

川渝油气田碎屑岩储层测井解释及流体识别

高俊华¹ 郑淑芬¹ 于晏¹ 周顺浩²

1. 川庆钻探工程有限公司地质勘探开发研究院 2. 中国石化华北油田公司第二采油厂

高俊华等. 川渝油气田碎屑岩储层测井解释及流体识别. 天然气工业, 2011, 31(7): 32-36.

摘要 四川盆地侏罗系—上三叠统的蓬莱镇组、沙溪庙组和须家河组等碎屑岩储层具有低孔低渗、岩性复杂、储集空间种类多、单砂体规模较小但累积厚度较大、横向变化大、含水饱和度较高、储层识别及储层参数定量计算难度大、流体判别符合率低等特点。为此,开展了一系列分析研究工作:①在岩心分析基础上进行长石砂岩、岩屑砂岩、钙质砂岩等岩性识别;②利用声电成像和常规测井资料进行低孔低渗碎屑岩储层识别;③利用多种能谱资料计算泥质含量,以及多种测井资料计算束缚水饱和度等储层参数;④使用电阻率—孔隙度法和饱和度法等进行流体类型判别;⑤使用压汞资料和试油资料进行有效储层确定。从而形成了一套适合四川盆地低孔低渗碎屑岩储层的测井解释和流体识别方法。利用该套技术能快速有效地确定射孔层位,较准确地评价单井产能和油气藏储量,在川渝地区多个油气田中取得了良好的地质应用效果,提高了川渝油气田碎屑岩储层的解释评价精度和效率。

关键词 川渝油气田 侏罗纪—晚三叠世 碎屑岩 岩性识别 泥质含量 饱和度 流体性质 有效储层

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.07.008

四川盆地侏罗系—上三叠统的蓬莱镇组、沙溪庙组和须家河组等碎屑岩储层具有低孔低渗、岩性复杂、储集空间种类多、单砂体规模较小但累积厚度较大、横向变化大、含水饱和度较高、储层识别及储层参数定量计算难度大、流体判别符合率低等特点。为此,开展了一系列分析研究工作。

1 储层解释

1.1 岩性识别

储层岩性复杂,其碎屑成分有石英、长石、岩屑、砾石,岩屑成分多见粉砂岩、泥页岩、碳酸盐岩,偶含千枚岩、喷出岩、花岗岩等,砾石成分为泥岩、页岩或碳酸盐岩等;胶结类型较多,有孔隙—接触式、接触—孔隙式,胶结物以碳酸盐岩或硅质为主,少见黏土胶结。因此分别构成了石英类砂岩、长石类砂岩和岩屑类砂岩多种类型的储层^[1]。

石英类砂岩包括石英砂岩、长石石英砂岩和岩屑石英砂岩,此类砂岩石英含量较高(30%~80%),长石和岩屑含量较低,测井易于识别。

长石砂岩长石含量高,一般大于30%、最高可达

68%,且以正长石为主。因此储层自然伽马值高,一般大于80 API,甚至高于邻近的泥岩层,但无轴自然伽马、孔隙度曲线和电阻率曲线与邻近砂岩段接近。

岩屑砂岩与长石类和石英类砂岩相比,其自然伽马值介于70~100 API,声波时差一般低于60 $\mu\text{s}/\text{ft}$ (1 ft=0.304 8 m)且变化不大,密度一般高于2.7 g/cm^3 ,中子一般低于5%,电阻率较高,须二段一般高于100 $\Omega \cdot \text{m}$ 。但这些测井响应随岩屑成分和含量不同而略有差异:粉砂岩屑和碳酸盐岩屑,声波时差、密度表现为致密砂岩特征,中子略有增大,电阻率明显增大;泥页岩屑,声波时差、中子略有增大,电阻率降低。

钙质胶结砂岩普遍存在于四川盆地碎屑岩中,常以薄夹层出现,其特征是低伽马值、低时差、较低中子、较高密度、高电阻率。此外,当储层中含碳且达到一定量时,其测井特征为自然伽马值、密度较低,声波时差、中子、电阻率较高。

根据以上测井响应特征并结合岩心分析资料,可正确识别储层岩性(图1)。

1.2 储层识别

孔隙型储层:根据三孔隙度曲线指示孔隙发育,自

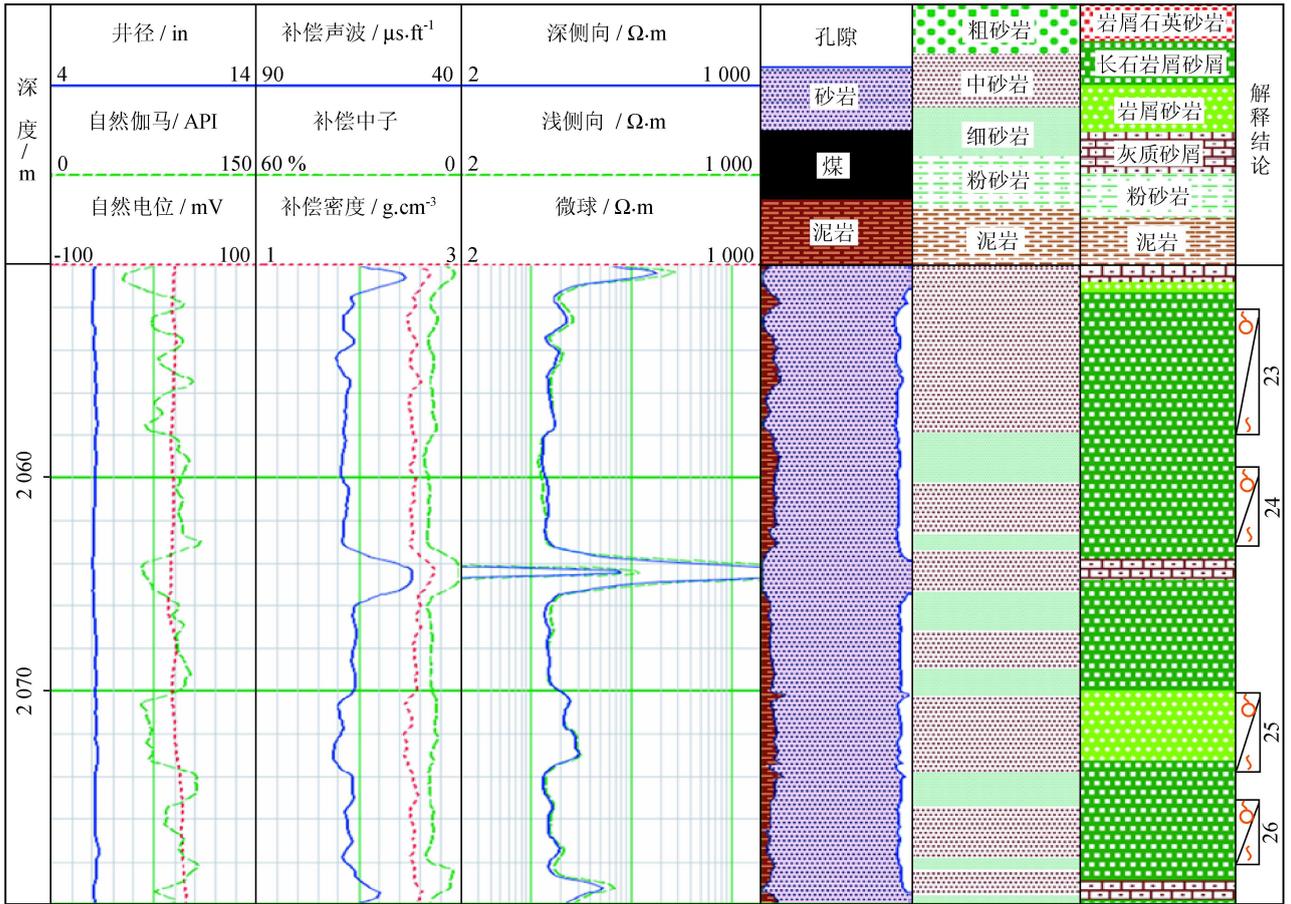


图 1 W 井须二段岩性分析成果图

(1 ft=0.304 8 m, 1 in=25.4 mm, 下同)

然电位指示渗透性好,电阻率有所降低特征加以识别。

高伽马值长石类砂岩储层:可根据自然伽马能谱的低无铀伽马值与高总伽马值的明显差异,再结合孔隙度曲线、电阻率曲线变化与自然伽马值变化不一致等特征予以识别。

低孔裂缝型储层:利用常规测井资料难以识别,需根据成像测井图上的裂缝响应,阵列声波变密度干扰图形、波形幅度降低及阵列声波纵波、横波和斯通利波能量衰减,斯通利波计算的渗透率大等特征识别。如川东地区 G 井须家河组 1 948.8~1 953.2 m 井段,用常规测井资料识别难度较大,但阵列声波变密度干扰明显、波形幅度降低及阵列声波纵波、横波和斯通利波能量有明显衰减,电成像图上有明显裂缝显示,可清楚说明该段裂缝较发育,为低孔—裂缝型储层,中途测试产天然气 $1.42 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。其测井特征详见图 2。

1.3 储层参数计算

1.3.1 泥质含量计算

对于石英砂岩储层的泥质含量,可利用自然伽马

曲线按常规方法计算。但对长石砂岩储层的泥质含量计算,由于含有非泥质的高放射性矿物,一般自然伽马法不能应用,为此研究出 3 种比较有效的方法:①根据研究区的长石含量对自然伽马进行校正,再利用常规方法计算泥质含量;②用伽马能谱测井资料,找出地层中与泥质放射性能谱不同的非泥质放射性矿物,以选定计算泥质含量的放射性能谱成分^[2];③用中子—密度交会计算泥质含量。如果所取 GR_{\min} 和 GR_{\max} 层段的非泥质放射性成分与储层段不一致,又无伽马能谱测井资料,则可根据中子和密度测井资料的响应方程解出 V_{sh} 和 φ 。即

$$\varphi = \varphi + \varphi_h V_{sh} + \varphi_{na} (1 - \varphi - V_{sh}) \quad (1)$$

$$\rho = \rho + \rho_h V_{sh} + \rho_{na} (1 - \varphi - V_{sh}) \quad (2)$$

1.3.2 饱和度计算

1.3.2.1 含水饱和度计算

川渝油气田碎屑岩地层多为分散泥质,且地层水矿化度较低,用西门度方程效果较好,其公式为:

$$S_w = \frac{1}{\varphi} \left[\left(\frac{0.81 R_w}{R_t} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{R_w V_{sh}}{0.4 R_{sh}} \right] \quad (3)$$

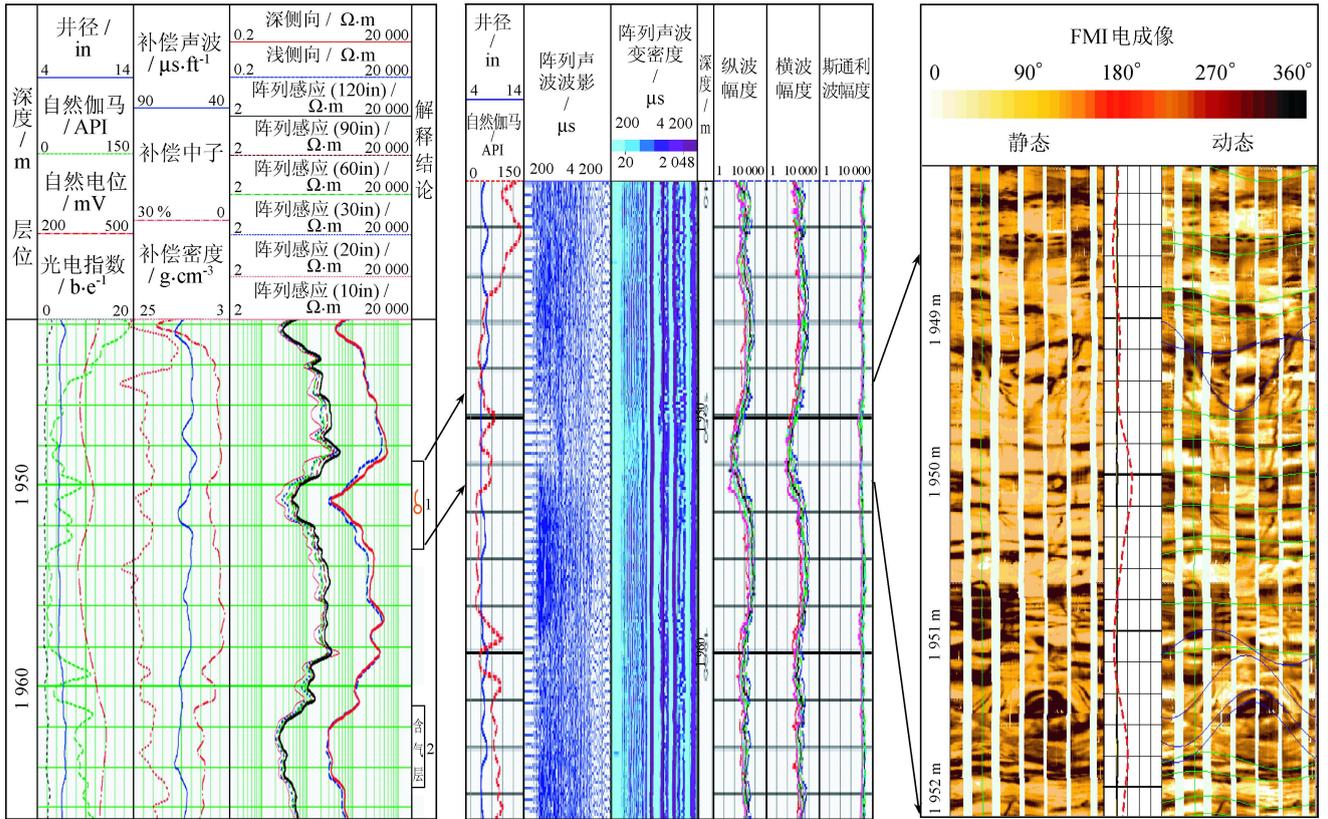


图 2 G 井常规测井与阵列声波和电成像综合信息图

另外,也可用校正后的阿尔奇公式求含水饱和度,效果也较好,其公式为:

$$S_w = \sqrt[n]{abR_w / (\phi^m R_c)} \quad (4)$$

1.3.2.2 束缚水饱和度计算

碎屑储层通常用经验关系式求解束缚水饱和度。因自然伽马反映了泥质含量和岩石粒度这两个与储层的束缚水饱和度密切相关的因素,故自然伽马可反映束缚水饱和度的大小^[3],因此通过实验建立束缚水饱和度与自然伽马的关系,便可求得束缚水饱和度。即

$$S_{wir} = 77.5216 - 3.22471\phi + 46.21329\Delta GR \quad (5)$$

其中 $\Delta GR = (GR - GR_{min}) / (GR_{max} - GR_{min})$

2 储层流体类型判别

2.1 电阻率—孔隙度识别法

根据工区地层水电阻率、含气饱和度、胶结指数、饱和度指数等参数,建立孔隙度与气层电阻率下限值关系,并计算气层电阻率下限值关系曲线^[4-5],比较该曲线与深侧向电阻率值大小来判别储层。即:电阻率值大于气层下限值,为气层;否则为气水同产或产水。表 1 为某区块孔隙度与电阻率下限值,由此获得了气层下限电阻率计算公式为:

表 1 孔隙度与电阻率下限值的对应关系表

孔隙度	电阻率下限值 / $\Omega \cdot m$	孔隙度	电阻率下限值 / $\Omega \cdot m$
0.07%	43.23	0.20%	7.57
0.10%	23.92	0.22%	6.46
0.12%	17.67	0.24%	5.91
0.14%	13.68	0.26%	4.90
0.16%	10.96	0.28%	4.33
0.18%	9.01	0.30%	3.86

$$RT_{min} = 0.533\phi^{-1.662} \quad (6)$$

2.2 饱和度法

一般认为,气层不含束缚水或束缚水饱和度很小,水层或气水层含一定量的可动水。因此利用阿尔奇公式求得 S_w ,由中子测井资料求得 S_{wn} ,由伽马经验公式求得 S_{wir} ,比较 S_w 与 S_{wir} ,就可判别储层流体类型。进而还可用以下公式分别计算出可动水及可动气饱和度,以判断有无出水的可能性。

$$\text{可动水饱和度: } S_{wf} = S_w - S_{wir}$$

$$\text{可动气饱和度: } S_{gf} = S_{wn} - S_w$$

综合分析表明:当 $S_{wf} \geq S_{wir}$ 时,地层为原状地层

时,测试可见水;当 $S_{wir} \geq S_{wf} \geq 0.75 S_{wir}$ 时,地层测试时不见水,但加砂压裂施工后,测试见少量水,地层处于含水临界状态。

3 有效储层确定

有效孔隙度下限确定有两种方法:①根据压汞资料,分析中值压力与孔隙度的关系,当孔隙度小于某一值时,中值压力迅速增大,说明当孔隙度小于该值时,汞基本压不进,即这部分孔隙基本为无效孔隙^[6-7](图3),利用该法确定的研究区有效孔隙度下限为7%;②统计试油产层段与干层段孔隙度的分布特征来确定(图4)。由图3可知,干层和气层孔隙度的分界线在7%左右,可见该区储层有效孔隙度取7%比较合适。

在确定了有效孔隙度下限、含水饱和度上限和泥质含量上限后所得到的储层的厚度即为储层有效厚

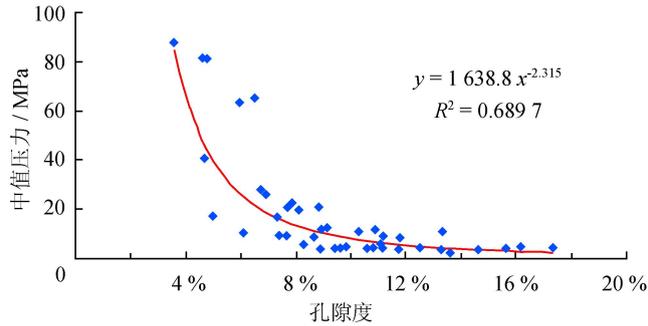


图3 孔隙度与中值压力交会图

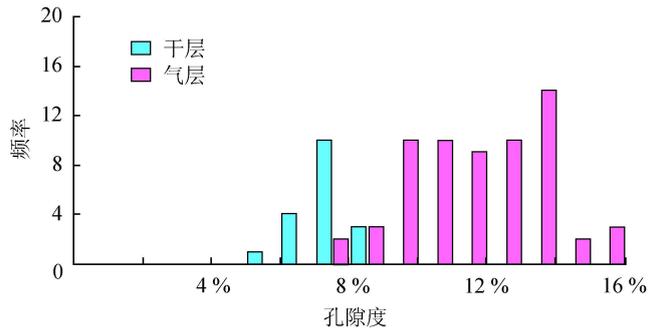


图4 气层与干层孔隙度频率分布图

度。对储层分类厚度的统计,则是根据前述的分类标准,对储层发育段同一类别的对应厚度进行累加,即为该类储层的累计厚度。

4 实例分析

白浅25井蓬莱镇组井段746~754 m,综合分析该段为较纯的细一中粒砂岩储层,长石含量较高,粒度较细,导致自然伽马值极高(图5),岩心分析孔隙度高达19.97%,平均值为16.72%。测井综合分析处理后解释了I类、II类和III类气层各2个(图5)。738.4~756.5 m井段测试产 $1.659 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 工业气流。

5 结束语

该套测井资料处理解释评价系统主要针对川渝地

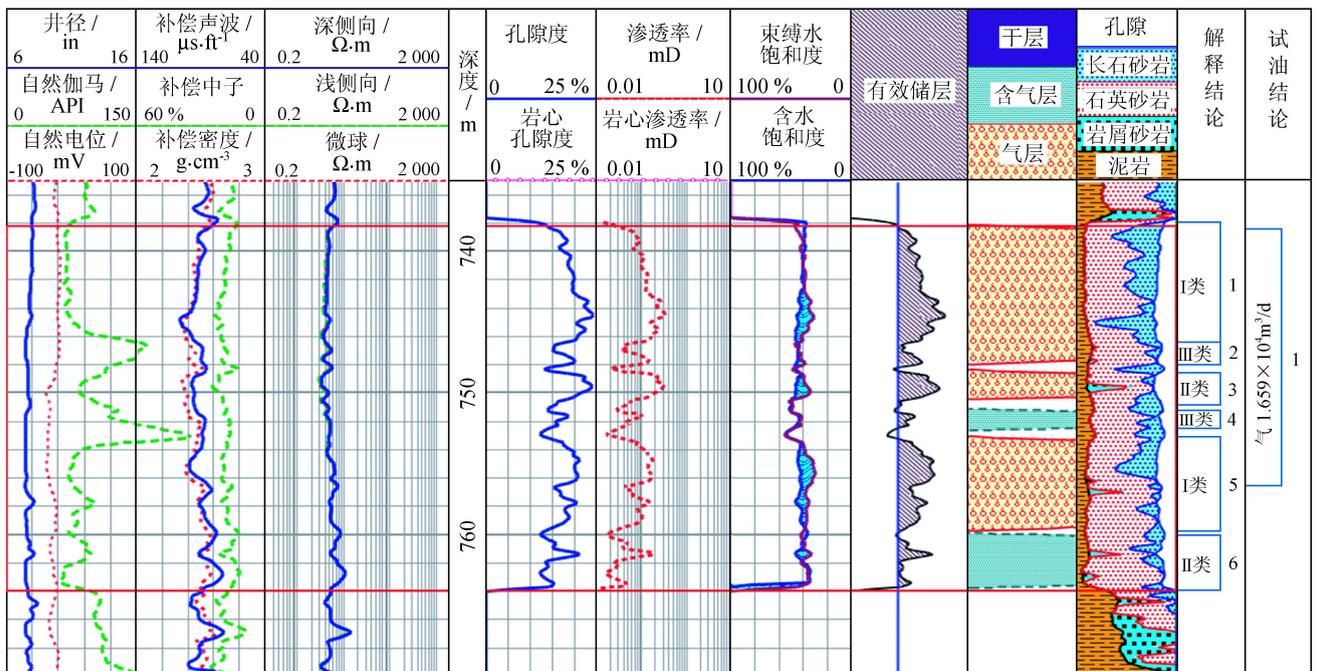


图5 白浅25井蓬莱镇组测井解释评价综合成果图

区低孔低渗复杂碎屑气层,可以解决此类复杂地层的储层划分、流体类型判别、储层参数计算及储层有效性评价等问题。通过实际应用,表明效果较好。

符号说明

φ 、 φ_v 、 φ_{sh} 、 φ_{ma} 分别为补偿中子测井值、流体孔隙度、泥质孔隙度和矿物骨架视中子孔隙度; ρ_b 、 ρ 、 ρ_{sh} 、 ρ_{ma} 分别为补偿密度测井值、流体密度、泥质密度和矿物骨架密度, g/cm^3 ; V_{sh} 为含氢泥质含量; S_w 为含水饱和度; φ 为孔隙度; R_w 、 R_{sh} 、 R_l 、 R_c 分别为地层水电阻率、泥质电阻率、深侧向电阻率、经泥质校正后的电阻率值, $\Omega \cdot m$; a 、 b 分别为岩性系数; m 、 n 分别为孔隙度指数、饱和度指数; S_{wir} 为束缚水饱和度; ΔGR 为泥质指数; GR 、 G_{max} 、 G_{min} 分别为自然伽马测井值、纯泥岩地层自然伽马值和纯石灰岩(白云岩)地层自然伽马值, API ; RT_{min} 为气层下限电阻率值, $\Omega \cdot m$ 。

参考文献

[1] 何自新,南珺祥.鄂尔多斯盆地上古生界储层图册[M].北

京:石油工业出版社,2004:18-85.

- [2] 赵良孝,邢会民.四川盆地浅气层测井泥质参数校正模型[J].天然气工业,2007,27(11):43-45.
- [3] 欧阳建.石油测井解释与储层描述[M].北京:石油工业出版社,1994:54-61.
- [4] 赵良孝,郑淑芬,高俊华.低孔低渗碎屑岩储层测井评价方法[J].天然气工业,2007,27(增刊2):54-60.
- [5] 赵辉,戴诗华,司马立强,等.磨溪地区嘉二段储层有效性评价方法[J].西南石油大学学报:自然科学版,2009,31(5):13-16.
- [6] 谭廷栋.天然气勘探中的测井技术[M].北京:石油工业出版社,1994:29-30.
- [7] 宋汐瑾,李利品,党瑞荣.一种感应测井趋肤效应校正的新方法[J].西南石油大学学报:自然科学版,2009,31(5):9-12.

(修改回稿日期 2011-05-03 编辑 韩晓渝)