

·勘探技术·

非均质稠油油藏储层测井响应特征及评价

张晋言

(中国石化胜利石油工程有限公司 测井公司, 山东 东营 257096)

摘要:非均质稠油油藏储层测井解释和评价难度较大。从非均质稠油油藏储层的特点和类型入手,分析储层的独特测井响应特征,并从油气运移和成藏、物理规律特性2方面对其进行解析,提出了层内流体细分测井精细评价模式。非均质稠油油藏储层包括层内油水倒置和层内油水间互2类储层,油水倒置储层非均质性弱,油水间互储层非均质性强。储层内部的“物性圈闭”与“油水重力分异异常”认识相结合,可较好地解析非均质稠油油藏储层的独特测井响应特征。提出并构建了非均质稠油油藏储层流体细分的测井精细评价方法,即孔隙度和含油饱和度重叠法、相渗曲线和可动流体综合法。实际应用证实,测井评价成果与试油结果相吻合。

关键词:非均质稠油油藏 油水倒置 油水间互 测井响应特征 储层内部流体细分

中图分类号:P631.84

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2013)03-0041-05

中国稠油资源分布广泛,稠油油藏由于独特的勘探、开发特征及物理特性,其测井资料分析和评价难度较大。目前,针对油水界面倾斜、油水倒置和气水倒置等流体分布特殊现象的研究较多^[1-17],但针对非均质稠油油藏储层测井响应特征和层内流体分布,特别是层内流体细分的评价方法还未见公开报道。笔者所指的非均质稠油油藏储层,是指在钻井剖面上同一储层内因物性变化或油水重力分异异常而导致出现油水倒置、油水间互等现象的储层。与稠油油藏的油水倒置、油水并置等现象不同的是,非均质稠油油藏强调同一储层内部油水分布出现的异常。笔者在解析非均质稠油油藏储层独特测井响应特征的基础上,提出了层内流体细分测井精细评价方法,以期该类油藏优化射孔井段等开发方案的制定提供参考。

1 储层特点及类型

1.1 储层特点

非均质稠油油藏储层埋藏较浅,岩石成岩作用差,胶结疏松,非均质性强;物性好,孔隙度大,渗透率高;粘土矿物含量高,平均为5%~28%;原油密度一般大于0.97 g/cm³(20℃),粘度大于7 000 mPa·s(50℃),多属于特稠油,具有原油密度大、粘度高的

特征,油水重力分异不明显,具有活跃的边底水,产层极易出水。胜利东部油区水与油的体积比大于5的储量占稠油储量的58%,水与油的体积比为1~5的储量占稠油储量的27%;油层含油饱和度变化大,油层段既是产层,也可作为动态的遮挡层,可抑制油气的再度散失,也可作为含水段的隔层;油层段与水层段相比具有较高的电阻增大率和含油饱和度。油水两相渗透率实验结果表明,两相渗流区比较大,残余油饱和度比较高,水相渗透率相对较低^[18]。随着原油粘度的增大,束缚水饱和度降低,残余油饱和度升高,油相相对渗透率降低,水相相对渗透率升高^[19]。

1.2 储层类型

非均质稠油油藏储层主要包括2种类型:①储层内部岩性、物性基本一致,层内无隔层,地层水矿化度较低,原油密度在一定的地质条件下大于或接近地层水密度,油水重力分异不明显,造成储层内的油水分布异常,形成层内油水倒置等流体分布模式。②储层内部岩性、物性变化大,非均质性极强,造成油水分布异常复杂。在同一储层内部,受多期沉积旋回的影响,含油饱和度相差较大,物性好的井段,含油饱和度高,不出水;物性差的井段,含油饱和度低,可动水含量增加,易出水。油水随物性的变化呈互层状分布,形成层内油水间互等流体分

收稿日期:2013-03-14。

作者简介:张晋言,男,高级工程师,从事测井资料评价研究及管理工作。联系电话:(0546)8761540,E-mail:zhangjinyan209.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006)。

布模式。同一储层内也可能同时存在2种类型。

2 测井响应特征

2.1 层内油水倒置储层

层内油水倒置储层的测井响应特征表现为:密度、中子和声波时差等三孔隙度数值接近,孔隙度、渗透率基本稳定,表明储层均质性好;储层内部的含水层段电阻率低,而在含油性好的层段,电阻率高。由于该类储层内部的含油和含水层段岩性、物性接近,如何准确评价层内流体性质,准确确定油水界面,避射水层,是测井评价应解决的主要问题。

胜利东部油区太平油田稠油主要分布在馆陶组,原油密度为 $0.982\ 4\sim 1.008\ 6\ \text{g/cm}^3$ ($20\ ^\circ\text{C}$),粘度为 $5\ 840\sim 10\ 800\ \text{mPa}\cdot\text{s}$ ($50\ ^\circ\text{C}$)。根据测井响应特征和处理结果,将沾29井 $1\ 152.6\sim 1\ 190\ \text{m}$ 井段解释了5段(图1),A段解释为气层;B段和D段声波时差为 $405\sim 410\ \mu\text{s/m}$,感应电导率为 $100\sim 200\ \text{mS/m}$,自然电位呈正异常,受稠油影响,异常幅度小,计算孔隙度为 $32\%\sim 35\%$,含油饱和度为 $40\%\sim 60\%$,解释为油层;C段和E段声波时差为 $400\sim 410\ \mu\text{s/m}$,感应电导率为 $300\sim 350\ \text{mS/m}$,自然电位呈正异常,幅度较油层增大,计算孔隙度平均为 33% ,含油饱和度为 $20\%\sim 26\%$,解释为含油水层。对A段和B段2段 $17.8\ \text{m}$ 测试,产气量为 $12\ 300\ \text{m}^3/\text{d}$,产油量为 $0.256\ \text{t/d}$,不含水。该井油层段本身既是产层,也是隔层,只要避射含水层段,就会取得较好的开发效果。

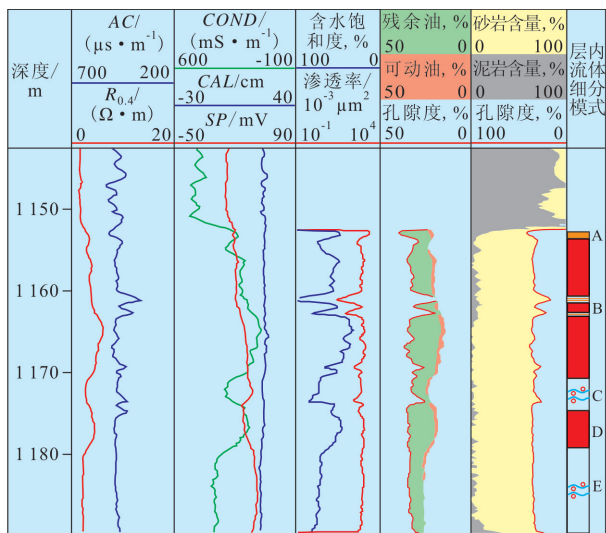


图1 太平油田沾29井测井综合处理成果

2.2 层内油水间互储层

层内油水间互储层的测井响应特征表现为:油层段的密度、中子和声波时差等三孔隙度测井曲线

按标准刻度基本重合,对应的电阻率高,计算的孔隙度、渗透率和含油饱和度大;储层物性、含油性变差的井段有2种情况,一是泥质含量增加,则中子、密度和声波时差相应增大,按标准刻度曲线重合不好,对应的电阻率降低,计算的孔隙度、渗透率和含油饱和度减小;二是岩性为致密岩石,则中子和声波时差减小,密度增大,对应的电阻率无明显变化,计算的孔隙度、渗透率和含油饱和度减小。虽然含水段的物性差,产液量可能相对较低,但因为油质较稠,水的流动能力强,射开含油性差的井段极易出水,相应的堵水难度大。

胜利东部油区的盐家油田沙三段为砂砾岩沉积,地层埋藏浅,岩性复杂,层内非均质性强,原油密度为 $0.99\sim 1.032\ 2\ \text{g/cm}^3$ ($20\ ^\circ\text{C}$),粘度为 $6\ 730\sim 11\ 422\ \text{mPa}\cdot\text{s}$ ($50\ ^\circ\text{C}$),含油饱和度受岩性、物性控制。对盐104井的3号层 $1\ 399.9\sim 1\ 401.8\ \text{m}$ 井段进行了钻井取心,岩心显示其含油性极不均匀;岩性较均匀、物性好的井段,含油饱和度高,为棕褐色油浸含砾砂岩;泥质含量增加的井段,含油性明显变差,为灰绿色油迹含砾泥质砂岩,含油性好的井段与含油性差的井段呈 $0.1\sim 0.2\ \text{m}$ 不等厚的条带状分布,无隔层。由于条带薄,双侧向电阻率和三孔隙度测井曲线等没有明显变化,而纵向分辨率较高的微球型聚焦电阻率测井则能较好地反映储层的非均质性。

盐家油田盐100井8号层 $1\ 320.4\sim 1\ 342.0\ \text{m}$ 井段(图2)自上而下解释为含油水层、油层、含油水层、油层,无有效隔层。其中,A段和C段为含油水层,岩屑录井为油斑含砾砂岩,电阻率为 $3\sim 5\ \Omega\cdot\text{m}$,计算孔隙度为 $18\%\sim 22\%$,含油饱和度小于 15% ;B

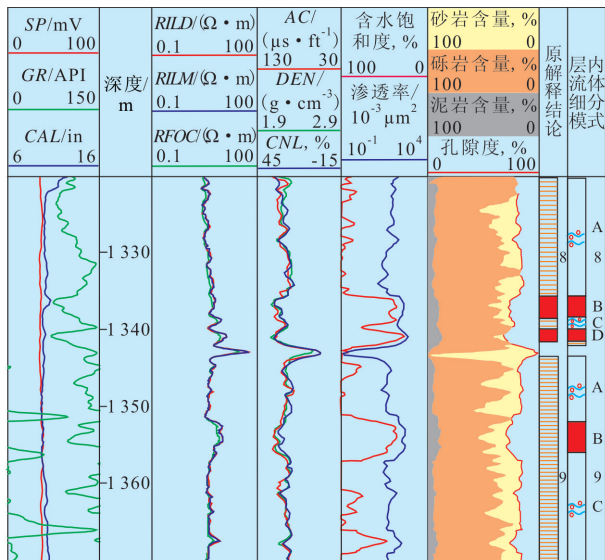


图2 盐家油田盐100井测井综合处理成果

段和D段为油层,岩屑录井为油浸、富含油含砾砂岩,电阻率为 $6 \sim 11 \Omega \cdot \text{m}$,计算孔隙度为26%,含油饱和度为57%~63%。9号层1 343.5~1 370.0 m井段自上而下解释为含油水区、油层、含油水区,中间无隔层。A段和C段为含油水区,电阻率小于 $5 \Omega \cdot \text{m}$,孔隙度为18%~22%,含油饱和度为5%~12%,表明物性差,含油饱和度低;B段解释为油层,岩屑录井为油浸、富含油含砾砂岩,电阻率大于 $9 \Omega \cdot \text{m}$,孔隙度为28%,含油饱和度为60%。对8和9号层的1 335.5~1 355.0 m井段试油,产油量为 8.1 t/d ,产水量为 $3.8 \text{ m}^3/\text{d}$,含水率为30%,原油密度为 0.9898 g/cm^3 (20°C),粘度为 $6730 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ (50°C)。

2.3 测井响应特征解析

非均质稠油油藏层内油水倒置和油水间互2大类储层具有异常测井响应特征,从油气运移和成藏、物理规律特性2方面对其进行分析。

潘钟祥于1982年提出的油气“新生古储”、“上生下储”、“油气倒灌”的论点逐渐被石油地质界接受,并认为是油气成藏的一种模式^[20]。孙龙德等将油气从生成到散失的全过程作为时间域内一个连续而统一的系统,并将其分为前油藏、油藏及后油藏3个阶段,定义了非稳态油气藏的概念,建立了非稳态油气成藏理论框架^[12]。对这些油气运移和成藏异常现象的新观点,也有学者提出质疑和反对。张景廉分析了油气“倒灌”的一些实例,认为在这些盆地油气藏存在深部油气向上运移成藏的可能性^[13]。李传亮等根据固体力学和流体力学的有关理论并结合实验,系统研究了“气水倒置”和“油气倒灌”等概念,深刻指出“油气倒灌”是不存在的,“气水倒置”是不可能的,石油科学中有诸多未经证实的违背了科学基本原理的假设,需要加以澄清和否定,以免在石油科学领域造成误导^[13-17]。

地质的认识往往具有阶段性,石油地质研究中的规律代表了更高层次的思考和总结,而特征是规律在不同认识阶段不同侧面的表现形式,特征往往是静态、当前、外在、孤立、片面的,而规律则是动态、历史、内在、联系、全面的,很多实例表明了特征和规律的区别与联系^[21]。笔者认为关于油气运移和成藏中的地质认识和物理规律的讨论,存在一个特征、规律概念混淆的问题,特征应按照物理定律等科学原理进行推理和总结,两方面应相互结合和论证,不能简单地相互否定,方可获得具有前瞻性的地质规律来预测和指导石油地质学的实践与发展。

李传亮提出了砂岩地层因其非均质性或物性

差异,油气在构造底部或其他部位聚集成藏,并非“气水倒置”,而是“物性油气藏”的特征反映^[16]。“物性油气藏”或“物性圈闭”是更加科学的概念,可以用来替代“深盆地气藏”的概念。地层非均质性导致物性差异,物性好的地方可充当储层,物性差的地方充当了盖层和遮挡物。非均质性是地层的天然特性,没有非均质性就没有油气聚集。物性圈闭不一定出现在构造的顶部,其可以出现在地层的任意位置^[16]。笔者认为:储层内部的“物性圈闭”与“油水重力分异异常”认识相结合,可较好地释疑非均质稠油油藏储层的独特测井响应特征。非均质稠油油藏储层除具有一般油气层的物性非均质特征外,油层的稠化更使其具有非稳态油气藏的特点。

3 流体细分精细测井评价

针对非均质稠油油藏储层中流体分布出现的异常现象,如何对储层内流体按其性质进行细分、优化射孔井段是测井评价面临的重要问题,否则,由于水相对稠油流动能力强,射孔若不避开含水段,产层很容易出水,从而影响试油效果和采收率。因此,非均质稠油油藏储层测井评价的目标是在储层内不仅要研究非均质性^[22],还要精细评价流体非均质性,构建储层内部流体细分的精细测井评价模式。

3.1 评价方法

3.1.1 孔隙度和含油饱和度重叠法

通过对目前已有测试数据的井开展研究,确定油层、油水同层、水层的孔隙度和含油饱和度界限,引入含油指数的概念,即孔隙度和含油饱和度之和。根据油层、油水同层、水层的孔隙度和含油饱和度界限确定各自的含油指数界限值,从而进行层内流体性质识别。应用判别分析思路,建立了层内流体细分的判别方法。如假定确定的油层孔隙度下限值为0.28,含油饱和度下限值为0.60;油水同层孔隙度下限值为0.23,含油饱和度下限值为0.30,则油层的含油指数下限值为0.88,油水同层的含油指数下限值为0.53;由此含油指数大于0.88为油层段,小于0.88大于0.53的为油水同层,小于0.53的为含油水区和水层。

3.1.2 相渗曲线和可动流体综合法

根据油水两相相对渗透率曲线,确定束缚水饱和度(S_{wc})和残余油饱和度(S_{or})。开展岩电实验,确定计算含水饱和度(S_w)的阿尔奇公式中岩性系数和

指数及电阻率增大系数和指数,从而准确地计算含水饱和度和含油饱和度(S_o)。进而可以判断层内流体性质:油层中 $S_o \geq 1-S_{wc}$, 油水同层中 $S_{or} < S_o < 1-S_{wc}$, 水层中 $S_o \leq S_{orO}$ 。

盐家油田盐 101 井实验样品的孔隙度为 23%, 空气渗透率为 $3\ 050 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 采用非稳态法测量油水相对渗透率(图 3)。从图 3 可以看出,其束缚水饱和度为 24.2%, 残余油饱和度为 36.4%, 原始含油饱和度为 75.8%。产油层不含可动水或可动水饱和度小于 10%, 因此,油层的含油饱和度大于等于 65.8%, 油水同层的含油饱和度应为 36.4%~65.8%, 水层的含油饱和度小于等于 36.4%。利用测井资料,采用阿尔奇公式计算含油饱和度,与油层、油水同层、水层的含油饱和度界限区间对比,就能给出准确的解释结论。由盐 101 井测井综合解释成果可知,17,18 和 19 号层无隔层,计算 17 号层含油饱和度小于 32%,解释为含油层,计算 18 号层含油饱和度为 30%~75%,解释为上油层下油水同层,19 号层含油饱和度低,解释为含油层。

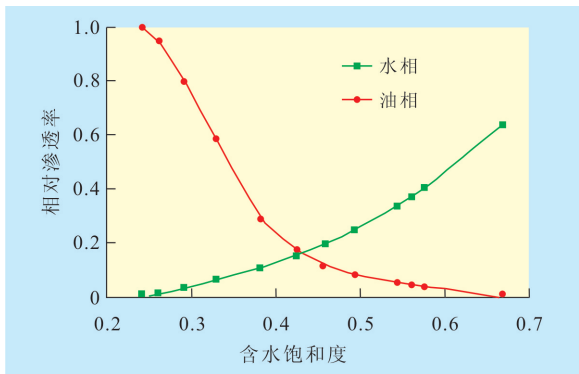


图3 盐家油田盐 101 井油水相对渗透率曲线

3.2 评价实例

应用储层内流体细分精细测井评价方法,对胜利油区东部、西部的非均质稠油油藏储层进行层内流体性质划分,以优化射孔层段。以阿拉德油田哈浅 20 井为例,该井 12 号层 507.6~526.7 m 井段 1 层 19.1 m,原测井解释为油层,重新评价解释为上油层、中油水同层、下油层,其中, A 和 C 段为油层,计算含油饱和度大于 60%,孔隙度大于 27%,含油指数大于 0.85; B 段为油水同层(519.0~523.0 m),电阻率为 $20 \Omega \cdot \text{m}$,孔隙度为 22%~27%,含油饱和度为 40%~50%,含油指数为 0.6~0.77。13 号层 528.8~550.0 m 井段共 1 层 21.2 m,测井原解释为油层,重新评价解释为上油层、下含油层,油层厚度为 11 m。14 号层 554.1~574.0 m 井段共 1 层 19.9 m,原测井解释为油层,层内未见明显隔层,重新评价自上

而下解释为油水同层、油层、油水同层、含油层,其中,油层厚度为 1.6 m,油层段含油饱和度为 60%,孔隙度为 29%,含油指数为 0.89。测井评价成果与试油结果相吻合(图 4),取得良好的地质效果。

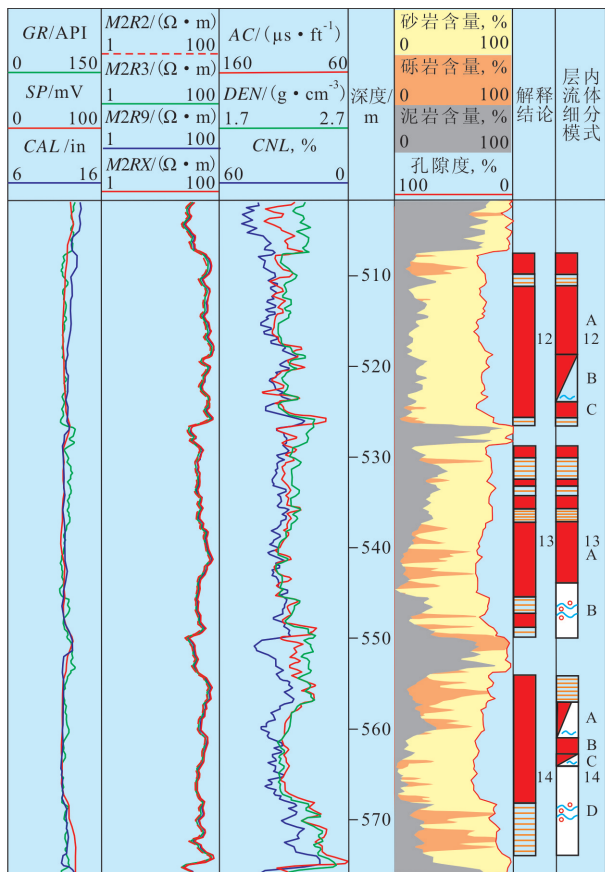


图4 阿拉德油田哈浅 20 井测井综合处理成果

4 结束语

非均质稠油油藏储层是指在钻井剖面上同一储层内因物性变化或者是油水重力分异异常而导致出现油水倒置、油水间互等现象的储层。这种油水倒置、油水间互的储层内部流体分布异常的现象是客观存在的。

储层内部的“物性圈闭”和“油水重力分异异常”认识相结合,可较好地释疑非均质稠油油藏储层的独特测井响应特征。非均质稠油油藏储层除具有一般油气层的物性非均质特征外,油层的稠化使其更具有非稳态油气藏的特点。

建立了孔隙度和含油饱和度重叠法、相渗曲线和可动流体综合法等评价非均质稠油油藏储层流体性质的方法,实际应用证实,测井评价成果与试油结果相吻合,为稠油油藏开采、射孔层段优化提供了高精度的测井评价成果。

参考文献:

- [1] 金强.关于东部油气富集盆地勘探可持续性的一些思考[J].油气地质与采收率,2002,9(1):5-8.
- [2] 赵文智.复合含油气系统中油气运移流向研究的意义[J].石油学报,2001,22(4):8-12.
- [3] 陈洁,尹长河,张学才,等.深盆气藏研究进展[J].油气地质与采收率,2002,9(2):41-43.
- [4] 包友书,张林晔,张守春,等.东营凹陷油气资源相态类型分布规律[J].石油学报,2009,30(4):530-535.
- [5] 李春光.试论渤海湾盆地油气富集规律与勘探[J].海相油气地质,2006,11(3):530-535.
- [6] 胡海燕,陈元勇,李翻平.准噶尔盆地腹部深盆气成藏条件及识别标志[J].油气地质与采收率,2009,16(5):30-32,36.
- [7] 张莉,肖继南,周勇,等.风城地区侏罗系原油粘度非均质性成因研究[J].科技资讯,2010,(21):125-126.
- [8] 赵密福,李亚辉,信荃麟,等.鲁克沁构造带稠油成藏机制研究[J].石油大学学报:自然科学版,2001,25(1):51-54.
- [9] Masters J A. Deep basin gas trap Western Canada[J].AAPG Bulletin,1979,63(2):152-181.
- [10] 任瑞军,吴蔚,苗永康.论深层气与深盆气——以淮北凹陷为例[J].油气地质与采收率,2006,13(4):39-44.
- [11] 孙超,朱筱敏,陈菁,等.页岩气与深盆气成藏的相似与相关性[J].油气地质与采收率,2007,14(1):26-31.
- [12] 孙龙德,江同文,徐汉林,等.非稳态成藏理论探索与实践[J].海相油气地质,2008,13(3):11-16.
- [13] 张景廉.油气“倒灌”论质疑[J].岩性油气藏,2009,21(3):122-128.
- [14] 李传亮,张景廉,杜志敏.油气初次运移理论新探[J].地学前缘,2007,14(4):132-142.
- [15] 李传亮.油气倒灌不可能发生[J].岩性油气藏,2009,21(1):6-10.
- [16] 李传亮.气水可以倒置吗? [J].岩性油气藏,2010,22(2):128-132.
- [17] 李传亮,李冬梅.渗吸的动力不是毛管压力[J].岩性油气藏,2011,23(2):114-117.
- [18] 阳晓燕,杨胜来,李秀峦,等.非稳态法测定稠油油藏相对渗透率实验研究[J].断块油气田,2010,17(6):745-747.
- [19] 姜维东,任艳滨,张运来,等.稠油油田油水相对渗透率和水驱油效率研究[J].大庆石油地质与开发,2008,27(4):50-53.
- [20] Pan Z X. Petroleum in basement rocks [J]. AAPG Bulletin, 1982, 62(10):1 597-1 643.
- [21] 王永诗.石油地质研究中的特征与规律浅析[J].油气地质与采收率,2012,19(3):1-5.
- [22] 张晋言,李绍霞,谢云.胜利油气区中深层天然气测井评价技术及应用[C]//李宝同.中石化天然气测井与测试技术论文集.北京:中国石化出版社,2006:1-11.

编辑 经雅丽

(上接第40页)

- [2] 尚冰.牛庄洼陷王58地区沙四段上亚段纯上3砂组浊积岩沉积特征及形成机制[J].油气地质与采收率,2011,18(4):28-31.
- [3] 赵熬山,蔡星,孟晓丽,等.非构造圈闭——雅克拉断凸寻找油气藏的新领域[J].新疆石油地质,2000,21(6):456-458.
- [4] 王英民,王改云,张雷,等.雅克拉地区下白垩统亚格列木组沉积特征及主控因素[J].断块油气田,2011,18(3):293-296.
- [5] 郑鸿稳.东濮凹陷西部斜坡带断裂活动及其对沉积的控制作用[J].江汉石油学院学报,2001,24(4):26-29.
- [6] 杜叶龙,李双应,孙为伦,等.安徽东南部二叠系龙潭组砂岩碎屑组分及物源分析[J].高校地质学报,2010,16(4):509-516.
- [7] 王友净,宋新民,顾斐,等.高尚堡深层北区沙三段二—三亚段沉积特征与砂体结构[J].油气地质与采收率,2010,17(2):14-16.
- [8] 王昌勇,郑荣才,王海红,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区长6油层组物源区分析[J].沉积学报,2008,26(6):933-938.
- [9] 傅强,凌之虎.塔里木雅克拉断凸沉积埋藏史及成藏模拟[J].成都理工学院学报,1996,23(2):74-79.
- [10] 刘招君.湖泊水下扇沉积特征及影响因素——以伊通盆地莫里青断陷双阳组为例[J].沉积学报,2003,21(1):148-154.
- [11] 杨彦敏,奥立德,刘金华,等.高邮凹陷深凹带戴一段古水体特征[J].油气地质与采收率,2012,19(4):27-30.
- [12] 曹守连,何慧生.前陆盆地构造研究的现状和存在的问题[J].国外油气勘探,1997,9(3):279-283.
- [13] 杨勇,陈世悦,王桂萍,等.准噶尔盆地南缘雀儿沟剖面白垩系地层特征及沉积环境[J].油气地质与采收率,2012,19(3):34-37.
- [14] 伊海生,王成善,李亚林,等.构造事件的沉积响应——建立青藏高原大陆碰撞、隆升过程时空坐标的设想和方法[J].沉积与特提斯地质,2001,21(2):1-15.
- [15] 李勇,曾允孚.试论龙门山逆冲推覆作用的沉积响应——以成都盆地为例[J].矿物岩石,1994,14(1):58-66.
- [16] 蔚远江,胡素云,雷振宇,等.准噶尔西北缘前陆冲断带三叠纪—侏罗纪逆冲断裂活动的沉积响应[J].地学前缘,2005,1(4):423-437.
- [17] 宫健.青东地区沉积相分析[C].青岛:第四届全国沉积学大会会议论文,2009:736-741.

编辑 武云云