

## 物理勘探

## 三维地震勘探中的测量工作

郑道峰

## 摘要

三维地震勘探的测量工作比起二维勘探来说有较大的差异，其最大优点是将现代化的电子计算技术应用到了测量工作之中，实现了计算、平差、检验、直到打印最终成果和编制成图工作的全部自动化。在野外施工中只要取得角度、距离、标高和仪器高程等原始数据，并根据要求设置标志即可，无须作任何现场计算工作。在一个三维勘探面积内，不可能也不必要条条测线都用仪器实测，只需对一部分控制测线用仪器实测，而其余的测线采用内插。三维地震勘探的测量方法有多种，无论采用哪种方法，都必须达到各项技术指标的要求。

## ABSTRACT

The ground survey of 3D seismic exploration is quite different from that of 2D seismic exploration because of its adoption of modern electronic computing technique. Computation, adjustment, check, printing and map compiling are automatically performed. The only work for the surveyor is to set up correct marks and to take necessary firsthand data, such as azimuth, distance, elevation, instrument level and so on. Field computation is unnecessary. It is also unnecessary for surveyors to survey all lines in a 3D seismic exploration area with instrument in the field. Some lines are positioned with instrument in the field, and the others by interpolation. There are many ground survey methods used in 3D seismic exploration; however, whatever method we use, the technical specifications must be met.

三维地震勘探工作是七十年代中期发展起来的一门新技术，主要是利用先进设备，采用多线束状进行野外采集工作。在测量工作方面与二维勘探中的情况有所不同，而且没有成文的技术规范。我们同 GSI 在文南的三维地震工作合作期间，通过实践，取得了一些经验，下面就三维地震勘探中测量工作的基本情况，以及有关的问题谈几点看法。

# 物理勘探概况

三维地震勘探与二维地震勘探在测量方面具有较大的差异，其最大的区别是将现代化的电子计算技术用于测量的计算工作，实现了计算、平差、检验、直到打印最终成果和编制成图工作的全部自动化。

三维地震队从事测量工作的有六十五人，分为四个测量组、四个内插组和一个资料处理组。测量组采用 WILDT-2 经纬仪测角、Auto Ranger-Ⅱ 红外激光测距仪测距（注：检波点和炮点的标志设置仍旧需得量距，但不作原始数据记入手簿）。内插组根据测量组测出的接收线和炮线控制线利用罗盘定向、测绳量距来加密测线，并定出标志，无须记录数据。资料处理组利用两台 770 终端、TI-59、810 宽行打印机、自动绘图仪等在室内进行资料处理，直到打印出最终成果和编制成图工作。

在野外施工中，要取得角度、距离、标高和仪器高程等原始数据，并根据要求设置标志。

## 总体设计

在二维地震勘探中，施工是一条线；而在三维地震勘探中，施工则是一个面。根据地质条件的要求，提供完全三维偏移地下面积的四角坐标，再由覆盖次数、线间距、道间距、炮间距来确定地面施工面积的四角坐标。然后根据接收线间距和炮线间距分别平行布置测线（就其性质来讲，测线分为接收测线和垂直于接收测线的炮线测线；就其施工方法来讲，测线分为控制测线和内插测线，其中控制测线又分为接收控制线和炮线控制线；内插测线又分为接收内插线和炮线内插线）。由计算机根据  $x_2 = x_1 + s \cdot \cos\alpha$ ,  $y_2 = y_1 + s \cdot \sin\alpha$ ，推算出工区里每个检波点、炮点的坐标值。在测线布设中，以尽可能地避开大型障碍物为原则选择（测线整体平移）有利施工的最佳整体方案，这是其一；其二，由于测线较多，接收测线和炮线测线不可能条条用仪器实测。为了提高效率，方便施工，在既定测线中要选择那些地形比较平坦、条件比较好的作为控制测线。对于接收控制线的实测，有如下两种选择方案：

1. 边线控制。接收控制线一般是选择在一束线（四条接收测线为一束）的两边测线上，即间隔两条接收测线作一条接收控制线。这样，能保证在地震施工中每束线有两条实测接收控制线（地震施工中相邻两束线之间要重复一条测线）。一束线中间的两条接收测线由内插组进行实地内插。

2. 中线控制。如果工区内有几处大面积障碍物在测线布设中无法避开又正好位于一束线的边线上，此时接收控制线设计可以打破束线边线控制的概念，将此束接收控制线的间隔减少到一条或放宽到三条测线。通视不好的测线留作内插（但要注意，为了保证物理点位置的准确性，接收控制线之间的内插线一般不要大于三条）。对于其余的各束接收测线同样还是采取间隔两条实测一条接收控制线。这样，在地震施工中一束线

# 物探技术

内只能有一条实测接收控制线。

对于炮线控制线的实测，是以束分段相间进行的。在一般情况下，以接收控制线的对应交点桩号为起闭点，间隔一条实测一条，即实测单号炮线或双号炮线测线。由于炮线控制线的距离只有一束线的宽度或相当于一个接收线间距，故精度要求不高。为了提高施工速度，可将激光测距改用测绳量距进行实测。如不通视时，可从相邻的两条接收控制线起，分别向中间实测，资料处理时作为支导线计算。没有实测的炮线测线同样由内插组来完成地面定点立标任务。图1是一个全观测系统图。

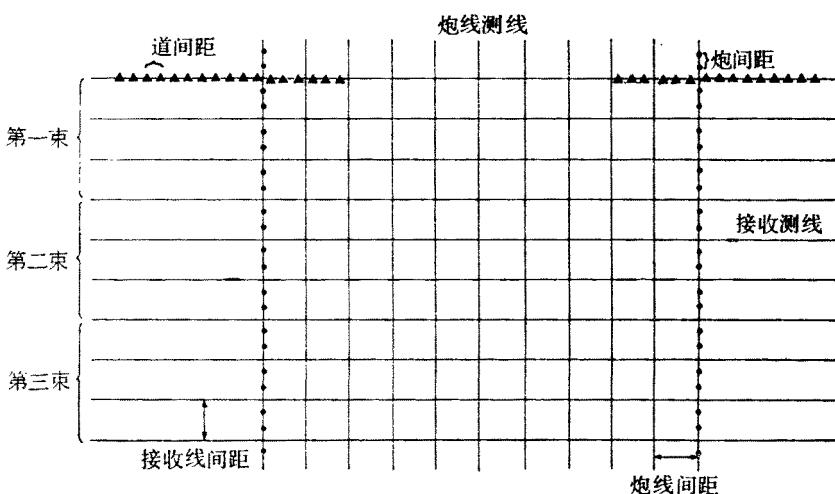


图 1 全观测系统

**测线及桩号编排原则：**

接收测线为：LG101, LG102, LG103, ...

炮线测线为：LS201, LS202, LS203, ...

检波点号为：101001, 101002, 101003, ...

炮点点号为：201001, 201002, 201003, ...

编号的顺序一般均依由西向东和由北向南的次序编排。测线方位在 $45^{\circ}$ — $135^{\circ}$ 之间为东西向；在 $135^{\circ}$ — $225^{\circ}$ 之间为南北向。

## 施工方法

在总体设计拟定之后，还要设计每条控制线的具体施工方法。在三维地震勘探测线稠密、三角点稀少的情况下，每条导线不可能都起闭在三角控制点上。因此，施工时需要采用发展导线。由于接收测线较长，为了不影响资料采集的施工，我们必须设法缩短一束线的施工周期。为此，一条接收控制线一般由两个测量组来施工。我们可根据提前实测的时间和三角控制点的分布情况，选用下列几种基本的接收控制线施工方法。

### “T”型高级控制施工方法

“T”型高级控制由两条高级控制线所组成（高级控制线的起闭点为大地三角控制

## 物面控制

点)。第一条是由第一束里第一条接收控制线组成“—”型高级接收控制线;第二条是由全工区中间炮线控制线组成“|”型高级炮线控制线。其余接收控制线的施工是以与中间高级炮线控制线的交点成果作为接收控制线的起点。两个测量组同时分别向测线两头实测,闭合在上一条接收控制线的始点或终点上(图2)。依此类推,依次逐级向下发展符合导线。特点是闭点逐级发展,起点已定,中途无须进行导线校正工作。这是一个较为理想的符合导线。

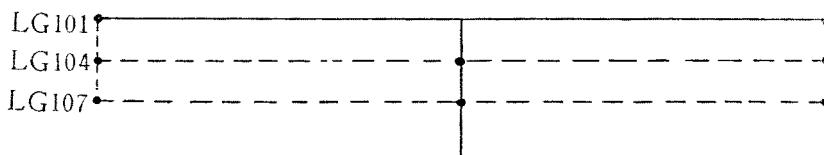


图2 “T”型高级控制施工方法

图2中虚线为控制线,实线为高级控制线,黑点为起闭点(本节下同)。

#### “口”型高级控制施工方法

“口”型高级控制由三条高级控制线所组成。第一条是由第一束里第一条接收控制线组成“—”型高级接收控制线;第二条和第三条是由分别垂直于“—”型高级接收控制线且位于两端点以外近处的两条互相平行的控制线组成“||”型高级辅助控制线(为了将道间距的误差分配在实地上,而不至于都集中在导线实测方向的最后一个道间距里,这两条互相平行的高级辅助控制线不能建立在接收测线的始点和终点上)。其余接收控制线的施工是以第一条高级控制线与全工区中间炮线控制线的交点线成果为起点,垂直引到中间炮线测线上,在一束线的宽度处再垂直转向第二条接收控制线,然后两个测量组同时分别向测线两头实测,最后闭合在这两条互相平行的高级辅助控制线上。依此类推,依次逐级向下发展符合导线(图3)。特点是起点逐级发展,实测地面目标在与其理论坐标发生较大偏移时,需要进行导线校正工作。

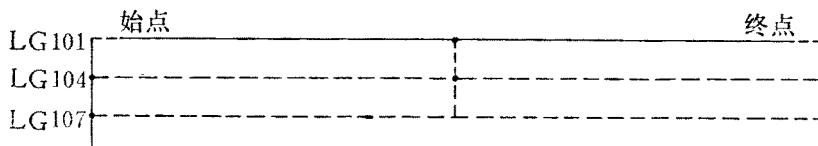


图3 “口”型高级控制施工方法

同一条接收测线相反方向实测的两个组中,如果其中一组原始记录带在770终端上反向后,两组拉通计算时,导线只是发展了一次,是一种理想的符合导线。

#### “—”型高级控制施工法

“—”型高级控制只有一条高级控制线。这条高级控制线即是第一束里第一条接收控制线。其余接收控制线的施工是从这条高级接收控制线与全工区中间炮线控制线的交点出发,垂直引到下一条接收控制线上去,然后两个测量组分别向这条接收控制线的两端实测,最后闭合到这条“—”型高级控制线的始点或终点上。依此类推,依次逐级向

下发展符合导线（图4）。特点是起点和闭点都是逐级发展下去的，在实测的地 面目标与其理论坐标发生较大偏移时，需要进行导线校正工作。

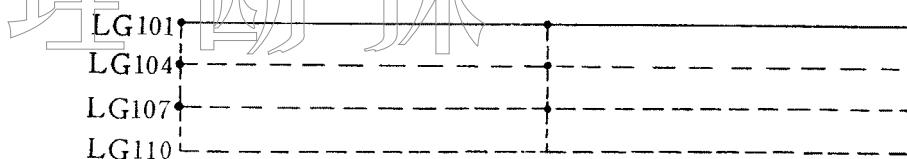


图 4 “—”型高级控制施工方法

#### “|”型高级控制施工法

“|”型高级控制只有一条高级控制线。这条高级控制线即是全工区中间炮线 控制线。其余接收控制线的施工可同时从这条高级中间炮线控制线与所实测的接收控制线的交点出发，各自分别向两条接收控制线的两头实测。同方向实测的导线两组分别在其接收控制线的始点或终点处实行对接，其中一组原始记录带在 770 终端上反向后，形成“□”型符合导线。其余线依次类推。特点是导线只发展了一次，但平行的两条接收测线较长，有些误差在计算或实测过程中有互相抵消的情况存在（图 5）。

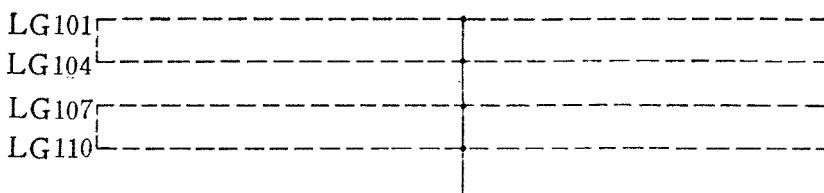


图 5 “|”型高级控制施工方法

由于这种施工方法导线只是发展了一次，各接收控制线在实测之间误差不传播，故无须中途作导线校正工作。

上述四种不同形式的高级控制是接收控制线最基本的施工方法，各自都有不同的特点，施工中需要视具体情况决定单独选用或是混合联用。在两个测量组实测同一条接收控制线的情况下，无论采用哪种施工方法，都必须从接收控制线的中间向其两端实测，避免两组从接收控制线的两端向工区中间炮线对测，以防量测道距的误差全都积累在工区中间的一个道距上。

在野外生产中，由于常年施工，测量组提前实测的时间有限，不允许去建立较多的高级控制线，故一般都选用后二种高级控制施工法来进行野外生产较为方便。

### 技术要求

三维地震勘探中的测量施工，必须严格地按照设计方位和道距前进，原则上不许有任何人为偏移。如遇障碍物在不通视的情况下，小则排除，大则按直角沿未实测方向的炮线和接收线转弯（为了提高有效施工率，一般不采用三角形或其它图形转弯）。拐点最好是选择在与炮线测线的交点上，如果条件不允许，拐点选择在检波点上亦可。在实测的接收控制线拐到另一条接收测线上时，要注意尽量避免接收控制线实测过程中不必

# 石油勘探物探技术

要的重复。接收控制线与炮线测线的每个交点必须严格准确地标测在实地上，以作实测和内插炮线测线的起闭点之用。

三维地震勘探测量施工的各项技术指标要求较高。根据美国 GSI 公司工程技术人员在文留工作的情况以及我们的生产实践，其技术指标归纳为如下七个方面：

1. 相对误差：高级控制导线 1/5000

接收控制导线 1/1000

炮线控制导线 1/100

2. 指标差：15"

3. 方位闭合差： $1' \sqrt{n}$  ( $n$  为测站数)。

4. 直返觇较差：300 米以内允许 12 厘米。

300 米以上每 100 米加 4 厘米。

5. 高程闭合差：20 公里以内允许  $0.18\sqrt{D}$ 。

20 公里以上允许  $0.25\sqrt{D}$  (其中  $D$  以公里数计算)。

6. 绝对差值：实测物理点的坐标与理论坐标的差值，高级控制导线限定在 ±1 米之内；接收控制导线限定在 ±10 米之内。

7. 中误差：全工区内各项中误差不得超过成图比例的 ±0.8 毫米。

## 导线多次发展施工中的几个有关问题

### 关于导线多次发展的可能性问题

由于三维地震勘探测线稠密，且大地三角控制点又稀少，故测量施工中主要运用了导线多次发展的施工方法。这种施工方法在我们目前的石油物探测量工作中是不允许的。在一九八〇年测量规范第 38 条里规定：各项误差在要求的范围内，导线最多只能发展三次。如何认识这个问题？开始我们没有把握，但实践说明，利用先进设备，保证实测精度，导线的多次发展是完全可行的。我们所讲的“多次”是有限的，而不是无限的。从我们在两个季节里均采用“一”型高级控制施工方法实测的九十二条导线来看，根据公式

$$m_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i^2}{n}}$$

其中  $i = x, y, s, h$ ;  $n$  为闭合导线条数。推算全工区各项中误差得知，能够满足最大的地震剖面成图比例为 1:2000 的要求。因此，导线多次发展所得成果是完全可靠的。两个工区的各项中误差如下：

冬季： $m_x = 1.242m$ ;  $m_y = 1.014m$ ;  $m_s = 1.603m$ ;  $m_h = 0.287m$

夏季： $m_x = 0.508m$ ;  $m_y = 0.763m$ ;  $m_s = 0.917m$ ;  $m_h = 0.158m$

### 关于导线偏离设计位置的校正问题

尽管我们在工作中严格按设计测线施工，但由于导线的多次发展，各种误差汇集在

一起，在导线精度允许范围之内，实测导线仍会出现偏离设计测线的情况。根据要求，发现偏离值较大时，需要及时进行导线校正工作，使其沿原设计位置前进。在施工中，实测坐标值与理论坐标值的差值，完全可以控制在±10米、±5米以内，甚至更小一些。在前述四种高级控制施工方法中，第一种和第四种高级控制施工法，导线的起点均在高级控制线上，无须作导线的校正工作。只是第二种和第三种高级控制施工法起点是多次发展下来的，由于误差的传递偏离值较大时，就必须要进行导线的校正工作。例如图6所示，接收控制线LG129线实测位置与设计位置，最大相差约7米，需对下一条接收控制线——LG132线进行校正。

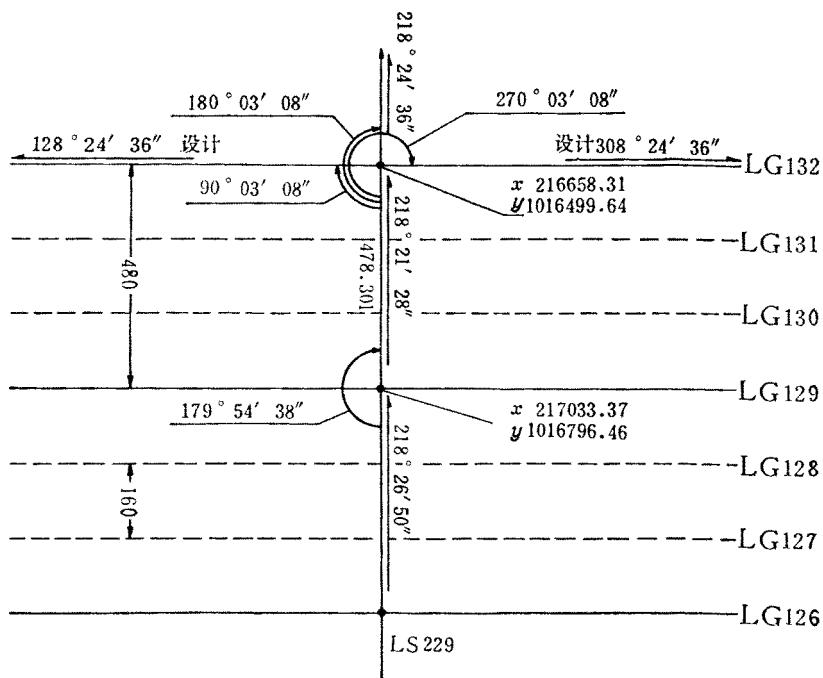


图 6

实线为控制线；虚线为内插线。

LG129线为已测的接收控制线，LG132线为待测的接收控制线，LS229线为中间炮线控制线。根据LG129与LS229的交点实测坐标和LG132与LS229的交点理论坐标，以及公式： $x_2 - x_1 = s \cdot \cos \alpha$ ； $y_2 - y_1 = s \cdot \sin \alpha$ 进行坐标反算，求出距离和方位。再根据LG129与LS229交点测站点到LG126与LS229交点后视点的实测方位（为了更准确一些，可以在LG129与LS229交点测站点上测定到LG126与LS229交点后视点的天文方位），求得校正参数如下：

$\alpha_1 = -05'22''$ ,  $\alpha_2 = +03'08''$ ,  $s = -1.699m$  经过校正后的LG132线物理点实测位置与设计位置相差还不到0.5米。

#### 关于低精度导线的处理问题

在导线多次发展的情况下，如前第一、二、三种高级控制施工法，由于四个测量组两两同时并进，下一条符合导线都要用到上一条符合导线的成果。假若在上一条测线中

## 物探技术

偶然出现有一条导线成果精度较低，但仍在技术要求的范围之内，如果按照老方式套环闭合，上一条导线成果作为下一条导线的起闭已知成果使用，势必会使下一条导线受到影响。为了避免这种大误差的传递，可以改变下一条导线的闭合路线，从上一条低精度导线处断开。如第一种和第三种高级控制施工法中，可采用第四种里控制线的闭合方式，将低精度导线的下一条导线反向与其后面一条导线对接形成闭合环导线或“□”型符合导线（图7）。这样，闭点就不需要用到上一条低精度导线的成果，起闭点可用上一条测线中另一条导线的成果或其他两个组在同一测线的成果。第二种高级控制施工法可采取同一条测线的两组导线拉通计算，即可避免低精度导线中大误差的向下传递。这样就可保证后面导线成果的准确性，也不影响各组的正常野外生产。

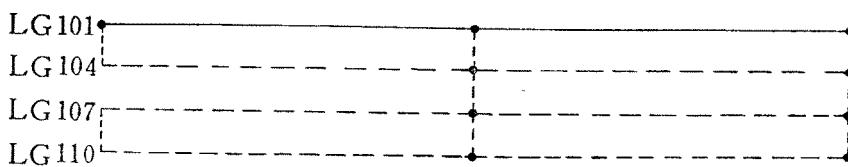


图 7

### 关于导线实地位置的检验问题

在导线多次发展的施工中，虽然能够按照设计的方位和距离实测，但测算出来的导线成果能否与实地位置保持一致，导线多次发展的误差积累对导线精度的影响有多大，这是在施工过程中必须要注意和考虑的问题。为了确保实测成果的正确性，在全盘考虑施工方案时，根据三角控制点的分布情况，在工区的中部和尾部的适当测线上还要有计划地进行三角点连测。这样可对导线测点作为起闭控制点使用的可靠程度和物理点的实地位置进行现场检验，以保证导线多次发展的准确性和导线成果的可靠性。

### 成 果 整 理

三维地震测量资料都是由资料处理组在室内现场处理的。内业成果整理从原始数据输入开始，水平距、高程计算；平差、检查计算；打印最终成果和测线位置成图，全部是由770终端及其辅助设备自动处理。两台TI-59只是应用于作一些辅助计算，如炮点偏移计算、坐标反算、三角形解算、太阳高度法测定天文方位之计算等。资料内业处理并不难，只要将现成的盒式模块格式让计算机阅读后并正确地回答它向你提出的问题，它就能根据计算者的要求迅速而准确无误地计算出来。计算常用模块有：格式程序 (FORMAT)，编辑程序 (EDITOR)，文件管理程序 (FILMGR)，水平程序 (HRZ NTL)，磁带管理程序 (CTGMGR)，高程程序 (VERTKL)，水平检查程序 (CHECK)，联合程序 (CMBINE)，高程检查程序 (PROFIL)，组合程序 (CONCAT)，反向程序 (REVRSE)，绘图程序 (MAP)，印刷程序 (PRINT 或 DUMP) 等，其中部分程序还具有多功能用途。