

远源砂质辫状河储层构型及控制因素

——以秦皇岛32-6油田为例

乔雨朋, 邵先杰*, 接敬涛, 李士才, 谢启红, 张 珉, 梁武斌

(燕山大学 石油工程系, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 秦皇岛32-6油田Nm II₂₋₄小层属于远源砂质辫状河储层, 依据Maill河流构型分类方案对其进行构型单元的划分, 并分析各级构型单元的成因、特征、识别方法和拼接关系。5级构型单元为整个辫状河道; 4级构型单元包括河道、心滩及河漫滩3个微相单元, 纵向上存在河道-心滩-河漫滩、河道-河道、河道-心滩-河道和河道-心滩-河漫滩-河道4种拼接方式, 横向上存在河道-心滩、河道-河漫滩和心滩-河漫滩3种拼接方式; 在3级构型单元划分中, 把河道单元划分为河底高能滞留单元、下部高能充填单元、中部加积单元及顶部低能废弃单元4个单元; 心滩划分为垂积体和落淤层2个单元, 河道单元内部的4个3级构型单元在纵向上有滞留-充填-加积-废弃-滞留型、滞留-充填-加积-滞留型、滞留-充填-滞留型3种拼接模式; 心滩单元垂积体间的接触关系分为接触型和隔离型2类。储层构型特征的控制因素主要包括地形条件、水体能量及物源供给量、沉积基准面升降和构造运动。

关键词: 远源砂质辫状河 构型单元 拼接模式 控制因素 秦皇岛32-6油田

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2016)01-0046-07

Architecture analysis and controlling factor on far source sandy braided river reservoir—A case study of Qinhuangdao32-6 oilfield

Qiao Yupeng, Shao Xianjie, Jie Jingtao, Li Shicai, Xie Qihong, Zhang Min, Liang Wubin

(Department of Petroleum Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao City, Hebei Province, 066004, China)

Abstract: Nm II₂₋₄ layers in Qinhuangdao32-6 oilfield are a set of far source sandy braided river reservoirs. According to river configuration classification scheme of Maill, the architecture of the braided river reservoir was analyzed. The genesis, characteristics, identification methods and the superposed pattern of all levels of configuration units were discussed. The fifth level configuration unit is the whole braided river; the fourth level configuration unit consists of three microfacies which are channel, channel bar and floodplain, and four kinds of vertical superposed models were proposed as channel-bar-floodplain, channel-channel, channel-bar-channel and channel-bar-floodplain-channel, while three kinds of horizontal contact model were described as channel-beach, channel-floodplain and beach-floodplain. For the third level configuration unit, the channel was divided into bottom energy retention unit, high energy filling unit, accretion unit in the central part and waste low energy filling unit on the top of the channel. The channel bar was divided into vertical accretion body and off silt layer. Three superposed models of the third level configuration unit within the channel are retention-filling-accretion-waste-retention, retention-filling-accretion-retention and retention-filling-retention. The contact relationships of the vertical accretion bodies were divided into contact type and isolation type. The controlling factors of the configuration characteristics are terrain conditions, water energy, provenance supply, the ascending-descending of base levels and tectonic movements.

Key words: far source sandy braided river; configuration units; contact models; controlling factors; Qinhuangdao32-6 oilfield

收稿日期: 2015-11-17。

作者简介: 乔雨朋(1990—), 男, 吉林榆树人, 在读硕士研究生, 从事油藏描述、油气田开发方面的研究。联系电话: 15227296300, E-mail: qiaoyupeng@126.com。

*通讯作者: 邵先杰(1964—), 男, 河南汝州人, 教授, 博士。联系电话: 13933906103, E-mail: shaoxianjie6@qq.com。

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX05038)。

留沉积之上,发育板状交错层理,顶面在洪水期过后落水期表面常沉积一层细粒泥岩、粉砂质泥岩落淤层。河道沉积位于心滩中间,洪水期底部以粗粒砂质冲刷为主,洪峰过后,粗碎屑开始沉积,为槽状交错层理的充填单元;洪水消退的落水期,水体能量减弱,中部以垂向加积为主,为板状交错层理发育的加积单元;枯水期河道接受泥质或泥质粉砂低能充填沉积,为低能废弃单元;河道的测井曲线垂向上常呈钟型。河漫滩泥岩是细粒的溢岸沉积,岩性以泥质粉砂岩、粉砂质泥岩及泥岩为主,自然电位、自然伽马接近于泥岩基线位置。

3级构型单元是对4级构型单元中河道和心滩单元的进一步细分,受洪水、季节等因素影响,河水能量有一个由高到低的过程。洪水初期,水体能量高时,以冲刷作用为主,只能在河床表面上形成很

薄的高能滞留单元,厚度一般小于0.5 m,岩性主要为砾岩和含砾砂岩,发育冲刷构造、块状层理和递变层理。随着洪峰的降落,河道以充填作用为主,形成高能充填单元,厚度一般为1~2 m,岩性为含砾砂岩和粗砂岩,发育槽状交错层理。随着洪水期过后,形成落水期垂向加积单元,厚度为5~8 m,岩性主要为中粗粒砂岩、细砂岩,发育板状交错层理;顶部为废弃低能单元,河道枯水期接受充填,以粉砂、泥岩沉积为主,沉积构造为波纹层理、水平层理。心滩内部发育垂积体和落淤层2个3级构型单元,垂积体为洪水期河水漫过心滩接受垂向加积的一层砂体,而在落水期心滩部位水体变浅,接受细粒沉积形成落淤层。落淤层厚度不同,自然电位、自然伽马回返程度不同,大致分为阶梯式回返、半幅式回返和基线式回返3类(图2)^[10]。

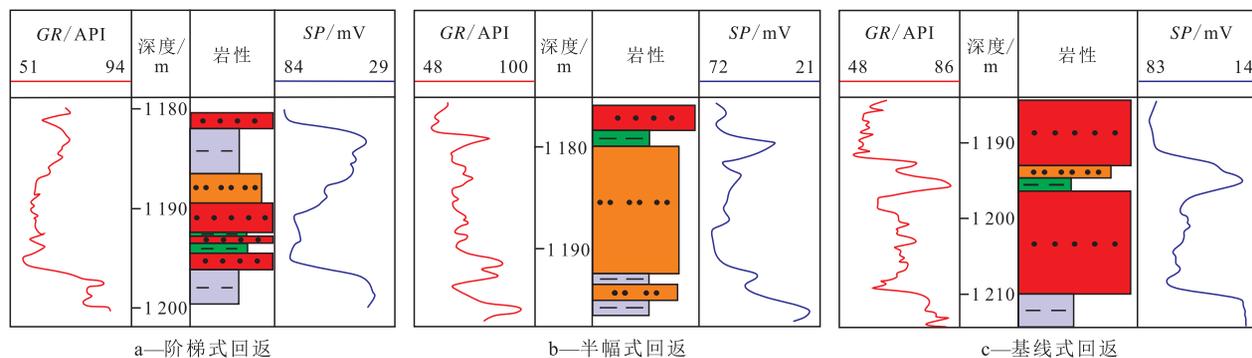


图2 Nm II₂小层落淤层测井响应特征

Fig.2 Well logging response characteristics of Nm II₂ off silt layer

3 4级构型单元拼接模式

不同的沉积方式造就不同的构型组合关系,辫状河砂体沉积受地势、气候、洪水能量等多种因素控制,决定了其复杂的构型特征,内部构型单元在纵向及横向上表现为多种接触关系。构型单元之间相互接触关系对于油水运动起着重要的控制作用^[11],如果2种构型单元是连续过渡的关系,油水可以很容易在2个要素之间通过,如果是突变接触,在2种构型单元之间存在界面,对油水运动会有阻挡作用,影响开发效果。

3.1 纵向拼接关系

河道-心滩-河漫滩型 由于河水的冲刷使纵向心滩顺水流方向发生迁移,向下游加积的心滩叠置在河道底部砂体之上,随着沉积基准面的上升或洪水过后,河道废弃,被砂质或泥质沉积物充填,并在上部覆盖一层河漫滩泥质沉积。这一类型底部始于冲刷面,向上由中砂岩过渡为细砂岩、粉砂岩、

泥岩,厚度为3~6 m,纵向上是一个完整的河道正韵律,测井曲线呈钟型(图3),研究区Nm II₂₋₄小层顶部多为该类型。

河道-河道型 由于洪水或季节因素的影响,后期的河道单元冲刷早期的河道单元,2期河道单元叠置在一起,之间一般存在一个不渗透或低渗透的泥砾岩隔挡层。这一接触类型表明沉积基准面相对比较稳定,冲刷作用比较强,洪水期把上个洪水末期及枯水期的沉积物较多的冲刷,只保留了上期河道下部的砂质沉积物。在岩相特征上该类型表现为冲刷面分布在粗、中粒的沉积物中,因为上部较细的沉积物已被冲刷,每一单元中并没有明显的粒序变化。电性特征上自然伽马整体上呈箱型,内部呈细微的齿型,自然伽马值增大处就是每一单元的冲刷界面,这类界面在自然电位曲线和电阻率曲线上没有明显的特征。

河道-心滩-河道型 该类型是由于受季节性洪水的影响,后期河道单元冲刷前期心滩并与其叠置。由于上期心滩上部盖有落淤层和河漫滩泥,在

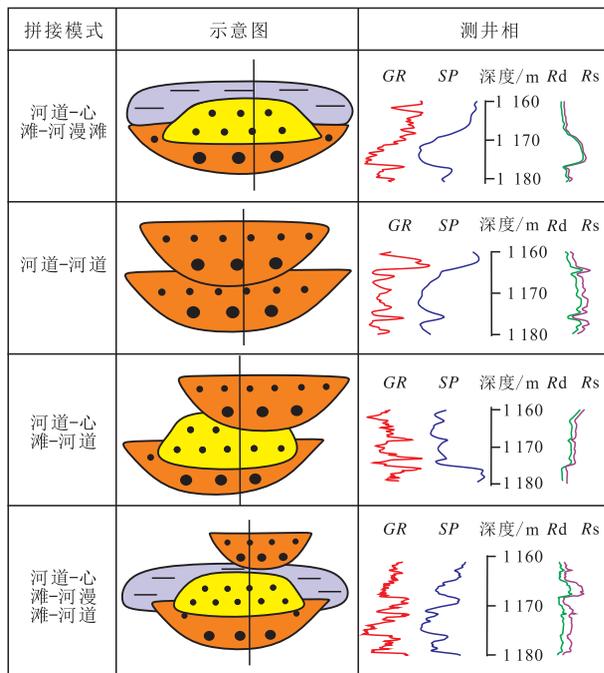


图3 辫状河4级构型单元纵向拼接模式

Fig.3 Superposed patterns of the fourth level configuration unit of braided river

上部2单元之间存在一冲刷面,冲刷面上分布大量泥砾,为低渗透界面。该类型沉积时沉积基准面相对比较稳定,冲刷、沉积作用主要受季节性洪水控制,每一期小旋回都是从冲刷面开始,由粗、中砂岩到细砂岩,由冲刷构造、槽状交错层理到板状交错层理,测井曲线总体上呈箱型,内部存在多个小的正旋回,旋回之间自然伽马曲线值增大,自然电位曲线幅度降低,电阻率曲线值减小。

河道-心滩-河漫滩-河道型 该类型实际上是在一期完整河道之上叠置了另一期河道,河道之间分布一层厚度不等的细碎屑洪泛沉积物,不同期次的河道单元在垂向上是不连通的。该类型表明沉积基准面持续发生上升和下降的波动,在沉积过程中冲刷作用比较弱,每一期的河道单元保存比较完整,每一期都是完整的正韵律,由冲刷面开始,由

粗、中砂岩到细砂岩、粉砂岩、泥岩,沉积构造由冲刷构造、槽状交错层理到板状交错层理、波纹层理、水平层理,各期厚度为4~8 m,测井曲线为钟型,该类型在研究区占39%以上。

3.2 横向拼接关系

由于受到洪水能量、地势等因素的影响,河道冲刷强弱不等。在枯水期河道废弃,河道接受的砂泥充填类型不同,构型单元在横向上的拼接方式也不同,总结起来大致分为3类。河道-心滩型是洪水期过后,河道废弃,由于物源供给充足,接受砂质充填,垂向加积的心滩与河道沉积横向拼接。河道-河漫滩型是后期河流冲刷早期的河漫沉积,河道砂体横向上与河漫泥质沉积物拼接。心滩-河漫滩型是洪水期过后,河道废弃,河道被河漫滩泥质充填,垂向加积的心滩与河漫滩泥质沉积物横向发生拼接。

4 3级构型单元拼接模式

4.1 河道

河道构型单元分为底部滞留单元、下部高能充填单元、中部加积单元和顶部低能废弃单元,由于河水能量的不同,后期河道对前期河道的冲刷作用也不同,河道单元内部构型的拼接模式也不同,纵向上可分为滞留-充填-加积-废弃-滞留型、滞留-充填-加积-滞留型和滞留-充填-滞留型3类。

滞留-充填-加积-废弃-滞留型 此类型拼接模式表明后期河道冲刷作用最弱,顶部低能废弃单元保留,2期河道中间有一冲刷面,冲刷面上分布大量泥砾,河道顶部废弃低能单元主要为泥质沉积,测井曲线靠近泥岩基线位置,向上突变过渡为后期河道底部滞留单元(图4a)。

滞留-充填-加积-滞留型 此类型表明后期河水冲刷作用相对变强,将前期河道顶部的废弃低能



a—滞留-充填-加积-废弃-滞留型 b—滞留-充填-加积-滞留型 c—滞留-充填-滞留型

图4 河道内部构型单元拼接模式

Fig.4 Superposed models of the configuration unit of the internal channel

单元冲刷掉,保留下部3个单元纵向上与后期河道底部滞留单元拼接(图4b),单元冲刷面处为一个中渗透或低渗透的泥砾阻挡层,测井曲线为钟型—钟型,中间台阶处为2个单元的冲刷面。

滞留—充填—滞留型 由于后期河水的冲刷作用较强,将前期河道的上部2个单元全部冲刷掉,使得后期河道滞留单元与前期河道充填单元纵向上拼接(图4c)。2期滞留单元之间的冲刷面处见少量泥砾,测井曲线整体呈箱型,冲刷面处自然伽马增高,自然电位略有回返。

4.2 心滩

心滩位于辫状河道中间,是辫状河在游荡迁移过程中垂向加积形成的,其内部落淤层是划分垂积

体的主要相标志,对落淤层的发育状况进行研究有利于明确心滩储层内部结构,分析垂积体间的连通关系。

4.2.1 落淤层分类

由于水动力条件及沉积环境不同,落淤层不同部位发育的状况也不同,若将心滩分为头部、尾部及两翼4部分^[12],心滩的头部由于面向水流,受到河水的冲刷心滩落淤层遭到破坏,保存不完整,为破坏残留型落淤层,测井响应特征多为阶梯式回返;而心滩两翼由于受辫状河的不完全冲刷,落淤层为半发育型,测井响应特征表现为半幅式回返;心滩尾部背向水流,落淤层最为发育,为完整型落淤层(图5),在测井曲线上表现为基线式或半幅式回返。

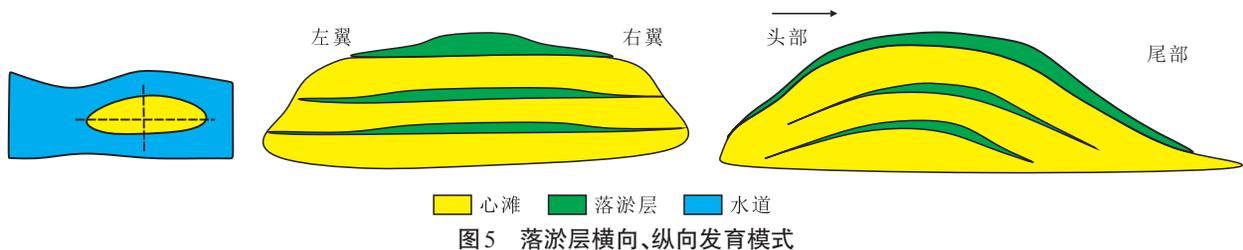


Fig.5 Growth patterns of the off silt layers in the transverse and longitudinal directions of the channel bar

4.2.2 落淤层倾角及规模推算

对于心滩内部构型的解剖,推算落淤层的倾角及规模很重要。秦皇岛32-6油田井网较为密集,为落淤层规模的准确计算提供了保证。心滩中心位置夹层近似水平,头部由于受到河水冲刷倾角较大,尾部较为平缓,在根据测井响应特征识别出落淤层的基础上,利用井间精细对比,计算心滩头部、尾部及两翼的构型界面倾角。利用将心滩底部标志层拉平的方法做心滩长轴方向D12—D15—D18—D21井的连井剖面(图6),计算得出面向水流方向和背向水流方向的夹角分别为1.08°和0.76°,同理可得出短轴方向上翼端的落淤层夹角为1.5°。对于远源砂质辫状河,河水能量相对较低,河道下切作用较弱,落淤层头尾及其两翼夹角较小。

目前确定落淤层规模的方法主要有野外露头

法、经验公式法和井间精细对比法^[13]。在研究落淤层界面及其测井响应的基础上,利用经验公式法对落淤层规模进行求取,根据落淤层测井响应特征可确定落淤层厚度为1~6 m,利用经验公式^[14]求得宽度为16~200 m。从落淤层成因上分析,落淤层为心滩表面的一层覆盖体,其发育模式基本与心滩一致。因此,利用李海明等^[15]统计的远源砂质辫状河心滩长度与宽度的关系式,计算得落淤层长度为750~1 300 m。

4.2.3 垂积体纵向拼接模式

受落淤层的影响,垂积体之间的连通性遭到破坏,根据落淤层破坏程度不同,垂积体之间的接触方式也不同,可分为接触型和隔离型2类。接触型是指在辫状河水的冲刷作用下,心滩头部、两翼落淤层遭到破坏,在落淤层破坏严重的情况下,垂积

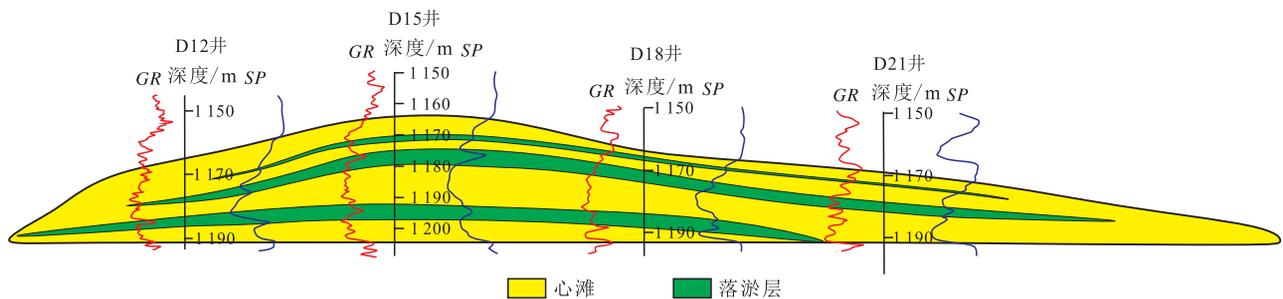


图6 心滩长轴方向落淤层连井剖面

Fig.6 Cross-well profile of the off silt layers in the long axis direction of the channel bar

体之间互相接触连通,但在2期垂积体间的垂积面上往往有泥砾沉积,测井响应特征表现为阶梯式回返。隔离型是指对于发育型和半发育型落淤层而言,落淤层将2期垂积体互相隔开,垂积体纵向上为隔离型,落淤层处测井曲线表现为半幅式或基线式回返。

5 储层构型控制因素

不同类型辫状河砂体具有不同的构型特征,远源砂质辫状河构型特征主要与地形条件、物源供给量、水体能量、沉积基准面升降及构造运动等因素有关^[16-18]。

地形条件 远源砂质辫状河一般位于辫状河的中下游,坡度较大时,水体能量高,河道摆动、冲刷作用强,2期辫状河河道互相叠置;而坡度平缓、水体能量较弱的辫状河道较为稳定,2期辫状河河道间夹有河漫滩泥,互相孤立。

水体能量与物源供给量 受季节性洪水的影响,辫状河在洪水期水体能量高,沉积物负荷能量大,搬运能量强,形成粗碎屑沉积;在枯水期,水体能量低,形成细碎屑沉积。在水体能量由高到低的过程,形成了底部滞留单元—下部高能充填单元—中部加积单元—顶部低能单元4个沉积单元。同时水体能量高时对河漫沉积冲刷严重,纵向上2期辫状河河道互相叠置,水体能量较低时河道冲刷作用弱,纵向上2期辫状河河道间发育河漫滩泥。

沉积基准面升降 沉积基准面的升降对储层构型也有一定影响,沉积基准面上升,有效可容空间增大,接受砂泥沉积,期次性明显;而沉积基准面下降,有效可容空间减小,早期沉积被冲蚀,后期辫状河河道对前期改造较为明显。

构造运动 构造活动期,山区相对于盆地抬升,坡降变大,辫状河向盆地方向发展,垂向上呈反韵律,河水能量变高,河道不稳定,互相叠置,冲刷严重。在构造平静期,随着下游接受的沉积物增多,坡降变小,水体能量变低,纵向上呈正粒序,同时河道相对较为稳定,河漫滩发育,后期辫状河道与早期辫状河道互相孤立。

6 结论

依据 Maill 河流构型分类方案划分了远源砂质辫状河的5级构型单元,5级构型单元为整个辫状河道;4级构型单元为河道、心滩及河漫滩3个微相级

单元;河道单元又细分为底部滞留单元、下部充填单元、中部加积单元及顶部废弃单元4个3级构型单元,心滩单元又细分为垂积体和落淤层2个3级构型单元;2级构型单元为纹层组,1级构型单元为纹层单元。由于后期辫状河道对早期辫状河道的冲刷作用不同,4级构型单元纵向上存在河道—心滩—河漫滩、河道—河道、河道—心滩—河道和河道—心滩—河漫滩—河道4种拼接方式,横向上存在河道—心滩、河道—河漫滩和心滩—河漫滩3种拼接方式。河道单元内部的4个3级构型单元在纵向上有滞留—充填—加积—废弃—滞留型、滞留—充填—加积—滞留型、滞留—充填—滞留型3种拼接模式;心滩单元根据其内部落淤层发育程度不同,垂积体间的接触关系分为接触型和隔离型2类。依据心滩内部落淤层的电性特征,应用连井对比的方法估测心滩落淤层的头部、尾部和两翼的夹角分别为 1.08° 、 0.76° 、 1.5° ,定量表征了落淤层的宽度和长度分别为16~200 m和750~1 300 m。地形坡度大、水体能量高、物源供给量大、沉积基准面下降及构造抬升时,辫状河砂体冲刷充填现象严重,构型单元间拼接模式较为复杂,反之,则较为单一。

参考文献:

- [1] Maill A D. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. *Earth Science Reviews*, 1985, 22(4): 261-308.
- [2] Maill A D. Reservoir heterogeneities in fluvial sandstone: Lessons from outcrop studies [J]. *AAPG Bulletin*, 1985, 22(2): 261-308.
- [3] 王石, 万琼华, 陈玉琨, 等. 基于辫状河储层构型的流动单元划分及其分布规律 [J]. *油气地质与采收率*, 2015, 22(5): 47-51, 68.
Wang Shi, Wan Qionghua, Chen Yukun, et al. Flow units division and their distribution law based on braided river reservoir architecture [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(5): 47-51, 68.
- [4] 刘钰铭, 侯加根, 宋保全, 等. 辫状河厚砂层内部夹层表征——以大庆喇嘛甸油田为例 [J]. *石油学报*, 2011, 32(5): 836-841.
Liu Yuming, Hou Jiagen, Song Baoquan, et al. Characterization of interlayers within braided-river thick sandstones: A case study on the Lamadian Oilfield in Daqing [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(5): 836-841.
- [5] 秦润森, 廖新武, 冯鑫, 等. 秦皇岛32-6油田南区明下段 I 油组3小层河道砂体叠置类型及其动态响应特征 [J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(3): 15-19.
Qin Runsen, Liao Xinwu, Feng Xin, et al. Study on stacking patterns of multi-staged channel sand and its function on production performance in sub-layer lower N m I³, south area of QHD32-6 oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(3): 15-19.

- [6] 王建民,吴昌荣.陕北东部地区长2+3油层组远源砂质辫状河沉积特征[J].矿物岩石,2009,27(4):92-97.
Wang Jianmin, Wu Changrong. Sedimentary characteristics of far-resource sand-braided river with low curvature channel for the Chang2+3 oil reservoir in the east of Shaanxi Province[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2009, 27(4): 92-97.
- [7] 刘波,赵翰卿,李广月,等.储层砂质辫状河的识别——以大庆喇嘛甸-萨尔图油田西部PI₂³为例[J].石油学报,2002,23(2):43-47.
Liu Bo, Zhao Hanqing, Li Guangyue, et al. Sand body identification of braided river reservoir—An example from the PI₂³ west of Lamadian-Saertu Oilfield, Daqing, China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(2): 43-47.
- [8] 褚庆忠,武泽,王连进,等.多类型河流体系沉积模式及对油气的控制作用[J].特种油气藏,2014,21(3):23-27.
Chu Qingzhong, Wu Ze, Wang Lianjin, et al. Control of multi-type river sedimentary models on oil and gas [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(3): 23-27.
- [9] 赵春明,胡景双,霍春亮,等.曲流河与辫状河沉积砂体连通模式及开发特征——以渤海地区秦皇岛32-6油田为例[J].油气地质与采收率,2009,16(6):88-91.
Zhao Chunming, Hu Jingshuang, Huo Chunliang, et al. Sandbody interconnectivity architecture and development characteristics of meandering river and braided river deposits—a case of study of Qinhuangdao32-6 Oilfield, Bohai area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(6): 88-91.
- [10] 封从军,鲍志东,杨玲,等.三角洲前缘水下分流河道储集层构型及剩余油分布[J].石油勘探与开发,2014,41(3):323-329.
Feng Congjun, Bao Zhidong, Yang Ling, et al. Reservoir architecture and remaining oil distribution of deltaic front underwater distributary channel [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 323-329.
- [11] 邵先杰,钟思瑛,廖光明,等.海安凹陷安丰退积型辫状三角洲沉积模式及建筑结构分析[J].大庆石油地质与开发,2005,24(2):5-7.
Shao Xianjie, Zhong Siying, Liao Guangming, et al. Sedimentary mode and formational structure analysis in Anfeng retrograding type braided delta of Hai'an depression [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(2): 5-7.
- [12] 余成林,李志鹏,熊运斌,等.心滩储层内部构型分析[J].西南石油大学学报:自然科学版,2012,34(3):19-22.
Yu Chenglin, Li Zhipeng, Xiong Yunbin, et al. Analysis on internal architecture of batture bar reservoir [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2012, 34(3): 19-22.
- [13] 孙天建,穆龙新,吴向红,等.砂质辫状河储层构型表征方法——以苏丹穆格莱特盆地Hegli油田为例[J].石油学报,2014,35(4):715-724.
Sun Tianjian, Mu Longxin, Wu Xianghong, et al. A quantitative method for architectural characterization of sandy braided-river reservoirs: taking Hegli oilfield of Muglad Basin in Sudan as an example [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(4): 715-724.
- [14] Kelly S. Scaling and hierarchy in braided rivers and their deposits: Examples and implications for reservoir modeling [M]//Sambrook Smith G H, Best J L, Bristow C S, et al. Braided rivers: Process, deposits, ecology and management. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2006: 75-106.
- [15] 李海明,王志章,乔辉,等.现代辫状河沉积体系的定量关系[J].科学技术与工程,2014,14(29):21-26.
Li Haiming, Wang Zhizhang, Qiao Hui, et al. Quantitative relation of sedimentary system of modern braided river [J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(29): 21-26.
- [16] 刘锐娥,肖红平,范立勇,等.鄂尔多斯盆地二叠系“洪水成因型”辫状河三角洲沉积模式[J].石油学报,2013,34(增刊1):120-127.
Liu Rui'e, Xiao Hongping, Fan Liyong, et al. A depositional mode of flood-induced braided river delta in Permian of Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(supplement 1): 120-127.
- [17] 董清水,孙雷,楼仁兴,等.松辽盆地南部小城子地区下白垩统泉一段辫状河沉积判识标志与分布特征[J].石油实验地质,2014,36(2):129-135.
Dong Qingshui, Sun Lei, Lou Renxing, et al. Determinative marks and distribution characteristics of braided river deposits in 1st section of Quantou Formation of Lower Cretaceous in Xiaochengzi area, southern Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(2): 129-135.
- [18] 金振奎,杨有星,尚建林,等.辫状河砂体构型及定量参数研究——以阜康、柳林和延安地区辫状河露头为例[J].天然气地球科学,2014,25(3):311-317.
Jin Zhenkui, Yang Youxing, Shang Jianlin, et al. Sandbody architecture and quantitative parameters of single channel sandbodies of braided river: cases from outcrops of braided river in Fukang, Liulin and Yanan areas [J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(3): 311-317.