

文章编号: 1009-3850(2016)04-0014-07

塔里木盆地 S1 井区志留系柯坪塔格组下沥青砂岩段 沉积相新认识

尚 凯¹, 郭 娜², 张 睿¹

(1. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司石油工程技术研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 在岩心观察的基础上, 通过对岩石学特征、粒度、沉积构造、微量元素、测井和地震等资料的综合分析, 对塔里木盆地 S1 井区志留系柯坪塔格组下沥青砂岩段沉积相进行了研究。认为本区该套地层主要发育受潮汐影响的辫状河三角洲前缘亚相。进一步可识别出水下分流河道、支流间湾、河口砂坝等沉积微相。结合地震属性资料, 分析了研究区沉积相平面分布特征。水下分流河道微相砂体储集物性最好, 河道的多期迁移、纵横向叠置形成了大面积分布的良好储集体。

关键词: 潮汐影响的辫状河三角洲; 沉积特征; 志留系; 下沥青砂岩段; 塔里木盆地

中图分类号: P534.43

文献标识码: A

志留系一直是塔里木盆地古生界碎屑岩领域的重点勘探层系之一。2003 年中石化西北油田分公司在塔中北坡顺托果勒区块部署的 S1 井在志留系柯坪塔格组下沥青砂岩段获得了稠油, 近期又在该区发现了 S9 井志留系油藏, 表明该领域良好的勘探前景。多位学者对层序、沉积和储盖组合等方面开展过相关研究工作^[1-5], 但大都是从全盆或区带等宏观角度开展, 其精度难以满足目前勘探开发的需要。同时, 对于志留系下沥青砂岩段的沉积相认识也存在着较大的分歧。有研究者认为, 塔中志留系下沥青砂岩段发育海侵背景下的滨岸-潮坪-辫状河三角洲沉积体系^[3]; 也有研究者在下沥青砂岩段识别出滨岸砂体、沙脊砂体和远滨砂体^[4]。

S1 井区为三维地震工区, 志留系地层发育较全, 工区内钻井均钻穿下沥青砂岩段, 取心段长, 资料丰富, 这些有利的条件为进一步落实该区沉积环境的研究奠定了基础。本文充分利用该区近期新

钻探井岩心、测井、分析化验及三维地震等资料, 对本区志留系柯坪塔格组下沥青砂岩段开展沉积相研究, 确认本区下沥青砂岩段具有潮汐影响的辫状河三角洲沉积特征, 并结合三维地震属性资料刻画了砂体平面分布特征, 以期对该区油气勘探提供地质依据。

1 区域地质概况

顺托果勒低隆起为塔里木盆地加里东中期形成的继承性古隆起, 南部与卡塔克隆起相接, 东部毗邻满加尔凹陷, 西侧紧邻阿瓦提凹陷, 为油气运移有利指向区。S1 井区位于顺托果勒低隆起中南部(图 1), 是西北油田分公司在塔中地区古生界碎屑岩油气勘探的重点区块。志留系沉积期, 塔里木盆地处于稳定的克拉通内拗陷沉降阶段, 发育了一套滨浅海相为主的碎屑岩沉积建造^[6-7], 柯坪塔格组地层向塔北隆起带和塔南隆起带超覆沉积。根据

收稿日期: 2016-06-05; 改回日期: 2016-08-12

作者简介: 尚凯(1982-), 男, 工程师, 从事沉积学与储层地质学研究。E-mail: kaige925@163.com

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05002-003)

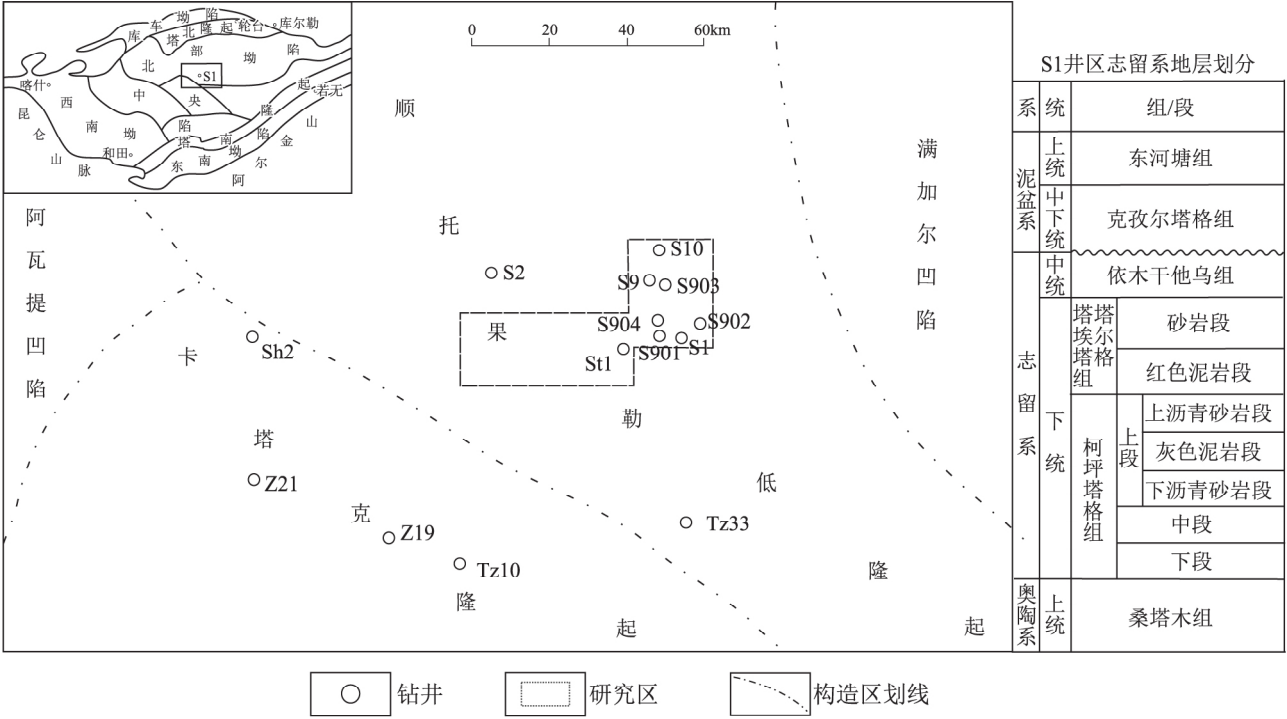


图 1 研究区位置及志留系地层划分
Fig. 1 Location of the S1 well area and division of the Silurian strata

岩电特征 S1 井区志留系柯坪塔格组从上到下划分为上段、中段和下段。上段可进一步细分为上沥青砂岩段、灰色泥岩段和下沥青砂岩段,上沥青砂岩段岩性主要为灰色、浅棕色砂泥岩互层;灰色泥岩段岩性主要为灰色泥岩;下沥青砂岩段岩性主要为灰色、浅灰色砂岩夹泥岩。

2 辫状河三角洲沉积特征

2.1 沉积相标志

2.1.1 岩石学特征

根据岩心观察及录井资料 S1 井区下沥青砂岩段砂岩呈浅灰色、灰色,泥岩主要为灰色、灰绿色,反映了浅水条件下还原-弱还原沉积环境特征。砂岩以岩屑石英砂岩为主,次为岩屑砂岩和长石岩屑砂岩。砂岩碎屑组分中石英含量在 31%~88%,平均 66.89%;岩屑含量在 0~53%,平均 27%;长石含量低,为 0~18%,平均 7.63%。对砾岩和砂岩的成分统计表明,砾石的成分主要为石英岩,其次为泥砾。砂岩颗粒分选中等,磨圆度呈次棱角-次圆状,结合成分成熟度较低的特征,推测为近物源快速堆积的产物。

2.1.2 粒度特征

粒度特征是识别沉积环境水动力条件及沉积相的重要标志之一,粒度累积概率曲线能很好地反

映出沉积物的搬运方式。通过对研究区内 25 件岩心样品进行粒度分析,绘制出粒度累积概率曲线(图 2)。可以看出大多数样品的粒度较细,分选较好,曲线主要呈两段式,滚动组分不发育,跳跃总体所占比重较大,大约在 80% 以上。悬浮组分含量在 10%~20%。悬浮总体与跳跃总体之间的交点 φ 值在 2.5~3.5,粒度曲线总体反映牵引流特征。

2.1.3 沉积构造

研究区下沥青砂岩段沉积构造类型丰富,岩心上可观察到平行层理、均质层理、槽状交错层理、低角度交错层理、冲刷面构造和沙纹交错层理,还有少量潮汐层理、羽状交错层理和双粘土层(图 3)。反映高流态沉积特征的槽状交错层理、交错层理、均质层理和平行层理等沉积构造多见于灰色、浅灰色含砾砂岩及细砂岩中。冲刷面构造较为常见,冲刷面高低起伏,界面上下岩性变化较大,反映了水动力条件的突变。通常表现为冲刷面附近石英砾或者泥砾富集,有时呈定向排列,反映单向水流特征。沙纹交错层理多见于粉砂岩或泥质粉砂岩中,表明沉积时水体能量较低的特征。通常认为波状层理、脉状层理和透镜状层理等潮汐层理主要形成于能量较低、具有周期性的潮汐作用环境^[8-9]。研究区潮汐层理主要集中在粉砂岩、泥质粉砂岩和泥岩、粉砂质泥岩互层的地层中。羽状交错层理也是

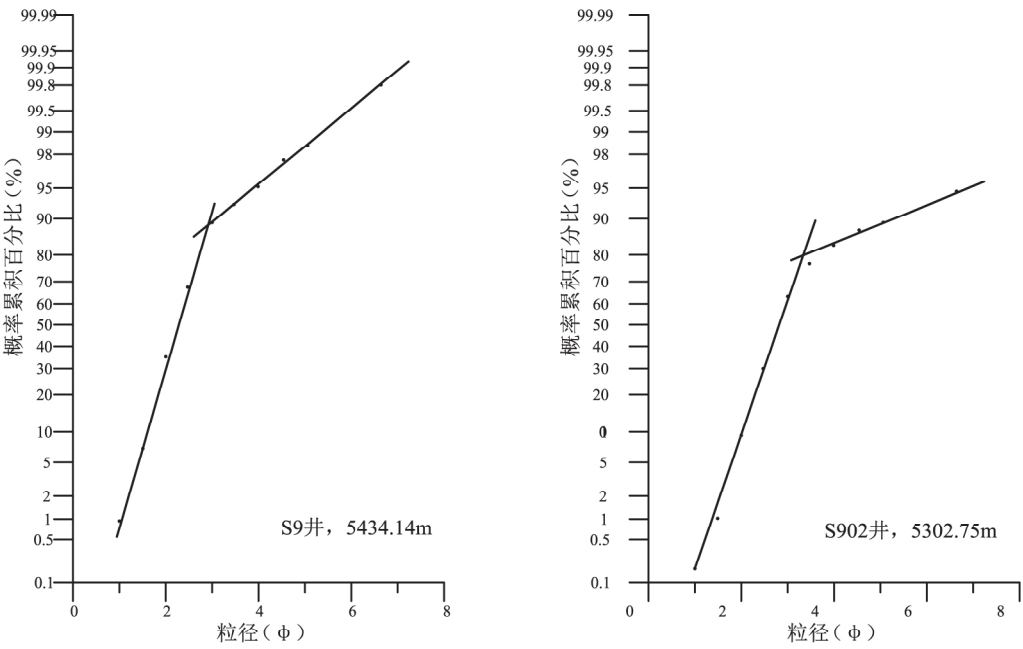


图2 S1井区下沥青砂岩段粒度概率累积曲线

Fig.2 Grain size probability accumulation curves for the lower bitumen-bearing sandstone member in the S1 well area

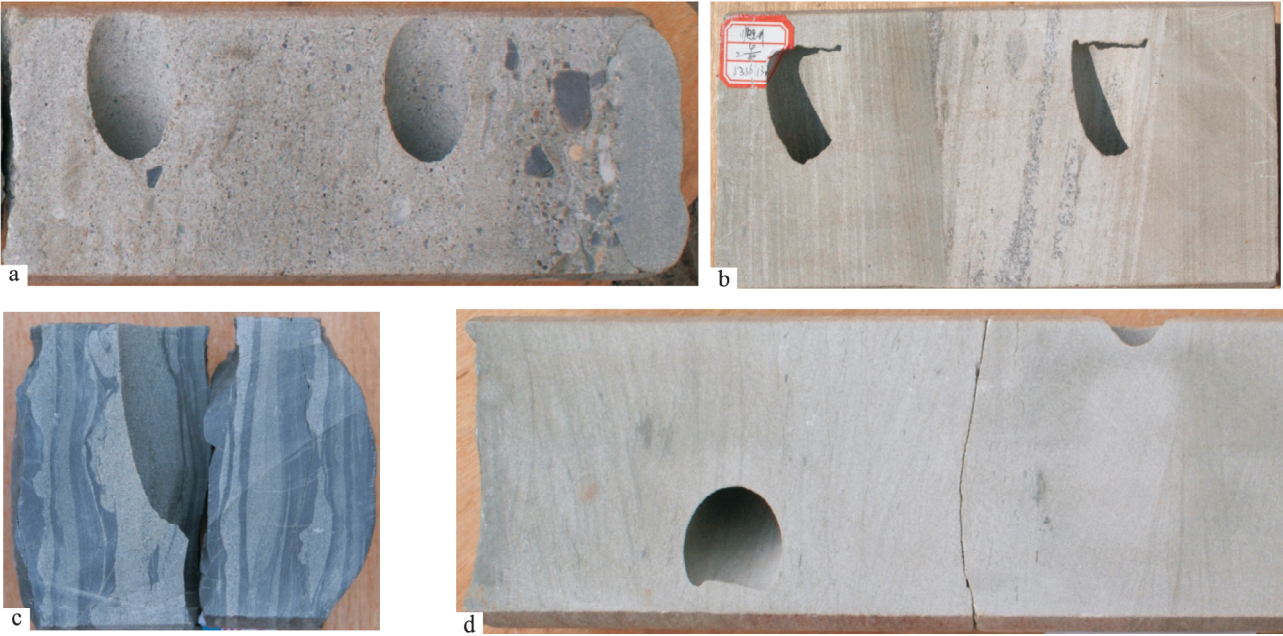


图3 S1井区柯坪塔格组下沥青砂岩段沉积构造特征

a. 冲刷面,灰色含砾中砾岩-细砂岩,S902井,5438.25m; b. 双向交错层理、平行层理,灰色细砂岩,S9井,5336.13m; c. 潮汐层理,双粘土层,灰色粉砂岩,泥岩,S904井,5374.60m; d. 槽状交错层理、均质层理,灰色细砂岩,S1井,5340.18m

Fig.3 Sedimentary structures in the lower bitumen-bearing sandstone member in the S1 well area

潮汐作用的显著特征之一,指示双向水流的水动力条件^[8]。上述沉积构造特征反映了以河流作用控制为主、受潮汐作用影响的沉积特征。

2.1.4 微量元素

微量元素对于古水深以及古盐度等特征的判别具有一定的指向意义,因此被广泛的应用于沉积

环境的识别^[10-11]。通过对研究区内S1和S903井的岩石样品进行微量元素测试,并对锶、钡、钒和镍等对沉积环境敏感的元素进行了分析(表1)。一般来说,锶(Sr)和钡(Ba)的比值对水体古盐度响应较为灵敏。 $Sr/Ba < 0.5$ 为微咸水, Sr/Ba 处于 $0.5 \sim 1$ 之间为半咸水, $Sr/Ba > 1$ 时指示咸水。下沥青砂

岩段泥质岩中的微量元素分析表明 ,Sr/Ba 值在 0.08 ~0.1 之间 ,为微咸水特征。钒(V) 和镍(Ni) 的含量对沉积环境的氧化还原特征比较敏感。V/(V + Ni) > 0.6 ,指示弱分层还原环境^[10]。实验表明 ,该区 V/(V + Ni) 在 0.72 ~0.77 之间 ,反映沉积时水体主要为水下的厌氧环境^[11]。

表 1 S1 井区柯坪塔格组下沥青砂岩段微量元素分析结果 (×10⁻⁶)

Table 1 Trace element analyses for the lower bitumen-bearing sandstone member in the S1 well area (×10⁻⁶)

样号	Sr	Ba	Sr/Ba	V	Ni	V/(V + Ni)
S903-1	126	1327	0.09	60.2	20.3	0.75
S903-2	132	1301	0.1	69.8	21.1	0.77
S1-1	135	5869	0.02	67	25.6	0.72
S1-2	158	10495	0.02	71.3	23.2	0.75

2.2 沉积相类型及特征

依据对上述沉积相标志的综合分析并结合测井资料及地震资料分析 ,认为 S1 井区志留系柯坪塔格组下沥青砂岩段主要发育潮汐作用影响的辫状河三角洲沉积体系。潮汐影响的三角洲以河流作用为主 ,受潮汐作用影响 ,仍保留着三角洲沉积典型的沉积序列与组合特征。这种类型的三角洲与河流三角洲以及潮控三角洲均有着明显的差异 ,目前受到国内外研究者的关注^[12-14]。有学者在塔里木盆地柯坪露头区早志留世剖面中也识别出了潮汐影响的三角洲沉积^[14]。

研究区主要发育潮汐影响的辫状河三角洲前缘亚相 ,可识别出水下分流河道、河口砂坝和分流河道间 3 种沉积微相。

水下分流河道是辫状河三角洲平原亚相的辫状水道在水下的延伸部分。岩性主要为细砂岩、中砂岩及含砾砂岩 ,河道主体部位砂质较纯 ,成分成熟度和结构成熟度相对较高 ,分选中等-较好。粒度概率曲线呈两段式 ,跳跃总体发育。单个水下分流河道垂向上为正旋回 ,与泥岩组合成典型的“二元结构”特征。自然伽马曲线和电位曲线为高幅异常的钟形 ,受泥质含量的影响可能表现出微齿化特征 ,是水流能量逐渐减弱或物源供给减少的表现。多期叠置的水下分流河道在测井曲线上主要表现为箱型 ,指示沉积过程中物源充足、水动力稳定条件下的快速堆积或环境稳定的沉积。沉积构造主要有冲刷面、低角度交错层理、槽状交错层理、平行层理、均质层理等。受潮汐作用影响 ,上部出现少量双粘土层、羽状交错层理等潮汐层理(图 4)。

分流河道间微相沉积时水体能量较低 ,岩性一般为灰色或灰绿色泥岩和粉砂岩 ,含粉砂质泥岩和泥质粉砂岩。发育水平层理、透镜状层理及小型沙纹层理 ,偶见生物扰动构造。自然伽马曲线为低幅平直状或低幅齿状。

三角洲平原辫状河道入水后 ,携带的砂质由于流速降低而在河口处沉积下来 ,即形成河口砂坝。辫状河三角洲前缘河口坝砂体主要为细-中砂岩 ,也可见含砾砂岩和粉砂岩 ,砂体中可见平行层理和沙纹层理。河口砂坝在垂向上一般呈下细上粗的反韵律 ,自然伽马曲线和自然电位曲线形态表现为漏斗型 ,反映水流能量逐渐加强和物源供给充分。由于水下分流河道的频繁迁移 ,河口砂坝受侵蚀 ,厚度较小 ,垂向上常位于河道砂体下部。本区河口砂坝分布较局限 ,主要为规模较小的薄层透镜状砂体。

2.3 沉积相平面分布

由于研究区内钻井分布不均匀 ,下沥青砂岩段沉积相平面分布研究是在岩心观察、单井沉积相与连井沉积相分析的基础上 ,结合 S1 井三维地震工区内地震属性进行分析。通过对下沥青砂岩段的顶底界面约束 ,对该层段进行了多属性提取。通过与钻井揭示的岩心资料进行对比 ,发现总能量、均方根振幅和平均反射强度与该地区的砂体分布响应关系较好。在此基础上 ,通过钻井约束 ,编制出了下沥青砂岩段沉积相平面分布图(图 5)。研究区主要发育辫状河三角洲前缘沉积环境 ,受南部物源影响 ,在研究区有两条从南向北推进的水下分流河道 ,呈树枝状展布。由于分支河道多期迁移叠加 ,呈宽带状或席状连片展布 ,本区河口砂坝分布较分散 ,主要集中在分流河道前缘及侧缘。

3 沉积微相对油气的控制作用

研究区主要位于三角洲前缘亚相 ,发育水下分流河道和河口砂坝等储集砂体。岩心分析资料表明 ,水下分流河道以细砂岩为主 ,砂体物性较好 ,孔隙度 4.5% ~16.4% ,平均 10.8% ,渗透率(0.07 ~15.4) ×10⁻³ μm² ,平均 0.91 ×10⁻³ μm²。河口砂坝砂体的物性相对较差(图 6)。由于水下分流河道频繁的侧向迁移 ,在纵向上形成了砂体的多期叠加 ,在平面上砂体连片分布 ,形成有利的储集砂体。河道间的细粒沉积对于储集砂体具有一定的分隔作用 ,有利于形成侧向封堵。同时 ,上覆的灰色泥岩段在研究区内分布广泛、岩性较纯、厚度稳定 ,可作为良好的区域盖层 ,这些条件奠定了岩性圈闭形成的地质基础。下沥青砂岩段录井油气显示普遍 ,各井

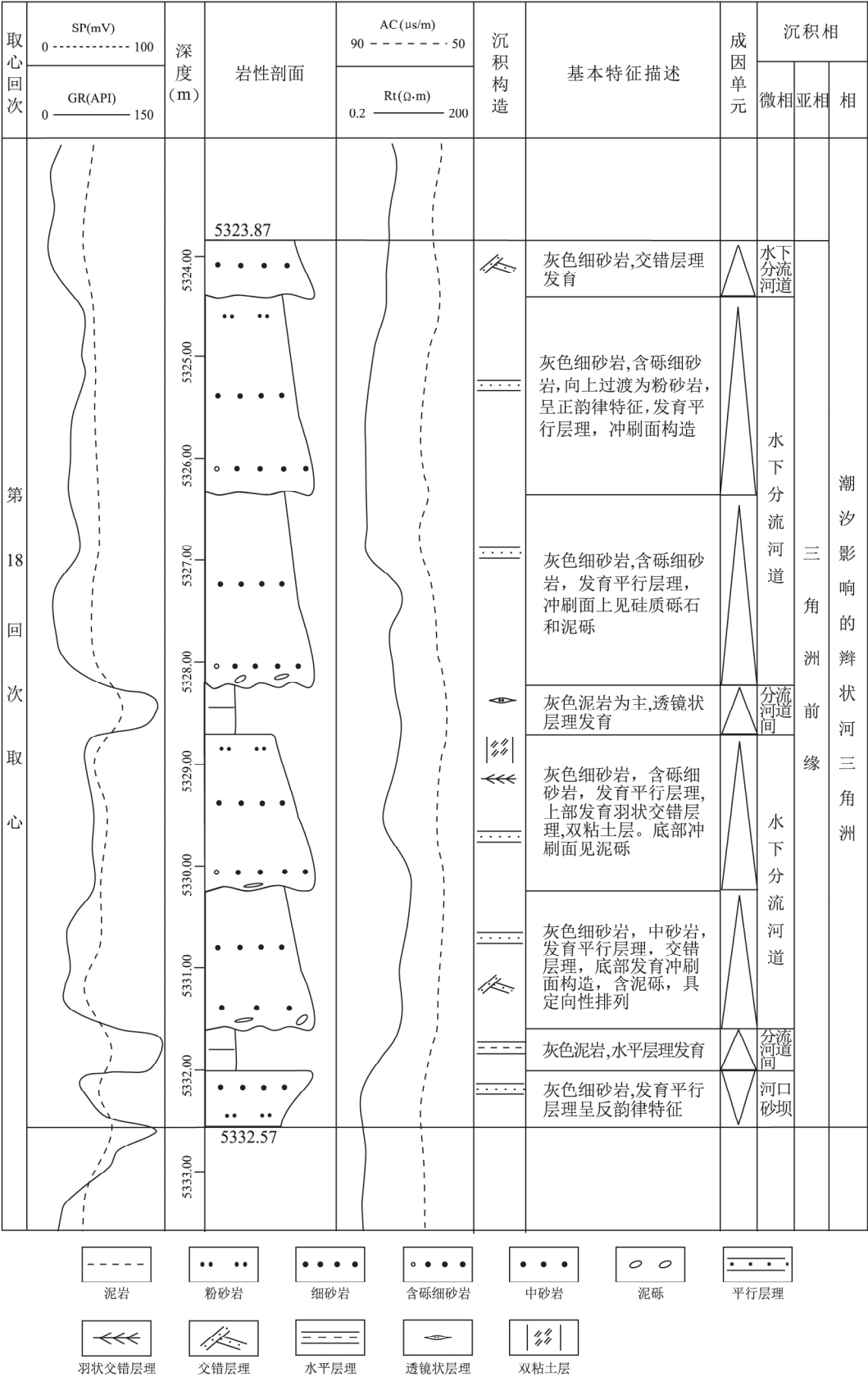


图4 S1井潮汐影响的三角洲沉积特征

Fig.4 Sedimentary characteristics of the tidal-influenced delta deposits in the S1 well area

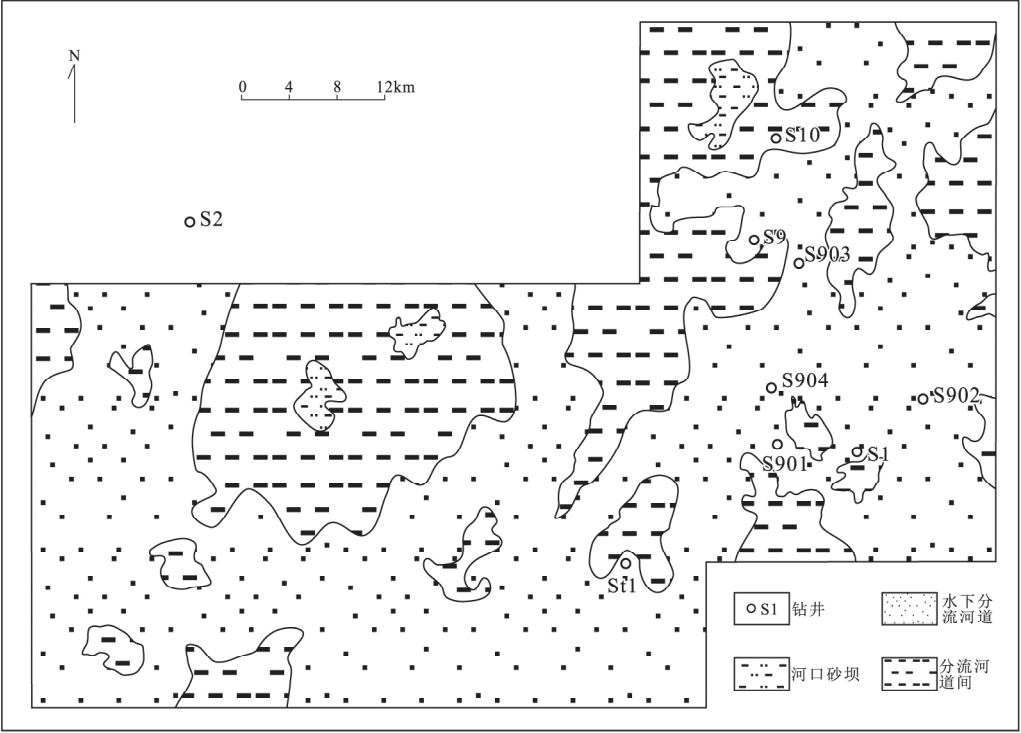


图5 S1井区下沥青砂岩段沉积微相平面图

Fig.5 Planar distribution of the sedimentary microfacies of the lower bitumen-bearing sandstone member in the S1 well area

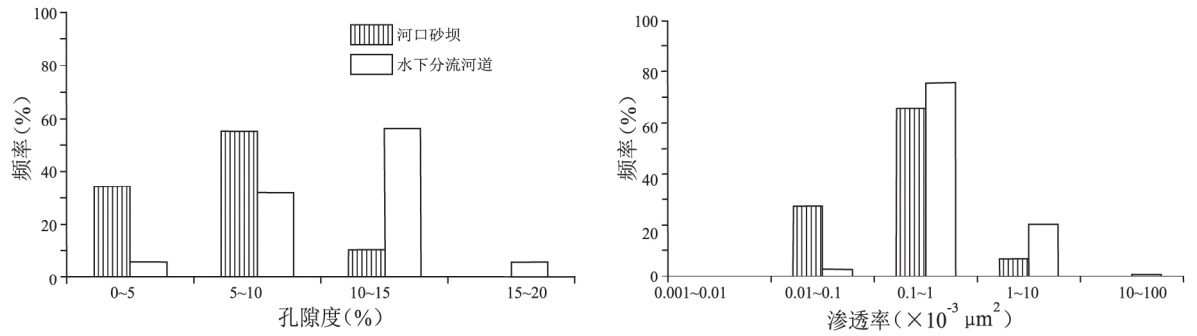


图6 不同沉积微相砂体物性分布特征

Fig.6 Frequency histograms for the porosity and permeability of the channel mouth bar and subaqueous distributary channel sandstones in the S1 well area

内均有发现。油气显示主要集中在水下分流河道和河口砂坝中,以前者显示级别最高,主要以油浸、油斑为主。本区河口砂坝主要为小规模的透镜状砂体,水下分流河道为本区最有利的微相类型,是岩性油气藏勘探的有利目标。

4 结论与认识

根据岩心观察、化验分析资料、测井资料以及地震资料综合分析,认为塔里木盆地 S1 井区志留系柯坪塔格组下沥青砂岩段并非为潮坪相或滨岸相—陆棚相沉积,而是受潮汐影响的辫状河三角洲前缘沉积。水下分流河道呈近南北向展布,水下分流河

道微相砂岩储集物性好,为研究区内最有利的沉积微相类型。纵横叠置的砂体在侧向上受河道间的细粒沉积分隔,纵向上与上覆灰色泥岩段形成有利储盖组合,是岩性油气藏勘探的有利目标。这一新的认识对该区进一步的勘探开发具有重要的指导意义。

参考文献:

[1] 赵文光,彭仕宓,蔡忠贤,等.塔中志留系层序及其可容纳空间分析[J].沉积与特提斯地质,2006,26(4):51-56.
[2] 苗清,傅恒.塔里木盆地塔中-塔北志留系层序地层[J].沉积与特提斯地质,2013,33(1):34-41.

- [3] 丁梦 樊太亮 高志前 等. 塔里木盆地塔中地区志留系柯坪塔格组下沥青砂岩段沉积相分析[J]. 现代地质, 2012, 26(2): 342–348.
- [4] 高志勇 朱如凯 郭宏莉 等. 塔中志留系下沥青砂岩段砂体成因分析[J]. 古地理学报, 2006, 8(4): 477–485.
- [5] 厚刚福 王海燕 张先龙 等. 塔里木盆地志留系储盖组合特征与分布[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(2): 59–65.
- [6] 何登发 贾承造 李德生 等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成和演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64–77.
- [7] 张小兵 赵锡奎. 塔里木盆地塔中隆起构造演化与油气关系[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(2): 70–75.
- [8] 赵霞飞 吕宗刚 张闻林 彭海润 康仁东. 四川盆地安岳地区须家河组-近海潮汐沉积[J]. 天然气工业, 2008, 28(4): 14–18.
- [9] 邓宏文 郑文波. 珠江口盆地惠州凹陷古近系珠海组近海潮汐沉积特征[J]. 现代地质, 2009, 23(5): 767–775.
- [10] 宋璠 杨少春 苏妮娜 等. 准噶尔盆地春风油田沙湾组沉积相新认识[J]. 石油实验地质, 2013, 35(3): 238–242.
- [11] 周新平 徐怀民 牛玉杰 等. 塔中地区西北部 C III 油组含砾砂岩段沉积相研究[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(2): 292–299.
- [12] MILKEVICIENE K N, BJRKUND P P. Recongnizing tide-dominated versus tide-influenced deltas: Middle Devonian strata of the Baltic basin [J]. Journal of Sedimentary Research, 2009, 79: 887–905.
- [13] 魏恒飞 陈践发 陈晓东 等. 西湖凹陷平湖组滨海型煤系烃源岩发育环境及其控制因素[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 487–497.
- [14] 邢凤存 李祯 李思田. 柯坪露头区早志留世三角洲及碎屑海岸沉积[J]. 中国地质, 2011, 38(4): 996–1006.

Sedimentary facies of the lower bitumen-bearing sandstone member of the Silurian Kepingtage Formation in the S1 well area , Tarim Basin

SHANG Kai¹ , GUO Na² , ZHANG Rui¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development , Northwest China Oil Field Company , SINOPEC , Urumqi 830011 , Xinjiang , China; 2. Research Institute of Petroleum Engineering and Technology , Northwest China Oil Field Company , SINOPEC , Urumqi 830011 , Xinjiang , China)

Abstract: The sedimentary facies of the lower bitumen-bearing sandstone member of the Silurian Kepingtage Formation in the S1 well area , Tarim Basin are discriminated on the basis of core examination , lithology , grain size analysis , sedimentary structures , trace element analysis , well logs and seismic data. The lower bitumen-bearing sandstone member of the Kepingtage Formation is mainly composed of the tidal-influenced braided delta front subfacies , and may be subdivided into the subaqueous distributary channel , interdistributary bay and channel mouth bar microfacies. The planar distribution of the sedimentary facies is delineated in terms of seismic data. The migration and longitudinal and horizontal superimposition of the multistage channels led to the widespread distribution of excellent reservoir rocks , and to the best reservoir quality of the subaqueous distributary channel sandstones. The new insights in this study may provide new geological basic data for the further petroleum exploration and development in the study area.

Key words: tidal-influenced braided delta; sedimentary characteristics; Silurian; lower bitumen-bearing sandstone member; Tarim Basin