

鄂尔多斯盆地吴起地区延长组长 6_1 低阻油层成因分析及识别方法

王维斌^{1,2}, 郭杜凯^{3*}, 陈旭峰⁴, 任瑞清^{1,2}, 赵静⁵, 王维博⁶

(1. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安 710018; 2. 中国石油长庆油田分公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710018; 3. 中国石油长庆油田分公司 气田开发处, 陕西 西安 710018; 4. 中国石油长庆油田分公司 第二采油厂, 甘肃 庆阳 745100; 5. 中国石油长庆油田分公司 西安长庆化工集团有限公司, 陕西 西安 710018; 6. 中国石油长庆油田分公司 第七采油厂, 陕西 西安 710018)

摘要: 鄂尔多斯盆地吴起地区延长组长 6_1 低阻油层分布面积广、储量规模大,但其成因尚不明确,传统的识别方法易把低阻油层遗漏或误判。为此,从油田生产实际出发,根据钻井、录井、测井、分析化验、试油、试采及储层特征等资料,以鄂尔多斯盆地吴起地区主力生产层长 6_1 低阻油层为研究对象,利用灰色关联法分析其成因及识别方法。结果表明:长 6_1 低阻油层形成的主要原因是孔隙结构差;其次是绿泥石和铁方解石等胶结物含量高、地层水矿化度高和岩石粒度细等。在此基础上,建立交会图版法、测井曲线叠合法、核磁共振测井法、特殊录井法及多井横向综合对比法等多种针对低阻油层的识别方法,在生产应用中取得良好效果。

关键词: 孔隙结构 低阻油层 主控因素 识别方法 吴起地区 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2017)02-0038-08

Genesis analysis and identification methods of Chang 6_1 low resistivity oil pays in Yanchang Formation in Wuqi area, Ordos Basin

Wang Weibin^{1,2}, Guo Dukai³, Chen Xufeng⁴, Ren Ruiqing^{1,2}, Zhao Jing⁵, Wang Weibo⁶

(1. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low Permeability Oil and Gas Fields, Xi'an City, Shaanxi Province, 710018, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an City, Shaanxi Province, 710018, China; 3. Gas Field Development Department, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an City, Shaanxi Province, 710018, China; 4. No.2 Oil Production Plant, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Qingyang City, Gansu Province, 745100, China; 5. Xi'an Changqing Chemical Group Co., Ltd., Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an City, Shaanxi Province, 710018, China; 6. No.7 Oil Production Plant, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an City, Shaanxi Province, 710018, China)

Abstract: Chang 6_1 low resistivity oil pays are widely distributed in Triassic Yanchang Formation in Wuqi area of Ordos Basin with large reserves. However, they are often missed or misjudged using traditional identification methods due to uncertainties in their genesis. Based on actual oilfield production practice, data from well drilling, logging, well logging, experiment analysis, well testing and producing test were analyzed for genesis analysis and identification of Chang 6_1 low resistivity oil pays using grey correlation method. The results show that the poor pore structure is the main factor of the formation of Chang 6_1 low resistivity oil pays, and the secondary factors are high content of chlorite and ferrocalcite cements, high formation water salinity and the fine-grained rock. Meanwhile, the cross plot method, logging curve superimposition method,

收稿日期: 2016-12-09。

作者简介: 王维斌(1986—),男,甘肃庆阳人,工程师,硕士,从事油藏评价及油田开发工作。联系电话:(029)86594214, E-mail: wb-wang_cq@petrochina.com.cn。

*通讯作者: 郭杜凯(1983—),男,山西运城人,工程师。联系电话: 18629242277, E-mail: gtk_cq@petrochina.com.cn。

基金项目: 国家科技重大专项“鄂尔多斯盆地致密油资源潜力、甜点预测与关键技术应用”(2016ZX05046-005)。

NMR logging method, special logging method and multi-well correlation method were developed for low resistivity oil pays identification. These methods were put into use and good effects were obtained during oilfield production.

Key words: pore structure; low resistivity oil pay; main controlling factors; identification methods; Wuqi area; Ordos Basin

随着油田勘探开发工作的逐步深化、对油层认识的不断加深、成藏理论的日渐丰富和勘探技术的快速发展,低阻油层的勘探开发工作越来越受重视^[1-6]。近年来,在鄂尔多斯盆地多个地区、多个层系相继发现了低阻油层,其中吴起地区延长组长6₁储层较为典型,具有分布面积广、厚度大、电阻率低等特征,其电阻率与围岩相当,甚至与相邻水层的电阻率接近,导致常规测井解释难以准确区分油水同层、水层和油层,同时,由于低阻油层形成原因尚不明确、识别方法针对性不强,给油田勘探开发工作带来极大的困难和挑战,正确地识别和评价低阻油层对研究区下一步的勘探开发具有重要意义。

1 区域地质概况

吴起地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡带(图1),地层较为平缓,坡度约为0.5°。主要含油层系为三叠系延长组,其中长6₁低阻油层是主要产油层之一。该套低阻油层发育于湖泊三角洲沉积环境,以三角洲前缘亚相为主,砂体主要发育在水下分流河道、河口坝等沉积微相中^[7-8],但其岩性致密,以细粒长石砂岩为主,分选中等—好,次棱状磨圆,为低孔超低渗透储层,孔隙度平均为11.9%,渗透率平均为 $0.49 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;孔隙类型以残余粒间孔、长石溶孔为主,可见少量的成岩缝及构造破裂缝,具有细孔、低排驱压力等特点。

依据目前对低阻油层的定义及研究区的地质特征^[1-3,6],将电阻增大率小于2的油层定义为低阻

油层。通过对研究区多口井的统计,认为油层的电阻增大率基本小于2,且油层电阻率为 $5 \sim 25 \Omega \cdot \text{m}$,主要为 $6 \sim 10 \Omega \cdot \text{m}$,这明显低于该盆地同层系油层的电阻率(大于 $30 \Omega \cdot \text{m}$)。

2 低阻油层成因分析

2.1 单因素分析

前人研究成果表明^[1,2-6,9-19],由于地质、成藏和工程等方面原因,使低阻油层的成因更加复杂。对某一特定油田或油藏成因可能是其中的1个或2个,甚至多个因素共同作用的结果^[1,3,5-6,12-13,17-19]。吴起地区延长组长6₁油藏作为典型的岩性油藏,油水分布基本不受构造因素影响。从岩石粒度、胶结物含量、孔隙结构和地层水矿化度等因素分析入手,借助灰色关联法分析研究区低阻油层的成因。

岩石粒度 吴起地区延长组长6₁储层为弱水动力的沉积环境,岩性以细砂岩为主,发育少量粉砂岩和泥岩。其中,细砂岩含量为76.9%,粉砂岩含量为15.0%,泥岩含量为7.6%,中砂岩含量仅为0.5%。与同类油藏相比,研究区低阻油层粒度细(图2),束缚水饱和度随比表面积增大而变大(图3),易形成低阻油层。岩性受电性的影响较为敏感,颗粒越粗,电阻率越高,反之亦然^[6,11]。

胶结物含量 储层中胶结物含量、种类及产状,不仅影响束缚水饱和度,还影响矿物的附加导电性,使储层的导电能力增强,电阻率降低^[6,9,12]。研究区长6₁储层胶结物含量较高,主要为8%~16%,主要由绿泥石、水云母等粘土矿物和碳酸盐胶

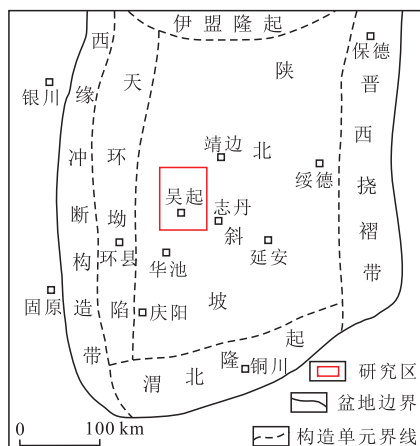


图1 吴起地区区域构造位置

Fig.1 Position of Wuqi area in Ordos Basin

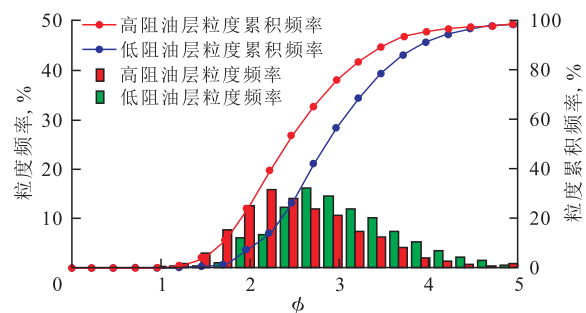


图2 吴起地区延长组长6₁低阻油层与高阻油层粒度频率分布

Fig.2 Grain-size frequency curves of Chang6₁ low resistivity oil pays and high resistivity oil pays in Yanchang Formation in Wuqi area

结物组成。分析网状粘土、泥质、水云母和绿泥石等粘土矿物的含量与束缚水饱和度和电阻率的关系(图4)认为,随着粘土矿物含量的增加,束缚水饱和度呈升高趋势,电阻率呈降低趋势。与砂岩颗粒相比,粘土矿物的比表面积更大,对水分子的吸附能力更强,故粘土矿物含量越高,储层的束缚水饱和度和越高,油层电阻率越低^[12,20]。

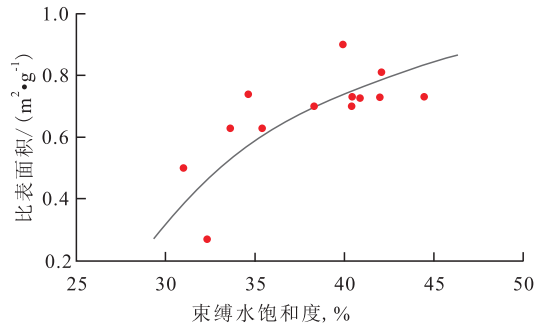


图3 吴起地区延长组长6₁储层比表面积与束缚水饱和度的关系

Fig.3 Relation between specific surface area and irreducible water saturation of Chang6₁ reservoir in Yanchang Formation in Wuqi area

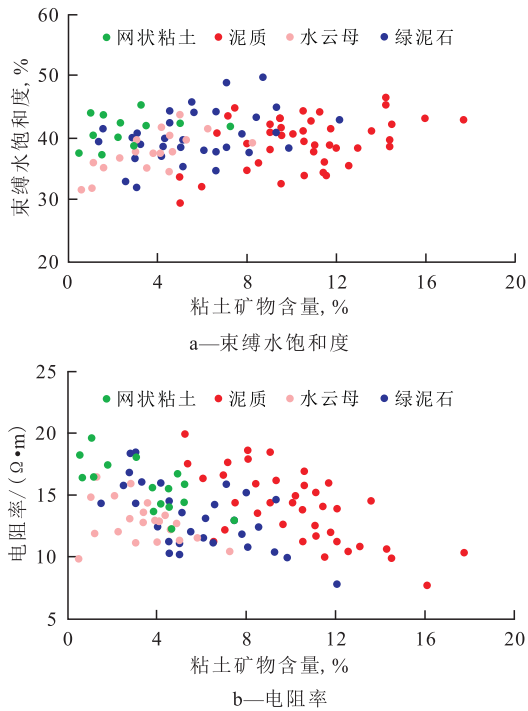


图4 吴起地区延长组长6₁储层粘土矿物含量与束缚水饱和度和电阻率的关系

Fig.4 Relations between clay mineral content and irreducible water saturation and resistivity of Chang6₁ reservoir in Yanchang Formation in Wuqi area

此外,研究区长6₁储层中碳酸盐胶结作用非常普遍,且以铁方解石胶结为主,其次为方解石胶结,还有少量白云石,碳酸盐胶结物含量达4%。碳酸盐胶结物的溶解作用弱,故研究区储层的孔隙连通

性差,即使有微弱溶蚀,溶蚀物也难以搬运出孔隙,这样不仅充填原生孔隙,还充填次生孔隙,使孔隙变小,孔隙结构变得更加复杂^[18-22]。

分析研究区长6₁储层的铁方解石含量与物性和束缚水饱和度的关系(图5)认为,铁方解石含量越高,储层物性越差,束缚水饱和度越高,越易形成低阻油层。

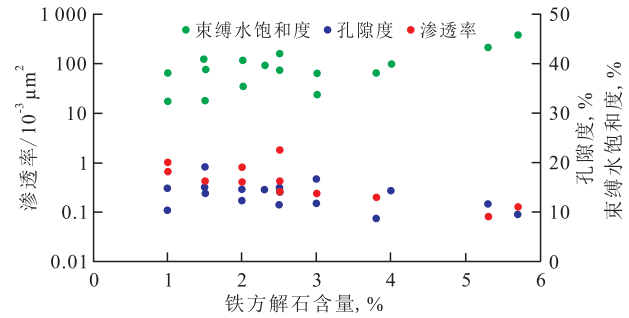


图5 吴起地区延长组长6₁储层铁方解石含量与物性和束缚水饱和度的关系

Fig.5 Relation between ferrocalcite content, physical properties and irreducible water saturation of Chang6₁ reservoir in Yanchang Formation in Wuqi area

孔隙结构 除了岩石粒度和胶结物含量外,反映储层孔隙结构特征的排驱压力、中值压力、中值半径等参数也是影响低阻油层形成的重要因素。统计研究区105块样品的铸体薄片和扫描电镜资料发现,吴起地区延长组长6₁储层的面孔率较低,仅为3.7%,孔径为31.8 μm,反映孔隙偏小、喉道偏细,微孔隙较发育;中值半径较小,为0.10 μm,排驱压力和中值压力较高,其平均值分别为0.93和8.11 MPa,进汞曲线呈现多台阶的特点,反映大孔隙与微孔隙均较发育,孔喉分选性较差。

分析排驱压力、中值压力及中值半径等孔隙结构参数与束缚水饱和度、电阻增大率的关系(图6,图7)认为,随着排驱压力、中值压力的增大和中值

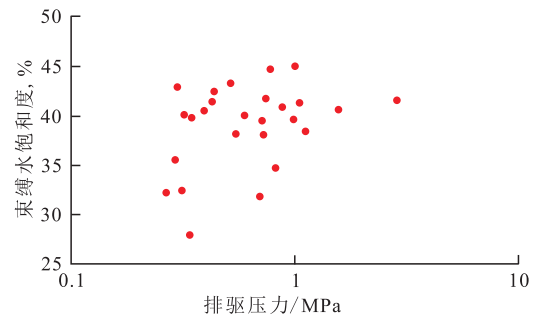


图6 吴起地区延长组长6₁储层排驱压力与束缚水饱和度的关系

Fig.6 Relation between displacement pressure and irreducible water saturation of Chang6₁ reservoir in Yanchang Formation in Wuqi area

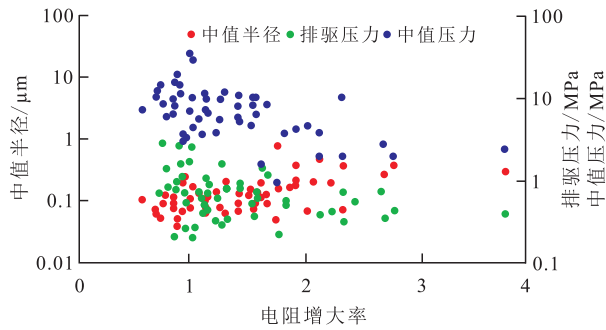


图7 吴起地区延长组长6₁储层孔隙结构参数与电阻增大率的关系

Fig.7 Relation between pore structure parameters and resistivity index of Chang6₁ reservoir in Yanchang Formation in Wuqi area

半径的减小,束缚水饱和度呈升高趋势,电阻增大率呈降低趋势,越易形成低阻油层。

地层水矿化度 理论研究和矿场实践表明^[4,6,19],地层水矿化度对油层电阻率有较大影响。对某一特定油田或油藏来说,有利储层的岩性和物性往往变化不大,油层电阻率主要取决于地层水矿化度。吴起地区延长组长6₁油藏的埋藏较深,地层水矿化度普遍较高,主要为60~100 g/L,最高可达111.11 g/L。地层水矿化度越高,地层水中的离子浓度越高,导电能力越强,在相互连通的孔隙网络中油层的导电能力越强,电阻率越低^[18-19];反之,地层水矿化度越低,电阻率越高。

2.2 主控因素分析

利用灰色关联分析法对研究区长6₁低阻油层成因的影响程度进行分析。灰色关联分析法是把电阻增大率看成一个灰色系统,以各影响因素的样本数据为依据,用关联度来描述各影响因素间关系的强弱、大小和次序。利用灰色关联分析法对形成低阻油层的影响因素进行量化比较,并分析其主控因素。该方法对样本数据的要求相对较低,在样本数据相对较少的情况下,可以依据系统的离乱时序更好地寻找变化规律,并确定主控因素^[23]。

通过对多参数与油层电阻增大率的单因素相关性研究,筛选出与沉积、成岩、成藏有关的比表面积、绿泥石含量、铁方解石含量、中值半径、变异系数、分选系数和地层水矿化度7个参数,运用灰色关联分析法,分析各因素对长6₁低阻油层的影响程度。

以油层电阻增大率为参考序列,筛选出的7个参数为比较序列,取分辨系数为0.5,计算各参数的关联度,并进行排序(表1)。由表1可知,按照权重对研究区长6₁低阻油层成因筛选出的7个参数进行排序,按影响程度由大到小依次为中值半径、分选

表1 参数关联度和权重统计

Table1 Statistics of correlation degree and weight of affecting factors

参数	关联度	权重系数	影响程度
中值半径	0.804 9	0.162 2	1
分选系数	0.782 1	0.157 9	2
变异系数	0.732 5	0.150 6	3
比表面积	0.690 2	0.145 8	4
绿泥石含量	0.685 4	0.140 1	5
地层水矿化度	0.618 7	0.130 5	6
铁方解石含量	0.536 6	0.111 9	7

系数、变异系数和比表面积、绿泥石含量、地层水矿化度和铁方解石含量。

综上分析认为,长6₁低阻油层形成的主要原因是孔隙结构差;其次是绿泥石和铁方解石等胶结物含量高、地层水矿化度高和岩石粒度细等。

3 低阻油层识别方法

在低阻油层特征和成因分析的基础上,根据钻井、录井、测井及分析化验等资料,从低阻油层的岩性、电性、物性及含油性出发,结合试油和试采资料,优选对储层含油性、物性、电性影响较为明显的参数,以岩电响应为基础,建立交会图版法、测井曲线叠合法、核磁共振测井法、特殊录井法及多井横向综合对比法等多种针对低阻油层的识别方法。

3.1 交会图版法

交会图版法是油田生产过程中最常用的针对低阻油层的识别方法,具有获取数据容易、图版针对性强、识别快速直观的特点,可以快速、有效地识别油层、油水同层及水层,并给出定量的划分界限。

针对研究区长6₁储层编制电阻率与声波时差和含油饱和度交会图版,明确低阻油层与水层的电性和物性界限。由于研究区储层孔隙结构差、含水饱和度高,试油、试采结果常为油水同出,纯油层和水层较为少见,因此油层和油水同层的界限不明显。研究区油层和油水同层的含油饱和度基本大于49%,声波时差大于221 μs/m,电阻率大于11 Ω·m(图8),低于这一下限,多以水层为主,在界限附近油水关系较为复杂,随着声波时差、含油饱和度和电阻率的增大,交会图版的识别精度增高。

同时,根据低阻油层的特征,建立针对性更强的特色交会图版进一步识别流体性质,进而指导油层和水层的准确识别。特色交会图版是将低阻油层形成的微观因素(泥质含量、孔隙结构等)与宏观因素(油井生产含水率)建立联系,泥质含量反映胶结物含量和孔隙结构等微观成因,油井生产含水率

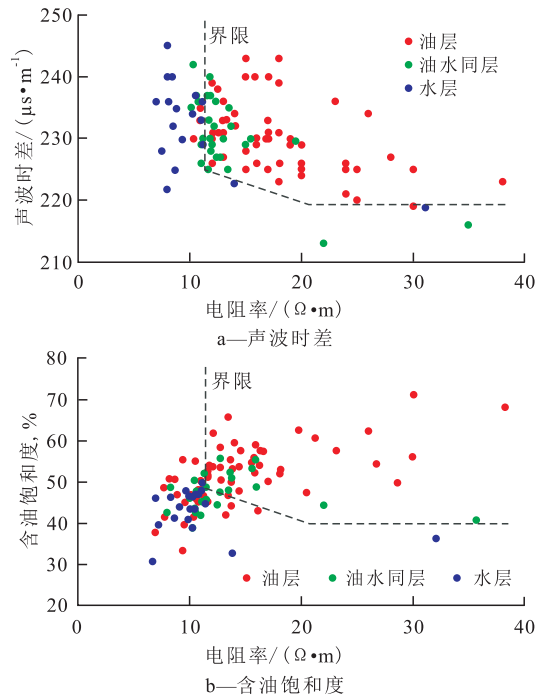


图8 吴起地区延长组长6₁储层电阻率与声波时差和含油饱和度交会图

Fig.8 Cross plots of resistivity, acoustic travel time and oil saturation of Chang6₁ reservoir in Yanchang Formation in Wuqi area

(f_w)体现油层的含水饱和度,泥质含量和油井生产含水率不仅作为识别低阻油层的依据,还可以对低阻油层的压裂和改造工艺提供指导。研究认为,当低阻高自然伽马油层段厚度大于3.5 m,自然伽马大于85 API,且其自然伽马值与砂岩自然伽马曲线基值的差值大于30 API时(图9),在生产过程中的含水率较高,且具有随着油层厚度的增大,自然伽马值越高,投产后含水率越高的规律。当低阻高自然伽马油层段厚度小于3.5 m时,自然伽马大于85 API,砂岩自然伽马曲线基值的差值大于30 API时,在生产过程中油井的含水率也均小于40%。这说明低阻高自然伽马油层段厚度是影响低阻油层含水率的主要因素。特色交会图版也为试油射孔段的优选、有效规避高含水风险具有很好的指导作用。由于油水关系较为复杂,在界限附近,特色交会图版识别精度仍不够。

吴起地区S1井埋深为1902.7~1925.3 m油层段声波时差为235 $\mu\text{s}/\text{m}$,电阻率为12.1 $\Omega\cdot\text{m}$,自然伽马约为80 API;岩心录井显示为油迹,测井解释结果均为含水层。利用交会图版识别其均为油层,对该油层段试油,产油量为15.9 m^3/d ,无水,累积产油量为69.6 m^3 ,证实为油层。说明利用交会图版可以准确识别低阻油层。

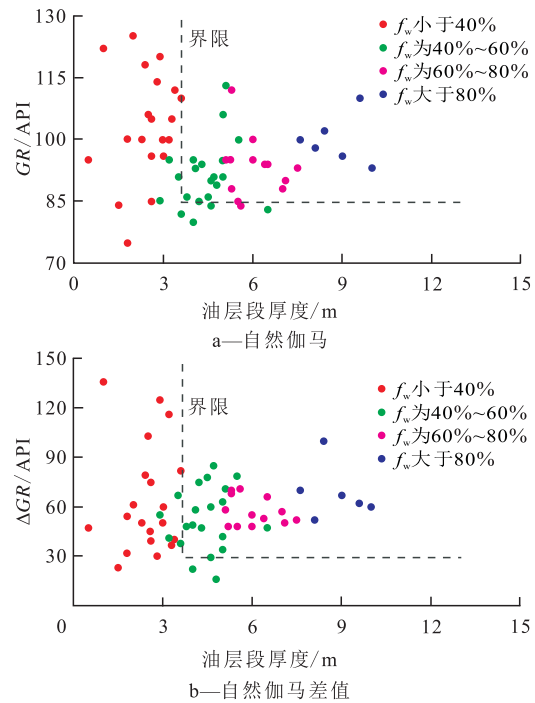


图9 吴起地区延长组长6₁储层低阻高自然伽马油层段厚度与自然伽马及其差值的关系

Fig.9 Relations between thickness of low resistivity and high gamma oil pays and gamma value and their differences of Chang6₁ reservoir in Yanchang Formation in Wuqi area

3.2 测井曲线叠合法

对比研究区65口井的电阻率和孔隙度曲线发现,将不同探测深度的电阻率曲线叠合,发现其低阻油层表现为深感应、中感应和八侧向曲线重合度较高,或深感应与中感应曲线基本重合,八侧向电阻率呈高值的特征;水层表现为深感应、中感应和八侧向曲线较为分散,且深感应电阻率值最低的特征。研究区S2井埋深为1769.7~1790.4 m油层段声波时差为223 $\mu\text{s}/\text{m}$,电阻率为11.5 $\Omega\cdot\text{m}$,自然伽马约为80 API,该段位于交会图版的界限附近,油层、油水同层和水层难以识别。但利用测井曲线叠合法发现深感应、中感应和八侧向曲线重合度较高,符合油层的曲线特征,据此识别其为低阻油层,对该油层段试油,产油量为21.1 m^3/d ,无水,累积产油量为57.7 m^3 ,证实为油层(图10)。

由于不同孔隙度测井方法的原理及地层中含烃量的差异,导致利用补偿中子、密度和声波时差测井数据求取的孔隙度不同。一般地,由于地层中含烃量的影响,导致补偿中子曲线往右偏移。因此,将不同探测深度的孔隙度曲线叠合,水层的孔隙度叠合曲线一般无幅度差或幅度差小;油层的密度曲线与声波时差曲线重合度较高,与中子曲线有较大的幅度差,并向右偏移。研究区S3井埋深为

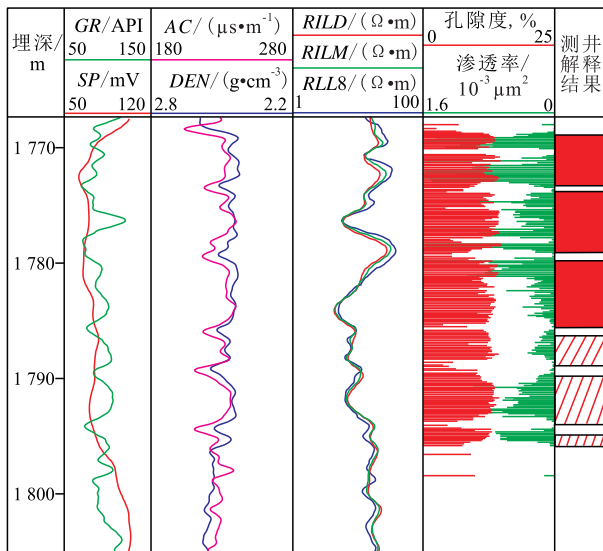


图10 吴起地区S2井延长组感应电阻率曲线叠合

Fig.10 Overlapping curve chart of induction resistivity of Yanchang Formation in Well S2 in Wuqi area

1764.3~1771.5 m油层段声波时差为232.9 $\mu\text{s}/\text{m}$,电阻率为9.35 $\Omega\cdot\text{m}$,自然伽马约为80 API,位于交会图版界限附近,油层、油水同层和水层难以识别。但将测井曲线叠合后发现,补偿中子、密度和声波时差曲线均为油层的曲线特征,据此识别其为低阻油层,对该段试油,产油量为10.5 m^3/d ,无水,累积产油量为42.6 m^3 ,证实为油层(图11)。说明测井曲线叠合法是对交会图版法识别油层和水层的一种很好补充。

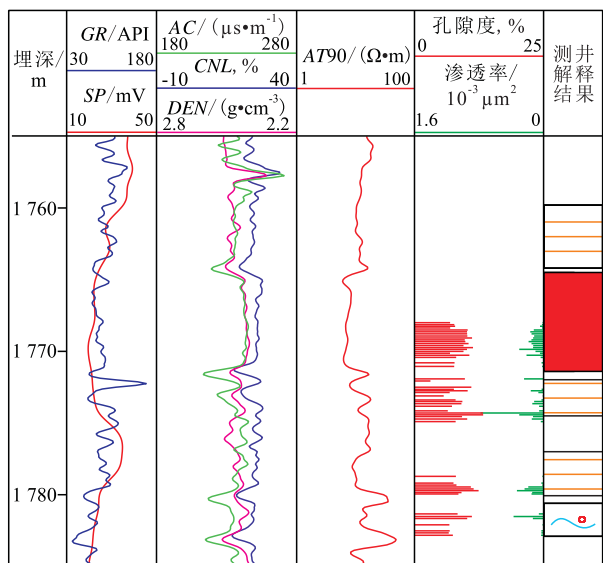


图11 吴起地区S3井延长组声波时差、密度和补偿中子曲线叠合

Fig.11 Overlapping curve chart of acoustic travel time, density and compensated neutron of Yanchang Formation in Well S3 in Wuqi area

3.3 核磁共振测井法

高束缚水饱和度是研究区低阻油层形成的重

要影响因素,如何确定地层束缚水饱和度是低阻油层识别的关键。目前,测试地层可动流体饱和度的常用方法就是核磁共振测井方法,该方法可以确定地层可动流体饱和度和束缚流体饱和度,且可以利用油和水的弛豫特征对油层和水层进行识别^[12,24-26]。研究区Q2井埋深为1811.1~1839.3 m油层段声波时差和自然伽马曲线反映该段泥质含量较低、物性较好,其声波时差为230 $\mu\text{s}/\text{m}$,自然伽马约为80 API,地层电阻率为12 $\Omega\cdot\text{m}$,局部更低,约为6 $\Omega\cdot\text{m}$;岩屑录井显示为油迹,取心显示为油斑,表明该地层中含有少量的烃类,但难以确定为油层。利用核磁共振测井法分析认为,该油层段的核磁共振T2谱基本呈双峰特征,幅度中等,显示物性较好,总孔隙度为12.38%,有效孔隙度为11.32%,其中毛管束缚水体积为4.38%,可动流体体积为6.94%,含油饱和度为53.36%,据此初步判断其应为低阻油层。对该段试油,产油量为15.9 m^3/d ,累积产油量为49.3 m^3 ,证实为油层,说明核磁共振测井法能够有效、准确地识别低阻油层。

3.4 特殊录井法

除了测井法能够识别低阻油层外,特殊录井法在一定程度上也能够识别油层和水层,但常受技术本身、技术人员自身素质和工作经验等因素影响,准确率较低。常规录井主要包括钻时录井、岩屑录井、荧光录井、岩心录井、钻井液录井和工程录井等,而与油层含油性密切相关的参数主要有荧光颜色和含油级别等,大多为定性或者半定量参数,且主要靠人工观测识别,另外,由于岩屑较细,导致不能准确客观地识别储层含油性,尤其是低阻油层。一般情况下,低阻油层束缚水含量较高,荧光颜色发白,这一特性与含油水层和水层相似,容易把低阻油层误判为水层或含油水层。

特殊录井法主要包括地球化学录井法、气测录井法、轻烃录井法和核磁共振录井法等,如地球化学录井法主要依靠热解测试技术,把原油在热解炉中按汽油、煤油、柴油、重油和蜡等不同馏分的温度范围进行热蒸发,以测其各馏分的含量,进而确定原油性质和含油量。获取的吸附烃(S_0),液态烃(S_1),重质烃、胶质和沥青质(S_2)及派生出来的油气总量(P_g)和热解烃(B)等参数能够较直观地反映地层的含油饱和度,且解释基础仅与储层的含油性和物性有关,而与电阻率高低无关^[6,27-28],这也克服了测井方法的一些局限性。

研究区W1井长6₁储层为典型的低阻油层,3段砂体测井解释结果分别为水层、含油水层和油水同

层,取心显示为油迹、油斑,地球化学录井分析结果为油水同层和油层(表2),3号砂体试油为纯油,证

实为油层;1号和2号砂体试油后也获得工业油流。说明地球化学录井法也可以准确识别低阻油层。

表2 吴起地区W1井长6₁低阻油层地化录井解释成果

序号	埋深 / m	岩心录井	S ₀ / (mg·g ⁻¹)	S ₁ / (mg·g ⁻¹)	S ₂ / (mg·g ⁻¹)	P ₁ / (mg·g ⁻¹)	B/ (mg·g ⁻¹)	测井 解释结果	地化录井 分析结果	试油结论
1	1 889.00~1 892.84	灰色油迹细砂岩	0.39	4.75	2.90	7.97	1.85	水层	油水同层	产油量为4.5 m ³ /d
2	1 893.22~1 895.14	灰褐色油斑细砂岩	0.59	5.66	4.94	11.05	1.26	含油水层	油水同层	产水量为4.1 m ³ /d
3	1 897.03~1 902.19	灰褐色油斑细砂岩	0.89	17.85	14.32	31.77	7.36	油水同层	油层	产油量为5.7 m ³ /d,无水

3.5 多井横向综合对比法

多井横向综合对比法是在精细小层对比的基础上,将目标井油层的岩性、物性、电性、含油性等与同一油藏或同一沉积微相、同一层系出油的井进行横向对比。主要依据录井含油级别和测井曲线及其组合特征与已知油层或水层的相似性或差异性对油层和水层进行综合评价^[29-32]。该方法在开发井网密度大的区域已大量采用,由于研究区开发井的井间距相对较小,长6₁岩性油藏油层厚度大,且分布稳定,试油数据较多,对油藏的认识程度也较高,对开发区内低阻油层的识别意义较大。利用多井横向综合对比法,结合上述4种方法共识别出油层井594口,对其中573口井试油,均证实为油层,证明该方法具有操作方便、兼容性强、识别准确度高的特点,可有效指导低阻油层识别。

4 结论

从鄂尔多斯盆地吴起地区延长组长6₁低阻油层的沉积背景入手,在单因素分析的基础上,筛选出与沉积、成岩、成藏有关的比表面积、绿泥石含量、铁方解石含量、中值半径、变异系数、分选系数、地层水矿化度7个参数,运用灰色关联分析法,分析各参数对长6₁低阻油层成因的影响程度认为:孔隙结构差是长6₁低阻油层形成的首要影响因素,表现在中值半径和分选系数小、变异系数和比表面积大;其次是绿泥石和铁方解石等胶结物含量高和地层水矿化度高;另外,岩石粒度细也是形成低阻油层的一个重要因素。在此基础上,建立交会图版法、测井曲线叠合法、核磁共振测井法、特殊录井法及多井横向综合对比法等针对低阻油层的识别方法,在油田生产中得到验证,取得较好效果。

参考文献:

[1] 中国石油勘探与生产公司.低阻油气藏测井识别评价方法与技术[M].北京:石油工业出版社,2006.
PetroChina Exploration and Production Company.Well logging

identification method and technology of low-resistivity pays[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2006.

- [2] Mogbolu P O.Identification and quantification of thinly bedded low resistivity pay in the Niger delta[R].SPE 141133,2010:1-7.
- [3] 杨春梅,周灿灿,程相志.低电阻率油层成因机理分析及有利区预测[J].石油勘探与开发,2008,35(5):600-605.
Yang Chunmei,Zhou Cancan,Cheng Xiangzhi.Origin of low resistivity pays and forecasting of favorable prospecting areas[J].Petroleum Exploration and Development,2008,35(5):600-605.
- [4] 刘绍光,冷丹凤,陈立军,等.DB油田长2低阻油层组解释方法的改进[J].大庆石油地质与开发,2015,34(2):159-164.
Liu Shaoguang,Leng Danfeng,Chen Lijun,et al.Improved interpreting method of low-resistance oil group Chang-2 in DB oilfield[J].Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing,2015,34(2):159-164.
- [5] 杜旭东,顾伟康,周开凤,等.低阻油气层成因分类和评价及识别[J].世界地质,2004,23(3):255-259.
Du Xudong,Gu Weikang,Zhou Kaifeng,et al.Genetic classification,evaluation and identification of low resistivity pay zone[J].World Geology,2004,23(3):255-259.
- [6] 高霞,谢庆宾.低电阻率油气藏成因机理及研究方法综述[J].中外能源,2006,11(6):28-32.
Gao Xia,Xie Qingbin.A survey on mechanism and research advance of low-resistivity reservoir[J].China Foreign Energy,2006,11(6):28-32.
- [7] 白江,段喜宏,冯文金,等.吴起油田长6油层组沉积及储层特征[J].大庆石油地质与开发,2015,34(1):30-35.
Bai Jiang,Duan Xihong,Feng Wenjin,et al.Sedimentary and reservoir characteristics of Oil Group Chang6 in Wuqi Oilfield[J].Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing,2015,34(1):30-35.
- [8] 麻平社,张旭波,韩艳华.姬塬-白豹地区低电阻率油层成因分析及解释方法[J].测井技术,2006,30(1):84-87.
Ma Pingshe,Zhang Xubo,Han Yanhua.Origin analysis & interpretation method of low resistivity oil reservoir in Jiyuan-Baibao zone[J].Well Logging Technology,2006,30(1):84-87.
- [9] 孙建孟,陈钢花,杨玉征,等.低阻油气层评价方法[J].石油学报,1998,19(3):83-88.
Sun Jianmeng,Chen Ganghua,Yang Yuzheng,et al.Low contrast resistivity reservoir evaluation method[J].Acta Petrolei Sinica,1998,19(3):83-88.
- [10] 廖明光,苏崇华,唐洪,等.W油藏粘土矿物特征及油层低阻成因[J].西南石油大学学报:自然科学版,2010,10(5):70-74.
Liao Mingguang,Su Chonghua,Tang Hong,et al.Characteristics

- of clay minerals in W low resistivity reservoirs and the genesis of low resistivity[J].Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2010, 10(5): 70-74.
- [11] 廖明光, 苏崇华, 唐洪, 等. 砂泥岩薄互层低阻油层地质成因——以珠江口盆地A油藏M₁油组为例[J].新疆石油地质, 2010, 31(2): 154-157.
Liao Mingguang, Su Chonghua, Tang Hong, et al. Geological genesis of low resistivity formation with thin sand-shale interlayer—An example from M₁ oil measure of a reservoir in Pearl River Mouth basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(2): 154-157.
- [12] 赵军, 宋帆. 塔里木盆地低电阻率油层成因与评价[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(3): 317-322.
Zhao Jun, Song Fan. Genesis and evaluation of low resistivity oil formation in Tarim basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(3): 317-322.
- [13] 李长喜, 欧阳健, 周灿灿, 等. 淡水钻井液侵入油层形成低电阻率环带的综合研究与应用分析[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 82-86.
Li Changxi, Ouyang Jian, Zhou Cancan, et al. Forming mechanism and application of low resistivity annulus in oil reservoirs invaded by fresh drilling mud [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6): 82-86.
- [14] 张龙海, 周灿灿, 刘国强, 等. 孔隙结构对低孔低渗储集层电性及测井解释评价的影响[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(6): 671-676.
Zhang Longhai, Zhou Cancan, Liu Guoqiang, et al. Influence of pore structures on electric properties and well logging evaluation in low porosity and permeability reservoirs [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(6): 671-676.
- [15] 于红岩, 李洪奇, 郭兵, 等. 基于成因机理的低阻油层精细评价方法[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(2): 335-343.
Yu Hongyan, Li Hongqi, Guo Bing, et al. Low-resistivity oil layers fine evaluation approaches based on mechanism [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(2): 335-343.
- [16] 张琪, 李勇, 李保柱, 等. 礁滩相碳酸盐岩油藏贼层识别方法及开发技术对策——以鲁迈拉油田 Mishrif 油藏为例[J]. 油气地质与采收率, 2016, 23(2): 29-34.
Zhang Qi, Li Yong, Li Baozhu, et al. Identification methods and development strategy study of thief zone in reef-bank carbonate reservoirs: A case study of the Mishrif reservoir in Rumaila oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(2): 29-34.
- [17] 梁忠奎. 复杂孔隙结构高不动水低阻油层识别评价[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2008.
Liang Zhongkui. Evaluation of complex pore structure high immobile water low resistivity oil layer [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2008.
- [18] 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.
Guo Shun, Wang Zhenliang, Zhang Xiaoli, et al. Origin analysis on Chang6₁ reservoir with low resistivity and its identifying methods from Fanchuan area, Zhidan Oil Field, in Northern Shaanxi, Ordos Basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(1): 18-24.
- [19] 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.
Xie Qing, Wang Jianmin. Genetic mechanism and identification methods of Chang6 low resistivity reservoir in Zhidan and Ansai area, Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2013, 25(3): 106-111.
- [20] 曹涛涛, 宋之光, 刘光祥, 等. 氮气吸附法—压汞法分析页岩孔隙、分形特征及其影响因素[J]. 油气地质与采收率, 2016, 23(2): 1-8.
Cao Taotao, Song Zhiguang, Liu Guangxiang, et al. Characteristics of shale pores, fractal dimension and their controlling factors determined by nitrogen adsorption and mercury injection methods [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(2): 1-8.
- [21] 李维岭, 姜在兴, 倪新锋, 等. 正理庄地区沙二段储层成岩作用对孔隙演化的影响[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(5): 52-57.
Li Weiling, Jiang Zaixing, Ni Xinfeng, et al. Impact of reservoir diagenesis on porosity evolution in the second member of Shahejie Formation of Zhenglizhuang area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5): 52-57.
- [22] 陈吉, 吴远坤, 孙爱艳, 等. 南堡油田沙一段储层特征及控制因素[J]. 特种油气藏, 2015, 22(1): 36-40.
Chen Ji, Wu Yuankun, Sun Aiyan, et al. Reservoir features and controlling factors of Shayi Member, Nanpu Oilfield [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(1): 36-40.
- [23] 连承波, 钟建华, 蔡福龙, 等. 油田产量影响因素的灰色关联分析[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(6): 851-853.
Lian Chengbo, Zhong Jianhua, Cai Fulong, et al. Influencing factors analysis of oil field output based on grey correlation analytical method [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(6): 851-853.
- [24] 王军, 孟小海, 王为民, 等. 微观剩余油核磁共振二维谱测试技术[J]. 石油实验地质, 2015, 37(5): 654-659.
Wang Jun, Meng Xiaohai, Wang Weimin, et al. 2D NMR distribution function for microscale remaining oil [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(5): 654-659.
- [25] 罗少成, 成志刚, 林伟川, 等. 基于核磁共振测井的致密砂岩储层孔喉空间有效性定量评价[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(3): 16-21.
Luo Shaocheng, Cheng Zhigang, Lin Weichuan, et al. Quantitative evaluation of the effectiveness of pore-throat space in tight sandstone reservoirs based on nuclear magnetic resonance log [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(3): 16-21.
- [26] 公言杰, 柳少波, 赵孟军, 等. 核磁共振与高压压汞实验联合表征致密油储层微观孔喉分布特征[J]. 石油实验地质, 2016, 38(3): 389-394.
Gong Yanjie, Liu Shaobo, Zhao Mengjun, et al. Characterization of micro pore throat radius distribution in tight oil reservoirs by NMR and high pressure mercury injection [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(3): 389-394.