

文章编号:0253-9985(2012)03-0417-07

贵州麻江古油藏成藏期次

高波,沃玉进,周雁,彭勇民,刘全有,李双建

(中国石化石油勘探开发研究院,北京100083)

摘要:麻江古油藏是中国南方最大的海相古油藏之一,但目前关于其成藏的时间尚没有统一的认识。在本次研究中,详细分析了储层沥青的地球化学特征及其成因,以此为基础,对麻江古油藏的成藏期次进行了探讨。研究表明,储层沥青的饱和烃色谱图正构烷烃分布完整,但基线明显上凸且存在25-降藿烷,这揭示出麻江古油藏至少存在两期原油充注;奥陶系-泥盆系储层沥青来自相同的烃源岩,表明该区最大规模的原油充注发生在泥盆系沉积之后。应用储层流体包裹体测温与自生伊利石钾氩法定年,结合烃源岩的热演化史进行了成藏期次研究。结果表明,麻江古油藏经历了加里东晚期的小规模成藏及破坏、海西期大规模油气成藏、印支期油气转化及燕山期大规模破坏的演化过程,其中海西期是其主要成藏期。

关键词:储层沥青;地球化学;成藏期次;麻江古油藏;贵州;中国南方

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Hydrocarbon accumulation phases of Majiang paleo-oil reservoir in Guizhou

Gao Bo, Wo Yujin, Zhou Yan, Peng Yongmin, Liu Quanyou and Li Shuangjian

(SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Majiang paleo-oil reservoir is one of the largest marine paleo-oil reservoirs in South China. There is debate about its forming time. This paper investigates the hydrocarbon accumulation period by analyzing the geochemical characteristics and genesis of reservoir-bitumen. The study shows that the distribution of n-alkanes of saturated hydrocarbon chromatogram from the reservoir-bitumen is complete, but the base line is up convex, and 25-norhopane exists. It indicates that crude oil charging occurred at least in two stages in this paleo-oil reservoir. The reservoir-bitumen in Ordovician and Devonian originated from the same source rocks, indicating that the massive crude oil charging occurred after deposition of the Devonian. Reservoir-fluid inclusion thermometry and K-Ar dating of autogenous illite, in combination with thermal history of source rocks, were used to investigate the hydrocarbon accumulation phases. The results shows that Majiang paleo-oil reservoir experienced small-scale hydrocarbon accumulation and damage during the Late Caledonian time, large-scale hydrocarbon accumulation during the Hercynian time, oil-gas conversion in the IndoChinese time, and large scale damage during the Yanshan time, and the Hercynian time is suggested as the main accumulation stage of Majiang paleo-oil reservoir.

Key words: reservoir-bitumen, geochemistry, hydrocarbon accumulation phase, Majiang paleo-oil reservoir, Guizhou, South China

麻江古油藏位于江南-雪峰隆起西北缘黔南坳陷,行政区划上隶属贵州省黔南布依族苗族自治州(都匀)和黔东南苗族侗族自治州(凯里)管辖。该古油藏位于加里东晚期形成的近南北向展

布的独山鼻状凸起之上,为一岩性-构造复合型古油藏,其储层为志留系翁项群第三段($S_{1-2}wn^3$)砂岩和奥陶系红花园组(O_1h)碳酸盐岩。初步估算古油藏面积约2 450 km²,现残存面积800 km²,原

收稿日期:2011-12-10;修订日期:2012-04-30。

第一作者简介:高波(1969—),男,高级工程师,油气地质与地球化学。

基金项目:石油化工联合基金项目(40739904);中国石化科技部项目(YPH08073)。

表1 麻江古油藏储层沥青反射率特征

Table 1 Reflectivity-characteristics of reservoir-bitumen from Majiang paleo-oil reservoir

样品号	岩性	剖面位置	层位	$R_b/\%$	$R_o/\%$
QJ-005	沥青	南皋清江	O_1t	1.86	1.63
QJ-011	沥青灰岩	南皋清江	P_2	2.36/1.15	1.97/1.14
BG-005	沥青	坝固坡脚寨	O_1h	2.95	2.38
BG-011	沥青砂岩	坝固坡脚寨	$S_{1-2}un$	2.26	1.90
BG-017	沥青砂岩	坝固坡脚寨	D_2d	1.35	1.27
BG-018	沥青	坝固坡脚寨	D_2d	1.34	1.27
LB-006	沥青	洛邦火把寨	O_1t	3.16	2.52
LB-016	沥青白云岩	洛邦火把寨	O_1h	2.70	2.20
LB-021	沥青粉砂岩	洛邦火把寨	$S_{1-2}un$	2.90	2.34
LB-024	沥青砂岩	洛邦火把寨	D_2b	2.50	2.07
LYQ-001	沥青灰岩	都匀绿荫桥	O_1h	1.91	1.66
LYQ-005	沥青砂岩	都匀绿荫桥	$S_{1-2}un$	2.65	2.17
MJ-002	沥青	麻江城南	P_2	2.04/1.13	1.75/1.12
MJ-002	沥青	麻江城南	O_1h	2.19	1.85

注: $R_o = 0.688R_b + 0.346^{[5]}$, O_1t . 桐梓组; D_2d . 独山组; D_2b . 上邦寨组。 O_1h . 红花园组; S_{1-2} 翁项群。

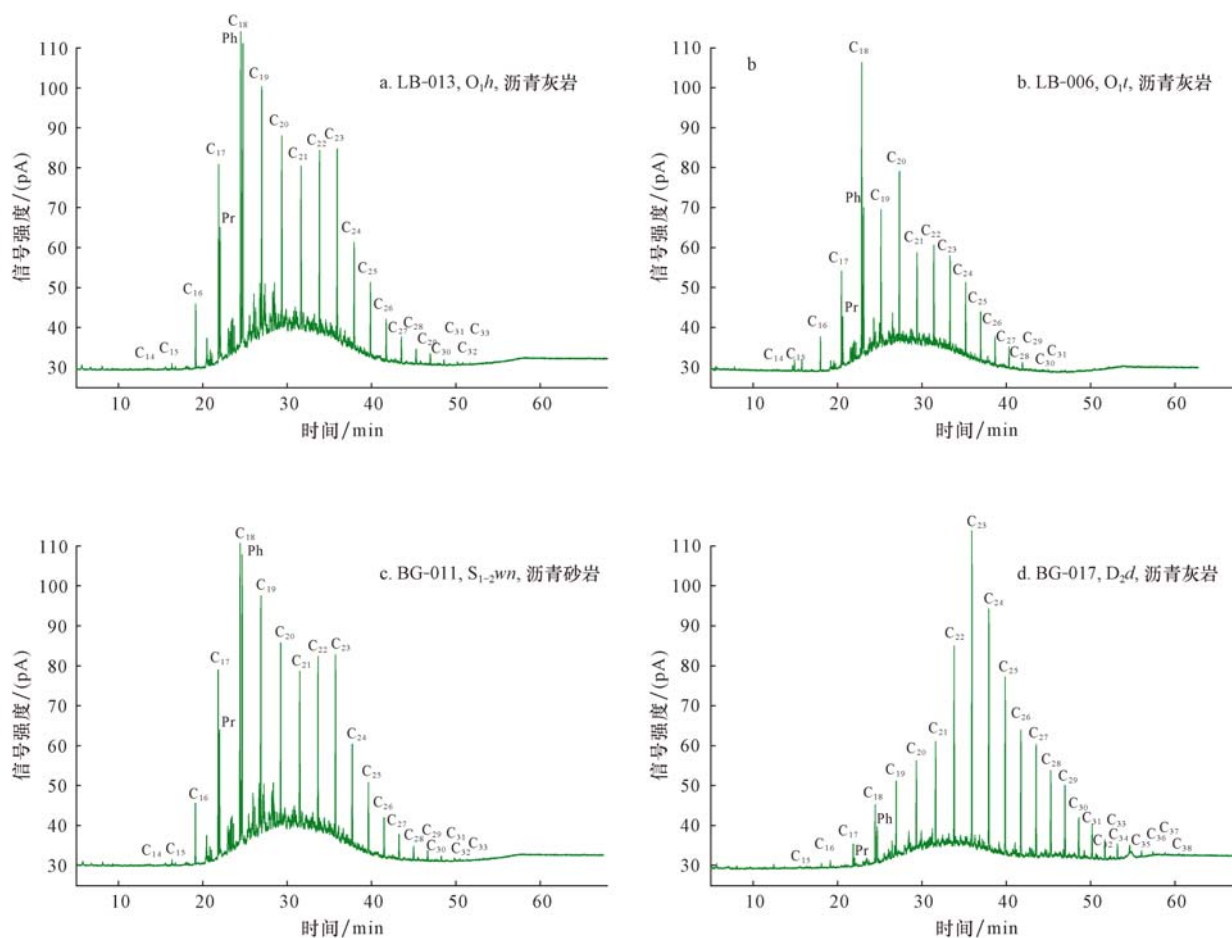


图2 麻江古油藏储层沥青饱和烃色谱

Fig. 2 Gas chromatogram of saturated hydrocarbon in bitumen from Majiang paleo-oil reservoir

数的增大而减小,类异戊二烯含量较为丰富,且植烷占优势;一种是以 C_{23} 为主峰碳的后峰型, C_{16} 以前的低碳数烷烃含量很低,损失严重,异构烷烃含量相对较低,且具有植物优势;另外一种表现为以 C_{18} 和 C_{23} (C_{25}) 为主峰的双峰型,异构烷烃含量很高,也具有明显的植烷优势。麻江古油藏储层沥青饱和烃的多种分布特征,一方面可能与成熟度或保存条件差异有关,另一方面也反映了该区存在多次充注成藏过程,且没有充分混合均匀。除麻江城南奥陶系沥青表现为姥鲛烷优势 (Pr/Ph 达 1.28) 外,其它沥青均具有较明显的植烷优势, Pr/Ph 介于 0.21 ~ 0.98, 平均为 0.50, 揭示其生烃母质形成于偏还原的沉积环境。各储层沥青饱和烃色谱图正构烷烃分布完整,但基线存在明显“鼓包”且存在 25-降藿烷,反映储层沥青为早期充注的原油遭受强烈生物降解后再次发生原油充注,然后再经历了热演化作用的产物,为先氧化后热演化型沥青。

关于麻江古油藏的油源,前人已进行过相关研究^{①[5]}。此次研究中,在都匀坝固泥盆系独山组珊瑚礁灰岩和都匀洛邦剖面中泥盆统上邦寨组砂岩中均见到沥青分布,洛邦剖面上邦寨组砂岩与翁项群沥青砂岩呈平行不整合接触,而对各层系

储层沥青及烃源岩进行的饱和烃色质、芳烃色质及族组分碳同位素等相关分析表明,奥陶系、志留系和泥盆系储层沥青的生物标志化合物特征及碳同位素特征较为相似,且与下寒武统烃源岩具有较好的相关性,这一方面说明储层沥青主要源自下寒武统烃源岩(图3,图4),同时也表明麻江古油藏主要成藏期应在泥盆系沉积以后。上二叠统储层沥青、油苗与下二叠统在生物标志物特征上具有较好的相似性,而与奥陶系和志留系沥青表现出一定的差异性,这与张渠等^[6]研究成果相一致。

2 成藏期次

2.1 烃源岩热演化史

麻江地区现今寒武统烃源岩沥青反射率 (R_b) 普遍都在 2.8% (相应 $R_o = 2.3\%$) 以上,属于过成熟阶段。下奥陶统和中、下志留统储层沥青反射率 (R_b) 多在 2.5% 左右 (相应 $R_o = 2.1\%$), 已经进入焦沥青阶段。对烃源岩的成烃演化史分析表明,麻江地区下寒武统烃源岩 (C_1) 开始生油时期为寒武纪末至早奥陶世,但在都匀运动造成的构造抬升背景之下,使得中、上奥陶统及下志留统

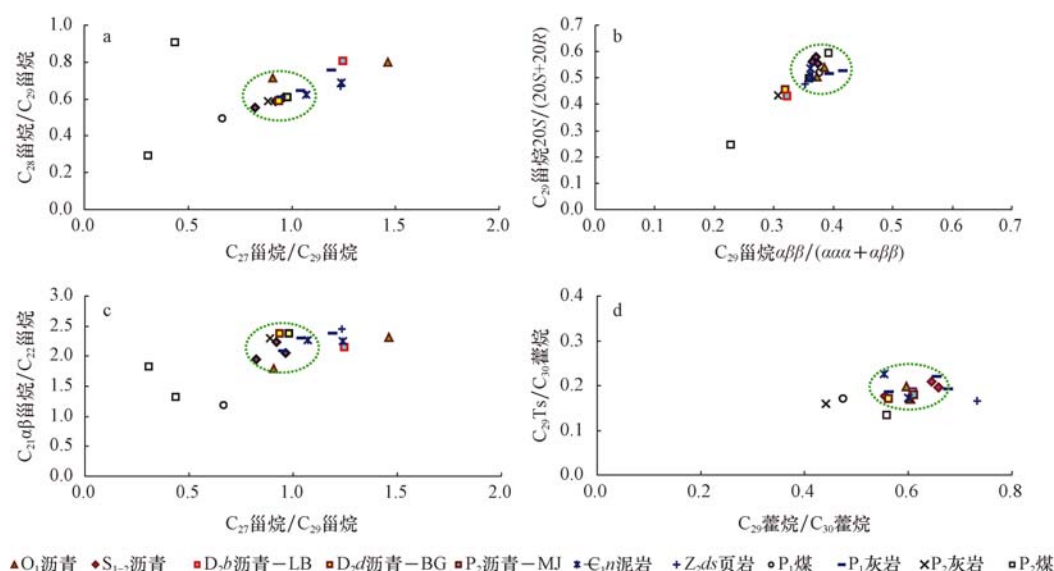


图3 麻江古油藏储层沥青及烃源岩生物标志物参数关系

Fig. 3 Relationship between biomarkers of bitumen and source rocks

from Majiang paleo-oil reservoir

① 马永生,郭彤楼,周明辉,等. 中国南方典型油气藏解剖研究. 中石化股份有限公司南方勘探开发分公司,2006.

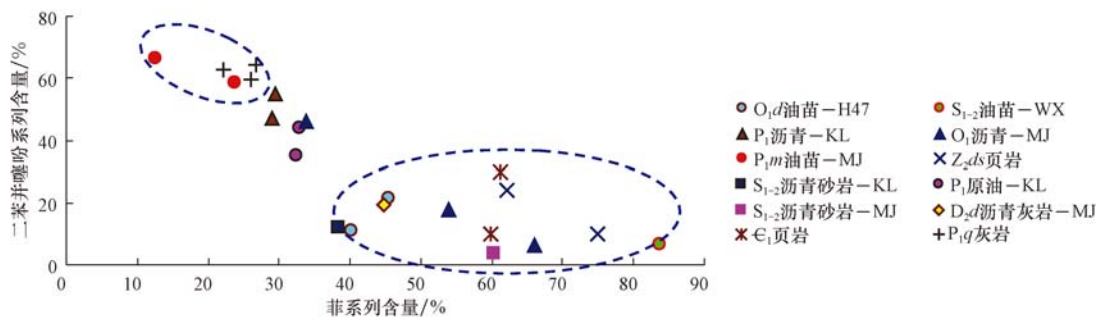


图4 麻江古油藏储层沥青及烃源岩菲系列与二苯并噻吩系列关系

Fig. 4 Relationship between phenanthrene and dibenzothiophene series of bitumen and source rocks from Majiang paleo-oil reservoir

被剥蚀,生成的烃类遭受损失;早志留世后期-中志留世翁项群的沉积,使烃源岩热演化程度加深并进入成熟阶段,但志留纪末期广西运动的抬升作用使生烃过程中止。早泥盆世以来的持续沉积使得烃源岩热演化程度增大,再次开始了漫长的持续生烃过程。因此,下寒武统烃源岩主要生油高峰期早泥盆世至早二叠世,二叠纪末期开始进入湿气-凝析油阶段,早三叠世进入过成熟干气阶段(图5)。

2.2 流体包裹体特征

盐水包裹体的均一化温度是包裹体技术确定成藏期或其它成岩事件发生时间的主要依据。从包裹体均一化温度得出的古温度,结合地热史及埋藏史模拟结果,可以估算出某一成岩事件或油气成藏的大致时间。对麻江坝固坡脚寨剖面、洛邦火把寨剖面及绿荫桥剖面下奥陶统包裹体进行测试分析,研究表明与沥青包裹体相伴生的盐水

包裹体均一化温度可以分为明显的两期(表2),第一期均一化温度峰值在105~115℃,第二期均一化温度在129~133.4℃。结合麻江地区热史分析(图5),第一期代表了石炭纪-早二叠世下寒武统烃源岩进入生油高峰时期的原油充注;第二期均一化温度代表了下寒武统烃源岩在二叠纪末期进入高成熟阶段生成的湿气和凝析油的充注。由于目前麻江古油藏主要储层奥陶系-志留系沥青热演化程度很高,普遍达到过成熟阶段,反映该区还应存在晚期下寒武统烃源岩干酪根裂解气及古油藏高温裂解气的充注。

2.3 自生伊利石 K-Ar 定年

自生伊利石定年是近年来随着实验室分析测试技术不断进步而发展起来的一种新的油气成藏期定量分析新技术。其基本原理是当烃类充填到储集层时,随着含油饱和度的增高,储集层中的自生矿物形成作用中止,砂岩储集层的自生伊利石

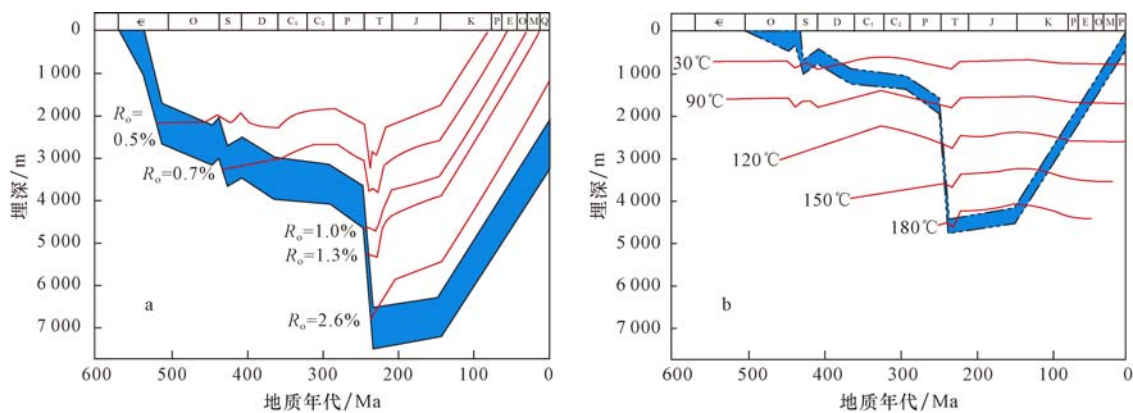
图5 麻江古油藏烃源岩热演化史与储层埋藏史^①

Fig. 5 Thermal evolution history of source rocks and burial history of reservoir of Majiang paleo-oil reservoir

① 付孝悦,梁狄刚,陈建平,等. 南方复杂构造区有效烃源岩综合评价研究. 中国石油化工股份有限公司勘探南方分公司,2007.

表2 麻江古油藏沥青包裹体伴生盐包裹体均一温度
Table 2 Homogenization temperatures of brine inclusions associated with bitumen inclusions in Majiang paleo-oil reservoir

样品号	剖面位置	岩性	地层	均一温度*/℃
BG-006	坝固	含沥青方解石脉	O ₁ h	128.4~136.5(132.7)
BG-007	坝固	含沥青白云石	O ₁ h	102.3~124.3(114.6)
LB-009	洛邦	含沥青白云石脉	O ₁ t	122.5~135.7(129.0)
LB-012	洛邦	含沥青白云石	O ₁ h	128.9~137.1(133.4)
LYQ	绿荫桥	含沥青方解石脉	O ₁ h	103.4~106.6(105.0)

* 括号内为平均值。

是在烃类充填储集层之前最晚形成的,并且仅在富钾的水介质环境中形成,油气进入储层后伊利石的形成过程停止^[7]。因此,伊利石同位素年龄给出了油气藏形成期的最大地质年龄,一般来说油气成藏时间略滞后于伊利石同位素年龄或基本同步^[8-12]。对于多期成藏过程,储层伊利石同位素年龄仅限定了早期成藏事件最大地质年龄,即成藏期晚于这一地质年龄段^[9]。自生伊利石形成经历了较长的地质时间,一般来说早期形成的伊利石粒径较大,晚期形成的粒径小,多呈丝发状。这使得储层自生伊利石K-Ar年龄与样品粒径大体存在着正相关关系。一般来说,对于解释油气藏形成期比较有意义的是最小粒径(<0.1 μm)伊利石同位素年龄,它反映的是最晚形成伊利石的地质时间。此次研究中,在坝固坡脚寨和洛邦火把寨剖面分别采集了志留系翁项群沥青砂岩样品进行了储层自生伊利石定年分析。结果显示,坝固坡脚寨翁项群沥青砂岩自生伊利石形成年龄为258.20±2.44 Ma,洛邦火把寨翁项群沥青砂岩自生伊利石形成年龄为315.79±2.91 Ma,表明麻江古油藏大规模成藏是在晚石炭世一早二叠世,这与下寒武统烃源岩在该期处于生油高峰相一致,也与流体包裹体结果显示的第一期油气充注时期一致。

纵上所述,麻江古油藏经历了加里东晚期的成藏及破坏,海西期大规模油气成藏、印支期油气转化及燕山期遭受大规模破坏的演化过程。早中志留世翁项群的沉积,使得下寒武统烃源岩进入成熟阶段开始大量生烃,并向下奥陶统和志留系储层中发生充注,但广西运动的抬升剥蚀,使早期聚集的油藏遭受破坏。早泥盆世以来的持续沉积使得烃源岩热演化程度进一步加深,但由于地层埋深速率较小,烃源岩热演化进程较为缓慢;石炭纪一早二叠世,下寒武统烃源岩才进入生油高峰,

致使原油大规模运移及聚集,并形成了麻江古油藏;晚二叠世以来的快速沉降,使得下寒武统烃源岩在早三叠世进入高成熟阶段,生成的凝析油及湿气再次向上运移,并向上部奥陶系-泥盆系储层发生充注;中、上三叠统的持续沉积使得下寒武统烃源岩热演化程度进一步增大,持续的高温也使得早期形成的古油藏及分散可溶有机质发生了裂解而向天然气藏转化,储层中的沥青状稠油向高演化的焦沥青转变。印支晚期一早燕山期,麻江地区遭受了小幅度的构造抬升,但对古油气藏的影响不大;晚侏罗世一早白垩世之间的燕山运动,造成麻江地区强烈的区域褶皱和隆升,致使麻江油气藏遭受彻底破坏与改造,形成了现今的古油藏面貌。

3 结论

1) 麻江古油藏储层沥青的饱和烃色谱图显示,正构烷烃分布完整但基线存在明显“鼓包”,加之存在25-降藿烷,表明储层沥青为原油遭受生物降解后再次充注并遭受热演化的产物。

2) 麻江古油藏奥陶系-泥盆系储层沥青同源,主要源自下寒武统泥质烃源岩,原油大规模充注是在泥盆系沉积之后。

3) 综合分析表明,麻江古油藏经历了加里东晚期的成藏及破坏,海西期大规模油气成藏、印支期油气转化及燕山期遭受大规模破坏的演化过程,主要成藏期为海西晚期。

参 考 文 献

- [1] 韩世庆,王守德,胡惟元. 黔东麻江古油藏的发现及其地质意义[J]. 石油与天然气地质,1982,3(4):316-326.
Han Shiqing, Wang Shoude, Hu Weiyan. Discovery of Majiang paleo-reservoir in Eastern Guizhou and its geological significance[J]. Oil & Gas Geology, 1982, 3(4): 316-326.
- [2] 马力,陈焕疆,甘克文,等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京:地质出版社,2004.
Ma Li, Chen Huanjiang, Gan Kewen, et al. Geotectonics and petroleum geology of marine sedimentary rocks in Southern China[M]. Beijing: Geology Publishing House, 2004.
- [3] 向才富,汤良杰,李儒峰,等. 叠合盆地幕式流体活动:麻江古油藏露头与流体包裹体证据[J]. 中国科学(D辑), 2008, 38(增刊I): 70-77.
Xiang Caifu, Tang Liangjie, Li Rufeng, et al. The episodic activity of fluids in superimposed basin: Fluid inclusion evidence from Majiang Paleo-reservoir outcrop[J]. Science in China(D) 2008, 38(Supl.): 70-77.

- [4] 陈玲, 马昌前, 凌文黎, 等. 中国南方存在印支期的油气藏—Re-Os 同位素体系的制约[J]. 地质科技情报, 2010, 29(2): 95–99.
Chen Ling, Ma Changqian, Lin Wenli, et al. Indosinian hydrocarbon accumulation in South China: A Re-Os isotope constrain [J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(2): 95–99.
- [5] 刘德汉, 史继扬. 高演化碳酸盐烃源岩非常规评价方法探讨[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(3): 113–115.
Liu Dehan, Shi Jiyang. Unconventional evaluation method of carbonate source rocks with high maturity [J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(3): 113–115.
- [6] 张渠, 腾格尔, 张志荣, 等. 凯里—麻江地区油苗与固体沥青的油源分析[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1118–1124.
Zhang Qu, Teng Ge'er, Zhang Zhirong, et al. Oil source of oil seepage and solid bitumen in the Kaili-Majiang area [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(8): 1118–1124.
- [7] Hogg A J C, Hamilton P J, Macintyre R M. Mapping diagenetic fluid flow within a reservoir: K-Ar dating in the Alwyn area (U K North Sea) [J]. Marine and Petroleum Geology, 1993, 10: 279–294.
- [8] 王飞宇, 何萍, 张水昌, 等. 利用自生伊利石 K-Ar 定年分析烃类进入储集层的时间[J]. 地质论评, 1997, 43(5): 540–546.
Wang Feiyu, He Ping, Zhang Shuichang, et al. Constraining the time of hydrocarbon emplacement into reservoir using authigenic illite dating [J]. Geological Review, 1997, 43(5): 540–547.
- [9] 王飞宇, 金之钧, 吕修祥, 等. 含油气盆地成藏期分析理论和新方法[J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 403–407.
Wang Feiyu, Jin Zhijun, Lu Xiuxian, et al. Timing of petroleum accumulation: theory and new methods [J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(5): 403–407.
- [10] 张有瑜, 罗修泉. 油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素年代学研究现状与展望[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 231–236.
Zhang Youyu, Luo Xiuquan. K-Ar isotopic chronological study of authigenic illite in reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 231–236.
- [11] 林景晔, 杨庆杰, 尹大庆, 等. 对成藏期定量分析中自生矿物定年的探讨[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(6): 14–16.
Lin Jingye, Yang Qingjie, Yin Daqing, et al. Dating of authigenic mineral in quantitative analysis on reservoir formation time [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(6): 14–16.
- [12] 陈红汉. 油气成藏年代学研究进展[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 143–150.
Chen Honghan. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 143–150.

(编辑 董立)

(上接第416页)

- Fu Xiaofei, Hu Chunming, Li Jingwei. Evolution of buried hill and oil-gas bearing property in Budate Group of Beier Depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(3): 356–362.
- [19] 陈守田, 刘招君, 崔凤林, 等. 海拉尔盆地含油气系统[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2002, 32(2): 151–154.
Chen Shoutian, Liu Zhaojun, Cui Fenglin, et al. Oil-gas bearing system of Hailaer Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2002, 32(2): 151–154.
- [20] 刘志宏, 万传彪, 任延广, 等. 海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷的地质特征及油气成藏规律[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(4): 527–534.
Liu Zhihong, Wan Chuanbiao, Ren Yanguang, et al. Geological features and the rule of oil and gas accumulation of Urxun-Beier Depression in Hailaer Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(4): 527–534.
- [21] 付广, 康德江. 贝尔凹陷布达特群潜山油气成藏模式及有利区预测[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 34(2): 165–169.
Fu Guang, Kang Dejiang. Hydrocarbon accumulating model and forecasting of favorable prospecting areas in buried hill of Budate Group, Beier Sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(2): 165–169.
- [22] 付广, 玄昌姬. 潜山油藏分布规律及其主控因素——以海拉尔盆地贝尔凹陷布达特群为例[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(6): 6–9.
Fu Guang, Xuan Changji. Distribution and main control factors of buried hill reservoirs—taking Budate group of Beier Depression as an example [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(6): 6–9.
- [23] 康德江, 庞雄奇, 张云峰. 贝尔凹陷苏德尔特潜山储集性能及其主控因素[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(2): 188–194.
Kang Dejiang, Pang Xiongqi, Zhang Yunfeng. Reservoir properties of Suderte buried hill and main controlling factors, Beir Sag, NE China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 188–194.
- [24] 魏建设, 庞雄奇, 卢进才, 等. 乌尔逊—贝尔凹陷油气分布规律及其主控因素[J]. 天然气工业, 2008, 28(9): 24–27, 132.
Wei Jianshe, Pang Xiongqi, Lu Jincai, et al. Distribution patterns of oil and gas and their major controlling factors in Wuerxun and Beier Sags [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(9): 24–27, 132.
- [25] 张吉光, 彭苏萍, 张宝玺, 等. 乌尔逊—贝尔凹陷油气藏类型与勘探方法探讨[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(3): 48–50.
Zhang Jiguang, Peng Suping, Zhang Baoxi, et al. The oil/gas reservoir types in Wuerxun-Beier faulted-down depression and their exploration methods [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(3): 48–50.

(编辑 董立)