

天然气地质学

辽河盆地深层油气成藏条件及勘探前景

谷 团

(中国石油辽河油田公司勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010)

摘要: 经历了 40 a 的勘探开发之后, 辽河油田目前面临着资源接替紧张的局面, 因此寻找新的储量增长点是实现可持续发展的关键之一。通过对辽河盆地深层的烃源岩条件、储层条件、盖层条件、圈闭条件以及运聚条件等成藏条件的系统分析, 认为深层的油气成藏条件相当有利。有利的成藏条件、很低的探明程度以及相当丰富的资源量表明深层是辽河油田实现可持续发展最现实的勘探新领域, 而岩性油气藏则是最为有利的勘探目标。

关键词: 深层; 成藏条件; 勘探前景; 岩性油气藏; 辽河盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2008)05-0597-07

0 引言

经过 40 a 的勘探开发, 辽河油田中、浅部层系的勘探程度已经很高, 深度小于 3.5 km 的领域探明程度高达 65%, 可供开发的优质储量越来越少, 资源接替十分困难^[1], 因此, 开辟新的勘探领域对辽河油田实现可持续发展具有重要意义。国内外的勘探实践表明^[2-3], 很多接近枯竭的老油区通过深层勘探打开了新局面。

国外比较流行的观点是把埋深超过 4 000 m 称为深层^[4], 但对于我国陆相含油气盆地来说, 由于各盆地的地温梯度相差较大, 加之勘探程度不同, 很难用统一的深度标准一刀切。因此, 参照已勘探开发的主力含油气层系来确定深层的范畴更有现实意义^[5], 即把目前主力勘探开发层系以下的深度范围定义为深层。

辽河油田目前所探明的油气储量主要集中于深度浅于 3.5 km 的东营组、沙河街组及前古近系潜山, 深于 3.5 km 所探明的储量仅占 1.3%^①。因此, 本文采用 3.5 km 作为辽河盆地深层的界限(主要相当于沙三段和沙四段及其下伏基底)。通过对深层油气成藏条件和资源潜力的系统分析, 作者认为深层具备有

利的成藏条件, 具有很好的勘探前景, 为目前勘探方向的定位提供了新思路。

1 深层油气成藏条件分析

1.1 深层发育优质烃源岩, 为油气成藏奠定了雄厚的物质基础

深层的烃源岩主要指沙三段和沙四段的暗色泥岩, 辽河盆地深层区内发育多个生烃洼陷^{[6]②}, 烃源岩在平面上分布广泛, 纵向上沉积厚度大, 形成于盆地深裂陷时期, 而当时适宜的水体条件、温暖潮湿的气候条件和以还原为主的埋藏条件^[7], 决定了深层烃源岩有机质丰度高、母质类型较好(表 1)。古近纪强烈的岩浆活动形成了有利的地热场条件^[8], 为烃源岩热演化提供了优越的地热条件, 各层系烃源岩均达到了成熟—高成熟阶段, 为深层油气藏的形成奠定了雄厚的物质基础(图 1)。西部凹陷油气资源量丰度平均为 82.03×10^4 t/km², 凹陷区最高可达 220×10^4 t/km²; 大民屯凹陷资源量丰度平均为 75.15×10^4 t/km², 凹陷区最高可达 160×10^4 t/km²; 东部凹陷资源量丰度平均为 22.35×10^4 t/km², 凹陷区最高可达 61×10^4 t/km², 表明深层具有丰富的油气资源。

收稿日期: 2008-05-25; 修回日期: 2008-09-05

基金项目: 中国石油重大科技攻关项目(编号: 040103-01)资助。

作者 E-mail: gutuan@petrochina.com.cn.

①谢文彦, 张占文, 肖乾华, 等. 辽河油田油气勘探战略研究. 辽河油田勘探开发研究院优秀论文, 2002: 11.

②孙镇城, 申绍文, 刘香婷, 等. 辽河断陷第三系. 盘锦: 中国石化辽河油田公司勘探开发研究院, 1971.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

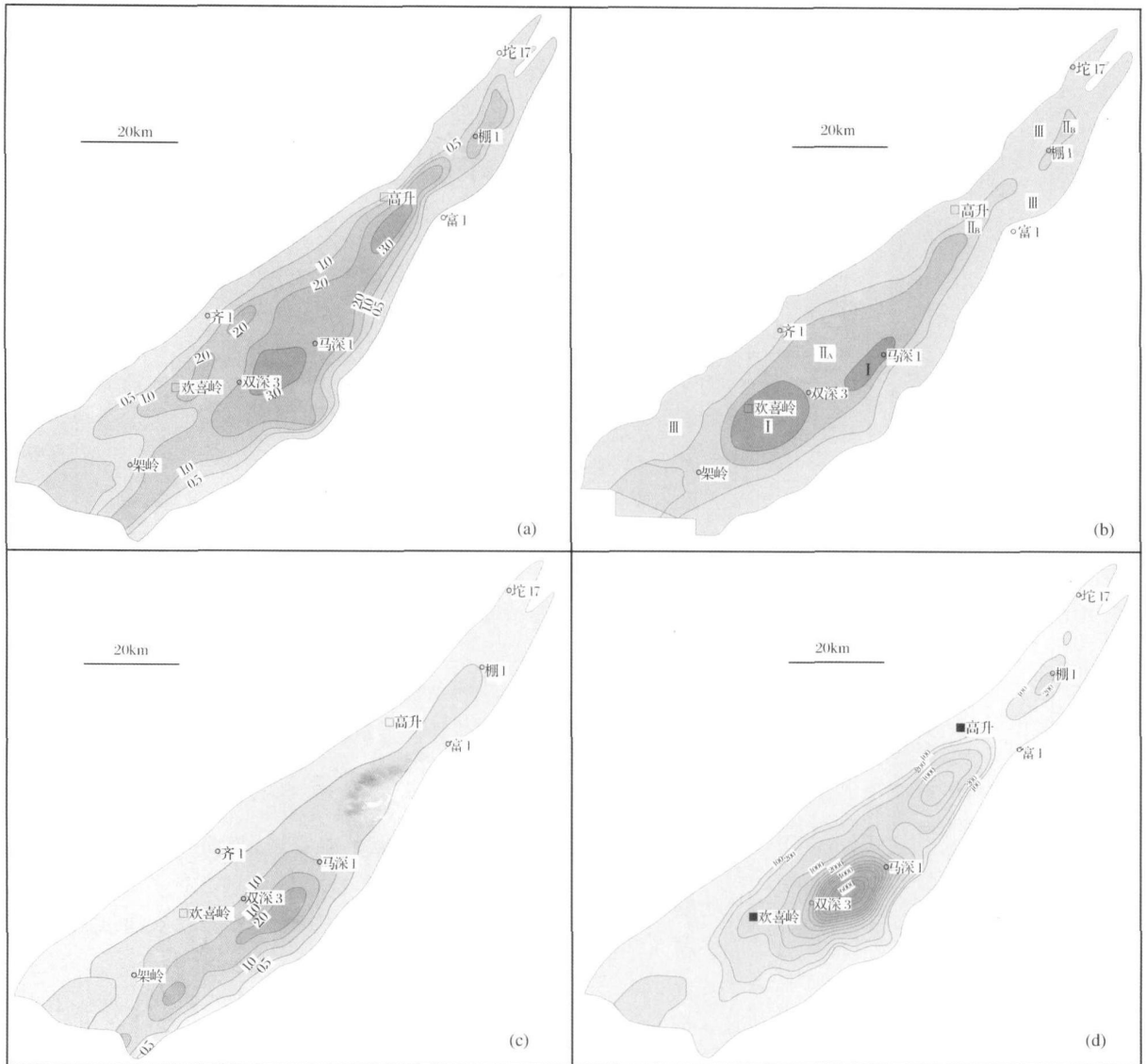


图1 辽河盆地西部凹陷沙三段烃源岩参数特征

(a) 有机碳含量(%); (b) 干酪根类型; (c) 有机质成熟度(%); (d) 生烃强度($\times 10^4$ t/km²)

表1 辽河盆地深层烃源岩地球化学综合特征数据

凹陷	层位	TOC (%)	"A" (%)	HC ($\times 10^{-6}$)	S ₁ +S ₂ (mg/g)	S ²⁻ (%)	H/C	O/C	厚度 (m)	有效勘探面积 (km ²)	主要类型	综合评价
西部	Es ₃	1.56	0.176	1 176.9	3.59	0.68	0.84	0.08	400~1 500	1 700	II _A	最好烃源岩
	Es ₄	1.19	0.078	482.9	1.24	0.49	0.87	0.11	200~400	1 100	II _B	中一好烃源岩
东部	Es ₃	1.91	0.12	697.6	2.74	0.29	0.86	0.10	500~1 100	1 212	II _B —III	中一好烃源岩

注: 大民屯凹陷未取到3 500 m以下的烃源岩样品, 表中仅列出了西部凹陷和东部凹陷数据; 数据来源于辽河油区三次评价报告(2002)

1.2 深层发育多种类型的储集体, 且具有良好的储集能力

辽河盆地深层发育了不同时代、不同成因、不同岩性的多套储集体, 均具有良好的储集空间。包括太古界变质岩潜山, 中上元古界碳酸盐岩及石英岩潜山, 古生界碳酸盐岩潜山、火山岩和砂砾岩, 新生界沙四段扇三角洲砂体和沙三段深水浊积扇砂体等。

辽河盆地各时代潜山顶面均为较大型的区域不整合面, 形成了一定规模的风化壳, 发育了规模不等的构造缝、溶蚀孔洞、裂缝等良好的储集空间。同时, 岩性多样化、岩浆岩脉的侵入、断裂切割等原因往往会造就潜山内部具有很好的储集能力, 从而具备形成潜山内幕油气藏的条件。因而, 各时代不同类型的潜山储层均具有一定的储集油气的能力。

盆地深陷期形成的古近系沙河街组四段和三段的深湖湖底扇体和扇三角洲砂体, 在盆地深陷地带广泛分布, 且单个砂体厚度大, 平面分布范围广, 向洼陷区延伸远, 不同期、不同类型的碎屑岩沉积体系横向上叠合连片, 纵向上相互叠置, 形成多层系、大面积分

布的碎屑岩储集体。这些储集体呈“透镜状”或“楔状”斜插入泥岩发育的湖区范围形成许多岩性圈闭(图2), 与烃源岩大面积接触(表2), 利于油气向其中运移, 为油气的聚集提供了良好的储集场所, 具有较大的成藏几率, 是形成岩性油气藏的有利条件。

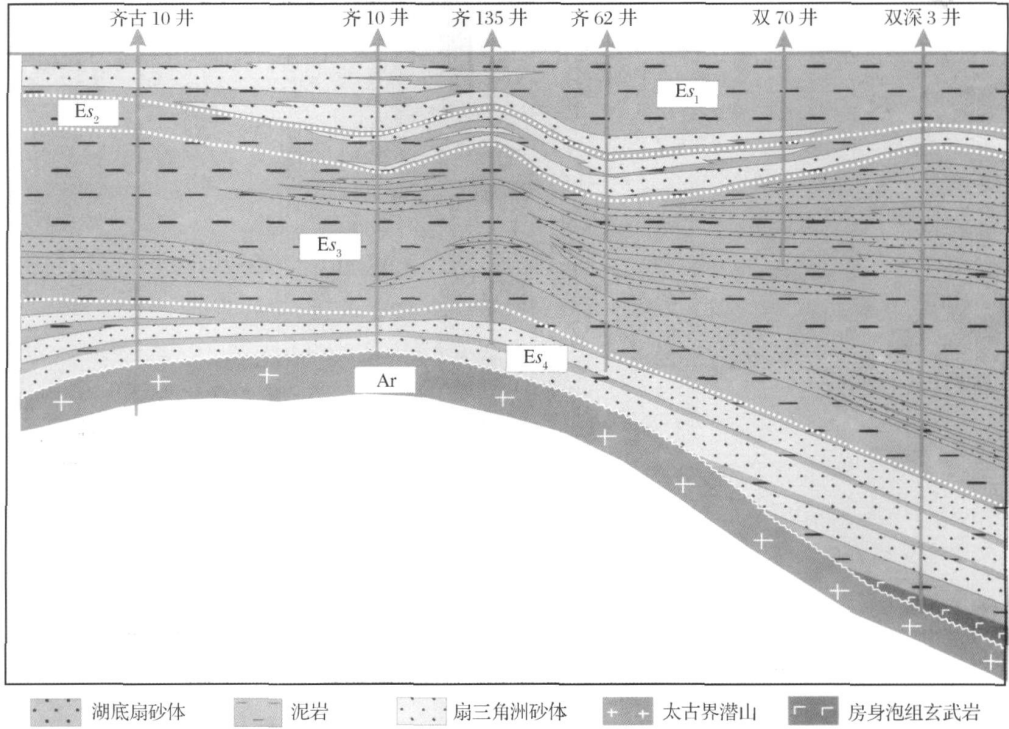


图2 辽河盆地深层‘源内’沉积体系分布模式

表2 西部凹陷主要扇三角洲沉积体系规模参数(据文献[9], 增改)

沉积体系	层位	砂体面积(km ²)	与烃源岩接触面积(km ²)	与烃源岩接触砂体面积所占比例(%)
曙光	Es ₁₋₂	132	98	74.2
齐家	Es ₁₋₂	316	306	96.8
	Es ₃	345	280	81.2
西八千	Es ₁₋₂	405	357	88.1
	Es ₂	350	300	85.7
兴冷	Es ₁₋₂	303	293	96.7
	Es ₃	225	215	95.6

更有意义的是, 由于欠压实、粘土矿物转化、溶蚀作用等因素的影响, 在深层发育有原生孔隙高值区和异常孔隙发育带(图3), 如双深3井在4 200 m以深存在次生孔隙发育带, 最大孔隙度达到了12.1%, 因此, 深层砂砾岩体也具有较好的储集物性和一定的含油气能力(表3)。

1.3 深层主力储集层之上发育多套优质盖层

由前面讨论可知, 深层的主力储集体主要是前古近系潜山, 古近系沙四段、沙三段湖底扇砂体和扇三角洲砂体。在各主力储集层之上均不同程度地发育

了优质的泥岩盖层, 对油气具很好的封盖能力, 为深层油气成藏提供了很好的盖层条件。例如, 西部凹陷沙四段发育了一套滨浅湖相泥岩, 分布广泛, 累积厚度最大可达350 m(图4), 该套泥岩上部还发育了一套深湖相纯质泥岩, 即杜家台油层油页岩段, 连续厚度30~80 m, 是下伏砂岩油藏的直接盖层, 也是古潜山油藏的区域性盖层, 杜家台油层各油藏及曙光、兴隆台、齐家、欢喜岭地区各时代的古潜山油藏均在该组油页岩封盖之下。比较而言, 沙三段泥岩为品质最好的区域性盖层(表3)。

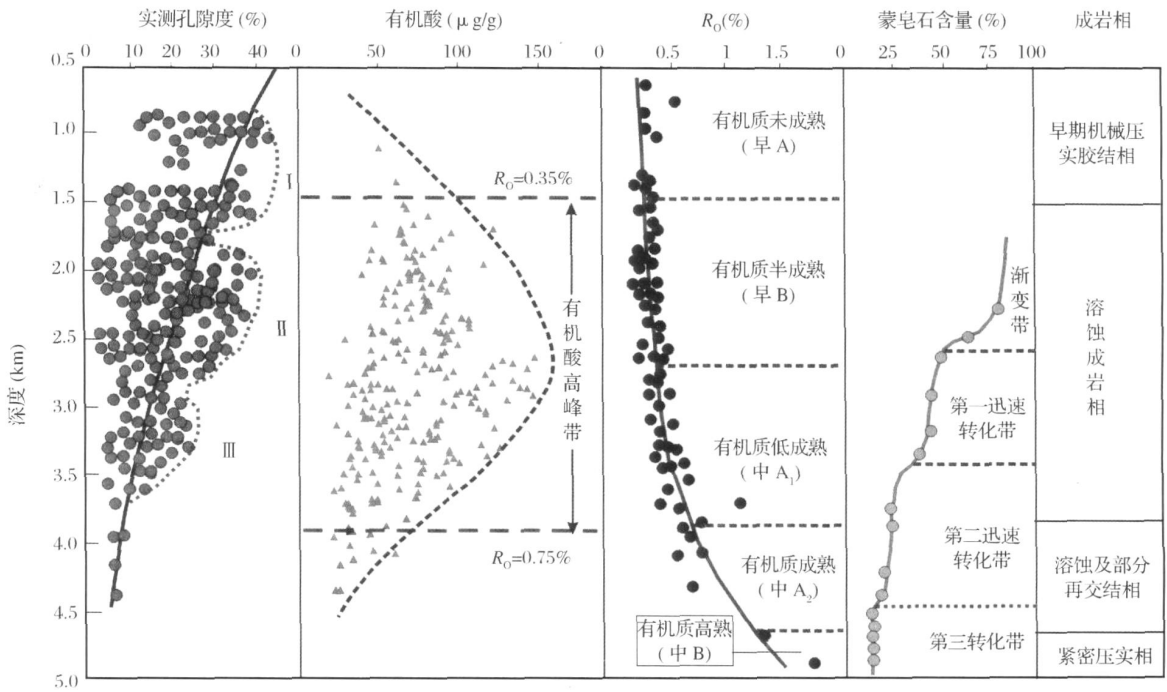


图3 清水洼陷异常高孔带纵向分布特征及其形成因素^[10]

I 第一高孔带; II 第二高孔带; III 第三高孔带

表3 辽河盆地深层砂岩储集体的含油气性

井号	层位	顶深 (m)	物性		相带	含油气性
			Φ (%)	$K (\times 10^{-3} \mu\text{m}^2)$		
双110 1	E _{s2}	3 714	13.9	10.4	扇三角洲前缘亚相水下分流河道微相	油 23.7 t/d, 气 8 936 m ³ /d
詹1	E _{s2}	3 619	9.1	17.5	扇三角洲前缘亚相水下分流河道微相	油 54.5 t/d, 气 17 906 m ³ /d
双202	E _{s3}	3 657	7.1	5.5	深水浊积扇中扇亚相辫状沟道微相	气 15 759 m ³ /d
双208	E _{s3}	3 457	14.9	12	扇三角洲前缘亚相水下分流河道微相	油 155.9 t/d, 气 41 043 m ³ /d

1.4 深层具有多种类型的有效圈闭

辽河盆地是在前古近系古隆起背景上发育起来的断陷盆地, 深层各类有效圈闭的形成都与基底密切相关。古近系的基底起伏不平, 形成了凹凸相间, 东西分带、南北分段的复杂地质结构。前古近系基底起伏不平的古地貌特点, 为前古近系古潜山的圈闭和古近系沙河街组披覆构造圈闭、岩性圈闭的形成奠定了基础。构造发育史分析表明, 辽河盆地在其发育过程中, 主要发生了3期性质不同的构造活动, 对新生代构造—沉积演化及圈闭形成具有决定性作用, 造成了构造发育和圈闭形成具有明显的层次性, 即可以划分为前期构造(前古近系)、早期构造(沙四段和沙三段)、晚期构造(沙二段至东营组), 前期构造和早期构造与同时期储集体相配置, 在深层形成了丰富的圈闭类型: 前古近系潜山圈闭、披覆构造圈闭、构造—岩性圈闭及岩性圈闭, 可有效捕集各时期运移来的油气。

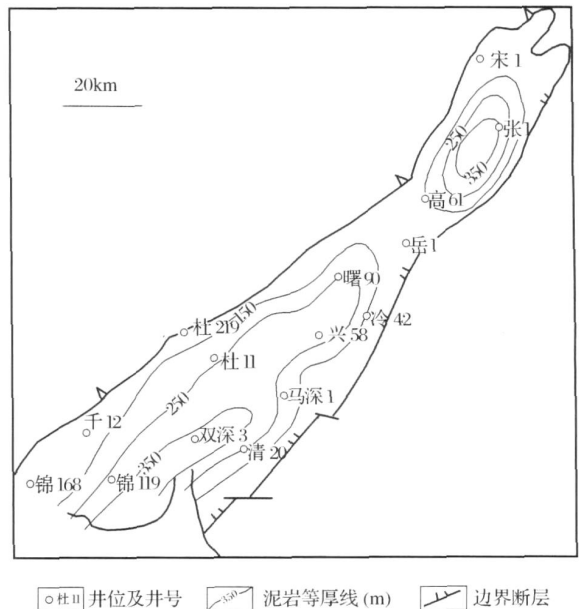


图4 辽河盆地西部凹陷沙四段泥岩盖层分布^[6]

表 4 西部凹陷沙河街组不同泥岩封盖体系特征对比

层位	沉积相	分布	成分	厚度(m)	盖层类型
E _{s4}	扇三角洲沉积	局限	较纯	350	局部盖层
E _{s3}	半深—深湖相	广且稳定	最纯	500~ 1 000	最优区域盖层
E _{s1}	扇三角洲沉积	较发育	较纯	300~ 500	区域盖层

沉积埋藏史和热演化史研究表明^①, 东营期是深层烃源岩的主力生油时期, 而最早的油气充注时间始于沙一段沉积时期, 油气的大量充注时期为东营期。因此, 东营期为深层油气成藏的关键时期, 东营期以前形成的圈闭均为有效圈闭, 均具有捕集油气的能力, 成藏的几率是很高的。

1.5 多种类型的生储盖配置有利于深层油气的富集与成藏

辽河盆地沉积演化的多旋回性导致了多层次的生油层、储油层的广泛分布(图5), 而生油层经成岩作用、排烃后, 本身即是良好的盖层。根据盆地各含油层生储盖组合的配置方式, 深层可形成新生古储、上生下储、自生自储、下生上储、侧生侧储5种类型的配置模式。

(1) 新生古储组合: 这类组合是以古近系为生油层, 前古近系为储集层。古近系生油层超覆于前古近系之上, 前古近纪各时代的侵蚀潜山都可以成为储层, 古近系烃源岩生成的油气通过不整合面、断面运移到古潜山中, 形成古潜山油气藏。

(2) 上生下储组合: 生油层和盖层同属一层, 而储集层位于其下, 油气向上运移。这种类型主要出现在湖侵体系域中, 该类组合烃源岩主要为湖侵体系域顶部和高位体系域底部的生油层, 储集层为低位体系域中的扇三角洲前缘水下分流河道和河口坝砂体。油气通过疏导体系向下运移进入储层。

(3) 自生自储组合: 主要出现在水进体系域和高位体系域。储集层与烃源岩直接接触, 烃源岩中的油气直接进入储集层中, 油气运移距离短, 以侧向运移为主, 烃源岩同时是盖层。一般储集层为扇三角洲前缘水下分流河道和河口坝砂体。烃源岩为水进期形成的深湖—半深湖相的暗色泥岩。沙三段、沙一段生油层上下及两侧都有各种储集砂体, 如扇三角洲砂体、浊积扇砂体等。这套组合对油气的捕获和保存十分有利, 是研究区油气聚集的主要形式。

(4) 下生上储组合: 生油层位于组合下部, 储集层位于中部, 盖层位于上部。这种类型主要出现在高位体系域中。该组合烃源岩主要为下部湖侵体系域的生油层, 储集层为高位体系域的扇三角洲前缘分流河

道和河口坝、远砂坝等砂体, 油气通过疏导体系或不整合面、断层面向上运移至储集层中。

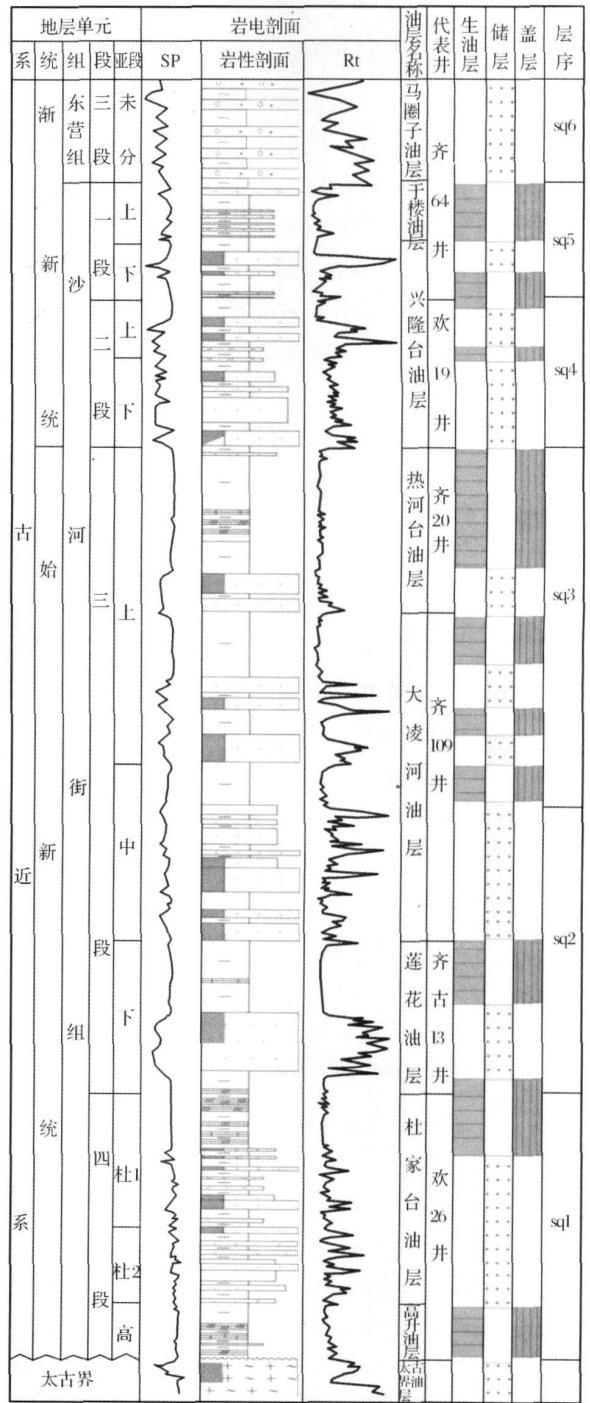


图 5 复式生储盖组合及多套油层叠置特征

(5) 侧生侧储组合: 可出现在各体系域中。该类组合主要分布在斜坡带, 由于岩性、岩相在空间上的变化而导致生储盖层在横向上发生变化而形成。一般烃源岩为深湖—半深湖相的暗色泥岩, 储层为三角

① 陈义贤, 等. 辽河盆地深层烃源岩评价及油气资源潜力. 辽河油田勘探开发研究院, 2003.

洲前缘砂体。三角洲前缘砂体呈指状伸入湖相泥岩中,油气能够优先充注,并沿斜坡发生侧向运移,形成油气藏。

总之,一个完整的三级层序单元形成一套区域性的生储盖组合,生油层通常发育在湖侵体系域的深湖一半深湖环境中,一般由暗色泥岩、油页岩组成。通常向盆地边缘方向逐渐减薄,干酪根类型逐渐变差,而向湖盆方向增厚,干酪根类型逐渐变好。并且这些泥岩具有一定的封堵能力,常形成区域性盖层。有利储集层主要发育在低位体系域、湖侵体系域底部和高位体系域顶部。一般而言,低位体系域常形成新生古储组合,湖侵体系域和高位体系域底部常形成自生自储型组合,高位体系域顶部常形成下生上储型组合,同时各个体系域均可形成侧生侧储型组合。因此,深层生储盖组合类型多样,且都可以形成有效的生储盖组合,是油气成藏的有力条件。

2 辽河盆地深层勘探的有利目标

2.1 深层资源潜力

辽河盆地已探明油气储量在不同深度段的分布极不均衡,探明储量集中分布于2 500 m 以上的中浅层,占总探明储量的80%以上,2 500~3 500 m 深度段探明储量近20%,而3 500 m 以下的深层探明储量最低,仅占总探明储量的13%。在平面上反映出生油洼陷区探明储量分布几乎是空白,纵向上探明储量主要分布于沙二段及其以上层位。资源评价表明,辽河盆地深层最终可探明的储量十分可观(表5),辽河盆地深层具有较好的勘探潜力。

表5 辽河盆地深层待探明储量分布

评价单元	西部凹陷	东部凹陷	西部滩海	东部滩海	大民屯凹陷
石油 ($\times 10^8$ t)	4.7	1.2	1.2	2.3	0.64
天然气 ($\times 10^{11}$ m ³)	1.9	0.4	0.4	0.9	0.05

2.2 岩性油气藏是深层最有利的勘探目标

随着勘探技术的进步,尤其是大量的岩性油气藏被不断发现,发现相当数量的岩性油气藏产于生烃洼陷的低部位(甚至是向斜的中心部位),且储量规模相当可观^[11-12]。“三次资评”表明,岩性油气藏勘探潜力巨大,已成为我国陆上油气勘探的重点领域和储量增长的主要来源,在今后相当长的一个时期内,是陆上最现实、最有潜力的油气勘探领域^[13]。

辽河裂谷盆地的演化过程为岩性油气藏的形成提供了得天独厚的条件。构造活动的旋回性导致不同时期的沉积环境具有较大的差异性,从始新世早期到渐新世末期,处于裂陷阶段,先后经历了初陷、深陷、扩展和衰减4个发育期,从而在垂向上形成了从水进序列开始到水退序列结束的3个构造—沉积旋回。裂谷演化的旋回性导致了沉积环境的多次变迁,因而形成了沙四期以冲积扇—扇三角洲为代表、沙三期以湖底扇为代表、沙二—沙一期以典型扇三角洲为代表、东营期以泛滥平原为代表的、各具特色的沉积体系。辽河盆地小凹陷、分割性强、多物源、短轴物源、快速沉积的特点造就了多类型的沉积体系。在各类沉积体系发育过程中,不仅缺乏广阔的空间也缺乏充分的分异时间(尤其是陡坡带),以致有成因联系的冲积扇、扇三角洲、水下扇在横向上压缩很紧,甚至连为一体,深入生烃凹陷中央,形成砂岩透镜体,夹于烃源岩中(图6)。这些砂体与烃源岩接触,上下往往被烃源岩包围,构成了良好的生、储、盖组合,又处于非常有利的油气运移部位,同浅层相比具有近水楼台的优势,所以成藏机会更高,可形成多种类型的油气藏(表6)。需要指出的是,由于深层油气藏的复杂性,采用的研究手段有别于构造油气藏^[14],应用层序地层学和储层反演预测技术可以在层序格架内刻画出生烃油气藏成藏的控制因素,从而可靠地指导深层油气藏勘探。

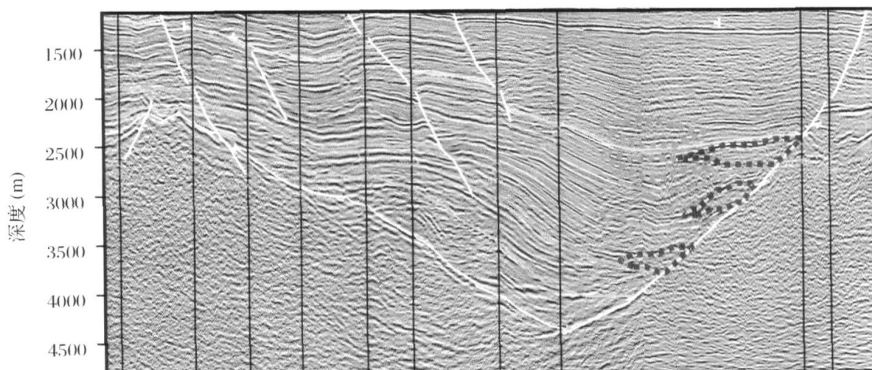


图6 生烃洼陷内多种类型有利砂体(轴向扇体和近岸水下扇体)

表6 辽河盆地深层有利勘探目标特征

目标区	主力烃源岩层位	生储盖组合方式	有利储集体	主要油气藏类型
清水洼陷	E _{s3} 、E _{s4}	自生自储	扇三角洲前缘砂体、湖底扇砂体、潜山	岩性油气藏、潜山油气藏
陈家洼陷	E _{s3}	自生自储、新生老储、老生新储	滑塌油积扇砂体、潜山	岩性油气藏、潜山油气藏
驾掌寺洼陷	E _{s3}	老生新储	扇三角洲前缘砂体、古近系火山岩	构造—岩性油气藏、火山岩油气藏
牛心坨洼陷	E _{s4}	老生新储、新生老储	扇三角洲前缘砂体、中生界火山岩	岩性油气藏、火山岩油气藏
荣胜堡洼陷	E _{s3} 、E _{s4}	自生自储、新生老储、老生新储	扇三角洲砂体、潜山	构造—岩性油气藏、潜山油气藏
长滩洼陷	E _{s3}	自生自储、新生老储、老生新储	扇三角洲砂体、冲积扇砂体、潜山	构造、岩性、潜山油气藏

3 结论

(1) 辽河盆地深层的油气成藏条件相当有利, 在目前油田勘探开发形势下, 深层是最具现实意义的勘探领域, 也是保持油田可持续发展必然选择。

(2) 辽河盆地深层资源量相当丰富, 但是探明程度低, 这样勘探前景势必就好, 而岩性油气藏是深层勘探最有利的和最可能取得突破的首选目标。

(3) 虽然深层取得突破的空间较大, 但是深层勘探开发对象的复杂性及勘探的高投入、高风险又决定了深层油气勘探充满了挑战。

参考文献:

- [1] 王春鹏, 马玉龙, 时庚戌. 辽河油区油田开发实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 94.
- [2] 谯汉生, 方朝亮, 牛嘉玉, 等. 渤海湾盆地深层石油地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: F10.
- [3] 妥进才, 王先彬. 深层油气勘探现状与研究进展[J]. 天然气地球科学, 1999, 10(6): F8.
- [4] 史斗, 刘文汇, 郑军卫. 深层气理论分析和深层气潜势研究

[J]. 地球科学进展, 2003, 18(2): 236-244.

- [5] 牛嘉玉, 王玉满, 谯汉生. 中国东部老油区深层油气勘探潜力分析[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(1): 34-41.
- [6] 张占文, 陈振岩, 郭克园, 等. 辽河盆地天然气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [7] 辽河油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷三): 辽河油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [8] 廖兴明, 姚继峰, 于天欣, 等. 辽河盆地构造演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 116-120.
- [9] 赵文智, 邹才能, 汪泽成, 等. 富油气凹陷“满凹含油”论——内涵与意义[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 5-9.
- [10] 谷团. 辽河盆地清水洼陷新生界深层异常高孔带特征与有利储集相预测研究[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(3): 327-332.
- [11] 信广林, 张日华, 刘希林. 济阳拗陷负向构造油气藏形成条件和分布规律[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(1): 8-13.
- [12] 杨占龙, 陈启林. 岩性圈闭与陆相盆地岩性油气藏勘探[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 616-621.
- [13] 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, 31(3): 3-9.
- [14] 谷团. 辽河盆地西部凹陷南段沙河街组层序地层格架与岩性油气藏预测研究[D]. 中国石油大学(北京), 2007.

Hydrocarbon Accumulation Conditions in Deep Horizon and Its Exploration Prospect, Liaohe Basin

GU Tuan

(Research Institute of Exploration & Development, PetroChina Liaohe Oilfield Company, Panjin 124010, China)

Abstract: After 40 years development, Liaohe Oilfield's resources situation has become more and more serious. This paper studies the hydrocarbon generation conditions in the deep zone, including the conditions of source rock, the reservoir, the capping rock, the trap and the collocation of hydrocarbon transportation and accumulation. Favorable hydrocarbon accumulation conditions, low exploration level and abundant resources together demonstrate that the deep zone is the most tangible prospecting area for Liaohe Oilfield to realize sustainable development in the present adverse situation. The stratigraphic and lithologic reservoirs in the hydrocarbon generation depression are the most favorable exploration objects.

Key words: Deep horizon; Hydrocarbon accumulation conditions; Exploration prospect; Lithologic reservoir; Liaohe Basin.