

欧北地区深层三维地震采集技术

杨文军

(中国地质大学 地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 辽河盆地由于其特殊的地震地质条件, 以往采集的深层地震资料信噪比和分辨率都较低, 已经严重制约了油田的进一步勘探和开发。为了彻底摆脱地震资料品质对勘探工作的束缚, 努力提高资料的信噪比和分辨率, 辽河油田首先选择辽河盆地东部凹陷欧利坨子北为突破口, 通过采取最佳岩性激发、有效弱信号保护和变观测系统施工等一系列的技术措施, 取得了较好的效果。

关键词: 最佳岩性激发; 变观测系统; 采集技术

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2008)01-0057-04

辽河油田经过 30 多年勘探, 目前已进入了勘探成熟期, 寻找较大型、整装油气藏越来越困难。勘探目标也由浅、中层延伸到深层, 主要以小断块、微幅度构造、隐蔽油气藏和潜山油气藏为主。

辽河盆地陆上自 1984 年冬季开始三维地震勘探以来, 历经了 16 年, 到 1999 年底已累积采集三维地震资料 6 853.48 km², 这些资料无疑是辽河油田勘探开发工作的宝贵财富。但是, 大部分三维地震资料是“九五”初期采集的, 限于当时勘探目的、勘探技术、设备能力和采集参数等因素的影响, 加之深层地震地质条件差, 导致 3 000 m 以下深层资料和复杂断块区的资料品质普遍较差, 相对制约了辽河油田油气勘探。

为彻底摆脱地震资料品质对地震勘探工作的束缚, 只有努力提高资料的信噪比和分辨率, 搞清复杂构造地区及深层构造的地质认识, 辽河油田首先选择辽河盆地东部凹陷欧北—铁匠炉地区为突破口, 对三维地震勘探方法进行了系统的试验攻关, 取得了较好的效果。

1 区域概况

欧北—铁匠炉地区构造上位于辽河盆地东部凹陷中段, 该区构造总体上为一凹陷, 西翼由东部凹陷的西斜坡组成, 东翼由东部凹陷的东斜坡构成。区内主要发育有北东向和近东西向 2 组断裂, 这些断层互相交切, 构成了该区复杂的断裂系统。北东走向的断层是控制沉积、分割构造带的主干断层; 而北西及东西向的断层与主干断层相交呈羽状或树枝

状, 切割构造带, 使构造带进一步复杂化。

2 以往深层采集存在的主要问题

(1) 激发能量的问题。以往采集中, 习惯采用固定井深激发, 造成激发岩性的不稳定, 使地震子波一致性变差, 激发效果不理想, 不适合深层地震资料采集。

(2) 弱信号的保护问题。深层反射微弱, 以往对于深层弱信号的保护考虑过少, 缺少有效的技术。

(3) 观测方式的问题。辽河深层构造复杂, 主体构造倾角、倾向多变, 以往施工中采用同一种观测系统, 一方面不能有效地利用排列, 另一方面也不能保证有效地接收深层信号。

(4) 覆盖次数的问题。以往勘探的总覆盖次数和横向覆盖次数较低, 对于深层而言, 一方面使深部目的层的有效覆盖次数降低, 影响多次叠加效果, 另一方面, 使横测线剖面质量变得更差。

3 采集技术方法

3.1 最佳岩性激发技术

在野外地震勘探采集过程中, 利用反射波法进行勘探时, 接收的地震信号主要是反射波。但是在地下某一点处激发, 由于潜水面或低速层界面的影响, 使得地表同一点所接收的地震信息却是具有时差的下行波与虚反射波的非同相叠加, 虚反射波与下行波时差 ($\Delta t = t_{\text{虚}} - t_{\text{下}}$) 的存在, 必然产生低频响应, 时差大则低频响应严重, 反之低频响应就小。

以往在一个地区施工, 均采用同一种激发井深,

没有随潜水面深度及岩性变化情况而改变井深,不能完全适应低降速带变化情况,使地震子波一致性变差,特别是虚反射界面的存在,影响了激发效果。通过激发井深的选择可减弱甚至克服虚反射的影响,激发井深可按以下原则选取:

(1) 根据需保护的地震信号的最高频率 f_{max} , 计算药包距虚反射界面的距离

$$h \leq v / (4f_{max})$$

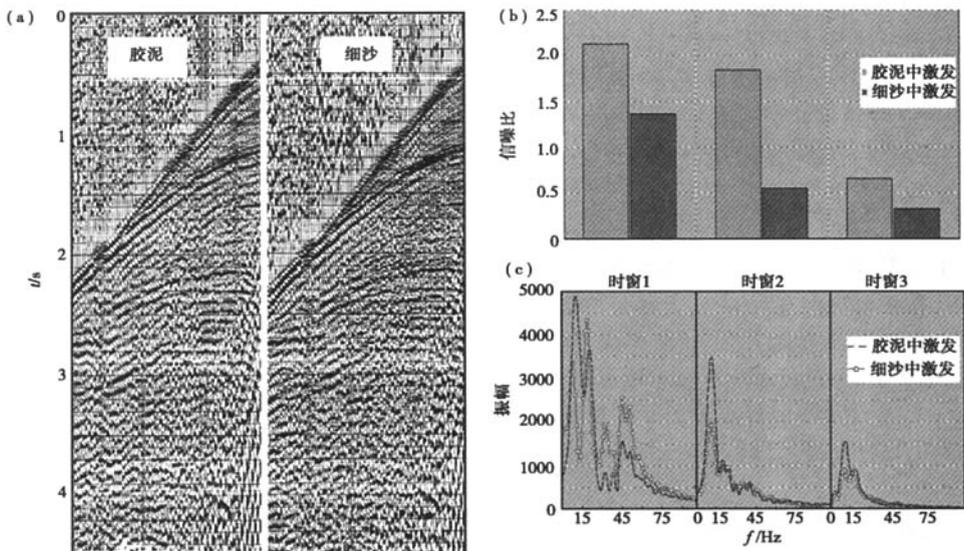
(2) 距虚反射的距离不应小于炸药的爆炸半径 ($r = 1.5Q^{1/3}$), 才能保证激发的能量和信噪比。

(3) 根据表层结构调查结果及岩性变化情况, 合理选择激发井深。

激发岩性的选择对于增强有效波能量, 减少干扰波能量极为重要: 松散介质中激发, 爆炸能量大部

分为疏松岩层吸收, 转化为有效波的能量大大减少, 且频率较低; 坚硬介质中激发, 爆炸能量消耗于破坏井壁周围岩石上, 向下传播能量减少; 黏土层或泥岩中激发, 能量较强, 频率适中。

为了寻找最佳的激发岩性, 在野外对不同的激发岩性进行对比, 从图 1 中可看出, 在硬胶泥中激发, 单炮的能量及信噪比明显好于细沙中激发(分析时窗从左至右: 时窗 1: 1.3 ~ 1.5 s; 时窗 2: 1.9 ~ 2.1 s; 时窗 3: 2.7 ~ 2.9 s)。最佳岩性激发技术流程为精细微测井 + 小折射 + 指导井 → 绘制表层结构及岩性变化图 → 寻找深度和岩性标志层 → 依据上述研究结果确定激发因素 → 野外实施“钻杆扫描法”达到最佳激发效果。



a—不同岩性激发的地震波; b—信噪比估算; c—频谱分析

图 1 不同岩性激发试验分析

3.2 有效弱信号保护技术

3.2.1 选用最佳的炸药类型提高深层能量

为了优选出提高深层能量的最佳炸药类型, 在野外对 16 种炸药进行 77 炮试验。经对比分析试验结果及对分辨率、经济效益、工作效率的综合考虑, 最终选择为高聚能二号炸药(表 1)。

3.2.2 采用低频检波器接收深层低频信号

从各种检波器频率特性曲线上可以看出: 自然频率以下为检波器的压制区(低截陡度为 12 dB/oct), 压制区内频率成分的能量将受到压制, 频率越低于自然频率, 受到的压制作用越强, 高频检波器的压制范围远大于低频检波器。辽河地区中、深层反射信息频率较低, 因此, 应该选用低频检波器。

表 1 炸药类型试验统计

炸药类型	药径/mm	药量/kg	炮数
低密乳化	60	2.4、6、8、10、12	6
中密乳化	60	2.4、6、8、10	5
中密乳化加能	60	2.4、6、8、10、12	6
高密乳化	60	2.4、6、8	4
高密乳化高爆	60	1.2、4、6	4
复合	60	1.2、3.4、5.6	6
铵梯	60	2.4、6、8、10、12	6
胶质	60	2.4、6、8、10	5
铵梯铝	60	1.2、3.4、5.6	6
聚能弹	60	1.2、3.4	4
高能弹	60	1.2、3.4	4
高聚能弹	60	1.2、3.4	4
高能二号	60	1.2、3.4	4
高聚能二号	60	1.2、3.4	4
高能小药径	45	1.2、3.4、5	5
高能小药径	27	1.2、3.4	4

3.2.3 多串检波器组合增强抗干扰能力

检波器串联组合:若 N 个检波器串联,则输出信号的大小等于单个检波器信号的 N 倍,而噪声为单个检波器的 \sqrt{N} 倍。

检波器并联组合:若 N 个检波器并联,则输出信号的大小相当于单个检波器输出信号,而噪声为单个检波器的 $1/\sqrt{N}$ 倍。

多串检波器组合:野外增加检波器串的数量,实际上是增加检波器并联的数量。一方面,随着检波器串数量的增加,在保证灵敏度的前提下,增强了检波器的抗干扰能力;另一方面,随着检波器量数的增加,利用统计效应压制随机噪声的效果增强,有利于提高资料的信噪比。

3.2.4 提高仪器前放增益放大深层弱信号

炸药激发的地震波经大地吸收衰减后,中、深层低频信号在模数转换时只能占据后面的十几位二进制位,有些低频弱信号仪器已无法记录。提高前放增益,放大弱信号的电压值,可以使更多的弱信号能够以较多的二进制位记录下来,增大前放增益同时可使仪器系统噪声减小(一般放大倍数增大 16 倍,入口噪声可降低 6 倍),有利于接收更多的低频弱信息。

3.3 变观测系统施工

每一种观测系统的属性是特定的,但地下构造展布是千变万化的。如果工区构造复杂,断裂发育,主体构造倾角、倾向多变,采用同一种观测系统,一方面在目的层埋藏较浅处,降低了主要目的层的有效覆盖次数;另一方面也不能保证接收到深层有效信号。为了更好地获得深层有效信号,应根据构造

展布情况,综合考虑选择适当的炮检距和观测系统。

在欧北地区,以获得最佳地质效果为目的,根据沙三段目的层深度变化情况,把工区分成了 8 个部分,分别使用 4 种观测系统进行采集。

观测系统 1:4175-225-50,大号方向激发,适应工区西部斜坡带向中央注陷带倾斜的地层产状。

观测系统 2:50-225-4175,小号激发,适应工区东部陡坡带。

观测系统 3:1375-225-50-225-2975,不等边激发,适应工区东部潜山带,地层埋藏较浅地区。

观测系统 4:2175-225-50-225-2175,中间激发,适应工区西部斜坡带埋藏较浅处。

3.4 增加覆盖次数

为了更好地压制多次波,提高信噪比改善深层资料品质,特别是横线方向资料品质,将横向覆盖次数由原来的 2 次提高到 6 次,总覆盖次数达到 60 次;在以往资料品质较差的构造特别复杂地区,采用加密炮点的方法,进一步增加覆盖次数,使总覆盖次数最高达到 120 次,提高深层地震资料信噪比。

4 应用效果

从欧北地区新采集地震资料看(图 2、图 3),信噪比和分辨率较以往采集剖面有很大提高,浅层信息丰富,深层及潜山内幕反射清晰。600 ~ 1 500 ms 信噪比达到 3.6,1 500 ~ 2 500 ms 信噪比达到 3,2 500 ~ 3 500 ms 信噪比达到 4;铁匠炉主体构造形态清楚,分辨能力提高 1 倍以上,界西断层断点清晰位置准确,斜坡部位地层接触关系明确,三界泡潜山中

图 2 欧北地区新老地震剖面对比

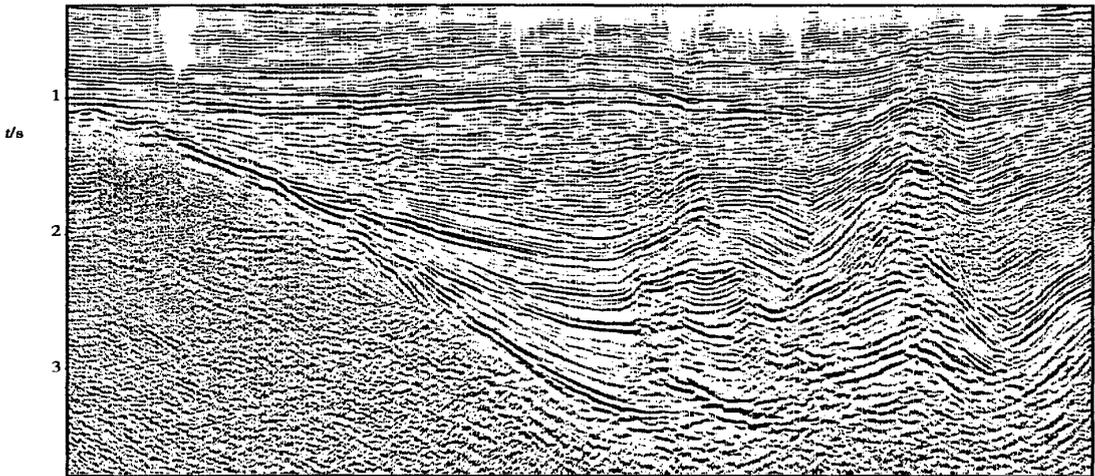


图3 欧北地区某一新采集的地震剖面

生界内幕反射较强,中生界与古生界分界明显。经初步解释发现圈闭22个,面积80 km²。

5 结论

通过这几年的试验攻关,探索出一套适合辽河探区的深层勘探方法是:“一大、一宽、一低、二高、二变”。“一大”即:大排列长度;“一宽”即:宽频档接收;“一低”即:低频检波器;“二高”即高覆盖、高

增益;“二变”即变井深、变观测系统施工。

参考文献:

- [1] 李庆忠. 走向精确勘探的道路. [M]. 北京:石油工业出版社, 1995.
- [2] 俞寿朋. 高分辨率地震勘探. 北京:石油工业出版社, 1994.
- [3] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 北京:石油工业出版社, 1982.
- [4] 何樵登. 地震勘探原理和方法[M]. 北京:地质出版社, 1986.

DEEP-LAYER THREE-DIMENSIONAL SEISMIC DATA ACQUISITION TECHNIQUE IN OUBEI AREA

YANG Wen-jun

(Geo-detection Laboratory, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The signal-to-noise ratio and resolution ratio of seismic data acquired from the deep layer of Liaohe basin are relatively low due to the peculiar seismic geological conditions, which has greatly restricted further exploration and development of the Liaohe oilfield. In order to break the restriction of seismic data quality for exploration and enhance the signal-to-noise ratio and resolution ratio, research workers of the Liaohe oilfield chose northern Oulituozui in the eastern sag of the Liaohe basin as the study area and employed a series of techniques such as optimum lithologic excitation, useful weak signal protection and variable geometric acquisition to conduct the test. The result is proved to be quite satisfactory.

Key words: optimum lithologic excitation; variable geometry; acquisition technique

作者简介: 杨文军(1963-),男,汉族,中国地质大学在读博士,教授级高级工程师,辽河油田勘探局技术专家,多年从事科研攻关、采集方法研究、项目管理等工作,公开发表论文多篇。