

断块油藏的测井储层评价

杨少春 信荃麟

(石油大学(华东)石油资源系, 山东东营 257062)

断块油藏测井解释模型的建立、资料的处理及储层评价应始终考虑地质因素的影响。不同类型储层、不同沉积相带以及不同开发时期的测井响应、岩性、物性、韵律性、电性及含水率等均不相同, 根据这些差异和特点, 分别建立了孔隙度、渗透率和含油饱和度等参数的解释模型和计算模型, 提高了解释精度。勘探和开发阶段测井资料的处理除应考虑岩性、沉积相带、注水后储层结构变化外, 还应考虑断块的复杂性及断块之间的联系。依据处理出的储层参数, 结合断块油藏的特点, 引入灰色理论和模糊数学等方法, 并总结出了定性、定量两种测井储层评价方法, 与钻井结果吻合较好。

关键词 断块油藏 解释模型 测井处理 储层评价

第一作者简介 杨少春 男 36 岁 副教授(博士生) 储层地质学及油藏描述

我国东部断陷含油气盆地断块油藏十分发育, 但岩性岩相变化大, 油藏形成条件复杂多变, 是石油勘探开发难度大的原因所在。作者通过对江苏、冀东、胜坨、中原等油田断块油藏的长期科研和实践, 总结出适用于断陷含油气盆地的断块油藏测井储层评价方法, 通过对测井资料的处理与解释, 揭示了断块油藏储层的分布规律, 对指导断块油藏的勘探开发具有参考价值。

1 预处理与标准化

(1) 岩芯资料预处理。岩芯分析数据存在各种误差, 并且其深度与测井深度不匹配, 须进行数据校正和岩芯归位, 以提高岩芯数据的准确性。

(2) 测井资料预处理。消除仪器本身和测井时的泥浆侵入、井眼扩大等环境因素影响, 使测井信息能真实反映储层及流体的特征。处理方法主要有图版校正和滤波方法, 可根据不同断块测井数据的变化来选择。

(3) 测井资料标准化^[1]。消除各种系统误差、人为操作误差, 使断块内测井资料统一在同一刻度标准之下。石膏层和泥岩层作为标准层比较理想, 标准化方法可视断块复杂程度来选择。断块内构造单一, 可采用趋势面分析方法; 断块破碎、岩性岩相变化大, 可采用均质校正方法; 断块内标准层测

井曲线直方图规则, 且变化规律明显, 亦可采用直方图方法。通过标准化研究, 可提高断块之间、井与井之间资料的可对比性, 有助于提高解释精度。

2 测井解释模型建立

不同类型的油藏有着不同的地质特点^[2], 断块油藏沉积体系多变、储层类型多样、油水关系复杂, 对应的测井响应特征也有其特殊的变化规律。因此, 应针对断块油藏的地质特征来建立能够定量表征其变化的解释模型。作者提出以下 3 种建模方法。

2.1 按照储层类型建模

储层的类型及其分布主要受沉积时的环境影响, 不同类型储层的测井响应特征有较大差异。砂岩储层具有低密、较高声波时差、低伽马幅度值、明显自然电位异常状态、中等微电极正差异和低中等电阻率值等特点; 而灰岩则具有较高密度、低声波时差、高伽马值、大片自然电位曲线异常、高锯齿状微电极、高电阻率值等特征, 这些特征决定了它们的解释模型不可能相同, 因此, 有必要按照储层类型通过岩电关系分析来建立解释模型。例如江苏金湖凹陷的西园崔庄阜宁组断块油藏有砂岩和灰岩两种储层类型, 均属湖泊环境沉积而成。砂岩属岩屑长石质砂岩类型, 泥质胶结, 中孔低渗, 较高声波时差和低电阻率; 灰岩以方解石为主, 含泥质, 亮晶胶结, 最大特点是低孔低渗、低声波时差、高电阻率、较低含油饱和度。这两种储层类型的解释模型

显然不同,所建模型中比较重要的孔隙度和含油饱和度参数的解释模型分别为:

$$\Phi = -1.003\,767 + (0.000\,002\,896\,122AC^{2.772\,746}) + (18.049\,07V_{sh}^{-0.714\,63})$$

$$S_o = 1 - \{[(abR_w)/(\Phi^n R_i)]^{1/n} -$$

$$[(V_{sh}R_w)/(0.4R_{sh})]\}$$

$$\Phi = -21.098\,6 + (0.147\,982AC)$$

$$S_o = 1 - [(1/\Phi)(0.81R_w/R_i)]^{1/2} -$$

$$(V_{sh}R_w)/(0.4R_{sh})]$$

式中 Φ 为孔隙度; AC 为声波时差; V_{sh} 为泥质含量; S_o 为含油饱和度; R_w 为地层水电阻率; R_{sh} 为泥岩电阻率; R_i 为地层电阻率; a, b, m, n 为岩电系数,通过模拟研究区地层条件实验获取。

2.2 按照沉积相带类型建模

沉积相带控制储层参数和剩余油的分布。不同相带的储层具有不同的岩性、不同的物性和不同的沉积韵律性。好的相带,自然电位曲线幅度差较大,声波时差值较高,含油性较好;差的相带,岩性致密,孔渗性较差,声波时差较低,含油性较差。因此,沉积相带控制储层的四性,即岩性、物性、电性和含油性。以自然电位曲线形态为例,河道砂体和三角洲前缘砂体的就完全不同,前者以钟形为主,后者以漏斗状为主。按照相带类型建模,必须以钻遇某种相带的岩芯分析为基础进行储层的四性关系研究,并充分考虑平面上相带的展布。在南堡凹陷北堡地区,断块发育,沉积类型复杂,其中下第三系东营组三段上部发育斜坡扇沉积,主要有扇主体、扇前缘和扇侧缘微相。四性关系研究表明,测井信息能够较好地反映斜坡扇的沉积特征。其中扇主体微相储层泥质含量较低,物性较好;扇前缘及侧缘微相层状泥质发育,孔渗性较差,两种相带储层的电性特征也不相同,因此,按照相带类型建立测井解释模型它们的孔隙度、渗透率和含油饱和度计算模型分别为

扇主体微相:

$$\Phi = AC/(-0.013\,147AC + 18.373\,4)$$

$$K = 0.001\,478e^{0.414\,922\Phi}$$

$$S_o = 86.964\,08 \ln R_i - 126.787\,6$$

扇前缘及侧缘微相:

$$\Phi = -34.314\,88 + (0.176\,533\,6AC) +$$

$$(7.516\,661e^{-0.054\,131V_{sh}})$$

$$\lg K = -3.081\,746 + (3.820\,683 \lg \Phi) +$$

$$(1.421\,689 \lg M_d)$$

$$S_o = (1/\Phi)[aR_w(1 - V_{sh})(1/R_i - V_{sh}/R_{sh})]^{1/2}$$

式中 K 为渗透率; M_d 为粒度中值; R_i 为地层电阻率。

2.3 按照地质开发时期建模

地质勘探和开发初期,储层是相对静止的,进入开发中后期(含水率在 40%~90%之间)及特高时期(含水率大于 90%),由于注水井对生产井储层的不断冲洗,储层的岩性、物性及含油性发生了相应变化。作者等对胜坨油田二区关键井沙河街组二段岩芯进行统计分析,发现储层的孔隙度、渗透率、粒度中值增大,泥质含量、束缚水饱和度值减小,含油饱和度不断降低。例如孔隙度和含油饱和度的变化(平均值),从初期到中后期到特高期孔隙度分别为 30.6%、31.3%和 31.7%,含油饱和度分别为 57.99%、45.32%和 40.5%,中后期和特高期的孔隙度分别递增 0.7%和 0.4%,含油饱和度分别递减 12.67%、4.82%。随注水开发,电性特征也发生变化,最明显的特征是油层水淹后电阻率降低,自然电位基线发生偏移,声波时差值有时由于某些粘土矿物含量增大而比油层的要高。由此可见,地质开发时期不同,储层的电性特征也发生变化,因此,测井解释模型也不相同。

胜坨油田储层不同地质开发时期主要参数的解释模型分别为:

$$\text{初期: } \Phi = (0.197\,689AC) - 35.262\,55$$

$$\lg K = (6.056\,759 \lg \Phi) + (1.993\,459 \lg M_d) - 4.382\,32$$

$$S_o = 1 - [(abR_w)/(\Phi^n R_i)]^{1/n}$$

$$(\lg R_w = 3.252\,7 - 0.001\,937H)$$

$$\text{中后期: } \Phi = (0.205\,335AC) - 36.839\,74$$

$$\lg K = (6.200\,618 \lg \Phi) + (2.691\,176 \lg M_d) - 3.953\,372$$

$$S_o = 1 - [abR_z)/(\Phi^n R_i)]^{1/n}$$

$$(R_z = R_{mfe}/10^{-SSP/K_c})$$

$$\text{特高期: } \Phi = (0.198\,314AC) - 35.462\,65$$

$$\lg K = (6.316\,453 \lg \Phi) + (2.510\,981 \lg M_d) - 4.580\,842$$

$$S_o = 1 - [abR_z)/(\Phi^n R_i)]^{1/n}$$

$$(R_z = \Phi^n S_{xo}^n (S_{xo}/S_{wi})^{D_{R_i}}/(ab))$$

式中 H 为深度; SSP 为静自然电位; R_{mfe} 为泥浆滤液等效电阻率; K_c 为自然电位系数; R_z 为混合

液电阻率; S_{xo} 为冲洗带饱和度; S_{wi} 为束缚水饱和度; D 为地层淡化系数, 一般取值 0.5。

3 测井资料处理

测井储层评价始终要考虑地质因素的影响, 体现在测井资料处理过程中就是岩性、沉积相带、注水开发后储层结构变化等的模式化; 对断块油藏, 还应当考虑断块的复杂性及断块之间的联系。由于模型的差异和电性特征差异, 勘探阶段和开发阶段的测井资料处理方法也不相同。

3.1 勘探阶段

(1)分段处理。断块区构造复杂、地层水变化大、油水关系复杂, 分段处理就是考虑到这些特点, 选取不同的参数, 力求解释客观、准确。

(2)确定处理参数。考虑断块之间的差异性确定处理参数, 尤其是地层水电阻率参数的确定, 应充分利用试水分析数据, 分断块建立地层水电阻率与深度的关系。

(3)关键井检验。用岩芯分析资料检验处理结果, 及时修改模型, 提高解释精度。

(4)多井资料处理。按断块分小层或砂组对测井资料进行处理。处理过程中始终要考虑地质因素的影响, 如按储层类型建模处理, 首先要区分纵向上储层的类型, 其次要分别对不同的储层类型进

行测井资料处理; 如按相带建模处理, 则先确定纵向上相带类型, 然后再按不同相带分别进行资料处理并及时修改解释参数, 使处理结果反映断块油藏的地质规律。

3.2 开发阶段

按生产井生产年限和综合含水率可将开发阶段分为开发初期、中后期和特高期, 储层在这 3 个时期水淹程度存在很大差异, 因此, 开发阶段的测井资料处理方法较之勘探阶段有较大的不同。

(1)细分层处理。根据细分层(韵律层)结果, 考虑断块内地层水或混合液矿化度特点及水淹层特点进行处理。

(2)水淹层识别。利用自然电位基线偏移、径向电阻率和可动水分析方法对水淹层进行识别, 并对资料进行预处理, 确定水淹程度。图 1 为胜坨油田某井水淹层电性显示特征。从图中可以看出, ①号层自然电位基线下段偏移, 油层下部水淹, 低感应电导, 低声波时差, 冲洗带电阻率明显大于 4 m 电阻率值, 从分析数据可知, 混合液电阻率小于泥浆滤液电阻率, 为增阻侵入, 表现出中-高水淹, 试油证实含水率达 66.5%。③号层上部增阻侵入, 试油含水率 91.5%, 中部冲洗带电阻率小于 4 m 电阻率, 减阻侵入, 为弱水淹。

(3)水淹层的定量解释。对于开发初期资料,

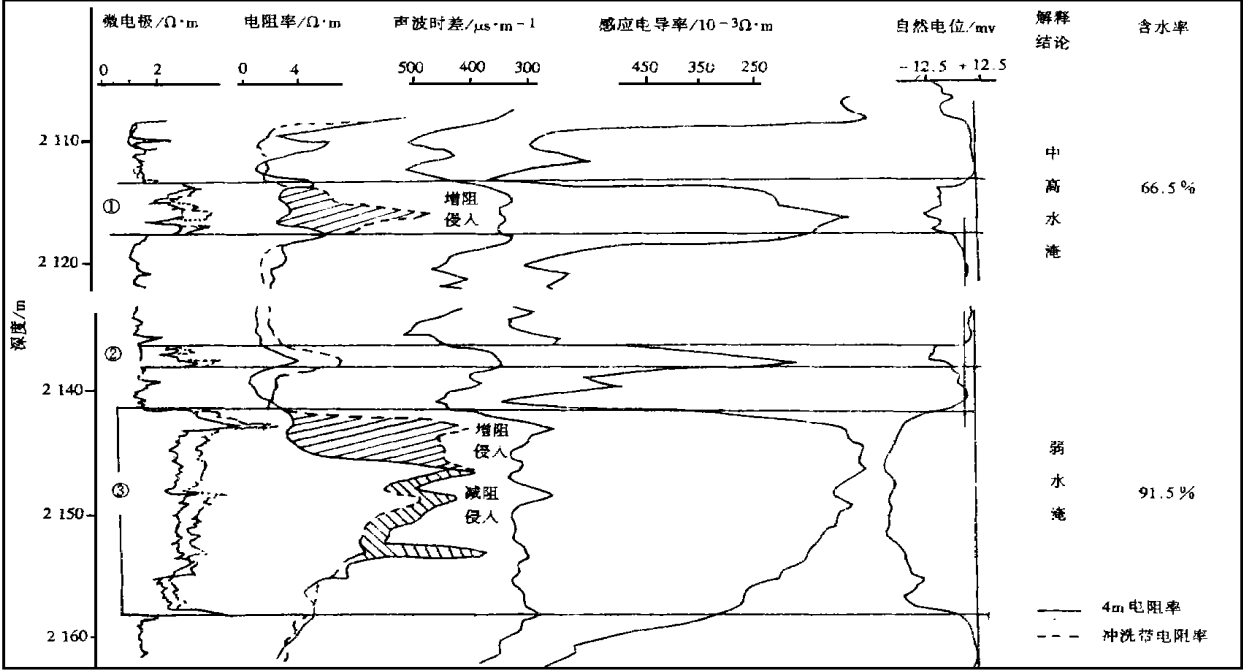


图1 胜坨油田某井水淹层电性显示特征

Fig. 1 The electric property of waterflooding bed in certain well of Shenguo Oilfield

可按储层类型、沉积相带类型或开发初期等模型进行处理;对于中后期及特高期资料,确定水淹层混合液电阻率是一项重要内容。混合液电阻率的确定直接影响剩余油饱和度的求取,应考虑断块内混合液矿化度的变化。

(4)神经网络定量解释。神经网络方法也常用于定量解释,它不须建立任何测井响应方程或提供经验公式,也避免了解释过程中一些中间参数求取所带来的人为误差。在胜坨油田,作者应用了这种方法,通过样本集形成、归一化处理、学习训练、网络模型建立和网络评价,最终输出解释结果表明,误差较小,求取的参数精度较高且反映储层特征。

4 测井储层评价

测井储层评价是最终目的,评价的依据就是处理出的储层参数。根据断块油藏的特点,总结出定性评价和定量评价两种方法。

4.1 定性评价

综合研究区储层的岩性、物性和含油性参数的特征以及试油资料将储层由好到中到差划分为 A, B, C 3 类标准。在此基础上以断块为评价单元,以小层或砂组为基础,开展研究区储层评价,根据断块内储层参数大小来确定储层优劣^[3]。

4.2 定量评价

对于复杂断块油藏定性评价未必能全面反映储层特征,作者提出用灰色理论和模糊数学方法处理出的储层参数定量评价储层。

(1)储层灰色评价。采用灰色理论中的多元加权归一分析方法对储层进行定量评价^[3]。按照灰色理论,断块油藏的储层可看作是一个包含已知因素(储层评价标准、评价参数、权值)和未知因素(储层参数特征)的灰色过程,采用灰色信息系统中的每一个灰数的统计值,建立起多参数储层评价的灰色量自动分析数学模型,然后用该模型进行评价和预测。表 1 为中原油田马厂地区沙河街组三段储层参数灰色评价标准,表 2 为其 IV 砂组灰色评价结果,表明各断块储层的差异比较明显。

(2)储层模糊评价。以模糊数学理论为基础,选择主要的储层参数作为模糊评价因素,把各断块作为评语集合建立评价数学模型,用德尔斐、专家调查和判断矩阵等方法确定权重系数,选择合适的计算模型进行模糊综合运算^[4],从而得到评价结果。在冀东北堡地区东营组的测井储层评价中,选

择了油层有效厚度、含油饱和度、孔隙度、渗透率、泥质含量、变异系数和突进系数等 7 个参数,并考虑了储层的非均质性,利用专家法确定权重系数,选择了加权平均法作为计算模型进行评价。表 3 为评价结果,数据表明该区储层普遍较差,相比而言, B10 断块、B28 断块储层较好; B5, B13, B6 和 B12X1 断块储层中等偏差;其余断块储层差。这一评价结果已得到钻井所证实。

表 1 马厂地区沙三段储层参数灰色评价标准
Table 1 Gray evaluation standard of the reservoir parameters of the third member, Shahejie Formation in Machang region

评价参数	储层评价标准			权值
	好(A)	中(B)	差(C)	
泥质含量/ %	10.00	14.00	18.00	1.80
孔隙度/ %	18.00	16.00	12.00	2.50
渗透率/ 10 ⁻³ μm ²	60.00	40.00	10.00	1.20
粒度中值/ mm	0.12	0.10	0.08	0.80
束缚水饱和度/ %	25.00	30.00	35.00	0.80

表 2 马厂地区沙三中亚段 IV 砂组断块油藏测井储层灰色评价
Table 2 Gray evaluation log reservoirs of fault block pools in IV sand set, Sha 3 member, Machang region

Table 2 Gray evaluation log reservoirs of fault block pools in IV sand set, Sha3 member, Machang region												
断 块	马 9	马 9 中	马 9 东	马 19 东	马 19 中	马 19	马 11 东	马 11	马 10 东	马 10 西	马 1	马 12
结果	C	C	C	C	C	A	B	A	A	C	B	A

表 3 冀东北堡地区东三上段断块油藏测井储层模糊评价
Table 3 The fuzzy evaluation of reservoirs of fault block pools in the upper part of Dong 3 member, Beipu, Jidoing

砂组	断块								评价标准
	B4	B5	B6	B10	B12X1	B13	B16	B28	
1	0.3	0.36	0.28	0.78	0.22	0.29	0.36	0.58	系数> 0.6 为较好储层(I) 系数 0.4~ 0.6 为中等储层(II) 系数< 0.4 为差储层(III)
2	III	III	III	I	III	III	III	II	
	0.29	0.57	0.58	0.72	0.45	0.41	0.24	0.83	
	III	II	II	I	II	II	III	I	

5 结论

(1)针对我国东部断块油藏地质、测井特征,提出断块油藏的测井储层评价方法,强调地质与测井应紧密结合。该方法包括预处理与标准化、测井解释模型建立与资料处理和储层评价等 4 个方面内容,其中建模与处理是核心内容,评价是最终目的。

(2)预处理与标准化主要进行深度和环境校正,消除各种误差影响,使断块内测井资料统一在

同一刻度标准之下, 有助于提高解释精度。

(3) 提出按照储层类型、沉积相带类型和地质开发时期建立测井解释模型, 充分考虑地质作用对储层岩性、沉积相带类型、注水开发后储层结构变化以及对应的测井信息特征, 在江苏、冀东及胜利等油田应用效果良好, 有效地提高了解释精度。

(4) 勘探阶段和开发阶段的测井资料处理方法并不相同, 前者按断块和小层分段处理, 注意识别纵向上储层的岩性、相带类型; 后者以细分层处理为主, 注意水淹层的识别和定量解释以确定不同含水级别, 同时引用神经网络方法, 使解释符合率达到 80% 以上。

(5) 引入灰色理论和模糊数学等方法实现定性、定量结合的储层评价, 准确表征了断块储层的差异性, 确定有利储层区块和层位。评价结果与钻井及开发结果吻合较好。

参 考 文 献

1 曾文冲. 油气藏储集层测井评价技术. 北京: 石油工业出版社, 1991. 58~ 91, 93~ 98
2 王平, 李纪辅, 李幼琼. 复杂断块油田详探与开发. 北京: 石油工业出版社, 1994. 158~ 162
3 刘泽容, 张晋仁, 金强. 油藏评价和预测. 北京: 石油工业出版社, 1993. 49~ 76
4 张跃, 邹寿平. 模糊数学方法及其应用. 北京: 煤炭工业出版社, 1992. 1~ 205

LOG RESERVOIR EVALUATION IN FAULT BLOCK POOLS

Yang Shaochun Xin Quanlin

(Petroleum Resources Department, Petroleum University, Dongying, Shandong)

Abstract

The influence of geological factors should always be taken into account in establishing well log interpretation model, log data processing and reservoir evaluation. The log response, the lithologic, petrophysic, rhythmic and electric characters and water contents of different types of reservoirs, different sedimental facies and different exploitation periods are different. According to these differences, the models of interpretation and calculation for porosity, permeability and oil saturation degree are established and the interpretation accuracy thus improved. Besides, the complexity of the fault blocks and the connection between the fault blocks should also be considered in log data processing during oil exploration and development. Based on the reservoir parameters obtained through data processing and the characters of fault block reservoirs, the methods of log reservoir quantitative and qualitative evaluation are summarized by applying grey theory and fuzzy mathematical methods. The practical application results of the methods coincide well with well drilling.

Key words: fault block reservoir interpretation model log data processing reservoir evaluation