

文章编号:0253-9985(2012)01-0141-07

地震采集面元尺度与成像横向分辨能力分析

郭 恺¹, 仝兆岐¹, 滕厚华²

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555; 2. 中国石化 胜利油田物探研究院, 山东 东营 257022)

摘要:在分析地震采集面元尺度一般性设计的基础上,通过地震模型不同采集道间距的正演模拟成像结果分析,验证了采用不同道距成像解释结果存在较大差异。道距越大解释难度越大,误差也越大,道距越小,成像解释结果与实际地质构造越接近。通过对实际不同面元尺度的地震成像结果分析,揭示了较大面元的断层成像存在同相串轴现象,准确判别解释难度大。小面元的断层成像面窄而清晰,易于判别与解释,不同程度地提高了地震横向分辨能力。结合以往勘探的应用情况,根据不同地震勘探阶段的地质任务需求,给出了在新区地震勘探、高精度地震勘探、滚动开发地震勘探阶段设计采集面元尺度时的建议,可供地震勘探采集面元设计时参考。

关键词:模型正演;变面元成像;横向分辨率;采集面元设计

中图分类号:TE132.1

文献标识码:A

Analysis on bin size of seismic survey and lateral resolution of imaging

Guo Kai¹, Tong Zhaoqi¹ and Teng Houhua²

(1. School of Earth Resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555, China;

2. Shengli Geophysical Research Institute of SINOPEC, Dongying, Shandong 257022, China)

Abstract: Based on the analyses of general bin size design of seismic survey, the imaging of forward modeling with different trace spacing verifies that interpretation results are quite different for different tracing spacing. The larger the trace spacing is, the more difficult the interpretation is, and the greater the error is. The smaller the trace spacing is, the closer the interpretation results are to the real geologic structures. Analyses of real seismic imaging with different bin sizes reveal that event-crossing may occur on imaging section of fault when bin size is large, making it very difficult to accurately identify fault. In contrast, imaging section of fault is narrow and clear when bin size is small, making it easy to interpret fault, thus increasing lateral resolution of seismic data. In conjunction with the previous exploration application and according to the geologic task in different seismic exploration stages, we present corresponding proposals of bin sizes for seismic exploration in frontier area, high resolution seismic exploration, seismic exploration during rolling exploration and development.

Keywords: forward modeling; variable bin imaging; lateral resolution; acquisition bin design

地震采集面元尺度与地震成像分辨率的关系是近几年来高精度地震资料采集和处理的一个重要研究课题。许多学者对面元的尺度与地震分辨能力做了大量研究与论述。狄帮让论述了对于平缓地层,面元尺度不影响地震成像的纵向分辨率,对于倾斜地层,应做进一步的实验研究。减小面元可以有限地提高横向分辨率,在不同前提条件

下,应优化选择不同尺度的面元^[1]。吕公河论述了小面积组合可以有针对性地压制高频段噪声,拓宽优势频带^[2]。熊金良论述了小面元本身并没有提高纵向分辨率,而它提高纵向分辨率的实质是通过面元叠加提高高频端信噪比,进而提高纵向分辨率^[3]。夏洪瑞论述了道间距过大导致偏移结果出现空间假频现象^[4]。吴安楚论述了三维地

收稿日期:2011-08-31;修订日期:2012-01-10。

第一作者简介:郭恺(1985—),男,博士研究生,叠前动力学保真处理。

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2009AA06Z206);国家科技重大专项(2011ZX05014-001-008HZ)。

震普遍存在接收道数少、面元尺寸小、横向覆盖次数低的结论等^[5]。这些都给实际的勘探研究提供了一些技术方面的参考。

近几年来,一些油田采用可变细分面元地震采集以及利用得到的可分面元资料进行不同面元的地震成像研究,取得了一些新认识^[9-11,13-14]。中原油田的马厂三维资料和胜利油田的永新三维资料就是很好的例子。证实了采用较小面元提高了地震分辨能力的结论。胜利油田的永新三维资料,采用了可细分5种面元的方法(25.0 m×25.0 m,20.0 m×20.0 m,15.0 m×15.0 m,10.0 m×10.0 m,5.0 m×5.0 m)。结果表明较小面元的地质分辨能力得到了很大提高^[6,12]。

那么地震采集面元尺度与横向分辨能力的关系如何呢?本文利用地质模型进行正演和实际资料分析,得出了在地震采集面元设计时可作参考的认识。

1 采集面元尺度的一般性设计

地震勘探采集观测系统接收面元尺度的设计,通常主要考虑下面3个方面^[7]。

1.1 满足最高无混叠频率要求

当采集面元尺度满足最高无混叠频率要求时,偏移成像时不产生偏移假频噪音,即满足最高无混叠频率法则:

$$b_x = \frac{V_{\text{int}}}{4F_{\text{max}}\sin\theta_x} \quad (1)$$

$$b_y = \frac{V_{\text{int}}}{4F_{\text{max}}\sin\theta_y} \quad (2)$$

式中: b_x 为 x 方向面元边长,m; b_y 为 y 方向面元边长,m; V_{int} 为上一层层速度,m/s; F_{max} 为最高无混叠频率,Hz; θ_x 为 x 方向地层倾角,(°); θ_y 为 y 方向地层倾角,(°)。

1.2 满足横向分辨率要求

当采集面元尺寸满足横向分辨率要求时,能够保证良好的横向分辨率,此时面元边长的理论经验公式:

$$b_x = \frac{V_{\text{int}}}{2F_{\text{main}}} \quad (3)$$

式中: F_{main} 为反射层主频,Hz。

1.3 满足分辨地质体要求

设计面元边长考虑地质体大小时,通常要求面元边长不应大于分辨最小地质体的1/3。一般的地震勘探目标地质体大小都在百米和数百米以上,对于目前普遍采用的25.0 m×25.0 m面元边长都能符合这一要求。

这里当地层层速度为3 000 m/s、反射层视主频为50 Hz、地层倾角为30°时。满足最高无混叠频率要求的面元边长为30 m;满足横向分辨率要求的面元边长为50 m。从满足最高无混叠频率要求和满足横向分辨率要求的面元边长角度考虑,面元边长只要等于或小于30 m就能满足要求。目前的勘探采集使用的面元边长大多数都小于这一数值,理论上符合设计要求。

但随着油田勘探开发的深入,对资料的空间分辨能力要求更高些,尤其是断裂系统复杂的区域显得尤为重要。那么设计采集面元边长多大更合适呢?针对这一问题,通过两个地质模型及反演结果进行讨论。

2 模型正演分析

2.1 不同尺度缝隙带模型

模型设计参数:模型横向长度4 700 m,纵向深度5 000 m,背景速度为3 000 m/s,含有4层地质体,每层地质体速度为4 000 m/s,每层地质体含有6个缝隙带,宽度分别是5.0,10.0,15.0,20.0 m。激发子波主频30 Hz,采样率1 ms,覆盖次数40次(图1a)。图1b—f分别为道距25.0,20.0,15.0,10.0,5.0 m的模拟偏移结果。这时相对应的共中心点(CMP)道距分别为12.5,10.0,7.5,5.0,2.5 m,作为二维模型以下简称为成像道距。

横向分辨能力(以模型第一层深度1 000 m为例分析):成像道距为12.5 m时20.0 m的缝隙带比较清楚,易于分解释释;15.0 m的缝隙带存在干涉,解释有一定难度,会存在解释误差;10.0 m以下的无法分辨;成像道距为10.0 m时10.0 m以上的缝隙带比较清楚,易于解释;5.0 m的缝隙带无法分辨。成像道距为7.5 m时10.0 m以上的缝隙带成像非常清楚;5.0 m的也无法分辨。成像道距5.0 m时能够较容易地分解释释5.0 m以上

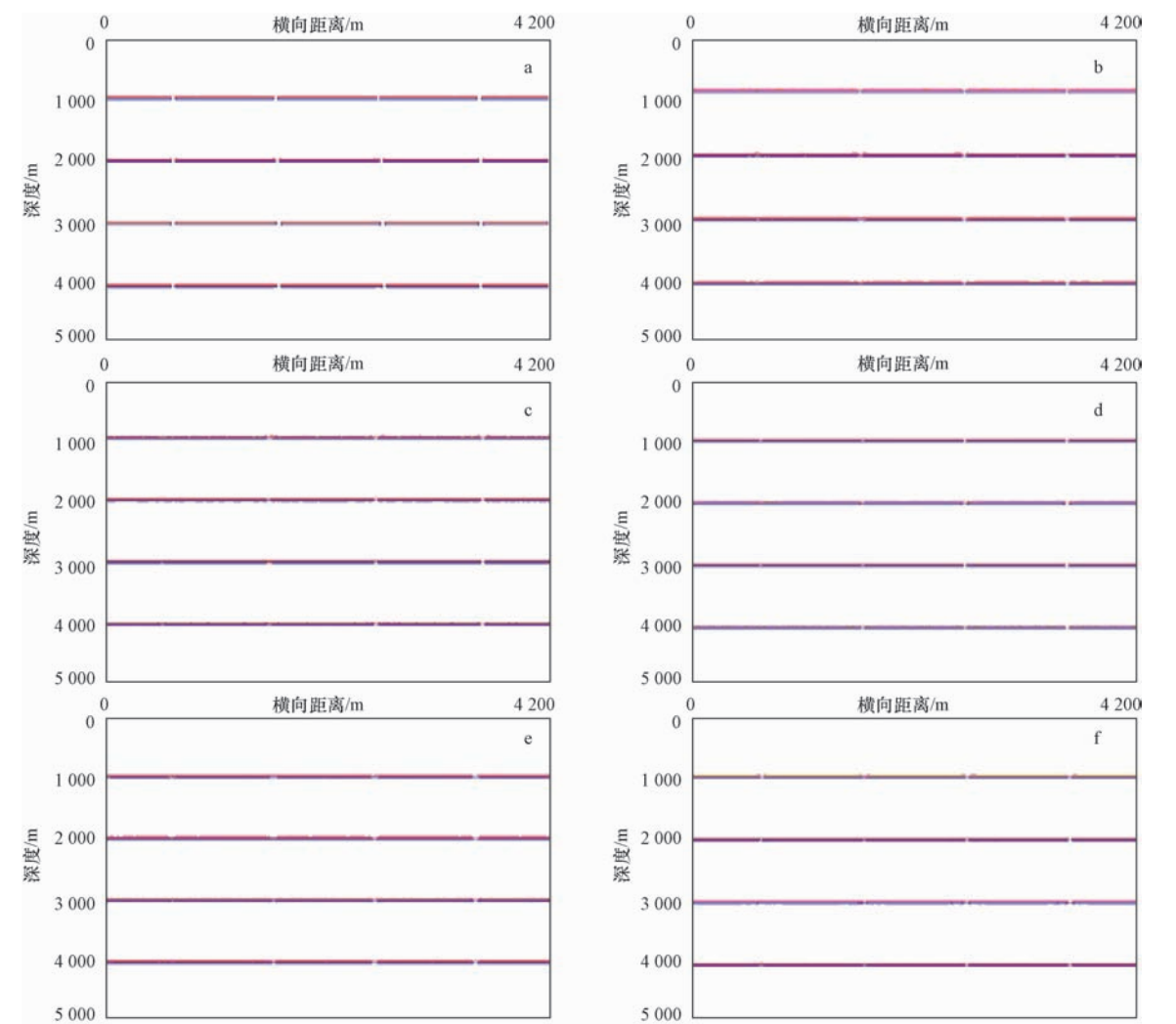


图1 缝隙带模型及正演模拟偏移成像结果

Fig.1 Fractured zone model and migration results of forward modeling data
a. 模型;b—f. 分别是成像道距为12.5,10.0,7.5,5.0,2.5 m时的模拟结果

的缝隙带。成像道距2.5 m时能够容易地分辨解释5 m以上的缝隙带。

地质体埋深与分辨能力:成像道距为12.5 m时,能够容易分辨出4 000 m埋深处宽度为15 m的缝隙带;成像道距为10 m和7.5 m时,能够分辨出2 000 m埋深处宽度为10 m的缝隙带和4 000 m埋深处宽度为15 m的缝隙带;成像道距为5 m和2.5 m时,能够分辨出2 000 m埋深处宽度为5 m的缝隙带和4 000 m埋深处宽度为10 m的缝隙带(表1)。

该模型正演说明分辨能力与地震道距和地质体埋深有关。对同一深度的地质体成像道距越小分辨能力越强。对不同深度的地质体较小的地震

成像道距其分辨能力较强,但随着地质体的埋深变化,分辨能力逐渐变弱,当成像道距小到一定程度时也不能分辨小的地质体了,说明分辨能力是有限度的。

表1 缝隙带宽度分辨能力统计					
Table 1 Resolution statistics of width of fractured zone					
深度/m	缝隙带宽度/m				
	2.5 *	5.0 *	7.5 *	10.0 *	12.5 *
1 000	5.0	5.0	10.0	10.0	15.0
2 000	5.0	5.0	10.0	10.0	15.0
3 000	10.0	10.0	15.0	15.0	15.0
4 000	10.0	10.0	15.0	15.0	15.0

注: * 为道距,m。

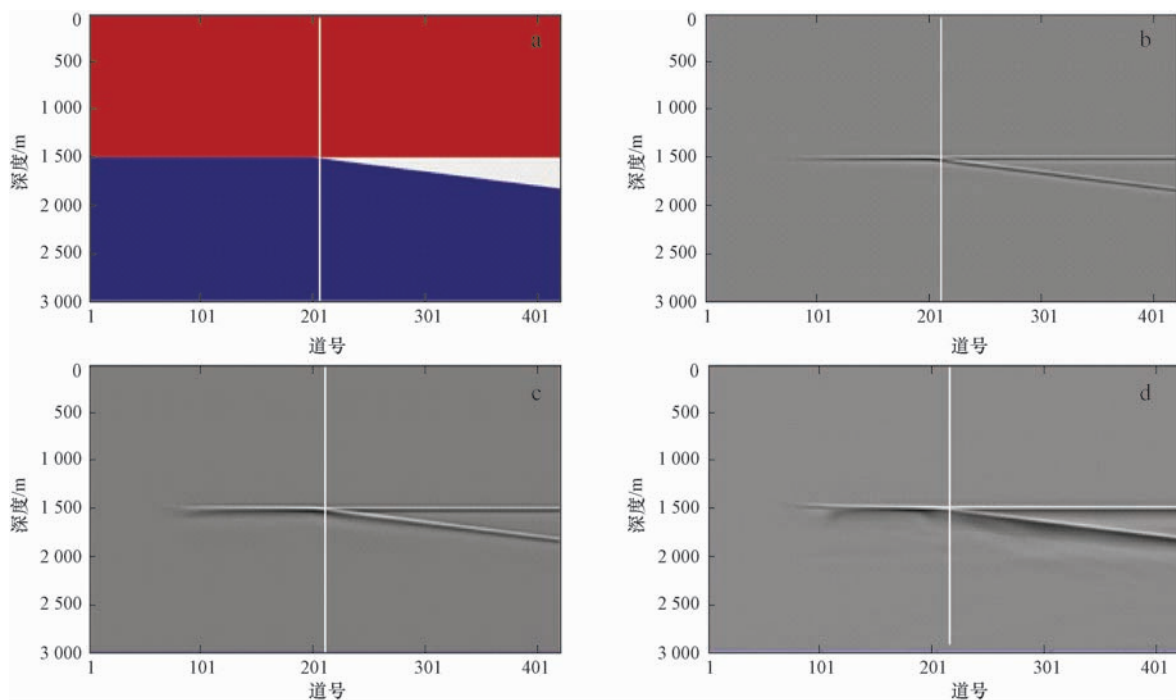


图2 尖灭模型不同道间距二维模拟成像结果

Fig. 2 2-D simulated imaging results of pinch-out model with different acquisition trace spacing

a. 模型; b. 道距 5.0 m; c. 道距 10.0 m; d. 道距 15.0 m

2.2 尖灭地质体模型

图2a是一个尖灭模型。设计参数:上、中、下分别为速度不同的均匀体,深度为3 000 m,横向为8 000 m(为了直观模拟成像的尖灭效果将4 200 m以后的数据删掉了),覆盖次数为60次,模拟主频30 Hz。分别使用10.0、20.0、30.0 m的道间距进行正演模拟,这时相对应的CMP道距分别为5.0、10.0、15.0 m,作为二维模型。以下简称成像道距(图2b—d)。

根据图2中3个不同道距成像剖面的尖灭点计量分析,道距为5.0 m时成像尖灭点与模型尖灭点解释计算距离为68 m,道距为10.0 m时为83.0 m,道距为15.0 m时为101 m。

该模型正演说明:对于同一地质体,采用不同道距成像解释结果存在较大差异。道距越大解释误差越大。同理道距越小,成像解释精度与实际地质构造越接近。

3 不同面元地震成像横向分辨能力分析

以某油田三维地震偏移成像资料为例,图3是

4种不同面元($20.0\text{ m} \times 20.0\text{ m}$, $15.0\text{ m} \times 15.0\text{ m}$, $10.0\text{ m} \times 10.0\text{ m}$, $5.0\text{ m} \times 5.0\text{ m}$) (叠前面元内覆盖次数相同)的地震成像效果。对比可知,4个不同面元的成像结果断层都能展示出来。但是较大面元的断层成像面较宽,断层处存在同相轴串层现象,给准确判别带来难度。而小面元的断层成像面窄而清晰,断层处无同相轴串层现象,易于判别与解释,较大程度地提高了断层的解释精度。

图4是 $20.0\text{ m} \times 20.0\text{ m}$ 和 $10.0\text{ m} \times 10.0\text{ m}$ 两种不同面元的成像,对比可知, $20.0\text{ m} \times 20.0\text{ m}$ 面元的成像断层模糊不清分辨不开,解释难度大,误差大,可靠程度低; $10.0\text{ m} \times 10.0\text{ m}$ 面元的成像断层清晰易于解释,可提高断层的解释精度。对于断块控制型油气藏的勘探是非常有利的。

图5是 $15.0\text{ m} \times 15.0\text{ m}$ 和 $5.0\text{ m} \times 5.0\text{ m}$ 两种不同面元的成像,对比可知:对于较大断距的断层 $15.0\text{ m} \times 15.0\text{ m}$ 道距和 $5.0\text{ m} \times 5.0\text{ m}$ 面元的成像都能够很好地分辨与解释。而对于较小的断距 $15.0\text{ m} \times 15.0\text{ m}$ 的面元分辨不开, $5.0\text{ m} \times 5.0\text{ m}$ 面元的就分开了,且断层比较干脆。这对于低序级小断层的勘探非常有必要。

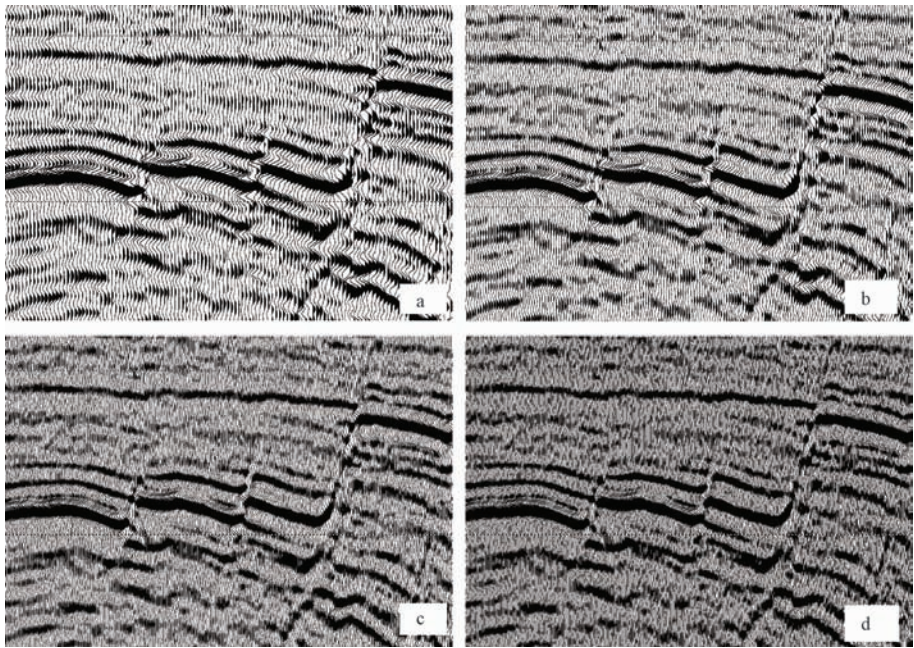


图3 4种不同面元成像结果

Fig. 3 Imaging results with four bin sizes

a. 20.0 m×20.0 m; b. 15.0 m×15.0 m; c. 10.0 m×10.0 m; d. 5.0 m×5.0 m

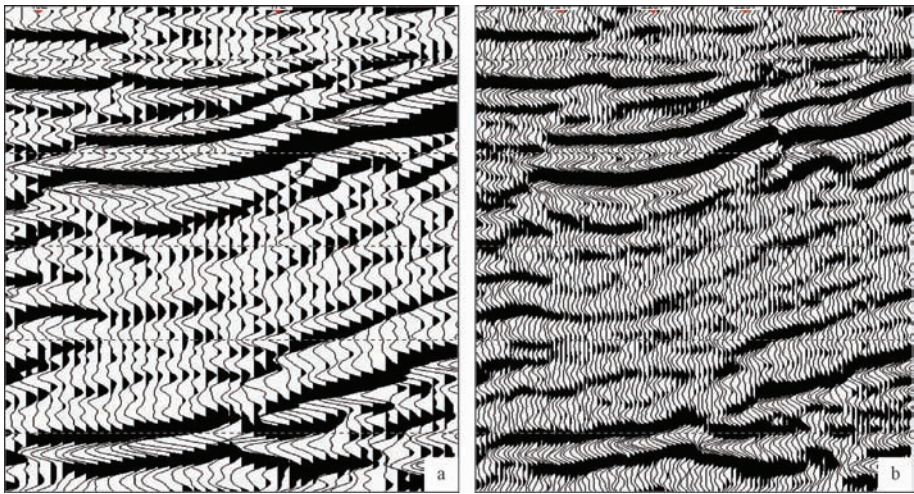


图4 两种不同面元成像结果(一)

Fig. 4 Imaging results with two bin sizes(I)

a. 20.0 m×20.0 m; b. 10.0 m×10.0 m

4 采集面元尺度设计

从模型正演和实际资料成像结果分析来看,较小采集面元对地震横向分辨能力有很大作用。缝隙带模型正演说明了较小面元对较小地质体分辨十分有利。尖灭地层模型说明较小面元对地质尖灭点位置更接近于实际点,解释误差会更

小些。实际资料成像说明了较小的面对小断距的断层分辨有利,从而能够大大提高地质解释的精度^[8]。在此分析的基础上,结合以往地震勘探采集对面元的使用提出了采集面元设计时的几点参考。

4.1 新区地震勘探

新区地震勘探一般是进行初步的地下地质调

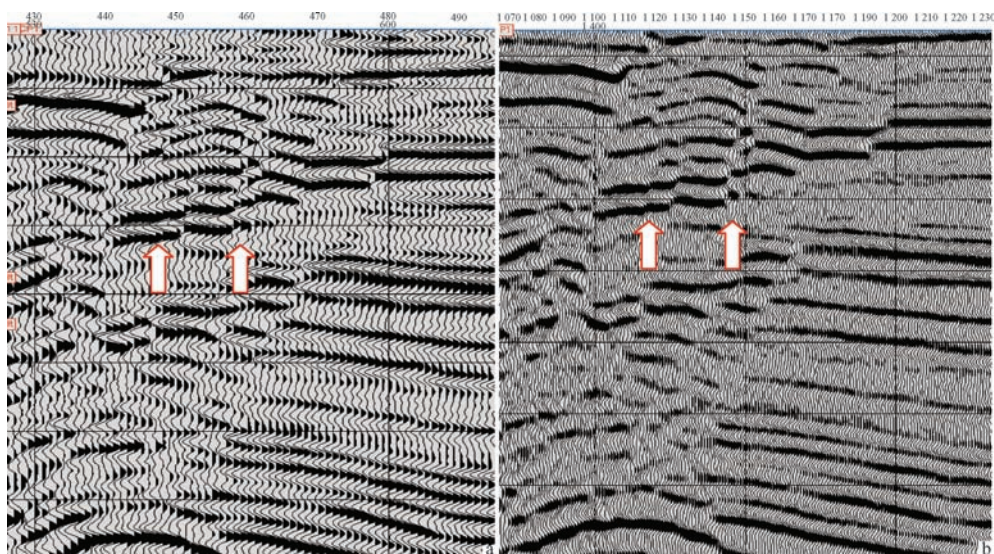


图5 两种不同面元的成像结果(二)

Fig. 5 Imaging results with two bin sizes(II)

a. 15.0 m × 15.0 m; b. 5.0 m × 5.0 m

查,主要是搞清地下大的地质构造形态以及断裂系统的分布及发育情况。不需要较高的地质分辨能力,所以不必采用较小的采集面元。一般使用 25.0 m × 25.0 m 或 20.0 m × 20.0 m 的接收面元就能满足要求。

4.2 高精度地震勘探

高精度地震勘探一般是在勘探老区进行,主要目的是进行精确的地质构造和岩性勘探,对勘探精度要求很高。需要搞清地下地质构造的精细形态、清晰的断裂系统以及具有对岩性体较高的纵横向分辨能力。所以采用较小的采集面元才能达到需求,此时使用 15.0 m × 15.0 m 或 10.0 m × 10.0 m 的接收面元较为适宜。

4.3 滚动开发地震勘探

就老区滚动开发的地震勘探而言,对地质目标成像精度以及纵横向的分辨能力要求更高。一般要求能够进行微幅构造、岩性解释及识别低序级的断层等。所以对开发地震勘探来说,采集接收面元采用 10.0 m × 10.0 m 或 5.0 m × 5.0 m 的设计是合适的。

5 结束语

本文采用二维地质模型正演分析,其结果存

在一定的局限性,与实际资料的分辨能力会存在一些差距。但能够证明面元尺度越小其地质横向分辨能力越强,并存在分辨极限性。通过地质模型正演模拟与实际资料不同面元成像结果分析,结合油田勘探实际给出了在新区地震勘探、高精度地震勘、滚动开发地震勘探采集面元设计时的参考。由于不同勘探开发油区的地下地质结构复杂程度存在差异,所以对于实际的地震勘探有必要根据地下地质情况进行不同采集面元的试验,以其解决地质能力确定合理的采集面元。

参考文献

- [1] 狄帮让,熊金良,岳英,等. 面元大小对地震成像分辨率的影响分析[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(4): 363 - 368.
Di Bangrang, Xiong Jinliang, Yue Ying, et al. Analysis on influence of bin size on resolution of seismic imaging: study of acquisition parameters based on seismic physical modeling[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41(4): 363 - 368.
- [2] 吕公河. 高精度地震勘探采集技术探讨[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(3): 261 - 266.
Lü Gonghe. Discussion of high-precision seismic prospecting acquisition technology [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(3): 261 - 266.
- [3] 熊金良,岳英,杨勇,等. 面元大小与纵向分辨率关系[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(4): 489 - 491.
Xiong Jinliang, Yue Ying, Yang Yong, et al. Relationship between bin size and inline resolution[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41(4): 489 - 491.

- [4] 夏洪瑞. 道间距对偏移结果影响的讨论[J]. 勘探地球物理进展, 2007, 30(1): 33-38.
Xia Hongrui. Effects of group interval on migration[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2007, 30(1): 33-38.
- [5] 吴安楚. 宽方位三维地震采集设计技术及应用[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(3): 65-67.
Wu Anchun. Acquisition design technique with wide azimuth seismic and its application[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(3): 65-67.
- [6] 刘书会. 济阳拗陷三维地震二次采集资料的地质效果[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 64-66.
Liu Shuhui. Geologic effect of 3D seismic secondary acquisition data in Jiyang Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(3): 64-66.
- [7] 沈财余. 东营凹陷三维地震采集评述[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(1): 42-44.
Shen Caiyu. Discussion on 3-D seismic acquisition in Dongying sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(1): 42-44.
- [8] 苏心华. 复杂地区细分面元采集方法不利因素分析[J]. 小型油气藏, 2005, 10(3): 13-17.
Su Xinhua. Unfavorable factors of the subdivision bin acquisition method in complex areas[J]. Small Hydrocarbon Reservoirs, 2005, 10(3): 13-17.
- [9] 管树巍, 杨海军, 韩剑发, 等. 塔中低凹起的构造属性和解释方法[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(54): 777-786.
Guan Shuwei, Yang Haijun, Han Jianfa, et al. Structural properties and interpretation methods of the Tazhong Low Salient[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(54): 777-786.
- [10] 张玲, 魏萍, 肖席珍. SEC 储量评估特点及影响因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 293-301.
Zhang Ling, Wei Ping, Xiao Xizhen. Characteristics and their influential factors of SEC reserve evaluation[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 293-301.
- [11] 边立恩, 于茜, 韩自军, 等. 基于谱分解技术的储层定量地震解释[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(54): 718-723.
Bian Li'en, Yu Qian, Han Zijun, et al. Quantitative seismic interpretation of reservoirs based on the spectral decomposition technique[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(54): 718-723.
- [12] 张军华, 郑旭刚, 王伟, 等. 面元细分处理资料的分辨率定量评价[J]. 油气地球物理, 2009, 7(3): 14-17.
Zhang Junhua, Zheng Xugang, Wang Wei, et al. The quantitative evaluation of resolution for bin-divisible seismic data[J]. Petroleum Geophysics, 2009, 7(3): 14-17.
- [13] 李浩, 游瑜春, 郑亚斌, 等. 应用测井技术识别碎屑岩与碳酸盐岩地质事件及其差异[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 142-149.
Li Hao, You Yuchun, Zheng Yabin, et al. Logging identification methods of elastic and carbonate rocks and their differences[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 142-149.
- [14] 郑和荣, 尹伟, 胡宗全, 等. 中西部碎屑岩领域油气富集主控因素与勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 753-762.
Zheng Herong, Yin Wei, Hu Zongquan, et al. Main controlling factors for hydrocarbon accumulation and potential exploration targets in clastic sequences in western-central China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 753-762.

(编辑 高 岩)

《石油与天然气地质》期刊再次入编 《中文核心期刊要目总览》

据《中文核心期刊要目总览》2011年版编委会审定,《石油与天然气地质》期刊入编《中文核心期刊要目总览》2011年版(第六版)之石油、天然气工业类的核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》每4年出版一次,从1992年起已出版过5版,主要为图书情报界、出版界等需要对期刊进行评价的用户提供参考。评选核心期刊的工作,是运用科学方法对各种刊物在一定时期内所刊载论文的学术水平和学术影响力进行综合评价的一种科研活动。本版核心期刊定量评价,采用了被引量、被摘量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、被国内外重要检索数据库收录、基金论文比、Web下载量等9个评价指标,8200多位学科专家参加了核心期刊的评审工作。经过定量筛选和专家定性评审,从我国正在出版的中文期刊中评选出1982余种核心期刊。

(李军 供稿)