

辽河拗陷石油地质条件、资源潜力及勘探方向

胡英杰, 王廷山, 黄双泉, 王群一, 刘海艳

中国石油辽河油田公司勘探开发研究院

摘要 近年来辽河拗陷潜山及非常规油气勘探不断取得突破, 以往的资源评价成果已不足以支撑油气勘探部署。从基本石油地质条件入手, 剖析了潜山、火山岩领域常规油及页岩油、致密油成藏地质条件与主控因素, 建立了源储侧向对接型成藏、源外断层—不整合输导型成藏、源内或近源聚集成藏及源储一体页岩油成藏等模式。采用以类比法为主导, 以成因法、统计法为补充的综合评价方法, 预测辽河拗陷常规石油资源量为 $40.96 \times 10^8 \text{t}$, 其中, 碎屑岩领域资源量为 $27.39 \times 10^8 \text{t}$, 潜山领域资源量为 $11.42 \times 10^8 \text{t}$, 火成岩领域资源量为 $2.15 \times 10^8 \text{t}$ 。采用小面元容积法, 预测页岩油资源量为 $3.56 \times 10^8 \text{t}$, 致密油资源量为 $1.92 \times 10^8 \text{t}$ 。根据剩余石油资源分布和油藏形成条件, 优选出有利勘探区带: 兴隆台构造带、曙北—高升构造带、荣胜堡构造带和静安堡构造带是潜山油藏勘探有利区带; 欢曙斜坡带、牛居—青龙台构造带、静西陡坡带和冷东—雷家构造带是碎屑岩油藏勘探主攻区带; 小洼—月海构造带、大平房—葵花岛构造带、榆树台—盖州滩构造带是潜山和碎屑岩油藏兼探区带; 黄干热—黄沙坨构造带是火山岩油藏勘探有利区带; 西部凹陷雷家地区页岩油和大民屯凹陷西陡坡砂砾岩体分别是页岩油和致密油勘探有利目标。

关键词 潜山; 火山岩; 页岩油; 致密油; 石油资源; 勘探方向; 辽河拗陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE155

文献标识码: A

0 前言

辽河拗陷位于渤海湾盆地东北隅, 油气资源丰富。随着勘探程度不断提高, 第三次资评成果与目前的勘探成果、地质认识之间的矛盾日益突出, 主要表现在: ①大民屯凹陷沈307井、沈317井, 东部凹陷大46井、葵东2井在古近系沙河街组三段(以下简称沙三段)、四段揭示了厚层烃源岩; ②大民屯凹陷第三次资评的地质资源量为 $4.34 \times 10^8 \text{t}$, 但目前其三级储量已达 $4.50 \times 10^8 \text{t}$, 已超出地质资源量; ③潜山勘探领域由风化壳向潜山内幕拓展, 大民屯潜山勘探由高潜山向中低潜山、低潜山、负向构造乃至基岩延伸, 甚至过去一度认为是勘探禁区的中央凸起, 也在其南部有了重大发现, 这些领域目前已累计探明 $4.17 \times 10^8 \text{t}$ 原油, 超过了第三次资评 $4.1 \times 10^8 \text{t}$ 的资源量; ④西部凹陷雷家地区沙四段页岩油勘探取得重大进展, 大民屯凹陷西陡坡砂砾岩致密油勘探出现了好

的形势, 这展示了非常规石油良好的勘探前景。

为进一步认识辽河拗陷常规与非常规石油资源规模, 明确“十三五”乃至“十四五”的勘探方向, 在系统研究辽河拗陷基本石油地质条件的基础上, 突出烃源岩和储层非均质性研究, 深化了潜山、火成岩领域常规油和页岩油、致密油成藏主控因素研究, 建立了常规油与页岩油成藏模式; 应用成因法、类比法和统计法等3类方法对辽河拗陷石油资源进行了系统的综合评价, 重点突出了潜山、火成岩领域常规油及页岩油、致密油资源评价; 最后明确了辽河拗陷剩余石油资源潜力, 指出了各领域下一步勘探方向。

1 地质概况

辽河拗陷为渤海湾盆地的一部分, 是在华北地台基础上, 基于中生代—新生代区域拉张背景, 在地幔上隆和裂隙作用下形成的多旋回中、新生代大陆裂谷盆地, 其形成和演化与中生代—新生代纵贯中

收稿日期: 2018-12-15; 改回日期: 2019-05-14

本文受中国石油集团重大专项“中国石油第四次油气资源评价”之课题“辽河探区第四次资源评价”(编号: 2013E-0502-0401)和国家科技重大专项课题“渤海湾盆地辽河探区深层油气形成条件与有利区综合评价”(编号: 2017ZX05008006-002-003)联合资助

第一作者: 胡英杰, 高级工程师, 主要从事油气勘探和储量研究。通信地址: 124010 辽宁省盘锦市兴隆台区石油大街95号; E-mail: huyj@petrochina.com.cn

通信作者: 王廷山, 高级工程师, 主要从事地球化学和油气资源评价研究。通信地址: 124010 辽宁省盘锦市兴隆台区石油大街95号; E-mail: wangys6@petrochina.com.cn

国东部的郯庐断裂活动密切相关。受主干断裂控制,辽河拗陷整体呈北东向狭长状展布,具有凹凸相间排列的构造格局。根据基岩起伏、断裂特征以及古近

系发育情况,拗陷可划分为东部凹陷、西部凹陷、大民屯凹陷、东部凸起、中央凸起、西部凸起等6个二级构造单元(图1)。

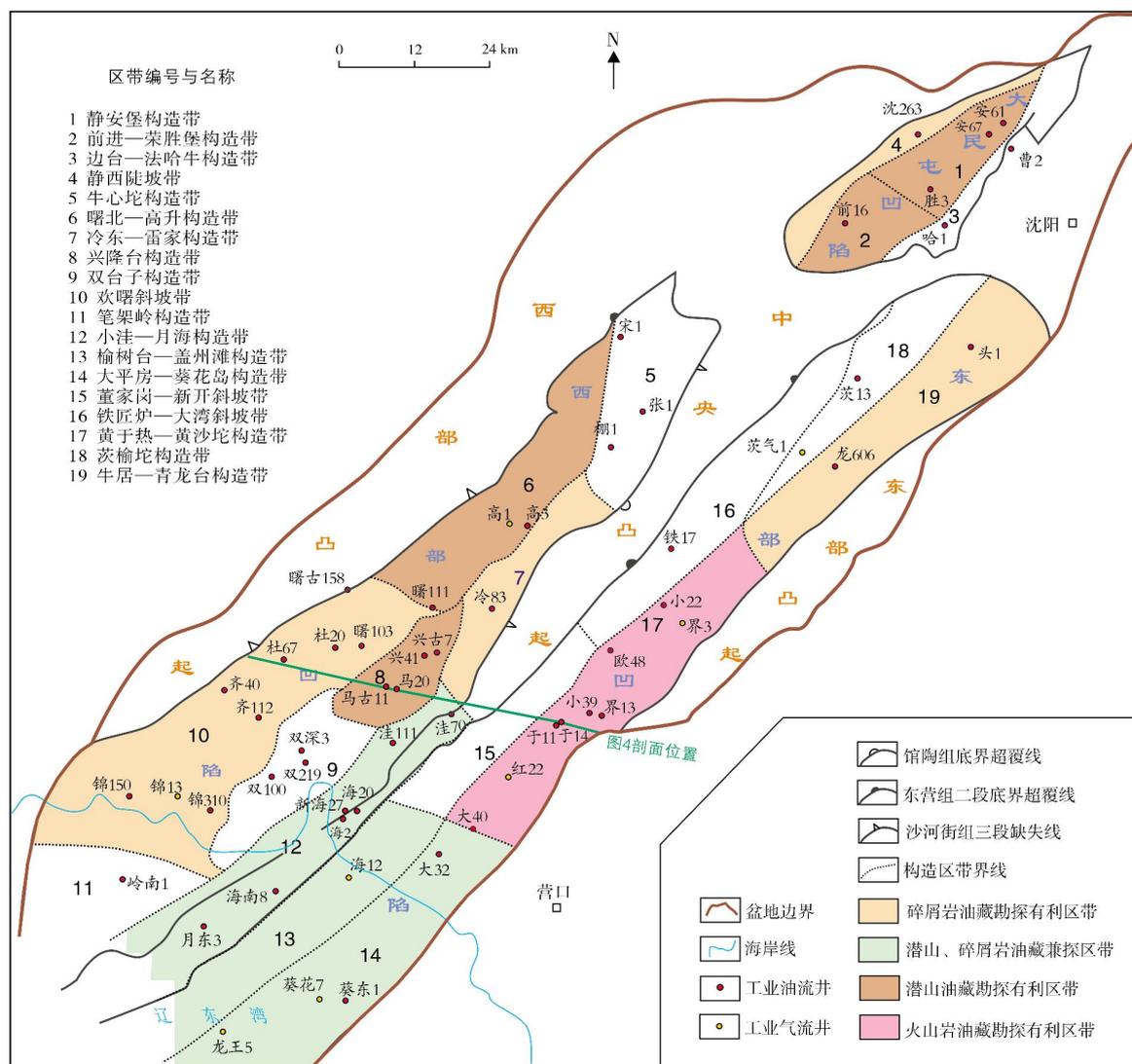


图1 辽河拗陷构造格局与区带划分图

辽河拗陷自下而上发育太古宇、元古宇、古生界、中生界和新生界等地层,形成了多层次的生储盖组合。拗陷迄今已发现18套含油气层系(图2),包括太古宇,元古宇,中生界义县组、沙海组、阜新组、孙家湾组,古近系房身泡组,沙四段牛心坨油层、高升油层、杜家台油层,沙三段莲花油层、大凌河油层、热河台油层,沙一段—沙二段的兴隆台油层、于楼油层、黄金带油层,东营组马圈子油层,以及新近系馆陶组饶阳河油层等。

2 辽河拗陷石油地质条件

辽河拗陷具有优越的石油地质条件,近年来,关于烃源岩和储层方面又有新的认识。

2.1 烃源岩条件

辽河拗陷发育沙河街组四段、三段2套主力烃源岩,其中沙四段优于沙三段。

沙四段烃源岩主要分布在西部凹陷和大民屯凹

陷(图3a),东部凹陷缺失。西部凹陷沙四段分布呈北厚南薄,厚度在350~500m之间。大民屯凹陷呈南厚北薄,厚度在400~500m之间。烃源岩要素(表1)显示,西部凹陷沙四段烃源岩指标优于大民屯凹陷,大民屯凹陷沙四段上亚段烃源岩发育,且下部优于上部。

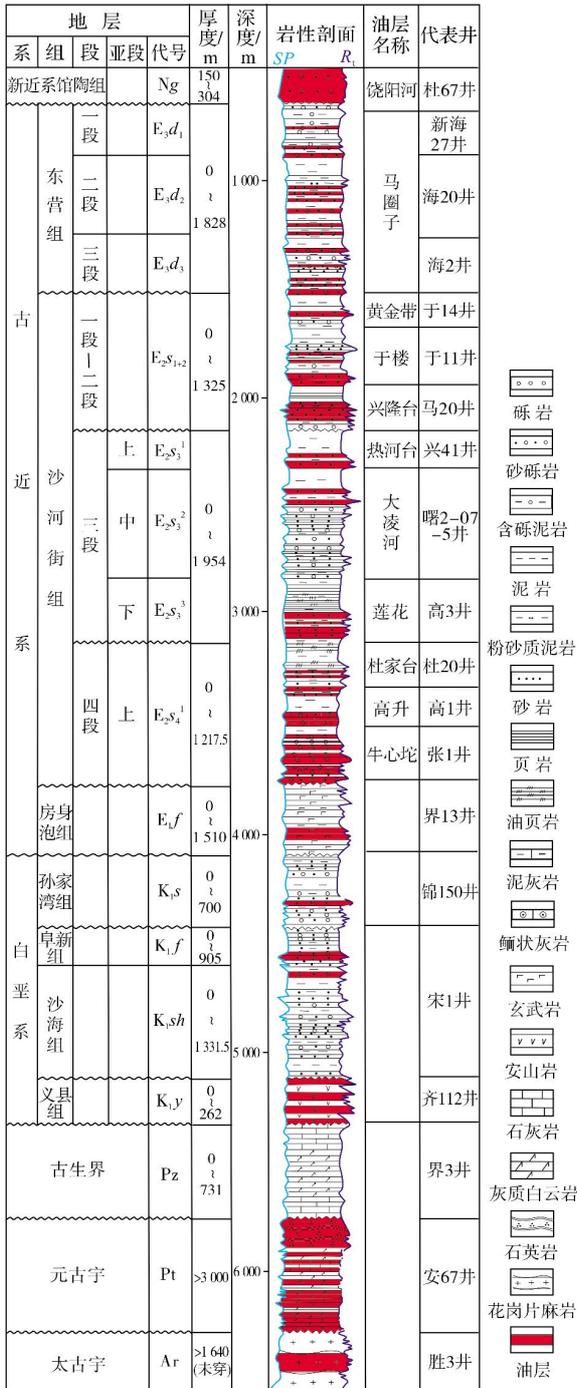


图2 辽河拗陷地层综合柱状图

表1 辽河拗陷主要烃源岩要素表

层位	凹陷	平均 TOC /%	样品数	有机质类型	R _o /%	备注
沙四段	西部凹陷	2.87	350	I—II ₁	0.3~2.5	
	大民屯凹陷	2.10	130	II ₂ —III	0.6~2.0	沙四段上亚段上部
		7.52	34	I—II ₁	0.6~2.0	沙四段上亚段下部
沙三段	东部凹陷	1.42	120	III为主	0.5~2.0	沙三段上亚段
		2.42	69	II ₂ 为主	0.5~3.0	沙三段中、下亚段
	西部凹陷	2.03	570	II ₁ —II ₂	0.5~2.5	
	大民屯凹陷	2.23	257	II ₂ —III	0.5~1.7	沙三段下亚段

沙四段烃源岩具有较强的非均质性。西部凹陷沙四段富有机质烃源岩主要分布在凹陷北段及南段西部斜坡,分布面积达 1 000 km²,累计最大厚度达 320 m,总有机碳含量主体分布在 3%~5%之间;大民屯凹陷沙四段富有机质烃源岩主要分布在静安堡构造带两侧洼槽区,分布面积达 260 km²,累计最大厚度达 240 m,总有机碳含量主体分布在 7%~12%之间。富有机质烃源岩的发育为页岩油和致密油的形成提供了重要的物质基础。

沙三段烃源岩在拗陷内分布最广,覆盖了 3 大凹陷(图3b)。西部凹陷沙三段烃源岩呈南厚北薄,南部厚达 1 200 m;东部凹陷沙三段下亚段为湖相烃源岩,沙三段上亚段为煤系烃源岩,南、北两端的洼陷区烃源岩厚度大,推测最厚可达 1 500 m;大民屯凹陷沙三段烃源岩最厚超过 1 000 m。烃源岩主要指标(表1)表明:西部凹陷沙三段烃源岩优于东部凹陷,东部凹陷又好于大民屯凹陷。

2.2 储集条件

辽河拗陷发育多种类型的储层,按勘探对象可划分为碎屑岩、潜山、火山岩及湖相碳酸盐岩,各类储层特征见表 2。

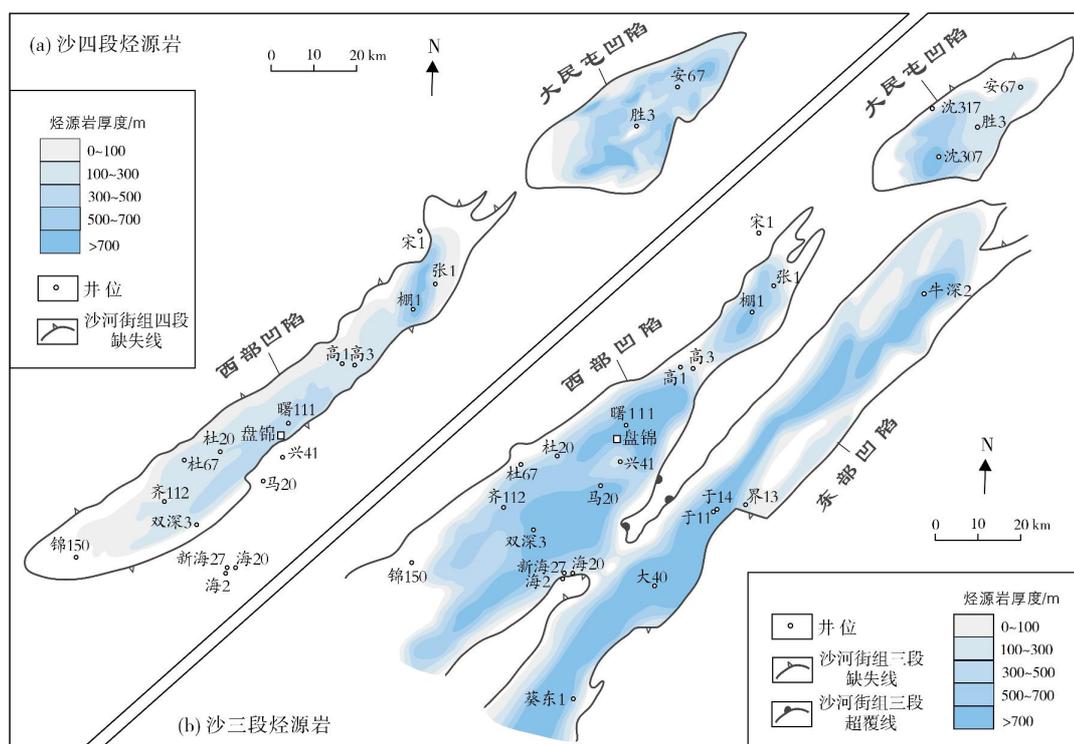


图3 辽河拗陷主力烃源岩厚度分布图

表2 辽河拗陷各类储层特征统计

储层类型	亚相(亚类)	储层厚度/m	孔隙度 /%				渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$			
			最小值	最大值	平均值	样品数	最小值	最大值	平均值	样品数
碎屑岩	扇三角洲前缘(中浅层)	100~300	8.5	38.5	25.0	31 191	11.0	21 300	492.0	23 601
	扇三角洲前缘(深层)	30~150	1.0	16.0	10.7	266	0.02	1 000	40.0	149
潜山	太古宇变质岩	100~1 500	0.6	13.3	5.1	200	0.53	953	1.50	200
	元古宇碳酸盐岩	200~400	0.5	4.0	1.4	39	0.02	250	2.52	30
	元古宇变质岩	2~30	0.8	14.3	5.2	46	1.0	25	7.30	46
火山岩		200~400	0.9	29.2	9.2	613	0.01	56	0.23	592
湖相碳酸盐岩		2~200	0.5	38.9	9.8	356	0.04	62	6.82	103

2.2.1 碎屑岩储层

关于辽河拗陷的碎屑岩储层,前人进行了大量的研究^[1-3]。辽河拗陷碎屑岩储层,主要指新生界碎屑岩,特别是砂岩储层,这是拗陷分布最广泛、最重要的储层。辽河拗陷的演化具有阶段性,在各个沉积时期形成了各具特色的沉积体系,发育了冲积扇相、河流相、扇三角洲相、三角洲相和湖底扇相等多种沉积相类型^[4-5]。这些沉积相带在平面上自湖盆边缘向中心延伸,在垂向上相互叠置,形成多种类型、大面积分布的储集砂体。碎屑岩储层油层组厚度一般在100~300 m之间,最大厚度可达600 m。中浅层储层

物性较好,储集空间以粒间孔、粒内溶孔为主;随着埋深增加,砂岩成岩作用增强,物性变差,储集空间以颗粒裂缝、晶间孔及微孔为主;埋深至4 000 m左右时,孔隙度一般小于10%,空气渗透率一般小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,成为致密储层。

2.2.2 潜山储层

包括太古宇和元古宇潜山储层。太古宇潜山储层主要由花岗片麻岩、角闪花岗岩、混合花岗岩等组成,潜山内幕储集空间以裂缝为主,裂缝发育受构造活动和优势岩性双重因素控制^[6]。总体上,以浅色矿物为主的构造角砾岩、混合花岗岩类、浅粒岩类储层的储

集物性较好,随着暗色矿物含量增高,储集物性变差。

元古宇潜山储层主要由碳酸盐岩、石英岩、变余石英砂岩组成。元古宇碳酸盐岩储层具有双重孔隙介质特征,储层由基质和裂缝2部分构成。常规物性分析表明,元古宇变质岩(石英岩)储层物性好于碳酸盐岩。

2.2.3 火山岩储层

火山岩储层主要集中于中生界和古近系。中生界以安山岩为主,古近系以玄武岩、粗面岩为主,火山岩厚度一般在200~400m之间,最大可达1000m以上。玄武岩分布较广,在西部凹陷和大民屯凹陷玄武岩主要发育在沙四段,东部凹陷各层系都有分布,叠加面积可占凹陷的70%以上;粗面岩主要发育在东部凹陷沙三段。火山岩在外力的作用下可以产生很多裂缝,如见于凝灰岩、粗面岩的裂缝,同时它们还可以具有像砂岩那样的孔隙空间,而且其孔隙度、渗透率受深度的影响小于碎屑岩。这些缝洞乃是油气储存的有利场所^[7],特别是位于断层附近,又邻近或位于烃源岩之中的火山岩,十分有利于油气成藏。凝灰熔岩、角砾熔岩、角砾化粗面岩、粗面岩储层的储集物性相对较好,例如:欧8井2170.9m处的角砾熔岩储层孔隙度可达21.08%,渗透率达 $204 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;欧26井2195.2m处的角砾化粗面岩储层孔隙度为10.63%,渗透率为 $1.67 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2.2.4 湖相碳酸盐岩储层

主要分布在西部凹陷雷家地区沙四段杜家台油层和高升油层。碳酸盐岩厚度一般为10~20m,最大

厚度大于200m。杜家台油层的储层成层性较好,形成横向连续的地层单元,而高升油层的储层受古地貌、沉积环境的影响,分布连续性差。储层岩性主要为石灰岩类和白云岩类。储集空间包括孔、洞、缝3大类型,储层类型以裂缝-孔隙型和孔隙-裂缝型为主,储层非均质性较强。在杜家台油层的白云岩类储层中,含泥晶白云岩储集物性最好,其次为含泥含方沸石泥晶白云岩;在高升油层的白云岩类储层中,泥晶粒屑白云岩储集物性最好,其次为含泥含砂粒屑泥晶白云岩,泥质泥晶白云岩储集物性最差。该类储层总体上为致密储层。

3 常规油与致密油富集规律

辽河拗陷油气成藏层系多,广泛分布的烃源岩、多种类型储集体、多期断裂系统(早期反向断裂、晚期同向断裂)、多套盖层,形成辽河拗陷纵向叠置、横向叠加连片立体成藏的特征。有关常规油气成藏的主控因素较多^[8-9],其中烃源岩条件、断裂、不整合输导条件和圈闭条件在整个拗陷的不同区带都是至关重要的。

3.1 成藏模式

辽河拗陷复杂的构造及沉积演化过程,形成多种圈闭类型,进而形成多种油气藏类型。根据圈闭类型,将辽河拗陷油藏划分构造型、地层型、岩性型和复合型等4种类型。对已发现油藏的解剖表明,这些油藏的油来自沙三段和沙四段烃源岩^[10-13],但不同地区成藏模式差异明显,源储配置关系是成藏的关键因素,并据此提出辽河拗陷存在4类成藏模式(图4,图5)。

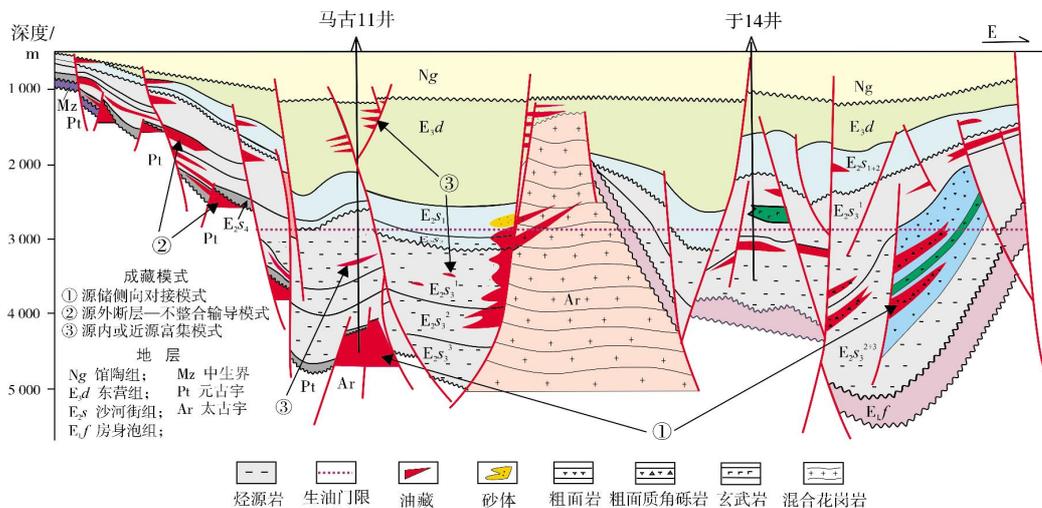


图4 辽河拗陷石油成藏模式图(剖面位置参见图1)

3.1.1 源储侧向对接型成藏模式

辽河拗陷形成源储有效对接的原因有3种:①深大断层持续活动,这也是最常见的类型;②走滑运动使得无效源储关系发生转变而形成有效配置;③新生代地层持续的披覆性沉积作用或基底的隆升作用。前两种常形成单侧对接型,后一种则形成多向对接型。深大断层作用导致的单侧对接型是陡坡带下盘主要的成藏模式;持续活动的深大断层上盘发育的烃源岩巨厚,埋深大,演化程度高;同时断层活动也为下盘的中生界、太古宇储层形成裂缝提供了条件;源储直接对接,油气经断层运移至下盘潜山中形成油藏(图4)。潜山顶部不整合及新生界披覆地层也属于此类,如赵家潜山内幕型油藏主体及上覆沙三段油藏(小洼一月海构造带北端)。走滑运动造成的源储单侧对接,以东部凹陷火山岩油藏为代表:沙三段喷发的火山岩遭受后期右旋走滑断层错断而与沙三段烃源岩形成有效对接,受到断层改造后的火山岩储层捕获油气形成火山岩油气藏(图4),如东部凹陷于70块(黄于热—黄沙坨构造带)。新生代地层持续披覆性沉积作用形成的源储多向对接型油藏,如兴隆台潜山的洼中隆型(兴41井区),大民屯凹陷东胜堡潜山(胜3井区)胜东次洼和胜西次洼双侧供源型等。

3.1.2 源外断层—不整合输导型成藏模式

油藏主要发育在缓坡带,油气主要来源于生油门限深度之下的烃源岩,通过新生界及前新生界之间的不整合面和断层运移到浅层圈闭中。辽河拗陷缓坡带浅层发育2类油藏(图4中的②):太古宇或元古宇顶部不整合面之上,新生界由于正向断层遮挡

而形成断鼻或断阶型油藏,如西部斜坡带杜67块油藏;不整合面之下,基底反向断层遮挡而形成潜山断块型油藏,如曙光高潜山油藏(曙古158井区)等。

3.1.3 源内或近源聚集型成藏模式

此类油藏主要发育在陡坡带砂砾岩、缓坡带砂岩及洼陷带透镜体砂岩发育区,或者中部花状构造带。沙三早中期陡坡带低位域发育扇三角洲沉积,前缘砂体与湖相泥岩直接接触,烃源岩生烃初次运移至砂体中,形成断层封挡型油藏,如清东陡坡带洼111块油藏,大民屯西陡坡沈263块油藏。缓坡带形成断层遮挡或砂体上倾尖灭型油藏,如西部凹陷锦310块油藏、东部凹陷铁匠炉铁17块油藏。洼陷带发育扇三角洲前缘砂、前扇三角洲砂或浊积扇等砂体,分别以薄层砂、断续砂和透镜砂为主。若储集体为透镜砂体,可形成岩性油藏(如马古11沙三段岩性油藏)(图4);若薄层砂、断续砂物性致密,且垂向叠置、横向叠加连片,则形成致密砂岩油藏(如双219井区)。中部花状构造油藏,以东部凹陷大平房构造(大40井区)最为典型,该带主干断裂沟通下部烃源岩,油气沿花状断裂向浅层运移,形成垂向叠置、横向连片分布的油藏。

3.1.4 源储一体页岩油成藏模式

洼陷带或斜坡带发育湖相碳酸盐岩,烃源岩与碳酸盐岩为源储一体或源储呈“三明治”互层发育,埋深在生油窗内则形成页岩油油藏,如西部凹陷雷家地区沙四段页岩油。高有机质丰度的页岩地层整体含油,其中的碳酸盐岩夹层,油气较为富集(图5),如雷97井在3 116.7~3 210.0 m井段压裂后试油获日产油6.99 m³。

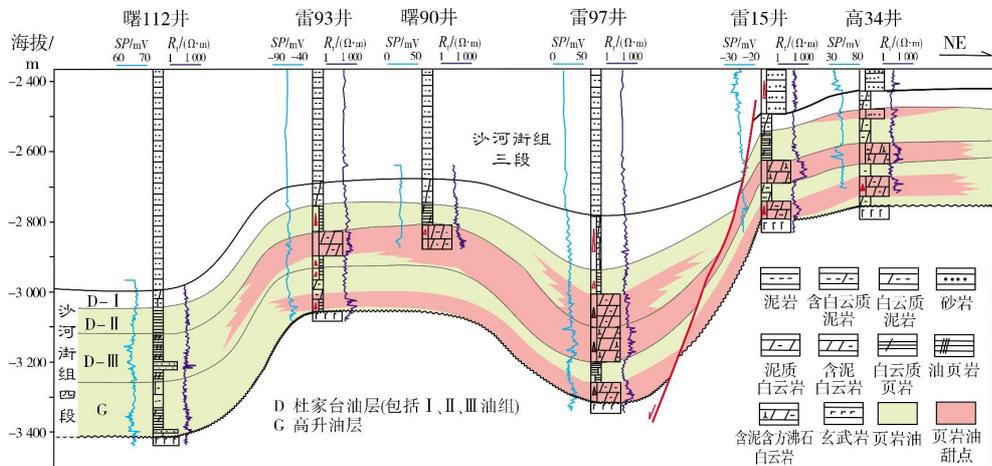


图5 辽河拗陷雷家地区沙四段页岩油成藏模式图(剖面位置参见图7)

3.2 富集规律

3.2.1 常规油富集规律

(1) 烃源条件决定了油气的贫富差别

辽河拗陷西部凹陷、东部凹陷和大民屯凹陷的烃源岩规模和品质有较大差异:西部凹陷烃源岩最为发育,有机质丰度高,类型好,综合评价排在三大凹陷之首,大民屯凹陷居中,东部凹陷排在末位。西部凹陷有利勘探面积为3 315 km²,探明石油地质储量达17.6×10⁸ t,储量丰度为53×10⁴ t/km²;大民屯凹陷有利勘探面积为800 km²,探明石油地质储量达3.5×10⁸ t,储量丰度为44×10⁴ t/km²;东部凹陷有利勘探面积为3 431 km²,探明石油地质储量为2.6×10⁸ t,储量丰度仅为7×10⁴ t/km²。

凹陷内烃源条件较优的洼陷周边油气较为富集,如西部凹陷烃源条件优越的清水—鸳鸯沟洼陷(马20—双深3井区)周边,油气极为富集,已发现欢喜岭、曙光及兴隆台等多个亿吨级大油田。

(2) 凹陷的结构特征和二级构造带断裂组合模式控制了油气的富集程度

西部凹陷为单断箕状结构,发育西部缓坡带、东部陡坡带和中央构造带等3个正向构造带,古近系断层发育,但是这些断层基本没有向上延伸到新近系,大量油气只能在古近系及以下地层形成的封闭系统中运移聚集,形成富油气区带^[14]。

大民屯凹陷受东西两侧边界逆冲断层控制形成下宽上窄的构造格局,早、晚2期构造活动形成了上、下2套断层系统,造就了典型的晚期挤压背景下的地堑式凹陷,这对静安堡构造带形成封闭式的油气生、运、聚环境创造了条件。晚期构造活动对沙四段的影响较小,使沙三段、沙四段2套烃源岩同时成为优质的盖层,造成在静安堡构造带油气主要聚集在沙三段或油气倒灌进入潜山,形成富集高产的油气聚集带。

东部凹陷中央构造带,由南至北发育一系列大型背斜圈闭,这些圈闭被轴向花状断层切割,形成一系列断背斜、断块圈闭。切割背斜的主干断层沟通了深部沙三段烃源岩,油气沿断层运移至浅部圈闭聚集成藏,如牛居油田、青龙台油田(牛居—青龙台构造带)、黄金带油田(黄于热—黄沙坨构造带)等。

(3) 烃源岩、储层与圈闭的最佳组合是形成大油田的重要保证

西部凹陷西斜坡发育面积广、厚度大的沙三段、沙四段烃源岩,同时继承性发育的欢喜岭、齐家和曙光3个大规模的扇三角洲砂体,与该带早期反掉、晚期正掉的正断层所组成的断块及滚动背斜等各类圈闭完美匹配,构成了油气大量聚集的储集空间,从而形成了西部斜坡油气富集区带。该带是辽河拗陷最富集的区带,在900 km²的区域内已发现欢喜岭、曙光2个5亿吨级大油田。

3.2.2 页岩油、致密油富集规律

(1) 优质烃源岩控制了页岩油、致密油富集

页岩油、致密油油藏源储一体或源储紧密接触,油气运移距离较短,优质烃源岩是页岩油、致密油成藏的基础。西部凹陷雷家地区雷88井、雷84井、雷99井等页岩油高产井均位于优质烃源岩发育区内;大民屯凹陷西陡坡沈257井、沈358井等致密油工业油流井也都紧邻沙四段上亚段下部优质烃源岩。

(2) 白云岩含量控制了页岩油的富集高产

沙四段油页岩地层中夹有湖相碳酸盐岩,白云石含量是碳酸盐岩储层优劣的主控因素,白云石含量越高,储层物性越好。受白云岩厚度和分布范围的影响,雷家地区页岩油层呈环带状分布,并且白云岩岩性越纯,含油性越好。在产能特征上,表现为随着白云岩比例增大,产能变好;获工业油流的井段白云岩比例大于40%,获高产工业油流的井段白云岩比例大于50%。

(3) 岩性、物性控制了致密油富集

大民屯凹陷西陡坡沙四段砂砾岩体中的砾岩、粉砂岩及泥质粉砂岩物性较差,而中粗砂岩和细砂岩物性较好:砾岩平均孔隙度为7.2%,中粗砂岩和细砂岩分别为9.8%和11.5%。岩心含油性统计表明:中粗砂岩和细砂岩油迹以上显示频率分别为73.45%和67.36%,而砾岩、粉砂岩及泥质粉砂岩油迹以上显示频率分别为47.51%、18.76%和0.89%。物性与含油性分析表明:砂砾岩体致密储层油气显示达到油斑以上级别,要求孔隙度大于6%,渗透率大于0.2×10⁻³ μm²。沈351井、沈358井等井压裂后获工业油流,其出油层段岩性皆为中粗砂岩和细砂岩,物性相对较好。

4 常规油与致密油资源潜力评价

4.1 资源评价方法及关键参数

油气资源评价方法可概括为成因法、类比法和统计法3类。根据辽河拗陷勘探程度、资料丰富程度,本次常规石油资源评价以类比法中的面积丰度类比法为主,以成因法中的盆地模拟法及统计法中的油藏规模序列法、油藏发现过程模型法和广义帕莱托法为补充,最终应用特尔菲法给出综合评价结果;页

岩油、致密油资源评价选用小面元容积法和面积丰度类比法。

油气资源评价参数包括地质参数、运聚系数、资源丰度、储量丰度等若干类,其中,运聚系数和资源丰度分别为成因法和类比法中至关重要的参数,刻度区解剖是获取这2项参数的重要方法。通过对辽河拗陷14个类型较为全面的刻度区解剖获得了上述2项重要参数(表3)。这些刻度区的运聚系数在6.4%~13.4%之间,资源丰度在 $(9.9\sim 167.1)\times 10^4\text{ t}/\text{km}^2$ 之间。

表3 辽河拗陷刻度区关键参数表

序号	刻度区	面积/ km^2	级别	资源量/ 10^8 t	资源丰度/ $(10^4\text{ t}\cdot\text{km}^{-2})$	运聚系数/%
1	大民屯凹陷	891	凹陷	6.36	71.4	11.0
2	欢曙斜坡带	932	运聚单元	13.04	139.9	10.7
3	兴隆台构造带	190	运聚单元	3.10	163.0	13.3
4	冷东构造带	155	运聚单元	1.98	127.8	12.6
5	小洼—月海构造带	642	运聚单元	4.94	76.9	6.4
6	静安堡构造带	165	运聚单元	2.76	167.1	13.4
7	茨榆坨构造带	317	运聚单元	0.92	29.2	8.2
8	大民屯潜山	800	区块	3.31	41.3	非运聚单元, 难以给出运 聚系数
9	兴隆台潜山	190	区块	2.12	111.6	
10	曙光高潜山	160	区块	0.93	58.3	
11	赵家潜山	150	区块	1.03	68.4	
12	铁匠炉斜坡带	240	区块	0.24	9.9	
13	欧利坨子—黄沙坨火成岩	94	区块	0.78	83.5	
14	雷家碳酸盐岩	190	区块	1.34	70.5	

4.2 常规油资源潜力

在盆地分析的基础上,将辽河拗陷划分为19个区带(图1),以区带为单元开展地质、地球化学数据统计分析,结合刻度区解剖成果,应用前述5种方法开展石油资源评价工作。最终将5种方法获得的结果应用特尔菲法综合评价,得到辽河拗陷的常规石油地质资源量为 $40.96\times 10^8\text{ t}$ (表4)。这些常规石油资源分布在碎屑岩、潜山和火成岩等领域,资源量分别为 $27.39\times 10^8\text{ t}$ 、 $11.42\times 10^8\text{ t}$ 和 $2.15\times 10^8\text{ t}$;其中,后两者是下一步勘探的重点。

4.2.1 潜山油藏资源潜力

“十一五”至“十二五”期间,辽河拗陷潜山油气勘探取得丰硕成果,展示了潜山领域巨大的勘探潜力。针对这部分资源,根据源储关系将潜山划分为10个区带,首次建立了潜山刻度区及潜山评价参数

体系和取值标准,并应用资源面积丰度类比法计算了辽河拗陷潜山石油资源量^[15]。计算得到辽河拗陷潜山领域石油地质资源量为 $11.42\times 10^8\text{ t}$ 。

4.2.2 火成岩油藏资源潜力

在辽河拗陷首次选取勘探效果较好、勘探程度和认识程度较高的欧利坨子—黄沙坨火成岩作为刻度区,并参照碎屑岩刻度区建立了火成岩类比参数体系和取值标准,其中在储层条件参数中着重突出火成岩岩相和岩性等参数,在配套条件中着重突出源储配置参数。

在对欧利坨子—黄沙坨火成岩刻度区进行解剖的基础上,应用面积丰度类比法对东部凹陷沙三段青龙台玄武岩、大湾玄武岩、欧利坨子粗面岩、驾掌寺辉绿岩、红星粗安岩和大平房粗安岩等6个火成岩体进行资源评价(图6),得到东部凹陷沙三段火成岩的石油资源量为 $2.15\times 10^8\text{ t}$ 。

表4 辽河拗陷常规油资源量统计

		10 ⁸ t		
凹陷	区带	地质资源量	探明储量	剩余资源量
大民屯凹陷	静安堡构造带	2.75	2.06	0.69
	前进—荣胜堡构造带	1.50	0.42	1.08
	边台—法哈牛构造带	1.29	0.77	0.53
	静西陡坡带	0.82	0.25	0.56
	小计	6.36	3.50	2.86
	牛心坨构造带	0.75	0.29	0.46
	曙北—高升构造带	2.16	1.11	1.05
	冷东—雷家构造带	1.98	1.35	0.63
	兴隆台构造带	3.10	2.14	0.96
	双台子构造带	0.76	0.30	0.46
西部凹陷	欢曙斜坡带	13.04	9.61	3.43
	笔架岭构造带	0.52	0.07	0.45
	小洼—月海构造带	4.94	2.72	2.22
	小计	27.25	17.59	9.66
	榆树台—盖州滩构造带	1.02	0.02	1.01
	大平房—葵花岛构造带	1.67	0.45	1.22
东部凹陷	董家岗—新开斜坡带	0.28	0.03	0.24
	铁匠炉—大湾构造带	0.25	0.04	0.21
	黄于热—黄沙坨构造带	1.70	0.83	0.87
	茨榆坨构造带	0.93	0.55	0.38
	牛居—青龙台构造带	1.50	0.65	0.85
小计	7.35	2.57	4.78	
合计	40.96	23.66	17.30	

4.3 页岩油、致密油资源潜力

根据页岩油、致密油形成条件和勘探认识,认为辽河拗陷发育页岩油和致密油。在充分研究其七性关系的基础上,圈定了2个页岩油有利区和2个致密油有利区(图7),前者包括西部凹陷雷家地区、大民屯凹陷中央构造带沙四段油页岩夹湖相碳酸盐岩页岩油,后者包括西部凹陷双台子地区沙三段砂岩致密油、大民屯凹陷西陡坡沙四段砂砾岩致密油。利用小面元容积法和体积法获得辽河拗陷页岩油和致密油地质资源量分别为 3.56×10^8 t和 1.92×10^8 t,可采资源量分别为 0.29×10^8 t和 0.19×10^8 t(表5)。

综上所述,辽河拗陷常规石油总地质资源量为 40.96×10^8 t,目前已探明 23.66×10^8 t,探明程度为57.8%,还有较大勘探潜力;页岩油地质资源量为 3.56×10^8 t,雷家地区页岩油勘探取得了良好的效果,2013年以来新增三级储量达 0.89×10^8 t,展示了页岩

油较大的勘探潜力;致密油地质资源量为 1.92×10^8 t,目前仅探明 617.51×10^4 t,仍有较大勘探潜力。

5 剩余石油资源分布与有利勘探方向

辽河拗陷尽管勘探程度较高,但仍具有一定勘探潜力。通过剩余石油资源、勘探领域等的系统分析,指出了基岩油藏、地层-岩性油藏、火山岩油藏及页岩油、致密油是深化勘探的主要方向。

5.1 剩余石油资源分布

5.1.1 常规油剩余资源分布

辽河拗陷常规油剩余资源量为 17.30×10^8 t(表4),碎屑岩、潜山和火成岩等领域分别为 8.31×10^8 t、 7.25×10^8 t和 1.74×10^8 t。从凹陷来看,西部凹陷最多,为 9.66×10^8 t;其次是东部凹陷,为 4.78×10^8 t;大民屯凹陷最少,为 2.86×10^8 t。从层系来看,前古近系(潜山)剩余石油资源最丰富,为 7.25×10^8 t;其次是沙三段,剩余石油资源为 5.08×10^8 t;再次是沙一段、沙二段,东营组最少。从区带来看,剩余石油地质资源较多的前12个区带依次是欢曙斜坡带、小洼—月海构造带、大平房—葵花岛构造带、前进—荣胜堡构造带、曙北—高升构造带、榆树台—盖州滩构造带、兴隆台构造带、黄于热—黄沙坨构造带、牛居—青龙台构造带、静安堡构造带、冷东—雷家构造带和静西陡坡带。

5.1.2 页岩油、致密油剩余资源分布

辽河拗陷页岩油主要分布在西部凹陷雷家、大民屯凹陷中央构造带沙四段油页岩中(夹湖相碳酸盐岩),总地质资源量为 3.56×10^8 t,目前仅在雷家地区上报探明储量 681.82×10^4 t;致密油资源分布在西部凹陷双台子致密砂岩、大民屯凹陷西陡坡砂砾岩中,至今仅在大民屯西陡坡砂砾岩中探明 617.51×10^4 t。页岩油、致密油剩余石油地质资源量分别为 3.49×10^8 t和 1.86×10^8 t,勘探潜力较大。

5.2 勘探方向

5.2.1 基岩(潜山)油藏

辽河拗陷基底由太古宇、元古宇、古生界、中生界等多层结构组成,纵向上层系多,横向上分布广,发育变质岩和沉积岩2大类储集岩类。目前钻井揭

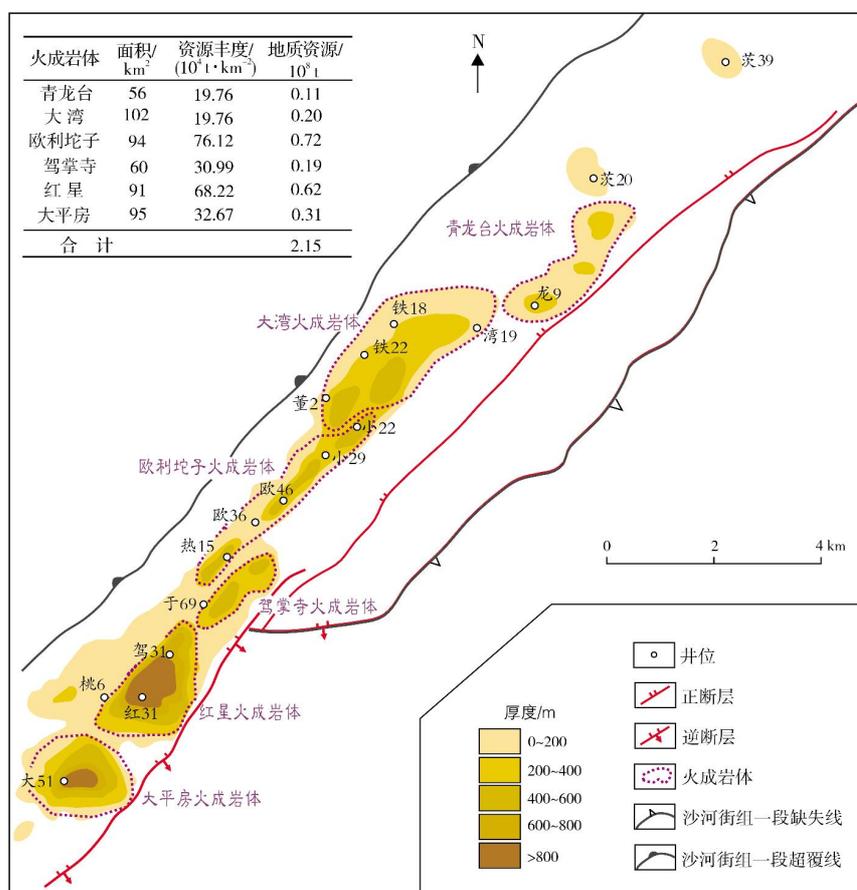


图6 辽河拗陷东部凹陷沙三段火山岩体分布及资源评价

表5 辽河拗陷页岩油、致密油资源量统计

类别	评价单元	岩性	面积/ km ²	厚度 /m	孔隙度 /%	充满系数/ %	含油 饱和度/ %	地质 资源量/ 10 ⁸ t	可采 资源量/ 10 ⁴ t
页岩油	西部凹陷雷家地区沙四段	油页岩夹湖相碳酸盐岩	401	34.4	11.4	64.5	60	2.30	1 840
	大民屯凹陷中央构造带沙四段		168	60.0	6.0	40.0	40	1.26	1 040
	合计								3.56
致密油	西部凹陷双台子地区沙三段	砂岩	60	30.3	8.2	95.0	71	0.52	520
	大民屯凹陷西陡坡沙四段	砂砾岩	211	181.8	12.2	14.0	55	1.40	1 400
	合计								1.92

露潜山 25 个,探明潜山油藏 16 个,主要的“山头”型潜山均已钻探。根据剩余资源和勘探程度,兴隆台构造带、曙北—高升构造带、荣胜堡构造带和静安堡构造带是潜山勘探有利区带,小洼—月海构造带、大平房—葵花岛构造带、榆树台—盖州滩构造带的潜山是兼探目标区带。

5.2.2 碎屑岩油藏

辽河拗陷三大凹陷的陡坡带和缓坡带砂砾岩较

为发育,成藏条件好。从剩余资源和勘探程度考虑,欢曙斜坡带、牛居—青龙台构造带、静西陡坡带和冷东—雷家构造带是主攻区带,小洼—月海构造带、大平房—葵花岛构造带、榆树台—盖州滩构造带的碎屑岩是兼探目标区带。

5.2.3 火成岩油藏

辽河拗陷火成岩从中生界到古近系房身泡组—东营组均有发育。基于剩余资源和勘探效果分析,东

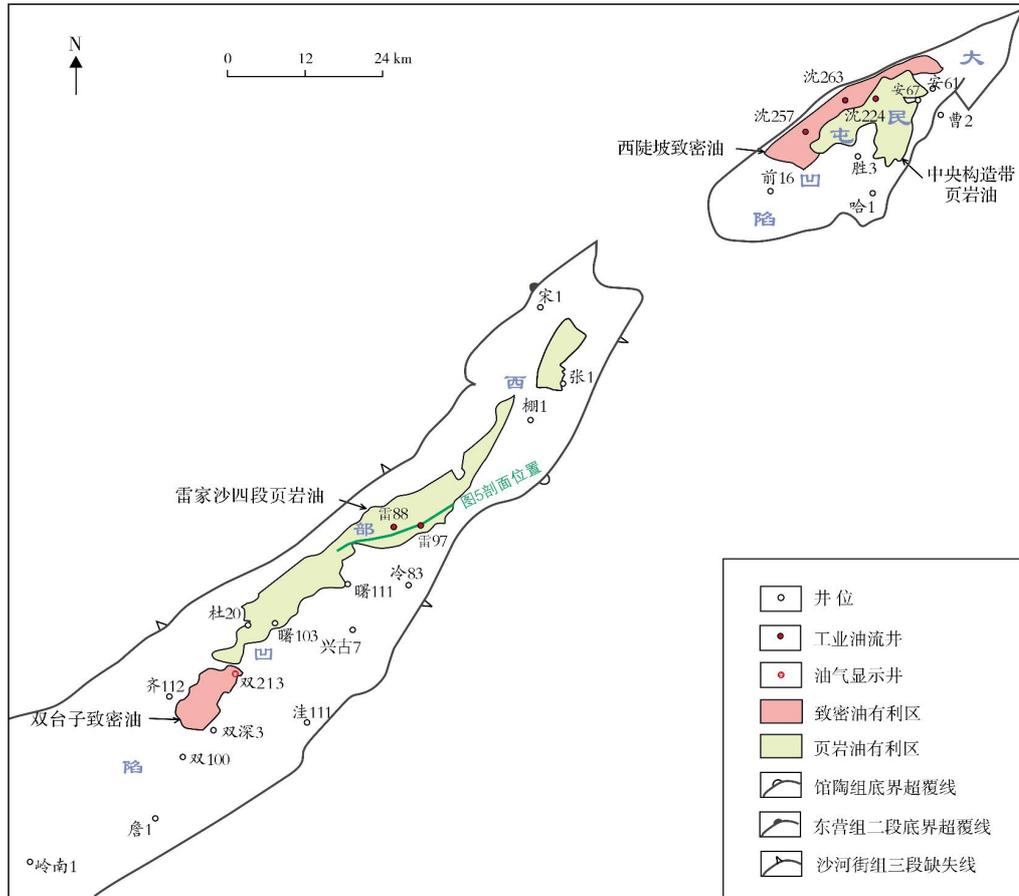


图7 辽河拗陷致密油、页岩油有利区分布图

部凹陷黄于热—黄沙坨构造带火山岩油藏具有较好勘探前景。

5.2.4 页岩油、致密油油藏

“十二五”以来,页岩油和致密油勘探分别在西部凹陷雷家地区沙四段油页岩(夹湖相碳酸盐岩)和大民屯凹陷西陡坡沙四段砂砾岩体中取得了较好的勘探效果。通过进一步勘探,西部凹陷雷家地区沙四段页岩油和在大民屯凹陷西陡坡沙四段砂砾岩致密油,有望成为辽河拗陷现实的接替领域。

6 结论

(1)辽河拗陷发育古近系沙河街组四段、三段2套主力烃源岩,这为常规和非常规油藏的形成奠定了重要的烃源基础。拗陷具有纵向叠置、横向叠加连片的复式油气聚集成藏特征,碎屑岩、潜山、火成岩是重要的领域,成藏模式有源储侧向对接型、源外断层—不整合输导型、源内或近源聚集型以及源储—

体页岩油等。

(2)采用以类比法为主导,以成因法、统计法为补充的综合评价方法,得到辽河拗陷常规石油资源量为 $40.96 \times 10^8 \text{t}$,其中,碎屑岩领域资源量为 $27.39 \times 10^8 \text{t}$,潜山领域资源量为 $11.42 \times 10^8 \text{t}$,火成岩领域资源量为 $2.15 \times 10^8 \text{t}$ 。采用小面元容积法,得到页岩油资源量为 $3.56 \times 10^8 \text{t}$,致密油资源量为 $1.92 \times 10^8 \text{t}$ 。

(3)辽河拗陷常规石油剩余资源量为 $17.30 \times 10^8 \text{t}$,其中碎屑岩、潜山和火成岩等领域分别为 $8.31 \times 10^8 \text{t}$ 、 $7.25 \times 10^8 \text{t}$ 和 $1.74 \times 10^8 \text{t}$,还有较大勘探潜力。兴隆台构造带、曙北—高升构造带、荣胜堡构造带和静安堡构造带是潜山油藏勘探有利区带;欢曙斜坡带、牛居—青龙台构造带、静西陡坡带和冷东—雷家构造带是碎屑岩油藏勘探主攻区带;小洼—月海构造带、大平房—葵花岛构造带、榆树台—盖州滩构造带是潜山和碎屑岩油藏兼探区带;黄于热—黄沙坨构造带是火山岩油藏勘探有利区带。

(4) 辽河拗陷页岩油、致密油剩余资源量分别为 3.49×10^8 t 和 1.86×10^8 t, 西部凹陷雷家地区沙四段油页岩(夹湖相碳酸盐岩)和大民屯凹陷西陡坡沙四段砂砾岩分别是页岩油和致密油勘探的有利目标。

参考文献

- [1] 李晓光, 陈振岩. 辽河拗陷古近系碎屑岩储层孔隙演化特征探讨[J]. 古地理学报, 2006, 8(2): 251-258.
- [2] 孙洪斌, 张凤莲. 断陷盆地优质储层的成因: 以辽河拗陷古近系沙河街组储层为例[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(1): 51-54.
- [3] 孙洪斌, 张凤莲. 辽河断陷西部凹陷古近系砂岩储层[J]. 古地理学报, 2002, 4(3): 83-92.
- [4] 孟卫工, 孙洪斌. 辽河拗陷古近系碎屑岩储层[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [5] 李春华, 于鹏, 毛俊莉, 等. 辽河拗陷东部凸起上古生界致密砂岩气成藏特征[J]. 特种油气藏, 2013, 20(1): 19-22.
- [6] 李晓光, 刘宝鸿, 蔡国钢. 辽河拗陷变质岩潜山内幕油藏成因分析[J]. 特种油气藏, 2009, 16(4): 1-12.
- [7] 胡振华. 辽河拗陷东部凹陷沙三段火成岩成因及储集特征[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(4): 46-50.
- [8] 冷济高, 庞雄奇, 李晓光, 等. 辽河断陷西部凹陷油气成藏主控因素[J]. 古地理学报, 2008, 10(5): 473-480.
- [9] 杨伟伟, 柳广弟, 王延山, 等. 辽河滩海地区油气成藏特征及其主控因素[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(6): 117-124.
- [10] 周陆扬, 刘怀山, 姜建群, 等. 辽河盆地东部凹陷欧坨子地区原油性质与成因[J]. 石油实验地质, 2007, 29(5): 490-494.
- [11] 谢文彦, 姜建群, 张占文, 等. 大民屯凹陷油气系统研究[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 38-42.
- [12] 韩霞, 田世澄, 张占文, 等. 辽河断陷西部凹陷双台河口地区油源及运聚机理研究[J]. 特种油气藏, 2006, 13(2): 36-42.
- [13] 朱芳冰, 肖伶俐, 唐小云. 辽河盆地西部凹陷稠油成因类型及其油源分析[J]. 地质科技情报, 2004, 23(4): 55-58.
- [14] 薛永安, 余宏忠, 项华. 渤海湾盆地主要凹陷油气富集规律对比研究[J]. 中国海上油气, 2007, 19(3): 146-148.
- [15] 刘海艳. 辽河拗陷潜山油气资源参数体系研究与评价[J]. 特种油气藏, 2015, 22(6): 56-60.

编辑:董庸

The geological conditions, resource potential, and exploration direction of oil in Liaohe Depression

HU Yingjie, WANG Yanshan, HUANG Shuangquan, WANG Qunyi, LIU Haiyan

Abstract: Due to the breakthroughs in buried hills and unconventional oil and gas in recent years, the results of previous resource evaluation are not enough to support the exploration in Liaohe Depression. Based on analysis on the heterogeneity of source rocks and reservoirs, and the main controlling factors of conventional oils in buried hills and volcanic rocks, shale oil and tight oil, four patterns of hydrocarbon accumulation are setup such as lateral-docking of source-reservoir, immigration from out-source by fault-unconformity, accumulation in-source or near-source, and source-reservoir integrated shale oil. A comprehensive evaluation including analogy, genesis and statistics methods are used to assess the conventional oil resource in Liaohe Depression. The total amount is 40.96×10^8 t, including 27.39×10^8 t in clastic rocks, 11.42×10^8 t in buried hills, and 2.15×10^8 t in volcanic rocks. Shale oil of 3.56×10^8 t and tight oil of 1.92×10^8 t are predicted respectively by using small panel volume method. According to the distribution of remaining oil resources, many favorable exploration plays are suggested. As for the conventional oil, the tectonic belts of Xinglongtai, Shubei-Gaosheng, Rongshengpu, and Jing'anpu are the favorable zones for buried hill reservoir; Huanshu slope belt, Niuju-Qinglongtai tectonic belt, Jingxi steep slope belt, and Lengdong-Leijia tectonic belt are the favorable zones for clastic reservoir; the tectonic belts of Xiaowa-Yuehai, Dapingfang-Kuihuadao, and Yushutai-Gaizhoutan are concurrent zones for both buried hill and clastic reservoir; Huangyure-Huangshatuo tectonic belt is the favorable zone for volcanic reservoir. As for the unconventional oil, the Paleogene Shahejie-4 shale with carbonate interlayer in Leijia area of West Sag is the main target for shale oil, and the glutenite reservoir in the west steep slope of Damintun Sag is the main target for tight oil.

Key words: buried hill; volcanic rocks; shale oil; tight oil; oil resources; exploration direction; Liaohe Depression; Bohai Bay Basin

HU Yingjie, First author: Senior Engineer, engaged in oil and gas exploration and reserves research. Add: No. 95 Petroleum Street, Xinglongtai District, Panjin, Liaoning 124010, China

WANG Yanshan, Corresponding author: Senior Engineer, engaged in geochemistry and oil and gas resources evaluation. Add: No. 95 Petroleum Street, Xinglongtai District, Panjin, Liaoning 124010, China