

歧口凹陷西南缘沙一段湖相 白云岩储层识别及储量参数计算

刘玉梅, 刘艳芬, 彭 彬, 张绍辉, 周育文, 谭守强, 赵同泽

(中国石油大港油田勘探开发研究院, 天津 300280)

摘要:渤海湾盆地黄骅拗陷歧口凹陷西南缘沙一段下部为封闭—半封闭的湖湾相沉积环境, 在沙一段下部的板2油组—板4油组沉积了一套白云岩储层。通过对该套储层系统地取心归位和描述, 进一步明确了白云岩储层的分布特征。根据白云岩储层电性特征并结合分析化验资料, 开展了岩性识别, 建立了白云岩储层和油层电性识别图版; 在此基础上利用铸体薄片鉴定及FMI成像测井资料分析了白云岩储层的孔隙类型, 应用岩石物性分析、核磁共振、双侧向测井等资料探讨了裂缝、基质有效孔隙度和含油饱和度的计算。

关键词:白云岩; 基质孔隙度; 裂缝孔隙度; 饱和度

中图分类号: TE132.1⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2010)04-0584-05

0 引言

歧口凹陷西南缘为位于渤海湾盆地黄骅拗陷歧口凹陷西侧, 整体向西南抬升、向东倾伏的平缓斜坡构造。受南大港断层控制, 歧口凹陷西南缘分为歧南、歧北2个斜坡区。其沙一段下部为封闭—半封闭的湖湾相沉积环境, 白云岩储层夹持于大套的泥岩、泥页岩和页岩之间, 单层储层厚度小, 一般在0.6~2.0 m之间, 横向分布稳定。近几年在该区勘探中, 钻遇白云岩储层的井见到了良好的油气显示, 经试油酸压后获得工业油流。为了开展储层识别、油层的评价及储量参数的研究, 在C54x1井中对白云岩储层进行了系统取心。

1 白云岩储层识别与油层评价

1.1 储层识别

歧口凹陷西南缘沙一段下部自下而上划分为滨I油组、板4油组、板3油组和板2油组, 其中滨I油组岩性主要由生物灰岩和泥晶灰岩组成, 板2油组—板4油组岩性主要由泥岩、页岩、油页岩、砂质灰岩和白云岩组成。本文主要针对板2油组—板4油组开展储层识别和油层综合评价研究。通过

C54x1井的取心分析及碳酸盐岩薄片鉴定结果, 发育的储层有泥晶白云岩和砂质灰岩, 其中泥晶白云岩是主要储层。岩心观察显示泥晶白云岩表面较光滑, 色不均, 部分呈浅灰色, 泥晶结构, 微斜层理, 层面含泥质; 镜下鉴定为泥晶结构, 矿物成分中白云石含量达95%; FMI图像特征为块状结构, 部分具层理; 测井曲线反映出薄层的电性特征, 自然伽马曲线、电阻率曲线、声波时差曲线、补偿中子曲线和地层密度曲线呈大幅度起伏的锯齿状, 具有“三低两高”的特征, 即低自然伽马(一般低于70 API)、低声波时差、低补偿中子和高地层密度、高电阻率的特征(图1)。自然电位曲线没有幅度起伏变化, 也是该白云岩储层区别于滨I油组生物灰岩的主要特征标志。而砂质灰岩储层, 单层厚度比白云岩储层厚, 自然伽马曲线、电阻率曲线、声波时差曲线、补偿中子曲线和地层密度曲线呈中—低幅度起伏的锯齿状, 具较高自然伽马、声波时差、补偿中子和低地层密度的特征。针对歧口凹陷西南缘斜坡区沙一段下部各类储层特征, 结合碳酸盐岩薄片鉴定结果, 读取对应层的电性参数, 建立了沙一段下部岩性识别图版(图2, 图3), 岩性总体特征值变化表现为: 泥晶白云岩声波时差小于 $280\mu\text{s}/\text{m}$, 密度大于 $2.52\text{g}/\text{cm}^3$, 自然伽马

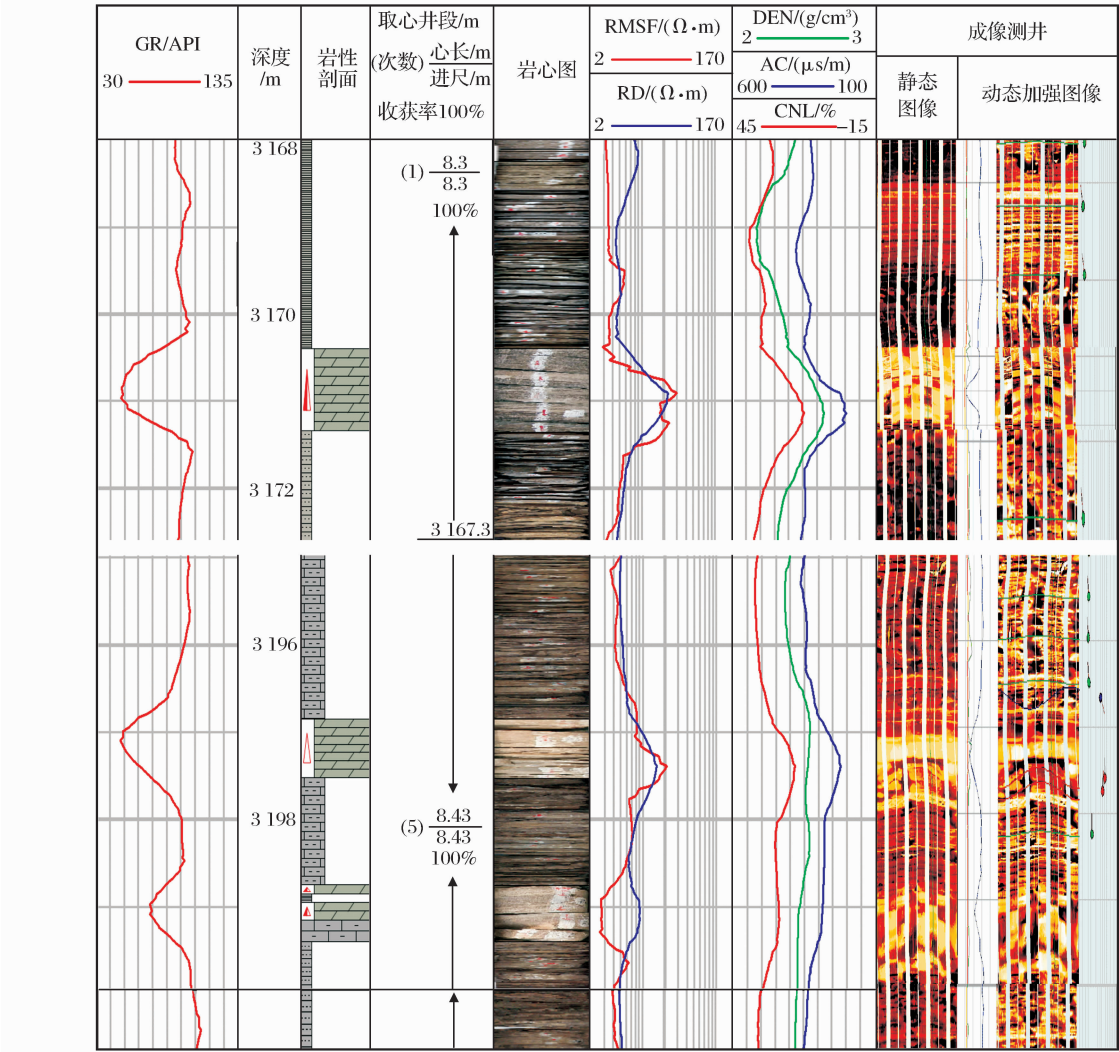


图 1 歧口凹陷西南缘 C54x1 井岩心与成像测井关系

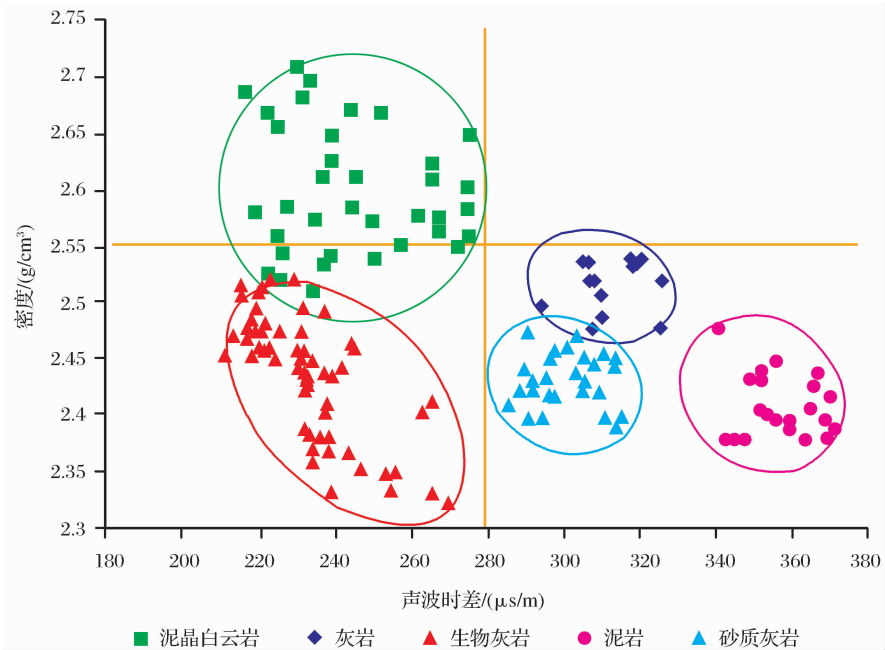


图 2 密度—声波时差关系

介于 43~68 API 之间;灰岩声波时差介于 290~330 $\mu\text{s}/\text{m}$ 之间,密度介于 2.47~2.55 g/cm^3 之间,自然伽马介于 70~85 API 之间;砂质灰岩声波时差介于 280~320 $\mu\text{s}/\text{m}$ 之间,密度介于 2.35~2.47 g/cm^3

之间,自然伽马介于 55~75 API 之间;泥岩、油页岩声波时差介于 330~380 $\mu\text{s}/\text{m}$ 之间,密度介于 2.35~2.48 g/cm^3 之间,自然伽马介于 80~105 API 之间。根据以上电性特征可以有效识别不同类型的储层。

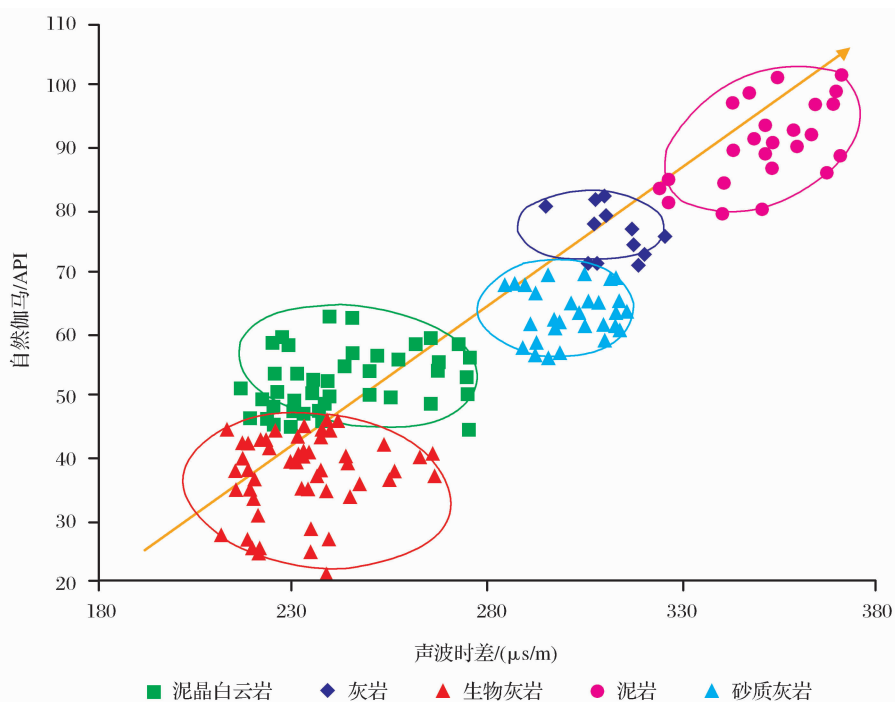


图3 自然伽马—声波时差关系

1.2 油层评价

据生油特征研究证实^[1-3],歧口凹陷西南缘沙一段下部广泛发育的暗色泥岩和油页岩具备生成低熟油的条件,白云岩处于暗色泥岩、油页岩之间,油源条件优越。经油源对比表明,歧口凹陷西南缘沙一段下部的原油具有 γ -蜡烷高的低成熟油特征,属于自生自储型油藏。在含油区油气显示较为普遍,试油并经酸压改造后获工业油流。依据研究区 24 口井试油结论,再结合电性特征、录井和气测显示情况,读取了 84 层的电性参数,建立了白云岩地层电阻率与地层密度交会图版(图 4),油层的地层电阻率分布在 4~28 $\Omega \cdot \text{m}$ 之间,地层密度分布在 2.45~2.70 g/cm^3 之间,因此,确定油层有效厚度划分标准为 $R_t \geq 4.0 \Omega \cdot \text{m}$, $\rho_b \leq 2.70 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。根据该标准,再结合录井、气测显示及测井曲线响应特征可划分单井油层的有效厚度。

2 有效孔隙度和含油饱和度储量参数计算

在储层识别、油层评价的基础上,充分利用试油、分析化验、核磁共振及 FMI 成像测井等资料,开展了有效孔隙度和含油饱和度储量参数研究^[4]。

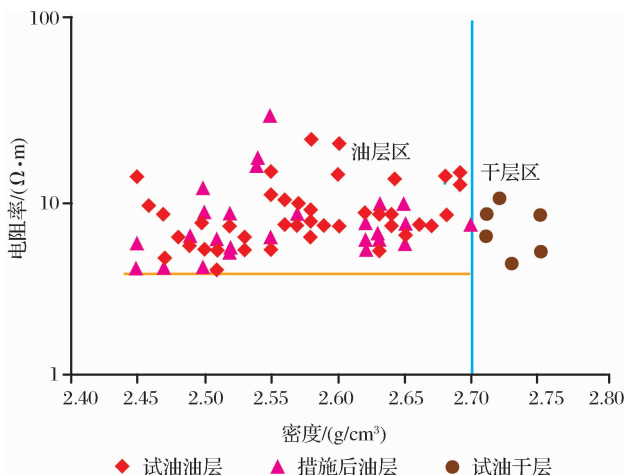


图4 歧口凹陷西南缘沙一段下部白云岩油层识别

2.1 储层孔隙类型

碳酸盐岩铸体薄片鉴定结果显示,孔隙主要为岩石裂缝和溶孔。研究区 4 口井 11 块碳酸盐岩铸体薄片样品统计表明,裂缝占总孔隙度的 54%,溶孔占总孔隙度的 46%;FMI 成像测井资料也进一步证实研究区裂缝发育,主要为中角度缝和高角度缝,裂缝宽度在 30.1~60.3 μm 之间,裂缝孔隙度在 0.11%~0.32% 之间,平均裂缝孔隙度为 0.18%,

裂缝内基本上无充填物,仅少量被方解石充填。因此,白云岩储层具有双重孔隙介质,储层孔隙类型属裂缝孔隙型。

2.2 有效孔隙度计算

在储量计算中求取有效总孔隙度,对于白云岩储层要分别求取基质孔隙度和裂缝孔隙度。

2.2.1 基质孔隙度

实践表明,在碳酸盐岩缝洞储层取心收获率较低的情况下,依据钻井取心常规岩石物性分析,再结合核磁共振测井所计算的孔隙度,可求取基质孔隙度。直径 2.5 cm 的小岩心,极少见到裂缝和溶洞,主要为晶间孔、粒间孔和微缝,所测孔隙度基本代表了基质孔隙度。对研究区 29 块岩心样品分析表明,最大孔隙度为 10.6%,最小孔隙度为 2.5%,算术平均孔隙度为 6.8%。核磁共振测井孔隙度与岩心物性分析孔隙度相互验证,误差值较小。读取 29 层有效孔隙度,厚度权衡后为 6.7%。将核磁共振测井孔隙度和岩心物性分析孔隙度 2 种选值方法,作为基质孔隙度的选值方法。

2.2.2 裂缝孔隙度

裂缝孔隙度是评价裂缝性储层的一个重要参数。除通过 FMI 成像测井计算裂缝孔隙度之外,由于平面上不可能每口井都进行 FMI 成像测井,因此,在歧口凹陷西南缘沙一段下部湖相白云岩储层,采用了双侧向测井解释模型计算裂缝孔隙度的方法。在常规测井解释中,则采用双侧向电阻率来求解裂缝孔隙度。根据建立的线性、非线性简化方程求解裂缝孔隙度时,首先是对裂缝状态的判别,公式如下^[5-6]:

$$Y = \frac{RLLD - RLLS}{(RLLD \times RLLS)^{1/2}} \quad (1)$$

式中: $RLLD$ 为深侧向地层视电阻率, $\Omega \cdot m$; $RLLS$ 为浅侧向地层视电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

当 $Y > 0.1$, 指示高角度裂缝; $Y < 0$, 指示低角度裂缝; $0 < Y \leq 0.1$, 指示网状裂缝。

根据裂缝状态 Y 值,选取相应的裂缝孔隙度解释类型。

$$\varphi_f = \left\{ \frac{A_1}{RLLS} + \frac{A_2}{RLLD} + A_3 \right\} \times R_{mf} \quad (2)$$

其中: φ_f 为双侧向计算的裂缝孔隙度, f ; A_1 、 A_2 、 A_3 分别为不同裂缝性质下所取的常数; R_{mf} 为泥浆滤液电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

采用上述方法计算了歧口凹陷西南缘 22 口井的裂缝孔隙度,经厚度权衡后裂缝孔隙度为 0.20%,

与 C54x1 井 FMI 成像测井所测得的裂缝孔隙度平均值 0.18% 基本一致。

应用上述方法计算的基质孔隙度和裂缝孔隙度,求取总有效孔隙度为 7%。

2.3 含油饱和度

含油饱和度主要利用测井计算求取。裂缝孔隙型储层总含油饱和度包括基质含油饱和度和裂缝孔隙含油饱和度 2 部分,总含油饱和度等于这 2 部分孔隙度加权之和,即:

$$S_{oi} = \frac{(S_{od} \times \varphi_d) + (S_{ob} \times \varphi_b)}{\varphi} \quad (3)$$

式中: S_{oi} 为总含油饱和度, f ; S_{ob} 为基质含油饱和度, f ; S_{of} 为裂缝孔隙含油饱和度, f ; φ_d 、 φ_b 分别为基质、裂缝孔隙度, f 。

基质孔隙含油饱和度采用通用的阿尔奇公式计算,即

$$S_{ob} = 1 - S_{wb} \quad (4)$$

$$S_{wb} = \sqrt[n]{\frac{abR_w}{\varphi^m R_b}} \quad (5)$$

式(4)、式(5)中: S_{ob} 、 S_{wb} 分别为含油饱和度和含水饱和度, f ; a 、 b 、 m 、 n 分别为与岩性有关的岩电参数; R_b 为基岩电阻率, $\Omega \cdot m$; R_w 为地层水电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

对于双重孔隙介质的油层而言,由于裂缝的存在,使得泥浆侵入半径增大,造成双侧向电阻率值下降,因此,在用阿尔奇公式计算含油饱和度时,需对深侧向电阻率进行侵入校正,校正公式采用谭廷栋等^[7]推导的经验公式:

$$R_b = \frac{K_s}{K_s - K_d} RLLD - \frac{K_d}{K_s - K_d} RLLS \quad (6)$$

式中: $RLLD$ 、 $RLLS$ 同式(1); K_s 、 K_d 分别为深侧向、浅侧向测井电极系数。

采用上述基质含油饱和度计算方法计算了歧口凹陷西南缘 18 口井的含油饱和度,体积权衡后为 64%;裂缝含油饱和度根据研究区实际情况,结合国内同类型储层裂缝流体饱和度与裂缝宽度实验研究结果,选值 90%。总含油饱和度为以上 2 种含油饱和度的孔隙加权平均值,选值 64%。

3 结论

(1)通过对歧口凹陷西南缘沙一段下部白云岩储层识别及油层评价研究,进一步明确了应用碳酸盐岩薄片鉴定分析资料结合岩心描述、FMI 成像测井和常规测井曲线响应特征可有效识别白云岩储层。测井曲线所反映的电性特征为,自然电位曲线

没有幅度起伏变化,自然伽马曲线、电阻率曲线、声波时差曲线、补偿中子曲线和地层密度曲线呈大幅度起伏的锯齿状,具有“三低两高”的特征,即:低自然伽马(一般低于 70 API)、低声波时差、低补偿中子和高地层密度、高电阻率的特征。

(2)通过碳酸盐岩铸体薄片鉴定和 FMI 成像测井分析,歧口凹陷西南缘沙一段下部白云岩储层孔隙类型为裂缝孔隙型,可应用岩心物性分析和核磁共振测井求取基质孔隙度,应用 FMI 成像测井和双侧向测井解释模型计算裂缝孔隙度,而基质含油饱和度则用阿尔奇公式计算,计算含油饱和度时要对双侧向电阻率值进行侵入校正。

参考文献:

- [1] Wu Yongping, Yu Xuemin. Natural gas source potency and exploratory development countermeasure in Huanghua depression[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2003, 14(4): 235-239. [吴永平, 于学敏. 黄骅坳陷天然气资源潜力与勘探开发对策[J]. *天然气地球科学*, 2003, 14(4): 235-239.]
- [2] Xia Yanqing, Zhou Fengying, Peng Dehua, *et al.* Experimental analog of prematurity-low-maturity oil in Qaidam basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 1999, 10(1/2): 30-36. [夏燕青, 周凤英, 彭德华, 等. 柴达木盆地未成熟—低成熟油形成实验模拟[J]. *天然气地球科学*, 1999, 10(1/2): 30-36.]
- [3] Wang Wanchun, Ren Junhu, Zhang Xiaojun, *et al.* Geochemical characteristics and origin of low-mature oil-associated gases from south region of Kongdian, Huanghua depression[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(2): 153-159. [王万春, 任军虎, 张小军, 等. 黄骅坳陷孔店南区低熟油伴生气地球化学特征与成因[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(2): 153-159.]
- [4] Yang Tongyou, Fan Shangjiong, Chen Yuanqian. Reservoir Calculation Method of Oil and Gas; Second Edition[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998: 68-133. [杨通佑, 范尚炯, 陈元千. 石油及天然气储量计算方法: 第二版[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 68-133.]
- [5] Yan Xiaofang, Chen Jingyang, Gong Jingjing. The determination method of fissure parameters and development degree of carbonatite reservoir[J]. *Offshore Oil*, 2006, 26(3): 31-34. [闫晓芳, 陈景阳, 龚晶晶. 碳酸盐岩储层裂缝参数和发育程度的确定方法[J]. *海洋石油*, 2006, 26(3): 31-34.]
- [6] Li Shanjun, Wang Hanming, Xiao Chengwen, *et al.* Fissure porosity quantitative interpretation of carbonatite formation[J]. *Logging Technology*, 1997, 21(3): 205-214. [李善军, 汪涵明, 肖承文, 等. 碳酸盐岩地层中裂缝孔隙度的定量解释[J]. *测井技术*, 1997, 21(3): 205-214.]
- [7] Tan Tingdong, Sun Jialin, Cheng Shixin, *et al.* New method of dual lateral logging invasion correction[J]. *Logging Technology*, 1983, 7(6): 1-11. [谭廷栋, 孙家林, 陈世新, 等. 双侧向测井侵入校正新方法[J]. *测井技术*, 1983, 7(6): 1-11.]

Identification of Lake Facies Dolomite Reservoir and Parameter Determination of Reserves Calculation in Es₁ of Southwest Qikou Sag

LIU Yu-mei, LIU Yan-fen, PENG Bin, ZHANG Shao-hui,
ZHOU Yu-wen, TAN Shou-qiang, ZHAO Tong-ze

(Research Institute of Exploration and Development, Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China)

Abstract: The sedimentary environment of low part of Es₁ in the southwest Qikou sag is closed and half-closed bend facies. There is a set of dolomite reservoir deposit from ban2 to ban4 oil layers. Through systematic sampling and description, we get the distribution of dolomite reservoir. We use the electric property and measured data of dolomite reservoir to do the lithologic discrimination, and then setup the identified pattern between electric property of dolomite reservoir and oil layers. Finally, we use the cast thin section and FMI imagery log information to determine the porosity type of dolomite reservoir. We also use the information about core physical property, nuclear magnetic resonance and dual lateral log to describe the fissure, matrix effective porosity and oil saturation calculation.

Key words: Dolomite; Matrix porosity; Fracture porosity; Saturation.