

Oil and Gas Accumulation Period on the Northern Slope of Bongor Basin

Yantao Zeng^{1,2}, Zhigang Wen^{1,2}, Huanxin Song²

¹The School of Earth Environment and Water Resources, Yangtze University, Wuhan Hubei

²The Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources (Yangtze University), Ministry of Education, Wuhan Hubei

Email: shx@yangtzeu.edu.cn

Received: Jul. 17th, 2015; accepted: Dec. 7th, 2015; published: Mar. 15th, 2016

Copyright © 2016 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

Based on the analysis data of physical properties of crude oil, GC-MS, fluid inclusion and so on, by using the organic geochemistry method, fluid inclusion analysis method, combined with the main hydrocarbon generation period method and trap forming method, the period of the oil and gas accumulation on the northern slope of Bongor Basin was researched. The results show that there are probably more periods of oil and gas accumulation in the study area according to the characteristics of the coexistence of n-alkanes series and 25-norhopane series, the inversion distribution of normal oils and degraded oils, and so on. The result of microscopic identification of the fluid inclusion indicates that the characteristics of hydrocarbon inclusions and saline inclusions are similar. Comprehensive analysis of the oil and gas accumulation shows that the early period of late Cretaceous is the main period of oil and gas accumulation on the northern slope of Bongor Basin, while the late period of late Cretaceous and late Paleogene are the 2 important adjustment periods of hydrocarbon accumulation in the 2 times of tectonic inversion movement.

Keywords

Bongor Basin, Northern Slope, Oil and Gas Accumulation Period, Organic Geochemistry, Inclusion

邦戈尔盆地北部斜坡油气成藏期次研究

曾艳涛^{1,2}, 文志刚^{1,2}, 宋换新²

¹长江大学地球环境与水资源学院, 湖北 武汉

²油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学), 湖北 武汉

作者简介: 曾艳涛(1976-), 女, 博士, 讲师, 主要从事油气成藏及沉积储层方面的研究工作; 通信作者: 宋换新。

Email: shx@yangtzeu.edu.cn

收稿日期: 2015年7月17日; 录用日期: 2015年12月7日; 发布日期: 2016年3月15日

摘要

利用原油物性、色谱-质谱及包裹体等资料, 通过地球化学、流体包裹体等方法, 结合主生烃期和圈闭形成, 对乍得邦戈尔盆地北部斜坡油藏成藏期次及时间进行了分析。结果显示, 原油样品中具有正构烷烃系列与25-降藿烷系列同时并存及正常原油与降解原油的倒置分布等特征, 表明研究区油气经历多期次的成藏。包裹体镜下鉴定可见烃类包裹体和盐水溶液包裹体特征整体相似, 表明原油组分及成熟度相近。成藏综合分析表明, 邦戈尔盆地北部斜坡存在一个主要的成藏期为晚白垩世早期, 而晚白垩世晚期和古近纪晚期的2次构造反转运动期为研究区2个重要的油气成藏调整期。

关键词

邦戈尔盆地, 北部斜坡, 成藏期, 地球化学, 包裹体

1. 区域地质概况

邦戈尔盆地位于非洲乍得西南部, 是受中非剪切带右旋走滑诱导发育起来的中-新生代裂谷盆地, 整体构造形态为南断北超的箕状断陷[1] [2]。平面上呈东西向展布的纺锤形, 面积约 $1.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。自北向南划分为北部斜坡带、中央拗陷、南部隆起和南部拗陷, 现阶段的油气发现主要集中在北部斜坡上, 已发现多个油气田和含油气构造(图 1)。

邦戈尔盆地的构造演化大致可划分为 6 个阶段: ① 白垩纪早期强烈断陷发育期; ② 白垩纪中晚期继承性断陷发育期; ③ 白垩纪末期强烈反转期; ④ 古近纪拗陷期; ⑤ 古近纪末期弱反转期; ⑥ 新近纪开始为盆地衰亡期。在前寒武变质岩基底之上, 沉积了以下白垩统为主的近万米厚的中-新生代地层, 上白垩统普遍缺失, 新生代地层厚度不足 500 m, 盆地主要的生储盖组合集中在下白垩统。下白垩统自下而上划分为 P 组、M 组、K 组、R 组和 B 组共 5 个组, 为河流-三角洲-湖泊沉积体系(图 2)。

2. 烃源岩特征

邦戈尔盆地下白垩统暗色泥岩发育。根据钻井资料统计表明: 邦戈尔盆地下白垩统各组烃源岩都较发育, 平均泥岩厚度占地层总厚度的 50% 左右, 中央拗陷暗色泥岩厚度普遍超千米; 各地层组泥质烃源岩有机质丰度均较高, 且差别不大, B 组~P 组烃源岩总有机碳质量分数($w(\text{TOC})$)均值范围为 1.63%~1.98% (表 1), 整体达到好烃源岩评价标准[3] [4]; 烃源岩有机质类型整体较好, 以 I~II₁ 型为主; 在拗陷区, 一

般 B 组、R 组及 K 组烃源岩为低成熟(K 组底部在部分深凹中达到成熟), M 组和 P 组烃源岩达到成熟 - 高熟, 为研究区主力烃源岩。由此可见, 研究区有效烃源岩的主控因数为烃源岩的成熟度, 现今油气主要来自深部的 M 组和 P 组烃源岩[5]-[7]。

邦戈尔盆地坳陷区烃源岩生烃史研究表明[6] [7], M 组和 P 组烃源岩在晚白垩世早期进入生烃高峰。由于区域性的“桑顿阶挤压事件”(85~80 Ma)导致盆地构造抬升, 地层大套剥蚀, 生烃中断。而后期的沉积总厚度小于此次构造运动的剥蚀厚度, 所以研究区 M 组和 P 组烃源岩二次生烃能力有限[1]。

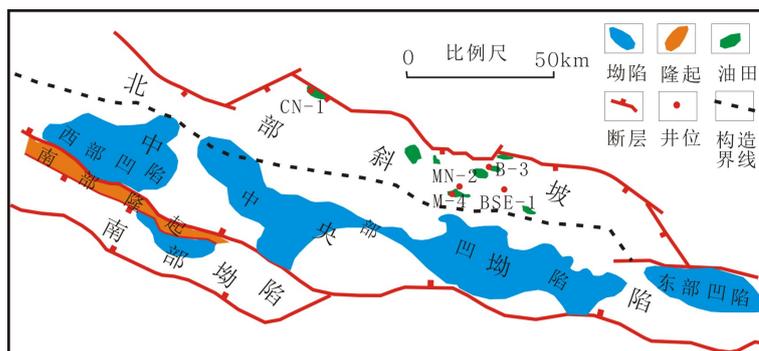


Figure 1. Division of structural zones in Bongor Basin
图 1. 邦戈尔盆地构造带划分

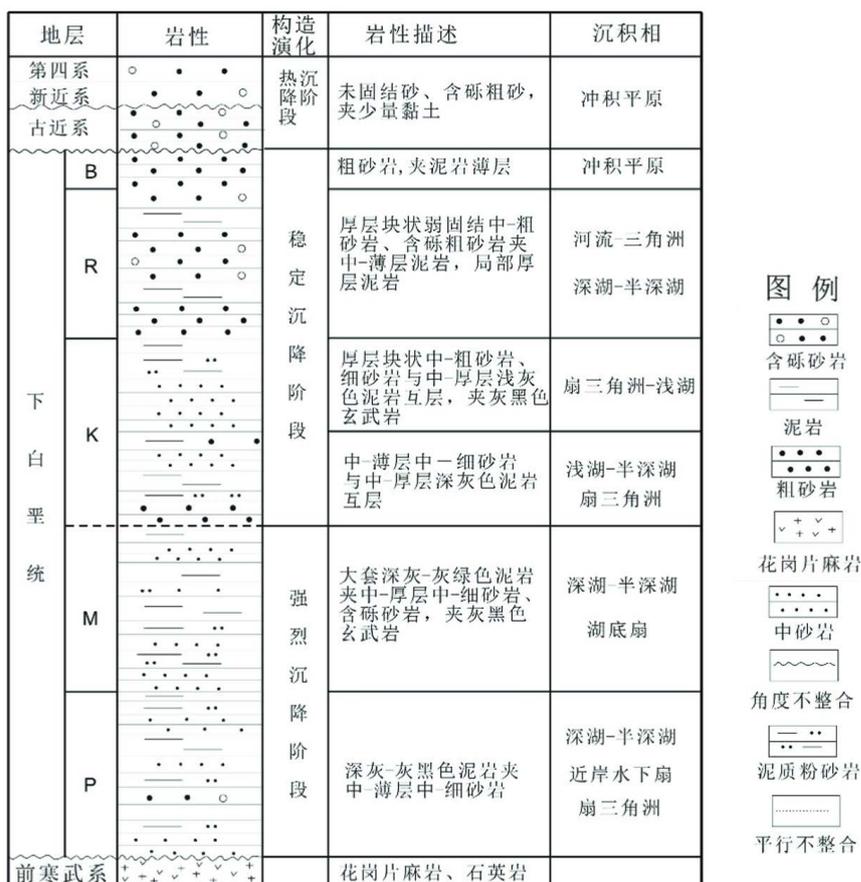


Figure 2. The comprehensive column of Bongor Basin
图 2. 邦戈尔盆地地层综合柱状图

Table 1. The organic matter abundance of lower cretaceous in Bongor Basin
表 1. 邦戈尔盆地白垩统各组烃源岩有机质丰度统计表

层位	w(TOC)/%	w(S ₁ + S ₂)/(mg·g ⁻¹)
B	0.01~11.97/1.63 (199)	0.01~103.1/10.28 (181)
R	0.03~14.74/1.68 (456)	0.05~131.78/9.51 (448)
K	0.14~19.3/1.82 (2152)	0.04~172.36/8.04 (2124)
M	0.26~14.0/1.78 (440)	0.41~121.75/8.45 (440)
P	0.28~16.80/1.98 (556)	0.57~180.9/9.56 (556)

注：数据分别为最低值~最高值/平均值(样品数)；w(S₁ + S₂)为生烃潜量。

3. 油藏地球化学法

在油藏流体地球化学特征研究的基础上，利用生物标志化合物等地球化学指标的特殊分布样式，可以定性地揭示油气成藏的某些特征。对于邦戈尔盆地而言，研究发现与油气成藏有关的地化特征主要表现在以下 2 个方面。

3.1. 原油的二次充注

多旋回构造复杂盆地的油气成藏过程往往比较复杂。早期由于构造抬升被生物降解的油藏，后期由于沉降以及成藏条件的改变，再次充注新的油气，形成二次充注油气藏。该类油气藏一个显著的特征就是出现 25-降藿烷系列与一定丰度的饱和烃系列同时并存[3] [4]。原油降解序列表明，饱和烃系列在降解早期就被微生物优先消耗殆尽，形成明显的“鼓包”；而 25-降藿烷系列一般认为是原油发生深度降解的标志性生物标志物，若两者共存，表明油藏发生了二次充注。

原油的二次充注现象在邦戈尔盆地北部斜坡普遍存在，在北部斜坡几个主要的油田都有发现。如图 3 所示，M-4 井 475.69~479.96 m 处原油饱和烃总离子流图“鼓包”明显，同时“鼓包”上存在明显的饱和烃系列分布(图 3(a))； $m/z = 85$ 质量色谱图表明(图 3(b))，饱和烃系列分布完整，其分布模式与正常原油相似； $m/z = 177$ 质量色谱图上 25-降藿烷分布完整(图 3(c))，表明该原油发生过强烈的生物降解作用[8]。饱和烃系列与 25-降藿烷系列同时并存的现象，表明油藏原油为二次充注的结果。

3.2. 稠油油藏与正常原油油藏的异常分布

邦戈尔盆地个别油藏存在生物降解稠油油藏与正常原油油藏倒置分布的现象。同一口井，深部的为生物降解的稠油油藏，而浅部的却为正常原油油藏，典型的如 BN-8 井油藏。在 BN-8 井深部(1751.8~1765 m 处)原油样品为轻微生物降解的稠油，其原油重度(API)为 19.8，试油为稠油层；而浅部(1388~1407.7 m 处)原油样品为正常原油，其 API 为 29.8，试油为正常油层。若两者为同期充注成藏，在圈闭抬升破坏的过程中，一般情况下，浅部的原油应该优先被生物降解，形成稠油油藏，而事实却并非如此。由此推断，BN-8 井深部和浅部油藏很可能是不同期次充注成藏，上部正常原油为深部生物降解稠油形成后，在后期的沉降过程中，快速充注成藏的。

上述推断同样被原油成熟度参数所证实。研究区烃源岩和油源研究表明，深部的 M 组、P 组烃源岩为邦戈尔盆地北部斜坡带主要的供烃源岩，且原油同位素和生物标志物特征均非常相似，可认为是同源原油(表 2)。BN-8 井浅部(1388~1407.7 m 处)原油样品成熟度较深部(1751.8~1765 m 处)原油样品成熟度高，同样表明两者可能是不同期次充注成藏的。该成熟度倒置的现象，在 CN-1 井原油样品中同样存在。

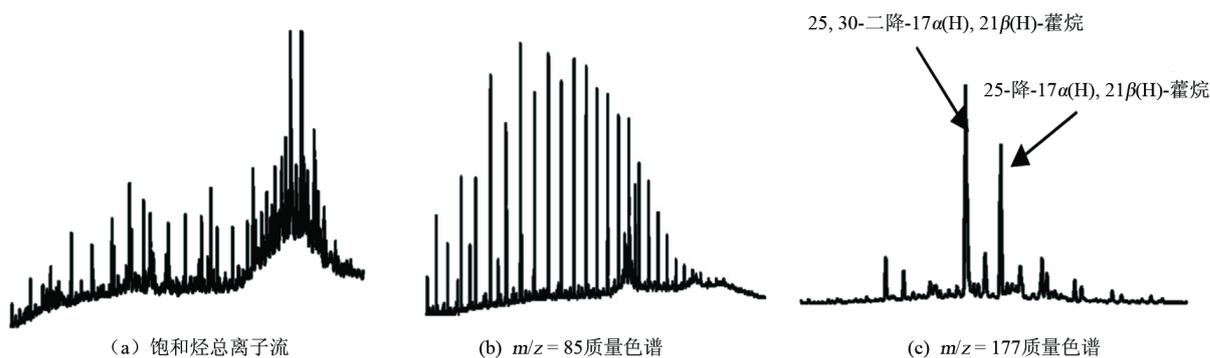


Figure 3. The biomarker composition of crude oil in M-4, 475.69 - 479.96 m

图 3. M-4 井 475.69~479.96 m 处原油生物标志物特征

Table 2. The maturity parameters of crude oil in BN-8, CN-1

表 2. BN-8 井、CN-1 井不同深度原油成熟度参数

井号	深度/m	Ts/Tm	$C_{29}Ts/(C_{29}Ts + 17\alpha C_{29})$	C_{29} 甾烷 20S /20(S + R)	C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$	重排补身烷/补身烷	4,4,8,8,9-五甲基十氢化萘/8 β -补身烷
BN-8	1388~1407.7	0.69	0.23	0.36	0.34	0.96	0.74
	1751.8~1765	0.52	0.21	0.43	0.31	0.57	0.32
CN-1	1738.8~1758	2.45	0.46	0.54	0.41	1.77	1.77
	1894.5~1905	1.21	0.26	0.42	0.41	1.46	1.34

4. 流体包裹体分析法

4.1. 包裹体镜下特征

邦戈尔盆地不同层位储集层薄片包裹体镜下观察整体特征都比较相似，均由烃类包裹体和盐水溶液包裹体组成，其中烃类包裹体体积分数一般超过 50%，最高达到 90%。在石英矿物颗粒中包裹体主要沿次生加大边、缝合线、微裂隙或愈合显微裂隙呈线状、群状分布。包裹体形状一般为米粒状、椭圆形、多边形或不规则状(图 4)，粒径 2~15 μm 。

在烃类包裹体中，以液态烃包裹体和气液态烃包裹体为主，一般占烃类包裹体的 90% 以上，气态烃包裹体较少。气液态烃包裹体中气相体积分数一般占 15%~20%。液态烃包裹体透射光下呈棕色、浅棕色、粉红色，荧光下呈浅黄色、浅黄橙色或浅黄白色；气态烃类包裹体一般透射光下呈黑棕色，荧光下呈棕灰色、灰黄色(图 4)。表明为成熟原油形成包裹体特征[9]。

研究区 4 口井 K 组和 P 组储集层样品中，与烃类包裹体伴生的盐水溶液包裹体特征也整体相似(表 3)。盐水溶液的水型都为 NaCl 型，其初熔温度、冰点温度、盐度等差别不大。

4.2. 成藏期判别

以冷冻 - 回温法测定与烃类包裹体共生的均相捕获的盐水包裹体均一温度，结合沉积埋藏 - 温度史判断油气成藏时间，在构造复杂地区使用具有一定的局限性，特别是经历多次的构造抬升的地区[9]-[11]。该方法确定的油气成藏期往往具有多解性，需结合其他的方法，综合分析其成藏期次。

邦戈尔盆地是一个典型的多期次构造复杂盆地，分别在白垩纪末期和古近纪末期发生 2 次构造反转，分别造成斜坡带近 1500 m 和 1000 m 左右的地层剥蚀，盆地地层埋藏史图(图 5)呈“W”形，以致同一均一温度可能对应多个地史时期。以 BS-1 井 1987 m 处 P 组储集层包裹体测温资料为例，与烃类包裹体伴

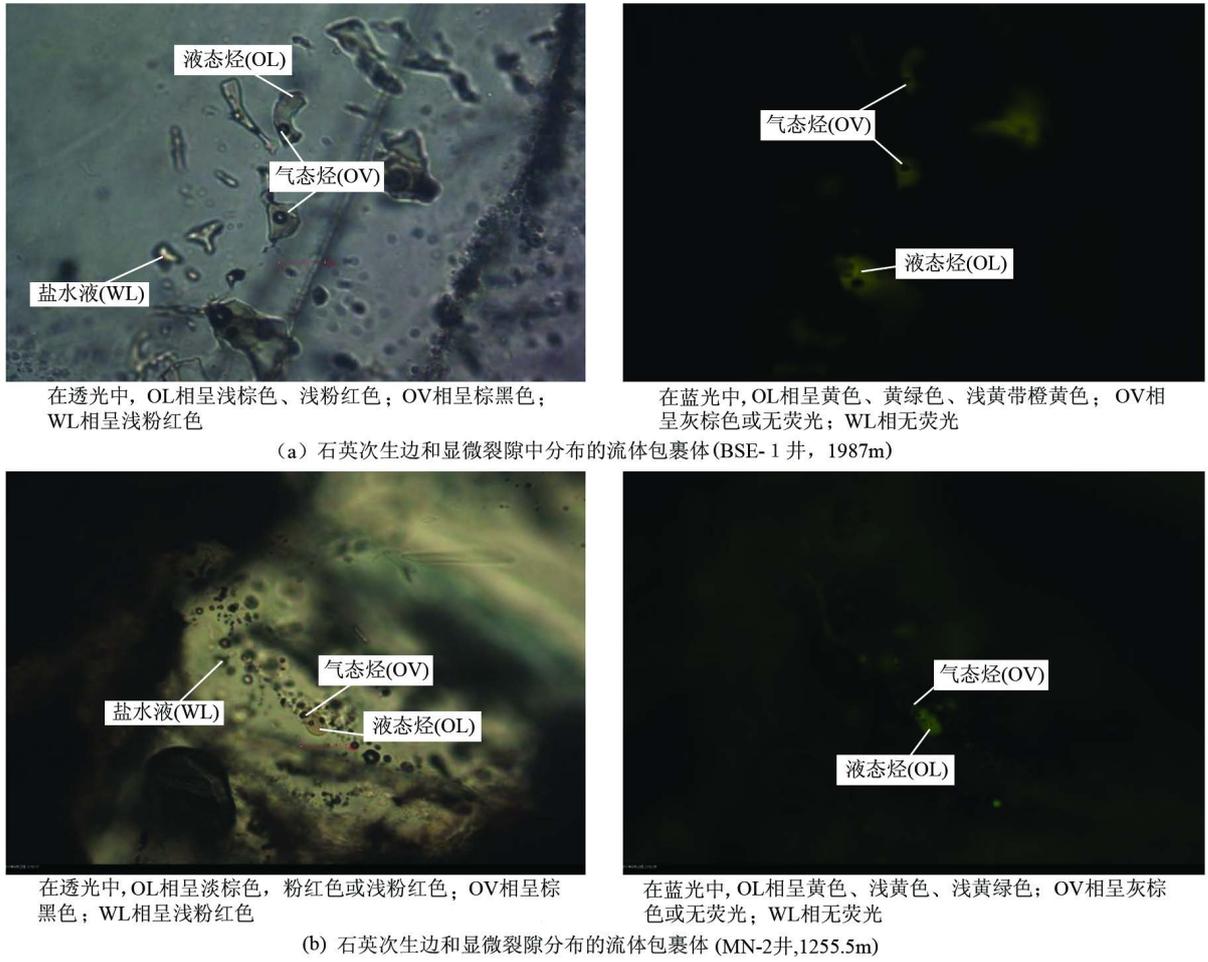


Figure 4. The photo of fluid inclusion in Bongor Basin
图 4. 邦戈尔盆地包裹体样品镜下照片

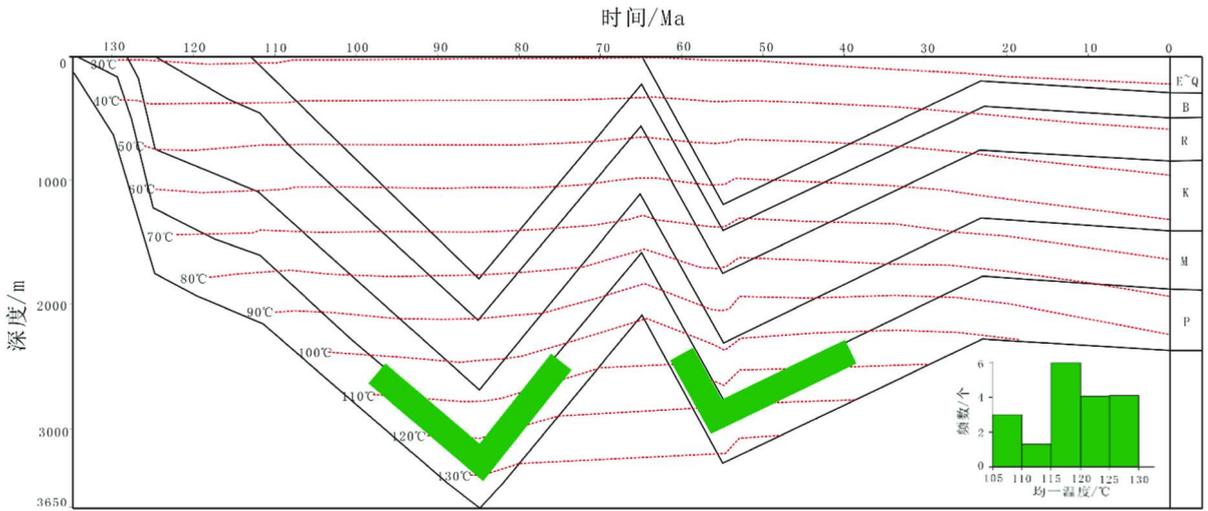


Figure 5. Hydrocarbon accumulation period of drill BSE-1 in 1987 m
图 5. 北部斜坡带 BSE-1 井 1987 m 处油藏成藏期次

Table 3. The characteristic of gas-liquid inclusion
表 3. 与烃类包裹体伴生的气、液两相盐水溶液包裹体特征

井号	深度/m	层位	初熔温度/°C	冰点温度/°C	盐度/%	均一温度/°C	水型
B-3	910	K	-20.5	-0.5~-1.1	0.9~1.9	85~115	NaCl
MN-2	1255.5	K	-20.9	-0.5~-1.0	0.9~1.7	105~120	NaCl
BS-2	1652	P	-20.8	-0.5~-1.2	0.9~2.0	85~105	NaCl
BSE-1	1987	P	-20.9	-0.1~-0.5	0.2~0.9	105~130	NaCl

生的盐水溶液包裹体均一温度分布范围为 105°C~130°C，主峰在 116°C~120°C 之间。根据埋藏史 - 地温史与均一温度结合(图 5)，标定的成藏时间存在 2 个区间，分别为距今 98~75 Ma 和 60~40 Ma，仅用该方法无法准确判定成藏时期，需要结合其他方法综合分析。

5. 成藏期与成藏时间综合分析

邦戈尔盆地在白垩纪早中期的强烈断陷期和继承性断陷期，滚动背斜和断块圈闭发育；盆地坳陷区 M 组和 P 组烃源岩在晚白垩世早期已进入生烃高峰期，油源充足；河流 - 三角洲 - 湖泊沉积体系，整体为砂泥岩互层，排烃及封盖条件好；B 组~P 组均有好储集层发育，整体属于中孔 - 中渗、高孔 - 高渗储层[1]，储层物性好；该时期，整体张性应力环境，盆地正断层发育，运聚条件优越。因此认为，晚白垩世早期(约距今 $100 \times 10^6 \sim 85 \times 10^6$ a)是邦戈尔盆地一个主要的成藏期。

晚白垩世的“桑顿阶挤压事件”(距今 $85 \times 10^6 \sim 80 \times 10^6$ a)引起区域性的强烈构造反转，使得前期形成的油气圈闭大量破坏，油气逸散或被生物降解。但该时期形成大量的断背斜、断鼻和断块圈闭，可为油气的二次成藏提供有利聚集场所。古近纪晚期开始的($55 \times 10^6 \sim 23 \times 10^6$ a)第 2 次构造反转运动，相对强度较弱，部分油气藏可能再次被破坏和重新分布。总体而言，2 期构造反转运动对研究区早期形成的油气成藏起到很大的破坏作用，从盆地斜坡中浅层(B 组和 R 组)广泛分布的生物降解稠油油藏可以得到证实。但现阶段勘探发现的油气藏往往与上述 2 期的构造运动形成的圈闭有关，构造反转期形成的圈闭是油气重新调整成藏的重要场所，说明 2 期构造运动是油气成藏的重要调整期，其对现阶段油气勘探有重要意义。

由此可见，邦戈尔盆地油气成藏过程复杂，成藏期次较多。大量油气藏在晚白垩世早期形成后，由于 2 次构造反转运动的影响，导致前期形成的油气藏大量破坏，部分油气重新调整到新形成的圈闭中成藏，因此 2 期构造运动期为油气成藏重要的调整期。

6. 结论

- 1) 油藏地球化学法研究表明，部分油藏原油样品存在正构烷烃系列与 25-降藿烷系列并存的现象，表明油藏存在二次充注现象；在 BN-8 井油藏样品中发现原油存在降解原油与正常原油的倒置分布现象，同时原油成熟度的倒置分布进一步说明了该井油藏可能为多期次成藏。
- 2) 储层包裹体样品镜下观察表明，不同油藏储层包裹体特征相似，表明包裹体中烃类成熟及组成的相似性。包裹体均一化温度与埋藏史图结合判断成藏期，存在多解性。
- 3) 生烃史法及圈闭形成法综合分析表明，由于主要烃源岩不存在二次生烃可能，晚白垩世早期是研究区一个主要的成藏期。晚白垩世晚期和古近纪晚期的 2 次构造运动，对前期形成的油气藏产生破坏，重新调整油气的分布，是研究区油气成藏的重要调整期。

参考文献 (References)

- [1] 竇立荣, 肖坤叶, 胡勇, 等. 乍得 Bongor 盆地石油地质特征及成藏模式[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 379-385.
- [2] 陈忠民, 刘洛夫, 卞德智, 等. 乍得南部 B 盆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.
- [3] 候读杰, 冯子辉. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.
- [4] 卢双舫, 张敏. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [5] 宋换新, 文志刚. X 盆地斜坡带 B 构造和 M 构造原油地球化学特征及其地质意义[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2011, 33(12): 34-40.
- [6] 宋换新, 文志刚, 曾艳涛. 邦戈尔盆地中部凹陷烃源岩地球化学特征[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(5): 629-632.
- [7] 曾艳涛, 文志刚, 宋换新. 乍得 Bongor 盆地西部凹陷 K 组烃源岩地球化学特征研究[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(6): 1121-1126.
- [8] Peters, K.E. and Moldowan, J.M. (1993) The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Prentice Hall, New Jersey.
- [9] 陶士振. 包裹体应用于油气地质研究的前提条件和关键问题[J]. 地质科学, 2004, 39(1): 77-91.
- [10] 刘德良, 陶士振, 张宝民. 包裹体在确定成藏年代中的应用及应注意的问题[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(1): 16-19.
- [11] 陶士振. 自生矿物次序是确定包裹体期次的根本依据[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(2): 154-160.