

· 测井技术应用 ·

# 致密碎屑岩储层评价方法研究

张凌云 \*

(中国石化石油工程西南公司测井分公司,四川成都 610100)

张凌云. 致密碎屑岩储层评价方法研究. 石油地球物理勘探, 2008, 43(5): 595~599

**摘要** 百色盆地东部拗陷中央凹陷带那读组为陆相碎屑岩沉积地层, 储集层的特点是岩性致密, 孔隙结构复杂, 非均质性较强, 横向可对比性较差, 用传统解释方法对其储层进行正确评价比较困难。综合岩心分析、储层电性特征对该区储层进行系统研究, 初步形成了一套用常规测井资料综合评价致密碎屑岩储层评价技术, 包括流体性质判别、孔隙结构评价、储层非均质性评价、储层分类、产量预测等方法, 并通过实例进行了效果评价, 证实该技术的应用可有效地促进中央凹陷带的勘探开发。

**关键词** 测井评价 那读组 碎屑岩 致密 非均质 孔隙结构 百色盆底

## 1 引言

百色盆地东部拗陷中央凹陷带是百色盆地的沉积中心, 也是盆地的生油中心。该区油气资源丰富, 第三系那读组为主要含油层系。几十年的油气勘探开发表明, 该区储集物性条件差、岩性致密、非均质性极强, 储层横向可对比性较差, 流体性质判别比较困难, 运用传统的测井解释技术难以对流体识别、孔隙结构、储层非均质性、产量预测以及储层参数进行准确的定量评价。为此针对该区致密碎屑岩储层的特点, 结合区内其他实际资料, 综合岩心的分析和电性特征对该地区的致密碎屑岩储层进行了系统研究, 总结出一套利用常规测井综合评价致密碎屑岩储层的方法。

## 2 那读组储层特征

那读组储集层以三角洲前缘亚相砂体为主, 埋深在 2100~2600m 之间, 储集层的岩性、物性及厚度在纵、横向上的分布不均, 差异较大。

那读组储集层物性普遍较差, 有效储集层平均孔隙度为 10.6%, 渗透率主要分布范围为 0.06~3.9mD, 平均值为 0.93mD, 属典型的低孔、低渗致密砂岩储集层。但是那读组储集层岩屑或岩心录井资料普遍有良好的油气显示, 且层薄, 产量低(大部分油层日产油量低于 1t)。

## 3 方法原理简介

### 3.1 流体判别方法

使用传统的交会图及  $P^{1/2}$  正态分布等方法判别那读组储层流体性质, 判别结果符合率很低。通过系统研究试油、分析化验数据发现, 那读组无水层存在, 因此可将那读组储层分为油层、差油层及干层三类, 只要能判断储层的产油量, 再根据该地区三类储层的产量标准, 就能实现对这三类储层的判别。也就是说, 识别储层流体性质可以通过判断储层的产油量实现。

经分析, 油气指示参数 OID 和反映物性的胶结指数  $m$  是影响储集层产能的关键参数。通过对岩石的四性关系研究, 结合测试产能与储层参数之间的关系进行对比, 可以发现, 油气指数 OID(其值相当于单位厚度的初产油量)与深侧向电阻率( $R_t$ )、孔隙度( $\Phi$ )和泥质含量( $V_{sh}$ )关系最密切。通过非线性拟合回归, 得出油气指数 OID 与深侧向、孔隙度、泥质含量的关系为

$$OID = -0.0141g(R_t) + 0.0969\Phi - 0.0153V_{sh} - 0.32$$

据前人研究结果<sup>[1]</sup>和岩心分析可知, 由低孔隙度( $\Phi < 13\%$ )较纯砂岩得出的胶结指数  $m$  与泥质含量( $V_{sh}$ )的关系为

$$m = 2.006e^{0.0033V_{sh}}$$

\* 四川省成都市龙泉驿区星光中路 1 号测井公司技术研究所, 610100  
本文于 2007 年 11 月 27 日收到, 修改稿于 2008 年 3 月 18 日收到。

为了对储层性质进行判别,OID与  $m$  分别使用一定的刻度绘图进行重叠,可得出各层的OID与  $m$  的交会面积  $S$  值。试油资料表明,储层产量与交会面积  $S$  值为正相关关系,因此根据  $S$  大小即可实现储层流体性质(储层性质)的识别。使用交会面积方法对已试油的28层储层流体的性质进行判别,得出如表1所示的判别标准,图1为XK7井流体性

质判别图。

上述应用实例表明,交会面积法为中央凹陷带那读组致密储层性质识别提供了新的有效识别手

表1 交会面积法流体性质判别标准

储层性质	油层	差油层	干层
交会面积( $S$ )	$>1.6$	$0.6 \sim 1.6$	$<0.6$

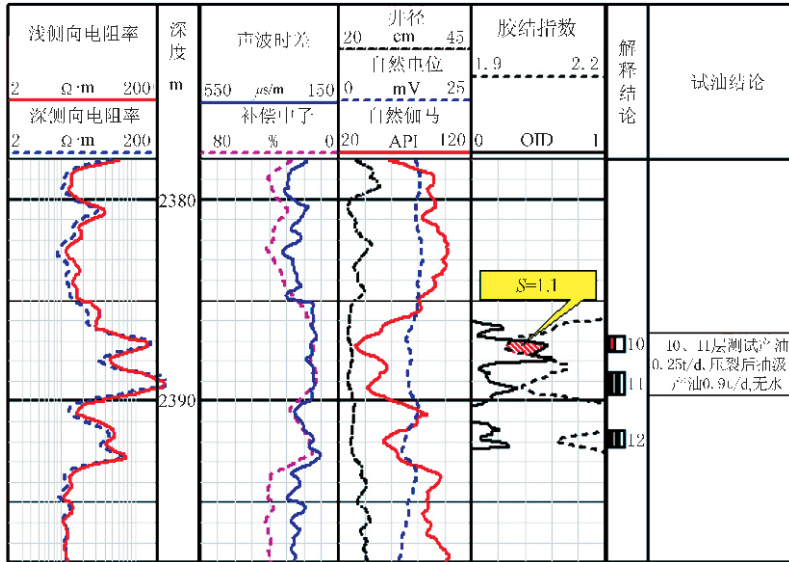


图1 XK7井流体性质判别图

段,与原有的交会图等识别方法相比,该法快速、直观,效果明显,解释结果符合率由56%提高到96.4%,从而解决了在近年生产上遇到的难题,为开发测试准确选层提供了可靠的依据。

### 3.2 渗透率计算方法

渗透率是最能反映储层物性特征的参数,可利用岩心渗透率与孔隙度拟合方法计算得出,但由于与孔隙度的相关性较差(相关系数为0.56),导致用该法计算结果误差较大。进一步研究表明,渗透率不但与有效孔隙度  $\Phi$  有一定相关性,还与泥质含量 ( $V_{sh}$ )、粒度中值 ( $M_d$ )、束缚水饱和度 ( $S_{wirr}$ ) 等参数密切相关。因此可用线性回归分析建立研究区渗透率  $K$  与  $\Phi, V_{sh}, M_d, S_{wirr}$  各参数值的数学模型,即

$$K = 10^{(0.175\Phi - 0.0674S_{wirr} + 0.035V_{sh} + 12.94M_d - 3.5366)}$$

根据岩心分析,由粒度中值测井计算的粒度中值的数学模型为

$$M_d = 10^{(-0.71 - 1.024V_{sh})}$$

束缚水饱和度  $S_{wirr}$  按下面公式计算<sup>[2]</sup>

$$S_{wirr} = \frac{100}{5.428} \left[ 1.145 - \lg \left( \frac{\Phi}{V_{sh}} - 0.25 \right) \right] + 40.58$$

按此法求出  $K$  值与岩心分析渗透率相关系数达0.801,从而使致密储层的评价更为可靠。

### 3.3 层内非均质性分析方法

对于砂质储层,层内非均质性指一个单砂层内的岩性、物性、电性及含油气性在垂向上的差异性。它是直接控制和影响一个单砂层内垂向上注入剂波及程度的关键地质因素。用上述拟合方法对渗透率进行预测,即可借助渗透率参数实现对中央凹陷带那读组的非均质性进行定量—半定量研究。

通常渗透率的垂向差异性主要用变异系数(VK)、突进系数(SK)及级差(NK)三个指标分别衡量<sup>[3~5]</sup>,每个指标都有各自的评价标准。但在实际应用中,采用各单项指标既不能全面反映渗透率的垂向差异,又经常出现各指标的评价结果相互矛盾的情况。所以文中采用综合系数(ZK)作为判断储层非均质性的指标评价渗透率的垂向差异性。综合系数是指变异系数、突进系数及级差三个参数的乘积( $ZK = VK \times SK \times NK$ ),综合系数越大,非均质性越强<sup>[6]</sup>。实际应用表明,综合系数作为评价储层垂

向差异性的综合指标,可以用于定量描述那读组储层内部的非均质性。

在综合考虑传统指标评价标准的基础上,可根据综合系数的大小,将研究区储层非均质性分为强、中和弱三个等级(表 2)。

表 2 储层非均质性评价标准

非均质性标准	变异系数 VK	突进系数 SK	级差 NK	综合系数 ZK
弱	<0.5	<2	<30	<30
中	0.5~1	2~3	30	30~90
强	>1	>3	>30	>90

### 3.4 孔隙结构评价方法

研究区的试油资料和压汞实验资料表明,那读组储层产能的高低与储层孔隙喉道的大小具有十分密切的关系。实验证实,孔隙结构(渗透率与孔隙度的比值即  $K/\phi$ )与孔喉半径有良好的相关性,尤其对泥质砂岩储层规律性更加明显<sup>[7]</sup>,因此研究孔隙结构对细致地揭示岩石的储渗特征具有十分重要的意义。

影响孔隙喉道大小的因素很多,如粒度、形状、分选、充填、压实、胶结及溶蚀等,所有这些影响因素均表现为储层的孔隙度和渗透率的变化<sup>[8]</sup>。根据本地地区的 23 个层点压汞实验资料研究,孔隙结构越复杂( $K/\phi$  比值越小),岩石中细微喉道(喉道半径  $R < 4\mu\text{m}$ )所占的比例越大;孔隙结构越简单( $K/\phi$  比值越大),中、粗喉道( $R > 4\mu\text{m}$ )所占的比例越大。

若定义  $K_{\text{POR}} = K/\phi$ ,则依据  $K_{\text{POR}}$  值大小判断孔隙结构的复杂性,进而可以定性地判别储层的产液能力。研究结果表明,在中央凹陷带,中、粗喉道储层所占比例仅为 1/5(此类不需改造即可获得较好产能),大部分储层为细微储层(需进行大规模的储层改造才能取得较好效果),在此基础上再结合其他地质资料对储层进行精细评价。

### 3.5 储层分类方法

本文采用层次分析法(AHP)确定权系数方法评价储层。根据研究区的实际资料,针对那读组储层选择了如下参数参与储层综合定量评价:孔隙度、渗透率、粒度中值、渗透率变异系数、泥质含量和含油饱和度。

根据储层综合评价参数值,计算各参数的权重,根据其结果确定出该层的综合评价指标。依据储层分类标准,那读组储层可分成三种不同的类型(见表 3)。应用综合定量评价方法划分的各类储层特征

明显,与研究区储层特征具有很好的一致性,可靠性较高。与试油结论对比发现:Ⅰ类储层为差油层或油层(如果厚度大于 1.5m,可获得较好产能,为油层),Ⅱ类储层基本为差油层,Ⅲ类储层都为干层。

表 3 储层分类标准

储层综合评价指标	储层分类级别
>0.6	Ⅰ
0.6~0.4	Ⅱ
≤0.4	Ⅲ

### 3.6 产量预测方法

对油层的产量进行定性或定量评价是油气勘探与开发领域的基本任务。目前,油层产能评价主要通过试油、试采数据或油藏数值模拟等手段进行预测,还没有利用常规测井资料定量准确预测储层产量的成熟方法,对低孔渗、非均质储层产量的预测更是十分困难。由于油气指示与胶结指数交会面积法较好地使用了影响储层产量的孔隙度、泥质含量、厚度以及间接地综合了饱和度、渗透率等多个关键参数,能客观地半定量评价储层的产量。

## 4 应用效果评价

### 4.1 实例 1

图 2 为 B51-6X 井交会面积法流体判别图。图中录井资料显示 1611~1614.2m(原解释的 7-2 号层)段岩屑为灰黄褐色油浸粉砂岩,测井过程中因用传统的解释方法预测该井产油可达 5~7t/d,为了早日投产,仅测了几条主要曲线。但使用交会面积法计算出本层 S 为 1.56,为差油层,且仅 1611.7~1612.9m 为有效储层(即 7-2 号层),厚度仅为 1.2m(远小于原解释的 3.2m),该层用层次分析法评价为Ⅰ类储层,而 7-1、7-3 号层为Ⅲ类储层。1608.4~1615m 经测试及抽汲,仅产少量油花,后补孔并酸化,效果仍然不佳。经封井恢复压力,45 天后提携出原油 13.9t,试油结论为差油层,试油结论与交会面积法判别结果比较吻合。

### 4.2 实例 2

图 3 为采用  $K/\phi$  方法时 B21 井储层非均质性分析、孔隙结构评价图。图中显示该井储层的综合系数普遍较大,非均质性严重,仅第 6 层综合系数为中等,6~8 号层合试,投产后产油 0.82t/d,无水。20 天后对 3~5 号层合试,投产后仅增油 0.15t/d,

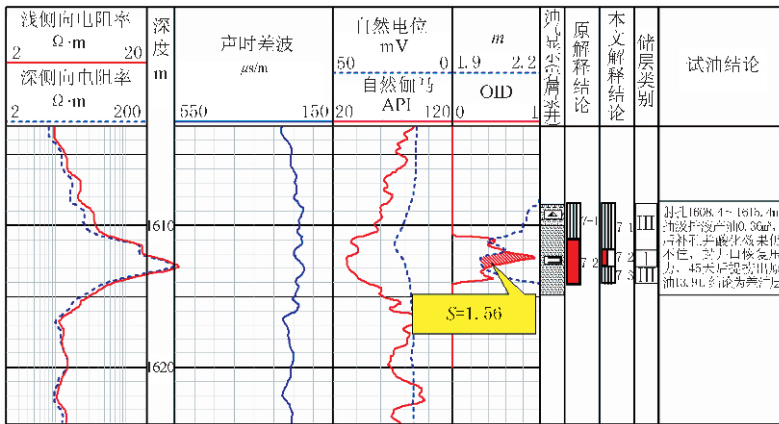


图2 B51-6X井交会面积法流体判别图

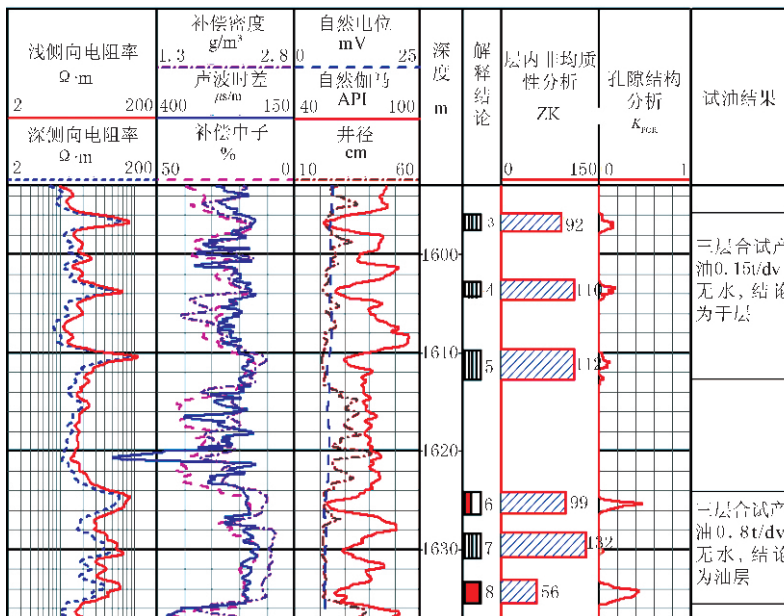


图3 B21井非均质性分析、孔隙结构评价图

3~5号层试油结果为干层,通过对比,可以看出储层非均质性对储层的产能影响较大。

B21井仅第8层以中、粗喉道为主,第6层为中、细喉道储层,其余都为细喉道储层,图4、图5分别为该井第4层、第8层的岩心毛管压力曲线图。从图4可以看出,第4层的两块岩心毛管压力曲线表现为细歪度,具有较高的排驱压力和中值压力,喉道半径较小(平均为 $0.83\mu m$ ),孔隙结构复杂,两岩样分析深度仅相隔 $0.2m$ ,但毛管压力曲线差异较大,显示出较强的非均质性;从图5可以看出,第8层的三块岩心毛管压力曲线表现为粗歪度,显示具有较低的排驱压力和中值压力,喉道半径相对较大(平均为 $5.25\mu m$ ),孔隙结构相对较简单。表明用 $K/\phi$ 方法评价的孔隙结构结论和实验分析数

据比较吻合。

### 4.3 实例3

图6是对近期完钻的K26井2271.9~2274.3m段产量预测图。从图中可以看出,该层交会面积S

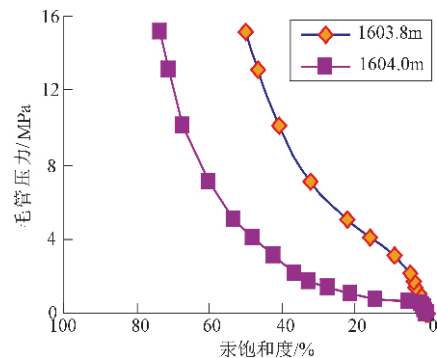


图4 B21井第4层两块岩样毛管压力曲线图

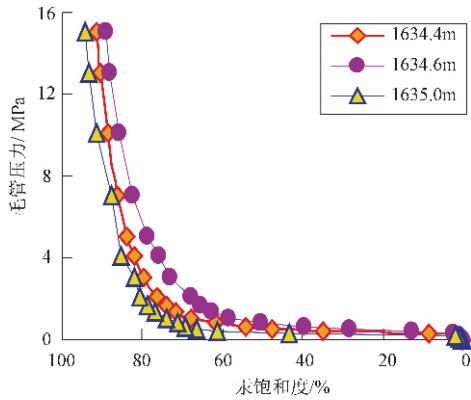


图 5 B21 井第 8 层三块岩样毛管压力曲线图

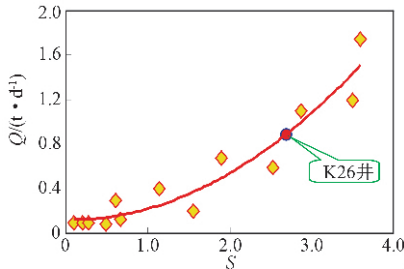


图 6 那读组储层产量 Q 与交会面积 S 关系图

拟合方程为  $Q=0.0821S^2+0.0607S+0.0434$ ;  
相关系数  $R^2=0.8277$

为 2.7, 预测产量为 0.95t/d, 为油层。投产后产量为 0.9~1.1t/d, 无水, 结论也为油层, 与预测产量基本一致。

#### 4.4 实例 4

Kun9 块为中央凹陷带一半背斜古隆起, 该区那读组砂体为以浅水湖泊三角洲为背景的三角洲平原和三角洲前缘亚相砂体。已钻探井表明, 在那读组均钻遇了良好的砂岩油层, 该区那读组油藏已获控制储量  $57 \times 10^4 \text{t}$ , 含油面积  $6.7 \text{km}^2$ 。

实验分析资料表明, 那读组储层的非均质性对产能影响很大, 为了寻找油气的有利区, 可计算那读组储层的非均质性综合系数 ZK 值。图 7 为 Kun9 块根据 XK7、K9 和 B20、B66、B70 那读组二段储层 ZK 值绘制的平面分布图。从图中可以发现 K8 井附近及南东一小范围地区储层的非均质性较弱, 是勘探的有利地区; 而其他区域储层的非均质性较强, 为勘探的不利地区。最近完钻的 K26 井、K29 井分别位于 K8 井北、南东位置, K26 井与 K29 井相比, K26 井处于有利位置。实测结果中 K26 井获得了较好的产能, K29 井则较差, 证实了预测的准确性。根据该项成果, 结合沉积、构造综合研究, 认为设计井 K28 井

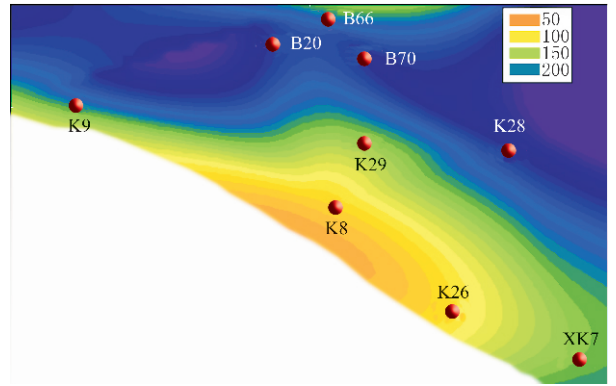


图 7 中央凹陷带 Kun9 块那读组二段储层非均质性分析及有利区预测图

图中曲线表示综合系数(ZK)的大小,ZK 值越小越有利

钻探风险很大, 目前已取消了该井的钻探。

## 5 结论

在充分分析影响渗透率的各种因素前提下, 可以实现致密储层的渗透率计算; 通过对致密碎屑岩储层孔隙结构特征、物性特征、非均质性深入研究, 形成了致密碎屑岩储层的流体判别方法、孔隙结构评价方法、储层非均质性评价方法、储层分类方法、产量预测等评价方法, 从而改变了主要根据解释人员的经验判别的传统方法, 在勘探开发应用中获得了较好的效果。

#### 参考文献

- [1] 毛志强. 高温高压泥质含量润湿性及实验方法对阿尔奇公式的影响分析. 测井技术, 1998, 22(4): 231~232
- [2] 雍世和, 洪有密. 测井综合解释与数据处理. 北京: 石油工业出版社, 1982
- [3] Geehan G W. *Geologic Prediction of Shale Continuity, Prudhoe Bay Field; Reservoir Characterization*. Acade Press, Inc., 1986, 19(9): 162~168
- [4] Alister C MacDonald and Halland K. Sedimentology and shale modeling of a sandstone-rich Fluvial reservoir: Upper Statfjord Formation, Statfjord Field, Northern North Sea. AAPG, 1993, 77(6): 68~72
- [5] Katz A J, Thompson A H. Quantitative prediction of permeability in porous rock. *Physical Review Bulletin*, 1986, 34(3): 179~181
- [6] 单敬福, 纪友亮. 大庆油田葡萄花油层组储层非均质性研究. 地质调查与研究, 2006, 28(2): 115
- [7] 郝以岭, 赵字芳. 基于测井资料计算孔渗比的储层评价方法. 测井技术, 2004, 28(2): 135
- [8] 马明福, 李薇. 苏丹 Melut 盆地北部油田储集层孔隙结构特征分析. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 121~124

(本文编辑: 冯杏芝)