

松辽盆地长岭断陷火山岩储层特征及有效储层分布规律

王璞珺¹ 陈崇阳¹ 张英² 高有峰³ 瞿雪姣¹ 衣健¹

1. 吉林大学地球科学学院 2. 中国石油大庆钻探工程公司地质录井一公司 3. 吉林大学古生物学与地层学研究中心

王璞珺等. 松辽盆地长岭断陷火山岩储层特征及有效储层分布规律. 天然气工业, 2015, 35(8): 10-18.

摘要 火山岩油气藏是松辽盆地重要的勘探对象, 为定量分析火山喷发旋回、岩性、岩相与有效储层分布的关系, 基于该盆地长岭断陷 66 口钻井地质与测井资料、1 495 km² 三维地震资料、546 套实测物性及试气产能等资料, 并在 19 384 m 火山岩井段岩性校正的基础上, 划分出火山喷发旋回和火山岩相及亚相, 建立起岩性、岩相、旋回与储层物性、含油气情况之间的关系, 分析了火山岩储层特征及有效储层的分布规律。结果表明: ①该区共发育 3 段 10 个火山喷发旋回, 有效储层集中发育在火山喷发序列的顶部旋回, 其中营城组一段、三段的顶部旋回(旋回三)储集性能最好; ②该区主要发育 11 种火山岩石类型, 其中流纹岩、流纹质凝灰岩、流纹质凝灰熔岩和流纹质火山角砾岩为有效储层的优势岩性; ③研究区主要发育 4 种火山岩相 11 种亚相, 其中喷溢相上部亚相和爆发相热碎屑流亚相为有效储层的优势岩相; ④火山岩储层物性条件与其有效储层发育程度有着显著的对应关系, 储层物性控制了有效储层的分布, 并且在物性特征中孔隙度较之于渗透率而言, 对有效储层的形成具有更明显的影响。结论认为, 该区深层火山岩勘探具有良好的前景。

关键词 松辽盆地 长岭断陷 火山岩储集层 有效储层 喷发旋回 储层物性 岩性 岩相

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2015.08.002

Characteristics of volcanic reservoirs and distribution rules of effective reservoirs in the Changling fault depression, Songliao Basin

Wang Pujun¹, Chen Chongyang¹, Zhang Ying², Gao Youfeng³, Qu Xuejiao¹, Yi Jian¹

(1. Geoscience School of Jilin University, Changchun, Jilin 130061, China; 2. No.1 Geo-logging Company of Drilling Engineering Corporation of PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163000, China; 3. Palaeobiology and Stratigraphy Research Center of Jilin University, Jilin, Changchun 130061, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 35, ISSUE 8, pp.10-18, 8/25/2015. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: In the Songliao Basin, volcanic oil and gas reservoirs are important exploration domains. Based on drilling, logging, and 3D seismic (1 495 km²) data, 546 sets of measured physical properties and gas testing productivity of 66 wells in the Changling fault depression, Songliao Basin, eruptive cycles and sub-lithofacies were distinguished after lithologic correction of 19 384 m volcanic well interval, so that quantitative analysis was conducted on the relation between the eruptive cycles, lithologies and lithofacies and the distribution of effective reservoirs. After the relationship was established between lithologies/lithofacies/cycles and reservoir physical properties/oil and gas bearing situations, an analysis was conducted on the characteristics of volcanic reservoirs and the distribution rules of effective reservoirs. It is indicated that 10 eruptive cycles of 3 sections are totally developed in this area, and the effective reservoirs are mainly distributed at the top cycles of eruptive sequences, with those of the 1st and 3rd Members of Yingcheng Formations presenting the best reservoir properties. In this area, there are mainly 11 types of volcanic rocks, among which rhyolite, rhyolitic tuff, rhyolitic tuffolava and rhyolitic volcanic breccia are the dominant lithologies of effective reservoirs. In the target area are mainly developed 4 volcanic lithofacies (11 sub-lithofacies), among which upper sub-lithofacies of effusive facies and thermal clastic sub-lithofacies of explosion lithofacies are predominant in effective reservoirs. There is an obvious corresponding relationship between the physical properties of volcanic reservoirs and the development degree of effective reservoirs. The distribution of effective reservoirs is controlled by reservoir physical properties, and the formation of effective reservoirs is influenced more by porosity than by permeability. It is concluded that deep volcanic gas exploration presents a good prospect in this area.

Keywords: Songliao Basin; Changling fault depression; Volcanic reservoir; Effective reservoir; Eruption cycle; Reservoir physical properties; Lithology; Lithofacies

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(编号:2012CB822002)、国家自然科学基金项目(编号:41472304)。

作者简介:王璞珺, 1959 年生, 教授, 博士生导师; 主要从事盆地地质和油气地质研究与教学工作。地址: (130061) 吉林省长春市朝阳区建设街 2199 号。E-mail: wangpj@jlu.edu.cn

1 地质背景

随着松辽盆地徐深 1 井、长深 1 井的相继被发现,火山岩储层及其油气藏已经成为重要的勘探对象^[1]。火山岩储层具有类型多样、形成条件复杂等特点,在外部形态、内部结构、物性特征等方面存在明显差异^[2],这给科研生产带来了很大困难。近年来,由于各断陷中浅层位、规模大、特征清楚、位置有利的火山岩体基本已钻探完毕,致使火山岩油气勘探不断向深层拓展^[3]。而目前松辽盆地火山岩研究主要聚焦在下白垩统营城组,以岩石学^[4]、岩相学^[5-6]、储集空间类型及特征^[7-8]、成岩作用对成储成藏的影响^[9]、储层控制因素^[10-11]和分布规律^[12]等方面的研究为主。而对于深层下白垩统火石岭组的研究则相对较少^[13-14]。2010 年松辽盆地南部火石岭组火山岩勘探取得突破^[15]。随着勘探和研究的深入,把松辽盆地断陷层作为统一整体,综合研究营城组和火石岭组两套火山岩序列,进一步探讨火山喷发旋回、岩性、岩相与有效储层分布的关系,已经成为重要的理论和实际课题。

笔者选取松辽盆地南部面积最大、资源量最丰富^[16]的长岭断陷作为研究靶区,以 66 口钻井(其中 21 口钻井钻遇火石岭组)(图 1)的地质与测井资料、三维地震资料、实测物性及试气产能资料为基础,以营城组和火石岭组火山喷发旋回、岩性、岩相、储层物性特征为研究对象,定量分析火山喷发旋回、岩性、岩相与有

效储层分布的关系,以期通过具有一定普适性规律的总结为该区域深层火山岩油气勘探提供储层依据。

2 火山地层纵向序列

松辽盆地具有断—坳双层充填结构。其构造盆地充填经历火石岭组—营城组的断陷期、登娄库组—嫩江组的坳陷期、四方台组—依安组的构造反转期 3 个演化阶段^[17]。火山岩在时空上存在复杂的组合关系。厘定火山岩的纵向充填序列和横向对比关系,是火山岩储层及其油气藏研究的基础。

断陷期火山活动具有多中心、多旋回、间歇性喷发等特征^[18]。所形成的地层序列在岩性组合、结构构造、纵向喷发序列等方面具有可对比性。笔者首先根据营城组和火石岭组的岩性序列与组合特征^[13,19],采取“组内划段、段内划旋回”方案进行单井组一段—旋回划分。结合前人研究成果,将营城组自下而上分为 3 段 6 旋回,将火石岭组分为 2 段 4 旋回(其中火石岭组二段旋回二在王府断陷等见钻井揭示^[13],长岭断陷未见揭示)(图 2),以此作为单井划分火山喷发旋回的依据。

在单井组一段—旋回划分的基础上,进行井—震联合对比,以揭示火山喷发旋回的空间变化特征。首先,根据单井地层划分结果,在地震剖面上进行层位标定、追踪对比。各火山地层界面的地震反射特征见图 2。据此进行断陷内的火山喷发旋回侧向追踪和井间对比。并利用地震反射界面追踪反过来对单井地层划分进行检验、调整,两者反复对比印证,建立研究区的火山地层对比关系。其次,根据井旁地震道追踪,确定火山旋回的叠置关系。在单井组一段—旋回划分及相应的地震界面标定对比结果基础上,根据连井剖面各旋回叠置序列和横向对比关系,在地震剖面上根据各旋回不同的地震反射特征确定各旋回的终止特征及充填样式。

通过以上方法建立了长岭断陷断陷期火山地层综合序列,其火山地层特征为:火石岭组以中基性火山喷发为主,4 个喷发旋回自下而上碱质含量逐渐增加,由安山岩与玄武岩互层逐渐变为以粗面岩为主;营城组一段和三段各含 3 个火山喷发旋回,营一段沉积期是该区的主要火山岩发育期,构成一套完整的从中基性到酸性的火山喷发过程,营三段自下而上构成酸性—中基性—酸性的火山喷发成分全韵律,但通常以旋回二的厚层状中基性火山岩为特征(图 2)。

3 火山岩储层特征

3.1 岩性特征

岩性和岩相是火山岩的基本地质属性,是火山岩

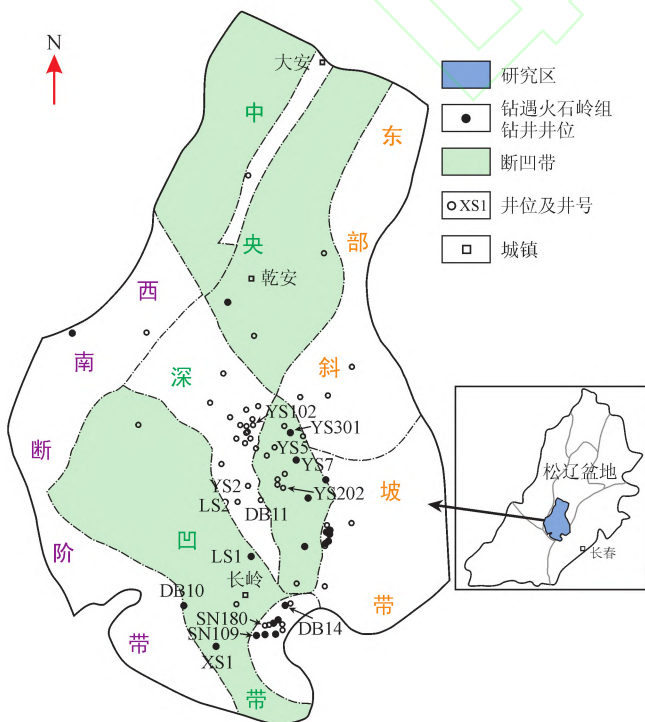


图 1 长岭断陷位置、构造分区及钻井分布图

地层组	火山旋回	代号	距邻间/Ma 厚度 /m	岩性序列	岩性特征	钻遇井数 揭示厚度	代表井段	地震反射界面	地震反射特征								
营城组	三段	K ₁ D ₃	105 最大 最小 53-590 243 平均	v : u X X	流纹质凝灰岩 流纹岩	18口井 4 365 m	YS 202井	T ₄	上超/削截								
										二段	K ₁ D ₃	16-452 180	玄武质火山角砾岩 凝灰岩 玄武岩	9口井 1 617 m	DB 10井	T ₄ ^b	局部上超/削截
	二段	K ₁ D ₂	42-415 185	泥岩 粉砂岩 粉砂岩 砂岩	15口井 2 770 m	LS1井	T ₄ ^c	局部削截									
									一段	K ₁ D ₁	23-956 299	玄武岩	18口井 5 390 m	DB 11井	T ₄ ^c	局部削截	
	一段	K ₁ D ₁	11-377 98	玄武质凝灰岩	8口井 783 m	LS2井	T ₄ ^c	局部削截									
									一段	K ₁ D ₁	14-478 202	安山岩	10口井 2 020 m	DB 11井	T ₄ ^c	局部削截	
	沙河子组	二段	K ₁ S ₂	130 25-515 187	细砂岩	9口井 1 683 m	YS7井	T ₄ ^a	上超/削截								
										一段	K ₁ S ₁	65-234 140 -140-23 20	沉凝灰岩	7口井 977 m	YS7井	T ₄ ^a	局部削截
		一段	J ₁ B ₂ ⁵	16-23 20	X X	2口井 39 m	T ₄ ^{a,2}	上超/削截									
火山岭组	二段	J ₃ B ₂ ⁴	87-484 223	粗面岩	3口井 668 m	LS1井	T ₄ ^a	局部削截									
									一段	J ₃ B ₂ ³	15-256 114	粗面岩	3口井 341 m	DB 11井	T ₄ ^a	局部削截	
	一段	J ₃ B ₂ ¹	84-549 247	安山质凝灰岩	11口井 2 720 m	SN 109井	T ₄ ^a	局部削截									
									一段	J ₃ H ₁	22-225 82 150	变质岩	6口井 491 m	DB 14井	T ₅	局部削截/上超	
基底		Pz	36-340 122	S S S	8口井 978 m	LS1井	T ₅	局部削截/上超									

图 2 长岭断陷火山地层综合序列柱状图

注:火山岭组二段旋回二以流纹质、英安质火山碎屑岩为主,可见英安岩和英安质碎屑熔岩的酸性火山碎屑岩组合,分布局限,在王府断陷等见钻井揭示,长岭断陷未见揭示

储层刻画和储层发育规律研究的基本内容。基于长岭断陷火山岩段岩心观察 77 m、镜下薄片鉴定 663 个,对 66 口钻井钻遇的 19 384 m 断陷期火山岩井段进行岩性、岩相识别和序列划分,统计其发育规律。

松辽盆地深层火山岩按照岩石结构—成因可分为火山熔岩、火山碎屑熔岩、火山碎屑岩、沉火山碎屑岩 4 大类,再根据矿物成分、特征结构、火山碎屑粒级及比例可确定具体岩石类型^[3]。长岭断陷共发育 4 大类、30 种火山岩石类型,其中发育较多并与储层关系较密切的主要有 11 种类型(图 3),分别为:

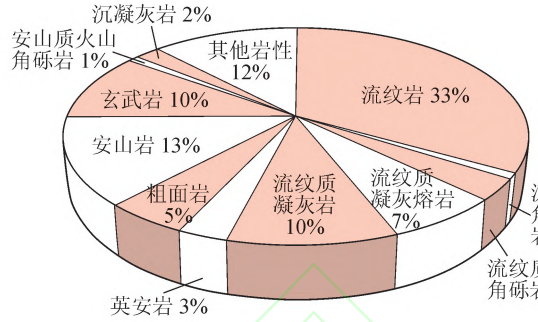


图 3 松辽盆地长岭断陷火山岩岩石类型及其厚度比例图

注:据 66 口钻井,19 384 m 火山岩井段统计;其他岩性包括英安质凝灰岩、安山质凝灰岩、粗安质凝灰岩、粗安岩、玄武质火山角砾岩、英安质火山角砾岩、英安质凝灰熔岩、玄武质凝灰岩、粗面质火山角砾岩、沉火山角砾岩、粗面质凝灰岩、粗面质火山角砾岩、粗面质凝灰熔岩、粗面质角砾熔岩、安山质玄武岩、英安质角砾熔岩、安山质凝灰熔岩、珍珠岩、安山质角砾熔岩共 19 种,由于它们比例小、物性差,为突出储层的规律性将其合并统计

3.1.1 火山熔岩类

流纹岩为斑状结构,一般斑晶含量不多,主要为石英和碱性长石,常具流纹构造(图 4-a、4-b);英安岩为斑状结构,斑晶以石英、斜长石为主,碱性长石斑晶少见,以其较多斜长石斑晶区别流纹岩,又以出现石英斑晶区别安山岩,基质多为霏细结构(图 4-c、4-d);粗面岩常见斑状结构,以普遍出现碱性长石斑晶为主要特点(图 4-e、4-f);安山岩常见斑状结构,斑晶以斜长石为主,其次为辉石(图 4-g、4-h);玄武岩为斑状结构,斑晶多见斜长石、辉石、橄榄石,基质常见间粒结构(图 4-i、4-j)。

3.1.2 火山碎屑熔岩类

流纹质角砾熔岩(图 4-k)和流纹质凝灰熔岩(图 4-l、4-m)均为流纹质火山碎屑物被熔浆胶结、冷凝固形成的岩石,根据火山碎屑物粒径不同再分为角砾熔岩(碎屑粒径介于 2~64 mm)和凝灰熔岩(碎屑粒径小于 2 mm)是介于火山熔岩和火山碎屑岩之间的过渡性岩石,常见流动构造(假流纹构造)。

3.1.3 火山碎屑岩类

火山碎屑岩是火山碎屑堆积物经过压实固结形成的岩石,常具堆砌结构。流纹质火山角砾岩(图 4-n)和流纹质凝灰岩(图 4-o、4-p)是流纹质火山碎屑物压实固结形成的,根据粒径(粒径分级同上)不同分为角砾岩和凝灰岩。安山质火山角砾岩(图 4-q)则由安山质火山碎屑堆积物压实固结形成。

3.1.4 沉火山碎屑岩类

沉凝灰岩(图 4-r)是介于火山碎屑岩和沉积岩之间的岩石类型,受火山作用和沉积改造双重作用,以具有其他陆源碎屑物为其鉴别特征。



图 4 长岭断陷主要火山岩类的典型岩心及镜下照片

a. 流纹岩, YS2 井, 深度 3 765.2 m, 喷溢相下部亚相; b. 与图 a 对应的岩心镜下照片(Q 为石英), 单偏光, 4×10; c. 英安岩, DB11 井, 深度 3 755.4 m, 喷溢相上部亚相; d. 与图 c 对应的岩心镜下照片, 正交偏光, 4×10; e. 粗面岩, XS1 井, 深度 3 530.5 m, 喷溢相下部亚相; f. 与图 e 对应的岩心镜下照片(Qr 为正长石), 正交偏光, 2×10; g. 安山岩, SN180 井, 深度 2 714 m, 喷溢相下部亚相; h. 与图 g 对应的岩心镜下照片(Pl 为斜长石, Px 为辉石), 正交偏光, 4×10; i. 玄武岩, DB10 井, 深度 2 565.87 m, 喷溢相上部亚相; j. 与图 i 对应的岩心镜下照片; k. 流纹质角砾熔岩, YS2 井, 深度 3 764.38 m, 火山通道相火山颈亚相; l. 流纹质凝灰熔岩, YS102 井, 深度 3 726.54 m, 爆发相热碎屑流亚相; m. 与图 l 对应的岩心镜下照片, 单偏光, 2×10; n. 流纹质火山角砾岩, YS301 井, 深度 3 860.04 m, 爆发相热碎屑流亚相; o. 流纹质含角砾凝灰岩, YS5 井, 深度 4 374.5 m, 爆发相热碎屑流亚相; p. 与图 o 对应的岩心镜下照片, 单偏光, 2×10; q. 安山质火山角砾岩, SN180 井, 深度 2 638.9 m, 爆发相空落亚相; r. 凝灰岩, YS301 井, 深度 3 857.84 m, 火山沉积相再搬运火山沉积岩亚相

3.2 岩相特征

笔者采用“岩性—组构—成因”分类的 5 相 15 亚相划分方案^[5]。长岭断陷火山岩相主要发育 4 相 11 亚相，

其中以喷溢相下部亚相、中部亚相及爆发相热碎屑流亚相为主，合计占岩相总厚度的 63.7%。各火山岩相和亚相的分布特征及其与各火山机构—相带关系见表 1。

表 1 松辽盆地长岭断陷火山岩岩相类型及其比例表

相	亚相	发育厚度比例	火山机构—相带
火山沉积相 V	凝灰岩夹煤沉积亚相 V ₃	/	边缘相带、火山机构之间的低洼地带
	再搬运火山碎屑沉积亚相 V ₂	1.1%	
	含外碎屑火山沉积岩亚相 V ₁	1.7%	
侵出相 IV	外带亚相 IV ₃	/	火山口—近火山口相带
	中带亚相 IV ₂	/	
	内带亚相 IV ₁	/	
喷溢相 III	上部亚相 III ₃	14.0%	火山口—近火山口相带、近源相带
	中部亚相 III ₂	17.2%	
	下部亚相 III ₁	31.6%	
爆发相 II	热碎屑流亚相 II ₃	14.9%	火山口—近火山口相带、近源相带、远源相带
	热基岩亚相 II ₂	7.3%	
	空落亚相 II ₁	6.9%	
火山通道相 I	隐爆角砾岩亚相 I ₃	1.3%	火山口—近火山口相带
	次火山岩亚相 I ₂	1.7%	
	火山颈亚相 I ₁	2.3%	

注：据 66 口井 19 384 m 火山岩井段

3.3 储层物性特征

依据试气及测录井综合解释结果将火山岩储层划分为气层、水层、差气层和干层，并对 450 个火山岩样品的物性数据(孔隙度—渗透率)进行统计分析，结果显示(图 5)：试气结果为气层的样品其孔隙度全部大于 3%，而其渗透率分布范围则较大，从 0.01~76.90 mD，无明显下限；将所有样品进行孔隙度和渗透率相关性分析，得到相关系数 $r=0.62$ ，而单独对孔隙度大于 6% 的样品进行相关分析，得到相关系数 $r=0.78$ ，渗透率随孔隙度变化趋势明显增强，这是因为在孔隙度小于 6% 时，随着孔隙度的增加，渗透率的变化不

大，部分样品甚至构成了一个“平台”，此范围内样品孔隙度和渗透率的相关性较差，对整体孔隙度与渗透率的相关性产生了影响。综合以上特征认为，孔隙度和渗透率的高低对火山岩储层成藏均有显著影响，并且孔隙度存在明显的成藏下限，其对成藏的影响比渗透率更大。

根据以上各类储层的物性特征，结合前人关于松辽盆地火山岩的勘探开发经验^[20]，将 3%/6% 作为孔隙度分级划分的节点，将 0.1 mD/1 mD 作为渗透率分级划分的节点，对长岭断陷火山岩储层孔隙度和渗透率进行分级，划分为低孔(孔隙度小于 3%)、中孔(孔隙度介于 3%~6%)、高孔(孔隙度大于 6%)及低渗(渗透率小于 0.1 mD)、中渗(渗透率介于 0.1~1.0 mD)、高渗(渗透率大于 1 mD)。按照此分级方法，该区火山岩孔隙度大于 3% 的样本数占到 71.3%，为高一—中孔隙度储层；渗透率介于 0.01~1.00 mD 之间的样本，占到总样本数的 87.6%，为中—低渗透率储层。

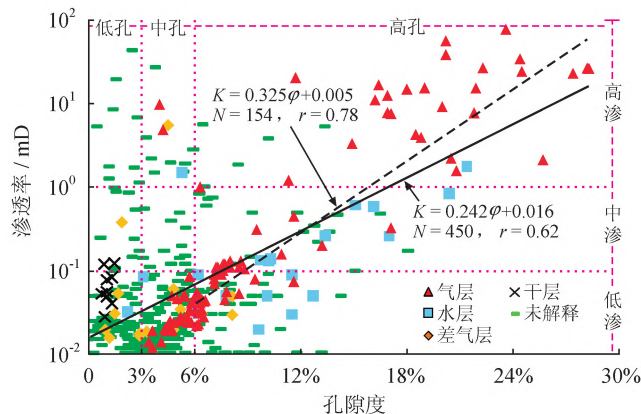


图 5 长岭断陷火山岩孔隙度与渗透率关系图

注：据 450 套实测物性(孔隙度—渗透率)数据，其中气层和干层为试气结果，差气层和水层为测井—录井综合解释结果

4 有效储层分布规律

火山岩有效储层指能够储集和渗流流体(气体和水)，并在现有工艺技术和经济条件下能够开采出具有工业价值产液量的储集层被称为有效储层^[21]。本文中有效储层包括以火山岩为宿主岩的气层、差气层和

水层。火山岩能否成为有效储层,其物性特征是一个重要的影响因素。

4.1 有效储层分布与火山喷发旋回的关系

火山岩体常由多期火山喷发形成,不同期火山岩接触关系复杂、特征迥异,其储层物性特征和有效储层分布情况也有所不同。根据实测物性数据、油气综合解释成果、试气资料,对营城组三段、营城组一段、火石

岭组二段各火山喷发旋回储层物性和有效储层的分布情况进行统计分析,结果显示:营城组三段旋回三、营城组三段旋回二、营城组一段旋回三高一中孔渗样品所占比例大,物性条件整体较好(图 6-a);综合考虑有效储层的比例及厚度,营城组三段旋回三、营城组一段旋回三中有有效储层比例高、发育厚度大,火石岭组二段旋回五有效储层比例高、旋回一有效储层厚度大(图 6-b)。

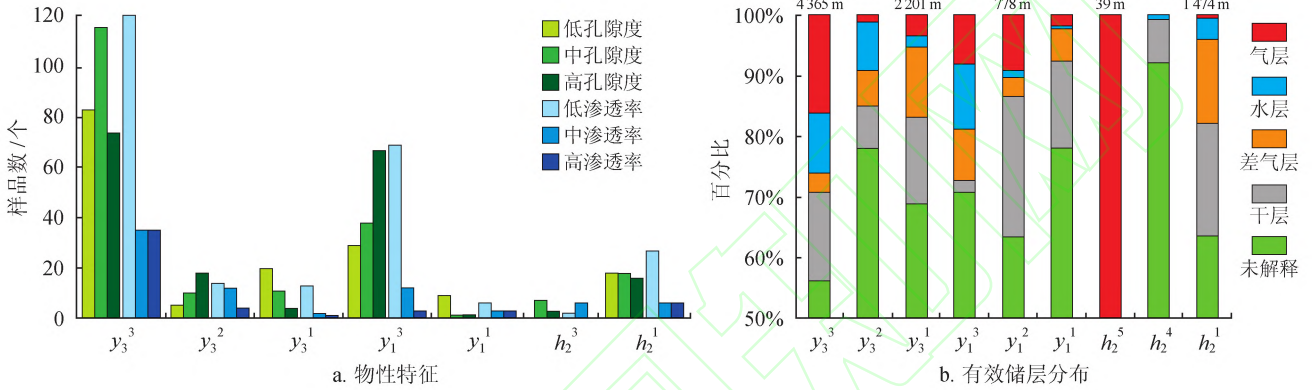


图 6 火山岩储层物性、有效储层分布与旋回的关系图

注:各旋回代号与图 2 对应并做简化,如 y_3^3 代表营城组三段旋回三;a 图,孔渗分级原则与上文相同。实测孔隙度数据点 546 个,实测渗透率数据点 450 个,其中营城组一段旋回二、火石岭组二段旋回五、旋回四缺少孔渗数据;b 图,柱状图上方数字为各旋回发育厚度, m,火石岭组二段旋回三发育 341 m,但无综合解释,未作统计。各旋回有效储层厚度及比例分别为: y_3^3 :1 261 m、21.6%; y_3^2 :326 m、15.2%; y_1^3 :370 m、16.9%; y_3^1 :1 497 m、27.4%; y_2^1 :106 m、13.6%; y_1^1 :158 m、7.7%; h_2^5 :19 m、48.7%; h_2^4 :6 m、0.9%; h_2^1 :259 m、17.6%

对于火山岩储层喷发旋回/岩性/岩相分类评价,笔者主要是根据两方面的标准:①储层物性好坏;②储层产能的好坏(根据测、录井综合解释成果、产能资料综合评价有效储层的厚度及比例)。笔者认为:一类喷发旋回/岩性/岩相表现为,物性好、产能好,物性好、产能其次,物性其次、产能好这 3 种类型;二类喷发旋回/岩性/岩相表现为,物性差、产能好,物性其次、产能其次;三类喷发旋回/岩性/岩相表现为,物性好、产能差,物性其次、产能差,物性差、产能其次,物性差、产能差。

综合以上分析,各旋回的储层物性条件的好坏与其有效储层发育程度的高低存在很好的对应关系,并且各火山岩段顶部旋回有效储层比例高、厚度大,为形成有效储层的优势旋回。

4.2 有效储层分布与岩性的关系

由于火山岩具有较强的非均质性,不同岩性的火山岩具有不同的密度、成分、结构、构造等属性,这导致不同岩性的火山岩具有不同的物性特征。根据实测物性数据、油气综合解释成果、试气资料,对长岭断陷主要发育的 11 种火山岩的储层物性和有效储层的分布情况进行统计分析,结果显示:物性条件较好的岩性为流纹岩、安山质火山角砾岩,其次为玄武岩、安山岩、沉

凝灰岩、流纹质凝灰熔岩、流纹质火山角砾岩、流纹质凝灰岩、流纹质角砾熔岩,较差的为英安岩和粗面岩(图 7-a);根据有效储层比例及发育厚度综合分析,有效储层主要分布在流纹岩、流纹质凝灰熔岩、流纹质凝灰岩、流纹质火山角砾岩中,其次为流纹质角砾熔岩、粗面岩、安山岩、安山质火山角砾岩、玄武岩,有效储层较少发育在沉凝灰岩和英安岩中(图 7-b)。

综合以上分析,将该区火山岩储层的岩性分为以下 3 类:①流纹岩、流纹质凝灰熔岩、安山质火山角砾岩、流纹质凝灰岩、流纹质火山角砾岩为有利的储集岩类;②其次为安山岩、玄武岩、流纹质角砾熔岩;③沉凝灰岩、粗面岩、英安岩较难形成有效储层。

4.3 有效储层分布与岩相的关系

不同的火山岩相,其物性特征具有很大差别,根据实测物性数据、油气综合解释成果、试气资料,对长岭断陷发育的火山岩相的储层物性和有效储层的分布情况进行统计分析,结果显示:物性较好的岩相为上部亚相(Ⅲ₃)、中部亚相(Ⅲ₂)、火山颈亚相(Ⅰ₁),其次为热碎屑流亚相(Ⅱ₃)、空落亚相(Ⅱ₁)、含外碎屑火山碎屑沉积岩亚相(V₁);物性较差的岩相为下部亚相(Ⅲ₁)、热基浪亚相(Ⅱ₂)、隐爆角砾岩亚相(Ⅰ₃)(图 8-

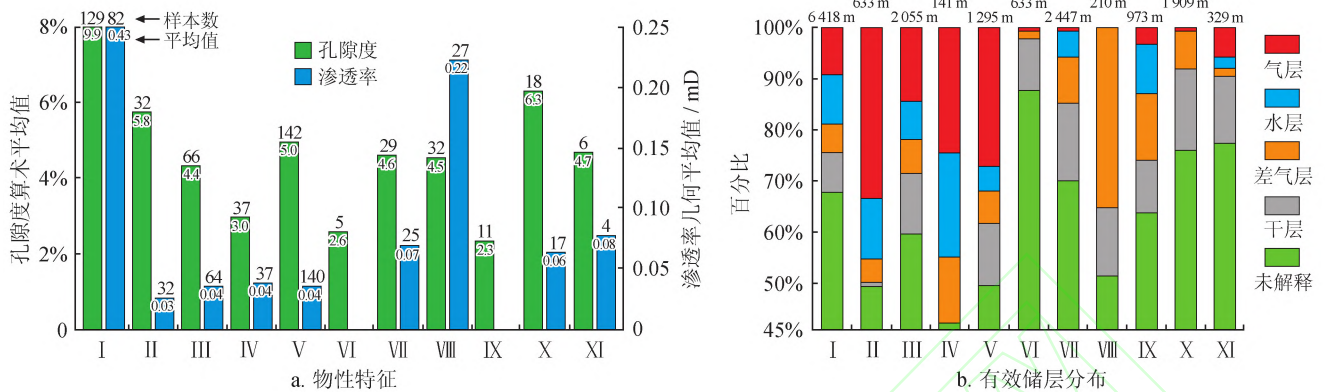


图 7 火山岩储层物性、有效储层分布与岩石类型的关系图

注：I—流纹岩；II—流纹质火山角砾岩；III—流纹质凝灰岩；IV—流纹质角砾熔岩；V—流纹质凝灰熔岩；VI—英安岩；VII—安山岩；VIII—安山质火山角砾岩；IX—粗面岩；X—玄武岩；XI—沉凝灰岩。a.柱状图上方数字为统计样本数，柱状图内数字为各岩性孔隙度算术平均值和渗透率几何平均值，VI—英安岩和IX—粗面岩无渗透率值，故未作统计。b.柱状图上方数字为各岩性发育厚度，单位为m，各岩性有效储层厚度及比例分别为，I：1461m、22.8%；II：293m、46.3%；III：543m、26.4%；IV：76m、53.9%；V：460m、35.5%；VI：13m、2.0%；VII：333m、13.6%；VIII：69m、32.9%；IX：232m、23.8%；X：141m、7.4%；XI：29m、8.8%

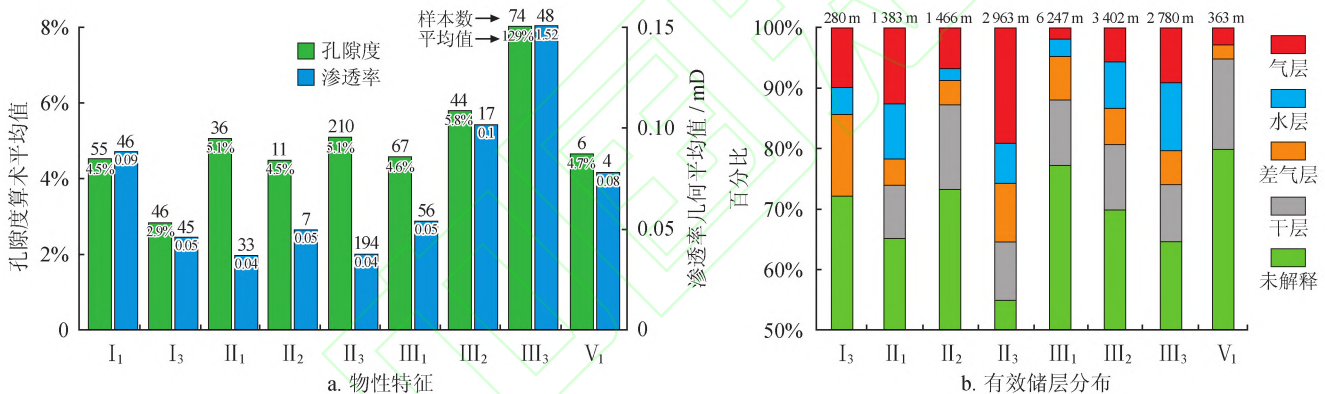


图 8 火山岩储层物性、有效储层分布与岩相类型的关系图

注：亚相符号同表1；a.柱状图上方数字为样本数，柱状图内数字为各岩相的孔隙度算术平均值和渗透率几何平均值；b.柱状图上方为各岩相发育厚度，m；I₁(火山颈亚相)均未解释，故未作统计；各亚相有效储层厚度及比例分别为，I₃：66m、23.6%；II₁：358m、25.9%；II₂：187m、12.8%；II₃：1050m、35.4%；III₁：755m、12.1%；III₂：661m、19.4%；III₃：723m、26.0%；V₁：19m、5.2%

a)；有效储层主要分布在热碎屑流亚相、上部亚相、下部亚相中，其次为中部亚相、空落亚相、热基浪亚相，隐爆角砾岩亚相、含外碎屑火山沉积岩亚相、火山颈亚相则很少分布(图8-b)。

综合以上分析，将该区岩相分为3类：①上部亚相、热碎屑流亚相、中部亚相为成为有效储层的优势岩相；②其次为下部亚相、空落亚相；③而热基浪亚相、火山颈亚相、含外碎屑火山沉积岩亚相、隐爆角砾岩亚相则很难成为有效储层。

5 结论

1)有效储层与喷发旋回。长岭断陷共发育3段10个火山喷发旋回，在火山喷发旋回中储层物性与有效储层的分布具有较好的对应关系，其中营城组三段

和营城组一段的顶部旋回(旋回三)储层物性好，有效储层比例高、厚度大，为形成有效储层的优势旋回。

2)有效储层与岩性。长岭断陷共发育30种火山岩石类型，储层条件相对较好的有11种，在火山岩石类型中储层物性与有效储层的对应关系不明显，综合认为流纹岩、流纹质凝灰熔岩、安山质火山角砾岩、流纹质凝灰岩、流纹质火山角砾岩为该区有利的储集岩类。

3)有效储层与岩相。长岭断陷火山岩相共发育4相11亚相，在火山岩相中储层物性与有效储层的分布存在较好的对应关系，上部亚相、热碎屑流亚相、中部亚相储层物性好，有效储层比例高、厚度大，为形成有效储层的优势岩相。

4)有效储层与孔隙度和渗透率。火山岩储层物性的好坏与其有效储层发育程度的高低存在较好的对应

关系,并且孔隙度对有效储层形成的影响相比渗透率更大,长岭断陷火山岩整体上为高一中孔隙度、中—低渗透率储层,孔隙度条件较好,这表明深层火山岩勘探具有良好的前景。

5)火山岩有效储层勘探方向。根据有效储层的发育规律,该区勘探方向应首选流纹质复合火山机构,在火山穹窿及其附近重点刻画大型风化壳型火山地层界面,营一段和营三段顶部旋回应作为重点勘探目标层段。

参 考 文 献

- [1] 冯志强,刘嘉麒,王璞珺,陈树民,冯子辉,童英.油气勘探新领域:火山岩油气藏——松辽盆地大型火山岩气田发现的启示[J].地球物理学报,2011,54(2):269-279.
Feng Zhiqiang, Liu Jiaqi, Wang Pujun, Chen Shumin, Feng Zihui, Tong Ying. New oil and gas exploration field: Volcanic hydrocarbon reservoirs—Enlightenment from the discovery of the large gas field in Songliao Basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(2): 269-279.
- [2] 邹才能,赵才智,贾承造,朱如凯,张光亚,赵霞,等.中国沉积盆地火山岩油气藏形成与分布[J].石油勘探与开发,2008,35(3):257-271.
Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Jia Chengzao, Zhu Rukai, Zhang Guangya, Zhao Xia, et al. Formation and distribution of volcanic hydrocarbon reservoirs in sedimentary basins of China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(3): 257-271.
- [3] 孙龙德,邹才能,朱如凯,张云辉,张水昌,张宝民,等.中国深层油气形成、分布与潜力分析[J].石油勘探与开发,2013,40(6):641-649.
Sun Longde, Zou Caineng, Zhu Rukai, Zhang Yunhui, Zhang Shuichang, Zhang Baomin, et al. Formation, distribution and potential of deep hydrocarbon resources in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(6): 641-649.
- [4] 王璞珺,郑常青,舒萍,刘万洙,黄玉龙,唐华风,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(4):17-22.
Wang Pujun, Zheng Changqing, Shu Ping, Liu Wanzhu, Huang Yulong, Tang Huafeng, et al. Classification of deep volcanic rocks in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(4): 17-22.
- [5] 王璞珺,迟元林,刘万洙,程日辉,单玄龙,任延广.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, Cheng Rihui, Shan Xuanlong, Ren Yanguang. Volcanic facies of the Songliao Basin: Classification, characteristics and reservoir significance[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2003, 33(4): 449-456.
- [6] 舒萍,丁日新,曲延明,纪学雁.徐深气田火山岩储层岩性岩相模式[J].天然气工业,2007,27(8):23-28.
Shu Ping, Ding Rixin, Qu Yanming, Ji Xueyan. Lithologic and lithofacies patterns of volcanic reservoirs in Xushen Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(8): 23-28.
- [7] 高有峰,吴艳辉,刘万洙,瞿雪姣,唐华风.松辽盆地南部英台断陷营城组火山岩晶间微孔特征及储层效应[J].石油学报,2013,34(4):667-674.
Gao Youfeng, Wu Yanhui, Liu Wanzhu, Qu Xuejiao, Tang Huafeng. Intercrystalline micropore characteristics and reservoir effect of Yingcheng Formation volcanic rock in Yingtai fault depression, southern Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(4): 667-674.
- [8] 吴颜雄,王璞珺,吴艳辉,闫林,杨帝.火山岩储层储集空间的构成——以松辽盆地为例[J].天然气工业,2011,31(4):28-33.
Wu Yanxiong, Wang Pujun, Wu Yanhui, Yan Lin, Yang Di. Components of volcanic reservoir space: A case study from the Songliao Basin[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(4): 28-33.
- [9] 罗静兰,邵红梅,杨艳芳,李杪,罗春燕.松辽盆地深层火山岩储层的埋藏—烃类充注—成岩时空演化过程[J].地质学报,2013,20(5):175-187.
Luo Jinglan, Shao Hongmei, Yang Yanfang, Li Miao, Luo Chunyan. Temporal and spatial evolution of burial-hydrocarbon filling-diagenetic process of deep volcanic reservoir in Songliao Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(5): 175-187.
- [10] 冯子辉,邵红梅,童英.松辽盆地庆深气田火山岩储层储集性控制因素研究[J].地质学报,2008,82(6):760-769.
Feng Zihui, Shao Hongmei, Tong Ying. Controlling factors of volcanic gas reservoir property in Qingshen Gas Field, Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6): 760-769.
- [11] 侯启军.松辽盆地南部火山岩储层主控因素[J].石油学报,2011,32(5):749-756.
Hou Qijun. Main controlling factors of volcanic reservoirs in the southern Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 749-756.
- [12] 蔡东梅,孙立东,齐景顺,董景海,朱映康.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, Dong Jinghai, Zhu Yingkang. Reservoir characteristics and evolution of volcanic rocks in Xujiaweizi fault depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(3): 400-407.
- [13] 瞿雪姣,王璞珺,姚瑞士,高有峰,白冰.松辽盆地南部火山岩组地层序列划分与区域对比[J].中南大学学报:自然科学版,2014,54(8):2716-2727.
Qu Xuejiao, Wang Pujun, Yao Ruishi, Gao Youfeng, Bai Bing. Stratigraphical sequence and regional correlation of Huoshiling Formation in the southern of Songliao Basin

[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2014, 54(8): 2716-2727.

[14] 肖永军, 徐佑德, 段晓艳, 于永利. 长岭断陷东岭地区火石岭组油气成藏特征分析[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(4): 720-726.

Xiao Yongjun, Xu Youde, Duan Xiaoyan, Yu Yongli. Huoshiling hydrocarbon accumulation in Dongling area of Changling depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(4): 720-726.

[15] 陈晓光. 吉林年鉴 2010[M]. 长春: 吉林年鉴社, 2010.

Chen Xiaoguang. Jilin yearbook 2010[M]. Changchun: Jilin Annual Press, 2010.

[16] 朱又红, 王骏. 松辽盆地十屋、长岭凹陷深层资源潜力分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 149-152.

Zhu Youhong, Wang Jun. Resource potential in the deep of the Shiwu fault depression and the Changling sag, Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(2): 149-152.

[17] 王璞珺, 赵然磊, 蒙启安, 瞿雪姣, 朱德丰, 高有峰. 白垩纪松辽盆地: 从火山裂谷到陆内拗陷的动力学环境[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 72-91.

Wang Pujun, Zhao Ranlei, Meng Qian, Qu Xuejiao, Zhu Defeng, Gao Youfeng. The Cretaceous Songliao Basin: Dynamic background from volcanic rift to interior sag basin [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3): 72-91.

[18] 黄玉龙, 王璞珺, 门广田, 唐华风. 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): 1183-1191.

Huang Yulong, Wang Pujun, Men Guangtian, Tang Huafeng. 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): 1183-1191.

[19] 贾军涛, 王璞珺, 邵锐, 程日辉, 张斌, 侯景涛, 等. 松辽盆地东南缘营城组地层序列的划分与区域对比[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(6): 1110-1123.

Jia Juntao, Wang Pujun, Shao Rui, Cheng Rihui, Zhang Bin, Hou Jingtao, et al. Stratigraphical sequence and regional correlation of Yingcheng Formation in the south-east of Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2007, 37(6): 1110-1123.

[20] 徐正顺, 王渝明, 庞彦明, 艾兴波. 大庆徐深气田火山岩气藏的开发[J]. 天然气工业, 2008, 28(12): 74-77.

Xu Zhengshun, Wang Yuming, Pang Yanming, Ai Xingbo. Development of volcanic rock reservoirs in the Xushen Gas Field in Daqing [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(12): 74-77.

[21] 郭睿. 储集层物性下限值确定方法及其补充[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(5): 140-144.

Guo Rui. Supplement to determining method of cut-off value of net pay [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(5): 140-144.

(修改回稿日期 2015-05-15 编辑 罗冬梅)

天然气调价窗口即将开启

随着国际原油持续下跌, 国内外经济下行压力加大, 天然气在能源领域的替代性降低, 整体消费需求呈下降趋势。据相关数据显示, 2015 年上半年, 我国天然气产量为 656 亿立方米, 进口量为 293 亿立方米, 表观消费量为 906 亿立方米, 较 2014 年增长 2.1%; 而 2013 年增速为 13.1%, 2014 年较 2013 年增长 8.9%, 相当于 2015 年较 2014 年增幅下降了 6.8 个百分点, 较 2013 年增幅下降了 11 个百分点。

导致国内天然气增速放缓的主要成因是供大于求的现状凸显, 气源多元化, 天然气库存量大幅增加, 且经济形式相对疲软, 天然气价格较高, 较之于液化石油气乃至燃料油, 其替代性下降, 有可能丧失其原有的经济性。

究其原因, 天然气价格下跌存在些许被动因素, 一方面就是定价机制不完善, 且与替代能源液化气、燃料油乃至原油缺乏有效的联动性。因此, 天然气领域定价机制改革是很有必要的。据资料显示, 我国天然气价格改革从 2013 年正式启动, 经过两年调整, 实现了天然气存量气和增量气的价格并轨, 而国家对天然气价改的最终目标是完全放开气源价格, 政府只监管具有自然垄断性质的管道运输价格和配气价格。因此, 我国对现行天然气定价机制进行改革箭在弦上, 逐步探索天然气用途多元化, 加强其市场化应用进程, 以达到缓解供大于求的现状。

当前, 燃气市场正值终端需求淡季, 天然气市场处于下跌通道。由于国际油价下跌, 成品油市场接连下调, 天然气作为新型清洁能源, 暂无明显优势可言, 受低油价冲击, 有可能将掀起新一轮的发动机“气改油”热潮。