

文章编号:0253-9985(2010)04-0420-08

准噶尔盆地红车断裂带岩性地层油气藏 勘探新思路

陈 轩^{1,2}, 张昌民², 张尚锋², 张利萍³

(1. 中国石油天然气股份有限公司 勘探开发研究院 提高石油采收率国家重点实验室, 北京 100083;

2. 长江大学 地球科学学院, 湖北 荆州 434023; 3. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083)

摘要:从沉积层序与油气成藏的关系出发,在河流-三角洲沉积体系中,提出了“富砂之外找贫砂,贫砂之内找富砂”的岩性地层油气藏勘探新思路。运用该思路并结合层序地层理论和相关目标评价技术,在准噶尔盆地红车断裂带三叠系克拉玛依下亚组河流相中,认为中期旋回 MSC2 为有利的“贫砂”层系,在该层系中高弯曲指数的河道砂体为有利的“富砂”目标,针对目标提交了红山 4 井并获得工业油流;同样在新近系沙湾组三角洲沉积相中,认为三级层序 NSQ2 中的湖侵体系域为有利的“贫砂”层系,层系中的三角洲前缘水下分流河道砂体为有利“富砂”目标,针对目标提交车 89 井并获得油气突破。这一思路指出了“贫砂”地层也是岩性地层油气藏发育的重要场所,对我国陆相岩性地层油气藏勘探具有一定的实践意义。

关键词:河流;三角洲;层序地层;岩性地层油气藏;红车断裂带;准噶尔盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

A new approach to the exploration of lithologic-stratigraphic reservoirs in the Hong-Che fault belt, the Junggar Basin

Chen Xuan^{1,2}, Zhang Changmin², Zhang Shangfeng² and Zhang Liping³

(1. State Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery, PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China; 2. College of Geosciences, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China;

3. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the relationship between sedimentary sequences and reservoir formation, the author puts forward a new approach to exploration of lithologic-stratigraphic reservoirs in the fluvial-delta sedimentary systems-“to look for intervals with low net-to-gross ratio outside a facies zone with high net-to-gross ratio, and to look for reservoirs with relatively high net-to-gross ratio within intervals with low net-to-gross ratio”. In combination with sequence stratigraphic theories and relevant target-evaluation techniques, this new approach is used to identify reservoirs in the 1st member of the Triassic Karamay Formation in the Hong-Che fault belt in Junggar Basin. It is believed that the middle cycle-MSC2 is the favorable “low net-to-gross ratio interval”, in which the channel sands with high curvature index are the favorable “exploration targets with relatively high net-to-gross ratio”. The exploration well (Hongshan-4) targeting at these channel sands was drilled and flowed commercial oil. Meanwhile, for the delta deposits in the Neogene Shawan Formation, it is believed that the transgressive system tracts in the third-order sequence-NSQ2-are the favorable “low net-to-gross ratio interval”, in which the underwater distributary channel sands at delta front are considered to be the “exploration targets with relatively high net-to-gross ratio”. The exploration well (Che-89) targeting at these sandstones was drilled and obtained discoveries. This indicates that, intervals with low net-to-gross ratio also can have well-developed lithologic-stratigraphic reservoirs. This new approach is of significance to exploration of lithologic-stratigraphic reservoirs in the terrestrial strata in China.

收稿日期:2010-05。

第一作者简介:陈轩(1983—),男,博士研究生,沉积层序。

基金项目:国家自然科学基金项目(40602013,40572078)。

Keywords: river, delta, sequence stratigraphy, lithologic-stratigraphic reservoir, Hong-Che fault belt, Junggar Basin

近年来,我国岩性地层油气藏勘探已经取得了丰硕的成果,它不仅是勘探老区后备储量的主要勘探对象,也是新区勘探不可忽视的重要目标,因此它在我国油气勘探中的重要性也就不言而喻。我国许多专家学者从陆相岩性地层油气藏的形成要素、成藏特征、分布规律以及勘探技术等方面作了大量卓有成效的工作^[1~3]。随着勘探认识的深入,成岩相变化带、负向构造带、坡折带、超覆带与岩性地层油气藏紧密相关,这些理论及经验已经逐渐被大家认可^[4~10]。本文从沉积层序与成藏关系的角度出发,介绍一种“富砂之外找贫砂,贫砂之内找富砂”的勘探思路,并用来指导准噶尔盆地红车断裂带岩性地层油气藏的勘探。

1 “富砂之外找贫砂,贫砂之内找富砂”的提出

层序地层理论的成功实践为岩性地层油气藏勘探提供了关键的理论支持。在河流沉积环境中,高可容纳空间下发育的弯曲河道砂岩与河泛泥岩互层,可以形成有利的岩性地层圈闭^[11,12];在三级层序中,低位体系域内发育的湖底扇、下切河谷与首次湖泛面组合,可以形成有利的岩性地层圈闭^[13];湖侵体系域中退积的三角洲前缘砂体与湖相泥岩互层,形成好的储盖组合;最大湖泛面上下的砂岩透镜体以及高位体系域中加积-进积作用形成的砂泥互层,也是有利的勘探对象^[13]。通过沉积层序研究,发现河流和三角洲沉积环境中发育的岩性地层圈闭都有一个共性,即都存在一个砂泥百分含量比较低的环境,表现为泥砂互层或泥包砂。而在岩性地层圈闭油气成藏的研究中,我们都肯定一个基本的石油地质理论,即砂泥互层的环境最有利于油气充注和保存^[14]。因此,综合岩性地层圈闭的层序发育特征与油气成藏效率之间的关系,提出了“富砂之外找贫砂,贫砂之内找富砂”的勘探思路。

2 “富砂之外找贫砂,贫砂之内找富砂”的理解

对于同一个沉积体系而言,所谓砂体“贫富”,

它只是一个相对概念。河流沉积体系中辫状河砂岩百分含量相对高,就可以理解为“富砂”,曲流河砂岩百分含量相对较低,即可认为是“贫砂”;而在三角洲沉积体系中,随着牵引流在沉积过程中发生沉积分异作用,沉积能量逐渐减弱,泥岩含量逐渐增加。因此,三角洲平原砂岩百分含量相对高于三角洲前缘砂岩百分含量,故可以把三角洲平原理解为“富砂”层系,而把三角洲前缘理解为“贫砂”层系。因此“贫砂富砂”只是一种相对概念在不同沉积体系中的应用,它包括以下两层含义。

1) “富砂之外找贫砂”,即优选层系。理解为在同一个沉积体系中,进行层序地层等时格架对比,优选砂岩百分含量相对低的层系。在河流沉积体系中,河流弯曲指数一般与砂岩百分含量成反比,因此具有中-高弯曲指数的河流沉积层系可以理解为“贫砂”层系。在一个长期基准面旋回中,基准面上升的初期和下降的晚期,基准面位置低,沉积水动力强,一般发育辫状河沉积^[15~17],该类型河道砂体非常发育,属于“富砂”范畴。这种砂体连片分布,连通性好,油气充注后,非常容易沿着砂体通道渗流,以致散失,不利于岩性地层圈闭成藏;而在基准面上升到最高点附近,可容纳空间大,沉积水动力较弱,一般发育曲流河沉积^[15~17](图1),该沉积层系砂体欠发育,属于“贫砂”范畴。在三角洲沉积体系中,三角洲前缘砂岩百分含量低于三角洲平原砂岩百分含量,即可以认为三角洲前缘所在层系是“贫砂”层系。这种层系频繁发生砂泥互层,是岩性地层油气藏理想的发育场所。

2) “贫砂之内找富砂”,即优选目标。理解为在“贫砂”的层系中寻找砂体“富集”的目标。在河流“贫砂”层系中,优选连通性相对较差的孤立河道、废弃河道、决口扇等“富砂”目标,这些砂体在局部富集,横向连通性较差,油气充注后,有利于油气保存,为理想的目标。在三角洲的“贫砂”层系中,优选三角洲前缘河道砂、席状砂、河口砂坝等砂体,该类型砂体一般与生油岩互层接触,只要有一定的储集空间,就比较容易成藏。

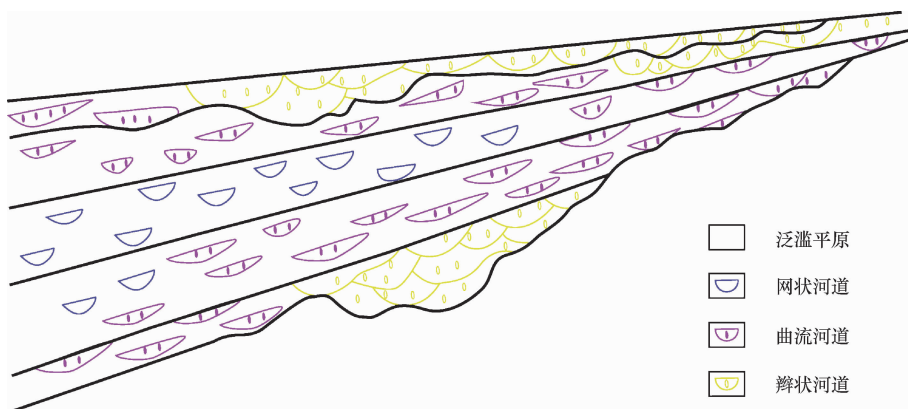


图 1 基准面旋回变化过程中河道砂体分异模式

Fig. 1 Differentiation model of channel sand during cyclic changes in the base level

3 “富砂之外找贫砂, 贫砂之内找富砂”的应用

3.1 在河流沉积体系中的应用

准噶尔盆地红山嘴油田红 29 井三维工区位于红车断裂与克百断裂的交接带, 东邻玛湖凹陷和沙湾凹陷, 西靠近扎伊尔山(图 2), 主要发育石炭系、三叠系、侏罗系。勘探实践表明, 中三叠统发育的克拉玛依下亚组和克拉玛依上亚组是该区产油气的主力层位^[18]。

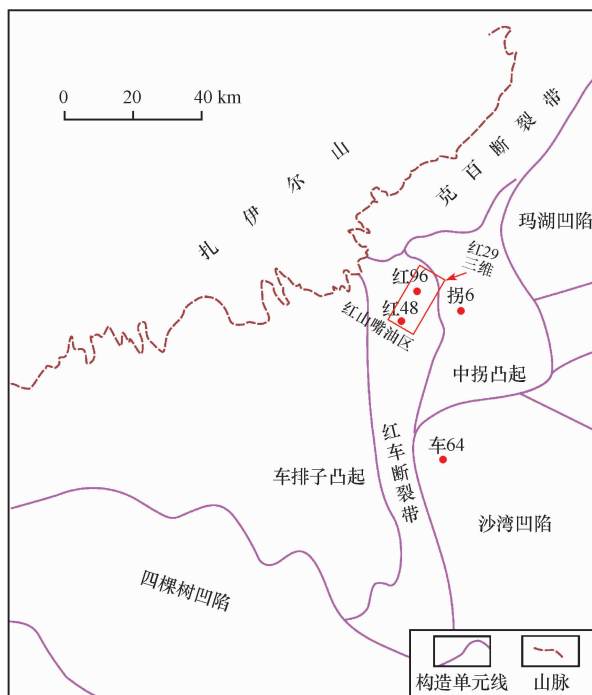


图 2 准噶尔盆地红车断裂带区域位置

Fig. 2 Location of the Hong-Che fault belt, the Junggar Basin

1) 层位优选。通过对研究区取心井的岩心观察资料、测井资料、分析化验资料及沉积背景资料的研究, 认为在红车断裂红山嘴地区中三叠统主要发育河流沉积体系。克拉玛依上亚组主要发育厚层灰色砂砾岩夹中薄层褐色泥岩, 克拉玛依下亚组主要岩性特征为褐色、灰褐色泥岩与灰色砂岩、砂砾岩不等厚互层。克拉玛依上亚组为辫状河流沉积, 克拉玛依下亚组泥质含量高, 为低-中弯度河流沉积(图 3), 因此依据“富砂之外找贫

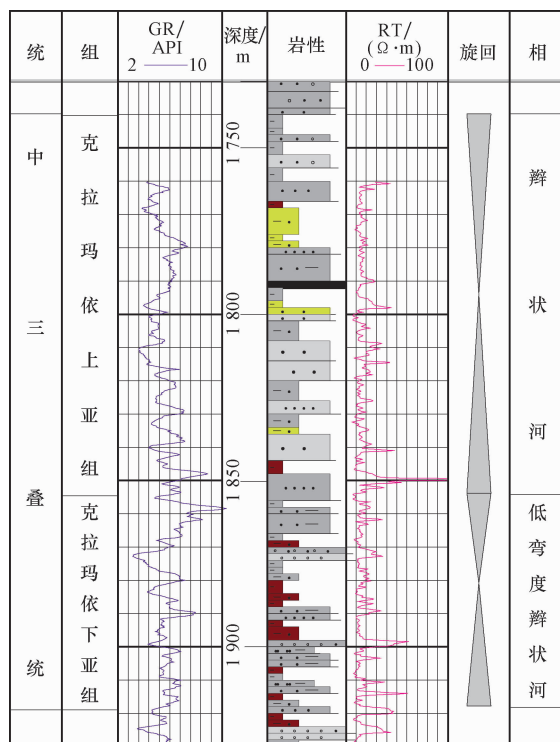


图 3 准噶尔盆地红车断裂带红 73 井河流沉积综合柱状图

Fig. 3 The generalized columnar section of fluvial deposits in Hong-73 well in the Hong-Che fault belt of the Junggar Basin

砂”的原则,克拉玛依下亚组为岩性地层油气藏发育的有利层位。结合前人的研究成果,将中三叠统克拉玛依下亚组划分为一个长期基准面旋回,在一个长期基准面旋回内研究岩性地层圈闭,显然研究精度还不够。因此必须继续将克拉玛依下亚组长期基准面旋回进行精细刻画,继续优选更高级次的“贫砂”层系。运用高分辨率层序地层原理,将克拉玛依下亚组划分出三个中期基准面旋回(MSC1, MSC2, MSC3),并以中期旋回为单位进行对比,解释层序格架内砂体分布情况,发现中期旋回 MSC2 砂体欠发育,砂体连通性较差(图4),符合“富砂之外找贫砂”的层系优选规律,最终将该中期旋回作为有利的目标层系。

2) 目标优选。在高分辨率层序地层格架内,分析中期旋回 MSC2 内沉积相带展布特征,优选砂

体相对富集区域,实现“贫砂之中找富砂”。对比表明,中期旋回 MSC2 位于长期基准面旋回上升到最高位置附近,此时可容纳空间大,沉积水动力较弱,河流的弯度指数较高,泥质的泛滥平原沉积物广泛发育,孤立的河道砂、废弃河道砂和决口扇砂为“富砂”的目标体。

考虑到该区油气来源于二叠系烃源岩,经不整合面和断层侧向运移至三叠系河流储层中成藏。因此,河流岩性圈闭确定后,还得将断层分布情况考虑进来,最终确定岩性-断层圈闭为该区最为有利的目标。综合分析沉积、构造、地震属性、油气源等相关信息,确定了孤立河道砂体为储集体的岩性-断层圈闭,提交红山4井探井一口(图5),钻探结果在中期旋回 MSC2 层段获得 $8.7 \text{ m}^3/\text{d}$ 的工业油流。

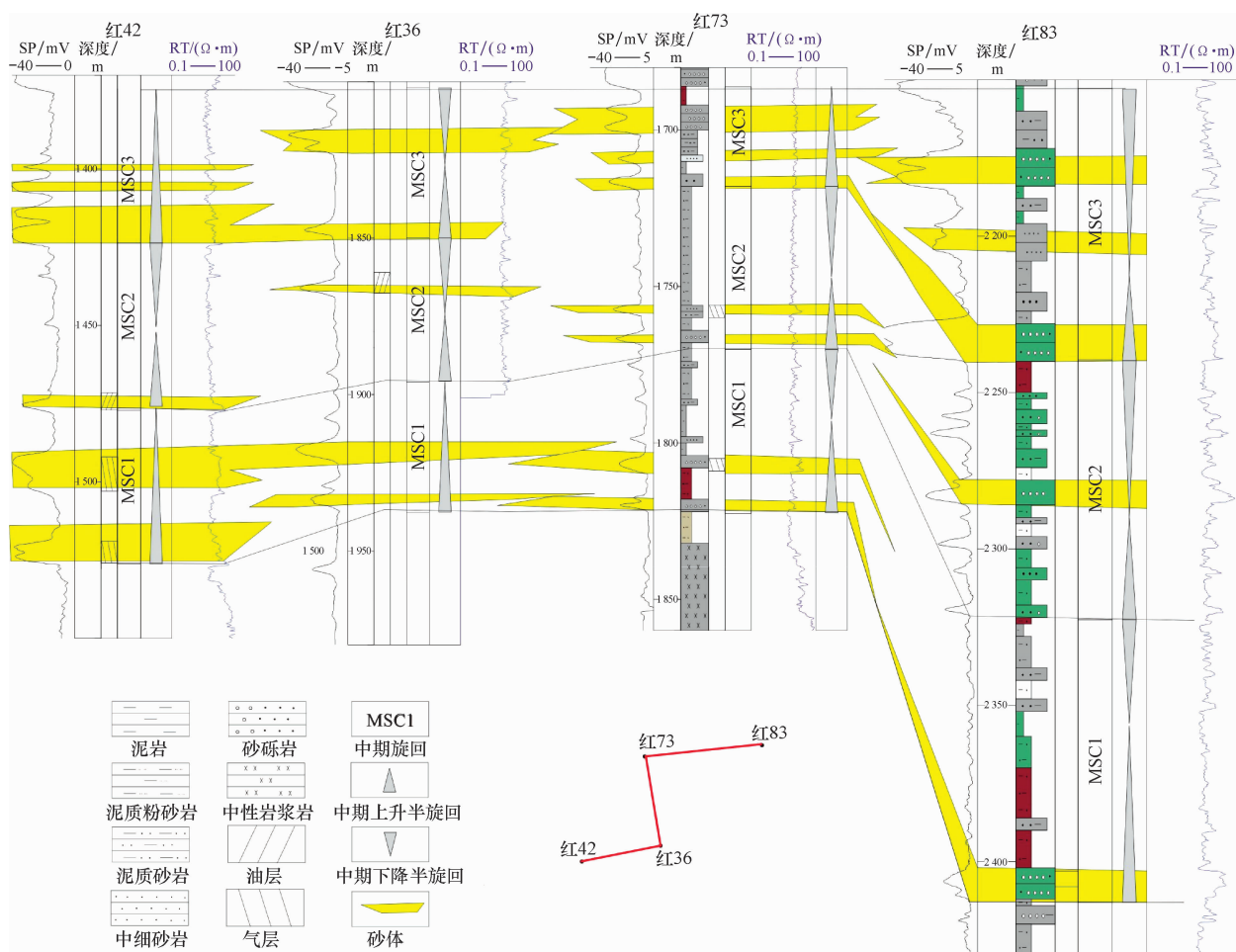


图4 准噶尔盆地红车断裂带克拉玛依下亚组河流相砂体对比

Fig. 4 Correlation of fluvial sands in the 1st member of the Triassic Karamay Formation of the Hong-Che fault belt, the Junggar Basin



图5 准噶尔盆地红39三维区克拉玛依下亚组 MSC2 中期旋回沉积相平面与断层叠合图

Fig. 5 Plane view of the sedimentary facies of MSC2, with faults overlaid, in the Triassic Karamay Formation in the Hong-39 3D acreage of the Hong-Che fault belt, the Junggar Basin

3.2 在三角洲沉积体系中的应用

车排子凸起位于准噶尔盆地红车断裂带西部,构造区划上属于准噶尔盆地西部隆起,南紧邻四棵树凹陷,向东以红车断裂带与昌吉凹陷以及中拐凸起相接(图2)。车排子凸起是一个海西晚期形成且长期继承性发育的古凸起,凸起上大部分缺失二叠系、三叠系、侏罗系。新近系沙湾组由东南向西北逐渐变薄,沉积相主要为浅水辫状河三角洲和滨浅湖^[19]。

1) 层位优选。钻井揭示沙湾组下部为一套厚层灰色砂砾岩夹薄层红色泥岩的三角洲平原沉积,中上部转变为灰色砂岩与褐色泥岩互层的三角洲前缘沉积(图6)。因此依据“富砂之外找贫

砂”的原则,确定中上段为有利层系。依据上述河流相的研究经验,该层系厚度太大,也难以满足岩性地层油气藏勘探的精度需求,还得继续优选更适合的“贫砂”层系。通过取心井分析,结合测井、地震研究成果,将新近系沙湾组划分为两个三级层序,即下段的层序 NSQ1、中上段的层序 NSQ2,每个层序又划分出湖侵体系域(TST)和高位体系域(HST),通过三级层序体系域的对比,分析层序格架内砂体展布特征,发现层序 NSQ2 湖侵体系域发育了一套三角洲-湖泊沉积建造,砂体相对欠发育,连通性较差(图7),符合更高级次的“富砂之外找贫砂”的层位优选规律,因此将该层序 NSQ2 湖侵体系域作为有利的目的层位。

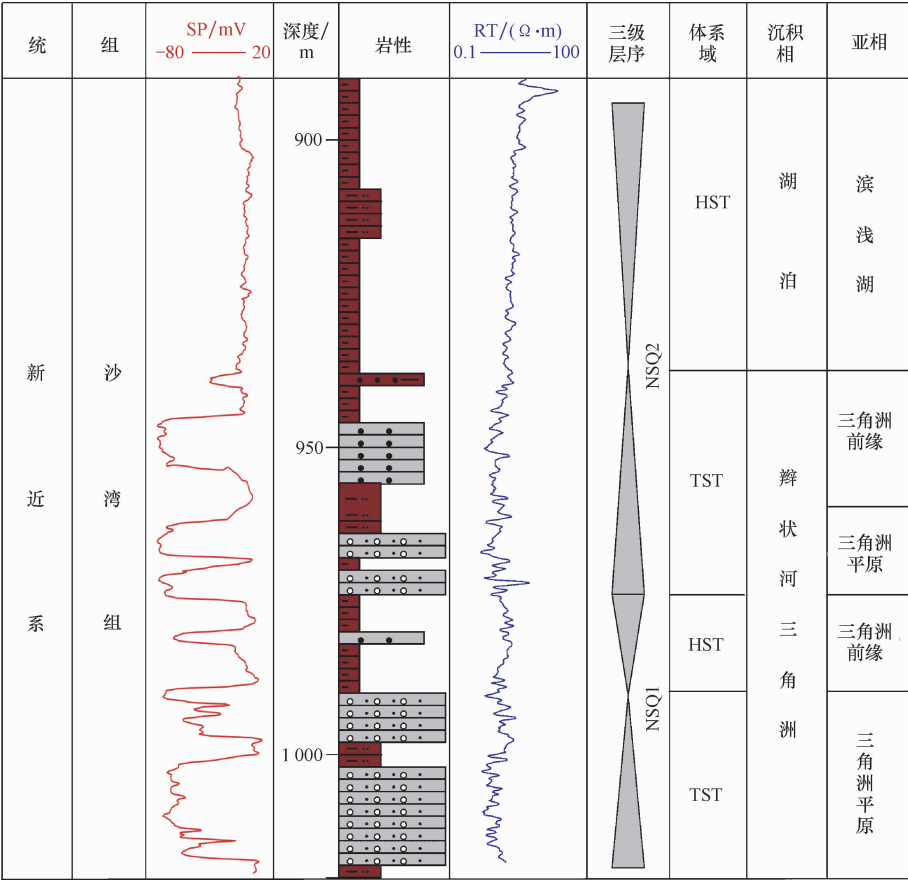


图 6 准噶尔盆地红车断裂带车 94 井沙湾组三角洲沉积综合柱状图

Fig. 6 Generalized columnar section of delta deposits in the Che-94 well in the Shawan Formation of the Hong-Che fault belt, the Junngar Basin

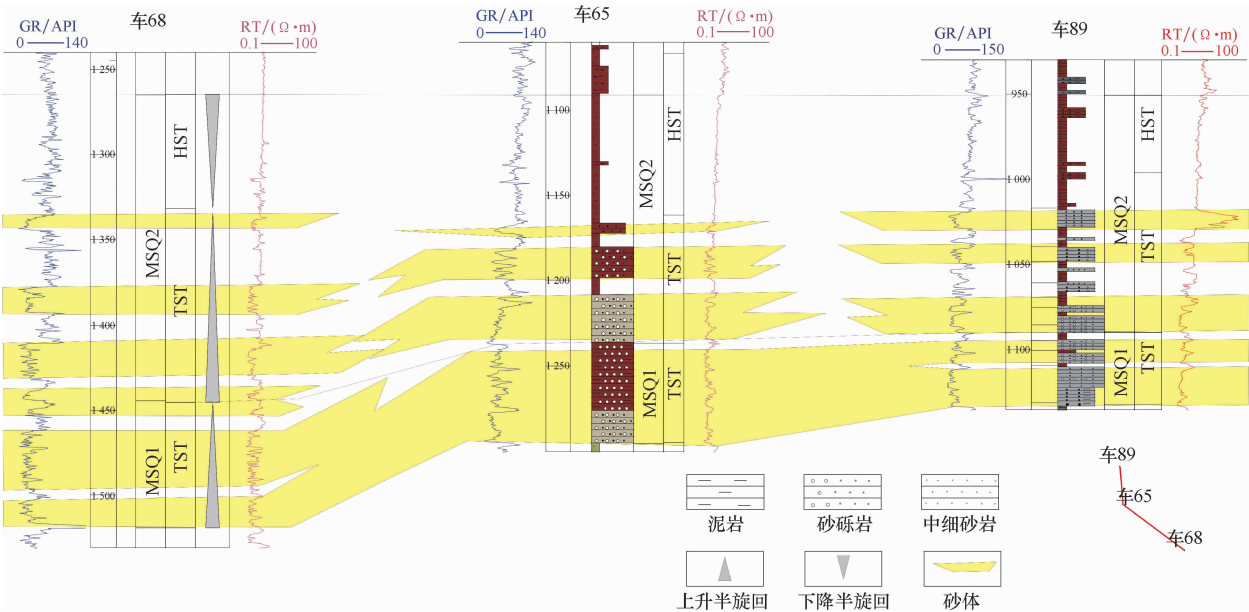


图 7 准噶尔盆地红车断裂带沙湾组三角洲相砂体对比

Fig. 7 Correlation of sandbody of delta facies in the Shawan Formation of the Hong-Che fault belt, the Junngar Basin

2) 目标优选。通过层序地层对比表明,层序 NSQ2 湖侵体系域时期,随着湖平面上升,砂体的单层厚度向上逐渐变薄,连通性变差,泥质含量逐渐增高,水下分流河道被大套的湖相泥岩包围,属于“贫砂中的富砂”目标,可以作为有利对象(图8)。

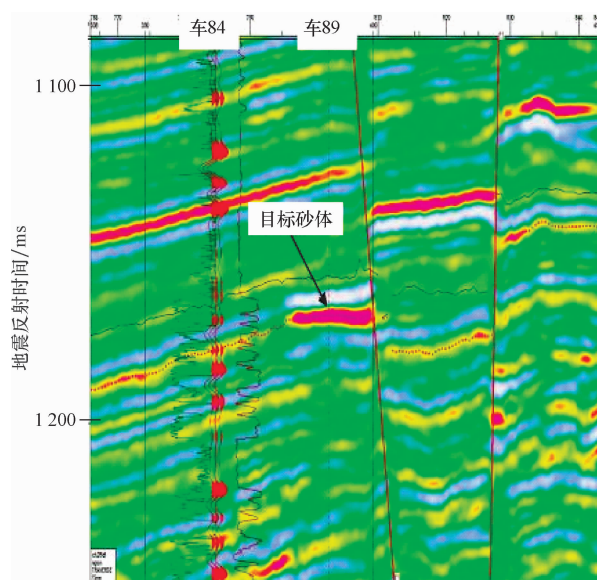


图8 准噶尔盆地红车断裂带沙湾组过车89井目标体振幅剖面

Fig. 8 Amplitude section crossing the target in Che-89 well in the Shawan Formation of the Hong-Che fault belt, the Junggar Basin

综合层序、沉积、地震、构造和油气运移等方面资料,在地震剖面上确定差连续强振幅的反射层为有利目标(图8),该目标可以解释为泥包砂的“贫砂”层系。因此提交车89井探井一口,并在层序 NSQ2 湖侵体系域水下分流河道砂体中试油获得 $45.9 \text{ m}^3/\text{d}$ 工业油流。

4 模式总结

通过提出“富砂之外找贫砂,贫砂之内找富砂”的勘探思路,再将它成功应用于准噶尔盆地红车断裂带河流与三角洲沉积环境岩性地层油气藏的勘探实践中,总结出了准噶尔盆地红车断裂带层序格架内岩性地层油气藏的分布模式(图9)。该模式表明,在一个三级层序(或长期基准面旋回)内,有利的岩性地层油气藏主要发育在与湖泛面相关的“贫砂”层系中,此时的基准面相对较高,沉积水动力弱,河流和三角洲环境中发育的砂体孤立与泥质岩中,该类砂体连续性差,油气充注后不易散失,有利于形成岩性地层油气藏。河流砂体因远离油气源,不整合面和断层是岩性地层圈闭成藏的关键因素,因此河流沉积环境中应该首选岩性-断层型复合圈闭作为有利勘探对象。

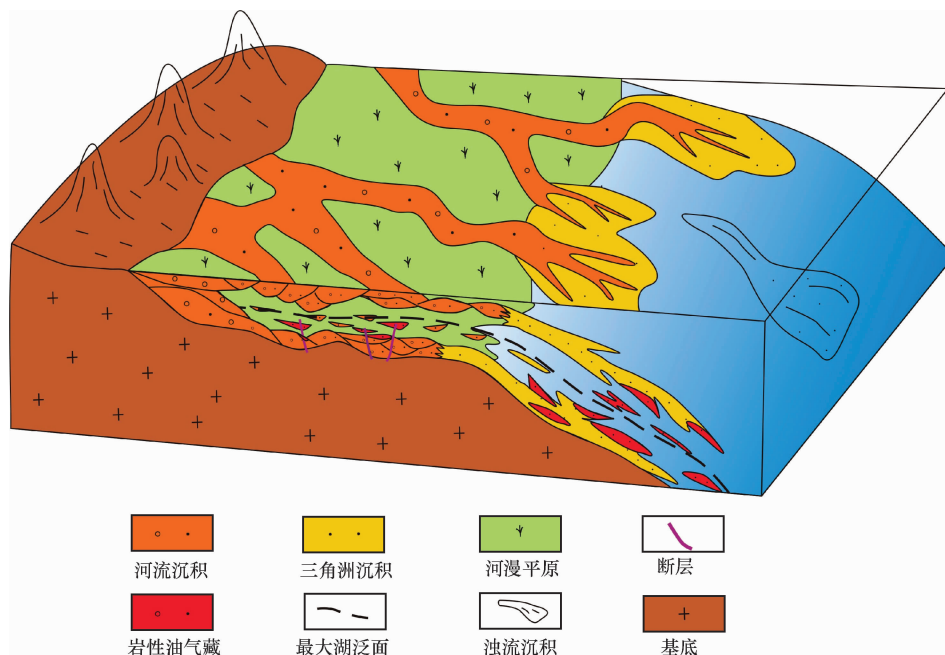


图9 准噶尔盆地红车断裂带岩性-地层油气藏发育模式

Fig. 9 Development model of lithologic-stratigraphic reservoirs in the Hong-Che fault belt, the Junggar Basin

5 结束语

开展层序地层学研究是寻找岩性地层油气藏的有效方法^[6,10]。但在实际勘探中岩性地层油气藏的识别还比较困难^[3],表现在目标砂体厚度往往小于地震垂向分辨率、地质反射异常体边界时常模糊不清、砂体上倾方向遮挡条件难以确定;弄清油气成藏条件还比较困难;成藏机理还存在争议。基于这些困难,笔者在总结国内外岩性地层油气藏勘探经验的基础上提出了“富砂之外找贫砂,贫砂之内找富砂”的勘探思路,并将该思路运用于准噶尔盆地红车断裂带河流与三角洲沉积环境的勘探中,取得了一定的效果,是一次理论与实践的成功结合。这种思路从沉积层序的角度,定性的指导了岩性地层油气藏勘探,但对于高精度的岩性地层油气藏勘探来说,做到这一点还远不够。在不同的沉积体系中,油气进入圈闭的临界物性条件和温压条件,“富砂”和“贫砂”的准确界限,以及不同类型砂体的成藏特征等,在这些方面还得做深入的研究。

致谢:本文在研究过程中一直得到长江大学地球科学学院3RG研究组全体老师的鼎力支持和悉心帮助,在此表示诚挚的谢意。感谢中国石油勘探开发研究院赵宗举老师提出了非常有价值的修改意见。

参 考 文 献

1 李丕龙.陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成——以济阳坳陷为例[M].北京:石油工业出版社,2004.125~243

2 周海民.断陷盆地精细勘探——渤海湾盆地南堡凹陷精细勘探实践与认识[M].北京:石油工业出版社,2004.86~221

3 李建忠,赵文智,胡素云,等.岩性地层型油气聚集区带的基本

特征[J].石油学报,2007,28(1):14~18

4 易士威,王权.岩性地层油气藏勘探思路与勘探方法[J].中国石油勘探,2005,10(2):9~14

5 刘震,韩军,关强,等.地层岩性圈闭识别和评价的关键问题[J].西安石油大学学报(自然科学版),2006,22(3):31~7

6 贾承造,赵文智,邹才能,等.岩性地层油气藏勘探研究的两项核心技术[J].石油勘探与开发,2004,6(3):3~9

7 刘震,赵阳,金博,等.沉积盆地岩性地层圈闭成藏主控因素分析[J].西安石油大学学报(自然科学版),2006,21(4):1~5

8 赵文智,邹才能,谷志东,等.砂岩透镜体油气成藏机理初探[J].石油勘探与开发,2007,34(3):273~283

9 沈守文,彭大钧,颜其彬,等.层序地层学预测隐蔽油气藏的原理和方法[J].地球学报,2000,21(3):300~305

10 蔡希源,李思田.陆相盆地高精度层序地层学——隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践[M].北京:地质出版社,2003.12~320

11 邓宏文,王红亮,李熙哲,等.层序地层地层基准面的识别、对比技术及应用[J].石油与天然气地质,1996,17(3):177~18

12 邓宏文,王洪亮.高分辨率层序地层对比在河流相中的应用[J].石油与天然气地质,1997,18(2):90~95

13 王英民,金武弟,刘书会,等.断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义[J].石油与天然气地质,2003,24(3):199~203

14 张厚福,张万选.石油地质学(第二版)[M].北京:石油工业出版社,1989.120~185

15 高志勇,韩国猛,张丽华,等.河流相沉积中的准层序——以四川中部须家河组为例[J].石油与天然气地质,2007,28(1):59~68

16 张世广,柳成志,卢双舫,等.高分辨率层序地层学在河、湖、三角洲复合沉积体系的应用——以朝阳沟油田扶余油层开发区块为例[J].吉林大学学报,2009,39(3):361~368

17 郑荣才,尹世民,彭军,等.基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析[J].沉积学报,2000,18(3):369~375

18 张越迁,张年富.准噶尔大型叠合盆地油气富集规律[J].中国石油勘探,2006,(1):59~64

19 陈轩,张尚锋,张昌民,等.准噶尔盆地车排子地区新近系沙湾组层序地层[J].新疆石油地质,2008,29(1):65~67

(编辑 张亚雄)

2010 年国际市场主要原油现货价格(单位:美元/桶)

原油名称	API	价 格				
		8月9日	8月6日	8月5日	8月4日	8月3日
西得克萨斯中油	40.0	81.500	80.850	82.180	82.460	82.580
布伦特	38.5	81.335	81.380	82.360	83.680	83.840
迪拜	31.2	—	78.250	78.280	77.950	77.030
卡宾达	32.5	80.640	80.445	81.405	82.165	82.165
阿曼	35.0	—	78.660	78.810	78.380	77.420
乌拉尔	32.0	78.540	78.390	79.570	80.320	80.540
塔皮斯	46.0	—	83.440	83.950	84.170	83.890
米纳斯	35.2	—	80.340	80.380	80.220	79.260

(高岩 摘自《石油商报》)