文章编号:1009-3850(2014)04-0075-05

# 高精度三维地震数据采集技术在 TBM 探区的应用

# 张凯淞<sup>1</sup>,杨瑞召<sup>1</sup>,姜 喆<sup>1</sup>,闫立志<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学,北京 100083; 2. 中国石油化工股份公司华北分公司,河南 郑州450006)

摘要:鄂尔多斯盆地北部 TBM 探区表层地震地质条件较为复杂,低降速层主要为流沙、含水沙层及黄土层,厚度横向 变化较大,潜水面变化不定。储层非均质性强,有效储层薄,储层与煤层伴生,严重制约了本区天然气勘探开发步 伐。为了解决目前勘探开发所面临的实际问题,在 TBM 探区部署并实施了 100km<sup>2</sup>的高精度三维地震数据采集,针 对探区的地震地质特点和难点,开展了攻关和试验。在高精度三维地震数据采集中,通过观测系统优化、虚反射界 面分析和利用、激发岩性优选、试验资料功率谱面积和频宽收敛分析等技术的综合运用,确定了合适的三维观测系 统和激发因素,取得了较好的效果。

关 键 词:高精度三维地震数据采集;观测系统;激发;功率谱面积;频带宽度
中图分类号: P631.4<sup>+</sup>13
文献标识码: A

## 1 探区概况

TMB 探区位于毛乌素沙漠边缘,沙漠覆盖面积 约占区块总面积的60%~70%,探区沙丘比高一般 5~30m 左右。沙丘下伏地层为白垩系红色砂泥岩, 部分地区白垩系砂泥岩直接出露地表,风化程度 较高。

探区表层结构介质速度梯度较大,不利于地震 波场能量下传。表层介质和风化的白垩系地层对 地震波能量和高频成分有着强烈吸收作用。区内 发育多套含气层位,其中上古生界二叠系山西组和 下石盒子组是目前主要的勘探层位。山西组地层 为河道亚相砂体与河漫沼泽亚相泥质岩及煤岩互 层;下石盒子组地层为河道亚相砂体与河漫亚相泥 质岩互层。储层埋深一般在2350~2900m,岩性致 密,为低孔低渗透的砂岩储集层,非均质性极强。 地震剖面显示,主要目的层反射波叠后主频偏低, 一般在22~25Hz,中高频段有效波能量很低。因 而 提高目的层反射能量并尽可能拓宽其反射频带 是 TBM 探区三维地震数据采集的主要目标任务。

### 2 精细勘探数据采集技术

针对 TBM 探区地表及勘探目标区的特点,经过 大量的研究与试验,初步形成了适合探区的精细地 震勘探数据采集技术。

2.1 三维观测系统优化设计技术

2.1.1 面元的选择

TBM 探区的三维地震采集面元选择经历了大 面元(20m×40m)向小面元(10m×10m)及不对称 面元向对称面元的过渡,设计思路紧紧围绕勘探目 标的变化,使地震资料品质逐步提高。在本次高精 度三维地震数据采集面元设计中,综合考虑目标尺 度、纵向分辨率及横向分辨率等因素,采用了10m 的面元边长,对提高目的层砂体纵向叠置关系复 杂、横向尖灭快、厚度较小的河道砂体的刻划精度 和能力十分有利。

收稿日期: 2014-03-02; 改回日期: 2014-06-29

作者简介:张凯淞(1989-),男.硕士研究生。专业方向:地球探测与信息技术

#### 2.1.2 覆盖次数

通过叠加信噪比可以提高 √N 倍 (N 为覆盖次 数)。但是 ,要达到这个目标 ,有效信号必须是同相 叠加 ,时间对齐 ,波形一致 ,否则效果会受影响。另 外 ,当覆盖次数增加到一定程度后 ,再增加覆盖次 数效果就不一定明显。确定覆盖次数时主要考虑 以下 3 个方面: (1) 充分压制干扰 ,突出层间弱反射 能量 ,增加深层反射能量 ,提高资料的信噪比 ,应取 较高的覆盖次数; (2) 为了保证不同方位角道集的 叠加效果 ,需要增加横向覆盖次数; (3) 根据 inline 方向速度分析精度及 crossline 方向自动剩余静校正 的要求 ,必须保证纵、横向覆盖次数分布比较合理。 通过上面的分析 ,确定本区采用 99 次(inline 方向 11 次、crossline 方向 9 次) 比较合适。

### 2.1.3 最大偏移距

根据常速情况下速度估计结果的相对误差与 地震观测孔径、地震资料的信噪比和分辨率、地下 反射界面倾角之间的定量关系<sup>[4]</sup>,综合考虑以下因 素:动校拉伸率不宜超过10%、速度分析的精度误 差不高于6%、反射系数稳定、避开直达波和初至折 射波的干涉。根据探区的实际情况,同时考虑期望 地震数据信噪比、目的层位埋深(主要目的层为上 古生界下石盒子组、山西组、太原组等,埋深一般在 2500~3000m之间)、反射界面倾角(本区地层倾角 在1°左右)和速度分析的精度要求,最大偏移距确 定为3290m。

#### 2.2 激发参数优化技术

在高分辨地震勘探中,要想得到高分辨地震资料,能否激发出宽频带的地震子波是关键。在保证 地震资料具有一定信噪比的基础上,尽最大可能拓 宽地震子波的频带宽度。经过本次高精度采集攻 关试验,认为地震波激发效果是激发岩性、激发药 量、激发点所处位置与虚反射界面的相对位置关系 等综合因素共同影响的结果。

## 2.2.1 精细表层结构分析及激发井深综合确定技术

在表层结构调查方面,一是采用高密度微测井 方法。由于表层结构横向变化快,非均质性强,所 以我们采用了加密微测井调查点的方法,以提高表 层结构及参数分析的精度。二是科学布设表层调 查点。根据地表高程、以往地震资料、表层沉积地 质资料等进行布设,以控制低降速带变化和岩性变 化为原则。

在表层结构建模方面,采用以低侧资料解释成 果约束大炮初至层析的方法,有效地克服了低侧资 料在横向上采样精度不够及大炮初至层析反演缺 少近偏移距信息的不足,使联合解释所得到的表层 结构模型精度更高,为激发井深的设计提供了精确 的参考。

在激发井深的综合确定上,采用以下几种方法 综合考虑确定井深:

(1)量化方法:根据虚反射影响下传地震波的 机理,计算出下传地震波频率与潜水面下激发深度 的关系,此关系是确定井深要考虑的重要因素之一。

(2)根据潜水面、虚反射界面、表层岩性及速度 综合分析确定井深。

(3)根据波的运动学和动力学特征综合确定井 深。利用微测井剖面,分析激发岩性对采集效果的 影响根据波的运动学和动力学特征综合确定井深。

例如 在试验 A 点 ,为了确定井深 ,采用井深扫 描的方法 ,采取固定药量 10kg ,分别在潜水面(4m) 以下 2m、3m、4m、5m、6m、7m 进行激发井深试验 ,获 得 6 张原始记录并给予分析 ,以确定最佳的激发 深度。

通过分析不同激发深度的原始记录和分频扫 描记录(图1、图2)可以看出,潜水面下2~4m激发 优于其它深度激发,说明潜水面对激发效果(尤其 是记录中的高频信息)影响较大。在潜水面下2~ 4m激发能量强,有效波反射信息清晰、视频率高、频 带宽,波组特征较好。

综合以上分析,TBM 探区单井井深应定在潜水 面下 2~3m。而对红砂岩出露或接近出露区,应定 在红砂岩中含水面以下 3m。

#### 2.2.2 基于目标层频带宽度的定量分析

在优选井深、药量的对比试验中,目标层位的 功率谱面积与频带是我们最为关注的。井深与药 量的确定,以目标层的功率谱面积与频带宽度为出 发点。经分析认为,随着药量增加,目标层位的功 率谱能量面积逐渐增大。频带有效宽度逐渐增大, 但当药量增加到 12kg 时,频带宽度逐渐收敛,药量 再增大对拓宽频带无多大作用,据此确定,采用 12kg 的药量为合适药量。

#### 2.2.3 组合激发技术

在低信噪比地段(B点)低降速层厚度大,高速 层埋深大。通过单井和组合井激发效果的对比分 析可以看出,组合井激发效果更好(图3),这是因为 组合激发具有组合效应,有利于压制噪音,减小次 生干扰,增强具有同相性的有效反射的能量,从而 提高单炮记录的信噪比和分辨率。



图 1 A 点不同井深激发扫描(60~70Hz) 记录对比 Fig. 1 Correlation of the scanning images in different excitation depths of the site A (60 to 70 Hz)



图 2 A 点激发井深试验定量分析

Fig. 2 Bar charts of the quantitative analyses for different excitation depths of the site A

## 3 效果分析

图4左图是原2002年三维采集剖面(部分), 右图为新采集资料在同一部位采用相同因素(面元 大小、覆盖次数等)、相同处理流程得到的剖面。经 过对采集因素的优化(特别是激发因素),保证了目 的层段有效反射的能量,并尽可能保护其高频信 息,分辨率得到明显提高。如图4圈内所示部分,由 于分辨率的提高,原老剖面不能分辨和识别的透镜 状砂体,在新地震剖面上得到很好地分辨和识别。

# 4 结论与认识

(1) 在观测系统的设计过程中应根据地质任务的要求及工区实际情况来确定面元大小、覆盖次数、偏移距等因素,确保采集工作能够均匀、对称、 连续采样。

(2)激发参数的选择应综合考虑虚反射界面、 激发岩性变化、激发药量等因素,在地震数据采集 前根据工区表层类型及表层结构情况,合理选择试 验点,有针对性的安排相关试验,确定相对合理的 激发因素设计指导原则。



图 3 组合激发与单井激发 30~40Hz 分频扫描纪录

Fig. 3 Correlation of the scanning records for the multiple well excitation and single well excitation (30 to 40 Hz)



图 4 新(右)旧(左)剖面对比

Fig. 4 Correlation of new (right) and the old (left) 3D seismic acquisition profiles

(3)试验过程中应对试验资料进行正确的分析,应重点关注目的层功率谱有效面积的变化及频带宽度的变化,尤其是高频端的拓展情况,正确选择激发因素,对高分辨率地震数据采集十分重要。

(4)做好表层结构调查工作,并在试验结论的 指导下进行逐点井深设计工作,对提高整体地震资料采集质量尤为重要。

- [1] 熊翥. 高精度三维地震: 数据采集 [J]. 勘探地球物理进展, 2009 32(1):1-11.
- [2] CORDSEN A, PEIRCE J W. 陆上三维地震勘探的设计与施工[M]. 俞寿朋译. 北京: 石油工业出版社, 1996.16-46.
- [3] VERMEER G J O. 3-D seismic survey design [J]. Expanded Abstracts of 72nd Annual Internat SEG Mtg 2002 19 – 32.
- [4] 管路平,冯波,王华忠. 偏移速度分析的精度与观测系统的关系[J]. 石油物探 2009 48(2):107-109.
- [5] 王永真 杜桂峰,傅朝奎,周志才,于春玲.虚反射界面对地震 激发效果的影响及其应用[J].地球物理学进展 2009 24(4):

参考文献:

1454 - 1460.

- [6] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [7] 董世泰 ,等. 压制三维地震数据采集脚印的方法研究 [J]. 石油 地球物理勘探 2007 *A*2(1):7-12.
- [8] 熊金良、等.基于地震物理模拟的采集脚印分析[J].石油地球 物理勘探 2006 *A*1(5):493-499.
- [9] 俞寿朋 ,等. 陆上三维地震勘探的设计与施工 [M]. 北京: 石油 工业出版社 ,1998.65 – 78.
- [10] 李庆忠. 走向精确的勘探道路 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 31 - 44.
- [11] 俞寿朋. 高分辨率三维地震勘探[M]. 北京: 石油工业出版 社,1994.129-131.

# An application of the high-precision 3D seismic data acquisition technique to the TBM exploration area

ZHANG Kai-song<sup>1</sup>, YANG Rui-zhao<sup>1</sup>, JIANG Zhe<sup>1</sup>, YAN Li-zhi<sup>2</sup>

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. North China Branch, SINOPEC, Zhengzhou 450006, Henan, China)

**Abstract**: The TBM exploration area lies in the northern part of the Ordos Basin , where the low velocity layers are laterally discontinuous , and dominantly made up of drifting sand , water sand and loess layers. The water tables are variable , and the hydrocarbon reservoirs are highly heterogeneous and associated with coal seams. The high-precision 3D seismic exploration is carried out in the area of 100 km<sup>2</sup> of the TBM exploration area. The emphasis in the high-precision 3D seismic data acquisition is placed upon the optimization of 3D observation systems , analysis and use of virtual reflection interfaces , selection of excitation lithology , convergence measurements of the power spectrum areas and bandwidths in order to determine appropriate 3D observation systems and excitation factors.

Key words: high-precision 3D seismic data acquisition; observation system; excitation; power spectrum area; bandwidth