

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2019081501

塞内加尔盆地北部次盆被动大陆边缘沉积演化特征 与控制因素

王宏语, 张峰, 蔡雨薇

中国地质大学, 北京 100083

摘要: 塞内加尔盆地是位于西北非大西洋沿岸的一个裂谷-被动大陆边缘叠合型盆地, 其中的北部次盆在非洲的大西洋沿岸盆地中, 其以陆坡地貌多变、碳酸盐岩发育而盐构造相对欠发育为特征。本文通过地震、钻井资料解释与构造沉积学分析, 研究北部次盆南段在被动大陆边缘盆地发育期的陆坡地貌与沉积充填演化特征, 明确其主控因素, 为系统揭示塞内加尔盆地发育特征、西北非被动大陆边缘盆地演化规律提供地质依据。研究表明, 研究区在白垩纪经历了台地边缘斜坡、同沉积断坡、宽缓沉积斜坡等陆坡地貌阶段, 发育了早白垩世 Neocomian-Aptian 期的碳酸盐岩台地建设期、Albian-Santonian 期的断坡-碎屑岩陆坡内外分离式沉积期、Campanian-Maastrichtian 期的碎屑岩缓坡沉积期等构造沉积演化阶段, 各阶段形成了不同的沉积格局。全球海平面变化与陆源碎屑供给相对欠发育是造就研究区被动大陆边缘盆地沉积充填特征的首要因素; 区域构造运动对该区陆坡地貌的演化、不整合的发生、物源的进退有着直接的控制作用; 古气候与物源区条件则间接影响着盆内沉积物的类型、规模与格局。

关键词: 被动大陆边缘; 陆坡地貌; 构造-沉积演化; 控制因素; 塞内加尔盆地北部次盆

中图分类号: P736.2

文献标识码: A

Sedimentary evolution of the passive continental margin of the north sub-basin, Senegal Basin and its controlling factors

WANG Hongyu, ZHANG Feng, CAI Yuwei

China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: The north sub-basin of the Senegal Basin is a rift and passive continental margin superimposed basin along the Atlantic coast of Northwest Africa. It is characterized by multiple types of continental slopes, well-developed carbonate sediments and relatively underdeveloped salt structures. Based on the seismic and drilling data of the southern area of the sub-basin, this paper analyzed the paleogeomorphic evolution of the continental slope and the sedimentary filling history during the development period as a passive continental margin basin. Main controlling factors for the geological characteristics of the sub-basin are discussed in the paper. The study reveals that during Cretaceous, the continental slope of the study area had experienced several phases of evolution, from the platform margin slope, to the syndepositional fault slope, and to the broad and gentle sedimentary slope, corresponding to the tectono-sedimentary evolution stages: the carbonate platform construction stage of early Cretaceous, the Albian-Santonian stages while the clastic deposits area be separated into internal and external areas by fault slope, and the Campanian-Maastrichtian stages dominated by a gentle slope covered by clastic deposits. Sediment distributions in different stages show different depositional patterns. Global sea level changes and relatively insufficient supply of terrigenous clastic are important factors for the sediment filling features of the passive continental margin basin in the study area. Regional tectonic activities have a direct impact over the evolution of landform, the occurrence of unconformity and the movement of provenance back and forth in the study area. The paleoclimate and provenance conditions have indirect influences on the type, scale and sediment depositional pattern in the basin.

Key words: passive continental margin; continental slope; tectono-sedimentary evolution; controlling factors; north sub-basin of Senegal Basin

资助项目: 国家重大科技专项“南大西洋两岸成藏规律与油气资源评价”(2016ZX05033-001-003); 中石化项目“塞内加尔盆地中部地区地震资料解释及不整合面控藏特征研究”(33550000-17-ZC0613-0028)

作者简介: 王宏语 (1973—), 男, 博士, 副教授, 主要从事构造沉积学、层序地层学与储层地质学领域科研与教学工作, E-mail: wanghy@cugb.edu.cn

收稿日期: 2019-08-15; **改回日期:** 2019-09-24. 周立君编辑

塞内加尔盆地是位于非洲西北海岸地区的一个巨大的裂谷-被动大陆边缘叠合盆地(图 1)。盆地包括陆上和海上两部分,东西宽约 400~800 km,南北长 1 500 km,盆地面积 938 748 km²,以主要转换断层为界从北向南依次划分为毛里塔尼亚次盆、北部次盆和卡萨芒斯次盆^[1-3]。近年来该盆地油气勘探发现不断,显示出了巨大的油气勘探潜力^[2,4-8]。

该盆地面积巨大,在不同区段,构造与沉积演化特征也显示出了明显的差异性;其中北部次盆在侏罗纪—白垩纪发育多种陆坡类型,形成巨厚、面积较大的碳酸盐岩陆架沉积,而大西洋沿岸盆地普遍发育的盐岩构造在这里则相对较少,规模较小,显示出了其在大西洋沿岸盆地中的特殊性。本文基于前人区域地质研究背景,以二维、三维地震资料与代表性的钻井资料为基础,分析北部次盆南段在被动大陆边缘发育期的沉积演化特征,探讨其主控因素;一方面为全面揭示该盆地发育特征、明确中大西洋被动大陆边缘型盆地的演化规律提供支撑,另一方面也为该区的油气成藏地质条件评价提供地质依据。

1 区域地质背景

1.1 盆地构造演化阶段

塞内加尔盆地属于典型的大陆裂谷和被动大陆边缘盆地形成的叠合盆地(图 2),盆地的形成与中生代以来大西洋裂谷作用及后期持续扩张密切相关^[9-11]。盆地的演化主要经历了前裂谷期、裂谷期、被动大陆缘期等 3 个阶段;前裂谷期主要指中生代之前,其区域构造主要受控于北非板块构造演化;裂谷期主要发育于三叠纪中晚期—侏罗纪早期,受控于非洲板块与北美洲板块的分离作用;盆地在中晚侏罗纪进入被动大陆边缘漂移期,从古近纪开始盆地整体进入沉降阶段^[3,10,12-14]。

1.2 区域地层与沉积特征

前裂谷层系主要是古生界的志留系和泥盆系,仅在盆地东部的陆地区域有局限残留,其与裂谷层系的三叠系—下侏罗统碎屑岩和盐岩呈不整合接触^[3,15]。

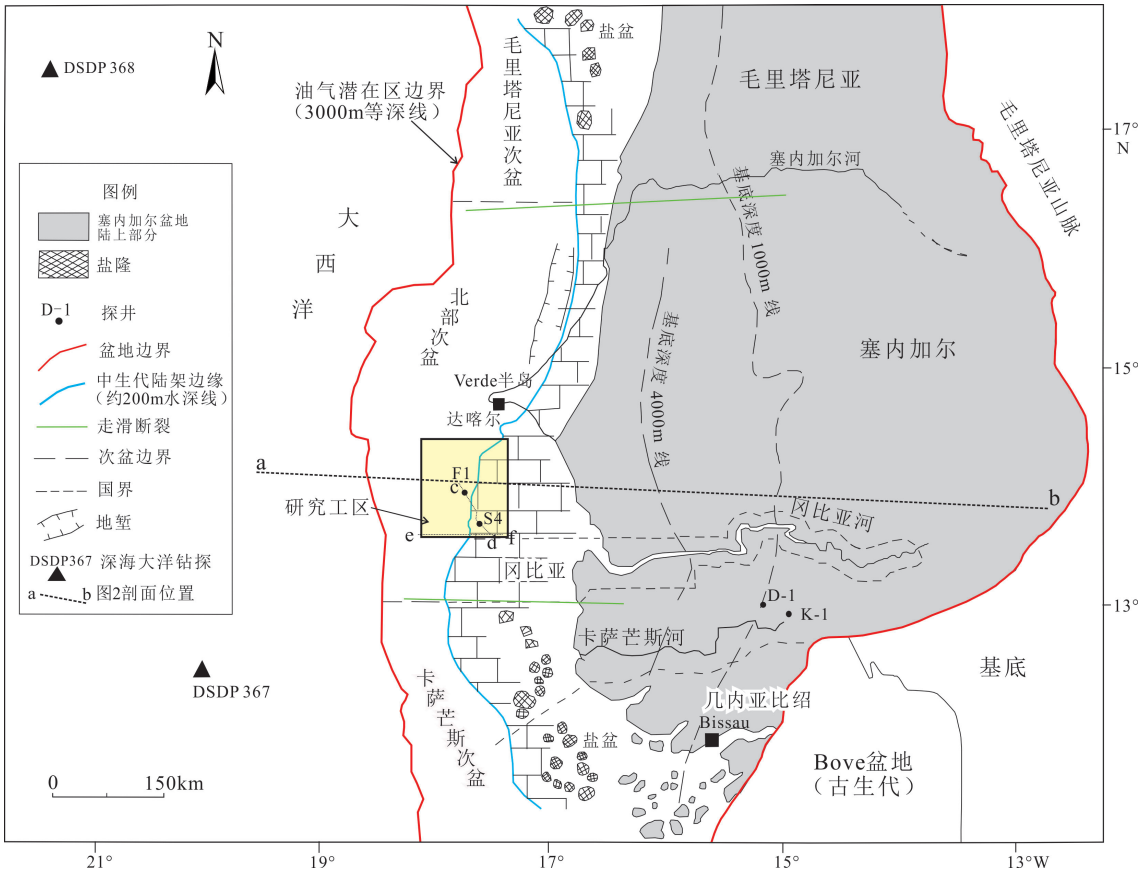


图 1 区域地质单元划分与研究区位置图 (据文献 [3] 修改)

Fig.1 Geotectonic map showing regional geological units and the study area (modified from reference [3])

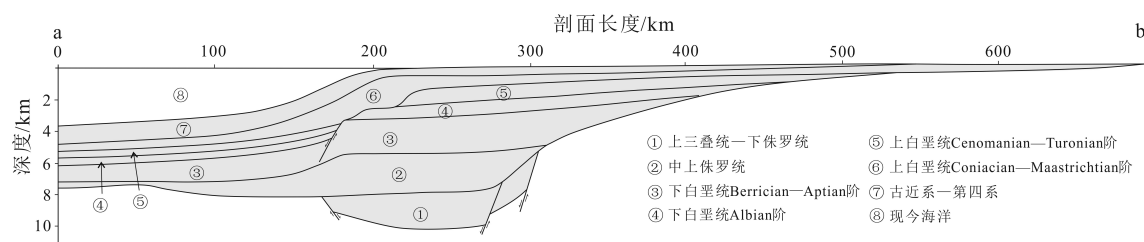


图 2 塞内加尔盆地北部次盆南段地层剖面模式图 (剖面位置见图 1 中的 a-b, 据文献 [9, 10] 修改)

Fig.2 A stratigraphic section of the north sub-basin (see a-b in fig. 1 for location of the section, modified from references [9, 10])

在中晚三叠世,与早期的中大西洋扩展相伴,西北非的大西洋沿岸发育了一系列的北北东向半地堑,断层与下伏的古生代构造走向近于平行。塞内加尔地区的地堑在裂谷早期主要发育河流、湖泊和三角洲相沉积;在裂谷后期,海水从东面(古特提斯洋)和北面(原始大西洋)侵入,盆地的北、西北和南部,较远的物源区只提供少量的碎屑进入盆地,导致在这种受限很强的局限海中沉积了巨厚盐岩,而且沉积持续到早侏罗世[12, 15-16]。

距今约 180~170 Ma 的中侏罗世早期,西北非与南、北美洲开始张裂,塞内加尔盆地开始处于被动大陆边缘背景[12-13, 17-18],主要发育正断层以及与火山活动和盐活动相关的构造等。此后,盆地范围不断扩大,地层沉积厚度范围从东部至沉积中心为几米至 10 km(图 2)。其中在中侏罗世至早白垩世,盆地大部分地区发生海侵,在现今的陆架外缘及其附近形成了巨厚的碳酸盐岩沉积,陆坡以西为深海环境,陆架边缘向陆发育碳酸盐岩和生物礁建造。早白垩世晚期,陆坡以西以粉砂岩和页岩为主,而在东部以浅海相及河流相砂砾岩为主。到晚白垩世 Turonian 期,海侵范围达到最大,盆地海域大部分地区沉积富有机质的页岩;Santonian 期盆地开始进入海退旋回,至 Maastrichtian 末期海退幅度达到最大[2, 4-5, 13]。古近纪阿尔卑斯造山运动导致非洲板块与伊比利亚(Iberian)板块发生碰撞,渐新世和中新世强烈的火山活动导致 Cape Verde 等岛屿的形成[10, 12]。

2 白垩纪被动大陆边缘沉积演化特征

2.1 沉积古地貌演变特征

西北非的大西洋沿岸地区自晚侏罗世以来始终处于被动大陆边缘的构造古地貌发育背景之中,且不同的区段其陆架与陆坡的发育存在着较大差异[19-20]。地震、钻井资料综合解释表明(图 3, 图 4, 图 5),研究区被动陆缘期的陆坡-陆架边缘古地貌

存在 3 个演化阶段。

(1) 台地边缘斜坡期

在中—晚侏罗世,研究区受下覆裂谷盆地地层展布及断层传导的影响,在裂谷盆地边缘地区发育陆架边缘坡折斜坡带(图 4A, 图 5A);该时期斜坡区的坡度较缓,其分布受下伏隐性断层的影响较大。进入早白垩世 Neocomian 期,中大西洋持续扩展[9, 21-22],陆架边缘碳酸盐岩台地区与陆坡以外深海泥质沉积区的沉积速率差异增大,造成陆坡的坡度持续增加、斜坡落差增大,陆坡位置向大陆有所迁移,成为碳酸盐岩台地边缘斜坡(图 4B)。

(2) 同沉积断层斜坡期

Neocomian 期末期,陆架边缘区发生地层掀斜、错断,碳酸盐岩台地接受不均衡剥蚀(图 3),同时台地边缘斜坡也开始具有显著的断坡特征。在此后的 Aptian 期,小幅度的地层掀斜与斜坡边缘错断呈幕式多期发生;其中地层掀斜、抬升、陆坡错断规模最大的一次发生于 Aptian 末期,它促成了陆架边缘碳酸盐岩台地喀斯特现象沿陆架边缘局限分布以及地层削蚀不整合(图 3)。该阶段陆架边缘斜坡坡度较陡,具同沉积断坡性质(图 4C, 图 5B)。

在 Albian 期,陆架边缘发育具典型前积序列的碎屑岩沉积(图 4D),在较为陡倾的陆坡上也形成了大小不一的下切冲蚀沟谷(图 5C, 图 6A)。在此后的 Cenomanian-Turonian 期,陆坡边缘沟谷持续下切,且向陆地方向的延伸距离增加(图 5D, 图 6B);此期间陆坡基本形态稳定,但沟谷规模不断增加。

在 Coniacian-Santonian 的初期,陆架边缘区经历一次较大规模的地层掀斜、陆坡错断,陆坡也由早期的倾陡断坡变为下陡上缓特征,然后形态基本定型(图 4F)。

(3) 沉积坡折斜坡期

在 Campanian-Maastrichtian 期,西北非地区进入晚白垩世—古近纪的第二构造活动期[10, 23],陆地区域褶皱造山,物源供给增强,沉积物充填斜坡沟谷并将原断坡完全覆盖,形成宽缓的大陆沉积斜坡

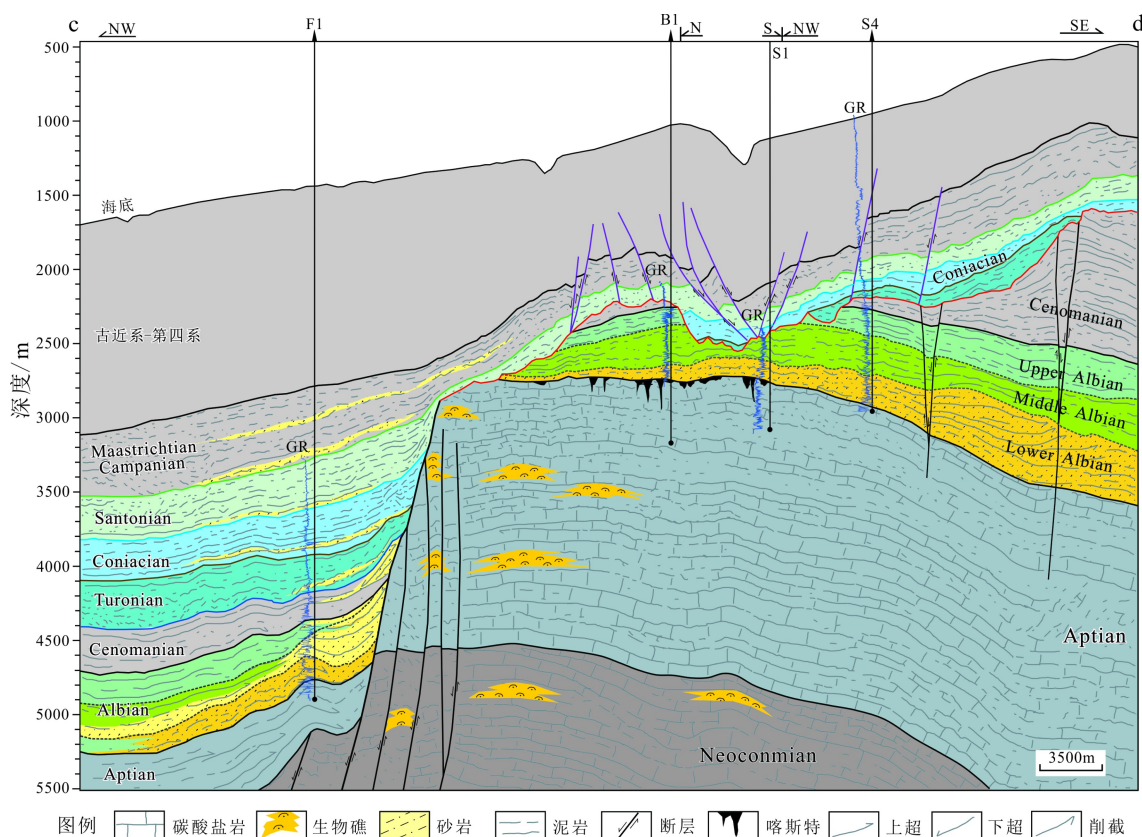


图3 研究区白垩系地震-测井特征及地质解释 (剖面位置见图1的c-d)

Fig.3 Cretaceous seismic-logging section and geological interpretation (see c-d in Fig.1 for section location)

(图4G,图6C)。进入古近纪以后,该区大陆边缘斜坡形态与类型基本稳定。

2.2 沉积充填演化特征

井、震资料综合解释表明,白垩纪被动陆缘期存在碳酸盐岩建设期、断坡-碎屑岩分离式沉积期、斜坡-碎屑岩沉积期等3个构造-沉积演化阶段(图7)。

(1)碳酸盐岩陆架建设期

早白垩世 Neocomian 期,陆架边缘地区地貌平缓,以碳酸盐岩沉积为主,偶夹薄层泥岩沉积;形成的地层横向展布稳定,最大累计厚度达到3000 m(图3,图5A),表现为强振幅、中频、中—高连续性、平行—亚平行的地震反射特征。在陆坡之外的深海地区,地层厚度较薄,以泥质沉积为主,显示为强振幅、中低频、高连续性的地震反射特征。

早白垩世 Aptian 期,陆架边缘碳酸盐岩台地建设速率较快,形成了厚2000~3000 m的碳酸盐岩沉积,在台地之上发育多个浅海水道,充填少量碎屑岩。在研究区北侧的陆架边缘,存在陆源碎屑的供给,以碎屑岩沉积为主(图5B)。在该时期,全球海平面处于上升阶段^[24-25],陆坡之外深海区域的可容纳空间持续增大,在碳酸盐岩台地之下由于缺乏

陆源碎屑的供给,形成了大套的泥岩夹灰质泥岩沉积;而在研究区北侧的碎屑岩陆坡外缘,则发育了同沉积的楔形体。

(2)断坡-碎屑岩分离式沉积期

在 Aptian 末期,全球海平面快速下降^[24-25];同时由于中大西洋的持续张裂,区内发生较大规模的地层掀斜作用,造成 Aptian 阶的抬升、掀斜,接受剥蚀,并在陆坡边缘区形成了较为典型的喀斯特岩溶。进入 Albian 早期,陆源供给开始增强,在原碳酸盐岩台地之上发育了一套典型的三角洲建造(图3,图4D,图5C)。三角洲扇体延伸至陆架边缘,沉积物在陆坡坡折带形成下切谷,并在坡下形成近坡的滑塌扇体。在 Albian 期沉积中晚期,海平面持续上升,物源供给有所减少,发育一套浅海偏泥质沉积,在地震相上表现为中等振幅、中频、连续的平行、亚平行反射特征。在陆坡之外的深海区,F1井揭示了 Albian 阶下部为砂泥互层,向上砂岩含量逐渐减少,变为深水泥岩偶夹薄层粉砂岩的岩相组合,表现为由深海滑塌扇沉积为主向深海泥岩沉积为主的转变过程。

由于海平面持续上升,陆源供给相对缺乏,Cenomanian 期沉积向陆后退,沉积物以碎屑岩夹碳

Cenomanian 后期, 全球海平面又一次地快速下

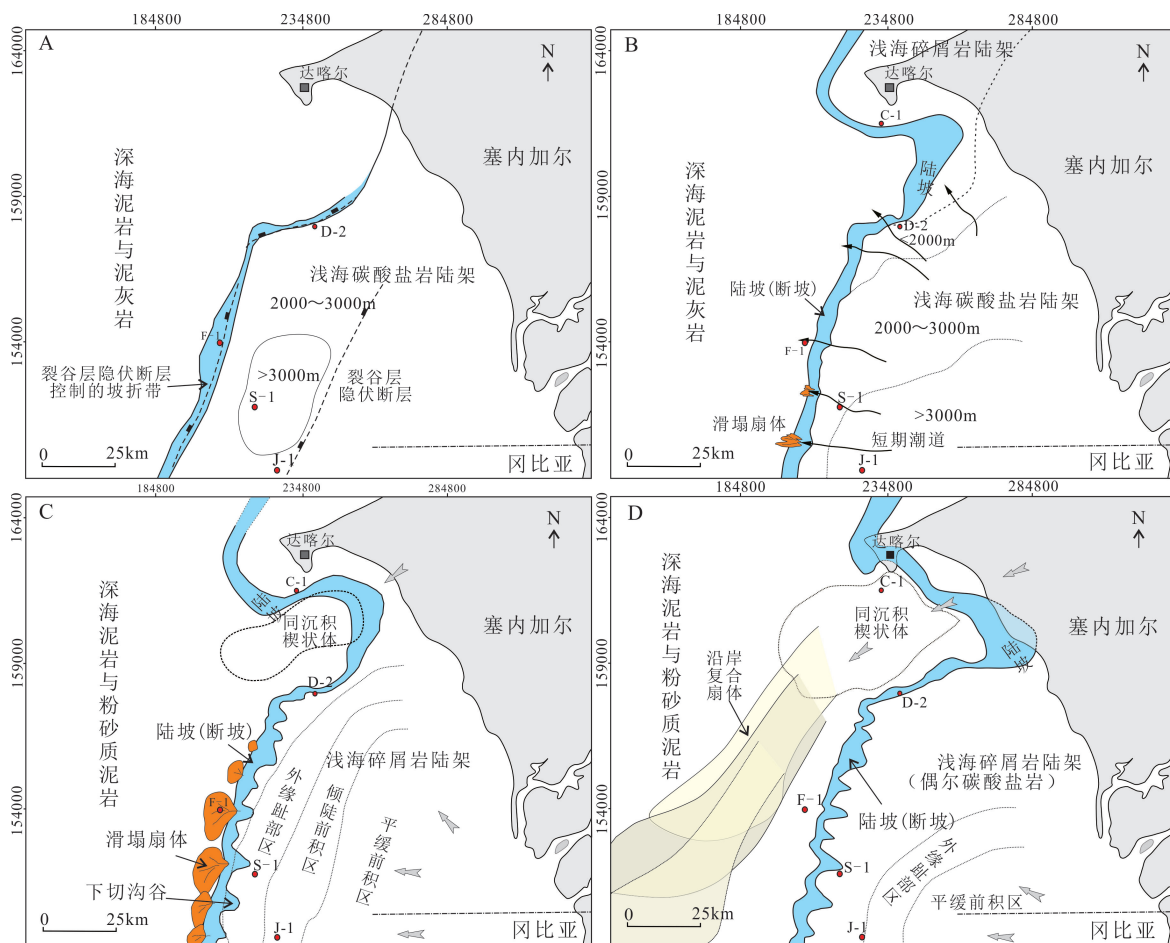


图5 研究区构造-沉积平面演化特征

a. 晚侏罗世—早白垩世 Neocomian 期; b. 早白垩世 Aptian 期; c. 早白垩世 Albian 期的早期; d. 晚白垩世 Cenomanian—Santonian 期。

Fig.5 Tectono-sedimentary evolution of the study area

a. From Late Jurassic to Neocomian Age of Early Cretaceous; b. Aptian Age; c. the early period of Albian Age; d. Cenomanian and Turonian Ages.

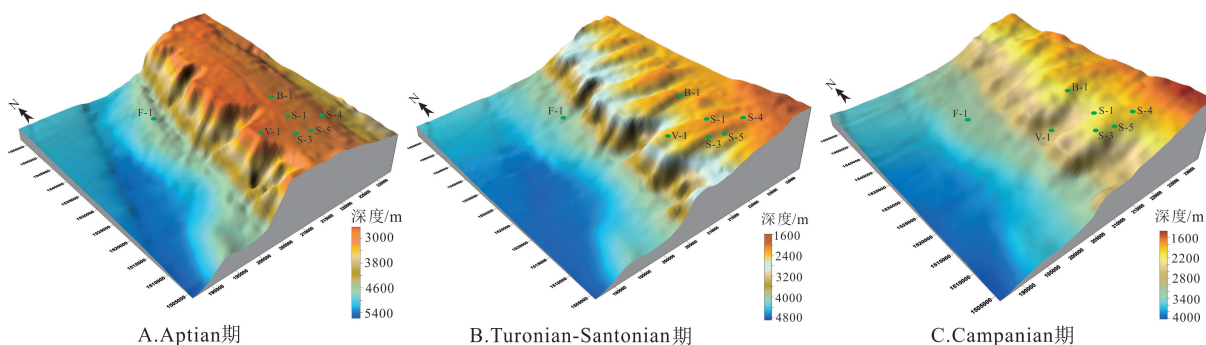


图6 研究区陆架边缘及陆坡地貌演变特征

Fig.6 Geomorphologic evolution characteristics of the shelf edge in the study area

降(图7),造成整个陆架区暴露,在陆架边缘区形成了更为发育的下切沟谷和不整合(图3)。此后的 Turonian 期,海平面快速上升,海泛达到白垩纪以来最大规模,陆缘三角洲再次后退(图4F),在研究区内,泥岩充填陆架沟谷并覆盖陆架边缘区域。而在研究区北侧, Turonian 早期大陆仍有远源供给,经过海湾坡度相对较缓的陆坡向深海平原输送,并经过

洋流改造,在陡坡带外侧形成了东北—南西向的长轴近岸复合扇体(图5D)。这些扇体在东西向地震剖面上呈现中等振幅、紊乱或侧积特征,并下切充填于较为宽缓的近陆架深海斜坡之上(图3)。

在此后的 Coniacian 期至 Santonian 期,海平面相对稳定,而陆源供给有所增强,沿岸形成了加积至弱进积为特征的三角洲沉积(图4G);而在陆架

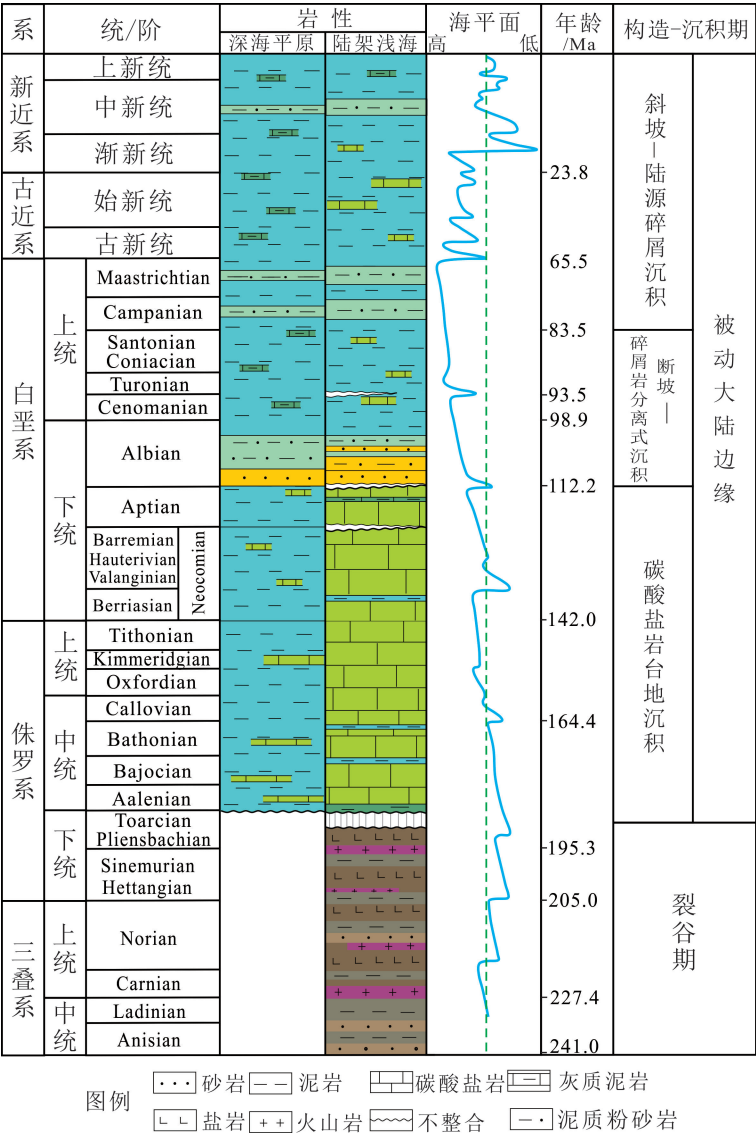


图 7 研究区构造-沉积演化综合柱状图

岩性资料来自区内钻井与参考文献 [3]; 海平面变化资料来自于参考文献 [24, 25]。

Fig.7 Integrated stratigraphic column showing lithology, sea level fluctuation, tectono-sedimentary stage, and deep-sea fan types of the study area

Lithologic data come from wells and reference 3, the sea level change data come from references [24, 25].

浅海及陆缘斜坡区域, 后期沉积物与水流多期冲刷、切割下部地层, 在沟谷中形成了较薄且不等厚的 Turonian 阶、Coniacian 阶与 Santonian 阶, 其中残留的 Santonian 阶以中等振幅、较连续、亚平行的地震反射为特征, 而 Coniacian 阶与 Santonian 阶则以弱振幅、较差连续性地震反射为特征。在陆架外的深海区域以泥岩与灰质泥岩沉积为主, 发育一些斜坡扇(图 8), 但下切水道现象减少、规模减小。

从 Albian 期到 Santonian 期, 研究区以陆源碎屑岩建造为主, 陆坡具有断坡特征, 陆架浅海与深海平原横向不连续沉积, 具有被动大陆边缘的断坡、坡上与坡下分离式沉积样式。

(3)同沉积缓坡-碎屑岩沉积期

进入白垩纪末的 Campanian-Maastrichtian 期, 全球海平面虽稳中有升, 但西北非开始进入第二构造活动期, 陆源供给持续增强, 在沿岸形成了以进积为特征的三角洲体系(图 4G), 陆源碎屑沉积覆盖了早期的整个陆架浅海区以及陆架边缘斜坡区。在深海区域则发育多个较大规模的斜坡扇体, 并伴随较为明显的宽缓沟谷下切现象。位于斜坡中下部的区内钻井大多揭示为大套泥岩偶夹粉砂岩的岩性组合。

在该阶段, 研究区持续接受陆源物质, 地层在陆架斜坡上横向展布稳定, 具有被动大陆边缘宽缓

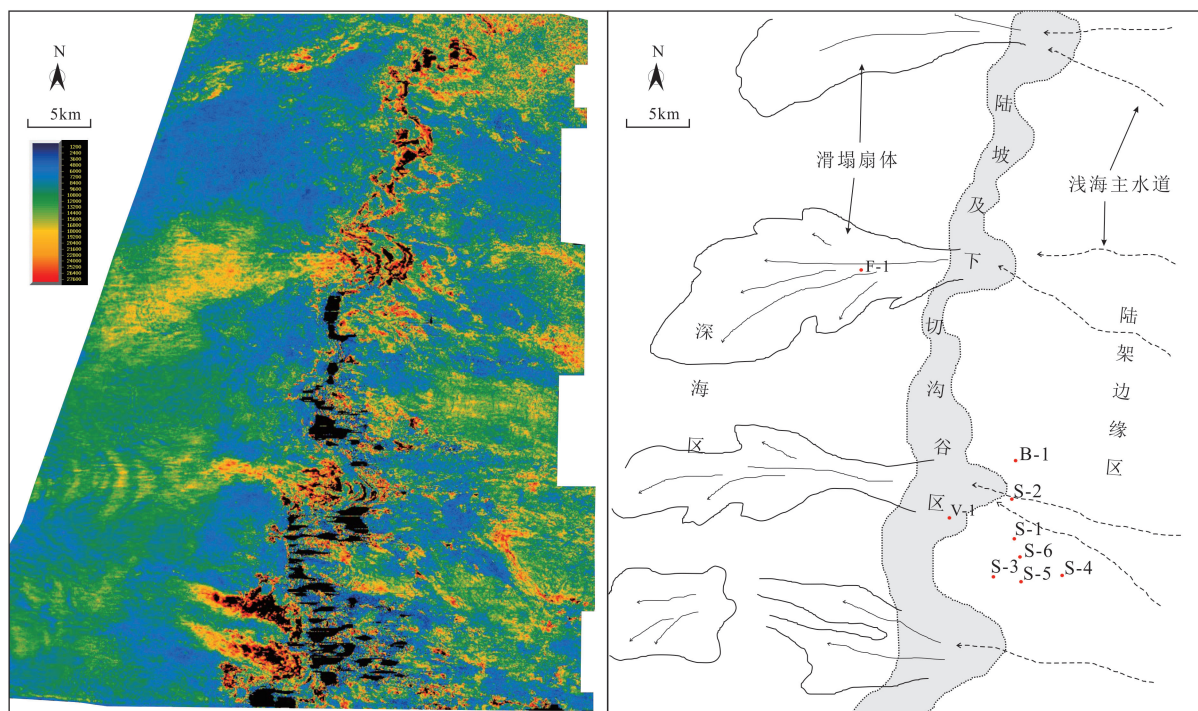


图8 研究区三维工区 Coniacian-Santonian 阶均方根振幅属性与地质解释

Fig.8 RMS amplitude attribute and geological interpretation of Coniacian-Santonian

斜坡地貌、横向连续沉积样式。

3 控制因素

在塞内加尔盆地被动大陆边缘发育阶段,全球海平面变化、古气候、构造运动与物源供给是沉积充填特征的控制因素,但在北部次盆研究区内,这些因素又显示了不同的控制特征。

3.1 全球海平面变化

被动大陆边缘盆地属于向海开放式沉积盆地,海平面的变化直接制约着盆地可容纳空间的变化、沉积斜坡地貌的变化以及陆源供给的进退,控制着盆地沉积建造的类型与格局。在白垩纪,特别是其中晚期,全球海平面大幅度上升并间隔发育的快速升降变化(图7),直接影响了本区沉积物在空间上的组合特征。

在陆架浅海区的 Albian 期-Cenomanian 早期,相对海平面持续上升,可容纳空间增大,造成三角洲建造退缩,Albian 阶表现为典型的由三角洲前缘向前三角洲、浅海泥岩退积的三段式纵向演化特征。而到 Cenomanian 早期,物源持续退缩,发育碳酸盐岩及生物礁沉积。Cenomanian 末期的海平面快速下降造成该区发育下切沟谷及不整合面。Turonian 期海平面的快速上升,再次造成沉积物以泥岩为

主,并在纵向上呈退积特征。

陆架以下深海区域虽然始终处于海平面以下,但间接受到由于海平面变化而距离大陆物源区远近、供给性质与规模的影响,从而在纵向上也呈现以泥岩为主、向上沉积物粒度变细的沉积组合特征。

3.2 构造运动

塞内加尔盆地处于西北非沿岸的中南段,其发育与盆地北侧的阿尤恩-塔尔法亚盆地以及摩洛哥沿岸盆地的构造背景具较高相似性,这些盆地区段与北美大陆的美国佛罗里达-加拿大南部的沿岸区段相对应^[10,13]。在中大西洋的扩展过程中,这些盆地内部发育一系列的近北东走向正断层系(图9),这些断层大多具有较大的断距,但延伸距离并不长。在盆地及次盆间由于大洋扩展速率的差异以及方向的变化,也发育一些近东西向的转换断层^[3],但这些盆地整体显示受近东西方向的拉张应力背景控制,为典型的被动大陆边缘盆地。其与盆地南侧的塞拉利昂-利比里亚盆地、科特迪瓦盆地等转换断层比较发育的盆地具有明显的构造-沉积演化差异性^[11,14],两者属于不同区域应力背景。

研究区位于北部次盆的中南部,距离盆地及次盆边缘的转换断层带较远。在早白垩世的被动大陆边缘发育期,由于处于拉张应力环境,导致陆架

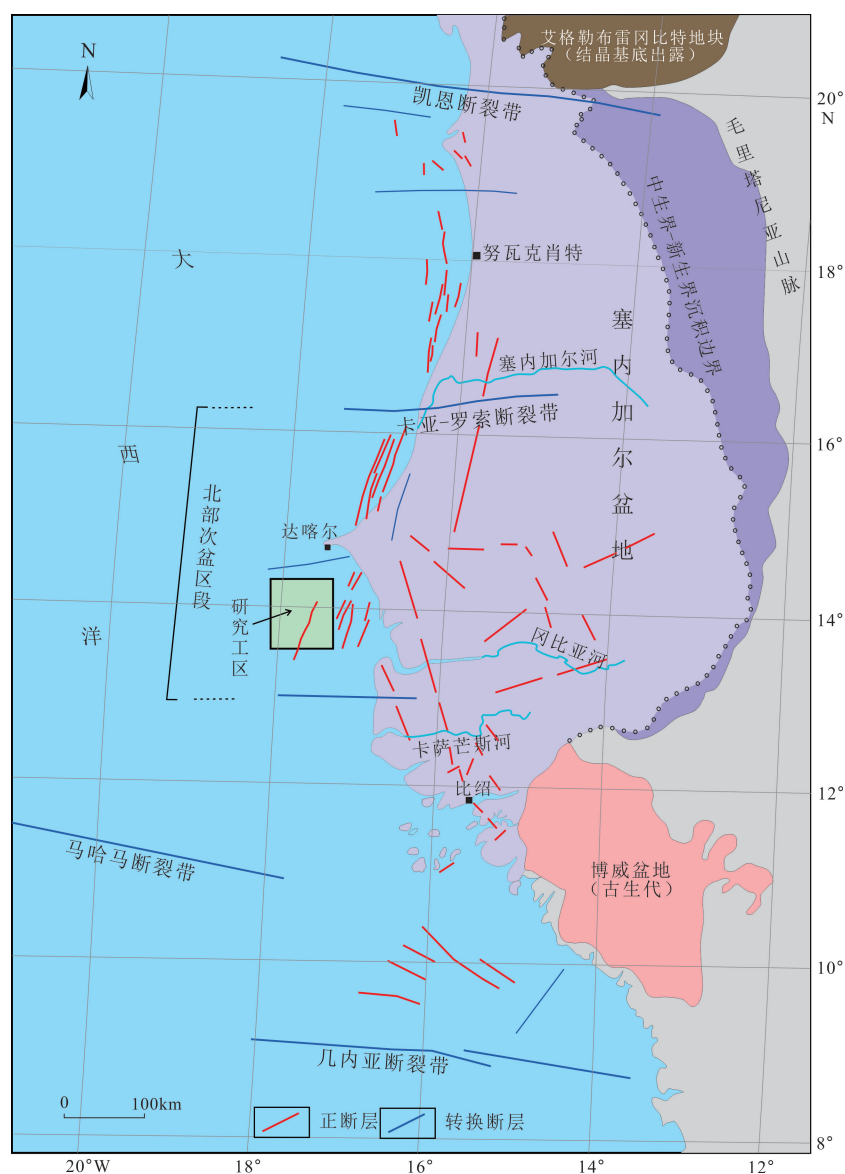


图9 塞内加尔盆地主要断层与现今河流分布图 (断层数据来自文献[3])

Fig.9 Distribution map of major faults and current rivers in Senegal Basin (fault data from reference [3])

边缘地层多期次的错断、掀斜,一方面形成多个碳酸盐岩台地内部以及 Aptian 末期的不整合,另一方面也造就了该期碳酸盐台地边缘陆坡的“同沉积断坡”性质。

晚白垩世末期—古近纪,受西北非大陆板块内部的活动以及与欧洲板块的碰撞,西北非地区特别是摩洛哥沿岸进入了造山运动阶段^[10, 23],研究区受到影响也进入了第二个构造活动阶段,在区内表现为陆源碎屑供给增强,陆架浅海区发育一系列断层,在紧邻陆缘斜坡的深海区域地层发生褶皱(图4G),三维工区北侧火山岩发育。

3.3 古气候与物源供给

古气候作为背景条件往往能影响盆地沉积充

填演化的多个方面,一方面它可影响沉积物来源的类型、供给速率,另一方面还能影响海/湖平面的变化以及水动力条件,这些都直接影响盆地内的沉积体系类型与空间格局。前人研究表明,塞内加尔盆地在三叠纪—白垩纪都处于亚热带干旱气候区^[26],这不利于陆地母源区物质的大量剥蚀、搬运,也造就了塞内加尔地区物源供给的相对匮乏,进而促成陆架边缘碳酸盐岩十分发育。

白垩纪 Aptian 末期, 全球气候聚变进入冰期 (图 7), 一方面造就全球海平面的快速下降, 区内碳酸盐岩台地的暴露、剥蚀与岩溶现象的发生; 另一方面, 气候的变冷也改变了研究区炎热干旱的气候条件, 促进了陆源碎屑物质的供给。这应该是除了构造因素外, 造成碳酸盐岩台地建设停止, 进入

Albian期三角洲体系碎屑岩建设的另外一个重要因素。

在塞内加尔盆地的整个演化过程中,陆源碎屑供给速率相对较低;除了气候因素外,另外一个原因可能是供给大陆边缘的陆源剥蚀区面积较为局限且缺乏大规模物质搬运通道^[20, 27]。在塞内加尔盆地陆地区的现今河流体系中,仅发育塞内加尔河、冈比亚河与卡萨芒斯河等长度200~400 km的河流(图9);母源区较局限、大规模运输通道欠发育的特征仍有体现。

4 结论

(1)塞内加尔盆地是一个上覆于古生代盆地之上的裂谷-被动大陆边缘叠合盆地,中侏罗世进入典型的被动大陆边缘盆地发育期。受构造、沉积作用的综合影响,研究区陆坡在白垩纪经历了台地边缘斜坡、同沉积断坡、宽缓沉积斜坡等阶段,坡度经历由缓变陡、再变缓的变化过程。

(2)研究区在白垩纪被动大陆边缘盆地发育阶段经历了早白垩世Neocomian-Aptian期的碳酸盐岩台地建设期、Albian-Santonian期的断坡-碎屑岩陆坡内外分离式沉积期、Campanian-Maastrichtian期的碎屑岩缓坡沉积期等3个构造-沉积演化阶段,并在各阶段形成了不同的沉积格局。

(3)全球海平面变化、陆源碎屑供给相对欠发育是造就本区被动大陆边缘盆地沉积特征的重要因素。区域构造运动与应力特征对该区白垩纪陆坡地貌的演化、不整合的发生、物源的进退有着直接的控制作用,古气候与物源供给条件则间接影响着盆内沉积物的类型、规模与空间格局。

参考文献 (References)

- [1] Abdelrahman E M, Tealeb A, Hassan R M. A least-squares derivative analysis of gravity data applied in Senegal, West Africa [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2001, 33 (1): 165-175.
- [2] Brownfield M E, Ronald R Charpentier. Assessment of the Undiscovered Oil and Gas of the Senegal Province, Mauritania, Senegal, The Gambia, and Guinea-Bissau, Northwest Africa[R]. U. S. Geological Survey Bulletin 2207-A. Posted online October 2003, version 1.0. Published in the Central Region, Denver, Colorado. Manuscript approved for publication June 5, 2003.
- [3] IHS Energy Group. Basin monitor of Senegal(M. S. G. B. C)Basin(Mauritania, Senegal, Guinea-Bissau, Guinea, Guinea-Bissau/Senegal JEZ, Cape Verde, Western Sahara, Gambia, North Atlantic Ocean Region, Sierra Leone)[DB/OL]. 2012, <http://energy.ihs.com/>.
- [4] Faye M, Hamet P, Rochet J. New concepts on the geology of palaeozoic and post Hercynian formation in the Basin of Senegal [C] // European Association of Petroleum Geologists 4th Conference, Poster Abstract, Paris, France, 1992: 176-177.
- [5] Reymond A. Oil reservoir character in northwest Africa including Mauritania, Senegal and Guinea Bissau [J]. *World Oil*, 1989, 208 (6): 53-57.
- [6] 刘延莉. 塞内加尔盆地油气地质特征及勘探潜力[J]. *地质与资源*, 2014, 23 (2): 197-201. [LIU Yanli. The petroleum geology prospective analysis of the Senegal basin [J]. *Geology and Resources*, 2014, 23 (2): 197-201.]
- [7] 孙涛, 王建新, 孙玉梅. 西非塞内加尔盆地深水油气地球化学特征与油气成藏[J]. *沉积学报*, 2017, 35 (6): 1284-1292. [SUN Tao, WANG Jianxin, SUN Yumei. Petroleum Geochemical Characteristics and Accumulation in Offshore of Senegal Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2017, 35 (6): 1284-1292.]
- [8] 王大鹏, 殷进垠, 田纳新, 等. 塞内加尔盆地成藏组合划分与资源潜力评价[J]. *现代地质*, 2017, 31 (6): 1201-1213. [WANG Dapeng, YIN Jinyin, TIAN Naxin, et al. Division and resource evaluation of hydrocarbon plays in the Senegal Basin, West Africa [J]. *Geoscience*, 2017, 31 (6): 1201-1213.]
- [9] Brun M V L, Lucazeau F. Subsidence, extension and thermal history of the West African margin in Senegal [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1988, 90: 204-220.
- [10] Lehner P, De Ruiter P A C. Structural history of Atlantic margin of Africa [J]. *AAPG Bulletin*, 1977, 61 (7): 961-981.
- [11] 郑应钊. 西非海岸盆地带油气地质特征与勘探潜力分析[D]. 中国地质大学(北京)博士论文, 2012. [ZENG Yingzhao. Petroleum Geology Features and Exploration Potential Analysis in the Coastal Basins of West Africa[D]. A Dissertation Submitted to China University of Geosciences for Doctoral Degree, Beijing, 2012.].
- [12] Davison I. Central Atlantic margin basins of North West Africa: Geology and hydrocarbon potential (Morocco to Guinea) [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2005, 43: 254-274.
- [13] Uchupi E, Emery K O, Bowin C O, et al. Continental Margin Off Western Africa: Senegal to Portugal [J]. *AAPG Bulletin*, 1976, 60 (5): 809-878.
- [14] 熊利平. 西非构造演化及其对油气成藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26 (5): 641-646. [XIONG Liping, WANG Jun, YIN Jinyin, et al. Tectonic evolution and its control on hydrocarbon accumulation in West Africa [J]. *Oil and Gas Geology*, 2005, 26 (5): 641-646.]
- [15] Ndiaye M, Ngom P M, Gorin G, et al. A new interpretation of the deep-part of Senegal-Mauritanian Basin in the Diourbel-Thies area by integrating seismic, magnetic, gravimetric and borehole data: Implication for petroleum exploration [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2016, 121: 330-341.
- [16] Watts A B, Stewart J. Gravity anomalies and segmentation of the continental margin offshore West Africa [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 156: 239-252.
- [17] Gouiza M, Bertotti G, Hafid M, et al. Kinematic and thermal evolution

- of the Moroccan rifted continental margin: Doukkala - High Atlas transect [J]. *Tectonics*, 2010, 29: TC5008.
- [18] Lambiase J J. The framework of African rifting during the Phanerozoic [J]. *Journal of African Earth Science*, 1989, 8 (2/3/4): 183-190.
- [19] Seibold E. The Northwest African Continental Margin-An Introduction [J]. *Geology of the Northwest African Continental Margin*, 1982.
- [20] Sebastian K, Russell B W, Aggeliki G. Large-scale mass wasting on the Northwest African Continental Margin: Some general implications for mass wasting on passive continental margins [C]// 5th International Symposium on Submarine Mass Movements and Their Consequences, Kyoto, Japan. 2011.
- [21] Binks R M, Fairhead J D. A plate tectonic setting for Mesozoic rifts of west and central Africa [J]. *Tectonophysics*, 1992, 213: 141-151.
- [22] Rene G, Jean-Christophe M. Early Cretaceous rifts of western and central Africa—An overview [J]. *Tectonophysics*, 1992, 213: 153-168.
- [23] Gerd W. Stratigraphy and structural features of the continental margin basin of Senegal and Mauritania [C]// in von Rad U, Hinz K, Sarnthein Met al, eds. *Geology of the northwest African continental margin*. Berlin Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1982: 160-181.
- [24] Michard A, Saddiqi O, Chalouan A, et al. Continental Evolution: The Geology of Morocco. *Lecture Notes in Earth Sciences* 116[M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [25] Mitchum R M, Vail P R, Sangree J B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level [J]. *Memoir-American Association of Petroleum Geologists*, 1977, 26: 117-133.
- [26] Scotese C R, Boucot A J, Mckerrow W S. Gondwanan palaeogeography and palaeoclimatology [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 1999, 28 (1): 99-114.
- [27] Mourlot Y, Roddaz M, Dera G, et al. Geochemical evidence for large-scale drainage reorganization in Northwest Africa during the Cretaceous [J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2018.