

文章编号:0253-9985(2008)06-0748-10

松辽盆地升平气田营城组火山岩岩相及其储集性能控制因素分析

罗静兰¹, 林 潼^{1,2}, 杨知盛³, 刘小洪¹, 张 军³, 刘淑云³

(1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069;

2. 中国石油天然气股份有限公司 大庆油田分公司 采气公司, 黑龙江 大庆 163000)

摘要: 升平气田下白垩统营城组火山岩的岩性学与岩相学、火山活动机制等研究结果显示, 火山岩岩石类型主要为火山碎屑岩和火山熔岩, 少量火山碎屑熔岩、沉火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩和次火山岩。熔岩以流纹岩为主, 少量英安岩。营城组重点含气层段营三段可划分为4个火山喷发-喷溢旋回。火山活动以喷发频率高和喷发迅速、间隔时间短和冷凝迅速、较强烈的中心式爆发与较宁静的裂隙式溢流喷发交替为特征。可识别出火山爆发相、火山溢流相、火山侵入相、火山通道相和火山沉积相5个相和溅落熔岩、火山碎屑岩、熔岩、火山重力流、火山颈和次火山岩6个亚相。高产气流井主要位于火山爆发相以及爆发相与溢流相互层地带。火山岩的储集性能主要受岩性、岩相、火山岩厚度及其空间分布特征的控制, 其次受火山活动特点、古地貌、成岩作用与构造作用的影响。

关键词: 火山活动机制; 岩相与储集性能; 岩相学; 营城组火山岩; 升平气田; 松辽盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Lithofacies and reservoir quality control factors of volcanics in the Yingcheng Formation in the Shengping gas field in the Songliao Basin

Luo Jinglan¹, Lin Tong^{1,2}, Yang Zhisheng³, Liu Xiaohong¹, Zhang Jun³, Liu Shuyun³

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

2. Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Langfang, Hubei 065007, China;

3. Gas Production Branch Company of Daqing Oil Field Company Ltd., PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163000, China)

Abstract: Study on lithology and petrography of volcanics and mechanism of volcanic activities in the Lower Cretaceous Yingcheng Formation of the Shengping gas field in the Songliao Basin, indicates that rock types are mainly pyroclastics and lava, with minor pyroclastic lavas, sedimentary pyroclastic rocks, pyroclastic sedimentary rocks and sub-volcanic rocks. Lavas are dominated by rhyolite with minor dacite. Four volcanic eruption-effusion cycles can be recognized in the third member, the major gas-bearing interval, of Yingcheng Formation. The volcanic activities are characterized by alternation of relatively quiet fissure effusion with relatively strong central eruption that features in high frequency, rapid eruptions, short intermittence, and quick condensation and consolidation. Five lithofacies (explosive, effusive, extrusive, volcanic conduit and volcanic-sedimentary facies) and six sub-facies (splash fall lava, pyroclastic, lava flow, volcanic gravity flow, volcanic neck and sub-volcanic) can be recognized. Wells with high gas flow rate are mainly located in areas with the volcanic explosive facies or interbedded explosive facies and effusive facies. The volcanic reservoir quality is mainly controlled by lithology, lithofacies, thickness and spatial distribution of volcanic rocks, followed by the characteristics of volcanic activity, pa-

收稿日期: 2008-11-10。

第一作者简介: 罗静兰(1957—), 女, 教授, 岩石学、储层沉积学。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2003CB214603); 国家自然科学基金项目(40172055); 长江学者和能源盆地油气地质创新团队资助项目(IRT0559)。

leomorphology, diagenesis and tectonic action.

Key words: mechanism of volcanic activity; lithofacies and reservoir quality; petrography; volcanic rock of the Yingcheng Formation; Shengping gas field; Songliao Basin

升平气田位于松辽盆地徐家围子断陷北部的升平-兴城构造带。1995年钻探的升深2井获得自然产326 972 m³/d的高产工业天然气气流,从而发现了营城组(营)火山岩气藏^[1-3]。目前已分别在侏罗系火石岭组(J₃hs)火山岩、白垩系下统营城组(K₁yc)火山岩、登娄库组(K₁d)和泉头组(K₁q)碎屑岩中发现了含气组合(图1)。其中营城组火山岩中含气段的厚度大,储量丰富。截至2005年底,在营城组火山岩中探明地质储量132.35×10⁸ m³,含气面积21.03 km²。本文通过钻井岩心观察描述和大量铸体薄片镜下鉴定与定量统计,利用全岩常量元素、孔隙度与渗透率、毛管压力、电镜扫描与能谱等分析测试手段,结合测井解释等研究成果,对研究区营城组火山岩进行了岩相学研究,建立了营城组火山岩岩相模式;研究了火山活动机制、火山岩岩相及其时空展布规律;探讨了影响火山岩储集物性的主要因素。该研究旨在为升平气田火山岩储层中天然气的勘探和开发实践提供理论依据。

1 岩石类型

5口取心井累计263m火山岩段的岩心观察与描述、308个火山岩铸体薄片鉴定结果显示,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,少量火山碎屑熔岩、沉火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩和次火山岩。

1.1 火山碎屑岩

火山碎屑岩类(火山碎屑含量50%~90%)在研究区分布较广,根据粒度又可分为火山角砾岩和凝灰岩两种。火山角砾岩中角砾的含量在45%~75%之间,具棱角状,分选差,颜色以灰白-灰棕色为主,大小为0.5~30 cm,成分主要为熔岩、凝灰质泥岩、熔结凝灰岩和泥质粉砂岩,填隙物主要为灰色凝灰质物、棕红色泥岩等(图2A)。凝灰岩(粒度0.05~2 mm,火山碎屑物含量75%以上,具凝灰结构)的单层厚度较小,颜色一般为灰绿色、灰红色、灰白色,岩石一般较致密(图

2B)。根据碎屑成分又可分为晶屑玻屑凝灰岩、晶屑岩屑凝灰岩和晶屑凝灰岩。

1.2 熔岩类

升平气田及其邻区8口取心井19块营城组火山熔岩的全岩主元素分析结果(表1)显示,火

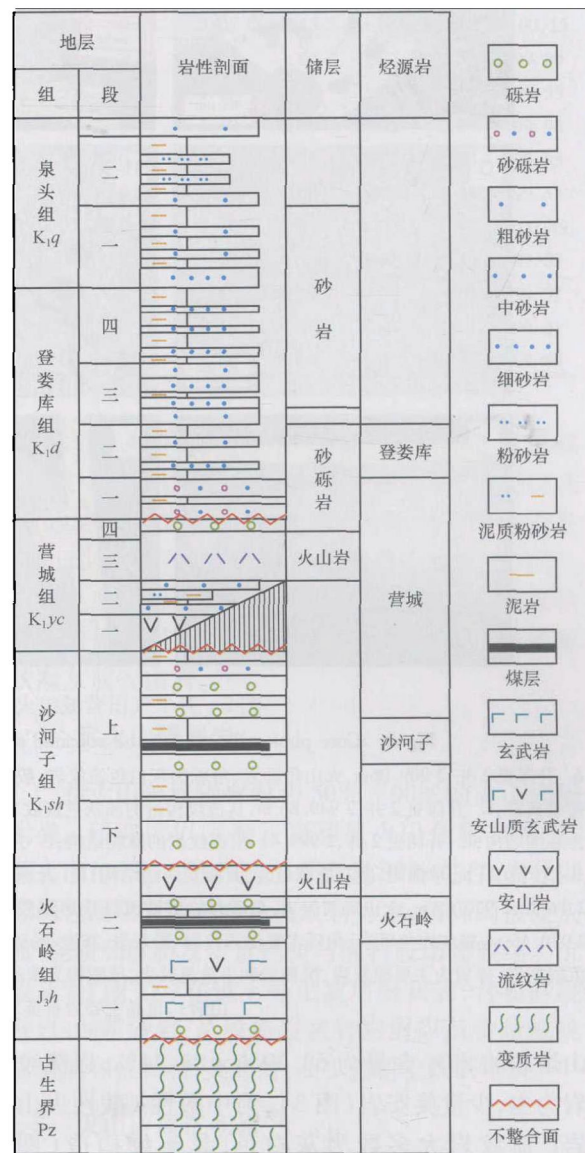


图1 升平气田地层与气藏组合示意图

Fig. 1 Sketch showing stratigraphic sequence and gas-pool assemblages in Shengping gas field

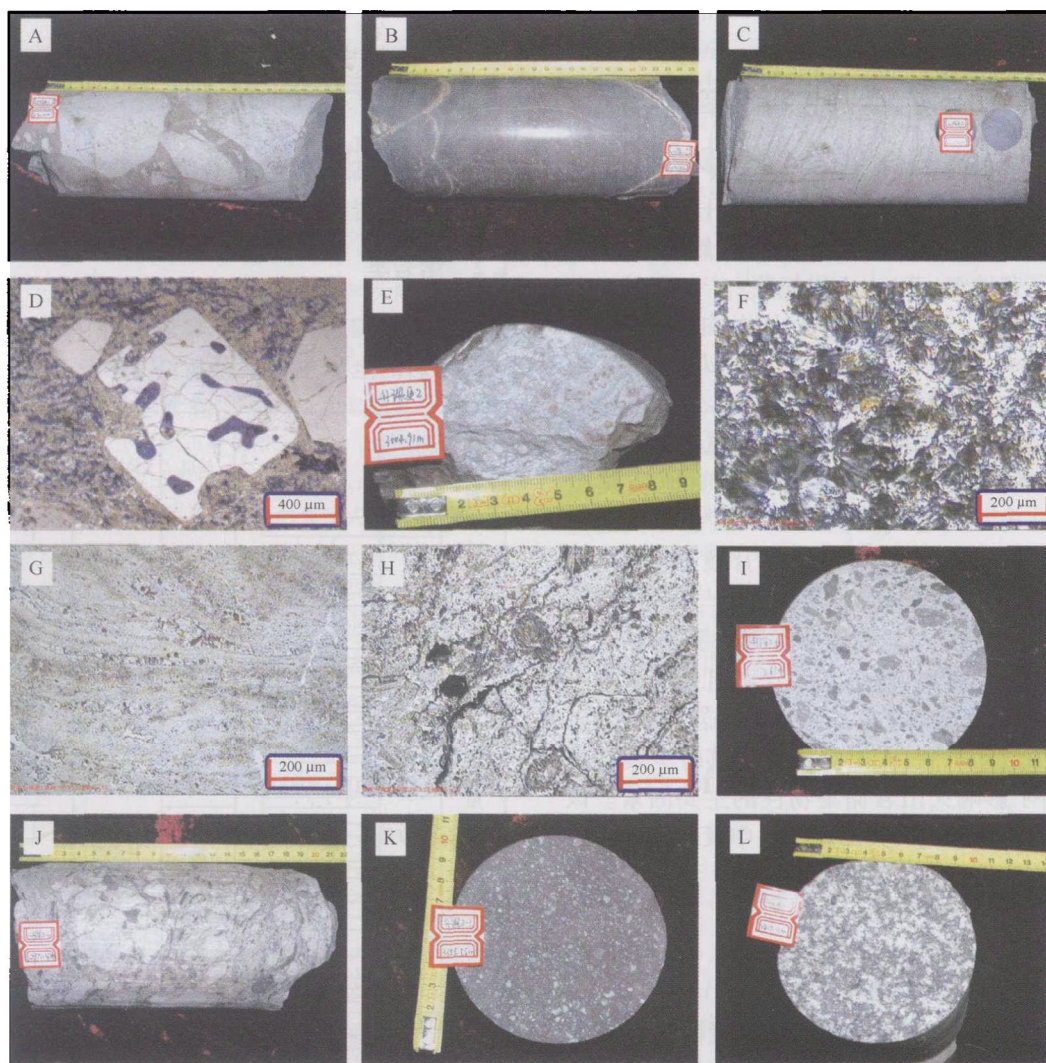


图2 升平气田营城组火山岩及其相关岩石类型和特征

Fig. 2 Core photos illustrating the volcanic rocks and related rock types and their characteristics

A. 升深更2井, 2 909.06 m, 火山角砾岩, 角砾为灰白色流纹岩, 胶结物为灰红色凝灰质与泥质物; B. 升深2-7井, 2 972.95 m, 紫红色致密凝灰岩; C. 升深更2井, 2 949.86 m, 具流纹构造的浅灰色流纹岩; D. 升深2-6井, 2 936.81 m, 单偏光, 流纹岩, 岩石具斑状结构, 基质为霏细结构; E. 升深更2井, 2 999.41 m, 流纹岩的球粒结构; F. 升深更2井, 2 961.47 m, 正交偏光, 流纹岩, 基质为球粒结构; G. 升深更2井, 2 973.27 m, 单偏光, 凝灰质流纹岩, 具凝灰熔结结构; H. 升深更2井, 2 978.07 m, 单偏光, 角砾状流纹岩, 具角砾熔岩结构; I. 升深2-6井, 2 970.65 m, 火山碎屑熔岩, 角砾和碎屑被流纹质熔浆胶结, 碎屑主要为凝灰岩、流纹岩和灰岩, 少量粉砂岩; J. 升深2-6井, 2 970.45 m, 凝灰质角砾岩, 角砾主要为流纹岩、凝灰岩、灰岩、粉砂岩, 填隙物为浅灰红色凝灰质与泥质物; K. 升深2-12井, 3 355.55 m, 沉凝灰岩, 碎屑为主要凝灰岩、沉积岩和少量流纹岩, 填隙物为紫红色泥质与铁质物; L. 升深2-1井, 2 829.33 m, 深灰色闪长玢岩(次火山岩), 斑晶主要为石英和斜长石, 少量角闪石和黑云母

山熔岩的 SiO_2 含量为 63.39% ~ 83.34%, 以流纹岩为主, 少量英安岩(图3), 为中酸性-酸性火山岩。流纹岩大多数为灰白色, 具流纹构造(图2C)、斑状结构(图2D), 基质为霏细结构, 部分具球粒结构(图2E, 2F)。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、黑云母暗化以及方解石胶结物交代长石斑晶的现象。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。流纹岩类在本区分布广泛, 厚度较大, 最大厚度 97.8 m(升

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 from the Yingcheng Formation in the Shengping area and Xujiaweizi area, the Songliao Basin

井号	深度/m	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TF _{e2} O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	TOTAL
升深 2	2 865.17	74.22	0.18	11.70	2.97	0.04	0.13	1.18	4.97	3.24	0.01	1.73	100.37
升深 1	3 065.15	74.94	0.20	11.14	3.02	0.05	0.07	0.24	3.46	4.92	0.01	1.54	99.59
升深 2	2 982.35	79.11	0.17	9.36	1.89	0.05	0.06	0.78	1.20	6.00	0.01	1.55	100.18
升深 2	3 129.81	76.49	0.19	11.10	2.31	0.03	0.09	0.21	3.38	5.32	0.00	1.09	100.21
升深 2	3 365.81	73.21	0.20	13.09	1.91	0.02	0.07	0.07	3.95	5.96	0.04	1.25	99.77
升深 2	2 880.44	74.50	0.18	12.16	2.86	0.05	0.06	0.12	4.28	4.69	0.02	1.31	100.23
升深 2	2 888.82	73.43	0.19	11.89	3.08	0.06	0.11	0.09	3.67	5.43	0.01	1.82	99.78
更 2	2 914.95	75.84	0.21	11.46	2.95	0.04	0.15	0.10	4.54	3.74	0.02	1.30	100.35
更 2	2 921.10	75.15	0.22	11.16	2.92	0.07	0.11	0.13	3.27	5.43	0.01	1.68	100.15
更 2	2 931.65	70.17	0.50	12.95	3.47	0.04	0.48	0.81	5.85	3.04	0.03	2.56	99.90
芳深 901	3 590.45	75.55	0.19	11.82	2.95	0.02	0.36	0.25	1.63	4.06	0.01	2.71	99.55
芳深 901	3 584.22	83.34	0.13	8.53	1.18	0.00	0.20	0.43	1.40	2.76	0.02	1.97	99.96
芳深 901	3 581.50	74.91	0.18	11.62	3.10	0.02	0.27	0.43	1.19	5.26	0.02	2.85	99.85
徐深 1	3 635.15	74.63	0.15	10.70	4.10	0.14	0.04	0.08	2.86	4.60	0.02	2.26	99.58
徐深 1	3 633.65	77.09	0.16	10.69	2.64	0.05	0.03	0.03	3.10	4.91	0.02	1.73	100.45
徐深 1	3 632.65	74.21	0.15	11.31	3.94	0.11	0.04	0.04	3.19	4.36	0.01	2.52	99.88
徐深 1	3 450.23	78.45	0.17	10.22	1.58	0.06	0.03	0.26	3.47	3.57	0.02	1.69	99.52
徐深 1	3 447.43	71.95	0.19	9.04	1.29	0.40	0.09	5.25	1.38	4.16	0.05	5.71	99.51
徐深 1	3 448.13	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:样品由西北大学大陆动力学重点实验室分析。

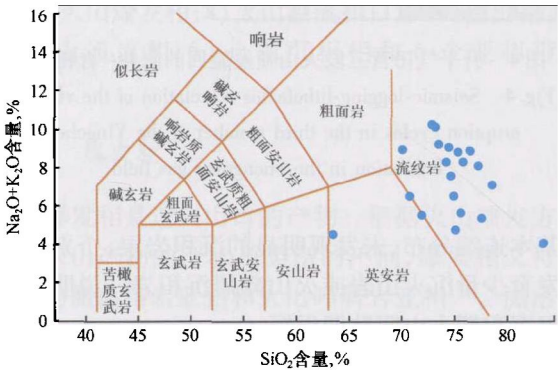


图 3 升平气田营城组 SiO₂ - (Na₂O + K₂O) 含量关系

Fig. 3 Total alkalis versus silica (TAS) of the Yingcheng Formation in the Shengping gas field

深更 2 井), 最小为 2 m (升深 2 - 6 井), 平均厚度为 25.9 m, 是研究区主要的火山岩岩石类型, 也是主要的储集岩类。

1.3 火山碎屑熔岩

指火山碎屑物的含量 10% ~ 90%, 主要由熔浆胶结而成的火山岩。研究区火山碎屑熔岩大多具凝灰熔结结构 (图 2G), 少部分为角砾熔岩结构 (图 2H)。以角砾状熔岩、角砾状凝灰质熔岩为主

(图 2I)。碎屑含量在 60% ~ 75% 之间, 以流纹岩、流纹英安岩、英安岩和凝灰岩为主, 少量凝灰质安山熔岩、凝灰质泥岩、泥质粉砂岩、泥岩及长石和石英晶屑。胶结物主要为英安岩和流纹岩。岩石类型有角砾状流纹岩、角砾状英安岩、角砾状凝灰质流纹岩、角砾状凝灰质英安岩和少量角砾状凝灰质安山岩。

1.4 沉火山碎屑岩

指火山碎屑物含量为 50% ~ 90% 的火山碎屑岩类。研究区以沉凝灰岩和沉火山角砾岩常见。沉火山角砾岩 (图 2J), 角砾含量 30% 左右, 成分以棕褐色凝灰岩和灰白色流纹岩为主, 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。沉凝灰岩 (图 2K) 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, 及少量粉尘状氧化铁。

1.5 火山碎屑沉积岩

与沉火山碎屑岩相比, 火山碎屑物的含量降低 (10% ~ 50%)。研究区火山碎屑沉积岩中的碎屑含量在 30% ~ 40% 之间, 粒径 0.2 ~ 1.2 cm, 含

少量分选性与磨圆度差的砾石。碎屑成分以凝灰岩、石英、长石及硅质岩岩屑为主。填隙物为深灰绿色凝灰质、或紫红色泥质与粉砂质物。

1.6 次火山岩

指火山喷发同期或稍晚期与火山同源,但侵入于地下浅部的火山岩。本区只在升深2-1井2 823.73~2 830.65 m处见深灰色闪长玢岩(图2L)。矿物颗粒呈灰白和深灰色、大小3~8 mm的斑块状均匀相嵌分布,主要为浅色矿物石英(15%~20%)和斜长石(30%左右),暗色矿物角闪石(25%~30%)和黑云母(10%~15%)。镜下可见斜长石聚片式双晶及斜长石的环带结构,部分长石发生了碳酸盐化。

2 火山活动机制特征

2.1 火山喷发旋回

升平气田营城组普遍缺失营一段、营二段以及营四段,仅少部分井保留有营4段。在岩心观察描述的基础上,依据岩性与岩相、电性特征、沉积旋回、构造-岩浆旋回特征,结合前人地震解释^[4]与测井解释成果,将研究区营城组营三段划分为4个火山旋回(图4)。

每一期火山旋回的岩性组合从下到上表现为:火山角砾岩—熔岩—沉火山岩;火山角砾岩—熔岩;熔岩—沉火山岩,或单一的火山熔岩。如升深更2井由营三段向营四段,岩性表现为由角砾状熔岩为代表的溢流相夹以火山角砾岩为代表的火山爆发相转变为以凝灰质泥岩为主的火山沉积相。营二段与营四段界线外的测井曲线表现为深

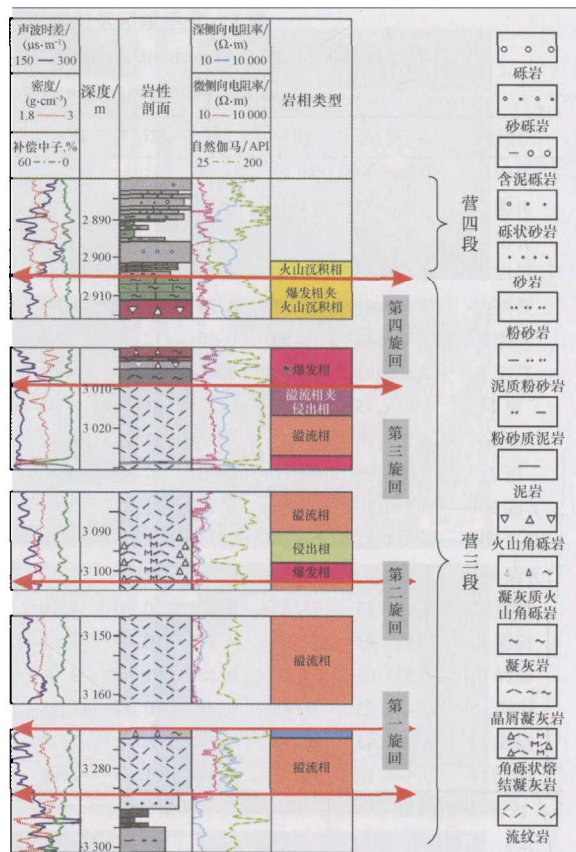


图4 升平气田营三段火山喷发旋回的测井-岩相对比
Fig. 4 Seismic-logging-lithofacies correlation of the volcanic eruption cycles in the third member of the Yingcheng Formation in the Shengping gas field

基本连续分布,未发现明显的沉积岩层,个别井段发育少量沉火山岩或火山碎屑沉积岩。说明营城组沉积期火山间歇期很短。

2) 喷发方式即有强烈的中心式喷发,也有较宁静的裂隙式溢流喷发。火山强烈爆发时的代表

山喷发溢流复合体。

3) 火山活动喷发迅速、冷凝时间短。主要表现在两个方面:一是喷发-喷溢旋回非常频繁,形成多个火山喷发-喷溢旋回,且旋回之间正常沉积岩层厚度不大甚至为零;二是熔岩或熔岩胶结物的颗粒细小且含有较多的隐晶质及玻璃质,表明熔岩喷出地表后迅速冷凝结晶甚至来不及结晶。绝大部分熔岩在岩心上不仅基质为隐晶质,而且斑晶颗粒也细小,说明岩浆形成直至喷发地表这一过程也比较短暂。

3 火山岩岩相及其分布规律

3.1 火山岩岩相类型

根据研究区火山活动特点、火山岩的产出形态、厚度、岩石类型及其分布规律,按距火山口距离的远近,将研究区火山岩及其相关岩石分布区划分为火山口及近火山口相、过渡相和边缘相3个相带;按成因机制、火山产物及其分布特征,将升平气田火山岩及其相关岩石分布区划分为5个相:1)火山爆发相;2)火山溢流相;3)火山侵出相;4)火山通道相;5)火山沉积相和6个亚相带(表2)。

3.1.1 爆发相

爆发相是近火山口的产物。根据火山喷发方式及火山产物的产状及类型的不同,爆发相又可细分为溅落熔岩亚相和火山碎屑岩亚相^[6]。溅落熔岩亚相是指在火山口附近,熔浆上涌时,携带的围岩物质以及熔浆就近坠落堆积所形成的岩体,形成的岩石类型有角砾熔岩、凝灰质熔岩、熔结角

砾岩等。火山碎屑岩亚相是指从火山口喷发出来的熔浆,骤然冷却,炸裂成大小不一的集块、角砾和细的火山灰、火山尘等火山碎屑物质经搬运后降落于正常沉积物之上或之中,从而形成粒度大小不一的火山碎屑岩类,如火山集块岩、火山角砾岩和火山凝灰岩等。

升平气田营城组火山口相和近火山口相以粒度较粗的火山角砾岩和火山集块岩为主,其次为火山角砾熔岩,主要位于喷发旋回的底部或顶部。火山角砾岩见于升深更2井2 911.20~2 916.00 m、升深2-7井2 930.00~2 935.45 m以及升深2-6井2 983.85~2 985.85 m等处;火山角砾熔岩见于升深更2、升深2-12、升深2-6等井;火山集块岩见于升深2-7井3 020.54~3 025.74 m。部分角砾有一定的磨圆度,显示经过了一定距离的搬运作用。由于受爆发气流和风力的影响,细粒火山物质在空气中悬浮飘移,随着能量的降低,降落并沉积为细粒的凝灰岩和沉凝灰岩。凝灰岩和沉凝灰岩在研究区常以夹层形式分布于火山熔岩或火山碎屑岩之间,如升深更2井2 999.91~3 005.5 m、升深2-7井2 935.45~2 938.65 m、升深2-1井2 865.67~2 868.60 m、升深2-6井3 525.44~3 526.59 m、升深2-12井3 170.00~3 176.96 m等处都可见到该类岩石。

3.1.2 溢流相

溢流相熔岩可形成于火山喷发的各个时期,但主要在强烈火山爆发之后的火山宁静期出现。溢流相指溢流出来的熔岩流,经冷凝结晶而形成的岩石。熔岩流的顶、底面或前缘多形成气孔状熔岩或角砾状熔岩等岩类。研究区火山溢流相岩石在全区分布广泛,或位于火山喷发旋回的上部

表2 升平气田营城组火山岩岩相及其岩石类型

Table 2 Classification of volcanic lithofacies and rock types in the Yingcheng Formation of the Shengping gas field

岩相	主要形成机制	亚相	岩石类型
火山爆发相	爆发作用	溅落熔岩亚相	熔结火山碎屑岩、火山碎屑熔岩
		火山碎屑岩亚相	火山碎屑岩、沉火山碎屑岩
火山溢流相	喷溢作用	熔岩流亚相	角砾状熔岩、熔岩
		火山重力流亚相	熔岩质角砾岩、熔岩质砾岩
火山侵出相	冷凝后期内力挤压流动		熔结角砾岩、揉皱变形流纹岩
火山通道相	火山口坍塌充填	火山颈亚相	沉火山角砾岩、熔结火山角砾岩
	浅层侵入	次火山亚相	闪长玢岩
火山沉积相	沉积作用		沉火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩

(一般位于角砾状熔岩之上),或独立构成英安岩或流纹岩的单一喷发喷溢旋回。

溢流相又可分为熔岩流亚相和火山重力流亚相。熔岩流亚相可以由形成爆发相以后的剩余熔浆通过溢流作用形成,也可直接由喷溢作用形成。在熔岩流亚相火山熔岩流的顶、底面一般气孔发育,而中部为致密的熔岩。如升深2-12井

角砾成分为棕红色凝灰质泥岩、泥岩、灰白色凝灰岩,填隙物为灰白色流纹质凝灰岩和流纹岩。

3.1.3 侵出相

侵出相粘度大的酸性岩,形成于火山喷发旋回的晚期。当破火山口-火山湖体系已经形成,含挥发份很低的高粘度酸性岩浆已无力喷出地表,受内力挤压涌出地表时,遇水淬灭或在大气中快速冷却便在火山口附近形成侵出相(玻璃质)火山岩体。研究区侵出相熔岩主要表现为揉皱状流纹构造流纹岩。

3.1.4 火山通道相

研究区火山通道相可识别出次火山岩岩相和火山颈亚相。次火山岩深灰色闪长玢岩仅见于升深2-1井2 828.73~2 830.63 m段。火山颈亚相主要表现为熔浆流动停滞并充填在火山通道或火山口塌陷带充填泥质物。如升深2-6井2 984.00 m处火山颈亚相的角砾状熔岩,角砾含量55%~70%,颜色为流纹岩、凝灰岩,被灰白色熔岩以及少量泥质物胶结、充填。升深2-7井3 020.00~3 025.00 m段,角砾为棱角状灰白色流纹岩,砾间充填火山碎屑岩以及棕色泥岩。

3.1.5 火山沉积相

火山沉积岩相可形成于火山作用的不同阶段,以火山灰、火山尘以及火山碎屑角砾等经一定距离搬运至正常沉积物中通过正常沉积作用而成。这类岩石多位于火山岩体的远端,岩石类型为火山碎屑沉积岩类。如升深2-12井3 353.40~

等成果,研究了升平气田营城组火山岩岩相在空间上的演化与分布特征,建立了升平气田营城组火山岩岩相模型。

平面上,升深2-1井、升深2-6井、升深2-7井、升深202井、更2井等高产气流井位于以火山爆发相、火山通道相为主的部位;升深4、升深203、升深201等井位于以火山溢流相为主的相带;向东主要发育由火山岩向沉积岩过渡的火山沉积相带(图6)。纵向上各期旋回的火山岩发育情况不同。靠断层附近,早期主要以溢流相为主,晚期以火山通道相为主;远离断层如升深203井,纵向上主要发育爆发相与溢流相的互层。在少数喷发旋回的间隔期,发育少量沉火山岩与沉积岩,但厚度总体较薄,且横向上连续性差。

4 火山岩储集性能的控制因素分析

火山岩储层储集性能的好坏关键在于储层中孔、缝的发育程度及其之间的连通情况。火山岩中孔、缝储集空间的发育程度及其组合的不同必然决定了火山岩储层具有较强的非均质性。升平气田营城组火山岩的储集空间类型繁多,火山岩形成后经过了后期溶蚀与交代充填、风化剥蚀和构造作用等一系列复杂的地质作用过程。在此过

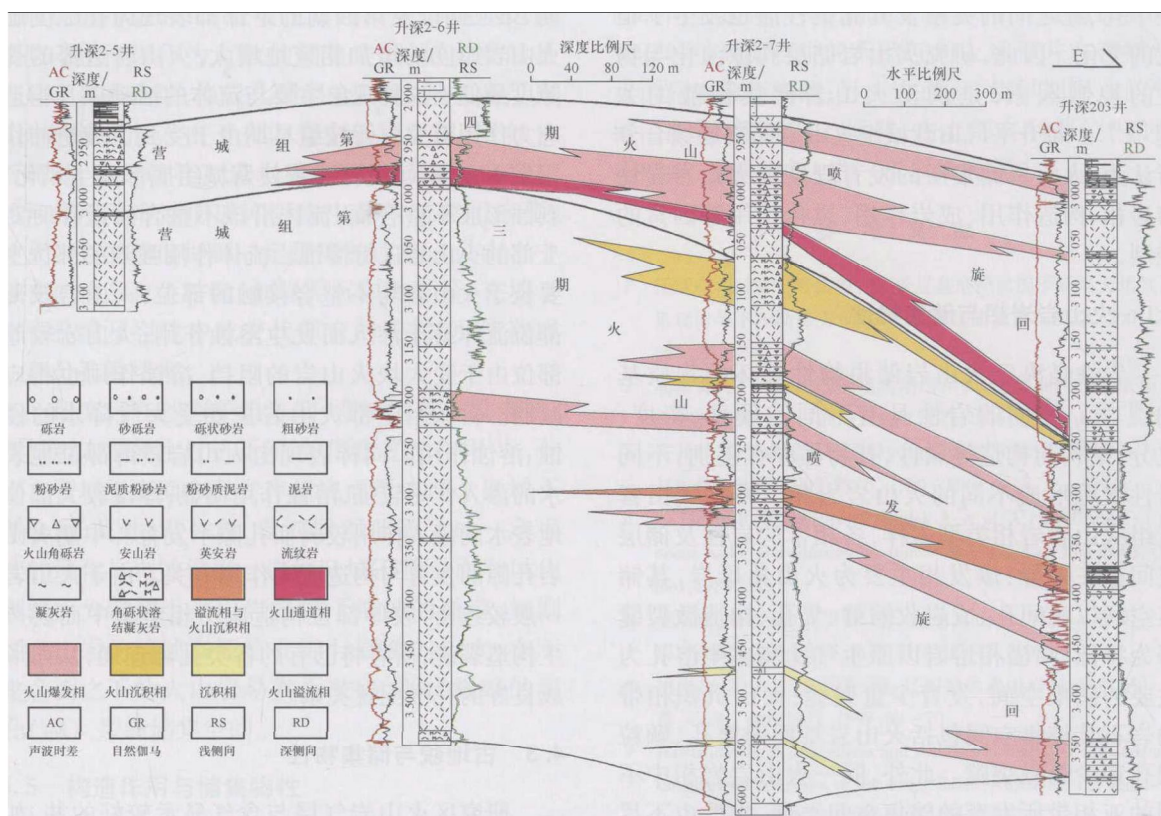


图5 升平气田北部营城组升深2-5井—升深2-6井—升深2-7井—升深203井火山岩岩相对比剖面示意图

Fig. 5 Well-tie section (well Shengshen 2-5, 2-6, 2-7 and 203) of volcanic lithofacies in the third member of the Yongcheng Formation in the Shengping gas field

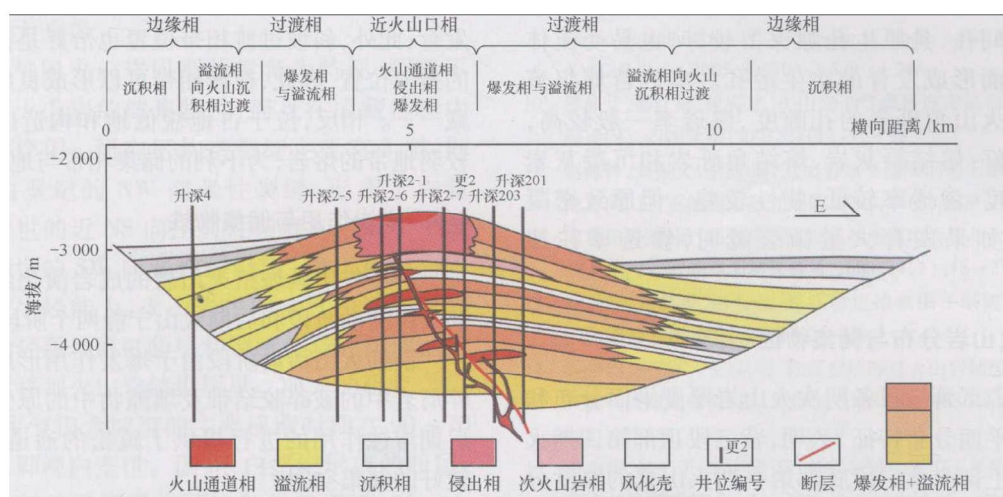
图6 升平气田北部火山岩岩相与火山机构分布示意图^[5]

Fig. 6 Schematic diagram showing distribution of volcanic lithofacies and volcanic apparatus in the northern Shengping gas field

程中孔、缝之间的关系及其储集性能也发生了很大的变化。因此,研究火山岩储层孔隙演化与物性的控制因素,是认识火山岩储集性能的关键^[7~10]。对升平气田营城组火山岩储集层综合分析认为,火山岩储集层的发育程度受火山岩岩性与岩相、构造作用、成岩作用、风化作用等因素的控制。

4.1 火山岩岩相与储集物性

岩性是决定火山岩储集物性好坏的物质基础^[10~12]。不同的岩性具有不同的硬度、密度、成分、结构与构造等属性,其物性存在差别;不同岩性又可形成不同的火山岩岩相。升平气田营城组火山岩岩相类型多样,各相带的岩性及储层空间存在差异:爆发相主要为火山角砾岩,其储集空间以粒间孔、成岩收缩缝、气孔、构造微裂缝等为特征;喷溢相熔岩以原生气孔和次生溶孔为主要的储集空间,发育少量裂缝;火山沉积相带的岩石其储集空间包括火山岩基质内溶孔、颗粒间孔和少量微裂隙。此外,同一火山岩岩相中不同的亚相带所发育的储集空间类型、物性也不尽相同。火山喷溢相中心亚相带的岩性致密,气孔、裂缝等储集空间都不甚发育,物性较差;而喷溢相顶、底部熔岩石则发育气孔且孔径容易进一步被溶蚀扩大;爆发相顶部多为凝灰质覆盖,物性较差,而其底部的火山碎屑岩或集块岩发育丰富的砾间孔、且原生孔隙保留较好,也易受流体的溶蚀而形成发育的次生溶孔。本区营城组流纹岩和火山角砾岩的孔隙度、渗透率一般较高,物性较好;熔结凝灰岩、熔结角砾岩和沉凝灰岩的孔隙度、渗透率较低,物性较差。但原致密凝灰岩中如果发育大量微裂缝时,渗透率往往较高。

4.2 火山岩分布与储集物性

研究区营三段各期次火山岩厚度平面分布和孔隙度平面分布特征^①表明,营三段顶部第四期火山旋回上部与营三段底部第一期火山岩的厚度分布与火山岩的孔隙度分布呈负相关性,即孔隙度高值分布在火山岩厚度较薄地带,而火山岩较厚部位的岩石其孔隙度值较低。中期火山岩如第二

期、第三期以及第四期的下部都表现为孔隙度随火山岩厚度的增加相应地增大,火山岩边部的孔隙度最低。这种现象主要与流体的活动以及构造应力作用有关。营城组早期由于受到区域逆冲作用发生大规模的挤压,致使营城组底部发生风化、剥蚀形成不整合面,流体沿该不整合面运移时对上部的火山岩进行溶蚀。流体作用强烈的部位主要位于火山岩与不整合接触的部位,火山岩较薄部位流体易于渗入而发生溶蚀作用;火山岩较厚部位由于受大块火山岩的阻挡,溶蚀作用也相应减弱。营城组上部火山岩主要受大气降水的侵蚀、溶蚀作用。同样表现出火山岩较薄部位地表水的渗入作用较强,溶蚀作用明显;厚度较大部位地表水的侵入作用较弱而孔隙不发育。中期火山岩孔隙的发育与构造应力作用有关。由于火山岩一般较致密,较厚部位构造应力相对集中而易产生构造裂缝,后者将已有的各类孔隙连通,从而形成良好的孔喉配置关系。

4.3 古地貌与储集物性

研究区火山岩气层与含气显示较好的井,如深升2-5、深升2-6、深升2-25、深升2-21、深升2-1等井均位于古地貌高部位或斜坡过渡带(如深升203井)。位于古地貌高地和构造应力集中地带的溢流相熔岩,往往遭受较强的风化淋滤作用和构造作用,因而次生溶蚀孔与构造裂缝较发育;此外,斜坡过渡相带位置也恰好是油气运移的指向位置,因此,在该相带可以形成良好的油气藏^[9,10]。相反,位于古地貌低地和构造应力作用较弱地带的熔岩,为不利的储集相带与地段。

4.4 成岩作用与储集物性

升平气田营城组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。

前期火山活动阶段由于爆发作用形成的火山碎屑岩中的破碎胶结带及填隙物中的原生孔隙为后期溶蚀作用的进行提供了疏松的通道,可形成较好的储集空间。

后期火山宁静阶段主要包括火山岩的冷凝作用,次生溶蚀与交代充填作用、风化剥蚀作用等后生成岩作用。火山岩的冷凝收缩与破碎作用形成

① 罗静兰. 升平气田火山岩岩相划分方法研究. 西北大学/大庆油田采气分公司, 2006

的收缩缝与破碎带、脱玻化作用产生的基质内微裂隙不仅可以作为有效的储集空间,更主要的是连通了各类孔隙,形成孔缝组合,极大地提高了火山岩的渗透性。由于火山岩中不稳定组分(如长石斑晶、黑云母等)、成岩碳酸盐等易溶胶结物在热液作用下溶蚀形成许多次生晶内与粒间溶孔,使火山岩的物性得到一定程度的改善。火山岩中蚀变矿物及自生矿物(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,可使造成一部分孔隙堵塞。

研究区在沙河子组末期、营城组营一段末期、营城组末期发生过挤压褶皱、断层逆冲作用^[13],分别在营城组底面和登娄库组底面形成两个区域不整合面,此外,营一段、营四段顶部遭受过一定程度的风化与剥蚀作用。这种区域不整合面和风化剥蚀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和原有孔隙与裂缝的扩大,在不整合面之下的火山岩易发生破碎,形成很好的溶孔(洞)、裂缝储集空间。

4.5 构造作用与储集物性

构造运动形成的构造裂缝、加之风化裂缝和冷凝收缩缝等,一方面可成为部分储集空间,同时这类裂缝可沟通火山岩中已有的孔隙,特别是在气孔发育的熔岩层段,由于裂缝连接多个孤立的气孔,从而使气孔变为有效孔隙,而使火山岩的储集性能大大改善。

升平气田火山岩以裂缝发育为特征,裂缝不但改善了火山岩的储集物性,而且在成藏过程中起了重要作用。研究区构造裂缝主要有3组:即形成于白垩纪的NW向张性裂缝、形成于古新世—中新世的近NS向压剪性裂缝和形成于中新世—上新世的SW向张性裂缝^①。由于火山岩本身不具有生烃能力,火山岩中的油气主要靠紧邻火山岩的烃源岩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。前人的研究^[14,15]表明,升平气田营城组的主要成藏时期在90~70 Ma之间,即晚白垩世。因此,白垩纪形成的断层、裂缝为油气的运移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。由于研究区后期构造裂缝的方向继承了前期断裂裂缝,使先期

断裂向上延伸,一方面使下伏沙河子组和侏罗系火山岩中聚集成藏;另一方面,可使早期形成的气藏沿断层、裂缝向上运移,在上部有利部位(如登娄库组、泉头组等)进一步聚集成藏。

参 考 文 献

- 1 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
- 2 周荔青,雷一心. 松辽盆地断陷层系大、中型油气田形成条件及勘探方向[J]. 石油与天然气地质,2006,28(6):820~826
- 3 齐井顺. 松辽盆地北部深层火山岩天然气勘探实践[J]. 石油与天然气地质,2007,28(5):590~596
- 4 Le Maitre R W, Bateman P, Dudek A, et al. A classification of igneous rocks and glossary of terms[M]. London, Blackwell, Oxford, 1989. 359
- 5 王璞珺,冯志强,刘万洙,等. 盆地火山岩:岩性·岩相·储层·气藏·勘探[M]. 北京:科学出版社,2008
- 6 赵澄林,孟卫工,金春爽,等. 辽河盆地火山岩与油气[M]. 北京:石油工业出版社,1999:69~70
- 7 Hawlander H M. Diagenesis and reservoir potential of volcanogenic sandstones-Cretaceous of the Surat Basin, Australia[J]. Sedimentary Geology, 1990, 66: 181~195
- 8 Sruga P, Rubinstein N, Hinterwimmer G. Porosity and permeability in volcanic rocks: a case study on the Serie Tobfera, South Patagonia, Argentina[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2004, 132: 31~43
- 9 Jinglan L, Sadoon M, Zhigang L, et al. Controls on the Archeozoic-Jurassic metamorphic-volcanic reservoir quality from the Xinglongtai buried hill, western depression of Liaohai basin, China[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(10): 1319~1346
- 10 罗静兰,邵红梅,张成立. 火山岩油气藏研究方法与勘探技术综述[J]. 石油学报, 2003, 24(1): 31~38
- 11 赵海铃,刘振文,李剑,等. 火山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): 609~613
- 12 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
- 13 殷进根,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
- 14 冯子辉,任延广,王成,等. 松辽盆地深层火山岩储层包裹体及天然气成藏期研究[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(6): 436~442
- 15 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

(编辑 高 岩)