

文章编号: 0253- 9985(2004) 02- 0231- 06

油气储层自生伊利石 K- Ar 同位素 年代学研究现状与展望

张有瑜^{1, 2}, 罗修泉¹

(1. 中国石油石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室, 北京 100083)

摘要: 作为油气成藏史研究中的一项新内容, 油气储层自生伊利石 K- Ar 同位素年代学研究受到了广泛重视并取得了一系列重要进展。充分发育的伊利石成岩作用及伊利石成岩作用与油气注入事件具有成因联系是应用该项技术的前提条件。对于具有埋藏较浅或尚未固结成岩, 虽埋藏较深但含有蒙皂石和/或伊利石/蒙皂石无序间层矿物, 高岭石、绿泥石含量较高以及虽然自生伊利石发育但与油气注入事件没有成因联系等特征的砂岩储层, 可能并不适用。其次对年龄数据必须结合样品特征和各种地质资料进行综合分析, 合理运用并允许所测得的年龄数据具有一定的偏差。开展模拟自然风化过程的冷冻- 加热样品解离试验和 X 射线衍射、透射电镜伊利石成因类型鉴定及其定量分析技术是提高该项技术水平的主要发展方向。

关键词: 自生伊利石; K- Ar 测年; 样品选择; 分离提纯; 分析与应用

中图分类号: TE112. 2 文献标识码: A

K- Ar isotopic chronological study of authigenic illite in reservoirs

Zhang Youyu^{1, 2} Luo Xiuquan²(1. *Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Beijing;**2. Key Laboratory for Oil and Gas Reservoirs, PetroChina, Beijing*)

Abstract: As a new component in the research of reservoiring history, K- Ar isotopic chronological study of authigenic illite in hydrocarbon reservoirs has made remarkable improvement. Diagenesis of well-developed illite and its genetic relation with hydrocarbon infilling events are the prerequisites of application of this technology. Sandstone reservoirs that may not be suitable for using this technology include the shallowly buried or unconsolidated reservoirs, deeply buried reservoirs with smectite and/ or random-layer illite/ smectite, reservoirs with relatively high content of kaolinite and chlorite, and reservoirs with well-developed authigenic illite but having no genetic relation with hydrocarbon infilling events. Comprehensive analysis of age data should be performed in combination with sample features and various geologic data. The measured age data should be reasonably used and certain bias should be allowed. For improving the technique, the following researches and tests should be strengthened: repetitive freezing and thawing experiment to model natural weathering process; XRD and TEM illite genetic type identifications and quantitative analysis technique.

Key words: authigenic illite; K- Ar dating; sample selection; separating and purifying; interpretation and application

成藏史研究是当前石油勘探中的一个热点问题。作为油气成藏史研究中的一项新课题, 油气储层自生伊利石 K- Ar 同位素年代学研究受到了广大油气勘探工作者的广泛重视并取得了一系列重要进展, 相继有较多的研究成果公开发表。

“九五”以来, 为满足国内油气勘探形式的需要, 中国石油天然气集团公司油气地球化学重点实验室购置了专用仪器设备, 建立了相应的专项实验室并对此进行专项立项攻关, 初步建成和开发了油气储层自生伊利石分离提纯及其 K- Ar 同

基金项目: 中国石油天然气集团公司油气地球化学重点实验室项目

第一作者简介: 张有瑜, 男, 49 岁, 高级工程师(硕士), 岩石学

收稿日期: 2004- 02- 26

位素测年技术^[1], 到目前为止, 已对国内各主要油气田(19个盆地)的多数主要油气层(约200块样品)进行过分析与测试。经过近几年的深入研究与探索以及澳大利亚联邦科学和工业研究院(CSIRO)石油资源部K-Ar同位素测年实验室的交流与合作, 对与该项研究相关的各个方面问题均取得了一系列基本认识。

油气储层自生伊利石K-Ar同位素测年分析是一项包含诸多环节的综合分析测试技术, 除了分析周期长和分析费用高之外, 成功率也相对较低, 所测得的伊利石年龄常常是明显偏大, 甚至比所赋存的砂岩地层的年龄还要大。研究表明, 产生这种现象的原因主要还是出在样品本身, 也即样品本身的特点并不满足该项测试的基本要求。作者认为, 加强样品本身的特点研究以及样品所赋存地层的基础地质研究是决定该项分析测试成功与否的关键因素。希望本文能对热衷于此项研究的同行们有所裨益并对提高国内该项技术的研究水平做出贡献。

1 方法原理

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^[2]认为, 由于油气代替地层水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, 伊利石类粘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(以下简称为伊/蒙, 代号为I/S)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。这两个前提条件说起来简单, 也很容易理解, 但在实际工作中, 往往容易被忽略, 尤其是第一条。X射线衍射分析表

明, 大多数年龄数据明显不合理的样品, 常常是伊利石和/或I/S有序间层相对较少, 而且还主要不是自生成因。由此看来, 要想获得较好的应用效果, 首先必须加强样品的岩石学特征和成岩作用研究。样品是基础, 必须给予足够的重视。

2 样品选择

2.1 岩石类型

除了细砂岩、中砂岩以外, 粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩以及粗砂岩、含砾砂岩、不等粒砂岩等也可以构成有效油气储层。尽管岩石类型并不是决定可否利用自生伊利石K-Ar同位素测年技术研究其油气注入时间的唯一因素, 但实际样品分析表明, 细砂岩、中砂岩相对较好, 粉砂岩、泥质粉砂岩则常常是效果不够理想。主要原因在于, 粉砂岩、泥质粉砂岩常常是陆源碎屑伊利石含量相对较高且很难通过分离将其剔除, 从而使得所测年龄数据明显偏大。对此, 作者已进行过论述^[3], 这里不再详细讨论。与泥岩、泥质粉砂岩相似, 粗砂岩、含砾砂岩、不等粒砂岩等常常是分选较差且含有较多的泥质杂基组分。由于这些泥质杂基组分主要是由陆源泥质组成, 并非成岩自生成因, 因而同样不适合于进行自生伊利石K-Ar同位素测年分析。

2.2 高岭石、绿泥石

高岭石、绿泥石是砂岩储层中的常见成岩自生粘土矿物。在国内目前已发现的砂岩油气储层中, 有相当一部分砂岩中的粘土矿物成分主要是高岭石和/或绿泥石, 或以高岭石和/或绿泥石占绝对优势, 如塔里木盆地三叠系, 吐哈、准噶尔、焉耆盆地侏罗系, 四川、鄂尔多斯盆地三叠系等。由于很难通过分离技术将其彻底剔除出去, 所以对于这两种矿物对自生伊利石K-Ar同位素测年分析的影响就成为一个必须回答的重要问题。高岭石、绿泥石都不含K, 从理论上讲都不会对自生伊利石K-Ar体系产生影响, 但有分析结果表明, 有的成岩绿泥石含有明显的可测量的K^[4~6]。对于绿泥石, 作者进行过对比试验, 结果表明, 绿泥石的存在没有对自生伊利石K-Ar年龄产生明显影响^[3]。这一结论对于自生伊利石K-Ar年龄数据评价和使用具有较为重要的指导意义, 这就意味着测试样品中含有少量的绿泥石并不影响年龄数据的使用。但是, 这里应该强调指出的是, 这一结

论得以成立的前提是, 必须含有足够数量的成岩自生伊利石。如果绿泥石含量较高或占绝对优势, 则说明成岩自生矿物主要是绿泥石, 伊利石成岩作用不太发育或不发育, 成岩自生伊利石较少或基本不含成岩自生伊利石。尽管绿泥石对 K-Ar 体系不会产生影响, 但因不满足基本前提条件, 同样不适合进行自生伊利石 K-Ar 法同位素测年分析。与绿泥石相似, 如果高岭石含量过高或占绝对优势, 同样会因不满足基本前提条件而不适合进行自生伊利石 K-Ar 法同位素测年分析。

2.3 蒙皂石→伊利石成岩演化程度

蒙皂石→伊利石成岩演化程度是决定自生伊利石 K-Ar 同位素测年分析成功与否的关键性因素之一。作为表示蒙皂石→伊利石成岩演化程度的定量标志, I/S 间层比(I/S 间层矿物中的蒙皂石晶层的百分含量) 具有较为重要的参考价值。一般说来, 间层比愈小愈好, 间层比大于 40% 的 I/S 无序间层(包括蒙皂石) 不适合进行自生伊利石 K-Ar 同位素测年分析。对其原因, 作者已进行过详细论述^[3], 这里不再讨论。这里所强调的是, 对于这一点, 一定要给予足够的重视。在实际研究中, 首先要对所研究砂岩储层的蒙皂石→伊利石成岩演化程度有较为清楚的了解。实际样品分析测试结果表明, 埋藏相对较浅的砂岩如渤海湾盆地馆陶组、部分东营组、甚至部分沙河街组三、四段, 塔里木盆地部分上第三系; 或尚未固结成岩的油砂如南海盆地下第三系; 或虽埋藏较深, 但含有较多的火山物质如准噶尔盆地二叠系砂岩, 其粘土矿物主要为蒙皂石和/或 I/S 无序间层, 均不适合进行自生伊利石 K-Ar 法同位素测年分析。

3 自生伊利石分离提纯

自生伊利石分离提纯是油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素测年分析的关键技术之一。Hamilton 等^[2]提出了一个非常详细的技术流程, 以此为基础, 作者提出了我们自己实验室的技术流程^[1]。从技术角度上讲, 自生伊利石分离提纯主要包括两个方面的内容, 一是样品前处理即粘土悬浮液的制备, 二是细粒自生伊利石粘土组分分离。相比而言, 前者更为重要。关于粘土悬浮液的制备, Hamilton 等^[1]的方法系统、严谨、技术要求较高, 但

因化学处理较多, 相应较为复杂、分析周期较长, 对于常规分析可能不太适用, 作者的方法虽大为简化, 但仍需要进行一系列的化学处理如采用氯仿抽提技术洗油、 H_2O_2 去除有机质、EDTA(乙二胺四乙酸)法去除碳酸盐类矿物等。为了尽量避免化学物质的混入, 澳大利亚联邦科学和工业研究院(CSIRO)石油资源部 K-Ar 同位素测年实验室主张尽量避免进行化学处理。关于细粒(小于 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 、小于 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 或更细) 自生伊利石粘土组分的分离, 国内外大多是采用高速、超高速离心分离技术。作者的真空抽滤技术在分离提纯效率方面具有较为明显的优越性^[1]。

样品细碎是制备粘土悬浮液的第一步工作, 国内外大都是采取首先用锤子碎成 1 cm 大小, 然后湿磨的办法, 如 Hamilton 等^[2]以及作者的实验室等。样品细碎对于分离提纯质量具有非常重要的影响。湿磨的办法不可避免的会导致碎屑含钾矿物如钾长石、伊利石等的过度破碎, 从而影响分离提纯质量。Liewig 等^[7]提出了模拟自然风化过程的冷冻-加热循环技术, 也即采用致冷-加热循环器模拟自然风化过程, 利用热胀冷缩原理使砂岩样品自动解离, 进而制备粘土悬浮液。澳大利亚联邦科学和工业研究院(CSIRO)石油资源部(DPR) K-Ar 测年实验室采用冷冻-加热循环技术取得了较好的分离提纯效果^[8]。本次研究对该项技术进行了少量试验并获得了一些初步认识。表1为在该实验室采用冷冻-加热循环技术分离

表 1 塔里木盆地东河砂岩、白垩系砂岩冷冻法分离提纯自生伊利石 K-Ar 年龄数据表*

Table 1 K-Ar ages of authigenic illites separated and purified by using freezing method from Donghe sandstone and Cretaceous sandstone in Tarim basin

样 品			粒级/ μm	K/ %	年龄/Ma
塔中 47	4 406.51 m D _{3d}	含油 砂岩	< 2	4.90	255.33 ± 5.05
			< 0.4	4.83	237.47 ± 4.74
阿克 1	3 371.50 K _{1k}	砂岩	< 2	6.56	32.60 ± 0.66
			< 0.4	6.32	23.32 ± 0.47

提纯的塔里木盆地东河砂岩、白垩系砂岩自生伊利石 K-Ar 测年数据表。从表 1 中可以看出, 小

* Horst Z, Zhang Y Y, Todd A, et al. Illite K/Ar age determinations of Tarim basin samples, China. A joint RIPED-CSIRO petroleum research project. CSIRO Confidential Report No. 03- 010, 2003

于 $2\mu\text{m}$ 和小于 $0.4\mu\text{m}$ 两个粒级的年龄数据基本接近。尽管透射电镜(TEM)检测结果表明,在两个粒级中均发现有痕量钾长石存在,但两者的年龄数据基本接近,说明小于 $2\mu\text{m}$ 粒级中的钾长石含量很小,可能与小于 $0.4\mu\text{m}$ 基本接近。如果采用湿磨技术,则很难达到这种效果,因为根据作者的经验,如果采用湿磨技术分离,较细粒级(小于 $0.4\mu\text{m}$ 或更细)组分中可能不含或只含微量的钾长石,但在小于 $2\mu\text{m}$ 组分中钾长石含量一般较高,两者差别较大。与湿磨技术相比,冷冻-加热循环技术除了具有污染程度低、分离质量高的优点以外,还具有劳动强度低、工作效率高、流程简单、分析周期短等优点。由此看来,开展冷冻-加热循环技术试验与研究可能是提高自生伊利石分离提纯质量和缩短分析周期的有效途径之一。

4 测试样品粒级

使自生伊利石得到最大程度的富集和最大限度地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^[2]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。较粗的粒级组分可能会更容易含有细粒碎屑矿物。虽然这一结论具有较强的指导意义,但在实际测年分析中,如何选择测试样品粒级仍是一个有待进一步深入研究的问题。同时对数个不同的粒级组分进行测定可能是解决这一问题的最佳途径,一则可以使不同粒级的年龄数据相互验证,从而进一步增加年龄数据的可信度,二则可以根据不同粒级的年龄数据特征进行分析与处理,从而使其更加接近真值。尽管同时对数个不同的粒级组分进行测定已经成为目前较为通行的做法,但在具体测试样品粒级选择上仍存在较大的差异^[1,7~10]。在实际研究中,可以根据样品特征、实验条件、经费情况、工作量以及研究重点等确定测试样品的粒级范围及其数量。由于测试粒级越多,费用越高,为节约经费,也可以只对两个较细的粒级组分进行分析。作者的实际测试结果表明,对于大多数砂岩样品,如果是采用湿磨技术分离,选择 $0.3\sim 0.15\mu\text{m}$ 和小于 $0.15\mu\text{m}$ 两个粒级可

能较为合理。

5 年龄数据分析

实际样品分析中,由于用来进行年龄测定的伊利石粘土样品中常常会含有数量不等的碎屑伊利石和/或碎屑钾长石,所测的年龄实际上是成岩自生伊利石和碎屑伊利石和/或碎屑钾长石的混合年龄。如果不将碎屑伊利石和/或碎屑钾长石的影响扣除掉,势必会影响该年龄数据的解释与应用。对于扣除碎屑伊利石和/或碎屑钾长石的影响,Pevear^[11,12]进行过系统研究并提出了 IAA (Illite Age Analysis) 技术即伊利石年龄分析技术。作者对此也进行过系统研究并提出了“校正年龄”概念^[1]。IAA 技术的具体做法是,首先利用 X 射线衍射(XRD)分析确定各个粒级组分中的碎屑伊利石含量,然后利用不同粒级组分的表观年龄和碎屑伊利石含量进行线性回归求出线性方程,最后利用线性方程求出或外推至碎屑伊利石含量为零时的年龄即成岩自生伊利石年龄。显然,碎屑伊利石 XRD 定量分析是 IAA 技术的关键。实际分析中,利用 XRD 技术确定碎屑伊利石含量主要有两种方法:第一种方法是利用(001)衍射峰并认为成岩自生伊利石主要是存在于 I/S 间层中,碎屑伊利石主要是指碎屑云母;第二种方法是利用伊利石多型并认为成岩自生伊利石为 1M 多型(包括 1Md),碎屑伊利石为 2M₁ 多型,前者使用的是自然风干定向片(样品),用样较少,后者使用的是压片(非定向样品),用样较多。作者使用的是第一种方法并考虑了碎屑钾长石(如果存在的话)的影响。碎屑伊利石 XRD 定量分析同时也是 IAA 技术的主要误差来源,尽管从理论上讲,不管是 IAA 技术还是“校正年龄”都存在一定的不确定性,如可否将测试样品看成是由自生伊利石和碎屑伊利石组成的二端元体系、该二端元组分是否线性相关等。经验证明,实际样品分析中,碎屑伊利石其含量分析误差较大常常是导致“校正年龄”过大或过小的主要原因,有时甚至不能进行“校正年龄”计算。产生这种现象的原因主要有以下两点,一是绝对含量相对较低(小于 10%或更低)时,XRD 定量分析的误差较大,很难达到 IAA 技术或“校正年龄”计算的精度要求,二是利用 XRD 技术,很难将未经成岩改造的风化成因的 I/S 间层矿物与成岩自生 I/S 间层矿物区分开。为了解决这一技术难

题,国外许多著名学者利用计算机模拟技术对此进行了深入研究与探索并开发出了相应的专用定量分析软件如 NEWMOD^{*}, WILDFIRE^{**} [13], PolyQuant^[14]等。与国外相比,国内在这一方面的差距相对较大,只是根据峰位和结晶度指数,在利用分峰技术方面进行了初步探索,在利用计算机模拟技术方面可能还是一项空白,亟待进一步探索与提高。

6 年龄数据解释与应用

对于自生伊利石年龄数据的解释与应用, Hamilton^[2]的标准年龄剖面具有较高的指导意义,作者对此作过系统介绍^[1]。这里想要重点强调说明的是, Hamilton^[2]的标准年龄剖面只是理论上的归纳与总结,实际情况要复杂得多。在实际工作中,应根据所测样品的扫描电镜(SEM) XRD 分析结果并结合地质特征对年龄数据进行综合分析,做出合理解释,从而获得较为理想的应用效果。作者的经验表明,伊利石实测年龄基本上有3种情况,一是明显大于地层年龄,二是与地层年龄相差较小,三是明显小于地层年龄并明显大于或略大于成藏年龄。对于第一种情况,碎屑伊利石显然是主要原因,如南海盆地地下第三系油砂和渤海湾盆地部分第三系砂岩储层,原因在于这一类样品中的伊利石类矿物可能为风化成因的 I/S 无序间层(间层比大于40%),因埋深较浅,受成岩改造较弱,或尚未固结成岩,有的甚至为蒙皂石;又如塔里木盆地库车坳陷迪那构造下第三系砂岩储层,其伊利石年龄为64~79 Ma, XRD 分析表明, I/S 有序间层含量大于90%且间层比较低(5%),基本上为纯伊利石,结合地质特征初步认为,该伊利石可能为陆源变质伊利石,可能为喜山运动期间盆地周围造山带变质岩快速上升、快速剥蚀、快速堆积的产物,其年龄可能与构造活动或变质作用有关,而与成岩事件无关。对于第二种情况,可能反映成藏时间较早如焉耆盆地地下侏罗统三工河组砂岩储层,其伊利石年龄为140~170 Ma,可能表明成藏时间较早(侏罗纪晚期)^[15,16],说明该伊利石可能主要为自生成岩伊利石,尽管含量相对较低(40%~60%)并可能含有少量碎屑伊利石。对于

第三种情况,有的可能非常复杂,如塔里木盆地库车坳陷克-依构造带下侏罗统阳霞组砂岩储层,其伊利石年龄因层而异、大小相间、差别较大,大者为49 Ma,可能与成藏时间相差较远,小者为24~28 Ma,可能代表早期成藏时间, SEM 分析表明,该砂岩样品中丝状伊利石较为发育, XRD 分析表明 I/S 有序间层含量较高(90%左右)且间层比较低(10%~5%),透射电镜(TEM)分析表明长纤维状伊利石较为常见,所有这些特征均表明该伊利石很可能为成岩自生伊利石,但为什么年龄相差较大?是不是有两期或多期自生伊利石,大者代表早期伊利石成岩作用年龄或受到早期成岩伊利石的影响,小者代表晚期伊利石成岩作用即成藏年龄?所有这些问题均有待于进一步深入研究。有的则可能相对较为简单,如塔里木盆地西南坳陷喀什凹陷下白垩统克孜勒苏群上砂岩段储层,其伊利石年龄为22.60 Ma,可能代表成藏时间, SEM, XRD, TEM 分析均表明该伊利石可能为成岩自生伊利石。从上面的分析可以看出,对于一个具体地区(盆地、坳陷、隆起、凹陷、含油气构造或探井)的伊利石年龄数据或年龄数据剖面,一定要结合该研究区的构造活动史、沉积埋藏史、成岩演化史和烃源岩生排烃史等各种地质特征进行综合分析和对比研究,只有这样才能得到较为合理的解释和较为理想的应用效果。这里需要重点强调的是,即便是与成藏时间基本吻合,但与由利用包裹体测温、构造圈闭分析以及生、排烃高峰分析等技术所推测的成藏年龄相比,自生伊利石年龄可能会偏大或明显偏大,尤其是在成藏年龄较小的情况下。这时根据以下3点进行分析可能会大有帮助,一是自生伊利石年龄可能代表油气注入事件和圈闭形成的最大年龄;二是从实验技术上讲,要想通过分离提纯彻底剔除碎屑含钾矿物一般是很难实现的,由于常常会受到不同程度的碎屑含钾矿物的污染,自生伊利石年龄常常会大于或明显大于油气注入事件的年龄;三是在大规模工业性油气注入之前是否发生过早期油气运移,尤其是对于多源多期油气藏。作者认为,应根据每种方法的特点,进行综合对比,片面地追求年龄数据上的一致可能是不现实的。同时应该强调的是,

* Reynolds R C. NEWMOD ©—A computer programme for the calculation of basal diffraction intensities of mixed-layered clay minerals. R C Reynolds, 8 Brook Road, Hanover, NH

** Reynolds R C. WILDFIRE ©—A computer programme for the calculation of three-dimensional powder X-ray diffraction patterns for mica polytypes and their disordered variation. R C Reynolds, 8 Brook Road, Hanover, New Hampshire

即便是确实与油气注入事件无关,也不要轻易放弃,应该进行进一步深入研究。有些年龄数据尽管对于解决油气注入时间问题可能意义不大,但是结合地质特征进行深入分析,则可能会获得与其他地质作用相关的非常有意义的信息。

7 结语

(1) 对于研究油气注入时间,该项技术具有较强的局限性,对于具有 ①埋藏较浅或尚未固结成岩,②虽埋藏较深,但含有蒙皂石和/或 I/S 无序间层矿物,③高岭石和/或绿泥石含量较高(大于 70%或更高),④自生伊利石发育,但与油气注入事件没有成因联系等特征的储层,可能并不适用。

(2) 对于伊利石年龄数据的解释与应用,应坚持以下 3 条原则:①综合分析、合理运用,允许年龄数据具有一定的偏差,不宜将其绝对化;②不宜过高地估计该项技术的区分能力,对于成藏时间较为接近的不同期油气藏,利用该项技术可能很难将其从成藏时间上区分开;③如果伊利石年龄不能代表油气注入时间,应尽量找出其可能的其他地质意义。

(3) 自生伊利石 K-Ar 年龄测定是一项综合分析测试技术,为进一步提高技术水平,应进一步重点加强以下 3 个方面的技术与试验:①模拟自然风化过程的冷冻-加热样品解离试验;② XRD 伊利石成因类型鉴定及其定量分析技术;③ TEM 伊利石成因类型鉴定技术。

参 考 文 献

- 张有瑜,董爱正,罗修泉. 油气储层自生伊利石的分离提纯及其 K-Ar 同位素测年技术研究[J]. 现代地质, 2001, 15(3): 315~ 320
- Hamilton P J, Kelley S, Fallick A E. K-Ar dating of illite in hydrocarbon reservoirs[J]. Clay Minerals, 1989, 24: 215~ 231
- 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[J]. 现代地质, 2002, 16(4): 403~ 407
- Curtis C D, Hughes C R, Whiteman J A, et al. Compositional variation within some sedimentary chlorites and some comments on their origin [J]. Mineralogical Magazine, 1985, 49: 375~ 386
- Whittle C K. Composition of sedimentary chlorite compositions by X-ray diffraction and analytical TEM[J]. Clay Minerals, 1986, 21: 937~ 947
- Hillier S, Velde B. Octahedral occupancy and the chemical composition of diagenetic (low temperature) chlorite[J]. Clay Minerals, 1991, 26: 149~ 168
- 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, 71(12): 1467~ 1474
- Horst Z, Clauer N, Gaupp R. Time of fluid flow in a sandstone reservoir of the north German Rotliegend (Permian) by K-Ar dating of related hydrothermal illite[A]. In: Parnell J. Dating and duration of fluid flow and fluid-rock interaction[C]. Geological Society, London Special Publication, 1998, 144: 91~ 106
- Hamilton P J, Giles M R, Ainsworth P. K-Ar dating of illites in Brent Group reservoirs: a regional perspective[A]. In: Morton A C, Haszeldine R S, Giles M R, et al. Geology of the Brent Group[C]. Geological Society Special Publication, 1992, 61: 377~ 400
- 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)[J]. Marine and Petroleum Geology, 1993, 10: 279~ 294
- Pevear D R. Illite age analysis, a new tool for basin thermal history analysis[A]. In: Kharaka Y K, Maest A S. Water-rock interaction [C]. Rotterdam: The Netherlands, 1992. 1251~ 1254
- Pevear D R. Illite and hydrocarbon exploration[J]. Proceedings from the National Academy of Sciences, 1999, 96: 3440~ 3446
- Reynolds R C. Three-dimensional X-ray powder diffraction from disordered illite: simulation and interpretation of the diffraction patterns [A]. In: Reynolds R C, Walker J R. Computer Application to X-ray powder diffraction analysis of Clay Minerals[C]. Boulder, Colorado: Clay Minerals Society, 1993. 43~ 78
- Ylagan R F, Kim C S, Pevear D R, et al. Illite polytype quantification for accurate K-Ar age determination [J]. American Mineralogist, 2002, (8): 1536~ 1545
- 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[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 180~ 183
- 柳广第,张仲培,陈文学,等. 焉耆盆地油气成藏期次研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 69~ 71
- 钱基,金之钧,张金川,等. 苏北盆地盐城凹陷深盆气藏[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 26~ 29
- 徐嘉炜,郑城-庐江平移断裂系统[A]. 见:《构造地质论丛》编辑部. 构造地质论丛(3)[C]. 北京:地质出版社, 1984. 32~ 43
- 刘池洋. 后期改造强烈——中国沉积盆地重要特点之一[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(4): 225~ 261
- 杨方之. 苏北黄桥地区上第三系富氢天然气成因探讨[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(3): 258~ 262

(上接第 230 页)