

非洲中部 Bongor 盆地与 Lake Chad 盆地 烃源岩发育特征差异性探讨

蔡周荣¹, 黄先雄², 万志峰³, 刘维亮³, 郭峰³

(1. 中山大学 海洋学院, 广东 广州 510006; 2. 中国石油海外研究中心, 北京 100083;

3. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘要: Bongor 盆地和 Lake Chad 盆地是位于非洲中部且地理位置较近的盆地, 但两者在烃源岩的发育特征方面却存在着明显的差异: Bongor 盆地的烃源岩主要发育于下白垩统湖相泥岩中, Lake Chad 盆地的烃源岩则主要发育于上白垩统海岸—滨海相泥页岩中。通过对 2 个盆地的区域构造背景分析, 认为烃源岩发育的差异性是 2 个盆地所处的区域应力场不同所致。Bongor 盆地位于中非裂谷系, 其油气成藏特征受中非剪切带的影响; Lake Chad 盆地属于西非裂谷系, 油气成藏特征受西非张裂带的影响。中非裂谷系和西非裂谷系 2 大不同的区域地质背景, 造就了 2 个盆地差异性较大的烃源岩发育特征, 了解这种油气成藏的差异性特征对中国南海未来的油气勘探有一定的启发作用。

关键词: 烃源岩发育特征; 差异性; 非洲中部; Bongor 盆地; Lake Chad 盆地

中图分类号: TE111.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2010)01-0041-04

非洲地区拥有丰富的油气资源和巨大的油气开发潜力, 是全球最重要的能源供应中心之一。20 世纪 90 年代以来, 中国与非洲的很多国家和地区在油气勘探开发方面建立了良好的合作关系, 拥有很多共同勘探开发的研究区块, 主要位于非洲西北部和中部地区。Bongor 盆地位于乍得南部, 面积约为 $1.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, Lake Chad 盆地则位于乍得的西北部, 面积约为 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。2 个盆地在已有的钻井勘探中都获得了良好的油气显示, 其勘探潜力较大^[1]。已有的油气勘探成果表明, 2 个盆地的地理位置虽然相差不大, 但是两者烃源岩的发育特征却存在着明显的差异, 包括烃源岩发育的层位和有机质类型等, 这种差异性直接影响到油气成藏特征的差异以及未来勘探目标的选择。为此, 笔者试图通过对 2 个盆地烃源岩发育特征的深入分析, 结合其所处的构造背景及其盆地的构造演化特征, 探讨两者烃源岩差异性的深层原因, 为非洲中部未来的油气勘探部署提供参考, 并且了解这种区域构造背景对油气藏的控制作用对中国未来的油气勘探也有一定的启发作用。

1 区域地质背景

Bongor 盆地和 Lake Chad 盆地位于非洲努比亚克拉通与刚果—努比亚克拉通之间的泛非活动带上, 都是受中西非裂谷系影响发育起来的中新生代裂谷盆地(图1)。中西非裂谷系盆地是指苏丹、乍

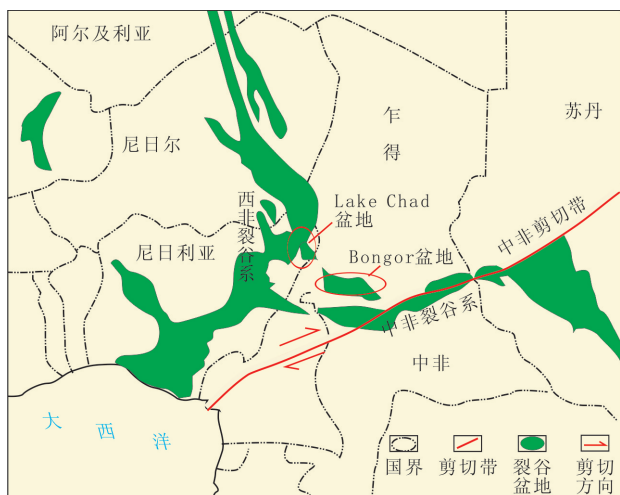


图1 中非区域地质构造示意

收稿日期: 2009-10-12; 改回日期: 2009-12-22。

作者简介: 蔡周荣, 男, 博士, 主要从事构造地质和石油地质方面的研究。联系电话: (020) 85290025, E-mail: czhrs@qq.com。

基金项目: 中国石油天然气集团公司“海外油气田勘探与开发技术研究”(04B60204)

得和尼日尔境内沿中非剪切带发育的一系列中生代裂谷系盆地,这些裂谷系盆地进一步分为西非裂谷系盆地和中非裂谷系盆地^[2]。在构造位置上,Bongor 盆地位于中非裂谷系,Lake Chad 盆地则属于西非裂谷系^[3]。

中非裂谷系和西非裂谷系在构造上同属中非剪切带^[4-5]。自泛非运动以来,中非剪切带的构造演化可划分为 3 个阶段:①约 550~130Ma(K₁),此时期是稳定地台沉积阶段,局部地区可能有陆相碎屑岩沉积,绝大部分地区沉积岩不发育。②130~20Ma(K₁—N₁),自 130Ma 起,冈瓦纳大陆解体,南大西洋和印度洋开始张开,南大西洋的张开以“三叉裂谷”的形式进行,其中 2 支最终拉开形成洋壳,剩下的 1 支深入非洲大陆,形成拗拉谷;受大西洋的构造演化影响,拗拉谷最终形成中西非裂谷系。③20Ma 至今,中非剪切带的活动停止。

伴随着红海的裂谷化和亚丁湾的发育,阿拉伯板块从非洲板块分离出来,红海张裂的构造作用由东向西减弱并影响到中、西非裂谷系,对前期构造进行改造。在上述因素的影响下,中非裂谷系盆地基本上也经历了以下 3 个大的演化阶段:侏罗纪之前的前裂谷阶段(稳定的台地沉积阶段),白垩纪—古近纪的同裂谷阶段(断裂活动以及沉降、沉积作用发育的主要阶段)以及新近纪以来的裂后阶段^[3](盆地隆起抬升)。

2 烃源岩发育特征

2.1 Bongor 盆地

前人认为^[6-7],Bongor 盆地基底为前寒武系结晶岩和变质岩,区内仅有少量井钻遇,岩性以花岗岩和花岗闪长岩为主。其上与下白垩统呈不整合接触;上白垩统及下白垩统上部多已被剥蚀,所以其沉积层主要表现为下白垩统巨厚的湖相、河流相及冲积扇碎屑岩沉积,也是烃源岩最发育的层系。盆地 下白垩统可划分为贝利阿斯阶、凡兰吟阶、欧特里夫阶、巴雷姆阶、阿普特阶以及阿尔布阶;上白垩统和古近系—新近系基本上不发育海相地层,而下白垩统湖相泥质烃源岩非常发育^[7](图 2)。

有机岩石学特征、地球化学特征以及可溶有机质组成特征的研究结果表明^[7],Bongor 盆地发育富含层状藻的优质湖相泥质烃源岩,有机质丰度和成熟度高,有机质类型以Ⅲ型为主。泥岩中可溶有机质含量较高,多数达到好烃源岩的标准。碳同位素

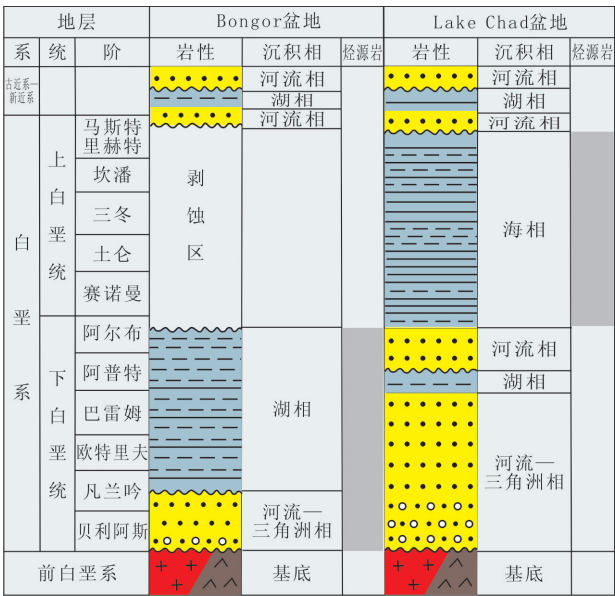


图 2 Bongor 盆地和 Lake Chad 盆地烃源岩发育特征

较轻,显示淡水湖相生物有机质的母源特征。钻井发现,在早白垩世裂谷阶段全盆地发育 3 段好—极好烃源岩,最好的烃源岩发育于浅层的下白垩统阿普特阶上段或阿尔布阶,但普遍不成熟;成熟烃源岩主要发育于下白垩统阿普特阶下段或巴雷姆阶,巴雷姆阶下部有效烃源岩几乎全盆地发育,烃源岩有机质丰度高,有机质类型以Ⅱ型为主,烃源岩最大厚度为 1 200m,油气资源潜力巨大。

生烃史模拟结果表明,页岩烃源岩顶部在 112.5 Ma 左右(阿尔布阶下段沉积时期)开始生烃,在 102Ma 左右(晚白垩世早期)达到生烃高峰,晚白垩世的构造运动(抬升和剥蚀)使上部油层的油藏遭受生物降解,古近纪的热事件使得烃源岩现今已处于生气阶段。

2.2 Lake Chad 盆地

Lake Chad 盆地是属于受西非裂谷系影响发育起来的中—新生代裂谷盆地,基底与 Bongor 盆地相同,为前寒武结晶岩和变质岩;早白垩世是盆地的裂陷期,物源主要为裂陷周边的剥蚀区,下白垩统的沉积主要为河流相、三角洲相的砾岩以及碎屑岩相,烃源岩不发育。晚白垩世断陷作用减弱,盆地进入伸展拗陷期,大西洋海水侵入,形成了巨厚的海岸—滨海相泥页岩为主的大型拗陷型沉积,是盆地最主要的沉积层;上白垩统可划分为赛诺曼阶、土仑阶、三冬阶、坎潘阶以及马斯特里赫特阶,是烃源岩发育的主要层系;在晚白垩世末期,Lake Chad 盆地受区域构造抬升的影响,开始转入湖相、河流相的内陆沉积环境,直至古近纪晚期,盆地断裂作用基本停止,

水体变浅,以河流相粗碎屑岩沉积为主。

相比较而言,Lake Chad 盆地的勘探程度低,地球化学资料少,少数钻井资料表明盆地上白垩统海相暗色泥页岩广泛发育,烃源岩有机质丰度较高,多数达到好烃源岩的标准,但有机质类型较差,镜质体反射率为 0.5%~0.7%的低成熟生油岩广泛分布于全盆地,镜质体反射率为 0.7%~1.0%的成熟生油岩分布于盆地的主体部位,总体上有机质类型以Ⅲ型为主,少量为Ⅱ₂型,生烃潜力较有限。古近系一新近系和盆地边缘的白垩系不发育烃源岩。

据部分钻井烃源岩生烃史分析,凹陷中心的上白垩统烃源岩在上白垩统土仑阶沉积时期进入成熟门限,到古近纪早期进入生油高峰期。

3 烃源岩特征差异性

通过对 Bongor 盆地和 Lake Chad 盆地烃源岩发育特征分析发现,两者烃源岩发育存在 3 点差异:①主力烃源岩发育层系不同。Bongor 盆地的主力烃源岩位于下白垩统,Lake Chad 盆地的烃源岩则位于上白垩统。②烃源岩的成因不同。Bongor 盆地的烃源岩为湖相的泥岩夹少量页岩,Lake Chad 盆地的烃源岩则为海相泥页岩。③烃源岩的质量不同。Bongor 盆地的烃源岩较好,油气资源潜力较大;Lake Chad 盆地的烃源岩较差,生烃能力有限。

2 个盆地的地理位置相差并不大,但其烃源岩的发育特征相差却很大。究其原因,沉积环境的不同直接影响到烃源岩的发育,湖相泥岩有机质丰富,其发育的烃源岩质量较好,而海相泥页岩发育的烃源岩质量则相对较差。探讨两者烃源岩发育特征的差异性,其实就是探讨两盆地地层发育特征以及形成演化特征的差异。

从区域地质背景分析可知,Bongor 盆地是受中非裂谷剪切作用发育起来的,而 Lake Chad 盆地则是受西非裂谷扩张作用发育起来的。侏罗纪以前,2 个盆地所在的非洲大陆处于稳定地台沉积阶段,受泛非构造运动的影响,地层遭受热动力变质和花岗岩化,非洲变成了一个古老的稳定区,整个非洲地区构造相对稳定,断裂、岩浆活动不发育,基本不发育沉积岩。白垩纪开始,冈瓦纳大陆解体,以“三叉裂谷”形成扩张的南大西洋和印度洋沿其中的 2 条裂谷张开,另 1 条则深入非洲大陆形成中非大裂谷,受南大西洋和印度洋扩张的影响,中非大裂谷在早白垩世开始发生强烈的右旋剪切活动,一系列的裂谷

型盆地在剪切带内发育。同时,受中非裂谷右旋剪切作用的影响,位于西边的西非裂谷系也开始发育,与中非剪切型裂谷系不同,西非裂谷系是扩张型的。受中非裂谷系剪切作用影响的构造运动具有东强西弱的特点,这种特点直接影响到 Bongor 盆地和 Lake Chad 盆地的发育特征,Bongor 盆地受中非裂谷剪切作用影响较大,早白垩世盆地的张裂速度快,形成湖相沉积,而位于西边的 Lake Chad 盆地受中非裂谷剪切作用影响较弱,盆地的张裂时间较晚且速度慢,加上位于裂谷系的边缘,难以形成深水湖相沉积,主要发育河流相以及三角洲相沉积。所以早白垩世在 Bongor 盆地湖相沉积有机质丰富,可以发育良好的烃源岩,Lake Chad 盆地发育的河流相和三角洲相沉积则难以形成烃源岩。另外,Lake Chad 盆地位于西非裂谷系南段向南收敛的部位,下白垩统地层的厚度本身就不大。这就是 Bongor 盆地地下白垩统发育良好的烃源岩,而 Lake Chad 盆地地下白垩统不发育的原因。

在早白垩世末期至晚白垩世初期,非洲板块与欧洲板块发生碰撞,区域应力场发生转变,中非裂谷由右旋剪切转变为左旋剪切,中非裂谷系和西非裂谷系的盆地都发生了明显的构造反转^[8],位于中非裂谷系的 Bongor 盆地开始抬升遭受剥蚀;而位于西非裂谷系的 Lake Chad 盆地,由于受大西洋海水的入侵,开始从陆相沉积向海相沉积过渡,成为主要的烃源岩层系。这次构造反转直至古近纪中非裂谷剪切作用的逐渐减弱而停止。所以,晚白垩世 Lake Chad 盆地发育以海相泥页岩为主的烃源岩,但有机质丰度低,烃源岩的品质相对较差,而 Bongor 盆地晚白垩世抬升遭受剥蚀,不发育烃源岩层系。

4 烃源岩发育差异性的启示

通过对 Bongor 盆地和 Lake Chad 盆地的烃源岩发育特征的分析可知,不同的区域地质背景和构造应力场对盆地烃源岩的发育起着重要的控制作用,可以形成不同层系的烃源岩,进一步影响着油气的运聚成藏。尽管盆地间所处的地理位置差异性不大,但由于受不同的构造应力场影响,可能在油气的成藏模式等方面会展现出截然不同的特征。这种构造对烃源岩的控制作用无论对于中国还是国外的油气勘探都具有极大的借鉴意义^[9-17]。

南海北部陆缘是中国油气勘探刚刚起步的海域,区域构造复杂且差异性明显^[18-20],油气成藏规律

较难把握,东西部油气的聚集特征差异性较大,如西部的莺歌海盆地和东部的琼东南盆地以及珠江口盆地,其烃源岩发育特征、油气的运聚成藏等均存在明显的差异^[21]。形成这种差异性主要是由南海北部陆缘东西部的区域构造特征明显不同所致,东部主要为张裂构造,西部则为剪切走滑构造^[22]。这种构造背景及其演化的差异性控制着烃源岩的发育特征和油气成藏特征,这与 Bongor 盆地和 Lake Chad 盆地较为相似。目前,南海北部的油气勘探仍主要停留在陆架浅水区,未来南海北部油气勘探的关键是理清东西部的构造特征对烃源岩发育及油气成藏的控制作用,以期进一步指导南海北部陆缘浅水陆架区和深水陆坡区的油气勘探。

5 结论

Bongor 盆地属于中非裂谷系,主力烃源岩为下白垩统湖相泥岩夹少量页岩,发育较好;Lake Chad 盆地属于西非裂谷系,烃源岩为上白垩统海相泥页岩,发育较差。两者所处地理位置较近,但烃源岩的发育特征存在明显的差异。2 个盆地烃源岩差异性分析表明,这种差异性主要是由构造背景对烃源岩的控制作用形成的。Bongor 盆地受中非裂谷剪切作用影响较强,白垩世早期裂陷形成湖相沉积,可以形成良好的烃源岩;而 Lake Chad 盆地早白垩世受中非裂谷剪切作用影响较弱,难以形成湖相烃源岩;在晚白垩世盆地构造反转过程中,Lake Chad 盆地受大西洋海水入侵形成海相泥质烃源岩,而 Bongor 盆地抬升遭受剥蚀,不发育烃源岩层系。2 个盆地烃源岩发育的差异性特征及其形成原因对中国的油气勘探有极其重要的借鉴意义,中国南海北部陆缘东西部构造差异明显,研究东西部不同构造特征对烃源岩的发育控制作用成为未来油气勘探的一个重要手段。

参考文献:

- [1] 陈忠民,刘洛夫,卞德智,等.乍得南部 B 盆地地下白垩统碎屑岩储集层成岩演化及特征[J].石油勘探与开发,2006,33(2):250-254.
- [2] Fairhead J D. Mesozoic plate reconstructions of the central South Atlantic Ocean: the role of the West and Central African rift system[J]. Tectonophysics,1988,155(4):181-191.
- [3] Jorgensen J J, Bosworth W. Gravity modeling in the Central African rift system,Sudan:rift geometries and tectonic significance[J]. Journal of African Earth Sciences,1989,8(2):283-306.
- [4] Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al. Transfer zones in the East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(8): 1 234-1 253.
- [5] Marjrie Wilson, Rene Guiraud. Magmatism and rifting in Western and Central Africa, from Late Jurassic to recent times[J]. Tectonophysics, 1992, 213(2): 203-225.
- [6] 陈忠民,卞德智,潘校华,等.中非地区 B 盆地地下白垩统储层特征及其控制因素[J].西北大学学报:自然科学版,2006,33(6): 976-981.
- [7] Ren Guiraud, William Bosworth. Senonian basin inversion and rejuvenation of rifting in Africa and Arabia: synthesis and implications to plate-scale tectonics[J]. Tectonophysics, 1997, 282(4): 39-82.
- [8] Genik G J. Petroleum geology of Cretaceous-Tertiary rift basins in Niger, Chad, and Central African Republic[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(8): 1 405-1 434.
- [9] 刘成林,金惠,高嘉玉,等.松辽盆地深层天然气成藏研究[J].油气地质与采收率,2009,16(1):1-4.
- [10] 翟中喜,白振瑞.渤海湾盆地石油储量增长规律及潜力分析[J].石油与天然气地质,2008,29(1):88-94.
- [11] 邹信波,魏丛达.海陆过渡相砂岩油藏特高含水期剩余油成因及分布——以珠江口盆地陆丰 13-1 油田为例[J].油气地质与采收率,2007,14(6):97-99.
- [12] 程慧,常迎梅,经雅丽.渤海湾盆地东营凹陷地层油气藏成藏阶段分析[J].石油实验地质,2009,31(1):54-57.
- [13] 朱杰,车长波,柳广弟,等.渤海湾盆地石油地质储量和产量增长趋势的预测[J].油气地质与采收率,2006,13(6):16-18.
- [14] 卓勤功,蒋有录,隋风贵.渤海湾盆地东营凹陷砂岩透镜体油藏成藏动力学模式[J].石油与天然气地质,2006,27(5):620-629.
- [15] 李伟,吴智平,刘华.中、新生代渤海湾盆地地区演化与上古生界煤成气成藏[J].油气地质与采收率,2009,16(1):13-16.
- [16] 胡宗全,朱建辉.渤海湾盆地中南部中—新生代盆地叠合特征及上古生界生烃规律[J].石油实验地质,2008,30(5):439-444.
- [17] 董艳蕾,朱筱敏,李德江.渤海湾盆地辽东湾地区东二层序高位三角洲沉积特征[J].油气地质与采收率,2008,15(2):56-60.
- [18] 夏斌,崔学军,张宴华,等.南海扩张的动力学因素及其数值模拟讨论[J].大地构造与成矿学,2005,29(3):328-333.
- [19] 符启基,蔡周荣,马驰.南海形成演化综合模式的初步探讨[J].海洋地质动态,2007,23(9):1-7.
- [20] 龚再升,李思田.南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M].北京:科学出版社,1997.
- [21] 刘昭蜀.南海地质构造与油气资源[J].第四纪研究,2000,20(1):69-77.
- [22] 姚伯初.南海海盆在新生代的构造演化[J].南海地质研究,1991,1(3):9-23.