

文章编号:0253-9985(2010)01-0043-06

塔里木盆地轮台地区低幅度构造圈闭 落实技术及其应用

韩强, 杨子川, 赵渊

(中国石油化工股份有限公司 西北油田分公司 石油勘探开发研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:为了落实塔里木盆地轮台地区低幅度构造圈闭,通过三维地震精细解释,应用层位精细标定、自动追踪、相干体属性及变速成图技术,准确落实了区内局部构造。并通过对已发现油气藏的测井、地震资料的地球物理响应特征分析,发现油气层砂岩速度低,泥岩盖层速度高,油气层具有低频、强振幅特征。利用属性分析、含油气检测技术对落实构造的储盖组合、含油气性进行分析和预测,应用效果良好。

关键词:三维地震;低幅度构造;油气检测;轮台地区;塔里木盆地

中图分类号:122.3

文献标识码:A

Identification of low-amplitude structural traps in Luntai area, the Tarim Basin and its application

Han Qiang, Yang Zichuan, and Zhao Yuan

(Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: This paper aims to identify low-amplitude structural traps in the Luntai area in the Tarim Basin. Regional structures in the study area are accurately located by means of precise 3D seismic interpretation and technologies such as fine calibration for horizon, automatic tracing, coherence attribute and variable velocity mapping. Analyses of geophysical response characteristics of logging and seismic data of the known oil and gas pools reveal that the velocity of reservoir sandstone is low while the velocity of mudstone cap rock is high, and the hydrocarbon-bearing zones have features of low frequency but high amplitude. Further, attribute analysis and hydrocarbon detection technologies are successfully used to analyze and predict the reservoir-seal combination and hydrocarbon potential of the identified structures.

Keywords: 3D seismic, low-amplitude structure, hydrocarbon detection, Luntai area, Tarim Basin

轮台地区位于沙雅隆起雅克拉断凸东段,东邻草湖凹陷,南接阿克库勒凸起,北为库车坳陷(图1)。工区核心为雅克拉断凸,是前侏罗纪古隆起,经历过复杂的构造演化,如今是库车前陆盆地北部斜坡带的一部分^[1]。断凸是受两条反向逆冲断裂(轮台和亚南断裂)控制的北东东向的海西期大型断垒,在中新生界发育两排由一系列小型北东东向的张扭性断裂组成的断裂带,并伴随褶皱活动,形成了一系列雁列式排列的断鼻、断背斜构造^[2,3],是工区主要的勘探对象。1989年通过二

维地震资料解释发现了轮台构造,并部署了S3井,该井在白垩系巴什基齐克组中段(K_1bs)砂岩中获高产油气流,日产油101 t,气 $30 \times 10^4 m^3$,实现了轮台地区东段的油气突破^[4]。但由于构造幅度低,目的层埋深大(5 100 m),工区断裂复杂,二维构造图的圈闭范围和高点均不准确,自S3井出油后,在该井西南部署的S43井和其东北的S25井相继落空。为了加快本区油气勘探步伐,2006年在该区部署了三维地震,目的是进一步落实构造圈闭,揭示产层下白垩统的沉积结构几何特征,

收稿日期:2009-09-16。

第一作者简介:韩强(1980—),男,工程师,油气勘探。

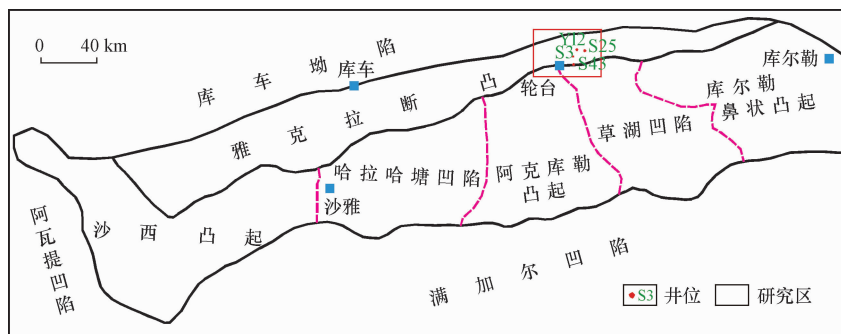


图 1 研究区构造位置及井位示意图

Fig. 1 Map showing structure and well locations in the study area

以利于储(盖)层预测及油气检测。通过开展精细构造解释、储盖层分析、油气检测来识别本区的低幅度圈闭。

1 构造落实技术及其应用

层位是落实构造圈闭的基础,工区中新生界白垩系—古近系以低幅度构造为主,解释过程中充分利用工作站各种优势,对地震反射层位进行追踪对比。首先,从井点出发,根据层位标定的结果,建立联井解释骨干剖面,在全区形成骨干剖面解释网,在此基础上对 T_2^3 , T_3^0 , T_3^2 , T_5^0 等反射层位进行全区追踪对比,解释网格为 4×4 ($100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$)。然后对 S3 井区油层顶面利用解释系统进行自动追踪,使解释密度达到 1×1 ($25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$)。在层位拾取过程中,对自动追踪参数进行了分段设置,确保解释精度满足低幅度构造的精度要求。

工区构造主要为断背斜,断层解释尤为关键。断层解释的准确性与组合的合理性直接影响了构造成图的精度。断层在地震剖面上表现为反射同相轴的错断,此外,对于轮台断裂带与吐斯断裂之间地区,地震反射波组中断、地层产状突变、地震相位变化等也反映断层的存在。工区主要目的层中新生界下白垩统一古近系地层反射同相轴错断较为明显,断层在地震剖面上较易识别。主要表现为张性正断层,断层自前中生界侵蚀面(T_5^0)断至古近系泥岩中消失。断裂平面组合上,利用 Paradigm 软件本征算法计算相干体属性^[5,6],以“剖面定倾向、相干定走向”为原则,采用地震放大剖面、纵横剖面上与相干体相互控制(图 2),相互投影,以保证断面的空间闭合。最后,将解释结果结合相干体编制各目的层的断裂平面图(图 3)。

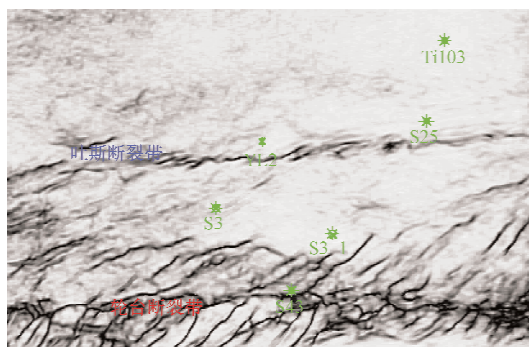


图 2 轮台工区 S3 井区油层相干属性平面图

Fig. 2 Planar view of coherence attribute of oil layers in the S3 wellblock in Luntai area

变速成图技术是解决低幅度构造成图问题的必要手段。近几年低幅度构造勘探加快,变速成图技术发展较快,形成了人工 T_0 图空校法、量版法、射线追踪法等^[7-9]。考虑到工区地层倾角小的特点,主要采用平均速度法来进行时深转换。这种方法是通过 Dix 公式由均方根速度转换成层速度,并在钻井资料的约束下对层速度进行沿层插值平滑,再通过多维网格化处理,建立速度场。据该区 S25 井、S3 井、S43 井等地质分层数据和地震解释层位计算井点标定速度,并计算各界面平均速度的横向变化梯度。研究表明平均速度在横向上从南向北逐渐增大,速度线走向为北西,梯度线走向为北东;纵向上,速度随 T_0 (深度)增大而增大,符合区域速度的变化规律。最后,完成了目的层时深转换。

通过本次精细解释,中新生界断裂为张扭性断裂组合,在平面上多为近东西向—北东向雁列式排列,个别为北西向展布(图 2,图 3)。所落实圈闭与轮台和吐斯两条断裂带有关,轮台构造位于工区的中东部,夹于轮台断裂与吐斯断裂之间,

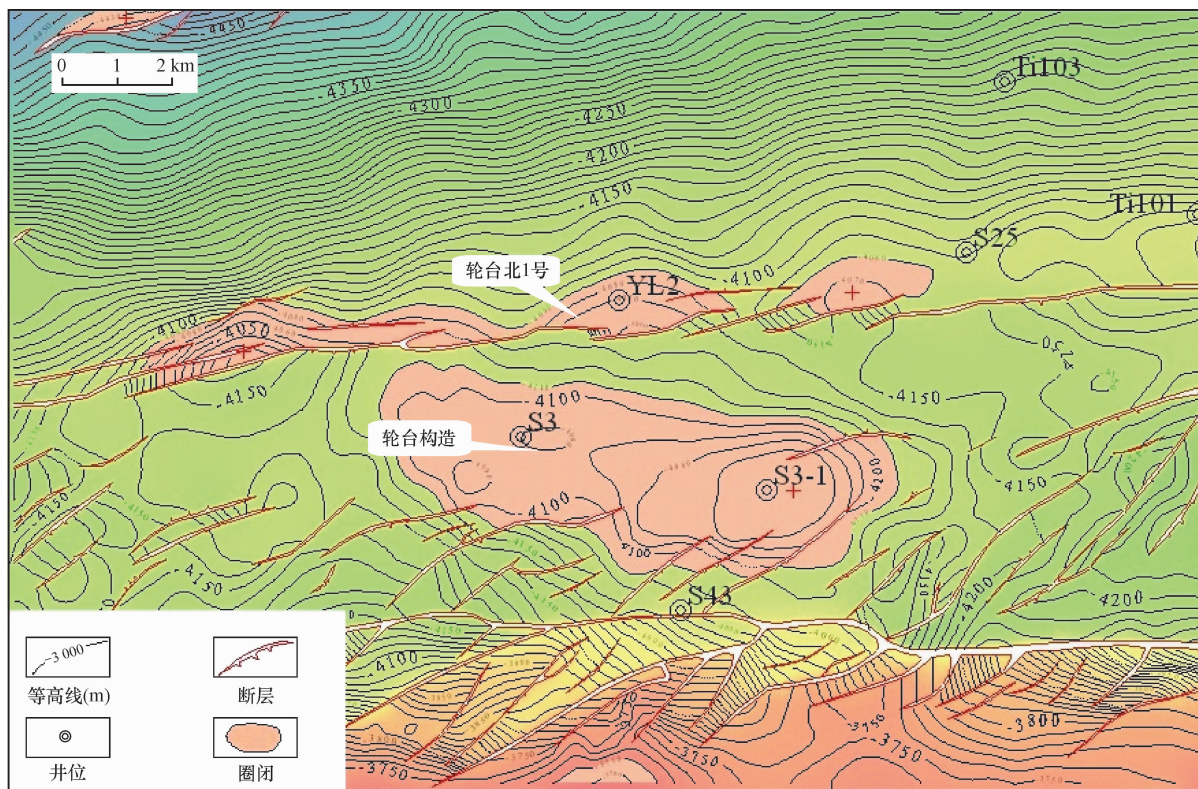


图3 S3井区白垩系油层顶面构造平面图

Fig.3 Top structure map of the Cretaceous oil layers in S3 wellblock

构造走向为近北西向,油气层构造面积为 7.8 km^2 ,构造幅度为 50 m ,构造高点位于S3井西南部。在轮台构造以北,吐斯断裂带上新发现了轮台北1号构造,构造面积为 1.9 km^2 ,构造幅度为 30 m 。前期所部署的S25井、S43井局部构造均不存在,S25井位于轮台北1号构造以东,S43井处于轮台断裂带之间(图3)。

2 油气检测技术及其应用

2.1 油气层的“低频、强振幅”特征

S3井产层巴什基齐克组(K_1bs)为辫状河三角洲沉积,储层条件优越,是库车坳陷最主要储层之一^[10]。该井油气层平均孔隙度为 15.5% ,平均渗透率为 $115 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,储层物性条件良好。S3井区巴什基齐克组可分为底砾岩段与砂岩段,测井曲线上界限清楚,底砾岩为高速、高电阻率特征,砂岩段则以大套砂岩为主要特征,局部泥岩盖层不发育,砂地比达 85% 左右(图4)。在地震剖面上,底砾岩段表现为强振幅反射特征,而砂岩段上

部为弱—空白反射,与其岩性均一的特征相对应。通过合成记录精细标定,S3井油气层顶部具有强振幅“亮点”特征。其原因是白垩系气候干旱,泥岩中含有膏质,砂岩速度低于泥岩速度,且泥岩厚度约 15 m ,大于调谐厚度,形成独立波阻抗界面,油层顶部强振幅是油层盖层的反映。对于油气区,砂岩含气后与泥岩的速度差增大,对强振幅也有一定贡献^[11]。

沿S3井区油气层顶面向上 6 ms 时窗(利用S3盖层厚度确定的时窗)的均方根属性平面图中可以看出,强振幅范围为近半圆形分布(图5),接近湖相沉积的平面展布形态,可能是该油藏直接盖层的分布范围,振幅越强可能代表泥岩厚度越大,强振幅的范围基本上覆盖到轮台含油气构造及其以北地区,S3井、S25井和S43井均钻遇这套泥岩,但S43井泥岩明显变薄。

对于像巴什基齐克组这类砂多泥少的低幅度断背斜圈闭来说,局部盖层对于断裂的侧向封挡起关键作用^[12,13],盖层预测意义重大。对本区而言,泥岩盖层发育区也近似代表了良好储盖组合的分布区,轮台构造及轮台北1号构造均处于有利区。

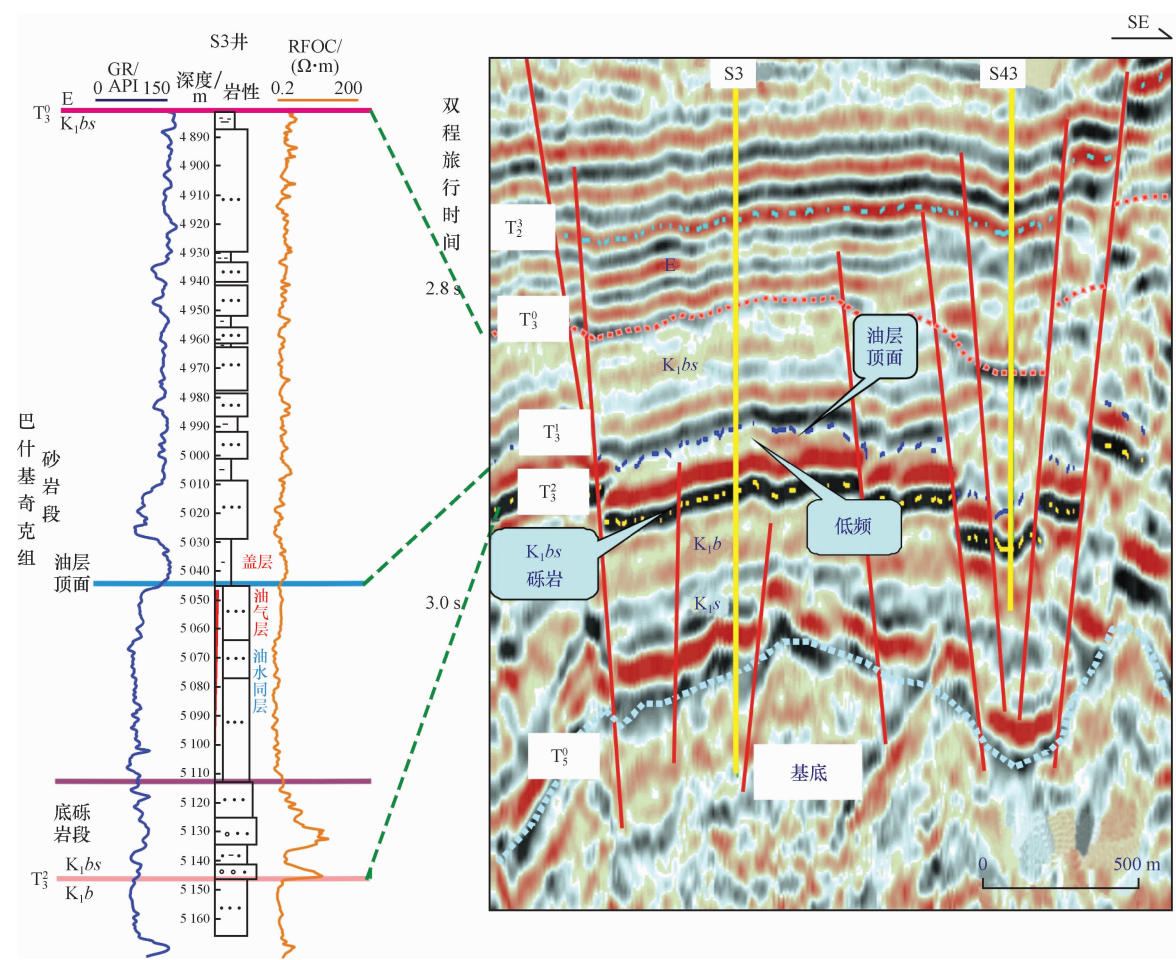


图 4 S3 井巴什基奇克组钻、测井及地震响应特征

Fig. 4 Drilling, logging and seismic response characteristics of the Bashijiqike Formation in S3 well

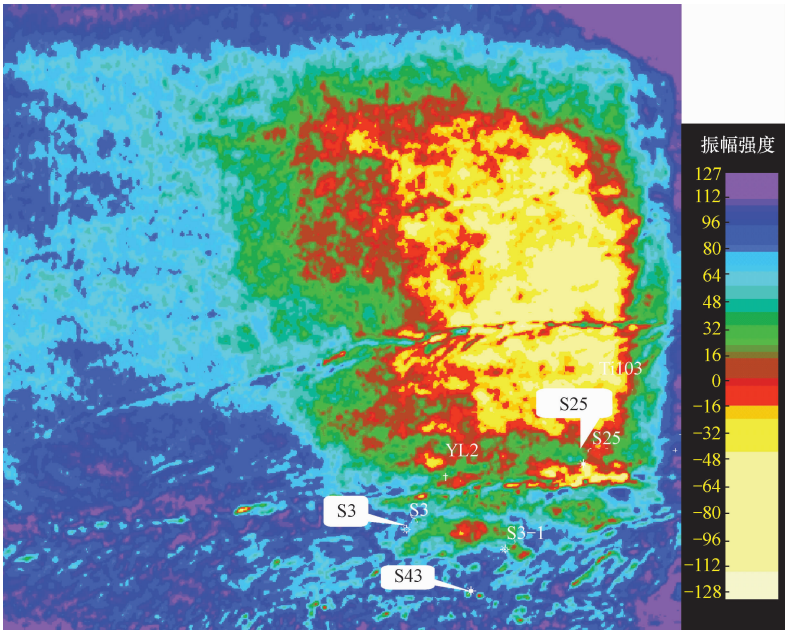


图 5 T_3^1 (0 ~ 6 ms) 时窗内振幅属性平面图 (黄色为强振幅区)

Fig. 5 Plane view of amplitude attribute within time window T_3^1 (0 ~ 6 ms)

此外,地震剖面上油气层反射波以下具有低频响应特征(图 4)。前人研究表明引起“低频”有两种原因,要么是薄层的反映、要么是储集层含油气以后速度降低而引起的^[14,15]。由 S3 井油层的测井曲线可知,油气层具有低速、高电阻率的特征,油气层平均速度约为 3 980 m/s,电阻率为 $2.48 \Omega \cdot \text{m}$;而巴什基齐克组非油气砂岩的速度约 4 200 m/s,电阻率为 $1.80 \Omega \cdot \text{m}$ (图 4)。同时油气储层由块状砂岩组成,没有薄砂层或薄泥岩隔层,其低频特征很可能是油气的反映,因此有必要开展油气检测研究。

2.2 油气检测

1) 衰减梯度法

吸收衰减是指地震波在地下介质传播中总能量的损失,是介质内在的属性。引起地震波吸收衰减的因素是介质中固体与固体、固体与流体、流体与流体界面之间的能量耗损。理论研究和实际应用表明,在地质体中,如果孔隙发育,并且充填油、气、水(尤其对于含气的情况)时,地震反射吸收加大,高频吸收衰减加剧,含油气地层吸收系数可比相同岩性不含油气地层高几倍甚至一个数量级^[16]。如图 6 红色箭头所示,衰减梯度表示高频段的地震波能量随频率的变化情况,斜率代表能量随频率衰减系数,可以指示地震波在传播过程中衰减的快慢。如果存在油气等衰减因素,衰减梯度则增大^[17]。

对 S3 井区白垩系油气层的衰减梯度研究表明(图 7),S43 井、S25 井附近颜色为亮色,表示衰减系数小,没有衰减,同样 S3 井附近衰减比较慢;而 S3 井以东的轮台构造及以北轮台北 1 号构造地区预测显示颜色为暗色,表明衰减系数大,衰减较快,含油气性比较有利。

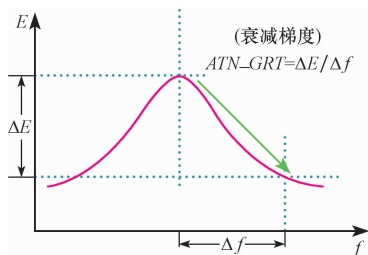


图 6 衰减梯度属性示意

Fig. 6 Sketch map of attenuation gradient attribute

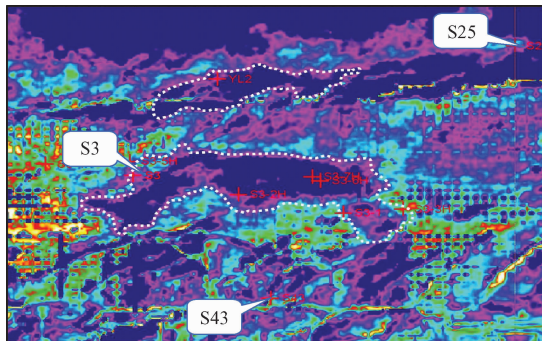


图 7 轮台构造衰减梯度油气检测平面图

Fig. 7 Plane view of hydrocarbon detected by attenuation gradient in the Luntai Structure

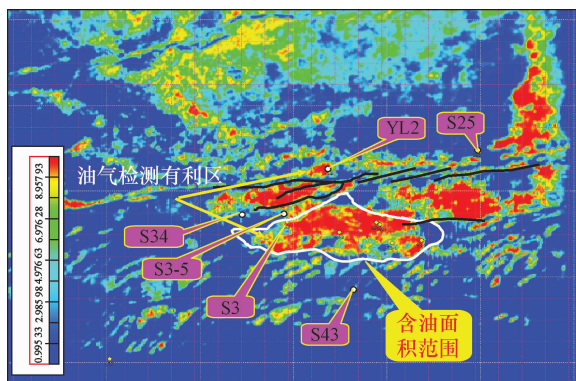


图 8 轮台构造神经网络油气检测平面图

Fig. 8 Plane view of hydrocarbon detected by neural network in the Luntai Structure

2) 神经网络法

人工神经网络是一种非线性最优化技术,它是生物科学和实际数学算法有机结合的产物,模拟自然生物神经元的信息传递方式,通过计算机来实现生物神经元的概念,从而达到预测精度的提高和节省时间的要求^[18]。人工神经网络算法的模式识别过程可分为两大步:第一是学习步,第二是识别步。其中核心是学习步,它为模式识别建立了一个完整的“黑箱结构”。本次神经网络利用地震的各种属性,结合构造特征,加上已知钻井情况综合检测油气。选取的地震属性参数,主要是振幅和频率属性,参考相干和吸收系数,构造参考方位角和构造形态。样本值选取了 S25 井、S3 井和 S43 井进行神经网络运算。从 S3 井区的神经网络油气检测图中可以看出,油气有利区主要集中在轮台构造 S3 井以东及轮台北 1 号构造(图 8)。

3 应用效果

根据本次解释及预测结果,在轮台构造(S3井区)先后部署了S3-1井—S3-7井等7口勘探井与开发井,仅位于S3井西北部的S3-4井与S3-5井落空(图8)。此外,在轮台构造北部新发现的轮台北1号构造,也处于储盖层预测配置良好、油气检测好的位置,随后所部署的Y12井也在下白垩统巴什基齐克组中段(S3油层段)获得工业油气流。实践证明,在轮台地区采用的低幅度构造落实技术、储盖层分析、油气检测技术切实可行,应用效果良好,有效降低了勘探开发风险,加快了轮台地区油气勘探开发的步伐。

4 结束语

三维地震层位自动追踪技术、相干体技术和变速成图等构造落实技术手段的应用,明显提高了对地下复杂地质构造及地震异常体的分辨能力。基于地质—物探资料的综合分析,选取有效的储(盖)层预测、油气检测方法能够提高类似本区的复杂区低幅度圈闭的识别能力。

参 考 文 献

- 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京:石油工业出版社,1997. 291
- 梁狄刚,顾乔元,皮学军. 塔里木盆地塔北隆起凝析气藏的分布规律[J]. 天然气工业,1998,18(3):1~6
- 何发岐,梅廉夫,费琪. 前陆盆地前缘隆起带圈闭的形成及其含油气性——以塔里木盆地沙雅隆起为例[J]. 石油实验地质,2006,25(5):418~423
- 康玉柱,张希明,凌支虎,等. 中国新疆地区油气地质特征及资源评价[M]. 新疆乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2001. 223~224
- 余德平,曹辉,郭全仕. 断裂系统解释与储层预测中的三维相干技术[J]. 石油与天然气地质,2007,28(1):100~105
- 牟荣. 复杂小断块圈闭识别描述方法——以苏北盆地为例[J]. 石油与天然气地质,2006,27(2):269~274
- 石玉,李宗杰. 塔河油田三叠系非构造圈闭识别与评价技术[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):53~61
- 徐文梅. 低幅度构造成图技术[J]. 新疆石油地质,2003,24(4):349~351
- 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.
- 付清平. 陆相前陆盆地层序地层学研究——以塔里木盆地北部下白垩统地层为例[J]. 岩相古地理,1997,17(2):1~9
- 姜洪训. 多参数直接探测油气—理论方法与效果[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1995. 53~61
- 吕延防,付广,于丹. 中国大中型气田盖层封盖能力综合评价及其对成藏的贡献[J]. 石油与天然气地质,2005,26(6):742~745,753
- 蔡希源. 塔里木盆地大中型油气田成控因素与展布规律[J]. 石油与天然气地质,2007,28(6):693~702
- Castagna J P, Sun Shengjie, Siegfried R W. Instantaneous spectral analysis; detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons[J]. The Leading Edge, 2003, 22(2):120~127
- Sams M S, Neep J P, Worthington M H, et al. The measurement of velocity dispersion and frequency—dependent intrinsic attenuation in sedimentary rocks[J]. Geophysics, 1997, 62(5):1456~1464
- 李明娟,张永贵,邹兴威. 塔河南部地区碳酸盐岩油气预测技术研究[J]. 石油与天然气地质,2006,27(4):536~541
- 毕研斌,龙胜祥,郭彤楼,等. 应用频率衰减属性预测 TNB 地区储层含气性[J]. 石油与天然气地质,2007,28(1):116~120
- 吴逸飞. 模式识别原理、方法及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2002. 218~222

(编辑 张亚雄)

《石油与天然气地质》期刊影响因子继续保持领先

根据中国科学技术信息研究所发布的《中国科技期刊引证报告(核心版)》(2009年版)资料,《石油与天然气地质》期刊在2008年的影响因子为1.766,在能源科学技术类期刊中排名第二;总被引频次为1820,在能源科学技术类期刊中名列第四;综合评价总分为77.1,在能源科学技术类期刊中名列第三,在1868种科技期刊中排名第60位。

(李 军)