

# Study on Improving Reservoir Identification in Unconsolidated Sandstone Reservoir

Kaixin Zhao<sup>1</sup>, Keyang Chen<sup>2</sup>, Guangquan Fan<sup>1</sup>, Jian Cao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing Heilongjiang

Email: colinzkx@126.com

Received: Dec. 3<sup>rd</sup>, 2019; accepted: Dec. 16<sup>th</sup>, 2019; published: Dec. 23<sup>rd</sup>, 2019

## Abstract

The reservoir identification and effective development of unconsolidated sandstone reservoir are the research hotspot and difficulty in the field of reservoir geology. This paper takes Y oilfield in Turpan Hami Basin as an example, applies its mature development data, through core homing, curve environment correction and standardization, four parameters of compensation neutron, compensation density, acoustic time difference and deep exploration induced resistivity with good correlation with lithology are optimized, establishing the lithologic identification chart with the principal component analysis method, four lithologic discrimination intervals of mudstone, siltstone, medium fine sandstone and pebbly sandstone are divided. Combined with the characteristics of lithology and logging curve of unconsolidated sandstone, the identification charts of unconsolidated sandstone and reservoir are established with the accuracy of 90.6% and 91.9% respectively. The results are expected to play a reference role in the fine reservoir description of Y oilfield and other areas with unconsolidated sandstone development.

## Keywords

Unconsolidated Sandstone, Interpretation of Reservoir Parameters, Lithology Recognition, Reservoir Identification, Parameter Modeling

# 疏松砂岩油藏提高储层识别方法研究

赵凯鑫<sup>1</sup>, 陈可洋<sup>2</sup>, 范广全<sup>1</sup>, 曹 剑<sup>1</sup>

<sup>1</sup>南京大学, 地球科学与工程学院, 江苏 南京

<sup>2</sup>大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆

Email: colinzkx@126.com

收稿日期: 2019年12月3日; 录用日期: 2019年12月16日; 发布日期: 2019年12月23日

## 摘要

疏松砂岩油藏的储层识别与有效开发是油藏地质学领域的研究热点与难点。本文以吐哈盆地Y油田为例,应用其成熟的开发资料,通过开展岩心归位、曲线环境校正和标准化,优选与岩性相关性较好的补偿中子、补偿密度、声波时差、深探测感应电阻率4个参数,利用主成分分析方法建立了岩性识别图版,划分出了泥岩、粉细砂岩、中细砂岩和含砾砂岩四种岩性判别区间。结合疏松砂岩的岩性和测井曲线特征,建立了疏松砂岩和储层识别图版,精度分别达到90.0%和91.9%。该成果有望在Y油田,以及其他疏松砂岩发育地区的储层精细描述中起到参考作用。

## 关键词

疏松砂岩, 储层参数解释, 岩性识别, 储层识别, 参数建模

Copyright © 2019 by author(s) 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

油气储层测井评价是油气藏勘探开发的基本内容,主要包括储层岩性及流体识别、储层参数计算、含水饱和度测井精细解释等[1],解释的精度直接影响了油藏开发方案及开发效果,是领域研究的热点[2]。目前常用的评价方法有补偿中子测井和声波时差测井进行岩性识别,中子和电阻率曲线进行储层识别[3]。

这些方法在面对天然岩性胶结疏松的储层时碰到了巨大困难,这是因为注入水对粘土胶结物的运移会造成出砂,部分井段扩径严重,导致自然伽马和三孔隙度曲线失真,使得储层参数计算、隔夹层划分及储层非均质性研究困难变大[4]。同时,受高矿化度盐水泥浆影响,自然电位曲线无法准确进行储层识别[5]。故而造成了目前针对疏松砂岩油藏的测井解释精度不高,岩性识别和储层识别精度较差,是领域研究的难点[6]。

本文以吐哈盆地Y油田为例,应用其成熟的开发资料,在对研究区测井曲线环境校正的基础上,进行岩性、物性识别,探索疏松砂岩油藏提高储层识别方法。

## 2. 地质背景

Y油田主要目的层为第三系鄯善群,其中上部为一套冲积平原沉积的紫红色泥岩,厚度为300~350 m,下部为一套干盐湖滩砂沉积的粉砂岩、细砂岩、砂砾岩,砂层厚度40~60 m;由此构成以上部冲积平原沉积泥岩为盖层,下部砂岩为储集层的储盖组合,无断层发育。储层类型为扇中扇端沉积,目的层岩石类型主要为岩屑长石砂岩,孔隙度为20.4%,渗透率为 $228.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,为中孔中渗储层,取芯井资料表明,油藏层内非均质性严重。地面原油具有“三低一高”的特点,即原油密度低( $0.83 \text{ g/cm}^3$ ),粘度低( $3.87 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ),凝固点低( $3.0^\circ\text{C}$ ),汽油含量高(31.0%)。

## 3. 环境校正和曲线标准化

由于测井采集环境和仪器系列的差异,在应用统一标准进行综合解释时,需要考虑钻井环境和井眼环境对测井资料的影响。因此,在开展单井测井评价前,应开展测井曲线质量评价和测井曲线标准化校

正, 以消除环境和采集工艺对测井曲线的影响。

统计 Y 油田第三系 147 口井垮塌情况, 从储层厚度看, 垮塌大于 3 cm 的储层厚度为 847 m, 占总厚度的 8.5%。从统计的井数来看, 单井垮塌大于 3 cm 的井段厚度大于单井井段厚度 20% 的井为 22 口, 占总井数的 15%, 说明储层井眼情况总体较好, 在开展测井曲线环境校正基础上, 可以保证后续测井解释结果的准确性。

### 3.1. 自然伽马校正

自然伽马测井曲线受井眼垮塌的影响, 会导致测井响应值降低, 而在后续储层参数计算过程中, 要应用到自然伽马曲线计算泥质含量。因此, 对于井眼垮塌的井段需要做自然伽马曲线环境校正。在自然伽马曲线井眼环境校正过程中, 参考斯伦贝谢和阿特拉斯公司自然伽马测井仪器的校正图版, 应用 GEOLOG 软件的环境校正模块对研究区自然伽马曲线进行了处理。

### 3.2. 声波时差校正

钻井作用导致的井壁垮塌是影响三孔隙度测井的首要因素, 其中补偿声波测井相对来说具有较好的补偿作用, 主要采用了基于井径变化的声波测井时差校正方法。设记录点 A 的设计测量声波时差(即井径变大后测量)为  $\Delta t$ , 真实时差(即井径稳定时测量)为  $\Delta t'$ , 井径为  $D$ , 对 A 点的声波时差有影响的井段平均井径是  $\bar{D}$  (不包括 A 点), 井内泥浆的声波时差为  $\Delta t_1$ , 接收器之间的距离  $d$ , 则声波时差的误差校正公式为[7]

$$\Delta t' = \Delta t + \frac{(\bar{D} - D) \times \Delta t_1}{2d} \quad (1)$$

### 3.3. 密度、中子曲线校正

针对井眼垮塌的井段的密度、中子曲线校正主要采用曲线相关校正方法, 依据未扩径井段的声波时差值和密度、中子值的关系模型, 对扩径段的密度和中子值进行曲线重构, 以消除井眼崩塌对曲线值的影响。

### 3.4. 声波时差曲线标准化

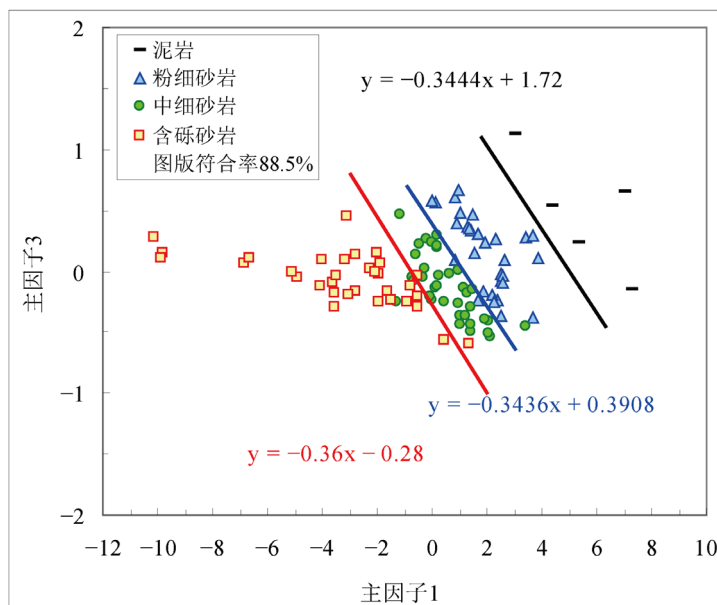
本文主要针对在多井评价以及油藏描述中经常采用的方法: 直方图均值校正法和趋势面分析法进行研究分析。每种方法各有优缺点, 最终结合研究区地质情况, 对上述方法优选并改进, 总结了一套双标准层趋势校正法作为测井资料标准化方法。优选 Esh<sub>2,0</sub> 段泥岩为主要标准层, 这套泥岩各井均钻遇到, 在平面内发育比较稳定, 测井曲线显示为高自然伽马值, 高中子孔隙度值以及低电阻率值。同时选择整个 Esh<sub>2+3</sub> 段砂岩储层作为辅助标准层。

## 4. 储层岩性识别方法研究

通过对研究区岩石物理性质分析基础上, 结合储层四性关系研究成果, 可知研究区不同岩性测井响应应具有随着泥岩到含砾砂岩等不同岩性粒径的增大, 测井响应具有密度、电阻率值逐渐增大, 而补偿中子、声波时差、自然伽马值逐渐减小的特征。由此认为不同岩性由于所含矿物成分与含量的差异, 在自然伽马、中子、密度等几个参数上具有不同的测井响应特征, 因此可以应用常规测井资料进行岩性识别[8][9][10]。

在测井响应分析基础上, 应用 Y630、YX6-10 共 2 口井 104 层资料, 优选补偿中子、补偿密度、声波时差、深探测感应电阻率 4 个参数, 利用主成分分析方法[11]建立了岩性识别图版(图 1), 编制了 Sinolog

岩性自动识别程序，识别精度达到 88.5%。



**Figure 1.** Lithology identification chart of tertiary sandstone reservoir in Y Oilfield

**图 1.** Y 油田第三系砂岩储层岩性识别图版

## 5. 疏松砂岩识别

研究区岩心疏松，取心不易成型，说明岩心胶结物质为泥质胶结，岩心胶结强度低。遇水后泥质胶结物膨胀，产生表面水化(“结晶膨胀”或“层间膨胀”)及渗透水化(外表面水化)作用，进而引起粘土开膨胀、分散和絮凝，最终表现为粘土矿物失去对石英颗粒的胶结作用，导致岩心破坏。总的来说疏松砂岩岩心特点是以泥质胶结为主，胶结强度低，遇水后泥质胶结物膨胀，失去对石英颗粒的胶结作用，在开采过程中容易出砂。从取心井在现场岩心描述砂岩疏松段可以看出，物性相对较好，粒度相对较细，泥质含量相对较高。疏松砂岩在测井曲线上的特点主要表现在由于地层声吸收大，声衰变严重，声波时差增大，而密度曲线相对变化不大。

综上所述，应用声波时差和岩性密度，构建了反应砂岩疏松程度的参数疏松指数，建立了声波时差 AC 与岩性密度 DEN 的关系图，回归出声波时差与岩性密度的关系式(公式 2、3)。

$$\text{疏松指数} = (\text{AC} - \text{AC}_{\text{DEN}}) / \text{AC} \quad (2)$$

$$\text{AC}_{\text{DEN}} = -84.98 \times \text{DEN} + 287.6 \quad (3)$$

应用 Y301、Y630 和 YX6-10 共 3 口井 50 层的岩心描述资料，优选密度和声波时差曲线，编制了疏松砂岩判别图版及识别程序，与取芯井资料对比，精度达到 90.0%。

## 6. 储层识别

以往储层识别主要应用了泥质含量参数，该参数主要应用中子和电阻率曲线获得，其中中子测井曲线法在井眼垮塌处，中子曲线失真储层识别不准，电阻率曲线法 RD 受储层含油性影响致储层识别不准，且它们中的 RMLL 均受含泥、含钙及流体影响储层准确识别。因此本次储层识别泥质含量主要应用校后伽马曲线计算泥质含量。

应用 3 口取心井 124 层及生产井 51 口 139 层资料, 优选声波时差, 泥质含量和深感应电阻率等曲线编制了储层识别划分图版, 形成了 Y 油田储层电性划分标准(表 1), 图版精度达到 91.9%。

**Table 1.** Reservoir electricity classification standard of Y oilfield  
**表 1.** Y 油田储层电性划分标准

储层类别		深感应电阻率( $\Omega \cdot m$ )	声波时差( $\mu s/ft$ )	泥质含量(%)	孔隙度(%)	渗透率(mD)
储层	渗透层	0.4~3	85~115	$\leq 30$	$\geq 16$	$\geq 4$
	干层(致密层)	$> 1.0$	75~90 <75	$< 30$	$< 16$	$< 4$
非储层		泥岩层	$> 90$	$> 30$		

## 7. 实例应用

应用 GEOLOG 软件的环境校正模块对研究区自然伽马曲线进行了处理(图 2、图 3)。通过校正处理, 在泥质含量相对较高段明显出现井眼垮塌现象的地层, 自然伽马曲线在井眼扩径处有明显的修正。采用校正后 GR 计算的泥质含量相对原伽马计算的泥质含量, 精度有了明显提高, 说明应用该校正方法针对目标区块的自然伽马曲线进行校正是合理的, 从而保证了利用自然伽马曲线计算泥质含量的可靠性。

	Location	Mode	Comment	Unit	Name	Value
1	Constant	In_Out	Gamma ray borehole correction	LOGICAL	CORR_GR	Yes
2	Constant	In_Out	Gamma ray tool position	ALPHA*16	GR_TOOL_POS	CENTERED
3	Constant	In_Out	Gamma ray tool size	ALPHA*8	GR_TOOL_SIZE	3_5/8
4	Constant	In_Out	Drilling fluid density	K/M3	DFD	1020
5	Log	Input	Gamma ray log	GAPI	GR	GR
6	Log	Input	Caliper from nuclear/porosity	MM	CALI_POR	CAL
7	Log	Output	Gamma ray corrected	GAPI	GR_COR	GR_COR

**Figure 2.** Parameter diagram of natural gamma environment correction model

**图 2.** 自然伽马环境校正模型参数图

应用非建模的 Y6 井录井和岩心样品岩性描述检验测井识别岩性结果来看(图 4), 岩性上细下粗的总体分布两者一致: 上部录井粉砂岩与测井解释粉细砂岩基本对应, 下部 Esh<sub>2+3</sub> 以深则以含砾砂岩分布为主, 测井解释岩性间含中细和粉细砂岩。岩性识别结果可以满足下步参数与地质评价需要。

应用疏松砂岩在开采过程中易于出砂的特点, 根据 53 口井井史资料对生产过程中出砂、防砂的描述, 对疏松砂岩识别图版进行了验证, 验证精度 90.6% (图 5)。Y6-35 井是其中一口验证井, 证实图版验证效果良好。

应用储层电性划分标准对 Y6-3 井进行了综合处理解释(图 6), 与传统的 IRX 法、RNG 法对比表明, 在含钙储层段(1621~1625 m)或含泥较重段(1631~1634 m), 应用原来的方法地划为了储层, 而新的方法配



合钙质含量计算和校后自然伽马计算的泥质含量，能较好的排除这些非储层。总的来说，新的储层识别方法精度更高。

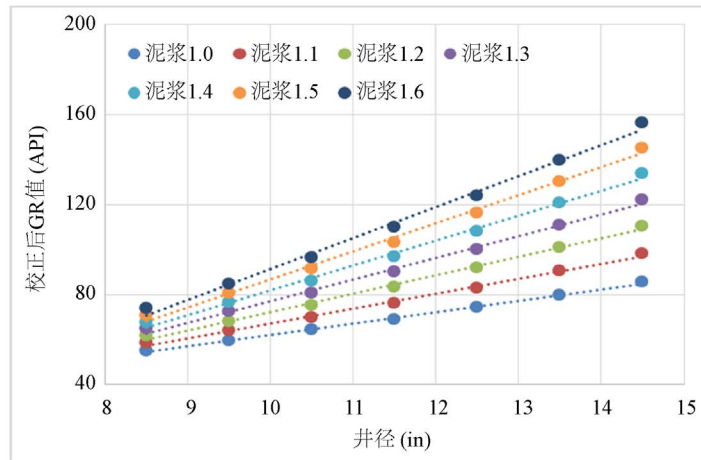


Figure 3. Natural gamma environmental correction chart  
图 3. 自然伽马环境校正图版

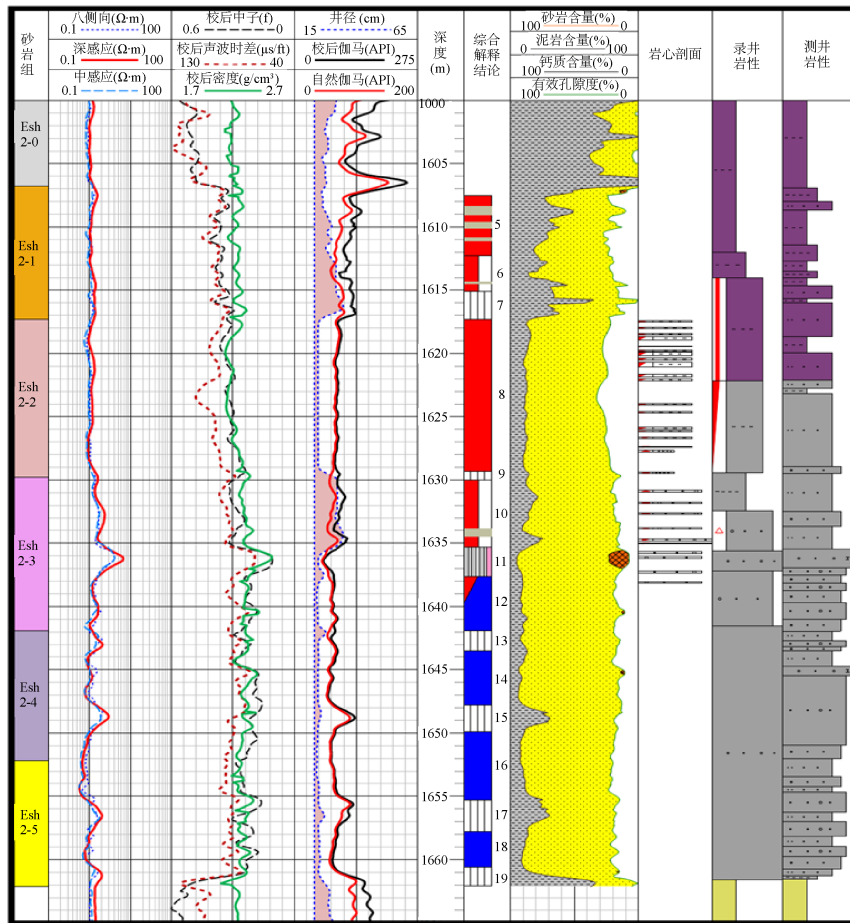


Figure 4. Result map of reservoir lithology identification of well y6  
图 4. Y6 井储层岩性识别成果图

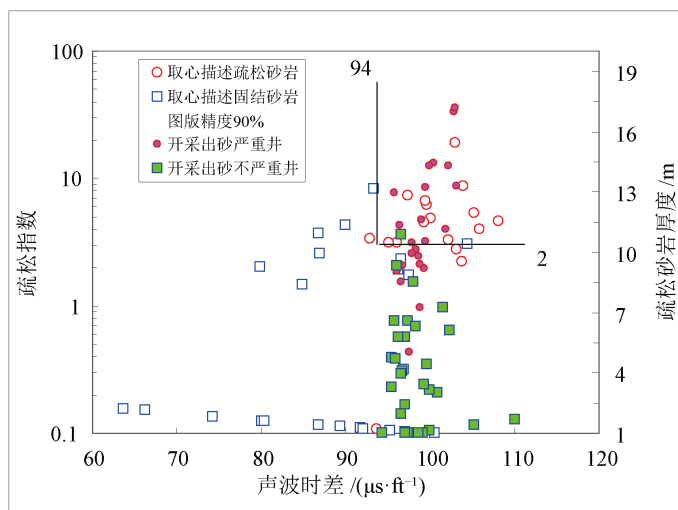


Figure 5. Identification chart of unconsolidated sandstone in Y Oilfield  
图 5. Y 油田储层疏松砂岩识别图版

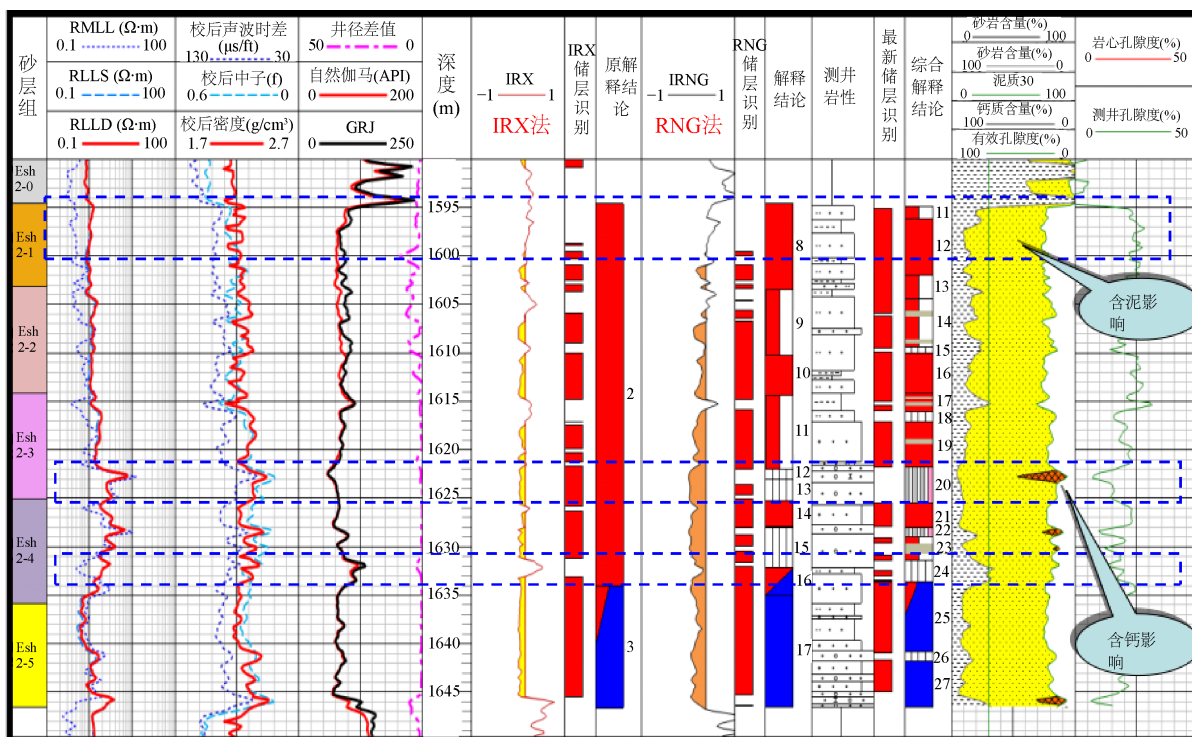


Figure 6. Logging processing and interpretation results of Well y6-3  
图 6. Y6-3 井测井处理解释成果图

### 8. 结论

1. 针对疏松砂岩油藏的测井解释精度不高的问题，前期一定要进行环境校正和曲线标准化工作，保证后续测井评价的准确性。
2. 通过对该区块测井解释方法的优选，新建立了岩性识别、储层识别及疏松砂岩判别图版，图版精度分别达到 88.5%、91.9%和 90.0%，并取得了很好的应用效果。

3. 通过对储层类别和疏松砂岩的特征识别, 深化了该区块储集层的认识, 对沉积相研究起到了关键作用。该方法可在同类疏松砂岩较发育地区推广应用。

## 基金项目

国家重大科技专项(2016ZX05010-002)和中国石油天然气股份有限公司重大科技项目(2016E-0205)。

## 参考文献

- [1] 潘兴国, 姜文达. 中国水驱油田开发测井[C]/中国石油学会. 1996 国际学术讨论会论文集: 1996 年卷. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [2] 曾文冲. 油气藏储集层测井评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991: 1-16.
- [3] 《油气田开发测井技术与应用》编写组编. 油气田开发测井技术与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 103-105.
- [4] 路云峰, 马德录, 盖丽芳, 等. 砂泥岩水淹层测井资料解释方法研究[J]. 国外测井技术, 2006(4): 12-16.
- [5] 杨立强, 王志章, 熊琦华. 复杂岩性储层参数评价中神经网络技术的应用[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(3): 44-48.
- [6] 蔺景龙, 张庆国, 宋延杰, 等. 水淹层测井分析[J]. 大庆石油学院学报, 2001, 25(3): 20-23.
- [7] 吉伟平, 王志章, 姜爽, 等. 井眼垮塌条件下声波和密度曲线的校正方法[J]. 石油工业计算机应用, 2017, 25(1): 35-38.
- [8] 宋秋强, 张占松, 张冲. 测井相-岩相分析技术在复杂岩性中的应用[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2013, 35(7): 78-81.
- [9] 瞿晓婷, 张蕾, 冯宏伟, 等. 面向复杂储层的非均衡测井数据的岩性识别[J]. 地球物理学进展, 2016, 31(5): 2128-2132.
- [10] 朱世海. 复杂岩性油气层测井识别技术及应用[J]. 勘探开发, 2019(3): 87+71.
- [11] 赵乐强, 隋风贵, 张金亮, 等. 基于测井资料主成份分析建立风化壳结构判识图版[J]. 测井技术, 2007, 31(6): 583-587.