

辽河拗陷双台子构造带沙三段层序格架内 沉积特征及演化

满欣欣^{1,2}, 王红亮¹, 单俊峰²

[1. 中国地质大学(北京) 能源学院, 北京 100083; 2. 中国石油 辽河油田分公司 勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010]

摘要:针对辽河拗陷双台子地区勘探程度低、物源类型多、沉积条件复杂等问题,以陆相断陷湖盆层序地层学和沉积学理论为指导,对研究区沙河街组三段层序地层格架内的沉积相进行研究。通过岩心相标志分析,结合钻、测井和地震资料,识别了研究区沙三段发育扇三角洲、湖底扇和湖泊相3种沉积相类型。运用层序地层学理论及技术方法,建立了研究区沙河街组三段层序地层格架,将沙河街组三段划分为沙三下、沙三中和沙三上3个三级层序。沙三下和沙三中层序上升半旋回时期以大规模发育湖底扇为主;沙三中层序下降半旋回和沙三上层序时期北部发育扇三角洲,南部发育湖底扇。总体上,湖底扇呈现不断向凹陷中心迁移的特征,规模上呈现由小到大、再变小的沉积格局。

关键词:层序地层;沉积相;沙三段;双台子构造带;辽河拗陷

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Characteristics and evolution of sedimentary sequences of the 3rd member of Shahejie Formation in Shuangtaizi tectonic belt, the Liaohe Depression

Man Xinxin^{1,2}, Wang Hongliang¹, Shan Junfeng²

[1. College of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. PetroChina Petroleum Liaohe Oilfield Company Exploration and Production Research Institute, Panjin, Liaoning 124010, China]

Abstract: The Shuangtaizi area in Liaohe Depression with multi-typed provenances and complicated sedimentary conditions has not been well explored. Armed with terrestrial rift basin sequence stratigraphy and sedimentology theories, the authors studied the sedimentary facies in the sequence stratigraphic framework of the third member of Shahejie Formation (Sha-3 member) through comprehensive analysis of core facies marks, drilling/logging and seismic data. Three sedimentary facies were identified, including the fan delta, the sublacustrine fan and the lacustrine facies. A sequence stratigraphic framework with 3 third-order sequences (namely the lower Sha-3 sequence, the middle Sha-3 sequence, the upper Sha-3 sequence) was also established by using relevant theories and technologies for the third member. It shows that sublacustrine fans were developed extensively during the full cycle of the lower and the ascending half cycle of the middle Sha-3 sequences, fan deltas were developed in the north part of the area and sublacustrine fans were developed in the south part of the area during the descending half cycle of the middle Sha-3 and the full cycle of the upper Sha-3. In general, the sublacustrine fans show features of migration towards the central depression with scales changing from small to large and then to small again.

Key words: sequence stratigraphy, sedimentary facies, 3rd member of Shahejie Formation, Shuangtaizi tectonic belt, Liaohe Depression

双台子构造带位于辽河拗陷西部凹陷的南部地区,西侧与西部斜坡区相邻,东临清水洼陷,是东营期形成的断裂背斜构造带(图1)。西部凹陷是辽河拗陷

中面积最大、油气最为富集的含油气凹陷^[1],其东西宽10~28 km,南北长110 km,面积1 330 km²,长轴方向呈北东向;地形北高南低、东陡西缓,为向南东方向倾

收稿日期:2016-11-09;修订日期:2016-12-16。

第一作者简介:满欣欣(1990—),女,硕士、助理工程师,应用沉积学。E-mail:manxinx@163.com。

通讯作者简介:王红亮(1971—),男,博士、副教授,层序地层学。E-mail:whl4321@sohu.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(91114203)。

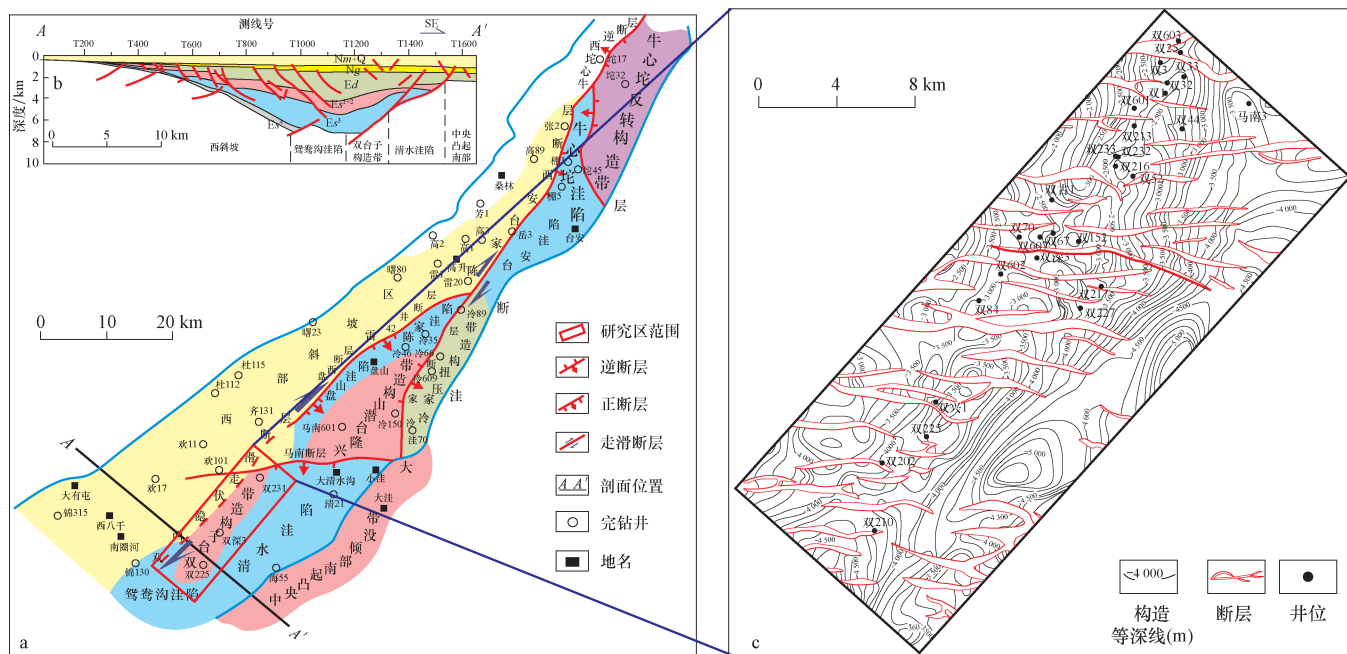
图1 辽河凹陷双台子构造带构造位置和研究工区范围^[1]

Fig. 1 Location of the Shuangtaizi tectonic belt in the Liaohe Depression and scope of the study area

a. 构造单元划分; b. 地震剖面; c. 沙三段顶界构造

斜的箕状凹陷。研究目的层段沙河街组三段(Es^3)在西部凹陷全区发育广泛,残留地层具“北部薄,南部厚”和“西部斜坡薄,洼陷中心厚”等特点。研究区双台子构造带沙(沙河街组)三段沉积厚度很大,分布范围广,是深层储层重要组成部分^[2],在深层区一般厚800~1 200 m,洼陷中心厚度可达2 000 m以上。沙三段与上覆沙一、沙二段呈不整合接触,与下伏沙四段上为整合-假整合接触。研究区东部沙三下亚段底面为一向东南倾的坡折带,其上、下埋深相差近4 000 m。区内断裂十分发育,呈阶状展布,走向以近东西向为主,多数断层为南倾正断层^[3]。

研究区沙三段埋深较深,热演化程度较高,有机质丰度高,具有充足的油气源条件,在晚期发育的构造背景下,以构造-岩性和地层-岩性等复合油气藏为主^[4-5]。目前,该区沙三中亚段和沙三下亚段尚未上报石油地质储量,勘探程度低。近几年,在研究区内完钻的双兴1、双225和双227等井均获得工业油流,沙三中亚段试油出气,勘探潜力大。西部凹陷沙三段发育时期是伸展断陷阶段的深陷期^[3],受齐家、欢喜岭及西八千三大扇体多物源、多期次的影响^[6],研究区沙三段发育规模大、范围广,砂体类型多样,沉积条件复杂。而前人对该地区沉积相的研究多数位于西部凹陷的东部或西南部的斜坡区或正向构造带^[2,7-8],对于紧邻洼陷带的沙三段的沉积特征及沉积相等方面的研究较少,同时对更适合于描述地层-岩性油气藏的层序地

层学特征的研究也尚显不足。本文通过落实双台子构造带沙三段各层序特征,在等时地层格架下对沉积相类型和沉积砂体展布特征进行分析,对研究区沙三段的油气勘探有十分重要的价值和意义。

1 岩心相标志

岩心是油区研究地层和沉积特征最重要的基础资料之一。本文通过对研究区沙三段岩心的颜色、岩性结构和构造等岩心相特征分析,判定该地区沉积环境、沉积相类型及趋势变化等^[1,9]。

1.1 颜色

研究区的泥岩颜色主要为深灰色、灰色,少部分层段出现红棕色、土黄色等(图2a—c, f, g),反映该地区沙三段沉积时期水体较深,呈还原环境,部分颜色较浅的泥岩可能是形成于暴露地表的环境中。同时,在大量层段中出现灰色、深灰色、土黄色、红棕色、褐色等泥砾(图2d, e),反映了研究区沉积环境较为复杂,可能为重力流混杂堆积的沉积背景下形成的。

1.2 岩性结构

由于临近物源区,研究区发育的沉积物总体岩性较粗,多为砂砾岩、含砾砂岩。沙三下层序上升期至沙三中层序上升期,研究区块状砂岩夹于厚层暗色泥岩



图 2 双台子构造带沙三段泥岩颜色特征

Fig. 2 Colours of the mudstone of the Sha-3 member in the Shuangtaizi tectonic belt

a. 双 31 井,埋深 2 814 m,褐色泥砾;b. 双 232 井,埋深 3 041.7 m,土黄色泥砾;c. 双 213 井,埋深 2 987 m,红色泥岩撕裂片;d. 双 213 井,埋深 3 631 m,红褐色泥砾;e. 双深 3 井,埋深 2 858 m,灰色泥质团块;f. 双 232 井,埋深 3 562 m,深灰色泥岩与砂层薄互层;g. 双兴 1 井,埋深 4 027 m,深灰色泥岩

中,泥岩厚度远大于砂岩厚度,砂岩中常见泥砾和泥质条带,表现为典型重力流沉积的岩性序列。沙三中层序下降期至沙三上层序下降期,研究区西北部与东南部呈现不同特征。东南部地区岩性及岩性序列特征与下伏地层类似,反映其沉积环境亦为重力流沉积。而西北部地区沉积物粒度相对较粗,以砾岩、砂砾岩为主,分选磨圆差,成分和结构成熟度低,多为杂基支撑砂砾岩和颗粒支撑砾岩,砾石多呈叠瓦状排列或定向排列。砂砾岩单层厚度大,垂向上具下厚上薄、下粗上细的牵引流沉积特征。

1.3 构造

岩心观察中,发现研究区发育 3 种类型共 17 种沉积构造(表 1),根据特征可分为原生沉积构造、同生变形构造和其他构造等。

原生沉积构造主要包括水平层理、平行层理、交错层理、递变层理、块状层理和冲刷面等。研究区内水平层理一般发育在暗色泥岩中,通常发育于半深湖-深湖、河(水)道间等较稳定的水动力环境(图 3a)。平行层理较为发育,常与交错层理伴生,构成垂向序列,发育于较强水动力条件下,可反映水道沉积,或发育于浊

流沉积鲍马序列 B 段和 D 段(图 3b)。研究区发育多种类型交错层理,其成因类型可分为牵引流成因和重力流成因两类。大型板状、槽状交错层理为浅水牵引流成因构造,为较强水动力条件下的产物,其下部通常具有冲刷面(图 3c,d),可代表河道等沉积环境。研究区波状层理较为常见,常发育于细粒沉积物中,砂泥间互(图 3e),是沉积截止的波浪震荡运动形成的;该层理主要分布于河流天然堤、三角洲河口砂坝、席状砂及浊流沉积鲍马序列 C 段等沉积环境中。研究区可见正递变(图 3f)、反递变和正-反递变,常见于浊流沉积鲍马序列 A 段和 E 段。研究区细粒和粗粒沉积物中均有块状层理的出现,无组合和结构的分异现象,通常可以反映重力流沉积,常发育于浊流沉积鲍马序列 A 段和 E 段。

研究区同生变形构造极为常见,包括负载构造、球枕构造、包卷层理(液化变形)、滑塌构造和碟状构造等。这些变形构造主要发育于浊积岩中,可反映沉积物快速堆积作用,因此可作为重力流成因沉积物的典型标志(图 3g—l)^[10]。

此外,研究区还发育植物根茎、炭化植物叶片及炭质纹层等其他构造,亦可反映水动力较强、沉积物快速堆积的沉积背景。

综上所述,双台子构造带水体偏深,地形较陡,沉积物岩性较粗,泥岩颜色较深,水深由东北向西南加深,植物碎片发育,流水构造和变形构造丰富,可以揭示该区沙三段为牵引流和重力流两种流水机制下的扇三角洲、湖底扇和半深湖-深湖等混合沉积。各个层段的具体特征如下(表 2)。

2 沉积相类型

通过对岩心相标志进行分析,结合单井相与地震

表 1 双台子构造带沙三段沉积构造类型分类
Table 1 Sedimentary structure classification of the Sha-3 member in the Shuangtaizi tectonic belt

构造特征	构造类型
原生沉积构造	水平层理、平行层理、小型槽状交错层理、小型波状交错层理、大型槽状交错层理、板状交错层理、递变层理、块状层理、冲刷面
同生变形构造	负载构造、球枕构造、包卷层理(液化变形)、滑塌构造、碟状构造
其他构造	植物根茎、炭化植物叶片、炭质纹层



图 3 双台子构造带沙三段沉积构造

Fig. 3 Sedimentary structures of the Sha-3 member in the Shuangtaizi tectonic belt

a. 双兴 1 井,埋深 4 218 m,水平层理;b. 双 232 井,埋深 3 482 m,平行层理;c. 双 31 井,埋深 2 825 m,槽状交错层理;d. 双 232 井,埋深 3 041.2 m,冲刷面;e. 双 52 井,埋深 3 934.5 m,波状层理;f. 双兴 1 井,埋深 4 001 m,正递变层理;g. 双兴 1 井,埋深 4 066 m,负载构造(重荷模);h. 双深 3 井,埋深 2 858.25 m,球枕构造;i. 双兴 1 井,埋深 4 215 m,包卷层理;j. 双 31 井,埋深 2 858 m,滑塌变形;k. 双兴 1 井,埋深 4 023 m,碟状构造;l. 双兴 1 井,埋深 4 214 m,液化变形

表 2 双台子构造带沙三段各层位岩心相特征及指示沉积环境

Table 2 Core facies and indicated sedimentary environment of each sequence of the Sha-3 member in the Shuangtaizi tectonic belt

层段	岩性特征及组合	颜色	生物	沉积构造	流水机制	沉积环境
沙三上下降期— 沙三中下降期	西北部 砾岩、砂砾岩、含砾砂岩; 垂向组合:下粗上细、下 厚上薄	深灰色、灰色、 红褐色	植物叶片、 植物茎	水平层理、平行层理、 槽状层理、波状层理、 冲刷面	牵引流	扇三角洲前缘、前扇三 角洲、局部浅湖—半 深湖
	东南部 含砾砂岩、粗砂岩、中砂 岩;垂向组合:厚层泥岩 夹砂岩	深灰色,泥砾呈 灰色、土黄色、 褐色等	—	递变层理、块状层理、 负载构造、包卷层理、 滑塌构造、碟状构造、	重力流	湖底扇扇中、湖底扇扇 端、半深湖—深湖
沙三中上升期— 沙三下上升期	含砾砂岩、粗砂岩、中砂 岩;垂向组合:厚层泥岩 夹砂岩	深灰色,泥砾呈 灰色、土黄色、 褐色等	—	递变层理、块状层理、 负载构造、包卷层理、 滑塌构造、碟状构造	重力流	湖底扇扇中、湖底扇扇 端、半深湖—深湖

反射几何特征,在研究区内识别了牵引流和重力流两种流水机制下沉积的扇三角洲、湖底扇和湖泊 3 种相,7 种亚相,6 种微相。

2.1 扇三角洲相

由于研究区临近凹陷区,受深陷期强烈构造活动的影响^[3,8],主要以扇三角洲前缘及前扇三角洲为主,垂向上多呈进积或退积的叠加样式。地震剖面上表现为前积反射。扇三角洲前缘亚相发育的微相类型包括水下分流河道及河道间、河口坝、席状砂等,其中以发

育水下分流河道为主(图 4)。

2.1.1 水下分流河道

水下分流河道岩性变化较大,粒度通常较粗,岩性主要为厚层的砂砾岩、含砾砂岩、粗砂岩及中—细砂岩,局部含大量炭质纹层和炭屑;单个河道呈正韵律,中、下部槽状交错层理发育,底部可见冲刷面(图 3c, d);多表现为多个河道的相互切割、叠置,部分叠置作用减弱,河道之间发育有泥质粉砂岩或薄层泥岩;上部见波状层理或亚平行层理。河道间褐色、褐灰色泥岩、

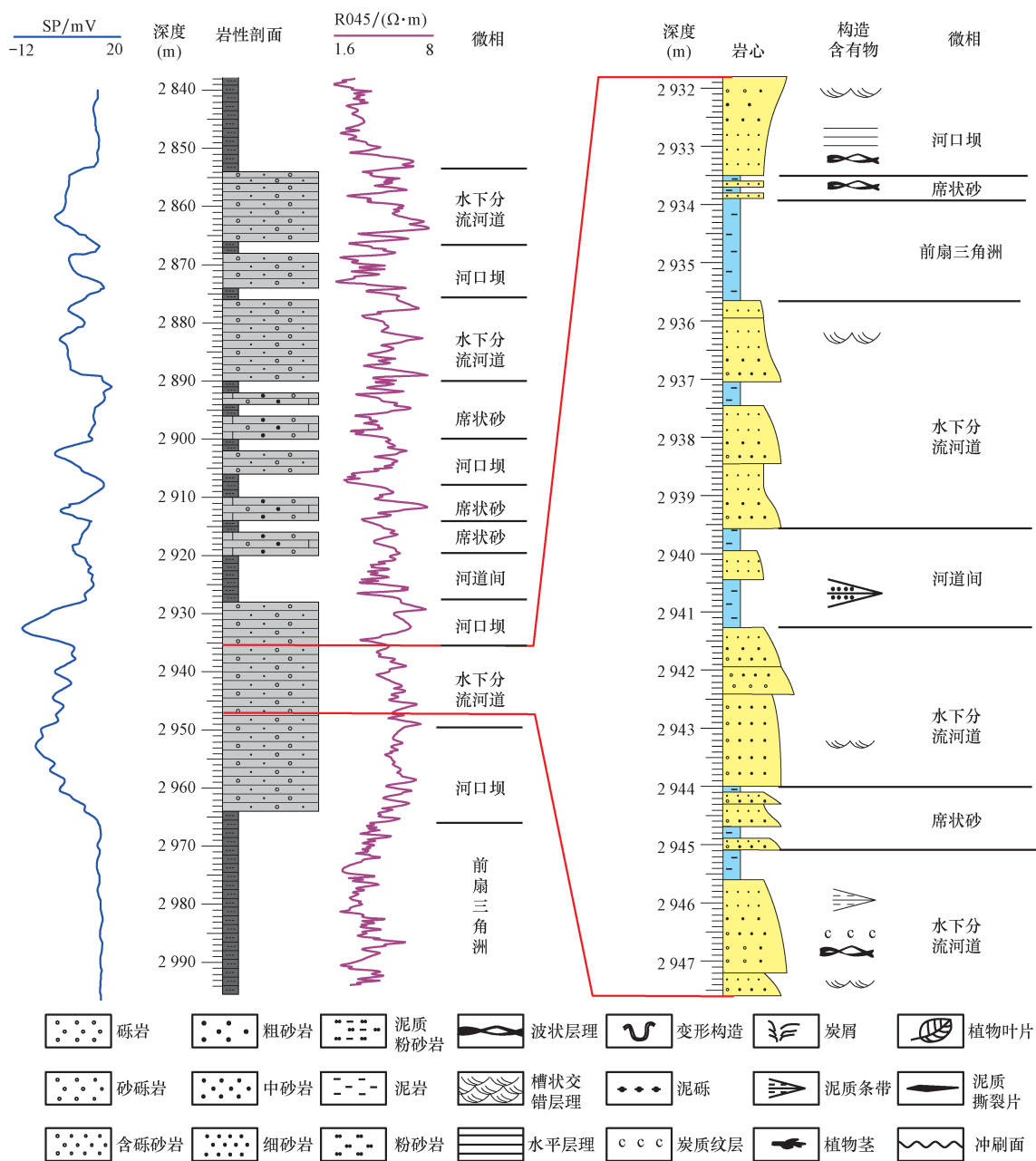


图4 双台子构造带沙三段扇三角洲钻、测井响应及岩心特征(双52井)

Fig. 4 Drilling/logging responses and core features of fan delta facies of the Sha-3 member in the Shuangtaizi tectonic belt (Shuang-51 well)

粉砂质泥岩发育,多含炭屑,局部含泥砾及泥岩撕裂片(图2c)。自然电位多表现为箱形或钟形-箱形,幅度中等,齿化特征明显。

2.1.2 河口坝

由岩心显示河口坝呈典型的反韵律特征,自下而上为砂泥薄互层、细砂岩、中砂岩、粗砂岩、砂砾岩。沉积构造为波状层理、平行层理和槽状层理(图3b,e)。扇三角洲的河口坝可表现为多个河口坝的相互叠置,多呈中砂岩-粗砂岩-砾状砂岩的反韵律特征。自然电位和电阻率曲线均表现为漏斗形。

2.1.3 席状砂

该地区席状砂一般为细砂岩-含砾砂岩,但单层厚度薄,一般小于2 m,可表现为与湖相泥岩的薄互层,总体上呈反韵律沉积序列。测井曲线表现为漏斗形或指形。反韵律河口坝和席状砂可作为识别扇三角洲沉积的重要标志。

2.1.4 前扇三角洲

前扇三角洲多主要发育灰色泥岩,夹薄层砂岩或砂泥薄互层。自然电位曲线多表现为低幅背景上的齿

状特征。

2.2 湖底扇相

湖底扇一般为夹于较厚层的深灰、灰色泥岩中的一套砂砾岩、砂岩沉积,顶、底与泥岩突变接触,测井曲线一般为高幅齿化的箱形。在地震剖面上湖底扇呈大型透镜体或丘形反射形态,内部多呈杂乱反射。在顺物源方向上部分可表现为前积形态,内部反射连续性变好。研究区湖底扇主要发育扇根、扇中和扇端 3 种亚相类型。扇根主要发育主水道,扇中主要发育扇中辫状水道、水道间和扇中前缘层状浊积岩 3 种相类型,扇端则以深灰色泥岩夹薄层的浊积席状砂为特征(图 5)。

2.2.1 扇根主水道

扇根主水道主要发育在构造上的断槽部位和斜坡下部区域。水道规模大小不等,小的十几米,厚的可达上百米,但总体规模均较大。整体粒度偏粗,以卵石质

砂岩、砂砾岩为主。单个河道多呈正韵律,自下而上为砂砾岩、含砾砂岩、粗砂岩、中砂岩,沉积构造多为块状,可见滑塌变形等(图 3j),含形状不规则的泥砾。纵向剖面上均表现为多个正韵律的叠加。测井曲线上多表现为齿化的箱形特征。扇根主水道主要发育于近源部位,呈现出液化流、牵引流向高密度重力流的转化。

2.2.2 扇中辫状水道及水道间

扇中辫状水道及水道间发育在扇根主水道前端,辫状水道规模较扇根主水道变小,一般 2~20 m 不等。单个辫状水道呈正韵律,但沉积物粒度明显变细,自下而上一般为粗砂岩、中砂岩、细砂岩,沉积构造类型丰富,可见块状层理、正递变层理、反递变层理、碟状构造、液化变形等(图 3f—i,k,l),无大型交错层理等牵引流构造。纵向剖面上均表现为多个正韵律的叠加。测井曲线上多表现为齿化的箱形特征。该种相类型为

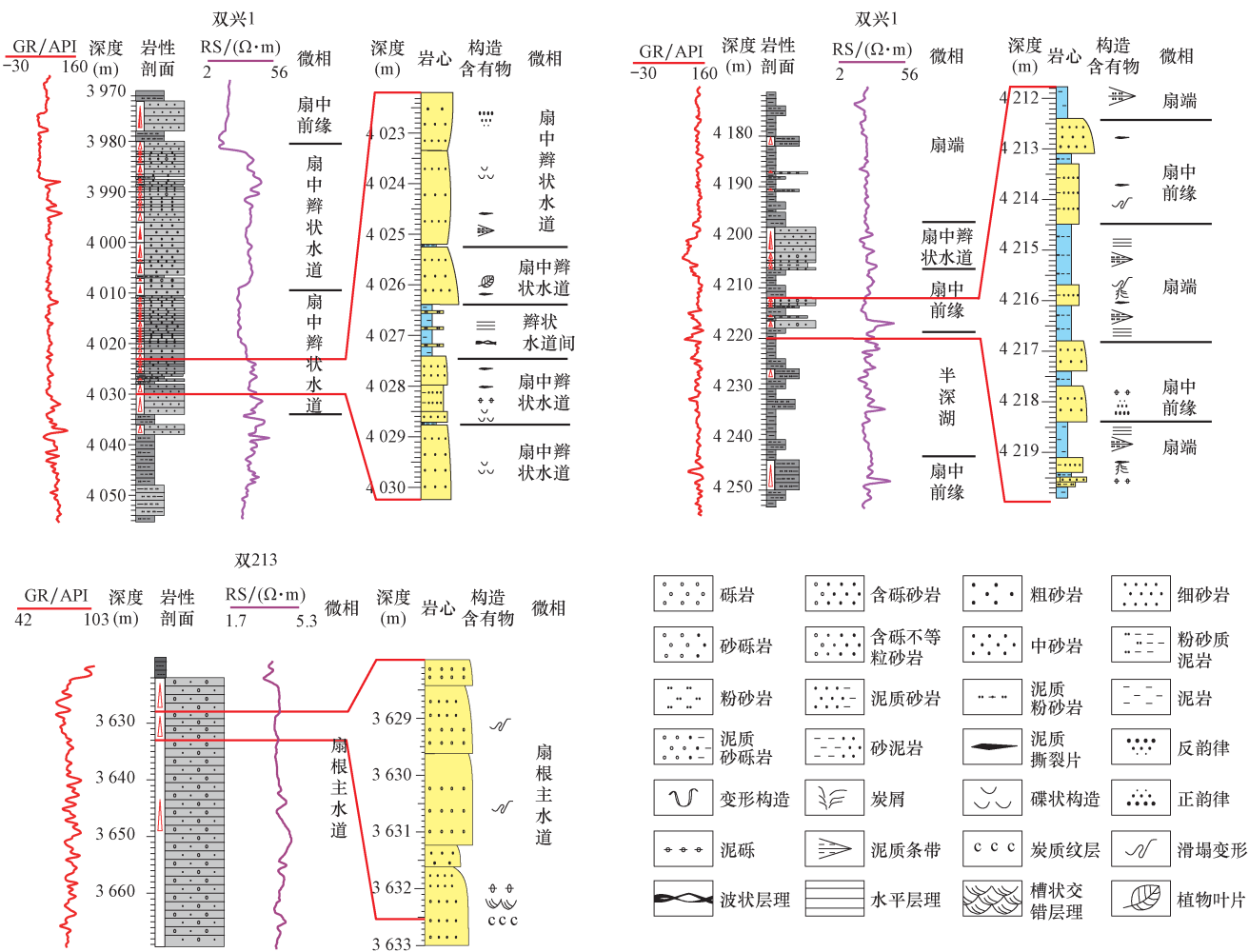


图 5 双台子构造带沙三段湖底扇钻、测井响应及岩心特征(双兴 1 井、双 213 井)

Fig. 5 Drilling/logging responses and core features of sublacustrine fan facies of the Sha-3 member in the Shuangtaizi tectonic belt(Shuangxing-1 well and Shuang-213 well)

典型的高密度浊流的产物,液化流沉积特征明显。

2.2.3 扇中前缘

扇中前缘主要发育层状浊积岩,常位于辫状水道的前端。岩性一般为中砂岩、细砂岩,可呈正韵律、反韵律或无明显韵律^[1],见正、反递变层理及波状层理,见鲍马序列;其间可见砂质团块和泥岩撕裂片。测井曲线上多表现为低幅背景上的齿化特征。

2.2.4 扇端

扇端多主要发育灰色泥岩,夹薄层浊积席状砂岩。自然电位曲线多表现为低幅背景上的齿状特征。

2.3 湖泊相

半深湖-深湖亚相以深灰色泥岩为主,包括厚层块状泥岩、粉砂质泥岩,局部夹泥质粉砂岩薄层。自然电位曲线呈低幅平直或微齿状,电阻率曲线呈低幅齿状。浅湖亚相主要发育灰色、褐灰色、褐色泥岩、粉砂质泥岩,局部夹薄层砂岩,发育波状层理或断续水平层理,自然电位曲线为低幅平滑或锯齿状。

3 层序格架下沉积相展布

3.1 层序地层特征

应用高分辨率层序地层学的理论方法^[11-14],结合钻/测井、地震资料,将研究层段沙河街组划分为 3 个三级层序,自下而上命名为沙三下、沙三中和沙三上层序,其层序界面自下而上为 SB1, SB2, SB3 和 SB4,在各层序内部的 3 个较大洪泛面自下而上为 F1, F2 和 F3(图 6)。

沙三下层序底界为沙河街组三段底界面 SB1,顶界为层序界面 SB2。层序表现为上升期与下降期的退积和进积叠加样式较清楚、厚度近似的对称结构,或上升期厚度明显大于下降期的非对称层序结构。地震上多为弱反射特征,部分较强反射(图 7)。钻井揭示岩性发育特征分两种类型:1)中部地区以含砾砂岩、砾状砂岩夹深灰色泥岩薄层,或与深灰色泥岩薄互层为特征,洪泛面 F1 附近为相对厚层的深灰色泥岩夹薄层细砂岩;2)西南部地区以厚层灰色、深灰色泥岩夹薄层含砾砂岩和细砂岩、粉砂岩为特征,且整体自下而上泥岩厚度增大、砂岩厚度减薄,洪泛面 F1 附近为大套厚层泥岩。

沙三中层序底界为层序界面 SB2,顶界为层序界

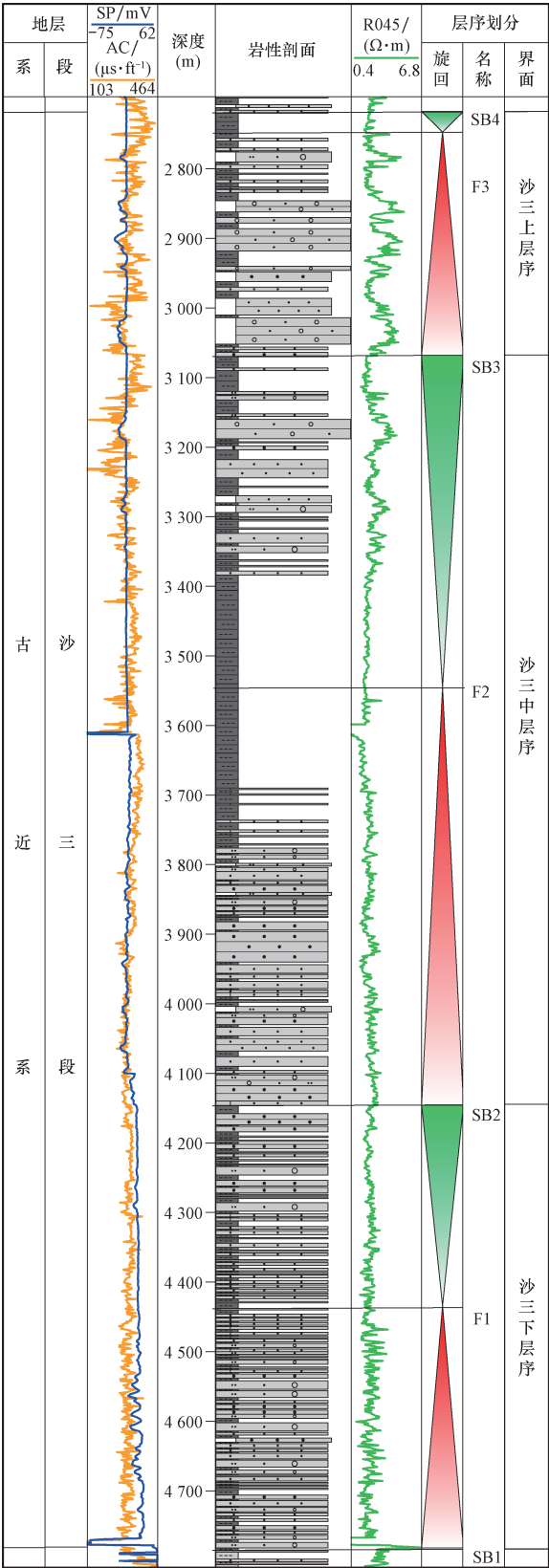


图 6 双台子构造带沙三段双深 3 井单井层序划分地层综合柱状图

Fig. 6 Comprehensive stratigraphic column based on single well sequence classification of the Sha-3 member in Shuangshen-3 well in the Shuangtaizi tectonic belt

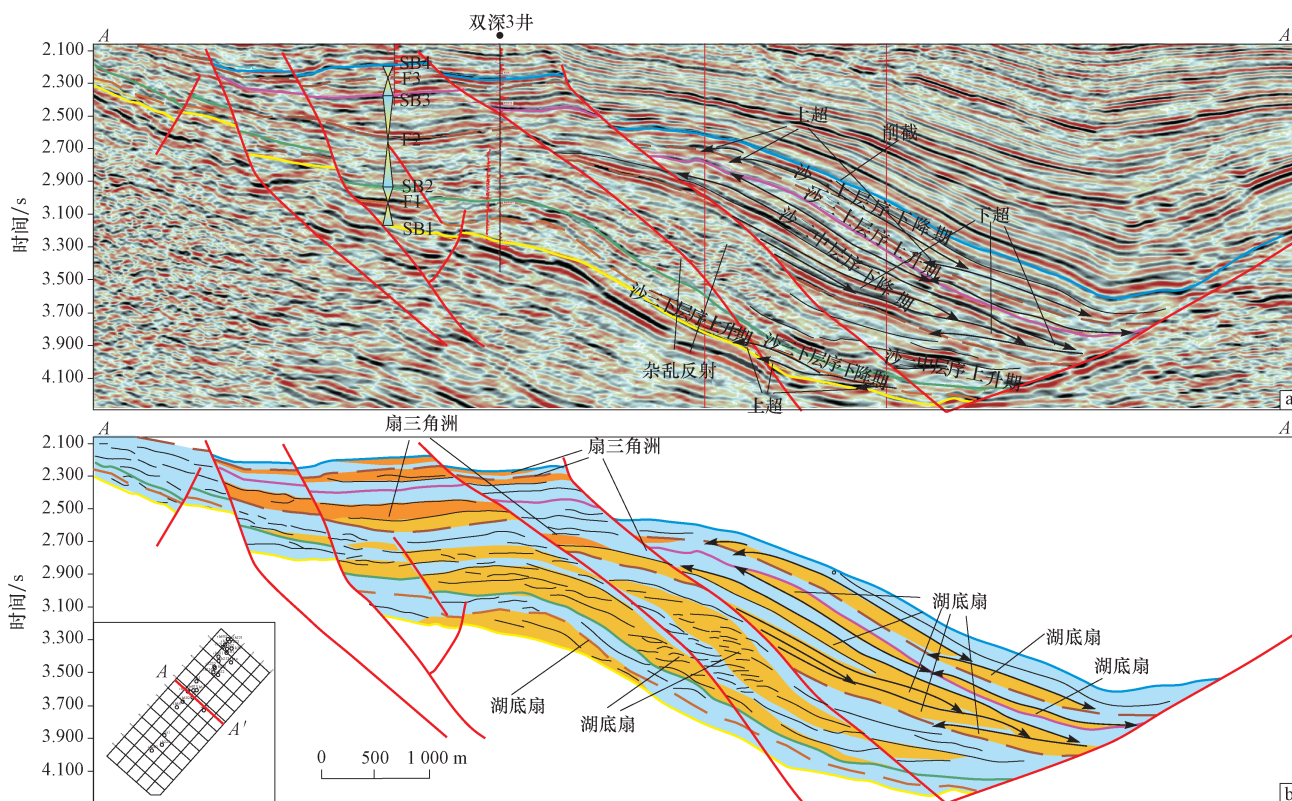


图7 双台子构造带沙三段层序地层(b)及沉积相地震反射特征(a)

Fig. 7 Sequence stratigraphy(b) and seismic reflectance features of sedimentary facies(a) of the Sha-3 member in the Shuangtaizi tectonic belt

面SB3。该层序整体以发育对称结构为主,上升半旋回多呈明显的退积样式,下降半旋回则整体呈进积样式。地震上表现为下部弱反射、杂乱反射,上部较强反射。该层序分布范围广,厚度大。钻井揭示岩性特征主要有3种类型:厚层深灰色泥岩与砂砾岩互层,深灰色泥岩与中-细砂岩薄互层,及深灰色泥岩厚层夹薄层砂岩、泥质粉砂岩。洪泛面多位于厚层的深灰色泥岩中部。

沙三上层序底界为层序界面SB3,顶界为界面SB4。该层序整体以上升半旋回较发育的非对称结构为主,少数为上升与下降半旋回均有发育的较对称结构。地震反射特征较沙三中层序强。钻井揭示岩性主要以灰色、深灰色泥岩与砂岩、砂砾岩互层为特征,局部见薄层灰岩;整体下部以砂岩和砂砾岩为主,上部多为泥岩夹薄层砂岩。

3.2 沉积相平面展布

根据层序格架下沉积剖面展布特征,研究区沙三段不同层序内发育沉积相类型有明显区别。沙三下层序至沙三中层序上升期内,全区均发育湖底扇沉积;沙三中层序下降期至沙三上层序内,北部高部位发育扇三角洲沉积,而南部洼陷区则发育湖底扇沉积。推测

沉积相的展布发育明显受断层和古地貌的影响,断层部分控制了地形坡折的发育^[15]。坡折带之下一般发育湖底扇,同时由于湖底扇的发育及断层活动的迁移,地形坡折向洼陷迁移,湖底扇也相应地发生迁移(图7)。

3.2.1 沙三下层序

沙三下层序时期,盆地断裂活跃,断陷作用强,整体以发育欠补偿作用为主。双台子构造带西北侧存在明显的地形坡折^[15],与断裂相互作用控制了研究区的古地貌格局。受整体北高南低古地貌的影响,物源主要来自北部及西北部。在整体深湖-半深湖的背景下,扇三角洲前端的沉积物在地形坡折带部位滑塌形成大量的湖底扇沉积,受凹陷北高南低的古地形控制,来自西部方向的重力流沉积物在进入下台阶后,转向西南方向,因而扇体多呈北东-南西向延伸(图8)。

沙三下层序上升半旋回,受不同地貌单元的影响,形成规模大小不一的6个湖底扇体。其中,以中北部的两个扇体规模最大。沙三下层序的下降半旋回,沉积特征与上升期相似,仍是以发育湖底扇和较深湖沉积为主,只是扇体发育的范围及规模发生变化。中部的两个扇体规模最大,但厚度明显减小。东北部发育

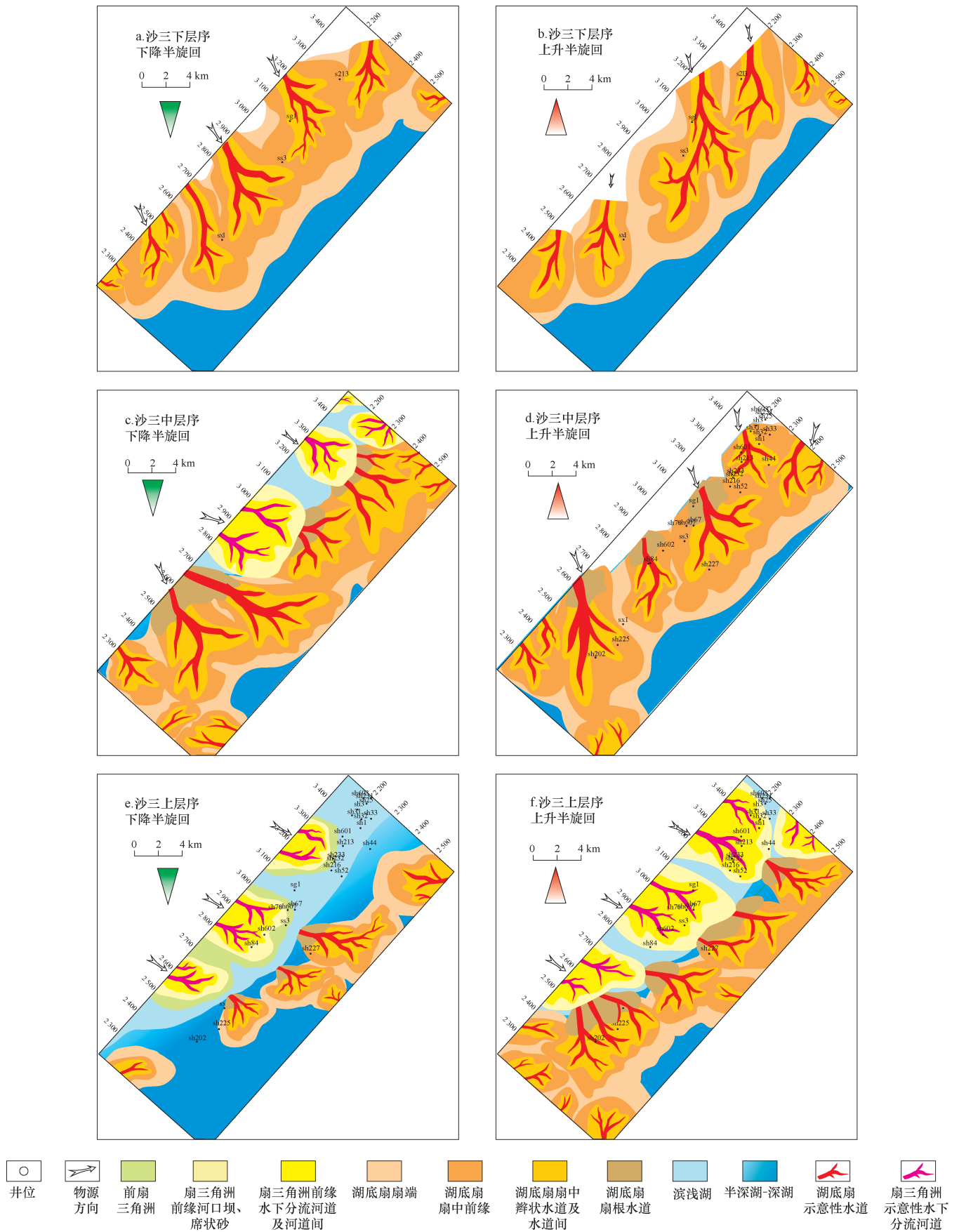


图8 双台子构造带沙三段各层序内沉积相

Fig. 8 Sedimentary facies of each sequence of the Sha-3 member in the Shuangtaizi tectonic belt

两个扇体,其中双213井东侧的扇体发育在断层的下降盘。

3.2.2 沙三中层序

沙三中层序时期,地层沉积厚度大。以双兴1井—双84井中间为界,存在南北两个沉积中心,但北部沉积中心的规模明显大于南部,且沉积中心具有自下而上向西南方向迁移的趋势。北部西北方向的坡折带具有向东南方向迁移的特征,断层和坡折带共同控制了该沉积时期沉积格局。南部坡折带发育不明显,沉积格局主要受断层发育的影响。

沙三中层序上升半旋回沉积体走向仍以近南北向为主,发育湖底扇和深湖—半深湖沉积,只是与沙三下层次序相比,湖底扇的规模更大,且表现为多期叠置的特点。以双兴1井—一线为界,分为南、北两个湖底扇发育区。沙三中层序下降半旋回的沉积面貌较上升期有较明显的不同,主要表现为沉积相类型、沉积体走向发生明显变化。从类型上看,该时期除继续发育湖底扇沉积外,研究区北部还发育扇三角洲前缘沉积。沉积体走向也由下部的以近南北向为主,变为北西—南东向为主,局部扇体仍呈近东西向。发生这种改变的原因可能与研究区内发育的近东西向断裂有关^[15]。沉积物沿断层下降盘充填、沉积,形成北西—南东向和近东西向的沉积体。此时,沉积体类型以双台子构造带为界,构造带西北部以发育扇三角洲为主,而构造带东南及南部地区则主要发育湖底扇沉积。湖底扇规模较大,双227和双44井所在的两个扇体,在凹陷区叠合连片。

3.2.3 沙三上层序

沙三上层序沉积时期,断裂活动减弱,充填作用加强,水体整体变浅。此时,北部及西北方向的扇三角洲

进入本区,沉积物越过构造带,在前端的半深湖区形成湖底扇。后期演化过程中,西北部地层抬升遭受剥蚀,构造带上的钻井普遍沙三上层序下降半旋回的厚度不大。

沙三上层序上升半旋回,研究区西北部、北部均发育扇三角洲沉积,在浅湖—半深湖的背景下,以发育扇三角洲前缘为主。构造带东南部的洼陷区,仍然发育半深湖及湖底扇沉积,但此时湖底扇规模较小。沙三上下降期扇三角洲和湖底扇的规模更小,构造带以北发育扇三角洲,在其下部凹陷区发育小规模的湖底扇。

3.3 沉积相演化规律

从上述沙三段各层序的沉积相分布可以看出,沙三下层次序时期—沙三中层序上升期,以发育南北向的沉积体为主,在深湖—半深湖的背景下,大面积发育湖底扇沉积,扇体的发育具有向凹陷中心迁移的趋势,推测其沉积格局主要受地形坡折和断层的影响^[15]。该时期的湖底扇沉积物粒度以砂砾岩和砂岩为主,为典型的富砂体系的湖底扇沉积,以发育扇根水道及扇中辫状水道(河道化)或扇中前缘层状浊积岩(非河道化)的舌状体为特征,具多期叠置并逐渐向湖盆中心迁移的特点(图9a)。

从沙三中层序下降期—沙三上层序时期,研究区在基底断裂派生的近东西向断裂的影响下^[15],沉积走向转为北西—南东和近东西向。沉积的湖底扇由于受地形坡折的控制作用,向凹陷中心迁移,北部、西北部的扇三角洲进入本区,在双台子构造带及其以北区域主要以发育扇三角洲为主。此时的沉积格局表现为地形坡折带下部发育湖底扇,坡折带上部发育扇三角洲,中间区域存在沉积物的过路区域。此时湖底扇的规模变小,形态孤立(图9b)。

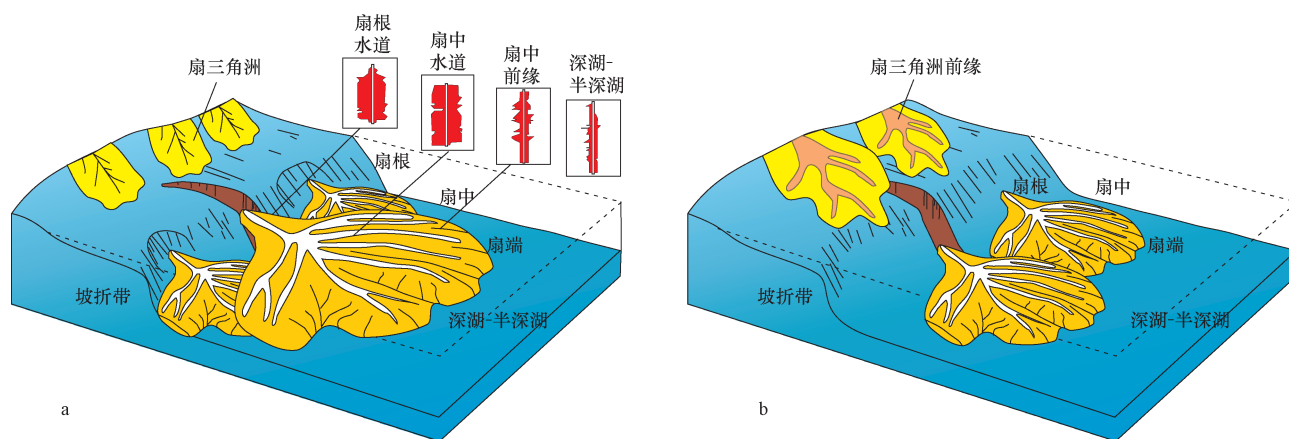


图9 双台子构造带沙三段不同层序内扇三角洲—湖底扇沉积模式

Fig. 9 Sedimentary mode of fan delta and sublacustrine fan facies for different sequences of the Sha-3 member in the Shuangtaizi tectonic belt

a. 沙三下层次序—沙三中层序上升半旋回时期; b. 沙三中层序下降半旋回—沙三上层序时期

4 结论

1) 根据岩心相的识别,结合钻/测井相、地震相综合分析,明确了研究区主要为牵引流机制下的扇三角洲沉积与重力流机制下的湖底扇沉积的复合沉积环境,识别出扇三角洲前缘水下分流河道、前缘河口坝、前缘席状砂、前扇三角洲、湖底扇扇根主水道、扇中辫状水道、扇中前缘、湖底扇扇端、浅湖、半深湖-深湖等10个微相,并确定了不同相的识别标志。

2) 根据高分辨率层序地层学原理,将双台子构造带沙三段划分为沙三上、沙三中和沙三下3个三级层序,每个层序内部分为上升半旋回和下降半旋回,建立了沙三段的层序地层格架。

3) 开展层序格架约束下的沉积特征研究,明确了层序格架内沉积相空间展布及发育演化特点,指出研究区沙三段自下而上沉积体走向由南北向转为北西-南东向,沉积相类型由湖底扇大规模发育转为北部主要发育扇三角洲、南部主要发育湖底扇,湖底扇呈现向凹陷中心不断迁移,规模上由小到大、再变小的特点。

参 考 文 献

- [1] 耳闯,牛嘉玉,顾家裕,等. 辽河双台子构造带沙三段主要的沉积相类型与成因分析[J]. 地质学报,2011,85(6):1028-1037.
Er Chuang, Niu Jiayu, Gu Jiayu, et al. Main sediment types and genesis of the third member of Shahejie Formation (E_2s^3) in the Shuangtaizi structure belt, West Sag, Liaohe [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(6): 1028-1037.
- [2] 张金亮,杨子成,司学强. 辽河油田西部凹陷沙三段沉积相及演化[J]. 西北地质,2004,37(4):7-14.
Zhang Jinliang, Yang Zicheng, Si Xueqiang. Sedimentary facies and evolution of the third member of Shahejie Formation in West Depression of Liaohe Basin [J]. Northwestern Geology, 2004, 37(4): 7-14.
- [3] 李明刚,漆家福,童亨茂,等. 辽河西部凹陷新生代断裂构造特征与油气成藏[J]. 石油勘探与开发,2010,37(3):281-288.
Li Minggang, Qi Jiafu, Tong Hengmao, et al. Cenozoic fault structure and hydrocarbon accumulation in Western Sag, Liaohe Depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(3): 281-288.
- [4] 冉波,单俊峰,金科,等. 辽河西部凹陷西斜坡南段隐蔽油气藏勘探实践[J]. 特种油气藏,2005,12(1):10-14.
Ran Bo, Shan Junfeng, Jin Ke, et al. Subtle reservoir exploration practice on south section of western slope in Liaohe Western Sag [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2005, 12(1): 10-14.
- [5] 刘君荣,王晓文,赵忠新,等. 南堡凹陷拾场次洼的构造-沉积特征及其对岩性油藏勘探的影响[J]. 石油与天然气地质,2014,35(5):601-608.
Liu Junrong, Wang Xiaowen, Zhao Zhongxin, et al. Tectonic-sedimentary characteristics and their influences on the forming of lithologic hydrocarbon reservoirs in the Shichang Subsag of the Nanpu Sag [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(5): 601-608.
- [6] 孟卫工. 辽河拗陷古近系碎屑岩储层[M]. 北京:石油工业出版社,2007:1-85.
Meng Weigong. Paleogene clastic reservoir in Liaohe Depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007: 1-85.
- [7] 张震,鲍志东,童亨茂,等. 辽河断陷西部凹陷沙三段沉积相及相模式[J]. 高校地质学报,2009,15(3):387-397.
Zhang Zhen, Bao Zhidong, Tong Hengmao, et al. Sedimentary facies and facies model of the 3rd member of Shahejie Formation in the Western Sag, Liaohe Fault Basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2009, 15(3): 387-397.
- [8] 鞠俊成,张凤莲,喻国凡,等. 辽河盆地西部凹陷南部沙三段储层沉积特征及含油性分析[J]. 古地理学报,2001,3(1):63-70.
Ju Juncheng, Zhang Fenglian, Yu Guofan, et al. Depositional characteristics and hydrocarbon accumulation of the third member of Shahejie Formation reservoir in the southern West Depression, Liaohe Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(1): 63-70.
- [9] 满欣欣,满国天,刘政坤. 两种不同成因的沉积相岩心特征研究——以辽河拗陷双台子构造带扇三角洲相和湖底扇相为例[J]. 中国化工贸易,2015,7(6):20.
Man Xinxin, Man Guotian, Liu Zhengkun. Study on the characteristics of cores from two different types of sedimentary facies—an example of fan delta and sublacustrine fan in Shuangtaizi tectonic belt, Liaohe Depression [J]. China Chemical Trade, 2015, 7(6): 20.
- [10] 于福生,董月霞,童亨茂,等. 渤海湾盆地辽河西部凹陷古近纪变形特征及成因[J]. 石油与天然气地质,2015,36(1):51-60.
Yu Fusheng, Dong Yuexia, Tong Hengmao, et al. Characteristics and origins of structural deformation in the Paleogene in the Western Sag of Liaohe Depression, Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 51-60.
- [11] 邓宏文,王红亮, Cross T A, 等. 高分辨率层序学——原理及应用[M]. 北京:地质出版社,2002:1-40.
Deng Hongwen, Wang Hongliang, Cross T A, et al. High resolution sequence—theory and principles [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 1-40.
- [12] 王红亮. “转换面”的概念及其层序地层学意义[J]. 地学前缘,2008,15(2):35-42.
Wang Hongliang. Concept of “Turnaround Surface” and its significance to sequence stratigraphy [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 35-42.
- [13] 吴俊,樊太亮,刘慧盈,等. 辽河西部凹陷曙一区杜84块I组高分辨率层序地层[J]. 石油与天然气地质,2014,35(3):429-436.
Wu Jun, Fan Tailiang, Liu Huiying, et al. High resolution sequence stratigraphy of Xing I Formation in the Du 84 Block, Shu 1 area, Western Sag of Liaohe Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 429-436.
- [14] 曾清波. 辽河滩海西部古近系层序地层特征及其控藏作用[D]. 北京:中国地质大学(北京),2009.
Zeng Qingbo. The western Liaohe offshore Paleogene sequence stratigraphy and its controlling effect [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009.
- [15] 李军生. 新开、双台子地区断层封闭性研究[J]. 断块油气田,2001,8(5):24-27.
Li Junsheng. Study on fault seal ability in Xinkai and Shuangtaizi area [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2001, 8(5): 24-27.

(编辑 李 军)