

文章编号:1000-0550(2011)04-0798-11

主成盆期火山岩与油气成藏关系探讨^①陈振岩¹ 仇劲涛¹ 王璞珺² 李 湃¹ 张培先³ 刘 鑫¹ 郝 涛¹ 聂桂民¹

(1. 中国石油辽河油田分公司 辽宁盘锦 124010; 2. 吉林大学 长春 130061; 3. 中国地质大学 北京 100083)

摘 要 裂陷盆地的主成盆期是构造活动性最强、沉降幅度最大、烃源岩发育最好的时期,辽河坳陷的主成盆期是 $E_2s^4 \sim E_2s^3$ 时期。辽河坳陷新生代发生了多期火山活动,形成了多套、多类型的火山岩分布,火山活动总体上具有早强晚弱、平面上具有随沉降中心变迁而迁移的活动规律。辽河坳陷主成盆期火山岩经过构造裂缝作用及地层水溶蚀、溶解改造后,发育为良好的油气储层,有效烃源岩与穿插其中的火山岩在平面上的叠覆和剖面上的交互为形成火山岩油气藏提供了充沛的油气源供给条件。同时,主成盆期火山岩厚度大、分布广,圈闭及成藏类型多样,具有多方面的油气成藏有利性,黄沙坨及欧利坨子等地区的火山岩油气藏是其中的典型代表。主成盆期火山岩具有有利的油气成藏组合,而非主成盆期火山岩一般作为油气藏盖层。主成盆期火山岩成藏及其模式的提出丰富了火山岩油气成藏内容及油气勘探类型,对其他地区火山岩勘探具有重要的指导意义。

关键词 辽河坳陷 主成盆期 火山岩成藏 火山岩勘探

第一作者简介 陈振岩 男 1963 年出生 博士 教授级高级工程师 石油与天然气地质 E-mail: chenzy24@vip.sina.com

中图分类号 TE122.2+22 **文献标识码** A

0 引言

作为油气勘探的重要领域,火山岩储层及火山岩油气藏的研究价值日显突出,美国亚利桑那州的比聂郝一比肯亚正长岩油气藏以及辽河坳陷沙三段的粗面岩油气藏等,分别从一个侧面显示了火山岩在油气成藏中的重要作用和意义。尤其是在构造活跃、断裂发育、火山活动频繁、火山岩类型及分布广泛的陆相碎屑岩地层中,火山岩的油气储层及油气成藏地质意义不容忽视,辽河坳陷黄沙坨、欧利坨子等地区火山岩油气藏的成功勘探及开发表明了火山岩巨大的油气资源潜力。2002 年中国松辽盆地徐深 1 井在白垩系火山岩中获得高产天然气流,从而发现中国陆上第 1 个大型火山岩气田,之后,中国火山岩油气勘探发展迅速,相继在松辽盆地南部深层、准噶尔盆地陆东地区、三塘湖盆地牛东地区和渤海湾盆地冀东油田古近系火山岩中获得重大油气新发现,展示了良好的发现前景,也揭示火山岩是中国陆上今后油气储量增长的重要领域之一。因此火山岩成藏理论研究也成了地质学家研究的热点,虽然火山岩勘探及研究已经取得不凡成果,但火山岩油气地质领域研究仍然薄弱,

相关领域油气勘探仍然存在巨大空间。

1 辽河坳陷火山岩发育特征

辽河坳陷属于渤海湾裂谷盆地的一部分,是在郯庐断裂活动和上地幔隆升双重作用下发育的主动裂谷坳陷,新生代以来主体形成了西部、大民屯及东部等三大凹陷,纵向上由古近纪的裂陷系和新近纪的拗陷系组成(表 1)。辽河坳陷位于郯庐断裂带上,构造运动频繁、断裂活动强烈,频繁地火山活动及广泛地火山岩分布构成了辽河坳陷重要的地质特色(图 1)。新生代以来,间断发生的 6 次构造运动均伴随有强度不等的火山喷发活动,尤其是新生代早期最为发育^①,具有期多、层厚、面广、岩性杂等特点,平面上的分布与断裂展布密切相关,并具有沿北东向主干断裂喷溢的活动特点。

受郯庐断裂活动影响,新生代初期的房身泡组是火山活动最强烈的时期,火山岩发育厚度大面积广,东部凹陷的小 3 井揭示了厚度超过 1 123.39 m(未穿)的玄武岩。西部凹陷,火山活动具有由北向南逐渐增强特点,东部凹陷则表现为由南向北火山活动逐渐增强趋势,平面上形成了相对旋转增强趋势,可能

^①国家重点基础研究发展计划(973 项目)(编号:2005CB422100)资助。
收稿日期:2010-11-05; 收修改稿日期:2011-01-15

表 1 辽河凹陷构造演化特征

Table 1 Tectonic evolution of Liaohe depression

地质时期	地层			年代 /Ma	构造活动			岩浆活动	岩浆岩 油气藏数量	岩浆岩 探明储量	
	组	段	代号		形式	构造沉积旋回					沉降速率 /(mm/a)
						升 水进	降 水退				
渐新世	东营组	一	E ₃ d ¹	24.6	持续 块断 裂隙						
		二	E ₃ d ²	30.8							
		三	E ₃ d ³	33.5							
	沙河街组	一	E ₃ s ¹	36.0	强烈 块断 裂隙						
		二	E ₃ s ²	38.0							
		三	E ₂ s ³	43.0							
始新世	沙河街组	四	E ₂ s ^{4±}	45.5	强烈 块断 裂隙						
		房身泡组	上	E ₁ f ^上							54.9
	古新世	房身泡组	下	E ₁ f ^下	65.0	初始 块断 裂隙					

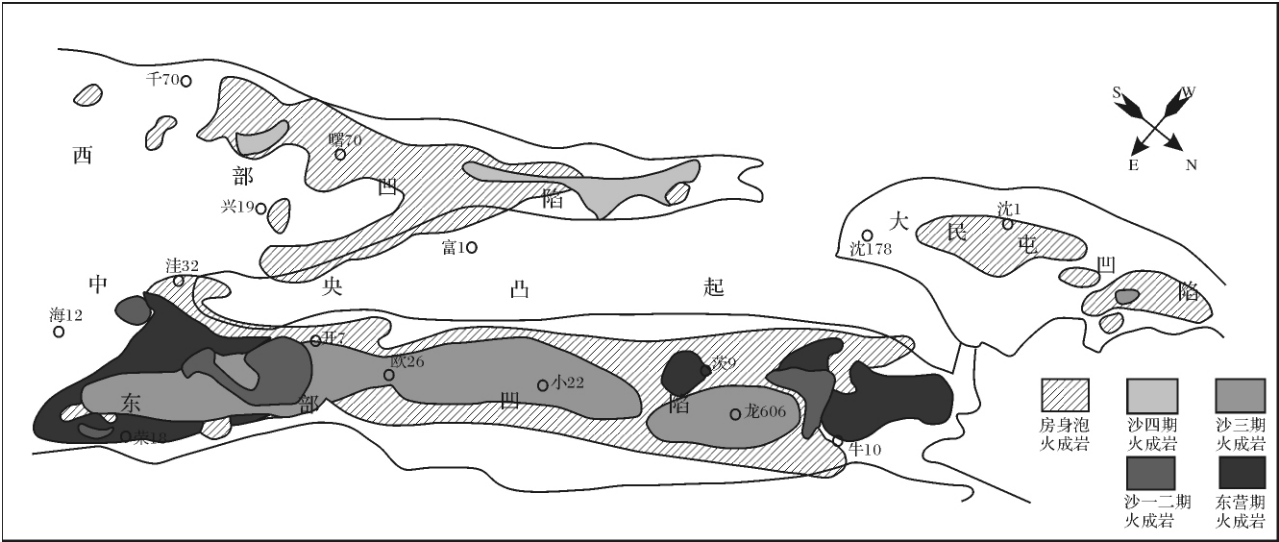


图 1 辽河凹陷新生界火山岩分布简图(据陈振岩,1996; 修改)

Fig.1 Distribution of Cenozoic volcanic rocks in Liaohe Depression(modified from Chen Zhenyan,1996)

为邻庐断裂的左行走滑作用所致。大民屯凹陷火山岩发育规模较小(厚约 100 m) 且主要沿中生界断裂分布,表明中生代时期近东西向的地质构造格局仍然是控制火山岩活动的主要因素之一。该时期所发育的火山岩均以玄武岩为主,主喷发中心通常位于各凹陷的中心部位^[2],沿北东向断裂展布的同时受制于北西向断裂的发育,表明大型断裂沿线是火山活动的主要通道。

沙四段沉积时期的火山活动较之房身泡组有明显减弱,主要在房身泡组火山岩发育的中心部位存在

零星活动及分布,厚度一般为 10 ~ 20 m,最厚为 87 m (曙 68 井)。表现出火山活动具有明显的继承性。西部凹陷北侧及东部凹陷中心沿线等存在较大规模范围的火山岩分布,与沙四沉积时期北东向断裂活动中心的分布大致吻合。

沙三段沉积时期的火山岩活动在三大凹陷均有不同程度地发育,但该时期的火山活动较之沙四段沉积时期进一步弱化并主要集中在东部凹陷,与辽河凹陷整体趋于稳定沉降及沉降—沉积中心由西向东的明显迁移相吻合。该时期火山活动受北东向断裂控

制及间歇式喷发(沙三中期的火山岩最为发育)趋势更加明显,粗面岩、粗安岩、玄武岩、火山碎屑岩等火山岩在沉积岩地层中的分布具有薄层状展布特点。平面上,在南部的热河台、北部的青龙台至茨53井区等地区形成了火山发育的喷发中心。

进入沙二、沙一段沉积时期,火山活动伴随着构造沉降作用的衰减而迅速减弱,火山活动强度及火山岩分布规模急剧减小。受继承性火山活动影响,沙二、沙一段的火山岩仍然主要分布在东部凹陷,但萎缩为南、北两端分布特点,在南部的黄金带和北部的茨榆坨地区分别形成了两个喷发活动中心,其厚度一般为20~70 m(最厚不超过200 m)且以玄武岩为主。在西部凹陷,仅在西八千地区局部有火山活动,而大民屯凹陷则没有火山岩分布。

东营组沉积时期,西部凹陷和大民屯凹陷的火山活动趋于停止,但东部凹陷的火山活动则因庐断裂的活动而重新进入强烈的复活作用阶段,其火山作用强度远远超过了沙二、沙一沉积期,主要在南部(黄金带、驾掌寺、大平房、荣兴屯等地区)和北部(牛居等地区)构造沉降相对活跃的地区呈现为规模性发育的玄武岩分布。

至馆陶组沉积时期,火山活动趋于全面停滞,仅在东部凹陷南段的大平房、荣兴屯等地区有较弱的火山活动和零星的火山岩分布,薄层状火山岩分布范围小、发育厚度小,揭示的最大厚度只有67.5 m(大4井),岩性仍然以玄武岩为主。

2 主成盆期火山岩油气成藏有利性

受盆地及其基底结构、构造运动以及地壳应力场变化等多种因素的综合作用和影响,盆地的沉降、形成及演化表现为明显的非等时性旋回递进。盆地演化的早期阶段,即拉张断陷和区域断拗阶段具有最大的沉降幅度和最快的沉积速度,是盆地形成的最主要时期,也是盆地中油气藏形成与保存的最有利时期。

辽河拗陷新生代演化经历了地壳破裂(初陷)、快速裂陷、拗陷沉降以及区域平原化等四个地质发育阶段。地壳破裂阶段发生在古新世早期的房身泡组地层沉积时期,快速裂陷阶段主要发生在始新世的沙河街组地层沉积时期,拗陷沉降阶段主要发生在渐新世的东营组沉积时期,区域沉降阶段则从新近纪开始至第四纪,为裂谷发育的结束阶段。因此,辽河拗陷的形成又可分为初陷期(房身泡期)、深陷期(沙河街期)、扩展期(东营期)、萎缩期(馆陶、明化镇及平原

期)等阶段,其中,沙河街组三段和四段沉积的始新世是裂谷发育的重要阶段(表1),是辽河拗陷最主要的形成时期,即主成盆期。

2.1 主成盆期是火山岩发育的主要时期

受断陷盆地本身演化特点控制及庐断裂周期性活动影响,辽河拗陷沙河街组四段和三段沉积时期是火山活动的主要阶段。作为辽河新生代拗陷的主成盆期,基底断块活动频繁、北东向主干断裂活动性增强,快速的构造变动、差异沉降及不平衡的地壳内部压力导致了频繁、活跃的火山活动。火山喷发由强到弱、区域展布从西到东变迁,形成与拗陷的构造演化同步特征,形成了范围广、厚度大、层位多、类型全的火山岩发育和分布,构成了拗陷油气地质的基本特色。

辽河拗陷的演化具有沉降、沉积中心由西向东、由北向南不断迁移的特点(图1),即在沙四沉积时期,沉降、沉积中心主要集中在西部凹陷的西部地区,至凹陷的东侧,沙四沉积趋于减薄甚至消失,所发育沙四段地层也以上部为主;东部凹陷,沙四段地层发育有限,而更多分布的主力地层段则是沙三段,地层累积厚度超过两千米。从沉积层系厚度展布特征分析,辽河拗陷的地层沉积亦有明显的由北向南迁移特点。与拗陷沉降、沉积中心的东西向及南北向迁移相一致,火山活动亦表现为与主沉降期相一致的由西向东及由北向南地同步迁移特征,西部凹陷的火山活动主要发生在北段的沙四段沉积时期,表现为沿西部凹陷西侧分布的特点;东部凹陷的火山岩则主要出现在凹陷中、南段,沙四和沙三段火山岩具有大致相同的分布位置,但沙三段沉积时期的火山活动中心主体更向东、向南偏移,发育规模更大,岩性也复杂多变(图3)。沙三段火山岩分布叠加连片,厚度中心分别位于小23、欧45、欧29、热21、驾4、桃29等井区,单层厚度从不足1 m到424 m不等,凹陷中段的沙三段火山岩最大累积厚度超过了800 m,充分表明了火山活动与沉降—沉积中心的一致性。

由于火山喷发常沿断裂活动,故该时期活动的主干断裂活动特点控制了火山岩的分布。营口—佟二堡断裂、界西断裂、驾掌寺断裂、茨东断裂等主干断裂的展布及其组合形式,决定了东部凹陷中段的剖面结构为“V”字形特点,火山喷发中心沿此串珠状展布,主要在黄沙坨、欧利坨子、热河台等凹陷中段地区形成了火山喷发中心,火山岩累积厚度超过了300 m;在凹陷的南北两段,地质结构表现为复杂的箕状形

态,火山岩发育相对较弱且孤立分散。南段的红星—驾掌寺、黄金带、于楼等地区及北段的青龙台、茨榆坨、牛居等地区,火山岩分布总面积约 520 km²,岩性主要为熔岩类(粗面岩类、玄武岩类、安山岩类)、火山碎屑岩类等。

与断裂拉张的过程、特点和阶段相对应,火山岩的剖面发育也具有相同的趋势。东部凹陷北东向主干断裂在沙三沉积早期活动规模相对较小,火山岩发育厚度有限;中期断裂强烈活动,火山喷发作用显著增强,导致产生以黄沙坨和欧利坨子地区为代表的最大厚度火山岩体;晚期时的火山活动继续发展并略有

减弱,在热河台地区形成最大规模的火山岩分布。

西部凹陷,由于沙三时期的沉降—沉积中心已发生了向东部凹陷的转移,其火山活动已不再大规模发育。

2.2 主成盆期是主力烃源岩发育时期

在沙四及沙三段沉积的主成盆期,大规模的拉张裂隙使得辽河拗陷快速沉降并产生了多个沉降—沉积中心,如西部凹陷的台安、陈家、盘山、清水以及鸳鸯沟等洼陷,东部凹陷的二界沟、驾掌寺以及黄沙坨等洼陷。这些洼陷的深湖、半深湖、浅湖、三角洲及扇三角洲等沉积体系发育,发育了有利于生烃的大套厚

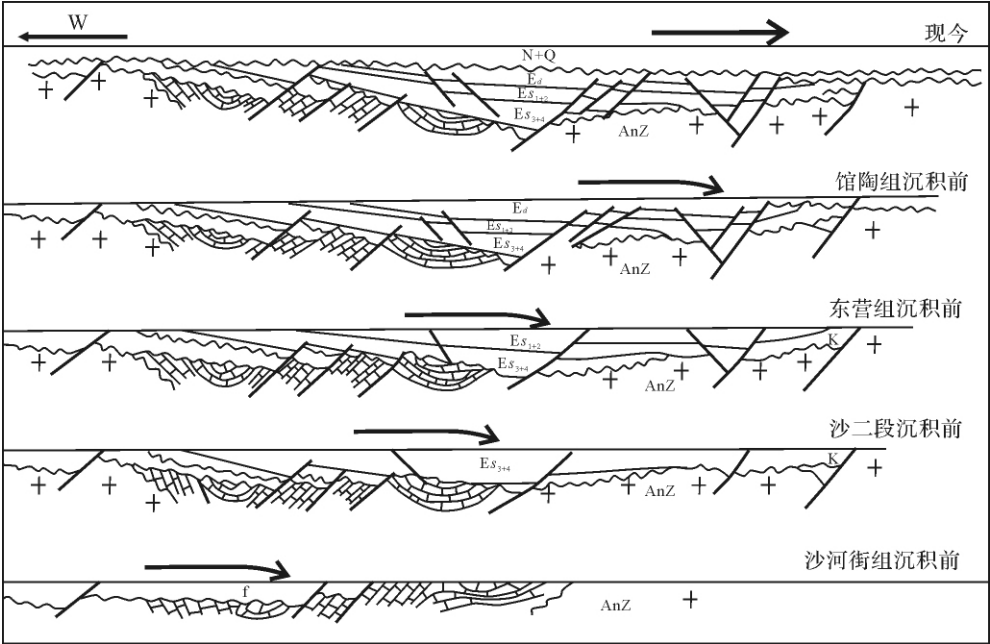


图 2 辽河拗陷沉降—沉积中心由西向东迁移示意图

Fig. 2 Schematic diagram showing the shifting of subsidence-depocenter from west to east in Liaohede depression

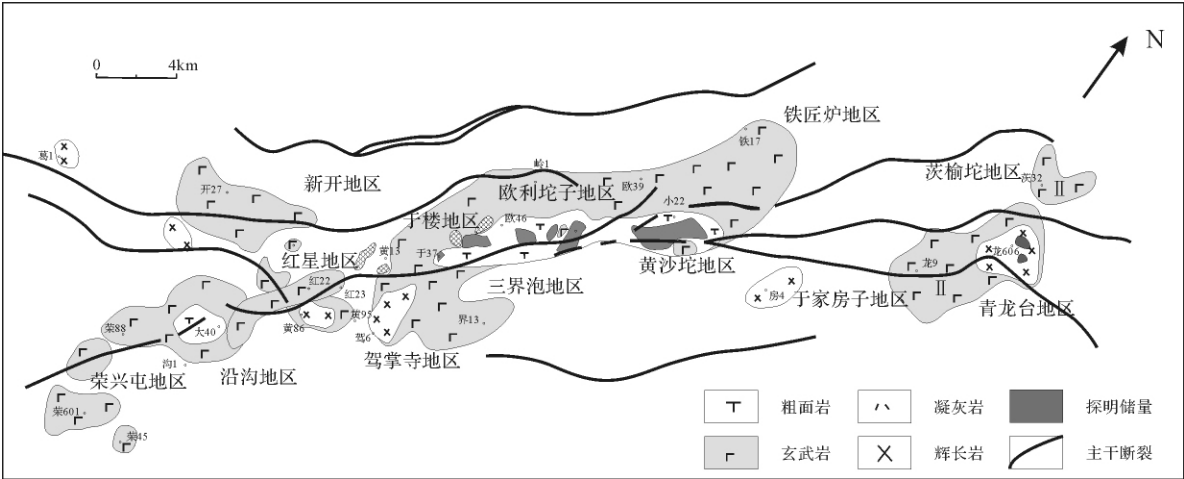


图 3 东部凹陷沙三段火山岩岩性岩相图

Fig. 3 Lithology and lithofacies of volcanic rocks in Es³ interval of Dongbu depression

层富含有机质的暗色泥岩,是辽河拗陷有效烃源岩集中发育的主要层段。

沙四和沙三段是辽河拗陷烃源岩发育的最好层系。其中,沙三段主力烃源岩分布面积广、沉积厚度大、有机质含量高。西部凹陷的烃源岩南厚北薄,台安洼陷厚约 600 m,清水洼陷可厚达 1 600 m,其平均厚度为 500 m;东部凹陷的烃源岩主要分布在南、北两段洼陷区,厚度超过 1 000 m;大民屯凹陷的烃源岩

亦相当发育,厚度超过 800 m 的地层分布面积占凹陷面积的一半左右,最厚的荣胜堡洼陷达到 2 000 m (图 4)。

从沙二、沙一段开始向上,区域沉积环境逐渐脱离了深湖、半深湖等有利于有机质发育和富集的沉积环境,暗色泥岩沉积厚度及其所占地层总厚度的比例逐渐减小,有机质含量逐渐降低,其生油气能力逐渐变差(图 5)。

平面上看,有机质丰度与各自所在凹陷的构造活动相关联。就沙三段沉积而言,西部凹陷在该时期的沉降幅度大于东部凹陷与大民屯凹陷,统计的沙三段烃源岩地球化学指标对比也表明(表 2)西部凹陷沙三段烃源岩条件最好,东部凹陷次之,大民屯凹陷较差。

可以看出,主成盆期是主力烃源岩和主体火山岩发育分布的最主要时期,沉降—沉积中心的迁移不仅将烃源岩与火山岩结合在一起,而且控制了主力烃源岩及主体火山岩的总体分布。

2.3 主成盆期火山岩油气成藏有利性

主成盆期火山岩油气成藏条件优越,宜于富集油气而成为最有利的火山岩含油气层段。

2.3.1 主成盆期火山岩具有充足油源供给条件

主成盆期通常为盆地最大水深发育时期,是优质烃源岩形成和发育的最有利时期。频繁的火山活动

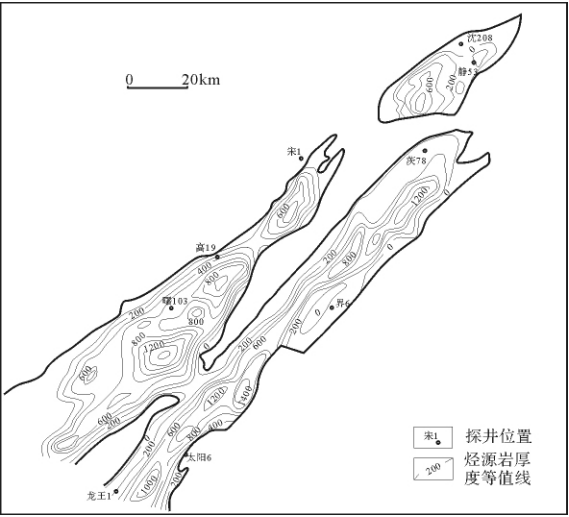


图 4 辽河拗陷主成盆期(沙三段)烃源岩厚度分布图
Fig. 4 Distribution of source rocks (E_2s^3) in Liaohe depression

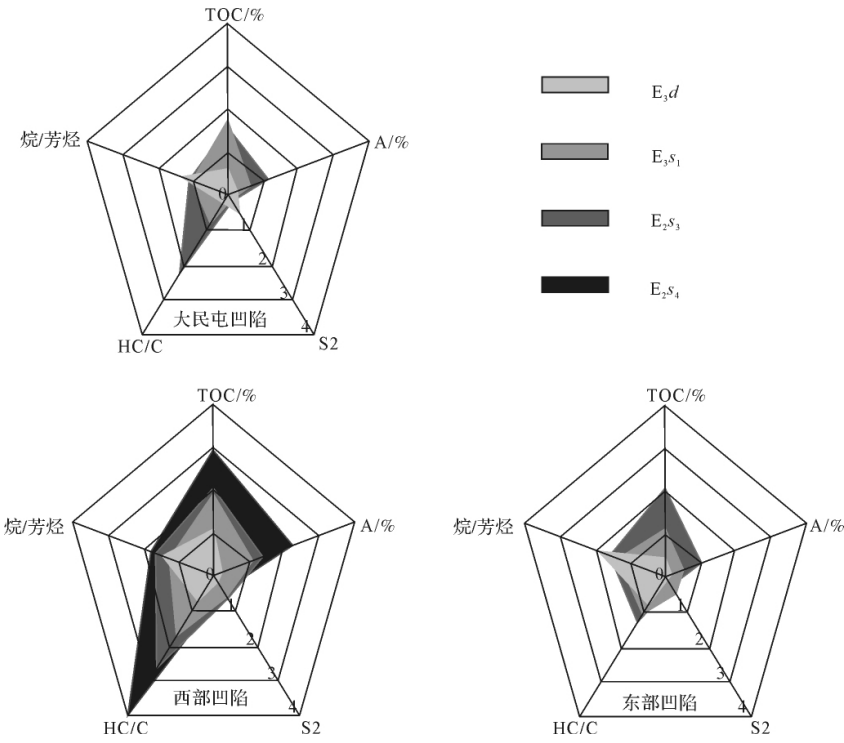


图 5 不同凹陷各层系烃源岩地球化学指标对比
Fig. 5 Correlation of geochemical indices of source rocks from different strata and sags

表2 辽河坳陷沙三段烃源岩地球化学指标均值

Table 2 Mean of geochemical indices of E_2S^3 source rock in Liaohe depression

凹陷	有机碳/%	氯仿沥青“A”/%	总烃/ 10^{-6}	S ₂ /%	H/C/%	“A”/C/%	烷烃/芳烃
西部	1.99	0.1375	543	0.59	2.590	6.13	1.62
东部	1.94	0.0894	314	0.26	1.297	3.82	1.56
大民屯	1.68	0.0570	152	0.19	0.800	2.86	1.08

又使得火山岩与优质烃源岩互层展布,火山岩常被夹裹于有效烃源岩之中,易于形成良好的火山岩油气成藏组合。另外,火山岩的热异常效应有助于加速有机质的热演化进程,有利于有机质成熟度的提高。火山岩的规模性分布不仅说明了火山岩本身的热异常行为,也揭示了地下热物质的剧烈活动,火山岩的披覆及地下热物质的共同作用能够在很大程度上提高有机质的热成熟效应。

主成盆期的沙四、沙三段是辽河坳陷的主力烃源岩,具有分布广、厚度大、有机质丰度高、有机质类型好、生烃能力强等特点,处于其中的火山岩易于捕获并聚集就近生成的油气。在东部凹陷的南沙坳地区,沙三段沉积早期是一个生油洼陷,沙三中段火山岩处于烃源岩包围中,就近生成的烃类直接充注进入火山岩储层中而形成油气的富集,从而形成了具有千万吨级储量规模的火山岩油气田。

2.3.2 火山岩的发育和后期改造丰富了储层类型

主成盆期通常具有细粒沉积、烃源岩发育的特点,远离物源导致了储层发育的严重不足,尤其是深湖相、浅湖相等较深水沉积环境常以泥岩、泥质砂岩及粉细砂岩互层为沉积主体,虽然其中也有少量浊积岩产生,但数量有限、规模不足、储集物性较差。火山岩不规则性地大面积穿插于烃源岩之中,丰富了油气储层类型。作为一种特殊类型的油气储层,火山岩储层亦具有横向连通性差、储层非均质性强特点,通常只有邻近烃源岩才能更有效地聚集油气,但在烃源岩有机质的热成熟作用过程中,通常会产生大量的有机酸并改变地层水的酸碱度。由于沉积岩本身就形成于复杂多变的水体改造作用过程中,故酸碱度的改变对火山岩的影响作用将远远大于对沉积岩的影响作用,从而易于使火山岩发生溶蚀及溶解作用而达到大规模改善储集物性之目的。此外,由于主成藏期的火山岩具有早期充注的优势,故有利于对其它矿物充填造成抑制作用^[3,4]。

生烃过程中产生的异常压力既可以作为推动油气进入火山岩储层中的动力,又可以在一定程度上产生裂缝、微裂缝而改善火山岩的储集性能^[5],产生更

为良好的生储盖组合。辽河坳陷主成盆期地层厚度大并发育了大量储集物性较差的火山岩。但较强的构造和断裂活动使粗面岩、粗安岩等火山岩易于产生构造裂缝。这些构造裂缝促进了地下流体活动,不稳定矿物溶解并形成了各种次生的溶蚀孔、洞、缝。因此,构造裂缝的发育不仅增加了储集空间,而且连通了原生孔隙和裂缝,构成了孔、缝、洞一体有效的网络储集空间,使火山岩的储集物性得到了很大地改善,成为良好的油气储集层^[6]。

东部凹陷目前发现有欧利坨子和南沙坨两个典型的火山岩油气藏发育区,其共同特点是两者均位于东部凹陷中段的应力集中部位。在经历了多期构造改造之后,火山岩破碎形成裂缝。小22等井的火山岩岩心(图6)中发育的多组高角度裂缝,即为构造运动对火山岩储层改造的结果。欧利坨子油田的欧26井、南沙坨油田的小22和小23等井,均获100吨以上的高产工业油气流,均得益于构造应力释放、火成岩体高度破碎、构造裂缝发育及其与其它成油条件的良好匹配。

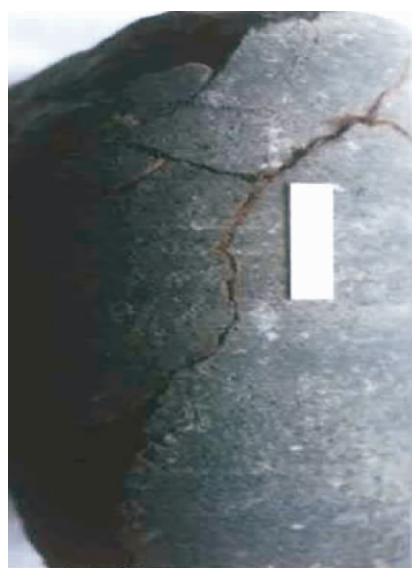


图6 小22井3168.8m岩芯中的构造裂缝

Fig. 6 Structural fractures in core
(3168.8m) from Well Xiao 22

2.3.3 主成盆期火山岩具有良好的油气保存条件

主成盆期火山岩发育具有多期次性,粗面岩、玄武岩和安山岩类火山岩互层出现。由于不同岩性火山岩形成构造裂缝的差异性^[7],容易形成构造裂缝的粗面岩类火山岩成为油气储层,而没有形成构造裂缝的火山岩类成为油气盖层。欧利坨子—黄沙坨地区在火山岩油气藏之上都分别覆盖了80~100 m玄武质泥岩和玄武岩,构成了良好的区域盖层,同时主成盆期的火山岩之上发育区域分布的质纯泥岩,欧利坨子地区上覆沙三段泥岩厚度在70~100 m,火山岩和泥岩共同构成了火山岩油气藏的区域盖层。这一特征在松辽盆地火山岩油气藏也得到了证实^[8],松辽盆地登娄库组泥岩厚度为100~250 m,具有区域盖层的能力,营城组结构致密的火山岩也可作为良好的盖层,与登娄库组泥岩盖层相互配合,从而有效地封闭了火山岩储层中的天然气,形成了本区的火山岩气藏。

2.3.4 良好的油气成藏配套条件,有益于形成大规模的油气聚集。

主成盆期的火山活动发生于构造强烈活动期,火山岩的喷发活动改造了已有的构造格局及地层特点,火山岩体上倾遮挡、火山岩体直接圈闭、火山岩体内的非均质性储层物性、沉积地层披覆覆盖以及由此所

诱导产生的差异压实等新的圈闭类型丰富了油气聚集内涵。主成盆期后又经历了一系列复杂的构造变动,火山岩被北东、近东西或北西向断裂切割,形成了多个断鼻、断块等构造类型圈闭。这些圈闭的形成早于油气的主排烃期,为油气聚集提供了良好的储存场所,有利于油气的聚集。

主成盆期火山岩发育具有多期次性,粗面岩、玄武岩和安山岩类火山岩互层出现。由于岩性、构造位置及背景的不同,火山岩在形成构造裂缝方面存在差异性。能够形成构造裂缝的粗面岩类火山岩已经改造成成为油气储层,而不易形成构造裂缝的致密火山岩类则宜于成为油气盖层。因此,除泥岩盖层以外,主成盆期发育的致密火山岩也可以成为火山岩油气藏的直接盖层,穿插于主力烃源岩中的主成盆期火山岩具有多样性的生储盖组合类型(图7)。

火山岩的喷发与主要烃源岩间互出现常形成所谓的“泥包火山岩”,形成了源储直接接触或短距离运移的先天条件,为油气运移及成藏提供了一个优越的地质背景,造就了得天独厚的火山岩油气成藏有利环境。辽河拗陷北东向主干断裂活跃,不仅控制了地层沉积,而且也控制了火山岩的发育,使火山岩成带状展布,使大规模的油气聚集和成藏成为了可能。主成盆期火山岩通常具有较大的现今埋深,新近纪以来

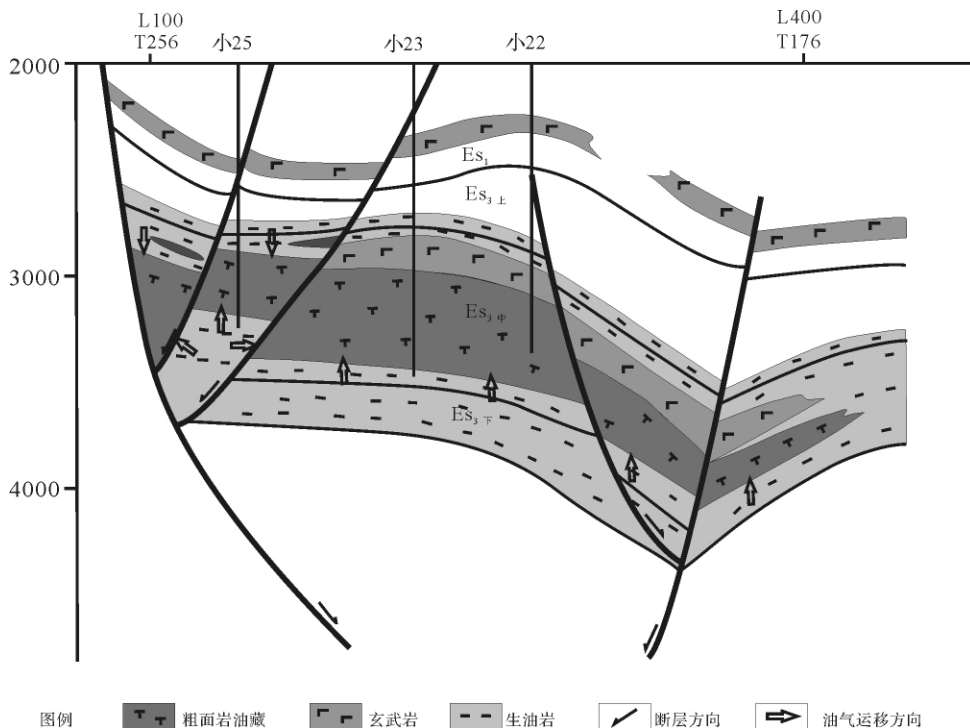


图7 东部凹陷小25井—小22井主成盆期火山岩油气成藏模式

Fig. 7 Model showing oil-pool formation in volcanic rocks during main period of basin formation in Dongbu sag

构造强度和火山作用强度的减弱有利于形成规模油气成藏,因此具有良好的油气成藏及保存条件。

研究表明,不仅是辽河拗陷火山岩成藏具有如此特征,中国其他盆地火山岩成藏也具有同样的特点^[8],中国东西部盆地中火山岩油气藏大都发育在主成盆期所形成的火山岩中,从中国东、西部火山岩成藏特征来分析(图8),火山岩本身不具备生烃能力,相邻层系是否发育有效烃源岩对成藏非常重要。大型火山岩油气藏均与烃源岩近距离接触,纵向上构成自生自储或下生上储含油气组合,并且以自生自储组合为主,具有明显的近源运聚成藏特点。

松辽盆地深层下白垩统火山岩气藏属典型的自生自储型组合。火山岩储集层主要发育在营城组,烃源岩发育于营城组之下的沙河子组以及营城组内部,区域盖层是登娄库组和泉头组泥岩。纵向上,火山岩储集层与烃源岩距离很近,使得油气可以近距离运聚成藏。加之后期发育晚白垩世大型拗陷湖盆,且改造作用微弱,因此深层火山岩油气成藏地质要素基本保持了原位性,成藏条件比较理想^[10]。渤海湾盆地发育火山岩的层系较多,而具有工业价值的火山岩油气

藏主要发育在古近系沙河街组,即盆地的主成盆期,沙河街组是渤海湾盆地的主力生烃层系,其中间歇发育的火山岩被烃源岩所夹持,构成典型的自生自储型含油气组合。准噶尔盆地陆东地区和三塘湖盆地牛东地区石炭系火山岩油气藏的生储盖组合特征相似,总体为自生自储型组合^[12]。火成岩及相关油气藏常出现于生油中心或附近的最佳成藏部位,证明主成盆期对火山岩中油气藏的形成起到了重要的控制作用。

2.3.5 主成盆期与非主成盆期火山岩成藏特点分析

从辽河拗陷东部凹陷火山岩分布与油气关系上来看(图9),处于主成盆期火山岩与处于非成盆期火山岩成藏特征具有明显的不同,在东部凹陷中段由于火山岩在沙三时期已经形成,处于主成盆期,该期火山岩历经多期构造改造,裂缝十分发育,又位于生油岩之中,有利于火山岩成藏,主要形成沙三段火山岩油气藏,目前所发现的欧利坨子和黄沙坨火山岩油气藏就是分布在中段,但是随着裂陷中心向南北两侧迁移,火山活动也向南北两侧增强,火山岩油气藏逐渐变浅,层位变新,到了南段,火山岩油气藏基本不发

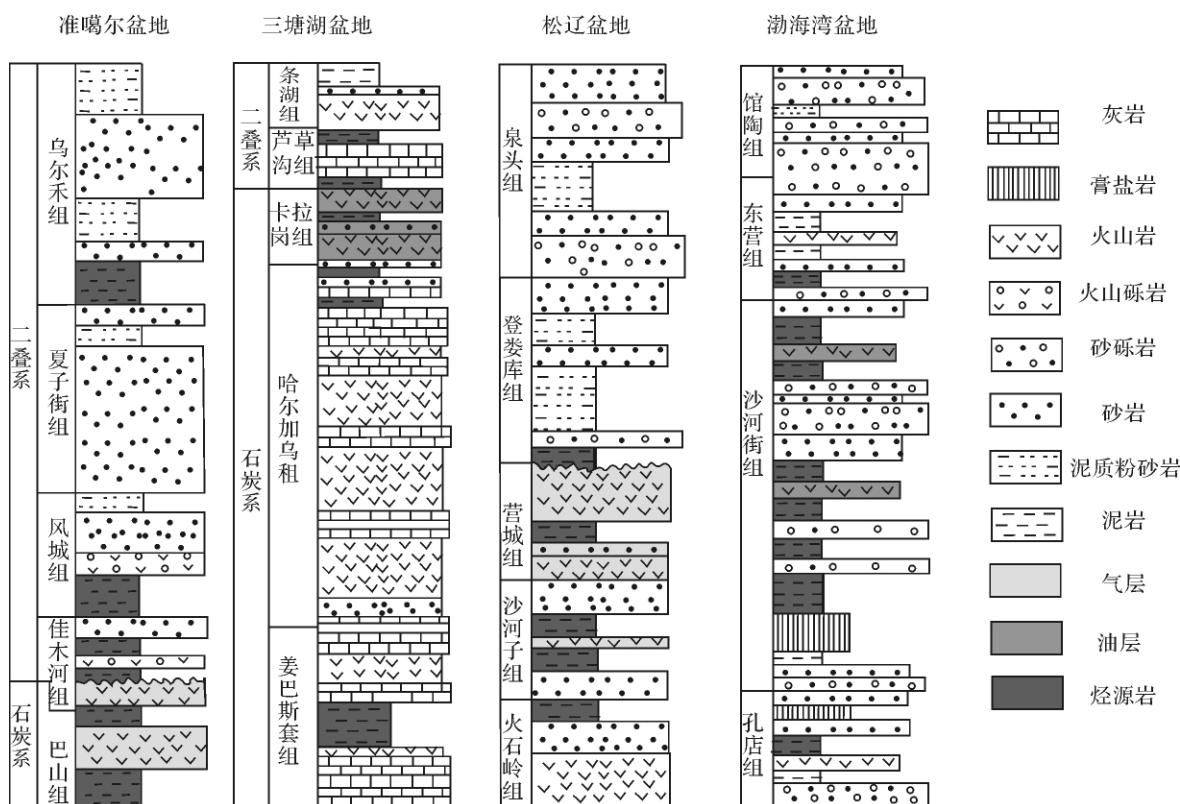


图8 中国东、西部地区火山岩油气藏生储盖组合对比图(据赵文智,2009)

Fig. 8 Correlation of Source-reservoir-cap rock combination in volcanic rocks between the eastern and western China

(after Zhao Wenzhi, 2009)

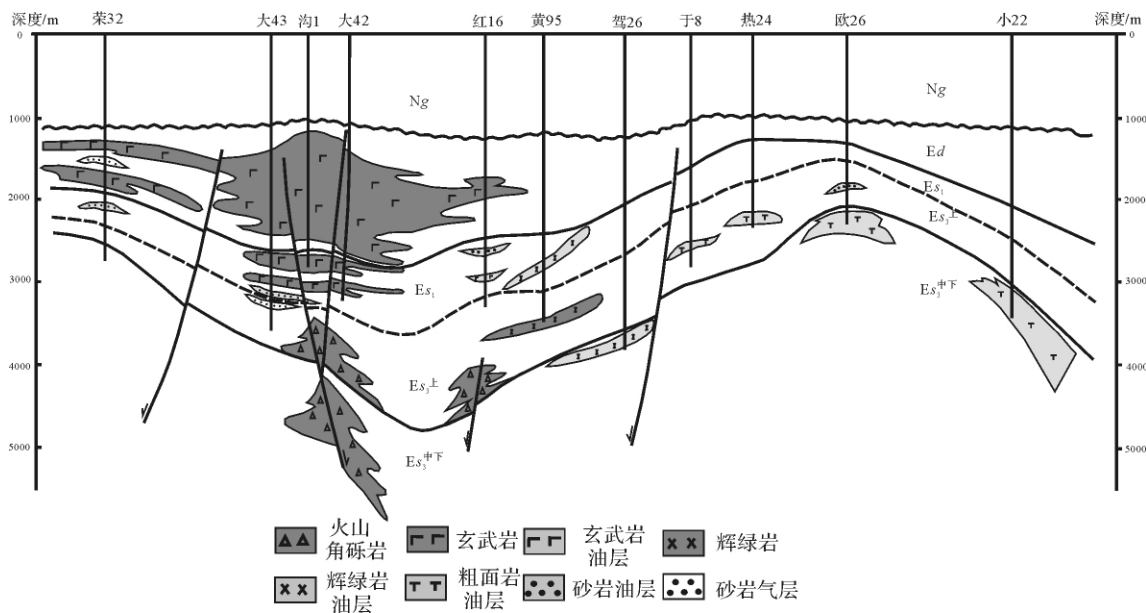


图9 东部凹陷火成岩与油气关系图

Fig. 9 Relation between the volcanic rocks and oilfields in Dongbu sag

育,同时由于东营组火山岩致密,未受到多期构造的影响,到南段火山岩以盖层为主。但南段的火山岩和油气仍具有一定的伴生关系,从目前油气分布来看,南段的油气层基本位于火山岩盖层之下^[3]。

3 生油岩、火山岩及火山岩油气藏共生关系分析

目前全球有100多个国家或地区发现了与火山岩有关的油气藏或油气显示,火山岩已经从油气勘探的“禁区”逐渐转变为“靶区”。火山岩本身可以成为油气的有利聚集场所,同时火山作用与沉积作用相匹配还有助于形成一系列与火山岩有关的油气圈闭。火山岩油气藏的研究需将火山作用、构造作用、沉积作用、成烃作用有机结合起来,缺一不可。

裂陷盆地的形成与演化受控于主干断裂活动强度与性质,盆地性质与古环境的条件制约湖盆分布范围和生油岩的分布。另外主干断裂活动强度也控制火山岩的发育和分布。辽河拗陷油气地质研究表明,主干断裂的活动强度,明显地表现在凹陷沉降幅度和火山活动上。断裂活动强,凹陷沉降幅度就大,生油洼陷就发育,同时火山作用就频繁发生,这一特征在辽河东部凹陷最为明显,往往在厚层生油岩中交叉发育厚薄不一的火山岩,形成火山岩和生油岩相互伴

生,为火山岩油气藏形成提供了有利条件。

火山活动与油气的储集、封盖、运移、聚集和保存有着十分密切的关系,构成一个完整的含油气系统。火山活动形成的火山熔岩,在岩浆迅速冷凝过程中会产生孔洞和缝隙,成为容留油气的空间;火山活动形成的火山灰沉积,具有遇水膨胀和分散的特点,地层孔隙被其充填后而成为良好的封存盖层并能抗御新构造运动的破坏而有利于油气田的保存;火山活动提供1020~1200℃的岩浆和300~400℃的热液流体携带的热能,为油气运移提供热动力条件,促进油气运移;火山活动在沉积盆地内形成的火山岩体与侵入岩体,为含油气盆地增加了一种非构造圈闭——火山岩岩性圈闭。火山作用形成的含油气系统不仅在辽河拗陷存在,渤海湾盆地的济阳拗陷和黄骅拗陷也反映出这些特征。

盆地的发育史控制了火成岩的分布,同样火成岩发育和油气藏分布有较大的相关性。含油气区往往分布在火山岩带附近^[4],形成油气田为火山岩体所围限或相伴分布特点(图10)。从辽河拗陷东部凹陷火成岩油气藏形成条件来分析,火成岩油气藏邻近油源或位于生油岩之中是火成岩油气藏形成的前提和条件,与沙三段生油岩互层的火成岩成藏的机会要比东营组和沙一段中的火成岩高得多。

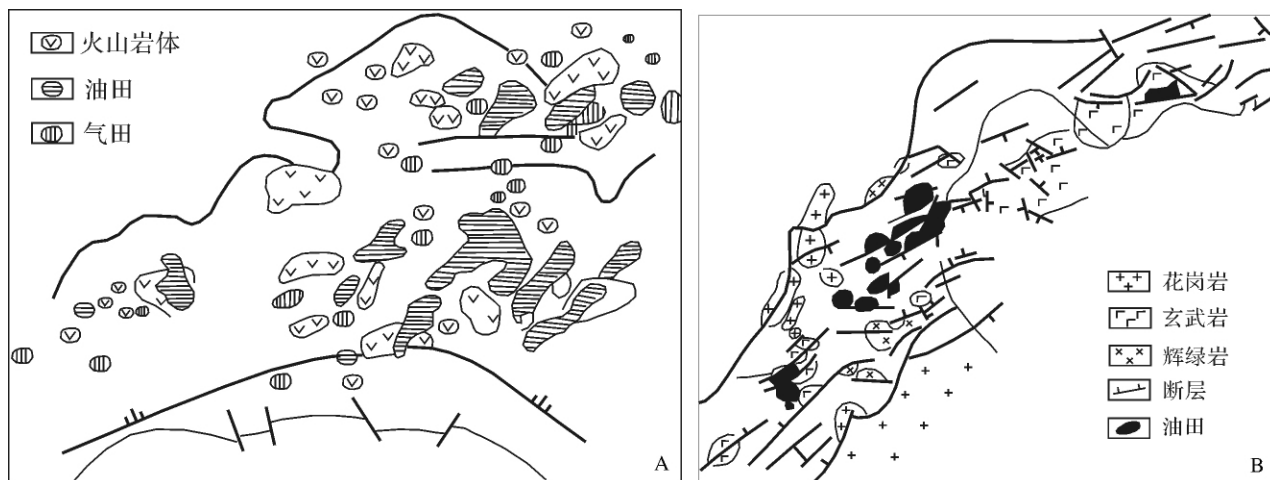


图10 火山岩与油气分布图

A. 济阳凹陷; B. 黄骅凹陷

Fig. 10 Distribution of volcanic rocks and oil-gas fields

4 结论

主成盆期是构造活动性最强、沉降幅度最大、沉积水体范围最广、沉积速率最快、形成沉积地层最厚的盆地演化阶段,期间断裂活跃、火山频繁,所发育的火山岩具有得天独厚的油气成藏有利性。辽河拗陷主成盆期火山岩发育,是油气勘探潜力较大的重要领域。

辽河新生代拗陷发生了多期火山活动,形成多套、多层系、多类型火山岩分布,总体上具有早强晚弱、平面迁移的火山活动规律^[3]。主成盆期也是主力烃源岩形成时期,有效烃源岩与穿插其中的火山岩在平面上的叠覆和剖面上的交互,为火山岩形成油气藏提供了充沛的油气源供给条件。生油岩、火山岩及火山岩油气藏在一个沉积盆地内,往往具有明显的共生关系,火山活动与油气的储集、封盖、运移、聚集和保存有着十分密切的关系,构成一个完整的含油气系统。

参考文献 (References)

- 孙卉. 辽河东部凹陷中新代火山事件与构造作用 [J]. 中国石油勘探, 2005, 5: 28-33 [Sun Hui. Mesozoic-Cenozoic volcanic events and structure effects in the Eastern Sag in Liaohe Depression [J]. China Petroleum Exploration, 2005, 5: 28-33]
- 刘立, 谢文彦, 焦立娟, 等. 辽河断陷盆地东部凹陷新生代火山岩裂缝成因探讨 [J]. 特种油气藏, 2003, 13(1): 18-21 [Liu Li, Xie Wenyan, Jiao Lijuan, et al. An approach to genesis of Cenozoic volcanic fractures in eastern sag of Liaohe basin [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2003, 13(1): 18-21]
- 孙红军, 陈振岩, 蔡国钢. 辽河断陷盆地火成岩油气藏勘探现状与展望 [J]. 特种油气藏, 2003, 10(1): 1-6 [Sun Hongjun, Chen Zhenyan, Cai Guogang. Present situation and prospect of igneous reservoir exploration in Liaohe basin [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2003, 10(1): 1-6]
- 张占文, 陈振岩, 蔡国钢, 等. 辽河拗陷火成岩油气藏勘探 [J]. 中国石油勘探, 2005, 4: 16-23 [Zhang Zhanwen, Chen Zhenyan, Cai Guogang, et al. Exploration of volcanic oil and gas reservoirs in Liaohe depression [J]. China Petroleum Exploration, 2005, 4: 16-23]
- 金强. 裂谷盆地火山活动与油气藏的形成 [J]. 石油大学学报, 2001, 25(1): 27-29 [Jin Qiang. Volcanic activities and oil/gas accumulation in the rift basins of the eastern China [J]. Journal of the University of Petroleum, 2001, 25(1): 27-29]
- 唐建仁, 刘金平, 谢春来, 等. 松辽盆地徐家围子断陷的火山岩分布及成藏规律 [J]. 石油地球物理勘探, 2001, 36(3): 345-351 [Tang Jianren, Liu Jinping, Xie Chunlai, et al. Volcanic character and reservoir-formed rule for Xujiawazi fault depression [J]. OGP, 2001, 36(3): 345-351]
- 谷团, 戴金星, 牛嘉玉. 辽河拗陷东部凹陷中段古近系粗面岩有效储集层的识别 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(3): 310-315 [Gu Tuan, Dai Jinxing, Niu Jiayu. Effective reservoir recognition of paleogene trachyte in the middle part of the east sag of Liaohe Depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 310-315]
- 赵文智, 邹才能, 冯志强, 等. 松辽盆地深层火山岩气藏地质特征及评价技术 [J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(2): 129-142 [Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Feng Zhiqiang, et al. Geologic features and evaluation techniques of deep-seated volcanic gas reservoirs, Songliao Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 129-142]
- 赵文智, 邹才能, 李建忠, 等. 中国陆上东西部地区火山岩成藏比较研究意义 [J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(1): 1-11 [Zhao

- Wenzhi, Zou Caineng, Li Jianzhong, *et al.* Comparative study on volcanic hydrocarbon accumulations in western and eastern China and its significance [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2009, 36(1): 1-11]
- 10 王璞珺, 迟元林, 刘万洙, 等. 松辽盆地火山岩相: 类型、特征和储层意义 [J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2003, 33(4): 449-458 [Wang Pujun, Chi Yuanlin, Liu Wanzhu, *et al.* Volcanic facies of the Songliao Basin: classification, characteristics and reservoir significance [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2003, 33(4): 449-458]
 - 11 匡立春, 薛新克, 邹才能, 等. 火山岩岩性地层油藏成藏条件与富集规律——以准噶尔盆地克百断裂带上盘石炭系为例 [J]. *石油勘探与开发*, 2007, 34(3): 285-290 [Kuang Lichun, Xue Xinke, Zou Caineng, *et al.* Oil accumulation and concentration regularity of volcanic lithostratigraphic oil reservoir: A case from upper-plate Carboniferous of Ke-Bai fracture zone, Junggar Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(3): 285-290]
 - 12 陈振岩, 李军生, 张戈, 等. 辽河坳陷火山岩与油气关系 [J]. *石油勘探与开发*, 1996, 23(3): 1-5 [Chen Zhenyan, Li Junsheng, Zhang Ge, *et al.* Relationship between volcanic rocks and hydrocarbon within Liaohe Depression of Bohai Gulf Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1996, 23(3): 1-5]
 - 13 Chen Z, Yan H, Li J, *et al.* Relationship between Tertiary volcanic rocks and hydrocarbons in the Liaohe basin, People's Republic of China [J]. *AAPG Bulletin*, 1999, 83(6): 1004-1014
 - 14 郭占谦. 从全球油气田分布看我国东南沿海火山岩覆盖区的含油气前景 [J]. *石油实验地质*, 2001, 23(2): 122-131 [Guo Zhanqian, Hydrocarbon-bearing prospects of volcanic rock covered regions in the southeastern coastal waters of China judged by the distribution of global oil and gas fields [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2001, 23(2): 122-131]
 - 15 Wu C Z, Gu L X, Zhang Z Z, *et al.* Formation mechanisms of hydrocarbon reservoirs associated with volcanic and subvolcanic intrusive rocks: Examples in Mesozoic-Cenozoic basins of eastern China [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(1): 137-147

Relationship between Volcanic Rocks and Hydrocarbon Accumulation during Dominant Period of Basin Formation in Liaohe Depression

CHEN Zhen-yan¹ QIU Jin-tao¹ WANG Pu-jun² LI Pai¹ ZHANG Pei-xian³
LIU Xin¹ HAO Tao¹ NIE Gui-min¹

(1. Institute of Exploration and Development, Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Panjin, Liaoning 124010;

2. Jilin University, Changchun, 130061;

3. China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract The dominant period of basin formation is defined as the period with the strongest tectonic movements, the largest extent of subsidence and the best development of source rocks. The sedimentary period of the 3rd member (Shasan, E_2s^3) and 4th member (Shasi, E_2s^4) of Shahejie Formation is the dominant period for basin formation. There were many episodes of volcanic movements during Cenozoic in Liaohe Depression, forming distribution of volcanic rocks with many series and types, which changes with the tectonic center and has the less strong activity in the earlier stages. The volcanic movements in the dominant period of Liaohe depression are abnormally strong and the appearances of volcanic rocks are frequent. The reservoirs which are altered by structural fractures and the corrosion and dissolution by formation water are favorable for oil and gas accumulation. The superposition in plane and the alternation in profile provide enough provision conditions of oil and gas sources for volcanic rock reservoirs. Furthermore, the volcanic rocks from dominant period of basin are of large thickness, widespread distribution and various traps and accumulation types, owning many advantages for oil and/or gas accumulation in many respects. The volcanic rock reservoirs for oil and/or gas in the areas of Huangshatuo and Oulituozi are typical representations among the above favorable reservoirs. The volcanic rocks from the dominant period of basin formation with favorable combination of oil and/or gas accumulation, enriching the content of oil and/or gas accumulation and the types of oil and/or gas exploration, are the important field for hydrocarbon discovery and exploration.

Key words Liaohe depression; dominant period of basin formation; volcanic rocks; exploration field