

杨雄兵, 史丹妮, 王宏语. 西南非海岸盆地中生界构造-沉积特征与成藏条件[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(10): 22-33.

YANG Xiongbing, SHI Danni, WANG Hongyu. Mesozoic tectonics-sedimentary characteristics and accumulation conditions in the South-west African Coastal Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(10): 22-33.

# 西南非海岸盆地中生界构造-沉积特征与成藏条件

杨雄兵<sup>1</sup>, 史丹妮<sup>2</sup>, 王宏语<sup>1\*</sup>

(1 中国地质大学(北京) 能源学院, 北京 100083; 2 中国石化勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:**西南非海岸盆地位于南大西洋的非洲海岸地区,由上侏罗—下白垩统裂谷盆地和上白垩—全新统被动陆缘盆地叠合形成,是一个热点油气勘探区。在调研国外油气地质研究的基础上,根据地震、测井资料,详细描述了西南非海岸盆地在中生代的构造形态与沉积充填特征,明确了其纵向演化与横向迁移规律,并依据已知油气田的钻井与测试资料,综合分析了盆地油气富集的基本地质条件。研究表明,西南非海岸盆地始形成于侏罗纪晚期,早期以剧烈的断裂与火山活动为特点,裂谷盆地内部填充大量砂岩和页岩;在经历白垩纪巴雷姆期与阿普特期的过渡阶段后,于阿尔布期进入被动陆缘阶段,在过渡与被动陆缘阶段,盆地内部以细粒海相沉积为主,可见少量碳酸盐岩与盐岩。盆地阿普特阶主力烃源岩与其上覆的上白垩统碎屑岩储层共同组成了油气成藏组合。

**关键词:**西南非海岸盆地; 南大西洋; 裂谷盆地; 被动大陆边缘; 构造-沉积演化

中图分类号:P744.4; P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2021.328

## 0 引言

西南非海岸盆地为泛非洲大陆基底上的中、新生代裂谷-被动陆缘叠合盆地,盆地面积约 60 万 km<sup>2</sup>[1-4]。随着盆地几十年来勘探程度的不断提高,陆续发现 Kudu 气田、A-K1 气田、A-F1 气田和 A-J1 油田等 4 个主要油气田(图 1),并获得了较好的油气效益,使得该区逐渐成为南大西洋油气勘探的热点地区[5-6]。但由于该盆地深部构造复杂,火山岩与盐岩发育,影响着该区的沉积研究,使得盆地的构造-沉积演化特征尚不清晰,制约着该区的油气勘探进展。

西南非海岸盆地中生界研究程度较低,研究数

据主要为二维地震资料与 20 余口钻遇白垩系的钻井资料。论文在查阅国内外相关资料的基础上,结合本区的地震、钻井资料与测试资料,研究西南非盆地深部断陷群的构造-沉积演化过程,分析盆地油气富集的基本地质条件,为南大西洋两岸低勘探程度盆地有利区带优选提供地质依据。

## 1 区域地质概况

西南非海岸盆地位于非洲西南部的南非、纳米比亚的大西洋沿岸地区,由多个小型的次盆组成,自北向南依次为沃尔维斯次盆、鲁得里茨次盆以及南部的奥兰治次盆[7-8](图 1)。这些次盆彼此之间以泛非洲大陆裂开形成的走滑断裂带分隔,在平面上呈长条状分布,南北长、东西窄;在剖面上具有明显的双层结构:深部发育地堑-半地堑裂谷层序,浅部为大套的 S 型被动陆缘层序(图 2、3)。

由于持续受到泛非洲大陆板块分裂的影响,研究区内构造活动强烈,盆地形态经历多次改造,发育 4 期区域性不整合,在地震剖面上对应不整合面 T、R、P、Q(图 2—4)。依据这些关键界面可

收稿日期: 2021-12-28

资助项目: 中石化石油勘探开发研究院(北京)科技项目“南大西洋两岸油气成藏条件研究与战略选区”(2016ZX05033-001-003)

作者简介: 杨雄兵(1996—),男,在读博士,主要从事含油气盆地沉积学、层序地层学、地震地质解释等方面的研究工作. E-mail: 2510061979@qq.com

\* 通讯作者: 王宏语(1973—),男,教授,主要从事含油气盆地沉积学、层序地层学、地震地质解释等方面的科研与教学工作. E-mail: wanghy@cugb.edu

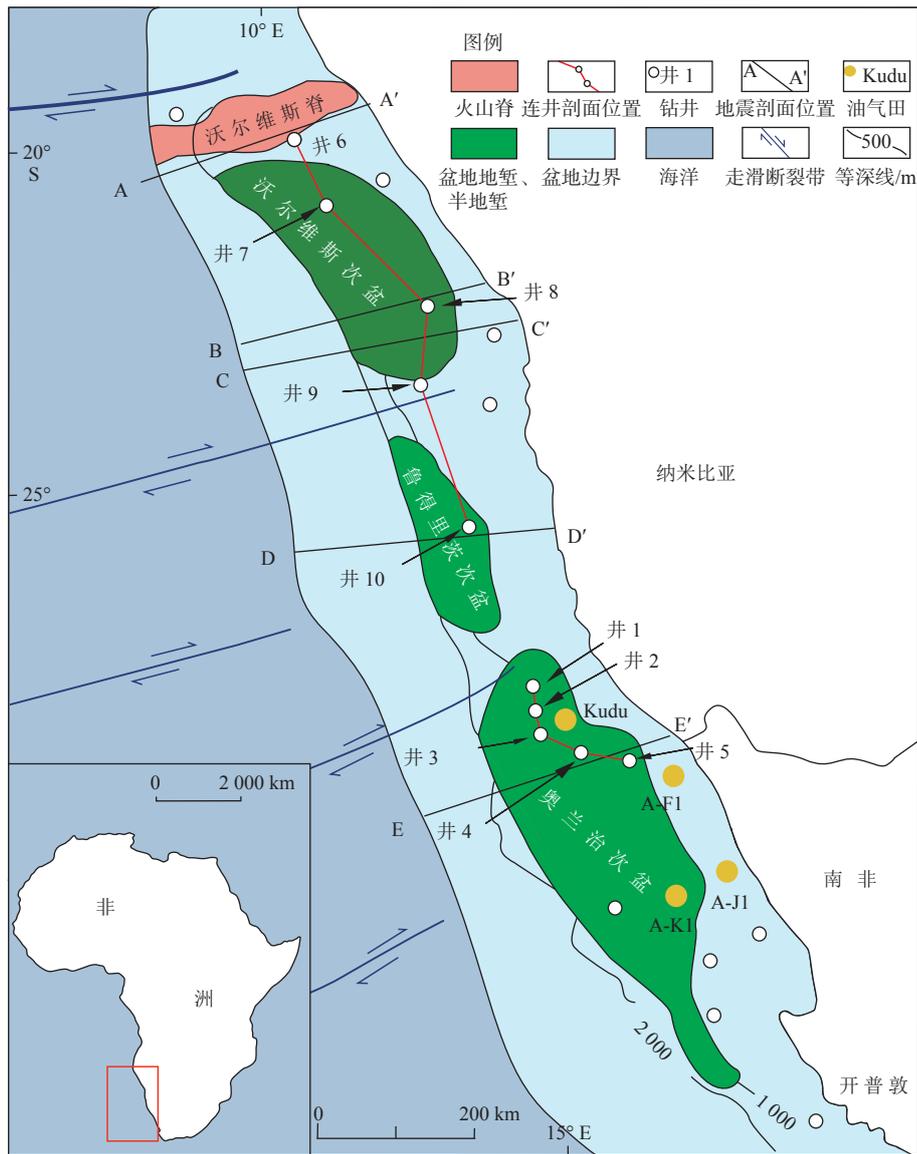


图 1 西南非海岸盆地次级构造单元分布

Fig.1 Distribution of secondary tectonic units in the Southwest Africa Coastal Basin

将盆地在中生代划分出裂谷期、过渡期与被动陆缘期 3 个阶段, 并且根据断裂发育强度与分布范围, 将裂谷阶段细分为 I 期与 II 期<sup>[7-16]</sup>(图 2-4)。

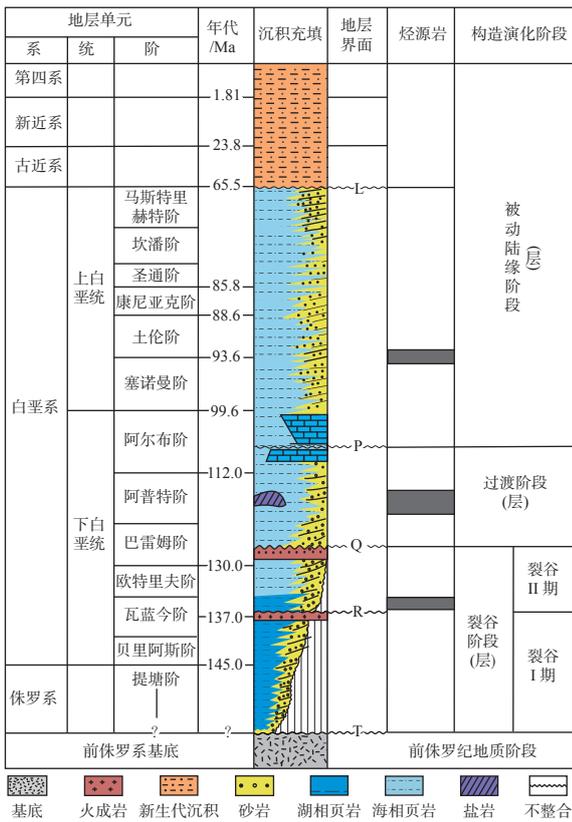
西南非海岸盆地的主体沉积地层为侏罗系与白垩系, 下伏前古生代结晶基底<sup>[14-15]</sup>。裂谷层发育在盆地早期形成的地堑和半地堑中, 主要为晚侏罗世—早白垩世欧特里夫期(约 130 Ma)陆相河流-湖相沉积与溢流相玄武岩和凝灰岩等火山岩充填<sup>[17-18]</sup>; 过渡层于早白垩世巴雷姆期早期开始发育, 持续至阿尔布中期(约 107 Ma), 以盐岩与优质烃源岩发育为特征; 顶部被动陆缘层的发育从晚白垩世持续到现今, 其显著特征是以海相泥页岩和砂岩沉积为主, 还有少量碳酸盐岩发育<sup>[4,11-14,19]</sup>。

## 2 盆地构造特征

### 2.1 基本构造格局

通过对穿过盆地的多条地震测线的精细解释, 明确了西南非海岸盆地具有“南低北高、东西双断、下断上拗”的构造格局。

古非洲大陆呈“剪刀状”由南向北裂开, 不均一的断裂活动使得盆地的北部地势较高, 也使得盆地格局存在明显的南北差异: 南部奥兰治发育了 2 个地堑群, “双断”特征明显, 彼此被中央的基底凸起分隔, 而北部的鲁得里茨与沃尔维斯次盆内发育的地堑间未见大型凸起, 裂谷层序为一套连续的地堑



地层年代划分来自文献 [4, 7]  
图 2 西南非海岸盆综合地层柱状图

Fig.2 Comprehensive stratigraphic histogram of the Southwest Africa Coastal Basin

群,其“双断”特征明显减弱,NNE 走向断裂占大多数(图 5)。

上部被动陆缘层序的发育受控于沉积速率,在阿普特阶与土伦阶沉积时期达到峰值,超过了 110 m/Ma,沉积中心位于奥兰治盆地,地层发育较为稳定<sup>[20]</sup>。

### 2.2 主要断裂特征

盆地中生代发育的断裂按照分布层位大致可

分为 2 种:裂谷期的深部断裂和过渡-被动陆缘期的浅部断裂。

深部断裂自晚侏罗世开始发育,多为高角度正断层,在剖面上以“Y”字形与反“Y”字形组合为主,形成了大量的地堑和半地堑。根据多个区块之间的地震剖面表现出的结构差异,可见盆地内深层断裂存在明显的南北差异:从南向北,断裂的倾角逐渐增加,且纵向延伸距离加长,表现为南部奥兰治盆地断裂大都发育在过渡层之下,而北部沃尔维斯盆地断裂则是大部分穿透过渡层(图 5)。断裂在平面上沿 NNE-SSW 向展布,造成次盆呈狭长的条带状(图 6)。

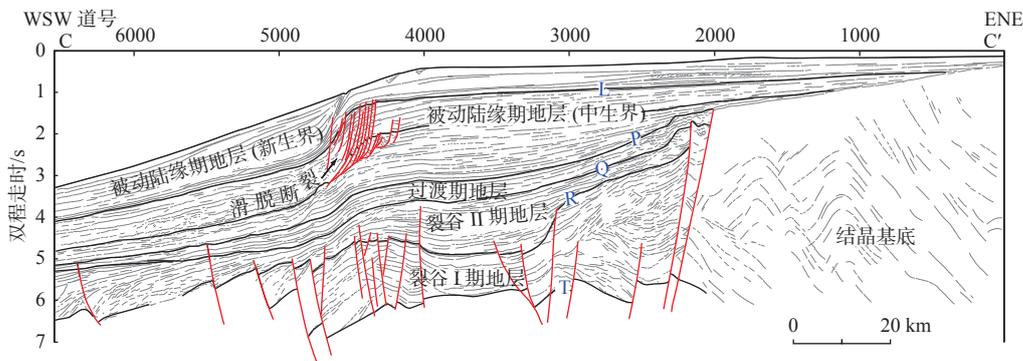
浅层断裂自晚白垩世开始发育,按照成因与断裂性质可以分为 2 种:一种是由于盆地热沉降与滑塌作用,形成的挠曲断裂,这些断裂为一系列近平行的下缓上陡的、具有共同滑脱面的滑塌断裂,多形成于海陆坡折带之上,走向与深部断裂基本一致;另一种是由于板块作用形成的走滑断裂,在平面上近 EW 向分布(图 3~5)。据 SCARSELLIA 等<sup>[19]</sup>研究,白垩纪末期的滑脱作用与南大西洋地区的大范围伸展导致的走滑活动有关,因此,可以认为浅层断裂受走滑活动的控制(图 3)

### 2.3 构造演化特征

#### 2.3.1 裂谷期

##### 2.3.1.1 裂谷 I 期

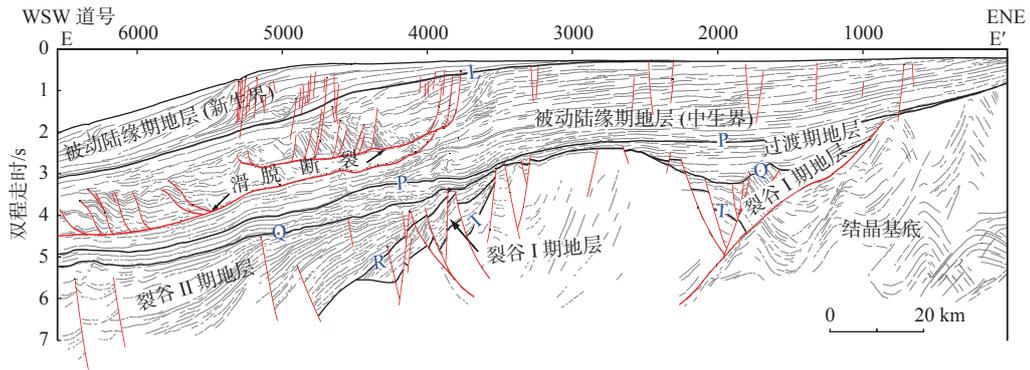
该阶段代表着研究区裂谷活动的早期,始于中生代侏罗纪。此时泛非洲大陆开始了伸展作用,受到底部三叠系卡鲁断陷的影响,断裂沿非洲西南部边缘发育,使得研究区内发育了以 ENE 倾向断层为界的一系列地堑与半地堑,在底部形成了区域性不整合面 T<sup>[2]</sup>。之后由于不均一的断裂活



剖面位置见图 1 的 C-C'

图 3 研究区北部 WSW-ENE 向地震剖面解释

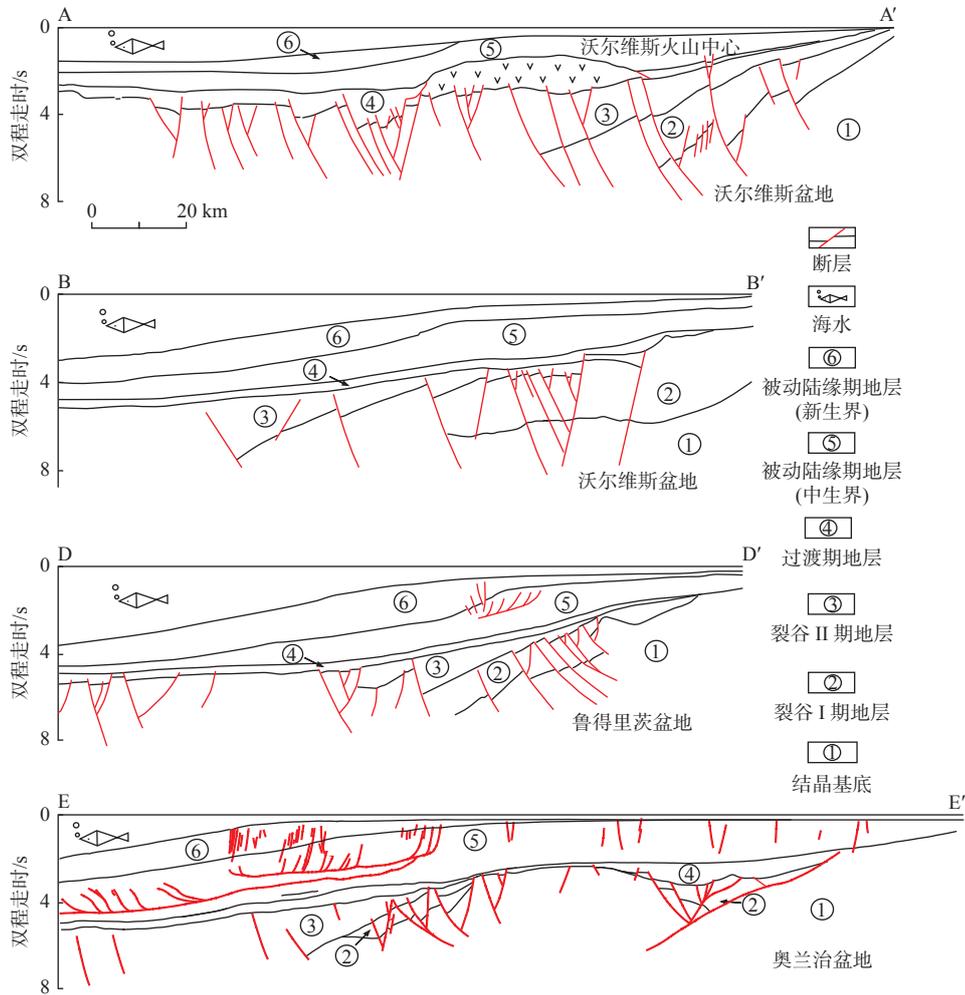
Fig.3 WSW-ENE seismic interpretation of the northern part of the study area



剖面位置见图 1 的 E-E'

图 4 研究区南部 WSW-ENE 向地震剖面解释

Fig.4 WSW-ENE seismic interpretation of the southern part of the study area



剖面位置见图 1

图 5 西南非海岸盆地主要测线的构造剖面

Fig.5 Structural sections of the main survey lines of the Southwest Africa Coastal Basin

动与沃尔维斯火山脊的喷发, 盆内的早期小型裂谷逐渐消亡与合并, 并以沃尔维斯火山脊与走滑断裂带为界, 逐渐形成了沃尔维斯次盆、鲁得里茨次盆与奥兰治次盆(图 1)。这一时期, 虽然断裂数量较少, 并且沉积范围较局限, 主要分布在几

个小型断陷中, 但是研究区的裂谷格局已初步形成(图 7)。

### 2.3.1.2 裂谷 II 期

裂谷 I 与裂谷 II 期分界点为发生在瓦蓝今阶的一起大规模火山活动, 主要发生在北部沃尔维斯

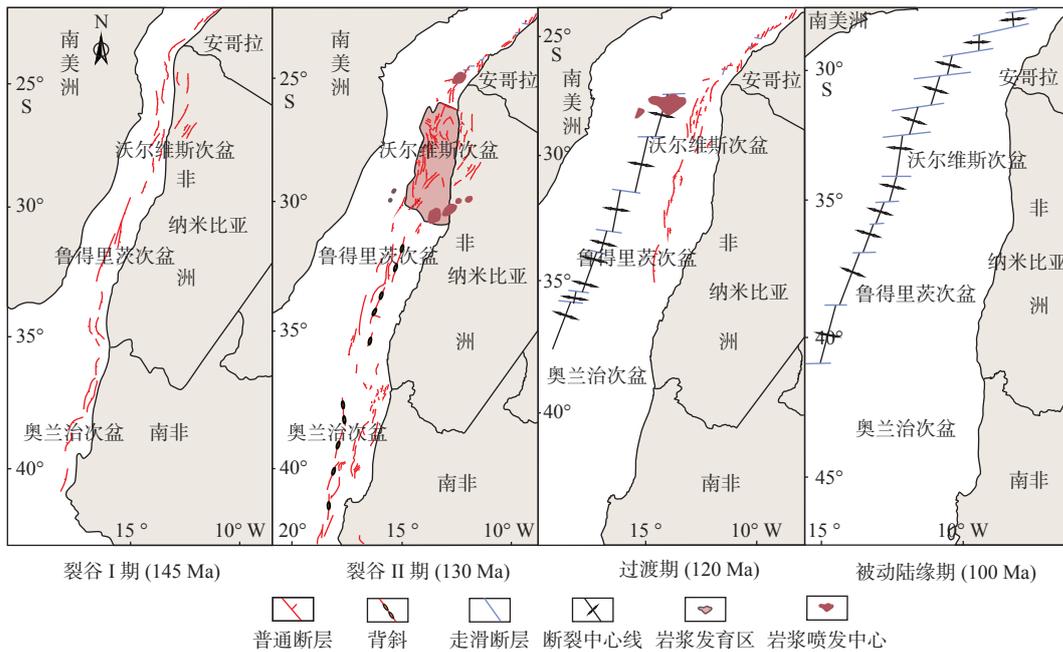


图6 西南非海岸盆地中生代断裂各时期分布特征

Fig.6 Distribution characteristics of the Mesozoic faults in Southwest Africa Coastal Basin in different stages

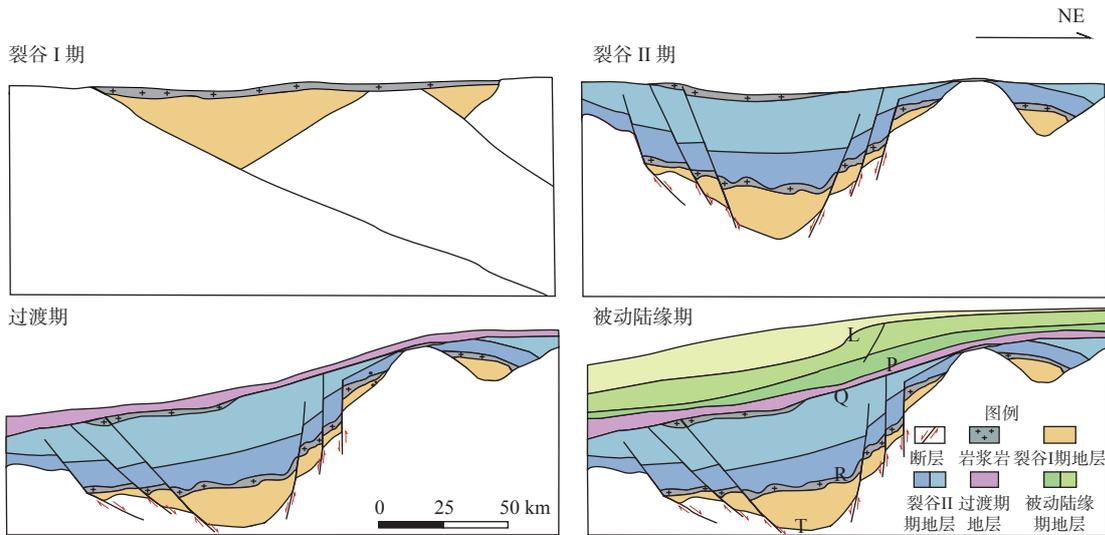


图7 西南非海岸盆地中生代构造-沉积演化模式

Fig.7 The Mesozoic tectono-sedimentary evolution model of the Southwest Africa Coastal Basin

盆地,这次活动发育了大规模的席状火山岩,形成了不整合面 R<sup>[7]</sup>(图7)。同时,南部非洲陆架受到的EW向拉张应力增加,导致了平行于大陆边缘的同沉积正断层的大量发育,使得盆地进入断裂活跃时期,影响范围向西扩张,盆地地层厚度中心随之西迁。在裂谷阶段末期(约130 Ma),盆地火山活动达到峰值,形成的火山岩大多分布在沃尔维斯次盆(图6),同时,区域隆起形成了不整合面Q,基本终止了裂谷活动,造成大部分断裂只发育在该不整合面之下的现象。

这一时期火山与断裂同时活跃,KLAUS等<sup>[21]</sup>

以及马君等<sup>[22]</sup>认为Walvis山脊以南的边缘平行岩浆带的形成是研究区断裂与火山活动同期发育的主要原因,而平行岩浆带的发育与急剧的岩石圈破裂和Tristan热柱(Parana-Etendeka热柱)的影响有关。

### 2.3.2 过渡期

裂谷阶段结束后,初始洋壳迅速向北扩张,裂谷作用和大多数与基底有关的断层活动停止,盆地进入过渡期<sup>[23]</sup>。在研究区北部,部分断裂活动还在持续,但南部进入平稳构造阶段。此时海水大量涌入,盆地处于“饥饿”状态,过渡地层较薄且平行于

下伏地层, 表现为向海倾斜的状态(图 7)。

### 2.3.3 被动陆缘期

早白垩世阿尔布期以来, 区内以洋中脊不断扩张、洋底增生及边缘过渡为特征, 出现多起海平面上升事件, 形成了区域性不整合面 P, 盆地进入被动陆缘期。这一时期地层主体为海相砂页岩沉积, 具有良好的进积特征<sup>[24]</sup>。同沉积断裂不再发育, 取而代之的是陆坡处的滑脱型断裂, 这些断裂大部分发育在白垩系, 向上终止于顶界面 L 之下(图 3)。在这一时期, 海水由南部进入盆地, 盆地的沉积中心位于南部奥兰治次盆之中(图 5)。

## 3 盆地沉积充填特征

### 3.1 裂谷期的沉积充填

裂谷期的沉积物主要分布在一系列的地堑和半地堑之中, 并且在裂谷 I 期与 II 期发育的地堑之间存在着继承扩张的特点。由于本文研究缺少侏罗系(裂谷 I 期)的钻井资料, 加上侏罗系与下白垩统(裂谷 II 期)之间具有一定的继承性, 因此, 本文以早白垩裂谷 II 期沉积代表整个裂谷期沉积。

盆地在裂谷阶段断裂活动剧烈, 但范围较为局

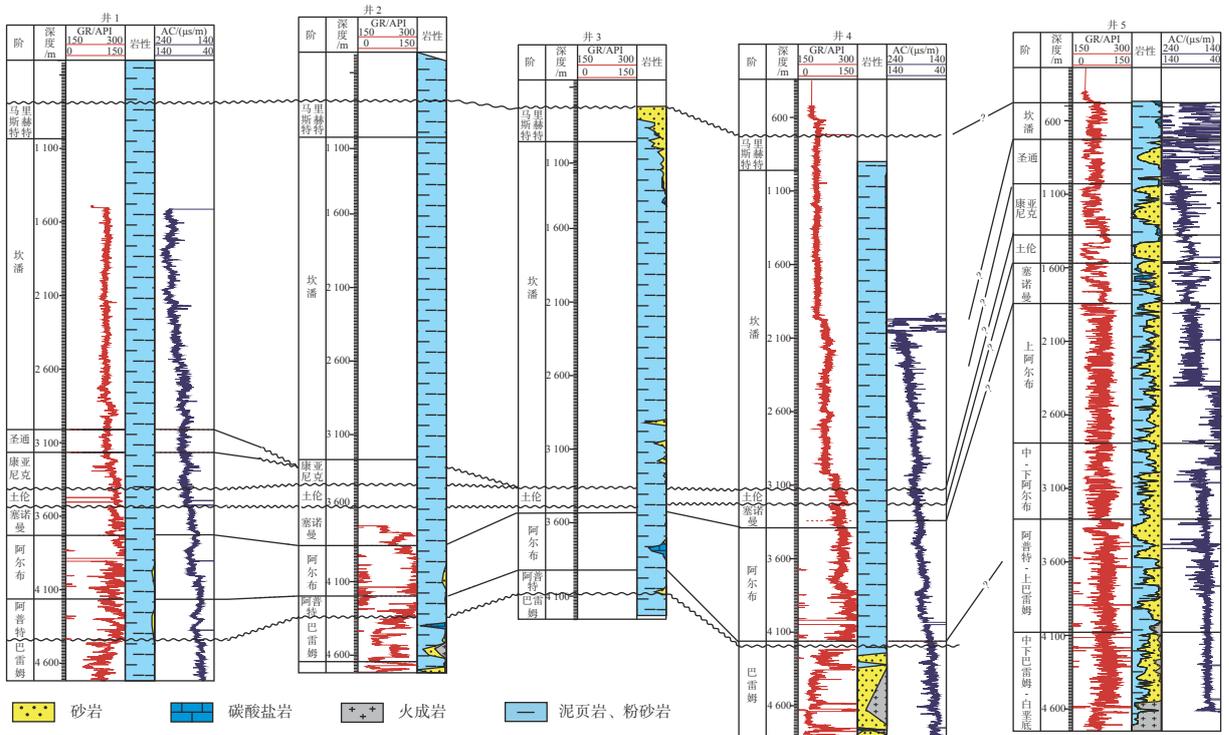
限, 形成了一系列的陆相湖盆, 加上这一时期气候干旱, 在主水系作用下, 盆地东侧近岸半地堑内大部分地区发育了冲积相、河湖相以及滨岸过渡相, 以中细粒砂居多, 在井 4 与井 5 的 GR 曲线上表现为箱状与弱齿状, 代表着稳定的物源供应与水道冲刷充填的特征(图 8、9)。随着断裂活动的进行, 盆地范围增加, 水体也逐渐加深, 在裂谷阶段末期, 海水大量涌入南部奥兰治盆地, 发育了较细粒的浅海细碎屑与深海页岩(图 10)。

盆地内多口井的录井资料表明, 盆地在巴雷姆期或者更早阶段发育了大段火山岩; 火山岩从沃尔维斯盆地北部一直延续到南部奥兰治盆地(图 8、9)。

### 3.2 过渡期的沉积充填

与裂谷层相比, 过渡地层厚度较小, 但火山岩、碎屑岩、碳酸盐岩与蒸发岩都有发育, 并且地层呈现明显的向东超覆特征, 代表一个海侵层序(图 3、4)。

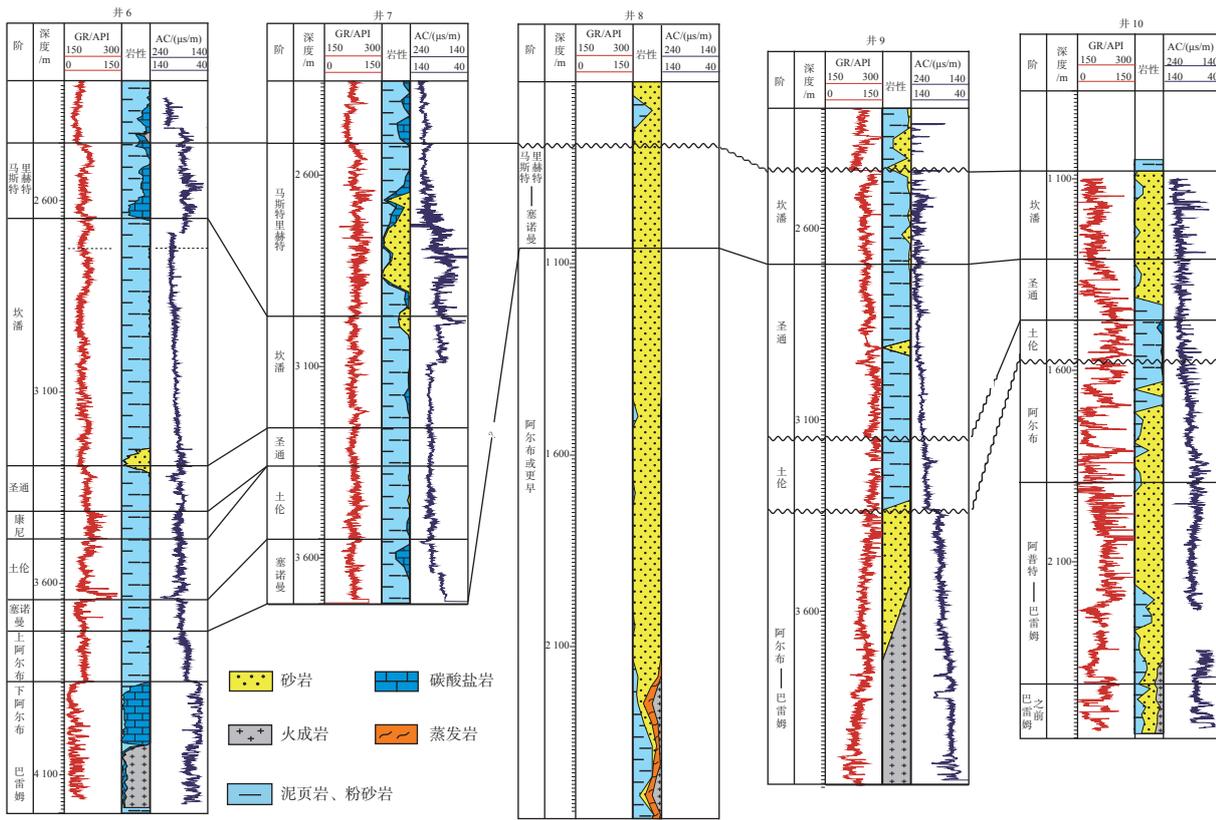
在过渡时期, 北部地区的火山和断裂还未完全停止, 在沃尔维斯次盆内井 6 与井 8 的早白垩世晚期地层中可见到火成岩(图 9)。这个时期, 整个盆地逐渐由陆相过渡为海相, 海水从南部奥兰治地区向北不断涌入, 在北部沃尔维斯地区形成了局限海,



井 1-井 2-井 3-井 4-井 5 连井剖面位置见图 1

图 8 西南非海岸盆地南部沉积连井剖面

Fig.8 Sedimentary well profile in the southern part of the Southwest Africa Coastal Basin



井6-井7-井8-井9-井10连井剖面位置见图1

图9 西南非海岸盆地北部沉积连井剖面

Fig.9 The sedimentary well profile in the northern part of the Southwest Africa Coastal Basin

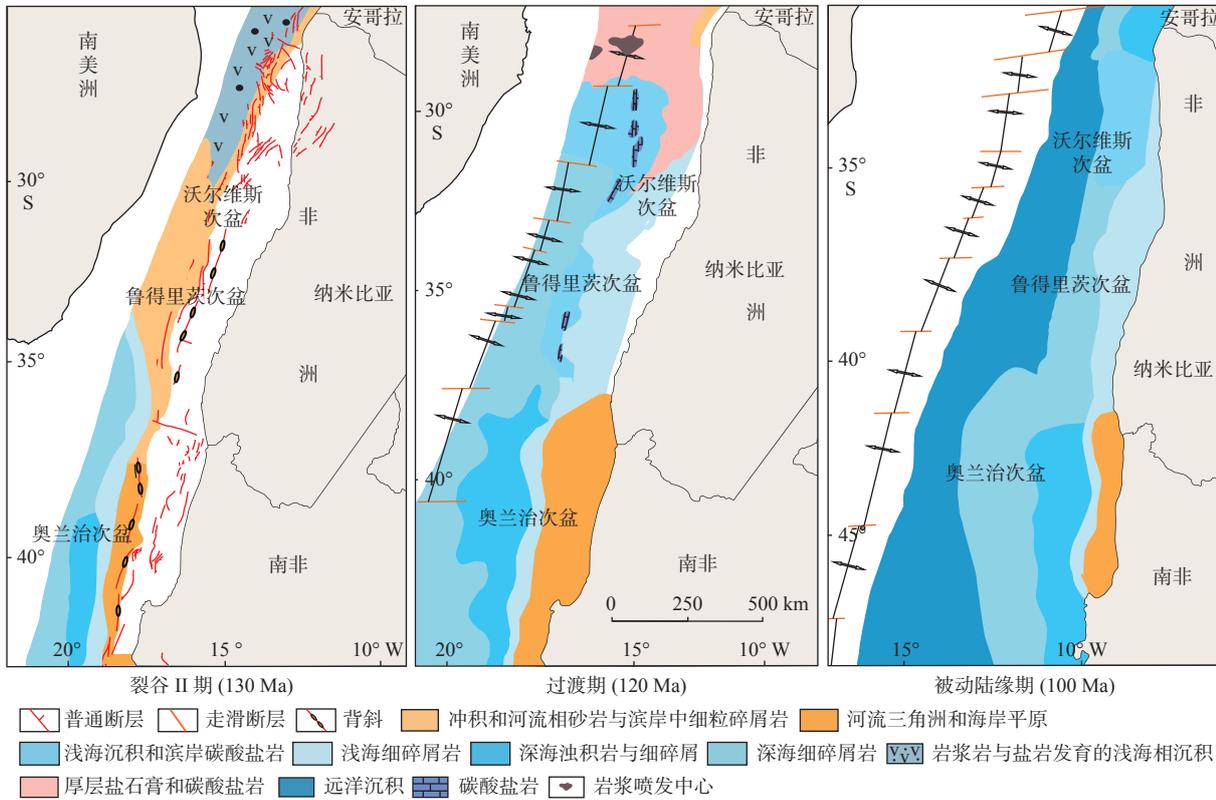


图10 西南非海岸盆地在130、120、110 Ma时期的沉积相平面分布

Fig.10 Distribution of the sedimentary facies in the Southwest Africa Coastal Basin during the periods of 130, 120, and 110 Ma

加上干旱的气候条件, 因此有盐岩层发育(图 9、井 7)。向西较远的水域出现了碳酸盐岩沉积, 代表着此时大陆架水体较浅, 温暖适宜<sup>[12,25-27]</sup>。

南部的鲁得里茨与奥兰治次盆, 与印度洋循环畅通, 盐岩不发育, 以碎屑岩为主<sup>[12]</sup>。除了奥兰治次盆在奥兰治河古水系的作用下还存在着局限的陆相河流三角洲与海岸平原沉积, 研究区大部分地区被海相沉积覆盖<sup>[17]</sup>。在横向上, 盆地向西依次出现浅海碎屑岩沉积和深海浊积岩与泥页岩沉积(图 10); 在纵向上, 沉积物由砂页岩共存变为含砂页岩, 总的沉积粒度变细, 具有良好烃源潜力(图 8)。

### 3.3 被动陆缘期的沉积充填

该阶段早期继承了过渡阶段末期的沉积特征, 随着洋中脊的扩张与被动边缘的凹陷, 导致陆架快速进积, 盆地发育了较厚的海相层序, 并且沉积范围进一步扩大(图 10)。北部的沃尔维斯次盆继续发育碳酸盐岩浅滩, 分布在浅海和深海碎屑岩沉积之间, 并在马斯特里赫特阶之后再次发育了厚层碳酸盐岩(图 9、井 6); 鲁得里茨次盆的沉积特征与过渡期差别不大, 由东向西表现为浅海相碎屑岩向深海页岩过渡, 在被动陆缘后期发育薄层砂岩和泥页岩; 在奥兰治次盆, 近岸发育的河流三角洲沉积并不断向大陆架推进, 导致在陆架和陆隆沉积了大量的陆源碎屑和黏土物质沉积物, 在阿尔布-土伦阶中存在着明显的下细上粗的三角洲沉积序列特征(图 8、井 5)。

## 4 油气地质条件

盆地的油气勘探发现大多集中在南部的奥兰治次盆, 其中以 20 世纪发现的 Kudu 油气田的研究最为成熟, 围绕该油气田, 在其周边陆续发现了 A-C 系、A-K 系、A-J 系等油气井。除此之外, 其他次盆的油气信息较少, 可信度不高, 因此, 本文以奥兰治次盆资料推测西南非海岸盆地的油气地质条件。

### 4.1 烃源岩条件

通过对研究区的钻井与地球化学测试资料进行分析, 发现盆地存在着 3 套有利烃源岩: 裂谷期发育的欧特里夫阶烃源岩, 过渡期发育的阿普特阶烃源岩与被动陆缘期发育塞诺曼-土伦阶烃源岩<sup>[8-16,28-34]</sup>。

欧特里夫阶烃源岩发育于陆相湖盆, 是 A-J1 井油气聚集的主要来源, 干酪根以 II 型为主, 有机碳含量(TOC)平均 10%, 氢指数最高达 600 mg/g,

生烃潜力( $S_1+S_2$ )一般为 9~11 mg/g, 最高 43 mg/g。因处于深部区域, 镜质体反射率( $R_o$ )约为 1.2%~2.2%, 因此, 整体处于成熟-过成熟阶段<sup>[13,30-31]</sup>。

阿普特阶烃源岩发育于半封闭的海湾环境之中, 并且这一时期全球海洋处于缺氧状态, 有利于有机质保存<sup>[12]</sup>。干酪根以 II 型与 III 型为主, TOC 含量为 1%~4%, 氢指数最大达到 200 mg/g,  $S_1+S_2$  为 0.3~0.4 mg/g,  $R_o$  为 0.6%~0.9%<sup>[13,31-32]</sup>。虽然阿普特阶烃源岩有机碳丰度不如裂谷期烃源岩, 但是该时期沉积速率大, 达 140 m/Ma, 形成的泥页岩分布广泛且厚度大, 形成了盆地的主力烃源岩<sup>[18]</sup>。

塞诺曼-土伦阶烃源岩同样发育于盆地快速海进阶段, 沉积厚度大, 干酪根以 III 型为主, TOC 含量 < 5%, 氢指数最大值为 128 mg/g,  $R_o$  为 0.6%~0.78%, 局部成熟, 主要分布在近海的大陆架上, 并且向海成熟度不断增加<sup>[13,31-33]</sup>(图 11)。

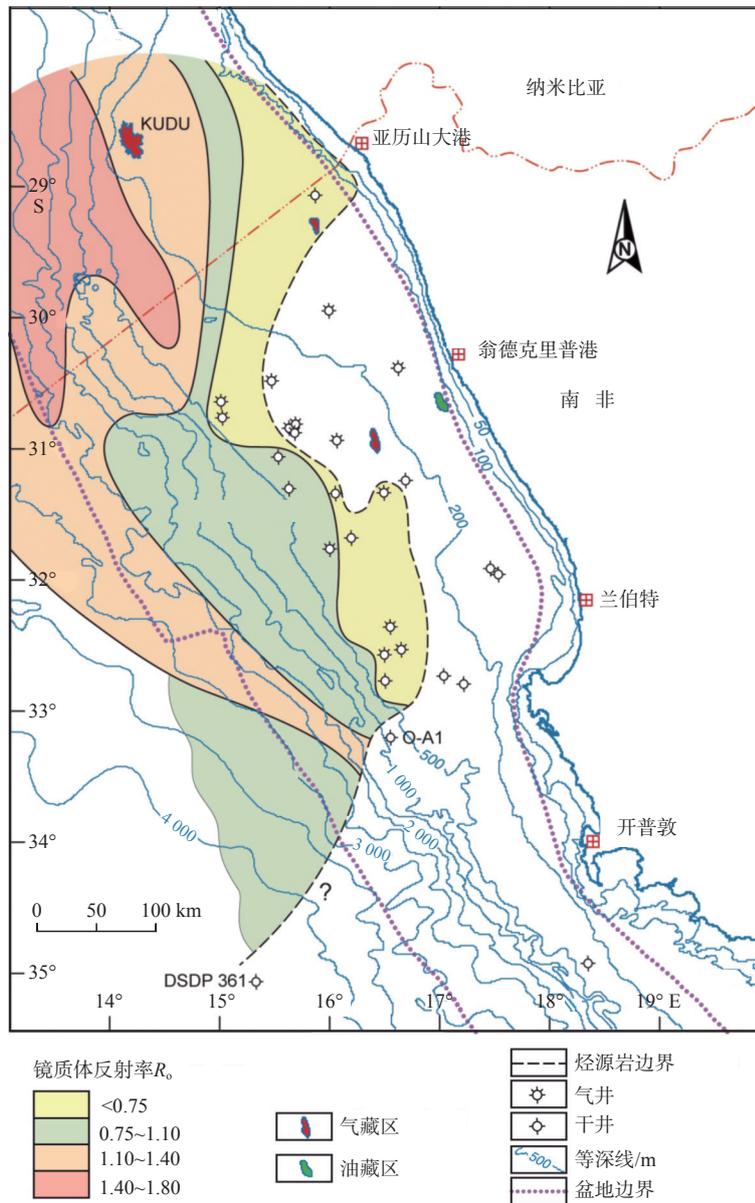
### 4.2 储盖与圈闭条件

盆地的中生界有利储层主要集中在奥兰治盆地内, 存在着 2 套优质储集砂体: ①裂谷层的欧特里夫-巴雷姆三角洲砂岩、砾岩储集层以及风成砂岩储集层<sup>[13-16]</sup>; ②被动陆缘层的阿尔布-塞诺曼阶的三角洲与浊积水道砂岩, 孔隙度普遍为 10%~20%, 平均 12%, 在部分地区出现了异常高孔隙度值(达 40%), 可作为良好的储层<sup>[35-38]</sup>。

根据已知的 Kudu、A-J1 与 A-K1 井资料显示, 研究区未见明显的构造圈闭, 以地层圈闭与构造-地层圈闭为主, 其上的湖相与海相泥页岩具有较好的封堵性(图 12)。

### 4.3 已知油田成藏特征

盆地已知油田 A-J1、Kudu 和 A-K1 井钻探资料揭示盆地存在着 2 套成藏组合: ①深部裂谷层成藏组合, 油气来自于早期欧特里夫阶湖相烃源岩, 一部分经由深部断裂向上运移, 储集于顶部的三角洲砂体中, 大部分在烃源岩内部聚集, 形成自生自储式油气藏<sup>[12-13,38-39]</sup>。虽然裂谷层烃源岩质量较高, 且全部进入成熟-过成熟阶段, 但是范围较局限, 因此油藏规模不大。②浅部被动陆缘层成藏组合, 主力源岩为过渡期的阿普特海相页岩, 与阿尔布-塞诺曼阶三角洲与浊积水道砂岩和塞诺曼-土伦阶页岩组成了该区最有潜力的油气成藏组合。区域盖层塞诺曼-土伦阶烃源岩也可以形成油气, 但大部分向西通过滑脱断层逸散了, 少量油气由于断裂的封闭



修编自 LETULLIER<sup>[33]</sup>

图 11 西南非海岸盆地奥兰治次盆塞诺曼-土伦阶烃源岩成熟度分布

Fig.11 Maturity distribution of the Cenomanian-Turonian source rocks of the Orange Sub-Basin in the Southwest Africa Coastal Basin

可在此形成油气聚集,但是规模很小<sup>[40-42]</sup>(图 12)。

### 5 结论

(1)西南非海岸盆地是晚侏罗世南美洲与非洲裂开形成的裂谷盆地与白垩纪被动陆缘盆地组合形成的叠合型盆地。盆地内火山与断裂活动的强度的变化将盆地的演化分为多个亚阶段:在早期的裂谷阶段,研究区火山岩大规模发育,形成了以NNE走向断层为界的一系列地堑与半地堑;随后的过渡时期构造活动减弱,大陆架出现,盆地由南向

北向海相转变;最后的被动边缘时期洋中脊快速扩张,非洲大陆与南美大陆彻底分开。

(2)盆地早期裂谷地层以冲积扇、河湖和浅海相砂泥岩沉积充填为主,同时在北部形成了大量的火山岩地层。在过渡期后,盐岩与碳酸盐岩沉积开始发育,近岸地区发育局限的河湖-三角洲沉积,远洋端发育大量海相浊积岩与深海页岩。

(3)阿普特阶与塞诺曼阶-土伦阶海相泥页岩是该区的主力烃源岩,与上部的三角洲砂体组合形成了盆地的主力油气藏。此外,深部下白垩统半地堑还存在着成藏组合,但范围较小。

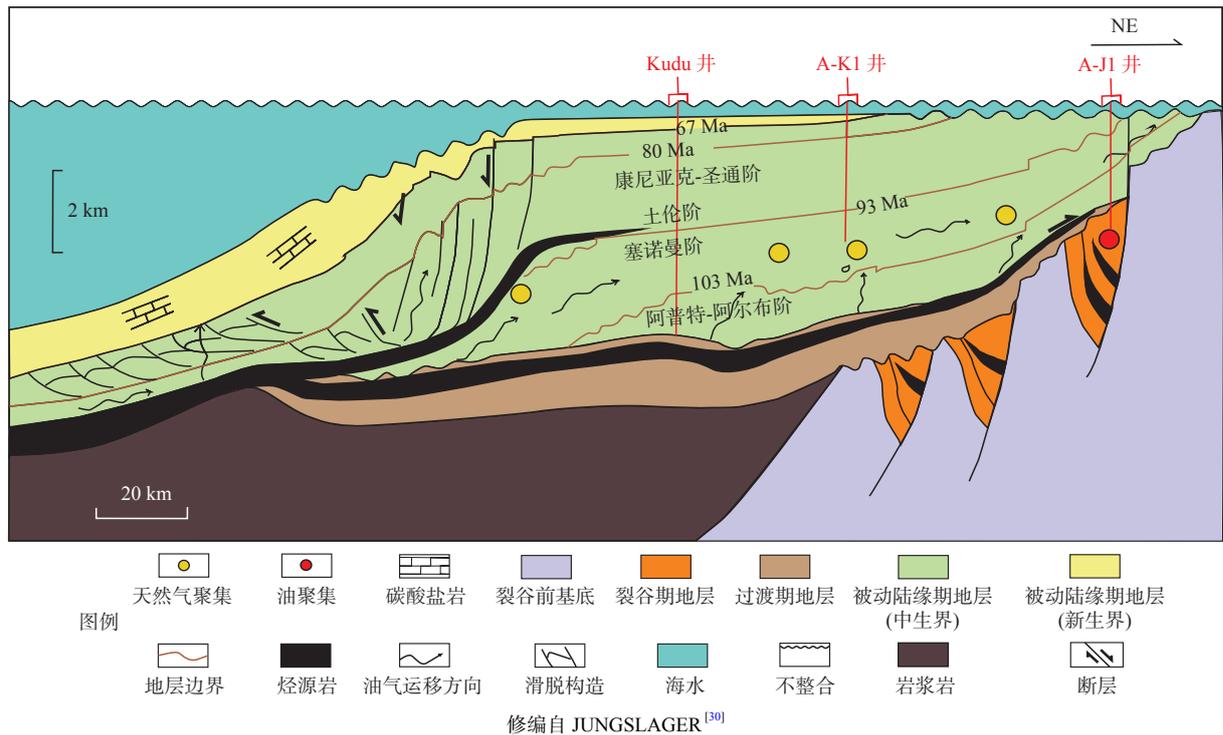


图 12 西南非海岸盆地奥兰治次盆油气成藏模式

Fig.12 Hydrocarbon accumulation model of the Orange Sub-Basin in the Southwest Africa Coastal Basin

参考文献:

- [1] CLEMSON J, CARTWRIGHT J, BOOTH J. Structural segmentation and the influence of basement structure on the Namibian passive margin[J]. *Journal of the Geological Society*, 1997, 154: 477-482.
- [2] CLEMSON J, CARTWRIGHT J, SWART R. The Namib Rift: a rift system of possible Karoo age, offshore Namibia[J]. *Geological Society London Special Publications*, 1999, 153(1): 381-402.
- [3] BROWNFIELD M E, Charpentier R R. Assessment of the undiscovered oil and gas of the Senegal Province, Mauritania, Senegal, the Gambia, and Guinea-Bissau, Northwest Africa[J]. *USGS Bulletin* 2207-A, 2003: 1-25.
- [4] CHABOUREAU A C, GUILLOCHEAU F, ROBIN C, et al. Paleogeographic evolution of the central segment of the South Atlantic during Early Cretaceous times: paleotopographic and geodynamic implications[J]. *Tectonophysics*, 2013, 604: 191-223.
- [5] 郑应利. 西非海岸盆地油气地质特征与勘探潜力分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- [6] 邓荣敬, 邓运华, 于水, 等. 西非海岸盆地群油气勘探成果及勘探潜力分析[J]. *海洋石油*, 2008, 28(3): 11-19.
- [7] LIGHT M P R, MASLANYJ M P, GREENWOOD R J, et al. Seismic sequence stratigraphy and tectonics offshore Namibia[C]//WILLIAMS G, DOBB A. *Tectonics and Seismic Sequence Stratigraphy*. Geological Society, London: Special Publications, 1993, 71(1): 163-191.
- [8] 冯国良, 徐志诚, 靳久强, 等. 西非海岸盆地群形成演化及深水油气田发育特征[J]. *海相油气地质*, 2010, 31(4): 410-419.
- [9] HARTWIG A, ANKA Z, PRIMIO R D. Evidence of a widespread paleo-pockmarked field in the Orange Basin: an indication of an early Eocene massive fluid escape event offshore South Africa[J]. *Marine Geology*, 2012, 332/334: 222-234.
- [10] 刘剑平, 潘校华, 马君, 等. 西非被动大陆边缘 Walvis Ridge 以南纳米比亚盆地的地质特征及油气意义: 兼与 Walvis Ridge 以北盆地比较[J]. *中国石油勘探*, 2007, 12(4): 67-74.
- [11] 冯杨伟, 屈红军, 张功成, 等. 西非被动大陆边缘构造-沉积演化及其对生储盖的控制作用[J]. *海相油气地质*, 2010, 15(3): 45-51.
- [12] 温志新, 万仑坤, 吴亚东, 等. 西非被动大陆边缘盆地大油气田形成条件分段对比[J]. *新疆石油地质*, 2013, 34(5): 607-614.
- [13] 胡湘瑜. 西非被动大陆边缘盆地群大油气田形成条件与成藏模式[J]. *现代地质*, 2013, 27(1): 133-142.
- [14] 熊利平, 刘延莉, 霍红, 等. 西非海岸南、北两段主要含油气盆地油气成藏特征对比[J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(4): 410-419.
- [15] 王红平, 徐志诚, 于兴河, 等. 西非海岸盆地油气成藏组合及资源潜力[J]. *海相油气地质*, 2019, 24(3): 39-47.
- [16] 王妍心, 蒲仁海. 西非纳米贝盆地构造-沉积演化与油气勘探潜力[J]. *海洋地质前沿*, 2021, 37(2): 62-69.
- [17] FRANKE D. Rifting, lithosphere breakup and volcanism: comparison of magma-poor and volcanic rifted margins[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2013, 43(3): 63-87.
- [18] PATON D A, PINDELL J, MCDERMOTT K, et al. Evolution of seaward-dipping reflectors at the onset of oceanic crust formation at volcanic passive margins: insights from the South Atlantic[J]. *Geology*, 2017, 45(5): 439-442.

- [19] SCARSELLIA N, MCCLAY K, ELDERS C. Seismic geomorphology of cretaceous megaslides offshore Namibia (Orange Basin): insights into segmentation and degradation of gravity-driven linked systems[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2016, 75: 151-180.
- [20] KUHLMANN G, ADAMS S, CAMPHER C, et al. Passive margin evolution and its controls on natural gas leakage in the southern Orange Basin, blocks 3/4, offshore South Africa[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2010, 27(4): 973-992.
- [21] BAUER K, NEBEN S, SCHRECKENBERGER B, et al. Deep structure of the Namibia continental margin as derived from integrated geophysical studies[J]. *Journal Of Geophysical Research*, 2000, 105: 25829-25853.
- [22] 马君, 刘剑平, 潘校华, 等. 西非被动大陆边绍构造演化特征及动力学背景[J]. *中国石油勘探*, 2008, 13(3): 60-65.
- [23] BEGLINGER S E, DOUST H, CLOETINGH S. Relating petroleum system and play development to basin evolution: West African South Atlantic basins[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2012, 30(1): 1-25.
- [24] VERA J D, GRANADO P, MCCLAY K. Structural evolution of the Orange Basin gravity-driven system, offshore Namibia[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2010, 27(1): 223-237.
- [25] THOMPSON D L, STILWELL J D, HALL M. Lacustrine carbonate reservoirs from Early Cretaceous rift lakes of Western Gondwana: pre-salt coquinas of Brazil and West[J]. *Africa Gondwana Research*, 2015, 28: 26-51.
- [26] BRUN J P, FORT X. Salt tectonics at passive margins: geology versus models[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2011, 28: 1123-1145.
- [27] 扎班巴尔科 A. 西非被动大陆边缘及其深水盆地油气特征[J]. 陈邦彦, 译. *海洋地质*, 2003(4): 39-44, 67.
- [28] BROWNFIELD M E, CHARPENTIER R R. Geology and total petroleum systems of the West-Central Coastal Province (7203), West Africa[J]. USGS Bulletin 2207-B, 2006: 1-60.
- [29] ALEXANDER H, ROLANDO D P, ZAHIE A, et al. Source rock characteristics and compositional kinetic models of Cretaceous organic rich black shales offshore southwestern Africa[J]. *Organic Geochemistry*, 2012, 51: 17-34.
- [30] HIRSCH K K, WENDEROTH M S, van WEES J D, et al. Tectonic subsidence history and thermal evolution of the Orange Basin[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2010, 27(3) : 565-584.
- [31] IHS. Southwest Africa Coastal Basin[R]. IHS Basin Monitor, 2011: 131-135.
- [32] AKINSEHINWA A, ALBERT M, SOLOMON A, et al. Source rock potential of selected Cretaceous shales, Orange Basin, South Africa[J]. *International Geology Review*, 2011, 53(13): 1508-1521.
- [33] LETULLIER A. Southwest African Offshore and Nama-Kalahari Basins, Africa Exploration Opportunities [R]. Petroconsultants Non-Exclusive Report, 1995: 1-281.
- [34] 李丹, 康洪全, 郝立华, 等. 西南非海岸盆地过渡期海相烃源岩有机相特征及其平面预测[J]. *海洋地质前沿*, 2019, 35(5): 21-30.
- [35] Marcano G, Anka Z, Primio R D. Major controlling factors on hydrocarbon generation and leakage in South Atlantic conjugate margins: a comparative study of Colorado, Orange, Campos and Lower Congo basins[J]. *Tectonophysics*, 2013, 604: 172-190.
- [36] BROAD D S, MILLS S R. South Africa offers exploratory potential in a variety of basins[J]. *Oil and Gas Journal*, 1993, 91(6): 38-440.
- [37] BERGE T B, AMINZADEH F, de GROOT P, et al. Seismic inversion successfully predicts reservoir, porosity, and gas content in Ibhubesi Field, Orange Basin, South Africa[J]. *The Leading Edge*, 2002(4): 338-348.
- [38] CHRIS A S, JAN M, VAN B D, et al. A combination of genetic inversion and seismic frequency attributes to delineate reservoir targets in offshore northern Orange Basin, South Africa[J]. *Open Geosciences*, 2020, 12: 1158-1168.
- [39] 洛怡, 李江海, 杨梦莲. 南大西洋西非岸盆地群构造、沉积演化对比[J]. *中国地质*, 2021, 48(1): 120-128.
- [40] MAHLALELA V, MANZI M S, JINNAH D Z, et al. Structural characteristics and 3D seismic detection of gas migration pathways in the deep-water Orange Basin, South Africa[J]. *Marine Geophysical Research*, 2021, 42(1): 1-17.
- [41] PATON D A, SPUY D V D, PRIMIO R D, et al. Tectonically induced adjustment of passive-margin accommodation space: influence on the hydrocarbon potential of the Orange Basin, South Africa[J]. *AAPG Bulletin*, 2008, 92(5): 589-609.
- [42] JUNGSLAGER E H A. Petroleum habitats of the Atlantic margin of South Africa[C]//Cameron N R. The oil and gas habitats of the South Atlantic. Geological Society, London: Special Publications, 1999, 153: 153-168.

## Mesozoic tectonics-sedimentary characteristics and accumulation conditions in the Southwest African Coastal Basin

YANG Xiongbing<sup>1</sup>, SHI Danni<sup>2</sup>, WANG Hongyu<sup>1\*</sup>

(1 School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2 Research Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The Southwest Africa Coastal Basin is located in the African coast of the South Atlantic, which is formed by the superimposition of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous rift basin and the upper passive continental margin basin, and is a hot exploration area of oil and gas. In this paper, based on the investigation of foreign petroleum geology, seismic and logging data, the tectonic morphology and sedimentary filling characteristics of the Southwest Africa Coastal Basin during the Mesozoic are described in detail, and the longitudinal evolution and transverse migration are clarified. Combined with the drilling and testing data of known oil and gas fields, the basic geological conditions of oil and gas enrichment in the basin are comprehensively analyzed. The study shows that the Southwest Africa Coastal Basin was formed in the late Jurassic period. In the early stage, the basin was characterized by intense faulting and volcanic activity, and the interior of the rift basin was filled with a large number of sandstones and shales. After the transitional stage of the Cretaceous Barremian Epoch and Aptian Epoch, it entered passive continental margin stage in Albian Epoch. In thermal subsidence and passive continental margin stage, the basin is mainly filled with fine marine facies with a small amount of carbonate and salt rocks. The main source rocks in the basin were formed in the Aptian Epoch, and the overlying clastic reservoirs in the Upper Cretaceous formed oil and gas accumulation assemblages.

**Key words:** Southwest Africa Coastal Basin; South Atlantic; rift basin; passive continental margin; tectono-sedimentary evolution