

文章编号: 1009-3850(2008)04-0018-06

油气成藏过程中的同位素测年方法评述

蔡李梅, 陈红汉, 李兆奇, 吴 悠

(中国地质大学 资源学院石油系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 笔者对国内外同位素测定年在确定油气成藏方面的应用现状进行评述的基础上, 重点分析了 K-Ar 法, Ar-Ar 法, U-Pb 法, Rb-Sr 法等方法所存在的问题, 认为自生伊利石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法在不断克服技术难题之后, 仍是油气成藏年代学不可缺少的重要手段; 激光微区探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法与流体包裹体技术相结合, 是油气多期成藏 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究取得成功的突破点; 利用沥青和干酪根中微量金属 U-Pb, Pb-Pb, Rb-Sr, Sm-Nd 和 Re-Os 体系的同位素分析方法获得油气生成、运移的年龄, 是成熟的放射性同位素方法在石油地质学中的应用; 晶洞充填物 U-Pb 测年, 可能是碳酸盐岩储层油气成藏年代学研究又一新的突破点。

关 键 词: 同位素测年; 激光显微探针技术; 流体包裹体

中图分类号: P533

文献标识码: A

油气成藏年代学是油气成藏动力学定量研究最为关键的内容。只有精确确定了油气大规模运移及其在圈闭中充注的时间, 才有可能正确判断油气藏形成的盆地动力学环境、油气成藏过程, 以及油气藏的分布规律等, 并有效地指导油气勘探。

前人已建立的地质测年方法 (圈闭形成期、油藏饱和压力^[1~3]、古生物法和古地磁法^[4]等) 给出的仅仅是该地质事件的“相对年龄”。现代同位素测年技术的发展, 使同位素法成为地质测年中最可靠、最直接的测年手段, 尤其是进入到二十世纪 80 年代, 随着高精度测试手段的应用及分析测试技术的不断完善, 极大的推动了同位素定年方法的发展^[4~9]。利用 Re-Os, U-Pb, Ar-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd 等多种定年技术确定成矿时代的研究方法已趋于成熟^[7]。

但同位素方法在油气成藏年代学方面应用还不是很广泛。与油气成藏过程相关的成岩矿物 (石英、长石、方解石、白云石、石膏等) 大多数都不适合于传统的同位素年代学方法测定^[8~10], 同时由于微

区微量取样及除杂和防污染等高技术要求, 极大地限制了同位素方法在油气成藏定年中的应用。

迄今, 确定油气成藏时期的同位素定年主要采用的是 K-Ar 法^[11, 12], $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法^[13], U-Pb 法^[14], Rb-Sr 法^[7, 15], Sm-Nd 法^[7, 15]等。这些方法虽然已经获得了一些重要成果^[16], 但仍存在诸多问题。本文重点评述这几种方法的优点与所存在的问题。

1 K-Ar 法和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年

迄今, K-Ar 年代学已从最初的常规 K-Ar 定年, 发展到分步加热释氩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 激光显微探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等多种定年方法^[6]。目前应用于油气成藏年代学的 K-Ar 同位素方法主要是自生伊利石 K-Ar 法定年和自生钾长石激光微区探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年, 前者在我国已经开展了将近十年, 而后者在油气成藏年代学中的应用目前还处于摸索之中, 它们都面临着许多亟待解决的难题。

1.1 自生伊利石 K-Ar 法定年

K-Ar 法以对沉积岩、断层及油气成藏的测年应用最为常见, 其中最主要的研究对象为伊利石^[4]。

收稿日期: 2008-04-15 改回日期: 2008-06-04

作者简介: 蔡李梅 (1982—), 硕士, 主要从事油气成藏过程方面的学习和研究

资助项目: 中国地质大学 (武汉) 研究生学术探索与创新基金校级项目 (CUGYJS0737)

自二十世纪 80 年代中后期开始, 自生伊利石 K-A 法定年兴起, 被应用在欧洲 North Sea 法国 Paris Basin 和德国北部 Rotliegend 油气田储层自生伊利石的定年。在我国, 王飞宇等 (1997, 1998) 和张有瑜等 (2001, 2004) 率先在我国开展了油气田自生伊利石 K-A 法定年研究^[12, 17, 18]。

常规的 K-A 法定年主要建立在两个基本的假设条件之上: ①矿物或岩石形成以后, 对钾和氩保持封闭体系, 既没有钾和氩的加入, 也没有钾和氩的逃逸; ②油气进入储层之后, 伊利石沉淀便会终止, 由此获得的年龄为油气成藏的最早年龄^[19]。然而, 随着超高真空技术、高频辐射加热技术和高精度质谱计的使用, 在 K-A 法定年过程中, 发现有越来越多与上述假设相矛盾的现象^[16], 同时由于碎屑和成岩物质的混合, 自生伊利石的分离也极为不易。

1.2 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法

⁴⁰Ar/³⁹Ar 法即分步升温释氩法, 被称为现代 K-A 法, 采用阶段加热逐步释气技术, 可以获得不同温度阶段样品的年龄, 组成一个样品的 Ar-A 年龄谱和等时线, 从而克服了常规 K-Ar 法的许多缺点^[9, 13, 20~22]。该方法的技术流程大致如图 1^[5, 6]。

与 K-A 法相比, ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素定年方法具有明显的优势: ①精度较高, 因为 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法的测试全部在高精度的质谱计上进行, 而 K-Ar 法测 K 时是在原子吸收计上进行, K 和 Ar 的样品用的是不同的缩份, 无法排除样品分布的不均; ②样品用量减少, 对来自于井下的样品来说, 这无疑是非常有利的, 因为对于碎屑储层来说, 充填在孔隙中的粘土矿物是相当少的, 自生伊利石的量更少, 如果只有少量的岩心就无法满足 K-A 法的用量; ③⁴⁰Ar/³⁹Ar 法提供了更加丰富的信息, 包括矿物的缺陷、伊利石生长的多期性、受热的历史等关于矿物结晶和埋藏史方面的信息, K-A 法就不具备多种信息。

但 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法也存在一些技术难题, 因为该方法需要进行核照射, 需要解决核照射带来的问题, 如 Ar 原子反冲丢失、实验测试周期显著加长、粉末样品的包装和放射性安全等问题^[13, 18]。目前这些技术难题正逐渐被攻克, 例如利用周而复始的冷冻-加热循环对样品进行重复的冷冻-解冻过程, 对岩心样品进行物理风化, 从而可有效地避免除了粘土矿物以外其它碎屑矿物的混入^[22]。通过阶段加热得到的年龄谱可以区分自生伊利石与碎屑伊利石^[13, 20]。利用 Smith et al. (1993) 提出的“显微包裹”技术可有效地克服核照射反冲问题。

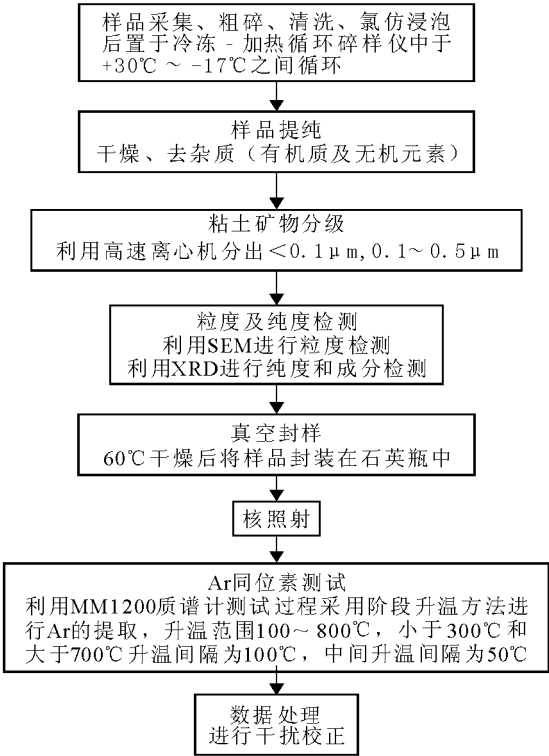


图 1 自生伊利石激光阶段加热 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年技术流程
Fig. 1 Flow chart of authigenic illite ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating technique by laser step heating

1.3 钾长石次生加大边激光微区探针 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年

二十世纪末出现的激光显微探针 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年法, 是把激光束应用在 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 分步加热释氩法中而发展起来的一种方法, 它极大地推动了油气成藏年代学研究^[5, 6, 23]。激光显微探针 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法既具有常规 K-A 法和 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 分步加热释氩法的所有优越性, 又把定年引入微观领域, 它将年代学研究推向了一个新的里程碑: 微区微量高精度高分辨率定年^[5, 6, 23]。

与传统的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年方法相比, 激光显微探针 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年法具有以下几个优点: ①样品用量少, 是常规法用样量的万分之一; ②直接在岩石光片上测年, 消除了样品不易分选或样品代表性差所带来的偏差; ③微区年龄分析, 即可在 60 μm 小的范围内做 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄测定; ④选择性测年龄, 即根据研究目的不同, 选择矿物的不同部位, 释放出 Ar 气体进行年龄测定; ⑤可实现快速测年, 用激光显微探针测定一个年龄一般只需 30 分钟, 比常规 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年法快 4 倍^[24]。

目前, 激光显微探针 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年法已可以对

2000年以内的年轻地质样品进行定年。此方法适合于测定的对象很多,如云母类、长石类、闪石类、辉石族、海绿石、伊利石等。然而由于后期地质作用的复杂性,一些含钾矿物形成以后,钾和氩的封闭体系往往被破坏,不适宜用于定年^[19]。

近几年来,随着配备电子倍增器的高灵敏度质谱仪(如 MM-1200和 MM-3600)的问世和小型化激光纯化系统的建立,可实施成岩矿物的微区、微量分析,为该方法的进一步推进奠定了基础。Mark等(2005)在前人成熟的钾长石 Ar-A 法定年基础之上,提出了流体包裹体分析与自生钾长石 Ar-A 定年相结合的方法,由此获得的温度 组分 时间 (T-X-t)数据能够有效约束不同期次、不同组分流体流动的时间^[17 25 26]。该方法首先是由它是对钾长石次生加大边进行激光微区剥蚀,释出的气体进行⁴⁰Ar/³⁹Ar定年分析。该方法流程图如图2。

1.4 含油气样品⁴⁰Ar/³⁹Ar定年面临的问题

如前所述,Ar-A法定年比K-A法相比具有很大的优势,高精度的Ar-A法使得微量K矿物和流体包裹体定年成为可能,激光微区Ar-A定年可测定几十微米钾矿物颗粒的年龄。然而,该方法在油气成藏年代学中的应用目前还处于摸索之中,它仍然面临着许多难题。

1. 有机气体的干扰与纯化

样品释放出的气体必须经过纯化,消除稀有气体之外的所有杂质气体,经过纯化的气体才能送入质谱计进行Ar同位素分析。有机气体在质谱计中裂解、电离,会产生质荷比为35~45的峰,严重干扰Ar同位素的分析。因此,对油气田样品进行⁴⁰Ar/³⁹Ar定年,必须首先解决有机气体的纯化问题,否则将得到完全不正确的年龄数据,也将严重污染质谱计系统^[8 9]。

2 测定对象

除石油和天然气外,油气成藏过程形成的主要产物有方解石脉、石英和长石次生加大边、含烃包裹体等,这些产物都不适合于常规同位素年代学方法年龄测定。因此,直接的油气成藏同位素年龄测定难度很大。

砂岩储层自生伊利石作为测试对象已较为成熟,但仍存在许多问题和局限性。因流体包裹体⁴⁰Ar/³⁹Ar定年技术曾被成功的应用到热液矿床定年中^[8~10],因此,笔者预测油气成藏过程中形成的含烃盐水包裹体可能成为油气成藏⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学研究取得突破的重点测试对象。此外,钾长石次生加

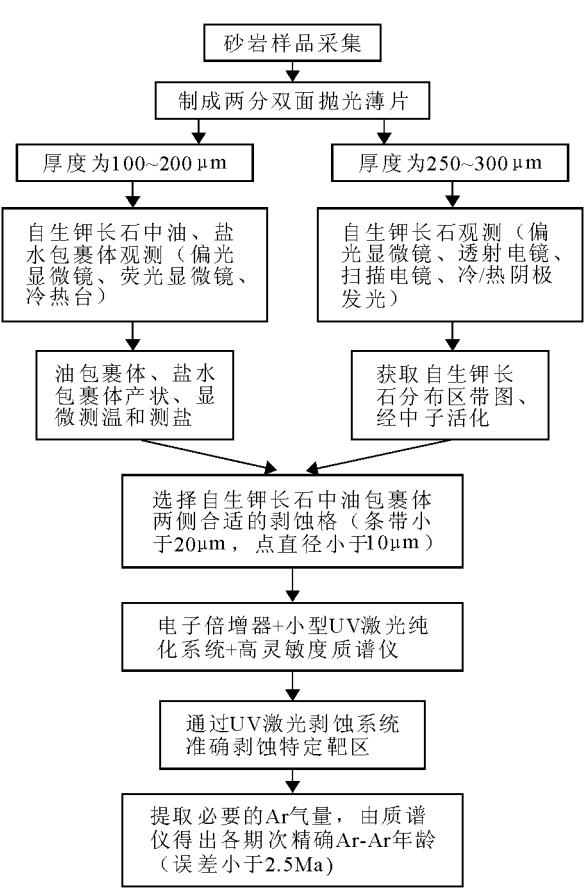


图2 钾长石次生加大边激光微区探针⁴⁰Ar/³⁹Ar定年技术流程(据陈红汉,2007)^[17]

Fig.2 Flow chart of authigenic K-feldspar overgrowth ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating technique by laser microprobe technique (after Chen Honghan, 2007)

大边作为激光微区探针⁴⁰Ar/³⁹Ar定年技术的测试对象,也将成为油气成藏⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学的另一突破口。

2 U-Pb法, Pb-Pb法和 Rb-S法定年

2.1 沥青、干酪根等 Pb-Pb和 Rb-S法定年

国内外研究表明,As U V Nj Pb REE等金属元素可以以有机络合物的形式稳定地保存在沥青、干酪根、卟啉及原油中(温度小于350℃)^[27 28]。在沉积或热水环境中形成的有机物与粘土矿物可以与介质环境达到固体同位素平衡,并在其后可保持封闭体系。沥青中含有较多的金属元素及放射性元素,这些金属元素通常以有机络合物的形式而存在,因此,当石油演化成为固体沥青后,放射性元素的母体(²³⁸U, ²³⁵U, ²³²Th)及其子体(²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb, ²⁰⁸Pb)形成了封闭体系,沥青不易被水渗透, U-Th-Pb体系不易

被后期改造作用破坏而保持良好的封闭体系^[27, 28]。因此, 该体系是测定石油生成、运移年龄的优选对象^[29]。

利用原油、沥青和干酪根中微量金属 U-Pb Pb-Pb Rb-Sr Sm-Nd和 Re-Os体系的同位素分析方法来获得油气生成、运移的年龄, 是成熟的放射性同位素方法在石油地质学中的应用, 其关键是样品中放射性同位素的富集与分离。目前只是做到了沥青和干酪根样品中放射性同位素的有效分离, 原油中的分离还存在困难, 从而限制了该方法的推广^[19]。

Pame(1990) 等首次报道了英国威尔士一铜矿中沥青脉的精确的 Pb-Pb年龄 (248Ma)^[14]; Mossman(1993)等成功测定了加拿大埃奥特湖铀矿床的早元古代页岩干酪根的 U-Pb同位素年龄为 2139Ma^[30]。在我国, 徐湘林等 (1997)、张景廉等 (1998 2000)开展了沥青 Rb-Sr和 Pb-Pb等时线法油气成藏定年探索^[7, 15 27 29]。张景廉等根据同位素年代学与矿床地球化学的理论与实践, 提出用放射性同位素方法 (U-Pb Pb-Pb等)测定固体沥青样品的同位素组成以了解石油生成、运移的年龄。近年来, 对克拉玛依油田乌尔禾沥青、塔里木盆地志留系砂岩沥青、寒武系、奥陶系沉积岩的干酪根和辽河油田原油、古新近系沉积岩干酪根、氯仿沥青作了 Pb-Sr Rb、Nd Sm同位素组成的分析, 获得了一批极有价值的石油生成、运移年龄的数据^[7, 31]。该方法主要研究步骤如图 3所示。

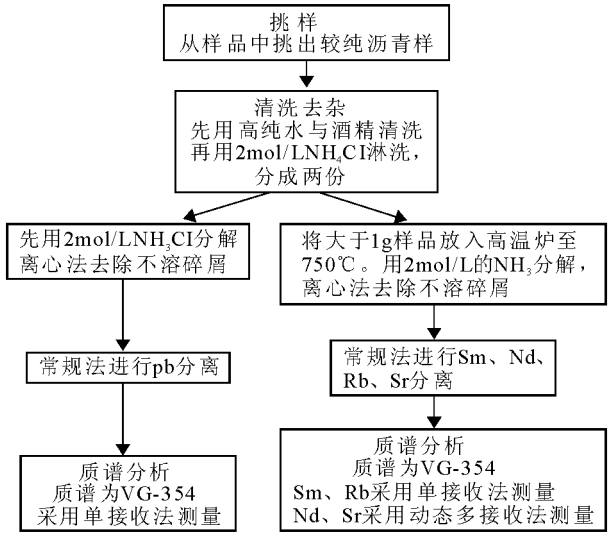


图 3 沥青、干酪根 Pb-Pb和 Rb-Sr法定年研究流程图
Fig 3 Flow chart of Pb-Pb and Rb-Sr dating methods for the trace metals from bitumen and kerogen

U-Pb体系较其它体系的优越之处在于 U有两个放射性同位素²³⁸U和²³⁵U, 其分别衰变成两个铅同位素子体²⁰⁶Pb和²⁰⁷Pb, 通过 U和 Pb丰度及 Pb同位素分析, 可获得 3个年龄值 (²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb, ²⁰⁷Pb/²³⁵U和²⁰⁶Pb/²³⁸U)。这些年龄值的差异可指示在同位素平衡以后, 该体系受到干扰的程度^[4 17]。同时, Pame(1990)等还指出沥青同位素定年中应选择 Pb-Pb等时线, 而不是 U-Pb等时线, 理由是: ① U/Pb很可能被地质过程打乱, 而 Pb同位素之间的比值即使存在 Pb的流失也不易受影响; ② U-Pb定年建立在准确测定铀和铅含量的基础上, 而实验证明这是很困难的, 特别是金属以有机络合物的形式存在时。但是 Pb同位素比值可以从沥青的部分滤出物中获得^[14]。

2.2 晶洞充填物 U-Pb法定年

U-Pb法定年还被广泛地应用于晶洞充填物 (钟乳石、石笋、流石等)的古气候研究中, 且在晚第四纪古气候条件方面已经取得了一些有意义的认识^[32~34]。年平均温度、降雨量、植被覆盖面等可用钟乳石或石笋不同的特性来指示, 这些信息通常随着年溶解度被记录在连续的生长纹层中。除了反演古气候以及作为洪涝、地震和人类活动的指示剂, 晶洞充填物最成功的贡献是适合于 U系列分析定年。U-Th衰变图解对于碳酸盐岩是非常稳固的定年方法, 而 MC-ICPMS技术的出现对高精度的铅同位素分析更加提供了可能^[33]。此外, 许多晶洞充填物的方解石纹层中都捕获有流体包裹体^[33], 有时包裹体含量非常丰富以致于会阻碍晶体的生长。高密度的流体包裹体使方解石呈现乳白色。因此, 晶洞充填物 U-Pb定年结合流体包裹体可能作为油气成藏期定年的另一个突破点。

3 结 语

同位素地质年代学方法是地质测年中最重要、应用最广泛的测年手段, 然而目前因缺乏合适的测试对象以及先进的测试技术, 其在油气成藏年代学中的应用还不是很广泛。但是, 近年来随着高精度测试手段的应用及分析测试技术的不断完善, 其应用也取得了越来越多的成绩。利用沥青和干酪根中微量金属 U-Pb Pb-Pb Rb-Sr Sm-Nd和 Re-Os体系的同位素分析方法来获得油气生成、运移的年龄, 是成熟的放射性同位素方法在石油地质学中的应用; 尽管自生伊利石⁴⁰Ar/³⁹Ar定年还存在一些固有的缺点, 但也有其优点, 其可能分别获得成岩年龄和成藏

年龄,可以对成藏最大年龄做出时间限定,对进一步勘探也有一定的指导意义,因此,自生伊利石⁴⁰Ar/³⁹Ar定年仍是油气成藏年代学不可缺少的重要手段;激光微区探针⁴⁰Ar/³⁹Ar定年技术,可以对油气成藏过程中的钾长石加大边进行定年,这是多期油气成藏⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学研究取得成功地突破点。预期激光微区探针⁴⁰Ar/³⁹Ar定年技术将极大地推动油气成藏年代学研究。

参考文献:

[1] 赵靖舟,李秀荣. 成藏年代学研究现状[J]. 新疆石油地质, 2002, 23 (3): 257—261.

[2] 赵孟军,宋岩,潘文庆,等. 沉积盆地油气成藏期研究及成藏过程综合分析方法[J]. 地球科学进展, 2004, 16(9): 939—944

[3] 王飞宇,金之均,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): 754—760

[4] 郭桂红,韩锋. 地质定年方法综述与地球物理定年[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(1): 87—94.

[5] 穆治国. 激光显微探针⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素定年[J]. 地学前缘, 2003 10(2): 301—307.

[6] 穆治国,高永军. 20世纪末激光显微探针定年把 K-Ar年代学推向了新的里程碑[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(1): 136—142

[7] 张景廉,朱炳泉,张平中. Pb-Sr-Nd同位素体系在石油地球化学中的应用[J]. 地球科学进展, 1997, 12(1): 58—61

[8] 邱华宁. 新一代 Ar-A实验室建设与发展趋势:以中国科学院广州地球化学研究所 Ar-A实验室为例[J]. 地球化学, 2006, 35(2): 133—140

[9] 邱华宁. 流体包裹体⁴⁰Ar/³⁹Ar计时技术及其矿床定年应用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1999 18(2): 71—78.

[10] 蒋映德,邱华宁,肖慧娟. 闪锌矿流体包裹体 Ar-A定年研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25(2): 198—199

[11] IJEM I ARONSON JI, SAVIN SM. K-Ar dating of time of gas emplacement in Rotliegendes sandstone, Netherlands [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(9): 1381—1385

[12] 王飞宇,何萍. 利用自生伊利石 K-Ar定年分析进入储集层的时间[J]. 地质论评, 1997 43(5): 540—545

[13] 王龙樟,戴樟谟,彭平安. 气藏储层自生伊利石⁴⁰Ar/³⁹Ar法定年的实验研究[J]. 科学通报, 2004 49(A01): 81—85

[14] PARNEILL J SWANBANK J. Pb-Pb dating of hydrocarbon migration into a bitumen-bearing ore deposit, North Wales [J]. Geology, 1990 18(10): 1028—1030

[15] 涂湘林,朱炳泉,张景廉. Pb-Sr-Nd同位素体系在石油定年与成因示踪研究中的应用[J]. 地球化学, 1997 26(2): 57—67

[16] 赵玉灵,杨金中,沈远超. 同位素地质学定年方法评述[J]. 地质与勘探, 2002 38(2): 63—67

[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[J]. 石油学报, 1998, 19(2): 40—43

[18] 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.

[19] 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

[20] 王龙樟,戴樟谟,彭平安. 自生伊利石⁴⁰Ar/³⁹Ar法定年技术及气藏成藏期的确定[J]. 地球科学, 2005 30(1): 78—82

[21] DONG H L, HALL CM, PEACORD R, HALLDAY A N, PEVEAR D R. Thermal ⁴⁰Ar/³⁹Ar separation of diagenetic from detrital illitic clays in Gulf Coast shales[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2000, 175(3—4): 309—325

[22] LEW G N, CLAUSER N, SOMMER F. Rb-Sr and K-Ar dating of clay diagenesis in Jurassic sandstone oil reservoir, North Sea [J]. AAPG Bulletin, 1987 71(12): 1467—1474.

[23] 陈文,罗修文,刘宝英,等. 激光显微探针⁴⁰Ar/³⁹Ar定年方法研究[J]. 地球学报, 1994 15(1—2): 197—205.

[24] DONG H L, HALL C M, HALLDAY A N, PEACORD R. Laser ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of microgram-size illite samples and implications for thin section dating [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1997, 61(18): 3803—3808.

[25] MARK D F, PARNEILL J, KELLEY S P et al. Temperature-composition time (T-X-t) data from authigenic K-feldspar: An integrated methodology for dating fluid flow events[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2006 89(1—3): 259—262

[26] MARK D F, PARNEILL J, KELLEY S P et al. Dating of multi-stage fluid flow in sandstones[J]. Science, 2005 309(5743): 2048—2051

[27] 张景廉,朱炳泉. 塔里木盆地干酪根、沥青的 Pb同位素特征及其原油幔源非生物成因[J]. 甘肃地质学报, 1997, 6 (A00): 84.

[28] SHOCK E L, KORETSKY C M. Metal-organic complexes in geochemical processes: Estimation of standard partial molar thermodynamic properties of aqueous complexes between metal cations and monovalent organic acid ligands at high pressure and temperatures[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995 59 (8): 1497—1532

[29] 张景廉,朱炳泉,赵应成,等. 固体金属同位素在油气运移研究中的应用[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000 24(4): 98—103

[30] MOSSMAN D J, NAGY B, DAVIS D W. Hydrothermal alteration of organic matter in uranium ores, Elliot Lake, Canada: implications for selected organic-rich deposits [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57(14): 3251—3259.

[31] 岳伏生,张景廉,曹正林. 再论石油生成和运移年龄的确定[J]. 新疆石油地质, 2003 24(1): 84—86.

[32] LUNDBERG J, FORD D C, HILL C A. A preliminary U-Pb date on cave spar, Big Canyon, Guadalupe Mountains, New Mexico, USA [J]. Journal of Cave and Karst Studies, 2000, 62(2): 144—148

[33] WOODHEAD J, HELLSIRROM J, MAAS R et al. U-Pb geochronology of speleothems by MC-TIMS [J]. Quaternary Geochronology, 2006 1(3): 208—221.

[34] 王兆荣,袁道先,林玉石. 石笋高精度高分辨率年代学和古气

候研究[J]. 地质地球化学, 2001, 29(4): 92—95

Isotopic dating techniques and their applications to the geochronology of hydrocarbon migration and accumulation: An overview

CAI Limei, CHEN Hong-han, LI Zhao-qi, WU You

(Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: The present paper gives a general review of the isotopic dating techniques including K-Ar, Ar-Ar, U-Pb and Rb-Sr methods and their applications to the geochronology of hydrocarbon migration and accumulation in China and foreign countries. With the innovation and development, the authigenic illite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method is still an indispensable technique in the chronology of hydrocarbon migration and accumulation. The integration of fluid inclusion technique and authigenic K-feldspar laser microprobe $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating technique has made a successful breakthrough in the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of hydrocarbon migration and accumulation. The isotopic dating techniques including U-Pb, Pb-Pb, Rb-Sr, Sm-Nd and Re-Os methods for the trace metals from bitumen and kerogen are all successful radioactive isotopic techniques for the geochronology of hydrocarbon migration and accumulation in petroleum geology. Particularly, U-Pb age dating of the speleothems may be another new breakthrough in the geochronology of hydrocarbon migration and accumulation in carbonate reservoirs.

Key words: isotopic dating technique; laser microprobe dating technique; fluid inclusion