

松辽盆地火山岩储层裂缝地质特征与地球物理识别

舒萍^{1,2}, 曲延明², 王国军², 丁新²,
艾兴波², 纪学雁², 唐华凤³, 边伟华³, 王璞珺³

1. 西南石油大学 石油工程学院, 成都 610500

2. 大庆油田勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

3. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

摘要: 描述了松辽盆地营城组火山岩储层的储集空间类型及其在地球物理方法上的响应。钻井提示松辽盆地营城组火山岩储层的主要岩石类型有 11 种, 主要储集空间为气孔、溶孔、砾间孔和裂缝。有效火山岩储层总孔隙度多为 5%~10%, 裂缝孔隙度通常仅 0.2%~1%。裂缝的密度和开启程度是渗流性和产能主控因素, 其密度和充填程度随岩性岩相变化而变化。在井区, 微电阻率扫描成像测井成功识别出裂缝长度和密度, 进而估算裂缝视孔隙度。在无井区, 叠前裂缝检测方法可以半定量识别裂缝密度和方向。火山岩储层的测井—地震识别成果应用于庆深气田天然气开发井网部署和井下压裂方案, 已经取得明显实效。

关键词: 松辽盆地; 火山岩有效储层; 裂缝成像测井; 叠前裂缝检测

中图分类号: P618.3

文献标识码: A

文章编号: 1671-5888(2007)04-0726-08

Geological Features of the Volcanic Reservoirs of the Songliao Basin and Their Geophysical Detection

SHU Ping^{1,2}, QU Yan-ming², WANG Guo-jun², DING Ri-xin², AI Xing-bo²
JI Xue-yuan², TANG Hua-feng³, BIAN Wei-hua³, WANG Pu-jun³1. *Petroleum Engineering Institute, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China*2. *Daqing Exploration & Development Institute, Daqing, Heilongjiang 163712, China*3. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China*

Abstract: The authors mainly focus on the description of various spaces in the volcanic reservoir and their response to some geophysical detection methods. Eleven types of volcanic rocks are found to be effective gas reservoirs in the Yingcheng Formation of the Songliao Basin. Association of different pores and fractures forms the reservoirs' space in different rocks. The fracture density and their opening status control the permeability and throughput of volcanic reservoirs and change along with the variation in lithology and lightfaces. These fractures are of multi-evolution stages. Micro-resistivity scan logging (MRSL) can be used to identify the length and density of fractures in volcanic reservoirs. The apparent porosity is calculated by using the results of MRSL. Fracture detection at pre-stack helps to identify the density and direction of fractures semi-quantitatively. These results are proven to be helpful in making

收稿日期: 2006-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372066); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20030183042)

作者简介: 舒萍(1966-), 女, 浙江镇海人, 工程师, 主要从事天然气评价与开发工作

通讯联系人: 王璞珺(1959-), 男, 黑龙江绥滨人, 教授, 博士生导师, 从事油气地质勘查和盆地火山岩研究, Tel: 0431-88502620, E-mail: WangPJ@jlu.edu.cn

well development arrangement and underground artificial fracturing.

Key words: Songliao Basin; volcanic reservoirs; image logging; fracture detection at pre-stack

0 前言

2002年徐深1井在火山岩中获得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。目前大庆徐深气田探明天然气地质储量已近千亿立方米,成为我国东部发现的最大陆上气田,其中火山岩储层储量占90%。

火山岩储层受岩性岩相控制^[1~4],岩性岩相空间变化快导致了储集物性空间变化快,识别困难^[5,6];此外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,加大了储层预测的难度。火山岩气藏储层预测一直是深层天然气勘探开发要突破的瓶颈,其中裂缝发育程度控制着火山岩储层的渗流特征和产能,裂缝密度、开启度和裂缝方向预测成为储层预测的关键问题。针

对上述难题,本文通过岩心观察和全直径岩心的X-CT图像研究裂缝发育特征,总结了裂缝发育规律。利用微电阻率扫描成像测井技术进行火山岩储层裂缝特征描述,同时利用叠前裂缝检测技术预测裂缝发育密度和方向的平面预测。这些技术为火山岩气藏的高效开发奠定了基础。

1 松辽盆地火山岩储层岩石类型和储集空间特征

徐深气田营城组火山岩按成分可分为流纹岩、英安岩、粗面岩、粗安岩、安山岩、玄武安山岩和玄武岩;按结构有熔岩、熔结凝灰(熔)岩、集块岩、角砾岩、凝灰岩;岩相有15种^[2]。按成分-结构命名,本区已经钻遇的火山岩有30余种,但作为有效储层的火山岩主要为下列11种(表1)。

表1 松辽盆地营城组火山岩储层岩性特征及有效储集空间组合

Table 1 Lithological features and the assemblages of reservoir space in volcanic reservoirs of Yingcheng Formation in Songliao Basin

岩性	颜色	结构	构造	火山岩(亚)相	物性	储集空间类型
球粒流纹岩	灰白,有时浅灰紫色	斑状结构	流纹构造,气孔-杏仁构造	喷溢相上部亚相	高孔高渗	气孔+裂缝
流纹构造流纹岩	灰白,有时浅灰紫色	斑状结构	流纹构造极发育,见气孔-杏仁构造	喷溢相中部亚相	中孔中渗	气孔+裂缝
(粗面)英安岩	浅灰绿色	斑状结构	块状构造	喷溢相下部亚相	高孔中渗	裂缝
粗安岩	灰绿色	斑状结构	杏仁构造	喷溢相下部亚相	高孔中渗	裂缝
粗面岩	浅灰绿色	斑状结构	块状构造	喷溢相下部亚相	高孔中渗	裂缝
玄武粗安岩	黑灰色	斑状结构	块状构造	喷溢相下部亚相	高孔中渗	裂缝
流纹质(晶屑)熔结(角砾)凝灰岩	浅灰-灰白色	熔结凝灰结构	假流纹构造	爆发相热碎屑流亚相	高孔高渗	溶孔+微孔+裂缝
流纹质(晶屑)凝灰岩	灰白色	凝灰结构	块状构造	爆发相热碎屑流亚相	高孔高渗	溶孔+微孔
(流纹质)角砾凝灰岩	灰白色,浅灰绿色	基质凝灰结构,有晶屑及火山角砾	块状构造	爆发相热碎屑流亚相	高孔高渗	溶孔+微孔+裂缝
火山角砾岩	灰色,灰绿色	火山角砾结构	块状构造	爆发相热碎屑流亚相或火山通道相隐爆角砾岩亚相、火山颈亚相	高孔高渗	砾间孔-溶孔-裂缝型
集块岩	灰色,灰绿色	集块结构	块状构造	爆发相热碎屑流亚相或火山通道相隐爆角砾岩亚相、火山颈亚相	高孔高渗	砾间孔-溶孔-裂缝型

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,见流纹构造,气孔、杏仁构造极发育,不规则裂缝。斑状结构,斑晶为石英、碱性长石、酸性斜长石;基质具球粒结构,球粒由长英质集合体组成,少量它形石英充填球粒间。气孔具定向拉长,其中常有石英、钠长石及少量菱铁矿充填。可见到方解石及菱铁矿交代部分颗粒较大的酸性斜长石。球粒流纹岩属于喷溢相上部亚相,物性可达到高孔高渗。

流纹构造流纹岩 一般呈灰白色,有时由于铁质渲染可呈浅灰紫色,流纹构造极发育,见气孔和杏仁构造,裂缝发育。斑状结构,斑晶主要为石英、碱性长石及酸性斜长石,石英多呈半自形。基质由长英质组成,岩石局部具碳酸盐化。有的井段可见到钠铁闪石化流纹岩和钠长石化流纹岩;钠铁闪石墨绿色,多色性明显。该类岩石属于喷溢相中部亚相,物性多为中孔中渗。

(粗面)英安岩 浅灰绿色,致密坚硬,岩心标本上一般看不到石英。斑状结构,斑晶多为长石,呈半自形,含量一般为 5% 左右;基质为微晶斜长石,呈交织状。有时裂隙及孔隙中充填碳酸盐,并见碳酸盐溶蚀。该类岩石多为喷溢相下部亚相,物性可达到高孔中渗。

粗安岩 灰绿色,致密坚硬。杏仁构造,斑状结构,斑晶为斜长石,基质为呈交织状的微晶斜长石和钾长石。岩石具碳酸盐化,气孔发育,气孔大小不等,形态不规则,气孔中充填硅质和碳酸盐。该类岩石属于喷溢相下部亚相,物性可达到高孔中渗。

粗面岩 浅灰绿色,致密坚硬。斑状结构,基质为粗面结构。斑晶主要为长石,多为钠长石或长石具有钠长石边,岩石裂隙中充填碳酸盐。本区粗面岩主要为钠质粗面岩。该类岩石属于喷溢相下部亚相,物性可达到高孔中渗。

玄武粗安岩 黑灰色,致密坚硬。斑状结构,斑晶为斜长石、角闪石,呈半自形;基质为玻基交织结构、填间结构,由微晶斜长石、磁铁矿、玻璃质组成。斜长石多呈交织状,少部分呈架状,架状空间充填粒状磁铁矿。岩石具硅化、碳酸盐化。该类岩石属于喷溢相下部亚相,物性可达到高孔中渗。

流纹质(晶屑)熔结(角砾)凝灰岩 浅灰—灰白色、致密、坚硬,假流纹构造,可见流纹质塑变岩屑呈定向排列。熔结凝灰结构,岩石由火山灰、晶屑、塑变岩屑及玻屑组成。晶屑为石英、长石,长石呈半自

形板状及棱角状,多具高岭土化;石英多呈棱角状,部分晶屑被溶蚀呈浑圆状、港湾状,表面多具裂纹;塑变岩屑、玻屑被压扁拉长,呈定向排列,塑变岩屑具重结晶,内见石英斑晶,塑变岩屑内部具气孔、石英、钠长石梳状边、球粒等;常见菱铁矿充填气孔、呈杏仁体;火山灰为隐晶质。局部地区岩石具钠铁闪石化、碳酸盐化、微裂隙发育。该类岩石属于爆发相热碎屑流亚相,物性可达到高孔高渗。

流纹质(晶屑)凝灰岩 灰白色,致密坚硬。凝灰结构,岩石由岩屑、晶屑及火山灰组成,岩屑多为球粒流纹岩、凝灰岩,晶屑为石英、长石。石英、长石多呈棱角状,长石多具高岭土化。局部地区岩石具碳酸盐化,可见碳酸盐交代呈长石假象。孔隙主要为粒间孔和基质、晶屑溶蚀孔。该类岩石属于爆发相热碎屑流亚相,物性可达到高孔高渗。

(流纹质)角砾凝灰岩 灰白色,浅灰绿色,致密坚硬。可见角砾及晶屑。角砾凝灰结构,主要由火山灰及晶屑、火山角砾组成,晶屑主要为石英、长石,火山角砾成分主要为流纹岩、流纹质凝灰岩、有时有英安岩,角砾大小不等,体积分数多为 20%~30%。有时菱铁矿和方解石呈不规则团块状出现。该类岩石属于爆发相热碎屑流亚相,物性可达到高孔高渗。

火山角砾岩 灰色、灰绿色,致密坚硬。火山角砾结构,火山角砾大小不等。岩石主要由火山角砾、晶屑、火山灰组成。角砾成分主要为流纹岩、球粒流纹岩、流纹质凝灰岩、流纹质熔结凝灰岩,个别样品见到安山岩。角砾间为较细的中、酸性火山岩岩屑,石英、长石晶屑及火山灰充填。该类岩石属于爆发相热碎屑流亚相或火山通道相隐爆角砾岩亚相、火山颈亚相,物性可达到高孔高渗。

集块岩 灰色、绿灰色,致密坚硬。岩石主要由火山岩块和火山角砾组成。集块结构,火山岩块及火山角砾成分主要为流纹岩、流纹质凝灰岩,流纹质熔结凝灰岩,有时亦可见到闪长岩、安山岩。火山岩块及火山角砾大小不等,呈杂乱分布,火山岩块及火山角砾间为火山灰胶结,火山灰具重结晶及硅化。该类岩石属于爆发相热碎屑流亚相或火山通道相隐爆角砾岩亚相、火山颈亚相,物性可达到高孔高渗。

由于不同岩石的成岩作用、岩石结构和构造存在较大差别,储层非均质性强,所以发育的储集空间类型和组合也不一致(表 1),绝大部分火山岩都发育裂缝,但不同岩性的裂缝发育程度存在较大差别。

2 火山岩储层裂缝特征

本区火山岩储层的储集空间可划分为3大类、13种基本成因类型^①。不同岩性的裂缝密度和开启程度存在较大差别(图1),裂缝的形态和切割关系表明它是多期形成的(图2),裂缝的类型主要为高角度裂缝和网状裂缝,从岩心可以观察到裂缝内的充填物和充填程度存在较大的差别。

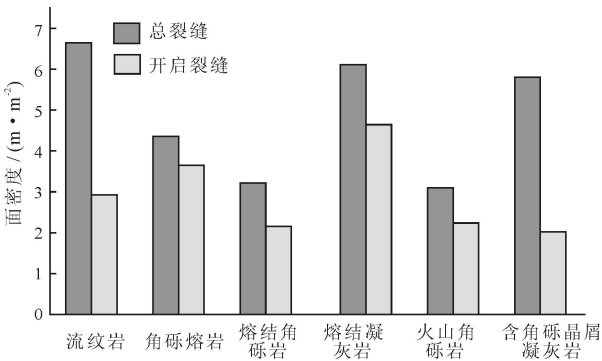


图1 松辽盆地营城组火山岩储层岩性与裂缝关系

Fig. 1 Relationship between lithology and fracture of volcanic reservoirs of Yingcheng Formation in Songliao Basin

通过全直径岩心的X-CT图像分析发现:火山岩多数可见有明显的溶洞发育,溶洞数量较多,孔径较大,但溶洞与溶洞之间的连通性较差。部分岩

心内可见有裂缝,但裂缝有两种明显不同的产状特征:一是裂缝的宽度虽然较大,但裂缝内通常被高密度的物质充填;二是裂缝的宽度虽然较小,但裂缝通常处于张开状态,裂缝内的充填物较疏松(图3)。正是裂缝的密度和开启宽度控制着火山岩储层的有效性和产能。据钻井资料揭示,当裂缝线密度大于5条/m和开启宽度大于0.5 mm时,火山岩储层气孔的连通性好,使之成为较好的储层;当裂缝线密度小于5条/m和开启宽度小于0.5 mm时则成为较差的储层(表2)。

3 地球物理方法对火山岩裂缝响应及应用

对火山岩岩相的描述、定义、裂缝在各种岩相的分布规律主要基于野外露头及钻井岩心的观测与描述,对这些规律的直接应用具有很大的空间局限性。只有将这些认识与地球物理的方法密切结合,才能对深层油气的勘探具有实际的指导意义。本文应用成像测井及地震两种方法,分别对井壁上及区域性的火山岩裂缝分布规律进行了初步预测性研究。

3.1 成像测井识别火山岩裂缝与裂缝孔隙度描述

目前用于裂缝研究的成像测井主要有两类:声波成像测井和电阻率成像测井^[7]。其中井周声波成像测井以超声波扫描测量方式对井壁地层进行数字成像。对识别裂缝、划分岩性都很有效^[8]。但在测井的过程中受泥浆、地层特性以及井眼的规则程度



图2 松辽盆地营城组火山岩裂缝及其组合典型特征

Fig. 2 Character of volcanic fracture of Yingcheng Formation in Songliao Basin

A. XS201, 3 177.99—3 178.12 m, 球粒流纹岩, 裂缝被充填, 水平裂缝被垂直裂缝错动; B. XS1-1 井 3 408.89~3 409.12 m, 流纹质晶屑凝灰熔岩, 裂缝为垂直、斜交和近水平裂缝

① 王璞珺, 刘万洙, 等. 松辽盆地北部火山岩储层预测和评价. 中国石油大庆油田公司项目报告, 2003.

表 2 松辽盆地火山岩裂缝发育程度与储层物性及产能关系

Table 2 Relationship between grade of volcanic fracture and reservoirs productive of Yingcheng Formation in Songliao Basin

储层分类	有效厚度 /m	孔隙度 Φ /%	渗透率 / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	平均孔喉半径/ μm	岩石密度 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	裂缝发育程度		采气指数 /($\text{m}^3\cdot\text{MPa}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	
						线密度 (条 $\cdot\text{m}^{-1}$)	开启宽度 /mm		
I	> 30	> 10	> 5	> 0.5	< 2.4	> 10	> 1.0	0.040(压前)	
II	10~30	5~10	1~5	0.25~0.5	2.4~2.48	10~5	1.0~0.5	0.040(压后)	
III	III ₁	< 10	< 5	0.1~1	0.1~0.25	2.48~2.53	5~3	0.1~0.5	< 0.040
	III ₂			< 0.1	< 0.1		< 3	< 0.1	

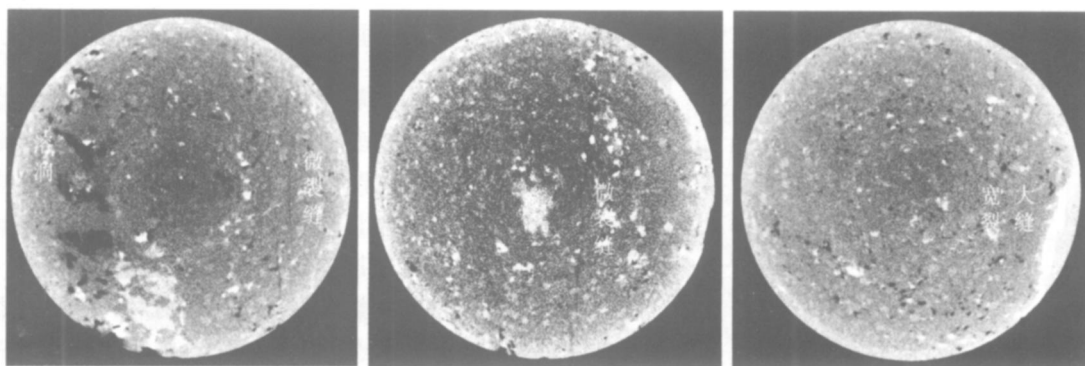


图 3 松辽盆地营城组 XS9 全直径岩心的 X-CT 图像

Fig. 3 X-CT image of cores whole diameter of XS9 of Yingcheng Formation in Songliao Basin

A. 黑色块状为溶洞, 黑色细线为微裂缝; B. 黑色细竖线为微裂缝; C. 白色部分为充填程度高的宽大裂缝

影响, 对成像效果影响较大。地层微电阻率扫描成像测井依据岩石成分、结构及所含的流体电阻率差异会引起电流的变化, 可以生成电阻率的井壁成像。从而对地层的裂缝、岩石类型、岩石结构和沉积构造等特征进行精细描述^[9, 10]。

本文应用微电阻率扫描成像测井对宏观裂缝的倾向、倾角、裂缝密度、裂缝开度、裂缝孔隙度等进行定量计算。各种裂缝在成像测井图像上的特征: 高角度裂缝在成像图上表现为低阻的暗色条纹, 切割整个井眼; 垂直缝在成像图上表现为低阻对称出现的暗色条纹, 不能切割整个井眼; 低角度裂缝在成像图上表现为低阻的暗色条纹, 切割层理或井眼; 网状缝在成像图上表现为暗色网状形态; 溶蚀孔洞在成像图上表现为暗色斑点的低阻团块。运用图像处理技术, 得到井壁表面宏观裂缝的视孔隙度和目的层的宏观裂缝孔隙度(图 4、表 3)。

3.2 火山岩储层裂缝地震检测

裂缝在无井区的空间分布是开发井部署的重要依据。钻井约束下的地震裂缝预测是火山岩气藏勘探开发的基础。在对大庆探区火山岩储层近 10 年

表 3 典型探井火山岩段裂缝特征计算结果

Table 3 Results of calculation of volcanic fracture of key wells

井段 /m	厚度 /m	数目 /条	裂缝长度/m	面密度 /($\text{m}\cdot\text{m}^{-2}$)	裂缝视孔隙度/%
3 530~3 532	2	2	1.25	1.15	0.83
3 539~3 541	2	1	1.44	1.15	0.71
3 541~3 545	4	6	2.41	2.16	1.15
3 545~3 551	6	11	3.98	3.11	0.51
3 551~3 555	4	6	1.76	1.58	0.70
3 555~3 557	2	2	2.28	1.88	0.30
3 561~3 572	11	15	2.89	2.29	0.60
3 584~3 587	3	3	1.91	1.52	0.93
3 592~3 598	6	7	2.15	1.77	0.21

的探索过程中, 曾经尝试/研发过多种储层裂缝识别的地震技术^[11~17]。从实际效果看, 叠前裂缝检测技术能够对定向高角度裂缝达到定量/半定量预测, 适合庆深气田地质条件, 效果较好。目前较为有效的叠前裂缝检测技术有速度随方位角变化(VVA)方

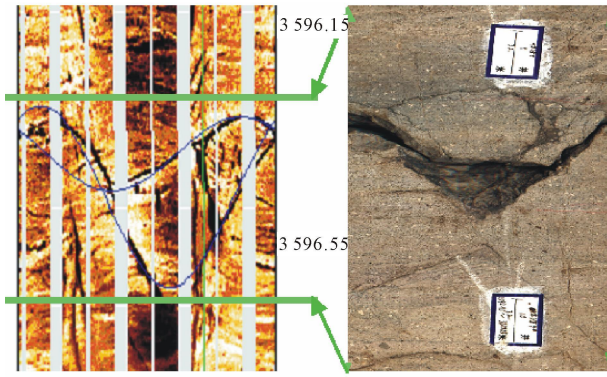


图 4 XS9 井(3 596. 15 ~ 3 596. 55 m)火山岩取心段裂缝在微电阻率成像测井中的响应

Fig. 4 Microresistivity scanner log response to volcanic fracture of core in XS9 well(3 596. 15 ~ 3 596. 55 m)

法、振幅随方位角变化(AVA)方法、频率随方位角变化(FVA)方法。

应用叠前裂缝检测技术需要 4 个条件: (1)岩性变化不大的定向裂缝发育带预测。(2)采集满足宽

方位角, 各方位角的偏移距分布均匀、覆盖次数分布均匀。(3)分方位数据体的处理技术(保真处理), 最大偏移距与目的层深度比大于 1。(4)考虑 S/N, 需要扩大面元, 增加各方位覆盖次数, 各方位覆盖次数均匀。分方位个数(5~9 个), 选择方位角分布比较均匀的偏移距, 原则上包括平行裂缝走向与垂直裂缝走向。

由于动力学信息(振幅、衰减)比运动学信息(速度)对裂缝特征的变化更为敏感, 加上振幅等信息比速度信息提取更为准确和容易, 因此理论上一般对裂缝预测采用 AVA 技术。利用方位角振幅分析来检测裂缝时, 储层岩性在空间的变化及其非储层的均质与否对裂缝的预测影响较大, 因此在实际应用过程中应注意多解性。选择地震能量分位数频率随方位角变化得到的各向异性强度来对该区的裂缝进行预测。地震能量分位数频率, 是指分析时窗内能量达到总能量 85% 时对应的频率(f_0)。该参数越低, 说明地层衰减越大, 频率信息损失越多, 指示了与流体性质有关的信息。在地震能量分位数频率剖面上, 从裂缝密度集中段和产层段可以看出, 大多数

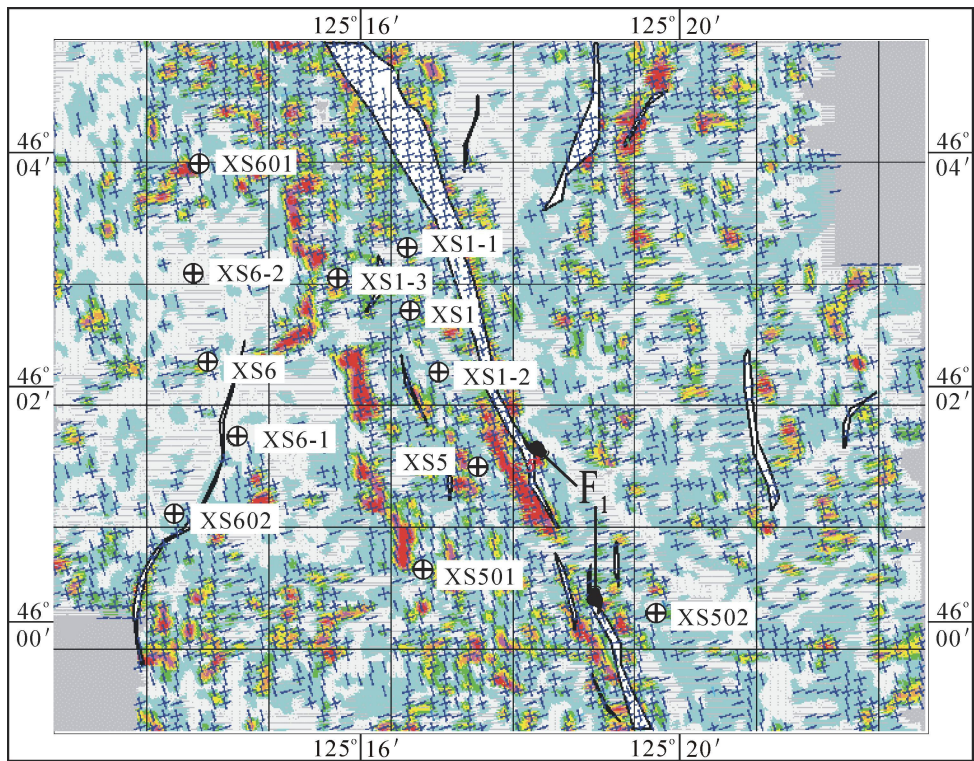


图 5 松辽盆地庆深气田兴城地区火山岩裂缝预测图

Fig. 5 Prediction of volcanic fracture of Xingcheng area of Qingshen gas field in Songliao Basin

F1. 宋西断裂带; 红→黄→蓝→白, 裂缝密度由大变; 线段的方位表示裂缝的主延长方向

井主要位于低值区,表明该参数较好地反映了营城组裂缝发育带和流体的综合响应。

根据地震能量分位数频率随方位角变化方法得到兴城地区的裂缝预测结果图(图 5)。从图上可知该区裂缝发育具有较强的非均一性,多方向性和多期性。裂缝面密度有 $1.08 \sim 1.14 \text{ m/m}^2$ 和 $1.42 \sim 1.48 \text{ m/m}^2$ 两个区段, $1.42 \sim 1.48 \text{ m/m}^2$ 区段主要分布在徐西断裂带附近,呈条带状或斑状分布。裂缝发育带有 2 个方向,主要是北北西向和近东西向。在徐西断裂带西侧地区裂缝方向以北北西为主,近东西向次之;而在徐西断裂带东侧地区,裂缝方向以近东西向为主,北北西方向次之。裂缝地震识别成果应用于庆深气田天然气开发布井方案和井下压裂方案,取得较好效果,2005~2006 年度开发井成功率大于 75%。

4 结 论

(1)庆深气田储层火山岩主要有 11 种,岩相是储层物性的主控因素。裂缝由多期叠加形成的,以高角度缝和网状缝为主,在渗流中起重要作用。微电阻率扫描成像测井是裂缝密度、裂缝开度和裂缝孔隙度定量研究的有效方法。

(2)利用地震能量分位数频率随方位角变化方法可预测裂缝发育程度。在兴城地区,裂缝面密度有 $1.08 \sim 1.14 \text{ m/m}^2$ 和 $1.42 \sim 1.48 \text{ m/m}^2$ 两个区段;裂缝发育方向为北北西向和近东西向,在徐西断裂带西侧地区裂缝方向以北北西为主,近东西向次之,而在徐西断裂带东侧地区,裂缝方向以近东西向为主,北北西方向次之。

(3)由于岩心、测井与地震识别裂缝的分辨率存在差异,岩心统计的裂缝密度约等于成像测井计算裂缝密度、大于地震识别裂缝密度。成像测井技术较为真实的反映裂缝密度和开度,而岩心统计裂缝密度比地震预测结果大一个量级,所以地震预测裂缝密度的结果只能达到半定量。尽管如此,裂缝在空间发育状况的无井区预测结果仍然使开发井成功率大大提高,说明预测结果的相对数值具有更重要参考价值。

参考文献(References):

[1] 王璞珺,陈树民,刘万洙,等.松辽盆地火山岩相与火山岩储层的关系[J].石油与天然气地质,2003,24(1): 18-23.

WANG Pu-jun, CHEN Shu-min, LIU Wan-zhu, et al. Relationship between volcanic facies and volcanic reservoirs in Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 18-23.

[2] 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.

[3] 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 Heyong, PANG Yan-ming, et al. Volcanic facies of Songliao Basin: sequence, mode and the quantitative relationship with porosity & permeability of volcanic reservoir[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(5): 805-812.

[4] 刘万洙,王璞珺,门广田.松辽盆地北部深层火山岩储层特征[J].石油与天然气地质,2003,24(1):28-31.

LIU Wan-zhu, WANG Pu-jun, MEN Guang-tian, et al. Characteristics of deep volcanic reservoirs in Northern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 28-31.

[5] 刘启,舒萍,李松光.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,2005,24(3):21-23.

LIU Qi, SHU Ping, LI Song-guang. Integrated description technique for deep volcanic gas reservoir in northern Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing, 2005, 24(3): 21-23.

[6] 蒙启安,门广田,张正和.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,2001,20(3):21-24.

MENG Qi-an, MEN Guang-tian, ZHANG Zheng-he. Prediction method and its application of deep volcanic rock body and facies in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing, 2001, 20(3): 21-24.

[7] 付建伟,肖立志,张元中.井下声电成像测井仪的现状与发展趋势[J].地球物理学进展,2004,19(4):730-738.

FU Jian-wei, XIAO Li-zhi, ZHANG Yuan-zhong. Status and developing trend of acoustical and electrical

- imaging well logging tools[J]. Progress in Geophysics, 2004, 19(4): 730-738.
- [8] 乔德新, 李宁, 尉中良, 等. 利用模拟井研究声波成像资料计算裂缝宽度问题[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 76-79.
QIAO De-xin, LI Ning, WEI Zhong-liang, et al. Calibrating fracture width using circumferential borehole image logging data from model wells[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(1): 76-79.
- [9] 陈钢花, 毛克宇, 王中文, 等. 利用地层微电阻率成像测井识别裂缝[J]. 测井技术, 1999, 23(4): 279-281.
CHEN Gang-hua, MAO Ke-yu, WANG Zhong-wen, et al. Fracture identification by microresistivity scanner log[J]. Well Logging Technology, 1999, 23(4): 279-281.
- [10] 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, 42(增刊): 37-43.
ZHAO Cheng-lin. Genesis and oil/gas-bearing features of pore space of the volcanic reservoir[J]. Geological Review, 1996, 42(Sup.): 37-43.
- [11] Dragana T M, Glenn L, David G, et al. Identifying vertical productive fractures in the Narraway gas field using the envelope of seismic anisotropy[C]//SEG Int'l Exposition and 74th Annual Meeting, 2004: 135-138.
- [12] Wang Shang-xu, Li Xiang-yang. Fracture detection using 3D seismic data: A physical modeling study[J]. SEG Int'l Exposition and 73th Annual Meeting, 2003: 2303-2306.
- [13] 陈佳梁, 兰素清, 王昌杰. 裂缝性储层的预测方法及应用[J]. 勘探地球物理进展, 2004, 27(1): 35-40.
CHEN Jia-liang, LAN Su-qing, WANG Chang-jie. Prediction of fractured reservoirs using seismic technology and its application[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2004, 27(1): 35-40.
- [14] 季玉新. 用地震资料检测裂缝性油气藏的方法[J]. 勘探地球物理进展, 2002, 25(2): 28-35.
JI Yu-xin. Detection of fractured reservoirs with seismic data[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2002, 25(2): 28-35.
- [15] 甘其刚, 高志平. 宽方位AVA裂缝检测技术应用研究[J]. 天然气工业, 2005, 25(5): 42-43.
GAN Qi-gang, GAO Zhi-ping. Application of AVA fracture detection technique[J]. Gas Industry, 2005, 25(5): 42-43.
- [16] 尹志军, 黄述旺, 陈崇河. 用三维地震资料预测裂缝[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(1): 78-80.
YIN Zhi-jun, HUANG Shu-wang, CHEN Chong-he. Fracture determination by means of 3-dimensional seismic data[J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(1): 78-80.
- [17] 邓攀, 陈孟晋, 高哲荣. 火山岩储层构造裂缝的测井识别及解释[J]. 石油学报, 2002, 23(6): 32-37.
DENG Pan, CHEN Meng-jin, GAO Zhe-rong. Logresponse and explanation of structural fractures in volcanic reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(6): 32-37.

● 下期文章预告 ●

内蒙古东乌旗阿尔哈达铅—锌—银矿床硫和铅同位素研究

张万益¹, 聂凤军¹, 刘妍¹, 江思宏¹, 胡朋¹, 赖新荣¹, 皮晓东²

1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 内蒙古自治区锡林郭勒盟国土资源局, 内蒙古 锡林浩特 026000

摘要: 阿尔哈达铅—锌—银矿床是近年来在内蒙古东乌珠穆沁旗境内发现的一处大型铅—锌—银矿床, 其产出环境和形成机理为国内外矿床学家所关注。对该矿床代表性岩(矿)石样品进行了硫和铅同位素分析, 并对其变化规律和成因意义进行了讨论。研究结果表明, 围岩和矿石中硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 1.2‰~8.6‰, 具有混源硫特征。根据共生硫化物对所确定的温度表明, 该矿床的形成可划分为高温和中—低温两个阶段。17件矿石硫化物样品 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值变化范围分别为 18.153~18.431, 15.370~15.602 和 37.653~38.213, 其平均值分别为 18.271、15.464 和 37.873; 3件围岩硫化物样品 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值变化范围分别为 18.281~18.293, 15.470~15.484 和 37.874~37.909, 平均值分别为 18.288、15.477 和 37.893。硫和铅同位素研究结果表明, 阿尔哈达铅—锌—银矿床成矿物质分别来自泥盆系火山—沉积岩和印支期花岗岩。

关键词: 硫—铅同位素; 铅—锌—银矿床; 矿床成因; 阿尔哈达; 内蒙古