

·油气地质·

# 复杂断块油气藏低阻油气层成因及发育控制因素

——以 Muglad 盆地 Fula 凹陷 Jake South 油田为例

韩如冰<sup>1</sup>, 田昌炳<sup>1</sup>, 李顺明<sup>1</sup>, 洪英霖<sup>2</sup>, 蒋义伟<sup>3</sup>, 何 辉<sup>1</sup>, 杜宜静<sup>1</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000; 3. 中国石油浙江油田分公司, 浙江 杭州 310023)

**摘要:** Muglad 盆地 Fula 凹陷 Jake South 油田的 Ben1 油藏和 AG1 油气藏均为复杂断块油气藏, 分别属于复杂断块构造背景下的整装背斜油藏和层状油气藏, 发育大量低阻油气层, 对油、水层识别造成较大困难。为此, 综合岩心、测试、测井等资料, 对 Jake South 油田发育的复杂断块油气藏的低阻油气层成因及发育控制因素进行研究。首先, 根据储层的粒度、物性、空间类型、致密程度等对研究区 Ben1 和 AG1 段分别进行储层分类, 并对其中发育的低阻油气层进行定义; 然后, 综合利用岩心、薄片、物性、扫描电镜、X 衍射等资料, 明确研究区复杂断块油气藏各类型储层低阻油气层的成因; 最后, 对比低阻油气层与储层的分布特征, 分析低阻油气层的发育控制因素。研究表明, 低阻油气层的成因主要为高束缚水饱和度、发育导电矿物以及油气充注不足, 而粘土矿物附加导电及工程因素对低阻油气层发育的影响则较小。不同复杂断块油气藏发育的不同类型储层的低阻油气层的成因存在差异, 一般仅有 1 或 2 种因素起主要作用。低阻油气层的发育受沉积微相类型、储层类型以及低阻油带等因素控制。研究区下步低阻油气层的勘探开发应主要针对 Ben1 油藏和 AG1 油气藏发育的优质储层。

**关键词:** 复杂断块油气藏 低阻油气层 成因 发育控制因素 Jake South 油田

中图分类号: TE112.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2017)02-0001-07

## Genesis and development control factors of low resistivity pays in complex fault block—A case study of Jake South Oilfield in Fula sag of Muglad Basin, Sudan

Han Rubing<sup>1</sup>, Tian Changbing<sup>1</sup>, Li Shunming<sup>1</sup>, Hong Yinglin<sup>2</sup>, Jiang Yiwei<sup>3</sup>, He Hui<sup>1</sup>, Du Yijing<sup>1</sup>

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing City, 100083, China; 2. Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang, 841000, China; 3. Zhejiang Oilfield Company, PetroChina, Hangzhou City, Zhejiang Province, 310023, China)

**Abstract:** Ben1 oil reservoir and AG1 oil reservoir of Jake South Oilfield in Fula sag of Muglad Basin are typical complex fault-block oil reservoirs, which are anticline oil reservoir and layered oil reservoir developed in the complex fault block respectively. A number of low resistivity pays were found in Ben1 oil reservoir and AG1 oil reservoir, which added to the difficulty of net pay identification. So the data, such as core data, test data and logging data, were comprehensively used to study the genesis and control factors of low resistivity pays. First, the reservoirs in Ben1 oil reservoir and AG1 oil reservoir were categorized according to their grain size, petrophysical properties, pore type and tightness, and low resistivity pays were defined in each type of reservoir. Then cores, thin sections, petrophysical data, SEM and X-ray diffraction data were comprehensively used to study the genesis of the low resistivity pays. Finally, the relationship between the identified low resistivity pays and the reservoir characteristics was studied to seek the controlling factors of its distribution. The results show that the main genesis of the low resistivity pays were high bound water saturation, low oil saturation caused by insufficient

收稿日期: 2016-11-11。

作者简介: 韩如冰(1988—), 男, 辽宁盘锦人, 在读博士研究生, 从事油田开发地质研究工作。联系电话: 15810452679, E-mail: harbin2018@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项“复杂油气藏精细表征与剩余油分布预测”(2011ZX05009-003)。

hydrocarbon charging and existence of conductive minerals, while additional conductivity of clay minerals and other engineering causes have little effects. The genesis of low resistivity pays found in different reservoir types and in different complex fault block types were different. The distribution of low resistivity pays was controlled by sedimentary microfacies, reservoir types and low resistivity pay belts, generally by one or two factors. The next exploration and development of the low resistivity oil layer in the study area should be mainly aimed at the high-quality reservoir in Ben1 oil reservoir and AG1 oil reservoir.

**Key words:** complex fault block oil reservoir; low resistivity pay; genesis; development control factor; Jake South Oilfield

苏丹合同6区是中国石油最早、最成功的海外项目之一。Fula凹陷是苏丹合同6区的主力产油区,位于Muglad盆地北部<sup>[1-4]</sup>。凹陷内不同油田发育的油气藏均被多条断裂切割,单个断块面积小于1 km<sup>2</sup>,为典型的复杂断块油气藏,根据油气藏特征可进一步划分为复杂断块构造背景下的整装背斜油藏(Ben1油藏)和层状油气藏(AG1油气藏)。生产中发现Ben1油藏和AG1油气藏发育大量的低阻油气层,造成对油、气、水层识别困难,且以此为依据的油井补孔常导致遗漏油、气层,补开水层,给后期生产措施的实施造成较大阻碍。

目前,中外针对低阻油气层的研究大多侧重于单个区块的成因分析及单井识别,而从地质条件出发,综合各种资料对不同类型复杂断块油气藏低阻油气层的成因及发育控制因素的系统研究则较少。初步测算,Fula凹陷低阻油气层的探明石油地质储量约占凹陷总探明石油地质储量的9.49%,凹陷内个别油田低阻油气层的探明石油地质储量占该油田探明石油地质储量的比例超过20%。因此,以最为典型的Jake South油田为例,研究复杂断块油气藏低阻油气层的成因及发育控制因素,对研究区的油气勘探开发具有重要的理论意义和经济价值。

## 1 地质概况

Jake South油田位于Muglad盆地Fula凹陷的北部次凹陷,其西侧发育控凹断裂。研究区发育的沉积相类型多样,岩石类型复杂。研究区油藏主要分布于下白垩统Bentiu组和AG组,根据岩性特征将Bentiu组分为Ben1和Ben2共2段;将Bentiu组下伏AG组分为AG0,AG1和AG2共3段。Ben1和AG1段为研究区主要含油层位,Ben1段可进一步细分为Ben1a, Ben1b, Ben1c, Ben1d和Ben1e共5个小层;AG1段可进一步细分为AG1a, AG1b, AG1c, AG1d和AG1e共5个小层;各小层又可以细分为若干单层。Ben1段主要发育灰白色砂岩夹薄层泥岩,AG1段主要发育灰白色砂岩、粉砂岩和暗色泥岩(表1)<sup>[1-4]</sup>。Ben1段主要发育辫状河三角洲前缘沉积,自下而上相对湖平面不断上升,可容空间逐渐增大,沉积微相类型由水下分流河道为主演变为以远砂坝为主,与湖相泥岩间互发育。Ben1油藏储层的平均孔隙度为20.4%,平均渗透率为 $1\ 743.38 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,为中高孔中高渗透储层。AG1段主要发育扇三角洲前缘沉积,自下而上相对湖平面不断上升,可容空间逐渐增大,沉积微相由水下分流河道为主演化为以

表1 Jake South油田储层分类结果  
Table1 Reservoir classification criteria of Jake South Oilfield

层位	储层类型	岩性	粒度中值/mm	孔隙度,%	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔隙类型	密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	声波时差/ $(\mu\text{s} \cdot \text{ft}^{-1})$	致密程度	岩心含油性
Ben1	I	粗砂岩、中—粗砂岩	0.87	20~30	1 000~2 000	剩余粒间孔	2.2~2.25	75~90	疏松	饱含油、富含油
	II	中—粗砂岩、中砂岩	0.71	15~25	50~1 000	剩余粒间孔、粒间溶孔	2.25~2.3	70~80	低	富含油、油浸
AG1	I	中砂岩、细砂岩	0.62	>17	>100	剩余粒间孔	<2.40	70~80	疏松	饱含油、富含油
	II	细砂岩	0.13	14~17	30~100	剩余粒间孔,粒间、粒内溶孔	2.40~2.46	67~70	低	富含油、油浸
	III	细砂岩、粉细砂岩、粉砂岩	0.06	12~14	10~30	粒间孔、杂基和胶结物内微孔隙	>2.46	<67	中等	油浸、油斑
	非储层	粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩		<12	<10	杂基和胶结物内微孔隙为主		>80	高	

河口坝、席状砂为主,并与深湖相间互发育。AG1 油气藏受断层、岩性双重控制,储层的平均孔隙度为13.6%,平均渗透率为 $178.57 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,为中低孔中渗透储层。

## 2 低阻油气层定义

目前一般将低阻油气层定义为与临近水层相比,电阻增大率小于2的油气层<sup>[5-9]</sup>。研究区 Ben1 和 AG1 段的储层类型复杂,如岩性、粒度、致密程度、物性等变化较快,不同类型储层的油气水层电阻率差异较大,无法直接进行比较。因此,首先根据储层特征进行分类,将研究区储层划分为 I—III 共 3 种类型<sup>[10]</sup>;然后,对低阻油气层进行定义,将同一油气系统中,与临近且储层类型相同的水层相比,电阻增大率小于2的油气层定义为低阻油气层。此外,即使油气层与水层属于同一油水系统,若储层类型不同,也不能直接进行比较。

统计结果表明,研究区油层总厚度为1 061 m,其中低阻油层总厚度为308.2 m,占油层总厚度的29.0%;气层总厚度为106.2 m,其中低阻气层总厚度

为25.3 m,占气层总厚度的23.9%;因此,低阻油气层探明石油地质储量在研究区所占比例整体较大。

## 3 低阻油气层成因

综合岩心、薄片、物性、扫描电镜、X衍射等资料分析研究区低阻油气层特征,进而对复杂断块油气藏不同类型储层低阻油气层的成因进行研究。

### 3.1 高束缚水饱和度

多种原因可以造成高束缚水饱和度,形成束缚水导电网络,导致油层电阻率下降,其中以泥质含量高和孔隙结构复杂这2种原因为主<sup>[11]</sup>。

扫描电镜观察发现,研究区泥质组分包括粘土矿物和细粒碎屑物质等。二者表面吸附大量束缚水,且随着泥质含量的增加,造成较高的束缚水饱和度,油层电阻率显著降低。例如研究区 Jake-S-32 井 AG1e 小层 12 单层中的 4 号层为正常油层,2 和 3 号层随着泥质含量的增加,其自然伽马、声波时差和中子孔隙度升高,密度降低,电阻率显著降低,为典型的泥质含量高导致的低阻油层(图 1a)。

孔隙结构复杂也可以造成高束缚水饱和度,可

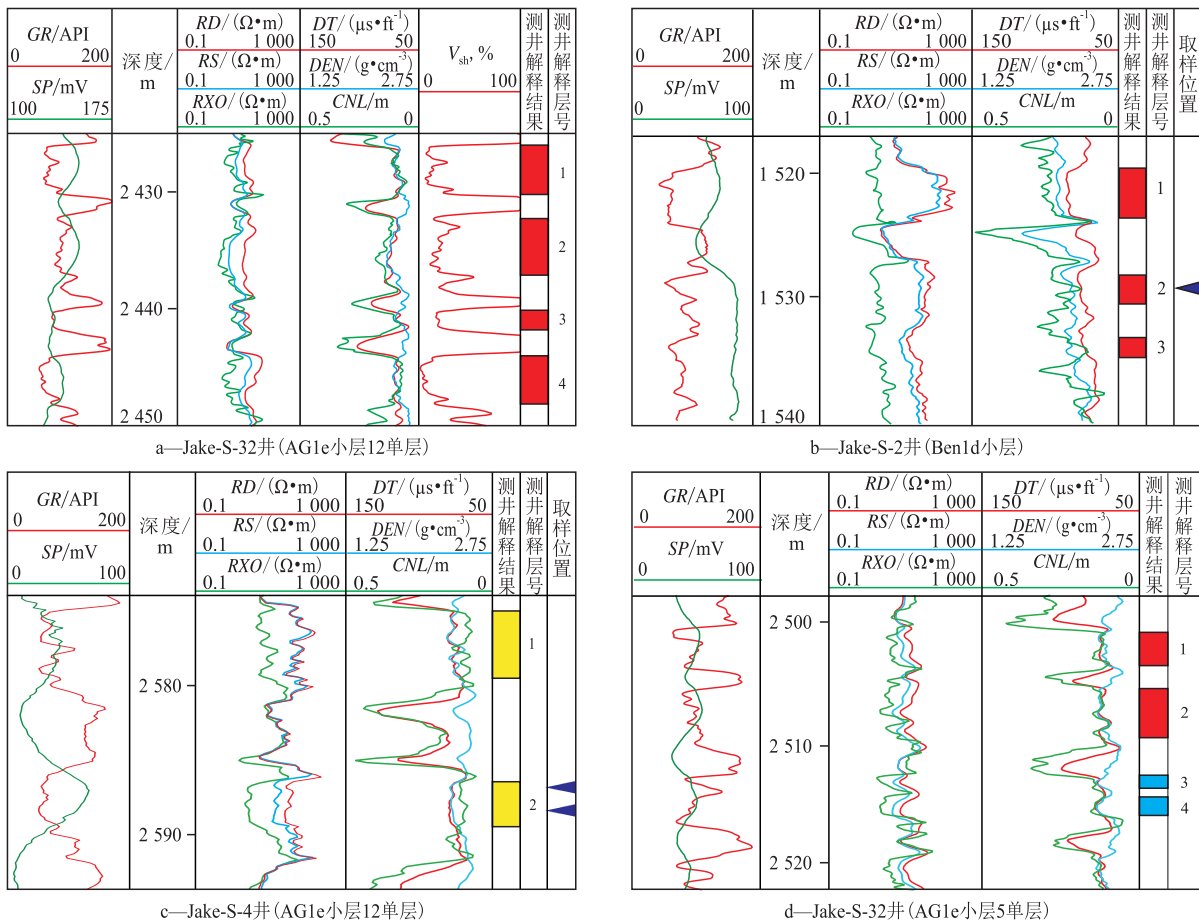


图1 不同成因低阻油气层测井响应特征

Fig.1 Well log characteristics of different types of low resistivity pays

分为沉积成因和成岩成因2种类型<sup>[12-15]</sup>。其中,沉积成因与泥质含量高造成高束缚水饱和度的原理相同;成岩成因主要指成岩作用常形成方解石、石英、长石等胶结物、交代物,致使孔喉半径减小、连通性变差,毛管压力增大,束缚水饱和度增高。例如研究区 Jake-S-2 井 Ben1d 小层中的 1 号层为正常油层,薄片观察发现 2 号层内孔隙喉道半径减小、连通性变差,孔隙结构较复杂;测井响应特征表现为自然伽马变化较小,声波时差、中子孔隙度和密度减小,油层电阻率显著降低,为典型的孔隙结构复杂导致的低阻油层(图 1b)。

### 3.2 发育导电矿物

薄片和扫描电镜观察结果表明,研究区砂岩中局部富集菱铁矿等导电矿物,主要是在成岩过程中形成,以胶结物形式存在,充填于孔隙空间,导致油层电阻率骤然降低。例如研究区 Jake-S-4 井 AG1e 小层 12 单层中的 1 号层为正常气层,2 号层取样处菱铁矿胶结物含量较高,最高可达 14.3%,导致其电阻率显著降低,形成低阻气层。该类低阻油气层的测井响应特征表现为仅电阻率降低,其他测井曲线变化较小(图 1c)。

### 3.3 油气充注不足

研究结果表明,复杂断块构造背景下的层状油气藏受油气充注条件控制,易于造成油气充注不足,含油饱和度低,形成低阻油气层。研究区 AG 组烃源岩发育<sup>[16-19]</sup>,形成自生自储型油气藏;后受构造运动影响,部分油气向上覆地层运移,仅在现今的构造圈闭范围内形成剩余油气聚集。受烃源岩质量控制,AG 组部分孤立油层往往在成藏期油气充注不足,油柱高度低,含油饱和度低,形成低阻油气层。例如研究区 Jake-S-32 井 AG1e 小层 5 单层中的 1 和 2 号层为孤立油层,其上、下均为水层,为油气充

注不足、含油饱和度低导致的低阻油气层(图 1d)。对该类低阻油气层的识别需结合烃源岩及周围油层的特征。此外,对于复杂断块构造背景下的整装背斜油藏,当构造幅度较低时,由于其油气充注相对充分,因此不发育该成因的低阻油气层。

### 3.4 粘土矿物附加导电及工程因素

研究结果表明,粘土矿物附加导电及工程因素等对油气层电阻率的影响均较小。X 衍射分析结果表明,Ben1 和 AG1 段储层的主要粘土矿物为高岭石,局部发育绿泥石(表 2),可见伊利石、蒙脱石和伊/蒙混层。扫描电镜结果显示,绿泥石和伊利石常集中分布,极少形成沟通的网络系统,因此在研究区发育的 2 类复杂断块油气藏中粘土矿物的附加导电性较小,对油层电阻率影响也较小。此外,流体性质、泥浆浸泡时间及测井仪器探测深度等工程因素对研究区复杂断块油气藏油层电阻率的影响也均较小。

综合不同成因低阻油气层的主要识别特征,对研究区复杂断块油气藏不同类型储层的低阻油气层进行分析。结果表明,不同类型复杂断块油气藏、不同类型储层的低阻油气层的成因存在差异,但一般仅 1 或 2 种成因起主要作用。其中,对于复杂断块构造背景下的整装背斜油藏 Ben1 油藏,其 I 类储层的物性较好,砂体束缚水饱和度低,导致油气层低阻的原因主要为发育导电矿物;II 类储层的物性变差,砂体束缚水饱和度升高,导致油气层低阻的原因主要为泥质含量高、孔隙结构复杂造成高束缚水饱和度,其他影响因素为发育导电矿物。对于复杂断块构造背景下的层状油藏 AG1 油气藏,其 I—III 类储层的物性整体差于 Ben1 油藏,砂体束缚水饱和度升高,导致油气层低阻的原因主要为泥质含量高、孔隙结构复杂造成高束缚水饱和度,其他

表 2 Jake South 油田 X 衍射分析结果  
Table 2 X-ray diffraction data of Jake South Oilfield

井号	取样深度/m	取样层位	粘土矿物含量, %				
			高岭石	蒙脱石	伊利石	绿泥石	伊/蒙混层
Jake-S-3	1 453.05	Ben1a 小层	75.5		2.6	15.6	6.3
	1 456		89.5	0.03		9.65	0.82
Jake-S-4	2 484.68	AG1e 小层 6 单层	82.3	4.3	8.2	2.6	2.5
	2 583.2		75.5	3.1	9.6	8.6	3.2

影响因素为发育导电矿物;且储层类型由 I—III 类,物性由好变差,导致油气层低阻的成因从以发育导电矿物为主转化为高束缚水饱和度为主;对于 AG1 油气藏发育的孤立含油砂体,受成藏因素控制,油气充注不足是导致油气层低阻的主要原因。

## 4 低阻油气层发育控制因素

### 4.1 沉积微相类型

研究结果表明,沉积微相类型对研究区复杂断

块油气藏低阻油气层的发育具有控制作用(图2)。

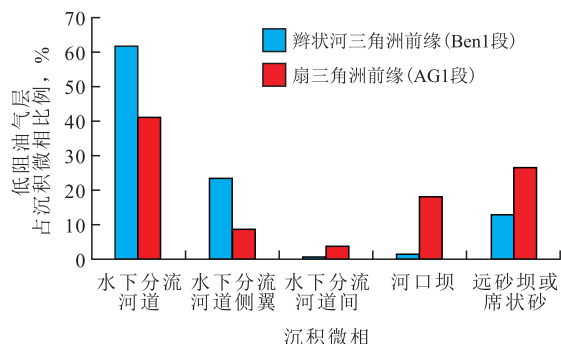


图2 不同沉积微相低阻油气层分布比例

Fig.2 Distribution of low resistivity pays of different microfacies

对于复杂断块构造背景下的整装背斜油藏, Ben1 油藏发育辫状河三角洲前缘水下分流河道的水动力较强, 砂体粒度粗、分选好、厚度大, 沉积后原始储层物性好, 其低阻油气层成因分为2种: ①成岩作用中胶结、溶蚀使储层孔渗性变差, 孔喉关系复杂, 束缚水饱和度升高, 油层电阻率降低; ②成岩作用形成菱铁矿等导电矿物导致油气层低阻, 但整体以第1种成因为主。由于水下分流河道砂体的整体厚度较大, 发育的低阻油气层的厚度最大; 水下分流河道侧翼和远砂坝的水动力稍弱, 一般砂体厚度小、储层物性相对较差, 发育的低阻油气层的主要成因为泥质含量高和孔隙结构复杂造成的高束缚水饱和度, 且受沉积条件控制, 水下分流河道侧翼砂体的总厚度大于远砂坝, 储层物性更差, 低阻油气层发育程度高于远砂坝; 由于水下分流河道间砂体不发育, 而河口坝砂体成熟度高、储层物性好, 不利于低阻油气层发育, 因此水下分流河道间和河口坝的低阻油气层发育均较少。总体上, Ben1 油藏低阻油层主要分布于辫状河三角洲前缘水下分流河道, 其次为水下分流河道侧翼, 远砂坝较少, 而水下分流河道间和河口坝则几乎不发育低阻油层。

对于复杂断块构造背景下的层状油气藏, AG1 油气藏发育扇三角洲前缘水下分流河道的水动力较强, 砂体粒度较粗、分选较好, 沉积后原始储层物性较好, 其低阻油气层成因主要为泥质含量高和孔隙结构复杂造成高束缚水饱和度, 且由于扇三角洲前缘水下分流河道砂体的总厚度较大, 低阻油气层最为发育。席状砂以发育泥质含量高和孔隙结构复杂造成的高束缚水饱和度和成因低阻油气层为主, 而河口坝以发育菱铁矿等导电矿物成因的低阻油气层为主。受沉积作用控制, 席状砂砂体的单层厚度薄、物性差、层数多, 低阻油气层发育条件好, 因此其低阻油气层整体比河口坝更为发育。水下分

流河道侧翼砂体的岩性相对较粗、储层物性相对较好, 低阻油气层发育较差。水下分流河道间砂体发育较少, 低阻油气层几乎不发育。总体上, AG1 油气藏发育的低阻油气层主要分布于扇三角洲前缘水下分流河道, 其次为席状砂、河口坝, 水下分流河道侧翼发育较差, 水下分流河道间几乎不发育低阻油气层。

#### 4.2 储层类型

对于复杂断块构造背景下的整装背斜油藏, Ben1 油藏 I 类储层中低阻油层的厚度占研究区低阻油层总厚度的比例为 38.02%, 低阻油层的平均厚度为 5.83 m, 电阻率为 50~80  $\Omega \cdot m$ , 其储层的厚度大、层数多、物性好, 主要以辫状河三角洲前缘水下分流河道为主, 低阻油层最为发育。II 类储层中低阻油层的厚度占研究区低阻油层总厚度的比例为 21.74%, 低阻油层的平均厚度为 3.53 m, 电阻率为 30~50  $\Omega \cdot m$ , 主要以辫状河三角洲前缘水下分流河道侧翼、席状砂和水下分流河道间沉积为主, 其储层的厚度相对较薄、物性较差, 低阻油层较为发育。

对于复杂断块构造背景下的层状油气藏, AG1 油气藏 I 类储层中低阻油气层的厚度占研究区低阻油气层总厚度的比例为 19.86%, 低阻油气层的平均厚度为 3.04 m, 电阻率为 10~15  $\Omega \cdot m$ , 主要以扇三角洲前缘水下分流河道和河口坝沉积为主, 低阻油气层较为发育。II 类储层中低阻油气层的厚度占研究区低阻油气层总厚度的比例为 12.72%, 低阻油气层的平均厚度为 2.92 m, 电阻率为 12~20  $\Omega \cdot m$ , 主要以扇三角洲前缘水下分流河道侧翼和席状砂沉积为主。III 类储层中低阻油气层的厚度占研究区低阻油气层总厚度的比例为 13.3%, 低阻油气层的平均厚度为 2.16 m, 电阻率为 15~24  $\Omega \cdot m$ , 主要以扇三角洲前缘水下分流河道、分流河道间和席状砂沉积为主。

综上所述, 研究区发育的2种类型的复杂断块油气藏, 其储层类型由 I—III 类发育的低阻油气层的总厚度及平均厚度逐渐减薄, 电阻率逐渐升高, 探明石油地质储量逐渐减少。研究区低阻油层主要发育于 Ben1 段的优质储层, AG1 油气藏低阻油气层厚度较小, 储层物性一般一差, 探明石油地质储量中等, 是研究区寻找后备低阻油气层资源的重要区域。

#### 4.3 低阻油带

低阻油带是复杂断块构造背景下整装背斜油藏低阻油层发育的主要控制因素。研究结果表明, 研究区部分井 Ben1d 小层下部存在电阻率断崖式降

低现象,至Ben1e小层恢复至正常水平(图3),前人常认为这种电阻率断崖式降低处为油水界面标志,但笔者研究发现其为Ben1油藏块状底水油藏背景下发育的低阻油带。

低阻油带与上、下储层相比,泥质含量增加、物性变差。其自然伽马曲线同样显示泥质含量具有先增大再减小的特征,为油层电阻率发生相应变化的原因之一。其次,三孔隙度测井曲线指示储层物性的变化与电阻率的变化完全对应,反映出储层物

性变化对油层电阻率的影响(图3)。实际上,低阻油带的发育受沉积、成岩作用影响,也反映出沉积微相类型和储层类型对低阻油层发育的控制作用。低阻油带在研究区Ben1d小层底部普遍发育,呈厚层带状分布,只是由于受油水界面控制,在油水界面之上油层富集成带使低阻油带的特征更加明显。在此认识基础上对研究区Jake-S-14井进行补孔,初期日产油量为294.6 t,综合含水率为3.6%,证实了研究区低阻油带的存在。

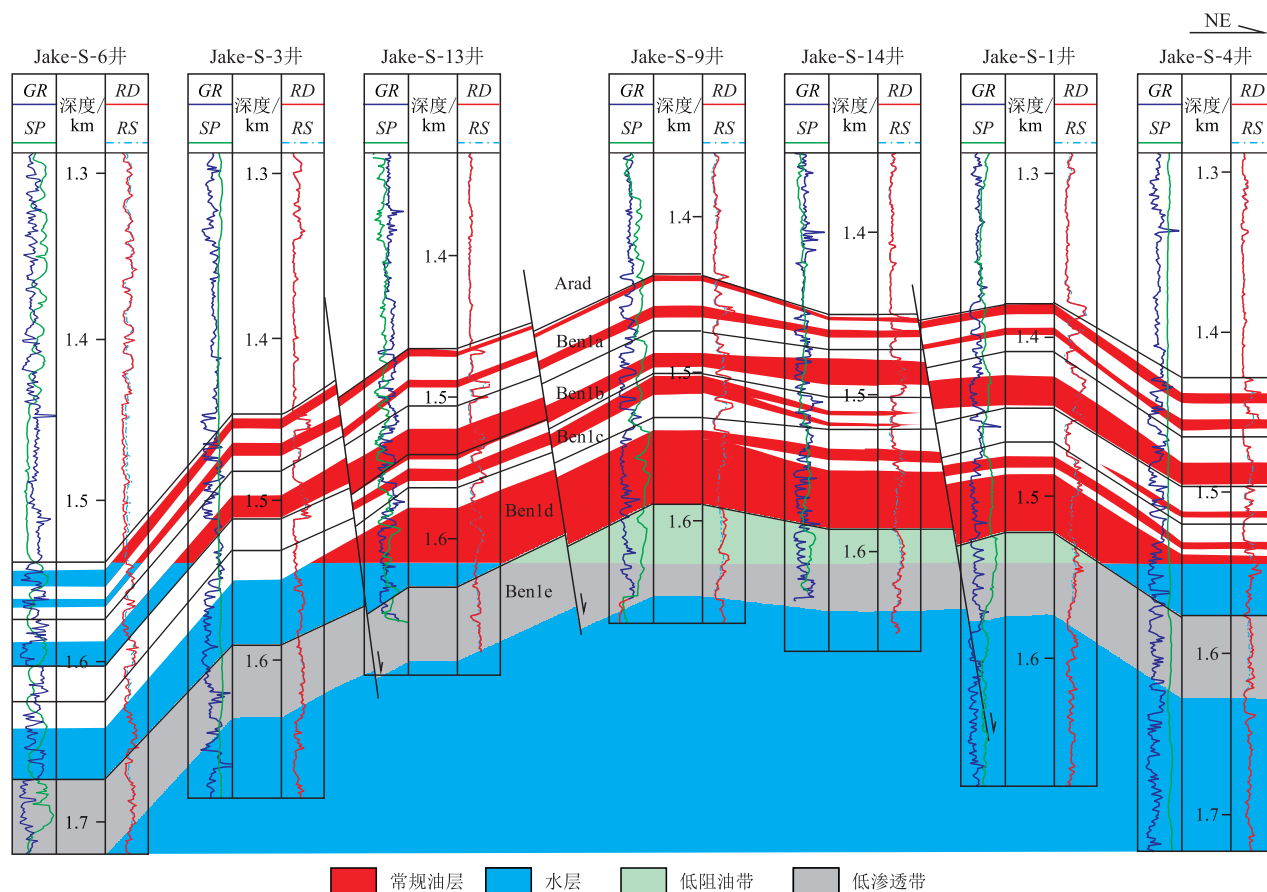


图3 Jake South 油田 Ben1 油藏低阻油带分布特征

Fig.3 Distribution of low resistivity belt in Ben1 oil reservoir of Jake South Oilfield

### 5 结论

Fula 凹陷 Jake South 油田低阻油气层的主要成因为高束缚水饱和度、发育导电矿物和油气充注不足,而粘土矿物附加导电及工程因素等成因的影响较弱。不同类型复杂断块油气藏不同类型储层的低阻油气层成因存在差异。低阻油气层的发育受多种因素控制:①沉积微相类型。对于复杂断块构造背景下的整装背斜油藏,Ben1油藏低阻油层主要分布于厚层的辫状河三角洲前缘水下分流河道,其次为水下分流河道侧翼,远砂坝相对较少,分流河

道间和河口坝则几乎不发育低阻油层;对于复杂断块构造背景下的层状油藏,AG1油气藏低阻油气层主要分布于发育厚层砂体的扇三角洲前缘水下分流河道,其次为席状砂和河口坝,水下分流河道侧翼发育较差,水下分流河道间几乎不发育低阻油气层。②储层类型。对于研究区发育的2种类型的复杂断块油气藏,其储层类型由 I—III类,储层物性变差,低阻油气层总厚度及平均厚度逐渐减薄,发育程度逐渐变差,电阻率逐渐升高,含油性逐渐变差。③低阻油带。低阻油带是复杂断块构造背景下整装背斜油藏低阻油层发育的主控因素,其分布受油水界面和构造位置控制。研究区低阻油气层

应主要分布于2种类型复杂断块油气藏优质储层。

#### 参考文献:

- [1] 吴冬,朱筱敏,李志,等.苏丹 Muglad 盆地 Fula 凹陷白垩纪断陷期沉积模式[J].石油勘探与开发,2015,42(3):319-327.  
Wu Dong, Zhu Xiaomin, Li Zhi, et al. Depositional models in Cretaceous rift stage of Fula sag, Muglad Basin, Sudan [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(3): 319-327.
- [2] Dou Lirong, Cheng Dingsheng, Li Zhi, et al. Petroleum geology of the Fula sub-basin, Muglad basin, Sudan [J]. Journal of Petroleum Geology, 2013, 36(1): 43-60.
- [3] Zhang Yamin. Petroleum system of the Fula depression at the Muglad basin in the Central African fault zone [J]. Journal of Earth Science, 2011, 22(3): 363-370.
- [4] 杨俊生,朱筱敏.苏丹 Muglad 盆地 Fula 坳陷白垩系 Abu Gabra 组层序地层及沉积体系[J].沉积学报,2008,26(6):994-1 003.  
Yang Junsheng, Zhu Xiaomin. Lower Cretaceous sequence stratigraphy of Fula depression, Muglad Basin, Sudan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(6): 994-1 003.
- [5] 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,2006:1-17.  
PetroChina Exploration and Production Company. Logging evaluation method and technology of low-resistivity reservoirs [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 1-17.
- [6] 程相志.低阻油气层识别评价技术及分布规律研究[D].东营:中国石油大学(华东),2008.  
Cheng Xiangzhi. Study of recognition technology and distribution law on low-resistivity oil reservoir [D]. Dongying: China University of Petroleum (East China), 2008.
- [7] 甘军,张迎朝,邓广君,等.琼海凸起新近系低幅-低阻油藏形成条件及成藏模式[J].石油与天然气地质,2014,35(3):311-316.  
Gan Jun, Zhang Yingzhao, Deng Guangjun, et al. Forming conditions and hydrocarbon accumulation patterns of the Neogene low resistivity reservoirs in low-amplitude structure of Qionghai Salient [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 311-316.
- [8] 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.
- [9] 洪有密.测井原理与综合解释[M].东营:中国石油大学出版社,2008:28-33.  
Hong Youmi. Logging principles and comprehensive interpretation [M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2008: 28-33.
- [10] 李丽.青东5块沙四段上亚段沉积类型及储层发育主控因素[J].油气地质与采收率,2016,23(3):62-66.  
Li Li. Study on sedimentary type and main controlling factors of reservoir development in upper Es<sub>4</sub> submember of Qingdong5 Block [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(3): 62-66.
- [11] 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.
- [12] 王友净,宋新民,何鲁平,等.高尚堡深层低阻油层的地质成因[J].石油学报,2010,31(3):426-431.  
Wang Youjing, Song Xinmin, He Luping, et al. Geologic origin of low-resistivity layers in deep reservoir of Gaoshangpu Oilfield [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(3): 426-431.
- [13] 左银卿,郝以岭,安霞,等.高束缚水饱和度低阻油层测井解释技术[J].西南石油学院学报,2000,22(2):27-31.  
Zuo Yinqing, Hao Yiling, An Xia, et al. High irritable waters saturation and low resistively reservoir logging interpretation technique [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2000, 22(2): 27-31.
- [14] 陈学义,魏斌,陈艳,等.辽河油田滩海地区低阻油层成因及其精细解释[J].测井技术,2000,24(1):55-59.  
Chen Xueyi, Wei Bin, Chen Yan, et al. Genesis of conductive reservoir in the bleach zone of Liaohe Oilfield and its fine interpretation [J]. Well Logging Technology, 2000, 24(1): 55-59.
- [15] 张小莉.陕北三叠系延长组低阻油层特性及其形成机理分析[J].测井技术,1999,23(4):276-278.  
Zhang Xiaoli. Characteristics of low resistivity oil reservoir in Yan-chang Formation Shanbei Triassic system and its origin [J]. Well Logging Technology, 1999, 23(4): 276-278.
- [16] Yousif M Makeen, Wan Hasiyah Abdullah, Mohammed Hail Haki-mi. Biological markers and organic petrology study of organic matter in the Lower Cretaceous Abu Gabra sediments (Muglad Basin, Sudan): origin, type and palaeoenvironmental conditions [J]. Arabian Journal of Geosciences, 2015, 8(1): 489-506.
- [17] 罗小平,沈忠民,黄飞,等.苏丹M盆地储集层流体地球化学特征与油藏注入史[J].石油勘探与开发,2006,33(1):119-126.  
Luo Xiaoping, Shen Zhongmin, Huang Fei, et al. Geochemistry characteristics of fluid and the filling history of heavy oil reservoir in the M Basin, Sudan [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 119-126.
- [18] 贾京坤,尹伟,邱楠生,等.红河油田延长组长8段油气输导体系及运聚模式[J].油气地质与采收率,2016,23(2):9-15.  
Jia Jingkun, Yin Wei, Qiu Nansheng, et al. Petroleum carrier systems and migration and accumulation patterns in Chang8 member of Yanchang Formation in Honghe oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(2): 9-15.
- [19] 王德英,于海波,李龙,等.渤海海域石臼坨凸起新近系岩性油藏充满意度特征及主控因素[J].油气地质与采收率,2015,22(5):21-27.  
Wang Deying, Yu Haibo, Li Long, et al. Characteristics of fullness degree of trap and its main controlling factors of the Neogene lithologic reservoir in the Shijiutuo uplift, Bohai Sea [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5): 21-27.