2008 年 10 月
29 卷 5 期:577-581

地 球 学 报
ACTA GEOSCIENTICA SINICA

Oct. 2008
29(5):577-581

兴城南部深层气田火山机构地震反射特征识别

张永忠　何顺利　周晓峰　程日恒

中国石油大学石油工程教育部重点实验室,北京 102249

摘　要　营城组火山岩是松辽盆地北部大庆兴城深层天然气的主要储集体,天然气的富集主要受火山机构控制。火山机构由 3 个基本要素组成,即火山堆积高地、围斜构造和火山口,在地震剖面和水平切片上反射特征明显。本文通过大量地震剖面和水平切片的研究,从火山机构的外部形态、内部结构及其与上叠沉积层的接触关系入手,归纳总结出火山机构的 14 种地震反射特征,进而在兴城南部营城组识别出 15 个火山机构。地下火山机构的识别与研究对于松了盆地深层天然气勘探开发具有重要的指导意义。

关键词　营城组; 火山岩储层; 火山机构; 火山口; 地震剖面; 地震反射特征

中图分类号: P315.01　　**文献标识码**:A　　**文章编号**: 1006-3021(2008)05-577-05

Seismic Reflective Characteristics of the Volcanic Apparatus of the Deep Gas Field in Southern Xingcheng Area

ZHANG Yongzhong　HE Shunli　ZHOU Xiaofeng　CHENG Riheng

CMOE Key Laboratory of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Beijing 102249

Abstract　Volcanic rocks of the Yingcheng Formation in Xingcheng area are mainly deep gas reservoirs. The accumulation of deep gas is controlled by the volcanic apparatus, which consists of 3 elements: volcanic plateau, pericline and crater, all having clear seismic reflective characteristics. Based on the study of seismic sections and seiscrop sections, the authors summarized 14 kinds of seismic reflective characteristics, which represent the external appearance and internal structure of the volcanic apparatus as well as the contact relationship between the volcanic rocks and their overlying sedimentary formations. 15 volcanic apparatuses were recognized through the study of these 14 seismic reflective characteristics, which is of great significance in guiding the exploration and development of gas fields.

Key words　Yingcheng Formation; volcanic reservoir; volcanic apparatus; volcanic crater; seismic section; seismic reflective characteristic

兴城气田位于黑龙江省大庆市肇州县境内,主体位于松辽盆地北部徐家围子断陷升平—兴城断裂褶皱带南端至丰乐低隆起带,其西部为古中央隆起带,中部为深凹带,东部为斜坡带(图 1)。近年来在兴城—升平及相邻区域营城组火山岩中发现大量天然气资源,形成了地质储量超过千亿吨的大型气田(曲延明等,2006)。2001 年徐深 1 井的钻探成功,标志着兴城气田的发现。油气性质、分布与火山机构存在密切关系(张永忠等,2007;张建龙等,2007),火山机构的识别对天然气的勘探开发具有重要意义。前人对徐家围子断陷火山岩的识别已做了大量工作(邵正奎等,1999;蒙启安等,2001),应用地层倾角、相干方法和趋势面分析对地下火山机构识别也取得了一定成果(唐华风等,2007;姜传金等,2007)。笔者通过对地震剖面和水平切片的研究,归纳总结出火山机构的 14 种反射特征。

本文由中国科学技术部 973 项目(编号:2006CB701405)和中国自然科学基金项目(编号:40272008)联合资助。

收稿日期:2007-12-07;改回日期:2008-02-17。责任编辑:刘志强。

第一作者简介:张永忠,男,1969 年生,博士。主要从事开发地质方面的研究;通讯地址:102249,北京市昌平区府学路 18 号;电话:010-69213097;E-mail: zhangyzh2000@yahoo.com.cn。

万方数据

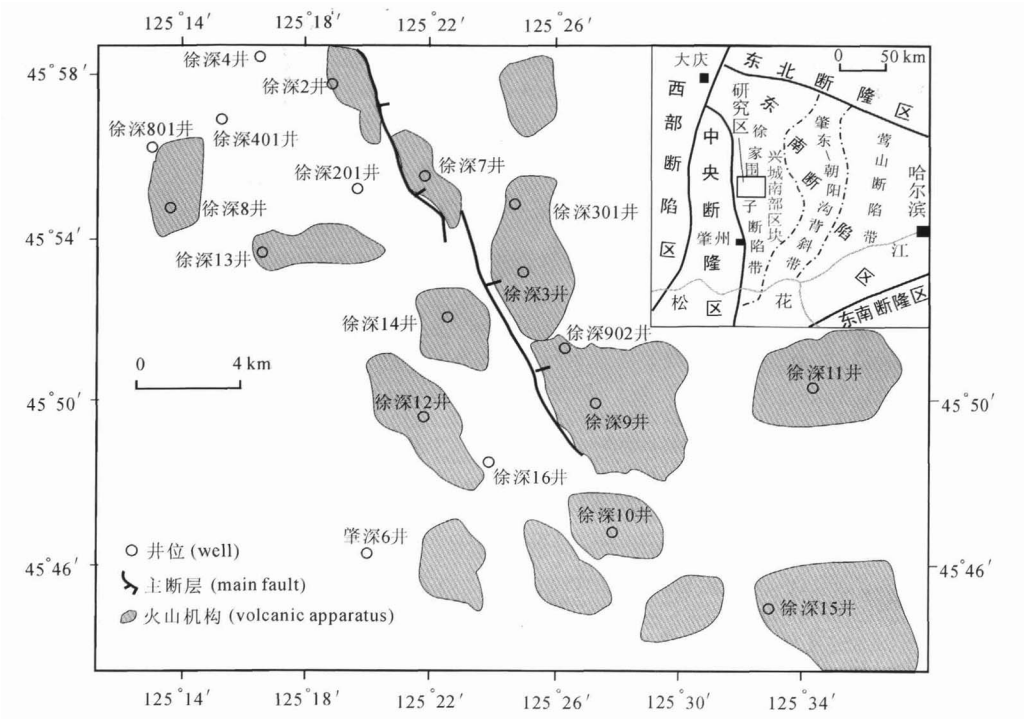


图1 兴城气田区域位置及兴城南部火山机构分布图

Fig. 1 Location of the Xingcheng gas field and the distribution of volcanic apparatuses in the south area

1 火山机构的基本要素

火山机构是指一定空间和时间范围内,火山通道及各种堆积物及构造的总和(丘家骧, 1991;丘家骧等,1996),一般是指火山锥和破火山口(丘家骧,1991)。火山机构应具备火山堆积高地、围斜构造和火山口3个基本要素。

(1)火山堆积高地:火山喷发物由火山口喷溢后就近堆积,围绕火山口形成火山堆积高地。地震剖面上具有丘型反射轮廓(图2(a)),上覆沉积层由翼部向上超覆并披盖其上;内部火山岩呈现杂乱反射(康冶,2002)。水平切片具有椭圆型的外部轮廓,内外反射具有明显差异(图2(b))。

(2)围斜构造:岩浆上涌使地表形成穹状隆起,岩层产状向四周倾斜(王德滋等,1982);继之,岩浆物质向外溢出,形成的多旋回、多期次喷溢、堆积、冷凝与多韵律作用的结果使火山岩呈层状自火山口向周围下倾;两者共同构成穹状围斜构造。地震剖面上火山机构内部同相轴呈较为连续或断续相背产出,是围斜构造的表现(图2(c))。水平切片上,椭圆型火山机构内略具同心圆状反射结构是围斜构造的地震响应特征(图2(d))。

(3)火山颈、火山口与破火山口:火山物质由通道导出至地表,其出口随喷发物的增厚不断向上移动。当火山停止喷发后,由于火山颈岩石冷缩或岩浆房空虚的影响,火山口可能坍塌形成破火山口。地震剖面上,丘型反射体顶部出现的地堑或半地堑式下凹,是破火山口的响应;下凹处底平内陡外缓,是反映破火山口、火山口垣的形态特征;火山口下部往往发育小断层,同相轴被拉平或扭曲代表火山通道相特征(图2(e))。水平切片上,火山体中部圆心部位可能是火山口所在部位(图2(f))。

2 火山机构形态特征

在火山盆地内,一个火山机构在地形上往往表现为正地貌特征(洼中隆),本区营城组火山岩形成于早白垩世 Aptian 期至 Albian 早期,为一套钙碱性系列为主的中酸性火山岩(章凤奇等,2007)。根据18钻井井深7929 m火山岩统计分析,酸性火山岩比例占79%;中性火山岩占14%;另7%为火山碎屑沉积岩。火山通道为为不规则的圆柱状,为中心式火山口。火山活动期,由于酸性岩浆粘度大,岩

万方数据

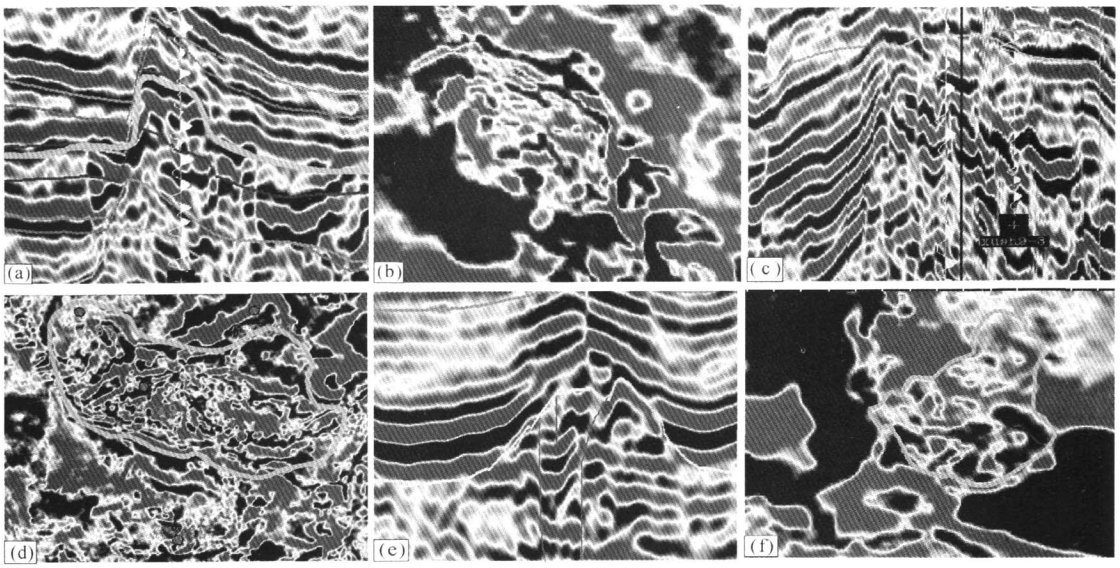


图2　兴城气田火山机构地震反射特征

Fig. 2　Seismic reflective characteristics of volcanic plateau in Xingcheng gas-field

(a)-徐深7井火山高地地震反射剖面特征;(b)-徐深7井火山高地地震反射平面特征;(c)-徐深9井围斜构造反射剖面特征;(d)-徐深9井围斜构造反射平面特征;(e)-徐深301井北部火山颈、火山口反射剖面特征;(f)-徐深301井北部火山颈、火山口反射平面特征

(a)-Seismic reflective section characteristics of volcanic plateau, well Xushen7; (b)-Seismic reflective seiscrop section characteristics of volcanic plateau, well Xushen7; (c)-Seismic reflective section characteristics of volcanic pericline, well Xushen 9; (d)-Seismic reflective seiscrop section characteristics of volcanic pericline, well Xushen 9; (e)-Seismic reflective section characteristics of volcanic neck and crater, north of well Xushen 301; (f)-Seismic reflective seiscrop section characteristics of volcanic neck and crater, north of well Xushen 301

浆上涌时容易形成火山隆起及断裂(图2(e),(f))。徐家围子地区火山机构底部直径一般2~14 km,分布面积4~50 km^2(黄玉龙等,2007)。火山活动后期,岩浆房中岩浆及挥发份经大量喷出、侵入,压力大减,岩浆房空虚,而岩浆房上部由于喷出物堆积厚度增大,压力大增,岩浆房上部岩层顺环状裂隙发生垮塌、陷落形成塌陷破火山口(图2(e),(f)),并形成放射状断裂和锥状断裂,前者以火山通道为中心,呈放射状分布;后者裂隙面向中心倾斜,越到中心,断裂面越陡。火山隆起与构造隆起不同,构造隆起与火山口位置无关,厚度较均一,背斜与向斜协调、伴生;火山隆起与火山口位置密切相关,厚度中厚边薄,不与向斜伴生,与区域构造不协调。

3　火山机构的岩石组合特征

火山机构的不同部位,具备不同的岩石组合特征。本区熔岩主要为流纹岩类,粘度大,流动性弱,常常分布在火山口附近,可见垂直流动构造及垂向拉长的气孔带(如徐深8井3730~3770 m井段)。近火山口火山碎屑岩以火山集块岩、角砾岩等粗碎屑为主(如徐深3井),熔结凝灰岩往往为强熔结(如徐深9井),其中暗色矿物和岩屑相对含量较高。火山通道相、侵出相、及潜火山岩相一般分布于火山口或近火山口部位。到火山机构边缘,一般熔岩厚度变薄,火山碎屑岩主要为细碎屑,熔结凝灰岩熔结程度变弱。

4　火山机构的地震响应特征

火山机构的结构构造在地震剖面上具有特殊的响应特征,利用常规地震剖面,结合地震属性分析,是直观地识别火山岩的简单可行方法。营城组火山岩在喷发形成不久便被上覆沉积层覆盖免于长期风化剥蚀,火山机构保存较好,易于辨认识别。

基于对古火山的认识,通过地震资料反复对比归纳抽象出14种以火山通道为中心的反映火山高地、围斜构造、火山口的综合地质体地震响应特征(表1)。

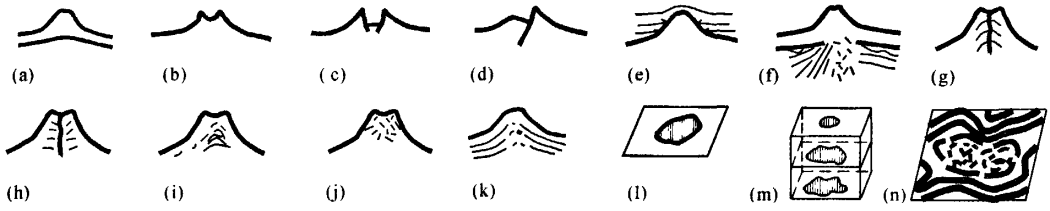
在地震剖面和水平切片上,火山机构的不同部位具有不同的地震反射特征,代表特定的地质含义。火山机构在地形上表现为正地貌,剖面外部轮廓上,

万方数据

表 1 火山机构的地震响应模式

Table 1 The seismic reflective models of the volcanic apparatus

剖面	反射部位	模式特征		地质含义
		说明	图示	
垂直剖面	顶底反射	上凸下平	(a)	火山体外部轮廓
	顶部反射	顶部同相轴下拉	(b)	
		地堑式下拉	(c)	壁内陡外缓,反映火山口壁及火山口垣、破火山口形态
		半地堑式下拉	(d)	
	翼部反射	上超与披盖	(e)	后期沉积作用
	底板围岩	杂乱或陡立	(f)	岩浆侵位刺穿作用影响
	内部充填	中部相背反射	(g)	中轴线代表火山通道位置
		中部相向反射	(h)	
		中部上方丘状或扭曲反射	(i)	角砾岩、集块岩堆积
		中部上方杂乱反射	(j)	侵出岩类形态
		两翼同相轴相背倾斜	(k)	反映火山穹隆围斜构造形态
水平切片	外部轮廓	常为椭圆型,长短轴比多小于2	(l)	某一深度火山体边界形态
	不同深度外部轮廓	从上到下面积增大,形态变得更为复杂	(m)	不同深度火山体形态
	结构特征	内部具杂乱或不连续反射特征;外部为连续反射同相轴所包围,边界清晰	(n)	椭圆型代表火山体边界,外围连续反射是低凹处沉积岩的反射特征



顶部反射表征为隆起,底部反射面相对较平。在地震剖面上,火山口处顶部同相轴往往呈下拉现象;塌陷破火山口往往壁内陡外缓,顶部反射往往表现为地堑式或半地堑式下拉,代表火山活动结束后,岩浆物质冷凝收缩作用而形成的火山口下凹现象。

在火山通道附近,底板围岩因岩浆上侵、刺穿作用而被破坏,在地震剖面上表现为杂乱反射或同相轴陡立;火山机构的翼部具上超或披盖现象,这种现象广泛存在于各个火山机构中,同相轴为强反射、连续、稳定,反映了火山活动结束后的沉积作用,这套沉积岩可以构成火山岩储层的良好盖层。

火山机构的围斜构造在地震上表现为两侧同相轴相背倾斜。有时由于地震资料的辨晰度或其他复杂地质因素影响,这种反射特征并不十分清晰,只在火山通道附近表现为相背;如果为塌陷破火山口,则火山通道附近,同相轴相向排列,这是由于火山口塌陷,早期形成的岩石向火山口中心塌落而形成的特有反射特征。在火山通道、火山口附近常出现杂乱或扭曲丘状反射特征,这是近火山口不同火山岩岩性、岩相的反射特征,前者代表火山角砾岩、集块岩堆积,后者为侵出穹丘的表现形态。根据研究区物性分析,近火山口爆发相火山角砾岩和侵出相外带自碎角砾岩、角砾熔岩和溢流相上部的气孔流纹岩孔渗条件好,含气饱和度高,是有利的储集岩类。

在平面上,火山机构外部轮廓常为圆形或椭圆型,长轴与短轴之比一般在 1 ~2 之间。在不同深度的水平切片上,从上到下,面积增大,下部形态呈不规则椭圆状,这是由于火山下部受水流冲刷作用及其他地质作用较强,往往形态更加复杂化。在切片中,火山机构内部具杂乱反射或不连续强反射,是火山岩的反射特征;而外围为连续反射的同相轴所环绕,这种连续反射是低洼处沉积岩的响应特征。二者界限明显,清晰可辨。

5 火山机构的圈定及地质意义

基于地下火山机构的各个部位在垂、平地震剖面上的反射特征的认识,结合单井钻遇火山岩岩性岩相分析,在兴城南部营城组地层中,识别出 15 个火山机构(图 1)。由于火山机构具有的特殊正地貌与围斜构造,为深层天然气的聚集提供了有力条件,火山角砾岩、角砾熔岩和气孔流纹岩具有很好的储集性能,它们一般分布于近火山口处,在地震剖面上

万方数据

表现为丘状,杂乱、扭曲状反射或间断性强反射。近火山口处火山岩长期暴露地表,遭受风化淋滤作用,易于形成风化壳储层,同时火山机构附近火山构造运动强烈形成大量锥状与环形断裂,这些断裂为天然气运移提供了通道,其派生的微裂隙对火山岩中的原生气孔起到沟通作用,增加了火山岩储层的渗透性,上覆沉积岩可做为良好的盖层,它们在地震剖面上表现为连续、稳定的强反射,良好的储盖组合和运移条件使火山体成为天然气聚集的有力场所。火山机构控制着天然气的分布,到2005年底,兴城开发区已提交探明储量890.4×10^8 m^3,其中兴城南部区块430.52×10^8 m^3。火山机构的识别与圈定为天然气勘探开发指明了方向。

参考文献

黄玉龙,王璞珺,冯志强,邵锐,郭振华,许中杰. 2007. 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),37(1) 65~72.

姜传金,冯肖宇,詹怡捷,张元高. 2007. 松辽盆地北部徐家围子断陷火山岩气藏勘探新技术[J]. 大庆石油地质与开发,26(4):133~137.

康冶. 2002. 升平气田营城组火山岩储层分布预测[J]. 大庆石油地质与开发,21(3):22~23.

蒙启安,门广田,张正和. 2001. 松辽盆地深层火山岩体、岩相预测方法及应用[J]. 大庆石油地质与开发,20(3):21~24.

邱家骧(主编). 1991. 应用岩浆岩石学[M]. 武汉:地质大学出版社,1~34.

邱家骧,陶奎元,赵俊磊,马昌前. 1996. 火山岩[M]. 北京:地质出版社,1~58.

曲延明,舒萍,王强. 2006. 兴城气田火山岩储层特征研究[J]. 天然气勘探与开发,29(3):13~16.

邵正奎,孟宪禄,王璞珺. 1999. 松辽盆地储层火山岩地震反射特征及其分布规律[J]. 长春科技大学学报,29(1):33~36.

唐华风,王璞珺,姜传金,边伟华,黄玉龙. 2007. 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,22(2):530~536.

王德滋,同新民. 1982. 火山岩岩石学[M]. 北京:科学出版社,29~30.

张建龙,张方礼,蒋少涌,白玉英,崔雁. 2007. 欧利坨子火山岩油藏原油特征及成因分析[J]. 地球学报,28(4):369~376.

张永忠,何顺利,程日恒,兰朝利,王建国,甯波. 2007. 兴城地区天然气组分分布规律及其指示意义[J]. 石油天然气学报,29(1):23~26.

References

HUANG Yulong, WANG Pujun, FENG Zhiqiang, SHAO Rui, GUO Zhenhua, XU Zhongjie. 2007. Analogy of physical features amongst modern, ancient and buried volcanoes, a case study from Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 37(1): 65~72 (in Chinese with English abstract).

JIANG Chuanjin, FENG Xiaoyu, ZHAN Yijie, ZHANG Yuangao. 2007. New methodology to explore gas-bearing volcanic reservoir in Xujiaweizi Fault Depression of the northern Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 26(4): 133~137 (in Chinese with English abstract).

KANG Ye. 2002. Forecast of volcanic rock reservoir distribution of Yingcheng Formaition in Shengping Gas Field[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 21(3):22~23 (in Chinese with English abstract).

MENG Qi'an, MEN Guangtian, ZHANG Zhenghe. 2001. Prediction method and its application of deep volcanic rock body and facies in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 20 (3): 21~24 (in Chinese with English abstract).

QIU Jiaxiang (edits). 1991. Applied magma petrology[M]. Wuhan: Univ. of Geosci. Publishing House, 1~34 (in Chinese).

QIU Jiaxiang, TAO Kuiyuan, ZHAO Junlei, MA Changqian. 1996. Volcanic Rocks[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~58 (in Chinese).

QU Yanming, SHU Ping, WANG Qiang. 2006. Characteristics of volcanic rock reservoirs in Xingcheng area[J]. Natural Gas Exploration & Development. 29(3): 13~16 (in Chinese with English abstract).

SHAO Zhengkui, MENG Xianlu, WANG Pujun. 1999. Seismic reflection features and distribution law of volcanic rocks in the Songliao Basin[J]. Journal of Changchun University of Science & Technology, 29(1): 33~36 (in Chinese with English abstract).

TANG Huafeng, WANG Pujun, JIANG Chuanjin, BIAN Weihua, HUANG Yulong. 2007. Physical model and seismic recognition of concealed volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin, Cretaceous, NE China[J]. Progress in Geophysic, 22(2): 530~536 (in Chinese with English abstract).

WANG Dezi, TONG Xinmin. 1982. Volcanic rock petrology[M]. Being: Science Press, 29~30 (in Chinese).

ZHANG Jianlong, ZHANG Fanglong, JIANG Shaoyong, BAI Yuying. 2007. Characteristics and genetic analysis of crude oil in the volcanic reservoir of Oulituozi area[J]. Acta Geoscientica Sinica, 25(4): 429~436 (in Chinese with English abstract).

ZHANG Yongzhong, HE Shunli, CHENG Riheng, LAN Chaoli, WANG Jianguo, NING Bo. 2007. Rules of natural gas composition distribution in Xingcheng area and its significance[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 29(1): 23~26 (in Chinese with English abstract).

万方数据