

文章编号: 0253-9985(2007)03-0370-07

辽河拗陷东部凹陷欧-黄地区火山岩储集层特征及有利储层预测

张新培^{1,2}, 邓宏文¹, 张吉昌², 孙晓明³

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083

2. 中国石油 辽河油田 勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010

3. 辽河石油职业技术学院, 辽宁 盘锦 124010)

摘要: 辽河拗陷欧-黄地区沙河街组发育玄武岩、粗面岩、凝灰岩 3 类火山岩, 后期受构造裂缝改造的粗面岩为该区的优质储层。综合运用扫描电镜、铸体薄片、X-CT 扫描等方法, 对粗面岩储集空间内的原生孔隙及裂缝、次生溶孔及裂缝作精细描述, 并结合探边测试获取的储层物性信息, 准确地提取反映储集空间类型和特征参数。结果显示, 溶孔洞-裂缝型储层最好, 溶孔-微孔型储层次之。在常规难以有效区分火山岩岩性的情况下, 利用测井响应、多井约束波阻抗反演等技术, 选择适当的方法和参数类型, 实现了研究区内优质储层的识别和预测, 结果与钻井实测数据符合度较高 (储层厚度误差仅有 3%), 应用效果显著。

关键词: 粗面岩; 储集空间; 储层类型; 东部凹陷; 辽河拗陷

中图分类号: TE122.2 **文献标识码:** A

Characteristics of volcanic rock reservoirs in Ou-Huang area of the eastern sag in Liaohe depression and prediction of favorable reservoirs

Zhang Xinpei^{1,2}, Deng Hongwen¹, Zhang Jichang², Sun Xiaoming³

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083 2. Research Institute of

Petroleum Exploration and Development, Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Panjin, Liaoning 124010

3. Liaohe Vocational Technology College of Petroleum, Panjin, Liaoning 124010)

Abstract Three types of volcanic rocks, i.e. basalt, trachyte, and tuff, are developed in the Shahejie Formation of Ou-Huang area in Liaohe depression. The trachyte that had gone through structural fracturing in later stage forms high-grade reservoir in the area. To acquire accurate parameters that honestly reflect the reservoir space types and features, techniques such as SEM, cast lamella, and X-CT scanning are integrated for fine description of the primary pores and fractures and secondary dissolution pores and fractures in the reservoir space of trachyte, and for obtaining reservoir physical properties in combination with RLT. The result indicates that the dissolved vuggy-fractured reservoir has the best poroperm properties, and the second best are the dissolved pore-micropore reservoirs. It also suggests that by adopting technologies like log response and multiwell constrained impedance inversion, together with proper choice of methods and parameters, the recognition and prediction of high-grade reservoirs in the study area (where conventional techniques are inefficient) is not only possible but consists well with the real drilling/well logging data (with thickness error at 3% only).

Key words trachyte; reservoir space; reservoir type; eastern sag; Liaohe depression

收稿日期: 2007-01-23

第一作者简介: 张新培 (1974-), 男, 博士生, 油气田开发地质

1 区域地质特征

欧利坨子-黄沙坨(简称欧-黄)地区构造上位于辽河拗陷东部凹陷中段,面积约 90 km²,是古近纪始新世时期火山喷发的中心^[1-2]。后经多期构造运动的改造,火山岩体高度破碎,裂缝较为发育,储集性能良好;加之紧邻古近系沙河街组三段中亚段(简称沙三段)生油岩,烃源岩厚度大,生油能力强。因此,该区具备良好的油气成藏条件^[3-6]。自 1997 年欧 26 井在沙三段的粗面岩中获高产工业油气流,揭开了该区火山岩勘探的序幕。目前,该区已成为辽河油田产能建设的重要接替区。

由于火山岩储层不具常规岩石类型的专属性^[7-8],与碎屑岩相比在形成机理、储集空间类型等方面存在较大差异^[9-13],但无疑这又是深层找油(气)的巨大优势。本文综合运用扫描电镜、铸体薄片、X-CT 扫描等技术,对粗面岩储集空间类型和特征进行详细研究,并根据火山岩储层的实际情况,利用测井响应、多井约束波阻抗反演等技术,选择适当的方法和参数类型进行了储层识别与预测,效果显著。

2 储集层特征

2.1 岩石学特征

欧-黄地区火山岩主要有玄武岩、粗面岩、凝灰岩三大类。

2.1.1 玄武岩

玄武岩类颜色呈灰黑、深黑及黑绿色;矿物成分主要以斜长石和辉石为主,次要矿物为橄榄石,多见方沸石;具斑状结构,杏仁构造,基质具填隙结构。该类岩石总体蚀变较深,储集性能差,含油差,基本不具工业产能。

2.1.2 粗面岩

粗面岩类是本区重要的含油气储层。它是以粗面岩为主要成分的岩石,颜色呈灰色、灰绿色、黑绿色等。岩石表现为块状,坚硬、致密。矿物成分主要以透长石和斜长石为主,含少量歪长石、角闪石和橄榄石等;斑晶发育,具有“粗面”结构。基质主要由板条状碱性长石、斜长石及辉石、角闪石等细小晶粒组成。斑晶斜长石和基质微晶斜长石定向排列(图 1)。

2.1.3 凝灰岩

凝灰岩类为火山碎屑岩亚类之一,颜色多为黑绿色或黑色。岩石由火山玻璃岩屑及火山灰组成,具玻屑结构,晶屑较少。粘土和方沸石含量均较高,多在 22% 以上。该类岩石储集性能很差,不是有效储层。

2.2 储集空间类型

欧-黄地区沙三段粗面岩的储集空间从成因上分为原生储集空间和次生储集空间两类,后者

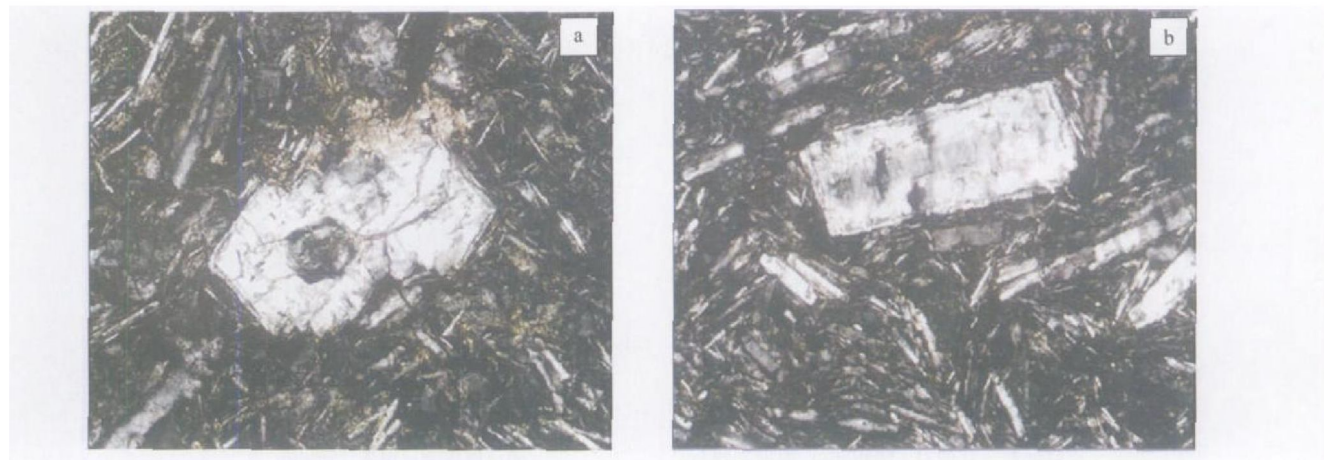


图 1 欧-黄地区粗面熔岩类正交偏光镜下特征

Fig. 1 Images of trachyte lava under crossed polarizer in Ou-Huang area

a. 欧 15 井, 2 309.10 m, 正偏光, 40 倍; b. 欧 42 井, 2 815.40 m, 正偏光, 40 倍

往往叠加在前者之上,极大地改善了火山岩的储集物性。

欧-黄地区粗面岩最常见的储集空间类型主要以构造裂缝为主,其次是各种溶蚀孔缝、未充填或半充填气孔、冷凝收缩缝及砾间缝等。由于喷溢旋回上部气孔发育,且喷溢间歇期有大气淡水淋滤造成的溶蚀作用,所以各类储集空间常发育在喷溢旋回上部,喷溢旋回下部只有少量斑晶溶蚀孔。

2.2.1 原生储集空间

1) 原生气孔: 岩浆喷溢地表后气体溢出、上升汇聚于岩流顶部边缘经冷凝后形成的气孔,多呈圆形、椭圆形及不规则形态。气孔含量变化较大,最高可达 52%; 孔径 0.12~0.23 mm。

2) 杏仁体内孔: 原生气孔被方沸石、方解石、石英及绿泥石部分充填而形成(图 2a)。

3) 晶间孔: 粗面岩、玄武岩中的长石等矿物呈支架状,构成原始晶间孔。孔径一般较小,光学显微镜下一般难以分清;电子显微镜下孔隙呈多边形,孔径 20 μm 左右(图 2b)。

4) 砾间孔: 主要出现在火山角砾岩、角砾凝

灰岩和角砾化熔岩中。形状为三角形及不规则多边形,分布不均匀。最大孔径 27 mm,最大孔宽 21 mm,多被方沸石、方解石、石英及绿泥石部分或全部充填,导致孔隙减小或消失(图 2c)。

5) 冷凝收缩缝: 岩浆冷凝结晶过程中,岩体内部和边部降温速率不同,导致在冷凝过程中产生张应力,使岩体收缩而形成。

6) 收缩解理: 岩浆体冷却收缩并产生张应力,使岩体破裂而形成。粗面岩常有六边形或多边形的方解石柱状解理(图 2d)。

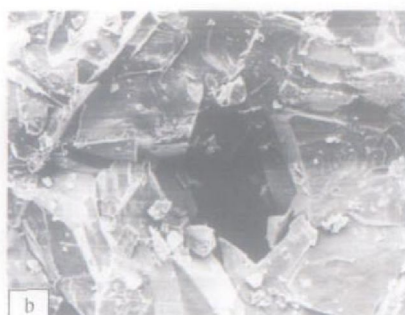
2.2.2 次生储集空间

1) 溶蚀孔隙: 为火山岩受地下水改造而形成的一种重要的储集空间类型。岩石中可见孔径 0.4~3.3 mm 的溶蚀孔,孔隙形态大小不均;可细分为气孔溶蚀扩大形成的溶蚀孔、晶体组分和晶间组分溶解形成的晶间蚀孔及缝中充填物被溶蚀形成的溶蚀缝。断裂两侧的溶孔发育带成为粗面岩有利的储集空间。

2) 构造裂缝: 构造裂缝常切穿气孔、溶洞,连通多个孔洞,它在各类火山岩中均有分布,在粗面



气孔被沸石半充填,残留孔直径为 150 μm
(小 23 井, 3 175.15 m, 147 倍)



晶间孔,直径为 105 μm
(小 23 井, 3 182.20 m, 304 倍)



砾间孔,直径为 14~40 μm ; 缝壁见沸石
(小 22 井, 3 250.03 m, 153 倍)



晶体解理缝,缝宽 1~4 μm
(小 23 井, 3 175.06 m, 348 倍)

图 2 欧-黄地区粗面岩储集空间类型扫描电镜下特征

Fig. 2 Images of trachyte reservoir spaces under scanning electron microscope in Ou-Huang area

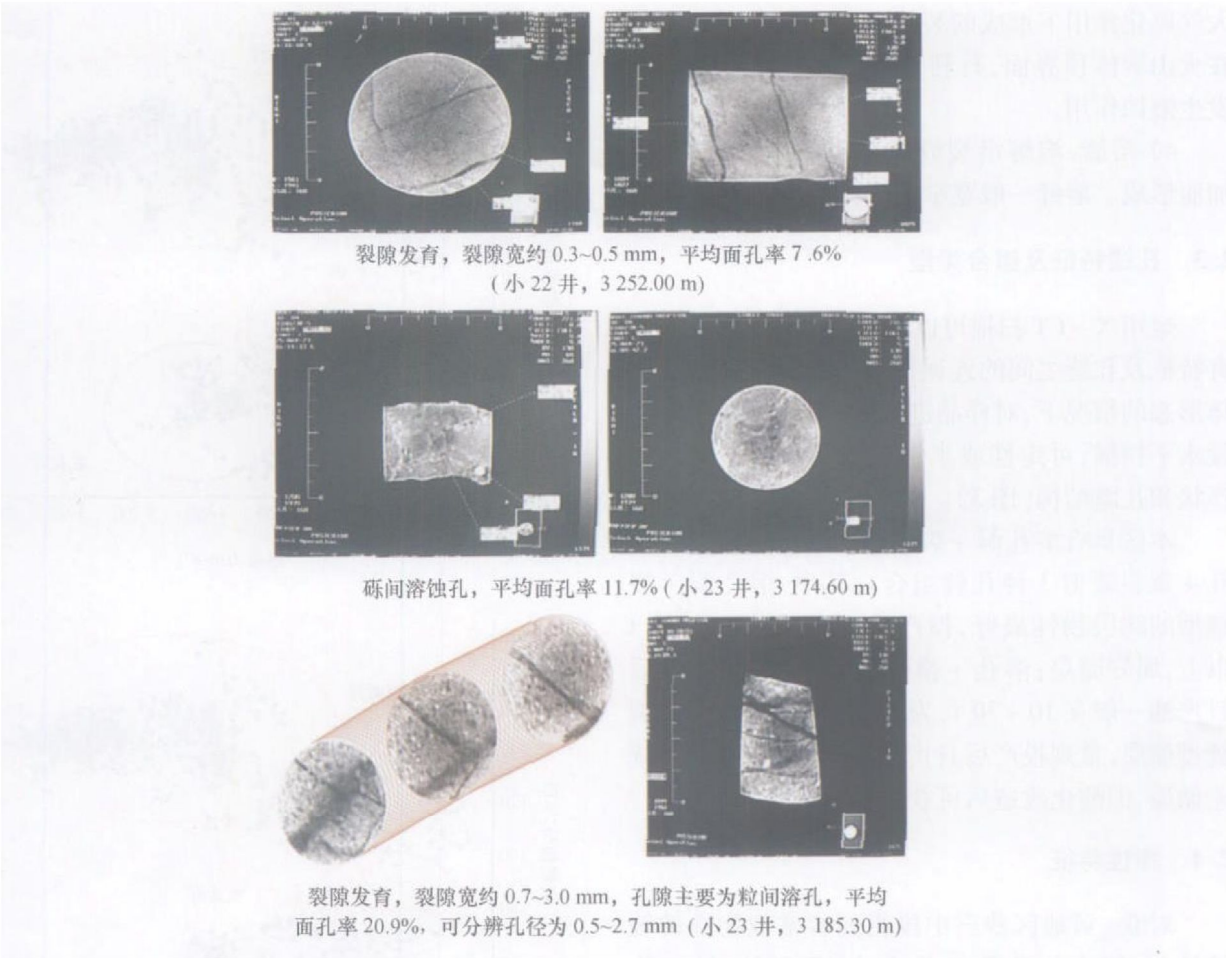


图 3 欧-黄地区粗面岩储层 X-CT扫描特征

Fig. 3 X-CT scanning images of trachyte reservoirs in Ou-Huang area

岩中尤为发育, 是另一种重要的储集空间类型。构造裂缝按产状分为高角度缝、直劈缝、斜交缝、水平缝和网状裂缝, 前两者是主要的储油裂缝。

裂缝的形成不仅改善了储层的孔渗性能, 而且为溶蚀作用提供了流体运移通道。

3) 风化裂缝: 火山岩出露地表期在地表水及

表 1 黄沙坨地区探边测试解释综合数据

Table 1 Integrated interpretation of RLT data in Huangshatuo area

井 号	厚度 /m	层数 /层	渗透率 /(10 ⁻³ μm ²)	表皮系数	边界情况		初期日产油 /t
					近边界 /m	远边界 /m	
小 22-16-24	38	2	1.608 05	10.133	320	—	8.3
小 22-16-24	38	2	2.263 32	2.259	320	560	23.0
小 23	27	1	2.410 31	65.519	240	360	42.0
小 22-16-26	38	2	2.251 66	33.912	113	—	25.0
小 22-14-22	27	2	3.332 02	66.233	110	—	35.0

表 2 黄沙坨地区火山岩井段测井曲线特征值

Table 2 Logging values of volcanic rocks in Huangshatuo area

岩性	自然伽马 /API		密度 /(g•cm ⁻³)		时差 /(μs•ft ⁻¹)		中子, %	
	数值	特点	数值	特点	数值	特点	数值	特点
粗面岩	80~140	高	2.20~2.52	较高	64~77	高	9~19	低
玄武岩	25~60	低	2.00~2.48	中等	63~68	较高	27~41	高
砂岩	60~95	中等	2.22~2.50	低	>85	很高	15~40	高

大气风化作用下形成的裂缝。本区风化裂缝发育在火山岩体顶界面,有利于后期发育构造裂缝和发生溶蚀作用。

4) 溶缝: 溶解沿裂缝进一步发生,使缝宽增加而形成。溶缝一般宽窄不一,边缘不规则。

2.3 孔缝特征及组合类型

运用 X-CT 扫描可以直接观察岩石的孔缝发育特征及孔缝之间的连通情况。在不破坏岩石整体形态的情况下,对样品进行 2 mm 厚度切片的连续水平扫描,可定性或半定量地了解岩石的裂缝产状和孔隙结构(图 3)。

本区具有溶孔洞+裂缝型、溶孔+微孔型、微孔+微裂缝型 3 种孔缝组合。其中,溶孔洞+裂缝型的储层物性最好,投产后日产油一般在 30 t 以上,属好储层;溶孔+微孔型储层次之,投产后日产油一般在 10~30 t 为较好储层;微孔+微裂缝型储层,常规投产后日产油一般小于 10 t 为较差储层,但酸化改造后可获得较高产量。

2.4 物性特征

对欧-黄地区沙三中段粗面岩常规物性的统计显示,粗面岩孔隙度最大为 17.50%,最小为 2.80%,平均为 8.67%;渗透率最大为 $7.80 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最小为 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $1.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;最大孔喉半径为 24.69 μm ,平均孔喉半径为 1.78 μm ;均质系数平均为 0.205。这表明,该区非均质性较强。目前压裂是本区特低渗储层改造的良好方式。

此外,利用探边测试方法确定火山岩的物性参数具有较实用的特点。探边测试主要采用压降试井,根据其压力变化规律可求得有关地层参数、边界变化情况(拟合边界距离)以及单井控制储量。黄沙坨油田共进行 4 井次的探边测试,各井探边测试解释结果见表 1。由表中可见,高产层的渗透率多在 $2.20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上,可作为寻找有效储层的一个判别依据。

3 有利储层分布及预测

3.1 有利储层的识别

沙三中段的粗面岩是欧-黄地区的主要储层,

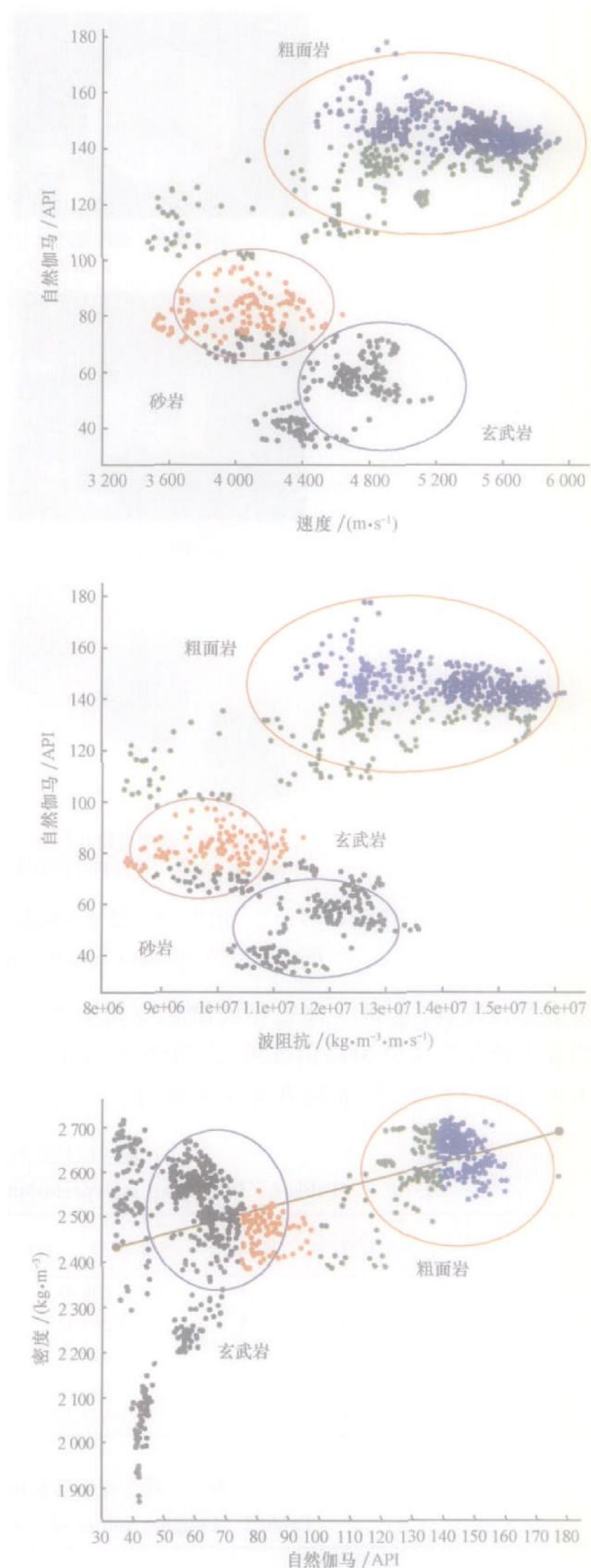


图 4 小 22 井自然伽马与速度、波阻抗、密度交会图

Fig. 4 Cross plots of GR to velocity, P-impedance and density for Well Xiao-22

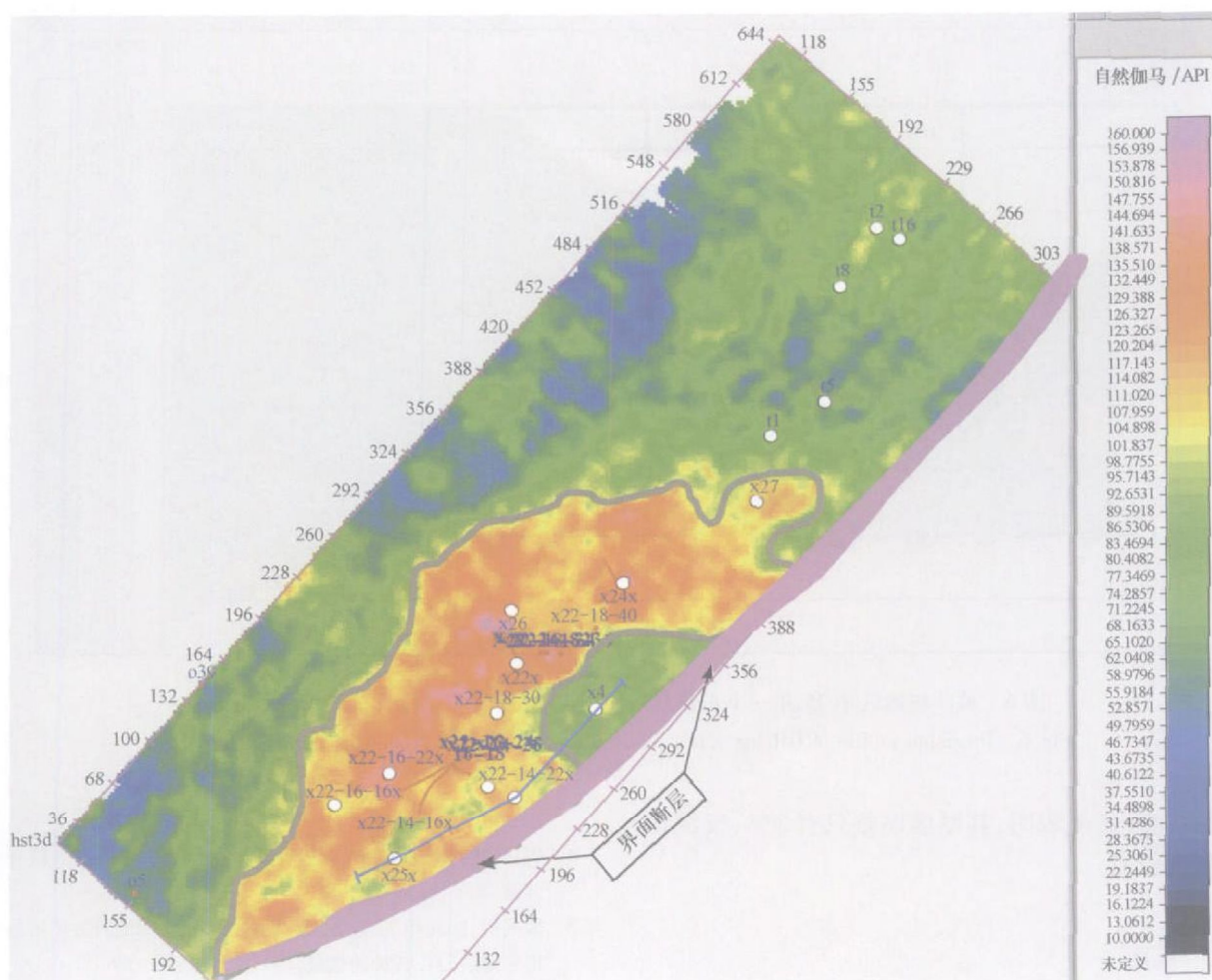


图 5 黄沙坨地区沙三中段顶自然伽马测井-地震联合反演粗面岩平面展布

Fig. 5 Distribution of trachyte predicted with GR-seismic joint inversion in the top of the Middle Sha-3 Member in Huangshatuo area

常与玄武岩互层或同碎屑岩相邻, 所以识别出其间的粗面岩是储层研究的关键。从欧-黄地区 3 种主要岩类的测井响应值 (表 2) 可知, 粗面岩具有高伽马、较高密度、低中子的特征; 而玄武岩则呈现低伽马、高时差、高中子的特点。其中, 自然伽马曲线对两种岩性的判别作用尤为明显。

从地震属性上看, 玄武岩速度和波阻抗分别为 $4.5 \sim 5.6 \text{ km/s}$ 和 $(10 \sim 14) \times 10^6 (\text{kg/m}^3) \cdot (\text{m/s})$, 粗面岩速度和波阻抗分别为 $4.0 \sim 5.8 \text{ km/s}$ 和 $(11 \sim 16) \times 10^6 (\text{kg/m}^3) \cdot (\text{m/s})$, 砂岩速度和波阻抗分别为 $3.0 \sim 4.5 \text{ km/s}$ 和 $(6.1 \sim 8.5) \times 10^6 (\text{kg/m}^3) \cdot (\text{m/s})$ 。因此, 通过速度及波阻抗不宜将二者区分。但利用自然伽马与速度、密度、波阻抗的交会图, 可在测井约束的基础上更为准确地识别出粗面岩 (图 4), 进而预测粗面岩的时空展布。

3.2 有利储层分布及预测

在识别出粗面岩储层的基础上, 结合储层纵向上的地球物理特征及测井响应特点, 以测井资料丰富的高频信息和完整的低频成分来补充地震有效带宽的不足, 利用自然伽马测井-地震联合反演, 确定本区粗面岩平面展布特征 (图 5) 及储层厚度 (图 6)。两图中红色为高阻抗值, 是粗面岩的反演特征。图 5 显示, 粗面岩主要沿界西断层 (图中紫色条带) 向北东方向呈弧状展布, 平面分布面积 28.5 km^2 。在小 22 井北东弧线轴向储层最发育, 厚度在 300 m 以上; 东西方向延伸较短, 向两侧逐渐减薄。最厚部位在小 22 井南 370 m 左右, 可能为火山喷发中心所在。图 6 表明, 在小 28 井-小 25 井之间存在一个粗面岩较厚的区域, 预测厚度 250 m 左右, 是有利的勘探目标区。实

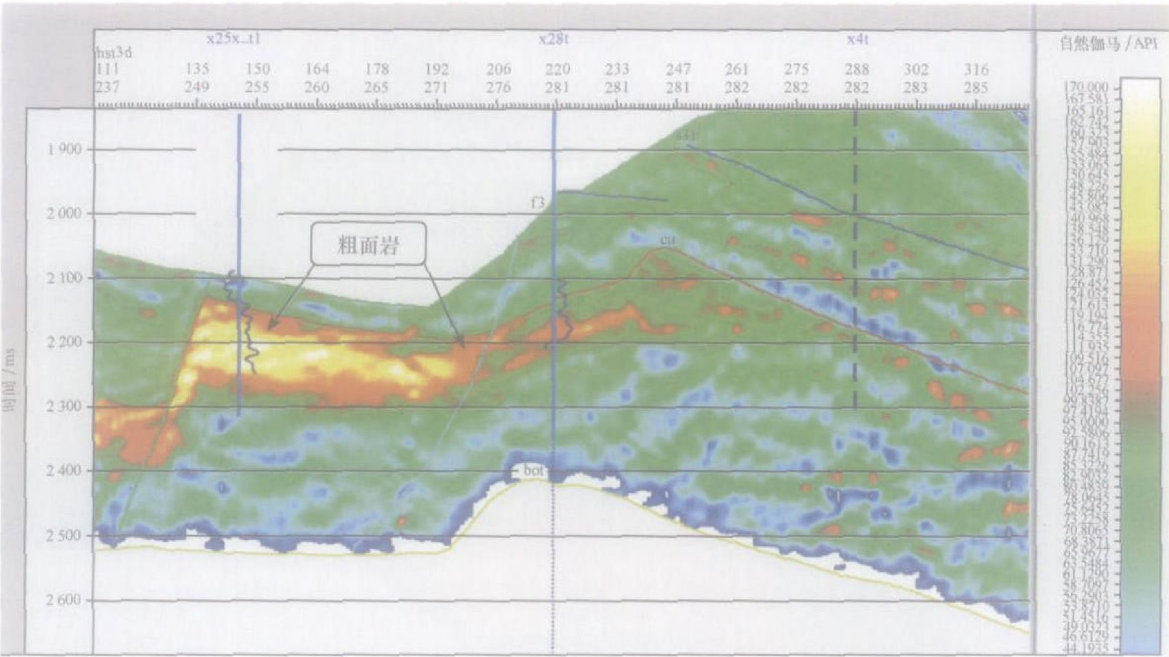


图 6 黄沙坨地区小 25 井—小 4 井自然伽马反演剖面 (方向如图 5 中蓝色线所示)
Fig. 6 Inversion profile of GR log across Well Xiao-25 and Well Xiao-4 in Huangshatuo area

际钻、测井结果表明,其厚度误差只有 3%,反演符合程度较高。

4 结论

欧-黄地区粗面岩储层不具常规岩石类型的专属性,与辽河拗陷广泛沉积的碎屑岩相比在形成机理、储集空间类型等方面存在较大差异。综合运用扫描电镜、铸体薄片、X-CT 扫描等技术手段对其进行详细描述,可以准确地获取反映储集空间类型和特征参数。根据火山岩储层的实际情况,充分而灵活地应用测井响应、多井约束波阻抗反演等技术,选择适当的方法和参数类型,完全可以取得有效的应用效果。

参 考 文 献

1 赵澄林,孟卫工,金春爽,等.辽河盆地火山岩与油气[M].北京:石油工业出版社,1999.4~6
2 马玉龙,牛仲仁.辽河油区勘探与开发[M].北京:石油工业出版社,1997.48~51
3 仇劲涛.东部凹陷中段火成岩成藏条件分析[J].特种油气藏,

2001,8(1):57~61
4 魏喜.欧利坨子地区火成岩成藏特征及成因探讨[J].特种油气藏,2001,8(1):50~54
5 廖周川,陈元春,张新培,等.利用测井技术识别黄沙坨地区火山岩储层[J].特种油气藏,2003,10(1):66~69
6 曹海丽.黄沙坨油田火山岩油藏特征综合研究[J].特种油气藏,2003,10(1):62~65
7 赵海玲,刘振文,李剑,等.火成岩油气储层的岩石学特征及研究方向[J].石油与天然气地质,2004,25(6):9~13
8 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(S0):37~43
9 任作伟,金春爽.辽河拗陷 609 井区火成岩储集层的储集空间特征[J].石油勘探与开发,1999,26(4):54~56
10 张子枢,吴邦辉.国内外火成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):1~26
11 刘万沫,王璞瑞,门广田,等.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
12 蒙启安,门广田,赵洪文,等.松辽盆地中生界火山岩储层特征及对气藏的控制作用[J].石油与天然气地质,2002,23(3):285~288
13 杨铭辉,郭力,赵洪涛,等.松辽盆地南部东南隆起区储层特征[J].石油实验地质,2006,28(4):330~334

(编辑 李 军)