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

刘 邦,潘校华,万仑坤,毛凤军,刘计国,吕明胜,
王玉华,陈忠民,姜 虹

(中国石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:东尼日尔 Termit 盆地是中西非裂谷系中典型的中—新生代裂谷盆地。在充分应用钻井和地震解释资料的基础上,根据构造、沉积充填及主要区域性不整合面的特征,分析了该盆地的演化过程。盆地内主要发育两类断层,第一类断层形成于早白垩世,于古近纪发生继承性活动,第二类断层为形成于古近纪的新生断层。全盆地普遍存在4个主要区域性不整合面,分别位于下白垩统、上白垩统、古近系、新近系—第四系底部。下白垩统和古近系沉积特征受断层活动控制明显,上白垩统和新近系沉积中心位于盆地中部,在其沉积时构造活动较弱。构造和沉积充填特征表明,Termit 盆地经历了白垩纪和古近纪—第四纪两期裂谷旋回叠置的演化过程。下白垩统和古近系沉积于同裂谷期,沉积充填受断层活动控制;上白垩统和新近系—第四系沉积于后裂谷期,以热沉降拗陷作用为主。

关键词:东尼日尔;Termit 盆地;叠置裂谷;构造演化;沉积充填;前裂谷期;同裂谷期;后裂谷期
中图分类号:P618.130.2;TE121.1 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-8527(2012)02-0317-09

Polyphase Rift Evolution of the Termit Basin, Eastern Niger: Constraints from Structural and Sedimentary Records

LIU Bang, PAN Xiao-hua, WAN Lun-kun, MAO Feng-jun, LIU Ji-guo, LÜ Ming-sheng,
WANG Yu-hua, CHEN Zhong-min, JIANG Hong

(*Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The Termit basin is a typical Mesozoic-Cenozoic intracontinental rift basin of the west and central African rift system. Using well and seismic data, this study analyzed the tectonic evolution of the basin based on structural and sedimentary records. The basin is characterized by border fault systems forming in Early Cretaceous and reactivating in Paleogene, and by intrarift ones developed in Paleogene. Four regional unconformities were identified at the base of Lower Cretaceous, Upper Cretaceous, Paleogene and Neogene-Quaternary strata, respectively. The deposition of the Lower Cretaceous and Paleogene were apparently controlled by fault activities, whereas the depocentres of Upper Cretaceous and Neogene were located in the center of the basin, suggesting that the tectonic activities were weak at that time. Structural and sedimentary characteristics indicate that the Termit basin underwent polyphase rift evolution. The Lower Cretaceous and Paleogene which were controlled by active faulting were deposited during syn-rift, while Upper Cretaceous and Neogene-Quaternary which were defined by thermal subsidence were deposited during post-rift.

Key words: eastern Niger; Termit basin; polyphase rift; structrual evolution; sedimentary record; pre-rift; syn-rift; post-rift

收稿日期:2011-12-12;**改回日期**:2012-02-20;**责任编辑**:潘令枝。
基金项目:国家科技重大专项项目(2008ZX05029)。
作者简介:刘 邦,男,博士研究生,1983年出生,矿产普查与勘探专业,主要从事综合石油地质和油气分布规律研究。Email: liubang2004@foxmail.com。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0 引 言

一个完整的裂谷盆地构造演化过程一般可划分为 3 个演化阶段，分别为前裂谷期(pre-rift) 、同裂谷期(syn-rift) 、后裂谷期(post-rift) 。其中，前裂谷期地层沉积于裂陷作用之前; 同裂谷期以裂陷作用为主，发育伸展构造及其沉积组合，沉积中心受活动断层控制; 在后裂谷期，裂陷作用较弱，以热沉降为主，沉积物逐渐填平补齐古构造地形并充填热沉降产生的可容纳空间。不同阶段发育的地层之间通常为不整合面所分隔，分别为同裂谷不整合面(syn-rift unconformity) 和后裂谷不整合面(post-rift unconformity) ，前者位于前裂谷与同裂谷期地层之间，后者分隔同裂谷与后裂谷期地层[1-4]。

东尼日尔 Termit 盆地是中西非裂谷系中典型的中—新生代裂谷盆地。该盆地未经历大规模的构造反转，沉积充填和构造特征保存较好。Genik[5]认为西非裂谷盆地(东尼日尔 Termit、Tenere、Kafra 盆地等) 从白垩纪以来经历了一期裂谷旋回，按构造演化特征的差异划分为 3 个阶段，分别为前裂谷期、同裂谷期、后裂谷期。其中，前裂谷期对应早侏罗世—早白垩世早期(190 ~ 130 Ma) ，同裂谷期对应早白垩世—中新世早期(130 ~ 25 Ma) ，后裂谷期对应中新世—第四纪(25 ~ 0 Ma) 。其中，同裂谷期按构造强度的不同分为 3 期，分别为同裂谷Ⅰ期(130 ~ 96 Ma) 、同裂谷Ⅱ期(96 ~ 75 Ma) 、同裂谷Ⅲ期(74 ~ 25 Ma) 。据 Termit 盆地构造和沉积充填发育特征，本文认为前人对该盆地演化阶段的划分主要存在以下 3 个问题: (1) 在前人所划分的同裂谷Ⅱ期(晚白垩世) ，断裂活动较弱，断层对该时期沉积充填无明显的控制作用，构造和沉积表现出后裂谷期拗陷热沉降、而非同裂谷期断陷的特征。(2) 前人研究表明，裂谷盆地一期裂谷旋回对应一个区域构造背景。在 Termit 盆地的白垩纪和古近纪—第四纪，盆地构造演化分别受控于不同的区域构造背景。其中，白垩纪的盆地演化对应冈瓦纳大陆裂解、南大西洋张裂的构造背景，而在古近纪—第四纪，盆地形成于非洲—阿拉伯板块与欧亚板块俯冲、碰撞的构造背景。在古近纪，板块内部构造 - 岩浆活动活跃，发生大规模的伸展断陷，深部地幔柱和软流圈大规模上涌(如在 Termit 盆地北部的 Hoggar 地区软流圈发生大规模上升) 。(3) 在裂谷盆地，同裂谷期内的幕式裂陷活动强度通常表现为弱 - 强 - 弱的演化特征，即在裂陷初始期强度较弱，裂陷深陷期最强，晚期逐渐减弱。而在前人对 Termit 盆地所划分的同裂谷期，3 期裂陷活动强度变现出强 - 弱 - 强的特征，与裂谷盆地同裂谷期的构造演化特征不符。

对 Termit 盆地演化过程的研究有助于理解该盆地及中西非其他裂谷盆地的构造演化对沉积充填的控制作用。本文旨在通过对盆地构造、沉积充填及主要区域性不整合面的研究，探讨东尼日尔 Termit 盆地叠置裂谷的演化过程及其对沉积充填的控制。

1 盆地概况

Termit 盆地位于尼日尔东南部，向南延伸至乍得，向北与 Tefidet、Tenere、Grein、Kafra 盆地相接，向南与 Bornu 盆地相邻(图 1) 。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，东西宽在北端最窄处约 60 km，在南端最宽处约 110 km。

盆地沉积厚度超过 12 000 m。地震、钻井、测井和古生物等资料揭示沉积地层有: 下白垩统、上白垩统、古近系、新近系和第四系。下白垩统以陆相沉积为主; 上白垩统自下而上可划分为 Donga、Yogou、Madama 组，其中，Donga 和 Yogou 组为海相碎屑岩沉积[7]，Madama 组为厚层河流相砂砾岩沉积。古近系主要为河流 - 三角洲相沉积，根据岩性组合特征，可划分为 Sokor1 组和 Sokor2 组，Sokor1 组岩性上表现为砂泥岩互层; Sokor2 组下部以泥岩为主，上部为砂泥岩互层。新近系和第四系为河流相沉积(图 2) 。

2 区域构造背景

Termit 盆地形成于早白垩世南大西洋张裂的构造背景。在早阿普特期—晚阿尔布期，非洲—阿拉伯板块内部伸展方向为 NE—SW 向[8]，NW—SE 向前泛非期变质带和泛非期褶皱带再活动，东尼日尔、乍得、苏丹等地区陆内裂谷盆地发生初始裂陷，沿 NW—SE 向边界断层快速沉降，沉积了数千米厚的陆相砂泥岩[9-11]。在晚白垩世，非洲—阿拉伯板块内部裂陷活动较弱，且该时期为显生宙全球海平面最高的时期[12]，发生大规模海侵，海水来自北部(如新特提斯洋) 和南部大洋(南大西洋) ，整个东尼日尔盆地群(Termit、Tenere、

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

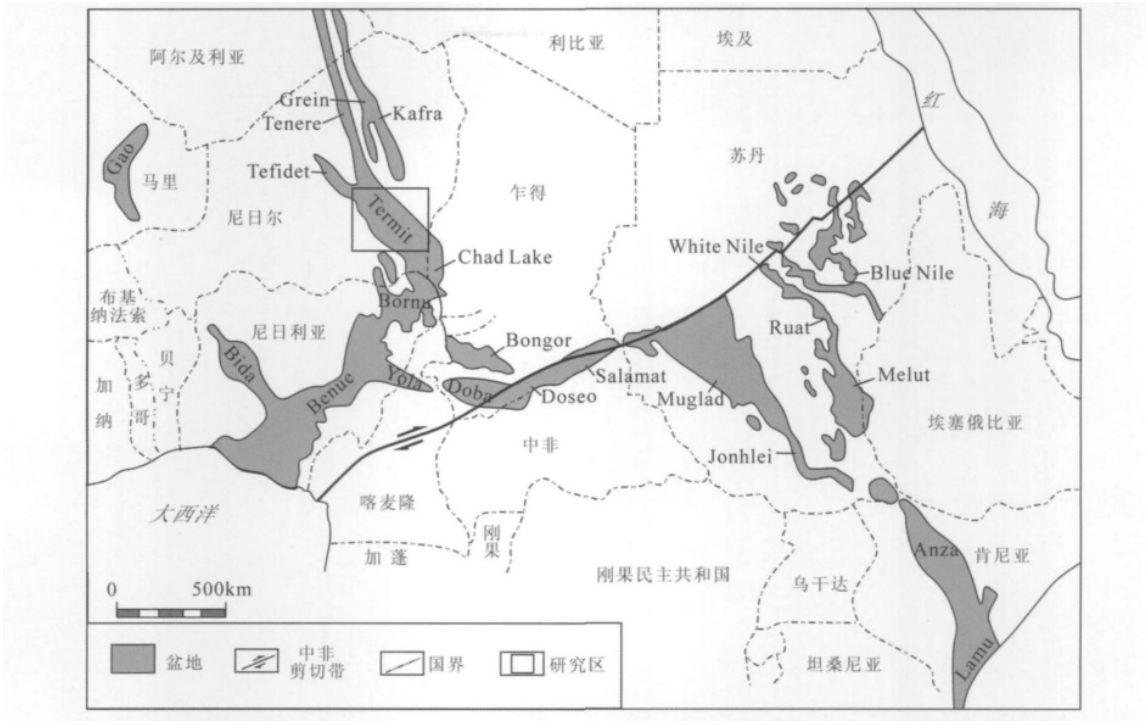


图 1　中西非裂谷系及 Termit 盆地构造位置(据文献[5]修改)

Fig. 1　Location map of the west and central African rift system and Termit Basin

Tefidet、Kafra 等盆地) 沉积了巨厚的海相砂泥页岩[7]。在白垩纪末期，海平面下降，中西非盆地以河流相沉积为主。在马斯特里赫特期末—古新世早期，非洲—阿拉伯板块内部发生区域隆升，晚白垩世地层遭受一定程度的剥蚀。在古新世和中始新世，东尼日尔、苏丹、肯尼亚等地区的裂谷盆地再次发生伸展裂陷活动。在晚始新世(距今 37 Ma) ，非洲—阿拉伯板块与欧亚板块发生主碰撞，板内构造挤压方向为 NNW—SSE[12]。在该构造事件发生后，非洲—阿拉伯板块处于大规模的伸展和岩浆活动活跃时期，主伸展方向为 NEE—SWW 或近 W—E 向[13]，中西非 NW—SE 向裂谷盆地进入裂陷强烈期，同时在泛非期褶皱带等地壳构造薄弱处发生强烈的岩浆活动，如在 Termit 盆地北部的 Hoggar 地区发生大规模的拉斑玄武岩喷发[14-15]，可能与 Termit 盆地于始新世末/渐新世初的裂陷活动为同一区域伸展背景的响应。在中新世初(约 22 Ma) ，非洲—阿拉伯板块与欧亚板块碰撞幕式加强，板块内部发生构造挤压，隆升剥蚀[12]。从晚始新世至现今，阿拉伯板块与非洲板块分离，红海—亚丁湾—东非裂谷系形成。

3　盆地构造证据

Termit 盆地总体呈 NW—SE 向延伸，北部结构为双断地堑，主要有走向 NW—SE 和 NNW—SSE 向两组断裂系(图 3) 。根据断层的期次和级次，可把其分为两类，分别为早白垩世形成、晚期继承性活动的早期断层和古近纪形成的后期断层。前者主要分布于盆地边界，走向 NW—SE; 后者在盆地边界和内部均有发育，走向 NW—SE 和 NNW—SSE。

(1) 第一类断层为盆地边界断层，走向 NW—SE 向，断面较陡，垂向上断距大，平面上规模和延伸距离大(大多长 30 ~ 90 km) (图 3) ，大部分断穿盆地新近系和第四系之下的沉积地层，为基底卷入断层。下白垩统和古近系在这些断层上盘的厚度明显大于下盘，而上白垩统在断层上、下两盘的厚度近一致(图 4) 。

(2) 第二类断层在盆地边界和内部均有发育，垂向上断距小，平面上规模和延伸距离小(大多长 10 ~ 35 km) (图 4) ，大部分断至上白垩统 Yogou 组，断穿上白垩统 Madama 组、古近系 Sokor1 和 Sokor2 组。在盆地边界，这些断层与早期边界断层走向近一致，呈 NW—SE 向，倾向相反，且在剖面上与其形成“Y”字形构造样式; 在盆地内部，走向 NNW—SSE 向。在盆地西侧边界断层附近，古近系在这些断层的上盘厚度明显大于下盘，在

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

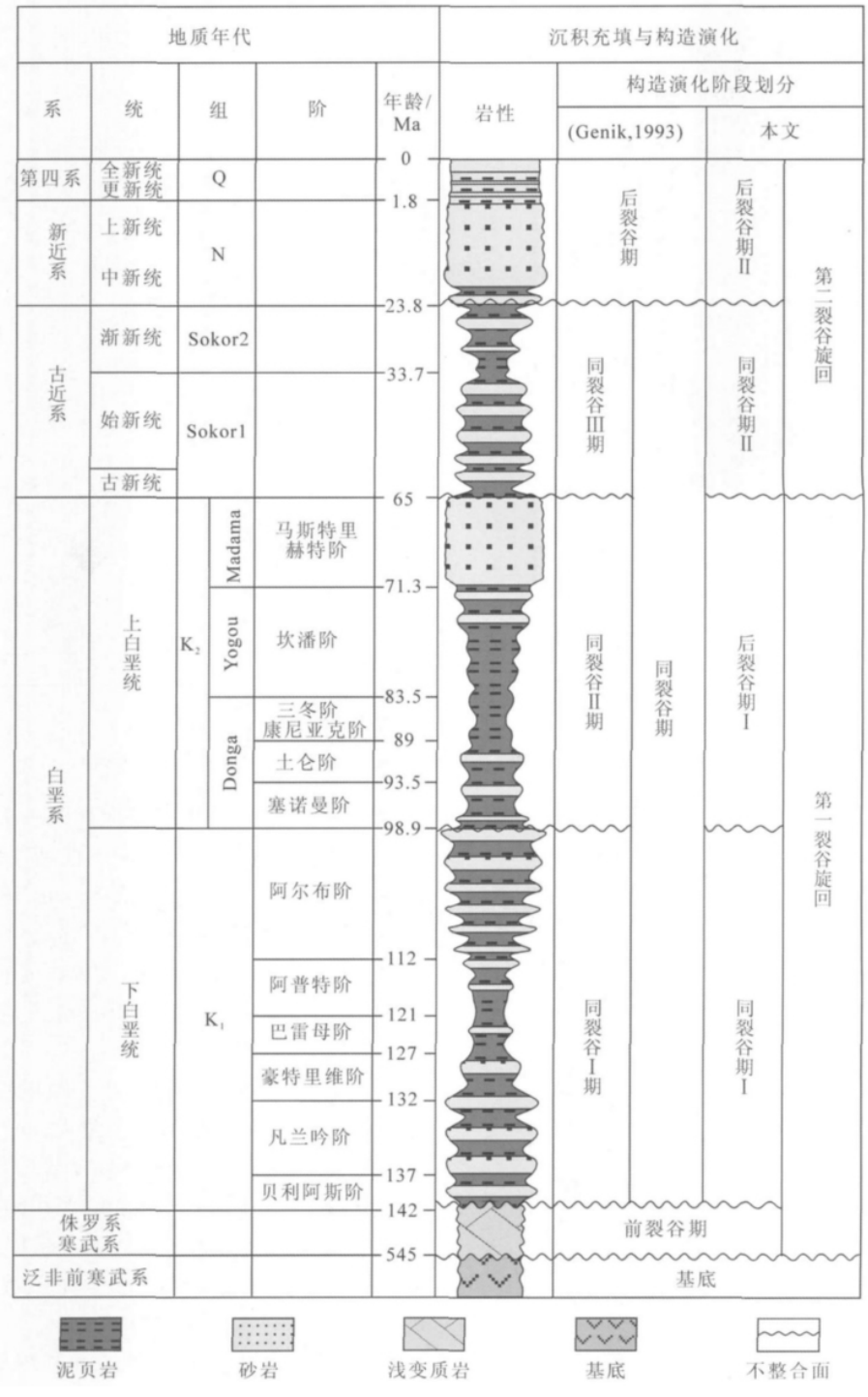


图 2 Termit 盆地综合地层柱状图

Fig. 2 Generalized stratigraphical column of Termit basin

其他区域，厚度在上、下两盘近一致(图 4) 。

以上构造特征表明第一类断层在早白垩世和古近纪为同沉积边界断层，其形成于早白垩世，在古近纪发生继承性活动; 第二类断层形成于古近纪，在盆地边界为早白垩世断层在古近纪再活动形成的派生断层，在盆地其他区域，为该期裂陷活动形成的新生断层。此外，古近纪的沉降和沉积中心位于盆地西部，表明该时期沉积受西部边界断层控制。盆地在早白垩世和古近纪断层活动强烈，在晚白垩世和新近纪—第四纪，断层活

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

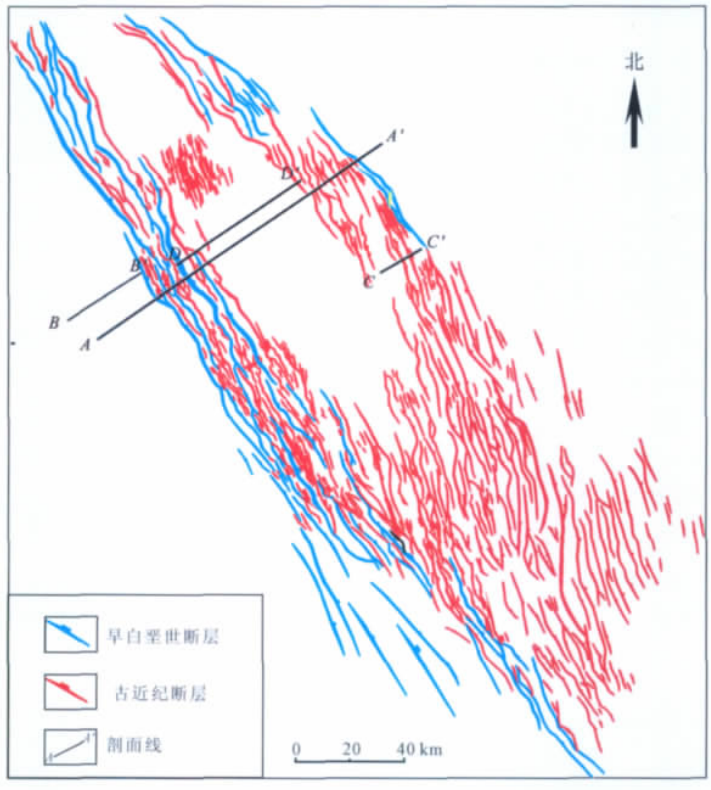


图 3　Termit 盆地古近系 Sokor1 组顶面断层展布图

Fig. 3　Fault distribution on the top of the Paleogene Sokor1 Formation in Termit basin

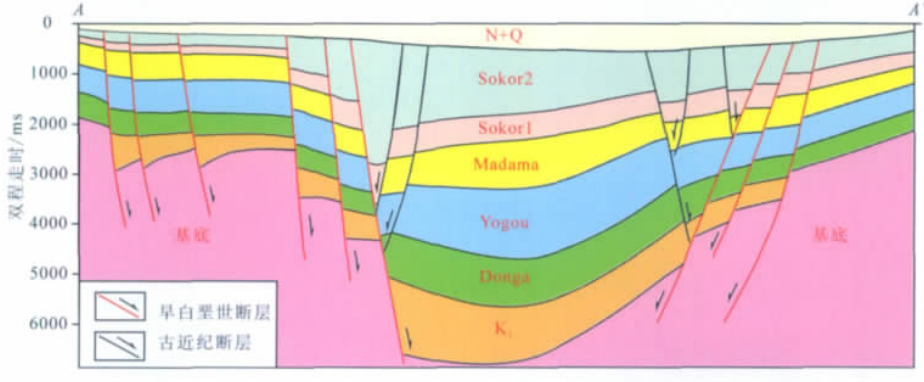


图 4　Termit 盆地北部构造剖面图(剖面位置见图 3)

Fig. 4　Structural cross-section of the northern part of Termit basin

动较弱，以拗陷作用为主。

4　盆地沉积充填特征

裂谷盆地构造演化是控制沉积充填的重要因素[6,16-17]。因此，从沉积记录的角度可有效地对盆地构造演化过程进行研究。在 Termit 盆地的下白垩统底部存在一个全盆地普遍发育的区域性角度不整合面，在测井曲线上呈突变接触，在地震剖面上为强振幅连续反射，其下伏地层表现为削截、侵蚀，上覆地层与其呈上超接触，界面之下为结晶基底和寒武系—侏罗系的浅变质碎屑岩，界面之上为下白垩统陆相地层。该套地层沉积特征受断层活动控制明显，表现在以下两个方面: (1) 地层呈楔状，在靠近边界断层一侧厚度最大，向半地堑缓坡带逐渐减薄，且在边界断层上盘的厚度明显大于下盘; (2) 该套地层顶底均以构造不整合面为界，内部具有明显的三层结构，表现为“粗－细－粗”的完整旋回。根据各层地震反射特

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

征差异，结合裂陷作用演化过程，下白垩统可进一步划分为裂陷初始期层序(KS1) 、裂陷深陷期层序(KS2) 和裂陷萎缩期层序(KS3) (图 5(a)) 。KS1 层序沉积于裂陷初始期，裂陷作用较弱，可容纳空间较小，物源供给充足，岩性上表现为河流、三角洲及滨浅湖相砂泥岩互层。KS2 地层沉积于裂陷深陷期，构造运动引起可容纳空间显著增大，陡坡带发育水下扇和扇三角洲沉积，缓坡带发育三角洲体系，盆地中心为湖相泥岩充填。随着裂陷作用减弱，沉降速率逐渐减小，沉积物供给相对充足，KS3 层序陡坡带一侧发育扇三角洲体系，缓坡带一侧发育三角洲体系。

下白垩统与上白垩统呈不整合接触，分布稳定，该不整合面在地震剖面上表现为连续强反射波组，上覆地层与其呈上超接触。在半地堑内部，上白垩统与下白垩统接触，在远离凹陷的东西两侧，上白垩统直接与基底接触，表明在晚白垩世沉积范围扩大，相对独立的地堑和半地堑在该时期成为一个统一的盆地，沉降并接受沉积。该套地层呈碟状，下凸上平，沉降中心位于远离边界断层的盆地中部，表现为地层厚度最大。此外，上白垩统在边界断层上、下两盘的厚度近一致。以上特征表明，在晚白垩世盆地构造活动较弱，以热沉降为主。

古近系与上白垩统之间的区域性不整合面分布范围较大，与中非苏丹 Muglad 和 Melut 盆地在该时期发育的不整合面可对比，表明在白垩纪末期中西非地区发生区域隆升。该不整合面在盆地内表现为平行不整合面，在盆地边界为角度不整合面，界面上下岩性变化明显，测井曲线多出现突变现象。古近系以陆相沉积为主，由 Sokor1 和 Sokor2 组组成。与上白垩统相似，该套地层沉积特征受断层活动控制明显，表现为: (1) 地层呈楔状，在靠近边界断层一侧厚度最大，向东西两侧

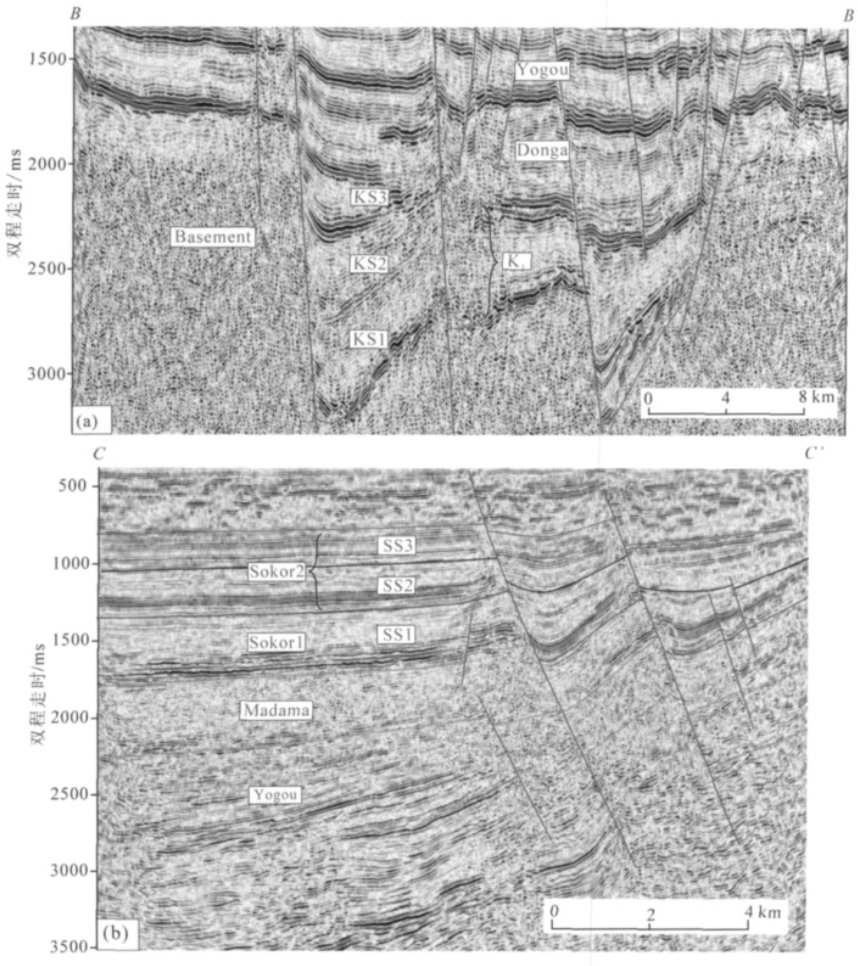


图 5 Termit 盆地早白垩世(a) 和古近纪(b) 地层地震反射特征(剖面位置见图 3)

Fig. 5 Seismic profiles of the Lower Cretaceous and Paleogene strata in Termit basin

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

逐渐减薄，且在控制沉积的主边界断层的上盘厚度明显大于下盘。沉降中心位于盆地西侧边界断层附近，表现为地层厚度最大。(2) 该套地层顶底均以构造不整合面为界，内部具有明显的三层结构，表现“粗－细－粗”的完整旋回，分别对应古近纪裂陷作用演化的裂陷初始期层序(SS1) 、裂陷深陷期层序(SS2) 及裂陷萎缩期层序(SS3) (图 5 (b)) 。其中 SS1 层序对应 Sokor1 组，SS2 层序位于 Sokor2 组中下部，SS3 层序位于 Sokor2 组上部。SS1 层序沉积时裂陷作用较弱，可容纳空间较小，物源供给充足，主要为河流、三角洲及滨浅湖沉积。SS2 层序沉积于裂陷深陷期，该时期断裂活动强烈，构造沉降速率较大，陡坡带一侧发育水下扇沉积，缓坡带一侧发育三角洲体系，盆地中心为湖相泥岩充填。随着裂陷作用减弱，可容纳空间的增加速率逐渐减小，物源供给相对充足，SS3 层序在陡坡带和缓坡带一侧发育三角洲体系，湖盆中心为泥岩充填。

新近系—第四系与古近系地层之间存在区域性角度不整合面，在全盆地范围内发育。该不整合面之下为倾斜的 Sokor2 组地层，之上为产状平缓的新近系—第四系地层，以河流相和冲积平原相粗—细粒砂为主。该界面在地震剖面上为强振幅连续反射，界面之下呈削截反射特征，界面之上呈上超或平行反射结构。新近系—第四系地层呈下凸上平的碟状，内部断层不发育，沉降中心位于盆地中部，表现为地层厚度最大(图 6) 。

综上所述，沉积充填特征表明 Termit 盆地经历了早白垩世和古近纪两期裂陷作用，沉积主要受断裂活动控制; 在晚白垩世和新近纪—第四纪构造活动较弱，以拗陷作用为主。

5　叠置裂谷的演化过程

如前所述，Temit 盆地经历了白垩纪和古近纪—第四纪两期裂谷旋回叠置的演化过程，各裂谷旋回的构造演化和沉积充填过程如下。

5.1　第一裂谷旋回

第一裂谷旋回形成于冈瓦纳大陆裂解和南大西洋张裂的构造背景，经历了早白垩世同裂谷期Ⅰ和晚白垩世后裂谷期Ⅰ(图 7) 。

5.1.1　同裂谷期Ⅰ

同裂谷期Ⅰ发生于早白垩世纽康姆期至阿尔毕期，非洲—阿拉伯板块内部 NE—SW 向伸展作用使东尼日尔地区发生强烈的裂陷活动，形成一系列 NW—SE 向断层控制的地堑和半地堑。Termit 盆地沿这些断层伸展断陷，发生快速构造沉降(图 7) 。在该同裂谷期，沉积充填主要受地堑和半地堑边界断层活动控制。该裂陷期可分为 3 个阶段，分别为裂陷初始期、裂陷深陷期、裂陷晚期。在裂陷初始期，断层活动较弱，产生的可容纳空间较小，沉积物主要来自河流、三角洲及滨浅湖相体系; 在裂陷深陷期，断层活动强烈，在半地堑陡坡带发育水下扇和扇三角洲沉积，缓坡带发育三角洲体系，盆地中心为湖相泥岩充填; 在裂陷晚期，断层活动逐渐减弱，沉积物供给速率大于可容纳空间增加速率，在陡坡带一侧发育扇三角洲体系，缓坡带一侧发育三角洲体系。

5.1.2　后裂谷期Ⅰ

后裂谷期Ⅰ发生于晚白垩世，盆地构造活动较弱，以热沉降为主(图 7) 。此外，盆地在该时期遭受了大规模海侵。在热沉降和海侵背景下，东尼日尔盆地群成为一个统一的海相盆地，整体沉降，沉积了巨厚的海相碎屑岩，主要为 Donga 和 Yogou 组。在坎潘阶晚期，海水逐渐退出东尼日尔盆地群，在马斯特里赫特期，盆地沉积了巨厚的 Madama 组河流相块状砂砾岩。

5.2　第二裂谷旋回

第二裂谷旋回形成于非洲—阿拉伯板块与欧

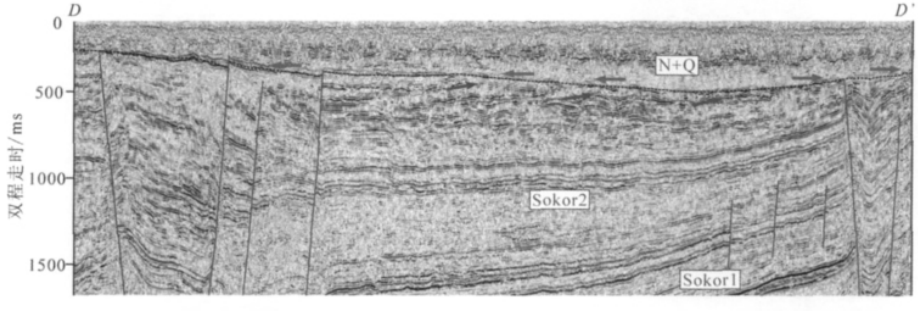


图 6　Termit 盆地古近系顶不整合面地震反射剖面(剖面位置见图 3)

Fig. 6　Seismic profile of unconformity on the top of Paleogene strata in Termit basin

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

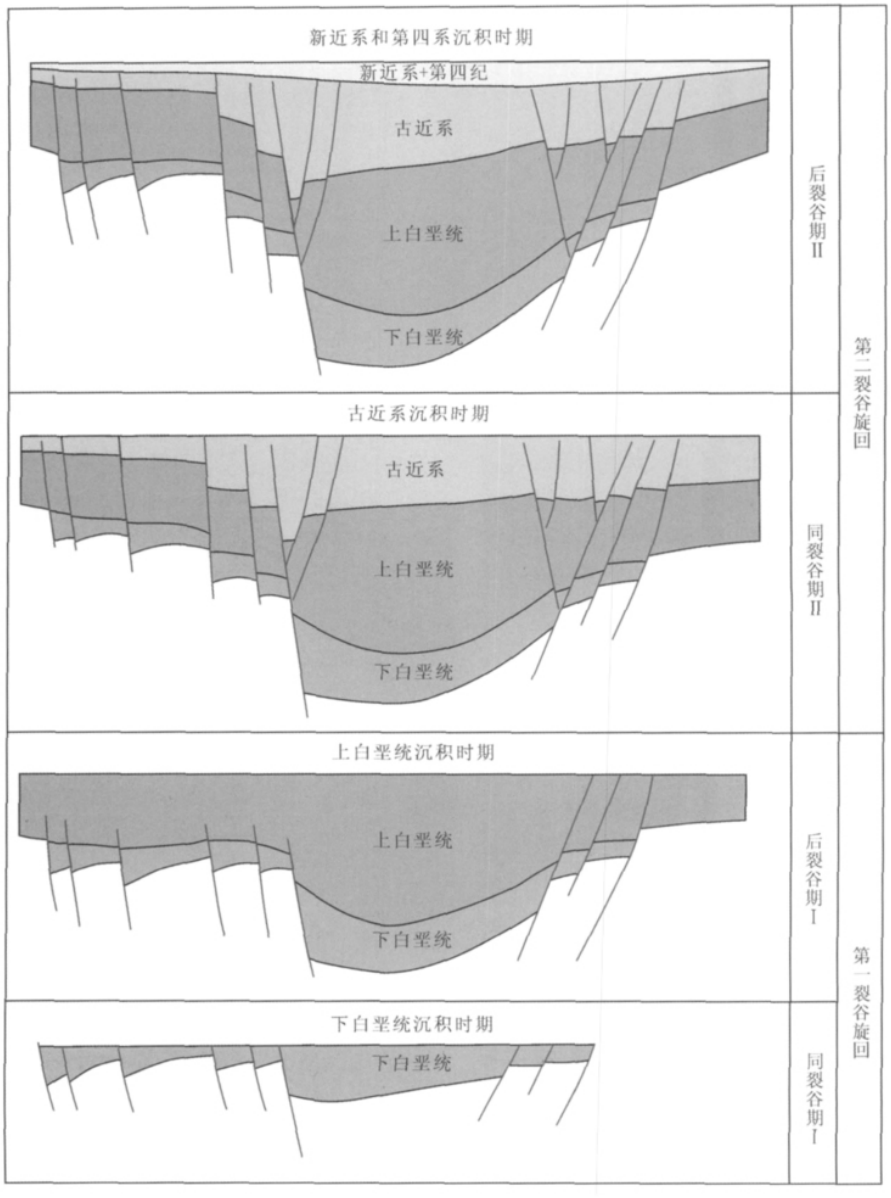


图 7 Termit 盆地叠置裂谷的演化

Fig. 7 Polyphase rift evolution of Termit basin

亚板块俯冲、碰撞的构造背景，经历了古近纪同裂谷期Ⅱ和新近纪—第四纪后裂谷期Ⅱ。

5.2.1 同裂谷期Ⅱ

同裂谷期Ⅱ对应古近纪。在古新世—早中始新世，断陷活动较弱，在始新世末至渐新世，盆地经历强烈的伸展断陷活动，主要断层活动位于西侧边界断层附近，该时期区域伸展方向为 NEE—SWW 向。在盆地边界附近，早白垩世断层发生继承性活动，派生出与其走向近平行(NW—SE 向) 、倾向相反的断层，在构造样式上呈“Y”字形(图 7) ; 在盆地内部及早白垩世断层不发育的构造区域，形成一系列走向与伸展方向近垂直的新生断层，呈 NNW—SSE 向。

在同裂谷期Ⅱ，盆地充填主要受边界断层活动控制。在裂陷初始期，主要发育 Sokor1 组河流、三角洲及滨浅湖相砂泥岩互层。在裂陷深陷期，边界断层活动强烈，在其附近形成沉积中心，该时期位于最大湖泛面附近，主要沉积一套稳定的深湖—半深湖相泥岩，以 Sokor2 组中下部地层为代表。在裂陷晚期，断裂活动减弱，在陡坡带和缓坡带一侧发育三角洲体系，岩性以砂岩为主，对应 Sokor2 组上部地层。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5.2.2　后裂谷期Ⅱ

后裂谷期Ⅱ对应新近纪—第四纪。其中，在中新世初，东尼日尔地区发生区域隆升，古近系地层遭受一定程度的剥蚀。在中新世至第四纪，构造活动较弱，盆地发生热沉降，沉积河流相和冲积平原相粗－细粒砂，沉降和沉积中心位于盆地中部(图 7)。

6　结　论

(1) Termit 盆地内主要发育两类断层。第一类断层在早白垩世和古近纪为同沉积断层，形成于早白垩世，在古近纪发生继承性活动。第二类断层形成于古近纪，为在该裂陷期形成的新生断层。

(2) 基于地震反射和测井响应分析，盆地主要发育 4 个区域性不整合面，分别位于下白垩统、上白垩统、古近系、新近系—第四系地层底部。下白垩统和古近系沉积主要受断裂活动控制，表现为地层呈楔状，在靠近边界断层一侧厚度最大，向半地堑缓坡带逐渐减薄，且在边界断层上盘的厚度明显大于下盘。在晚白垩世和新近纪—第四纪，构造活动较弱，以拗陷作用为主，地层呈碟状，下凸上平，沉降和沉积中心位于远离边界断层的盆地中部。

(3) 构造和沉积充填特征表明，Termit 盆地经历了白垩纪和古近纪—第四纪两期裂谷旋回叠置的演化过程。其中，第一裂谷旋回包括早白垩世同裂谷期Ⅰ和晚白垩世后裂谷期Ⅰ，第二裂谷旋回包括古近纪同裂谷期Ⅱ和新近纪—第四纪后裂谷期Ⅱ。

致谢: 感谢胡见义院士给予的指导和提出的修改意见，李本亮博士、冯有良博士给出了许多有益的启发和帮助，郑凤云、李早红、韩荣花、任玉兰高级工程师也给予帮助，在此一并致以诚挚的谢意。

参考文献:

[1] Hutchinson D R, Klitgord K D, Detrick R S. Rift basins of the Long Island Platform [J]. GSA Bulletin, 1986, 97(6): 688－702.

[2] Tankard A J, Welsink H J. Mesozoic extension and styles of basin formation in Atlantic Canada [J]. AAPG Memoir, 1989, 46: 175－195.

[3] Schlische R W, Olsen P E. Quantitative filling model for continental extensional basins with applications to early Mesozoic rifts of eastern North America [J]. Journal of Geology, 1990, 98(2): 135－155.

[4] Withjack M O, Schlische R W, Olsen P E. Diachronous rifting, drifting, and inversion on the passive margin of central eastern North America: an analog for the passive margins [J]. AAPG Bulletin, 1998, 82: 817－835.

[5] 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.

[6] Withjack M O, Schlische R W, Olsen P E. Rift-basin structure and its influence on sedimentary systems [J]. SEPM Special Publication, 2002, 73: 57－81.

[7] 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.

[8] Guiraud R, Maurin J C. Early Cretaceous rifts of Western and Central Africa: an overview [J]. Tectonophysics, 1992, 213: 153－168.

[9] 窦立荣，肖坤叶，胡勇，等. 乍得 Bongor 盆地石油地质特征及成藏模式 [J]. 石油学报，2011，32(3)：379－386.

[10] Schull T J. Rift basins of interior Sudan, petroleum exploration and discovery [J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(10): 1128－1142.

[11] Bosworth W. Mesozoic and early Tertiary rift tectonics in East Africa [J]. Tectonophysics, 1992, 209(1/4): 115－137.

[12] Guiraud R, Bosworth W, Thierry J, et al. Phanerozoic geological evolution of Northern and Central Africa: An overview [J]. Journal of African Earth Sciences, 2005, 43: 83－143.

[13] Janssen M E, Stephenson R A, Cloetingh S. Temporal and spatial correlations between changes in plate motions and the evolution of rifted basins in Afirca [J]. GSA Bulletin, 1995, 107(11): 1317－1332.

[14] Liégeois J P, Benhallou A, Azzouni-Sekkal A, et al. The Hoggar swell and volcanism: Reactivation of the Precambian Tuareg shield during Alpine convergence and West African Cenozoic volcanism [J]. GSA Special Paper, 2005, 388: 379－400.

[15] Azzouni-Sekkal A, Bonin B, Benhallou A, et al. Tertiary alkaline volcanism of the Atakor Massif(Hoggar, Algeria) [M] //Beccaluva L, Bianchini G, Wilson M. Cenozoic volcanism in the Mediterranean Area. GSA Special Paper 418, 2007: 321－340.

[16] Bransden P J E, Burges P, Durham M J, et al. Evidence for multi-phase rifting in the North Falklands Basin [M] //Cameron N R, Bate R H, Clure V S. The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic. London: Geological Society Special Publications, 1999: 425－443.

[17] 冯有良，周海民，任建业，等. 渤海湾盆地东部古近系层序地层及其对构造活动的响应 [J]. 中国科学: D 辑，2010，40(10)：1356－1376.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net