

文章编号: 0253-2697(2012)04-0541-10

松辽盆地营城组火山机构地层结构定量模型

唐华风¹ 白冰¹ 边伟华¹ 王力圆² 孙海波¹

(1. 吉林大学地球科学学院 吉林长春 130061; 2. 重庆地质矿产研究院 重庆 400042)

摘要:松辽盆地营城组火山岩地层主要由火山机构侧向迁移和垂向叠置而形成。目前对火山机构的内部结构认识还不清晰,制约了火山岩勘探开发进程。通过对典型酸性熔岩、酸性复合、酸性碎屑岩和中基性熔岩火山机构的综合解剖,建立其地层结构模型。酸性火山机构中多数为似层状结构,中基性火山机构中除发育似层状结构外,还常见层状结构。具有似层状结构的酸性火山机构的岩层倾角要大于具有层状结构的中基性熔岩火山机构;现今岩层倾角可为正态分布,也可呈现出偏正态或双峰态。火山岩地层结构与火山机构类型、喷发古环境(同生断层和古斜坡)密切相关;后期的挤压和掀斜作用对岩层产状变化起到显著的改造作用;后期单期次、断距小的正断层或逆断层的改造,对岩层产状的变化影响较小。此研究为火山岩地层结构内部精细解剖提供了理论依据。

关键词:松辽盆地;营城组;火山地层;似层状结构;控制因素

中图分类号:TE111.3 文献标识码:A

Quantitative models of strata texture within volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin, NE China

TANG Huafeng¹ BAI Bing¹ BIAN Weihua¹ WANG Liyuan² SUN Haibo¹

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

2. Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China)

Abstract: The volcanostratigraphy of Yingcheng Formation was built up by volcanic edifices which migrated in lateral direction and overlapped in vertical succession. In present, internal structures of volcanic edifices are not clear. So development process of volcanic gas pools in Songliao Basin was decelerated. The models of strata texture within volcanic edifices were created by integrated analysis of acid lava, acid compound, and acid pyroclastic volcanic edifices as well as intermediate-basic lava ones. The strata texture of mostly acid volcanic edifices is pseudostratified texture. The intermediate-basic lava volcanic edifices has stratified texture besides the pseudostratified texture. The dip angle of acid volcanic edifices (with the pseudostratified texture) is bigger than that of the intermediate-basic volcanic edifices (with the stratified texture). The dip angles show normal distribution, skewed normal distribution or bimodal shape. The primary stratified occurrence of volcanic rocks is controlled by types of volcanic edifices, eruptive paleogeomorphology (such as contemporaneous fault and paleoslope), and reformed by later compressional and tilting activities. Purly later low relief normal faults or reverse faults can impact the occurrence slightly. This study offers a theoretical basis for meticulous depiction of internal structure of volcanostratigraphy.

Key words: Songliao Basin; Yingcheng Formation; volcanostratigraphy; pseudostratified texture; controlling factors

近年来火山岩勘探取得了巨大突破,目前各盆地火山岩油气藏已陆续进入开发阶段,仅松辽盆地火山岩天然气年产能就达到约 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$,使之成为了该区油气勘探开发的重要接替领域^[1-2],并在火山岩油气藏成藏机理、分布规律和地质-地球物理综合识别研究方面取得了丰富的成果^[3-5]。储层分布规律作为油气藏研究的重要基础,目前也取得如下认识:火山岩储集

空间以原生孔隙为主,后生改造控制着储层的有效性^[6-8];储层的物性与岩性、岩相及其相带、火山机构类型等有着密切的关系^[9-13];并建立了相应的火山机构和火山岩相模型及识别标志^[14-17],这些研究为火山岩油气藏勘探开发提供了必要的理论支撑^[18]。

随着勘探开发的深入,火山岩油气藏空间分布的特殊性愈显突出,现有的油气藏理论不完全适用于此,

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(No. 41002038)、国家重点基础研究发展计划(973)项目(2009CB219303)和吉林大学科学前沿与交叉学科创新项目(200903027)资助。

第一作者及通讯作者:唐华风,男,1979年6月生,2001年获吉林大学学士学位,2007年获吉林大学博士学位,现为吉林大学地球科学学院副教授,主要从事火山岩储层地质-地球物理研究。Email: tanghfhc@jlu.edu.cn

延缓了火山岩高效勘探开发的步伐,造成该现象的主要原因之一就是火山岩地层结构的认识不清。松辽盆地营城组火山岩地层结构主要为似层状结构,其充填类型、界面特征和叠置关系等均比正常沉积岩的层状结构更复杂^[19-22],如果仍然沿用层状结构模式来刻画火山岩则无法找到储层和气层的真实分布规律^[23]。因此进行火山岩地层结构的刻画,建立其定量模型是十分必要的。以松辽盆地营城组火山岩为例,在分析不同岩性组合类型的地层结构的基础上建立典型火山机构的地层结构定量模型,探讨其地层产状的变化规律和主控因素。

1 火山机构特征

火山机构(volcanic edifice)又称火山体、火山堆积物,指火山喷发时在地表形成的各种火山地形,如火山锥、火山穹丘、火山口、破火山口、熔岩高原等,有时还涉及火山颈、火山通道等地下结构^[24]。上述火山地形多由围绕同一个主喷发中心的各种火山堆积物而形成。同一火山机构的岩层产状变化基本具有连续性,即从喷发中心区域向远源区域过渡时岩层倾角多逐渐变小、同时厚度也变小;而火山机构单元之间岩层产状变化规律更为复杂。由多期多中心的多火山机构叠置而成的营城组火山岩地层结构模型的建立可分为两步:首先进行基本单元—火山机构的地层结构刻画和建模;然后再进行火山机构叠置,建立火山岩地层结构模型。为此,首先需要对松辽盆地营城组火山机构类型进行分析,以便能针对典型火山机构进行地层结构解剖。

对于现代火山机构类型,可利用形态参数、喷发方式进行划分和识别^[25-26];针对埋藏古火山机构,采用岩性与岩相组合特征来划分火山机构类型是行之有效的^[15,27-28]。笔者沿用岩性与岩相组合特征的火山机构划分方案,将松辽盆地营城组火山岩划分为酸性/中基性熔岩火山机构、酸性/中基性复合火山机构和酸性/中基性碎屑岩火山机构6类,钻井揭示各类火山机构由多到少的顺序为酸性熔岩类、酸性复合类、酸性碎屑岩类、中基性熔岩类、中基性复合类和中基性碎屑岩类;其中前4类机构是松辽盆地营城组火山岩地层的主体,占95%以上。酸性岩类火山机构的储层物性和成藏效应均好于中基性岩类,其中酸性熔岩类火山机构最好^[13,29]。因此明确上述4类火山机构的地层结构特征是建立松辽盆地营城组火山岩地层结构模型的重要基础,并且具有实践意义。

2 火山机构地层结构定量模型

根据火山机构上述特征,选取酸性熔岩类、酸性复

合类、酸性碎屑岩类和中基性熔岩类等4类火山机构进行其典型实例的地层结构解剖(图1)。

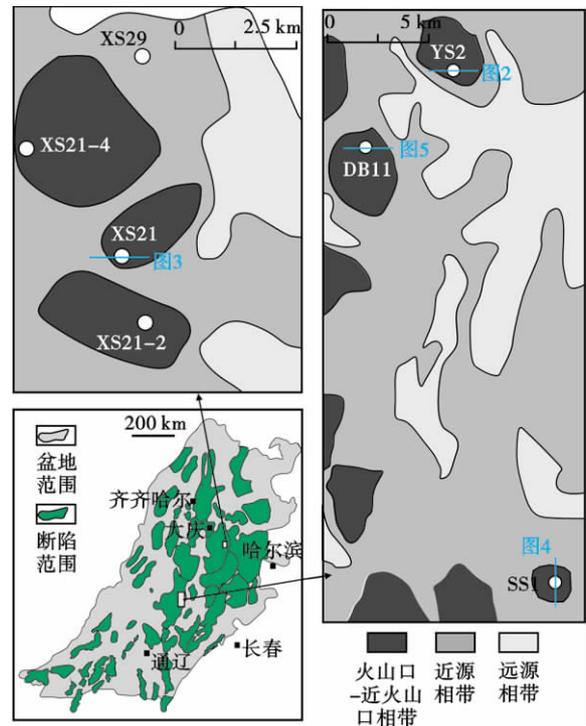


图1 研究区地质位置

Fig. 1 Geological settings of study area

2.1 酸性熔岩火山机构

该类火山机构岩性以流纹岩为主,多数情况下含有少量的英安质、安山质、玄武质及其过渡类型的岩石,岩相以喷溢相为主(图2)。

该火山机构岩性为流纹岩,并在火山口和火山机构远端发育沉火山碎屑岩和沉积岩,伽马测井曲线表现为低幅箱状和指状、光滑的特征[图2(a)和图2(b)]。根据火山岩界面特征可将YS2井划分为2个火山机构,分别为VE-1和VE-2[图2(c)],均为酸性熔岩机构,除有一个主喷发口外还均见一个次喷发口,两个火山机构垂向上呈叠置关系。参比具有层状结构的沉积岩地层^[21]可知,该类火山机构地层结构表现为似层状结构。根据上覆和下伏地层厚度变化和变形特征,该区地层倾斜发生在营城组沉积之后,推测火山喷发时古地形为平坦面。依据上述特征建立酸性熔岩火山机构地层结构定量模型[图2(d)]。该类火山机构横向上可延伸4 km、厚度可达300 m,单层岩层厚度可达100 m,横向上地层厚度变化迅速。以喷发中心为界,两侧的岩层倾向相反;该类机构原始岩层倾角变化剧烈,其倾角最大可达40°、通常为10°~25°;向远端过渡时岩层倾角逐渐变小,最小倾角为5°,普遍小于10°,基本可反映该处地层倾角。

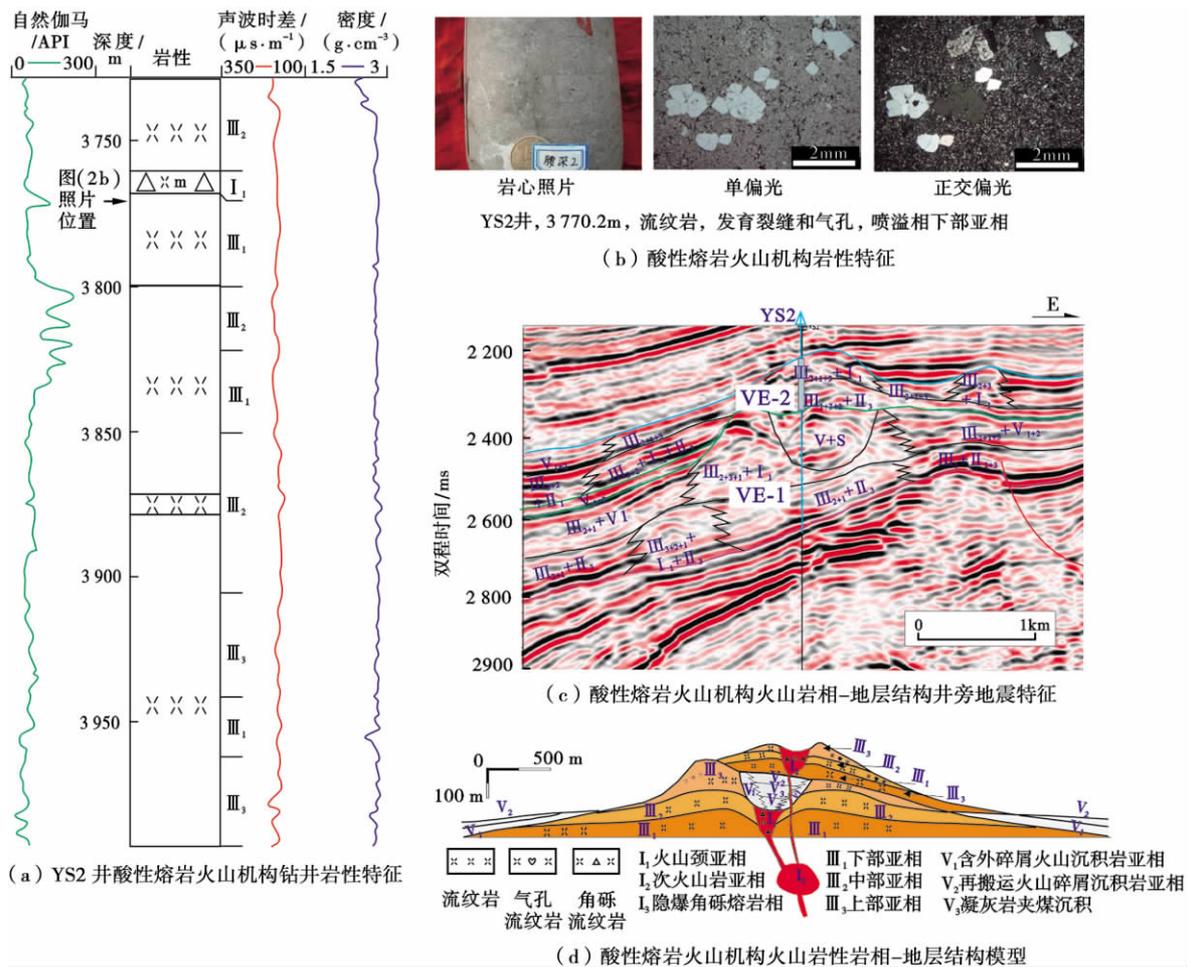


图 2 松辽盆地营城组酸性熔岩火山机构地层结构模型

Fig. 2 Model of stratal texture of acid lava's volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin

2.2 酸性复合火山机构

该类火山机构岩性比较复杂,熔岩和碎屑(熔)岩的比例相当,岩相以喷溢相和爆发相互层为主,同时发育少量火山通道相、侵出相和火山沉积相(图 3)。

该火山机构岩性以球粒流纹岩、流纹质角砾熔岩和流纹质凝灰岩为主,还有少量安山岩。伽马测井曲线表现为中幅箱状和指状、齿化的特征[图 3(a)和图 3(b)]。根据火山岩界面特征可将 XS21 井划分为 1 个火山机构[图 3(c)],为酸性复合机构,可见一个发生迁移的主喷发口。依据上述特征建立酸性复合火山机构地层结构定量模型[图 3(d)]。该类火山机构横向上可延伸 5 km、厚度可达 500 m,单层岩层厚度多为 20~30 m,最厚可达 60 m;火山机构上部岩层从喷发中心向两侧的地层倾向相反,火山机构中下部岩层受断层影响呈不对称分布,火山机构的中心区域和断层附近的岩层倾角变化剧烈,其倾角最大可达 35°、通常为 15°~25°,与营城组地层产状的关系相

似于酸性熔岩火山机构。

2.3 酸性碎屑岩火山机构

该类火山机构岩性以流纹质晶屑凝灰(熔)岩、沉火山碎屑岩为主,可含有少量的英安质/安山质/玄武质及其过渡类型的岩石;岩相以爆发相、火山沉积岩为主(图 4)。

该火山机构岩性以流纹质晶屑凝灰岩为主,少量的流纹岩。伽马测井曲线表现为中高幅箱状-指状、齿化的特征[图 4(a)和图 4(b)]。井旁地震相揭示火山岩界面特征不是十分清晰,仅能划分出一个火山机构,有一个主喷发口,呈丘形-楔形特征;且侧向叠置关系不明显[图 4(c)]。根据营城组及上覆地层均存在向南收敛的特征,而且两者之间未见明显的角度不整合界面,推测该区存在一个长期的古斜坡,但在营城组期斜坡的坡度不大。综上建立酸性碎屑岩火山机构的地层结构定量模型[图 4(d)]。该类火山机构横向上可延伸 3 km,厚度可达 150 m,单层岩层厚度可达 100 m;该

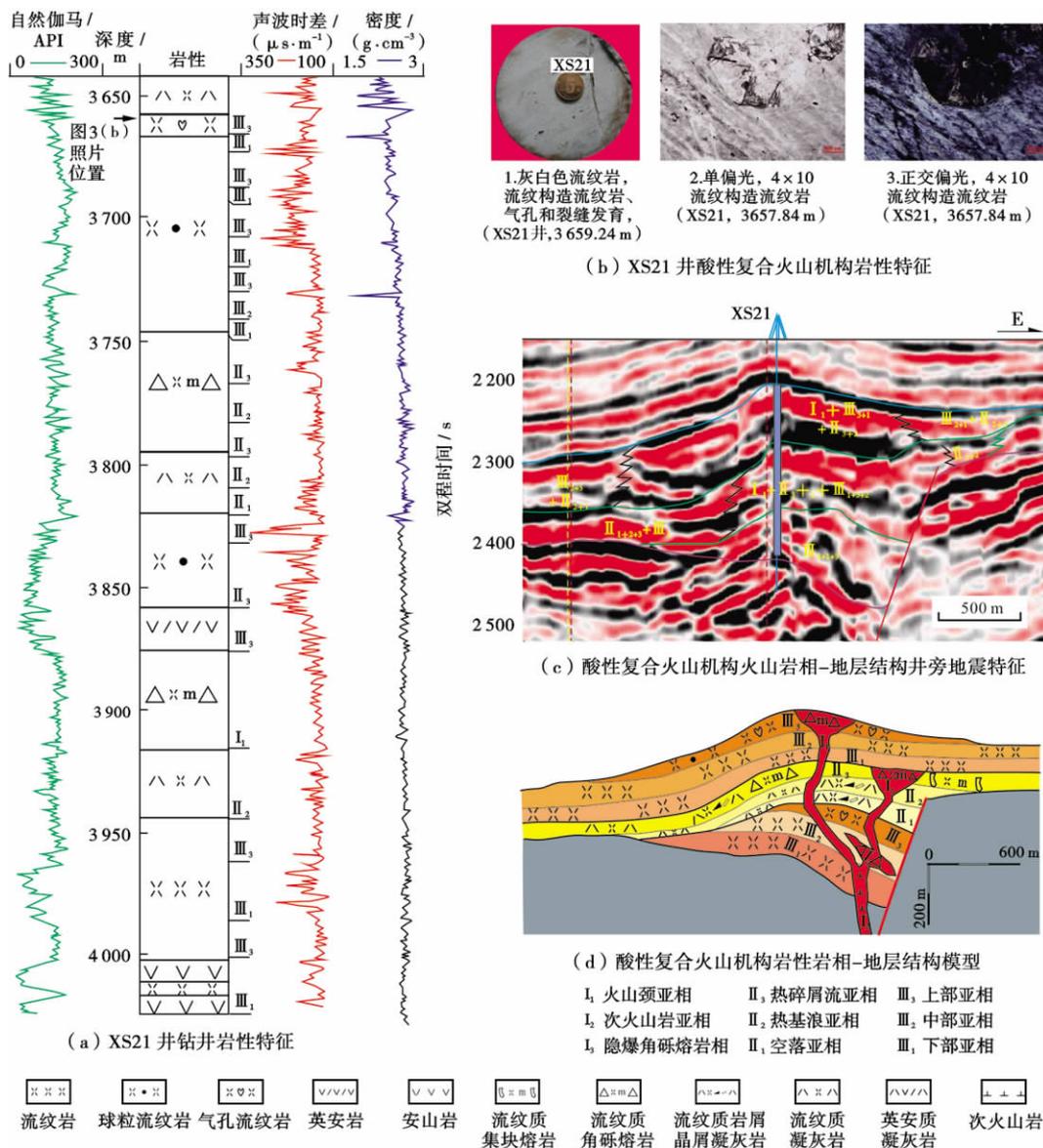


图3 松辽盆地营城组酸性复合火山机构地层结构模型

Fig. 3 Model of stratal texture of acid compound volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin

类火山机构是不对称的,以喷发中心为界,在斜坡下行一侧的岩层更厚、延伸更远,在远源相带的岩层厚度可大于火山口附近岩层厚度。整体上多数区域的地层倾向具有一致性,但倾角存在明显的差别。岩层倾角分布范围为 2°~15°,在中心区域岩层倾角多超过 10°,在远源相带岩层倾角多小于 5°。

2.4 中基性熔岩火山机构

该类火山机构岩性以玄武岩和安山岩等中基性熔岩为主,并含有少量的玄武质/安山质凝灰(熔)岩或流纹质岩石;岩相以喷溢相为主,可含有少量火山通道相、爆发相和火山沉积相(图 5)。

该火山机构岩性为玄武岩/安山岩夹泥岩,玄武岩分布广泛,沉火山碎屑岩和沉积岩分布在火山口。伽

马测井曲线表现为低幅箱状、微齿的特征[图 5(a)和图 5(b)]。根据火山岩界面特征可将 DB11 井划分为 3 个火山机构,分别为 VE-1、VE-2 和 VE-3[图 5(c)],除 VE-3 外均为中基性熔岩机构,整体上表现为席状披盖,如果将底面拉平则火山机构表现为顶面盾形、底面平整的特征。各个火山机构均见一个主喷发口,且火山口位置在迁移。综上建立中基性熔岩火山机构地层结构定量模型[图 5(d)]。该类火山机构横向上延伸 3.5 km,厚度达 150 m,单层岩层厚度可达 50 m;基本呈对称分布,火山机构岩层倾角变化不大,值范围为 0°~7°,其中心相带的倾角值多为 3°~7°,而远离喷发中心的岩层倾角基本等于 0°,可代表营城组区域地层产状。

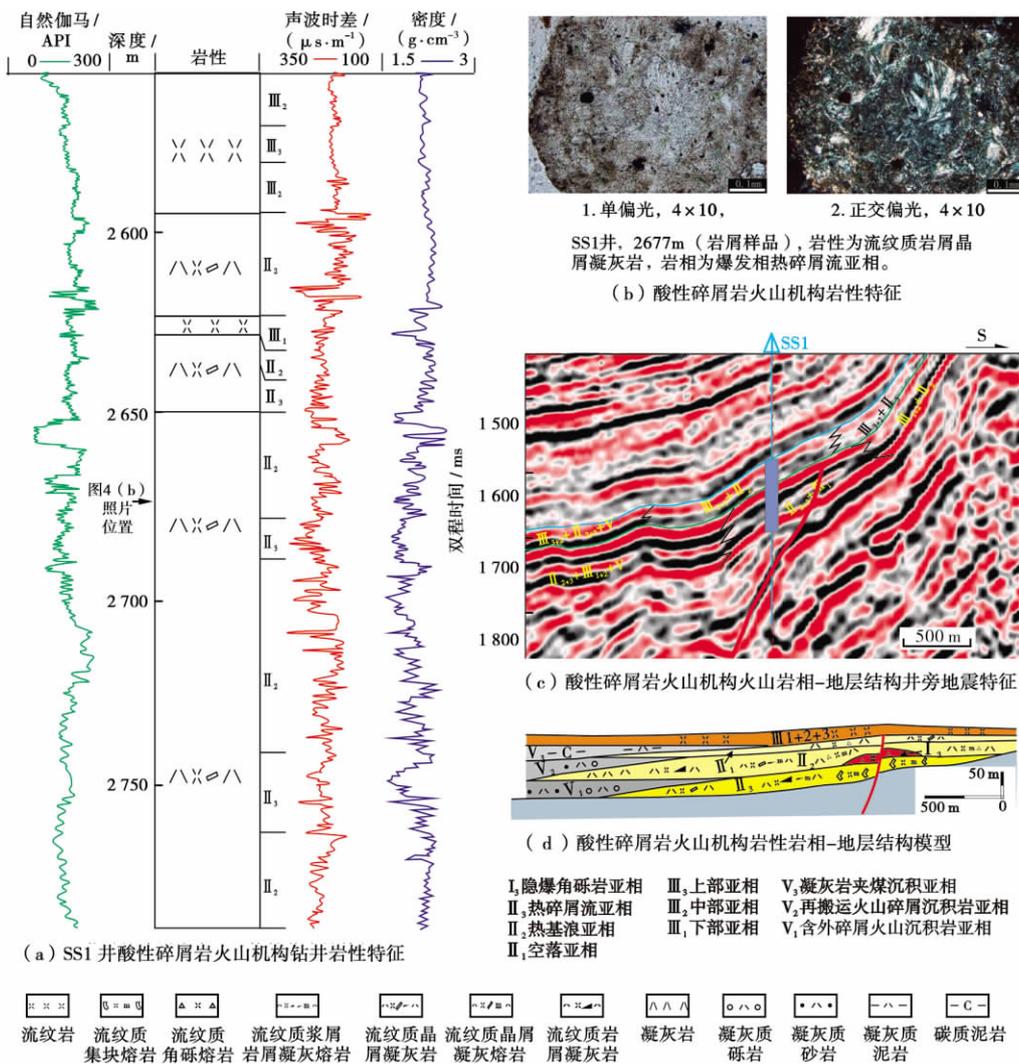


Fig. 4 Model of stratal texture of acid pyroclastic volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin

3 影响火山岩地层结构的因素

3.1 火山机构类型、古斜坡与同生断层对火山岩地层结构的控制

火山岩地层结构常见似层状结构,也可见少量的层状结构。酸性熔岩和复合火山机构的规模最大,其岩层产状变化最为剧烈、岩层倾角也最大。酸性碎屑岩火山机构规模最小,其原始岩层产状较平缓与稳定、岩层倾角也小。中基性熔岩火山规模居中,其原始地层产状最平缓与稳定,其岩层倾角是 4 类火山机构中最小的。整体上看,酸性岩火山机构多数为似层状结构,中基性岩火山机构发育层状地层结构。酸性岩火山机构的岩层倾角往往大于中基性岩火山机构。

喷发古地理条件(如古斜坡和同生断层)对火山机

构地层结构的影响不可忽视,主要表现在岩层产状和几何形态两方面。发生在平坦地表的火山喷发,其岩层的产状和几何形态往往都具有对称分布的特征(图 2)。与之相比,XS21 井中下部的火山岩是在同生正断层控制中形成的,同生正断层导致先期喷发的火山岩发生弯曲、改变岩层产状;同时由于同生正断层的控制使得中下部的岩层表现为楔形。到了火山喷发后期,断层活动变弱直至停止,断层对火山机构地层结构的影响变小直到消失。所以中上部的岩层恢复为正常火山岩的叠置特征,导致了 XS21 火山机构的岩层倾角分布为右偏双峰态(图 6)。火山喷发时受古斜坡和断层影响(图 4),其中断距小、古斜坡的落差较大,因此古斜坡对火山喷发物的分散堆积的控制作用明显。以火山喷发中心为界,斜坡低部位一侧的岩层厚度和延伸长度大于高部位一侧。

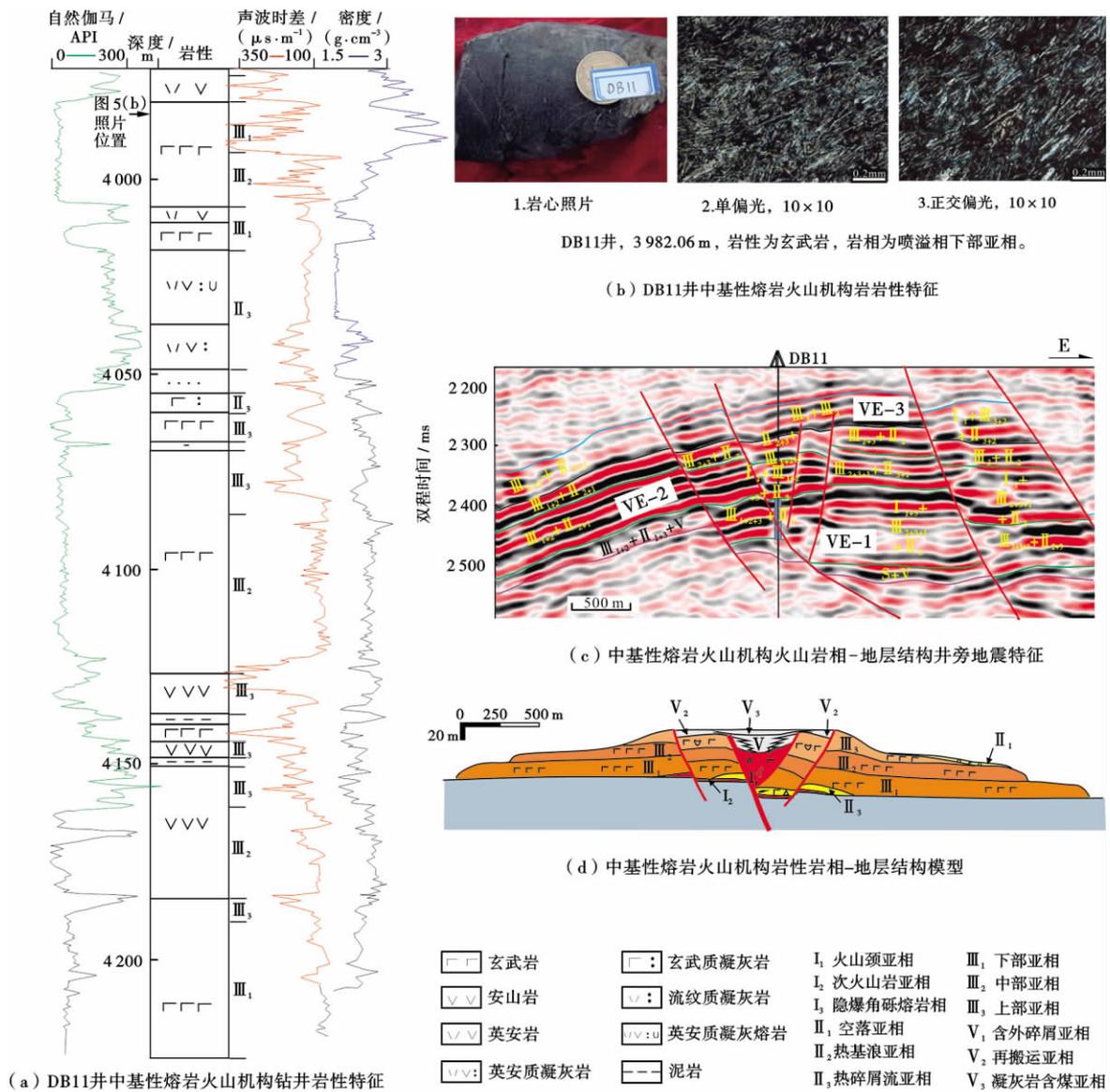


图5 松辽盆地营城组中基性熔岩火山机构地层结构模型

Fig. 5 Model of stratal texture of intermediate-basic lava volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin

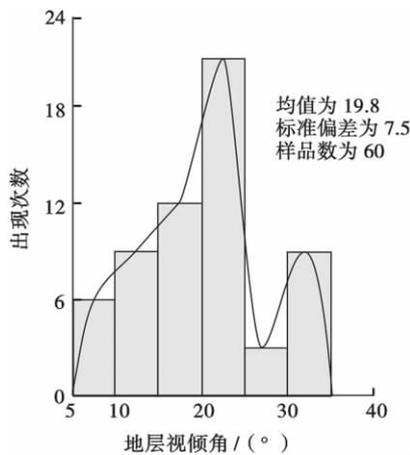


图6 XS21井火山机构岩层倾角分布特征

Fig. 6 Dip angle characteristics of Well XS21 volcanic edifices

3.2 后期改造作用对火山岩地层结构的影响

松辽盆地营城组火山岩受后期改造主要表现为掀斜、挤压和断层作用, 并且对于同一区域的火山机构, 可能是上述几种作用共同改造之后的结果。对于研究区火山机构而言, 后期的改造作用通常主要是改变岩层的产状, 对于岩层的几何形态的改变较小。

3.2.1 掀斜作用

为了方便讨论, 选取过火山机构中心的具有似层状结构的岩层, 在原始状态下其平均岩层倾角服从正态分布, 岩层倾角剖面也是对称的, 其峰值为 19°, 具有一个地层倾向拐点, 变形中心均为原始地层倾向拐点(对称点)[图7(a)和图7(b)]。当经过掀斜改造后, 其岩层倾角剖面变为不对称, 掀斜方向与地层倾向一

致时岩层倾角变大,反之变小,并出现了两个地层倾向拐点;当掀斜的角度越大时,其不对称性越明显,表现为峰值幅度差和分布宽度差均变大,右侧尾值越大;当掀斜角为 5°时其最大峰值可达 24°,掀斜角为 10°时其最大峰值可达 29°,掀斜角为 15°时其最大 34°;如原始地层倾向与掀斜方向不相同,其倾角变化幅度将变小。

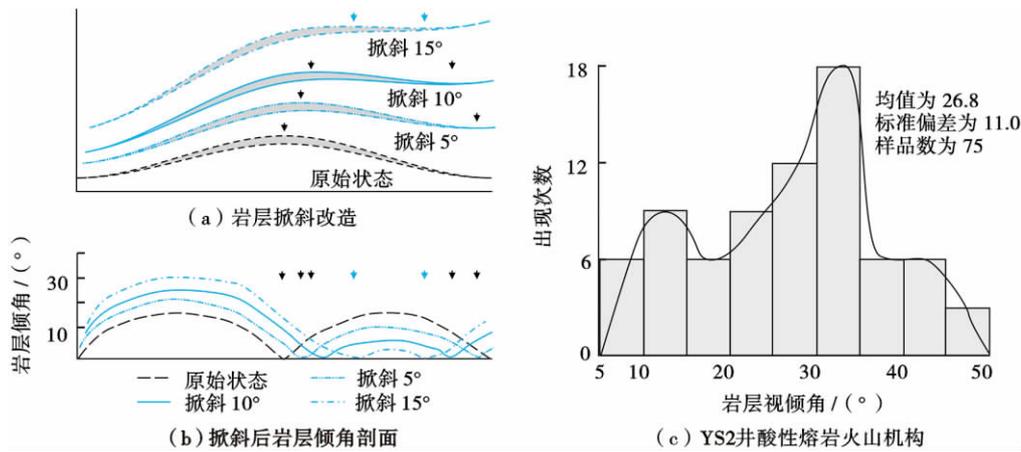


图 7 后期掀斜作用与火山地层产状变化的关系

Fig. 7 Relationship between stratified occurrence changed and later tilting activities

3.2.2 挤压作用

选取同图 7(a)中的原始岩层,在挤压过程中未发生韧性变形,变形中心在原始地层倾向拐点处。当水平长度缩短了 10%,根据面积守恒原理进行岩层变形结果模拟[图 8(a)和图 8(b)]。其倾角仍为正态分布,岩层具有一个地层倾向拐点,不同之处是倾角峰值达到了 36°。具有层状结构的火山岩,经过后期挤压改

图 2(c)揭示的火山机构是在平坦面上由火山喷发堆积、并且经过后期掀斜作用(也经受了部分挤压作用)而最终形成的。图 7(c)是根据图 2 的地震剖面进行时深转换后计算的岩层倾角,追踪其中 3 个界面等间距读取数据(在挤压作用和断裂作用部分采用的方法相同),可见其岩层倾角分布近似成为右偏正态分布,与模拟结果相似。

造的地层产状,其岩层倾角基本呈正态分布,与模拟结果基本一致[图 8(c)]。

同样经过挤压作用改造的酸性碎屑岩火山机构,但不同的是变形的中心点不在岩层倾向的拐点处,超出了岩层所在的位置,其岩层倾角分布近似呈左偏正态分布,但大值区存在一个小高峰[图 8(d)],与图 8(c)存在明显差别,却与掀斜作用的改造效果更为相似。

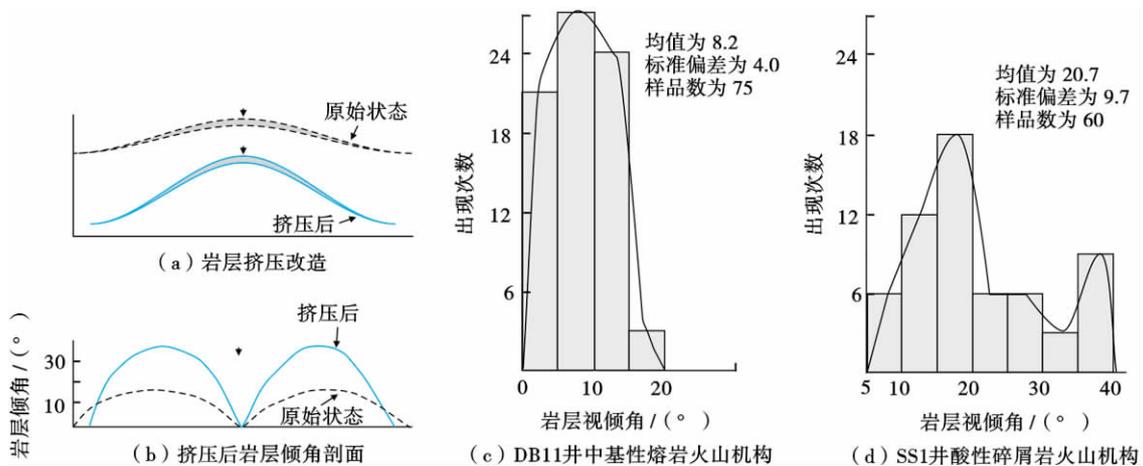


图 8 后期挤压作用与火山地层产状变化的关系

Fig. 8 Relationship between stratified occurrence changed and later compressional activities

3.2.3 断裂作用

与火山岩同期的断裂对岩层的产状有显著影响,在此主要讨论后期正断层和逆断层对火山岩岩层产状

的影响。正断层或逆断层均未对岩层产生倾斜,此时对岩层产状基本没有变化[图 9(a)—图 9(d)]。只在正断层断面处可能会形成一个空白区,使地层结构不

连续;在逆断层断面处会形成一个叠合区,使该处的 0° 倾角区消失,倾角与断层两侧岩层一致。这是单一岩层的变化特征,在实际的地层中可由多个不同产状的岩层叠置而成,断层活动是多期叠加,往往使岩层发生掀斜、破碎或褶皱等,导致情况更为复杂。如图9(e)和图9(f)展示的是后期先正后逆的断层对岩层倾角产生的影响。图9(e)中暖色区域为高倾角区,蓝色区域为低倾角区,在D6井西侧可见一线状分布的相对

高值条带,在高值背景区表现不明显。在地震剖面上的相应位置可见一条小断距的断层[图9(f)],在营城期末—登娄库期该断层发生小幅度的反转,使得断层附近的营城组顶部岩层倾角变大,而远离断层的区域地层基本不受影响。因此后期产生小断距的断层往往会形成岩层倾角相对异常高的条带,特别是在低值区(如远离火山机构中心或沉积岩区)表现得更加明显。

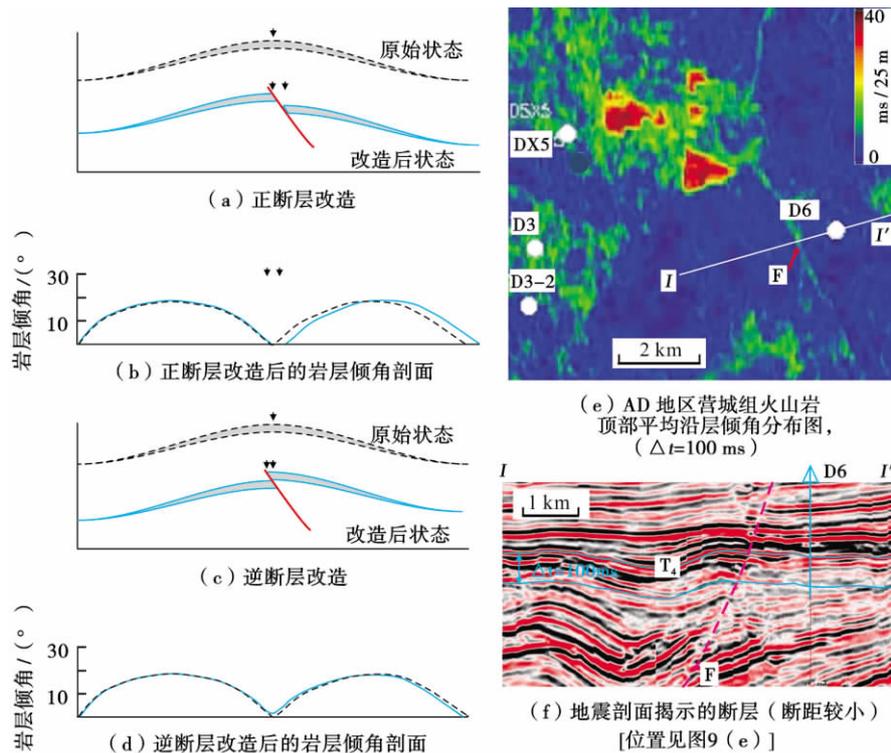


图9 后期断裂作用与火山地层产状变化的关系

Fig. 9 Relationship between stratified occurrence changed and later fault activities

4 结论

(1) 松辽盆地营城组火山岩地层主要由酸性熔岩、酸性复合、酸性碎屑岩和中基性熔岩火山机构侧向迁移和纵向叠置而形成,酸性火山机构中多数为似层状结构,中基性火山机构中除似层状结构外,还常见层状结构。通常酸性火山机构的岩层倾角要大于中基性熔岩火山机构。

(2) 同生断层和古斜坡等同喷发古地理条件控制着火山岩岩层产状和几何形态的变化。后期改造作用中的掀斜作用可改变岩层的倾角和倾向,使岩层的倾角值从正态分布变为偏正态分布,其变化幅度与掀斜角度正相关;挤压作用可明显增大岩层的倾角值;后期单期次小断距的断层活动对岩层的产状影响不显著。

参考文献

- [1] 冯志强,刘嘉麒,王璞珺,等. 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, et al. New oil and gas exploration field: volcanic hydrocarbon reservoirs; enlightenment from the discovery of the large gas field in Songliao Basin[J]. Chinese J. Geophys., 2011, 54(2): 269-279.
- [2] 刘嘉麒,孟凡超,崔岩,等. 试论火山岩油气藏成藏机理[J]. 岩石学报,2010,26(1):1-13.
Liu Jiaqi, Meng Fanchao, Cui Yan, et al. Discussion on the formation mechanism of volcanic oil and gas reservoirs[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(1): 1-13.
- [3] 冯子辉,印长海,齐景顺,等. 大型火山岩气田成藏控制因素研究——以松辽盆地庆深气田为例[J]. 岩石学报,2010,26(1):21-32.
Feng Zihui, Yin Changhai, Qi Jingshun, et al. Main factors controlling hydrocarbon accumulation in large volcanic gas fields: a

- case study of the Qingshen gas field in the Songliao Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(1): 21-32.
- [4] 陈树民, 王建民, 王桂水, 等. PP-PS 协同反演技术预测大庆深层火山岩含气储层[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(2): 280-285.
Chen Shumin, Wang Jianmin, Wang Guishui, et al. Joint PP-PS inversion techniques and their application for predicting gas reservoir of deep volcanic in Daqing[J]. *Chinese J. Geophys.*, 2011, 54(2): 280-285.
- [5] 杨辉, 文百红, 戴晓峰, 等. 火山岩油气藏重磁地震综合预测方法及应用[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(2): 286-293.
Yang Hui, Wen Baihong, Dai Xiaofeng, et al. Comprehensive predication of hydrocarbon deposits in volcanic rock by gravity, magnetic, electrical and seismic data and its application[J]. *Chinese J. Geophys.*, 2011, 54(2): 286-293.
- [6] 邹才能, 侯连华, 王京红, 等. 火山岩风化壳地层型油气藏评价预测方法研究——以新疆北部石炭系为例[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(2): 388-400.
Zou Caineng, Hou Lianhua, Wang Jinghong, et al. Evaluation and forecast methods of stratigraphic reservoir of volcanic weathering crust: an example from Carboniferous formation in northern Xinjiang[J]. *Chinese J. Geophys.*, 2011, 54(2): 388-400.
- [7] 周学民, 舒萍, 王国军, 等. 升平深层火山岩气藏描述[J]. *石油学报*, 2006, 27(S): 57-61.
Zhou Xuemin, Shu Ping, Wang Guojun, et al. Description of deep volcanic gas reservoir in Shenping area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(S): 57-61.
- [8] 蔡东梅, 孙立东, 齐景顺, 等. 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, et al. Reservoir characteristics and evolution of volcanic rocks in Xujiaweizi fault depression[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(3): 400-407.
- [9] 刘万洙, 王璞珺, 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, 24(1): 28-31.
Liu Wanzhu, Wang Pujun, Men Guangtian, et al. Characteristics of deep volcanic reservoirs in the northern Songliao Basin[J]. *Oil and Gas Geology*, 2003, 24(1): 28-31.
- [10] 王璞珺, 迟元林, 刘万洙, 等. 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, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: classification, characteristics and reservoir significance[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2003, 33(4): 449-456.
- [11] 唐华风, 庞彦明, 边伟华, 等. 松辽盆地白垩系营城组火山机构储层定量分析[J]. *石油学报*, 2008, 29(6): 841-845.
Tang Huafeng, Pang Yanmin, Bian Weihua, et al. Quantitative analysis on reservoirs in volcanic edifice of Early Cretaceous Yingcheng Formation in Songliao Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(6): 841-845.
- [12] 罗静兰, 曲志浩, 孙卫, 等. 风化店火山岩岩相、储集性与油气的关系[J]. *石油学报*, 1996, 17(1): 32-39.
Luo Jinglan, Qu Zhihao, Sun Wei, et al. The relationships between lithofacies, reservoir lithology and oil & gas of volcanic rocks in Fenghuadian area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1996, 17(1): 32-39.
- [13] 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.
- [14] 唐华风, 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 Changjin, 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.
- [15] 唐华风, 徐正顺, 王璞珺, 等. 松辽盆地白垩系营城组埋藏火山机构岩相定量模型及储层流动单元特征[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2007, 37(6): 1074-1082.
Tang Huafeng, Xu Zhenshun, Wang Pujun, et al. Facies quantitative model and characteristics of reservoirs flow unit of buried volcanic edifice of Yingcheng Formation in Songliao Basin, Cretaceous, NE China[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2007, 37(6): 1074-1082.
- [16] 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 volcanostratigraphy of Yingcheng Formation in the Songliao Basin, Cretaceous, NE China [J]. *Chinese J. Geophys.*, 2011, 54(2): 545-555.
- [17] 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 J. Geophys.*, 2011, 54(2): 556-562.
- [18] 庞彦明, 毕晓明, 邵锐, 等. 火山岩气藏早期开发特征及其控制因素[J]. *石油学报*, 2009, 30(6): 882-886.
Pang Yanming, Bi Xiaoming, Shao Rui, et al. Early-stage development characteristics of volcanic gas reservoirs and its controlling factors[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(6): 882-886.
- [19] 王璞珺, 张功成, 蒙启安, 等. 地震火山地层学及其在我国火山岩盆地中的应用[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(2): 597-610.
Wang Pujun, Zhang Gongcheng, Meng Qi'an, et al. Applications of seismic volcanostratigraphy to the volcanic rifted basins of China[J]. *Chinese J. Geophys.*, 2011, 54(2): 597-610.
- [20] 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]. *Journal of the Geological Society*, 2004, 161: 911-926.
- [21] Jerram D A. Volcanology and facies architecture of flood basalts [J]. *Geological Society of America*, 2002, 362: 121-135.
- [22] Rey S S, Planke S, Symonds P A, et al. Seismic volcanostratigraphy of the Gascoyne margin, Western Australia[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2008, 172(1/2): 112-131.
- [23] 唐华风, 李瑞磊, 吴艳辉, 等. 火山地层结构特征及其对波阻抗反演的约束[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(2): 620-627.

- Tang Huafeng, Li Ruilei, Wu Yanhui, et al. Textural characteristics of volcanic strata and its constraint to impedance inversion [J]. Chinese J. Geophys., 2011, 54(2): 620-627.
- [24] 《地质科学大辞典》编委会. 地质科学大辞典: 基础学科卷[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 996.
Editorial Committee of Geosciences Dictionary. Geosciences dictionary; volume of basic science[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 996.
- [25] Thouret J C. Volcanic geomorphology: an overview[J]. Earth Science Reviews, 1999, 47: 95-111.
- [26] Thordarson T, Larsen G. Volcanism in Iceland in historical time: volcano types, eruption styles and eruptive history[J]. Journal of Geodynamics, 2007, 43: 118-152.
- [27] 陈建文, 王德发, 张晓东. 松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩相和火山机构分析[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 371-379.
Chen Jianwen, Wang Defa, Zhang Xiaodong. Facies and assemblage of the Xujiaweizi volcanic rocks of the Songliao Basin[J]. Earth Sciences Frontiers, 2000, 7(4): 371-379.
- [28] 黄玉龙, 王璞珺, 冯志强, 等. 松辽盆地改造残留的古火山机构与现代火山机构的类比分析[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(1): 65-72.
Huang Yulong, Wang Pujun, Feng Zhiqiang, et al. Analogy of physical features amongst modern, ancient and buried volcanoes: a case study from Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2007, 37(1): 65-72.
- [29] 唐华凤, 王璞珺, 李瑞磊, 等. 松辽盆地断陷层火山机构类型及其气藏特征[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(3): 583-589.
Tang Huafeng, Wang Pujun, Li Ruilei, et al. Types of volcanic edifices and its characteristics of gas pool of faulted sequence in Songliao Basin, NE China[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(3): 583-589.
- (收稿日期 2012-01-31 改回日期 2012-05-07 责任编辑 熊英)

《石油学报》2012年第5期部分文章预告(I)

源-热共控论	张功成
库车坳陷迪那2气田异常高压成因机制及其与油气成藏的关系	张凤奇等
准噶尔盆地北三台地区清水河组低渗透储层成因机制	操应长等
四川盆地茅口组风化壳岩溶古地貌及勘探选区	江青春等
川西坳陷中段上三叠统须家河组水岩相互作用机制	刘四兵等
南堡凹陷深层火山岩天然气成因与成藏模式	王政军等
东营凹陷北带民丰洼陷深层凝析油藏成藏史及其勘探意义	平宏伟等
东营凹陷盐家地区砂砾岩体沉积期次精细划分与对比	宋明水等
渤南地区 BZ28-2S/N 油田油水分布主控因素	孙永河等
火山碎屑岩储层异常高孔隙成因——以南贝尔凹陷东次凹北洼槽为例	张丽媛等
西藏比如盆地地下白垩统烃源岩特征	王先美等
松辽盆地火山岩岩性识别中测井数据的选择及判别方法	张莹等
随钻单极子声反射测井数值模拟	陈雪莲等
裂缝性地层射孔井破裂压力计算模型	赵金洲等
尼日尔三角洲盆地 AK 油田新近系深水浊积水道储层构型表征	赵晓明等
储层建模过程中的网格化及其地质意义	崔勇等
高温高压气藏地层水盐析引起的储层伤害	汤勇等
疏水纳米 SiO ₂ 抑制黏土膨胀机理	顾春元等