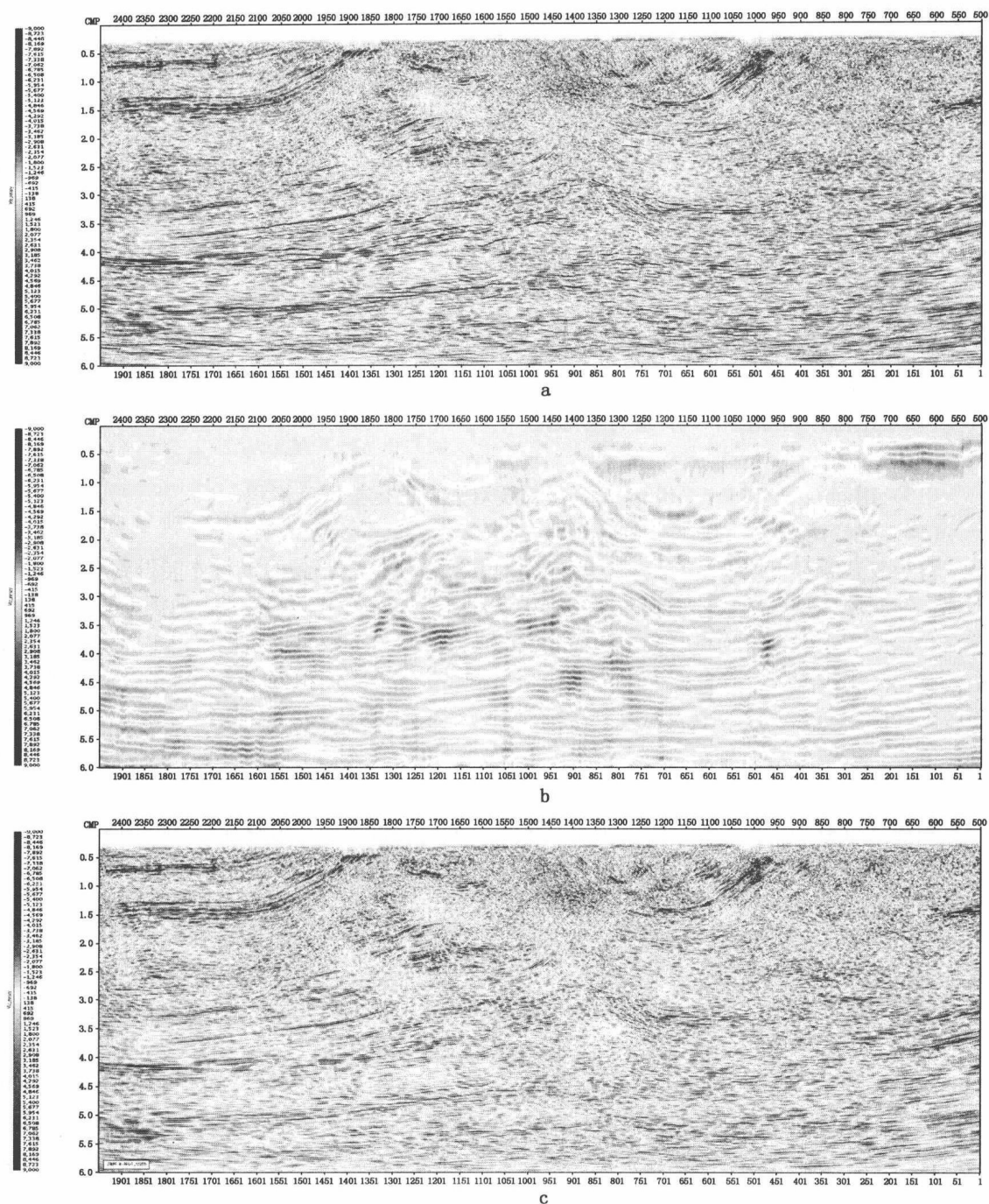


图 8 最终叠前时间偏移数据 (a); 用高截频 6Hz 进行有限带宽滤波数据, 可看到低于 6Hz 信号的连续性 (b); 用 8Hz 低截频进行带限滤波处理的数据 (c), 模拟常规扫描 (用单检波器和 80000lb 可控震源)

领域。高质量的数字高程模型 (DEM) 和影像数据价格比较合理, 高质量数据为实际地表模型应用提供坚实的基础。目前, 借助于 OpenGL 技术和精确的空间和影像数据, 可以建立与实际情况非常接近的近地表模型。利用 OpenGL 技术可以浏览空间数据或完成地表模型以及模拟飞行等基本功能。该技术主要包括: (1) 实际地表模拟; (2) 实际地表模型踏

勘；(3) 从真实地表模型中提取地貌特征；(4) 基于真实地表模型优化采集设计。通过实际复杂地区优化采集设计，该方法的优点主要有：应用高质量 3S 和其他数据实现实际地表模拟，为最优化设计打下坚实基础；可以仔细而完整地在室内真实地表模型上进行踏勘；根据提取的真实地表模型特征，实现面元属性分析，提高了优化设计质量；大数据量管理技术提高优化设计效率。

要对实际地表模拟，需要综合所有 3S 和其他的相关背景信息并且创建基于综合数据的数据模型。实际地表模拟包含数据预处理、数据建模和地形模拟等部分。

数据预处理是为实际地表建模准备数据。预处理包括：(1) 数据的完整性和一致性检测，其中包括了空白区填补和无效数据删除；(2) 数据自动编辑，以提高数据质量；(3) 组织标准数据用于大数据管理；(4) 网格准备，其中用到两类网格数据，一个是均匀四边形网格 (DEM)，另一个是三角不规则网格 (TIN)。其他类型的网格文件和离散点数据文件可以转换为 DEM 和 TIN。数据建模是用 DEM 和 TIN 来构建空间 3DV 模型，DEM 通过加权平均法进行网格化，算法比较简单，但模型精度相对较低；TIN 通过德朗奈法则进行网格化，算法比较复杂，但数据建模精度高。地形模拟是在 3DV 数据模型上建立逼真图像。换言之，数据模型表面被基于真实地表的逼真影像覆盖。我们开发了动态图像库来管理图像。除了共同符号譬如纹理和投影符号外，库中还存储了背景等特征符号。库中图像可以非常简单地修改，新图像也可以加入到库中。照明同样加入到模拟中，可以得到更好的视觉效果。

实际地表模型踏勘也是一个重要方面。应用真实地表模型，可以在办公室里用 3DV 模拟飞行技术踏勘工区。通过观察和分析地表模型，提取好和差的区域中所有特征，保存下来用于后来的采集优化设计。室内踏勘比现场精确和完整，效率和完整度取决于实际地表模型的精度。

提取实际地表模型特征是其中的关键。采集设计优化中的重要步骤就是从实际地表模型中提取特征。主要包括：(1) 直接提取特征就是通过传统简单算法和准则提取特征，比如构造走向线、断层走向线和高程等高线以及山脊或沟谷地轮廓等 (图 9)。(2) 间接提取是基于模型数据的属性关系用一些特别的算法和准则进行潜在特征提取。例如，激发深度可以通过风化厚度、地表和风化底高程的差计算出来 (图 10)。

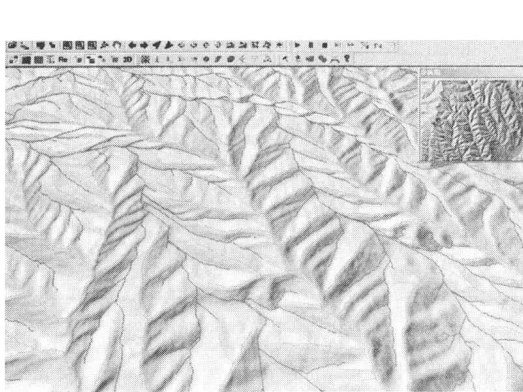


图 9 地表模型中的山脊和沟谷

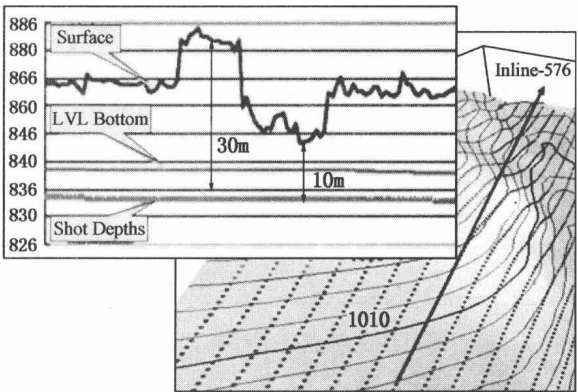


图 10 近地表模型

影像特征提取是在岩性等特别区，通过人机交互模型得到的背景图像来提取。主要通过以下几步：(1) 通过目视判读确定特征模板；(2) 用整个背景图像来自动对比特征模板。对

比后，背景图像上的特征模板将圈出；(3) 编辑自动解释中出现在边界处不合理的结果，如图 11 中棕色区域地表的砂岩不利于炮点和接收点。同样也可以提取出其他特征，这些特征可分为六类：构造，地形，遮挡，植被，地表岩性和水饱和度。所有这些特征为采集设计优化提供极大帮助。

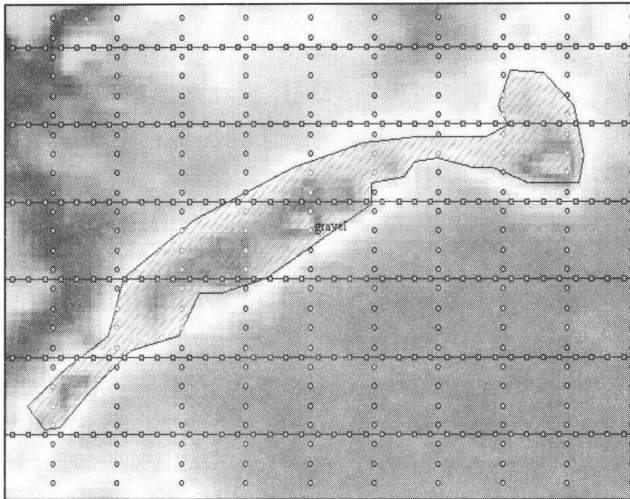


图 11 砂砾带岩性图（参见 ACQ P2.1, Figure 3）

根据地表模型进行采集优化设计主要是基于地表和近地表特征。例如，通过特征分析不利条件下的震源和检波器在设计中可以删除；相关的震源或检波器可以被自动修改；设计修改后，对面元属性分析进一步优化等。图 12 等高线图清楚地描述了一个大谷地，其中大量的震源和检波器无法布置。图 13 更复杂，包含了地形和岩性特征，图中的断层走向线和岩性分布非常清楚。传统的面元属性分析仅仅基于炮检距、叠加次数和二维方位角的属性分析。现在需要一项新技术在三维空间显示所有面元属性。

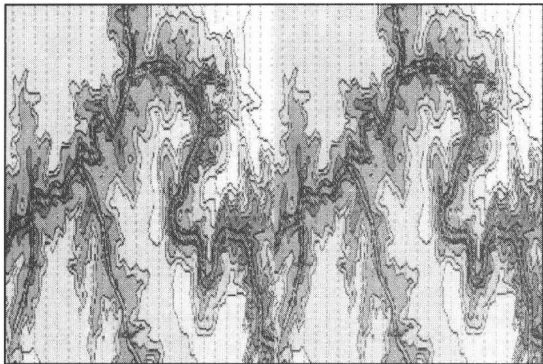


图 12 沿着断层线的黄点是无法布置的震源和检波器
(参见 ACQ P2.1, Figure 4)

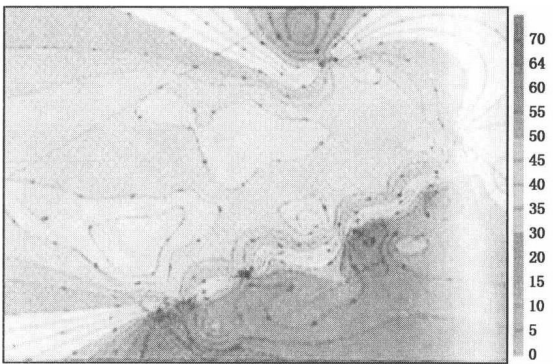


图 13 优化设计综合索引图

在目前采集道数越来越大、地表越来越复杂、图像影片精度高的情况下。采集设计优化中涉及的数据量越来越大，需要适合大数据量处理的方法和数据管理系统。例如，一般设计中，面元属性和 3S 的数据量大约是 16G。没有有效的大数据量管理系统，进行设计是不可