

松辽盆地火山岩相与火山岩储层的关系*

王璞珺¹, 陈树民², 刘万洙¹, 单玄龙¹, 程日辉¹, 张艳¹, 吴海波², 齐景顺²

(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: 根据钻井岩芯/岩屑和剖面地质研究结果, 火山岩相可分为4类12型。松辽盆地徐家围子断陷火山岩储层具有孔隙和缝隙相互组合的所谓“双孔介质”。火山岩储层的储集空间类型受岩相控制, 不同岩相带发育的火山岩储层其孔-缝及其组合关系差异很大。喷溢相主要发育气孔、流纹理层间缝隙和节理缝; 爆发相的主要空隙类型为粒间孔隙; 侵入相以角砾间孔和原生裂缝为主; 火山通道相主要发育节理缝和各种原生裂隙。爆发相中每个冷却单元的底部经常发育有“松散层”, 它们是未熔结的碎屑砂流层或原基岩的风化壳被快速披盖保存而形成的。侵入相内带亚相经常会出现大规模的“岩穹内松散体”, 它们是大的珍珠岩球体的堆积体。在中酸性火山岩储层发育区应特别注意寻找这两类储集体。松辽盆地主要的构造裂隙是一组共轭的、高角度的(断层面倾角 $50^{\circ} \sim 90^{\circ}$)、走向NNE和NNW向的、剪性或压剪性的断层缝。这组高角度构造裂隙是松辽盆地油气运移的主要通道。

关键词: 火山岩相; 火山岩储层; 分类; 松散层; 松辽盆地

第一作者简介: 王璞珺, 男, 43岁, 教授, 石油与天然气地质勘查

中图分类号: TE112.222

文献标识码: A

1 火山岩相分类

目前盆地火山岩相的研究主要是应用已有的剖面火山岩相的分类方案。这样的分类体系主要是依据火山作用方式或喷发/搬运方式, 对于研究现代火山作用和火山岩是适合的。在各家的分类方案中对成岩方式论述较少^[1~11], 未涉及到岩相与储层物性的相关性, 这样的分类对于以储层建模、评价和预测为主要目的的盆地火山岩相研究而言, 已经不能够满足实际需求。基于岩性和岩石组构等用岩芯或岩屑可以观测和准确标识的基本地质属性, 强调盆地火山岩研究中的可操作性, 可采用“岩性-组构-成因”分类, 其分类原则为:

(1) 岩相划分应具有储层意义, 因为这是盆地火山岩相研究的首要目的。

(2) 岩相要具有不同尺度和不同资料的可识别性, 即在岩芯/岩屑、手标本、剖面上可识别, 同时, 用测井和地震资料也在一定程度上可识别。

(3) 每种岩相要尽可能具有明确的甚至是独有的岩性、结构和构造标志。

(4) 岩相分类要考虑到成岩方式, 因其与深层

的储层物性和储层预测有关。例如, 由熔浆冷凝胶结而固结成岩的火山岩相其储层物性基本与埋深无关; 而那些有压实作用参与的火山岩相的储层物性将明显随埋深变差, 压实成岩份额越大受埋深影响越强。

(5) 火山岩相分类要考虑到物质的搬运机制, 因其与火山机构及其喷发体系有关, 直接涉及到储层预测。例如, 由不同搬运方式形成的岩石其单层厚度、分布范围和延伸特点都将有巨大差异, 这是井间延拓和储层预测必须涉及到的基本内容。

(6) 岩相要有预测功能, 因此要求有较明确的相序和相律关系。

(7) 盆地火山岩相分类要有清晰明了的物理意义, 即每一种相及亚相在火山喷发岩组合的物理模型中都具有其自身的位置, 而且这种位置应尽可能独特的。

(8) 应尽量符合已有习惯, 与已有分类具有可比性。

2 火山岩储集岩相

松辽盆地徐家围子断陷火山岩储层具有孔隙和缝隙相互组合的所谓“双孔介质”。火山岩储集空间按成因可划分为原生孔隙、次生孔隙和裂隙3种类型。按结构可进一步划分为13种亚类。原

* 国家自然科学基金资助课题: “大庆目标区火山喷发岩储层建模机制分析及数学表达”(NSFC) 49894190-12

收稿日期: 2002-04-16

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。这些孔隙可以形成一千余种复杂的组合类型。不同的孔隙组合类型具有十分不同的储集能力。而孔隙组合关系又由喷发相带和后期改造作用的过程和强度所决定。所以说, 火山岩的岩相、亚相、相律及

其改造历史和后果是火山岩储层研究的核心内容之一。要提高火山岩储层预测精度、降低勘探风险就必须首先弄清楚改造后的火山岩-火山碎屑岩序列的残存岩相、亚相、相律的时空展布特征。

火山岩岩相与火山岩储层的储集空间具有明显的相关关系。表 1 比较详细地列举了二者的对应性。图 1 展示了流纹岩类喷溢相下、中、上 3 个亚相和侵入相内带亚相的孔隙和裂隙特征。这里重点就几种以往被忽略的、但可能又是非常重要的火山岩储集岩相, 结合作者的研究实践论述如下。

表 1 盆地火山岩相分类及储层空间类型

Table 1 Classification of volcanic facies and reservoir space types in the basin

相	亚相	相序相律	储层空间类型
IV 侵入相(多形成于火山旋回后期)	IV ₃ 外带亚相	侵入相岩穹的外部	角砾间孔缝、显微裂缝
	IV ₂ 中带亚相	侵入相岩穹的中带	原生显微裂隙、构造裂隙
	IV ₁ 内带亚相	侵入相岩穹的核心	岩球间空隙、岩穹内大型松散体
III 喷溢相(多形成于火山旋回中期)	III _b 上部亚相	流动单元上部	气孔、石泡空腔、杏仁体内孔
	III _c 中部亚相	流动单元中部	流纹理层间缝隙
	III _a 下部亚相	流动单元下部	板状和契状节理、缝隙和构造裂缝
II 爆发相(形成于火山旋回早期)	II ₃ 热碎屑流亚相	火山旋回早期多见, 爆发相上部	颗粒间孔, 同冷却单元上下松散中间致密, 底部可能发育几十厘米松散层
	II ₂ 热基浪亚相	多在爆发相中下部, 或与空落相互层, 低凹处厚, 向上变细变薄	有熔岩围限且后期压实影响小则为好储层(岩体内松散层), 晶粒间孔隙和角砾间孔缝为主
	II ₁ 空落亚相	多在爆发相下部, 向上变细变薄, 也可呈夹层	
I 火山通道相(位于火山机构下部)	I ₃ 隐爆角砾岩亚相	火山口附近或次火山岩体顶部, 可能穿入其他岩相或围岩	原生显微裂隙
	I ₂ 次火山岩亚相	火山机构下部几百~1 500 m, 与其他岩相和围岩呈交切状	柱状和板状节理的缝隙, 接触带的裂隙
	I ₁ 火山颈亚相	直径数百米, 产状近于直立、穿切其他岩层	环状和放射状裂隙

2.1 爆发相内部的“岩体内松散层”

爆发相中可能存在的“松散层”是一类值得特别注意的储集体。这种松散层可以发育在爆发相 3 个亚相中任何一个亚相的底部。它们有两种形成机制: 一是由于灼热的火山碎屑流与地面接触时底部迅速散热, 热碎屑流本身及其与地表物质之间来不及彼此融合, 形成未熔结的无填隙物碎屑层(或称砂流层); 二是由于熔结凝灰岩喷发降落之前原基岩的风化壳被快速披盖保存而形成。这种松散层由于有上覆熔结凝灰岩和熔岩的披盖作用, 形成坚硬外壳作为保护层, 使其不再受到后续压实作用的影响或影响微弱, 因此能够保留下来。松散层一般厚几十厘米。一次爆发作用形成的岩石组合为一个冷却单元。每个冷却单元从底部到顶冷却程度从快到慢又到快, 相应的岩石固结

程度则从弱到强再到弱。由此推之, 松散层不仅能发育在冷却单元的底部, 也可以出现在单元的顶部。其实, 上一个冷却单元的顶部往往是下一个单元的底部。所以, 在一系列喷发单元相互叠置的情况下, 松散层经常出现在冷却单元之间。松辽盆地徐家围子断陷 2001 年钻探的 XS-1 井, 于 3 450 m 左右的凝灰岩和熔结凝灰岩中钻遇高产气流, 后经仔细研究发现, 其储集岩属于爆发相中的松散层。这种“岩体内松散层”具有分布广泛、出现频繁的特点, 应给予足够重视。因为凝灰岩类通常在压实作用下会使物性明显变差, 而这种作为松散层的凝灰岩却很少受压实作用的不良影响, 所以在凝灰岩-熔结泥灰岩的爆发相岩石组合中应当有意识地寻找这种“岩体内松散层”。

2.2 侵出相内带亚相的“岩穹内松散体”

还应该更加注意的是中酸性火山岩发育区的侵出相内带亚相。它们多出现在火山旋回的晚期,此时破火山口-火山湖体系已经形成,当高粘度岩浆受到内力挤压流出地表时遇水淬火形成岩球和岩枕构造,这些球状堆积物之间充填着较细的玻璃质碎屑,使得大的珍珠岩球体松散地胶结

在一起。由于这种堆积物的骨架坚硬,同时有侵出相中带珍珠岩和外带角砾熔岩作为坚硬的外壳披覆其上起到保护作用,所以,在一个大的侵出相火山岩穹隆的内部往往发育有大规模的“岩穹内松散体”。这种松散体的物性通常是非常好的(图1),其分布范围(直径)一般为几百米到千余米、高度几十米至百余米。但到目前为止还没有发现这

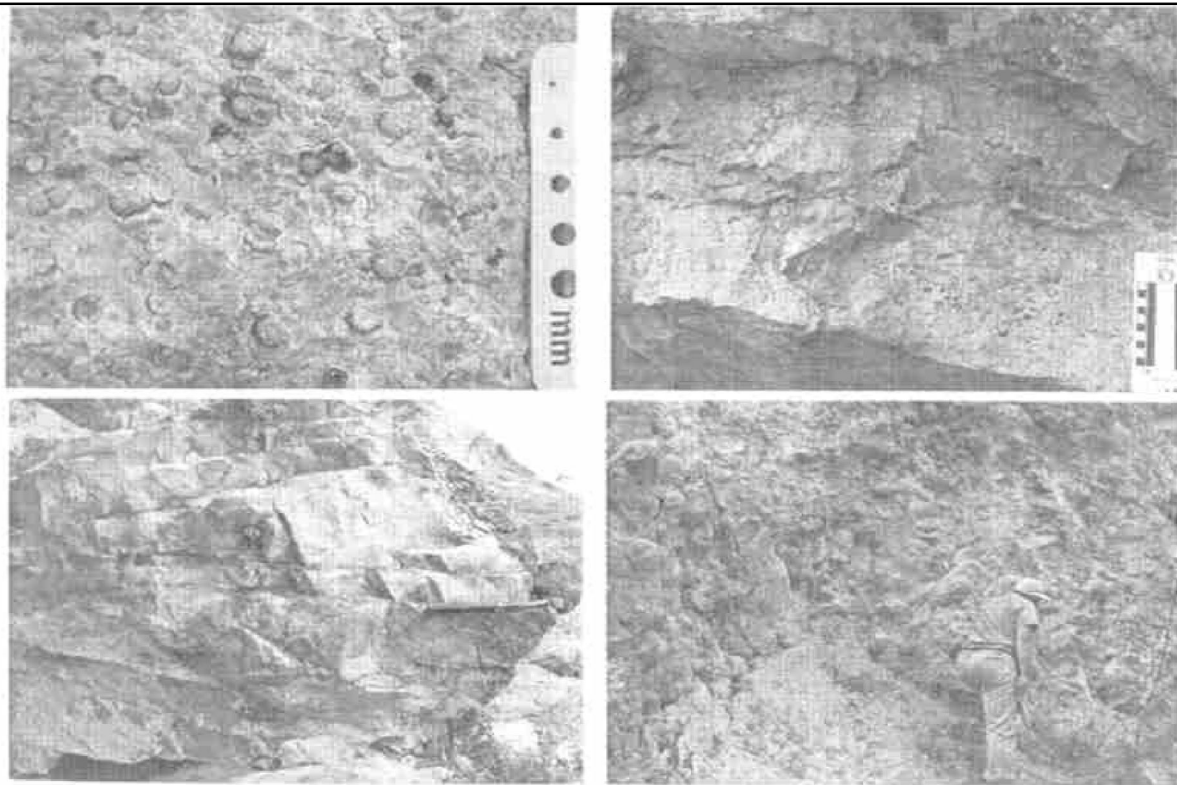


图1 火山岩亚相图片

Fig. 1 Plate of volcanic sub-facies

左下:溢流相下部亚相,具原生楔状节理的含同生角砾细晶流纹岩;

左上:溢流相上部亚相,具石泡构造的球类流纹岩;右上:溢流相中部亚相,有气孔的流纹构造流纹岩;

右下:侵出相内带亚相,具岩球和岩枕构造的珍珠岩,为岩穹内部的大型松散体

类火山岩储层,也未见相关报道。然而根据在松辽盆地周缘地区的营城组地层中珍珠岩体广泛发育,侵出相珍珠岩具有体积大和质地纯等共性,说明营城组时期在破火山口-火山湖体系中形成侵出相珍珠岩是常见的地质事件。在松辽盆地内部也应当有这类岩相和岩石组合发育。所以说,有理由相信在不远的将来能够找到这类以岩穹内松散体为储层的大而肥的火山岩油气藏。

3 火山岩储层预测

尽管火山岩的原生孔隙可能很发育,但是,火山岩的原生孔隙之间一般是不连通的,或连通性

很差。幸运的是,在松辽盆地乃至我国的整个东部地区都发育有多组构造裂隙,它们使得火山岩中的各种孔隙彼此连通、构成运移通道。本区火山岩裂缝按力学成因可分为剪切裂隙、张性裂隙、压性裂隙和张剪性与压剪性裂隙5大类。其中,剪性和压剪性裂隙是松辽盆地储层火山岩的主要裂隙类型。按裂隙形成的时间,可分为原生裂隙(火山岩冷凝的同时形成的收缩缝)、次生裂隙(火山岩冷却成岩后形成的构造裂隙)以及裂缝经充填-溶蚀等后期改造作用形成的复合裂缝,后两者是本区火山岩的主要裂隙类型。松辽盆地火山岩储层中发育的构造裂隙,具有多期、多方向、组合复

杂等特点,是近120 Ma以来各种地质作用相互叠加的综合结果^[12~13]。本区主要的构造裂隙是一组共轭的、高角度的(倾角 $50^{\circ}\sim 90^{\circ}$)、走向NNE和NNW向的、剪性或压剪性的断层缝。其中NNE(或近SN向)走向的断层面具有明显的右旋走滑特征,其构

造形迹尤为显著,根据区域地质资料可确定它们形成于古新世-中新世,主要时期应为 $45\sim 20\text{ Ma}^*$ 。这组高角度构造裂隙是本区油气运移的主要通道。

构造裂隙一方面使得孔隙彼此连通,解决了运移通道问题,另一方面它们本身对储集空间的

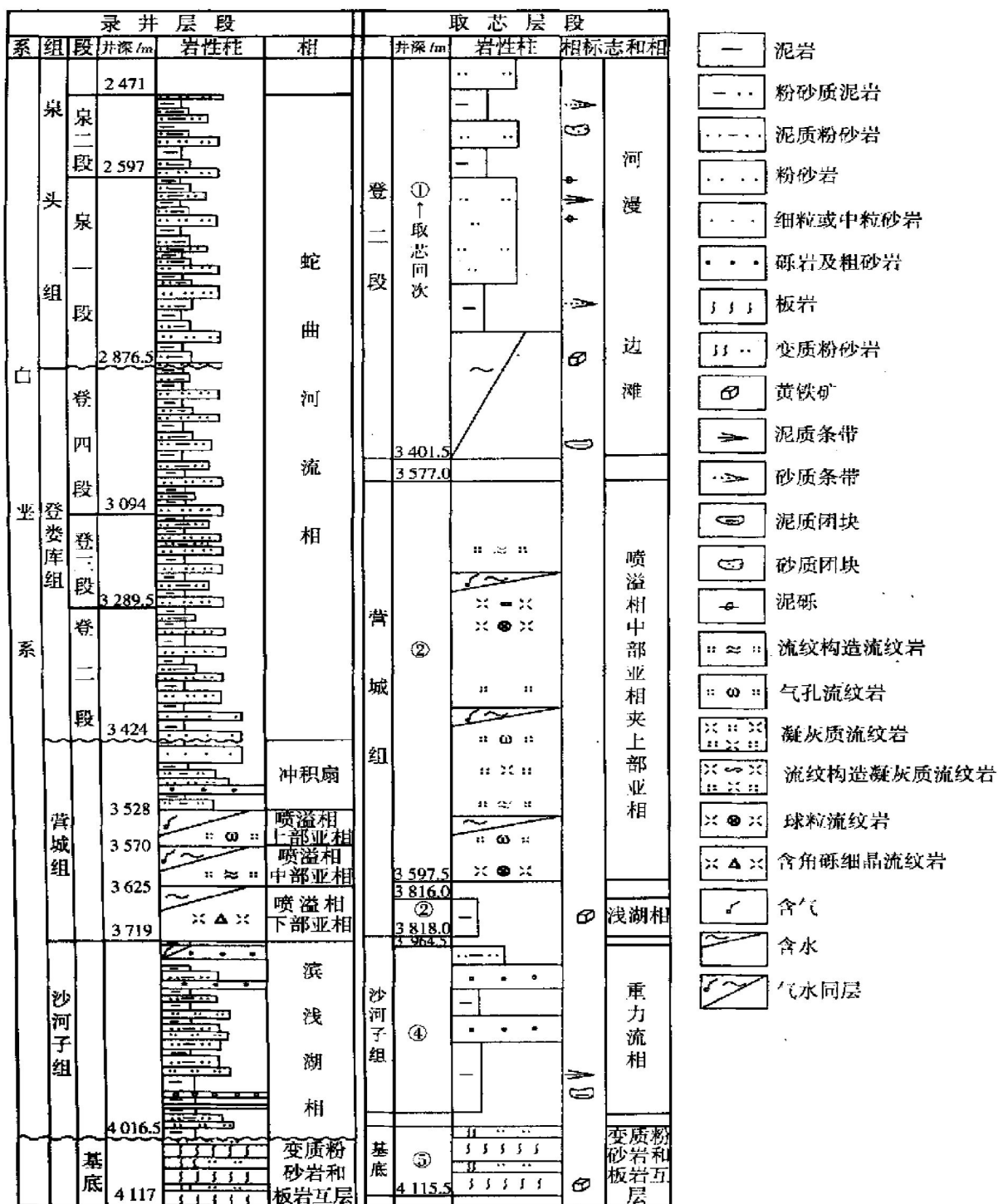


图2 ZS-VI井深层火山岩-沉积岩岩相分析

Fig. 2 Facies analysis of deep volcanic-sedimentary rocks in ZS-VI well

* 杨宝俊,焦新华,王璞珺,等. 中国东部陆缘主要盆地区及邻区区域构造和深层油气目标研究. 中国石油天然气集团公司九五科技工程项目(970206-01-02号)研究报告, 2000

体积虽不十分重要,但也有一定贡献。裂隙占火山岩储层总孔隙度的份额一般不超过10%。即90%以上的储集空间仍来自于孔隙。而火山岩孔隙的发育程度和分布规律又是受岩相控制的,所以,火山岩储层预测归根到底还是火山岩的岩相分析、对比和预测问题。图2是松辽盆地北部ZS-V井的岩相分析图。1997~1998年在该井钻探过程中本文作者通过岩芯和岩屑现场观测和取样分析,确定取芯段3578~3597 m的灰白色流纹构造流纹岩为营城组一段,岩相带以溢流相中部亚相为主、夹上部亚相。依据由野外剖面建立的岩相和相序模式,预测该取芯段之上应为原生气孔发育的、以溢流相上部亚相为主的双孔介质岩相带,其储集性能应好于取芯段,由此提出具体的测井和气测方案。后期钻

探证实了该岩相和储层预测结果,在3528~3570 m处探遇高孔渗火山岩储层,多为气水同层,其中有一单层日产水300 m³。虽然该探井的天然气产能没有达到工业品位,但火山岩岩相及其储层的预测成功,为后续火山岩油气藏勘探积累了经验。根据ZS-V井火山岩相序特征,结合测井相分析和地震解释,同时考虑烃源岩等因素,部署以钻探营城组一段溢流相上部亚相气孔流纹岩为主要目的层的ZS-VIII井(图3),在设计的目的层段钻遇天然气层。ZS-VIII井107~113号层中途测试获低产工业气流。这些工作对近几年来在本区开展的,以火山岩储层为主要目的层的深层天然气勘探的连续突破起到了一定的促进作用。

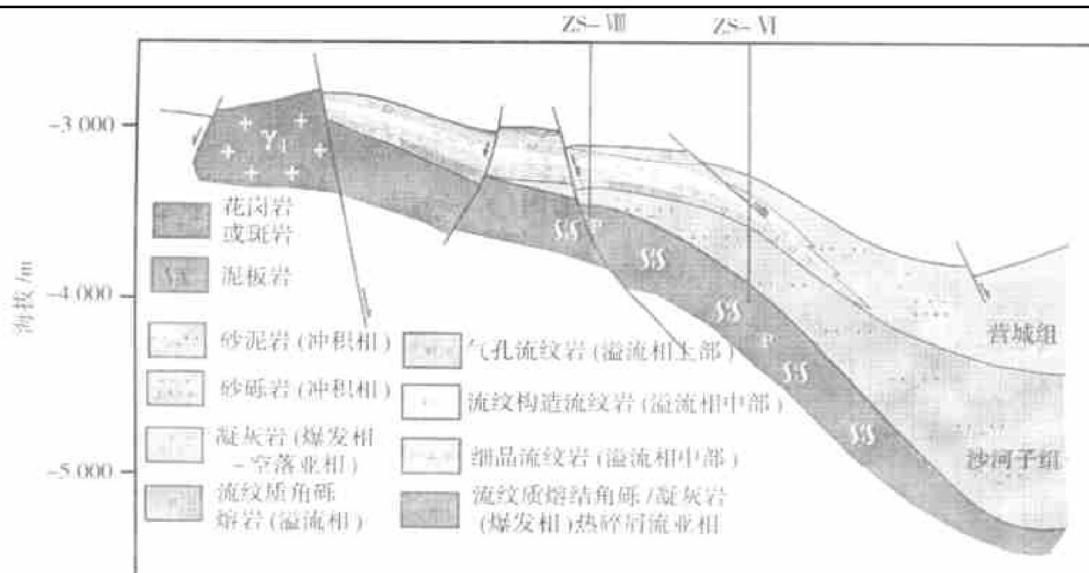


图3 松辽盆地 VII 0 线构造剖面 ZS-VIII 井-ZS-VI 井火山岩岩相对比与储层预测剖面

Fig. 3 Correlation of volcanic facies in ZS-VIII and ZS-VI wells in

VII, 0 line structural section and predicted section of reservoirs in Songliao basin

4 讨论

(1) 松辽盆地徐家围子断陷火山岩储层具有孔隙和裂隙相互组合的所谓“双孔介质”。火山岩储集空间按成因可划分为原生孔隙、次生孔隙和裂隙3种类型。按结构可进一步划分为13种亚类。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。次生空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。

(2) 火山岩储层的储集空间类型受岩相控制。不同岩相带发育的火山岩储层其孔-缝及其组合关系差异很大。喷溢相主要发育气孔、流纹理层间缝和节理缝;爆发相的主要空隙类型为粒间孔隙;侵入相以角砾间孔和原生裂缝为主;火山通道相主要发育节理缝和各种原生裂隙。爆发相中每个冷却单元的底部经常发育有“松散层”,它们是未熔结的碎屑砂流层或原基岩的风化壳被快速披盖保存而形成的。侵入相内带亚相经常会出现大规模的“岩穹内松散体”,它们是大的珍珠岩球体的堆

积体。在中酸性火山岩储层发育区应特别注意寻找这两类储集体。

(3) 本区火山岩裂缝按力学成因可分为剪切裂隙、张性裂隙、压性裂隙和张剪性与压剪性裂隙 5 大类。其中, 剪性和压剪性裂隙是松辽盆地储层火山岩的主要裂隙类型。按裂隙形成的时间, 可分为原生裂隙(火山岩冷凝的同时形成的收缩缝)、次生裂隙(火山岩冷却成岩后形成的构造裂隙)以及裂缝经充填-溶蚀等后期改造作用形成的复合裂缝, 后两者是本区火山岩的主要裂隙类型。松辽盆地储层火山岩中发育的构造裂隙, 具有多期、多方向、组合复杂等特点, 是近 120 Ma 以来各种地质作用相互叠加的综合结果。本区主要的构造裂隙是一组共轭的、高角度的(倾角 $50^{\circ} \sim 90^{\circ}$)、走向 NNE 和 NNW 向的、剪性或压剪性的断层缝。这组高角度构造裂隙是本区油气运移的主要通道。构造裂隙一方面使得孔隙彼此连通, 解决了运移通道问题; 另一方面它们本身对储集空间的体积也有一定贡献。裂隙占火山岩储层总孔隙度的份额一般不超过 10%, 即 90% 以上的储集空间仍来自于孔隙。

参 考 文 献

- 1 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. 北京: 地质出版社, 1978. 10~ 82
- 2 Lajoie J. Facies models 15: volcanoclastic rocks[J]. Geoscience Canada, 1979, 6(3): 129~ 139
- 3 李石, 王彤. 火山岩[M]. 北京: 地质出版社, 1980. 20~ 40
- 4 Fisher R V, Schmincke H U. Pyroclastic rocks [M]. Heidelberg: Springer, 1984. 59~ 265
- 5 Cas R A F, Wright J V. Volcanic successions modern and ancient[M]. London: Allen & Unwin, 1987. 59~ 333
- 6 陶奎元. 火山岩相构造学[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1994. 12~ 31
- 7 金伯禄, 张希友. 长白山火山地质研究[M]. 长春: 东北朝鲜民族教育出版社, 1994. 40~ 49
- 8 邱家骧, 陶奎元, 赵俊磊, 等. 火山岩[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 10~ 22
- 9 谢家莹, 陶奎元. 中国东南大陆中生代火山地质及火山-侵入杂岩[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 40~ 71
- 10 刘祥, 向天元. 中国东北地区新生代火山和火山碎屑堆积物资源与灾害[M]. 长春: 吉林大学出版社, 1997. 1~ 8
- 11 刘文灿, 孙善平, 李家振. 大别山北麓晚侏罗世金刚台组火山岩地质及岩相构造特征[J]. 现代地质, 1997, 11(6): 237~ 243
- 12 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
- 13 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

RELATIONSHIP BETWEEN VOLCANIC FACIES AND VOLCANIC RESERVOIRS IN SONGLIAO BASIN

Wang Pujun¹ Chen Shumin² Liu Wanzhu¹
Shan Xuanlong¹ Cheng Rihui¹ Zhang Yan¹ Wu Haibo¹ Qi Jingshun¹

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

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

Abstract: Based on the study of cores, well cuttings, and outcrop sections, the facies of volcanic rocks can be divided into 4 types and 12 sub-facies. Pores and fissures are the two major types of reservoir spaces in volcanic rocks in Xujiaweizi fault-depression. The types of reservoir space in volcanic reservoirs have been found to be controlled by the facies. The volcanic reservoirs found in various facies belts have quite different pores and fissures and their assemblages. Gas cavities, fissures in rhyolitic lamination, and joint fissures have been identified mainly in eruption-overflow facies. The main pore-type identified in explosive facies is intergranular pore; and inter-breccia pore and primary fracture are dominant in extrusive facies. Joint fissures and various primary fractures are mainly developed in volcanic conduit facies. It is found that "unconsolidated formation" often distributes at the base of each cooling unit in explosive

(Please Turn to Page 27)

OCCURRENCES OF VOLCANIC ROCKS IN XUJIAWEIZI FAULT- DEPRESSION AND THEIR SIGNIFICANCE

Cheng Rihui¹ Liu Wanzhu¹ Shan Xuanlong¹ Chen Shuming² Qu Yongbao²

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

2. *Daqing Oilfield Company, CNPC, Daqing, Heilongjiang*)

Abstract: The volcanic rocks in Xujiaweizi fault- depression, Songliao basin, was mainly erupted in Late Jurassic to Early Cretaceous. Their occurrences are characterized by a certain geometric pattern. On the basis of the structural position of volcanic eruption and the occurrences in the basin, three types of eruption have been identified, including eruption on the upthrown side of fault, along fracture belt and on downthrown side. Different occurrences are often corresponding to different basin structures. The volcanic rocks occurring along fault plane would transit gradually to sublacustrine fan-turbidite fan; the volcanic rocks occurring on the upthrown side of fault would distribute in the manner of alternating beds of volcanic rocks and sandstones; the volcanic rocks occurring on the downthrown side have mostly been covered by fine grain sediments.

Key words: volcanic rock; fault; occurrences; basin filling; Songliao basin

(Continued from Page 23)

explosive facies, which might be resulted from fast covering and conservation of the weathered crusts of the original basement rocks or unclinkered drifting clasts. A large “unconsolidated bodies in rock-dome” can often be found in the inner belt sub-facies of extrusive facies, which are actually of large accumulation bodies of perlite balls. Special attention should be paid to looking for these two-type reservoirs in the intermediate-acidic volcanic rock area. The major tectoclase in this area is a set of conjugated, high-angle (fault plane with dip angle of $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$), NNE and NNW strike, and shear or compressive-shear fractures, which constitute the main migration pathway of oil & gas.

Key words: volcanic rock facies; volcanic reservoir; classification; unconsolidated formation; Songliao basin