

文章编号:1672-9854(2010)-03-0059-06

FMI测井技术在川东北地区 碳酸盐岩溶孔溶洞型储层评价中的应用

李昌¹, 周肖², 寿建峰¹, 徐美茹¹, 张荣虎¹

(1 中国石油杭州地质研究院; 2 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院)



摘 要 碳酸盐岩储层储集空间复杂多样,溶蚀孔洞发育且具有较强非均质性。根据实际岩心表面溶孔发育空间位置、均匀程度和溶孔直径,结合 FMI 特征,建立了 FMI 储层类型精细解释图版,并应用于非取心段储层类型的解释。川东北地区下三叠统飞仙关组、上二叠统长兴组的孔洞型储层可细分为三类:较连通型储层、局部连通型储层和孤立型储层。在储层类型解释基础上,结合 FMI 特征半定量地计算溶孔面孔率。通过取心井的验证,FMI 测井技术可有效地应用于评价溶孔溶洞型碳酸盐岩储层的非均质性。

关键词 碳酸盐岩储层;溶洞型储层;储层定性识别;储层评价;地层微电阻率扫描成像(FMI)测井;川东北地区

中图分类号: TE112.23; P31.829 **文献标识码:** A

李昌 1978 年生,硕士,主要从事测井地质解释工作。通讯地址:310023 杭州市西溪路 920 号;电话:(0571)85221097

碳酸盐岩储层储集空间复杂多样,具有非均质性强、各向异性等特点,常规测井方法往往在评价这类储层时具有很大局限性。20 世纪 80 年代发展起来的电成像测井技术,例如地层微电阻率扫描成像(Formation MicroScanner Image, FMI)测井,可以直观地评价碳酸盐岩储层缝洞特征^[1-3],还可以评价地层应力方向^[4],量化评价溶孔面积、裂缝宽度及条数等地球物理参数^[5-7],因而目前已成为碳酸盐岩储层评价的重要手段。

川东北地区下三叠统飞仙关组、上二叠统长兴组碳酸盐岩储层的类型主要为溶孔溶洞型和裂缝-溶孔型。本文主要针对溶孔溶洞型储层进行非均质性精细刻画。通过对该区取心井的岩心观察测量,分析溶孔溶洞的岩心表面发育均匀性、溶孔溶洞直径及其空间发育位置,结合其 FMI 特征,制作了溶孔溶洞型储层 FMI 精细解释图版。

本文根据储层的 FMI 特征,细分出较连通型、局部连通型和孤立型三类储层,进一步刻画了储层

的纵向非均质性。同时,利用数字图像处理技术,计算出溶蚀孔洞的面孔率,通过定性储层解释和半定量面孔率的计算,有效地评价了储层纵向非均质性,经与实际取心井对比验证,评价效果较好,表明本文所采用的方法具有可推广性。

1 利用 FMI 测井进行储层类型评价

利用 FMI 测井技术进行碳酸盐岩储层定性评价,首先是要建立储层成像特征图版,即根据取心井所取岩心段与 FMI 资料建立关系图版,然后将该图版应用到非取心段储层类型的解释。

以往一般情况下,储层类型的解释主要分为溶孔溶洞型、裂缝型和裂缝-溶孔型,而对每类储层的精细分类涉及较少。本次研究主要针对溶孔溶洞型储层,通过详细的岩心观察,研究溶孔溶洞在岩心表面的发育均匀性、溶孔溶洞的直径以及空间发育位置等因素,结合溶孔溶洞的 FMI 特征,建立了储层类型精细解释图版。

收稿日期:2010-03-16;改回日期:2010-06-21

本文为中石油股份公司科研开发项目分课题“海相碳酸盐岩气藏开发精细地质定量描述技术研究与应用”的部分成果

FMI测井储层精细解释图版可分为三类:较连通型、局部连通型和不连通型(孤立型);其中较连通型储层又可进一步细分为均匀分布型、针状溶孔型和垂直分布型三小类。不同类型储层在成像特征上表现出各自的差异性。

1.1 较连通型储层的FMI特征

该类储层溶孔最发育,在电成像图上溶孔分布范围广,溶孔之间连通性好,该类储层岩心物性为:平均孔隙度大于12%,渗透率大于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,物性较好。溶孔溶洞型储层是本研究区最常见的储层类型。较连通型储层在形态上具有多样性,可以进一步细分出三小类:均匀分布型、针状溶孔型和垂直分布型。

1.1.1 均匀分布型

溶孔均匀分布型储层是物性最好的储层,其溶孔溶蚀程度较高,溶孔溶洞在面上分布相对均匀,溶孔的直径较大($>1.5 \text{ mm}$),FMI特征明显。如图1a静态图像整体为暗色,说明泥浆侵入溶孔溶洞造成地层电阻率降低;动态图像中暗色为溶孔溶洞,亮色为相对致密背景,与其对应的岩心可见溶孔溶洞发育。

1.1.2 针状溶孔型

该类储层特点是溶孔直径小,大多为 $0.1 \sim 1.0 \text{ mm}$,已经远低于FMI测井的分辨率。理论研究表明,此类溶孔在FMI上分辨率的误差达到56%以上时往往不能反映溶孔特征。从图1b上可以看出,动态图像中的溶孔特征不清晰,但静态图像为暗色,说明电阻率较低,有泥浆侵入特征,存在孔隙,同时常规测井中表现为低伽马、高中子、低密度和高声波时差值等特征,表现出储层特征。而对应的岩心则表现为溶孔呈针孔大小且密集分布的特征。该类储层亦具有较好物性。

1.1.3 垂直分布型

该类储层FMI图像特点是:静态图像暗色为低电阻率的特征;动态图像中溶孔垂直分布,类似垂直溶蚀缝发育(图1c)。该类储层在研究区分布较少。该储层的FMI图像未获对应岩心段,推测溶孔在岩心表面垂直带状分布,或者有高角度裂缝存在,早期充填胶结,后期溶蚀形成。根据常规测井计算孔隙度,该类储层孔渗性较好。

1.2 局部连通型储层的FMI特征

局部连通型储层也是常见的储层类型,其储层物性较好,孔隙度在6%~12%之间,渗透率在 $(0.1 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,其FMI特征为:静态图像为暗色;动态图像上溶蚀孔洞分布相对不均匀,往往集中发育在局部(图2);对应的岩心上可见溶孔集中在局部发育。

1.3 孤立型储层的FMI特征

此类储层物性差,主要特点是低孔隙度、极低渗透率。其FMI特征为:静态图像中亮色为高电阻率特征,反映地层致密;动态图像中溶孔零星分布,孤立且不连通,该类储层大多是溶孔溶洞型储层中的内部夹层,酸化压裂后裂缝沟通了孤立孔,也可有一定产能。

1.4 储层类型图版的应用

对研究区内X1井6062~6072m段,利用解释图版进行了储层类型的精细解释。储层在纵向上主要由三种类型组成,即孤立型、均匀分布型、局部连通型(图4)。从图4可以看出FMI特征可以近似地代表实际岩心描述,因此通过对FMI特征的分类也就能近似地代表对岩心溶孔类型的分类,从而实现利用FMI测井的图像对储层溶孔类型的分类和对储层非均质性的评价。

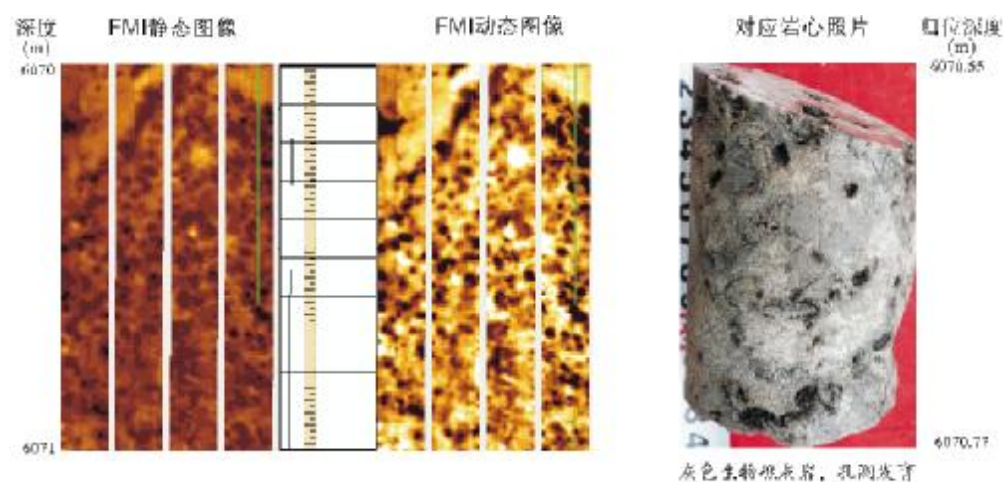
通过对比岩心物性资料(图4),均匀分布型和局部连通型的储层物性远好于孤立型的储层物性,说明根据FMI特征划分的储层类型符合实际地质情况。

对X1井的研究表明,溶孔溶洞型储层并非处处都发育溶孔,溶孔溶洞在纵向上的发育多有变化,这与成岩作用和溶蚀作用有关。

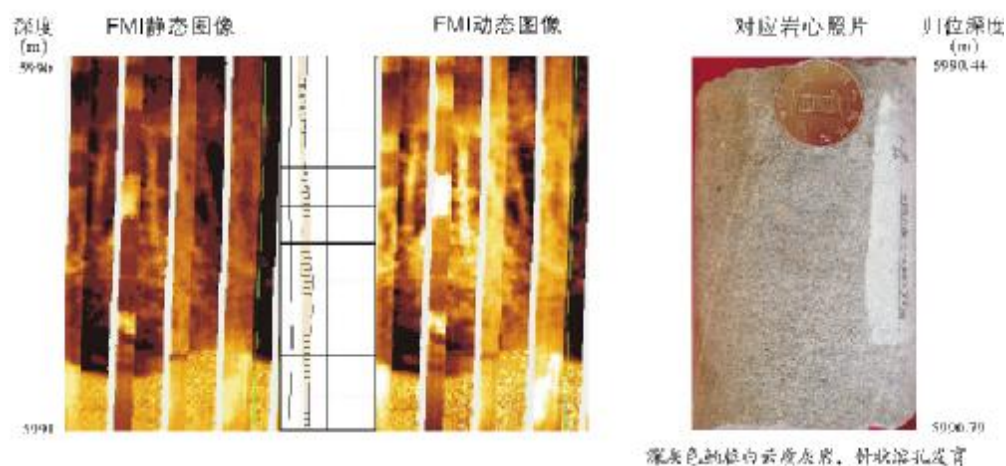
2 利用FMI测井半定量计算溶孔面孔率

利用FMI测井技术对溶孔溶洞型储层的定量评价,主要是计算成像孔隙度,其原理是依据浅侧向测井、FMI测井和阿尔奇公式联合推导计算公式。本次研究未计算FMI孔隙度,而是计算了FMI图像的溶孔面孔率。利用数字图像处理技术,通过识别图像上溶蚀孔洞面积大小,计算其面孔率大小。该面孔率可以近似地反映实际岩心的溶孔面孔率。

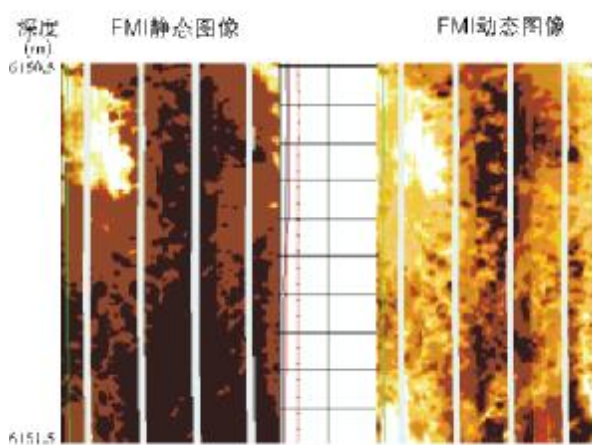
本计算流程(图5)所用的数字图像技术包括图像对比度增强、灰度变换、目标与背景分离(提取溶



(a) 均匀分布型储层。川东北X1井



(b) 针状溶孔型储层。川东北X2井



(c) 垂直分布型储层。川东北X3井

图1 较连通型储层 FMI 成像特征以及对应的岩心特征

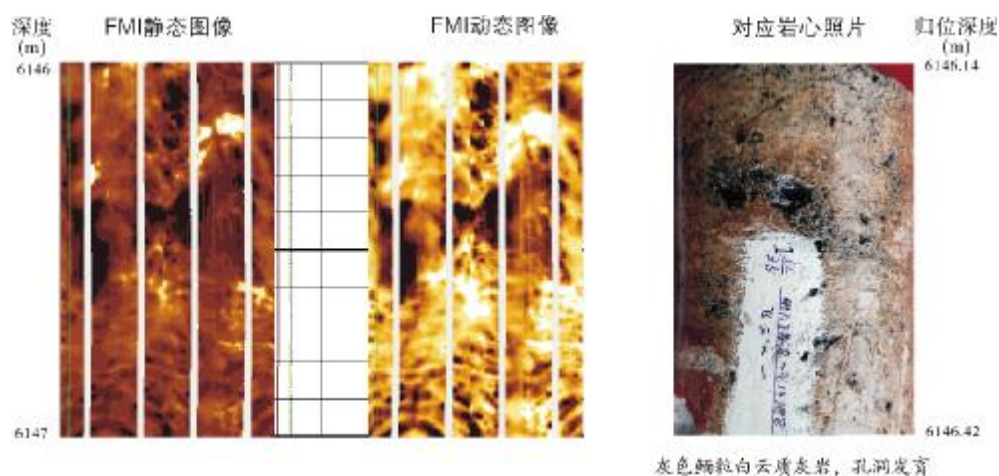


图2 局部连通型储层(川东北 X3 井)FMI 成像特征以及对应的岩心特征

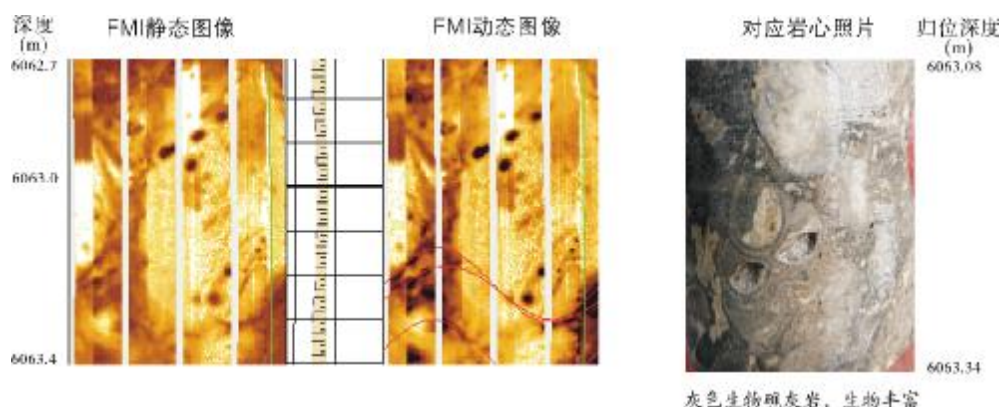


图3 孤立型储层(川东北 X1 井)FMI 成像特征以及对应的岩心特征

孔面积)等。将提取得到的溶孔面积除以总表面积即得到溶孔面孔率。

利用此法计算面孔率与实际岩心描述面孔率有较好的相似性,以川东北 X1 井为例,对 6 070.72~6 070.87 m 段 FMI 图像(图 6b)和岩心图像(图 6d)分别计算出面孔率(图 6a 和 6c),然后进行对比验证。从图中对比来看,FMI 计算面孔率与岩心面孔率的纵向变化极为相似。

结果表明,在碳酸盐岩储层非均质性评价中,可以利用 FMI 溶孔面孔率变化曲线反映溶蚀孔洞的发育情况。

3 FMI 测井定性和半定量综合评价的地质应用

以川东北 X3 井 6 144~6 159 m 储层段的应用为

例。由储层类型的精细解释反映出储层内部发育有四种溶蚀孔洞类型,即均匀分布型、孤立型、针状溶孔型和垂直分布型(图 7),显示了较强的非均质性。FMI 面孔率与岩心分析孔隙度也具有很好的相关性。

进一步综合分析该段的储层,从上往下溶蚀作用减弱,溶孔发育程度变差,但溶蚀作用也有间断,孤立型储层发育。

4 结 论

(1)FMI 测井是评价碳酸盐岩储层的有力手段,特别是对评价碳酸盐岩储层非均质性具有独特优势。对于溶孔溶洞型碳酸盐岩储层,利用岩心描述结合 FMI 测井,建立精细解释图版,可较好地描述储层类型的纵向非均质性变化。

(2)由 FMI 图像计算的面孔率,与由岩心计算的面孔率有较好的相似性,可以用于半定量地评价

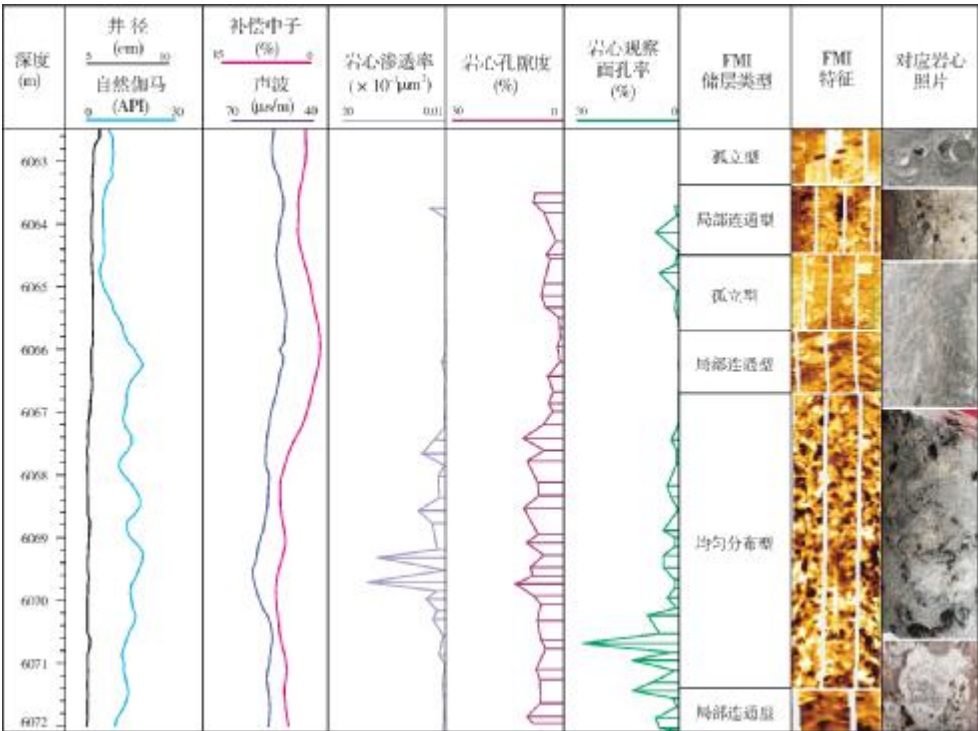


图 4 川东北 X1 井 6062~6072 m 储层段 FMI 测井储层类型解释柱状图

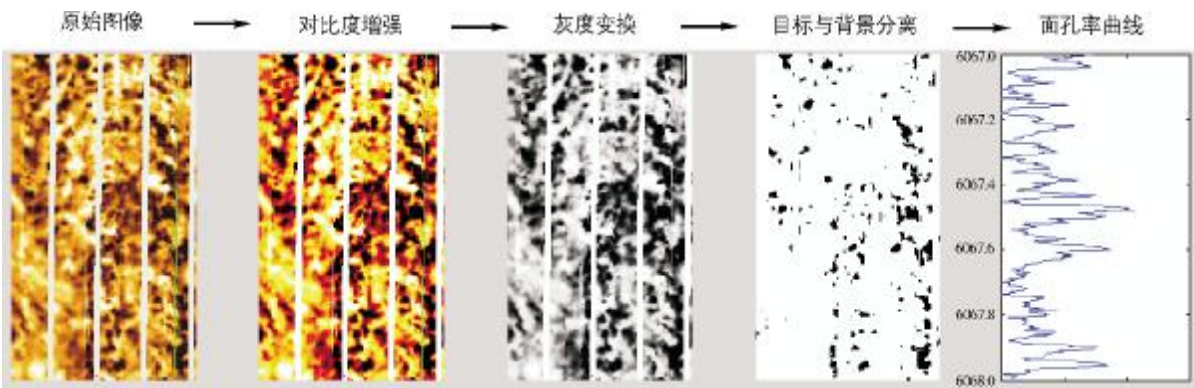


图 5 川东北 X1 井 FMI 图像面孔率计算流程图

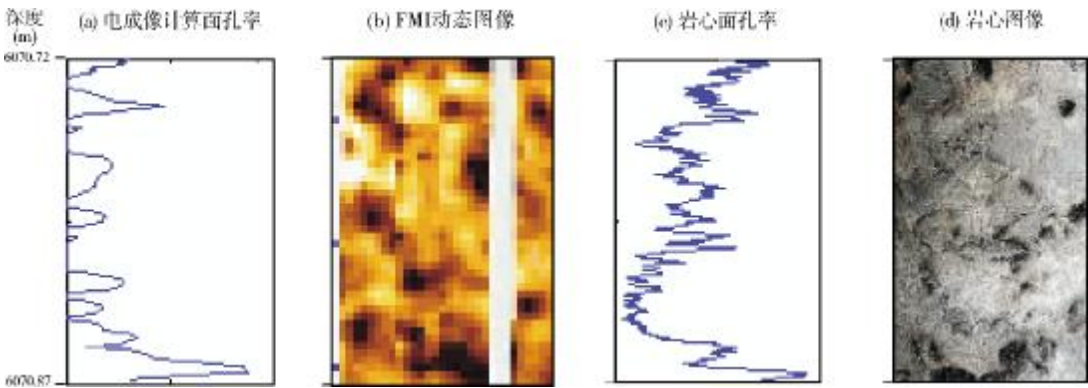


图 6 川东北 X1 井 6070.72~6070.87 m 储层段 FMI 测井与岩心的面孔率对比

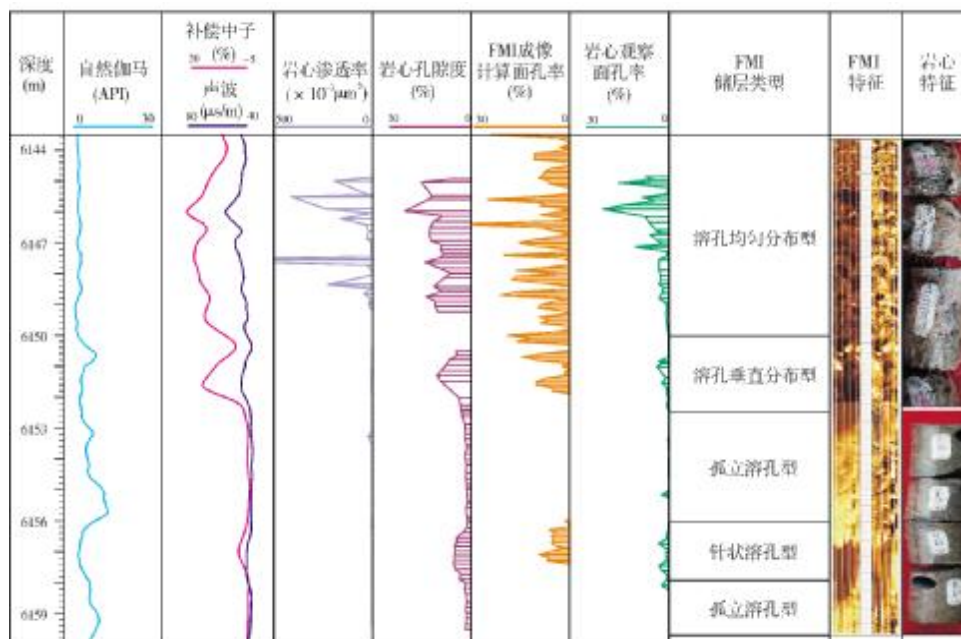


图7 川东北X3井6144~6159m段FMI测井储层综合评价图

溶孔发育程度。

(3)利用FM测井进行定性和半定量的综合评价能够较好地评价碳酸盐岩储层非均质性,该方法有推广前景。

参考文献

- [1] 杨丽兵,李瑞,梁涛.电成像测井在川北地区长兴组储层评价中的应用[J].天然气勘探与开发,2008,2(3):8-17.
- [2] 司马立强.测井地质应用技术[M].北京:石油工业出版社,2002.
- [3] 赵良孝.碳酸盐岩储层测井评价技术[M].北京:石油工业出版社,1994.
- [4] 黄继新,彭仕宓,王小军,等.成像测井资料在裂缝和地应力研究中的应用[J].石油学报,2006,27(6):66-69.
- [5] Serra O. Formation microscanner image interpretation[M]. Houston: Schlumberger Educational Service, 1989.
- [6] 周云才,李凤珍.边缘提取算法研究及其在FMI图像处理中的应用[J].计算机与数字工程,2007,7(3):133-134.
- [7] Delhome J P. A quantitative characterization of formation heterogeneities based on borehole image analysis[G]. Transactions of the SPWLA 33rd Annual Logging Symposium, Oklahoma, 1992.

编辑:赵国宪

The application of FMI Logging Method in Evaluation of Dissolution Pored/Caved Carbonate Reservoirs

Li Chang, Zhou Xiao, Shou Jianfeng, Xu Meiru, Zhang Ronghu

Abstract: The reservoir space of fractured carbonate rock is various and complicated for the heavy nonhomogeneity caused by developing dissolution pores and caves. Conventional logging techniques have some limitation to evaluation of carbonate reservoirs, whereas FMI logging method has a unique advantage. On the base of core description such as space position, uniformity extent, and dissolution pore sizes on the core surface, and combining with FMI features, a fine FMI interpretation plate of reservoir type is set up, which can be applied to interpret non-core reservoirs. The research ones are from the pored/caved Triassic Feixianguan and Permian Changxing carbonate reservoirs in northeastern Sichuan Basin. These reservoirs can be divided into three types, i.e. the connective, the locally connective and the isolated ones. Using digital image processing technology, the area size of the dissolution pores and caves in the image can be calculated and surface porosity can be obtained. The application of the FMI interpretation plate in cored wells validates that the FMI logging method is effective to evaluate nonhomogeneity of pored/caved carbonate reservoirs.

Key words: FMI logging; Carbonate reservoir; Solution pored and caved reservoir; Qualitative recognition of reservoir; Reservoir evaluation; Northeastern Sichuan Basin

Li Chang: male, Master. Add: Hangzhou Institute of Petroleum Geology, PetroChina, 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang, 310023 China