

· 采集技术 ·

可控震源高分辨率地震勘探采集技术 ——以莫桑比克 2005 年项目为例

姜福豪* 王德江

(东方地球物理公司采集技术支持中心)

姜福豪,王德江. 可控震源高分辨率地震勘探采集技术——以莫桑比克 2005 年项目为例. 石油地球物理勘探, 2007, 42(2): 127~131

摘要 本文以 2005 年莫桑比克可控震源高分辨率地震采集项目为例,介绍了可控震源高分辨率勘探的施工方法及质量保证措施。施工方法包括环境噪声测试、基本参数的确定、震源参数的确定几个环节,震源参数的确定是其中的关键环节。文中针对工区西部、北部、东部表层地质条件的差异,进行了详细的点、段试验,确定了扫描频率、扫描长度、扫描次数、驱动幅度、扫描信号斜坡以及仪器前放增益等震源参数。质量保证措施包括野外和室内两个环节,野外环节是其中的重要环节,包括检波点和炮点点点实测、保证检波器的接收质量、降低震源相关干扰、加强仪器现场质量监控几个方面。文中方法对国内可控震源高分辨率勘探有一定的借鉴意义。

关键词 可控震源 高分辨率 扫描频率 扫描长度 驱动幅度

1 引言

随着油田开发的深入,高分辨率地震勘探技术逐渐得到推广。由于激发信号本身的特性原因,炸药震源高分辨率勘探早已在国内外应用,并取得较好的效果,而可控震源高分辨率勘探的应用却很少。随着各国环保意识的加强,炸药震源越来越受到限制,可控震源高分辨率地震勘探也开始应用。南非 Sasol 公司 2001 年度授标 BGP 在莫桑比克开展可控震源常规勘探,发现了商业气田并已投入开采。2005 年决定采用可控震源高分辨率勘探。BGP 首次中标国外高分辨率地震勘探项目,并圆满完成了任务,获得了很好的效益。

工区位于莫桑比克东部沿海地带,区内地势北高南低,高差变化缓慢,海拔一般为 25~80m。工区有两条大河穿越,因在旱季施工,除河两岸地表为湿地外,其他地区地表干燥。工区西部和北部因受雨季洪水影响,表层以泥土为主,东部和南部因临海表层主要为风积沙。区内北部潜水面深度相对较大,一般为 10~25m,其他地区潜水面较浅,深度一般为 5~12m。区内居民点比较集中,有一条南北向国立

公路横穿工区,交通相对繁忙。

本次勘探任务是查清上白垩统砂岩地层(埋深为 1000~1800m,这套地层上覆页岩、砂岩以及石灰岩等)及中白垩统砂岩地层(埋深为 2500~3000m)的分布规律。由于砂岩、页岩以及石灰岩等随地质年代呈韵律式沉积,且厚度较小,所以本次勘探要求采集数据保持足够强的振幅以便能够进行 AVO 分析,为气田长期开发提供可靠的地质资料。

2 施工方法的确定

2.1 环境噪声测试

由于气田已投入开发,气井较多,为避免气井设施干扰,施工前要进行气井环境噪声测试。为此在气井较密集的地区布设 320 道排列,道距为 10m,每道堆放,录制背景噪声。通过野外记录和室内数据分析,认为单个气井在 100m 以外的固定干扰源的干扰水平很弱,不会影响资料采集,这为后续施工方案的确定提供了依据。

2.2 基本参数的确定

野外施工方法(参数)基本上由甲方在施工前确定,包括震源型号、震源台数、震源组合方式、组合基

* 河北省涿州市东方地球物理公司采集技术支持中心,072751

本文于 2006 年 7 月 14 日收到。

距、排列道数、道距、检波器组合方式以及观测系统等。

为得到高分辨率地震资料,理论上应采用小激发力震源、一台震源更好,但由于目的层埋深较大,因此采用两台震源组合激发以保证激发能量。

对于高分辨率地震勘探,理论上震源组合基距越小越好,最好是点震源,由于震源车长 8.3m,考虑到安全因素和施工方便,震源组合基距设计为 15m。道距是影响高分辨率地震资料采集质量的重要因素之一,道距设计为 10m。

关于接收排列长度,考虑到目的层埋深等诸多因素,选择 640 道中间对称排列(单边最大炮检距 3200m)。

为保证目的层无混叠频率和偏移后横向分辨率,根据下式

$$F_{\max} = \frac{V_{\text{int}}}{4b \sin\theta}$$

及经验法则

$$B = \frac{V_{\text{int}}}{2F_{\text{dom}}}$$

同时参考工区目的层层速度和频率(埋深为 1000~1800m 的上白垩统砂岩的层速度为 2400~3300m/s,埋深为 2500~3000m 的中白垩统砂岩的层速度为 3600~4500m/s),为使上白垩统砂岩的反

射波主频达到 80~113Hz,假设目的层倾角为 0°,则面元长度最大为 5.3m;为保证偏移后得到良好的横向分辨率,面元长度最大为 15m。因此面元长度设计为 5m 是合理的(F_{\max} 为目的层最高无混叠频率, V_{int} 为目的层层速度, b 为面元边长, B 为偏移后得到良好横向分辨率的面元边长, F_{dom} 为目的层的优势频率)。

考虑到道距较小以及高分辨率的特殊性,每道采用 12 个检波器堆放。

2.3 震源参数的确定

为获得高分辨率地震资料,甲方在参考以往资料基础上,要求采用 2 台震源生产。由于震源参数直接决定资料采集质量,同时震源参数的选择与工区的表层、深层地质条件以及地质任务密切相关,为此通过试验并经甲方认可确定这些参数。主要包括:扫描频率、扫描长度、扫描次数、驱动幅度、扫描信号斜坡以及仪器前放增益等。试验分为点试验和段试验两部分,其中点试验主要为段试验确定扫描频率、驱动幅度、扫描信号斜坡和仪器前放增益等参数;段试验用来对比扫描次数、扫描长度和扫描方式等参数。针对工区表层地质条件的差异,在生产前对工区西部、北部和东部均进行了参数对比试验,西部具体试验项目见表 1 和表 2。

表 1 西部点试验项目列表

序号	扫描频率 Hz	扫描 次数	扫描长度 s	扫描 方式	驱动幅度 %	震源 台数	组合基距 m	斜坡 ms	前放增益 dB	记录长度 s
1	8~150	6	6	线性	40	2	15	300	12	5
2	8~150	6	6	线性	50	2	15	300	12	5
3	8~150	6	6	线性	60	2	15	300	12	5
4	8~150	6	6	线性	65	2	15	300	12	5
5	8~150	6	6	线性	70	2	15	300	12	5
6	8~80	6	6	线性	70	2	15	300	12	5
7	8~100	6	6	线性	70	2	15	300	12	5
8	8~120	6	6	线性	70	2	15	300	12	5
9	8~150	6	6	线性	70	2	15	250	12	5
10	8~150	6	6	线性	70	2	15	500	12	5
11	8~150	6	6	线性	70	2	15	300	0	5
12	8~150	6	6	线性	70	2	15	300	24	5

注:为确保试验可靠性,每种因素重复试验 3 炮,炮距为 20m

表 2 西部段试验项目列表

序号	扫描频率 Hz	扫描 次数	扫描长度 s	扫描 方式	驱动幅度 %	震源 台数	组合基距 m	斜坡 ms	前放增益 dB	记录长度 s
1	8~150	8	6	3dB/Oct	60	2	15	500	0	5
2	8~150	8	8	线性	60	2	15	500	0	5
3	8~150	8	6	线性	60	2	15	500	0	5

注:每种因素 77 炮,炮距为 50m,每两次扫描叠加一张记录,室内生成 4、6、8 次叠加剖面

北部由于表层含碎石层,潜水面埋深也相对较大,为此在该区施工前甲方要求进行针对扫描斜坡、

叠加方式和仪器前放增益等参数的点试验,然后开始类似西部的段试验。北部点试验项目见表 3。

表 3 北部点试验项目列表

序号	扫描频率 Hz	扫描 次数	扫描长度 s	扫描 方式	驱动幅度 %	震源 台数	组合基距 m	斜坡 ms	前放增益 dB	记录长度 s	叠加 方式
1	8~150	7	6	线性	60	2	15	300	0	5	脉冲叠加
2	8~150	7	6	线性	60	2	15	300	12	5	脉冲叠加
3	8~150	6	6	线性	60	2	15	250	12	5	叠前相关
4	8~150	6	6	线性	60	2	15	300	12	5	叠前相关
5	8~150	6	6	线性	60	2	15	500	12	5	叠前相关

东部由于表层为沙层,能量衰减严重,为此在该区施工前甲方要求针对震源驱动幅度、扫描斜坡和仪

器前放增益等参数进行点试验,然后按西部和北部那样开始类似的段试验。东部点试验项目见表 4。

表 4 东部点试验项目列表

序号	扫描频率 Hz	扫描 次数	扫描长度 s	扫描 方式	驱动幅度 %	震源 台数	组合基距 m	斜坡 ms	前放增益 dB	记录长度 s	叠加 方式
1	8~150	6	6	线性	70	2	15	300	0	5	叠前相关
2	8~150	6	6	线性	60	2	15	300	0	5	叠前相关
3	8~150	6	6	线性	60	2	15	300	12	5	叠前相关
4	8~150	6	6	线性	65	2	15	250	12	5	叠前相关
5	8~150	6	6	线性	70	2	15	500	12	5	叠前相关

另外考虑到东部沙化地表可能会出现谐波干扰,因此做了线性、非线性、线性相位 180°互换等扫

描方式试验以及驱动幅度、扫描斜坡和仪器前放等参数试验。具体实验项目见表 5。

表 5 东部点附加试验项目列表

序号	扫描频率 Hz	扫描 次数	扫描长度 s	扫描 方式	驱动幅度 %	震源 台数	组合基距 m	斜坡 ms	前放增益 dB	记录长度 s	叠加 方式
1	8~150	8	6	3dB/Oct	70	2	15	300	0	5	叠前相关
2	8~150	8	6	线性	60	2	15	300	0	5	叠前相关
3	8~150	8	6	线性(0°,180°) 相位互换	60	2	15	300	12	5	叠前相关
4	8~150	6	8	线性	65	2	15	250	12	5	叠前相关

在试验分析中针对点试验采用单炮分频扫描对比,包括 20~40Hz、40~60Hz、60~80Hz、80~100Hz、100~120Hz 和 120~150Hz 等 6 个滤波挡。

另外采用 KLseis 软件进行单炮反射能量、信噪比和频率分析。通过分析,确定整个工区宜采用表 6 所示的震源参数进行可控震源高分辨率勘探。

表 6 莫桑比克工区 2005 年震源参数列表

扫描频率 Hz	扫描 次数	扫描长度 s	扫描 方式	驱动幅度 %	震源 台数	组合基距 m	斜坡 ms	前放增益 dB	记录长度 s	叠加 方式
8~150	6	8	线性	70	2	15	300	0	5	叠前相关

3 质量保证措施

为保证资料采集质量,主要从野外和室内两方面着手,详述如下。

3.1 野外方面

3.1.1 检波点和炮点点点实测

保证检波点和炮点位置的准确是高分辨率地震

勘探的一个基本要求。对于检波点,要求在无水区域必须点点实测,不允许空点和内插;在测线过河时,在安全的浅水区,也要求进行实测,只有在水流较急的深水区才可以采用内插,但要求不能连续超过 2 个内插点。对于炮点,通过给仪器提供炮点坐标文件,采用震源 DGPS 技术进行点点监控,要求震源组合中心偏离设计炮点误差小于 1m。这样从根本上保证了炮、检点方位的精确性。

3.1.2 保证检波器的接收质量

由于采用12个检波器堆放,因此对干扰压制能力很弱。为此首先要求在野外必须埋置好检波器,保证插直插紧。此外,在施工期间加强排列警戒工作,特别是在测线穿越公路、村庄的地方安排专车和专人警戒,仪器实时监控排列干扰。要求仪器操作员放炮前必须检查排列干扰情况,以保证排列干扰水平低于甲方要求。

3.1.3 降低震源相关干扰

震源相关干扰主要指与震源有关的各种干扰,像震源自身部件不牢固产生的干扰以及震源与地面耦合较差产生的干扰,降低这些干扰的基本方法是加强震源检查保养。为此要求每天进行震源无线一致性检测,每周或上新测线时必须进行有线一致性测试,只有测试合格的震源才能进行生产,还要保证地面尽量平坦。为保证震源性能,施工中每天收工后由震源工程师组织人员对震源进行检查维修,以

确保第二天发动机性能良好、振动系统各连接紧固件固定可靠和振动液压系统处于良好状态。

3.1.4 加强仪器现场质量监控

资料处理的成败取决于野外资料采集质量,因此现场质量监控是保证野外资料采集质量的关键手段。仪器作为野外数据采集质量监控的中枢,要求仪器操作员要严格按照甲方质量要求,在采集时控制好排列噪声的干扰水平。另外要监视震源性能指标,以保证震源工作正常。

3.2 室内方面

(1)为仪器提供SPS文件及震源DGPS数据以及仪器参考站坐标,使仪器操作员能够实时地监控震源位置,以保证炮点准确。

(2)每天及时检查仪器生成的震源工作文件,包括相位、畸变、出力情况及反映震源工作状态和地表情况的参数(刚性系数、黏性系数等)(图1),并将检查结果及时反馈到野外。

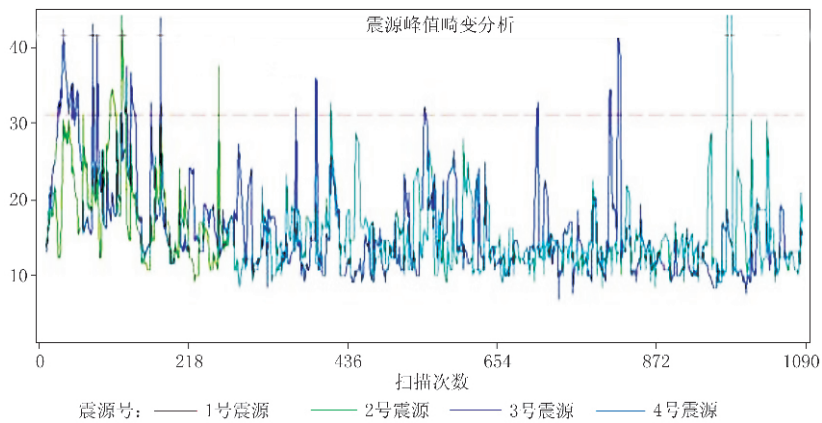


图1 震源每天工作质量状况检查

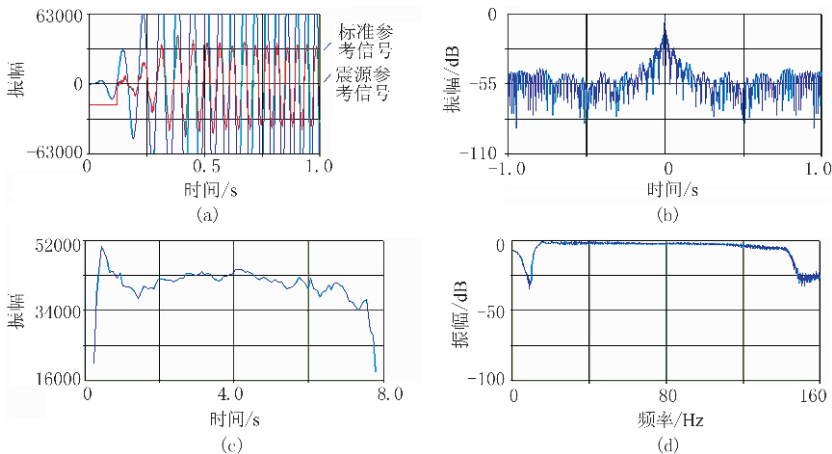


图2 震源无线一致性检查

(a)标准参考信号与震源参考信号对比;(b)震源参考信号与震源输出信号互相关;(c)震源绝对峰值输出;(d)震源振幅谱

(3)每天及时解编磁带,检查炮点的准确性和资料质量情况,并将检查结果及时反馈到野外以指导野外生产。

(4)及时分析震源日检、周检以及月检文件,主要包括无线一致性和有线一致性检查(图 2、图 3),若发现问题及时反馈到野外。

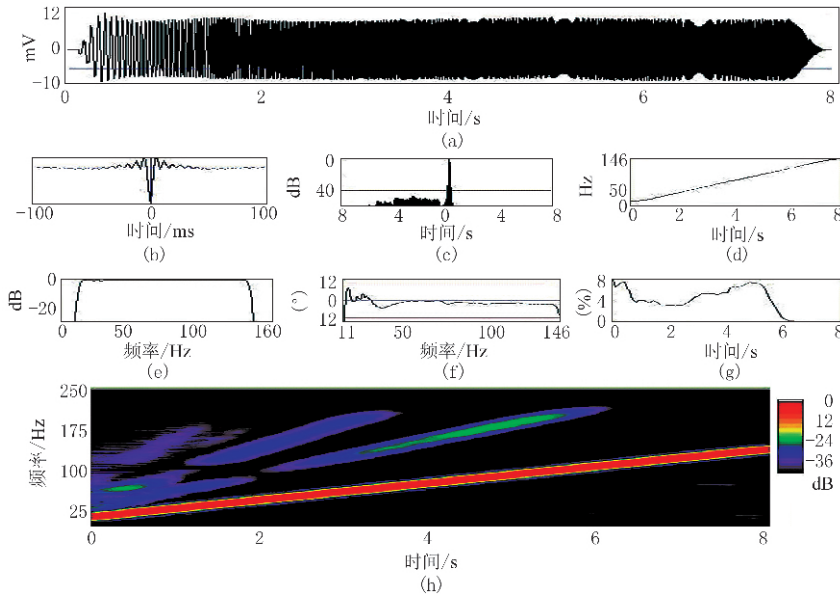


图 3 震源有线一致性检查

(a)数据道; (b)相关子波(校正后); (c)相关子波谱; (d)频率分析; (e)相关后振幅; (f)相位延迟; (g)畸变; (h)震源畸变

4 高分辨率地震采集效果

此高分辨率地震勘探采集项目历经 5 个多月,取

得了明显成效,现场剖面处理效果不论是地震信噪比还是分辨率均较以往有大幅度改观。根据现场分析,地下反射波最大频率达到 100~120Hz(图 4)。因此甲方在施工后期又追加了 150km 地震采集工作量。



图 4 野外初叠典型剖面(反射波频率达 100~120Hz)

参考文献

[1] 陆基孟主编.地震勘探原理.山东东营:石油大学出版社,1993

[2] 李庆忠.走向精确勘探的道路.北京:石油工业出版社,1993
[3] 俞寿朋.陆上三维地震勘探的设计与施工.石油地球物理勘探局,1996

(本文编辑:刘勇)