

内蒙赤峰南部楼子店拆离断层系绿泥石化带的形成时代*

王新社¹ 郑亚东² 刘玉琳² Ritts Bradley³ Friedman Scott³

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871;
3. Department of Geology, Utah state University, Logan, UT, 84322-4505, USA

摘要 楼子店拆离断层系是华北陆块北缘一条大型北东-南西向构造, 低角度倾向南东. 拆离断层系中韧性剪切带的走向线理与脆性断面上的倾向擦痕表明该断层发育过程中发生了运动学上的转向. 拆离断层系绿泥石化带是伸展过程中构造层次递进变浅所致的退化变质作用产物, 其中发育了早期近走向和晚期倾向两组线理, 记录了上盘早期向北东的韧性剪切到晚期脆性倾向下滑的运动学转向过程. 因此, 绿泥石矿物的定年可限定这一构造热事件及运动学转向的时间. 初步的绿泥石 K-Ar 定年表明, 楼子店拆离断层系绿泥石化带形成始于~121 Ma, 114—112 Ma 间发生了运动学的转向.

关键词 拆离断层系 绿泥石化带 运动学转向 K-Ar 年龄 赤峰

一般认为拆离断层系主要由三部分组成: 糜棱岩带, 绿泥石化带和微角砾岩带^[1,2]. 绿泥石化带是含铁镁矿物的糜棱岩进入脆韧性转换域及以上经退化变质和剪切作用的产物^[1-3]. 这一过程中不同构造层次间可发生运动学的转向^[4-9]. 对于绿泥石化带形成及脆韧性转换的时间, 惟一可定年的测试对象是其中的新生矿物绿泥石. 绿泥石含有一定量可测年的钾^[10,11], 为绿泥石化带定年提供了可能.

赤峰南部楼子店拆离断层系最早由王玉芳等所识别^[12], 其中韧性剪切与脆性滑动之间存在运动学不一致^[12-14]. 近期的构造解析及上盘盆地分析表明该拆离断层系的发育经历了两阶段的伸展: 早期的韧性剪切与晚期的脆性拆离, 其间存在运动学转向^[9,15]. 韧性剪切带中糜棱岩矿物内部 Rb-Sr 等时线年龄为 127—117 Ma^[16], 黑云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄在 128—125 Ma^[16-18]; 拆离断层面之上断层泥的 K-Ar 年龄为

65.3 和 71.1 Ma^[13], 这些资料表明所获得的同位素年龄数据不甚连续, 韧性与脆性变形转换的时间未加严格限定. 由此引起对该构造系统属性的争议: 两期伸展是分居两期构造事件^[13,14]抑或属同一递进伸展过程^[18]. 解释脆性与韧性运动学不一致的关键是绿泥石化带的形成时间. 野外调查表明该拆离断层系中绿泥石化带最宽处达 250 m, 带中发育两组线状构造, 记录了韧性向脆性转换的构造运动, 是理想的研究绿泥石化带形成及脆韧性转换时间的场所. 因此, 我们对楼子店拆离断层系绿泥石化带中绿泥石进行了探讨性的 K-Ar 法年代测定, 所得年龄与地质事实吻合, 对运动学转向给出了年代学约束, 并据此讨论绿泥石化带定年的有关问题.

1 楼子店拆离断层系地质背景与构造特征

楼子店伸展拆离断层系位于华北陆块北缘, 沿赤

2005-10-20 收稿, 2005-12-07 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号: 40572123, 40102017)和国家自然科学基金对外交流与合作(批准号: 00410144)资助项目

E-mail: xinshewang@cags.net.cn

1) 王新社. 内蒙赤峰南部地区一新型变质核杂岩及其拆离上叠盆地. 北京大学博士学位论文, 北京, 2003

峰南部楼子店-大城子一线出露(图1)。断层系走向北东-南西向,低角度倾向南东。西侧变质及岩浆杂岩体构成北东向延伸的构造和地形隆起;东侧白垩系碎屑岩、火山碎屑岩组成拆离断层系的上盘盆地。拆离断层系自下而上依次由糜棱岩带、脆韧性剪切带及绿泥石化带、微角砾岩带、脆性断层面和断层泥带组成。这些构造要素沿走向显示构造层次由北东向南西逐渐变浅:在大城子北东,上述各要素齐全;大城子以南仅发育绿泥石化带、断面及断层泥;糜棱岩带前锋位于三座店西一带。断层系中糜棱岩带面理和脆性断层面的产状相似,而相关的线状要素产状则明显不同。糜棱岩带的糜棱面理产状为 $110\text{--}145^\circ\angle 23\text{--}40^\circ$,平均产状 $135^\circ\angle 26^\circ$;拉伸线理总体与断层走向一致,产状为 $25\text{--}70^\circ\angle 5\text{--}38^\circ$ 或 $170\text{--}240^\circ\angle 5\text{--}30^\circ$ 。有限应变测量和运动学涡度分析表明糜棱岩带属简单剪切为主的减薄型韧性剪切带¹⁾,运动学标志指示上盘向北东运动^[9,13],这与剪切带构造层次由南

西向北东变深相吻合。脆性断层面沿变质与岩浆杂岩体的东侧出露,产状为 $110\text{--}170^\circ\angle 26\text{--}50^\circ$,平均产状 $145^\circ\angle 30^\circ$ 。断层面上发育擦痕,平均产状 $151^\circ\angle 24^\circ$,相关运动学指示上盘倾向正滑。

绿泥石化带发育于脆性断层之下和糜棱岩带的上部,最宽处达250m,具有与糜棱岩带和脆性断层相似的面理产状,倾角介于两者之间,其中发育近走向和倾向两组线理。近走向线理见于残余糜棱岩中,而间隔性面理上的线理或“热擦痕”则总体沿倾向产出,表明存在两期运动学方向。与走向线理相关的褶曲和不对称碎斑指示断层上盘向北东的运动,而与倾向擦痕相关的运动学标志表现出正断性质^[13,18]。断层系中普遍发育与绿泥石化带产状相似的半脆性剪切带,沿这些剪切带常常发生绿泥石化,剪切带旁侧片麻理的旋转也指示上盘下滑的运动。绿泥石化带记录了韧性向脆性转换过程中自上盘向北东的韧性剪切到倾向下滑的脆性运动的特征及运动学信息¹⁾。

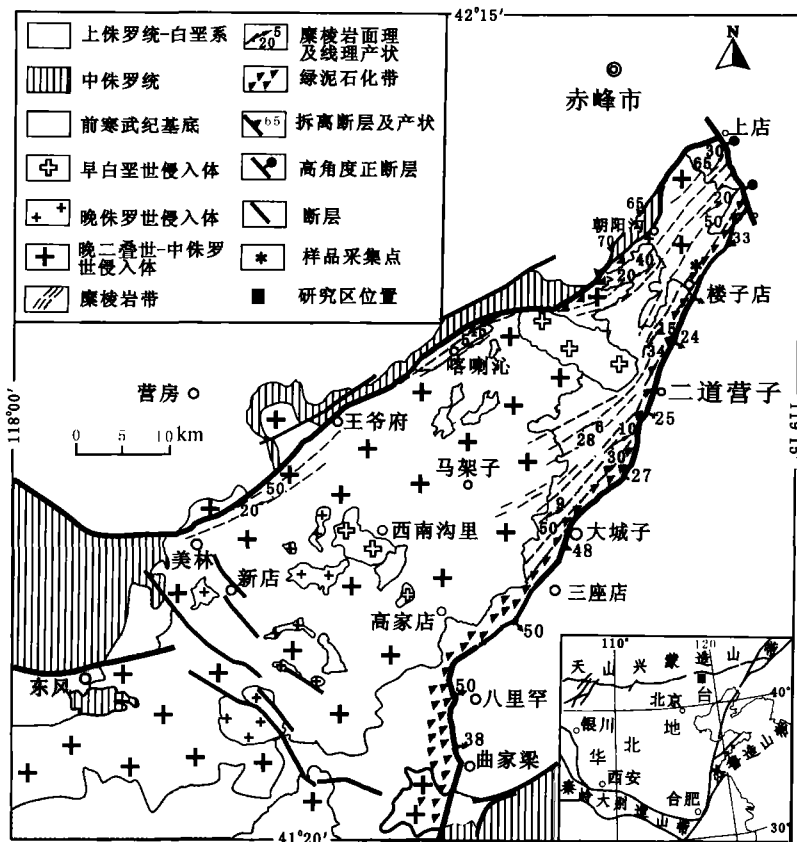


图1 赤峰南部地质构造简图及研究区位置

1) 见第902页脚注1)

2 样品特征及测试

楼子店北杨家卧铺出露非常完整的拆离断层系, 糜棱岩带之上发育 8 m 宽的绿泥石化带. 绿泥石化带中糜棱岩、超糜棱岩原岩为三叠纪花岗质侵入体, 并已发生强烈绿泥石化和水化. 绿泥石化糜棱岩中发育近走向和倾向两组线理, 近走向一组为透入性拉伸线理, 运动指向与糜棱岩带相同; 倾向一组发育于绿泥石化薄膜带中, 透入性差, 切割前一组, 运动指向为倾向滑动, 与脆性断层一致. 靠近脆性断层面绿泥石化逐渐加强, 变为绿泥片岩, 其中揉皱的倒向指示断层为正向滑移. 本次研究在该点(42°01. 719'N, 119°06. 644'E)采集了三个岩石样品.

C028-2 采自绿泥石化千糜岩带中, 岩石灰绿色, 面理面上可见近走向拉伸线理和倾向擦痕. 绿泥石化弱的部位糜棱面理仍清晰可见, 而强烈绿泥石化的部位几乎全为绿泥石并可见两期绿泥石. 早期绿泥石呈绿色, 平行于糜棱面理或形成于碎斑尾部, 局部可见未被绿泥石完全交代的黑云母; 晚期绿泥石为墨绿色, 切过糜棱面理. C028-3 采自绿泥石角砾岩, 岩石灰绿-黑绿色, 角砾状构造, 发育碎裂或张裂构造, 半自形的绿泥石沿平行于拆离断层

的张裂生长. C028-4 采自绿泥片岩带中, 岩石灰绿色, 发育揉皱构造, 岩石中绿泥石平行片理定向生长.

岩石样品经粉碎细磨, 在双目镜下挑选出纯度达 98% 的 60—80 目的绿泥石矿物. 测试矿物用 5%—10% 稀硝酸浸泡 2 h 以后用清水冲洗 5 次, 经浸泡过夜, 再用去离子水冲洗 3—5 次, 在温度 < 100℃ 烘箱中烘干. 为了保证样品的一致性, 测钾和测氩用同一样品缩分法取样. 钾是在有锂内标和钠缓冲溶液中经火焰光度计测量, 采用标样为房山花岗闪长岩体黑云母, 标样号 ZBH-25, 标准值为 $K = 7.60\%$, 实测值 $K = 7.65\%$. 测氩用 GA10 型质谱计, 稀释法静态测量, 标样为 ZBH-25, 实验室采用的标准值为 132.7 Ma, 实测值为 135.8 Ma. 计算所采用的参数: 衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10}/a$, $\lambda_c = 0.581 \times 10^{-10}/a$, $^{40}K/K = 1.167 \times 10^{-4}$. 实验测试在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室进行.

表 1 列出绿泥石化带中绿泥石单矿物 K-Ar 同位素稀释法测试结果及表观年龄. 绿泥石化糜棱岩中绿泥石的 K-Ar 表观年龄为 $(121.0 \pm 1.6) Ma$, 绿泥石化角砾岩及绿泥片岩中绿泥石的 K-Ar 表观年龄分别为 $(113.7 \pm 2.0) Ma$ 和 $(112.1 \pm 1.5) Ma$.

表 1 楼子店拆离断层系绿泥石化带绿泥石 K-Ar 测试结果及表观年龄

样品号	K 含量/%	样品重量/g	$^{40}Ar^*$		^{38}Ar ($10^{-11} mol \cdot mL$)	$^{40}Ar/^{38}Ar$	$^{38}Ar/^{36}Ar$	表观年龄/Ma
			($10^{-9} mol \cdot g^{-1}$)	%				
C028-2	4.93	0.0290	1.070	96.27	2.3591	1.3664 ± 0.0017	4549.5 ± 119.9	121.0 ± 1.6
C028-3	1.18	0.0482	0.2401	87.55	2.3587	0.5605 ± 0.0009	3528.0 ± 38.3	113.7 ± 2.0
C028-4	1.70	0.0424	0.3409	90.61	2.3589	0.6765 ± 0.0009	3810.3 ± 79.6	112.1 ± 1.5

* ^{40}Ar 为放射成因氩

3 讨论

3.1 绿泥石化带 K-Ar 测年方法的可行性分析

绿泥石化带是拆离断层系的主要组成单元之一, 是拆离断层下盘深部糜棱岩抬升过程中在脆韧性转换域退化变质作用的产物, 其形成时代的确定对拆离断层系的活动历程以及断层下盘杂岩出露历史的解释极为重要. 伸展期新生的绿泥石是相关构造热事件的直接记录, 可以用来确定绿泥石化带的形成时间. 绿泥石是镁铁矿物(如黑云母、角闪石

等退变产物, 含一定量可测的钾^[10,11]), 其自生性及云母型格架有利于保存氩, 适合于 K-Ar 法测年. 原则上讲, 含钾矿物均可作为钾氩定年的测定对象, 其基本原理是基于放射性同位素 ^{40}K 衰变为 ^{40}Ar , 当衰变常数确定以后, 只要测出钾含量和氩含量, 即可计算出样品的年龄^[19]. 常规的 K-Ar 法定年主要建立在两个基本的假设条件之上: (i) 矿物或岩石形成以后, 对钾和氩保持封闭体系, 既无钾和氩的加入, 也无钾和氩的逃逸; (ii) 矿物或岩石形成时不含过剩氩, 如果含也只能是大气氩, 并

可通过年龄计算公式对大气氩混染进行校正^[20]。石玉若等通过⁴⁰Ar/³⁹Ar测定了湖北随州三里岗二长花岗岩中角闪石完全转变成绿泥石的年代,并取得了很好的结果,表明蚀变绿泥石含一定可测的钾,并有利于氩的保存^[11]。

研究表明,绿泥石转化深度在6—8 km^[21],蚀变成因的绿泥石的形成温度介于130—300℃之间^[10,22],变质岩抬升剥露过程中退变绿泥石的形成温度在180—270℃之间^[23]。楼子店拆离断层系绿泥石化带裂隙中大量硅质和方解石的充填表明其形成温度应在180℃左右或以上¹⁾,由此判断该绿泥石化带形成温度范围在180—270℃之间。在绿泥石化带形成以后的快速抬高过程中,温度在不断降低,钾氩同位素体系很快进入封闭状态,其钾氩等时线年龄代表氩封闭体系以来所经历的时间,可作为绿泥石化带的形成年龄。综上所述,用K-Ar方法测定绿泥石化带的形成时间是可行的。

3.2 楼子店伸展拆离断层绿泥石化带的形成时代

如前所述,楼子店拆离断层系中韧性剪切带的运动学指向是上盘相对向北东的运动,年龄为128—117 Ma^[16-18];脆性拆离为上盘沿倾向下滑,形成于晚白垩世;断层泥的K-Ar年龄为65.3和71.1 Ma^[13],代表断层较晚期的脆性活动年代。绿泥石化带发育在韧性剪切带的上部,其顶部为脆性拆离断层面,带中出现近走向和倾向两组线理,记录了自上盘向北东的韧性剪切到倾向下滑的脆性运动过程。这一时期形成的绿泥石的K-Ar年龄为(121.0±1.6), (113.7±2.0)和(112.1±1.5)Ma,是楼子店拆离断层系同位素测年研究中首次获得的韧脆性转换的K-Ar测年数据。

理论上讲,绿泥石的K-Ar年龄代表断层构造摩擦热下降到200℃左右以来所经历的时间。楼子店拆离断层系韧性剪切带自128 Ma开始发生了较为快速的抬升^[17,18],在进入脆韧性转换域及以上形成了绿泥石化带。尽管该断层在晚白垩世曾发生过脆性活动^[13],但野外调查发现,紧邻拆离断层的上盘上白垩统孙家湾组砾岩中多数砾石为糜棱岩和绿泥石化岩石,孙家湾组砾岩之上只有第四纪冲洪积

物堆积^[9,15];这些证据表明晚白垩世断层活动时,韧性剪切带和绿泥石化带已近或到达地表,不可能引起绿泥石矿物同位素重新开放,因此带中绿泥石K-Ar年龄应代表绿泥石化带的形成时代。

此外,本次获得的三个绿泥石K-Ar年龄之间存在7—9 Ma的时间间隔,不可能是仪器本身的测量误差。北京大学造山带与地壳演化教育部实验室K-Ar测年所采用标样的误差最大不超过2%,样品实测值的误差也不会超过4%,因此这一时间间隔是地质事件本身的表现。C028-2样品为绿泥石化糜棱岩,其中发育两组线理并可见两期绿泥石,不对称长石碎斑为石英条带和早期绿泥石围绕,相关运动学指示上盘向北东剪切,表明剪切带在上升到较浅层次仍然进行着上盘向北东的剪切;晚期绿泥石化切过糜棱面理,相关运动学指示正向下滑^[9,18,19]。C028-2样品中绿泥石的K含量明显高于C028-3和C028-4,可能是早期绿泥石未完全交代黑云母所致,其K-Ar稀释法年龄为(121.0±1.6)Ma,这一年龄可能主要记录了上盘向北东的剪切。(113.7±2.0)和(112.1±1.5)Ma分别是绿泥石化角砾岩和绿泥片岩中绿泥石的K-Ar稀释法年龄,绿泥石化角砾岩和绿泥片岩中发育明显的倾向擦痕,相关运动学标志指示正向下滑^[9,18,19],说明此时拆离断层系运动学发生了转向。由此可见,楼子店拆离断层系绿泥石化带形成开始于121 Ma左右,运动学转向发生于114—112 Ma之间。本次初步获得的绿泥石化带年龄数据与地质事实吻合,为确定该区中生代地壳伸展中韧脆性转换提供了同位素年代证据。

楼子店拆离断层系形成于晚中生代华北陆块岩石圈减薄和伸展作用的主要时期^[24-26],构造组成上与典型的拆离断层体系极为相似,但运动学转向是其不同于其他伸展构造的特性,可能代表一种新的伸展构造类型。需要进一步开展绿泥石化带以及绿泥石化糜棱岩不对称碎斑结晶尾中及周围绿泥石的Ar-Ar定年,以期全面地了解拆离断层系多期变形的热历史,为探讨华北陆块北缘晚中生代构造问题可提供新的依据。

1) 见第902页脚注1)

4 结论

(1) 绿泥石是拆离断层系下盘岩石进入脆韧性转换域经构造作用形成的退变质矿物, 是相关构造热事件的直接记录, 可用以确定绿泥石化带的形成时代, 用 K-Ar 法对绿泥石化带形成可行。

(2) 楼子店拆离断层系绿泥石化带形成开始于 ~121 Ma, 于 114—112 Ma 间发生了运动学转向。

参考文献

- Davis G A. Rapid upward transport of mid-crustal mylonitic gneisses in the footwall of a Miocene detachment fault, Wipple mountains, southeastern California. *Geologische Rundschau*, 1988, 77: 191—209
- Lister G S, Davis G A. The origin of metamorphic core complexes and detachment fault formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River region. *Journal of Structural Geology*, 1989, 11: 65—94
- Davis G A, 郑亚东. 变质核杂岩的定义、类型及构造背景. *地质通报*, 2002, 21(4—5): 185—192
- Zheng Y, Wang T, Ma M, et al. Maximum effective moment criterion and the origin of low-angle normal faults. *Journal of Structural Geology*, 2004, 26: 271—285
- Mac Cready T, Snoke A W, Wright J E, et al. Mid-crustal flow during Tertiary extension in the Nevada. *GSA Bulletin*, 1997, 109: 1576—1593
- Miller E L, Dumitru T A, Brown R W. Rapid Miocene slip on the Snake Range-Deep Creek Range Fault system, east-Central Nevada. *GSA Bulletin*, 1999, 111: 886—905
- Wang X, Neubauer F. Orogen-parallel strike-slip faults bordering metamorphic core complexes: The Salzach-Enns fault zone in the Eastern Alps, Austria. *Journal of Structural Geology*, 1998, 20(6): 799—818
- White A P, Hoges K V. Multistage extensional evolution of the central East Greenland Caledonides. *Tectonics*, 2002, 21(5): 12—28
- Wang X, Zheng Y, Jia W. Extensional stages of Louzidian metamorphic core complex and development of the supradetachment basin south of Chifeng, Inner Mongolia, China. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(1): 237—245
- 索书田, 祁向雷, 毕先梅. 右江中生代低级变质带的变质变形过程. *地质科技情报*, 1996, 15(4): 65—72
- 石玉若, 张宗清, 刘敦一, 等. 湖北省随州三里岗地区二长花岗岩 Rb-Sr、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄. *地球学报*, 2005, 26(1): 17—20
- 王玉芳, 崔文元, 孙承志. 内蒙赤峰南部楼子店-大城子拆离断层及其构造演变. *伸展构造专辑*. 北京: 地质出版社, 1994, 99—108
- Han B, Zheng Y, Gang J, et al. The louzidian normal fault near Chifeng, Inner Mongolia: Master fault of a quasi-metamorphic core complex. *International Geology Review*, 2001, 43: 254—264
- 邵济安, 张履桥, 贾文, 等. 内蒙古喀喇沁变质核杂岩及其隆升机制探讨. *岩石学报*, 2001, 17(2): 283—290
- Scott F, Wang X, Bejemin K, et al. Analysis of the Chifeng basins, Inner Mongolia: Implications for basin modeling and Cretaceous extension in northeast China and southern Mongolia. *GSA Abstracts with Programs*, 2004, 35(5): 375
- 刘伟, 杨进辉, 李潮峰. 内蒙赤峰地区若干断裂带的构造热年代学. *岩石学报*, 2003, 19(4): 717—728
- 张晓晖, 李铁胜, 蒲志平, 等. 内蒙古赤峰楼子店-大城子韧性剪切带的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其构造意义. *科学通报*, 2002, 12: 951—956
- 王新社, 郑亚东. 楼子店变质核杂岩韧性变形作用的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学约束. *地质论评*, 2005, 51(4): 561—569
- 刘玉琳. 一种新的 K-Ar 定年方法: 峰值比较法. *地球科学进展*, 2004, 19(2): 312—315
- 穆治国, 刘玉琳, 黄宝玲. 细粒橄榄石对中国晚新生代橄榄玄武岩 K-Ar 定年的影响. *科学通报*, 1998, 43(7): 764—766
- Ramsay J G. Shear zone geometry: A review. *Journal of Structural Geology*, 1980, 2: 83—99
- 杨献忠, 杨祝良, 陶奎元, 等. 含油玄武岩中绿泥石的形成温度. *矿物学报*, 2002, 22(4): 365—370
- Mantilla F L C, Rios R C A, Castellanos A OM. Re-hydratic of metamorphic rocks from the Silgara Formation after chlorite geothermometry, southwestern Santander Massif. *Boletin de Geologia (Bucaramanga)*, 2002, 24(39): 7—17
- 王桂梁, 刘桂建, 邹海, 等. 华北地台北缘中生代盆-山耦合转移及其动力学分析. *煤田地质与勘探*, 1999, 27(6): 14—17
- 吴福元, 孙德育. 中国东部中生代岩浆作用和岩石圈减薄. *长春科技大学学报*, 1999, 29(4): 313—318
- Zheng Y, Wang Y, Liu R, et al. Sliding thrusting tectonics caused by thermal uplift in the Yunmeng Mountain, Beijing, China. *Journal of Structural Geology*, 1988, 10: 135—144