

文章编号: 1001-6112(2009)06-0588-05

鄂尔多斯盆地姬塬地区 延长组长 2 低阻油层成因机理

赵虹^{1,2}, 党犇^{1,2}, 姚泾利³, 蔺宏斌³, 陈永胜^{1,2}, 郑小杰^{1,2}, 王晓林⁴

(1. 长安大学 地球科学与资源学院, 西安 710054; 2. 长安大学 成矿作用及其动力学实验室, 西安 710054; 3. 中国石油天然气股份有限公司 长庆油田分公司, 西安 710021; 4. 中国石油天然气集团公司 测井有限公司华北事业部, 河北 任丘 062552)

摘要: 根据大量铸体薄片、扫描电镜、物性分析、压汞曲线、含油饱和度及矿化度等资料, 对鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长 2 低阻油层的形成机理进行了详细研究。长 2 油层组低阻油层形成的主要原因有 3 个方面, 即: 高束缚水饱和度、低含油饱和度及高矿化度地层水。孔隙结构复杂、高岭石晶间微孔发育及细粒岩石骨架, 造成喉道偏细、孔喉半径小, 形成高束缚水饱和度; 低幅度构造背景、低油柱高度及低油气充注程度, 是造成油层低含油饱和度、油水分离差的主因; 高矿化度的地层水, 降低了油层与水层的电阻率对比度。根据研究区长 2 地化热解参数统计, 结合试油资料及测井孔隙度数据, 建立了热解参数轻质油含量与孔隙度的关系图版, 以此判断油层、油水同层、水层和干层。

关键词: 低阻油层; 束缚水饱和度; 长 2 油层组; 姬塬地区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

FORMING MECHANISM OF CHANG 2 LOW RESISTIVITY OIL LAYER, YANCHANG FORMATION, JIYUAN REGION, ORDOS BASIN

Zhao Hong^{1,2}, Dang Ben^{1,2}, Yao Jingli³, Lin Hongbin³, Chen Yongsheng^{1,2}, Zheng Xiaojie^{1,2}, Wang Xiaolin⁴

(1. School of Earth Science and Resource, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. Laboratory of Mineralization and Dynamics, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 3. Changqing Oil Field, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 4. North China Division, Logging Company, CNPC, Renqiu, Hebei 062552, China)

Abstract: Based on data of casting sheet images, SEM, physical property, mercury injection curves, oil saturation and formation water salinity, forming mechanism of Chang 2 low resistivity oil layer of Yanchang Formation in Jiyuan region of the Ordos Basin has been analyzed. There are mainly 3 reasons for the formation of the low resistivity oil layer, including high irreducible water saturation, low oil saturation and high formation water salinity. Complex porosity structure, development of micro-pores among kaolinite crystal and fine grained rock framework form thin throat and small pore throat radius, which cause high irreducible water saturation. Low oil saturation is mainly caused by low amplitude tectonic setting and low oil column height. High formation water salinity reduces resistivity contrast between oil layer and water layer. According to statistics of geochemical pyrolysis parameters of Change 2 oil layer, combined with data of oil testing and well logging porosity, the cross plot of S_1 and Φ has been built, by which the Chang 2 low resistivity oil layer of Yanchang Formation in Jiyuan region can be recognized.

Key words: low resistivity oil layer; irreducible water saturation; Chang 2 oil layer group; Jiyuan region; Ordos Basin

姬塬地区位于陕西省定边县、宁夏回族自治区盐池县及甘肃省环县交界, 自 2003 年在区内发现长 4+5 整装含油区块以来, 经过进一步勘探, 预测

储量达 1.3×10^8 t, 探明储量达 1×10^8 t, 勘探潜力巨大, 已成为鄂尔多斯盆地近年来继西峰地区之后又一个获得较大突破的油气勘探基地。

收稿日期: 2008-06-24; 修订日期: 2009-10-19。

作者简介: 赵虹(1967—), 女, 博士, 副教授, 主要从事储层沉积学及层序地层学教学与研究。E-mail: zhaohong@chd.edu.cn。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2003CB214602)。

勘探实践表明,姬塬地区上三叠统延长组长2油层具有低阻特点,主要表现为电阻率偏低,与水层电阻率相近,甚至低于水层电阻率。相对于常规电阻率油层,低阻油层成因机理多样^[1~10],识别和评价难度大。笔者在大量测试资料的基础上,分析研究区低阻油层形成机理,以期为正确认识 and 评价低阻油层提供依据。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地整体轮廓呈南北向的矩形,地跨陕、甘、宁、蒙、晋5省区,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地周边为隆起、断裂和褶皱构造带,依次为伊盟隆起、西缘逆冲带、渭北隆起和晋西挠褶带等构造单元。盆地内部主体为陕北斜坡,表现为西倾单斜,其上构造简单,以鼻状构造为主,地层平缓,地层坡度 $7 \sim 8 \text{ m/km}$,倾角不足 1° 。研究区位于陕北斜坡西缘与天环坳陷相邻处(图1)。

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组为一套以河流—湖泊相为主的陆源碎屑岩沉积^[11]。该套地层与上覆侏罗系富县组或延安组及下伏中三叠统坊坊组地层均为平行不整合接触。

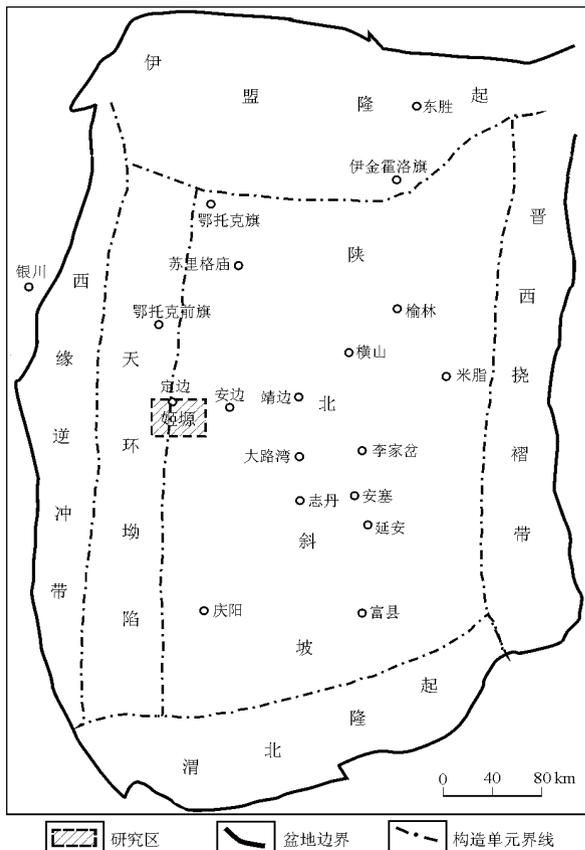


图1 鄂尔多斯盆地构造区划与研究区位置

Fig. 1 Tectonic units classification and studied location of Ordos Basin

前人根据沉积旋回及含油性,将延长组自上而下分为10个油层组(长1—长10)。研究区长2油层组为三角洲平原亚相沉积,分流河道和分流间湾为其主要沉积微相。根据旋回性进一步将长2油层组分为长2¹、长2²和长2³等3个小层,油气主要储集在长2¹小层。

2 低阻油层特征

统计研究区长2油层组40口试油井资料表明:油层及油水层电阻率总体变化范围在 $2 \sim 10 \Omega \cdot \text{m}$ 之间,含油水层和水层电阻率总体变化范围在 $4 \sim 9 \Omega \cdot \text{m}$ 之间,而且大部分在 $6 \Omega \cdot \text{m}$ 以下。绝大部分油层感应测井曲线平直(图2),且深感应值低于中感应值,表现出增阻侵入的特点。

油层和油水层孔隙度主要介于 $12.5\% \sim 16.2\%$ 之间,平均值为 14.1% ;渗透率主要介于 $(0.02 \sim 6.43) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,平均值为 $2.39 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,表现为中孔、低渗、且渗透率变化大的特点。

含油性特征表现为高含水饱和度、低含油饱和度。试油井段大部分为油水同出,油水分离差。

3 低阻油层形成机理

导致油层电阻率较低的因素很多,如高束缚水饱和度、粘土矿物附加导电性、高地层水矿化度、导电矿物、钻井液侵入等^[1]。但是不同地区或同一地区不同层段低阻油层的形成原因却复杂多变。研究区高束缚水饱和度和低含油饱和度是形成低电阻率油层的关键。其中,储层孔隙结构复杂、次生孔隙和高岭石晶间微孔发育以及细粒的岩石骨架等,是造成高束缚水饱和度低的主要原因;而油藏幅度低、油水分异差则是导致低含油饱和度的主要原因,高矿化度地层水则降低了油层与水层的电阻率对比度。

3.1 高束缚水饱和度

束缚水是指在一定生产压差下储层孔隙中不可流动的水,通常环绕于颗粒表面,并充填于细小孔隙内^[12]。束缚水具有较好的导电能力,水膜厚度越大、束缚水饱和度越高时,其导电能力越强。因此不动水的聚集可以较好地改善储层导电性,从而降低储层电阻率,形成低阻油层。

孔隙结构复杂:砂岩储层压汞毛管压力曲线(图3)表明,研究区长2储层具有中孔、细喉型孔隙结构特征,孔隙结构表现出较强的非均质性。储层孔隙结构差,微孔隙发育,在这些微小空间残余有较多的束缚水,易形成低阻油层。

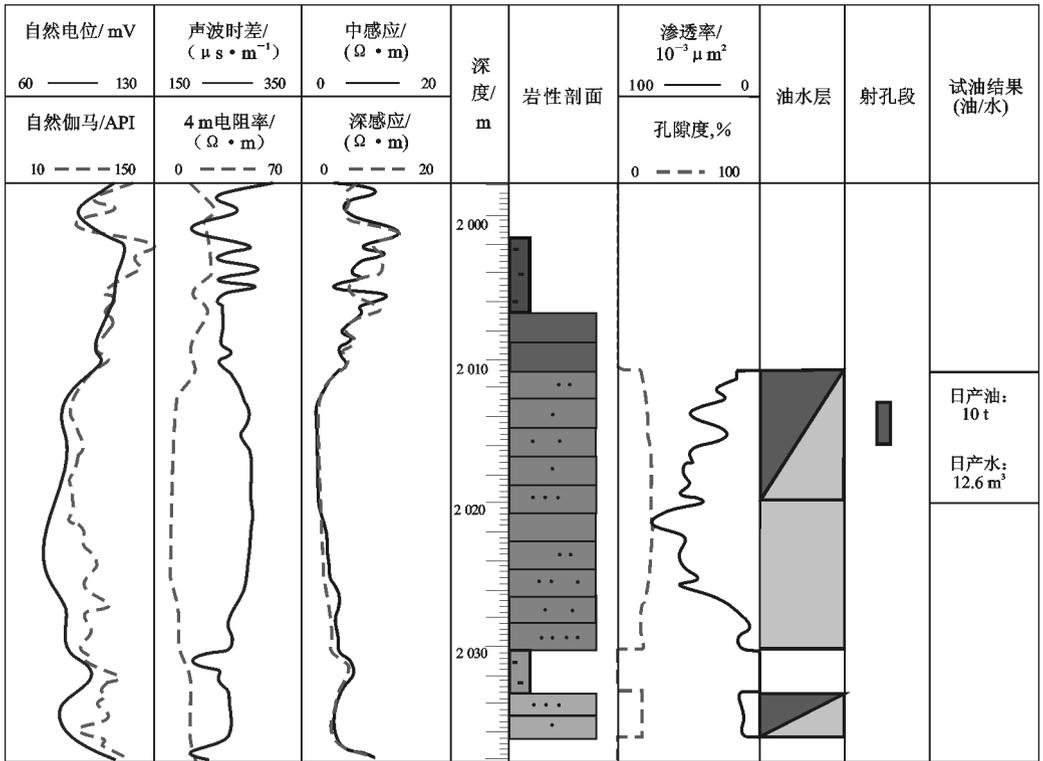


图 2 鄂尔多斯盆地姬塬地区 G132 井长 2¹ 层低阻油层四性关系

Fig. 2 4-property relationship of Chang 2¹ low resistivity oil layer of Well G132 in Jiyuan region, Ordos Basin

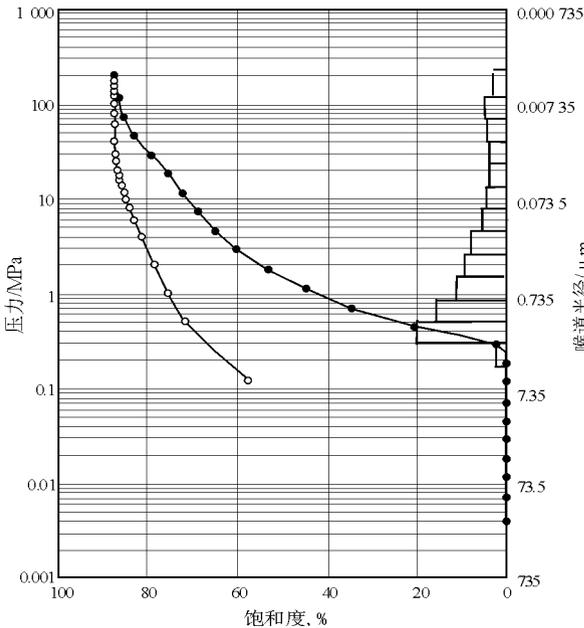


图 3 鄂尔多斯盆地姬塬地区 G114 井长 2 储层压汞曲线
Fig. 3 Capillary pressure saturation curve of Chang 2 oil layer, Well G114, Jiyuan region, Ordos Basin

次生孔隙及高岭石晶间微孔发育:铸体薄片资料分析表明,研究区长 2 储层孔隙类型主要为粒间孔、长石溶孔、岩屑溶孔及晶间孔(图 4),其中溶蚀孔近 60%。

此外,粘土矿物 X 衍射及扫描电镜分析表明,

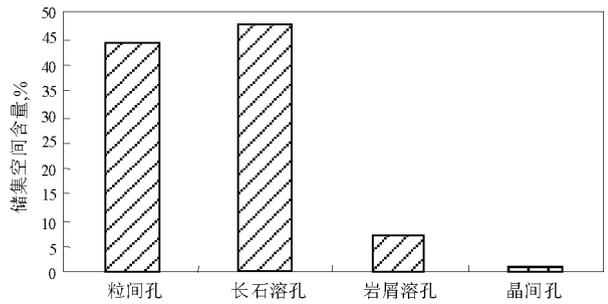


图 4 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 2¹ 储层孔隙类型直方图
Fig. 4 Types of porosity in Chang 2¹ oil layer, Jiyuan region, Ordos Basin

姬塬地区长 2 储层粘土矿物主要为高岭石(图 5a),约占粘土总量的 52.55%;其次为绿泥石和伊利石(图 5b),分别占粘土总量的 23.8%和 18.49%;伊/蒙间层含量低,约占粘土总量的 5.25%。

研究区长 2¹ 小层发育的次生孔隙加上高岭石晶间微孔导致束缚水饱和度升高,从而降低储层电阻率。

细粒岩石骨架砂体:岩石粒度对束缚水含量的影响主要源于 2 个方面^[1]:一是颗粒粗细影响着孔隙和喉道大小,孔隙和喉道越小,毛细管压力越高,越容易形成毛细管束缚水;二是颗粒粗细决定了岩石与水接触面积的大小,颗粒越细,岩石与水接触的面积越大,因而形成较多的薄膜束缚水。组成砂

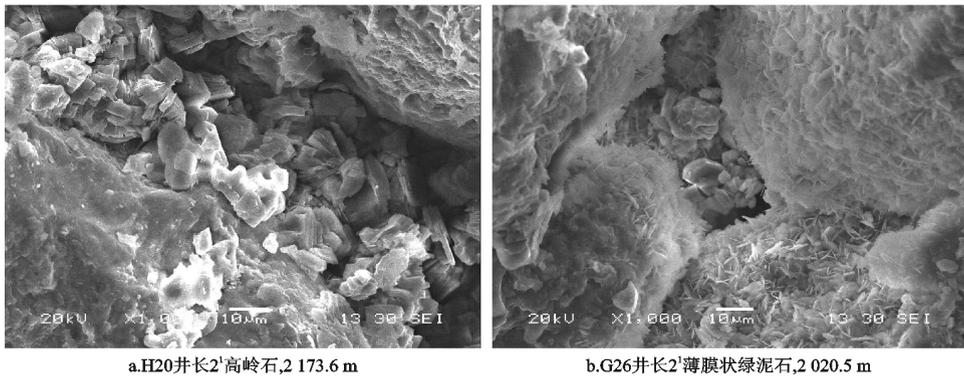


图 5 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 2 储层粘土矿物扫描电镜特征

Fig. 5 SEM characteristics of clay mineral from Chang 2 oil layer, Jiyuan region, Ordos Basin

岩骨架颗粒粒度变小,将引起地层孔隙结构的复杂化,即孔隙喉道半径变小和孔隙曲折度增大,导致储层渗透率变小和内比面增大。

粒度统计分析资料表明,长 2 储层平均粒径主频在 0.25~0.062 5 mm 或 2~4 φ 之间,粒度分布范围集中;以细砂成分占优势,易吸附地层水,从而使得束缚水含量升高。研究区粒度中值与电阻率总体呈正相关性,即粒径越小,束缚水饱和度越高,感应值越小;反之,则感应值越大。

3.2 含油饱和度低,油水分离差

试油井资料统计结果表明,研究区长 2 储层具有高含水饱和度(30%~60%)、低含油饱和度(10%~30%)的特点。

油水分异差主要表现在:1)大多数试油井段出液既含水又含油,油水同层多见,但很少见到真正的纯油层,残余油层多(油花),纯水少;2)油层多为砂泥岩薄互层,且油层内常夹有水层,含水饱和度和含油饱和度不均匀分布,油水重力分异不明显;3)录井资料统计多显示油迹—油斑。

造成含油饱和度低、油水分异差的原因在于:1)低幅构造背景:长 2 油藏为构造—岩性圈闭,油藏构造幅度低,一般为 20 m,主要是一些鼻状构造。低幅度构造,加上较差的储层孔隙结构,导致油水分异差,降低了含油饱和度;2)低油藏高度:研究区长 2 油藏高度与含油饱和度具有正相关性^[1],即随着油藏高度的降低,含油饱和度进一步减小,且长 2 油藏高度与油层电阻率亦呈正相关关系,即随着油柱高度的降低,油层电阻率相应减小;3)油气充注程度低:油气充注程度一方面与充注压力有关,另一方面与储层孔隙结构有关。由于长 2 储层纵向上距离油源较远,接受高压流体充注的几率减小,加上复杂的孔隙结构降低了油气的充注程度,从而使得含油饱和度减小,含水饱和度增大。

3.3 高矿化度地层水

高束缚水饱和度的储层,其电阻率高低在很大程度上取决于地层水矿化度高低。在高矿化度条件下,溶液中粒子的导电网络十分发达,从而大大降低了地层水的电阻率^[1]。

根据研究区水分析资料统计(图 6),长 2 储层地层水矿化度较高,水型以 CaCl₂ 为主,与长 4+5 及长 6 储层相比明显偏高,与鄂尔多斯盆地其他地区的长 2 油层相比明显偏高,因而降低了油层与水层的电阻率对比度,这是研究区长 2 油层形成低阻油层(藏)的重要原因之一。

针对研究区长 2 油层组的具体地质背景研究认为,造成高矿化度的原因主要有 2 个方面:一是与湖盆演化过程中盐度的增大有关;二是受断裂或裂隙以及来自深部的高矿化度水的影响。

4 低阻油层识别

目前油气水层的常用识别方法包括钻井过程中的地质与地化录井技术以及测井解释技术,其中

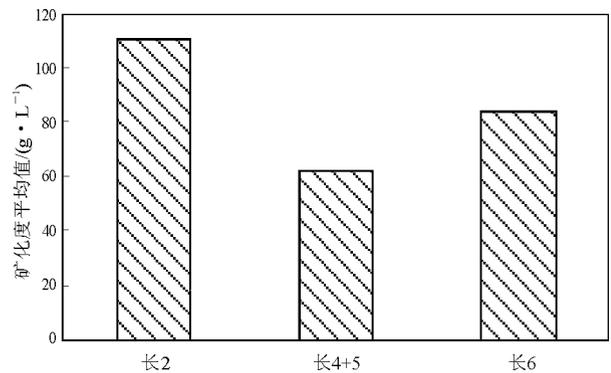


图 6 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组不同层位地层矿化度对比直方图

Fig. 6 Contrast map of formation water salinity in different layers of Yanchang Formation, Jiyuan region, Ordos Basin

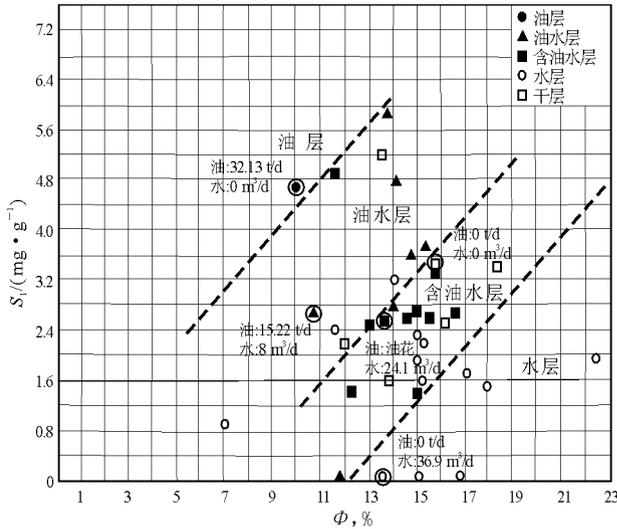


图 7 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 2 油层组 S_1 与 Φ 的关系

Fig. 7 Cross plot of S_1 and Φ in Chang 2 oil-bearing formation, Jiyuan region, Ordos Basin

测井解释是依据储层岩石流体物理性质差异来识别油气水层,是响应参数,因此测井解释受储层岩石成分、储层孔隙结构、地层水矿化度、泥浆侵入等因素影响,对于低阻油层的判断非常不利。地化录井具有直接、快速、准确、定量及精确等特点,根据研究区长 2 地化热解参数统计,结合试油资料及测井孔隙度数值,建立了热解参数轻质油含量(S_1)与孔隙度(Φ)的关系图版(图 7),以此判断油层、油水层、含油水层和水层。

5 结论

1)长 2 油层低阻油层形成的原因主要有 3 个方面,即:高束缚水饱和度、低含油饱和度及高矿化度地层水。

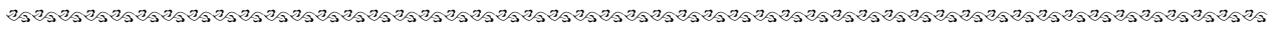
2)造成长 2 油层高束缚水饱和度的原因主要有:储层孔隙结构复杂、次生孔隙及高岭石晶间微孔发育,以及细粒岩石骨架等;造成长 2 油层低含油饱和度的原因主要有:低幅构造背景、低油藏高度及低油气充注程度;长 2 油层高矿化度的地层水,降低了油层与水层的电阻率对比度。

3)建立了热解参数轻质油含量(S_1)与孔隙度(Φ)的关系图版,以此判断长 2 低阻油层的油层、油水层、含油水层和水层。

参考文献:

- 1 中国石油勘探与生产公司. 低阻油气藏测井识别评价方法与技术[M]. 北京:石油工业出版社,2006
- 2 廖健德,王绪龙,张明等. 陆梁油田低阻油层成因及其识别[J]. 新疆地质,2003,21(3):325~327
- 3 黄志龙,蒲秀刚,梁春秀等. 松辽盆地南部低阻储层特征及其形成机理[J]. 天然气工业,2006,26(8):27~29
- 4 潘和平,王家映,樊政军等. 新疆塔北三叠系低阻油气层特征及成因研究[J]. 天然气工业,2004,24(5):39~41
- 5 葛秋现,王立新,赵伟祥等. 文南油田低阻油层的成因及测井评价方法[J]. 国外测井技术,2003,18(5):30~32
- 6 陈清华,孙述鹏,李琴. 孤东油田东营组低阻油层成因分析[J]. 石油大学学报(自然科学版),2004,28(3):9~11
- 7 李国政,李铁. 塔里木盆地桑塔木油气田低阻油气层形成机理[J]. 新疆地质,1999,17(1):49~54
- 8 郑维才,陈为贞,高聚同等. 孤东油田北部地区低阻油层研究与挖潜[J]. 油气地质与采收率,2007,14(4):45~47
- 9 麻坪社,张旭波,韩艳华等. 鄂尔多斯盆地低阻油层成因分析及解释方法[J]. 国外测井技术,2005,20(4):8~12
- 10 张丽霞,朱国华,李民. 准噶尔盆地白垩系低电阻油层成因[J]. 新疆石油地质,2004,25(4):388~389
- 11 席胜利,刘新社,王涛. 鄂尔多斯盆地中生界石油运移特征分析[J]. 石油实验地质,2004,26(3):229~235
- 12 罗蛰潭. 油层物理[M]. 北京:地质出版社,1984

(编辑 韩 或)



(上接第 587 页)

- 12 罗佳强. 东营凹陷博兴洼陷西部沙三段砂岩体的物源及成因分析[J]. 油气地质与采收率,2001,8(5):10~13
- 13 郭旭升. 高青地区沙三段砂体成因与油气成藏分析[J]. 石油勘探与开发,2000,27(6):35~37
- 14 邓宏文,王红亮,王居峰等. 层序地层构成与层序控砂、控藏的自相似性特征:以三角洲—浊积扇体系为例[J]. 石油与天然气地质,2004,25(5):491~495

- 15 邓宏文,王红亮,祝永军等. 高分辨率层序地层学:原理及应用[M]. 北京:地质出版社,2002
- 16 隋风贵. 箕状断陷盆地陡坡带砂砾岩扇体油藏研究[A]. 见:潘元林主编. 中国隐蔽油气藏[M]. 北京:地质出版社,1998. 67~76
- 17 刘军铿,刘长春,李秀华等. 东营凹陷南坡沙四段滩坝砂体与成藏条件分析[A]. 见:孙焕泉,王端平,张善文主编. 胜利油田勘探开发论文集(第三辑)[M]. 北京:地质出版社,2001. 64~71

(编辑 徐文明)