

## 尼日尔Termit盆地上白垩统Madama组 地震相识别与沉积相演化分析

刘若涵, 姜在兴, 王旭影, 汤望新, 刘超, 高艺

(中国地质大学(北京)能源学院)

**摘要** 以层序地层学及沉积学理论为指导,综合运用测井、录井以及地震资料,将尼日尔 Termit 盆地上白垩统 Madama 组划分为一个三级层序(MS),并进一步识别出低位体系域、海侵体系域以及高位体系域。在等时层序地层格架内,识别出前积反射地震相、河道充填反射地震相、平行-亚平行反射地震相以及杂乱反射地震相等四种类型,并识别出辫状河三角洲的沉积相类型。认为层序 MS 的低位体系域主要发育辫状河三角洲前缘亚相,高位体系域则主要发育辫状河三角洲平原亚相。Madama 组整体表现为一个海退的沉积演化过程。

**关键词** 尼日尔; Termit 盆地; 上白垩统; Madama 组; 沉积相; 地震相; 沉积演化

**中图分类号**: TE121.3 **文献标识码**: A

Termit盆地是中西非裂谷系中典型的中、新生代裂谷盆地<sup>[1]</sup>。受构造背景的影响, Termit盆地经历了前裂谷期、同裂谷期和后裂谷期三个阶段。其中,晚白垩世在热沉降背景下,盆地中心最大沉积厚度超过12 000 m。早在1970年,一些石油公司就对该盆地进行了油气勘探。目前工区内已部署二维地震约26 000 km、完钻探井52口,勘探结果表明,在Termit盆地白垩系油气显示丰富。前人对Termit盆地的研究主要以古近系为目的层,且多注重分析研究区的区域构造演化与沉积背景、石油地质特征及油气资源潜力等方面<sup>[2-9]</sup>。在层序地层划分方面,前人认为上白垩统Madama组作为一个三级层序,几乎只发育低位体系域,仅在Madama组顶部发育极薄的海侵体系域<sup>[10]</sup>;在沉积相认识方面,将Madama组整套地层简单地归结为辫状河沉积,但尚未有系统的认识和论述<sup>[2-6]</sup>。Madama组作为白垩系烃源岩与古近系储层的重要油气通道<sup>[6]</sup>,但由于对其地层展布与沉积相类型上的认识局限性,制约了上白垩统有利砂体的预测以及进一步的勘探部署工作。

本文以层序地层学及沉积学的相关理论为指导,以录井、测井以及地震相的分析为手段,试图建

立起Termit盆地上白垩统Madama组的等时层序地层格架,并系统地分析该层段沉积相的类型、平面分布及沉积演化特征,以期为有利砂体的展布预测及下一步的油气勘探提供有利的依据。

### 1 区域地质概况

Termit盆地位于尼日尔的东南部(图1a),向南可延伸至乍得<sup>[11]</sup>。北端以Agadez为界与Tefidet、Tenere、Grein、Kafra盆地相接,向南与Bornu盆地相邻(图1a)。盆地发育于前泛非期变质带基底之上,呈NW—SE向延伸,南北长约300 km,东西宽最窄处(在北端)约60 km,在南端最宽处约110 km,面积约30 000 km<sup>2</sup>。结合构造演化特征与构造样式差异,可以将Termit盆地划分为十个构造单元<sup>[12]</sup>,分别为Termit西台地、Dinga断阶、Dinga凹陷、Araga地堑、Termit东台地、Yogou东斜坡、Fana低凸起、Moul凹陷、Trakes东斜坡及Soudana隆起(图1b)。

Termit盆地上白垩统自下而上发育Donga组、Yogou组以及Madama组,上覆古近系Sokor组(图2)。其中, Donga组和Yogou组海相泥岩为研究区的主力烃源岩,古近系Sokor组为有效的盖层。上白垩统

收稿日期: 2016-01-08; 改回日期: 2016-12-25

本文受“十二五”国家科技重大专项“重点油气勘探新领域储层地质与评价”(编号: 2011ZX05009-002)资助

刘若涵: 女, 1990年生, 在读博士研究生, 从事层序地层学及沉积学方面的研究。通讯地址: 100083 北京市海淀区学院路29号中国地质大学(北京); E-mail: lrhsuper@163.com

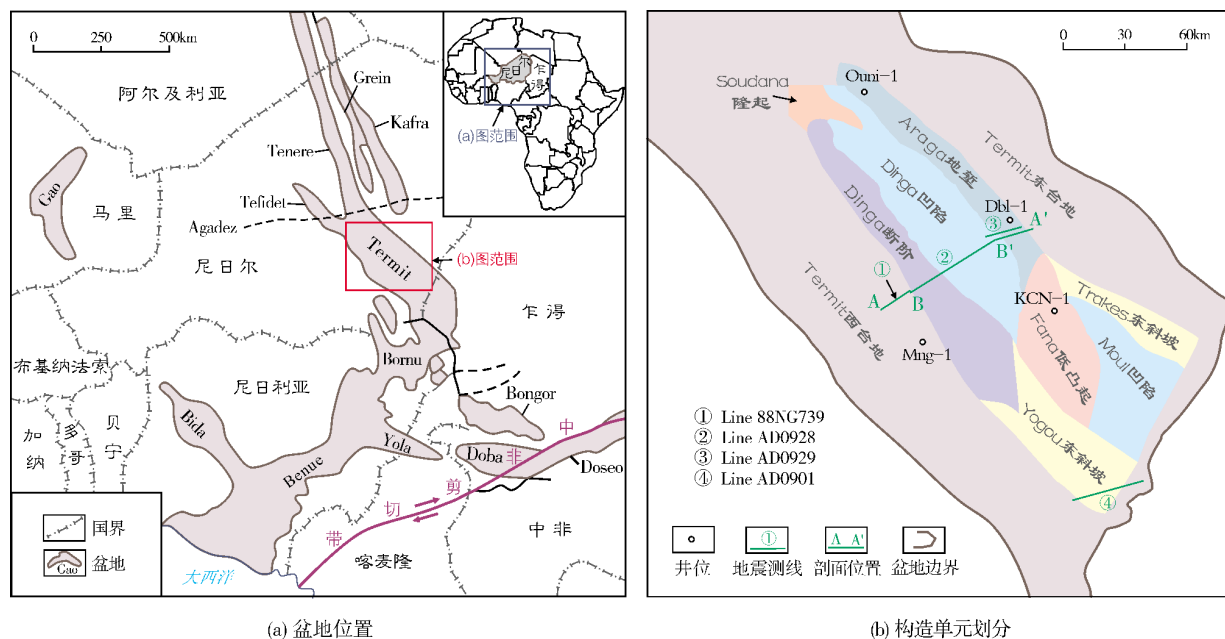


图1 尼日尔Termit盆地位置及构造单元划分(图1a据文献[11]修改,图1b据文献[2-3,12]修改)

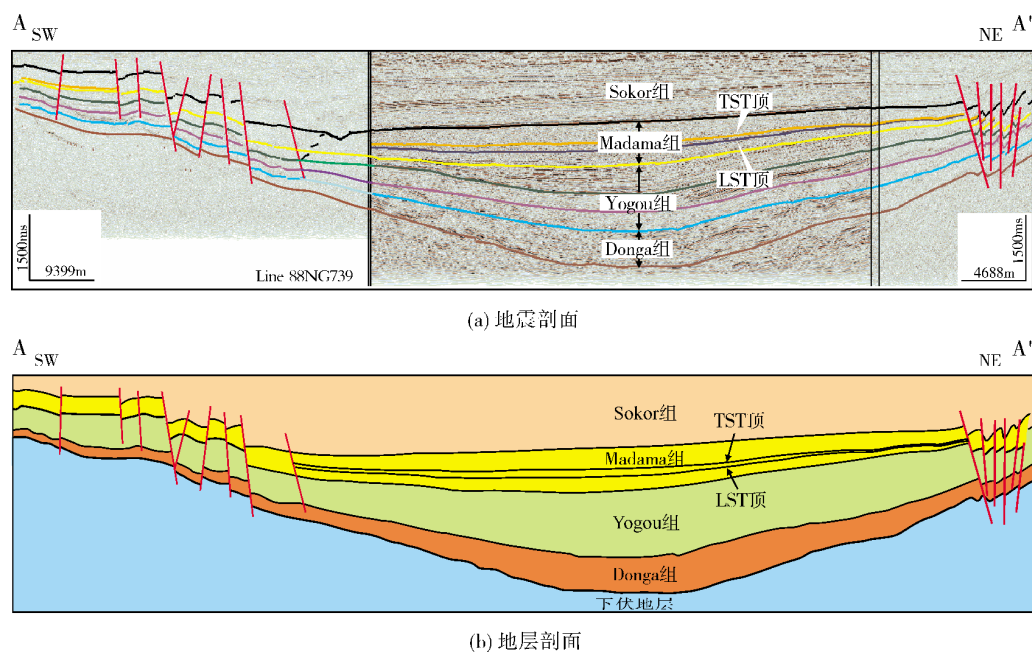


图2 尼日尔Termit盆地SW-NE向A-A'地层构造剖面图  
剖面位置见图1b

沉积时期, Termit盆地经历了短暂的裂谷作用, 之后开始了长时间的热沉降, 断裂活动较弱, 总体上以坳陷作用为主。本次研究目的层Madama组沉积早期, 研究区内的构造挤压作用使盆地整体抬升, 相对海平面下降, 盆地沉积了厚层的Madama组砂岩。该层段层序发育较为稳定, 层序最大厚度位于

Dinga凹陷及Moul凹陷, 向盆地东西两侧逐渐减薄(图2)。Madama组在钻井中(如Dbl-1井, 图3)岩性粒度较粗, 上部以中砂岩、砾岩为主, 偶夹灰色的泥岩薄层; 下部则以砂岩与泥岩的薄互层为主, 偶夹薄层砾岩。总体上, 自下而上呈粒度逐渐变粗的反序列旋回。

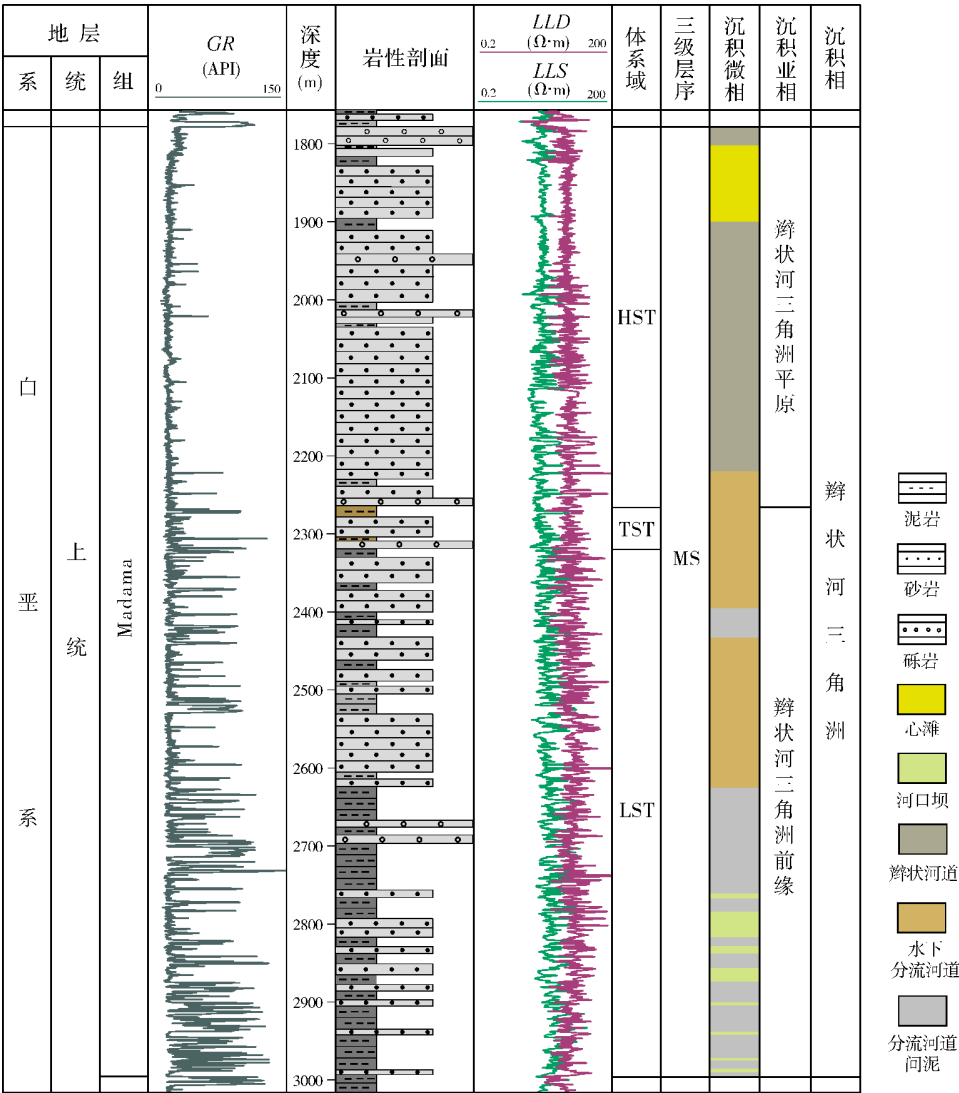


图3 尼日尔Termit盆地Dbl-1井Madama组沉积相柱状图  
钻井位置见图1b

2 层序地层划分方案

由于尼日尔Termit盆地处于勘探初期,岩心及分析化验资料缺乏,故本次研究主要通过测井层序边界和地震层序边界的识别,并且通过井震结合,在地震剖面上进行层序划分和对比,较为准确地识别出了研究区层序边界所对应的层序地层界面,最终建立了层序地层格架。本文首先识别出了初次海泛面与最大海泛面,进而将Termit盆地上白垩统Madama组划分为一个三级层序(MS),并将该三级层序进一步划分出低位体系域(LST)、海侵体系域(TST)和高位体系域(HST)(图2,图3)。

3 沉积相标志

结合大的区域沉积背景,并通过分析该层段的岩性旋回及测井曲线特征,以及地震反射特征,识别出辫状河三角洲的沉积相类型(且以辫状河三角洲平原及辫状河三角洲前缘亚相为主)。

3.1 辫状河三角洲平原

主要发育于层序MS的高位体系域,其沉积物粒度较粗,地震资料品质较差,多呈低频、短连续的地震相特征。该沉积相主要发育辫状河道和心滩两种微相。

辫状河道 岩性较粗,多以灰色中砂岩、粗砂岩

以及砂砾岩为主,偶夹深灰色的泥岩薄层(图4)。岩性组合在纵向上呈下粗上细的正旋回,指示河道沉积的特征,且底部砾石多表现为辫状河道滞留沉积。测井响应多为箱状结构。地震资料品质较差,同相轴多呈短连续、杂乱反射,有明显的下切充填反射特征,地震剖面上呈透镜状,反映出一种高能水动力环境,以及多期辫状河道叠加、频繁改道迁移的特征。

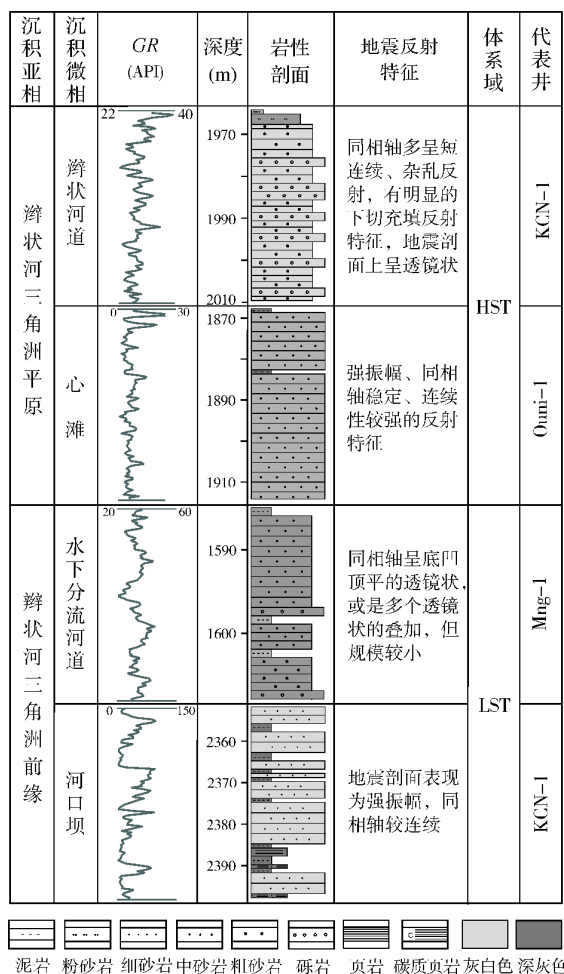


图4 尼日尔Termit盆地Madama组沉积相标志

代表井位置见图1b

**心滩** 在河床突然加宽处,由于河水流速降低,在河底形成两股相向的底流作用,向两岸侵蚀,而在河床底部堆积,逐渐形成心滩。此沉积微相的岩性以中—细砂岩为主,砂体顶部一般有“落淤层”存在。沉积韵律性不明显,但仍然可以识别出向上变细的正粒序。测井曲线以箱形、齿状箱形、箱形-钟形叠加为主(图4),电阻率曲线幅度差较大。地震剖面上表现为强振幅、同相轴稳定、连续性较强的特征。

### 3.2 辫状河三角洲前缘

主要分布在层序MS的低位体系域中,与辫状河三角洲平原相比,该体系域粒度较细,泥岩含量增加。地震剖面上也表现为同相轴连续性增强,且在底界面处可清楚识别出前积反射结构,这也进一步证明了辫状河三角洲前缘的发育,而非单一的辫状河道沉积。辫状河三角洲前缘主要发育水下分流河道、河口坝及分流河道间泥三种沉积微相。

**水下分流河道** 辫状河三角洲前缘亚相中,水下分流河道是三角洲平原河道在水下的延伸部分,也是辫状河三角洲的主体之一,沉积物粒度较细,多以深灰色泥岩、灰色粉砂岩及细—中砂岩为主,其他沉积特征与辫状河道极为相似。岩性整体向上粒度变细,单砂体厚度减薄,测井曲线上常表现为齿化的钟形(图4)。其中,测井曲线的正韵律指示河道沉积,并反映出向上水动力减弱的过程,多个钟形叠加代表了水下分流河道的改道迁移。地震剖面上则呈底凹顶平的透镜状,或是多个透镜状的叠加,但规模较小。

**河口坝** 粒度较辫状河道细,主要为粉砂岩、细砂岩、细—中砂岩。底部为泥岩,顶部为砂岩。沉积韵律有向上变粗的反粒序和向上变细的正粒序,或是正粒序和反粒序的结合,研究区可见多期多层叠置或泥岩分隔。测井曲线以指状或漏斗状为主,或是二者的叠加(图4)。地震剖面表现为强振幅、同相轴较连续的特征。河口坝位于水下分流河道的河口处,由于海水的冲刷和颠簸作用,使泥质物质被带走,因此研究区的河口坝沉积物多由分选较好的细砂和粉砂组成。

**分流河道间泥** 粒度较细,灰色泥岩,夹砂岩、粉砂岩薄层,炭质页岩为此微相的典型特征。沉积韵律性不明显。测井曲线以齿状或指状为主。地震剖面上,同相轴连续性好,呈平行反射特征。

## 4 典型地震相的识别

由于研究区钻井较少,且多分布在凹陷区的边缘,Dinga凹陷内部无井钻穿,因此在等时层序地层格架内进行地震相的识别,对于进一步认识研究区发育的沉积相具有十分重要的意义。本次地震相识别过程中,严格遵循以下四个方面的原则<sup>[13]</sup>:(1)能量匹配原则,即代表高能环境的反射结构和外形,不能与代表低能环境的反射结构和外形匹配,反之亦然;(2)以岩心相为准,即进行地震相解释时应尽可能结合钻井资料,用钻井的岩心相标定对应的地震相;



(3)沉积体系匹配准则,包括沉积相类型的排列方式和沉积相排列的方向性两个方面;(4)沉积演化史匹配准则,从一个层序(或亚层序)到另一个层序(或亚层序)的地震相分布应遵循沉积环境演化规律。同时以沉积环境和岩相意义较为明确的特殊地震相的识别为突破口,利用地震反射内部结构和外部形态来描

述目的层段的地震相类型。通过地震相的分析,建立起了地震相与沉积相的对应关系,提高了沉积相识别的精度,为砂体的展布分析提供了有利依据。

本次研究认为, Termit盆地上白垩统Madama组主要发育前积反射地震相、河道充填地震相、平行-亚平行反射地震相以及杂乱反射地震相(图5,图6)。

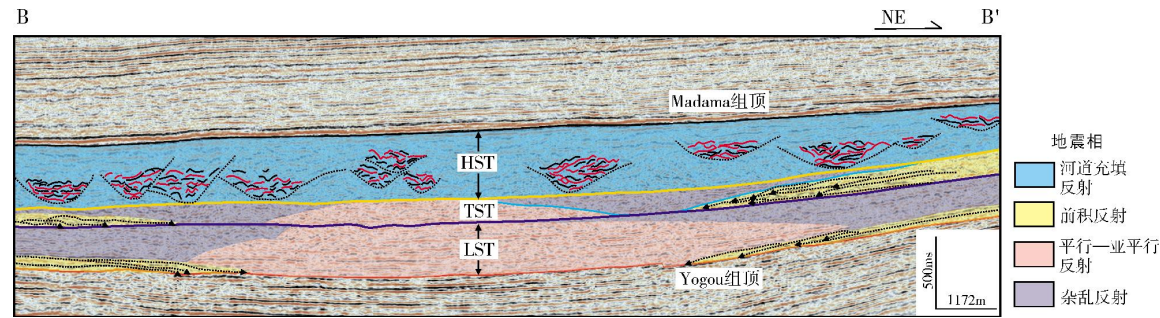


图 5 尼日尔 Termit 盆地典型地震剖面解析  
剖面测线 AD0928,位置见图 1b

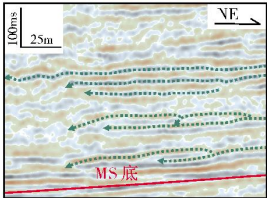
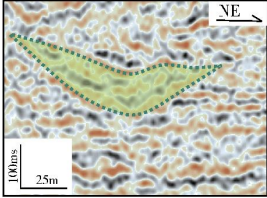
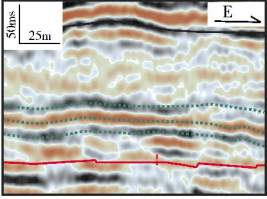
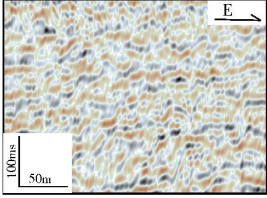
地震相		层序	体系域	沉积相	地震剖面实例	地震测线名称
类型	解释					
(a) 前积反射	同相轴多呈中振幅、中频、中—高连续,发育多组相互叠置的S形反射同相轴,其前积方向往往代表辫状河三角洲推进的方向	MS	LST	辫状河三角洲前缘		Line AD0928
(b) 河道充填反射	同相轴呈中—弱振幅、中低频率、短连续。水动力较强的辫状河道侧向频繁迁移、剧烈下切侵蚀并垂向叠置	MS	HST	辫状河三角洲平原		Line AD0928
(c) 平行—亚平行反射	同相轴呈中振幅、中频、中连续,其顶部和底部为平行的接触关系,内部为平行—亚平行反射结构	MS	LST	滨浅海		Line AD0901
(d) 杂乱反射	同相轴以错乱无序为特征,连续性差,多为粗碎屑,为快速堆积的地震响应	MS	HST	辫状河三角洲平原		Line AD0929

图 6 尼日尔 Termit 盆地 Madama 组主要地震相类型  
地震测线位置见图 1b

#### 4.1 前积反射地震相

研究区发育S形前积反射地震相(图6a),且根据拐点可以划分出较薄的顶积层(水平状)和底积层(水平状),以及较厚的前积层(倾斜状)。顶积层的发育表明在盆地边缘有垂向加积作用,前积层及底积层的发育则表明在盆地的斜坡以及内部具有前积作用。

该类型的地震相类型主要发育于层序MS的低位体系域,从Dinga凹陷的东西两侧向Dinga凹陷内部均有明显的前积反射特征,这也进一步说明研究区的物源分别来自于盆地的东西两侧,而非单一的东部物源。

#### 4.2 河道充填反射地震相

该地震相的典型标志是“顶平底凹”(图6b),向下侵蚀充填于下伏地层之中。该类型的沉积相多发育于层序MS的高位体系域,地震剖面上有一个清楚的下凹底界,河道充填以短连续、弱振幅为主,研究区的河道充填地震相多呈北东—南西向展布。

#### 4.3 平行—亚平行反射地震相

该反射结构以反射层平行或微微起伏为主要特征(图6c),多代表一种稳定匀速的沉积背景。研究区内该地震相类型发育较少,仅在层序MS的低位体系域及海侵体系域中发育,如在水体最深的Dinga凹陷中部。

#### 4.4 杂乱反射地震相

研究区内该地震相表现为弱—中振幅、差连续,反射同相轴呈杂乱状(图6d)。杂乱地震相可以是地层受到剧烈变形、破坏了连续性之后造成的,也可以是在变化不定、相对高能环境下沉积体的反映。在本研究区内,杂乱地震相多发育于层序MS的高位体系域及低位体系域中靠近物源的两侧,多在辫状河三角洲平原所处的高能环境下沉积形成。

### 5 沉积相展布及演化

低位体系域时期(图7),在层序MS中水体相对较深,此时来自于盆地东北和西南两个方向的物源<sup>[12,14]</sup>,不断向盆地内部推进。此时盆地两侧发育辫状河三角洲沉积,且主要发育辫状河三角洲前缘亚相。靠近盆地内部,水体逐渐加深,依次发育半深海

相和深海相沉积(图7,图8a)。并推测在Dinga凹陷的中心,可能发育海底扇沉积,同时在其他区域可发育浊积岩沉积(图7)。

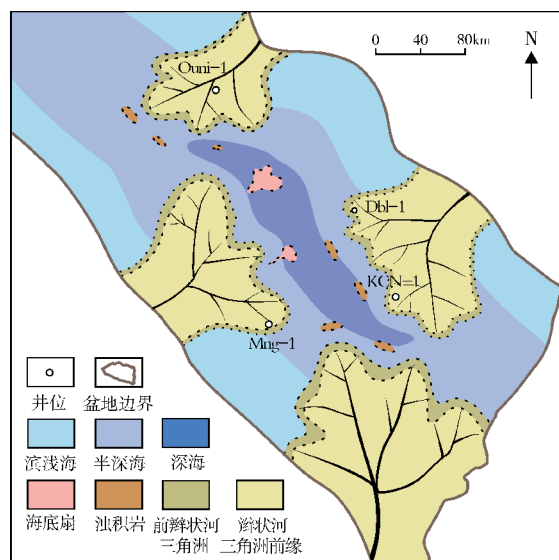


图7 尼日尔Termit盆地Madama组低位体系域沉积相平面图

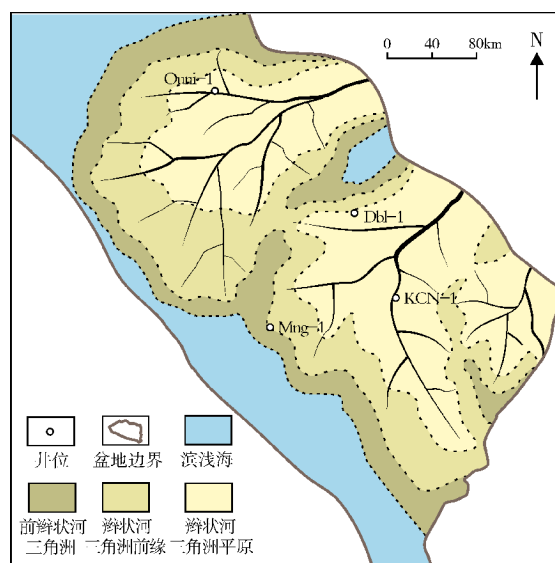
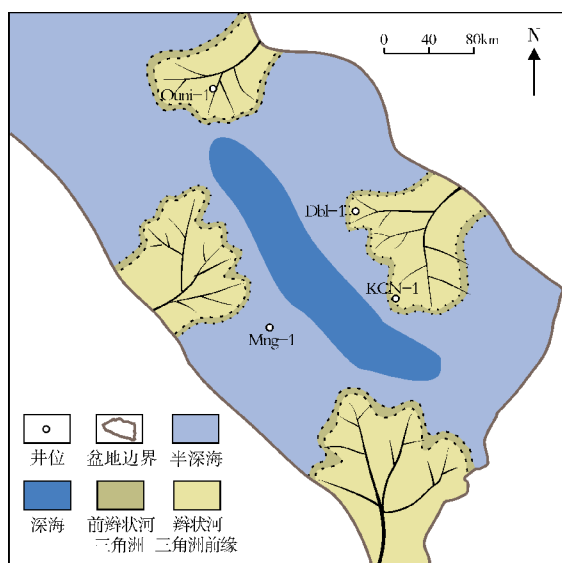
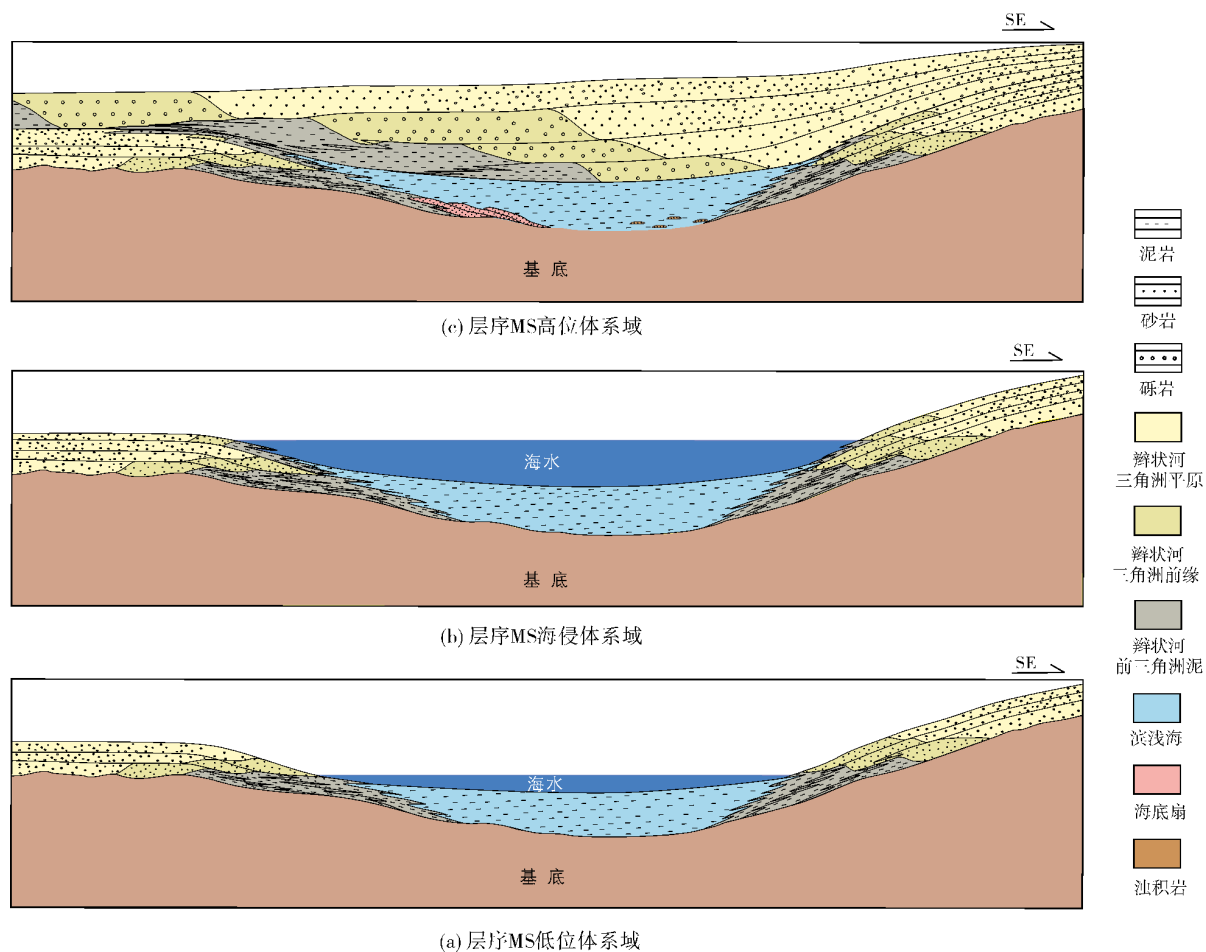
海侵体系域时期(图9),水体进一步加深。此时盆地两侧的辫状河三角洲发生退积,规模减小。研究区大部分区域以半深海沉积为主(图9,图8b),Dinga凹陷中心一线发育深海相(图9)。

高位体系域时期(图10),海水几乎完全退出研究区。此时来自东北方向的物源不断向盆地内部推进。沉积物粒度较粗,沉积厚度较大,且该时期已基本将Dinga凹陷填平。研究区大部分区域以辫状河三角洲平原亚相为主(图10,图8c),仅在西南侧发育较小规模的滨浅海沉积(图10)。

### 6 结论

(1)尼日尔Termit盆地Madama组整体可以划分为一个三级层序(MS),并可进一步识别出低位体系域、海侵体系域和高位体系域。

(2)在研究区内识别出了辫状河三角洲平原亚相和辫状河三角洲前缘亚相,其中辫状河三角洲平原亚相多分布在层序MS的高位体系域,发育辫状河道和心滩两种沉积微相;辫状河三角洲前缘多分布在层序MS的低位体系域,发育水下分流河道、河口坝以及分流河道间泥三种沉积微相。



(3)通过全区二维地震测线识别出了四种地震相,分别是:前积反射地震相、河道充填反射地震相、平行-亚平行反射地震相以及杂乱反射地震相。

(4)研究区Madama组整体表现为一个海退的过程。低位体系域时期水体较深,发育辫状河三角洲前缘、半深海以及深海沉积;至高位体系域时期,海水几乎完全退出研究区,全区覆盖辫状河三角洲平原沉积。

#### 参考文献

- [1] Guiraud R, Binks R M, Fairhead J D. Chronology and geodynamic setting of Cretaceous-Cenozoic rifting in West and Central Africa[J]. *Tectonophysics*, 1992, 213(1/2): 227-234.
- [2] 刘邦,潘校华,万仑坤,等. 东尼日尔盆地海侵的微体古生物和地球化学证据[J]. *现代地质*, 2011, 25(5): 995-1006.
- [3] 刘邦,潘校华,万仑坤,等. 东尼日尔盆地Tenere坳陷上白垩统海相烃源岩评价及勘探潜力[J]. *海相油气地质*, 2012, 17(1): 29-34.
- [4] 刘邦,潘校华,万仑坤,等. 东尼日尔Termit盆地叠置裂谷的演化: 来自构造和沉积充填的制约[J]. *现代地质*, 2012, 26(2): 317-325.
- [5] 刘邦,潘校华,万仑坤,等. 东尼日尔Termit盆地构造演化及古近系油气成藏主控因素[J]. *石油学报*, 2012, 33(3): 394-403.
- [6] 薛良清,万仑坤,毛凤军,等. 东尼日尔盆地Termit坳陷油气富集规律及Dibeilla-1井发现的意义[J]. *中国石油勘探*, 2012, 10(4): 53-59.
- [7] 吕明胜,薛良清,苏永地,等. 裂谷作用对层序地层充填样式的控制——以西非裂谷系Termit盆地下白垩统为例[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2012, 42(3): 647-656.
- [8] 付吉林,孙志华,刘康宁. 尼日尔Agadem区块古近系层序地层及沉积体系研究[J]. *地学前缘*, 2012, 19(1): 58-67.
- [9] 付吉林,康荣,姜在兴,等. 尼日尔Agadem区块中—新生代储层微观特征分析[J]. *河南理工大学学报: 自然科学版*, 2013, 32(3): 285-292, 297.
- [10] 刘康宁. 尼日尔Termit坳陷白垩系层序地层、沉积体系与有利储层预测研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012: 1-127.
- [11] Genik G J. Petroleum geology of Cretaceous-Tertiary rift basins in Niger, Chad, and Central African Republic[J]. *AAPG Bulletin*, 1993, 77(8): 1405-1434.
- [12] 毛凤军,刘若涵,刘邦,等. 尼日尔Termit盆地及其周缘晚白垩世古地理演化[J]. *地学前缘*, 2016, 23(3): 186-197.
- [13] 刘震,张功成,吕睿,等. 南海北部深水白云凹陷渐新世晚期多物源充填特征[J]. *现代地质*, 2010, 24(5): 900-909.
- [14] Genik G J. Regional framework, structural and petroleum aspects of rift basins in Niger, Chad and the Central African Republic(C. A. R)[J]. *Tectonophysics*, 1992, 213(1/2): 169-185.

编辑:黄革萍

## Seismic Facies Identification and Sedimentary Facies Analysis in Upper Cretaceous Madama Formation, Termit Basin, Niger

Liu Ruohan, Jiang Zaixing, Wang Xuying, Tang Wangxin, Liu Chao, Gao Yi

**Abstract:** On the basis of logging data and seismic data, the Madama Formation of Upper Cretaceous in Termit Basin in Niger was interpreted as a third-order sequence, which includes a lowstand system tract(LST), a transpressive system tract(TST) and a highstand system tract(HST). In this study, four major seismic facies (progradational seismic facies, channel filling seismic facies, parallel to subparallel reflection seismic facies and clutter reflection seismic facies) and one sedimentary facies(braided river delta) have been identified. The LST mainly developed the braided river delta front, the HST mainly developed the braided river delta plain, and the sedimentary evolution of Madama Formation is a regressive process as a whole.

**Key words:** Upper Cretaceous; Madama Formation; Sedimentary facies; Seismic facies; Sedimentary evolution; Termit Basin; Niger

Liu Ruohan: PhD degree in progress at School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing).  
Add: 29 Xueyuan Rd., Haidian Distict, Beijing, 100083, China