

海洋地球物理勘探译文集

地质矿产部海洋地质调查局

一九八六年二月

编 者 的 话

我国海洋地球物理调查随着海上石油普查勘探工作的深入而逐步发展起来。我国大部分海域的区域性调查已基本完成，1:100万比例尺的中国海域重磁图件已经分幅出版，这标志着我国海洋地球物理调查已进入一个新阶段。

随着海洋石油勘探事业的发展，为探明海底构造和提高海洋石油勘探效果，有效地减少勘探和开发工作中的风险，我们需要先进的地球物理勘探理论与技术，引进以最新设备武装起来的地球物理勘探船以及高精度的全球定位系统。提高地震数据分辨能力，提供岩性信息的采集技术和信息处理方法，以及提高显示解释技术等方面均是今后地震勘探技术的重要研究课题。另一方面，非地震勘探和综合勘探还有待进一步开展。总之，我国海洋地球物理勘探事业正处于设备更新、技术现代化，方法综合化和项目多样化的转折时期。

当前世界正面临新技术革命的挑战，地球物理勘探技术的发展日新月异，因此加强国内外信息的收集和借鉴是非常重要的。为配合海洋地球物理勘探新技术情报资料的调研工作，我们选择了一批出版年代较近、在本学科具有代表性的文献，其中包括海上三维地震、海上垂直地震剖面、海上横波勘探、地震岩性勘探、重力解释方法及海洋电法勘探等，共计22篇，翻译编辑成册，定名为《海洋地球物理勘探译文集》，以供同行们参考。

参加本专辑译校的同志有：李言经、徐尚武、刘森仁、张晓明、方正、冯诗齐、朱景尧、邱庆良、傅妮莉、杨琳、徐英涛、陆曦初、袁文光、王学、苏惠英、马建德、朱建平、袁天声、姚正和、赵志勇、盛中弼、山连根、田永明、焦荣昌、李寿田、郭玉琨。译文集最后由傅妮莉统校定稿。

因复制、印刷困难，原文中彩色图件只能以黑白图示出。

由于编者水平有限，在选题和译文方面难免存在问题和缺点，请读者予以指正。

目 录

编者的话

三维数据采集的新方法	1
在泰国湾应用三维地震资料研究地层的一个实例	12
墨西哥湾沿岸垂直地震剖面数据的采集和处理	21
海上垂直地震剖面测量	31
近海垂直地震剖面资料的解释特点	42
垂直地震剖面在井位工程地质勘探上的应用	51
由垂直地震剖面资料描述储集层和估算孔隙度	59
物理模型试验中的地震横波观测	77
西佛罗里达近海纵、横波反射的分离	93
高分辨率深水测量声纳	111
利用地震波振幅进行初步的岩性预测 (第三系西部盆地的实例)	117
G—LOG 地震反演处理	125
地震反射资料的广义线性反演	138
利用改进的 l_1 范数最小化算法的地震剖面子波处理	154
地层速度与密度——判断地层圈闭的基础	166
悬垂PS速度测井系统	178
利用矩形网格法进行重力解释	189
海洋电法勘探	203
海洋电测深	228
海洋调查	231
直接普查油气田	236
海洋大地电磁测量结果	243

三维数据采集的新方法

P Helgaker等

为了更可靠地显示复杂的地质结构,三维地震勘探已经成为普遍采用的技术。分辨率的增加是通过地下网格化的地震数据采集获得的。在海上地震数据的采集,通过小间距的平行地震测线来达到。无论是地震船还是装有海洋检波器的等浮电缆,都需要精确的定位系统。

随着海上三维勘探经验的积累,对三维数据的采集也提出了新的要求。在这篇论文中,我们列举了这些要求的一部分,并提出了能够满足这些要求的新的数据采集方法。

新的要求

为了增加海上三维勘探所能获得的空间分辨率,人们不断地要求进一步改进地下网格采样的方法。这意味着使用较小的测线间距和电缆中尽可能更短的道间距、所以小于50米的测线间距是不足为奇的。

许多三维勘探在已经部分开发的油田进行,因此数据采集方法必然会遇到类似于平台那样的障碍物情况,阻碍设计测线通过。我们的目的是要获得整个勘探区域内反射点的均匀复盖,包括这些障碍物的下面部分。

时间总是一个重要的因素。由于采用了小的测线间距,数据的采集将是费时和昂贵的。当然,要是采用更详细的三维勘探,那么对电缆的定位就有更严格的要求。

新的方法

为了满足密集测线的要求,我们提出了一艘船拖曳两条等浮电缆的系统。要一艘船航行时采集两条测线数据的另一项技术是由船的左舷和右舷气枪阵列交替放炮。

为了获得障碍物下面的复盖,已经发展了一种双船作业系统。位于障碍物下面的反射点由侧方放炮得到,放炮船和记录船分别在障碍物的两边通过。

在双船作业中,两艘船都可以各自拖曳一条等浮电缆,从而可以同时完成两条测线,因此双船技术同样可以减少三维勘探所需要的时间。

由于电缆的定位是极其重要的,因此保证定位精度的方法得到了发展。其中包括罗盘校准,监测和声定位。

较密的横向采集

取得两条紧靠的测线的两项技术如图1所示。用一套双电缆系统,使共深度点落在两条测线上,船的两侧各一条。这种双电缆技术内线采样就和正常的单条电缆信号数据采集一样用交替放炮方法,左舷和右舷气枪阵列交替放炮,这意味着在船的两侧实际放炮间距是正常作业的两倍,因此复盖次数折半。

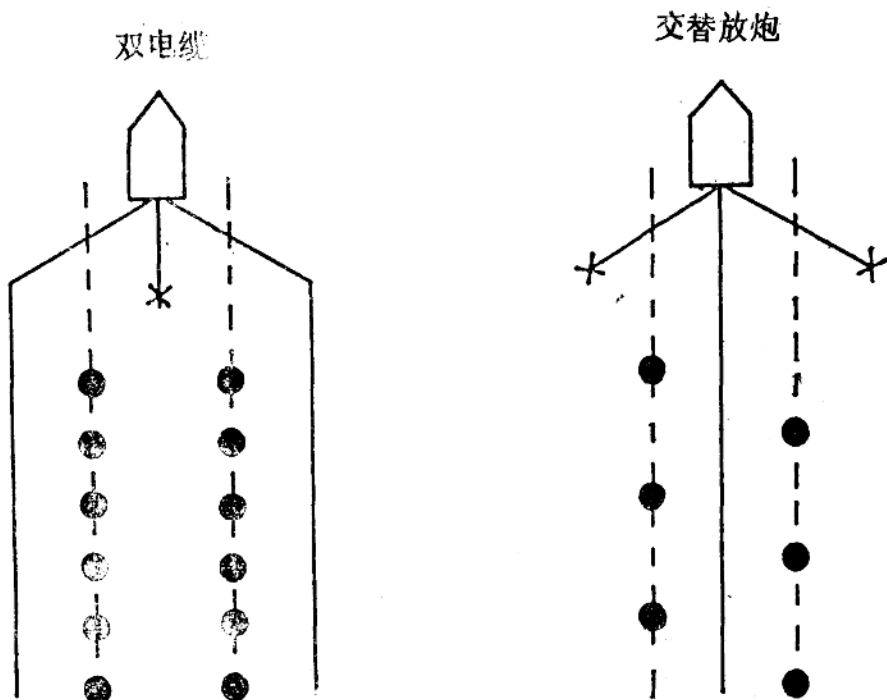


图 1 同时采集两条共深度点测线

双 电 缆 系 统

图 2a 显示了双电缆的拖曳排列。拖曳电缆的前导段放在平常用来拖曳空气枪阵列的缆绳上，这些缆绳固定在船的两边，在船的后甲板上有两部电缆绞车，每部绞车都能容纳足够长的电缆。

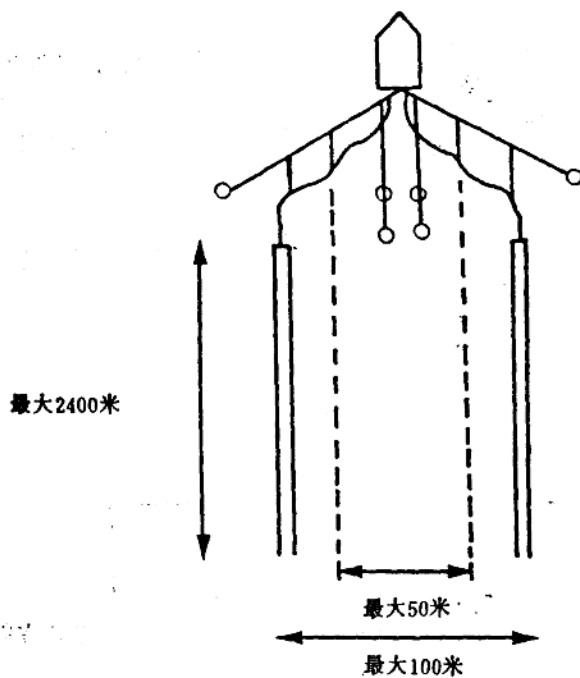
两根电缆拖曳时间距为 50 米至 100 米，这表明同时取得的两条共深度点复盖测线的间距是 25 米至 50 米，每条电缆的长度可以达到 2400 米，记录能力每条电缆为 120 道。两条电缆除了有深度控制系统以外，还装备有磁性航向传感器。可以采用灵活的气枪组阵，点震源的能量可以达到 6000 立方英寸，震源还可以进行一些扩展。共深度点复盖的船上质量控制和电缆定位是通过 GECO 公司的三维勘探质量控制系统 OMNISEIS 实现的。

对双电缆系统来说，电缆 1 和电缆 2 的航向和深度传感器可以通过记录器接入三维计算机。每条电缆 120 道地震数据通过两台 DFS—V 仪器和一个专门设计的联机多路解编计算机系统录成高密度的磁带。

船 上 的 质 量 控 制

船上质量控制系统和三维计算机相接，将两条电缆中各接收器的共深度点置于三维测区网格面元中，以执行测线的复盖控制。该系统记录了各共深度点面元中的复盖次数和偏移距的分布。另外操作员能够显示电缆状态图形，并监视其大致位置。

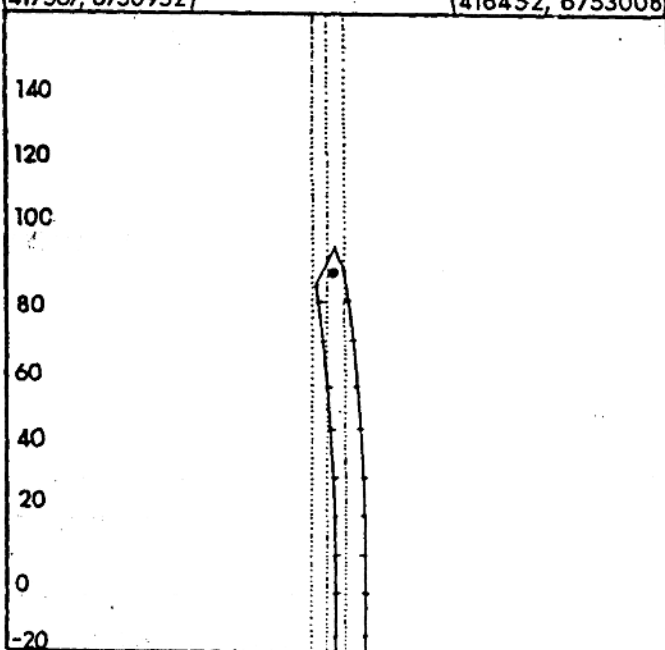
双电缆排列



2a

(417367, 6750952)

(416452, 6753008)



CLIENT : GECO
AREA : NORTH SEA
CENTR MED 3.00000
SHOTNO 2093
FEATHER 1.0
TIME 251 4.36.58
POS (418419, 6752653)
DIST F 5076
DIST B -3799

(421478, 6752780)

(420564, 6754836)

2b *LINE-ID 149* COL 150* BOAT 93* FIRST REC 84* LAST REC 34*

图2a 双电缆排列

图2b 双电缆作业的电缆状态图形

图 2b 是电缆状态图形的一个例子。船在图的上方，并向上航行。两条电缆间的黑点代表震源，纵向点子表明正在复盖的共深度点测线。图的右下方是该共深度点区横方向由两条电缆三种不同偏移距所做的复盖，通过两组三条水平测线表示出来。

拖 曳 噪 音

在双电缆系统的设计中，要十分注意避开拖曳系统的近道噪音。图 3 显示了电缆在船的后面直线拖曳时或电缆偏移移到船的一边 25 米时，记录在电缆上的拖曳噪音。

垂直比例尺是微巴，水平比例尺表示道号 1 至 120。曲线的左边部分表示近道的噪音，4 微巴的水平线用虚线表示。和上面的曲线相比，下面的曲线没有显示出拖曳电缆偏离时噪音的增加。

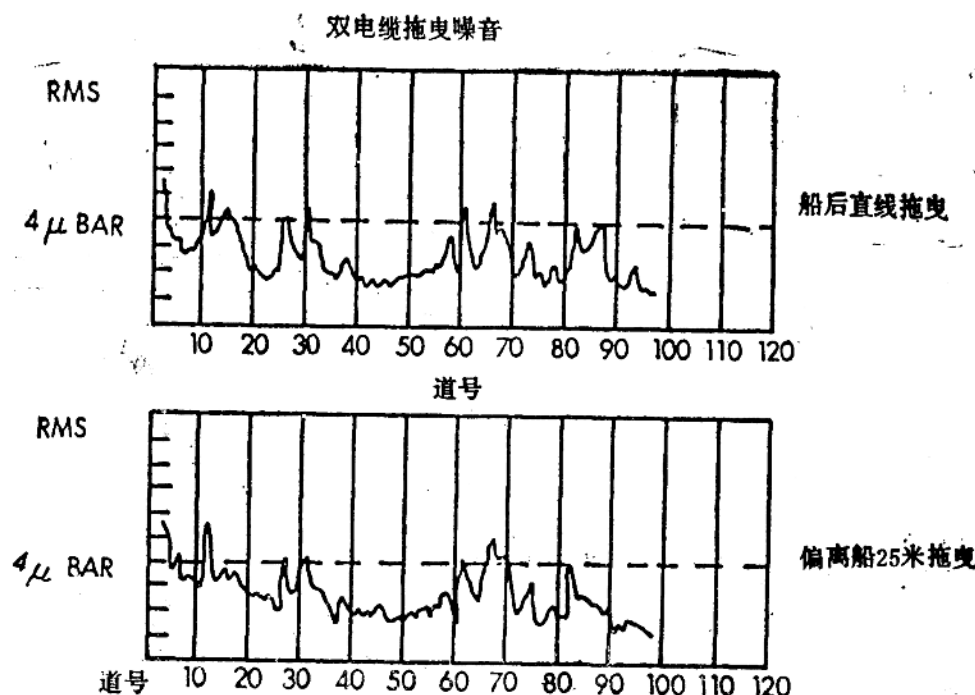


图 3 双电缆拖曳噪音

这些噪音记录和图示取自 1983 年秋天在北海放炮的试验测线。两根等浮电缆每根长 2400 米，有 96 道。在不同的测线上以 50 米至 80 米的间距拖曳。拖曳这两根电缆时，不曾出现过重大问题。

双电缆系统已于 1984 年用于北海的三维勘探。每根长 2400 米的两根电缆，拖曳时间距 50 米。用这种排列，在网格面元为 25 米 × 25 米的整个三维工区取得了最密的复盖。

交 替 放 炮

如前所述，两条紧靠测线上数据采集的双电缆技术的另一种方法是船的左舷和右舷

震源交替放炮。

图 4 显示了拖曳在船的两边的震源略图。左舷和右舷震源中心之间的距离可以在50米至100米的范围，因此两条共深度点复盖测线相距25米至50米。每一边震源能量可以达到4000立方英寸。

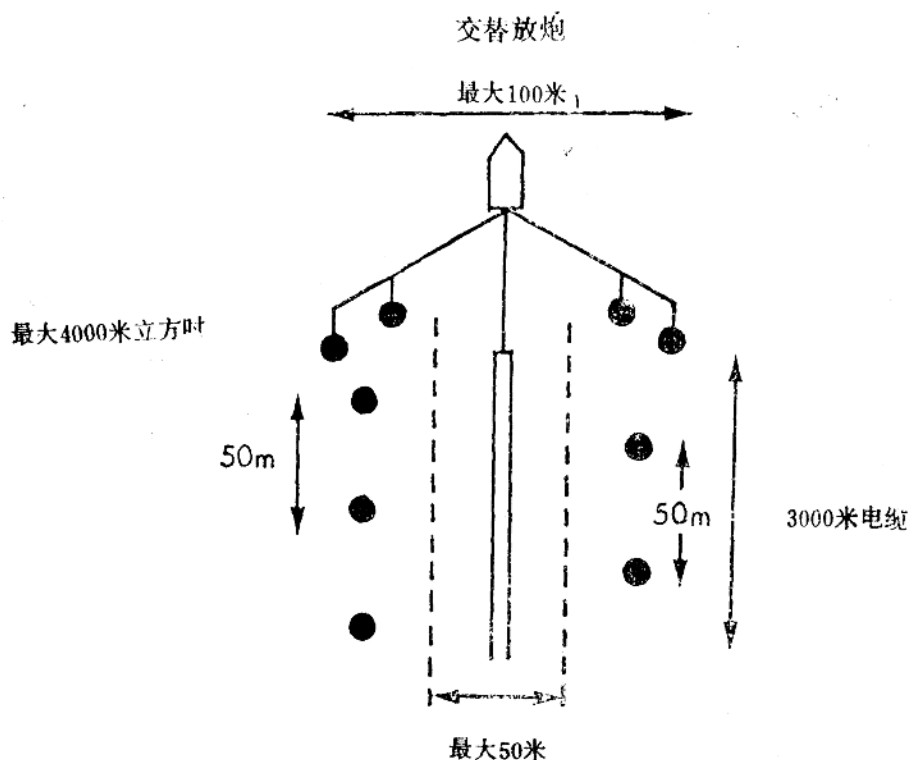


图 4 交替放炮

三维采集的控制和质量管理系统同样为双震源的交替放炮提供了一系列的保护措施。船上的质量管理系统将使操作员修正放炮距离。

双 船 作 业

双船作业系统由一艘放炮船和一艘记录船组成，虽然放炮船同样可以拖曳一条电缆，也可以记录。两艘船之间的无线电联系保证了放炮和记录的同步性。将这种无线电联系同样用于两船交换导航和电缆数据。这样，经过三维计算机系统，双船作业可以控制电缆定位和共深度点复盖。

图 5 显示了一艘船正在进行放炮，两艘船各拖曳一条电缆并进行记录的双船作业法的整个流程框图。船 1 和船 2 都将电缆方位数据和导航信息传送到各自船上的三维计算机中。通过无线电联系，在两台计算机之间交换这些数据。每艘船上的计时装置保证了船 1 上的气枪系统和船 2 上的记录系统同步。

双船作业

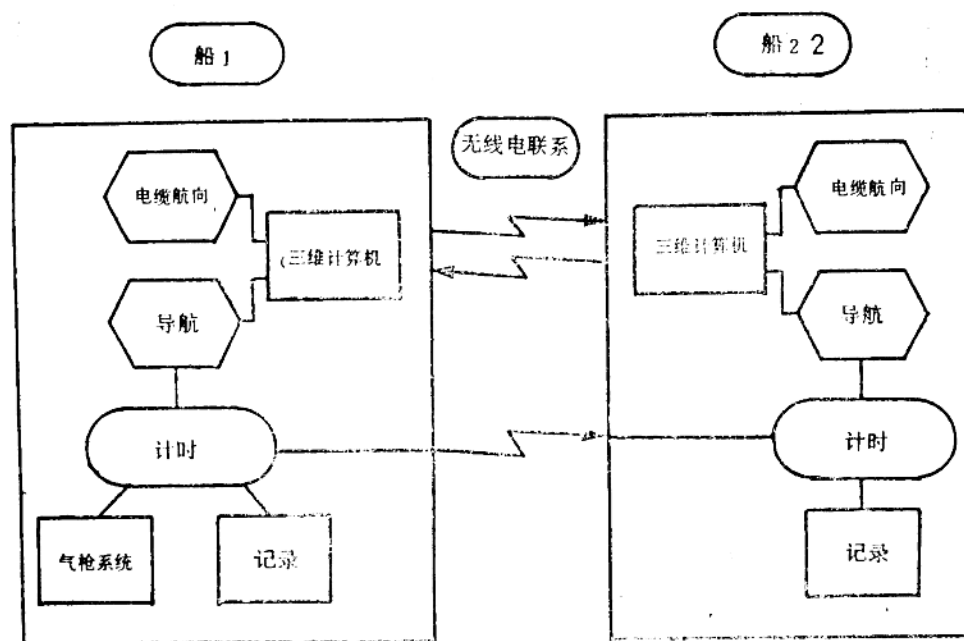


图 5 双船作业

精确的同步

计时装置是专门设计的微处理机，它通过无线电联系使两艘船上的计时同步误差不超过 1 毫秒。这些同步钟的目的在于保证连续的数据采集，即使是在无线电联系中断和两艘船在短时间内失去了联系的情况下。这种联系的中断是可能发生的。如侧方放炮时，两艘船正好驶到平台的两侧。船 1 按规定的時間间隔放炮，船 2 将在同样的时间间隔记录。这些时间间隔在联系中断以前是由炮点之间的时间确定的。无线电联系恢复之前将继续这种作法。从精确的时钟读取的时间将记录在船上的导航和地震磁带上，这使下一步数据处理阶段中地震资料能够精确同步。

数据交换

两艘船上的三维计算机之间数据交换内容主要是船的定位和电缆的航向数据，这些数据交换是在测线上连续进行的。如果无线电联系中断，那么数据交换就会暂停，并各自保存，直至无线电联系恢复。这样，就可能在一艘船上控制从两艘船的记录取得的复盖资料。

侧方放炮

图 6a 显示了每艘船上的操作员怎样控制从平台侧方放炮所得的复盖资料。平台在

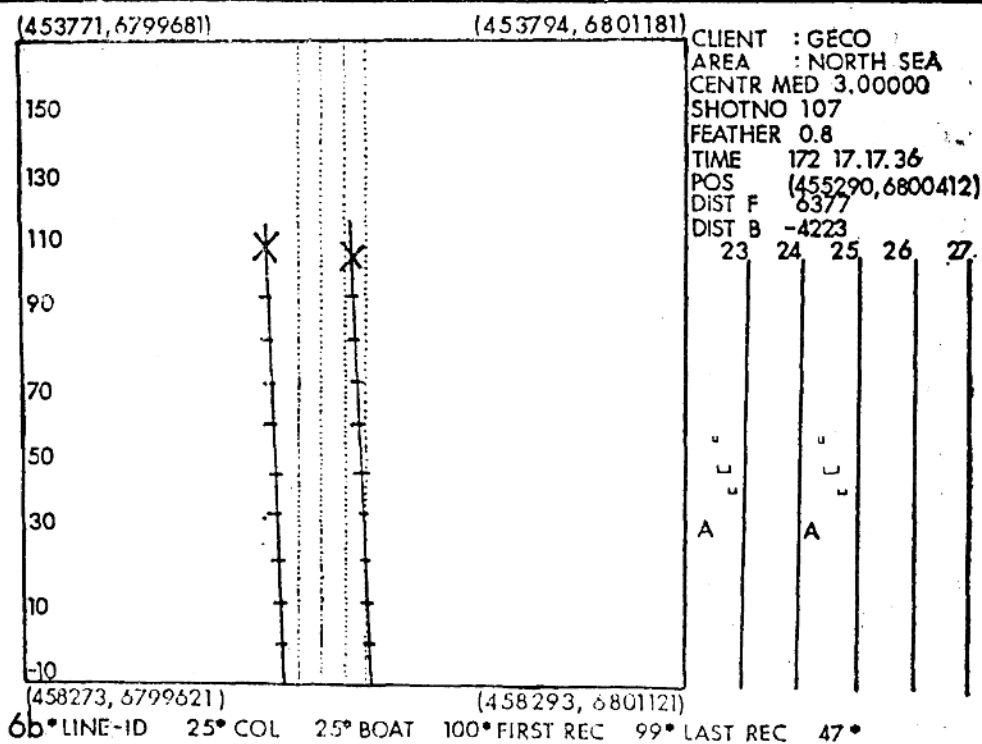
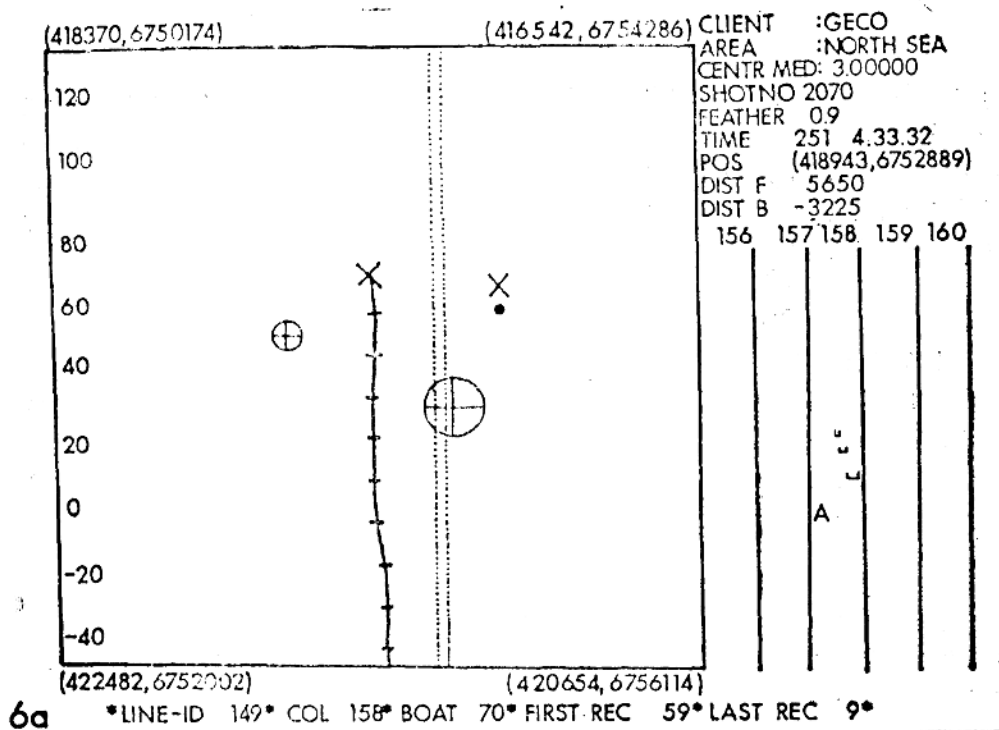


图6a 侧方放炮的电缆状态图形

6b 双船作业的电缆状态图形

图的中部，由大圆圈表示。放炮船在平台的右边通过。炮点位置由黑园点表示，放炮船用十字表示。拖着电缆的记录船在平台的左边通过。通过平台圆圈所点的垂直测线表示复盖的共深度点行。这些共深度点的范围位于平台的下方。图上每个炮点都经过校正。有了这个测线上可以采用的详细的共深度点复盖资料，放炮船在数据采集时就能够很方便地驶到复盖位置上去。

快速数据采集

图 6b 显示了双船作业法。一艘船放炮，两艘船各拖曳一条电缆并记录。有了测线上导航和电缆数据的交换，双船放炮就可以采用图示的这种方法。垂直点线表明双船联合作业时共深度点测线所进行的复盖。

双船记录的优点是加快了数据的采集。只用于记录的船不一定是装备完善的地震船，它可以是一艘其费用要比一般地震船低得多的专门装备的供应船。

改进等浮电缆的定位

数据采集的一个重要方面是校准和监测通常用于电缆定位的磁罗盘。

我们还将对电缆的声波定位系统提供一些资料，这可以用来对磁罗盘定位的补充，或者作为定位的另一种方法。

罗盘的校准

自1981年以来，校准磁罗盘的方法已经实施了。根据经验，装在生产电缆上的罗盘必须要校准。在一条2400米长的电缆中，正常情况下应使用10至12个罗盘，电缆的动态模型同时在专门的试验测线上使用。

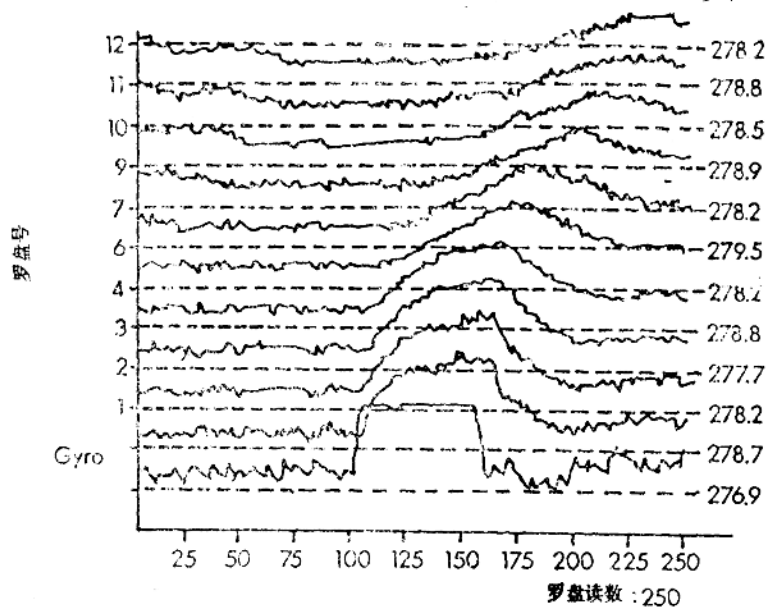
图 7a 显示了这样一条试验测线的结果。图中我们画出了12个罗盘的读数和船上陀螺罗盘的航行读数。水平轴表示炮点号，垂直轴表示罗盘的实际方向读数。图的底部曲线表示船的陀螺读数，其上为罗盘1至12的曲线，罗盘1（底下的第二条曲线）最靠近船，罗盘12则是在电缆的最远端。

从代表陀螺的底部曲线中段，我们看到：船作了近5度的小转弯后，大约有50个炮点位于新的路线上，然后船又重新回到了原来的路线，船的移动引起了整条电缆的移动。使用我们的校准方法时，每个罗盘的精度规定小于0.5度。这意味着2400米长的电缆的远道定位精度要在20米以内。和开头的罗盘校准工作一样，重要的是确保这些校准值在整个三维勘探期间不随时间变化的监测工作。

应用船上的三维系统，在数据采集期间的固定时间间隔对生产测线所获得的数据，通过校准程序来进行监测。图 7b 显示了电缆中4个罗盘10周的校准检查结果。我们看到，给定罗盘的校准值的统计摆动范围大约在5度以内。这样罗盘得到了监测，同时还可监测罗盘由于长久工作出现的性能衰退以致无法可靠完成定位工作。

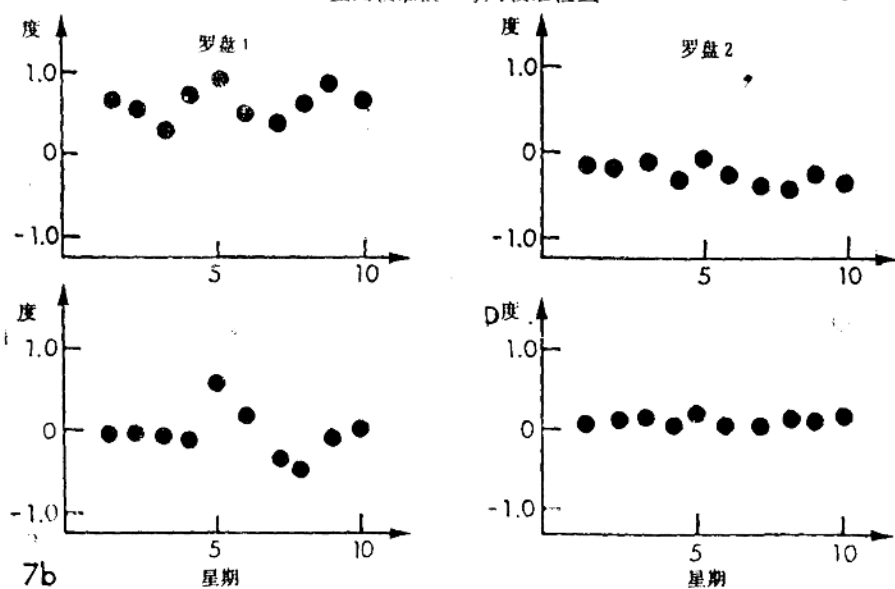
声定位

虽然平常用于电缆定位的磁装置是可靠的，并经过了验证，但是它们仍有一些缺陷。在高纬度地区工作，这些磁装置的精度受到影响，那些地区宇宙辐射会导致地球磁场的



7a

监测校准值 每周校准检查



7b

图7a 罗盘校准

7b 每周的校准检查

强烈变化，即所谓的磁暴现象。有强烈局部磁异常的地区同样可能会有问题。声定位同样能够很好地验证磁定位，因而声定位和磁定位可以用来相互补充。

为了能够在这种磁扰地区进行三维勘探，GECO公司和挪威 simrad 和 statoil 公司

共同开发了一套电缆声定位系统。该系统根据 simard 公司的 HPR 高压水听定位参考系统的超短基线系统所组成的。装在电缆上的声源（声应答器）发出声信号，如图 8a 所示。发出的声信号的频率为20千赫至30千赫，组合水听器置于船下一个旋转头上。从每个应答器的声脉冲的波至时间，使用组合水听器，距离 r 和应答器的 θ 方位可以测定。这显示在图的下部。

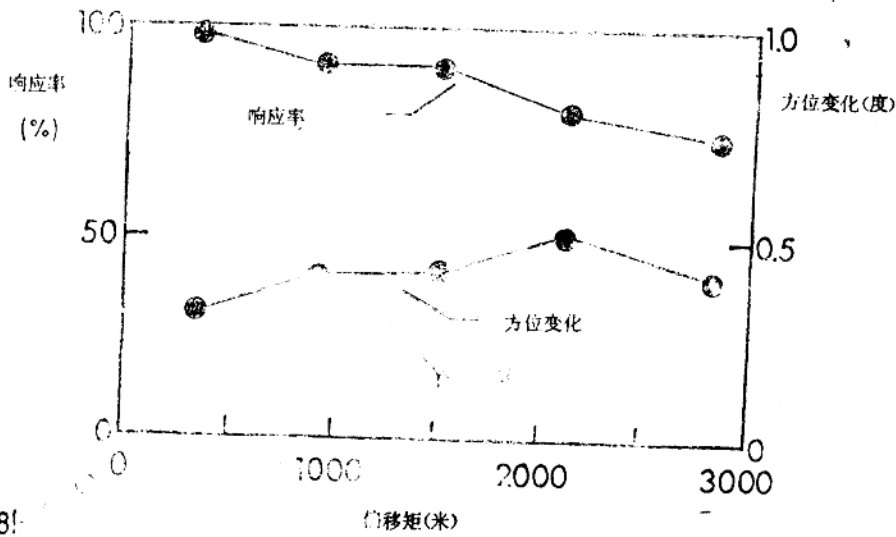
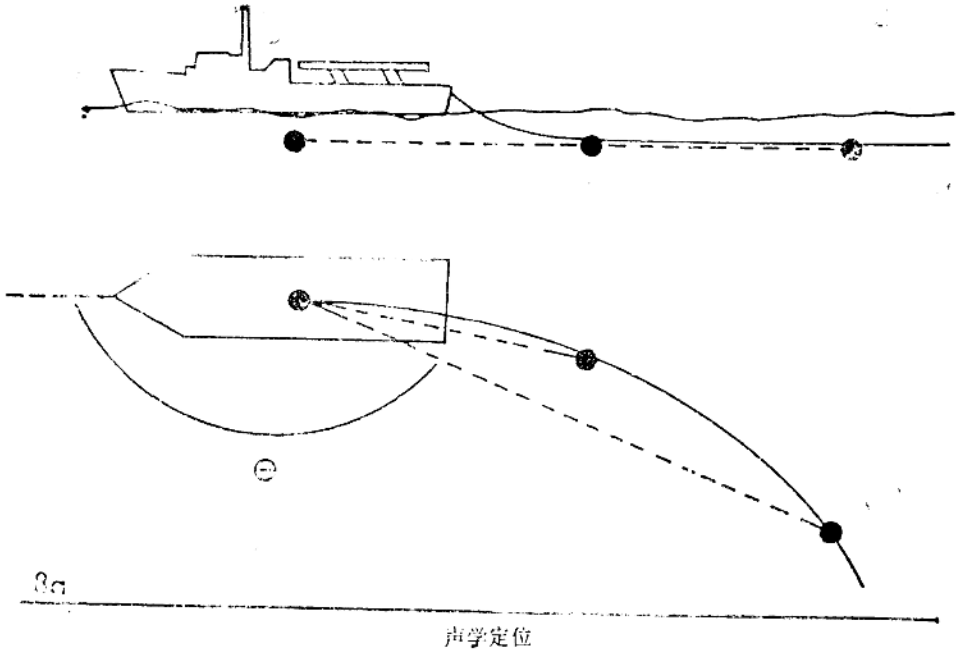


图8a 声定位系统

8b 声定位响应

作 业

图 8b 显示了响应率和方位测量的数据。水平比例尺是离船的距离：从 0 至 3000 米。左边垂直轴是响应率：从 0 至 100%。这是应答器回答的数目相对激发脉冲的数目。上面的曲线用了这个响应率：该曲线上的 5 个点代表了装在电缆上的 5 个应答器。我们看到：在大约 300 米处的应答器的响应率接近 100%，响应率随距离减小，在 2800 米处，减小到大约 75%。由于电缆移动缓慢，在这样远的距离时，75% 的响应率对定位系统已经足够了。

该图的右边的垂直轴显示了方位测量变化的范围：从 0 至 1 度。下面的曲线就是用的这个比例尺。对于一个给定的应答器来说，方位的变化在相邻点的方位测量也是不同的。因而也要对方位测量的稳定性进行测量。从下面的曲线我们可以看到：这个方位变化，在离船 300 米时为 0.3 度左右，在电缆的尾端则增加至 0.5 度左右。

结 论

在这篇论文中，我们提出了满足不同条件下海上三维数据采集新要求的几个方法。双电缆，双震源或双船作业，能够用于减小测线间距，在障碍物一侧放炮，或者提高生产速度。仔细校准电缆罗盘或应用声定位系统，能够使电缆定位取得较高精度。

(李言经译 徐尚武校)

译自《1985 年中美学术团体联合举办地球物理学学术报告会 SEG 论文》。

在泰国湾应用三维地震资料研究地的层一个实例

A · R BROWN等

【摘要】在泰国湾海区进行的海上三维地震勘探有助于由三口野猫井所发现的气田的开发。解释报告和成果预先说明了断层分辨率的提高并证实了一些较好的构造。

现已钻了五口成功的评价井，这些井表明大多数砂层分布在一定的范围。在地震资料上广泛的特征变化也说明了在许多砂层中地层的差异。

在研究这一勘探区的沉积史时，应用了几种新的三维地震的地层解释方法。与井所钻遇砂层对应的地震振幅异常和应用在时间及深度上的地震等时面图所做出的地震振幅异常均指出了砂坝和古河道的分布。每一张通过每一个单层的水平等时切面图都直接地描绘了这些沉积特征。G-log 剖面给出的人工合成地震测井是由严格的波动方程反演所导出的，它证实了这些特征体的存在。超过10米厚的砂层可以由图上表示出来。

前 言

1977年8月，德克萨斯太平洋石油公司委托地球物理公司在泰国湾进行海上三维地震勘探。这个勘探的成果及资料的构造解释已由达姆和格雷奈尔在1977年，1980年讨论过了。

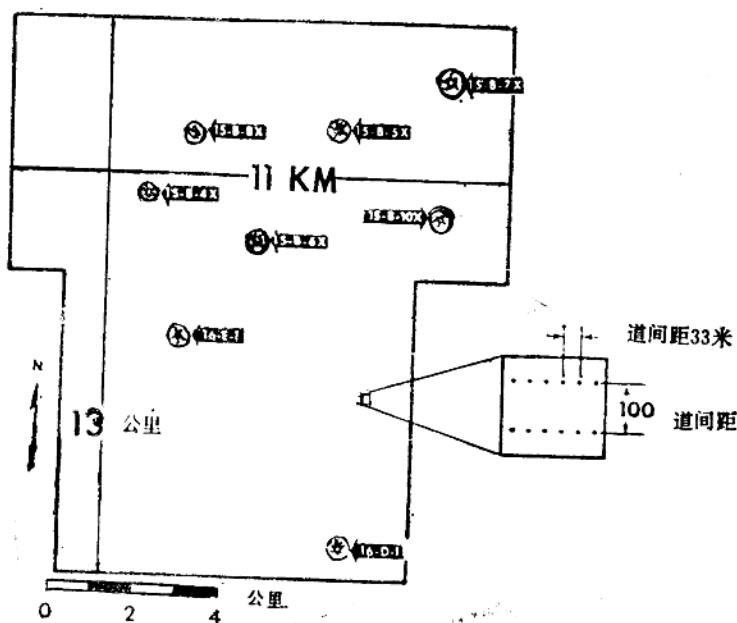


图1 表明了勘探区13×11km的测量草图。解释所采用的三维数据体统一由33m×100m×4ms的点阵组成。勘探区位于盆地中心的西北角(图2)。这一地区南部和西南部的沉积物可能来自构造的高部位。

弗兰奇在1974年生动地说明了三维偏移的价值。自1976年以来,3D偏移在许多勘探上已成为常规作业。施纳贝尔1978年讨论了3D偏移的算法。塞尔贝在1978年再述了3D资料的采集和处理。

这篇文章涉及的是对三维地震资料进行的地层解释。在布朗1979年所论述的几种方法的基础上又产生了几种新的解释方法。这一成果为勘探区沉积史的进一步了解和含油气圈闭特征更清楚的识别创造了条件。



图2 泰国湾海区的构造图,箭头所指的为勘探区位置

当1977年进行勘探时,在这一区域已经钻了三口井,15-B-4X、15-B-5X和16-D-1(见图1)。在三维勘探成果的基础上又钻了五口井。所有的这些井都钻遇了含

气砂层，并且说明了许多砂层分布在一定的范围且厚度变化很大。地震资料显示了这些砂层横向上的变化及振幅的差异。这一项目的目的就是研究这些地震参数的变化并依照沉积模式去解释它们。

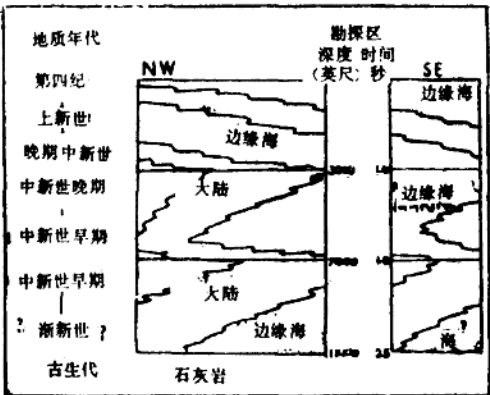


图 3 泰国湾海区的第三系沉积

地质背景及地球物理探讨

伍尔德和海尔乌的报告指出泰国湾的第三系沉积有三个主要的沉积旋回。图(3)表示NW—SE剖面在勘探区大致位置的示意图。图(4)显示的是从三维资料获得的一个典型的双极性形式的垂向地震剖面。在2.5s—3.0s之间的强振幅反射泰国湾早期的古生界灰岩，在2.5秒以上可以清楚地看到第三系的三个沉积旋回。边界大约在1.8秒和1.0秒(见图3)。

在1.0—1.8秒之间的第二个旋回称之为生产层，它是主要的含气砂层。在这个层的顶部是中中新统的一个区域性不整合(根据保罗和利思1975年所述)。1.0秒顶部的第三个旋回是大面积未受扰动的稳定沉积，因而是水平产状。图(3)表明了第三系主要是边缘海沉积。

Seiscrop(横向切片)剖面是从3D数据体切片得到的水平地震剖面。由于它直接提供了地下地质的水平情况，地震等时切面图具有某些独特的和很有用的特性。在构造显示部位，一般的，地震等时切面图横切反射层。地震等时切面图上的同相轴正是那些被切割的相位，因此直接显示了构造圈闭。在这个区域的第三个沉积旋回的水平层，由于水平切片没有横切到构造，所以地震等时切面图所反映的仅仅是单—层土地层变化。这同样令人感兴趣，因为它提供了一个直观的较晚时期的一些沉积特征。下一节展示了这一时期一些经过挑选的地震等时切面图。可以看出它们说明了三角洲前积的存在。其余的篇幅则是通过对不整合上部地层面的研究所得出的一些概念进而推断其沉积模式与地层——生产层的研究。

中中新统不整合面以上的地层

图5—10 展示了几张挑选的双极性形式的地震等时切面图。每一张都说明了三角洲前积部分的一个特征。图(11)是三角洲的一个草图。醒目的三位数数字表示图5—