

福山凹陷流沙港组三段储层四性关系及有效厚度下限标准

岳绍飞^{1,2}, 刘杰³, 马丽娜^{1,2}, 周雪峰^{1,2}

(1.中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室,湖北 武汉 430074; 2.中国地质大学(武汉)资源学院,湖北 武汉 430074; 3.中海石油有限公司湛江分公司,广东 湛江 524097)

摘要: 为了提高福山凹陷流沙港组三段有利区域的预测精度,针对研究区目前地震资料品质差但钻井和测井资料丰富的现状,利用岩心、测井等资料,对流沙港组三段的岩性、物性、电性和含油性四性特征及其相互关系进行了研究。结果表明:研究区流沙港组三段为中孔中低渗透储层,油气的富集程度主要受储层岩性和物性的影响;选取自然伽马、声波时差和电阻率等电性资料,建立岩性、物性及含油性的测井解释模型,并将测井解释孔隙度和渗透率与岩心分析孔隙度和渗透率分别进行对比验证,测井解释值与岩心分析值吻合较好,即所建模型适用于福山凹陷流沙港组三段。最后确定了福山凹陷流沙港组三段储层有效厚度下限标准:物性下限孔隙度为6.3%,渗透率为 $0.202 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,电性下限电阻率为 $10 \Omega \cdot \text{m}$,声波时差为 $230 \mu\text{s}/\text{m}$ 。

关键词: 四性关系 有效厚度下限 储层 流沙港组三段 福山凹陷

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)04-0042-04

目前,国外主要利用地震资料进行储层研究,并进一步与岩石物理学及地质物理统计相结合进行储层特征分析及预测^[1-3],而中国多利用测井资料与岩心分析资料相结合进行储层研究^[4-9]。针对福山凹陷地震资料品质差、而测井和钻井资料丰富的现状,笔者采用测井资料与岩心分析资料相结合的方法对储层进行研究。福山凹陷目前虽已完钻100余口井,但在油气探明储量上仍没有取得突破性进展,且大多数油井产量不高。原因是福山凹陷地质构造和油气聚集条件复杂,岩性变化较大,对储层特征及分布规律认识不清^[10-11]。为此,笔者从储层的四性关系出发,通过研究储层四性特征及其相互关系,建立了测井解释模型,并确定了福山凹陷流沙港组三段(简称流三段)储层有效厚度下限标准,以期研究区的有利区域预测及勘探提供依据。

1 区域地质背景

福山凹陷为北部湾盆地东南缘的近北东东向展布的中—新生代箕状断陷,其南部为海南隆起,北入琼州海峡,东临云龙凸起,西与临高凸起相接,

总面积为2 880 km²。流沙港组为福山凹陷的油气重点勘探目的层,厚度约为1 500~2 000 m,其中流三段在全区均有分布,厚度为400~800 m。流沙港组在垂向上发育1套完整的水进—水退旋回,主要为河流三角洲和湖泊沉积体系,其中三角洲和湖底扇砂体为良好储层^[12]。流二段的大套暗色泥岩为主要烃源岩,有利储层主要分布在流三段和流一段。流三段沉积时期处于构造发育的初始扩张阶段,以辫状河三角洲沉积最为发育,约占研究区总面积的50%,半深湖—深湖仅分布在研究区北部^[13]。

2 储层四性特征及相互关系

2.1 四性特征

岩心薄片观察和统计分析结果表明,流三段储层岩性以岩屑砂岩和长石质岩屑砂岩为主,砂岩粒径主要为0.5~2.5 mm,平均为1.9 mm,分选中等偏下,磨圆度为次圆—次棱角状,颗粒以线及点—线接触为主。石英含量为50%~62%,平均为55%;岩屑含量为23%~40%,平均为26.7%;长石含量为5%~15%,平均为8.9%;填隙物含量平均为9.4%,且

收稿日期:2013-05-07。

作者简介:岳绍飞,男,在读硕士研究生,从事沉积学、层序地层学方面的研究。联系电话:(027)67883064, E-mail: yuefei2012@yeah.net。
基金项目:国家自然科学基金项目“奥陶纪—志留纪转折期扬子海氧化还原环境变化”(40903032),国家科技重大专项“南海西北部深水区古近系沉积相及烃源岩识别和储层评价”(2011ZX05009-002)。

以自生粘土矿物为主。胶结类型以薄膜—孔隙、孔隙一次生加大为主。流三段储层孔隙度和渗透率变化较大,孔隙度最大值为27.51%,最小值为4.35%,主要为10.3%~15.6%,平均为14.19%;渗透率为 $0.023\times 10^{-3}\sim 541\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均为 $34.4\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,为中孔中低渗透储层。流三段的含油饱和度主要为44%~66.5%,在测井曲线上表现出高电阻率和高声波时差的电性特征。

2.2 岩性与物性的关系

在四性关系中,岩性与物性的关系最为重要,且两者直接控制着储层的储集性能。通过分析岩心资料可知,流三段以含砾细砂岩和砂砾岩为主,其次为细砂岩和含砾粗砂岩,少量泥质粉砂岩和粉砂岩。不同粒度的砂岩对应的孔隙度和渗透率不同,随着砂岩粒度的增大,孔隙度和渗透率总体也呈变大趋势。含砾粗砂岩的孔隙度和渗透率最高,其孔隙度均值为19.2%,渗透率均值为 $45.2\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;砂砾岩次之,其孔隙度和渗透率均值分别为15.12%和 $27.72\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

2.3 岩性与电性的关系

电性特征是岩性、物性和含油性的综合反映,由于流三段储层纵向和横向上的岩性和物性变化大,因此电性特征的变化相应也较大^[14]。研究发现,流三段的自然伽马曲线可以较好地地区分各种岩性,随着岩石粒度的减小,泥质含量的增加,自然伽马值明显增大。主要储层段中含砾细砂岩及砂砾岩表现为高电阻、高声波时差及低自然伽马的电性特征。电阻率主要为 $0\sim 40\Omega\cdot\text{m}$,自然伽马为 $0\sim 250\text{API}$,声波时差为 $200\sim 280\mu\text{s}/\text{m}$ (图1)。

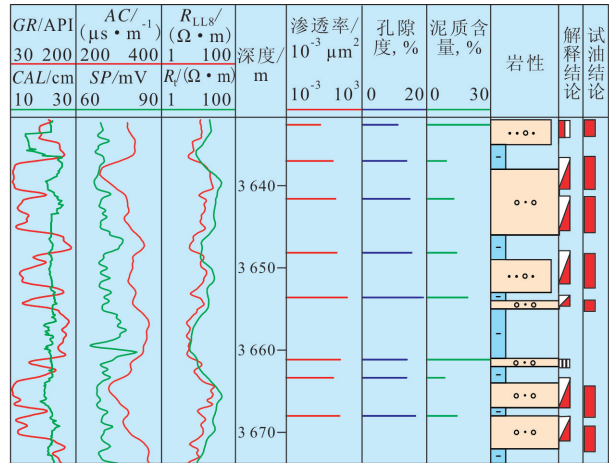


图1 福山凹陷流三段储层四性关系

2.4 岩性与含油性关系

通过对福山凹陷已钻井含油岩心资料的统计发现,流三段的主要岩性为含砾细砂岩和砂砾岩,

油气显示普遍较高,油迹、油斑和油浸等各含油级别均有显示。不同的岩性对应的油气显示有所区别,砂砾岩主要为油浸及油斑显示,含砾细砂岩主要为油斑显示。

2.5 物性与含油性关系

储层的含油性是指储层在不同岩性和物性下的含油级别,通常储层的岩性越粗,物性越好,含油级别越高。分析储层的四性关系(图1)发现,岩性中泥质含量低、物性好,则对应的岩性粒度粗、含油性好。

3 储层参数模型的建立

3.1 泥质含量测井解释模型

通过岩电分析资料可知,流三段测井泥质含量与自然伽马曲线具有较好的响应关系,因此,储层泥质含量解释模型主要利用自然伽马曲线来建立。根据流三段泥质含量与自然伽马的拟合图版(图2),可得泥质含量测井解释模型为

$$V_{sh} = 0.9266q_{API} - 94.9212 \quad R^2 = 0.7228 \quad (1)$$

式中: V_{sh} 为泥质含量,%; q_{API} 为自然伽马,API。

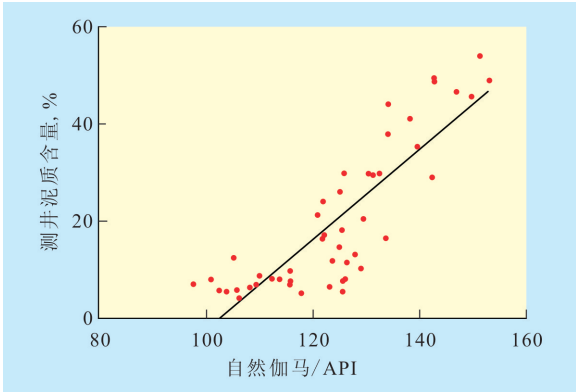


图2 福山凹陷流三段测井泥质含量与自然伽马的关系

3.2 孔隙度测井解释模型

孔隙度测井解释主要是利用声波时差来实现,其测井解释模型为

$$\phi = 0.2933\Delta t - 58.10 \quad R^2 = 0.6523 \quad (2)$$

式中: ϕ 为孔隙度,%; Δt 为声波时差, $\mu\text{s}/\text{m}$ 。

3.3 渗透率测井解释模型

孔喉半径和岩石颗粒间孔隙的连通性是影响储层渗透率的主要因素,其中孔喉半径主要取决于岩石颗粒分选和平均粒径,而连通性主要取决于胶结物的性质和含量。

通过分析流三段孔隙度与渗透率的关系,发现两者具有较好的相关性(图3),通过回归分析,得到

渗透率的计算式为

$$K = 0.0556e^{0.3394\phi} \quad R^2 = 0.793 \quad (3)$$

式中: K 为储层渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

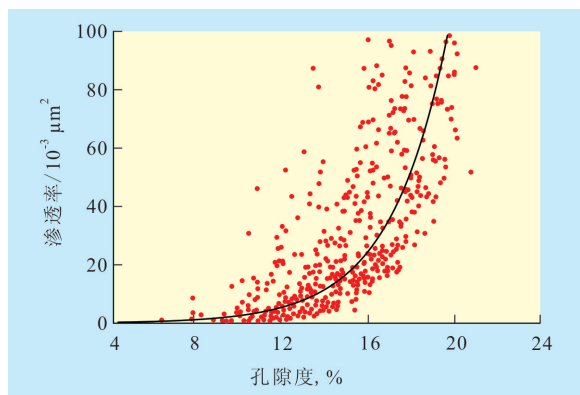


图3 福山凹陷流三段储层渗透率与孔隙度的关系

利用多元回归法对渗透率、孔隙度及泥质含量进行分析,建立了流三段的渗透率解释模型,且相关系数有所提高。其表达式为

$$\lg K = -0.302 + 0.118\phi - 0.367V_{sh} \quad R^2 = 0.828 \quad (4)$$

3.4 含油饱和度计算

利用阿尔奇公式计算含油饱和度^[14],其适用条

件是以纯砂岩为骨架模型,对于泥质含量较高的砂岩则不再有效。因流三段中含油层段的岩性主要为砂砾岩和含砾细砂岩,泥质含量对岩性因素的影响较小,故可采用阿尔奇公式计算含油饱和度,即

$$S_o = 1 - S_w = 1 - \sqrt[n]{\frac{abR_w}{\phi^m R_t}} \quad (5)$$

式中: S_o 为含油饱和度,%; S_w 为含水饱和度,%; n 为饱和度指数; a 和 b 均为岩性系数; R_w 为地层水电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; m 为胶结指数; R_t 为地层电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$ 。

式(5)中的 a , b , m 和 n 值由福山凹陷所钻井的岩电分析资料获得,其值分别为 1.21, 1.07, 1.57 和 1.58。

3.5 模型检验

测井模型建立完成后,与实际地质资料进行对比检验,分别绘制测井计算孔隙度和渗透率与岩心分析孔隙度和渗透率交会图(图4)。从图4可见,测井计算值与岩心分析值吻合较好,即当解释值越接近真实值时,数据点越接近 $y=x$ 。验证结果表明,模型计算结果可靠,适用于福山凹陷的地质条件。

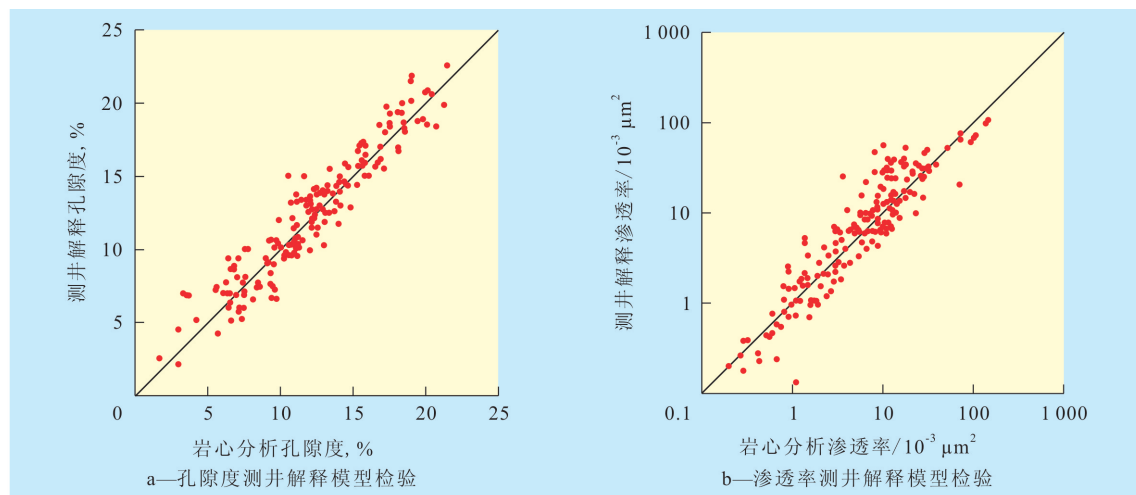


图4 孔隙度与渗透率测井解释模型检验

4 储层有效厚度下限的确定

4.1 物性下限

常用经验统计法、压汞参数法、交会图法和测试法确定物性下限。笔者采用岩心资料统计法和孔渗交会图法确定流三段的物性下限。根据研究区 20 口井的岩心分析资料,分析了不同含油级别的岩样与实测孔隙度和渗透率的关系,得出荧光级岩样的孔隙度大于等于 6.3%,渗透率大于等于 $0.202 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,且含油性与物性成正相关。

绘制油层和干层的孔隙度与渗透率交会图(图 5a),得出的流三段孔隙度与渗透率下限与岩心统计法得到的下限一致,即油气显示的优劣程度与物性成正相关。因此,可确定流三段有效储层物性下限为:孔隙度为 6.3%,渗透率为 $0.202 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

4.2 电性下限

电性标准是实际划分储层有效厚度的标准,即测井资料与取心、试油资料相结合建立的油层、水层和干层判别标准。各油区多采用电阻率和声波时差作为建立电性标准的关键曲线。选取福山凹陷几口关键井绘制电阻率与声波时差交会图(图

5b), 获得了储层有效厚度电性下限, 即电阻率大于等于 $10 \Omega \cdot \text{m}$, 声波时差大于等于 $230 \mu\text{s}/\text{m}$ 。

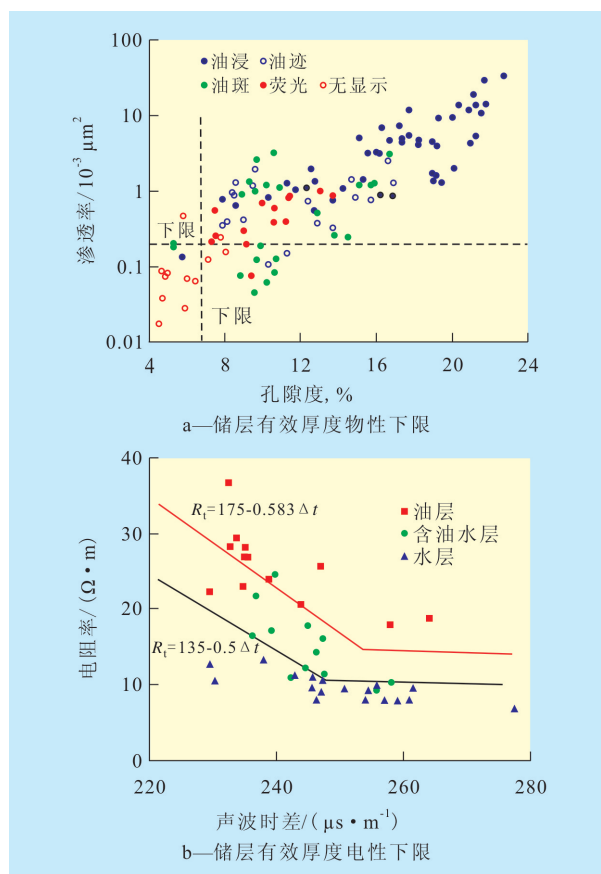


图5 福山凹陷流三段储层物性及电性下限

4.3 储层有效厚度下限标准

在确定有效储层物性下限及电性下限的基础上, 确定了流三段油水层的有效厚度下限标准(表1)。

表1 福山凹陷流三段油水层有效厚度下限标准				
储层类别	孔隙度, %	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	声波时差/ $(\mu\text{s} \cdot \text{m}^{-1})$	电阻率/ $(\Omega \cdot \text{m})$
油层			≥ 255	> 14
			< 255	$> 175 - 0.583 \Delta t$
含油 水层	≥ 6.3	≥ 0.202	> 255	$10 \sim 14$
			$248 \sim 255$	$10 \sim 175 - 0.583 \Delta t$
			< 248	$135 - 0.5 \Delta t \sim 175 - 0.583 \Delta t$
水层	< 6.3	< 0.202	≥ 248	< 10
			< 248	$< 135 - 0.5 \Delta t$

5 结束语

基于岩心及测井解释等数据分析, 以及对储层四性特征和相互关系的研究, 确定福山凹陷储层为中孔中低渗透型, 储层的含油性主要受储层物性控

制。针对流三段储层的特点, 建立了储层岩性、物性及含油性的测井解释模型, 并对所建模型进行了检验。结果表明, 所建模型适用于福山凹陷。

利用流三段岩心资料统计法及交会图法, 将孔隙度为 6.3% 和渗透率为 $0.202 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 确定为流三段有效储层物性的下限; 利用电阻率及声波时差交会结果, 将电阻率为 $10 \Omega \cdot \text{m}$ 、声波时差为 $230 \mu\text{s}/\text{m}$ 定为有效储层电性下限。通过建立福山凹陷流沙港组三段储层的测井解释模型和储层有效厚度下限标准, 为研究区勘探开发及有利区域的预测, 提供了重要依据。

参考文献:

- [1] Miguel Bosch, Tapan Mukerji, Gonzalez Ezequiel F. Seismic inversion for reservoir properties combining statistical rock physics and geostatistics: A review[J]. Geophysics, 2010, 75(5): 165-176.
- [2] Fu Dongjun, Sullivan Charlotte E, Marfurt J Kurt. Rock-property and seismic-attribute analysis of a chert reservoir in the Devonian Thirty-one Formation, west Texas, USA[J]. Geophysics, 2006, 71(5): 151-158.
- [3] Frederique Fournier, Jean-Francois Derain. A statistical methodology for deriving reservoir properties from seismic data[J]. Geophysics, 1995, 60(5): 1 437-1 450.
- [4] 刘瑞娟, 王永诗, 张博, 等. 渤南洼陷浊积砂体岩石学特征及其对储层物性的影响——以沙三段0—9砂组为例[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(6): 32-36, 41.
- [5] 赵永强, 申辉林, 张园园. 泌阳凹陷栗园浅层砂砾岩稠油储层四性关系研究[J]. 地球物理学进展, 2011, 26(2): 588-595.
- [6] 封东晓. 临南洼陷南部沙三段下亚段储层综合评价[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(1): 33-36.
- [7] 张占松, 张超谟, 郭海敏. 基于储层分类的低孔隙度低渗透率储层产能预测方法研究[J]. 测井技术, 2011, 35(5): 482-486.
- [8] 王苗, 廖远涛, 邓大飞, 等. 南堡凹陷1号构造带东一段储层物性特征及其控制因素[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(4): 14-17.
- [9] 石玉江, 张小莉, 申贻博, 等. 鄂尔多斯盆地东南部长6储层岩电关系特征[J]. 地球物理学进展, 2010, 25(2): 1 716-1 722.
- [10] 雍世和, 张超谟. 测井数据处理与综合解释[M]. 东营: 石油大学出版社, 1996.
- [11] 宋子齐, 谭成仟, 吴少波. 福山凹陷下第三系碎屑岩储层定量评价解释标准及权系数[J]. 地质勘探, 2000, 6(5): 9-13.
- [12] 刘丽军, 旷红伟, 佟彦明, 等. 福山凹陷下第三系流沙港组沉积体系及演化特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 140-145.
- [13] 何幼斌, 高振中. 海南岛福山凹陷古近系流沙港组沉积相[J]. 古地理学报, 2006, 8(3): 366-368.
- [14] 李延丽. 柴达木盆地游园沟油田中浅层油藏四性关系研究[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 402-406.