

地震断裂检测技术在塔河油田南部碳酸盐岩储层及油藏预测中的应用

刘群,李海英,邓光校

(中国石化西北分公司勘探开发研究院,新疆乌鲁木齐830011)

摘要:塔河油田南部奥陶系一间房组碳酸盐岩储层具有油层薄、油水关系复杂及断层控储、控藏的特征。应用地震资料进行断裂检测的准确与否,关系到断控型油藏预测的准确度,决定了本地区的勘探开发的成效。基于塔河地区高品质二次采集三维地震资料,应用精细相干及蚂蚁体断裂检测技术对南部斜坡区断裂进行了检测。参考检测结果,结合地震剖面对断裂开展了精细解释,将解释断层平面多边形与碳酸盐岩储层预测振幅变化率属性进行叠合,在此基础上开展了断控型油藏预测研究,总结出塔河油田南部地区两种与断裂相关的油气富集模式:主干断裂上倾封挡型和分支断裂上倾封挡型。按此模式部署,在该区取得了较好的勘探开发效果。

关键词:本征值相干;蚂蚁体追踪;振幅变化率;走滑断层;断裂上倾封挡;塔河油田

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Application of seismic fault detection to carbonate reservoir prediction in southern Tahe oilfield

Liu Qun, Li Haiying, Deng Guangxiao

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The Ordovician Yijianfang carbonate reservoirs in southern Tahe oilfield are characterized by thin oil layer, complicated oil-water contact and control of fault on reservoir and hydrocarbon accumulation. The accuracy of seismic fault detection determines the accuracy of prediction of fault-controlled reservoir and the effects of exploration and development. Based on the new reacquired high quality 3D seismic data, the Eigen coherent and ant tracking techniques are applied to detect faults on the south slope. The results of detection are combined with seismic profiles to perform fine interpretation of faults. The interpreted plane fault polygon is overlaid over the amplitude variation rate map from carbonate reservoir prediction to perform prediction of fault-controlled reservoirs. Two types of hydrocarbon enrichment patterns associated with fault are identified in the southern Tahe oilfield, namely major fault up-dip sealing type and branch fault up-dip sealing type. Exploration and development programs deployed according to these two patterns are successfully.

Key words: eigen coherent, ant tracking, amplitude variation rate, strike-slip fault, fault up-dip sealing, Tahe oilfield

近几年塔河油田开展了大面积三维地震的二次采集,由于采集设备的快速发展,以及三维地震观测系统设计、激发、采集方式的日趋完善,使得地震资料的品质得到了较大幅度的提高,从而为各种断裂检测方法的应用提供了良好的资料基础,本文以塔河油田南部桑塔木南三维地震二次采集资料,面积546.75 km²断裂预测成果为例进行论述。

1 断裂发育的背景及特点

塔河油田在地质历史时期经历了加里东期、海西

期、印支-燕山期及喜马拉雅期等多期次构造运动,使塔河油田形成了复杂断裂构造系统^[1-5]。奥陶系碳酸盐岩断层以直立走滑断层为主,大部分断层断入基底,垂直断距较小。塔河地区南部由北北东向、近南北向、北东东向3组断裂体系交互构成(图1),其中加里东早期-加里东中期,在南北挤压应力的作用下,形成的北北东向走滑断裂最发育,延伸长度大、分布广;其次是加里东晚期-海西早期形成的近南北向走滑断裂,对早期的北东东向断裂形成切割;海西晚期在北西-南东向挤压应力作用下,伴随阿克库勒凸起的,形成了北东东向断裂,此组断层规模相对较小。

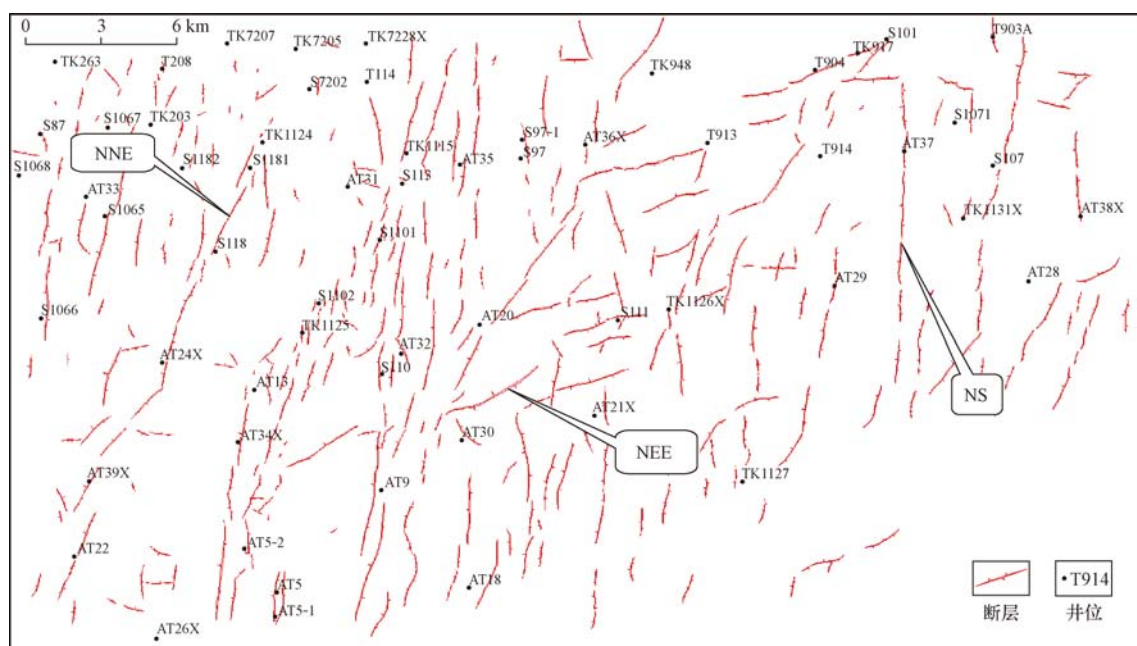


图 1 桑塔木南三维工区一间房顶面断裂平面分布

Fig. 1 Plane view of fracture distribution on the top Yijianfang Formation in south Songtan 3D acreage

2 碳酸盐岩断裂地震检测技术

2.1 本征值算法相干断裂检测技术

相干算法到目前为止经历了 3 代发展,即相关算法、相似算法、本征值算法^[6-8],其精细程度每一步都得到了很大的提高,塔河油田近几年利用 Paradigm 软件精细相干本征值算法,在碳酸盐岩的裂缝检测及岩溶河道刻画上,取得了很好的应用效果。本征值算法原理是两道振幅值交会,可以确定一个主方向轴和一个最小方向轴。当两道完全一致时,所有样点将按主方向轴排列成一条直线;当两道完全相反(振幅大小表征的波形)时,所有样点将按最小方向轴排列成一条直线。用两个不同比例的向量分别表示主轴和最小方向轴,一般情况下,长向量沿主轴方向,短向量沿最小方向轴方向。在线性代数中,这两个向量对应协方差矩阵中的特征值(本征值),称为本征向量。可以利用线性代数的矩阵运算很容易计算本征值,用它作为表征波形差别的参数。

塔河油田南部桑塔木南二次采集三维资料,地震资料品质很好,通过对其应用 Paradigm 软件模块进行本征值相干体处理,通过沿 T_7^4 反射波(中奥陶统一间房组顶面)进行相干值提取,可以清晰看到,塔河南部中奥陶统一间房组顶面三组主干断裂的平面展布形态(图2)。北北东向断裂普遍发育,且延伸长度较长,横向宽度较宽;南北向断裂横向宽度较窄,且切割早期的北北东向断裂;北东东向断裂发育规模不大、数量较

少。本征值精细相干的优点是对检测规模相对较大的断裂很有优势,断裂格架非常清楚。

2.2 蚂蚁体追踪断裂检测技术

蚂蚁追踪算法是模拟自然界中真实蚁群的觅食行为而产生的一种新型仿生类优化算法,基于蚂蚁算法的原理^[9-11],由斯伦贝谢公司在 Petrel 软件中推出了一种断裂自动分析和识别的智能系统。该技术的基本原理如下:在地震数据体中播撒大量的“蚂蚁”,当“蚂蚁”在地震属性体中发现满足预设断裂条件的断裂痕迹时它将“释放”某种信号,召集其他区域的“蚂蚁”集中在该断裂处对其进行解释,直到完成该断裂的识别。而其它不满足断裂条件的断裂痕迹将不进行标注。最后将获得一个低噪音、具有清晰断裂痕迹的数据体。

蚂蚁体断裂智能检测精度相对较高,能够检测到尺度较小的断裂,但对地震资料的品质要求较高,高品质的资料,可以获得很好的检测效果,塔河油田南部桑塔木南三维地震资料由于是二次重新采集的资料,面元较小($25\text{ m} \times 25\text{ m}$),覆盖次数较高(96次),因此资料品质很好,应用 Petrel 软件蚂蚁体断裂检测技术,取得了非常好的应用效果,对规模较大的断层轮廓刻画不如本征值相干,但对细小断裂的精细刻画要比本征值相干精度高,可以看到碳酸盐岩小型断裂的平面展布规律(图3),特别是北东东向小型断裂相比本征值相干数量增加了很多,但在工区的东部缺少了南北向断裂,将二者结合起来指导断裂的解释具有很好的互补效果。

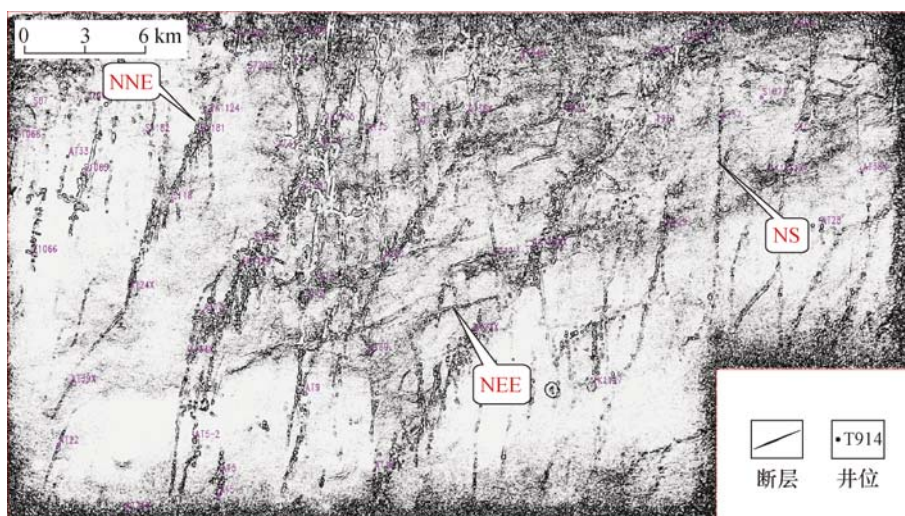


图2 桑塔木南三维工区一间房组顶面本征值相干平面图

Fig. 2 Plane view of eigen coherent on the top Yijianfang Formation in south Songtamu 3D acreage

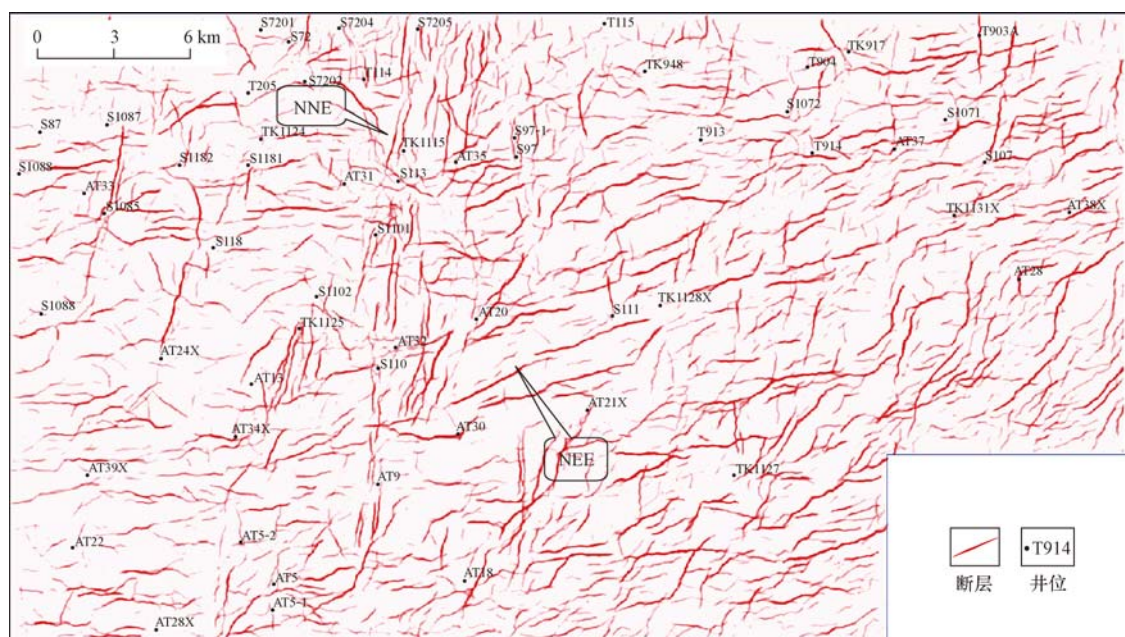


图3 桑塔木南三维工区一间房组顶面蚂蚁体断裂检测平面图

Fig. 3 Plane view of ant tracking fracture detection on the top Yijianfang Formation in south Songtamu 3D acreage

3 断裂检测技术的综合应用及效果

参考本征值相干(图2)、蚂蚁体断裂检测(图3)平面展布特征成果,对塔河油田南部桑塔木南三维区中奥陶统一间房组碳酸盐岩储层进行了断裂综合解释,取得了很好的解释效果,解释结果见图1,通过断裂的综合解释,对塔河油田南部地区断裂的展布形态、形成期次有了较为清楚的认识。将解释的断裂多边形(蓝线条)与振幅变化率碳酸盐岩储层预测结果(红黄色条带)叠合(图4),可以清楚地看到碳酸盐岩储层沿断裂发育的规律特征,基于此规律,南部地区在井位部

署时沿断裂带进行部署。

塔河油田南部斜坡区奥陶系油气主要沿断裂带进行充注,油气充注程度低,油层薄,油水关系复杂,如何在断裂带上寻找局部油气富集的油藏是关键^[12-20],必须结合地形、断裂、储层等因素综合考虑。在断裂检测及储层预测的基础上,结合前期实钻井的资料,总结了两种与断裂相关度较高油气富集模式:主干断裂上倾封挡型、分支断裂上倾封挡型。主干断裂封挡型为主干断裂的上倾方向断裂发生终止,致密碳酸盐岩基岩对油气形成封挡,在断裂的终止部位油气发生聚集成藏(图4,图5),如S1181井累产原油达 14.5×10^4 t;分支断裂上倾封挡型,为主干断裂储层非常发育,对

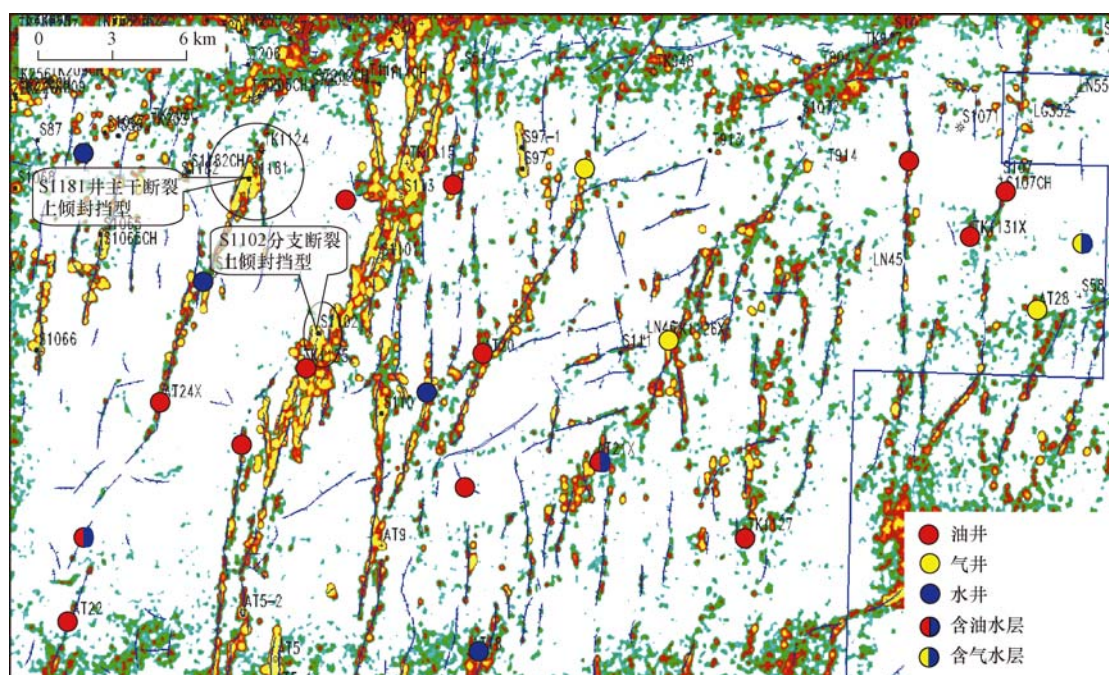


图4 桑塔木三维一间房组顶面断裂多边形与振幅变化率属性叠合平面图

Fig. 4 Overlay map of plane fault polygon and amplitude variation rate on the top Yijianfang Formation in south Songtamu 3D acreage

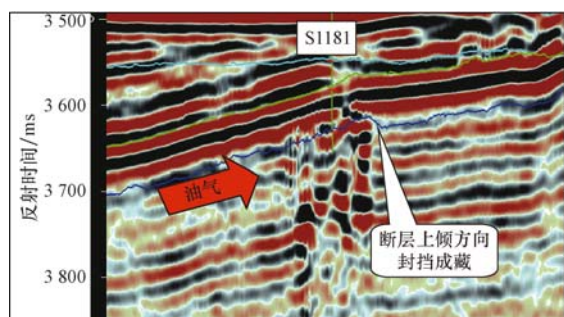


图5 过S1181井地震剖面

Fig. 5 Seismic profile tied to Well S1181

向高部位运移的油气缺乏封挡,形成通路,而在主干断裂上的分支断裂上倾方向致密灰岩对油气形成封挡,油气聚集成藏(图4),如S1102井累产原油 2×10^4 t。

据此认识在塔河油田南部桑塔木二次采集三维区部署了一批勘探开发井约24口,其中产油井14口、气井3口,油水同出2口,气水同出1口,水井4口,在塔河油田南部油水关系复杂的地区,取得了较好的勘探效果(图4)。

4 结论

应用二次采集高品质桑塔木南三维地震资料,使本征值相干、蚂蚁体追踪断裂检测技术,在碳酸盐岩断裂检测方面得到了充分发挥,应用检测结果结合剖面对断裂进行了很好的解释,断裂解释成果配合

储层预测成果,总结了油田斜坡区油气富集的两种模式,即主干断裂上倾封挡型、分支断裂上倾封挡型,为寻找隐蔽断控缝洞型油藏提供了依据,在实际勘探中也取得了较好的效果。但是也应看到,由于塔河油田南部地区埋深较大(大于6 000 m),地震资料分辨率较低,很多断控油藏上倾方向的封挡性并不是很好判别,且不同断裂其油气充注强度也不同,给断控缝洞型油藏的预测带来了一定的困难,因此随着地震勘探技术的进步,还需不断提高地震资料的精度及断裂检测的精度,同时加强多学科综合研究,提高钻探的成功率。

参 考 文 献

- [1] 丁文龙,漆立新,吕海涛,等.利用FMI资料分析塔河油田南部中-下奥陶统储层构造应力场[J].现代地质,2009,23(5):856-858.
Ding Wenlong, Qi Lixin, Lü Haitao, et al. Analysis of the southern Tahe oilfield Lower-Middle Ordovician reservoir tectonic stress field using FMI data [J]. Geoscience, 2009, 23(5): 856-858.
- [2] 苏江玉,俞仁连.对塔河油田油气成藏地质研究若干问题的思考[J].石油实验地质,2011,33(2):105-112.
Su Jiangyu, Yu Renlian. Discussion of several problems in petroleum accumulation geologic research in Tahe Oil Field [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(2): 105-112.
- [3] 郭倩,蒲仁海,杨林,等.塔里木盆地塔河地区志留系上倾尖灭圈闭油气成藏[J].石油实验地质,2011,33(2):120-123.
Guo Qian, Pu Renhai, Yang Lin, et al. Hydrocarbon accumulation in Silurian updip pinch out traps, Tahe region, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(2): 120-123.
- [4] 田飞,金强,李阳,等.塔河油田奥陶系缝洞型储层小型缝洞及其

- 充填物测井识别[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 900 - 908.
- Tian Fei, Jin Qiang, Li Yang, et al. Identification of small fracture-vugs and their fillings through log interpretation in fractured-vuggy Ordovician reservoirs in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 900 - 908.
- [5] 陈朝晖, 邓勇, 许博, 等. 缝洞型底水油藏油井底水突破时间预测方法——以塔河油田4区S48井为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(5): 791 - 795.
- Chen Zhaohui, Deng Yong, Xu Bo, et al. Bottom water breakthrough prediction in fractured-vuggy reservoirs with bottom water—an example from the well S48 in Block 4 of Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 791 - 795.
- [6] 王振卿, 王宏斌, 龚洪林. 地震相干技术在碳酸盐岩裂缝型储层中的应用[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(6): 978 - 979.
- Wang Zhenqing, Wang Hongbin, Gong Honglin. Application of seismic coherence technique in fractured carbonate reservoir[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(6): 978 - 979.
- [7] 苑书金. 地震相干技术的研究综述[J]. 勘探地球物理进展, 2007, 30(1): 7 - 15.
- Yuan Shujin. A review of seismic coherence technique[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2007, 30(1): 7 - 15.
- [8] 马凤荣, 王优, 李占东, 等. 本征值相干技术在喇南中东一区东萨一组构造解释的应用[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(11): 2455 - 2458.
- Ma Fengrong, Wang You, Li Zhandong, et al. The eigen value of coherent technology applied in the South East region of East LA group structure interpretation[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(11): 2455 - 2458.
- [9] 陆媛, 鲁全贵, 李彬, 等. 蚂蚁追踪技术在随钻跟踪及井位优化中的应用[J]. 物化探计算技术, 2011, 33(5): 394 - 400.
- Lu Yan, Lu Quangui, Li Bin, et al. Ant tracking technology in the application of drilling and well location optimization of tracking[J]. Geophysical computing technology, 2011, 33(5): 394 - 400.
- [10] 张欣. 蚂蚁追踪在断层自动解释中的应用——以平湖油气田放鹤亭构造为例[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(2): 278.
- Zhang Xin. Ant tracking in automatic fault interpretation in application in Pinghu oil and gas field Fang He Pavilion structure as an example[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2010, 45(2): 278.
- [11] 王兆峰, 陈鑫, 王鹏, 等. 缝洞型碳酸盐岩储集体特征及预测[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3): 459 - 466.
- Wang Zhaofeng, Chen Xin, Wang Peng, et al. Characteristics and prediction of fracture-vug carbonate reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 459 - 466.
- [12] 韩忠艳, 耿宇迪, 张烨, 等. 塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏水平井酸压技术[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(6): 94 - 97.
- Han Zhongyan, Geng Yudi, Zhang Ye, et al. Fracture-vaggy carbonate reservoir in Tahe oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(6): 94 - 97.
- [13] 王光付. 溶洞型碳酸盐岩油藏高效开发实践——以塔河油田11区为例[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 703 - 708.
- Wang Guangfu. Efficient development of vuggy carbonate reservoirs: an example from the Block 11 of Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(5): 703 - 708.
- [14] 鲁新便, 蔡忠贤. 缝洞型碳酸盐岩油藏古溶洞系统与油气开发——以塔河碳酸盐岩溶洞型油藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 623 - 629.
- Lu Xinbian, Cai Zhongxian. A study of the paleo-cavern system in fractured-vuggy carbonate reservoirs and oil/gas development—taking the reservoirs in Tahe oilfield as an example[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 623 - 629.
- [15] 张小兵, 吕海涛, 赵锡奎, 等. 塔河油田中下奥陶统顶面古构造演化及油气关系[J]. 石油实验地质, 2011, 33(3): 233 - 238.
- Zhang Xiaobing, Lü Haitao, Zhao Xikui, et al. Paleostuctural evolution of Lower-Middle Ordovician top and its relationship with hydrocarbon in Tahe Oil Field[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(3): 233 - 238.
- [16] 周红涛, 柳建华. 核磁共振和MDT测井在塔河油田碎屑岩储层评价中的应用[J]. 石油物探, 2011, 50(5): 526 - 530.
- Zhou Hongtao, Liu Jianhua. Application of nuclear magnetic resonance and MDT logging in the complex elastic reservoir in Tahe Oilfield[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, 50(5): 526 - 530.
- [17] 周霞, 李海涛. 断裂系统与油气成藏关系研究——以准噶尔盆地车排子地区沙湾组为例[J]. 石油物探, 2011, 50(4): 417 - 424.
- Zhou Xia, Li Haitao. Study on the relationship between fault system and hydrocarbon accumulation: case study of Shawan Formation of Chepaizi Area, Junggar Basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, 50(4): 417 - 424.
- [18] 朱定, 李宗杰, 付童童. 速度谱法孔隙流体压力预测技术在塔河油田的应用[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 150 - 156.
- Zhu Ding, Li Zongjie, Fu Tongtong. Application of pore fluid pressure prediction by velocity spectrum to Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 150 - 156.
- [19] 陈冬, 陈力群, 魏修成, 等. 火成岩裂缝性储层测井评价——以准噶尔盆地石炭系火成岩油藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 83 - 90.
- Chen Dong, Chen Liqun, Wei Xiucheng, et al. Log evaluation of fractured igneous reservoirs: a case study of the Carboniferous igneous reservoirs in the Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 83 - 90.
- [20] 黄保纲, 汪利兵, 赵春明, 等. JZS油田潜山裂缝储层形成机制及分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 710 - 717.
- Huang Baogang, Wang Libing, Zhao Chunming, et al. Formation mechanism and distribution of fractured buried hill reservoir in JZS oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 710 - 717.