

松辽盆地营城组火山岩成岩作用类型、特征及其对储层物性的影响

高有峰¹, 刘万洙¹, 纪学雁², 白雪峰²,
王璞珺¹, 黄玉龙¹, 郑常青¹, 闵飞琼¹

1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

2. 大庆油田 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

摘要: 通过野外剖面观察、钻井岩心描述、薄片鉴定和扫描电镜分析, 松辽盆地营城组火山岩的成岩作用阶段分为早期和晚期。早期成岩作用类型有挥发分逸出、熔蚀作用、等容冷凝结晶、准同生期热液沉淀结晶、熔结作用、冷凝收缩、分熔冷凝结晶和早期压实胶结作用; 晚期成岩作用类型为充填作用、脱玻化作用、交代作用、机械压实压溶作用、胶结作用和溶解作用。早期成岩作用主要影响原生孔隙的发育, 晚期成岩作用影响次生孔隙的发育。准同生期热液沉淀结晶、早期压实胶结作用、充填作用、机械压实压溶作用和胶结作用是使松辽盆地营城组火山岩储层物性降低的主要成岩作用; 挥发分逸出、等容冷凝结晶、冷凝收缩和溶解作用是产生孔隙空间使储层物性变好的主要成岩作用。

关键词: 松辽盆地; 营城组; 火山岩储层; 成岩作用; 储层物性

中图分类号: P588.14; P618.13 文献标识码: A 文章编号: 1671-5888(2007)06-1251-08

Diagenesis Types and Features of Volcanic rocks and Its Impact on Porosity and Permeability in Yingcheng Formation, Songliao Basin

GAO You-feng¹, LIU Wan-zhu¹, JI Xue-yang², BAI Xue-feng²,
WANG Pu-jun¹, HUANG Yu-long¹, ZHENG Chang-qing¹, MIN Fei-qiong¹

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2. Daqing Exploration & Development Institute, Daqing, Heilongjiang 163712, China

Abstract: The diagenesis of volcanic rocks in Yingcheng Formation was classified as the early diagenesis and late diagenesis based on the observation of outcrop, well core, thin section and the analysis with scanning electric microscope. The early diagenesis includes corrosion, vaporization of volatile matter, isovolumetric condensing crystallization, pene-contemporaneous hydrothermal precipitation and crystallization, fusion, condensing constriction, differentiation condensing crystallization and the early impaction-cementation. The late diagenesis includes filling, devitrification, metasomatism, mechanical impaction and pressure solution, cementation and dissolution. The early diagenesis mainly influences the development of primary pore and the late diagenesis mainly influences the development of secondary

收稿日期: 2007-06-01

基金项目: 国家“973”项目(2006CB701403)

作者简介: 高有峰(1982-), 男, 内蒙古包头人, 博士研究生, 主要从事石油地质研究, E-mail: gaoyf_1982@163.com

通讯联系人: 刘万洙(1950-), 男, 吉林珲春人, 副教授, 主要从事油气地质勘查和盆地火山岩的研究, E-mail: liuwanzhu@126.com.

pores. The pene-contemporaneous hydrothermal precipitation and crystallization, the early impaction-cementation, the filling, the mechanical impaction and pressure solution and cementation will harm the porosity and permeability of volcanic reservoir. The porosity and permeability will be improved after the vaporization of volatile matter, the isovolumetric condensing crystallization, the condensing constriction and dissolution.

Key words: Songliao Basin; Yingcheng Formation; volcanic reservoir, diagenesis; porosity and permeability

0 引言

火山岩油气藏地质条件一般比较复杂, 储层类型多样, 纵横向变化大, 勘探和开发难度高。20 世纪 80 年代以来, 前人利用地球物理学、生物地层学、同位素地质学、地球化学等方法对松辽盆地深层层序地层学、地层时代归属、构造特征及其演化、储集类型及储集物性、深层含气性等地质问题进行了研究^[1~7], 对深层地层中火山岩的岩石学与岩相学^[8,9]、火山岩储层物性与岩性岩相的关系^[10]以及火山岩储集类型的研究也逐步升温, 而对火山岩成岩作用及成岩作用对储层物性演化的影响等问题研究较少, 从而影响了松辽盆地营城组火山岩中孔隙发育带的预测与油气勘探远景评价。本文拟对松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩及东南隆起区营城组火山岩露头进行岩石学、成岩作用及储层物性影响因素的研究, 以便对松辽盆地营城组火山岩油气藏的勘探开发提供参考。

1 火山岩岩性特征

松辽盆地火山岩主要沿 NW 向和 NE 向基底断裂带分布, 发育层位主要是上侏罗统和下白垩统的火石岭组、沙河子组和营城组^[11], 此外, 在松辽盆地局部地区上白垩统青山口组中也发现少量火山岩。上述火山岩赋存层段中以营城组最为发育, 且主要分布在营一段和营三段中。通过对百余口井上千米火山岩段的岩心观察描述、盆缘火山岩露头剖面的观测、488 个岩石薄片和 500 余个岩屑薄片的详细鉴定, 认为松辽盆地营城组火山岩可分为 4 大类, 分别是火山熔岩类、火山碎屑熔岩类、火山碎屑岩类和沉火山碎屑岩类。

火山熔岩类由熔浆喷溢至地表经“冷凝固结”而成, 具有火山熔岩结构或玻璃质结构, 常见块状构造、流纹构造、气孔(杏仁)构造及珍珠构造。松辽盆地营城组中的火山熔岩主要以流纹岩、英安岩、安山

岩、玄武岩和珍珠岩为主, 含少量粗面岩。

火山碎屑熔岩类包括具有碎屑熔岩结构和熔结结构的两部分火山碎屑熔岩类。具有碎屑熔岩结构的火山碎屑熔岩主要指火山碎屑物被熔浆胶结, “冷凝固结”形成的岩石, 是介于熔岩与火山碎屑岩之间的过渡类型。松辽盆地营城组火山碎屑熔岩主要包括流纹质、英安质、安山质、玄武质凝灰、角砾、集块熔岩和流纹质、英安质、安山质、玄武质熔结凝灰、角砾、集块熔岩。

火山碎屑岩类是火山作用形成的各种火山碎屑堆积物经过“压实固结”而成的岩石。火山碎屑岩中火山碎屑体积分数 $\geq 90\%$, 外生碎屑组分是“热碎屑流”流动过程中裹入或火山爆发过程中炸裂的围岩碎屑混入的。松辽盆地营城组火山碎屑岩中主要见有凝灰岩类(包括晶屑凝灰岩、晶屑玻屑凝灰岩和岩屑浆屑凝灰岩), 火山角砾岩和火山集块岩。

沉火山碎屑岩类岩石是介于火山碎屑岩和沉积岩之间的过渡类型, 形成于火山作用和沉积改造的双重作用之下。火山碎屑物体积分数为 $50\% \sim 90\%$, 成岩方式主要为“压实固结”, 具有沉火山碎屑结构。松辽盆地营城组沉火山碎屑岩中主要见有凝灰岩、沉火山角砾岩和沉火山集块岩。

2 火山岩成岩作用的基本概念

在沉积岩石学领域, 成岩作用是指发生在沉积作用和变质作用之间的各种物理、化学及生物化学变化^[12], 显然, 把这一概念用于诠释火山岩的成岩作用是不合适的, 应该把两者区分开来^[13]。火山岩成岩作用应划分为早期成岩作用和晚期成岩作用。早期成岩作用是指以冷凝或压实作用为主的成岩作用, 如火山熔岩以冷凝固结成岩为主, 其早期成岩作用的表现是岩浆由地下深部上升到地下较浅处或地表冷凝固结过程中产生的作用; 而火山碎屑岩以压实固结为主, 成岩方式等同或类似于沉积岩, 其早期成岩作用的表现是碎屑物由于埋深(重力载荷)的增

加, 发生排气、排水、孔隙度减小、体积缩小、密度增加和孔隙流体沉淀胶结, 最终导致碎屑颗粒彼此粘结、硬化、固结成岩。而火山岩晚期成岩作用是指火山岩在早期成岩作用固结成岩后, 由于热液、风化淋滤和埋藏作用的影响, 火山岩所经历的机械及化学压实作用、交代蚀变作用、溶解作用等。这两个时期无论是作用因素、方式和类型, 还是所引起岩石产生的变化及其对储层发育产生的影响都存在很大差异。

3 成岩作用类型及特征

利用偏光显微镜、扫描电镜等对松辽盆地徐家围子地区营城组火山岩钻井岩心样品及松辽盆地东南隆起区火山岩露头样品(包括露头上的两口全取心浅钻取样)的成岩作用进行详细的研究, 最终把松辽盆地营城组火山岩成岩作用类型分为 14 种(表 1)。

3.1 早期成岩作用阶段成岩作用类型及特征

早期成岩作用阶段的成岩作用类型主要为凝固固结成岩作用和压实固结成岩作用。凝固固结成岩作用主要是指火山熔岩和火山碎屑熔岩在成岩过程中所发生的一系列物理、化学作用, 包括挥发分逸出、熔蚀作用、等容冷凝结晶、准同生期热液沉淀结晶、熔结作用和冷凝收缩等。

挥发分逸出是指岩浆中所含的水、二氧化碳、氟、氯等易挥发的组分从岩浆中逸出的作用。逸出的挥发分物质可使熔岩流表面形成气孔构造(图版 1), 气孔是火山岩中数量最多的储集空间^[8]。

熔蚀作用形成的原因是深部岩浆喷出地表, 压力突然降低, 温度瞬时升高, 从而使已经形成的斑晶遭到局部熔蚀。熔蚀作用使岩浆中结晶的斑晶呈残缺不全的港湾状和残晶状, 被熔蚀的斑晶常常可见晶内熔蚀孔隙(图版 2)。

表 1 松辽盆地营城组火山岩主要成岩作用类型及标志

Table 1 Types and marks of diagenesis of volcanic rocks in Yingcheng Formation Songliao Basin

成岩作用阶段	成岩作用类型	成岩作用标志
早期	挥发分逸出	火山熔岩和火山碎屑熔岩层上部发育的气孔构造
	熔蚀作用	斑晶边部被熔蚀成港湾状, 斑晶内部有时可见熔蚀孔
	等容冷凝结晶	火山熔岩和火山碎屑熔岩层顶部发育的石泡构造
	凝固固结成岩作用(火山熔岩、火山碎屑熔岩)	准同生期热液活动造成气孔和石泡空腔孔充填
	熔结作用	火山碎屑被熔岩物质胶结, 发育假流纹构造
	冷凝收缩	火山熔岩和火山碎屑熔岩中发育的冷凝收缩缝
	分熔冷凝结晶	偏基性基质与富硅熔体熔融状态下分离, 富硅组分形成中基性岩中的“石英杏仁体”
	压实固结成岩作用(火山碎屑岩、沉火山碎屑岩)	碎屑颗粒间接触紧密, 火山碎屑物质被火山灰和准同生期孔隙流体沉淀胶结
晚期	热液作用、淋滤作用、埋藏作用(各种类型火山岩)	充填作用
		脱玻化作用
		交代作用
		机械压实压溶作用
		胶结作用
		溶解作用

等容冷凝结晶是石泡形成的根本原因,常发生在火山熔岩流的顶部。熔岩表面凝固时,由于温度降低,熔浆在热力学非平衡条件下局部不均匀冷凝,外壳先凝固结,内部包含的热熔浆自外向内逐层冷凝形成圈层和圈层间的空腔,这种具有圈层和圈层间空腔的多层同心圆球体即为石泡(图版 3)。

准同生期热液沉淀结晶是形成杏仁体的主要原因。在火山熔岩凝固前,热液活动普遍,进入到气孔和石泡空腔孔中的热液随着温度的逐渐降低沉淀结晶,在气孔或石泡空腔孔中形成杏仁体充填。

熔结作用常发生在火山碎屑熔岩中。载有大量塑性玻屑、浆屑以及刚性碎屑的火山物质涌出火山口后形成沿山坡流动的火山灰流,在平缓地带迅速堆积,受热力和重荷的影响,玻屑和浆屑被压扁拉长,绕过刚性碎屑呈平行排列并彼此熔结。塑性碎屑与刚性碎屑间形成的“假流纹构造”是熔结作用发生的主要标志。

冷凝收缩作用发生在早期成岩作用中。火山熔岩凝固时随着岩石体积收缩,可产生多种冷凝收缩缝,这些收缩缝的形成可增加储集空间,提高岩石的储集性能,有利于储层形成(图版 4)。

分熔冷凝结晶作用主要产生在中基性火山熔岩和火山碎屑熔岩中。偏基性基质与富硅熔体熔融状态下分离,富硅组分形成中基性岩中的“石英杏仁体”。

压实固结成岩作用主要是火山碎屑岩在成岩阶段发生的压实和胶结作用。主要表现为火山作用形成的火山碎屑物质在早期成岩压实和火山灰分解产物或化学沉积物胶结作用下固结成岩,其成岩方式与正常沉积岩相似。

3.2 晚期成岩作用阶段成岩作用类型及特征

松辽盆地营城组火山岩受到淋滤、构造、热液以及地层水在不同时期的影响,导致其晚期成岩作用阶段发育多种成岩作用类型。主要包括充填作用、脱玻化作用、交代作用、机械压实压溶作用、胶结作用和溶解作用。这些成岩作用对火山岩储层的影响既有有利的一面又有不利的一面。

充填作用主要与后生成岩作用阶段发生的热液活动和地下水活动有关,在松辽盆地营城组火山岩中较为常见,主要表现为气孔充填、裂缝充填、粒间孔充填和溶蚀孔的再充填。充填期次也可以分为 1 期、2 期以及多期,充填矿物主要为火山岩埋藏阶段地层水沉淀、火山玻璃改造形成的石英、绿泥石(图

版 5)、方解石、沸石类矿物等^[14, 15]。例如,在徐深 602 井 4 025.50 m 的气孔杏仁玄武岩中,气孔分 3 期充填:第一期 of 石英充填未,第二期 of 绿泥石充填,第三期 of 方解石充填并交代绿泥石和石英(图版 6)。

脱玻化作用是火山玻璃随时间和温度、压力的变化,逐渐转化为雏晶或微晶的作用。松辽盆地中火山玻璃主要见于珍珠岩中,在火山碎屑岩中也较为常见。火山玻璃在成岩作用过程中可以转化为蒙脱石、蛋白石和沸石类矿物^[14]。在营城组野外剖面珍珠岩中火山玻璃脱玻化作用明显,有些经后期的水化、蚀变作用已形成膨润土。

交代作用主要是由后生成岩作用阶段地层水对火山岩作用产生的,其作用类型有方解石交代原生颗粒及基质、方解石交代绿泥石充填物、浊沸石交代基质等。在松辽盆地营城组火山岩中最为常见的是方解石交代长石及凝灰质基质的现象(图版 7)。

机械压实压溶作用在后生成岩作用阶段普遍存在。通过对松辽盆地营城组火山岩钻井岩心资料观察和岩石薄片鉴定,发现压实作用对火山熔岩的影响并不明显,而在火山碎屑岩中表现强烈。偏光显微镜下对徐深 1—2 井 3 495.06 m 的凝灰岩样品的观察,发现样品中晶屑、岩屑与更细的凝灰质物质紧密接触,在石英晶屑和长石晶屑的接触部位甚至可见压溶形成的缝合线(图版 8)。此外,晶屑的碎裂也和机械压实作用有关,徐深 1—2 井 3 672.85 m 凝灰岩样品中两石英刚性颗粒相互挤压使较大的石英颗粒碎裂(图版 9)。

胶结作用发生在晚期成岩作用阶段埋藏作用期,主要见于火山碎屑岩和沉火山碎屑岩中。胶结作用可以使储层物性变差,起胶结作用的物质主要为伊利石、绿泥石、方解石和石英。自生粘土矿物伊利石、绿泥石多分布在颗粒之间的粒间孔中,对碎屑起胶结作用;硅质胶结可以石英次生加大的形式表现出来(图版 10)。

溶解作用可以产生大量的次生孔隙,在松辽盆地营城组火山熔岩和火山碎屑岩中均见有溶解作用形成的次生孔隙。主要表现在如下方面:(1)火山熔岩中斑晶的溶解,例如在火山熔岩中长石和角闪石斑晶常被溶解形成溶蚀孔隙(图版 11);(2)火山熔岩中气孔或石泡中充填物质的溶解,一般是绿泥石和方解石被溶形成次生孔隙(图版 3);(3)火山碎屑岩或熔岩中基质遭受熔蚀形成不规则状孔隙(图版

12)。见表 2。

4 成岩作用对储层物性的影响

4.1 火山岩储层孔隙类型

松辽盆地营城组火山岩储集层的储集空间类型多样、结构复杂,是由孔隙和裂缝构成的双孔介质储层,物性在空间上变化大,非均质性强。孔隙的发育主要与火山岩储层的成岩作用方式有关,而裂缝的发育与构造作用有关。本文通过对松辽盆地营城组火山岩的岩心和野外露头的观察描述以及火山岩样品薄片镜下观察,将松辽盆地营城组火山岩储层中发育的孔隙类型分为两大类 11 小类,具体分类情况

4.2 成岩作用对储层物性的影响

决定火山岩储层特征的主要因素之一就是其成岩作用方式。冷凝固结的岩石其孔隙度和渗透率等物性特征不随埋深的增加而变差⁸,或者说变化很小^[16];压实固结的火山碎屑岩类物性随深度的变化规律类似于沉积岩^[12];而后生成岩作用对火山岩储层物性的影响也很重要,其既可以充填孔隙使储层物性变差,也可以在溶解作用控制下开启部分次生孔隙。松辽盆地营城组火山岩不同岩石类型在不同成岩作用的影响下,孔隙发育特征也有所不同(图 1)。

表 2 松辽盆地营城组火山岩储层孔隙类型及成因

Table 2 Pore types and genesis of volcanic reservoirs in Yingcheng Formation, Songliao Basin

孔隙类型		成因	分布
原生孔隙	气孔	岩浆中的挥发气体游离聚集呈气泡状,向压力较小的顶面大气方向溢出	火山熔岩
	石泡空腔孔	酸性熔岩的表面由于凝固时气体逸出、体积缩小而产生的多层同心圆球体中空腔	酸性火山熔岩
	杏仁体内孔	矿物充填气孔未充满形成的杏仁体内矿物之间的孔隙	火山熔岩
	晶内熔蚀孔	岩浆喷出地表压力降低温度升高,使斑晶遭受熔蚀形成的孔隙	火山熔岩
	粒间孔隙	火山碎屑颗粒间经成岩压实和重结晶作用后残余的孔隙	火山碎屑岩和沉火山碎屑岩
	基质收缩缝	岩浆喷发时,由于基质近于等体积条件下的快速冷却形成	见于各种火山熔岩
次生孔隙	晶内溶蚀孔	斑状火山熔岩中斑晶或火山碎屑岩中晶屑被溶蚀产生的孔隙	火山熔岩、火山碎屑熔岩和火山碎屑岩
	基质内溶蚀孔	基质中的微晶长石、微晶石英、火山凝灰物质被溶蚀	火山熔岩、火山碎屑熔岩和火山碎屑岩
	杏仁体溶蚀孔	气孔或石泡内充填物质遭受溶蚀形成的孔隙	具气孔杏仁构造的火山熔岩
	矿物碎裂缝	碎斑/聚斑结构矿物斑晶在压实作用下破碎形成的裂缝	各种含斑晶或晶屑的火山岩
	重结晶晶间孔	火山岩中玻璃质脱玻化作用产生的雏晶、微晶之间的晶间孔隙	含火山玻璃的火山熔岩和火山碎屑熔岩

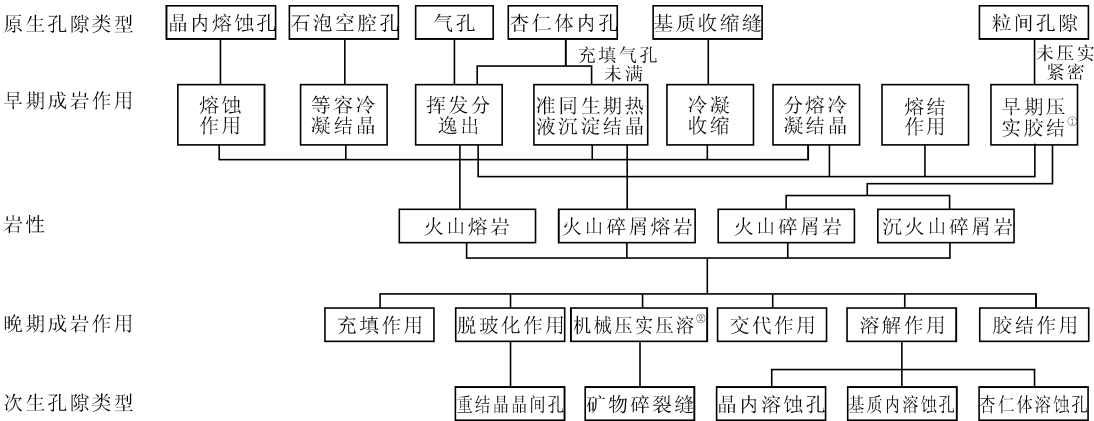


图 1 松辽盆地营城组火山岩岩性、成岩作用、孔隙类型关系

Fig. 1 Relationship of volcanic lithology, diagenesis and pore types in Yingcheng Formation, Songliao Basin

①早期压实作用对粒间孔隙的破坏不强烈,火山碎屑岩中仍可保留部分粒间孔隙;②机械压实压溶作用虽然可以使矿物碎裂产生矿物碎裂缝,但其对粒间孔隙的破坏更为严重,仍属于对储层发育不利的成岩作用

由图 1 可以看出,不同岩石类型受到的早期成岩作用方式有所不同,而其所受的后生成岩作用基本相同,只是不同岩性后生成岩作用的影响强度有所区别。例如火山熔岩和火山碎屑岩在后生成岩作用阶段都会受到机械压实作用,火山熔岩的物性特征随埋深不变或变化很小,而火山碎屑岩却会减少很多粒间孔隙。另外可以看出,早期成岩作用阶段的挥发分逸出、熔蚀作用、等容冷凝固、冷凝固收缩及后生成岩作用阶段的脱玻化作用和溶解作用是对储层发育有利的成岩作用类型;而早期压实作用、充填作用、机械压实压溶作用、交代作用、胶结作用对储层储集空间的发育不利。

5 结 论

(1)松辽盆地营城组火山岩的成岩作用阶段分为早期和晚期成岩作用阶段。早期成岩作用按不同岩性的成岩方式不同,分为冷凝固成岩作用和压实固结成岩作用。压实固结成岩作用即火山碎屑岩和沉火山碎屑岩在早期成岩作用阶段发生的早期压实胶结作用,而冷凝固成岩作用主要发生在火山熔岩和火山碎屑熔岩中,分为挥发分逸出、熔蚀作用、等容冷凝固、准同生期热液沉淀结晶、熔结作用、冷凝固收缩作用和分熔冷凝固;晚期成岩作用阶段火山岩受到热液、淋滤和埋藏作用的影响,其成岩作用类型表现为充填作用、脱玻化作用、交代作用、机械压实压溶作用、胶结作用和溶解作用。

(2)早期成岩作用主要影响原生孔隙的发育,晚期成岩作用影响次生孔隙的发育。使松辽盆地营城组火山岩储层物性降低的主要成岩作用类型有准同生期热液沉淀结晶、早期压实胶结作用、充填作用、机械压实压溶作用和胶结作用,而挥发分逸出、等容冷凝固、冷凝固收缩和溶解作用是产生孔隙空间使储层物性变好的主要成岩作用类型。

参考文献(References):

[1] 迟元林,王璞珺,单玄龙,等.中国陆相含油气盆地深层地层研究——以松辽盆地为例[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2000.
CHI Yuan-lin, WANG Pu-jun, SHAN Xuan-long, et al. Study on non-marine deep stratigraphy of oil-bearing basin in China—an example from Songliao Basin [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Publishing House, 2000.

[2] Wang Pu-jun, Liu Wan-zhu, Wang Shu-xue, et al.

⁴⁰Ar/³⁹Ar 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: 331—340.
[3] Wang Pu-jun, Ren Yan-guang, Shan Xuan-long, et al. The Cretaceous volcanic succession around the Songliao Basin, NE China: relationship between volcanism and sedimentation[J]. Geological Journal, 2002, 37 (2): 97—115.
[4] 刘万洙,王璞珺,门广田,等.松辽盆地北部深层火山岩储层特征[J].石油与天然气地质,2003,24(1): 28—31.
LIU Wan-zhu, WANG Pu-jun, MEN Guang-tian, et al. Characteristics of deep volcanic reservoirs in northern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 28—31.
[5] 程日辉,刘万洙,王璞珺,等.徐家围子断陷火山岩赋存型式及意义[J].石油与天然气地质,2003,24(1): 24—27.
CHENG Ri-hui, LIU Wan-zhu, WANG Pu-jun, et al. Occurrences of volcanic rocks in Xujiaweizi fault-depression and their significance[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 24—27.
[6] 唐建仁,刘金平,谢春来,等.松辽盆地北部徐家围子断陷的火山岩分布及成藏规律[J].石油地球物理勘探,2001,36(3): 345—351.
TANG Jian-ren, LIU Jin-ping, XIE Chun-lai, et al. Volcanite character and reservoir-formed rule for Xujiaweizi fault depression[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2001, 36(3): 345—351.
[7] 宋维海,王璞珺,张兴洲,等.松辽盆地中生代火山岩油气藏特征[J].石油与天然气地质,2003,24(1): 12—17.
SONG Wei-hai, WANG Pu-jun, ZHANG Xing-zhou, et al. Characteristics of Mesozoic volcanic reservoirs in Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 12—17.
[8] 王璞珺,陈树民,刘万洙,等.松辽盆地火山岩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.
WANG Pu-jun, CHEN Shu-min, LIU Wan-zhu, et al. Relationship between volcanic facies and volcanic reservoirs in Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 18—23.
[9] 王璞珺,迟元林,刘万洙,等.松辽盆地火山岩相:类型、特征和储层意义[J].吉林大学学报(地球科学版),2003,33(4): 449—456.

WANG Pu-jun, CHI Yuan-lin, LIU Wan-zhu, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: classification, characteristics and reservoir significance[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2003, 33(4): 449—456.

[10] 王璞珺,吴河勇,庞颜明,等. 松辽盆地火山岩相: 相序、相模式与储层物性的定量关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(5): 805—812.

WANG Pu-jun, WU He-yong, PANG Yan-ming, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: sequences, model and the quantitative relationship with porosity & permeability of the volcanic reservoir[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(5): 805—812.

[11] 蒙启安, 门广田, 赵洪文, 等. 松辽盆地中生界火山岩储层特征及对气藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 285—288.

MENG Qi-an, MEN Guang-tian, ZHAO Hong-wen, et al. Characteristics of Mesozoic volcanic rocks and its controlling effect on gas reservoir in Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 285—288.

[12] 郑浚茂, 庞明. 碎屑储集岩的成岩作用研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989: 53—84.

ZHENG Jun-mao, PANG Ming. Diagenesis of clastic reservoir rock[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1989: 53—84.

[13] 张方礼, 尹万泉, 郭建华, 等. 辽河大洼油田火山岩储层研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2000: 37—43.

ZHANG Fang-li, YIN Wan-quan, GUO Jian-hua, et al. Study on volcanic reservoirs of Dawa oilfield, Liaoh[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2000: 37—43.

[14] Ogi-hara S. Composition of clinoptilolite formed from volcanic glass during burial diagenesis[J]. Clays and Clay Minerals, 2000, 48(1): 106—110.

[15] Barker D S. Origin of cementing calcite in “carbonate” tuffs[J]. Geology, 2007, 35(4): 371—374.

[16] 杨满平, 郭平, 彭彩珍, 等. 火山岩储层的应力敏感性分析[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(2): 19—20.

YANG Man-ping, GUO Ping, PENG Cai-zhen, et al. Analysis of stress sensitivity for volcanic rock reservoir[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2004, 23(2): 19—20.

图版说明

1. 原生气孔(P₁), 九台市营城煤矿营城组剖面, 气孔流纹岩, 单偏光; 2. 石英斑晶晶内裂隙及熔蚀孔隙发育, 徐深1—2井, 3 494.46 m, 营城组, 斑状流纹岩, 正交偏光; 3. 石泡空腔被方解石(Cc)充填后又被溶蚀形成溶蚀孔隙(P₂), 九台市三台乡营城组火山岩剖面, 石泡流纹岩, 正交偏光; 4. 流纹岩冷凝收缩作用产生冷凝收缩缝(P₃), 六台乡营城组剖面, 流纹构造流纹岩, 正交偏光; 5. 气孔中充填石英(Q)和绿泥石(Chl), 升深更2井, 3 010.59 m, 营城组, 灰白色气孔状流纹岩, 扫描电镜(左上角为绿泥石能谱图); 6. 气孔分3期被充填, 依次为石英(Q)—绿泥石(Chl)—方解石(Cc), 徐深602井, 4 025.50 m, 营城组, 气孔杏仁玄武岩, 正交偏光; 7. 方解石交代碱性长石(F)晶屑和周围凝灰质基质, 徐深1—2井, 3 481.39 m, 营城组, 晶屑凝灰岩, 正交偏光; 8. 石英(Q)和长石(F)晶屑在压实作用下产生缝合线状接触, 徐深1—2井, 3 495.06 m, 营城组, 岩屑晶屑凝灰岩, 正交偏光; 9. 压实作用下石英晶屑碎裂现象, 徐深1—2井, 3 672.85 m, 营城组, 凝灰质角砾岩, 正交偏光; 10. 石英晶屑的次生加大现象(Q₂为石英次生加大边), 徐深1—2井, 3 483.29 m, 营城组, 岩屑晶屑凝灰岩, 正交偏光; 11. 角闪石(Hb)斑晶的溶蚀形成溶蚀孔隙(P₄), 九台市三台乡营城组剖面, 斑状珍珠岩, 单偏光; 12. 凝灰质基质被溶蚀形成溶蚀孔隙(P₅), 升深更2井, 2 903.06 m, 营城组, 晶屑凝灰岩, 正交偏光。

图版

