

文章编号: 0253-9985(2012)02-0236-12

松辽盆地深层火山岩储集性能

吴颜雄^{1,2}, 王璞珺¹, 边伟华¹, 于淼³, 王鹏², 王波²

(1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 中国石油 青海油田公司 勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736200;

3. 中国石油 新疆油田公司 风城油田作业区, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要: 松辽盆地深层发育多种类型的火山岩, 勘探实践表明, 在不同类型的火山岩中均有油气显示。为了进一步明确研究区有利火山岩储集层的特征, 利用岩心、薄片和分析化验资料对火山岩的储集空间、孔隙结构和物性特征开展了对比性研究。分析结果表明, 原生气孔在不同类型火山岩中的分布极不均匀, 次生孔缝次之, 原生微孔和原生裂缝分布较均匀; 火山岩孔隙结构可分粗孔喉、中-粗孔喉、偏粗孔喉、细孔喉和极细孔喉5种类型; 火山岩储层孔隙度分布特征分单峰高孔、双峰高孔、中孔、中-低孔、偏低孔和低孔6种类型; 火山岩储层渗透率分布特征可以概括为高渗、中-高渗、中渗、中-低渗和低渗5种。综合以上4种参数, 认为气孔流纹岩、流纹构造流纹岩、球粒流纹岩、熔结凝灰岩、角砾熔岩和火山角砾岩是有利储层发育带, 凝灰岩、块状玄武岩、沉凝灰火山角砾岩和沉凝灰岩相对而言储集性能较差。

关键词: 储集空间; 孔隙结构; 储层物性; 火山岩储层; 松辽盆地

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Poroperm characteristics of deep volcanic reservoirs in Songliao Basin

Wu Yanxiong^{1,2}, Wang Pujun¹, Bian Weihua¹, Yu Miao³, Wang Peng² and Wang Bo²

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin 130061, China;

2. Research Institute of Exploration & Development, PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang, Gansu 736200, China;

3. Fengcheng Oilfield Area, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: Different types of volcanic rocks are developed in Songliao Basin. Exploration activities revealed that oil/gas shows occur in all the volcanic rocks. In order to further understand the characteristics of favorable volcanic reservoirs, a comparative study for reservoir space, pore structure and physical property is conducted by using core, thin section and test data. The distribution of primary voids are extremely uneven in different types of volcanic reservoirs, that of secondary pores and fractures is better, and that of primary micropores and fractures is relatively even. Five throat types are identified, including coarse throat, medium-coarse throat, fine throat on the high side, fine throat and very fine throat. There are 6 types of porosity distribution, including high porosity with single peak, high porosity with double peak, medium porosity, medium-low porosity, lower porosity and low porosity. Permeability distribution can be grouped into five types, namely high permeability, medium-high permeability, medium permeability, medium-low permeability and low permeability. Based on the four parameters mentioned above, it is believed that vesicular rhyolite, rhyotaxitic rhyolite, spherulitive rhyolite, ignimbrite, brecciated lava and breccia reservoir have good poroperm characteristics, while tuff, massive basalt, tuffaceous breccia and sedimentary tuff are poor in reservoir quality.

Key words: reservoir space, pore structure, reservoir physical property, volcanic reservoir, Songliao Basin

2002年, 徐家围子断陷徐深1井在营城组火山岩中获得了高产工业气流, 揭开了松辽盆地深

收稿日期: 2011-12-12; 修订日期: 2012-03-11。

第一作者简介: 吴颜雄(1982-), 男, 博士, 矿产普查与勘探。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(“973”计划)项目(2007CB209507, 2009CB219303)。

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

层火山岩气藏勘探开发的序幕^[1]。2005 年长岭断陷长深 1 井也在营城组火山岩获得重大突破^[2]。同样的成功绝非偶然,除了构造高部位相似外,它们具有相同的岩性特征(熔结凝灰岩)。勘探实践证明,松辽盆地火山岩气藏的类型以构造-岩性气藏为主^[3],为此,岩性对火山岩气藏的控制也至关重要。目前,松辽盆地已在火山碎屑熔岩、流纹岩、中基性岩中获得工业气,在沉火山碎屑岩中也见到了油气显示。虽然早期的火山岩气藏研究重点陆续从勘探转向开发阶段^[4],但我们对火山岩储层的真实面目仍然比较迷茫,岩性对储层的控制依然模糊,带着这样的问题开展了研究工作。

火山岩的发育受岩浆性质、喷发活动和模式的影响,岩性岩相类型多变,后期经历了多期的构造作用和成岩作用,致使火山岩储层结构比较复杂^[5-6],表现出极强的非均质性。因此,本文将储集空间、孔隙结构和物性研究相结合,对比讨论了 15 种火山岩储集性能,明确了有利于形成有效储层的储集岩。

1 松辽盆地火山岩地质背景

1.1 构造背景

关于松辽盆地晚中生代火山岩的成因目前存在较多的观点,比较有代表性的是大洋板块俯冲弧后伸展成因^[7],太平洋板块俯冲成因^[8],热点和地幔柱成因^[9]和岩石圈拆沉减薄成因^[10]。章凤奇^[11]通过对盆地和盆缘的系统总结,认为中生代火山作用具有时空分带性和迁移性,晚侏罗世主要与鄂霍次克洋的关闭有关,而早白垩世和晚白垩世分别受控于古太平洋板块的俯冲拆沉和后撤作用,形成于造山期后板内伸展构造背景,是东北亚地区岩石圈减薄作用的直接产物。

松辽盆地盆地火山岩主要发育在火石岭组(J_3h)和营城组(K_1y)。火石岭组形成于盆地断陷的初期,以中基性熔岩为主,少量的火山碎屑岩,集中喷发在 135 ~129 Ma^[11];营城组形成于断陷的萎缩期,是盆地内规模最大、延续时间较长的火山喷发期,发育多个喷发旋回,早期以酸性熔岩和碎屑岩为主,后期以中基性熔岩为主,喷发期集中在 117 ~110 Ma^[12]。

1.2 火山岩分布特征

本文研究对象为松辽盆地北部的徐家围子断陷和南部的长岭断陷,火山岩分布均受断陷内部基底断裂的控制,火山口及与之相关的爆发相主要沿深大断裂呈串珠状分布(图 1),溢流相与次级火山喷发则依重力流动和次级断裂向凹陷低部位延展^[13-14]。目前,徐家围子断陷钻遇火山岩以营城组为主,断陷中东部主要为酸性火山岩,东北部主要是中基性火山岩。长岭断陷哈尔滨金地区主要为营城组的酸性火山岩,双坨子地区发育火石岭组的中基性熔岩。长岭断陷火山岩的整体分布特点是断陷中东部为酸性火山岩,西南部及外部边缘发育中基性熔岩。盆地钻遇的火山机构有多期互相叠置的层状复合火山机构和熔岩火山机构,厚度 200 ~ 500 m,延伸 4 ~8 km,以及零星分布一些盾状熔岩火山机构,厚度 200 m 左右,延伸大于 10 km,也可识别出一些规模较小的火山碎屑堆和熔岩穹丘。

2 火山岩岩石学特征

对松辽盆地北部和南部钻井深层火山岩进行岩心观察和薄片鉴定,将深层火山岩分为火山熔岩、火山碎屑熔岩、火山碎屑岩和沉火山碎屑岩 4 类^[18],具体可分为 9 亚类,各亚类在盆地的分布比例如图 2。

2.1 火山熔岩

1) 流纹岩类,包括流纹岩和英安岩。按其结构构造不同又可分为气孔流纹岩(图 3a)、流纹构造流纹岩(图 3b)、球粒流纹岩(图 3c)和块状流纹岩(图 3d)。盆地深层分布最多的火山岩,在营城组营城组一段广泛分布。

2) 安山岩类,包括安山岩和玄武安山岩。按构造可分为气孔杏仁安山岩(图 3e)和块状安山岩(图 3f)。主要分布在营城组三段和火石岭组。

3) 玄武岩。按其构造可分为气孔杏仁玄武岩(图 3g)和块状玄武岩(图 3h)。主要分布在营城组三段和火石岭组。

2.2 火山碎屑熔岩

火山碎屑熔岩与火山碎屑岩的主要区别在于

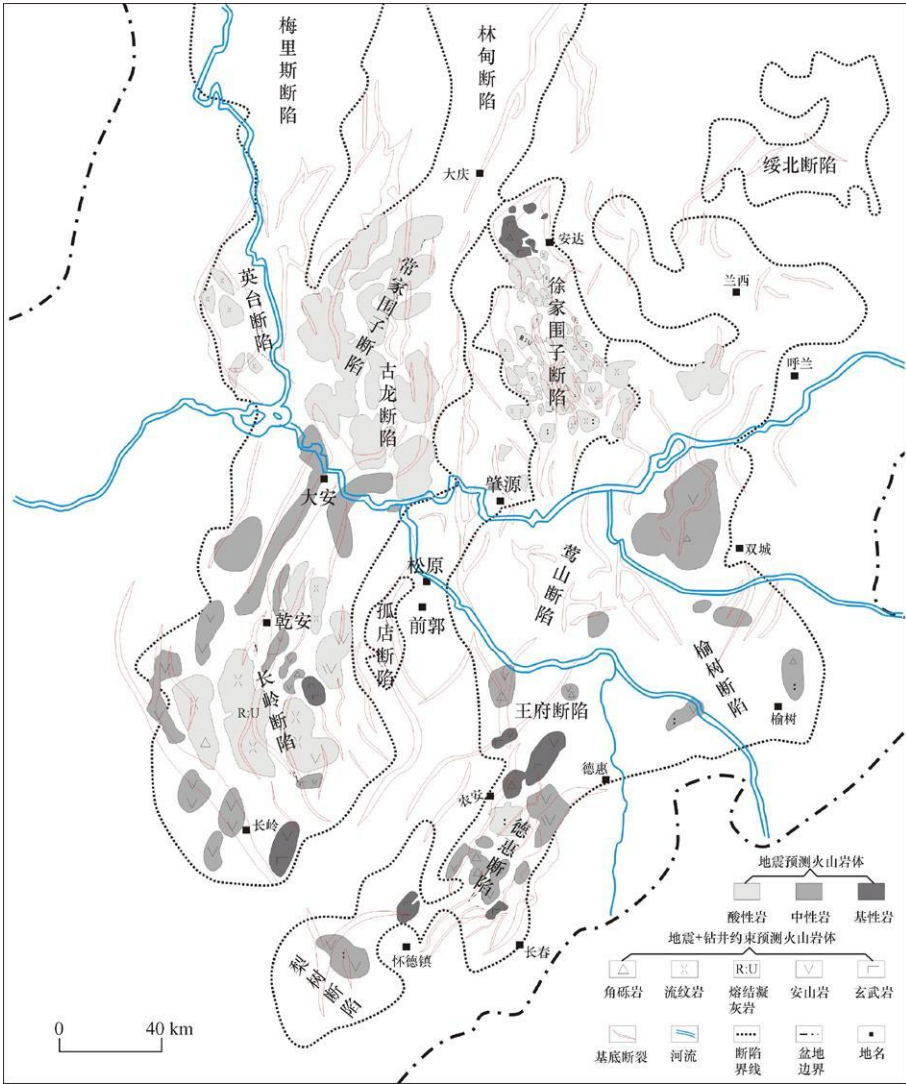


图 1 松辽盆地主要断陷火石岭组—营城组火山岩分布特征^[15-17]

Fig.1 Volcanic rock distribution characteristics of Huoshiling and Yingcheng Formations in the main fault depressions of Songliao Basin^[15-17]

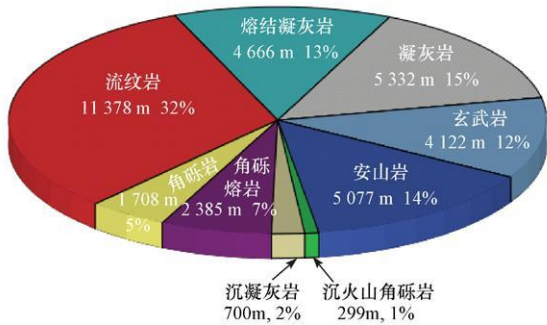


图 2 松辽盆地深层火山岩分布比例

Fig.2 Proportion of deep volcanic rocks in Songliao Basin (据松辽盆地 173 口钻井统计)

1) 灿角砾熔岩类, 包括流纹质、安山质、玄武质(熔结)角砾熔岩(图 3i)和隐爆角砾岩(图 3k)。熔结角砾熔岩具有熔结角砾结构, 角砾熔岩是以角砾为主的火山碎屑被熔岩胶结, 一般火山碎屑与胶结物成分相同或相似。营城组一段最发育。

2) 熔结凝灰岩类, 以流纹质熔结凝灰岩为主, 其次是凝灰熔岩(图 3j)。熔结凝灰岩具有标志性的熔结结构, 凝灰熔岩则具有一些熔岩的结构构造, 如斑状结构、隐晶质结构等。营城组一段最发育。

2.3 火山碎屑岩

火山作用形成的各种火山碎屑堆积物经过“压实固结”而成的岩石, 层状构造发育。

固结方式, 前者属于“冷凝固结”, 所以一般表现出熔岩的结构构造。

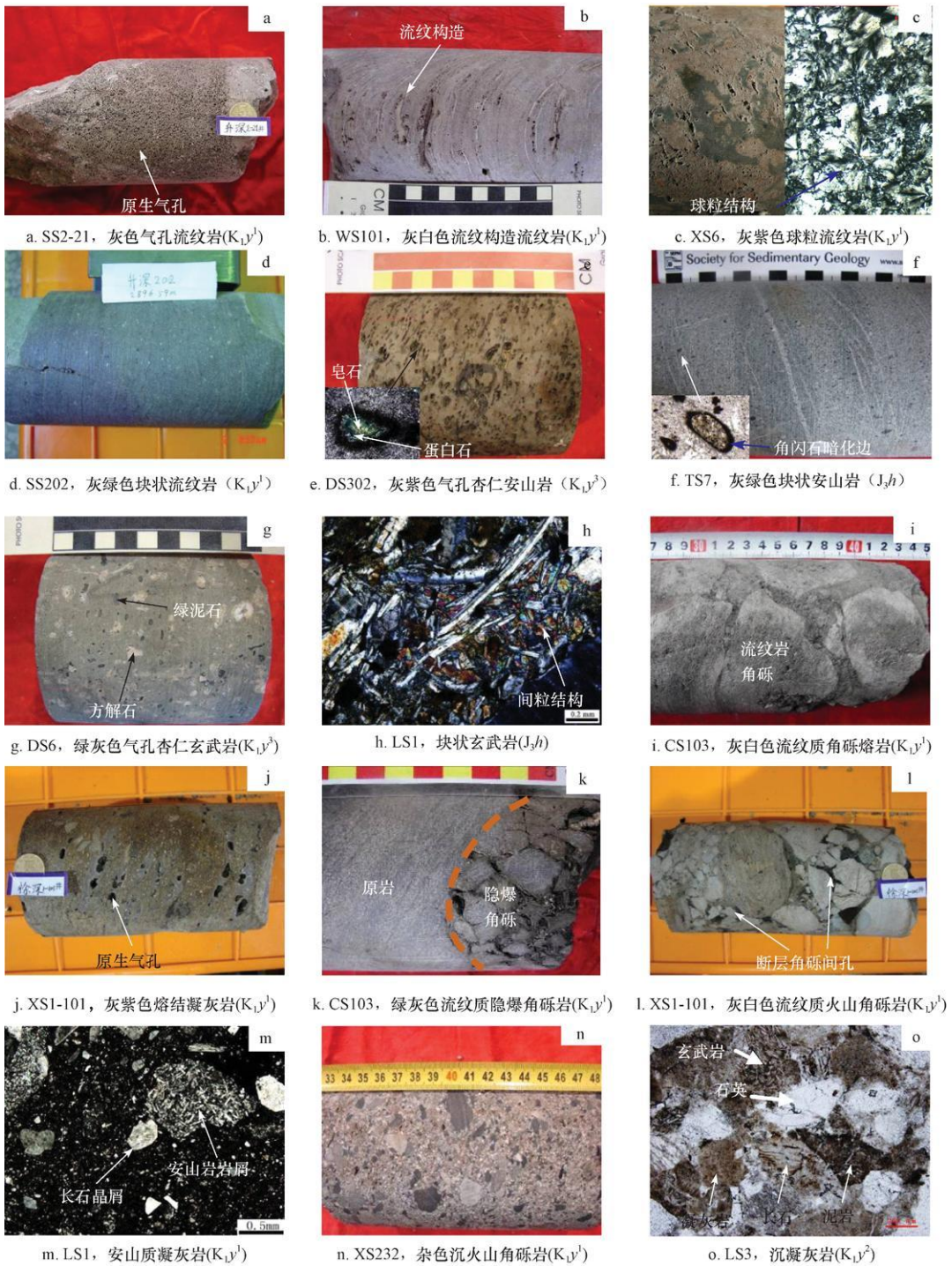


图 3 松辽盆地深层火山岩岩性照片

Fig.3 Photos showing lithology of the deep volcanic rocks in Songliao Basin

1) 流纹岩类, 包括流纹质、安山质和玄武质角砾岩(图 3l)。营城组一段最发育。

2) 凝灰岩类, 以流纹质凝灰岩为主, 安山质、玄武质凝灰岩(图 3m)少见。营城组一段最发育。

2.4 沉火山碎屑岩

沉火山碎屑岩的识别特征为火山碎屑中含有低于 50% 的正常沉积物, 成岩方式为压实固结。

可分为沉火山角砾岩(图 3n)和沉凝灰岩(图 3o)。主要在营城组二段发育,其他组段偶见。

3 火山岩储集空间类型及其组合特征

与其他储集岩相比,火山岩储集空间类型更加复杂多样,岩性之间或内部储集空间差异也很

大^[19]。本次研究为了凸显不同岩性的储集空间类型分布差异,将储集空间按其孔隙成因、孔隙大小、对应成岩作用及其对储层贡献大小分为原生气孔、原生微孔、次生孔隙、原生裂缝和次生裂缝 5 种(表 1),这 5 种类型实质是多种储集空间亚类的组合,其优势在于使每种岩性都具有相对统一的储集空间类型,进而可以对比。

原生气孔主要指由于挥发组分从岩浆中逸出

表 1 火山岩储集空间分类及特征

Table 1 Types and features of volcanic reservoir spaces

储集空间类型	大类	裂缝			孔隙	
		原生气孔	原生微孔	次生孔隙	原生裂缝	次生裂缝
	亚类	原生气孔/杏仁内孔	晶(粒)间孔/冷凝收缩孔	晶内溶孔/基质内溶孔/断层角砾间孔	冷凝收缩缝/矿物解理缝	构造裂缝/溶蚀缝/隐爆缝
对应成岩作用		挥发组分散逸作用/充填作用	堆积作用/压实作用和冷凝收缩作用	溶蚀作用/构造作用	冷凝收缩作用	构造作用/溶蚀作用
孔隙量级		厘米-毫米	毫米-微米	毫米/厘米-微米	毫米-微米	厘米-微米
识别手段		肉眼/放大镜/偏光显微镜/FMI测井	偏光显微镜/扫描电镜	放大镜/偏光显微镜/扫描电镜	放大镜/偏光显微镜	肉眼/放大镜、显微镜/FMI测井
对储层贡献程度		大	小	中	小	大

表 2 火山岩孔缝对比及组合

Table 2 Comparison and combinations of fractures and pores in different volcanic rocks

	岩性	储集空间类型面孔率变化趋势					主要储集空间组合	次要储集空间组合	储集性能	
		原生气孔	原生微孔	次生孔隙	原生裂缝	次生裂缝				
火山熔岩	气孔/石泡/杏仁流纹岩						原生气孔+构造溶蚀缝	收缩孔+溶孔+溶蚀缝	好	
	流纹构造流纹岩						原生气孔+构造溶蚀缝	晶间孔+溶孔+溶蚀缝	好	
	球粒流纹岩						原生气孔+晶间孔+构造裂缝	溶孔+溶蚀缝+收缩缝	好	
	块状流纹岩						溶孔+构造裂缝	收缩孔+溶蚀缝+收缩缝	好	
	安山岩	气孔/杏仁安山岩						原生气孔+构造溶蚀缝	溶孔+溶蚀缝	好-中
	块状安山岩						晶间孔+溶孔+构造裂缝	晶间孔+收缩缝	中	
	玄武岩	气孔/杏仁玄武岩						原生气孔+构造溶蚀缝	溶孔+溶蚀缝	好-中
块状玄武岩						晶间孔+溶孔+构造裂缝	晶间孔+收缩缝	中		
火山碎屑熔岩	火山角砾熔岩						收缩孔+溶孔+溶蚀缝	溶孔+收缩缝	中	
	凝灰熔岩/熔结凝灰岩						原生气孔+溶孔+构造缝	溶孔+溶蚀缝	好	
	隐爆角砾岩						砾间孔+隐爆缝	溶孔+溶蚀缝	中	
火山碎屑岩	火山角砾岩						砾间孔+溶缝	溶孔+溶蚀缝	中	
	凝灰岩						溶孔+构造溶蚀缝	溶孔+收缩缝	中-差	
沉火山碎屑岩	沉火山角砾岩						砾间孔+收缩缝	—	差	
	沉凝灰岩						溶孔+溶缝	—	差	

形成的气孔, 对储层的贡献较大。原生微孔则是一些在显微状态下才可识别的原生孔隙。次生孔隙主要指由于后期的溶蚀作用、构造作用形成的各种溶孔、断层角砾间孔。原生裂缝指一些冷凝收缩缝, 还有一些矿物的解理缝。次生裂缝指由构造作用形成的一系列裂缝。

为了掌握不同火山岩的主要孔隙类型, 我们对 15 种岩性的上述 5 种储集空间开展了面孔率测量。结果发现, 原生气孔在每种岩性的分布数量变化率最大(表 2), 在熔岩中最多。其次是次生裂缝变化率较大, 隐爆角砾岩因树枝状裂缝发育而一枝独秀, 其他孔隙类型则主要在脆性的岩石中发育, 也跟岩石在后期遭受的构造运动、剥蚀程度有关。原生微孔、原生裂缝变化相对比较平缓。

火山岩勘探实践证明, 原生孔隙发育的岩性储集性能往往比较优越, 即使当初形成一些孤立的孔隙, 但只要受到后期的成岩作用改造则会形成有利储层, 相反, 致密的岩石, 则需要更多的后期改造才能成为好储层。因此, 原生孔隙发育的岩石储集空间组合也比较多样化(表 2), 更有利于储渗配置。

4 火山岩储层微观孔隙结构

储集岩的孔隙结构实质上是岩石的微观物理性质, 是岩石所具有的孔隙和喉道的几何形状、大小、分布和连通性关系等。只有深入研究孔隙结构才能客观反映储集岩的储集性和渗透特征。

对反应孔隙结构特征的毛管压力曲线形态及孔喉特征参数统计分析后, 将火山岩孔隙结构分为以下 5 种类型(图 4)。

4.1 粗孔喉型

低排驱压力(小于 1 MPa), 孔隙半径为 0.7 ~ 4 μm, 曲线形态凹向右方, 孔喉分选中等, 歪度较粗, 以粗喉为主(图 4a)。该类岩石以原生气孔和构造、溶蚀裂缝为主。对应储层物性很好, 孔隙度一般大于 10%, 渗透率大于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。代表岩性有气孔流纹岩、流纹构造流纹岩和球粒流纹岩。

4.2 中-粗孔喉型

低排驱压力(1 ~3 MPa), 孔隙半径为 0.08 ~

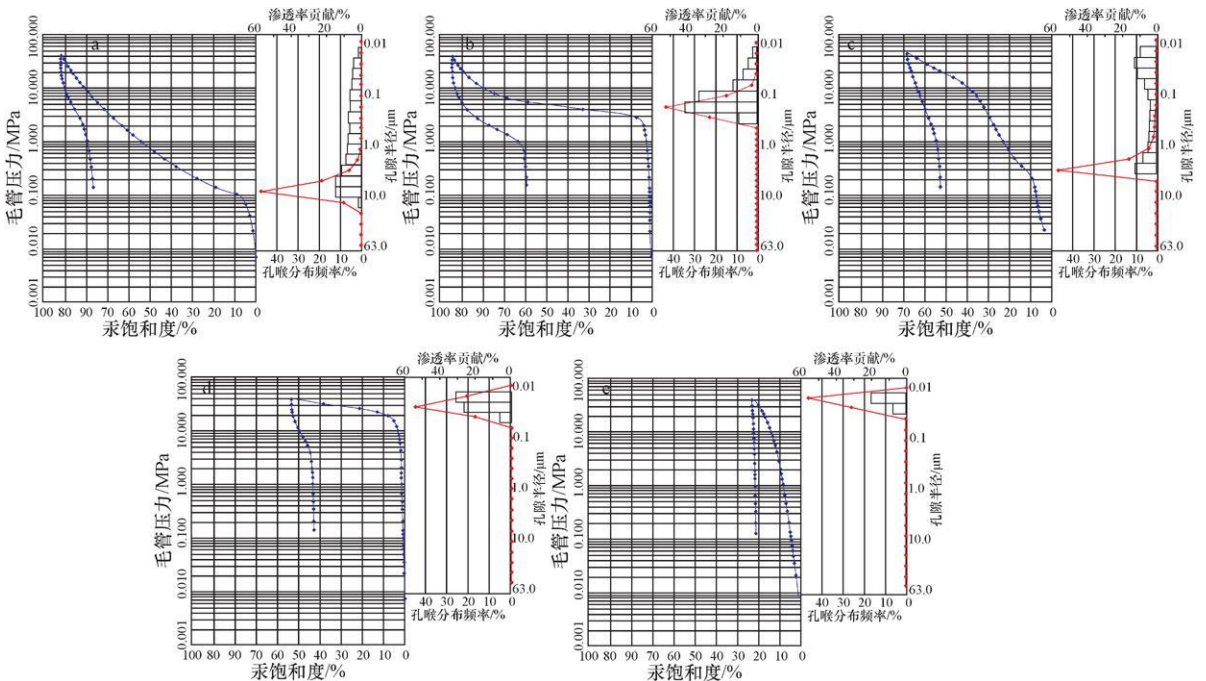


图 4 火山岩储层孔隙结构特征

Fig.4 Pore structure features of volcanic reservoirs

0.2 μm , 曲线发育平台段, 表明孔隙分选极好, 孔隙分布很集中, 歪度中等, 发育中-粗喉(图 4b)。该类岩石以各种孔隙(原生气孔、收缩孔和溶蚀孔)为主, 裂缝为辅。对应储层物性好, 孔隙度一般大于 5%, 渗透率大于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。代表岩性有熔结凝灰岩、流纹构造气孔流纹岩和球粒流纹岩。

4.3 偏粗孔喉型

低排驱压力(0.5 ~2 MPa 左右), 孔隙半径为 0.1 ~0.8 μm , 曲线不发育平台段, 表明孔喉分选差, 歪度偏粗, 以粗喉为主(图 4c)。该类岩石以原生孔隙或次生孔隙为主, 溶蚀缝为辅。孔隙度较大, 一般大于 7%, 但渗透率偏小, 一般大于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。代表岩性有火山角砾熔岩、隐爆角砾岩和火山角砾岩。

4.4 细孔喉型

高排驱压力(大于 15 MPa), 孔隙半径为 0.01 ~0.04 μm , 曲线中间段比较平缓, 表明孔隙分选好, 但歪度细, 基本以细喉为主(图 4d)。该类岩石以各种杏仁体内孔和原生微孔为主, 孔隙类型单一。储层物性一般, 孔隙度一般小于 10%, 渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。代表岩性有气孔杏仁安山岩、气孔杏仁玄武岩、凝灰岩、块状安山岩和块状流纹岩。

4.5 极细孔喉型

高排驱压力(大于 10 MPa), 孔隙半径小于 0.02 μm , 曲线几乎没有平缓段, 急速上升, 表明孔隙几乎没有分选, 细喉(图 4e)。该类岩石基本以溶蚀孔缝为主。储层物性很差, 孔隙度一般小于 4%, 渗透率小于 $0.04 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。代表岩性有块状流纹岩、块状玄武岩、沉凝灰岩和沉火山角砾岩。

5 火山岩储层物性

对松辽盆地 996 块岩样的物性统计后发现, 火山岩孔隙度总体较小, 主要集中在 2% ~8%, 一般很少超过 20%; 渗透率主要集中在 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 很少超过 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 密度主要为 2.40 ~2.65 g/cm^3 。孔隙度与渗透率交会显示(图 5), 随着孔隙度的增加, 渗透率也在

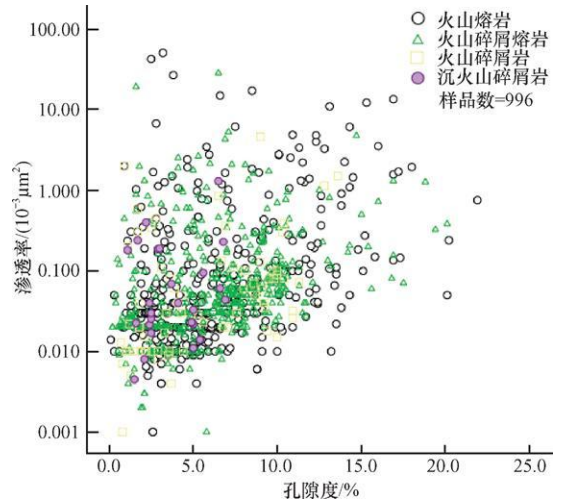


图 5 火山岩孔隙度与渗透率交会图

Fig.5 Cross plot of porosity and permeability of volcanic rocks

增加, 但是在孔隙度一定时, 渗透率的变化范围却很大, 说明除孔隙度外, 渗透率大小还跟喉道大小和孔隙结构有关。

为了了解每种岩性的物性特征, 我们分别对孔隙度和渗透率值分布特征进行统计分析, 依此来得出一些对比性认识。

5.1 火山岩孔隙度分布特征

对比 15 种岩性孔隙度频率直方图, 总结出 6 种类型的分布特征, 具体如下。

5.1.1 单峰高孔型

孔隙度分布峰位为 7.5%, 高孔隙度的样品数较多。这类岩石的特点是原生孔隙发育, 后期较易受成岩作用影响而使其连通, 因而物性较好。主要包括气孔流纹岩(图 6a), 流纹构造流纹岩(图 6b), 火山角砾熔岩(图 6i), 熔结凝灰岩(图 6j)。

5.1.2 双峰偏高孔型

孔隙度分布频率呈双峰, 分布频率最高的峰位为 10.5%, 高孔的样品占优势。火山角砾岩 0 ~3% 区间对应的峰值表明该类岩石最初的储集空间是受压实作用后残留的砾间孔, 9% ~12% 区间对应的峰值表明后期被改造后形成了次生孔缝(图 6l), 此时孔隙度是砾间孔与次生孔缝共同的体现。因此, 火山角砾岩主要靠埋藏后成岩改造才能成为好储层。

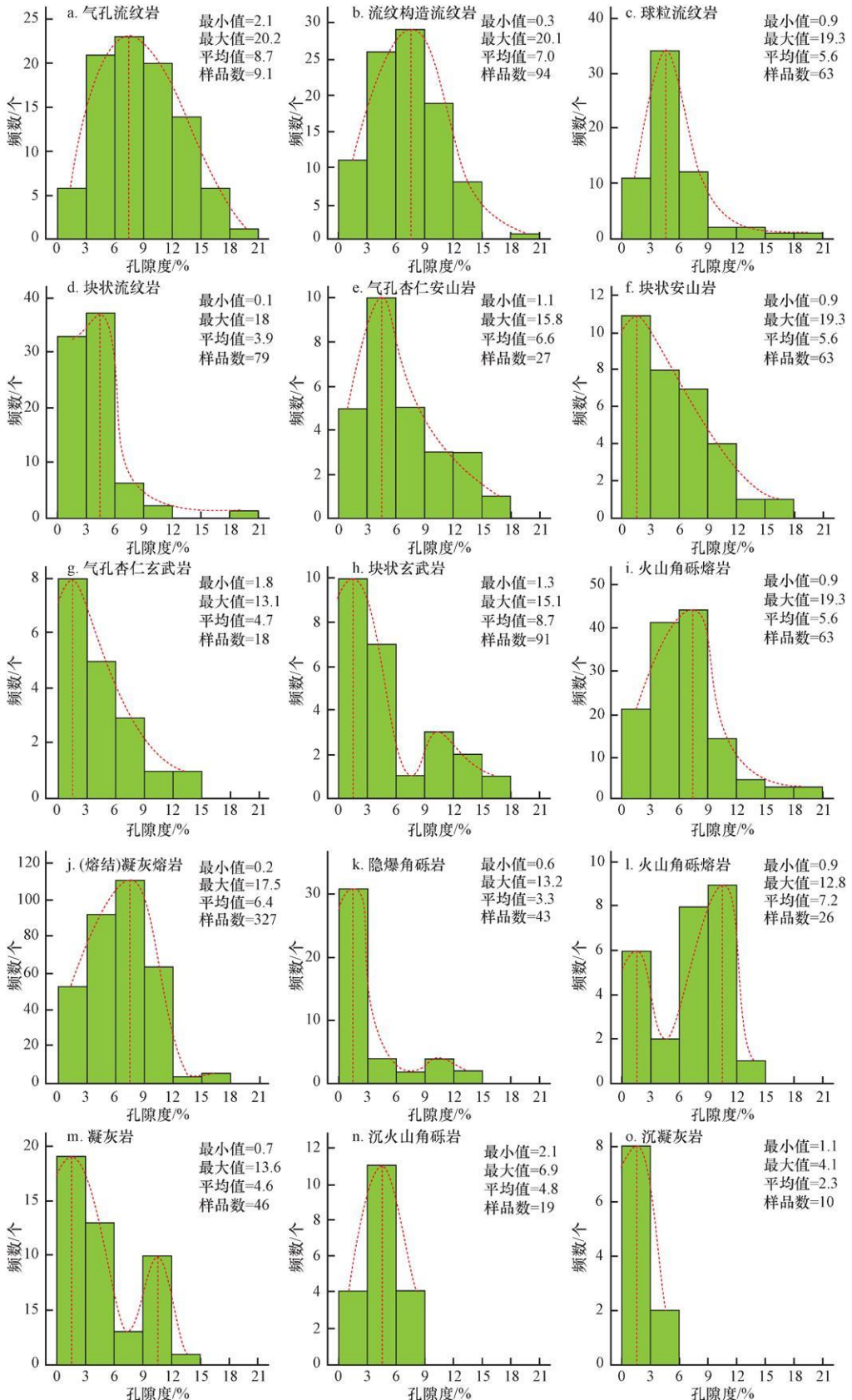


图 6 火山岩孔隙度频率直方图

Fig. 6 Histogram of porosity of different volcanic rocks

5.1.3 中孔型

孔隙度分布频率呈单峰,峰位为4.5%。这类岩石的孔隙度峰值较其他区间值相差较多,孔隙度相对稳定,表明孔隙类型发育也稳定,其中球粒流纹岩(图6c)和气孔杏仁安山岩(图6e)以原生气孔、杏仁体内孔和收缩孔为主,沉火山角砾岩(图6n)主要是溶孔。

5.1.4 中-低孔型

孔隙度分布峰位小于4.5%,高孔区间样品少。这类岩石包括致密块状流纹岩(图6d)和安山岩(图6f),天生孔隙不发育,后期的成岩改造也不多,孔隙主要是一些收缩孔、晶间孔和收缩缝;还包括原始气孔发育但后期被充填的气孔杏仁玄武岩(图6g)。

5.1.5 偏低孔型

孔隙度分布频率成双峰,其中峰位为1.5%的样品较多。这类岩石原生孔隙不发育,因此孔隙度普遍低,而有小部分峰值集中在9%~12%,表明这类岩石一经改造则会形成一些孔缝,可能成为储层,它们是块状玄武岩(图6h)和凝灰岩(图6m)。隐爆角砾岩(图6k)虽然形成一些隐爆裂缝或角砾间孔,但往往被岩汁充填而失去了连通性,只有再次受构造作用才能使孔隙度增加。

5.1.6 低孔型

孔隙度最大值小于6%,多数小于3%。这类岩石孔隙度分布区间较少,原因是孔隙类型较单一,造成孔隙度很低,孔隙类型主要是些微小的溶蚀孔缝,该岩石为沉凝灰岩(图6o)。

5.2 火山岩渗透率分布特征

岩石的渗透率是指岩石允许流体通过的性能,孔隙对渗透率的影响实际是孔隙和喉道共同作用的结果。火山熔岩的喉道基本以裂缝为主,因此熔岩类的渗透率跟孔隙和裂缝有关。

渗透率频率直方图相对于孔隙度直方图要复杂,由于数量级差别较大,峰值出现的也较多,总结出5种类型,具体特征如下。

5.2.1 高渗型

渗透率的分布频率呈双峰型,其中一峰位均

大于 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。气孔流纹岩(图7a)和气孔杏仁玄武岩(图7g)为原生孔隙发育,后期裂缝(构造缝、溶蚀缝)稍有沟通则渗透性变好,因此,双峰表征的是岩石孔隙连通性的性能,最大峰位处的岩石样品后期成岩改造更多;块状流纹岩(图7d)和块状安山岩(图7f)后期受构造作用易形成一些节理性构造裂缝,如果暴露地表或埋藏阶段遭受溶蚀作用,沿节理会形成一些溶蚀缝,因此,最大峰位的贡献主要是构造溶蚀缝。

5.2.2 中-高渗型

渗透率分布呈单峰,峰位大于 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,高渗样品比例较大。原生气孔、原生微孔和次生孔发育,构造缝或溶蚀缝起沟通能力,渗透性较好。该类岩石对应的孔隙度也较高,如流纹构造流纹岩(图7b)、火山角砾岩(图7l)和角砾熔岩(图7i)。

5.2.3 中渗型

渗透率分布峰位小于 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,频率直方图约呈正态分布的特点,高渗和低渗的样品较少,中渗样品居多。这类岩石分两类,一类以原生气孔为主,与高渗型的区别在于后期的构造裂缝容易被热液充填而成残余构造缝,因此渗透率降低,如气孔杏仁玄武岩(图7e)和(熔结)凝灰熔岩(图7j);另一类是致密岩石原生孔隙不发育主要以充填的残余构造裂缝为主,如块状玄武岩(图7h)。

5.2.4 中-低渗型

渗透率分布呈单峰,峰位小于 $0.04 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。孔隙以原生或次生微孔为主,因此峰位偏小,沟通主要是些后期构造缝。球粒流纹岩(图7c)是晶间孔与构造溶缝的结合,凝灰岩(图7m)和沉火山角砾岩(图7n)主要是溶孔与构造溶蚀缝的结合,隐爆角砾岩主要以残余的次生孔缝为主。

5.2.5 低渗型

渗透率分布区间比较分散,渗透率较低。这类岩性主要靠后期构造溶蚀作用才能使渗透性变好,岩性为沉凝灰岩(图7o)。

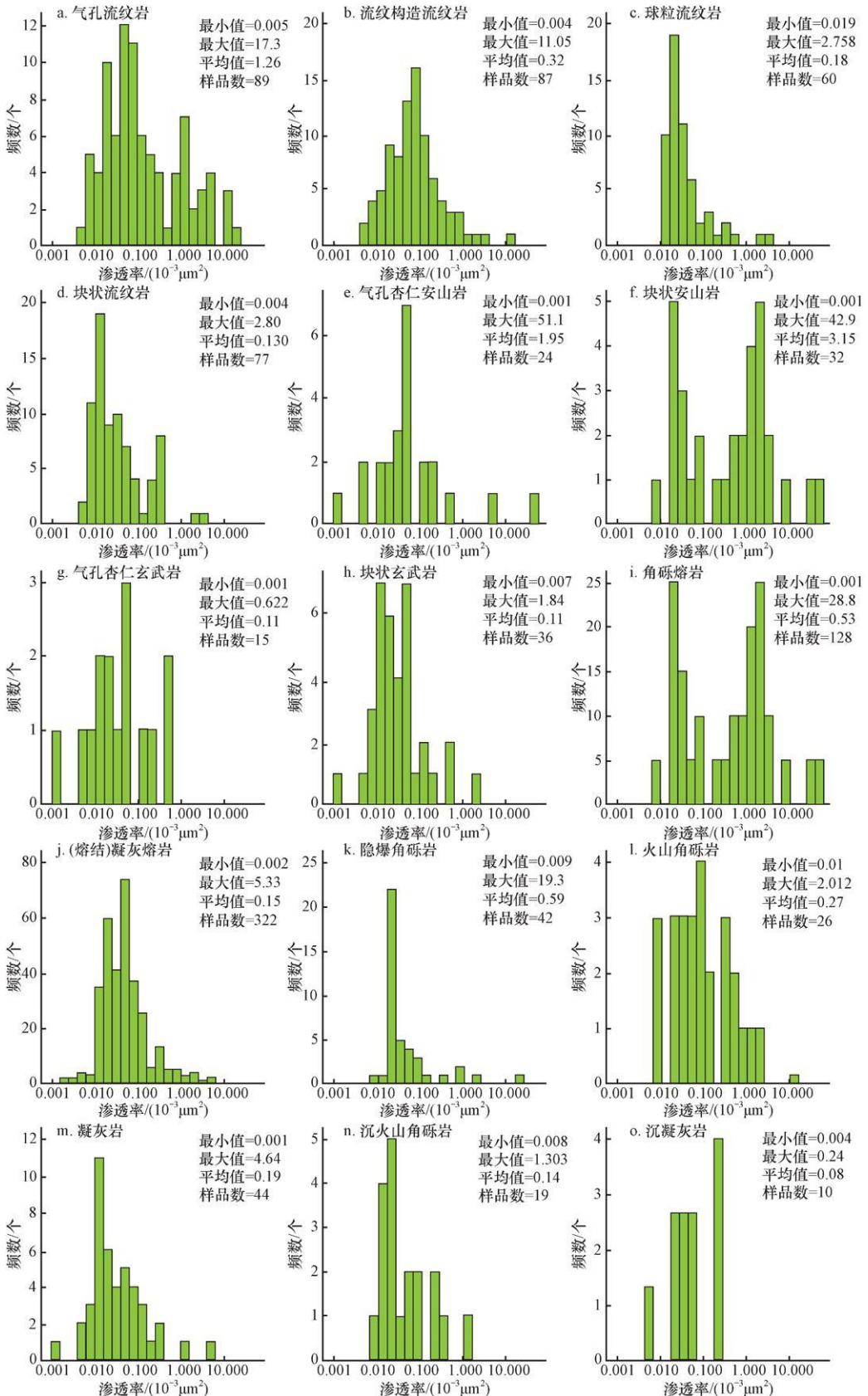


图 7 火山岩渗透率频率直方图

Fig.7 Histogram of permeability of different volcanic rocks

6 储层分类与评价

综合储集空间类型、孔隙结构和物性特征对储层进行分类评价,结果可分为4类(表3)。

I类储层。岩性主要为气孔流纹岩、流纹构造流纹岩和熔结凝灰岩,岩相为喷溢相中上部和爆发相热碎屑流亚相。孔隙类型以原生气孔为主,构造缝发育一般,孔隙结构为粗喉、中-粗喉,物性较好。测试自然产能高,一般可形成工业气层。

II类储层。岩性主要为角砾熔岩、火山角砾岩和球粒流纹岩,岩相为喷溢相上、中部亚相和爆发相热碎屑流亚相、空落亚相。孔隙类型原生气孔比例不大,原生微孔和次生孔隙较发育,孔隙结构为中-粗喉和偏粗喉型,物性中等。测试自然产能一般,通过压裂可形成工业气层。

III类储层。岩性主要为气孔杏仁安山岩、气孔杏仁玄武岩、块状流纹岩和隐爆角砾岩,以喷溢相上部、下部亚相为主,少量火山通道相隐爆角砾岩亚相。孔隙类型差距较大,分两类,喷溢相上部亚相的岩石以杏仁体内孔为主,次生孔隙为辅,孔隙结构为细喉型,孔隙度为中孔和中低孔型,裂缝比较发育,隐爆角砾岩以角砾间孔和隐爆缝为主,往往被岩汁充填,孔隙结构为粗喉型,物性较差。

测试自然产能不高或仅见油气显示,一般通过压裂可能形成低产气层。

IV类储层。岩性主要为凝灰岩、块状玄武岩、沉火山角砾岩和沉凝灰岩,以爆发相和喷溢相下部亚相为主,其次是火山沉积相。孔隙类型以原生微孔和次生孔隙为主,孔隙结构为细喉型,物性很差。油气测试一般为干层,这类储层成为有效储层的几率较前三类低。

7 结论

1) 松辽盆地深层火山岩分为4大类9亚类,其中流纹岩类占比例最大。

2) 原生气孔在各种火山岩分布的差异最大,其次是次生裂缝,原生微孔、次生孔隙和原生裂缝变化不大。

3) 通过对火山岩储层压汞和物性分析,总结出火山岩孔隙结构有5类,火山岩孔隙度分布特征有6种,火山岩渗透率分布特征有5种。

4) 综合评定,一类和二类储层的气孔流纹岩、流纹构造流纹岩、熔结凝灰岩、球粒流纹岩、角砾熔岩和火山角砾岩容易形成有利储层,四类储层凝灰岩、块状玄武岩、沉火山角砾岩和沉凝灰岩相对储集性能较差,其他岩性储集性能中等。

表3 火山岩储层综合评价

Table 3 Comprehensive assessment of volcanic reservoirs

岩性	储集性能	孔隙结构类型	孔隙度类型	渗透率类型	储层评价类型
气孔流纹岩	好	粗孔喉	高孔	高渗	I类
流纹构造流纹岩	好	粗孔喉、中-粗孔喉	高孔	中-高渗	I类
球粒流纹岩	好	粗孔喉、中-粗孔喉	中孔	中-低渗	II类
块状流纹岩	中	细孔喉、极细孔喉	中-低孔	高渗	III类
气孔杏仁安山岩	好-中	细孔喉	中孔	中渗	III类
块状安山岩	中	细孔喉	中-低孔	高渗	III类
气孔杏仁玄武岩	好-中	细孔喉	中-低孔	高渗	III类
块状玄武岩	中	极细孔喉	偏低孔	中渗	IV类
火山角砾熔岩	中	偏粗孔喉	高孔	中-高渗	II类
熔结凝灰岩	好	中-粗孔喉	高孔	中渗	I类
隐爆角砾岩	中	偏粗孔喉	偏低孔	中-低渗	III类
火山角砾岩	中	偏粗孔喉	偏高孔	中-高渗	II类
凝灰岩	中-差	细孔喉	偏低孔	中-低渗	IV类
沉火山角砾岩	差	极细孔喉	中孔	中-低渗	IV类
沉凝灰岩	差	极细孔喉	低孔	低渗	IV类

参 考 文 献

- [1] 孙粉锦, 罗霞, 齐景顺, 等. 火山岩体对火山岩气藏的控制作用——以松辽盆地深层徐家围子断陷兴城和升平火山岩气藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 180-186.
Sun Fenjin, Luo Xia, Qi Jinshun, et al. Controlling effects of volcanic rocks upon gas pools—taking two volcanic gas reservoirs in the Songliao Basin as examples[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 180-186.
- [2] 王洪江, 吴聿元. 松辽盆地长岭断陷火山岩天然气藏分布规律与控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(3): 360-367.
Wang Hongjiang, Wu Yuyuan. Distribution patterns and controlling factors of volcanic gas pools in the Changling fault depression, the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 360-367.
- [3] 贾承造, 赵文智, 邹才能, 等. 岩性地层油气藏地质理论与勘探技术[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(3): 257-272.
Jia Chengzao, Zhao Wenzhi, Zou Caineng et al. Geological theory and exploration technology for lithostratigraphic hydrocarbon reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 257-272.
- [4] 赵卫军, 于浩业, 李永航, 等. 准噶尔盆地车91井区石炭系火山岩油藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 98-106.
Zhao Weijun, Yu Haoye, Li Yonghang et al. Characteristics of the Carboniferous volcanic reservoirs in Che 91 wellblock in the Juggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 98-106.
- [5] 蒙启安, 门广田, 赵洪文, 等. 松辽盆地中生界火山岩储层特征及对气藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 285-288.
Meng Qi'an, Men Guangtian, Zhao Hongwen, et al. Characteristics of mesozoic volcanic rocks and its controlling effect on gas reservoir in songliao basin[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 285-288.
- [6] 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): 18-23.
Wang Pujun, Chen Shumin, Liu Wanzhu, et al. Relationship between volcanic facies and volcanic reservoirs in Songliao basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 18-23.
- [7] 闫全人, 高山林, 王宗起, 等. 松辽盆地火山岩的同位素年代、地球化学特征及意义[J]. 地球化学, 2002, 31(2): 169-179.
Yan Quanren, Gao Shanlin, Wang Zongqi, et al. Geochronology and geochemistry of volcanic rocks from the Songliao basin and their implications[J]. Geochimica, 2002, 31(2): 169-179.
- [8] Wu F Y, Sun D Y, Li H M, et al. A-type granites in Northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis[J]. Chemical Geology, 2002, 187: 143-173.
- [9] 林强, 葛文春, 孙德有, 等. 中国东北地区中生代火山岩的大地构造意义[J]. 地质科学, 1998, 33(2): 129-139.
Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou, et al. Tectonic significance of mesozoic volcanic rocks in northeastern china[J]. Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica), 1998, 33(2): 129-139.
- [10] Wang P J, Chen F K, Chen S M, et al. Geochemical and Nd-Sr-Pb isotopic composition of Mesozoic volcanic rocks in the Songliao basin, NE China[J]. Geochemical Journal, 2006, 40: 149-159.
- [11] 章凤奇, 程晓敢, 陈汉林, 等. 松辽盆地东南缘晚中生代火山事件的锆石年代学与地球化学制约[J]. 岩石学报, 2009, 25(1): 39-54.
Zhang Fengqi, Cheng Xiaogan, Chen Hanlin, et al. Zircon chronological and geochemical constraints on the Late Mesozoic volcanic events in the southeastern margin of the Songliao Basin, NE China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(1): 39-54.
- [12] 裴福萍, 许文良, 杨德彬, 等. 松辽盆地南部中生代火山岩: 锆石 U-Pb 年代学及其对基底性质的制约[J]. 地球科学, 2008, 33(5): 603-617.
Pei Fuping, Xu Wenliang, Yang Debin, et al. Mesozoic volcanic rocks in the Southern Songliao Basin: Zircon U-Pb ages and their constraints on the nature of Basin Basement[J]. Earth Science, 2008, 33(5): 603-617.
- [13] 赵文智, 邹才能, 李建忠, 等. 中国陆上东、西部地区火山岩成藏比较研究及意义[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(1): 1-11.
Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Li Jianzhong et al. Comparative study on volcanic hydrocarbon accumulations in western and eastern China and its significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(1): 1-11.
- [14] 张庆春, 胡素云, 王立武, 等. 松辽盆地含 CO₂ 火山岩气藏的形成和分布[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 109-120.
Zhang Qingchun, Hu Suyun, Wang Liwu, et al. Formation and distribution of volcanic CO₂ gas pools in Songliao basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(1): 109-120.
- [15] 侯启军, 赵志魁, 王立武. 火山岩气藏——松辽盆地南部大型火山岩气藏勘探理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
Hou Qijun, Zhao Zhikui, Wang Liwu. Volcanic gas reservoir—exploration theory and practice of the large volcanic gas reservoir in south of Songliao Basin[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [16] 唐金生, 李成立, 杨海波, 等. 高精度磁法在松辽盆地北部古龙—常家围子断陷火山岩预测方面的应用[J]. 现代地质, 2009, 23(3): 508-514.
Tang Jinsheng, Li Chengli, Yang Haibo et al. Application of high-precision geomagnetic method in volcanic rocks prediction of Gulong-Changjiaweizi fault-depression in north Songliao Basin[J]. Geoscience, 2009, 23(3): 508-514.

- Yang Hua, Fu Jinhua, Wei Xinshan. Characteristics of natural gas reservoir formation in the Ordos Basin [J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 25 (4): 5 - 8.
- [9] Yang Hua, Fu Jinhua, Wei Xinshan, et al. Sulige Field in the Ordos Basin: Geological setting, field discovery and tight gas reservoirs [J]. Marine and Petroleum Geology, 2008, 25 (4/5): 387 - 400.
- [10] 张海涛, 时卓. 苏里格气田储层含水特征与测井识别方法 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2010, 40 (2): 447 - 454.
Zhang Haitao, Shi Zhuo. Characteristic of water bearing formation and well logging identification method of gas reservoir in Sulige Gas Field [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40 (2): 447 - 454.
- [11] 陈义才, 林杭杰, 唐波, 等. 苏里格地区石炭-二叠系天然气充注特点及充注能力 [J]. 石油与天然气地质, 2011, 32 (1): 91 - 97.
Chen Yicai, Lin Hangjie, Tang Bo, et al. Characteristics and potential of gas charging in the Permian-Carboniferous of Sulige region [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32 (1): 91 - 97.
- [12] 叶成林, 王国勇, 何凯, 等. 苏里格气田储层宏观非均质性——以苏 53 区块石盒子组 8 段和山西组 1 段为例 [J]. 石油与天然气地质, 2011, 32 (2): 236 - 244.
Ye Chenglin, Wang Guoyong, He Kai, et al. Macro heterogeneity of reservoirs in Sulige gasfield—a case study of the 8th member of the Shihezi Formation and the 1st member of the Shanxi Formation in the Su53 Block [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30 (2): 236 - 244.
- [13] 邹才能, 陶士振, 周慧, 等. 成岩相的形成、分类与定量评价方法 [J]. 石油勘探与开发, 2008, 35 (5): 526 - 540.
Zou Caineng, Tao Shizhen, Zhou Hui, et al. Genesis, classification and evaluation method of diagenetic facies [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35 (5): 526 - 540.
- [14] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 101 - 134.
Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary petrography [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 101 - 134.
- [15] 杜业波, 季汉成, 吴因业, 等. 前陆层序致密储层的单因素成岩相分析 [J]. 石油学报, 2006, 27 (2): 48 - 52.
Du Yebao, Ji Hancheng, Wu Yinye, et al. Single factor diagenetic facies analysis of tight reservoir in western Sichuan foreland basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27 (2): 48 - 52.

(编辑 董立)

(上接第 255 页)

- [11] Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata [J]. Geoscience, 2000, 7 (4): 322 - 350.
- [12] 徐长贵, 许效松, 丘东洲, 等. 辽东湾地区辽西凹陷中南部古近系构造格架与层序地层格架及古地理分析 [J]. 古地理学报, 2005, 7 (4): 449 - 459.
Xu Changgui, Xu Xiaosong, Qiu Dongzhou, et al. Structural and sequence stratigraphic frameworks and palaeogeography of the Paleogene in central-southern Liaoxi Sag, Liaodongwan Bay area [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7 (4): 449 - 459.
- [13] 李维峰, 高振中, 彭德堂, 等. 库车坳陷中生界三种三角洲比较研究 [J]. 沉积学报, 1999, 17 (3): 430 - 434.
Li Weifeng, Gao Zhenzhong, Peng Detang, et al. Comparative study of fan deltas, braided river deltas and meandering river deltas of Mesozoic in Kuche depression, Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17 (3): 430 - 434.
- [14] 姜辉. 浊流沉积的动力学机制与响应 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31 (4): 428 - 435.
Jiang Hui. Dynamical mechanism and depositional responses of turbidity current sedimentation [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31 (4): 428 - 435.
- [15] 卓勤功. 断陷盆地洼陷带岩性油气藏成藏机理及运聚模式 [J]. 石油学报, 2006, 27 (6): 19 - 23.
Zhuo Qingong. Reservoir-forming mechanism and migration-accumulation mode of lithological pool in deep sub-depression of rift-subsidence basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27 (6): 19 - 23.

(编辑 张亚雄)

(上接第 247 页)

- [17] 刘为付, 刘双龙, 孙立新. 莺山断陷侏罗系火山岩储层特征 [J]. 大庆石油地质与开发, 1999, 18 (4): 9 - 11.
Liu Weifu, Liu Shuanglong, Sun Lixin. Reservoir characteristics of Jurassic system volcanic rock in Yingshan fault depression [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1999, 18 (4): 9 - 11.
- [18] 王璞珺, 郑常青, 舒萍, 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, et al. Classification of deep volcanic rocks in Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26 (4): 17 - 22.
- [19] 刘为付. 松辽盆地徐家围子断陷深层火山岩储层特征及有利区预测 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25 (1): 115 - 119.
Liu Weifu. Reservoir characteristics of deep volcanic rocks and prediction of favorable areas in Xujiaweizi fault depression in Songliao basin [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25 (1): 115 - 119.

(编辑 董立)