

伊利石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年技术在松辽盆地北部下白垩统泉头组四段物源和油气成藏时代研究中的应用

付 丽^{1*}, 邱华宁², 霍秋立¹, 王 雪¹, 曾花森¹

(1. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘 要: 利用特别研制的纯化装置有效地除弃有机杂质气体, 松辽盆地下白垩统泉头组四段砂岩储层伊利石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 激光阶段加热分析获得了逐渐上升的阶梯型年龄谱。低温阶段伊利石的年龄小于地层年龄, 大于但可能接近于油气成藏最早的年龄; 高温阶段坪年龄明显老于地层年龄, 反映了陆源碎屑伊利石的年龄, 用于探讨盆地沉积物的物源。松辽盆地北部下白垩统泉头组四段储层 12 个样品碎屑伊利石年龄为 107 ~ 212 Ma, 年龄变化大, 具有多物源的特点, 据此推断研究区可能存在七个物源方向。

关键词: ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年; 伊利石; 碎屑长石年龄; 松辽盆地

中图分类号: P597 文献标识码: A 文章编号: 0379-1726(2011)05-0418-10

^{40}Ar - ^{39}Ar dating of illite and its application in source of sediments of Lower Cretaceous Quantou 4 member and oil emplacement in North Songliao basin

FU Li^{1*}, QIU Hua-ning², HUO Qiu-li¹, WANG Xue¹ and ZENG Hua-sen¹

1. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oil Field Company Ltd, PetroChina, Daqing 163712, China;
2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

Abstract: Twelve reservoir samples from Lower Cretaceous Quantou 4 member in the Songliao basin were selected for ^{40}Ar - ^{39}Ar analysis. ^{40}Ar - ^{39}Ar age spectra for illite in the sandstone of the Lower Cretaceous Quantou 4 in the Songliao basin were obtained using a purifying system with laser heating. The age indicated by the lower temperature part of the age spectra is younger than the formation age and is older but maybe close to the earliest hydrocarbon charge time. By contrast, the average age indicated by the higher temperature part of age spectra is obviously older than the formation age and represents the age of terrigenous detrital feldspar, which can be used to trace the sediment source. The ages of detrital illite for these samples vary from 107 to 212 Ma, indicating that Quantou 4 member has multiple sediment supplies. Detailed analysis shows that the study region probably has seven source directions.

Key words: ^{40}Ar - ^{39}Ar dating; illite; detrital feldspar; Songliao basin

0 引 言

最近几年, 随着同位素年代学实验技术(特别是 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 和微量样品 Rb-Sr 定年技术)的发展, 碎屑锆石 U-Pb 法和碎屑云母 Rb-Sr 法被越来越多地应用于沉积盆地物质来源的研究^[1-5]。作为

油气成藏 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学研究的副产品, 本文从碎屑伊利石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年的角度, 探讨松辽盆地北部下白垩统泉头组四段砂岩的物质来源。

由于自生伊利石在砂岩储层中普遍存在, 可用于 K-Ar 同位素年龄测定。它的生长对储层孔隙度和渗透率有重要影响, 当油气充注到储层中时, 自生伊利石赖以生长的含钾水介质被烃类流体所取代, 这

收稿日期(Received): 2010-09-19; 改回日期(Revised): 2011-06-02; 接受日期(Accepted): 2011-06-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB701404)

作者简介: 付丽(1972-), 女, 硕士、高级工程师, 地球化学专业。

* 通讯作者(Corresponding author): FU Li, E-mail: flidy@petrochina.com.cn, Tel: +86-459-5508450

种矿物终止生长的年龄反映了油气充注的最早时间。基于对这一机理的认识, 20世纪80年代以来, 许多学者利用储层自生伊利石 K-Ar 同位素定年技术来研究油气成藏的时间^[6-11]。Dong *et al.* 开始采用伊利石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年^[12], 与 K-Ar 法定年相比, ^{40}Ar - ^{39}Ar 法具有三个方面的优势: (1) ^{40}Ar - ^{39}Ar 法在一份中子活化样品上, 测定其 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 比值, 即可获得样品高精度的年龄, 避免了 K-Ar 法两份样品不均匀性带来的误差; (2) ^{40}Ar - ^{39}Ar 法所需的样品量少(约 10 mg), 大大减少了岩芯取样量和分离伊利石的工作量; (3) 采用阶段加热逐步释气技术可以获得伊利石的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱, 采用该方法可以获得不同温度阶段的年龄, 使结果更为翔实可靠^[13]。因此, ^{40}Ar - ^{39}Ar 法正逐渐成为成藏年代学研究的重要手段。

自生伊利石的分离效果直接影响 K-Ar 法测定的年龄结果, 前人对自生伊利石的分离进行了深入研究, 提出循环冷冻-加热法^[14]和烷基铵阳离子置换^[15-16]等方法提高伊利石的纯度。但现有的伊利石分离技术无法避免碎屑长石的混入^[17-18], 采用阶段加热逐步释气技术, 可以有效地区分伊利石样品中不同组分对 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱的贡献^[17,19]。样品中获得的碎屑矿物年龄可以反映沉积岩物源的信息, 在一个盆地或研究区内, 同一层位同一物源具有相同或相近的碎屑年龄。本文拟利用储层碎屑伊利石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄, 探讨松辽盆地下白垩统泉头组四段沉积物源的方向。

1 地质概况

松辽盆地是世界上油气资源最丰富的非海相沉积盆地, 盆地具有明显的下断上坳的双重结构及高的地温场和高热流特征, 为大陆边缘裂谷盆地。盆地演化经历了成盆先期褶皱阶段(P_2 -T), 初始张裂阶段(J_{2-3}), 裂陷阶段(K_{1sh} - K_{1d}), 沉陷阶段(K_{1q} - K_{2n})和萎缩平衡阶段(K_{2m} -Q)。主要沉积了中、新生代的沉积岩系, 最大沉积厚度超过 10000 m, 地层自下而上依次为上侏罗统上部、白垩系、古近系、新近系和第四系(图 1)。其中火石岭组到营城子组为断陷期沉积地层, 受控陷断裂控制分布在 35 个断陷内, 该时期主要发育有湖相泥岩、煤岩及火山岩, 形成了以沙河子组泥岩和煤为生气岩、营城子组火山

岩为储层、登娄库组二段为区域盖层的深部含气组合。松辽盆地中浅层指下白垩统泉头组二段以上的拗陷期地层, 是石油勘探的重要领域, 这套地层在空间展布上总体呈蝶形, 构造面貌以宽缓褶皱构造为特征, 构成正向构造和负向构造相间排列的构造格局, 总体走向为北东、北北东向。盆地分为 6 个一级构造单元, 其中位于盆地中部的中央拗陷区是盆地发展过程中沉降相对占优势的大型负向构造单元, 长期为盆地的沉降和沉积中心, 是盆地最重要的油气源区和油气田分布区。良好的生储盖配制关系, 发育了多套含油组合, 其中有以嫩江组一、二段为生油层, 嫩江组三、四段为储集层, 嫩江组四、五段为盖层的上部含油组合; 以青山口组一段、二+三段为生油层, 以青山口组二+三段、姚家组为主要储集层, 嫩江组一段、二段为盖层的中部含油组合及以青山口组为生油层, 泉头组和登三、四段为储集层的下部含油气组合。青山口组和嫩江组一、二段沉积时期, 松辽盆地发生了两次大的海侵事件, 青一段沉积时期, 湖泊面积达 87000 km², 嫩江组一、二段沉积时期, 湖泊面积达 200000 km², 大范围的水体、亚热带潮湿的气候和藻类等水生生物的发育形成了的大面积分布高有机质丰度的黑色页岩是最重要的烃源岩, 为大油田的形成提供了物质保障^[20]。泉头组、青山口组二+三段及姚家组主要发育河流相、三角洲相及滨浅湖相砂岩, 形成了良好的储集层。泉头组三、四段是下部含油层系重点勘探层位, 在中央凹陷区发现了大量的油气。沉积相研究表明^[21-24], 泉头组三、四段是在二段沉积末期盆地整体抬升的基础上发展起来的, 此时河流作用强盛, 沉积相带总体上呈环带形展布, 由盆地边缘向中心依次为冲积平原(辫状河平原, 曲流河平原), 分流平原及三角洲前缘和滨浅湖相(图 2)。

2 样品特征

样品选自松辽盆地北部晚白垩世泉头组四段砂岩储层, 该储层砂岩相对发育, 厚度 10~50 m, 储层砂岩粒级主要以细砂和粉砂为主, 砂岩岩石类型主要为岩屑长石砂岩或长石岩屑砂岩, 碎屑主要由石英、长石和岩屑构成, 砂岩胶结物中的粘土矿物主要由伊利石、高岭石、伊利石/蒙脱石混合层组成。粉末衍射鉴定结果见表 1 和图 3, 所选样品中普遍含

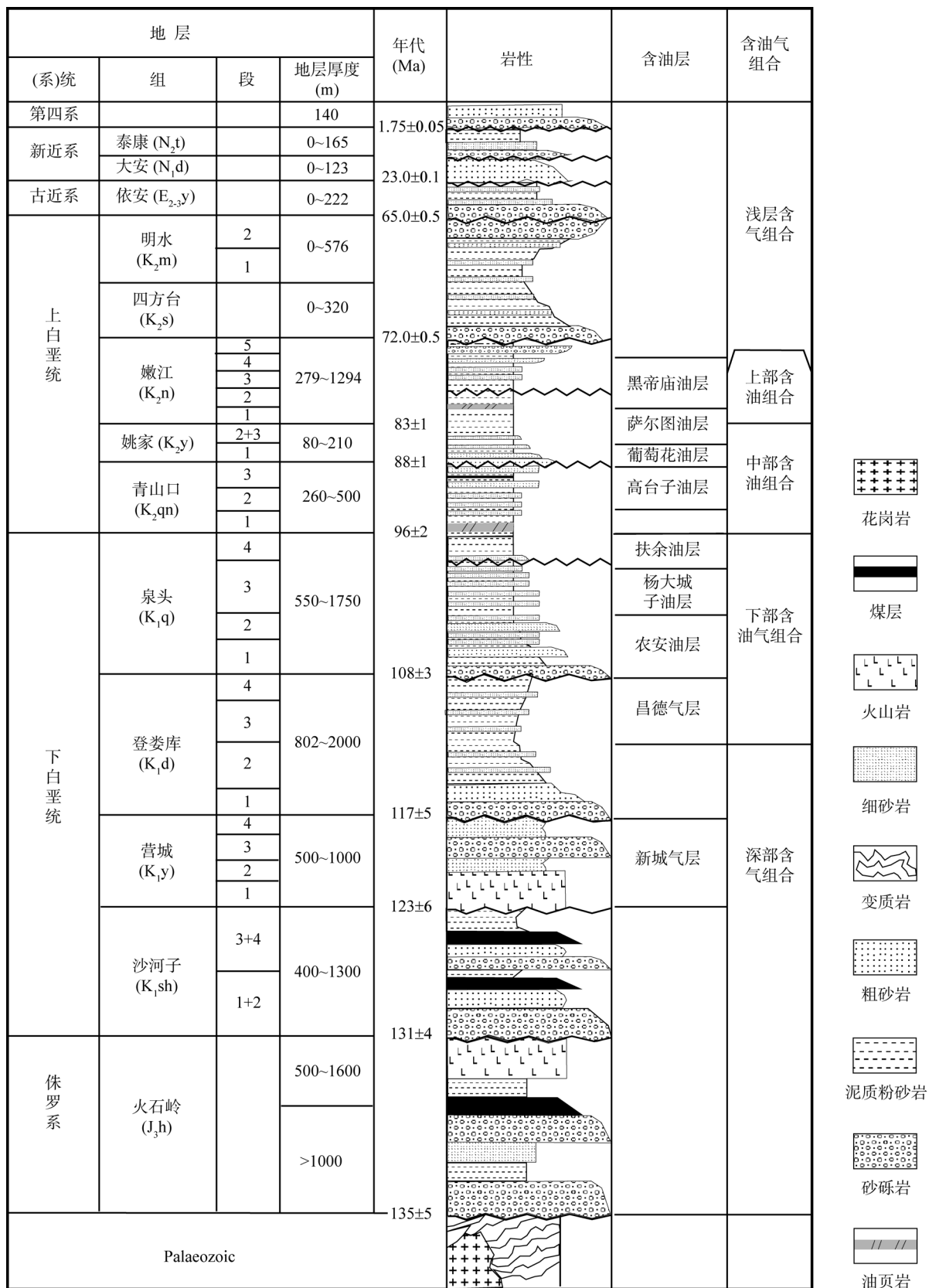


图1 松辽盆地地层综合柱状图

Fig.1 Stratigraphic column of the Songliao basin

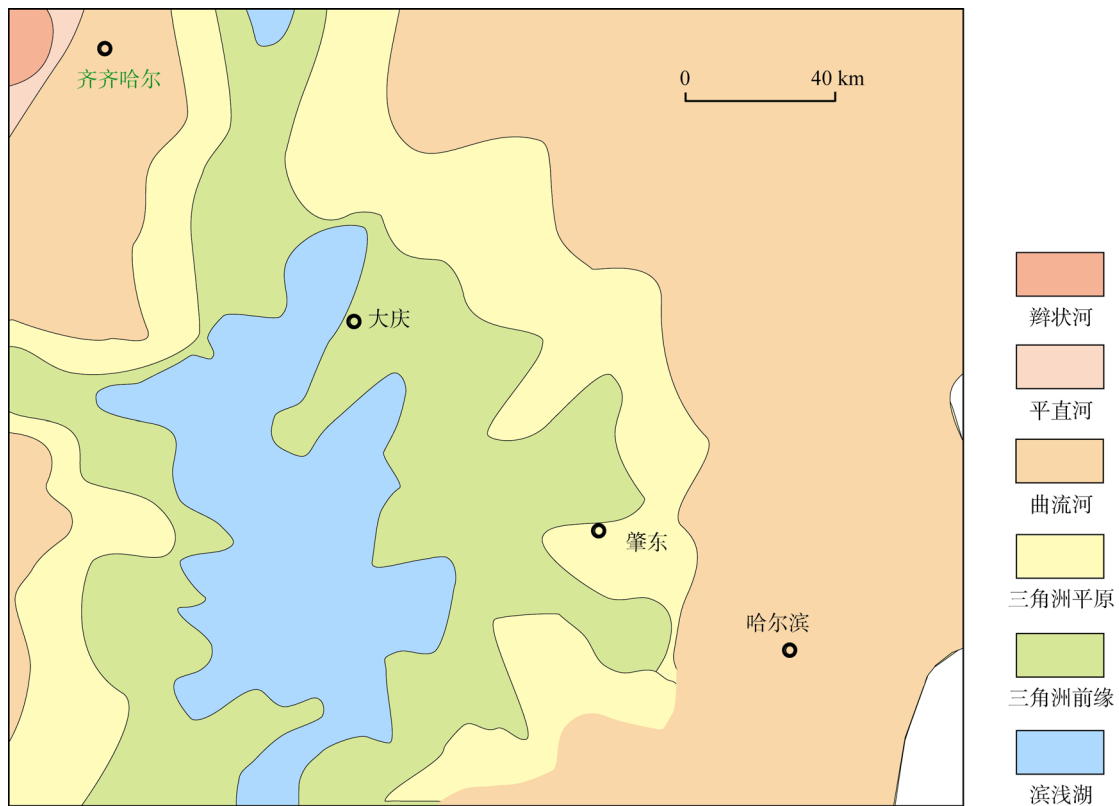


图 2 松辽盆地泉头组四段沉积相图

Fig.2 Sedimentary facies of the Quantou formation in the Songliao basin

表 1 X 射线粉末衍射鉴定结果
Table 1 X-ray diffraction (XRD) results

井号	深度(m)	岩性	粘土矿物相对含量 (%)					I/S 层间比(S %)
			蒙脱石(S)	伊利石(I)	高岭石(K)	绿泥石(C)	伊/蒙混层 (I/S)	
Sa9	1538.10	砂岩	0	17	64	17	2	15
Da9	1798.52	砂岩	0	25	55	14	6	15
Ha21	2309.50	砂岩	0	82	0	10	8	15
Pu31	1580.25	砂岩	0	53	0	37	10	15
Shang4	1214.93	砂岩	0	63	0	26	11	15
Chang46	1243.47	砂岩	0	47	15	27	11	15
Dong5	727.17	砂岩	0	28	0	20	7	15
Jin1	2320.90	砂岩	0	51	0	27	22	15
Chuan4	1245.91	砂岩	0	21	57	18	4	15
Da22	1964.69	砂岩	0	16	49	32	3	15
Shuang34	1640.75	砂岩	0	49	0	43	8	15
Shuang33	1637.65	砂岩	0	24	0	70	6	20

有伊利石, 且含量相对较高(16% ~ 82%)。高岭石只在部分样品中出现, 含量为 15% ~ 64%, 而绿泥岩在绝大部分样品中都存在, 含量为 10% ~ 70%, 伊/蒙混层的含量为 2% ~ 22%。

样品的扫描电镜分析(图 4)表明, 伊利石主要分布在矿物的粒间孔隙中或贴附于矿物颗粒表面, 自生伊利石多呈丝状和纤维状, 原生伊利石则多呈鳞片状或不规则形态。

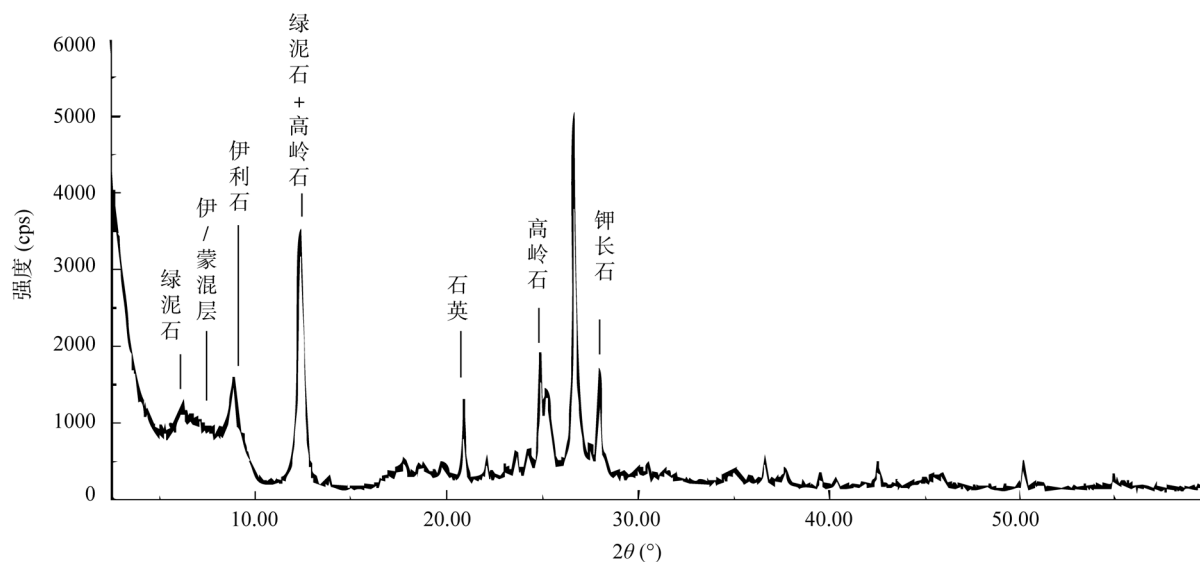


图3 粘土矿物X射线粉末衍射图

Fig.3 X-ray diffraction (XRD) of clay minerals

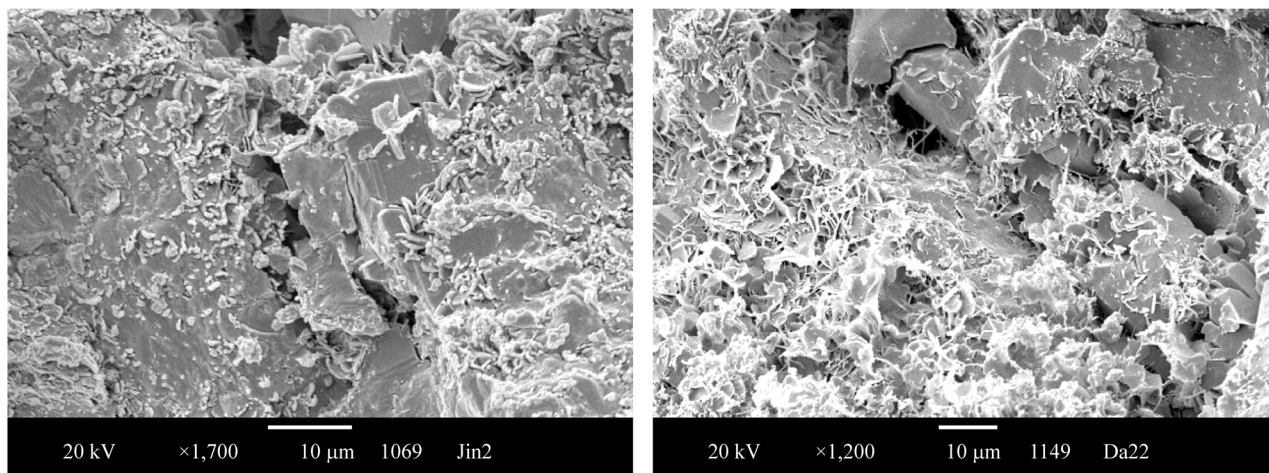


图4 伊利石扫描电镜显微照片

Fig.4 Scanning electron micrographs of illite

3 实验技术

伊利石样品的制备采用以下步骤完成: (1)称取大约 20~50 g 砂岩样品破碎成 1 cm 左右的碎块, 用蒸馏水在超声波中进行清洗, 以去除表面的污染物。将清洗后的样品装入不锈钢容器中, 加入蒸馏水, 采用 Liewig(1987)提出的循环冷冻法, 将样品轮流置于冷柜和烘箱中进行循环式冷冻、加热, 直至样品碎裂为细小砂粒, 然后进行烘干。(2)利用苯和甲醇混合试剂(体积比 3 : 1)对样品进行抽提, 去除样品中的有机质, 抽提时间为 72 h 以上, 直至抽提

液达到荧光 4 级以下。(3)采用稀醋酸对样品进行浸泡, 去除样品中的碳酸盐矿物。为了进一步去除样品中的有机质(大部分有机质已通过第二步去掉), 加入浓度为 30%的双氧水, 直至基本无反应。张彦等认为对于有机质含量较高的样品仅采用双氧水来去除有机质效果并不理想, 首先需要对样品进行三氯甲烷的抽提, 以除弃大部分有机质^[25]。但为了避免氯离子对 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年的影响, 在抽提时采用苯和甲醇混合试剂可以达到较好效果。(4)悬浮液在离心机中分离出伊利石, 采用 X 射线粉末衍射分析确定伊利石的纯度。样品的中子活化和 ^{40}Ar - ^{39}Ar 分析流程参见云建兵等^[17]。实验样品与标准样品分别用

铝箔和铜箔包装成小圆饼状(直径约为 5~7 mm, 厚 2~4 mm), 装入玻璃管内。为了确定照射参数 J 值, 玻璃管两端装标样, 且每 4 个样品中间插放 1 个标样, 记录每个标样和样品在玻璃管中的位置(高度), 以便确定样品管 J 值变化曲线和计算样品的 J 值。密封的玻璃管再用 0.5 mm 厚的 Cd 皮包裹, 以屏蔽热中子。样品罐送中国原子能科学研究院 49-2 反应堆照射 48 h。标准样品为北京房山花岗闪长岩黑云母 ZBH-2506, 其年龄为 132.5 Ma。干扰 Ar 同位素校正因子为: $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 8.984 \times 10^{-4}$, $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 2.673 \times 10^{-4}$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 5.97 \times 10^{-3}$ 。(5) ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年分析。 ^{40}Ar - ^{39}Ar 分析在中国科学院广州地球化学研究所 GVI-5400 质谱计上完成。激光熔样系统采用国产二氧化碳红外激光器(波长 10.6 μm , 功率 50 W) 进行阶段加热, 每一阶段加热时间为 60 s, 前 40 s 缓慢升温, 后 20 s 恒温, 保持设定的激光能量进行加热。释出的气体经过专门研制的有机杂气纯化装置进行纯化处理, 结果见图 5, ^{40}Ar 随时间的增加呈直线下降, 表明无明显的杂质气体干扰 Ar 同位素分析, 纯化后可获得较纯净的稀有气体, 送入质谱计进行 Ar 同位素组成分析。(6) 数据处理。数据处理使用 ArArCALC 专业软件^[26-27]进行年龄计算以及作图。

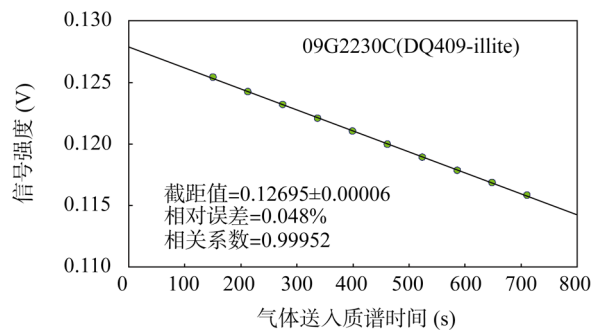


图 5 伊利石质谱分析 ^{40}Ar 峰强度随时间变化图
Fig.5 Plot based on the intensity of ^{40}Ar vs. time during the mass spectrometer analyses of illite

4 实验结果与讨论

松辽盆地中浅层油田砂岩储层 12 个伊利石样品 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年结果均获得表观年龄随温度升高逐渐上升的阶梯形年龄谱。现以 Shang4 井泉四段砂岩伊利石为例, 说明 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱的特征及意义。Shang4 井泉四段砂岩伊利石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 分析数据见表 2, 年龄谱特征见图 6。从图 6 可以看出, 最初两个阶段表观年龄在误差范围内一致, 形成了低温“年龄坪”, 加权平均的年龄为 (44.8 ± 10.3) Ma; 第 3 阶段开始表观年龄呈现逐渐升高, 从第 3 阶段 (84.5 ± 7.3) Ma

表 2 Shang4 井泉四段砂岩伊利石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 分析数据表
Table 2 Illite ^{40}Ar - ^{39}Ar dating results in K_1q^4 , well Shang4

阶段	激光量(%)	$^{36}\text{Ar}_{\text{air}}$	$^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}$	$^{38}\text{Ar}_{\text{Cl}}$	$^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$	$^{40}\text{Ar}^*$	年龄(Ma)	$^{40}\text{Ar}^*$ (%)	$^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ (%)
1	4.0	0.0003	0.0001	0.000000	0.0007	0.0025	42.3 ± 10.8	3.2	0.42
2	4.1	0.0004	0.0001	0.000000	0.0011	0.0043	47.4 ± 9.8	3.8	0.64
3	4.2	0.0006	0.0003	0.000001	0.0022	0.0154	84.5 ± 7.3	8.6	1.27
4	4.3	0.0009	0.0006	0.000001	0.0049	0.0353	88.8 ± 5.9	11.2	2.75
5	4.4	0.0004	0.0002	0.000000	0.0021	0.0160	92.8 ± 6.3	12.2	1.19
6	4.6	0.0006	0.0005	0.000001	0.0045	0.0399	107.0 ± 4.0	17.8	2.57
7	5.3	0.0013	0.0018	0.000002	0.0157	0.1611	124.0 ± 2.5	29.0	8.90
8	5.8	0.0012	0.0020	0.000004	0.0164	0.1919	141.1 ± 2.2	34.6	9.28
9	6.4	0.0013	0.0021	0.000004	0.0172	0.2074	145.2 ± 2.2	34.8	9.73
10	7.2	0.0016	0.0027	0.000005	0.0212	0.2527	143.4 ± 2.1	34.8	12.01
11	8.0	0.0016	0.0026	0.000008	0.0199	0.2372	143.3 ± 2.3	32.9	11.29
12	9.0	0.0018	0.0031	0.000015	0.0229	0.2772	145.9 ± 2.2	34.6	12.94
13	10.5	0.0017	0.0033	0.000017	0.0255	0.2947	139.4 ± 1.9	37.6	14.43
14	12.0	0.0015	0.0028	0.000009	0.0214	0.2465	138.8 ± 1.9	36.5	12.12
15	15.0	0.0002	0.0001	0.000002	0.0008	0.0089	132.0 ± 1.6	14.0	0.46

注: 伊利石激光阶段加热分析照射参数 $J = 0.0069496$ 。

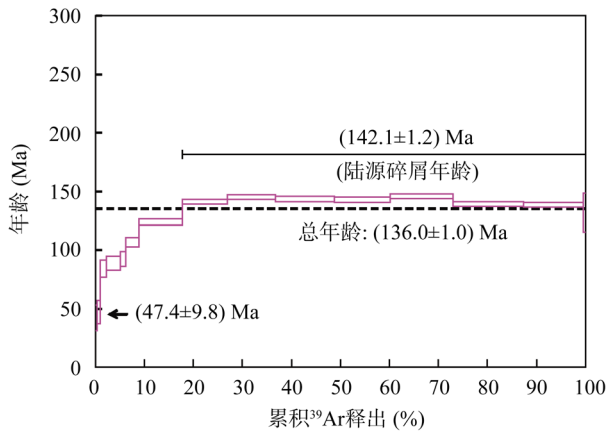


图6 松辽盆地 Shang4 井泉四段砂岩伊利石⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄谱

Fig.6 Age spectrum of illite by ⁴⁰Ar-³⁹Ar laser stepwise heating in K_{1q4} in the Songliao basin

升高到第7阶段(124.0±2.5) Ma; 第7阶段以后表现年龄变化较小,基本保持在一定值范围内变化,形成了高温年龄坪,坪年龄为(142.1±1.2) Ma。根据分析数据计算样品的总年龄为(136.0±1.0) Ma,这个年龄相当于K-Ar法年龄,此总年龄无地质意义。

伊利石⁴⁰Ar-³⁹Ar测年阶段加热分析形成的年龄谱中,低温阶段的年龄是由于加热中最容易释放气体组分对年龄谱的贡献,而自生伊利石一般颗粒小,最易在低温时释放出Ar气,因此,低温阶段的坪年龄可以反映自生伊利石对年龄的贡献,代表了油气充注最早的年龄^[28],可以用来进行油气成藏研究。而高温坪年龄则主要反映了碎屑伊利石(可能混有碎屑长石)的年龄,代表了陆源碎屑的年龄,可用于进行物源分析。中温阶段的年龄谱则是自生伊利石与碎屑长石不同比例的混合结果,没有实际的地质意义。本次分析结果显示,样品在低温阶段释放出的³⁹Ar量较少,推断认为可能有两个方面原因,一是储层中自生伊利含量相对较低,二是本地区物源矿物中钾的含量较低,从而钾照射后转化成³⁹Ar的量低。

本次研究采用高温坪年龄来探讨松辽盆地下白垩统泉四段砂岩储层物源方向,分析样品共12块,结果见表3。从分析数据看,同一层段中不同井储层陆源碎屑长石年龄变化较大,从(105.6±1.2) Ma到(211.7±2.9) Ma。根据年龄的差异可大致将样品分为三组,第一组从(105.6±1.2) Ma到(142.1±1.2) Ma,反映早白垩世来源;第二组从(157.4±1.7) Ma到(199.8±2.2) Ma,反映侏罗纪来源,第三组为

(211.7±2.9) Ma,则可能反映晚三叠纪来源。由于同一时期相同的物源,其年龄应相同或相近,而不同物源年龄相差较大,因此,可以利用陆源碎屑年龄反映沉积物源的信息,泉四段陆源碎屑年龄变化大反映出可能具有多物源的特点。松辽盆地泉四段是中浅层石油勘探的主要层系之一,从盆地沉积演化看,泉头组沉积后至明水组末期,盆地始终处于相对稳定的沉积阶段,泉四段地层不断埋深,地层温度不断增加,成岩作用加大,在明水组末期盆地受太平洋板块的俯冲,区域挤压应力的作用形成了大量正反转构造,从而形成了中浅层构造的基本轮廓。因此,泉四段地层的整个热演化表现为早期是(明水组沉积前)一个相对快速的升温过程,后期(明水组沉积后)是一个缓慢的降温过程,由于地层没有受火山侵入等高温影响,沉积地层中这种沉积与抬升所引起的温度变化对已形成封闭体系的矿物中⁴⁰Ar-³⁹Ar可能并不会产生明显的影响。从沉积特征上,泉头组代表了盆地拗陷阶段早期沉积充填的特征,泉四段与泉三段是在泉二段沉积末期盆地整体抬升的基础上发展起来的,沉积范围逐渐扩大,沉降中心向北扩展,此时以流河作用的强盛为特征,表现为气候干旱、地形平坦,物源供应充沛^[29]。重矿物、岩屑含量和砂岩分布的研究结果表明,盆地发育有6条主要的水系分别从不同方向流入盆地,这与同位素年龄反映出盆地具有多物源的特点一致。黄清华研究认为泉头组沉积时间大致为93~99 Ma,与Cenomanian期相对应^[30],从泉四段样品测试的陆源碎屑年龄平面分布看(图7),长垣北部的Sa9井和三肇凹陷北部的Da22井、Da9井,其陆源碎屑年龄分别为(114.5±1.7) Ma、(106.8±1.3) Ma和(107.2±1.0) Ma,比较接近。西部齐家古龙凹陷北部的Jin1井和绥化凹陷的Shang4、Dong5井,其陆源碎屑年龄分别为(122.4±1.8) Ma、(142.1±1.2) Ma和(157.4±1.7) Ma,与Sa9、Da22井和Da9井陆源碎屑年龄具有明显差别,反映了具有不同的物源,结合砂体厚度分布特征,可以推断Sa9井、Da22井及Da9井泉四段为北部物源,而Shang4井和Dong5井泉四段为东北部物源;Jin1井泉四段为西北部物源。朝长阶地东北部的Chuan4井陆源碎屑年龄为(128.9±1.1) Ma,西南部的Chang46井为(161.9±1.2) Ma,显然两者并非同一物源,王府凹陷的Shuang33和Shuang34井陆源碎屑年龄分别为(211.7±2.9) Ma和(199.8±2.2) Ma,可以推断Chuan4井为东部物源,Shuang33和

表 3 松辽盆地储层砂岩碎屑伊利石 $^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$ 年龄数据
Table 3 $^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$ dating results of clastic illite in K_1q in the Songliao basin

组	井号	取样深度 (m)	层位	岩性	坪年龄 (Ma)
1	Pu31	1580.25	K_1q^4	灰褐色粉砂岩	105.6±1.2
	Da22	1964.69	K_1q^4	深灰色粉砂岩	106.8±1.3
	Da9	1798.52	K_1q^4	棕色含油粉砂岩	107.2±1.0
	Ha21	2309.50	K_1q^4	灰黑色油斑细砂岩	110.0±0.8
	Sa9	1538.10	K_1q^4	棕色粉砂岩	114.5±1.7
	Dong5	1073.15	K_1q^3	灰色粉砂岩	122.4±1.2
	Jin1	2320.90	K_1q^4	灰色粉砂岩	122.4±1.8
	Chuan4	1245.91	K_1q^4	灰色含油细砂岩	128.9±1.1
	Sang4	1214.93	K_1q^4	灰色粉砂岩	142.1±1.2
2	Dong5	727.17	K_1q^4	灰白中砂岩	157.4±1.7
	Chang46	1243.47	K_1q^4	灰色油浸粉砂岩	161.9±1.2
	Shunang34	1640.75	K_1q^4	深灰色含油粉砂岩	199.8±2.2
3	Shuang33	1637.65	K_1q^4	灰色粉砂岩	211.7±2.9

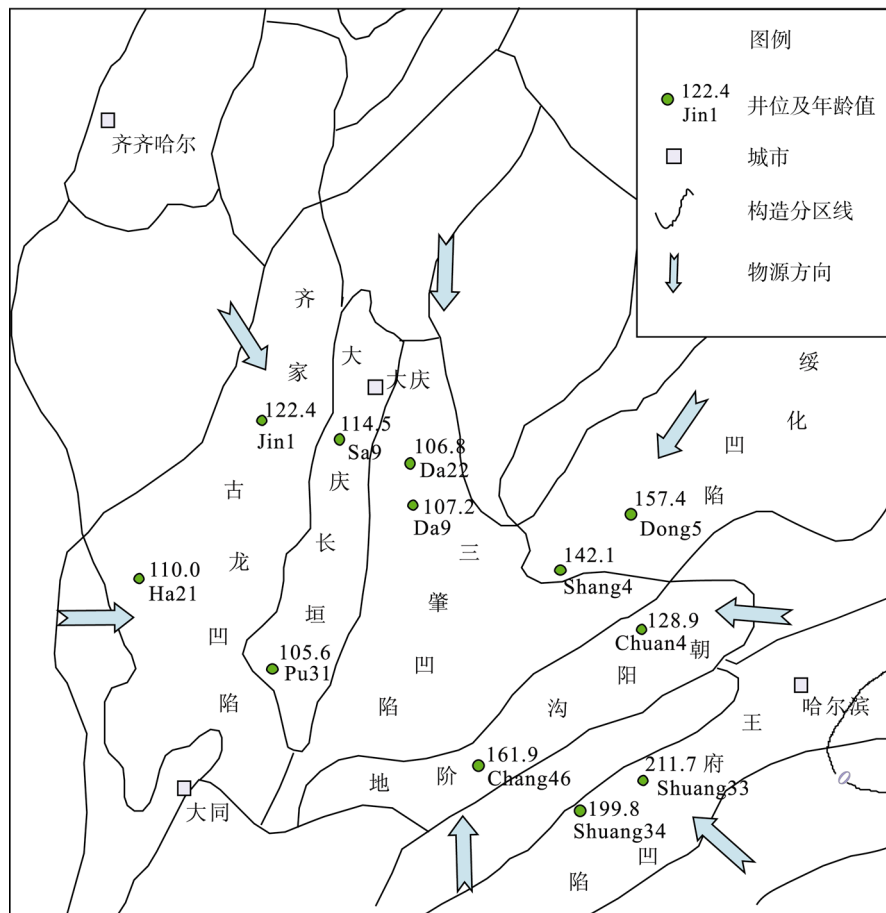


图 7 松辽盆地北部泉四段储层砂岩陆源碎屑年龄分布图及物源方向
Fig.7 Date of clastic illite and source directions of K_1q^4 in north of the Songliao basin

Shuang34 井为东南物源, Chang46 井则为南部物源。泉四段陆源碎屑年龄分别为 (110.0±0.8) Ma 和 (105.6±1.2) Ma, 年龄相近, 可能为同一物源, 推断

为西部物源。由此,松辽盆地北部泉四段沉积时主要发育七个物源区,泉四段沉积时期盆地的东南部存在有晚三叠到早侏罗世(相当于 Norian 期至 Hettangian 期)的地层被抬升剥蚀,而盆地北部及西部则主要是早白垩世晚期(相当于 Aptian 期和 Albian 期)的地层被抬升剥蚀。

从 Dong5 井泉头组三段及四段储层陆源碎屑年龄对比可以看出,泉三段储层陆源碎屑年龄为(122.4±1.2) Ma, 泉四段为(157.4±1.7) Ma, 反映不同层沉积时可能物源不同,或存在 Aptian 期与 Oxfordian 期不整合接触的地层较长时期被抬升剥蚀,晚期沉积的地层最先被剥蚀,早期沉积的地层后剥蚀,从而也可以出现下部地层陆源碎屑年龄小于上部地层情况,这还需结合其他地质资料进行确定。

5 结 论

(1)采用 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 激光阶段加热技术,可以获得从低温到高温(直至样品全部熔融)完整的阶梯型年龄谱,有效区分出低温阶段的自生伊利石年龄和高温阶段的陆源碎屑年龄坪,分别为油气成藏过程及沉积盆地物源研究提供了同位素年代学测试手段。

(2)利用碎屑伊利石 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄推断出松辽盆地北部下白垩统泉头组四段砂岩沉积物质来自七个方向,且各个方向的物源年龄差异明显。

参考文献(References):

- [1] 王伟,李方林,鲍征宇.松潘-甘孜盆地中、晚三叠世沉积物来源及演化的锆石 U-Pb 年代学制约[J].地质科技情报,2007,26(5):35-44.
Wang Wei, Li Fang-lin, Bao Zheng-yu. U-Pb constraints on provenance and evolution of Middle to Late Triassic sediment in Songpan-Garze basin[J]. Geol Sci Technol Inf, 2007, 26(5): 35-44 (in Chinese with English abstract).
- [2] 兰中伍,陈岳龙,苏本勋,刘飞,张宏飞.四川松潘-甘孜盆地砂岩的物质来源:来自锆石 U-Pb(SHRIMP)年龄证据[J].沉积学报,2006,24(3):321-332.
Lan Zhong-wu, Chen Yue-long, Su Ben-xun, Liu Fei, Zhang Hong-fei. The origin of sandstones from the Songpan-Ganze basin, Sichuan: Evidence from SHERIMP U-Pb dating of clastic zircons[J]. Acta Sedimentol Sinica, 2006, 24(3): 321-332 (in Chinese with English abstract).
- [3] 李任伟.大别山周缘盆地物源研究:新结果及运用[J].沉积学报,2010,28(1):102-117.
Li Ren-wei. Provenance study of the adjacent basins to Dabie Shan: New results and its application[J]. Acta Sedimentol Sinica, 2010, 28(1): 102-117 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李忠,李任伟,孙枢,张雯华.大别地块北缘侏罗系花岗岩类砾石的 Rb-Sr 年代学特征[J].科学通报,2001,46(1):582-585.
Li Zhong, Li Renwei, Sun Shu, Zhang Wenhua. Dating characteristic of Rb-Sr of Jurassic granitic gravel in North of Dabie shan[J]. Chinese Sci Bull, 2001, 46(1): 582-585 (in Chinese).
- [5] 闫义,林舸,王岳军,郭锋.盆地陆源碎屑沉积物对源区构造背景的指示意义[J].地球科学进展,2002,17(1):85-90.
Yan Yi, Lin Ge, Wang Yue-jun, Guo Feng. The indication of continental detrital sediment to tectonic setting[J]. Adv Earth Sci, 2002, 17(1): 85-90 (in Chinese with English abstract).
- [6] Lee M, Aronson J L, Savin S M. K/Ar dating of time of gas emplacement in Rotliegendes Sandstone, Netherlands[J]. AAPG Bull, 1985, 69(9): 1381-1385.
- [7] Matthews J C, Velde B, Johansen H. Significance of K-Ar ages of authigenic illitic clay-minerals in sandstones and shales from the North-sea[J]. Clay Miner, 1994, 29(3): 379-389.
- [8] 王飞宇,何萍,张水昌,赵孟军,雷加锦.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 Fei-yu, He Ping, Zhang Shui-chang, Zhao Meng-jun, Lei Jia-jin. The K-Ar isotopic dating of authigenic illites and timing of hydrocarbon fluid emplacement in sandstone reservoir[J]. Geol Rev, 1997, 43(5): 540-546 (in Chinese with English abstract).
- [9] Hamilton P J, Kelley S, Fallick A E. K/Ar dating of illite in hydrocarbon reservoirs[J]. Clay Miner, 1989, 24(2): 215-231.
- [10] 张有瑜, Zwingmann H, Todd A, 刘可禹, 罗修泉.塔里木盆地典型砂岩油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素测年研究与成藏年代探讨[J].地学前缘,2004,11(4):637-647.
Zhang You-yu, Zwingmann H, Todd A, Liu Ke-yu, Luo Xiu-quan. K-Ar dating of authigenic illite and its applications to study of oil-gas charging histories of typical sandstone reservoirs, Tarim basin, Northwest China[J]. Earth Sci Front, 2004, 11(4): 637-647 (in Chinese with English abstract).
- [11] 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 You-yu, Luo Xiu-quan. K-Ar isotopic chronological study of authigenic illite in reservoirs[J]. Oil Gas Geol, 2004, 25(2): 231-236 (in Chinese with English abstract).
- [12] Dong H L, Hall C M, Peacor D R, Halliday A N. Mechanisms of argon retention in clays revealed by laser $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating[J]. Science, 1995, 267(5196): 355-359.
- [13] 刘大永,彭平安,潘长春,王龙樟.自生伊利石 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法年代学实验过程中一些重要环节的探讨[J].矿物岩石地球化学通报,2008,27(2):169-174.
Liu Da-yong, Peng Ping-an, Pan Chang-chun, Wang Long-zhang. Discussion on the influence of different experiment conditions in the procedure of $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating of authigenic illite[J]. Bull Mineral Petrol Geochem, 2008, 27(2): 169-174 (in Chinese with English abstract).

- [14] Liewig N, Clauer N, Sommer F. Rb-Sr and K-Ar dating of clay diagenesis in Jurassic sandstone oil reservoir, North Sea[J]. AAPG Bull, 1987, 72(12): 1467-1474.
- [15] Chaudhuri S, Srodon J, Clauer N. K-Ar dating of illitic fractions of Estonian "blue clay" treated with alkylammonium cations[J]. Clay Clay Miner, 1999, 47(1): 96-102.
- [16] 杨忠芳, 季峻峰, 车忱, 周凤英. 沉积岩中伊利石的烷基胺处理和 K-Ar 定年分析[J]. 科学通报, 2002, 47(16): 1261-1264.
Yang Zhongfang, Ji Junfeng, Che Chen, Zhou Fengying. Alkylammonium cations treating and K-Ar dating of illite from mudstones[J]. Chinese Sci Bull, 2002, 47(19): 1669-1672.
- [17] 云建兵, 施和生, 朱俊章, 吴河勇, 冯子辉, 邱华宁. 砂岩储层自生伊利石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年技术及油气成藏年龄探讨[J]. 地质学报, 2009, 83(8): 1134-1140.
Yun Jian-bing, Shi He-sheng, Zhu Jun-zhang, Wu He-yong, Feng Zi-hui, Qiu Hua-ning. Investigation for dating the petroleum emplacement by authigenic illite ^{40}Ar - ^{39}Ar laser stepwise heating technique[J]. Acta Geol Sinica, 2009, 83(8): 1134-1140 (in Chinese with English abstract).
- [18] 张彦, 陈克龙, 刘新宇. 沉积岩中自生伊利石 K-Ar 定年研究——存在问题及原因讨论[J]. 岩矿测试, 2007, 26(2): 117-120.
Zhang Yan, Chen Ke-long, Liu Xin-yu. Study on the K-Ar dating of diagenetic illite in sedimentary rock samples — Question and discussion[J]. Rock Mineral Anal, 2007, 26(2): 117-120 (in Chinese with English abstract).
- [19] 邱华宁, 吴河勇, 冯子辉, 施和生, 云建兵, 王强, 赵令浩. 油气成藏 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年难题与可行性分析[J]. 地球化学, 2009, 38(4): 405-411.
Qiu Hua-ning, Wu He-yong, Feng Zi-hui, Shi He-sheng, Yun Jian-bing, Wang Qiang, Zhao Ling-hao. The puzzledom and feasibility in determining emplacement ages of oil/gas reservoirs by ^{40}Ar - ^{39}Ar techniques[J]. Geochimica, 2009, 38(4): 405-411 (in Chinese with English abstract).
- [20] 高瑞祺, 蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 104-106.
Gao Rui-qi, Cai Xi-yuan. Oil and Gas Fields Formation and Distribution in Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 104-106 (in Chinese).
- [21] 郭峰, 陈世悦, 王德海, 胡光明, 纪友亮, 任国选. 松辽盆地滨北地区白垩系泉头组-嫩江组沉积特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(1): 40-44.
Guo Feng, Chen Shi-yue, Wang De-hai, Hu Guang-ming, Ji You-liang, Ren Guo-xuan. Depositional characteristics of Quantou Formation-Nenjiang Formation in Binbei area, Songliao Basin[J]. Pet Geol Oilfield Develop Daqing, 2007, 26(1): 40-44 (in Chinese with English abstract).
- [22] 杨婷, 单玄龙, 刘万洙, 张雷, 王加强, 任利军, 王竞嫫. 松辽盆地齐家北地区下白垩统泉头组四段沉积微相特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2009, 29(4): 35-41.
Yang Ting, Shan Xuan-long, Liu Wan-zhu, Zhang Lei, Wang
- Jia-qiang, Ren Li-jun, Wang Jing-xian. Sedimentary microfacies of the fourth member of the Lower Cretaceous Quantou Formation in northern Qijia, Songliao Basin, Heilongjiang[J]. Sediment Geol Tethyan Geol, 2009, 29(4): 35-41 (in Chinese with English abstract).
- [23] 万俭英, 王始波, 赵秋枫, 汪清源, 张世祥. 大庆长垣以西地区泉三、四段扶杨油层储层特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(5): 14-17.
Wan Jian-ying, Wang Shi-bo, Zhao Qiu-feng, Wang Qing-yuan, Zhang Shi-xiang. Reservoir characteristics of Fuyang oil layer in Q3 and Q4 Member in Daqing placanticline and area to its west[J]. Pet Geol Oilfield Develop Daqing, 2007, 26(5): 14-17 (in Chinese with English abstract).
- [24] 李延平, 陈树民, 宋永忠, 王始波, 宋铁星, 李如一. 大庆长垣及以东泉三、四扶杨油层浅水湖泊-三角洲体系沉积特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(5): 13-16.
Li Yan-ping, Chen Shu-min, Song Yong-zhong, Wang Shi-bo, Song Tie-xing, Li Ru-yi. Shallow lacustrine-delta system deposition characteristics of Fuyang oil bed in Daqing placanticline and Quan3 and Quan4 Member to its east[J]. Pet Geol Oilfield Develop Daqing, 2005, 24(5): 13-16 (in Chinese with English abstract).
- [25] 张彦, 陈文, 杨慧宁. 用于同位素测年的自生伊利石分离纯化流程探索[J]. 地球学报, 2003, 24(6): 622-626.
Zhang Yan, Chen Wen, Yang Hui-ning. The separation of authigenic illite from detrital illite in sedimentary rock for Ar isotope dating[J]. Acta Geosci Sinica, 2003, 24(6): 622-626 (in Chinese with English abstract).
- [26] Koppers A A P. Software for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age calculations[J]. Comput Geosci, 2002, 28(5): 605-619.
- [27] 张凡, 邱华宁, 贺怀宇, 杨列坤, 苏菲, 王英, 吴林. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学数据处理软件 ArArCALC 简介[J]. 地球化学, 2009, 38(1): 53-56.
Zhang Fan, Qiu Hua-ning, He Huai-yu, Yang Lie-kun, Su Fei, Wang Ying, Wu Lin. Brief introduction to ArArCALC —Software for data reduction in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology[J]. Geochimica, 2009, 38(1): 53-56 (in Chinese with English abstract).
- [28] Yun Jian-bing, Shi He-sheng, Zhu Jun-zhang, Zhao Ling-hao, Qiu Hua-ning. Dating petroleum emplacement by illite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser stepwise heating[J]. AAPG Bull, 2010, 94(6): 759-771.
- [29] 侯启军, 冯志强, 冯子辉. 松辽盆地陆相石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 153-194.
Hou Qi-jun, Feng Zhi-qiang, Feng Zi-hui. Terrestrial Petroleum Geology of Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 153-194 (in Chinese).
- [30] 黄清华. 松辽盆地白垩纪重大地质事件、古气候及烃源岩成烃条件再认识[R]. 大庆: 大庆油田有限责任公司, 2009.
Huang Qing-hua. Review of Cretaceous great geologic event, palaeoclimate and source rock depositing condition of Songliao basin[R]. Daqing: Daqing Oilfield Company, 2009.