

油气开发阶段基于 Petrel 软件的 碳酸盐岩储层白云石含量平面预测方法 ——以川东北 C 地区应用为例

李 昌, 潘立银, 曹全斌, 刘江丽, 吕学菊, 徐美茹
(中国石油杭州地质研究院)

摘 要 将地震与测井技术相结合,对已经进入油气开发阶段、有一定测井资料的地区,提出了地震属性约束测井插值预测碳酸盐岩储层白云石体积含量平面分布的方法。方法分三个步骤:(1)利用多矿物模型测井解释技术,计算得到单井白云石含量;(2)利用地震属性与测井白云石含量曲线进行相关分析,找出相关性最好的地震属性;(3)利用 Petrel 软件的 Convergent 插值算法,在相关性最好的地震属性约束下,进行井间测井插值。该方法在川东北 C 地区进行了预测应用,效果较好。准确计算单井白云石含量和优选最相关地震属性,是该方法的关键。

关键词 碳酸盐岩储层; 储层预测; 储层参数; 插值算法; Petrel 软件

中图分类号: TE112.23; TE19 **文献标识码**: A

碳酸盐岩储层参数主要包括孔隙度、渗透率、饱和度和方解石含量及白云石含量等,其中孔隙度与白云石含量密切相关。储层参数平面分布预测能够指示有利储层发育区,对于勘探和开发具有指导意义。碳酸盐岩储层具有较强的非均质性,用于碎屑岩储层参数平面预测的测井插值方法^[1]已经不再适用。针对碳酸盐岩储层参数平面分布预测,目前的主流技术为多种地震属性综合分析技术^[2-3]、地震属性融合技术^[4]、波形聚类技术^[5-6]以及测井约束地震反演技术^[7-9]等等。地震数据具有较好的横向连续性,因而能够反映井间信息,而测井数据纵向分辨率高,单井信息精确,故测井与地震技术的结合是解决复杂碳酸盐岩储层参数平面预测的一种必然。

本文提出了利用测井和地震信息的新方法,在已进入开发阶段的地区尝试利用地震属性约束进行测井参数插值来预测碳酸盐岩储层白云石含量的平面分布。本方法应用了 Petrel 软件,在川东北 C 地区下三叠统飞仙关组的应用表明,预测结果与现阶段开发情况基本相符。本方法能在已进入开发阶段的地区指明白云石含量的分布特征,由此可用于指导进

一步打开发井。

1 步骤及基本原理

地震属性约束测井插值储层白云石含量平面分布预测方法主要分三个步骤:

(1)利用多矿物模型测井解释技术计算得到单井白云石含量;

(2)利用地震属性与测井白云石含量曲线进行相关分析,找出相关性最好的地震属性;

(3)利用 Petrel 软件的 Convergent 插值算法,在相关性最好的地震属性约束下,进行井间测井插值,从而获得储层白云石含量平面分布。

Convergent 插值算法相对于克里金、最小曲率、移动平均插值等算法能够获得更好的地质效果,它适合于各种数据类型。该算法包括网格化和平滑,通常用在构造建模中,通过迭代和收敛,快速构建模型,从初始解得到最终解。

在上述步骤(1)中,首先利用自然伽马曲线求取地层黏土含量值,公式如下^[10]:

$$V_{\text{clay}} = \frac{GR - GR_{\min}}{GR_{\max} - GR_{\min}} \times 100\% \quad (1)$$

收稿日期: 2012-02-17; 改回日期: 2012-03-24
李昌: 1978 年生,工程师。2000 年本科毕业于大庆石油学院,2003 年硕士毕业于中国石油大学(北京)。现从事测井资料解释及地质评价工作。通讯地址: 310023 杭州市西溪路 920 号; 电话: (0571)85221097

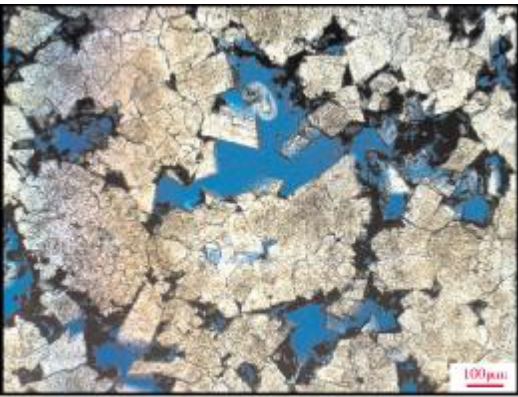
式中: V_{clay} ——黏土体积含量, %
 GR ——目的层的自然伽马值, API;
 GR_{max} ——纯泥岩层的自然伽马值, API;
 GR_{min} ——纯石灰岩层的自然伽马值, API。

然后采用多矿物模型测井解释方法计算矿物组分, 定义矿物模型为白云石、方解石和黏土, 定义流体模型为水和天然气, 采用的测井曲线为补偿中子、声波时差及密度。根据定义建立联合方程组^[10]:

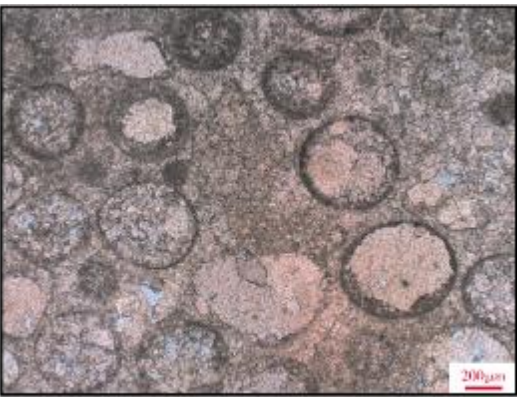
$$\begin{aligned} \text{DEN} &= \phi_w \times \text{DEN}_w + \phi_g \times \text{DEN}_g + V_{\text{clay}} \times \text{DEN}_{\text{clay}} + \\ &\quad V_{\text{dolo}} \times \text{DEN}_{\text{dolo}} + V_{\text{calc}} \times \text{DEN}_{\text{calc}} \\ \text{CNL} &= \phi_w \times \text{CNL}_w + \phi_g \times \text{CNL}_g + V_{\text{clay}} \times \text{CNL}_{\text{clay}} + \\ &\quad V_{\text{dolo}} \times \text{CNL}_{\text{dolo}} + V_{\text{calc}} \times \text{CNL}_{\text{calc}} \\ \text{DT} &= \phi_w \times \text{DT}_w + \phi_g \times \text{DT}_g + V_{\text{clay}} \times \text{DT}_{\text{clay}} + \\ &\quad V_{\text{dolo}} \times \text{DT}_{\text{dolo}} + V_{\text{calc}} \times \text{DT}_{\text{calc}} \\ 1 &= \phi + V_{\text{clay}} + V_{\text{dolo}} + V_{\text{calc}} \\ \phi &= \phi_w + \phi_g \end{aligned} \tag{2}$$

式中: DEN ——测井密度值, g/cm^3 ;
 CNL ——测井中子值, %;
 DT ——测井声波时差值, $\mu\text{s}/\text{ft}$;
 ϕ ——孔隙度, %;
 V ——体积百分含量, %。

下角标中: $w, g, \text{clay}, \text{dolo}, \text{calc}$ 分别代表地层水、天然气、黏土、白云石、方解石。



(a) 台缘储层, 细晶白云岩, C6井, 5997.52m, 面孔率11%, 单偏光, $\times 100$



(b) 台内储层, 亮晶鲕粒灰岩, C20井, 6001.40m, 面孔率0.5%, 单偏光, $\times 50$

图2 川东北C地区下三叠统飞仙关组台缘和台内储层岩性特征

2.1 测井计算白云石含量

列出研究区单井白云石含量计算的输入参数(表1)并代入联合方程组(2), 利用多矿物模型测井

在上述方程组中代入研究区矿物、流体的理论和经验参数, 通过求解该方程组可以得到储层孔隙度 ϕ 、白云石含量 V_{dolo} 以及方解石含量 V_{calc} 。

2 应用举例

川东北C地区下三叠统飞仙关组主要为白云岩鲕滩储层, 优质储层与白云岩密切相关, 岩心分析孔隙度与储层岩性概率相关性很强(图1), 随着岩心孔隙度增大, 储层岩性为白云岩的概率增高。岩心薄片分析资料(图2)表明, 几乎所有优质储层均为白云岩储层, 且主要沿着台地边缘带分布, 而台内储层白云石化程度很低, 物性较差。从开发情况来看, 见产能井主要分布在台缘带, 高产井主要为白云岩储层, 所以预测储层的白云石含量平面分布对钻井开发评价具有指导意义。

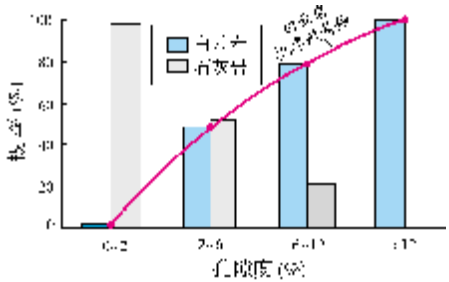


图1 川东北C地区储层孔隙度与岩性概率相关图

解释技术对工区内21口井进行了单井计算, 计算所得到的单井白云石含量与岩屑化学分析结果符合得非常好(图3a), 绝对误差主要分布区间为-5%~5%, 最大为-20%(图3b), 综合识别准确率在80%以上。

表 1 川东北 C 地区计算单井白云石含量的输入参数表

储层参数		DT(μs/ft)	CNL(%)	DEN(g/cm³)
矿物或流体	白云石	43.5	2	2.85
	方解石	47.5	0	2.71
	黏土(伊利石)	90	35	2.61
	地层水	189	100	1
	天然气	215	20	0.3

DT 测井声波时差值; CNL 测井中子值; DEN 测井密度值。

2.2 白云石含量—地震属性相关分析

前人研究认为在川东北 C 地区地震最小波阻抗

属性能够较好地预测鲕滩体分布, 本次研究也采用了地震最小波阻抗作为约束属性。将上面所计算得到的 21 口井单井白云石含量平均值分布在平面图上,并在每口井点的位置提取最小波阻抗数值(也是 21 个值),对这两组数据进行相关分析,得到相关图(图 4),地震最小波阻抗与白云石含量的相关性较好, $r^2=0.68$ (其中 r 为相关系数)。随着白云石含量增大,波阻抗具有减小的趋势,表明储层白云石含量增大,其孔隙度具有增大趋势,该规律与在薄片鉴定中得出的规律相一致。进行相关分析后,选择地震最小波阻抗作为平面约束的地震属性。

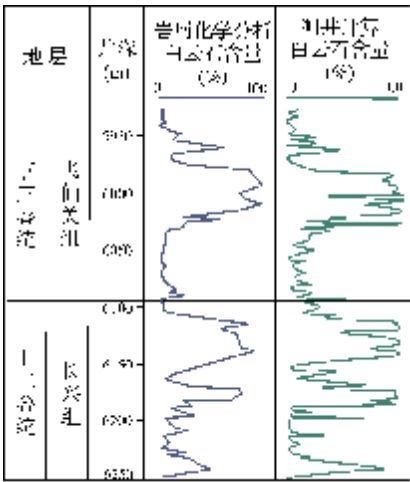


图 3 川东北 C 地区 C2 井测井计算与岩屑化学分析白云石含量对比图

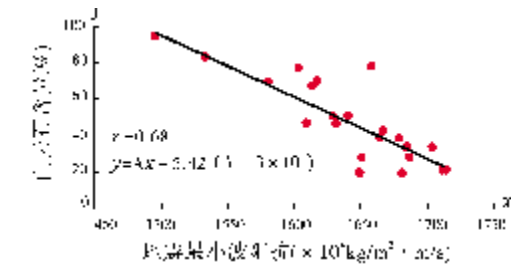
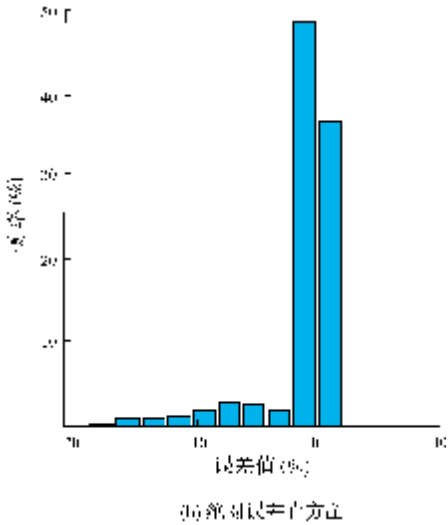


图 4 川东北 C 地区碳酸盐岩储层地震最小波阻抗与白云石含量相关图

图中数据点分别来自 21 口井的碳酸盐岩储层平均值

2.3 插值预测

用 Petrel 软件, 输入测井白云石含量和地震最小波阻抗属性,选择 Convergent 插值算法,测井插值的整个工作就由计算机自动完成,最后得到整个研究区

飞仙关组储层白云石含量的平面预测结果(图 5)。从图 5 可以看出:高白云石含量区主要沿台缘带分布;从台缘向台内,白云石含量呈逐渐减小趋势;台缘外带白云石含量一般在 70%~100%区间,台缘内带白云石含量在 40%~70%,台内白云石含量小于 40%。这些预测结果与实际地质认识基本相符。从油气开发情况来看, 高产能井主要在台缘外带,台缘内带为低产井或干井,台内除少量低产能石灰岩储层井,几乎都为干井。例如台缘外带 C6 井白云岩储层(5 966~6 036 m),日产气 112 m³;台内 C20 井该储层(5 821~5 888 m)测试为干层。图 5 预测的情况也与这一开发情况基本相符。白云岩储层具有较好基质孔,因此推断,白云石含量大于 70%的区域内,各井之间的储层在横向上应该是基本连通的,如 C5 井和 C6 井试采折算压力

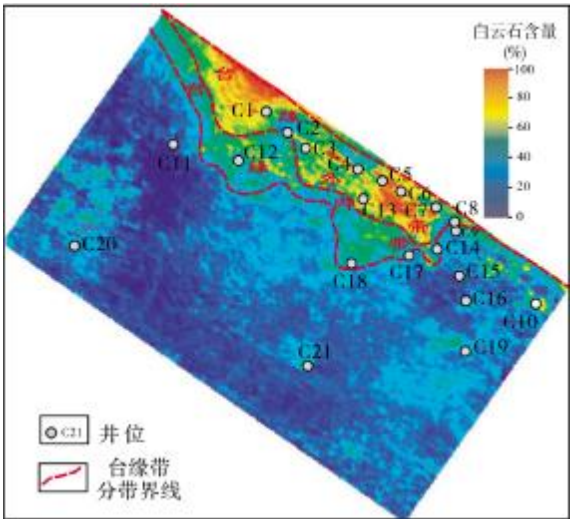


图 5 川东北 C 区下三叠统飞仙关组储层白云石含量平面分布预测图

分别为 60.96 MPa 和 60.75 MPa，两者基本相等，且高于其他井，开发证实了它们属于同一压力系统。

3 结 论

(1)在测井资料比较多的情况下，采用地震属性约束下测井插值方法也能预测碳酸盐岩储层的白云石含量平面分布。

(2)地震属性约束测井插值储层白云石含量平

面分布预测方法对川东北 C 地区应用效果较好，因此这是一种值得推广的方法。

(3)准确计算单井白云石含量和优选最相关地震属性，是该方法的关键。

参 考 文 献

[1] 杜铭,郭康良. 沙 15 块油藏储层相控建模研究[J]. 石油天然气学报,2006,28(6),46-47.

[2] 欧阳永林,马小明,郭晓龙,等. 利用分频地震属性进行古风化壳岩溶储层预测[J]. 天然气地球科学,2008,19(3):381-384.

[3] 刘伟方,段永华,高建虎,等. 利用地震属性预测碳酸盐岩储层[J]. 岩性油气藏,2007,19(1):101-104.

[4] 徐丽萍. 多属性融合技术在塔中碳酸盐岩缝洞储层预测中的应用[J]. 工程地球物理学报,2010,7(1):19-22.

[5] 刘宏,谭秀成,周彦,等. 川东北黄龙场气田飞仙关组台缘滩型碳酸盐岩储层预测[J]. 石油学报,2009,30(2):219-224.

[6] 尹成,王治国,雷小兰,等. 地震相约束的多属性储层预测方法研究[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2010,32(5):174-179.

[7] 张永升,李家蓉,潘新志. 地震和测井联合反演技术在塔河油田碳酸盐岩储层预测中的应用[J]. 勘探地球物理进展,2002,25(4):46-48.

[8] 唐湘蓉,谭仲平. 塔河 4 区碳酸盐岩储层测井约束反演预测[J]. 断块油气田,2005,12(3):13-15.

[9] 陈萍,暂新,张广宇,等. JASON 软件在泌阳凹陷白云岩储层预测中的应用[J]. 特种油气藏,2004,11(6):16-18.

[10] 雍世和,张超谟. 测井数据处理与综合资料解释[M]. 北京:石油大学出版社,1996.

编辑:吴厚松

A PETREL-based Plane Prediction Method of Dolomite Volume Percentage in Carbonate Reservoirs during Petroleum Development
—A Case of Application in Area C, Northeastern Sichuan Basin

Li Chang, Pan Liyin, Cao Quanbin, Liu Jiangli, Lü Xueju, Xu Meiru

Abstract: For an oil field that are during petroleum development and some relative logging data are available in the field area, a new method of using seismic attribute constraint and logging interpolation between wells can be applied to predict the plane distribution of dolomite volume (%) in the reservoir. It includes three steps: (1) Using the multi-mineral model logging interpretation technique to calculate the volume percentage of dolomite in a single well; (2) Analyzing the relativity of seismic attribute with dolomite V(%) curve from logging calculation to find out the best relevant attribute; (3) Using the "Convergent" interpolation method in the PETREL software to interpolate the volume percentage of dolomite between wells under the constraint of the chosen seismic attribute. The application of this method shows good results at Area C in northeastern Sichuan Basin. An accurate calculation of volume percentage of dolomite in a single well and the choice of the best relevant seismic attribute are the two key factors for this method.

Key words: Carbonate reservoir; Reservoir prediction; Reservoir prediction; Reservoir parameter; dolomite content; A "Convergent" interpolation method; PETREL software
Li Chang: male, Master, Engineer. Add: PetroChina Hangzhou Institute of Geology, 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang, 310023, China