

成像测井技术在胜利油田桩海地区 微裂隙构造分析中的应用

冯 斌^{1,2}, 田 波², 韩德辉², 方大钧¹

(1. 浙江大学 地球科学系, 浙江 杭州 310027; 2. 胜利油田有限公司, 山东 东营 257000)

摘 要:针对碳酸盐岩储层裂缝、孔洞等非均质信息定量分析评价困难的问题,采用地层微电阻率扫描及超声波成像测井技术,对桩海潜山含油气构造主要探井桩古斜 47 井的储层特征进行了研究. 通过高分辨率的井壁图像、信息提取、综合分析等方法,定量计算储层参数,准确评价了该井地层岩性、裂缝性质及方向、溶洞特征、地应力方向,总结了一套利用测井成像技术(FMI Fissure Microscanner Image)测井技术进行古生界潜山油藏储层评价的综合解释模式,为落实储量和科学勘探开发该类油藏提供了重要参数.

关键词: FMI; 成像测井; 裂缝; 地应力; 油气勘探

中图分类号: T631.4; P631.8

文献标识码: A

文章编号: 1008-973X(2003)02-0254-05

Application of imaging logging technology on the analysis of micro-fissustructures in the Zhuanghai area, Shengli oilfield

FENG Bin^{1,2}, Tian Bo², Han De-hui², Fang Da-jun¹

(1. Geoscience Department, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Shengli Oilfield Company, Shandong Province, Dongying 257000, China)

Abstract: It is difficult to conduct a quantitative analysis of variational information from the fissures and pore spaces of carbonate reservoirs. Imaging well-logging technology can do it better. This paper reports on the imaging well-logging results obtained by using the scanning technique of stratum micro-resistivity and the ultrasonic imaging well-logging technology, on the Na47 test well which is one of the major exploratory wells in the Zhuanghai burial hill oil-gas-bearing structures of the Shengli Oilfield. Comprehensive analysis and information obtained from the high-resolution images of well walls, were used to make quantitative estimates of reservoir beds parameters and factual assessment of the stratum lithology; the characters and orientation of fractures, and faults; the karst cave features in the exploratory well and the orientation of geostatic stress, which supplies some important parameters of the ascertainable reserves for scientific exploration and development of oil reservoirs. Finally, an all-around interpretative pattern is presented for evaluating the paleoburial hill reservoir beds by the FMI logging technology.

Key words: FMI; imaging well logging; fissure; karst cave; reservoir bed; exploration

成像测井是近几年来测井技术的一次飞跃^[1]. 它使测井资料的应用变得更加直观, 测量结果更加精细, 反映了储层及构造特征. 由于能提供高分辨率的类似岩心的照片, 就可以利用成像测井图像更精细地描述岩性、裂缝、沉积、构造地应力方向等特性,

为复杂油气藏构造研究提供了可能^[2].

古生界碳酸岩油藏储层中的裂缝、溶孔特别发育, 分析这些裂缝对划分储层、确定储集类型、判断产层级别有重要意义. 常规测井方法难以准确、有效地识别裂缝的产状、分布密度, 而成像测井能够识别

裂缝、孔洞,并定量半定量进行裂缝描述。

本文对桩海地区桩古斜 47 井进行了系统成像测井研究,针对古生界碳酸岩油藏的具体特点,采用地层微电阻率扫描等成像测井新技术^[3~5],总结出较为实用的古生界潜山油藏储层评价方法,用于识别碳酸岩岩相、岩性,评价裂缝类型及产状,确定地应力方向等地质问题,为提高古生界碳酸岩油藏的勘探开发提供了理论及方法依据。

1 FMI 成像测井技术方法

成像测井技术是通过在井下采用传感器阵列沿井壁纵向、径向采集地层信息,经过数据传输系统传输到地面后,通过图像处理技术得到井壁二维图像或井眼周围某一探测深度的三维图像。

本文应用地层微电阻率扫描成像测井和超声波电视成像测井。地层微电阻率扫描成像测井目前常用的井下电成像仪器主要为 FMI(斯仑贝谢)^[2]。它是利用按一定方式密集排列组合的电性传感器,阵列测量井壁附近地层电导率,并进行高密度采样和高分辨率成像处理^[2],得到“岩心似”的井壁成像图,用于储层评价以及沉积相、沉积构造等方面的研究^[6]。

地层微电阻率扫描成像测井仪测井时,所有极板被推靠到井壁上,由地面装置控制向地层发射电流,记录每个极板的电流强度及所施电压值,从而得到反映井壁四周地层微电阻率变化曲线。借助于工作站,处理解释系统对地层微电阻率扫描成像测井仪测得的大量数据,进行加速度校正、色度标定、图像生成等一系列处理后,就可得到反映井壁四周地层微电阻率变化的成像图。成像图的色彩变化反映的是井壁四周地层岩性和物性等变化,与实际岩石的颜色无关。

2 利用成像测井资料分析桩古斜 47 井裂缝和溶洞的发育规律

桩海地区古生界潜山为本区的主力生产层系(图 1)。

桩海含油古潜山是近年来发现的一个被断层复杂化的含油气构造,桩古斜 47 井即为该构造区的一口重点预探井。

该井完钻后,古生界见到良好油气显示,为了准确评价古生界碳酸岩储层的构造、裂缝、溶洞等发育情况,定量计算储层参数。落实储量和科学开发该类油藏提供理论依据,对桩古斜 47 井进行了地层微电

阻率扫描成像测井,并对图像进行了分析研究。

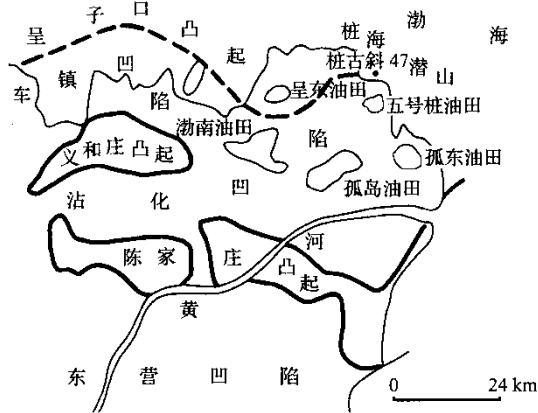


图 1 桩海地区位置图

Fig. 1 Location and geological structure map of Zhuanghai area

2.1 构造分析

构造分析是基于对层理的分类拾取和计算而进行的^[7]。统计结果表明,本井 FMI 测量井段地层以北倾(图 2)方向为主,构造的高点位于井的南部。由于受断层的影响,各断块内地层的倾向变化不大,但地层倾角的变化较大,一般在 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$,局部(长山+固山组)地层倾角变化可达 $5^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。

2.2 应力分析

地应力分析原理:由于地应力方位与井眼崩落及诱导缝的方位关系密切,因此从 FMI 图像上分析井眼崩落及钻井诱导缝的发育方位可确定最大或最小水平应力方向。在裂缝发育段,古构造应力多被释放,保留的应力很小,其应力的非平衡性也弱。但在致密地层中古构造应力未得到释放,并且近期构造应力在致密岩石中不易衰减,因而产生了一组与之相关的诱导缝及井壁崩落。诱导缝在 FMI 成像图上为一组平行且呈 180° 对称的高角度裂缝。这组裂缝的走向即为现今最大水平主应力的方向。

据桩古斜 47 井 FMI 图像特征及双井径的分析,井壁崩落或椭圆型井眼的长轴方位主要为北北东-南南西方向,表明该方向为井周的最小水平地应力方向。

2.3 裂缝分析

该井碳酸岩储层中发育的裂缝主要有三类:高导缝、高阻缝和钻井诱导缝(图 4)。

2.3.1 高导缝 在 FMI 图像上表现为深色正弦条纹,为泥浆侵入或泥质充填。

该井 FMI 测量井段地层中高导缝在局部井段较为发育,倾向以南南西为主,走向以北东东-南西

西为主,倾角变化大多在 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。

对于高导裂缝特征完全可以用裂缝定量评价的四个参数来体现。

(1)裂缝宽度(W)

指单位井段(L_m)中各种裂缝轨迹宽度的立方和开立方(垂直缝除外),单位为 mm。

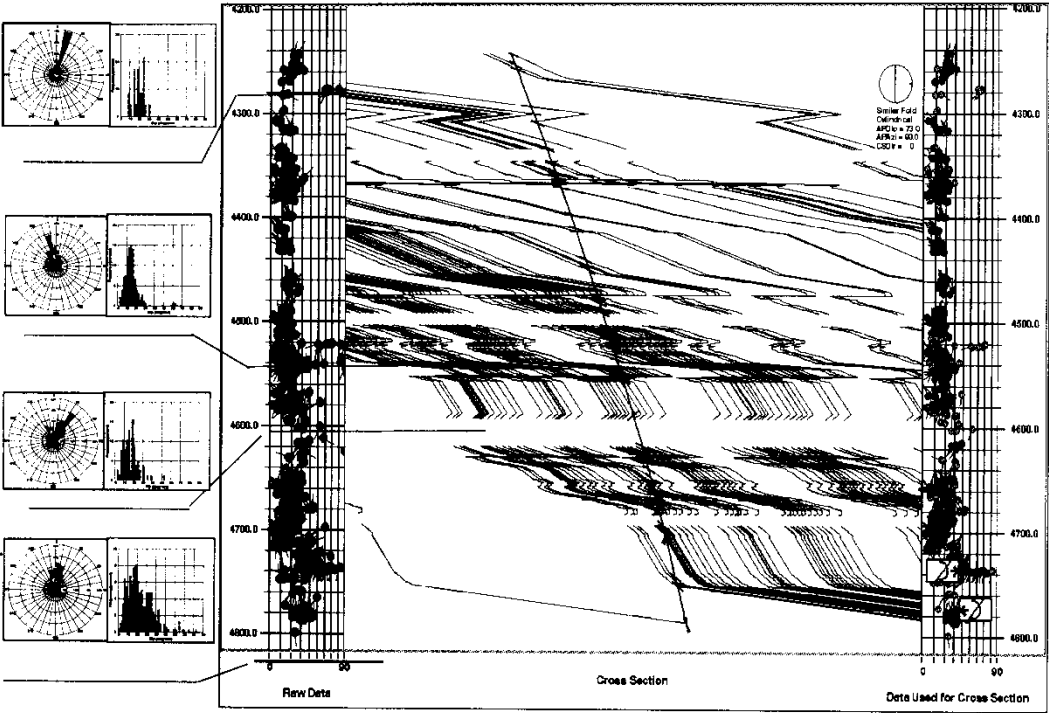


图 2 桩古斜 47 井井旁构造剖面

Fig. 2 Structural section of the Zhuangguxie 47 test well

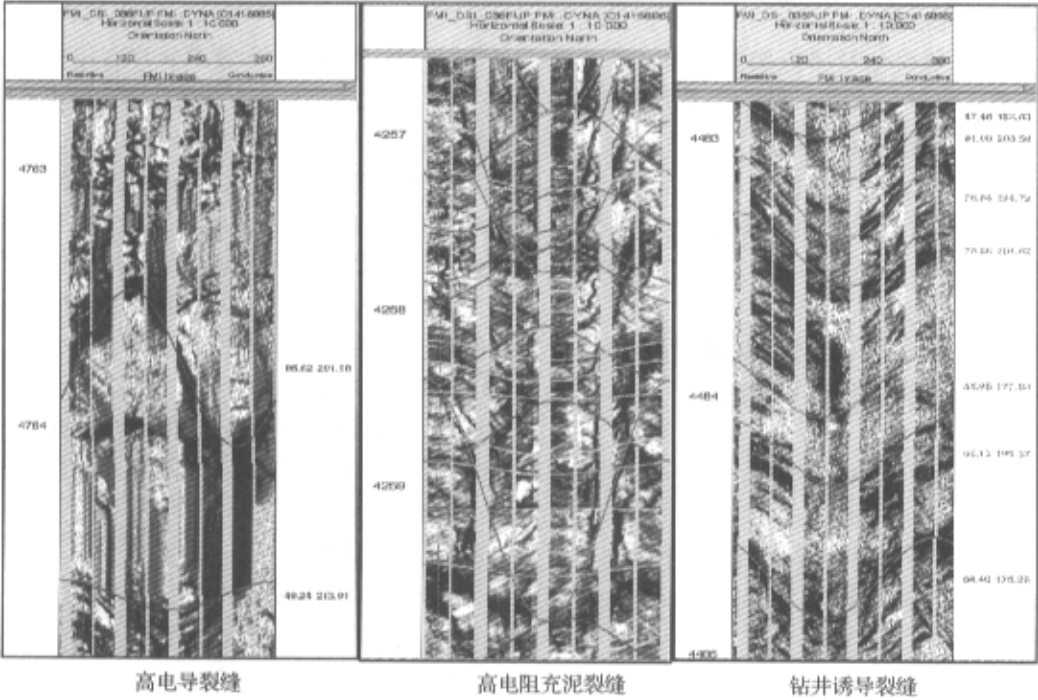


图 3 桩古斜 47 井 FMI 图像上的发育的主要裂缝

Fig. 3 The main fissures of the Zhuangguxie 47 test well shown on the FMI images

通过研究电导率异常的面积和充有泥浆的裂缝与裂缝周围侵入带之间的电导率差值可以获得平均裂缝宽度.

$$W=a \cdot A \cdot R_m \cdot R_{xo}(1-b).$$

式中: A 是裂缝造成的电导率异常的面积; R_m 是泥浆电阻率($\Omega \cdot \text{m}$); R_{xo} 是侵入带电阻率($\Omega \cdot \text{m}$); a 和 b 是与仪器有关的常数值.

A 、 R_{xo} 都是基于标定到浅侧向电阻 LIS 后的图像计算的.

(2)裂缝长度

指每平方米井壁所见到的裂缝长度之和,单位为 m/m^2 .

表 1 高导裂缝定量计算参数统计表

Tab.1 Statistical results of quantitative parameter calculation of high inductive fissures

区段/m	裂隙密度/ ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$)	裂隙长度/ ($\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$)	平均水力宽度/ ($\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$)	视孔隙度/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)	裂隙类型
4 189.0~4 194.0	3~5	3~5	0.001 5~0.003	$2 \times 10^{-5} \sim 6 \times 10^{-5}$	中—低角度
4 287.0~4 289.0	2~3	2~3	0.0 005~0.0 015	$0 \sim 3 \times 10^{-5}$	高角度
4 474.0~4 488.0	2~8	2~7	0.0 005~0.003	$1 \times 10^{-5} \sim 6 \times 10^{-5}$	中—高角度
4 548.0~4 638.0	2~5	2~6	0.0 003~0.003	$2 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$	中—高角度
4 717.5~4 720.5	2	1~2	0.001~0.003	$2 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-5}$	中—高角度
4 740.5~4 768.0	2~10	2~10	0.001~0.005	$4 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-5}$	中—高角度

2.3.2 高阻缝 在 FMI 图像上表现为高阻(浅色-白色)正弦曲线,系原始裂缝被后期次生作用的高阻矿物所充填.该井测量段仅见少量,以南西向为主,走向以北西-南东方向为主,倾角变化大,在 $30^{\circ} \sim 75^{\circ}$.

2.3.3 钻井诱导缝 受地应力作用的岩石在钻井过程中应力释放的结果,或是由于重泥浆的压裂及钻具的震动,诱导缝的走向即为最大水平主应力方向,最大特点是沿井壁的对称方向出现.该井测量段较为发育,主要呈羽状或垂直状,倾角在 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$,南倾为主,走向为东-西方向.

2.4 断层分析

本井的断层十分发育,以正断层为主,间有个别小型逆断层.

断裂除了造成局部的褶皱变形外,一些大的断层还造成地层的缺失,本井冶里—亮甲山组+风山组厚度的明显减薄即为断裂所至.断裂倾向杂乱,北东倾为主,倾角变化大,在 $20^{\circ} \sim 90^{\circ}$.

2.5 孔洞分析

桩古斜 47 井 FMI 图像表明,储集空间类型主要为孔洞及裂缝.孔洞表现为高导异常体,多为分散的星点状或串珠状的微孔.

利用 POROSPECT 软件可将 FMI 图像处理,

(3)校正后的裂缝密度

指每米井段所见到的裂缝总数,经过倾斜方位校正后的结果.

(4)裂缝视孔隙度

指所见到的裂缝在 1 m 井壁上的视开口面积除以 1 m 井段中图像的覆盖面积.由下式计算裂缝孔隙度 P :

$$P=\sum W_i \cdot L_i/L \cdot \pi \cdot D.$$

式中: $\sum W_i$ 是第 i 条裂缝的平均宽度; L_i 是第 i 条裂缝在单位井段 L 上的长度; D 是井径值.计算结果见表 1.

转换为孔隙度图像,定量分析孔隙度发育程度.处理表明,该井孔隙度值一般在 $2\% \sim 15\%$ (表 2),均质孔隙与次生(非均质)孔隙发育程度相当,其中次生孔隙包括裂缝及溶孔.

表 2 溶蚀孔洞 Porospect 定量计算参数统计表

Tab. 2 Statistical results of quantitative parameter calculation of high solution caves detected by the Porospect

区段/m	均质孔隙/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)	次生孔隙/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)	孔隙类型
4 188.0~4 207.0	2~4	2	裂缝+孔隙
4 317.0~4 385.0	2~5	2	孔隙
4 410.0~4 439.0	5~15	2~5	孔隙
4 457.5~4 468.0	2~7	2~3	孔隙
4 509.0~4 511.0	5	3	孔隙
4 521.0~4 568.0	2~10	2~4	裂缝+孔隙
4 583.0~4 587.0	3~13	2~4	孔隙
4 618.0~4 633.0	2~7	2~3	裂缝+孔隙
4 746.0~4 770.0	2~5	1~2	裂缝+孔隙
4 819.5~4 828.0	5~13	2~4	孔隙

3 结 论

(1) 通过桩古斜 47 井 FMI 图像的综合分析(图 4),该区构造倾角为北倾 15°左右,裂缝较发育,图像上可识别出高导裂缝,裂缝集中发育的井段位于 4 189~4 194 m、4 474~4 488 m、4 548~4 638 m 和 4 740~4 768 m。

(2) 研究区断裂较发育,断裂的性质以正断层为主,个别小型逆断层. 断裂造成局部地层的褶皱。

(3) 溶蚀孔洞主要见于白云质为主的层段,且以均质小孔为主. 主要孔洞段有 10 段。

(4) FMI 测井技术能够识别诱导缝和天然裂缝,为桩古斜 47 井的试油和开发提供了重要的工程设计参数。

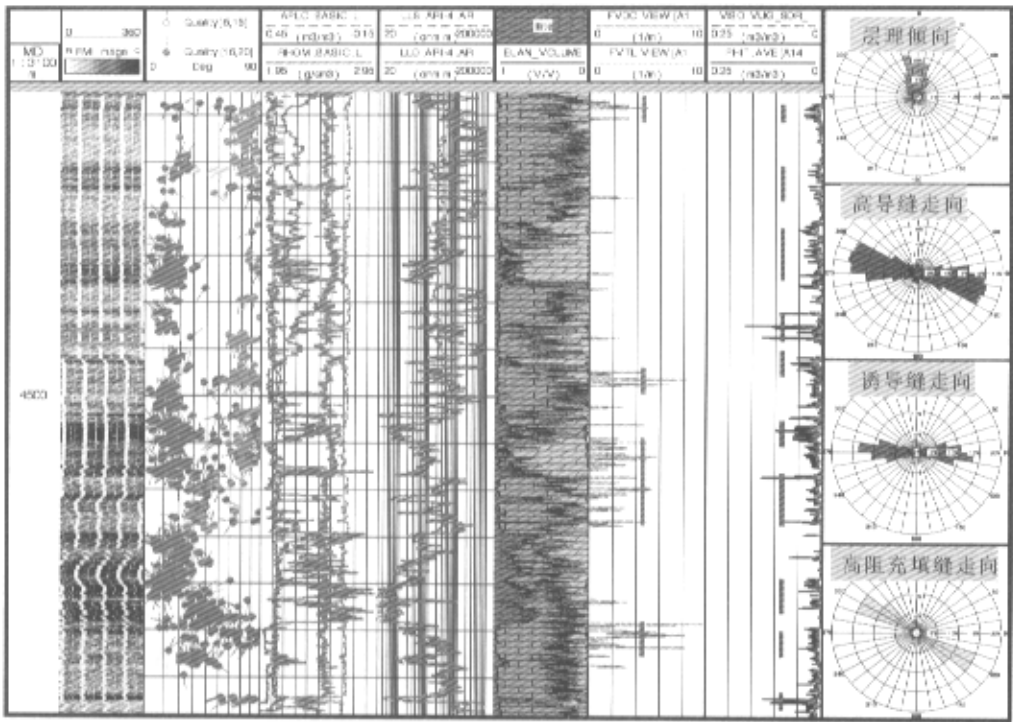


图 4 桩古-斜 47 井 FMI 测量段综合分析图

Fig. 4 Results of multidisciplinary analysis within the FMI sounding reach in the Zhuangguxie 47 test well

参考文献(References):

[1] 张守谦,顾纯学. 成像测井技术及应用[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
ZHANG S Q, GU C X. **Image logs technique and its application** [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.

[2] 张向军. 利用 FMI 成像测井资料解释地层沉积特征的典型事例[J]. 测井技术,1996,20(3):20—23.
ZHANG Xiang-jun. Explanation of sedimentary features with FMI microscanner image—a case study [J]. **Well Logs Technique**, 1996, 20(3):20—23.

[3] CARR D L, JOHNS R A. High resolution reservoir characterization of Mid-continent sandstones using wireline resistivity imaging, Boonsville (Bend conglomerate) gas field, Fort Warth Basin, Texas [J]. **The Log Analyst**, 1997, 38(6): 54—70.

[4] YAN J. Reservoir parameters estimation from well log and core data; a case study from the North Sea [J]. **Petroleum Geoscience**, 2002, 8 (1): 63—69.

[5] DURANTI D, HURST A, BELL C, *et al.* Injected and remobilized Eocene sandstones from the Alba Field, UKCS: core and wireline log characteristics [J]. **Petroleum Geoscience**, 2002, 8 (2): 99—107.

[6] HARKER S D, GANN G J, BOURKE L T, *et al.* **Methodology of formation microscanner image interpretation in claymore and Scapa fields (North Sea)**, No. 48 [M]. Geological Society of London: Special Publication, 1996. 1125.

[7] SERRA O. 测井资料地质解释[M]. 肖义越译. 北京:石油工业出版社,1992.
SERRA O. **Geological explanation of well logs** [M]. XIAO Yi-yue transl. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992.