

# 火山岩气藏储层岩相特征及其对储层物性的影响 ——以徐深气田徐东地区白垩系营城组一段火山岩为例

陈欢庆 胡永乐 冉启全 闫林 孙作兴

(中国石油勘探开发研究院,北京 100083)

**摘要:** 为了有效预测和开发火山岩气藏储层,以徐深气田徐东地区营城组一段为例,对火山岩岩相特征及其对储层物性的影响进行了分析。在火山岩岩石类型划分基础上,结合地质、测井和地震资料综合分析,识别火山岩体。在火山体内通过单井、剖面和平面的地震相、火山岩相特征分析,将研究区火山岩相划分为爆发相、溢流相等5种类型和溅落亚相等16种亚相类型。结果表明,火山岩岩性及其组合是划分火山岩岩相的基础,而火山岩相的空间展布又控制着火山岩气藏有利储层的分布。溢流相顶部、上部和下部亚相、爆发相溅落亚相和空落亚相、侵出相中带、外带亚相和火山通道相的火山颈亚相等为优质储集体发育部位。

**关键词:** 徐东地区;营城组;火山岩;储层;岩相;火山岩体

**中图分类号:** P588.14;P618.13

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6524(2011)01-0060-11

## Lithofacies characteristics of volcanic gas reservoirs and their influence on reservoir physical properties: a case study of Member 1 of Cretaceous Yingcheng Formation in Xudong area of the Xushen gas field

CHEN Huan-qing, HU Yong-le, RAN Qi-quan, YAN Lin and SUN Zuo-xing

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Taking the volcanic reservoir of Member 1 of Yingcheng Formation in Xudong area of the Xushen gas field as an example, the authors studied lithofacies characteristics of the volcanic gas reservoir and their influences on reservoir physical properties with the purpose of effectively forecasting and exploiting the volcanic reservoir. On the basis of identification of volcanic rock types and recognition of volcanic rock bodies by combining geological data with logging data and seismic data, the authors analyzed volcanic lithofacies characteristics and their relationship with reservoir physical properties and forecast the favorable prospecting areas by using data from wells, sections and plane lithofacies. The results indicate that the volcanic reservoir of the Member 1 of Yingcheng Formation in Xudong area of the Xushen gas field was formed by repeated volcanic eruptions, with the lithologies consisting of 10 types. The rhyolite, rhyolite tuff and sedimentary volcanic breccia played the preponderant role. The eruption type in the study area was cranny-center eruption, and crater and volcanic lithofacies were obviously controlled by ruptures. The volcanic bodies were dominated by craters, and different volcanic lithofacies were developed in different positions of volcanic bodies. The volcanic facies inside the volcanic bodies in the study area can be divided into five types and sixteen sub-facies. The results indicate that the volcanic lithology and its combination constitute the basis of the division of volcanic facies, and the spreading of volcanic

收稿日期:2010-04-15;修订日期:2010-09-25

基金资助:国家科技重大专项资助项目(2008ZX05016-001);中国石油勘探开发研究院中青年创新基金资助项目(2009-B-10-03)

作者简介:陈欢庆(1979-),博士后,研究方向:火山岩储层地质研究,E-mail:hqchen.1999@yahoo.com.cn.

facies controls the distribution of gas reservoirs. The reservoir development areas include the lower part and upper part and top overflow sub-facies of overflow facies, splash down sub-facies and air falling sub-facies, middle extrusive sub-facies, exterior sub-facies of extrusive facies and volcanic neck sub-facies of volcanic channels facies. The sub-facies of the volcanic reservoir include volcanic sub-lithofacies of volcanic neck sub-facies, dikes, sills, hydrothermal breccias, inner extrusive sub-facies, middle extrusive sub-facies, exterior sub-facies, splash down sub-facies, pyroclastic flow deposit, base surge deposit, air falling sub-facies, top part overflow facies, upper part overflow facies, middle part overflow facies, lower part overflow facies, epiclasts-bearing volcanogenic sediments and reworked volcanogenic sediments. The explosive facies and overflow facies are most developed facies, and the physical property of the volcanic sub-facies of splash down is the best. The average effective porosity is 9.00% and the average whole permeability is 4.793 mD. Volcanic lithology and its combination form the basis of the division of volcanic lithofacies. The distribution of volcanic lithofacies control the development characteristics of volcanic reservoirs. The reservoir development areas are lower part and upper part and top overflow sub-facies of overflow facies, splash down sub-facies, air falling sub-facies, middle extrusive sub-facie, exterior sub-facies of extrusive facies and volcanic neck sub-facies of volcanic channels facies.

**Key words:** Xudong area; Yingcheng Formation; volcanic rock; reservoir; lithofacies; volcanic bodies

火山岩油气藏在海外已有 120 年的勘探历史,随着世界范围内碎屑岩、碳酸盐油气勘探开发形势的日益严峻和伴随社会经济快速发展而来的油气消费量的急剧增加,火山岩油气藏的勘探开发逐渐引起了研究者的兴趣,由于其资源前景广阔,目前已成为研究的热点之一。火山岩相类型与储层发育特征之间关系密切,火山岩相研究是有利储层预测的关键(Tomohisa Kawamoto *et al.*, 2000; Tang and Ji, 2004; 徐正顺等, 2006; 2008; 舒萍等, 2007; 黄薇等, 2006; 王璞珺等, 2008; 赵文智等, 2008; 孙园辉等, 2009)。本文通过对松辽盆地徐深气田徐东地区火山岩气藏储层岩相特征的研究,为气田有效开发提供地质依据。

徐深气田位于中国东北部黑龙江省大庆市与安达市境内,南北长约 45 km,东西宽约 10 km,区域构造上位于松辽盆地北部徐家围子断陷。本次研究区位于徐家围子断陷东部,主要包括徐东坳陷和徐东斜坡的大部分地区(图 1)(于士泉等, 2009)。徐家围子断陷形成于晚侏罗世到早白垩世早期,地层自下而上分别为火石岭组、沙河子组、营城组和登娄库组及泉头组一、二段。由于火山喷发活动频繁,在营城组发育了大量的火山产物。火山岩储层分布在下白垩统营城组一段和三段中,以酸性喷发岩为主。徐深气田是目前国内发现的最大的火山岩储层气田,现已探明天然气地质储量超过 1000 亿  $m^3$ 。火山岩气藏储层地质条件复杂,很难准确描述,因此一直是制约该区火山岩天然气开发的瓶颈(吴河勇等, 2002; 徐正顺等, 2006, 2008; 黄薇等, 2006;

舒萍等, 2007; 王璞珺等, 2008)。火山岩岩性和岩相研究是火山岩储层研究的基础。根据研究区目的层地质特征和火山岩气藏储层研究的特点,本次注重火山岩储层的成因分析,从喷发模式到火山岩体,再引申至火山岩相类型,从单井相、剖面相到平面相,对徐深气田营一段火山岩相类型及分布特征进行了研究,并分析了火山岩相对储层发育的控制和影响作用。

## 1 火山岩的岩石类型

不同的火山岩相发育特征的火山岩岩性,因此,对于火山岩岩性的准确识别和划分就成为火山岩相分析中十分关键的工作(王郑库等, 2007)。王郑库等(2007)对利用物探方法、测井中的交会图技术、主成分分析法、地层元素俘获谱测井技术、成像测井技术等、人工智能方法中的 BP 神经网络法、SOM 神经网络法等进行了评述,认为测井技术是获得储层物性参数的最佳方法。罗静兰等(2008)在火山岩岩性划分的基础上,结合火山喷发特征,对松辽盆地升平气田营城组火山岩相进行了识别。徐深气田徐东地区营城组一段火山岩储层为多期次喷发形成,火山岩岩石类型繁多。在火山岩性的识别过程中,主要对一些关键井进行了岩心描述和显微镜下薄片观察(图 2),同时进行了测井岩性解释等工作。经鉴定该区目的层火山岩岩石类型有火山熔岩和火山碎屑岩 4 大类、10 种岩性,分别是流纹岩、玄武岩、流纹质角砾熔岩、流纹质凝灰熔岩、流纹质熔结角砾岩、流

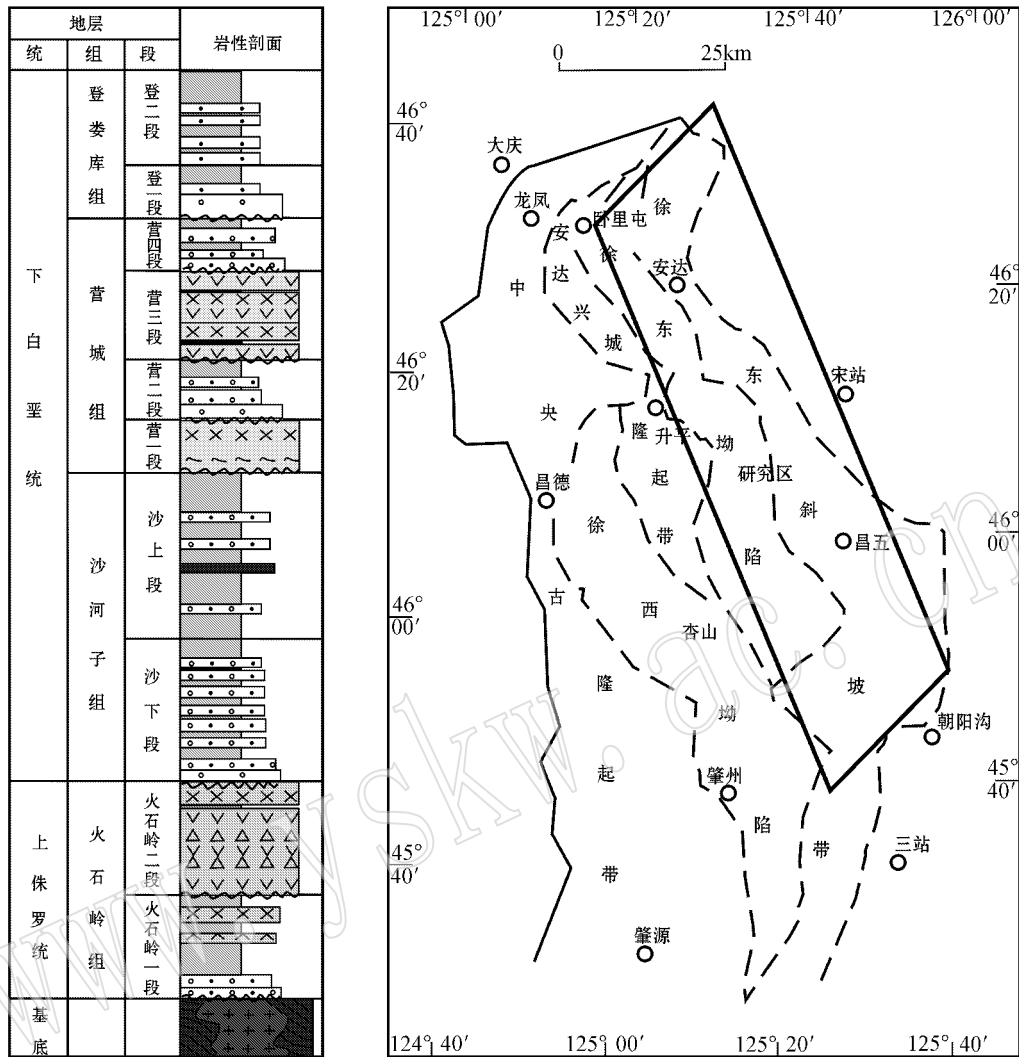


图 1 松辽盆地徐深气田地层划分及构造区划示意图[据于士泉等(2009)有所改动]

Fig. 1 Sketch map showing stratigraphic and structural divisions of the Xushen gas field in Songliao Basin (modified after Yu Shiquan *et al.*, 2009)

纹质熔结凝灰岩、流纹质凝灰岩、流纹质火山角砾岩、沉凝灰岩和沉火山角砾岩等(图2),其中以流纹岩、流纹质凝灰岩和沉火山角砾岩最为发育。

## 2 火山岩体的识别

火山岩体的识别始终是火山岩储层研究中一项重要内容(Tomohisa Kawamoto *et al.*, 2000; 唐华凤等 2007)。Tomohisa Kawamoto 等(2000)在运用岩石学方法建立非均质火山岩储层地质模型、进行火山岩储层地层划分时就开展过火山岩体识别和追踪的工作。受火山口分布位置和火山喷发旋回的共同

控制,在同一火山喷发时期,形成众多形态各异、规模不同的火山岩体。这些火山岩体相互叠置和交错,在不同的部位发育不同的火山岩相,不同的火山岩相类型又共同构成了火山岩储层。由于火山口控制着火山岩体的发育位置和规模(当然也要考虑到地形等构造因素),因此在本次研究中首先进行井震结合验证对比,找到火山口的位置,然后根据同一时期同一火山岩体在地震剖面上反射特征相似、不同火山岩体叠置边界表现为地震强反射或不同地震反射波组截然变化等特征(图3),参考单井剖面火山岩性和电性特征进行火山岩体的识别(图4),在此基础上根据次一级地震反射特征的变化进

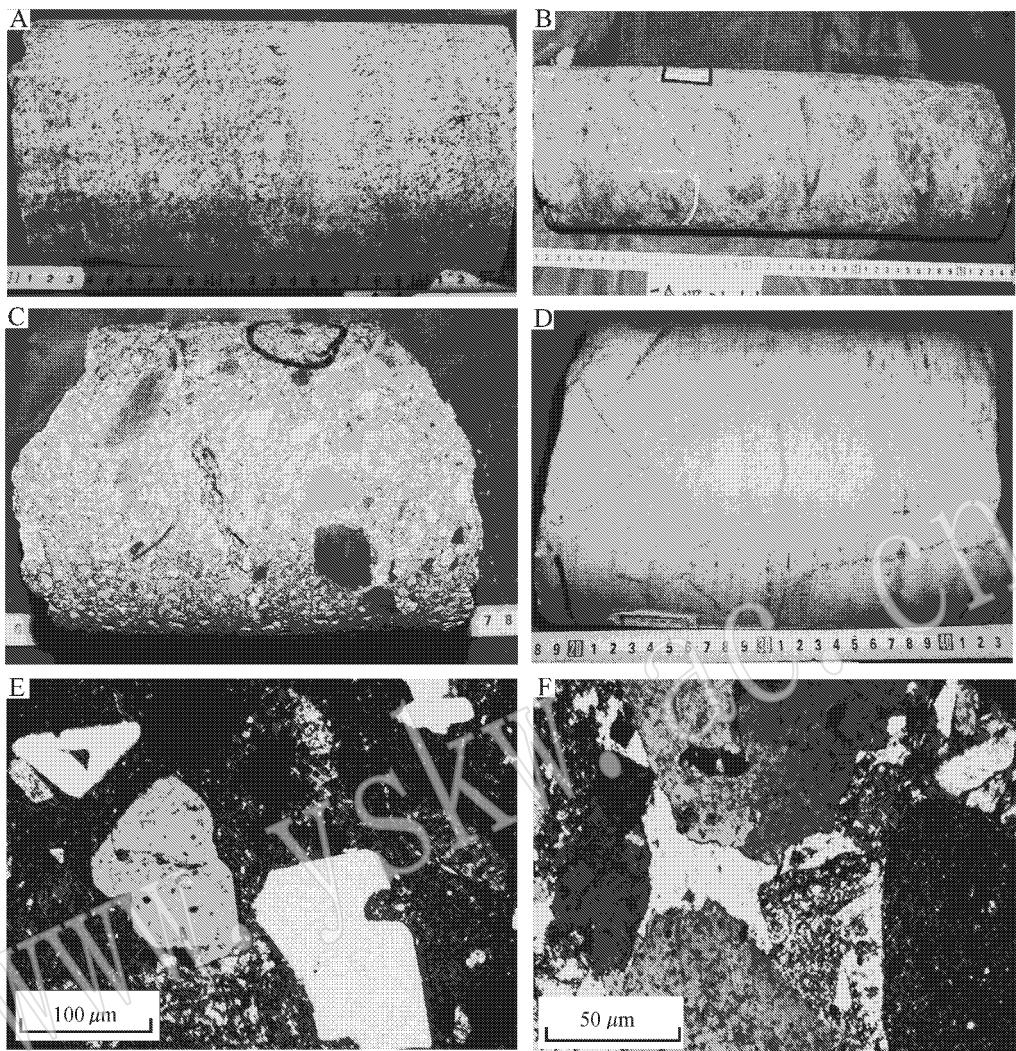


图 2 徐深气田徐东地区营城组一段火山岩岩性岩心及镜下特征

Fig. 2 Characteristics of core and microscopic photos of volcanic rocks from Member 1 of Yingcheng Formation in Xudong area of the Xushen gas field

A—气孔流纹岩, XS14 井, 深度 3 784.85~3 785.53 m; B—角砾熔岩, XS21-1 井, 深度 3 752.21~3 752.68 m; C—沉火山角砾岩, XS21 井, 深度 3 836.62~3836.76 m; D—熔结凝灰岩, XS231 井, 深度 3 760.00~3760.13 m; E—晶屑凝灰岩, XS42 井, 深度 3 702.06 m (+); F—火山角砾岩, XS24 井, 深度 3 683.52 m (+)

A—pore rhyolite, Well-XS14, 3 784.85~3 785.53 m in depth; B—angular pebble lava, Well-XS231-1, 3 752.21~3 752.68 m in depth; C—sedimentary volcanic breccia, Well-XS21, 3 836.62~3 836.76m in depth; D—ignimbrite, Well-XS231, 3 760.00~3 760.13 m in depth; E—crystal tuff, Well-XS42, 3 702.06 m in depth (+); F—volcanic breccia, Well-XS24, 3 683.52 m in depth, (+)

进一步识别出不同火山岩相。本次借助 Petrel 软件, 将钻井资料和地震资料紧密结合, 对气田范围内的营一段中的火山岩体进行了较为详细的识别和追踪 (图 3), 这为火山岩相的分析奠定了坚实的地质基础。

### 3 火山岩相分类及其空间发育特征

#### 3.1 火山岩相分类

火山岩相是指在一定的地质条件下由火山作用

形成的各种岩石的综合。不同的火山岩相具有特征的火山岩岩石类型与组合, 因此识别和划分火山岩岩性, 就成为火山岩相分析的有效途径之一。对于火山岩相的识别与划分, 前人做过大量工作 (郭振华等, 2006; 王璞珺等, 2008; 罗静兰等, 2008; 孙园辉等, 2009; 于晶等, 2009)。除了通过岩性识别外, 各种地球物理学方法也在火山岩相划分中发挥着重要的作用 (郭振华等, 2006; 李勇等, 2009; 于晶等, 2009)。郭振华等 (2006) 对松辽盆地北部火山岩相

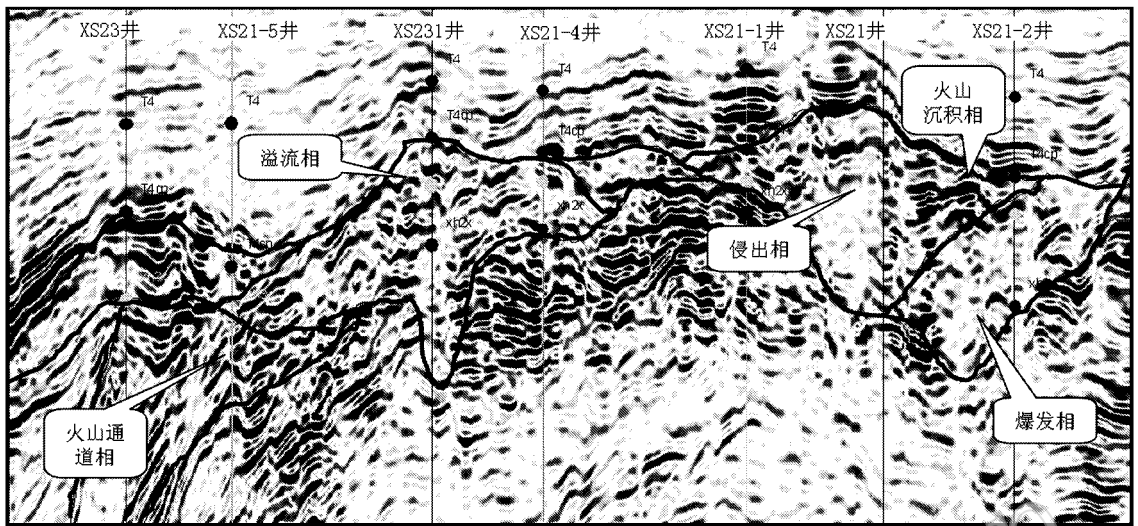


图3 徐深气田徐东地区营城组一段火山岩相地震剖面反射结构特征图

Fig. 3 Reflection characteristics map of seismic section of Member 1 of Yingcheng Formation in Xudong area of the Xushen gas field

与测井相之间的关系进行了分析,通过两者之间的密切关系,利用测井相来识别火山岩相。李勇等(2009)利用地震相和测井相联合,有效地预测出了某盆地北部营城组一段火山岩的空间展布规律和火山岩储层有利相带。于晶等(2009)以松辽盆地安达断陷营城组火山岩为例,根据不同火山岩相地震反射特征,结合相干体技术和振幅属性,预测了火山岩相的分布,并探讨了地震识别方法在火山岩岩相和火山岩储层物性识别中的应用,效果较好。

本次研究中,根据岩石类型特点,参考测井曲线、钻井岩心和各种分析测试资料,首先在单井上进行岩相划分识别,然后在研究区选择典型剖面,进行井震对比,分析不同岩相在空间上的展布规律,最后利用 Petrel 软件,借助微机工作站,提取能够反映岩相信息的地震属性进行火山岩地震相分析,最终将地震相转化为火山岩相,刻画不同火山岩相类型在平面上的展布规律。在建立火山岩相模式的基础上,结合岩心、测井、地震资料,本文将研究区火成岩划分为5种相和16种亚相(表1)。火山岩相类型包括火山通道相(4.55%)、侵入相(1.35%)、爆发相(44.71%)、溢流相(43.40%)和火山沉积相(5.99%) [括号中的数据代表32口精细测井解释单井中不同类型火山岩相厚度百分比统计结果],其中以爆发相和溢流相为主。

### 3.1.1 火山通道相

火山通道相位于整个火山机构的下部,形成于

整个火山旋回期和后期,可划分为火山颈亚相、次火山岩亚相和隐爆角砾岩亚相(表1)。火山通道相位于火山锥体顶端的正下方,产状近于直立,呈柱状,地震内部反射断续、杂乱(图3)。电测曲线上,火山通道相表现为高幅度、锯齿状(图4)。

### 3.1.2 侵入相

侵入相位于火山口上部,形似穹隆,形成于火山活动旋回的后期,可划分为内带亚相、中带亚相和外带亚相(表1)。侵入相在地震剖面上表现为断续反射,同相轴以底部为中心呈扇形向外发散(图3),一般多靠近火山通道相发育,电测曲线多表现为高幅度、微齿状(图4)。

### 3.1.3 爆发相

爆发相形成于火山作用的早期,可分为空落亚相、热碎屑流亚相、热基浪亚相、溅落亚相等4种亚相(表1)。爆发相在地震剖面上常表现为丘状外型,内部多为杂乱状,顶部为强反射,内部反射弱(图3),电阻率曲线表现为中低值、锯齿状(图4)。

### 3.1.4 溢流相

溢流相形成于火山喷发旋回的早期—中期,是含晶出物和同生角砾的熔浆在后续喷出物推动和自身重力的共同作用下,在沿着地表流动过程中,熔浆逐渐凝固而形成(表1)。徐深气田徐东地区营一段以溢流相为主。溢流相在酸性、中性、基性火山岩中均可见到,一般可分为下部亚相、中部亚相、上部亚相、顶部亚相。溢流相在地震剖面上表现为中—

表 1 徐深气田徐东地区营城组一段火山岩相类型表 [据王璞珺等(2008)修改]  
Table 1 Volcanic facies types of Member 1 of Yingcheng Formation in Xudong area of the Xushen gas field (modified after Wang Pujun et al., 2008)

	亚相	成因机制及划分标志	岩石类型	结构	成岩方式
火山通道相 (位于火山岩体下部)	火山颈亚相	熔浆流动停滞并充填在火山通道, 火山口塌陷充填物	为火山碎屑岩与熔岩的过渡类型, 多为熔结角砾岩和角砾熔岩, 亦见角砾晶屑凝灰岩	斑状结构、熔结结构、角砾凝灰结构	熔浆冷凝固结, 熔岩凝结各种角砾和凝灰质
	次火山岩亚相	岩浆侵入到围岩中, 缓慢冷凝结晶形成			熔浆冷凝结晶
	隐爆角砾岩亚相	富含挥发分的岩浆侵入到岩石破碎带时, 由于压力得到一定的释放又释放不完全, 产生地下爆炸作用形成			与角砾成分相同或不同的岩汁(热液碎物)或细碎屑胶结
侵出相(多形成于火山喷发旋回早期和后期)	内带亚相	高粘度熔浆受到内力挤压流动, 堆砌在火山口附近成岩穹或熔岩前缘冷凝, 变形并铲刮和包裹新生和先期岩块, 受内力挤压流动	自碎角砾化熔岩、熔岩	熔结角砾和熔结凝灰结构、玻璃质结构和珍珠结构、少斑结构、碎斑结构	熔浆冷凝固结
	中带亚相				熔浆冷凝, 熔结新生和先期岩块和碎屑
	外带亚相				
爆发相(多形成于火山喷发旋回早期)	溅落亚相	在火山口附近熔浆上涌时, 携带的围岩物质以及熔浆本身物质就近坠落堆积所形成的岩体	角砾熔岩、凝灰熔岩熔结角砾岩等	熔结角砾凝灰结构	压实为主
	热碎屑流亚相	气射柱崩塌后, 灼热的碎屑物在后续喷出物推动和自身重力的共同作用下沿着地表流动。岩石类型多为含晶屑、玻屑、浆屑、岩屑的熔结凝灰岩	以流纹质晶屑熔结凝灰岩为主	熔结凝灰结构、火山碎屑结构	熔浆冷凝胶结+压实作用
	热基浪亚相	气射作用的气-固-液态多相浊流体系在重力作用下近地表呈悬移质搬运, 载屑蒸汽流。多为含晶屑、玻屑、浆屑的凝灰岩。	以流纹质晶屑凝灰岩为主	火山碎屑结构(以晶屑凝灰结构为主)	压实为主
	空落亚相	气射作用的固态和塑性喷出物(在风的影响下)做自由落体运动。含火山弹和浮岩块的集块岩、角砾岩晶屑凝灰岩	以火山角砾岩、晶屑岩屑凝灰岩、流纹质角砾晶屑凝灰岩、流纹质晶屑凝灰岩为主	集块结构、角砾结构、凝灰结构	压实为主
溢流相(多形成于火山喷发旋回中期)	顶部亚相	含晶出物和同生角砾的熔浆在后续喷出物推动和自身重力的共同作用下沿着地表流动。上部原生空隙发育, 下部构造裂缝发育, 中部两者均有, 但不发育	气孔流纹岩、玄武岩及英安岩	球粒结构、细晶结构	熔浆冷凝固结
	上部亚相		玄武岩、流纹岩和英安岩	细晶结构、斑状结构	
	中部亚相		细晶流纹岩, 玄武岩和英安岩	玻璃质结构、细晶结构斑状结构、角砾结构	
	下部亚相				
火山-沉积相(形成于火山喷发旋回任何时期)	再搬运亚相	火山碎屑物经过水流作用改造	各种火山角砾、凝灰岩	陆源碎屑结构	压实成岩
	含外碎屑亚相	以火山碎屑为主可能有其它陆源碎屑物质加入	各种火山岩与沉积岩混杂	陆源碎屑结构	压实成岩

强反射,呈间断性连续(图3)。电阻率的曲线外形表现为厚层、微齿化,中高电阻率(图4)。

### 3.1.5 火山沉积相

火山沉积相是经常与火山岩共生的一种岩相,可出现在火山活动的各个时期,碎屑成分中含有大量火山岩岩屑,主要为火山岩穹隆之间的含火山物质的碎屑沉积体。火山沉积相可分为含外碎屑亚相和再搬运亚相(表1)。火山沉积相在地震剖面上表

现为中-强反射,连续稳定(图3)。测井曲线外型常表现出韵律特征,薄厚不等。

### 3.2 火山岩相空间发育特征

单井划分的结果表明(图4),爆发相在井上厚度最大,占44.71%,溢流相次之,占43.40%,火山沉积相、火山通道相和侵出相最小,厚度分别占5.99%、4.55%和1.35%,总体上爆发相和溢流相的厚度明显占优势。从井上可以看到,在同一火山岩

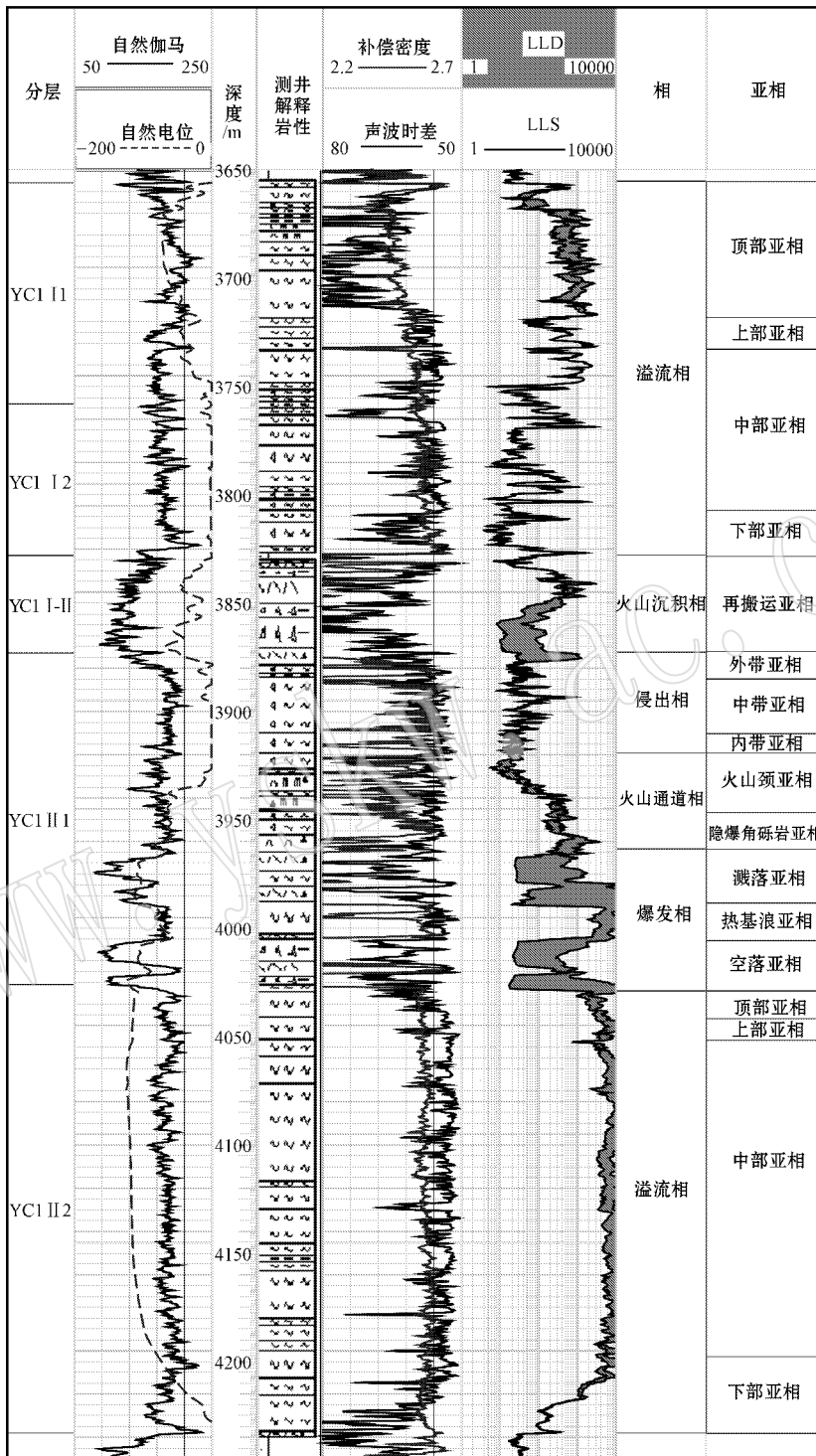


图 4 徐深气田徐东地区营城组一段 XS-A 井火山岩相电测曲线特征

Fig. 4 Well logging characteristics map of volcanic facies from Well-XS-A of Member 1 of Yingcheng Formation in Xudong area of Xushen gas field

相内发育不同类型的火山岩亚相,但是不同时期或同一时期不同的火山岩喷发旋回形成的火山岩体之间相互破坏影响,这些火山岩相在垂向上内部亚相

的完整性并不明显。

从剖面上看(图 5),一般侵入相和爆发相多紧邻火山通道相发育,而溢流相与火山通道相在空间上

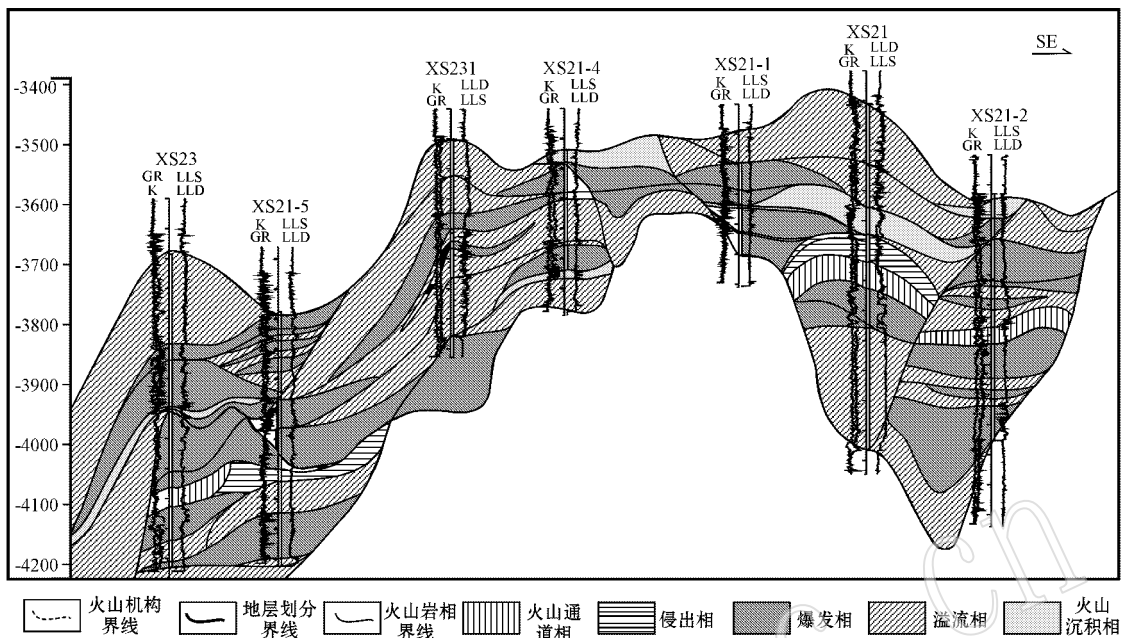


图 5 松辽盆地徐深气田徐东地区火山岩相剖面图

Fig. 5 Well logging characteristics of volcanic facies from Well-XS-A of Member 1 of Yingcheng Formation in Xudong area of the Xushen gas field

的位置距离较远。后期的火山岩体对先期形成的火山岩体具有较强的破坏作用,先期的火山岩体在与后期火山岩体接触界面上可以发生突变。受不同时期火山活动作用的影响,一般火山通道相和侵出相在侧向上延伸 1 个井距(大约 2.5~4 km),而爆发相、溢流相和火山沉积相延伸的距离要远一些,可以达到 2 个井距,局部甚至更远。不同的火山岩相在空间上相互叠置,组成了不同的火山机构。火山岩相的分布受火山活动作用强度和地形等因素的共同影响和控制。在这些亚相类型中,爆发相的空落亚相和溢流相的中部亚相最为发育。在不同的火山岩体(火山机构)内部,发育不同的火山喷发旋回。火山通道相中以火山颈亚相为主,侵出相中以中带亚相为主,爆发相中以空落亚相和溅落亚相为主,溢流相中以中部亚相为主,由于火山沉积相分布范围有限,因此其中含外碎屑亚相和再搬运亚相发育程度难分伯仲。由于受火山喷发的强度、岩性等因素的控制,不同火山岩体内部各种火山岩亚相在垂向上厚度的变化较快,在侧向上延伸范围有限。需要说明的是,由于该剖面并没有横穿火山口的中心位置,因此,火山口(XS21-5、XS21、XS21-2 等井处)在剖面上的丘状特征表现得不太明显,只有侧翼的一部分表现出来。

平面上以 XS12 井区(图 6)营城组一段火山岩旋回 III 为例,来描述火山岩相平面特征。该井区主要位于研究区的西南部,可以识别出 3 个主要的火山口,火山口分别位于 XS14 井、XS141 井和 XS12 井附近。火山岩相主要为爆发相和溢流相,这两种火山沉积相呈近南北向分布,其中爆发相主要发育于该区西南部和东北部,而溢流相主要发育于中部,溢流相的分布面积大于爆发相。总体上火山岩相主要表现为爆发相和溢流相,这与单井火山岩相划分的结果一致。对比断裂发育位置与火山口的分布位置可以看出,火山口和火山岩相明显受断裂控制,该区火山喷发类型为裂隙-中心式喷发。

#### 4 火山岩相对储层物性的影响

火山岩的物性与岩性、岩相的相关关系密切。岩性是所有因素对火山岩储层物性产生影响的物质基础,不同的岩性具有不同的硬度、密度、成分、结构、构造等属性,导致不同类型的火山岩具有不同的物性特征,即具有不同的孔隙度和渗透率(王璞珺等, 2008)。而不同的岩性又发育于不同的火山喷发旋回所形成的不同的火山岩相之中,因此火山岩储层的物性和储集空间类型及其变化主要受到火山岩



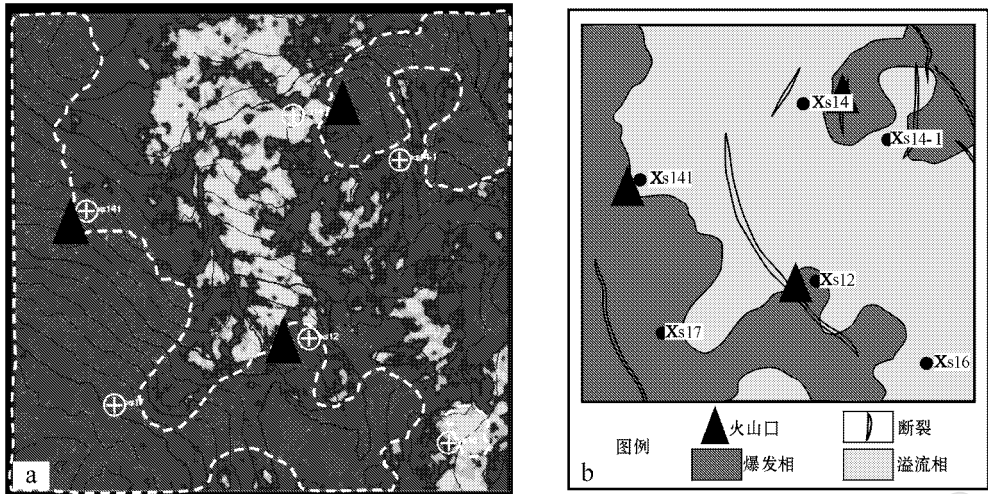


图6 XS12区营城组一段火山岩旋回Ⅲ地震相(a)与沉积相(b)平面图

Fig. 6 Seismic facies(a) and lithofacies(b) map of the third volcanic cycle of Member 1 of Yingcheng Formation in Well-12 district of Xudong area of the Xushen gas field

相和火山岩亚相的控制,不同岩相和相同岩相而不同亚相的储层特征可能产生很大差异。所以可以在火山岩相研究的基础上分析火山岩储层物性特征,找出火山岩相(亚相)与储层物性之间的关系,以指导火山岩气藏储层勘探开发。

本次研究中,共收集到206块岩心分析资料,将单井划分的火山岩岩相与这些分析测试获得的资料通过深度匹配并统计(图7、图8)。从图7可以看出,在本次研究中,主要参照有效孔隙度和总渗透率这两个参数来说明不同火山岩相储层性质特征。对比可以看出,火山岩的物性以爆发相最好,平均有效孔隙度为7.75%,平均总渗透率为3.361 mD;侵出

相、火山通道相和溢流相次之,火山沉积相最差。从图8可以看出,火山岩的物性以爆发相溅落亚相最好,平均有效孔隙度为9.00%,平均渗透率为4.793 mD;侵出相外带亚相、中带亚相、溢流相下部亚相、顶部亚相、上部亚相、火山通道相的火山颈亚相和爆发相的空落亚相次之,爆发相的热碎屑流亚相、火山通道相的次火山岩亚相、溢流相的中部亚相、火山沉积相的含外碎屑亚相、爆发相的热基浪亚相和侵出相的内带亚相物性最差。通过火山岩岩相分析,可以预测有利储层发育的部位,同时为火山岩储层有效开发提供参考。

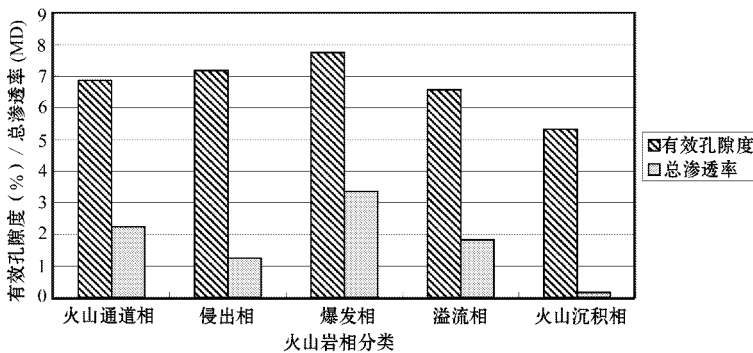


图7 徐深气田徐东地区营城组一段火山岩相与储层物性关系柱状图

Fig. 7 Columnar section showing relationship between volcanic lithofacies and reservoir physical features of Member 1 of Yingcheng Formation in Xudong area of the Xushen gas field

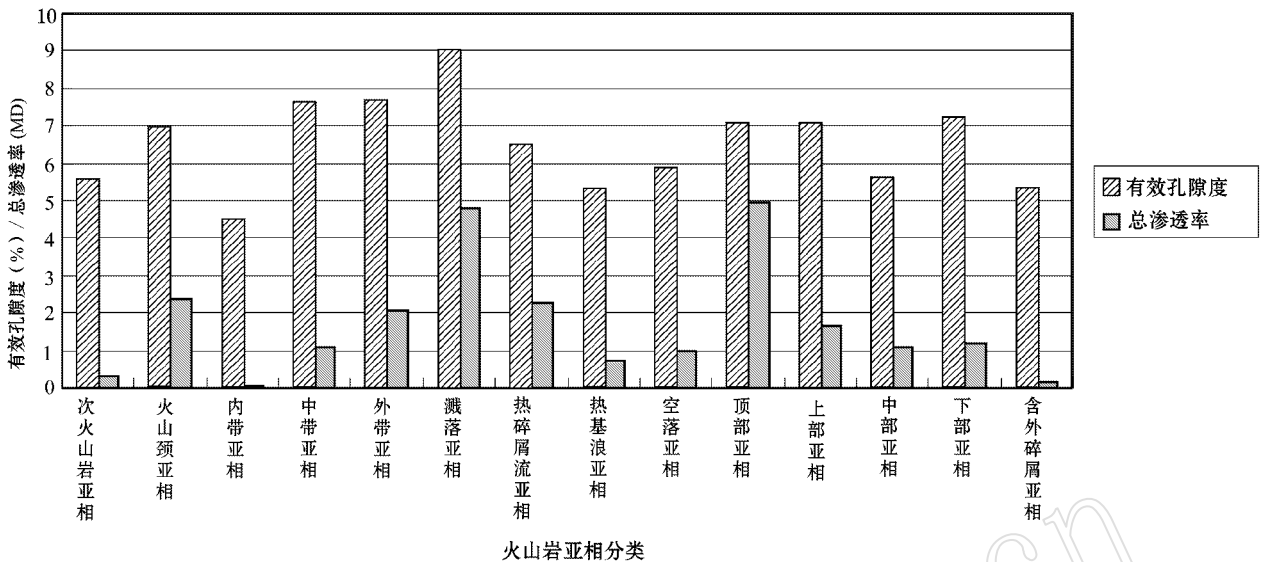


图 8 徐深气田徐东地区营城组一段火山岩亚相与储层物性关系柱状图

Fig. 8 Columnar section showing relationship between volcanic sub-lithofacies and reservoir physical features of Member 1 of Yingcheng Formation in Xudong area of the Xushen gas field

## 5 结论与认识

(1) 徐深气田徐东地区营城组一段火山岩储层为多期次喷发形成的, 火山岩岩石类型繁多, 共分为 10 种岩石类型, 包括流纹岩、玄武岩、流纹质角砾熔岩、流纹质凝灰熔岩、流纹质熔结角砾岩、流纹质熔结凝灰岩、流纹质凝灰岩、流纹质火山角砾岩、沉凝灰岩和沉火山角砾岩等, 其中以流纹岩、流纹质凝灰岩和沉火山角砾岩最为发育。火山口对火山岩体具有重要的控制作用, 在火山岩体的不同部位发育不同的火山岩相类型。火山口和火山岩相明显受断裂控制, 该区火山喷发类型为裂隙-中心式喷发。

(2) 研究区目的层火山岩相可以划分为火山通道相、侵出相、爆发相溢流相和火山沉积相等 5 种类型, 进一步细分为火山颈亚相、次火山亚相、隐爆角砾岩亚相、内带亚相、中带亚相、外带亚相、溅落亚相、热碎屑流亚相、热基浪亚相、空落亚相、顶部亚相、上部亚相、中部亚相、下部亚相、舍外碎屑亚相和再搬运亚相等 16 种亚相。其中爆发相和溢流相最为发育。

(3) 火山岩的物性与火山岩岩性和岩相密切相关, 火山岩储层的物性和储集空间类型、特征及其变化主要受到火山岩相和火山岩亚相的控制。火山岩的物性以爆发相溅落亚相最好(平均有效孔隙

度为 9.00%、平均总渗透率为 4.793 mD)。火山岩储层主要发育于爆发相和溢流相中, 少数发育于其他相带。受火山岩体和火山喷发作用以及后期的构造抬升和差异压实等作用的影响和控制, 有利亚相分别是爆发相溅落亚相、空落亚相、侵出相外带亚相、中带亚相、溢流相下部亚相、顶部亚相、上部亚相、火山通道相的火山颈亚相。

## References

- Guo Zhenhua, Wang Pujun, Yin Changhai, *et al.* 2006. Relationship between lithofacies and logging facies of the volcanic reservoir rocks in Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University( Earth Science Edition), 36(2): 207~214(in Chinese with English abstract).
- Huang Wei, Shao Hongmei, Zhao Hailing, *et al.* 2006. Characteristics of Yingcheng Formation's volcanic reservoir in Xushen Gas Field in northern Songliao Basin[J]. Acta Petroli Sinica, 27(supplement): 47~51(in Chinese with English abstract).
- Li Yong, Song Zongping, Li Qiong, *et al.* 2009. Prediction of distribution characters of volcanic facies by using seismic and logging facies[J]. J. Mineral Petrol., 29(1): 106~113(in Chinese with English abstract).
- Luo Jinglan, Lin Tong, Lin Zhisheng, *et al.* 2008. Lithofacies and reservoir quality control factors of volcanics in the Yingcheng Formation in the Shengping gas field in the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 29(6): 748~757(in Chinese with English abstract).
- Wang Pujun and Feng Zhiqiang. 2008. Basin Volcanic Lithology and Lithofacies and Reservoir and Gas Reservoir and Exploring[M].

- Beijing: Science Press (in Chinese).
- Wang Zhengku, Ou Chenghua and Li Fengxia. 2007. Study on the lithology discrimination methods for volcanic reservoir [ J ]. World Well Logging Technology, 22(1): 8~11 (in Chinese with English abstract).
- Wu Heyong, Yang Fengping, Ren Yanguang, *et al.* 2002. Gas reservoir evaluation in well-Xushen-1 area in Xujiaweizi fault depression in the North Songliao Basin [ J ]. Beijing: Press of Petroleum Industry (in Chinese).
- Shu Ping, Ding Rixin, Qu Yanming, *et al.* 2007. Lithology and Lithofacies mode of Volcanic reservoir in Xushen Gas Field [ J ]. Natural Gas Industry, 27(8): 23~27 (in Chinese with English abstract).
- Sun Yuanhui, Song Xinmin, Ran Qiquan, *et al.* 2009. Lithologic and lithofacies characteristics of volcanic rock and their control over reservoirs, Changling Gasfield [ J ]. Petroleum Exploration and Development, 36(1): 68~73 (in Chinese with English abstract).
- Tang Hong and Ji Hancheng. 2004. Incorporation of Spatial Characters into Volcanic Facies and Favorable reservoir prediction [ A ]. SPE. Annual Technical Conference and Exhibition [ C ]. 90847: 1~11.
- Tang Huafeng, Wang Pujun, Jiang Chuanjin, *et al.* 2007. Physical model and seismic recognition of concealed volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin, Cretaceous, NE China [ J ]. Progress in Geophysics, 22(2): 530~536 (in Chinese with English abstract).
- Tomohisa Kawamoto, Teikoku Oil Co. Ltd. and Kozo Sato. 2000. Geological Modelling of a Heterogeneous Volcanic Reservoir by the Petrological Method [ A ]. SPE. Asia Pacific Conference on Integrated Modelling for Asset Management [ C ]. 59407: 1~8.
- Xu Zhengshun, Wang Yuming, Pang Yanming, *et al.* 2006. Identification and evaluation of Xushen volcanic gas reservoirs in Daqing [ J ]. Petroleum Exploration and Development, 33(5): 521~531 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhengshun, Wang Yuming, Pang Yanming, *et al.* 2008. Volcanic reservoir development in Xushen Gas Field in Daqing [ J ]. Natural Gas Industry, 28(12): 74~77 (in Chinese with English abstract).
- Yu Jing, Liu Dameng, Wen Ruixia, *et al.* 2009. Identifying volcanic lithofacies of Yingcheng Formation by seismic attributes in the Anda Fault Depression of Songliao Basin [ J ]. Chinese Journal of Geology, 44(2): 595~604 (in Chinese with English abstract).
- Yu Shiquan, Zou Huijie, Men Qingping, *et al.* 2009. Liquid phase and physico-chemical properties of fluids in the Xushen Gasfield, Xujiaweizi Fault-Depression of the Songliao Basin [ J ]. Chinese Journal of Geology, 44(2): 605~613 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Feng Zhiqiang, *et al.* 2008. Geological features and evaluation techniques of deep-seated volcanic gas reservoirs, Songliao Basin [ J ]. Petroleum Exploration and Development, 35(2): 129~142 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 郭振华, 王璞珺, 印长海, 等. 2006. 松辽盆地北部火山岩岩相与测井相关关系研究 [ J ]. 吉林大学学报 (地球科学版), 36(2): 207~214.
- 黄薇, 邵红梅, 赵海玲, 等. 2006. 松辽盆地北部徐深气田营城组火山岩储层特征 [ J ]. 石油学报, 27(增刊): 47~51.
- 李勇, 宋宗平, 李琼, 等. 2009. 地震相和测井相联合预测火山岩相分布特征研究 [ J ]. 矿物岩石, 29(1): 106~113.
- 罗静兰, 林潼, 杨知盛, 等. 2008. 松辽盆地升平气田营城组火山岩岩相及其储集性能控制因素分析 [ J ]. 石油与天然气地质, 29(6): 748~757.
- 王璞珺, 冯志强. 2008. 盆地火山岩岩性、岩相、储层、气藏、勘探 [ M ]. 北京: 科学出版社.
- 王郑库, 欧成华, 李凤霞. 2007. 火山岩储层岩性识别方法研究 [ J ]. 国外测井技术, 22(1): 8~11.
- 吴河勇, 杨峰平, 任延广, 等. 2002. 松辽盆地北部徐家围子断陷徐深1井区气藏评价 [ M ]. 北京: 石油工业出版社.
- 舒萍, 丁日新, 曲延明, 等. 2007. 徐深气田火山岩储层岩性岩相模式 [ J ]. 天然气工业, 27(8): 23~27.
- 孙圆辉, 宋新民, 冉启全, 等. 2009. 长岭气田火山岩岩性和岩相特征及其对储集层的控制 [ J ]. 石油勘探与开发, 36(1): 68~73.
- 唐华风, 王璞珺, 姜传金, 等. 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.
- 徐正顺, 王渝明, 庞彦明, 等. 2006. 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, 33(5): 521~531.
- 徐正顺, 王渝明, 庞彦明, 等. 2008. 大庆徐深气田火山岩气藏的开发 [ J ]. 天然气工业, 28(12): 74~77.
- 于晶, 刘大锰, 文瑞霞, 等. 2009. 松辽盆地北部安达断陷营城组火山岩岩相的地震识别 [ J ]. 地质科学, 44(2): 595~604.
- 于士泉, 邹慧杰, 门清萍, 等. 2009. 松辽盆地徐家围子断陷徐深气田流体相态及物理化学性质 [ J ]. 地质科学, 44(2): 605~613.
- 赵文智, 邹才能, 冯志强, 等. 2008. 松辽盆地深层火山岩气藏地质特征及评价技术 [ J ]. 石油勘探与开发, 35(2): 129~142.