

# 松辽盆地中生代火山岩油气藏特征<sup>\*</sup>

宋维海<sup>1</sup>, 王璞<sup>1</sup>, 张兴洲<sup>1</sup>, 蒙启安<sup>2</sup>, 单玄龙<sup>1</sup>, 程日辉<sup>1</sup>

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 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:** 松辽盆地中生代火山岩油气藏主要形成于晚侏罗—早白垩世火山—沉积序列中。在火山—断陷成盆期, 深湖相泥质岩与火山岩呈现垂向或侧向的接触关系, 是火山岩油气藏形成的主要因素。火山岩储层岩石类型主要包括熔岩类、火山碎屑岩类。火山岩储层主要发育在溢流相, 尤其是溢流相顶底部的气孔带是最为有利的储集相带。火山岩储集空间可分为原生孔隙、次生孔隙和裂缝 3 种类型。区内火山岩油气藏主要受 NNE 向和近 EW 向两组区域大断裂控制, 大多分布在区域性断裂活动带、基底隆起或构造带上。

**关键词:** 火山岩; 油气藏; 二元结构; 区域断裂; 松辽盆地

**第一作者简介:** 宋维海, 男, 32 岁, 博士生, 石油地质和构造地质

中图分类号: P618

文献标识码: A

20 世纪 70 年代以来, 我国东部许多中生代油气盆地陆续发现了火山岩油气藏, 其中, 尤以松辽盆地最为典型<sup>[1]</sup>。我国东部广泛发育火山岩, 尽管层位较深、钻井不多, 但由于具有广阔的油气勘探前景, 已愈来愈多地引起了广大石油地质工作者的重视。笔者仅以松辽盆地为例, 并结合区域构造特征, 探讨此一领域油气勘探的一些规律。

## 1 成藏要素

火山岩油气藏与常规油气藏相比, 其最大特点是火山岩不能自身构成油源岩。因此, 火山岩必须紧邻生油凹陷, 有持续活动的断裂系统沟通源岩, 并与源岩的主生烃期、排烃期相匹配。

### 1.1 油气源

根据徐家围子断陷的分析, 松辽盆地的油气源可以确定有 3 种来源。松辽盆地 J<sub>3</sub>—K<sub>1</sub> 暗色泥岩发育, 尤其是沙河子组半深湖—深湖相沉积范围大, 暗色泥岩厚度一般为 200~500 m。根据该区探井资料分析, 有机碳含量一般为 1%±, 氯仿沥青“A”为 0.05%±, 干酪根类型为 II—III 型, 以 II 型为主, 综合评价为较好的烃源岩。该断陷除北部边缘地区 J<sub>3</sub>—K<sub>1</sub> 埋深在 2500 m 左右外, 其他地区均在 3000 m 以上, 镜质体反射率  $R_o > 2.0\%$ , 处于过成熟阶段, 以生气为主, 是深层地层天然气的主要来源。其次是登娄库组暗色泥岩, 登娄库

组一段最大厚度为 300 m, 一般为 100~200 m。根据沉积相分析, 在徐家围子断陷西部近南北向发育了狭长的滨浅湖相区, 通过等厚图预测暗色泥岩厚度可达 50~100 m, 具有一定的生烃能力。因此登娄库组下部地层也是深层的油气来源之一。另外, 无机成因天然气也被证实是本区深层气的重要来源。位于徐家围子断陷北部边界断裂附近的 Fsh9 井在火山岩中压裂所产的二氧化碳气, 经分析证明是有机气和无机气的混合, 这说明深大断裂附近不仅是有机气的富集带, 也是无机气的主要分布区。

### 1.2 储层

松辽盆地中生代火山岩主要发育于火石岭组、营城组和青山口组(表 1), 火山岩储集空间一般为原生孔隙、次生孔隙和裂缝 3 种类型。原生孔隙包括熔岩类的原生气孔、石泡空腔孔、杏仁体内孔和火山碎屑岩类的粒间孔隙、火山角砾岩基质收缩缝以及矿物解理缝。次生孔隙包括斑晶溶蚀孔隙、基质内溶蚀孔隙和断层角砾岩中角砾间不规则空隙。裂隙包括原生节理缝、构造裂缝、未填满构造缝和充填—溶蚀构造缝。火山岩储集空间往往为孔隙和裂缝组合, 即是所谓的双孔介质。松辽盆地火山岩普遍含有气孔构造, 具有一定的原生气孔, 尽管原生气孔的连通性较差, 但裂缝特别发育, 裂缝连通性也好, 其储集空间是由单一裂缝、交错裂缝等构成的网状结构孔隙, 属纯裂缝型。Ssh1 井火山岩气层有 15 层, 其中 5 层测井解

\* 国家自然科学基金资助课题(NSFC)49894190-12

收稿日期: 2002-04-16

释有裂缝, 另外 10 层没解释出宏观裂缝, 其孔隙度为 9%~12%。这 10 层气层储集空间应当是孔隙—裂缝型。该井绿灰色流纹岩, 见气孔构造, 大小和分布不均匀, 最大孔径 3 cm, 一般为 0.5 cm, 在显微镜下还可见到一些微孔, 大部分孔洞只在

边缘有自生石英充填, 气孔多不规则, 沿流纹构造分布。Ssh2 井安山岩岩芯见气孔和裂缝, 气孔直径一般为 1~2 cm, 裂缝以 45 度角网状裂缝为主, 缝宽 0.1~1 mm, 缝长 5~10 cm, 一般为泥质及钙质充填, 部分未被充填。

表 1 松辽盆地与其他盆地中生代火山岩储层对比

Table 1 Contrasting Mesozoic volcanic reservoirs in Songliao basin with that in other basins

系	统	组	代号	盆地名称	岩性描述	储层物性
白 垩 系	上 统	青山组	K <sub>2</sub> q	松辽盆地(齐家—古龙凹陷)	中酸性火山角砾岩, 凝灰岩为其特征岩性	平均孔隙度为 22.1%, 平均渗透率为 136×10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>
		芦沟桥组	K <sub>1</sub> l	渤海湾盆地(冀中拗陷的北京凹陷)	下部为杂色火山角砾岩, 上部为灰色凝灰质砂砾岩、砂岩、安山质角砾岩	有 6 口井于该组火山岩中见油斑及原油显示
	下 统	营城组	K <sub>1</sub> y	松辽盆地	两套火山岩夹一套碎屑岩, 以酸性—中酸性火山岩为特征	孔隙度平均为 4%~9%, 渗透率一般为 0.1×10 <sup>-3</sup> ~15×10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>
		苏红图组	K <sub>1</sub> x	银根盆地	灰黑、褐灰色玄武岩, 安山岩为主夹褐色火山角砾岩, 火山凝灰岩	气孔、杏仁及裂隙构造, 气孔孔径为 0.3~3 cm, 孔隙度为 17.9%, 渗透率 111×10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>
		巴彦花群	K <sub>1</sub> b	二连盆地	灰黑、褐灰玄武岩 安山岩	两组垂直裂缝, 可见宽度 4 cm, 孔隙度 3.57%~12.7%, 渗透率为 (1~214)×10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> , 见褐色原油
侏 罗 系	上 统	辛庄组	J <sub>3</sub> x	渤海湾盆地(冀中拗陷石家庄凹陷)	暗紫红色、灰色安山岩为主夹凝灰岩, 顶部为玄武岩、安山质角砾岩、火山碎屑岩	二口井在安山岩中见油斑及荧光
		小岭子组	J <sub>3</sub> x	辽河盆地东部凹陷	中性—中酸性火山岩, 主要为气孔安山岩及粗面岩类, 厚逾 2 000 m	孔隙半径一般为 0.1~0.5 μm, 孔隙度 1.0%~16.3%, 渗透率 0.012×10 <sup>-3</sup> ~12×10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>
		火石岭组	J <sub>3</sub> h	松辽盆地	中性火山杂岩与碎屑岩互层, 以安山岩为特征	孔隙度平均为 5%~7%, 渗透率一般为 0.1×10 <sup>-3</sup> ~10×10 <sup>-3</sup> μm
		兴安岭群	J <sub>3</sub> x	二连盆地 海拉尔盆地	凝灰岩 火山碎屑岩, 灰黄色流纹斑岩, 粗面岩, 灰绿色凝灰岩, 灰紫色安山岩, 安山玄武岩, 黑、灰黑玄武岩, 气孔、杏仁构造	裂缝宽 10~2 220 μm, 面气孔 0.1%~1%, 气孔总量占总孔隙 50%以上

火山岩储集能力与岩石类型的关系并不十分明显, 基性的玄武岩、中性的安山岩和酸性的流纹岩以及火山碎屑岩均可作为储集岩。而火山岩相却是直接影响或控制火山岩储集能力的重要因素。依据火山活动特点、火山岩产出状态及其分布规律, 可将火山岩相划分为溢流熔岩相、侵入角

砾熔岩相、火山碎屑岩相和次火山岩相, 其中溢流熔岩相顶底部的气孔带和自碎角砾熔岩相气孔和裂缝比较发育, 为油气聚集的有利相带。松辽盆地火山岩储层可以分为 4 大类(表 2)。岩相带和储集空间类型组合是储层优劣的先决条件。

表 2 松辽盆地火山岩储层分类

Table 2 Classification of volcanic reservoir in Songliao basin

储层类型	岩石类型	岩相带	储集空间类型组合	孔隙度/%	渗透率/ 10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>
I	自碎中基性熔岩、高气孔熔岩	溢流熔岩相顶部气孔带(中距离火山斜坡相带)、自碎裂角砾熔岩相	裂缝型、气孔—裂缝型	> 10	> 10
II	碎裂次火山岩、中气孔熔岩	次火山岩相、侵入角砾熔岩相	气孔—裂缝型、基质溶孔—裂缝型	> 5~10	> 3~10
III	中—粗火山碎屑岩、凝灰岩	火山碎屑岩相	基质溶孔—裂缝型、斑晶溶孔—裂缝型	3~5	0.1~3
IV	致密熔岩、火山沉积岩	溢流熔岩相(火山口或近火山口相带)	微孔—微裂隙型	< 3	< 0.1

### 1.3 盖层与生储盖组合

#### 1.3.1 盖层条件

松辽盆地登娄库组泥岩和  $J_3-K_1$  的致密火山岩是火山岩气藏的盖层。登娄库组砂岩虽然比较发育,但登娄库组三段下部和二段以泥岩为主,砂岩不发育,砂地比小于 20%,在登娄库组二段较薄的基岩凸起上, W902 在基岩风化壳上获工业气流,证明登娄库组二段具有盖层能力。在  $J_3-K_1$  断陷区,登娄库组二段泥岩相对比较发育,地层厚度大。据统计登娄库组泥岩厚度为 100~250 m,具有区域盖层的能力,登娄库组三段下部和二段泥岩更是良好盖层。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。

#### 1.3.2 生储盖组合

根据松辽盆地生、储、盖层三者和时间上和空间上的相互配置关系,可将本区生储盖组合划分为 3 种类型:即正常生储盖组合、顶生式生储盖组合和侧变式生储盖组合。

正常生储盖组合是指在地层剖面上生、储、盖层表现为由下而上的正常分布关系,即生烃层位于组合下部,储集层位于中部,盖层位于上部。这种组合类型又根据时间上的连续或间断细分为连续式和间断式两种。油气从生油层到储集层以垂向运移为主。营城组天然气主要来源于沙河子组煤系地层,是该类生储盖组合的典型实例。

顶生式生储盖组合是指生烃层和盖层同属一层,而储集层位于其下的组合类型。油气运移常常通过不整合面来完成。在本区如火石岭组,天然气主要来源于其上部沙河子组的煤系地层;又如,营城组火山岩储层的部分天然气来源于其上部登娄库组二段的暗色泥岩。它们均为典型的顶生式生储盖组合。

侧变式生储盖组合是指由于岩性、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的组合类型。这种组合多发育在拗陷内生烃凹陷向边缘斜坡过渡带或隆起的斜坡上。在本区主要体现为火石岭组的构造高部位,沙河子组煤系地层生成的油气沿断层或不整合面侧向运移至火石岭组火山岩储集层内。

## 2 形成时期及成因

松辽盆地隶属中国东部环太平洋构造域,其

中生代火山岩油气藏形成时期和成因与中国东部其他地区具有相关性。中国东部晚侏罗世—早白垩世火山岩活动强烈,是中生代火山岩—沉积岩盆地充填序列的主要形成期,也是火山岩油气藏的主要形成期。该时期是我国东部的重要成盆期和构造活动期,也是对先前构造形迹的强烈改造期。很多学者对该期的盆—山建造机制进行了阐述<sup>[2-3]</sup>。在区域上,中国东部陆缘中区同时受到几个大的地质事件影响:北部鄂霍次克洋闭合作用,东部大洋板块的斜向俯冲作用,南部秦岭大别山带的造山期后作用和中部郯庐断裂的大型走滑活动。根据研究区内火山岩的岩石组合和地球化学特征,区内盆地火山岩的岩石成因普遍有陆壳组分参与,是在一种与板块俯冲有关的环境下形成的<sup>[9]</sup>。火山活动与沉积作用具有显著的联系:

(1)松辽盆地中生代火山岩—沉积岩互层系列往往出现在盆地充填的早期,火山岩油气藏主要发育于盆地深层的火山岩—沉积岩序列中。由于火山活动是构造运动的表现形式,火山岩主要充填于盆地的断陷层序内,所以,成盆早期的火山作用代表地壳拉张和盆地断陷的开始。火山期后的热沉降作用是导致断陷内部出现沉积岩充填的主要机制。火山—断陷成盆期,深湖相泥质岩与火山岩呈现垂向和侧向的互层状接触关系,是导致松辽盆地火山岩油气藏形成的主要因素。(2)在盆地的断陷期,火山作用与沉积作用是互相联系的,这种联系是由深部地质作用决定的,即火山作用与沉积作用都是同一深部地质作用在地壳浅部的响应。就中国东部地区而言,中生代火山岩的成因都与陆壳物质的深部(岩浆源区)混染作用有关。把浅部的陆壳物质带到深部软流圈地幔的机制只能是俯冲作用,但具体的火山岩体与哪个或哪些俯冲作用直接相关是很难确定的,因为同一地区的盆地火山岩往往是多种作用、多期叠加的结果。但松辽盆地群的中生代火山岩倾向于被认为与北部的鄂霍次克洋关闭有关<sup>[7]</sup>;南华北盆地群的中生代火山岩多认为与秦岭大别造山带的陆陆碰撞俯冲作用有关;渤海湾盆地群的中生代火山岩认为与太平洋板块向欧亚大陆之下的斜向俯冲作用有关。(3)总体上看,中国东部地区由于三叠纪末的印支运动使全区隆升遭受剥蚀而缺失三叠系。早、中侏罗世时由于燕山运动一、二幕形成了一系列小型而孤立的断陷盆地,盆地内充填了小规模的火山岩建造。晚侏罗—早白垩世随着燕山运动

三、四幕作用的不断加剧,使沉积盆地不断扩大并向拗陷转化,使大部分盆地处于全盛期,盆地内不仅充填了火山岩而且也广泛发育巨厚的深湖相沉积物,普遍具有火山—沉积二元结构,为火山岩油气藏的形成奠定了物质基础。松辽盆地中生代火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组之间存在典型的火山—沉积二元结构,因而具备了形成火山岩油气藏的物质条件。

### 3 气藏类型及其与断裂的关系

#### 3.1 火山岩油气藏类型

松辽盆地火山岩油气藏主要包括岩性油气藏、不整合油气藏和构造油气藏,是由不同期次、不同火山机构形成的各自相对独立的火山岩体构成的,火山岩储层一般离生油层较近,形成底生顶

储、顶生底储或侧变式油气藏(图 1)。研究表明,几乎所有的有利圈闭都集中在古隆起和断层附近。

#### 3.2 与区域断裂的关系

松辽盆地中生代火山岩油气藏大多分布在区域性断裂活动带、基底隆起或构造活动带上(图 2)。火山岩储层在形成时间上都与地质时代中的强烈的构造活动有关,断裂活动不仅控制着火山活动和火山岩的分布<sup>[8]</sup>,而且还制约着其相邻生烃层的发育,同时对火山岩的储集性能也有很大的影响。盆地内火山岩的出现,主要受断裂运动形成的深断裂控制。盆地内存在火山岩的喷发,才可能形成火山岩油气藏。松辽盆地隶属中国东部环太平洋构造域,受其构造格局的控制,与东部区域断裂密切相关。

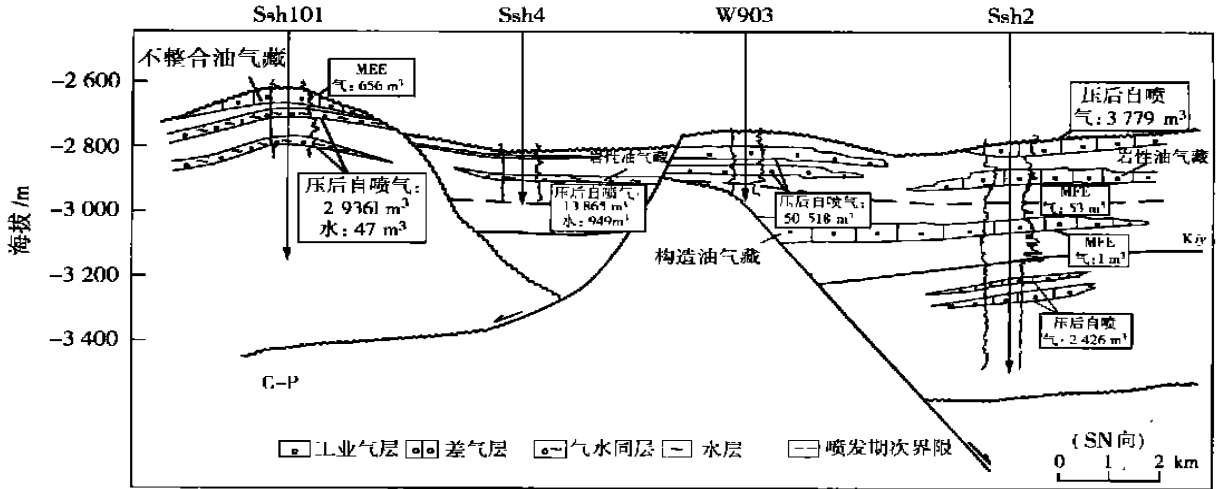


图 1 松辽盆地升平—汪家屯地区油气藏类型剖面

Fig. 1 Profile of reservoir types in Shengping—Wangjiatun area, Songliao basin

中国东部中生代发育火山岩的主要盆地有松辽盆地、海拉尔盆地、二连盆地、渤海湾盆地、南华北盆地、苏北盆地等。这些盆地分别是在前震旦结晶岩、古生代褶皱基底及变质基底上发育起来的,盆地的形成与演化主要受 NNE 向和近 EW 向两组区域大断裂控制。

松辽盆地是在吉黑褶皱系发育起来的含油气盆地,嫩江断裂构成了盆地西部的天然界限,其东部边界为佳木斯—伊通断裂,南部为赤峰—开原断裂,这三大断裂对松辽盆地的形成和演化具有明显的控制作用。松辽盆地中生界主要由上侏

罗一下白垩统火山岩和火山碎屑岩组成,具有火山—沉积二元结构。上侏罗统火石岭组以中基性火山岩与火山碎屑岩充填为特征,为初始张裂或塌陷阶段。下白垩统沙河子组以河流—湖泊相沉积为主,夹火山碎屑岩及煤层,为裂陷扩张火山活动间歇期充填。下白垩统营城组为中酸性火山岩与砂泥岩互层,为裂陷作用向拗陷作用转化期充填。火石岭组和营城组是松辽盆地主要的火山岩储层,这在 NNW 向安达—徐家围子断陷已得到证实。此外 NE 向德惠—梨树断陷也发育营城组火山岩,具备储集油气的条件。白城地区地处松辽

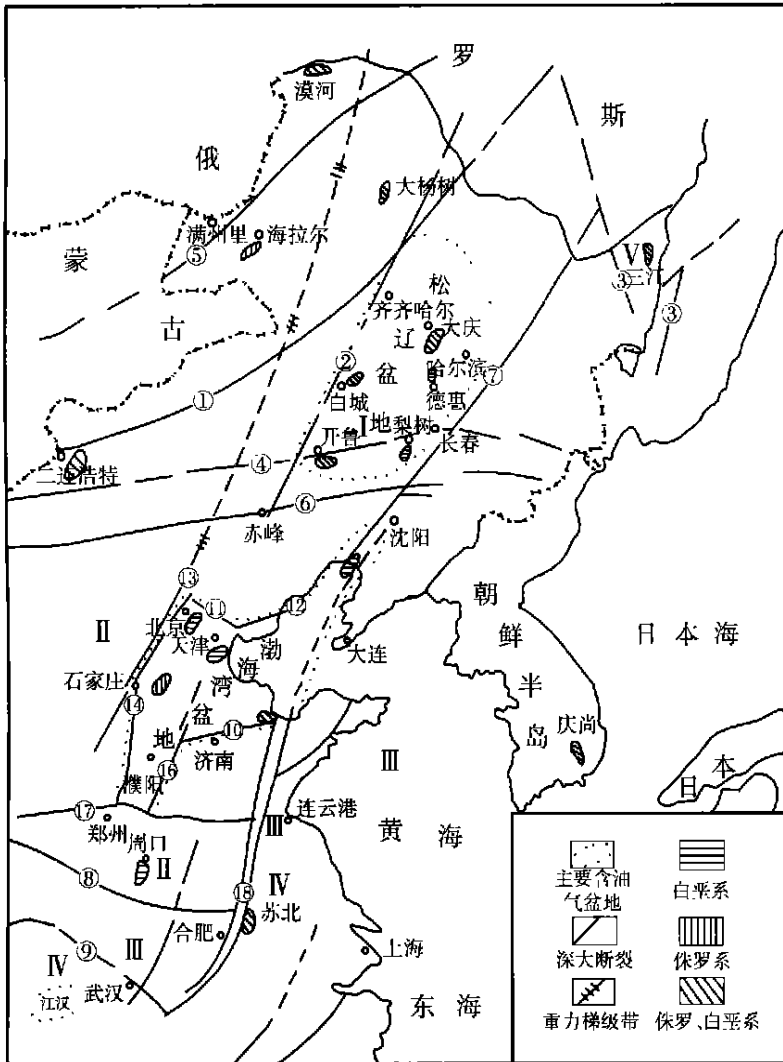


图2 中国东部中生代火山岩储层与主控断裂分布关系示意图

Fig. 2 Relationship between Mesozoic volcanic reservoirs and the distribution of main-controlling faults in eastern China

I—兴蒙造山带; II—华北板块; III—秦岭—大别—苏鲁造山带; IV—扬子板块; V—完达山地体古板块边缘深大断裂; ①二连—贺根山—黑河拼接带; ②嫩江—八里罕断裂; ③跃进山; ④西拉木伦—长春—延吉拼接带; ⑤德尔布干断裂; ⑥赤峰—开原断裂; ⑦佳木斯—伊通断裂; ⑧秦岭北界逆冲断裂; ⑨勉略缝合带; ⑩齐河—广饶断裂; ⑪宁河—宝坻断裂; ⑫昌黎断裂; ⑬大兴安岭—太行山断裂(大兴安岭—太行山—武陵山重力梯级带); ⑭太行山前断裂; ⑮沧东断裂; ⑯兰考—聊城断裂; ⑰三门峡—焦作—丰县—沛县断裂; ⑱郟庐断裂

盆地西缘,嫩江断裂附近,中生代火山岩发育,根据野外露头勘测,火山岩也具备形成储层的条件,有待于进一步研究。

开鲁盆地处于华北板块与西伯利亚板块合聚带内,是在海西褶皱基底上发育起来的中生代断陷盆地,从隶属关系上看属于松辽盆地南缘。晚侏罗世—早白垩世西拉木伦河断裂活动控制了盆地的北界,造成了与松辽盆地主体发育上的差异性,盆地内充填了义县组火山岩、九佛堂组火山—火山碎屑岩及沙海组沉积岩。从阜新期开

始,由于西拉木伦河断裂活动减弱,赤峰—开原断裂活动加强,使开鲁盆地与松辽盆地演化同步。开鲁盆地九湾筒凹陷九佛堂组火山岩分布广泛,溢流相上部 and 下部气孔发育带为最有利的储集相带,可以形成火山岩油气藏,汉1、额1并在溢流相带安山岩中获得工业油流就可以证明这一点<sup>[9]</sup>,此外义县组火山岩也可形成火山岩储层。

#### 4 结语

松辽盆地中生代火山岩油气藏主要形成于晚

侏罗—早白垩世火山—沉积序列中。火山岩储层主要发育在溢流相, 尤其是溢流相顶底部的气孔带是最为有利的储集相带。火山岩的储集空间主要为原生孔隙、次生孔隙和裂缝。火山岩油气藏类型可分为岩性油气藏、不整合油气藏和一些与构造有关的油气藏。火山岩油气藏主要受 NNE 向和近 EW 向两组区域大断裂控制, 大多分布在区域性大断裂活动带、基底隆起或构造带上。火山岩油气藏的必要条件包括: 紧邻生油凹陷、靠近持续活动的断裂系统、有充足的储集空间、储层在生排烃期之前或同时形成、具封堵条件、处于继承性构造的相对高部位。盆地火山岩的岩石成因普遍具有陆壳组分的参与, 是在一种与板块俯冲有关的构造背景下形成的。火山—沉积地层序列是火山岩油气藏形成的关键因素, 区域大断裂附近应是火山岩油气藏勘探的有利目标区。

#### 参 考 文 献

1 邵正奎, 孟宪禄, 王洪艳, 等. 松辽盆地火山岩地震反射特征及

其分布规律[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(1): 33~36

- 2 陈发景, 汪新文, 张光亚. 中国中生代含油气盆地构造和动力学背景[J]. 现代地质, 1992, 6(2): 317~327
- 3 陈建文, 王德发. 中国东部中生代盆地类型及沉积充填序列[J]. 地球科学, 1996, 21(4): 414~415
- 4 刘和甫. 盆地演化与地球动力学旋回[J]. 地学前缘, 1997, 4(3~4): 233~240
- 5 陈发景, 汪新文. 中国中、新生代含油气盆地成因类型、构造体系及地球动力学模式[J]. 现代地质, 1997, 11(4): 409~424
- 6 Wang Pujun, Liu Wanzhu, Wang Shuxue et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and K/Ar dating on the volcanic rocks in the Songliao Basin, NE China: constraints on stratigraphy and basin dynamics[J]. International Journal of Earth Sciences, 2002, 91(2): 331~340
- 7 Wang Pujun, Ren Yanguang, Shan Xuanlong, et al. The Cretaceous volcanic succession around the Songliao Basin, NE China: relationship between volcanism and sedimentation[J]. Geological Journal, 2002, 37(2): 1~19
- 8 罗志立. 地裂运动与中国油气分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992. 90~110
- 9 周超, 董庆勇, 许长斌. 龙湾筒凹陷九佛堂组火山岩储层特征研究[J]. 特种油气藏, 1999, 6(3): 13~18

## CHARACTERISTICS OF MESOZOIC VOLCANIC RESERVOIRS IN SONGLIAO BASIN

Song Weihai<sup>1</sup> Wang Pujun<sup>1</sup> Zhang Xingzhou<sup>1</sup> Meng Qi'an<sup>2</sup> Shan Xuanlong<sup>1</sup> Cheng Rihui<sup>1</sup>

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin;

2. Daqing Exploration & Development Institute, Daqing, Heilongjiang)

**Abstract:** The Mesozoic volcanic reservoirs in Songliao basin formed in the Late Jurassic to Early Cretaceous volcanic—sedimentary sequences. The vertical or lateral contacts between the deep lacustrine argillaceous rocks and volcanic rocks are the key factors of the formation of volcanic reservoirs during the volcanic—fault depression period—basin forming. Rock types of volcanic reservoirs include mainly lava and pyroclastic rock. The major volcanic reservoirs are mainly in the effusive facies, and the best reservoir belts are in the gas cavity belts on top and at base of the effusive facies. The reservoir spaces can be divided into primary pores, secondary pores and fissures. The volcanic reservoirs are mainly controlled by both NNE and nearly EW regional faults, most of them occur in active regional fault zones, basement uplifts or tectonic zones.

**Key words:** volcanic rocks; hydrocarbon reservoirs; two—component structure; regional fault; Songliao basin