

· 采集技术 ·

可控震源施工效率估算方法

周大同*^① 周恒^② 张慕刚^② 汪长辉^②

①中国石化东方地球物理公司采集技术支持部,河北涿州 072751;

②中国石化东方地球物理公司国际勘探事业部,河北涿州 072751)

周大同,周恒,张慕刚,汪长辉. 可控震源施工效率估算方法. 石油地球物理勘探, 2008, 43(增刊2): 50~54

摘要 采集效率估算及项目的模拟运行对于投标报价及后续的项目生产组织有着非常重要的意义,由于可控震源采集施工的平稳性特点,使得较为精确地进行效率估算成为可能。本文基于利比亚项目的实际工作经验,从分析诸多影响可控震源施工效率的因素入手,并对其中某些因素进行合理简化,建立了可控震源施工效率估算的数学模型;通过对不同施工方式和不同工区地表情况数据的统计和分析,最终形成一套比较完备、实用的可控震源效率估算方法。

关键词 可控震源 施工效率 扫描方式 影响因素 道炮比 地表类型

1 引言

可控震源作为一种安全、环保、高效、低耗、方式灵活的激发源,在全球陆上地震勘探采集施工中所占的比重越来越大,而BGP(中国石化东方地球物理公司)的海外地震数据采集市场中也有相当大的份额为可控震源施工。在招投标时进行经济分析及项目计划,需要对不同情况下的可控震源采集施工效率进行准确估算;在后续的生产组织中,还要通过对效率估算信息的动态跟踪,以便更加合理地组织生产。因此可控震源施工效率的估算对整个地震数据采集生产效率的提高具有重要意义。

相对于井炮激发而言,可控震源采集施工具有较强的可预见性,受非可控因素的影响相对较小。当施工方案初步确定后,可以有依据地进行项目的模拟执行,能够在全面考虑各项影响因素后比较精确地进行施工效率估算,进而可根据模拟执行的效果优化采集施工方案或高效组织施工,即通过不同施工方法的效率对比来优化地震数据采集施工方法。

2 影响可控震源施工效率的因素

对于可控震源采集施工而言,除了涉及农田及

相关的补偿等几项不可预见因素外,影响其平均效率的主要因素有下列五个方面。

(1)观测系统类型 比如二维和三维采集的差别。一般而言,二维采集时基本不采用多套震源施工;三维采集时在采用多台震源施工的同时,还需要考虑不同的观测系统采用不同的放炮方式、大三维时不同的束线划分可能会造成震源等待排列及每排炮线设计的炮数等事项。

(2)设备配备 包括选择单套或多套震源激发、采集设备配备的大小线数量是否满足震源不间断采集时的需要等。

(3)震源参数 这是影响可控震源施工效率最直接的因素,包括震源台数、炮点距、震次、扫描时间、记录时间、震源组合方式、动点震或定点震、动点震时的移动间距等。

(4)工作时间 可控震源采集的日平均效率与可控震源的有效工作时间成正比。通常人们虽然难以准确预测出每日的有效采集时间,因为这个时间随环境因素以及施工组织水平甚至随机事件而变化,但可根据每日总的野外工作时间,考虑到一切必要的非采集生产时间(比如日检及路途等),在项目正常运作时可以得出一个经验公式用以计算有效采集时间。

(5)地表通过性 这是影响可控震源采集效率

* 河北省涿州市范阳东路东方地球物理公司采集技术支持部,072751
本文于2008年3月12日收到。

的一个非常关键的因素。同样的采集参数,平地与复杂地区(比如高大沙丘区)的日平均效率可能相差 3 倍以上。在某些甲方允许夜间施工的地方,复杂地形必将造成采集时间的缩短。

3 可控震源施工效率估算的数学模型

3.1 几个概念

为了讨论问题方便,这里介绍几个概念。

(1)道炮比 指在正常二维或三维全接收排列滚动放炮时,平均每向前滚动放一炮时排列新增的检波点数。这个数值直接反映了排列摆放工作量与可以采集的炮数之间的比例关系。一般而言,二维等炮检距施工时道炮比为 1,三维横向滚动半个排列时道炮比为 2。

(2)交替扫描 也称双源交替激发,即采用两组震源交替激发施工;当一组可控震源震动和记录时,另一组可控震源进行搬家;一旦第一组震源完成扫描、记录后,第二组震源就开始扫描记录。

(3)滑动扫描 多组可控震源实现高效采集的一种方式,即原则上第二组震源只要避开正在激发的第一组震源一定时间(大于地震记录长度)就可开始扫描,而不必等上一组震源完成扫描,最终通过记录分离得到每一个扫描记录。

3.2 影响可控震源施工效率的简化因素

通过对影响可控震源施工效率的诸多因素进行分析可知,正常情况下可通过每个震次所需的采集时间计算日平均施工效率。可控震源开始震动生产的必要条件是:震源搬点到位+该炮点所需的排列准备好+扫描方式允许,完成该扫描所需的时间是:扫描时间+听时间(记录长度)。因此,施工效率的直接相关因素为:扫描方式、震源搬点时间、扫描时间和记录时间。

3.3 计算可控震源施工效率的具体方法

简化影响可控震源施工效率的因素,建立相应的施工效率估算数学模型。具体有下列内容。

(1)施工方法及设备配备方面 可简化为四种模式,即二维采集一组震源施工、三维采集一组震源施工、三维采集两组震源交替扫描施工及三维采集多组震源滑动扫描施工。在三维多组震源施工时需要考虑束线的滚动方式以保持适当的道炮比,比如预计每日放 500 炮,道炮比为 3 时,每日排列摆放工

作量需达到 1500 道才能保证不因等待排列而使震源暂停施工。由于排列摆放工作量不足而造成震源怠工的情况本文不做深入讨论。这里仅给出一个简单的三维束线纵向滚动时道炮比的计算公式

$$\text{道炮比} = \frac{\text{滚动检波线数} \times \text{两排炮线间检波点数}}{\text{每排炮线可放炮数}}$$

(2)有效采集时间及地表通过性 根据采集合同,每日允许的野外工作时间可根据季节变化确定,在利比亚通常为 11~14h。而有效采集时间及震源的搬点时间都与地表情况密切相关,通过对多个项目的统计分析,建立了两个实用模板来描述它们对可控震源施工效率的影响。

经多次特定的数据测试,并结合实际的施工统计数据进行标定,得到在平坦地形地表理想状态下的单台可控震源搬点距离与时间的关系(图 1);其时间包括震源的所有搬家时间,从前一次扫描结束后平板的提升到下一次扫描开始前平板的降落,在 50m 范围内可拟合为一个三阶多项式进行表述。而多台震源不同组合方式的理想搬点时间可在单台搬点时间基础上增加一个常数进行修正,比如 4 台震源线性动点震动的搬点时间较单台震源增加 1.0~2.0s。

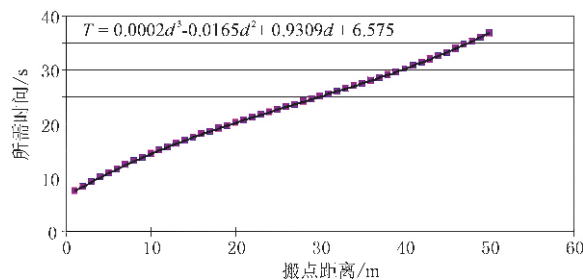


图 1 地表理想状态单台震源搬点距离与时间模板曲线

图 2 所示模板中包含了不同地表条件下的有效工作时间比及难度系数,基于对利比亚不同地表类型的了解,将该区地表分为 5 个等级,每一等级对应不同的有效工作时间比及难度系数,这里之所以不统一成一个系数来应用,是考虑到在部分困难地形有可能存在远超出炮点距离的震源绕路情况。

图 2 模板中的难度系数可应用于震源的搬点时间,而每日的有效时间应等于总工作时间乘以有效时间比,这两个参数将根据踏勘资料、高精度卫片及高程数据等信息进行微调。

(3)具体的扫描方式及参数 根据上述的各种扫描方式分别计算其每次扫描完成所需的时间。

对于二维单组震源采集,当震源搬点时间大于听时间与仪器延迟时间之和,则扫描完成时间=扫描时间+搬点时间,其时间序列见图 3a;当搬点时间小于或等于听时间与仪器延迟时之和,则扫描完成时间=扫描时间+听时间+仪器延迟时,其时间序列如图 3b 所示。

对于三维两组震源交替扫描,当搬点时间小于或等于扫描时间、听时间、仪器延迟时三者之和,则扫描完成时间=扫描时间+听时间+仪器延迟时,其时间序列见图 3c;当搬点时间大于扫描时间、听时间、仪器延迟时三者之和,则扫描完成时间=(扫描时间+搬点时间)/2,其时间序列如图 3d 所示。

类型	简单描述	搬点难度系数	有效时间比	利比亚区块分布	典型照片
A	地形平坦,无障碍物	0.90~0.95	0.75~0.80	MC115, NC98, C71, C59 等	
B	地形有起伏,平均每千米推土机小时数小于 2 个	0.80~0.90	0.75~0.80	NC186 及 NC190 的平坦区,NC200 及 NC210 的戈壁区,NC204 等	
C	平均每千米推土机小时数为 2~10 个	0.65~0.80	0.70~0.75	NC147, NC190, NC200 的沙丘区, NC203, NC216A 等	
D	平均每千米推土机小时数为 10~20 个	0.50~0.65	0.65	NC210 及 NC186 的高大沙丘区, NC191, C6, C149 等	
E	平均每千米推土机小时数大于 20 个,或者需要大量绕路及不规则偏点	0.30~0.50	0.60	NC187, NC199, C11, MASSAK 等	

图 2 利比亚地表类型分级模板

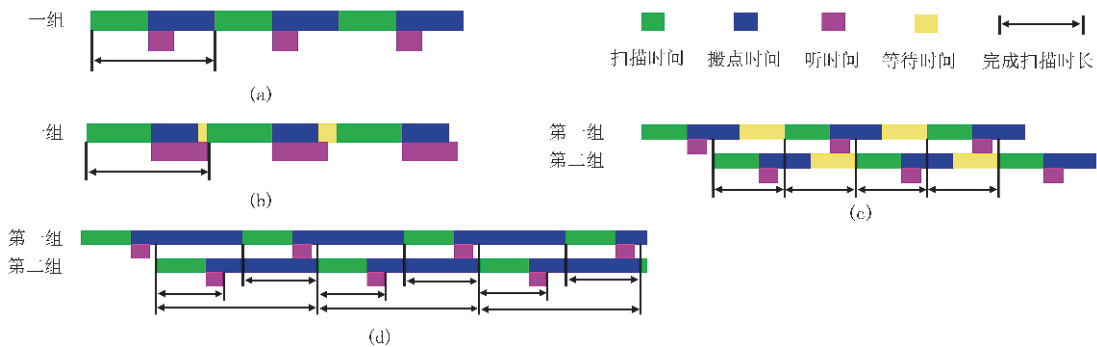


图 3 二维单组震源和三维两组震源交替扫描时扫描完成时间与扫描时间及搬点时间的关系

(a)二维单组震源搬点时间>听时间+仪器延迟时;(b)二维单组震源搬点时间≤听时间+仪器延迟时;(c)三维两组震源交替扫描,搬点时间≤扫描时间+听时间+仪器延迟时;(d)三维两组震源交替扫描,搬点时间>扫描时间+听时间+仪器延迟时

对于三维多组震源滑动扫描,当震源组数及搬点时间满足滑动时间要求时,理想情况下扫描完成时间=滑动时间,其时间序列见图 4。

入模板并乘以难度系数,再根据震源台数、震源组合方式、动点震动等因素进行微调,统计不同接收道数时的仪器延迟时,就可根据上述的不同扫描方式建立相应的公式来计算每个震次所需时间。用每日的

(4)平均效率的最终计算 将震源搬点时间代

有效采集时间减去诸如三维换炮线等额外时间,然后除以单震次所需时间即得每日震源采集震次,进而计算出可控震源施工的日均效率。例如,简单的二维单组震源日效计算公式为

$$\text{震源日效} = (\text{日工作时间} \times \text{有效时间比}) / [(\text{搬点时间} \times \text{难度系数}) + \text{扫描时间}] / \text{震次}$$

表 1 为某三维两组震源交替扫描时的效率估算示例。

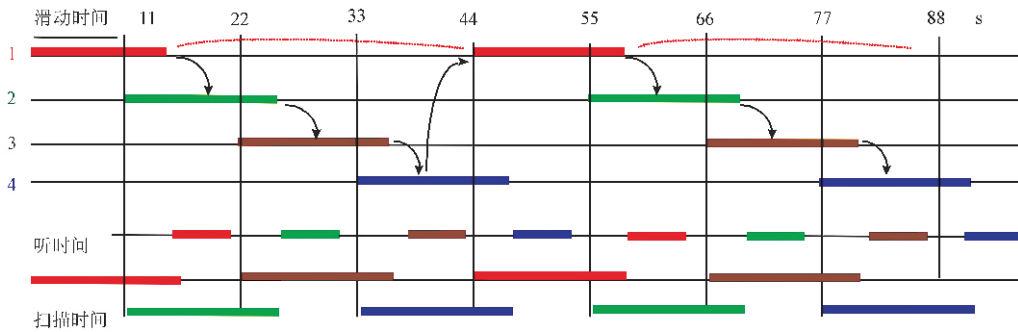


图 4 三维多组震源滑动扫描时震源组数及搬点时间关系示意图

表 1 两组震源交替扫描的效率参数表

序号	工区面积 km ²	炮密度	总炮数	台数	扫描长度 s	扫描次数	听时间 s	难度系数	震组	炮点距 m	炮线距 m	接收线距 m	滚动线数	每日工时 h	有效计时 s	搬点用时 s	最终日效 炮/d	天数	每月炮数	每月施工面积 km ²	施工天数
1	731.5	185.2	135463	2×3	4	1	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	25.1	874.8	30.0	26245	142	172
2	731.5	185.2	135463	2×3	4	2	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	17.5	588.5	30.0	17654	95	256
3	731.5	185.2	135463	2×3	4	3	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	14.4	453.8	30.0	13615	74	332
4	731.5	185.2	135463	2×3	4	4	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	12.5	372.6	30.0	11177	60	404
5	731.5	185.2	135463	2×3	6	1	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	25.1	829.8	30.0	24893	134	181
6	731.5	185.2	135463	2×3	6	2	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	17.5	548.5	30.0	16455	89	274
7	731.5	185.2	135463	2×3	6	3	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	14.4	418.6	30.0	12558	68	360
8	731.5	185.2	135463	2×3	6	4	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	12.7	351.7	30.0	10552	57	428
9	731.5	185.2	135463	2×3	8	1	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	25.1	789.1	30.0	23674	128	191
10	731.5	185.2	135463	2×3	8	2	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	17.5	513.7	30.0	15410	83	293
11	731.5	185.2	135463	2×3	8	3	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	14.4	394.6	30.0	11838	64	381
12	731.5	185.2	135463	2×3	8	4	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	12.7	299.6	30.0	8989	49	502
13	731.5	185.2	135463	2×3	12	1	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	25.1	718.8	30.0	21564	116	209
14	731.5	185.2	135463	2×3	12	2	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	17.5	449.4	30.0	13483	73	335
15	731.5	185.2	135463	2×3	12	3	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	14.4	305.3	30.0	9159	49	493
16	731.5	185.2	135463	2×3	12	4	3	0.6	动点	30.0	180	180	3	12	7.5	12.7	231.2	30.0	6936	37	651

4 应用实例

在实际应用中,根据工区情况确定难度系数及有效时间比后,即可采用本文提出的可控震源施工效率数学模型计算出整个扫描参数矩阵的结果。图 5 为某三维两组震源交替扫描时不同参数效率估算实例。

通过分析类比计算出的可控震源施工效率结果,可对不同的参数及扫描方式等进行优化选择,精选出最佳的施工方法(图 6),还可参考三维设计软

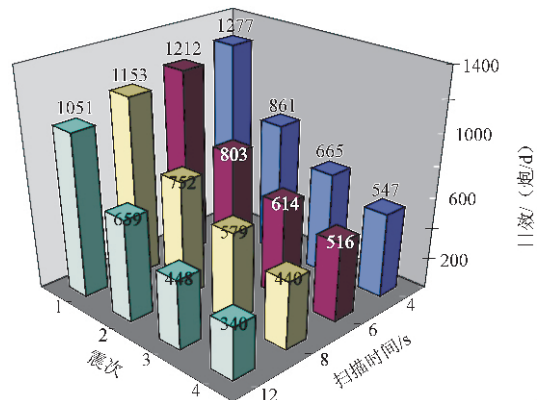


图 5 三维两组震源交替扫描的效率参数关系柱状图

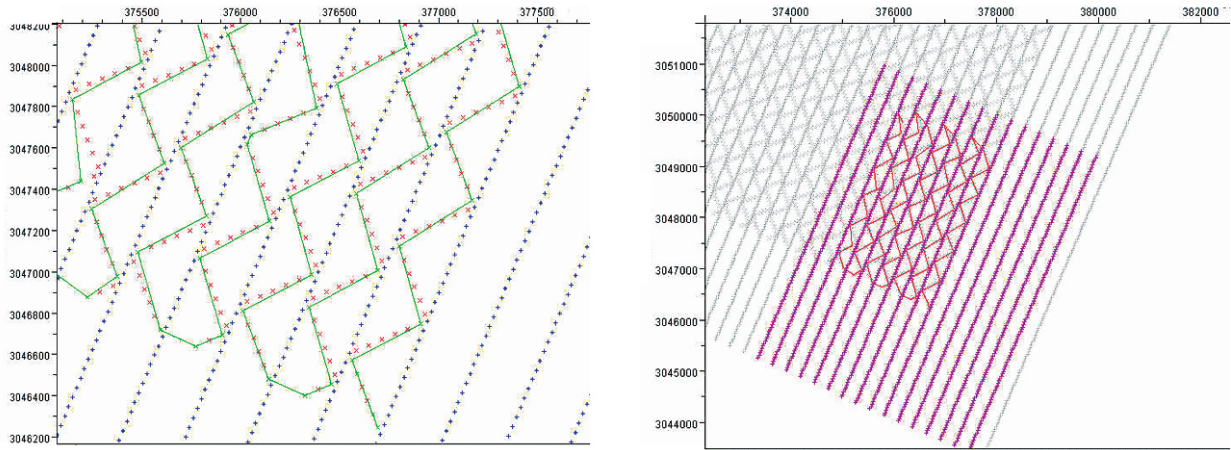


图6 可控震源放炮顺序定义及模拟放炮示例(左图为右图的局部放大图)

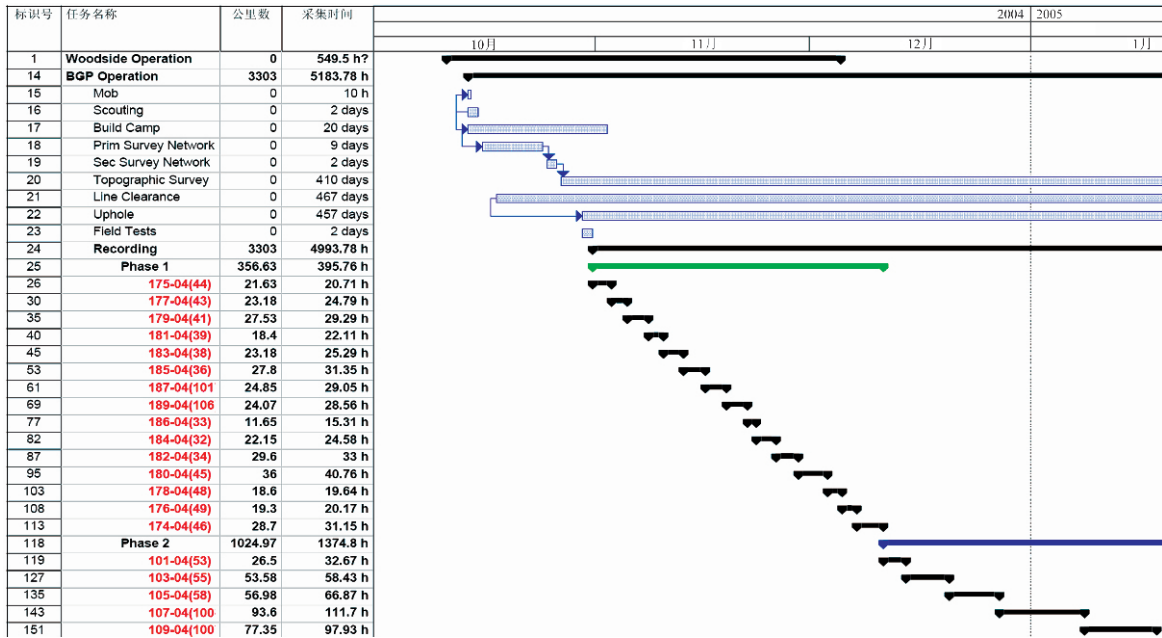


图7 项目执行计划甘特图示例(部分)

件进行项目的模拟运行,并引入到 Microsoft Project 等项目计划软件中,甚至可详细到每天或逐条测线地分析整个项目的执行情况(图7),并及时做相应的优化和信息反馈。

5 结束语

可控震源施工效率估算对于采集成本的预测与控制、投标报价及项目经济分析、合理组织项目运行、提高生产效率等,都具有很重要的意义。本文结合利比亚项目的生产实际对该课题进行了初步的研

究和探索,取得了一些粗浅的认识和阶段成果。

由于野外施工是一个复杂的系统工程,多种影响因素交织在一起,加上笔者水平有限,必然存在诸多疏漏之处,还需要做进一步的研究和完善,恳请各位同行和专家批评指正。

最后,对在本课题调研过程中给予宝贵支持的北非地区经理部的同仁们表示衷心感谢!

参考文献

[1] Microsoft. Microsoft Office Visual Basic 手册

(本文编辑:朱汉东)