

塔河油田碳酸盐岩储层有效性测井评价实践与思考

柳建华, 蔺学旻, 张卫锋, 张晓明

(中国石化 西北油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:塔河油田奥陶系已经勘探开发十几年了,目前除了在塔河继续精细勘探,也正在加大塔河之外的勘探。近几年塔中、玉北奥陶系碳酸盐岩储层勘探实践表明,储层有效性评价越来越显得重要。针对塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层,从测井响应特征分析入手,在岩心、成像测井、常规测井相互标定的基础上,细化溶孔、裂缝和溶洞型储层的分类,建立塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层有效性测井识别与评价方法。对溶洞型储层采用自然伽马与视地层水电阻率交会方法进行有效性评价。对于裂缝孔洞型储层还可以利用电成像局部电阻率法评价储层有效性。实践表明,这两种方法可以较好解决因泥质充填造成的储层有效性评价问题。对于因储层类型不同,或具体说因裂缝发育强弱造成储层有效性差异的裂缝孔洞型储层有效性评价,通过“四性”关系及数模研究,提出定渗透率、变孔洞孔隙度、变裂缝孔隙度的储层渗流评价模型。实际应用表明,储层渗流评价方法提高了测井解释符合率,为塔里木盆地碳酸盐岩储层有效性评价、完井方案制定和储量参数计算提供了依据。

关键词:测井;溶洞型储层;裂缝孔洞型储层;储层渗流评价;碳酸盐岩;塔河油田

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Logging evaluation of carbonate reservoir effectiveness in Tahe oilfield, Tarim Basin

Liu Jianhua, Lin Xuemin, Zhang Weifeng, Zhang Xiaoming

(Exploration and Production Research Institute, Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The exploration and development of the Ordovician in Tahe Oilfield have been undertaken for more than ten years. In addition to the fine exploration in Tahe Oilfield, exploration is also performed outside of Tahe at present. In recent years, the exploration of the Ordovician carbonate reservoirs in Yubei and Tazhong shows that the reservoir effectiveness evaluation has been becoming more and more important. On the basis of the logging response characteristics and the mutual calibration of the core analysis, imaging logging and conventional logging, the dissolved pore reservoirs, fractured reservoir sand fractured-vuggy reservoirs are further subdivided, and well logging identification and evaluation methods are put forward for the effectiveness evaluation of the Ordovician carbonate reservoirs in Tahe Oilfield. The effectiveness of vuggy reservoirs is evaluated through cross-plotting of natural gamma and apparent formation water resistivity. Additionally, the effectiveness of fractured-vuggy reservoirs is evaluated by using the electric imaging local resistivity method. The practices show that these two methods can better solve the problem of reservoir effectiveness evaluation caused by filling of clay. For the different types of fractured-vuggy reservoirs whose effectiveness is influenced by the strength of fracture development, we studied the relationships between lithology, electrical property, porosity and oil-bearing property and performed mathematical simulation. Based on these studies, we put forward the evaluation model featuring in constant permeability, mutative vuggy porosity and fracture porosity. The application of this model shows that the coincidence rate of the logging interpretation has been improved. It provides evidences for the reservoir effectiveness evaluation, the formulation of completion scheme and the calculation of reserve parameters.

Key words: well logging, vuggy reservoir, fractured-vuggy reservoir, reservoir seepage evaluation, carbonate rock Tahe oilfield

塔河油田位于塔里木盆地沙雅隆起阿克库勒凸起西南部。阿克库勒凸起于加里东中、晚期形成凸起雏形,海西早期受区域性挤压抬升形成向西南倾伏的北东向展布的大型鼻凸。在长期的抬升暴露风化剥蚀过

程中,使凸起大部分地区普遍缺失志留系-泥盆系及中、上奥陶统,下奥陶统也遭受了不同程度的剥蚀。受到以海西早期为主的多期构造运动的影响,形成了塔河油田奥陶系岩溶缝洞型的碳酸盐岩储层。自1990

收稿日期:2014-10-15;修订日期:2014-11-02。

第一作者简介:柳建华(1968—),男,高级工程师,石油测井。Email:xbcljh@sina.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05005-004)。

年发现以来,勘探开发面积不断扩大,探明储量稳步增长,显示了塔河油田奥陶系巨大的勘探开发前景。塔河油田钻井揭示的中、下奥陶统分为一间房组和鹰山组。大量岩石薄片鉴定统计表明,主要岩性为泥微晶灰岩与颗粒微晶灰岩,其矿物成分主要为方解石,一般含量占到99%以上。奥陶系灰岩基质岩性致密,据小样品岩心孔渗分析资料统计,孔隙度分布范围为0.01%~8.5%,其中小于0.5%的占样品总数的34%,小于1.0%的占77%。储层具有低孔、低渗、非均质性极强的特点,储层的测井评价尤其是储层有效性评价仍是世界性难题。塔河油田奥陶系主要储集空间类型大致分3种:裂缝型、溶孔型和溶洞型。储层具有低孔、各向异性和非均质性三大特点^[1-9]。利用成像测井搭桥,对大量的岩心、成像测井、常规测井进行桥式对比研究,对塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层测井特征有了进一步认识。

1 储层成像测井标定及储层分类测井特征

1.1 储层分类测井响应特征

根据钻井、岩心和铸体薄片等的观察,按成因、形态及大小可将塔河油区奥陶系碳酸盐岩有效储渗空间分为三大类型:孔隙、裂缝和溶洞。塔河油田纯孔隙型储层不多。下面主要针对裂缝型与溶洞型储层进行测井特征分析^[5-6]。

1.1.1 裂缝型储层

裂缝型储层是碳酸盐岩储层中常见的储层类型。在构造高部位、断层附近、地层曲率半径最大处都为裂缝发育的有利部位。按照裂缝充填程度、裂缝产状可以将有效裂缝分为如下几种类型。

1) 未充填或低阻充填缝

该类裂缝为碳酸盐岩地层中所遇到的常见模式之一。在成像图上表现为正弦曲线状的暗色条带。根据裂缝的倾角变化可以将其划分为高角度缝(倾角 $>75^{\circ}$)、斜交缝(倾角 $40^{\circ}\sim75^{\circ}$)、低角度缝(倾角 $<40^{\circ}$)和水平缝。另外还有一些因强烈的溶解作用导致的不规则缝。一般天然形成的裂缝多与地层的层面不平行,其宽窄不一,当受后期溶蚀作用影响,不规则性进一步增强,而且还会有异物充填。有效裂缝层段响应特征为:自然伽马很低(小于10API);双侧向幅度差异大小反映了裂缝的倾角变化,高角度缝发育时双侧向测井呈正差异,即深侧向测井(RLLD) $>$ 浅侧向测井(RLLS),倾角愈陡,差异愈大;低角度缝发育时双侧向测井呈小幅度负差异,即 $RLLD < RLLS$;若深、浅侧向的测井值接近,反映裂缝的倾角在 $40^{\circ}\sim75^{\circ}$,表明斜交缝发育,对应密度测井值降低、中子孔隙度相对基岩增高的特征,在电阻率成像测井上有不规则的低电阻率黑色条纹。TH11井埋深5 586.5~5 592.5m井段是裂缝型储层段的例子(图1)。

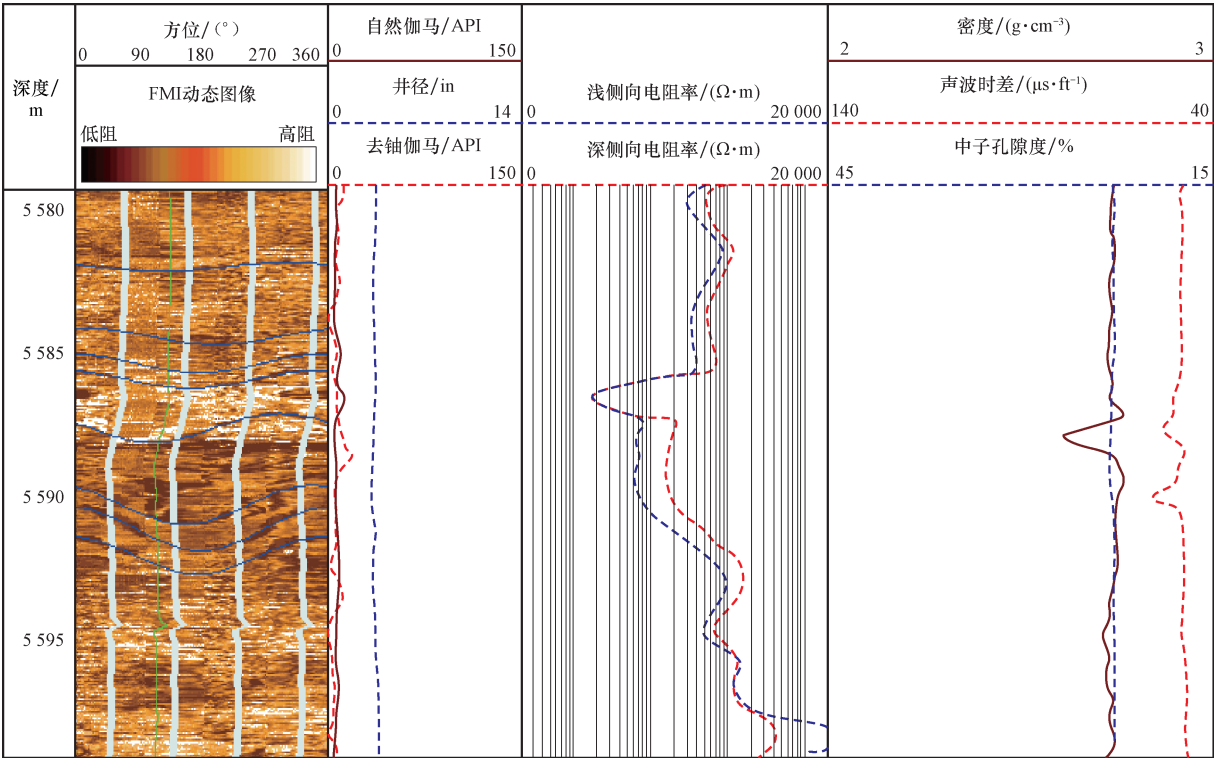


图1 塔河油田TH11井裂缝型储层测井响应特征

Fig.1 Logging response characteristics of fractured reservoirs in Well TH11 in Tahe oilfield

2) 直劈缝

在成像图上表现为近于垂直的暗色条纹,其方位角不像诱导缝那样呈 180°对称,而是比较小。常规测井曲线上,自然伽马曲线和孔隙度曲线基本没有反映,电阻率曲线多数成“双轨”特征。

3) 共轭缝

一组倾向相差 180°的裂缝所构成的成像测井图,这组裂缝倾角相近,两两相交。研究表明,该类裂缝交叉处,经溶蚀改造容易形成大的溶洞。

1.1.2 溶洞型储层

根据溶洞中的充填物种类和充填程度的不同,可以将溶洞型储层分为如下几种亚类:未充填洞穴型储层、砂泥质半(部分)充填洞穴型储层、砂泥质全充填洞穴型储层、角砾岩充填洞穴型储层、方解石半充填洞穴型储层^[9-18]。

1) 未充填洞穴型储层

未充填溶洞在成像资料上较易识别,表现为整体较暗的颜色。在常规资料上,溶洞段的自然伽马值较围岩变化不大;双井径曲线有明显的扩径现象;双侧向测井值明显减小,呈大的“正差异”,且较为平直;密度测井值在溶洞处也呈“弓”形,降低很多;声波时差和中子孔隙度增大。

2) 砂泥质半(部分)充填洞穴型储层

若洞穴中是部分充填的砂泥岩,则多在溶洞的底

部发育,成像测井的动态图像上呈现为上部较暗,下部较亮并可能呈现层理的特征,通过处理部分井可以提取出沉积物的产状。在常规资料上,部分充填溶洞型储层段的自然伽马值较围岩增大,且可能下部自然伽马值要高于上部;双井径曲线有明显的扩径现象;双侧向测井值明显减小,呈大的“正差异”,且变化较大;密度测井值在溶洞处也呈“弓”形,降低很多;声波时差和中子孔隙度增大。

3) 砂泥质全充填洞穴型储层

大溶洞中全充填有砂泥质的储层测井响应与砂岩相似,储层中可见层理发育,并可判断出古水流方向。考虑溶洞上下方的裂缝段双侧向的响应,构成以溶洞中点深度为对称轴的“大对称弓形”。自然伽马值较围岩增大,值的大小与大溶洞中充填物有关。孔隙度测井反映砂岩的孔隙特征。

4) 角砾岩充填洞穴型储层

成像测井图上,可以清楚的看到洞中的角砾,颜色较亮,并呈棱角状。一般在溶洞上部由于应力释放发育有大量溶蚀缝,在溶洞底部由于后期的溶蚀作用也发育有部分裂缝。角砾间多充填有砂泥质。在常规资料上,自然伽马和去铀伽马测井值随溶洞中泥质含量而变化;双侧向测井值明显减小,且变化较为平直;声波时差测井值有泥质充填部分相对大,角砾充填部分值相对小;中子、密度测井值变化较大(图2)。

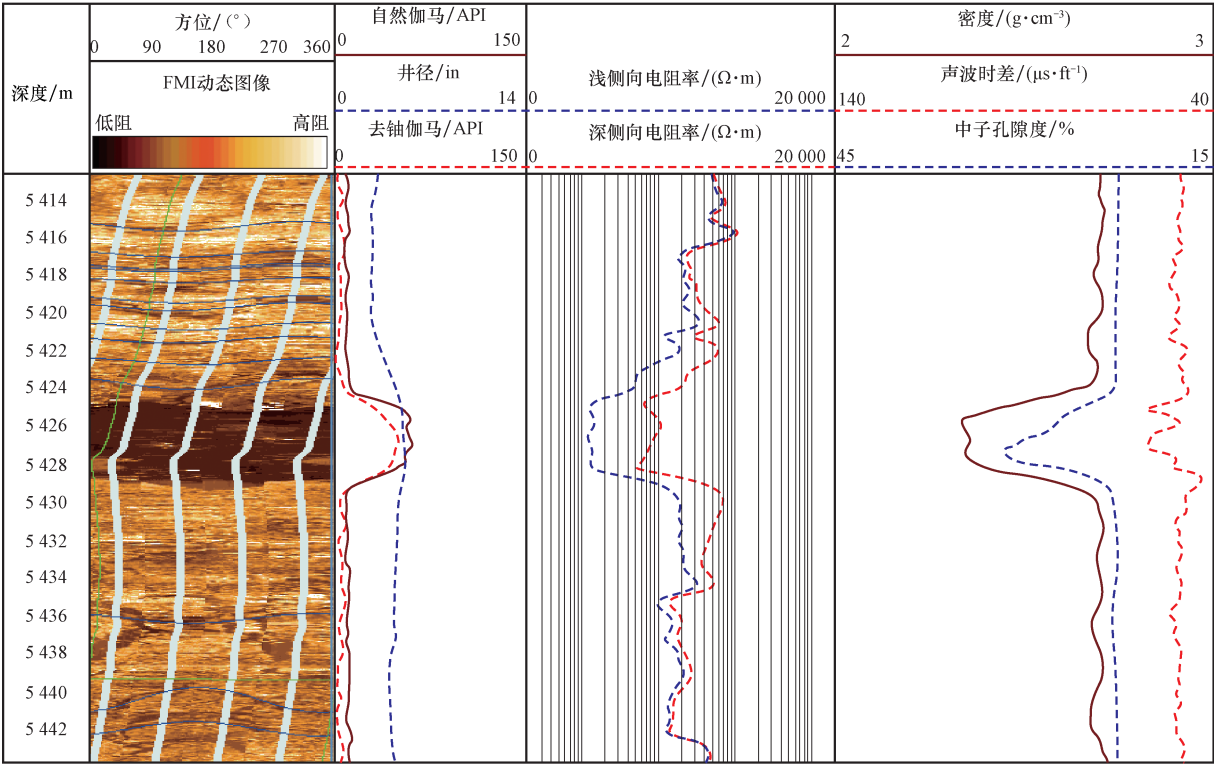


图2 塔河油田 TH12 井角砾岩充填洞穴型储层测井响应特征

Fig. 2 Logging response characteristics of breccias filled cave type reservoirs in Well TH12 in Tahe oilfield

5) 方解石半充填洞穴型储层

方解石比微晶灰岩更纯,导电性更差。在 FMI (地层微电阻率扫描图像) 成像资料上表现很亮的颜色。在未充填部分成像测井上表现为较暗的颜色。在常规测井资料上,巨晶方解石充填溶洞井段自然伽马测井值也比围岩的低;双侧向电阻率很高,达 $20\,000\,\Omega\cdot\text{m}$ 以上。在未充填部分,双侧向电阻率降低。在未充填部分,密度测井值降低,声波中子孔隙度曲线都增大。

1.2 假储层段的测井响应特征

在塔河油田奥陶系由于岩性变化导致部分井段的测井响应特征类似于储层的响应特征。如鹰山组第四岩性段普遍发育的硅质团块、条带,鹰山组第三岩性段的斑状灰岩(白云化灰岩与灰岩互层),第二岩性段缝合线-藻纹层灰岩等^[6-22]。

1) 硅质团块、条带

硅质团块、条带又称燧石,常呈结核状和条带状,广泛分布于鹰山组第四岩性段的灰岩中。硅质团块和硅质条带在产状上具沿层分布的特点,其倾角一般很小(小于 5°)。在成像测井资料上,当硅质团块、条带的大小大于井径,表现为条带状,当硅质团块小于井径表现为“嘴唇”状。

在常规测井资料上,硅质团块和硅质条带密集发

育段的响应如下:双侧向测井值降低,呈“负差异”,类似低倾角裂缝的双侧向响应,密度、中子孔隙度不变,时差略有变大。硅质团块密集井段的双侧向测井值比小溶洞的双侧向测井值高;硅质条带的响应类似于低倾角度裂缝的响应,有小“负差异”;分散状硅质团块的响应类似于高倾角裂缝的响应,有小“正差异”。如图 3 显示的 TH13 井埋深 5 683 ~ 5 691 m 井段测井特征。

2) 白云岩化灰岩与灰岩互层

在鹰山组下段可见白云岩化灰岩(斑状灰岩)与灰岩互层。在成像测井资料上,白云化层段因导电性好,表现为较暗的颜色,而未白云化的纯灰岩段,则表现为较亮的颜色,且具有成层性的特点。在常规测井资料上,三孔隙度近于直线,双侧向测井值在白云化段较纯灰岩段降低,呈“正差异”;在纯灰岩段双侧向测井值较高,也为“正差异”。

3) 缝合线-藻纹层

在缝合线和藻纹层密集发育的灰岩地层,成像测井上可见近水平线状的高电导纹层。成像资料上一条近水平线状的高电导纹层,可能是岩心上若干条缝合线-藻纹层的综合响应;同样在双侧向资料上的一个高电导层,又可能是成像资料上若干条线状的高电导纹层的综合响应。在常规测井资料上,缝合线和藻纹层密集发育井段三孔隙度较纯灰岩段没有大的变化,

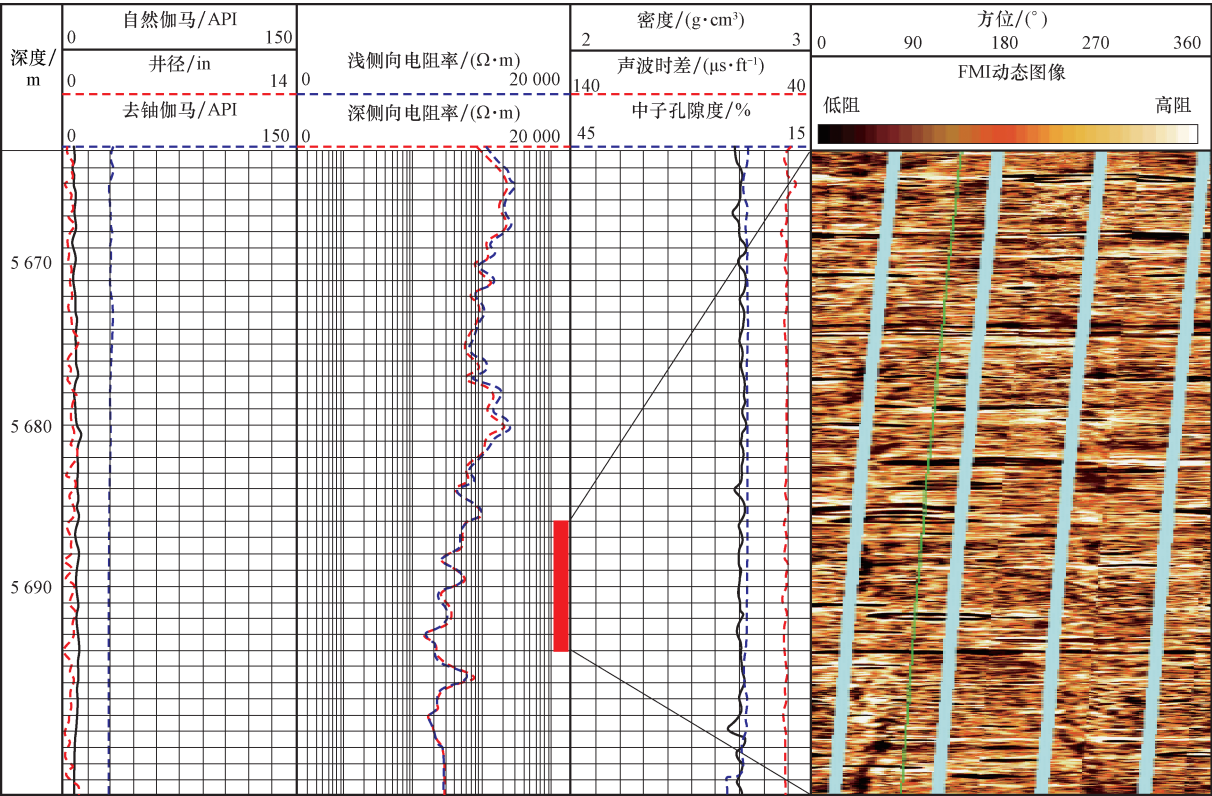


图 3 塔河油田 TH13 井硅质团块、条带测井响应特征

Fig. 3 Logging response characteristics of siliceous lumps and siliceous bands in Well TH13 in Tahe oilfield

双侧向测井值降低,呈“锯齿状负差异”,这是由于近平行地层分布的缝合线的导电通道与水平裂缝的导电通道类似所致。

4) 巨晶方解石充填溶洞

由于纯方解石比微晶灰岩中的方解石更纯,导电性更差。在 FMI 成像资料上表现很亮的颜色,洞四周可见巨晶方解石与泥微晶灰岩的界面。在常规测井资料上,巨晶方解石充填溶洞井段自然伽马测井值也比围岩的低;双侧向电阻率很高,达 $20\ 000\ \Omega \cdot \text{m}$ 以上;在该巨晶方解石充填溶洞的巨晶方解石上发育小溶孔,双侧向电阻率有所降低;三孔隙度曲线基本没有变化。

5) 诱导缝

包括羽状诱导缝和直立状诱导缝两种。

① 羽状诱导缝

破裂范围不大,不会贯穿井孔,在成像测井图上表现为沿井壁成组出现的“八”字形暗线,也称雁列状,其走向一般与最大主应力平行,没有任何充填作用。这种类型的诱导缝往往是因为钻孔偏离垂直方向,或者井孔的轨迹不与任何一个主应力轴平行造成的。在双侧向测井曲线上,雁状诱导缝的浅侧向电阻率高于深侧向的电阻率。

② 直立状诱导缝

钻头穿过碳酸盐储集层后,由于钻液重量与井孔压力之差能够诱导井壁破裂,其破裂的轨迹与天然裂缝不同。诱导裂缝不与储集层的渗透网络相通,对评价储集层渗滤性质不起作用。当有效最小主应力达到或超过井壁岩石抗张强度,井壁岩石的破裂轨迹平行于井轴。在电成像测井图上,呈现轻微偏离垂直方向的黑色条带。双侧向测井曲线上出现大段近于平行的正差异。直立状诱导缝在塔河油田的 FMI 成像测井图上频繁出现。

6) 高阻充填缝

由高阻物质如方解石、钙质等充填的裂缝,其常规测井如密度、中子、声波、自然伽马及井径等曲线由于充填物物性与周围基岩岩性相近,因此基本没有异常反应。方解石充填裂缝在成像测井资料上表现为较暗背景下,出现较亮的正弦线。方解石充填裂缝通常有后期岩溶沿方解石脉的再熔蚀,沿方解石脉形成溶蚀孔,而溶蚀孔处的导电性变好。研究鹰山组方解石充填裂缝的产状特点对研究岩溶期次和格局是有意义的。

2 储层有效性测井评价方法

塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层多以裂缝和溶蚀孔

洞的组合形式出现。缝洞充填泥质时也表现为孔隙度增大、电阻率降低,与储层段测井特征类似,充填程度往往与自然伽马的高低并没有正相关关系,给缝洞有效性评价带来很大的困扰^[3-22]。实践中除了利用自然伽马-电阻率交会图等常规泥质判别方法识别储层有效性外,还利用下面两种方法。

2.1 溶洞型储层有效性评价方法

对溶洞型储层有效性评价,采用自然伽马与视地层水电阻率交会图中的线性判别函数来评价溶洞型储层的有效性。在没有合适的溶洞型储层有效性评价参数的情况下,利用试油资料、部分井生产测井资料及放空漏失情况对塔河油田 41 口井 79 个溶洞段进行筛选,挑选出能够明确判断出溶洞有效性的储层段,共 21 口井 35 个溶洞段。塔河六区、七区溶洞充填物主要为泥质,溶洞充填程度重点是研究泥质含量与孔隙度之间的关系。利用交会图技术,分别用自然伽马(GR)、去轴伽马(KTH)、多组分分析程序计算出的泥质含量(V_{sh})与有效孔隙度(Φ)进行交会;自然伽马值(GR)分别与深侧向电阻率值(RD)、浅侧向电阻率值(RS)、密度曲线(DEN)进行交会;拟合出参数 RD/GR 与 $\Phi \times RD$ (即常规视地层水电阻率)分别与测井有效孔隙度(Φ)、电导率(C)进行交会。通过一系列交会图交会效果对比分析表明 GR 值与 $\Phi \times RD$ 值交会效果较好(图 4),能够将有效储层区域与无效储层区域区分开,上述 21 口井 35 个溶洞段中仅有 2 个部分充填溶洞段落在无效储层区域中,1 个完全充填溶洞段落在有效储层区域中。下面对此交会图的含义作简要说明。交会图的横坐标为自然伽马,它的大小代表了溶洞中充填泥质成分的多少。因泥质是导电矿物,因此横坐标也代表了溶洞中泥质导电性的大小。交会图的纵坐标为 $\Phi \times$

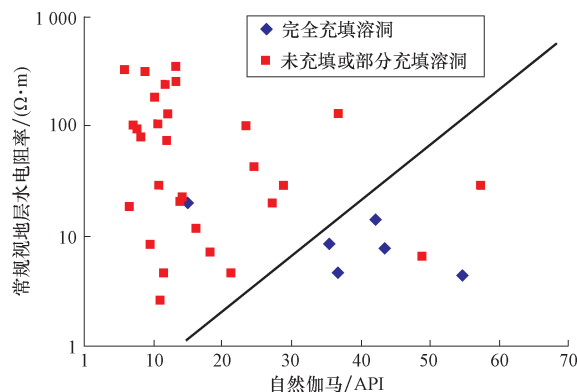


图4 塔河油田溶洞段自然伽马与常规视地层水电阻率交会图

Fig. 4 Crossplot of natural gamma ray and normal apparent formation water resistivity for cave sections in Tahe oilfield

$RD = \Phi/C$,表示溶洞段单位导电性所具有的孔隙度大小。在溶洞含泥较少的情况下,即在单位导电性所具有的孔隙度较低的情况下,溶洞仍有可能是有效的。如果溶洞含泥较多(相对于点子向交会图的右边移动),只有当单位导电性具有的孔隙度较大时,溶洞才是有效的。这是因为溶洞中除流体导电外,溶洞中的泥质也参与导电。溶洞段泥质的导电性好,并不同时意味着溶洞中流体的导电性也好。对于水层溶洞段,溶洞除泥质束缚水导电外,高矿化度地层水也导电(C 大),因而溶洞水层段 $\Phi \times RD = \Phi/C$ 小,为无效溶洞。对于含油溶洞,溶洞除泥质导电外,原油的导电性差(C 小),因而 $\Phi \times RD = \Phi/C$ 大,为有效溶洞。因此,随着泥质含量的增多(自然伽马值变大),单位导电性要求的孔隙度较大才是有效溶洞。从 $GR - \Phi \times RD$ 的交会图上看,有效溶洞与无效溶洞的分界线是随着 GR 值增大而增大的一条有斜率的直线。

2.2 成像测井局部电阻率法

成像测井含有丰富的缝洞信息,应用图像分割技术对 FMI 资料进行图像分割,从分割出的子图像中的像素值可以获得成像测井的局部电导率值。统计孔洞、裂缝处的局部电导率,结合地层水、钻井液资料和孔隙度、泥质含量可以判断缝洞的有效性。未充填的有效孔洞、裂缝处的局部电阻率值介于地层水电阻率与泥浆滤液电阻率之间。例如, T43 井埋深 5 596.0 ~ 5 597.5 m 井段,溶蚀孔洞处的局部电阻率值为 $0.03 \sim 0.05 \Omega \cdot m$ 。介于泥浆滤液的电阻率 $0.168 \Omega \cdot m$ 和地层水的电阻率 $0.0138 \Omega \cdot m$ 之间。这表明当钻孔穿过地层后,钻井液进入溶蚀孔洞,与地层水混合后,使泥浆滤液的电阻率降低,这表明孔洞没有泥质充填,是有效孔洞(图 5)。当局部电阻率均高于泥浆滤液电阻率,表明缝洞被泥质充填,是无效缝洞。

3 储层渗流能力评价方法

实践表明利用自然伽马-电阻率交会图和成像测井局部电阻率法可以较好地识别缝洞的泥质充填程度,利用溶洞型储层有效性评价方法可以判别单纯溶洞型储层有效性,但对于因储层类型不同,或具体说因裂缝发育强弱造成储层有效性差异的裂缝孔洞型储层还不能给出较客观的有效性判别。

3.1 双孔介质有效储层下限标准

针对裂缝孔洞型储层测井反映特征及导电机理,

结合成像测井及岩心分析数据,建立了利用典型储层的成像测井信息标定下的常规测井裂缝孔隙度计算方法,通过“四性”关系及数模研究,提出定渗透率,变孔隙度、变裂缝孔隙度的储层评价模型。建立了以储层渗流能力为标准的评价体系^[18-22]。这个模型并不用确定固定孔隙度、固定裂缝孔隙度来做为碳酸盐岩储层下限并划分储层级别,而是综合孔洞、裂缝对渗流能力的贡献来评价储层;前期裂缝孔隙度计算方法适合于评价单裂缝型储层,在裂缝孔洞型储层评价时有较大的误差,在深入分析裂缝孔洞型储层测井反映特征及导电机理,结合成像测井及岩心分析数据,改进了裂缝孔隙度计算方法,使之准确性有了很大的提高,为储层精细评价奠定了基础;以塔河油田及外围大量实际测试资料为基础,经过分析整理,结合成像资料,建立了以确定储层对渗流能力的贡献为评价标准的评价体系。

由于有效储层物性下限通常用最小孔隙度、尤其是最小渗透率来度量,那么具有双孔介质的碳酸盐岩储层也是符合这一原则,即不论孔洞孔隙度、裂缝孔隙度各是多少,只要总的渗透率高于下限标准,就是有效储层。这是一个变孔隙度、变裂缝孔隙度的下限模型,孔隙渗透率、裂缝渗透率互相补充的固定渗透率下限模型,这个模型并不用确定固定孔隙度、固定裂缝孔隙度来做为碳酸盐岩储层下限并划分储层级别,而是综合孔洞、裂缝对渗流能力的贡献来评价储层。

3.2 储层评价标准的划分

通过对大量井况良好、测井资料品质优良、测试完善、测试结论明确的样本井的研究标定,确定储层评价标准(表 1)。碳酸盐岩储层有效下限标准之下为干层,有效下限标准之上,按产能分为两类储层。

I 类储层为不经储层改造,有一定的自然产能的储层;II 类储层为不经储层改造,不产或者低产,经储层改造后有一定产能的储层;III 类储层为有小的储集空间,经储层改造后也没有产能,但储层改造后能成为渗流通道。其中 I 类、II 类储层为有效储层。

3.3 碳酸盐岩储层渗流评价模型应用典型井剖析

1) SHX1 井

SHX1 井良里塔格组没钻遇放空漏失,但测井曲线显示储层发育,经碳酸盐岩储层渗流评价方法处理(图 6),埋深 6 554.0 ~ 6 583 m 井段,有 I 类储层 21.8 m,渗流指数 100 ~ 1 000,平均 800,完全可以直接测试获得产能,在完井方案中提出建议,后埋深 6 554.0 ~ 6 571 m 和 6 575.0 ~ 6 583 m 井段直接射孔

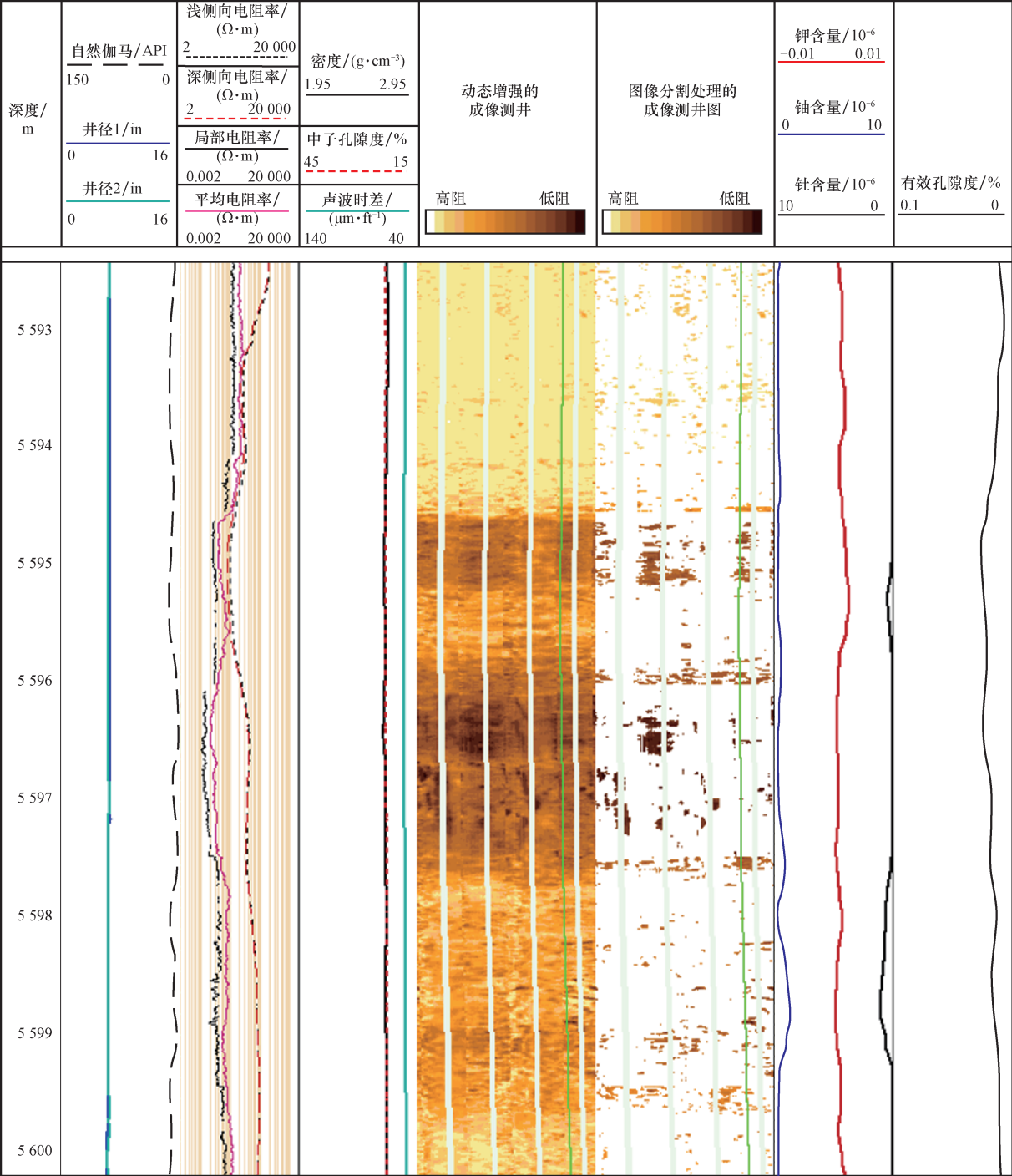


图 5 塔河油田 T43 井成像测井局部电阻率

Fig. 5 Local resistivity curves obtained from image logging of Well T43 in Tahe oilfield

表 1 塔河油田碳酸盐岩储层有效性评价标准

Table 1 Effectiveness evaluation standards of carbonate reservoirs in Tahe oilfield

储层级别	I 类储层	II 类储层	III 类储层
渗流指数	>35	5 ~ 35	<5

测试,获得油气产能,获得了塔中顺西地区良里塔格的油气突破。

2) TP42 井

一间房组没钻遇放空漏失,但测井曲线显示储层

发育,经碳酸盐岩储层渗流评价方法处理,6 960 ~ 6 972 m井段,有 I 类储层 10.7 m,最高渗流指数 1 200,平均渗流指数 300,可以直接测试获得产能,在完井方案中提出建议,后本井直接测试投产,目前累计产油 2.16×10^4 t。另外,包括 AD24X, TH10421, TK1063X, TP6 - 1X 和 TP27X 井均是没钻遇放空漏失,经碳酸盐岩储层渗流评价方法处理,均有储层达到本评价方法的具有自然产能的储层级别,经过完井方案建议,这些井均直接测试投产,节约了大量储层改造费用,取得良好效果。

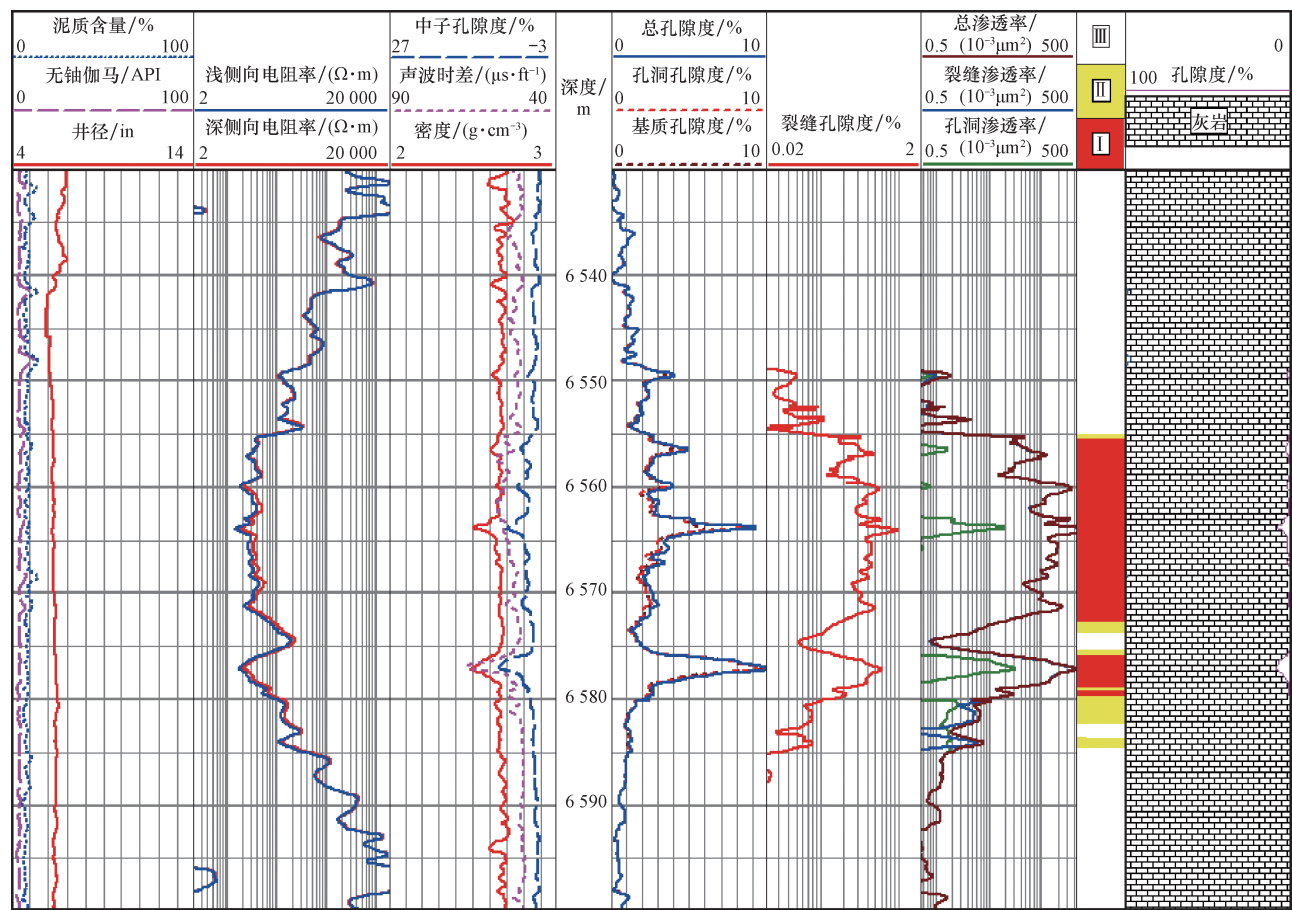


图 6 塔河油田 SHX1 井渗流能力评价

Fig. 6 Permeability evaluation chart of Well SHX1 in Tahe oilfield

4 结论

成像测井资料是识别裂缝和溶蚀孔洞的最有力工具,成像测井分类指示判别和成像孔隙度频谱分析是目前塔河油田碳酸盐岩储层定量评价的重要手段。但由于成像测井分辨率的局限性,以及因为井况等原因造成的成像测井资料质量差等原因,而不能准确识别一些微裂缝,充分利用已有资料建立常规测井渗流评价方法势在必行。本次研究认为从以往评价泥质充填对储层有效性的影响,到定量评价裂缝或微裂缝对储层有效性的重要贡献,对碳酸盐岩储层类型的精细划分提出了更高要求。研究提出的碳酸盐岩渗流解释模型不仅定量的评价了裂缝溶孔型储层的渗透性,同时也更客观地评价了裂缝孔隙度、孔洞孔隙度等地质参数。通过实践,利用自然伽马与视地层水电阻率交会图、成像测井局部电阻率法、碳酸盐岩储层渗流评价模型可以较好地解决碳酸盐岩储层有效性评价问题。在新勘探区还需加大取心资料、成像测井资料的对比分析。

参 考 文 献

[1] 谭广辉,邱华标,余腾孝,等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系鹰山组油藏成藏特征及主控因素[J]. 石油与天然气地质,2014,35(1): 26-32.
Tan Guanghui, Qiu Huabiao, Yu Tengxiao, et al. Characteristics and main controlling factors of hydrocarbon accumulation in Ordovician Yingshan Formation in Yubei area, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1): 26-32.

[2] 翟晓先. 塔里木盆地塔河特大型油气田勘探实践与认识[J]. 石油实验地质, 2011, 33(4): 323-331.
Zhai Xiaoxian. Exploration practice and experience of Tahe giant oil-and-gas field, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(4): 323-331.

[3] 田飞,金强,李阳,等. 塔河油田奥陶系缝洞型储层小型缝洞及其充填物测井识别[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 900-908.
Tian Fei, Jin Qiang, Li Yang, et al. Identification of small fracture-vugs and their fillings through log interpretation in fractured-vuggy Ordovician reservoirs in Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 900-908.

[4] 王兆峰,陈鑫,王鹏. 缝洞型碳酸盐岩储集体特征及预测——以 A 油田 P₂ 段为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3): 459-466.
Wang Zhao Feng, Chen Xin, Wang Peng. Characteristics and prediction of fracture-vug carbonate reservoirs-an example of P₂ layer in A

- oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 459–466.
- [5] 樊政军, 柳建华, 张卫峰. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层测井识别与评价[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 61–65.
Fan Zhenjun, Liu Jianhua, Zhang Weifeng. Log interpretation and evaluation of the Ordovician carbonate rock reservoirs in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1): 61–65.
- [6] 樊政军, 柳建华, 马勇. 塔河油田石灰岩洞缝型储层测井评价[J]. 天然气工业, 2007, 27(7): 45–48
Fan Zhengjun, Liu Jianhua, Ma Yong. Logging evaluation for cave-and pore-type limestone reservoirs in tahe oilfield. [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(7): 45–48.
- [7] 李军, 路善, 李争, 等. 页岩气储层“四孔隙”模型建立及测井定量表征方法[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(2): 266–271.
Li Jun, Lu Jing, Li Zheng, et al. ‘Four-pore’ modeling and its quantitative logging description of shale gas reservoir [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(2): 266–271.
- [8] 廉黎明, 秦积舜, 杨思玉, 等. 水平井渗流模型分析评价及发展方向[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(6): 821–827.
Lian Liming, Qin Jishun, Yang Siyu, et al. Analysis and evaluation on horizontal well seepage models and their developing trends[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(6): 821–827.
- [9] 吕海涛, 丁文龙, 云露. 塔河油田西南部地区中-下奥陶统碳酸盐岩储层缝洞发育特征与分布[J]. 现代地质, 2009, 23(4): 699–707.
Lü Haitao, Ding Wenlong, Yun Lu. Lower-Middle Ordovician carbonate reservoir karst-fracture characteristics in the southwest region of Tahe Oilfield[J]. Geoscience, 2009, 23(4): 699–707.
- [10] 钱一雄, 何治亮, 陈强路, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩封盖性能[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 1–9.
Qian Yixiong, He Zhiliang, Chen Qianglu, et al. Sealing capacity of the Ordovician carbonate rocks in Tazhong area, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 1–9.
- [11] 王东, 王国芝, 刘树根, 等. 塔东地区英东2井寒武系-奥陶系储层流体地球化学示踪[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 867–876.
Wang Dong, Wang Guozhi, Liu Shugen, et al. Geochemical tracing of the Cambrian-Ordovician reservoir fluid in Well Yingdong-2, eastern Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 867–876.
- [12] 张汉荣, 孙跃峰, 窦齐丰, 等. 孔隙结构参数在普光气田的初步应用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 877–882.
Zhang Hanrong, Sun Yuefeng, Dou Qifeng, et al. Preliminary application of the frame flexibility factor in Puguang gas field[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 877–882.
- [13] 尤丽, 李才, 张迎朝, 等. 珠江口盆地文昌A凹陷珠海组储层碳酸盐胶结物分布规律及成因机制[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 883–889.
You Li, Li Cai, Zhang Yingzhao, et al. Distribution and genetic mechanism of carbonate cements in the Zhuhai Formation reservoirs in Wenchang-A sag, Pear River Mouth Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 883–889.
- [14] 钟大康, 周立建, 姚涪利, 等. 储层岩石学特征对成岩作用及孔隙发育的影响——以鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 890–899.
Zhong Dakang, Zhou Lijian, Yao Jinli, et al. Influences of petrologic features on diagenesis and pore development; an example from the Triassic Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 890–899.
- [15] 华晓莉, 罗春树, 吕修祥, 等. 塔中北斜坡奥陶系鹰山组碳酸盐岩高阻层分布特征及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(3): 323–331.
Hua Xiaoli, Luo Chunshu, Lü Xiuxiang, et al. Distribution and significance of high-resistivity carbonates of Ordovician Yingshan Formation of northern slope of Tazhong area, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3): 323–331.
- [16] 谭学群, 廉培庆, 邱茂君, 等. 基于岩石类型约束的碳酸盐岩油藏地质建模方法——以扎格罗斯盆地碳酸盐岩油藏A为例[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 558–563.
Tan Xuequn, Lian Peiqing, Qiu Maojun, et al. Rock type-constrained geological modeling of carbonate reservoirs: a case study of carbonate reservoir A in the Zagros Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 558–563.
- [17] 徐敬领, 王亚静, 曹光伟, 等. 碳酸盐岩储层测井评价方法[J]. 现代地质, 2012, 26(6): 1265–1274.
Xu Jingling, Wang Yajing, Cao Guangwei, et al. Well-logging evaluation methods on carbonate reservoirs[J]. Geoscience, 2012, 26(6): 1265–1274.
- [18] 景建恩, 梅忠武, 李舟波. 塔河油田碳酸盐岩缝洞型储层的测井识别与评价方法研究[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(2): 336–341.
Jing Jianen, Mei Zhongwu, Li Zhoubo. Investigation of well logging evaluation and identification methods for carbonate reservoirs with fracture and vug in Tahe oil field[J]. Progress in Geophysics, 2003, 18(2): 336–341.
- [19] 徐星, 赵万伏. Star-II 成像测井在碳酸盐岩储层评价中的应用[J]. 测井技术, 2001, (05): 358–364.
Xu Xing, Zhao Wanyou. Application of Star-II imaging logging in carbonate reservoir evaluation[J]. Well Logging Technology, 2001, (05): 358–364.
- [20] 邓少贵, 莫宣学, 卢春利, 等. 缝-洞型地层缝洞的双侧向测井响应数值模拟[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(6): 706–712.
Deng Shaogui, Mo Xuanxue, Lu Chunli, et al. Numerical simulation of the dual laterolog response to fractures and caves in fractured-cavernous formation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(6): 706–712.
- [21] 邓少贵, 王晓畅, 范宜仁. 裂缝性碳酸盐岩裂缝的双侧向测井响应特征及解释方法[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2006, (6): 846–850.
Deng Shaogui, Wang Xiaochang, Fan Yiren. Response of dual laterolog to fractures in fractured carbonate formation and its Interpretation[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2006, (6): 846–850.
- [22] 赵军, 肖承文, 虞兵, 等. 轮古地区碳酸盐岩洞穴型储层充填程度的测井评价[J]. 石油学报, 2011, 32(4): 605–610.
Zhao Jun, Xiao Chengwen, Yu Bing et al. Logging evaluation on filling degree of cavernous carbonate reservoirs in the Lungu re-gion [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(4): 605–610.

(编辑 张亚雄)