

文章编号:1000-0550(2011)04-0783-10

断陷湖盆缓坡带高位三角洲体系与油气成藏 组合特征分析^①

——以二连盆地吉尔嘎朗图凹陷为例

梁宏斌 崔周旗 董雄英 李洪恩 司继伟 王元杰

(中国石化华北油田分公司勘探开发研究院 河北任丘 062552)

摘 要 二连盆地由为数众多的早白垩世小型断陷湖盆组成,其缓坡带普遍发育的高位三角洲体系与特定的构造背景配置可形成多种类型的成藏组合,发育多个有利的油气成藏区带,构成立体含油、叠加连片的态势。以二连盆地吉尔嘎朗图凹陷为例,以层序地层分析为基础,在缓坡带的湖泊层序高位体系域识别出了扇三角洲、辫状河三角洲等两种粗碎屑三角洲体系。根据储层发育的层位和不同类型圈闭在缓坡带的分布特征,结合已发现的油藏类型,划分出了 3 个与高位三角洲体系密切相关的成藏组合。按照不同成藏组合在平面上的分布特点,指出缓坡内带是岩性地层油藏形成的有利成藏区带,而缓坡中、外带构成了构造油藏的有利成藏区带。不同成藏组合和成藏区带在缓坡带纵、横向上的分布规律,为缓坡带实施油气整体评价和立体勘探提供了科学依据。目前,以缓坡带高位三角洲体系为主要勘探目的层,在缓坡内带、中带和外带已经发现了规模整装储量,取得了良好的勘探成效。

关键词 二连盆地 吉尔嘎朗图凹陷 缓坡带 高位三角洲 成藏组合 成藏区带

第一作者简介 梁宏斌 男 1963 年出生 高级工程师 博士 油气地质勘探 E-mail: yjy_lhb@petrochina.com.cn

通信作者 崔周旗 E-mail: yjy_czq@petrochina.com.cn

中图分类号 TE121.3 **文献标识码** A

二连盆地位于我国内蒙古自治区的中北部,是在内蒙古一大兴安岭海西褶皱带基底上发育起来的中、新生代陆相断陷盆地。在燕山期拉张翘倾构造作用下,50 余个大小不等的早白垩世断陷湖盆应运而生。断陷湖盆结构大多以单断箕状为主,以边界断层为界,可划分为陡坡带、洼槽带和缓坡带。其中,缓坡带分布面积大、各种类型的三角洲体系发育好,是断陷湖盆油气勘探的主体^[1]。

由于断陷湖盆中的低位体系域砂体成藏条件好,尤其是在坡折带控制下有利于形成岩性地层油藏,因此受到国内学者的普遍重视^[2-6]。但对于高位体系域砂体的油气成藏问题则研究的较少,大多认为高位体系域砂体的侧向遮挡条件差^[7]而不利于油气藏,特别是岩性地层油气藏的形成,直接制约了高位体系域砂体的油气勘探。多年来的研究发现,二连盆地小型断陷湖盆缓坡带的低位体系域砂体一般分布较局限、砂体规模小,而高位体系域砂体常以各种进积型的三角洲发育为特征,往往构成了缓坡带的主要储集

体类型。缓坡带高位三角洲体系^[8]与特定的构造背景配置,可形成多种类型的成藏组合,发育多个有利的油气成藏区带,构成立体含油、叠加连片的态势^[9-11]。本文以二连盆地最具代表性的吉尔嘎朗图凹陷为例,深入分析了缓坡带高位三角洲沉积特征及成藏条件,以期对深化断陷湖盆缓坡带油气勘探有一定的启迪和指导意义。

1 地质背景

吉尔嘎朗图凹陷夹持在苏尼特隆起和大兴安岭隆起之间,为一个西北断、东南超的单断箕状凹陷,下白垩统最大埋深约 3 500 m。该凹陷沉积面积约 1 000 km²,自东向西可依次划分为东、中、西三个次级洼槽区,由南向北分布有缓坡带、洼槽带和陡坡带(图 1)。其中,中洼槽拉张断陷幅度大,早白垩世湖盆发育多期源岩,油气资源最为丰富,是该凹陷的主力生油洼槽。

位于中洼槽东南部的缓坡带受宝饶断层、锡 II 号

^①中石油重大科研攻关项目“渤海湾盆地精细勘探与滩海大油气田分布规律研究”(编号:2008B-0300)和“渤海湾盆地油气预探研究”(编号:2008D-0702)联合资助。

收稿日期:2010-05-17; 收修改稿日期:2010-09-06

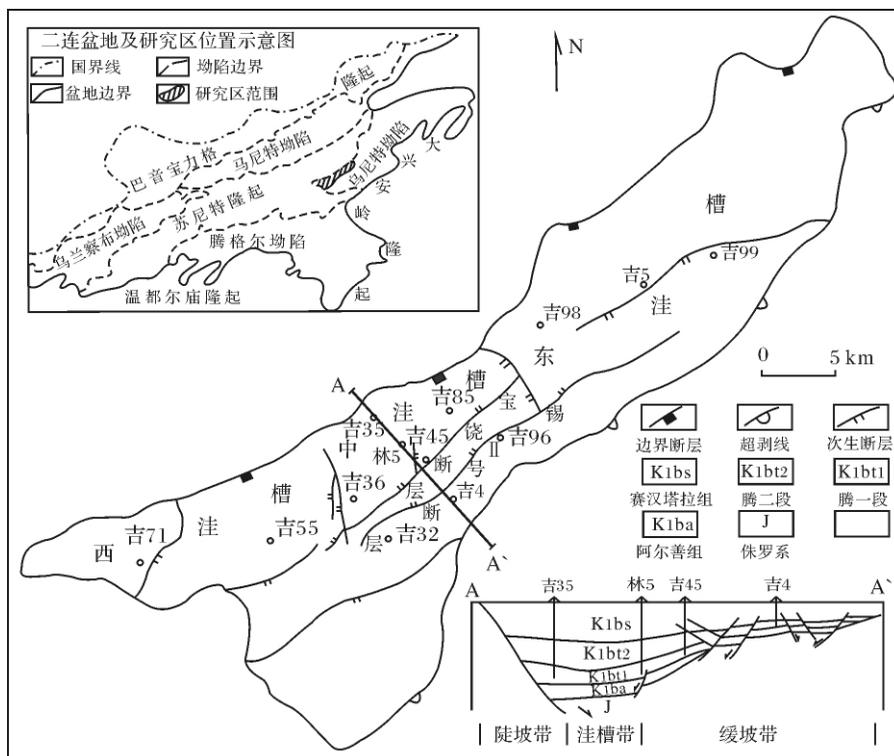


图1 吉尔嘎朗图凹陷结构示意图

Fig. 1 Structural sketch map of Jiergalangtu Sag

断层等两条顺倾向二级断层分割,可进一步细分为缓坡外带、中带和内带,分别大体与缓坡带上的锡林构造带、宝饶构造带和宝饶内带等三个二级构造带相对应。派生的三级、四级小断层在缓坡带上的中带和外带较发育,使宝饶构造带和锡林构造带进一步复杂化,局部可形成“棋盘状”复杂断块群。

2 层序地层特征

断块掀斜旋转是断陷盆地产生不整合层序界面的重要原因^[12],在缓坡带这类不整合较发育,主要构成了三级层序或部分二级层序界面^[13]。吉尔嘎朗图凹陷下白垩统大体经历了侏罗纪末期、阿尔善末期、腾一末期、腾二中及末期和赛汉塔拉末期等6次规模较大的构造沉积事件,相应形成了6个区域性不整合面和沉积间断面,分别对应于T11、T8、T6、T5、T3、T2等地震反射界面^[14]。自下而上,沉积演化表现为初始断陷、断陷扩张、断陷萎缩、断坳扩展和断坳抬升消亡等5个沉积充填阶段。

以构造发育和沉积演化为基础,采用单井—连井—地震层序划分对比方法^[15],把缓坡带下白垩统自下而上划分为SQ1、SQ2、SQ3、SQ4、SQ5等5个三级层序(图2),分别大体与阿尔善组、腾一段、腾二下

段、腾二上段和赛汉塔拉组相当。其中,SQ1、SQ2、SQ3、SQ4为湖泊层序,表现为低位体系域、湖侵体系域和高位体系域的依次叠加^[16]。但对于我国陆相断陷盆地而言,由于多数情况下不存在明显的坡折^[17],因此低位体系域一般发育差,导致湖泊层序发育不完整。缓坡带勘探实践表明^[18],SQ1、SQ2、SQ3等3个湖泊层序的高位体系域砂体含油性较好,目前已经发现了Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ等6个油层组,探明石油地质储量占缓坡带总储量的96%。而低位体系域砂体在SQ1、SQ4局部分布且含油性较差,仅发现了Ⅰ、Ⅱ油层组,油气储量规模也较小。

3 高位三角洲体系划分及其展布特征

3.1 高位三角洲体系划分

依据岩电组合特征、岩芯观察、单井相和地震相分析,该凹陷缓坡带的湖泊层序高位体系域可识别出扇三角洲、辫状河三角洲等两种粗碎屑三角洲体系。以缓坡带东南部边缘的大兴安岭隆起区为主要物源区,高位扇三角洲和辫状河三角洲体系均表现为由细变粗的进积型垂向层序,并且随古地形坡度、物源供给距离等因素变化而呈现出特定的时空演变规律(图3)。

3.1.1 高位扇三角洲体系

主要形成于湖盆初始断陷沉积充填阶段,在缓坡带的 SQ1 高位体系域较发育。此时,中洼槽边界断层开始强烈下陷,单断箕状结构始见雏形,缓坡带翘起幅度大,形成大坡降的单斜状地貌。加之,该期湖盆相对狭小且近临大兴安岭隆起区,具有近物源、短水系的特点,为扇三角洲的发育提供了基本条件。本区的扇三角洲前缘亚相发育较好,而扇三角洲平原亚

相因后期剥蚀而难于保存,造成扇三角洲相序不完整。前扇三角洲亚相因与滨浅湖亚相较难区分,在此不再细分。

扇三角洲前缘亚相可依次进一步细分为扇三角洲内前缘和外前缘两部分。其中,扇三角洲内前缘以辫状水道构成砂体骨架,河口坝不发育^[19]。岩性主要为块状砂砾岩,最大单砂层厚度可达 25 m,自然电位曲线主要是箱状、钟形负异常组合。沉积序列以略

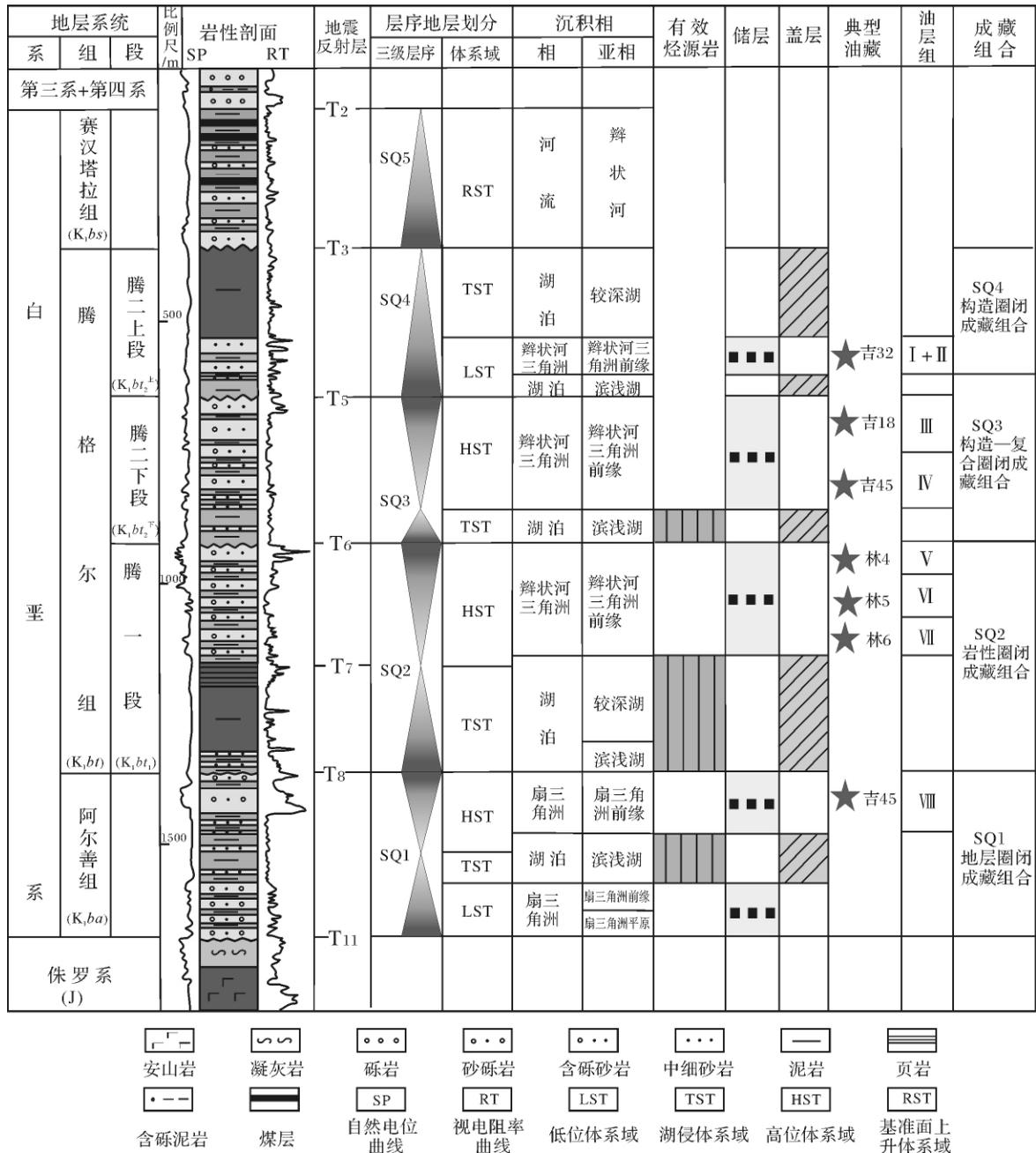


图 2 吉尔嘎朗图凹陷缓坡带层序地层分析与成藏组合分布图

Fig. 2 Column of sequence stratigraphy and play distribution in the gentle slope, Jieryalangtu Sag

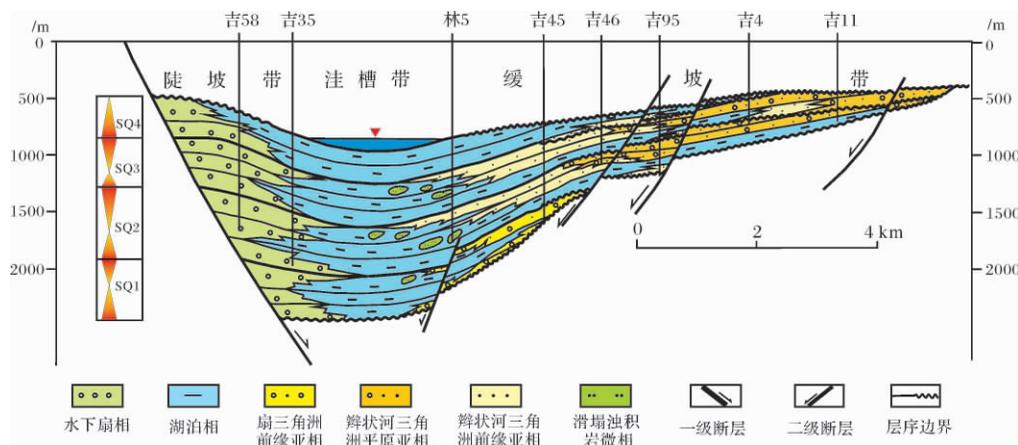


图3 吉尔嘎朗图凹陷湖泊层序及沉积剖面示意图

Fig.3 Sketch map of lacustrine sequence and sedimentary section , Ji ergalangtu Sag

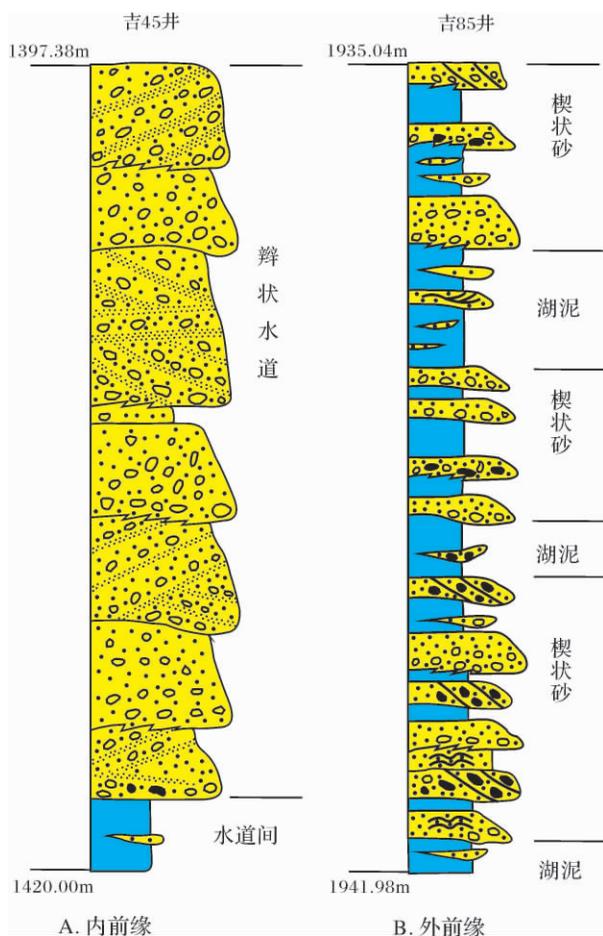


图4 SQ1 高位扇三角洲前缘亚相沉积序列

Fig.4 Sedimentary succession of highstand fan delta front subfacies of Sequence 1

显正韵律的叠置层为主(图4A),底部发育冲刷面或突变面。单韵律层厚一般为0.8~1.5m,最厚达3.2m。沉积构造相对不发育,以块状层理和隐见纹层的

板状交错层理为主,纹层主要通过粒级变化和砾石定向显现。

扇三角洲外前缘则主要由楔状砂和湖泥组成,岩性表现为灰色薄层砂砾岩、细砂岩与深灰色泥岩不等厚互层,自然电位曲线呈波状起伏。楔状砂的沉积序列以薄正韵律层发育为特征(图4B),单韵律层厚度一般仅10~20cm,最厚不足30cm。韵律层底部多为突变面,局部见小型冲刷面。沉积构造以块状层理、板状交错层理、波状交错层理和波状层理为主,较富含炭屑和暗色泥砾,偶见虫孔。湖成内碎屑流成因的沉积构造也较常见,表现为揉皱构造、变形层理和泥岩撕裂屑,甚至见直立状漂浮砾石。

3.1.2 高位辫状河三角洲体系

主要在缓坡带的SQ2、SQ3的高位体系域发育。缓坡带宝饶断层、锡II号断层等顺倾向二级断层的构造调节作用,导致缓坡带的坡降逐渐变小、沉积层序逐层向缓坡边缘超覆,相对宽缓的古地貌和物源区的有限后退为辫状河三角洲体系的发育提供了基本条件。本区的辫状河三角洲体系在纵向上具有较明显的三层结构特征,横向上也呈现出较好的三分性,可依次划分出辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘和前辫状河三角洲等三个亚相。

1) 辫状河三角洲平原亚相

主要分布于缓坡外带,垂向上表现为杂色砂砾岩与浅灰色、棕红色砂质泥岩不等厚互层,砂/地比一般高达60%~70%。砾石质辫状河道发育好,以块状韵律和略显正韵律的砂砾岩层频繁叠置而成(图5),单韵律层厚度变化大,最厚达3.5m。沉积构造不发育,主要为块状层理。

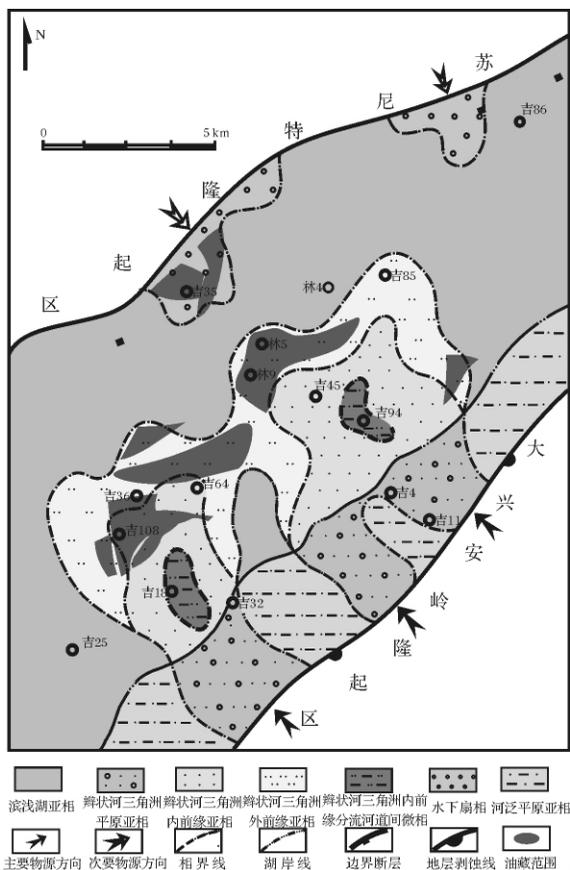


图7 吉尔嘎朗图凹陷中洼槽 S₂ 高位体系域沉积相及油藏分布图

Fig.7 Sedimentary facies and reservoirs distribution of HST of Sequence 2 of the middle subsag , Jiergalangtu Sag

探(1993—2000年)、岩性地层油藏勘探(2001年至今)等三大勘探阶段^[9,17]在缓坡带已经发现了构造

油藏、岩性地层油藏等两大类、8种油藏类型(表1),探明了规模富集、较整装稠油和稀油地质储量。

4.2 油气成藏组合特征

成藏组合自提出至今一直是地质勘探研究的热门话题之一,不同的学者给出了不同的定义^[20-24]。但有一点已经达成共识,即成藏组合是指相似地质背景下的一组远景圈闭或油藏,一般按照储层层位和圈闭类型进行成藏组合命名^[20]。本文根据储层发育的层位和不同类型圈闭在缓坡带的分布特征,结合已发现的油藏类型,划分出了4个成藏组合(图1)。其中,与高位三角洲体系密切相关的成藏组合有3个,分别为S_{Q1}地层圈闭成藏组合、S_{Q2}岩性圈闭成藏组合和S_{Q3}构造—复合圈闭成藏组合。

4.2.1 S_{Q1}地层圈闭成藏组合

由于湖盆处于初始断陷沉积充填阶段,缓坡带构造简单且坡降较大,S_{Q1}在缓坡带的沉积范围极为有限。高位扇三角洲内前缘砂体依次超覆于缓坡带的侏罗系地层之上,且顶部遭受局部剥蚀,在缓坡带形成地层超覆剥蚀带,有利于地层圈闭的发育。以高位扇三角洲内前缘辫状水道砂砾岩为主要的产油层,目前已经发现了沿缓坡带边缘分布的吉45等地层油藏(图6)。另外,扇三角洲外前缘楔状砂在缓坡内带相变快,也可形成岩性圈闭和油藏,但因埋藏较深而导致物性较差,至今尚无岩性油藏发现。

4.2.2 S_{Q2}岩性圈闭成藏组合

发育于缓坡内带的辫状河三角洲外前缘的席状砂、远砂坝砂体一般呈透镜状分布,有利于形成岩性圈闭群,是S_{Q2}岩性油藏发育的主要区带。目前已

表1 吉尔嘎朗图凹陷缓坡带油藏类型划分

Table 1 Division of oil pools in the gentle slope, Jiergalangtu Sag

| 油藏类型 | | 代表油藏 | 储集体类型 | 油质 | 分布区带 |
|--------|------|------------|--------------------------|--------------------------|-------------|
| 类 | 种 | | | | |
| 构造油藏 | 断块油藏 | 吉 32 | S _{Q4} 低位辫状河三角洲 | 稠油 | 锡林构造带(缓坡外带) |
| | | 吉 4 | S _{Q3} 高位辫状河三角洲 | | 锡林构造带(缓坡外带) |
| | | 吉 18、吉 84 | | 宝饶构造带(缓坡中带) | |
| | 断鼻油藏 | 吉 45 | S _{Q2} 高位辫状河三角洲 | | |
| 断背斜油藏 | 吉 41 | 宝饶内带(缓坡内带) | | | |
| 岩性地层油藏 | 岩性油藏 | | 上倾尖灭油藏 | S _{Q2} 高位辫状河三角洲 | 稀油 |
| | | 透镜体油藏 | 林 7、林 6 | | |
| | 复合油藏 | 断层—岩性油藏 | 林 4 | S _{Q3} 高位辫状河三角洲 | 宝饶构造带(缓坡中带) |
| | | 断层—成岩圈闭油藏 | 吉 95 | | |
| | 地层油藏 | 地层超覆油藏 | 吉 45 | S _{Q1} 高位扇三角洲 | 宝饶构造带(缓坡中带) |
| | | 地层不整合油藏 | 林 12(推测) | | |

经发现的林 5 等岩性油藏, 大多围绕辫状河三角洲外前缘呈环带状分布(图 7), 主要产油层是席状砂、远砂坝砂体。虽然辫状河三角洲内前缘分流河道、平原辫状河道砂体在斜坡中、外带大范围分布, 但由于阶梯状输导体系中的顺倾向断层使其与上覆的砂体直接沟通, 导致油气在缓坡中、外带直接发生垂向运移而难于聚集成藏。目前, 缓坡中、外带仅在吉 62 井区发现了一个小型断块油藏。

4.2.3 SQ3 构造—复合圈闭成藏组合

SQ3 辫状河三角洲平原及内前缘砂体在后期构造反转作用下被次级断层复杂化, 在缓坡中、外带形成众多的断块、断鼻等构造圈闭(图 8)。油源主要来自 SQ1~SQ2 湖侵体系域的成熟烃源岩层, 通过阶梯状输导体系发生垂向、侧向运移并聚集成藏。目前, 在宝饶构造带和锡林构造带已经发现了吉 18、吉 46 等 SQ3 构造油藏, 构成了 SQ3 构造圈闭成藏组合。另外, 缓坡内带的辫状河三角洲外前缘席状砂和远砂坝砂体在断层切割并沟通下部油源的情况下, 也可形成 SQ3 复合圈闭成藏组合, 已经发现的林 4、林 9 等断层—岩性油藏即属于复合油藏。

5 有利成藏区带预测

在不同成藏组合内寻找有利成藏区带, 更能反映油气的分布规律^[20]。以本区缓坡带 SQ1、SQ2、SQ3 高位三角洲体系与构造背景配置关系研究为基础, 按照不同成藏组合在平面上的分布特点, 预测了构造油藏、岩性地层油藏等不同勘探领域的有利成藏区带(图 9)。

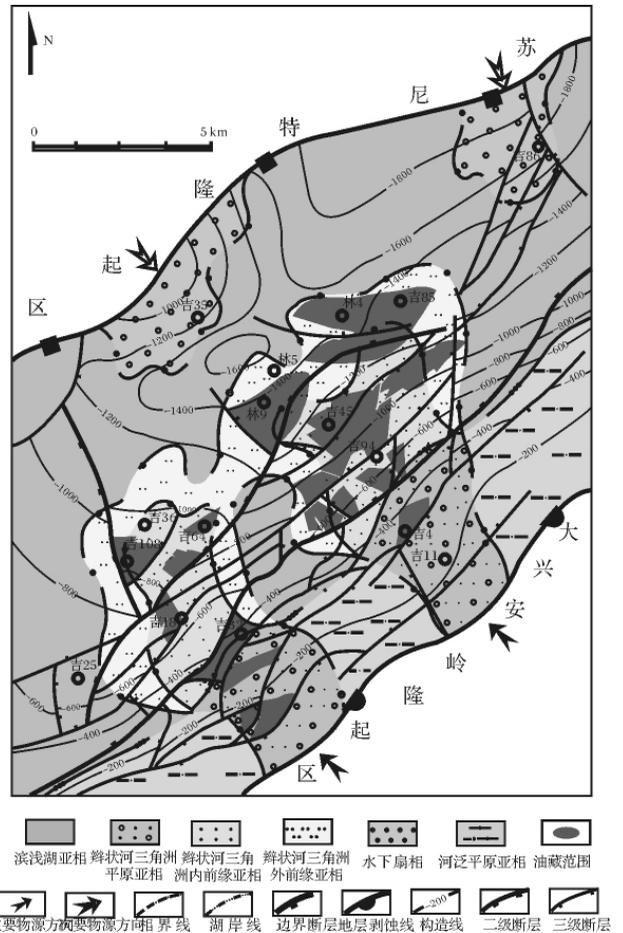


图 8 吉尔嘎朗图凹陷中洼槽 SQ3 高位体系域沉积相、油藏与构造叠合图

Fig. 8 Overlapping map of sedimentary facies, reservoirs and structure of HST of Sequence 3 of the middle subsag, Jiergalangtu Sag

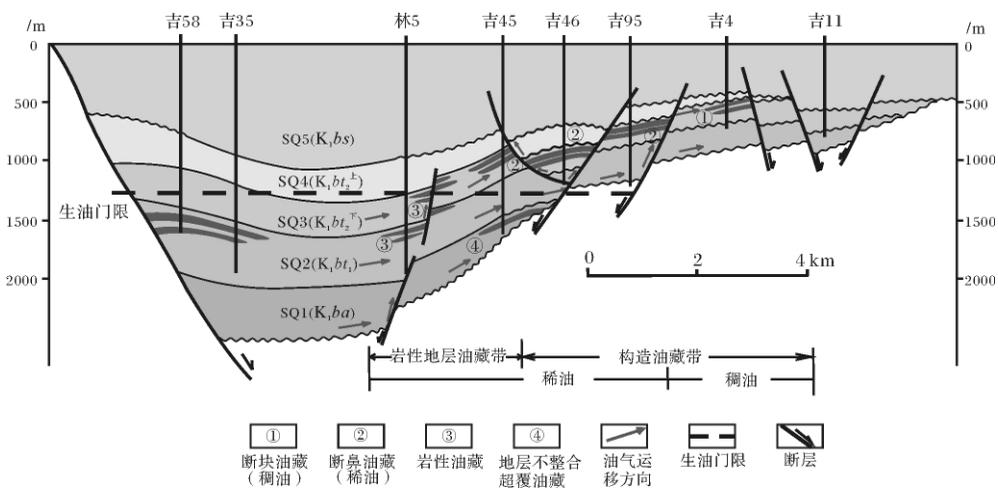


图 9 吉尔嘎朗图凹陷缓坡带成藏模式图

Fig. 9 Model of petroleum accumulation in the gentle slope, Jiergalangtu Sag

5.1 岩性地层油藏有利成藏区带

主要分布于缓坡内带,岩性地层油藏的形成普遍具有“相控”特征^[25]。储层类型以SQ2、SQ3高位辫状河三角洲外前缘亚相孤立状分布的砂体为主,常形成砂岩透镜体、上倾尖灭等岩性圈闭群;受早期陡倾的古地貌控制,SQ1高位扇三角洲体系的内前缘亚相砂体可发育地层超覆、地层不整合圈闭群。烃源岩热演化研究表明,生油门限一般为1350 m,缓坡内带SQ1、SQ2烃源岩均已成熟且处于生排油高峰期,SQ3烃源岩部分也达到了低熟阶段。因此,上述岩性地层圈闭均处于有效烃源岩区内,油源条件好,可形成多套自生自储型成藏组合相互叠加、立体含油的态势。

5.2 构造油藏有利成藏区带

主要分布于缓坡中、外带,勘探目的层较集中,在SQ3常发育高产富集的构造油藏。储层类型主要为SQ3高位辫状河三角洲平原和内前缘亚相砂体,因埋藏较浅而具有较好的储集性能。制约缓坡中、外带油气成藏的主控因素是油源和圈闭条件。

由于缓坡中外带发育宝饶断层、锡II号等顺倾向断层,构成了多条油源断层和阶梯型的输导体系,因此油气可通过垂向和侧向运移提供充足的油源。同时,有利的构造背景与之有机配置,也有利于高位辫状河三角洲体系在缓坡中、外带形成有效圈闭。本区发育的宝饶构造带、锡林构造带等两大鼻状构造带,后期普遍发育顺倾向和逆倾向次级断层,使断层上、下盘的砂岩和泥岩侧向对接,可以发育为数众多的断块、断鼻和断背斜等构造圈闭。

6 勘探成效分析

本区缓坡带以高位三角洲体系为主要勘探目的层,按照不同成藏组合和成藏区带的分布规律,油气勘探整体部署、分阶段实施取得了良好的勘探成效。迄今在缓坡已钻探井100余口,早期在缓坡中、外带开展构造油藏勘探,先后发现了缓坡外带的锡林稠油油田和中带的宝饶油田,探明稠油和稀油地质储量达3000万吨。后期在缓坡内带积极探索岩性地层油藏勘探新领域,油气勘探再获新突破,在宝饶内带新发现了又一个3000万吨级的规模储量区块。

7 结论

二连断陷湖盆缓坡带发育高位扇三角洲、辫状河三角洲等两种粗碎屑三角洲体系,可以形成与之有关的3个成藏组合,分别为SQ1地层圈闭成藏组合、

SQ2岩性圈闭成藏组合和SQ3构造—复合圈闭成藏组合。缓坡内带是岩性地层油藏有利成藏区带,可形成多套自生自储型成藏组合相互叠加、立体含油的态势。在有利的构造背景下,缓坡中、外带常发育高产富集的构造油藏,并形成了构造油藏有利成藏区带。以缓坡带高位三角洲体系为主要勘探目的层,在不同成藏组合和成藏区带已经取得了良好的勘探成效。

参考文献 (References)

- 1 赵贤正,金凤鸣,张以明,等. 陆相断陷洼槽聚油理论与勘探实践——以冀中坳陷及二连盆地为例[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1-17 [Zhao Xinzhen, Jin Fengming, Zhang Yiming, et al. Petroleum Accumulation Theory and Exploration Practice of Continental Faulted Sags: A Case Study of Jizhong Depression and Erlian Basin [M]. Beijing: Science Press, 2009: 1-17]
- 2 张德武,冯有良,邱以钢,等. 东营凹陷下第三系层序地层研究与隐蔽油气藏预测[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 67-72 [Zhang Dewu, Feng Youliang, Qiu Yigang, et al. Lower Tertiary sequence stratigraphy study and the forecast of subtle reservoir in Dongying Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 67-72]
- 3 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 [Wang Yingmin, Jin Wudi, Liu Shuhui, et al. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope breaks in rift lacustrine basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 199-203]
- 4 潘元林,宗国洪,郭玉新,等. 济阳断陷湖盆层序地层学及砂砾岩油气藏群[J]. 石油学报, 2003, 24(3): 16-23 [Pan Yuanlin, Zong Guohong, Guo Yuxin, et al. Terrestrial sequence stratigraphy and lithological deposit group of sandstone in Jiyang faulted lacustrine basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(3): 16-23]
- 5 任建业,张青林,陆永潮. 东营凹陷弧形断裂坡折带系统及其对低位域砂体的控制[J]. 沉积学报, 2004, 22(4): 628-635 [Ren Jianye, Zhang Qinglin, Lu Yongchao, et al. Arc-shaped fault break slope system and its control on low stand systems sandbodies in Dongying Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(4): 628-635]
- 6 冯有良,李思田. 东营凹陷沙河街组三段层序低位域砂体沉积特征[J]. 地质论评, 2001, 47(3): 278-286 [Feng Youliang, Li Sitian. Depositional characteristics of lowstand sand bodies of the Third Member of the Shahejie Formation in the Dongying Depression and the significance in petroleum geology [J]. Geological Review, 2001, 47(3): 278-286]
- 7 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: 21-30 [Cai Xiyuan, Li Sitian. High Resolution Sequence Stratigraphy of Continental Basins: Exploration Basis, Method and Practice in Subtle Reservoirs [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003: 21-30]
- 8 方杰,芦天明,崔周旗,等. 高位扇三角洲岩性油藏的地质模型[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(6): 679-682 [Fang Jie, Lu Tian-

- ming, Cui Zhouqi, *et al.* Geologic model for lithologic reservoir in highstand fan delta [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2004, 25(6): 679-682]
- 9 杜金虎, 易士威, 张以明, 等. 二连盆地隐蔽油藏勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 80-85, 112-117 [Du Jinhu, Yi Shiwei, Zhang Yiming, *et al.* The Exploration in Subtle Oil Pools, Erlian Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 80-85, 112-117]
 - 10 易士威. 断陷盆地岩性地层油藏分布特征 [J]. *石油学报*, 2005, 26(1): 38-41 [Yi Shiwei. Distribution features of lithologic and stratigraphic reservoirs in fault-depression basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(1): 38-41]
 - 11 郝琦, 刘震, 赵贤正, 等. 二连盆地坡折带类型及其对高位域砂体的控制 [J]. *西南石油大学学报*, 2007, 29(2): 92-95 [Hao Qi, Liu Zhen, Zhao Xinzheng, *et al.* The types of slope break and its controlling to sandbodies of HST, Erlian Basin [J]. *Journal of Southwest Petroleum University*, 2007, 29(2): 92-95]
 - 12 Ravnas R, Steel R J. Architecture of marine rift-basin successions [J]. *AAPG Bulletin*, 1998, 82(1): 110-146
 - 13 林畅松. 沉积盆地的层序和沉积充填结构及过程响应 [J]. *沉积学报*, 2009, 27(5): 849-862 [Lin Changsong. Sequence and depositional architecture of sedimentary basin and process responses [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(5): 849-862]
 - 14 樊太亮, 朱玲. 吉尔嘎朗图凹陷沉积层序几何构型 [J]. *石油与天然气地质*, 1998, 19(2): 99-105 [Fan Tailiang, Zhu Ling. Geometric architecture of sedimentary sequence in Jirgalongtu Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 1998, 19(2): 99-105]
 - 15 邹才能, 池英柳, 李明, 等. 陆相层序地层学分析技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 39-55 [Zou Caineng, Chi Yingliu, Li Ming, *et al.* Analysis Technology of Continental Sequence Stratigraphy [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 39-55]
 - 16 纪友亮, 杜金虎, 赵贤正, 等. 冀中坳陷饶阳凹陷古近系层序地层学及演化模式 [J]. *古地理学报*, 2006, 8(3): 397-406 [Ji Youliang, Du Jinhu, Zhao Xinzheng, *et al.* Sequence stratigraphy and evolution models of the Paleogene in Raoyang Sag, Jizhong Depression [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2006, 8(3): 397-406]
 - 17 于兴河, 李胜利. 碎屑岩系油气储层沉积学的发展历程与热点问题思考 [J]. *沉积学报*, 2009, 27(5): 880-895 [Yu Xinghe, Li Shengli. The development and hotspot problem of clastic petroleum reservoir sedimentology [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(5): 880-895]
 - 18 降拴奇, 司继伟, 赵安军, 等. 二连盆地吉尔嘎朗图凹陷岩性油藏勘探 [J]. *中国石油勘探*, 2004, 9(3): 46-53 [Jiang Shuanqi, Si Jiwei, Zhao Anjun, *et al.* Lithologic reservoir exploration of Jiergalangtu Sag, Erlian Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2004, 9(3): 46-53]
 - 19 张春生, 刘忠保, 施冬, 等. 扇三角洲形成过程及演变规律 [J]. *沉积学报*, 2000, 18(4): 521-526 [Zhang Chunsheng, Liu Zhongbao, Shi Dong, *et al.* Formed proceeding and evolution disciplinarian of fan delta [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(4): 521-526]
 - 20 董晓光, 李浩武, 肖坤叶, 等. 成藏组合快速分析技术在海外低勘探程度盆地的应用 [J]. *石油学报*, 2009, 30(3): 317-323 [Tong Xiaoguang, Li Haowu, Xiao Kunye, *et al.* Application of play quick analysis technique in oversea basins with low-degree exploration [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(3): 317-323]
 - 21 White D A. Oil and gas play maps in exploration and assessment [J]. *AAPG Bulletin*, 1988, 72(8): 944-949
 - 22 Lee P J, Gill D. Comparison of discovery process methods for estimating undiscovered resources [J]. *Bulletin of Canada Petroleum Geology*, 1990, 47(1): 19-30
 - 23 Allen P A, Allen J P. Basin Analysis: Principles and Applications [M]. London: Blackwell Scientific Publishing, 1990: 1-45
 - 24 汪泽成, 郑红菊, 徐安娜, 等. 南堡凹陷源上成藏组合油气勘探潜力 [J]. *石油勘探与开发*, 2008, 35(1): 11-16 [Wang Zecheng, Zheng Hongju, Xu Anna, *et al.* Oil-gas exploration potential for above-source plays in Nanpu Sag [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(1): 11-16]
 - 25 邹才能, 陶士振, 薛叔浩. “相控论”的内涵及其勘探意义 [J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(6): 7-12 [Zou Caineng, Tao Shizhen, Xue Shuhao. Connotation of “facies control theory” and its significance for exploration [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(6): 7-12]

Characteristics of Highstand Delta System and Play in Gentle Slope of Faulted Lacustrine Basin: A Case Study of Jiergalangtu Sag, Erlian Basin

LIANG Hong-bin CUI Zhou-qi DONG Xiong-ying LI Hong-en SI Ji-wei WANG Yuan-jie
(Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552)

Abstract In the past more than ten years, distribution and prediction of lowstand sandbodies of LST had been put too much emphasis on during sequence stratigraphy research and petroleum exploration in continental faulted basins. However, the questions about petroleum reservoirs formation of highstand sandbodies of HST were rarely studied. As a result, petroleum exploration of highstand sandbodies of HST was directly restricted. Erlian Basin is located in the north-midland of Inner Mongolia Autonomous Region of China and is composed of many small faulted lacustrine basins

of early Crataceous. In general, highstand delta system is well developed and formed the main sandstone reservoir in the gentle slope of faulted lacustrine basins. The petroleum exploration practice shows that highstand delta system that developed widely in gentle slopes, together with specific structural settings, can make many types of play and favorable petroleum accumulation zone. As a result, there is a good prospect that different reservoirs in the gentle slope overlap vertically each other and distribute laterally in a large area. The paper takes an example of Jiernalangtu Sag, which is one of the most representative faulted sags in Erlian Basin, to discuss thoroughly the depositional characteristics and petroleum reservoirs formation conditions of highstand delta system.

The Lower Crataceous in the gentle of Jiernalangtu Sag can be divided into five third-order sequences that are, respectively, named as SQ1, SQ2, SQ3, SQ4 and SQ5 from bottom to top. SQ1, SQ2, SQ3 and SQ4 are lacustrine sequence and the highstand sandbodies of HST of three sequence such as SQ1, SQ2 and SQ3 are the most oil-bearing reservoir. Based on sequence stratigraphy analysis of early Crataceous, according to the result of characteristics of borehole lithology and log, cores observation, sedimentary facies of single well and seismic facies analysis, and so on. two types of coarse clastic highstand delta system that consist of fan delta and braided delta are divided in lacustrine sequence. The fan delta system is mainly distributed in HST of SQ1 and its sedimentary facies belts are imperfect. Its main part is the fan delta front subfacies, while the fan delta plain subfacies is difficult to be preserved because of later erosion of the top strata of SQ1. The braided delta system is well formed in HST of SQ2 and SQ3. Its sedimentary facies belts, including braided delta plain, braided delta front and pre-braided delta subfacies, are completely developed. Two different types of the highstand delta system of above have characteristics of multiphase and inherited formation. In the end, there are two sandbodies concentrating areas in the neighborhood of Well Ji 45 and Well Ji 36 that located respectively in the north and south of the gentle slope.

After more than twenty years of exploration, two types and eight kinds of oil pools, including structural reservoir, lithologic and stratigraphic reservoir, have been discovered in the gentle slope. According to the stratigraphic position of reservoirs and the distribution character of different traps in gentle slope, and combing with types of oil pools that have been discovered, three plays that are closely associated with highstand delta system have been respectively divided. In the vertical direction, they are named as SQ1 play of stratigraphic traps, SQ2 play of lithologic traps and SQ3 play of structural and complex traps. On the basis of distribution character of the plays, petroleum accumulation zones in different domains such as structural reservoir, lithologic and stratigraphic reservoir, etc. are finally predicted. It advances that the inner belt of the gentle slope is favorable petroleum accumulation zone of lithologic and stratigraphic reservoir, while the center and outer belts of the gentle slope are favorable petroleum accumulation zone of structural reservoir. Vertically and laterally, the distribution laws of the plays and petroleum accumulation zones provide scientific reference for evaluation and exploration on the whole. Now, through petroleum exploration that regard the highstand delta systems as the main targets, reserves have been discovered on a large scale and a good effect have been made in the inner, center and outer belts of the gentle slope. This example encourages increased focus on petroleum exploration potential of the highstand sandbodies of HST in faulted lacustrine basins and provides useful reference for petroleum exploration of numerous similar faulted basins in the east of China.

Key words Erlian Basin; Jiernalangtu Sag; gentle slope; highstand delta system; play; petroleum accumulation zone