

长岭断陷深层储层包裹体特征与油气成藏过程

金晓辉¹, 闫相宾¹, 孙冬胜¹, 李丽娜², 陈霞¹, 孙宜朴¹, 李淑筠¹

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油化工股份有限公司, 北京 100728)

摘要:成藏过程精细解剖是油气富集规律和选区评价研究的基础。通过流体包裹体的显微赋存状态描述、均一温度测定,指出烃类包裹体主要赋存在石英次生加大边和切穿加大边的微裂隙以及方解石胶结物中,均一化温度主频在130~150℃。成岩史与埋藏史分析表明随着烃源岩成熟度的增加,后期生成的高成熟度天然气向上运移,首先将低部位圈闭中的原油驱替到构造高部位的圈闭,形成现今SN189井和SN183井中的油藏,邻近生烃中心的SN115井储层中残余沥青正是这期原油裂解的产物。后期形成的天然气沿断层向上运移聚集,形成SN182井的天然气藏,该井的流体包裹体以天然气为主。因此,沿断层向上倾方向,液烃包体含量越来越少,天然气包裹体含量增多,现今构造高部位为油藏,低部位为气藏,油、气同源。长岭断陷的坳陷区和斜坡区的古构造、砂岩上倾尖灭和砂岩透镜体油气藏是天然气勘探的主要方向。

关键词:流体包裹体;油气成藏过程;深层储层;长岭断陷;松辽盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Fluid inclusion characteristics and hydrocarbon accumulation process of deep reservoirs in Changling rift, Songliao Basin

Jin Xiaohui¹, Yan Xiangbin¹, Sun Dongsheng¹, Li Lina², Chen Xia¹, Sun Yipu¹, Li Shujun¹

(1. Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;

2. China Petroleum & Chemical Corporation, Beijing 100728, China)

Abstract: Research on hydrocarbon accumulation process is the basis for studying hydrocarbon enrichment patterns and identifying favorable areas for petroleum exploration. Based on the microscopic description of fluid inclusion and analysis of homogenization temperature, hydrocarbon inclusions mainly occur in the secondary quartz overgrowth, microfractures crossing these overgrowth and calcite cement. The dominant frequency of homogeneous temperature was 130–150℃. The diagenetic history and burial history show that high maturity natural gas migrated upward with maturing of hydrocarbon source rock and displaced the oil accumulated in the lower traps into the higher traps, resulting in the formation of Well SN189 and Well SN183 accumulations. Residual asphalt in the Yingcheng Formation in Well SN115, which is near the hydrocarbon generation center, was the product of crude oil pyrolysis in this period. Natural gas generated during later period migrated upward along the fault and formed Well SN182 natural gas pool where the inclusions are mainly of natural gas. As a result, along the fault up-dip direction, the number of liquid hydrocarbon inclusions gradually decreases, while the number of natural gas inclusions gradually increases. Oil accumulated in the higher position, and gas accumulated in the lower parts. The oil and gas share the same hydrocarbon source. Up-dip pinchout sandstone and sandstone lens in the depression and slope area of Changling rift are the main targets for natural gas exploration.

Key words: fluid inclusion, hydrocarbon accumulation process, deep reservoir, Changling rift, Songliao Basin

成藏过程研究对预测一个含油气盆地的新含油气层和发现新勘探的方向具有重要的科学意义和实用价值^[1-3]。长岭断陷位于松辽盆地中央坳陷南端,经历多期次构造改造,发育断陷层和坳陷层两大层系。断陷层包括白垩系泉头组二段以下的登娄库组(K_1d)、营城组(K_1yc)、沙河子组(K_1sh)以及侏罗系的火石岭

组(J_3h)。自早期SN189井在营城组发现工业油气流^[4-7]以来,目前,长岭断陷深层已发现长岭油气田、双坨子油气田和松南气田3个油气田和达尔罕、达北、东英台、查干花和龙凤山5个含气构造。长岭断陷油气地质资源量为 $6\,070\times 10^8\text{ m}^3$,已探明天然气地质储量 $433.6\times 10^8\text{ m}^3$ 。本文在长岭断陷20块储层样品流体包

裹体赋存特征与均一温度分析的基础上,结合东岭构造SN115等井的埋藏史模拟,精细刻画了长岭断陷的成藏过程,为有利勘探区带优选提供了技术支持。

1 构造演化特征

构造演化和埋藏史决定了成烃与成藏史,研究区构造演化可划分为以下4个阶段。

1) 盆地热隆起阶段

前侏罗纪时期地幔受热隆起引起上地幔及地壳张裂形成裂谷,地幔物质沿断裂喷发,并形成广泛分布的营城组火山岩,火山岩裂隙带是良好储集体。

2) 断陷发育阶段

晚侏罗世到早白垩世盆地发生强烈拉张断裂作用,伴有火山活动。此时,东岭区块沙河子组为一向西倾没的水下斜坡沉积。营城组沉积末期虽有整体抬升,但剥蚀量不大,登娄库组沉积末期受挤压整体抬升,营城组遭到部分剥蚀,此时深层火石岭组、沙河子组—营城组烃源岩形成,火石岭组在登二段沉积时开始生气^[7]。

3) 热沉降拗陷阶段

早白垩世末期至晚白垩世嫩江组沉积时期发生热沉降拗陷,形成一个统一的湖盆。嫩江组沉积以后,南部表现为抬升挤压作用,其后整个盆地萎缩。在嫩江组沉积末期挤压构造运动作用下,形成走向近南北向的断块和断鼻等局部构造带,这一阶段,登三、登四段沉积时火石岭组进入生气高峰、营城组气源岩进入生气门限,登四段沉积末期为油裂解气阶段;火石岭组烃源岩在泉头组沉积期进入干气阶段、营城组在泉一、泉二段和青山口组沉积期分别进入油裂解气和干气阶段。

4) 盆地收缩阶段

晚白垩世以来,沉降速度缓慢,湖盆大规模收缩,挤压作用形成一种特殊类型的叠加构造样式——反转构造,在东岭地区形成了向西倾没的褶皱,最终形成面积近 150 km² 的大型鼻状构造(图1)。

2 储层包裹体特征

储层的矿物组成、成岩次序以及流体包裹体的赋

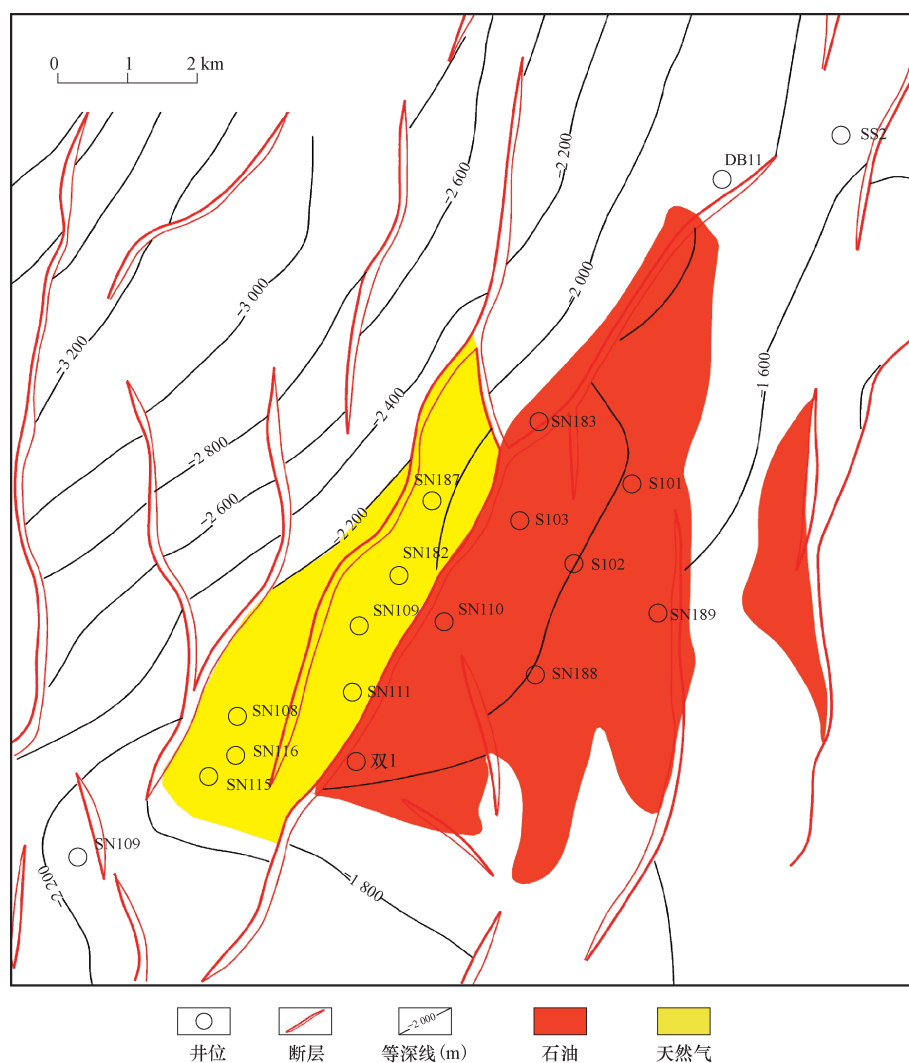


图1 长岭断陷营城组顶面构造与井位分布

Fig. 1 Top structural map of the Yingcheng Formation and well locations in Changling rift

存矿物成分与流体相态研究是包裹体捕获期次研究的基础。根据东岭地区已知油气分布,重点描述了 SN101 井、SN115 井、SN189 井和 SN182 井营城组储层流体包裹体的显微特征,测定了均一温度测定。

研究区火石岭组、营城组的含油砂岩岩心分析表明,长石碎屑和岩屑分选性较好,在碎屑颗粒之间形成了较发育的原生孔隙,随长石碎屑和岩屑含量的增多,粒内溶孔、铸模孔增多,储集空间也增多。另外油、气、水的流动进一步促进溶蚀作用和影响后期成岩作用的进行(限制胶结物的生成和胶结作用),因而使储集空间继续增大。

含油岩心中以胶结物形式出现的自生矿物主要有石英、长石(钠长石、钾长石)、钙镁矿物(方解石、白云石)、粘土矿物(蒙脱石、伊利石)和绿泥石。该组含油砂岩成岩作用普遍较强,碎屑颗粒之间压实接触关系多数为凹凸或线状接触,少数为点接触。而且压溶和重结晶作用比较明显。自生矿物的生长,胶结作用多期发生,原生孔隙被胶结物不同程度充填,随着成岩作用的不断增强,次生孔隙大量发育,表现为碎屑颗粒内部的溶蚀孔和铸模孔。

临近生烃凹陷的 SN115 井、SN101 井营城组砂岩,矿物颗粒间见大量呈稀疏状的褐(黄)色沥青(显暗褐色荧光)充填,无沥青充填的粒间孔隙均显示弱黄及蓝色荧光。成岩矿物有早、晚两期胶结方解石、次生石英加大及自生石英。指示为两期油气成藏,第一期为沿石英次生加大边(中-内带为主)分布和沿未切穿石英矿物次生加大边的微裂隙分布的油气包裹体(图 2),部分包裹体还分布于晚期方解石胶结物中,晚期胶结方解石形成于古油藏的中后期,沥青充填期(图 2),包裹体发育丰度极高,GOI(含油包裹体丰度)≥90%(表 1)。包裹体中液烃呈褐色、灰褐色、淡黄色及透明无色,显示蓝绿色、蓝白色及黄绿色荧光,气烃呈灰色。其中,液烃包裹体约占 40%,气液烃包裹体约占 58%,气烃包裹体约占 2%。揭示了成岩石英次生加大中的包裹体为早-中期成藏的产物,其含油饱和度高,为中-轻质油古油藏。第二期沿切穿石英次生加大边的微裂隙面分布和分布于晚期个别方解石胶结物中的油气包裹体,发育丰度中等,GOI≤3%。包裹体中液烃呈透明无色,显蓝色荧光;气烃呈灰色。其中气液烃包裹

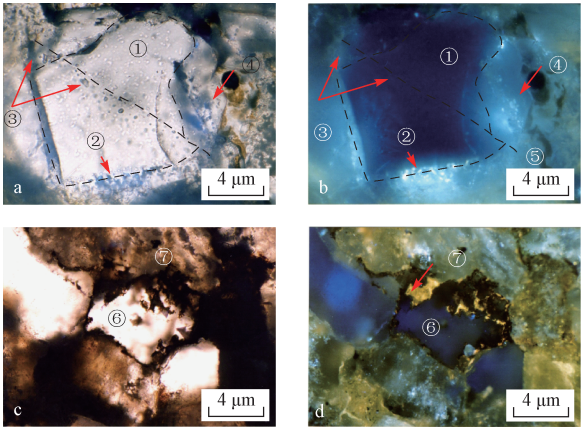


图 2 长岭断陷营城组储层包裹体显微特征

Fig. 2 Microscopic features of fluid inclusions of the Yingcheng Formation in Changling rift

a,b. SN101 井,2 228.56 m,单偏光和荧光薄片;c,d. SN101 井,2 226.32 m,单偏光和荧光薄片。

①石英碎屑与颗粒边界;②次生加大边;③气包体无荧光显示;④气液包裹体;⑤切穿加大边的微裂隙;⑥方解石胶结物;⑦沥青

体约占 15%,气烃包裹体约占 85%。揭示了该岩层在成岩晚期及至成岩期后以天然气运聚为主。

向构造上倾方向,SN182 井泉头组砂岩粒间孔隙连通性好,粒间孔内普遍见沥青化的重、稠油条带,显褐红色、褐黄色荧光。粒间孔隙中除了显示褐红(或黄)色的重、稠油荧光外,以显示强浅黄绿色的轻质油荧光更为普遍。岩石中的成岩矿物有次生加大石英、长石、粒状自形程度较高的自生石英、胶结方解石及少量晚期胶结石英。岩中发育油气包裹体:第一期成群分布及孤立状分布赋存于次生加大石英、长石、自生石英、胶结方解石中,少部分沿石英、长石矿物的裂隙面呈线/带状分布,发育丰度高,GOI 为 6%~8%。包裹体中液烃呈褐色、褐红色、浅褐黄色、浅黄色,显示褐红色、暗褐色、浅褐黄色、浅黄色荧光;气烃呈灰色。其中液烃包裹体约占 10%,气液烃包裹体约占 90%。揭示了成岩胶结、加大期间由重/稠油向中-轻质油连续变化的石油运/聚成藏过程。第二期呈孤立状分布于砂岩中晚期胶结石英矿物中或沿石英矿物微裂隙面分布,发育丰度低,GOI<1%,均呈灰色,显示弱黄色荧光的气烃包裹体。揭示了该岩层段在晚成岩阶段以天然气聚集为主。

东北方向构造最高点的 SN189 井营城组砂砾岩

表 1 长岭断陷储层流体包裹体特征

Table 1 Fluid inclusions features of the Yingcheng Formation in Changling rift

样号	赋存矿物与产状	液态含量/%	气液含量/%	气态含量/%	主频温度/℃	GOI/%	备注
SN101	石英次生加大边内带	40	58	2	95~105	≥90	沥青充填,早期成藏
	石英次生加大边的微裂隙		15	85	115~125	≤3	晚期成岩聚气
SN115	石英次生加大边	45	83	2	130~150	≥30	早期成藏
SN182	次、自生石英、胶结方解石	10		90	70~80	6~8	稠油、中质油成藏过程
	砂岩中晚期胶结石英			100		≤1	天然气聚集期
SN189	胶结方解石及次生加大石英	100			95	≤3	晚期成藏

中的成岩矿物有胶结方解石及次生加大石英。岩石粒间孔隙显示弱褐黄色及黄色荧光。油气包裹体发育仅见一期次:赋存于胶结方解石、石英次生加大边及石英碎屑的成岩愈合微裂隙中,均为呈灰褐色、黑褐色的液烃包裹体,发育丰度中等偏高, GOI 约3%。

3 成烃与成藏过程

研究区内既有原油、也有天然气分布^[8-11]、利用储层有机包裹体的赋存状态、均一温度可以进行成藏时间估算,结合成岩作用历史和埋藏史^[12-16]研究油气动态成藏过程。

有机包裹体的均一温度代表了油气注入时储层的温度,可通过测定与之同期的盐水包裹体均一温度来获得^[17-20]。

在东岭气田营城组储层成岩次序与包裹体赋存相态及赋存矿物与成岩矿物关系分析对比的基础上,选择与盐水共存的烃类包裹体测试了均一温度(表1),结合埋藏史分析营城组储层的成藏过程。以SN115井为例,SN115井营城组样品盐水包裹体均一化温度分布范围为98~152℃(图3),包裹体均一化温度主频为130~150℃,将这一温度投影到其埋藏史图上,可以推测SN115井营城组油藏的成藏期在86 Ma左右(图4)。

同样方法,SN101井营城组流体包裹体均一温度主频第一段在95~105℃,这一期包裹体含量极为丰富,主要为气液烃包裹体,推测营城组油藏的成藏期在120 Ma左右(最早的成藏时间,该期油气已经运移,图5);第二段为115~125℃,主要为气烃包裹,推测营城组气藏的成藏期在105 Ma左右;SN182井泉头组包裹体

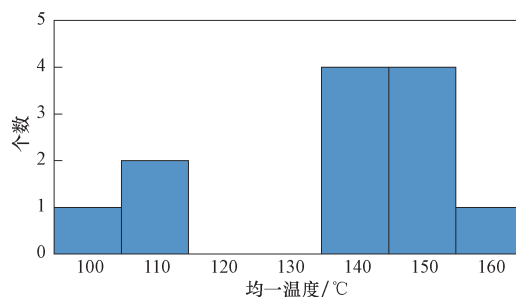


图3 长岭断陷 SN115 井营城组流体包裹体均一温度分布直方图

Fig. 3 Histogram of fluid inclusion homogenization temperature of the Yingcheng Formation in Well SN115 in Changling rift

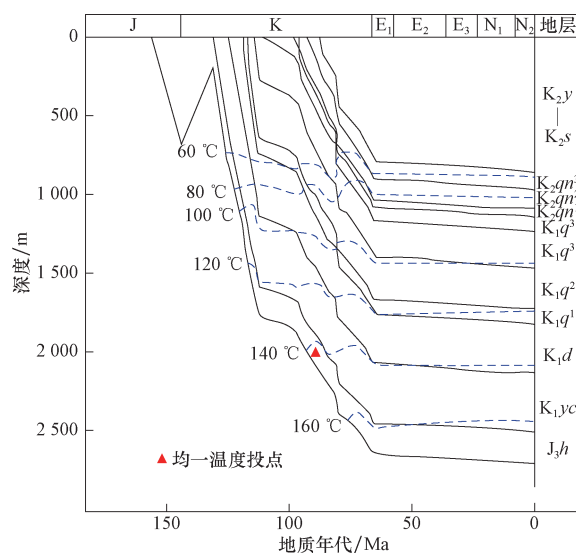


图4 长岭断陷 SN115 井埋藏史与成藏期

Fig. 4 Burial history and hydrocarbon accumulation stages of Well SN115 in Changling rift

J_3h . 上侏罗统火石岭组; K_1yc . 下白垩统营城组; K_1d . 下白垩统登娄库组; K_1q^1 . 下白垩统泉头组一段; K_1q^2, K_1q^3, K_1q^4 . 下白垩统泉头组二、三、四段; $K_2qm^1, K_2qm^2, K_2qm^3$. 上白垩统青山口组一、二、三段

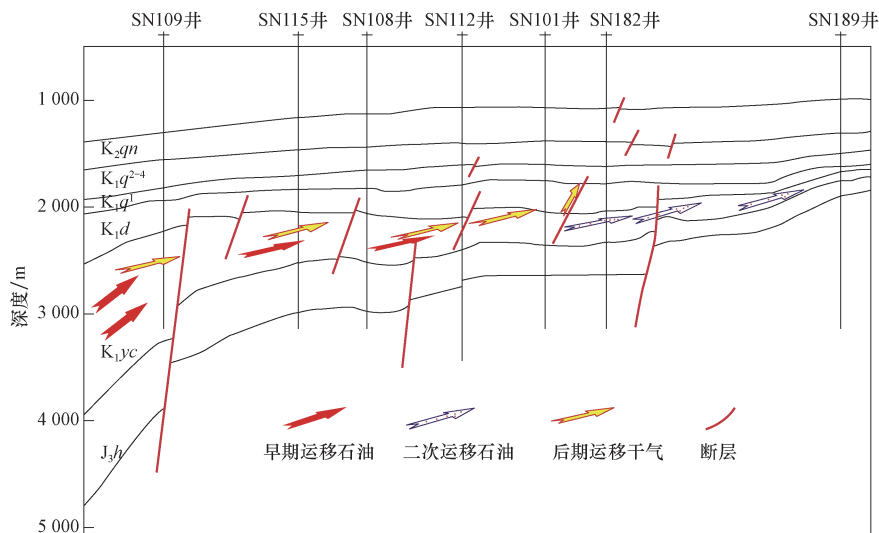


图5 长岭断陷南部东岭气田成藏过程示意图

Fig. 5 Hydrocarbon accumulation process of Dongling gas field in Changling rift

J_3h . 上侏罗统火石岭组; K_1yc . 下白垩统营城组; K_1d . 下白垩统登娄库组; K_1q^1 . 下白垩统泉头组一段;

K_1q^{2-4} . 下白垩统泉头组二、三、四段; K_2qm . 上白垩统青山口组

均一温度分布主频为 70 ℃,主要为气液烃包裹体,推测泉头组三段油藏的成藏期在 80 Ma 左右;SN189 井营城组流体包裹体均一温度为正态分布,主频为 95 ℃,主要为少量黑色液烃包裹体,推测 SN189 井营城组油藏的成藏期在 62 Ma 左右。

4 结论

包裹体的赋存状态和成藏过程的精细解剖不但解释目前构造高部位为油藏(SN189 井),低部位为气藏(SN109 井)的成藏机理,而且为优选勘探区带和领域提供了理论依据。综合不同单井流体包裹体赋存特征与不同井的构造位置的关系分析,从紧邻生烃凹陷向北东上倾方向,随着成烃演化,东岭气田流体包裹体的赋存形式、相态与荧光特征揭示了一个有序的成藏充注过程。SN101 井营城组储层中形成液烃包裹体和沥青为早期成藏产物,随埋藏加深,高成熟度天然气和裂解气,继续进入构造低部位的圈闭(SN115 井、SN101 井)(图 5),把早期聚集在构造低部位的石油推向更高的圈闭,聚集形成了 SN189 井和 SN183 井中的原油。同时,后期形成的高成熟度天然气沿断层向上运移在泉头组中聚集,形成 SN182 井等的天然气藏。因此,沿断层向上,液烃包体含量越来越少,沿向上倾部位,包裹体越来越少,推测沿断层向上倾部位圈闭充满度较低。因此,东岭断陷深层成藏系统中,构造高部位以寻找构造型、断块型油藏为主,坳陷区和斜坡区应以寻找砂岩上倾尖灭油气藏、砂岩透镜体油气藏为主。

致谢:感谢欧光习教授在包裹体实验测试中给予的指导和帮助!

参 考 文 献

- [1] Burruss R C. Hydrocarbon fluid inclusions in studies of diagenesis [C]//Hollister L S, Crawford M L. Short course in fluid inclusions: application to petrology. Mineralogical Association of Canada, 1981: 138-156.
- [2] Eadington P J, Hamilton P J, Bai G P. Fluid history analysis: a new concept for prospect evaluation [J]. Australian Petroleum Exploration Association Journal, 1991, 31(2): 282-294.
- [3] Karlsen D A, Nedkvitne T, Larter S R, et al. Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: application to elucidation of petroleum reservoir filling history [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1993, 57(15): 3641-3659.
- [4] 周荔青,金之钧. 松辽盆地长岭断陷火山岩复式成油系统[M]. 北京:地质出版社,2011:189-190.
Zhou Liqing, Jin Zhijun. Volcanic rock multiple oil gas accumulation play in the Changling fault depression, Songliao Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 189-190.
- [5] 王洪江,吴聿元. 松辽盆地长岭断陷火山岩天然气藏分布规律与控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(3): 360-367.
Wang Hongjiang, Wu Yuyuan. Distribution patterns and controlling factors of volcanic gas pools in the Changling fault depression, the Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 360-367.
- [6] 张斌. 松辽盆地南部张强凹陷义县组火山岩储层特征及成藏规律[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 508-513.
Zhang Bin. Characteristics and hydrocarbon accumulation patterns of volcanic rocks in the Yixian Formation Zhangqiang depression, southern Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 508-513.
- [7] 胡纯心. 长岭断陷构造特征及白垩纪以来的构造演化[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 230-233.
Hu Chunxin. Structural characteristics and post-Cretaceous tectonic evolution of the Changling Rift [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 230-233.
- [8] 俞凯,侯洪斌,郭念发. 松辽盆地南部断陷层石油天然气地质[M]. 北京:石油工业出版社,2002:136-150.
Yu Kai, Hou Hongbin, Guo Nianfa. Petroleum geology in southern fault depression Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 136-150.
- [9] 吴聿元,周荔青. 松辽盆地主要断陷大中型油气田形成分布特征[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 7-12.
Wu Yuyuan, Zhou Liqing. Formation and distribution features of large-medium oil & gas fields in main fault depressions Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(3): 7-12.
- [10] 闫相宾,金晓辉,李丽娜. 松辽盆地长岭断陷火山活动与烃源岩成烃史分析[J]. 地质论评, 2009, 29(1): 7-12.
Yan Xiangbin, Jin Xiaohui, Li Lina. Volcanic activities and hydrocarbon-generating history in the Changling fault depression, Songliao Basin [J]. Geological Review, 2009, 29(1): 7-12.
- [11] 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M]. 北京:石油工业出版社,1999:16-50.
Ren Zhanli. The structural evolution history in Chinese northern sedimentary basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 16-50.
- [12] 金晓辉,闫相宾,李丽娜. 松辽盆地长岭断陷烃源岩特征与油源对比[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(6): 53-57.
Jin Xiaohui, Yan Xiangbin, Li Lina. Correlation of Source rock and oil geochemistry in Changling fault depression, Songliao Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2010, 32(6): 53-57.
- [13] 李明,赵一民,刘晓,等. 松辽盆地南部长岭凹陷油气富集区分布特征[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(4): 413-418.
Li Ming, Zhao Yimin, Liu Xiao, et al. Oil and gas enrichment zone distribution in the south part of Changling depression in Songliao basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(4): 413-418.
- [14] 周中毅,潘长春. 沉积盆地古地温测定方法及应用[M]. 广州:广州科技出版社,1992:1-50.
Zhuo Zhongyi, Pan Changchun. The measurement methods and appliance to paleo-geothermal thermal history in sedimentation basin [M]. Guanzhou: Guanzhou Science and Technology Press, 1992: 1-50.
- [15] Campbell A R, Robinson C S. Infrared fluid inclusion microthermometry on coexisting wolframite and quartz [J]. Economic Geology, 1987, 82(6): 1640-1645.
- [16] 刘德汉. 包裹体研究—盆地流体追踪的有利工具[J]. 地学前缘, 1995, 12, (3-4): 149-154.
Liu Dehan. Fluid inclusions—a powerful instrument for Basin fluid tracing [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 12, (3-4): 149-154.
- [17] 金晓辉,林壬子,邹华耀,等. 松辽盆地徐家围子断陷火山活动期次与烃源岩演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 349-356.
Jin Xiaohui, Lin Renzi, Zou Huayao, et al. Volcanic activities and evolution of depression, Songliao basin [J]. Oil and Gas Geology, 2005, 26(3): 349-356.
- [18] Waples D W. Time and temperature in petroleum formation: application of Lopins method to petroleum exploration [J]. AAPG Bulletin, 1980, 64(6): 916-926.
- [19] Sweeny J J, Burnham A K. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(10): 1559-1570.
- [20] Hunt J M. Petroleum geochemistry and geology [M]. New York: Freeman, 1995: 16-28.

(编辑 张亚雄)