2019 年 10 月，第 25 卷，第 5 期，722-729 页
October 2019，Vol. 25，No.5， pp. 722-729

高 校 地 质 学 报
Geological Journal of China Universities

DOI: 10.16108/j.issn1006-7493.2019013
引用格式：孔令武，张树林，韩文明，赵红岩，赵佳奇，喻英梅. 2019. 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，25（5）：722-729

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

孔令武，张树林，韩文明，赵红岩，赵佳奇，喻英梅

中海油研究总院，北京 100027

摘要：立足于中非剪切带的构造演化，文章分析了中非剪切带对多赛奥盆地形成与演化的控制作用，明确了多赛奥盆地的构造演化阶段，并从盆地结构和构造样式分析入手，探讨了多赛奥盆地的成因机制。研究表明，受中非剪切带“强—弱”两期走滑作用控制，多赛奥盆地经历了扭张期、压扭期、拗陷期三期的构造演化阶段，扭张期为盆地的主要形成期，压扭期为盆地构造定型期。在晚白垩世压扭期，盆地东、西部遭受不同程度的压扭作用，形成东部主坳区和西部压扭区，东部主坳区遭受后期压扭作用较弱，表现为不对称的双断结构特征，而西部压扭区遭受强烈的后期压扭作用，地层发生弯曲变形，Borogop II断裂发生正反转作用，形成大型正花状构造区。受早期扭张作用和后期压扭作用双重控制，多赛奥盆地发育两类五种构造样式。右阶右旋作用机制形成的扭张作用控制了多赛奥和塞拉迈特走滑—拉分盆地的形成。

关键字：构造演化；压扭作用；构造样式；盆地成因；多赛奥盆地
中图分类号：P542　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1006-7493（2019）05-722-08

Discussion on the Structural Features and Formation Mechanism of Strike-Slip Pull-Apart Basin: A Case Study in the Doseo Basin, Central Africa

KONG Lingwu，ZHANG Shulin，HAN Wenming，ZHAO Hongyan，ZHAO Jiaqi，YU Yingmei

CNOOC Research Institute of Petroleum Exploration and Exploitation, Beijing 100027, China

Abstract: Based on the tectonics of the Central African Shear Zone (CASZ), how the CASZ controlled the formation and evolution of the Doseo Basin was analyzed in this paper. The evolutional stages of the basin were divided, the basin structure was analyzed, and the formation mechanism of the basin was discussed. Results show that the CASZ developed two periods of strike-slip processes which were strong and weak, respectively. The strike-slip strength controlled the evolutional stages of the basin, i.e., transtensional, transpressional and depression stages, The transtensional stage was the main formation stage of the Doseo Basin; in contrast, the transpressional stage was the structural setting stage of the basin. The eastern and western parts of the basin developed different strength transpression in the transpressional stage. As such, the basin was formed to a division of eastern main depression and western transpression zone. The eastern main depression developed weak transpression, and it had asymmetric double-fault structure. In contrast, the western transpression zone developed strong transpression, stratigraphic deformation, inversion of the Borogop II fault, and formation of large positive flower structural area. Transtensional and transpressional activities controlled the structural styles of the Doseo Basin in two types of structural styles and five sub-types. Transtension which was formed in right step-dextral controlled the formation of strike-slip pull-apart basin.

Key words: tectonic evolution; transpression; structural style; formation mechanism; Doseo Basin

First author：KONG Lingwu，Senior Engineer；E-mail：konglw@cnooc.com.cn

收稿日期：2019-02-15；**修回日期：**2019-04-21
基金项目：国家重大专项非洲重点区油气勘探潜力综合评价（2017ZX05032-002）资助
作者简介：孔令武，男，1986生，高级工程师，主要从事海外石油勘探研究；E-mail: konglw@cnooc.com.cn

非洲是世界油气勘探的重点地区之一。非洲大陆中部发育一条横贯东西的中非剪切带，沿该剪切带发育一系列中生代裂谷盆地，西起乍得境内的多巴（Doba）、多赛奥（Doseo）盆地，东到苏丹的穆格莱德（Muglad）、迈卢特（Melut）以及喀土穆（Khartoum）盆地（图 1），这些裂谷盆地具有相似的构造成因背景，但盆地之间却具有很大的差异。依据盆地的成因机制，将盆地划分为两种类型，一种为伸展盆地，包括穆格莱德盆地、迈卢特盆地、喀土穆盆地和多巴盆地，该类盆地分布在中非剪切带末端两侧，呈对角线分布。另一类为走滑—拉分盆地，包括多赛奥盆地和塞拉迈特盆地，该类盆地位于中非剪切带的弯曲部位，成对分布（孔令武等，2018）。截止到目前，两种类型的盆地勘探成效和研究程度呈现明显的差异，穆格莱德盆地、迈卢特盆地等伸展盆地获得大量油气发现，前人对其构造、沉积特征以及油气成藏条件进行了较为深入的研究（张亚敏和漆家福，2007；童晓光等，2004；张亚敏，2008；罗小平等，2003；何碧竹等，2010；汪望泉等，2007；魏永佩和刘池阳，2003；窦立荣等，2006；Genik，1993），而多赛奥盆地和塞拉迈特盆地等走滑—拉分盆地仅获少量油气发现，前人对该类盆地的研究相当薄弱，尤其是缺少对盆地结构、构造特征等基础地质问题的研究，严重制约了该类盆地的勘探。本次研究以多赛奥盆地为例，立足于中非剪切带构造演化，分析了中非剪切带对多赛奥盆地形成与演化的控制作用，明确了多赛奥盆地的构造演化阶段，从盆地结构和构造样式分析入手，探讨了多赛奥盆地的成因机制，以期为走滑—拉分盆地的研究和勘探提供一定的技术支持。

1　盆地概况

多赛奥盆地主要位于非洲中部的乍得共和国境内，南部一小部分延伸到中非共和国，东西向长度约 500 km，南北向约 60 km，面积 48 097 km^2，西邻多巴盆地，东邻塞拉迈特盆地，盆地为北东东—南西西走向的菱形盆地（图 1）。截止到目前，盆地整体勘探程度很低，仅钻探了 12 口井，其中 6 口井测试产油气、5 口井为油气显示井、1 口井为干井，其中 3 口井的测试产量超过了 2000 桶/天，盆地共获得 5 个油气发现，储量规模相对较小，单个油田的原油可采储量为 0.6~46 MMbbl，天然气可采储量为 0.25~38 Bcf，总计 62.7 MMboe。

2　盆地构造演化特征

多赛奥盆地的形成、演化与中非剪切带密切相关。中非剪切带为一条北东东—南西西走向的大型岩石圈破裂带，横切非洲板块（窦立荣等，2006；Genik，1993），西起喀麦隆，经乍得、中非共和国、东至苏丹，全长约 2000 km，多赛奥盆地位于中非剪切带的中西部（图 1）。中非剪切带经

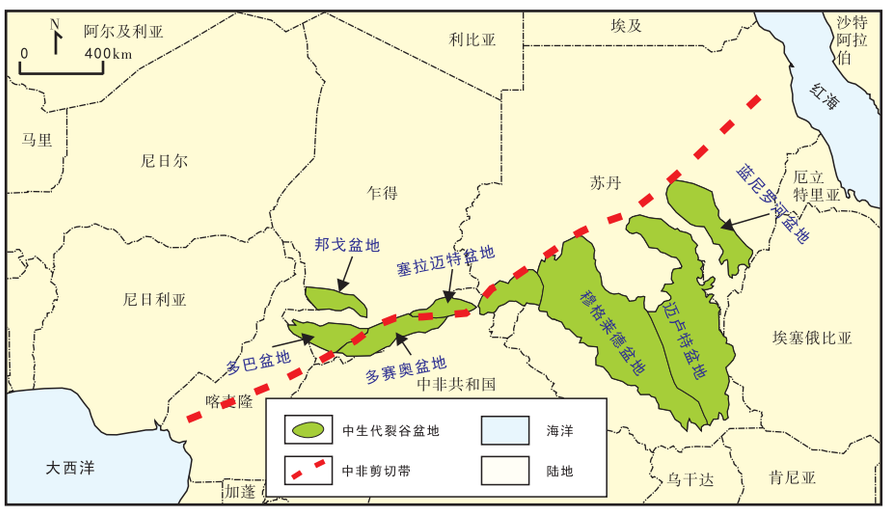


图 1　中非剪切带中生代裂谷盆地分布图

Fig. 1　Distribution of Mesozoic rift basins in the Central African Shear Zone

历了“强—弱”两期走滑作用，受中非剪切带走滑作用强度的控制，多赛奥盆地经历了扭张期、压扭期、拗陷期三期构造演化阶段（图2，3）。

（1）扭张期

早白垩世，南大西洋自南向北呈“拉链式”分段、分期拉开，非洲板块逆时针旋转（Binks and Fairhead, 1992），诱发中非剪切带发生强烈的右旋走滑作用，走滑位移达50 km（Maryline et al., 2010; Jean-Christophe and Rene, 1993; James, 2009; Rene and Jean-Christophe, 1992）。伴随着强烈的走滑作用，位于中非剪切带上的多赛奥盆地处的地壳拉张减薄，盆地发生强烈扭张作用（图2a）。该时期盆地构造活动强烈、断裂发育（图3a），盆地内钻井揭示该时期盆地沉积了厚层的下白垩统地层，地层厚度为500~6500 m。该时期是盆地形成的重要时期，沉积充填物占盆地总充填物的80%，沉积相研究表明该时期广泛发育湖相沉积，岩性以泥页岩为主，也是盆地优质烃源岩发育的重要时期。

（2）压扭期

晚白垩世早期，中非剪切带的走滑作用变弱，多赛奥盆地扭张作用变弱（图2b）。晚白垩世末期，非洲板块与欧洲板块发生碰撞（James, 2009），诱使多赛奥盆地发生压扭作用，压扭作用具有“西强东弱”的特征，盆地西部遭受强烈改造，发育因压扭作用形成的大型正花状构造带，且地层遭受强烈的剥蚀（图3b），而在盆地东部压扭作用相对较弱，盆地受改造程度小于盆地西部，较好地保存了盆地原来的构造特征，该时期是盆地构造定型的主要时期。钻井揭示该时期沉积地层厚度变小，厚度为0~1000 m，平均为600 m，主要为河流相沉积为主，以砂岩为主的一套向上变粗的反旋回沉积序列。

（3）拗陷期

新生代，中非剪切带活动走滑作用基本停止（图2c），多赛奥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（图3c）。该时期沉积地层厚度较小，一般不超过500 m，盆地东部地层厚度为200~500 m，盆地西部地层厚小于200 m，钻井揭示该时期主要为河流相沉积，岩性以粗粒砂岩为主。

3 盆地构造特征

3.1 盆地结构及构造单元

受上述三期构造演化阶段的控制，多赛奥盆

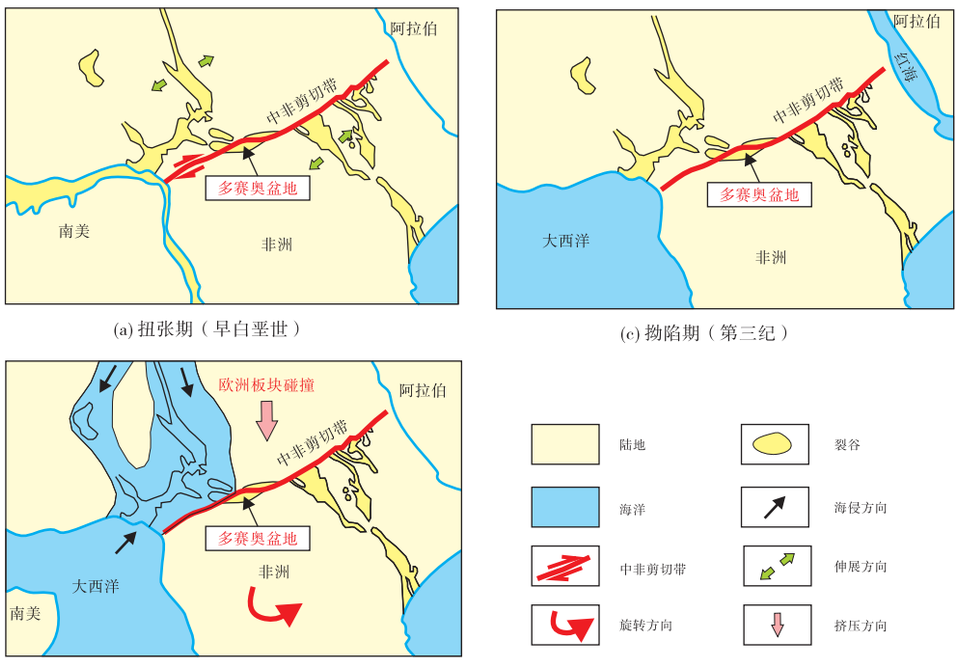


图2 中非剪切带构造演化图

Fig. 2 Tectonic evolution of the Central African Shear Zone

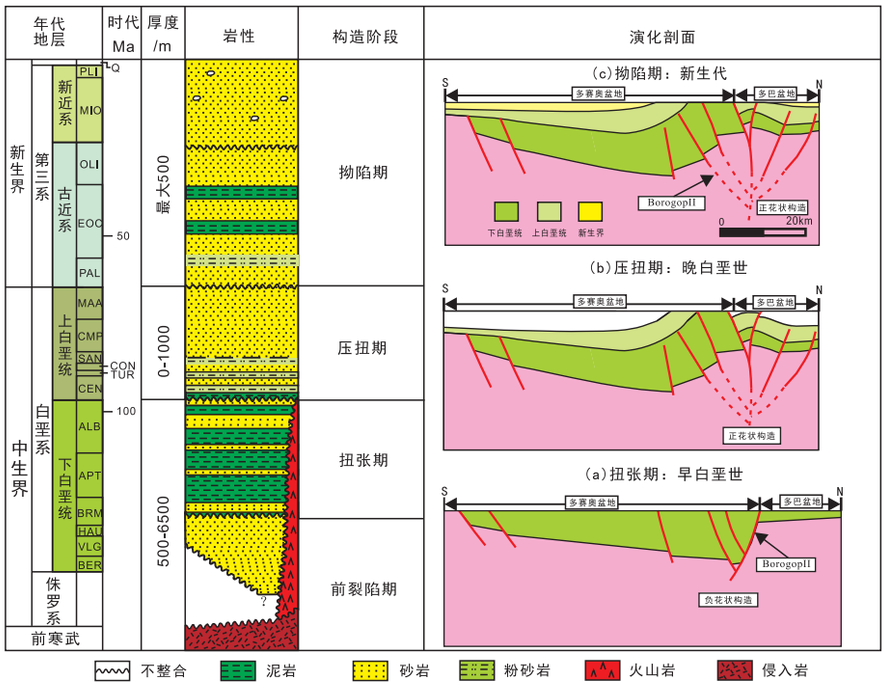


图3　多赛奥盆地构造阶段划分图

Fig. 3　Division of the tectonic evolution stages of the Doseo Basin

地形成了独特的盆地结构特征，且盆地东、西部结构差异明显。研究表明，盆地内Borogop断裂分为东部的Borogop I和西部的Borogop II，东部的Borogop I和西部的Borogop II的差异演化是盆地东西部结构差异的重要控制因素之一。按照构造差异，以Borogop II断裂东部为界，将盆地划分为东部主坳区和西部压扭区两个构造单元（图4）。受盆地东、西部差异演化的控制，沉积地层厚度整体上呈“东厚西薄”的特征，东部主坳区的沉积地层厚度大，分布广泛，其中东部凹陷的地层厚度普遍大于5 km，而西部压扭区受后期压扭作用影响，地层遭受强烈抬升剥蚀，地层厚度普遍小于5 km，平均约为3 km。

东部主坳区整体上呈不对称的双断结构，表

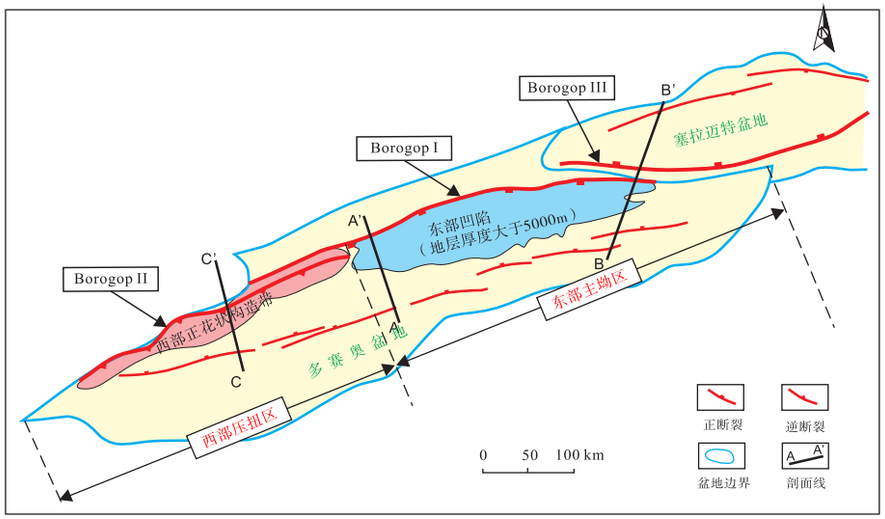


图4　多赛奥盆地构造纲要图

Fig. 4　Structural framework of the Doseo Basin

现出地堑的结构特征（图5，6）。由于受晚白垩世末期压扭作用影响较小，东部主坳区基本上保持盆地的原型特征，北部以Borogop I断裂为界，该断裂为大型陡直断裂，其倾角达68°，控制了扭张期沉积地层的展布。而南部以雁列排列的正断层为界，该类正断裂也较为陡直，但其规模小于北部的Borogop I断裂。对比相邻的塞拉迈特盆地，其与多赛奥盆地东部主坳区的结构和构造特征类似，塞拉迈特盆地以Borogop III断裂为界，该断裂控制了早白垩世盆地沉积地层的展布，后期受晚白垩世压扭作用影响较弱（图4，6）。

西部压扭区受晚白垩世末期压扭作用改造强烈，与东部主坳区的结构截然不同。受后期强烈压扭作用，西部的Borogop II断裂带附近地层变形最为明显，并形成大型的正花状构造带，该构造带上部的上白垩统地层遭受强烈的剥蚀（图4，7）。

通过平衡剖面分析技术，按照面积不变的几何学平衡原则对东部主坳区和西部压扭区的典型剖面进行构造复原，本次研究运用2DMove软件进行平衡恢复。恢复结果表明，早白垩世扭张期，东部主坳区和西部压扭区结构特征类似，Borogop II断裂与Borogop I断裂均为控盆断裂，控制了下白垩统地层的展布，同时，Borogop II断裂位于盆地西部，其展布方向与中非剪切带的主位移带一致，具有典型的走滑断层和正断层的双重特征，进而形成了典型的负花状构造（图8a，d）。晚白

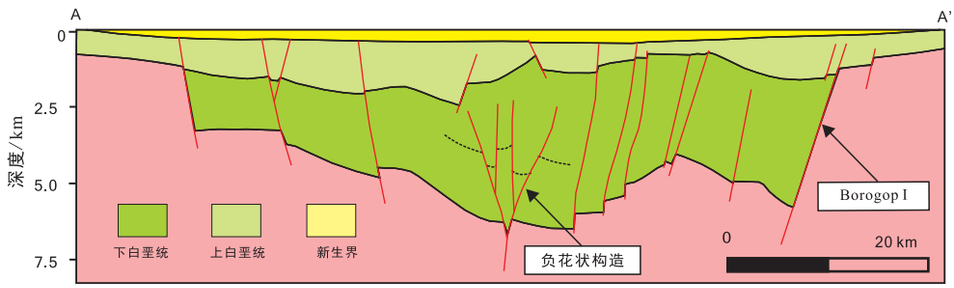


图5 多赛奥盆地东部主坳区典型地质剖面图(剖面位置见图4)

Fig. 5 Representative geological section of the main depression in the eastern Dosoe Basin

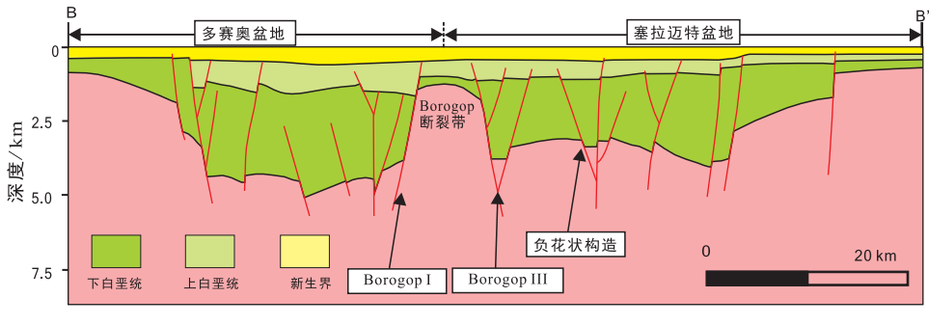


图6 多赛奥盆地和塞拉迈特盆地典型地质剖面图(剖面位置见图4)

Fig. 6 Representative geological section of the Salamat and Doseo basins

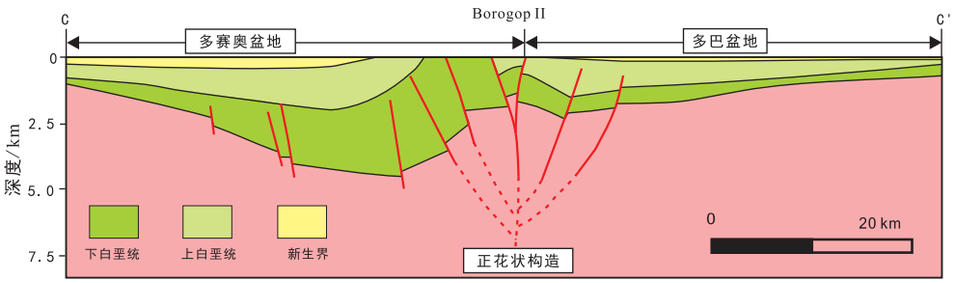


图7 多赛奥盆地西部压扭区典型地质剖面(剖面位置见图4)

Fig. 7 Representative geological section of the transpression zone in the western Doba Basin

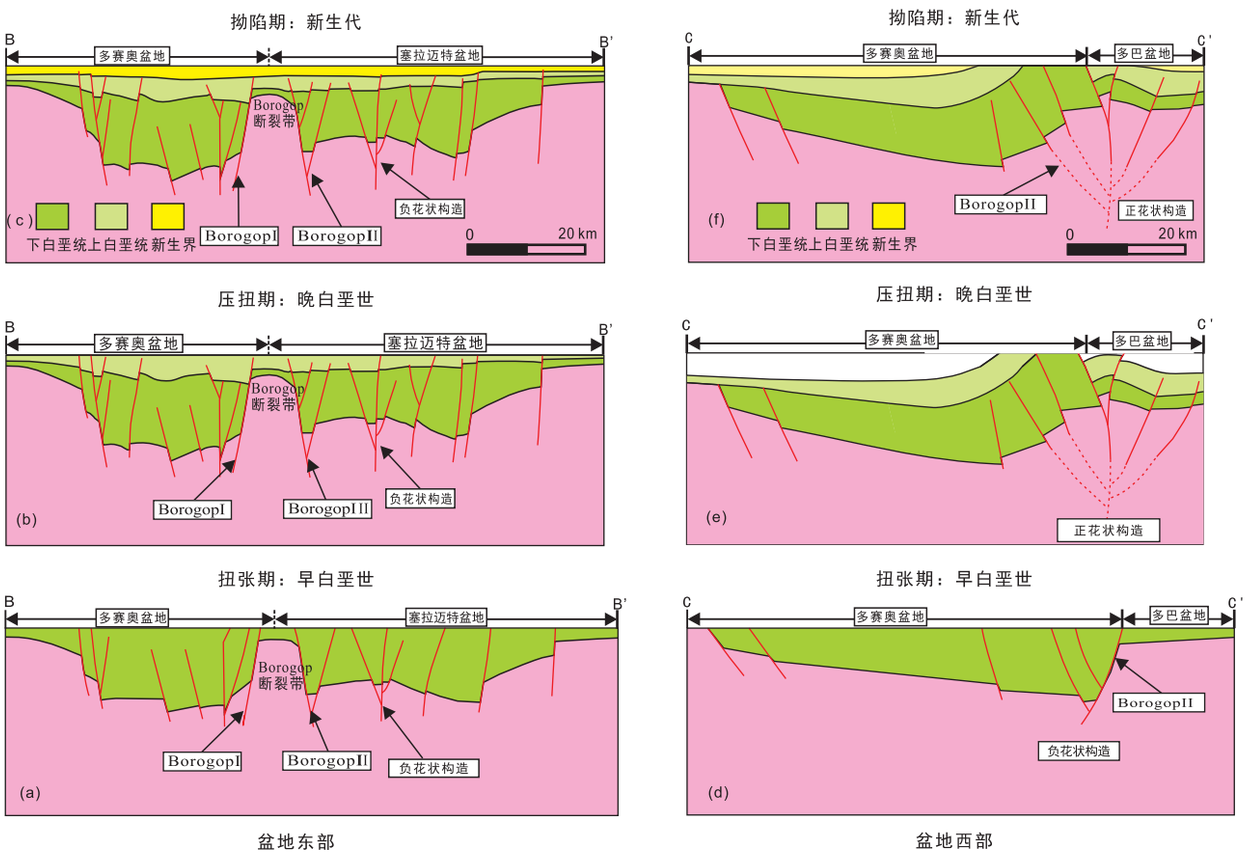


图 8　多赛奥盆地东部主坳区和西部压扭区构造演化史图

Fig. 8　Structural evolution of the eastern main depression and western transpression zone of the Doseo Basin

垩世压扭期，东部主坳区和西部压扭区结构特征出现明显的分异，西部压扭区发育大型正花状构造，Borogop II断裂受强烈压扭作用由早期陡直的大型正断裂组合而成的负花状构造转化为由逆断裂组合而成的正花状构造（图 8b，e）。新生代拗陷期，盆地构造活动变弱，西部由大型正花状构造形成的凸起带，继续遭受剥蚀，盆地整体进入填平补齐阶段（图 8c，f）。

3.2　盆地构造样式

盆地构造样式是盆地构造演化与盆地构造特征最直接的体现，受早白垩世扭张作用和晚白垩世压扭作用的双重作用控制，多赛奥盆地形成了两类五种典型的构造样式（表 1）。

（1）扭张类构造样式

该类构造样式形成于早白垩世扭张期，主要表现为断裂或断裂与断块的组合，可进一步细分为三种典型的构造样式（表 1）。

第一类为斜向滑动断层，主要为东部主坳区北部的控盆断裂 Borogop I断裂（图 5，6），该类断裂陡直，倾角大，深切基底，为具有走滑性质的大型生长断层，对下白垩统地层具有明显的控制作用，其主要形成于早白垩世扭张期，后期有继承性的活动，与常见的正断裂具有显著的差异。

第二类为断阶构造，主要分布在东部主坳区和西部压扭区的南部（图 5，7），断裂呈阶梯状、地层沿下降盘级级下掉、断裂倾角大，对地层控制作用不明显，为次生调节断层，其主要形成于扭张作用的末期。

第三类为负花状构造，主要分布在东部主坳区的中部（图 5，6），该类构造样式主要由正断裂组成，断裂深切基底，由基底向上、向外扩展，下陡上缓，横剖面上呈花状结构，该类构造样式的形成是盆地形成时扭张作用最直接的体现（图 6）。

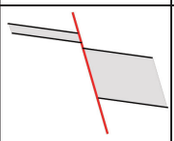
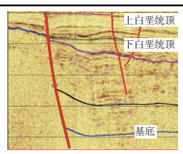
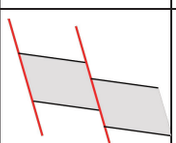
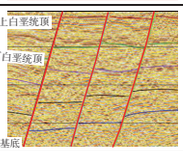
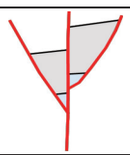
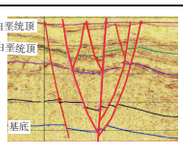
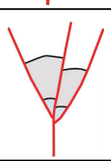
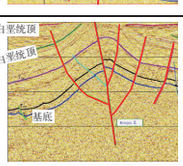
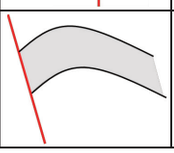
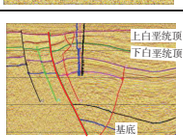
（2）压扭类构造样式

该类构造样式主要形成于晚白垩世末期的压扭作用，可进一步细分为两种典型的构造样式（表 1）。

第一类为正花状构造，主要分布在盆地的西部压扭区 Borogop II断裂附近，该类构造样式主要由

表1 多赛奥盆地构造样式分类表

Table1 Division of the structural styles of the Doseo Basin

构造样式		剖面示意图	典型地震剖面	构造特征	分布位置
扭张类	斜向滑动断层			断裂陡直，倾角大，深切基底，具有走滑断层和正断层的双重特征，控制了下白垩统地层的展布，为盆地的大型控盆断裂。	东部主坳区的Borogop I断裂
	断阶构造			断裂呈阶梯状、地层沿下降盘级级下掉、断裂倾角大，对地层控制作用不明显。	东部主坳区和西部压扭区的南部
	负花状构造			断裂深切基底，断层由基底向上、向外扩展，下陡上缓，横剖面上呈花状结构，所有的断层为正断层。	东部主坳区的中部
压扭类	正花状构造			断层从基底向上、向外扩展，下陡上缓，地震横剖面上呈花朵状结构，且花心地层比翼部高，所有断层为逆断层，且上部地层遭受一定程度的剥蚀。	西部压扭区的Borogop II断裂
	反转背斜			断背斜特征，地层后期发生变形，形成于幕式压扭作用。	东部主坳区的Borogop I断裂附近

逆断层组成，断层从基底向上、向外扩展，下陡上缓，地震横剖面上呈花朵状结构，且花心地层比翼部高，且上部地层遭受一定程度的剥蚀，该类构造样式的形成为压扭作用最直接的体现（图7）。

第二类为反转背斜构造，该类构造样式主要分布在东部主坳区Borogop I断裂附近，形成于晚白垩世的幕式压扭作用，地层变形特征表明晚白垩世发生三幕挤压作用，其中，第三期压扭作用最为强烈，地层遭受剥蚀程度较大（图9）。

4 盆地成因模式探讨

基于上述分析可知，早白垩世扭张期是多赛奥盆地和塞拉迈特盆地形成的主要时期，本次研究主要探讨该时期盆地的构造成因模式。

通过上述对盆地构造演化、构造单元、构造样式的分析，Borogop I和Borogop III断裂为多赛奥盆地和塞拉迈特盆地的大型控盆断裂（图4，10），两个盆地的控盆断裂控制了盆地的形成与演化。从控盆断裂的空间展布上来看，Borogop I和Borogop III

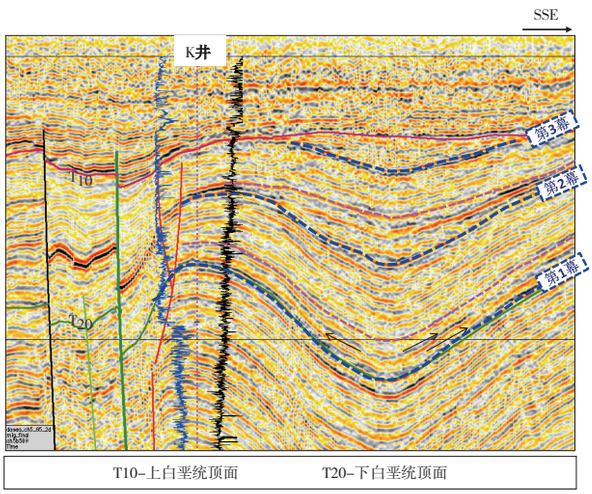


图9 多赛奥盆地挤压反转背斜构造压扭期次划分图

Fig. 9 Evolution stages of the reverse anticline in the Doseo Basin

断裂呈右阶排列，在早白垩世扭张期，中非剪切带发生强烈的右旋走滑作用。右阶和右旋的有效配置，使得Borogop I和Borogop III断裂弯曲部位产生扭张作用，并伴有拉张分力的形成，由于Borogop II

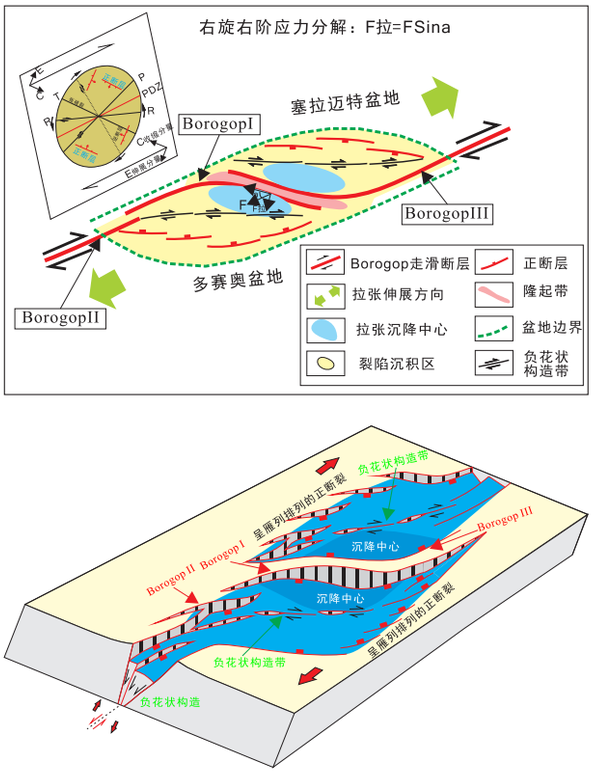


图 10　多赛奥和塞拉迈特盆地形成示意图

Fig. 10　Sketch model showing the formation of the Dosoe and Salamat basins

断裂东部和Borogop III断裂西部的弯曲部位拉张分力最大，沉降作用最为强烈，进而形成盆地的拉张沉降中心，沉积地层厚度最大（图10a）。受右旋走滑应力场控制，盆地中部发育负花状构造带，属于典型的R型同向走滑断层带，其与中非剪切带的主位移带呈小角度相交，剪切方向与主位移带一致；而盆地南部为拉张分力形成的雁列排列的正断层。因此，右阶右旋作用机制形成的扭张作用控制了多赛奥盆地和塞拉迈特盆地的形成。该机制下形成的走滑-拉分盆地平面上呈东西长、南北窄典型的“纺锤体”形态，具有“窄而深”的结构特征，往往成对分布成对出现（图4，10）。

5　结论

（1）受中非剪切带走滑作用强度控制，多赛奥盆地经历了扭张期、压扭期、拗陷期三期构造演化阶段。早白垩世扭张期是多赛奥盆地形成的主要时期，晚白垩世末压扭期是盆地定型的主要时期。

（2）盆地在平面上呈北东东—南西西展布的菱形，受晚白垩世末期压扭作用强度差异的控制，盆地东、西部结构和构造存在明显的差异，盆地可划分为东部主坳区和西部压扭区。

（3）盆地发育两类五种典型的构造样式，拉张类构造样式主要分布在东部主坳区，压扭类构造样式主要分布在西部压扭区。

（4）右阶右旋作用机制形成的扭张作用控制了多赛奥和塞拉迈特走滑—拉分盆地的形成。

参考文献(References)：

窦立荣，潘校华，田作基，等. 2006. 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，33(3): 255-261.

何碧竹，汪望泉，吕延仓. 2010. 苏丹穆格莱德盆地福拉凹陷油气成藏特征及勘探启示[J]. 现代地质，24(4): 609-718.

孔令武，韩文明，张树林，等. 2018. 中非剪切带裂谷盆地类型划分及形成机制[J]. 断块油气田，25(4): 409-412.

罗小平，张同周，王伟栋，等. 2003. 苏丹M盆地原油地球化学特征与母质的沉积环境探讨[J]. 地质地球化学，31(2): 80-86.

童晓光，窦立荣，田作基，等. 2004. 苏丹穆格莱特盆地的地质模式和成藏模式[J]. 石油学报，25(1): 19-24.

汪望泉，窦立荣，樊太亮，等. 2007. 中非穆格莱德盆地福拉凹陷构造特征与油气聚集[J]. 新疆石油地质，28(3): 387-390.

魏永佩，刘池阳. 2003. 位于巨型走滑断裂端部盆地演化的地质模型——以苏丹穆格莱德盆地为例[J]. 石油实验地质，25(2): 129-142.

张亚敏，漆家福. 2007. 穆格莱德盆地构造地质特征与油气富集[J]. 石油与天然气地质，28(5): 669-674.

张亚敏. 2008. 苏丹国穆格莱德盆地构造特征及演化[J]. 西安石油大学学报（自然科学版），23(3): 38-42.

Genik G J. 1993. Petroleum geology of Cretaceous-Tertairy rift basins in Niger, Chad and the Central African Republic [J]. Bulletin of American Association of Petroleum Geologists, 77: 1405~1434.

James D. 2009. The Mesozoic West and Central African Rift System: Qualitative Evaluation [C]. AAPG International Conference and Exhibition.

Jean-Christophe M and Rene G. 1993. Basement control in the development of the Early Cretaceous West and Central African Rift System [J]. Tectonophysics, 228: 81-95.

Maryline M, Daniel A and Patrick U. 2010. A new starting point for the South and Equatorial Atlantic Ocean [J]. Earth-Science Reviews, 98: 1-37.

Binks R M and Fairhead J D. 1992. A plate tectonic setting for Mesozoic rifts of West and Central Africa [J]. Tectonophysics, 213: 141-151.

Rene G and Jean-Christophe M. 1992. Early Cretaceous rifts of Western and Central Africa: An overview [J]. Tectonophysics, 213: 153-168.