

浅水三角洲分流河道砂体沉积特征

——以松辽盆地三肇凹陷扶Ⅱ-I组为例

邓庆杰^{1,2}, 胡明毅^{1,2}, 胡忠贵^{1,2}, 吴玉坤³

[1 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 武汉 430100; 2 长江大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430100;

3 中海石油(中国)有限公司 湛江分公司, 广东 湛江 524057]

摘要: 松辽盆地三肇凹陷扶Ⅱ-I组隐蔽性岩性油气藏埋藏相对较浅, 油气资源极其丰富, 已成为下一步致密油勘探、增储上产的重点目标区。三肇凹陷扶Ⅱ-I组以浅水三角洲沉积体系为主, 相带变化复杂, 分流河道砂体构成扶Ⅱ-I组的主体储层格架。通过53口井岩心精细观察, 利用1 000多口测、录井等资料, 分析三肇凹陷扶Ⅱ-I组浅水三角洲平原分流河道砂体沉积特征, 识别出11种岩相类型, 根据不同基准面旋回, 总结3种岩石相组合类型。研究表明, 单一流河道内部存在泥质、钙质以及含砾粉砂岩3种夹层类型, 进而精细解剖单一流河道内部建筑构型。利用分流河道砂体顶端拉平, 建立同期河道砂体及夹层对比模型, 从岩性、夹层类型以及测井曲线形态等方面进行对比, 探讨了等时地层格架内近井距井间砂体同期分流河道的识别方法及分布规律。在上述砂体对比方法基础上, 采用栅状图进行井间砂体对比, 结合地震属性分析, 刻画单一流河道砂体平面展布特征, 以期能够进一步为致密油藏水平井布置、勘探开发提供地质依据。

关键词: 单一流河道砂体; 夹层类型; 建筑构型; 扶Ⅱ-I组; 三肇凹陷; 松辽盆地

中图分类号: TE121.3 **文献标识码:** A

Sedimentary characteristics of shallow-water delta distributary channel sand bodies: a case from II-I Formation of Fuyu oil layer in the Sanzhao Depression, Songliao Basin

Deng Qingjie^{1,2}, Hu Mingyi^{1,2}, Hu Zhonggui^{1,2}, Wu Yukun³

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil-Gas Resource of Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China; 2. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China; 3. Zhanjiang Branch, CNOOC China Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524057, China)

Abstract: Subtle lithologic reservoirs with shallow burial depth in the II-I Fms of Fuyu oil layers (FⅡ-FⅠ) are widely distributed in Sanzhao Depression, Songliao Basin, and are the major targets of tight oil exploration for reserve growth. The FⅡ-FⅠ in Sanzhao Depression are dominated by shallow water delta depositional systems featuring in complex change of sedimentary facies belt, and their main reservoir frameworks consist of distributary channel sandbodies. Based on detailed core observation of 53 wells and combining with logging data of more than 1 000 wells, 11 types of lithofacies were recognized in the distributary channel sandbodies of FⅡ-FⅠ in study area, and they were grouped into 3 lithofacies associations according to different datum level cycles. There are three types of interlayers in single distributary channel, including muddy interlayer, calcareous interlayer and conglomeratic siltstone, by which the internal architecture configuration of single distributary channel sand body was further analyzed. Comparison models for cotemporaneous channel sandbodies and interlayers were built through flattening of the tops of distributary channel sandbodies and were used to compare the sandbodies in respects of lithology, types of interlayer and shapes of logging curve. Methods were proposed for identifying the interwell cotemporaneous channel sandbodies between wells with small spacing within the sequence stratigraphic framework and the distribution of sandbodies was also discussed. Based on the comparative method above, combining with comparison of sandbodies by fence diagram and seismic attribute analysis, the distribution characteristics of single distributary channel sandbody were described, providing a geologic foundation for tight oil exploration and development.

Key words: single distributary channel sandbody, type of interlayers, architecture configuration, II-I Formation of Fuyu oil layer, Sanzhao Depression, Songliao Basin

收稿日期: 2014-08-06; 修订日期: 2014-12-02。

第一作者简介: 邓庆杰, (1988—)男, 博士研究生, 沉积学与层序地层学。E-mail: dengqingjie1988@126.com。

通讯作者简介: 胡明毅 (1965—), 男, 教授、博士生导师, 沉积学与层序地层学。E-mail: humingyi65@163.com。

单砂体内部特征研究对河道砂体对比,水平井部署,剩余油挖潜有着重要意义。关于单砂体内部构型单元分级界面分析技术,最早是由多伦多大学地质系 Miall A D 教授 80 年代提出^[1-2]。随后众多国外学者对不同成因砂体进行精细研究,如 Nemec W 等(1988)通过野外露头观察,对三角洲前缘砂体进行研究^[3]; Dreyer T 和 Scheie A(1990)针对河流-三角洲开展了构型研究^[4],等等;在国内也进行了一系列的研究,如贾振远(1992)引进 Miall 构型研究方法,向国内研究者作系统提倡与推广^[5];张昌明(1994)针对南襄盆地西大岗河流砂体构型研究,提出界面序列必须依据沉积过程,反映一定的沉积方式,并建议重视砂体夹层的地质意义^[6];何文祥等(2005)对河口坝构型进行研究,表述了储集体内部构型单元识别及叠置方式^[7];马世忠(2006)通过岩心和近距离对子井,着重研究水下分流河道四级界面特征^[8];李志鹏(2012)通过野外露头和井下资料,建立河控三角洲水下分流河道砂体内部建筑结构模式^[9];赵小庆(2013)针对扶余油田探 51 井区,依据密井网资料,研究水下分流河道储集层段的内部构型^[10]。众多成果为单砂体研究提供坚实的理论基础,但主要集中在古代露头、高渗储层或是水下分流河道砂体,对地下特低渗透率的浅水三角洲平原分流河道砂体沉积特征研究尚少;其次,三肇老区在以往研究过程中,没有系统针对扶 II-I 组开展过细分层的沉积微相研究,对于单一分流河道砂体的内部构型及展布特征掌握的不是十分清晰,这是导致研究区的水平井部署,致密油成藏的挖潜十分困难的主因。笔者在综合前人研究成果的基础上,以松辽盆地三肇老区扶 II-I 组浅水三角洲分流河道为研究对象,借助大量岩心观察,密井网资料,研究单一分流河道内部构型,识别夹层类型及特征,探讨近井距砂体井间对比方法,分析分流河道砂体平面展布特征,为下一步研究区隐蔽性岩性油气藏勘探开发以及水平井部署提供地质依据。

1 地质概况

三肇凹陷位于松辽盆地北部二级负向构造单元,古中央隆起带中段,西临大庆长垣,东连绥化凹陷。三肇凹陷白垩系发育齐全,自下而上沉积了登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组和明水组。

三肇凹陷扶 II-I 组沉积时期为松辽盆地拗陷期,此时地势平坦,坡度较小,盆地沉降速率缓慢,同时受气候变化影响,湖平面波动频繁,地层厚度在 140~155 m。物源充足,主要来自西南以钻石、电气石为主

的永康-扶余物源和北部拜泉-青冈物源,总体处于多物源交汇的沉积环境,为特殊的浅水三角洲-浅水湖泊沉积体系^[11-13]。

以高分辨率层序地层学理论为指导,通过岩-电结合、井-震结合等技术手段,识别层序界面,将扶 II 组划分为 Q3SSC1—Q3SSC5 五个五级层序,扶 I 组详细划分为 Q4SSC1—Q4SSC7 七个五级层序(图 1)。Q3SSC1—Q4SSC5 时期属于湖退期,长期基准面下降再上升,以浅水三角洲平原沉积为主。Q4SSC5—Q4SSC7 时期,随着长期基准面上升,水体加深,逐渐转变为湖扩张期,浅水三角洲平原逐渐向前缘沉积过渡,晚期发育浅水湖泊。总体呈现浅水三角洲平原-浅水三角洲前缘-浅水湖泊的演化特征,反映水体变浅又逐渐变深的一次湖退-湖侵沉积过程。

2 沉积特征

2.1 岩石学特征

据岩石特性分析,研究区分流河道砂体岩石类型为长石质岩屑细砂岩、粉砂岩和岩屑细砂岩、粉砂岩。岩石颗粒成分主要有石英、长石和岩屑,分选系数为 1.3~19.46,平均为 2.68,颗粒分选中等偏好,磨圆为次棱角状-次圆状,结构成熟度中等-较好。总体处于晚成岩阶段 A₁ 期和 A₂ 期^[14]。

碎屑颗粒的粒度中值在 0.05~0.36 mm,主要集中在 0.08~0.24 mm。采用不同层位的分流河道砂体样品点州 51 井,茂 503 井、肇 21 井,粒度概率累积曲线可见州 51 井,茂 503 井、肇 21 井都具两段式特征(图 2),跳跃组分占 60%左右,其次为悬浮组分,趋势线分段明显,反映了沉积物搬运距离较远,浅水牵引流沉积特点。州 51 井 Q4SSC1 时期分流河道颗粒跳跃组分粒度最粗,其次为肇 21 井 Q3SSC2 时期,茂 503 井 Q4SSC3 时期颗粒跳跃组分粒度最细,也反映出分流河道颗粒跳跃组分随长期基准面下降而增多,随长期基准面上升而减少,呈现出由 Q3SSC2—Q4SSC1—Q4SSC3 时期,水动力由弱-强-弱的变化规律。

2.2 岩相类型及其组合

通过 53 口取心井岩心的观察描述,研究区目的层段分流河道微相中识别出 11 种岩相类型。

1) 沙纹层理(泥质)粉砂岩相(Fr)

岩相颗粒分选一般,层系厚度较小(小于 3 cm),底界面为微波状,细层向一方倾斜并向下收敛,常发育于水动力较弱的分流河道上部。

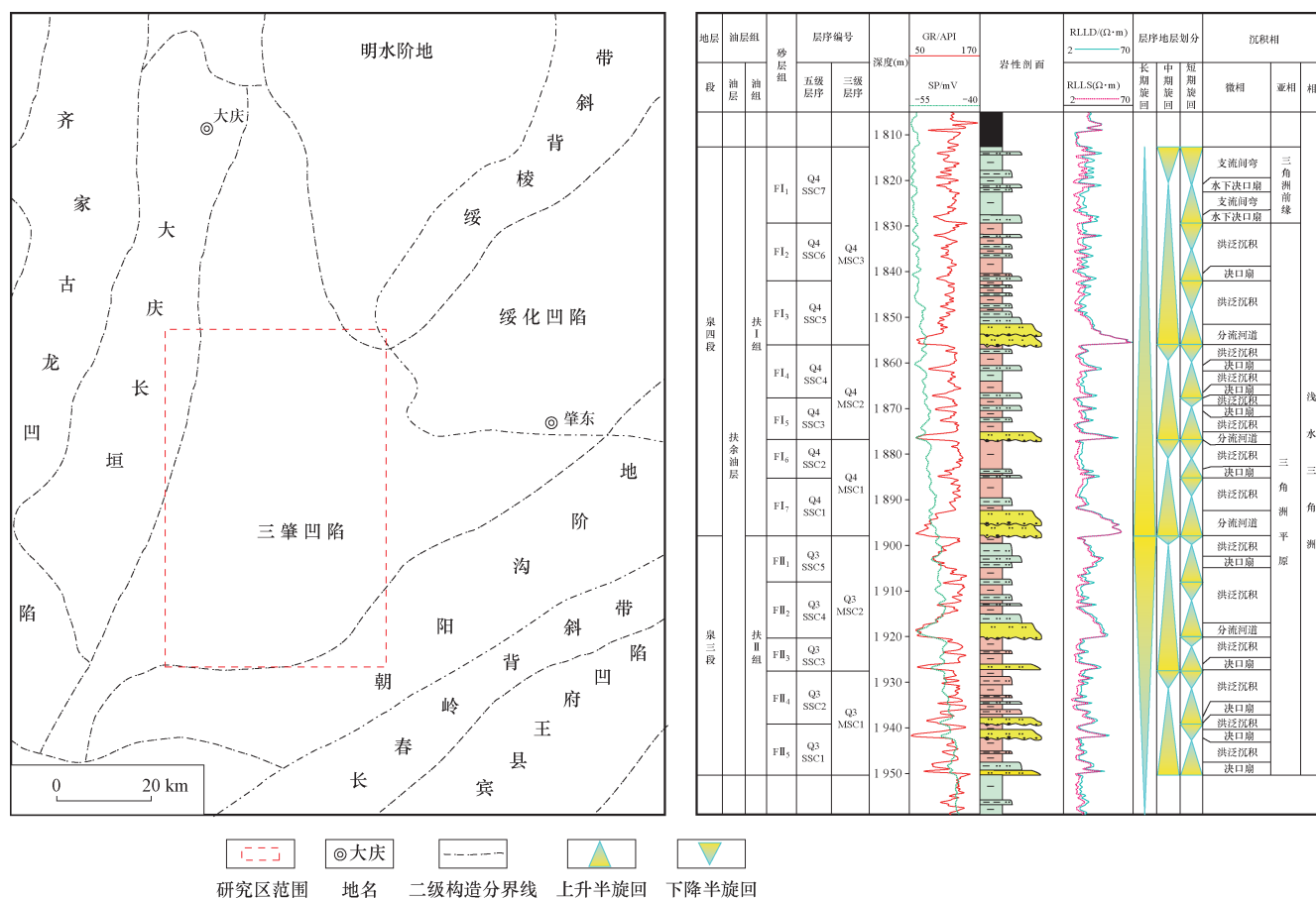


图1 三肇凹陷构造位置及地层发育特征

Fig. 1 Structural location and stratigraphic characteristics of the Sanzhao Depression

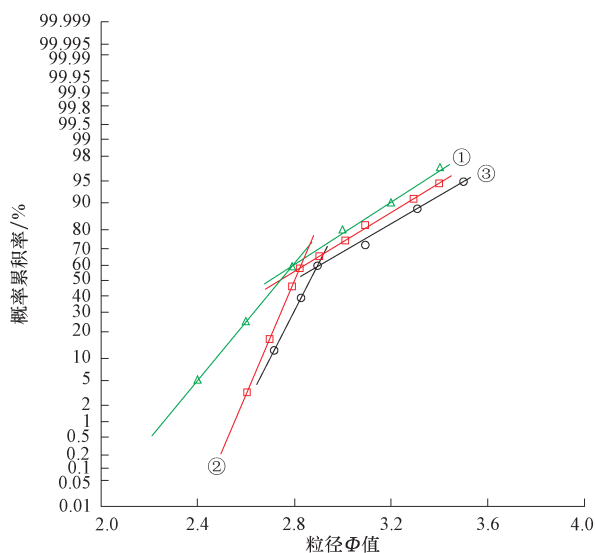
图2 三肇凹陷扶Ⅱ - Ⅲ组分流河道砂体
粒度概率累积曲线特征

Fig. 2 Grain size probability characteristics of distributary channel sandbodies of FⅡ-FⅢ in the Sanzhao Depression

①茂503井,埋深1493.16 m, Q4SSC1; ②肇21井,埋深1995.28 m, Q3SSC2; ③州51井,埋深1918.36 m, Q4SSC3

2) 复合层理粉砂岩相 (Fc)

岩相发育波状层理、透镜状层理和脉状层理(统称复合层理),常见于分流河道上部(图3a)。

3) 变形层理粉砂岩相 (Ff)

岩相差异压实作用所形成,以发育重荷模、包卷层理、球枕构造为特征(图3b),常见于分流河道中上部。

4) 平行层理粉砂岩相 (Fh)

岩相单层厚度较大,层面上富集植物碎屑及云母碎片,组成均匀分布的条纹层理,主要发育于水动力较强的分流河道中、下部(图3c)。

5) 交错层理粉砂岩相 (Ft)

岩相形成于水动力较强的沉积环境,发育槽状、板状、楔状和低角度交错层理等(图3d),主要见于分流河道下部。

6) 块状粉砂岩相 (Fm)

岩相层理不明显,为块状,分选较好,反映水动力强、快速堆积形成,主要发育于分流河道中、下部。

7) 含泥砾粉砂岩相 (Fg)

岩相泥砾多沿层定向排列,大小不一,直径一般在0.1~1 cm,为河道底部的滞留沉积。

8) 块状层理细砂岩相 (Sm)

岩相层理不清楚,为块状,表现为快速沉积环境,分选好,颗粒粗,发育于分流河道下部。

9) 交错层理细砂岩相 (St)

岩相可见槽状交错层理、板状交错层理、楔状交错

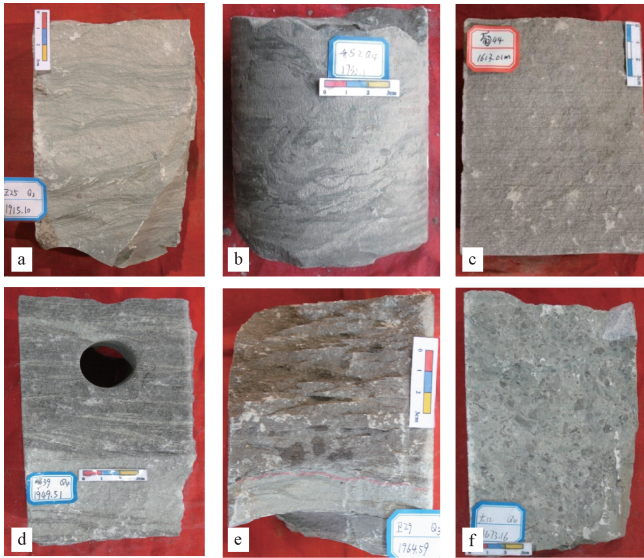


图3 三肇凹陷扶Ⅱ-I组分流河道砂体岩相类型

Fig.3 Lithofacies types of distributary channel sandbodies of F II - F I in the Sanzhao Depression

- a. 复合层理粉砂岩相, 卫25井, 埋深1 915.1 m, Q3SSC2;
 b. 变形层理粉砂岩相, 升52井, 埋深1 732.1 m, Q4SSC6;
 c. 平行层理粉砂岩相, 葡44井, 埋深1 613.01 m, Q3SSC3;
 d. 槽状交错层理粉砂岩相, 肇39井, 埋深1 948.36 m, Q4SSC4;
 e. 楔状交错层理细砂岩相, 卫29井, 埋深1 964.59 m, Q4SSC1;
 f. 含泥砾细砂岩相, 太12井, 埋深1 673.16 m, Q4SSC1

层理(图3e),发育于分流河道或者水下分流河道砂体下部,表现为水动力比较强的环境。

10) 平行层理细砂岩相(Sh)

岩相发育于分流河道砂体下部,表现为水动力比较强的环境。

11) 泥砾质细砂岩相(Sg)

岩相见于分流河道或者水下分流河道砂体底部,泥砾大小不一(图3f)。

随着基准面变化,分流河道砂体内部存在不同的岩石相组合,具体分为3种类型。

1) Sg - St - Fg - Fm - Fh - Ft - Fr 组合

该组合形成于长期基准面下降中期(Q3SSC1—Q3SSC3时期),从底部河道冲刷面开始,局部含泥砾,下部以高流态为主,但沉积厚度、层理规模不是很大,中上部以颗粒较细的粉砂岩为主,岩相组合为块状层理粉砂岩相—平行层理粉砂岩相—小型槽状交错层理粉砂岩相—沙纹层理粉砂岩相,总体为能量逐渐减弱的沉积过程(图4a)。

2) Sg - Sm - Sh - Ft - Fc 组合

该组合形成于长期基准面下降晚期到上升早期(Q3SSC4—Q4SSC2时期),此时分流河道厚度较厚,规模较大,河道下切程度大,下部一般为细砂岩沉积,沉积厚度、层理规模也较上一个组合大,反映更高流态的沉积特征,以含泥砾细砂岩开始,岩相组合为块状层理粉砂岩相—平行层理粉砂岩相,向上水动力强度减弱,为小型槽状交错层理粉砂岩相—波状层理粉砂岩相组合模式(图4b)。

3) Ft - Fc - Ff - Fc 组合

该组合形成于长期基准面上升中期(Q4SSC3—Q4SSC6时期),此时分流河道水动力总体较弱,难以携带粗粒沉积物,河道沉积物以粉砂岩为主,且沉积期次明显增多,可见多个冲刷面,反映多个沉积充填幕,但总体呈现正韵律沉积组合,组合依次为小型槽状交错层理粉砂岩相—沙纹层理粉砂岩相—包卷层理粉砂岩相—复合层理粉砂岩相(图4c)。

3 分流河道砂体建筑构型

3.1 夹层识别与特征

单一流河道砂体内部存在物性较差,影响岩性油气藏开采,注水过程的夹层是形成储层非均质性的

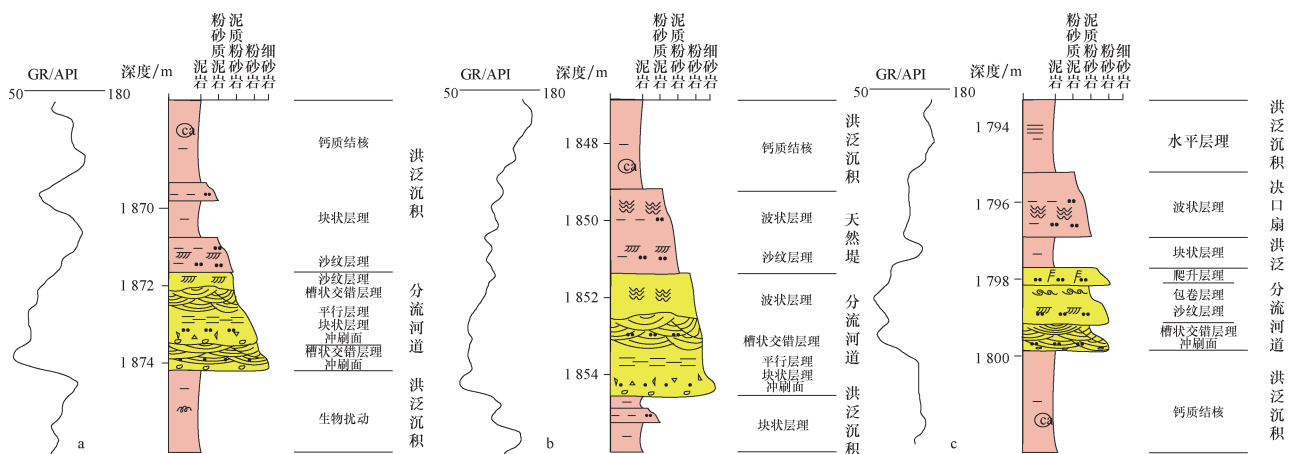


图4 三肇凹陷扶Ⅱ-I组分流河道岩相类型组合规律模式

Fig.4 Lithofacies type combination models of distributary channel sandbodies of F II - F I in the Sanzhao Depression

- a. Sg - St - Fg - Fm - Fh - Ft - Fr 组合; b. Sg - Sm - Sh - Ft - Fc 组合; c. Ft - Fc - Ff - Fc 组合

关键因素^[15-16]。本文依据物性资料,通过非渗透岩性的物性与测井响应特征,识别出3类夹层类型:泥质夹层、钙质夹层和含砾粉砂岩夹层。

1) 泥质夹层

悬浮状态的泥质沉积物由于河道沉积末期,水流作用减弱,沉积在河道发育期的砂质沉积物之上。泥质夹层岩性一般为泥岩、粉砂质泥岩,常见于四级界面处,厚度一般在10~30 cm,一般延伸较远,可达几百米到几公里,是导致储层砂体内部非均质性主因。 GR 值大于115,深浅侧向曲线(或微梯度、微电位曲线)的明显回返,回返1/3~1/2。孔隙度小于7%,渗透率小于 $0.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。泥质夹层的期次决定单成因砂体发育期次,如升601井取心井段埋深1800.04~1805.84 m发育两期泥质夹层,反映发育三期单成因砂体。

2) 钙质夹层

韩如冰等(2014)认为砂岩中钙质夹层成因分为浅埋藏淡水环境、蒸发作用和深埋藏作用^[17],研究区钙质夹层的形成主要为浅埋藏淡水环境,饱含钙的孔隙水顺层流动而形成的钙质层。钙质夹层岩性主要为钙质细砂岩、钙质粉砂岩,可见于三级界面处,厚度一般较小,在2.5~10 cm,延伸较短,一般几十米,出现频率不高,孔隙度为3.3%~7.9%;渗透率为 $0.02 \times 10^{-3} \sim 0.07 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。 GR 值小于60,深浅侧向曲线呈高阻尖峰状,形成“钙尖”。如卫212取心井上油浸段存在钙质夹层,未被油浸,反映物性差(图5)。

3) 含砾粉砂岩夹层

含砾粉砂岩夹层岩性为粉砂岩底部含泥砾,为小型洪水等事件形成,常见三级界面处,泥砾大小不一,充填在粉砂岩中,使物性变低,孔隙度为3.5%~8%;渗透率为 $0.02 \times 10^{-3} \sim 0.11 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。测井曲线与钙质夹层形态相反,回返幅度较泥质夹层较小。如芳34取心段,样品a处为分流河道底部,含泥砾,为五级界面,不含油;样品b处为含泥砾粉砂岩,泥砾较小,为三级界面,不含油;样品c处为含泥砾粉砂岩,为三级界面,含油;样品d处为粉砂岩,含油;由于样品b处、c处含砾粉砂岩夹层存在,使物性变差,上部油层又无法渗透到下部,造成不均匀含油(图6)。

3.2 单一流河道砂体构型

研究区隐蔽性岩性油气藏的进入精细勘探开发阶段中,认为浅水三角洲分流河道内部存在复杂的非均质性^[18-19],因此十分有必要进行单一流河道砂体内部构型精细解剖。

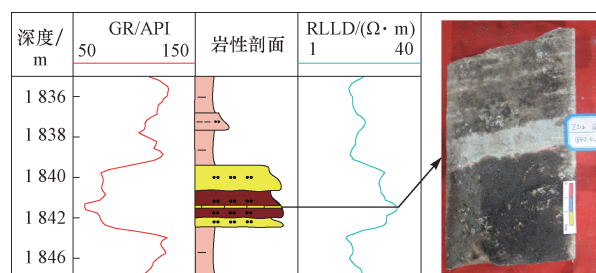


图5 三肇凹陷卫212井钙质夹层岩心与测井曲线特征
Fig. 5 Core and logging characteristics of calcitic interbeds in Well Wei 212 in the Sanzhao Depression

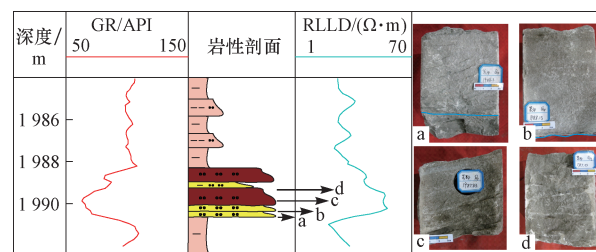


图6 三肇凹陷芳34井含砾粉砂岩夹层岩心与测井曲线特征
Fig. 6 Core and logging characteristics of conglomeratic siltstone interbeds in Well Fang 34 in the Sanzhao Depression

依据 Miall A D (1988) 提出的河流相储层构型分级理论^[1-2],结合张昌民(1994)提出界面成因理论^[6],可将单一流河道砂体构型分为五级:一级界面为构形中最小级别的界面,相当于纹层,只能通过岩心观察识别。二级界面为层系界面,在相同水动力环境下形成的同类纹层的组合。三级界面相当于层组界面,上下岩相一致,单个加积体内次级增生体之间的界面,小型洪水沉积的砂体底部小型冲刷面,相对应发育三级夹层,一般发育含少量泥砾粉砂岩夹层,当发育泥质夹层时,与四级界面相似, GR 曲线表现为轻微回返。四级界面为单成因砂体界面,表现为比三级界面更大一次沉积事件的开始和结束,相对应发育四级夹层, GR 曲线表现为明显回返。五级界面是分流河道内多个单成因砂体垂向叠置形成复合砂体的顶底界面, GR 曲线表现为明显突变。

通过精细岩心观察,以升601井埋深1800.04~1805.84 m井段(满岸深度 $H=5.8$ m)的单一流河道砂体为例,描述五个不同级别的砂体界面。从图7中看出,在五级界面控制下,发育2个四级界面,3个单成因砂体,4个三级界面。各单成因砂体特征如下:①A段厚度为2.06 m,底部为五级界面,冲刷面明显,泥砾大小1~10 mm不等,距A段五级界面低部1.22 m处发育三级界面,将其分成两套岩相组合:槽状交错层理砂岩相-块状层理粉砂岩相组合和槽状交错层理细砂岩相-平行层理粉砂岩相组合,顶部为四级界面;②B段厚度为1.7 m,底部为四级界面,发育冲刷面,泥砾大小

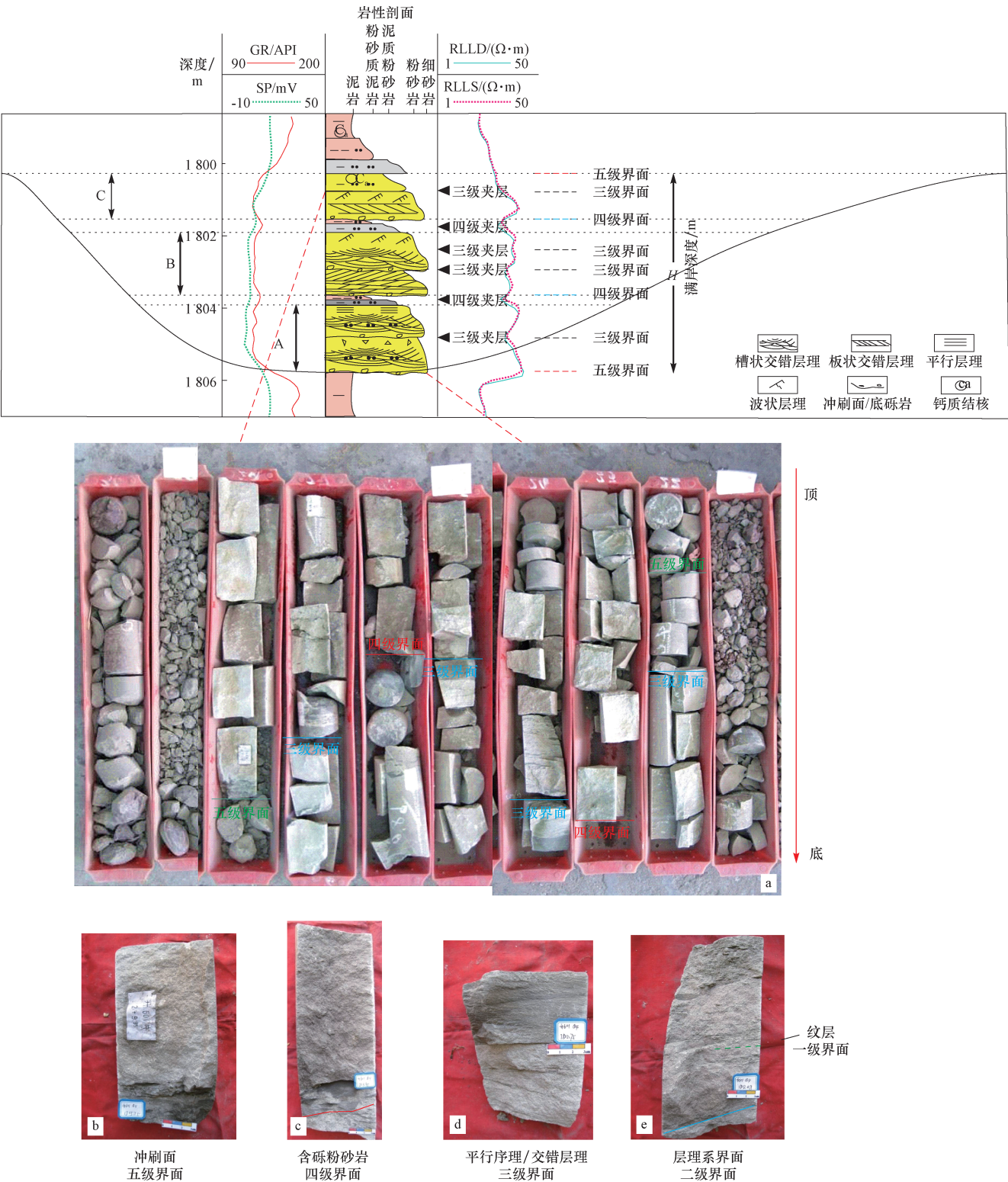


图 7 三肇凹陷升 601 井取心井段(埋深 1800.01 ~ 1805.84m)分流河道砂体内部构型特征

Fig. 7 Internal configuration characteristics of distributary channel sandbodies in Well Sheng 601 cored interval (1800.04 ~ 1805.84m) in the Sanzhao Depression

a. 不同级别砂体界面岩心测井曲线特征;b—e. 不同级别砂体界面岩心照片

1 ~ 6 mm 不等,距 B 段底部四级界面 1.08 m 和 0.7 m 处,分别发育两个三级界面,将其分成三套岩相组合:板状交错层理粉砂岩相、槽状交错层理粉砂岩相、波状层理粉砂岩相组合,顶部为四级界面;③C 段厚度为 1.24 m,底部为四级界面,冲刷面明显,泥砾较小,距 C 段底部

0.76 m 发育三级界面,将其分成两套岩相组合:板状交错层理粉砂岩相 - 波状层理粉砂岩相组合和含钙质泥质粉砂岩相,顶部为五级界面。

在五级单砂体层序地层格架控制下,三肇凹陷扶 II - I 组单一分流河道砂体构型特征为:五级界面限

定河道砂体空间展布,其内部进一步发育1~2个四级界面,限定单成因砂体空间结构,是影响水驱开发的关键,每个四级界面之间单成因砂体发育1~3个三级界面,二级和一级界面以槽状交错层理、板状交错层理、块状层理、波状层理、平行层理等内部层系和纹层为主。

3.3 同期分流河道识别

在五级层序地层格架内,识别追踪井间分流河道砂体的同期性是直接影响致密油气藏水平井布置重要因素。因此在上述单一流河道砂体构型及其夹层精细解剖的基础上,通过连井进行同期分流河道砂体对比。同期分流河道识别的基础是近井距间的对比识别,前人对同期次分流河道识别方法具有很多,如①厚度差异法,厚-薄-厚;②等高程法,等等。

本文在前人的研究基础之上,通过精细岩心观察与对比,认为厚度法、等高程法都存在一定的缺陷,单井上的单一流河道砂体的厚度不一,又分布在分流河道的不同位置,其次研究区断层频繁,邻井间高程差

异大,很难利用等高程法进行同期分流河道对比。因此,本文通过S601-S604-S402井对比,将分流河道砂体顶端拉平,建立同期河道砂体及夹层对比模型(图8),从以下方面识别对比:①从岩性上对比,统计研究区所有井钻遇砂体厚度,一般分布为2~6 m,因此可用S601井砂岩段作为分流河道中部,在砂体构型分析基础上,分为A、B、C段,S604井砂岩段发育C段和B段,S402井砂岩段发育C段和部分B段,据此根据不同部位很容易将其进行对比。②从夹层上对比,一般井间四级、三级界面具有可对比性,可见A、B、C段之间的泥质夹层,B和C段内含砾粉砂岩夹层在三口井上具有很好的可对比性。③从测井曲线形态上对比,S604井具有S601井的C、B段测井形态,S402井具有S601井的C段测井形态,可认为S601井砂岩段钻遇在分流河道中心最厚部,S604井砂岩段钻遇在分流河道侧翼处,S402井砂岩段钻遇在更靠近分流河道的边部。

从这3口井砂岩段对比看出,在浅水三角洲的沉积环境下,砂体顶端拉平的基础上,通过岩性、夹层类型特征以及测井曲线形态的相似性对比,可具有很好的井间同期分流河道识别效果。

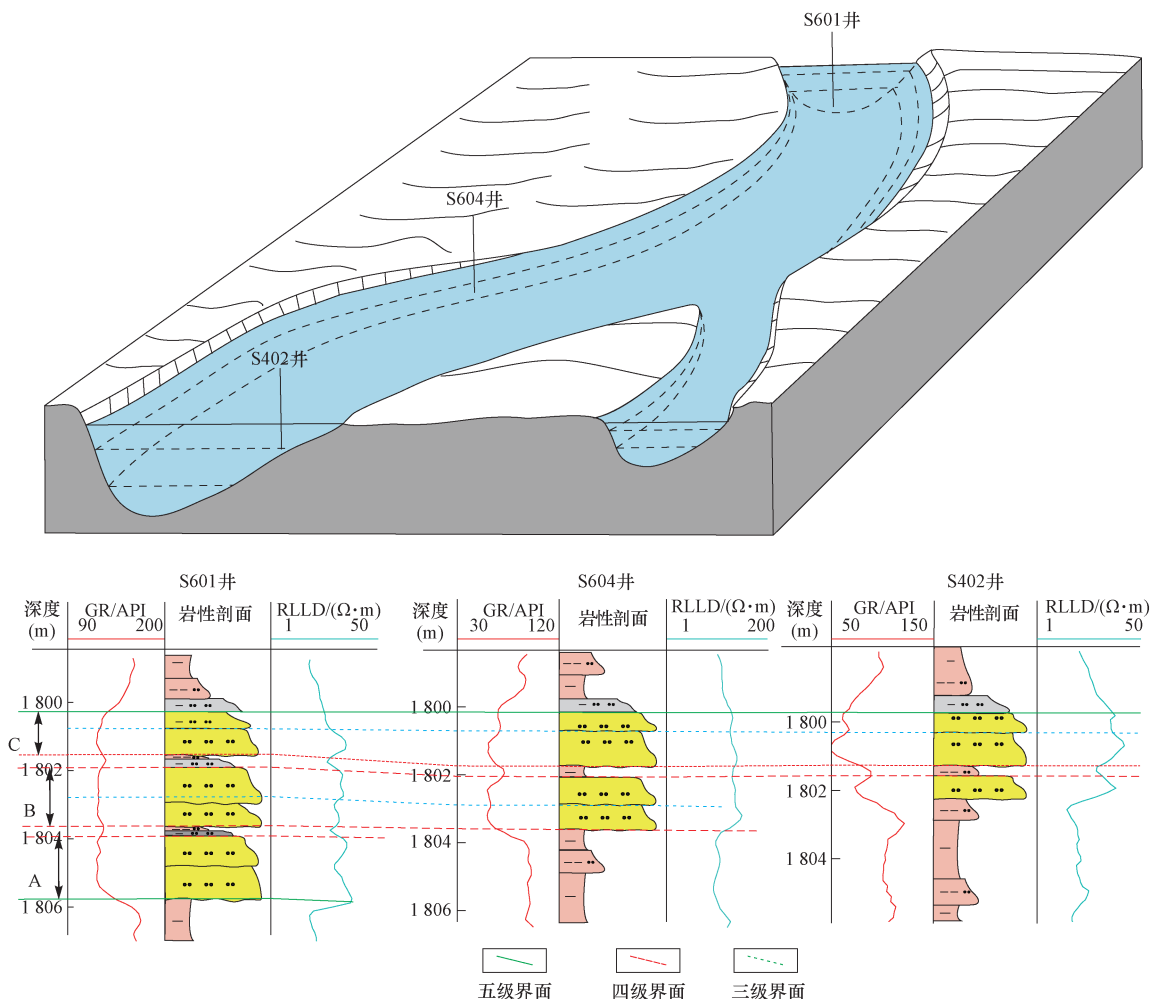


图8 三肇凹陷同期分流河道砂体及夹层对比剖面模式

Fig. 8 Correlation patterns of the cotemporaneous distributary channel sandbodies and interlayers in the Sanzhao Depression

4 分流河道平面展布特征

研究区河道规模较小,且横向变化快,单一流河道平面展布识别难度较大。在对单一河道内部构型分析基础上,从剖面上和平面识别河道边界,结合地震属性分析,进而研究平面分流河道展布特征。

本文以 Q4SSC6 时期卫 2-J53-26 井区为例,井间距在 100~550 m,建立分流河道砂体栅状对比图。从测井曲线形态识别,卫 2-54-26 砂体为 A 段上部与 B 段,卫 2-53-26 砂体为 A 段与 B 段,这两口井四级夹层可进行对比,卫 2-J53-26、卫 2-J52-26、卫 2-52-26 与卫 2-51-27 砂体 A 段与 B 段,这 4 口井四级夹层可追踪对比。从含油综合解释分析,卫 2-J53-26、卫 2-J52-26、卫 2-52-26 与卫 2-1-27 的 A 段和 B 段均含油,卫 2-53-26 的 A 段砂体含油,B 段砂体为干层,卫 2-54-26 的 B 段砂体为

干层,说明前四口井与后两口井四级夹层非同一夹层,这也证实了卫 2-54-26 砂体 A 段与 B 段四级夹层的存在,使渗透率变差,并与卫 2-53-26 四级夹层能够追踪对比(图 9)。

利用地震资料进行单一流河道砂体的刻画虽然不精确,但能在一定程度上验证上述理论^[20]。本文尝试做了 Q4SSC6 时期均方根属性图,红色为断层,黄色为砂体,结合上述栅状对比图,一定程度上相互匹配的较好,从而精细刻画分流河道平面展布特征。分流河道总体展布由西北向东南,且分叉合并频繁,宽度一般在 80~500 m(图 10)。基于上述勘探成果,进行水平井部署肇平 3 井,目的层位 F I₂(Q4SSC6 时期),砂体追踪较好,可达 500 m,达到预期效果。

5 结论

1) 三肇凹陷扶 II-I 组浅水三角洲分流河道碎

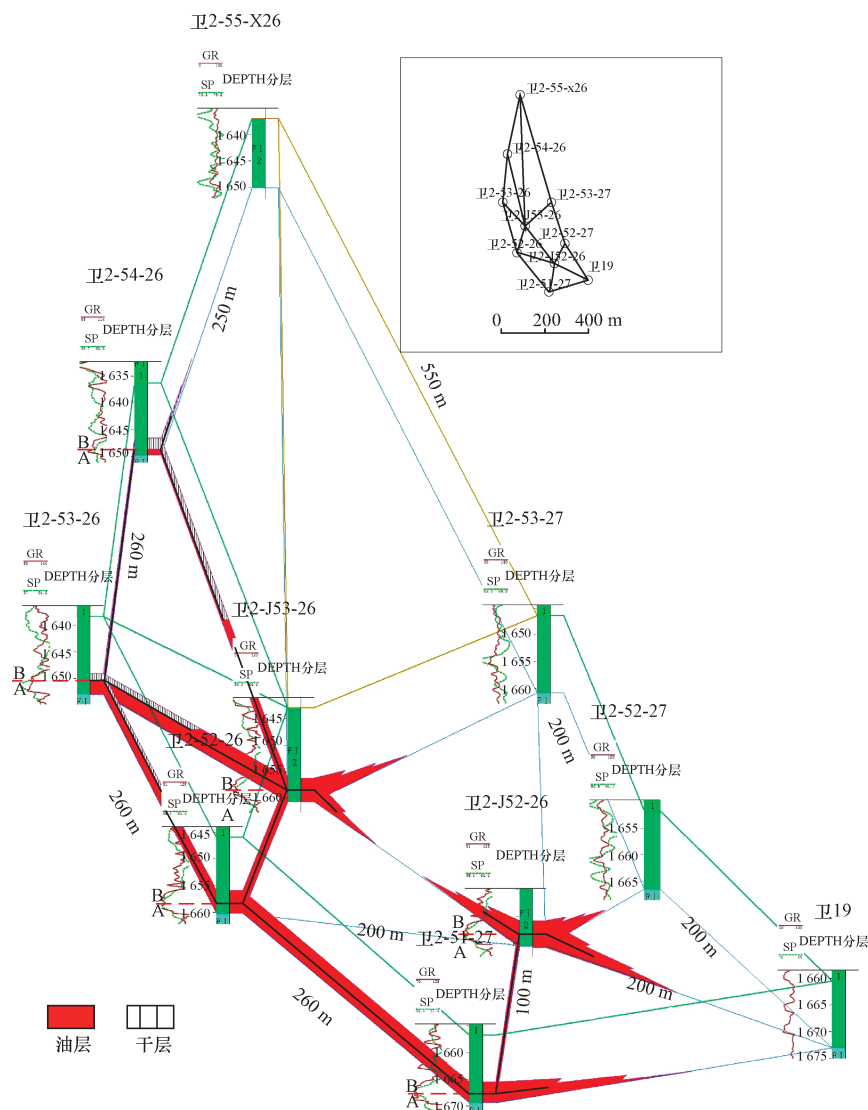


图 9 三肇凹陷 Q4SSC6 时期卫 2-J53-26 井区分流河道砂体对比栅状图

Fig. 9 Fence diagram of distributary channel sand bodies of Well Wei 2-J53-26 block in Q4SSC6 period in the Sanzhao Depression

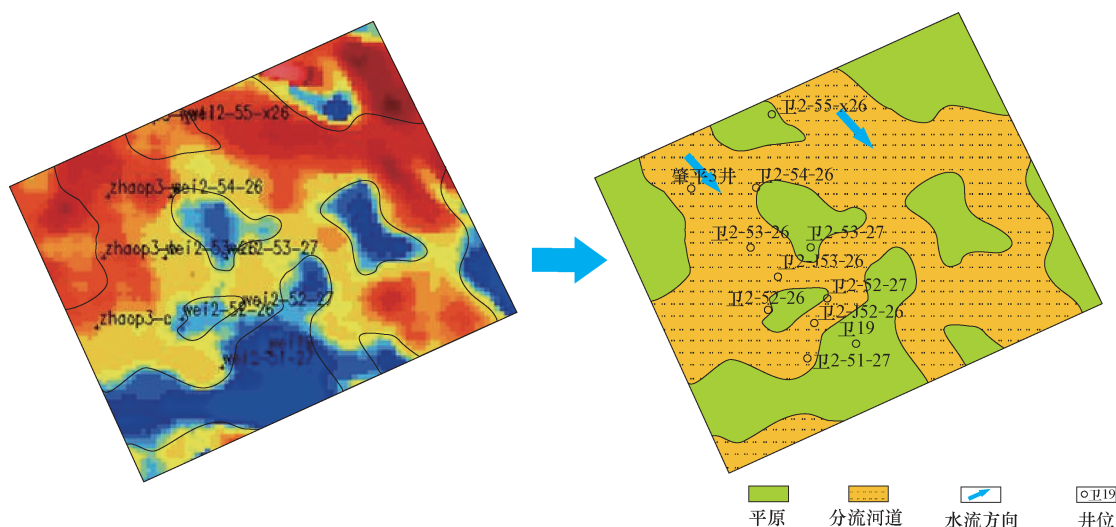


图10 三肇凹陷 Q4SSC6 时期卫 2-J53-26 井区分流河道展布特征

Fig. 10 Distribution characteristics of distributary channel sandbodies of Well Wei 2-J53-26 block in Q4SSC6 period in the Sanzhao Depression

屑颗粒的粒度中值在 0.05 ~ 0.36 mm, 集中在 0.08 ~ 0.18 mm, 主要为跳跃组分, 其次为悬浮组分, 反映了沉积物搬运距离较远, 浅水牵引流沉积特点, 结合沉积构造, 砂岩粒度等标志, 识别出 11 种岩相类型, 总结三类岩相组合类型。

2) 依据精细岩性观察, 识别出泥质夹层、钙质夹层和含砾粉砂岩夹层 3 个夹层类型。通过单一分流河道砂体的精细解剖, 识别 5 个级别构型界面特征。研究认为: 三肇凹陷扶 II-I 组单一分流河道砂体内部一般发育 1~2 个四级界面, 每个单成因砂体内部一般发育 1~3 个三级界面; 探究了单一分流河道井间同期河道识别方法, 刻画了平面分流河道展布特征。

3) 通过精细的单一分流河道砂体内部建筑构型识别与对比, 以卫 2-J53-26 井区为例, 刻画了 Q4SSC6 时期分流河道砂体的展布特征, 为本文理论提供坚实的后盾, 从而为后期水平井部署与开发提供地质依据。

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(4): 261-308.
- [2] Miall A D. Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits, Anatomy of the Kayenta formation (Lower Jurassic), southwest Colorado [J]. Sedimentary Geology, 1988, 55(3): 233-262.
- [3] Nemec W, Steel R T, Gjølberg J, et al. Anatomy of collapsed and reestablished delta front in Lower Cretaceous of Eastern Spitsbergen: gravitational sliding and sedimentation processes[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(4): 454-476.
- [4] Dreyer T, Scheie A, Walderhaug O. Minipermeameter-based study of permeability trends in channel sand bodies [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(4): 359-374.
- [5] 贾振远, 蔡忠贤. 储层构型研究方法简介 [J]. 地质科技情报, 1992, 11(4): 63-68.
Jia Zhenyuan, Cai Zhongxian. Research methods of architecture [J]. Geological Science and Technology Information, 1992, 11(4): 63-68.
- [6] 张昌民, 林克湘, 徐龙. 储层砂体建筑结构分析 [J]. 江汉石油学院学报, 1994, 16(2): 1-7.
Zhang Changmin, Lin Kexiang, Xu Long. Architecture analysis for reservoir sandbodies [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 1994, 16(2): 1-7.
- [7] 何文祥, 吴胜和, 唐义疆, 等. 河口坝砂体构型精细解剖 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(5): 42-45.
He Wenxian, Wu Shenghe, Tang Yijiang, et al. Detailed architecture analyses of debouch bar in Shengtuo oilfield, Jiyang Depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(5): 42-45.
- [8] 马世忠, 王一博, 崔义, 等. 油气区水下分流河道内部建筑结构模式的建立 [J]. 大庆石油学院学报, 2006, 30(5): 1-3.
Ma Shizhong, Wang Yibo, Cui Yi, et al. Establishment of the model for inter-architecture of underwater distributary channel in oil gas area [J]. Daqing Petroleum Institute, 2006, 30(5): 1-3.
- [9] 李志鹏, 林承焰, 董波, 等. 河控三角洲水下分流河道砂体内部建筑结构模式 [J]. 石油学报, 2012, 33(1): 1-3.
Li Zhipeng, Lin Chengyan, Dong Bo, et al. An internal structure model of subaqueous distributary channel sands of the fluvial-dominated delta [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(1): 1-3.
- [10] 赵小庆, 鲍志东, 刘宗飞, 等. 河控三角洲水下分流河道砂体储集层构型精细分析—以扶余油田探 51 区块为例 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 40(2): 181-186.
Zhao Xiaoqing, Bao Zhidong, Liu Zongfei, et al. An in-depth analysis of reservoir architecture of underwater distributary channel sand bodies in a river dominated delta: a case study of T51 Block, Fuyu Oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 40

- (2):181-186.
- [11] 朱筱敏,刘媛,方庆,等. 大型坳陷湖盆浅水三角洲形成条件和沉积模式:以松辽盆地三肇凹陷扶余油层为例[J]. 地学前缘, 2012,19(1):89-99.
- Zhu Xiaomin, Liu Yuan, Fang Qing, et al. Formation and sedimentary model of shallow delta in large-scale lake; example from Cretaceous Quantou Formation in Sanzhao Sag, Songliao Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2012,19(1):89-99.
- [12] 邹才能,赵文智,张兴阳,等. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布[J]. 地质学报, 2008, 82(6):813-824.
- Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Zhang Xingyang, et al. Formation and distribution of shallow-water deltas and central basin sandbodies in large open depression lake basins[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6):813-824.
- [13] 李延平,陈树民,宋永忠,等. 大庆长垣及以东泉三、四段扶杨油层浅水湖泊—三角洲体系沉积特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2005,24(5):13-16.
- Li Yanping, Chen Shuming, Song Yongzhong, et al. shallow Lacustrine-Delta system deposition characteristics of Fuyang Oil Bed in Daqing Placanticline and Quan3 and Quan4 Member to its East[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005,24(5):13-16.
- [14] 闫建萍,刘池洋,马艳萍. 成岩作用与油气侵位对松辽盆地齐家—古龙凹陷扶杨油层物性的影响[J]. 沉积学报, 2009,27(2):212-220.
- Yan Jianping, Liu Chiyang, Ma Yanping. Influence of diagenesis and hydrocarbon emplacement on the Quality of the Fuyang Reservoir in Songliao Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(2):212-220.
- [15] 国景星. 东营凹陷沙河街组第2段三角洲前缘砂体的夹层分布模式[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2011,38(1):15-19.
- Guo Jingxing. Interlayer distribution model in delta front subfacies sandbody of Member of Shahejie Formation in Dongying Depression, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2011,38(1):15-19.
- [16] 孙天建,穆龙新,赵国良. 砂质辫状河储集层隔夹层类型及其表征方法——以苏丹穆格莱特盆地 Hegli 油田为例[J]. 石油勘探与开发, 2014,41(1):112-119.
- Sun Tianjian, Mu Longxin, Zhao Guoliang. Classification and characterization of barrier-intercalation in sandy braided river reservoirs; taking Hegli Oilfield of Muglad Basin in Sudan as an example[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014,41(1):112-119.
- [17] 韩如冰,徐怀民,牛玉杰,等. 钙质隔夹层特征、成因及分布——以塔里木盆地哈得油田东河砂岩为例[J]. 石油勘探与开发, 2014,41(3):1-8.
- Han Rubing, Xu Huamin, Niu Yujie, et al. Feature, origin and distribution of calcareous interlayers; a case of Donghe sandstone in Hade Oil Field, Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014,41(3):1-8.
- [18] 封从军,鲍志东,单启铜,等. 三角洲平原复合分流河道内部单砂体划分——以扶余油田中区南部泉头组四段为例[J]. 石油与天然气地质, 2012,33(1):77-83.
- Feng Congjun, Bao Zhidong, Shan Qitong, et al. Single sand body identification in compound distributary channel of delta plain; a case study from the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2012,33(1):77-83.
- [19] 田景春,张兴良,王峰,等. 鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界储集砂体叠置关系及分布定量刻画[J]. 石油与天然气地质, 2013,34(6):737-742.
- Tian Jingchun, Zhang Xingliang, Wang Feng, et al. Quantitative characterization of superimposition relationship and distribution of reservoir sandbodies in the Upper Palaeozoic of Gaoqiao region, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013,34(6):737-742.
- [20] 王彦辉,姜岩,张秀丽,等. 三维地震解释技术及其在储层描述中的应用——以松辽盆地杏树岗油田 X56 区块为例[J]. 石油与天然气地质, 2013,34(3):407-412.
- Wang Yanhui, Jiang Yan, Zhang Xiuli, et al. 3D seismic interpretation technology and its application in reservoir description—an case from X56 block of Xingshugang oilfield, Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013,34(3):407-412.
- [21] 曹青,赵靖舟,柳益群. 鄂尔多斯盆地蟠龙地区延长组长2? 长6段流体包裹体研究[J]. 石油实验地质, 2013,35(4):384-388.
- Cao Qing, Zhao Jingzhou, Liu Yiqun. Fluid inclusions of Chang2 and Chang6 sections in Yanchang Formation, Panlong area, Ordos Basin. Petroleum Geology & Experiment, 2013,35(4):384-388.
- [22] 时保宏,张艳,张雷,等. 鄂尔多斯盆地延长组长7致密储层流体包裹体特征与成藏期次[J]. 石油实验地质, 2012,34(6):599-603.
- Shi Baohong, Zhang Yan, Zhang Lei, et al. Hydrocarbon accumulation dating by fluid inclusion characteristics in Chang7 tight sandstone reservoirs of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012,34(6):599-603.
- [23] 兰朝利,王建国,周晓峰,等. 鄂尔多斯盆地彭阳油田侏罗系延安组油藏成藏规律[J]. 油气地质与采收率, 2014,21(5):45-48.
- Lan Chaoli, Wang Jianguo, Zhou Xiaofeng, et al. Hydrocarbon accumulation rules of sandstone reservoirs of Jurassic Yan'an Formation, Penyang oilfield of Ordos basin, China[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014,21(5):45-48.
- [24] 代金友,李建霆,王宝刚,等. 鄂尔多斯盆地里151油藏延8—延10油组沉积特征及其与油气的关系[J]. 油气地质与采收率, 2013,20(4):5-9.
- Dai Jinyou, Li Jianting, Wang Baogang, et al. Sedimentary microfacies study for Yan8—Yan10 layers of Yan'an formation in Li151 oilfield, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013,20(4):5-9.

(编辑 张亚雄)