

松辽盆地白垩系营城组古火山机构特征

王璞珺¹, 庞颜明², 唐华风¹, 黄玉龙¹, 郑常青¹

1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

2. 大庆油田 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

摘要: 在系统总结 Hawaiian 等 7 种喷发方式、互层状火山等 3 种火山机构的岩性岩相和垂向序列特征与识别标志基础上, 通过剖面火山机构剖析及其与盆内埋藏火山机构对比, 总结出营城组 2 类古火山机构特征。营城组玄武岩火山机构自下而上为枕状、渣状集块熔岩(占总厚度 30%), 气孔杏仁和致密块状熔岩(70%), 喷溢相为主, 火山口附近隐爆角砾岩发育, 为夏威夷式喷发。火山机构厚度以 200~500 m 居多, 顶面盾状, 相对高差 100~250 m, 以坡角小于 10° 为特征, 属于盾状火山。营城组流纹岩火山机构的纵向序列 300~700 m, 内部结构呈现上中下三段式: 下部火山碎屑(熔)岩为主(30%), 爆发相为主, 以基浪(base surge)沉积为标志, 喷发方式主要表现为高粘度岩浆强烈气射作用的培雷式喷发; 中部主要为气孔、石泡和流纹构造流纹岩(60%), 构成火山机构的主体, 喷溢相为主, 火山口附近常见侵入相珍珠岩穹隆, 喷发类型接近于斯通博利式; 上部主要为细粒(层)凝灰岩(火山灰湖相沉积, 10%), 爆发相为主, 以普林尼式喷发为主。流纹岩火山机构顶面呈丘状, 相对高差 200~300 m, 以坡角多大于 15° 为特征, 属于互层状火山。

关键词: 松辽盆地; 白垩系营城组; 埋藏古火山机构; 火山岩储层; 喷发类型

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

文章编号: 1671-5888(2007)06-1064-10

The Characteristics of the Paleo-volcanic Edifice of Yingcheng Formation, Cretaceous, Songliao Basin

WANG Pu-jun¹, PANG Yan-ming², TANG Hua-feng¹, HUANG Yu-long¹, ZHENG Chang-qing¹

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

2. Daqing Exploration & Development Institute, Daqing, Heilongjiang 163712, China

Abstract: Compared with modern volcanic eruption types and volcanic structures, two kinds of paleo-volcanic edifices of the lower Cretaceous Yingcheng Formation (K_{1y}) periods were recognized and described in the Songliao Basin based on their lithology, facies and vertical successions. They are basaltic and rhyolitic respectively. The basaltic volcanic edifices of the K_{1y} are mostly shield volcanoes, with features of shield shape and gentle slopes less than 10°, of volcanic thickness of 200 m to 500 m, and of height difference from 100 m to 250 m. Vertical succession from bottom to top is from pillow lava and aa (with thickness proportion of 30%), to lava with vesicle and amygdule and also massive lava (with thickness proportion of 70%). Like Hawaiian, eruption of the basaltic type is mostly effusive and hydrothermal breccias were often developed around the conduit. On the other hand, the vertical sequence of the rhyolitic volcanic edifices is with three layers in a 300 m to 700 m interval. The bottom is composed mostly of pyroclastic breccia (explosive lava) (30% thickness), characterized by base-surge deposits with Pelean eruption. The middle layer is composed mostly of effusive rhyolites with vesicles,

收稿日期: 2007-06-05

基金项目: 国家“973”项目(2006CB701403)

作者简介: 王璞珺(1959-), 男, 黑龙江绥滨人, 教授, 博士生导师, 主要从事油气地质勘查、火山岩储层和沉积学研究,

Tel: 0431-88502620, E-mail: wangpj@jlu.edu.cn

lithophysas and flow banding (60% thickness). Domes of extrusive perlite can also be found in the middle member, especially around calderas. The eruption type is Strombolian-like. The top layer is composed mostly of explosive granule tuff (sometimes stratiform) (lacustrine deposit of ash, 10% of thickness), with an eruption type of Plinian. Rhyolitic edifices is characterized by mound shape, relative evaluation of 200 m to 300 m and slope often more than 15°, thus belonging to stratovolcanoes.

Key words: Songliao Basin; Cretaceous Yingcheng Formation; buried volcanic edifice; volcanic reservoirs; eruption types

火山, 实际上是岩浆于地下深处经漫长的物理和化学演化在地表的集中表现。火山机构是一定地质时期内同源火山物质堆积体的总称。火山机构的英文名称是 volcanic edifice 或 volcanic structure; 但西方学者较少使用 volcanic edifice 一词, 而且把火山机构和火山 (volcano) 两词混用。欧美学者用 volcanic structure 更侧重于描述火山口形成演化及其岩石组合的地质记录^[1]。在第四版英文地质辞海^[2]和德文地球科学大辞典^[3]中都没有收录与中文火山机构一词相当的有关名词。实际上西方学者更习惯于用典型火山实例来刻画火山和火山机构^[4~8]。从这一点看, 西方学者的思维方式值得我们借鉴。笔者在松辽盆地火山岩和火山岩储层研究中发现, 油气聚集不仅与单个古火山的岩性岩相有关, 在宏观上还火山岩的总体特征(火山机构)有关; 天然气通常是在火山机构的中心部位(近火山口相组)更加富集。这说明古火山岩综合特征(火山机构)的研究的确具有现实意义。本文拟在国外典型火山机构地质特征的归纳总结基础上, 通过松辽盆地白垩系营城组典型火山机构特征描述, 用将今论古和类比方法刻画营城期火山活动特征, 探讨其储层意义。

中文《地质辞典》中将火山机构 (volcanic mechanism) 定义为构成一个火山的各个部分的总称, 是火山作用的各种产物的总体组合, 它包括地面上的火山锥和岩浆在地下穿插形成的火山通道^[9]。新编《地球科学大辞典》中将火山机构 (volcanic edifice, 又称火山体、火山筑积物) 定义为火山喷发时在地表形成的各种火山地形, 有时还涉及火山颈、火山通道等地下结构^[10]。

在松辽盆地古火山机构研究中, 笔者体会到, 喷发物是否同源对埋藏火山机构分析乃至火山岩储层描述具有实质性影响。因此认为, 应当借鉴和类比沉积学中沉积体系的定义来定义火山机构, 即同一火山机构中的火山喷出物 (volcanic projectiles/e-

jecta) 是在一定地质时限内同源的, 或来自于相对稳定的同一火山口源区 (caldera)。这些火山物质可以表现为熔岩或火山碎屑岩, 可以有不同的结构构造乃至化学成分, 但它们是同一火山在其发生、发展和消亡过程中不同时期和/或不同喷发方式的岩石记录; 它们之间在岩性岩相组合关系和变化规律方面存在某种依存关系。通过这种联系可以从已知到未知研究埋藏的古火山机构^[11, 12]; 依据已经获取的岩心和物探资料推测尚未勘探区的火山机构和火山岩储层情况。

1 火山喷发类型和火山机构

火山机构的形态决定于火山喷发的类型。而喷发类型本身又是岩浆缓慢演变的最终结果。这种演变早在火山喷发前很久就已经开始, 在火山活动的整个过程中始终进行着。火山喷发 (eruption) 有两种形式: 爆发 (explosion) 和溢流 (effusion)。火山喷发的驱动力也有两种: 水驱喷发 (water-driven eruptions) 和气驱喷发 (gas-driven eruptions)。前者指近地表的水下喷发, 其中进入到岩浆并与其接触的水起到重要作用。这一过程中水被岩浆过热和汽化, 所产生的能量增加了火山喷发的爆炸能力。这里的水可以是海水、潜水 (地下水)、湖泊或河流水。由于该类喷发的爆发力完全来源于水与岩浆的相遇, 所以也称之为“火山蒸汽型” (hydrovolcanic)。气驱喷发是指岩浆自身分异的挥发分或岩浆在地下深处 (数百至数千米) 遇水产生的气体, 由于内压力增加而形成的喷发。火山喷发类型取决于岩浆粘度和岩浆中挥发分 (气体) 含量。岩浆粘度与其中的 SiO₂ 含量有关, SiO₂ 含量越高越偏酸性的岩浆粘度越大。岩浆中的气体是岩浆向上运移过程中因岩石静压力降低从岩浆中脱出来的新生气体 (如 H₂O, CO₂ 等), 并形成不断增长的气泡。越往上运移岩浆所承受的岩石静压力和围限压力越低, 所释放的气体越多、气泡越大, 气泡内压力也随之变大。当岩

浆运移到地表以下几百米甚至几米时, 岩浆中气体压力升至足以冲破上覆岩层阻力、炸碎岩浆, 并把熔浆和围岩碎片抛向空中。因此认为, 岩浆中气体是爆发式火山喷发的直接动因。岩浆中挥发分有两种来源: 岩浆自身分异和水—岩浆相互作用。后者专指岩浆向上运移过程中与所遭遇水体之间的相互作用(phreatomagmatic), 它与喷发环境(如湖、海、河、地下水丰度等)有关。

由此可见, 火山喷发类型与 3 个因素有关: 岩浆粘度(SiO_2 含量)、岩浆自身挥发分气体含量、岩浆向上运移过程中遭遇外来水体的程度。

图 1 和表 1 总结了不同喷发类型的特点。松辽盆地营城组一段下部火山碎屑岩的喷发类型主要表现为培雷式(Pelelean); 中部厚层流纹岩的喷发类型主要表现为斯通博利式(Strombolian); 上部细粒凝灰岩(火山灰)的喷发类型主要表现为普林尼式(Plinian)。营城组三段玄武岩的喷发类型主要表现为夏威夷式(Hawaiian)。

年轻的现代火山可以是短期(几小时至几年)内仅涉及一种喷发类型的一次喷发事件形成的。此时的火山机构简单, 与喷发类型之间的对应关系明了。然而, 对于多数火山、尤其是古火山而言, 火山机构的建造和改造都经历了万年到几百万年的漫长地质过程。在此过程中, 岩浆性质和喷发类型往往是不断变化的。所以, 常见的火山机构通常是高达数百至数千米、形态复杂、底部面积数百至数千平方公里的复合火山机构。即使主火山口位置没有大的变化, 复合火山在其发生、发展和消亡的过程中, 喷发类型、喷出物特点和分布、岩浆性质等也是在不断变化的。下面以熔岩与火山碎屑岩互层状火山(stratovolcano)、盾状火山(shield volcano)、熔结凝灰岩

火山(ignimbritic volcano)的演化过程, 说明火山机构形成演化、喷发作用类型、火山岩序列三者之间的相互关系。

熔岩与火山碎屑岩互层状火山机构多以中酸性岩、尤其是安山岩类为主, 发育时限万年至几百万年, 与俯冲有关。其演变过程可大致分为 5 个阶段。
 ①初始阶段: 形成火山底部衬垫层, 由爆发相火山碎屑岩(空落和碎屑流)和溢流相熔岩互层序列构成。
 ②火山口形成阶段: 由于岩浆和火山碎屑的喷出使得近地表带岩浆房被淘空, 产生近于圆形的、直径为千米量级的沉陷。
 ③火山穹隆形成阶段: 接续前两个阶段的爆发相之后通常发育溢流相熔岩, 且多表现为厚层的熔岩块体流(lava-block flow)。这种块状熔岩流在中性火山岩中特别发育, 常见溢流相下部和上部两种亚相, 且以下部亚相更为发育; 岩性多为喷出岩与浅成侵入岩的过渡类型, 例如, 安山岩—安山玢岩、粗面岩—二长斑岩。松辽盆地北部林深三井 3 595~4 483 m 井段就揭示了 800 余 m 这种块状熔岩流形成的溢流相粗安岩—二长斑岩过渡类型岩石。
 ④火山穹隆破坏改造阶段: 第三阶段大规模溢流之后又出现爆发, 构成长短不一的普林尼式喷发序列, 以火山碎屑流为主; 火山穹隆被破坏改造。
 ⑤终结火山锥阶段: 是新一轮喷发旋回的开始, 往往伴随着下伏岩浆房的充注。该阶段主要表现为火山翼部的下陷和火山口的崩塌, 形成火山通道相火山颈亚相、具有堆砌结构的火山角砾岩。

互层状火山自下而上的岩性序列为: a. 薄层状爆发相可含火山弹的凝灰岩和熔结凝灰角砾(熔)岩, b. (±)火山颈亚相具有堆砌结构的火山角砾(熔)岩(仅发育于火山口处), c. 溢流相厚层状火山熔岩, 构成火山机构主体, d. 薄层爆发相可含火山弹

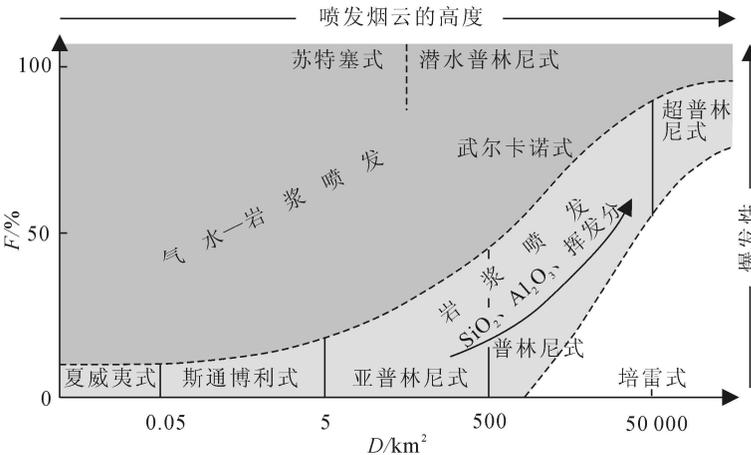


图 1 基于火山碎屑物破碎程度(F)和火山凝灰质沉积所覆盖面积(D)的火山喷发类型分类模式(据文献 [1, 3] 修改)

Fig. 1 Classification pattern of volcanic eruptions on the basis the surface (D) covered by pyroclastic fallout and the degree of the tephra grain (F)

F. fragmentation(破碎程度), 指火山喷出物中粒径小于 1mm 的组分占总火山碎屑物的质量分数; D. dispersion(分散程度), 指火山喷出物所覆盖的面积, 以其最大厚度的 1% 的等值线为界(小于最大厚度 1% 的地层不包括其中)

表1 典型火山喷发类型和特征

Table 1 The range and characteristics of eruption types

喷发类型和命名地点	驱动力和喷发特点	喷出物类型和特征	火山机构形成和特征	与松辽盆地类比
苏特塞式; 冰岛 Surtsey	水趋喷发; 发生在洋底表面之下仅几米	蒸汽和因与水接触而浸水的熔浆碎屑, 玻璃质碎屑, 水成凝灰质, 菜花状火山弹	岩浆近地表遇水爆炸、水下喷发, 爆发为主; 高大的、尖形的凝灰岩锥体, 火山角砾岩筒	
武尔卡诺式; 意大利西西里岛 Vulcano	水趋喷发; 中等粘度岩浆, 有水参与; 火山管道受阻, 一系列规则的猛烈喷发	新生熔浆炸裂碎片; “面包壳”形熔岩弹, 外壳光亮、玻璃质, 内部泡沫状; 为内部熔融外部冷凝的熔岩块, 由于内部气压骤增炸裂而形成, 大量火山灰, 菜花状火山弹	爆发为主; 杯状火山口, 宽度远大于深度; 火山角砾岩筒	
夏威夷式; 美国 Hawaii 岛	气趋喷发; 低粘度岩浆, 熔浆和气体从喷口持续流出, 碎裂化和分散度都低, 溢流为主也伴有爆发	牛粪状火山弹, 带状、眼泪状、剥落丝状熔浆空落物; 自由流动的熔浆大规模流动形成绳状熔岩, 围限在火山口中则可形成熔结岩浆湖	溢流为主, 爆发少见; 熔浆主要从火山翼部的裂隙流出, 溢出的岩浆炽热状态下还可回流, 围绕火山口形成熔结火山渣锥, 大型盾状火山机构, 寄生熔岩锥	营三段玄武岩
斯通博利式; 意大利利伯里群岛 Stromboli	气趋喷发; 中等粘度岩浆, 规则爆发, 地球上最常见的火山活动类型	熔岩块、火山渣、火山弹、旋转火山弹, 火山砾; 流动状玄武岩浆凝块, 空中飞行时固结的熔岩碎块, 渣状熔岩	爆发为主; 中心式喷发, 喷发物围绕火山口形成火山渣锥; 复合火山机构; 常伴随有寄生的、侧向的或外来火山锥	营一段中部厚层状流纹岩
普林尼式; 意大利南部维苏威火山; 公元79年小Pliny描述了其喷发	气趋喷发; 中等粘度至高粘度岩浆, 岩浆高硅富含气体	大量凝灰质; 大型喷发柱和蘑菇状烟云, 可高达数千千米, 富含细粒火山灰	撕裂的岩浆和岩浆挥发分从喷发口呈稳固的涡流射出; 穹隆和隆起	营一段上部细粒凝灰岩(火山灰)
培雷式; 南美马提尼克岛 Saint-Pierre 或 Mont Pelée	气趋喷发; 高粘度岩浆地下聚集最终喷出	炽热发光的烟云; 时速 75~300 km 快速流动的火山碎屑流(破坏性极强); 气体、刚性碎屑、火山渣、浮岩块的混合物	地下缓慢流动的岩浆侵出, 由于长期的能量聚集一旦喷出能量巨大; 火山穹隆, 火山岩脊	营一段下上层发育的火山碎屑岩
潜水水汽-岩浆混合式; 法国中部 Puy s 火山岩带	气趋喷发; 水与岩浆在地下数百至数千千米相遇, 大型烟筒状火山管道洞穿岩石, 强烈爆发	凝灰质; 菜花状火山弹	宽的火山口; 周缘为环形或新月形凝灰岩环绕, 低平火山口	

注: 据文献[1~3] 综合整理。

的凝灰岩和熔结凝灰角砾(熔)岩, e. (±)火山颈亚相具有堆砌结构的火山角砾(熔)岩(仅发育于火山口处)。

熔岩盾状火山机构, 又称夏威夷型火山, 坡角小于 10° , 是高流动性拉斑-碱性玄武岩浆长期建造形成的; 与大洋热点有关, 也可位于大陆裂谷带和洋岛。它可以形成规模巨大的火山, 例如, 夏威夷岛莫

纳罗亚火山高 9 000 m、体积 42 500 km³。该类火山机构演变过程可分为 5 个阶段: ①初始阶段, 亦称火山发生阶段。人们对此阶段了解很少, 就夏威夷火山而言, 该阶段发生在海底, 可能涉及到碱性岩浆的上涌。②火山盾水下建筑阶段, 亦称水下阶段。第一阶段经过短期碱性火山喷发作用之后, 所喷发的岩浆类型就转变为典型的洋底拉斑玄武岩。喷发

仍然在水下进行,火山岩体开始形成,主要是通过高密度、玻璃质枕状熔岩和相关碎屑的堆积而成。可能出现绳状熔岩甚至偶尔可见渣状熔岩。在水下喷发的整个过程中,火山岩上覆水体向下的巨大重荷压力,使其不能够形成任何形式的爆发。③火山盾浮现阶段。在火山浮出水面过程中,熔浆涌出的位置越来越接近海平面,上覆水体静压力也越来越小。由于水-岩浆作用导致火山蒸气型爆发式喷发,产生玻璃质火山碎屑岩层。④火山盾水上建造阶段。浮出水面后,拉斑玄武质岩浆继续喷溢,通常形成绳状熔岩流和渣状熔岩流。⑤披盖阶段,这是热点火山活动的最后阶段。其特点是喷发物又变成分异度较高的岩浆(夏威夷岩、橄榄粗安岩或粗面岩)。这标志着火山已经从其热点移开,其岩浆房不再有补给。

盾状火山自下而上的岩性序列为: a. 薄层状喷溢相碱性熔岩, b. 厚层状溢流相拉斑玄武岩、枕状熔岩为主,可见拉斑玄武质玻屑凝灰岩、绳状熔岩及渣状熔岩, c. 薄层状火山蒸气爆发相拉斑玄武质玻屑凝灰岩, d. 厚层状溢流相拉斑玄武岩、绳状和渣状熔岩, e. 薄层状溢流相粗面玄武岩、橄榄粗安岩/粗面岩。

大型熔结凝灰岩火山机构,宽度至少 10 km,多数 20 余 km,巨量凝灰质喷发。喷发物呈厚层状覆盖在火山口相邻区域,其中发育有一层或多层熔结凝灰岩/浮岩,累积厚度可大于 100 m。形成这样一个大型凝灰岩火山机构所需要的岩浆体积,可高达 100~1 000 km³。该类火山机构形成后,在火山口位置往往出现明显的凸起(称之为再生穹隆),是火山机构中心的标志。形成如此大规模的火山机构,预先势必要有大型的岩浆房,但遗憾的是这一猜测难以通过火山活动在地表的表现来证实。尽管火山口的形态给出火山机构形成过程的某些线索,人们对该类火山机构的成因还是所知甚少。这类火山强烈喷发的现存证据就是大型火山口和厚层凝灰岩。火山口通常直径超过 10 km,凝灰岩沉积层厚达数十米到数百米。就目前所了解的而言,大型熔结凝灰岩火山机构的形成需要经历以下 3 步。①隆升破裂阶段:大型火山机构下面都要有近地表的大规模岩浆房。圈闭在岩浆内气体的压力会引起岩浆房顶部膨胀,同时使围岩破裂。上覆岩石的这些初始裂缝有时会引发先期的火山活动,预示着大规模火山喷发的来临。②喷发主期阶段:随着岩浆房顶部裂缝的扩大和岩浆房内部压力迅速增加,岩浆喷出,同

时产生浮岩层并引起岩浆房顶部塌陷。这种下陷作用就像活塞一样,其附加压力会加速岩浆房内剩余岩浆的喷溢。此时的喷出物主要表现为两种,沿地表流动的基浪(载屑蒸汽流)和富含(细粒)凝灰质的数千米高的烟云柱。③火山口塌陷阶段:主喷发期过后,火山口垮塌。此时在火山机构中心的沉陷带内仍有中酸性火山活动,通常形成小型(安山岩)火山锥和穹隆。其岩浆来源可以是原先岩浆房内的剩余岩浆,也可能是新的原生岩浆充注到先期岩浆房中的。

凝灰岩火山自下而上的岩性序列为: a. 薄层状爆发相可含火山弹的凝灰岩和熔结凝灰角砾(熔)岩, b. 厚层状韵律互层的、爆发相热基浪亚相和空落亚相凝灰岩/凝灰角砾岩,可见热碎屑流亚相熔结凝灰/角砾熔岩,夹溢流相熔岩, c. (±)穹隆状侵出相熔岩,充填状火山颈亚相具有堆砌结构的火山角砾(熔)岩;当火山机构被剥蚀时可见脉状一枝杈状隐爆角砾熔岩和次火山岩,该套岩石组合仅发育于火山口处。

2 松辽盆地古火山机构特征

由上述现代火山机构实例剖析可知,火山机构形态和内部结构受控于喷发类型,而喷发类型又受控于岩浆粘度(SiO₂含量)和岩浆中气体含量。由于岩浆中气体受内因(岩浆自身挥发分含量)和外因(河、湖、地下水等环境因素)两方面影响,情况比较复杂。就营城组火山岩而言,有些古环境参数目前缺乏限定性。所以,从科学性和实用性的角度出发,本文只选营城组流纹岩和玄武岩火山机构进行研究,探究它们形成演化的异同点和变化规律性。这两类火山机构也是本区分布最广、储层意义最大的。所以,希望通过此项研究获取一些确定性结果,以期对本区火山岩天然气勘探开发有指导和借鉴作用。

2.1 流纹岩火山机构特征

以建组剖面营城组一段火山岩为例。该类火山机构主要发育在营城组一段,露头剖面占的比例最大,也是盆地内部钻井揭示最多的。岩性以石泡流纹岩、气孔流纹岩、致密块状细晶流纹岩和流纹质晶屑凝灰(熔)岩为主,珍珠岩、膨润土/伊利石/沸石局部特别发育。岩相以喷溢相和爆发相为主,二者通常呈互层状,侵出相和火山通道相局部发育^[13,14]。在序列的下部可见熔浆与凝灰质复合胶结的复成分砾岩^[15]。

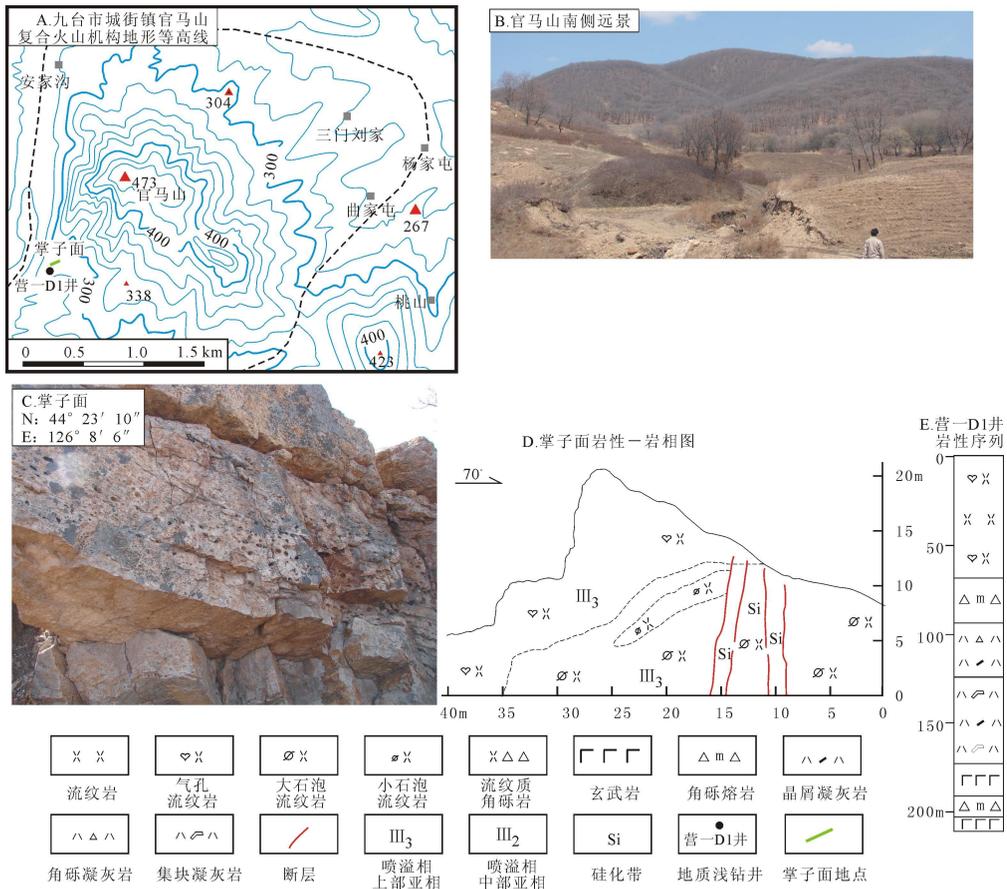


图 2 松辽盆地东南隆起区九台市官马山营城组一段流纹岩火山机构地形等高线(A)、剖面远景(B)、掌子面(C)、掌子面岩性-岩相(D)和营一D1井岩性序列(E)

Fig. 2 Topographical isoline(A), perspective(B), quarry's panorama(C), its lithology and facies (D) and well Y1D1's litho-sequence (E) of compound volcanic edifice of Yingcheng Formation in Guanmashan area Jiutai

地形等高线依据 1980 年版地形图, 吉林九台上河湾幅

图 2 是官马山营城组一段以流纹岩为主的火山机构, 其长轴 2.8 km, 短轴 2.3 km, 走向 300°, 出露高度 223 m, 坡角 6° ~ 26°, 以坡角通常大于 15° 为特征。该类火山机构的主火山口直径 500 m 左右, 通常位于与主峰相距 500 m 左右的次高点且与主峰走向一致; 火山口以大套玻璃质火山岩(珍珠岩和松脂岩为主)为标志。

该火山机构的纵向序列通常数百米厚(500 m ±), 自下而上为典型的三段式: 下部爆发相(占总厚度 30% ±)、中部喷溢相(≥60%总厚度)、上部爆发相(≤10%总厚度)。在火山口及其附近可见侵出相和火山通道相。下部爆发相的岩性主要为各种火山碎屑岩(凝灰岩、火山角砾岩), 夹火山碎屑熔岩和(蚀变)熔岩。由于常见浆屑凝灰熔岩和具有粒序层

理、平行层理、反丘构造等代表载屑蒸气流搬运的基浪沉积(base surge), 所以, 其喷发方式应属于培雷式喷发。中部喷溢相构成火山机构主体, 由厚层流纹岩组成, 其喷发方式更接近于斯通博利式。上部爆发相主要是细粒凝灰岩, 即火山灰沉积, 由于其以细粒组分为主、爆发强度中小、分布范围可大可小, 所以更接近于(亚)普林尼式喷发。

与第一节所描述的 3 种典型火山机构类比, 营一段火山机构总体更接近于熔岩与凝灰岩互层的互层状火山, 但其下部的爆发相凝灰岩显然比典型互层状火山下部爆发相更加发育, 更类似于以熔结凝灰岩为主的凝灰岩火山的完整序列。所以, 本区营一段火山机构主要是由两部分构成的复合火山机构: 下部属于凝灰岩火山, 上部为互层状火山。

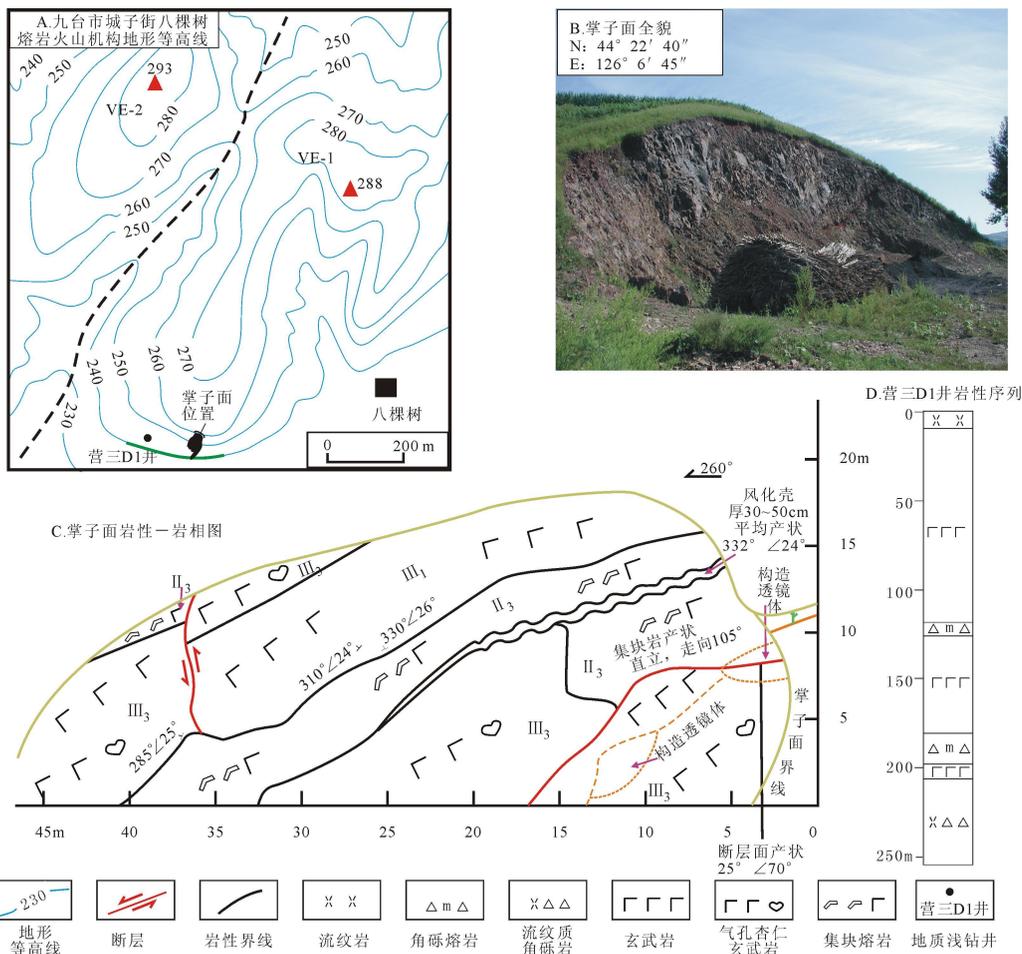


图 3 松辽盆地东南隆起区九台市官马山营城组三段玄武岩火山机构地形等高线(A)、掌子面全貌(B)、掌子面岩性—岩相图(C)和营三 D1 井钻井岩性序列(D)

Fig. 3 Topographical isoline(A), quarry's panorama(B), its lithology and lithofacies (C) and well Y3D1' s litho-sequence (D) of lava volcanic edifice of Yingcheng Formation in Guanmashan area. Jiutai

II₃. 热碎屑流亚相; III₁. 下部亚相; III₂. 中部亚相; 地形等高线资料来源于 1980 年版地形图, 吉林九台上河湾幅

2.2 玄武岩火山机构特征

以建组剖面营城组三段火山岩为例。该类火山机构在东南隆起区石场村、黄土埃子地区均有发现。岩性以致密块状玄武岩、气孔/杏仁玄武岩、玄武质角砾/集块熔岩、枕状熔岩为主。岩相以喷溢相为主, 夹爆发相热碎屑流亚相火山角砾(熔)岩; 在火山口附近发育火山通道相隐爆角砾岩亚相及火山颈亚相堆砌角砾(熔)岩。该类火山机构规模明显小于流纹岩火山机构。

图 3 是官马山—团结村营城组建组剖面营三段以玄武岩为主的火山机构, 其长轴 1.5 km, 短轴 1 km, 走向 45°, 与区域主断裂走向平行, 出露高度为 58 m, 坡角 4°~7°, 以顶面浑圆的盾状和坡角总

是小于 10°为特征。该类火山机构的主火山口直径 100 m 左右, 其长轴方向平行于主断裂走向, 通常位于与主峰相距 500 m 左右的次高点且与主峰走向一致。火山口位于远离主断裂一侧, 在火山口与主断裂之间是火山盾主峰。火山口以大套隐爆角砾岩和堆砌结构火山角砾(熔)岩为标志。

本区玄武岩火山机构的纵向序列通常数百米厚(200 m ±), 自下而上为典型的两段式: 下段为喷溢相枕状熔岩(占总厚度 30%), 岩枕长轴 10~50 cm, 冬瓜状, 内部气孔发育并有沸石、石英、方解石充填; 上段为喷溢相致密块状玄武岩和气孔杏仁玄武岩, 夹中薄层状玄武质角砾熔岩(占总厚度 70%)。从喷出物特征(枕状熔岩、气孔杏仁熔岩和块状熔岩、

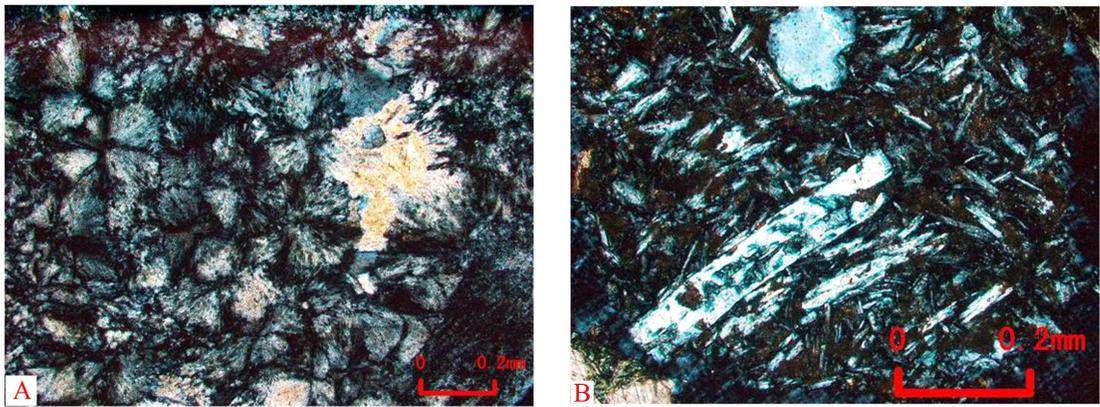


图 4 松辽盆地北部徐家围子断陷 XS7 井典型岩性和岩相特征

Fig. 4 Typical characteristics of lithology and volcanic facies revealed by thin sections of well XS7 of Xujiaweizi depression Northern Songliao Basin

A. XS7 井, 4 267 m, 白垩系营城组一段上部, 球粒流纹岩, 斑状结构、基质球粒结构, 斑晶为石英和长石, 喷溢相下部亚相(正交); B. XS7 井, 4 450 m, 白垩系营城组一段下部, 玄武岩, 交织结构、斑状结构、气孔(杏仁)构造, 气孔中见硅质充填, 喷溢相中部亚相(正交)

渣状熔岩)和岩相组合(喷溢相为主、爆发相为辅)来看, 营三段玄武岩喷发类型属于夏威夷式。由于该套火山机构的岩性纵向序列自下而上为枕状玄武岩→气孔杏仁玄武岩和块状玄武岩、夹渣状玄武岩, 火山机构地貌呈中小型浑圆的盾状, 坡角小于 10°, 所以, 与前面所描述的 3 种典型火山机构类比, 营三段玄武岩火山机构总体更接近于盾状火山, 但比夏威夷型盾状火山机构规模要小得多。

3 盆地内部埋藏古火山机构特征及其与剖面的对比

松辽盆地北部徐家围子断陷 XS7 井区钻井同时揭示流纹岩火山机构和玄武岩火山机构。其典型岩性特征如图 4 所示。上部流纹岩火山机构钻井揭示厚度 380 m (井深 4 410~4 030 m), 自下而上内部结构为典型的 3 段式: 下部爆发相流纹质火山角砾(熔)岩厚 100 m、井段 4 410~4 310 m (占流纹岩类总厚度 26%); 中部喷溢相流纹岩厚 230 m、井段

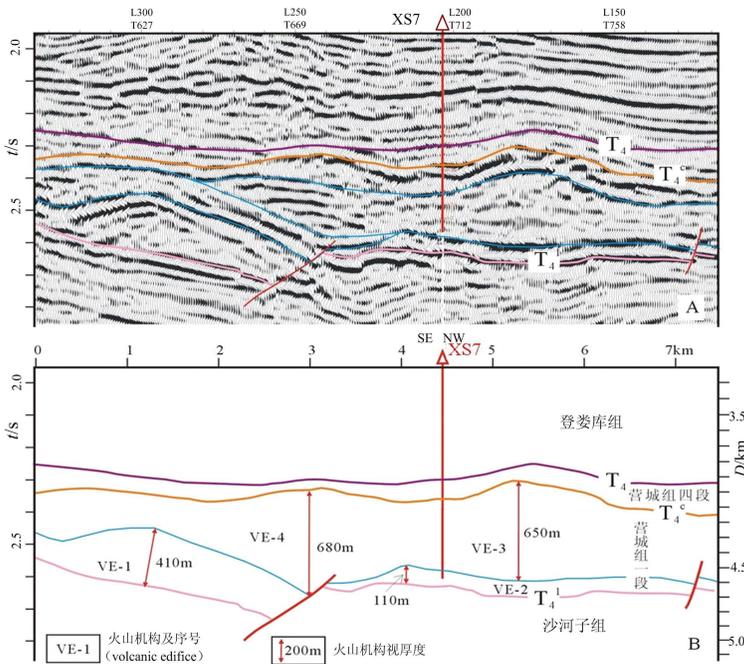


图 5 松辽盆地北部徐家围子断陷 XS7 井区钻井营城组地震剖面(A)和解释的 4 个火山机构叠置图(B)

Fig. 5 Seismic section (A) and interpreted volcanic edifices (B) of Yingcheng Formation of well XS7 area in Xujiaweizi depression, Songliao Basin

VE-1 和 VE-2 为玄武岩火山机构; VE-3 和 VE-4 为流纹岩火山机构

4 310~4 080 m(占总厚度 61%);上部爆发相细粒凝灰岩厚 50 m、井段 4 080~4 030 m(占总厚度 13%)。流纹岩火山机构厚度 650~680 m, 顶面相对高差 120~150 m, 坡度 $9^{\circ}\sim 16^{\circ}$, 丘形底座长轴 2 km。该流纹岩火山机构与建组剖面营城组一段流纹岩火山机构的垂向序列、内部结构和地貌轮廓都十分相似。

该井区营一段下部为玄武岩, 钻井揭示厚度 100 m(井段 4 510~4 410 m), 未穿; 岩性主要为气孔杏仁玄武岩和角砾集块玄武岩, 以喷溢相为主夹爆发相热碎屑流亚相。地震剖面解释的玄武岩火山机构厚度为 110~410 m, 顶面外形呈盾状, 相对高差为 110~240 m。图 5 中 VE-2 为钻井揭示的玄武岩火山机构, 其坡度 $6^{\circ}\sim 7^{\circ}$; VE-1 为钻井外推地震解释的玄武岩火山机构, 其坡度 $8^{\circ}\sim 13^{\circ}$ 。该玄武岩火山机构与建组剖面营城组三段玄武岩火山机构的垂向序列、岩性岩相组合、内部结构等方面十分相似。但地震解释的玄武岩火山机构(VE-1)的坡角($8^{\circ}\sim 13^{\circ}$)比建组剖面 and 夏威夷的玄武岩火山机构的坡度(小于 10°)要大一些。可能原因有 3 个: 一是徐家围子地区营城组时期发育中高粘度干玄武岩浆, 致使出现坡度大于 10° 的玄武岩火山机构; 二是较大的火山机构坡度是后期构造叠加的结果; 三是图 5 中断层解释和层位对比有误, VE-1 其实也是营一段上部的流纹岩火山机构, 或者, VE-1 不是营一段上部的而是下部的流纹岩火山机构, 属于与 VE-2 同期的岩性和岩相的侧向相变。后一种可能性最大, 但需要将来钻井证实。

4 结 论

(1) 营城组三段玄武岩和营一段下部玄武岩的岩性组合为致密块状玄武岩、气孔杏仁玄武岩和枕状、渣状的角砾集块玄武岩; 岩相以喷溢相为主、夹爆发相热碎屑流亚相, 火山口附近火山通道相的隐爆角砾岩亚相和火山颈亚相发育。火山活动方式主要表现为非剧烈喷发, 以溢流作用为主的夏威夷式喷发。该类火山机构厚度以 200~500 m 居多, 顶面地貌呈盾状, 相对高差为 100~250 m, 以坡角小于 10° 为特征。火山机构类型属于较为典型的盾状火山。

(2) 营城组一段流纹岩火山机构的纵向序列厚度为 300~700 m, 内部结构呈现明显的三段式: (a) 下部岩性组合为流纹质火山碎屑岩和碎屑熔岩夹层

状及透镜状流纹岩, 厚度占总厚度的 30%左右, 岩相以爆发相为主, 以出现代表基浪沉积的各种构造为标志, 其喷发方式主要表现为高粘度岩浆强烈气射作用的培雷式喷发。(b) 中部岩性主要为气孔、石泡和流纹构造流纹岩, 占总厚度 60%左右, 构成火山机构的主体; 岩相以喷溢相为主, 火山口附近发育大套侵入相珍珠岩类; 喷发类型接近于斯通博利式。(c) 上部主要为细粒(层)凝灰岩(火山灰湖相沉积), 占总厚度 10%左右, 爆发相为主; 以高粘度岩浆富含细粒火山灰的普林尼式喷发为主。营一段火山机构厚度以 300~600 m 居多, 顶面地貌呈丘状, 相对高差为 200~300 m, 以坡角多大于 15° 为特征。火山机构类型总体特征属于互层状火山。

(3) 剖面露头火山机构、盆地内部钻井揭示与地震联合解释的埋藏火山机构, 在厚度分布、岩性岩相序列、内部结构、顶面地貌形态和坡度等方面具有很好的可比性, 通过剖面火山岩研究对盆地内部火山机构解译具有重要指导作用。营城组火山岩与国外研究程度高的典型火山岩相比, 在喷发方式和火山机构特征等方面也具有可比性, 说明营城组埋藏古火山机构是具有一定规律性的, 提示在松辽盆地火山机构研究中要提倡和加强“将今论古”和“洋为中用”的研究方法。

参考文献(References):

- [1] Nault J. Volcanoes: Power and magic[M]. Hagen: Kōnemann Press, 2001: 155.
- [2] Jackson J A. Glossary of geology, 4th ed[M]. Alexandria: American Geological Institute, 1997: 769.
- [3] Karlsruhe M E. Lexikon der geowissenschaften[M]. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag GmbH Press, 2002: 17932-17933.
- [4] Macdonald G A. Volcanology[J]. Science, 1961, 133: 673-679.
- [5] Tilling R I. Volcanoes[R]. U. S. Geological Survey: Eastern Publications Group Web Team, 1997.
- [6] Thouret J C. Volcanic geomorphology—an over view[J]. Earth Science Reviews, 1999, 47: 95-111.
- [7] Pike R J. Volcanoes on the inner planets: some preliminary comparisons of gross topography[J]. Proceedings of the Lunar and Planetary Science Conference, 1978, 9(3): 3239-3273.
- [8] 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.
- [9] 地质矿产部《地质辞典》办公室. 地质辞典(一): 普通地质. 构造地质分册(上册)[M]. 北京: 地质出版社, 1983: 171—172.
- The Group of the “Geological Dictionary”. A dictionary of geology(Part one): general and structural geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983: 171—172.
- [10] 《地球科学大辞典》编委会. 地球科学大辞典: 基础科学卷[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 996—997.
- Editorial Board of Geoscience Dictionary. Geoscience dictionary: basic sciences[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 996—997.
- [11] 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 Yu-long, WANG Pu-jun, FENG Zhi-qiang, 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.
- [12] 唐华凤, 王璞珺, 姜传金, 等. 松辽盆地火山岩相地震特征及其与控陷断裂的关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(1): 73—78.
- TANG Hua-feng, WANG Pu-jun, JIANG Chuan-jin, et al. Seismic characters of volcanic facies and their distribution relation to deep faults in Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(1): 73—78.
- [13] 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 Pu-jun, CHI Yuan-lin, LIU Wan-zhu, 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.
- [14] 王璞珺, 吴河勇, 庞颜明, 等. 松辽盆地火山岩相: 相序、相模式与储层物性的定量关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(5): 805—812.
- WANG Pu-jun, WU He-yong, PANG Yan-ming, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: sequence, model and the quantitative relationship with porosity & permeability of the volcanic reservoir[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(5): 805—812.
- [15] 刘万洙, 邵锐, 白雪峰, 等. 松辽盆地东南隆起区营城组一段熔浆胶结复成分砾岩特征及其成因分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(6): 1124—1130.
- LIU Wan-zhu, SHAO Rui, BAI Xue-feng, et al. Characteristics and genetical study of the magma-cemented polymictic conglomerate in the Cretaceous Yingcheng Formation, Southeastern uplift area of the Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(6): 1124—1130.