

天环坳陷南段延安组低幅度构造 预测技术及应用效果

柴童¹,毕明波²,赵卫卫¹,王秀珍²

(1.西安石油大学地球科学与工程学院,陕西西安710065;2.东方地球物理勘探研究院长庆分院,陕西西安710021)

摘要:天环坳陷南段侏罗系延安组发育低幅度构造。受临近西南缘复杂构造演化影响,导致低幅度构造成藏规律认识不清,勘探部署难度大。为提高研究区二维地震资料覆盖区低幅度构造预测效果,优选层析静校正技术解决研究区长波长和短波长的成像问题,提高低幅度构造成图精度之后,利用基于数据重构的反向线性噪音压制技术对研究区存在的干扰重和信噪比低等问题进行精细处理,然后,利用精细速度场及变速成图和小网格大比例尺成图技术对低幅度构造进行精细落实。最后,运用二维趋势面技术突出构造局部高点。综合运用以上处理解释一体化精细构造成图技术落实低幅度构造19个。经钻井证实,该低幅度构造预测技术对二维地震资料覆盖区低幅度构造预测具有较好应用效果。

关键词:低幅度构造 层析静校正 速度场 二维趋势面技术 处理解释一体化 天环坳陷
中图分类号:P631.44 **文献标识码:**A

Prediction on low amplitude structures of the Yanan Formation in the southern Tianhuan Depression and its application

CHAI Tong¹, BI Mingbo², ZHAO Weiwei¹, WANG Xiuzhen²

(1. College of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an City, Shaanxi Province, 710065, China;
2. Changqing Branch of BGP Geological Research Institute, CNPC, Xi'an City, Shaanxi Province, 710021, China)

Abstract: Low amplitude structure developed in Jurassic Yanan Formation in the southern section of Tianhuan Depression. Due to the influence of complex tectonic evolution of the conterminous southwest margin, it is difficult to reveal the regularity of hydrocarbon accumulation in the low amplitude structure. So exploration deployment is difficult. In order to improve the prediction effect of low amplitude structure of the Yanan Formation in the southern Tianhuan Depression that is covered by 2D seismic data, tomographic static correction technology was optimized to solve the problems of long and short wavelength imaging, and therefore the precision of low amplitude structure mapping can be improved. After that, reverse linear noise suppression technique based on data reconstruction was used to reprocess the data which have problems of strong interference and low signal-to-noise ratio in loess tableland area. On the basis of fine processing, by using subtle velocity field, variable-velocity and small grid of large-scale mapping, the "false-high" caused by high-speed conglomerate-interlayer was removed and the structure can be mapped correctly. Finally, the trend surface analysis was utilized to highlight the local structure heights. Nineteen low amplitude structures were determined based on comprehensive use of the integration of data process and interpretation mentioned above. It has been proved by drilling that the low amplitude structure prediction technique has a good effect on low amplitude structure prediction in area that is covered by 2D seismic data.

Key words: low amplitude structure; tomographic static correction; velocity field; 2D trend surface analysis technique; integration of data processing and interpretation; Tianhuan Depression

收稿日期:2017-09-03。

作者简介:柴童(1992—),女,山东潍坊人,在读硕士研究生,从事地震勘探及综合研究工作。联系电话:15619009273, E-mail:1220936599@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“鄂尔多斯盆地大型低渗透岩性地层油气藏开发示范工程”(2016ZX05050007)。

低幅度构造又称小幅度构造、微构造、小构造或微型构造,是在沉积过程中形成,构造幅度平均为10~30 m,为一种隐蔽性极强的地质体^[1-9]。赵子渊最早对低幅度构造进行研究,在三肇坳陷识别出数十个低幅度构造^[10];前人对低幅度构造预测方法进行了多方面研究,以三维地震资料为基础的低幅度构造预测技术也不断发展起来^[11-15]。

天环坳陷南段位于鄂尔多斯盆地西南部,西临西缘断褶带,东接伊陕斜坡。勘探证实,研究区以低幅度构造油藏为主^[16]。低幅度构造的形成,一方面受印支运动北北东向挤压应力的影响,隆升后遭受差异剥蚀作用,形成了早期高低起伏的古地貌背景^[2],后期地层填平补齐,发育一系列低幅度构造;另一方面,由于差异压实作用和构造应力改造作用的影响,发育一系列低幅度构造。由于研究区仅有二维地震资料,且不同年度对地震资料处理的基准面不一致,再加上地表巨厚黄土和地震处理参数差异的影响,地震资料信噪比低,相交测线的振幅、频率和相位不闭合,严重影响低幅度构造预测的精度。为此,笔者通过层析静校正、基于数据重构的反向线性噪音压制、精细速度场及变速成图、小网格大比例尺成图和二维趋势面技术等处理解释一体化精细构造图技术,精细落实研究区低幅度构造,以期预测有利勘探区带、优选钻探目标提供指导意义。

1 地震资料处理方法

天环坳陷南段地表为黄土塬地貌,经长期的雨水冲刷、剥蚀和切割,地形起伏变化剧烈,沟壑纵横,表层黄土胶结强度不一致,导致研究区表层结构横向变化复杂,静校正技术存在的问题突出,剖面上常常会看到由浅到深起伏一致的构造假象,同时黄土层对有效信息的吸收导致衰减严重,造成地震资料信噪比低。因此,解决静校正技术存在的问题和提高地震资料信噪比是研究区地震资料处理面临的2个重要环节。

1.1 层析静校正技术

针对研究区表层条件复杂、岩性及潜水面变换频繁、折射层稳定性差的特点,在进行基础静校正时,利用已有的小折射和微测井数据库资料,选取多域多次迭代、折射波、平均速度和层析等多种静校正技术进行大量试验和对比分析,发现层析静校正技术能够更好地解决研究区长波长和短波长的成像问题,有效提高低幅度构造的成像精度(图1)。

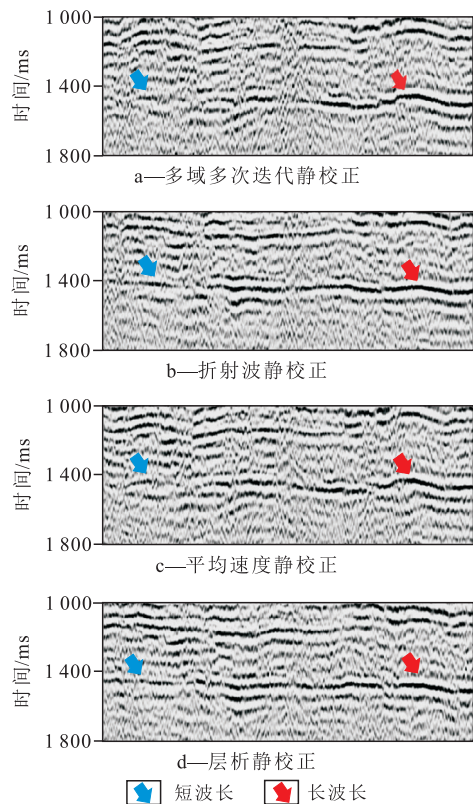


图1 天环坳陷南段地震 T_9 反射层不同静校正技术对比
Fig.1 Comparison of different static correction methods used in interpretation of seismic reflection layer T_9 in the southern Tianhuan Depression

1.2 基于数据重构的反向线性噪音压制技术

受外源干扰、散射、侧面反射及假频的影响,在复杂黄土塬地区发育与线性噪音特征相似、形态相反的噪音类型,即反向线性噪音,在单炮地震记录中表现为随偏移距的增加传播时间减小的特点,此类噪音通常用频率-波数(F-K)法进行局部噪音压制,但该方法增加了假频的出现概率。基于数据重构的反向线性噪音压制技术将反向线性噪音转换成正常线性噪音进行压制,再将数据反重构,达到线性去噪的目的,改善了研究区地震资料存在的干扰重、信噪比低的成像问题。

基于数据重构的反向线性噪音压制技术满足了线性噪音同相轴的变化,克服了F-K法压制线性噪音的弱点,避免地震记录上产生蚯蚓化现象。在实现过程中采用道序重排及偏移距重组,将反向噪音重组为正向噪音,然后通过常规去线性噪音法进行压噪。该技术原则上要求对输入的数据首先进行野外静校正或折射波静校正处理,消除起伏地表对激发因素及接收因素的影响,然后通过对地震单炮及叠加剖面反向线性噪音压制前、后(图2)对比,发现去噪后地震单炮上有效信号更突出,叠加剖面信噪比明显提高。

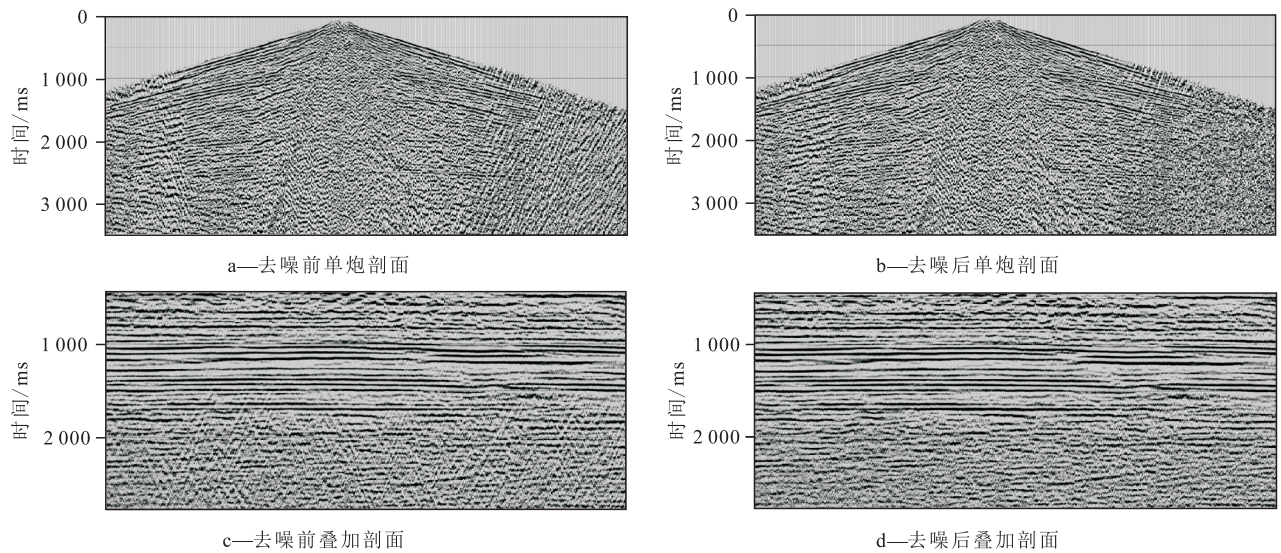


图2 天环坳陷南段反向线性噪音压制前、后单炮与叠加剖面对比

Fig.2 Comparison of single-fold section and stack section in the southern Tianhuan Depression before and after reverse linear noise suppression

2 低幅度构造预测技术

在利用层析静校正和基于数据重构的反向线性噪音压制技术对地震资料进行精细处理的基础上,利用精细速度场及变速成图和小网格大比例尺成图技术对低幅度构造进行精细落实,最后运用二维趋势面技术落实低幅度构造变化的总趋势或总背景,突出低幅度构造的局部高点,进而实现对低幅度构造的预测。

2.1 精细速度场及变速成图技术

层位标定是地震资料精细解释的前提,要准确识别低幅度构造,首先精确标定层位,特别是目标区标志层^[17],而精细速度场则是精细构造图的一个重要参数^[18-19]。天环坳陷南段主要目的层为侏罗系延安组延7—延10段,其中延9段煤层发育,分布范围广,煤层顶部地震 T_{99} 反射层同相轴连续、反射能量强,为侏罗系标准反射层,在地震层位精细解释的基础上,采用层位控制法建立精细速度场。

由于钻井资料纵向上精度高,地震速度谱资料横向上精度高,两者结合建立的精细速度场基本能够客观反映速度在空间的变化。建立速度场的具体步骤为:①利用地震速度谱建场形成研究区二维测线地震叠加速度剖面(图3a)。②利用钻井内插法进行插值建立速度体,形成钻井内插速度剖面(图3b)。③在两者约束下建立所需要的地震测井约束速度剖面(图3c),该方法对算法的依赖性小,运算结果更加稳定。④通过Dix公式^[4]建立最终的平均速度场(图3d)。

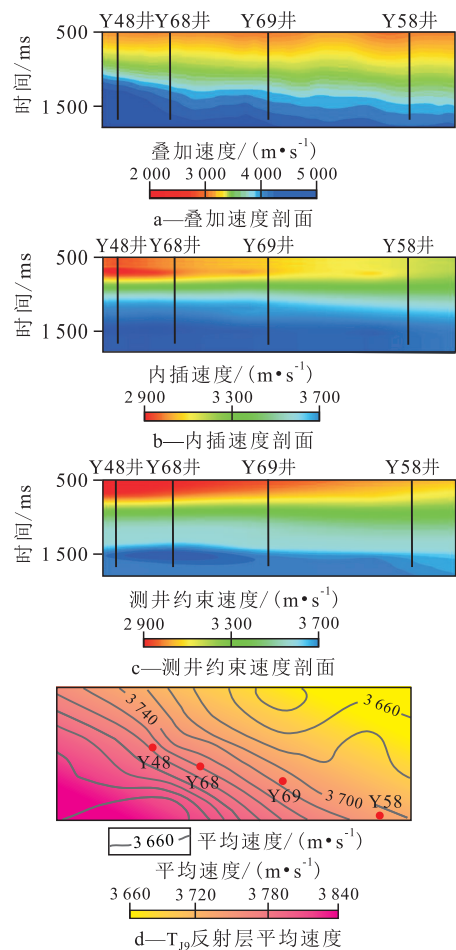


图3 天环坳陷南段地震精细速度场及平均速度

Fig.3 Analysis of subtle velocity field and average velocity field of seismic field in the southern Tianhuan Depression

在精细层位标定及精细速度场和平均速度场建立的基础上,对目的层进行三维空间追踪和闭合,由于研究区地表高差大,达1 300~1 900 m,发

育2套厚度不等的高速砾岩夹层,即使在统一基准面处理的基础上,相交测线的振幅、频率和相位不闭合等仍存在闭合时间差^[14]。首先采用均方根速度或叠加速度进行合理的闭合差校正,再将层位数据文件输出,用三维速度场进行变速时—深转换,最后实现低幅度构造成图^[19]。

2.2 小网格大比例尺成图技术

由于研究区低幅度构造面积小,为0.5~20 km²,

构造幅度低,测网疏密不均匀。在进行网格半径选取时,当网格半径为50 m时(图4a),由于网格半径过小,会出现圈闭假象;当网格半径为400 m时(图4b),由于网格半径过大,则会漏掉面积小的低幅度构造;当网格半径为200 m时(图4c),低幅度构造才能够较准确识别出来,为较合理的网格参数。因此,优选网格半径为200 m对研究区进行精细构造成图。

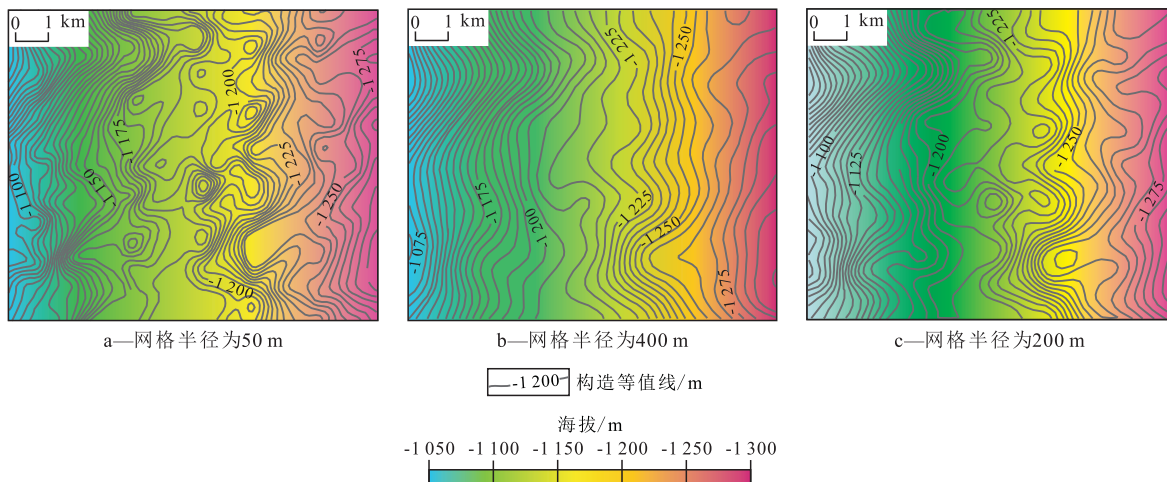


图4 天环坳陷南段地震T₉₉反射层不同网格半径成图对比

Fig.4 Comparison of mapping of seismic reflection layer T₉₉ in the southern Tianhuan Depression using different grid radius

3 二维趋势面技术

精细速度场及变速成图和小网格大比例尺成图技术使低幅度构造识别更加精细,但是由于区域构造背景对趋势面存在一定程度影响,而以上技术均不能显示低幅度构造的总体变化趋势,导致在此背景上形成的部分局部变化小的低幅度构造不易发现和识别^[20-21]。为了更好地进行趋势面背景分析,将二维趋势面技术运用到低幅度构造识别技术中,落实低幅度构造变化的总体变化趋势或总背景,突出低幅度构造的局部高点^[22],对以往勘探过程中不易发现的低幅度构造进行追踪和验证。

4 应用效果

通过天环坳陷南段地震反射层T₉₉低幅度构造预测与实钻数据(表1)对比发现,实钻海拔与预测海拔绝对误差均小于10 m,相对误差均小于2%,为后续的勘探开发提供了可靠依据。

通过以上处理解释一体化精细构造成图技术的综合运用,勾绘出天环坳陷南段侏罗系延安组T₉₉

表1 天环坳陷南段地震T₉₉反射层低幅度构造预测与实钻数据对比

Table1 Comparison of predictive data and actual drilling data of low amplitude structure in the seismic reflection layer T₉₉ in the southern Tianhuan Depression

井号	构造图海拔/m	实钻海拔/m	绝对误差/m	相对误差/%
Y208	-560	-559.5	0.5	0.09
Y27	-540	-537.0	3	0.55
Z122	-560	-569.8	9.8	1.72
Y57	-550	-553.0	3	0.54
Y85	-570	-576.2	6.2	1.08
Y23	-540	-546.0	6	1.09
Z169	-580	-578.7	1.3	0.22
Y146	-590	-590.4	0.4	0.07

反射层构造图(图5),发现侏罗系发育众多背斜、穹窿和鼻状构造,其中鼻状构造最为发育,低幅度构造平缓,构造幅度为5~60 m,平均为24 m;圈闭面积小,为0.4~17 km²,平均为1.8 km²;构造圈闭具有隐蔽性强、埋深浅、物性好、产量高等特点^[1,11]。通过处理解释一体化精细构造成图技术使鞍部面积扩大,圈闭落实程度更加精细。鞍部之上落实低幅度构造新增19个,目前在新发现的低幅度构造内完钻获5口工业油流井,其中Y1井延8段深度为1 936 m试油,产量高达108.32 t/d, Y3井延7段深度

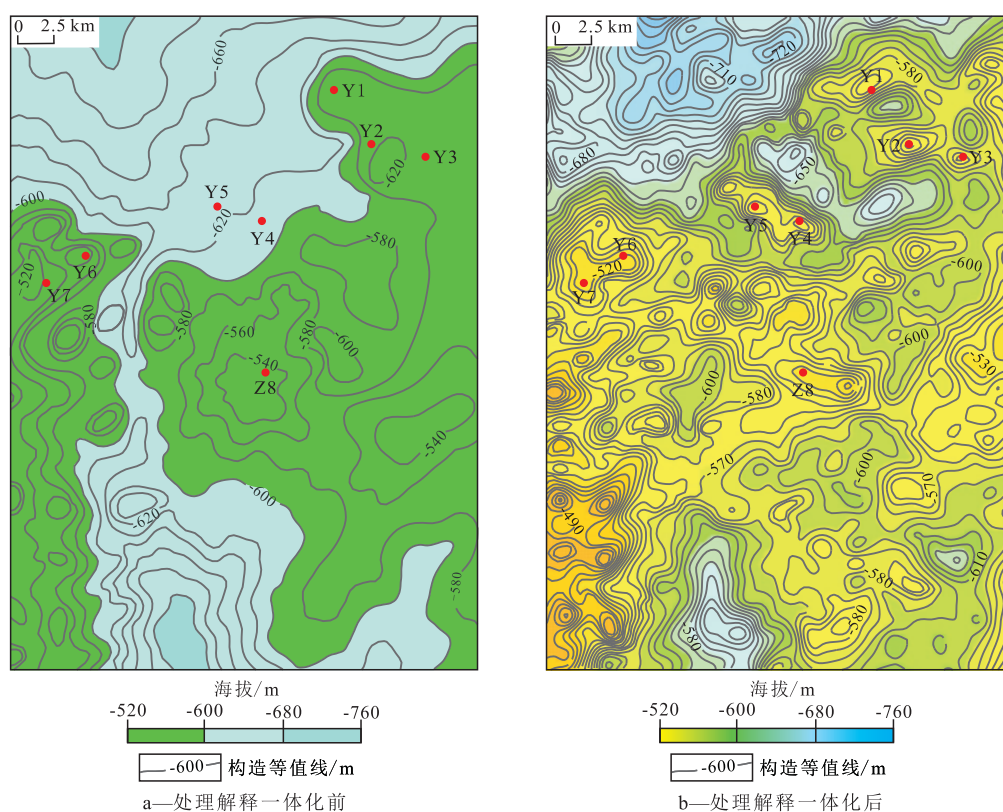


图5 天环坳陷南段地震T₉反射层构造图新旧对比

Fig.5 Comparison of the new and old seismic structural maps of seismic reflection layer T₉ in the southern Tianhuan Depression

为1 827 m试油,产量达64.77 t/d。

5 结论

针对天环坳陷南段仅有二维地震资料的实际情况,在利用层析静校正和基于数据重构的反向线性噪音压制技术对天环坳陷南段二维地震资料进行精细处理的基础上,通过层位控制法建立精细速度场及变速成图,利用小网格大比例尺成图技术优选合理的网格半径,并进行精细构造成图,最后运用二维趋势面技术突出低幅度构造局部高点。通过以上处理解释一体化精细构造成图技术落实新增低幅度构造19个,目前在新发现的低幅度构造内完钻5口工业油流井。钻探证实,利用该低幅度构造预测技术发现了更多的二维地震资料覆盖区的有利勘探区带,为井位优选提供了直接证据。

参考文献:

[1] 许艳争,杜箫笙,毕明柱,等.低幅度构造油藏富集主控因素及成藏模式——以红河油田延安组油藏为例[J].断块油气田,2015,22(5):557-560.
XU Yanzheng, DU Xiaosheng, BI Mingzhu, et al. Main oil enrichment controlling factors and accumulation model for low amplitude structure reservoir: A case of Yan'an reservoir in Honghe

Oilfield[J].Fault-Block Oil & Gas Field,2015,22(5):557-560.
[2] 李相博,姚泾利,刘化清,等.鄂尔多斯盆地中生界低幅度隆起构造成因类型及其对油气分布的控制作用[J].现代地质,2013,27(4):755-773.
LI Xiangbo, YAO Jingli, LIU Huaqing, et al. Tectonic origin type of the low amplitude uplifted structure and its role in the control of the distribution of oil and gas in Mesozoic, the Ordos Basin[J]. Geoscience,2013,27(4):755-773.
[3] 王建民,王佳媛.鄂尔多斯盆地伊陕斜坡上的低幅度构造与油气富集[J].石油勘探与开发,2013,40(1):49-57.
WANG Jianmin, WANG Jiayuan. Low-amplitude structures and oil-gas enrichment on the Yishaan Slope, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development,2013,40(1):49-57.
[4] 陈广军,宋国奇.低幅度构造地震解释探讨[J].石油物探,2003,42(3):395-398.
CHEN Guangjun, SONG Guoqi. Discussion on interpretation of low amplitude structures [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum,2003,42(3):395-398.
[5] 牛子铖,柳广弟,曹喆,等.银额盆地查干凹陷油藏特征及油气成藏过程[J].石油实验地质,2016,38(1):32-39.
NIU Zicheng, LIU Guangdi, CAO Zhe, et al. Reservoir characteristics and hydrocarbon accumulation in Chagan Sag, Yingen-Ejinaqi Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment,2016,38(1):32-39.
[6] 孟涛.济阳坳陷太古界潜山油气成藏及有利勘探区[J].特种油气藏,2015,22(1):66-69.
MENG Tao. Hydrocarbon accumulation and prospects in Archean Buried Hill of Jiyang Depression [J]. Special Oil & Gas Reser-

- voirs, 2015, 22(1):66-69.
- [7] 邓爱居, 张少华, 李凤群, 等. 饶阳凹陷肃宁地区新生代断裂活动及其对油气成藏的控制作用[J]. 油气地质与采收率, 2017, 24(3):18-24.
DENG Aiju, ZHANG Shaohua, LI Fengqun, et al. Cenozoic fault activity and its control on hydrocarbon accumulation in Suning area of Raoyang Sag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(3):18-24.
- [8] 刘畅, 陈冬霞, 董月霞, 等. 断层对南堡凹陷潜山油气藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1):43-50.
LIU Chang, CHEN Dongxia, DONG Yuexia, et al. Control of faults on hydrocarbon accumulation of buried hill reservoirs in the Nanpu Sag, Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1):43-50.
- [9] 束宁凯, 汪新文, 王金铸, 等. 义和庄地区潜山内幕构造演化特征及其控藏作用[J]. 油气地质与采收率, 2017, 24(3):25-29.
SHU Ningkai, WANG Xinwen, WANG Jinzhu, et al. Tectonic evolution characteristics of inner buried hills in Yihezhuang area and its controlling effect on the hydrocarbon accumulation [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(3):25-29.
- [10] 赵子渊. 三肇凹陷微幅度构造群与油气聚集规律[J]. 大庆石油地质与开发, 1987, 6(2):19-26.
ZHAO Ziyuan. Groups of structures with micro-amplitudes and the regularity of hydrocarbon accumulation in Sanzhao Sag [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1987, 6(2):19-26.
- [11] 曹统仁, 周翼. 沙漠覆盖区的低幅度构造研究[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(3):218-220.
CAO Tongren, ZHOU Yi. Study on low-extent structures in desert cover area [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20(3):218-220.
- [12] 李立诚. 准噶尔盆地近地表结构复杂条件下低幅度和岩性、地层圈闭的勘探(为庆祝《新疆石油地质》创刊20周年而作)[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(6):453-455.
LI Licheng. Exploration of the low-amplitude lithologic and stratigraphic traps under complicated conditions of near-surface structures in Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(6):453-455.
- [13] 徐文梅. 低幅度构造成图技术[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(4):349-351.
XU Wenmei. Technique for mapping low-amplitude structure [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(4):349-351.
- [14] 王兴军, 满溢志, 刘昌国, 等. 低幅度构造变速成图技术[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(增刊1):69-72.
WANG Xingjun, MAN Yizhi, LIU Changguo, et al. Velocity-varying mapping technique for low-amplitude structure [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2008, 43(Supplement1):69-72.
- [15] 白晓寅, 黄玉, 陈永波, 等. 低幅度构造—岩性油气藏识别技术[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(2):293-297.
BAI Xiaoyin, HUANG Yu, CHEN Yongbo, et al. Recognition of low relief structure—lithologic reservoir [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2012, 47(2):293-297.
- [16] 兰朝利, 王建国, 周晓峰, 等. 鄂尔多斯盆地彭阳油田侏罗系延安组油藏成藏规律[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(5):45-48.
LAN Chaoli, WANG Jianguo, ZHOU Xiaofeng, et al. Hydrocarbon accumulation rules of sandstone reservoirs of Jurassic Yan'an Formation, Penyang oilfield of Ordos basin, China [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5):45-48.
- [17] 杜立筠, 吴志强, 龙利平. 鄂尔多斯盆地中生界低幅度构造岩性圈闭油气储层预测技术[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(10):59-63.
DU Lijun, WU Zhiqiang, LONG Liping. Prediction of lithologic reservoir in the Mesozoic low amplitude structures of Erdos Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2013, 29(10):59-63.
- [18] 万忠宏, 闫玉魁, 詹世凡, 等. 属性模型速度建场法[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(3):333-336.
WAN Zhonghong, YAN Yukui, ZHAN Shifan, et al. Velocity-field-built method of attributes models [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41(3):333-336.
- [19] 张永华, 杨晟, 任军战, 等. 微幅度构造解释及变速成图方法——以泌阳凹陷梨树凹地区为例[J]. 石油物探, 2010, 49(2):176-181.
ZHANG Yonghua, YANG Sheng, REN Junzhan, et al. Micro-relief structures interpretation and variable-velocity mapping method: case study on Lishuao area of Biyang Depression [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2010, 49(2):176-181.
- [20] 李新峰, 高红燕, 田燕春. 趋势面剩余分析在储层微型构造研究中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 1999, 18(6):12-14.
LI Xinfeng, GAO Hongyan, TIAN Yanchun. Application of trend surface residual analysis in the study on reservoir micro-structure [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1999, 18(6):12-14.
- [21] 姜传金, 蒋鸿亮, 赵福海. 微幅度构造与岩性圈闭识别技术及应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(3):19-20, 37.
JIANG Chuanjin, JIANG Hongliang, ZHAO Fuhai. Micro-range structure and lithologic traps identification technique and its application [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(3):19-20, 37.
- [22] 王凤启, 陈海峰, 马延伶. 二维趋势面分析在微幅度构造识别过程中的应用[J]. 资源开发与市场, 2016, 32(8):907-910.
WANG Fengqi, CHEN Haifeng, MA Yanling. Application of two dimensional trend surface analysis in the process of recognizing the tiny structure [J]. Resource Development & Market, 2016, 32(8):907-910.