

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

戴亚权^{1,2} 罗静兰¹ 林 潼¹ 杨知盛³ 张 军³ 刘淑云³ 夏惠萍⁴

(1.大陆动力学国家重点实验室(西北大学), 陕西 西安 710069; 2.长庆油田分公司第六采油厂, 陕西 定边 718606;
3.大庆油田有限责任公司采气分公司, 黑龙江 大庆 163000;
4.新疆油田公司地球物理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:对升平气田白垩系营城组火山岩岩石学与物性特征、储集空间类型及其形成和演化等研究结果表明,火山岩岩石类型主要有火山碎屑岩、火山熔岩和沉火山岩,以流纹岩为主,少量英安岩、安山岩。火山岩气藏储集空间以次生溶孔(洞)为主,其次为原生孔隙和裂缝。火山岩的演化过程可划分为前期和后期两个阶段。前期阶段以火山自身活动为主,主要形成气孔和火山角砾间孔为主的原生孔隙;后期阶段包括火山熔岩的冷凝作用与火山岩的后生成岩作用,是火山岩储集空间形成的主要时期。研究区风化剥蚀面、断层与裂缝是天然气成藏的主要运移通道,也是有利的储集空间。

关键词:岩石学;储集空间;成岩作用;营城组火山岩;升平气田

中图分类号:P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)03-0528-08

升平气田位于松辽盆地北部徐家围子断陷内的升平—兴城断弯褶皱带上(图 1),其西部为徐西伸展断裂带和古中央隆起带;东部与徐北向斜相邻;北部与宋站鼻状构造相接。受区域性 NW 向断裂带影响,研究区呈近南北向展布。目前已在侏罗系火石岭组(*J₁hs*)火山岩、白垩系下统营城组(*K₁yc*)火山岩和登娄库组(*K₁d*)碎屑岩中发现了 3 套含气组合。其中营城组含气段火山岩的厚度大,储量丰富,探明含气面积 18.5 km²,天然气储量近 150 亿 m³。因此,营城组火山岩储层逐渐成为本区重点勘探目的层。

目前对该区营城组火山岩的岩石学特征、储集空间类型与成岩演化等尚缺乏系统的研究。笔者利用岩心观察及镜下薄片鉴定、岩石化学分析、孔隙度和渗透率实测、毛管压力曲线分析和电镜扫描分析等研究方法,对松辽盆地北部升平气田白垩系营城组火山岩的岩石学与物性特征以及储集空间类型及其形成、演化进行了研究。

1 火山岩岩石学特征

对研究区 5 口取心井累计 263 m 火山岩段岩心观察与

描述和在对 308 个火山岩铸体薄片的鉴定结果显示,升平气田营城组火山岩的岩石类型主要为火山碎屑岩、火山熔岩和少量沉火山碎屑岩。

1.1 火山碎屑岩

火山强烈爆发期形成的火山碎屑物堆积后,经过多种成岩方式固结而成的岩石,通常火山碎屑的含量为 50%~90%。本区该类岩石分布较广,根据粒度又可分为火山角砾岩和凝灰岩两种。火山角砾岩的角砾含量一般在 50%以上,具棱角状,分选差,角砾大小为 0.5~30 cm,多数为 1.5~4 cm,颜色以灰白—灰棕色为主。成分主要为熔岩、凝灰质泥岩、熔结流纹岩和泥质粉砂岩。角砾间充填有灰色凝灰质物、棕红色泥岩等。熔岩类角砾可见气孔及部分杏仁体。凝灰岩主要为晶屑玻屑凝灰岩,晶屑岩屑凝灰岩和晶屑凝灰岩。

1.2 熔岩类

笔者对研究区 8 口取心井 18 块火山熔岩做了主量元素分析(表 1),分析显示本区火山熔岩 SiO₂ 含量为 63.39%~83.34%,为中酸性—酸性火山岩。从图 2 可以清楚地看出该区以流纹岩为主,少量英安岩和安山岩。流纹岩大多数为灰

收稿日期:2007-05-13;改回日期:2007-05-30

基金项目:国家自然科学基金项目(40172055)、国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214603)、教育部长江学者和创新团队发展计划资助项目(IR T0559)资助

作者简介:戴亚权,男,1963 生,博士生,主要从事油气勘探与研究;E-mail:jlluo@nwu.edu.cn。

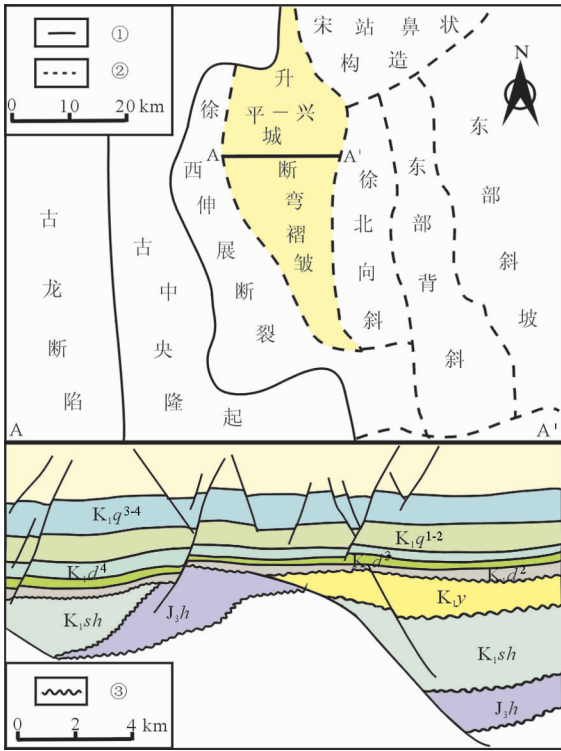


图 1 升平气田构造位置示意图

K_{1q}^{3-4} —泉头组泉 3 段和 4 段; K_{1q}^{1-2} —泉头组泉 1 段和 2 段; K_{1d}^4 —登娄库组登 4 段; K_{1d}^3 —登娄库组登 3 段; K_{1d}^2 —登娄库组登 2 段; K_{1y} —营城组; K_{1sh} —沙河子组; J_3h —火石岭组;

①—二级构造单元; ②—三级构造单元; ③—不整合面

Fig.1 Schematic map showing the tectonic location of the Shengping gas field

K_{1q}^{3-4} —Quan 3 and 4 Members of the Quantou Formation;
 K_{1q}^{1-2} —Quan 1 and 2 Members of the Quantou Formation;
 K_{1d}^4 —Deng 4 Member of the Denglouku Formation; K_{1d}^3 —Deng 3 Member of the Denglouku Formation; K_{1d}^2 —Deng 2 Member of the Denglouku Formation; K_{1y} —Yingcheng Formation;
 K_{1sh} —Shahezi Formation; J_3h —Huoshiling Formation;

①—Second-order structural unit;
 ②—Third-order structural unit; ③—Unconformity

白色,具斑状结构、流纹构造。斑晶含量在 10%左右,主要为灰白色板状斜长石和烟灰色浑圆粒状石英。暗色矿物多为黑云母。镜下长石斑晶可见高岭土化与钠长石化,黑云母的暗化以及自生方解石胶结物交代已钠长石化与高岭土化长石现象。因此,钠长石化与高岭土化发生在方解石形成之前。石英斑晶可见次生加大边,普遍具溶蚀状外貌。流纹岩中气孔发育,呈定向排列,多数气孔被溶蚀扩大甚至连通,成为营城组主要的储集岩类。

1.3 沉火山碎屑岩

以沉凝灰岩和沉积火山角砾岩常见,火山物质含量为 50%~90%。沉凝灰岩在镜下可见玻屑凝灰岩,含粉砂凝灰岩、细粉砂岩、流纹质凝灰岩岩屑以及少量流纹岩岩屑和长石、石英晶屑,及少量粉末状氧化铁。沉火山角砾岩,角砾含量在

30%左右,角砾成分以棕褐色凝灰岩以及灰白色流纹岩为主,角砾间被凝灰质、泥质和砂质及少量钙质与沸石胶结物胶结。本类岩石的储集物性较差,以砾间孔和少量裂缝为储集空间。

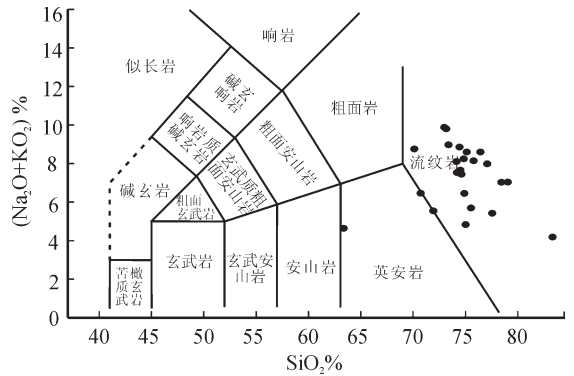


图 2 升平地区营城组 $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ 图解^[1]

Fig.2 Total alkalis versus silica (TAS) diagram of volcanic rocks in the Shengping area^[1]

2 火山岩孔隙类型及物性特征

储集空间的发育特征是控制火山岩油气藏的关键^[2]。升平地区营城组火山岩一般较致密,实测平均密度为 2.36 g/cm³,但裂缝发育,部分地段火山岩的气孔及次生溶蚀空洞很发育,储集空间类型丰富多样,使原本较致密的火山岩的储集物性明显改善,成为天然气良好的储集体。

2.1 原生孔隙

包括岩浆冷凝过程中尚未逸出的气体形成的气孔以及原生火山角砾间孔隙。原生气孔主要发育于流纹岩,呈压扁拉长状定向分布,孔径为 0.2~4 mm,在裂缝、溶蚀缝不发育段,气孔彼此孤立没有连通,虽然岩石的孔隙度较高,但渗透率很低。如升深更 2 井 3098 m 段流纹岩样品的外观特征表现出微气孔构造,实测孔隙度为 11.1%,而渗透率小于 $0.001 \times 10^{-3} \mu m^2$,累计进汞 54.58%,退汞率仅为 29.6%。因裂缝不发育孔隙之间没有连通,样品中存在许多无效孔隙,孔喉配置关系较差,造成了高孔低渗的特征。部分地段裂缝发育的火山岩,其裂缝使原生气孔相互之间连通,从而改善了岩石的物性。如升深 2-7 井 3363 m 段流纹质凝灰岩,发育少量气孔,实测孔隙度为 9.4%,由于存在微裂缝的贯通作用,使各气孔呈连通状态从而使渗透率达到 $284 \times 10^{-3} \mu m^2$;再如升深 2-1 井 2965 m 段流纹岩,定向排列的原生孔隙经后期的溶蚀扩大,孔隙之间呈线状连接(图 3-A、3-B),表现出较好的物性特征,其孔隙度与渗透率分别为 8.44%和 0.1%。

火山碎屑岩中的原生气孔多为火山角砾间熔岩胶结物中的残余气孔,部分孔隙被铁质物、凝灰质物充填,但绝大部分的原生孔隙仍保留了下来。

2.2 次生孔隙(洞)

次生溶孔为研究区火山岩的主要储集空间,一般占到总

表 1 升平地区及徐家围子地区营城组火山岩主量元素分析(%)
Table 1 major element analysis (%) of volcanic rocks of the Yingcheng Formation
in the Shengping area and Xujiaweizi area

样号	井号	深度/m	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	TOTAL
SS2-1-4	升深 2	2865.17	74.22	0.18	11.70	2.97	0.04	0.13	1.18	4.97	3.24	0.01	1.73	100.37
SS1-14	升深 1	3065.15	74.94	0.20	11.14	3.02	0.05	0.07	0.24	3.46	4.92	0.01	1.54	99.59
SS2-6-8	升深 2	2982.35	79.11	0.17	9.36	1.89	0.05	0.06	0.78	1.20	6.00	0.01	1.55	100.18
SS2-7-8	升深 2	3129.81	76.49	0.19	11.10	2.31	0.03	0.09	0.21	3.38	5.32	0.00	1.09	100.21
SS2-7-9	升深 2	3365.81	73.21	0.20	13.09	1.91	0.02	0.07	0.07	3.95	5.96	0.04	1.25	99.77
SS2-12-2	升深 2	2880.44	74.50	0.18	12.16	2.86	0.05	0.06	0.12	4.28	4.69	0.02	1.31	100.23
SS2-12-4	升深 2	2888.82	73.43	0.19	11.89	3.08	0.06	0.11	0.09	3.67	5.43	0.01	1.82	99.78
G2-3	更 2	2914.95	75.84	0.21	11.46	2.95	0.04	0.15	0.10	4.54	3.74	0.02	1.30	100.35
G2-4	更 2	2921.1	75.15	0.22	11.16	2.92	0.07	0.11	0.13	3.27	5.43	0.01	1.68	100.15
G2-5	更 2	2931.65	70.17	0.50	12.95	3.47	0.04	0.48	0.81	5.85	3.04	0.03	2.56	99.90
FS901-2	芳深 901	3590.45	75.55	0.19	11.82	2.95	0.02	0.36	0.25	1.63	4.06	0.01	2.71	99.55
FS901-5	芳深 901	3584.22	83.34	0.13	8.53	1.18	0.00	0.20	0.43	1.40	2.76	0.02	1.97	99.96
FS901-7	芳深 901	3581.50	74.91	0.18	11.62	3.10	0.02	0.27	0.43	1.19	5.26	0.02	2.85	99.85
XS1-9	徐深 1	3635.15	74.63	0.15	10.70	4.10	0.14	0.04	0.08	2.86	4.60	0.02	2.26	99.58
XS1-11	徐深 1	3633.65	77.09	0.16	10.69	2.64	0.05	0.03	0.03	3.10	4.91	0.02	1.73	100.45
XS1-12	徐深 1	3632.65	74.21	0.15	11.31	3.94	0.11	0.04	0.04	3.19	4.36	0.01	2.52	99.88
XS1-18	徐深 1	3450.23	78.45	0.17	10.22	1.58	0.06	0.03	0.26	3.47	3.57	0.02	1.69	99.52
XS1-19	徐深 1	3447.43	71.95	0.19	9.04	1.29	0.40	0.09	5.25	1.38	4.16	0.05	5.71	99.51
XS1-20	徐深 1	3448.13	70.73	0.14	11.76	2.68	0.05	0.19	3.75	3.56	2.90	0.02	3.90	99.68

注:由西北大学大陆动力学国家重点实验室分析。

孔隙的 90%以上,主要表现为在原生孔隙基础上经进一步溶蚀、扩大以及各孔隙之间因溶蚀作用相互连通。具有该类孔隙的火山岩其渗透率一般都较高,特别是当有裂缝贯穿溶蚀孔缝时,储层的物性最好。部分井段火山岩经溶蚀后孔隙呈蜂窝状、孔洞状,最大孔径可达 10 cm(图 3-C、3-D)。在显微镜下观察,次生溶孔主要为长石斑晶内溶孔(图 4-A)以及长石斑晶进一步溶蚀所形成的铸模孔(图 4-B);火山角砾内溶孔(图 4-C)以及基质斜长石微晶间溶孔(图 4-D)。长石斑晶多被高岭土化,碳酸盐胶结物交代长石斑晶并充填部分斑晶内溶蚀孔。

2.3 裂 缝

裂缝是改善火山岩储层物性的主要途径。裂缝本身不仅可以做为有效的储集空间,而且在早期的烃源岩排烃过程中以及后期的油藏调整中充当重要的输导网络。火山岩中的裂缝类型及其形成机理主要有:

(1)冷凝收缩缝。收缩裂缝的形成与火山岩浆冷凝迅速、顶底部的岩浆来不及结晶、均匀收缩有关。因此,常形成不规则裂缝。升平地区营城组溢流相火山岩中普遍发育这种裂缝。在每一次熔岩流构成的冷却单元的顶、底部及中部都可

见不规则的冷凝收缩缝。

显微镜下冷凝收缩缝常呈弧形、半圆形分布在气孔或斑晶周围,不均匀收缩时形成网状裂缝(图 4-E),包括晶间收缩缝、晶体内微裂缝等,可见到流纹质火山岩中因脱水、收缩而形成的珍珠构造(图 4-F)裂纹,后期的溶蚀作用沿裂缝进行,形成了连通性非常好的孔-缝组合。部分环状裂纹(图 4-G)是气孔中充填的火山尘和泥质物因脱水、结晶收缩之后又发生溶蚀形成了半充填的溶孔。

(2)构造裂缝。本区的构造裂缝主要受 NNE 向和近 EW 向两组区域大断裂控制^[3],表现为一组共轭、高角度的剪性与压性裂缝。构造裂缝一般低于 1%,但对储集空间的改造却具有十分重要的作用。岩心观察以及钻井声波成像测井均显示,升平地区尤以营城组火山岩中的高角度构造裂缝发育,裂缝具有明显的延伸方向、延伸远、切割深及多组系特点。如升深更 2 井岩心中 2915.33~2916.93 m 流纹岩段发育的大多数裂缝呈开启状,裂缝长 12~90 cm,缝宽 1 mm 左右,倾角 65~85°,裂缝面密度为 2%~3%(图 3-E),部分高角度裂缝被方解石脉充填、闭合。升深 2-7 井 2972.9 m 段致密凝灰岩中也发育多条高角度构造裂缝(图 3-F)。部分井段还发育少量

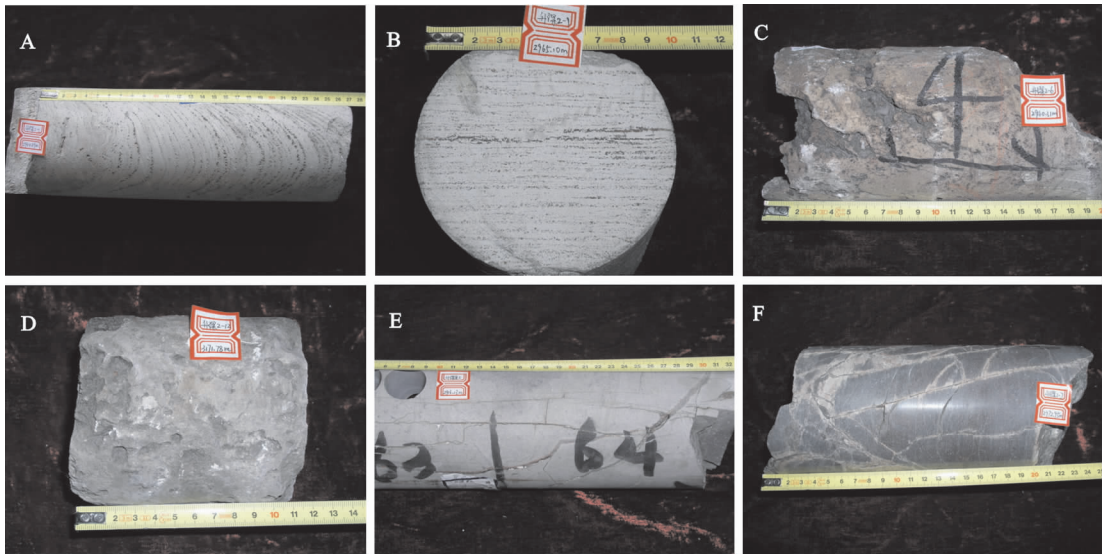


图 3 火山岩岩心上的孔、缝特征

A—流纹岩微气孔定向排列,升深 2-1 井,2965 m;B—流纹岩微气孔定向排列,升深 2-1 井,2965 m;
C—火山岩中的溶孔,升深 2-6 井,2940 m;D—火山岩中溶孔呈蜂窝状,更 2 井,2979.6 m;E—流纹岩中高角度裂缝,更 2 井,2916 m;
F—凝灰岩中裂缝被充填、闭合;升深 2-7 井,2973 m

Fig.3 Photos showing the characteristics of micropores and fractures in cores of volcanic rocks.

A—Oriented arrangement of rhyolite micropores, well Shengshen 2, 2965 m;B—Oriented arrangement of rhyolite micropores, well Shengshen 2, 2965 m;C—Solution pores in rhyolite, well Shengshen 2, 2940 m;D—Honeycomb-shaped solution pores in volcanic rocks, well Geng2, 2979.6 m;E—high-angle fractures in rhyolite, well Geng 2, 2916 m;F—Filling and sealing of fractures in tuff, well Shengshen 2, 2973 m

的水平裂缝。裂缝总体上表现为 NNE 向延伸较长,EW 向裂缝则较短。

2.4 毛管压力曲线特征

毛管压力曲线特征能反映岩石孔隙的大小、孔隙的分选性以及孔喉配置关系等。研究区营城组火山岩的毛管压力曲线最明显的特征是具有两个平台,孔喉半径曲线上表现为两个峰值,具双重介质特征(图 5)。显微镜下观察发现这种曲线特征主要反映了微裂缝发育所造成的孔-缝组合。这种孔缝组合的样品具有较好的物性,实测平均孔隙度和渗透率都较高,分别为 12.5%和 $5.78 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。初始排驱压力一般都较低,多数在 0.2 MPa 左右,表现出大孔喉特征。同时样品的退汞效率较高,平均为 31.43%,反映出孔隙的连通性较好。这种具双重介质特征的岩石类型主要发育于溶蚀作用明显的微气孔流纹岩和微裂缝发育的凝灰岩。

3 储集空间与成岩演化

储集空间的形成与火山岩的岩性以及岩相有关。不同的岩石类型具有不同的延展性与抗压能力^[4]。孔隙度大者,延展性好、抗压能力强,裂缝不容易发育;而孔隙度小的火山碎屑岩如熔结凝灰岩,延展性小、抗压能力低,容易形成脆性裂缝。因而火山岩在受到外力的作用下发育形态各异的裂缝系统。不同岩性的火山岩其物质组分也不相同,在成岩过程中岩石的抗风化能力、溶解能力也不相同,从而使火山岩形成不同的孔隙空间(表 2)。这些孔隙与裂缝的组合形成了复杂

的储集空间类型,并具较好物性的双孔介质特征。

火山岩成岩作用复杂多样,许多学者^[2,5-9]也都对成岩过程中储集空间的演化以及控制因素进行过详细的分析。笔者根据火山岩的活动状态特征,将火山岩的成岩演化过程划分为前期火山活动阶段和后期火山宁静阶段(表 3)。

3.1 前期火山活动阶段

以火山爆发活动为主,包括爆发破碎作用和侵出作用。爆发破碎一般发生在火山作用的早期,爆发形成的火山角砾岩离火山口较近,而较细的火山碎屑岩、凝灰岩受爆发气流和风力的影响,在空气中悬浮飘移,随着能量的降低,降落沉积^[4]。在垂向剖面和岩心上表现为正粒序,底部为火山集块岩、角砾岩具棱角状,向上粒径变小过渡为凝灰岩。储集空间主要为底部角砾岩中的粒间原生孔隙。火山岩喷出时,熔岩在重力和内力作用下沿地表流动,当流入湖体中时,遇水淬火而快速冷凝,熔浆破碎成球状、枕状,而后又被碎小的火山玻璃、火山碎屑物、沉积物等胶结而成枕状构造。枕状构造一般发育在侵出相带内。由于后期的溶蚀作用可以沿着破碎胶结带进行,形成疏松的通道,所以这种相带可以作为较好的储集空间^[8]。

3.2 后期火山宁静阶段

3.2.1 冷凝作用

火山物质的熔结作用发生在冷凝早期,为炽热的熔岩胶结火山碎屑岩,强烈的熔结作用一般形成致密的熔结火山角砾岩、熔结凝灰岩,外观上表现为熔结构造、假流纹构造。熔

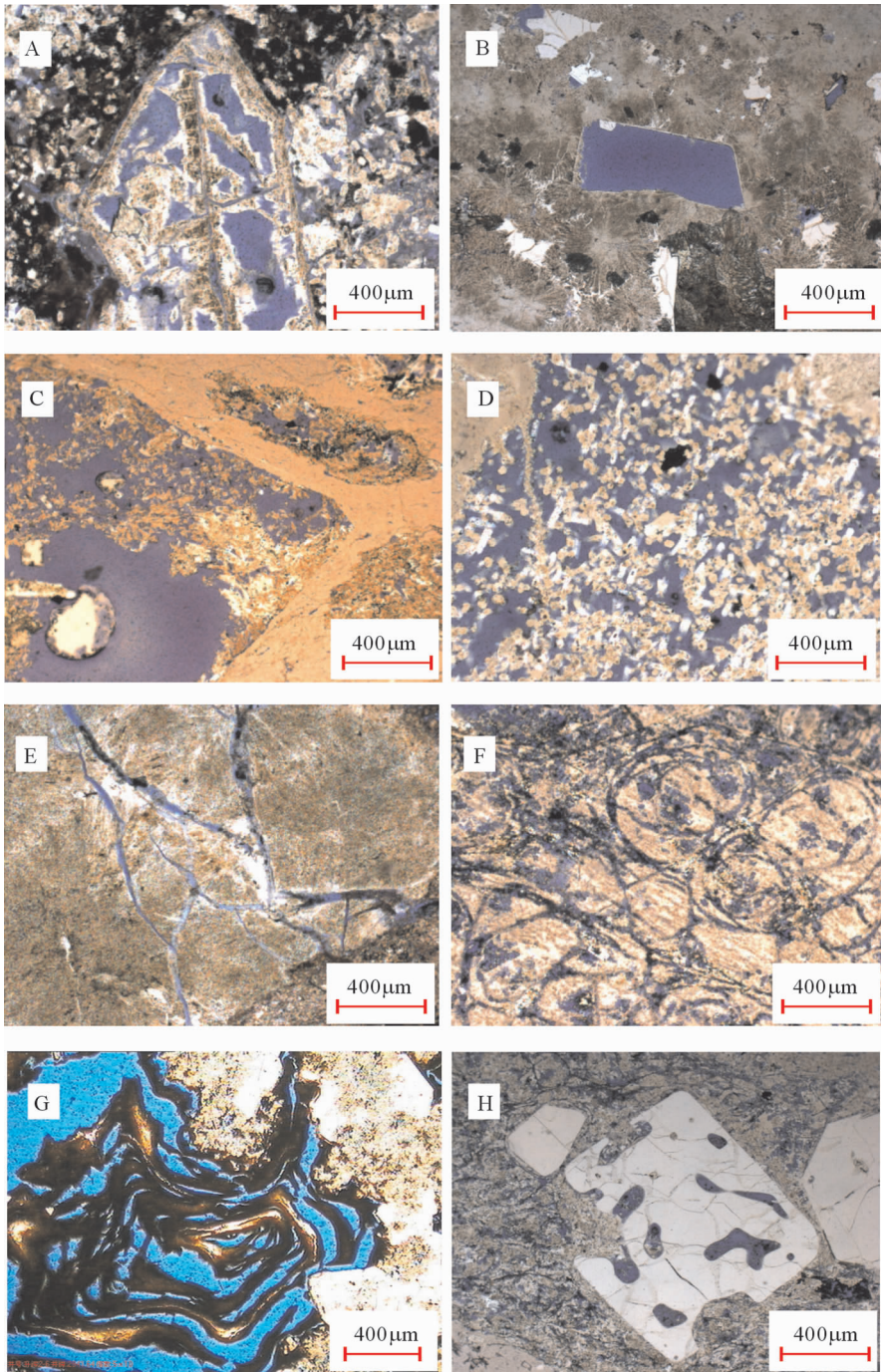


图 4 显微镜下火山岩孔、缝特征

A—长石斑晶内溶孔, 深升 2-6 井, 2986.25m, 单偏光; B—石英斑晶内溶孔, 深升 2-6 井, 2971.65m, 单偏光; C—长石铸模孔, 更 2 井, 3012.14m, 单偏光; D—火山角砾内溶孔, 深升 2-6 井, 2971.65m, 单偏光; E—基质内微晶间溶孔, 深升 2-6 井, 3191.27m, 单偏光; F—网状裂缝, 更 2 井, 2909.39m, 单偏光; G—珍珠构造, 深升 2-6 井, 2971.65m, 单偏光; H—填隙环状收缩构造, 深升 2-6 井, 2941.64m, 单偏光

Fig.4 Photomicrographs showing the characteristics of pores and fractures in volcanic rocks.

A—Solution pores in feldspar phenocrysts, well Shengshen, 2,2896 m, plane-polarized light; B—Solution pores in quartz phenocrysts, well Shengshen2, 2971.65 m, plane-polarized light; C—Moldic pores in feldspar, well Geng2, 3012.14 m, plane-polarized light; D—Solution pores in volcanic fragments, well Shengshen2, 2971.65 m, plane-polarized light; E—Solution pores between micrites in matrix, Shengshen2, 3191.27 m, plane-polarized light; F—Network fractures, well Geng2, 2909.39 m, plane-polarized light; G—Perlitic structure, well Shengshen2, 2971.65 m, plane-polarized light; H—Circular contractive pores in matrix, well Shengshen2, 2941.64 m, plane-polarized light

表 2 不同岩性各类孔隙百分含量

Table 2 Percentages of various types of pore in different rocks

岩性	气孔/%	晶内孔/%	填隙物内孔/%	基质中溶孔/%	铸模孔/%	微裂缝/%
英安岩、流纹岩	0~10/2.5*	0~0.5/0.1	0~1/0.13	0.1~12/38	0~4/0.23	0~1/0.1
凝灰岩	/	0.1~1/0.2	0~0.1/0.02	0~12.5/4.4	0~0.5/0.12	0~3/0.52
岩性	砾间孔	粒内孔	填隙物内孔	基质中溶孔	微裂缝	
火山角砾岩	0~3/0.4	0.1~8/2.3	0~2/0.33	0~10/2.5	0~0.5/0.11	

注: * 为孔隙含量范围/平均值。

表 3 火山岩成岩过程中可能发生的几种作用

Table 3 Processes that probably occurred during the formation of volcanic rocks

前期火山活动阶段	爆发破碎、侵出石泡、枕状结构	
后期火山宁静阶段	冷凝过程	熔结作用 脱玻化作用 长石斑晶溶蚀 硅化作用 结晶作用 收缩缝、破碎作用
	后生成岩过程	次生溶蚀与交代充填 风化剥蚀作用 构造作用

结火山岩的孔隙度和渗透率都很低,储集空间为少量长石斑晶晶内溶孔和基质内溶孔。地下深处高温高压条件下形成的斑晶,在喷出地表后因压力的下降而使熔点降低造成斑晶的熔蚀。斑晶的熔蚀主要为石英,可形成斑晶边缘的熔蚀现象,如浑圆状外形和熔蚀港湾及晶内熔蚀孔(图 4-H)。火山岩的冷凝收缩与破碎作用对储层起了改善作用。收缩缝、破碎带不仅可以作为有效的储集空间,更主要的是连通了各孔隙,形成孔隙组合,极大地提高了火山岩的渗透率。脱玻化作用可以形成少量原生孔隙,主要为基质内微裂隙。升平地区营城组火山岩中多数玻璃质已发生脱玻化。如升深更 2 井中的流纹岩在显微镜下可以看到较多脱玻化作用形成的雏晶,雏晶形状具毛发状、羽状。还可见少量斜长石骸晶,它是雏晶进一步发展而形成的。结晶作用可使石英斑晶形成次生加大,次生加大使孔隙空间减少,不利于储集空间的发展。硅化作用对火山岩储层的影响较大,表现为对裂缝和原生气孔的充填。

3.2.2 后生成岩作用

后生成岩作用主要包括次生溶蚀与交代充填作用、风化剥蚀作用和构造作用。

次生溶蚀与交代充填作用:一方面,由于火山岩中含有

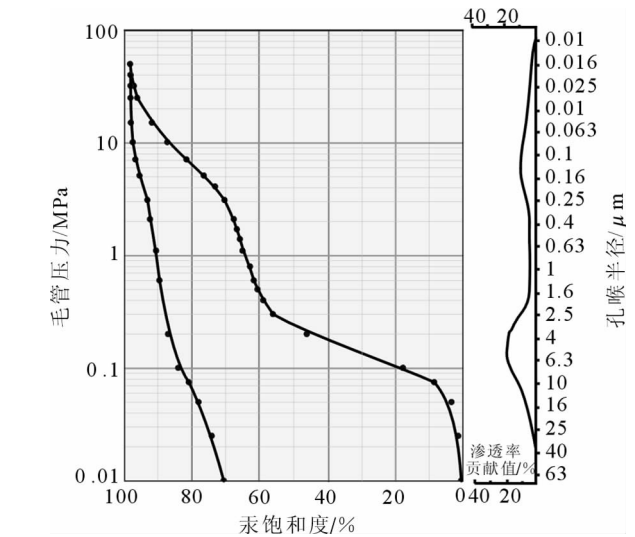


图 5 具双重介质的毛管压力曲线

Fig.5 Capillary pressure curve with double media

较多的不稳定组分如长石斑晶、黑云母等,在热液作用下容易溶蚀形成晶内溶孔^[4],使火山岩的物性得到一定程度的改善;另一方面,在此过程中可形成自生矿物(如绿泥石和沸石等)充填于岩石孔隙及裂缝中或交代原有的矿物,而使一部分孔隙堵塞。一般而言,在火山岩的热液改造过程中,充填作用强于溶蚀作用,所以对储层的物性造成一定的损害。特别是当自生矿物充填于连通各孔隙的微裂缝时,可使储层的渗透率大大降低。

风化剥蚀作用:升平—兴城断弯褶皱带在沙河子组末期由于受构造应力的影响,发生挤压褶皱、断层逆冲作用^[4],使顶部的沙河子组发生顶削、风化。在营城组营一段沉积结束后以及登娄库组沉积前又发生过两次规模较大的挤压作用,使营一段、营四段顶部遭受剥蚀、风化。造成升平地区构造高部位普遍缺失营一段和营四段,部分营城组火山岩仅存营三段。营城组的底面和登娄库组的底面是整个徐家围子地区重要的两个区域不整合面。这种区域不整合面为营城组火山岩提供了溶蚀的通道,加剧了火山岩的溶蚀、扩大,在不整合面下火山岩易发生破碎,形成很好的溶孔(洞)、裂缝储集空间。

构造作用与天然气成藏:松辽盆地火山岩中的构造裂隙

是长期以来各种地质因素共同作用的结果。裂缝的发育主要有 3 组:(1)形成于白垩纪 NW 向张性裂缝;(2)形成于古新世—中新世近 SN 向压剪性裂缝;(3)形成于中新世—上新世 SW 向张性裂缝^①。在主要的成藏期之前发生的构造运动所产生的断层、裂缝为油气的运移提供了通道。由于火山岩本身不具有生烃能力,火山岩中的油气主要是靠紧邻火山岩的烃源层通过断层和裂缝经较短距离的排烃作用运移到火山岩储集层里。而构造作用产生的断层提供了这种优势通道,对火山岩油气藏的形成起了积极的作用。在成藏后由于构造运动产生的断层、裂缝一方面可能破坏早期形成的油气藏,另一方面可对已形成的油气进行重新调整与分配。通过营城组包裹体^[10,11]和镜质体反射率结合成藏史^[12,13]分析表明,徐家围子升平气田营城组的主要成藏时期在 90~70 Ma,即晚白垩世。因此,天然气的成藏运移路径主要是靠断陷盆地演化过程中继承性断层、风化面以及形成于白垩纪的张性裂缝,后期发育的构造裂缝对早期的气藏起到了重新调整和改善储集体物性的作用^[14]。研究区的主要烃源岩是位于营城组之下的白垩系沙河子组和侏罗系火石岭组。由于研究区后期构造裂缝方向继承了前期断裂裂缝,使先期断裂向上延伸,并使早期形成的气藏沿断层、裂缝向上运移,在上部有利部位进一步聚集。营城组及上覆的登娄库组、泉头组中发现的气藏主要是靠构造断裂带将深部的天然气向上运移并聚集成藏的。

4 结 论

(1)升平地区白垩系营城组火山岩岩石类型主要有火山碎屑岩、火山熔岩以及部分沉火山碎屑岩。熔岩以酸性流纹岩为主,其次为英安岩和安山岩。

(2)火山岩储层主要发育原生孔隙、次生溶孔(洞)以及裂缝。原生孔隙以气孔为主,其次为角砾间孔。气孔孔径较小,但受后期的溶蚀改造使气孔扩大致使储层的物性大大改善。次生孔洞是本区的主要储集空间,孔径较大,部分井段溶孔呈蜂窝状、孔洞状。裂缝做为储集空间所占的比例很小,但当裂缝连通各类孔隙时,可大大改善火山岩储层的物性。火山岩的孔隙结构表现为双重介质特征。

(3)火山岩的成岩演化经历了前期火山活动阶段和后期火山宁静两个阶段。后者又包括冷凝作用过程和后生成岩作用过程。火山物质的脱玻化作用、溶(熔)蚀作用、收缩与破碎作用有利于储集空间的形成与物性的改善。风化作用、构造作用产生的不整合面以及断层与裂缝为油气在火山岩中的运移、聚集提供了良好的路径和空间。成藏后的断层及裂缝对气藏的成藏和调整也起了重要作用。

参考文献(References):

[1] Le Maitre R W, Bateman P, Dudek A, et al. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms [M]. London, Blackwell

Oxford Publishing, 1989:359.

- [2] 操应长,姜在兴,邱隆伟. 山东惠民凹陷商 741 块火成岩油藏储集空间类型及形成机理探讨[J]. 岩石学报, 1999, 15(1):129-136.
Cao Yingchang, Jiang Zaixing, Qiu Longwei. Study on the type and origin of the reservoir space of igneous oil reservoir in Shang 741 block, Huimin depression, Shandong[J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(1):129-136(in Chinese with English abstract).
- [3] 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 Weihai, Wang Pujun, Zhang Xingzhou, et al. Characteristics of Mesozoic volcanic reservoirs in Songliao Basin [J]. Oil and Gas Geology, 2003, 24(1):12-17(in Chinese with English abstract).
- [4] Kennedy B C, Kueppers, Dingwella D B, et al. The fragmentation threshold of pyroclastic rocks Oliver Spielera[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 226:139-148.
- [5] 赵澄林,等. 辽河盆地火山岩与油气[M]. 北京:石油工业出版社, 1999:69-70.
Zhao Chenlin. Volcanic and Petroleum in Liaohe Basin [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1999:69-70 (in Chinese with English abstract).
- [6] 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 Jinlong, Luo Jinglan, He Faqi. Permian volcanic reservoirs in the Tahe region[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(4):44-47(in Chinese with English abstract).
- [7] 陈建文,王德发,张晓东,等. 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.
Chen Jianwen, Wang Defa, Zhang Xiaodong, et al. Analysis of volcanic facies and apparatus of Yincheng Formation in Xujiaweizi faulting depression, Songliao basin, Northeast China [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4):371-379(in Chinese with English abstract).
- [8] 王璞珺,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.
Wang Pujun, Chen Shumin, Liu Wanzhu, et al. Occurrences of volcanic rocks in xujiaweizi fault depression and their significance[J]. Oil and Gas Geology, 2003, 24(1):18-27(in Chinese with English abstract).
- [9] 殷进垠,刘和甫,迟海江. 松辽盆地徐家围子断陷构造演化[J]. 石油学报, 2002, 23(2):26-29.
Yin Jinyin, Liu Hepu, Chi Haijing. Evolution and gas accumulation of Xujiaweizi depression in Songliao Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 23(2):26-29(in Chinese with English abstract).
- [10] 薛永超,傅广,彭仕宓. 大庆长垣以东地区登娄库组天然气成藏过程研究[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(6):35-37.
Xue Yongchao, Fu Guang, Peng Shimi. Forming process of Denglouku Formation as a gas reservoir in the east of Daqing placanticline[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(6):35-37(in Chinese with English abstract).
- [11] 冯子辉,任延广,王成,等. 松辽盆地深层火山岩储层包裹体及

① 金晓辉,等. 松辽盆地北部深层烃源岩成烃及成藏史研究. 大庆油田勘探开发研究院, 2003.

- 天然气成藏期研究[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(6):436-442.
- Feng Zihui, Ren Yanguang, Wang Cheng, et al. Study on inclusions of deep buried igneous reservoir and forming period of gas pool in Songliao basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(6): 436-442(in Chinese with English abstract).
- [12] 金晓辉, 林壬子, 邹华耀, 等. 松辽盆地徐家围子断陷火山活动期次与烃源岩演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3):349-355.
- Jin Xiaohui, Lin Renzi, Zhou Huayao, et al. Volcanic activities and evolution of source rocks in Xujiaweizi fault depression, Songliao basin[J]. Oil and Gas Geology, 2005, 26(3):349-355 (in Chinese with English abstract).
- [13] 任延广, 朱德丰, 万传彪, 等. 松辽盆地徐家围子断陷天然气聚集规律与下步勘探方向 [J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(5): 26-29.
- Ren Yanguang, Zhu Defeng, Wang Chuanbiao, et al. Natural gas accumulation rule of Xujiaweizi Depression in Songliao Basin and future exploration target [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2004, 23 (5):26-29 (in Chinese with English abstract).
- [14] 戴金星, 卫延召, 赵靖舟. 晚期成藏对大气田形成的重大作用[J]. 中国地质, 2003, 30(1):10-19.
- Dai Jinxing, Wei Yanzhao, Zhao Jingzhou. Important role of the formation of gas accumulations in the late stage in the formation of large gas fields [J]. Geology in China, 2003, 30 (1):10-19 (in Chinese with English abstract).

Reservoir characteristics and petrogenesis of volcanic rocks in the Yingcheng Formation of the Shengping gas field, northern Songliao basin

DAI Ya-quan^{1,2}, LUO Jing-lan¹, LIN Tong¹, YANG Zhi-sheng³, ZHANG Jun³,
LIU Shu-yun³, XIA Hui-ping⁴

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics(Northwest University), Xi'an 710069, Shaanxi, China;

2. Sixth Oil Extraction Factory, Changqing Oilfield Company, Dingbian 718606, Shaanxi, China;

3. Gas Production Branch, Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163000, Heilongjiang, China;

4. Research Institute of Geophysics, Xinjiang Oilfield Company, iirūmqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: Study of the petrological and physical characteristics, reservoir opening space types and formation and evolution of volcanic rocks in the Cretaceous Yingcheng Formation in the Shengping gas field, Songliao basin, shows that the major volcanic reservoir rocks are lavas, pyroclastic rocks and sedimentary-volcanic rocks, with rhyolite predominating, in addition to small amounts of dacite and andesite. The volcanic gas reservoir spaces are dominated by secondary solution pores (cavities), with subordinate primary pores and fissures. The evolution of the volcanic reservoir rocks involves the early and late phases. The early phase was characterized by volcanic activity, when mainly primary pores including vesicles and pores between volcanic fragments; the late phase included cooling of lavas and epi-petrogenesis of volcanic rocks, which was the main period of formation of volcanic reservoir spaces. The erosion and weathering surfaces as well as faults and fractures in the study area were main conduits for gas migration and also favorable reservoir spaces for gas accumulation.

Key words: petrology; reservoir space; petrogenesis; volcanic rocks; Yingcheng Formation; Shengping gas field

About the first author: DAI Ya-quan, male, born in 1963, Ph. D candidate, mainly engages in petroleum exploration and research; E-mail: jlluo@nwu.edu.cn.