

地震采集观测系统的构建与优选

李伟波* 胡永贵 张少华

(中国石油东方地球物理公司,河北涿州 072751)

李伟波,胡永贵,张少华.地震采集观测系统的构建与优选.石油地球物理勘探,2012,47(6):845~848

摘要 通过对采集参数分类,提出了候选观测系统全集的构建方法,建立了综合考虑均匀性、相似性、纵横比、采集成本等因素的定量观测系统评价法则,确立了观测系统定量优化的最佳流程,为观测系统设计提供了新的思路与方法。通过在塔里木盆地 WN 区块的应用,最终优选出 12 线 4 炮 320 道观测系统,经野外采集论证效果良好,证实了方法的可行性。

关键词 观测系统构建 评价准则 快速评价 观测系统设计

中图分类号:P631 **文献标识码**:A

1 引言

地震采集质量直接影响数据的处理结果和解释精度。目前,观测系统设计大多是先通过采集参数论证提出几套候选方案,然后进行论证分析确定最佳的采集方案^[1~10]。因观测系统的确定过程中具有较强的主观性,所以可能漏选较优的观测系统,进而影响最终勘探效果。

对于构造复杂区,地震数据采集效果的成败很大程度上取决于观测系统的设计是否满足高精度叠前偏移成像处理技术的要求,这就要求必须从叠前偏移角度出发进行观测系统优化设计。然而针对目的层的观测系统评价方法,如叠前时间偏移效果分析技术^[10],耗时较长,如果对所有候选观测系统逐个评价,会耗费大量的人力物力,应用难度较大。而针对观测系统属性的定量分析方法大多是基于对面元内炮检距、方位角的分布情况进行评估^[1~3],能够实现对候选观测系统全集的快速评价。钱荣钧^[1]从道、炮密度角度对均匀采样进行了定义,并证实采样不均匀性对偏移噪声有较大的影响。尹成等^[2]将均匀性目标函数选择为相邻炮检距变化量趋向于最大最小炮检距之差与覆盖次数的比值。赵虎等^[3]发展了该思路,利用统计方法评

价不同观测系统,并得出较为客观的结论。Slawson 等^[7]利用叠加响应综合评价不同面元的炮检距和方位角的均匀性。显然,研究者都强调了面元内属性分布的均匀性,而忽略了面元间属性分布的相似性。实际上,量化评价不仅要求面元内炮检距、方位角均匀分布,同时要求面元间炮检距、方位角分布也应该尽可能保持一致。

本文从均匀性和相似性两方面出发,结合成本估算、纵横比等参数,对候选观测系统进行综合评价,初步筛选出较优的观测系统再进行针对目的层的叠前时间偏移成像效果分析,优化出最终观测系统,这样的观测系统设计方法更加科学、高效、合理。

2 候选观测系统的构建与优选

2.1 候选观测系统的构建

构建观测系统时首先需确定观测系统参数。观测系统参数可以分为三类。第一类:可以唯一确定的参数,如面元尺寸,在观测系统设计时首先确定其大小。第二类:可以在一定范围内确定的参数,即在一定数值范围内合理,如最小炮检距、最大炮检距、覆盖次数或道密度、纵横比等。第三类:间接确定的参数,如接收线距、激发线距、接收道数等。之所以

* 河北省涿州市东方地球物理公司采集技术支持部,072751。Email:liweibobgp@gmail.com

本文于 2011 年 6 月 8 日收到,最终修改稿于 2012 年 9 月 10 收到。

这样进行参数分类,主要基于以下方面进行考虑。对于面元尺寸来说,减少面元尺寸将直接导致采集成本的非线性增加;如果考虑到面元尺寸可以为小数,则可以有无穷多个候选观测系统。因此,面元尺寸必须唯一确定。对于覆盖次数来说,如果将其从200调整为210,一个最直接的反应是,信噪比会有所提高,但不会太明显,因此,覆盖次数等参数应该允许在一定范围内上下调整。第三类参数一般依赖于前两类参数,一旦前两类参数确定,第三类参数也就随之确定。

塔里木盆地WN区块在参数论证阶段确定的采集参数为:面元尺寸15m×30m,覆盖次数115~125次,最小炮检距不大于350m,最大炮检距在4500~5500m,纵横比为0.2~0.4。对正交观测系统,假设双边接收、单线滚动、炮点位于排列中心(这些条件在陆上采集一般是满足的),那么所有的候选观测系统都可以通过参数之间的依赖关系唯一确定,最终得到如表1所示的候选观测系统。可以预见,如果放宽上述约束条件,表1中的候选观测系统数量将显著增加。如果只是主观地推荐2~3套候选方案,将无法保证其中包含了较优的观测系统,而表1构建的观测系统全集则保证了这一点。

2.2 评价准则的建立

候选观测系统构建完成后,给出了多种观测方案,为此,需要对不同方案进行分析评价。以表1为例,候选观测方案多达28种,如果对所有方案均进行评价,时间周期较长,势必会影响野外施工。为了快速选择出适合地质任务要求的观测系统,需对候选观测系统做出快速评价,具体方法步骤如下。

首先,从CMP角度进行空间充分采样、均匀采样分析,选择道集内炮检距(或方位角)均匀性较好的观测系统,使波场采样均匀化。均匀性采用满覆盖子区内炮检距(或方位角)变化率的均方差来衡量,具体公式为

$$H = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^N (\Delta X_{ji} - \overline{\Delta X})^2}{N-1}} \quad (1)$$

式中: X 为炮检距(或方位角); ΔX_{ji} 为子区内第 j 个面元内第 i 个与第 $i-1$ 个炮检距(或方位角)的差; $\overline{\Delta X}$ 为炮检距(或方位角)差的均值; N 为满覆盖次

数; M 为子区内面元个数; H 为均匀性均方差, H 值越接近零,表明面元内属性分布越均匀。

其次,为了减小面元间炮检距(或方位角)分布不一致带来的采集脚印问题,不同面元内的属性分布应尽可能保持一致。为此,应该选择道集内炮检距(或方位角)相似性较好的观测系统,以使采集脚印最弱化。相似性可采用满覆盖子区内炮检距(或方位角)与理想炮检距(或方位角)的均方差来衡量,具体公式为

$$S = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^N (X_{ji} - \overline{X}_i)^2}{N}} \quad (2)$$

式中: X_{ji} 为子区内第 j 个面元内第 i 个炮检距(或方位角); \overline{X}_i 为理想炮检距(或方位角)分布; S 为相似性均方差, S 值越接近零,表明面元间属性分布越相近;其他参数同上。

纵横比的计算由观测系统中最大横向炮检距和最大纵向炮检距的比值确定,取值范围为0~1,数值越大,表明方位角展布越广,越有利于各向异性成像和AVA分析等后续处理和解释。

假设炮点激发成本两倍于检波器埋置成本,则所有方案的采集成本指数可通过以下公式进行粗略估算

$$C = \frac{2}{S_1 S_{L1}} + \frac{1}{R_1 R_{L1}} \quad (3)$$

式中: S_1 为炮间距; S_{L1} 为炮线间距; R_1 为检波点距; R_{L1} 为检波线距; C 为估算的采集成本指数, C 值越小,表明采集成本越低。

2.3 候选观测系统的优选

通过依次定量分析不同候选观测系统的均匀性、相似性、纵横比,并按分析结果进行排名,将名次落入后1/3的观测系统淘汰(见表1中不同颜色标注的观测方案。橙色方位角均匀性较差;黄色方位角相似性较差;绿色炮检距均匀性较差;蓝色炮检距相似性较差;红色纵横比较小;紫色采集成本较高)。然后,对胜出的方案按采集成本进行升序排序,取前四种方案作为下一步针对目的层分析的候选观测系统。因观测系统评价中综合考虑了均匀性、相似性、纵横比、采集成本等多种因素,因而筛选结果更客观、更可靠。

在快速评价的基础上,结合地质任务的要求,

从工区地震地质条件分析入手,明确影响工区地震资料采集品质的关键问题究竟是噪声压制问题还是

分辨率问题,并对观测系统进行快速分析进一步缩小候选观测系统的数目。

表 1 候选观测系统全集及快速评价结果

候选方案	接收道数	接收线数	接收点距 m	接收线距 m	激发线距 m	激发点距 m	覆盖次数	方位角均匀性	方位角相似性	炮检距均匀性	炮检距相似性	纵横比	采集成本指数
1	312	6	30	360	120	60	117	1.583	3.250	0.844	29.551	0.231	0.370
2	320	6	30	360	120	60	120	1.608	3.209	0.844	29.462	0.225	0.370
3	328	6	30	360	120	60	123	1.633	3.170	0.845	29.382	0.220	0.370
4	300	8	30	240	150	60	120	1.607	2.826	0.981	28.892	0.213	0.361
5	310	8	30	240	150	60	124	1.641	2.780	0.990	29.082	0.206	0.361
6	300	8	30	300	150	60	120	1.414	2.968	0.912	28.428	0.267	0.333
7	310	8	30	300	150	60	124	1.445	2.920	0.914	28.448	0.258	0.333
8	300	10	30	180	180	60	125	1.778	2.558	1.181	34.420	0.200	0.370
9	300	10	30	240	180	60	125	1.481	2.623	0.985	30.028	0.267	0.324
10	288	10	30	300	180	60	120	1.249	2.771	0.967	29.758	0.347	0.296
11	300	10	30	300	180	60	125	1.284	2.715	0.963	29.637	0.333	0.296
12	348	8	30	300	180	60	116	1.535	2.912	0.961	34.285	0.230	0.296
13	322	10	30	240	210	60	115	1.546	2.709	1.041	36.890	0.248	0.298
14	336	10	30	240	210	60	120	1.590	2.652	1.056	37.35	0.238	0.298
15	350	10	30	240	210	60	125	1.634	2.598	1.071	37.788	0.229	0.298
16	322	10	30	300	210	60	115	1.338	2.772	0.968	33.993	0.311	0.270
17	336	10	30	300	210	60	120	1.378	2.713	0.969	34.195	0.298	0.270
18	350	10	30	300	210	60	125	1.417	2.658	0.972	34.430	0.286	0.270
19	320	12	30	180	240	60	120	1.602	2.693	1.256	44.240	0.225	0.324
20	320	12	30	240	240	60	120	1.345	2.696	1.033	36.832	0.300	0.278
21	306	14	30	180	270	60	119	1.500	2.714	1.184	45.096	0.275	0.309
22	360	12	30	180	270	60	120	1.724	2.732	1.393	52.851	0.200	0.309
23	306	14	30	240	270	60	119	1.23	2.667	1.019	36.839	0.366	0.262
24	300	16	30	120	300	60	120	1.746	2.963	1.68	59.525	0.213	0.389
25	300	16	30	180	300	60	120	1.322	2.758	1.132	45.674	0.320	0.296
26	340	14	30	180	300	60	119	1.608	2.754	1.310	53.921	0.247	0.296
27	286	18	30	180	330	60	117	1.247	2.846	1.073	45.400	0.378	0.286
28	330	16	30	180	330	60	120	1.411	2.806	1.234	54.383	0.291	0.286

3 针对目的层的观测系统优选

针对快速评价筛选出的少数几个候选观测系统,进一步从叠前处理及噪声压制等角度进行观测系统的细致分析和评价,从中优选最适宜勘探目标区的观测系统。具体来说,最优观测系统应该具有如下特点:一是反射点应均匀分布于目的层,且各反射点冗余度、方位角、炮检距空间分布一致;二是观测系统应该能够满足叠前时间偏移处理和 DMO 处理等要求。

考虑到塔里木盆地 WN 区块相对更注重叠前

成像效果,因此,重点进行了针对目的层的叠前时间偏移响应分析。因方案 16、17、18 之间的区别仅在于接收道数,故最终选择方案 17、方案 20 与方案 23 开展了叠前偏移效果的对比。图 1 显示了三者的 PSTM 脉冲响应子波能量平面图,目的层埋深为 1000m,速度为 3000m/s。为便于对比,我们统计了能量方差,分别为 7.4%、5.2%、5.3%。不难看出,方案 20(12 线 4 炮 320 道)子波能量平面分布更均匀,更有利于改善偏移效果,具有较好的成像聚焦能力。有鉴于此,WN 区块最终采用了方案 20(12 线 4 炮 320 道),经过野外生产试验效果良好。

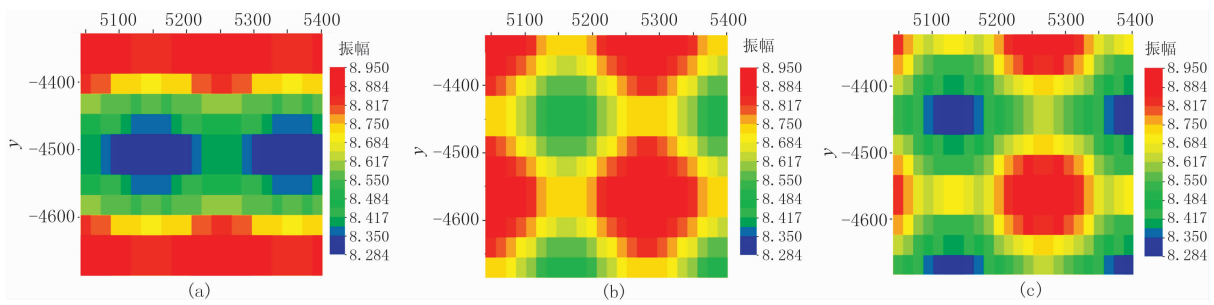


图1 PSTM脉冲响应子波能量平面图

(a)方案17(10线5炮336道);(b)方案20(12线4炮320道);(c)方案23(14线4炮306道)

4 结论

(1)基于采集参数分类所提出的候选观测系统全集构建方法能够为最优观测系统设计提供基本保障;

(2)基于观测系统均匀性、相似性、纵横比、采集成本等多因素的观测系统定量评价法则克服了传统观测系统优选方法的不足,使得观测系统设计流程科学合理快速有效;

(3)塔里木盆地WN区12线4炮320道最优观测系统设计表明该方法是切实可行的。

参考文献

- [1] 钱荣钧. 关于地震采集空间采样密度和均匀性分析. 石油地球物理勘探, 2007, 42(2):235~243
Qian Rongjun. Analysis on spatial sampling density and uniformity of seismic acquisition. *OGP*, 2007, 42(2):235~243
- [2] 尹成, 吕公河, 田继东等. 三维观测系统属性分析与优化设计. 石油地球物理勘探, 2005, 40(5):495~509
Yin Cheng, Lv Gonghe, Tian Jidong et al. Attributes analysis and optimum design of 3-D geometry. *OGP*, 2005, 40(5):495~509
- [3] 赵虎, 尹成, 陈光明等. 炮检距属性的非均匀性系数分析. 石油地球物理勘探, 2011, 46(1):22~27
Zhao Hu, Yin Cheng, Chen Guangming et al. Unevenness analysis of offset attribute. *OGP*, 2011, 46(1):22~27
- [4] 阎世信, 谢文导. 三维地震观测方式应用的几点意见. 石油地球物理勘探, 1998, 33(6):787~795
Yan Shixin, Xie Wendao. Some suggestions on the application of three-dimensional seismic observation ways. *OGP*, 1998, 33(6):787~795
- [5] 赵殿栋, 吕公河, 张庆淮等等. 高精度三维地震采集技术及应用效果. 石油物探, 2001, 40(1):1~8
Zhao Diandong, Lv Gonghe, Zhang Qinghuai et al. High-precision 3D seismic acquisition technology and application effect. *GPP*, 2001, 40(1):1~8
- [6] Marfurt K J. Suppression of the acquisition footprint for seismic sequence attribute mapping. *Geophysics*, 1998, 63(3):1024~1035
- [7] Slawson S, Monk D and Moran J. Survey geometries that achieve more uniform offset and azimuth sampling. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 1997, 16:39~42
- [8] 高银波, 张研. 关于面元计算和观测系统设计的思考. 石油地球物理勘探, 2008, 43(4):383~396
Gao Yinbo, Zhang Yan. Redefining bin size and folds in 3-D seismic exploration. *OGP*, 2008, 43(4):383~396
- [9] 马义忠, 魏伟, 孙伟佳等. 南阳凹陷高精度三维地震采集观测系统设计. 石油物探, 2008, 47(5):498~504
Ma Yizhong, Wei Wei, Sun Weijia et al. High resolution 3-D seismic survey design in Nanyang depression. *GPP*, 2008, 47(5):498~504
- [10] 李伟波, 胡永贵, 李培明等. 基于噪音压制的观测系统设计分析技术. 东方地球物理公司2009年度地震采集技术交流会论文集, 2009, 39:34~38
Li Weibo, Hu Yonggui, Li Peiming et al. Noise-suppression-based geometry optimization. *BGP Acquisition Techniques Communication Conference*, 2009, 39:34~38
- [11] 俞寿鹏等译. 陆上三维地震勘探的设计与施工. 石油地球物理勘探局, 1996, 16~64
- [12] Gijs J O Vermeer 著; 李培明, 何永清等译. 三维地震勘探设计. 北京:石油工业出版社, 2008, 71~105

(本文编辑:冯小球)