

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.02.016

鄂尔多斯盆地华庆地区延长组长 8 高阻水层成因分析与识别

张志升¹, 王小军², 冯立勇², 李永锋², 付国民^{3,*}, 王康³

(1. 延长油田股份有限公司, 陕西 延安 716000; 2. 中国石油长庆油田分公司第一采油厂, 陕西 延安 716000; 3. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 华庆油田长 8 油藏中普遍发育高阻水层, 同一储层砂体中水层与油层电性差异甚微, 水层计算的含油饱和度明显偏高, 导致传统测井解释与压裂试油吻合率较低。综合应用测录井、试油试采、分析化验等资料, 分析高阻水层形成原因及控制因素, 运用电阻率形态差异法建立流体识别标准。研究表明, 华庆油田长 8 油藏储层亲油, 绿泥石膜发育, 普遍含沥青质充填孔隙, 在自吸和颗粒表面的吸附作用下, 形成绿泥石膜-有机质复合体, 致使储层测井响应为高阻, 而非润湿的水相占据相对畅通的较大孔喉, 容易流动, 在油气富集程度较低时, 试油大量出水; 采用电阻率曲线形态法分“凸型”、“凹型”分别建立测井识别图版及流体识别标准, 凸型油层: $\Delta t \geq 216 \mu\text{s}/\text{m}$, $R_t \geq 36 \Omega\text{m}$; 凹型油层: $\Delta t \geq 221 \mu\text{s}/\text{m}$, $R_t \geq 60 \Omega\text{m}$ 。相对常规图版交汇法, 总体使测井解释与试油试采吻合率提高 15% 以上, 对识别高阻水层应用效果显著。

关键词: 高阻水层; 测井解释; 长 8 油藏; 华庆油田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)02-0244-09

Genetic Analysis and Identification of Yanchang 8 High-resistivity Water Layer in Huaqing Area, Ordos Basin

ZHANG Zhisheng¹, WANG Xiaojun², FENG Liyong², LI Yongfeng², FU Guomin^{3,*}, WANG Kang³

(1. Yanchang oilfield co. LTD, Yan' an 716000, Shananxi, China; 2. First oil production plant, Changqing Oil Field Company, Yan' an 716000, Shananxi, China; 3. School of Earth Science and Resources, Chang' an University, Xi' an 710054, Shaanxi, China;)

Abstract: The high-resistance water layer is generally developed in Chang 8 reservoir, Huaqing area of Ordos Basin. There is little electrical difference between the water layer and the oil layer in the same reservoir sand body. The oil saturation calculated in water layer is obviously higher, and the traditional well-logging interpretation has a low agreement with fracturing test. Combined with logging interpretation, formation testing, production testing and laboratory data anal-

收稿日期: 2019-06-30; 修回日期: 2019-11-30

基金项目: 国家示范工程项目“鄂尔多斯盆地大型低渗透岩性地层油气藏开发示范工程”(2011ZX05044), 中国博士后基金“鄂尔多斯盆地南部特低渗储层精细评价及地质模型研究”项目(20070420489)

作者简介: 张志升(1974-), 男, 汉, 陕西安塞人, 硕士研究生, 高级工程师。E-mail: guominfu@chd.edu.cn

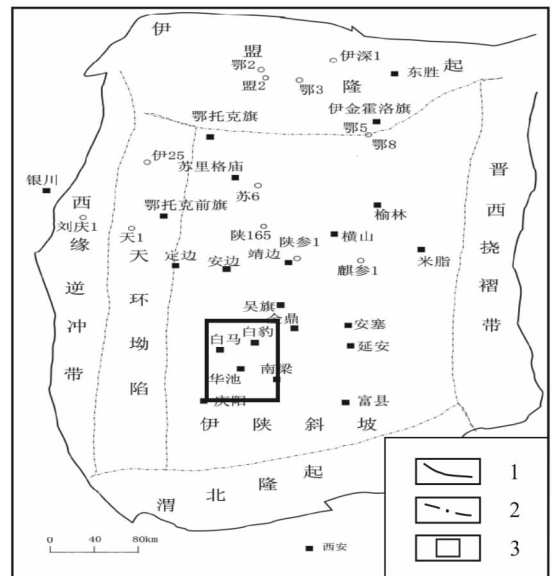
* 通信作者: 付国民(1968-), 男, 汉, 甘肃定西人, 博士研究生, 教授。E-mail: 642622216@qq.com

ysis, the formation and control factors of high resistivity layer were analyzed, and the fluid identification standard was established by using the resistivity morphological difference method. The results show that the Chang 8 reservoir of Huaqing area is oleophylic, chlorite membrane developed and asphaltene is generally filled with pores. Chlorite membrane-organic matter complex is formed under the action of self-priming and particle surface adsorption and results in high resistivity logging response, while the non-wetted water phase occupied the relatively unobstructed larger pore throat and easy to flow. In the low enrichment of oil and gas, water produced. By means of resistivity-curve-shape method, the chart “convex” and “concave” logging identification chart and fluid identification standard are established respectively. Convex reservoir is $\Delta t \geq 216 \mu\text{s}/\text{m}$, $Rt \geq 36 \Omega \cdot \text{m}$ and the concave reservoir is $\Delta t \geq 221 \mu\text{s}/\text{m}$, $Rt \geq 60 \Omega \cdot \text{m}$. As a whole, the coincidence rate between logging interpretation and oil test production increases more than 15%, compared with the conventional plate intersection method. It has a remarkable effect on the identification of high resistivity water layer.

Keywords: high resistance water layer; logging interpretation; chang 8 reservoir; huaqing oil-field; Ordos Basin

华庆油田位于鄂尔多斯盆地西南部陕北斜坡西南,北起长官庙,南至上里塬,西起白马,东抵南梁(图1)。三叠系延长组长8油层是目前主要开发层系(陈世加等,2012;苏妮娜,2007;张创等,2014;王维斌等,2017;楚美娟等,2013;汪洋等,2016)。近年来,通过勘探开发发现,长8油层相对上覆长6油层连片性差且规模较小,在多个砂带及井区发现了大面积含水区域,同时存在高产油井,油水关系复杂,高阻水层与低阻油层并存,油水层测井识别难度大。现有151个试油层段,测井解释油层试油为干层或出水53个。因此,分析本区高阻水层成因,建立高精度流体识别标准,进而分析复杂油水关系是目前增储上产的关键(孙宁亮等,2019)。

高阻水层的识别因不同盆地储层及其流体差异,目前没有统一的电阻率界限标准。一般认为同等物性下电阻率指数大于3的水层定义为高阻水层,该类水层在松辽盆地大情字井油田、塔里木盆地塔河油田、鄂尔多斯盆地西峰油田都有发现(ZEM-ANEK Joe,1989;中国石油天然气集团公司勘探局,2000;张庆国等,2011;邱启红等,2012)。张庆国等(2011)、邱启红等(2012)认为上部高阻水层、下部正常水层是最常见的组合型式,岩性、物性、孔隙结构、地层水矿化度、构造幅度及构造活动都可导致水层电阻率高的形成。除了应用常规的交汇图版分析,更应注意曲线形态的变化,综合运用多种信息识别高阻水层。



1. 盆地边界;2. 构造单元界限;3. 研究区位置图

图1 华庆地区位置图

Fig. 1 Location map of the Huaqing Area

鄂尔多斯盆地三叠系延长组属于典型的碎屑岩致密岩性油藏。近年来,在盆地西南部西峰油田发现与常规油层纵向上伴生、横向上过度的高阻水层,其主要特征为与常规油层多为同一储层砂体,岩性致密,电阻增大率大于3,与常规油层电性接近,致使计算的含油饱和度明显偏高(郭顺等,2012;周荣安等,2005)。对于该区高阻水层成因,周荣安认为储层岩石颗粒细、分选差、大量粉末状物质堵塞了储

层的孔隙喉道,致使多数微孔隙呈孤立状,导致储层电阻率增高(周荣安等,2005)。吴应忠等(2017)从岩性、物性等方面对比了西峰油田长8低阻油层与高阻水层差异性,认为低阻油层的填隙物含量低于高阻水层,且其孔、渗条件比高阻水层差。刘建等(2016)认为碳酸盐含量高、绿泥石含量高、结构泥质存在、物性及孔隙结构差是导致西峰油田长8水层与油层电阻率差异小的主要原因。陈世加等认为华庆地区位于砂体厚带的出水井,其长8储层孔隙被沥青、方解石等充填,油很少进入,主要是残余孔聚少量油。同时,位于长7泥岩层段和长8储层试油层段之间的泥质夹层对长7油气的运聚也会起一定的隔挡作用,造成主砂带产水(陈世加等,2012)。综上所述,高阻水层成因复杂多样,针对具体某一特定构造-沉积背景及成岩演化下的储层而言,高阻水层形成的主控因素存在明显差异。前人针对鄂尔多斯盆地延长组高阻水层的研究主要集中在西南部的陇东地区,然而盆地东北部的华庆地区延长组沉积明显不同于陇东地区,物源体系、储层岩性及微观孔隙结构均有较大差异。当前针对该区高阻水层成因的分析甚少,西南部西峰油田长8高阻水层成因解释并不适用该区,常规交汇图法建立的流体识别标准与生产实践吻合率较低,常常出现解释油层试油出水或低产。因此,笔者综合应用测录井、试油试采、分析化验等资料,分析高阻水层形成原因及控制因素,综合运用多种信息识别建立符合华庆长8油藏地质规律的高阻水层的判别方法,为该区勘探开发进程推进提供有效依据。

1 油藏基本特征

华庆油田长8油藏构造总体为西倾单斜,储层成因类型以三角洲前缘水下分流河道砂体为主,岩石类型主要为细粒长石砂岩和长石岩屑砂岩。岩石薄片镜下普遍见沥青充填孔隙或裂缝。碎屑颗粒分选和磨圆较好,以薄膜-孔隙式胶结为主,储层填隙物含量平均为13.5%,其中黏土矿物及含铁方解石含量较高,黏土矿物中绿泥石薄膜约占55%。储层平均孔隙度为9.39%,平均渗透率为0.80 mD,是典型的低孔超低渗储层。

华庆油田长8油藏主要有2类:砂岩上倾尖灭岩性油藏和砂岩透镜体岩性油藏(朱鹏辉,2015)。

地层水矿化度平均为90.36 g/L,平面变化不大,总体油水分离程度较差,油水同层为主,纯油层较少,多数油水关系符合常规规律,构造较高部位或主砂带含油饱和度较高,试油产量较高,以纯油或油水同层为主,但局部油水关系复杂,物性较好的主砂带出水,物性相对较差的砂体侧缘出油,同一砂体的开发井组局部井层试油出大水,而相邻井层则高产,发育相对独立的高阻水层(图2)。

2 高阻水层成因分析

与国内其他油田高阻水层成因不同,华庆油田长8油层构造平缓,地层水矿化度变化小,后期构造改造影响弱,形成高阻水层的主控因素为储层润湿性、填隙物组成及产状、微观孔隙结构特征等。

2.1 储层润湿性

润湿性确定油水在岩石孔隙喉道中的微观分布以及残余油在孔隙喉道中的分布方式,从而影响岩石的电性。岩石表面亲水的部分,其表面为水膜所包围,亲油部分则为油膜所覆盖。在孔道中各相界面张力的作用下,润湿相总是力图附着在岩石颗粒表面,并尽力占据较窄小的孔喉,而把非润湿相推向更畅通的孔隙中间部位。

驱替吸入法测润湿性实验表明,华庆长8储层岩石润湿性以中性、偏亲油为主(图3),油水相对渗透率实验表明,等渗点渗透率小于50%,储层亲油(图4)。

在岩石微观孔喉中,油就附着于岩石颗粒表面及占据微小孔喉,水则占据相对较为通畅的较大孔隙中央。当岩石含水饱和度较小时,油便围绕颗粒接触点形成空心圆环状分布,中间水珠不能互相接触彼此连通起来,因而不能流动,而以束缚水状态存在于储层中,当含水饱和度增加,直至增加到高于共存水饱和度后,处于较大孔隙中央的水开始流动,而油则分解成油珠、油滴被狭窄喉道被卡住或成为油膜附着碎屑表面(图5)。

2.2 储层填隙物组成及产状

华庆油田长8储层岩石主要为细粒长石砂岩及长石岩屑砂岩,填隙物组分总体含量高,为8.9%~17.6%,主要以绿泥石孔隙充填物、绿泥石薄膜、铁方解石和水云母为主,其次为硅质、高岭石,此外还有少量铁白云石、黄铁矿和菱铁矿。其中,绿泥石薄

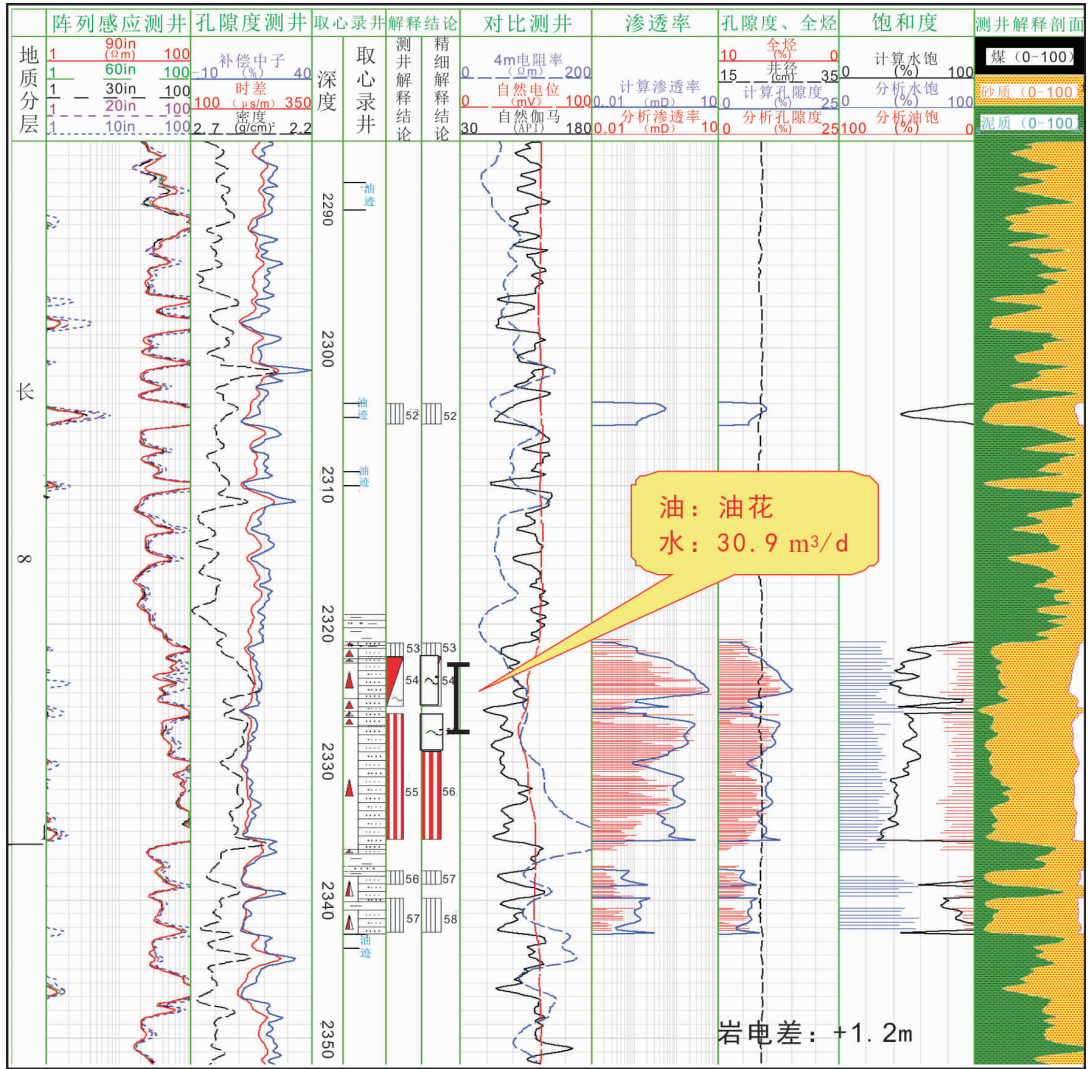


图 2 白 506 井长 8 测井识别应用效果图

Fig. 2 The application effect diagram of well logging recognition of Chang 8 reservoir

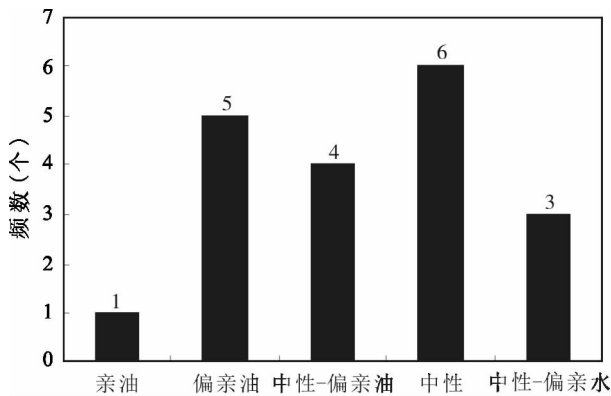


图 3 华庆油田长 8 储层润湿性统计直方图

Fig. 3 The statistical histogram of wettability of Chang 8 reservoir

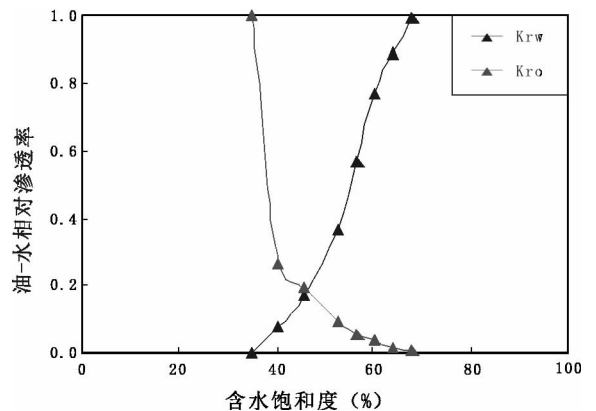


图 4 华庆油田长 8 储层相渗曲线图

Fig. 4 The reservoir relative permeability curve of Chang 8 reservoir

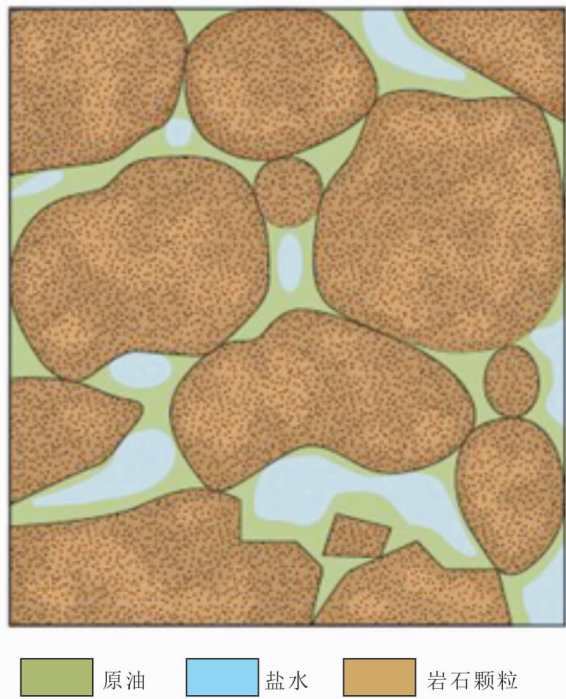
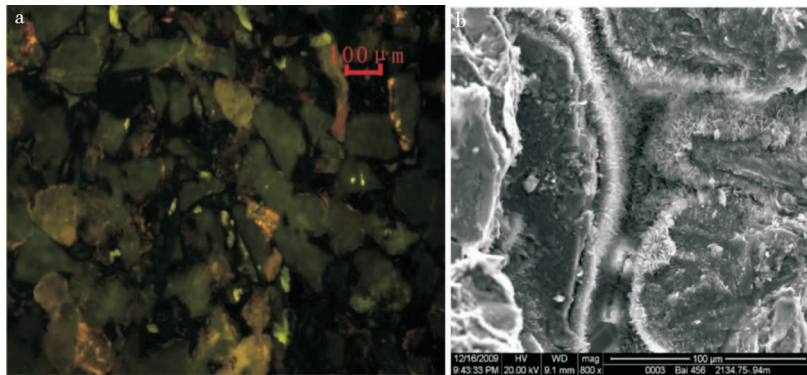


图5 华庆油田长8储层油水在亲油岩石孔隙中的分布示意图

Fig. 5 The oil-water distribution diagram of oleophilic rock in Chang 8 reservoir

膜绝对含量为3.71%，相对含量为56%，厚度为8~15 μm。此外，长8储层沥青等有机质残余普遍发育(图6)，在显微荧光镜下呈黑色或褐色，沥青充填的残余孔隙中可见发蓝色荧光的油，呈孤立状分布，充填的沥青越多，后期进入的发蓝色荧光的油就越少(钟大康等，2013)。



a. 荧光显微镜镜下; b. 扫描电镜镜下

图6 华庆油田长8绿泥石膜-有机质复合体特征图

Fig. 6 The characteristics of chlorite membrane-organic matter complex of Chang 8 reservoir

2.3 储层孔隙结构特征

华庆油田长8储层孔隙类型主要有绿泥石、沥青等充填后残余粒间孔隙、溶蚀粒间孔隙、溶蚀粒内孔隙、自生矿物晶间孔隙和微裂缝孔隙等，以微喉道及微细喉道为主(蔡玥，2013;张驰等，2015;钟鸣等，2014)。沥青类似充填在孔隙或裂缝中的胶结物及自生黏土，堵塞孔喉降低了孔隙连通性，增加储层非均质性。

2.4 高阻水层综合成因

华庆油田长8储层以亲油为主，绿泥石薄膜及早期降解形成的沥青发育(图6)，当储层亲油时，在自吸和颗粒表面的吸附作用下形成绿泥石膜-有机质复合体(油包水)，这种有机质复合体及其充填沥青占据微小孔喉，沿孔隙内壁形成15~20 μm的富含烃类的绒壳，厚度约为孔隙半径30%左右，致使储层测井响应为高阻。与此同时，非润湿的水相占据相对畅通的大孔喉中央，易于流动，在油气富集程度较低时，试油出水。

3 电阻率形态差异法识别高阻水层

3.1 高阻水层识别标准

总体来说，华庆长8高阻水层和油层特征相似，利用常规测井识别方法很难区分。本次研究中，根据电阻率曲线形态差异提出“凹型”与“凸型”分类，其中绿泥石膜吸附有机质使得电阻率升高，但含油饱和度并不高，在电阻率曲线上表现为“凹型”(图7)，而含油饱和度高的纯油层，电阻率曲线形态表现为“凸型”(图8)。

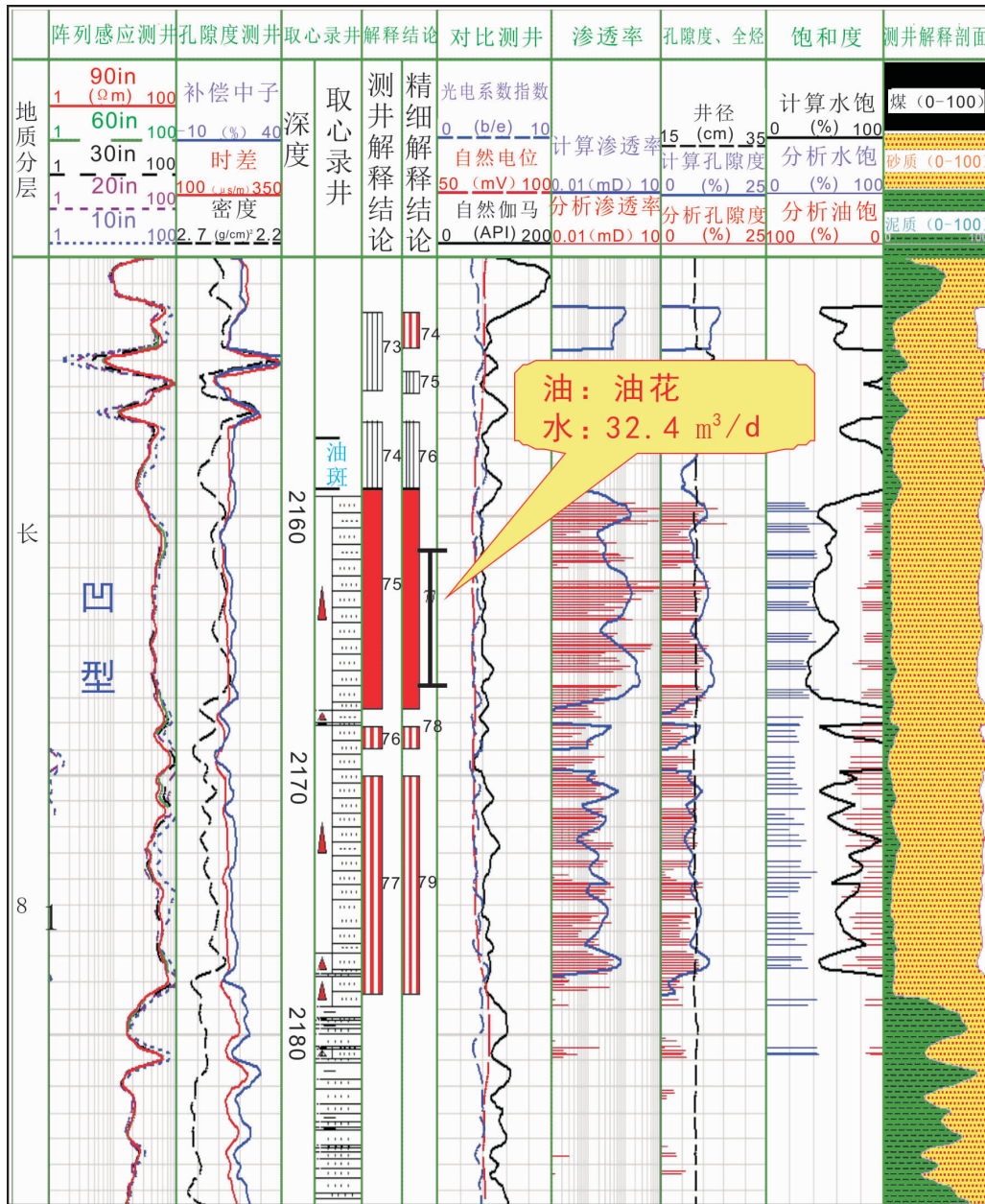


图 7 华庆油田长 7 “凸型”测井油水层识别图(坪 112 井)

Fig. 7 Identification chart of The “convex type” logging oil-water layer in Chang 7 reservoir

利用 98 口井,101 个试油层点,建立“凸型”测井油水层识别图版(图 9),适用条件是物性差,电阻率形态凸起。利用 49 口井,50 个试油层点,建立“凹型”测井油水层识别图版(图 10),适用条件是物性好($K > 1$ mD),电阻率较高,形态呈凹型。相应建立如下电性解释标准,凸型油层: $\Delta t \geq 216 \mu\text{s/m}$, $R_t \geq 36 \Omega\text{m}$;凹形油层: $\Delta t \geq 221 \mu\text{s/m}$, $R_t \geq 60 \Omega\text{m}$ 。

3.2 应用效果评价

应用上述电阻率形态差异法建立流体识别标准对华庆油田长 8 油层进行重新解释,总体测井解释与试油试采吻合率提高 15% 以上。特别对高阻水层应用效果明显。如探井白 506 井长 8¹ 物性较好 ($K > 1$ mD),电阻率曲线形态为“凹型”,原解释为油水同层和差油层,重新应用图版解释为高阻水层,压裂试油仅见油花,日产水 30.9 m³(图 2),与测井解释相吻合。

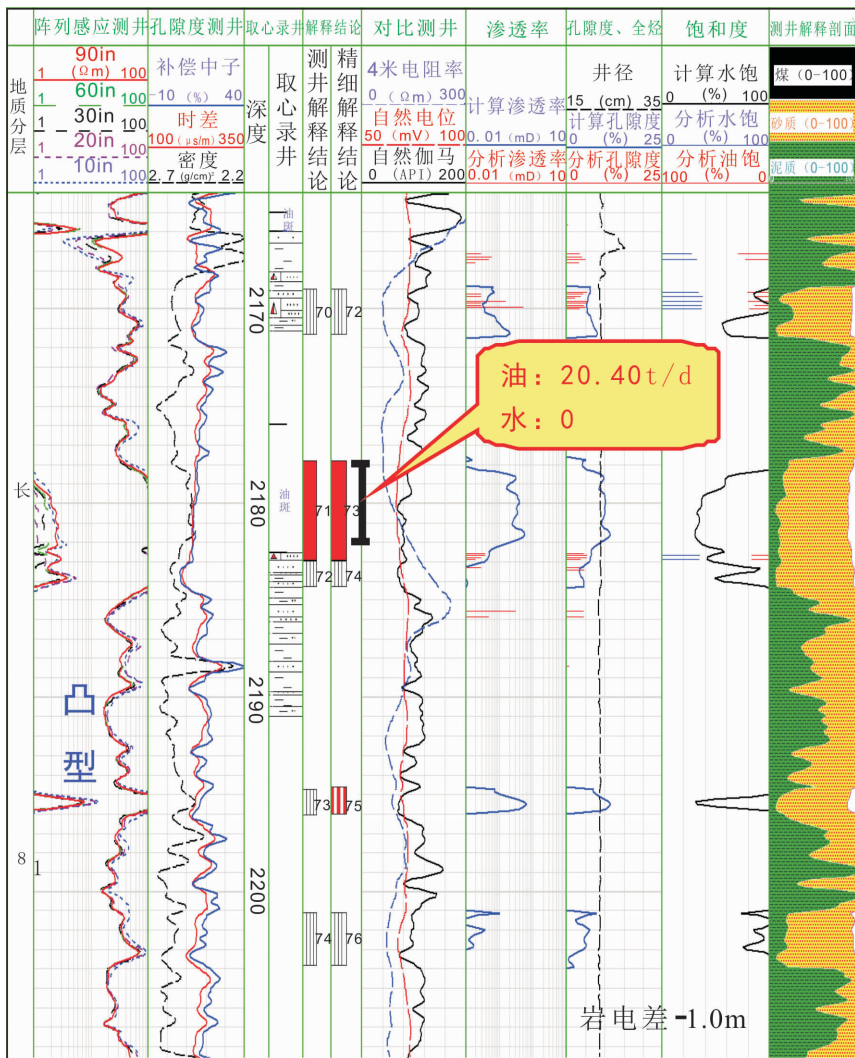


图8 华庆油田长8“凹型”测井油水层识别图(白190井)

Fig. 8 Identification chart of The “concave type” logging oil-water layer in Chang 8 reservoir

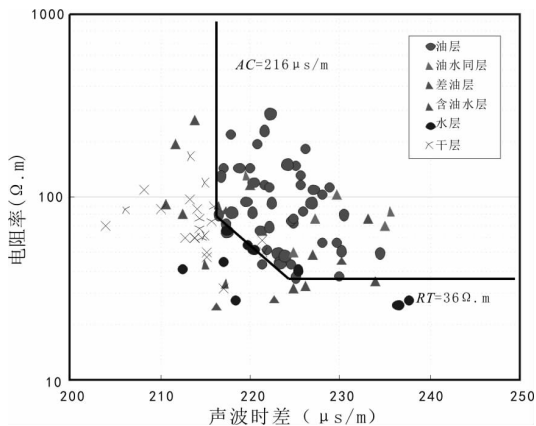


图9 电阻率凸型声波时差-电阻率交汇图

Fig. 9 Acoustic moveout-resistivity crossplot of “convex type”

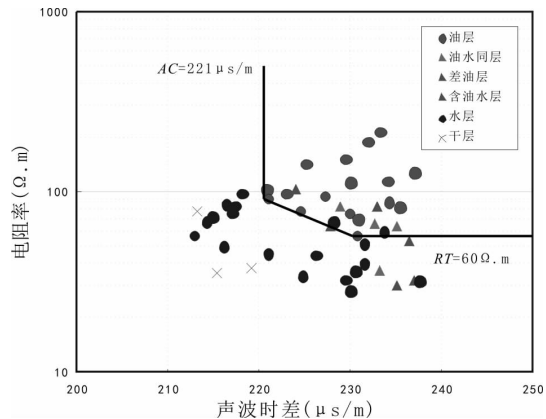


图10 电阻率凹型声波时差-电阻率交汇图

Fig. 10 Acoustic moveout-resistivity crossplot of “concave type”

4 结论

(1) 华庆油田长 8 油藏发育高阻水层, 储层亲油, 普遍含沥青质充填孔隙, 绿泥石膜发育, 绿泥石膜-有机质复合体充填微小孔隙及形成富含烃类的绒壳, 致使储层测井响应为高阻, 而非润湿的水相占据相对畅通的大孔喉, 容易流动, 造成油气富集程度较低时试油大量出水。

(2) 根据电阻率曲线形态法, 分“凸型”、“凹型”分别建立测井识别图版, 确定凸型油层的电性解释标准为 $\Delta t \geq 216 \mu\text{s}/\text{m}$, $Rt \geq 36 \Omega\text{m}$, 凹形油层为 $\Delta t \geq 221 \mu\text{s}/\text{m}$, $Rt \geq 60 \Omega\text{m}$ 。

(3) 应用上述电阻率形态差异法建立流体识别标准, 对华庆油田长 8 油藏进行重新解释, 总体测井解释与试油试采吻合率提高 15% 以上, 对识别高阻水层应用效果显著。

参考文献(References):

陈世加, 路俊刚, 姚泾利, 等. 鄂尔多斯盆地华庆地区长 8 油层组成藏特征及控制因素[J]. 沉积学报, 2012, 30(6): 1130-1139.

CHEN Shijia, LU Jungang, YAO Jingli, et al. Characteristics of Reservoir Formation and the Controlling Factors of Chang 8 Oil-bearing Formation[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(6): 1130-1139.

苏妮娜. 鄂尔多斯盆地合水地区长 8 特低渗透储层特征及其成因研究[D]. 西安: 西北大学, 2007.

SU Nina. Research on the Characteristics and Genesis of Ultra-low Permeability Sandstone Reservoir of Chang 8 in Heshui Area of Ordos Basin[D]. Xi'an: Northwestern University, 2007.

张创, 孙卫, 高辉, 等. 鄂尔多斯盆地华池长 8 储层成岩相与孔隙度演化[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2014, 39(04): 411-420.

ZHANG Chuang, SUN Wei, GAO Hui, et al. Characteristics of Reservoir Formation and the Controlling Factors of Chang 8 Oil-bearing Formation[J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2014, 39(04): 411-420.

王维斌, 朱静, 马文忠, 等. 鄂尔多斯盆地周家湾地区长 8 致密砂岩储层特征及影响因素[J]. 岩性油气藏, 2017, 29(01): 51-58.

WANG Weibin, ZHU Jing, MA Wenzhong, et al. Charac-

teristics and influencing factors of Chang 8 tight sandstone reservoir of Triassic Yanchang Formation in Zhoujiawan area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2017, 29(01): 51-58.

楚美娟, 李士祥, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长 8 油层组石油成藏机理及成藏模式[J]. 沉积学报, 2013, 31(4): 683-692.

CHU Meijuan, LI Shixiang, LIU Xianyang, et al. Accumulation Mechanisms and Modes of Yanchang Formation Chang 8 Interval Hydrocarbons in Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(4): 683-692.

汪洋, 李树同, 牟炜卫, 等. 姬塬西部地区长 8₁ 致密储层特征及孔隙度演化分析[J]. 岩性油气藏, 2016, 28(4): 59-66.

WANG Yang, LI Shutong, MOU Weiwei, et al. Tight reservoir characteristics and porosity evolution of Chang 8₁ in western Jiyuan area[J]. Lithologic Reservoirs, 2016, 28(4): 59-66.

中国石油天然气集团公司勘探局. 渤海湾地区低电阻油气层测井技术与解释研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.

Exploration Bureau of China National Petroleum Corporation. Study on logging Technology and interpretation of low Resistance Oil and Gas reservoirs in Bohai Bay area [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000.

张庆国, 王硕, 张晓东, 等. 大情字井油田高阻水层成因分析与识别方法[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(34): 8444-8446.

ZHANG Qingguo, WANG Shuo, ZHANG Xiaodong, et al. On Genesis of High Resistivity Water Formation and Identification in Daqingzi Oilfield[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(34): 8444-8446.

宋健, 孟旺才, 邓南涛, 等. 鄂尔多斯盆地富黄地区延长组储层特征及物性影响因素分析[J]. 西北地质, 2019, 52(14): 98-107.

SONG Jian, MENG Wangcai, DENG Nantao, et al. Features and Influencing Factors of Yanchang Formation Reservoir in Fuxian-Huangling Exploration Area, Erdos Basin [J]. Northwestern Geology, 2019, 52(14): 98-107.

孙宁亮, 钟建华, 倪良田, 等. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组物源分析及热演化[J]. 中国地质, 2019, 46(3): 537-556.

SUN Ningliang, ZHONG Jianhua, NI Liangtian, et al. Provenance analysis and thermal evolution of Upper Triassic Yanchang Formation in the Southern Ordos Basin[J]. Geology in China, 2019, 46(3): 537-556 (in Chinese with English abstract).

邱启红, 夏朝辉, 张铭, 等. 印尼 XX 区块高阻水层成因分

- 析[J]. 海洋石油, 2012, 32(4): 75-78.
- QIU Qihong, XIA Chaohui, ZHANG Ming, et al. Genetic Analysis of High resistivity Water layer in XX Block, Indonesia[J]. Offshore Oil, 2012, 32(4): 75-78.
- 程妮, 李和, 张锦峰, 等. 靖边青阳岔油区低阻油层形成因素分析[J]. 特种油气藏, 2010, 17(6): 60-61.
- CHENG Ni, LI He, ZHANG Jinfeng, et al. Analysis of forming factors of the low resistivity reservoir in the Qingyangcha oilfield in Jingbian[J]. Special Oil Gas Reservoirs, 2010, 17(6): 60-61.
- 郭顺, 王震亮, 张小莉, 等. 陕北志丹油田樊川区长 61 低阻油层成因分析与识别方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(1): 18-24.
- GUOSHun, WANG Zhengliang, ZHANG Xiaoli, et al. Origin Analysis on Chang 61 Reservoir with Low Resistivity and Its Identificating Methods from Fanch Area, Zhidan Oil Field, in Northern Shanxi, Ordos Basin[J]. Journal of Jilin University (Information Science Edition), 2012, 42(1): 18-24.
- 周荣安, 焦创赞, 李志伟, 等. 鄂尔多斯盆地高电阻率水层的成因分析[J]. 测井技术, 2005, 29(4): 333-336.
- ZHOU Rongan, JIAO Chuangyun, LI Zhiwei, et al. On Genesis of High Resistivity Water Formation in Erdos Basin[J]. Well Logging Technology, 2005, 29(4): 333-336.
- 吴应忠, 段毅, 赵阳, 等. 陇东地区长 81 低阻油层与高阻水层识别标准研究[J]. 特种油气藏, 2017, 24(1): 38-42.
- WU Yingzhong, DUAN Yi, ZHAO Yang, et al. Standards for discernment of low - resistivity oil zones and high-resistivity water zones in L₈₁ Formation of the longdong Area[J]. Special Oil Gas Reservoirs, 2017, 24(1): 38-42.
- 刘建, 韩婧婧, 王博. 西峰油田长 8 油藏高阻水层影响因素探讨[J]. 石油化工应用, 2016, 35(1): 111-118.
- LIU Jian, HAN Jingjing, WANG Bo. Investigation on factors of high resistivity water in Xifeng oilfield Chang 8 reservoir[J]. 2016, 35(1): 111-118.
- 陈世加, 姚泾利, 路俊刚, 等. 储层沥青成因及其对油气运聚的影响-以鄂尔多斯盆地华庆地区长 8 油层组 1 砂组为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 37-44.
- CHEN Shijia, YAO Jingli, LU Jungang, et al. Reservoir bitumen genesis and its impacts on hydrocarbon migration and accumulation: a case study from Chang 8¹ of Yangchang Fomation in Huaqing area, the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 37-44.
- 钟大康, 周立建, 孙海涛, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组砂岩储层岩石学特征[J]. 地学前缘, 2013, 20(2): 52-60.
- ZHONG dakang, ZHOU Lijian, SUN Haitao, et al. Petrology of sandstone reservoirs in Longdong Area, Ordos Basin[J]. Geoscience Frontiers, 2013, 20(2): 52-60.
- 朱鹏辉. 陇东地区长 8 油层组储层特征及成岩作用研究[J]. 石油地质与工程, 2015, 29(6): 53-56.
- ZHU Penghui. Study on reservoir characteristics and diagenesis of Chang-8 formation in Longdong area[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2015, 29(6) : 53-56.
- 蔡玥. 姬塬油田刘塬区区长 8 低渗透油藏储层特征及优质储层主控因素研究[D]. 西安:长安大学, 2013.
- CAI Yue. Study on reservoir characteristics and main control factors of high quality reservoir in Chang 8 low permeability reservoir in Liumao Yuan area of Jiyuan Oilfield [D]. Xi'an:Changan University, 2013.
- 张驰, 王峰, 田景春, 等. 鄂尔多斯盆地马岭地区延长组长 8 段储层特征及综合评价 [J]. 石油地质与工程, 2015, 29(1): 45-48.
- ZHANG Chi, WANG Feng, Tian Jingchun, et al. Reservoir characteristics and comprehensive evaluation of Chang-8 member, Yanchang formation of Maling area in Ordos basin[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2015, 29(1): 45-48.
- 钟鸣, 田景春, 雷启宏, 等. 鄂尔多斯盆地贺旗一环北地区延长组长 8 段储层特征及控制因素[J]. 石油地质与工程, 2014, 28(2): 27-30.
- ZHONG Ming, TIAN Jingchun, LEI Qihong, et al. Reservoir characteristics and controlling factors of Chang-8 member in Yanchang formation of Heqi-huanbei area in Ordos basin[J]. 2014, 28(2): 27-30.
- 孙宁亮, 钟建华, 倪良田, 等. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组物源分析及热演化[J]. 中国地质, 2019, 46(3): 537-556.
- SUN Ningliang, ZHONG Jianhua, NI Liangtian, et al. Provenance analysis and thermal evolution of Upper Triassic Yanchang Formation in the Southern Ordos Basin[J]. Geology in China, 2019, 46(3): 537-556 (in Chinese with English abstract).
- WORTHINGTON Paul F, JOHNSON Paul W. Quantitative evaluation of hydrocarbon saturation in shaly fresh-water reservoirs[J]. The Log Analyst, 1991, 32(4) : 358-370.
- ZEMANEK Joe. Low-resistivity hydrocarbon - bearingsand reservoirs[J]. Spe Formation Evaluation, 1989, 4(4) : 515-521.