

Application of Conventional Logging Identifying Technique for Identifying Fractures in Low Porosity and Low Permeability Reservoirs

—A Case Study of Xujiahe Formation in Northeastern Sichuan Basin

Jing Tang¹, Shangfeng Zhang¹, Shengqun Dai¹, Wei Bai²

¹School of Geoscience, Yangtze University, Wuhan Hubei

²Gas Production and Marketing Plant, Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang Henan

Email: twz@zydzy.com

Received: Sep. 30th, 2016; accepted: Dec. 21st, 2016; published: Feb. 15th, 2017

Abstract

The reservoir with low porosity and low permeability had poor physical property and it mostly depended on the fractures to improve its reservoir capacity and flowing ability. Now the coring characteristic description methods and the imaging logging identifying methods were commonly used in fracture identification for the reservoirs with low porosity and low permeability, which were limited by data collection of coring and imaging logging. By taking Xujiahe Formation (T_{3x}) in Northeastern Sichuan Basin as an example, its main fractures were structural fractures and interface fractures with an inclination of skew angle-low angle, whose direction was mainly north-east. By observation of cores and correlation of conventional logs, it is found out that fractures in tight strata would cause abnormal response in gamma ray logging, sonic logging and resistivity logging, which can be used to build a conventional logging response model for fractures by using imaging calibration conventional logging methods. By identification, fractures in T_{3x} are mainly developed near the faults, where the density of hanging wall is larger than that of footwall.

Keywords

Low Porosity and Low Permeability Reservoir, Fracture, Conventional Logging, Xujiahe Formation, Northeastern Sichuan Basin

低孔低渗储层裂缝常规测井识别技术

——以川东北地区须家河组为例

唐敬¹, 张尚锋¹, 戴胜群¹, 白伟²

¹长江大学地球科学学院, 湖北 武汉

²中石化中原油田分公司天然气产销厂, 河南 濮阳

作者简介: 唐敬(1991-), 男, 硕士生, 主要从事沉积与储层地质学方面的研究与学习。

Email: twz@zydzy.com

收稿日期: 2016年9月30日; 录用日期: 2016年12月21日; 发布日期: 2017年2月15日

摘要

低孔、低渗储层物性差, 大多依靠储层中存在的裂缝来改善储集能力和渗流能力。目前低孔、低渗储层中常用的裂缝识别方法有取心特征描述和成像测井识别, 受取心和成像测井资料采集限制。川东北地区须家河组(T_{3x})裂缝主要以构造缝和层面缝为主, 倾角为斜交-低角度, 方向以北东向为主。通过岩心观察和常规测井曲线对比发现, 致密地层中的裂缝会在伽马测井、声波测井和电阻率测井上造成异常响应。针对上述异常响应, 利用成像测井刻度常规测井的方法, 建立了研究区裂缝的常规测井响应模型。通过该模型, 识别并明确了 T_{3x} 裂缝主要发育在断层附近, 且上盘密度大于下盘密度。

关键词

低孔、低渗储层, 裂缝, 常规测井, 须家河组, 川东北地区

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University 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

随着中国石油勘探开发的不断深入, 近几年的主要勘探开发对象逐渐转变为岩性地层、前陆冲断带等, 其共同的特点是储层具有低孔、低渗特征。低孔、低渗储层是指碎屑岩中孔隙度小于 15%、渗透率小于 50 mD 的储层。川东北地区须家河组(T_{3x})储层发育致密, 孔隙度在 0.13%~7.8%之间, 渗透率在 0.02187~15.8517 mD 之间, 属于低孔、低渗储层, 裂缝是该地区重要的储集空间和渗流通道, 故明确裂缝发育规律非常重要[1]。

2. 裂缝发育特征

2.1. 岩心裂缝发育特征

T_{3x} 裂缝包含未填充裂缝、半充填裂缝和完全充填裂缝共 3 类。陆相裂缝充填情况比较严重, 根据取心资料分析, 210 条裂缝均不同程度地受到充填, 其中须三段(T_{3x_3})、须五段(T_{3x_5})裂缝完全充填, 须二段(T_{3x_2})、

须四段(T_3x_4)及须六段(T_3x_6)裂缝受充填影响也相当严重。内部填充物主要为方解石、白云石和碳质(图 1)。

川东北地区 T_3x 发育的裂缝,按照标准($0.1 \text{ mm} \leq \text{裂缝宽度} \leq 1 \text{ mm}$ 、 $1 \text{ mm} \leq \text{裂缝宽度} \leq 3 \text{ mm}$ 、 $\text{裂缝宽度} \geq 3 \text{ mm}$)划分为小缝、中缝和大缝。从研究区裂缝宽度分布图(图 2)上看,整体以小缝为主,其中 T_3x_3 与 T_3x_5 仅发育小缝, T_3x_2 、 T_3x_4 与 T_3x_6 小缝、中缝、大缝均有发育。



Figure 1. The fracture filling compound in the study area

图 1. 研究区裂缝填充物

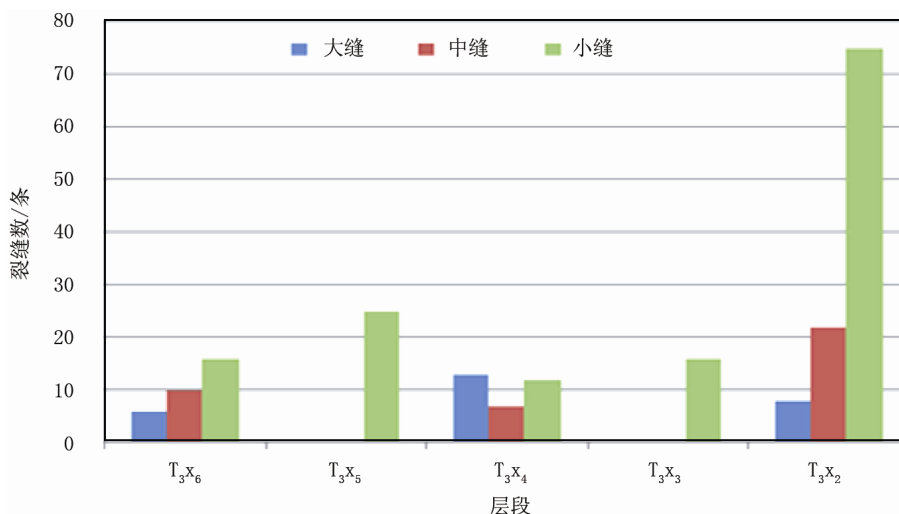


Figure 2. The width of continental fissure development in Northeastern Sichuan Basin

图 2. 川东北地区陆相裂缝发育宽度

根据岩心观察分析,川东北地区 T_3x 的裂缝类型主要有构造缝、收缩缝、层面缝和缝合线,其中层面缝最为发育,其次为构造缝(图 3),说明研究区裂缝受构造作用和沉积作用影响较多[2]。

2.2. 成像裂缝发育特征

电成像图上裂缝信息可以分为两类,一类是天然裂缝,另一类是伪裂缝。天然裂缝可以是张开、半充填和闭合 3 种状态,伪裂缝是指钻井过程中形成的诱导缝。

1) 张开缝:是由于钻井液的侵入,使得裂缝中充填了泥浆和泥浆滤液,表现为低电阻率特征,其轨迹在 EMI (微电阻率扫描成像)图像上表现为一条类似于正弦曲线的、暗色的图像特征(图 4 中的椭圆圈)。

2) 半充填缝:张开部分受泥浆和泥浆滤液的侵入,表现为低电阻率特征,没有张开的部分表现为高电阻率特征,其轨迹在 EMI 图像上仍然是一条类似于正弦曲线的、明暗相间的图像特征。

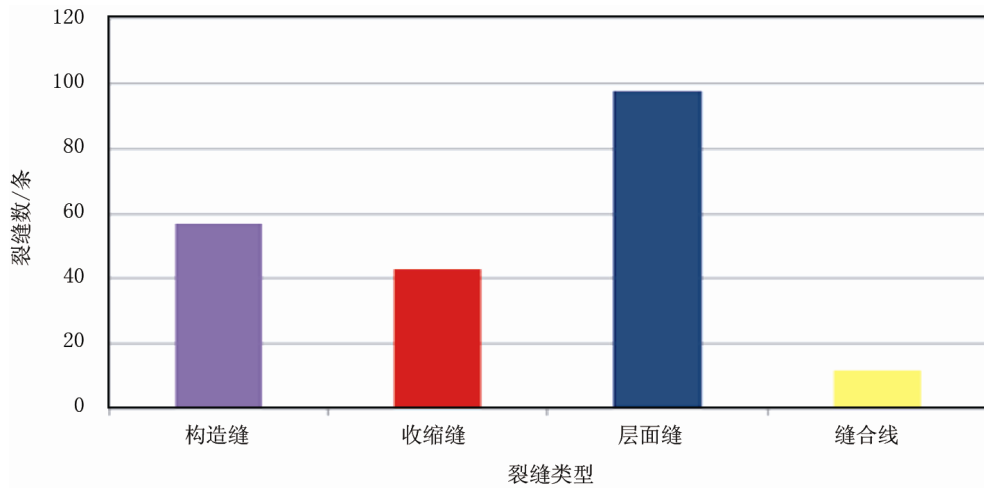
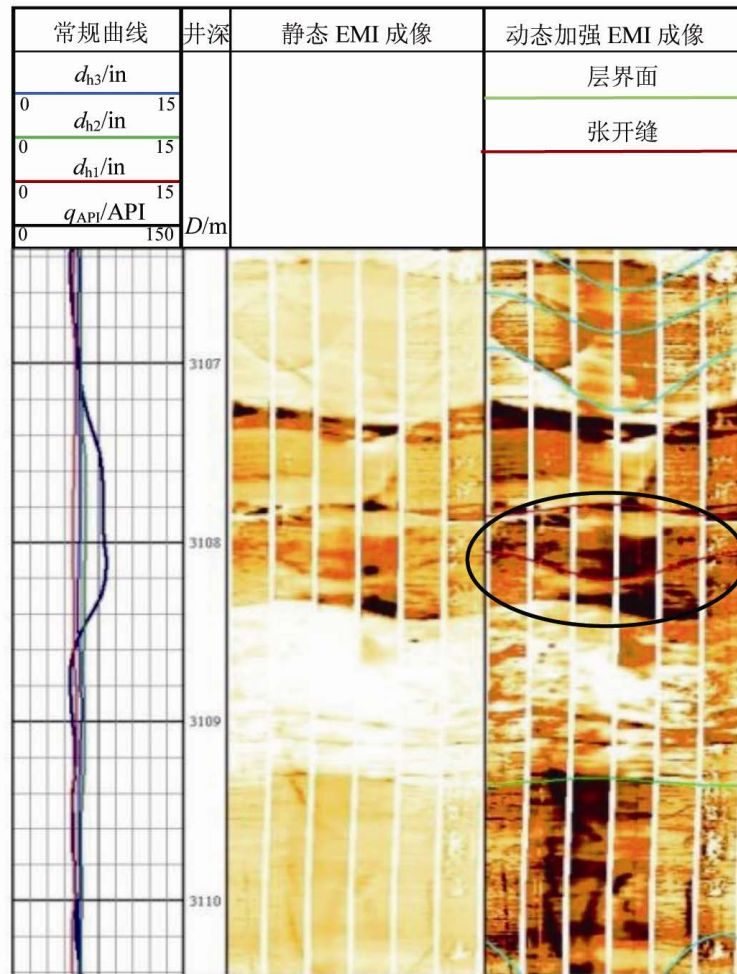


Figure 3. The type distribution of continental fissure in Northeastern Sichuan Basin
 图 3. 川东北地区陆相裂缝类型分布



注： d_{h1} 、 d_{h2} 、 d_{h3} 为井径1、井径2、井径3； q_{API} 为自然伽马； D 为井深。下同。

Figure 4. The open fracture at 3107.73 m in Well PL1
 图 4. PL1 井 3107.73 m 张开缝

3) 闭合缝: 分为两种情况: ① 如果裂缝被低电阻率的物质(例如黏土)充填, 其特征类似于张开缝, 要充分参考自然伽马测井曲线特征, 判断其张开与否; ② 如果裂缝被高电阻率的物质充填, 其电阻率特征可能与岩石基质电阻率接近, EMI 图像上反映不出来, 也可能比岩石基质的电阻率更高, 此时裂缝轨迹的 EMI 图像颜色更浅(图 5 中的椭圆圈)。

从 EMI 测井裂缝识别结果看, 川东北地区 T_3x 裂缝倾角主要分布在 $20\sim 50^\circ$ 之间, 与岩心分析裂缝角度多为低角度或斜交缝相一致; 裂缝在主要目的层段 T_3x_2 、 T_3x_4 和 T_3x_6 的走向和倾向没有太大变化, 走向以北西西-南东东向为主, 倾向以北北东-南南西向为主, 方位角主要分布在 $20\sim 50^\circ$ 、 $200\sim 260^\circ$ 、 $340\sim 360^\circ$ 之间(图 6)。

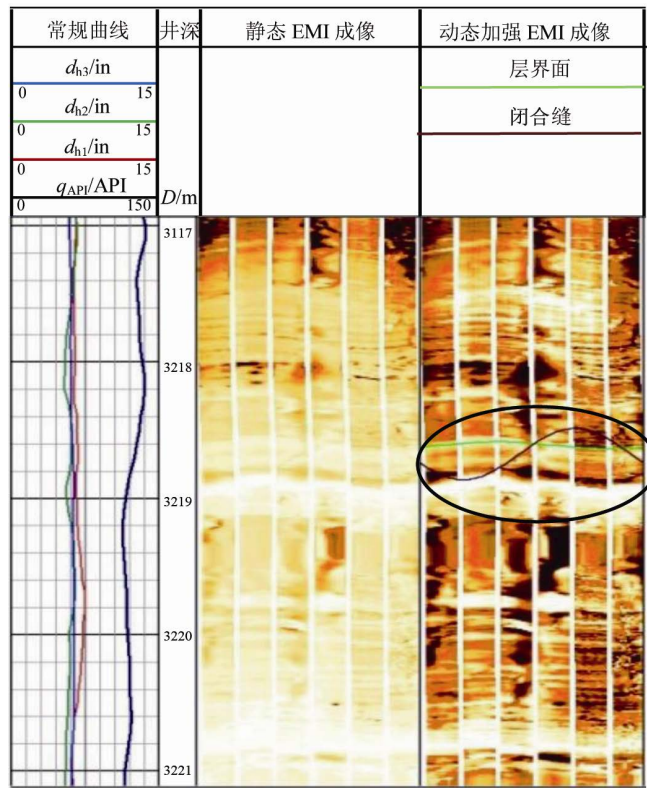


Figure 5. The Filling fracture at 3218.6 m in Well PL1
图 5. PL1 井 3218.6 m 闭合缝

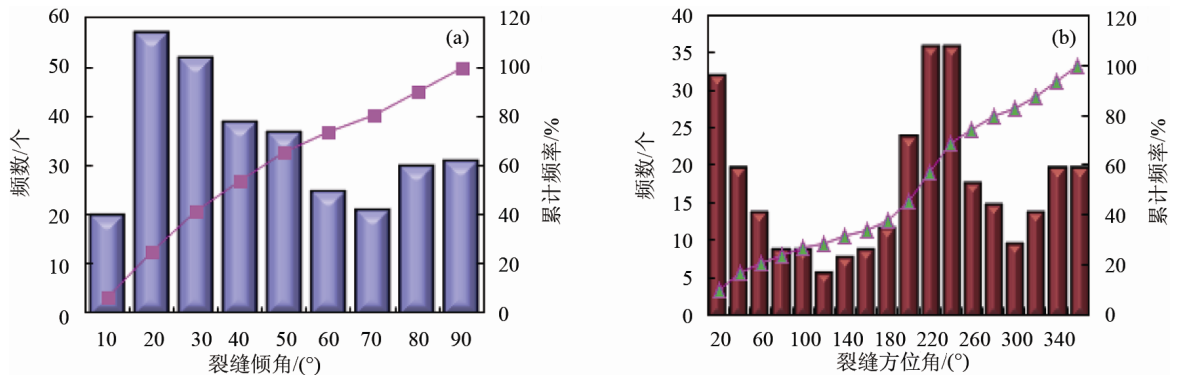


Figure 6. The T_3x fracture dip (a) and azimuth (b) in the study area
图 6. 研究区 T_3x 裂缝倾角(a)及裂缝方位角(b)统计

3. 裂缝常规测井响应特征

特殊测井对于裂缝的识别虽然更加直观，但是由于造价高昂，不能普遍应用，一般更倾向于利用常规测井资料对裂缝进行预测、识别。主要应用裂缝的非均质性在测井曲线上造成的电阻率异常、伽马异常、声波时差异常、密度异常、中子异常以及井径异常等来实现[3]：

1) 微球形聚焦电阻率明显降低，双侧向测井表现为高阻背景下的相对低电阻率，裂缝的不均一性使电阻率曲线呈高低见互、起伏不平的多尖峰状；

2) 自然伽马主要表现为低值，无铀伽马有放射性增高的特点；

3) 钻遇高角度裂缝时声波时差增大，密度测井趋于低值，中子测井趋于高值；

4) 井径曲线主要表现为轻微增大。

当异常响应比较微小时，可以通过曲线变换、小波分析、对曲线分形分维来放大该种差异。

4. 裂缝常规测井识别

4.1. 常规测井裂缝识别图版

进行岩心归位后，在取心样品中选取 389 个样品点进行测井响应值交会分析。通过进行不同测井系列的两两交会分析，总结裂缝对于不同测井系列产生的影响。结果表明，川东北地区 T_{3x} 裂缝在自然伽马、声波时差和电阻率测井上的异常响应较为明显[4] (图 7)。

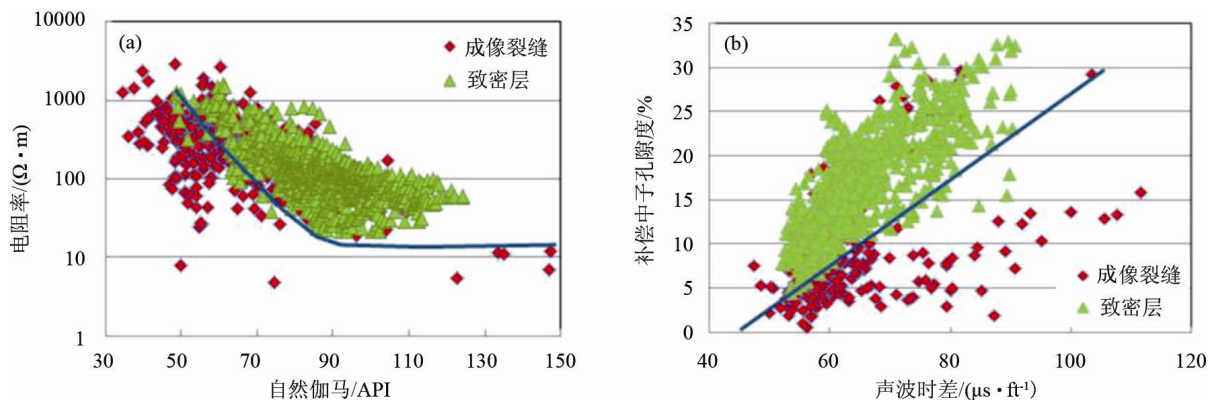


Figure 7. The T_{3x} natural gamma resistivity cross plot (a) and acoustic transit time compensated neutron porosity cross plot (b) in the study area

图 7. 研究区 T_{3x} 自然伽马 - 电阻率交会图(a)及声波时差 - 补偿中子孔隙度交会图(b)

研究区裂缝均有深、浅双侧向电阻率在高阻背景下明显降低的现象，而自然伽马对裂缝不敏感，但能将引起深、浅双侧向电阻率降低的泥质条带识别出来，因此可以利用深侧向电阻率 - 自然伽马交会在致密岩层段识别裂缝(图 8)。图 9 是利用深侧向电阻率 - 自然伽马交会识别裂缝的结果。

4.2. 重构电阻率曲线异常识别法

储层精细描述和评价的基础主要是储层的四性关系，即岩性、物性、电性和含油气性。而常规测井曲线中常将曲线分为 3 类：泥质指示线、电性指示线、孔隙度指示线，上述曲线根据不同的岩性、物性表现出规律的变化趋势。以相同或近似的岩性序列为基础，对储层物性进行大致的划分能够对单井整体作出岩性、物性评价。根据评价的不同，针对地层进行岩石物理模型的建立，参数可以根据单井间电性与其他各特性关系间最为明显的进行确定，以求模型精度达到最高；用不同的模型来模拟不同地层的电

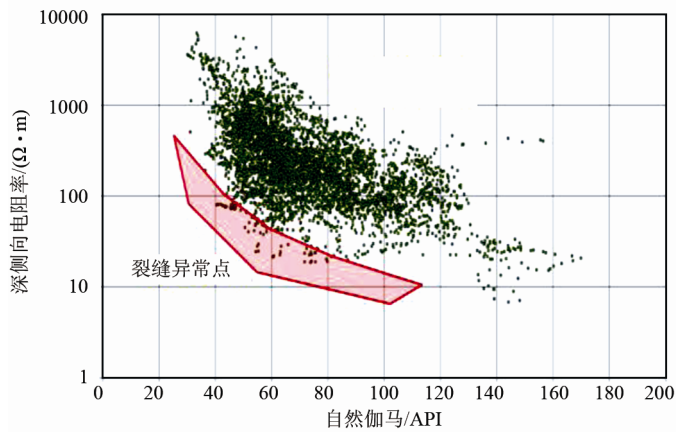
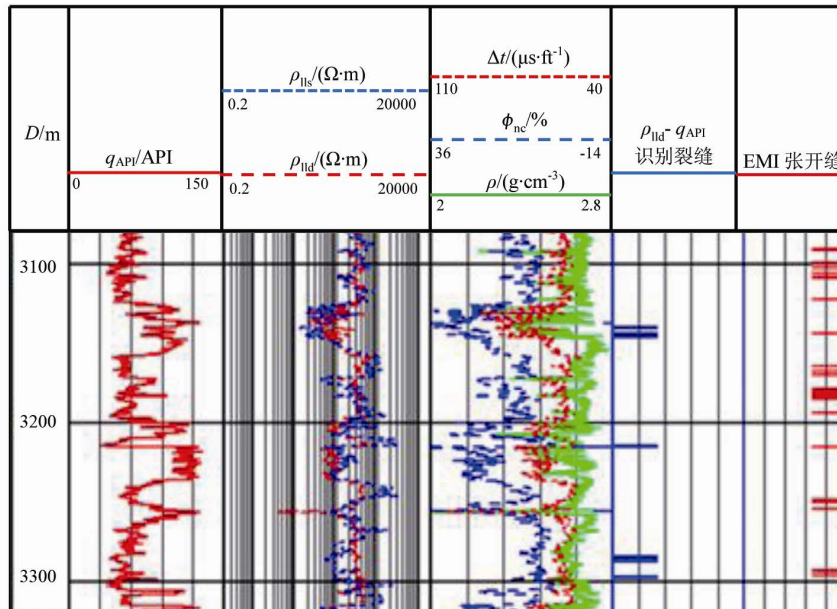


Figure 8. The deep lateral resistivity and gamma logging crossplot chart in Well PL1

图 8. PL1 井深侧向电阻率 - 自然伽马交会图版



注： ρ_{lls} 为浅侧向电阻率； ρ_{lld} 为深侧向电阻率； Δt 为声波时差； ϕ_{nc} 为补偿中子孔隙度； ρ 为岩石密度。下同。

Figure 9. The recognition results of deep lateral resistivity and gamma logging crossplot chart

图 9. 深侧向电阻率 - 自然伽马交会图裂缝识别成果图

性特征，最终达到整井反演电阻率的目的。

基于常规测井曲线间的响应关系，通过多元线性回归法建立校正模型。利用常规测井曲线，针对相同岩性序列具有固有响应的特征，通过寻找致密层段的岩性序列，利用自然伽马、密度、声波时差、补偿中子孔隙度等建立回归方程，用于拟合地层真电阻率曲线：

$$\rho_t = a \times q_{API} + b \times \rho + c \times \Delta t + d \times \phi_{nc} + e \quad (1)$$

式中： ρ_t 为拟合的地层真电阻率， $\Omega\cdot m$ ； a 、 b 、 c 、 d 、 e 为拟合系数。

图 10 为重构电阻率裂缝识别结果与成像测井显示的裂缝结果对比图，可以看出，相较于深侧向电阻率 - 自然伽马交会裂缝识别结果，重构电阻率裂缝识别结果与 EMI 成像测井裂缝识别结果符合率更高，

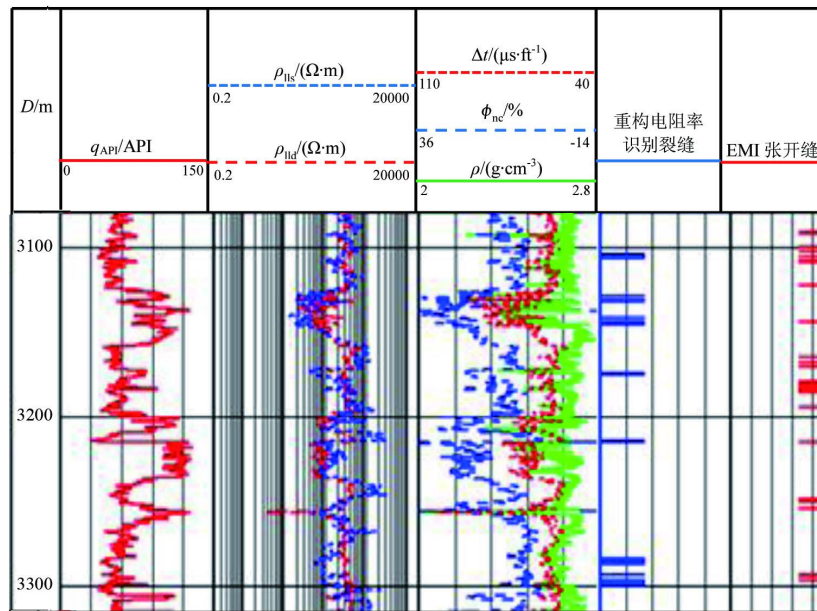


Figure 10. The comparison between the results of resistivity reconstruction and the results of imaging logging in Well PL1

图 10. PL1 井重构电阻率裂缝识别结果与成像测井结果对比

达到 80% 以上。

5. 结论

1) 川东北地区 T_{3x} 的裂缝类型主要为构造缝、收缩缝、层面缝和缝合线, T_{3x3} 与 T_{3x5} 裂缝完全充填, T_{3x2} 、 T_{3x4} 及 T_{3x6} 裂缝受充填影响也相当严重。内部填充物主要为方解石、白云石和碳质, 裂缝在主要目的层段 T_{3x2} 、 T_{3x4} 和 T_{3x6} 走向和倾向没有太大的变化, 走向以北西 - 南东东向为主, 倾向以北东 - 南南西向为主。

2) 通过对不同测井系列进行交会分析认为, 川东北地区 T_{3x} 裂缝在自然伽马、声波时差和电阻率测井上的异常响应较为明显。因此, 可以通过建立自然伽马、声波时差和电阻率两两交会图版, 拾取异常点识别裂缝。

3) 基于常规测井曲线间的响应关系, 通过多元线性回归法建立校正模型。通过重构电阻率曲线的方法, 扩大了裂缝识别检测异常的多面性, 提高了裂缝识别精度。

基金项目

中原油田“十二五”油稳气升专项研究项目(2013YWQS03)。

参考文献 (References)

- [1] 王志萍, 秦启荣, 王保全, 等. 川西 DY 构造须家河组致密砂岩储层裂缝分布控制因素[J]. 断块油气田, 2011, 18(1): 22-25.
- [2] 王必峰. 储集层构造裂缝描述与定量预测[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2007.
- [3] 周文, 戴建文. 四川盆地西部凹陷须家河组储层裂缝特征及分布评价[J]. 石油实验地质, 2008, 30(1): 20-35.
- [4] 范存辉, 秦启荣, 赵玲, 等. 大邑地区须家河组储层裂缝特征及主控因素[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2011, 34(1): 57-59.

[编辑] 龚丹

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱：jogt@hanspub.org