

文章编号: 1001-3873(2010)03-0284-04

曲流河单砂体精细刻画在老油田二次开发中的应用

周新茂, 胡永乐, 高兴军, 张 征, 陈建阳, 王继强

(中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083)

摘 要: 点砂坝是曲流河单砂体的基本成因单元, 废弃河道和末期河道可以控制点砂坝砂体发育的规模及形态, 不同类型废弃河道内部的泥质沉积可以遮挡其两侧点砂坝, 使其相互间呈不连通或弱连通状态。曲流河单砂体刻画的核心是对末期(废弃)河道的识别, 以及确定河道与点砂坝间的组合配置关系。通过建立废弃河道的测井、地震识别标志, 辅以动态监测资料, 进行了地下曲流河单砂体精细刻画, 可为认识油藏提供精确的地质模型, 从而有助于解决注采矛盾, 并形成对剩余油富集规律的新认识。

关键词: 曲流河; 单砂体; 末期河道; 废弃河道; 点砂坝; 剩余油

中图分类号: TE343

文献标识码: A

1 曲流河单砂体基本特征

曲流河点砂坝砂体是一种重要的储集层, 国内外学者对此作过大量研究^[1-9]。点砂坝是河流侧积作用形成的, 其形态及规模受河流曲率及流量的控制, 地下末期河道或废弃河道是单个点砂坝的边界。曲流河砂体沉积是多个点砂坝的砂体组合, 它们在成因上受控于主流水道(末期河道)和废弃河道的发育情况。曲流河点砂坝之间发育的连续河道沉积是有效的遮挡条带, 能部分或全部遮挡两侧点砂坝砂体内流体的运移互换。

1.1 废弃河道的组合模式

在曲流河现代沉积认识基础上, 总结归纳单水流作用形成的废弃河道与主流水道形成不同的组合模式, 总体可分为串沟型(“C”型)、颈切型(“O”型)和决口改道型(“S”型)3大类。

(1) 串沟型废弃河道组合 串沟是洪水漫滩时在点砂坝低洼处冲刷形成的小型水道, 随着冲刷加剧, 串沟水流逐渐增大, 当由大部水体流经串沟时, 原河

道逐渐淤积抬高并断流, 形成自然串沟取直, 成为串沟型废弃河道组合(图 1a)。在平面形态上以“C”型为主, 此废弃河道曲率相对较小。

(2) 颈切型废弃河道组合 在曲流河发育过程中, 河流侧向迁移使河床曲率不断增大, 处于凸岸的曲流颈, 由于弯道力和横向环流的作用而遭受侵蚀逐渐变窄, 最后在一定的动力条件下河流自然截弯取直, 原来弯曲的河道被废弃, 形成颈切型废弃河道组合。在平面上表现为以“O”型为主的组合形态(图 1b), 该废弃河道曲率相对较大。

(3) 决口改道型废弃河道组合 此种类型废弃河道, 在洪水期河流水动力增强, 在曲流段发生决口, 水体沿相对低洼的区域向前流进形成新的河道, 原河道被完全废弃, 形成决口改道型废弃河道组合(图 1c)。在平面上以“S”型为主, 废弃河道延伸距离长, 一般由多个曲颈组成。

1.2 废弃河道及其遮挡性

通过分析内蒙古东部的海拉尔河牙克石段不同

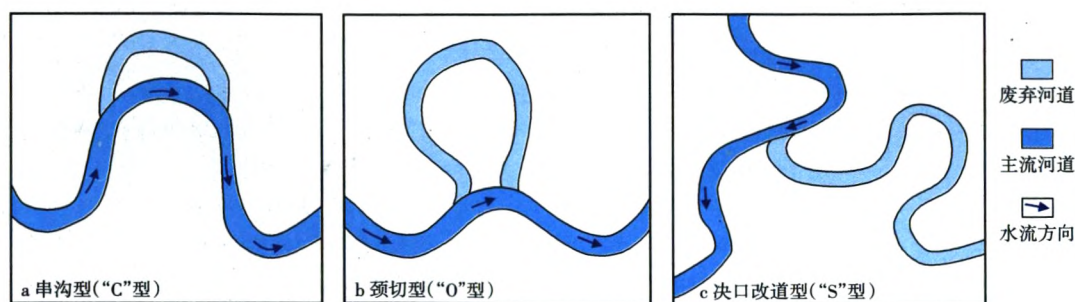


图1 不同废弃河道组合类型

收稿日期: 2010-01-11

基金项目: 中石油科技部项目(2008B-0801)

作者简介: 周新茂(1982-), 男, 山西孝义人, 在读博士研究生, 石油地质, (Tel)010-83598447(E-mail)maoge0401@hotmail.com.

年代的演化特征,从沉积机理方面分析废弃河道的遮挡性。图2是根据1988年、1999年及2008年的卫星图片勾画的海拉尔河牙克石段河道演化图,图像显示

本段主流河道河势基本稳定,而单个废弃河道的形态特征则有明显的变化。根据废弃河道的形态变化及沉积特征,将废弃河道分为渐弃型和突弃型2种。

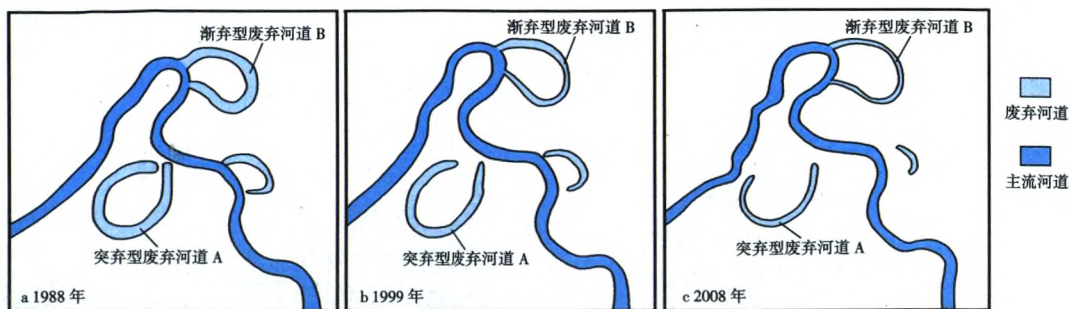


图2 不同年代海拉尔河牙克石段河道演化

(1) 突弃型废弃河道(A) 不同年代图片显示,本段河道废弃后与主流河道始终呈隔绝状态,形成完全封闭的静水环境(牛轭湖),只有在洪水期才能接收来自主流河道的河漫细粒沉积,使废弃河道A可容空间变小,水体整体变浅。同时河道A两废弃端口水线持续后退(牛轭湖逐渐减小),与主流河道距离不断增加。根据趋势推导,废弃河道A与主流河道将一直呈隔离状态,直至被全部充填。这种废弃后与主流河道不再相通的河道特征,属于典型的突弃型废弃河道。突弃型废弃河道中的泥岩沉积,在平面上形成环状围墙式的岩性遮挡条带。

(2) 渐弃型废弃河道(B) 图2显示1988年在废弃河道A曲颈处已经截弯取直,河水主体由东西流向转为南北流向。但废弃河道B南北两端口一直与主流河道相连,其内部水体与主流河道水体上部相通并未隔绝。所以废弃河道B内一直有较弱的活动水体流动,可以连续接收来自主河道分流水体携带的细粒物质沉积,使河道整体变窄而逐渐废弃,但是在整个过程中废弃河道B的水体长度基本不变,与主流河道始终保持连通状态,属于典型的渐弃型废弃河道。其以悬浮组分为主、夹杂少量跳跃组分的细粒沉积,比周围点砂坝砂体粒度细,泥质含量也较高,在平面上形成环状的以物性-岩性为主的遮挡条带。

以上两种类型废弃河道都可以形成遮挡条带,但二者之间存在明显差异。首先是遮挡条带内岩性的差异,其次是发育过程中平面形态的差异。突弃型废弃河道在整个消亡过程中以牛轭湖的形态发育;而渐弃型废弃河道基本是以水道形式存在,基本不形成或短暂时间内为牛轭湖形态。

总之,废弃河道中的非渗透或低渗透的泥质或粉砂质沉积形成的遮挡条带,将曲流带砂体分割成以点砂坝砂体为单元的多个单一砂体。废弃河道两侧点砂坝间呈弱连通或不连通状态。

1.3 废弃河道的地震识别标志

曲流河沉积点砂坝砂体发育厚度小、体积小、横向变化快;泥岩与砂岩波阻抗的差异及泥砂组合特征会导致地震反射波波形的差异。根据曲流河岩性组合特点,建立地质模型及给定相应的密度、速度参数,正演得到的地震剖面显示同相轴波形特征变化。

模型中(图3a)纵向上砂泥接触界面,由于波阻抗的差异会形成较强的反射界面,点砂坝砂岩沉积对应一条较强的同相轴。而模型中废弃河道附近波阻抗差异非常小,难以形成反射界面,表现为地震波振幅减小、波形变缓、反射界面模糊不清(图3b)。这种大片砂岩夹持的泥岩条带的地质特征,通过正演在地震剖面上表现为强同相轴的不连续、振幅的减小,可以形成很好的识别标志。

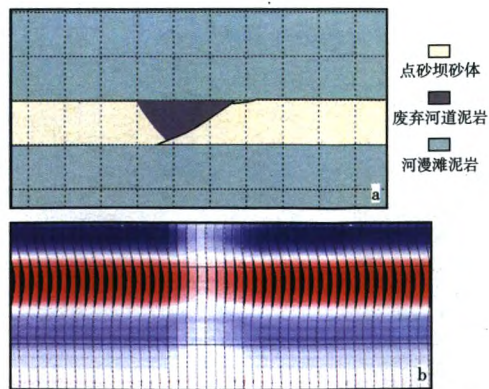


图3 典型曲流河的地质模型(a)和地震正演结果(b)示意

1.4 废弃河道的测井识别标志

废弃河道不同废弃方式形成的沉积体,在测井响应上有共同点,其底部都发育有小套薄层的细粒砂体,而在上部不同废弃类型有不同的响应特征。

渐弃型废弃河道,持续接受粒度相对突弃型较粗的细粒沉积,其自然电位及自然伽马曲线一般呈塔松状的正韵律响应(图4a)。突弃型废弃河道,其内部水体与主流河道呈隔绝状态,只有洪水期才能接收到细

粒沉积,形成以泥质为主夹有少量粉砂质的沉积体,其测井曲线为近泥岩基线的小型锯齿状(图4b)。

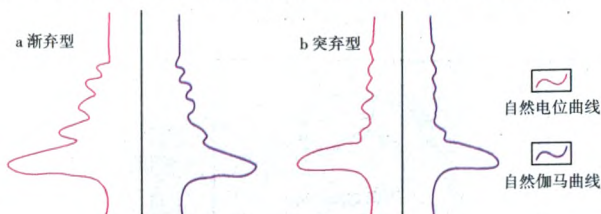


图4 不同类型废弃河道测井响应特征

在分析废弃河道单井上的测井响应特征基础上,结合联井剖面上砂体变化及平面上河道演化规律,精细描述废弃河道与点砂坝砂体的组合关系。

2 曲流河单砂体精细刻画的应用

2.1 曲流河单砂体精细刻画技术流程

在小层的精细化和对比基础上,以现代曲流河沉积模式为指导,以砂体厚度等值线图为依托,测井相控制,地震资料约束,结合废弃河道地震响应,完成曲流河单砂体的精细刻画。在现有认识基础上,与动态充分结合,不断修正上述认识,达到动静统一。

2.2 曲流河单砂体精细刻画

简单废弃型曲流河沉积,点砂坝砂体呈透镜状,河道连续发育类型简单(图5a),单砂体的刻画主要是对点砂坝砂体边界精细描述。中等复杂废弃型曲流河沉积,河流侧向迁移频繁废弃,多期点砂坝砂体平面拼接叠合,形成大规模连片砂体(图5b);其单砂体刻画主要是对砂体内部沉积界面(末期或废弃河道)

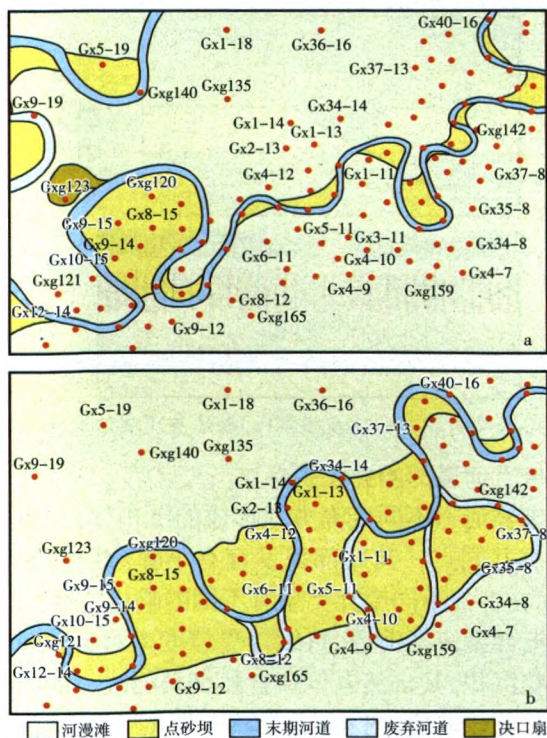


图5 港西二区 N_2m_{III1} 单砂体(a)和 N_2m_{III2} 单砂体(b)分布

精细刻画,优化组合末期河道和废弃河道的平面展布。

2.3 曲流河单砂体间连通性验证

如前所述,点砂坝间末期(废弃)河道沉积对流体可以起到遮挡作用,曲流河单砂体间是不连通或弱连通的。所以被末期(废弃)河道分隔成相互独立的点砂坝砂体,虽然叠置连此,但互不连通,可以形成相对独立的油水系统。

如港西二区 N_2m_{III4} 单砂层西 8-15 井区(图6),原认为断层左侧砂体为一完整油藏,单砂体刻画后认为其被末期河道分隔为 2 个油藏,油藏之间不连通。现场通过示踪剂监测,验证了地质上的新认识。在西 11-15 井与西 12-14 井该层单注示踪剂,监测到西 11-14 井、西 12-16 井、港 121 井有示踪剂显示,末期河道东侧的西 10-14 等井无示踪剂显示。证实此处单砂体间呈不连通状态。

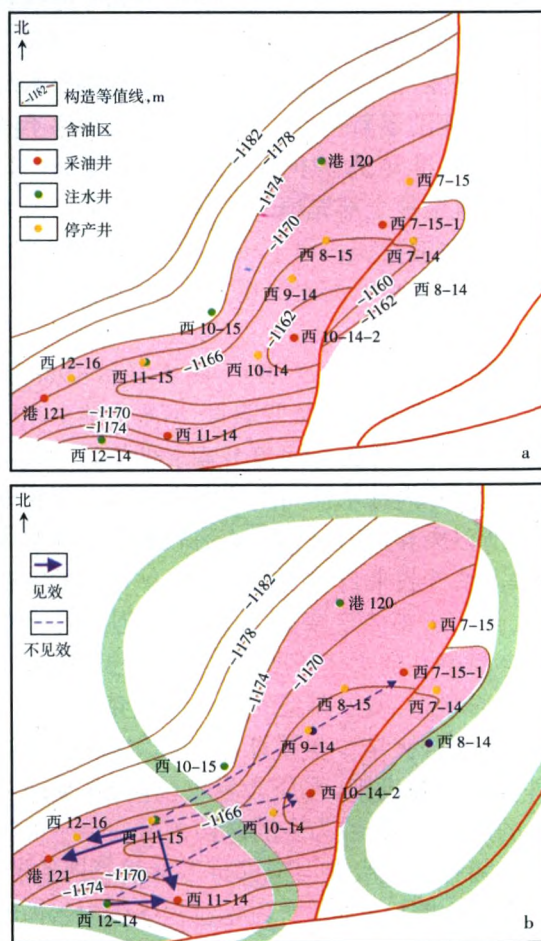


图6 港西二区 N_2m_{III4} 单砂层主力油藏单砂体刻画前(a)后(b)对比及示踪剂测试结果验证

2.4 单砂体刻画重新认识油藏优化注水

N_2m_{II2} 单砂层港 112 油藏原为东西向展布的条带状油藏。通过单砂体刻画研究认为,在西 38-10-1 井处发育废弃河道沉积,砂体被分割为东西两个点砂坝砂体,分别是港 112 点砂坝和港 39-9 点砂坝,形成 2 个相互独立的油藏。经过动态验证,港 112 井区单

砂体累计产油 0.63×10^4 t, 无注水井, 边底水不发育, 单砂体动态显示能量不足; 右侧单砂体港 39-9 油藏, 由于注水井持续补充能量, 动液面分析油藏能量充足。因此, 要对港 112 井区尽快注水, 补充能量。

2.5 单砂体刻画预测剩余油分布

河流相储集层剩余油分布的控制因素一是注采井网不完善或井网控制不住, 二是由于储集层的非均质性、断层分割造成的不连通性^[7-9]。曲流河单砂体的精细刻画, 在连片砂体内部刻画出的末期河道或废弃河道作为岩性界面, 分割储层造成河道两侧储层的不连通。开发过程中, 末期(废弃)河道遮挡导致注入水驱替不到河道边部, 容易形成剩余油富集区。如 $N_{2m}III_4$ 单砂层西 8-15 井区, 单砂体刻画认识到在西 11-15 与西 10-15 之间发育末期河道沉积, 河道两侧单砂体不连通。在静态认识基础上, 数值模拟结果显示: 西 11-15 井与西 10-15 井注水波及不到河道两侧附近油层, 在末期河道附近形成剩余油的富集区(图 7)。

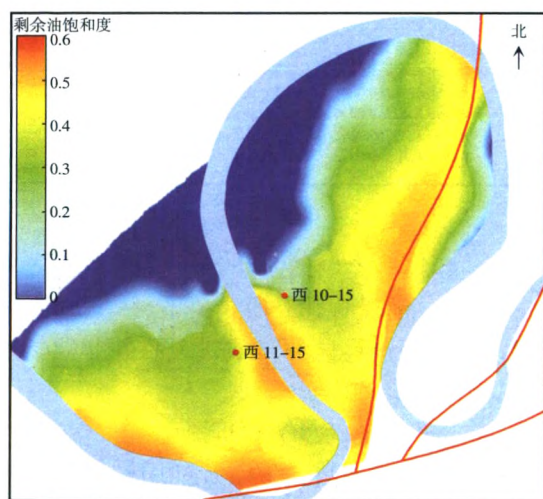


图 7 港西二区 $N_{2m}III_4$ 剩余油分布

3 结论

(1) 将曲流河根据复杂程度划分为 3 种类型, 简单废弃型、中等复杂废弃型和频繁废弃型曲流河沉积。废弃河道发育 3 种不同的组合模式, 分别是串沟型、颈切型和决口改道型。

(2) 废弃河道根据废弃方式的不同, 可以分为突变型和渐变型废弃河道。不同类型废弃河道都发育泥质、粉砂质条带沉积, 能部分或全部遮挡两侧点砂坝砂体内流体的运移互换, 使得曲流河单砂体间呈不连通或弱连通状态。

(3) 曲流河单砂体的精细刻画, 可以为认识油藏提供精确地质模型, 为油藏优化注水和挖潜提供依据。

参考文献:

- [1] Miall A D. Architectural element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. Earth Science Reviews, 1985, 22: 261-308.
- [2] Miall A D. The geology of fluvial deposits[J]. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 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.
- [4] 尹燕义. 曲流河点坝储集层侧积体类型研究[J]. 石油勘探与开发, 1998(4): 37-40.
- [5] 岳大力, 吴胜和. 曲流河点坝地下储层构型精细解剖方法[J]. 石油学报, 2007(7): 99-103.
- [6] 马世忠. 地下曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构研究方法[J]. 沉积学报, 2008(8): 632-639.

Application of Fine Description of Single Sand Body in Meandering River to Old Oilfield Redevelopment

ZHOU Xin-mao, HU Yong-le, GAO Xing-jun, ZHANG Zheng, CHEN Jian-yang, WANG Ji-qiang

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: Point bar is the basic genetic unit of meandering river sand body, which can be controlled by abandoned channel and final channel in scale and configuration. The inner muddy deposit in different types of abandoned channels may keep out their two-side point bars so that creates the disconnecting or weak-disconnecting status between them. The key of single sand body description is to identify the final or abandoned channel and make the assemblage relation clearly between the channel and the point bar. By the establishment of logging and seismic signs for the final channel, integrated with the dynamic monitoring data, this paper presents the fine description of the sand body, which can provide detailed geologic model for reservoir recognition and help to deal with injection-production contradiction, hence obtaining new knowledge of the remaining oil accumulation in it.

Key Words: meandering river; single sand body; final channel; abandoned channel; point bar; remaining oil