

Fluid Identification of Reservoir at Yanchang Block in Shanbei Slope, Ordos Basin

Yunkui Yan^{1, 2}, Huifeng Li³, Chunguan Zhang³, Haiou Lu³, Qing Chen¹

Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069;
 Yanchang Oilfield Company Limited, Yanchuan, Shaanxi 717208;
 School of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065

Abstract: Yanchang block is located in the middle of Yanan single slope in eastern Shanbei slope, Ordos Basin. For researching the gas reservoir and gas-rich area in reservoir layers, 344km² 3D seismic exploration have been completed in this area in 2008,. In this paper, some fluid identification tests including seismic wave absorption coefficient study, seismic profile spectrum decomposition technique and seismic amplitude attenuation attribute have been made. The results of these tests indicate that, seismic amplitude attenuation is sensitive for gas-bearing reservoirs and absorption coefficient is also sensitive only for gas–rich layers. Some high probability distribution zones of gas-rich have been analyzed and predicted by using the maximum value of seismic amplitude attenuation and referencing absorption coefficient profile. Several exploration wells have been made at the zones for verifying predicted results and which have obtained a good effect in 2009.

Keywords: Fluid Identification; Reservoir; Yanchang Block; Shanbei Slope; Ordos Basin

鄂尔多斯盆地陕北斜坡延长区块储层流体识别

严云奎^{1,2},李辉峰³,张春灌³,鲁海鸥³,陈青¹

西北大学地质学系 西安 710069,
 延长石油集团油气勘探公司天然气勘探开发部 延安 716000;
 3.西安石油大学油气资源学院 西安 710065

摘 要: 延长油田区块位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡东部延安单斜的中间部位,为研究天然气储层及储层中高含气分布区,2008 年在延长油田区块内完成三维地震勘探 344km²。本文对三维地震资料应用吸收系数、频谱分解、振幅衰减等地震属性进行流体识别试验。试验结果表明振幅衰减对含气层段 异常响应相对敏感,吸收系数对高含气层段有一定反映。利用天然气储层各层段振幅衰减极大值,参考吸收系数剖面的高值层段,分析预测了三维区块含气概率高的平面分布区,2009 年在预测的含气概率高分布区进行了探井验证,取得了比较理想的效果。

关键词: 流体识别 储层 延长区块 陕北斜坡 鄂尔多斯盆地

1. 引言

延长气田天然气勘探工作起始于 2003 年,目前在 区块内完成数字二维地震弯线 2355km,直测线 6035.9km,三维地震 344km²,天然气预、详探井共 127 口,试采井 87 口。这些工作的完成,既掌握了区 块内构造及储层等发育特征,也在区块内取得天然气 勘探的重大突破,在完成试气工作的 142 井中,有工 业开采意义的井有 74 口,为天然气的进一步勘探开发 提供了基础。但是,通过对钻井试气资料的分析,在 储层发育地段未必都能获得工业气流,一些储层段出 现气水同层的现象。因此,有必要对储层中的流体进行识别,以提高探井的成功率。本文利用 2008 年新完成的三维地震资料,应用吸收系数、频谱分解、振幅衰减等方法进行流体识别,其结果经 2009 年探井验证,取得了较好的效果。

2. 地质背景

延长三维地震区块位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡东 部延安单斜的中间部位,前人研究结果表明,研究区 内发育的中生界、古生界地层为极平缓单斜,除极个 别区域外,地层倾角一般小于1度,西倾向,无大型



应力构造,断裂不发育,以发育小型鼻状构造特征为 主^[1-4]。

钻井资料证实,延长区块天然气储层主要有上古 生界石千峰组、石盒子组、山西组砂岩储层和下古生 界奧陶系马家沟组风化壳碳酸盐岩储层。石千峰组储 集层为分流河道砂体,好的储集层大部分分布在本组 底部,岩性为粗砂~砾状砂岩。石盒子组储集层为辫 状河砂体,好的储集层大部分分布在本组底部(盒7、 盒8段),岩性为细砂岩、含砾中砂岩。山西组储集层 为三角洲分流河道砂体,岩性为粗砂岩、中砂岩、细 砂岩。马家沟组是一套潮坪沉积,主要为一套灰褐色、 灰、深灰色的灰岩、云岩、泥质云岩夹薄层深灰、灰 黑色云质或灰质泥岩,下部夹薄层灰白色石膏,底部 为灰白色盐岩夹膏质盐岩层。

3. 储层流体识别

延长三维地震区块已获工业气流的延气2井(井 位置见图1)试气资料如表1,显然,主要储层段山西 组出现了气水同层,石盒子组为低产气层。选择过已 知气井延气2井的地震测线L329(图2),应用一些 前人总结的较为有效的一些方法进行储层流体识别试 验^[5]。

Table 1. Cartogram of yanchang 3D block drill testing situation 表 1. 延长三维区块钻井测试情况统计表

井名	层段	厚度 (m)	产气 (m ³ /d)	产水 (m ³ /d)	试气结 论
延气 2	石盒子 组	11.2	10748	0	低产气 层
	山西组	12.2	35896	0.9	工业气 层

3.1 吸收系数气水识别试验

地震资料吸收油气预测就是利用地震资料分析目 的层顶和底的沿层功率谱参数,然后利用地震波的吸 收衰减原理计算出储层的有效吸收系数^{[6]-[7]}。由于有 效吸收系数能反映储层介质的吸收特性,而储层含油 气一般都会引起有效吸收系数增大,因而可根据有效 吸收系数的分布圈定出油气异常部位。有效吸收系数 数值越大,吸收越强,一般来说,含油气可能性越大。

图 2 是过延气 2 井的地震测线 L329 线吸收系数 处理剖面图,从图中观察可以看到,工业气井延气 2 井山西组对应的高产气层段处于高吸收系数区,而在 低产气层段石盒子组没有明显异常。从表 1 可以看出 延长区块产层厚度均较薄,产层厚度基本在 10m 左 右,延气2井在吸收系数处理剖面上对高产气层山西 组有明显反映,而对低产气层反映不明显,因此,利 用吸收系数在该区对低产气层识别有一定难度,吸收 系数可作为判别该区储层是否含有流体的参考。



Figure 1. Diagram of 3D seismic block and gas well position in yanchang (red line is L329 survey line) 图 1. 延长三维地震区块及产气井位置示意图(图中红线为 L329 测线)



Figure 2. Absorption coefficient profile across yan-2 gas well L329 line 图 2. 过延气 2 井测线 L329 吸收系数剖面

3.2 频谱分解气水识别试验

从本质上说,频谱分解算法应用到地震反射数据 后,地震信息就转换为频率信息,这有助于识别出全 带宽显示中可能忽略的地层和流体信息。在频率域中 研究目的层段时,用频谱分解计算此区域的频率响应 (而不是时间-深度响应),通过研究各频率的振幅和 相位图,以识别叠后数据不易显示的细微事件和异常点。

将频谱分解用作油气指示的做法在一些文献中已 有记载^[8],事实上,储层中如果存在气体就会导致地 震信号的衰减,也会导致垂向地震波信号能量的缺失。 随着信号能量的缺失,信号的频率也会下降,地震信 号衰减越严重,信号频率响应越低。含气层的离散傅 立叶变换或小波变换频率道集显示该层顶部的频率急 剧下坠,频率向气层底部有由高到低垂直下降的趋势, 可以间接地检测储层中是否含流体。该参数变化越大, 说明地层衰减大,频率信息损失多,储层中可能含有 流体的概率高。



Figure 3. Spectrum analysis processing profile which across seismic L329 survey line(the frequency is 40Hz)



图 3 是过延气 2 井的地震测线 L329 线频谱分解 处理剖面图,图中左侧的是延气 2 井井旁对应 40Hz 的振幅剖面,右侧的是延气 2 井所在道对应的时频谱, 可以看到振幅剖面延气 2 井井旁在山西组产气层段出 现了振幅调谐增强的响应,在时频谱上频率的有 15Hz 左右的降低,频率衰减的幅度不大,对该目的层含气 的识别作用有限,故频谱分解也不适宜于该区储层的 流体判别。

3.3 振幅衰减气水识别

当地质体中含流体如水、油或气时,会引起地震 波的散射和地震能量的衰减。当储层中孔隙比较发育 而且饱含气时,地震波中高频能量衰减要比低频能量 衰减要大。当地震波在地下岩层介质中传播时,由于 岩层非完全弹性使地震波的弹性能量不可逆地转化为 热能,造成振幅衰减,同时也造成高频损失^{[9]-[10}]。由 于岩石物理性质不同,所含流体性质不同,其弹性波 的振幅衰减量也不尽相同。当岩石中含有石油,特别 是含天然气时,弹性波振幅衰减量显著增大,因而岩 石的弹性波振幅衰减程度能灵敏地反映地下是否有油 气藏存在。因此,可以通过研究地层介质对地震波的 吸收形成的振幅衰减来确定岩性的横向变化和含油气 性。



Figure 4. Amplitude attenuation profile which across yan-2 gas well L329 line 图 4. 过延气 2 井的 L329 线振幅衰减剖面图



Figure 5. Amplitude attenuation slice which is about 5ms upward the bottom of shanxi group 图 5. 山西组储层底界向上 5ms 的振幅衰减切片

图 4 是过延气 2 井的地震测线 L329 线振幅衰减 属性剖面图,在山西组高产气层段振幅衰减明显增强, 低产气层段石盒子组测试层段振幅衰减有一定反映, 而不含流体储层本溪组、石千峰组等储层测试层段振



幅衰减值明显低于该层段,故振幅衰减属性对该区含 气层段有较好的识别作用。图 5 为山西组储层底界向 上 5ms 的振幅衰减切片,显然,延气 2 并位于振幅衰 减相对高的区域,可见其三维地震属性的横向分辨率 也较高。所以,和吸收系数、频谱分解结果比较,振 幅衰减剖面对储层中含气层段有明显反映,在储层中 对应振幅衰减明显增强层段可以作为判别储层中是否 含有流体的依据之一。

3.4 流体预测平面分布

对延长三维工区地震数据体进行吸收系数、振幅 衰减属性的计算,根据该区块目的层储层纵向分布情 况,分别提取山 2 段(山西组底界向上 30ms)、山 1 段(石盒子组底界向下 30ms)、盒 8 段(石盒子组底 界向上 25ms)、峰 5 段(石千峰组底界向上 25ms)以 及马家沟组上部(本溪组底界向下 20ms)的振幅衰减 极大值,参考吸收系数剖面的高值层段,结合该区钻 井测试资料,综合分析预测了三维区块含气概率高的 平面分布区(图 6),结果表明,各层平面分布的规模 大小与已有气井测试资料反映的结果基本一致。



Figure 6. Plane schematic diagram of containing high gas probability in yanchang 3D work area 图 6. 延长三维工区含气概率高值区平面示意图

由于叠前 AVO 气水监测方法同样存在多解性, 而且对测井和地震资料要求比较高,该区无横波资料, 且有利储层厚度较薄,平均厚度大多小于 10m,预测 难度较大,而利用叠后属性对该区主要目的层尤其是 山西组进行检测效果较好。

4. 验证结果

根据三维地震资料预测的山 2 段、山 1 段、盒 8 段、峰 5 段以及马家沟组上部含气概率高的平面分布 图(图 6),2009年完成了试 208、试 210、试 217等 3 口井探井验证,探井试气结果如表 2 示。3 口探井中,试 208、试 210 井在山 2 段获取了高产工业气层,试 217日产气量>5000m³,试 208 井测试日产气量大于 50000m³,试 210 井测试日产气量大于 100000m³。显 然,利用振幅衰减对山西组储层流体识别效果较好。

Table 2. Statistical table of yanchang 3D block 2009 drill testing 表 2. 延长三维区块 2009 钻井测试情况统计表

井号	层位	产气 (m ³ /d)	无阻流量 (m ³ /d)	产水 (m ³ /d)	试气结论
试 208	山 2	64386	260,693	2.3	工业气层
试 210	山 2	161743	528,514	0	工业气层
试 217	山 2	5100	6519	0.4	低产气层

5. 结论

(1) 延长三维地震区块发育的上古生界石千峰 组、石盒子组、山西组,下古生界马家沟组等几套天 然气储层厚度一般小于 10m,通过对已知工业气井延 气 2 井产气层段应用吸收系数、频谱分解、振幅衰减 等方法进行储层流体识别试验,测试对高含气相对敏 感的地震属性,振幅衰减对含气层段异常响应相对敏 感,吸收系数对高含气层段有一定反映。

(2)利用天然气储层各层段振幅衰减极大值,参考吸收系数剖面的高值层段,分析预测了三维区块含 气概率高的平面分布区,预测结果与已有气井测试资料反映的结果基本一致。

(3)经过对预测的高概率含气区进行探井验证, 取得了比较理想的效果,证明了振幅衰减可以作为该 区高概率含气区预测的地震属性,吸收系数能够作为 高含气区预测的参考地震属性。

Reference (参考文献)

- Lei Zhenyu; Zhang Chaojun.Study of petroleum system in ordos basin. Explorationist, 1998(3): 11~15.
 雷振宇,张朝军.鄂尔多斯盆地含油气系统.勘探家, 1998 (3): 11~15
- [2] Zhai Aijun; Deng Hongwen; Deng Zuyou; Sequence stratigraphy



and reservoir prediction of upper paleozoic in ordos basin. OIL & GAS GEOLOGY, 1999(02): $336{\sim}340.$

- 翟爱军,邓宏文等.鄂尔多斯盆地上古生界层序地层与储层预测.石油与天然气地质,1999(04):336~340
- [3] Wang Zheng-jiang; Xu Xiao-song. An approach to the gas sources in the Lower Palaeozoic reservoir rocks in the Ordos Basin. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2003(23):84-90. 汪正江,许效松.鄂尔多斯盆地下古生界储层气气源探讨.沉 积与特提斯地质 2003 (23) 84-90
- [4] Fu Jinhua; Wei Xinshan; Ren Junfeng; etc. Gas exploration and developing prospect in Ordos Basin. Acta Petrolei Sinica, 2006(6):1~4.
 付金华,魏新善,任军峰等.鄂尔多斯盆地天然气勘探形势与

○ 竹金平,魏新善,任车峰寺. 郭示多斯盆地大然气勘採形势与发展前景. 石油学报 2006(6):1~4.

- [5] Gao Jianhu; Yong Xueshan and Liu Hong. Post-stack seismic hydrocarbon detection technology and application[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45 (4) :385~389. 高建虎,雍学善,刘洪. 叠后地震油气检测技术与应用[J]. 石油物 探,2006, 45 (4) :385~389.
- [6] Yang Zhanlong; Peng Licai; Chen Qilin, etc. Seismic attributes analysis and lithological reservoir exploration[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum[J], 2007, 46 (2):131~136.

杨占龙,彭立才,陈启林,等. 地震属性分析与岩性油气藏勘探[J]. 石油物探,2007,46 (2):131~136.

 [7] Ma Zhonggao; Wu Xiangyang. Experimental study on elastic properties of oil[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2007, 46 (1):94~99.

马中高,伍向阳. 石油流体弹性参数的实验研究[J].石油物 探,2007,46(1):94~99.

 [8] Wang Xiwen. The prediction and evaluation of lithological reservoir[J]. Geophysical Prospecting For Petrole, 2004, 43 (6):511~517.
 王西文. 岩性油气藏的储层预测及评价技术研究[J]. 石油物

主四义. 石注油飞溅的陌层顶测及计切技不研究[J]. 石油初 探,2004,43 (6):511~517.

- [9] Russell B H, Hedlin K, Hilterman F J, et al. Fluid property discrimination with AVO: A Biot Gassmann perspective [J]. Geophysics, 2003, 68 (1):29~39.
- [10] Ning Zhonghua; He Zhenhua and Huang Deji. High sensitive fluid identification based on seismic data[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45 (3):239~241. 宁忠华,贺振华,黄德济. 基于地震资料的高灵敏度流体识别因 子[J]. 石油物探,2006,45 (3):239~241.