

白垩纪非海相沉积层序同位素年龄的直接测定研究及盆地分析中的同位素年代学方法

王璞珺 周燕 王东坡
(能源地质系) (测试中心) (能源地质研究所)

摘要 在扼要阐述同位素年代学方法研究盆地地层年代、热史、构造史、成岩史和成烃史等方面应用现状的基础上,以作者对松辽盆地白垩纪非海相沉积层序的年代地层学研究为例,介绍适用于中生代沉积岩测年龄的同位素年代学方法,系统讨论样品选择、样品处理、分析测试方法、成果解释和应注意的有关问题。

用于沉积岩直接测年龄的同位素年代学方法主要有 K—Ar 稀释法、Rb—Sr 等时线法、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法和磷灰石、锆石裂变径迹法。作为 K—Ar 法的测定对象应用最多的是伊利石和蒙脱石等粘土矿物,选用样品常为钾蒙脱石(K-bentonite)、蒙脱石、伊利石胶结物和成岩伊利石粘土。除用于确定沉积层序的地质年代外,年龄结果还可用于盆地热史和构造史研究,以及油气聚集史研究。Lee 等(1985)通过对北海北部 Rotliegendes 砂岩储层中细粒成岩伊利石粘土的 K—Ar 年龄与埋深的关系研究,确定出该区的成烃史。Elliott(1987)通过对阿巴拉契亚盆地南部钾蒙脱石中伊/蒙混层粘土的同位素年龄研究,确定出该区的构造运动史。Elliott 等(1991)应用蒙脱石中伊/蒙混层粘土的 K—Ar 同位素年龄及其随埋深的变化关系在恢复盆地热史和探索伊—蒙转换的动力学机制方面进行了有益的尝试。Elliott 和 Aronson(1993)对钾蒙脱石中伊/蒙混层粘土 K—Ar 年龄在伊利诺斯盆地中分布规律进行了详细研究,由此获得阿勒格尼造山期该盆地热流体(heated saline fluids)的运移历史。Robinson 等(1993)通过对伊利石胶结物 K—Ar 年龄的研究,成功地再造了北海盆地南部中—晚侏罗世的成岩史和裂谷发育史。Kappelman 等(1991)用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测定了 Fayam 拗陷(开罗西南部)古脊椎动物化石年龄($23.64 \pm 0.035\text{Ma}$),从而准确确定出该区始新世与渐新世的界线。Phelps(1986)通过对碎屑钾长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱的研究,成功地再造了 Viking 地堑的热史和物源区年龄。碎屑磷灰石和锆石的裂变径迹研究多用于恢复盆地的热史和构造演化史(Griyet 等,1993;Kalaswad 等,1993);Roden 等(1993)对美国中西部地区含火山碎屑钾蒙脱石的 K—Ar 年龄及碎屑磷灰石、锆石的裂变径迹年龄进行了系统研究和对比,为该区沉积层序的沉积时代、盆地热演化史和热液卤水(heated saline solutions)的运移史研究提供了可靠的同位素年代学证据。

同位素年代学方法用于沉积盆地研究在我国仍处于起步阶段。就目前研究程度较高的松辽盆地而言,营城组(K₁Y)以上的白垩纪层序的地质年代主要是根据下伏火山岩及火山碎屑岩的同位素年龄、层序内的生物群面貌和磁性地层对比等三个方面的资料综合确定的;而直接测定沉积层序同位素年龄的有关研究尚未见报导。本文用 K—Ar 稀释法直接测定

了青山口组(K₂Q_n)和嫩江组(K₂N)泥质岩的沉积年龄;用 Rb—Sr 等时线法测得了嫩江组(泥质)碳酸盐岩和泉头组(K₁Q)蒸发盐岩(含泥)的同位素年龄。本文的测定结果与上述综合方法得到的地层年代基本吻合。

1 适用于中生代沉积岩测年的同位素年代学方法

1.1 K—Ar 稀释方法

方法原理与主要特点 钾有三种天然同位素:³⁹K (93.08%)、⁴⁰K (0.01193%)、⁴¹K (6.91%);氩也有三种天然同位素:³⁶Ar (0.337%)、³⁸Ar (0.063%)、⁴⁰Ar (99.6%);钙有六种天然同位素:⁴⁰Ca (96.94%)、⁴²Ca (0.65%)、⁴³Ca (0.14%)、⁴⁴Ca (2.08%)、⁴⁶Ca (0.003%)、⁴⁸Ca (0.19%)。括号内是它们相应的丰度(Faure, 1983, P117)。有 88.8%的⁴⁰K 原子衰变成稳定的⁴⁰Ca,另外 11.2%的⁴⁰K 原子衰变成⁴⁰Ar。在钾、氩和钙封闭的含钾体系中,放射成因的⁴⁰Ar 和⁴⁰Ca 的增长关系为:⁴⁰Ar* + ⁴⁰Ca* = ⁴⁰K(e^{λt} - 1);其中 λ 为⁴⁰K 的总衰变常数, t 为衰变时间。λ = λ_β + λ_α; λ_α 为⁴⁰K 向⁴⁰Ar 的衰变,而 λ_β 为⁴⁰K 向⁴⁰Ca 的衰变常数。本文的年龄测定中选用 λ_α = 0.581 × 10⁻¹⁰ a⁻¹, λ_β = 4.96 × 10⁻¹⁰ a⁻¹(王松山等, 1983);相应的半衰期 T_{1/2} = ln2/λ = 0.693/(0.581 + 4.96) × 10¹⁰ = 1.314 × 10⁹ a。若假定含钾矿物或岩石形成时不存在初始⁴⁰Ar,则得到 K—Ar 法计算年龄的公式:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\alpha}} \cdot \frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{40}\text{K}} + 1 \right) \quad (1)$$

$${}^{40}\text{Ar}^* = {}^{38}\text{Ar}_s \left\{ \left(\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{38}\text{Ar}} \right)_m - \left(\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{38}\text{Ar}} \right)_s - \left[\frac{1 - \left(\frac{{}^{38}\text{Ar}}{{}^{36}\text{Ar}} \right)_m \cdot \left(\frac{{}^{36}\text{Ar}}{{}^{38}\text{Ar}} \right)_s}{\left(\frac{{}^{38}\text{Ar}}{{}^{36}\text{Ar}} \right)_m \cdot \left(\frac{{}^{36}\text{Ar}}{{}^{38}\text{Ar}} \right)_s - 1} \right] \cdot \left[\left(\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{38}\text{Ar}} \right)_a - \left(\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{38}\text{Ar}} \right)_m \right] \right\} \quad (2)$$

(2)式中,⁴⁰Ar* 为放射性成因, m, s, a 分别代表混合的、稀释剂的和大气的氩同位素比值。(1)式中⁴⁰K 可由 K 的总量乘以其同位素丰度(重量比为 0.01193%;原子比为 0.01167%)求得。

由于 K—Ar 法具有以下特点,使其在沉积盆地分析研究中得到了较为广泛的应用。①沉积岩中含 K 矿物多,如粘土矿物和长石等均可作为测定对象;②⁴⁰K 的衰变周期合适(T_{1/2} = 1.314 × 10⁹ a),可测量范围大(几十亿~几万年的样品均可);③Ar 是惰性气体,放射成因的⁴⁰Ar* 一般替换在 K 的位置上,不易逸出;④K—Ar 法的测试技术比较完善。

样品要求 对于以获取准确沉积年龄为研究目的的样品必须满足下列条件:①被测对象为同沉积(或早期成岩)形成;②矿物形成之初无原始 Ar(过剩 Ar)被捕获(对沉积岩而言该条件多可满足要求);③矿物形成至今整个体系对⁴⁰Ar 和⁴⁰K 均是封闭的(对于沉积岩而言,主要是指样品新鲜未遭风化,未遭受溶蚀、溶解和重结晶作用;未遭受热液流体的淋滤和热事件的扰动等)。

K—Ar 法测定沉积年龄的最大缺点是放射成因的⁴⁰Ar* 在后期地质作用影响下易丢失,使年龄结果偏低。但由于 Ar 是气体,对温度很敏感,所以 Ar 丢失往往为热事件引起;从而使得 K—Ar 年龄谱成为盆地热扰动史研究的有效方法。

1.2 Rb—Sr 等时线法

方法原理与主要特点 铷有 ^{85}Rb (72.1654%)和 ^{87}Rb (27.8346%)两种天然同素。锶有四种天然同位素： ^{88}Sr (82.53%)、 ^{87}Sr (7.04%)、 ^{86}Sr (9.87%)和 ^{84}Sr (0.56%)。括号内是它们相应的同位素丰度。 ^{87}Rb 通过发射一个负 β 粒子(β^-)衰变成稳定的 ^{87}Sr ，即 $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr} + \beta^- + \bar{\nu} + Q$ ($\bar{\nu}$ 是反中微子， $Q=0.275\text{MeV}$ 是衰变能)。 ^{87}Sr 绝大部分是地球固有的，少部分是地球形成后，由 ^{87}Rb 衰变而成的放射成因 ^{87}Sr 叠加的(申浩澈，1992)。在含有铷的岩石或矿物中，锶同位素的精确组成取决于该岩石或矿物的年龄和Rb/Sr值。根据放射性衰变定律，可得到年龄为 t 的岩石或矿物中的 ^{87}Sr 的原子数：

$$^{87}\text{Sr}_{\text{样品}} = ^{87}\text{Sr}_{\text{初始}} + ^{87}\text{Sr}^* = ^{87}\text{Sr}_{\text{初始}} + ^{87}\text{Rb}_{\text{样品}}(e^{\lambda t} - 1) \quad (3)$$

^{86}Sr 是个稳定同位素，且不能由其它元素的天然同位素衰变而产生，因此在样品中 ^{86}Sr 原子数是个常数，可作为比较基准。(3)式两端同除 ^{86}Sr 得：

$$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{样品}} = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{初始}} + (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{样品}}(e^{\lambda t} - 1) \quad (4)$$

这是典型的 $y = a + bx$ 型直线方程。因变量 $y = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{样品}}$ 、自变量 $x = (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{样品}}$ 、截距 a 为初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值，斜率 $b = e^{\lambda t} - 1$ 。对于形成时间(t)相同、初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值相同、且形成至今一直保持封闭体系的一组样品，经投点后可拟合出一条直线；由该直线斜率(b)可得等时年龄：

$$t = 1/\lambda \ln(1 + b) \quad (5)$$

其中 $\lambda = 1.42 \times 10^{-11}\text{a}$ 。Rb—Sr的特点是：①半衰期长($T_{1/2} = \ln 2/\lambda = 4.881 \times 10^{10}\text{a}$)，比较适合于老年龄的测定(中生代及前中生代)；②要求样品必须符合同时形成、具有相同 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比和始终保持封闭体系三个基本条件；③采用多点曲线拟合，可较好地克服偶然误差，测定结果可靠性强；④Rb—Sr等时年龄是被测体系中锶同位素均一化后经历的时间。它可以是沉积年龄也可能是成岩或重结晶年龄。具体情况如何应结合岩石的层序及组构特征加以分析解释。

样品要求 (1)必须是成因上相似、时代上接近的同源、同期样品；即各样品在层位上相同或相邻，沉积相类型相似并处于同一汇水盆地；前者可保持同期(t 相同)、后者保证它们具有相同初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值。

(2)在满足上述前提下，应该尽量选取岩性差异较大的样品，以使等时线上各点能彼此分开、提高拟合精度；同时要保证各样品均具有足够高的Rb/Sr值，使其中的 $^{87}\text{Sr}^*$ 达到质谱仪的检出限以上。沉积岩中能满足这些要求的样品主要有自生的海绿石；碎屑的云母、钾长石和粘土矿物等。碳酸盐矿物(方解石、白云石、菱铁矿等)和蒸发盐矿物(石膏、硬石膏、重晶石和天青石等)和钾盐(KCl常含少量Br、Rb、Sr、Cs等类质同象混入物)、光卤石($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，含Br、Rb、Sr、Cs等类质同象混入物)。碳酸盐和蒸发盐矿物是沉积岩中常见的自生矿物，但由于下面两个原因使它们的纯净矿物在Rb—Sr法应用中受到限制：第一，它们属高Sr低Rb矿物，难以进行准确同位素测量；第二，它们普遍含有较高的Ca、Mg等干扰元素。然而，若自生碳酸盐或蒸发盐中含有 $>10\%$ 的同沉积粘土矿物，则可作为较理想的Rb—Sr等时线年龄样品。对陆相层而言，湖相泥质岩中的同沉积粘土矿物总是较为理想的被测对象。

(3)用于Rb—Sr法测沉积年龄的火山碎屑物必须是可反映沉积年龄的晶屑、玻屑和凝灰质碎屑等；其它类型的陆源碎屑矿物只能用于测定物源区的年龄。若在被测同沉积矿物中

混有陆源碎屑矿物,则将引起测定结果偏高,得出不正确的沉积年龄。

2 松辽盆地白垩纪非海相沉积层序同位素年龄的直接测定

2.1 样品选择

本文的研究目的是测定松辽盆地白垩系 K_1Q-K_2N 的准确地质年代,即要解决的是沉积年龄问题。故必须选择能够指示沉积年龄的自生矿物或碎屑矿物。结合沉积层序和沉积相等具体特征,作者选取湖相泥质岩作为青山口组和嫩江组 $K-Ar$ 稀释法的被测样品;选择含泥质蒸发盐作为泉头组 $Rb-Sr$ 等时线年龄的测定样品;选择结核状泥灰岩—生物泥灰岩—泥岩作为嫩江组 $Rb-Sr$ 等时线法的测定对象。

保证被测组分确系“同沉积”成因是本项研究的基础。为此作者在详细的薄片鉴定、电镜—能谱分析、X射线定量衍射分析和定量化学全分析的基础上,逐一筛选出适于本项研究的测定样品。现将样品选择过程及主要依据概述如下。

蒸发盐岩样品 成分以硬石膏、重晶石和天青石为主;电镜下,蒸发盐主要呈几 μm ~几十 μm 的半自形到它形晶与方解石镶嵌,伊利石、绿泥石和沸石等成岩早期粘土矿物充填于它们的空隙中,各矿物间界线清楚、成分突变、无交代特征;多呈不规则结核状(或蜂窝状)、透镜状和串珠状,平行层面断续排列,不切割层理(或与层理关系不清),常见同沉积示底构造,底面呈圆滑弧形、顶面平直或棱角状;局部见膏盐组分作为基质、粉砂碎屑悬浮其中的基底式结构。上述特征均说明蒸发盐是同沉积期底部成核、过饱和结晶沉淀形成,且没遭受明显的后期溶蚀和重结晶等可能引起原生组分再分配的地质作用。

泥质岩样品 先取同层位或相当层位的湖相泥质岩样品;自生粘土矿物主要为伊利石、蒙脱石、伊蒙混层和高岭石,其次为绿泥石、磷片状集合体,单体 $<2 \mu m$;常含有相当量的细粉砂级碎屑组分,成分以石英和方石英为主,其次为碱性长石和斜长石(表1);嫩江组泥质岩中的碎屑组分常见晶屑、玻屑结构;本文主要选取含晶屑、玻屑的膨润土层作为采样层,定量分离出自生粘土组分作为年龄测定样品。

表1 被测泥质岩样品的X光衍射分析结果

序号	样品原始组成(%)						碎屑组分定量分离后粘土矿物相对含量(%)						
	石英	方英石	碱长石	斜长石	方解石	粘土	蒙脱石	I/S混层	伊利石	高岭石	混层比	有序度	
1	56	8	10	14	0	12	0	65	31	4	40	部分有序	
2	23	5	12	27	0	33	92	0	3	5	93	无序	
3	11	7	14	13	0	55	70	0	1	29	95	无序	
4	53	4	11	14	7	11	0	76	23	1	47	部分有序	
5	53	4	11	14	10	8	0	76	23	1	50	无序	
6	50	6	13	21	0	10	0	69	21	10	40	部分有序	
7	40	3	11	13	22	3	0	41	52	7	35	有序	
8	41	3	20	23	0	13	0	64	33	3	35	有序	
9	53	5	11	16	6	9	0	54	48	7	40	部分有序	

生物碳酸盐岩和结核状碳酸盐岩/泥质岩样品 根据沉积层序特征及结核与层理的交切关系,可以确定它们确属同沉积期形成;但由于这些样品往往含 Rb 低而含 Ca、Mg 等干扰元素高,常给测定带来困难。然而,对于 Rb—Sr 等时线法来说,低 Rb/Sr 值的样品对于准确控制等时线的下端点确是很有用的。所以若能恰当选择样品仍能拟合出好的等时线。作者在详细的野外和显微镜薄片鉴定等工作基础上,根据化学成分分析结果(表 2),选出用于 Rb—Sr 等时线年龄的测试样品。从测得的等时线年龄结果看,说明同生泥质灰岩/灰质泥岩可用于年龄测定。

表 2 用于 Rb—Sr 等时线年龄测定样品的化学分析结果

样号	岩石名称	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	Mn	Ba	Sr	Rb	Rb/Sr
y1	泥质铁白云岩	12.9	34.2	5.2	2.9	17.7	1428	488	2027	37	0.018
y2	泥质介形虫灰岩	5.5	48.6	2.1	0.22	3.8	2227	482	244	13	0.0053
y3	泥质铁白云岩	14.7	31.6	7.8	3.4	15.6	1320	809	1736	39	0.022
y4	泥质铁白云岩	19.4	27.1	8.0	4.4	13.3	1054	1083	1706	46	0.026
y5	介形虫泥质白云质灰岩	5.4	49.5	2.3	0.18	7.9	1994	725	2267	11	0.0049
y6	泥质铁白云岩	13.5	32.9	5.2	3.6	16.9	454	480	2083	38	0.018
y7	介形虫含泥灰岩	5.1	49.1	3.1	0.1	8.0	2497	276	1867	81	0.0043
y8	介形虫泥质灰岩	8.3	44.0	2.7	1.2	4.8	2655	387	2104	15	0.0071
y9	灰质泥质粉砂岩	64.7	2.5	4.2	16.6	2.2	409	455	207	121	0.584
y10	泥质岩	62.2	0.9	2.5	26.8	2.1	111	806	1250	149	0.119
y11	泥质岩	62.5	2.1	4.7	18.1	2.1	374	848	417	151	0.362

2.2 样品处理

用于 Rb—Sr 等时线年龄测定的含泥质蒸发盐样品 结合显微镜和电镜的鉴定结果,选择蒸发盐颗粒 > 0.1 mm,且同沉积泥质含量高的样品;用铁乳钵边碎边过筛,直至 60~100 目,使得蒸发盐矿物与相邻的(沉积)泥质间全部或部分解离;用蒸馏水漂洗数次,除去过细的悬浮组分后蒸干;用杜列重液(81ml 蒸馏水:270gHgI₂:130gKI)将“泥质”蒸发盐矿物与碎屑矿物分离;蒸馏水洗去残余重液后蒸干;在双目实体显微镜下挑选不含碎屑矿物的蒸发盐和“泥质”蒸发盐颗粒 > 5g;研磨至 200 目,用于 Rb—Sr 等时年龄测定和 Rb/Sr 值初测。本步的关键是既要使蒸发盐中带有一定量的共生沉积泥质组分,又绝不能混入碎屑矿物。

用于 K—Ar 年龄测定的同沉积泥质岩样品 根据显微镜和电镜鉴定结果,泥质岩中含有大量细粉砂级(0.02~0.005 mm)石英和长石碎屑。据此先将样品碎至 100 目(0.15 mm)过筛、除去 > 200 目的粗碎屑部分,保留 200 目的细粒组分;称 10g 细组分样品加蒸馏水 100 ml;超声波分散 30 min;将样品移至 500 ml 或 1000 ml 大烧杯中充分搅拌制成悬浮液;用沉降分离法分出沉积粘土组分,蒸干、待测。本步处理的关键是避免有碎屑组分混入和防止 Ar 在样品处理中的损失(烘干温度 < 100℃、不能长时间过细研磨)。

用于 Rb—Sr 等时线法的泥质碳酸盐/灰质泥岩样品的处理 选择新鲜、未遭受风化、

蚀变和重结晶的样品;按步骤(2)的方法除去碎屑矿物;选取细粒组分 $>5\text{ g}$;研至200目,待测。本步处理过程中应特别注意防止样品的污染;因为等时年龄测定中样品用量小($50\sim 100\text{ mg}$)、而Rb和放射成因的 ^{87}Sr 含量均很低($10^{-6}\sim 10^{-10}\text{ g}/100\text{ mg}$),属超微量分析,任何污染都能导致测试失败。

2.3 测试方法

Rb-Sr 等时线法 称200目已在 90 C 恒温8h的样品 $50\sim 100\text{ mg}$ 于 10 mlF_{48} 尖底塑料杯内,按最佳稀释比加入 ^{87}Rb 和 ^{84}Sr 稀释剂,摇匀;加入 $2\sim 3\text{ ml HNO}_3$ 、 7 ml HF 在控温电热板上放置过夜至样品全部溶解;再加入 $3\sim 4\text{ ml HNO}_3$ 、 5 ml HClO_4 蒸干、冒尽白烟;加水离心(除 $\text{CaO}\downarrow$ 和 $\text{MgO}\downarrow$),取上清液过柱($200\sim 400$ 目Dowe $\times 50\times 8$ 型阳离子交换树脂,柱径 8 mm 高 100 mm);用 $8\text{ ml} 1.5$ 和 2.5 moleL^{-1} 的HCl分别洗涤Rb和Sr,蒸干、加数滴 $1\% \text{ HCl}$ 溶解、待质谱仪测定。

表3 松辽盆地 K_2Qn 和 K_2N 暗色泥岩K-Ar同位素年龄测试结果

样品号	样品名称	样品重(g)	K %	$^{40}\text{Ar}^*$ 10^{-10} mol/g	$^{40}\text{Ar}_a$ %	$\frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{40}\text{K}}$	视年龄 $t(\pm 10)$ (Ma)	层位	磁性地层-生物地层时代 $^{(1)}$ (Ma)
R1	粘土	0.12170	1.35	0.1856	56.4	0.00461	77.6 ± 0.6	K_2N	73~84
R3	粘土	0.14740	4.07	0.6435	31.4	0.00530	89.0 ± 1.81	K_2Qn	88.5~100
R4	粘土	0.13485	3.45	0.4693	26.0	0.004558	76.8 ± 1.33	K_2N	73~84
R5	粘土	0.10365	3.19	0.5270	50.3	0.005535	92.8 ± 1.48	K_2Qn	88.5~100
R6	粘土	0.1185	2.64	0.5284	36.8	0.00671	111.9 ± 1.47	K_2Qn	88.5~100

①据高瑞祺,萧德铭,1991

K-Ar 稀释法 称样 0.1 g 加 $1:1\text{ H}_2\text{SO}_4$ 10滴,HF $5\sim 10\text{ ml}$,低温过夜溶解样品,Li作内标、Na作缓冲剂、火焰光度法测定K;样品在氩抽提系统中过夜烘烤($260\sim 280\text{ C}$)抽高真空,用高频电炉熔样,加 ^{38}Ar 稀释剂(瑞士产,丰度是 $^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar} = 4.57 \times 10^{-4}$, $^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar} = 5.85 \times 10^{-4}$),采用大小球法分取 ^{38}Ar ,每次用量约 $4 \times 10^{-6}\text{ ml NTP}$,其标准偏差为 0.73% ,氩同位素测量用改进的MS-10质谱仪(王松山,1983)。按公式(1)计算年龄。

2.4 测定结果与结果讨论

按上述采样、选样过程,样品处理方法和分析测试流程,作者对松辽盆地白垩纪青山口组和嫩江组的暗色泥岩进行了K-Ar稀释法同位素年龄测定(表3);对下白垩世泉头组和上白垩世嫩江组,分别以泥质蒸发盐和泥质碳酸盐岩/灰质泥岩为测定对象,进行了Rb-Sr等时年龄测定(图1)。

由表3和图1的测试结果及其与其它方法的研究成果对比,可以看出本文测得的年龄

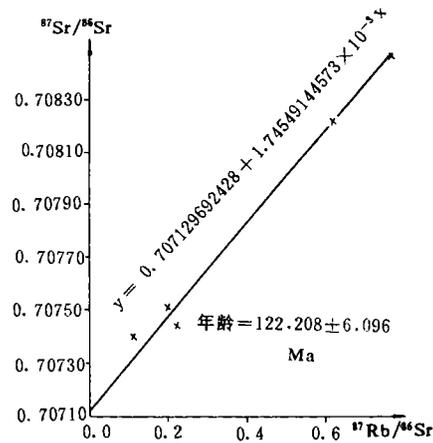


图1 松辽盆地泉头组Rb-Sr等时线年龄
磁性地层~生物地层时代= $100\sim 116\text{ Ma}$ (资料来源同表3注①)

结果与磁性地层—生物地层学方法所确定的地层时代基本吻合。说明按本文所述的研究方法可以直接测定中生代陆相沉积层序的同位素年龄。但如前所述,影响测定结果的因素很多,采样、选样、加工、处理直至分析测试结果计算,每一步都要求非常仔细,且要前后连贯不能脱节,否则年龄结果就不可信。R6号K—Ar法测得的青山口组年龄和Rb—Sr法测得的泉头组年龄(图1)均比磁性地层—生物地层年龄偏高,其原因可能是样品中混入碎屑组分所致,也可能是泉头组(及青山口组)的底界年龄需要适当下移;究竟如何解释更合理尚需进一步查证。

申浩澈研究员在本文撰写和样品测试中给予大力支持和帮助,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 王松山,刘嘉麒,朱铭,赵东植. 长白山地区新生代火山岩的钾—氩年龄测定. 地质科学,1983(3):205~215
- 2 Costa S, Maluski H, Lardearx J M. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ chronology of Variscan tectono—metamorphic events in an exhumed crustal nappe: the Monts du Lyonnais complex (Massif Central, France). Chem. Geol. 1993, 105:339~359
- 3 Dallmeyer R D, Keppie D J. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Mineral ages from The southern cape Breton highlands and Creignish hills, Cape Breton Island, Canada: evidence for a polyphase tectonothermal evolution J. Geol., 1993, 101:467~487
- 4 Elliott W C, Aronson J L. Alleghanian episode of K—bentonite illitization in the southern Appalachian Basin. Geol, 1987, 15:735~739
- 5 Elliott W C, Aronson J L, Matisoff G, Gautier D L. Kinetics of the smectite to illite transformation in the Denver Basin: clay mineral, K—Ar data, and mathematical model results. AAPG Bull., 1991, 75:436~462
- 6 Elliott W C, Aronson J. The timing and extent of illite formation in Ordovician K—bentonites at the Cincinnati Arch, the Nashville Dome and north—eastern Illinois basin. Basin Research, 1993, (3):125~135
- 7 Faure G. 同位素地质学原理. 潘曙兰, 乔广生译. 北京科学出版社, 1983
- 8 Kappelman J, Simons E L, III C C S. New age determinations for the Eocene—Oligocene boundary sediments in the Fayum depression, Northern Egypt. J. Geol., 1992, 100:647~668
- 9 Lee M, Aronson J L, Savin S M. K/Ar dating of time of gas emplacement in Rotliegendes sandstone, Netherlands. AAPG Bull., 1985, 69(9):138~1385
- 10 Robinson A G, Coleman M L, Gluyas J G. The age of illite growth Village fields area, southern North Sea: evidence from K—Ar ages and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios. AAPG Bull., 1993, 77(1):68~80