

文章编号: 1009-3850(2013)04-0086-09

火山岩储层储集空间及影响因素研究

田 博, 王伟锋, 邹 娟

(中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580)

摘要: 火山岩储层已成为油气勘探的一个新领域。由于火山岩储层的复杂性和特殊性,对其的研究还比较薄弱。在总结国内外火山岩储层研究成果的基础上,通过对准噶尔盆地与松辽等盆地的火山岩储层的分析,本文认为火山岩储层的储集空间主要有孔洞和裂缝,而裂缝连通了孤立的孔洞。当孔、洞、缝相互交织在一起时,才可形成有效的火山岩储集空间。在火山岩储层储集空间的演化过程中,由于受自身因素和外部条件的影响,火山岩储层的内部结构比较复杂。岩性岩相、成岩作用、风化淋滤作用、构造作用等在对火山岩储集空间的改造中起着关键作用。

关键词: 火山岩储层; 储集空间; 成岩作用; 风化淋滤作用; 构造作用

中图分类号: TE122.2⁺22

文献标识码: A

近年来,随着油气勘探技术的发展和能源需求的日益增长,火山岩油气藏已成为油气勘探的新领域。世界各地发现了一系列的火山岩油气藏,如日本新泻盆地吉井-东帕崎气藏、印度尼西亚 Jawa 盆地 Jatibarang 油气藏、阿根廷帕姆帕-帕拉乌卡油气藏、墨西哥富贝罗油气藏等典型的大型火山岩油气藏^[1]等,显示出火山岩油气藏的巨大经济潜力。

我国的火山岩油气藏勘探已经历 50 余年之久。我国火山岩分布面积广,火山岩油气资源量大^[2]。在渤海湾盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地、松辽盆地、四川盆地等发现了一大批火山岩油气藏(表 1)。准噶尔盆地石炭系火山岩储层的研究与开发,显示了火山岩油气藏在我国油气勘探中具有的巨大潜力^[3]。

我国的火山岩储层具有分布范围广、受埋深压实作用影响小、后期改造作用强、不具岩石类型专属性的特点。另外,火山岩储层岩性、岩相复杂,储层空间展布与内部结构更为复杂,孔、洞、缝发育,储渗组合类型多,储渗能力差异大,开发评价难度大^[4]。正是由于这种特殊性和复杂性,火山岩储层的研究还存在诸多问题:例如现在大多数火山岩储

层研究都是描述性的,如何向预测性方向转变;如何有效地预测裂缝的发育部位与发育程度;如何界定火山岩储层的深度界限以及如何解决中国东西部火山岩差异对储层预测的影响等。

前人在研究火山岩储层储集空间类型及其影响因素时,只是对某一地区、某一火山岩油气藏进行研究,还没有形成全面的、综合的理论。笔者在国内外对火山岩储层储集空间研究成果的基础上,综合地考虑了我国东西部盆地的火山岩储层资料(特别是准噶尔盆地和松辽盆地),对火山岩储层储集空间及其影响因素进行了分析。

1 储集空间类型

在火山岩储层发育过程中,由于受岩浆性质、喷发活动模式和喷发环境等因素的影响,火山岩岩性、岩相类型多变;同时,火山岩储层往往经历了多期的构造作用、成岩作用及风化淋滤作用等的改造,使火山岩储层的储集空间类型和孔隙结构十分复杂,具有很强的非均质性^[5-11]。

1.1 储集空间成因分类

主要分为原生储集空间和次生储集空间两类

收稿日期: 2013-07-10; 改回日期: 2013-08-22

作者简介: 田博(1986-),男,硕士生,矿产普查与勘探专业。E-mail: boen081626@qq.com

表 1 国内外典型火山岩油气藏(据石磊等^[8],2009)

Table 1 Representative volcanic reservoirs in China and some foreign countries (after Shi Lei et al. , 2009)

国家		油气藏名称	储集层位	主要岩性
阿塞拜疆		穆拉德汉雷	白垩系—古近系	安山岩、玄武岩
印度尼西亚		Jatibarang	新近系	安山岩、凝灰角砾岩
日本		Kurosaka	新近系	流纹岩、凝灰角砾岩
阿根廷		Lapa油气藏	三叠系	流纹岩、安山岩
墨西哥		富贝罗	古近系	辉长岩
美国		比聂郝—比肯亚	古近系—新近系	正长岩、粗面岩
中国	松辽盆地	庆深气田	白垩系营城组	流纹岩、凝灰岩
	二连盆地	阿北油田	侏罗系兴安岭群	玄武岩、安山岩
	银根盆地	查干油田	白垩系苏红图组	玄武岩、安山岩、凝灰角砾岩
	塔里木盆地	英买油田	二叠系	英安岩、玄武岩
	四川盆地	周公山	上二叠统	斜长玄武岩、凝灰岩
	苏北盆地	闵桥油田	古近系阜宁组	玄武岩、火山角砾岩
	准噶尔盆地	五彩湾凹陷	石炭系巴山组	安山岩、玄武岩、凝灰岩
	冀中拗陷	曹家务气田	古近系	辉绿岩
	济阳拗陷	高青油田	古近系孔店组	玄武岩、安山玄武岩
	黄骅拗陷	大港枣园油田	古近系沙河街组三段	玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩

表 2 火山岩储集空间类型及成因(据黄亮,2009)

Table 2 Types and genesis of the reservoir spaces of the volcanic reservoirs (after Huang Liang, 2009)

成因	类型	储集空间类型	形成机理	分布特征
原生储集空间	原生孔隙	气孔	挥发份逃逸	岩层顶底、圆形或椭圆形
		杏仁孔	矿物充填后的残余孔隙	岩体的顶部、不规则状
		粒（砾）间孔	碎屑颗粒间经成岩压实后残余孔隙	火山碎屑岩中多见
		晶间孔及晶内孔	矿物结晶作用	岩层中部、空隙较小
	原生裂缝	收缩裂缝	冷凝收缩作用	岩体边缘、呈高低角度
		炸裂缝	自碎或隐蔽爆破	岩体中、下部，呈高角度
次生储集空间	次生孔隙	砾间溶孔	淋滤、溶解作用	角砾岩间，呈不规则状
		晶间溶孔	溶解作用和矿物转化作用	斑晶间
		晶内溶孔	溶解作用和矿物转化作用	自生矿物晶内
		脱玻化孔	玻璃质经脱玻化后形成	绿泥石、沸石矿物晶内
	次生裂缝	构造裂缝	构造应力作用	近断层处，呈低角度
		溶蚀裂缝	溶解作用	分布广泛，形态不规则
		风化裂缝	风化作用	岩层表面

(表 2)。

原生储集空间主要是指在岩浆喷发与冷却过程中由岩浆挥发气体和下覆岩石的蒸汽流所造成的气孔,以及在岩浆冷却、冷缩与结晶过程中形成的裂缝和孔洞;次生储集空间指火山岩类岩石经火山期后的热液蚀变、地下水的溶蚀、风化作用及构造应力作用等因素改造所形成的储集空间。原生储集空间和次生储集空间又包括原生孔隙、原生裂缝、次生孔隙和次生裂缝(表 2),原生空间是火山岩储集空间形成的基础,次生空间是储集空间的重要组成部分^[1]。

当形成火山岩的岩浆喷出地表时,岩浆的高温与地面温度形成巨大的温差,岩浆极易在冷凝、结

晶过程中干缩、脱水等形成收缩裂缝(图 1),也称冷凝收缩缝,包括成岩裂缝、晶间收缩缝、晶体内微裂缝等。冷凝收缩缝在昌乐地区、准噶尔盆地中火山岩中十分发育。冷凝收缩缝常呈弧形、半圆形、圆形分布在气孔或斑晶周围,当火山岩不均匀收缩时可形成网状裂缝;在冷凝收缩缝特别发育的地方,可形成明显的等温面(图 2),等温面连续性很好,分布范围也较广^[13-15]。

1.2 空间形态

空间形态可分为孔洞和裂缝两种,其中孔洞主要包括气孔、砾间孔、砾内孔、晶间孔、晶内孔和溶蚀孔等,裂缝主要包括冷凝收缩缝、晶间缝、晶内缝、砾间缝、砾内缝、风化裂缝、成岩裂缝、节理、微

裂缝、溶蚀缝和构造缝等(图1、图4)。

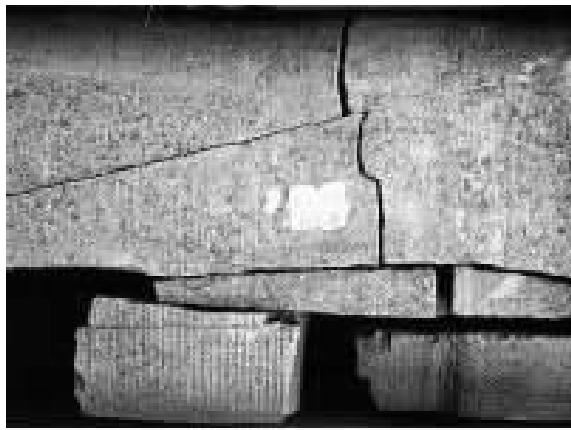


图1 惠民凹陷商743井火山岩储层的冷凝收缩裂缝^[4]

Fig.1 Chilled contraction fissures of the volcanic reservoirs in the S-743 well in the Huimin depression (after Yang Xinming, 2010)



图2 昌乐县北岩镇二姑山火岩岩储层的等温面^[3]

Fig.2 Isothermal surface of the volcanic reservoirs in the Changle region (after Yang Xinming, 2010)

火山岩油藏可谓“无缝不成藏”。裂缝的发育对火山岩储层具有至关重要的作用,表现为两个方面:其一,裂缝的存在为流体的流动提供了额外通道,增强了油气的渗流能力;其二,裂缝也为油气储存提供了附加的储集空间,增大了油气的泄油能力和供油面积^[9]。

一般来说,裂缝占火山岩储层总孔隙度的比例一般不超过10%,即90%以上的储集空间仍来自于孔隙^[7];裂缝不仅连通了其中的各种孔隙,为油气的运移提供了较大、较成熟的通道,而且只有当裂缝发育,孔、洞、缝交织在一起时才能构成油气的储集空间^[2,10]。尽管部分裂缝会被其他物质所充填,渗流通道被堵塞,阻碍了其对于渗透率的贡献^[9],但从整体来分析,裂缝在火山岩储层的发育中是不可

缺少的因素。

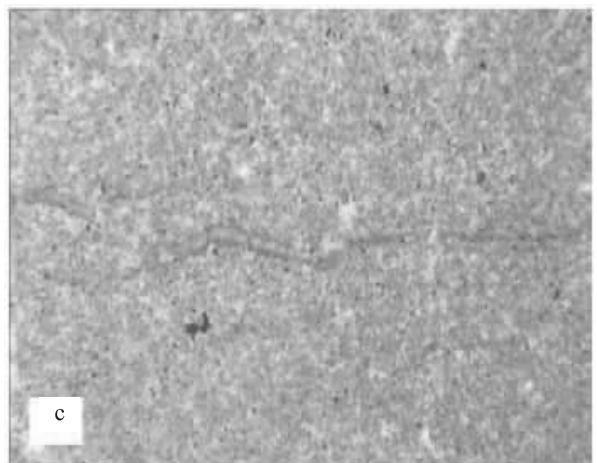
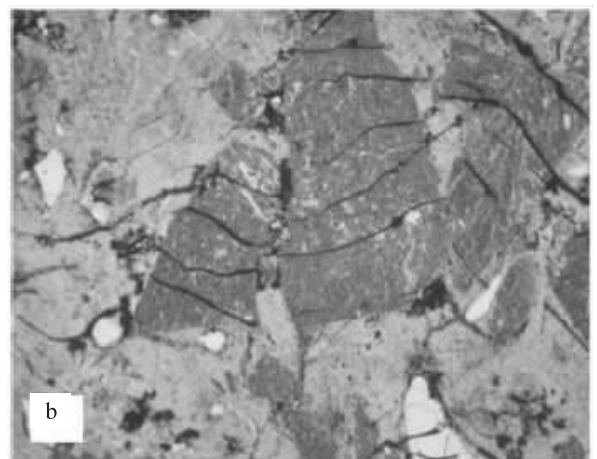
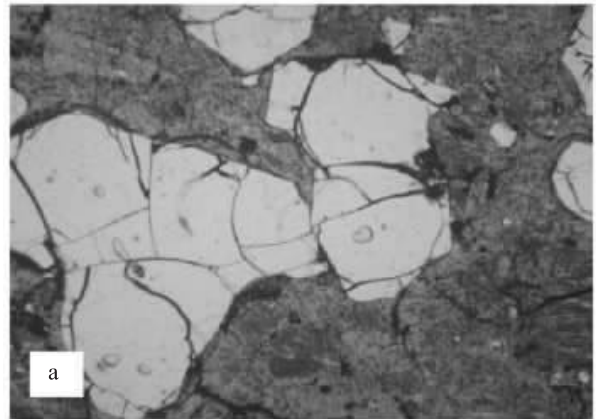


图3 松辽盆地长岭断陷火山岩裂缝微观特征^[8]

a. 腰深1井(3567.97m)晶内裂缝; b. 腰深1井(3568.5m)收缩缝; c. 腰深101井(3523.5m)风化缝

Fig.3 Microscopic examination of the volcanic fissures in the Changling depression, Songliao Basin (after Lu Jianlin et al., 2009)

a. Intracrystal fissures, 3567.97 m, Ys-1 well; b. Chilled contraction fissures, 3568.5 m, Ys-1 well; c. Weathering fissures, 3523.5 m, Ys-101 well

火山岩在经历了成岩作用、次生作用及多期构造应力作用后,裂缝主要有成岩收缩缝、风化裂缝、构造裂缝3种,其分布主要受断层、构造、岩性岩相、风化、淋滤等作用控制^[6]。一般来说,火山岩裂缝多发育在断层带、局部构造带及风化淋滤带的附近。不同的岩性岩相其裂缝发育程度也不同:从近火山口相带到远火山相带裂缝发育程度依次减弱;

不同微相之间的交界面,特别是不同冷凝周期之间的界面,也是一个原生弱面,沿此界面也容易发育裂缝;气孔玄武岩裂缝发育程度最高,火山角砾岩和凝灰岩的裂缝发育程度次之^[10,32]。

储集层孔隙类型还应包括节理缝^[15]。昌乐地区火山喷出岩中节理构造十分发育,常见的联片分布的有竖直状节理、放射状节理、柱状节理等(图5)。

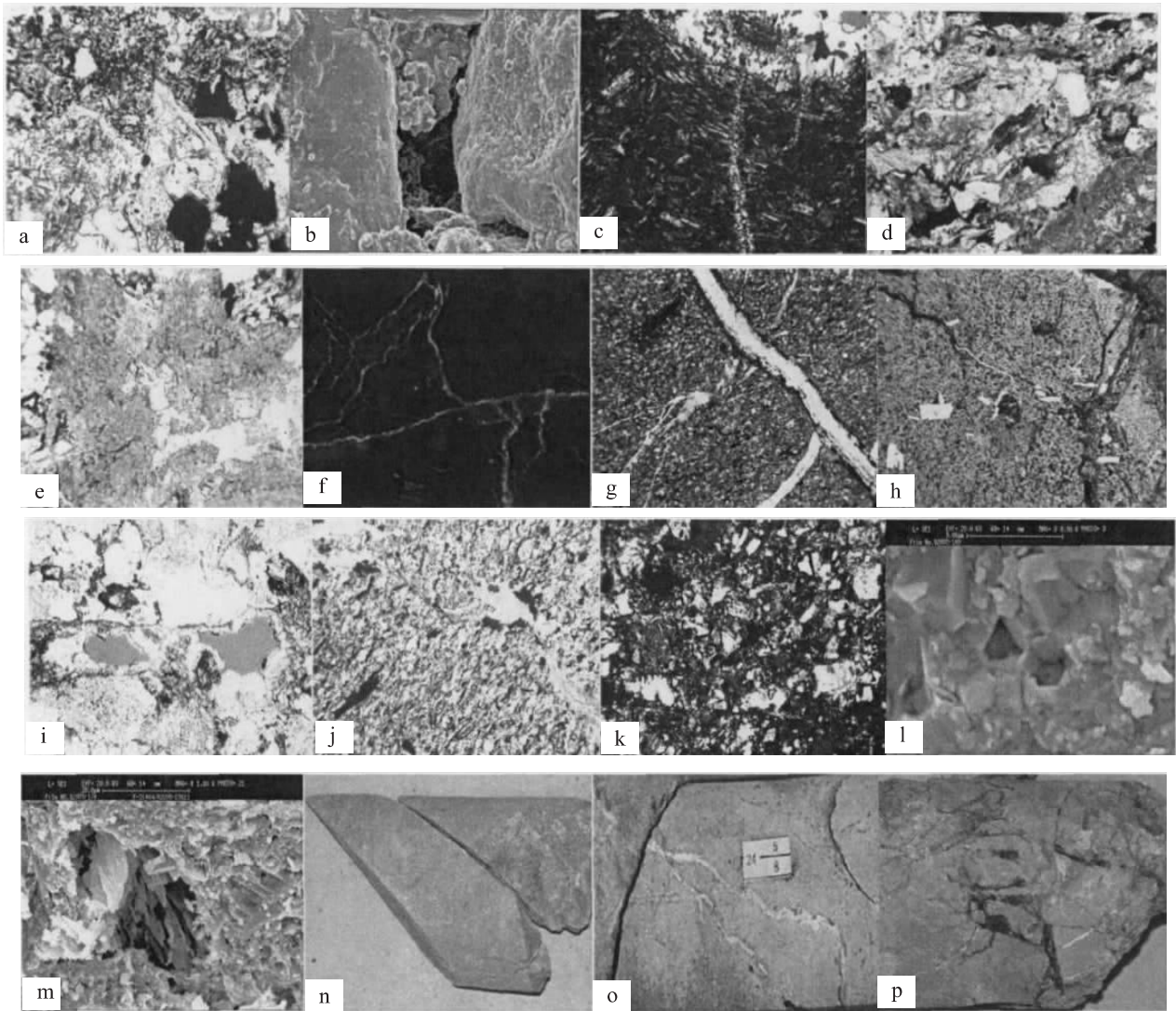


图4 准噶尔盆地西北缘石炭系火山岩储层储集空间类型^[6]

a. 玄武岩气孔; b. 长石晶间孔; c. 安山岩残余孔; d. 玄武质角砾熔岩粒间孔; e. 玄武质角砾熔岩粒内孔; f. 冷凝收缩缝; g. 收缩节理; h. 角砾间裂缝; i. 斑晶溶孔; j. 杏仁溶孔; k. 基质溶孔; l. 粒内溶孔; m. 粒间溶孔; n. 构造缝; o. 溶蚀缝; p. 风化缝

Fig. 4 Types of the reservoir spaces of the Carboniferous volcanic reservoirs on the northwestern margin of the Junggar Basin (after Li Jun et al, 2008)

a. Vesicles in basalt; b. Intercrystal pores in feldspar; c. Residual pores in andesite; d. Intergranular pores in basaltic breccia lavas; e. Intragranular pores in basaltic breccia lavas; f. Chilled contraction fissures; g. Contraction joints; h. Interbreccia fissures; i. Solution openings in phenocrysts; j. Amygdaloidal solution openings; k. Solution openings in matrix; l. Intragranular solution openings; m. Intergranular solution openings; n. Structural fissures; o. Solution fissures; p. Weathering fissures

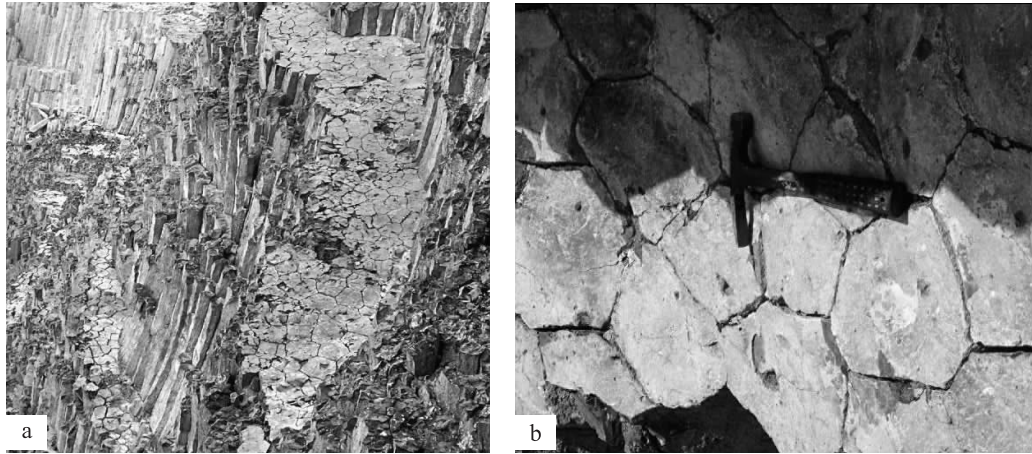


图5 昌乐县桃花山火山通道垂直状节理(a)和节理顶面(b)^[5]

Fig. 5 Vertical joints (a) and apical view of the joints (b) within the volcanic channels in Changle (after Yang Xinmin, 2010)

2 储集空间的影响因素

通常情况下,在火山岩储层的形成过程中,其储集空间的发育主要经历5个演化阶段:原生储集空间形成阶段、风化淋滤阶段、浅埋成岩阶段、构造断裂阶段和深埋溶蚀阶段^[1]。每个阶段独特的演化特征造成火山岩储集空间类型的多样性。研究表明,火山岩储集空间的形成、发展、堵塞、再形成等不同阶段的演化过程是非常复杂的。火山岩形成时虽然有原生孔隙存在,但主要表现为孤立的孔洞,储集性能较差,储层的孔隙结构十分复杂,不利于油气的运移和聚集成藏^[19]。如果后期经历不同程度的成岩作用、风化作用和构造运动等的改造,火山岩储渗能力将得到改善,有利于形成良好的储集层^[20]。

影响火山岩储集空间的因素主要包括火山岩的岩性岩相、风化淋滤作用、成岩作用、构造作用、埋深、岩浆性质及岩浆活动类型、火山喷发环境和烃碱流体作用等,其中,岩性岩相、构造作用、风化淋滤及成岩作用在对储集空间的改造中起着关键作用。

2.1 岩性岩相

对于火山岩储层而言,岩性岩相决定了原生孔隙类型及孔隙的发育程度,从而造成不同岩性、不同岩相的火山岩储集能力存在差异。

不同岩性条件从根本上决定了储集空间的发育程度与规模,无论是原生孔隙还是次生孔隙,无不受岩石类型的影响,岩石类型是影响火山岩储集储集空间的直接因素。

不同岩性的火山岩因成分、结构、构造不同,其

物理性质及化学成分不同,因此对后期成岩作用和构造作用的响应明显不同,裂缝的发育程度不同。一般来说,火山碎屑岩的粒度较粗,原始孔隙度较大,后期的改造作用形成的裂缝及由溶蚀等作用产生的次生孔隙导致储层孔隙度的增加,减弱了压实固结作用对孔隙度的影响;火山熔岩由于内部较致密,孔隙度较小^[24];不同岩性的火山岩所具有的空间类型也不同,流纹岩、安山岩的孔缝相对较多,以气孔为主;火山角砾岩以砾内砾间孔为主,而凝灰岩中岩石颗粒细,物性差,原生裂缝不发育,微裂缝和溶蚀缝较发育(图6)^[1];中性火山碎屑岩较基性火山碎屑岩的裂缝发育程度高,粒间溶蚀孔隙发育。^[21-24]根据前人研究,不同类型火山岩的裂缝发育程度亦不同,一般来说,流纹岩→安山岩→玄武岩,裂缝的发育程度依次增高;凝灰岩→火山角砾岩→次火山岩,裂缝的发育程度也依次增高^[15]。

火山岩岩相对其储集空间类型及物性影响较大,不同火山岩岩相成所形成的岩石类型、岩石结构、孔隙发育程度及其裂缝形成机理亦不同^[25]。

不同的岩相、亚相具有不同的孔隙空间类型,同岩相的不同亚相储集层物性可能差别很大(表3、表4),因为各相和各亚相岩石的结构和构造存在较大差别,它们控制着原生和次生孔缝的组合与分布^[24]。一般来说,火山口和近火山口相带中火山岩层厚度大,风化淋滤作用时间相对较长,构造裂缝较发育,储层的孔隙性和渗透性都较高;远离火山口储层厚度变薄,物性变差。不同火山岩相的储集空间也有差异,火山通道相储集空间主要为孤立的气孔及火山碎屑间孔;火山爆发相中火山角砾间孔、

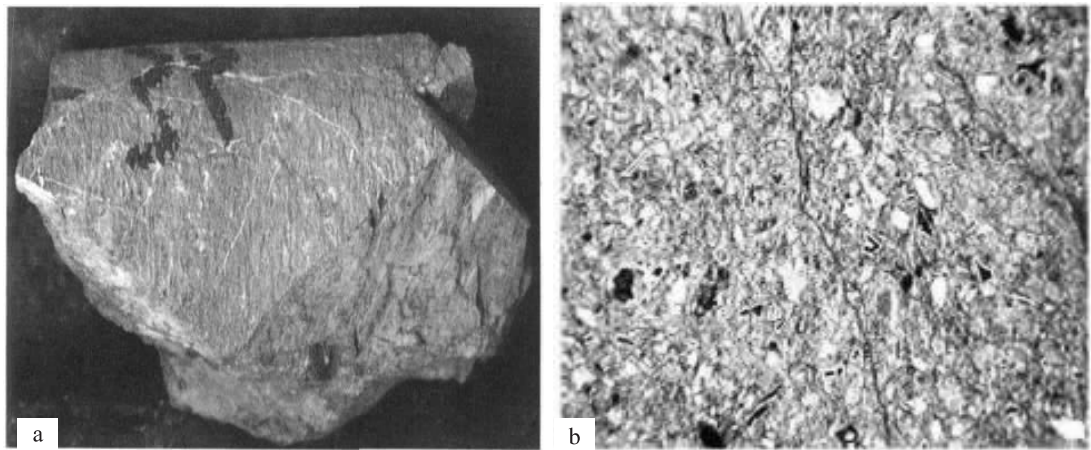


图6 准噶尔盆地火山岩发育的微裂缝
a. 九区 416 井凝灰岩(2056.72 ~2056.9m) ^[41] ; b. 滴 101 井玻屑凝灰岩(3064.67m) ^[42]

Fig.6 Microfissures in the volcanic rocks from the Junggar Basin
a. Tuff, 2056.72 –2056.9 m, Jq-416 well (after Xiao Chunlin et al. , 2010) ; b. Vitric tuff, 3064.67 m, D-101 well (after Wang Renchong et al. , 2008)

表3 辽河东部凹陷火山岩储层分类评价表 ^[21]

Table 3 Evaluation of the volcanic reservoirs in eastern Liaohe Basin (after Xu Hao et al. , 2010)				
火山岩岩石类型	岩相	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	储层分类
自碎中基性熔岩、高气孔熔岩	喷发相、喷溢相	≥ 12	≥ 8	极好
碎裂次火山岩和岩脉、中气孔熔岩	火山沉积岩相、喷溢相	8~12	3~8	好
溶蚀熔岩、中粗火山碎屑岩	火山通道相、侵出相	4~8	1~3	中
含气孔熔岩、凝灰岩、高气孔熔岩	火山沉积岩相、喷发相	0.3~1	3~4	差

表4 惠民凹陷商 741 沙一段火山岩不同亚相储层孔渗特征 ^[28]

Table 4 Porosity and permeability of the volcanic reservoirs from different subfacies in the Huimin depression (after Wang Mingjian et al. , 2010)

亚相类型	孔隙度/%		渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	
	范围	均值	范围	均值
火山口	17.28~25.70	22.20	13.11~190.58	103.30
近火山口	7.33~24.47	19.84	2.83~89.15	26.70
远火山口	5.67~27.43	18.72	0.545~69.66	23.85

气孔、溶蚀孔洞缝发育,主要储集空间包括砾间孔、粒间孔和少量气孔等;火山喷溢相熔岩原生气孔和收缩缝发育,次生孔隙主要为构造裂缝;侵出相中心带亚相储集空间主要为裂缝、溶孔、晶间孔等微孔隙^[1、28]。

2.2 构造作用

构造作用对火山岩储层储集空间的影响是多方面的。首先,构造运动可引发多期次、多火山口的火山喷发,使火山岩大面积分布,是火山岩储层形成的基础。据不完全统计,火山岩多沿深大断裂展布,一

般在共轭断裂、次级断裂交叉处发育;其次,构造运动使得火山岩岩体处于地表或近地表环境,经历各种风化淋滤作用,使岩石中原生孔缝进一步溶蚀扩大,孔缝间的连通性进一步提高,从而提高火山岩储层的孔隙性,形成优质储层;另外,构造运动使得非常致密的火山岩形成大量裂缝,这些裂缝不但使孤立的原生气孔得以连通,而且还增大了火山岩的储集空间,同时也是地下水和有机酸的重要通道,对溶解作用的发生起了重要作用,是形成次生溶蚀孔隙,改善储层储渗能力的关键^[1、36-37];最后,构造作用可以促使断层的形成,使深部的地下水 and 酸性流体通过断层通道上涌,并通过裂缝接触和作用于火山岩,对其产生溶蚀作用,产生大量的次生孔隙并且扩大原生孔隙,从而提高了火山岩的储集性能(图7)。多期次的构造运动可导致裂缝的多期性,常常可以见到早期裂缝被晚期裂缝所切割^[1]。

2.3 成岩作用

在火山岩储集空间发育的过程中,成岩作用对其影响主要体现在对储层原生孔隙的破坏和促进次生孔隙的发育与分布上。一方面导致火山岩储层中

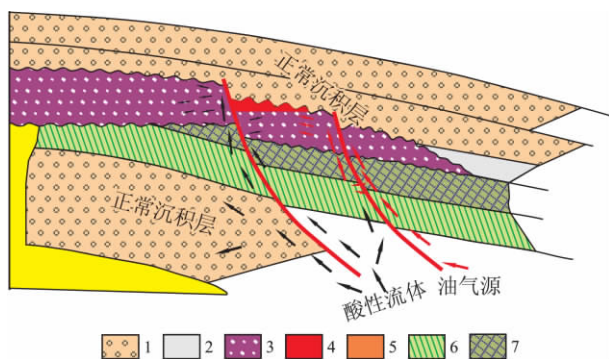


图7 构造作用对火山岩储层的影响

1. 喷出相; 2. 火山沉积相; 3. 风化壳; 4. 火山通道相次火山岩相; 5. 爆发相; 6. 溢流相

Fig. 7 The effects of structural processes on the volcanic reservoirs

1 = extrusive facies; 2 = volcanic-sedimentary facies; 3 = weathering crust; 4 = volcanic channel facies/subvolcanic rock facies; 5 = explosive facies; 6 = effusive facies

原生孔隙的次生充填,降低了储渗性能;另一方面也导致溶蚀孔、缝的形成,改善了储集性能^[5]。例如,流纹岩和粗面岩富 Na_2O 、 K_2O ,其易于淋滤溶蚀,形成次生孔隙;而安山岩、玄武岩富 Al_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO ,易于蚀变沉淀,以致孔隙被充填。

火山岩成岩作用分为早期和晚期两个阶段,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。起破坏作用的成岩作用主要有热液沉淀结晶、压实胶结、充填、压实压溶、熔结等;起建设作用的成岩作用主要有冷凝收缩、脱玻化、挥发份的逸散、溶蚀、蚀变交代等^[19,34]。其中,溶蚀作用是影响火山岩储层形成的比较关键的成岩作用,在火山岩储层中溶蚀孔特别发育(图8),溶蚀孔隙的成因有两个因素:内因是火山岩中易溶组分的种类和含量;外因包括溶解液、溶解通道、温度、压力及保存条件^[5]。

2.4 风化淋滤作用

在中国东、西部已发现的火山岩储层中,西部火山岩风化壳储层较多,受风化淋滤作用明显,其主控因素是不整合面;而东部火山岩储层主要受控于断裂和岩相,风化淋滤作用改造较弱。目前,在火山岩储层研究中,在风化壳或不整合面中已发现了规模较大的火山岩油气藏,比如在准噶尔盆地和三塘湖盆地均发现了这种良好的风化壳型储集层。准噶尔盆地发育上石炭统火山岩风化壳油气藏组合,三塘湖盆地的马17井及马19井中具有风化壳油气显示。风化壳储层中,物性和储集条件总体都较好,如在滴西17井中,风化壳储层的孔隙度可达15%~

28%,渗透性较好^[40-41]。

一般来说,火山岩风化壳垂向上可分A、B、C、D 4个带^[69]。A带为风化壳之上的沉积盖层;B带为风化壳上带,该带的孔隙度分布特征是,随深度增加,孔隙度逐渐增大至最大值;C带为风化壳下带,该带孔隙度随深度增加而逐渐减小至最小值;D带为致密火成岩带。有效的储集空间发育于B带和C带。

影响风化壳储层发育的因素较多,主要为岩性、岩相、间断时间、断裂及距不整合面的距离等。一般来说,在风化壳储层中,中酸性火山岩的孔隙度要比基性火山岩高。孔渗性也与岩石类型有关,如在辽东湾JZ20-2构造,火山岩风化壳储层中的主要储集岩是安山质自碎屑角砾熔岩和安山质火山角砾岩;在滴南凸起的火山岩储层中,距不整合面小于350m之内存在两个孔隙发育带,其一在不整合面附近,其二距不整合面200~350m,最大孔隙度可达25%^[40-41]。

2.5 其它影响因素

火山岩储层储集空间还受埋深、岩浆性质、火山喷发环境、烃碱流体作用、构造作用的影响。

一般来说,火山岩一旦形成后都具有较强的刚性,上覆地层对其影响不大。因此,深部地层中的火山岩仍然可能形成良好储集层^[9]。就岩浆的性质而言,酸性火山岩的储集物性要优于中性岩,基性火山岩相对较差^[65]。火山岩在浅水或陆上环境中喷发时,由于挥发份易于逃逸,所以形成大量的原生孔隙;当火山岩在深水环境中喷发时,挥发份不易逃逸,不利于原生孔隙的形成^[1]。烃碱流体作用主要表现在地层深部的烃碱流体主要沿深大断裂上涌,通过碱交代作用和溶解作用,广泛作用于火山岩储层,从而有益于次生孔隙和次生孔隙带的形成^[67]。

3 结论

(1) 原生储集空间常常表现为孤立的孔洞,是火山岩储层储集空间形成的基础,次生储集空间是储集空间的主要组成部分,裂缝连通了各种孔隙,使原生储集空间成为有效的储集空间;节理缝也是重要的储集空间类型。

(2) 影响火山岩储集空间发育的因素有多种:岩性岩相是火山岩储层形成与分布的基础,决定了储集空间的发育程度与规模;构造作用、风化淋滤作用是次生孔缝产生的重要条件;成岩作用在进一步改善储层储渗能力的同时,对各类原生、次生孔隙亦有一定程度的破坏作用。其它因素包括埋深、岩浆性质、

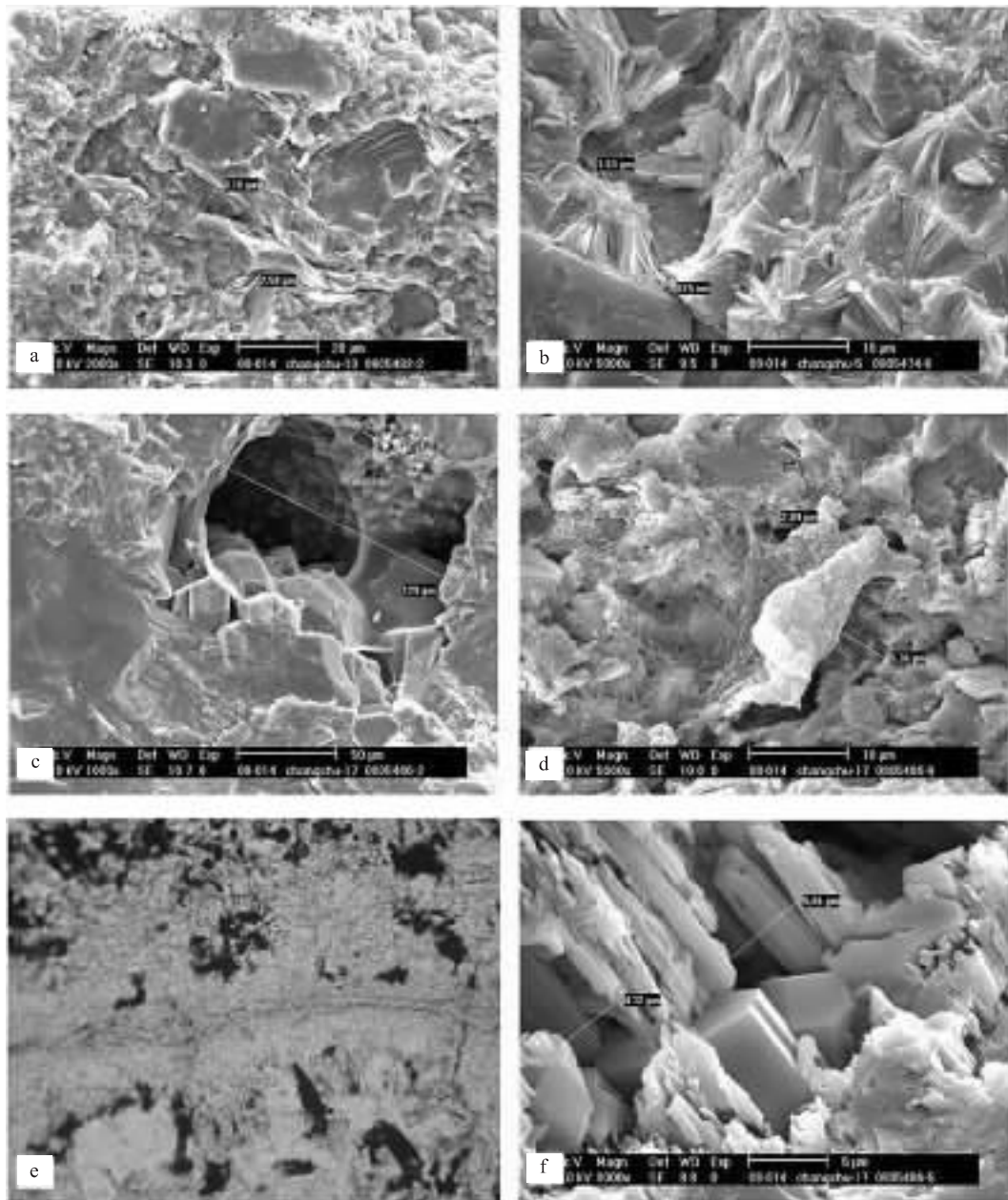


图8 松辽盆地长岭断陷火山岩溶蚀孔^[8]

Fig. 8 Solution openings in the volcanic rocks from the Changling depression, Songliao Basin (Lu Jianlin et al., 2009)

火山喷发环境、烃碱流体作用等。

(3) 火山岩储层在我国东、西部存在明显的差异,其主要由于风化淋滤作用的差异所导致。

参考文献:

- [1] 黄亮,彭军,等. 火山岩储层形成机制研究综述 [J]. 特种油气藏,2009,16(1):1-6.
- [2] 王芙蓉,陈振林,等. 火山岩储集性研究 [J]. 重庆石油高等专科学校学报,2003,5:44-46.
- [3] 操应长等. 渤海湾盆地第三系火成岩油气藏成藏条件探讨 [J]. 石油大学学报:自然科学版,2002,26(2):6-10.
- [4] 潘建国,郝芳,等. 准噶尔盆地红车地区火山岩储层特征及主控因素 [J]. 石油地质与工程,2007,21(5):1-4.
- [5] 赵文智,等. 松辽盆地深层火山岩气藏地质特征及评价技术 [J]. 石油勘探与开发,2008,35(2):129-142.
- [6] 石磊,李书兵,等. 火山岩储层研究现状与存在的问题 [J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2009,31(5):68-73.
- [7] 朱如凯,毛治国,等. 火山岩油气储层地质学—思考与建议 [J]. 岩性油气藏,2010,22(2):7-14.
- [8] 庞彦明,章凤奇,等. 酸性火山岩储层微观孔隙结构及物性参数特征 [J]. 石油学报,2008,28(6):72-77.
- [9] 赵海岭,刘振文,等. 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):609-614.
- [10] 杨立民,邹才能,等. 大港枣园油田火山岩裂缝性储层特征及

- 其控制因素 [J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(1): 86-91.
- [1] 田玉栋, 李相方, 等. 火山岩气藏储层渗流特征浅析 [J]. 断块油气田, 2009, 16(6): 43-46.
- [2] 王传成, 侯贵廷, 等. 大庆徐家围子断陷火山岩储集性控制因素分析 [J]. 北京大学学报, 2008, 44(6): 909-914.
- [3] 操应长, 杨剑萍. 湖盆火山作用与油气的关系——以惠民凹陷第三系火成岩及其油藏为例 [J]. 地质论评, 1999, 45(增刊): 587-593.
- [4] 刘泽容, 信荃麟, 王永杰, 等. 山东惠民凹陷西部第三纪火成岩油气藏形成条件与分布规律 [J]. 地质学报, 1988, 62(3): 210-222.
- [5] 杨新明, 昌乐、惠民地区火山岩和浅层侵入岩裂缝发育特征研究 [J]. 复杂油气藏, 2010, 3(2): 25-29.
- [6] 李军, 薛培华, 等. 准噶尔盆地西北缘中段石炭系火山岩油藏储层特征及其控制因素 [J]. 石油学报, 2008, 29(3): 329-336.
- [7] 王璞, 陈树民, 刘万洙. 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.
- [8] 陆建林, 等. 松辽盆地长岭断陷火山岩储层形成特征研究 [J]. 石油实验地质, 2009, 31(5): 441-449.
- [9] 王鹏, 罗明高, 等. 北三台地区石炭系火山岩储层控制因素研究 [J]. 特种油气田, 2010, 17(3): 41-45.
- [10] 戴金星. 天然气地质学概论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999, 30-351.
- [11] 王仁冲, 等. 准噶尔盆地陆东地区石炭系火山岩储层特征 [J]. 石油学报, 2008, 29(3): 350-355.
- [12] 赵澄林, 等. 辽河盆地火山岩与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [13] 肖军, Kamaye Tourba, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷火山岩特征及其有利成藏条件分析 [J]. 地质科技情报, 2004, 23(1): 52-57.
- [14] 郭齐军, 焦守谏, 万智民. 火山岩储层的岩石学评价 [J]. 特种油气藏, 1995, 2(3): 6-81.
- [15] 罗静兰, 曲志浩, 等. 风化店火山岩岩相、储集性与油气的关系 [J]. 石油学报, 1996, 17(1): 32-381.
- [16] 黄炳光, 冉新权, 李晓萍, 等. 气藏工程分析方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [17] 徐浩, 等. 辽河东部凹陷中生界火山岩岩相特征分析 [J]. 复杂油气藏, 2010, 3(2): 21-24.
- [18] 王明健, 国景星, 等. 商 741 断块沙一段火山岩储层特征及有利层位 [J]. 断块油气藏, 2010, 17(1): 10-14.
- [19] 支东明, 贾春明, 等. 准噶尔盆地车排子地区火山岩油气成藏主控因素 [J]. 石油天然气学报, 2010, 32(2): 166-170.
- [20] 牛宝荣, 潘红芳. 火山岩油藏储层特征及开发对策 [J]. 吐哈油田, 2008, 13(3): 278-292.
- [21] 蒙启安, 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): 285-289.
- [22] SURDAM R C, MACGOWAN D B. Oilfield waters and sandstone diagenesis [J]. ApplGeochem, 1987, 2(5/6): 613-620.
- [23] 胡勇, 朱华银, 等. 大庆火山岩储层物性特征系统实验研究 [J]. 新疆石油天然气, 2006, 2(1): 18-22.
- [24] 修安鹏, 徐佑德, 等. 长岭断陷腰英台地区营城组火山岩储层特征及控制因素 [J]. 科技创新导报, 2009, 33(11): 113.
- [25] 陈志良, 等. 长岭断陷深层火山岩储层特征描述 [J]. 内蒙古石油化工, 2008, (4): 122-124.
- [26] 毛振强, 陈凤莲. 高青油田孔店组火山岩储集特性及成藏规律研究 [J]. 矿物岩石, 2005, 25(1): 104-108.
- [27] 邵英梅, 冯子辉. 徐家围子断陷营城组火山岩岩石学及地球化学特征 [J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(4): 27-30.
- [28] 何登发, 陈新发, 等. 准噶尔盆地石炭系油气成藏组合特征及勘探前景 [J]. 石油学报, 2010, 31(1): 1-12.
- [29] 张年富, 曹耀华, 等. 准噶尔盆地腹部石炭系火山岩风化壳模式 [J]. 新疆石油地质, 1998, 19(6): 450-453.
- [30] 刘俊田. 三塘湖盆地牛东地区石炭系卡拉岗组火山岩风化壳模式与识别 [J]. 天然气地球科学, 2009, 20(1): 57-62.
- [31] 肖春林, 李乃高, 等. 准噶尔盆地西北缘九区石炭系火山岩油气藏储层特征及控制因素 [J]. 新疆石油天然气, 2010, 6(3): 6-11.

The reservoir spaces and influencing factors of the volcanic reservoirs

TIAN Bo, WANG Wei-feng, ZOU Juan

(School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, Shandong, China)

Abstract: The volcanic reservoirs as a new field of petroleum exploration have long been little known because their complexity and specific characteristics. The purpose of this paper is to provide new insights into the reservoir spaces and influencing factors of the volcanic reservoirs. The reservoir spaces of the volcanic reservoirs encompass pore spaces and fissures, and the fissures, in turn, may connect various isolated pore spaces. As a result, the mosaics of pore spaces and fissures or cracks may cause effective reservoir spaces of volcanic reservoirs. The influencing factors of the volcanic reservoirs including lithology, lithofacies, diagenesis, weathering, leaching and tectonism may play an important role in the modification of the reservoir spaces of the volcanic reservoirs in the study area.

Key words: volcanic reservoirs; reservoir space; diagenesis; weathering and leaching; tectonism