

文章编号:0253-2697(2006)增刊-0007-07

海拉尔盆地坡折带成藏类型与勘探突破方向

董万百^{1,2} 吴河勇² 齐玉林² 秦龙卜² 张恒发²

(1. 中国地质大学能源学院 北京 100083; 2. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

摘要: 以层序地层学等理论为指导,以 LANDMARK 工作站的 SEISWORK-3D 地震解释、GEOPROBE 地震岩性圈闭识别和储层预测等技术为手段,对海拉尔盆地贝尔断陷贝西斜坡主要勘探目的层系进行了层序、体系域的划分及层间扇体的刻画,统一了全区层序及体系域的界限。应用坡折带理论,根据形态特征将贝西斜坡的坡折带划分为反向断阶型、简单弯折型、多级断折型和多级坡折型 4 种类型。坡折类型不同,其油气藏的形成和富集特征也不同:反向断阶型有利于构造油气藏的形成和富集;断折型和坡折型有利于构造一岩性油气藏的形成;简单弯折型有利于岩性油气藏的发育。通过乌东斜坡带与贝西斜坡带的类比研究,提出了海拉尔盆地中坡折带为下步勘探的突破方向。

关键词: 海拉尔盆地; 坡折带; 成藏类型; 油气勘探; 突破方向

中图分类号:TE111 文献标识码:A

Reservoir-forming types and exploration targets in slope break belts of Hailaer Basin

Dong Wanbai^{1,2} Wu Heyong² Qi Yulin² Qin Longbu² Zhang Hengfa²

(1. Faculty of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163712, China)

Abstract: Under the guidance of sequence stratigraphy theory, the sequences and system tracts have been classified, the interlayer fan bodies have been depicted, and the boundaries of the sequences and system tracts of the whole block for the main exploration target sequences have been unified in Beixi slope, Beier faulted-depression, Hailaer Basin, by means of SEISWORK-3D seismic interpretation at Landmark workstation, using the GEOPROBE seismic lithologic trap identification and reservoir prediction techniques. According to the theory of slope break belt, the slope break belt types based on their shapes in Beixi slope are classified into inverted fault step type, single curve break type, multiple-step fault break type, and multiple-step slope break type. Different slope break types might lead to variances of oil-gas reservoir formation and accumulation. Inverted fault step type is favorable for formation and accumulation of structural oil-gas reservoir; Fault break type and slope break type are in favor of forming structural-lithologic oil-gas reservoirs; Single curve break type is in favor of lithologic reservoir development. On the basis of correlation between Wudong slope belt and Beixi slope belt, the middle slope break belt in Hailaer Basin is brought forward as the breakthrough target in next exploration.

Key words: Hailaer Basin; slope break belt; reservoir-forming type; oil and gas exploration; breakthrough target

1 勘探概况

海拉尔盆地贝尔断陷和乌尔逊断陷是目前已探明具有一定储量规模的两大富油断陷,贝西斜坡带和乌东斜坡带则是临近贝西次凹和乌南次凹的两个重要的勘探区带(图 1)。贝尔断陷贝西斜坡带自南而北发育呼和诺仁、苏乃诺尔两个正向构造带,东邻贝西洼槽,勘探面积约 500 km²,目前已有多口井见油气显示,获工业油流井 8 口,发现了呼和诺仁油田。乌尔逊断陷东部斜坡构造带总体为由西向东抬升的单斜,现有 2 口探井获

得高产工业油流,展示了良好的勘探势头。

2 贝西斜坡地震层序和体系域的划分

2.1 地震—地质层位的标定

地震层序和体系域的划分是建立在物理地层单元基础上的,要确定其地质年代和地质内容,必须利用测井资料对其进行标定。为了建立贝尔断陷地震层序与地质层位之间的关系,首先对测井曲线进行校正^[1],然后在 LANDMARK 工作站上利用 SYNTOOL 模块制作了 20 口井的合成地震记录(图 2)。

基金项目:中国石油天然气集团公司重大科技攻关项目(02B1020100)“海拉尔断陷盆地岩性地震勘探技术研究”资助。

作者简介:董万百,男,1966 年 9 月生,2003 年获同济大学硕士学位,现为大庆油田有限责任公司勘探开发研究院高级工程师,中国地质大学在读博士研究生,主要从事油气勘探与研究工作。E-mail:dongwanbai@petrochina.com.cn

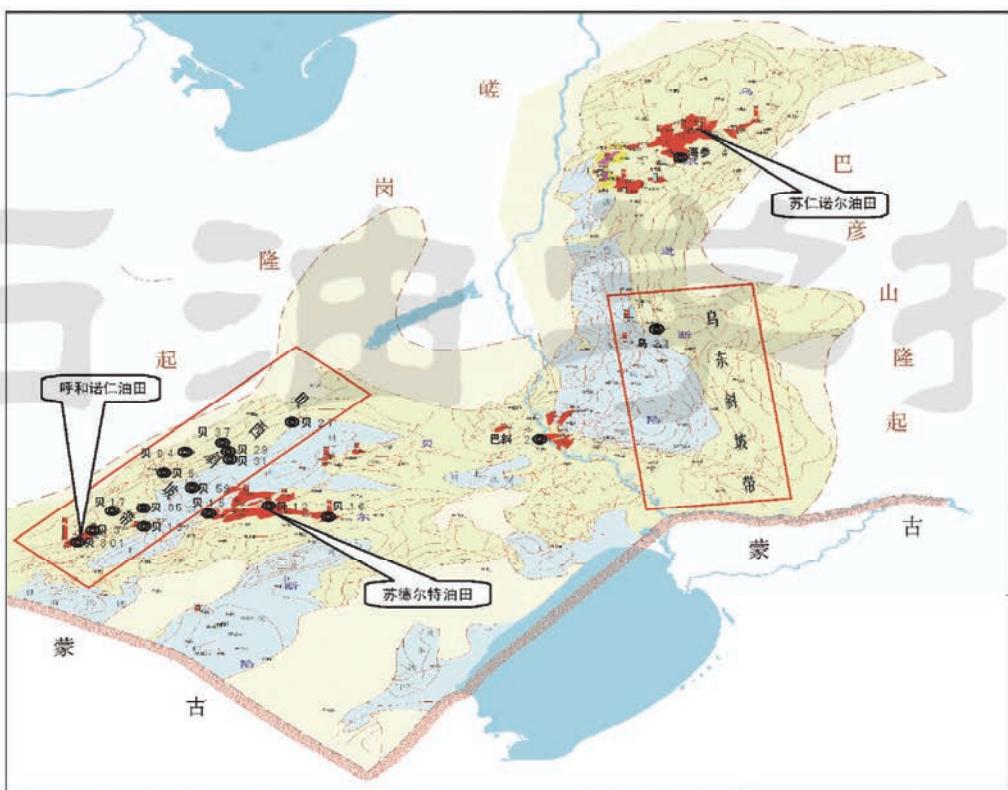


图 1 海拉尔盆地贝尔—乌尔逊断陷研究区平面地质结构

Fig. 1 Plan view of geological structures of project area in Beier-Wuerxun fault-depression in Hailaer Basin

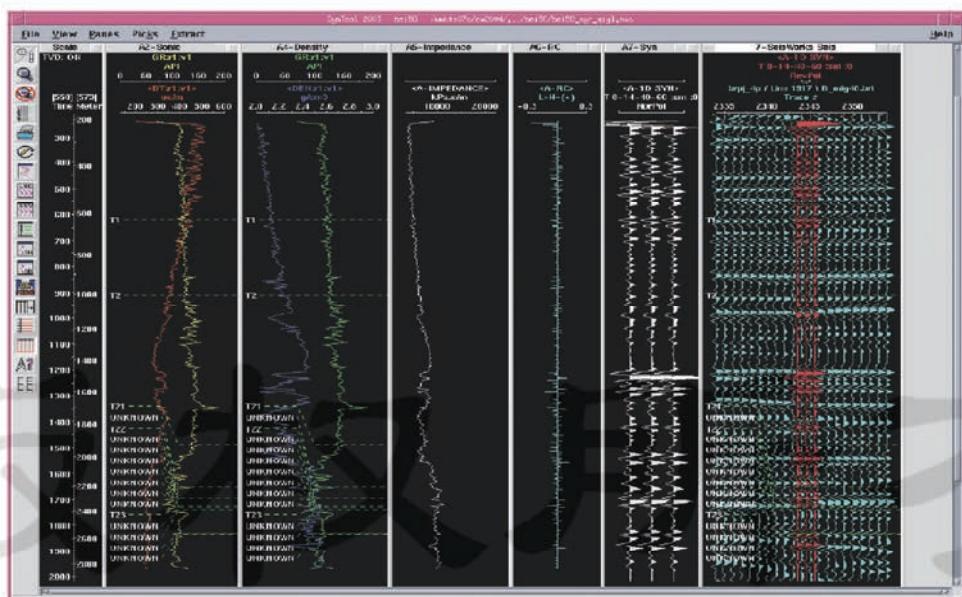


图 2 贝西斜坡贝 59 井合成地震记录

Fig. 2 Synthetic seismic record of Bei 59 Well in Beixi slope

在此基础上,采用平面多井点、纵向多层次联合立体标定来实现井间、层间标定的相互约束,并通过联井横向对比反过来约束地震层位,调整地震层位的划分。根据标定结果,确定了本区地震—地质层位的

对应关系。

2.2 地震层序的划分

本次层序划分的重点是南屯组和大磨拐河组,通过合成地震记录标定,该套地层相当于地震 T₂—T₅

反射层之间的地层。

根据地震层序划分的标志^[2-4],地震剖面上 T_2-T_5 反射层之间存在 3 个削蚀不整合面,即 T_2 (相当于大磨拐河组顶界面)、 T_{2-2} (相当于南屯组顶界面)和 T_5 (相当于布达特群顶界面)反射层^[5]。据此将南屯组和大磨拐河组划分为两个地震层序,即 T_2-T_{2-2} 地震层序和 $T_{2-2}-T_5$ 地震层序,自下而上命名为层序一(SQ1)和层序二(SQ2)。

2.3 体系域的划分

层序一(SQ1)在贝西北工区发育较完整,发育有低位体系域、湖侵体系域和高位体系域;但在贝 3 井区只发育湖侵体系域和高位体系域。

层序二(SQ2)在贝西北工区低位体系域、湖侵体系域和高位体系域发育齐全,其中以高位体系域厚度最大(最厚可达 1100 m),分布范围最广(覆盖全工区)。在贝 3 井区主要发育高位体系域,低位体系域和湖侵体系域缺失。

3 贝西斜坡坡折带类型及成藏模式

坡折带是指古地形坡度突变的地带。在地质历史时期中,随着地质时代的变迁,由于构造的活动、层

序的发育以及沉积体系的演化,盆内坡折带在不同时期的位置不同,性质和样式也会有所变化,往往表现为多级坡折带的特征^[6],而每一时期的坡折带,均控制了该特定时期层序构成特征和沉积体系展布。构造活动是多级坡折带发育的主要因素,坡折带对沉积体系及砂体分布具有控制作用。多级坡折带在盆地不同位置发育的成因机制上的明显差异,导致了坡折带的形态、规模以及类型的不同,从而也控制了岩性—地层圈闭乃至岩性油气藏的形成与分布。在盆地充填演化过程中,坡折带控制了扇三角洲(水下扇)、浊积扇等低位扇体的发育。从断陷盆地油气藏的分布和形成条件看,坡折带是油气藏形成的极有利地带。

3.1 贝西斜坡坡折带类型

贝尔断陷贝西斜坡在早白垩世经历了构造型(层序一沉积前)—沉积型(层序一沉积期)—构造型(层序二沉积前)—沉积型(层序二沉积期)—构造型(层序二沉积后)的多期叠加和改造,形成了多种类型的坡折带。由于斜坡的不同构造部位所受构造、沉积作用的差异,在贝西斜坡自南向北形成了不同形态的坡折类型(图 3)。

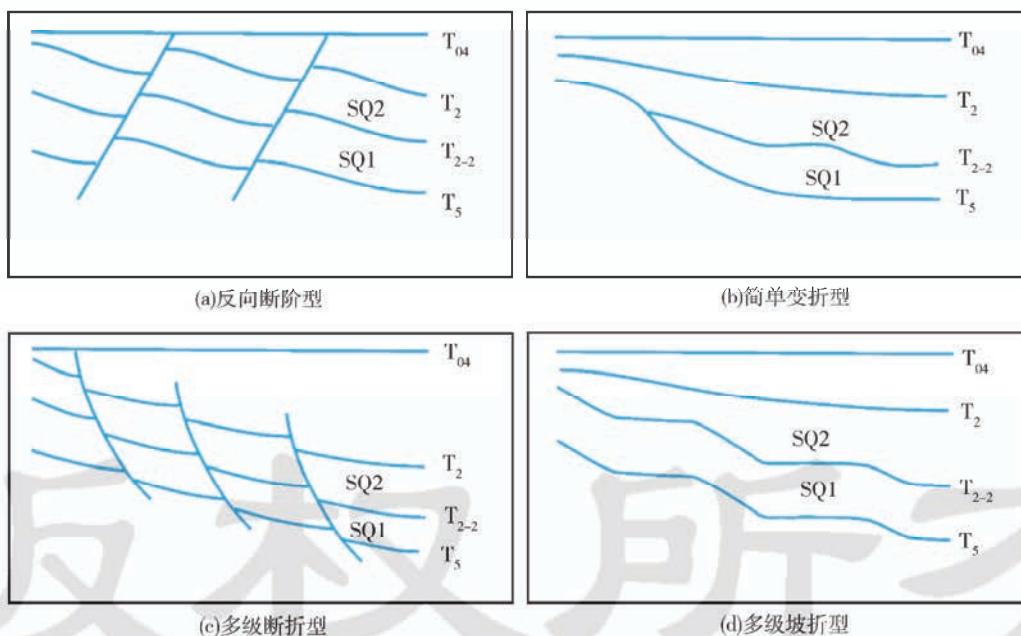


图 3 贝西斜坡坡折带类型模式

Fig. 3 Patterns of slope break belt in Beixi slope

(1) 反向断阶型坡折带 位于贝 13—贝 17 井以南地区,其特点是斜坡被多条反向正断层切割而形成多个逐渐向凸起抬升的断阶。其断层发育比较早,基本发育于层序一(SQ1)沉积时期,控制了层序一(SQ1)湖侵体系域和高位体系域的沉积,断层向上逐渐减小,消失于层序二(SQ2)的高位体系域上部。由

于斜坡西南部处于构造剧烈活动区,即该区整体处于构造的高带,因此,层序二(SQ2)沉积中、早期的低位体系域、湖侵体系域缺失,甚至高位体系域下部也缺失,层序二(SQ2)的高位体系域直接覆盖于层序一(SQ1)的高位体系域之上。

(2) 简单弯折型坡折带 位于贝 13—贝 17 井与

贝 5—贝 15 井之间,其特点是由洼槽区向西部隆起区地层缓慢抬升,中间基本没有断层或没有较大的断层。在斜坡的同一层序内,地层逐层向上超覆尖灭。层序一(SQ1)的低位体系域超覆尖灭于斜坡的内带;湖侵体系域超覆尖灭于斜坡的中带;高位体系域分布范围较大,边缘出现河流相沉积。层序一(SQ1)沉积末期,受区域构造运动的影响,发生区域抬升、剥蚀,构造高部位剥蚀较多,低部位剥蚀较少,洼槽区保留地层较全,整体构造形态仍为单斜。层序二(SQ2)在前期的单斜形态之上由低位体系域到高位体系域又依次超覆沉积在层序一(SQ1)的高位体系域之上。

(3)多级断折型坡折带 位于贝 5—贝 15 井与贝 31—贝 37 井之间,其特点是从西部隆起向洼槽区,斜坡由多条正向正断层控制,逐级下掉,由断层和地层组成多个断折带。断层发育比较早,基本发育于层序

一(SQ1)沉积时期,消失于层序二(SQ2)之中。由于受生长性断层和继承性斜坡的控制,各体系域厚度由洼槽区向隆起区逐级减薄。

(4)多级坡折型坡折带 位于贝 31—贝 37 井以北地区,是断折型坡折的特殊表现形式。在该斜坡段,部分坡折带表现为坡折,部分表现为断折,部分早期为坡折而后期又被断层改造表现为断—坡叠置特征。在该段层序一(SQ1)从西部隆起向洼槽区基本没有断层或没有较大的断层存在。但层序一(SQ1)底界面存在一个或多个局部由缓变陡段,即具有多级坡折型坡折带。层序二(SQ2)基本继承层序一(SQ1)的构造形态,但也受到后期断层的影响,坡折带有单一的坡折型,也有断折型。在斜坡的同一层序内,地层逐层上超或退积式沉积尖灭(图 4)。

由于坡折带对沉积体系及砂体分布具有明显的控

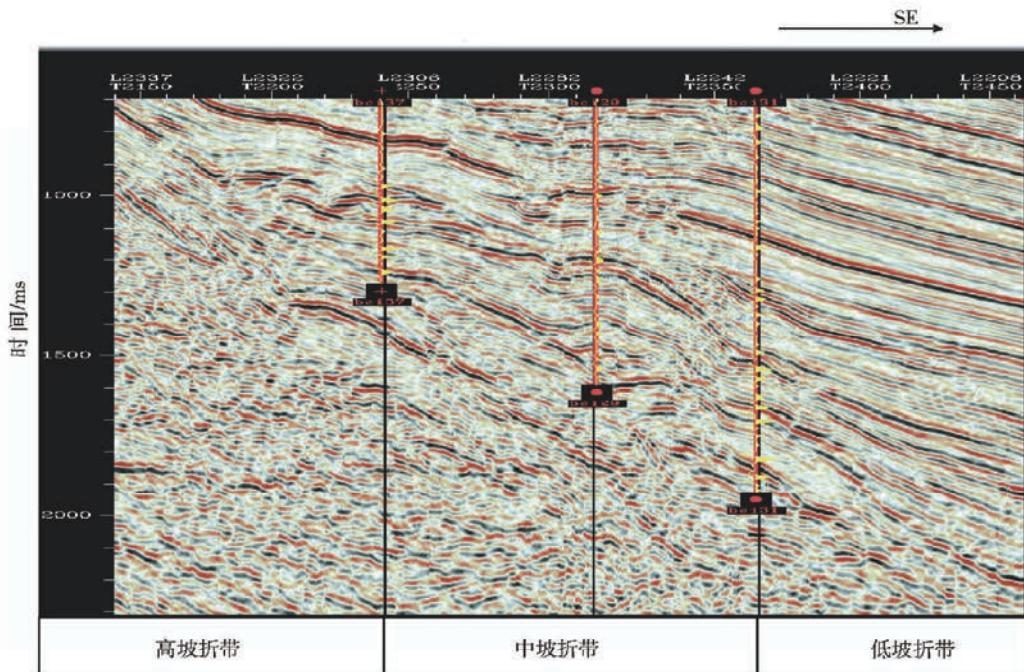


图 4 贝西斜坡坡折型坡折带典型地震剖面

Fig. 4 Typical seismic profile of slope-broken type slope break belt in Beixi slope

制作用,因而最终控制了与之相关的岩性油气藏的形成与分布。通过研究贝尔断陷西北地区三维地震资料,认为该地区具备较好的构造—岩性、岩性油气藏形成条件。贝尔断陷西北地区的沉积发育特征是:早期(T_2 — T_5)为北东—南西向发育的冲积扇—扇三角洲—滨浅湖—半深湖沉积体系,晚期(T_2 — $T_{2.0}$)为继承性发育的河流—河控三角洲—滨浅湖—半深湖沉积体系。贝尔断陷西北地区具有多种类型岩性油气藏的成藏条件,如大二段上部典型的河控岩性油藏和南一段典型的扇体岩性油藏,是岩性油藏勘探的有利目标。

2004 年,应用 LANDMARK 工作站解释技术对贝西单斜带的扇体及层间构造进行了刻画和解释。具体方法是:从已知井出发,利用声波、密度等测井曲线以及 VSP 测井资料制作高精度的合成地震记录,对扇体发育位置进行精确标定;根据地震剖面反射特征,对其顶、底界面分别进行追踪解释,做出顶、底界面的等 T_0 图、构造图和扇体厚度图(图 5)。如南屯组沉积时期贝西斜坡扇体发育,经解释追踪圈定了贝 31—贝 37 井区南屯组顶面扇体面积 23.47 km^2 ,由 3

~4期扇体迭置构成。然后结合 GEOPROBE 三维地震数据立体可视化资料及地震反演资料进行综合分析,优选钻探目标。应用以上解释技术在贝西单斜带共解释 12 个扇体,其中已钻 7 个,在贝 29 井、贝 37 井和贝 D4 井见到了较好的油气显示,展现了贝西斜坡带良好的勘探潜力。

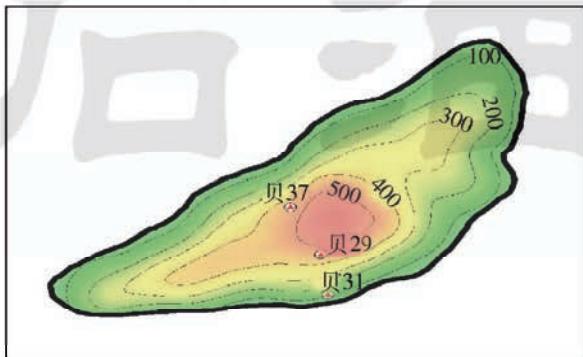


图 5 贝西斜坡贝 31—贝 37 井区南屯组扇体等厚图

Fig. 5 Isopach map of fan bodies of Nantun Formation in Bei 31-Bei 37 Block of Beixi slope

3.2 贝西斜坡带油气成藏模式

(1) 反向断阶型油气成藏模式 在斜坡的反向断阶型坡折带,主要发育构造圈闭油藏。在局部圈闭面积较小、砂体覆盖面积较大的情况下,可形成完整的构造油藏,如贝 17 井构造油藏。在局部圈闭面积较大、砂体覆盖面积较小的情况下,可形成岩性—构造油藏,如贝 301 井岩性—构造油藏^[7]。

(2) 多级坡折型油气成藏模式 层序一(SQ1)的底界面为前白垩系基底,坡度陡缓多变。在基底坡度突然变陡区,层序一(SQ1)不同体系域的砂体发育。受古坡形的控制,在低坡折带和部分中坡折带分布低位体系域(LST)的斜坡扇或楔状砂体;在中坡折带一般分布湖侵体系域(TST)的沙滩、沙坝体系或扇三角洲—浊积扇体系;在高坡折带一般分布高位体系域(HST)的三角洲体系退积型砂体。

缓坡区是油气运移、聚集的主要地区,低位体系域的斜坡扇体或楔状砂体被湖侵体系域的优质烃源层覆盖,油气多发生侧向运移到低位体系域砂体中,形成低位体系域的斜坡扇体系或楔状砂体油气藏;湖侵体系域的沙滩、沙坝体系或扇三角洲—浊积扇体系的下倾方向直接与其烃源岩对接,油气运移距离短,当砂体被其三角洲平原泥质岩覆盖时,可形成湖侵体系域的沙滩、沙坝体系或扇三角洲—浊积扇体油气藏;高位体系域发育的三角洲体系一般为多期的叠加,不同期的砂体之间相互连通性较差,油气沿砂体横向运移能力差,但高位体系域顶面(层序顶界面)往

往是区域不整合面,经过了较长时期的风化、淋滤和剥蚀,储集性能好、疏导能力强,油气可沿不整合面发生较长距离的运移,且其上覆往往是另一层序(大磨拐河组)的湖侵体系域泥质岩,油气可沿不整合面在不同砂体由低向高依次运移、聚集,形成高位体系域三角洲体系的油气藏(图 6)。

(3) 多级断折型油气成藏模式 断层除控制构造圈闭的形成外,对砂体的分布也有较大的控制作用。在断折型坡折带区,尤其是在层序一(SQ1),断层对地层分布和砂体沉积的控制作用比较明显。一般在断折型坡折带的低带区和洼槽区,层序的低位体系域、湖侵体系域和高位体系域发育比较齐全;中带区一般缺少低位体系域;高带区一般只发育高位体系域。即受断层的控制,由低坡折带向高坡折带体系域逐渐减少。受油源、地层和砂体的控制,断折型坡折带的不同部位聚油条件亦有不同。高坡折带是近物源区,砂体发育,储盖组合差,远离烃源区,油气成藏条件最差;中坡折带构造位置、储盖组合、距烃源区距离均较适中,但由于地层的上倾方向是正向断层,容易造成与高带的粗相带对接,因此圈闭的侧向封堵条件不利。但只要具备侧向的圈闭条件,也是油气聚集成藏的较有利区带;低坡折带距洼槽成熟烃源区较近且自身也具备烃源条件,储盖条件好,上倾方向由正向断层与中带相接。由于中坡折带泥质岩较发育,低坡折带的砂体与中坡折带的泥质岩侧向对接概率较高,有利于油气聚集成藏。因此,断折型低带的断层与砂体的配合是该类型坡折带最主要的油气成藏模式。

(4) 简单弯折型油气成藏模式 在该型坡折带中,断层不发育,砂体由侧向或反向逐步向斜坡超覆尖灭形成地层超覆圈闭。如贝西斜坡的构造相对稳定区即平缓型斜坡区,各层序内部地层超覆沉积特征比较明显,是形成砂体上倾超覆油气藏的主要地区。

(5) 潜山型油气成藏模式 潜山油气藏除可在洼中潜山、陡带断阶潜山中形成外,斜坡基底下面潜伏的断块潜山也是油气成藏的重要场所。下白垩统沉积前,沿斜坡带发育有受断层控制的翘倾断块潜山,由于剥蚀作用,潜山顶部基本夷平,已看不出断距,后被上覆地层覆盖形成潜伏断块潜山。潜山地层上倾方向的侧向封堵受断层面的控制,而断层面往往容易形成破碎带,再加上长期暴露地表,沿断层面充填的一些碎屑物质在后期重新胶结形成了非渗透性岩石,可对潜山上倾方向形成封堵。当来自洼槽区的油源沿基底不整合面向上运移遇到非渗透性地层时,便可聚集成藏。如位于斜坡高部位的贝 D4 井在布达特群地层中见到较好的油气显示,说明了贝西洼槽的油气已经沿

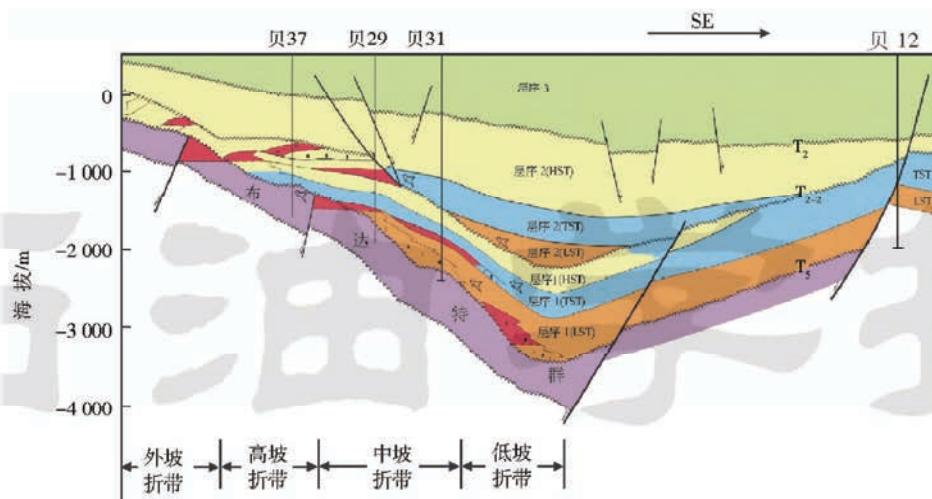


图 6 贝西斜坡多级坡折带成藏模式

Fig. 6 Patterns of reservoir formation in multiple-step slope break belts of Beixi slope

不整合面向上运移到斜坡的较高位置,所以潜山油气藏也是今后斜坡地区油气勘探的一个有利方向。

4 乌东斜坡带与贝西斜坡带坡折成藏类型的比较

乌尔逊断陷东部斜坡带勘探面积为 800 km²,勘探目的层为大磨拐河组、南屯组和铜钵庙组,是海拉尔盆地的重点勘探地区之一。乌东斜坡带是一个由多条正向正断层控制、逐级下掉的西倾单斜,呈三级地堑样式^[8],由断层和地层组成多个断带。与贝西斜坡类比分析表明,两者具有以下相同点:①均发育高、中、低多级坡折带;②均发育有断折型坡折带;③均发育低位体系域、湖侵体系域和高位体系域砂体;④均发育断折型油气成藏模式。两者的不同点在于:①乌东斜坡区较贝西斜坡带同一地质层位构造位置相对较缓;②贝西斜坡带不仅发育有断折型坡折带,而且还发育有反向断阶型、简单弯折型、多级坡折型坡折带;③乌东斜坡中坡折带埋藏较浅;④贝西斜坡带不仅发育有断折型油气成藏模式,而且还发育有反向断阶型、简单弯折型、多级坡折型及潜山型油气成藏模式。

进一步分析表明,高坡折带一般位于湖盆的边缘,属于近物源的沉积,虽然储层发育,但由于近距离搬运,成熟度较差,非均质性较强,储集物性较差;再者,由于砂岩发育,断层断距小,难以形成有效的圈闭遮挡条件;此外,由于高坡折带远离成熟烃源区,也不利于油气的运移和聚集。低坡折带一般位于洼槽区附近,由于埋藏较深,成岩作用较强,储集物性一般较差,也不利于油气的富集。如贝 31 井在低坡折带砂体中见到较好的油气显示,但由于储层物性差,试油

压裂后为干层。而中坡折带由于构造位置优越,埋藏较浅,储层物性较好,距洼槽成熟烃源区较近且自身也具备烃源条件,储盖条件好,有利于油气聚集成藏。如贝西斜坡带贝 29 井、乌东斜坡带乌 27 井均见油层(图 7)。综上所述,贝西斜坡带和乌东斜坡带的中坡折带为最有利油气聚集带。

5 勘探突破方向

5.1 贝西和乌南主力生油洼槽的周边地区

生油评价表明,贝尔断陷发育的多个次级洼槽中,贝西洼槽面积大、沉陷深、暗色泥岩厚、有机质丰度高(泥岩有机碳含量为 1.316%~1.724%,氯仿沥青“A”为 0.01%~0.04%)、有机质类型好(如贝 3 井区以 I 型干酪根为主,少量 II 型)、烃源岩热演化程度高(贝尔断陷烃源岩大约在 1800 m 开始排烃,在 2000 m 以后开始大量排烃),是贝尔断陷最大的主力生烃次凹。经过多年的油气勘探,目前已在贝西主力生烃次凹周围发现多个油气藏。乌南次凹为乌尔逊断陷南部的主要生油洼槽,沉积相研究表明,该区南屯组、大磨拐河组广泛发育半深—深湖相沉积,暗色泥岩非常发育,有机质丰富、转化程度高、生油潜力大,为乌南地区提供了充足的油源。大一段有机碳平均为 2.836%, S₁ + S₂ 为 0.88~9.89 mg/g, 平均 3.11 mg/g; 南屯组有机碳平均为 2.319%, S₁ + S₂ 为 2.52~7.82 mg/g, 生油门限深度在 1 500 m。根据中国东部沉积盆地油气成藏的“主洼槽控油”特点和目前的钻探成果分析,应继续加大贝西次凹和乌南次凹周边地区的油气勘探力度。

5.2 贝西斜坡和乌东斜坡的中坡折带

贝西斜坡中坡折带构造位置优越,砂岩分选较

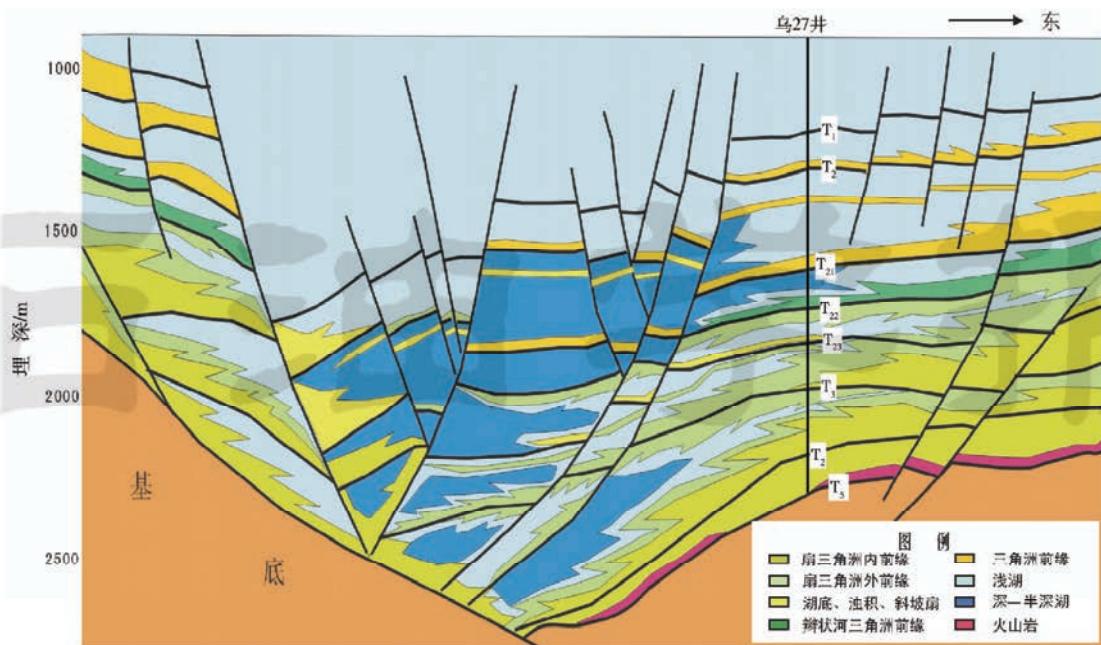


图 7 乌东斜坡过鸟 27 井沉积相剖面

Fig. 7 Cross-section of sedimentary facies cross Wu 27 Well in Wudong slope

好,埋藏适中,储层物性较好,与成熟烃源区距离适中,是油气成藏的有利区带。而乌东斜坡中坡折带3套体系域发育齐全,埋藏浅,储层物性好,距油源区较近,部分地区自身也处于成熟烃源岩范围,有利于油气的聚集、成藏。

5.3 两套区域性成熟烃源岩上下的构造及岩性圈闭

贝西和乌东地区主要发育层序一(SQ1)湖相成熟烃源层和层序二(SQ2)湖侵体系域次要成熟烃源层。从目前钻探的成果分析,大部分油藏分布于层序一(SQ1)湖相成熟烃源层下伏的潜山圈闭和层序一(SQ1)高位体系域砂体中。其他体系域虽然也见到了油气显示和工业油气层,但富集程度较差。所以下步应继续重视对层序一(SQ1)高位体系域和潜山的油气勘探,同时层序二(SQ2)的低位体系域和湖侵体系域可以作为新的突破层系进行研究和钻探工作。

6 结 论

(1)通过层序地层学研究,将海拉尔盆地贝尔断陷贝西斜坡主要勘探目的层系(T_2-T_5)划分为两个层序,即层序一(SQ1)和层序二(SQ2)。SQ1 和 SQ2 在工区发育完整,均发育有低位体系域、湖侵体系域和高位体系域。

(2)贝西斜坡坡折带可划分为反向断阶型、简单弯折型、多级断折型、多级坡折型 4 种类型。

(3)坡折类型不同,其油气藏的类型和富集特征

也不同:反向断阶型有利于构造油气藏的形成和富集;断折型和坡折型有利于构造一岩性油气藏的形成;简单弯折型有利于岩性油气藏的发育。

(4)中坡折带构造位置优越,距物源距离适中,砂岩分选较好,埋藏适中,储层物性较好,距洼槽成熟烃源区较近,储盖组合好,有利于油气聚集成藏,是下步勘探的有利地区。

(5)鉴于目前构造圈闭的勘探程度较高,下步应加强对层间隐蔽圈闭的解释和钻探。

参 考 文 献

- [1] Sangree J B, Vail P R. 应用层序地层学[M]. 张宏逵,宋国奇,唐其生,等译. 东营:石油大学出版社,1990;28-29.
- [2] 徐怀大,王世凤,陈开远. 地震地层学解释基础[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991;15-17.
- [3] 纪友亮,张世奇,张宏,等. 层序地层学原理及层序成因机制模式[M]. 北京:地质出版社,1998;56-57.
- [4] 中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室. 陆相层序地层学应用指南[M]. 北京:石油工业出版社,2002;35-38.
- [5] 张吉光. 海拉尔盆地不整合的形成及其油气地质意义[J]. 大庆石油地质与开发,2002,21(5):8-10.
- [6] 刘豪,王英民,王媛. 塌陷湖盆坡折带特征及其对非构造圈闭的控制[J]. 石油学报,2004,25(2):30-35.
- [7] 冯志强,张晓东,任延广,等. 海拉尔盆地油气成藏特征及分布规律[J]. 大庆石油地质与开发,2004,23(5):16-19.
- [8] 张成,魏魁生. 乌尔逊凹陷南部层序地层特征及成藏条件[J]. 石油学报,2005,26(2):47-52.

(收稿日期 2006-07-25 改回日期 2006-10-30 编辑 王秀)