

文章编号: 0253-2697(2006) 06-0043-04

济阳坳陷低电阻率油层的微观机理及地质成因

朱家俊

(中国石化胜利油田分公司地质科学研究院 山东东营 257015)

摘要: 对济阳坳陷陆相储层低电阻率油层的微观形成机理及地质成因的研究表明,引起油层视电阻率降低的微观因素主要有:①储层含高矿化度的地层水;②储层所含粘土的附加导电;③储层微孔隙发育。为了验证导电矿物骨架的导电性,测量了干岩样的电阻率。实验结果表明,导电矿物不能独立形成完整的导电网络,未表现出极强的导电能力,因此对储层的电阻影响极小。低电阻率油层的形成与沉积体系、沉积物源及其演化史、成岩作用、构造断裂等因素密切相关。干旱咸化湖盆沉积环境下的储层、盆地边缘1000 m以上的储层、沙三中下部及沙三上和沙二下的三角洲前缘滑塌扇、深水油积扇、陡坡扇的扇端、靠近沟通深部大断层能够“俘获”深部高矿化度地层水的沙三、沙二段储层是低电阻率油层的有利发育区带。

关键词: 济阳坳陷;陆相储层;低电阻率油层;微观机理;地质成因

中图分类号: P631.8

文献标识码: A

Geologic origin and microcosmic mechanism of low-resistivity layers in Jiyang Depression

Zhu Jiajun

(Geological Scientific Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Company, Dongying 257015, China)

Abstract: The research of microcosmic mechanism and geologic origin of low-resistivity layers in continental reservoir of Jiyang Depression showed that microcosmic factors for reducing apparent resistivity of oil layer included mainly high-salinity formation water of reservoir, additive conductivity of shale in reservoir and development of fine pores of reservoir. In order to determine the electric conductivity of matrix in some electric conductive minerals, the resistivity of some dry cores in this area were measured. The results of experiment showed that electric conductive minerals were not enough to form matrix electric conduction network independently and could not show extremely electric conductive property. Therefore their influence on the resistance of reservoir was very weak. The formation of low-resistivity layers was closely related to sedimentary system, sediment sources and its evolution, diagenesis and structural faults. The favorable development zones of low-resistivity layers are mainly the reservoirs in the sedimentary environment of drought salted lake basin, the reservoir upwards 1000 meters of basin edge, the slump fan of the delta front, the deepwater turbidite fan and steep slope fan front of base of middle Es₃, top of Es₃ and base of Es₂, reservoir of Es₃ and Es₂ nearby faults and capable of trapping high-salinity formation water of deeper layer.

Key words: Jiyang Depression; continental reservoir; low-resistivity layers; microcosmic mechanism; geologic origin

低电阻率油层是一个相对术语,国内外将其定义为:油层电阻率小于或接近于围岩电阻率,或者与水层电阻率差别不大甚至出现相互交叉变化而不易识别的油气层;或定义为电阻增大率小于2的油气层^[1-4],具有难识别性或称之为隐蔽性。对于低电阻率油层的微观形成机理,国内外学者研究得较多。但这些成果与认识仅是在低电阻率油层被测试证实为油层后根据取心、岩石物理实验而得出的。可以客观地说,低电阻率油层的发现带有一定的随机性与偶然性。如果没有测试资料证实,极有可能使这些油层永远得不到正确认

识。特别是在勘探高峰期,在以寻找高阻油层且获得大的突破的情况下,此类油层更容易被忽视。事实上,也正是不同的地质背景才演化出复杂的低电阻率油层。

1 低电阻率油层形成的微观机理

用电法测井仪器在井眼中探测所得的视电阻率受内外两种因素的影响。内因是指油层自身的某些组分具有强的导电特性,如岩石骨架含导电矿物、泥质含量高且附加导电作用强、含水饱和度高、地层水矿化度高

基金项目: 中国石化“十五”科技攻关项目“济阳坳陷低电阻率油层识别评价及应用技术研究”(P04020)。

作者简介: 朱家俊,男,1959年10月生,2006年获中国石油大学矿产普查与勘探专业博士学位,现为中国石化胜利油田分公司地质科学研究院高级工程师。主要从事石油地质综合研究工作。E-mail: zhujiajun@slof.com

或岩石强亲水、储层微孔隙发育等都可能引起绝对视电阻率降低;外因是指来自储层以外的影响,如低电阻率围岩、盐水泥浆深侵入、测井纵向分层能力有限等由测井仪器因素造成的视低电阻率。

引起陆相断陷盆地油层视电阻率降低的微观因素主要有:①储层含高矿化度的地层水;②储层所含粘土的附加导电;③储层微孔隙发育;④储层含导电矿物。前3种微观因素对电阻率的降低机理是较为明显的,并被大量油层物理实验所证实。为了验证具一定导电矿物的骨架是否导电,测量了干岩样的电阻率。对胜利油区7口井砂岩储层共26块样品进行的电阻率测量结果表明,骨架电阻率非常高,即使在黄铁矿含量高达4%时,电阻率仍然高达 $100\ 011.3\ \Omega\cdot\text{m}$ 。说明骨架和离散分布的导电矿物是不导电的。该实验说明导电矿物不能独立形成完整的导电网络,未表现出其极强的导电能力,因此对储层的电阻影响极小,不是油层呈低阻显示的原因。

2 低电阻率油层的宏观地质控制因素

济阳拗陷内的低电阻率油层大多分布于第三系地层内,该套地层内发育众多的沉积体系^[5],不同沉积体系的物源、沉积背景、储层所处的沉积相带、沉积时期的水文地质环境等因素决定了储层的物性、地层水的化学特性以及骨架组分特征,这些因素决定了储层的导电特性。

2.1 沉积环境

不同沉积期次所处的古气候、古水文环境是不一样的。济阳拗陷陆相储集体所处的古气候有干旱、潮湿之分,古水文有深湖、浅湖、河流等环境。这些因素决定了储集体中所含水的化学特征,在高矿化度的情况下发育低电阻率油层。东营凹陷沙四沉积处于古陆环抱的亚热带干热盐湖盆,盆地内赋存了较厚的含盐层系、地层水矿化度总体偏高,发育较多的低电阻率油层。

例如,滨南油田滨660块沙四上油藏为滨浅湖滩坝沉积,岩心分析孔隙度为19.2%,泥质含量仅为2.36%,岩性为粉细砂岩,因储层沉积水体稳定,为咸化蒸发环境,其地层水矿化度在100~200 g/L,高矿化度水分布在岩石孔隙中,形成发达的导电网络。滨660-14井的油层电阻率仅为 $1.4\ \Omega\cdot\text{m}$,地层水矿化度98.369 g/L,是较为典型的高矿化度水沉积环境地质成因的低电阻率油层(图1)。该种类型的低电阻率油层在济阳拗陷沙四段储层广泛分布。

2.2 沉积物源及其演化史

沉积物源及其演化史与低电阻率油层有密切的关

系,储层的粘土附加导电性与粘土的含量、类型等密切相关。粘土的类型、含量及分布方式影响着它的附加导电能力。而储层的粘土含量、分布形式和类型在宏观上受沉积背景和沉积相带、沉积后的成岩作用等地质因素控制。

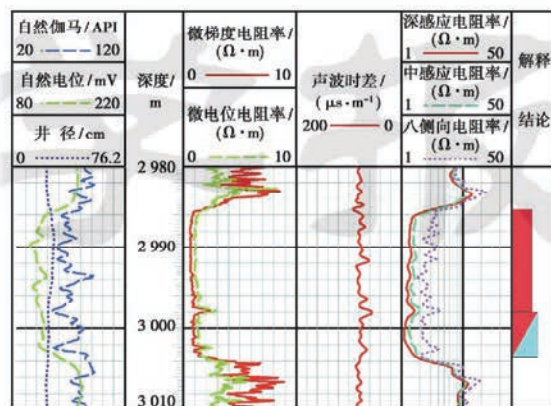


图1 滨660-14井测井曲线

Fig. 1 Logging curves of Bin 660-14 Well

沉积物物源的差异决定了粘土含量的多少。河流相沉积的漫滩亚相、三角洲前缘亚相的储层、近物源的中性及中酸性喷出岩为主的储层,其粘土含量一般较高。粘土的演化史决定了粘土的类型^[6]。随着埋深的增加,成岩作用逐渐加强,粘土从蒙脱石向伊利石及高岭石转化,阳离子交换容量逐渐减小。

济阳拗陷的金家油田位于东营凹陷西南花沟鼻状构造带,碎屑成分以近物源的中性及中酸性喷出岩为主,粘土含量为23.3%,有的储层骨架含泥粒。由于埋藏较浅,粘土中的蒙脱石还未转化,含量为96.3%,地层水矿化度为5 g/L,该区发育泥质附加导电型低阻油层。如金311井747.3~752.5 m井段中4 m视电阻率为 $4.0\ \Omega\cdot\text{m}$,感应视电导率为 $250\ \Omega\cdot\text{m}$,产油量为4.13 t/d,为油层。

图2是济阳拗陷第三系74口井砂岩储层阳离子

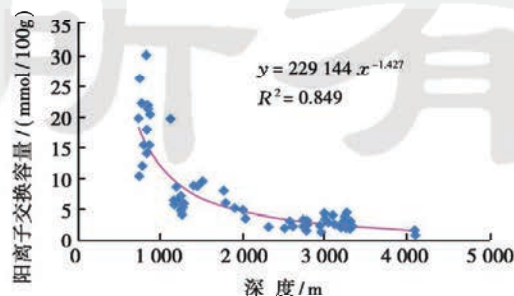


图2 济阳拗陷第三系砂岩储层粘土矿物阳离子交换容量(CEC)与深度关系

Fig. 2 Relation of clay minerals cation exchange capacity with buried depth of the Tertiary system sand reservoir in Jiyang depression

交换容量与深度关系。由于资料相对较少,不能完全代表砂岩粘土矿物阳离子交换容量(CEC)与深度的真正关系,但变化趋势还是比较明显的。当深度小于1000 m时,CEC大于10 mmol/100 g;当深度为1000~2000 m时,变化趋势稳定,当大于3500 m时,CEC急剧减小。当深度小于1000 m时,泥质的主要矿物为蒙皂石,它的阳离子交换能力在粘土矿物中是最大的;深度在1000 m以上时,常出现以粘土矿物附加导电为主要影响因素的低电阻率油层。而深度在1000~2200 m时,阳离子交换容量变化平稳,但还没有到可以忽略的地步。深度大于2200 m时,CEC就较小了。显然,砂岩储层矿物的阳离子交换容量的这种变化趋势与其粘土矿物的演化史是分不开的。

2.3 沉积相带

同一沉积体系不同相带的岩性不同,物性不同,孔隙结构也不同,同为油层,其电阻率也不同。

利津油田利85块沙四段储层为东营凹陷北部陡坡带近岸水下扇沉积。扇根部位沉积了砾岩,由于孔隙性极差,虽然电阻率很高,但储层不含油。扇中为细砂岩,为常规意义的高阻油层,油层电阻率为7~10 $\Omega \cdot m$ 。随着扇体的扇端水动力减弱,粉细砂质成分在扇端沉积。虽然扇端诸井电阻率小于2 $\Omega \cdot m$,但试油时出油而不含水(图3)。扇端分布高束缚水饱和度机理成因的低电阻率油层。

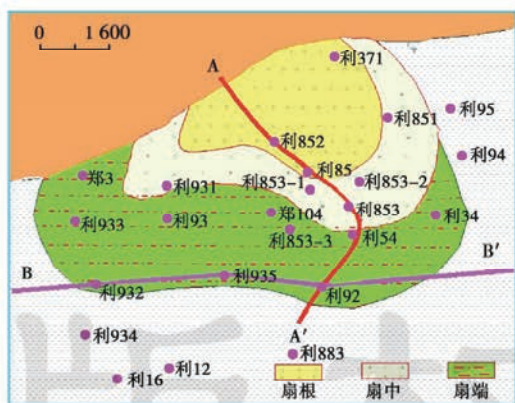


图3 利85块E₃s₄上亚段I砂组沉积相平面分布

Fig. 3 The plane distribution of sedimentary facies of sand group I of E₃s₄ upper submember in Li 85 Block

2.4 储层所处构造位置

由于济阳坳陷第三系各层位的沉积环境的差异,使得各层位的地层水的化学特征差异较大,沙四段地层水矿化度均大于30 g/L,一般约为100 g/L,而沙三、沙二的地层水矿化度均小于沙四。

济阳坳陷的东营凹陷的中央隆起带和断裂阶状构造带上断层发育,且断至沙四段。这些断层是深部卤

水和油气向上运移的有利通道,所以这些大断裂构造附近的沙三上、沙二段储层均是有利的高矿化度地层水成因的低电阻率油层发育区带。

中央隆起带的河4断块沙二段油藏埋深为2500~2600 m,岩性为粉砂岩,地层水矿化度25~98 g/L,油层电阻率为1~7 $\Omega \cdot m$ 。油层电阻率、地层水矿化度的高低与储层距河4大断层的距离密切相关。距大断层近处地层水矿化度高,油层电阻率很低;距大断层远处,矿化度变低,油层电阻率升高。如距河4大断层仅10 m的河4斜64井油层电阻率为1.0 $\Omega \cdot m$,油层底部地层水矿化度为98 g/L,距河4大断层300 m的河4斜57井油层电阻率为4.0 $\Omega \cdot m$,油层底部地层水矿化度为26.500 g/L,这说明部分沙二储层中高矿化度地层水源于下部沙四储层的卤水。河4大断层是提供高矿化度地层水和油气的运移通道。

2.5 储层的成岩作用

成岩作用对砂岩孔隙结构具有较大的影响。一方面,随着埋深的增大,压实强度也随之加大,砂岩碎屑颗粒的填集方式以颗粒重叠、转动、柔性变形和脆性破裂等方式重新调整,颗粒排列渐趋紧密,原生粒间孔逐渐缩小,喉道随之变细。致使微孔隙更加发育;另一方面,孔隙中流体与岩石间的化学作用也在增强,溶解作用虽然能使岩石产生颗粒溶孔和铸模孔隙,但由于溶解下来的物质不能很快被带走,而就近沉积在剩余的粒间孔隙中,使颗粒孔隙微孔化。以上因素都使得处于较强成岩作用的层具有比例较高的微孔隙。而微孔隙发育则是形成低电阻率油层的一个极其重要的因素。

史102井是东营凹陷史南油田的一口探井,3297.0 m扫描电镜显示,其孔隙中充填蠕虫状高岭石,微孔发育(图4)。该井段发育典型的微孔隙型低电阻率油层,油层电阻率仅2.0 $\Omega \cdot m$ (图5)。这类微孔隙发育型低电阻率油层在济阳坳陷的沙三段十分发育。

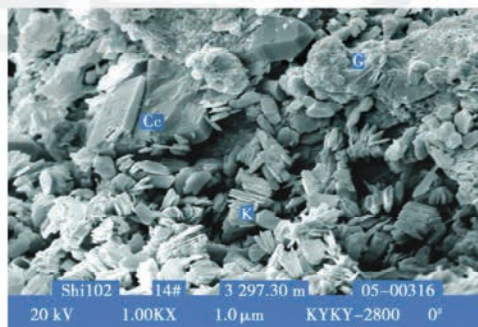


图4 史102井扫描电镜分析结果

Fig. 4 Electron microscopy scanning map of Shi 102 Well

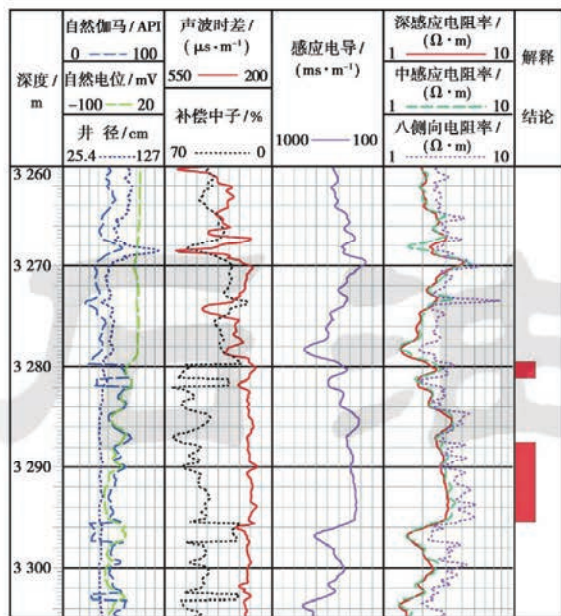


图 5 史 102 井低电阻率油层测井曲线

Fig. 5 Logging curves of low-resistivity layers of Shi 102 Well

3 结 论

济阳拗陷陆相储层低电阻率油层形成的微观因素包括: ①储层含高矿化度的地层水; ②储层粘土具有附加导电性; ③储层微孔隙发育。低电阻率油层的形成与沉积体系、沉岩作用、构造断裂等因素也密切相关。

参 考 文 献

- [1] 孙建孟, 王永刚. 地球物理资料综合应用[M]. 东营: 石油大学出版社, 2001: 103-144.
- [2] 孙建孟. 低电阻油层评价技术[J]. 石油学报, 1998, 19(3): 83-88.
- [3] 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: 92-144.
- [4] 曾文冲. 对低电阻率油层的认识[J]. 石油学报, 1981, 2(2): 37-43.
- [5] 李丕龙. 陆相断陷盆地油气地质与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 1227-44.
- [6] 徐同台, 王行信, 张有瑜. 中国含油气盆地粘土矿物[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 3-84, 160-229.

(收稿日期 2006-01-23 改回日期 2006-04-30 编辑 张 怡)

(上接第 42 页)

这样才能达到稳产及提高产能的效果。

5 结 论

(1) 通过对沉积构造、地球物理测井、三维地震、油井产能和地层压力资料的分析, 确定了Ⅻ号断层的存在。

(2) 构造演化分析表明, Ⅻ号断层在 E_{1+2} — N_1 沉积期间为拉张性正断层; N_1 沉积之后, 受南南西向应力的挤压作用, Ⅻ号断层演变为逆断层。

(3) Ⅻ号断层的存在及变化特征使跃进一号和砂西构造的 E_1^3 油藏形成了不同的异常高压系统。针对其特点, 可对跃进一号 E_1^3 油藏进行常规注水开发; 而对砂西构造的 F_3^1 油藏, 须采取油层压裂、加大井网密度与开发井注水相结合的方法, 以达到稳产与提高产能的效果。同时综合利用多种方法来确定断层, 也为柴达木盆地西部地区断层性质的认识与油田开发措施的制定提供了借鉴。

参 考 文 献

- [1] 陆基孟. 地震勘探原理(下)[M]. 东营: 石油大学出版社, 2004: 82-90.
- [2] 邓康龄, 余福林. 川西拗陷的复合构造与油气关系[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 214-219.
- [3] 刘玉魁. 塔里木盆地英吉苏凹陷构造演化及断层对油气成藏的控制[J]. 西北油气勘探, 2005, 17(3): 15-20.
- [4] 蔡希源, 刘传虎. 准噶尔盆地腹部地区油气成藏的主控因素[J]. 石油学报, 2005, 26(5): 1-4.
- [5] 王平在, 何登发, 雷振宇. 中国中西部前陆盆地冲断带构造特征[J]. 石油学报, 2002, 23(3): 11-17.
- [6] 于翠玲, 曾献辉, 林承焰, 等. 断裂带流体活动证据的确定——以东营凹陷胜北断裂带为例[J]. 石油学报, 2005, 26(4): 34-38.
- [7] 马丽娟, 郑和荣, 解习农. 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 246-251.
- [8] 尤征, 顾伟康, 郑大海, 等. 穆格莱德盆地断层倾角模式及成因探讨[J]. 世界地质, 2005, 24(2): 154-160.

(收稿日期 2005-12-14 改回日期 2006-05-19 编辑 王 秀)