

文章编号: 1001-6112(2010)06-0532-04

盆地油气储层研究中的火山岩岩相划分探讨

张玉明¹, 陆建林², 李瑞磊¹, 张 玺¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 东北油气分公司, 长春 130062;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要:火山岩储层岩相划分对确定有利储层分布、进行储层预测至关重要。针对火山岩油气藏勘探需要, 结合松辽盆地长岭断陷火山岩油气地质特征, 对火山岩爆发相和溢流相的亚相及微相进行划分, 将亚相划分为近火山口、火山斜坡和远火山口亚相, 将微相划分为上部、中部和下部微相。新的火山岩储层岩相划分方案, 反映了火山岩储层的分布发育特点, 具有明显的预测功能, 有利于火山岩油气藏勘探开发。

关键词:火山岩相; 储层; 亚相; 微相; 长岭断陷; 松辽盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

DISCUSSION OF VOLCANIC FACIES DIVISION IN STUDIES OF BASIN PETROLEUM RESERVOIR

Zhang Yuming¹, Lu Jianlin², Li Ruilei¹, Zhang Xi¹

(1. Northeast Branch Company, SINOPEC, Changchun, Jilin 130062, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: Volcanic reservoir lithofacies division is very important to determine favorable reservoir distribution and reservoir prediction. Aiming at volcanic rock reservoir exploration needs, combined with petroleum geological characteristics of volcanic in the Changling Fault Depression of the Songliao Basin, subfacies and microfacies of volcanic eruption and overflow facies were classified. The subfacies were divided into near crater, volcanic slope and far away from crater ones. The microfacies were divided into upper, middle and lower ones. New volcanic reservoir lithofacies division method reflects the characteristics of volcanic rock reservoir generation and distribution. It makes prediction effectively and is favorable for volcanic rock reservoir exploration.

Key words: volcanic facies; reservoir; subfacies; microfacies; Changling Fault Depression; Songliao Basin

1 火山岩相研究概述

火山岩相是在一定地质构造条件下, 由火山作用形成的一种或多种岩石所组成的地质体, 对于揭示火山岩时空展布规律和不同岩性组合之间的成因联系具有重要意义。对作为油气储层的火山岩而言, 不同岩相带的孔隙和裂隙及其组合不同, 物性差异大。岩相的划分是火山岩储层评价的基础, 对火山岩储层预测至关重要。

许多学者出于不同的研究目的、认识的限制, 对火山岩相有不同的划分, 形成了多种划分方案^[1-4], 但这些划分都不是为油气地质勘探服务的。陈建文等^[5-8]从不同角度对松辽盆地营城组及火石岭组火山岩相进行了研究。多数的火山岩

相分类是以某地区的剖析研究为基础。火山岩相分类也因研究对象和研究目的而异。

随着火山岩油气藏的不断发现和研究工作的逐步深入, 对火山岩相的划分也越来越复杂, 但目前还没有能够像沉积相划分一样有统一的划分方案。已有的划分方案很少考虑到盆地油气地质勘探的实际特点和储层研究的需要, 尤其是不能表征有利储层的发育分布特征, 应用到盆地的油气勘探中总有一些不能表征或不适用的情况。

笔者从松辽盆地的火山岩背景出发, 结合长岭断陷火山岩勘探地质特征, 以有利于油气勘探开发为原则, 在前人研究的基础上, 基于火山岩岩石组构、形成方式等基本地质属性, 将长岭断陷火山岩相划分为5相, 即爆发相、溢流相、火山通道相、次

火山岩相和火山沉积相。但仅依据这种相的划分还不能反映火山岩有效储层的形成发育特征,为此,需要进一步从储层研究的需要来进行亚相和微相的划分,使相的划分具有储层预测功能。

2 针对火山岩储层研究的岩相划分

2.1 火山机构特征及岩相划分原则

火山机构指构成一座火山的各个组成部分的总称,是火山作用的产物及其构造的总称。火山分类尚没有统一的方案。对一个火山机构而言,其纵向和横向组成的岩层在物质成分和形成的物理化学条件方面均有一定差异,导致岩层的孔隙度、渗透性具有较大差异,进而导致了地下火山作为储层的物性差异,这是石油地质学需要研究的重点,也是油气勘探研究与其他学科研究的侧重点的差异。

因此,对火山岩作为储层的研究的重点要突出其孔隙、裂缝等可储集空间的形成原理及其分布方式,并以此来作为对应相研究的出发点,这是和以往地表区域地质调查和其他行业火山机构、火山岩、火山岩相研究的最重要的区别。

由于火山机构组成的复杂性和特殊性,它对火山岩储层的控制与沉积地层具有较大差异,不能用沉积岩岩相的划分方法来进行描述。本文从火山机构横向、纵向地层的微观特征、物性形成特点及其差异性入手,探讨火山机构控制的火山岩储层的形成及纵、横分布特点及亚相和微相划分。

2.2 火山机构横向差异性及其亚相划分

一般来讲,可根据岩相在火山机构中的位置,划分为近火口相、远火口相和过渡相(火山斜坡相)。由于这种位置的差异,导致了不同位置火山岩形成条件、在地表的存在、与周围环境接触的差异,其发育的各类孔隙具有较大差异,使其在平面上的变化可明显地划分为3个带,即:近火口带、火山斜坡带(过渡带)和远火口带(边缘带)。对以爆发相和溢流相为主的火山机构而言,这3个带一般情况下均有存在,可以作为亚相来对相进行进一步划分。因此,对爆发相和溢流相可将其进一步划分为近火山口亚相、火山斜坡亚相(过渡岩相)和远火山口亚相(边缘亚相)。

陈利等^[9]分别对溢流相和爆发相的这种划分进行了解剖。滨南油田滨674井区沙三段火山岩储层为溢流相火山岩,将以溢流为主的火山平面上划分为3个火山亚相带:火山口亚相、火山熔岩斜坡亚相和远火山斜坡亚相。火山口亚相平面上位于火山岩体的中部加厚部位,粒间孔不发育,仅见

少量气孔,岩性致密。火山熔岩斜坡亚相平面上位于火山口周围斜坡上,分布广泛,构成火山岩主体,该亚相以气孔大量发育为特征,是有利储集区。远火山斜坡亚相在平面上位于火山熔岩斜坡亚相外围,远离火山口,岩性多为致密块状玄武岩,火山岩厚度也较薄。

临邑洼陷商74-6井区沙一段火成岩为爆发相火山岩。近火山口亚相在平面上位于火山锥体中部,是由火山角砾岩和熔结火山角砾岩组成的二元岩相组合。火山斜坡亚相则位于火山锥体斜坡上,是由火山角砾岩及火山凝灰岩组成的岩相组合,该相带储层相对较发育,储集空间类型以原生粒间孔、砾间孔及气孔为主,并发育一定数量的裂缝及溶孔。

因此,这种亚相划分有利于描述火山岩储层物性在平面上的分布关系及与火山机构的关系,对确定有利勘探开发区带非常重要。

2.3 火山岩储层微观特征、形成机制及微相划分

火山岩成岩主要可划分为2大阶段,即:火山岩形成阶段和成岩后生作用阶段。前者是不同类型火山岩从岩浆喷发(侵入)到形成火山岩的过程;后者则是火山岩形成以后,因各种地质作用而使其结构、构造、矿物成分等发生改变的过程。前者形成原生储集空间,主要包括气孔、晶间孔、原生解理缝、粒间孔和收缩缝等;后者形成次生储集空间,主要包括各种构造裂缝、溶蚀孔、缝等。

火山岩储层的储集空间主要由上述储集空间,即孔(原生、次生孔隙)、缝(原生节理、冷凝缝和后生构造缝)及洞(晶洞、溶洞)构成的“三孔介质”组成;有效火山岩储层储集空间的70%~95%由孔隙构成,30%~5%由裂缝构成;不同类型火山岩的残留原生孔隙加次生(演化)孔隙构成了多种多样的油气储集层。而有效火山岩储集层的发育受岩相(包括亚相和微相)控制。因此,结合储层形成机制和控制因素确定亚相和微相的划分方法,对研究储层非常重要。

2.3.1 挥发分逸散作用及气孔形成

岩浆含有许多挥发分,包括 H_2O , CO_2 , HCl , SO_2 , HF 等,虽然它们在岩浆中的含量不高,却具有非常重要的作用。当岩浆喷溢到地表时,所承受的围压降低,其中所含挥发分从岩浆中分离出来,形成大量气泡,一部分逸散于大气中,另一部分则由于岩浆迅速冷却凝固而保留在岩石中,形成孔洞、气孔。

对于较厚的熔岩层或火山碎屑岩层,由于成岩

跟外界接触程度不一样,气孔发育程度存在较大差异。对熔岩而言,一般在其上部气孔发育,呈蜂窝状细孔、中孔,甚至大孔,中部气孔数量明显减少,到底部很少有分布。但对于较薄的岩层,可能整个岩层气孔都比较发育。

2.3.2 熔结作用与火山碎屑岩微孔隙形成

在火山碎屑岩中,泡化作用对原生孔隙形成和渗透性大小起主要控制作用。因为气体逸散而在凝灰岩中产生大量气泡,形成孔隙。在熔结作用下,气孔合并或消失,从而形成岩体的孔隙度。火山灰(熔)流中各种碎屑物堆积时,如温度低于最低熔结温度,并上覆一定厚度的堆积物,以构成必要的负荷压力和绝热层,就发生熔结。熔结是火山碎屑物质逐渐与其邻接组分粘合,而失去其原来外形,使原始的孔隙空间逐步消失。

在凝灰岩早期沉积冷却过程中,熔结作用是控制原始孔隙度的首要作用。在没有熔结—中等程度熔结的凝灰岩中,孔隙空间主要由气孔、松散玻屑堆积、浮石碎片组成。

随着熔结程度的增加,孔隙度逐渐减小。对凝灰岩岩心的研究发现,其孔隙度变化范围很大,且与熔结程度密切相关。没有熔结的浮岩状凝灰岩孔隙度最高,平均可达 53%;弱熔结的凝灰岩孔隙度也较高,平均可达 34%;中等熔结程度的凝灰岩孔隙度平均可达 15%。低熔结程度还使粒间孔发育。粒间孔是火山碎屑支撑形成的原生或次生孔隙,是一种重要的孔隙类型。

在同一个冷却单元中,熔结强度具有分带性。典型的熔结强度分带由底部层、中间层和顶部层组成。一般而言,底部层没有熔结现象或熔结很弱,孔隙度较大,但厚度较薄;中部层是冷却单元的主体,不直接与外界接触,为上部 and 下部层所隔开,能在较长时间内保持较高温度,易发生熔结,因此岩石常呈致密块状,孔隙度较小;顶部层是典型的未熔结的凝灰岩,往往不致密,弱固结,厚度较小。熔结强度的分带性受火山灰流堆积温度和厚度、冷却速度和结晶速度以及喷发时间、间隔时间长短等因素影响。熔结程度的差异性形成顶部较高孔隙度的主要原因之一。

2.3.3 火山岩储层的成层性物性差异及微相划分

从以上孔隙的形成特点看,在火山岩岩层的纵向分布上,物性具有明显的成层性,导致其作为储层的差异性,或成为储层和非储层的划分标志。因此,从储层物性的这种差异性,根据孔隙的纵向分布特点,可在纵向上将火山岩地层岩相划分为上部

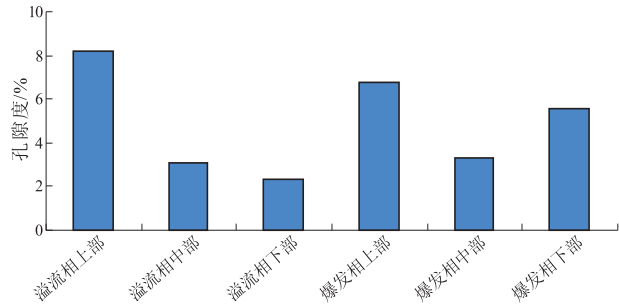


图 1 松辽盆地长岭断陷营城组火山岩岩相与孔隙度关系
Fig. 1 Volcanic lithofacies and porosity relations of Yingcheng Formation, Changling Fault Depression, Songliao Basin

微相、中部微相和下部微相。

对长岭断陷东部地区部分探井溢流相和爆发相与物性关系进行初步统计,不同的火山岩亚相其岩石密度、孔隙度和渗透率有所不同(图 1)。在溢流相的上、中、下 3 个微相中,上部微相岩石密度最小,平均为 2.46 g/cm^3 ,孔隙度值最大,平均为 8.2%,渗透率值也最大,平均为 $0.12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。下部微相岩石密度最大,平均为 2.56 g/cm^3 ,孔隙度值最低,平均为 2.3% ,渗透率最低,平均为 $0.0068 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。在爆发相的上、中、下 3 个微相中,上部微相岩石密度相对最小,平均为 2.528 g/cm^3 ,孔隙度值平均为 6.8%,渗透率值最大,平均为 $2.44 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;其次是下部微相,岩石密度平均为 2.53 g/cm^3 ,孔隙度值平均为 5.6%,渗透率值平均为 $1.48 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。受样品数量限制,统计存在局限,但总体上还是能看出溢流相上部微相、爆发相上部及下部微相物性相对较好,应是最有利储层发育的相带;溢流相中下部微相、爆发相中部微相孔缝发育程度低,一般不能构成有效储集层。因此,不同相带对火山岩物性影响很大。

腰英台地区 YX1 井钻遇了 211 m 的火山岩,该井处于近火山口亚相,对流纹岩井段进行微相划分(表 1),其上部微相为 I—II 类储层,中下部微相为 IV—V 类储层,特征明显。

YX102 井为高产火山岩气井,图 2 为其单井相综合柱状图,展示了其爆发相和溢流相 3 个微相的划分和对应物性特征,图中框线部分为该井主要储层,同样反映了本文的特点。

2.4 火山岩储层岩相划分

结合前文研究,重点考虑主要勘探对象——爆发相和溢流相,确定对应的火山岩储层岩相划分方案(表 2)。从目前的勘探分析认为,溢流相和爆发相的火山斜坡亚相、近火山口亚相比较较好,气孔及裂隙最为发育,厚度也最大。从微相来看,溢流相上部微

表 1 松辽盆地腰英台地区 YX1 井营城组火山岩储层评价

Table 1 Volcanic reservoir evaluation of Yingcheng Formation of Well YX1, Yaoyingtai area, Songliao Basin

岩相带	井段/m	岩石类型	储集空间类型	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	储层类比
上部	3 588.0~3 595.0	流纹岩	裂隙-孔隙型	10~12	3~9	II
中下部	3 595.0~3 604.0		4~7	0.1~0.3	IV	
溢流相 上部	3 604.0~3 631.0		溶孔-微缝型	5~9	1~3	III
中下部	3 631.0~3 656.0		2~3	0.1~0.2	V	
上部	3 656.0~3 668.0		溶孔-气孔-裂隙型	11~13	6~12	I-II
中部	3 668.0~3 682.0		微孔-微缝型	3~9	1~3	III
下部	3 682.0~3 750.0			1~3	0.1	V

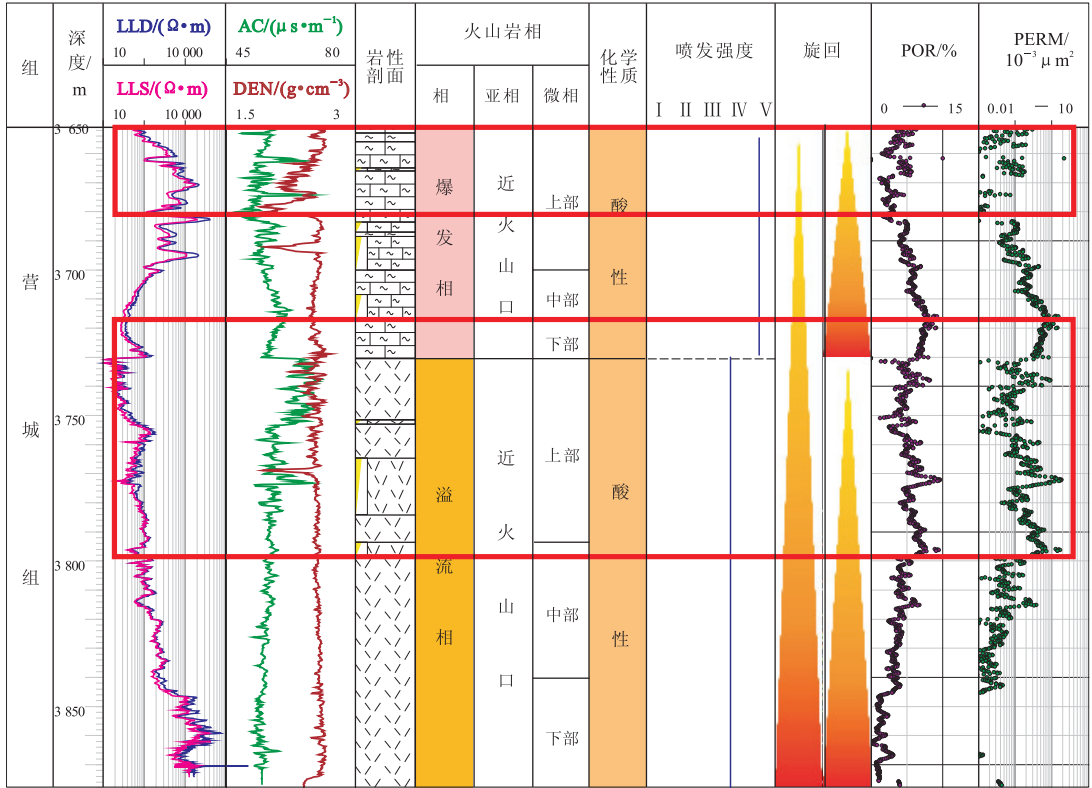


图 2 松辽盆地腰英台地区 YX102 单井相分析综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive bar chart of Well YX102 phase analysis, Yaoyingtai area, Songliao Basin

表 2 火山岩储层岩相划分简表(以松辽盆地长岭断陷为例)

Table 2 Volcanic reservoir lithofacies division table (taking Changling Depression of Songliao Basin as an example)

相	亚相	微相	岩性特征
溢流相	近火山口亚相	上部微相	流纹岩、英安岩、安山岩、玄武岩等
	过渡(火山斜坡)亚相	中部微相	
	远火山口亚相	下部微相	
爆发相	近火山口亚相	上部微相	含火山弹和浮岩块的集块岩、角砾岩, 含晶屑、玻璃屑、浆屑的凝灰岩
	过渡(火山斜坡)亚相	中部微相	
	远火山口亚相	下部微相	

相及爆发相上部和下部微相为有利勘探层位。

划分,反映了储层非均质性在纵向和横向上的物性变化,可以藉此确定有效储层在火山机构中的纵横向发育分布位置和特征,从而确定有利勘探目标和有效勘探层位。

由于火山岩油气藏的勘探尚处在不断完善之中,受探井钻探分布限制,对地下地层中完整火山机构的解剖难度较大。火山岩亚相和微相的划分标志和标准目前难以量化确定,仍需继续开展大量的研究工作。火山岩储层岩相的划分要从以区域、非油气矿产研究为主转到以针对油气储层研究为主,仍需进一步努力。

3 结论

对爆发相和溢流相火山岩的亚相和微相进行

(下转第 540 页)

均低于 1.0。随 R_0 增大,古地温增高,甲烷生成量越大,地层水“汽化”越彻底,“汽化”水在甲烷气中的浓度(或称“湿度”)则越来越小,即天然气的比重越来越小,这可能是深盆地领域中普遍负压和随成熟度增高,压力系数越来越低的地质原因。

上述特征还说明,气层中的天然气组成主要受邻近气源岩的成熟度控制,天然气侧向运移距离不长,以就近运移聚集为主。这一方面与盆地上古生界储层的致密性有关,也与陕北斜坡极低的构造倾角有关。Law^[13]认为,深盆气的直接运移距离一般只有数百米或更短。

3 结论

1)鄂尔多斯盆地上古生界含气领域普遍偏负的流体压力特征,从侧面反映了深盆地气的特殊性。深盆地气产层纵向上距气源岩越近、平面上成熟度越高(R_0 越大),流体压力系数越低,一方面反映了天然气近距离运移、就地成藏的特点,另一方面反映了原始地层水汽化和汽化水被甲烷气溶解的成藏历程。

2)榆林东一米脂气田上古生界复杂的流体压力特征是深盆地气被改造的结果。晚燕山—早喜山构造运动改变了该区原来地层平缓的拗陷特征,出现地层褶皱(低幅度背斜)、高角度断层,从而发生地层水侵入、天然气向构造高部位运移的流体调整,形成具边底水的构造—岩性气藏。

3)下古生界马五段风化壳气藏经历了与上古生界深盆地气类似的埋藏改造过程,同样具有区域性负压特征。但不同的是,下古生界风化壳气藏随埋深增加,气层压力线性增大,与静水压力线近似平行,与上古生界深盆地气压力系数的影响因素截然不同。据此判断,下古生界风化壳气藏是一个有弱边水的低压气藏,气层压力降低引起的底水侵入受限。

4)负压异常仅出现在富含天然气的地层中,特别是深盆地领域。天然气扩散导致的气浓度下降表现为压力系数的降低。但含底水的气藏则不同,尽管其气层中的天然气也有散失和温度下降,但浓度降低会导致底水侵入,并将自身压力传递给气藏中的天然气,使其保持静水压力或正异常压力。

参考文献:

[1] 薛会,王毅,徐波. 鄂尔多斯盆地杭锦旗探区上古生界天然气成藏机理[J]. 石油实验地质,2009,31(6):551—556.

[2] 李仲东,郝蜀民,李良,等. 鄂尔多斯盆地上古生界气藏与深盆地气藏特征对比[J]. 石油与天然气地质,2009,30(2):149—155.

[3] 李仲东,郝蜀民,李良,等. 鄂尔多斯盆地上古生界压力封存箱与天然气的富集规律[J]. 石油与天然气地质,2007,28(4):466—472.

[4] 华宝钦,林锡祥,杨小梅. 鄂尔多斯盆地地下古生界负压气藏及运移[J]. 沉积学报,1994,11(2):105—113.

[5] 李熙哲,冉启贵,杨玉凤. 鄂尔多斯盆地上古生界盒 8 段—山西组深盆地气压力特征[J]. 天然气工业,2003,23(1):126—127.

[6] 冯乔,耿安松,徐小蓉,等. 鄂尔多斯盆地上古生界低压气藏成因[J]. 石油学报,2007,28(1):33—36.

[7] 刘宝宪,张军,黄道军,等. 鄂尔多斯盆地苏里格庙区块上古生界地层压力特征及成因分析[J]. 低渗透油气藏,2002,7(3):1—4.

[8] 李贤庆,侯浚杰. 鄂尔多斯盆地中部气田地层流体特征与天然气成藏[M]. 北京:地质出版社,2005.

[9] 任战利. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究[J]. 石油学报,1996,17(1):17—24.

[10] 任战利,赵重远,张军,等. 鄂尔多斯盆地古地温研究[J]. 沉积学报,1994,12(1):56—64.

[11] 胡国艺,单秀琴,李志生,等. 流体包裹体烃类组成特征及对天然气成藏示踪作用:以鄂尔多斯盆地西北部奥陶系为例[J]. 岩石学报,2005,21(5):1461—1465.

[12] 陈瑞银,罗晓蓉,陈占坤,等. 鄂尔多斯盆地中生代地层剥蚀量估算及其地质意义[J]. 地质学报,2006,80(5):685—693.

[13] LOW B W, DIKINSON W W. Conceptual model for origin of abnormally pressured gas accumulation in low permeability reservoirs[J]. AAPG Bulletin,1985,69(8):1295—1304.

(编辑 黄娟)

(上接第 535 页)

参考文献:

[1] 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.

[2] 邱家骧,陶奎元,赵俊磊,等. 火山岩[M]. 北京:地质出版社,1996:10—22.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 王璞瑛,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.

[7] 陈建文,王德发,张晓东. 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]. 地学前缘,2000,7(4):371—379.

[8] 谢家莹,蓝善先,张德宝,等. 运用火山地质学理论研究竹田头火山机构[J]. 火山地质与矿产,2000,21(2):87—95.

[9] 陈利. 济阳拗陷火成岩岩相分布模式研究[J]. 新疆石油学院学报,2004,16(3):13—15.

(编辑 韩 或)