

火山岩原生储集空间成因及其四阶段演化 ——以准噶尔盆地滴西地区石炭系为例

熊益学¹ 郝爱华¹ 冉启全² 刘小洪¹ 张玉林¹ 孙圆辉² 代冬冬³

(1.西南石油大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室,四川 成都 610500;2.中国石油勘探开发研究院,北京 100083;3.中国石油勘探开发研究院西北分院,甘肃 兰州 730020)

摘要:火山岩油气藏通常具有双重孔隙介质特征,储集空间按成因可划分为原生和次生两大类,绝大多数次生储集空间是原生储集空间经后期成岩作用改造而成。本文通过大量铸体薄片的鉴定和描述,将准噶尔盆地滴西地区石炭系火山岩原生储集空间类型分为气孔、杏仁体内残留孔、粒间孔、粒内孔、晶间孔等 5 类原生孔隙,以及收缩缝、炸裂缝、砾间缝、晶间缝等 4 类原生裂缝。综合火山喷发环境、强度及岩石结构构造等影响因素,按照岩浆不同阶段的演化特征,将原生储集空间的形成划分为 4 个阶段:“岩浆房”阶段、喷溢地表阶段、冷凝成岩阶段及岩浆期后热液阶段。认为岩浆喷溢地表与冷凝成岩阶段是形成原生孔缝的主要时期;岩浆期后热液阶段是减少原生孔缝时期;结晶速度慢慢是形成不同类型孔缝的关键。火山岩原生储集空间类型形成机理研究能揭示次生储集空间展布规律,对预测有利储集带意义重大。

关键词:原生储集空间;形成机理;火山岩;石炭系;滴西地区;准噶尔盆地

中图分类号:P618.130.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2012)01-0146-10

从 20 世纪 50 年代的初步认识,到 50 年代至 60 年代末被逐渐重视,再到 70 年代后期深入研究,到目前,火山岩储层已成为油气资源量的重要增长点^[1]。国内外学者先后针对火山岩储层岩石学类型^[2]、岩相特征^[3,4]、储集空间类型^[5-9]及储集物性^[8,9]等方面进行广泛的研究,表明:岩性岩相制约的火山岩储集空间影响储集物性,其分布特征决定油气展布。然而,储集空间的成因及演化是准确圈定储集空间分布位置和范围的基础,对正确认识火山岩油气富集规律和形成机制、促进火山岩油气藏高效勘探与开发意义重大。

火山岩储层一般具有孔、缝双重介质特征,按成因可将储集空间划分为原生和次生两大类^[10-15]。Patricia 等(2007)认为,火山岩的原生储集空间是在封闭的系统内,岩浆从侵入到最终冷凝成岩过程中

形成^[9]。蔡东梅等(2010)^[6]认为,原生储集空间主要形成于火山岩冷凝成岩阶段。次生储集空间是后期成岩作用改造形成的,且绝大多数是在原生储集空间的基础上改造而成。因此,原生储集空间作为次生储集空间的载体,其成因及演化将确定次生储集空间发育位置。然而,众多学者结合区域成岩演化史,分析储集空间的演化特征^[6,10,13,15],认为后期成岩过程的脱玻化、溶蚀及构造破碎等作用形成大量次生孔隙的关键^[6,15]。但是,在后期成岩作用改造之前,原生储集空间是如何形成及演化的?各类原生孔缝之间是否存在联系?为此,本文以准噶尔盆地滴西地区石炭系火山岩为例,在 17 口取心井 137 块铸体薄片详细鉴定的基础上,结合岩浆的演化特征,综合考虑原生储集空间类型的影响因素,尝试对原生储集空间的形成及其四阶段演化特征进行探讨,旨在建立原

收稿日期:2011-06-08;改回日期:2011-08-05

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2007CBZ09507)资助。

作者简介:熊益学,男,1983 年生,博士生,主要从事储层成因和油气藏描述方面的研究工作;E-mail:xiogyixue2002@yahoo.com.cn。

通讯作者:郝爱华,博士生导师,矿物岩石矿床学专业;E-mail:aihuaxi@163.com。

生储集空间形成演化模型、分析其影响因素,以期为储集空间类型的展布规律研究奠定理论基础,进而为储层预测提供地质依据。

1 区域地质概况

准噶尔盆地地处中亚造山带(CAOB),总体呈三角形,东北缘以青格里底山为界与西伯利亚板块相邻,西北缘以扎依尔山为界与哈萨克斯坦板块相邻,南缘以依林黑比尔根山为界与塔里木板块相邻。盆地的形成受控于古亚洲洋的多旋回开合和周边造山带的演化,经历多期不同性质的构造变革^[6,17]。盆地内部石炭系可划分为“一冲断带两凹陷三隆起”^[18](图 1-a)。

滴西地区位于准噶尔盆地滴南凸起的中西部(图 1-b),东抵克拉美丽山前,西连石西凸起,南临东道海子凹陷,北接滴水泉凹陷。晚石炭世巴塔玛依内山期,盆地转换为封闭的内陆盆地,陆陆碰撞强烈,导致地壳深部热调整和岩浆活动^[19]。滴西地区石炭系火山岩为一套火山碎屑岩、火山熔岩、次火山岩及少量火山沉积岩,从基性、中性直至酸性均有分布。其中,次火山岩类主要为正长斑岩,火山熔岩类以玄武岩和安山岩为主,另有少量的粗面岩,火山碎屑岩类主要为火山凝灰岩和火山角砾岩。空间分布大致分西北部、中部及东南部 3 个呈东北向条带状展布的区间,表现出明显的区域分段性,总体上体现出自西北向东南由基性向酸性依次过渡的特征^[20]。

2 原生储集空间类型

火山岩的原生储集空间是在封闭的系统内岩浆

从侵入到最终冷凝成岩过程中形成的孔隙。根据岩心观察和铸体薄片孔隙特征统计分析,滴西地区火山岩原生储集空间按照形态、大小及成因可分为气孔、杏仁体内残留孔、粒间孔、粒内孔、晶间孔等 5 类原生孔隙,以及收缩缝、炸裂缝、砾间(内)缝、晶间(内)缝等 4 类原生裂缝。

2.1 原生孔隙

系指岩浆侵入或喷出地表至冷凝过程中产生的空间类型。孔隙的形成通常与岩浆的化学成分、岩浆冷却速度、晶体结晶能力、挥发性组分含量及成分、成岩作用方式等因素密切相关。孔隙多呈椭圆形、多边形及不规则状,孔径大小不等。

气孔:是熔浆喷溢地表时压力降低,挥发组分逸散后残留的孔隙空间。气孔的形成与熔浆成分及挥发性组分含量相关,岩浆基性程度高,或者挥发性组分含量高,气孔一般很发育。滴西地区气孔主要发育在中性和基性火山熔岩中(玄武岩、粗面岩),呈椭圆状、花生状(图 2-A)、云朵状及不规则状。孔径大小 0.1~5 mm,多在 0.5~3 mm。气孔含量一般占熔岩体积的 0.5%~2%,个别井段气孔含量可达 3%~4%。

杏仁体内残留孔:组成杏仁体矿物之间的孔隙及次生矿物充填气孔留下的空间,其形成主要与熔浆及岩浆期后热液成分有关。岩浆中挥发分和热液成分决定了杏仁体数量和气孔充填程度,一般会减少气孔的空间。杏仁体残留孔形态多为长形、多边形、围边棱角状及不规则形状(图 2-B),孔径一般 1~2 mm,是火山熔岩中常见的储集空间类型。

粒间孔:系指碎屑颗粒间经压实固结成岩后所

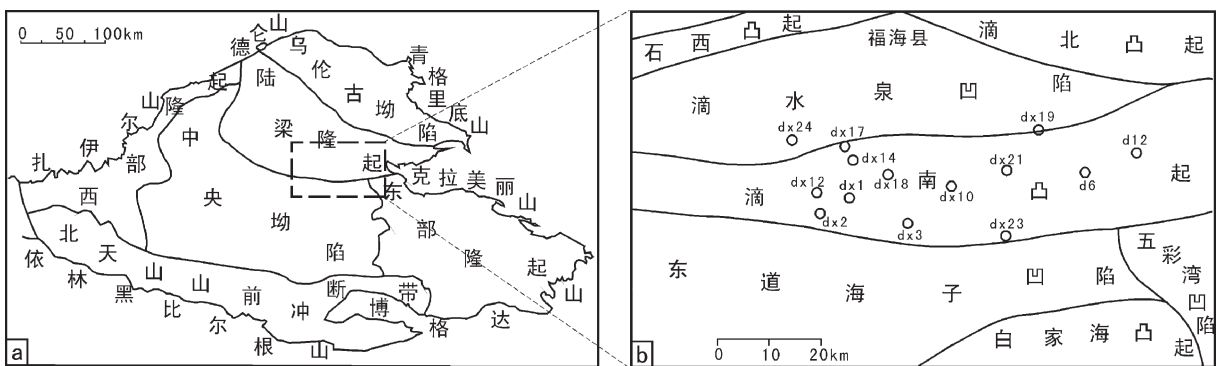


图 1 准噶尔盆地滴西地区区域位置和构造格局略图(修改自王洛等^[18],2010)

a—准噶尔盆地构造格局图;b—陆梁隆起构造格局图

Fig.1 Location and tectonic framework of Dixi area in Junggar basin (after Wang et al., 2010)

a- Tectonic framework of Junggar basin; b- Tectonic framework of Luliang uplift

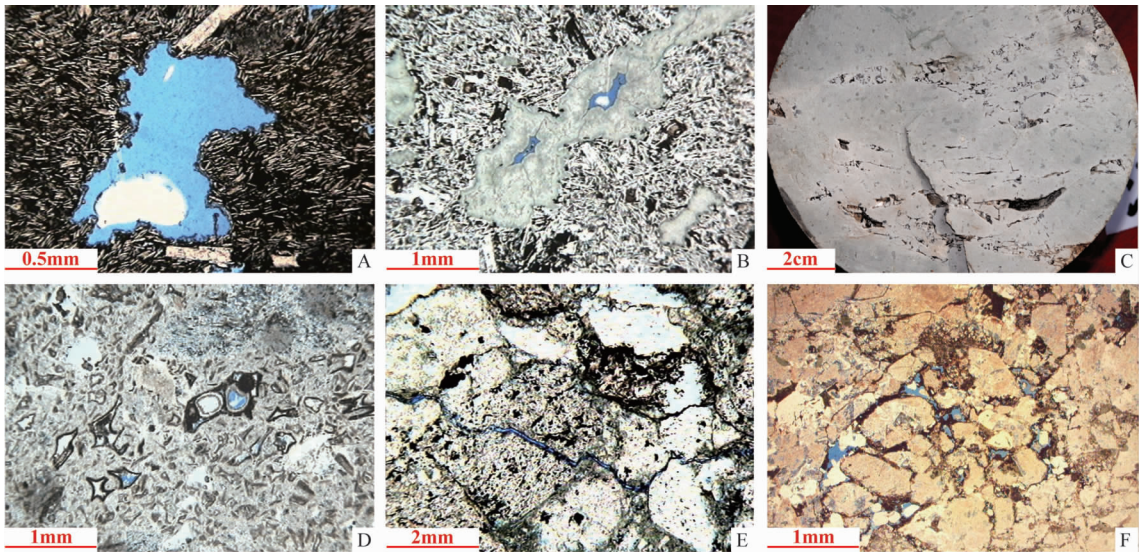


图 2 滴西地区石炭系火山岩储层原生储集空间类型

A—气孔:气孔状玄武岩,滴西 173 井,3 667.41 m, C_{2b} , (-); B—杏仁体内残留孔:玄武岩,滴西 173 井,3 655.82 m, C_{2b} , (-);
C—粒间孔:火山角砾岩,滴西 184 井,3 550.3 m, C_{2b} ; D—粒内孔:玻屑凝灰岩,滴西 14 井,3 602.59 m, C_{2b} , (-);
E—砾间缝:火山角砾岩,滴西 8 井,3 512.07 m, C_{2b} , (-); F—晶间缝:正长斑岩,DX1813 井,3 466.14 m, C_{2b} , (-)

Fig.2 Micrographs of Carboniferous volcanic rock primary reservoir spaces in Dixi area, Junggar basin

A— Vesicles in basalt, Dixi 173 well, 3 667.41 m, C_{2b} ; B—Residual amygdale in basalt, Dixi 173 well, 3 655.82 m, C_{2b} ; C—Intergranular pores in volcanic breccia, Dixi 184 well, 3 550.3 m, C_{2b} ; D—Intragranular pores in vitric tuff, Dixi 14 well, 3 602.59m, C_{2b} ; E— Intergravel crack in volcanic breccia, Dixi 8 well, 3 512.07m, C_{2b} ; F—Intercrystal crack in syenite porphyry, DX1813 well, 3 466.14 m, C_{2b}

残余的原生孔隙^[7],是由颗粒之间相互支撑作用形成。形态不规则,大小不等(图 2-C),通常沿火山碎屑边缘分布,是火山碎屑岩、火山-沉积碎屑岩主要的储集空间类型。

粒内孔:指火山碎屑颗粒内部的孔隙,是在已成岩的碎屑内残存的不规则状孔隙,或晶屑、玻屑的熔点因压力骤降而下降,使其熔化成浑圆状孔隙(图 2-D)。孔径大小不一;主要发育于火山角砾岩、火山集块岩和沉火山碎屑岩中。

晶间孔:系指斑晶矿物之间、基质微晶之间及斑晶与基质之间形成的孔隙。为矿物冷凝结晶体积收缩形成。晶间孔形态一般不规则且大小不等,一般在 10~15 μm ,局部可达到 1~2 mm,主要发育于研究区次火山岩相中,少量见于火山熔岩(玄武岩)。

2.2 原生裂缝

系指岩浆冷凝结晶过程中,由于岩体内部和边部降温速率不同,导致在冷凝过程中岩体体积差异收缩或由压力骤降发生炸裂爆破作用而形成的裂缝系统。根据裂缝的成因、形态及结构特点,可区分出收缩缝、炸裂缝、砾间缝和晶间缝等几种类型。

收缩缝:系指岩浆喷出地表,在流动和冷凝过程

中,由于温度变化使岩石体积收缩形成的裂缝。主要与火山岩浆各部分不均匀冷凝、不均匀收缩有关。其形状极不规则,多数呈网状、同心圆状、马尾状、扫帚状或龟裂状。常见于角砾熔岩和凝灰岩。

炸裂缝:系指岩浆上涌过程中,已结晶矿物因压力骤降和温度变化胀裂或熔岩体被内部聚集的挥发组分高压爆破形成的一系列裂缝。其形态多不规则,多沿晶体的解理缝、双晶纹形成等薄弱处扩展。见于次火山岩、各种火山熔岩和部分火山碎屑岩,研究区内以正长斑岩炸裂缝最为发育。

砾间缝:系指发育于火山角砾之间或存在于角砾与火山凝灰之间的缝隙,与粒间孔属于同一种成因,是由火山碎屑之间相互支撑作用形成,以长而细、形态不规则弯曲度较大且常围绕角砾边缘分布与粒间孔相区分(图 2-E)。砾间缝一般规模较小,长度多小于 10 mm,以 3~4 mm 为主,宽度小于 0.1 mm。主要发育于火山角砾岩、火山集块岩及火山碎屑沉积岩内。

晶间缝:是指发育于斑晶晶体间、基质微晶间、斑晶与基质微晶间的缝隙,其形成机理与晶间孔相似,以裂缝较规则,呈细长条状与晶间孔相区分(图 2-

F)。晶间缝规模较小,且相互间联通不好,绝大多数小于 0.05 mm。主要发育于次火山岩及火山熔岩中。

3 原生储集空间形成机制

不同类型的火山岩,矿物组分和结构构造迥然不同,其原生孔、缝形成机制存在差异。火山侵入作用形成的次火山岩,其原始储集空间类型的形成机制在辽河油田欧利坨子中探究过,认为是深部逸出的挥发分在侵入体的顶部冷凝壳之内聚集,压力增大促使冷凝壳发生爆裂破碎而成^[5,21]。后期,因岩浆结晶作用由浅到深不断推进,使得冷凝壳和发生爆破的位置向下方延展,最终可形成自侵入体顶面往下相当大的深度范围内的隐爆角砾岩储层^[2]。据此,根据滴西地区不同类型火山岩孔缝形态特征,结合岩浆的演化过程及火山作用机制,以火山熔岩为例,探讨火山作用不同阶段原生储集空间的形成机制(图 3)。

(1)“岩浆房”阶段:岩浆在岩浆房内结晶为斑晶矿物的形成阶段(图 3-a)。一般情况下,斑晶结晶时间长,自形程度高,颗粒粗大,结晶作用可以一直持续到岩浆溢出地表固结成岩阶段。斑晶矿物在岩浆中各向异性地随机分布,没有明显的方向性富集。该阶段不能形成原生储集空间,但已结晶斑晶矿物的解理和双晶可作为后期原生和次生孔缝的基础(图 4-a)。

(2)喷溢地表阶段:携斑晶的熔浆喷溢于地表,因压力骤降常沿斑晶解理和双晶纹处形成晶内炸裂缝(图 3-b、4-b),而原生孔隙类型与熔浆到达地表的方式密切相关。若以溢流方式到达地表,原生孔缝

在纵向上表现出明显的分带性:熔岩流的顶部挥发分逸出和岩浆的快速冷凝通常会导致原生裂隙和缝隙的大量产生;熔岩流的上部挥发分的散失会形成早期的原生气孔,一般情况下,气孔形态因岩浆粘度而异(图 4-c),岩浆逐渐冷凝形成具有气孔状构造的岩石;熔岩流的中部挥发性组分较少,矿物结晶按照熔浆流动方向具有方向性排列的趋势,岩浆常冷凝成具有块状构造的岩石;熔岩流的下部挥发分由于上部静压力作用失去向上逃逸的动力,挥发分在熔岩流的下部不同程度聚集,气体占据的空间可形成连通较好的原生气孔。与上部亚相比较,此原生气孔形态不规则,气孔体积大,气孔之间可通过狭窄的通道贯通。熔浆若以爆发的方式到达地表,熔浆及其携带的火山碎屑在爆发及沉降过程中,因挥发分逃逸作用可形成大量的炸裂缝,例如火山凝灰岩中的晶屑和玻屑发育大量的炸裂缝。

(3)冷凝成岩阶段:若熔浆快速冷凝,斑晶矿物和基质矿物同时结晶,斑晶矿物粒度大,基质矿物粒度小,基质矿物与斑晶矿物之间由于冷凝收缩速率不同会在矿物间产生晶间孔隙和原生收缩缝隙(图 4-d)。若岩浆冷凝速度缓慢,按照鲍文反应序列,依次析出细小晶体充填于早期斑晶之间,残存小型晶间孔(图 4-e)。该阶段因温度压力的持续降低、挥发分持续逃逸,整体上促进晶间孔、收缩缝及气孔数量增多(图 3-c)。

(4)岩浆期后热液阶段:主要是原生气孔及较大晶间孔被低温矿物部分充填,形成残余气孔和杏仁体残留孔的过程(图 3-d、4-f)。岩浆期后热液的叠加,一方面降低原岩的孔隙度,另一方面,次生矿物

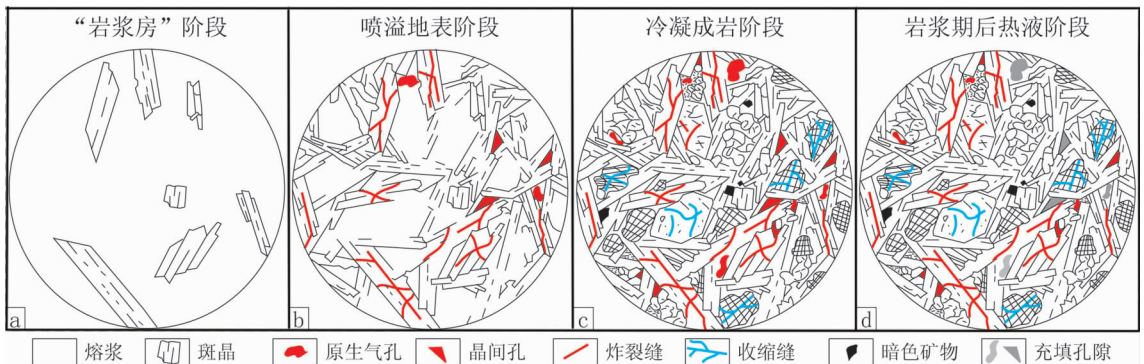


图 3 准噶尔盆地滴西地区石炭系火山熔岩原生孔缝成因机制示意图

Fig.3 Schematic formation mechanism of Carboniferous volcanic lava primary reservoir spaces in Dixi area, Junggar basin

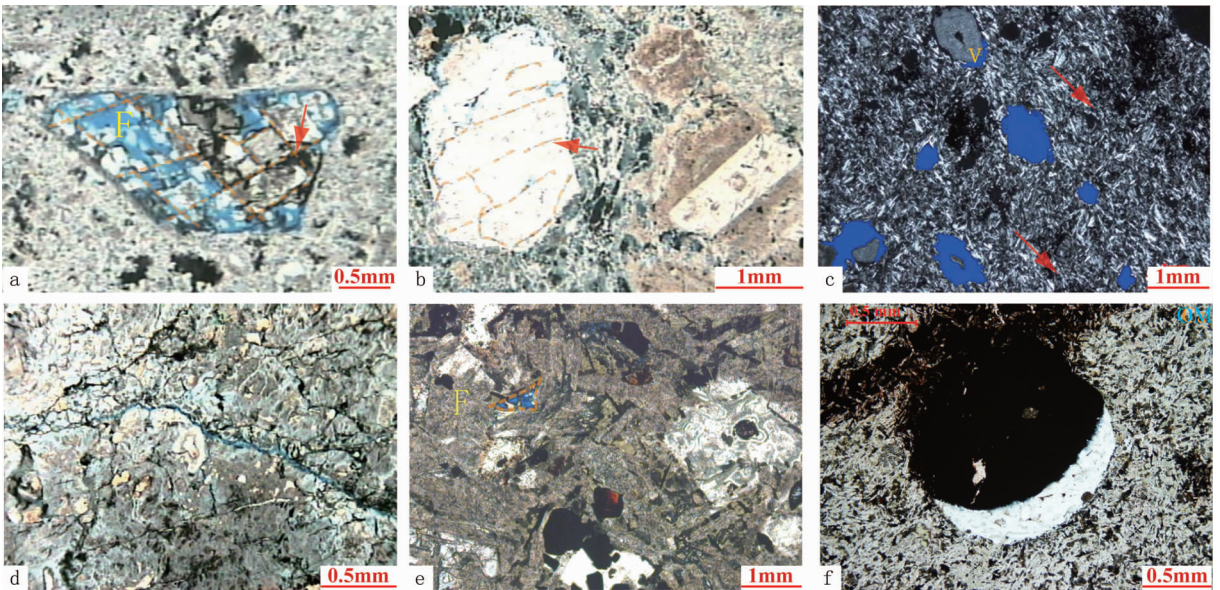


图4 滴西地区石炭系火山岩原生储集空间成因特征

a—次生溶蚀沿着斜长石斑晶解理进行, 残留了原始斑晶的形态, 正长斑岩, 滴西 20 井, 3 377.29 m, C_{2b}, (-); b—晶内炸裂缝, 沿斑晶解理处(箭头), 晶屑凝灰岩, 滴 101 井, 3 002.41 m, C_{2b}, (-); c—原生气孔沿着熔岩流呈定向排列(箭头方向), V 为杏仁体内残留孔, 玄武岩, 滴 403 井, 3 674 m, C_{2b}, (+); d—原生收缩缝, 因温度骤降, 快速冷凝造成不均匀收缩而成, 凝灰岩, 滴西 10 井, 3 092.37 m, C_{2b}, (-); e—晶间孔(虚线)发育于长石斑晶间, 岩浆缓慢冷凝, 后期细小晶体充填, 正长斑岩, 滴西 26 井, 4 003.36 m, C_{2b}, (-); f—杏仁体残留孔, 底部为低温方解石(Cal), 上部为有机质(OM), 玄武岩, 滴 401 井, 3 863.11 m, C_{2b}, (-)

Fig.4 Genetic features of Carboniferous volcanic rock primary reservoir spaces in Dixi area

a—Secondary dissolution occurring along the plagioclase phenocryst cleavage, with residual original form of phenocrysts. Syenite porphyry, well Dixi 20, 3377.29m; b—Intracrystalline explosive fracture developed inside phenocryst cleavage from crystal tuff in well Di 101, 3002.41m; c—Primary gas pores aligned along the lava flow (arrow) from basalt in well Di403, V—Residual amygdale, 3674m; d—Shrinkage joint formed in the non-uniform contraction caused by rapid cooling from tuff in well Dixi 10, 3092.37m; e—Intercrystal pore (dash line) filled with small crystals, which is recognized between feldspar phenocrysts from syenite porphyry in well Dixi 26, 4003.36 m; f—Amygdale with calcite (Cal) in the lower part and organic matter (OM) in the upper part. Basalt, well Di 401, 3863.11m

的充填也会在一定程度上阻塞原有孔喉, 破坏原生孔缝的配置关系。

无论是火山碎屑岩还是碎屑熔岩, 其原生孔缝形成过程可划分为与火山熔岩相似的 4 个阶段, 且表现出喷溢地表阶段与冷凝成岩阶段是形成原生孔缝的主要时期, 岩浆期后热液阶段是减少原生孔缝时期, 结晶速度快慢是形成不同原生孔缝类型的关键。但火山碎屑岩与碎屑熔岩亦具独特性, 主要表现为:

(1) 在冷凝成岩阶段, 因温度骤降导致碎屑物质与填隙物间差异的体积收缩, 可形成粒间孔、砾间缝、收缩缝等异于火山熔岩的原生储集空间。

(2) 碎屑物质快速坠落、碎屑颗粒与胶结物间的成分及结构差异越大, 粒间孔隙越发育。

(3) 堆积后的压实作用降低储集物性。强烈的压实作用使得原生孔隙形态变小, 数量减少, 连通性降低。

4 讨论及结论

4.1 讨论

原生储集空间类型的形成与火山岩的形成过程是同步的, 其演化是连续的。原生储集空间的演变特征及发育程度, 受多方面因素的影响。

4.1.1 喷发环境决定原生储集空间类型及数量

火山岩按火山活动时的地理环境分为陆上喷发火山岩和水上喷发火山岩。陆上和水上火山喷发在岩性、结构构造、蚀变特征、产状、与下伏地层接触关系、孔隙和裂缝发育特点等方面有显著区别^[29]; 陆上

喷发可形成各种熔岩、碎屑熔岩、火山碎屑岩和沉火山碎屑岩,原生储集空间主要为气孔、杏仁体残留孔、粒间孔和冷凝收缩节理缝、矿物解理缝。水下喷发因快速淬火冷却,多形成具玻璃质结构的熔岩、含晶屑玻屑沉凝灰岩、膨润土/伊利石岩/蒙脱石岩/沸石岩等粘土岩,原生储集空间为岩球岩枕间孔和粒间孔、基质间微孔、同心环状收缩缝等。

滴西地区火山岩岩石类型主要为熔岩、碎屑熔岩、火山碎屑岩和沉火山碎屑岩组合,且熔结凝灰岩发育,少量玻璃质熔岩,未见枕状构造、自碎角砾构造及淬火形成的同心环状收缩缝发育的岩石类型。结合区域发育古风化壳、局部见有陆相化石,在前人对陆梁隆起石炭纪火山岩沉积环境认识^[18,24,25]的基础上,初步推断滴西地区石炭纪火山岩形成于陆上喷发环境。这种陆上喷发环境决定了滴西地区火山岩的原生孔隙较原生裂缝发育(图 5)。

4.1.2 火山作用强度决定原生储集空间类型及空间分布范围

火山作用强度决定火山作用的方式(喷发或侵入)及火山喷发期次。岩心观察、薄片鉴定及测井分析结果显示,滴西地区石炭系火山岩可划分为两个喷发期次:一期喷发以 150 m 的火山碎屑岩与 200 m 的玄武岩和少量流纹岩组合为特点;二期为巨厚状熔结凝灰岩的爆发式喷发,伴随着少量(<20 m)的玄武质熔岩组合为特征^[18]。火山作用方式主要以溢流式、爆发式为主,同时存在超浅成侵入作用^[20]。其中,浅成侵入作用和溢流作用范围仅限于火山通道附近及周边,爆发作用范围相对较大。

喷发期次和喷发方式决定了火山岩岩相类型及相序组合关系,也决定了火山岩原生储集空间类型及其纵向上的分带特征(表 1)。滴西地区石炭系岩浆侵入形成的次火山岩相,其原始储集空间以晶间孔(11.38%)、晶间缝(2.26%)为主,少量炸裂缝;溢流式喷发作用形成的原生储集空间类型以杏仁体残留孔(62.15%)及气孔(15.18%)为主,少量收缩缝、炸裂缝;溢流相顶部熔渣状熔岩、上部及下部气孔熔岩是原生储集空间发育带^[10,26],但亦受熔岩流厚度控制,若单期熔岩流厚度若小于 3 m,气孔呈分散状分布,当厚度大于 3 m 时,气孔的发育呈聚顶发育的模式^[7]。爆发式火山喷发作用形成的原生储集空间主要发育在空落亚相(平均面孔率为 2.64%),以粒间孔(10.16%)、收缩缝(1.71%)为主。

4.1.3 火山岩结构构造决定原生储集空间类型及形态

不同类型的火山岩矿物组合、化学成分、结构构造特征各不相同,原生储集空间类型各异^[14]。原生储集空间的差异性本质上是由岩石结构构造决定的。

具斑状和似斑状结构的火山熔岩和次火山岩,斑晶与基质矿物间非均质性明显,矿物冷凝结晶时差异性收缩,易形成粒间孔隙、晶间孔隙和冷凝收缩缝等原生储集空间。而具均质结构的火山熔岩,因冷凝结晶时矿物同步收缩,通常不利原生孔隙的形成,仅有少量形态规则的晶间孔和收缩缝。

火山碎屑岩具粒度各异的颗粒支撑结构。碎屑颗粒的成分、大小及形态、相互之间的镶嵌关系、充填物的成分特点等均控制着原生孔隙类型。火山碎屑颗粒形态越复杂、粒度差别越大、越坚硬及排列杂

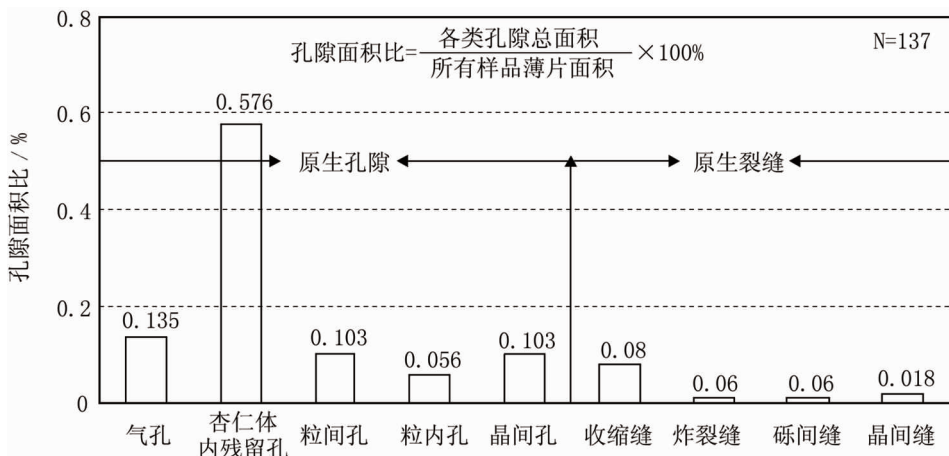


图 5 准噶尔盆地滴西地区石炭系火山岩原生储集空间面孔率直方图

Fig.5 Surface porosity of Carboniferous volcanic rock primary reservoir spaces in Dixi area, Junggar basin

表 1 滴西地区石炭系火山岩火山作用强度与原生储集空间类型关系
 Table 1 The relationship between volcanism intensity and primary reservoir spaces of Carboniferous volcanic rocks in Dixi area

火山作用	岩相	样品数	平均面孔率/%		原生孔隙/%				原生裂缝/%			
			气孔	杏仁体内残留孔	粒间孔	粒内孔	晶间孔	收缩缝	炸裂缝	砾间缝	晶间缝	
火山侵入	次火山岩相	33	4.74	0	0	0	11.38	0	0.46	0	2.26	
溢流式	溢流相	47	5.3	15.18	62.15	0	0	1.1	0.51	0.28	0	0
	爆 溅落亚相	4	1.2	0	0	43.75	0	0	18.1	0	2.5	0
爆发式	发 热基浪亚相	15	2.29	0	5.98	1.36	2.45	0	0.09	0	0	0
	相 空落亚相	20	2.64	0.3	0.84	10.1	0.2	0.79	1.71	0.6	0	0

注:原生孔隙和原生裂缝的百分比指占全部孔隙(原生+次生)的百分含量。

乱,粒间孔和砾间缝就越发育。

火山岩发育各种构造类型,不同的火山岩构造类型决定了原生孔隙的形态、数量、孔隙间排列的方式、孔隙分布范围等,例如熔岩顶部亚相的熔渣状构造,其内部发育炸裂缝、原生气孔和收缩缝^[9],中部亚相块状构造发育,除收缩原生节理发育外,一般气孔、炸裂缝等原生孔隙均不太发育。

4.1.4 火山岩固结方式决定原生储集空间类型及组合

不同类型的火山岩经历不同的固结方式,固结方式在一定程度上影响原生储集空间类型及组合方式。

火山熔岩:以冷凝固晶方式为主,原生孔隙的类型及其组合主要取决于冷凝速度。岩浆冷凝时与冷介质相接触,冷凝固结速度快,有利于挥发性组分的逸出,易于形成气孔与冷凝收缩缝等原生储集空间。

次火山岩:以缓慢结晶方式为主,岩浆中挥发性组分可通过缓慢释放的方式排放到裂隙发育的围岩中,粒间孔、晶内孔及晶内解理缝等相对发育,收缩缝及炸裂缝等欠发育。

火山碎屑岩:以火山碎屑物胶结和熔结为主,火山碎屑的类型及降落堆积方式、胶结物类型和胶结方式的差异均不同程度地制约着原生孔缝的形成与分布。大型颗粒的快速坠落堆积有利于形成砾间孔、砾间缝等原生储集空间;细粒物质的缓慢沉降及上覆物质的快速堆积则不利于原生储集空间的形成;熔结碎屑岩的碎屑与胶结物成分及熔结强度与方式,制约着原生储集空间的类型和数量。

火山碎屑沉积岩:以尘级火山灰或者泥质胶结为主,细的胶结物填隙在相对较粗级的碎屑颗粒间,总体上原生的储集空间发育程度差,成岩收缩缝为

主要的原生储集空间。

4.2 结 论

(1)滴西地区石炭系火山岩原生储集空间类型可分为气孔、杏仁体内残留孔、粒间孔、粒内孔、晶间孔等 5 类原生孔隙,以及收缩缝、炸裂缝、砾间缝、晶间缝等 4 类原生裂缝。

(2)孔缝组合方式、发育程度及空间分布取决于火山喷发环境、火山作用强度及作方式、火山岩结构构造特点及火山岩固结方式。

(3)原生储集空间形成在岩浆形成及演化的不同阶段具有一定规律性。其中,岩浆喷溢地表阶段与冷凝成岩阶段是形成原生孔缝的主要时期;岩浆期后阶段是减少原生孔缝时期;结晶速度快慢是形成不同孔缝类型的关键。

因各个阶段很难重现,造成证据不是很充分,拟设想在实验室内利用氮气、氢气和甲烷合成模拟孔隙,高温高压流体模拟岩浆,对四阶段的孔隙状态进行观察研究,随后,改变模拟孔隙的成分、流体的流动速度及环境的温度压力来分析孔隙变化特征,进而完善原生储集空间形成及演化的状态。

参考文献(References):

[1] 匡立春,吕焕通,王绪龙,等.准噶尔盆地天然气勘探实践与克拉美丽气田的发现[J].天然气工业,2010,30(2):1-6.
 Kuang Lichun, Lv Huantong, Wang Xulong, et al. Exploration of volcanic gas reservoirs and discovery of the Kelameili gas field in the Junggar Basin[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(2):1-6(in Chinese with English abstract).
 [2] 王璞琪,郑常青,舒萍,等.松辽盆地深层火山岩岩性分类方案[J].大庆石油地质与开发,2007,26(3):6-14.

- Wang Pujun, Zheng Changqing, Shu Ping, et al. Classification of deep basin volcanic rocks of the Songliao Basin, upper Jurassic-lower Cretaceous, NE China [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2007, 26(3):6-14(in Chinese with English abstract).
- [3] 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 Pujun, Chi Yuanlin, Liu Wanzhu, 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(in Chinese with English abstract).
- [4] 王璞珺, 吴河勇, 庞彦明, 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 Pujun, Wu Heyong, Pang Yanming, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: sequence, 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(in Chinese with English abstract).
- [5] 吴昌志, 顾连兴, 任作伟, 等. 辽河油田欧利坨子潜火山岩及其成藏机制[J]. *地质论评*, 2003, 49(2):162-167.
- Wu Changzhi, Gu Lianxin, Ren Zuowei, et al. Subvolcanic trachyte porphyry at Oulituozi in the Liaohe basin and its mechanism for hydrocarbon reservoir formation [J]. *Geological Review*, 2003, 49(2):162-167(in Chinese with English abstract).
- [6] 蔡东梅, 孙立东, 齐景顺, 等. 徐家围子断陷火山岩储层特征及演化规律[J]. *石油学报*, 2010, 31(3):400-407.
- Cai Dongmei, Sun Lidong, Qi Jingshun, et al. Reservoir characteristics and evolution of volcanic rocks in Xujiaweizi fault depression[J]. *Acta Petroli Sinica*, 2010, 31(3):400-407(in Chinese with English abstract).
- [7] 黄玉龙, 王璞珺, 舒萍, 等. 松辽盆地营城组中基性火山岩储层特征及成储机理[J]. *岩石学报*, 2010, 26(1):82-92.
- Huang Yulong, Wang Pujun, Shu Ping, et al. Characteristics and formation mechanism of the Cretaceous intermediate and mafic volcanic reservoirs in Songliao Basin, NE China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(1):82-92(in Chinese with English abstract).
- [8] Patricia Sruoga, Nora Rubinstein, G Hinterwimmer. Porosity and permeability in volcanic rocks: a case study on the Serie Tobifera, South Patagonia, Argentina [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2004, 132(1):31-43.
- [9] Patricia Sruoga, Nora Rubinstein. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from the Austral and Neuquén basins, Argentina[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(1):115-129.
- [10] 刘为付, 朱筱敏. 松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩储集空间演化[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(1):44-49.
- Liu Weifu, Zhu Xiaomin. Reservoir space evolution of volcanic rocks in the Yingcheng formation of the Xujiaweizi fault depression, the songliao basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(1):44-49(in Chinese with English abstract).
- [11] 谢庆宾, 韩德馨, 朱筱敏, 等. 三塘湖盆地火成岩储集空间类型及特征[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(1):84-86.
- Xie Qinbin, Han Dexin, Zhu Xiaomin, et al. Reservoir space feature and evolution of the volcanic rocks in the Santanghu basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(1):84-86(in Chinese with English abstract).
- [12] 杨金龙, 罗静兰, 何发歧, 等. 塔河地区二叠系火山岩储集层特征[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(4):44-47.
- Yang Jinglong, Luo Jinglan, He Faqi, et al. Permian volcanic reservoirs in the Tahe region [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(4):44-47(in Chinese with English abstract).
- [13] 刘喜顺, 郭建华, 张晓萍. 准噶尔盆地西北缘火山岩岩石学与孔隙特征及演化模式研究[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(4):525-530.
- Liu Xishun, Guo Jianhua, Zhang Xiaoping. Lithology, porosity characteristics and evolution model of volcanic rocks in Northwest Junggar Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(4):525-530(in Chinese with English abstract).
- [14] 杨双玲, 刘万洙, 于世泉, 等. 松辽盆地火山岩储层储集空间特征及其成因[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2007, 37(3):506-512.
- Yang Shuanglin, Liu Wanzhu, Yu Shiquan, et al. Pore textures and its causes of volcanic reservoir in Songliao Basin [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2007, 37(3):506-512(in Chinese with English abstract).
- [15] 戴亚权, 罗静兰, 林潼, 等. 松辽盆地北部升平气田营城组火山岩储层特征与成岩演化[J]. *中国地质*, 2007, 34(3):528-535.
- Dai Yaquan, Luo Jinglan, Lin Tong, et al. Reservoir characteristics and petrogenesis of volcanic rocks in the Yingcheng Formation of the Shengping gas field, northern Songliao basin [J]. *Geology in China*, 2007, 34(3):528-535(in Chinese with English abstract).
- [16] 蔡忠贤, 陈发景, 贾振远. 准噶尔盆地的类型和构造演化 [J]. *地学前缘*, 2000, 7(4):431-440.
- Cai Zhongxian, Chen Fajing, Jia Zhenyuan. Types and tectonic evolution of Junggar Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4):431-440(in Chinese with English abstract).
- [17] 陈发景, 汪新文, 王新伟. 准噶尔盆地的类型和构造演化 [J]. *地学前缘*, 2005, 12(3):77-89.
- Chen Fajing, Wang Xinwen, Wang Xinwei. Prototype and tectonic evolution of the Junggar basin, northwestern China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3):77-89(in Chinese with English abstract).

- English abstract).
- [18] 王洛, 李江海, 师永民, 等. 准噶尔盆地滴西地区石炭系火山岩识别与预测[J]. 岩石学报, 2010, 26(1):242-254.
Wang Luo, Li Jianghai, Shi Yongmin, et al. The identification and prediction of Carboniferous volcanic rocks in Dixi area, Junggar basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(1):242-254(in Chinese with English abstract).
- [19] 毛治国, 邱才能, 朱如凯, 等. 准噶尔盆地石炭纪火山岩岩石地球化学特征及其构造环境意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(1):207-216.
Mao Zhiguo, Qiu Caineng, Zhu Rukai, et al. Geochemical characteristics and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks in Junggar basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(1):207-216 (in Chinese with English abstract).
- [20] 熊益学, 郗爱华, 冉启全, 等. 滴南凸起区石炭系火山岩岩性特征及其意义[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(6):1-7.
Xiong Yixue, Xi Aihua, Ran Qiquan, et al. Characteristics and significance of Carboniferous volcanic rocks in Dinan uplift[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2011, 23 (6):1-7 (in Chinese with English abstract).
- [21] 顾连兴, 任作伟, 吴昌志, 等. 辽河盆地欧利坨子斑岩型油气藏的确定及其意义[J]. 高校地质学报, 2001, 7(1):118-120.
Gu Lianxin, Ren Zuowei, Wu Changzhi, et al. Recognition of the Oulituozhi porphyry-type oil & gas reservoir in Liaohu basin and its significance [J]. *Geological Journal of China*, 2001, 7 (1):118-120 (in Chinese with English abstract).
- [22] 陈庆春, 朱东亚, 胡文暄, 等. 试论火山岩储层的类型及其成因特征[J]. 地质论评, 2003, 49(3):286-291.
Chen Qin Chun, Zhu Dongya, Hu Wenxuan, et al. Classification and characteristics of oil and gas reservoir beds of volcanic rocks[J]. *Geological review*, 2003, 49(3):286-291(in Chinese with English abstract).
- [23] 张艳, 舒萍, 王璞珺, 等. 陆上与水下喷发火山岩的区别及其对储层的影响——以松辽盆地营城组为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(6):1259-1265.
Zhang Yan, Shu Ping, Wang Pujun, et al. Comparison between subaerial and subaqueous volcanic rocks and the reservoir significance——Taking Yingcheng Formation in Songliao basin as example [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2007, 37(6):1259-1265(in Chinese with English abstract).
- [24] 赵霞, 贾承造, 张光亚, 等. 准噶尔盆地陆东-五彩湾地区石炭系中、基性火山岩地球化学及其形成环境[J]. 地质前缘, 2008, 15(2):272-279.
Zhao Xia, Jia Chengzao, Zhang Guangya, et al. Geochemistry and tectonic settings of Carboniferous intermediate-basic volcanic rocks in Ludong-Wucaiwai, Junggar basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(2):272-279(in Chinese with English abstract).
- [25] 谭佳奕, 吴润江, 张元元, 等. 东准噶尔卡拉麦里地区巴塔玛依内山组火山岩特征和年代确定[J]. 岩石学报, 2009, 25(3):539-546.
Tan Jiayi, Wu Runjiang, Zhang Yuanyuan, et al. Characteristics and geochronology of volcanic rocks of Batamayineishan Formation in Kalamaili, Eastern Junggar, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(3):539-546(in Chinese with English abstract).
- [26] 闫林, 周雪峰, 高涛, 等. 徐深气田兴城开发区火山岩储层发育控制因素分析[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(2):9-13.
Yan Lin, Zhou Xuefeng, Gao Tao, et al. Study on control factors for forming volcanic reservoir in Xingcheng development area of Xushen Gas Field [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2007, 26(2):9-13(in Chinese with English abstract).
- [27] Sahagian D I, Proussevitch A A. Analysis of Vesicular Basalts and lava Emplacement Processes for Application as a Paleobarometer/Paleoahimeter[J]. *The Journal of Geology*, 2002.v110:671-685.

The formation mechanism and four-stage evolution of volcanic primary reservoir spaces: a case study of Carboniferous volcanic rocks in Dixi area, Junggar basin

XIONG Yi-xue¹, XI Ai-hua¹, RAN Qi-quan², LIU Xiao-hong¹,
ZHANG Yu-lin¹, SUN Yuan-hui², DAI Dong-dong³

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China;
2. Institute of Petroleum Exploration and Development of China, Beijing 100083, China; 3. Northwest Branch of Research Institute of Petroleum
Exploration & Development, Lanzhou 730020, Gansu, China)

Abstract: Volcanic reservoir is usually of dual porosity medium character. The reservoir spaces can be classified into two genetic categories: primary reservoir spaces (PRS) and secondary reservoir spaces (SRS), and most of the latter were generated from the former by late diagenesis. Based on extensive identification and description of casting thin section, this paper divided the PRS of Carboniferous igneous rocks in Dixi area into five types of primary pores (gas pores, residual amygdale, intergranular pores, intragranular pores and intercrystal pores) and four types of primary fractures (shrinkage joint, explosive fracture, intergravel crack and intercrystal crack). In combination with the influencing factors such as environment and intensity of eruption and texture and structure of rocks and according to the evolution features of magma at different stages, the formation of PRS is divided into four stages: "magma chamber" stage, outpouring surface stage, diagenetic stage of condensation and deuteric hydrothermal stage, of which the outpouring surface stage and diagenetic stage of condensation were the main periods to form primary apertures while the hydrothermal stage was the period when the number of apertures was reduced. The speed of crystallization constituted the key factor for the formation of different types of PRS. The study of the formation mechanism of igneous PRS can reveal the distribution of SRS and is of great significance in the prognosis of favorable reservoir zones.

About the first author: XIONG Yi-xue, male, born in 1983, Ph.D candidate, engages in the research on reservoir genesis and oil and gas reservoir description.