

准噶尔盆地阜东斜坡区侏罗系层序地层及沉积体系展布

操应长^{1,2}, 户瑞宁^{1,2}, 王健^{1,2}, 徐琦松^{1,2}, 陈洪³, 宿云国⁴

(1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 海洋国家实验室 海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东 青岛 266071; 3. 中国石油新疆油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000; 4. 中国石油新疆油田分公司 新港作业公司, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要:为认识准噶尔盆地阜东斜坡区侏罗系层序地层及沉积体系展布, 根据层序地层学理论, 综合地震、测井、录井及岩心资料, 并结合各层序井—震联合标定, 对准噶尔盆地阜东斜坡区侏罗系进行层序地层划分, 建立层序地层格架。结果表明: 在该地区共识别 3 个二级层序界面和 5 个三级层序界面, 划分 7 个三级层序; 二级层序界面对应侏罗系顶、底界面及西山窑组沉积末期; 三级层序自下而上对应八道湾组下段、八道湾组上段、三工河组、西山窑组、头屯河组、齐古组及喀拉扎组地层; 根据层序地层结构特征, 将 7 个三级层序分为二分层序、三分层序和四分层序 3 种类型。该地区沉积相类型主要包括扇三角洲、辫状河三角洲、曲流河三角洲、辫状河—曲流河和湖泊相, 其中辫状河三角洲相是主要沉积相类型。SQ1—SQ6 层序格架内, 沉积相演化依次表现为扇三角洲(八道湾组, 即 SQ1—SQ2)—辫状河三角洲(三工河组, 即 SQ3)—曲流河三角洲(西山窑组, 即 SQ4)—辫状河—曲流河(头屯河组, 即 SQ5)—曲流河(齐古组, 即 SQ6)的演化序列, 整体上侏罗系形成一套正旋回, 粒度自下而上由粗逐渐变细。综合分析各层序地层特征及沉积体系展布规律, 为寻找优质储集砂体、确定有利勘探方向提供重要证据。

关键词:准噶尔盆地; 阜东斜坡区; 侏罗系; 层序地层格架; 沉积特征

中图分类号: TE111.3 文献标识码: A 文章编号: 2095-4107(2016)06-0082-14

0 引言

准噶尔盆地是我国西部重要的含油气盆地, 属于中央地块型复合叠加盆地^[1]。盆地周缘被海西褶皱造山带环绕, 现今盆地平面形态大致呈南宽北窄的三角形^[2], 阜东斜坡区位于准噶尔盆地东部, 区域分布宽度为 20~40 km, 面积约为 600 km²。侏罗系是该盆地主力含油气层系之一, 年产量过千万吨^[3]。

目前, 对该地区层序地层及沉积体系展布研究相对较少, 限于掌握的地质资料不同, 仅建立局部地区、部分层位的层序地层格架, 缺乏对层序格架的深入研究^[4-5]。张满郎、鲍志东、张冬玲^[1,6-7]等对二级层序的认识比较一致, 认为阜东斜坡区侏罗系划分为 2 个二级层序, 层序界面是在西山窑组沉积末期; 对于三级层序的划分, 鲍志东等研究认为侏罗系应该划分为 7 个三级层序, 分别与八道湾组中下段及上段的下部、八道湾组上段中上部和三工河组下段、三工河组上段和西山窑组底部、西山窑组中上部、头屯河组、齐古组及喀拉扎组对应, 并指出各层序发育程度不同, 具有不均衡性及横向变化的分区性^[6]; 张满郎等将侏罗系划分为 6 个三级层序, 提出八道湾组中部及西山窑组下部的煤层应当作为层序边界^[1]; 唐忠华等将侏罗系划分为 5 个三级层序, 并提出除 I 层序发育相对较完整的 3 个体系域(低水位体系域、湖侵体系域及高水位体系域)外, 其他各三级层序内往往缺乏低水位体系域^[8]; 吕雪雁等研究认为侏罗系可识别 4 个三级层序, 由于受到振荡性构造运动的影响, 三级层序发育并不完整, 除了层序 I 发育低水位体系域和湖侵体系域外, 其他 3 个层序由湖侵体系域和高水位体系域构成^[9]。更多的研究主要集中在层序地层的划分和层序发育的控制因素方面, 而对于在层序地层格架下沉积体系的演化规律和平面精细沉积相展布方面研究相对较少。

收稿日期: 2016-07-06; 编辑: 关开澄

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1262203); 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2014CB239002)

作者简介: 操应长(1969—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事沉积学、层序地层学及油气储层地质学方面的研究。

通信作者: 户瑞宁, E-mail: 1225931703@qq.com

结合地震、测井、录井及岩心等资料,以层序地层学理论为指导,笔者构建该地区层序地层格架,根据“以点连线,以线带面,优势定向”的沉积相分析思路,确定沉积相类型及特征,最终将层序地层格架和沉积体系展布规律有机结合起来^[10],为阜东斜坡区有利砂体预测及油气勘探提供理论依据。

1 区域地质背景

阜康凹陷属于准噶尔盆地东部次级凹陷构造单元,研究区位于阜康凹陷东部^[3](见图1)。该区属于典型的陆相斜坡,整体面貌为平缓单斜构造,缺乏构造圈闭^[11]。

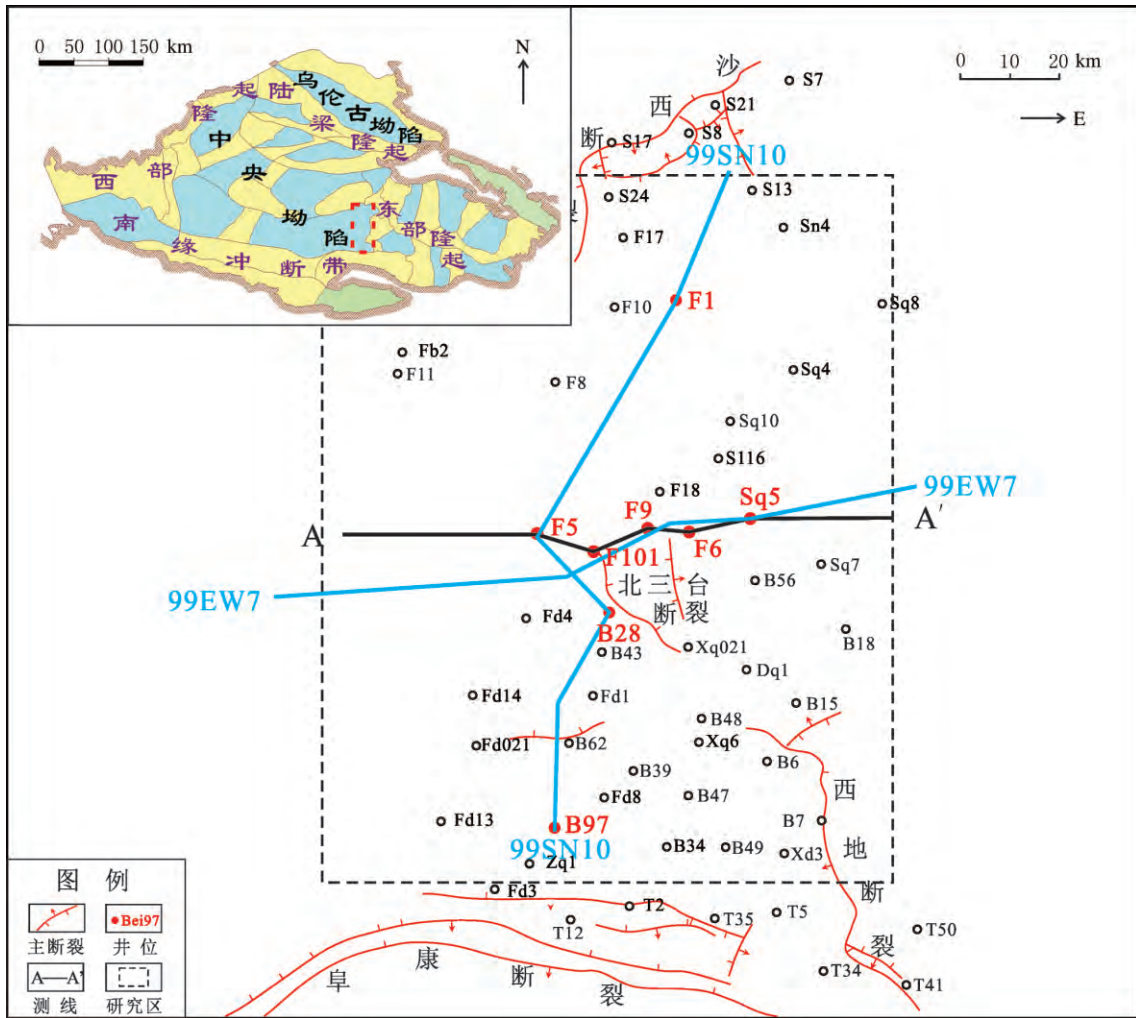


图1 准噶尔盆地阜东斜坡区构造位置

Fig.1 Structural location map of Fudong slope area in Junggar basin

早—中侏罗世,准噶尔盆地处于区域伸展构造背景下的缓慢沉降时期;中—晚侏罗世,由于早期燕山运动,使得盆地转入挤压构造背景,盆地整体抬升,在一定范围内形成平行不整合,研究区出现正反转构造^[12-13]。准噶尔盆地侏罗系顶、底分别以区域性不整合面与白垩系、三叠系分开,下侏罗统分为八道湾组和三工河组,八道湾组地层相对较厚,为350~600 m,研究区内稳定分布,岩性主要为灰色砂砾岩与泥岩互层,八道湾组上部地层夹薄层煤层,底部为砂砾岩;三工河组沉积厚度小于八道湾组的,为80~370 m,研究区内分布稳定,三工河组下部为一套砂砾岩与泥岩互层,上部为厚层粉砂岩夹薄层泥岩;中侏罗统分为西山窑组和头屯河组,西山窑组沉积厚度为50~320 m,是准噶尔盆地重要的成煤期,下部以沉积厚层砂砾岩为主,中上部主要为灰绿色、灰色泥岩与粉砂岩的互层;头屯河组与下伏西山窑组呈不整合接触,沉积地层较厚,下部以中粗砂岩为主,夹灰色粉砂质泥岩,上部以灰褐色粉砂质泥岩与泥岩为主,局部夹细砂

岩;上侏罗统分为齐古组和喀拉扎组,齐古组在研究区内大部分区域发育,但在东部斜坡边缘处剥蚀相对严重,底部以砂砾岩沉积为主,中上部主要为中细砂岩夹薄层灰褐色砂质泥岩;喀拉扎组地层遭受严重剥蚀,研究区内钻/录井资料并未揭示识别^[14]。侏罗系时期,准噶尔盆地处于陆内拗陷阶段,整体物源供给较弱,但研究区因受北部克拉美丽山物源和东南侧北三台凸起及古博格达山物源的影响,在斜坡带发育扇三角洲、辫状河三角洲和湖泊等一系列沉积相^[1],是准噶尔盆地最有利储盖层发育区域。

2 层序地层特征

2.1 界面识别

在地震、测井及录井资料的综合分析基础上,对阜东斜坡区侏罗系层序界面进行识别和追踪,共识别8个层序界面,分别为SB1—SB8(见图2—3、图5)。其中,3个二级层序界面(SB1、SB5、SB8)和5个三级层序界面,自下而上依次为SB2—SB7。

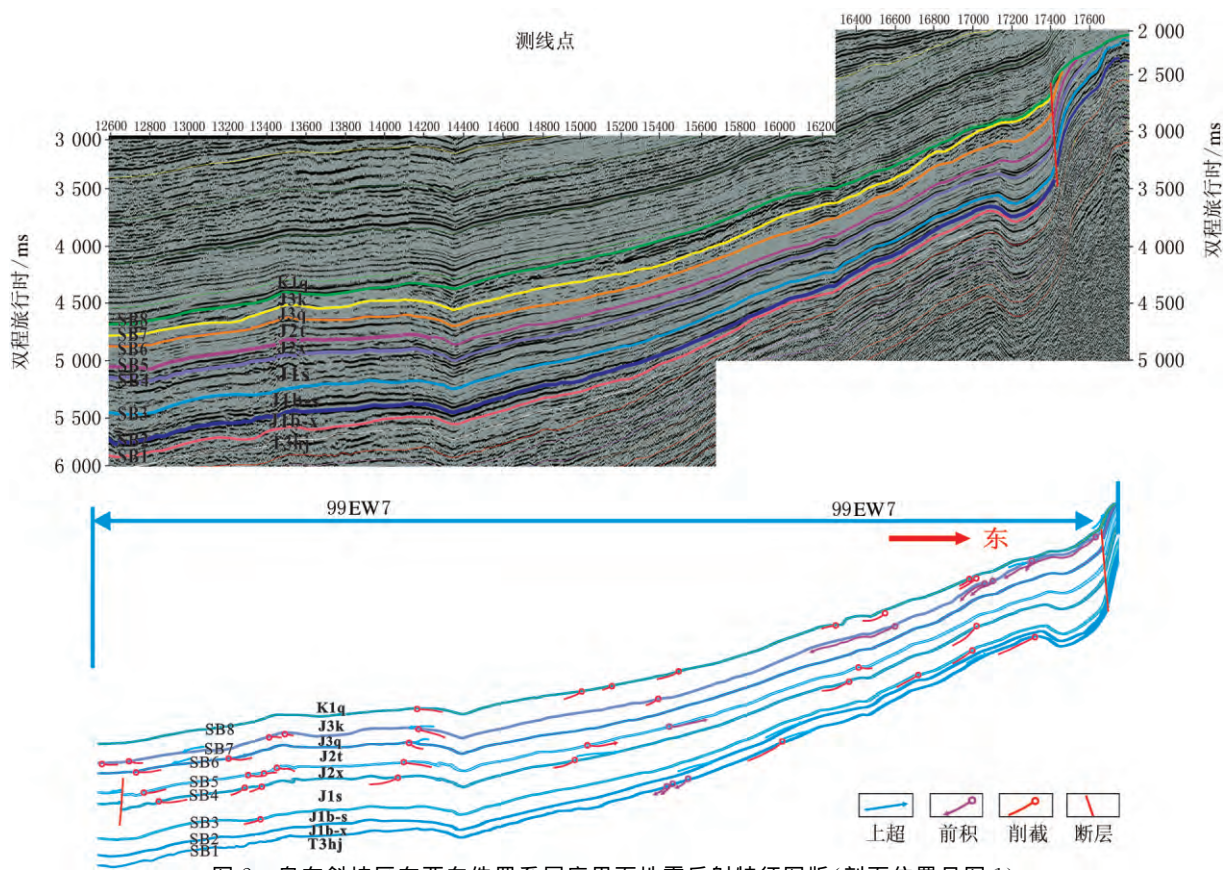


图2 阜东斜坡区东西向侏罗系层序界面地震反射特征图版(剖面位置见图1)

Fig. 2 Seismic characteristics of sequence boundary of east-west Jurassic in Fudong slope area(section location in fig. 1)

层序界面通常对应于地层中的不整合面或与之对应的整合面。通过识别特殊的地震反射特征,确定不整合面的存在及层序级别,是识别和划分层序的关键^[10]。研究区侏罗系顶界面SB8、底界面SB1及中侏罗统内部界面SB5是整个湖盆范围内展布的区域性不整合面,与侏罗纪末期的燕山二幕造山运动、三叠纪末期的印支运动及西山窑组沉积末期的燕山一幕等构造活动密切相关^[15]。SB1、SB8界面处为一较强的地震反射同相轴,界面下伏地层具有明显的削截现象,上覆地层呈上超特征,界面上下测井曲线形态明显突变,界面附近岩性的突变或不连续性,通常在层序界面附近由砂泥岩突变为砂砾岩,地层叠加样式由加积式转变为退积式。SB5界面处对应一套相对弱连续、弱振幅的波峰反射,界面下伏地层具削截现象,上覆地层呈上超特征,界面处出现反向削截特征;西山窑组沉积末期之后,受早期燕山运动的构造挤压作用影响,构造低洼处在垂向上隆起变形,周围地层接触关系发生变化,地层由构造高点处向构造低点处发生削截、超覆,产生正反转构造。将SB1、SB5、SB8定义为二级层序界面(见图2—3)。

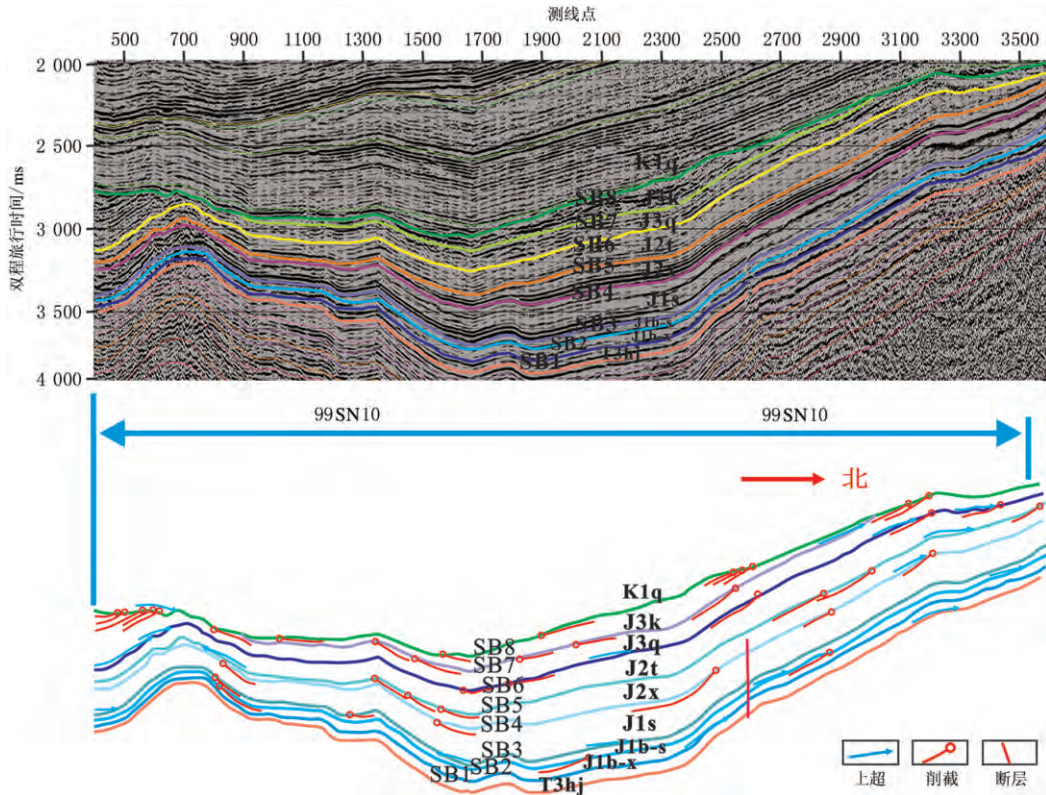


图 3 阜东斜坡区南北向侏罗系层序界面地震反射特征图版(剖面位置见图 1)

Fig. 3 Seismic characteristics of sequence boundary of north-south Jurassic in Fudong slope area(section location in fig. 1)

在二级层序内部,界面 SB2、SB3、SB4、SB6 和 SB7 在地震剖面上表现为强振幅连续的强反射,SB3 和 SB7 界面之上上超现象不明显,界面之下见到明显的削截现象,其层序界面附近的上超、削截现象普遍出现。在岩性和测井、录井曲线上,层序界面上下常表现为明显突变特征(见图 5),SB7 界面在测井、录井资料上的特征不明显;由于喀拉扎组地层被剥蚀相对严重,残留的地层很少甚至没有^[3,15],即 SB7 界面仅在全区地震剖面上识别出来,可将 SB2、SB3、SB4、SB6、SB7 定义为三级层序界面(见图 2—3)。

2.2 体系域界面响应

陆相湖盆的湖泛面具较严格的等时意义,以首次湖泛面、最大湖泛面、初始下降面作为划分低位体系域(“低位域”,即 LST)、湖侵体系域(“湖侵域”,即 TST)、高位体系域(“高位域”,即 HST)和下降体系域(“下降域”,即 FSST)的标志层^[16]。首次湖泛面为低位域和湖侵域的分界面,在测井、录井剖面上特征明显,利用首次湖泛面上下各准层序组的叠置样式不同确定其位置^[7],如 Bei28 井 SQ4 中 LST 与 TST 分界面处准层序组叠置样式由加积式转变为退积式(见图 4),反映水体由相对稳定到快速上升的变化;界面上下沉积物的颜色、岩性、结构、构造等也发生相应变化。最大湖泛面为湖侵域和高位域的分界面,形成的密集段是易于识别的标志层^[17]。地震反射剖面上,最大湖泛面一般表现为 3~4 个强振幅、中等频率、连续性较好的反射轴,在全区范围内稳定分布,易于追踪对比,通常在最大湖泛面之上易识别显著的下超现象;界面上下测井曲线差异明显,如 Bei28 井 SQ3、SQ4 最大湖泛面之下湖侵域(TST)低 RT,最大湖泛面之上高位域(HST)高 RT(见图 4);初始下降面为高位域和下降域的分界面,地震剖面上,初始下降面之上以斜交前积反射为特征,界面之下以平行或亚平行为特征,常见到小规模“S”形前积反射^[18];穿过初始下降面,准层序组叠置样式由加积式转变为进积式,反映水体由相对稳定到快速下降的变化。

2.3 层序地层划分

一个完整的、理想的三级层序的相对湖平面变化可划分为 4 个阶段,分别对应层序演化过程中的低位域、湖侵域、高位域和下降域。在陆相湖盆沉积演化过程中,基准面变化往往受到气候、构造运动、物源供给等因素影响,导致基准面变化并非呈标准的正弦曲线,可能缺失某一体系域,因此三级层序内体系域构

成存在一定的差异。

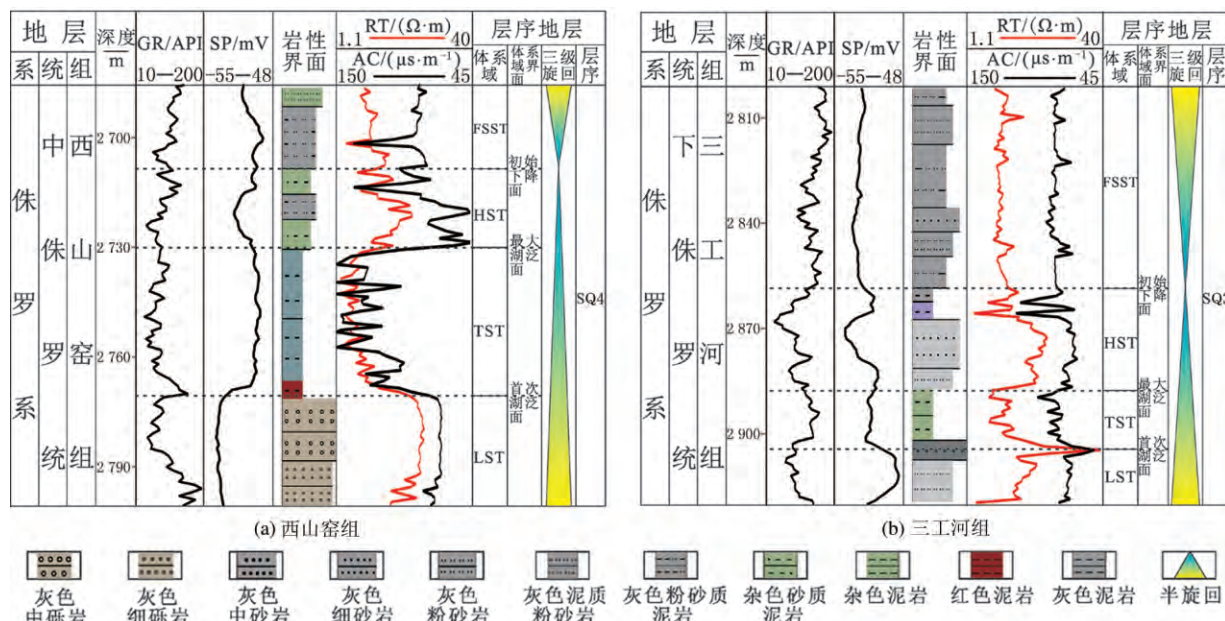


图4 阜东斜坡区侏罗系体系域界面测井响应特征(Bei28井)

Fig. 4 Logging characteristics of systems tract interface of Jurassic in Fudong slope area (well Bei 28)

根据三级层序内发育的体系域数量,可将三级层序划分为二分层序、三分层序及四分层序3种层序结构类型。SQ2层序为二分层序,SQ1、SQ6层序为三分层序,SQ3—SQ5层序为四分层序。研究区发育各种体系域类型,彼此频繁叠置,地层沉积具有多旋回性,可形成良好的储盖组合,是岩性圈闭发育的有利地带。

二分层序SQ2相当于八道湾组上部,由湖侵域及湖退域组成(见图5),发育在二级层序上升半旋回的中期。二分层序内基准面经历快速上升和快速下降阶段。湖侵域以发育半深湖—深湖的灰色、灰绿色泥岩及粉砂岩为主,测井响应表现为GR曲线呈“齿化钟型”或多个“钟型”叠加,是退积式准层序组叠加样式;湖退域以发育辫状河三角洲前缘水下分流河道的粉砂及中细砂为主,测井曲线呈“漏斗型”,是进积式准层序组叠加样式。整体上,二分层序底部沉积泥页岩、上部沉积砂岩,砂体发育程度低。

三分层序SQ1相当于八道湾组下部,SQ6相当于齐古组,由低位域、湖侵域及高位域组成(见图5),在层序演化的晚期,明显缺乏反映相对湖平面快速下降的标志,故不发育下降域。三分层序内基准面经历低位稳定、快速上升和高位稳定阶段。低位域沉积物以灰色砂砾岩为主,夹少量灰绿色、灰褐色泥岩和泥质粉砂岩,测井曲线上呈“箱型”,测井响应表现为低GR、高SP;湖侵域与层序SQ2的湖侵域特征基本相同;高位域主要沉积粗砂岩夹灰绿色泥质粉砂岩,粒度较低位域的细,测井曲线呈“齿化箱型”,是加积式准层序组叠加样式,反映正常海退过程。整体上,三分层序呈底部砂砾岩体发育、上部泥页岩发育的正粒序特征。

四分层序SQ3相当于三工河组,SQ4相当于西山窑组,SQ5相当于头屯河组,由低位域、湖侵域、高位域及下降域组成(见图5),基准面经历4个完整变化阶段,其中SQ3、SQ4发育在第一个二级层序下降半旋回的中晚期,SQ5发育在另一个二级层序上升半旋回的早期。低位域、湖侵域及高位域与层序SQ1、SQ6各体系域特征基本相同,下降域以发育辫状河三角洲的中粗粒砂岩、夹杂色泥质粉砂岩为特征,测井曲线上呈进积—加积式准层序组叠加样式,反映强制海退过程。整体上,四分层序内砂体在粒度上表现为“粗—细—粗”的复合相序特征。

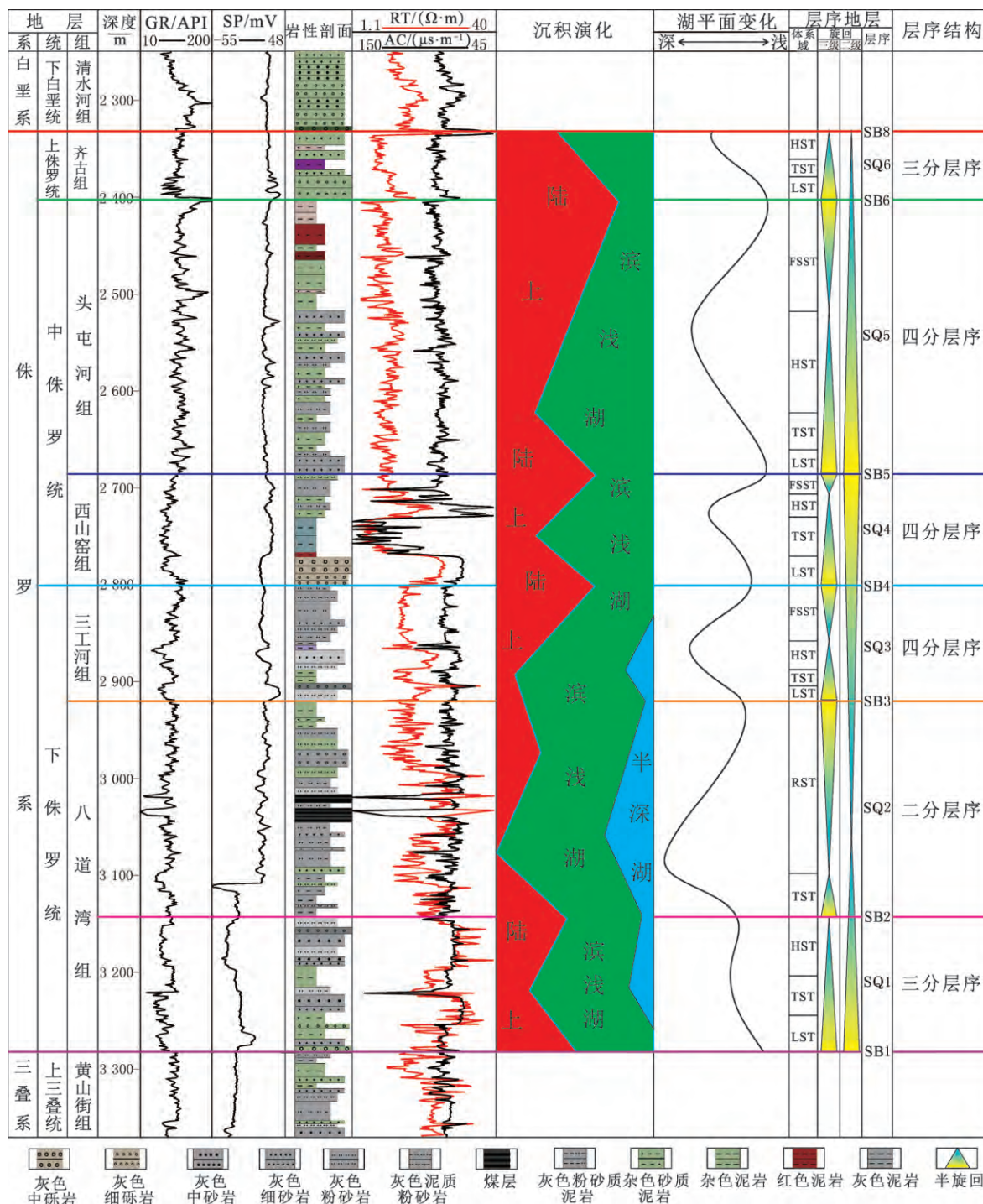


图 5 阜东斜坡区侏罗系层序界面测井响应特征及层序地层结构 (Bei28 井)

Fig. 5 Logging characteristics of sequence boundary and sequence stratigraphy structure of Jurassic in Fudong slope area (well Bei 28)

3 沉积相类型及特征

研究区侏罗系主要发育扇三角洲、辫状河三角洲、曲流河三角洲、辫状河—曲流河及湖泊等沉积相类型^[19-21](见图 6),其中辫状河三角洲相是主要发育的沉积相类型^[22]。下侏罗统(八道湾组和三工河组,即 SQ1—SQ3),准噶尔盆地东北侧的克拉美丽山快速隆升,研究区东部为含粗粒碎屑岩的扇三角洲和辫状河三角洲沉积;中侏罗统下段(西山窑组,即 SQ4),准噶尔盆地东北侧克拉美丽山隆升速度相对较慢,研

究区以辫状河三角洲—曲流河三角洲沉积为主;中侏罗统上段—上侏罗统(头屯河组和齐古组,即SQ5—SQ6),准噶尔盆地南侧古博格达山隆起相对较快,东北侧克拉美丽山隆升速度相对较缓,研究区以发育辫状河—曲流河沉积相为主。

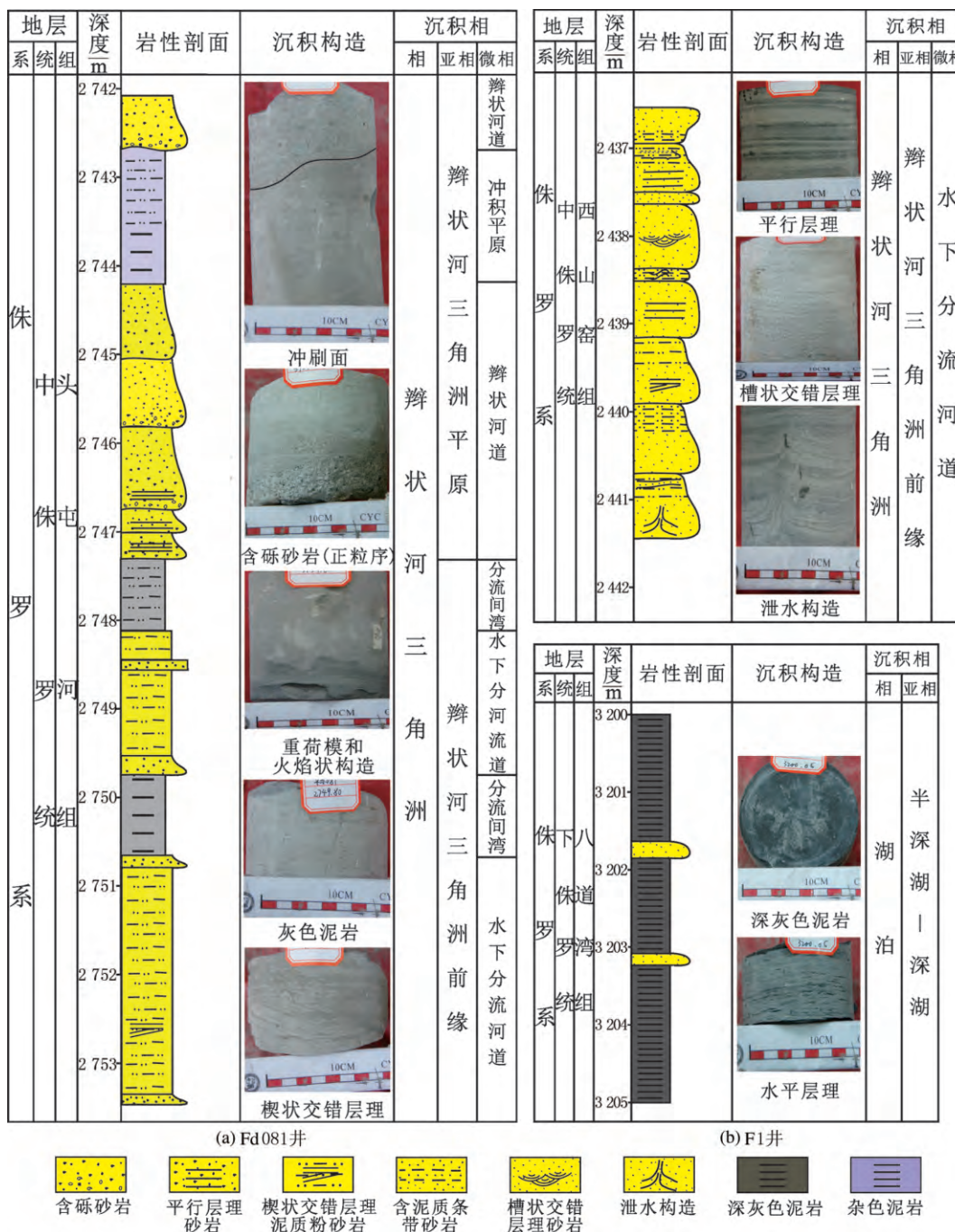
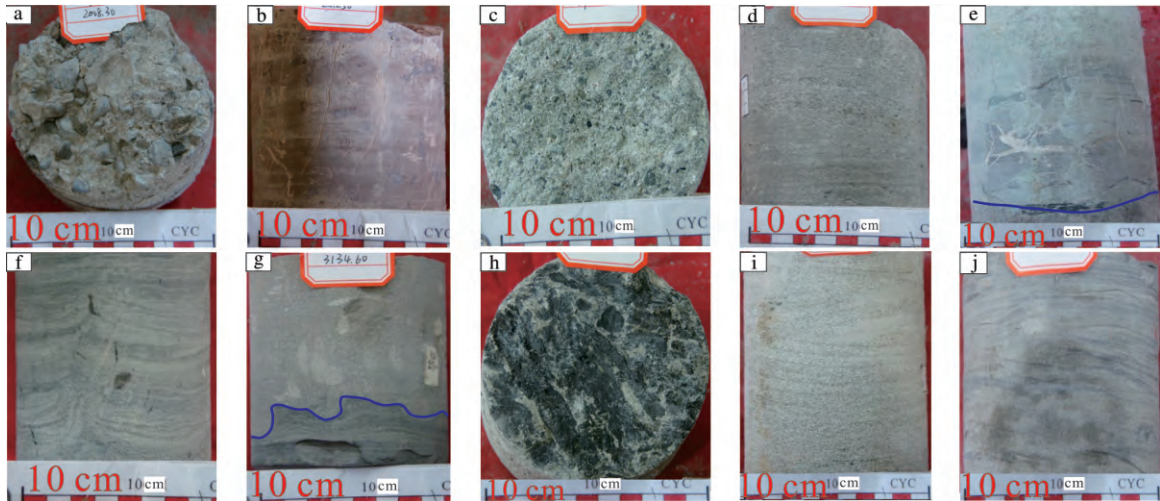


图6 单井沉积学分析结果
Fig. 6 Analysis of sedimentary characteristics in well

3.1 扇三角洲

(1)平原。研究区扇三角洲平原亚相以发育水上分流河道为主,局部可见分流河道间沉积微相。(1)水上分流河道沉积微相岩性主要以灰色中粗砂岩夹砾岩为主(见图7(a)),一般多呈正粒序特征,常见块状构造、大型板状与槽状交错层理,粒度概率累积曲线(见图8,φ为粒径)除常见的三段式、多段式外,亦可见一段上拱式和一段直线式(见图8(a-b)),反映强水动力条件下沉积特点;(2)分流河道间微相通常是洪水期河道内部较细颗粒溢出河床,直接在河道之间沉积,含砂率较低,主要以紫红色泥岩夹粉砂岩为主

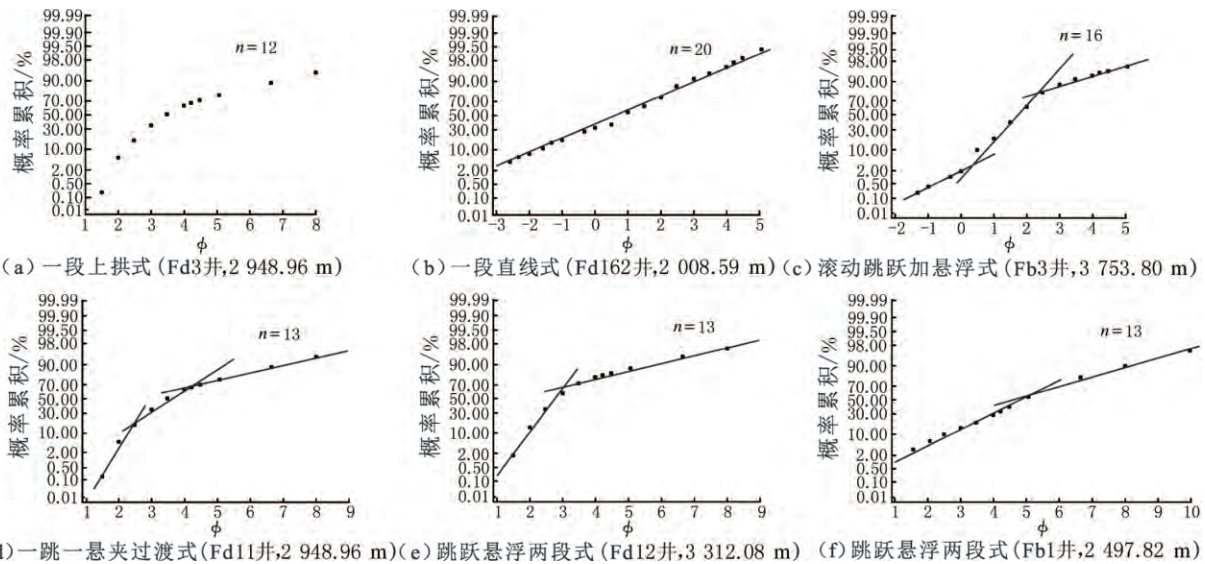
(见图 7(b)),少见层理构造。



(a) 中砾岩, 块状构造, Fd162井, 2 008.30 m; (b) 粉砂质泥岩, 块状构造, Fd162井, 2 010.56 m; (c) 含细砾粗砂岩, 块状构造, Fb4井, 3 728.50 m; (d) 中细砂岩, 逆粒序层理, Fd054井, 2 973.20 m; (e) 含细砾中细砂岩, 冲刷面, Fd081井, 2 615.00 m; (f) 中细砂岩, 泄水构造, F1井, 2 310.17 m; (g) 中砂岩, 重荷模和火焰状, 构造 F1井, 3 134.60 m; (h) 粉砂岩, 含炭屑, Fb4井, 3 729.55 m; (i) 中细砂岩, 槽状交错层理, Fb4井, 3 823.88 m; (j) 细砂岩, 爬升沙纹层理, Fd054井, 3 016.17 m

图 7 阜东斜坡区侏罗系岩性及沉积构造

Fig. 7 Lithology and sedimentary structures of Jurassic in Fudong slope area



(a) 一段上拱式 (Fd3井, 2 948.96 m)

(b) 一段直线式 (Fd162井, 2 008.59 m)

(c) 滚动跳跃加悬浮式 (Fb3井, 3 753.80 m)

(d) 一跳一悬夹过渡式 (Fd11井, 2 948.96 m)

(e) 跳跃悬浮两段式 (Fd12井, 3 312.08 m)

(f) 跳跃悬浮两段式 (Fb1井, 2 497.82 m)

图 8 阜东斜坡区侏罗系粒度概率累积曲线

Fig. 8 Grain size probability cumulative curve of Jurassic in Fudong slope area

(2)前缘。研究区扇三角洲前缘亚相主要发育水下分流河道、分流河道间及河口坝等沉积微相。(1)与水上分流河道相比,水下分流河道的粒度相对细些,泥质含量亦相对减少,主要由中粗粒砂岩和含细砾砂岩组成(见图 7(c)),常见平行层理、槽状交错层理和波状层理等。(2)水下分流河道间多由较细粒粉砂及泥质构成,常位于水下分流河道之间。(3)河口坝岩性多为中细砂岩,下细上粗,呈明显的反粒序层理(见图 7(d)),因经常受到波浪的冲洗改造作用,故砂岩成分成熟度较高。

3.2 辫状河三角洲

(1)平原。研究区辫状河三角洲平原亚相以辫状河道为主,局部发育冲积平原微相。(1)辫状河道沉积物颗粒较粗,主要为含砾粗砂岩、细砂岩;砂岩分选中等,磨圆呈次棱角—圆状;粒度概率累积曲线表现为滚动跳跃加悬浮式和一跳一悬夹过渡式(见图 8(c-d)),反映较强的水动力环境;沉积构造多以平行层理、槽状交错层理及块状层理为主,河道底部可见典型的冲刷面(见图 7(e)),具辫状河道特有的“下切侵

蚀,底冲刷”的特征;垂向上可见河道发育的正韵律旋回。(2)冲积平原沉积物粒度相对较细,主要以泥岩和细粉砂岩为主,少见层理构造;泥岩颜色常以紫红色、棕色等氧化色为主。

(2)前缘。研究区辫状河三角洲前缘亚相发育水下分流河道、河口坝及分流间湾等沉积微相。(1)水下分流河道是陆上辫状河道在水下的延伸,河道砂体分选较好,杂基含量相对较少,是辫状河三角洲前缘的主要沉积砂体;沉积物以中—粗砂岩为主,局部可见细砾岩及细砂岩,常见槽状交错层理、平行层理及泄水构造(见图7(f))、重荷模和火焰状构造(见图7(g))等沉积构造;由于水下分流河道的迁移性相对较强,河口不稳定,进而形成的河口坝规模较小^[23]。(2)河口坝砂体以中—细砂岩、粉砂岩为主,砂质纯净,成分成熟度和结构成熟度较高,自下而上呈反粒序;粒度概率累积曲线常见斜率较高的跳跃悬浮两段式(见图8(e));可见平行层理、各种交错层理及生物扰动等沉积构造。(3)水下分流间湾以沉积灰绿色及杂色泥岩、粉砂质泥岩等细粒沉积物为主,以悬浮沉积为主,很少甚至不发育特殊沉积构造,反映较弱的水动力环境;由于水下分流河道和分流间湾交互叠置出现,在辫状河三角洲前缘出现数套砂、泥岩互层,即有利的储盖层组合。

3.3 曲流河三角洲

(1)平原。研究区曲流河三角洲平原亚相发育规模相对较小,主要发育水上分流河道和河漫沼泽等沉积微相。(1)水上分流河道主要以中细砂岩为主,缺乏粗粒成分,底部河道具有冲刷构造,发育平行层理、交错层理等沉积构造,粒度概率累积曲线多呈两段式,以牵引流为主。(2)河漫沼泽微相多发育在水上分流河道之间的低洼地区,岩性以灰绿色、杂色泥质粉砂岩为主,炭质含量相对较高(见图7(h)),少见层理构造。

(2)前缘。研究区曲流河三角洲前缘亚相发育水下分流河道、分流间湾、席状砂等沉积微相。(1)水下分流河道是水上分流河道入湖后在水下延伸的部分,岩性以中细砂岩为主,偶含泥砾,发育平行层理、小型槽状交错层理(见图7(i))和正粒序层理等沉积构造,垂向上可见多个河道砂体彼此叠置沉积。(2)分流间湾整体岩性偏细,以灰色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩及泥岩为主,反映较弱水动力条件下沉积产物。(3)席状砂分布范围较为局限,岩性主要为粉砂岩与细砂岩,砂质较为纯净,常受到波浪的改造作用,呈薄层席状产出,垂向上粒序并无明显变化。

3.4 辫状河一曲流河

研究区可见由辫状河向曲流河过渡的沉积相类型,包括河道亚相和泛滥平原亚相。(1)河道亚相是由多期河道在垂向上加积而成,常由中细砾岩及中粗砂岩组成,砾石磨圆以次圆状—次棱角状为主,分选性较差,常发育板状交错层理、楔状交错层理、正粒序层理等沉积构造,在河道底部发育冲刷面。(2)泛滥平原亚相岩性以泥岩和粉砂质泥岩为主,并夹有少量薄层煤层,可见块状层理和水平层理。

3.5 曲流河

研究区曲流河相又可细分为河床、河漫及堤岸3种亚相类型。(1)河床亚相岩性以中细砂岩为主,偶尔可见砾石,砾石呈叠瓦状排列,底部常见冲刷面构造,垂向上具有曲流河完整的“二元结构”,发育平行层理、爬升沙纹层理(见图7(j))、正粒序层理及板状交错层理等沉积构造,粒度概率累积曲线(见图8)常表现为两段式(见图8(e—f)),颗粒的搬运方式以跳跃和悬浮为主,反映中等水动力条件。(2)当洪水期河流的水位超过河床,河水中细粒物质将溢出河床而在侧岸沉积下来,形成堤岸亚相,主要以粉砂岩及细砂岩沉积为主,粒度较细。(3)河漫亚相常位于天然堤外侧,是河水越过天然堤在广阔的平原上堆积而成的,长期暴露于地表,以紫红色泥质粉砂岩及泥岩沉积为主,层理构造不发育。

3.6 湖泊相

研究区湖泊相主要发育滨浅湖亚相和半深湖—深湖亚相。(1)滨浅湖亚相常介于浪基面与枯水面之间。由于湖泊水体与物源供应的碎屑物之间相互作用,滨浅湖泥岩往往同辫状河三角洲前缘水下分流河道砂岩频繁交互出现。滨浅湖泥由灰色泥岩和粉砂质泥岩组成,发育水平层理和块状层理,测井曲线常以低幅弱齿型为主。(2)半深湖—深湖亚相常位于浪基面以下水体较深部位,水动力相对较弱,是典型的缺氧还原环境,以灰褐色粉砂质泥岩夹细粉砂岩为主,泥岩层厚度大,偶尔可见中细砂岩条带,发育平行层

理、交错层理及正粒序层理,在泥岩层中可见变形构造,是典型的低密度浊流沉积特征。

4 沉积演化

4.1 体系特征

沉积相在油田勘探开发过程中具有重要意义,而准确和精细的层序地层格架模型是开展有效沉积相研究的基础^[17]。在单井沉积相分析基础上,结合钻井岩心和地震剖面层序地层研究,建立研究区侏罗系层序地层格架并进行地层等时对比,分析沉积体系在层序格架内的展布特征(见图 9)。

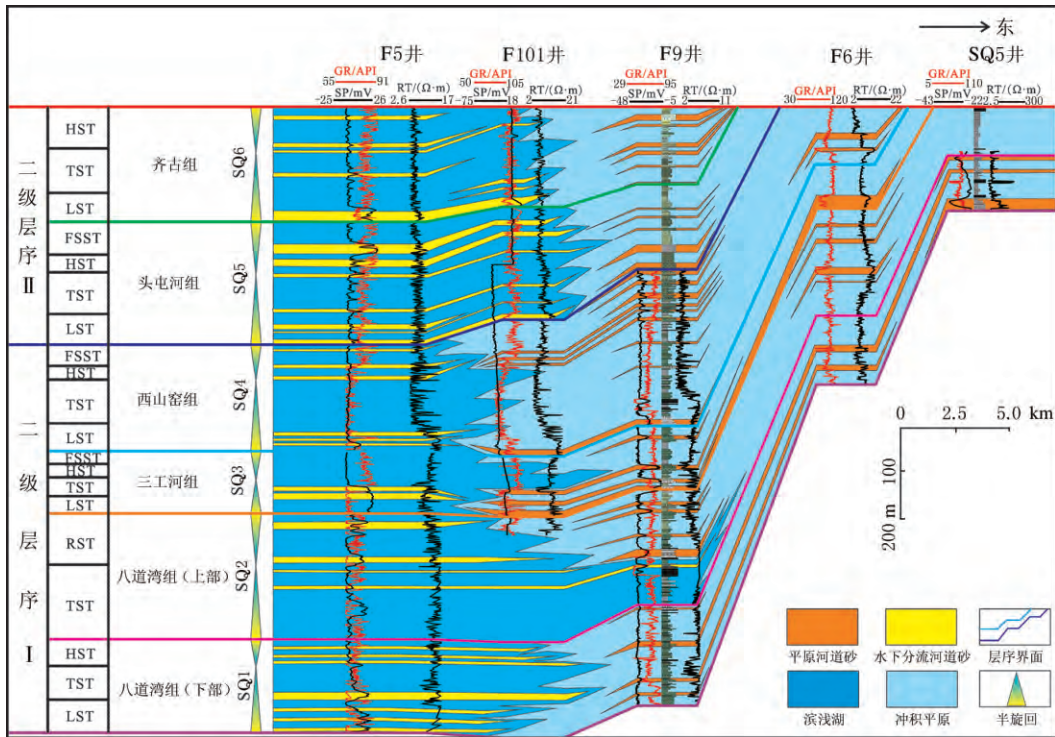


图 9 阜东斜坡区侏罗系层序地层格架充填模式(剖面位置见图 1 AA')

Fig. 9 Filling model of the sequence stratigraphy framework of Jurassic in Fudong slope area(section location in fig. 1 AA')

(1)SQ1 沉积时期。连井剖面东部 SQ5 井位于盆地边缘,受印支运动的影响,克拉美丽山发生强烈隆升^[24],物源供给充足,发育扇三角洲平原河道及冲积平原沉积微相,扇三角洲平原河道沉积物以中细砾岩、粗砂岩为主,冲积平原以沉积灰色—杂色泥岩、泥质粉砂岩为主;从连井剖面的东部向西部逐渐由盆地边缘向斜坡过渡,离物源区越来越远,发育扇三角洲前缘水下分流河道及水下分流河道间微相,其中水下分流河道以沉积细砾岩、中粗砂岩为主,成分成熟度及结构成熟度相对较低,是一套相对较厚的储集体,垂向上呈正粒序特征;水下分流河道间以沉积灰色泥岩为主,泥岩厚度大,连续性好,可作为下伏砂砾岩储集体的有利盖层。

(2)SQ2 沉积时期。SQ2 层序由湖侵域及湖退域组成,湖退域叠加在湖侵域之上。早期,湖盆基底再次发生规模性构造抬升,导致大范围湖侵,砂体退积,沉积厚层泥岩。晚期,发生湖退,砂体进积,垂向上呈反粒序特征,东部离物源区较近,物源供给充足,继承性发育扇三角洲平原河道及冲击平原沉积微相;西部离物源区较远,以水下分流河道砂岩及分流河道间泥岩为主,砂体延伸远,是一套相对较薄的储集体。与 SQ1 时期相比,水下分流河道砂体展布范围扩大,湖盆大幅扩张,基准面快速上升。

(3)SQ3—SQ4 沉积时期。东部北三台凸起区地层被剥蚀殆尽,西部斜坡区物源供给丰富,发育辫状河三角洲—曲流河三角洲水下分流河道及分流间湾等沉积微相,水下分流河道以河道砂砾岩为主,分选较差,磨圆以次棱角状为主,垂向上呈正粒序特征,向湖盆方向逐渐进积,由于砂砾体连续性及物性较差,不利于油气储集及保存;分流间湾沉积灰色泥岩。与 SQ2 沉积时期相比,水下分流河道砂体展布范围缩小,

湖盆收缩,基准面下降;同时,SQ4 作为第 1 个二级层序的结束(见图 5 和图 9),整体上反映在二级层序中基准面先上升(SQ1—SQ2)后下降(SQ3—SQ4)的特点,气候由湿润多雨转变为干旱少雨。

(4)SQ5 沉积时期。由于区域构造应力性质发生变化,由早期伸展构造作用逐渐向挤压构造作用转变,东部地层被不断抬升,并且遭受严重剥蚀,物源区向西部斜坡区逐渐靠近,呈“东升西降”的构造格局;斜坡区东部发育辫状河—曲流河体系的河道亚相及泛滥平原亚相,西部继承性发育辫状河三角洲前缘水下分流河道及分流间湾微相,河道砂体是一套相对较厚的储集体,由于经过湖浪的冲刷与改造,使得分流河道砂体物性好,连通性强,有利于油气储集。与 SQ4 沉积时期相比,水下分流河道砂体展布范围扩大,湖盆扩张,基准面上升,气候由干旱转变为半干旱—半湿润。

(5)SQ6 沉积时期。准噶尔盆地东北侧克拉美丽山隆升速度相对较缓,南侧古博格达山隆起相对较快,整体上,构造运动较为活跃。研究区东部以发育曲流河沉积相为主,西部发育辫状河三角洲前缘水下分流河道及分流间湾微相,河道砂砾岩体相对较厚,但展布范围有限。与 SQ5 沉积时期相比,水下分流河道砂体展布范围缩小,湖盆收缩,气候由半干旱半湿润转变为干旱。与第 1 个二级层序(SQ1—SQ4)相比,第 2 个二级层序(SQ5—SQ6)基准面缓慢上升,湖盆小幅扩张,但整体上以收缩为主。

4.2 充填特征

阜东斜坡带在准噶尔盆地中为典型鼻状缓斜坡,地势整体呈东高西低,研究区沉积相演化依次表现为扇三角洲(八道湾组,即 SQ1—SQ2)—辫状河三角洲(三工河组,即 SQ3)—曲流河三角洲(西山窑组,即 SQ4)—辫状河—曲流河(头屯河组,即 SQ5)—曲流河(齐古组,即 SQ6)的演化序列(见图 10)。

(1)SQ1 沉积时期。八道湾组早期沉积盆地为温暖潮湿的热带、亚热带气候,雨量充沛,气候湿润。受印支构造运动影响,山脉隆升强烈,盆地迅速沉降,物源供给充足,古水流总体指向南^[2],物源主要是北部克拉美丽山,沉积物整体上由北向南搬运沉积。研究区发育大型扇三角洲沉积体系,河道砂体总体物性较好,有利于油气储集(见图 10(a))。

(2)SQ2 沉积时期。研究区自八道湾组早期盆地被充填夷平后首次发生大规模湖侵,也是侏罗纪最大规模的一次湖侵^[25],沉积大套暗色泥页岩,可作为下伏 SQ1 层序低位域及高位域河道砂砾岩的有利盖层。该时期构造运动相对较弱,物源供给量减少,河道砂砾岩体厚度减薄,油气储集空间也相应减少,并非油气有利储集带(见图 10(b))。

(3)SQ3—SQ4 沉积时期。气候干旱炎热,蒸发量大于降雨量,基准面下降,导致湖盆进一步收缩。受燕山—幕构造运动的影响,东部北三台凸起持续隆起,北部以克拉美丽山物源为主,研究区以发育辫状河三角洲平原亚相为主,砂体分布较局限,并且后期遭受严重剥蚀,连续性和物性较差,并非油气有利储集带;地层剥蚀线逐渐向湖盆中心迁移,剥蚀区面积明显扩大(见图 10(c—d)),沉积构造格局较下侏罗统(SQ1—SQ2)发生较大变化,反映在第 1 个二级层序内,气候由湿润多雨转变为干旱少雨,构造活动逐渐增强的趋势,整体上以北部克拉美丽山物源为主,其次为东部北三台凸起供给。

(4)SQ5 沉积时期。随着气候变化使湖平面处于缓慢上升阶段,湖盆小幅扩张,也是侏罗纪另一次规模性湖侵。该时期除了北部克拉美丽山物源和东部北三台凸起 2 个主要物源外,南部古博格达山物源区对研究区南部沉积的控制作用加强。研究区以广泛发育辫状河—曲流河体系、辫状河三角洲和滨浅湖沉积体系为主要特征。由于经过湖浪的冲刷与改造,使得河道砂体规模大,物性好,连通性强;同时,滨浅湖中的泥岩作为有效盖层,在空间上成为有效储盖组合,是最有利勘探目标(见图 10(e))。

(5)SQ6 沉积时期。该时期受到燕山运动的影响,盆地整体处于抬升状态,基准面下降,东部剥蚀范围有所增加,湖盆收缩,随着东部和南部物源供给能力不断增强,使得研究区北部以发育曲流河沉积相为主,中南部发育多套辫状河三角洲叠置连片(见图 10(f))。与第 1 个二级层序(SQ1—SQ4)相比,第 2 个二级层序内(SQ5—SQ6),物源供给除了北部克拉美丽山和东部北三台凸起外,南部古博格达山物源也是重要组成部分,研究区南部构造运动愈发剧烈。

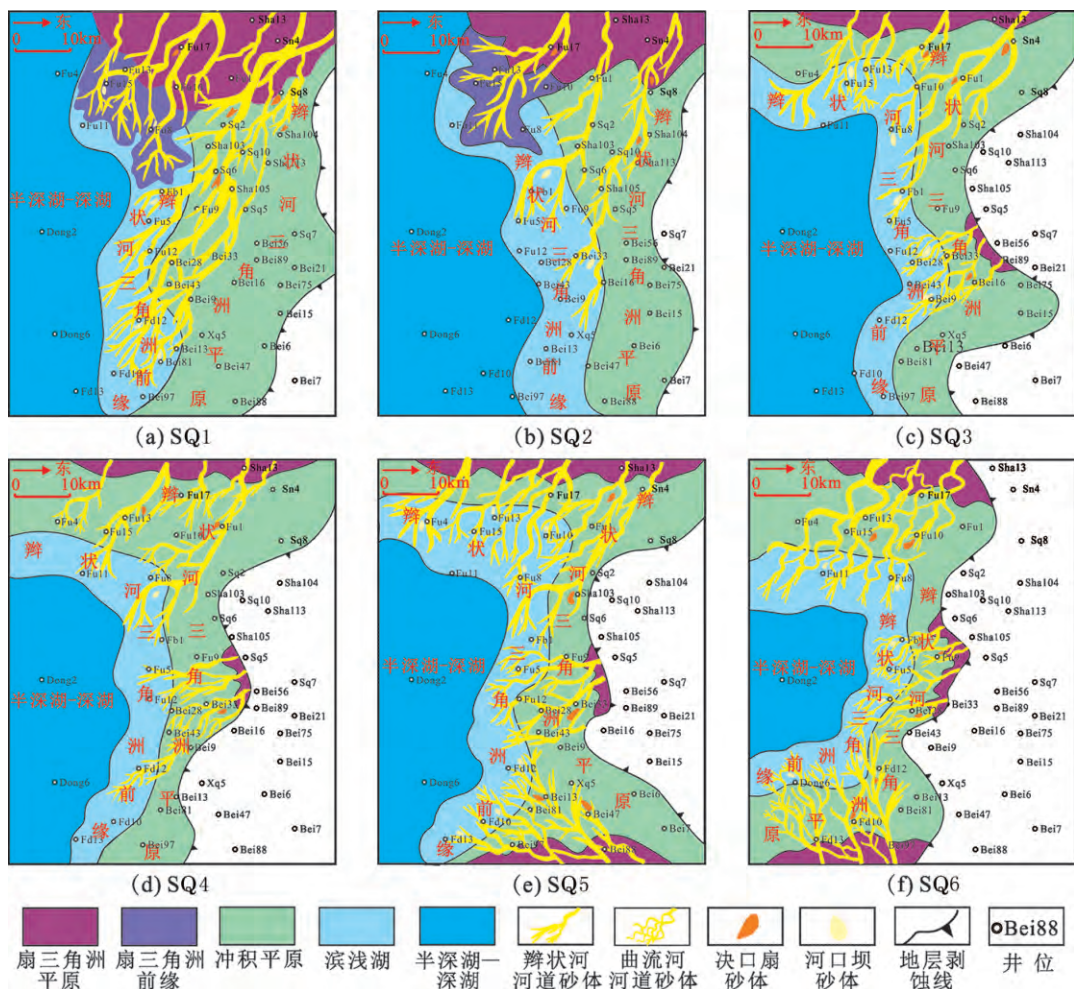


图 10 阜东斜坡区侏罗系沉积相平面展布

Fig. 10 Distribution of sedimentary facies of Jurassic in Fudong slope area

5 结论

(1) 侏罗系可划分为 7 个三级层序,其中,SQ1 与八道湾组下部对应,内部结构三分;SQ2 与八道湾组上部对应,内部结构二分;SQ3 与三工河组对应,内部结构四分;SQ4 与西山窑组对应,内部结构四分;SQ5 与头屯河组对应,内部结构四分;SQ6 与齐古组对应,内部结构三分;SQ7 与喀拉扎组对应。

(2) 研究区侏罗系主要发育扇三角洲、辫状河三角洲、曲流河三角洲、辫状河—曲流河及湖泊等沉积相类型,其中辫状河三角洲相是主要发育的沉积相类型。沉积相演化依次表现为扇三角洲(八道湾组,即 SQ1—SQ2)—辫状河三角洲(三工河组,即 SQ3)—曲流河三角洲(西山窑组,即 SQ4)—辫状河—曲流河(头屯河组,即 SQ5)—曲流河(齐古组,即 SQ6)的演化序列。

(3) 第 1 个二级层序内(即 SQ1—SQ4),研究区以含粗粒碎屑岩的扇三角洲和辫状河三角洲沉积为主,东部靠近物源区以扇三角洲、辫状河三角洲平原河道及冲积平原沉积微相为主,西部斜坡区以辫状河三角洲前缘水下分流河道及分流间湾微相为主,水下分流河道砂体展布范围先扩大后缩小,基准面先上升后下降,湖盆先扩张后收缩,气候由湿润多雨转变为干旱少雨。第 2 个二级层序内(即 SQ5—SQ6),研究区东部地层剥蚀严重,以发育辫状河—曲流河体系为主,西部斜坡区继承性发育辫状河三角洲前缘亚相,水下分流河道砂体展布范围缩小,基准面缓慢上升,湖盆小幅扩张,但整体上以收缩为主,气候由半干旱半湿润转变为干旱。

参考文献(References):

- [1] 张满郎,张琴,朱筱敏.准噶尔盆地阜东斜坡区侏罗系层序地层学研究[J].古地理学报,2000,2(3):27-36.
Zhang Manlang, Zhang Qin, Zhu Xiaomin. Sequence stratigraphy of Jurassic on the east Fukang slope, Junggar basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2000,2(3):27-36.
- [2] 陈丹丹,吉鸿杰,陶辉飞,等.准东地区阜康凹陷南部中下侏罗统沉积特征与沉积演化模式[J].天然气地球科学,2015,26(11):2093-2106.
Chen Dandan, Ji hongjie, Tao Huifei, et al. Sedimentary characteristics and evolution model of the middle-early Jurassic on the south Fukang sag in Junggar basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2015,26(11):2093-2106.
- [3] 于景维,柳妮,文华国,等.准噶尔盆地阜东斜坡区上侏罗统齐古组高分辨率层序分析及砂体预测[J].古地理学报,2016,18(2):265-274.
Yu Jingwei, Liu Ni, Wen Huaguo, et al. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy and prediction of favorable sandbodies in the upper Jurassic Qigu formation in Fudong slope area, Junggar basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2016,18(2):265-274.
- [4] 刘桢颖.准噶尔盆地哈山南缘层序地层格架内的沉积环境演化研究[J].地层学杂志,2014,38(3):347-354.
Liu Yaying. Jurassic sequence stratigraphy and paleoclimate evolution on the southern margin of the Hala'alat mountain, Junggar basin [J]. Journal of Stratigraphy, 2014,38(3):347-354.
- [5] 祁利祺,鲍志东,吴博然,等.准噶尔盆地西北缘侏罗系展布与层序地层格架特征[J].石油与天然气地质,2008,29(2):261-267.
Qi Liqi, Bao Zhidong, Wu Boran, et al. Distribution and sequence stratigraphic framework of the Jurassic strata on the northwestern margin of the Junggar basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008,29(2):261-267.
- [6] 鲍志东,管守锐,李儒峰,等.准噶尔盆地侏罗系层序地层学研究[J].石油勘探与开发,2002,29(1):48-51.
Bao Zhidong, Guan Shouri, Li Rufeng, et al. Sequence stratigraphy of the Jurassic in Junggar basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002,29(1):48-51.
- [7] 张冬玲,鲍志东,杨文秀.准噶尔盆地侏罗系层序地层格架的建立及主控因素分析[J].大庆石油学院学报,2005,29(2):10-27.
Zhang Dongling, Bao Zhidong, Yang Wenxiu. Foundation of Sequence stratigraphy framework and the analysis of the dominating factors of Jurassic in Junggar basin [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2005,29(2):10-27.
- [8] 唐忠华,赵霞飞.准噶尔盆地侏罗系层序地层格架的划分[C].第五届全国沉积学及岩相古地理学学术会议,1997.
Tang Zhonghua, Zhao Xiafei. Division of the sequence stratigraphic framework of the Jurassic in Junggar basin [C]. The Fifth National Academic Conference of Palaeogeography and Sedimentology, 1997.
- [9] 吕雪雁,朱筱敏,高雷.准噶尔盆地昌吉凹陷西斜坡侏罗系层序地层特征[J].石油大学学报:自然科学版,2002,26(3):1-11.
Lv Xueyan, Zhu Xiaomin, Gao Lei. Sequence stratigraphic characteristics of Jurassic in the western slope of Changji sag in Junggar basin [J]. Journal of the University of Petroleum: Natural Sciences Edition, 2002,26(3):1-11.
- [10] 蔡来星,操应长,卢双舫,等.梨树断陷营城组层序地层格架与沉积相特征[J].沉积学报,2014,32(3):576-585.
Cai Laixing, Cao Yingchang, Lu Shuangfang, et al. Framework of sequence stratigraphy and depositional characteristics of Yingcheng formation in Lishu fault depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014,32(3):576-585.
- [11] 陈洪,顾绍富,张顺存,等.准噶尔盆地阜东斜坡区侏罗系石树沟群储层主控因素[J].天然气地球科学,2015,26(2):33-43.
Chen Hong, Gu Shaofu, Zhang Shuncun, et al. Main controlling factors of reservoirs of Jurassic Shishugou formation in Fudong slope, Junggar basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2015,26(2):33-43.
- [12] 孙自明,何治亮,牟泽辉.准噶尔盆地南缘构造特征及有利勘探方向[J].石油与天然气地质,2004,25(2):216-221.
Sun Ziming, He Zhiliang, Mou Zehui. Structural features and favorable exploration areas in southern margin of Junggar basin [J]. Oil&Gas Geology, 2004,25(2):216-221.
- [13] 王天宝,贾东,魏东涛,等.准噶尔盆地南缘中生代正反转构造分析[J].地质科学,2013,48(1):176-190.
Wang Tianbao, Jia Dong, Wei Dongtao, et al. Mesozoic inverted structure analysis of the southern margin of the Junggar basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2013,48(1):176-190.
- [14] 况昊.准噶尔盆地白家海地区侏罗系地层岩性油气藏成藏规律研究[D].荆州:长江大学,2012.
Kuang Hao. Accumulation regularity of lithology reservoirs in Jurassic Baijiahai area, Junggar basin [D]. Jingzhou: Changjiang University, 2012.
- [15] 王居峰,邓宏文,蔡希源.准噶尔盆地中部侏罗系层序地层格架[J].石油勘探与开发,2005,32(1):23-26.
Wang Jufeng, Deng Hongwen, Cai Xiyuan. Jurassic sequence stratigraphic frames in the middle Junggar basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005,32(1):23-26.
- [16] 胡受权,郭文平,颜其彬,等.断陷湖盆陆相层序中体系域四分性探讨[J].石油学报,2000,21(1):23-28.
Hu Shouquan, Guo Wenping, Yan Qibin, et al. Discussion on tract four-division for a terrigen sequence stratigraphy in fault-depressed lacustrine basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000,21(1):23-28.

- [17] 杨勇,陈世悦,向奎,等.准噶尔盆地西北缘车排子地区下白垩统层序地层与沉积演化[J].石油大学学报:自然科学版,2011,35(5):20-26.
Yang Yong, Chen Shiyue, Xiang Kui, et al. Sequence stratigraphy and sedimentary evolution of lower Cretaceous series in Chepaizi area, northwestern margin of Junggar basin [J]. Journal of China University of Petroleum: Natural Sciences Edition, 2011,35(5):20-26.
- [18] 王健,操应长,李俊良.北部湾盆地涠西南凹陷古近系层序结构与非构造圈闭[J].石油勘探与开发,2012,39(3):304-312.
Wang Jian, Cao Yingchang, Li Junliang. Sequence structure and non-structural traps of the Paleogene in the Weixinan sag, Beibu wan basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012,39(3):304-312.
- [19] 鲍志东,刘凌,张冬玲,等.准噶尔盆地侏罗系沉积体系纲要[J].沉积学报,2005,23(2):194-201.
Bao Zhidong, Liu Ling, Zhang Dongling, et al. Depositional system frameworks of the Jurassic in Junggar basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005,23(2):194-201.
- [20] 万力,李胜利,于兴河,等.坡折带对陆相湖盆辫状河三角洲层序和沉积的控制——以准噶尔盆地东缘三工河组为例[J].东北石油大学学报,2015,39(1):23-31.
Wan Li, Li Shengli, Yu Xinghe, et al. Effect of slope-breaks on the sequence stratigraphy and sedimentation of lacustrine delta: A case of Sangonghe formation in the eastern Junggar basin [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2015,39(1):23-31.
- [21] 刘海涛,蒲秀刚,张光亚,等.准噶尔盆地白家海地区侏罗系三角洲沉积体系[J].大庆石油学院学报,2010,34(6):37-41.
Liu Haitao, Pu Xiugang, Zhang Guangya, et al. Comparative analysis of different types of delta sedimentary system of Jurassic in Baijiahai area in Junggar basin [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2010,34(6):37-41.
- [22] 朱筱敏,张义娜,杨俊生,等.准噶尔盆地侏罗系辫状河三角洲沉积特征[J].石油与天然气地质,2008,29(2):244-251.
Zhu Xiaomin, Zhang Yina, Yang Junsheng, et al. Sedimentary characteristics of the shallow Jurassic braided river delta, the Junggar basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008,29(2):244-251.
- [23] 祝贺.塔里木盆地塔北一塔中地区三叠系沉积层序地层特征及生储盖组合研究[D].成都:成都理工大学,2011.
Zhu He. The study on the sedimentary and sequence stratigraphy characteristics and source reservoir caprock assemblages of the Triassic at the Tabei-Tazhong area, Tarim basin [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011.
- [24] 王哲,金振奎,付晶,等.准噶尔盆地东部地区八道湾组层序地层及油气勘探有利区带预测[J].沉积学报,2013,31(3):553-562.
Wang Zhe, Jin Zhenkui, Fu Jing, et al. Sequence stratigraphy and prediction of favorable zones for hydrocarbon exploration of Badaowan formation in eastern Junggar basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013,31(3):553-562.
- [25] 鲍志东,刘凌,张冬玲,等.准噶尔盆地侏罗系沉积体系纲要[J].沉积学报,2005,23(2):194-202.
Bao Zhidong, Liu Ling, Zhang Dongling, et al. Depositional system frameworks of the Jurassic in Junggar basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005,23(2):194-202.

(上接第25页)

- [20] 徐文礼.缓斜坡碳酸盐台地沉积模式[D].成都:成都理工大学,2013.
Xu Wenli. Sedimentary mode of glacia carbonate platform [D]. Chendu: Chengdu University of Technology, 2013.
- [21] 顾家裕,马锋,季丽丹.碳酸盐岩台地类型、特征及主控因素[J].古地理学报,2009,11(1):21-27.
Gu Jiayu, Ma Feng, Ji Lidan. Types, characteristics and main controlling factors of carbonate platform [J]. Journal of Palaeogeography, 2009,11(1):21-27.
- [22] 孟庆洋,庞雄奇,高剑波,等.塔里木盆地台盆区寒武系大油气田有利勘探区预测[J].东北石油大学学报,2008,32(3):5-8.
Meng Qingyang, Pang Xiongqi, Gao Jianbo, et al. Prediction of favorable exploration area of giant oil and gas fields in Cambrian of platform-basin transitional area of Tarim basin [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2008,32(3):5-8.
- [23] 黄擎宇,刘迪,叶宁,等.塔里木盆地寒武系白云岩储层特征及成岩作用[J].东北石油大学学报,2013,37(6):63-74.
Huang Qingyu, Liu Di, Ye Ning, et al. Reservoir characteristics and diagenesis of the Cambrian dolomite in Tarim basin [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2013,37(6):63-74.
- [24] 王湘平,丰勇,曹自成.包裹体综合分析方法在油气成藏过程中的应用——以塔里木盆地巴—麦地区为例[J].东北石油大学学报,2015,39(2):26-33.
Wang Xiangping, Feng Yong, Cao Zicheng, et al. Application of various aspects of fluid inclusions in hydrocarbon formation history: Taking Bachu-Maigaiti area of Tarim basin as an example [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2015,39(2):26-33.
- [25] 王坤,刘伟,胡再元,等.多重流体介质下塔里木盆地古城寒武系碳酸盐岩储层形成与保存[J].东北石油大学学报,2016,40(1):80-88.
Wang Kun, Liu Wei, Hu Zaiyuan, et al. Formation and protection of the carbonate reservoir of Cambrian under multiple fluid medium, Gucheng, Tarim basin [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2016,40(1):80-88.

mentary characteristic and favorable microfacies is defined based on core, well log date, seismic attribute, physical analysis data and inversion result, combined with sedimentary background and geography and predict reservoir distribution. It concludes that Sha2 member is during the period of rift lake basin transformation towards depression lake basin and the terrain condition is steep slope and gentle slope alternative distribution. Facies are shallow water braided river delta front and subaqueous fan at beginning of Sha2 member, and shallow water braided river delta front is mainly developed in the middle of Sha2 member. At last, deep lake facies is widely developed while delta front is limited. Microfices are mainly underwater distributary, mouth bar, sand sheet, bay between distributaries. Because of provenance movement, lake level fluctuation, terrain difference and unstable hydrodynamic force, microfices are different in shape, development degree, sand structure and sequence in vertical is absent. Underwater distributary and sand sheet whose sandbody has high quality in physical property are widely developed while mouth bar distributed limited and subaqueous fan can take as reservoir locally. It concluded that braided river delta front is developed mostly in the middle of Sha2 member and the best reservoir which is high superimposition are in the middle or east area. High structural area pinching out is rare and closed to provenance is the most favorable reservoir.

Key words: Sha2 member; lithologic reservoir; shallow water braided river delta front; subaqueous fan; reservoir prediction; Chengbei low step fault block; Huanghua depression

Sequence stratigraphy and sedimentary system distribution of the Jurassic in Fudong slope area, Junggar basin/2016, 40(6):82—95

Cao Yingchang^{1,2}, Hu Ruining^{1,2}, Wang Jian^{1,2}, Xu Qisong^{1,2}, Chen hong³, Su Yunguo⁴

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580, China; 2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, Shandong 266071, China; 3. Xinjiang Oilfield Company Research Institute of Exploration and Development, CNPC, Kelamayi, Xinjiang 834000, China; 4. Xingang Company of Xinjiang Oilfield Company, CNPC, Kelamayi, Xinjiang 834000, China)

Abstract: In order to further understand sequence stratigraphy and the sedimentary system of distribution of the Jurassic in Fudong slope area of Junggar basin, based on the sequence stratigraphic theory and analysis of seismic and well logging information and mud logging information and core data, combined with well-seismic calibration of each sequence, the sequence of the Jurassic in Fudong slope area of Junggar basin is classified, the strata framework of sequence is defined and established. The results show that three second-order sequence boundaries, five third-order sequence boundaries and seven third-order sequences are identified in the region. The second-order sequence boundaries are the top boundary of Jurassic, the bottom boundary of Jurassic as well as the end of Xishanyao, third-order sequence corresponds to the Badaowan group (under), Badaowan group (above), Sangonghe group, Xishanyao, Toutunhe group, Qigu group and Kalazha group from bottom to top. According to the characteristics of sequence stratigraphic structure, the seven third-order sequence can be classified into three types: two-divided sequence, three-divided sequence and four-divided sequence. This area mainly includes fan delta facies, braided river delta facies, meandering delta facies, braided stream-meandering river and lake facies. For SQ1-SQ6 sequence, the evolution of sedimentary facies is fan delta facies (Badaowan group, SQ1-SQ2)-braided river delta facies (Sangonghe group, SQ3)-meandering delta facies (Xishanyao group,

SQ4)-braided stream-meandering river (Toutunhe group, SQ5)-meandering river (Qigu group, SQ6). Form a positive cycle in Jurassic, particle size changed from coarse into fine granule from the bottom up. Analyzing comprehensively the characteristics of sequence stratigraphy and sedimentary system distribution law, the theoretical foundation will be provided in order to look for high quality reservoir sand bodies and determine the favorable exploration direction.

Key words: Junggar basin; Fudong slope area; Jurassic; strata framework of sequence; sedimentary characteristics

Control of micro-paleogeomorphology on karst dolomite reservoir: A case of horizontal well interpretation in Daniudi gas field Ma_{5₁₊₂} submember of Ordos basin/2016,40(6):96—105

Chen Quanjian¹, Zhang Shaonan¹, Bai Xiaoliang^{1,2}, Ding Xiaoqi³

(1. *School of Geosciences and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China*; 2. *Exploration and Development Research Institute of PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Chengdu, Sichuan 610051, China*; 3. *School of Energy, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China*)

Abstract: Aiming at the characteristics of tight reservoirs, strong karstification, great heterogeneity, low productivity of straight well and single well, good prospects for the development after adjusting the drilling of horizontal wells in Daniudi gas field Ma_{5₁₊₂} submember of Ordos basin, we track and analyze drilled gas testing results of horizontal well, the reservoir development and testing gas abnormal thickness of logging in Ma_{5₁₊₂}. In addition, we performed well logging interpretation for different micro-palaeogeomorphology of horizontal well guide hole section and horizontal wells, identified and determined level of reservoir types, and carried out the research on control affect of micro karst palaeogeomorphology on karst dolomite reservoir. Results are shown as follows: Karst facies of researching area developed obviously. In the vertical direction, it is obvious that the karst reservoir is controlled by the karst facies. Ma_{5₁}³, Ma_{5₁}⁴ and Ma_{5₂} are in the vertical seepage zone, so their whole argillaceous reservoir is weak and the reservoir performance is better and it is the beneficial reservoir facies. The effect of surface water transudation in karst slope micro palaeogeomorphology is obvious. Dolomite developed lots of dissolved pore and dissolved fracture, so argillaceous filling is weak and has good reservoir properties. It is favorable for the development and formation of the ancient karst reservoir and gas reservoir. Karst plateau reservoir space is easy to be dissolved and filled, so the physical property is poor compared with the slope.

Key words: Ordovician system; Daniudi gas field; Karst; horizontal well; micropalaeogeomorphology; reservoir control

Productivity model of fractured horizontal well for shale gas based on slippage, stress sensitivity and non-Darcy effect/2016,40(6):106—113

Tian Leng^{1,2}, Shen Zhiqiang^{1,2}, Wang Meng^{1,2}, Pan Shaojie^{1,2}, Xiao Cong^{1,2}, Dong Lihui^{1,2}

(1. *Key Laboratory of Petroleum Engineering attached to Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China*; 2. *School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China*)

Abstract: Shale pore is nanoscale, and its slippage effect is much more obvious than conventional reser-