

文章编号:1000-0550(2011)03-0537-07

三塘湖盆地火山岩中沸石的成因及其储层意义

梁 浩^{1,2} 罗权生^{1,2} 孔宏伟² 范谭广² 任忠跃² 郭克诚²

(1. 中国地质大学 资源学院 武汉; 2. 吐哈油田分公司 勘探开发研究院 新疆哈密 839009)

摘 要 三塘湖盆地火山岩中沸石分布广泛,石炭系—上二叠统火山岩储层发育层系主要为哈尔加乌组、卡拉岗组、条湖组。储层储集空间类型以次生溶蚀孔缝为主,构造裂缝型和整合面溶蚀为辅。通过对研究区内所选井的岩石组份统计,发现火山岩岩性以中基性熔岩为主,杏仁体较发育,杏仁充填孔中以沸石类易溶矿物为主,为后期溶蚀作用的发生创造了条件。研究表明,浊沸石的形成主要有火山热液成因、交代蚀变成因和火山物质水化成因等。高 pH 值对浊沸石的形成又特别有利。

通过薄片及电镜观察,结合 X 射线衍射分析、电子探针分析,确定了沸石的类型,探讨了沸石的成因。指出沸石类型以浊沸石为主,次为片沸石和方沸石,充填于气孔(杏仁体)和裂缝中,主要通过低温火山热液自生沉淀形成。

赋存于三塘湖盆地火山岩杏仁体和裂缝中的沸石类矿物,对储层性能的影响主要表现为两个方面:沸石的先期充填降低了孔渗条件,后期浊沸石的溶蚀才是改善储集性能的关键。通过分析沸石含量与面孔率及孔隙度的关系,指出火山岩储层中浊沸石充填为后期溶蚀造孔提供了物质基础,浊沸石的溶蚀是形成次生孔隙的关键。因此应加大对该区火山岩中浊沸石发育带的预测,为寻找潜在的有利储层提供方向。

关键词 火山岩 浊沸石 溶蚀作用 油气富集

第一作者简介 梁浩 男 1966 年出生 博士研究生 石油地质 E-mail: lqs2765200@163.com

中图分类号 P619.21+7 TE122.2 **文献标识码** A

国内外对砂岩储层中沸石类成岩自生矿物的研究和报道较多^[1,2-7],但对沸石在火山岩中的成因、分布及其油气储集意义的研究较少。因此,加强对火山岩储层的沸石矿物学特征及分布规律研究不仅具有理论意义,同时,对预测次生孔隙发育带和油气富集带具有现实指导意义。三塘湖盆地钻井揭示火山岩厚度在 4 000 m 以上,火山活动具有多期次、间歇性喷发的特点^[8]。目前,已经有多口井在不同层系的火山岩中获得工业油流或低产油流(图 1)。

1 三塘湖盆地火山岩发育的地质背景及分布特征

三塘湖盆地及其周缘地区早石炭世岩浆活动是古大洋俯冲作用引起亏损地幔部分熔融的结果,古大洋闭合可能发生在早石炭世维宪期(约 340 Ma 左右);早石炭世维宪期后,三塘湖区转为后碰撞伸展裂谷构造环境(板内),相应形成了石炭世—二叠纪火成岩组合。

三塘湖盆地及其周缘的石炭世—二叠纪火山岩岩相有爆发相和溢流相,主要岩石类型以拉斑玄武岩、玄武安山岩、安山岩为主,见有少量的英安岩和流

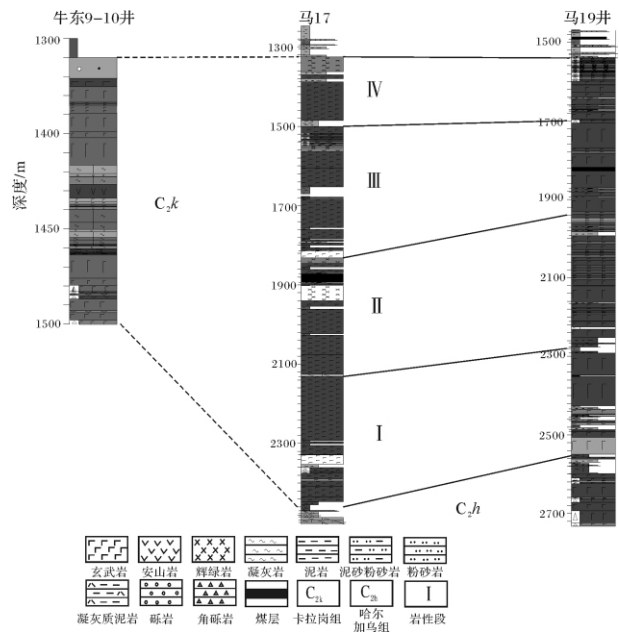


图 1 三塘湖盆地主要火山岩储层卡拉岗组岩性柱状图
Fig. 1 The lithological column of Kalagang Group of main volcanic reservoir

纹岩。三塘湖盆地中央坳陷带内石炭系—上二叠统火山岩以火山熔岩为主,次为火山碎屑岩。火山熔岩

收稿日期:2010-08-20; 收修改稿日期:2010-10-22

主要包括中基性的玄武岩、安山岩和二者的过渡类型。岩石的主要造岩矿物为：斜长石、辉石，前者含量30%~90%，平均大于65%；后者约15%。

三塘湖盆地石炭系—上二叠统火山岩储层发育层系主要为哈尔加乌组、卡拉岗组、条湖组，储层储集空间类型以次生溶蚀孔缝为主，构造裂缝型和不整合

面溶蚀为辅。通过对研究区内所选井的岩石组分统计，发现火山岩岩性以中基性熔岩为主，杏仁体较发育，杏仁充填孔中以沸石类易溶矿物为主，为后期溶蚀作用的发生创造了条件。作者认为，沸石溶蚀孔发育带控制了本区优质储层的分布及油气的富集。

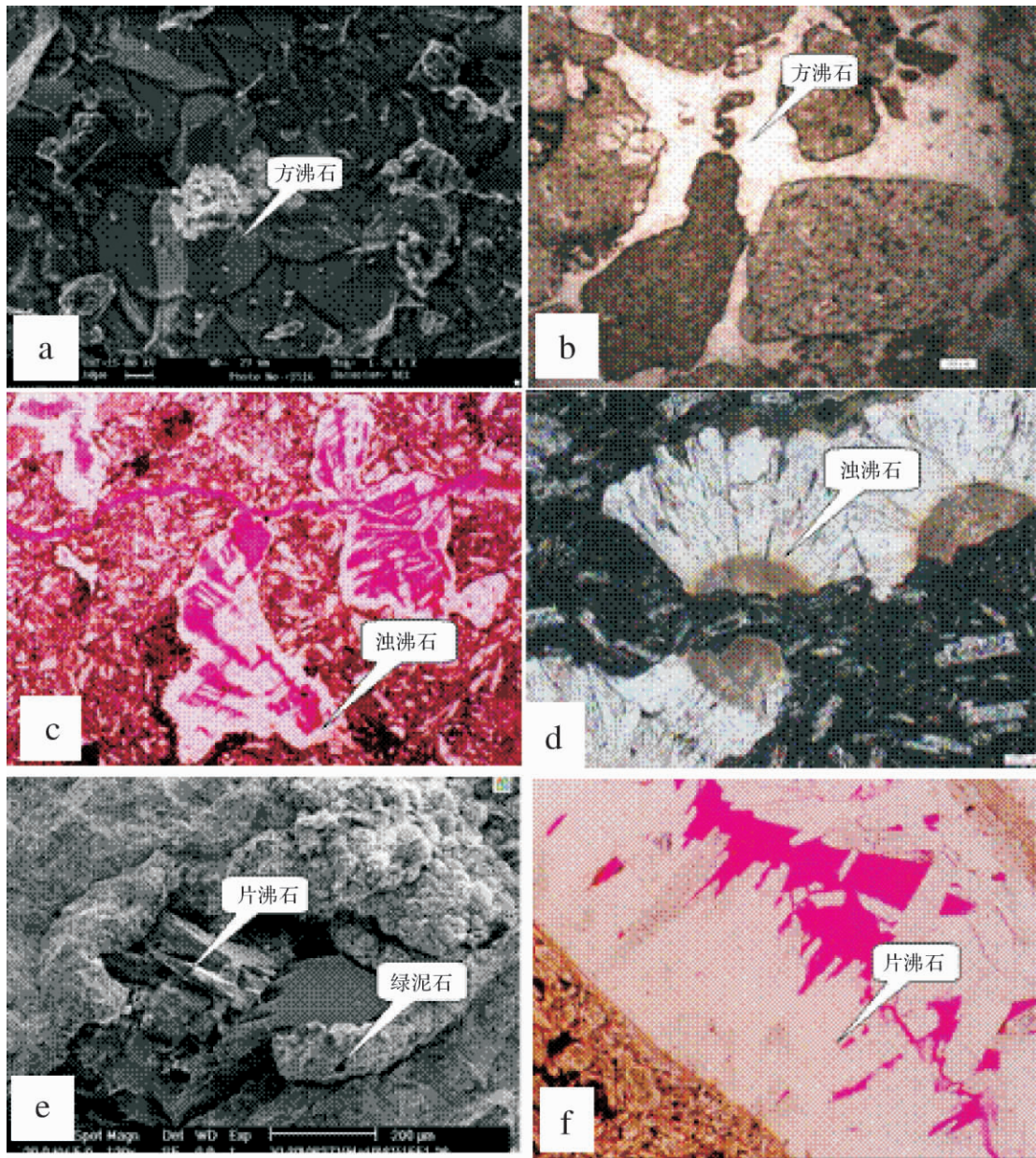


图2 三塘湖盆地火山岩储层中沸石类型

Fig. 2 Zeolite types and zeolite vein on volcanic reservoirs in Santanghu Basin

- a. 火山角砾间方沸石 扫描电镜, ×80 井东9-10井(C₂k); b. 火山角砾间方沸石胶结物, 单偏光, ×80 井东9-10井(C₂k); c. 杏仁体内浊沸石沿两组解理缝的溶蚀现象, 马19井, 铸体薄片, ×80; d. 杏仁体内浊沸石的放射状集合体及黄浊沸石化现象, 马19井, 铸体薄片, ×80; e. 杏仁体内片沸石垂直气孔壁生长及绿泥石衬边, 马19井, 扫描电镜, ×120; f. 片沸石晶体垂直气孔壁发育现象, 剩余气孔(内含油), 马205井, 铸体薄片, ×80。

2 沸石矿物类型的确定

沸石主要充填于中性火山熔岩的气孔、裂缝和火山碎屑岩粒间缝中。沸石类矿物占岩石体积总量的5%~32%，平均18%。

在岩芯和铸体薄片、扫描电镜图像观察的基础上，结合全岩X衍射和电子探针分析等手段，确定研究区火山岩储层中常见的沸石矿物有浊沸石、片沸石和方沸石。以浊沸石为主、平均含量10%。

沸石矿物一般都呈白色、浅灰色和浅红色，在偏光显微镜下，普遍呈片状、板状、针状集合体产出，低负突起，晶体表面干净，干涉色为一级灰到一级白，平行消光或消光角极小。扫描电镜下，呈柱状或板柱状自形晶体，晶粒大小在15~30 μm之间，见穿插双晶，多呈集合体形式充填于孔隙中。从结晶角度上看，它们多为单斜或斜方晶系，具有浊沸石和片沸石的形态特征。不同种类沸石的光性特征存在一定差异，如方沸石为等轴晶系、偏光镜下呈粒状均质体，正交镜下全消光、电镜图像呈四角三八面体晶形与别的沸石相区别(图2a、1b)；浊沸石多呈柱状、集合体呈放射状，消光角较大，常见有两组解理。有的浊沸石边缘常呈黄褐色，此系浊沸石部分脱水而形成的黄浊沸石(图2c、图2d)；片沸石单晶呈片状或板状，常呈平行连生的集合体，(010)解理完全，明显的负突出，干涉色低，近于长石的干涉色，当薄片与解理垂直时，具平行消光，负延性。片沸石脱水后常

变成浊沸石、方沸石、钠长石和葡萄石等。从整个地区来看，片沸石产出时间较早，延续时间较长(图2e、图2f)。

电子探针成分定量分析结果，组成矿物氧化物含量分别为SiO₂，44.38%~63.54%，平均54.44%；Al₂O₃，11.70%~25.83%；CaO，3.38%~14.83%。并有少量的Na、K、Mg、Fe。对比国内其他地区沸石电子探针结果，可以看出，研究区以浊沸石为主，占50%；次为片沸石占44%。从硅铝比值的大小来看，除少数为高硅沸石外，大部分介于2~4之间，属于中—低硅沸石(表1)，体现了中性火山岩的组成特点。全岩X衍射结果统计结果与电子探针结果基本一致。由此可见本区沸石热稳定性差，耐酸性较差，易于溶解。

3 沸石矿物的产状、成因及分布特征

3.1 产状

从岩芯和偏光显微镜下观察，沸石主要以三种形态产出：杏仁体、脉体和胶结物(图2)。以杏仁体的形式产出最常见，主要存在于杏仁玄武岩、安山岩及碎裂玄武岩、安山岩中。杏仁体的形态有圆状、椭球状、云朵状、管状等。杏仁体内部构造复杂多样，多数表现出皮壳状杏仁构造、梳状、射束状杏仁构造、晶簇状杏仁构造等。有些气孔完全被单纯的浊沸石、片沸石充填，有些杏仁体内不同沸石或沸石与葡萄石共生，有些则伴随有绿泥石的衬边(图2e)，在同一熔岩

表1 杏仁体内沸石矿物电子探针定量分析数据

Table 1 Data of samples analyzed by electronic probe analysis on zeolite inside of the amygdala

资料来源	SiO ₂ /%	Al ₂ O ₃ /%	FeO/%	MgO/%	CaO/%	Na ₂ O/%	K ₂ O/%	总量/%	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Si/Al	沸石类型
M17	54.57	25.25	0.41	0.04	1.82	4.66	0.46	87.22	2.16	1.94	浊沸石
	57.11	16.19	0	0	8.3	0.12	0	81.72	3.53	3.16	片沸石
M19	49.34	20.78	0	0.01	10.44	0.26	0.16	80.99	2.37	2.13	浊沸石
	49.96	20.13	0	0	10.52	0.15	0.16	80.92	2.48	2.23	浊沸石
	58.32	16.84	0.07	0	6.21	0.59	0.36	82.59	3.46	3.11	片沸石
	63.45	14.28	0	0.03	5.23	0.34	0.21	83.54	4.44	3.99	片沸石
	51.99	21.77					0.07	85.75	2.39	2.14	浊沸石
	50.52	21.08				0.06	0.17	83.44	2.40	2.15	浊沸石
	56.4	17.61	0	0.07	7.12	0.17	0.51	81.88	3.20	2.87	片沸石
	49.38	20.82	0.02	0	11.55	0.04	0.03	81.84	2.37	2.13	浊沸石
	44.38	25.83			14.83	0.03		85.07	1.72	1.54	浊沸石
山东潍县	67.96	12.97	1.49	0.67	2.62	1.8	2.85		5.24	4.70	丝光沸石
浙江缙东沸石矿	79	11			5.84	0.5	2.9		7.18	6.44	丝光沸石
	76	12.61			9.51	0.23	1.18		6.03	5.41	斜发沸石
鸡西地区	53.89	21.85	0.01		10.33	0.26	0.18		2.47	2.21	浊沸石

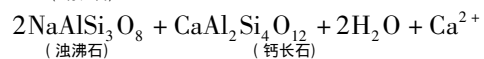
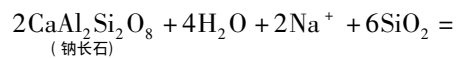
单层内,常因杏仁体含量及形态的不同而出现成层现象,即中、下部不含或少含圆形小杏仁体,向上杏仁体逐渐增多且演变为长轴方向垂直或基本垂直于熔岩层面的椭圆形杏仁体,顶部的杏仁体大且多,形态复杂。气孔和裂缝充填物沸石矿物类型与岩体性质关系密切,总体上来讲,火山熔岩气孔和裂缝中充填以浊沸石、片沸石居多,浊沸石通常被溶蚀,形成次生溶蚀孔缝;火山碎屑岩中裂缝中充填的沸石,以及少量以胶结物形式充填于角砾之间的沸石则主要以方沸石为主,溶蚀现象少见。

3.2 成因探讨

研究表明,浊沸石的形成主要有火山热液成因、交代蚀变成因和火山物质水化成因等^[9]。高pH值(9.1~9.9)对浊沸石的形成又特别有利^[6]。

充填于气孔(以杏仁体为主)中的沸石是研究区的主要类型。形成杏仁体需要两个必备条件^[10]:一是封闭稳定的气孔空间,这需要低压的火山喷发环境和高挥发分的岩浆条件;其次需要火山期后相对稳定的热水溶液来源。根据区域地质研究,三塘湖火山岩形成于陆缘浅水环境^[11],具备了这两个条件,因此形成了杏仁体极其发育的杏仁状火山岩。在岩浆从地壳深处或地幔的上侵过程中,伴随温度、压力的降低,挥发组分的溶解度减小,岩浆中大量的水热蒸气的逸出或封闭,使岩石产生无数完整和破裂的气泡,同时在岩浆冷却过程中气泡的周围产生较多的微裂隙,为火山后期热液流体的进入和沉淀提供了通道和空间。杏仁体形成的地质作用以充填作用为主,即在火山活动后期或间歇期,由火山活动所提供的热水流体,长期、反复在复杂地质条件作用下淋滤先期形成的中基性火山岩体并沿断裂破碎带或岩石中的裂隙运移、演化、富集。当温度、压力、热水流体和岩石化学组分的性质、浓度以及活度等物理、化学条件发生变化并达到适宜条件时,富含 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子的碱性流体,在中基性火山熔岩的气孔内,发生沉淀、充填、交代作用,在孔洞、孔隙中逐渐生成浊沸石、方解石,并逐渐沉积成集合体。在岩浆后期热液的冷凝过程中,随着温度的降低,结晶温度高的富含铁、镁的绿泥石先结晶,在气孔壁上形成衬边,随后结晶温度低的沸石等结晶析出,充填在气孔和裂缝中。因此,研究区的沸石可能以火山低温热液的化学反应沉淀的自生成因为主。主要证据:(1)杏仁体内部富含沸石、绿泥石、绿帘石和黄铁矿等低温热液矿物;(2)杏仁体周边具有明显的热液蚀变晕圈结

构,是火山期后热液活动及热液蚀变的标志;(3)围岩蚀变普遍,如橄榄石伊丁石化、斜长石粘土化、绢云母化等;(4)沸石等充填于裂缝形成脉体是热液活动最直接的证据;(5)从斜长石水化反应(以钙长石为例)过程可以看出,富钠的水介质环境是反应持续发生的基本条件,但从电子探针分析数据(表1)可以看出,岩体中钠的含量很少,由此推断,水化反应并不是形成浊沸石的主要途径。当然,不排除长石的溶蚀提供了 Na 、 Ca 等金属阳离子,为浊沸石的形成提供了必要的物质基础的可能性。



3.3 分布特征

根据牛东9-10、9-8和马19、马40取芯资料统计,研究区沸石纵向上呈旋回分布特征。卡拉岗组顶部不整合面附近及哈尔加乌组烃源岩毗邻段出现沸石含量异常段,且呈现出随着深度增大,方沸石含量略高于浊沸石的特征。从火山作用类型上分析,同一火山作用喷发期,溢流相中浊沸石含量高、爆发相中方沸石含量高的特点^[8]。同一地层单元,平面上分布表现出远离生烃中心浊沸石含量减少的态势。

4 沸石的发育对储层及油气富集的影响

以上分析初步看出,赋存于三塘湖盆地火山岩杏仁体和裂缝中的沸石类矿物,对储层性能的影响主要表现为两个方面:沸石的先期充填降低了孔渗条件(片沸石的半充填作用有利于剩余孔隙的保存),却为后期溶蚀奠定了物质基础,而后期浊沸石的溶蚀才是改善储集性能的关键。

根据岩芯观察、铸体薄片鉴定、扫描电镜、成像测井等资料综合分析认为,研究区火山岩储集空间类型可分为原生储集空间和次生储集空间2大类,以后者为主^[12,13]。通过对三塘湖盆地马朗凹陷 C_2k 火山岩油层200余块铸体薄片统计分析(表2、图3),可知以杏仁体内浊沸石溶蚀孔构成研究区主要的次生储集空间,储层物性最好,孔隙度平均大于15%,渗透率大于 $10 \times 10^{-3} \mu m^2$,浊沸石溶蚀作用对次生孔隙贡献最高的可达93%,其次是基质溶孔,次生孔隙贡献率为7%~12%,斑晶基溶孔贡献率甚微,可见杏仁体中浊沸石的溶解作用是造成石炭系火山岩储层物性改善的主要原因。孔缝组合构成了研究区最好的

表 2 浊沸石溶孔及含油气统计

Table 2 The laumontite dissolution porosity and hydrocarbon-bearing bed

井号	井段 /m	样品数 /个	项目 /%	面孔率 /%	孔隙度 /%	孔隙类型				试油结论			
						斑晶溶孔 /%	浊沸石溶孔 /%	基质孔 /%	裂缝 /%				
牛东 9-10	1550 ~ 1555	10	平均值	6.00	15.30		4.5	0.7	0.5	油层			
			对次生孔隙贡献率								78.9	12.3	8.8
			占总孔隙度								75	11.7	8.3
马 19	1537.9 ~ 1544.8	20	平均值	8	20		7	0.3	0.2	油层			
			对次生孔隙贡献率								93.3	4.0	2.7
			占总孔隙度								87.5	3.75	2.5
牛东 78-121	1534.06 ~ 1541.58	10	平均值	3.5	11.03	0.1	3	0.2	0.2	油层			
			对次生孔隙贡献率								88.2	5.9	5.9
			占总孔隙度								85.7	5.7	5.7

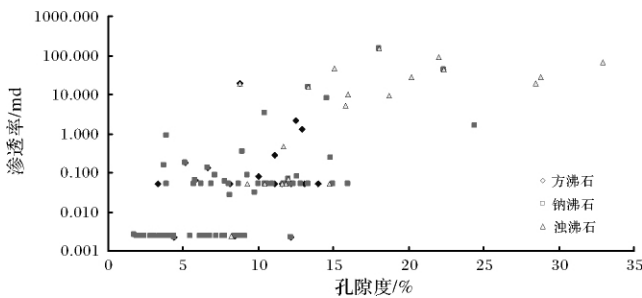


图 3 杏仁体内沸石类型与储层物性关系

Fig. 3 Relation between reservoir properties and zeolite inside of the amygdala

油气储集类型。

由于浊沸石是不稳定的易溶矿物,当水介质条件变化时,特别是由碱性向酸性转化时,会受到不同程度的溶蚀。这主要与沸石化学成分晶体结构有关,浊沸石 Ca^{2+} 离子易于流失,尤其是遇酸性介质反应加速。其次,沸石晶体大多呈纤维状、针状、叶片状、放射状或鳞片状集合体,这种结构有利于溶蚀。溶蚀作用主要沿矿物的解理缝、杏仁体边缘收缩缝,以及裂缝进行。从面孔率与杏仁体含量关系来看,随着杏仁体含量增加面孔率呈增大趋势(图 4),当杏仁体含量大于 20% 时,面孔率迅速增大,一般大于 3%。由此可见高杏仁体含量是影响火山岩储层优劣的重要因素之一。卡拉岗组(C_2k)杏仁状安山岩和自碎角砾状安山岩杏仁体含量一般在 20% ~ 25%,杏仁体大小为 0.5 ~ 7 mm,对应孔隙度为 18% ~ 30%。其次,玻璃质含量也是影响火山岩储集性能的重要因素。统计结果显示玻璃质含量在 20% ~ 40% 之间是显孔发育的优势区间。这种关系表明随着玻璃质增加火山岩相及岩性发生变化,即由火山溢流相逐渐过渡为爆发相,杏仁体含量减少;火山岩性也由火山熔岩逐渐

变为火山角砾岩,因此面孔率也随之逐渐降低。另外,哈尔加乌组(C_2h)水下喷溢形成的火山岩,其杏仁体含量明显低于陆相喷溢形成的火山岩。说明陆上喷发更有利于杏仁体的发育,进而影响火山岩储集性能。

构造不整合面、火山活动间歇面和断裂都是地下热液体和大气降水等流体活动的主要通道^[14]。研究区表现出不整合面及火山活动间歇面附近溶蚀作用强,储集物性好的特点。由此看来,表生淋滤溶蚀作用是影响研究区火山岩储集性能的重要因素,进而控制了优质储层的发育及油气富集。大量溶蚀孔隙边缘出现黑色氧化铁泥质,示底构造均是地表、近地表氧化环境下淋滤溶蚀最好的证据^[15]。三塘湖盆地火山岩油气显示和含油层主要分布在石炭系顶部不整合面以下 300 m 范围或不同火山喷发间歇面附近。马 19 井、马 17 井储层属于典型的风化淋滤型储层,最大孔隙度可达到 35%,而未遭受风化的火山熔岩的孔隙度普遍很低,为 3% ~ 8%,渗透率小于 $0.05 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。裂缝为大气淡水下渗、地下水及有机酸性的运移提供了运移通道,间接地为裂缝附近火山岩发生溶蚀创造了条件。地表水在其下渗淋滤过程中带走溶解物质,同时也降低了储层中流体的 pH 值,加速沸石的溶蚀。因此排烃指向区和风化淋滤斜坡带是沸石溶蚀的最有利区域,也控制了油气的运聚方向。例如马 19 井 1 545 ~ 1 553 m 井段,浊沸石含量最高可达 25%,孔隙度最高可达 25%; 1 515 ~ 1 543 m 井段,浊沸石含量最高可达 15%,孔隙度最高可达 19.5%。

5 结论

(1) 三塘湖盆地已经在上石炭统和下二叠统火

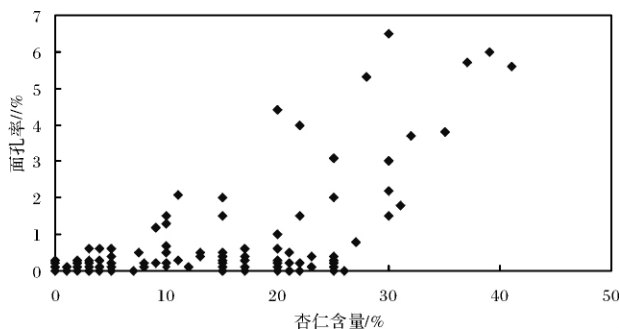


图4 三塘湖盆地 C_2k 火山熔岩杏仁含量与面孔率关系

Fig. 4 The relationship between volcano lava amygdaloid content and thin section porosity of Santanghu Basin C_2k

山岩中发现了三套有利的含油储层。储层中发现的沸石类型主要为浊沸石,其次为片沸石、还有少量的方沸石和钠沸石,它们呈条状、板状、放射状集合体主要充填于中基性火山岩的气孔和裂缝中。

(2) 产于杏仁体内以及脉体(充填于裂缝中)的两种浊沸石类型主要属于火山热液低温冷凝结晶的产物,系与岩浆有关的化学反应沉淀的自生成因,形成时间晚于结晶温度高的富含铁、镁的绿泥石。

(3) 浊沸石为主的杏仁以及沸石脉体为后期溶蚀造孔提供了良好的物质基础,浊沸石的次生溶蚀作用大大改善了储集性能,是形成次生孔隙储集体的关键,也控制了油气的富集高产。

参考文献(References)

- 甘贵元,雷振锋,赵东升,等.柴达木盆地西部南区沸石分布特征及成因[J].中国石油勘探,2009,(2):46-49 [Gan Guiyuan, Lei Zhenfeng, Zhao Dongsheng, et al. Zeolite distribution characteristics and contributing factors in the southern area of west Qaidam Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2009, (2): 46-49]
- 李斌,高云霞,管英柱,等.靖安油田上三叠系延长统浊沸石的形成及对储层的影响[J].油气地质与采收率,2003,10(1):9-11 [Li Bin, Gao Yunxia, Guan Yingzhu. Formation of laumontite of the upper Triassic Yanchang group in Ordos Basin and its effect on reservoirs [J]. Oil & Gas Recovery Technology, 2003, 10(1): 9-11]
- 杨晓萍,张宝民,陶士振.四川盆地侏罗系沙溪庙组浊沸石特征及油气勘探意义[J].石油勘探与开发,2005,32(3):37-41 [Yang Xiaoping, Zhang Baomin, Tao Shizhen. Laumontite and its significance for petroleum exploration in Jurassic Shaximiao reservoir, Sichuan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(3): 37-41]
- 杨华,付金华,喻建.陕北地区大型三角洲油藏富集规律及勘探技术应用[J].石油学报,2004,24(3):6-10 [Yang Hua, Fu Jinhua, Yu Jian. Oil reservoir enrichment patterns of large delta systems and application of exploration techniques in Shanbei area [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 24(3): 6-10]
- 杨晓萍,裴泽楠.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组浊沸石的形成机理与分布规律与油气关系[J].沉积学报,2002,20(4):628-632 [Yang Xiaoping, Qiu Zenan. Formation process and distribution of laumontite cements in Yanchang Formation (upper Triassic) of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 628-632]
- 王成,邵红梅,洪淑新,等.松辽盆地北部深层碎屑岩浊沸石成因、演化及与油气关系研究[J].矿物岩石地球化学通报,2004,23(3):213-218 [Wang Cheng, Shao Hongmei, Hong Shuxin, et al. Formation and evolution of laumontite and relationship between oil and gas in the clastic rock of the deep strata of North Songliao Basin [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2004, 23(3): 213-218]
- 孙玉善.克拉玛依油区沸石类矿物特征及其与油气的关系[J].岩相古地理,1993,13(2):37-48 [Sun Yushan. Mineralogical characteristics of zeolite minerals and their relation to the reservoir beds in the Karamay Oilfield [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1993, 13(2): 37-48]
- 罗权生,聂朝强,文川江,等.新疆三塘湖盆地牛东地区卡拉岗组火山旋回和期次的划分与对比[J].现代地质,2009,23(3):515-522 [Luo Quansheng, Nie Chaoqiang, Wen Chuanjiang, et al. Division and correlation of volcanic eruptible gyration and period of Kalagang Formation in Niudong Area, Xinjiang [J]. Geoscience, 2009, 23(3): 515-522]
- 陈亦寒,刘大锰,魏喜,等.海外河油田东营组自生沸石的发现成因及其地质意义[J].石油天然气学报,2008,30(4):54-56 [Chen Yihan, Liu Dameng, Wei Xi, et al. Discovery and origin of the diagenetic zeolite in Dongying Formation of Haiwaihe oilfield and its geological significance [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(4): 54-56]
- 张汉成,肖荣阁,安国英,等.华北板块南缘熊耳群火山岩系的杏仁体[J].地质通报,2003,22(5):357-363 [Hang Hancheng, Xiao Rongge, An Guoyin, et al. Amygdales in the volcanic series of the Xiong'er Group on southern margin of the North China plate: evidence of hydrothermal mineralization [J]. Regional Geology of China, 2003, 22(5): 357-363]
- 闫玉魁.三塘湖盆地石炭系火山岩构造背景与油气成藏[J].中国矿业,2009,18(6):46-52 [Yan Yukui. Tectonic background and hydrocarbon accumulation of Carboniferous volcanic rock in Santanghu basin [J]. China Mining Magazine, 2009, 18(6): 46-52]
- 林潼,焦贵浩,孙平,等.三塘湖盆地石炭系火山岩储层特征及其影响因素分析[J].天然气地球科学,2009,20(4):513-516 [Lin Tong, Jiao Guihao, Sun Ping, et al. Characteristics and influencing factors of Carboniferous volcanic reservoirs in Santanghu Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(4): 513-516]
- 孙玉凯,罗权生,张克安,等.三塘湖盆地牛东油田火山岩岩性岩相特征及其对储集性能的控制作用[J].石油天然气学报,2009,31(3):57-61 [Sun Yukai, Luo Quansheng, Zhang Kean, et al. Lithologic and lithofacies features of volcanics and their control on reservoir property in Niudong Oilfield of Santanghu Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(3): 57-61]
- 叶加仁,杨香华.沉积盆地热液活动及其成藏动力学意义[J].

- 沉积学报, 2001, 19(2): 214-217 [Ye Jiaren, Yang Xianghua. Thermal fluid flow in sedimentary basins and its significance to pool-forming dynamics [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 214-217]
- 15 孙玉凯, 罗权生, 何国貌. 三塘湖盆地马朗凹陷石炭系火山岩储集层特征及影响因素 [J]. 大庆石油学院学报, 2009, 33(3): 36-42 [Sun Yukai, Luo Quansheng, He Guomao. Reservoir characteristics and impacting factors of Carboniferous volcanics in Malang sag, Santanhu Basin [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2009, 33(3): 36-42]

Formation and Distribution of Zeolite in Volcanic Rock and Its Effect on Reservoirs in Santanhu Basin

LIANG Hao^{1 2} LUO Quang-sheng^{1 2} KONG Hong-wei² FAN Tan-guang²
REN Zhong-yue² GUO Ke-cheng²

(1. School of Resources, China University of Geology, Wuhan 430074;

2. Research Institute for Exploration and Development, Tuha Oilfield Company, Hami, Xinjiang 839009)

Abstract The zeolite are widely distributed in volcanic rocks of Santanhu Basin, and the main groups developed in volcanic reservoirs of Carboniferous-Upper Permian strata are Haerjiawu Group, Kalagang Group, Tiaohu Group. The types of reservoir space are mostly secondary dissolution aperture, with tectoclase and unconformity dissolution secondarily. Based on the study of the rock composition statistics of the wells in the selected area, We found that volcanic rocks were mainly intermediate and basic lava, amygdala developed relatively abundant, the filling holes in amygdala are typically zeolite-based soluble minerals and this characteristic create the helpful conditions for the post-dissolution. Our results have shown that the main reason of laumontite formation are hydrothermal, metasomatic alteration and volcanic materials hydration, and so on. High pH has been particularly beneficial for the formation of laumontite.

By means of observations of thin section and microscopy, combining with X-ray diffraction analysis, electron microprobe analysis, We determined the type of zeolite, discussed the causes of the zeolite, and pointed out that the main type of zeolite was adelforsit, with euzeolite and analcidite secondarily, they both filled in the holes (the amygdala) and the cracks, mainly through low-temperature volcanic hydrothermal precipitation.

The zeolite minerals occurred in the volcanic amygdala and cracks of Santanhu Basin affected the reservoir properties mainly in two aspects: the early filling of zeolite reduced the porosity and permeability conditions, and the late laumontite dissolution is the key point to improve the reservoir properties. By analyzing the relationship of zeolite content with thin section porosity, indicating that the zeolite filling in the volcanic reservoir provides material basis for the post-dissolution. Laumontite dissolution is the key to the formation of secondary porosity. So, laumontite growth zone of volcanic rocks in this area should be considered. to provide a direction for exploring potential reservoir.

Key words volcanic rock; laumontite; dissolution; accumulation of oil and gas