

# Well Logging Identification and Evaluation Method for Cavern Reservoir in Carbonate Rocks

Xinlin Min<sup>1\*</sup>, Yukun Gong<sup>1</sup>, Yongkang Jiang<sup>1</sup>, Kun Wang<sup>2</sup>,  
Wanxiao Li<sup>1</sup>, Yishan Ge<sup>1</sup>, Meng Zhang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Earth Science and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>China Southern Exploration Company Exploration and Development Institute, Chengdu Sichuan

Email: \*1271416251@qq.com

Received: Apr. 8<sup>th</sup>, 2018; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2018; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The development mechanism of pores in carbonate reservoirs is very complex. The evaluation of carbonate reservoir is always a difficult point in logging interpretation. For carbonate reservoir, it is difficult to identify by single conventional logging curve. Based on the reconstruction of triple porosity logging curves and the difference of Dual and Shallow lateral logging, this paper establishes a well logging evaluation method for the carbonate pore reservoir in the South Turgai Basin, which has achieved good application results.

## Keywords

Carbonate Reservoir, Cave, Response Character, Logging Identifying

---

# 碳酸盐岩孔洞型储层测井识别方法研究

闵鑫林<sup>1\*</sup>, 龚宇坤<sup>1</sup>, 江永康<sup>1</sup>, 王 昆<sup>2</sup>, 李万潇<sup>1</sup>, 葛奕杉<sup>1</sup>, 张 萌<sup>1</sup>

<sup>1</sup>西南石油大学地球科学与技术学院, 四川 成都

<sup>2</sup>中石化南方勘探公司勘探开发研究院, 四川 成都

Email: \*1271416251@qq.com

收稿日期: 2018年4月8日; 录用日期: 2018年4月21日; 发布日期: 2018年4月28日

\*通讯作者。

文章引用: 闵鑫林, 龚宇坤, 江永康, 王昆, 李万潇, 葛奕杉, 张萌. 碳酸盐岩孔洞型储层测井识别方法研究[J]. 地球科学前沿, 2018, 8(\*): 416-421. DOI: 10.12677/ag.2018.82044

## 摘要

碳酸盐岩储层中孔洞的发育机制复杂,开展碳酸盐岩孔洞型储层的测井评价一直是测井解释的难点。对于碳酸盐岩孔洞型储层,利用单一的常规测井曲线难以进行识别。本文基于三孔隙度测井曲线的重构,结合深、浅侧向电阻率幅度差,依据成像测井资料和试油资料,建立了针对南图尔盖盆地K区块碳酸盐岩孔洞型储层的测井评价方法,取得了良好的应用效果。

## 关键词

碳酸盐岩, 孔洞, 测井响应, 测井识别

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着全球油气勘探程度的提高,碳酸盐岩油气藏已经成为一个重要的勘探新领域。而碳酸盐岩孔洞型储层结构复杂、孔隙空间类型多样、孔洞发育尺寸不一、孔隙性、渗透性特征非常复杂,单纯用常规测井方法难以进行有效的识别与评价。

国内外许多专家、学者在碳酸盐岩孔洞型储层的测井评价方面作了大量工作并取得了许多成果,目前常用测井识别方法有中子测井、声波时差测井、密度测井、深浅电阻率测井、井径、成像测井等技术[1]。国外将解决这一难题寄希望于成像测井,但成像测井具有造价昂贵、适用性差、探测深度浅等缺点。国内对于FMI成像测井、核磁共振测井与常规测井相结合进行评价等有细致的研究[1],定量参数计算方面一般采用双侧向测井响应数值模拟的方法[2]。尽管取得了一定效果,但大部分测井评价方法都是以均质地层模型为基础,而碳酸盐岩孔洞型储层具有很明显的非均质特征[3],因此这些方法一直存在计算量大,操作复杂,解释精度不高等问题。本文根据南图尔盖盆地K区块地质特征,提出了一种针对碳酸盐岩孔洞型储层的测井评价方法,取得了良好的应用效果。

## 2. 研究区域概况

南图尔盖盆地位于哈萨克斯坦国中部,是哈萨克斯坦国的主要含油气盆地之一。盆地内K区块储层主要为基底碳酸盐岩储层,储层主控因素有沉积、成岩和构造等。其中碳酸盐岩储层地质特征复杂,基质孔隙不发育,物性较差,构造裂缝和溶蚀孔洞非常发育,储层非均质性强。除了常规的碳酸盐岩储层外,还发育着高伽马的碳酸盐岩储集层、相对低电阻率的油层。

## 3. 储层测井评价方法

研究区碳酸盐岩储层中除了裂缝型储层外,孔洞型储层也很发育。用常规测井方法进行识别与评价,不仅工作量巨大、过程繁琐,而且无法高效的识别孔洞型储层[4] [5]。本文对南图尔盖K区块进行深入研究,发现在碳酸盐岩储层中,孔洞或者裂缝发育处的测井曲线会有不同程度的响应,其中密度曲线(DEN)、深电阻率曲线(RT)、声波时差曲线(AC)和补偿中子曲线(CNL)相对于其他测井曲线的测井响应变化较为敏感,而裂缝储层与孔洞储层的测井响应又有较大差别。因此,本文通过对以上几条测井曲线进

行重构来对孔洞型储层进行识别。

### 3.1. 曲线归一化

由于各测井响应值的量纲相差过大，在进行曲线重构之前，需要将测井曲线作归一化处理，将它们统一刻度在[0, 1]之间。在归一化过程中，各测井曲线归一化极值的选取非常重要。对于具有近似线性特征的输入信息，采用线性归一化公式：

$$X = \frac{X_{\log} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

式中： $X_{\log}$  是测井曲线响应值；  
 $X_{\max}$  是测井曲线响应值的最大值；  
 $X_{\min}$  是测井曲线响应值的最小值。

### 3.2. 重构特征曲线

在孔洞发育层段，双侧向电阻率明显低于正常灰岩地层的电阻率，且深、浅侧向的电阻率值一般呈较大的正幅度差[6] [7]。声波时差将明显增大，有时会出现周波跳跃，声波幅度将严重衰减，纵波能量也会衰减[8] [9]。由于孔洞中泥质或钻井液的含氢指数比正常地层中含氢指数要高，其补偿中子测井值也有所增高，若是大型洞穴，中子孔隙度将异常增大，但不反映地层的真实孔隙度[10] [11]。孔洞中充填的泥质或者钻井液使其密度相较于正常灰岩地层要低，因此密度测井值将减小[12]。此外，孔洞发育的地层，其自然伽马测井响应往往为高值，而遇到较大的洞穴时，井径测井值将异常增大[13]。

通过以上孔洞储层的测井响应特征，以三孔隙度测井响应值构建特征参数  $F$ ，从而提高测井曲线对孔洞储层响应的敏感度，避免单一测井曲线对孔洞储层响应不明显的问题[14]。

$$F = \frac{AC' * CNL'}{DEN'} \quad (2)$$

式中： $AC'$  为声波时差测井曲线响应值的归一化值；  
 $CNL'$  为补偿中子测井曲线响应值的归一化值；  
 $DEN'$  为补偿密度测井曲线响应值的归一化值。

在碳酸盐岩储层中，孔洞发育的地层中，双侧向电阻率明显低于正常灰岩地层的电阻率，且深、浅侧向的电阻率值一般呈较大的正幅度差，即使在孔洞或者洞穴被泥质充填的情况下，深、浅双侧向仍有较大幅度的正差异。而裂缝地层则会由于裂缝角度的不同而出现不同的差异情况。因此，深、浅双侧向的差异值也能一定程度上识别出孔洞、洞穴储层。

$$\Delta R = R_t - R_i \quad (3)$$

式中： $R_t$  为深侧向电阻率， $\Omega \cdot m$ ；  
 $R_i$  为浅侧向电阻率， $\Omega \cdot m$ 。

## 4. 储层划分方法及标准

根据成像测井资料识别结果，对 K 区块的 K6、K8、K13 等 3 口井的灰岩层段统计共 59 个特征样本，其中裂缝样本 7 个，孔洞样本 42 个，致密层样本 10 个。分别计算出各个样本对应的  $F$  值和双侧向幅度差  $\Delta R$  值，表 1 为一部分样本点的统计数据。

可以看出从孔洞储层的  $F$  值较大，双侧向幅度差均为正值。部分层段有裂缝发育，且裂缝的  $F$  值较小，双侧向测井对裂缝地层既有正差异又有负差异。而三孔隙度测井曲线对致密层几乎没有响应，因此

其 F 值都接近于 0。

如图 1，对于孔洞型储层，其双侧向均为正差异，幅度差主要分布在 2~10 Ω·m 之间，三孔隙度测井曲线对孔洞的响应较为敏感，F 值主要分布在 0.25~1 之间，当遇到大型洞穴时，三孔隙度曲线将异常增大，但不反映地层的真实孔隙度，这使 F 值也会出现大于 1 的异常高值。裂缝型储层相较于孔洞型储层而言，其三孔隙度测井响应不敏感，因此 F 值主要分布在 0.1~0.25 之间，且由于裂缝发育角度的不同，其双侧向幅度差既有正差异也有负差异。致密层在三孔隙度曲线上几乎没有响应，其 F 值一般小于 0.1。

以常规测井信息为基础，以成像测井为依据，综合岩心样本分析，将研究区碳酸盐岩地层划分为三

Table 1. Statistical table of sample data

表 1. 样本数据统计表

井号	深度 (m)	Ri (Ω·m)	Rt (Ω·m)	CNL (%)	AC (μs/m)	DEN (g/cm <sup>3</sup> )	成像	F	ΔR (Ω·m)
6	1242.97	10.52	13.48	23.01	243.77	2.54	孔洞	0.88	2.96
6	1310.64	13.66	31.48	18.35	259.85	2.57	孔洞	0.63	17.82
6	1244.65	19.91	24.15	19.61	209.97	2.59	孔洞	0.25	4.25
6	1241.60	9.49	12.37	25.16	256.50	2.56	孔洞	1.02	2.88
6	1267.05	13.67	17.84	17.86	240.90	2.52	孔洞	0.64	4.17
8	1296.01	11.30	14.18	20.54	275.01	2.54	孔洞	0.59	2.88
8	1295.86	10.86	13.16	21.54	275.74	2.54	孔洞	0.67	2.30
6	1246.63	32.93	40.78	11.80	191.54	2.65	致密层	0.03	7.84
13	1214.63	20.41	31.91	12.74	191.01	2.62	致密层	0.04	11.50
13	1237.95	22.76	40.87	13.87	213.53	2.62	致密层	0.09	18.10
6	1304.24	25.56	32.32	13.60	210.16	2.60	裂缝	0.12	6.76
6	1280.01	19.18	23.75	14.83	225.08	2.59	裂缝	0.22	4.58
8	1285.95	34.17	27.00	17.35	235.28	2.55	裂缝	0.25	-7.17
8	1288.08	27.26	25.88	15.15	216.47	2.59	裂缝	0.11	-1.38

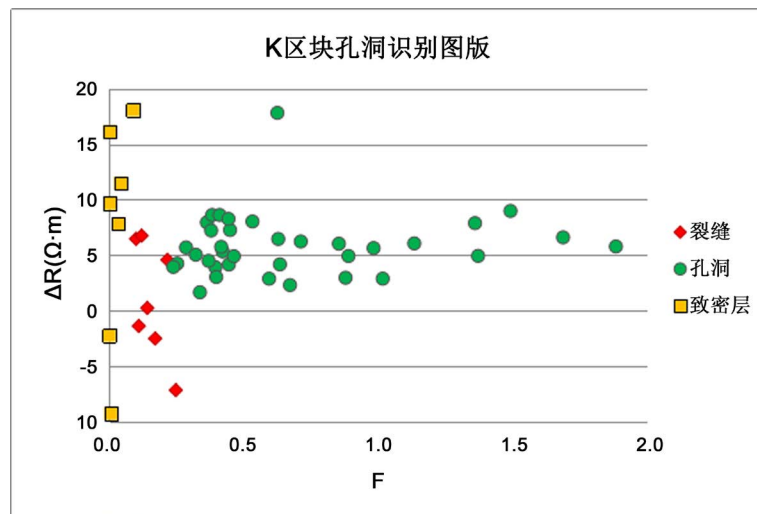


Figure 1. Cross-plot analysis of K block

图 1. K 区块孔洞识别图版

类，三种地层类型的综合指示标准如下：

- 1)  $0.25 < F < 2$  且  $2 < \Delta R < 10$  为孔洞型储层；
- 2)  $0.1 < F < 0.25$  且  $-7 < \Delta R < 7$  为裂缝型储层；
- 3)  $0 < F < 0.1$  为致密层。

### 5. 综合应用实例

如图 2 所示，K9 井 3 号储层的深度在 1283 m~1289 m，其 F 值均在 0.1~0.25 范围内，为裂缝储层，且裂缝发育的产状不同，从而双侧向的差异幅度也不相同。5 号储层深度为 1296 m~1301 m，其 F 值出现异常高值，双侧向电阻率均为正差异，井径曲线出现明显的扩径，成像图为暗色且电阻率为低值，综合判断该段为洞穴型储层。结合试油资料，K9 井 1296 m~1301 m 为射孔层段，日产油 9.06 m<sup>3</sup>，日产水 0.17 m<sup>3</sup>，为油层。

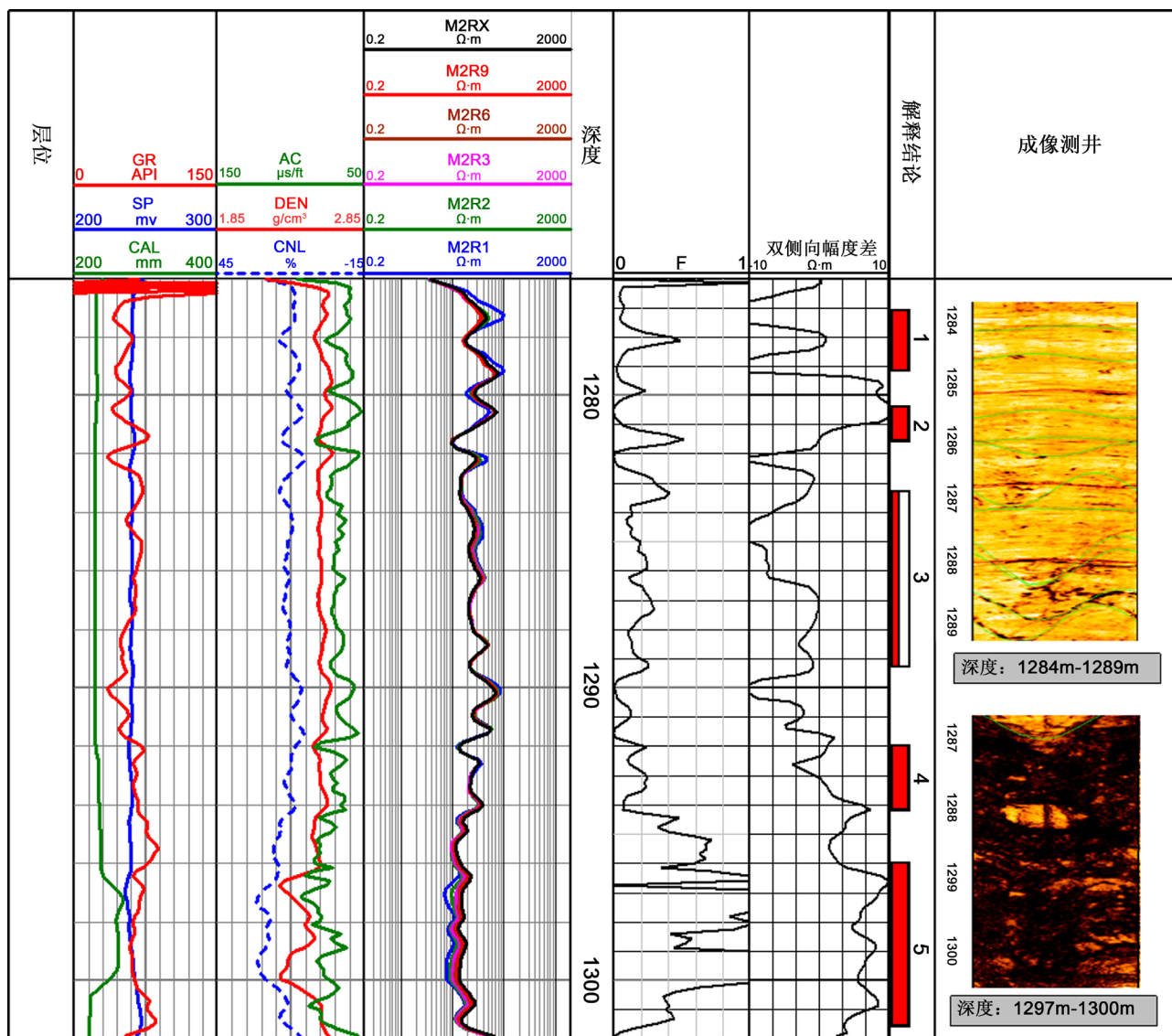


Figure 2. Log interpretation of K9 well

图 2. K9 井测井综合解释图

## 6. 结论

1) 常规测井方法对碳酸盐岩孔洞均有不同程度的揭示, 基于不同原理的常规测井方法对碳酸盐岩孔洞的响应程度差异显著, 通过基于三孔隙度曲线的重构将孔洞的响应特征放大, 应用于识别孔洞型储层效果明显。

2) 声波时差、补偿中子、密度、电阻率等测井曲线与孔洞的发育程度有着密切的关系, 据此利用常规测井资料建立了南图尔盖 K 区块孔洞识别图版, 将孔洞型储层与其他类型的地层有效地区分出来。

3) 与前人的方法相比, 本文只利用常规测井曲线, 将碳酸盐岩孔洞型储层对三孔隙度测井和深浅电阻率测井的响应特征相结合, 方法便捷, 解释精度高, 在没有成像测井、核磁测井等资料的情况下也能满足生产要求, 取得了良好的应用效果。

## 基金项目

国家自然科学基金项目“四川盆地油钾兼探的地球物理评价方法研究”, 编号“41372103”和“国家重点研发计划课题”, 编号“2017YFC0602804”联合资助。

## 参考文献

- [1] 胡琮. 塔河油田六区碳酸盐岩储层缝洞测井识别方法研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国石油大学, 2013.
- [2] 范宜仁, 王磊, 李虎, 等. 洞穴型地层双侧向测井响应数值模拟与特征分析[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2014, 38(6): 40-46.
- [3] 司马立强. 碳酸盐岩缝—洞型储层测井综合评价方法及应用研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2005.
- [4] 肖玉茹, 何峰煜, 孙义梅. 古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究——以塔河油田奥陶系古洞穴为例[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 75-80.
- [5] 王光付. 碳酸盐岩溶洞型储层综合识别及预测方法[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 47-51.
- [6] 赵良孝, 补勇. 碳酸盐岩储层测井评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 39-51.
- [7] 伍文明, 康志宏, 赵新法, 等. 塔河油田六区鹰山组缝洞型储层测井识别[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(5): 37-39.
- [8] 万晓伟, 王金涛, 娄春丽. 普光气田储层分类评价[J]. 石油地质, 2009, 30(5): 111-111.
- [9] Nelson, R.A. (1985) *Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs*. Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- [10] 徐安娜, 李明, 龙建东. 缝洞型碳酸盐岩内部局域振幅横向差异性储层预测法[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(1): 58-61.
- [11] Philippe, A.P. and Roger, N.A. (1990) *In Situ Measurements of Electrical Resistivity, Formation Anisotropy, and Tectonic Context*. SPWLA 31st Annual Logging Symposium, 24-27 June 1990, Lafayette, Louisiana, 2018.
- [12] Sibbit, A.M. and Faivre, O. (1985) The Dual Laterolog Response in Fractured Rocks. SPWLA 26th Annual Logging Symposium, 17-20 June 1985, Dallas, Texas, 34 p.
- [13] 程芳, 张陈慧, 宁维林, 等. 多参数储层级别划分方法研究[J]. 国外测井技术, 2005, 20(4): 26-28.
- [14] 邹雪峰. 碳酸盐岩裂缝识别及定量评价[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 长江大学, 2013.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3967，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)