

油气勘探专题资料之四

三维地震勘探技术

石油部科学技术情报研究所

前 言

近几年来，三维地震勘探技术发展迅速，在此期间，陆上和海上工程中已约有两百多个区块进行三维观测，它主要用于油田开发工程，尤其是在一些老油区，取得了显著的效果。开展三维地震勘探数据采集取得成功的关键是要有一个合适的观测系统。为此本刊编辑部组织了石油部物探局情报所牛毓荃和张淑敏同志编写了“三维地震采集参数设计”和“三维地震勘探在油田开发中的应用”两篇文章。有关三维地震资料的处理和解释方面的资料我们将陆续组织出版。

《油气勘探译丛》编辑部

1984.7.15.

说 明

为了加快石油工业科学技术的发展，开创石油工业新局面，由石油工业部科技司和石油工业部科技情报所围绕“六五”规划中地球物理勘探、测井的科研攻关项目，开展国内外情报调研工作。计划于一九八五年底前陆续出版十余种专辑，包括：

地震地层学应用实例

三维地震勘探技术

垂直地震剖面法

地震地层学解释实例 礁块勘探、碳酸岩勘探

横波勘探

特殊处理

重力、磁法、电法综合物探方法

地层倾角测井与实用地质学

利用测井资料预测地层压力

含高矿化度水的细岩性储集层的解释技术

裂缝性碳酸盐岩泥岩储集层解释技术

国内外物探、测井的新技术、新方法、新设备的介绍等

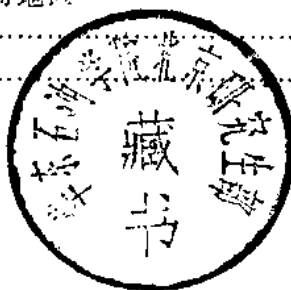


00299978

目 录

三维地震采集参数设计.....	1
一、地质地球物理问题.....	1
二、三维地震勘探的观测系统.....	3
三、三维地震采集的参数设计.....	9
四、小结.....	17
三维地震在石油勘探与开发中的应用.....	18
一、三维地震在石油勘探中的应用.....	18
(一) 复杂构造的研究与小构造边界的确定.....	18
(二) 断层的研究.....	22
(三) 对平点的研究与直接作砂层构造图.....	25
(四) 地层岩性解释.....	27
(五) 克服地表条件的限制, 提高断层与构造的分辨率.....	29
(六) 查明表层结构.....	30
二、三维地震在油田开发中的应用.....	31
(一) 南美大陆架上的特立尼达和多巴哥地区.....	31
(二) 北海邓林油田.....	32
(三) 路易斯安那油田.....	35

5965/31



200400315

三维地震采集参数设计

朱毓荃 孙忠勤

三维地震勘探解决复杂地质问题的能力及其在油田开发中的作用已为石油勘探工作者广为接受。我国也已开展了这方面的工作并正在收到成效。

虽然有关三维地震勘探技术工作原理、处理方法、显示与解释技术已有大量文献资料，但是，有关三维野外施工参数设计方面的文献资料却比较少见，有必要作一些分析讨论。

三维地震勘探多用在地质构造复杂的地区或开发阶段，成本也较高，因此参数设计的重要性和要求比二维高。然而，由于三维地震工作多在勘探程度较高的地区使用，所以也可为参数设计提供较多的地质地球物理依据，这是三维参数设计的优越之处。

进行参数设计的目的是使三维地震勘探野外工作的成果，能够满足地质任务的需要，解决地质问题。这就是说必须根据地质任务对地震勘探提出的要求作施工参数设计，下面我们来分析这方面的问题。

一、地质地球物理问题

与参数设计有关的地质地球物理问题，主要包括以下几点：

1. 探区面积

探区面积与地层最大倾角一起决定三维勘探区块面积的大小。

2. 地层的倾角

勘探目的层的倾角是三维野外工作参数设计的基础资料，其来源有以下三种：

(1) 未偏移过的二维地震剖面

在未偏移过的二维地震剖面上可以测出地层的倾角 α 为

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{\Delta T \cdot V}{2 \cdot \Delta x}$$

式中 ΔT 是在 Δx 距离上测量出的反射同相轴的时差， V 是速度。

(2) 偏移过的二维地震剖面

在二维偏移剖面上测得的地层倾角 α 为

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\Delta T \cdot V}{2 \Delta x}$$

以上两种方法测得的都是沿剖面方向的视倾角。在测线交点上可以用两个方向的视倾角求得真倾角。

(3) 地层倾角测井数据

3. 构造走向（倾向）

我们希望沿倾向方向布置主测线，因此需要知道地层的区域倾向。通常可由已有的地震构造图，地面地质图等得到有关构造、地层取向的资料。

4. 目的层的速度

速度，是参数设计的重要基础资料，其来源有以下几个方面：

(1) 地震测井

由地震测井可以得到以下几种资料：

垂直时距曲线，即时间与深度关系曲线，利用这种曲线可以估算地层的层速度；

平均速度—深度关系曲线；

平均速度—单程旅行时间（或双程旅行时间）关系曲线。

(2) 二维地震工作所得速度谱

均方根（或叠加）速度—法线反射时间（ T_0 ）关系曲线。

(3) 声波测井

积分声波测井曲线。

5. 要求勘探的最小目的层厚度 B —垂向分辨率

垂向分辨率 B 决定了地震勘探中所应保存的信号的最高频率成分 F_{smax} ，或最短信号波长 λ_{smin} 。

设待分辨的最小地层厚度为 B ，

其层速度为 V_b ，

则一般接受的意见是，在无相干噪声干扰的情况下

$$B = \frac{\lambda}{4} = \frac{V_b T}{4} = \frac{V_b}{4F} \quad (1)$$

上式中 λ 是地震信号的主波长， T 是主周期， F 是主频。对于对称的零相位 sinc 子波，当其频带宽度超过 2 个倍频程（这是在地震处理中应当保证做到的）时，主频 F 与最高频率 F_{smax} 有下述近似关系，

$$F_{smax} = 1.43F \quad (2)$$

代入上式可得

$$B = \frac{1.43V_b}{4F_{smax}}$$

或

$$F_{smax} = 0.358V_b/B \quad (3)$$

这就是数字采集中必须保存的最高信号频率。

如果我们的野外工作不能保证获得高达上式所决定的最高频率 F_{smax} ，则相应的分辨率就要降低。

将上式换算为地震信号的最短波长可得

$$\lambda_{smin} = 2.80B$$

这就是在地震数据采集中必须保存的最短波长。

在有相干噪声的情况下，一般认为分辨率减小 1/2，也即为了分辨同样的地层厚度 B ，要保存的最高频率必须提高一倍，最短波长必须减小 1/2，即

$$F_{smax} = 0.715V_b/B \quad (4)$$

$$\lambda_{smin} = 1.4B \quad (5)$$

6. 必须检测出的地下岩性单元的横向延伸范围—横向（水平）分辨率

一般认为这个范围约为一个菲涅尔带。不同频率成分的非涅尔带大小不同：高频成分菲涅尔带小，分辨率高；低频成分菲涅尔带大，分辨率低。

设到岩性单元的平均速度为 V_a ，法线反射时间为 T_0 ，则主频 F 时的菲涅尔带半径 R 为

$$R = \left[\left(\frac{V_a T_0}{2} \right)^2 - \left(\frac{V_a T_0}{2} - \frac{V_a}{4F} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

利用这个公式，可根据地质任务对横向分辨率的要求，计算野外数据采集中应当保存的主频或主波长。

当然，也可以根据实际地震资料中所含有的最高频率成分（或主频）利用公式（2）、（3）、（5）、（6）计算地震资料所能达到的垂向与横向分辨率。

7. 勘探目的层的深度

这个参数与速度参数一起可以算出最大记录时间。同时以后我们还会看到这个参数对于确定最大炮检距以及覆盖次数都有重要作用。

8. 地层的岩性

根据地质剖面、岩性录井资料可以得到工区的岩性资料；声波测井曲线则可提供各地层的波阻抗，或各个界面的反射系数数据。这两种数据可以使我们对信号强弱，特别是深层信号的强弱有初步估计，对确定覆盖次数有参考价值。

9. 震源产生的噪声及环境噪声

分析以往二维地震资料可以得到多次反射的强弱、剩余时差的大小以及面波、浅层折射波的强弱、视速度、视波长和环境噪声的资料。这对于确定覆盖次数，组合参数设计都是基础资料。

当然，实际设计三维组合时，还要专门作干扰波调查。

为了了解以上问题，在作三维施工设计之前，应搜集、分析工区已有的各种地球物理、地质、钻井（测井）、地形以及航空摄影的资料。

在明确了上述对三维地震勘探的技术要求之后即可开始进行施工设计。设计的第一步是观测系统。

二、三维地震勘探的观测系统

三维地震勘探的观测系统设计应当综合考虑地质地球物理任务，工区的地形与人文条件，以及现有的设备。当然，后一条件可以放宽，即也可以根据设计的观测系统，提出应当使用的观测系统。

本节中，我们将主要讨论观测系统的结构形态，而将其具体参数如炮检距、测线距、检波点距、组合等参数的设计留待下一节进行分析。

设计观测系统结构的主要因素是应当尽可能的保证有均匀的炮检距，和均匀的覆盖次数。炮检距从小到大均匀分布，可以保证同时勘探浅中深层，保证有良好的叠加特性，保证进行适宜的速度分析。只有大炮检距，没有小炮检距得不到合理的浅层反射资料。均匀的覆盖次数是保证反射记录振幅均匀，频率成分均匀，从而保持地震记录动力学特征的必要条件。下面，我们分别阐述各种观测系统。

1. 陆地三维观测系统

由于必须适应工区的地表条件，三维观测系统是多种多样的。大体上可分为两类，规则的观测系统和不规则的观测系统。

不规则的观测系统包括：

地震环线（SEISLOOP），如图 1 所示，沿不通行测区的周边布置炮点和检波点；

地震方格（SEISQUARE），如图 2 所示，在地形切割区，道路与地形切割线可把探区切成矩形的地区使用；

框架系统（Frame-Work System），见图 3，与地震方格相似。

蛇形系统，如图 4 所示。

所有不规则观测系统，都是由于地表通行条件不好而被迫采用的。他们的优点是灵活多变，放炮时记录的观测布置比较稳定，但是都有以下一些共同的缺点：

- （1）叠加次数一般较低，仅在某些孤立点上有较高的迭加次数；
- （2）炮检距的变化范围比较小，仅在某些孤立点上有从小到大完整的炮检距；
- （3）仅在环线和方格的周边上有小炮检距的记录，即仅在周边上可以记录到浅层资料；



图 1 地震环线系统

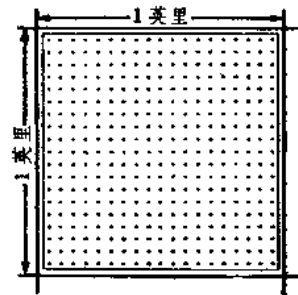


图 2 地震方格系统

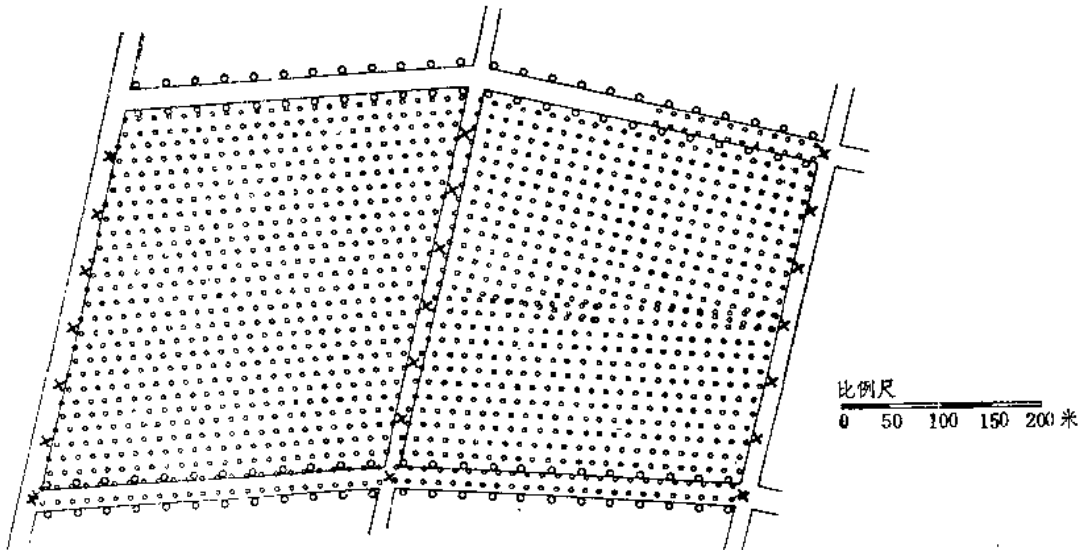


图 3 地震框架系统

(4) 地震环线的形状不规则，因此在放炮前应先做地下覆盖的模拟，构成共深度点面元 (Bin)；

(5) 由上述讨论可知，不规则测网一般只用于通行条件困难的地区，而且仅在信噪比高的地区才能获得成功。

规则形式的观测系统包括：

宽线剖面 (WLP)，图 5 所示为美国路易斯安那州沼泽区使用的一种宽线剖面观测系统。宽线剖面是一种简易的三维系统；

正交排列，如图 6 所示，也可以说是一种简易观测系统，多用在地震仪道数不足的情况；

多线 (Multiline) 或地震 (线) 束 (SEISWATH) 系统，见图 7，这是目前认为在地表条件许可下最合理的观测系统。

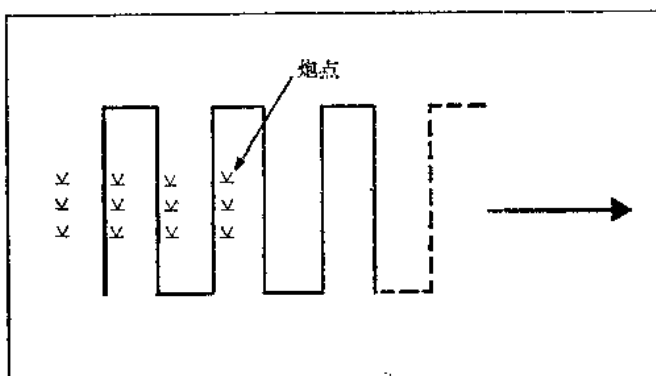


图 4 蛇形系统

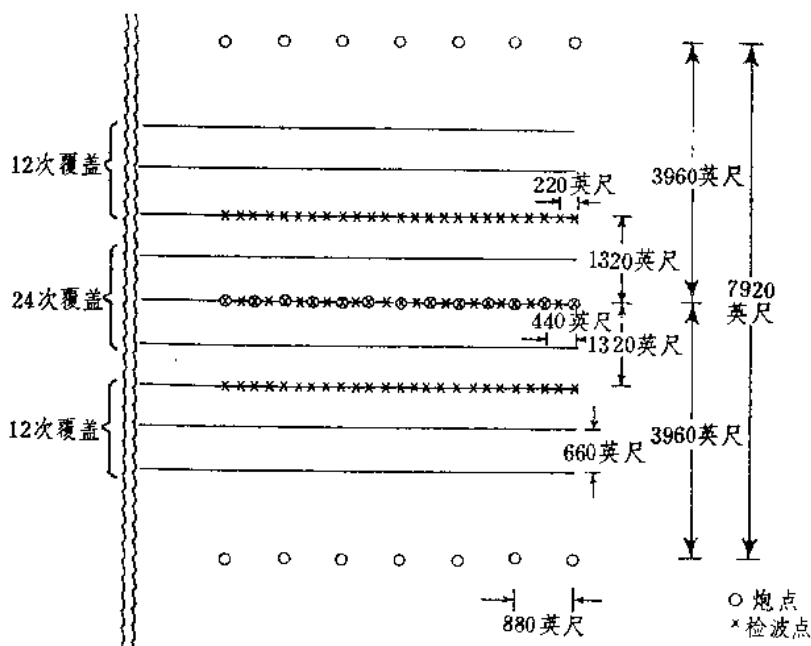


图 5 一种实用的宽线剖面系统

我们已经说过，三维观测系统的设计，关键是有均匀的炮检距和一致的覆盖次数。在各种规则观测系统中，地震束 (多线法) 在理论上可以通过设计达到均匀的炮检距和均匀的覆盖次数，纵横两个方向兼顾。因此只要地表条件许可，多半应采用这种观测系统，下面我们就此做一些专门的讨论。

2. 地震束观测系统

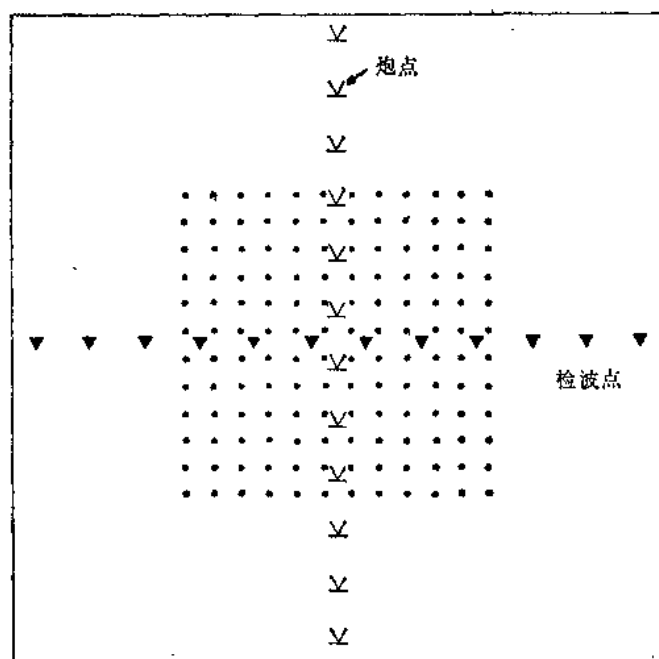


图 6 正交观测系统

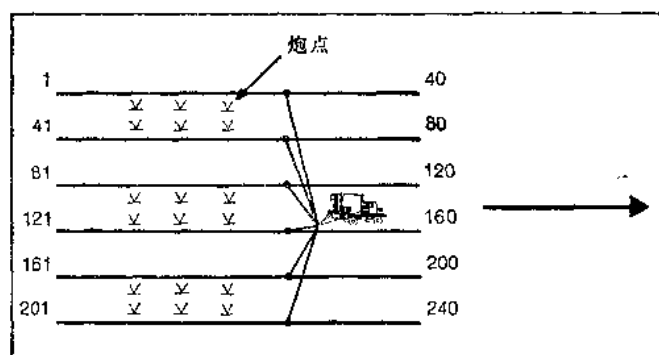


图 7 地震（线）束观测系统

图 7 所示的地震束观测系统的优点是可以获得均匀的炮检距，这一点是很清楚的，因为在测线的纵方向施工与普通二维多次覆盖完全相同，而如该图所示，横向上炮检距也是均匀变化的。因此，这种观测系统可以同时记录浅中深层的资料，得到完整的速度分析。

现在，我们来分析一下如何设计地震束以获得均匀的炮检距和覆盖次数。

图 8 是一种最简单的 2×2 地震束。由图可见，如果横向炮点间距是 1 个距离单位的话，则横向检波点间距是两个单位。地下深度点（图中用直线表示）在横向上是均匀分布的，距离为 1 个单位（地下点间距离单位缩小一半），且横向上是均匀的一次覆盖。纵向覆盖次数及炮检距与普通二维多次覆盖系统相同。

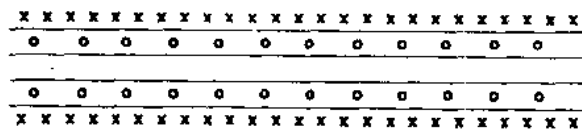


图 8 2×2 地震束

用 Z 的多项式分别表示炮点、接收点、地下深度点的间距和权系数（覆盖次数）为

$$x(Z) = S(Z)G(Z) \quad (1)$$

式中 $x(Z)$ ——地下点线的 Z 多项式

$S(Z)$ ——检波点线的 Z 多项式

$G(Z)$ ——炮点线的 Z 多项式

式(1)是设计地震线束的基本关系式,对于某种形式的地震束,规定好 $x(Z)$,则可调整 $S(Z)$ 与 $G(Z)$ 满足 $x(Z)$ 的要求。通常因为手头仪器已确定了,因此 $S(Z)$ 常常是先确定了,再调整 $G(Z)$ 以满足 $x(Z)$ 的要求。

例如图8的 2×2 线束,我们有

$$x(Z) = Z^1 + Z^2 + Z^3 + Z^4$$

Z 的幂次 1, 2, 3, 4 分别表示 4 条深度点线离开起始线的距离为 1、2、3、4 个地下距离单位。 Z 的各次幂的系数均为 1, 表示权系数均为 1, 即各条深度点线的横向覆盖次数均为 1。

假设我们用 2×2 地震束工作,即两条检波点线和两条炮点线,并设

$$G(Z) = Z^1 + Z^2$$

则由式(1)可得

$$(Z^1 + Z^2) \cdot S(Z) = Z^1 + Z^2 + Z^3 + Z^4$$

所以

$$S(Z) = Z^0 + Z^2$$

当然,反过来

$$S(Z) = Z^1 + Z^2$$

$$G(Z) = Z^0 + Z^2$$

也是成立的,图8表示出的就是这种情况。

现在,我们看一个在东濮油田所作地震线束观测系统的实例。如图9所示,这是一个 4×6 的地震束。每束 4 条检波点线,纵向上一个排列是 60 道(用 240 道仪器),道距 80 米,横向道距(即一束内的检波点线距) 160 米。每束有 6 条炮点线,沿纵测线方向炮点距是 240 米,即 3 个道距,由于一个排列是 60 道,因此纵向上是 10 次覆盖,横向上 6 条炮点线分成 3 组,每组两条,间距 80 米,各组间距离是 240 米。放完第一束的所有排列之后,再放第二束。第二束与第一束重复一条检波点线以保证横向上有均匀的炮点距和均匀的覆盖次数。由图9可以看出,第二束的第 0 号和第 2 号炮点填补在第一束的第 12 和第 14 的位置上,第一束的第 16 和 18 号炮点填补在第二束的第 4 和第 6 号位置上,这就保证了从第一束的第 8 号炮点开始直到最后一束的第 6 号炮点为止,横向炮点距都是 80 米。

现在我们利用公式(1)研究一下地下深度点线和覆盖次数的问题。图9上已用数字表示出了第一束及部分第二束的炮点线和检波点线到起始线的距离,0 表示起始线,地面距离单位是 40 米,因此地下距离单位是 20 米。由该图可以看出第一束检波点线的 Z 多项式为

$$G(Z) = Z^3 + Z^7 + Z^{11} + Z^{15}$$

炮点线的 Z 多项式为

$$S(Z) = Z^0 + Z^2 + Z^8 + Z^{10} + Z^{16} + Z^{18}$$

按照公式(1),深度点的 Z 多项式应为

$$\begin{aligned} x(Z) &= G(Z)S(Z) \\ &= Z^3 + Z^5 + Z^7 + Z^9 + 2Z^{11} + 2Z^{13} + 2Z^{15} + 2Z^{17} + 2Z^{19} \end{aligned}$$

$$+ 2Z^{21} + 2Z^{23} + 2Z^{25} + Z^{27} + Z^{29} + Z^{31} + Z^{33} \quad (2)$$

由公式(2)可以得出以下几点结论:

(1) 每放完一束可得16条均匀分布的地下深度点线, 如图9右边的数字所示, 线间距是两个地下距离单位, 即40米, 因此一束的地下横向覆盖范围是600米。

(2) 每一束两边的深度点线, 即3、5、7、9和27、29、31、33等8条深度点线是单次覆盖(Z 的系数为1), 中间8条则是两次覆盖(Z 的系数是2)。但是如图9所示, 第二束的第3、5、7、9四条深度点线恰好与第一束的27、29、31、33条深度点线重合, 从而使这四条深度点线在横向上也是二次覆盖。

3. 海上三维观测系统

在浅海区可以用沉放电缆和检波器的方式进行三维观测, 为了施工方便多线系统不大适宜, 多半采用图6所示的正交系统。施工时检波器排列沉放于海底, 用单船作业, 沿垂直于排列的炮点线逐点放炮。

在较深海域, 多半用羽状拖缆施工, 船的航线垂直于海流方向, 借海

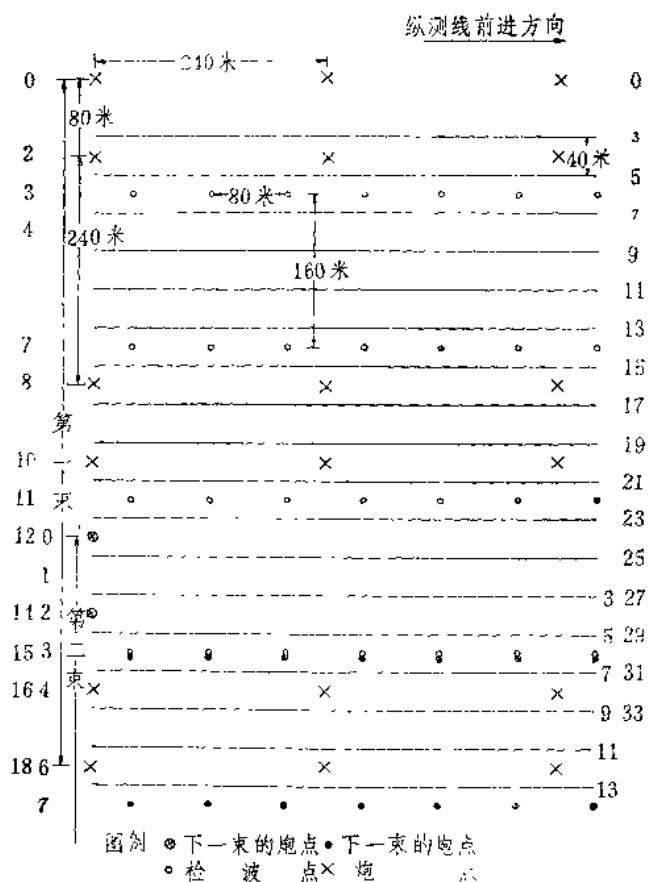


图9 实用4×6地震束

流的力量使拖缆散开获得散布的检波点, 如图10所示。由于事先并不知道检波点的位置, 因此必须用拖缆跟踪器测出每个实际检波点相对于船的位置。这种资料与导航数据一起可以确定每个检波点的坐标。由于测线垂直海流方向布置, 可以获得较宽的检波点分布, 因此事先预测海流的方向是很重要的。

由上述可知, 海上三维地震数据采集与陆地采集的不同之处, 在于炮检距、共深度点位置、覆盖次数不能在事先完全确定, 而需在放炮之后, 根据实测检波点位置来确定。因此为了实时在船上监控数据采集的情况, 在地震船上多配有相应的计算机处理系统, 显示出所需要的资料。例如CGG公司配有地球物理综合导航仪(GIN)和一台微型Hewlett-Packard计算机和采色显示光屏, 可在船上实时地显示出每个共深度点面元及其对应的覆盖次

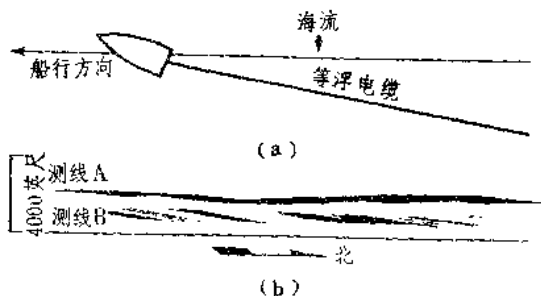


图10 海上三维观测

数。挪威GECO公司则在船上配有三维专用计算机,可以实时显示出“拖缆形态图”、“航向控制图”以及“共深度点面元覆盖图”。图11(见附彩色图第1页)表示出GECO公司的覆盖次数和平均炮检距直方图,该图清楚地表明各种炮检距和覆盖次数的分布,是以后在处理中进行内插的重要依据。

三、三维地震采集的参数设计

一旦确定了三维观测系统,就应该根据工区的地质地球物理特征确定各种采集参数,即确定道距(纵测线间的线距,地下共深度点间距)、炮检距、道数、覆盖次数、偏移距离以及进行组合设计。下面,我们分别讨论这些问题。

1. 道距选择

根据采样定理,在无相干噪声(面波、浅层折射波)的情况下,道距最大也不能超过有意义的信号的最小波长之半,否则将会产生空间假频。

设 Δx 是可以选用的最大道距,

λ_{smin} 是信号沿测线方向的最小视波长,则

$$\Delta x \leq \frac{1}{2} \lambda_{smin} \quad (3)$$

后面,在讨论组合设计时我们将详细说明在有相干噪声时,应当保证

$$\Delta x \leq \frac{1}{4} \lambda_{smin} \quad (4)$$

由上两式可见,为了计算出所能使用的最大道距,必须计算出地震信号沿测线的视波长。若地震波沿测线传播的视速度为 V^* ,地震信号的最高频率为 F_{smax} ,则

$$\lambda_{smin} = \frac{V^*}{F_{smax}} \quad (5)$$

由(5)式可以看出,信号的最短波长与波沿测线传播的视速度和最高信号频率有关。

我们知道,假设某一反射面上覆为均匀介质,平均速度为 V ,界面倾角为 φ 时,反射波的时距曲线方程式为

$$t = \frac{1}{V} \sqrt{x^2 + 4h^2 + 4hx \sin \varphi} \quad (6)$$

式中 h 为炮点到反射面的垂直深度。

微分(6)式可以得到视速度

$$V^* = \frac{dx}{dt} = V \frac{(x^2 + 4h^2 \pm 4hx \sin \varphi)^{\frac{1}{2}}}{x \pm 2h \sin \varphi} \quad (7)$$

当界面水平时, $\varphi=0$,我们有

$$V^* = V \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{x}\right)^2} \quad (8)$$

由(7)式和(8)式可以看出,最短视波长不仅与最高频率有关,而且与地下介质的速度、界面倾角、界面深度和炮检距有关。为了计算地震信号的视波长,常常计算出视波长与这些参数的关系曲线簇,用以确定合理的道距。图12是在固定最大炮检距和深度之比, $x =$

1.5 h 和速度为 $v = 10000$ 英尺/秒时, 视波长与倾角和频率的关系曲线簇。图 13 则是视波长与速度和频率的关系曲线。

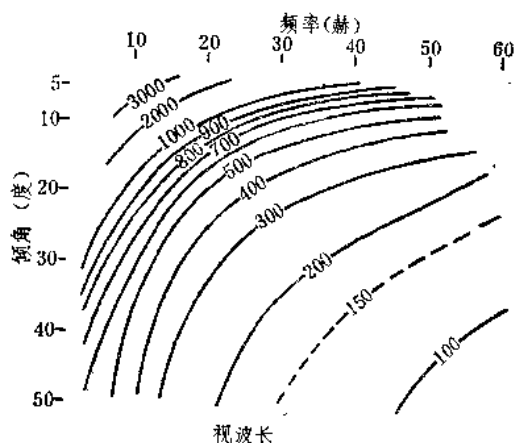


图 12 视波长与倾角和频率的关系

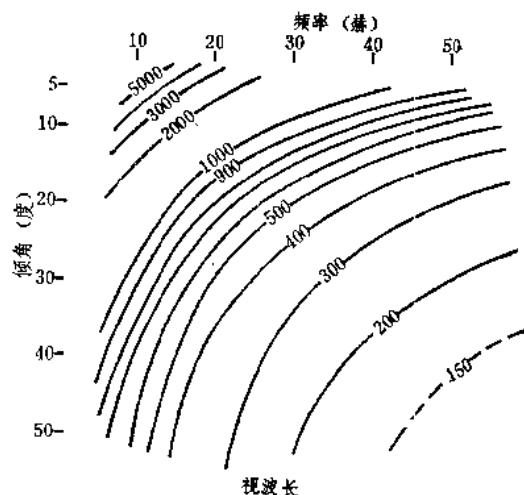


图 13 视波长与速度和频率的关系

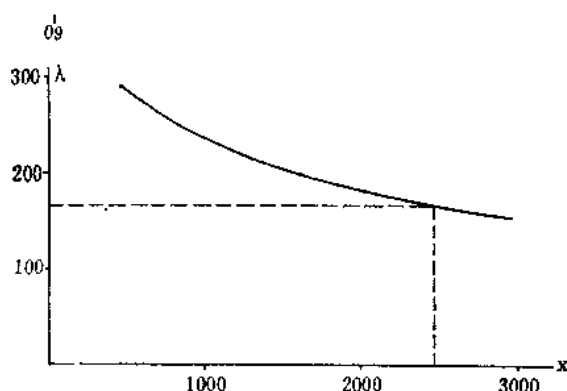


图 14 视波长与炮检距的关系

最常用的方法是, 根据工区已知最大倾角、目的层深度和目的层以上的平均速度和需要保存的最高频率, 制作出视波长与最大炮检距的关系曲线。图14就是我国文留地区的一条视波长与炮检距的关系曲线, 可以看出, 在最大炮检距约为 2400 米时, 最短视波长约为 160 米。

2. 最大炮检距

由上一节可以看出, 炮检距与视波长有关, 炮检距越大, 视波长越小, 可以采用的道距也越小。当然, 由于波长小, 也会限制组合的使用, 因此对最大炮检距, 也即对排列长度

应当有所限制。

除上述因素外, 炮检距的大小还影响到动校正拉伸, 速度求取, 偏移孔径造成的波形拉伸, 以及反射系数随入射角的变化等, 下面我们分别对这些影响进行讨论。

(1) 动校正拉伸

通常用百分比动校正拉伸来衡量动校正引起的波形畸变, 其定义如下:

$$\text{百分比动校正拉伸} = \frac{\text{动校正量}}{\text{双程反射时间}}$$

动校正拉伸的程度随界面深度 h 与炮检距 x 之比的减小而增大。若上覆层为均匀介质, 则计算表明, 当 $x = h$ 时, 百分比动校正拉伸约为 12.5%。这会造成地震信号的频率降低, 即动校正后的信号频率约为动校正以前信号频率的 85%。

当界面上覆层为非均匀介质时, 动校正拉伸还要严重。例如, 当速度随深度线性增加时

动校正拉伸可达20%左右。

由动校正拉伸的角度来看，希望最大炮检距约等于勘探目的层的深度。

(2) 求取均方根（叠加）速度

我们知道，均方根速度和叠加速度都属于所谓正常时差速度，是根据正常时差求取的。因此要求正常时差有较大的数值，才能保证计算精度。但是正常时差随炮检距的增加而增加，严格地说应当是随界面深度与炮检距之比以及速度的减小而增大。

若 V 为 T_0 时间的均方根速度，

ΔV 为待测的速度增量

ΔT 为速度分析中可以检测出的最小正常时差值

T_0 为法线反射时间

则为了确定速度，最小的最大炮检距应为

$$x = \left(\frac{2T_0 \Delta T}{\frac{1}{V^2} - \frac{1}{(V - \Delta V)^2}} \right)^{1/2} \quad (7)$$

这就是说，为了求准均方根速度，最大炮检距越大越好。

反过来，我们看一看均方根速度 V 的迪克斯公式

$$V = \frac{x^2}{T_i^2 - T_0^2} \quad (8)$$

式中 T_i 是炮检距为 x 处的反射时间。这是一个近似公式，它忽略了 $\sin i$ 的 4 次方项，这里 i 是对界面的入射角。如图15所示，在界面上覆介质为均匀介质的情况下，

$$\sin i = \frac{\frac{x}{2}}{\sqrt{h^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2}} \quad (9)$$

所以， $\sin i$ 随 h/x 比值的减小而增大。这就是说，炮检距 x 不能太大，否则计算均方根速度的迪克斯公式本身就不成立。

由此可见，为了计算准确的速度，最大炮检距不能过大，也不能过小。我们说适当的数值是最大炮检距近似等于目的层界面的深度。如图15所示，当 $x = h$ 时，公式 (9) 变为

$$\sin i = \frac{\frac{h}{2}}{\sqrt{h^2 + \frac{h^2}{4}}} = \frac{\frac{h}{2}}{\frac{h}{2} \sqrt{5}} = \frac{1}{\sqrt{5}}$$

所以 $\sin^4 i = \frac{1}{25} = 4\%$

误差不大，迪克斯公式近似正确。

(3) 偏移

炮检距对偏移结果具有重大影响。加德纳等人于1974年曾经指出，若界面深度为 h ，则波长为 λ 的脉冲，经偏移后展宽为原来的

$$1 + \frac{x^2}{8h^2}$$

倍。若令炮检距 x 等于界面深度 h ，则即展宽至 $1 + \frac{1}{8} = 1.125$ 倍，则频率降低至原来频率的 80%。由此可见，炮检距已不宜超过界面深度。

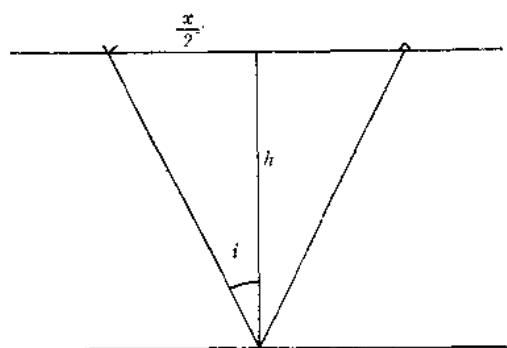


图 15

当然，在倾角不太大，界面上下两侧速度差异不十分大时，最大炮检距 $x = h$ 情况下，入射角一般小于临界角，因此各反射点上纵波反射系数变化不大，可以保证振幅是均匀的。

根据上述分析，一般选择最大炮检距约等于最深目的层的深度，浅层动校正拉伸严重、振幅畸变等可用切除的方法解决。这当然会降低浅层覆盖次数，但由于浅层本身信噪比高，一般影响不大。

前面讨论的道距 Δx 对横测线方向的道距 Δy 也是适用的，最大炮检距 x 对横测线（即地震束的宽度） y 是适用的。当计算出了应当使用的道距 Δx 、线距 Δy 和最大炮检距 x 和束宽 y 之后，可以计算需用的仪器道数 N 。

对于单边放炮排列

$$N = \frac{x}{\Delta x} \cdot \frac{y}{\Delta y} \quad (10)$$

对于中间放炮排列

$$N = \frac{2x}{\Delta x} \cdot \frac{y}{\Delta y} \quad (11)$$

手头地震仪的道数通常小于上面两式要求的数量。折衷的办法就是放松对线距 Δy 和束宽 y 的要求。这是因为纵测线常沿地层倾向布置，要求有较密点距的原因。

4. 覆盖次数

覆盖次数的大小主要决定于信噪比，因此与压制多次波及随机环境噪声（勘探深度）、进行速度分析以及求取表层静校量等诸因素有关。

（1）压制多次波

应当利用正确的速度资料事先研究各种多次覆盖的叠加衰减特性，根据多次波特点选用合理的覆盖次数。

由于其他各种观测系统的覆盖次数和炮检距都不均匀，因此在多次波非常严重的地区，只能考虑使用地震线束观测系统进行数据采集。

无论采用什么样的观测系统，都应计算出其炮检距的分布范围，以便了解其叠加特性。

（2）随机噪声

三维观测的成本比较高，因此应当尽可能的选用其他方法，特别是室内处理方法压制随机噪声，而尽可能把三维采集的覆盖次数降低到最低限度。但是，对于同样的环境噪声水平，深层信噪比偏低。所以，如果勘探目的层较深，应当适当增加覆盖次数。

（3）速度分析和静校正量估算

这两种参数的计算均要求有均匀的炮检距和覆盖次数，而且覆盖次数越高，统计性能越好。

5. 偏移孔径

如图16所示，对同相轴进行偏移的孔径为

$$x_{mig} = htg\varphi \quad (12)$$

或用法线反射时间 T_0 表示为

$$x_{mig} = \frac{T_0 V}{2} \sin\varphi \quad (13)$$

因此，若勘探对象的范围到P点为止，则地面测线应向外延伸一段长为 x_{mig} 的距离，才能保证得到P点的反射。

6. 组合设计

地震勘探中运用炮点和检波器组合的统计效应和空间滤波效应压制随机干扰和面波等相干噪声。这里我们还提出使用组合作为去假频滤波器，以压制由于空间采样而形成的假频效应。这里的空间采样指的是在地面上相距为 Δx （道距）的点（横向上是 Δy ）上对空间传播的地震波进行离散采样。

三维观测与二维观测的不同之处在于，二维组合是沿测线方向上的响应（在面积组合时也考虑横向上的响应），而三维观测常常需要考虑组合在各个方向上的响应。

由于炮点组合与检波器组合是等效的，所以我们统一用检波器组合进行讨论。并从沿测线方向的线性组合开始。

（1）直线等权组合

设组合基线长度为 $L=nd$ ， n 是组合中的检波器个数， d 是组内距，则等权等内距直线组合的响应为

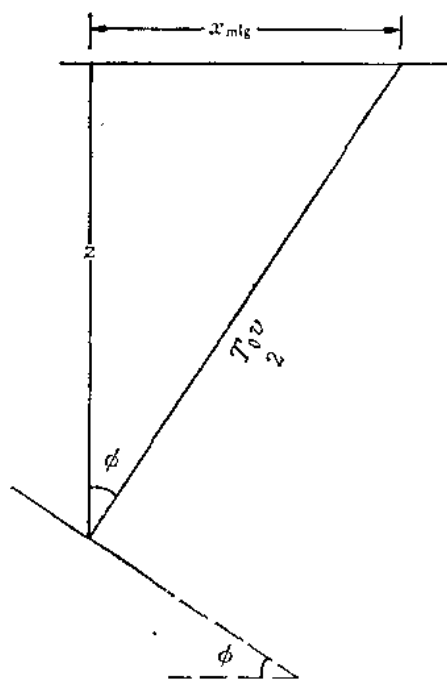


图 16 偏移孔径

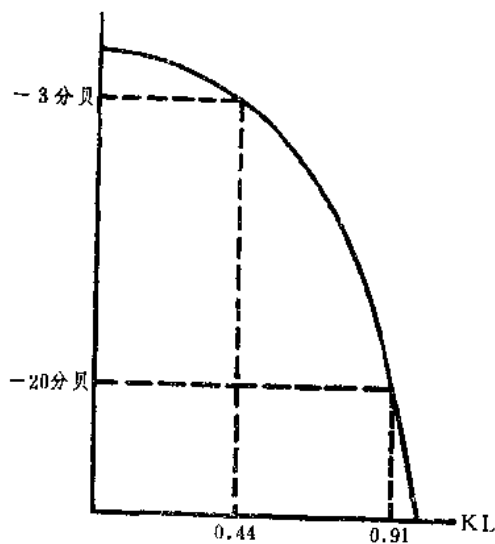


图 17