

松辽盆地下白垩统营城组火山岩喷发旋回特征

唐华风¹ 边伟华¹ 王璞珺¹ 姜传金² 王莹¹

1. 吉林大学地球科学学院 2. 中国石油大庆油田公司勘探开发研究院

唐华风等. 松辽盆地下白垩统营城组火山岩喷发旋回特征. 天然气工业, 2010, 30(3): 35-39.

摘 要 松辽盆地兴城地区下白垩统营城组一段火山岩可划分为下部、中部和上部3个喷发旋回。营城组一段98%的工业气流都富集在上部旋回,该旋回便成为火山岩勘探开发的重点,而快速准确地确定上部旋回、明确各旋回的井—震标志则成为首要任务。基于关键井钻井资料及其地震反射特征的对比分析,建立了火山岩喷发旋回的井—震标志:①下部旋回的岩性以酸性岩为主,含中基性岩,喷溢相占90%;部分井段伽马值小于90 API;地震特征为席状—盾状—锥状、中—强振幅、中高频、连续性好。②中部旋回的岩性以酸性岩为主,发育少量的中性岩,喷溢相占79.5%;伽马值多为90~160 API;地震特征为丘状—透镜状—穹隆状—板状、中弱振幅、中低频、连续性中—好。③上部旋回的岩性为酸性岩,喷溢相占47.1%、爆发相比比例大幅度提高;伽马值多为130~260 API;地震特征为丘状—楔状—席状、中弱振幅、中低频、连续好—差。上述火山岩喷发旋回的井—震标志也为快速找准邻区火山岩勘探目的层提供了依据。

关键词 松辽盆地 早白垩世 火山岩 储集层 喷发旋回 地球物理特征 标志 成藏特征

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2010.03.008

经过多年的勘探实践,在松辽盆地徐家围子断陷发现了庆深气田,目的层段主要是下白垩统营城组火山岩。庆深气田的发现过程中经历了3次重大突破,其标志分别是1995年第一口工业气流井(SS2井)的发现、2002年第一口高产气流井(XS1井)的发现和2005年 $1\,000\times 10^8\text{ m}^3$ 天然气探明储量的提交。表明松辽盆地火山岩油气藏勘探完成了由偶然发现、局部勘探向全面勘探的转换^[1]。

这3次突破与对火山岩认识程度的细化是密不可分的。1996年以前将断陷层系地层统称为侏罗系,这对于火山岩储层的识别和对比极为不利,导致火山岩勘探从1995年至2001年没有获得重大突破。1996~1999年的断陷层系地层对比研究结果认为,断陷层系主要存在3套火山岩,从下到上分别是下白垩统火石岭组二段、营城组一段和营城组三段^[2]。当时已发现的天然气藏主要富集在中上部的营城组一段和三段的2套火山岩中,所以将火山岩勘探的重点集中在营城组一段和三段^[3],促进了XS1井的发现^[4]。随着火山岩勘探的不断深入,对营城组一段和三段可划分出下

部、中部和上部旋回^[5-6],火山岩气藏中98%的工业气层都富集在营城组一段和三段的上部旋回之中。所以营城组火山岩勘探的首要任务就是识别出各段的上部旋回。火山岩喷发旋回划分可迅速锁定勘探目标区和目的层,对降低勘探成本和风险有着重要意义,加速了庆深气田的发现^[7-8]。目前松辽盆地火山岩勘探主要集中在徐家围子断陷和长岭断陷,下一步勘探范围将扩大到其他断陷^[9]。据徐家围子断陷深层火山岩勘探的经验可知,在松辽盆地深层火山岩的甩开勘探中,火山岩旋回的划分和识别是首先需要解决的难点问题。

在盆地火山岩的勘探阶段,火山喷发旋回主要指火山喷发过程中岩浆成分和喷发强度彼此有所区别的变化阶段,旋回之间存在喷发间歇。所以旋回之间可能存在沉积岩夹层、风化壳等喷发间断面,岩性岩相的类型和序列也存在差别,相应的在地球物理响应特征上也存在差别。据此,可根据岩性特征、重磁特征、地震反射特征和同位素年龄划分火山喷发旋回^[10-11],也可依据沉积岩夹层、岩性组合特征^[12-13]、喷发物相互叠置关系、风化壳和同位素年龄资料识别火山喷发旋回^[14]。

基金项目 国家重点基础研究发展计划(973计划)(编号:2009CB219300)。

作者简介 唐华风,1979年生,副教授,博士;主要从事火山岩储层地质—地球物理识别研究工作。地址:(130061)吉林省长春市建设街2199号鸽子楼吉林大学地球科学学院。电话:(0431)88502620。E-mail:tanghfh@jlu.edu.cn

笔者以松辽盆地徐家围子断陷兴城地区为例,根据 25 口典型钻井和三维地震资料,进行营城组一段火山岩旋回划分对比,探讨松辽盆地营城组一段各旋回的地质—地球物理识别标志和喷发特征,建立营城组一段火山喷发模型。以期为邻区火山岩勘探的旋回划分和识别提供依据。

1 火山岩喷发旋回地质—地球物理特征

1.1 火山岩特征

营城组一段和三段发育丰富的火山岩,各段火山岩具有不同的特征。据钻井资料统计可知营城组一段酸性火山岩约占 86%,中—酸性岩占 6%,中性岩约占 3%,基性岩占 2.3%,沉火山碎屑岩和砂砾岩约占 2.7%。其中熔岩约占 50%,碎屑熔岩约占 34%,碎屑岩约占 13.3%,沉火山岩和砂砾岩约占 2.7%。横向上主要有 4 种岩性序列:①珍珠岩—流纹岩—凝灰质角砾熔岩;②流纹质角砾岩—流纹质凝灰熔岩/流纹质角砾熔岩—砂砾岩;③安山质角砾熔岩—安山质凝灰/角砾岩—沉火山碎屑岩;④英安岩—英安质凝灰/角砾熔岩—英安质角砾岩—英安质凝灰岩。在局部地区的中上部发育一套沉积岩夹层,厚度为 30~70 m。

营城组三段酸性岩占 60%,中—酸性岩约占 13%,中性岩约占 9%,基性岩约占 16%,沉凝灰岩和凝灰质砂岩约占 2%。其中熔岩约占 68%,碎屑熔岩约占 25%,碎屑岩约占 5%,砂砾岩约占 2%。横向上主要有 3 种岩性序列:①珍珠岩—流纹岩—流纹质角砾熔岩—流纹质凝灰岩—砂砾岩/沉火山碎屑岩;②玄武岩/英安岩—角砾熔岩—沉凝灰岩;③流纹质角砾熔岩—流纹岩—流纹质凝灰岩—沉凝灰岩。

本文提及的研究区位于徐家围子断陷中部,包括升平—兴城隆起的中部、徐西断陷的中东部边缘和榆西断陷的中西部边缘处(图 1),属于庆深气田的中部区域。其火山岩属于营城组一段。

1.2 喷发旋回地质—地球物理特征

根据岩性组合特征、电性特征和地震反射特征将兴城地区营城组一段火山岩划分为 3 个旋回(图 2),并实现了井—震联合对比(图 3)。下面介绍该区营城组一段火山岩各喷发旋回的地质—地球物理特征。

1.2.1 下部旋回

钻井揭示下部旋回以酸性岩为主,含中基性火山岩。如,XS602 井(钻穿)岩性为玄武质角砾熔岩,XS2(未穿)井见安山岩,XS7(未穿)井见玄武岩。岩相以

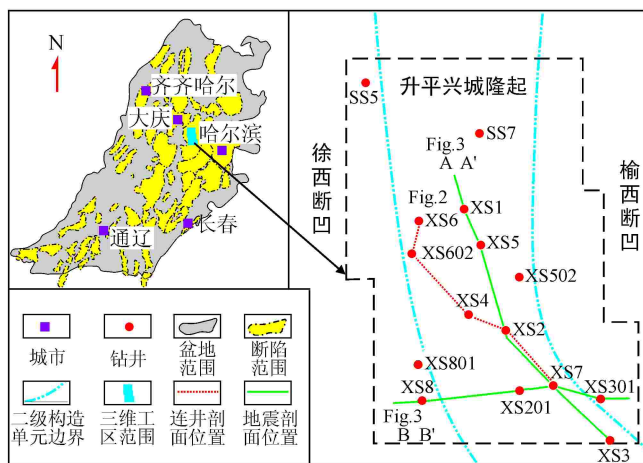


图 1 研究区位置图

喷溢相为主。在伽马测井曲线上可见值小于 90 API 的井段(呈箱形),曲线整体上为光滑—微齿的低—中幅箱形。地震反射特征为席状—盾状—锥状、中—强振幅、中高频、连续性好,多数地区火山口位置不明显。从岩性岩相组合特征和地震反射特征分析可知该区火山喷发方式具有裂隙式喷发的特征。从下部旋回厚度来看,喷发中心在 XS7-XS3 井之间,最大厚度为 450 m。分布范围较局限,主要分布于研究区南部。

1.2.2 中部旋回

钻井揭示中部旋回岩性以流纹岩和流纹质角砾岩为主,见少量的安山质集块岩,岩相以喷溢相为主,爆发相次之。在伽马测井曲线上可知,伽马值范围多为 90~160 API,曲线呈微齿光滑的中低幅箱形。地震特征为丘状—透镜状—穹隆状—板状、中弱振幅、中低频、连续性中—好,火山口位置较明显。从岩性岩相组合特征和地震反射特征分析可知中部旋回的火山喷发方式具有中心式喷发的特征。从中部旋回的厚度分布特征来看,具有多个喷发中心,喷发中心的分布受断层控制,火山岩厚度最大的区域为 XS3 井,厚达 600 m。该旋回的分布范围在下部旋回的基础上大面积扩大。中部旋回喷溢相分布范围比爆发相大,爆发相在平面呈斑块状分布。

1.2.3 上部旋回

钻井揭示上部旋回岩性以流纹岩和流纹质角砾岩为主,见少量的流纹质晶屑凝灰岩、珍珠岩,岩相以爆发相为主,喷溢相次之。在伽马测井曲线上可知,伽马值多为 130~260 API,曲线呈微齿—齿化的低—高幅钟形或箱形。地震特征为丘状—楔状—席状、中弱振幅、中低频,连续好—差,火山口位置明显。从岩

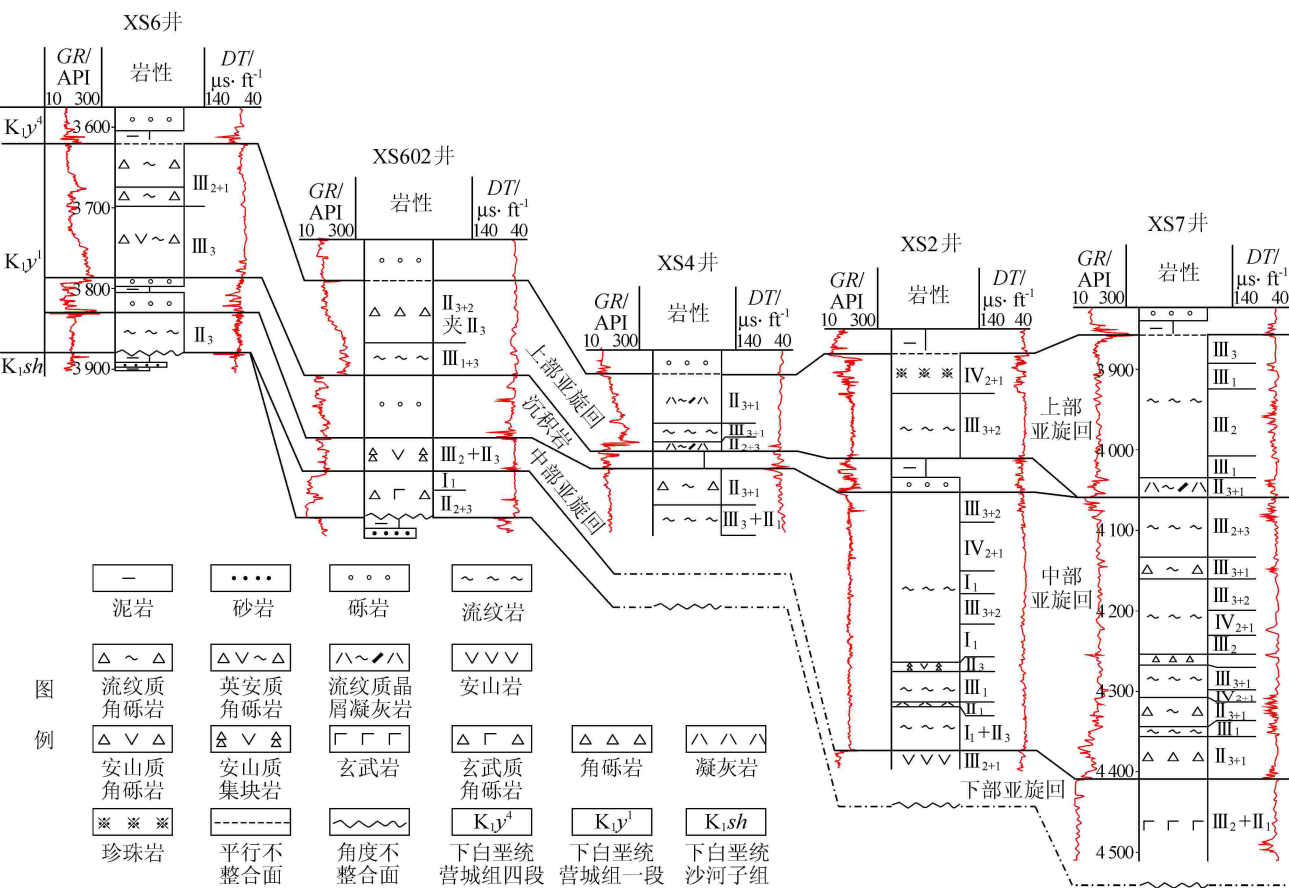


图 2 松辽盆地徐家围子断陷兴城地区营城组一段火山岩旋回井间对比图

注：I₁.火山颈亚相；II₁.空落亚相；II₂.热基浪亚相；II₃.热碎屑流亚相；III₁.下部亚相；III₂.中部亚相；III₃.上部亚相；IV₁.内带亚相；IV₂.中带亚相

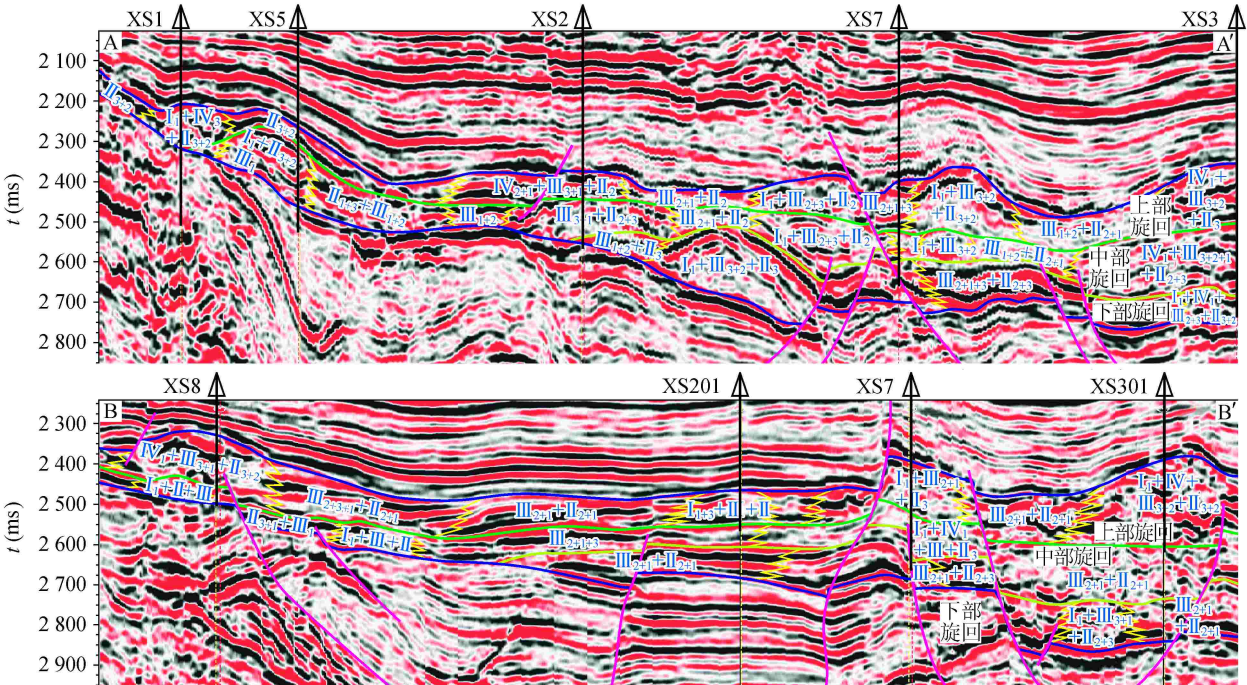


图 3 松辽盆地徐家围子断陷兴城地区营城组一段火山岩喷发旋回和岩相井—震对比图

注：I₃.隐爆角砾岩亚相；IV₃.外带亚相；其他图例同图 2

性岩相组合特征和地震反射特征分析可知上部旋回的火山喷发方式具有中心式喷发的特征。从上部旋回的厚度分布特征来看,具有多个喷发中心,喷发中心沿断层走向呈串珠状分布,火山岩厚度最厚达 800 m。该旋回的分布范围比中部旋回的范围稍大。爆发相主要分布在研究区的北部,而喷溢相主要分布在研究区的南部。

2 火山岩喷发特征

根据波形分类方法的岩相识别结果和各旋回火山岩厚度估算火山爆发指数,据此推断各旋回的喷发方式。火山喷出物包括爆发相、喷溢相、火山通道相和侵入相,将爆发相作为是火山碎屑物。所以爆发指数表示为:

$$\text{爆发指数} = \frac{V_{\text{爆发相}}}{V_{\text{爆发相}} + V_{\text{喷溢相}} + V_{\text{火山通道相}} + V_{\text{侵入相}}} \times 100$$

表 1 松辽盆地徐家围子断陷营城组一段各旋回的喷发物和爆发指数统计表

旋回	爆发相			喷溢相			火山通道相			侵入相			喷出物 体积/km ³	爆发 指数
	面积/ km ²	平均 厚度/m	体积/ km ³	面积/ km ²	平均 厚度/m	体积/ km ³	面积/ km ²	平均 厚度/m	体积/ km ³	面积/ km ²	平均 厚度/m	体积/ km ³		
上部	225	200	45.0	195	250	48.8	20	400	8.0	6	300	1.8	103.6	43.4
中部	130	150	19.5	227	400	90.8	9	300	2.7	4	300	1.2	114.2	17.1
下部	36	75	2.7	157	180	28.7	5	100	0.5	/	/	/	31.9	8.5

综上所述从下部到上部火山规模扩大,爆发强度增强,喷发方式由裂隙式变为中心式喷发,火山口数目也在增多(图4)。当火山建造结束后,火山的高部位遭受剥蚀,同时形成风化壳。在火山与火山之间的洼地接受火山物质再搬运沉积。

3 喷发旋回的有效储层和成藏效应特征

将储集空间中有无流体作为判断有效和无效储层的依据,图5中无效储层包括干层和非储层的井段,其余含有流体的均为有效储层。由此可知,上部旋回成

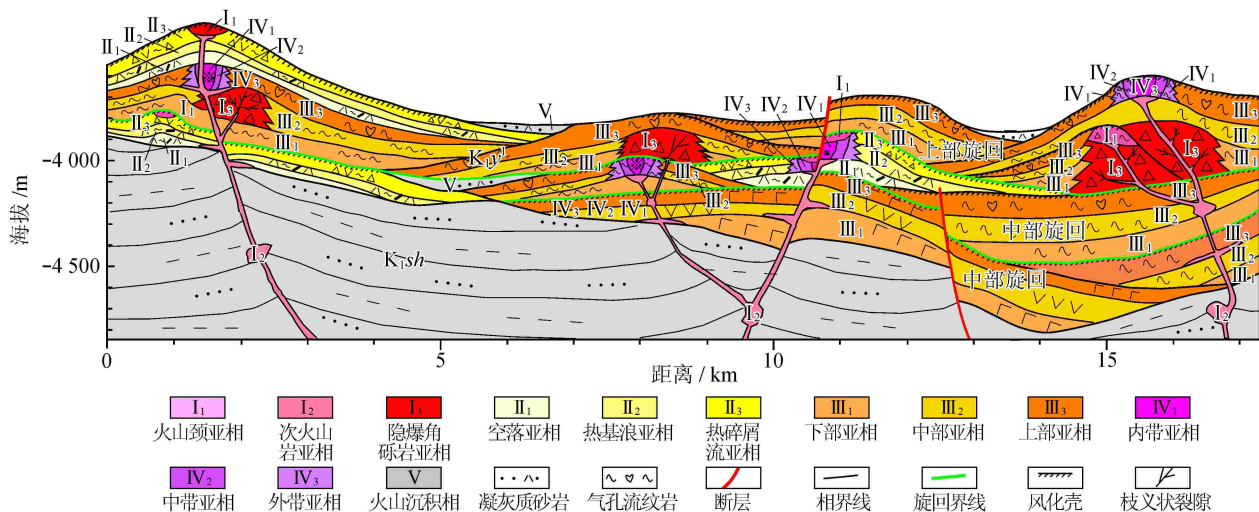


图 4 松辽盆地徐家围子断陷营城组一段多旋回—多中心火山喷发模型

注,其他图例同图 2

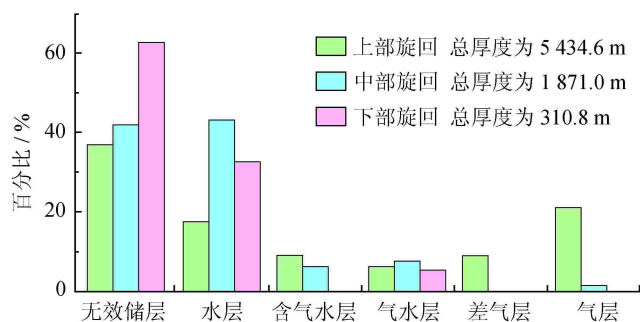


图5 松辽盆地徐家围子断陷兴城地区营城组一段火山喷发旋回的有效储层和成藏效率特征

为有效储层的能力最好,中部旋回成为有效储层的能力稍差,下部旋回成为有效储层的能力显著变差。从成藏效应来看,目前的钻井还没有在下部旋回中获得工业气流,中部旋回只有极少量井段成为了气层,而上部旋回中占 21.0% 的井段成为了气层,成藏效应显著。并且上部旋回对气层的贡献为 98.0%,所以上部旋回就是目前火山岩勘探的重点层段。

从图 5 中可知钻遇下部和中部旋回的钻井较少,特别是下部旋回更少,所以下部和中部旋回的储层特征更多的是反映该旋回上段的特征,随着钻遇中下部旋回的钻井增多,其成储成藏特征应该有所变化。

4 结论

1) 从下至上将营城组一段划分为下部、中部和上部 3 个旋回。下部旋回岩性以酸性岩为主,含部分中基性岩,岩相以喷溢相为主;见伽马值小于 90 API 的井段,地震特征为席状—盾状—锥状、中—强振幅、中高频、连续性好,火山口位置不明显。中部旋回的岩性以酸性岩为主,发育少量的中性岩,岩相以喷溢相为主;伽马值多为 90~160 API,地震特征为丘状—透镜状—穹隆状—板状、中弱振幅、中低频、连续性中—好,火山口位置较明显。上部旋回的岩性为酸性岩,岩相以喷溢相为主、爆发相比比例较中下旋回明显增多;伽马值多为 130~260 API,地震特征为丘状—楔状—席状、中弱振幅、中低频、连续好—差,火山口位置明显。

2) 从下部旋回到上部旋回的喷发规模和猛烈程度均在增大,从下部旋回到中部旋回喷出物体积变化幅度最大;从中部旋回到上部旋回的爆发指数变化幅度最大。喷发方式由裂隙式变为中心式喷发,火山口数目也在增多。

参考文献

- [1] 邹才能,赵文智,贾承造,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.
- [2] WANG PU-JUN, REN YAN-GUANG, SHAN XUAN-LING, 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.
- [3] 宋吉杰.松辽盆地北部兴城地区火山岩地震预测[J].石油地球物理勘探,2007,42(3):315-317.
- [4] 侯启军.大庆探区油气勘探新进展与下步勘探方向[J].中国石油勘探,2004,9(4):1-5.
- [5] 唐华凤,王璞瑛,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.
- [6] 舒萍,丁日新,曲延明,等.徐深气田火山岩储层岩性岩相模式[J].天然气工业,2007,27(8):23-27.
- [7] 冯志强.松辽盆地庆深大型气田的勘探前景[J].天然气工业,2006,26(6):1-5.
- [8] 徐正顺,王渝明,庞彦明,等.大庆徐深气田火山岩气藏储集层识别与评价[J].石油勘探与开发,2006,33(5):521-531.
- [9] 冯志强,王玉华,雷茂盛,等.松辽盆地深层火山岩气藏勘探技术与进展[J].天然气工业,2007,27(8):9-12.
- [10] DAVY B W, CALDWELL T G. Gravity, magnetic and seismic surveys of the caldera complex, Lake Taupo, North Island, New Zealand[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1998, 81:69-89.
- [11] NAPPI G, ANTONELLI F, COLTORTI M. Volcanological and petrological evolution of the Eastern Vulsini District, Central Italy[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1998, 87:211-232.
- [12] 谢家莹.试论陆相火山岩区火山地层单位与划分——关于火山岩区填图单元划分的讨论[J].火山地质与矿产,1996,17(3/4):85-94.
- [13] 张立东,郭胜哲,张长捷,等.北票—义县地区义县组火山构造及其与化石沉积层的关系[J].地球学报,2004,25(6):639-646.
- [14] 白志达,徐德斌,张秉良,等.龙岗火山群第四纪爆破火山作用类型与期次研究[J].岩石学报,2006,22(6):1473-1480.

(修改回稿日期 2009-12-03 编辑 罗冬梅)