

东非欧加登盆地油气成藏条件及勘探潜力分析

李军生*, 李建军, 王秀林, 倪帮梁, 黄龙, 骆垠山, 王海真, 甄春阳

协鑫集团协鑫新能源控股有限公司, 江苏 苏州

收稿日期: 2024年4月9日; 录用日期: 2024年5月12日; 发布日期: 2024年7月15日

摘要

东非是中国石油企业海外油气项目的重点目标区之一, 其中位于埃塞俄比亚的欧加登盆地是一个勘探程度较低的大型整装盆地, 面积 $35 \times 10^4 \text{ km}^2$, 天然气资源量 $5 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 石油资源量 $60 \times 10^8 \text{ t}$, 具有较大的勘探潜力。利用上世纪中期以来尤其是近年勘探取得的大量物探及地质资料, 对欧加登盆地油气成藏条件及油气勘探潜力进行研究, 明确欧加登盆地下一步勘探方向。通过研究, 将该区构造划分为7个一级构造单元, 并将最有利于油气藏形成的中部坳陷划分为6个二级构造单元; 明确了二叠系Bokh组泥页岩为主要烃源岩; 确定了盆地内二叠系及侏罗系发育的三套主要生储盖组合; 已发现的含油气藏圈闭主要为背斜及断鼻圈闭, 在斜坡背景下发育的岩性及地层圈闭是潜在的有利圈闭类型; 建立起欧加登盆地油气成藏模式; 提出中央低凸起及洼陷周边的斜坡是下步重点勘探目标。

关键词

欧加登盆地, 成藏条件, 勘探潜力, 烃源岩, 圈闭

Analysis of Oil and Gas Accumulation Conditions and Exploration Potential in the Ogaden Basin of East Africa

Junsheng Li*, Jianjun Li, Xiulin Wang, Bangliang Ni, Long Huang, Yinshan Luo, Haizhen Wang, Chunyang Zhen

GCL Group GCL New Energy Holdings Co. Ltd., Suzhou Jiangsu

Received: Apr. 9th, 2024; accepted: May 12th, 2024; published: Jul. 15th, 2024

Abstract

East Africa is one of the key target areas for overseas oil and gas projects, among which the Ogaden Basin is one of the key target areas. This paper analyzes the accumulation conditions and exploration potential of the Ogaden Basin in East Africa. Through research, the structure of the basin is divided into 7 primary structural units, and the central depression most favorable for oil and gas accumulation is divided into 6 secondary structural units; the Permian Bokh Formation shale is identified as the main hydrocarbon source rock; three main source-reservoir-caprock combinations developed in the Permian and Jurassic systems within the basin are determined; the discovered oil and gas reservoirs are mainly anticlines and nose traps, and structural traps developed under slope backgrounds are potential favorable trap types; an oil and gas accumulation model for the Ogaden Basin is established; and the slope around the central low uplift and depression is identified as the next key exploration target.

*通讯作者。

文章引用: 李军生, 李建军, 王秀林, 倪帮梁, 黄龙, 骆垠山, 王海真, 甄春阳. 东非欧加登盆地油气成藏条件及勘探潜力分析[J]. 矿山工程, 2024, 12(3): 426-434. DOI: 10.12677/me.2024.123052

den Basin in Ethiopia covers an area of $35 \times 10^4 \text{ km}^2$, with natural gas resources $5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ and oil resources $60 \times 10^8 \text{ t}$, which has great exploration potential. Based on the large amount of geophysical and geological data obtained since the middle of the last century, especially in recent years, this paper studies the oil and gas accumulation conditions and oil and gas exploration potential in the Ogaden Basin, and clarifies the next exploration direction of the Ogaden Basin. Through the study, the structure of the area is divided into 7 first-order structural units, and the central depression that is most conducive to the formation of oil and gas reservoirs is divided into 6 secondary structural units. The mud shale of the Permian Bokh Formation is identified as the main source rock, the three main sets of bio-reservoir cap assemblages developed in the Permian and Jurassic in the basin are determined, the discovered traps of oil-bearing reservoirs are mainly anticline and fault-nose traps, and the lithology and stratigraphic traps developed in the background of the slope are potential favorable trap types, the hydrocarbon accumulation model of the Ogaden Basin is established, and the slopes around the central low bulge and sag are proposed as the key exploration targets in the next step.

Keywords

Ogaden Basin, Accumulation Conditions, Exploration Potential, Source Rocks, Traps

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

欧加登盆地位于非洲东部，是索马里盆地的一个次盆，面积 35 万平方公里。该区的勘探始于 20 世纪 40 年代，于 1973~1974 年在该区中央低凸起先后发现了 Calub 和 Hilala 油气田。之后来自美国、前苏联、马来西亚等国家的多家公司在该盆地内开展勘探工作，但没有取得新的突破。2013 年，中国的保利协鑫公司与埃塞政府签订了油气勘探开发合同，通过勘探评价工作于 2016 年在 Hilala 构造发现了商业油藏，在 Calub 构造发现了浅层气藏；2018 年在北部斜坡带发现了 Dohar 气田，并发现了基岩潜山气藏，取得了勘探突破。通过对已有地震、地质等资料的综合分析认为，欧加登盆地具备很好的油气成藏条件和较大的勘探潜力[1]。

2. 地层特征

欧佳登盆地经历了二叠纪到三叠纪的裂陷、侏罗纪到白垩纪的拗陷及白垩纪末期到古近纪和新近纪的构造反转三个阶段，在构造运动的控制下，发育了三个大的沉积地层单元[2] [3] (图 1)。

1) 欧加登盆地裂谷发育阶段，在前寒武系基底的基础上发育 Karroo 群陆相碎屑岩沉积地层，主要为上二叠统 Calub 组砂岩、下三叠统 Bokh 组泥页岩及中上三叠统 Gumburo 组砂岩地层。上部发育早侏罗世地层，不整合覆盖在 Karroo 群地层之上。

2) 在拗陷阶段主要发育侏罗系、早白垩系地层，其中 Transition 组为陆相到海相过渡的碎屑岩。Hamanlei 群及以上地层为碳酸盐岩，在部分地区也含有蒸发岩。

3) 在被动大陆边缘阶段主要发育晚白垩世到新生代地层，岩性为碳酸盐岩和陆相碎屑岩互层，不整合覆盖在早白垩世的地层之上。

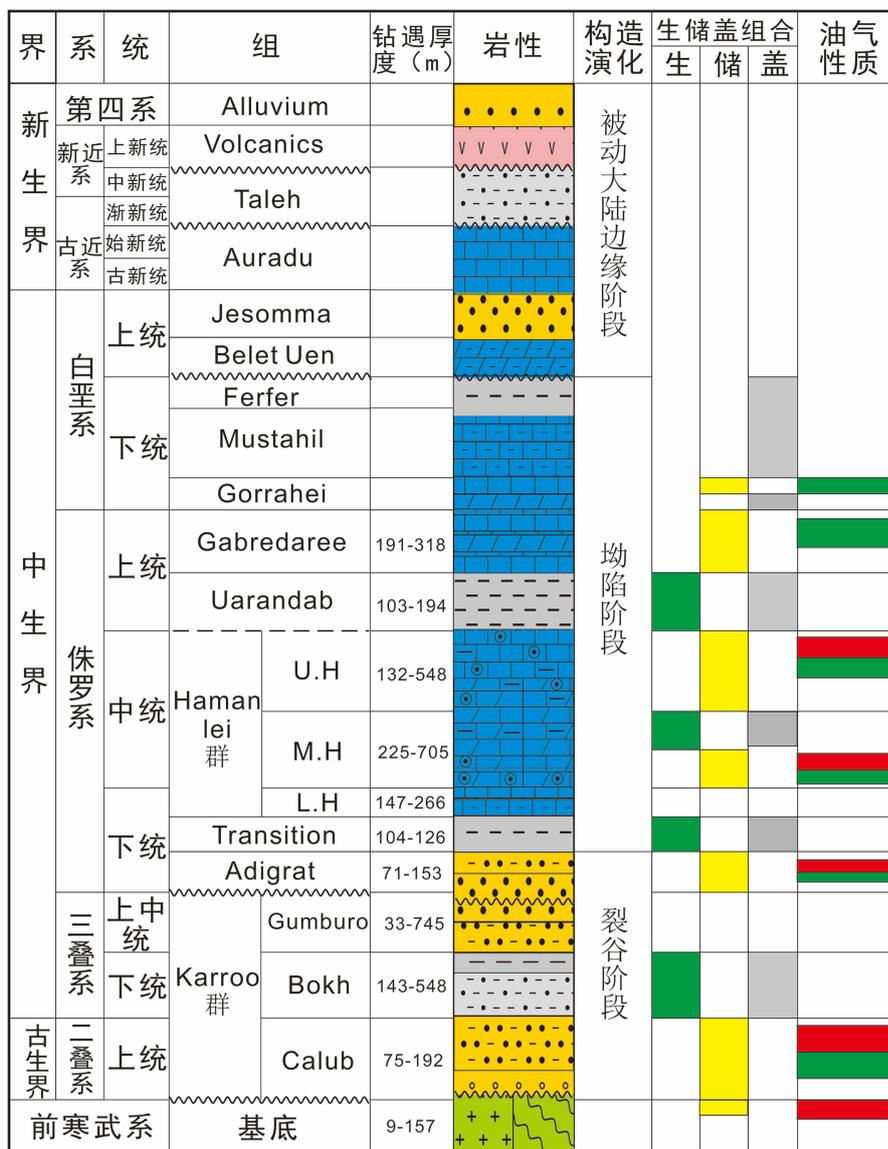


Figure 1. Stratigraphy and raw-reservoir-cap assemblage in the Ogaden Basin
图 1. 欧加登盆地地层及生储盖组合

3. 构造特征

欧加登盆地是在晚古生代 Karroo 裂谷盆地基础上发育起来的拗陷盆地和被动大陆边缘盆地的叠合盆地[4]-[6]。根据欧加登盆地地质特点，将欧加登盆地划分为中部拗陷、西部斜坡、北部斜坡、南部斜坡、西部隆起、北部隆起、南部隆起 7 个一级构造单元。其中中部拗陷埋藏深，最深超过 6000 米；烃源岩发育；通过构造解释发现众多是该区最有利于油气藏发育的构造，进一步划分为西部凹陷、东部凹陷、西部斜坡带、北部斜坡带、南部斜坡带和中央低凸起 6 个二级构造单元(图 2)。

4. 烃源岩特征

欧加登盆地纵向上发育多套烃源岩层系，自下而上为 Bokh 组、Transition 组、M.Hamanlei 组和 Uarandab 组，其中 Bokh 组和 M.Hamanlei 组为主要烃源岩[7]。

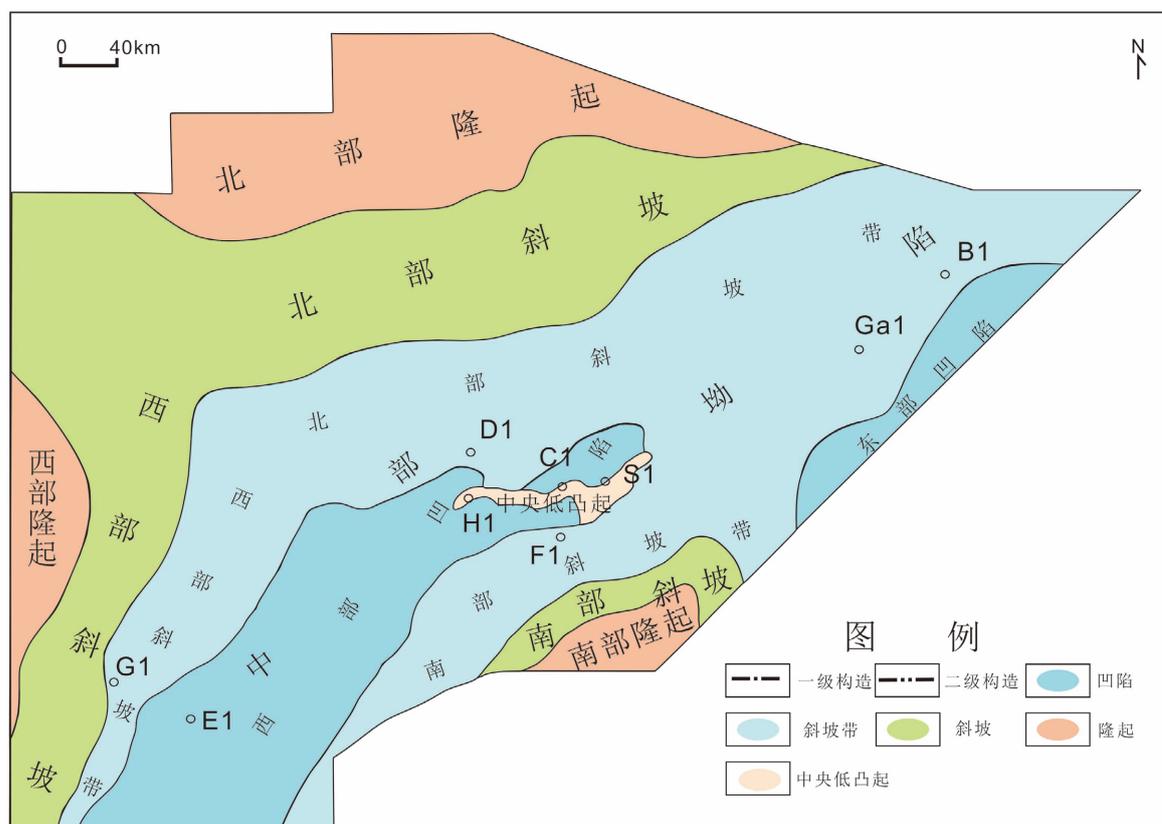


Figure 2. Tectonic zoning map of the Ogaden Basin

图 2. 欧加登盆地构造区划图

Bokh 组源岩以 II_A 型为主, 演化阶段在成熟—高成熟, TOC 含量为 0.03%~2.64%, 平均值 0.55%, S_1+S_2 为 0.01~3.19 mg/g, 平均值 0.62 mg/g, 为差—中等烃源岩; M.Hamanlei 源岩有机质类型以 II_A —I 型为主, 倾油型, TOC 含量在 0.06%~4.24% 之间, 平均值为 0.42%, S_1+S_2 为 0.07~20.37 mg/g, 平均值 1.46 mg/g, 为差烃源岩(表 1)。

Table 1. Abundance of organic matter in the main source rocks of the Ogaden Basin

表 1. 欧加登盆地主要烃源岩有机质丰度

层位	取值	TOC (%)	$S_1 + S_2$ (mg/g TOC)	评价
M.Hamanlei 组	最小值 - 最大值	0.06~4.24	0.07~20.37	差
	平均值	0.42	1.46	
	平均值	0.51	0.65	
Bokh 组	最小值 - 最大值	0.03~2.64	0.01~3.19	差~中
	平均值	0.55	0.62	

通过饱和烃色谱和质谱参数和三类原油与源岩质量色谱对比分析认为, 该区原油特征为反映其源岩沉积环境为弱还原、水体偏咸、菌藻多、富粘土的湖相特征, 存在 β 胡萝卜烷, 植物(色素)生源, 常见于还原湖相, 与 Bokh 湖相源岩有关, 并有 M-H 组烃源的混入; 天然气以烃类气体为主, 甲烷含量高 80.8%~9.0%, 干燥系数 0.88~0.93, 为石油半生湿气; 非烃气含量小于 6%, 非烃气以 N_2 为主, 不含 H_2S 。天然气都属于成熟度较高的油型气, 来源于成熟度较高的 Bokh 组湖相烃源岩。

5. 储层特征

欧加登盆地自下而上发育多套储层,其中上二叠统的 Calub 组砂岩、下侏罗统的 Adigrat 组砂岩及中侏罗统的 M.Hamanlei 组碳酸盐岩为主要储层。

上二叠统的 Calub 组砂岩储层在盆地中部坳陷的中央低凸起上的 Calub 和北部斜坡带上的 Dohar 等构造上钻遇,而在盆地南部斜坡、西部斜坡和中部坳陷北部没有钻遇该套地层。

下侏罗统的 Adigrat 组砂岩及中侏罗统的 M.Hamanlei 组碳酸盐岩储层分布范围广泛,在盆地内几乎都有分布。

5.1. 储集体类型

欧加登盆地经历了多期构造演化,形成了不同类型沉积体系。在盆地裂谷阶段的裂陷期发育 Calub 组陆相的冲积扇砂砾岩储集体[8];坳陷阶段的早期发育 Adigrat 组海相滨岸前滨砂体成因的碎屑岩储集体;坳陷阶段局限台地潮坪沉积中发育 M.Hamanlei 组局限台地相以粒屑灰岩、灰质白云岩为主的储集体。

5.2. 储集空间类型

Calub 组、Adigrat 组都属于砂岩型储层储集空间以粒间孔、组分溶孔、晶间微孔和裂缝为主;M.Hamanlei 组碳酸盐岩储层储集空间以粒间孔、粒内溶孔、铸模孔、体腔孔、晶间孔为主,次生孔隙普遍发育,见裂缝。

5.3. 储层物性特征

Calub 组岩心分析平均孔隙度 4.1%;平均渗透率 1.1 mD,属超低孔—超低渗型储层;Adigrat 组岩心分析平均孔隙度 10.0%;平均渗透率 3.112 mD,属低孔—特低渗型储层;M.Hamanlei 组岩心分析平均孔隙度 12.9%,平均渗透率 5.8 mD,属于中孔中渗储层。

6. 盖层及生储盖组合特征

欧加登盆地发育 Bokh 页岩、Transition 组泥页岩和 M.Hamanlei 组组的硬石膏岩和页岩 3 套主要盖层[9],与盆地内的烃源岩及主要储层组成良好的生储盖组合[10](见图 1)。

1) Calub 组合

该组合源岩为 Bokh 组湖相泥页岩,储层为 Calub 组河流—冲积扇相砂岩,盖层为上覆 Bokh 组的泥页岩。

2) Adigrat 组合

该组合源岩为下伏 Bokh 组湖相泥页岩,储层为 Adigrat 组滨岸相石英砂岩,盖层为上覆的 Transition 组和 L.Hamanlei 组泥页岩、灰岩。

4) M.Hamanlei 组合

该组合的源岩主要为下伏 Bokh 组湖相泥页岩,次要为 M.Hamanlei 组海相泥页岩、泥灰岩,储层为 M.Hamanlei 组白云岩和鲕粒灰岩等,盖层为 M.Hamanlei 自身的硬石膏岩。

7. 油气藏类型及成藏模式

7.1. 油气藏类型

欧加登盆地的碎屑岩及碳酸盐岩中已发现的油气藏类型主要为背斜油气藏和断鼻油气藏。

1) 背斜油气藏:欧加登盆地的背斜油气藏存在幅度低、面积大、成带发育等特征,可靠性较高,下部发育输导断层,则容易形成大型油气藏,主要发育在中央低凸起、斜坡带,如 Hilala 气田 Adigrat 组气

藏(图 3)和 Hilala 油气田 Middle Hamanlei 组油藏(图 4)。

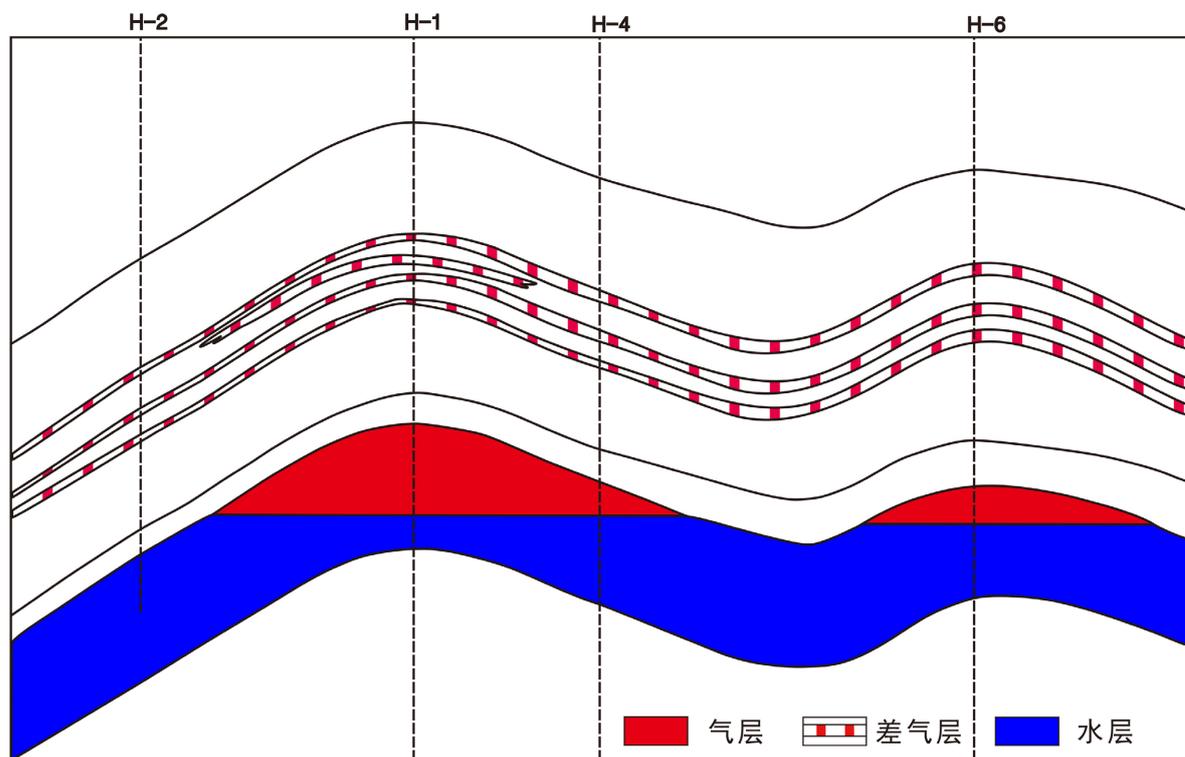


Figure 3. Reservoir profile of the Adigrat Formation in the Hilala gas field

图 3. Hilala 气田 Adigrat 组气藏剖面

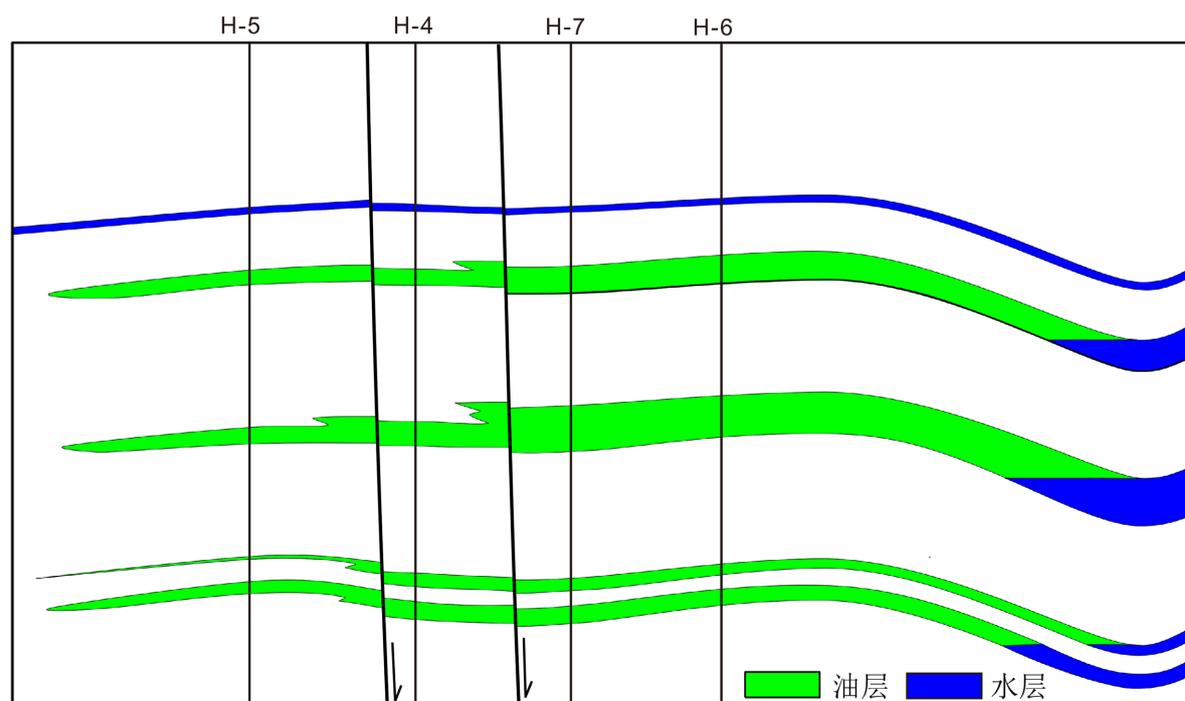


Figure 4. Reservoir profile of Middle Hamanlei Formation in Hilala oil and gas field

图 4. Hilala 油气田 Middle Hamanlei 组油藏剖面

2) 断鼻油气藏: Karroo 裂谷阶段发育了很多大型的高角度正断层, 这些高角度的沉降作用及同生断层作用, 有利于厚层陆相层序的沉积, 发育与断层相关的断鼻、断块。这些大断裂控制了构造单元的沉积边界, 断距大, 沟通 Bokh 组烃源岩, 成为油气运移的主要通道, 利于油气运移, 形成断鼻、断块油气藏。主要发育在中央低凸起、斜坡带, 如 Calub 气田 Calub 组气藏(图 5)。

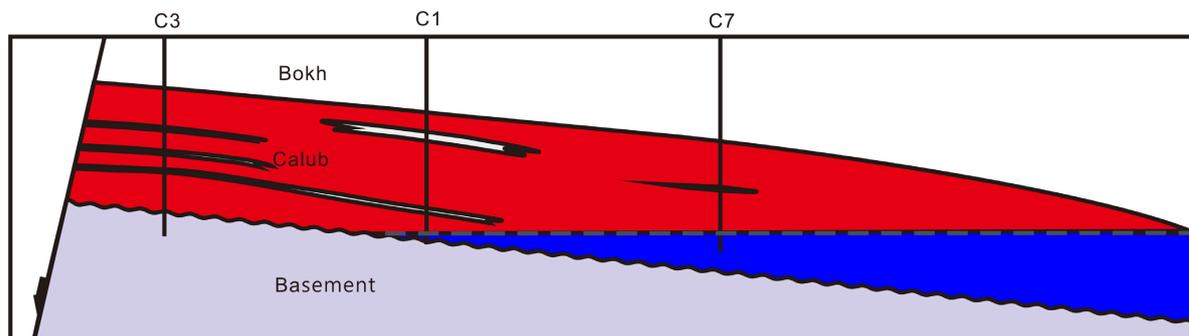


Figure 5. Reservoir profile of the Calub Formation in the Calub gas field

图 5. Calub 气田 Calub 组气藏剖面

7.2. 成藏模式

在构造的控制下, 欧加登盆地中部坳陷中央低凸起及斜坡低部位发育背斜、断鼻及基岩潜山圈闭, 在斜坡高部位发育岩性尖灭圈闭[11]。盆地主要生油气洼陷及斜坡低部位 Bokh 组烃源岩生成的油气沿输导层及断层向斜坡高部位运移, 首先在中央低凸起基岩潜山、背斜及断裂背斜中聚集成藏; 油气持续向上及向斜坡高部位运移, 在斜坡低部位的潜山及背斜、断裂背斜中成藏; 部分油气运移到斜坡高部位, 在高部位的断鼻及岩性、地层圈闭中聚集成藏(图 6)。

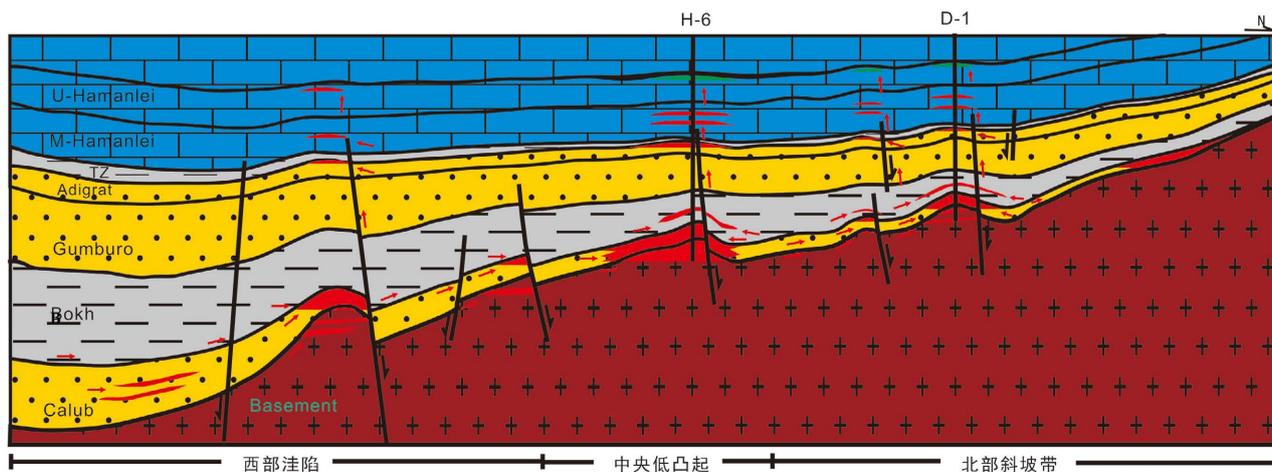


Figure 6. Hydrocarbon accumulation model in the Ogaden Basin

图 6. 欧加登盆地油气成藏模式

可见, 在欧加登盆地内, Calub 组是主力勘探层系, 在中部坳陷中央低凸起及斜坡低部位和高部位都可以成藏, 但向高部位逐渐尖灭; M-H 是次要勘探层系, 在中部坳陷中央低凸起及斜坡的低部位的地区可以形成油气藏; A 层只在中部坳陷中央低凸起及斜坡低部位的部分地区可能会形成油气藏; 基岩潜山在中部坳陷中央低凸起该区的构造低部位发育, 由于该区基岩埋藏深度较浅, 在勘探 Calub 组油气藏的

同时进行兼探，是一个有潜力的勘探层系。

8. 勘探潜力分析

欧加登盆地具备良好的油气成藏条件[12] [13]，具有很大的油气勘探潜力[14]-[17]，主要表现在以下几个方面：

8.1. 资源潜力大

利用已有资料，对欧加登盆地的油气资源量计算结果，全盆地天然气资源量 $5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，石油资源量 $60 \times 10^8 \text{ t}$ ，具备丰厚的资源基础[18]。

8.2. 勘探程度低

欧加登盆地面积 $35 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，已有 2D 地震仅不到 $2 \times 10^4 \text{ km}$ ，三维地震不到 1000 km^2 ；目前已完钻井 63 口，除开发区及 17 & 20 区块完钻井比较多以外，勘探目标区不到 1 口井/ 10^4 km^2 ，钻探程度极低[19]，目前普遍处于区域勘探阶段和圈闭预探阶段。

8.3. 发育多种圈闭类型

通过近年的工作，在盆地的中央低凸起、北部斜坡带、南部斜坡带和西部斜坡带发现和落实了多个背斜、断鼻、断块、地层、岩性尖灭圈闭，圈闭总数超过 40 个，圈闭资源量超过 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。其中多个圈闭邻近已发现的油气田，落实程度高，风险低，潜力大。

8.4. 发存在多个待探目标

经过对成藏地质条件的综合分析，认为盆地中部坳陷是主要勘探目标区[20] [21]，其中的中央低凸起、北部斜坡已发现 Calub、Hilala、Dohar 油气田，及 Shilabo、Magan 等含油气构造，在这些构造周边存在多个类似的有利构造，发现了几个大型的有利圈闭，是下步勘探的重要目标。在西部斜坡和南部斜坡带经过对新、老二维地震资料的解释也发现了多个有利圈闭，需要进一步工作进行落实。

9. 结论

1) 首次对欧加登盆地进行构造单元划分，结合构造特征及构造深化特征将该盆地划分为中部坳陷、西部斜坡、北部斜坡、南部斜坡、西部隆起、北部隆起、南部隆起 7 个一级构造单元，其中最为有利油气成藏的中部坳陷又可划分为 6 个二级构造单元。

2) 欧加登盆地发育 3 套主要烃源岩，其中 Bokh 为主力烃源岩，为大型油气藏的形成提供充足的资源基础；首次对该盆地油气资源量进行计算，计算结果，该盆地内天然气资源量 $5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，石油资源量 $60 \times 10^8 \text{ t}$ 。

3) 明确欧加登盆地内发育二叠系 Calub 组砂岩、侏罗系 Adigrat 组砂岩和 M.Hamanlei 组碳酸盐岩 3 套主要储层。

4) 对欧加登盆地发育的 Bokh 组页岩、Transition 组泥页岩和 M.Hamanlei 组硬石膏岩和页岩 3 套主要盖层及其与盆地内发育的烃源岩及主要储层的匹配关系进行了全面分析。

5) 近年勘探开发工作证实，欧加登盆地内已发现的油气藏主要为背斜及断裂背斜、断鼻油气藏；

6) 截至目前，欧加登盆地大部分地区勘探程度低，资源量大，发育多种类型圈闭，中部坳陷内的西部凹陷、东部凹陷、西部斜坡带、北部斜坡带、南部斜坡带和中央低凸起 6 个二级构造具有良好的油气成藏条件，是下一步勘探的重点目标。

基金项目

协鑫集团重点科技项目，项目编号：A2020HWTRQ-Y001。

参考文献

- [1] 白振瑞, 李明岩, 杨国丰. 北极地区油气资源潜力和勘探开发动向[J]. 当代石油石化, 2011, 19(9): 39-44.
- [2] Worku, T. and Astin, T.R. (1992) The Karoo Sediments (Late Palaeozoic to Early Jurassic) of the Ogaden Basin, Ethiopia. *Sedimentary Geology*, **76**, 7-21. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90136-f](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90136-f)
- [3] Brassier, M. and Geleta, S. (1993) A Planktonic Marker and Callovian—oxfordian Fragmentation of Gondwana: Data from Ogaden Basin, Ethiopia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **104**, 177-184. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(93\)90129-7](https://doi.org/10.1016/0031-0182(93)90129-7)
- [4] Rakotosofo, N.A., Torsvik, T.H., Ashwal, L.D., Eide, E.A. and de Wit, M.J. (1999) The Karoo Supergroup Revisited and Madagascar-Africa Fits. *Journal of African Earth Sciences*, **29**, 135-151. [https://doi.org/10.1016/s0899-5362\(99\)00085-8](https://doi.org/10.1016/s0899-5362(99)00085-8)
- [5] Korme, T., Acocella, V. and Abebe, B. (2004) The Role of Pre-Existing Structures in the Origin, Propagation and Architecture of Faults in the Main Ethiopian Rift. *Gondwana Research*, **7**, 467-479. [https://doi.org/10.1016/s1342-937x\(05\)70798-x](https://doi.org/10.1016/s1342-937x(05)70798-x)
- [6] Boccaletti, M., Dainelli, P., Angelucci, A., Arush, M.A., Cabdulqaadir, M.M., Nafissi, P., et al. (1988) Folding of the Mesozoic Cover in SW Somalia: A Compressional Episode Related to TEH Early Stages of Indian Ocean Evolution. *Journal of Petroleum Geology*, **11**, 157-168. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1988.tb00810.x>
- [7] 马学立, 刘深艳, 盖海洋, 等. 玻利维亚 Chaco 盆地油气地质特征及勘探方向[J]. 海洋地质前沿, 2019, 35(10): 36-42.
- [8] Bosellini, A., Russo, A. and Assefa, G. (2001) The Mesozoic Succession of Dire Dawa, Harar Province, Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, **32**, 403-417. [https://doi.org/10.1016/s0899-5362\(01\)90105-8](https://doi.org/10.1016/s0899-5362(01)90105-8)
- [9] 法贵方, 袁圣强, 王作乾, 等. 伏尔加—乌拉尔盆地石油地质特征及勘探潜力分析[J]. 特种油气藏, 2012, 19(5): 46-50.
- [10] 范洪耀, 陶维祥, 于水, 等. 下刚果盆地油气成藏条件及勘探潜力分析[J]. 海洋石油, 2012, 32(2): 16-20.
- [11] 胡英杰, 王延山, 黄双泉, 等. 辽河坳陷石油地质条件、资源潜力及勘探方向[J]. 海相油气地质, 2019, 24(2): 43-54.
- [12] 何文军, 王绪龙, 邹阳, 等. 准噶尔盆地石油地质条件、资源潜力及勘探方向[J]. 海相油气地质, 2019, 24(2): 75-84.
- [13] 温志新, 童晓光, 张光亚, 等. 东非裂谷系盆地群石油地质特征及勘探潜力[J]. 中国石油勘探, 2012, 17(4): 60-65.
- [14] 马永生, 冯建辉, 牟泽辉, 等. 中国石化非常规油气资源潜力及勘探进展[J]. 中国工程科学, 2012, 14(6): 22-30.
- [15] 叶德燎, 徐文明, 陈荣林. 南美洲油气资源与勘探开发潜力[J]. 中国石油勘探, 2007, 12(2): 70-75.
- [16] 林卫东, 陈文学, 熊利平, 等. 西非海岸盆地油气成藏主控因素及勘探潜力[J]. 石油实验地质, 2008, 30(5): 450-455.
- [17] 黄彦庆, 白国平. 澳大利亚波拿巴盆地油气地质特征及勘探潜力[J]. 石油实验地质, 2010, 32(3): 238-241.
- [18] Hunegnaw, A., Sage, L. and Gonnard, R. (1998) Hydrocarbon Potential of the Intracratonic Ogaden Basin, SE Ethiopia. *Journal of Petroleum Geology*, **21**, 401-425. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1998.tb00793.x>
- [19] 张树林, 杜向东. 西非油气富集的关键地质因素及勘探战略部署建议[J]. 中国石油勘探, 2012, 17(3): 70-76.
- [20] 孔祥宇, 殷进垠, 张发强. 哈萨克斯坦南图尔盖盆地油气地质特征及勘探潜力分析[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 48-53.
- [21] 宋成鹏, 童晓光, 张光亚, 等. 北非含油气系统特征与勘探潜力[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(2): 5-10.