

火山岩天然气成藏要素时空匹配及对成藏的控制作用：以徐家围子地区深层为例

付 广, 王有功

大庆石油学院地球科学学院, 黑龙江大庆 163318

摘要: 通过研究徐家围子地区深层火山岩气藏 3 个主要成藏要素——沙河子组气源岩、火山岩圈闭和断裂输导通道的时空匹配关系, 得到该区火山岩圈闭与沙河子组气源岩在空间上可以直接接触, 也可以在空间上相距一定距离, 但均由断裂沟通连接。沙河子组气源岩、火山岩圈闭和断裂输导通道在泉头组沉积末期—青山口组沉积中期、嫩江组沉积末期和明水组沉积末期三者时间匹配关系最好, 有利于天然气在火山岩中大规模富集成藏。通过 3 个主要成藏要素时空分布与火山岩气藏分布之间关系研究得到, 沙河子组气源岩区、I、II 类火山岩储集圈闭和断裂分布在空间上共同控制着火山岩气藏的形成与分布。泉头组沉积末期—青山口组沉积末期、嫩江组沉积末期和明水组沉积末期应是该区火山岩气藏形成的主要时期, 3 个主要成藏要素良好的时空匹配关系是造成该区深层火山岩中能形成大、中型气田的根本原因。

关键词: 徐家围子地区; 火山岩; 成藏要素; 匹配关系; 圈闭; 断裂; 源岩。

中图分类号: P18

文章编号: 1000-2383(2008)03-0342-07

收稿日期: 2008-01-16

Time and Space Matching Relation among Accumulation Essential Factors of Gas Reservoirs in Volcanic Rock and Its Controlling to Gas Accumulation: A Case Study of Deep Strata of Xujiaweizi Region

FU Guang, WANG You-gong

Geoscience College, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, China

Abstract: Gas source rock of K_1sh , traps of volcanic rock and transport pathway of fault are three main factors that influence Xujiaweizi gas reservoirs in volcanic rock. By studying the time and space matching relation of the three factors, we find that traps of volcanic rock can directly contact gas source rock of K_1sh , or a distance can exist between gas source rock of K_1sh and traps of volcanic rock, however, traps of volcano rock are all connected with gas source rock of K_1sh by faults. The time matching relation among gas source rock of K_1sh , traps of volcanic rock and faults is the best from the end of K_1q to the middle of K_1qn , the end of K_1n and the end of K_2m . It is favorable for gas to accumulate in a large scale. According to the study of relation between time and space distribution of gas reservoirs of volcanic rock, gas source rock area of K_1sh , traps of best and better volcanic rock and the distribution of faults spacely controlled the distribution and formation of gas reservoirs of volcano rock. The end of K_1q to the middle of K_1qn , the end of K_1n and the end of K_2m are main accumulation periods of gas reservoirs of volcano rock in Xujiaweizi region. The good matching relation among three accumulation essential factors is the basic cause for the formation of large and medium gas fields in volcanic rock.

Key words: Xujiaweizi region; volcanic rock; accumulation essential; matching relation; traps; fault; source rock.

徐家围子地区是松辽盆地北部深层天然气勘探控制形成的箕状断陷, 由宋站低隆起和丰乐低隆起
的重点地区, 在构造上是由徐西、宋西两条边界断裂将其分割成南北 3 个局部断陷, 它们分别是安达次

拗、杏山次拗和薄荷台次拗,如图1所示。截止目前为止,该区深层共完成探井100余口,其中20余口探井获得了工业气流,已发现汪家屯、升平、昌德、肇州西、徐深1和肇10井气藏和一些含气区。然而,在这些气藏和含气区中,除了基岩风化壳和登娄库组及泉一、二段砂砾岩气藏外,火山岩气藏占绝大多数,它们主要分布在营城组地层中,天然气被认为主要来源于徐家围子断陷的沙河子组煤系气源岩,盖层为登娄库组发育的大套泥岩,火山岩气藏在平面上主要沿着徐西和宋西两条大断裂带呈条带状分布。然而,同是沿着徐西和宋西两条大断裂带分布的火山岩其含气性却存在着明显的差异,这无疑给天然气勘探带来了难度,造成这一差异的原因除了与火山岩本身的储集物性存在差异有关外,更重要的是其成藏要素及时空匹配关系存在着差异性。对火

山岩成藏要素及其时空匹配关系的研究,目前国内外文献相对较少(陈振岩等,1996;任延广等,2004;杨辉等,2006;匡立春等,2007),对火山岩成藏的研究过多是侧重于火山岩相、储集物性和空间特征研究上(郭军等,2000;綦敦科等,2002;闫全人等,2002;王璞珺等,2003;刘为付,2004;程日辉等,2005)。因此,开展徐家围子地区深层火山岩气藏天然气主要成藏要素时空匹配及对成藏的控制作用研究,对于正确认识该区深层火山岩气藏形成机制和分布规律,指导下一步天然气勘探均具有重要意义。

1 天然气成藏要素及其特征

天然气勘探的实践表明,源岩、圈闭和输导通道是决定天然气藏能否形成与分布的最关键因素,也是构成天然气成藏体系的最基本要素(梁书义等,2005;李宏义等,2006;王存武等,2007)。

1.1 源岩及其特征

源岩应是火山岩气藏形成的物质基础(李剑,2000),通过气源对比可知,该区深层火山岩中天然气主要来源于沙河子组发育的煤系源岩。沙河子组煤系源岩分布广泛,厚度一般大于400 m,以3个北北东向斜列的北西向沉降中心为中心,整体厚度最大的部位位于徐家围子—杏山地区、宋站南部和肇州地区,最大厚度可达到1 000 m。钻遇断陷边部的探井揭示,沙河子组灰黑色泥岩厚度一般为100~200 m。地震资料预测沉降中心部位沙河子组煤系源岩最厚可达600~800 m。此外,兴城地区和升平—宋站地区沙河子组地层发育比较厚的煤层,最大累积厚度可达105.5 m。地化分析资料表明,沙河子组源岩有机质丰富,有机碳含量为0.118%~4.53%,平均为1.52%。氯仿沥青“A”为0.002 2%~0.082 6%,平均为0.021%。S₁+S₂为0.02~9.89 mg/g,平均为2.02 mg/g。有机质类型以Ⅲ型干酪根为主,其次为Ⅱ_B型干酪根。有机质镜质体反射率为1.70%~3.56%,平均为2.62%,已达到了过成熟阶段,由此看出,徐家围子地区沙河子组源岩应是有利的生气源岩。

由图2中可以看出,徐家围子地区沙河子组气源岩排气强度最高可达到 $180 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,主要分布在杏山次拗中,安达次拗中沙河子组气源岩排气强度也可达到 $120 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。按照文献(戴金星等,1997)中形成大中型气田所需排气强度标准值

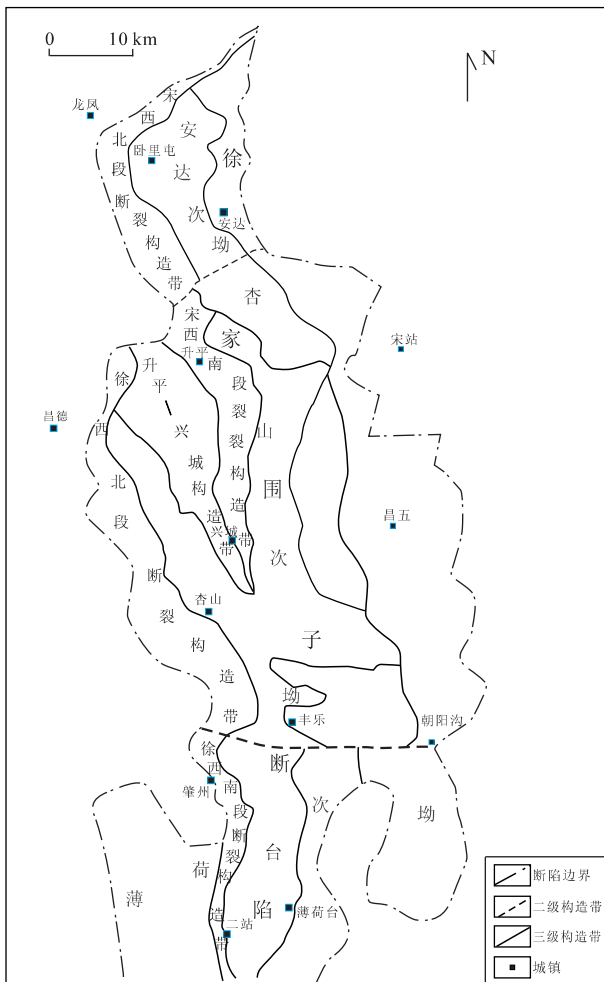


图1 徐家围子地区深层构造分区图

Fig. 1 Distribution of structure unit of deep strata in Xujia-weizi region

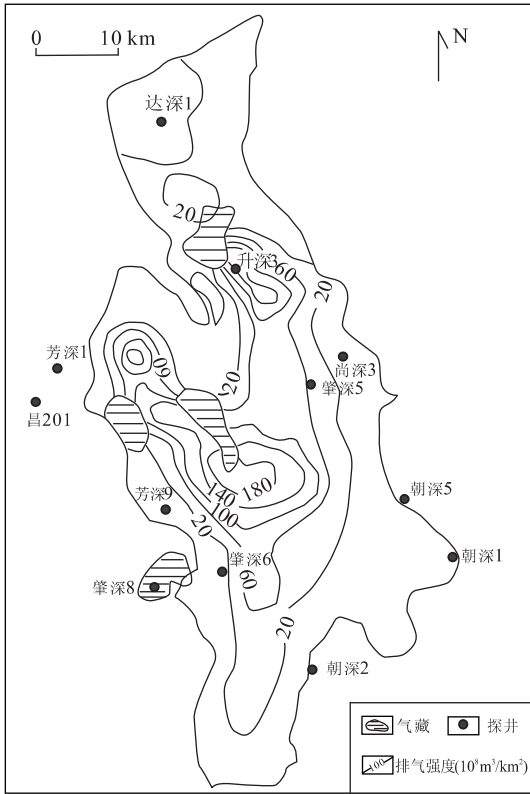


图 2 徐家围子地区沙河子组气源岩生气强度与火山岩气藏关系

Fig. 2 Relation between generation gas intensity of K_1sh source rock and gas reservoirs in volcanic rock of Xujiaweizi region

(大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$), 徐家围子地区沙河子组源岩生成的天然气丰富, 有形成大中型气田的物质条件。

1.2 圈闭及其特征

天然气钻探结果表明, 徐家围子地区深层火山岩圈闭主要是营城组内的火山岩岩性圈闭, 然而并不是该区发育的所有火山岩体均可成为天然气有效的储集圈闭, 火山岩能否成为天然气的有效储集圈闭关键取决于其内孔隙和裂缝的发育情况, 该区火山岩圈闭中的孔隙和裂缝是否发育要受到以下 4 个因素的控制。

1.2.1 岩性和岩相 酸性的流纹岩和熔结凝灰岩的孔隙度高, 渗透率高, 物性好, 有利于形成火山岩圈闭, 中性和基性的玄武岩、安山岩、粗面岩和凝灰岩的孔隙度和渗透率低, 物性差, 不利于形成火山岩圈闭。喷溢相上部亚相和爆发相热碎屑流亚相的孔隙度、渗透率相对较高, 物性相对较好, 有利于形成火山岩圈闭。喷溢相中部亚相和爆发相热基浪亚相

的孔隙度和渗透率相对较低, 物性差, 不利于形成火山岩圈闭。

1.2.2 断裂分布 断裂及附近往往是构造应力集中区, 裂缝相对发育, 同时也是各类火山岩相的主要发育区, 故断裂及其附近应是火山岩裂缝圈闭发育的有利地区。

1.2.3 风化淋滤作用 该区火山岩顶面往往为长期暴露的不整合面, 遭受了不同程度的剥蚀和暴露, 特别是在构造的较高部位, 经历了风化、淋滤作用时间更长, 其结果是使得矿物发生蚀变, 岩石紧固性变差, 孔隙和裂缝发育, 储集性能变好, 有利于形成火山岩岩性圈闭。

1.2.4 自生矿物堵塞作用 后期成岩作用形成的自生矿物, 可以充填在气孔中, 部分堵塞火山岩孔隙, 也可以全部堵塞火山岩孔隙, 降低了火山岩的储集性能, 不利于形成火山岩圈闭。只有后期成岩作用弱的火山岩有利于形成火山岩圈闭。

通过火山岩圈闭发育特征及其成藏条件的优劣, 对徐家围子地区火山岩圈闭的含气性进行了评价, 结果如图 3 所示。由图 3 中可以看出, 徐家围子

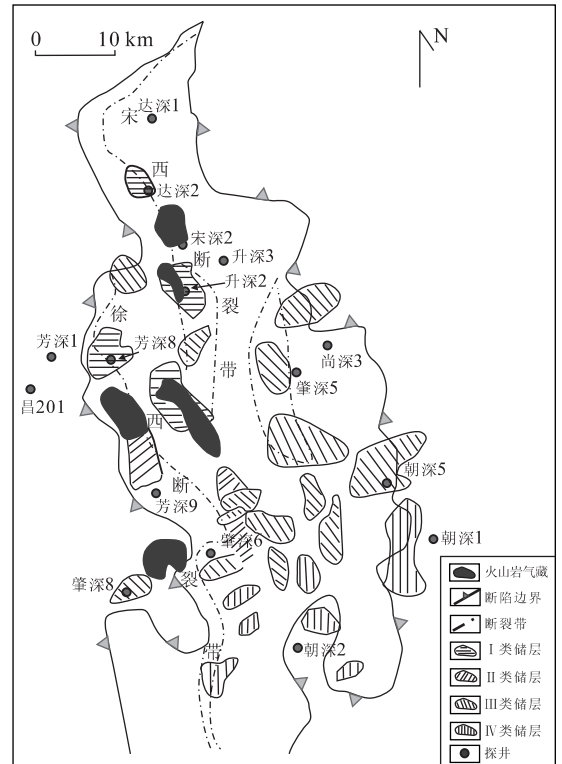


图 3 徐家围子地区深层火山岩气藏与储层评价及断裂关系
Fig. 3 Relation among gas reservoir of volcanic rock and evaluation result of reservoir faults in Xujiaweizi region

地区深层火山岩的 I 类储集圈闭主要分布在宋西断裂带北部和芳深 8 井处; II 类储集圈闭主要分布在芳深 9 井处和肇深 6 井东北部; IV 类储集圈闭主要分布在宋西和徐西两条断裂的南端; III 类储集圈闭主要分布在榆西断裂带和宋西、徐西断裂南部。

1.3 输导通道及其特征

该区深层火山岩储集圈闭主要分布在营城组, 而沙河子组气源岩则位于其下方, 二者在空间上的位置关系有 2 种情况: 一种是在纵向上可以直接接触, 另一种是在纵向上可以相距一定的距离, 但不管上述哪种情况, 沙河子组气源岩生成排出的天然气要进入营城组火山岩中, 只能依靠该区发育的断裂作为输导通道连接沙河子组气源岩和火山岩圈闭, 才能穿过二者之间的火山岩或砂泥岩; 否则, 天然气无法穿过二者之间所隔的火山岩或泥岩。只不过是第一种情况火山岩厚度相对较小, 而第二种情况火山岩或泥岩厚度相对较大而已。由图 3 中可以看出, 该区目前已发现的火山岩气藏均分布在徐西和宋西两条断裂上, 表明宋西和徐西断裂应是沙河子组源岩生成排出天然气向营城组火山岩圈闭运移的主要输导通道(图 3)。由该区断裂活动史的研究可知, 宋西断裂和徐西断裂在营城组沉积末期、泉头组沉积末期—青山口组沉积中期、嫩江组沉积末期、明水组沉积末期和古近纪末期曾活动开启, 可成为沙河子组气源岩生成排出天然气向营城组火山岩圈闭中运移的输导通道。

2 天然气成藏要素的时空匹配关系

天然气成藏主要要素的存在及品质优劣固然重要, 但更重要的应是其在空间和时间上的匹配关系, 它们控制着天然气藏的形成与分布。

2.1 空间匹配关系

该区深层火山岩天然气成藏 3 个主要要素在空间上的匹配关系如图 4 所示。该区火山岩圈闭与沙河子组源岩有直接接触和相距一定距离的 2 种情况: 前者是沙河子组源岩与上覆营城组火山岩直接接触, 沙河子组源岩生成排出的天然气沿着断裂经短距离运移穿过一定的火山岩直接进入营城组火山岩圈闭中聚集成藏, 如昌德东营城组火山岩气藏, 就应属于此例子, 如图 4a 所示; 后者是沙河子组源岩与营城组火山岩圈闭在纵向上相距一定的距离, 沙河子组源岩生成排出的天然气沿着断裂穿过厚度相对较大的火山岩或砂泥岩进入火山岩圈闭中聚集成藏, 如徐深 1 井气藏、升深 2 井气藏和汪 903 气藏, 就应属于此例子, 如图 4b、4c、4d 所示。

2.2 时间匹配关系

由图 5 中可以看出, 该区沙河子组源岩于营城组沉积末期开始向外排气, 在青山口组沉积时期达到排气的高峰期, 在明水组沉积末期排气量明显减少。

该区深层火山岩岩性圈闭的形成主要取决于其内孔隙和裂缝的形成, 对于孔隙型的火山岩圈闭的形成时间则为其火山岩体的形成时期, 即应为营城

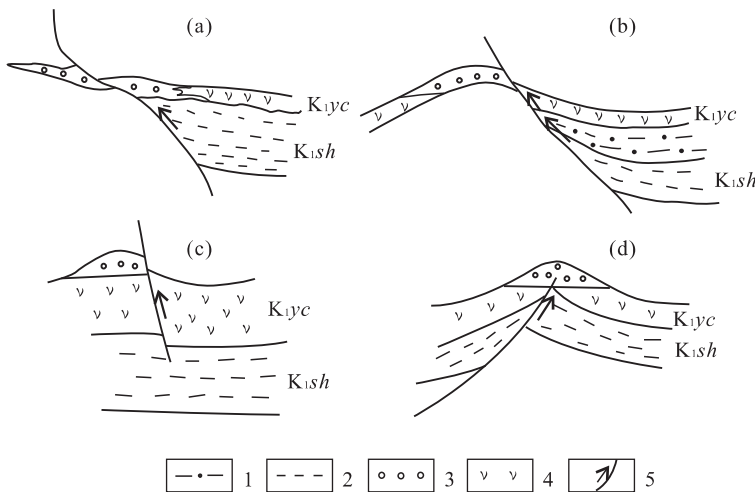


图 4 徐家围子地区火山岩气藏 3 个主要成藏要素空间匹配关系示意图

Fig. 4 Sketch for space matching relation among three main accumulation essential factors of gas reservoirs in volcanic rock of Xujiaweizi region

a. 昌德东气藏; b. 徐深 1 气藏; c. 升深 2 气藏; d. 汪 903 井气藏; 1. 砂泥岩; 2. 气源岩; 3. 气藏; 4. 火山岩; 5. 断裂输导通道

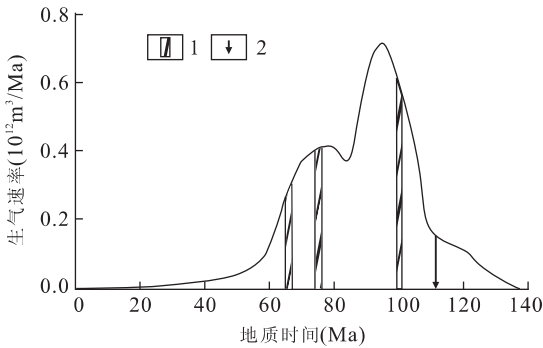


图 5 徐家围子断陷沙河子组气源岩、火山岩圈闭和断裂输导通道时间匹配关系

Fig. 5 Time matching relation among gas source rock of K_1sh , traps of volcanic rock and transport pathway of fault in Xujiaweizi region

1. 断裂输导通道和火山岩裂缝圈闭形成时期; 2. 火山岩孔隙型圈闭开始形成时期

组沉积末期形成。而裂缝型火山岩圈闭的形成除了受火山岩体本身形成时期的制约外,还要取决于裂缝的形成时期,由该区断裂活动史研究可知,该区断裂主要在营城组沉积末期、泉头组沉积末期—青山口组沉积中期、嫩江组沉积末期、明水组沉积末期和古近纪沉积末期曾发生活动,其伴生或派生裂缝开始形成。故可以认为该区深层裂缝型火山岩圈闭应在泉头组沉积末期—青山口组沉积中期、嫩江组沉积末期、明水组沉积末期和古近纪沉积末期形成的。

该区断裂在营城组沉积末期、泉头组沉积末期—青山口组沉积中期、嫩江组沉积末期、明水组沉积末期和古近纪沉积末期活动开启,可成为沙河子组

气源岩生成排出天然气向营城组火山岩圈闭运移的输导通道。结合沙河子组气源岩排气期可以得到,泉头组沉积末期—青山口组沉积中期、嫩江组沉积末期、明水组沉积末期和古近纪沉积末期应为断裂输导通道的形成时期。

综合上述分析可以看出,该区火山岩天然气成藏的主要时期应是在泉头组沉积末期—青山口组沉积中期、嫩江组沉积末期和明水组沉积末期,这与火山岩中流体包裹体均一温度所揭示的天然气成藏时期(100~65 Ma,相当于泉头组—明水组沉积时期,图 6)基本是一致的。

3 对天然气成藏与分布的控制作用

通过该区深层火山岩气藏与其主要成藏要素时空关系研究,得到该区深层火山岩主要受以下因素的控制。

3.1 成藏要素的空间分布控制着火山岩气藏的空间分布

3.1.1 沙河子组源岩分布区控制着火山岩气藏的分布 由图 2 中可以看出,该区目前已发现的火山岩气藏均分布在徐家围子地区沙河子组源岩分布区内,只有肇深 8 井气藏分布在沙河子组气源区边部。这表明,只有位于沙河子组气源区内或其附近的火山岩圈闭,才能捕获到丰富的天然气,有利于聚集成藏;否则火山岩圈闭条件再好,也难以形成大规模富集。

3.1.2 天然气主要储集于 I、II 类火山岩储层圈闭中 由图 3 中可以看出,该区深层目前已发现的火山岩气藏均分布在 I、II 类火山岩储层圈闭内。只有 I、II 类火山岩体构成的圈闭孔隙度和渗透率高,有利于天然气在其内聚集成藏,而 III、IV 类火山岩体构成的圈闭孔隙度和渗透率低,不利于天然气在其内聚集成藏。

3.1.3 火山岩气藏沿输导断裂分布 断裂是该区深层火山岩气藏形成的主要输导通道,沙河子组源岩生成排出的天然气在沿断裂运移的过程中,便会在断裂附近形成的各种类型火山岩圈闭中聚集(图 4),形成各种类型的火山岩气藏。由图 3 中可以看出,该区目前已发现的火山岩气藏均分布在宋西和徐西两条断裂带上或附近,而其他地方尚未找到大量天然气,由此看出宋西和徐西两条断裂对徐家围子地区火山岩气藏的形成与分布有着重要的控制

地质时期(Ma)

116 100 88.5 85 73 70 65

井位层位	泉头组	青山口组	姚家组	嫩江组	四方台组	明水组
宋深2井 K_1yc			┌			
宋深1井 K_1yc			┌───┐			
肇深10井 K_1yc				┌───┐		
徐深1井 K_1yc				┌───┐		
芳深9井 K_1yc				┌		
三深2井 K_1yc						┌

图 6 徐家围子地区深层火山岩天然气注入期次

Fig. 6 Gas accumulation periods of volcanic rock of deep strata in Xujiaweizi region

作用。

3.2 成藏要素的时间匹配关系控制着天然气的聚集数量

由图 5 中可以看出,该区火山岩气藏形成的 3 个成藏要素时间匹配关系较好,尤其是泉头组沉积末期—青山口组沉积中期、嫩江组沉积末期和明水组沉积末期 3 个主要成藏要素时间匹配关系最好,沙河子组源岩在这 3 个时期正处于排气高峰期,有大量天然气排出,此时断裂活动开启可以成为天然气运移的输导通道,而且此时火山岩圈闭已形成,有利于天然气在火山岩中大规模富集成藏,这可能是该区目前能在火山岩中找到徐深 1 井大气田和肇深 8 井—肇深 10 井、汪家屯东(升深 101 井、宋深 1 井和汪 903 井)中型气田的根本原因。

4 结论

(1)徐家围子地区火山岩气藏 3 个主要成藏要素为沙河子组气源岩、火山岩圈闭和断裂输导通道。
(2)徐家围子地区火山岩圈闭与沙河子组气源岩在空间上可以直接接触,也可以在空间上相距一定距离,3 个主要成藏要素在泉头组沉积末期—青山口组沉积中期、嫩江组沉积末期和明水组沉积末期时间匹配关系最好。
(3)徐家围子地区火山岩气藏的空间分布主要受沙河子组气源岩区、I、II 类火山岩储集体和输导断裂的共同控制,泉头组沉积末期—青山口组沉积中期、嫩江组沉积末期和明水组沉积末期 3 个主要成藏要素时间上合理匹配有利于天然气在火山岩中的大规模富集成藏。

References

Chen, Z. Y., Li, J. S., Zhang, G., et al., 1996. Relationship between volcanic rocks and hydrocarbon within Liaohede depression of Bohai Gulf basin. *Petroleum Exploration and Development*, 23(3): 1—5 (in Chinese with English abstract).

Cheng, R. H., Wang, P. J., Liu, W. Z., et al., 2005. Sequence stratigraphy with fills of volcanic rocks in Xujiaweizi faulted depression, Songliao basin, Northeast China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 35(4): 469—474 (in Chinese with English abstract).

Dai, J. X., Wang, T. B., Song, Y., et al., 1997. Formation conditions and distribution rules of big and middle gas fields in China. Petroleum Industry Press, Beijing, 184—

197 (in Chinese).

Guo, J., Chen, S. T., Wang, W. L., et al., 2000. The litho-chemistry feature of volcanic rock in Xujiaweizi fault-depression, Songliao basin. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 30(3): 243—245 (in Chinese with English abstract).

Kuang, L. C., Xue, X. K., Zou, C. N., et al., 2007. Oil accumulation and concentration regularity of volcanic litho-stratigraphic oil reservoir: A case from upper-plate Carboniferous of Ka-Bai fracture zone, Junggar basin. *Petroleum Exploration and Development*, 34(3): 285—290 (in Chinese with English abstract).

Li, H. Y., Jiang, Z. X., Pang, X. Q., 2006. Dominant migration pathway and its control on oil-gas migration in the northern edge of Qaidam basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(2): 214—220 (in Chinese with English abstract).

Li, J., 2000. Characteristics of gas source rock and resources abundance of important gas-bearing basin in China. *Chinan University of Mining & Technology Press*, Xuzhou, 95—138 (in Chinese).

Liang, S. Y., Liu, K. Q., Cai, Z. X., 2005. Study of petroleum accumulation system and pathway system. *Petroleum Geology and Experiment*, 27(4): 327—332 (in Chinese with English abstract).

Liu, W. F., 2004. Reservoir characteristics of deep volcanic rocks and prediction of favorable areas in Xujiaweizi fault depression in Songliao basin. *Oil and Gas Geology*, 25(1): 115—119 (in Chinese with English abstract).

Qi, D. K., Qi, J. S., Wang, G., 2002. Study on volcanic reservoir characteristics in Xujiaweizi area. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 9(4): 30—32, 45 (in Chinese with English abstract).

Ren, Y. G., Zhu, D. F., Wan, C. B., et al., 2004. Natural gas accumulation role of Xujiaweizi depression in Songliao basin and future exploration target. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 23(5): 26—29 (in Chinese with English abstract).

Wang, C. W., Chen, H. H., Chen, C. M., et al., 2007. Characteristics of the Baiyun deep-water fan and main accumulation controlling factors in Pearl River Mouth basin, South China Sea. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(2): 247—252 (in Chinese with English abstract).

Wang, P. J., Chi, Y. L., Liu, W. Z., et al., 2003. Volcanic facies of the Songliao basin; Classification characteristics

and reservoir significance. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 33(4):449-459 (in Chinese with English abstract).

Yan, Q. R., Gao, S. L., Wang, Z. Q., et al., 2002. Geochronology and geochemistry of volcanic rocks from the Songliao basin and their implications. *Geochimica*, 31(2):169-179 (in Chinese with English abstract).

Yang, H., Zhang, Y., Zou, C. N., et al., 2006. Volcanic rock distribution and gas abundance regularity in Xujiaweizi faulted depression, Songliao basin. *Chinese Journal of Geophysics*, 49(4):1136-1143 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈振岩, 李军生, 张戈, 等, 1996. 辽河拗陷火山岩与油气关系. *石油勘探与开发*, 23(3):1-5.

程日辉, 王璞珺, 刘万洙, 等, 2005. 徐家围子断陷火山岩充填的层序地层. *吉林大学学报(地球科学版)*, 35(4):469-474.

戴金星, 王庭斌, 宋岩, 等, 1997. 中国大中型气田形成条件与分布规律. 北京:石油工业出版社, 184-197.

郭军, 陈守田, 王维林, 等, 2000. 松辽盆地徐家围子断陷火山岩化学特征及其构造环境. *长春科技大学学报*, 30(3):243-245.

匡立春, 薛新克, 邹才能, 等, 2007. 火山岩地层油藏成藏条件与富集规律——以准噶尔盆地克一百断裂带上盘石炭系为例. *石油勘探与开发*, 34(3):285-290.

李宏义, 姜振学, 庞雄奇, 2006. 柴北缘油气运移优势通道及其控油气作用. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(2):214-220.

李剑, 2000. 中国重点含气盆地气源特征与资源丰度. 徐州:中国矿业大学出版社, 95-138.

梁书义, 刘克奇, 蔡忠贤, 2005. 油气成藏体系及油气输导子体系研究. *石油实验地质*, 27(4):327-332.

刘为付, 2004. 松辽盆地徐家围子断陷深层火山岩储层特征及有利区预测. *石油与天然气地质*, 25(1):115-119.

慕敦科, 齐景顺, 王革, 2002. 徐家围子地区火山岩储层特征研究. *特种油气藏*, 9(4):30-32, 45.

任延广, 朱德丰, 万传彪, 等, 2004. 松辽盆地徐家围子断陷天然气聚集规律与下步勘探方向. *大庆石油地质与开发*, 23(5):26-29.

王存武, 陈红汉, 陈长民, 等, 2007. 珠江口盆地白云深水扇特征及油气成藏主控因素. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(2):247-252, 266.

王璞珺, 迟元林, 刘万洙, 等, 2003. 松辽盆地火山岩相:类型、特征和储层意义. *吉林大学学报(地球科学版)*, 33(4):449-456.

闫全人, 高山林, 王宗起, 等, 2002. 松辽盆地火山岩的同位素年代、地球化学特征及意义. *地球化学*, 31(2):169-179.

杨辉, 张研, 邹才能, 等, 2006. 松辽盆地北部徐家围子断陷火山岩分布及天然气富集规律. *地球物理学报*, 49(4):1136-1143.