

文章编号:0253-9985(2010)01-0126-09

济阳坳陷孤东油田七区中单元新近系馆陶组点坝构型

周伟东^{1,2,3},刘振坤⁴,岳大力⁴,周银邦⁴,钟欣欣⁴

(1. 中国科学院 地质与地球物理研究所 气体地球化学重点实验室,甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院 研究生院,北京 100049; 3. 中国石油化工股份有限公司 胜利油田分公司

孤东采油厂,山东 东营 257237; 4. 中国石油大学 资源与信息学院,北京 102249)

摘要:针对胜利油区孤东油田七区中新近系馆陶组上段曲流河沉积,按照层次分析思路及模式拟合的方法对地下点坝构型进行表征分析,总结了曲流河各沉积微相的岩电特征,并结合曲流河沉积模式,划分了研究区沉积微相,识别出两个点坝。综合应用开发动态资料及测试资料,认知了点坝内部构型单元的定量模式,即侧积层的倾向、倾角、间距以及单一侧积体水平宽度,以模式为指导,以井数据为约束,对点坝内部构型进行精细解剖,最终建立曲流河点坝构型三维模型,并进一步分析了剩余油分布规律,提出了相应的挖潜措施。

关键词:点坝;侧积层;剩余油;储层构型;孤东油田;济阳坳陷

中图分类号:TE319

文献标识码:A

An analysis of point bar configuration of the Neogene Guantao Formation in the middle unit of Block 7 in Gudong oilfield, the Jiyang Depression

Zhou Weidong^{1,2,3}, Liu Zhenkun⁴, Yue Dali⁴, Zhou Yinbang⁴, and Zhong Xinxin⁴

(1. Key Laboratory of Gas Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Gudong Oil Recovery Plant, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257237, China;

4. Faculty of Natural Resource and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Hierarchy analysis and model fitting techniques are used to describe the point bar configuration of the meandering river deposits in the Neogene Guantao Formation in the middle unit of Block 7 in the Gudong oilfield. According to the lithologic and electrical properties of sedimentary microfacies in the meandering river deposits and in combination with the modes of deposition, we divide the sedimentary microfacies and identify two point bars in the study area. With production performance and test data, quantitative models of point bar configuration unit are built, which includes the orientation, dip, space and horizontal width of a single lateral-accretion sandbody. Under the guidance of the models and constraints of well data, we analyze in detail the internal configuration of the point bars and build 3D models for point bar configurations of meandering river deposits. Furthermore, we analyze the remaining oil distribution and presents specific measures to tap the production potential.

Keywords: point bar, lateral-accretion layer, remaining oil, reservoir configuration, Gudong oilfield, Jiyang Depression

济阳坳陷孤东油田自“八五”以来开展了精细地质研究,包括垂向上细分沉积单元以及平面上细分沉积微相,然而经过几十年注水开发,这些油田已进入高、特高含水开发阶段,导致原本就非常复杂的地下储层微观流场又被改造和破坏,油藏

参数发生变化,非均质性进一步增强,剩余油分布进一步复杂化。储层内部非均质性是影响剩余油形成与分布的主要因素,因此,有必要开展储层内部构型研究。Miall A D^[1,2]于1985年提出了构型要素分析法,开创了河流相储层构型研究的先河,

收稿日期:2009-09-15。

第一作者简介:周伟东(1967—),男,高级工程师、博士研究生,油田开发地质。

随后诸多国内学者取得的成果极大地丰富了曲流河的沉积理论^[3~13]。但是地下储层构型分析研究尚没有形成一套完整的方法,各级次构型单元的定量模式研究还比较欠缺。本文针对孤东油田七区中点坝砂体进行层次构型分析,深化了构型定量化研究,进而总结开发后期点坝储层剩余油分布模式,为进一步挖潜提供了可靠的依据。

1 地质概况

孤东油田区域构造上位于渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷的东北部,为一在中生界潜山背景上发育起来的近南北走向的以新近系馆陶组疏松砂岩为主要储集层的大型披覆背斜构造整装油藏。

七区中开发单元位于孤东构造的东翼,南、北分别被断层切割,东侧以海堤为界,西侧与七区西自然相连(图1—图3)。区内构造简单而平缓,该区面积为10 km²,主要含油层系为馆陶组4—6砂层组,共有18个小层,其中Ng⁵⁽²⁾,Ng⁵⁽³⁾,Ng⁵⁽⁴⁾及Ng⁵⁽⁵⁾为主力小层。该区为孤东油田较大含油区块,地质储量2 454 × 10⁴ t,占孤东油田总储量的9.3%。油层埋深一般1 190 ~ 1 410 m,储层岩性整体自下而上变细,以细砂岩为主,为一套河流相沉积,具有高孔、高渗、疏松、强非均质性整装稠油油藏特征。

目前七区中处于特高含水阶段,该开发单元含水上升快,无水、低含水开采时间短,采出程度低,必将导致高含水、特高含水期较长,大多数储

量只能靠投入高成本来开采,强化注水及提液,使得地下油水关系极为复杂,一方面剩余油高度分散,另一方面由于河流相内部隔夹层(渗流屏障)的影响,亦存在剩余油相对富集的部位,急需深入开展储层构型研究。

2 单一沉积微相识别

2.1 单一沉积微相岩电特征

2.1.1 河道砂体

曲流河道砂体由河床滞留沉积和点坝构成,其中以点坝砂体为主。

河床滞留沉积位于河流层序最底部,冲刷面之上,主要为泥砾岩和含砾砂岩,厚度较薄,一般不超过1 m,呈断续透镜状分布。

点坝砂体垂向上具有粒度向上变细、沉积规模向上变小的典型复合正韵律特征。一般层序底为冲刷面,冲刷面之上偶见泥砾沉积,向上由中、细粒度渐变为细、粉砂岩至纯泥岩,表现为明显的二元结构;自下而上具平行层理、槽状交错层理、爬升层理、波纹层理,顶部为具水平层理的泥岩。自然电位、自然伽马测井曲线以钟型为主,也有箱型、钟型箱型组合型,微电极曲线(ML1和ML2)幅度差大(图2a)。

2.1.2 溢岸砂体

溢岸砂体分为天然堤,决口扇和决口水道沉积,河漫砂等。

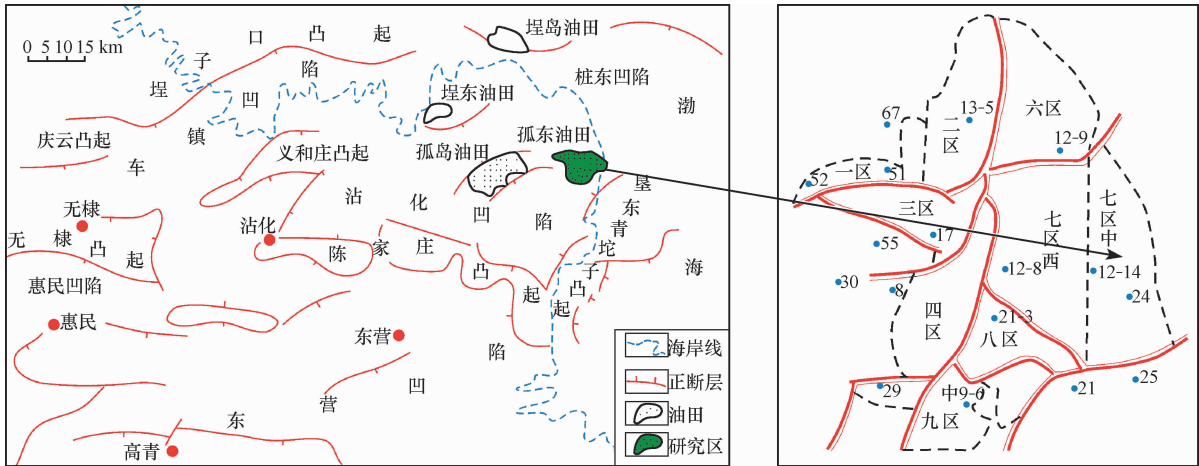


图1 孤东油田七区西构造位置

Fig. 1 Location of structures in the west unit of Block 7 of Gudong oilfield

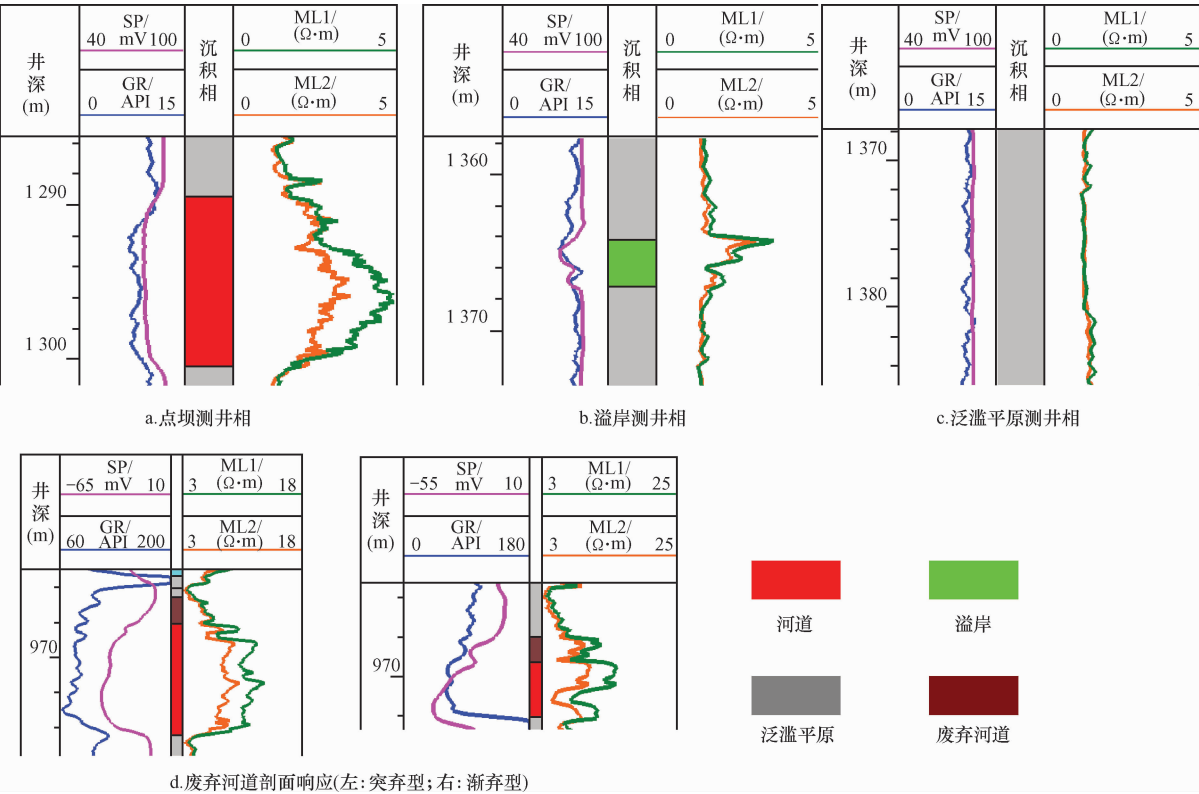


图 2 曲流河各沉积微相测井响应特征

Fig. 2 Log responses of micro-facies in meandering river deposits

1) 天然堤

由于洪水期河水漫越河岸后,流速突降,携带的大部分悬移物质在岸边快速沉积下来而形成。平面上主要分布于曲流河道的凹岸和顺直河道的两侧,分布面积较小,以小朵状、小豆荚状镶于河道砂体的边部。为粉砂岩、泥质粉砂岩与粉砂质泥岩的互层沉积。在自然电位曲线上呈指形或齿化钟形,微电极曲线表现为幅度差较小。

2) 决口扇和决口水道

决口扇和决口水道是在洪水能量较强时,河流冲裂河岸向河间洼地推进过程中沉积下来的扇形或水道形沉积体,与天然堤共生。粒度介于河道和天然堤沉积之间,在电测曲线上表现为齿化漏斗形及底部突变、顶部突变或快速渐变的低幅钟形,幅度差小。

3) 漫溢砂

漫溢砂沉积是洪水期水流将泥沙冲刷到低洼处滞留所致。一般因地形变化平面上表现为大片的泛滥平原泥岩中,零星分布土豆状的薄砂体,在自然电位曲线上呈指形或齿化钟形,微电极曲线表现为幅度差小。

各种溢岸砂体在测井曲线上的响应相似(图 2b),但平面展布特征不同。因此,平面组合显得尤为重要。对于溢岸砂体,其中天然堤呈窄条状紧邻河道边部(特别是凹岸),决口扇在平面上多为扇形,根部较细,扇缘部分可以扩展到河道周围两个井距以外,决口水道在平面上呈长条带状。如果决口扇根部周围有一个井距之内的溢岸沉积,则该河道边部同时存在天然堤和决口扇。但是决口扇和决口水道不能在河道边部同一个位置存在。以孤立透镜状砂体发育的溢岸砂体视为河漫砂沉积。

2.1.3 泛滥平原

岩性以泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩为主,含植物碎屑。在电测曲线上,自然伽马高,自然电位近于基线,微电极幅度低,基本无幅度差(图 2c)。

2.1.4 废弃河道

河道在演变过程中,整条河道或某一段河道丧失了作为地表水通行路径的功能时,原来沉积的河道就变为废弃河道平面上废弃河道的位置,一定与河道相毗邻,位于单一河道砂体的凹岸边部。废弃河道分为两种,即突弃型和渐弃型。在

剖面上废弃河道上半部有两种充填形式,即由泥或砂泥交互沉积充填,下部与河道沉积类似,测井曲线变现为底部自然电位和自然伽马曲线呈箱形或钟形,上部近基线或呈锯齿状(图 2d)。

废弃河道仅靠测井相是很难识别的,必须结合剖面、平面组合、砂体厚度等值图、沉积微相的平面组合及多视角的沉积相剖面图综合分析,从而圈定废弃河道的分布范围。

2.2 沉积微相展布特征

根据上述各单一沉积微相的测井响应特征,结合曲流河沉积模式,划分出研究区各小层的平面沉积微相图(图 3)。研究分析,Ng⁵⁽²²⁾ 小层为主

力层中发育点坝砂体较典型的小层,根据高分辨率层序地层学分析,Ng⁵⁽²²⁾ 主要是在基准面旋回上升的早期,河流的侧向摆动迁移能力较强的情况下形成的。物源方向为东北方向,曲流带砂体宽度 1 100 ~ 1 400 m,两侧发育有决口扇和决口水道,仅局部发育天然堤,局部还发育有零星的漫溢砂。点坝砂体是曲流带砂体的主要部分,坝砂体是河道砂体内部厚度最大的,因此在砂岩等厚图上一一般呈透镜状。废弃河道代表点坝的结束,因此,废弃河道部位即为点坝的边界。曲流带中废弃河道连续发育,再结合砂体厚度图,在研究区 Ng⁵⁽²²⁾ 小层曲流带砂体中识别出两个点坝,即点坝 A 和点坝 B。

3 点坝内部结构

在点坝识别的基础上,进行点坝内部精细解剖,主要分析点坝内部侧积体和泥质侧积层的分布,实际上是以曲流河点坝侧积体定量模式作为指导,应用地下多井资料进行模式拟合的过程。

3.1 点坝内部构型单元模式认知

点坝内部构型主要研究泥质侧积层的倾向,倾向角,间距以及单一侧积体的水平宽度。

1) 侧积层倾向

侧积层是在洪水过后侧积面上的细粒沉积物,卫星照片上众多曲流河现代沉积显示,点坝内部侧积层的侧积方向指向的凹岸。从研究区 Ng⁵⁽²²⁾ 单层点坝分布图可以看出,A 点坝的侧积层倾向指向西北,B 点坝的侧积层倾向指向东南。侧积层的倾向角可以有助于确定两口井的侧积层是否为同一侧积层,对点坝内部构型解剖有重要的指导作用。

2) 侧积层倾向角

在研究区存在很多的更新井,与老井距离很近(俗称对子井),一般小于 50 m,有的甚至不到 20 m,这样两口井之间同一侧积层比较容易识别,根据两口井侧积层高程差异及井距,可以计算侧积层的倾向角,研究中采用标准层顶拉平的方法,消除了后期构造运动对侧积层高程的影响,使得计算得到的侧积层倾向角真实可信(图 4)。

tgθ = Δh/d

(1)

式中:θ 为侧积层倾向角,(°);Δh 为两口井侧积层高程差,m;d 为井距,m。

选择研究区对子井 48 - 335 井和 48N335 井

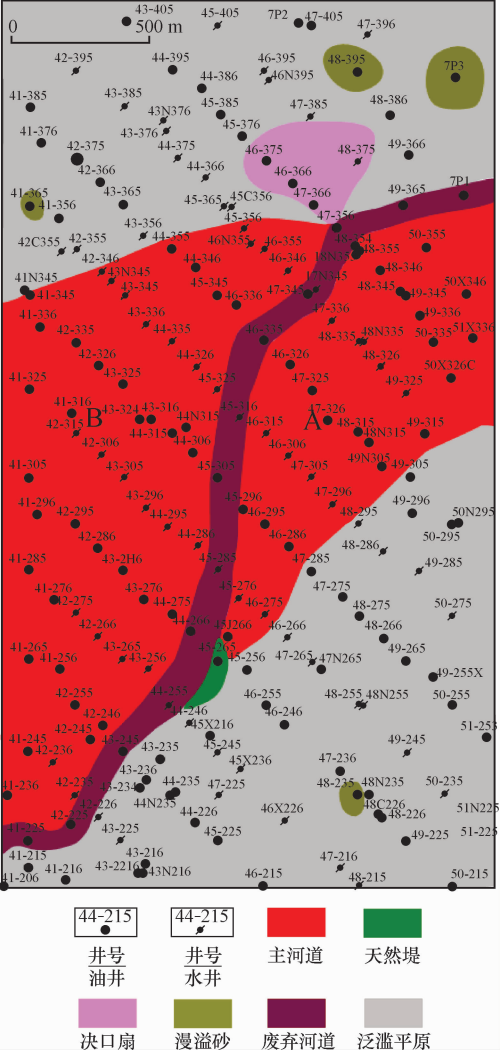


图 3 孤东油田七区中 Ng⁵⁽²²⁾ 单层沉积微相展布
Fig. 3 Micro-facies distribution of layer Ng⁵⁽²²⁾ in the middle unit of Block 7 in Gudong oilfield

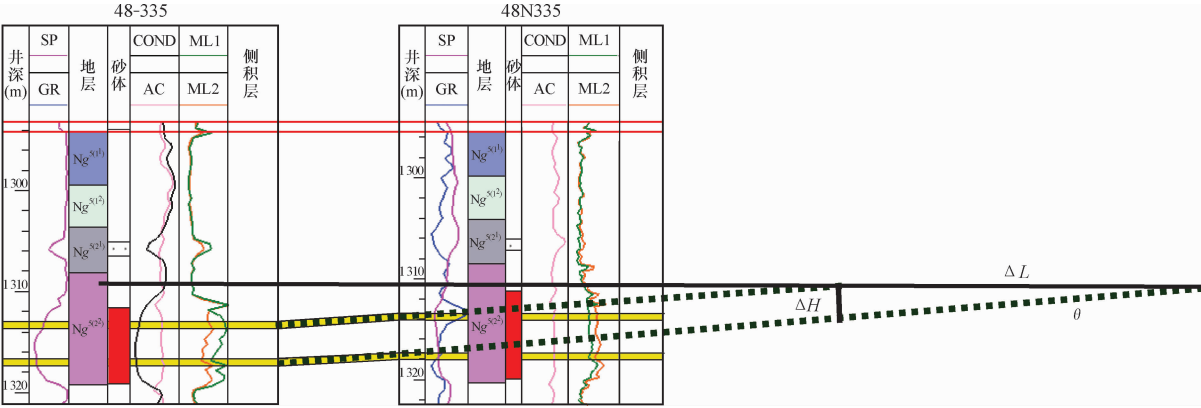


图 4 利用对子井资料计算侧积层间距(48-335 井和 48N335)

Fig. 4 Calculation of spacing between lateral-accretion layers by well-pair data

来分析(图 4),两井的曲线形态相似,存在两个近平行的侧积层,两井的间距为 13.8 m,同一侧积层在两井的高程差为 0.88 m,应用公式(1)可以计算出侧积层倾角为 3.6°。经过多口对子井进行计算,得出研究区侧积层的倾角范围为 3°~5°。

3) 侧积层间距

侧积层的间距为两个平行侧积层与砂体顶面的交点间距离。同样可以用对子井资料推算侧积层的间距。由图 4 可知,侧积层的间距与井上这两个侧积层所夹的侧积体的厚度和侧积层倾角有关系。由式(2)可以求出侧积层的间距:

$$\Delta L = \Delta H / \tan \theta \quad (2)$$

式中: ΔL 为侧积层间距,m; ΔH 为侧积体厚度,m; θ 为侧积层倾角,(°)。

用对子井 48-335 井和 48N335 井来计算,两个侧积层之间的侧积体厚度为 2.8 m(图 5),侧积层倾角为 3.6°,由上述公式得到该井组两侧积层的间距为 140 m。

4) 单一侧积体水平宽度

单一侧积体的水平宽度是指单一侧积体在水平面的投影距离,Leeder 提出的关于河流满岸深度、河流满岸宽度以及单一侧积体水平宽度之间的经验公式,计算出研究区单一侧积体水平宽度约为河流满岸宽度的 2/3。上文已经在研究区通过河流的满岸深度推算出满岸活动河道宽度为 230 m 左右,因此可以进而推算出单一侧积体的水平宽度为 160 m 左右。

3.2 动静结合的井间构型预测

3.2.1 构型单元及界面的单井识别

孤东油田河道砂体内部夹层主要分为 3 种

类型,即泥质夹层、钙质夹层及物性夹层。这 3 种夹层中以点坝内部的泥质侧积层分布最为广泛,分布形式及产状最为复杂。本次重点对其进行详细研究,岩电标定结果显示研究区内泥质侧积层较薄,一般为 0.2~0.8 m,测井曲线表现出微电极曲线明显回返,幅度差减小,自然伽马曲线见回返,自然电位曲线轻微回返,而自然电位和自然伽马曲线响应不明显,只能作为辅助的电性标志。根据测井响应特征在单井上识别侧积体、侧积层。

3.2.2 模式与井的拟合

通过上面的分析建立了孤东油田七区中 $\text{Ng}^{5(22)}$ 单层点坝内部定量模式,以此模式为指导,以井资料为依据,建立了点坝 A 侧积体分布静态模型,借助于生产测试和动态分析的结果,采用模式拟合的思路对 $\text{Ng}^{5(22)}$ 单层的点坝进行精细解剖。充分考虑上述条件,选择了重点解剖区 47-336 井区,该井区位于点坝 A 内部。

对点坝 A 内所有井进行单井侧积层的解释,应用上述定量模式进行剖面侧积层的展布(图 5)。通过上面的分析可以看出,在长剖面上都发育 8 个侧积层,即在 A 点坝中发育有 9 个侧积体,按照形成时间先后顺序依次给各个侧积层分别编号 1,2,3,⋯,8,给各个侧积体编号 1,2,3,⋯,9。

对 47-336 井组 2001 年 3 月进行示踪剂监测试验(图 6),在 30 天内周围检测的油井只有 46-326 井见到了示踪剂显示,其他油井均未见到示踪剂显示。47-336 与 46-326 井注采强对应,两口

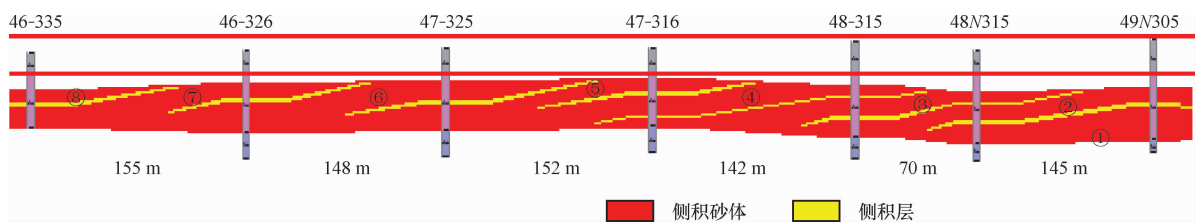


图5 孤东油田七区中点坝侧积体联井剖面

Fig. 5 Well-tie profile of point bars in the middle unit of Block 7 in Gudong oilfield

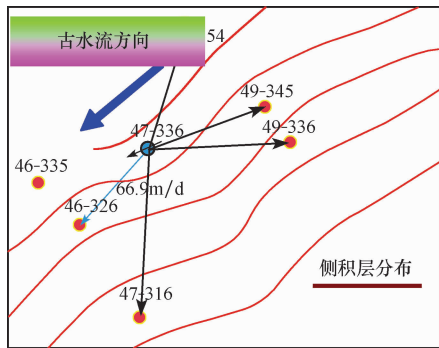


图6 示踪剂监测区渗流速度及渗透率分布

Fig. 6 Distribution of permeability and Darcy velocity in the tracer-monitoring area

井Ng⁵⁽²²⁾层均钻遇了7号侧积体(图7),且46-326井在注水井的顺古水流方向,因此油井见效。47-316和49-336两口井与注水井47-336井之间均有侧积层遮挡,采油井与注水井Ng⁵⁽²²⁾层砂体均没有在一个侧积体内可能是油井不见效的

最主要原因。48-354与49-345(图8)两口井和注水井47-336井均部分含7号侧积体砂岩,但两口油井在监测期内均未见到示踪剂,两口油井在水井的逆古水流方向可能是导致油井不见效的最主要原因。

经分析,3口见效井均与注水井的侧积体对应,且在顺古水流方向,在同样为顺古水流方向时,有侧积层遮挡的示踪剂见效速度慢,尤其是逆侧积层方向注示踪剂,见效速度非常慢,因此侧积层的遮挡是影响见效速度大小的主要原因。

在点坝整体格架控制下,参考单井侧积层的识别结果,以点坝的定量模式为指导(侧积层倾向北西,侧积层倾角3°~5°,单一侧积体水平宽度160 m左右,侧积层间距140 m左右),对目标区进行精细解剖,建立了点坝内部侧积体和侧积层的分布模型(图9)。

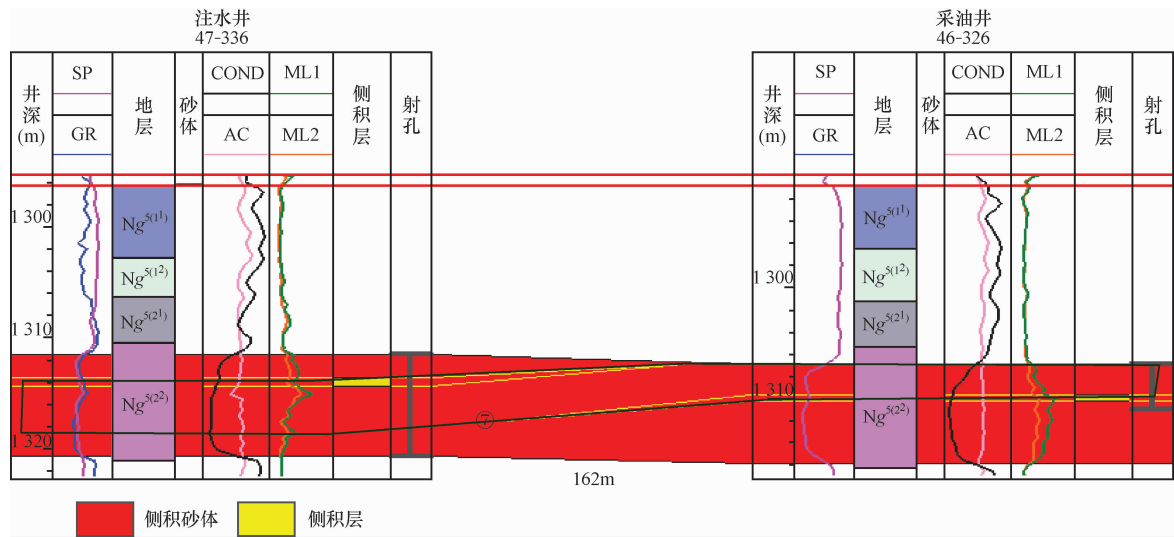


图7 47-336和46-326井剖面侧积层分布

Fig. 7 Distribution of lateral-accretion layers on the profiles crossing 47-336 and 46-326 wells

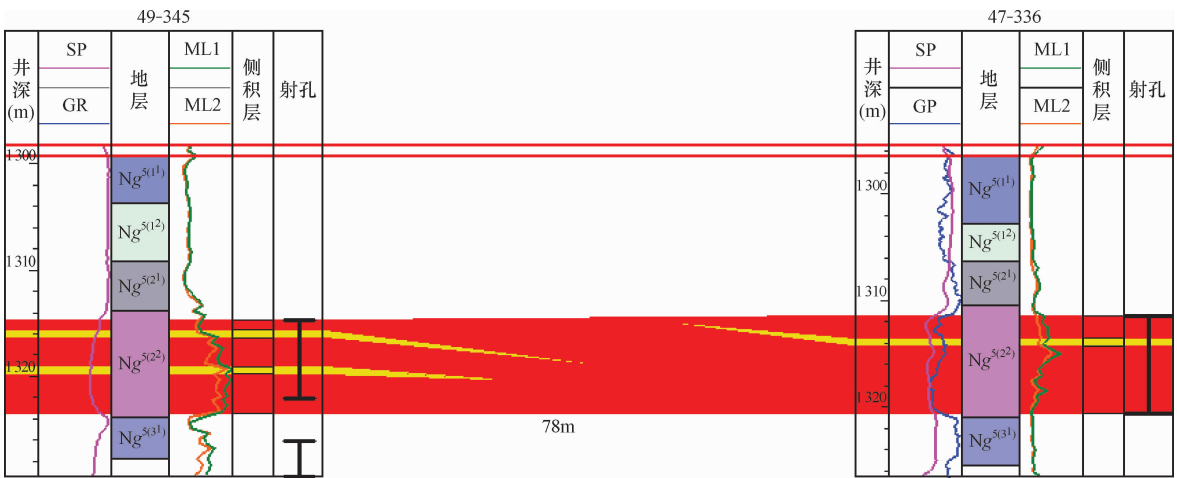


图 8 49-345 和 47-336 井剖面侧积层分布

Fig. 8 Distribution of lateral-accretion layers on the profiles crossing 49-345 and 47-336 wells

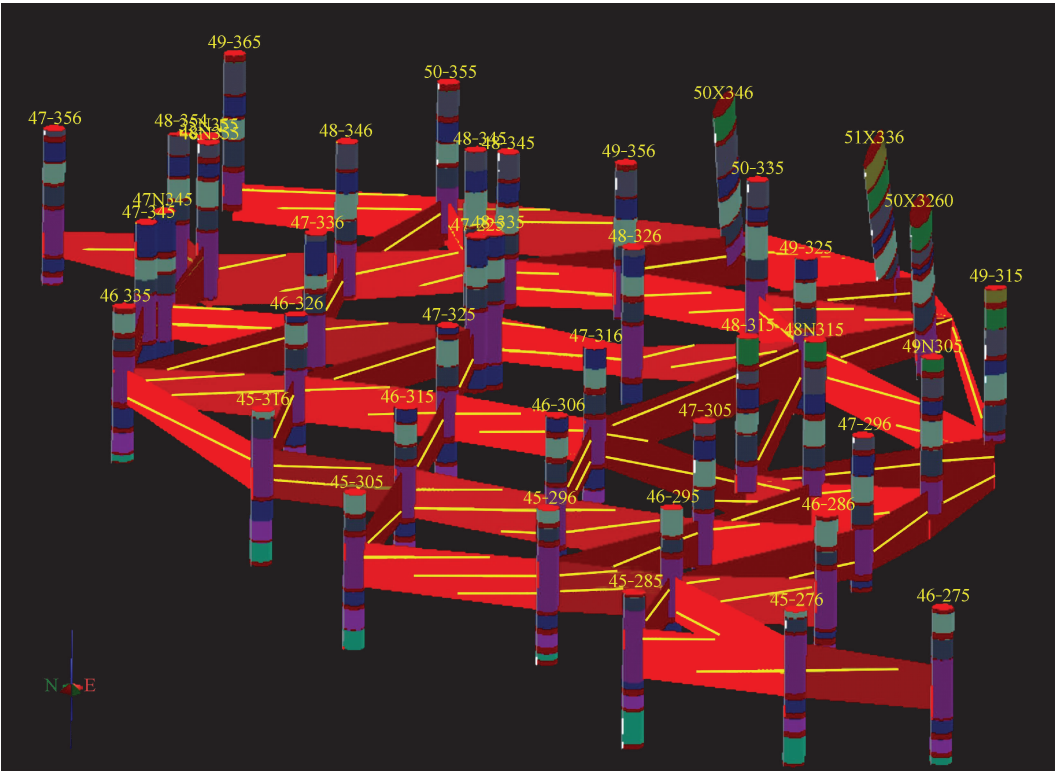


图 9 七区中 $Ng^{5^{22}}$ 层 A 点坝重点井区构型栅状显示

Fig. 9 Fence diagram of the configuration of key wellblocks in the point bar A of layer $Ng^{5^{(22)}}$ in the middle unit of Block 7 in Gudong oilfield

4 点坝内部剩余油分布规律及挖潜措施

曲流河点坝中主要分布斜交层面的夹层,这种夹层在很大程度上控制着剩余油的分布^[9],严重地制约着生产开发。本次研究从点坝构型分析

出发,在解剖区静态地质模型的基础上,综合开发生态资料及测试资料,总结了研究区点坝内部的 4 种剩余油分布模式(图 10)。1) 逆侧积层倾向驱油,注采弱对应(图 10a)。注水井中上部射孔,采油井中下部射孔,注采井段弱对应。剩余油主要在靠近采油井一侧的砂体中上部富集。2) 逆侧积层倾向驱油,注采强对应(图 10b)。注水井、采油

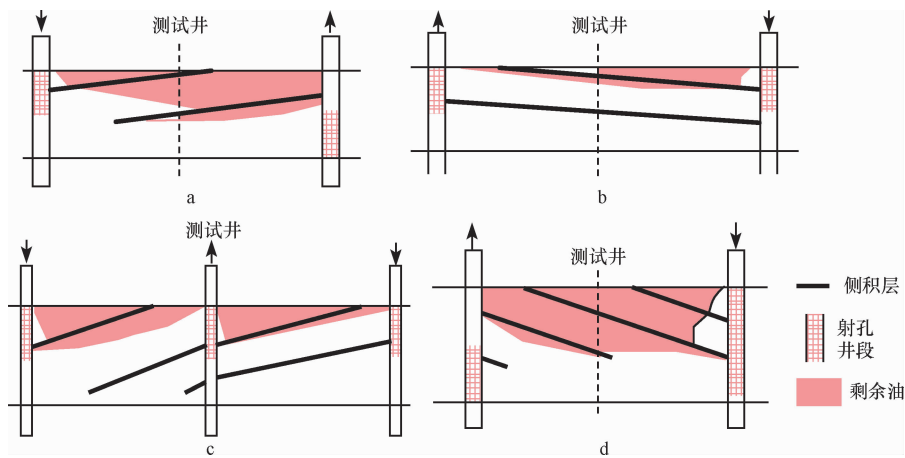


图 10 剩余油分布模式(点坝砂体内部)

Fig. 10 Distribution patterns of remaining oil (inner of point bar sandbodies)

井均是中上部射孔,注采井段强对应。剩余油主要在侧积层遮挡的上部侧积体中富集。3)两注一采模式,注采对应差(图 10c)。注水井和采油井都是上部射孔,一侧注水井顺侧积层倾向驱油,由于侧积层存在,弱注采对应,上部剩余油富集;另一侧逆侧积层倾向驱油,弱注采对应,上部剩余油富集。4)逆侧积层倾向驱油,注采强对应(图 10d)。注水井全井段射孔,采油井中上部射孔,注采井段强对应。由于侧积层的遮挡作用,剩余油主要在靠近采油井一侧的侧积层上部砂体中富集。

点坝砂体表现为“半连通体”特征,由于底部渗透率较高,注入水优先沿底部流动,而点坝砂体中上部由于受到侧积夹层以及韵律的影响剩余油非常富集,针对这部分剩余油可以采用水平井、堵水调剖以及老井补孔等挖潜措施。如孤东油田实施水平井挖潜,共实施水平井 48 井次,其中厚油层顶部挖潜 21 井次、薄油层挖潜 7 井次、稠油挖潜 20 井次,累计增油 48.6×10^4 t;指导实施七区西 63+4 厚油层挖潜满、七区中稠油环转变开发方式、七区西馆下开采底水油藏、七区西 52-54 厚油层顶部挖潜,四区 5-6、八区 5-6 注采完善、七区西第一套和七区中局部完善、九区等单元稠油井网加密等 13 个老区调整完善及综合治理挖潜,累计增油 48×10^4 t;直井、完善井及侧钻井等高效井挖潜剩余油共计 112 井次,累积增油 6.2×10^4 t;实施堵水调剖 2 个单元,水井调剖 76 井次,实施防砂堵水 88 井次,累积增油 6.8×10^4 t;实施老井补孔、卡改、封堵炮眼等措施 57 口,累积增油 5.2×10^4 t。

5 结论

- 1) 总结了各沉积微相的测井响应特征,结合曲流河沉积模式,划分了平面沉积微相,识别出 $Ng^{5(2)}$ 为单一宽条带状河道,河道带宽约 1 100 ~ 1 400 m,并根据点坝识别特征,识别出两个点坝。
- 2) 在点坝识别的基础上,应用经验公式、对子井以及示踪剂监测等资料确定侧积层定量分布模式,预测单一侧积体宽度 160 m 左右,侧积层倾角为 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$,侧积层间距 140 m 左右,在单井侧积层解释和点坝内部定量模式指导下,建立点坝侧积体和侧积层分布的构型模型,并应用示踪剂资料进行了验证,最终建立了点坝内部典型井组三维储层构型模型,再现了侧积体和泥质侧积层的空间分布特征。
- 3) 指出了曲流河点坝内部剩余油分布规律及挖潜方向,由于泥质侧积层的遮挡,剩余油主要富集于点坝及侧积体中上部,针对这些剩余油可以采用水平井、堵水调剖以及老井补孔等挖潜措施。

参 考 文 献

- 1 Miall A D. Architectural elements analysis;a new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. Earth Science Reviews, 1985,22(2):261-308
- 2 Miall A D. The geology of fluvial deposits[M]. Berlin Heidelberg: Springer Verlag,1996. 75-178
- 3 薛培华. 河流点坝相储层模式概论[M]. 北京:石油工业出版社,1991. 55-63
- 4 曹跃华,张春生,刘忠保,等. 沙滩子高弯曲流点坝沉积特征

[J]. 石油与天然气地质,1995,16(2):184~189

5 马世忠,杨清彦. 曲流点坝沉积模式、三维构形及其非均质模型[J]. 沉积学报,2000,18(2):241~247

6 尹燕义,王国娟,祁小明. 曲流河点坝储集层侧积体类型研究[J]. 石油勘探与开发,1998,25(2):37~40

7 Leeder M R. Fluvialite fining-upwards cycles and the magnitude of palaeochannels[J]. Geological Magazine,1973,110(3):265~276

8 Lorenz J C,Heinze D M,Clark J A,et al. Determination of width of meander-belt sandstone reservoirs from vertical downhole data, Mesaverde Group,Piceance Creek Basin,Colorado[J]. AAPG Bulletin,1985,69(5):710~721

9 陈德坡,王延忠,柳世成,等. 孤东油田七区西馆陶组上段储层

非均质性 & 剩余油分布[J]. 石油与天然气地质,2004,25(5):539~543

10 李宏伟,袁士义,朱怡翔,等. 河流相地层相分异与沉积物体积分配规律[J]. 石油与天然气地质,2005,26(3):356~360

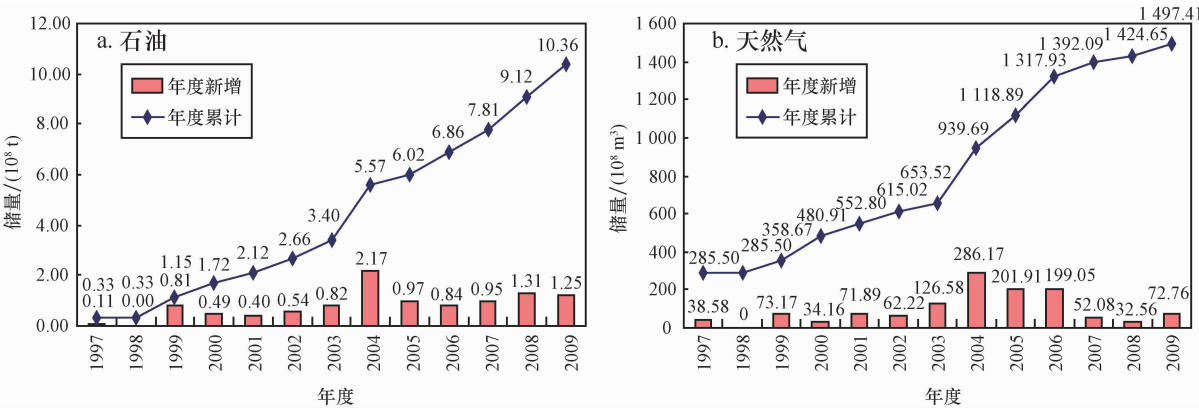
11 姜建伟. 南襄盆地泌阳凹陷高成熟开发区隐蔽油藏识别技术[J]. 石油与天然气地质,2008,29(3):361~364,390

12 杨少春,王瑞丽. 不同开发时期砂岩油藏储层非均质三维模型特征[J]. 石油与天然气地质,2006,27(5):652~659

13 李林祥. 孤东油田七区西 Ng⁵⁽²⁺³⁾ 储层内部构型[J]. 油气地质与采收率,2008,15(4):20~23

(编辑 陈喜禄)

中石化西北油田分公司探明储量增长趋势



中石化西北油田分公司 1997—2009 年油气三级保有储量

