

文章编号: 1000-0550(2009) 01-0057-07

辽河西部凹陷古近系层序地层与地层岩性油气藏预测¹

冯有良 鲁卫华 门相勇

(中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

摘要 基于构造层序分析方法,应用三维地震、测井、岩心资料对辽河西部凹陷古近系做了层序地层研究和地层岩性油气藏预测。古近系作为一个超层序组可以划分出 4 个超层序 8 个三级层序。根据同沉积构造坡折类型,可以把层序划分为同沉积断裂坡折层序、同沉积挠曲坡折层序和无坡折的缓坡层序三种层序类型。其中同沉积断裂坡折层序主要发育在超层序 1、超层序 2 和超层序 3,同沉积挠曲坡折层序和缓坡层序主要发育在超层序 4、超层序 2 和超层序 3 由同沉积构造坡折控制的层序低位域和高位域砂体与湖扩展体系域优质烃源岩配置,成藏条件优越。同时这些岩性圈闭一般处于中深层次生孔隙发育带内,储层性能良好,最有利于岩性油气藏发育。据此在辽河西部凹陷提出了西斜坡锦 1 断层的下降盘,双台子断裂下降盘;东部陡坡台安—小洼—海外河断裂下降盘是岩性油气藏发育的有利部位。

关键词 层序地层 同沉积构造坡折 地层岩性油气藏 古近系 辽河西部凹陷

第一作者简介 冯有良 男 1963 年出生 博士 高级工程师 层序地层与沉积储层

E-mail: fyoulia@petrochina.com.cn

中图分类号 P539.2 文献标识码 A

辽河西部凹陷位于渤海湾盆地辽河拗陷的西部。西临燕山褶皱系和西部凸起,东以中央凸起相隔与东部凹陷毗邻,向南延伸到渤海湾海域的辽西凹陷。该凹陷基本构造特点是东陡西缓,东断西超,面积约 2 500 km² (图 1)。该凹陷发育在郯庐断裂带下辽河段内,其展布方向追踪郯庐断裂的走向,呈狭长状分布特点。该凹陷在平面上可以划分为东部的台安—小洼—海外河陡坡断阶构造带,中部的双台子—双南—兴冷构造带,西部欢曙缓坡构造带、曙北—高升构造带和高北斜坡带。在这些主要正向和斜坡构造带之间还自南向北发育了鸳鸯沟、清水、盘山、陈家和牛心坨 5 个古近系生油洼陷 (图 1)。

该凹陷经过 30 多年的油气勘探,主要正向和斜坡构造带已达到了较高的勘探程度。油气勘探的方向不得不从以勘探构造油气藏为主转向以勘探地层岩性油气藏为主的方向。但是地层岩性油气藏发育和富集特点与构造油气藏有着本质的区别。其油藏的发育和富集与地层界面、各种砂体的有利相带及其与烃源岩的良好配置和沟通关系极为密切。国内外地层岩性油气藏研究和勘探的成功实例^[1,2]表明,层序地层学是建立地层等时格架、预测有利砂体和烃源岩的时空配置,更进一步预测岩性地层油气藏的有效理论和方法。本文研究的目的是应用层序地层

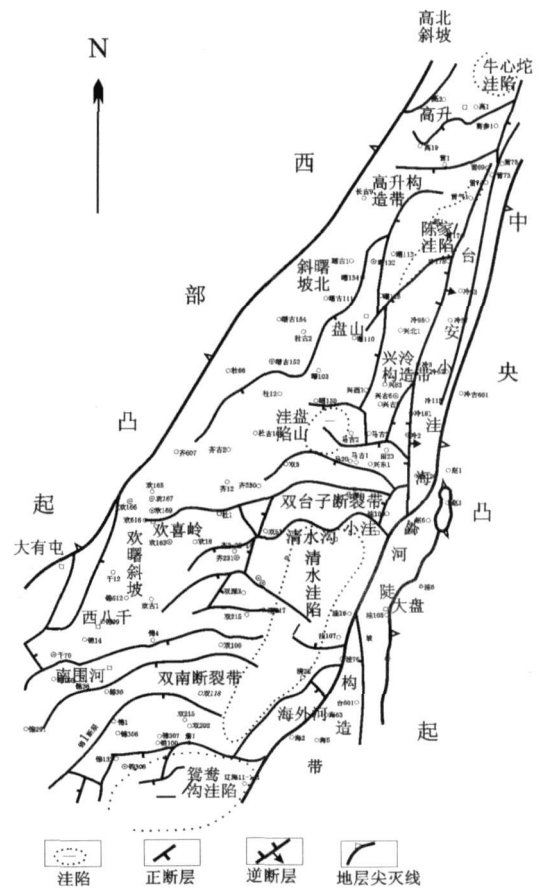


图 1 辽河西部凹陷构造纲要图

Fig 1 Tectonic schematic map of Liaohe west depression

¹ 中国石油勘探与生产分公司项目 (批准号: 040103) 资助。
收稿日期: 2007-12-15 收修改稿日期: 2008-04-15

学理论在辽河西部凹陷古近系进行层序地层研究和在此基础上应用先进的地球物理储层预测技术进行地层岩性油气藏有利区带研究和预测,总结辽河西部凹陷古近系层序地层发育特点、有利砂体的分布规律和预测有利于地层岩性油气藏发育的区带。

1 层序地层序列和层序界面特征

根据辽河西部凹陷构造演化特征、主要的不整合界面在凹陷内的发育特征、沉积充填特征和层序界面的识别标志,本文把辽河西部凹陷古近系 (E) 裂陷期的沉积充填作为一个超层序组 (SSQS1), 古近系发育的四幕裂陷作为四个超层序 (SSQ)。房身泡组 (E_{1f}) 为超层序 1 (SSQ1), 沙四段 ($E_2 s^4$) 为超层序 2 (SSQ2), 沙三 ($E_2 s^3$)—沙二段 ($E_2 s^2$) 为超层序 3 (SSQ3), 沙一段 ($E_2 s^1$)—东营组 ($E_2 d$) 为超层序 4 (SSQ4)。超层序组和超层序界面都是区域性的不整

合界面,如古近系超层序组 (SSQS1)的顶底界面分别是新近系与古近系之间的不整合,古近系与白垩系之间的区域角度不整合;四个超层序之间的界面分别是四个裂陷幕之间的不整合面,即房身泡组 (E_{1f})和沙四段 ($E_2 s^4$)之间,沙四段 ($E_2 s^4$)和沙三段 ($E_2 s^3$)之间,沙二段 ($E_2 s^2$)和沙一段 ($E_2 s^1$)之间的不整合。这些不整合界面在 seismic 剖面、岩相和测井曲线上都有明显的特征。而在每个超层序内部又可以根据三级层序界面的特征划分出三级层序。超层序 2 (SSQ2) 划分出 1 个层序 (Sq1), 相当与沙四段。超层序 3 (SSQ3) 可以划分出 3 个层序 (Sq2 Sq3 Sq4)。Sq2 相当于沙三下亚段 ($E_2 s^{3F}$), Sq3 相当与沙三中、上亚段 ($E_2 s^{3F,上}$), Sq4 相当与沙二段 ($E_2 s^2$)。超层序 4 (SSQ4) 可以划分出 4 个层序, 分别相当与沙一段 ($E_2 s^1$)、东三段 ($E_2 d^3$)、东二段 ($E_2 d^2$) 和东一段 ($E_2 d^1$), (图 2)。

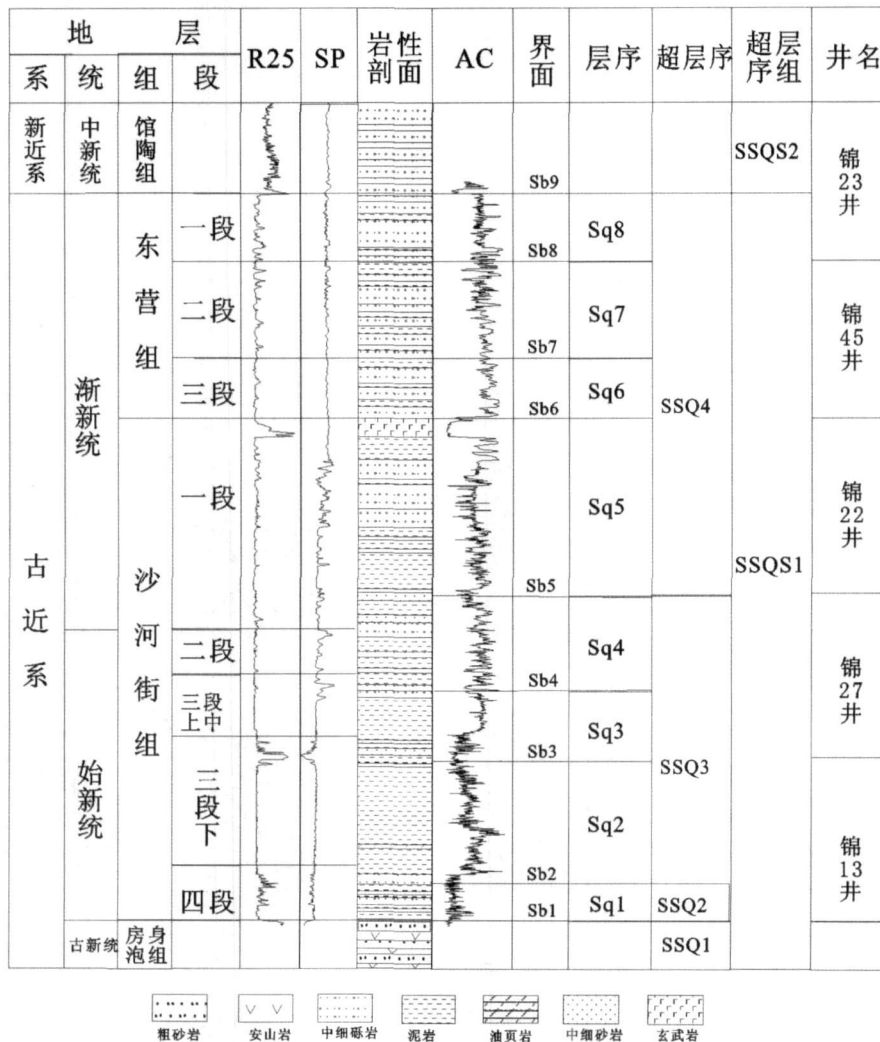


图 2 辽河西部凹陷古近系层序划分序列

Fig 2 Eocene sequence stratigraphy column section, Liaohai west depression

三级层序特征在地震剖面、测井和岩相上特征明显。从 Sb1 到 Sb9, 在地震剖面上都有非常明显的上超及削截标志 (图 3)。这些在地震剖面上存在的上超和削截对应的测井曲线为正反旋回自然电位曲线的分界线或砂岩向上变粗和向上变细的分界线。如 Sb3 的边界 (图 2)。在三级层序地层单元内部, 可根据初始湖泛面和最大湖泛面划分出层序的低位体系域 (LST)、湖扩展体系域 (EST) 和高位体系域 (HST)。低位域是层序底界面与初始湖泛面之间的地层, 湖扩展域是初始湖泛面 (IFS) 与最大湖泛面 (MFS) 之间的地层, 高位域是最大湖泛面与层序顶界面之间的地层。

上述层序地层的边界与传统的生物岩性地层边界有一定的差别。主要表现为层序界面位于生物岩性地层边界之下。这主要是因为生物岩性地层边界代表了生物最为发育、地层最为稳定的部位相当于最大湖泛面, 而层序界面则代表了不整合面和沉积间断面。

在含油气盆地层序地层学研究中强调识别和划分三级层序界面对岩性地层油气藏的研究和预测而言有以下 3 个方面的作用:

a 突出了在湖盆沉积充填当中由于构造活动、气候和沉积供给作用造成的各种不整合和沉积间断面。这些界面是不同级别的层序界面, 它控制了地层、岩性圈闭的发育^[3]。

b 突出了层序低位域砂体。这些低位域砂体是

形成岩性油气藏最主要的储集体。

c 把层序划分为低位域 (LST)、湖扩展体系域 (EST) 和高位体系域 (HST), 有利于在等时地层格架内研究和分析岩性地层油气藏的储盖组合和成藏条件。

2 同沉积构造坡折与层序类型

辽河西部凹陷古近系主要发育了同沉积断裂坡折和同沉积挠曲 (弯折) 坡折两种构造坡折和平缓斜坡。其中同沉积断裂构造坡折根据主要同沉积断裂在平面和剖面上的组合方式可进一步划分为陡坡断阶状、缓坡断阶状、反向断阶状、交叉状、帚状等沉积断裂构造坡折类型。同沉积挠曲坡折是由于隐伏断裂的差异沉降、同沉积背斜的发育和构造反转形成的地层坡度的突变带。而平缓斜坡则是指沉积斜坡非常平缓没有坡度突然变陡加大的坡折带发育^[4-6]。

上述两类坡折类型和缓坡地貌决定了辽河西部凹陷发育三类层序类型, 即同沉积断裂坡折型层序、同沉积挠曲坡折型层序和缓坡层序。

同沉积断裂坡折型层序低位域主要发育在同沉积断裂坡折带之下, 以低位扇三角洲和水下扇沉积为主; 湖扩展体系域主要发育半深湖到深湖泥岩、浊积岩和滨浅湖沉积为主; 高位域主要发育辫状河—扇三角洲和浊积岩沉积。

同沉积挠曲坡折型层序的体系域构成特征与同沉积断裂坡折型层序相似只是坡折不是同沉积断裂而是挠曲坡折 (弯折)。

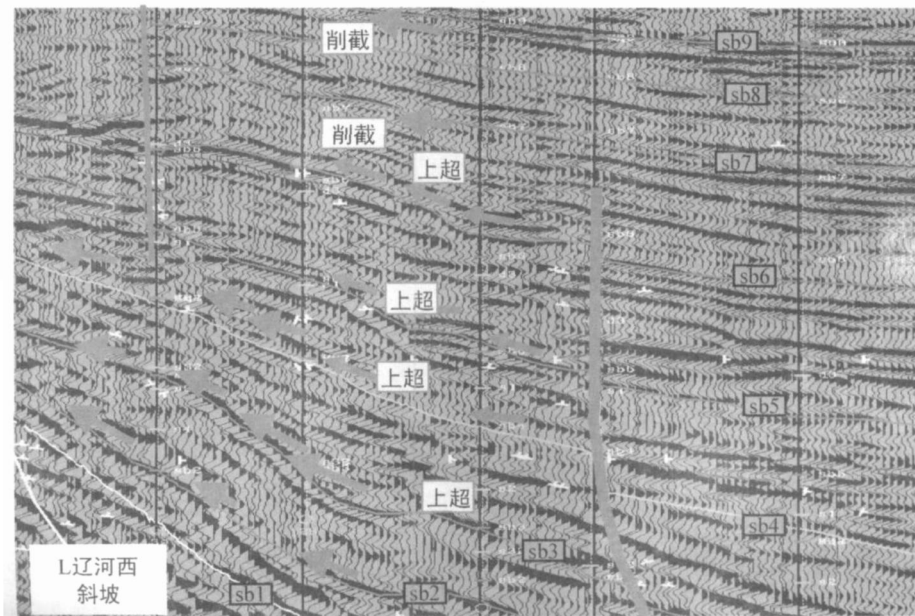


图 3 层序界面在地震反射界面上的特征

Fig 3 Seismic reflection characteristics of sequence boundaries

缓坡型层序与具有同沉积构造坡折的层序有着本质的区别。这种层序分两种情况。第一种情况是发育在浅湖到半深湖环境中的的层序。其低位域主要发育下切水道充填,湖扩展体系域发育半深湖到浅湖沉积,高位域主要发育辫状三角洲、河流三角洲。第二种情况是发育在河流冲积环境的层序。其低位域主要是辫状河道充填、湖扩展域主要发育曲流河、高位域发育以发育网状河和泛滥盆地沉积为主但厚度薄。

3 层序地层格架特征特征和有利砂体的分布规律

上述三类层序在辽河西部凹陷古近系发育具有一定的规律。其中超层序 1、超层序 2 超层序 3(裂隙 1 幕、裂隙 2 幕和(裂隙 3 幕))主要发育同沉积断裂坡折型层序。陡坡断阶状和缓坡反向同沉积断裂坡折控制了层序和低位域砂体的分布。超层序 4(裂隙 4 幕)在发育同沉积断裂坡折型层序的同时还发育挠曲坡折型和缓坡型层序。这是因为超层序 4(裂隙 4 幕)盆地构造演化处于断拗转换阶段,凹陷发生了构造反转,局部地区产生了挠曲形成背斜(图 4)。

由于辽河西部凹陷不同构造幕构造发育特征和沉积充填特征的差异性,使得辽河西部凹陷不同超层序组发育的三级层序有利于形成岩性地层油气藏的砂体发育特征不同。

发育在超层序 1、超层序 2(房身泡组 (E_{1f}), 沙四段 (E_2s^4))的三级层序其层序和砂体的发育具有这样的特征:湖盆处于裂隙 1、2 幕,陡坡控盆断裂和缓坡反向断裂发育,气候干旱以发育冲积扇、扇三角洲及滨浅湖砂体为主。在凹陷陡坡沿沟谷进入湖盆的砂体主要发育在平行断阶状和交叉状断裂坡折之下。在凹陷缓坡沿沟谷进入湖盆的砂体顺反向平行断裂坡折走向展布。其形成的三级层序低位域 (LST)以冲积扇或扇三角洲砂体为主在凹陷缓坡或陡坡坡折带之下加厚。湖扩展域 (EST)主要发育滨浅湖沉积。高位域 (HST)发育扇三角洲和滩坝砂体沉积(图 4、5)。

发育在超层序 3(沙三 (E_2s^3)—沙二 (E_2s^2))的三级层序,其层序和砂体发育特征明显不同于发育在超层序 2 的三级层序。此时盆地处于裂隙 3 幕,气候湿润,反向断裂停止活动,凹陷陡坡控盆断裂和缓坡同向断裂活动加剧,在平面上形成平行状、交叉状和帚状断裂坡折(图 4、5)。沿盆缘沟谷进入湖盆的砂

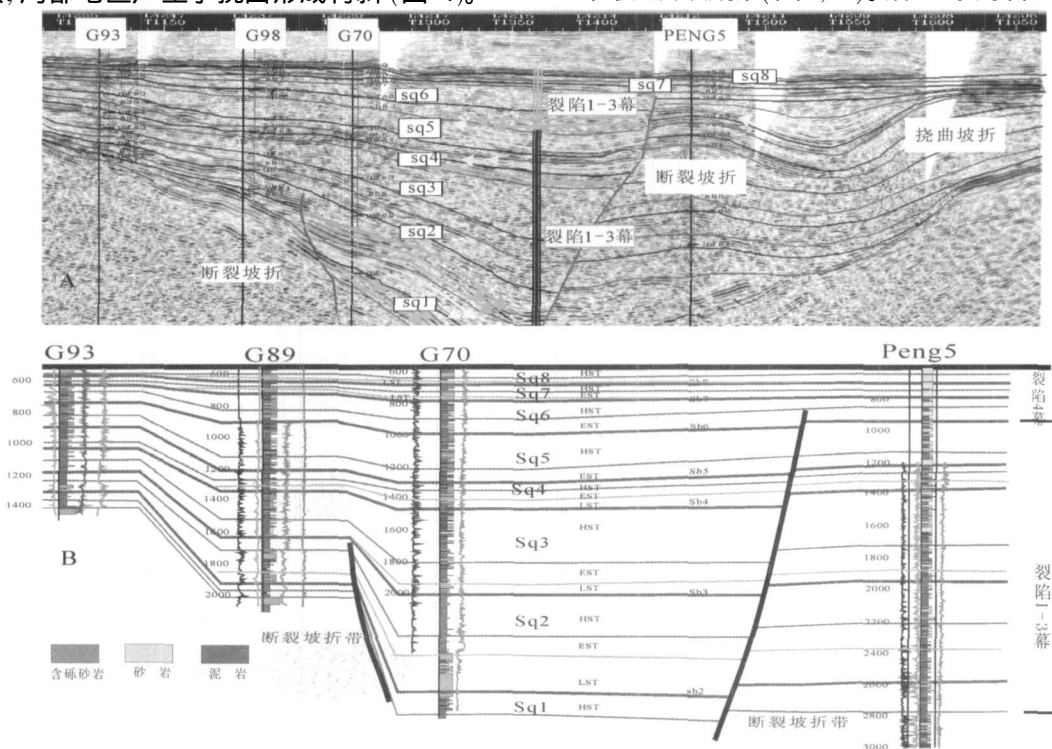


图 4 辽河西部凹陷层序地层格架剖面

A. 地震层序剖面; B 连井层序剖面

Fig 4 Sequence fram awk profiles of Liaohu west depression

A. Seimic sequence profik; B Wells sequence profile

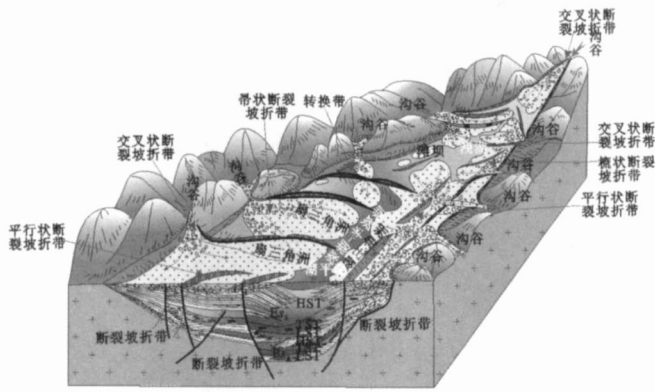


图 5 辽河西部凹陷古近系层序地层和砂体发育模式

Fig 5 Eocene sequence stratigraphy and sand bodies distribution model of Liaohe west depression

体在断裂坡折带之下厚度加大。但三级层序的低位域 (LST) 砂体主要发育在坡折带之下且分布局限。砂体可以是水下扇、扇三角洲和浊积扇。湖扩展域 (EST) 以发育深湖相泥岩和油页岩为主, 湖盆边缘也可发育扇三角洲或滩坝砂体。高位域 (HST) 以发育规模较大的扇三角洲、辫状三角洲和河流三角洲为主, 其砂体的厚度中心和有利相带主要分布在断裂坡折之下。

发育在超层序 4 (沙一 (E_2s^1)—东营组 (E_3d^1)) 的三级层序, 其层序和砂体的展部特点明显不同于发育在其它 3 个超层序的三级层序, 此时湖盆虽然继承了主裂陷幕的特点, 但由于断裂构造活动减弱, 同时伴随着构造的反转, 湖盆古地貌变得较为平缓, 一部分断裂构造坡折带转化为挠曲坡折带和缓坡。构造沉降中心和沉积中心向凹陷中心迁移。沿沟谷进入湖盆的轴向物源和侧向物源极为发育。总体上砂体在构造坡折带的低部位厚度较大储层物性较好。三级层序的低位域 (LST) 主要发育在坡折带之下, 湖扩展域 (EST) 以发育半深湖、滨浅湖及小型 (扇) 三角洲砂体为主。高位域湖盆侧翼扇三角洲、轴向河流 (辫状) 三角洲砂体极为发育, 占据湖盆三分之二以上。

4 有利地层岩性油气藏发育区带预测

上述分析表明, 辽河西部凹陷古近系不同超层序发育的三级层序其形成的构造背景、古气候和物源供给条件不同, 造成了层序的体系域构成模式和砂岩砾岩体地层岩性油气藏的成藏条件也不同。研究和勘探实践表明, 超层序 2 和超层序 3 内发育的三级层序形成于盆地的主裂陷阶段, 盆地断陷和构造伸展作用强烈, 气候湿润, 主要发育扇三角洲、水下扇、浊积扇和湖泊沉积。断裂坡折控制了层序和低位域砂体的

发育。在主要断裂坡折之下层序低位域发育扇三角洲、浊积扇砂体, 在这些砂体之上覆盖了湖扩展域的优质烃源岩, 构成了良好的储盖组合。坡折之下层序的高位域发育了扇三角洲前缘相带的水下分流河道砂体和前缘河口坝砂体与 4 级湖泛面上发育的湖相泥岩互层, 它们与湖扩展域优质烃源岩也构成了良好的储盖组合。同时坡折断裂在其活动期可以作为油气垂向运移的输导系统, 在断裂的宁静期就可以作为油气的侧向封堵因素。上述的特征使得主要断裂坡折之下的层序低位域、高位域砂体与湖扩展体系域优质烃源岩的合理配置, 最有利于地层岩性和构造岩性油气藏的发育。

由于超层序 1 处于裂陷 1 幕, 构造活动强但气候干旱其内发育的层序主要由冲积扇、河流和火山碎屑岩构成, 储层物性差。同时湖扩展域发育浅湖或间歇性湖泊无深湖相存在, 不发育优质烃源岩。

超层序 4 发育在裂陷 4 幕, 盆地构造活动减弱, 古地貌变的较为平坦, 由于反转构造的发育可形成缓坡型层序、同沉积挠曲坡折型层和同沉积断裂坡折型序共存的特点。缓坡型层序在辽河西部凹陷主要发育低位域辫状河沉积, 储集体极为发育。挠曲坡折型层序在挠曲坡折之下低位域砂体发育, 湖扩展体系域泥岩可作为盖层有利于岩性圈闭的发育。高位域主要发育大型的辫状河三角洲砂体。这就是说超层序 4 内发育的三级层序存在发育岩性圈闭和构造圈闭的条件。但是由于裂陷 4 幕 (东营组) 泥岩埋藏较浅, 油气主要来源于裂陷 2 3 幕 (沙三 (E_2s^3), 沙四段 (E_2s^4)) 的烃源岩。只有主要坡折断裂可以起到输导深层油气进入构造圈闭和岩性圈闭的作用, 因此主要坡折断裂就成为控制超层序 4 内岩性地层油气藏和大型构造油气藏的主要因素。

上述分析表明只有超层序 2 和超层序 3 内发育的三级层序受盆缘沟谷和坡折断裂控制的层序低位域和高位域砂体与烃源岩的合理配置, 最有利于岩性油气藏富集。

同时根据成岩作用的研究结果, 辽河西部凹陷在纵向上存在两个次生孔隙带深度分别是 2 000 ~ 2 500 m, 3 000 ~ 3 800 m。在这两个次生孔隙带内, 砂岩仍有 10% ~ 25% 的孔隙度¹。

本文认为位于辽河西部凹陷西斜坡锦 1 断层的

¹ 孟元林, 消丽华. 储层质量评价方法研究——优质储层预测方法探讨及其应用. 大庆石油学院秦皇岛分院. 内部资料, 2005

下降盘, 双台子断裂下降盘; 东部陡坡台安—小洼—海外河断裂下降盘是超层序 2 和超层序 3 最有利于岩性油气藏发育的部位 (图 6)。虽然超层序 2 和超层序 3 在上述有利区带埋深较大, 一般均大于 3 200 m, 但是在深度不超过 3 800 m 的深度段有次生孔隙发育, 受益缘沟谷和坡折断裂控制的层序低位域和高位域砂体仍是良好的储层。这些砂体与烃源岩的良好配置带是岩性油气藏富集带。

边界的一部分受断层封堵, 其余部分为上倾尖灭。Sq4 圈闭埋深 2 700~ 3 800 m, 相对较浅, 其产状表现为西北高东南低。砂体厚 20~ 40 m, 在圈闭砂体厚度大、构造位置适中的部位部署了锦 310 井, 在预测的目的层段钻遇了厚油层。证实了锦 1 断裂坡折之下作为西部凹陷有利的岩性油气藏发育区带之一巨大的岩性油气藏勘探前景。

5 结论

通过上述研究本文得出如下结论:

(1) 辽河西部凹陷古近系作为一个超层序组可以划分出 4 个超层序 8 个三级层序。不同级别的层序界面突出了地层中发育的各级不整合面、沉积间断面和低位域砂体, 有利于进行岩性圈闭成藏条件分析。

(2) 断裂坡折层序主要发育在超层序 1、超层序 2 和超层序 3 挠曲层序和缓坡层序主要发育在超层序 4。构造坡折控制砂体 (岩性圈闭) 的发育。

(3) 超层序 2 和超层序 3 由构造坡折控制的层序低位域和高位域砂体与湖扩展体系域优质烃源岩的配置良好, 成藏条件优越, 同时这些岩性圈闭一般处于中深层次生孔隙发育带内, 储层性能良好, 最有利岩性油气藏发育且高产。

(4) 据此在辽河西部凹陷提出了西斜坡锦 1 断层的下降盘, 双台子断裂下降盘; 东部陡坡台安—小洼—海外河断裂下降盘是岩性油气藏发育的有利部位。

参考文献 (References)

- 冯有良, 邱以钢. 高精度层序学在济阳坳陷下第三系隐蔽油气藏勘探中的应用 [J]. 石油学报, 2003, 24(1): 47-52 [Feng Youliang, Qiu Yigang. Application of high resolution sequence stratigraphy on Lower Tertiary subtle reservoirs exploration of Jiyang Subbasin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 24(1): 47-52]
- 周海民, 董月霞, 谢占安. 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 64-120 [Zhou Haimin, Dong Yuexia, Xie Zhuanan. High Resolution Exploration in Rift Subsidence Basin—Practice and Knowledge of High Resolution Exploration, Nanpu Depression, Bohai Gulf Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004 64-120]
- 冯有良. 断陷盆地层序格架中岩性油气藏分布特征 [J]. 石油学报, 2005, 26(4): 17-22 [Feng Youliang. Sandstone and conglomerate lithologic and stratigraphic reservoirs distribution characteristics in sequence framework rift-subsidence basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 26(4): 17-22]

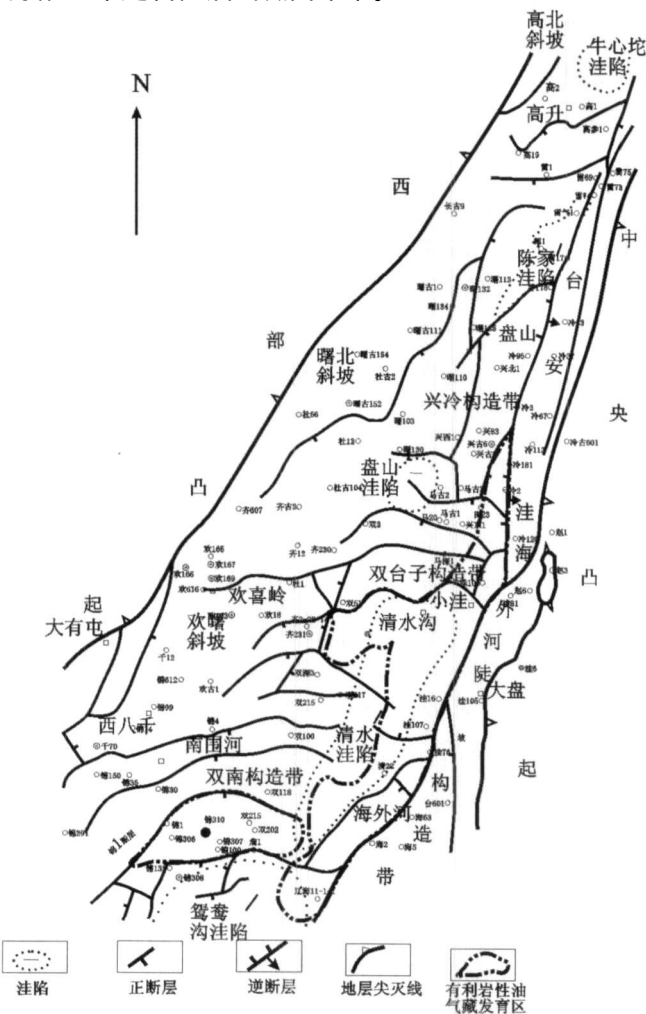


图 6 辽河西部凹陷超层序 2 和超层序 3 岩性油气藏有利发育带预测

Fig 6 Lithologic reservoir physics of super sequence 2 and 3 Liaohewest depression

通过对位于锦 1 同沉积断层坡折之下发育的岩性圈进行识别和描述, 在 Sq1 层序发现了一个岩性圈闭, Sq3 层序发现了两个岩性圈闭, Sq4 层序发现了三个岩性圈闭。其岩性圈闭的特点是 Sq1~ 3 的岩性圈闭在坡折之下地震同相轴为楔型反射, 反映扇三角洲前缘砂体的沉积特点。Sq4 层序的三个圈闭的北部

- 4 冯有良, 李思田. 东营凹陷沙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, Lisitian. Lower stand systems tract sand bodies sedimentary characteristics of third member of Shahejie Formation in Dongying Depression [J]. Geology Review, 2001, 47(3): 278-286]
- 5 林畅松, 郑和荣, 任建业. 渤海湾盆地东营、沾化凹陷早第三纪同沉积断裂作用对沉积充填的控制 [J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33(11): 1025-1036 [Lin Changsong, Zheng Herong, Ren Jianye. Lower Tertiary syndepositional faults control on deposition and fillings in Dongying and Zhuanzhuo Depression, Bohai gulf basin [J]. Science in China (Series D), 2003, 33(11): 1025-1036]
- 6 冯有良, 周海民, 李思田. 陆相断陷盆地层序类型与构造特征 [J]. 地质论评, 2004, 50(1): 43-49 [Feng Youliang, Zhou Haimin, Lisitian. Sequence types and structural characteristics in continental rift-subsidence basin [J]. Geology Review, 2004, 50(1): 43-49]

Eogene Sequence Stratigraphy and Stratigraphic and Lithologic Reservoirs Prediction in Liaohe West Depression

FENG You-liang LU Wei-hua MENG Xing-yong

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083)

Abstract Based on tectonic-sequence analysis method and using 3D seismic data, log curves, and cores, Eogene sequence stratigraphy and stratigraphic and lithologic reservoirs prediction are studied in this paper on Liaohe West Depression. One super sequence set, four super sequences and eight sequences are identified in Liaohe West Depression. Eogene Based on syndepositional structural slope-break types developed in Liaohe West Depression, Eogene sequences can be divided into syndepositional fault slope-break sequence, syndepositional bent slope-break sequence, and gently slope sequence. Syndepositional fault slope-break sequences develop in super sequence one, two, and three. Syndepositional bent slope-break sequences and gently slope sequences develop in super sequence four. Sand bodies in lowstand and highstand systems tract controlled by syndepositional structural slope break, and hydrocarbon source rocks are collocated very well, which is favorable for hydrocarbon accumulation. Meanwhile, the sand bodies in secondary porosity zone have very good porosity and permeability and are favorable for lithologic reservoirs bearing hydrocarbon. Based on the conclusion, the plays of favorable for lithologic reservoirs hydrocarbon bearing are put forward, which are transition zone of hanging wall block of Jin1 fault and Yuanyanggou sag, transition zone of hanging wall block of Shuangtaizi fault and Qingshui sag, and transition zone of hanging wall block of Xiaowahai fault and Qingshui sag.

Key words sequence stratigraphy, syndepositional structural slope-break, stratigraphic and lithologic reservoirs, Eogene, Liaohe West Depression