

文章编号: 1001-6112(2008)04-0328-05

松辽盆地长岭断陷火山岩相与天然气成藏关系

秦伟军¹, 刘超英¹, 谈凤其², 高中哲³, 毛根塔³

(1. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 长春 130026; 3. 中国石油天然气集团公司东方地球物理勘探有限责任公司研究院, 河北涿州 072750)

摘要: 松辽盆地盖层由上部拗陷层和下部断陷层组成。长岭断陷是断陷层的一部分, 是受盆地早期发育的孙吴—双辽、松花江—四平 2 条岩石圈深断裂带控制的深大断陷。断陷内部及周边断裂深切岩石圈, 造成多期火山活动, 形成火山岩与巨厚湖相沉积岩共生。火山岩以酸性火山岩类为主, 分爆发相和溢流相 2 种类型, 两者在剖面上交替出现构成多个火山活动旋回。研究认为, 喷溢相的上部亚相原生气孔发育, 爆发相的空落亚相和热基浪亚相孔隙发育。火山岩相与天然气成藏关系主要表现为, 喷溢相上部亚相、爆发相空落亚相和热基浪亚相控制了储层发育, 储层又控制了气藏形成。

关键词: 火山岩相; 天然气成藏; 长岭断陷; 松辽盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

RELATIONSHIP BETWEEN VOLCANIC FACIES AND GAS ACCUMULATION IN THE CHANGLING FAULT-DEPRESSION OF THE SONGLIAO BASIN

Qin Weijun¹, Liu Chaoying¹, Tan Fengqi², Gao Zhongzhe³, Mao Genta³

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China;
2. College of Geo-exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun, Jilin 130026, China;
3. Research Institute of BGP, CNPC, Zhuozhou, Hebei 072750, China)

Abstract: Caprock structure in the Songliao Basin is composed of the upper depression layers and the lower fault-depression layers. The Changling Fault-Depression (part of the fault-depression layers) is a deep-large fault-depression controlled by the Sunwu—Shuangliao and the Songhuajiang—Siping Deep Fault Belts generated during basin early phase. Deep faults in and around the fault-depression cut deep into lithosphere, causing volcanic activities, resulting in association of volcanic rocks and lacustrine facies sedimentary rocks. Volcanic rocks are mainly acid, and can be divided into 2 types: explosive and outpouring. The 2 facies alternate and compose multiple volcanic activity cycles. Primary vesicles generate in the upper subfacies of the explosive facies. Pores and caverns generate in the aerial-falling and thermodynamic wave subfacies of the outpouring facies. Good reservoirs generate controlled by the upper subfacies of the explosive facies and the aerial-falling and thermodynamic wave subfacies of the outpouring facies; hence control gas accumulation formation.

Key words: volcanic rock facies; gas accumulation formation; the Changling Fault-Depression; the Songliao Basin

1 构造、沉积特征与火成岩成因

1.1 区域构造背景

松辽盆地沉积地层格架由上部拗陷层和下部

断陷层组成, 断陷层发育 30 余个大小不等的断陷。断陷沉积时期发育北东—北北东、北西—北北西向 2 组断裂带。北东—北北东向深大断裂带形成早, 北西—北北西向形成晚, 在平面上呈“×”网状交错。

收稿日期: 2007-02-26; 修订日期: 2008-05-30。

作者简介: 秦伟军(1964—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事石油、天然气地质与勘探规划研究。E-mail: qinwj@pepris.com。

基金项目: 中国石油化工股份有限公司油气勘探先导项目(06-ZS-YTB012)。

受北北东—北东向岩石圈及壳深断裂系控制,断陷层发育 3 个断陷带,由西向东分别为西部断陷带、中央断陷带和东部断陷带,整体呈北北东向展布。其中,长岭断陷位于中央断陷带南部,是孙吴—双辽及松花江—四平 2 条岩石圈深断裂沿周边发生强烈深陷而形成的深大断陷(图 1)^[1~5]。

1.2 控陷断裂与沉积格局

与长岭断陷直接有关的控陷断裂有北西向一级深大断裂第二松花江断裂、北北东向一级深大断裂松原长岭断裂和二级断裂大安—乾安—苏公坨断裂、正北镇—龙凤山断裂;与大断裂伴生,在断陷内部及周边发育 9 条派生断裂(图 2)。控陷断裂表现为走滑剪切性质,深切岩石圈,地幔热流沿剪切带上涌使上地幔发生隆起,造成多期火山活动,形成大量岩浆侵入和火山喷发,从而发育大套火山岩地层^[6,7]。

长岭断陷受控于一级深大断裂,其沉积实体远远大于其他由二、三级断裂控制的断陷盆地,是松辽盆地断陷层中规模较大的断陷之一。该断陷地层发育全,厚度大,最大厚度达 5 000 m,面积达 7 000 km²。

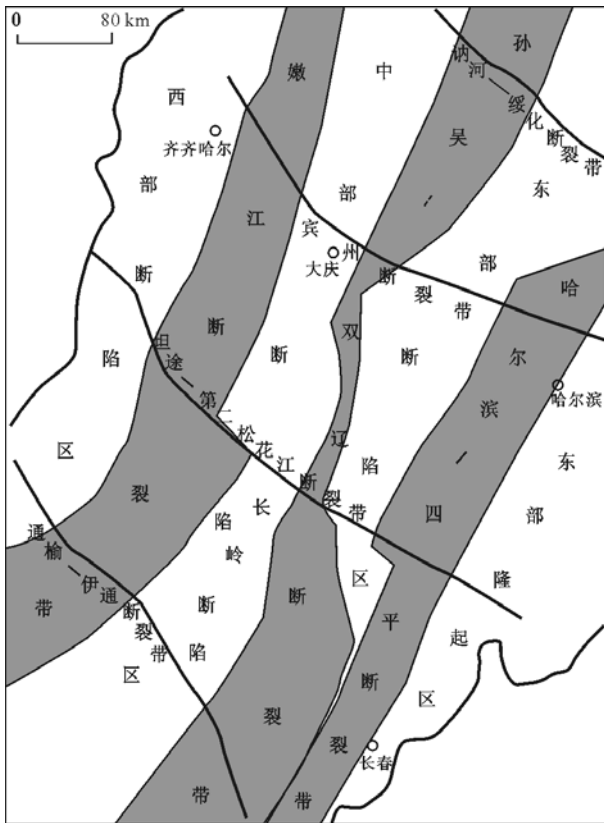


图 1 松辽盆地断陷层构造面貌
Fig. 1 Structural map of fault-depressions in the Songliao Basin

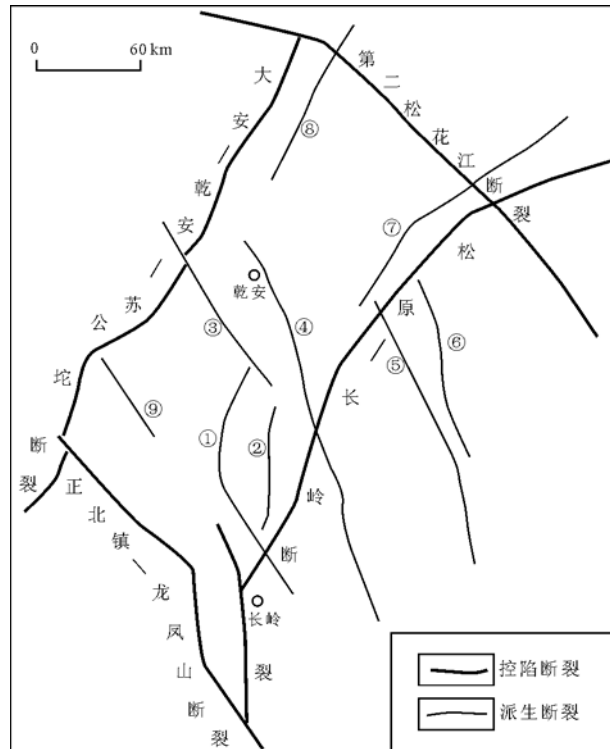


图 2 松辽盆地长岭断陷控陷断裂分布
①查干花西断裂;②查干花断裂;③大情字井断裂;④乾安断裂;
⑤伏龙泉断裂;⑥孤店断裂;⑦新立断裂;⑧大安西断裂;
⑨大布苏断裂

Fig. 2 Faults controlling fault-depressions in the Changling Fault-Depression, the Songliao Basin

1.3 地层层序

长岭断陷在火山岩、变质岩基底上沉积了巨厚的白垩纪地层。基底为二叠系、三叠系中酸性侵入岩和浅变质岩。盖层层序自下而上为:1)下白垩统火石岭组。断陷早期控陷断裂强烈活动,岩浆上涌形成大规模的火山岩,火山间歇期发育粗碎屑冲积扇沉积;2)下白垩统沙河子组。断陷进一步伸展,范围有所扩大,形成一套以碎屑充填沉积为主、夹火山岩的地层;3)下白垩统营城组。下部、上部地层沉积时期伴随着强烈的火山喷发作用,形成巨厚的火山岩和火山碎屑岩,与浅湖、深湖相地层交替发育;4)下白垩统登娄库组。断陷已不发育,以滨浅湖—泛滥平原相沉积为主。

断陷沉积结束后,进入拗陷沉积时期,下白垩统泉头组、上白垩统嫩江组覆盖在断陷层之上。

1.4 火山岩成因与展布

长岭断陷火石岭组和营城组沉积时期有 2 期大的火山活动,营城组沉积时期火山活动更为强烈。

营城组沉积时期火山岩的形成有 3 方面原因: 1)盆缘控盆深大断裂切穿基底,如果切穿地壳,就能沟通深部岩浆源,为岩浆上涌提供通道;2)长岭

断陷形成演化过程中,火石岭组和营城组沉积时期主要为拉张环境,正断层控制断陷形成,开启性的正断层容易诱发火山喷发;3)断裂的薄弱点应力最集中,是火山多发位置,多位于断裂相互交错处、断裂转折处和断裂两端^[8,9]。

长岭断陷南带火山岩的形成与分布受陡坡带控陷深大断裂控制,沿断裂分布,火山多为爆发式喷发,多期火山岩在纵向上呈蘑菇状相互叠置。断陷中带没有深大断裂,火山喷发主要与那些和深大断裂有联系、距离近的次级断裂有关。北带断裂不发育,只有 2 个火山岩体,火山以溢流式喷发为主,多形成稳定的、大面积展布的熔岩地层。

2 火山岩相

2.1 火山岩岩石类型

2.1.1 玄武岩

统计的 7 口探井中有 4 口井钻遇玄武岩,在全区揭示厚度最大,是基性喷出岩的代表。岩石呈灰黑、黑及暗紫色。喷出时粘度小,结晶程度较其他类型的喷出岩高。结构为斑晶、基质和杏仁体。斑晶以基性斜长石为主,其次为辉石,呈板条状或柱状角形晶;基质主要为基性微晶斜长石,部分为辉石、磁铁矿等充填物(表 1);杏仁体成分主要为方解石和绿泥石,形状不规则。气孔、杏仁构造普遍发育。

2.1.2 安山岩

有 5 口井钻遇安山岩,钻遇井数最多,累计钻遇厚度和玄武岩相近,是中性喷出岩的代表。岩石呈灰紫、紫褐色,具斑晶结构,多具气孔、杏仁构造或块状构造。斑晶成分为中性斜长石,呈板条状、环带结构;基质由斜长石、磁铁矿、辉石、绿泥石、方解石和杏仁体组成(表 1),斜长石呈平行—半平行排列,基间隙充填有粒状辉石、磁铁矿及玻璃质等,少量矿物已绿泥石化。

2.1.3 流纹岩和英安岩

有 4 口井钻遇流纹岩,但厚度比玄武岩和安山岩明显减小;仅有 1 口井钻遇英安岩,厚度也较薄。

表 1 松辽盆地长岭断陷玄武岩、安山岩矿物成分

Table 1 Mineralogical composition of basalt and andesite in the Changling Fault-Depression of the Songliao Basin

岩石类型	矿物成分, %					
	斜长石	辉石	磁铁矿	绿泥石	方解石	杏仁体
玄武岩	53~55	0~32	5~10	3~6	0~7	
安山岩	61~65	0~25	3~6	0~4	0~4	0~2

流纹岩和英安岩都属于酸性喷出岩,流纹岩为酸性喷出岩的典型代表,是其中分布最广的一类。岩石呈灰红、粉红、肉红、浅紫色,具斑状结构;斑晶成分为:钾长石 38%~42%,石英 10%~12%;石英呈粒状、堆积体;镜下见流动构造;基质为隐晶质或玻璃质。由于酸性熔岩流粘度大,易保存粘性流动痕迹,多具流纹构造,并常与大量火山碎屑物质伴生。

英安岩也具有斑状、变玻晶交织结构,斑晶成分以斜长石为主,且石英含量略高于流纹岩。

2.1.4 火山碎屑岩

揭示的火山碎屑岩主要为凝灰岩,有 5 口井钻遇,少量为角砾岩。凝灰岩是火山喷发初期和晚期的产物,绝大部分火山活动都会有凝灰岩出现。镜下观察主要为流纹质凝灰岩,部分为英安质凝灰岩。由晶屑、岩屑和玻屑 3 部分组成,晶屑主要为长石、石英,具凝灰结构;岩屑约占 40%~60%,几乎全为石英或钾长石晶屑,后者含量稍高于前者,粒径大小为 0.25~2.00 mm,分选中等,常呈棱角状,外形不规则;玻屑偏酸性,已脱玻化为隐晶质的石英和长石集合体,主要为安山质凝灰岩。

火山角砾岩是由火山作用生成的角砾被压胶结而形成的一种岩石。有 1 口井(DB10 井)钻遇,属中性安山质火山角砾岩,具角砾状结构,角砾含量 30%~70%,粒径 0.38 cm 左右,分选性及磨圆度差,角砾成分主要为熔岩及凝灰岩,有少量凝灰质粉砂岩、凝灰质泥岩、泥质粉砂岩、石英砂岩和花岗岩类。另外,有 1 口井(DB14 井)见角砾熔岩。

2.2 火山岩相类型及发育模式

2.2.1 火山岩相类型

通过松辽盆地周边露头勘查,结合岩心观察、薄片鉴定,认为长岭断陷火山岩相为爆发相和溢流相,2 种相可进一步划分为 6 种亚相^[10~12]。

爆发相是指火山爆发时产生的各种火山碎屑物在原地降落堆积。按照堆积作用方式的不同和火山作用的先后,可分为 3 个亚相:空落亚相、热基浪亚相和热碎屑流亚相。

空落亚相:火山碎屑物被爆发气流带入高空后,受风力搬运,在重力作用下堆积。主要岩性为含火山弹和浮岩块的集块岩、角砾岩、晶屑凝灰岩;具有集块结构、角砾结构和凝灰结构;发育正粒序层理、颗粒支撑、弹道状坠石等构造;产出状态多在喷发旋回底部,向上变细变薄,有时也呈夹层出现,平面上具分带性,围绕喷发中心分布。SN109 井

和 DB11 井的凝灰岩中见到空落亚相。

热基浪亚相:是气射作用的气—固—液态多相体系受重力作用在近地表呈悬移质搬运、重力沉积、压实成岩的产物。主要岩性为含晶屑、玻屑和浆屑的凝灰岩;具火山碎屑结构;发育平行层理、交错层理和逆行沙波层理;产出状态多在爆发相中下部,或与空落相互层,向上变细变薄,一般低凹处较厚。九台地区的熔结凝灰岩中见到热基浪亚相。

热碎屑流亚相:是含挥发分的灼热碎屑—浆屑混合物,在后续喷出物推动和自身重力作用下沿地表流动,受熔浆冷凝胶结与压实共同作用的产物。主要岩性为含晶屑、玻屑、浆屑和岩屑的熔结凝灰岩;具熔结凝灰结构、火山碎屑结构;块状构造或正粒序、逆粒序构造,火山玻璃定向排列,基质支撑;产出状态多在火山旋回早期的爆发相上部。YS1 井熔结凝灰岩中见到热碎屑流亚相。

喷溢相是液态岩浆从火山口溢出,在地表呈带状延伸和流动而冷凝形成的岩石组合,酸性、中性、基性火山岩均可见到。喷发溢流环境稳定且厚度较大的熔岩层可划分为下部亚相、中部亚相和上部亚相。

下部亚相:是液态岩浆从火山口溢出后位于流动单元下部的冷凝体。主要岩性为流纹岩及含同生角砾的流纹岩;玻璃质结构、细晶结构、斑状结构和角砾结构;具块状或断续的流纹构造;产出状态在流动单元的下部。

中部亚相:是液态岩浆从火山口溢出后位于流动单元中部的冷凝体。主要岩性为流纹构造流纹岩;细晶结构、斑状结构;流纹构造;产出状态在流动单元的中部。

上部亚相:是液态岩浆从火山口溢出后位于流动单元上部的冷凝体。主要岩性为气孔流纹岩或球粒流纹岩。球粒结构、细晶结构;气孔呈条带状分布,沿流动方向定向拉长,气孔构造、杏仁构造和石泡构造;产出状态在流动单元的上部。

2.2.2 火山岩相发育模式

以腰深 1 井钻探揭示的火山岩相资料为基础,建立了该区火山岩相发育模式(图 3)。一个火山活动旋回由下部爆发相、上部喷溢相组成。爆发相自下而上依次为空落亚相、热基浪亚相和热碎屑流亚相,喷溢相自下而上依次为下部亚相、中部亚相和上部亚相。爆发相与喷溢相交替,构成多个火山活动旋回。

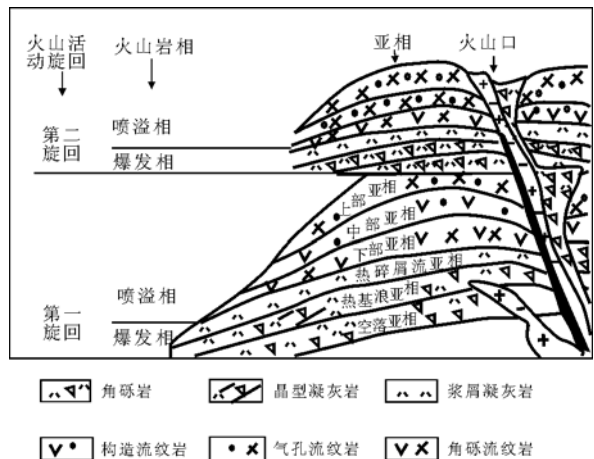


图 3 松辽盆地长岭断陷火山岩相模式
基于腰深 1 井资料。

Fig. 3 Volcanic facies model based on Well Yaoshen 1 in the Changling Fault-Depression of Songliao Basin

3 火山岩相与天然气成藏关系

3.1 气源特点

长岭断陷天然气组分:甲烷 75.47%,乙烷 0.69%,氮气 3.98%,二氧化碳 19.86%(腰深 1 井实测资料)。总体上看,二氧化碳含量较高。

天然气碳同位素的甲烷 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为 $-23\text{‰} \sim -27\text{‰}$,二氧化碳 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值为 $-4\text{‰} \sim -8\text{‰}$ 。依据甲烷、二氧化碳碳同位素值,以及该值与天然气组分交会图版判断,长岭断陷有有机成因和无机成因 2 种气源,以有机成因气源为主。

有机成因气的物质基础是长岭断陷发育登娄库组、营城组和沙河子组 3 套烃源岩,其中沙河子组为主要生烃层系,烃源岩厚度 500~1 500 m,最厚可达 2 000 m;营城组烃源岩厚度 200~500 m,最厚超过 600 m;登娄库组烃源岩厚度 100~200 m,最厚超过 300 m。烃源岩岩性有煤、碳质泥岩和暗色泥岩,其形成的有机质主要为 III 型(腐殖型),部分为 II₂ 型(腐泥—腐殖型)。III 型有机质为煤成气的形成提供了物质基础^[13]。

3.2 火山岩相对储层的控制作用

勘探成果已经证实,该区天然气藏储层为火山岩储层。那么,火山岩相对储层有何控制作用呢?研究发现,火山岩相控制储层结构特征,从而控制储层品质。

3.2.1 喷溢相上部亚相原生气孔发育

喷溢相是长岭断陷主要岩相类型,目前发现的主要有流纹岩、英安岩、安山岩和玄武岩,从基性到酸性都有,岩相垂向分带明显。下部亚相代表岩性

为块状流纹岩,岩石原生孔隙不发育,但脆性强,裂隙容易形成和保存,是各种火山岩亚相中构造裂缝最发育的亚相。中部亚相代表岩性为流纹构造流纹岩,原生孔隙、流纹理层间缝隙和构造裂缝兼而有之,但发育程度一般。上部亚相代表岩性为气孔流纹岩,是原生气孔最发育的相带,原生气孔占岩石体积百分比高达 25%~30%,原生气孔之间通过构造裂缝连通。对 3 个亚相形成的储层品质进行比较,上部亚相最好。

3.2.2 爆发相空落亚相和热基浪亚相孔洞发育

爆发相形成凝灰岩和熔结凝灰岩,以晶粒间孔隙和角砾间孔隙为主,后期成岩可产生溶蚀孔、缝,有时可形成松散层^[14,15]。空落亚相代表岩性为含火山弹和浮岩块的角砾岩;热基浪亚相代表岩性为晶屑凝灰岩,颗粒支撑,孔洞发育,只是连通性较差;热碎屑流亚相代表岩性为浆屑凝灰岩,孔洞发育程度较空落亚相和热基浪亚相差。3 个亚相比较,空落亚相和热基浪亚相形成的储层品质也较好。

综合分析认为,有利储层主要分布在喷溢相上部亚相的气孔流纹岩、爆发相空落亚相的角砾岩和热基浪亚相的晶屑凝灰岩中,实测储层物性参数也说明了这一点(表 2)。

3.3 火山岩对天然气富集成藏的控制作用

紧邻生烃拗陷和烃源区的火山岩发育区是天然气富集成藏的有利部位。尽管研究区火山岩发育,但其纵、横向岩性变化大,相带变化快,只有紧邻生烃拗陷和烃源区的火山岩才具备丰富的气源物质基础,形成火山岩气藏条件最为有利。

火山活动形成火山岩岩性圈闭及盖层。火山岩形成的各类圈闭是油气聚集的主要场所;火山岩自身的封盖作用及与泥岩盖层相配置,阻止了油气继续扩散。两者使火山岩油气藏中的油气得以聚

集和保存。

比较早的火山活动期形成的火山岩储层为天然气提供赋存空间。火山活动在主要生烃期前,一方面喷溢相上部亚相、爆发相空落亚相和热基浪亚相形成了好的储层,为天然气提供赋存空间;另一方面气藏形成后,不存在火山活动对气藏的破坏。

与火山活动有关的张性断裂是油气运移的主要通道。火山活动与张性断裂相伴生。与火山活动有关的张性断裂是油气运移的主要通道,是它把油气输导到火山岩储层中。

继承性发育的构造高带和高带上发育的火山岩圈闭是发现气藏的最佳目标。继承性发育的构造高带是油气运移的指向区。当火山岩体处于继承性发育的构造高带时,圈闭、储层和盖层一应俱全,成为油气聚集的最有利地带,其中的火山岩圈闭是发现气藏的最佳目标。

4 结论

1)长岭断陷是受盆地早期发育的孙吴—双辽、松花江—四平 2 条岩石圈深断裂带控制的深大断陷。断陷内部及周边断裂表现为走滑剪切性质,深切岩石圈,造成多期火山活动,形成火山喷发,从而形成巨厚的沉积岩与火山岩共生。

2)火山岩以酸性为主,主要岩相类型为爆发相和溢流相。爆发相细分为空落亚相、热基浪亚相和热碎屑流亚相;喷溢相细分为下部亚相、中部亚相和上部亚相。以腰深 1 井钻探资料为基础,建立火山岩相模式为:下部爆发相、上部喷溢相,爆发相与喷溢相互交替,构成多个火山活动旋回。

3)喷溢相上部亚相原生气孔发育,爆发相的空落亚相和热基浪亚相孔洞发育,是该区储层物性最好的相带。

表 2 松辽盆地长岭断陷腰深 1 井火山岩相与储层特征

Table 2 Relations of volcanic facies and reservoir rock features about Well Yaoshen 1 in the Changling Fault-Depression of the Songliao Basin

岩相带	井段/m	岩石类型	储集空间类型	孔隙度,%	渗透率/ (10 ⁻³ μm ²)	储层类别	
爆发相	热碎屑流亚相	3 539~3 544	凝灰岩	溶孔—微裂缝型	4.329	0.1~1.0	Ⅳ类
	空落亚相—热基浪亚相	3 544~3 550	熔结凝灰岩	裂隙—孔隙型	12~16	9~31	Ⅰ类
喷溢相	上部亚相	3 623~3 668	气孔流纹岩	溶孔—气孔—裂隙型	11~13	6~12	Ⅰ—Ⅱ类
	中部亚相	3 668~3 682	流纹岩	微孔—微缝型	3~9	1~3	Ⅲ类
	下部亚相	3 682~3 750	流纹岩	微孔—微缝型	1~3	0.1	Ⅴ类

结合研究区试气成果,各类致密相孔隙空间不发育,渗透率低,属于非(差)天然气储集层,由于有效孔隙度值低,局部发育的微裂缝也不能够使这些相带成为具有一定储集性能的天然气储集层,而主要以遮挡层形式存在,为气藏形成提供有利的成岩圈闭条件;微孔隙发育的相带为次有利的储集相带,其孔隙空间发育良好,可作为增储上产的有利接替区;石英加大胶结混合孔隙相、自生高岭石充填晶间孔相和粘土杂基充填溶蚀相主要位于其他成岩相带之间,孔隙空间发育良好,孔隙间连通性好,渗透率大于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,具备油气储集—保存的有利条件,是主要的优质储层发育相带,而微裂缝的发育以及溶解作用的发生是形成优质储层的关键因素。

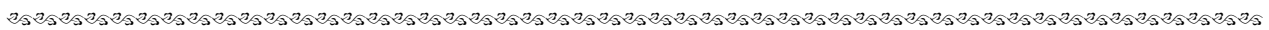
4 结论

研究区储集层岩性变化大、矿物组合复杂、成岩作用演化阶段高,砂岩层内孔隙度以及渗透率变化较大,非均质性强,该变化主要受粒度韵律性、砂岩类型及成岩作用控制。碎屑颗粒粒度越粗,砂岩孔渗性能越好。石英砂岩的原始孔隙度及现今孔隙空间均较岩屑石英砂岩和岩屑砂岩发育。研究区目的层可划分出 9 种成岩相带,主要以优质储层与非优质储层的组合形式出现。致密相之间的石英加大胶结混合孔隙相、自生高岭石充填晶间孔相以及粘土杂基充填溶蚀相具有得天独厚的储集优势,也是优质储层的良好发育层段。

参考文献:

- 李会军,吴泰然,马宗晋等. 苏里格气田优质储层的控制因素[J]. 天然气工业,2004,24(8):12~13,16
- 赵文智,汪泽成,陈孟晋等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气优质储层形成机理探讨[J]. 地质学报,2005,79(6):833
- 罗月明,刘伟新,谭学群等. 鄂尔多斯大牛地气田上古生界储层成岩作用评价[J]. 石油实验地质,2007,29(4):384~390
- 中国石油化工集团公司油气勘探开发继续教育无锡基地. 石油地质样品分析测试技术及应用[M]. 北京:石油工业出版社,2006. 218~219
- 刘建清,赖兴运,于炳松等. 成岩作用的研究现状及展望[J]. 石油实验地质,2006,28(1):65~72,77
- 赵林,夏新宇,戴金星等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气富集的主要控制因素[J]. 石油实验地质,2000,22(2):136~139,166
- 张铭,邓宏文,崔宝琛等. 陕甘宁盆地乌审旗气田上古生界高产控制因素研究[J]. 石油实验地质,2002,24(2):115~118,128
- 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M]. 北京:石油工业出版社,1999. 67~70
- 候洪斌,牟泽辉,朱宏权. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏条件与勘探方向[M]. 北京:石油工业出版社,2004. 126~128
- Beard D C, Weyl P K. Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand [J]. AAPG Bulletin, 1973, 57(2): 349~369
- Morad S, Ketzer J M, De Ros F. Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks: Implications for mass transfer in sedimentary basins [J]. Sedimentology, 2000, 47: 95~120
- El-ghali M A K, Mansurbeg H, Morad S, et al. Distribution of diagenetic alterations in fluvial and paralic deposits within sequence stratigraphic framework: Evidence from the Petrohan Terrigenous Group and the Svidol Formation, Lower Triassic, NW Bulgaria [J]. Sedimentary Geology, 2006, 190: 299~321

(编辑 韩 或)



(上接第 332 页)

参考文献:

- 吴聿元,周荔青. 松辽盆地主要断陷大中型油气田形成分布特征[J]. 石油实验地质,2007,29(3):231~237
- 金晓辉,林壬子,任延广等. 松辽盆地北部深层天然气成藏动力系统及空间分布特征[J]. 石油实验地质,2005,27(3):260~264
- 陈发景,赵海玲,陈昭年等. 中国东部中、新生代伸展盆地构造特征及地球动力学背景[J]. 地球科学,1996,21(4):357~365
- 翟光明. 中国石油地质志(卷 2):大庆油田[M]. 北京:石油工业出版社,1993. 3~55
- 秦伟军,段心建. 南襄盆地泌阳凹陷油、碱共生的地质条件[J]. 地质科学,2004,39(3):339~345
- 陈建文,王德发,张晓东等. 松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩相和火山机构分析[J]. 地质前缘,2000,7(4):371~379
- 邓玉胜,王 蕴,朱桂生等. 松辽盆地南部长岭断陷火山岩特征及其对油气藏的控制[J]. 中国石油勘探,2003,8(3):31~37
- 綦敦科,齐景顺,王 革. 徐家围子地区火山岩储层特征研究[J]. 特种油气藏,2002,9(4):30~45

- 李长山,陈建文,游 俊等. 火山岩储层建模初探[J]. 地质前缘,2000,7(4):381~389
- 王璞珺,陈树民,刘万洙等. 松辽盆地火山岩相与火山岩储层的关系[J]. 石油与天然气地质,2003,24(1):18~27
- 邵正奎,孟宪禄,王璞珺. 松辽盆地储层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
- 邱春光,王璞珺,门广田等. 松辽盆地徐家围子断陷火山岩相和亚相的测井识别[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2003,33(专辑 V):123~127
- 王启军,陈建渝. 油气地球化学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1988. 179~199
- 科普切弗—德沃尔尼科夫 B C,雅科夫列娃 E B,彼特罗娃 M A. 火山岩及研究方法[M]. 周济群,黄光昭译校. 北京:地质出版社,1978. 10~82
- Kolotukhina S E. The volcanogenous facies of the lower Carboniferous in central Kazakhstan [J]. Trudy, 1940, 42(12): 17~20

(编辑 韩 或)