

火山喷发机构、期次及其控藏作用 ——以松辽盆地北部莺山凹陷营一段为例

张 姣¹, 辛朝坤², 张军勇³

(1. 东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 中国石油 大庆钻探工程公司 物探一公司, 黑龙江 大庆 163318;
3. 中国石油 东方地球物理公司研究院 地质研究中心, 河北 涿州 072751)

摘要:火山机构控制着优质储层的分布,是火山岩天然气成藏必不可少的研究内容。针对松辽盆地北部莺山凹陷营城组一段火山岩以酸性岩为主,孔隙度普遍小于5%,后期蚀变作用强烈且探井少的特点,从地震反射同向轴的连续性、振幅强度、成层性以及岩性、测井曲线特征入手,分别建立火山岩喷发旋回和期次的界面标志。采用相干体分析技术、趋势面分析技术和手动识别方法,识别不同喷发期次的火山机构,并通过其与天然气气藏分布之间关系,对其控藏作用进行了研究。结果表明:莺山凹陷营一段火山岩可细分为六个期次,由下至上,火山岩沿断裂由东向西迁移喷发,形成了东、中、西三大火山机构带,火山机构的保存程度和内部火山岩相的分布决定了储层的物性和有效性,其中,中、西部火山机构带的中部保存较为完整、裂缝及溶蚀孔发育,孔渗条件好,是有利的天然气成藏区域;而东部东火山机构带由于后期抬升剥蚀,遭受风化淋滤作用,保存不完整,溶蚀孔隙与裂缝被上覆沉凝灰岩及次生矿物充填,储集性能较差。

关键词:火山岩;火山机构;深层天然气藏;营城组;莺山凹陷;松辽盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

A study on volcanic eruption edifices and stages and their control over hydrocarbon accumulation: A case study of the first member of the Yingcheng Formation in Yingshan Sag, northern Songliao Basin

Zhang Jiao¹, Xin Chaokun², Zhang Junyong³

(1. School of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China;

2. No. 1 Geophysical Prospecting Company of Daqing Drilling Engineering Company, PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163318, China;

3. Geophysical Research Center of BGP Inc., PetroChina, Zhuozhou, Hebei 072751, China)

Abstract: As one of the important controlling factors over the distribution of high-quality reservoirs, volcanic edifices have been the major study objects of explorers for gas reservoirs. The first member of the Yingcheng Formation in Yingshan Sag of northern Songliao Basin, being dominated by acidic volcanic rocks and having a porosity less than 5% with intensive later alteration and less explored with drilling, was studied based on seismic data (the continuity of seismic events, amplitude intensity), layered properties, lithology and logging data, to establish boundary marks of volcanic eruption cycles and stages. Measures such as coherence volume interpretation, trend-surface analyses and manual identification, were used to discern volcanic edifices of different eruption stages and to determine their significances of controlling the quality of reservoirs based on their layout relations with hydrocarbon distribution. The result shows that six stages can be recognized in the volcanic rocks of the member from bottom up. Three massive edifices (the east, central and west edifices) were formed as the volcanic rocks erupted while migrating from east to west along faults in the area. The quality of the reservoirs there was conditioned by the preservation state of the edifices and the internal lithologic distribution. The middle parts of the central and west edifices were found to be well preserved with favorable porosity and permeability (due to the highly developed fractures and dissolved pores) for hydrocarbon to accumulate. But the eastern part of the east edifice was less preserved after a later uplifting and erosion as well as weathering and leaching, and its reservoir

收稿日期:2017-11-13;修订日期:2018-01-16。

第一作者简介:张姣(1989—),女,博士研究生,地震资料综合解释及油气运移与保存条件。E-mail:767452680@qq.com。

properties were poor due to the filling-up of dissolved pores and fractures by the overlaying sedimentary tuff and secondary minerals, thus being considered a less desired exploration target for gas.

Key words: volcanic rock, volcanic edifice, deep gas reservoir, Yingcheng Formation, Yingshan Sag, Songliao Basin

火山岩的多中心、多期次的喷发特征决定了火山岩层序赋存不受水体可容纳空间控制,具有“水、火”共生的特征,即在火山喷发区为火山岩层序,逐渐向火山活动范围外过渡为沉积岩层序^[1]。能否正确地划分火山岩层序,是火山岩天然气勘探的关键。对于火山岩层序的划分,前人曾做过大量研究工作,有多种方法,如1982年朱玉书针对川西小相岭火山岩地层以组-段-(韵律)带作为划分单位;1996年谢家莹提出了旋回-组-岩相-层(即火山构造-组-岩相-层)四级火山岩地层划分方法;2002年冀国盛等在研究金湖凹陷以熔岩流为主的火山岩时,采用旋回-亚旋回-岩流组-岩流单元作为火山地层划分单位^[2-4]。然而这些方法更多的依靠测井、钻井资料,不适合勘探程度较低的区域,只是按照岩性的对比,不能横向展开精细解剖火山机构。2007年黄玉龙、王璞珺等根据岩性、岩相、测井以及地震资料等对松辽盆地徐家围子地区营一段火山岩采用段-旋回-期次的划分方案^[5],该方法除了依据岩性变化、测井曲线之外,还通过在地震剖面上追踪火山机构的丘状外形,实现了火山岩层序横向上的追踪和对比,然而由于后期改造强烈的火山机构难以追踪丘状外形,使该方案更适用于钻井资料丰富、火山岩岩性种类多样、火山机构保存较好的地区。

火山岩储层物性受压实作用较小,主要储集类型为原生孔、蚀变作用形成的次生孔以及构造作用形成的裂缝等。刘万洙、刘晓洪等认为火山岩储层孔隙发育程度与风化淋滤作用密切相关,火山喷发间隙期或后火山活动侵蚀期的风化淋滤作用使火山岩储集物性复杂化,既能形成溶蚀孔改善储集物性,又会在后期生成次生矿物充填破坏储集物性^[6-7]。王君等认为区域性抬升使得火山岩长期暴露地表,蚀变矿物填充强烈,顶部的最终分解带、水解带以及底部的崩解带及未风化带储集性较差,仅中部的淋滤带为有利的储集体^[8]。史基安等同样认为有效储层主要集中在距火山岩风化壳顶面25 m范围外^[9]。前人研究结果表明:后期蚀变作用及构造抬升剥蚀破坏火山岩储集物性。

松辽盆地火山岩研究主要集中于徐家围子断陷,而对莺山凹陷研究较少。莺山凹陷作为松辽盆地北部深层天然气勘探的新区,钻井较少,火山岩岩性单一(主要发育酸性火山岩),火山机构后期改造强烈,莺

山凹陷营一段火山机构及其对天然气成藏的控制作用研究一直处于薄弱环节,尤其是从地震特征入手研究火山喷发期次,刘为付等(2000)根据火山活动规律及沉积地层组合^[10],将莺山凹陷火山岩划分为3个旋回,分别相当于火石岭组、沙河子组以及营一段,其划分尺度较粗,不能满足目前该地区天然气勘探的需要。因此本文结合反射结构、振幅强弱、连续性等在横向上可对比的地震发射特征以及岩性变化、测井曲线韵律变化等纵向上可识别的测井和钻井资料,采用段-旋回-期次的划分方案,针对营一段火山岩精细划分火山岩喷发期次,研究火山机构分布规律,并结合其与天然气分布之间的关系,研究其对火山岩储层的控制作用,指导该区域下一步的勘探开发。

1 地质概况

研究区处于松辽盆地北部深层构造单元东南断陷区莺山凹陷带的主体部位,面积为400 km²。该地区向西与徐家围子断陷被朝阳沟背斜带分割,表现为四站断裂和临江断裂共同控制下的不对称地堑式双断凹陷^[11]。在登娄库组沉积前,构造受火山作用控制,形成两隆夹一凹的古地貌,即四站古隆起、对青山凸起和莺山凹陷。北部为低洼区。在嫩江组沉积前,南北差异沉降,南部构造进一步加强,西部古隆构造幅度降低。及至现今,北部发生强烈构造反转,南部轻微反转,中部稳定沉降,最终形成现今的四周高,中间低构造形态(图1)。营城组处于盆地的断陷期,发育营一段火山岩和营四段砂砾岩。目前研究区营城组内共有探井5口,测井、钻井资料较少,整体勘探开发程度较弱。因此,只能在现有资料前提下,“以震为主、以井为辅”精细划分火山岩喷发期次,阐述火山机构分布规律,结合天然气分布之间的关系研究其对天然气成藏的控制作用。

2 火山岩喷发期次及其特征

钻井及测井资料表明:莺山凹陷营一段普遍发育流纹岩,单井最大累计厚度为1 300 m,局部发育英安岩和安山岩,单井最大累计厚度分别为163 m和155 m,不发育基性火山岩。岩心实测孔隙度普遍小于5%,火山岩

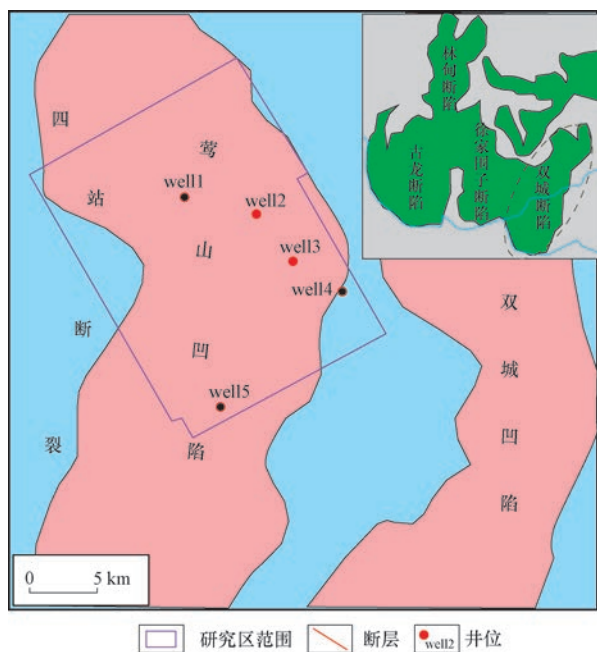


图1 松辽盆地北部莺山凹陷位置

Fig. 1 Location of Yingshan Sag in Songliao Basin

蚀变作用强,孔隙与裂缝目前多被石英、碳酸盐充填。由于莺山凹陷以酸性火山岩为主,且后期改造作用强烈,仅通过追踪火山机构丘状外形识别划分火山岩喷发期次十分困难,同时研究区探井少,利用地震资料展开横向上火山岩喷发期次的追踪对比就显得十分重要。

本文以火山岩间歇、多期次喷发及火山机构的横向叠置为理论基础,结合岩性组合及地震剖面特征,并震结合划分火山岩喷发期次。火山岩地层是岩浆从地层最薄弱地带沿切穿盆地基底与地壳的深大断裂上涌而形成的。与沉积岩地层相比,火山岩地层沉积不受水体可容纳空间的控制^[12-13],这种“水、火”共生的建造特征使得火山岩浆在多期次、间歇喷发过程中形成叠置的火山机构。火山岩在物质成分与岩性上的变化,是划分旋回和期次的基础。在不同火山喷发旋回或同一旋回不同期次之间,物质成分不同,造成火山岩岩性在纵向上具有规律性的变化,与之对应的测井曲线(GR, RLLD, RHOB等)具有韵律变化特征。而不同的岩性特征,其地震反射特征在连续性、成层性以及振幅强度等方面均有不同反映特征。基于此,在单井火山岩期次基础上,采用“段内分旋回,旋回内分期次”的划分方法,建立横向上可追踪对比的期次分界面标志。

一个火山岩喷发旋回经历火山活动的平静期-强烈喷发期-平静期,而沉积夹层就是平静期的代表岩性,也是最明显的旋回界面划分标志。如 Well-2 井营一段火山岩发育两套沉积岩夹层,在测井曲线上表现为低密度(RHOB)、高 GR 和低电阻率的特征。在

单井上将营一段从下至上分为旋回 I, II, III, 其中旋回 I 发育大套的沉积岩夹层,在地震剖面上表现为明显的成层性、高连续以及稳定均衡强振幅能量的特征。而旋回 II 只在顶部发育一套薄沉积夹层,仅在地震剖面上表现为连续分布的强反射轴,但均明显区别于火山岩的杂乱反射特征。能够实现火山岩喷发旋回的横向对比,如图 2 (实线为旋回界面,虚线为期次界面)及表 1 所示。

火山岩喷发期次是一次相对连续的火山活动,其物质成分与喷发强度在纵向上也具有规律性变化,一个火山喷发旋回由多个火山喷发期次组成^[14-15]。同一个旋回的不同期次之间,其岩性及地震剖面特征各有不同,如火山岩岩性变化、火山岩粒度变化与地震反射特征变化(振幅强度、连续性、成层性)等,是在旋回内部划分期次的基础。

旋回 1 从下至上分为期次 1 及期次 2:期次 1 以中性或中酸性火山岩为主,在地震剖面上表现为似层状反射;期次 2 以沉积岩以及沉凝灰岩为主,沉积夹层厚度约 150 m,可单独作为火山岩喷发期次,表明火山岩喷发进入较长的平静期,火山活动由强变弱,在地震剖面上表现为良好的成层性和连续性,易于横向上的追踪和对比,如图 2 与表 1 所示。

旋回 2 顶部发育一套薄沉积岩,厚度约 50 m,在地震剖面上表现为连续的强反射同向轴,是旋回 II 与旋回 III 的分界面,表明两个旋回之间只经历较短的火山喷发平静期。整体上,旋回 2 以火山岩为主,从下至上分为期次 3 及期次 4。其中期次 3 以火山熔岩或火山角砾岩为主,局部发育熔结凝灰岩,粒度较大;期次 4 以熔结凝灰岩、流纹质凝灰岩为主,粒度较小,表现为多火山口喷发逐渐演变为联合大型火山口喷发的特征,这种火山岩粒度和岩性的明显变化,表明了火山岩纵向上的迁移喷发,在 GR 曲线表现为韵律变化,在地震剖面上表现为上部相对层状下部反射杂乱,如图 2 与表 1 所示。

旋回 3 从下至上分为期次 5 及期次 6:期次 5 以流纹岩、流纹质角砾熔岩为主,粒度较大;期次 6 以凝灰岩为主,粒度较小,表明火山岩的垂向上的迁移喷发,火山活动逐步结束,在地震剖面上也表现为上部成层性相对较好,下部反射杂乱呈蠕虫状反射,成层性差,如图 2 与表 1 所示。整体上营一段受控于四站断裂,各期次顶界面均超覆于四站断裂,局部上超于期次 1 底界面,只有期次 5 局部顶界面上超于期次 6 顶界面(表 1),表明火山活动的强度上的差异,是划分期次的有力证据。

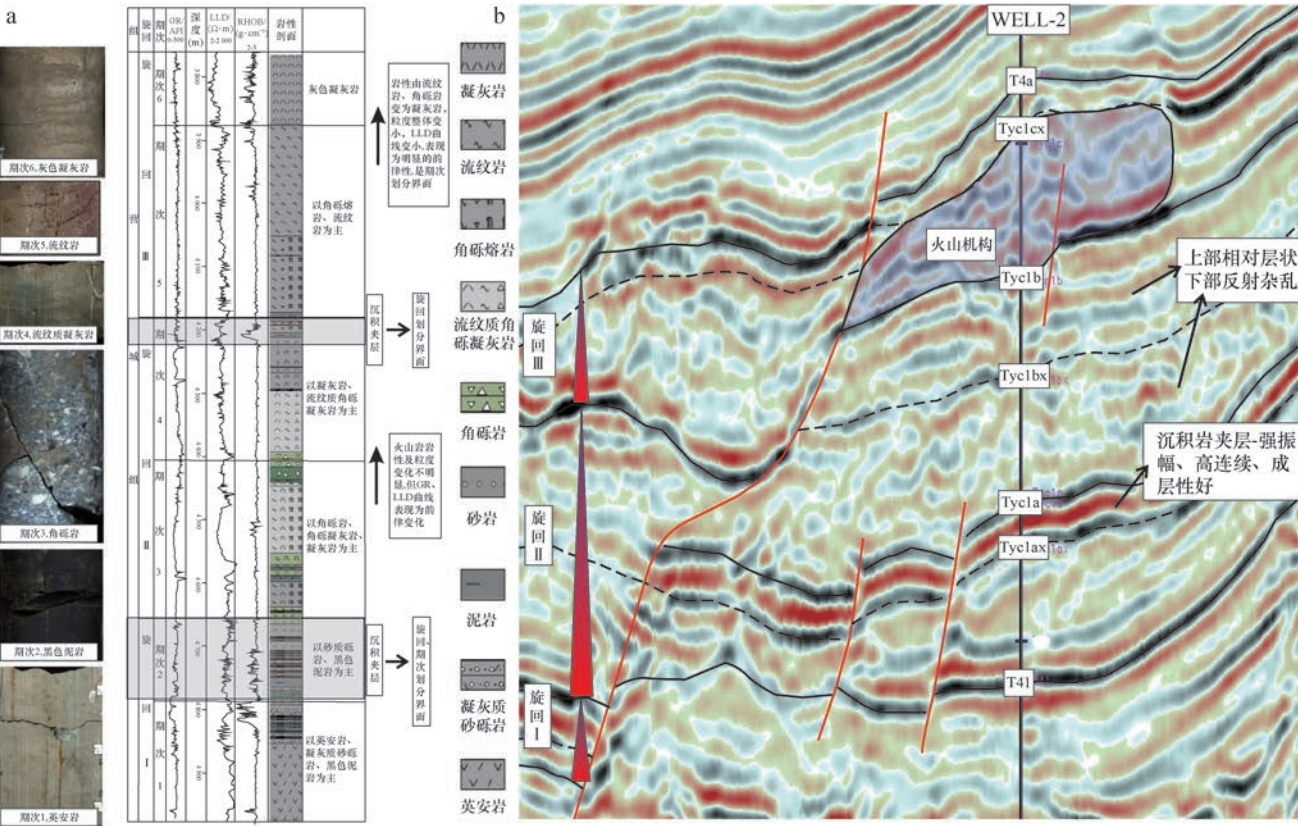


图 2 莺山凹陷 WELL-2 井地质综合柱状图(a)与地震剖面(b)

Fig. 2 Single well comprehensive geological column(a) and seismic sections(b) from Well-2 in Yingshan Sag, Songliao Basin

表 1 莺山凹陷营一段火山岩各喷发期次特征

Table 1 Characteristics of each eruption stage of the first member of the Yingcheng Formation in Yingshan Sag, Songliao Basin

旋回	期次	岩性特征	地震反射特征	地层接触关系	界面标志		火山机构	
					旋回界面	期次界面	总面积(km ²)/个数 (个)/最大幅度(m)	分布位置
旋回Ⅲ	期次 6	以凝灰岩为主	地层厚度薄,成层性相对较好	地层超覆于四站断裂	喷发间歇的沉积夹层,厚度较小	1、火山岩粒度变小 2、地震反射特征变好	73.20/17/160	小面积分布在西部和南部
	期次 5	以流纹岩、流纹质角砾熔岩为主,粒度较大	反射杂乱呈蠕虫状反射、成层性差,地层厚度较大	削截,局部地层超覆于四站断裂			151.60/14/120	大面积分布在西部
	期次 4	以熔结凝灰岩、流纹质凝灰岩为主	断续较连续反射,成层性相对较好	地层超覆于四站断裂,局部上超于 T41			82.03/19/100	小面积分布在中部及北部
旋回Ⅱ	期次 3	以火山熔岩或火山角砾岩为主,局部发育熔结凝灰岩,粒度较大	断续杂乱反射、成层性差,地层厚度大	地层超覆于四站断裂,局部上超于 T41	喷发间歇的沉积夹层,厚度较大	1、火山岩粒度变小 2、地震反射特征变化	149.08/24/90	大面积分布在中部及南部,沿断裂分布
旋回Ⅰ	期次 2	沉积岩或沉凝灰岩	成层性良好、反射波同相轴连续、清晰	地层超覆于四站断裂,局部上超于 T41			31.77/9/36	零星分布在东部
	期次 1	中性或中酸性火山岩为主	地层厚度较薄、似层状反射	地层超覆于四站断裂,局部上超于 T41			25.25/7/70	零星分布在东部 Well-4 井附近

3 火山机构分布

火山机构作为火山岩的主体,是在一定时间范围内,由来自同源的火山物质堆积而成。同期同源火山物质的堆积形成火山锥,即完整火山机构在剖面上具有丘状外形、杂乱反射内幕。随着火山机构高点不断被剥蚀,其外形逐渐变为楔状或层状,而内部反射始终杂乱,这种地震反射特征决定了相干体技术及趋势面法能够应用于火山机构的识别^[16-17]。火山口在相干体上表现为弱相干、杂乱反射内幕,部分呈现环状。趋势面法通过对构造趋势面和古构造发育史的分析,研究局部构造起伏来识别火山锥发育情况。地层界面的趋势变化是区域构造背景的反映,而在此背景上由于构造运动、沉积作用、压实作用以及火山活动等原因造成了地层界面的局部变化,凸起或下凹^[18-19],可以用于

识别丘状外形的火山机构。据此,利用相干体技术识别火山口的发育位置,趋势面分析法识别火山机构的分布范围,地震剖面特征指示火山机构幅度(火山机构顶底界面差值),精确绘制莺山凹陷营一段 6 个期次的火山机构时间厚度分布图。如图 3 所示,整体上莺山凹陷营一段火山岩形成于断陷期,断裂比较发育,火山机构沿断裂带分布,未见火山颈,为典型的裂隙式喷发。

同一旋回不同期次之间的火山机构既具有继承性,又具有差异性。每一火山喷发旋回的早期(期次 1,3,5)火山活动较强,形成高大的火山机构,地形落差大,火山机构面貌保存完整;晚期(期次 4,6)火山活动相对较弱,具有填平补齐、局部持续造山的特征。平面上,不同期次火山机构个数及分布面积不同。期次 1 有 7 个火山机构,个数最少,分布面积最小,主要分布在东部 Well-4 附近,剥蚀严重,剖面上多呈现层状;期次 3 有 24 个火山机构,大面积分布在中部及南部,

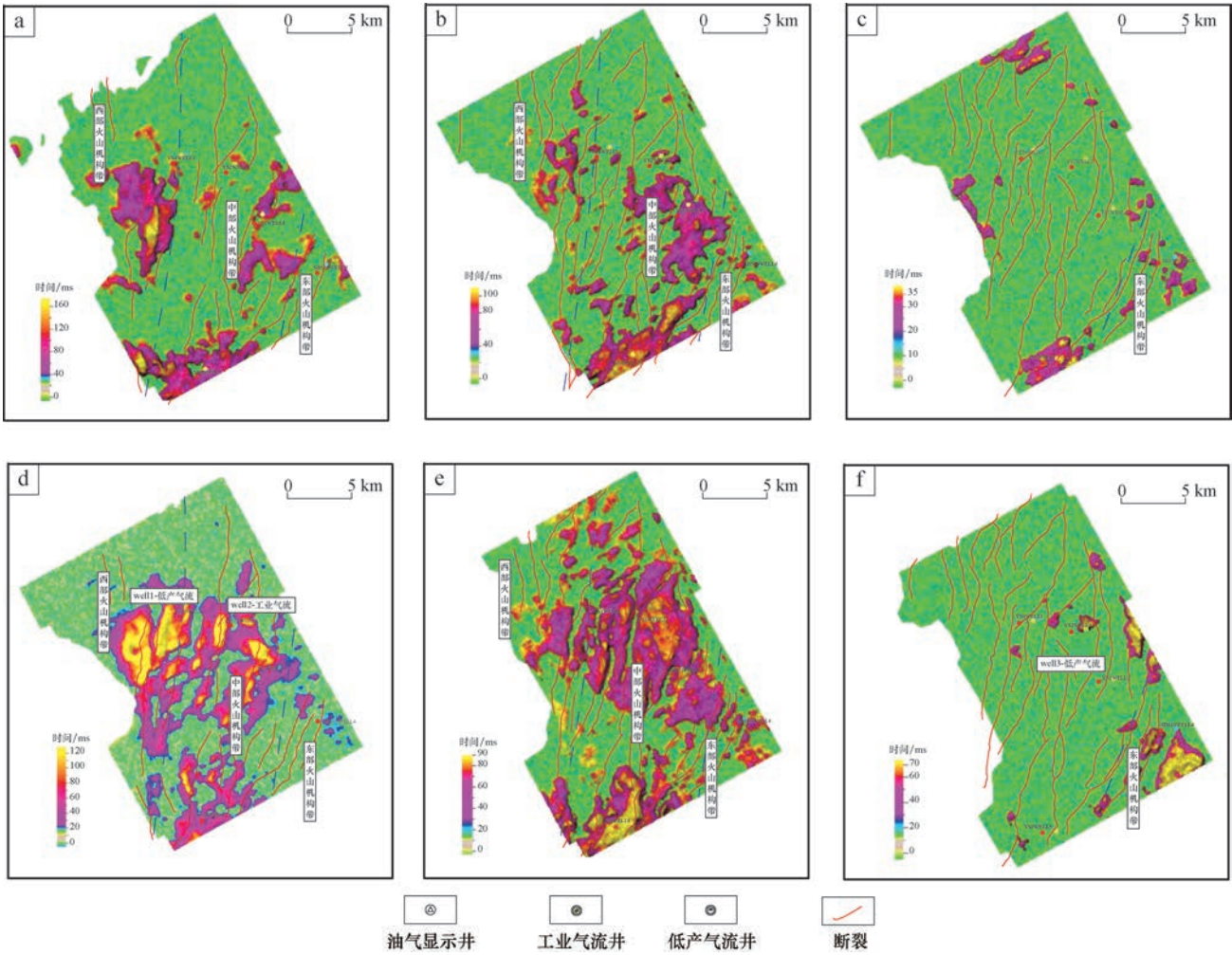


图 3 莺山凹陷营一段各期次火山机构与天然气分布关系

Fig. 3 Correlation of volcanic edifices of each stage with gas reservoir distribution in the first member of the Yingcheng Formation, Yingshan Sag, Songliao Basin
a. 期次 6; b. 期次 4; c. 期次 2; d. 期次 5; e. 期次 3; f. 期次 1

保存较好,剖面上多呈现楔状,偶有丘状火山机构;期次 4 有 19 个火山机构,小面积分布在中部;期次 5 有 14 个火山机构,大面积分布在西部,保存最好,剖面上多呈现丘状和楔状;期次 6 有 17 个火山机构,小面积分布在西部和南部(表 1)。

纵向上,由下至上,火山岩逐渐由东向西迁移喷发,形成东、中、西部三大火山机构带。旋回 I (主要为期次 1,期次 2 以沉积岩为主)火山机构主要分布在 Well-4 井附近,在东部形成北东向火山机构带;旋回 II (期次 3,4)火山机构沿断裂在中部形成近南北向火山机构带;旋回 III (期次 5,6)火山机构幅值最大,在西部形成北西向火山机构带(图 3)。综上所述,火山机构分布的个数、面积及幅度反映了火山岩的活动强度及保存情况。火山机构个数越多、面积越大表明火山活动越强,而火山机构幅度越大、锥型或丘状地震相外形越完整表明火山机构保存越好,其中中、西部火山机构带火山活动强度最大,西部火山机构带保存最好,中部次之,东部火山机构带剥蚀最严重。

4 火山机构对天然气藏的控制作用

由图 3 可以看出,莺山凹陷目前在营一段火山岩

中钻探的 Well-1 井、Well-2 井和 Well-3 井均见到了天然气显示。由表 2 中可以看出,3 口井之所以能在营一段火山岩中见到了天然气显示是由其火山机构特征所决定的,Well-2 井营一段期次 5 火山机构保存完整,且为火山口-近火山口相,则获得了工业气流;而 Well-1 井和 Well-3 井虽也为火山口-近火山口相,但火山机构遭到一定程度的破坏,仅获得了低产气流。由此看出,莺山凹陷营一段火山岩天然气成藏受到火山机构的保存程度和内部火山岩相的控制。

根据基于“火山机构”的划分方法,可以将火山岩相划分为四个相,从火山口至其两侧依次为火山口-近火山口相组、近源相组、远源相组和火山沉积相组。其中火山口-近火山口相组距离火山口最近,与其他火山岩相相比,其储层具有大孔隙、宽/长裂缝、孔喉半径大、孔喉分选好的特征^[20-24]。在莺山凹陷,营一段火山岩后期剥蚀严重,岩心分析指示孔隙与裂缝多被石英、碳酸盐充填,属于低孔、低渗致密储层(图 4);成像测井表明局部好的储集空间以溶蚀孔、气孔和裂缝为主,获得天然气产出的 3 口井均位于火山口-近火山口相组(表 2)。Well-1 井孔隙类型为断裂伴生的构造高导缝,岩心实测孔隙度为 3%~5%。Well-2 井孔隙类型为气孔、溶蚀孔、裂缝,岩心实测孔隙度为

表 2 莺山凹陷部分已知钻井储层控制因素

Table 2 Controlling factors of some gas reservoirs revealed by drilling in Yingshan Sag, Songliao Basin

井名	期次及其试油结论	储层厚度/m	火山岩相	岩性	孔隙类型	孔隙度/%	火山机构
Well-1	期次 5,低产气流	46	火山口,近火山口相	流纹岩	断裂伴生的构造高导缝	3~5	残留楔状火山机构
Well-2	期次 5,工业气流	33	火山口,近火山口相	流纹岩	气孔、溶蚀孔	6.89	完整丘状火山机构
Well-3	期次 1,低产气流	19	火山口,近火山口相	安山岩	火山作用伴生微裂缝	0.2~0.8	夷平层状火山机构

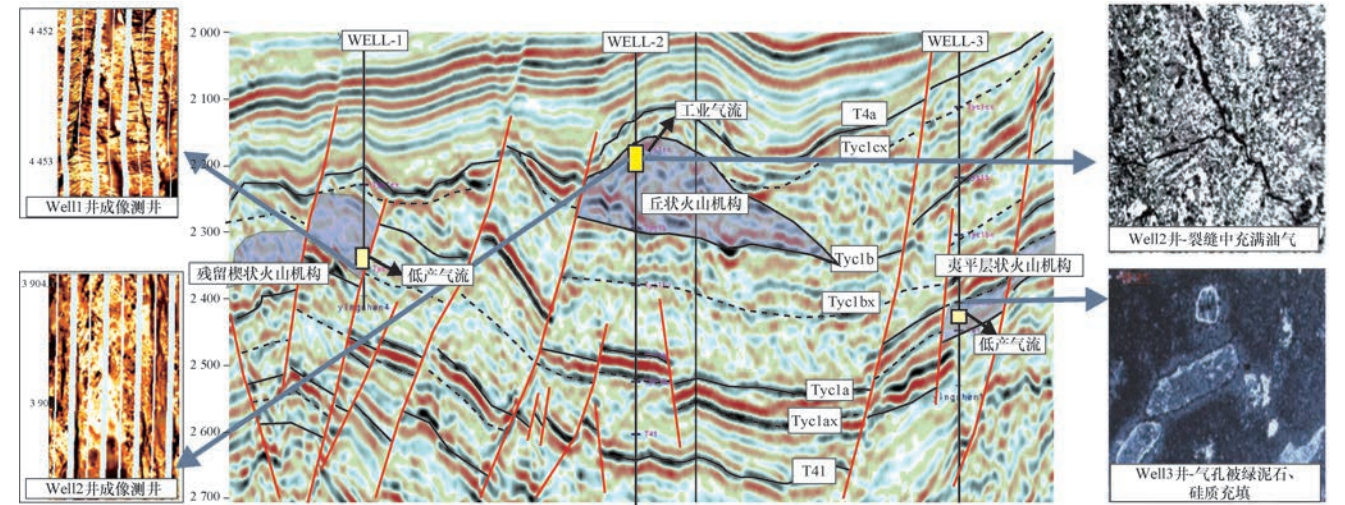


图 4 不同类型火山机构与油藏关系剖面

Fig. 4 Profile showing the relationship between various volcanic edifices and reservoirs in Yingshan Sag, Songliao Basin

6.89%。Well-3 井孔隙类型为火山作用伴生微裂缝, 岩心实测孔隙度为 0.2% ~ 0.8%, 均有利于天然气聚集, 天然气钻探均获得了天然气显示。虽然 3 口井均位于火山口-近火山口相组内, 但储层物性不同, 天然

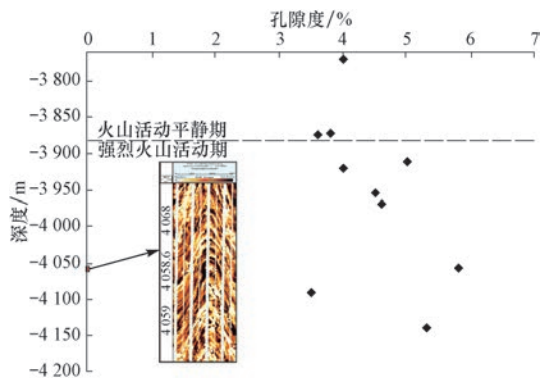


图5 莺山凹陷火山机构孔隙度与深度关系

Fig. 5 Scatter diagram showing the relationship between porosity and depth of volcanic edifices in Yingshan sag, Songliao Basin

气产出情况也不同, 这是因为它们后期遭到蚀变作用程度不同造成的。如从图4可以看出, Well-2 井营一段火山机构呈现丘状外形, 保存较完整, 未受到剥蚀, 孔隙类型为气孔及溶蚀孔, 孔隙度较高, 可达 6.89%, 有利于天然气聚集, 所以钻探获得了工业气流。而 Well-1 井火山机构被剥蚀, 表现为残留楔状火山机构, 孔隙度相对较低, 为 3% ~ 5%, 不利于天然气聚集, 所以钻探仅获得低产气流。Well-3 井火山机构亦被剥蚀, 表现为夷平层状火山机构, 孔隙度最低, 仅为 0.2% ~ 0.8%, 钻探获得低产气流。

如图5所示, 对于一个完整的喷发旋回而言, 强火山活动时期火山岩孔隙性好于平静期。随着火山活动由强变弱, 强火山活动时期形成的巨厚丘状火山机构受到构造及蚀变作用, 形成裂缝及次生溶蚀孔, 改善了储层物性。当火山机构受到后期的抬升风化剥蚀时, 火山机构厚度变小, 强烈的风化淋滤作用使得岩石变得松散, 其顶部的气孔、溶蚀孔以及裂缝易被上覆平静

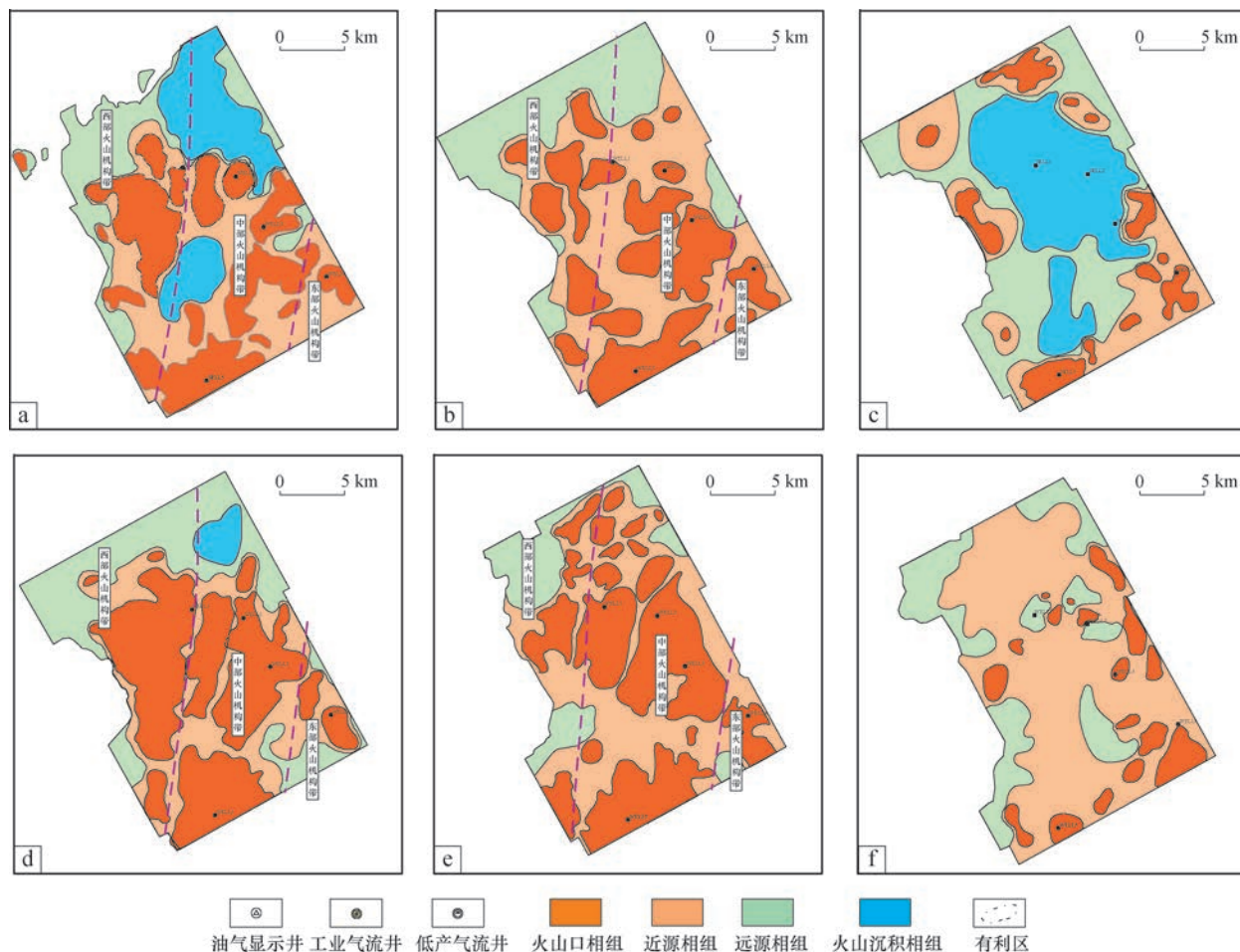


图6 莺山凹陷营一段各期次火山岩气藏控制因素

Fig. 6 Overlay plot showing controlling factors of volcanic gas reservoirs formed during various eruption stages in the first member of the Yingcheng Formation in Yingshan Sag, Songliao Basin

a. 期次6; b. 期次4; c. 期次2; d. 期次5; e. 期次3; f. 期次1

期沉积的细粒沉积岩或沉凝灰岩以及次生矿物填充(图4中Well3井岩心图片),后期的充填改造作用越强,保存程度越低,孔隙及裂缝多被充填,孔渗性降低。而保存较好的火山机构受到的后期充填改造作用较弱,有利于内部原生孔隙和裂缝的保存,如图5中成像测井指示气孔(黑色部分)较为发育,储层物性较好,有利于天然气聚集。因此火山机构的保存程度影响了储层的物性,为火山岩储层预测提供了新的思路。

综上所述,火山机构控制内部火山岩相展布决定了天然气藏的分布;火山机构保存程度控制储层物性决定了天然气层的有效厚度。不同控藏因素的重叠分布区更有利于天然气成藏,重叠区在各期次各有不同,主要位于中西部火山机构带的中部,是下一步勘探的重点(图6)。

5 结论

1) 对于无井或少井区块以裂隙式喷发为主且严重剥蚀的酸性火山岩地层而言,地震相变化是重要的期次分界面标志。地震反射同向轴连续性由差变好、振幅能量由弱变强、成层性由差变好,均表明火山活动由强变弱,是明显的期次界面划分标志,为细分火山机构奠定基础。

2) 火山机构的保存程度控制了储层的物性。受到后期的强烈风化剥蚀作用的火山岩,其孔隙及裂缝易被上覆的沉积岩或沉凝灰岩以及次生矿物充填,而保存完好的火山机构受到的改造作用较弱,更好的保存了内部的孔隙和裂缝,有利于油气的聚集。

3) 火山机构的保存程度和内部火山岩相的分布决定了储层的物性和有效性,控制了天然气藏的展布。结合火山机构的地震相、面积、幅度等特征,确定天然气成藏区发育的有利区域,确定有利的勘探目标。

参 考 文 献

- [1] 陈树民,姜传金,张元高,等. 盆内火山岩反射地震响应及对油气藏分布的多尺度预测[J]. 大庆石油地质与开发,2014,33(5):190-198.
Chen Shumin, Jiang Chuanjin, Zhang Yuangao, et al. Seismic response to intrabasin volcanic rock reflection and multi-scale prediction of hydrocarbon[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2014, 33(5): 190-198.
- [2] 朱玉书. 川西小相岭早震旦世火山岩底层划分及喷发环境的探讨[J]. 地层学杂志, 1982, 6(2): 101-106.
Zhu Yushu. Discussion on volcanic eruptions bottom division and the environment of early Sinian of Xiaoxiangling in western Sichuan[J]. Journal of Stratigraphy, 1982, 6(2): 101-106.
- [3] 谢家莹. 试论陆相火山岩区火山地层单位及划分—关于火山岩区填图单元划分的讨论[J]. 火山地质与矿产, 1996, 17(3): 85-94.
Xie Jiaying. Approach to volcanic stratigraphic unite and its division in continental volcanic terrain[J]. Volcanology & Mineral Resources, 1996, 17(3): 85-94.
- [4] 冀国盛,戴俊生,马欣本,等. 金湖凹陷闵北地区阜一、火山岩地层划分与对比二段[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2002, 26(4): 5-8.
Ji Guosheng, Dai Junsheng, Ma Xinben, et al. Stratigraphic classification and correlation of volcanic rock in First and Second Segments of Funing Group in Jinhu Sag[J]. Journal of the University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2002, 26(4): 5-8.
- [5] 黄玉龙,王璞琚,门广田,等. 松辽盆地营城组火山岩旋回和期次划分——以盆缘剖面和盆内钻井为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(6): 1183-1190.
Huang Yulong, Wang Pujun, Men Guangtian, et al. Division of volcanic cycles and stages of the Yingcheng Formation of the Songliao Basin—Take the cross sections at the margin and the boring holes as examples[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(6): 1183-1190.
- [6] 刘万洙,王璞琚,门广田,等. 松辽盆地北部深层火山岩储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, (1): 28-31.
Liu Wanzhu, Wang Pujun, Men Guangtian, et al. Characteristics of deep volcanic reservoirs in northern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, (1): 28-31.
- [7] 刘小洪,冯明友,郝爱华,等. 克拉美丽气田滴西地区石炭系火山岩储层成岩作用及孔隙演化[J]. 岩性油气藏, 2016, 1: 38-48.
Liu Xiaohong, Feng Mingyou, Xi Aihua, et al. Diagenesis and pore evolution of Carboniferous volcanic reservoirs in Dixi area, Kelameili Gas Field[J]. Lithologic Reservoirs, 2016, 1: 38-48.
- [8] 王君,朱如凯,郭宏莉,等. 火山岩风化壳储层发育模式——以三塘湖盆地马朗凹陷石炭系火山岩为例[J]. 岩石学报, 2010, 1: 217-226.
Wang Jun, Zhu Rukai, Guo Hongli, et al. Weathered crust volcanic reservoir: a case study on malang Depression, Carboniferous, Santanghu Basin, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 1: 217-226.
- [9] 史基安,郭晖,吴剑锋,等. 准噶尔盆地滴西地区石炭系火山岩油气成藏主控因素[J]. 天然气地球科学, 2015, S2: 1-11.
Shi Jian, Guo Hui, Wu Jianfeng, et al. The controlling factors of hydrocarbon accumulation of Carboniferous volcanic rock in the Dixi Region[J]. Junggar Basin Natural Gas Geoscience, 2015, S2: 1-11.
- [10] 刘为付,孙立新,刘双龙. 松辽盆地莺山断陷火山岩地震反射特征及分布规律[J]. 石油实验地质, 2000, 22(3): 256-260.
Liu Weifu, Sun Lixin, Liu Shuanglong. Seismic reflection features and distribution law of volcanic rocks in the Yingshan fault depression of the Songliao Basin[J]. Experimental Petroleum Geology, 2000, 22(3): 256-260.
- [11] 印长海,冉清昌,齐景顺. 双城断陷地质结构与主控断裂形成机制[J]. 天然气工业, 2009, 29(11): 13-15.
Yin Changhai, Ran Qingchang, Qi Jingshun. Geological structure and formation mechanism of the major faults in Shuangcheng fault depression

- sion, northern Songliao Basin [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(11):13-15.
- [12] 程日辉,李飞,沈艳杰,等. 火山岩地层地震反射特征和地震-地质联合解释:以徐家围子断陷为例[J]. 地球物理学报,2011, 54(2):611-619.
- ChengRihui, Li Fei, Shen Yanjie, et al. The seismic reflection features of volcanic stratum and the seismic geological interpretation: The case study in Xujiaweizi faulted depression, Songliao basin [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(2):611-619.
- [13] 杨帝,王璞珺,梁江平,等. 松辽盆地白垩系营城组火山岩喷发旋回划分[J]. 地层学杂志,2011,35(2):122-128.
- Yang Di, Wang Pujun, Liang Jiangping, et al. Volcanic eruption cycles of the Cretaceous Yingcheng Formation in the Songliao Basin [J]. Journal of Stratigraphy, 2011, 35(2):122-128.
- [14] 王玲,靳久强,张研. 松辽盆地徐家围子断陷营城组一、三段火山喷发期次划分及意义[J]. 中国石油勘探,2009,14(2):6-14.
- Wang Ling, Jinjiuqiang, Zhang Yan. Division and significance of the volcanic eruption of Yingcheng one, three section of Xujiaweizi rift in Songliao Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2009, 14(2):6-14.
- [15] 司学强,王鑫,陈薇,等. 三塘湖盆地马朗凹陷哈尔加乌组火山岩喷发旋回和期次划分[J]. 地质科技情报,2012,31(6):74-79.
- Si Xueqiang, Wang Xin, Chen Wei, et al. Division of volcanic cycles and stages of the Haerjiawu Formation in Malang Depression, Santanghu Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(6):74-79.
- [16] 陈树民,张元高,姜传金. 徐家围子断陷火山机构叠置关系解析及其数字化模型参数建立[J]. 地球物理学报,2011,54(2):499-507.
- Chen Shumin, Zhang Yuangao, Jiang Chuanjin. The analysis of volcanic edifices super imposition and its digital model parameters establishment [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(2):499-507.
- [17] 唐华凤,王璞珺,姜传金,等. 松辽盆地白垩系营城组隐伏火山机构物理模型和地震识别[J]. 地球物理学进展,2007,22(2):530-536.
- Tang Huafeng, Wang Pujun, Jiang Chuanjin, et al. Physical model and seismic recognition of concealed volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin, Cretaceous, NE China [J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(2):530-536.
- [18] 杨立英,李瑞磊. 松辽盆地南部深层火山岩、火山机构和火山岩相地质-地震综合识别[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2007, 27(6):1083-1090.
- Yang Liying, Li Ruilei. Integrated recognition with geologic and seismic methods on the volcanic rocks, volcanic edifices and volcanic facies in Southern deep Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 27(6):1083-1090.
- [19] 齐井顺,王璞珺,邵英梅,等. 徐家围子断陷营城组火山机构特征与识别方法[J]. 地质科学,2009,44(2):614-623.
- Qi Jingshun, Wang Pujun, Shao Yingmei, et al. Characteristics and identification of edifices of Yingcheng Formation in the Xujiaweizi Fault-Depression [J]. Chinese Journal of Geology, 2009, 44(2):614-623.
- [20] 吴颜雄,王璞珺,宋立忠,等. 松辽盆地营城组火山机构相带地震-地质解译[J]. 地球物理学报,2011,54(2):545-555.
- Wu Yanxiong, Wang Pujun, Song Lizhong, et al. Seismic volcano stratigraphy of Yingcheng Formation in the Songliao Basin [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 2011, 54(2):545-555.
- [21] 冯子辉,朱映康,张元高,等. 松辽盆地营城组火山机构-岩相带的地震响应[J]. 地球物理学报,2011,54(2):556-562.
- Feng Zihui, Zhu Yingkang, Zhang Yuangao, et al. The seismic response of the volcanic edifice-facies zone of Yingcheng Formation in the Songliao Basin [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 2011, 54(2):556-562.
- [22] 姜传金,卢双舫,张元高. 火山岩气藏三维地震描述——以徐家围子断陷营城组火山岩勘探为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2010,40(1):203-208.
- Jiang Chuanjin, Lu Shuangfang, Zhang Yuangao. Three-D seismic description of volcanic gas pool—a case study from exploration to the Lower Cretaceous volcanics in Xujiaweizi fault depression, Northern Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(1):203-208.
- [23] 韩作振,严俊磊,刘辉,等. 吉林永吉地区南楼山组火山岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学特征[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2018,37(1):10-19.
- Han Zuozhen, Yan Junlei, Liu Hui, et al. Zircon U-Pb Chronology and geochemical characteristics of volcanic rocks from the Nanloushan formation in Yongji area, Jilin province [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2018, 37(1):10-19.
- [24] 韩作振,李昊,尉鹏飞,等. 惠民凹陷商741区沙一段火山岩储层特征[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2018,37(1):47-59.
- Han Zuozhen, Li hao, Wei Pengfei, et al. Characteristics of volcanic reservoirs in Sha-1 member of the Shang 741 area of Huimin depression [J]. Journal of Shan Dong University of University of Science and Technology (Natural Science), 2018, 37(1):47-59.

(编辑 董立)