文章编号:1673-5005(2017)05-0030-11 doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2017.05.004

松辽盆地长岭断陷营城组火山熔岩流单元储层特征及量化表征

任宪军[1,2], 单玄龙[1], 衣 健[1]

(1. 吉林大学地球科学学院,吉林长春 130061; 2. 中国石化东北油气分公司勘探开发研究院,吉林长春 130062)

摘要:依据松辽盆地盆缘及邻区中生代火山岩露头剖面和剖面浅钻,长岭断陷 28 口钻井岩心、测井、铸体薄片和扫描电镜资料,并结合地震解解释剖面,对该区中生代熔岩流单元形态、内部结构和储层特征进行研究。结果表明:熔岩流单元根据外部形态可分为熔岩穹丘、板状熔岩流和辫状熔岩流 3 类;垂向序列可分为顶部气孔带、韵律性气孔带、稀疏气孔带、致密带和底部气孔带 5 种孔隙带;从熔岩流单元顶部气孔带到底部气孔带,原生孔隙面孔率先减小后增加,次生孔隙面孔率始终减小,面缝率始终增加;辫状熔岩流储层物性最优,其次为板状熔岩流,再次为熔岩穹丘;该研究有利于更加深入地认识松辽盆地深层火山岩储层空间发育规律,并有助于对火山岩储层进行精细刻画。

关键词:松辽盆地; 火山岩气藏; 熔岩流单元; 储层特征

中图分类号:TE 122.2 **文献标志码**:A

引用格式:任宪军,单玄龙,衣健. 松辽盆地长岭断陷营城组火山熔岩流单元储层特征及量化表征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2017,41(5):30-40.

REN Xianjun, SHAN Xuanlong, YI Jian. Characteristics and quantitative evaluation of reservoir in lava flow units in the early Cretaceous Yingcheng Formation in Changling Depression of Songliao Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science),2017,41(5):30-40.

Characteristics and quantitative evaluation of reservoir in lava flow units in the early Cretaceous Yingcheng Formation in Changling Depression of Songliao Basin

REN Xianjun[1,2], SHAN Xuanlong[1], YI Jian[1]

(1. *College of Earth Science, Jilin university, Changchun* 130061, *China*;
2. *Exploration and Development Research Institute of SINOPEC Northeast Oil and Gas Company, Changchun* 130062, *China*)

Abstract: The outcrops and the shallow wells of the Mesozoic volcanic rocks in the margin of Songliao Basin and the adjacent regions were studied to infer the shape, inner structures and reservoir characteristics of the associated lava flow units. A series of data were used in the study, including the core data, well logging, casting thin sections, SEM date of 28 wells, as well as the seismic sections in the Changling Depression. The results are as follows: the lava flows can be divided into three types, including lava dome, tabular flow and braided flow based on the envelope shapes; the vertical successions of lava flow units can be classified into five zones, the top vesicle zone, the rhythmic vesicle zone, the sparse vesicle zone, the dense zone and the basal vesicle zone; from the top vesicle zone to the basal vesicle zone, the surface porosity of the primary pores decreases in the beginning and increases afterwards, and the surface porosity of the secondary pores generally

收稿日期:2017-01-22

基金项目:国家自然科学基金项目(41430322)

作者简介:任宪军(1982-),男,高级工程师,博士研究生,研究方向为油气田开发。E-mail:kprenxj2005@sina.com。

通讯作者:单玄龙(1969-),男,教授,博士,博士生导师,研究方向为盆地非常规油气资源。E-mail:shanxl@jlu.edu.cn。

decreases, and the surface porosity of fissures generally increases. Logging porosity analyses show that there are more reservoirs in basic braided lava flow units than tabular lava flow units and the lava domes. This study provides insights to the distribution of volcanic reservoirs in Songliao Basin, and is useful for the refined volcanic reservoir description.

Keywords: Songliao Basin; volcanic gas reservoir; lava flow units; reservoir characteristics

随着中国东北松辽盆地几个大型火山岩油气田的发现,火山岩油气藏已经成为该盆地深层新的勘探热点[1-2]。在松辽盆地,熔岩约占整个盆地断陷层火山岩充填体积的 30%,并且物性条件较好,是该盆地火山岩油气藏最为重要的储层类型[3]。火山熔岩储层特征和发育规律的深入研究对松辽盆地火山岩油气藏勘探和开发均有重要作用。目前,中国盆地火山岩储层研究已经取得了较大的进展。这些研究主要集中在火山岩储层的储集空间类型[4-5]、成岩作用与储层演化关系[6-7]、有效储层物性特征[8-9]等方面。研究表明,从基性的玄武岩到酸性的流纹岩,储集空间类型基本相似,并且都具有成为储层的条件,但不同岩性火山岩储层的空间分布特征却十分复杂,对其规律性认识还较为欠缺。Walker[10]在英国北海洪泛玄武岩的研究中指出,无论多么大规模的玄武岩充填,都是由辫状熔岩流和板状熔岩流两种类型的熔岩流单元叠加形成,这些熔岩流单元由短的喷发间断界面分割,其内部孔-缝的空间发育特征在纵向上具有一定的规律性。其后,基性熔岩流单元量化特征[11]、测井识别[12]、盆地充填模式[13]等研究逐渐得到开展。这些研究对英国北海洪泛玄武岩省火山建造和火山岩油气藏的深入认识起到了巨大的推动作用。目前,在松辽盆地火山熔岩储层研究中由于缺少对不同类型熔岩流单元形态和叠置方式的研究[14],导致储层的空间分布特征缺少时空格架约束;由于缺少对熔岩流单元内储集空间发育特征的量化描述,导致对不同类型储集空间在火山熔岩中的空间分布特征认识不清。笔者依据松辽盆地及邻区盆缘中生代火山岩露头剖面和剖面全取心浅钻、盆内钻井岩心、测井、地震剖面、铸体薄片和扫描电镜等资料,对研究区盆缘和盆内中生代熔岩流单元形态、结构和储层特征进行研究。

1　区域地质概况

松辽盆地为中国东北大型中生代陆相沉积盆地[15](图 1(a)),其形成受鄂霍茨克海闭合和太平洋板块俯冲作用共同控制[16-17]。盆地分为断陷层和拗陷层两层[18]。断陷层由多个相对独立的断陷盆地构成,在断陷盆地中充填有巨厚的火山岩[19]。长岭断陷为松辽盆地南部规模较大的断陷盆地,分为西部陡坡带、中部拗陷带和东部缓坡带 3 个二级构造单元(图 1(b)),火山岩分布受 3 个构造带控制,中部拗陷带较厚,西部陡坡带和东部缓坡带较薄[20]。下白垩统营城组火山岩是该断陷主要的火山岩气藏发育层位[21]。长岭断陷的勘探程度在松辽盆地南部断陷盆地中相对较高,有多口以火山岩为目的层的深钻井,特别是 YYT 三维地震工区火山岩钻井较为密集(图 1(c)),为火山岩储层研究提供了大量的研究资料。

2　研究方法

盆缘古火山岩露头剖面能够精细地揭示熔岩流单元的形态和内部结构特征,是与盆地埋藏火山岩熔岩流单元进行对比的最为重要的高分辨率资料。本次研究以内蒙古呼伦湖西岸连续出露 5 km 的晚侏罗—早白垩世塔木兰沟组、上库力组火山岩掌子面和松辽盆地盆缘早白垩世营城组建组剖面全取心浅钻为研究对象(图 1),通过对剖面和浅钻岩心中代表了短期喷发间断的喷发间断面进行识别,划分熔岩流单元,描述熔岩流单元形态,并对其内部垂向结构序列(气孔形态、排列方式、面孔率特征、裂缝形态和面缝率特征)进行详细的地质测量和描述,划分内部孔隙带,建立酸性和基性熔岩流单元形态-结构地质模式。以露头剖面熔岩流单元地质模式为基础,利用地震剖面识别熔岩流单元形态、通过常规测井和成像测井识别熔岩流单元内部气孔和裂缝结构,划分盆地钻井中火山岩熔岩流单元和内部垂向孔隙带。进一步利用 28 口钻井中的 138 块岩心资料,应用铸体薄片观察和扫描电镜等手段,研究酸性和基性熔岩流单元中各孔缝带储集空间类型特征,并利用 CoreDBMS 面孔率分析软件,计算铸体薄片和扫描电镜中不同类型孔隙的面孔率,对基性和酸性

熔岩流单元中不同孔隙带储集空间进行量化表征。最后利用测井孔隙度资料,研究不同类型熔岩流单元的物性特征。

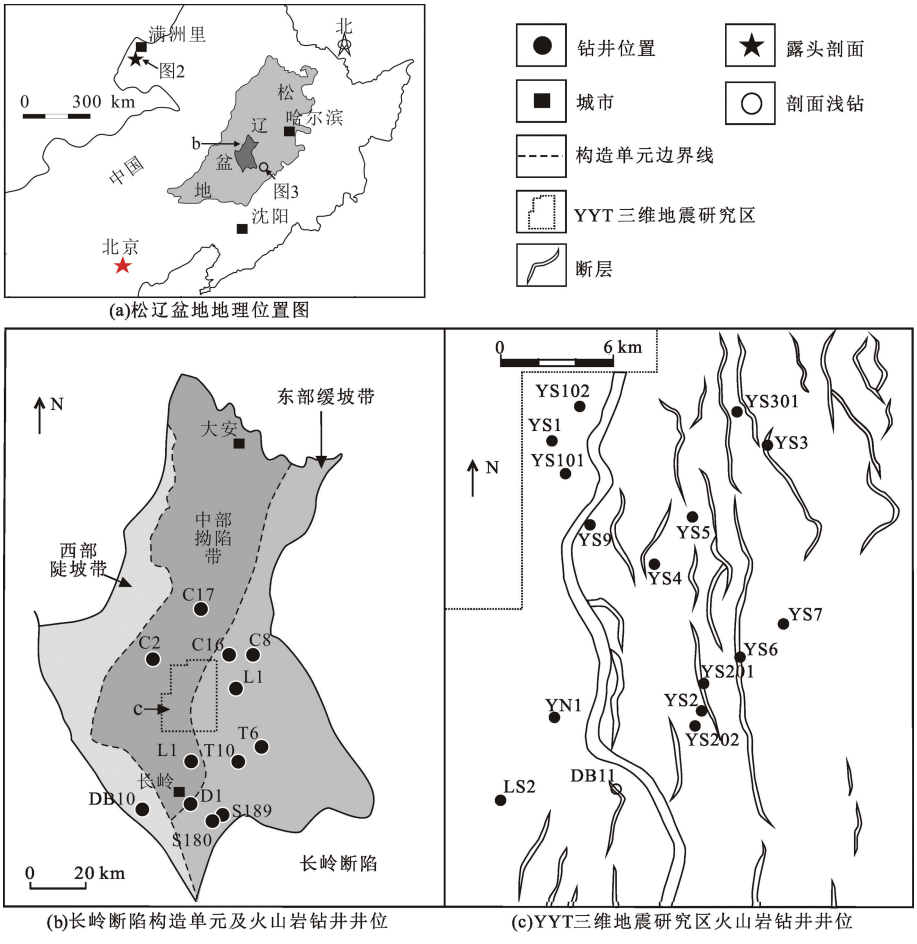
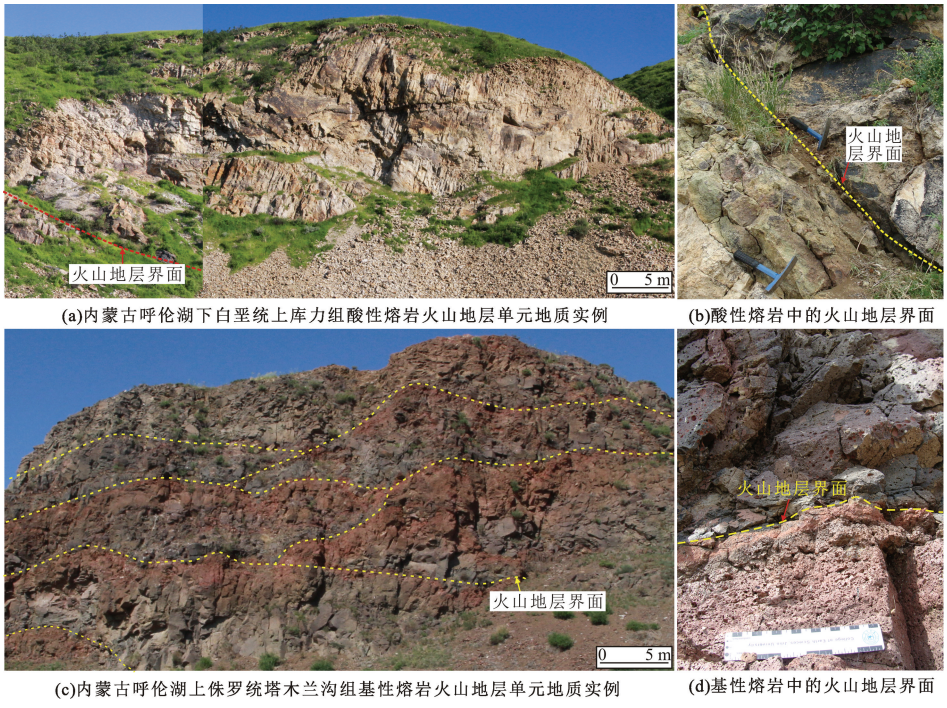


图 1　松辽盆地长岭断陷地理位置及井位分布

Fig. 1　Location of Changling Depression in Songliao Basin and wells used in this study

3　熔岩流单元的地质含义

熔岩流单元指熔岩中相对独立的冷凝单元,这些单元具有明显的,在另一股熔岩流覆盖之前就已经形成的顶部冷凝表壳[10,22],即熔岩流单元是由火山喷发不整合界面围限的彼此间相对独立的冷凝单元[23]。火山地层中广泛存在的界面是识别火山地层单元的主要手段[24]。这里以盆缘典型露头剖面和剖面全取心浅钻井为例进行说明(图 2,3)。图 2 中熔岩流单元特征较为清晰,酸性熔岩流单元规模较大,多为丘状(图 2(a)),界面多为岩性变化形成的喷发不整合界面(图 2(b));基性熔岩流单元规模通常较小,形态为透镜状或板状(图 2(c)),由喷发不整合界面分割,这些喷发不整合界面表现为气孔含量的突变,发育氧化边和蚀变带等(图 2(d))。盆缘全取心浅钻井也揭示了与露头剖面具有相似结构的熔岩流单元(图 3)。Y1D1 井上部揭示了一个较为完整的厚层酸性熔岩流单元,单元内部纵向上孔隙-裂缝的数量、形态和排列存在规律性变化,但不存在喷发间断面(图 3(a))。根据孔隙-裂缝数量和形态,将这些孔-缝组合归纳为若干孔隙带。该酸性熔岩流单元由顶部气孔带、韵律性气孔带、稀疏气孔带、致密带和底部气孔带构成;Y3D1 井揭示了多个基性熔岩流单元,这些熔岩流单元之间由喷发不整合界面分割(图 3(b))。厚层的熔岩流单元 2 和单元 4 从顶到底由顶部气孔带、稀疏气孔带,致密带和底部气孔带构成;薄层熔岩流单元 1 和单元 3 不发育致密带。

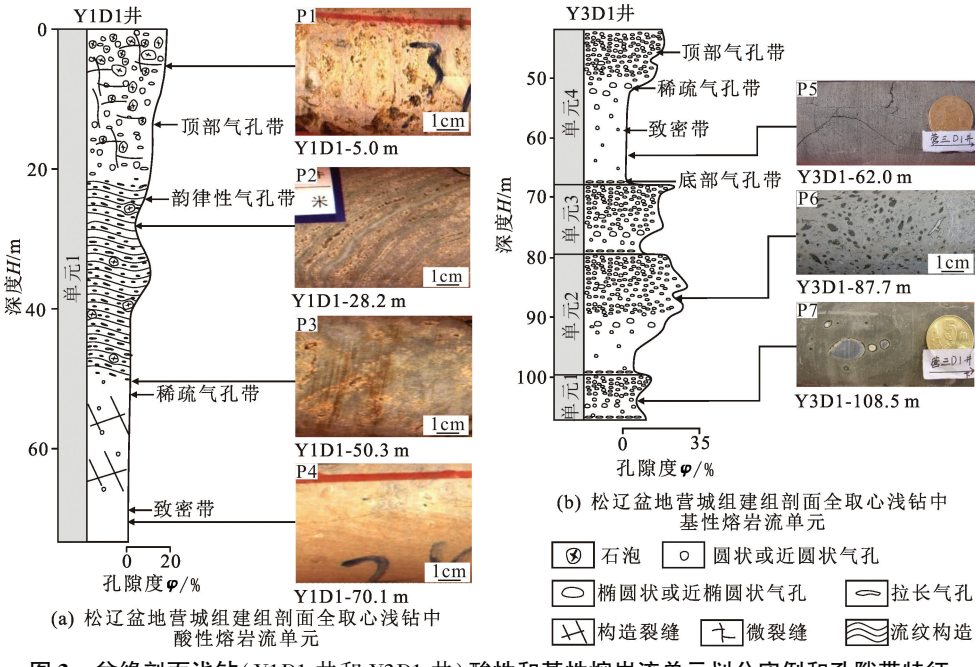


(a)内蒙古呼伦湖下白垩统上库力组酸性熔岩火山地层单元地质实例　(b)酸性熔岩中的火山地层界面

(c)内蒙古呼伦湖上侏罗统塔木兰沟组基性熔岩火山地层单元地质实例　(d)基性熔岩中的火山地层界面

图 2　盆缘剖面酸性和基性熔岩流单元典型剖面

Fig. 2　Typical outcrops of acidic lava flow unit and basic lava flow units



(a) 松辽盆地营城组建组剖面全取心浅钻中酸性熔岩流单元

(b) 松辽盆地营城组建组剖面全取心浅钻中基性熔岩流单元

图 3　盆缘剖面浅钻(Y1D1 井和 Y3D1 井)酸性和基性熔岩流单元划分实例和孔隙带特征

Fig. 3　Characteristics of acidic lava flow unit and basic lava flow units, and classification of vesicle zones in these units in shallow core Y1D1 and Y3D1

4　长岭断陷熔岩流单元类型

熔岩流动单元形态是熔岩流形成时岩浆黏度、流量等物理参数的直接反映。以熔岩流形态为依据划分熔岩流类型。盆内熔岩流单元形态通过三维地震数据获得(图 4)。根据三维地震解释发现,松辽盆地长岭断陷营城组酸性熔岩流单元形态以丘状和板状为主,基性熔岩流单元形态以板状和辫状为主。将松辽盆地长岭断陷营城组火山熔岩流单元类型划分为熔岩穹丘、板状熔岩流、辫状熔岩流 3 类(表 1)。

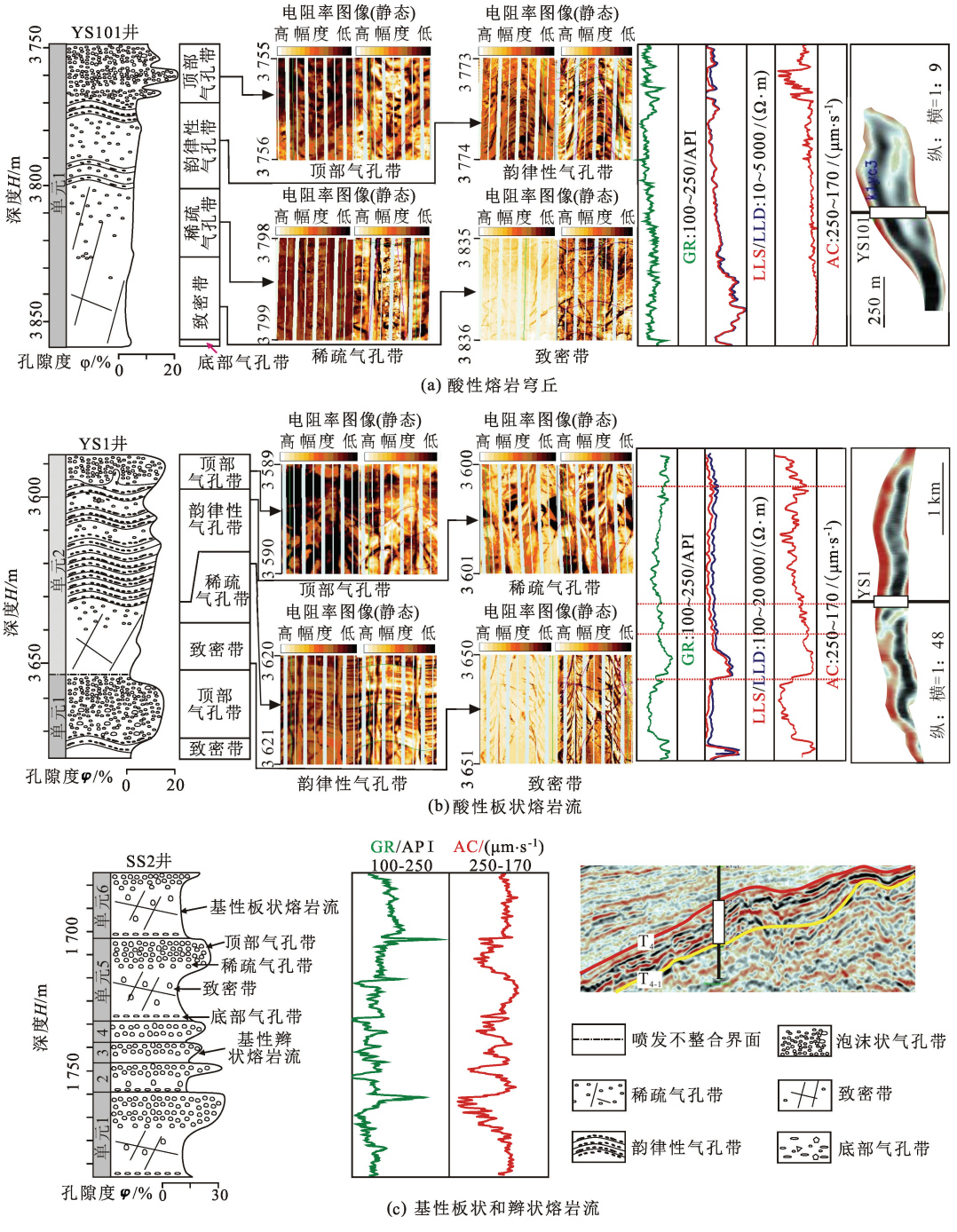


图 4　酸性和基性熔岩流单元钻井和地震识别特征

Fig. 4　Identification of acidic and basic lava flow units using log and seismic data

表 1　松辽盆地火山熔岩流动单元类型

Table 1　Classification of lava flow units in Songliao Basin

单元类型	岩性特征	形态特征
熔岩穹丘	酸性—中性	丘状外形,纵横比大于 0.1,厚度通常大于 100 m,横向延伸距离通常小于 1 km
板状熔岩流	酸性—基性均发育	板状外形,纵横比小于 0.1,厚度通常小于 100 m,横向延伸距离酸性熔岩通常小于 5 km,基性熔岩最大可延伸约为 100 km
辫状熔岩流	基性	互相叠加的辫状熔岩流,纵截面纵横比通常小于 0.01,单层厚度一般小于 8 m, 纵向延伸小于 1 km

5　熔岩流单元纵向序列特征

通过熔岩流单元顶、底界面地震同相轴包络线形态,区分了不同的熔岩流类型。以大量的岩心观察为依据,建立了盆内不同类型熔岩流单元纵向孔隙带发育模式。依据这些岩心孔-缝发育特征与常规测井曲线、成像测井图像的对应关系,明确了熔岩流单元不同孔隙带的测井响应特征。以松辽盆地长岭断陷 3 口钻遇酸性和基性熔岩流的典型钻井为例,阐述长岭断陷熔岩流单元纵向结构序列特征及其测井标志(图 4)。

5.1　熔岩穹丘

松辽盆地长岭断陷钻遇的熔岩穹丘均为酸性,以 YS101 井钻遇的酸性熔岩穹丘为例(图 4(a))。该熔岩穹丘厚度为 110 m,纵横比为 1∶9。通过岩心、岩屑观察,常规测井和电阻率扫描成像测井分析,该熔岩流单元从顶到底由顶部气孔带、韵律性气孔带、稀疏气孔带、致密带和底部气孔带等 5 个孔隙带构成(图 4(a))。顶部气孔带发育大量直径 1 ~ 5 mm 的椭圆状气孔,气孔定向排列,韵律性气孔带流纹构造和流纹构造间孔发育,稀疏气孔带仅发育少量离散状分布的气孔,致密带基本不发育气孔,仅发育构造裂缝,底部气孔带管状气孔发育。

该熔岩流单元顶部气孔带常规测井表现为高伽马,低电阻和高声波时差;成像测井可见云状亮色和暗色条带,表明气孔的密度较高,已经超过成像测井区分单个孔隙的极限[25]。从顶部气孔带到致密带,常规测井电阻率值逐渐升高,致密带表现出极高的电阻率值,声波时差值逐渐降低。成像测井韵律性气孔带可见清晰的流纹构造和流纹理间低电阻率的孔隙,稀疏气孔带电阻率较韵律性气孔带高,流纹构造消失,发育少量低电阻率气孔,致密带成像测井图像为亮黄色,基本没有低阻气孔。底部气孔带常规测井表现为指状的低电阻和高声波时差的特征(图 4(a))。

5.2　板状熔岩流

三维地震解释表明,松辽盆地长岭断陷熔岩流单元除了大纵横比的熔岩穹丘外,也发育大量的小纵横比的板状熔岩流单元。钻井揭示,这些熔岩流单元既有酸性,也有中基性。如长岭断陷 YS1 井钻遇的 2 个典型的酸性板状熔岩流单元(图 4(b)),在空间上为纵向叠置,纵横比小于 1∶48,横向延伸距离约为 5 km。单元 1 厚度为 30 m,从顶到底由顶部气孔带和致密带构成,顶部气孔带所占比例较大;单元 2 厚度为 65 m,从顶到底由顶部气孔带、韵律性气孔带、稀疏气孔带和致密带构成,其中韵律性气孔带与稀疏气孔带互层出现。各个孔隙带的常规、成像测井特征与熔岩穹丘相似。长岭断陷基性熔岩流单元多为侧向延伸距离在 10 ~ 50 km 的板状熔岩流单元。如长岭断陷 SS2 井钻遇的玄武质熔岩流(图 4(c)),该熔岩流由多个纵向叠置的,厚度为 30 ~ 40 m 的板状熔岩流单元构成。每个板状熔岩流单元由顶部气孔带、稀疏气孔带、致密带和底部气孔带构成。单元顶部由于发育氧化边和蚀变带,自然伽马曲线表现为高幅度的指状[26]。其内部纵向上不同孔隙带特征在声波时差曲线上反映明显:顶部气孔带为具有高声波时差值的高幅度反向箱型,稀疏气孔带声波时差值逐渐降低,致密带为具有低声波时差值的高幅度正向箱型,底部气孔带具有高声波时差值。

5.3　辫状熔岩流

长岭断陷辫状熔岩流单元多为基性,如 SS2 井钻遇的基性熔岩流中,发育少量厚度约为 7 ~ 8 m 的熔岩流单元(图 4(c)),这些熔岩流单元在空间上为辫状[12],纵向由顶部气孔带、稀疏气孔带和底部气孔带构成,声波测井曲线表现为多个高幅度指状组合。

6　熔岩流单元的储层特征

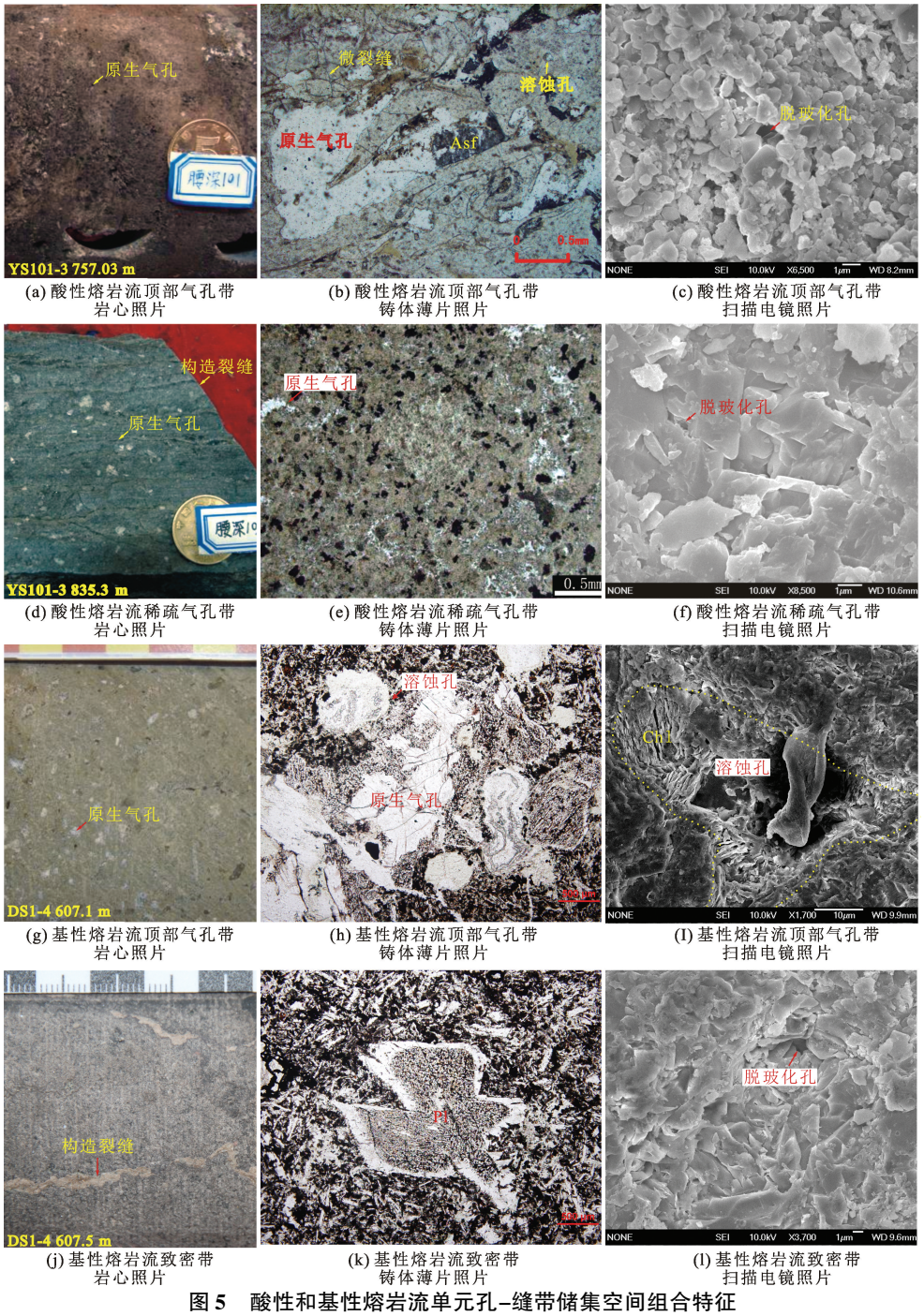
原生和次生孔隙是松辽盆地火山熔岩的主要储集空间,原生和次生裂缝是油气的主要渗流通道[3]。本次研究发现,这些孔-缝组合的空间分布特征直接受熔岩流单元的控制。本文中通过岩心、铸体薄片和扫描电镜以及物性特征分析(图 5),对储集空间组合在熔岩流单元中的发育特征进行了量化表征(图 6、7),并探讨了储层物性与熔岩流单元类型的关系。

6.1　熔岩流动单元储集空间组合量化表征

6.1.1　酸性熔岩流单元

酸性熔岩流单元顶部气孔带储集空间组合类型较为齐全,是较好的油气储层。酸性板状熔岩流和酸性熔岩穹丘在孔-缝的纵向组合上较为相似,差别主要体现在熔岩流横向的延伸距离不同,因此本次研究将这两种熔岩流合在一起探讨其储集空间的发育特征(图 6)。原生气孔是酸性熔岩流顶部气孔带的主要储集空间(图 5(a)、(b))。通过岩心铸体薄片面孔率统计发现,酸性熔岩流单元顶部气孔带中原生气孔平均面孔率约为 20.2%。溶蚀孔和脱玻化孔是酸性熔岩流单元顶部气孔带的次要储集空间:溶蚀孔多为细小的筛状(图 5(b)),扫描电镜观察发现,顶部气

孔带中流纹岩基质脱玻化后微晶之间形成了极为发育的脱玻化孔隙(图 5(c))。铸体薄片和扫描电镜面孔率统计表明次生溶蚀孔和脱玻化孔使该孔隙带面孔率增加了 3.1%。该孔隙带裂缝主要为基质微裂缝,构造裂缝不发育,面缝率约为 1.9%。虽然不如稀疏气孔带和致密带面缝率高,但是基质微裂缝呈网状发育(图 5(b)),可以较好地连通原生和次生孔隙。酸性熔岩流单元从顶部气孔带到致密带,原生孔隙和次生孔隙具有相同的变化趋势,面孔率均逐渐降低(图 6)。其储集空间类型也由以原生孔隙为主,逐渐变为以次生孔隙为主。如稀疏气孔带(图 5(d)),铸体薄片显示其原生气孔仅零星发育(图 5(e)),扫描电镜揭示其基质微晶和微晶间的微孔隙也不发育(图 5(f))。面缝率则正好相反,由顶部气孔带到致密带,面缝率逐渐增加。



(a) 酸性熔岩流顶部气孔带岩心照片　(b) 酸性熔岩流顶部气孔带铸体薄片照片　(c) 酸性熔岩流顶部气孔带扫描电镜照片

(d) 酸性熔岩流稀疏气孔带岩心照片　(e) 酸性熔岩流稀疏气孔带铸体薄片照片　(f) 酸性熔岩流稀疏气孔带扫描电镜照片

(g) 基性熔岩流顶部气孔带岩心照片　(h) 基性熔岩流顶部气孔带铸体薄片照片　(I) 基性熔岩流顶部气孔带扫描电镜照片

(j) 基性熔岩流致密带岩心照片　(k) 基性熔岩流致密带铸体薄片照片　(l) 基性熔岩流致密带扫描电镜照片

图 5　酸性和基性熔岩流单元孔-缝带储集空间组合特征

Fig. 5　Reservoir space association in different vesicle zones of acidic and basic lava flow units

6.1.2　基性熔岩流单元

基性板状熔岩流和基性辫状熔岩流在纵向序列上的主要差别为基性辫状熔岩流基本不发育致密带(图 7)。与酸性熔岩流单元类似,基性熔岩流顶部气孔带也是其主要的储层发育带。其孔隙以原生气孔为主(图 5(g)、(h)),面孔率平均约为 19.5%,与酸性熔岩流顶部气孔带平均面孔率接近。次生孔隙主要为溶蚀孔,扫描电镜提示其溶蚀孔多为绿泥石等蚀变矿物间微孔隙。但与酸性熔岩流相比,其基质脱玻化现象不明显,脱玻化孔不发育(图 5(i))。基性板状熔岩流中的致密带基本不发育原生气孔(图 5(j)、(k)),扫描电镜可见少量脱玻化孔(图 5(l))。基性熔岩流中从顶部气孔带到底部气孔带,原生孔隙面孔率先减少后增加,次生孔隙面孔率在一直减少;裂缝面孔率与酸性熔岩相似,也逐渐增加。基性熔岩流单元与酸性熔岩流单元相比,区别在于酸性熔岩次生孔隙明显较基性熔岩更为发育(图 6、7)。

流动单元类型	孔-缝带	主要储集空间类型	次要储集空间类型	平均面孔率/% 原生孔隙	次生孔隙	裂缝	样本数
酸性板状熔岩流/熔岩穹丘	顶部气孔带	原生气孔+石泡空腔孔+杏仁体残余孔	溶蚀孔+脱玻化孔+溶蚀缝+微裂缝	20.2	4.1	1.9	36
	韵律性气孔带	流纹理间孔	原生气孔+溶蚀孔+脱玻化孔+溶蚀缝+微裂缝+构造裂缝	5.3	2.9	1.7	16
	稀疏气孔带	原生气孔+杏仁体残余孔	脱波化孔+溶蚀孔+溶蚀缝+构造裂缝	4.2	2.1	1.7	17
	致密带	脱玻化孔+构造裂缝	溶蚀缝	1.3	1.8	3.2	17
	底部气孔带	原生气孔	脱波化孔+溶蚀孔+溶蚀缝+构造裂缝	2.3	1.2	3.1	17

图 6　酸性熔岩流单元储集空间组合及面孔率特征

Fig. 6　Reservoir space association and surface porosity in acidic lava flow units

流动单元类型	孔-缝带	主要储集空间类型	次要储集空间类型	平均面孔率/% 原生孔隙	次生孔隙	裂缝	样本数
基性板状流动单元	顶部气孔带	原生气孔+杏仁体残余孔	溶蚀孔+微裂缝+溶蚀缝+构造裂缝	19.5	2.0	2.1	10
	稀疏气孔带	原生气孔+杏仁体残余孔	溶蚀孔+溶蚀缝+构造裂缝	8.02	0.9	3.2	3
	致密带	构造裂缝+柱状节理缝	溶蚀孔	1.14	0.5	3.4	7
	底部气孔带	原生气孔+杏仁体残余孔	溶蚀孔+溶蚀缝+构造裂缝	10.9	0.3	3.9	1
基性辫状流动单元	顶部气孔带	原生气孔+杏仁体残余孔	溶蚀孔+微裂缝+溶蚀缝+构造裂缝	21.5	2.1	2.3	6
	稀疏气孔带	原生气孔+杏仁体残余孔	溶蚀孔+溶蚀缝+构造裂缝	10.1	1.2	3.0	6
	底部气孔带	原生气孔+杏仁体残余孔	溶蚀孔+溶蚀缝+构造裂缝	11.2	0.5	3.7	2

图 7　基性熔岩流单元储集空间组合及面孔率特征

Fig. 7　Reservoir space association and surface porosity in basic lava flow units

6.2　不同类型熔岩流单元物性特征

通过对本文中几种类型的熔岩流单元(包括基性辫状熔岩流单元、基性板状熔岩流单元、酸性板状熔岩流单元和酸性熔岩穹丘)的测井物性特征进行统计发现,基性辫状熔岩流孔隙度峰值分布在 10%~12%(图 8(a)),基性板状熔岩流孔隙度峰值分布在 4%~6%(图 8(b)),酸性板状熔岩流孔隙度峰值分布在 6%~8%(图 8(c)),酸性熔岩穹丘孔隙度峰值在 0~2%(图 8(d))。基性辫状熔岩流的物性好于酸性板状熔岩流,其次为基性板状熔岩流,再次为酸性熔岩穹丘。根据前文中对熔岩流单元形态、叠置方式、纵向序列和孔隙组合特征的分析,认

为熔岩流单元形态、叠置和结构特征是造成这些不同类型熔岩流物性差异的重要原因。基性辫状熔岩流单元厚度薄,横向延伸距离近,空间上为交织状叠置,顶部气孔带间隔小,占熔岩流体积的比例大,因此物性最好。基性板状熔岩流与酸性板状熔岩流孔隙带空间分布特征与占熔岩流厚度比例相似,而酸性熔岩流的次生孔隙较基性熔岩发育,因此储层物性好于基性板状熔岩流。酸性熔岩穹丘厚度大,顶部气孔带占整个熔岩流的比例小,因此物性统计较前几种熔岩流类型差。

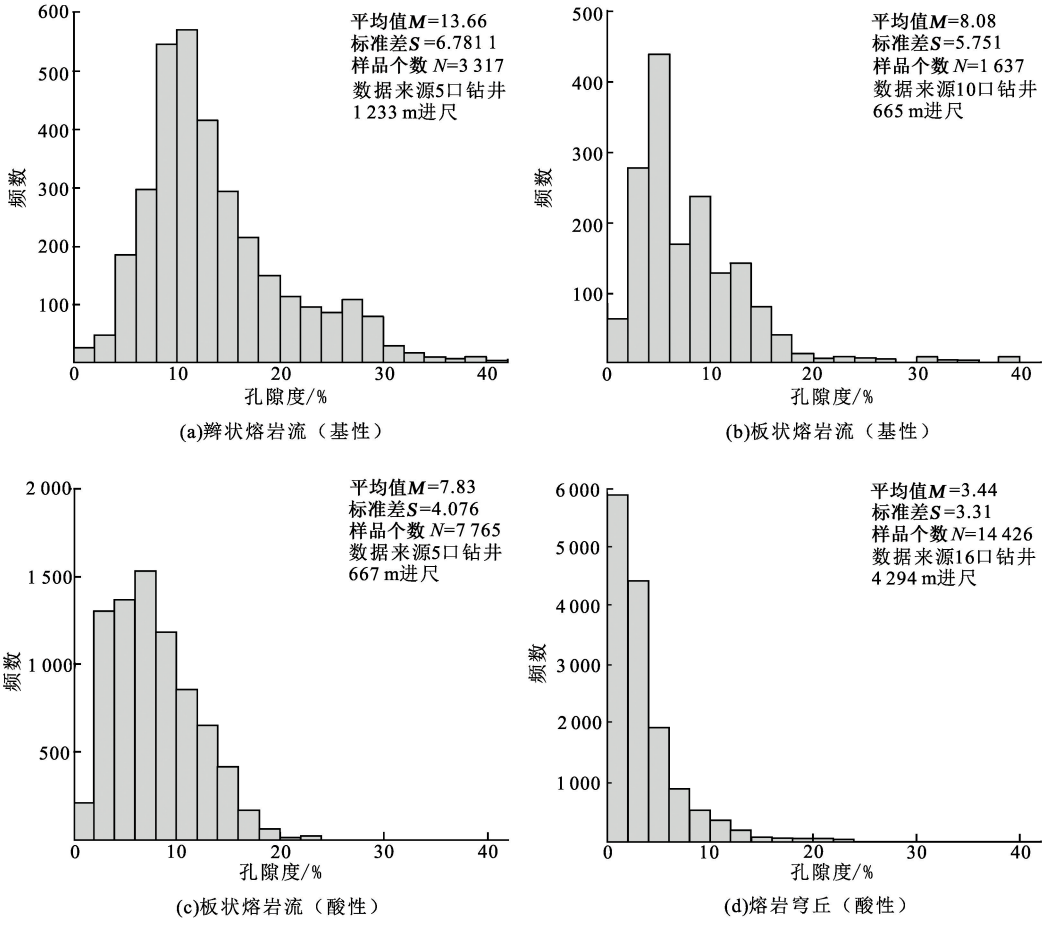


图 8 不同类型熔岩流储层物性特征

Fig. 8 Petrophysical characteristics of different types of lava flow units

7 结 论

(1)松辽盆地长岭断陷酸性和基性熔岩流单元按形态可分为酸性熔岩穹丘、酸性板状熔岩流、基性板状熔岩流和基性辫状熔岩流单元 4 种类型。酸性熔岩流单元内部纵向序列按孔隙数量和形态可分为顶部气孔带、韵律性气孔带、稀疏气孔带、致密带和底部气孔带;基性熔岩流单元一般不发育韵律性气孔带,其余孔隙带与酸性熔岩流单元相同。

(2)酸性熔岩流和基性熔岩流单元顶部气孔带是主要的油气储层。酸性熔岩流单元顶部气孔带储集空间以原生气孔、溶蚀孔和基质脱玻化孔为主,渗流通道主要为基质微裂缝;基性熔岩流单元顶部气孔带缺少基质脱玻化孔。从熔岩流单元顶部气孔带到底部气孔带,原生孔隙和次生孔隙的面孔率均先降低再升高。酸性熔岩流次生孔隙面孔率优于基性熔岩次生孔隙面孔率。

(3)单层厚度薄,交织叠置,顶部气孔带所占比例较大的基性辫状熔岩流的储层物性最好;空间上发育多层层状顶部气孔带的基性板状熔岩流和酸性板状熔岩流储层物性稍差。次生孔隙更加发育导致酸性板状熔岩流储层物性优于基性板状熔岩流。单层厚度大,仅发育 1 层顶部气孔带的酸性熔岩穹丘相比其他 3 种熔岩流物性最差。

参考文献:

[1] FENG Zihui, YIN Changhai, LIU Jiajun, et al. Formation mechanism of in-situ volcanic reservoirs in eastern

China: a case study from Xushen gas field in Songliao Basin[J]. Science China-Earth Science, 2014, 7(12): 2998-3014.

[2] FENG Zhiqiang. Volcanic rocks as prolific gas reservoir: a case study from the Qingshen gas field in the Songliao Basin, NE China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2008,25:416-432.

[3] WANG Pujun, CHEN Shumin. Cretaceous Volcanic reservoirs and their exploration in the Songliao Basin, NE China [J]. AAPG Bull, 2015,99(3):499-523.

[4] 曲延明,舒萍,纪学雁,等. 松辽盆地庆深气田火山岩储层的微观结构研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2007,37(4):721-725.
QU Yanming, SHU Ping, JI Xueyan, et al. Micro-fabrics of reservoir volcanic rocks in the Qingshen Gas Field of the Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007,37(4):721-725.

[5] 柳成志,孙玉凯,于海山,等. 三塘湖盆地石炭系火山岩油气储层特征及碱性成岩作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2010,40(6):1221-1231.
LIU Chengzhi, SUN Yukai, YU Haishan, et al. Study on characteristic of Carboniferous volcanic oil and gas reservoirs and alkaline diagenesis in the Santanghu Basin, NW China [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010,40(6):1221-1231.

[6] 高有峰,刘万洙,纪学雁,等. 松辽盆地营城组火山岩成岩作用类型,特征及其对储层物性的影响[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2007,37(6):1251-1258.
GAO Youfeng, LIU Wanzhu, JI Xueyan, et al. Diagenesis types and features of volcanic rocks and its impact on porosity and permeability in Yingcheng Formation, Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007,37(6):1251-1258.

[7] 刘万洙,黄玉龙,庞彦明,等. 松辽盆地营城组中基性火山岩成岩作用:矿物晶出序列,杏仁体充填和储层效应[J]. 岩石学报,2010,26(1):158-164.
LIU Wanzhu, HUANG Yulong, PANG Yanming, et al. Diagenesis of intermediate and mafic volcanic rocks of Yingcheng Formation (K_1y) in the Songliao: sequential crystallization, amygdule filling and reservoir effect [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010,26(1): 158-164.

[8] 王岩泉,边伟华,刘宝鸿,等. 辽河盆地火成岩储层评价标准与有效储层物性下限[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2016,40(2):13-22.
WANG Yanquan, BIAN Weihua, LIU Baohong, et al. Evaluation criterion and cut-off value of igneous rock reservoirs in Liaohe Basin[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2016,40(2): 13-22.

[9] 何辉,李顺明,孔垂显,等. 准噶尔盆地西北缘二叠系佳木河组火山岩有效储层特征与定量评价[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2016,40(2):1-12.
HE Hui, LI Shunming, KONG Chuixian. Characteristics and quantitative evaluation of volcanic effective reservoir in Jiamuhe Formation of Permain, northwestern margin of Junggar Basin[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2016,40(2):1-12.

[10] WALKER G P L. Compound and simple lava flows and flood basalts[J]. Bull Volcano, 1971,35(3):579-590.

[11] SINGLE R T, JERRAM D A. The 3D facies architecture of flood basalt provinces and their internal heterogeneity: examples from the Palaeogene Skye Lava Field [J]. Geol Society, 2004,161:911-926.

[12] NELSON C E, JERRAM D A, HOBBS R W. Flood basalt facies from borehole data: implications for prospectivity and volcanology in volcanic rifted margins [J]. Petroleum Geoscience, 2009,15(4):313-324.

[13] PLANK S, SYMONDS P A, ALVESTAD E, et al. Seismic volcano stratigraphy of large-volume basaltic extrusive complexes on rifted margins [J]. Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 2000, 105: 19335-19351.

[14] YI Jian, WANG Pujun, GAO Youfeng, et al. Vesicle distribution in basalt lava flow units in the Mesozoic rift basins of northeast China and its application in gas reservoir prediction [J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 2016,53(1):59-70.

[15] WANG Pujun, XIE Xiaoan, FRANK M, et al. The Cretaceous Songliao Basin: volcanogenic succession, sedimentary sequence and tectonic evolution, NE China [J]. Acta Geologica Sinica-English Edition, 2007,81(6):1002-1011.

[16] SCOTESE C R, GAHAGAN L, LARSON R L. Plate tectonic reconstruction of the Cretaceous and Cenozoic ocean basins[J]. Tectonophysics, 1988,155:27-48.

[17] FENG Zhiqiang, JIA Chengzao, XIE Xinong, et al. Tectono stratigraphic units and stratigraphic sequences of the non marine Songliao basin, northeast China [J]. Basin Research, 2010,22(1):79-95.

[18] WANG Pujun, REN Yanguang, SHAN Xuanlong, et al. The Cretaceous volcanic succession around the Songliao Basin, NE China: relationship between volcanism and sedimentation [J]. Geological Journal, 2002,37(2): 97-115.

[19] MAO Zhiguo, ZHU Rukai, LUO Jinglan, et al. Reservoir characteristics, formation mechanisms and petrole-

um exploration potential of volcanic rocks in China [J]. Petroleum Science, 2015,12(1):54-66.

[20] 胡望水,吕炳全,张文军,等. 松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨[J]. 地质科学,2005,40(1):16-31.
HU Shuiwang, LÜ Bingquan, ZHANG Wenjun, et al. structure evolution and its kinetic setting of Changling fault depression in Songliao Basin[J]. Journal of Geology, 2005,40(1):16-31.

[21] 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,2011,32(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, 2011,32(3):360-367.

[22] SELF S, KESZTHELYI L, THORDARSON T. The importance of pahoehoe [J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1998,26:81-110.

[23] TANG Huafeng, PHIRI C, GAO Youfeng, et al. Types and characteristics of volcano stratigraphic boundaries and their oil-gas reservoir significance [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2015, 89(1): 163-174.

[24] 衣健,王璞珺,唐华风,等. 火山地层界面的地质属性、地质内涵和储层意义:以中国东北地区中生代-新生代火山岩为例[J]. 石油学报,2015,36(3):324-336.
YI Jian, WANG Pujun, TANG Huafeng, et al. Geological property, geological connotation and reservoir significance of volcano stratigraphic boundary: a case study of the Mesozoic & Cenozoic volcanic rocks in northeastern China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2015,36(3): 324-336.

[25] 姚瑞士,王璞珺,宋立忠,等. 松辽盆地营城组火山岩孔隙与裂缝的成像测井研究[J]. 地球物理学进展,2011,26(6):2122-2131.
YAO Ruishi, WANG Pujun, SONG Lizhong, et al. Imaging logging response to volcanic pores and fractures of Yingchen Formation in the Songliao Basin[J]. Progress in Geophysics, 2011,26(6):2122-2131.

[26] 黄玉龙,王璞珺,舒萍,等. 松辽盆地营城组中基性火山岩储层特征及成储机理[J]. 岩石学报,2010,26(1):82-92.
HUANG Yulong, WANG Pujun, SHU Ping, et al. Characteristics and formation mechanism of the Cretaceous intermediate and mafic volcanic reservoirs in Songliao Basin, NE China[J]. Acta Patrologica Sinica, 2010,26(1):82-92.

(编辑 徐会永)