

柴达木盆地七个泉地区渐新世 沉积特征与隐蔽油藏预测

赵 谦¹,周江羽^{1*},李兰斌¹,刘馨遥¹,张 臣²,光佳敏¹

(1.中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室,湖北 武汉 430074;

2.中国石油华北油田分公司 山西煤层气勘探开发分公司,山西 晋城 048000)

摘要:在油气开发的后期阶段,特别是构造油气藏已经不能满足生产需要的时候,利用层序精细划分和沉积微相分析等方法来寻找隐蔽油藏就显得尤为重要。通过对三维地震、钻井岩心、测井曲线等资料进行综合分析,利用三维地震资料控制沉积相空间展布,利用钻井和录井资料划分砂体小层,并将两者结合起来对柴达木盆地七个泉地区沉积相和层序进行精细刻画,同时在沉积相带内和层序格架之下研究砂体的连通性和空间展布。结果表明,在SSC5—SSC3沉积时期,研究区沉积主要以退积为主,在SSC2沉积时期经历了一次快速的水退过程之后,SSC2—SSC1沉积时期沉积基准面持续下降,后期主要以扇三角洲沉积为主。研究区渐新世下干柴沟组下段主要发育湖泊—扇三角洲和辫状河三角洲沉积。辫状河三角洲沉积发育水下分流河道、水下分流河道间、河口坝和席状砂沉积微相;扇三角洲发育扇三角洲平原和扇三角洲前缘亚相。通过对砂体展布和砂体孔渗性以及试油结果的研究,并依据沉积相与层序格架分析,预测在七32井区附近发育的斜坡带砂岩透镜体和上倾尖灭砂体是岩性油藏勘探的重点目标。

关键词:沉积特征 隐蔽油藏预测 下干柴沟组下段 七个泉地区 柴达木盆地

中图分类号:TE111.3

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2017)04-0022-08

Analysis of Oligocene sedimentary characteristics and subtle oil reservoir prediction in the Qigequan area, Qaidam Basin

Zhao Qian¹, Zhou Jiangyu^{1*}, Li Lanbin¹, Liu Xinyao¹, Zhang Chen², Guang Jiamin¹

(1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, Ministry of Education, China University of Geosciences (Wuhan),

Wuhan City, Hubei Province, 430074, China; 2. Shanxi CBM Exploration and Development Branch,

Huabei Oilfield Company, PetroChina, Jincheng City, Shanxi Province, 048000, China)

Abstract: It is very important to find the subtle reservoir by using the fine division of the sequence and the analysis of the sedimentary microfacies in the late stages of oil and gas exploration, especially when the structural oil-gas reservoirs are unable to meet the production needs. Through the comprehensive analysis of 3D seismic, drilling core and well log data, etc., the spatial distribution of sedimentary facies was determined by using 3D seismic data, layers of sandbodies were divided by drilling and log data, by which the sedimentary facies and the sequence of the Qigequan area were described finely. And then the connectivity and spatial distribution of sandbodies were studied based on the sedimentary facies and sequence framework. The results show that the retrogradation is dominant during SSC5-SSC3 sedimentary period in the study area. After one regressive process occurs rapidly during SSC2, the sedimentary base level continues to decline during SSC2-

收稿日期:2017-04-05。

作者简介:赵谦(1991—),男,湖北天门人,在读硕士研究生,从事地震资料解释和地震沉积学技术方法研究。联系电话:13308645288, E-mail: cugzq060729@163.com。

*通讯作者:周江羽(1962—),男,浙江东阳人,教授,博士。联系电话:(027)67848575, E-mail: zjy522@163.com。

基金项目:国家自然科学基金项目“页岩中的后油沥青孔隙体系:基本特征、形成机制与页岩油气地质意义”(41372112)及“南海北部陆缘大型深水峡谷体系形成机制及充填构型对比研究”(41572109)。

SSC1 sedimentary period, and the fan delta sedimentation is dominant at the later period. It is found there are fan delta sedimentary facies and braided river delta sedimentary facies in the research area of lower member of Xiaganchaigou Formation of Oligocene. The braided river delta includes microfacies of underwater distributary channel, underwater distributary inter-channel, mouth bar and sheet sand. Sedimentary facies of fan delta is divided into two subfacies: fan delta plain and fan delta front. According to the distribution of sandbodies and the porosity and permeability analysis and on the basis of sedimentary facies and sequence stratigraphic analysis, it is concluded that the sandstone lens and up-dip sandstone pinchout in the slope break near Well Qi32 are the key targets of reservoir exploration.

Key words: sedimentary characteristics; subtle oil reservoir prediction; lower member of Xiaganchaigou Formation; Qiqequan area; Qaidam Basin

柴达木盆地七个泉地区在前期油气开发阶段主要以构造油气藏为主,在后期开发阶段,单纯依靠构造分析寻找新的油藏已经不能满足发展的需要,必须寻找早期勘探未能发现的隐蔽油藏。七个泉地区渐新统下干柴沟组下段属于陆相沉积地层,具有岩性变化大、岩性突变明显和构造破坏性强的特点,在很大程度上阻碍了隐蔽油藏的勘探和预测。

自层序的概念提出以来,层序地层学经历了概念萌芽期、地震地层学形成和发展阶段以及层序地层学综合发展阶段^[1-3]。至今较为成熟的理论体系有 Vail 层序地层学、Galloway 成因层序地层学以及 Gross 高分辨率层序地层学^[4]。陆相湖盆层序地层学研究是中国层序地层学研究的一个重点领域,也取得了十分重大的进展和突破^[5]。目前学术界对陆相湖盆体系域的划分主要有2种学派:一种是将其划分为低位、湖侵和高位体系域^[6-7];另一种则划分为湖侵和湖退体系域^[7]。目前对中国陆相湖盆层序地层的研究主要侧重于对层序整体结构^[8-10]和沉积地层发展演化^[11-12]的系统研究,这些研究侧重点在于系统阐述沉积地层的整体展布和沉积模式^[13-15],但缺少对砂体的精细刻画,沉积盆地中薄层砂体的层序地层学研究尤为缺乏。而单套砂体特别是薄层砂体的油藏预测又是油气勘探的重要突破点。笔者利用三维地震、钻井和测井等资料,在对七个泉地区层序地层格架划分的基础上分析砂体连通性,结合沉积相和沉积微相的空间展布、砂体孔隙度和渗透率统计结果,认为在七32井附近发育的斜坡带砂岩透镜体和上倾尖灭砂体是隐蔽油藏勘探的重点目标。

1 区域地质概况

柴达木盆地位于青藏高原北缘,属于山间断陷盆地,东西长850 km,南北宽250 km,平面展布近似于菱形,海拔高度约为2 600~3 200 m^[16]。七个泉

地区位于柴达木盆地西部,属于柴达木盆地西部坳陷区尕斯断陷亚区小红山—阿哈堤—七个泉背斜带上的一个三级构造,西南端高而东北端低^[16]。由于挤压应力的影响,七个泉地区整体上表现为一个大型的隆起。东南方向向尕斯断陷腹部倾没,南部七个泉断层和红柳泉断层相交,在大的断裂带之间又形成多个小断块组合^[3](图1)。主要发育从古近系到新近系的部分或全部地层,为典型的多旋回湖相沉积体系。具有物源多、广、近,沉积相带窄和沉积旋回变化快等特点。

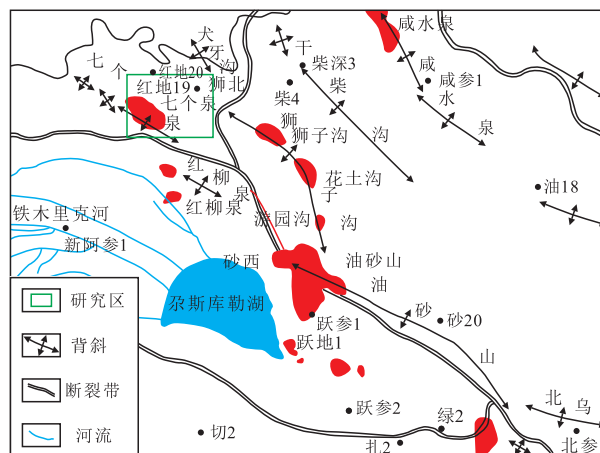


图1 柴达木盆地七个泉地区区域构造位置

Fig.1 Tectonic location of the Qiqequan area in Qaidam Basin

七个泉地区经历了多期多种动力学背景和构造体制的演化过程,物质组成和地质结构均比较复杂,盆山关系上表现出复杂的叠加组合关系^[6]。新生代路乐河组为最古老的沉积地层,距今大约53.5 Ma,代表盆地形成的年代。盆地沉积演化可以划分为4个阶段:早期断陷盆地阶段(距今53.5~43.8 Ma)、前陆盆地发展阶段(距今43.8~8.2 Ma)、前陆盆地消亡阶段(距今8.2~2.9 Ma)和晚期山间盆地阶段(距今2.9 Ma~现今)^[4]。

2 层序地层特征

三级层序的划分主要依据古生物、岩心资料以

及界面在地震、电测曲线上的响应关系。分析三维地震资料以及遍布研究区的24口井的自然伽马、自然电位、电阻率等测井曲线可知,下干柴沟组下段(E_3^1)底界是由喜马拉雅 I 幕构造运动形成的地层不整合。 E_3^1 底部为一套分布较广泛的砾岩,自然电位曲线上可见明显负异常,下部曲线呈平直或微齿状。 E_3^1 顶部为相转化面,与该界面对应的标志层岩性主要为钙质泥岩与泥岩的互层,电阻率曲线表现为一组明显的梳状曲线的组合。

五级层序是受小的构造和湖平面变化导致的沉积基准面的相对变化所致。SSC5—SSC4界面底部为大套的钙质泥岩和砾岩,自然伽马曲线上表现为钟形或箱形,曲线变化幅度大,突变明显,是相对短时期内气候的干旱氧化事件所致。SSC4—SSC3界面底部为大套砾岩夹砂、泥互层,岩性突变明显,自然伽马曲线为漏斗形或钟形,是构造小幅度隆升导致的河道下切作用所致。SSC3—SSC2界面主要是钙质泥岩和砾岩夹砂层,自然伽马曲线表现为箱形,电阻率曲线表现为梳状组合,为干旱氧化事件导致的湖盆范围减小所致。SSC2—SSC1界面则是大套细砂岩和泥岩互层,自然伽马曲线表现为箱形,局部为漏斗形或钟形,受后期湖盆断陷作用下的水进作用影响。

通过对层序地层格架内砂体展布和连通性分析,下干柴沟组下段湖盆发育初期,整体上水体较浅,3个方向的沉积物持续供应,沉积上以填平补齐为特征。旋回底部多为河道滞留沉积中的砾岩沉

积,厚层砾岩、砂岩与泥岩互层,电性异常幅度比较大。随着湖平面的逐渐上升,盆地的可容空间也不断增大,此时沉积物的堆积速率小于可容空间的增长速率,因此主要以退积的方式沉积,剖面上,整体向上具有粒度变细、厚度减薄的趋势。

根据七深7井—七东1井下干柴沟组下段砂体对比可知(图2),砂体的连通性良好,特别是七深7井—七深5井—七深16井—七深15井,砂体的厚度由薄变厚再变薄,呈橄榄球形或纺锤形发育,为北西方向的沉积物搬运过来,并在此处接受沉积。砂岩透镜体储层较为发育,特别是在七深7井、七深4井—七东1井这一带,还可见部分上倾尖灭砂岩储层,同时泥岩连片性较好,岩石孔隙度分析结果显示,泥岩孔隙度和渗透率都较低,构造作用对封盖条件的破坏不大。从SSC5—SSC1层序发育特征上看,早期沉积主要以加积和退积为主,晚期则主要以进积为主。整体上,砂体横向上在西侧的对称性较强,东侧不具备对称性。

犬南1井—七30井连井层序地层对比剖面的延伸方向与东北方七个泉物源区的物源方向一致,因此砂体具有良好的连续性,同时也见砂岩透镜体和上倾尖灭砂岩储层,整体上以加积为主,在每一套层序上由东向西砂体的粒径和厚度逐渐变小,泥岩逐渐变厚,砂岩透镜体更加常见,但没有厚层和巨厚层砂岩沉积。主要原因是水流携带的大块沉积物在扇口迅速卸载,湖平面以下以泥质沉积为主(图3)。

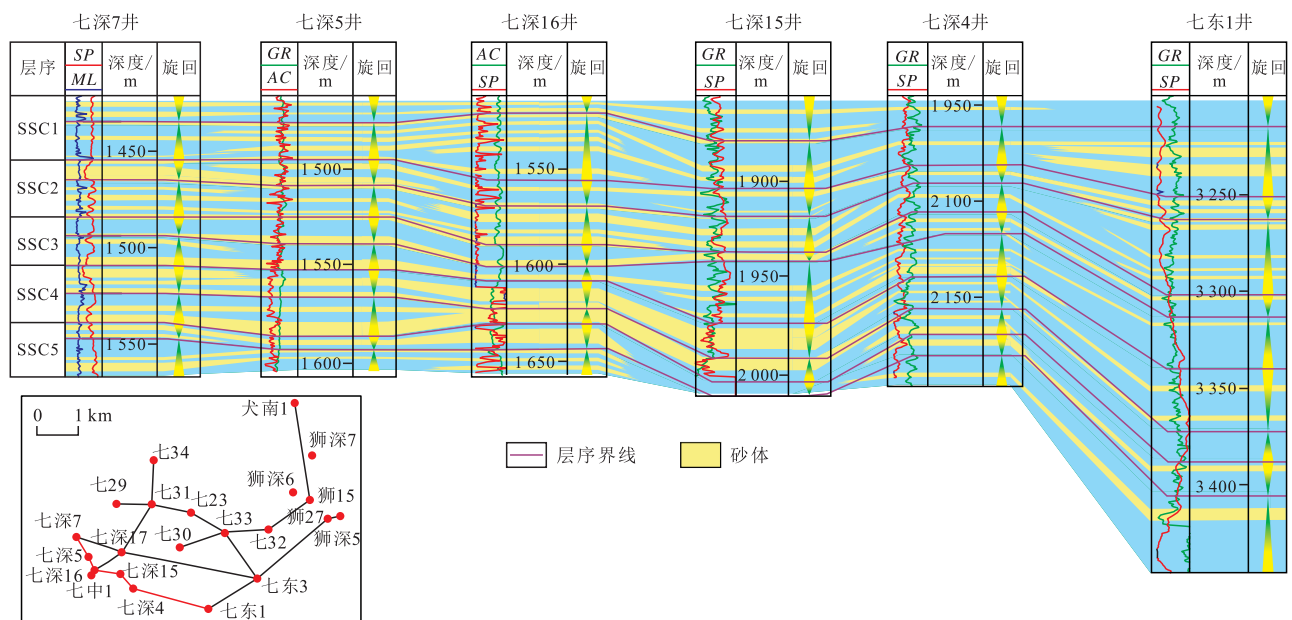


图2 七个泉地区七深7井—七东1井下干柴沟组下段砂体对比

Fig.2 Sandbody correlation of lower member of Xiganchaigou Formation along Well Qishen7-Well Qidong1 in the Qigequan area

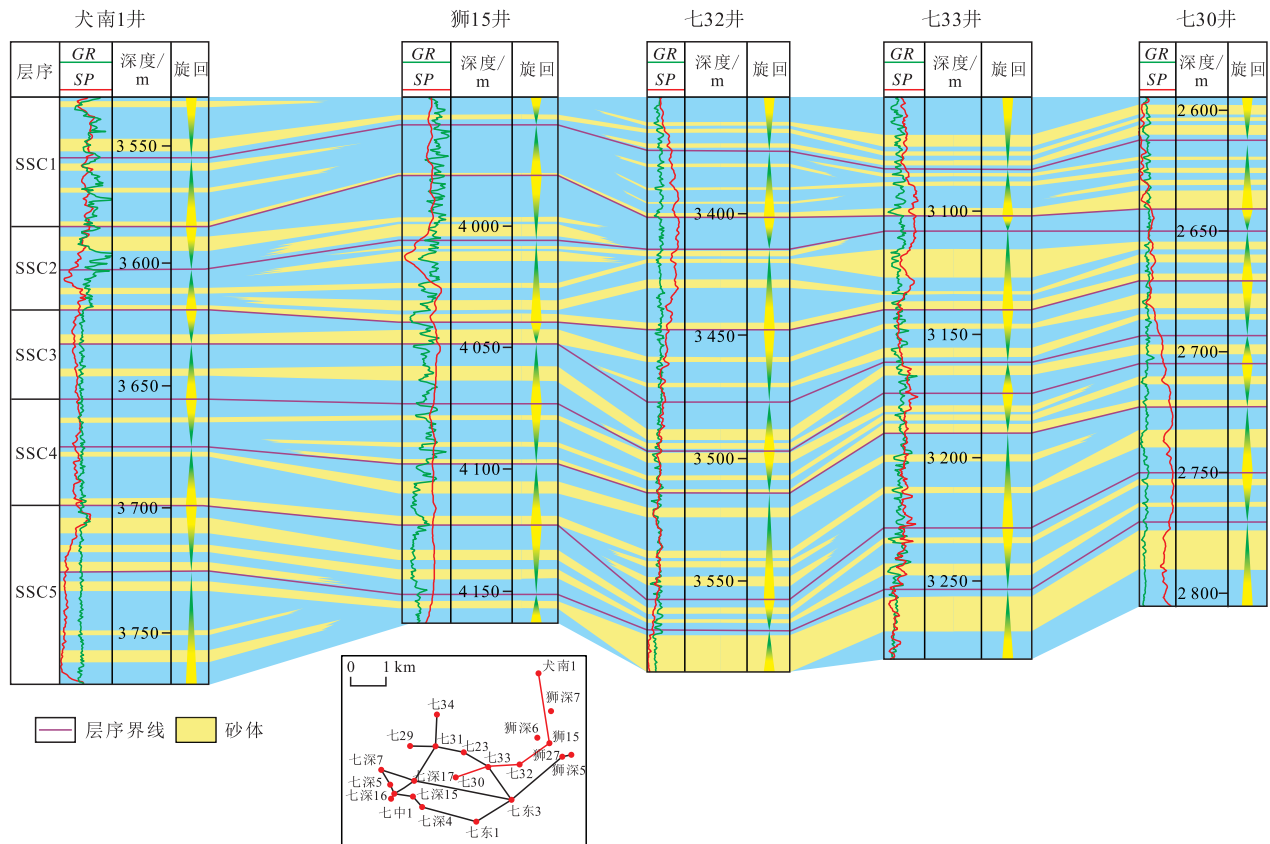


图3 七个泉地区犬南1井—七30井下干柴沟组下段砂体连井对比

Fig.3 Sandbody correlation of lower member of Xiaganchaigou Formation along Well Quannan1-Well Qi30 in the Qigequan area

3 沉积特征

3.1 辫状河三角洲沉积

辫状河三角洲沉积主要分布于七东断块区域,由阿拉尔物源供源,处于辫状河三角洲前缘背景,主要发育水下分流河道、水下分流河道间、河口坝及席状砂等。水下分流河道岩性以粉砂质泥岩和泥质粉砂岩为主,主要为加积和退积沉积,砂体单层厚度不大,但整体厚度较大,电测曲线上多为钟形和箱形。水下分流河道间主要分布在水下分流河道改道和水流变缓时的沉积区段,沉积物的运动方式以悬浮为主,岩性上主要为泥质砂岩和灰色泥岩,水平层理发育,局部底部可见叠瓦状层理。河口坝沉积主要是强的水流作用在阵发性水道上冲刷而成,在空间展布上以迁移性为特征。规模可大可小,局部地区成片出现可能性不大,但数量众多,呈分散分布的状态。岩性上主要以砾岩和中粗粒砂岩为主,分选、磨圆较差,可见平行层理和叠瓦状构造,由上到下砂岩粒径由大变小。席状砂主要发育在辫状河三角洲前缘地带,砂体分布范围较大,

砂岩的粒径以中粒和细粒为主,分选、磨圆良好,发育席状砂的沉积环境波浪作用较强,砂体多为细砂岩、粉砂岩与泥岩互层,自然电位曲线主要呈指状,曲线变化范围不大。

3.2 扇三角洲沉积

扇三角洲沉积在研究区分布相对最广,是推进到稳定水体中的冲积扇,具有明显的陆上、过渡区和水下沉积部分。通过对七29、七30、七33井进行单井相分析可知,研究区扇三角洲沉积主要分布于七30井附近,发育扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲亚相以及若干微相。

扇三角洲平原 扇三角洲平原是三角洲的陆上部分,主要发育在下干柴沟组下段沉积初期,包括分流河道和分流间湾微相。分流河道构成了扇三角洲平原亚相的骨架,在研究区以棕红色砾岩、砂砾岩沉积为特征。向上粒度逐渐变细,垂向上具间断性正韵律,同时还可可见斜层理和交错层理、不对称波痕、河道滞留沉积。分流间湾主要发育在分流河道的两侧,由洪水期携带泥砂漫出淤积而成。以细砂、粉砂、泥质沉积为主,发育上攀层理、波状层理及流水波痕。

扇三角洲前缘 研究区扇三角洲前缘沉积环境中牵引流的影响较大,主要发育交错层理和斜层理,沉积方式以加积为主。同时发育不规则的泥岩、砂岩和砂岩透镜体。扇三角洲前缘在研究区较为发育,为扇三角洲沉积砂体发育最好的部分。可进一步划分为水下分流河道、分流间湾、河口坝和席状砂微相。

水下分流河道微相是扇三角洲平原分流河道的水下延伸部分。沉积物粒度较粗,岩性以砂砾岩和砂岩为主,发育大型斜层理、平行层理。砂体由下至上粒度变细,呈正粒序,多层河道叠置砂体厚度可达数十米。测井曲线多为钟形和箱形。

分流间湾微相岩性主要为泥岩、粉砂质泥岩夹薄层粉砂岩,自然电位曲线呈低幅微齿状。砂质纹层及水平层理发育,可见虫孔等生物扰动构造。

河口坝砂体位于水下分流河道的河口处,因河流带来的砂泥物质在河口处流速降低堆积而成,具有较高的沉降速率。由于受到湖水和河流的双重作用,河口坝砂体的分选和磨圆较好,岩性以细砂岩为主。砂层呈中层至厚层状,横剖面上为底平上凸的透镜状砂体。自然伽马曲线表现为高一中漏斗形或漏斗—箱形齿化或微齿化。

席状砂微相在研究区各个层段都有发育,主要以加积和进积的形式出现。岩性主要为泥质粉砂岩、细砂岩和中粗粒砂岩,分选、磨圆良好,可见脉状层理和透镜状砂岩,自然电位曲线主要为箱形。

前扇三角洲 前扇三角洲发育水平层理、块状层理。研究区由于前三角洲与浅湖相融为一体,在岩性和电性以及层理构造上相差较小,因此不单独列出,作为滨浅湖亚相的一部分处理。

4 沉积相平面展布特征

七个泉地区沉积相主要以陆相湖泊相、辫状河三角洲相和扇三角洲相为主。受控因素除了大的构造运动之外,在渐新世受地壳微隆起和断陷作用影响,同时短时期内的气候变迁对沉积基准面的影响也尤为显著。辫状河三角洲主要发育在研究区西南部,分布范围较小。扇三角洲发育于研究区北部,主要物源区为七个泉物源和狮北物源,分布范围较广。

SSC5 沉积时期发育的主要沉积相包括近岸水下扇、扇三角洲、辫状河三角洲及湖泊。砂体厚度较大区域位于扇三角洲分流河道及近岸水下扇辫状水道微相中。扇三角洲沉积发育在七29井以东

区域。七23井至犬南1井区域以扇三角洲平原亚相为主,主要发育分流河道及分流间湾微相;七29井至七23井及狮北地区主要发育扇三角洲前缘亚相。辫状河三角洲沉积主要发育在受阿拉尔物源影响的西南区域,七东1井附近以辫状河三角洲前缘亚相为主,其中水下分流河道及水下分流间湾微相较为发育。七29井以西还发育近岸水下扇沉积,并且微相发育齐全(图4)。

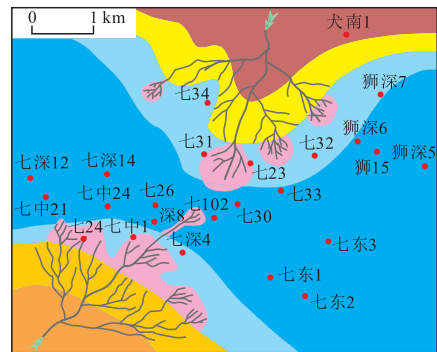


图4 七个泉地区SSC5沉积时期沉积相分布

Fig.4 Sedimentary facies in the Qigequan area during SSC5 period

SSC4 沉积时期砂岩含量大于40%的区域主要分布在七个泉构造高部位,包括七24井至七评3井区域、七个泉东斜坡七31井至犬南1井区。SSC4沉积时期湖平面上升,砂体沉积范围与SSC5沉积时期相比缩小,扇三角洲的范围也明显缩小(图5)。

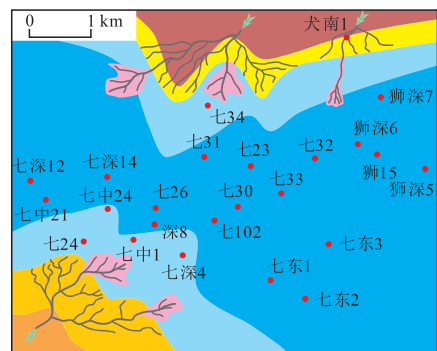


图5 七个泉地区SSC4沉积时期沉积相分布

Fig.5 Sedimentary facies in the Qigequan area during SSC4 period

SSC3 沉积时期,湖平面进一步扩大,可容空间增长速率大于沉积物供给速率,沉积物进一步退积。与SSC4沉积时期相比,砂岩含量大于40%的区域进一步缩小,七东1井的砂岩含量由SSC4沉积时期的22.94%降低为SSC3沉积时期的6.41%。与

SSC4沉积时期相比,七个泉构造高部位发育的近岸水下扇扇中亚相的辫状水道微相分布范围减小,扇端亚相的席状砂微相范围相对扩大。扇三角洲分布范围相对变小,发育的水下分流河道由SSC4沉积时期在七102井附近,退缩至七31井附近(图6)。

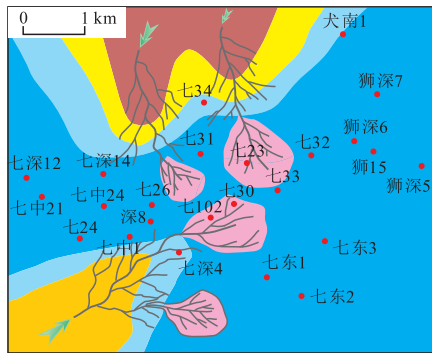


图6 七个泉地区SSC3沉积时期沉积相分布
Fig.6 Sedimentary facies in the Qiqequan area during SSC3 period

SSC2沉积时期,湖平面下降,A/S小于1,沉积物进积明显。与SSC3沉积时期相比,砂岩含量大于40%的区域由七23井以北区域向西南方向延伸到七33井附近,七东1井区域砂体也相对发育,该井相应层段的砂岩含量由6.41%升高到36.14%;七个泉构造高部位发育的辫状水道微相分布范围略微减小。该时期狮北地区物源供给充足,扇三角洲朵体范围向南部延伸(图7)。

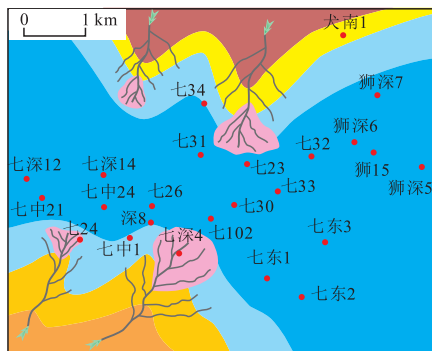


图7 七个泉地区SSC2沉积时期沉积相分布
Fig.7 Sedimentary facies in the Qiqequan area during SSC2 period

SSC1沉积时期,湖平面上升,沉积物退积。该时期砂岩含量大于40%的区域由SSC2沉积时期的七33井附近退缩至七23井与七33井中间区域。与SSC2沉积时期相比,该时期扇三角洲朵体范围略微减小,七30井区为前扇三角洲水下分流河道的末

端,七33井及七32井区域主要发育河口坝及席状砂微相。西南方向的辫状河三角洲前缘基本退出研究区,七东1井区域以滨浅湖泥沉积为主(图8)。

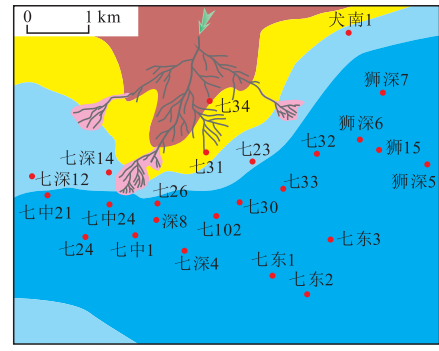


图8 七个泉地区SSC1沉积时期沉积相分布
Fig.8 Sedimentary facies in the Qiqequan area during SSC1 period

5 有利勘探区带预测

七个泉地区构造作用对油气运移的破坏作用很小,前期对单纯以构造为主的有利区带进行勘探已经效果不大,后期隐蔽岩性油藏应该作为一个重点方向进行研究,而识别有效砂体是对隐蔽岩性油藏预测的前提。对砂体的识别主要是对砂体连通性、砂体所处沉积相带、砂体孔渗性和砂体规模进行评估。同时结合目标区带的构造特征以及可能的试油结果进行分析,综合评价有效砂体的各种参数来指导隐蔽岩性油藏的预测。

通过对七个泉地区下干柴沟组下段储层岩性成分统计可知,该区储层成熟度偏低,主要为长石岩屑砂岩。从分选性来看,碎屑岩分选性较差,填隙物含量约为20%~30%,灰泥充填物含量约为10%~20%,胶结物含量一般为10%~15%。根据测井、测试等资料,对下干柴沟组下段24个小层物性进行统计。结果表明,研究区开发小层的孔隙度为0.001%~90.022%,平均为4.594%;渗透率为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 65.933 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $1.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。VI-9和VI-21小层平均孔隙度较大;VI-1,VI-2和VI-19小层平均渗透率相对较高,均超过 $3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

在山间盆地形成阶段,由于构造活动的不均性和断层的活动,在斜坡背景上发育的坡折带是寻找砂体薄层的有利地区。通过对比发现七32井区附近是油气的有利聚集区。七32井区处于七个泉东斜坡带上。从构造特征上看,该斜坡为一构造反转区,古构造为东南倾的斜坡,今构造为东倾的斜

坡(图9);属于狮北扇三角洲的前缘相带,发育水下扇体和相关的分流河道、席状砂等砂体类型。埋藏深度较小,一般为3 000~3 500 m。储层物性较好,孔隙度可达12%~15%。七32井19号小层砂体对应的主要是水下分流河道和分流间湾微相,22号小层砂体对应的主要是水下分流河道微相,在这种沉积环境之下,往往是砂、泥互层沉积,能形成良好的砂岩透镜体和上倾尖灭砂岩,结合沉积搬运中形成的富有机质泥岩,同时沉积过程中携带的有机质能为砂岩透镜体提供油气来源,以此配套能形成良好的岩性油气藏。

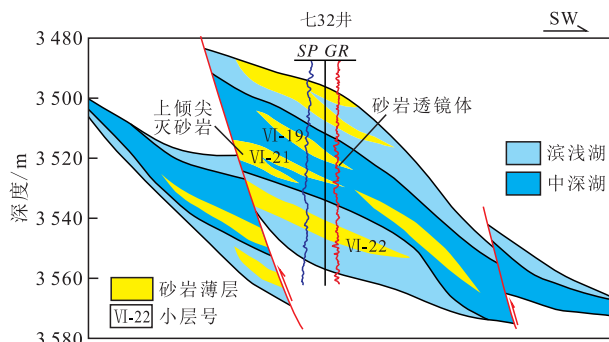


图9 七个泉地区七32井区斜坡带有利勘探区预测模式
Fig.9 Prediction pattern of favorable exploration zone in Q132 well area in the slope zone of the Qigequan area

6 结论

通过对三维地震、测井和钻井资料分析,将柴达木盆地七个泉地区渐新世下干柴沟组下段划分为5套五级层序,是喜马拉雅 I 幕隆升后由于往复性的干旱氧化事件、河道下切事件和水进事件产生的水进—水退—水进的沉积过程。在层序地层格架下划分出的小层砂体连通性显示,在研究区西北角和东南部分砂体连通性好,地层含砂率高,同时砂、泥岩互层为其主要特征,具备油气储集体的基本条件,是下一步隐蔽岩性圈闭研究的重点区域。

地震、测井资料综合分析显示,研究区主体发育辫状河三角洲和扇三角洲沉积,辫状河三角洲发育水下分流河道、水下分流河道间、河口坝和席状砂沉积;扇三角洲平原和扇三角洲前缘在研究区都有很好的展布,同时还发育水下分流河道、分流间湾、河口坝和席状砂等沉积微相。

通过对层序地层格架、砂体小层连通性、沉积相和沉积微相的分析和砂体孔渗性综合分析认为,七32井区附近处于扇三角洲前缘边缘和前扇三角洲之间的坡折带,是下一步隐蔽岩性油藏勘探和评价的重点区块。

参考文献:

- [1] 姜在兴.层序地层学研究进展:国际层序地层学研讨会综述[J].地学前缘,2012,19(1):1-9.
Jiang Zaixing.Advances in sequence stratigraphy: A summary from International Workshop on Sequence Stratigraphy [J].Earth Science Frontiers,2012,19(1):1-9.
- [2] 朱德燕,王学军,郝雪峰,等.东营凹陷泥页岩层序地层划分[J].油气地质与采收率,2016,23(2):52-56.
Zhu Deyan, Wang Xuejun, Hao Xuefeng, et al.Study on sequence stratigraphic division of oil shale in Dongying sag [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2016,23(2):52-56.
- [3] 樊奇,朱爱国,田继军,等.准噶尔盆地滴南凸起白垩系清水河组层序地层划分及沉积特征[J].油气地质与采收率,2015,22(4):38-43.
Fan Qi, Zhu Aiguo, Tian Jijun, et al.Sequence stratigraphic classification and sedimentary characteristics of Cretaceous Qingshuihe Formation in the Dinan uplift of Junggar Basin [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2015,22(4):38-43.
- [4] 曹国强.柴达木盆地西部地区第三系沉积相研究[D].广州:中国科学院研究生院,2005:22-37.
Cao Guoqiang.Sedimentary facies of the Tertiary in West Qaidam Basin [D].Guangzhou: Graduate School of the Chinese Academy of Sciences,2005:22-37.
- [5] 董月霞,王建伟,刁帆,等.陆相断陷湖盆层序构样式及砂体预测模式——以南堡凹陷东营组为例[J].石油与天然气地质,2015,36(1):96-102.
Dong Yuexia, Wang Jianwei, Diao Fan, et al.Sequence stratigraphic patterns and sand body prediction models of fault-depressed lacustrine basins: a case study from the Dongying Formation in the Nanpu Sag, Bohai Bay Basin [J].Oil & Gas Geology,2015,36(1):96-102.
- [6] 陈海清,杨波,寿建峰,等.沉积物源的综合识别与岩性圈闭的确定——以柴达木盆地七个泉地区为例[J].石油地球物理勘探,2007,42(3):283-289.
Chen Haiqing, Yang Bo, Shou Jianfeng, et al.Comprehensive identification of sedimentary derivation and determination of lithologic traps: an example of Qigequan area in Qaidam basin [J].Oil Geophysical Prospecting,2007,42(3):283-289.
- [7] 夏国清.柴达木盆地西南缘新生代构造隆升的沉积记录[D].成都:成都理工大学,2012:6-22.
Xia Guoqing.The sedimentary records of the tectonic uplift of the East Kunlun in the Cenozoic [D].Chengdu: Chengdu University of Technology,2012:6-22.
- [8] 郑超,宁松华,韩强,等.库车凹陷俄霍布拉克组层序地层及沉积相预测[J].特种油气藏,2015,22(6):75-79.
Zheng Chao, Ning Songhua, Han Qiang, et al.Prediction on sequence stratigraphy and sedimentary facies of Ehuobulake Formation in Kuqa Sag [J].Special Oil & Gas Reservoirs,2015,22(6):75-79.
- [9] 李军,吴因业,崔化娟,等.柴达木盆地七个泉地区下干柴沟组体系域和沉积相[J].新疆石油地质,2005,26(4):370-372.

- Li Jun, Wu Yinyie, Cui Huajuan, et al. System tract and depositional facies of lower Ganchaigou formation in Qigequan area, Qaidam basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2005, 26(4): 370-372.
- [10] 李宝庆. 现行层序模型及其标准化[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(2): 134-140.
- Li Baoqing. Current models and standardization of sequence stratigraphy [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2015, 37(2): 134-140.
- [11] 谭锋奇, 李洪奇, 王明, 等. 柴达木盆地七个泉地区高分辨率层序格架建立方法研究[J]. *沉积与特提斯地质*, 2009, 29(3): 22-28.
- Tan Fengqi, Li Hongqi, Wang Ming, et al. Construction of the high-resolution sequence framework in the Qigequan region, Qaidam Basin, Qinghai [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2009, 29(3): 22-28.
- [12] 刘冷杉, 胡明毅, 高达, 等. 四川磨溪—高石梯地区龙王庙组层序划分及储层预测[J]. *大庆石油地质与开发*, 2016, 35(5): 42-47.
- Liu Lingshan, Hu Mingyi, Gao Da, et al. Sequence strata and reservoir prediction for Longwanmiao Formation in Sichuan Moxi-Gaoshiti area [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2016, 35(5): 42-47.
- [13] 李兰斌, 孙丽娜, 孙家振, 等. 柴西南地区断裂特征分析[J]. *石油地球物理勘探*, 2010, 45(3): 443-447.
- Li Lanbin, Sun Lina, Sun Jiazhen, et al. The fracture characteristic analysis in Southwest area of Qaidam Basin [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2010, 45(3): 443-447.
- [14] 蔡来星, 卢双舫, 巩兴会, 等. 徐家围子断陷南部沙河子组层序地层格架及沉积特征[J]. *大庆石油地质与开发*, 2015, 34(2): 26-33.
- Cai Laixing, Lu Shuangfang, Gong Xinghui, et al. Sequence stratigraphic framework and sedimentary characteristics for Shahezi Formation in South Xujiaweizi Fault Depression [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2015, 34(2): 26-33.
- [15] 孙国强, 杜忠明, 贾艳艳, 等. 柴达木盆地北缘西段古近纪以来沉积模式研究[J]. *岩性油气藏*, 2012, 24(4): 13-18.
- Sun Guoqiang, Du Zhongming, Jia Yanyan, et al. Sedimentary model since Paleogene in northern margin of Qaidam Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2012, 24(4): 13-18.
- [16] 郭峰, 陈世悦, 袁文芳, 等. 柴达木盆地西部干柴沟组沉积相及储层分布[J]. *新疆地质*, 2006, 24(1): 45-51.
- Guo Feng, Chen Shiyue, Yuan Wenfang, et al. Analysis on depositional facies and reservoir of the Ganchaigou Formation, Western Qaidam Basin [J]. *Xinjiang Geology*, 2006, 24(1): 45-51.

编辑 经雅丽

(上接第7页)

- [4] Alkhalifah T. An acoustic wave equation for anisotropic media [J]. *Geophysics*, 2000, 65(4): 1239-1250.
- [5] 王延光, 匡斌. 起伏地表叠前逆时深度偏移与并行实现[J]. *石油地球物理勘探*, 2012, 47(2): 266-271.
- Wang Yanguang, Kuang Bin. Prestack reverse-time depth migration on rugged topography and parallel computation realization [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2012, 47(2): 266-271.
- [6] Bakker P M, Gerristen S, Cao Q, et al. 3D RTM-based wave-path tomography: Theory and applications to synthetic and field data [C]. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2015: 5259-5264.
- [7] 朱博, 宋鹏, 李金山, 等. 基于多卡GPU集群的多次波逆时偏移成像技术[J]. *油气地质与采收率*, 2015, 22(2): 60-65.
- Zhu Bo, Song Peng, Li Jinshan, et al. Reverse time migration of multiples based on the acceleration of multi-card GPU [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(2): 60-65.
- [8] 韩世春, 石建新, 杨宏伟, 等. 多分量资料波动方程叠前逆时深度偏移技术[J]. *油气地球物理*, 2015, 13(3): 11-15.
- Han Shichun, Shi Jianxin, Yang Hongwei, et al. Wave equation prestack reverse time depth migration for multi-component data [J]. *Petroleum Geophysics*, 2015, 13(3): 11-15.
- [9] 郭树祥. 关于提高地震成像精度的几点思考[J]. *油气地球物理*, 2015, 13(1): 1-4.
- Guo Shuxiang. Some thoughts on improving the accuracies of seismic imaging [J]. *Petroleum Geophysics*, 2015, 13(1): 1-4.
- [10] 叶月明, 庄锡进, 胡冰, 等. 典型叠前深度偏移方法的速度敏感性分析[J]. *石油地球物理勘探*, 2012, 47(4): 552-558.
- Ye Yueming, Zhuang Xijin, Hu Bing, et al. Velocity sensitivity analysis of typical pre-stack depth migration methods [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2012, 47(4): 552-558.

编辑 经雅丽