

基于小井距检查井的夹层分布特征及 对剩余油分布的控制作用

——以萨尔图油田北二西区为例

兰丽凤¹, 平晓琳², 白振强³, 付志国³

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油大学(北京)石油工程学院, 北京 102249;
3. 中国石油大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要:特高含水后期,河道砂体内部夹层是影响层内剩余油分布的重要因素。针对特高含水后期密井网条件下不同类型的河道砂体,以萨尔图油田北二西区5口小井距密闭取心检查井为研究对象,采用统计和预测分析方法,对曲流河河道、辫状河河道、高弯曲分流河道、低弯曲分流河道和下水分流河道砂体内部夹层进行了定量描述,对夹层的岩性、厚度、分布部位及稳定性等特征进行了研究。结果表明,辫状河河道—曲流河河道—高弯曲分流河道—低弯曲分流河道—下水分流河道砂体内部夹层的岩性呈泥砾岩—粉砂质泥岩—泥质粉砂岩—泥岩的变化趋势,夹层厚度呈明显变薄趋势;不同类型河道砂体内部夹层厚度较小,厚度小于5 cm的夹层占总夹层数的65.5%;夹层的分布部位和倾角差异大,层内薄夹层多,测井资料无法识别的夹层占总夹层数的69.6%;辫状河河道砂体内部夹层的稳定性较好,曲流河河道砂体内部夹层稳定性最差。辫状河河道砂体剩余油主要受沉积韵律影响,曲流河河道砂体中的剩余油主要受侧积夹层控制,低弯曲分流河道发育水平稳定层理,削弱了油层内部流体因重力作用而导致的水淹程度差异,砂体内部水淹程度相对均匀,有利于驱油效率的提高。

关键词:河道砂体 夹层 夹层倾角 夹层稳定性 剩余油分布

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)04-0083-05

大庆油区目前已进入特高含水开采阶段,特高含水期近70%的剩余储量分布在厚油层内部。长垣油田厚油层砂体是松辽盆地拗陷期典型的大型河流—三角洲沉积,河道砂体主要为辫状河河道、曲流河河道和下水分流河道砂体3种,其探明石油地质储量占总石油地质储量的51.9%。目前河道砂体平面水淹严重,且存在低效和无效循环层,但受夹层、连通状况、韵律等地质因素和注采关系、注采井距及其他开发因素的影响,油层内部存在未水淹或动用差的部位。为此,笔者以大庆油区萨尔图油田北二西区5口小井距检查井为研究对象,采用模式分析、精细对比和统计分析方法,对5口检查井1 000多米岩心及其分析化验数据进行了分析,对不同类型河道砂体内部夹层岩性、厚度、分布部位、倾角测井响应特征及稳定性进行了研究,分析了辫状河河道、曲流河河道和下水分流河道砂体内部夹层对剩余油的控制作用,揭示了不同类型河道砂体内部剩余油的分布规律,以期为层内剩余油精细挖潜

提供地质基础。

1 油藏概况

萨尔图油田位于松辽盆地中央拗陷长垣背斜构造带北部,为大型层状背斜油田^[1]。萨北开发区主要发育萨尔图、葡萄花和高台子3套油层,油层埋深为870~1 200 m,是早白垩纪中期形成的大型陆相浅水湖盆河流—三角洲沉积。2008年在北2-350-检45井周围钻取4口小井距密闭取心井,距离中心井的最小井距为29.8 m,最大井距为93 m。通过精细观察5口小井距取心井1 000多米岩心,获取岩心资料,并分析化验岩样5 000多块。取心层位萨II组—葡II组为典型的河流—三角洲沉积,其中葡I组为一类油层,曲流河河道、辫状河河道和高弯曲分流河道砂体发育;萨II组为二类油层,低弯曲分流河道砂体发育;萨III组和葡II组为三类油层^[1],陆相浅水湖盆三角洲前缘下水分流河道砂体和前缘

收稿日期:2013-05-13。

作者简介:兰丽凤,女,博士,从事油田开发技术研究。联系电话:(0459)5596614, E-mail: Lanlifeng@petrochina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2008ZX05002-005)。

席状砂发育。河道砂体厚度为2~9 m,平均为5.2 m,发育夹层较多。河道砂体内部夹层的成因主要包括3种:沉积过程中河水憩期沉积的泥质细粒夹层、后期成岩过程中形成的钙质夹层和河道底部泥砾岩夹层。

2 夹层分布特征

2.1 岩性

从岩性特征看,萨尔图油田河道砂体内部主要发育泥砾岩、泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、含泥粉砂岩(细砂岩内部夹层)和钙质粉砂岩6种夹层。辫状河河道砂体内部以泥砾岩夹层居多;曲流河河道、高弯曲分流河道和低弯曲分流河道砂体内部夹层以粉砂质泥岩和泥质粉砂岩为主,且有少量的泥岩夹层与钙质粉砂岩夹层;与其他类型河道砂体相比,水下分流河道砂体内部泥岩夹层发育,达40%,钙质粉砂岩夹层所占比例也达20%(图1a)。不同类型河道砂体内部夹层岩性差异明显,辫状河河道—

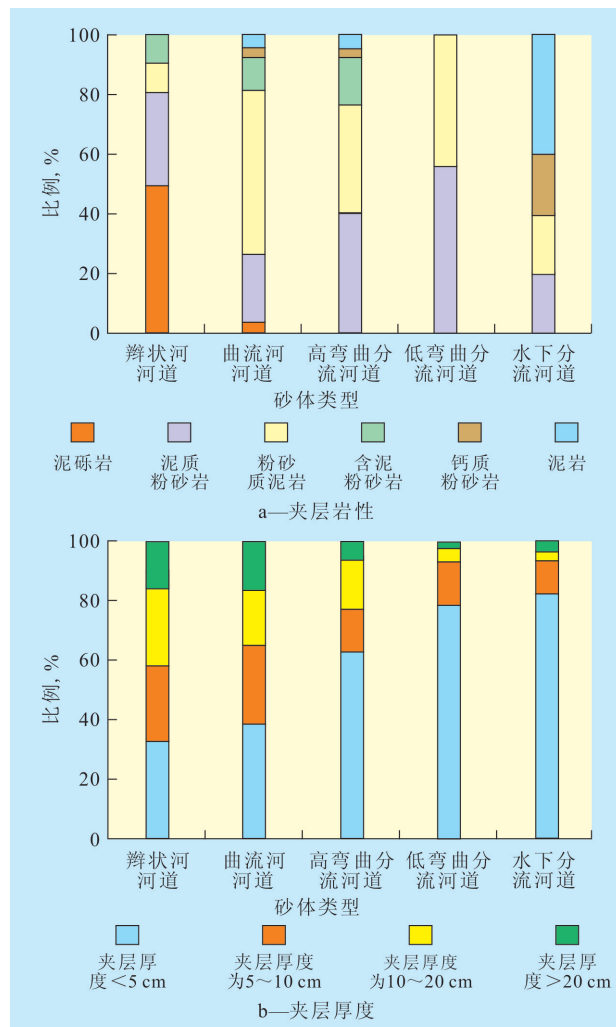


图1 不同类型河道砂体内部夹层岩性与厚度分布

曲流河河道—高弯曲分流河道—低弯曲分流河道—水下分流河道砂体内部夹层岩性呈泥砾岩—粉砂质泥岩—泥质粉砂岩—泥岩的变化趋势,随着水流能量的减小,夹层粒度逐渐变小,胶结物含量逐渐增加,胶结作用和渗流遮挡作用逐渐增强。

2.2 厚度

萨尔图油田河流—三角洲砂体内部发育的夹层厚度较小,其中,厚度小于5 cm的层内夹层占总夹层数的65.5%,大于10 cm的夹层仅占总夹层数的17.6%,从辫状河河道、曲流河河道、高弯曲分流河道、低弯曲分流河道到水下分流河道砂体内部夹层厚度依次逐渐变薄(图1b)。辫状河河道和曲流河河道砂体沉积过程中水流能量和流量变化大,河岸抗蚀性差,河流悬移物质丰富,因此河道砂体内部夹层较厚,平均厚度为8.7~9.5 cm;高弯曲分流河道、低弯曲分流河道和水下分流河道流量变化小,能量较弱,夹层厚度一般小于5 cm,平均为3.95~6.13 cm。

2.3 分布部位及倾角

受沉积作用影响,不同类型河道砂体内部夹层产状多样,对剩余油的形成及油层的动用程度影响较大。

辫状河河道砂体主要是由心滩坝的垂向叠置形成的,其内部夹层由心滩坝顶部残存的泥岩或泥质粉砂岩组成。垂积的沉积作用方式决定了辫状河河道砂体内部夹层的倾角小,且多发育于沉积单元中、上部。辫状河河道砂体内部夹层的倾角不超过 11° ,绝大多数小于 5° ,其中近似水平展布(倾角约为 1°)的夹层样本数占样品总数的80%,夹层分布于沉积单元的中、上部(图2)。

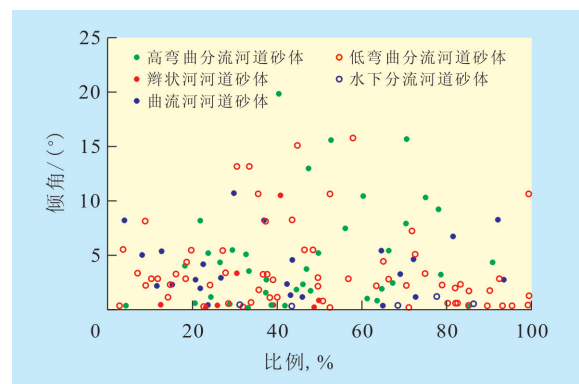


图2 不同类型河道砂体内部夹层倾角分布

曲流河河道砂体是由河流侧向加积作用形成的,其基本建筑结构单元为侧积体,其内部夹层位于各侧积体之间,呈低角度斜列状^[2-4]。北二西区检查井组曲流河河道砂体内部夹层于沉积单元的上、

中、下部均可出现,但在沉积单元上部出现的概率更高,约有50%的夹层分布于距沉积单元顶部1/3高度的范围内,而中、下部的夹层分布概率均为25%;夹层倾角不超过 11° ,绝大多数小于 10° ,其中80%的夹层倾角小于 5° (图2)。

高弯曲分流河道沉积机制与曲流河河道的沉积机制相似,其砂体内部夹层产状及其发育部位与曲流河河道大致相似;其内部夹层在沉积单元的上、中、下部均有发育,中、上部居多,约占60%;夹层倾角绝大多数小于 15° ,77%的夹层倾角小于 6° (图2)。

低弯曲分流河道砂体内部夹层在沉积单元的上、中、下部均有发育,以中、上部居多,约占55%;夹层倾角均小于 17° ,其中约73%的夹层倾角小于 7° (图2)。

由于水下分流河道砂体内部夹层样本数较少,因而统计意义仅供参考;但仅从识别出的5个水下分流河道砂体内部夹层来看,其可发育于沉积单元的各个部位,产状均接近水平(倾角小于 1°)(图2)。

2.4 测井响应

河道砂体内部薄夹层发育频率高,测井未识别的夹层占总夹层数的69.6%(表1)。检查井组的厚油层中共发育148个夹层,厚度为1~30 cm,其测井响应特征明显不同。为了确定测井对不同类型河道砂体内部夹层的识别能力,以微电极系测井曲线回返来精确判断不同厚度和岩性夹层的回返显示比例。结果表明,148个夹层中有102个在微电极系测井曲线上可以看出明显的回返,占总夹层数的68.9%,而31.1%的夹层在测井曲线上基本没有任何显示;148个夹层中测井解释能够识别的仅为45个,占夹层总数的30.4%。

表1 不同类型河道砂体内部夹层的测井响应比例

砂体类型	夹层总数/个	微电极系测井曲线回返显示		测井解释	
		夹层数/个	比例,%	夹层数/个	比例,%
曲流河河道	27	23	85.2	12	44.4
辫状河河道	10	6	60.0	3	30.0
高弯曲分流河道	37	32	86.5	12	32.4
低弯曲分流河道	58	32	55.2	13	22.4
水下分流河道	16	9	56.3	5	31.3
合计	148	102	68.9	45	30.4

在河道砂体内部夹层中,测井曲线无回返显示,且未解释的夹层一般为厚度小于5 cm的泥质粉砂岩夹层,比例为31.1%;测井曲线有回返显示但达

不到解释标准的夹层为5~10 cm的粉砂质泥岩,比例为38.5%,这类夹层中测井曲线回返值较高的,通过精细解释有可能被解释出来,是下一步的工作目标。测井曲线有回返显示且被解释的夹层一般为厚度大于10 cm的粉砂质泥岩和泥质粉砂岩夹层,比例为30.4%。

2.5 稳定性

河道砂体内部夹层分布范围和稳定性是影响剩余油精细挖潜的重要因素。如对于分布范围较大的夹层,可以选择在井组范围内实施有效措施,而对于分布范围小的夹层,则要尽量在井眼附近采取措施。对于河道砂体内部夹层识别而言,受地震资料分辨率限制,当前只有通过钻井和测井来获取平面散点资料。此时,确定夹层的平面分布范围,须进行井间预测。

不同类型河道砂体内部夹层形成机制不同,导致其岩性、厚度、倾角等特征均不同,这些因素共同决定了夹层空间分布的稳定性,即井间可对比程度。为明确不同类型河道砂体内部夹层的井间可预测性,此次研究分别对4口检查井11个沉积单元的岩心资料按不同河道类型,对其内部夹层的稳定性进行统计。结果(图3)表明,辫状河河道砂体内部夹层的稳定性较高,其产状以水平分布为主,夹层不随地层延伸趋势变化^[5-6];井距为80~140 m时,夹层稳定性超过60%;井距小于80 m时,其稳定性为80%~90%,井间基本可对比。低弯曲分流河道砂体内部夹层的稳定性低于辫状河河道砂体,垂直水流方向,夹层以水平分布为主;井距为80~140 m时,夹层稳定性超过60%;井距小于80 m时,夹层稳定性为70%~80%,夹层相对稳定,井间基本可对比,但夹层岩性空间变化较为频繁。曲流河河道砂体夹层稳定性最差,井距为30 m时,夹层的稳定性约为75%,而井距达到100 m时,夹层的稳定性降低到40%,当井距大于100 m时,井间夹层不具可对比性(图3)。

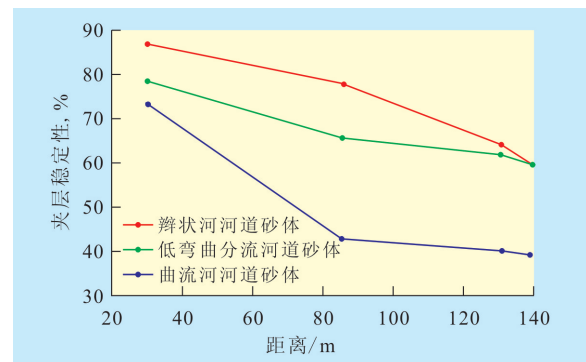


图3 不同类型河道砂体夹层稳定性统计

3 夹层对剩余油分布的控制作用

影响水驱开发效果和剩余油分布的主要内在因素是储层非均质性。储层非均质性主要受沉积微相及其内部构型控制,不同沉积微相和构型要素具有不同的空间形态、渗流特征和孔隙结构,剩余油分布特征也不同^[7-8]。高含水开发阶段,沉积微相对剩余油分布的控制作用主要表现在储层物性的纵横向差异上。在注水开发过程中,注入水总是优先进入物性好的河道底部,并沿着河道下方突进,然后向河道上方和两侧扩展,导致河道边部储层受效程度低,剩余油饱和度较高。层内剩余油的形成和分布主要受夹层控制的非均质性的影响,在高含水开发阶段,夹层对剩余油的影响尤为突出^[9-14]。

辫状河河道砂体内部夹层具有多期、水平稳定的特征。该类夹层厚度多为2~5 cm,以泥质粉砂岩为主,数量少、规模小、以水平分布为主。辫状河

河道砂体内部夹层代表了大部分三级和四级构型界面的空间展布形态,延伸长度大多小于150 m,平面形态为窄条带状—豆荚状,垂向封隔作用较差。由河道砂体内部夹层与水淹层分布状况可以看出,辫状河河道砂体内部以多段中—高水淹程度为主^[15],低或未水淹部位零散分布于韵律层顶部和构型界面附近,且所占比例较少,内部剩余油呈零散、薄层状分布(图4a)。

曲流河河道砂体内部夹层具有下疏上密、中疏边密的特征。由于夹层呈斜列状产出,因此对层内流体的侧向渗流起到封隔或阻碍作用^[16],使得夹层附近油层动用程度低,多见弱水洗或未水洗(图4b),形成曲流河河道砂体顶部剩余油富集模式。

低弯曲分流河道砂体内部夹层具有均匀分布、水平稳定的特征。水平夹层的存在削弱了厚油层内部流体由于重力导致的油层上、下水洗程度的差异^[17],河道内部水洗程度相对均匀(图4c),为提高厚油层内部的驱油效率提供了有利条件。

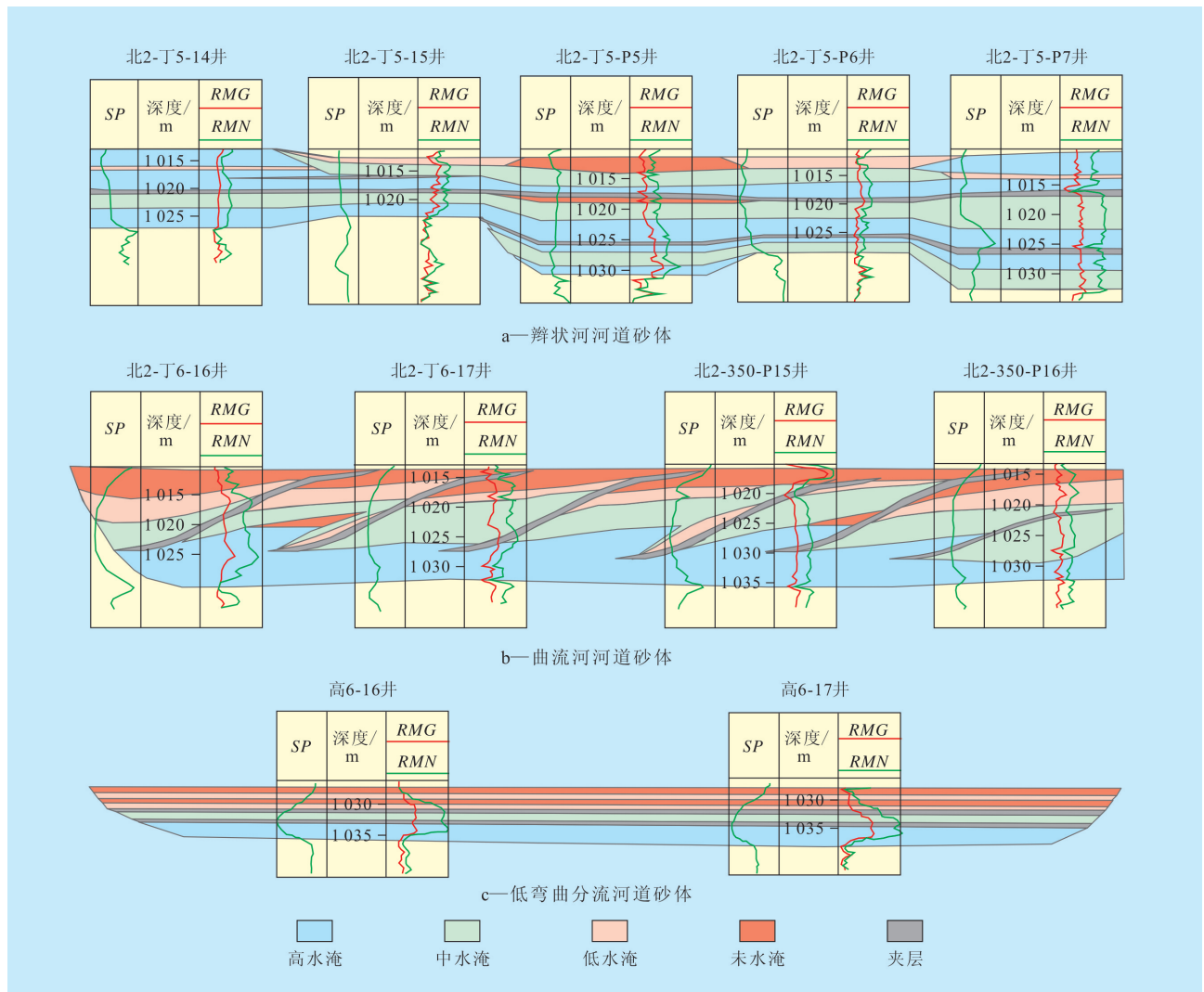


图4 不同类型河道砂体内部夹层与水淹层分布

4 结论

不同类型河道砂体内部夹层岩性差异明显,辫状河河道—曲流河河道—高弯曲分流河道—低弯曲分流河道—水下分流河道砂体内部夹层的岩性呈泥砾岩—粉砂质泥岩—泥质粉砂岩—泥岩的变化趋势,夹层厚度呈明显变薄的趋势。各类河道砂体内部夹层厚度较小,小于5 cm的夹层占总夹层数的65.5%。

不同类型河道砂体内部夹层分布部位及倾角差异大,层内薄夹层多,目前测井无法识别夹层占总夹层数的69.6%。辫状河河道砂体内部夹层的稳定性较高,低弯曲分流河道砂体内部夹层的稳定性低于辫状河河道,夹层井间基本可对比;曲流河河道砂体内部夹层稳定性最差,井间不可对比。

辫状河河道砂体剩余油主要受沉积韵律控制,整体上呈零散、薄层状分布,挖潜难度大;曲流河河道砂体中的剩余油主要受侧积夹层控制,呈叠瓦状分布在厚油层顶部;低弯曲分流河道发育水平稳定层理,削弱了油层内部流体因重力作用而导致的水淹程度差异,砂体内部水淹程度相对均匀,有利于驱油效率的提高。

参考文献:

- [1] 刘丁曾,王启民,李伯虎.大庆多层砂岩油田开发[M].北京:石油工业出版社,1996:5-18.
- [2] 张吉,张烈辉.陆相碎屑岩储层隔夹层成因、特征及其识别[J].测井技术,2003,27(3):221-224.

- [3] 吕晓光,马福士,田东辉.隔层岩性、物性及分布特征研究[J].石油勘探与开发,1994,21(5):80-88.
- [4] 白振强,王清华,杜庆龙,等.曲流河砂体三维构型地质建模及数值模拟研究[J].石油学报,2009,30(6):899-902.
- [5] 王凤兰,白振强,朱伟.曲流河砂体内部构型及不同开发阶段剩余油分布研究[J].沉积学报,2011,29(3):512-516.
- [6] 于兴河,马兴祥,穆龙新.辫状河储层地质模型及层次界面分析[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [7] 张宝胜,张淑洁,钟玲.喇萨杏油田各类油层水洗状况[J].大庆石油地质与开发,2002,21(6):40-43.
- [8] 刘义坤,刘云龙,陈惠平.萨中开发区高台子油层的水洗特征[J].大庆石油地质与开发,2005,24(2):56-57.
- [9] 陈雨茂,邓文秀,滕彬彬.曲流河屯坝内部构型精细解剖——以垦西油田垦71断块馆陶组为例[J].油气地质与采收率,2011,18(4):25-27.
- [10] 吴小斌,侯加根,孙卫,等.基于层次分析方法对姬塬地区流动单元的研究[J].吉林大学学报:地球科学版,2011,41(4):1 013-1 019.
- [11] 刘卫,林承焰,杨永智,等.窄薄砂岩油藏储层非均质性综合评价与剩余油分布——以葡北油田三断块葡I油组为例[J].油气地质与采收率,2010,17(1):37-40.
- [12] 李卫彬,王丽英,孙庆萍.特高含水期厚油层细分挖潜研究[J].大庆石油地质与开发,2005,24(1):58-60.
- [13] 王正波,叶银珠,王继强.聚合物驱后剩余油研究现状及发展方向[J].油气地质与采收率,2010,17(4):37-42.
- [14] 王晓光,贺陆明,吕建荣,等.克拉玛依油田冲积扇构型及剩余油控制模式[J].断块油气田,2012,19(4):493-496.
- [15] 房士然.夹层对优势通道形成与演化的影响[J].油气地质与采收率,2010,17(1):90-92.
- [16] 冯伟光.河流相储层中夹层类型的定量识别[J].油气地质与采收率,2009,16(5):40-43.
- [17] 杜玉山.中高渗透砂岩储层地质建模应注意的几个问题[J].油气地质与采收率,2009,16(1):44-46.

编辑 武云云

欢迎广大科技人员踊跃投稿