

建深1井志留系致密砂岩储层测井评价

方文

(江汉石油管理局测录井工程公司)

摘 要 以建深1井常规测井资料为基础,结合地质录井和试气资料对志留系低孔、低渗致密砂岩储层进行了测井综合评价,主要对该层位进行了岩性识别、储层划分、参数定量计算、流体性质识别等方面的研究,为建南构造下组合致密砂岩储层提供了一套较为完善的测井评价方法。

主题词 志留纪 致密砂岩 储集层研究 测井解释

勘探表明,鄂西渝东地区上组合碳酸盐岩储层(泥盆系以上)存在4个主要的产气层:下三叠统嘉陵江组一段、飞仙关组三段、上二叠统长兴组二段和石炭系黄龙组;但对位于下组合的志留系(泥盆系下部)储层的研究不多,传统认为石炭系的烃源岩主要来自志留系下统龙马溪组。通过对建深1井的钻探分析,认为志留系上部不仅具备生烃能力的泥岩段,而且还具有储集能力较好的储集层段。由于该储层自身岩性特点强,孔隙空间结构复杂,非均质性强,储层横向变化大等特点,储层发育程度与地质构造关系密切。通过采用测井技术结合地质录井等资料,确定了研究区储层测井解释参数,有效地进行了储层评价标准的划分和储层流体性质识别,并定量计算了储层的各项地质参数。

1 志留系地层特征

志留系主要岩石类型以极细粒岩屑砂岩、长石岩屑砂岩为主;矿物成分以石英为主,岩屑以泥板岩、硅质岩、片岩和中酸性喷出岩岩屑为主。志留系分上统和下统,上统为韩家店组,下统为小河坝组和龙马溪组。

韩家店组岩性组合特征:以灰色泥岩为主,夹薄层灰色砂质泥岩、粉砂岩;灰色、灰绿色泥岩、砂质泥岩,灰色、灰绿色、灰黑色粉砂岩呈不等厚互层。

小河坝组岩性组合特征:以灰色泥岩为主,夹薄层灰色砂质泥岩、粉砂岩、泥质砂岩、泥质粉砂岩。

龙马溪组岩性组合特征:以灰色泥岩、砂质泥岩为主,夹薄层灰色泥质粉砂岩;中部为深灰色泥岩、砂质泥岩不等厚互层和灰黑色、深灰色、灰色泥岩夹

灰黑色粉砂岩不等厚互层,底部为灰黑色碳质泥岩不等厚互层。

总之,从上向下,岩石的颗粒逐渐变细,粘土矿物含量逐渐增多,颜色变深。

2 志留系岩-电特征

利用测井曲线所反映的特征,对志留系地层进行了岩性-电性分析:

韩家店组:泥岩的自然伽马100API左右,声波200 μ s/m左右,密度2.7~2.75g/cm³左右,中子22%左右,地层电阻率50 $\Omega \cdot$ m左右。砂岩的自然伽马50~90API,声波185~206 μ s/m,密度2.65~2.72g/cm³,中子6%~14%,地层电阻率40~100 $\Omega \cdot$ m。

小河坝组:泥岩的自然伽马110API左右,声波220 μ s/m左右,密度2.75g/cm³左右,中子18%左右,地层电阻率30 $\Omega \cdot$ m左右;砂岩的自然伽马65~95API,声波185~200 μ s/m,密度2.67~2.73g/cm³,中子8%~13%,地层电阻率30~100 $\Omega \cdot$ m。

龙马溪组:泥岩的自然伽马120API左右,声波225 μ s/m左右,密度2.75g/cm³左右,中子20%左右,地层电阻率20 $\Omega \cdot$ m左右;砂岩的自然伽马58~90API,声波190~205 μ s/m,密度2.66~2.72g/cm³,中子6%~14%,地层电阻率28~100 $\Omega \cdot$ m;

总之,地层从上到下,泥岩自然伽马逐渐增大,密度略微增大,声波、中子变化不明显,地层电阻率

作者简介 方文,女,1986年毕业于江汉石油测井技校,技师。现从事测井资料处理、解释工作。

却逐渐减小。

3 储集层类型及其测井响应特征

3.1 储层类型

建深1井志留系储层孔隙空间的基本形态有两种,即孔隙型、裂缝型。这两种孔隙空间特征的变异及不同组合,使得其储层类型可划分为四大类:裂缝型储层、孔隙-裂缝型储层、裂缝-孔隙型储层和孔隙型储层,各类储层其常规测井响应有较大的差别。

3.2 储层测井响应特征

志留系上统的韩家店组具备三种储层类型。分别是孔隙-裂缝型储层、孔隙型储层和裂缝型储层。孔隙-裂缝型储层的测井响应特征是自然伽马50~90API,声波187~205 $\mu\text{s}/\text{m}$,密度2.65~2.67 g/cm^3 ,中子6%~12%,地层电阻率40~100 $\Omega\cdot\text{m}$;孔隙型储层的测井响应特征是自然伽马60~90API,声波190~200 $\mu\text{s}/\text{m}$,密度2.67~2.70 g/cm^3 ,中子7%~10%,地层电阻率40~100 $\Omega\cdot\text{m}$;裂缝型储层的测井响应特征是自然伽马105API左右,声波215 $\mu\text{s}/\text{m}$ 左右,密度2.72 g/cm^3 左右,中子16%左右,地层电阻率30 $\Omega\cdot\text{m}$ 左右。

志留系下统的小河坝组为孔隙型储层。测井响应特征为自然伽马70~90API,声波185~200 $\mu\text{s}/\text{m}$,密度2.67~2.70 g/cm^3 ,中子8%~12%,地层电阻率40~100 $\Omega\cdot\text{m}$ 。

志留系龙马溪组也具备孔隙-裂缝型储层、孔隙型储层和裂缝型储层三类储层。孔隙-裂缝型储层的测井响应特征是自然伽马58~90API,声波190~205 $\mu\text{s}/\text{m}$,密度2.66~2.67 g/cm^3 ,中子6%~10%,地层电阻率40~100 Ωm ;孔隙型储层的测井响应特征是自然伽马70~90API,声波190~200 $\mu\text{s}/\text{m}$,密度2.67~2.70 g/cm^3 ,中子7%~13%,地层电阻率40~70 $\Omega\cdot\text{m}$;裂缝型储层的测井响应特征是自然伽马105API左右,声波225 $\mu\text{s}/\text{m}$ 左右,密度2.

70 g/cm^3 左右,中子22%左右,地层电阻率20 $\Omega\cdot\text{m}$ 左右。

3.3 储层划分

参照国内外及建南储层产能划分标准(表1),将建深1井的储层分为三个等级:

二类储层:孔隙度为2.5%~3%左右,孔隙性、裂缝、渗透性好;

三类储层:孔隙度在1.5%~2.5%,孔隙性、裂缝发育一般;

四类储层:孔隙度小于1.5%,孔隙性、裂缝不发育,泥质含量高。

4 志留系测井解释模型

4.1 地层矿物含量的计算

求解矿物含量和孔隙度采用最优化多矿物模型分析方法,其基本原理是建立测井响应方程,由测井曲线和矿物体积之间建立线性超定方程,通过约束条件和目标函数得出矿物体积最优解。

4.2 地层孔隙度的计算

通过建深1井密度与岩心孔隙度的研究,由于取心资料数据量少,岩块基质孔隙度与密度相关性一般(图1),仅供参考。

4.3 渗透率的计算

孔隙-裂缝型储层由孔隙和裂缝组成,其渗透率可分为岩石基块渗透率 k_i 与裂缝渗透率 k_f ,孔隙-裂缝型储层的渗透率为二者之和。

我们知道地层中的矿物成分与沉积环境和物源有关,岩石颗粒的大小、形状和结构与矿物成分相关。因此矿物成分及含量的变化就使地层孔隙系统发生变化,从而对地层渗透率有影响,用下面公式估算较合理。

$$K = \frac{\Phi^{n+1}}{(1-\Phi)^n} e^{(A_f + \sum B_i V_i)}$$

式中, V_i ——矿物含量;

表1 国内外及建南储层产能划分标准

储层类型	测井参数标准	地层倾角特征	全波列特征
I类储层	$\Phi \geq 8\%$; 或 $\Phi \geq 5\%$,裂缝、溶洞发育,渗透性好	电导率曲线明显异常。	后续波明显的幅度衰减。
II类储层	$5\% \leq \Phi < 8\%$ 或 $1.5\% \leq \Phi < 5\%$,裂缝、溶洞发育,渗透性好	电导率曲线异常。	后续波有一定的幅度衰减。
III类储层	$2\% \leq \Phi < 5\%$ 或 $\Phi \sim 1.5\%$,裂缝、溶洞发育一般	电导率曲线有一定的相关性。	后续波幅度衰减较小。
IV类储层	$\Phi < 2\%$,裂缝、溶洞不发育或仅有较孤立的裂缝发育。	电导率曲线相关性明显。	后续波没有幅度衰减。

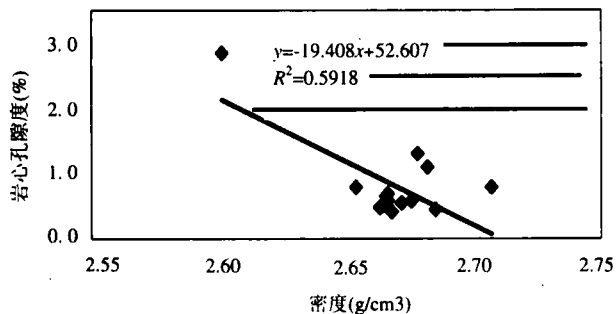


图 1 岩心孔隙度与密度交会图

B_i ——常数,根据岩心分析求取;

A_f ——解释井段中最大长石含量(A_f 取 3.2);

m ——地层胶结指数(m 取 1.9);

Φ ——孔隙度。

4.4 含气饱和度的求取

含气饱和度是确定和评价储层的最主要参数,多年来它一直是各种测井方法和测井评价的重点研究对象。目前,国内外计算砂、泥岩地层储层含水饱和度(S_w)的方法比较多,如阿尔奇公式、双孔介质模型计算公式等。根据建南地区岩心资料分析,孔隙性、孔隙-裂缝型储层,采用阿尔奇公式比较合理。

$$S_w = n \sqrt{\frac{abR_w}{\Phi^m R_e}}$$

式中: $a=b \approx 1$ 。

胶结指数 m 、饱和度指数 n 的求取。对于粉砂岩地层: $m=1.9$; $n=2.7$

4.5 处理程序及主要解释参数

采用多矿物模型分析程序 LES 分析地层岩石及矿物含量和孔隙体积,根据志留系地层的主要岩性及测井资料的岩性显示特征,选择主要分析模型为泥岩、砂岩和灰岩。

利用最优化模型主要对泥岩、砂岩、孔隙的体积含量进行了分析,分析曲线选用自然伽马、声波、密度和中子,控制条件为最小偏差。矿物骨架参数,结合矿物骨架值与实测曲线测井值选取。声波骨架值选取为 $170 \mu s/m$,密度的骨架值选取为 $2.70 g/cm^3$ 。

5 志留系地层气层识别

5.1 志留系上统韩家店组气层识别

志留系上统韩家店组主要以孔隙-裂缝型和孔隙型储层为主。在井段 3854.0 ~ 3860.4m、3867.4 ~ 3873.0m 处,自然伽马曲线为二级低值,井径略缩径,声波和密度小于周围的泥岩,声波测量值在 $187 \sim 193 \mu s/m$,密度测量值在 $2.60 \sim 2.67 g/cm^3$,中子测量值在 6% ~ 12%,双侧向电阻率高于泥岩电阻率,测量值在 $100 \Omega \cdot m$ 左右。当有裂缝时,泥浆就会发生侵入,微球电阻率曲线出现低阻异常,表现为以深侧向为背景的针刺状低阻突跳见(图 2)。气测在 3857.0 ~ 3857.13m 全烃 0.02% ↑ 27.75%,甲烷

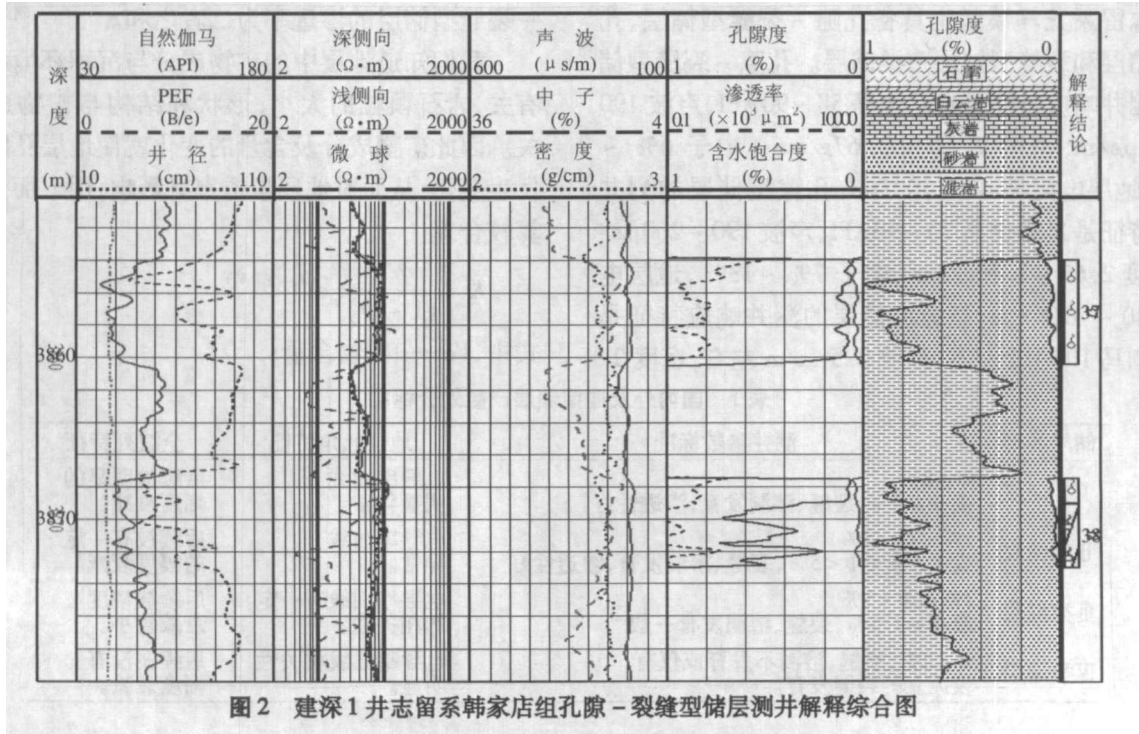


图 2 建深 1 井志留系韩家店组孔隙-裂缝型储层测井解释综合图

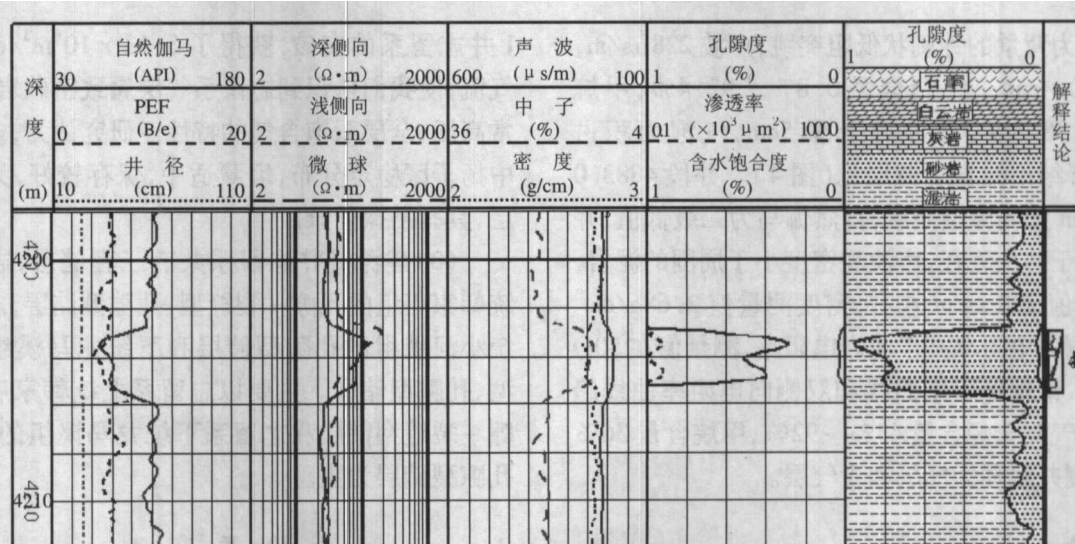


图3 建深1井志留系小河坝组孔隙型储层测井解释综合图

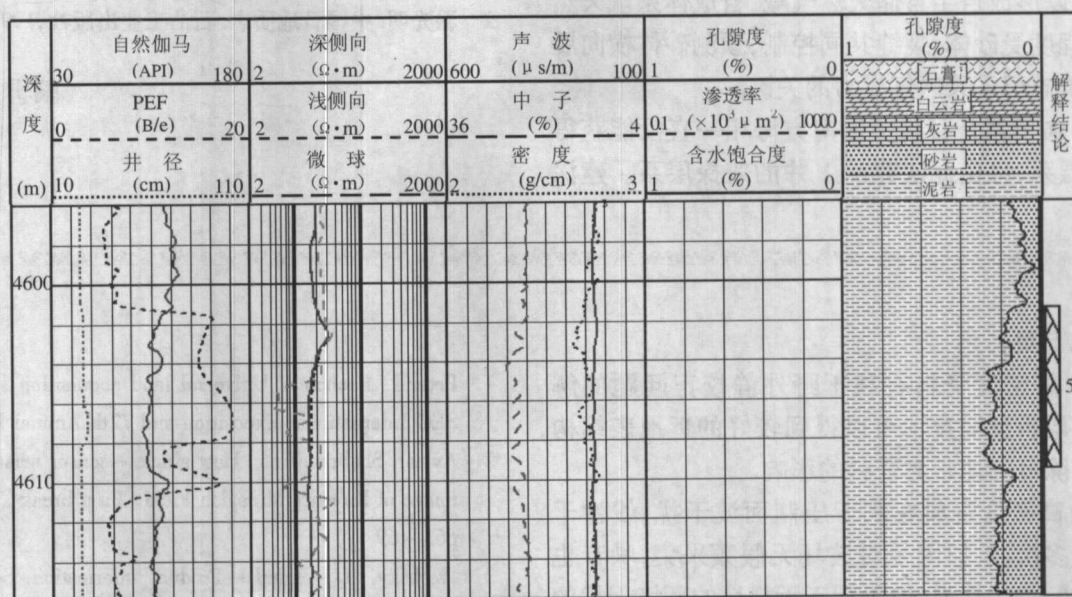


图4 建深1井志留系龙马溪组裂缝型储层测井解释综合图

0.01% ↑ 21.8%, 缓冲罐上涨 30cm, 气泡面积占 60%; 在 3869.0 ~ 3870.1m 全烃 0.05% ↑ 1.82%, 甲烷 0.03% ↑ 1.45% 缓冲罐上涨, 气泡面积占 5%。计算孔隙度为 3.8%, 渗透率为 $0.9 \times 10^3 \mu\text{m}^2$, 含油气饱和度为 90% 左右, 解释结论为气层。试气结果为日产气 $5.13 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

5.2 志留系下统小河坝组气层识别

志留系下统小河坝组主要以孔隙型储层为主。在井段 4203.0 ~ 4205.6m 处, 自然伽马曲线为二级低值, 井径小于略等于钻头直径, 声波和密度小于周围的泥岩, 声波测量值 $186 \mu\text{s}/\text{m}$, 密度测量值 $2.7 \text{g}/\text{cm}^3$,

双侧向电阻率高于泥岩电阻率在 $100 \Omega \cdot \text{m}$, 微球电阻率曲线和双侧向电阻率曲线趋势一致(图 3)。气测在 4204.0 ~ 4207.0m 全烃 0.07% ↑ 30.76%, 甲烷 0.06% ↑ 26.39%, 缓冲罐上涨, 气泡面积占 10%, 计算孔隙度为 2.2%, 渗透率为 $0.2 \times 10^3 \mu\text{m}^2$, 含油气饱和度为 58.1%, 解释结论为含气层。

5.3 志留系下统龙马溪组气层的识别

建深 1 井志留系下统龙马溪组主要以裂缝型和孔隙型储层为主。在井段 4601.4 ~ 4609.6m 为泥岩裂缝型储层。自然伽马曲线接近泥岩测量值, 双侧向电阻率测量值比较低在 $20 \Omega\text{m}$ 左右, 微球曲线

以深侧向为背景的针刺状低阻突跳, 声波 $228\mu\text{s}/\text{m}$, 密度 $2.70\text{g}/\text{cm}^3$ 。气测全烃 $0.8\% \uparrow 92.4\%$, 甲烷 $0.65\% \uparrow 88.2\%$, 缓冲罐上涨 5cm , 气泡面积占 30% , 解释结论泥岩裂缝层见(图4)。井段 $4883.0 \sim 4897.0\text{m}$ 为孔隙型储层, 自然伽马为二级低值, 井径小于等于钻头直径, 声波和密度小于周围的泥岩, 声波测量值 $200\mu\text{s}/\text{m}$ 左右, 密度测量值 $2.68\text{g}/\text{cm}^3$ 左右, 双侧向电阻率高于泥岩电阻率, 测量值在 $50\Omega \cdot \text{m}$ 左右, 微球电阻率曲线和双侧向电阻率曲线趋势一致。气测全烃含量 $43\% \sim 92\%$, 甲烷含量 $36\% \sim 87\%$, 测井解释为气层和含气层。

6 结论

(1) 建深1井实钻表明: 志留系具备内部储盖组合, 可以形成自生自储天然气藏, 自成体系。天然气富集程度受砂体、裂缝共同控制, 预测砂体横向展布是评价志留系天然气潜力的关键。

(2) 志留系是目前中国南方海相一直没能获得突破的层系, 也是此次建深1井的兼探层系。建深

1井志留系的突破, 获得了 $5.13 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 的工业气流, 使我们认识到志留系气层属致密砂岩储层、异常高压、全层系饱含气的特性。研究认为, 志留系在中扬子区稳定分布, 埋藏适中, 保存较好, 为良好储层, 具有勘探前景。

(3) 建深1井志留系共有三套储层, 志留系上统韩家店组的孔隙-裂缝型、孔隙型储层, 志留系下统小河坝组的孔隙型储层和下统龙马溪组的裂缝型、孔隙型储层。主要以志留系上统韩家店组的孔隙-裂缝型储层和志留系下统龙马溪组的裂缝型、孔隙型储层为主。

参考文献

- 1 雍世和, 张超谟等. 测井数据处理与综合解释. 石油大学出版社, 1996.
- 2 翟光明. 中国石地质志. 石油工业出版社, 1991年

(编辑 康新荣)

(上接第5页)

(3) 高密度资料有利于野外静校正问题的解决, 通过层析反演技术可以得到较好的近地表结构模型, 消除低速带对资料的影响。

(4) 高密度资料有利于压制面波干扰、线性干扰、全程多次波, 原因是对波场无假频采集, 噪音也清晰成像, 规律性强, 但不利于无规律的环境干扰的消除。

(5) 高密度资料通过动校正后面元组合叠加, 能改善信噪比和提高分辨率, 原因在于消除了组合基距内的道间时差和非一致性, 尤其是改善分辨率的能力进一步增强。

苏振波高级工程师具体实施高密度数据处理工作, 谨此致谢!

参考文献

- 1 Peter I. Pechols. Universal land acquisition 14 year later. SEG International Exposition and 72th Annual Meeting
- 2 Ayman Shabramil etc. How single - sensor seismic improved image of Kuwait's Minagish Field. First break. 2005. 2, 23: p63 - 69
- 3 Webeky. Q - Land - Product information. Schlumberger. 2005
- 4 Webeky. Q - Land - Increasing bandwidth and vertical resolution in the Hassi field. Algeria. Schlumberger. 2005
- 5 董世泰, 高红霞. 单点单检波器地震勘探技术. 石油仪器, 2005, 19(2): 66 - 68.
- 6 乔大军, 孟祥顺, 张玉斌, 王晓燕. 检波器的联接方式对地震资料品质的影响. 石油地球物理勘探, 2001, 36(6): 723 - 728.

(编辑 康新荣)