

徐深气田火山岩储层岩性岩相模式

舒 萍 丁日新 曲延明 纪学雁
(中国石油大庆油田有限责任公司)

舒萍等.徐深气田火山岩储层岩性岩相模式.天然气工业,2007,27(8):23-27.

摘 要 2002 年随着徐深 1 井在火山岩中获得日产百万立方米的高产工业气流,揭开了大庆深层火山岩气藏勘探开发的序幕。目前徐深气田火山岩气藏天然气储量已占该区天然气总储量的 89.8%,成为我国东部陆上发现的最大气田,而火山岩气藏储层描述困难则是制约该区深层天然气勘探开发的“瓶颈”。为此,介绍了通过多学科联合攻关研发所形成的火山岩岩性岩相描述、测井火山岩岩性识别、地震火山岩体识别等火山岩气藏储层描述配套技术。这套技术为徐深气田火山岩气藏的高效开发奠定了基础,填补了我国在这类气田储层综合描述技术方面的空白。

主题词 徐深气田 火山岩 储集层描述 地层评价 技术 岩性 岩相 模式

徐深气田区域构造上位于松辽盆地北部徐家围子断陷,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、二段地层。由于火山喷发活动频繁,在营城组发育了大量的火山产物。火山岩储层分布在白垩系下统的营城组一段和三段地层中,以酸性喷发岩为主^[1]。火山岩气藏储层难以准确描述,一直是制约该区火山岩天然气开发的瓶颈技术。而火山岩岩性、岩相研究则是火山岩储层研究的基础。

一、火山岩岩性特征

通过系统观察岩心、岩屑,以化学分析资料为基础,利用国际地科联推荐的火成岩分类方案——TAS 图为标准,配合薄片分析、电子探针分析、X 光衍射、稀土微量元素、K—Ar 年龄测定等分析手段,对取心部分及有岩屑的火山岩进行岩石化学鉴定,通过“组分—成因—结构”组合命名法进行岩性综合命名。

1.火山岩岩石化学特征

徐深气田的火山岩岩石化学构成以高钾钙碱性系列为主,其次为钾玄岩系列、中钾钙碱性系列,低钾钙碱性系列则较少(见图 1、2)。

2.火山岩岩石类型

徐深气田营城组火山岩储层为多期次喷发形成

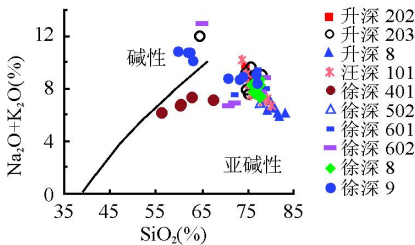


图 1 徐深气田火山岩硅碱图

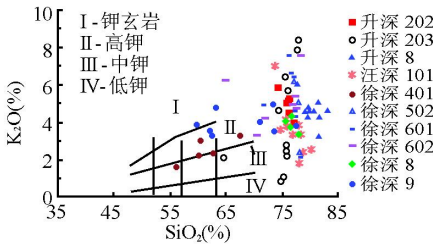


图 2 徐深气田火山岩硅钾图

的,火山岩岩石类型繁多。取心段火山岩岩石类型有火山熔岩和火山碎屑岩 2 大类、5 亚类、11 种岩性(表 1)。火山熔岩从酸性岩、中酸性岩、中性岩、中基性岩均有分布,以酸性为主。主要岩石类型有球粒流纹岩、气孔流纹岩、(粗面)英安岩、粗面岩、粗安岩,玄武粗安岩。火山碎屑岩主要有流纹质熔结凝灰岩,流纹质(晶屑)凝灰岩,流纹质角砾凝灰岩,流纹质火山角砾岩,集块岩(图 3)。

作者简介:舒萍,女,1966 年生,高级工程师;1986 毕业于大庆石油学院石油勘探系,2004 年硕士毕业于原西南石油学院油气藏专业;现从事天然气评价与开发研究工作。地址:(163712)黑龙江省大庆市让湖路区勘探开发研究院天然气室。电话:(0459)5508173。E-mail:shup@petrochina.com.cn

表 1 徐深气田火山岩储层岩性综合描述表

类别	亚类	岩 性	储层岩心描述	岩心中所占比例(%)
火山熔岩类	酸性熔岩类	球粒流纹岩	一般呈灰白色,有时由于铁质渲染可呈浅灰紫色,具流纹构造,气孔带、杏仁、裂缝发育,存在较多石英	52
		气孔流纹岩		
	中性熔岩类	(粗面)英安岩	浅灰绿色,致密坚硬,一般看不到石英	5
		粗安岩	灰绿色,致密坚硬,杏仁构造	
		粗面岩	浅灰绿色,致密坚硬	
	基性岩	玄武粗安岩	黑灰色,致密坚硬,无石英	
火山碎屑岩类	碎屑熔岩	流纹质(晶屑)熔结(角砾)凝灰岩	灰—灰白色、致密、坚硬,流状构造,可见流纹质塑变岩屑呈定向排列以及石英、长石晶屑	34
	火山碎屑岩亚类	流纹质(晶屑)凝灰岩	灰白色,致密、坚硬,晶屑为石英、长石	
		(流纹质)角砾凝灰岩	灰白色、浅灰绿色,岩石致密、坚硬,可见角砾及晶屑	6
		火山角砾岩	灰色、灰绿色,致密坚硬,火山角砾大小不等,角砾间为石英、长石晶屑及火山灰充填	
		集块岩	灰—绿灰色,致密坚硬,岩石主要由火山岩块和火山角砾组成	3

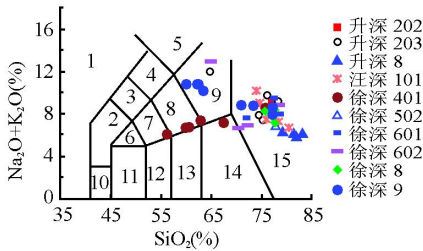


图 3 徐深气田火山岩 TAS 分类图

安山岩类的 SiO_2 含量为 53.24%, 全碱含量 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 为 6.05%, 里特曼指数 (火山岩组合指数) $\sigma = (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})_2 / \text{SiO}_2 - 4^3$, 重量分数为 3.58%; 铝饱和指数 $A/\text{CNK} = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, 分子数之比为 0.71。

英安岩类的 SiO_2 为 62.78%~65.56%, 全碱含量为 6.70%~9.89%, σ 为 2.40~4.34; 铝饱和指数 A/CNK 为 0.99~1.11。

流纹岩类 (包括流纹岩、球粒流纹岩、珍珠流纹岩、熔结凝灰岩、凝灰岩等) 的 SiO_2 含量为 69.25%~78.82%, 全碱含量超过 7.00%, σ 为 1.39~2.42; 铝饱和指数 A/CNK 大部分集中在 0.9~1.1 之间, 个别达 1.49。

二、测井火山岩岩性识别

在此基础上, 建立岩电关系, 对未取心段进行综合解释, 形成了火山岩岩性解释技术。

火山岩储层岩性复杂, 单一方法很难实现对火

山岩岩性的测井精确解释。在火山岩分类命名基础上, 建立不同火山岩的测井响应特征模型, 利用常规测井、成像测井、放射性测井、密度测井等对火山岩岩性反应敏感的测井数据体, 采用 4 种方法进行火山岩岩性综合解释 (图 4)。

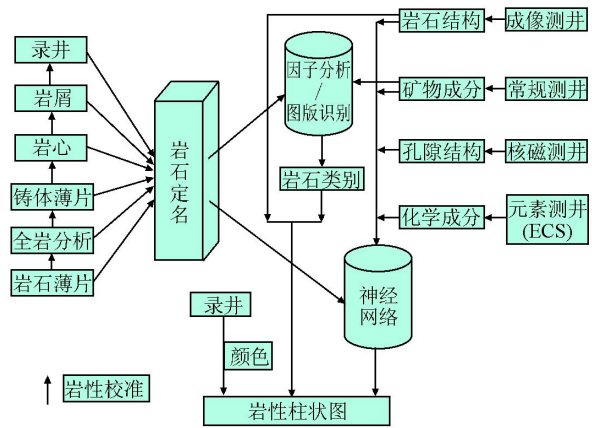


图 4 测井岩性解释流程图

(1) 常规测井图版判别法: 利用不同造岩矿物成分的测井反映差异, 建立密度—中子、自然伽马—铀、中子密度交会值—钍交会图版进行火山岩类型解释, 区分流纹岩与凝灰岩、火山角砾岩与火山集块岩 (图 5)。

(2) 俘获测井 ECS 与 TAS 图版岩石分类元素法: 利用元素俘获测井 ECS 得到的二氧化硅、氧化钠、氧化钾、氧化铝、氧化铁的百分含量, 建立 TAS 图版综合识别火山岩类型。

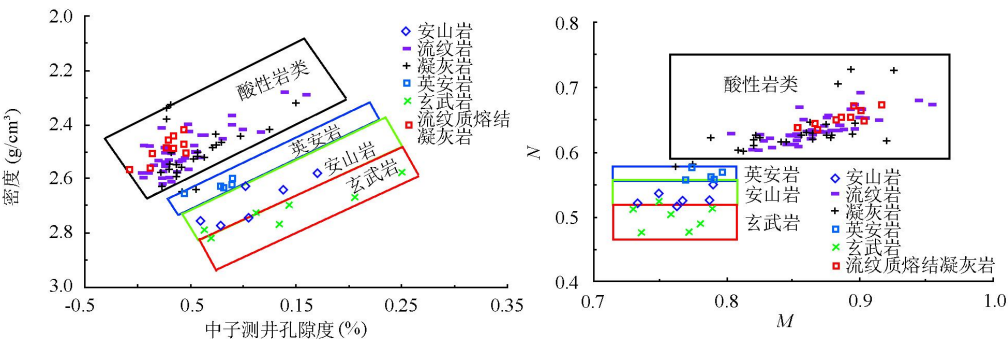


图 5 徐深气田常规测井岩性解释图版 (M 、 N 分别为阿尔奇公式中的参数)

(3)综合分析岩性识别法:建立岩电关系、通过 FMI 图像建立结构图版、根据组分模型进行综合岩性解释(图 6)。

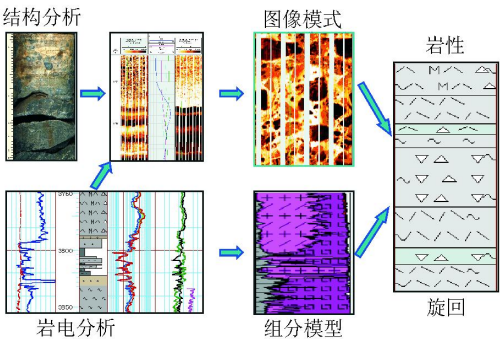


图 6 综合分析岩性识别法解释图

(4)神经网络:建立了包括 FMI 结构指示曲线、CMR 孔隙结构指示曲线、ECS 岩性指示曲线、常规曲线等在内的神经网络训练综合岩性解释方法。编制了计算机软件,可连续输出火山岩岩性柱状剖面,细分火山岩喷发序列,达到了岩性半定量解释,图形直观、形象,有利于实际操作。

目前测井能识别出 10 种火山岩岩性,通过对兴城—升平地区 15 口取心井 40 个层岩心薄片资料与岩性识别结果对比,符合率 87.5%。

三、火山岩岩相模型

由于岩浆从岩浆囊到地表这个阶段,常以一些连通的张—剪性断裂为通路,因此火山口的分布常受断裂的控制。气田内发育有 NNW 方向的宋西断裂,为徐家围子断陷内的控陷大断裂。因此,自沙河子组沉积结束后,沿此断裂带形成了一系列的火山活动,大部分火山口沿宋西断裂和次级断裂分布。

通过对松辽盆地周边的火山岩剖面露头 and 钻井岩心的系统观测对比,在火山岩地球化学、岩矿鉴定研究的基础上,依据每种火山岩的特征岩性、特征结构、特征构造,物质来源、成岩方式和储集空间类型,对火山岩系统划分出 5 种火山岩岩相、15 种亚相,建立了徐深气田火山岩相和亚相的地质模型(图 7、表 2)^[3],有 2 种火山喷发旋回模式,即单火山喷发旋回和复合火山喷发旋回。

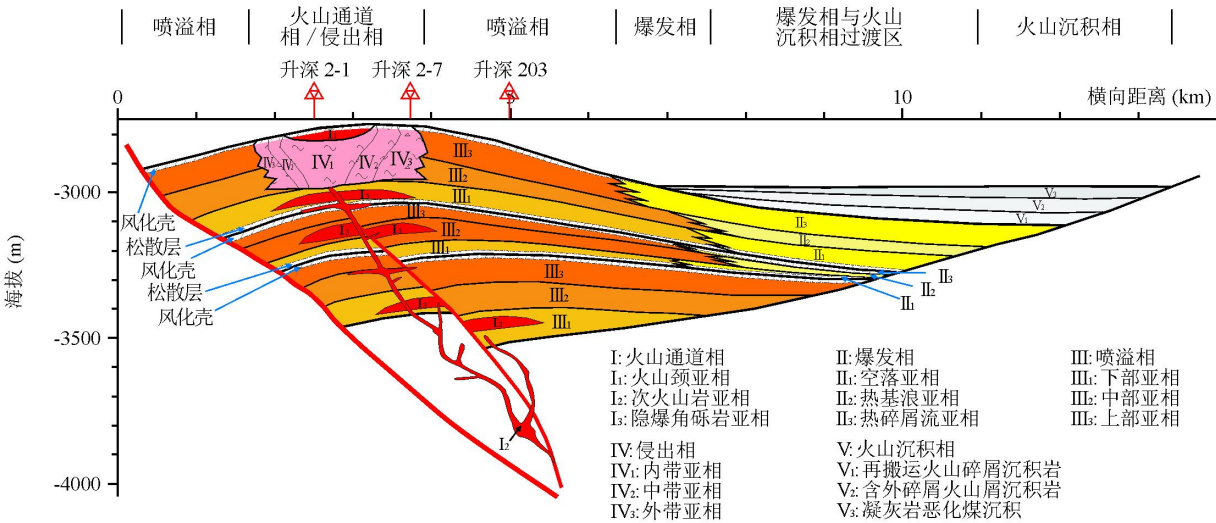


图 7 徐深气田火山岩相模式图

表 2 徐深气田营城组火山岩相划分—岩性特征表

相	亚相	成因机制及划分标志	岩石类型	结构
爆发相	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岩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
	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
	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,载屑蒸气流。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)
	空落亚相	气射作用的固态和塑性喷出物(在风的影响下)作自由落体运动。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、安山质火山角砾岩、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
溢流相	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
	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			
	下部亚相		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
侵入相	内带亚相	高黏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或玻璃质结构和珍珠结构或少斑结构,碎斑结构
	中带亚相			
	外带亚相			
火山通道相	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度类型,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
	次火山岩亚相	岩浆侵入到围岩中,缓慢冷凝固结晶形成		
	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,产生地下爆发作用形成		
火山沉积相	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
	含外碎屑亚相	以火山碎屑为主可能有其他陆源碎屑物质加入	各种火山岩与沉积岩混杂	陆源碎屑结构

单火山喷发旋回:自下而上一般由空落亚相、溢流相、热基浪或热碎屑流亚相、火山沉积相组成,其旋回的边界的识别标志为沉积岩夹层、火山沉积相、风化壳或为不同源的火山岩分界处。

复合火山喷发旋回:与简单喷发旋回最大的区别在于——火山强烈活动期延续的时间较长,其爆发—溢流活动不是一次完成,而是反复两次或两次以上,而且其爆发、喷溢的行为在每次活动时强弱会有不一致,即具有差异性,可能爆发为主,喷溢较弱,也可能喷溢为主,爆发较弱。经过活动期后,最终进入火山活动相对平静时期,发育火山沉积相。形成厚度较大的多次“空落亚相→喷溢相→热碎屑流亚相”的旋回,其最上部以火山沉积相结束。

根据等时对比、分级控制的原则;依据岩性、岩相、电性、喷发旋回、地震反射特征的可追踪对比性;

纵向上分为 3 套旋回。

结合试气、试采资料,通过对储集性能的分析,有利储层主要分布在喷溢相上、下部亚相的气孔流纹岩、爆发相中热碎屑流亚相的晶屑凝灰岩、火山通道相中隐爆角砾岩亚相的角砾岩、火山通道相中火山颈亚相的熔结角砾凝灰岩(图 8)。

四、地震火山岩体识别

由于火山岩对地震波具有较强的屏蔽作用,导致火山岩内部地震反射能量弱,信噪比低;同时,火山岩岩性复杂,火山岩与围岩之间、火山岩内部不同岩性之间,波阻抗差异小。因此,导致对这类气藏储层描述精确度较低^[4]。

通过单井火山岩相、亚相的划分,建立火山岩体和火山岩岩相的地质—测井—地震属性关系,在地

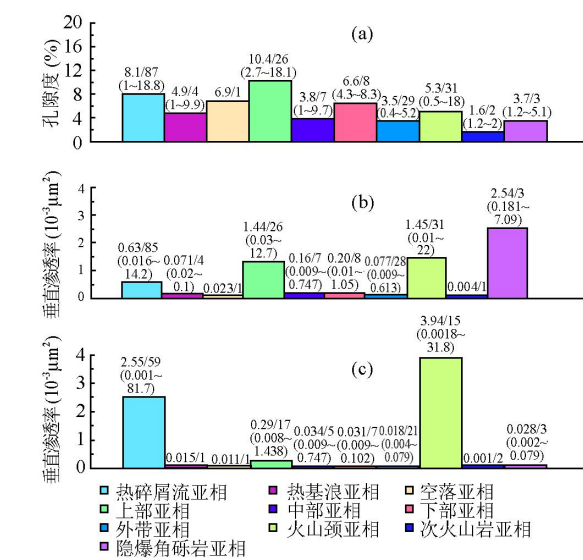


图 8 不同岩相孔渗分布图

震剖面上追踪火山岩体表征特点(表 3)。应用目前国际上油气勘探领域的主流技术——波形聚类分析、频谱成像、模拟退火反演等技术,实现对火山岩体及火山岩相带的识别、预测。这项技术对火山口、爆发相、喷溢相识别准确率 100%。

平面上存在 6 个火山口区,纵向 3 个喷发旋回共发现 7 个,在宋西断裂的整体控制下以中心式喷发为主。3 套旋回组合主要为火山岩亚相有爆发相中的热碎屑流亚相、喷溢相中的上部亚相、火山通道相中隐爆角砾岩亚相、火山通道相中火山颈亚相。从旋回一到旋回三火山活动范围和规模在扩大,火山活动中心由南向北迁移。旋回一主要分布于工区南部,在徐深 3 井区,呈多次中心式喷发,厚度为 25~317 m,与其上的旋回二之间有一套沉积夹层分隔;旋回二分布范围广泛,钻井揭示的厚度为 45~

表 3 火山岩岩相地震响应特征表

火山岩岩相	地震响应特征		
	地震反射外形特征	地震内部反射特征	地震参数特征
爆发相	波形或似蚯蚓状	断续反射,延伸近,较杂乱	中强振幅
溢流相	丘形,楔形多期叠置,内部为断续或较连续反射	强震幅,中低频	
火山沉积相	与相应的沉积岩特征相同	与相应的沉积岩特征相同	与相应的沉积岩特征相同
次火山岩相	近直立或低角度的柱状脉状往往与大面积侵入体相接	空白杂乱反射	强振幅、低频

343 m,最大厚度超过 500 m,北部后期遭受剥蚀;旋回三全区分布,钻井揭示的厚度为 93~343 m,顶面受后期构造运动的影响,高部位有遭受剥蚀的迹象,形成了本区最重要的区域不整合界面,内部可进一步细分为旋回Ⅲ上和旋回Ⅲ下两部分。平面上在断裂的控制下发育有 6 个火山口区,以中心式喷发为主,火山通道特征明显。

五、结 论

(1)营城组火山岩储层为多期次喷发形成的,岩石类型有火山熔岩和火山碎屑岩 2 大类,岩石化学构成以高钾钙碱性系列为主。主要岩石类型为球粒流纹岩。

(2)有 4 种方法可进行火山岩岩性综合解释,可识别出 10 种火山岩岩性,符合率达到 87.5%。

(3)火山岩岩相为 5 大类 15 种亚相,为复合式和独立式火山喷发旋回模式,纵向上分为 3 套旋回。

(4)有利储层主要分布在喷溢相上、下部亚相的气孔流纹岩、爆发相中热碎屑流亚相的晶屑凝灰岩。

(5)气田平面上存在 6 个火山口区,纵向 3 个喷

发旋回共发现 7 个火山头,在宋西断裂的整体控制下以中心式喷发为主。

参 考 文 献

[1] 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院.松辽盆地北部火山岩储层预测和评价[R].2004.

[2] 张子枢.国内外火山岩油气藏研究现状及勘探技术调研[J].天然气勘探与开发,1994,16(1).

[3] 迟元林,王璞珺.中国陆相含油气盆地深层地层研究——以松辽盆地为例[M].长春:吉林科学技术出版社,2000.

[4] 蒙启安,门广田.松辽盆地深层火山岩体、岩相预测方法及应用效果[J].大庆石油地质与开发,2001(2).

[5] 刘启,舒萍.松辽盆地北部深层火山岩气藏综合描述技术[J].大庆石油地质与开发,2005(6).

[6] 赵澄林,刘孟慧.特殊油气储层[M].北京:石油工业出版社,1997.

[7] 赵澄林.火山岩储层储集空间形成机理及含油气性[J].地质论评,1996(增刊):37-43.

[8] 赵澄林,孟卫工.辽河盆地火山岩与油气[M].北京:石油工业出版社,1999.

(修改回稿日期 2007-06-20 编辑 居维清)