

引用格式:Liu Xiang,Fan Hailong,Guo Jianming,*et al.* Surface Structure Interpretation and Oil and Gas Information Extraction from ASTER on East Central African Rift System[J].Remote Sensing Technology and Application, 2021,36(3):649-662.[刘翔,樊海龙,郭建明,等.基于ASTER数据对中非裂谷系东部地表构造解释及油气信息提取[J].遥感技术与应用,2021,36(3):649-662.]
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2021.3.0649

基于ASTER数据对中非裂谷系东部地表构造解释及油气信息提取

刘翔^{1,2,3},樊海龙⁴,郭建明^{1,2},许世阳⁵

(1.中国科学院西北生态资源研究院,甘肃 兰州 730000;

2.甘肃省油气资源研究重点实验室/中国科学院油气资源研究重点实验室,甘肃 兰州 730000;

3.中国科学院大学,北京 100049;

4.长安大学 工程机械学院,陕西 西安 710064;

5.甘肃省地震局,甘肃 兰州 730000)

摘要:获取Doseo盆地和Salamat盆地ASTER遥感数据进行预处理,利用波段比值法及主成分分析法提取粘土蚀变、碳酸盐岩蚀变、铁离子(Fe^{2+} 、 Fe^{3+})蚀变等异常信息,圈定遥感异常区。异常解释显示,异常区域主要分布在Salamat盆地和Doseo盆地西南侧,异常强度以一级为中心向四周扩散。高渗漏区粘土矿物蚀变异常极为明显,其次为碳酸盐岩异常,铁离子蚀变异常最不明显。地表地质解释表明,中非剪切带为右行走滑断裂,断裂两侧发育与主断裂斜交的雁列式断层或褶皱,主剪切带在宏观影像上呈反“S”形,走向北东,断层转折部位为松弛拉伸区域,形成Salamat和Doseo拉分盆地,盆地内部发育大量扭张类构造样式。异常区域与断裂分布的对应关系较好,指示油气渗漏受断裂控制,断裂带为油气渗漏提供通道,使地表油气异常信息较为明显。该研究为中非裂谷系油气勘探提供参考。

关键词:中非裂谷系东部;ASTER数据;蚀变矿物;油气微渗漏;构造特征

中图分类号:P627 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2021)03-0649-14

1 引言

非洲大陆中部发育一条NEE-SWW向的大型岩石圈破裂带,即中非剪切带,其形成、演化与板块分离密切相关,是一条由非洲板块与南美板块差异分离而形成的大型走滑断裂带^[1-2]。受主断裂带的走向滑动控制,沿走滑断层发育一系列走滑盆地^[3],即中非裂谷系盆地,其在含油气盆地研究中具有重要地位。中非剪切带含油气盆地群的形成和演化受周邻板块构造活动强烈影响^[4-5],伴随着大西洋的

分段扩张、印度板块的分离、红海的扩张和东非裂谷作用,中非剪切带经历了前裂谷期、同裂谷期和后裂谷期3个构造演化阶段^[6]。位于非洲刚性板块中部的中非裂谷系为全球巨型成矿带之一^[7],裂谷系内发育一系列中生代裂谷盆地^[8-9],各盆地面积、形态存在较大差异,不同空间位置的盆地地质演化过程及油气成藏主控因素差异显著。在漫长的地质演化过程中,多旋回的构造运动使得剪切带内盆地群的油气储层形式多样,含油气条件良好^[10-11],近年来随着勘探技术的提高和新油田的不断发现,中

收稿日期:2019-12-20;修订日期:2020-09-23

基金项目:中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-12)。

作者简介:刘翔(1995—),男,江苏溧阳人,硕士研究生,主要从事构造地质方面的研究。E-mail:liuxiang171@mailsucas.ac.cn

通讯作者:郭建明(1973—),男,宁夏中卫人,副研究员,主要从事活动构造方面的研究。E-mail:gjm2001@yahoo.com

非剪切带周边国家的石油储量和产量不断上升^[12-13],在全球能源供应格局中的地位显著提升。但该区尚存在地下地质研究较薄弱、火成岩分布不清、原始盆地范围及沉积中心不明、地表的烃类垂向微渗漏条件模糊、地表条件复杂等对油气勘探十分不利的条件^[6,12,14]。鉴于中非区块野外地质环境恶劣、勘探难度极大,借助日益成熟的卫星遥感技术可以在无需地表作业的情况下获取地质信息,开展较大范围的区域地质研究,规避该区域地面勘探作业中潜在的危险^[15-18]。遥感技术对勘查油气藏烃类微渗漏的可行性及有效性已被广泛证实^[19],并成功应用于世界上许多大型陆上油气田^[20-21]。我国的油气遥感工作初期主要集中在遥感图像的构造解译^[22],之后一些学者在柴达木盆地及二连盆地等地开展了遥感直接探测烃类微渗漏的研究^[23],并取得一定成效。

刚性板块内部的裂谷盆地演化具有较强的继承性,地表地质条件能够较好地反映地下地质情况,遥感技术以各种地质体对电磁辐射的地表地质响应为基础,研究该地区地下地质条件,把握宏观的区域地质背景^[24-26]。在中非裂谷地区,岩浆活动从早白垩世至今持续发育,影响了盆地的发育演化,乍得Bongor盆地和Salamat盆地等地区的地层受到掀斜、隆升等构造作用改造^[27-28]。火成岩受到风化侵蚀后,出露区土壤以红壤为主,地化特征明

显;植被生长也具有明显特色,通过遥感影像从土壤背景中可以区分出植被覆盖区域,进而区分植被类型,依据遥感数据可以反演出植被的各种重要参数,并估算出植被光合作用有关的若干物理参数,均可用于通过地表植被变化研究调查地表地质变化,而地表地质的变化又在一定程度上反映了地下地质的发育和演化^[29]。油气渗漏已经被证实能够改变地表矿物,并且与烃蚀变有关的土壤矿物组成与土壤有机地化成分在空间分布上有一致性,使得通过填绘蚀变矿物聚集位置识别油气的宏观或微渗漏成为可能^[15]。遥感地表地质解译主要通过遥感图像的识别、标绘和分析各种构造成分的存在标志、形态特征、分布规律、组合和交切关系及其地质成因,从而解译各种构造形迹的形态特征和尺度,判别各种构造形迹的性质和类型、测量构造要素的产状,编制构造解译图,分析各种构造形迹的空间展布及组合规律,总结区域构造特征。综合分析矿物蚀变信息及区域构造特征以达到探究油气渗漏情况的目的。

2 区域地质概况

研究区位于中非共和国东北部,北临乍得,东接苏丹,为Doseo和Salamat两个盆地的局部,中西非剪切断裂带横贯其中,总面积达40 816 km²^[30](图1)。Doseo和Salamat盆地是在前寒武系花岗岩基底之上发育起来的中、新生代断陷湖盆,基底为

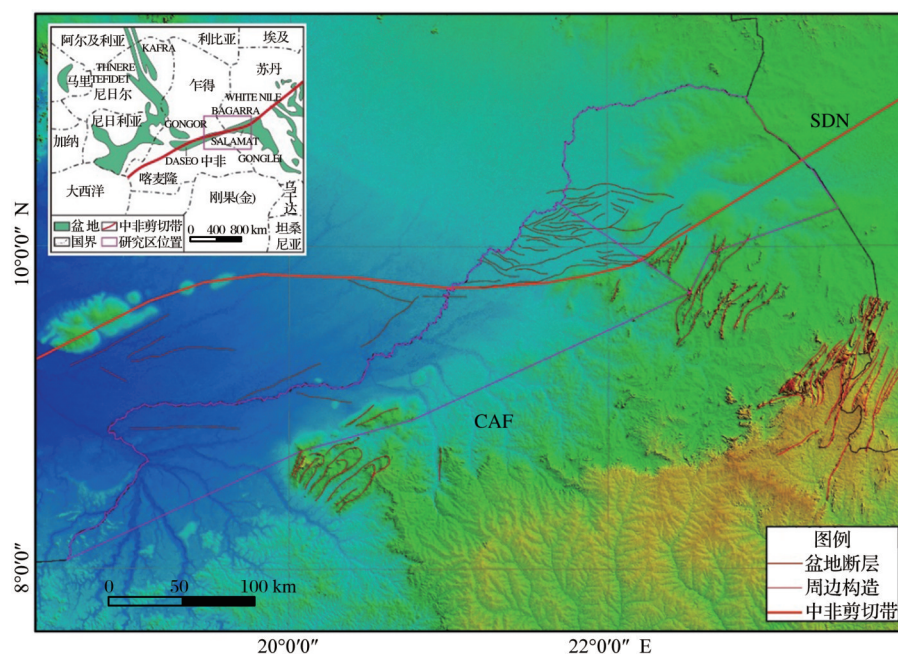


图1 研究区位置

Fig.1 Locations of study area

前寒武系结晶岩系,岩性主要为片麻岩、闪长岩、花岗岩、片岩和大理岩等。盆地沉积盖层为中生界白垩系和新生界地层,其形成、演化与非洲板块,特别是中、西非剪切带的演化密切相关^[31-32]。根据地震剖面特征分析,Salamat、Doseo以及西端的Doba这

3个盆地同属于同一个盆地内部的3个次一级构造单元,受断层调节或古构造调节带的影响,局部有构造沉积模式的变化^[33]。

区内生油岩主要为下白垩统暗色湖相泥页岩(图2),Doseo凹陷钻井揭示烃源岩主要位于阿尔布

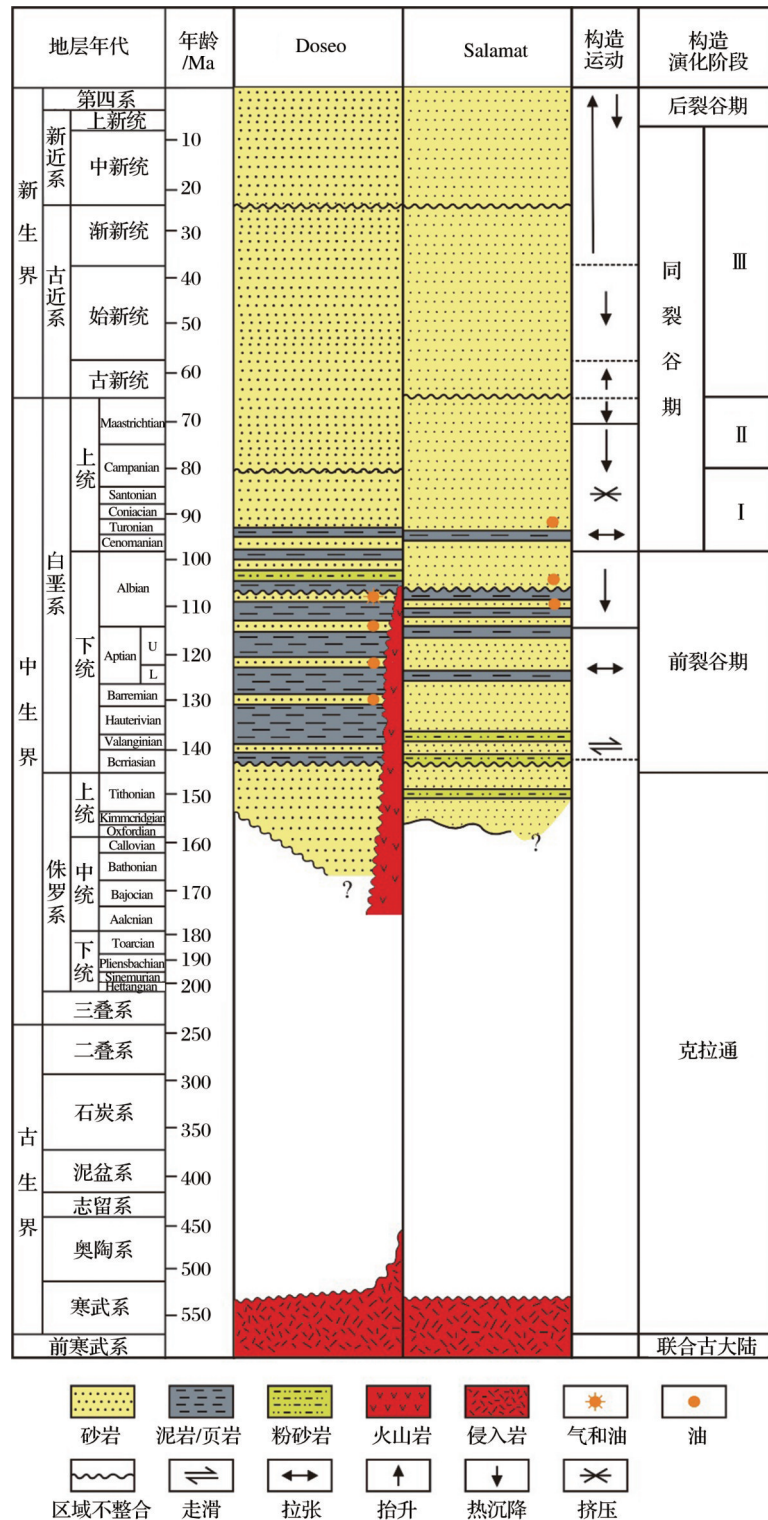


Fig. 2 Comprehensive stratigraphic histogram of the study area

阶下部以及阿普特阶和巴雷姆阶;Salamat凹陷烃源岩可能下移到阿普特阶底部和巴雷姆阶,但尚未有钻井证实^[34-35]。各层系砂岩储集层较发育,具有较好的储层潜力,这些砂岩储层都与陆源及河湖相沉积的河流相、辫状河、河流三角洲等有关,Salamat凹陷东部广泛发育的火成岩也可以提供一定的储集空间^[36-37]。

3 ASTER遥感数据的获取和处理

遥感油气探测技术烃类微渗漏探测,即卫星遥感直接探测地表油气微渗漏蚀变矿物、微油气苗和地表植被异常,并利用热遥感成像资料识别地温异常^[38]。油气田中的烃以微烃方式沿孔隙和微裂缝垂直向上运移并与周围物质相互作用,构成一个比渗透柱以外较为还原的环境体,称为油气田环境体或烃类储集环境体^[39]。在油气田环境体浅层或地表,烃类微渗漏导致地表物质产生理化异常,主要异常信息有:土壤吸附烃异常、粘土矿化异常、碳酸盐矿化异常、红层褪色异常($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值异常)、植被胁迫效应光谱异常等^[40-41]。

3.1 ASTER数据特点

ASTER传感器有可见光近红外、短波红外和热红外3个谱段,包含14个波段和1个后视单波段,可以获取从可见光到热红外谱段范围的地表影响数据,拥有光学传感器各波段较高的几何分辨率和辐射分辨率,在单条轨上可以获取近红外立体影像数据,在SWIR和TIR谱段传感器上有侧视功能^[42]。

ASTER数据可申请的产品有L1、L2、L3共3个级别,Level 1产品使用最多,包括未经处理的仪器数据Level 1A(L1A)及完成辐射计反演和几何重采样后生成的数据Level 1B(L1B)。根据研究区位置、ASTER影像位置、数据获取时间、云量大小、植被覆盖情况等选取了覆盖研究区的29景(83 636 km^2)L1B级ASTER数据进行预处理及油气信息提取。由于每景ASTER数据影像获取时间不同,分别对其进行处理,最后将蚀变信息进行融合拼接,得到中非研究区的油气信息图。图像整体清晰,质量较好,满足油气异常信息提取要求。

3.2 ASTER数据预处理

ASTER数据提取蚀变异常主要利用主成分分析方法来完成,为保证提取工作的顺利进行和提取结果的清晰可视,对数据进行了提取前数据预处理和提取后数据处理(图3)。ASTER数据经过地面

站的几何校正及辐射校正后,采用FLAASH大气校正模型对数据进行大气校正,FLAASH使用目前精度较高的大气辐射校正模型MODTRAN4辐射传输模型,能在较短时间内实现复杂的大气校正工作^[43-44]。之后通过掩膜技术去除植被覆盖区的植被干扰,有利于蚀变异常提取工作的顺利进行^[45]。

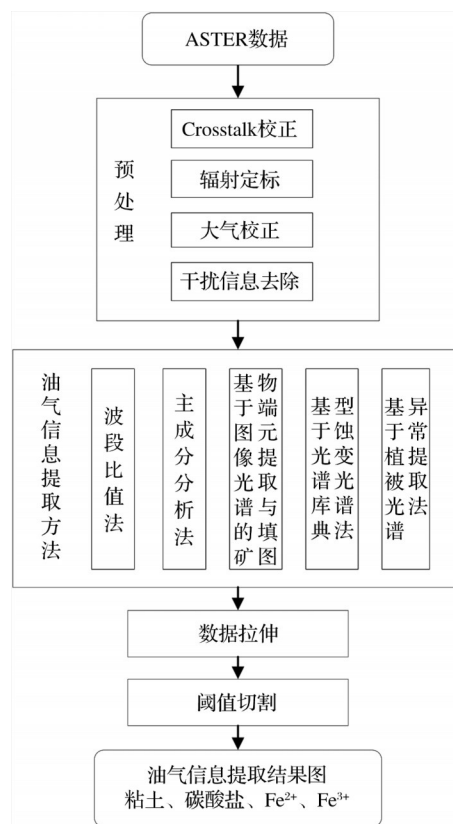


图3 ASTER数据处理流程图

Fig.3 The processing flowchart of ASTER data

蚀变异常提取过程中所采用的主成分分析(The Principle Component Analysis, PCA),即通过正交线性变换去除多波段图像中的相关信息,使新的组分图像之间互不相关,各自包含不同的地物信息,是重要的图像增强方法之一^[46]。根据ASTER数据特点,分别构建不同的提取模型,针对主要蚀变类型进行异常提取^[47]。

4 ASTER数据油气信息提取

将研究区分为Doseo盆地和Salamat盆地两个区块进行ASTER油气信息提取,提取信息包括粘土蚀变信息、碳酸盐岩蚀变信息、铁离子蚀变信息(图4)和ASTER油气信息。

4.1 粘土矿物蚀变信息提取

将高岭石、伊利石、蒙脱石及绢云母等粘土矿

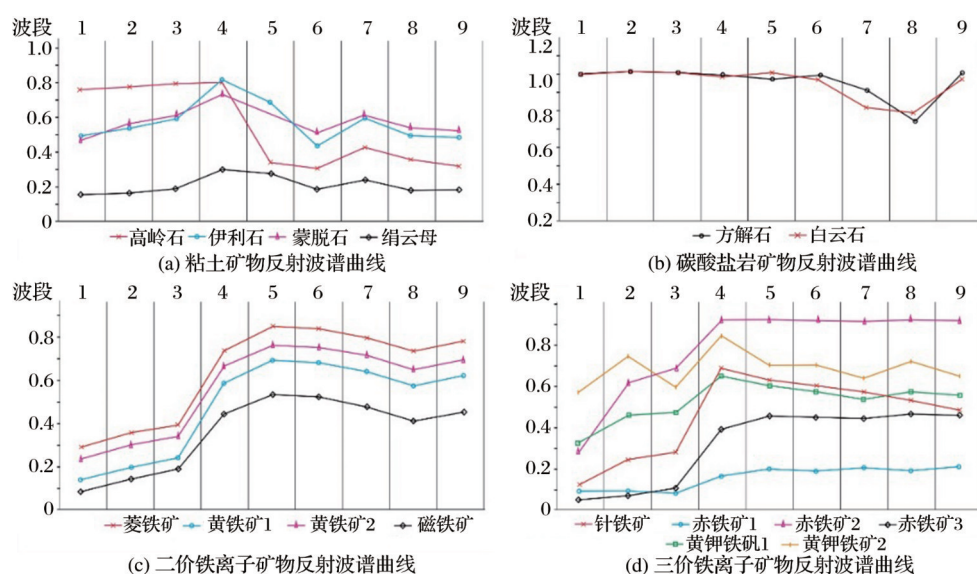


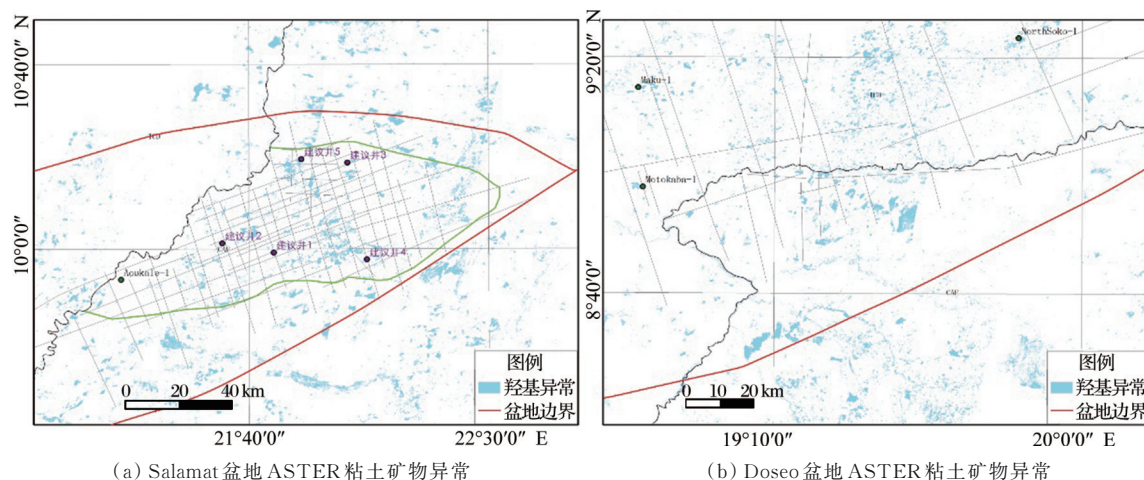
图4 蚀变矿物波谱曲线图

Fig.4 Spectral curve graph of alteration minerals

物重采样至ASTER数据的可见光—近红外波段区间,对其光谱分析得到该类矿物反射特征。除高岭石的反射率变化不大外,其他粘土矿物反射率在B1~B4波段呈增强趋势,在B4波段达到峰值,随后各粘土矿物反射率开始减小并在B6波段呈现吸收谷的波谱特征(图4(a))。

根据粘土矿物的反射波谱特征,采用波段比值法进行信息提取,计算公式为 $B6/B4$ 。为了进一步

提取粘土矿物蚀变信息,对ASTER数据的B1、B3、B4、B6波段进行主成分分析。之后根据粘土矿物所在分量表征特征确定其异常分量,通过图像密度分割得到蚀变结果(图5)。ASTER遥感数据分析显示,粘土矿物异常区为不规则团块状分布,盆地内部异常呈北北东向分布,盆地边界呈北东向分布,走向与盆地边界近于平行,表明油气渗漏受断裂控制。



(a) Salamat盆地ASTER粘土矿物异常

(b) Doseo盆地ASTER粘土矿物异常

图5 Salamat盆地和Doseo盆地ASTER粘土矿物异常及蚀变结果

Fig.5 ASTER clay mineral anomaly extraction of Salamat Basin and Doseo Basin

4.2 碳酸盐岩蚀变信息提取

白云石和方解石是常见的碳酸盐矿物^[48]。通过对两种矿物波谱曲线图分析(图4(b)),白云石和方解石反射波谱曲线相似,两者的反射率在B1~B3波段缓慢增加,在B5波段有微弱吸收特征并且之后在B8波段呈现吸收谷的波谱特征。为了进一步提

取碳酸盐矿物蚀变信息,对ASTER数据的B1、B3、B4、(B5+B8)/2波段进行主成分分析。之后根据碳酸盐矿物所在分量表征特征确定其异常分量,通过图像密度分割得到碳酸盐岩矿物蚀变结果(图6)。

4.3 铁离子蚀变信息提取

Fe离子蚀变异常的组分比较复杂,主要选取

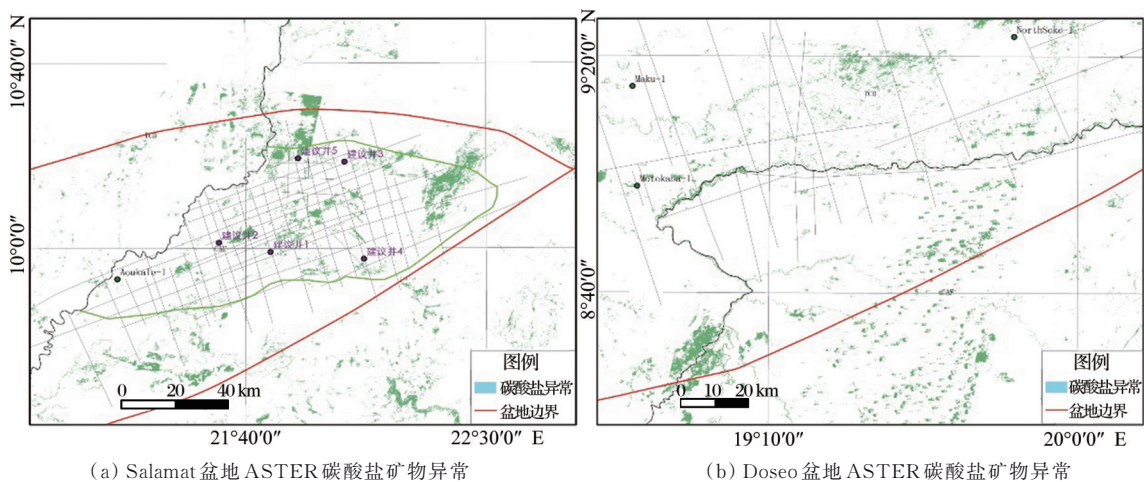


图 6 Salamat盆地与Doseo盆地ASTER碳酸盐矿物异常及蚀变结果

Fig.6 ASTER carbonate mineral anomaly extraction of Salamat Basin and Doseo Basin

Fe^{3+} 的波谱特征(图 4(d))进行分析。 Fe^{3+} 矿物的因其组分复杂而在波谱曲线上表现出一定差异,综合来看,针铁矿、赤铁矿在B1波段反射率小于其他波段,在B3波段表现为弱吸收,在B4波段表现为强反射,在B5~B9波段反射率曲线变化较小,仅在个别

波段产生弱吸收。

为进一步提取铁离子蚀变信息,对 ASTER 数据的 B1、B2、B3、B4 波段进行主成分分析,之后根据碳酸盐矿物所在分量表征特征确定其异常分量,通过图像密度分割得到碳酸盐岩矿物蚀变结果(图 7)。

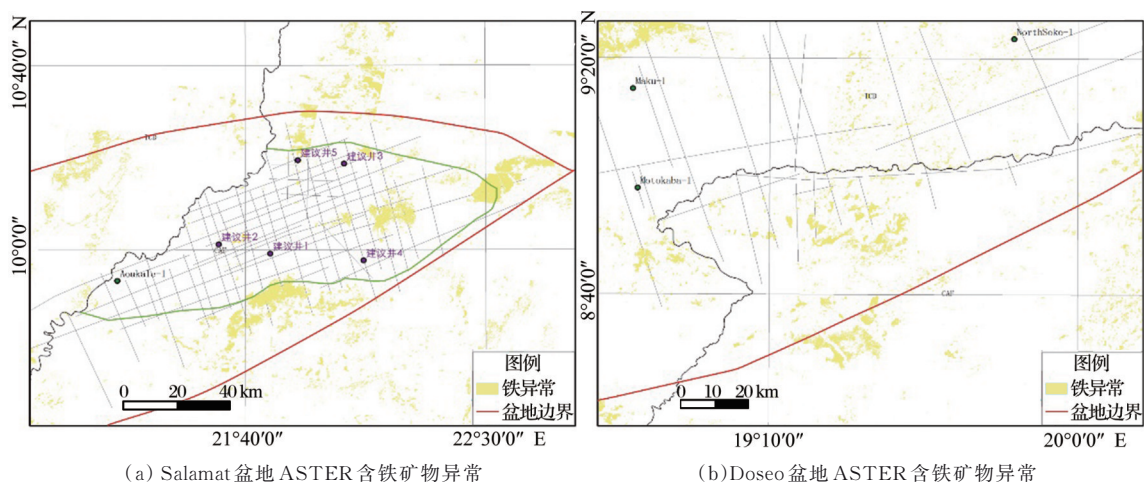


图 7 Salamat盆地与Doseo盆地ASTER含铁矿物异常及蚀变结果

Fig.7 ASTER ferrum anomaly extraction of Salamat Basin and Doseo Basin

4.4 ASTER 油气信息提取

应用 ASTER 数据对烃类微渗漏异常进行提取体现在可见光至短波红外波段,即 ASTER 的第 1 至第 9 波段。根据不同蚀变矿物的波谱特征分布(表 1),采用不同的波段组合利用波段比值法及主成分分析法提取蚀变信息(表 2)。

通过 ASTER 数据对研究区粘土矿物、碳酸盐矿物及含铁矿物蚀变信息的提取,在 Salamat 盆地和 Doseo 盆地分别圈定一个遥感异常区。将蚀变异常与已知油井进行对比研究发现,油井处粘土矿物蚀变异常极为明显,其次为碳酸盐蚀变异常,铁离

表 1 蚀变矿物波谱在 ASTER 数据中的波段特征

Table 1 Band characteristics of altered mineral spectral spectra in ASTER data

蚀变矿物	1	2	3	4	5	6	7	8	9
粘土				反射		吸收	反射		
碳酸盐			反射	反射	吸收			吸收	反射
Fe^{3+} 离子	反射	反射	反射	反射				反射	
Fe^{2+} 离子		反射	吸收					吸收	

子蚀变异常最不明显。故推测油气渗漏区域粘土矿物与碳酸盐矿物含量较高,含铁矿物含量较低。分别给予这些异常一定的权重,粘土异常 40%,碳

表 2 矿物蚀变信息提取方法

Table 2 Mineral alteration information extraction		
蚀变矿物	波段比值法	主成分分析法
粘土	B6/B4	B1、B3、B4、B6
碳酸盐		B1、B3、B4、(B5+B8)/2
Fe ³⁺ 离子	B2/B1	B1、B2、B3、B4
Fe ²⁺ 离子	(B5/B3)+(B2/B1)	

酸盐异常 40%，铁异常 20%，最后根据各异常值相加，得到综合异常。蚀变遥感信息的背景值和异常

下限一般由均值加 1 倍标准差界定，高于背景值的蚀变遥感信息区(带)称为蚀变遥感异常，根据一级异常>0.8、二级异常 0.4~0.8、三级异常<0.4 对综合异常进行划分，据此得到油气遥感异常解译图(图 8)。一级异常区域主要分布在 Salamat 盆地西南侧和 Doseo 盆地西南侧。一级、二级、三级异常区域分布规律主要为异常等级由一级向二级、三级环形递变，可以推测异常强度以一级为中心向四周扩散，强度逐渐衰减。

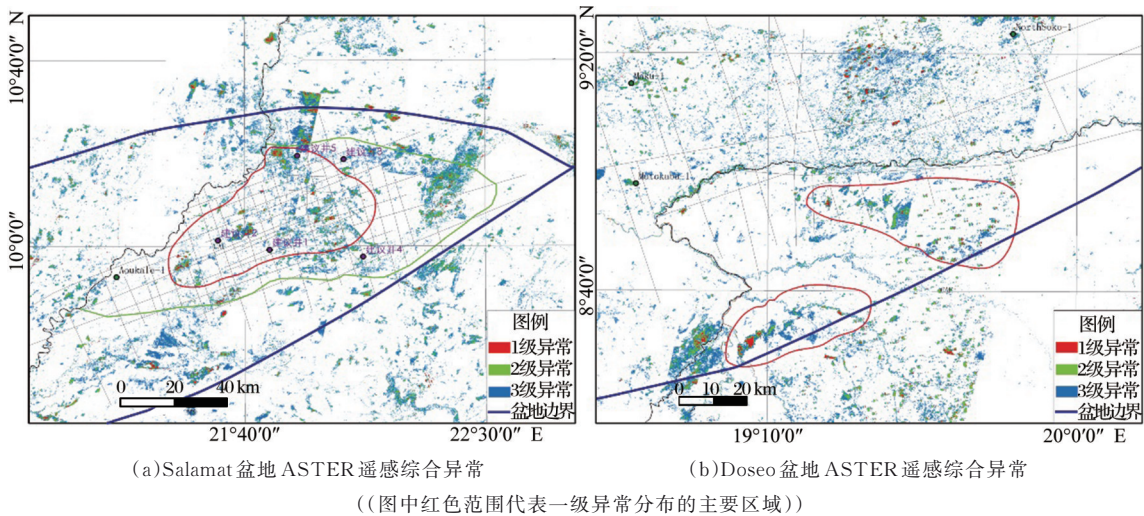


图 8 Salamat 盆地与 Doseo 盆地 ASTER 遥感综合异常解译图

Fig. 8 ASTER comprehensive anomaly extraction of Salamat Basin and Doseo Basin

5 地表地质解释

研究区位于中非剪切带内，自白垩纪南美大陆从非洲板块分离开始形成，为大陆裂谷间的一个转换断层，具右行走滑性质，非洲板块及周边主要由近南北向的张性的大陆裂谷及大洋裂谷构成，中间由近东西向的转换断层调节^[49-50]。遥感的地表地质解译是在遥感影像上识别、分析各种构造成分存在的标志及形态特征，判别各构造形迹的性质及空间展布规律，从而总结区域构造特征^[51-53]。

5.1 断裂构造解译标志

(1)断裂构造在遥感图像的直接和间接解译标志是通过阴影、色调、形状、图形、大小、纹理和位置等表现出来的。断裂构造常显示为清楚直观的线形，具有一定宽度且明显区别于两侧正常地貌单元和地层单元的线性色调异常带，或两种不同色调区的分界线^[52]。

(2)切割山体或控制沟谷、山体展布的线形地带，有规律横切山脊、水系、冲沟、阶地和洪积扇等地貌的线性影像，线性排列的鼓包、挤压脊、拉分盆

地、断层三角面、断层陡坎等微地貌均可作为断裂构造的识别标志。

5.2 褶皱构造解译标志

(1)转折端是褶皱构造的重要标志之一，通过色调、地貌、水系、植被和综合景观等解译标志显示岩层褶皱后呈现的：呈同心环状、横跨主要构造线的弧形、“之”字型折线的绸带状影像，长条形、弧形延伸的岭脊。

(2)岩层分布的对称性是褶皱构造的另一重要标志，遥感影像上表现为不同色调条带形成的纹形对称重复，地形、地貌特征构成的纹形图案对称重复。当褶皱两翼地形坡度相近时，由褶皱两翼同一岩层的出露宽度变化来间接推断岩层在两翼产状的相对陡缓。

5.3 研究区构造解译

研究区 Salamat 盆地和 Doseo 盆地地表南部均存在断裂(图 9)。Salamat 盆地南缘发育北东向断裂构造，断层呈线性凸起影像，发育多条走向北东的断裂，遥感影像上断裂地表迹线清晰，长约 30~

70 km,平面组合多呈断续雁列式、交叉及斜交式,部分断裂显示反“S”形,反映该区受剪切张应力作用的特点(图9(a))。Doseo盆地东缘见断裂和褶皱构造,遥感影像上植被呈条带状、转折状分布,指示断裂与褶皱构造的发育,褶皱轴线走向为北东向,与中非剪切带呈雁列式、交叉及斜交式,同时褶皱两翼近平行,显示挤压强度较大。褶皱在地表迹线(单翼)长度约20~40 km(图9(b))。

中非剪切带的右行走滑运动是形成两侧拉分盆地和周边褶皱和断裂的主要原因(图10)。Doseo盆地与Salamat盆地以Borogop断裂带为分隔,交接部位沉积厚度较薄^[54],显示为断垒构造特征(图11)。强烈的走滑作用使断裂两侧发育一系列雁列式断层和褶皱,受构造作用影响它们的走向基本一致,为NNE向,与主断裂斜交。由于主剪切带的反“S”型形状特征,剪切带的转折部位为松弛拉伸区域,进而形成了Salamat和Doseo拉分盆地。受PDZ主位移带的右旋走滑应力场控制,盆地内存在拉张分力和挤压分力两种构造应力,垂直于拉张分力方向发育负花状构造、雁列正断层等张性构造,而垂直于挤压分力方向发育褶皱、逆断层等压性构造。两盆地中部均发育负花状构造带,其与主位移带呈小角度相交,剪切方向与主位移带一致。断裂方向主要受其所处的构造位置及构造应力性质所控制,由PDZ构造图解可知,主位移带两侧可发育走向不同但剪切指向一致的雁列式断层,以及受剪切作用控制的被动褶皱,此外构造图解中所展示的堑垒构造、负花状构造等构造样式也与地震剖面(图11)构造特征所对应。两盆地内构造特征总体相似,但由于盆地演化过程的差异,两盆地内部分构造的展布及性质有所不同。

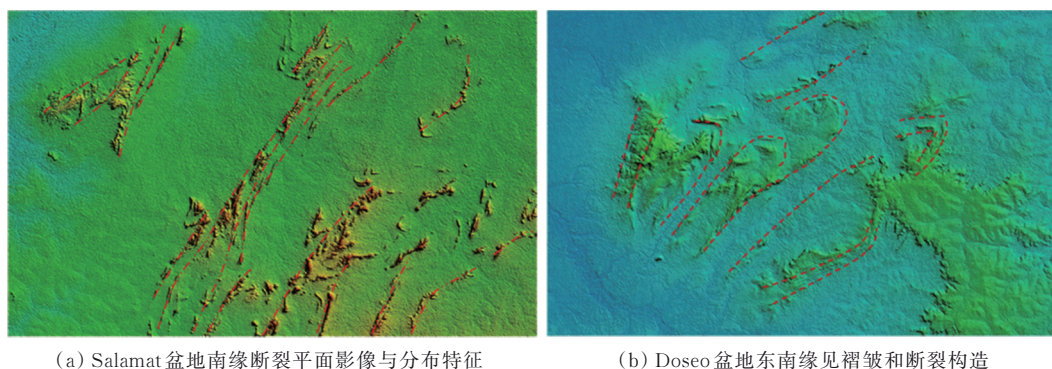
Doseo盆地与Salamat盆地的形成演化可分为

早白垩世裂陷期、晚白垩世扭张—反转期和古近纪以来的拗陷期3个阶段:①早白垩世时期,受中非剪切带强烈的右旋走滑作用控制,位于中非剪切带上的Doseo盆地和Salamat盆地处的地壳拉张减薄,盆地发生强烈扭张作用,形成了以斜向滑动断层(图11,剖面B-B'、D-D'、E-E')、断阶构造(图11,剖面A-A'、C-C'、E-E')、负花状构造(图11,剖面B-B'、D-D')为主的扭张类构造样式。这一阶段是盆地形成的重要时期,其沉积充填物对盆地总充填物贡献达80%^[2]。②晚白垩世时期,受中非剪切带活动减弱影响,两盆地裂陷作用明显减弱^[6]。晚白垩世末期,因非洲板块与亚洲板块发生碰撞,造成盆地群发生强度表现为西强东弱的构造反转作用^[55],致使Doseo盆地遭受强烈改造,发育因压扭作用形成的正花状构造、反转背斜构造等压扭类构造样式(图11,剖面A-A'、B-B'),且地层遭受强烈剥蚀,而位处Doseo盆地东部的Salamat盆地受构造反转作用影响较小,基本保存了盆地原来的构造特征,也正是这一时期的差异构造作用造成两盆地内断裂方向、性质表现出一定差异。③进入新生代后,随着中非剪切带走滑作用基本停止,两盆地构造活动也随之停止,断裂不发育,盆地进入填平补齐阶段。

6 遥感异常区油气信息评价

6.1 Salamat盆地遥感异常区

Salamat盆地遥感异常出现在盆地中部隆起区,内部有若干个地堑和地垒组成,该区石油地质条件较好,存在下白垩统生储盖组合和上白垩统生储盖组合,隆起带发育不同级别的正断层,沿断层形成披覆背斜、断背斜、断鼻和断块;断层封闭后可以作为断背斜、断鼻或断块的遮挡,在白垩系的底部,基地的顶部也可以形成古潜山油藏^[56-57]。



(a) Salamat盆地南缘断裂平面影像与分布特征

(b) Doseo盆地东南缘见褶皱和断裂构造

图9 Salamat盆地与Doseo盆地地表南部断裂图

Fig.9 Fracture plane image and distribution characteristics of southern margin of Salamat Basin and Doseo Basin

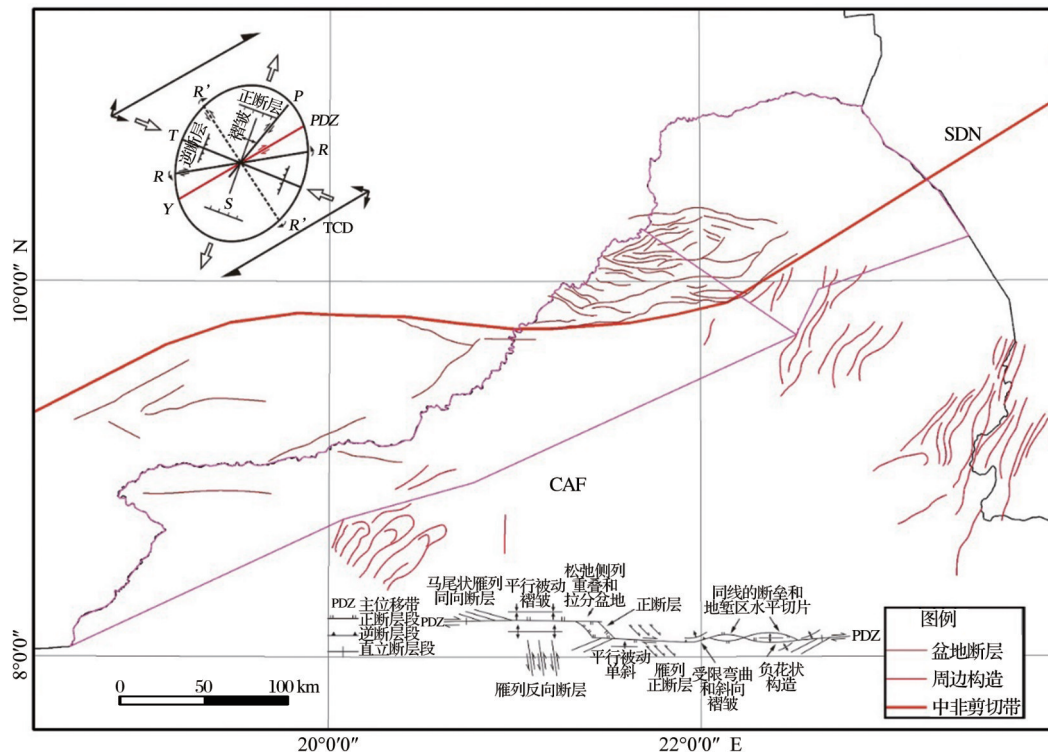


图 10 中非裂谷系构造形成机理

Fig.10 Structural formation mechanism of Central African Rift System

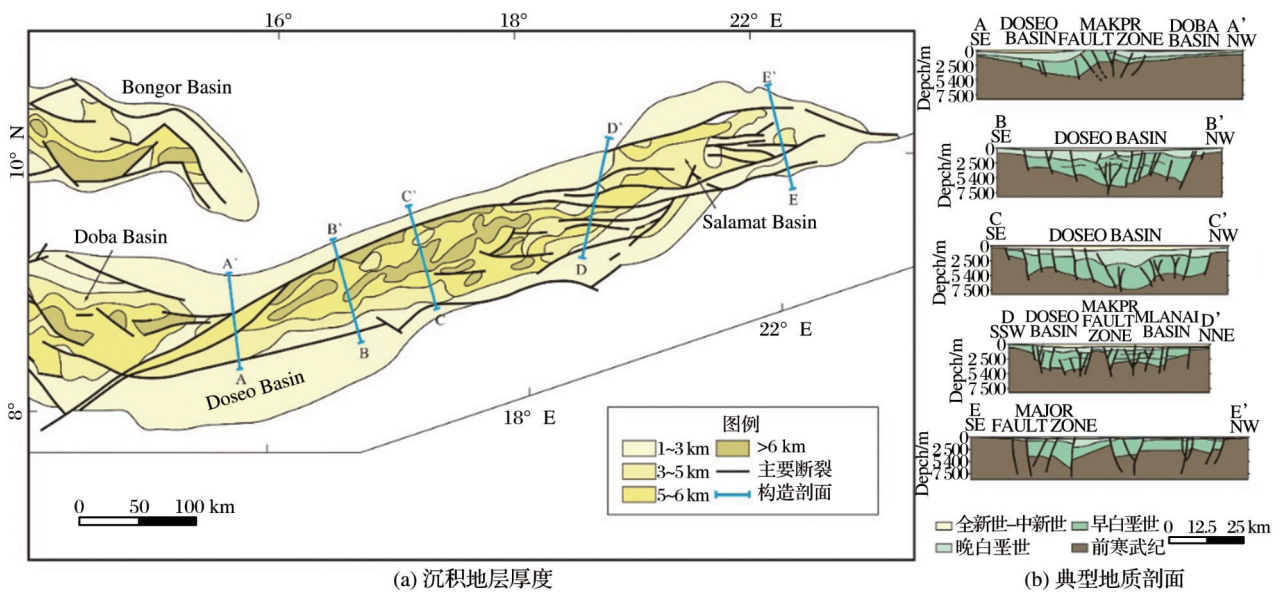


图 11 中非裂谷系西部盆地群沉积地层厚度与典型地质剖面

Fig.11 Total isopach map and typical geological profiles in Western Basin Group of Central African Rift System

油气形成后从凹陷低部位或沿不整合和砂体侧向运移或沿断层垂向运移至断层下盘构造高部位或断背斜、背斜高部位成藏^[58-59]。垂向上,油气藏主要形成于上、下白垩统之间的不整合以下,少量的油气藏形成于下白垩统的下部,这是因为下白垩统烃源岩发育条件好,断层发育,运移条件较好;上白垩统烃源岩发育条件较差,断层不发育,保存条

件较好。油气形成于晚白垩纪以后,圈闭的形成对成藏十分有利^[33]。

根据图 12(a),推测的盆地边界内有大量的遥感油气异常信息分布,遥感油气异常受断裂控制较强,一级异常主要分布于断层发育区域。中非剪切带北侧相对于南侧油气一级异常分布较密集,推测 Salamat 盆地内油气渗漏活动更强。

6.2 Doseo 盆地遥感异常区

Doseo 凹陷油气运移和成藏与 Salamat 盆地十分类似。圈闭主要形成于晚白垩世以前,油气主要形成于晚白垩世。油气在构造低部位形成后沿不整合、砂体和正断层运移至断层下盘或构造高点形成油气藏,垂向上油气藏主要形成于下白垩统^[14, 60]。但由于 Doseo 盆地独特的盆地结构特征,其西北部受晚白垩世末期构造反转作用强烈改造,构造性质由早期的张性转变为压性,且地层遭受强烈抬升剥蚀,使得该区域油气储盖条件较差。Doseo 盆地遥感异常分布主要在盆地西南侧,一级异常数量相对较少,分布零散(图 12(b)),推测 Doseo 盆地油气渗漏活动较弱。

6.3 盆地综合遥感异常

对 Salamat 与 Doseo 盆地遥感异常分析,将之前划分的 51 个一级异常区域进行进一步整合,得到 11 个一级异常区域(图 13)。这 11 个异常区域基本都分布于断裂发育处,显示油气渗漏受断裂控制。主剪切带在宏观影像上显示为反“S”形,走向北东,断层转折部位为松弛拉伸区域,形成了 Salamat 和 Doseo 拉分盆地。结合盆地构造解译结果与地震剖面可知,一级异常区域主要分布于 Salamat 盆地中部隆起带及 Doseo 盆地南部断阶带,该区域主要发育有断阶构造、坳垒构造、负花状构造等扭张类构造样式。这类构造样式表现出断裂倾角较大、断层切割较深、为正断层或正断层组合的构造特征,此

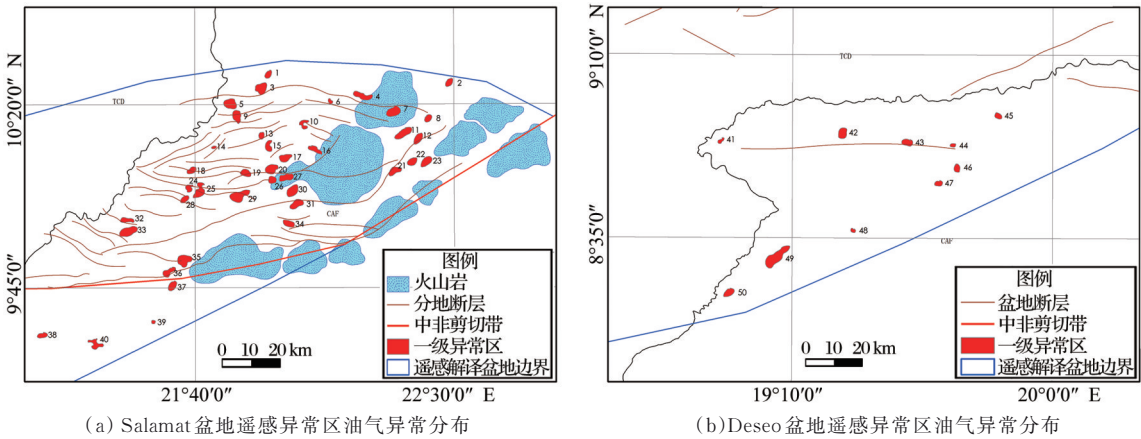


图 12 Salamat 盆地和 Doseo 盆地遥感异常区油气异常分布图
Fig.12 Oil and gas anomaly distribution chart in Salamat Basin and Doseo Basin

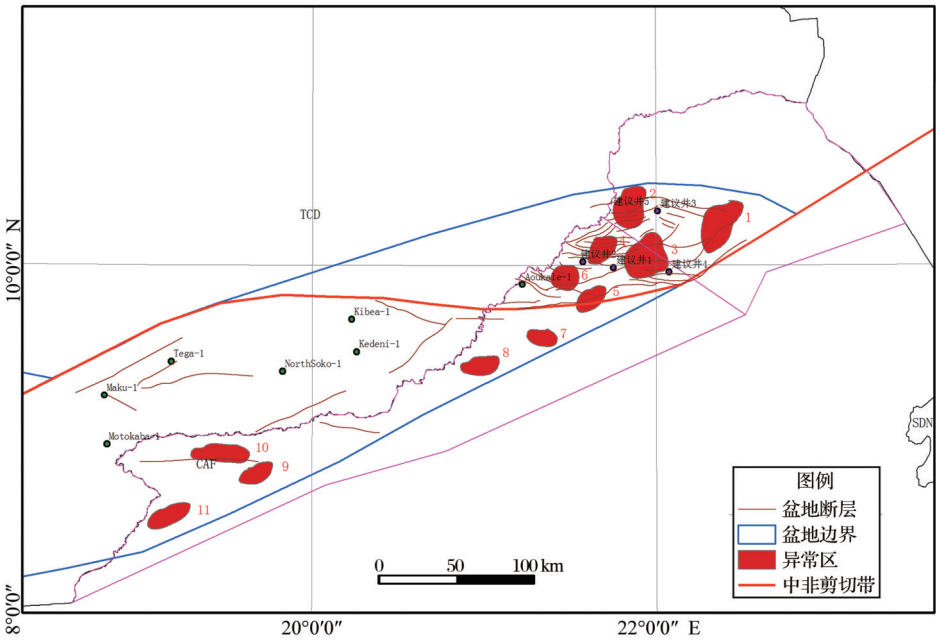


图 13 油气综合异常分布图
Fig.13 Oil and gas anomaly comprehensive distribution chart

类构造对地层进行改造,形成裂隙,为油气垂向渗漏至地表提供了较好的通道。油气的地表渗漏受盖层的岩性、构造变形、构造应力等多因素控制,遥感信息异常可直接反映油气地表渗漏情况,但对于油气藏位置的推测的偏差还无法定量化判断,需要更多材料进行论证,以建立油气藏渗漏综合模型,这也是今后一段时期研究的重要方向。

7 结 语

(1)通过对ASTER数据分析处理,提取矿物蚀变异常信息并与已知油井对比,油井处粘土矿物蚀变异常极为明显,其次为碳酸盐蚀变,铁离子蚀变异常不明显。推测油气渗漏区域粘土矿物与碳酸盐矿物含量较高,铁元素含量较低。

(2)中非剪切带为右行走滑断裂,断层两侧发育与主断裂斜交的雁列式断层和褶皱,主剪切带在宏观影像上呈反“S”形,走向NE,断层转折部位为松弛拉伸区域,导致Salamat和Doseo拉分盆地的形成,盆地内部由于主断裂的拉张作用,发育了以负花状为主的构造样式。

(3)遥感综合异常分析圈定的11个一级异常区域基本分布于断裂发育处,指示油气渗漏受断裂控制,断裂带为油气渗漏提供通道。一级异常区在Salamat盆地分布密集,数量较多,而Doseo盆地中异常区分布较为稀疏,反映两个盆地之间油气渗漏活动强度存在差异。

参考文献(References):

- [1] Binks R M, Fairhead J D. A Plate Tectonic Setting for Mesozoic Rifts of West and Central Africa[J]. *Tectonophysics*, 1992, 213 (1-2): 0-151. doi: 10.1016/0040-1951(92)90255-5.
- [2] Kong Lingwu, Han Wenming, Zhang Shulin, *et al.* Types and Formation Mechanism of Rift-basins in Central African Shear Zone[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2018, 25(4): 409-412.[孔令武, 韩文明, 张树林, 等. 中非剪切带裂谷盆地类型划分及形成机制[J]. *断块油气田*, 2018, 25(4): 409-412.
- [3] Cheng Dingsheng, Dou Lirong, Zhang Guangya, *et al.* Development Pattern of Two Types of Exceptional Cretaceous Source Rocks in the Rift Systems in West and Central Africa[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(11): 3449-3460.[程顶胜, 窦立荣, 张光亚, 等. 中西非裂谷盆地白垩系两类优质烃源岩发育模式[J]. *地质学报*, 2020, 94(11): 3449-3460.]
- [4] Fairhead J D. Mesozoic Plate Tectonic Reconstructions of the Central South Atlantic Ocean: The Role of the West and Central African Rift System[J]. *Tectonophysics*, 1988, 155 (1-4): 181-191. doi:10.1016/0040-1951(88)90265-X.
- [5] Moulin M, Aslanian D, Unternehr P. A New Starting Point for the South and Equatorial Atlantic Ocean[J]. *Earth-Science Reviews*, 2010, 98 (1/2): 1-37. doi: 10.1016/j.earsci-rev.2009.08.001.
- [6] Zhang Yiqiong, He Dengfa, Tong Xiaoguang. Genetic Mechanisms and Tectonic Types of Petroliferous basins in the Central Africa Shear Zone[J]. *Acta Petroleum Sinica*, 2015, 36 (10): 1234-1247.[张艺琼, 何登发, 童晓光. 中非剪切带含油气盆地成因机制与构造类型[J]. *石油学报*, 2015, 36(10): 1234-1247.]
- [7] Sun Guofeng, Zhang Mingyun, Lu Peiqing. Evolutionary Pattern of Orogenic Belt in Copper Metallogenic Belt, Central African Region[J]. *Resources Survey and Environment*, 2011, 32(2): 95-106.[孙国锋, 张明云, 鲁培庆. 中非铜矿带造山带特征演化模式[J]. *资源调查与环境*, 2011, 32(2): 95-106.]
- [8] Browne S E, Fairhead J D. Gravity Study of the Central African Rift System: A Model of Continental Disruption 1. The Ngaoundere and Abu Gabra Rifts[J]. *Tectonophysics*, 1983, 94(1-4): 187-203. doi: 10.1016/0040-1951(83)90016-1.
- [9] Zhang Qinglian, Hou Guiyan, Pan Xiaohua. Dynamic Mechanism of Rift Systems in West and Central Africa[J]. *Journal of Geomechanics*, 2018, 24(2): 169-176.[张庆莲, 侯贵延, 潘校华. 中西非裂谷系形成的动力学机制[J]. *地质力学学报*, 2018, 24(2): 169-176.]
- [10] Wu Zhenyun, Yin Hongwei, Wang Xin, *et al.* Simulation of Salt Structure Formation and Evaluation of Its Geological Significance to Oil-gas Accumulation: A Case Study of the Sudanese Red Sea Rift Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2014, 35 (5): 879-889.[吴珍云, 尹宏伟, 汪新, 等. 裂谷盆地盐构造形成演化及油气成藏地质意义: 以苏丹红海裂谷盆地为例[J]. *石油学报*, 2014, 35(5): 879-889.]
- [11] Keller G R, Wendlandt R F, Bott M H P. Chapter 13 West and Central African Rift System[J]. *Developments in Geotectonics*, 2006, 25 (6): 437-449. doi: 10.1016/S0419-0254(06)80021-2.
- [12] Dou Lirong, Pan Xiaohua, Tian Zuoji, *et al.* Hydrocarbon Formation and Distribution of Rift Basins in Sudan: A Comparative Analysis of Them with Rift Basins in East China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33 (3): 255-261.[窦立荣, 潘校华, 田作基, 等. 苏丹裂谷盆地油气藏的形成与分布——兼与中国东部裂谷盆地对比分析[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(3): 255-261.]
- [13] Tong Xiaoguang, Dou Lirong, Tian Zuoji, *et al.* Geological Mode and Hydrocarbon Accumulation Mode in Muglad Passive Rift basin of Sudan[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(1): 19-24.[童晓光, 窦立荣, 田作基, 等. 苏丹穆格莱特盆地的地质模式和成藏模式[J]. *石油学报*, 2004, 25(1): 19-24.]
- [14] Huang Xianxiong, Xia Bin, Wan Zhifeng, *et al.* Characteristics of Structure and Hydrocarbon Accumulation in Lake Chad Basin[J]. *Geotectonica et Metallagenia*, 2008 (3): 326-331.[黄先雄, 夏斌, 万志峰, 等. 乍得湖盆地构造特征与油气成藏规律初探[J]. *大地构造与成矿学*, 2008(3): 326-331.]
- [15] Lü Fengjun, Hao YueSheng, Shi Jing, *et al.* Alteration Remote Sensing Anomaly Extraction based on ASTER Remote Sensing Data[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2009, 30(2): 271-276.[吕凤军, 郝跃生, 石静, 等. ASTER遥感数据蚀变遥感

- 异常提取研究[J]. 地球学报, 2009, 30(2): 271-276.]
- [16] Jiang Changlu, Wu Rengui, Peng Qihui, *et al.* Extraction of Alteration Information by Using ASTER Remote Sensing Data: A Case Study of Wanheyong Volcanic Basin, Inner Mongolia[J]. Journal of East China Institute of Technology, 2014, 37(3): 257-263.[江昌禄, 吴仁贵, 彭启辉, 等. 基于ASTER数据的遥感蚀变信息提取——以内蒙古万合永火山盆地为例[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2014, 37(3): 257-263.]
- [17] Duan Junbin, Peng Peng, Yang Zhi, *et al.* Prediction of Polymetallic Metallogenic Favorable Area based on ASTER Data[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2019, 31(3): 193-200.[段俊斌, 彭鹏, 杨智, 等. 基于ASTER数据的多金属成矿有利区预测[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(3): 193-200.]
- [18] Fan Hailong, Wang Xiangzeng, Guo Jianming, *et al.* Oil and Gas Information Extraction from ASTER on Salamat Basin, Central African Rift[C]// 2017 National Natural Gas Academic Annual Conference, 2017.[樊海龙, 王香增, 郭建明, 等. 基于ASTER数据对中非Salamat盆地油气信息提取[C]// 2017年全国天然气学术年会论文集, 2017.]
- [19] Zhu Zhenhai, Wang Wenyan, Peng Xiling. Research Methods of Hydrocarbon Microseepage Detection by Remote Sensing Technology[J]. Chinese Science Bulletin, 1990, (16): 59-62.[朱振海, 王文彦, 彭希龄. 遥感技术直接探测烃类微渗漏的方法研究[J]. 科学通报, 1990, (16): 59-62.]
- [20] Guo Jianhua, Cui Jindong, Deng Jiqiu, *et al.* Petroleum Potential Analysis and Beneficial Regions Prediction of Biru Basin based on Remote Sensing Interpretation[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(1): 111-120.[郭建华, 崔金栋, 邓吉秋, 等. 基于遥感解译的比如盆地油气潜力分析与有利区预测[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(1): 111-120.]
- [21] Guo J, Fan H, Wang X, *et al.* Integrating Geochemical Anomaly and Remote Sensing Methods to Predict Oil-and Gas-bearing Areas in the Yanchang Oil Field, Ordos Basin, China[J]. Earth Sciences Research Journal, 2019, 23(1): 79-86. doi: 10.15446/esrj.v23n1.57544.
- [22] Zhu Zhenhai. Hydrocarbon Microseepage Theory and Oil-gas Reservoir Detecting by Remote Sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 1994, 9(1): 1-10.[朱振海. 油气藏烃类微渗漏理论及遥感油气资源探测的机理研究[J]. 遥感技术与应用, 1994, 9(1): 1-10.]
- [23] Liu Zigui, Li Qinxiong, Wang Zan. The Information of Spectral Remote Sensing on Hydrocarbon's Micro-seepage[J]. Remote Sensing of Environment, 1992(1): 65-73.[刘子贵, 李钦雄, 王鋈. 烃类微渗漏的光谱遥感信息[J]. 环境遥感, 1992(1): 65-73.]
- [24] Cheng Xianqiong, Zhu Jieshou, Cai Xuelin. A study of Global Vertical velocity of Mantle Flow[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2006, 49(4): 1022-1028.[程先琼, 朱介寿, 蔡学林. 全球地幔垂直流动速度研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(4): 1022-1028.]
- [25] Wiles E, Green A, Watkeys M, *et al.* Anomalous Seafloor Mounds in the Northern Natal Valley, Southwest Indian Ocean: Implications for the East African Rift System[J]. Tectonophysics, 2014, 630, 300-312. doi: 10.1016/j.tecto. 2014. 05.030.
- [26] Wang Runsheng, Xiong Shengqing, Nie Hongfeng, *et al.* Remote Sensing Technology and Its Application in Geological Exploration[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(11): 1699-1743.[王润生, 熊盛青, 聂洪峰, 等. 遥感地质勘察技术与应用研究[J]. 地质学报, 2011, 85(11): 1699-1743.]
- [27] Corti G, Van Wijk J, Cloetingh S, *et al.* Tectonic Inheritance and Continental Rift Architecture: Numerical and Analogue Models of the East African Rift System[J]. Tectonics, 2007, 26(6): 1-13. doi: 10.1029/2006TC002086.
- [28] Manighetti I, Tapponnier P, Courtillot V, *et al.* Strain Transfer between Disconnected, Propagating Rifts in Afar[J]. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 2001, 106(B7): 13613-13665. doi: 10.1029/2000JB900454.
- [29] Tang Chao, Chen Jianping, Zhang Ruisi, *et al.* Alteration from ASTER Remote Sensing Data in Ban Nu Metallogenic Belt, Gaize, Tibet[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(1): 122-128.[唐超, 陈建平, 张瑞丝, 等. 基于ASTER遥感数据的班怒成矿带矿化蚀变信息提取[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(1): 122-128.]
- [30] Kampunzu A B, Ntungicimpaye A, Rumvegeri B T. Dynamic Evolution of the Kibaran Belt in the Eastern and Central Africa[J]. Global Geology, 1988, 7(2): 92, 96 [Kampunzu A B, Ntungicimpaye A, Rumvegeri B T. 中非东部Kibaran带的地球动力学演化[J]. 世界地质, 1988, 7(2): 92, 96.]
- [31] Lu Yulin, Liu Jiaqi, Dou Lirong, *et al.* Geochemistry and Petrogenesis of Volcanic Rocks from Chad Basin, Africa[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(1): 109-123.[路玉林, 刘嘉麒, 窦立荣, 等. 非洲乍得盆地火山岩地球化学特征及成因[J]. 岩石学报, 2009, 25(1): 109-123.]
- [32] Huang Chao, Yu Chao, Xiao Gaojie, *et al.* Tectonic Evolution and Its Influence to Hydrocarbon Accumulation in Basin, Central and Western African Rift System[J]. Science Technology and Engineering, 2012, (17): 4079-4085.[黄超, 余朝华, 肖高杰, 等. 中西非裂谷系B盆地构造演化及其对油气成藏的影响研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(17): 4079-4085.]
- [33] Yu Xaun, Hou Guiting, Dai Shuanghe, *et al.* Tectonic Evolution and Hydrocarbon Pooling Patterns Analysis in East Africa Continental Margin[J]. Geological Science and Technology Information, 2015, 34(6): 147-154, 158.[于璇, 侯贵廷, 代双河, 等. 东非大陆边缘构造演化与油气成藏模式探析[J]. 地质科技情报, 2015, 34(6): 147-154, 158.]
- [34] Petit C, Ebinger C. Flexure and Mechanical Behavior of Cratonic Lithosphere: Gravity Models of the East African and Balkan Rifts[J]. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 2000, 105(B8): 19151-19162. doi: 10.1029/2000JB900101.
- [35] Paton D A, Underhill J R. Role of Crustal Anisotropy in Modifying the Structural and Sedimentological Evolution of Extensional Basins: The Gamtoos Basin, South Africa[J]. Basin Research, 2004, 16(3): 339 - 359. doi: 10.1111/j.1365-2117. 2004.00237.x.
- [36] Adams A, Nyblade A, Weeraratne D. Upper Mantle Shear Wave Velocity Structure Beneath the East African Plateau:

- Evidence for a Deep, Plateauwide Low Velocity Anomaly[J]. *Geophysical Journal International*, 2012, 189(1): 123-142. doi: 10.1111/j.1365-246x.2012.05373.x.
- [37] Fan Leyuan, Wang Yong, Wang Wenzhan, *et al.* Sedimentary Facies Characteristics and Favorable Reservoir Facies Belts of the Galhak Group in the Palogue Area of the Melut Basin, Sultan[J]. *Journal of Oil and Gas Tectonology*, 2013, (11): 40-45, 5.[范乐元, 汪勇, 汪文湛, 等. 苏丹 Melut 盆地 Palogue 地区 Galhak 组沉积相特征及有利储集相带划分[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(11): 40-45, 5.]
- [38] Shi Zhongsheng, Wang Tianqi, Fang Lehua, *et al.* Discovery of Fans in Melut Rift Basin, South Sudan and Its Petroleum Geological Significance[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(1): 81-89.[史忠生, 王天琦, 方乐华, 等. 南苏丹 Melut 裂谷盆地扇体的发现及油气意义[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(1): 81-89.]
- [39] Zhang Guifang, Wang Yuanhua, Zheng Zhuo. The Information Enhancement and Interpretation of Hydrocarbon Micro-seepage Induced Minerals based on ASTER Data[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2014, 53(6): 78-84.[章桂芳, 王远华, 郑卓. 基于 ASTER 数据的烃蚀变信息增强与提取[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2014, 53(6): 78-84.]
- [40] Liu Lei, Zhou Jun, Yin Fang, *et al.* Alteration Mineral Mapping and Ore Prospecting based on ASTER Data in Balikun, Xinjiang[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2013, 28(4): 556-561.[刘磊, 周军, 尹芳, 等. 基于 ASTER 数据的巴里坤地区蚀变矿物填图及找矿[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(4): 556-561.]
- [41] Chen Shengbo, Yu Yafeng, Yang Jinzhong, *et al.* Lithologic Information Extraction from ASTER Remote Sensing Data based on Spectral Ratio Method[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2016, 46(3): 938-944.[陈圣波, 于亚凤, 杨金中, 等. 基于实测光谱指数法的 ASTER 遥感数据岩性信息提取[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2016, 46(3): 938-944.]
- [42] Zhao Zhifang, Tan Shucheng, Wang Fengde, *et al.* Research on Extraction Method of Alteration Anomaly Information based on ASTER Data[J]. *Scientific and Technological Management of Land and Resources*, 2012, 29(6): 44-50.[赵志芳, 谈树成, 王锋德, 等. ASTER 数据矿化蚀变异常信息提取方法研究[J]. 国土资源科技管理, 2012, 29(6): 44-50.]
- [43] Hao Jianting, Yang Wunian, Li Yuxia, *et al.* Atmospheric Correction of Multi-spectral Imagery ASTER[J]. *Remote Sensing Information*, 2008(1): 78-81.[郝建亭, 杨武年, 李玉霞, 等. 基于 FLAASH 的多光谱影像大气校正应用研究[J]. 遥感信息, 2008(1): 78-81.]
- [44] Song Xiaoyu, Wang Jihua, Liu Liangyun, *et al.* Atmospheric Correction of Hyper-spectral Imagery: Evaluation of the FLAASH Algorithm with AVIRIS Data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2005, 20(4): 393-398.[宋晓宇, 王纪华, 刘良云, 等. 基于高光谱遥感影像的大气纠正: 用 AVIRIS 数据评价大气纠正模块 FLAASH[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(4): 393-398.]
- [45] Zheng Hongrui. Application of Multispectral and Hyperspectral Remote Sensing Techniques in Oil and Gas Exploration[D]. Beijing: Capital Normal University, 2014.[郑鸿瑞. 多光谱与高光谱遥感技术在油气资源勘探方面结合利用研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2014.]
- [46] Wu Zhichun, Ye Fawang, Guo Fusheng, *et al.* A Review on Application of Techniques of Principle Component Analysis on Extracting Alteration Information of Remote Sensing[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2018, 20(11): 1644-1656.[吴志春, 叶发旺, 郭福生, 等. 主成分分析技术在遥感蚀变信息提取中的应用研究综述[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(11): 1644-1656.]
- [47] Geng Xinxia, Yang Jianmin, Zhang Yujun, *et al.* The Application of ASTER Remote Sensing Data for Extraction of Alteration Anomalies Information in Shallow Overburden Area: A Case Study of the Baoguto Porphyry Copper Deposit Intrusion in Western Junggar, Xinjiang[J]. *Geological Review*, 2008(2): 184-191, 291.[耿新霞, 杨建民, 张玉君, 等. ASTER 数据在浅覆盖区蚀变遥感异常信息提取中的应用——以新疆西准噶尔包古图斑岩铜矿岩体为例[J]. 地质论评, 2008(2): 184-191, 291.]
- [48] Diao Hai, Zhang Da, Di Yongjun. The Extraction of Alteration Anomalies from ASTER Data based on Principal Component Analysis and Fractal Model[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2011(2): 75-80.[刁海, 张达, 狄永军, 等. 基于主成分分析和分形模型的 ASTER 蚀变异常信息提取[J]. 国土资源遥感, 2011(2): 75-80.]
- [49] Ebinger C J, Bechtel T D, Forsyth D W, *et al.* Effective Elastic Plate Thickness Beneath the East African and Afar Plateaus and Dynamic Compensation of the Uplifts[J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 1989, 94(B3): 2883-2901. doi: 10.1029/JB094iB03p02883.
- [50] Xiao Kunye, Zhao Jian, Yu Zhaohua, *et al.* Structural Characteristics of Intensively Inversed Bongor Basin in CARS and Their Impacts on Hydrocarbon Accumulation[J]. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(3): 172-180.[肖坤叶, 赵健, 余朝华, 等. 中非裂谷系 Bongor 盆地强反转裂谷构造特征及其对油气成藏的影响[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 172-180.]
- [51] Zhang Zhi, Guang Zhichao, Wang Shaojun. A Method of Combining Measured Spectra and ASTER TIR Image to Divide Lithology for New Tectonic Style Analysis based on the Blueschist in Akesu[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2018, 48(1): 334-342.[张志, 管志超, 王少军. 结合实测光谱的 ASTER TIR 数据岩性划分与构造样式分析——以新疆阿克苏蓝片岩为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2018, 48(1): 334-342.]
- [52] Kadeliye-Kahema, Zhang Yanping. Study on Extraction of Fault Structure Information and Lithology Information based on ASTER Remote Sensing Image[J]. *West-china Exploration Engineering*, 2014, 26(10): 111-114.[卡德丽亚·卡合曼, 张彦平. 基于 ASTER 遥感影像的断裂构造信息及岩性信息提取研究[J]. 西部探矿工程, 2014, 26(10): 111-114.]
- [53] Xue Chongsheng. Application and Progress of Remote Sensing Techniques in Regional Geological Surveying[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1997(S1): 16-23.[薛重生. 遥感技术在区域地质调查中的应用研究进展[J].

- 地质科技情报, 1997(S1): 16-23.]
- [54] Lü Caili, Zhao Yang. Differences in Tectonic Evolution and Mechanisms of Tectonic Dynamics of Rift Basins in Central Africa [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2018, 40(6): 23-34. [吕彩丽, 赵阳. 中非裂谷盆地构造演化差异性与构造动力学机制[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2018, 40(6): 23-34.]
- [55] Kong Lingwu, Zhang Shulin, Han Wenming, *et al.* Discussion on the Structural Features and Formation Mechanism of Strike-Slip Pull-Apart Basin: A Case Study in the Doseo Basin, Central Africa [J]. Geological Journal of China Universities, 2019, 25(5): 722-729. [孔令武, 张树林, 韩文明, 等. 走滑—拉分盆地构造特征及盆地成因模式探讨——以中非多赛奥盆地为例[J]. 高校地质学报, 2019, 25(5): 722-729.]
- [56] Schmeling H, Wallner H. Magmatic Lithospheric Heating and Weakening During Continental Rifting: A Simple Scaling Law, A 2-D Thermomechanical Rifting Model and the East African Rift System [J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems: G3, 2012, 13(8). doi: 10.1029/2012GC004178.
- [57] Bastow I D, Nyblade A A, Stuart G W, *et al.* Upper Mantle Seismic Structure Beneath the Ethiopian Hot Spot: Rifting at the Edge of the African Low-velocity Anomaly [J]. Geochemistry Geophysics Geosystems, 2013, 9 (12). doi: 10.1029/2008GC002107.
- [58] Walker K T, Nyblade A A, Klemperer S L, *et al.* On the Relationship between Extension and Anisotropy: Constraints from Shear Wave Splitting Across the East Africa Plateau [J]. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 2004, 109(B8). doi: 10.1029/2003JB002866.
- [59] Upcott N M, Mukasa R K, Ebinger C J, *et al.* Along-axis Segmentation and Isostasy in the Western Rift, East Africa [J]. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 1996, 101 (B2): 3247-3268. doi: 10.1029/95JB01480.
- [60] Craig T J, Jackson J A, Priestley K, *et al.* Earthquake Distribution Patterns in Africa: Their Relationship to Variations in Lithospheric and Geological Structure, and Their Rheological Implications [J]. Geophysical Journal International, 2011, 185 (1): 403-434. doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.04950.x.

Surface Structure Interpretation and Oil and Gas Information Extraction from ASTER on East Central African Rift System

Liu Xiang^{1,2,3}, Fan Hailong⁴, Guo Jianming^{1,2}, Xu Shiyang⁵

(1. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. Key Laboratory of Petroleum Resources, Gansu Province, Lanzhou 730000, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. Key Laboratory of Road Construction Technology and Equipment, School of Construction Machinery, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

5. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: By extracting and preprocessing ASTER remote sensing data of Salamat Basin and Doseo Basin, analyzing anomaly minerals information of clay, carbonate and ferrum, it carried out the remote sensing interpretation of structure and surface geological features, acquired hydrocarbon remote sensing anomaly area and conducted the petroleum geological evaluation. The results of surface structures and geological interpretation indicate that tectonic characteristic of the Central African Rift System is a shear zone while Salamat Basin and Doseo Basin are pull-apart basins that formed when the shear faulted. Salamat Basin and southern Doseo Basin are distributed with fractures and both sides of the fault have development of echelon fault or fold obliquely crossing with the main fracture. The main shear zone in the macro-view image appears converse "S" to the north east. Comparing with the known oil well, it shows that clay mineral alteration anomaly at the well is obvious, followed by carbonate alteration anomaly, and the iron ion alteration anomaly is weakest. Through analyzing on remote sensing area of Salamat and Doseo Basin, the Level 1 anomaly areas are mostly distributed in the fracture development zone, showing that seepage of oil and gas is controlled by fracture, and the fracture zone provides favorable channel for the seepage, which makes the ground oil and gas anomaly information obvious. The research has extracted alteration anomaly area which provides reference for further exploration.

Key words: East Central African Rift System; ASTER data; Mineral alteration; Oil and gas seepage; Constructional features