

Origin Analysis and Identification Method of Low Resistivity Reservoir in K Oilfield of Kazakhstan

Shan Zhang, Xingshu Ye, Shixin Wang, Tiezhu Li

Geoscience Center, Great Wall Drilling Company, CNPC, Beijing
Email: zhangshan@cnlc.cn

Received: Oct. 26th, 2016; accepted: Sep. 20th, 2017; published: Dec. 15th, 2017

Abstract

There were some low resistivity reservoirs in K Oilfield of Kazakhstan, interpretation indicated that those were oil-water layers, but oil test indicated that those were oil layers. In order to improve the interpretation coincidence rate, resistivity and gamma logging cross plot were used to analyze the origin of low resistivity reservoirs of this field, and it was considered that the low resistivity reservoir was caused by the high salinity formation water and capillary water and bound water in the rock pore, the identification method for two types of low resistivity reservoirs was also summarized. Some old wells are checked with the established low resistivity reservoir identification chart board and testing recommendations are provided. Three potential oil layers are tested and all of them produce oil, which indicates that this identification method of low resistivity reservoir is feasible.

Keywords

Cross Plot, Low Resistivity Reservoir, Check of Old Well, Oil Testing

哈萨克斯坦K油田低阻油层成因分析及识别方法

张 闪, 叶兴树, 王士新, 李铁柱

中石油长城钻探工程有限公司解释研究中心, 北京

作者简介: 张闪(1985-), 男, 硕士, 工程师, 现主要从事测井资料处理与解释工作。

Email: zhangshan@cnlc.cn

收稿日期: 2016年10月26日; 录用日期: 2017年9月20日; 发布日期: 2017年12月15日

摘 要

哈萨克斯坦K油田部分油层电阻率较低, 测井解释为油水同层, 但经试油验证为油层。为了提高测井解释符合率, 采用电阻率与自然伽马交会图分析技术分析该油田低阻油层成因, 认为该油田高矿化度地层水及岩石孔隙中束缚水、毛细管水是形成低阻油层的原因, 并总结了两大类低阻油层识别方法。利用建立的低阻油层识别图版对该油田老井进行复查, 并提供试油建议, 3个潜力层试油均出油, 说明该低阻油层识别方法切实可行。

关键词

交会图, 低阻油层, 老井复查, 试油

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/>

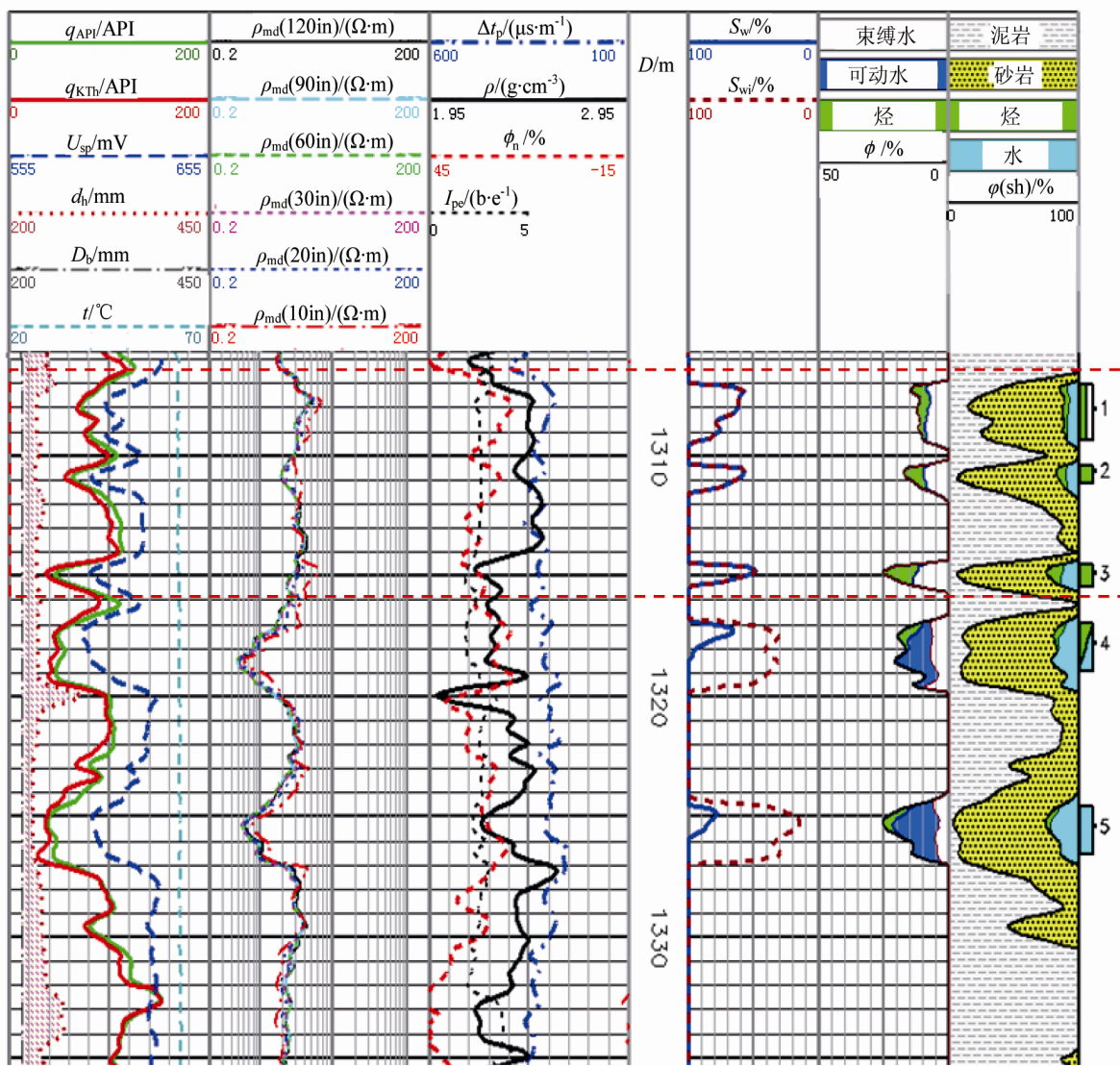


Open Access

1. 引言

在当前油价低靡的市场环境下, 通过老井复查寻找漏失层或者新的潜力层是节约成本、挖潜增效、提高经济储量的最有效方式之一[1] [2] [3]。由于受多种复杂因素的影响, 低阻油层的电阻率明显低于常规油层, 其常规测井响应特征不明显, 使得测井信息对该类储层识别的能力降低, 常被解释为油水同层或水层, 甚至被漏掉, 因此低阻油层是老井复查的重要研究对象[4]。国内外关于低阻油层的成因和评价技术取得了很多可喜成果[4]-[10], 其研究方法也存在多样性, 目前常用的测井识别方法有核磁共振双TW(等待时间)测井识别法[11]、阵列感应测井识别法[12]、测井交会图分析法[13] [15] [16]、人工神经网络法[14]等。笔者认为测井交会图分析法是可操作性最强、最经济的低阻油层识别方法。

哈萨克斯坦 K 油田的低阻油层区位于某盆地的东南部, 受西北 - 东南向断层控制, 目的层为侏罗纪砂泥岩地层。自 2014 年 K 油田完钻于下侏罗系发现油气层以来, 研究区共有 12 口井钻遇该地层。在此之前, 对侏罗系油层的认识一般为: 物性较好, 油层电阻率一般大于 $3.0 \Omega \cdot m$ (如图 1 所示的 K8 井 1~3 号层)。然而研究区发现的低阻油层, 其电阻率为 $2.0 \Omega \cdot m$ 左右(如图 2 所示的 K9 井 7 号层), 解释为油水



注： q_{API} 为自然伽马； q_{KTh} 为无轴伽马； U_{sp} 为自然电位； d_h 为井径； d_b 为钻头直径； t 为井筒温度； $\rho_{md}(120in)$ 、 $\rho_{md}(90in)$ 、 $\rho_{md}(60in)$ 、 $\rho_{md}(30in)$ 、 $\rho_{md}(20in)$ 、 $\rho_{md}(10in)$ 分别为120、90、60、30、20、10英寸探测深度的感应电阻率； Δt_p 为纵波时差； ρ 为密度； ϕ_n 为中子孔隙度； I_{pe} 为光电吸收截面指数； D 为井深； S_w 为含水饱和度； S_{wi} 为束缚水饱和度； ϕ 为孔隙度； $\phi(sh)$ 为泥质体积分数。下同。

Figure 1. Logging interpretation plot of Well K8

图 1. K8 井测井解释图

同层，但试油证实为油层。因此，有必要对 K 油田的低阻油层成因及识别方法进行研究，以提高测井解释符合率。

由于 K 油田下侏罗系仅有 12 口井的常规测井资料，给该区低阻油层研究造成一定困难。为此，笔者采用测井交会图分析法对该区低阻油层成因进行了研究，认为该区高矿化度地层水[15] [16]是形成低阻油层的内在原因；低电阻率泥浆对颗粒粗、泥质含量低的砂岩的侵入[15]是形成低阻油层的外在原因；颗粒细、泥质含量高的砂岩孔隙中的毛细管水、束缚水[12] [16]是形成低阻油层的主要原因。笔者以试油资料为约束，建立了低阻油层识别图版，对 K 油田 12 口老井进行复查分析，提出了 30.6 m 的潜力层或漏失层，3 个潜力层试油均出油，说明该油田的低阻油层识别方法是切实可行的。

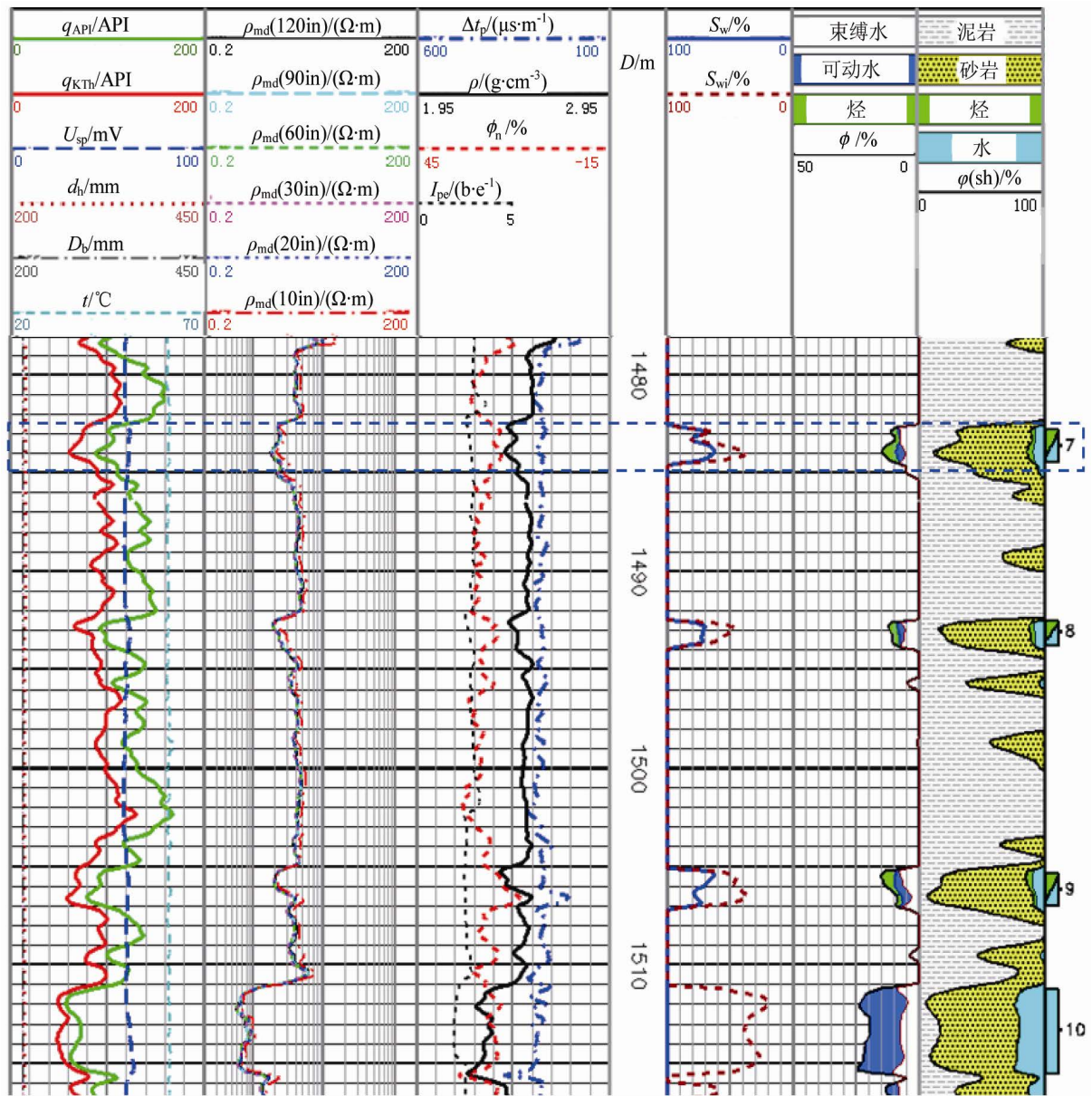


Figure 2. Logging interpretation plot of Well K9
图 2. K9 井测井解释图

2. 成因分析及识别方法

2.1. 自然伽马曲线标准化

自然伽马测井曲线的变化与砂岩颗粒中值曲线的变化有较好的对应关系,砂岩粒径大小与沉积环境、沉积速度及颗粒吸附放射性物质的能力有关,颗粒愈细,沉积愈慢,吸附放射性愈强[19]。通过分析认为,研究区孔隙结构是受岩石颗粒粗细控制的,孔隙结构的直接表征参数是渗透率[17][18],孔隙结构好,渗透率高。因此,要了解该地区低阻油层孔隙结构特点,需要对 q_{API} 进行标准化[13]。选择研究区 12 口井 J_{3a} 泥岩段的 q_{API} 制作直方图,对比发现 q_{API} 主要分布在 113 API 左右,将 12 口井 J_{3a} 泥岩的 q_{API} 全部归一化到 113 API (图 3)。

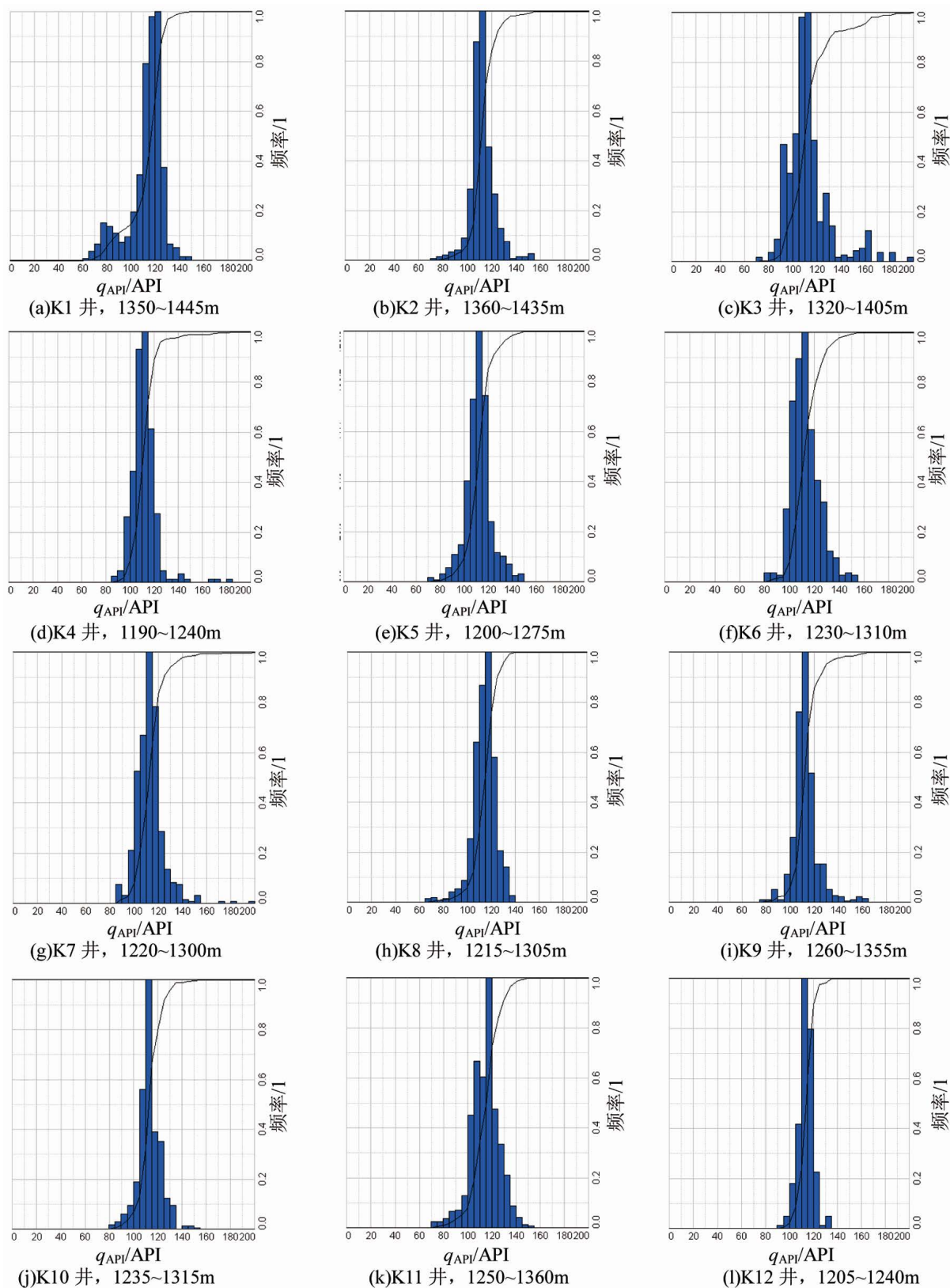


Figure 3. Standardization histogram of q_{API} in J_{3a} formation of 12 wells

图 3. 研究区 12 口井 J_{3a} 层组 q_{API} 标准化后的直方图

2.2. 成因分析

对 12 口井中经试油验证为油层、油水同层、水层的资料点的深感应电阻率(ρ_{id})和标准化后的 q_{API} 进行统计, 制作 $\rho_{\text{id}} - q_{\text{API}}$ 交会图(如图 4 所示), 得出如下规律:

1) 岩性规律: 以 $q_{\text{API}} = 65$ API 为分界线, $65 \text{ API} \leq q_{\text{API}} < 90 \text{ API}$ 是细粉砂岩、泥质粉砂岩; $q_{\text{API}} < 65$ API 是颗粒相对较粗的中细砂岩和部分粗砂岩; $q_{\text{API}} \geq 90$ API 是泥岩。

2) 不同岩性纯油层电阻率的下限值不同: 对于 $65 \text{ API} \leq q_{\text{API}} < 90 \text{ API}$ 的细粉砂岩、泥质粉砂岩, 由于颗粒细、泥质含量高, 形成的束缚水、毛细管水含量高[12] [16], 其纯油的 ρ_{id} 下限值在 $1.5 \sim 1.6 \Omega \cdot \text{m}$, 属于研究区第 1 类低阻油层; 对于 $q_{\text{API}} < 65$ API 的中细砂岩和粗砂岩, 由于粗砂岩含泥质低、物性特别好, 泥浆侵入深, 当泥浆滤液矿化度高时, 侵入影响造成油层电阻率比其他低矿化度泥浆滤液井油层的测量值偏低[15] [20], 该类储层纯油的 ρ_{id} 下限值在 $1.8 \sim 2.0 \Omega \cdot \text{m}$, 属于研究区第 2 类低阻油层。

3) 各类储层中存在解释失误层的原因不同: 对于 $65 \text{ API} \leq q_{\text{API}} < 90 \text{ API}$ 的储层, 主要为用错油层电阻率下限标准, 用粗砂岩颗粒标准判断细砂岩颗粒储层; 对于 $q_{\text{API}} < 65$ API 的储层, 由于盐水泥浆侵入影响, 渗透率高, 泥浆侵入较深, 导致电阻率测井值较低。

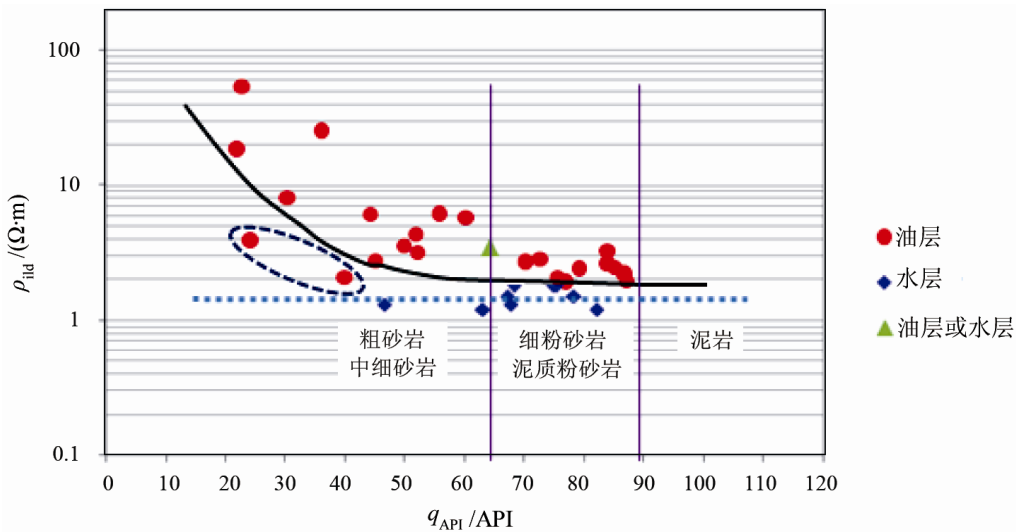


Figure 4. Resistivity and gamma logging cross plot of testing reservoirs
图 4. 试油层 $\rho_{\text{id}} - q_{\text{API}}$ 交会图

图 5 是泥浆侵入对地层真电阻率的影响图[20], 淡水泥浆会出现增阻侵入, 咸水泥浆会出现减阻侵入。尤其是利用咸水泥浆钻井时, 由于咸水泥浆与地层水相比, 具有较高的矿化度和较强的导电能力, 当咸水泥浆滤液侵入砂岩水层时, 在井壁附近冲洗带和侵入带内会引起地层水电阻率降低, 会出现减阻侵入特征。当咸水泥浆滤液侵入砂岩油气层时, 在井壁附近冲洗带内的油气一部分被驱赶, 同样会出现减阻侵入的特征。对于气层和渗透性较好的地层, 会产生较深的泥浆侵入带, 对视电阻率曲线的影响更加严重, 致使视电阻率与地层真电阻率差别较大, 造成油层与水层的误判。

2.3. 识别方法

综上分析认为, 研究区存在 2 类低阻油层: 第 1 类低阻油层主要依据 q_{API} , 当 $65 \text{ API} \leq q_{\text{API}} \leq 90 \text{ API}$ 、 $\rho_{\text{id}} \geq 1.5 \Omega \cdot \text{m}$ 时, 为纯油层; 第 2 类低阻油层的标准是, $\rho_{\text{m}} < 0.3 \Omega \cdot \text{m}$, U_{sp} 呈无异常或大幅度正异常[19], $q_{\text{API}} \leq 40$ API 的砂层, $\rho_{\text{id}} \geq 1.8 \Omega \cdot \text{m}$, 解释为油层。

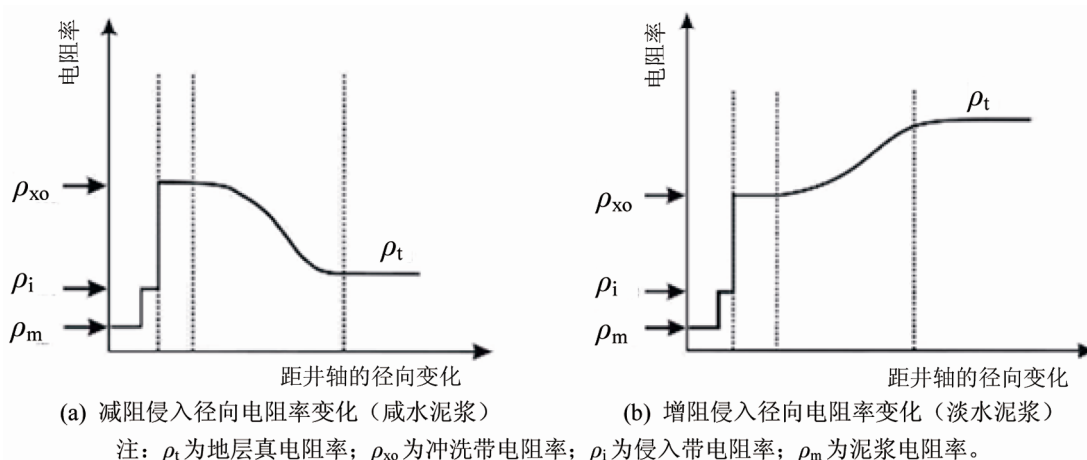


Figure 5. The effect of mud invasion on formation resistivity

图 5. 泥浆侵入对地层电阻率的影响

3. 老井复查

利用已经试油证实的油层、油水同层、水层的 ρ_{ild} 、 q_{API} 做多井解释图版(图 6), 对研究区 12 口井进行复查, 修改的解释结论及漏失层累计厚度为 30.6 m (如表 1 所示), 其中序号为 1~6 及 12~14 的 9 个层为首批建议试油层。

Table 1. Results of old well reviewing

表 1. 老井复查成果表

序号	井名	层号	起始深度 /m	终止深度 /m	层厚 /m	q_{API}/API	$\rho_{ild}/(\Omega\cdot m)$	$\phi/\%$	原解释结论	现解释结论	$\rho_m/(\Omega\cdot m)$	泥浆温度 / $^{\circ}C$	泥浆类型
1	K1	14	1592.3	1592.9	0.6	81.7	2.8	13.3	油水同层	油层	0.97	15.0	Bentonite
2	K1	16	1616.1	1617.9	1.8	81.7	2.7	13.8	油水同层	油层	0.97	15.0	Bentonite
3	K1	23	1670.9	1672.3	1.4	69.4	4.1	14.8	油水同层	油层	0.97	15.0	Bentonite
4	K2	16	1667.6	1668.3	0.7	61.9	2.3	13.2	油水同层	差油层	0.133	24.0	KCl
5	K2	17	1671.8	1673.2	1.4	47.2	3.2	21.0	油水同层	油层	0.133	24.0	KCl
6	K3	8	1577.5	1579.4	1.9	67.5	2.5	15.6	含水油层	油层	0.14	24.0	KCl
7	K3	9	1582.7	1584.2	1.5	70.7	1.6	13.4	油水同层	油层	0.14	24.0	KCl
8	K3	12	1613.0	1615.3	2.3	76.9	1.8	10.0	含水油层	差油层	0.14	24.0	KCl
9	K3	13	1616.2	1618.7	2.5	63.3	1.3	14.3	水层	干层	0.14	24.0	KCl
10	K3	14	1624.2	1625.4	1.2	72.2	2.0	12.6	含油水层	差油层	0.14	24.0	KCl
11	K4	18	1502.9	1504.3	1.4	75.0	1.9	14.3	油水同层	差油层	0.92	22.0	Bentonite
12	K5		1345.4	1345.8	0.4	67.0	4.7	13.1		油层	1.30	10.5	Bentonite
13	K5		1346.5	1346.9	0.4	81.0	3.0	10.5		差油层	1.30	10.5	Bentonite
14	K5		1356.0	1356.9	0.9	70.8	3.2	10.7		差油层	1.30	10.5	Bentonite
15	K6	8	1492.5	1493.7	1.2	60.0	2.0	11.0	油水同层	差油层	0.19	17.0	Bentonite
16	K6	9	1505.2	1506.2	1.0	55.0	2.0	14.0	油水同层	油层	0.19	17.0	Bentonite
17	K7	14	1493.0	1494.5	1.5	60.0	1.9	11.0	油水同层	差油层	1.03	24.0	Bentonite
18	K7		1503.5	1512.0	8.5	65.0	2.0	9.5		差油层	1.03	24.0	Bentonite

注: 表中空白为未解释。

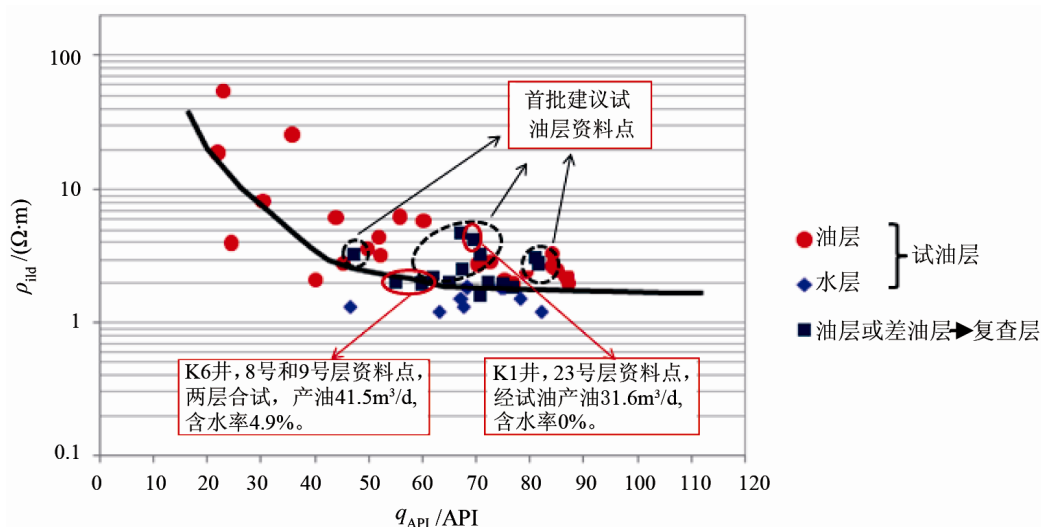


Figure 6. Resistivity and gamma logging cross plot of testing reservoirs and reviewing reservoirs
图 6. 试油层和复查层 $\rho_{\text{fld}} - q_{\text{API}}$ 交会图

4. 效果验证

在上述试油层中，K6 井和 K1 井的 3 个层试油均获得自喷油流(见图 6 的红色椭圆框)，其中 K6 井 8 号层和 9 号层，两层合试，产油 41.5 m³/d，含水率 4.9%；K1 井 23 号层，产油 31.6 m³/d，含水率为 0%。说明笔者提出的方法适用于研究区低阻油层的识别，能够指导生产。

5. 结论与建议

1) 在老油区对具有测井、试油、岩心等资料的老井开展复查工作，只需增加射孔费用，就有可能获得工业油流，在油价低廉的情况下是一个降低成本、增加效益的办法。

2) 研究区砂岩粒度变化大，基本可以分为两大类：一类是颗粒粗、泥质含量低的砂岩；一类是颗粒细、泥质含量高的砂岩，后者是形成低阻油气层的主要原因。

3) 井间泥浆电阻率差异大，统计研究区 12 口井的泥浆电阻率， ρ_m 最高为 1.30 $\Omega \cdot \text{m}$ ，最低为 0.13 $\Omega \cdot \text{m}$ ，5 口井为低电阻率泥浆，占 41.7%；7 口井为高电阻率泥浆，占 58.3%，几乎各占一半。低电阻率泥浆对颗粒粗、泥质含量低的砂岩的侵入影响是形成低阻油层的外在原因。

4) 对不同类型的砂岩储层应选用不同的解释模型及参数计算含油饱和度；在同一个油藏区块内，尽量使用矿化度相近的泥浆钻井；研究区存在由于岩石颗粒细、孔隙结构差形成的低阻油层，建议后期加测核磁测井，进一步区分有效低阻油层。

参考文献 (References)

- [1] 屈传刚, 师国技, 崔梅红. 老井复查评价技术在老区增储增效中的应用[J]. 中外能源, 2008, 13(3): 73-75.
- [2] 张明俊, 刘行万, 陈明胜. 河南油田老井复查评价方法及应用效果[J]. 录井工程, 2011, 22(1): 38-41.
- [3] 姚丹丹. 吉林油田老井复查评价方法和实施效果[J]. 油气井测试, 2014, 23(2): 29-31.
- [4] 郑雷清. 综合识别方法在低阻油气层勘探中的应用[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(2): 71-75.
- [5] 赵军龙, 李甘, 朱广社. 低阻油层成因机理及测井评价方法综述[J]. 地球物理学进展, 2011, 26(4): 1334-1342.
- [6] Evdokimova, E. (2013) Log Evaluation in Low Resistivity Formation of Tomsk Region Oil Fields. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, New Orleans, 30 September-2 October 2013.

- [7] Poerboyo, S.M. and Suharya, K.R. (2014) How to Find Low-Resistivity Pay in a Mature Oil Field—K Field Case Study. *International Petroleum Technology Conference*, Doha, 19-22 January 2014.
- [8] Lander, L., Dix, M. and Kharrazi, J. (2016) Whole-Rock Elemental Data as an Aid in Log Interpretation: Low-Resistivity Reservoir Case Study. *SPE Latin America and Caribbean Heavy and Extra Heavy Oil Conference*, Lima, 19-20 October 2016.
- [9] 耿燕飞, 张春生, 韩校锋, 等. 安岳 - 合川地区低阻气层形成机理研究[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(3): 70-74.
- [10] 程相志, 范宜仁, 周灿灿. 淡水储层中低阻油气层识别技术[J]. 地学前缘, 2008, 15(1): 146-153.
- [11] 田雪峰, 吴锡令, 杨光璐, 等. 油气田低电阻率油层识别方法研究[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2004, 23(2): 155-158.
- [12] 张冲, 毛志强, 张超, 等. 低阻油层的成因机理及测井识别方法研究[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(1): 48-53.
- [13] 李伟才, 姚光庆, 黄银涛, 等. 文昌 13-1 油田低阻油层测井岩性识别方法研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2012, 34(12): 81-85.
- [14] 范训礼, 戴航, 张新家, 等. 神经网络在岩性识别中的应用[J]. 测井技术, 1999, 23(1): 50-52.
- [15] 王博, 赵军, 王淼, 等. 断块低阻油层测井识别与评价[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(6): 110-114.
- [16] 谢青, 王建民. 鄂尔多斯盆地志丹、安塞地区长 6 低阻油层成因机理及识别方法[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(3): 106-111.
- [17] 欧阳健. 油藏中饱和度 - 电阻率分布规律研究——深入分析低电阻油层基本成因[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(3): 44-47.
- [18] 杨胜来, 魏俊之. 油层物理学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 142-143.
- [19] 洪有密. 测井原理与综合解释[M]. 北京: 中国石油大学出版社, 2008: 33-36, 206-211.
- [20] 雍世和, 张超谟, 高楚桥, 等. 测井数据处理与综合解释[M]. 北京: 中国石油大学出版社, 2007: 110-113.

[编辑] 龚丹

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: 2471-7185, 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: jogt@hanspub.org