

文章编号: 0253-9985(2006)04-0536-06

塔河南部地区碳酸盐岩油气预测技术研究

李明娟, 张永贵, 邬兴威, 郑和荣

(中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 塔河南部地区奥陶系存在 3 套碳酸盐岩储层: 中下奥陶统鹰山组、中奥陶统一间房组 and 上奥陶统良里塔格组。其中, 中奥陶统一间房组是塔河南部地区主力产油层段, 鹰山组试油以出水为主, 良里塔格组因储层物性较差, 试油井很少。基于小波变换的频谱分析技术主要反映频率域与流体有关的各种频率参数和能量参数, 针对研究区储层的沉积特点, 分别探索其油气检测技术。由于高频成分被吸收导致高频能量衰减的衰减梯度属性技术能够较好地反映一间房组、鹰山组油气水分布特征; 85% 能量对应的频率属性参数对于良里塔格组油气预测有较好地显示。其中, 衰减梯度属性技术在 1 间房组经过 70 多口井的验证 (包括油层、油气层、油水同层、含油水层、油气显示、水层和干层等), 可有效排除干层, 即储层不发育地区, 对于区分油气层和水层, 预测效果在 70% 以上。

关键词: 油气检测; 一间房组; 中奥陶统; 碳酸盐岩; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

A study on oil& gas prediction technology in carbonate rocks in south Tahe

Li Mingjuan, Zhang Yonggui, Wu Xingwei, Zheng Herong

(SINOPEC Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083)

Abstract Three carbonate reservoir intervals are found in the Ordovician in south Tahe: the Lower-Middle Ordovician Yingshan Formation, the Middle Ordovician Yijianfang Formation, and the Upper Ordovician Lianglitage Formation. The Yijianfang Formation is the main pay zone in the reservoir in south Tahe, and the Yingshan Formation is mainly aqueous layer, while the Lianglitage Formation is seldom tested due to its unfavorable physical properties. The spectral analysis based on wavelet transform mainly reflects various frequency parameters and energy parameters of frequency domain in relation to formation liquid. In view of the depositional characteristics of reservoirs in the study area, different oil and gas prediction technologies are studied. The oil-gas-water distribution characteristics of the Yijianfang and Yingshan formations can be well described by using the attenuation gradient attribute of high frequency absorption-attenuation, while oil& gas distribution of the Lianglitage Formation can be well predicted by using the frequency attribution parameter that relates to 85% of high frequency energy. The attenuation gradient attribute technology is employed to detect oil and gas in over 70 wells. The prediction results show that it can effectively recognize dry layer and differentiate hydrocarbon layers from water layers with coincidence rate as high as 70%.

Key words oil and gas detection; Yijianfang Formation; Middle Ordovician; carbonate rock; Tarim basin

塔河油田南部地区位于塔里木盆地沙雅隆起阿克库勒凸起南部向满加尔坳陷的过渡带, 西邻哈拉哈塘凹陷, 南接顺托果勒低隆起 (图 1), 构造特点为一向东、南倾的单斜, 面积约 1 800 km²。自下而上钻遇有寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石

炭系、二叠系、三叠系及第三系和第四系地层。

塔河地区储层预测技术^[1-4]相对比较成熟, 如振幅变化率、精细相干、不连续性检测等技术的配套使用预测碳酸盐岩储层分布经钻井证实比较成功。但对油气检测, 目前尚无成熟的油气预测技术。

收稿日期: 2006-05-17

第一作者简介: 李明娟 (1964-), 女, 博士, 地球物理、石油地质

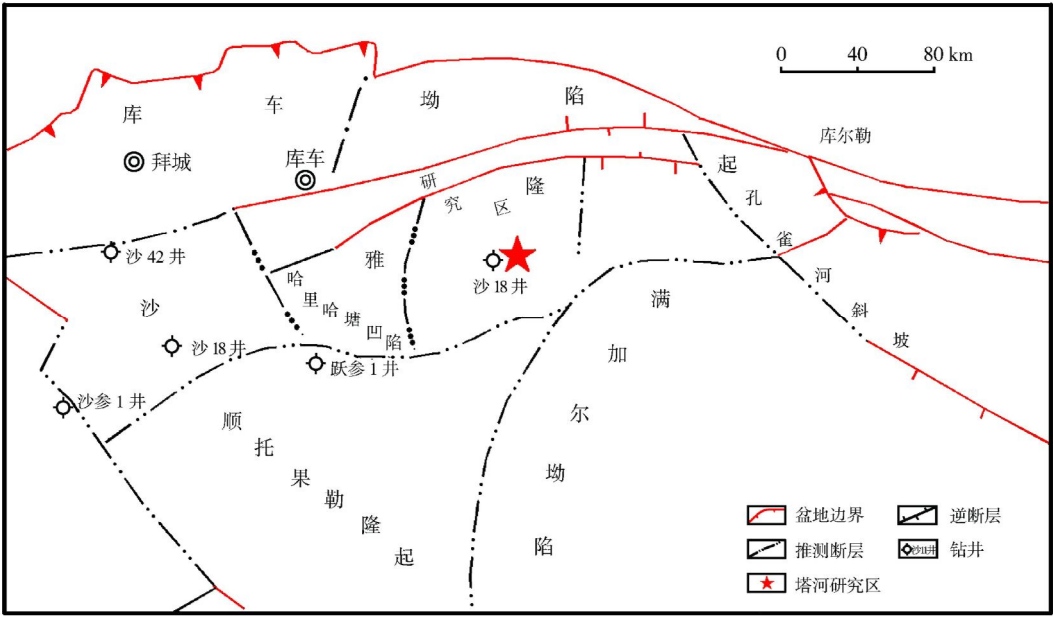


图 1 研究区位置示意

Fig. 1 Location map of the study area

在总结前人研究成果基础上^[5~9], 针对研究区碳酸盐岩沉积特点, 探索了鹰山组、一间房组和良里塔格组的油气预测方法。基于频谱分析的频率衰减梯度属性能较好地预测鹰山组和一间房组的油气水分布, 83% 能量对应的频率属性对预测良里塔格组的油气性质取得了一定效果, 该项技术经塔河南部地区一间房组 70 多口井验证, 能够比较好地区分干层和含有流体储层, 对油气和水的检测效果较好。

1 方法原理

频谱成像技术在理论上主要是依据薄层反射的调谐原理。对于厚度小于四分之一波长的薄层而言, 在时间域, 随着薄层厚度的增加, 地震反射振幅逐渐增加, 当薄层厚度增加至四分之一波长的调谐厚度时, 反射振幅达到最大值。然后, 随着薄层厚度的增加, 反射振幅逐渐减小。频谱分析技术是把地震资料的时间域数据经数学变换到频率域, 数学变换采用小波变换, 该算法受时窗影响较小, 能够得到瞬时谱分析结果。

1.1 小波变换的基本理论

小波变换是一种信号的时间-尺度(时间-频率)分析方法^[10~12]。它具有多分辨率分析的特点, 而且在时频两域都具有表征信号局部特性的能力, 是一种窗口大小固定不变但其形状可改变, 时间窗

和频率窗都可以改变的时频局部化分析方法。它在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率; 在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率。这很适合于探测正常信号中夹带的瞬态反常现象, 并展示其成份, 所以被誉为分析信号的显微镜。符合低频信号变化缓慢而高频信号变化迅速的特点, 这也正是小波变换优于经典的傅立叶变换和短时傅立叶变换的地方。从整体上说, 小波变换比短时傅立叶变换具有更好的时频窗口。

设 $\Psi(t) \in L^1(R) (L^2(R))$ 表示平方可积的实数空间, 即能量有限的信号空间), 其傅立叶变换为 $\hat{\Psi}(W)$ 。若 $\hat{\Psi}(W)$ 满足条件

$$C_{\Psi} = \int_R \frac{|\hat{\Psi}(W)|^2}{|W|} d\omega < \infty \tag{1}$$

式中 $\Psi(t)$ 定义为母小波。母小波 $\Psi(t)$ 经过伸缩和平移以后, 就可以得到小波系列。连续小波序列定义为

$$\Psi_{(a,b)} = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi \left| \frac{t-b}{a} \right| \quad a, b \in R; \quad a \neq 0 \tag{2}$$

其中 a 为伸缩因子, b 为平移因子。离散小波系列为

$$\Psi_{(a,b)}(t) = 2^{-j/2} \Psi(2^j t - k) \quad j, k \in Z \tag{3}$$

1.2 频谱域属性参数定义

基于频谱成像技术的多种频率域属性参数

(图 2) [如总能量 $E_{\text{总}}$]、最大能量对应的频率 (f_{max})、衰减梯度 (K), 65%, 85% 能量对应的频率 ($f_{65\%}, f_{85\%}$ 等]主要反映地震波频率的变化, 而影响地震波的频率因素较多, 除野外施工、地震资料处理等人为因素外, 埋藏深度、岩性及流体成分等是影响频率成分的主要内在因素。随着埋深增大, 地震波高频成分衰减很快, 但在相同地质背景和沉积环境下, 高频衰减主要受岩性控制, 泥质含量对高频成分也有很大影响, 一般泥质含量高, 高频衰减大。但在地层结构相对较为稳定, 纵、横向岩性稳定的条件下, 频率衰减主要由流体性质引起。经过反复试验, 衰减梯度属性参数对检测流体更为敏感。

当储层中孔隙比较发育而且饱含油气时, 地震波中高频能量衰减要比低频能量衰减要大(图 3)。通过提取高频端的衰减梯度属性, 可以间接

地检测储层含油气特征, 试验证实, 该项参数对塔河南部一间房组的油气预测最为有效。

2 塔河南部地区油气检测技术

2.1 中奥陶统一间房组油气预测技术

塔河南部地区中、下奥陶统是在稳定开阔海台地、陆源物质匮乏环境下广泛沉积的一套纯净碳酸盐岩地层, 经过很多属性参数的反复试验和众多井的统计, 衰减梯度能比较好地反映中奥陶统一间房组油气水分布特征。鹰山组在预测水层方面见到了较好的效果, 只是该层段试油没见到很好的油层, 无法建立其油气识别模式。

2.1.1 一间房组储层特点

研究区一间房组主要受加里东中期一幕构造作用影响, 区域上与上覆恰尔巴克组为一平行不整合接触, 由于构造运动时间相对较短(缺少 2~4 个牙形石), 岩溶作用相对主体区的海西期弱得多。大型溶洞较主体区较少, 仅 S106-1 井 5 851.89~5 880.42 m 井段, 放空 28.53 m。储层以缝洞性为特征, 加里东中期岩溶区统计 65 口井, 其中 32 口井见缝洞层(含上奥陶统地层), 出现频率为 49.2%, 岩心观测洞穴充填物主要为巨晶方解石。岩石类型主要为泥微晶灰岩、泥微晶颗粒灰岩和亮晶颗粒灰岩, 生物灰岩和云灰岩分布较少。储集空间类型为溶蚀孔洞、裂缝和孔隙, 其中缝洞型储层是本区主要的储集层类型。储层分布范围小, 主要以“零星”分布, 涉及深度浅, 主要分布在 0~60 m 范围内。储层物性为低孔低渗储层。断裂是影响该区储层物

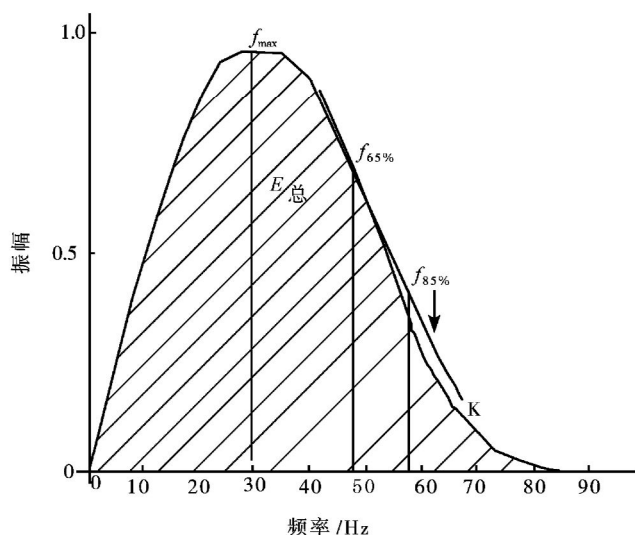


图 2 频谱分析属性示意图
Fig. 2 Schematic diagram showing attribute of spectrum analysis

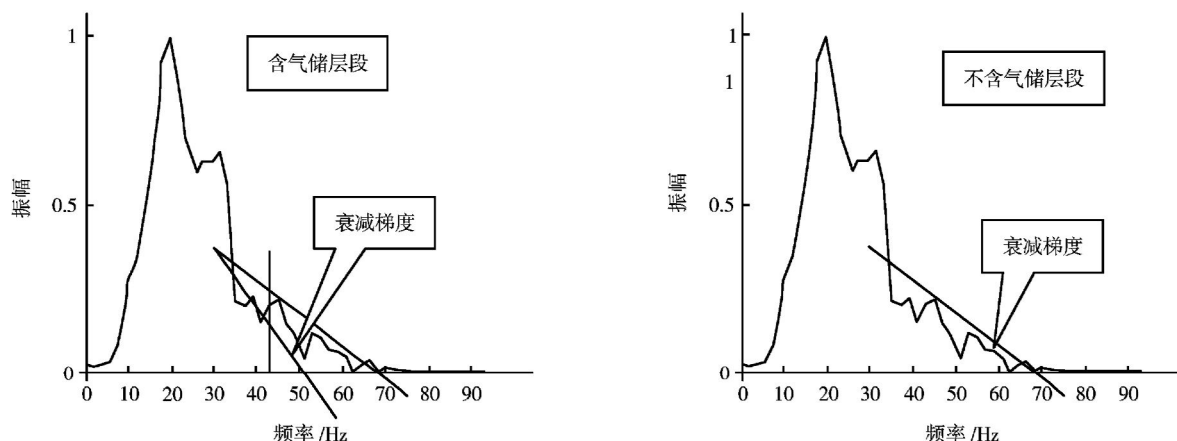


图 3 饱含油气不含油气衰减梯度对比示意图

Fig. 3 Schematic diagram showing comparison of attenuation gradient of gas layer with that of dry layer

性主要因素,在断裂发育区,储层物性变好;断裂不发育区,储层物性较差。

2.1.2 单井典型实例分析

位于研究区中南部的 S117 井,于 6 080 m 进入一间房组(地震反射层位为 T_7^4),在钻井取心至 6 100.13 m 起钻时出现溢流,漏失泥浆 70 m³。黄褐色轻质原油约占槽面 80%,对 5 988.72 ~ 6 100.13 m 井段进行中途测试,日产油 290 m³,日产气 49 000 m³;在 4.76 × 28 mm 工作制度下,井口油压 25 MPa 折算日产油 140 m³,日产气 25 000 m³。该井地震反射特征为古构造加“强串珠状”反射(图 4),电测解释 III 类储层 6 m(层段 6 087 ~ 6 093 m),但该井是目前塔河南部地区一口高产纯油自喷油气流井。分析该井点南北向衰减梯度剖面,在一间房组显示为两套非常好的异常高值(图 5),与试油层段吻合很好。

S112 井位于塔河油田登记区范围最南部,是该区产油最深的一口井。该井在钻至井深 6 173.03 m 发生井漏,共漏失泥浆 206.82 m³,对 6 147.93 ~ 6 186.51 m 中途测试获工业油气流,6 mm 油嘴,折算日产油 160 m³,日产气 3 2687 m³,原油密度 0.81 g/cm³。电测解释 I 类储层 17 m、II 类储层 10 m,其地震反射特征为“低频、古构造加断裂”,衰减梯度异常显示良好(图 6),与测试结果非常吻合。

研究区西部的 S119-2 井,一间房组测试为干层,地震剖面上反射特征不明显,衰减梯度剖面上无异常显示(图 7)。

S110 井位于研究区东部,完钻于鹰山组 6 406 m。距一间房组顶深(6 181 m) 108.6 m,发生井漏,漏失速度: 4.9 m³/h,漏失泥浆 27 m³。该井电测解释 II 类储层 2 层 17.0 m、III 类储层 5.5 m,录井显示油斑。完井对一间房组 6 213.85 ~

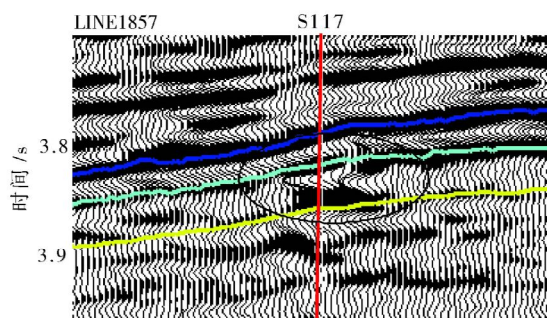


图 4 过 S117 井东西向地震剖面

Fig. 4 E-W seismic profile cross Well S117

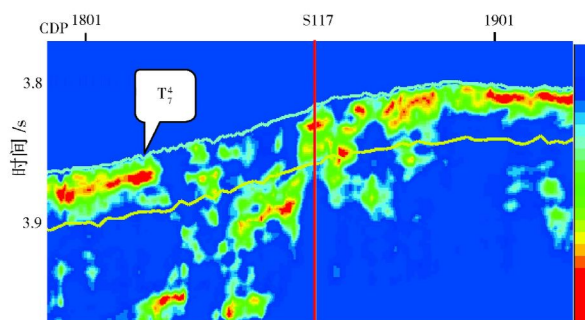


图 5 过 S117 井南北向衰减梯度属性剖面

Fig. 5 N-S seismic attribute profiles of attenuation gradient cross Well S117

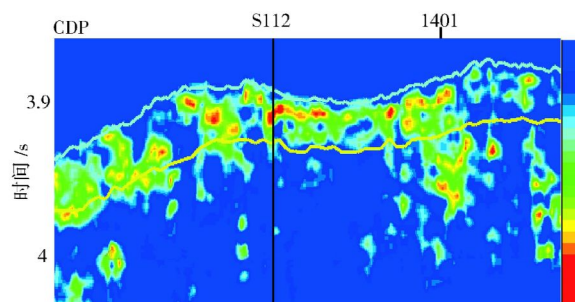


图 6 过 S112 井南北向衰减梯度属性剖面

Fig. 6 N-S seismic attribute profiles of attenuation gradient cross Well S112

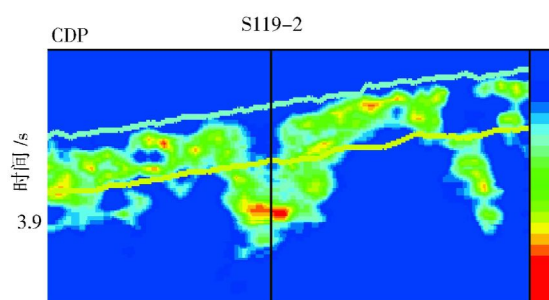


图 7 过 S119-2 井南北向衰减梯度属性剖面

Fig. 7 N-S seismic attribute profiles of attenuation gradient cross Well S119-2

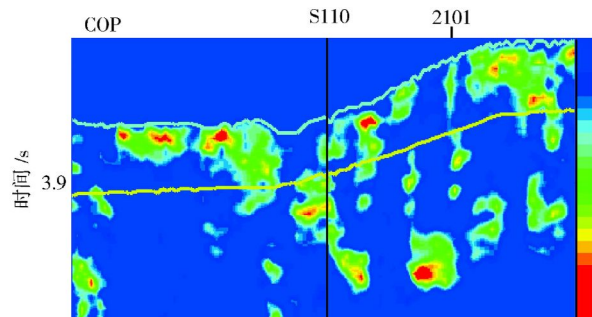


图 8 过 S110 井南北向衰减梯度属性剖面

Fig. 8 N-S seismic attribute profiles of attenuation gradient cross Well S110

6 310.00 m 裸眼酸压,挤入地层总液 694.4 m³,累积排液 1 844.0 m³,返排率 265%,未见油气,测试结果为水层,地震剖面显示为下凹强串珠状反射

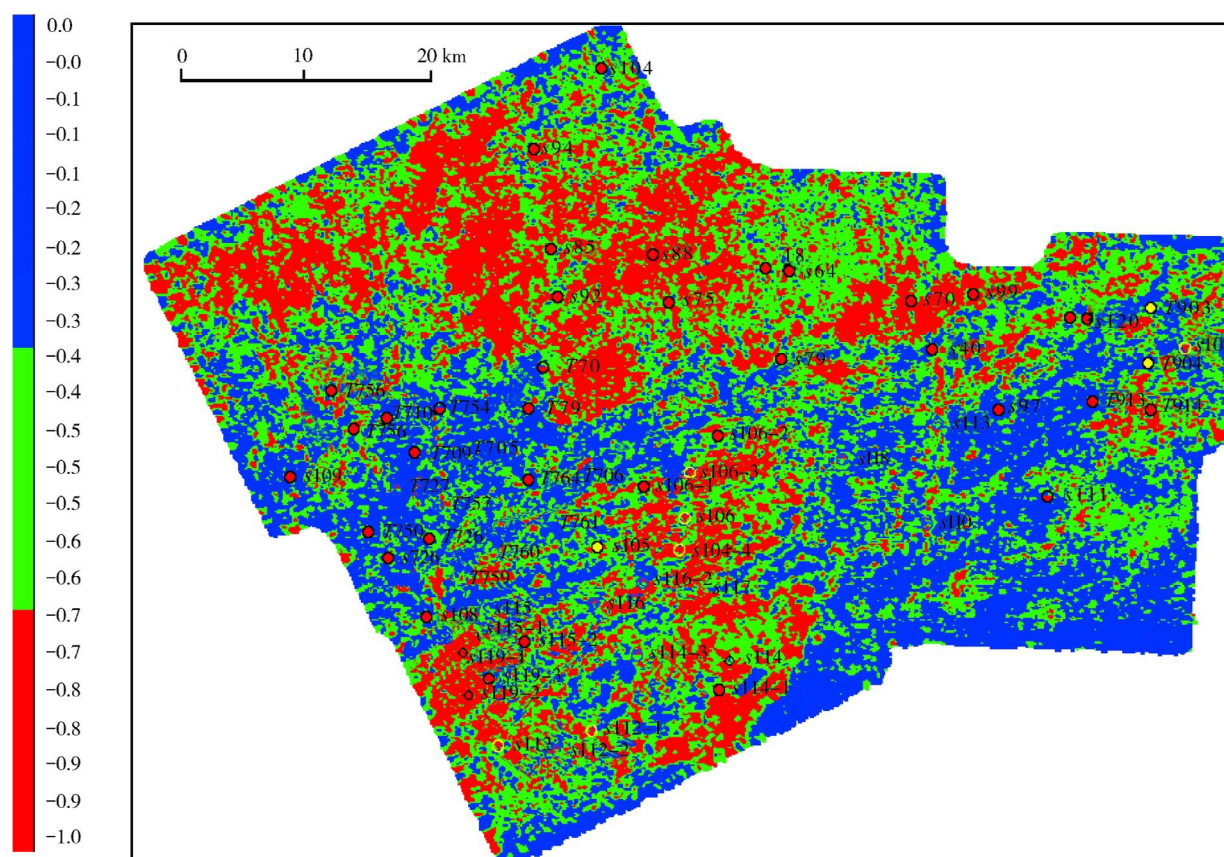


图 9 塔河南部地区中奥陶统一间房组顶 (T_7^4) 0~20 ms 衰减梯度属性平面分布

Fig. 9 The attenuation gradient map on top of Yijianfang Fm (T_7^4) (0~20 ms) of the Middle Ordovician in South of Tahe area

特征。在过井点的南北向衰减梯度属性剖面上井点处异常显示很差(图 8),与测试结果吻合。

2.1.3 一间房组衰减梯度属性平面分布

塔河南部地区一间房组产层有 55% 以上的分布在一间房组顶 (T_7^4) 0~60 m 范围内,因此在沿层提取属性时选取了沿 T_7^4 顶面 0~20 ms 时窗段进行属性提取(图 9)。

对比分析该图,区域上衰减梯度属性异常主要分布在 S106~S117 区块、S112~S115-2 区块、S114~S114-1 条带和位于研究区东北部的 T904~T914 条带。与实际钻井结果比较吻合。

S106~S117 区块: 该块为目前塔河南部盐下地区上报探明储量最多的地区,是获高产油流井主要分布区。区块内异常展布近似东西向,呈零星分布,结合振幅变化率、相干等多种地震属性参数,部署一批新井位,可以钻探到类似 S117 井的高效井。

S112~S115-2 区块: 该区块钻探情况比较复杂,既有高产油气井(S112 井)、又有水井(S119、S119-1 等井)和干井(S119-2 井),加之南北向断

裂又多,因此布井应慎重。区块内异常呈北西向、小块状分布,局部异常区值得重点关注。

S114~S114-1 条带: 该条带目前没有获得工业油流井,但多种地震属性参数预测和油气检测在此带异常显示良好,分析地震剖面,为连续强反射,推测属性异常显示是由连续强反射引起。

T904~T914 条带: 该条带钻遇到多口高产油气流井,处于构造高部位,局部衰减梯度属性异常区值得重点关注。

3 应用效果分析

通过对研究区一间房组 70 多口井(含部分开发井)衰减梯度异常结果统计(表 1),油层的吻合率为 90% 以上;干层的预测为 90%;水层的预测相对较差,为 68%。检测结果超过利用各种地震技术对砂岩储层的烃类检测。因此,衰减梯度属性技术是目前碳酸盐岩烃类检测取得了很好效果的技术。该工作取得的重大进展,对进一步研究盐下碳酸盐岩有利油气区分布,高效井的部署及对已钻无效井进行侧钻轨迹位置设计和重新认识塔河南部该

地区勘探开发潜力等都具有重要的指导意义。

表 1 塔河南部一间房组钻井试油结果与衰减梯度属性对比

Table 1 The result of comparison between production testing of wells and attenuation gradient attribute about Yi Jianfang Fm of Yanxia block in south of Tahe oilfield

试油结果	总井数 /口	吻合井 /口	不吻合井 /口	吻合结果 /%
油层	33	30	3	90
水层	19	13	6	68
干层	10	9	1	90
油水同层	5	5	0	100
含油水层	4	4	0	100
油气显示	4	3	1	75

4 讨论

1) 塔河南部中下奥陶统岩性单一, 频率衰减主要为流体性质引起, 衰减梯度属性能够较好地反映它们的流体分布。

2) 由于研究区南部地区试油为气、油比较高的轻质油, 衰减梯度可用于区分油气层和水层, 从而进行烃类直接检测。

3) 衰减梯度属性能够有效地区分一间房组干层和有效储层分布, 对预测水层和油气层效果良好。

4) 85% 能量对应的频率对预测良里塔格组沉积特征效果较好, 对油气的检测也取得了一定的效果。

参 考 文 献

- 杨子川. 塔河油田碳酸盐岩储层预测技术与应用 [J]. 勘探地球物理进展, 2004, 27(6): 432~439
Yang Zichuan. Carbonate reservoir prediction technology and its application in Tahe oilfield [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2004, 27(6): 432~439
- 王士敏, 鲁新便. 塔河油田碳酸盐岩储层预测技术 [J]. 石油物探, 2004, 43(2): 153~159
Wang Shimin, Lu Xinbian. Carbonate reservoir prediction technology in Tahe oilfield [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43(2): 153~159
- 李宗杰, 王胜泉. 地震属性参数在塔河油田储层含油气性预测中的应用 [J]. 石油物探, 2004, 43(5): 453~457
Li Zongjie, Wang Shengquan. Application of seismic attributes in the prediction of oil-gas reservoir in Tahe oilfield [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43(5): 453~457
- 袁国芬. 塔河油田碳酸盐岩储层地球物理响应特征 [J]. 石油物探, 2003, 42(3): 318~321
Yuan Guofen. The geophysical characteristics of carbonate reservoir in Tahe oilfield, Tarin basin [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2003, 42(3): 318~321
- 闫相宾. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 262~265
Yan Xiangbin. Characteristics of Ordovician carbonate rock reservoirs in Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 262~265
- 张涛, 闫相宾, 王恕一, 等. 塔河油田奥陶系一间房组礁滩相溶蚀孔隙型储层特征与成因 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 462~466
Zhang Tao, Yan Xiangbin, Wang Shuyi et al. Characteristics and genesis of reef bank facies reservoirs with dissolution pores in Ordovician Yijiangfang Formation in Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 462~466
- 闫相宾, 张涛. 塔河油田碳酸盐岩大型隐蔽油藏成藏机理探讨 [J]. 地质论评, 2004, 50(4): 370~376
Yan Xiangbin, Zhao Tao. Discussion on forming mechanism of large-scale carbonate rock subtle reservoir in Tahe oilfield [J]. Geological Review, 2004, 50(4): 370~376
- 景建恩, 魏文博, 梅忠武, 等. 裂缝型碳酸盐岩储层测井评价方法——以塔河油田为例 [J]. 地球物理学进展, 2005, 20(1): 78~82
Jing Jianen, Wei Wenbo, Mei Zhongwu. Method of well-logging interpretation for fracture reservoirs of carbonate rock—a case study in Tahe oilfield [J]. Progress in Geophysics, 2005, 20(1): 78~82
- 刘文, 李永宏, 张涛, 等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩沉积相及地层学研究 [J]. 石油实验地质, 2002, 24(2): 104~109
Liu Wen, Li Yonghong, Zhang Tao et al. Study on the sedimentary facies and sequence stratigraphy of the Ordovician carbonate rock in Tahe oilfield [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(2): 104~109
- 杨立强, 宋海斌, 郝天珧, 等. 基于二维小波变换的随机噪声压制方法研究 [J]. 石油物探, 2005, 44(1): 4~7
Yang Liqiang, Song Haibin, Hao Tianyao et al. Method of 2-D wavelet transform in attenuating random noise [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(1): 4~7
- 陈广军, 张善文, 李建明, 等. 小波分析技术在薄砂岩储集层描述中的应用——以埕岛地区馆上段为例 [J]. 石油物探, 2002, 41(1): 95~99
Chen Guangjun, Zhang Shanwen, Li Jianming et al. Application of wavelet analysis to the characterization of the thin sandstone reservoirs—an example from the upper member of Guantao formation in Chengdao area [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2002, 41(1): 95~99
- 黄凯, 徐群洲, 杨晓海, 等. 地震波能量的衰减及其影响因素 [J]. 新疆石油地质, 1997, 18(3): 212~217
Huang Kai, Xu Qunzhou, Yang Xiaohai et al. Attenuation of seismic wave energy and its constraints [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1997, 18(3): 212~217

(编辑 陈喜禄)