

松辽南部岩性地层油气藏成藏年代研究及其勘探意义

邹才能 陶士振 张有瑜

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083. E-mail: zcn@petrochina.com.cn)

摘要 松辽盆地南部扶新隆起的形成时间、演化特征和油气充注时间认识不清, 一直没有公认的统一结论. 文中对扶新隆起扶余油层岩性地层油气藏自生伊利石 K-Ar 同位素年龄进行了研究. 在伊利石矿物分离提纯、X 衍射分析和扫描电镜检测的基础上, 进行了同位素测试和年龄的计算分析. 在松辽南部“六史”演化综合分析的基础上, 剖析了松辽南部扶新隆起的构造-沉积-成藏演化特征, 认为盆地南部整个中央坳陷区油气演化和成藏的地质背景相似, 其中的长岭凹陷和扶新隆起是在青一段烃源岩进入生烃高峰后和扶余油层主成藏期后才发生明显的“隆-凹”分异, 即油气成藏发生于扶新隆起大规模隆升之前. 油藏具有上生下储、本地供源、垂向运移的特征, 澄清了以往油源主要来自长岭凹陷侧向运移的地质认识. 根据自生伊利石同位素年龄, 结合流体包裹体方法, 确定了扶新隆起扶余油层岩性地层油气藏油气充注的完整历史过程. 这一认识有助于正确评价扶新隆起和长岭凹陷及外围地区的资源潜力和勘探方向. 研究表明自生伊利石 K-Ar 同位素测年和流体包裹体两种技术方法的结合是追溯油气充注历史、确定油藏年龄的行之有效的技术手段.

关键词 伊利石 K-Ar 同位素 流体包裹体 成藏年代 岩性地层油气藏 松辽盆地

成藏年龄是探究油气藏成因的关键数据之一. 作为中国陆上除潜山以外为数不多、典型的上生下储(源下油藏)的扶余油层, 其成藏年代问题一直众说纷纭^[1,2], 主要原因在于不同学者采用的方法不同, 采集的样品和测试对象不同. 因此关于扶新隆起的演化历史和油气运聚机理和成藏年龄尚悬而未决. 目前对源内(萨尔图、葡萄花和高台子油层)和源上(黑帝庙油层)油藏的成藏机理比较清楚, 而源下(扶余和扶大城子油层)油藏的成藏机理复杂, 认识不清. 多数观点认为^[3-5], 扶新隆起在油气充注前就已经隆升, 油源来自长岭凹陷青一段烃源岩, 先垂向运移至泉四段砂体疏导层, 再侧向运移至扶新隆起. 本文主要根据自生伊利石 K-Ar 同位素, 结合流体包裹体方法对松辽南部扶余油层的成藏年龄进行了探讨, 在此基础上分析了油源和运聚机理.

油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素测年是国外 1980 年代中后期发展起来的一项新技术, Hamilton 等人^[6]对此进行过系统论述, 1995 年以来, 张有瑜等人^[7-9]进行过系统研究, 并建立了一套科学有效的配套方法体系. Lee 等对北海 Groningen 气田和 Broad Fourteens 盆地二叠系 Rotliegendes 砂岩储层中的自生伊利石进行了 K-Ar 同位素测年及天然气充注史研究^[10]. 此后, 尤其近几年来, 该项技术一直是国外油气勘探

领域的研究热点之一^[11-13]. 1995 年以来, 该项技术受到了国内油气勘探工作者的广泛重视, 并开始运用于油气成藏研究^[14,15]. 最近几年, 自生伊利石 K-Ar 同位素测年技术得到了广泛的应用^[16-25]. 在国外, 该项技术更加成熟, 应用领域更加广泛, 如广泛地应用于储层成岩演化阶段^[26]、岩石变质温度和年龄^[27]、烃类流体运移的时间^[28,29]、不同期次裂缝中古流体多阶段充注的年龄等^[30].

1 地质背景

松辽盆地是发育于海西褶皱基底上的中晚侏罗世-早白垩世断陷与中晚白垩世坳陷叠合型陆相含油气盆地. 自 1965 年发现扶余油田以来, 在松辽盆地南部扶新隆起带下白垩统泉三和泉四段陆续发现了一大批源下油气田, 包括构造油气藏、断层油气藏、地层油气藏、岩性油气藏和复合型油气藏等, 目前已发现扶余、新民、新立、木头、新北和两井等油田, 其中泉四段扶余油层探明的储量占松辽南部的 50% 以上^[1].

扶余油层是松辽盆地南部的源下油层, 也是中国少有的典型的上生下储油藏. 扶余油层主要赋存于上白垩统的泉三、四段河流-三角洲沉积形成的砂岩油藏, 油气主要来自上覆青山口组一段烃源岩, 青

一段源岩也是盖层,属于上生下储式生储盖组合。根据盆地南部目前已发现的油气藏类型、成藏条件及分布特点分析,松辽盆地南部扶杨油层油气成藏及分布主要受水进下部三角洲前缘砂体、有效源岩、油源断层、良好的区域盖层和超压等条件控制^[31~34]。

松辽盆地南部上白垩统泉头组为三角洲前缘水下分流河道沉积的细砂岩,在扶新隆起分布广泛,是松辽南部中生界石油的主力产层。碎屑成分主要是长石和石英,其次为岩屑,有些含少量生物碎屑(多为介形虫,个别个体完整)。碎屑多呈线接触,方解石、铁方解石充填粒间孔隙并交代长石等颗粒,但分

布欠均匀。部分石英、长石具加大边。碎屑大小均匀,碳酸盐矿物交代强烈。岩石溶蚀作用较强,长石、岩屑溶蚀较明显,个别颗粒被溶蚀,只留下少量残余。岩石孔隙以长石、岩屑粒内溶孔及颗粒溶孔为主,次为粒间溶孔。粒间孔隙分布不均匀,在泥质含量高的部位孔隙发育相对较差。

本次运用扫描电镜检测到的伊利石多为丝状的自生伊利石,常见粒表和粒间丝状伊利石、粒表溶蚀坑内丝状伊利石、粒间自生石英晶体及丝状伊利石,同时存在少量次生孔隙内片状伊利石及粒表溶孔中少量片状伊利石(图1)。自生伊利石矿物的普遍存在

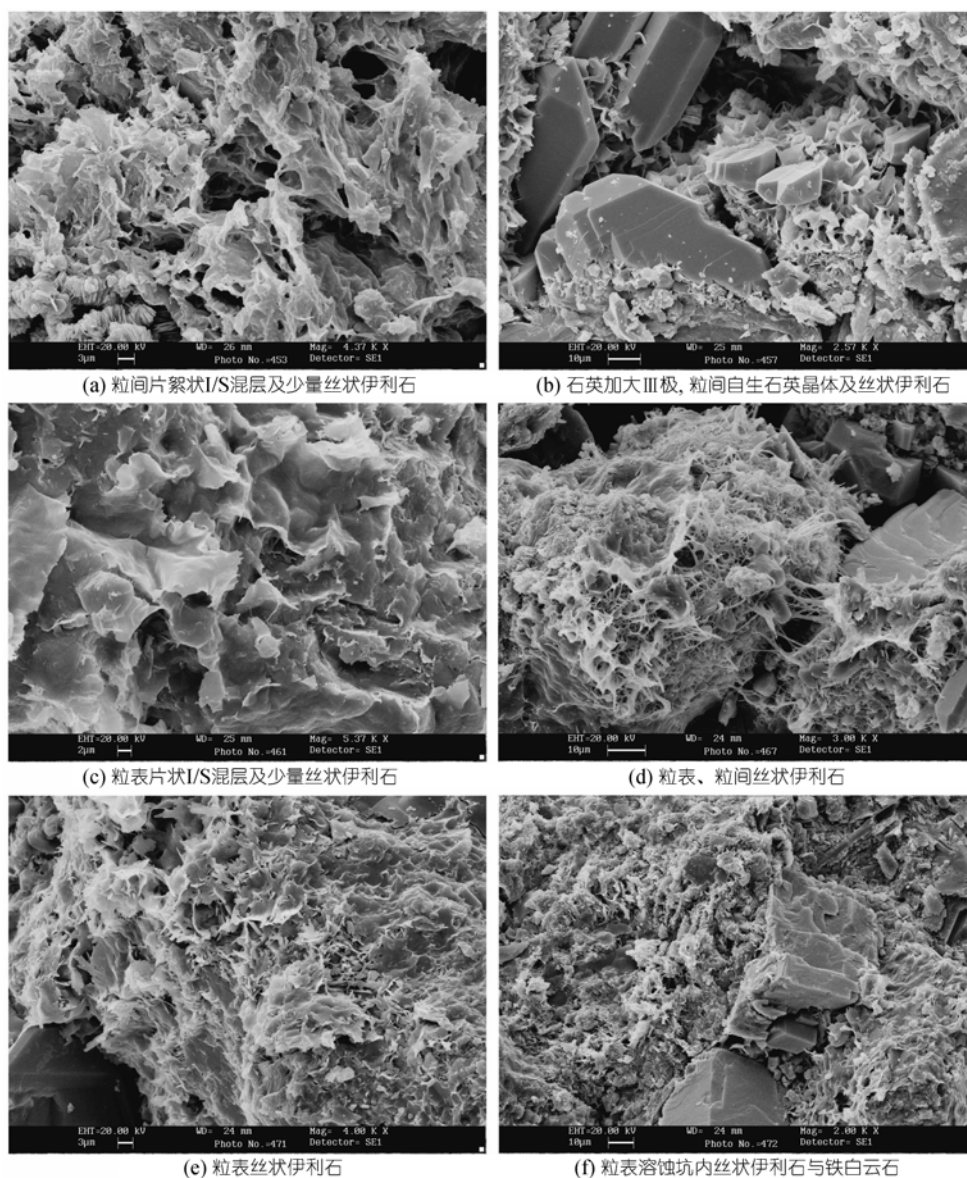


图1 松辽南部扶新隆起泉四段伊利石扫描电镜特征

为同位素测年工作提供了物质基础和前提。

扶杨油层成藏特征和成藏期的研究受到了石油地质工作者的广泛关注,虽然对油气成藏期做了一些研究工作,但尚无统一的认识,因此,系统研究油气成藏期及其与其他成藏条件的时空配置关系是建立油气成藏模式的重要基础。通过这方面研究可以了解含油气盆地油气藏形成的历史,并且通过与构造、储层、运聚等条件相结合来研究油气藏的形成条件和分布规律,进而可预测盆地中有利的勘探区带。本文根据伊利石测年、包裹体参数等方法厘定了松辽盆地南部中浅层油气藏的期次和时间,并与生排烃的配置关系相结合来分析油气的分布规律,提出了下一步勘探的有利区带。

2 实验和结果

2.1 方法原理

自生伊利石是在油气注入前形成的胶结矿物,由于油气代替地层水而引起硅酸盐成岩作用终止,所以晚期自生伊利石K-Ar年龄将会近似记录油气注入事件的最早发生时间^[6,12]。油气的注入取代地层水,从而引起伊利石成岩作用的终止。这是利用自生伊利石K-Ar同位素年代学研究油气注入事件的理论基础。因此,伊利石成岩作用发育并与油气注入具有成因联系是有效定年的理论前提^[6,12]。为此,本次实验特别提取较细粒级的伊利石(0.3~0.15 μm和<0.15 μm),目的就是要提取晚期形成的自生伊利石而摒弃早期形成的伊利石,主要依据如下:()早期形成的伊利石个体大,晚期伊利石个体小;()晚期伊利石主要分布在颗粒边缘,最易脱落;()从数量上讲,主要是晚期伊利石,早期伊利石在数量上是非常少的^[6,12]。同时,这种晚期的细粒自生伊利石一般是不含(或仅含有非常微量)的油气包裹体,因为油气充注时自生伊利石已停止生长,从而避免了有机碎片峰的影响而使K-Ar年龄偏小。

随着油气勘探工作的不断深入,勘探的难度逐渐加大。油气成藏史的研究对于揭示成藏规律、指导油气勘探具有非常重要的意义。我院实验中心近几年来开展了黏土矿物分离、X射线、扫描电镜分析和K-Ar同位素测试等系统配套的自生伊利石同位素测年工作^[7]。杨忠芳等人^[35]对沉积岩中伊利石的烷基胺阳离子处理和K-Ar定年进行了分析研究,结果表明,粒级细的部分K-Ar年龄小,而粒级粗的部分K-Ar年龄大。王龙樟等人^[36,37]对鄂尔多斯盆地北部

苏格里气田的气藏储层进行了自生伊利石⁴⁰Ar/³⁹Ar法定年的实验研究。邱华宁等人^[38~41]对Ar-Ar法定年的理论、实验和应用进行了深入研究,指出气体提取系统-纯化系统小型化和实验流程自动化是Ar-Ar实验室的必然发展趋势,并以滇西龙陵花岗岩黑云母Ar-Ar定年结果为例,出具了现代Ar-Ar实验室产生的高质量的实验数据。其他学者对自生伊利石K-Ar同位素测年的分离提纯流程等技术进行了多方面的实验研究^[42,43]。

油气储层自生伊利石K-Ar法同位素测年实际上是K-Ar法同位素年龄测定技术在确定自生伊利石年龄上的具体应用。从理论上讲,其方法原理是一致的,但由于测试对象不同和所解决的问题不同,油气储层自生伊利石K-Ar法同位素测年技术又具有其特殊性。Hamilton等人^[12]认为,由于油气代替地层水从而引起硅酸盐成岩作用终止,所以自生伊利石K-Ar年龄将会记录油气注入事件的发生时间并代表圈闭构造形成的最大年龄。伊利石类黏土矿物常常是在油气注入之前形成的最晚的胶结物或形成最晚的胶结物之一。由此看来,要想利用油气储层自生伊利石K-Ar法同位素测年技术解决油气注入时间问题,必须具备两个前提条件:一是所研究的砂岩储层中必须有充分发育的伊利石成岩作用,也即砂岩样品中必须含有足够数量的伊利石和/或伊利石/蒙皂石有序间层,而且必须是成岩自生伊利石和/或成岩I/S有序间层;二是所研究的砂岩储层中的伊利石成岩作用必须与油气注入事件具有成因联系。这是运用该方法进行有效定年的前提和保证^[9]。

2.2 分析流程和结果

使晚期自生伊利石得到最大程度的富集和最大限度剔除碎屑钾长石和碎屑伊利石等碎屑含钾矿物是分离提纯的主要目的。其理论依据是,砂岩储层中,自生伊利石晶体较为细小,碎屑钾长石和碎屑伊利石(包括碎屑云母类矿物)晶体颗粒较为粗大。Hamilton等人^[12]认为,只有最细粒级的自生伊利石才最有可能是最晚期形成的自生伊利石,其年龄才最有可能代表自生伊利石生长作用的终止年龄。

()国内外技术发展现状。关于小于2 μm自生伊利石黏土组分的分离与提纯,国内外大多是采用高速、超高速离心分离技术,如Hamilton等人^[12]首先采用沉降技术分离出小于2 μm的粒级组分,然后采用超高速离心分离技术进一步分离出2~1, 1~0.5,

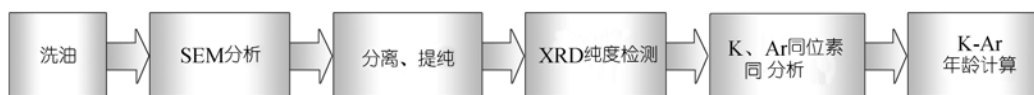


图2 自生伊利石 K-Ar 年龄分析流程简图

0.5~0.1 和小于 0.1 μm 粒级组分。原核工业部北京地质研究院地质分析测试研究中心等采用的真空抽滤技术也获得了较好的分离提纯效果。

() 技术流程。自生伊利石的分离提纯及其 K-Ar 同位素测年技术是一项包含多项内容的分析技术, 本次研究设计如图 2 所示的系统分析流程。该流程主要由 6 个部分组成, 包括洗油、利用扫描电镜和 X 射线衍射技术(XRD)通过样品黏土矿物特征的研究鉴别伊利石成因类型及其发育程度、自生伊利石分离提纯、K 含量测定、同位素比值分析和 XRD 纯度检测, 最后进行 K-Ar 年龄计算。每个环节都非常重要, 若处理不当均会导致最终的自生伊利石 K-Ar 年龄的测定结果出现错误。自生伊利石分析结果见表 1。

本次研究在广泛参阅了国内外有关资料的基础上, 建立了以真空抽滤技术为主的、并结合沉降分离技术和离心分离技术的自生伊利石分离提纯技术。利用该技术可以分别提取 2~1, 1~0.45, 0.45~0.3, 0.3~0.15 和小于 0.15 μm 的粒级组分。在实际操作中可根据所欲分离提取的粒级组分、实验室的设备条件和具体样品情况对该技术流程进行适当调整。本次实验主要提取 0.3~0.15 和小于 0.15 μm 的粒级组分。

本次研究中自行设计组装的自生伊利石分离提纯真空抽滤系统, 主要有以下 6 部分组成: 真空泵; 缓冲瓶; 电磁阀; 双咀三角抽滤瓶; 抽滤漏斗; 混合纤维素酯微孔滤膜($\phi = 150 \text{ mm}$, 孔径=0.45, 0.3 和 0.15 μm)。该系统可以有针对性地提取不同粒级的自生伊利石。

() XRD 纯度检测。自生伊利石黏土样品分离提纯的质量是决定其 K-Ar 同位素测年技术成功与否的关键。最为理想的样品基本上由最晚期自生伊利石组成, 极少含碎屑钾长石和碎屑伊利石。现代沉积物和变质岩中的伊利石 XRD 测试结果表明, 碎屑伊利石具有较为明显的 X 射线衍射特征: 一是峰位为 $10.05 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 且基本不变; 二是半高宽小于 $0.42^\circ (2\theta)$, 据此便可以将其与自生伊利石区分开, 并利用分峰技术对两者进行定量分析。

X 射线衍射结果表明, 随着粒度的减小, 各种杂质的含量都在逐渐减少, 在小于 0.2 μm 的粒级中, 已检测不出石英、钾长石、钠长石、方解石、白云石等杂质的存在。综合考虑粒度和自生伊利石的纯度, 一般情况下, 以 0.1~0.2 μm 粒级的产品用于 Ar-Ar 和 K-Ar 测年较合适。但在实际进行年龄分析时, 要先进行 XRD 和透射电镜分析, 只有确定其成岩混层 I/S 的含量近 100% (至少在 95% 以上) 及混层中 S 的含量小于 25% 时, 才可用于 Ar-Ar 和 K-Ar 年龄测定^[42]。本次样品 XRD 纯度检测结果表明样品中几乎不含碎屑钾长石和碎屑伊利石, 其含量(见表 1)在合理的范围内, 微乎其微, 可以忽略不计。

() 分析结果。本实验室严格按照行业标准执行, 实验前对仪器性能、状态进行了规范的检测。本实验 Ar 同位素测量值已经扣除了实验前后的本底。研究区自生伊利石 K-Ar 法年龄相关测定数据见表 1。

3 分析讨论

3.1 油气充注期次和时间

从表 1 中可看出, 自生伊利石的年龄数据分布区间为 64.4~92.5 Ma, 对应的地质时代在晚白垩世青山口组末期和明水组末期区间内。从不同部位油气充注的年龄来看, 数据的变化在长岭凹陷和扶新隆起之间没有明显的递变规律性, 年龄平均值和分布态势相近, 没有从凹陷→隆起呈现由老→新的年龄变化趋势, 因此, 可以推定长岭凹陷和扶新隆起扶余油层中的油是原地上覆青一段烃源岩向下垂向运移、同时充注的。虽然长岭凹陷现今埋藏深大, 但石油充注并非发生早, 扶新隆起现今埋藏浅但石油充注并不比长岭凹陷晚。如所测试的样品中, 2 个年龄明显偏大的样品并非仅局限于长岭凹陷, 检 23-3 (长岭凹陷) 和前 48A-44 (扶新隆起高部位) 2 个样品的年龄值较大(86~92 Ma), 可能主要是样品本身原因使年龄偏大, 也可能确实个别井区油气充注时间较早。同样, 2 个年龄明显偏小的样品并非仅局限于扶新隆起, 如毗邻长岭凹陷的乾 193 井和查 25 井成藏年龄较小。

表 1 松辽盆地南部伊利石 K-Ar 法年龄测定结果^{a)}

构造 部位	样品号	岩性	深度 /m	粒级/ μm	钾含量 (%)	黏土矿物相对含量/%					I/S 间 层比 (%)	C/S 间层 比 (%)	钾长石 (XRD)	放射成因 氩($^{40}\text{Ar}_{\text{fb}}/\text{g}$) $\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$	^{40}K 含量 ($^{40}\text{K}/\text{g}$) $\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$	$^{40}\text{Ar}_{\text{fb}}/^{40}\text{Ar}_{\text{总}}(\%)$	$^{40}\text{Ar}_{\text{fb}}/^{40}\text{K}$	年龄 (Ma, 1σ)
						蒙皂 石 (%)	伊蒙 间层 (%)	伊利 石(%)	高岭 石(%)	绿泥 石(%)	绿蒙 间层 (%)							
长 岭 凹 陷	乾 193	含油砂岩	2145	0.3~0.15	4.72		84	2		14		25	微量	5.363E-10	1.409E-07	89.69	0.0038068	64.4 $\pm$ 1.6
	乾 193	含油砂岩	2145	<0.15	4.72		83	2		15		25	微量	5.677E-10	1.409E-07	93.79	0.0040301	68.1 $\pm$ 0.6
	查 25-3	含油砂岩	2385	0.3~0.15	5.94		100					10	未检出	7.185E-10	1.773E-07	85.30	0.0040527	68.4 $\pm$ 0.7
	查 25-3	含油砂岩	2385	<0.15	6.13		100					10	未检出	7.408E-10	1.830E-07	93.08	0.0040491	68.4 $\pm$ 0.5
	检 23-2	含油砂岩	506	0.3~0.15	3.90		88	2	4	6		25	微量	5.553E-10	1.164E-07	87.20	0.0047706	80.3 $\pm$ 1.1
	检 23-2	含油砂岩	506	<0.15	3.78		89	2	3	6		25	微量	5.191E-10	1.128E-07	65.50	0.0046009	77.5 $\pm$ 0.8
	检 23-3	含油砂岩	310.1	0.3~0.15	4.66		88	5	7			25	微量	7.375E-10	1.391E-07	93.11	0.0053022	89.0 $\pm$ 0.7
	检 23-3	含油砂岩	310.1	<0.15	4.58		88	4	8			25	微量	7.402E-10	1.367E-07	91.92	0.0054147	90.9 $\pm$ 0.7
扶 新 隆 起	新 211-1	含油砂岩	1147	0.3~0.15	4.68		90	5	5			25	微量	6.864E-10	1.397E-07	85.60	0.0049139	82.7 $\pm$ 2.0
	新 211-1	含油砂岩	1147	<0.15	4.70		89	5	6			25	微量	6.617E-10	1.403E-07	83.34	0.0047172	79.4 $\pm$ 2.4
	让 46-2	含油砂岩	1514.1	0.3~0.15	4.31		68	3		29		20	未检出	5.585E-10	1.286E-07	90.32	0.0043420	73.2 $\pm$ 0.6
	让 46-2	含油砂岩	1514.1	<0.15	4.32		66	3		31		20	未检出	5.720E-10	1.289E-07	83.45	0.0044365	74.8 $\pm$ 0.6
	木 125-3-5-B	含油砂岩	531.2	0.3~0.15	3.84		75	4	21			20	未检出	5.539E-10	1.146E-07	86.00	0.0048330	81.3 $\pm$ 0.7
	木 125-3-5-B	含油砂岩	531.2	<0.15	3.85		75	5	20			20	未检出	5.697E-10	1.149E-07	80.66	0.0049577	83.4 $\pm$ 0.6
	前 48A-44	含油砂岩	1138.7	0.3~0.15	3.94		66	4		30		20	未检出	6.075E-10	1.176E-07	91.57	0.0051663	86.8 $\pm$ 0.8
	前 48A-44	含油砂岩	1138.7	<0.15	4.18		66	4		30		20	未检出	6.878E-10	1.248E-07	97.58	0.0055134	92.5 $\pm$ 1.1

a) 测试单位: 中国石油勘探开发研究院实验中心, 完成人: 张有瑜

(64~68 Ma), 反映油气充注时间较晚, 而其他井区油气充注时间相近. 根据自生伊利石测年和热史生烃史研究结果(图 3), 上白垩统青山口组一段烃源岩在 85 Ma 进入生烃门限时($R_0=0.7\%$ 对应的地层温度 90 °C), 因此, 85 Ma 之前的年龄, 可能主要是伊利石样品本身的原因造成年龄偏大, 也不能完全排除烃源岩在成熟早期生成的少量原油或低熟油的充注时间, 只是这一阶段原油生成和充注的范围和量很受局限(表中仅有 2 个样品前 48A-44 和检 23-3 的年龄大于 85 Ma). 在本区烃源岩成熟和生烃高峰阶段(古低温 90~140 °C 对应于 $R_0=0.7\%\sim1.4\%$)对应的地质时代为 85~65 Ma(图 3), 即晚白垩世嫩江期—明水期, 表中绝大部分年龄数据在这个范围内, 反映了烃源岩成熟和生烃高峰阶段生成的原油充注的年龄. 表 1 中绝大部分样品的年龄值在 65~85 Ma 之间, 应视为同期充注的油气, 在这个相差 20 Ma 的数据中, 并不是说不同井区的原油充注时间一定存在先后差异. 存在两种可能性, 一种可能是同时充注, 年龄的差异是不同井区样品本身受多种因素影响, 而导致自生伊利石测年数据存在差异; 另一种可能是, 同期排烃但并非绝对同步充注, 即原油充注确实存在一定的先后

自然差异, 这也正常, 烃源岩生烃、排烃和运移充注和矿物的生长一样, 它是一个过程, 不同井区、纵向上不同位置圈闭的砂体捕获油气的机会存在自然的先后差异. 同时, 这种充注的非同步性, 也可能充注条件的变化和差异, 即部分井区稍晚才具备充注条件(如畅通的疏导体系和有效的储集体).

自生伊利石 K-Ar 同位素测年数据, 可以精确厘定油气最初开始充注的时间, 但后期的持续充注过程、二次生烃充注, 或原生油气藏的次生调整二次定型, 伊利石测年方法无能为力了. 但流体包裹体是地质历史过程的多阶段真实记录, 可通过包裹体方法来恢复油气的后续充注历史和多期成藏阶段 [43].

在流体包裹体特征、宿主矿物及成岩序列分析的基础上, 测定了与烃类流体包裹体共生的盐水溶液包裹体的均一温度, 结合古地温梯度和沉积埋藏史就可以确定包裹体形成时的埋藏深度和对应的地质时代. 研究区扶余油层储层中的盐水溶液包裹体比较发育, 包括气液包裹体和纯液相包裹体两类. 包裹体主要分布在石英加大边、石英裂隙和方解石等胶结物中. 测试结果表明, 扶余油层流体包裹体的均一温度主要集中在 90~120 °C. 个别样品由于异常因素造成包裹体

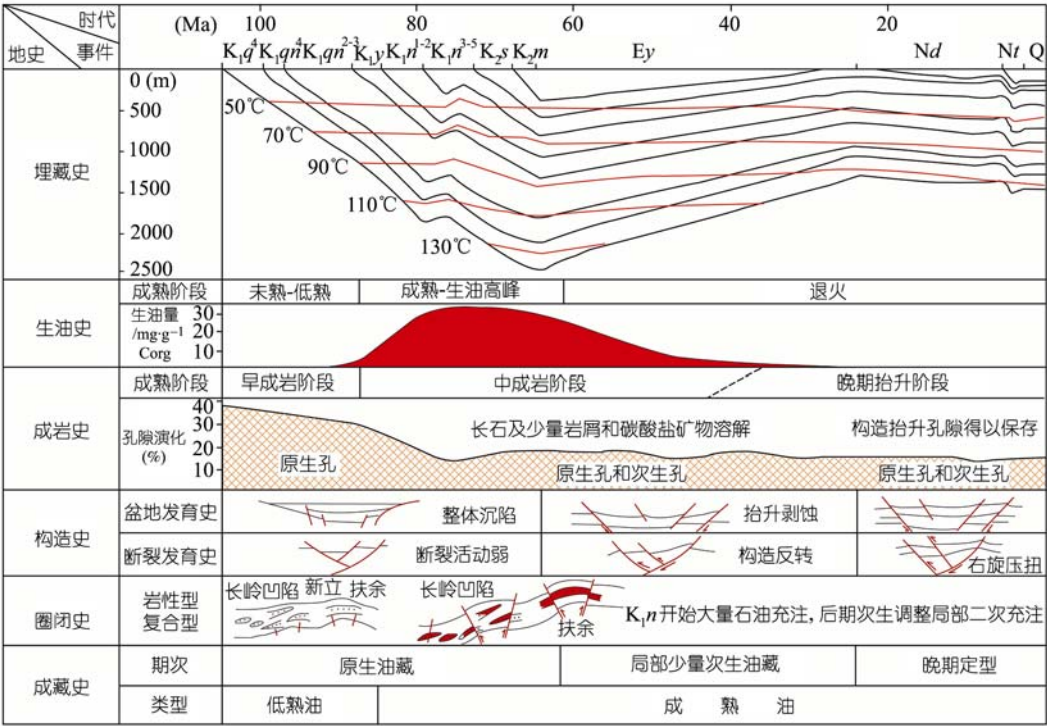


图 3 松辽南部扶新隆起“六史”综合演化示意图

均一温度数据异常高也是客观事实, 如根据热史生烃史恢复储层经历的最高温度不高于 140 , 但个别包裹体均一温度高达 160 , 这在包裹体测试过程中是经常碰到的, 异常高温的包裹体通常有两种原因: 一是包裹体形成时为非均一相态捕获, 二是深部热流体活动影响, 因为松辽盆地裂谷后期拗陷阶段构造稳定, 所有前一种可能性较大.

从表 2 可看出, 不同井区均一温度变化没有规律性, 即没有从凹陷→隆起呈现由高→低的地温变化趋势, 说明包裹体捕获时的古地温场和捕获深度相近, 也进一步说明包裹体是扶新隆起抬升前捕获的. 因此, 可以推定长岭凹陷和扶新隆起扶余油层中的油是原地上覆青一段烃源岩向下垂向运移、同时充注的. 从表 2 中可看出, 扶余不同井区中与烃类包裹体伴生的盐水溶液包裹体的均一温度和形成时期与现今长岭凹陷和扶新隆起的隆凹格局不具有明显的对应关系, 即并非长岭凹陷的包裹体温度及形成年龄就大于扶新隆起. 比如表中靠近长岭凹陷的红 75-1 井、查 25 井、乾 193 井等样品的包裹体温度及捕获深度比扶新隆起的还稍小, 表明油气藏形成于扶新隆起大规模隆升之前. 根据埋藏史分析表明, 扶余油层油藏的烃类流体的注入主要发生在白垩纪嫩江期

和明水期之间.

根据包裹体均一温度, 结合热史生烃史图(图 3)确定了流体包裹体的形成时代(表 2), 因为该地区地质演化过程中经历了从沉降到抬升的过程(如图 3), 亦即出现沉降沉积增温和抬升剥蚀降温的过程, 这样根据均一温度反推形成时间具有双解性, 即同一地温值可以出现在沉降沉积期, 也可出现在抬升剥蚀期. 在沉降沉积期烃类包裹体代表烃源岩大量生烃阶段充注的包裹体, 形成的油藏为原油藏; 在抬升剥蚀期烃类包裹体代表后期构造调整阶段充注的包裹体, 形成的油藏为次生油藏(或油藏的局部调整). 据此, 可把流体包裹体及其对应的原油充注分为两期, 第一期是烃源岩大量生排烃期原油藏成藏阶段形成的包裹体, 其对应的地质时期主要集中在 65~85 Ma, 与绝大多数自生伊利石的测年数据一致. 其中在更早时期(大于 85 Ma)形成的包裹体主要是根据烃类包裹体的均一温度恢复的地质年龄, 通常烃类包裹体比同期形成的与其共生的盐水溶液包裹体要低 10~20 , 这是不同类型包裹体的差异造成年龄偏大, 从表中可以看出, 盐水溶液包裹体的形成年龄都主要集中在 85~65 Ma 的范围内; 第二期是生烃基本终止、原油藏基本定型后, 因构造调整, 局部地区

表 2 松辽南部中央拗陷包裹体测试结果表^{a)}

构造部位	样品号	类型	宿主矿物	均一温度/ /Ma	抬升前形成时期 /Ma	抬升后形成时期 /Ma
长岭凹陷	红 75-1	盐水	石英裂隙及加大边	92~134	84~66	62~25
	红 90	烃类	石英裂隙及加大边、方解石、石膏	58~105	95~82	37~23
		盐水	石英裂隙及加大边、方解石裂隙	92~125	84~71	56~24
	大 50	烃类	石英裂隙及加大边、方解石、石膏	80~98	88~83	33~23
		盐水	石英裂隙、方解石裂隙	90~120	85~73	51~23
	检 23-0	盐水	石英裂隙及加大边、方解石	95~128	83~70	59~26
	检 23B	烃类	石英裂隙及加大边、石膏裂隙及加大边	65~142	92~65	65~23
		盐水	石英裂隙及加大边	95~108	84~81	39~23
	检 23-2	烃类	石英裂隙及加大边	60~125	94~71	57~23
	乾 193	烃类	石英裂隙及加大边	60~70	94~91	
	乾 193	盐水	石英裂隙及加大边	82~108	88~81	39~23
	查 25-2	烃类	石英裂隙及加大边、石膏	70~85	91~87	
		盐水	石英裂隙及加大边	84~98	87~83	33~23
扶新隆起	新 211-2	烃类	石英裂隙及加大边、方解石、石膏	74~145	89~65	65~23
		盐水	石英裂隙及加大边、方解石裂隙	105~118	82~74	50~37
	新 211-2	烃类	石英裂隙及加大边、石膏	54~116	96~75	48~23
		盐水	石英裂隙及加大边、石膏	92~162	85~65	65~23
	让 46-2	烃类	石英裂隙及加大边	50~90	96~85	
		盐水	石英裂隙	85~105	87~82	37~23
	前 48A-44	烃类	石英裂隙及加大边	65~95	92~84	29~23
		盐水	石英裂隙及加大边	105~138	82~66	64~37
	民 62	盐水	方解石裂隙及加大边	92~115	84~76	47~24

a) 国土资源部中南矿产资源监督检测中心(宜昌)测试, 2005 年 2 月

发生的小规模原生油藏调整阶段形成的包裹体,当然这一期包裹体数量相对于第一期来说是很少的,也是因为原生油藏的形成很大程度上抑制了成岩自生矿物及包裹体的形成,这一期包裹体对应的地质时期在 50~25 Ma 之间. 该期调整阶段发生的原油再次充注的时间求取是包裹体定年方法的优势所在.

自生伊利石的同位素年龄反映了油气最初充注的年龄,即 65~85 Ma, 后期构造调整期间(地层抬升剥蚀)充注的油气则通过包裹体数据恢复的年龄(50~25 Ma)来确定. 可见,伊利石同位素测年和包裹体定年手段相结合可以互为补充,即伊利石同位素测年追索了烃源岩大量生排烃阶段油气充注的时间,而后期抬升调整阶段的局部油气充注可以通过烃类包裹体及其相关信息来进行追索,这样便可完整地追索油气充注和成藏的历史过程.

3.2 油气演化和成藏特征

在伊利石测年和包裹体定年的基础上,根据扶新隆起构造-沉积-成藏地质特征研究,编制了“六史”综合演化图(图 3),分析表明扶新隆起进入古近纪才大规模抬升,钻井实际地质资料分析所揭示的地层沉积演化和剥蚀特征也证明了这一点(图 4). 烃源岩

地球化学研究表明^[31],隆起部位烃源岩已成熟,如新 333 井青一段烃源岩 R_o 为 0.94,可以直接向下有效供烃. 生物标志物和同位素研究表明(图 5),整个扶新隆起上扶余油层的生物标志物和同位素没有明显变化,非常一致,没有显示出横向运移分溜的迹象. 表明扶新隆起油气主要来自本地上覆源岩,并非来自长岭凹陷侧向运移而来.

根据轻烃气相色谱换算原油形成温度,结果表明,原油温度有一定差异,自南东向北西逐渐增大,但原油温度差异不大,表明烃灶相近,成熟度差异不大. 进一步证实扶新隆起和长岭凹陷的油气形成时烃源岩及油的成熟度相同,也表明处于相同或相近的热埋藏背景中,从一个侧面说明,在扶新隆起大规模隆升之前油气就已经形成并充注成藏.

原油的碳同位素数据和生物标志化化合物的资料也进一步证实扶新隆起扶余油层的原油来自本地上覆青一段烃源岩^[31]. 原油同位素数据表明,凹陷、斜坡和隆起区原油碳同位素组成非常接近(-30.3‰ ~ -31.6‰),表明没有发生横向运移的同位素分溜效应,油源主要为本地上生下储,以垂向运移为主. 从扶新隆起和长岭凹陷原油与源岩萘烷特征对比看,扶新

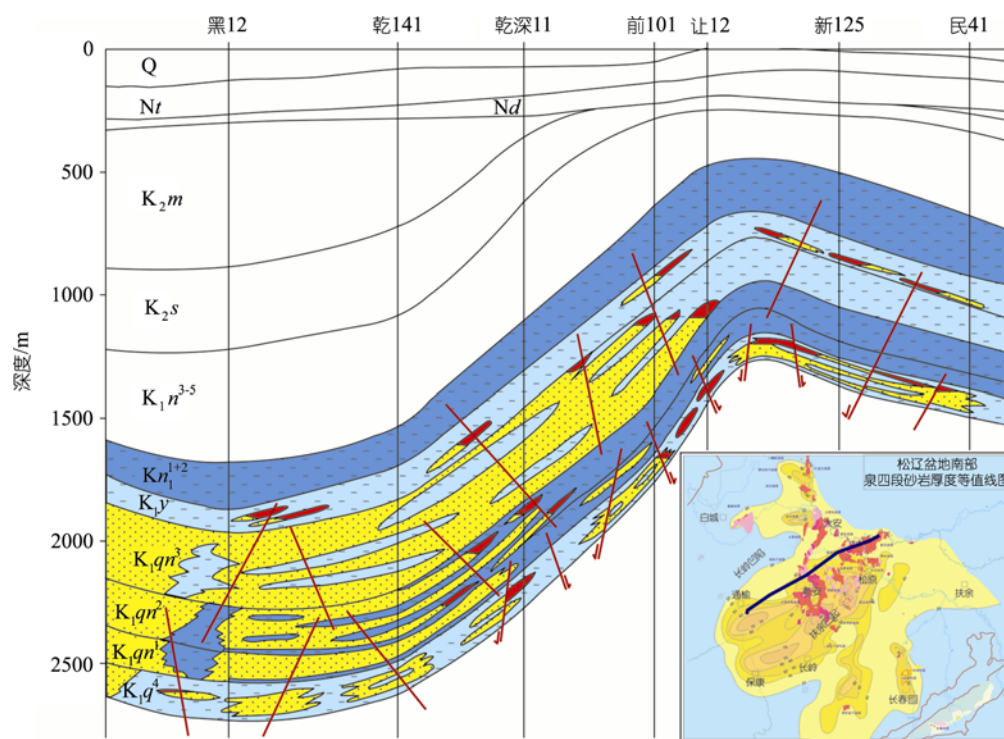


图 4 长岭凹陷-扶新隆起 NE-SW 向连井地质剖面图

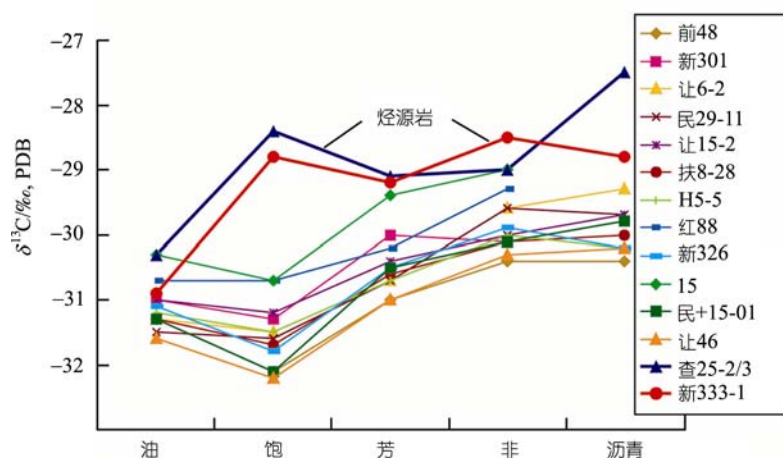


图 5 松辽南部中央坳陷区原油及族组成同位素对比图

隆起与长岭凹陷之间在原油和烃源岩的萘烷特征上都有明显差异,但扶新隆起部位的原油和本地的烃源岩可比性较好,而与长岭凹陷的烃源岩可比性较差。长岭凹陷的原油与其凹陷自身的烃源岩可比性较好,进一步证明扶新隆起扶余油层原油主要来自本地土覆青一段烃源岩,以垂向运移为主。同时,本区油气充注和成藏发生在扶新隆起隆升之前,地形平坦,沉积砂体主要为河道砂体,横向连通性差,从而排除了以横向运移为主的可能性,证实了扶余油层上生下储、本地供源、垂向运移的事实。

3.3 勘探意义

伊利石定年结果表明,整个扶新隆起及中央坳陷区油气普遍开始注入的时间是 85~65 Ma,即晚白垩世嫩江期至明水期。流体包裹体记录了两期油气事件,第一期是烃源岩大量生排烃期原生油藏的形成阶段,其对应的地质时期主要集中在 65~85 Ma,与绝大多数自生伊利石的测年数据一致;第二期是地层抬升期间油藏后期调整阶段,其对应的地质时期为 50~25 Ma 之间,其中后者形成的包裹体数量远低于前者。

如前文所述,无论从自生伊利石 K-Ar 同位素测年法还是流体包裹体定年法的结果来看,本区扶新隆起和长岭凹陷的油气充注时间基本一致,揭示了油气演化成藏和“隆-凹”分异在时间上的先后关系,表明油气形成于扶新隆起大规模隆升之前。两者的先后关系所反映的成藏机理和运聚动力明显不同。本次研究确认,油气成藏早于扶新隆起的形成,表明烃源岩进入成熟阶段,乃至油气充注成藏时,长岭凹

陷和扶新隆起处于相近的海拔高度,没有明显的隆凹分异格局,整个中央坳陷区近于平坦的地貌,这种情况下油气不可能发生大规模的侧向运移,即扶杨油层的油是直接来自上覆源岩,即具有本地供源的特征,经垂向运移而下进入扶杨油层,其驱动力是异常高的源储压差。运移通道是断层和裂缝,油气成藏的主控因素是“断层-砂岩-超压”的有机配置,若是油气成藏发生于长岭凹陷和扶新隆起之间“隆-凹”明显分异(即扶新隆起大规模隆升)之后,则情况会明显不同,由于势差驱替,长岭凹陷的油气可以先经历侧向运移,排驱到扶新隆起高部位,进而在压差驱替下,再注入下伏扶杨油层,这样两种情况不仅成藏动力和机理不同,而且油气资源潜力分布及勘探方向也有明显差异。

由于油气充注和成藏发生于扶新隆起大规模隆升之前,故油气分布不严格受长岭凹陷的油源控制。在扶新隆起带及其外围,只要青一段存在成熟有效烃源岩,有畅通的运移通道和砂体配置,烃源岩生烃产生的异常高压可以驱动油气下排进入扶杨油层。因此,在勘探中应寻找“源岩/超压+断层+砂体”控制的“甜点”。统计分析表明,目前已发现的岩性地层油藏在平面上主要分布于青一段和泉四段源储压力差 8~12 MPa 的范围内(图 6),根据压力封闭油柱高度公式计算得出,理论上在 8~12 MPa 的压力下油气可下排 270~340 m。因此,在中央坳陷区,横向上源储压力差 8~12 MPa、纵向上对应的青一段以下 270~340 m 的立体空间范围是油气有效运聚的范围。这个区域处于中央坳陷区隆凹转折过度部位,断层、裂缝发育,

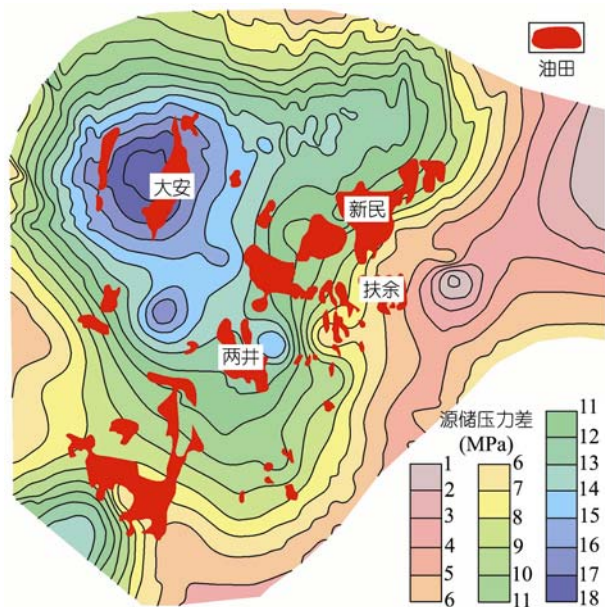


图6 扶新隆起 K_1qn^1 - K_1q^4 源储压力差及源下油藏分布图

烃源岩普遍发育, 由于生烃作用具有异常高的源储压差, 又处于三角洲前缘带, 砂体较发育, 圈闭条件也较为有利, 因此是成藏条件有利匹配的地区, 是今后扶杨油层的重点勘探领域和方向。

4 结论和认识

根据自生伊利石年龄数据及包裹体分析结果, 结合本区地质综合分析, 对松辽南部中央坳陷区扶杨油层得出如下认识:

() 伊利石定年结果表明, 整个扶新隆起及中央坳陷区油气普遍开始注入的时间是 85~65 Ma, 即晚白垩世嫩江期至明水期。流体包裹体记录了两期油气事件, 第一期是沉积沉降过程中烃源岩大量生排烃期原生油藏的形成阶段, 其对应的地质时期主要集中在 65~85 Ma, 与绝大多数自生伊利石的测年数据一致; 第二期地层抬升期间油藏后期调整阶段, 其对应的地质时期为 50~25 Ma 之间, 其中后者形成的包裹体数量远低于前者。

() 在松辽南部“六史”演化综合研究的基础上, 分析了松辽南部扶新隆起的构造-沉积-成藏演化特征, 认为盆地南部整个中央坳陷区油气藏形成的地质背景相似, 长岭凹陷和扶新隆起是在青一段生烃高峰后和扶余油层主成藏期后才发生明显的“隆-凹”分异。即油气充注和成藏发生于扶新隆起大规模隆升之前。

() 根据自生伊利石测年和包裹体分析结果, 揭示了油藏具有上生下储、本地供源、垂向运移的特征, 澄清了以往油源主要来自长岭凹陷侧向运移而来的地质认识。

() 成藏年代研究有助于正确评价扶新隆起和长岭凹陷及外围地区的资源潜力和勘探方向。扶余油层的成藏特征显示, 横向疏导层连通性差, 岩性及复合圈闭发育, 勘探潜力巨大。根据定年及成藏特征分析, 扶新隆起外围直至长岭凹陷在成熟烃源岩区下伏的扶杨油层均有较大的勘探潜力。由此得到勘探启示, 围绕 K_1q^4 - K_1qn^1 油源断裂发育区, 搜索 K_1q^3 , K_1q^4 圈闭与断层相匹配的“甜点”。松辽南部扶杨油层 8~12 MPa 区域内“源岩/超压+断层+砂体”控制的“甜点”分布区是今后增储上产的重点勘探地区。

() 理论研究和实践应用证明, 自生伊利石 K-Ar 同位素测年和流体包裹体两种技术方法的结合是确定油气充注历史、确定油藏年龄及成藏特征的行之有效的办法。

致谢 在研究过程中得到吉林油田研究院赵占银教授、王兴光、江涛、宋立忠高级工程师及中国石油勘探开发研究院地质研究所袁选俊教授的支持和帮助; 在成文过程中, 谷志东和周慧硕士在文献检索等方面做了一些具体工作, 在此一并致以衷心谢忱。

参 考 文 献

- 王永春. 松辽南部岩性油藏的形成和分布. 北京: 石油工业出版社, 2001. 116—125
- 黄志龙, 高岗. 松辽盆地南部海坨子地区油气成藏研究. 石油大学学报(自然科学版), 2003, 27(1): 4—7
- 刘宝柱, 孙万军, 陈少军, 等. 松辽盆地南部中浅层油气藏的成藏史. 现代地质, 2003, 17(1): 87—91
- 张革, 林景晔, 杨庆杰, 等. 松辽盆地西部扶杨油层成藏条件和勘探潜力. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(5): 5—7
- 杨喜贵, 付广, 等. 松辽盆地北部扶杨油层油气成藏与分布的主控因素. 特种油气藏, 2002, 9(2): 8—11
- Hamilton P J, Kelley S, Fallick A E. K-Ar dating of illite in hydrocarbon reservoirs. Clay Minerals, 1989, 24: 215—231 [DOI]
- 张有瑜, 董爱正, 罗修泉. 油气储层自生伊利石分离提纯及其 K-Ar 同位素测年技术研究. 现代地质, 2001, 15(3): 315—320
- 张有瑜, Horst Zwingmann, Andrew Todd, 等. 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. 地学前缘, 2004, 11(4): 637—648
- 张有瑜, 罗修泉, 宋健. 油气储层中自生伊利石 K-Ar 同位素年代学研究若干问题的初步探讨. 现代地质, 2002, 16(4): 403—407
- Lee M C, Aronson J L, Savin S M. K-Ar dating of time of gas emplacement in Rotliegendes Sandstone, Netherlands. AAPG Bull, 1985, 69(9): 1381—1385

- 11 Liewlg N, Clauer N, Sommer F. Rb-Sr and K-Ar dating of clay diagenesis in Jurassic sandstone oil reservoir, North Sea. AAPG Bull, 1987, 71: 1467—1474
- 12 Hamilton P J, Giles M R, Ainsworth P. K-Ar dating of illites in Brent Group reservoirs: A regional perspective[A]. Morton A C, Haszeldine R S, Giles M R, et al. Geology of the Brent Group, Geological Society Special Publication No. 61. London: The Geological Society Publishing House, 1992. 377—400
- 13 Hogg A J C, Hamilton P J, Macintyre R M. Mapping diagenetic fluid flow within a reservoir: K-Ar dating in the Alwyn area(UK North Sea). Mar Pet Geol, 1993, 10: 279—294[DOI]
- 14 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. 地质论评, 1997, 43(5): 540—546
- 15 辛仁臣, 田春志, 奚同君. 油藏成藏年代学分析. 地质前缘, 2000, 7(3): 48—54
- 16 Zhang Y Y, Horst Zwingmann, Andrew Todd, et al. K-Ar Dating of authigenic illites and its applications to the study of hydrocarbon charging histories of typical sandstones reservoirs in Tarim Basin, China. Petrol Sci, 2005, 2(2): 12—24, 81
- 17 王飞宇, 郝石生, 雷加锦. 砂岩储层中自生伊利石定年分析油气藏形成期. 石油学报, 1998, 19(2): 40—43
- 18 白国平. 伊利石 K-Ar 测年在确定油气成藏期中的应用. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(4): 100—103
- 19 张忠民, 周瑾, 郭兴威. 东海盆地西湖凹陷中央背斜带油气运移期次及成藏. 石油实验地质, 2006, 28(1): 30—37
- 20 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, 大庆石油地质与开发, 2005, 24(6): 14—16
- 21 米敬奎, 张水昌, 涂建琪, 等. 哈得逊油田成藏研究. 地球化学, 2006, 35(4): 405—412
- 22 任战利, 萧德铭, 孟元林. 松辽盆地基底石炭-二叠系烃源岩生气期研究. 自然科学进展, 2006, 16(8): 974—979
- 23 于建成, 梁江平, 王树恒, 等. 松辽盆地喇嘛甸油藏成藏年代学分析及其意义. 大庆石油学院学报, 2006, 30(3): 5—7
- 24 李永林, 卜翠萍, 南红丽, 等. 自生伊利石 K-Ar 测年在焉耆盆地油气成藏研究中的应用. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 181—183
- 25 黄道军, 刘新社, 张清, 等. 自生伊利石 K-Ar 测年技术在鄂尔多斯盆地油气成藏时期研究中的初步应用. 低渗透油气田, 2004, 9(4): 37—39
- 26 Andreia D E, Luiz Fernando D R, Ana M M, et al. Isotopic evidence on the diagenetic evolution of coastal sabkha reservoirs from the Solimões Basin. Northern Brazil Gondwana Research, 2007, 11(4): 553—567
- 27 Crouzet C, Dunkl I, Paudel L, et al. Temperature and age constraints on the metamorphism of the Tethyan Himalaya in Central Nepal: A multidisciplinary approach. J Asian Earth Sci, 2007, 30(1): 113—130[DOI]
- 28 Sant' Anna L G, Clauer N, Cordani U G, et al. Origin and migration timing of hydrothermal fluids in sedimentary rocks of the Paraná Basin, South America. Chem Geol, 2006, 23: 1—21[DOI]
- 29 Ylagan R F, Kim C S, Pevear D R, et al. Illite polytype quantification for accurate K-Ar age determination. Am Mineral, 2002, (8): 1536—1545
- 30 Michel Cathelineau, Serge Fourcade, Norbert Clauer, Stephane Buschaert, et al. Dating multistage paleofluid percolations: A K-Ar and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ study of fracture illites from altered Hercynian plutonites at the basement/cover interface (Poitou High, France). Geochem Cosmochim Acta, 2004, 68(11): 2529—2542[DOI]
- 31 邹才能, 贾承造, 赵文智, 等. 松辽盆地南部岩性-地层油气藏成藏动力和分布规律. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 125—130
- 32 赵文智, 邹才能, 汪泽成, 等. 富油气凹陷“满凹含油”论——内涵与意义. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 5—13
- 33 邹才能, 陶士振, 薛叔浩. “相控论”的内涵及其勘探意义. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 7—12
- 34 戴金星. 向斜中的油、气藏. 石油学报, 1983, 4(4): 27—30
- 35 杨忠芳, 季峻峰, 车忱, 等. 沉积岩中伊利石的烷基胺阳离子处理和 K/Ar 定年分析. 科学通报, 2002, 47(16): 1261—1264
- 36 王龙樟, 戴樟谟, 彭平安. 气藏储层自生伊利石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年的实验研究. 科学通报, 2004, 49(增刊): 81—85
- 37 王龙樟, 戴樟谟, 彭平安. 自生伊利石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年技术及气藏成藏期的确定. 地球科学, 2005, 30(1): 78—82
- 38 邱华宁, Wijbrans J R. 南大别角闪岩相退变质与热液活动: 朱家冲榴辉岩与闪石脉 Ar-Ar 年代学研究. 地球化学, 2006, 35(5): 517—524
- 39 邱华宁. 新一代 Ar-Ar 实验室建设与发展趋势. 地球化学, 2006, 35(2): 133—140
- 40 邱华宁, Wijbrans J R. 南大别山碧溪岭榴辉岩加里东期 Ar-Ar 年代学信息. 地球化学, 2005, 34(5): 417—427
- 41 邱华宁, 戴樟谟, 李朝阳. 滇西上芒岗金矿床石英流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar 成矿年龄测定. 科学通报, 1994, 39(3): 257—260
- 42 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. 地球学报, 2003, 24(6): 622—626
- 43 陶士振, 张宝民, 赵长毅. 流体包裹体方法在油气源追踪对比中的应用: 以四川盆地碳酸盐岩大型气田为例. 岩石学报, 2003, 19(2): 327—336