

文章编号:0253-9985(2010)02-0180-07

火山岩体对火山岩气藏的控制作用

——以松辽盆地深层徐家围子断陷兴城和升平火山岩气藏为例

孙粉锦^{1,2}, 罗霞², 齐景顺³, 邵明礼⁴, 曾富英², 姜晓华⁵, 郝翠果⁵

(1. 中国矿业大学, 北京 100083; 2. 中国石油天然气股份有限公司 勘探开发研究院 廊坊分院, 河北 廊坊 065007;

3. 中国石油天然气股份有限公司 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712;

4. 中国石油天然气股份有限公司 吉林油田分公司 勘探开发研究院, 吉林 松原 138000; 5. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要:以松辽盆地深层徐家围子断陷兴城和升平火山岩气藏为解剖对象,研究了火山岩体对火山岩气藏的各种控制作用,包括对火山岩气藏的纵-横向分布、气-水关系、盖层、气藏类型等多个方面的控制。正是由于其控制作用,火山岩气藏分布纵向延伸空间大,在4 000~5 000 m深度仍能发现气藏,并具有多套气藏叠置的特征;横向上呈串珠状分布的特点。火山岩气藏气-水关系十分复杂,主要受火山岩体及火山喷发期次的控制。每个火山岩体具有独立的气-水系统,而同一火山岩体及同口井中则存在多套气-水系统。火山岩气藏具有自储、自盖的特征,从而使气藏对区域盖层要求弱化。火山岩气藏的类型总体有4大类,以构造-岩性复合气藏为主,主要受岩性控制,在构造高部位聚集;而低幅背斜-岩性复合气藏则是火山岩气藏特有的一种气藏类型,它是火山喷发过程中形成的一种特殊的背斜构造。

关键词:气藏特征;火山岩体;火山岩气藏;松辽盆地**中图分类号:**TE122.3 **文献标识码:**A

Controlling effects of volcanic rocks upon gas pools

—taking two volcanic gas reservoirs in the Songliao Basin as examples

Sun Fenjin^{1,2}, Luo Xia², Qi Jinshun³, Shao Mingli⁴, Zeng Fuying², Jiang Xiaohua⁵, and Hao Cuiguo⁵

(1. China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China; 2. Langfang Branch of PetroChina Research

Institute of Petroleum Exploration and Development, Langfang, Hebei 065007, China; 3. Research Institute of

Petroleum Exploration and Development, PetroChina Daqing Oil Company, Daqing, Heilongjiang 163712, China;

4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Jilin Oil Company, Songyuan,

Jilin 138000, China; 5. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The research documented in this paper takes the Xingcheng and Shengping volcanic reservoirs in the Xujiawuzi fault depression in the deep of the Songliao basin as study targets. It focus on the controlling effect of the volcanic bodies upon the horizontal and vertical distribution, water-gas relationship, caps, pooling types of the gas reservoirs. Thanks to the volcanic bodies, these reservoirs have wide vertical distributions and can occur in a depth up to 4 000 to 5 000 meters and show features of vertical superimposition of multiple gas reservoirs and lateral beaded distribution. The gas-water relationship in the volcanic gas reservoirs is complicated and controlled by the volcanic bodies and eruption periods. Each volcanic body owns isolated gas-water systems, but within it or within the same well, there may be several gas-water systems. Volcanic gas reservoirs feature in self-accumulation and self-sealing and therefore regional seals are not the major condition for hydrocarbon pooling. In general, there are four types of volcanic reservoirs. Among them, the structural-lithologic complex gas reservoirs are predominant and controlled mainly by lithology and occur mostly at the structural highs, while the low-amplitude anticlinal-lithologic complex gas reservoirs can only be found in volcanic rocks. They are harbored in a kind of specific anticline formed during volcanic eruptions.

收稿日期:2009-03-02;修订日期:2010-02-25。

第一作者简介:孙粉锦(1967—),男,博士后、高级工程师,天然气储层与地质综合评价。

基金项目:国家重大专项(2008ZX05007-006)。

Key words: gas reservoir characteristic, volcanic body, volcanic gas reservoir, Songliao Basin

火山岩作为重要储层的油气藏已在世界 20 多个国家 300 多个盆地或地区中发现^[1]。近年来,松辽盆地和准噶尔盆地火山岩气藏勘探的相继突破展示出火山岩气藏具有广阔的勘探前景^[2~4],对火山岩气藏的研究也日趋得到重视。众多学者对这类特殊储层的岩性、岩相分布、微观特征及形成主控因素等进行了深入研究^[5~11],对该类气藏的成藏时期和成藏富集主控因素也进行了分析^[12~16]。事实上,火山岩这种非常规储层的特殊性不仅表现在其作为储层方面,它对火山岩气藏诸多方面均有控制或影响。本文将针对这种特殊性,以松辽盆地深层徐家围子断陷兴城和升平火山岩气藏为解剖对象,分析火山岩体对气藏的控制作用。

1 火山岩对火山岩气藏分布的控制作用

火山岩作为储层有其自身特殊性。与正常沉积岩不同的是,由于火山岩受压实作用影响较小,火山岩储层孔隙度随着深度的增加缓慢降低(图 1)。松辽盆地深层 4 000 ~ 5 000 m 深度,火山岩仍有好的物性,在 4 200 m 时,孔隙度最高可达 18%。古深 1 井在 4 700 m 左右时,孔隙度还可达 4.8% ~ 6.2%。而砂岩在埋深达到 3 000 m 时,孔隙度急剧下降。砾岩在 4 000 m 左右,孔隙度达

6% ~ 10%, 可以作为储层;但在 4 500 m 左右,孔隙度仅为 2%。因此,火山岩储层是深层气勘探的一类重要储层,深层气藏分布下限也由于火山岩储层的出现而因此下延。

一般而言,火山岩厚度较大,如松辽盆地钻遇井火山岩厚度大多在几百米以上,有的甚至超过 1 000 m,德深 7 井钻遇营城组火山岩厚度达 1 205 m;但并不是所有的火山岩均能作为有效储层,火山岩有效储层厚度均较小,从几米到几十米不等(表 1)。火山岩气藏的分布受火山岩有效储层分布的控制。研究表明,火山岩储层受火山喷发机构、火山岩相及喷发旋回的控制^[18],储层非均质性极强。近火山口爆发相、溢流相流纹岩及多旋回溢流相上部火山岩储层最发育,因而这些部位火山岩气藏也最发育。松辽盆地徐家围子断陷勘探实践表明,工业气流井大都分布在火山口或近火山口附近^[17],如徐深 1、徐深 3、升深 2-1 井等;而远火山口的徐深 16 井则未获成功。火山岩具有多旋回喷发的特点,在每一旋回的上部都易形成有利的火山岩储层,主要是由于火山岩顶部岩性分异较大,风化淋滤作用易于进行,易产生裂缝与溶孔。这里所指的火山岩顶部是相对于每一喷发旋回的中部和下部而言。火山岩顶部由于后期改造作用的不同,物性差异也较大。一般而言,火山岩最顶部几米以下发育最优质储层,如达深 3、达深 1 溢流相玄武岩气藏(图 2)。这种现

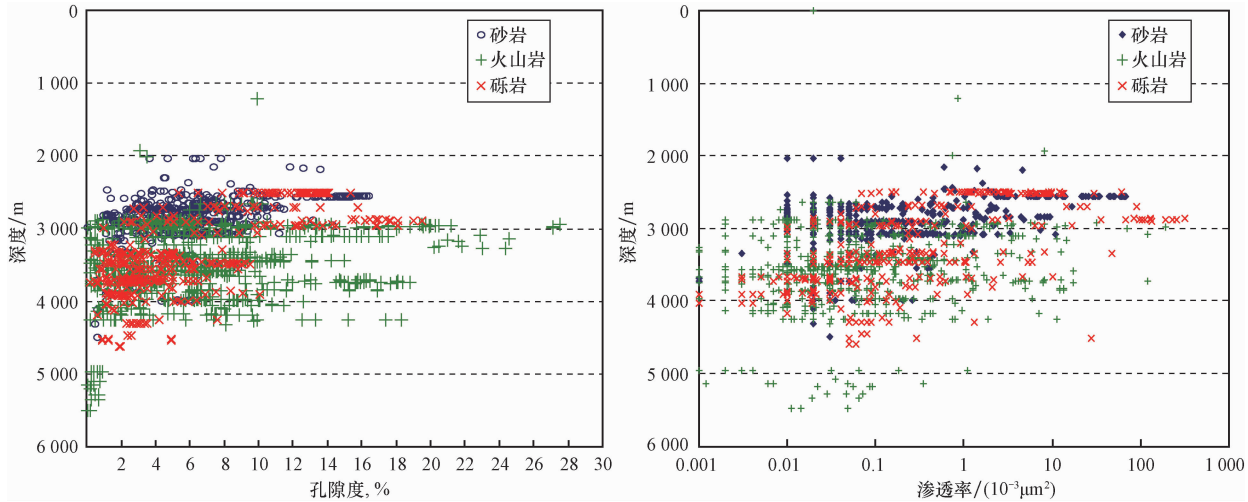


图 1 松辽盆地深层不同类型岩性孔隙度与渗透率随深度变化关系

Fig. 1 Relationship of porosity and permeability to depth for different types of reservoir rocks in deep Songliao Basin

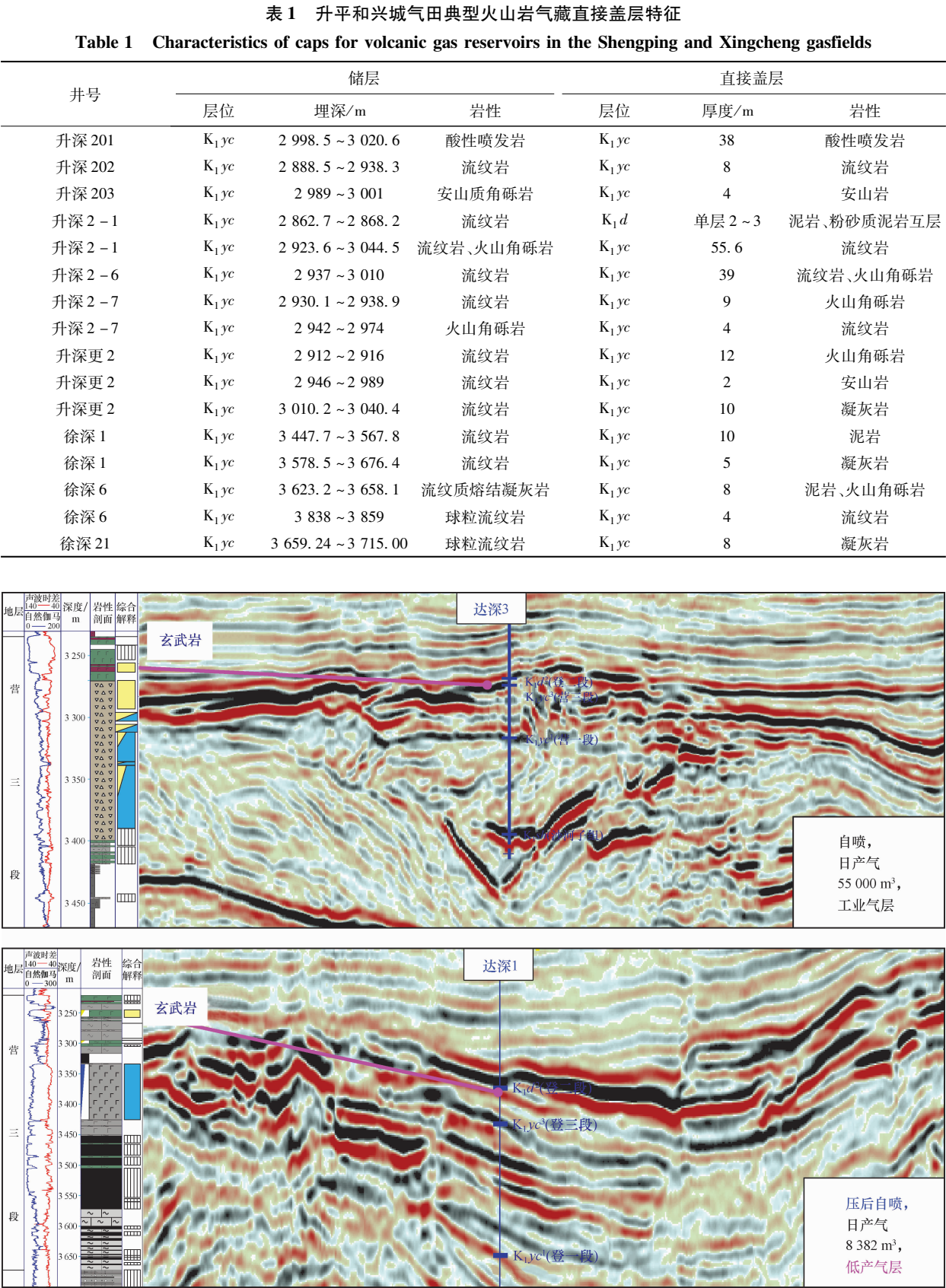


图 2 达深 3、达深 1 井火山岩上部储-盖关系

Fig. 2 Relationship between reservoirs and caps at the top of volcanics in well DS 3 and DS 1

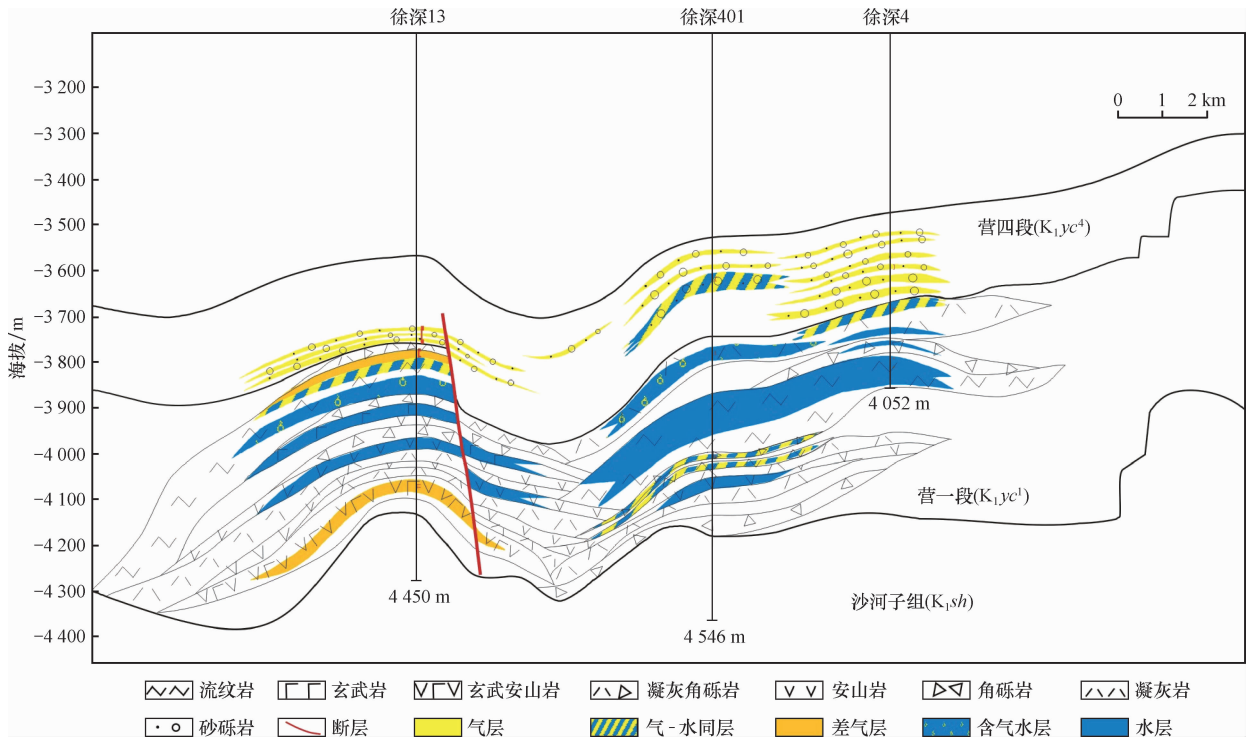


图3 过徐深13井气藏剖面
Fig. 3 Gas reservoir profile across Xushen 13 well

象存在的可能的原因是,由于火山岩喷出地表后受到风化、淋滤等后期的改造作用,在火山岩顶部形成较好的储集层。但并不是火山岩最顶部物性就最好。火山岩最顶部,即火山岩优质储集层上覆火山岩,厚度一般为几米至10 m不等,受胶结充填、风化等作用形成粘土层的影响更为突出,从而导致火山岩最顶部地层物性反而变差。正是由于火山岩的这种极度非均质性,使同一火山岩体中存在多个火山岩气藏,徐深13井火山岩气藏便是如此(图3)。

2 火山岩对火山岩气藏气-水关系的控制作用

松辽盆地深层火山岩具有沿断裂分布的特点,火山岩体与火山岩体之间相互分隔、互不相通^[6],火山喷发的多期性导致形成多套火山岩储层。火山岩的这些特点决定了火山岩气藏气-水关系十分复杂,气-水分布受火山岩体及火山岩自身非均质性的控制。徐深6井和徐深1井分属两

个不同的火山岩体,具有两个不同的气-水系统(图4)。徐深6井火山岩气藏压力系数为1.00~1.06,而徐深1井火山岩气藏压力系数则为1.07~1.14,两口井压力系数不同也证明了两个气藏之间的不连通性。升深2-1气田以西是升深201井,以东是升深4井,分属3个不同的火山岩体,岩体分界线为断层和火山岩体(图5)。通过压力、油气测试和测井综合解释发现,升深2-1气田基本具有统一的气-水界面,气田单井大都在海拔-2900 m以下时测试出水,处于基本同一压力系统,不同井测试压力与深度关系点均落在图中气线周围(图6)。但升深4井远离气线,具有单独的气-水系统(图6)。在火山喷发的过程中,同一期喷发的火山岩在不同部位物性特征迥异,这也造成了火山岩本身对气藏的分隔,导致了纵向上多个气-水系统的存在,甚至出现了上气、下水的气-水分布格局,徐深13井营城组一段气藏便是如此(图3)。火山岩的这一特征使火山岩气藏具有纵向上多套气层叠置、平面上呈串珠状分布的特征(图3)。

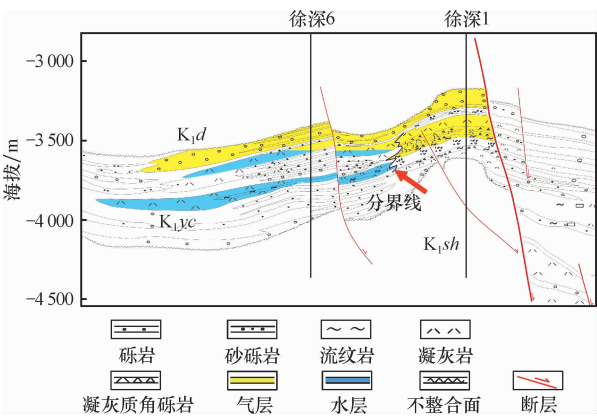


图 4 过徐深 6 和徐深 1 井气藏岩性剖面

Fig. 4 Gas reservoir lithology profile across the well Xushen 6 and the well Xushen 1

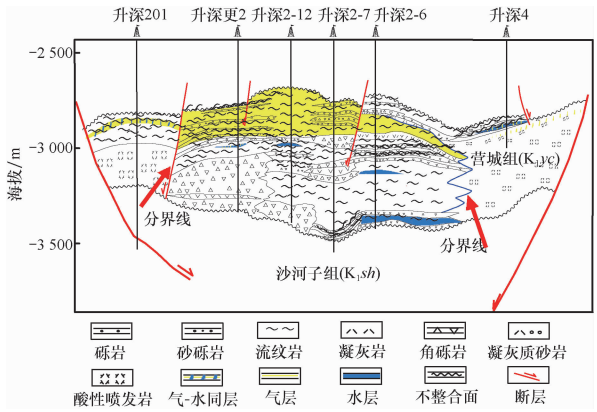


图 5 过升深 201、升深更 2、升深 2-12、升深 2-7、升深 2-6 和升深 4 井气藏岩性剖面

Fig. 5 Gas reservoir lithology profiles across the wells (SS 201, SSG 2, SS 2-12, SS 2-7, SS 2-6 and SS 4)

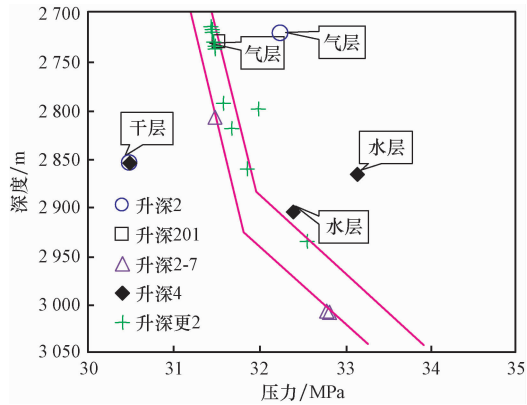


图 6 升平和兴城典型气井压力与深度的关系

Fig. 6 Relationship between formation pressures and depth of typical wells in the Shengping and Xingcheng gasfields

3 火山岩对火山岩气藏保存的控制作用

由于同一火山岩体不同部位物性特征迥异,导致火山岩既可以作为良好的储层,也可以作为良好的盖层;同时多期火山喷发导致形成了多个火山岩体、且互不连通,构成了气藏横向、纵向上的有利封堵体,因此火山岩是火山岩气藏良好的直接盖层。自储、自盖是火山岩气藏的重要特征(表 1),主要表现在两个方面。一是火山岩气藏发育在火山岩体内部。如徐深 1 井 3 578.5 ~ 3 676.4 m 井段气藏及徐深 6 井 3 838 ~ 3 859 m 井段气藏,气藏上覆直接盖层为火山岩。第二则是对于发育于火山岩顶部的气藏。通过对在火山岩中获工业气流的 25 口井的统计发现,20 口井火山岩顶部气藏发育在距火山岩顶面 2 m 以下(表 1);火山岩最顶部几米物性反而不好,从而作为火山岩储层的直接盖层。如表 1 所示,除升深 2-1 和徐深 1 井火山岩顶部气藏直接盖层是登娄库组或营城组泥岩外,其他气藏直接盖层都是火山岩,盖层厚度分布在 2.0 ~ 55.6 m。这种现象存在的原因前面有所解释,可能是火山岩储层上覆火山岩充当了直接盖层的角色。

火山岩气藏的这种自储、自盖的独有成藏特征,使火山岩气藏对区域盖层的要求弱化。已有文献资料证实,徐家围子断陷烃类气藏主要成藏期为泉头组末期至嫩江组时期^[13]。在泉头组末期,泉头组区域盖层还不能形成有效的封堵作用,此时期的区域盖层是登娄库组的泥岩;但在升平地区登(娄库组)二段泥岩盖层条件不发育,累计厚度基本小于 100 m,单层最大厚度为 11 m,平均小于 5 m,按盖层评价标准^[18]盖层条件中等。然而在这样条件中等的区域盖层下分布着丰度高的营城组火山岩气藏,应该说火山岩顶部的这套直接盖层起到了重要的作用。

4 火山岩对火山岩气藏类型的控制作用

火山岩气藏类型受火山岩体、断层及区域构造的多重控制。火山岩体内部及岩体间强的分割性,决定了火山岩气藏的总体类型是以岩性气藏

为主。松辽盆地火山岩都沿基底断裂分布,因此气藏类型也受断层及区域构造的控制。总体来说,火山岩气藏类型有4大类6小类(图7),它们是火山岩断鼻(断背斜)-岩性复合气藏、火山岩岩性气藏、火山岩低幅背斜(地层超覆)-岩性复合气藏及火山岩构造气藏。前两大类气藏主要发育于断陷区,后两大类气藏主要发育于隆起区或斜坡区。断鼻(断背斜)-岩性复合气藏分布最广,松辽盆地徐家围子断陷已发现的大部分气藏均属此类。如升平和兴城气田,气藏一侧为断层封堵,另一侧则是由火山岩自身封堵形成断层-岩性复合气藏;徐深1气藏为断鼻-岩性复合气藏,升深2-1气藏则为断背斜-岩性复合气藏。火山岩岩性气藏主要发育于断陷中部远离断层的地区,如徐深22气藏。该类气藏发育不普遍,火山岩储层物性条件也相对较差;徐深22井仅获低产气流。火山岩构造气藏主要发现于长深1井区,气藏位于哈尔金构造上,火山岩内部气藏连通性好,气藏处于同一压力系统,具有统一的气-水界面。

火山岩低幅背斜-岩性复合气藏是一种特有的火山岩气藏类型,这类气藏形成的背景是规模较大的火山喷发在地表形成了火山岩台地,自身形成了良好的背斜构造背景,后期的改造作用并未夷平火山岩台地,因此登娄库组沉积前形成了火山岩低幅背斜。这类火山岩体由于后期改造作用强,是有利运移指向区和天然气富集的主要区域,气藏边界是由火山岩体边界所控制,为火山岩低幅背斜-岩性复合气藏。现已发现的气藏主要有升深6井火山岩气藏和徐深9井火山岩气藏(图8)等。

5 结论

1) 火山岩为一类非常规储集体,以极强的非均质性为特征,控制了气藏的分布深度、气藏在火山岩中的分布、气-水分布关系、气藏直接盖层及气藏类型。因此,火山岩气藏在多方面表现出与常规气藏不同的特征。

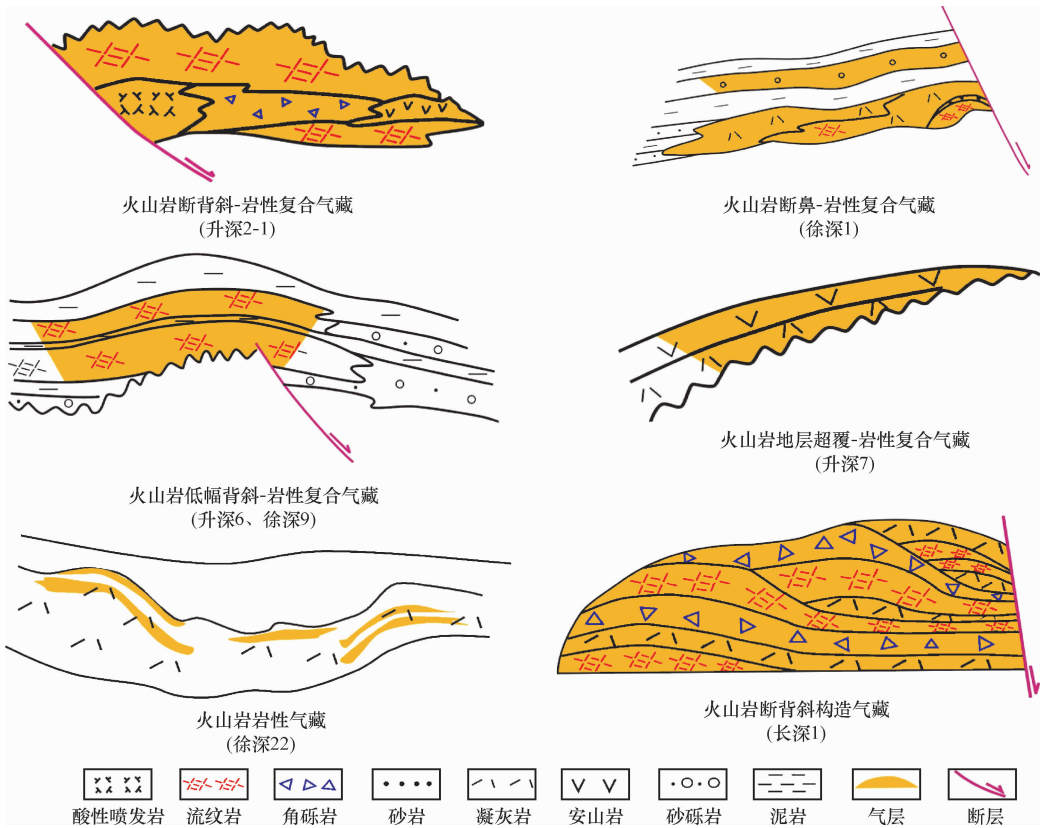


图7 松辽盆地火山岩气藏类型

Fig. 7 Volcanic gas reservoir types in the Songliao Basin

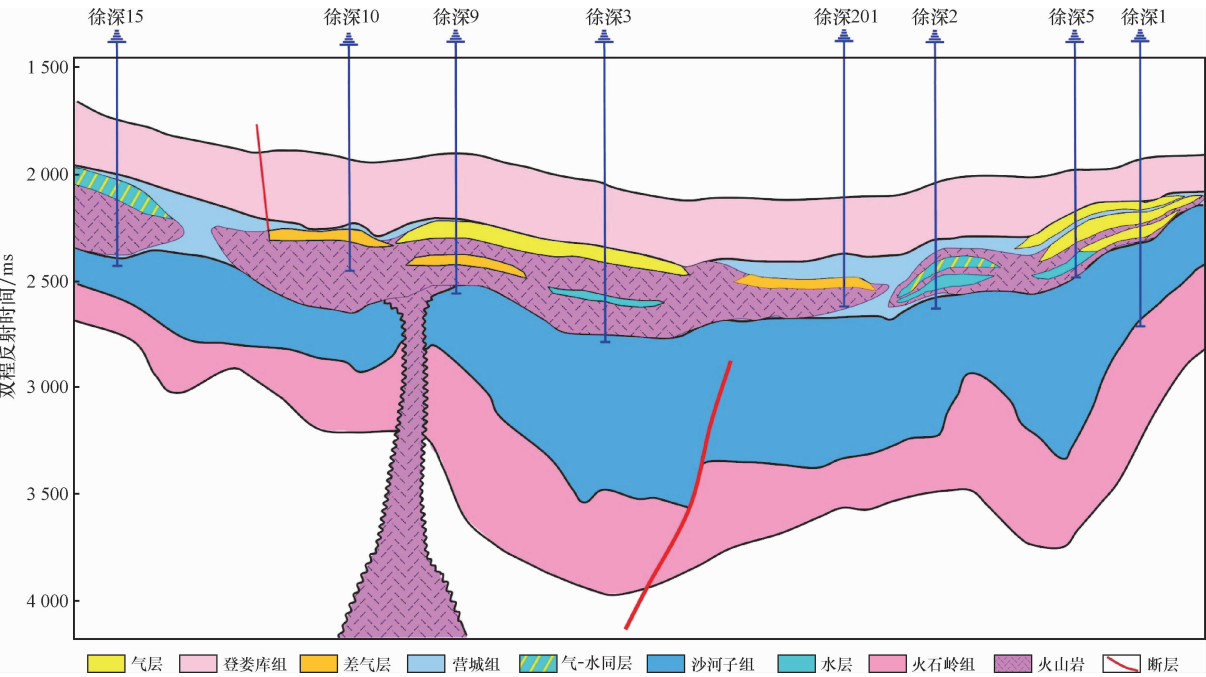


图 8 徐深 9 井火山岩低幅背斜-岩性复合气藏剖面示意图

Fig. 8 Profile of the low-amplitude anticlinal-lithologic gas reservoirs in the well XS 9

2) 火山岩储层的特殊性 & 火山岩气藏的特殊受控规律,使火山岩气藏成为盆地深部勘探的一种重要气藏类型。

3) 随着研究的不断深入,火山岩对气藏的控制作用会越来越清晰,火山岩气藏的分布及聚集规律性也会更好地呈现。

参 考 文 献

1 张子枢,吴邦贵. 国内外火山岩油气藏研究现状及勘探技术调研[J]. 天然气勘探与开发,1994,16(1):1~26

2 冯志强. 松辽盆地庆深大气田的勘探前景[J]. 天然气工业,2006,26(6):1~5

3 吴河勇,冯子辉,杨永斌,等. 松辽盆地北部深层天然气勘探风险评价[J]. 天然气工业,2006,26(6):6~10

4 谢晓安,周卓明. 松辽盆地深层天然气勘探实践与勘探领域[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):113~118

5 冯子辉,邵红梅,童英. 松辽盆地庆深气田深层火山岩储层聚集性控制因素研究[J]. 地质学报,2008,82(6):761~768

6 王璞君,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):18~23

7 蒙启安,门广田,张正和. 松辽盆地深层火山岩体、岩相预测方法及应用[J]. 大庆石油地质与开发,2001,20(3):21~24

8 赵海玲,刘振文,李剑. 火成岩油气储层的岩石学特征及研究方向[J]. 石油与天然气地质,2004,25(6):609~613

9 罗静兰,林潼,杨知盛,等. 松辽盆地升平气田营城组火山岩岩相及其储集性能控制因素分析[J]. 石油与天然气地质,

2008,29(6):748~757

10 黄薇,印长海,刘晓,等. 徐深气田芳深 9 区块火山岩储层预测方法[J]. 天然气工业,2006,26(6):14~17

11 舒萍,曲延明,丁日新,等. 松辽盆地北部庆深气田火山岩储层岩性岩相研究[J]. 大庆石油地质与开发,2007,26(6):31~35

12 纪学雁,舒萍,曲延明,等. 流体包裹体在庆深气田火山岩气藏研究中的应用[J]. 吉林大学学报(自然科学版),2007,37(4):739~743

13 冯子辉,任延广,王成,等. 松辽盆地深层火山岩储层包裹体及天然气成藏期研究[J]. 天然气地球科学,2003,14(6):436~441

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

15 李景坤,冯子辉,刘伟,等. 松辽盆地徐家围子断陷深层天然气成藏期研究[J]. 石油学报,2006,27(增刊):42~45

16 秦黎明,张枝焕,吴聿元,等. 松辽盆地南部长岭断陷营城组火山岩系储层固体沥青的地球化学特征以及成因分析[J]. 矿物岩石,2008,28(3):96~104

17 王璞君,冯志强,刘万洙,等. 松辽盆地火山岩岩性岩相储层气藏勘探[M]. 北京:科学出版社,2008. 208

18 付广,陈章明,吕延防,等. 泥质岩盖层封盖性能综合评价方法探讨[J]. 石油实验地质,1998,20(1):81~86

(编辑 李 军)