

文章编号: 1006-6616 (2007) 01-0042-09

伊犁盆地白垩纪剥露事件的裂变径迹证据

宫红良¹, 陈正乐¹, 胡远清², 李丽¹, 李胜祥³, 郑恩玖⁴, 韩效忠³

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 湖北地矿局鄂东北地质大队, 湖北 孝感 432100;

3. 核工业北京地质研究院, 北京 100029; 4. 核工业地质局 216 大队, 乌鲁木齐 810001)

摘要: 本文利用砂岩中磷灰石的裂变径迹方法, 研究了伊犁盆地中生代抬升-剥露事件。根据磷灰石裂变径迹测年结果, 开展了温度-时间热模拟反演研究, 结果揭示出伊犁盆地在 115~95Ma 期间存在一期重要的抬升-剥露冷却事件, 剥蚀量至少可达 1.8km, 剥蚀速率至少为 0.09mm/a。区域资料对比分析表明中晚白垩世的抬升剥露事件, 在天山地区乃至整个新疆的造山带普遍存在。

关键词: 伊犁盆地; 裂变径迹; 剥露; 白垩纪; 天山造山带

中图分类号: P542; P548

文献标识码: A

1 前言

对伊犁盆地中生代构造地质演化已进行了大量研究^[1~8]。过去的研究多依据地层的接触关系来确定构造事件存在。然而, 由于地层时代有时因生物地层研究程度差、剖面出露不佳、盆地内部和边缘地层对比存在问题^[9], 地层不整合的识别和解释存在多解性, 以及有些证据只能给出构造事件发生的相对新老关系。因此对伊犁盆地中生代抬升剥露时间不甚明确, 在抬升剥露程度方面, 前人的研究也很少涉及到。

磷灰石的裂变径迹法近年来发展起来一种有效研究造山带隆升作用的方法, 已广泛地被用于限定造山带隆升-剥露历史^[6,10~14], 利用裂变径迹长度进行温度-时间反演模拟, 可以精确地反映盆地的热演化历史^[15~22]。本文主要依据伊犁盆地钻孔内磷灰石的裂变径迹测试结果, 利用实测的磷灰石裂变径迹长度, 依据径迹退火的数学模型, 开展磷灰石的热模拟反演研究, 以揭示伊犁盆地的抬升剥露历史。

2 伊犁盆地概况

2.1 区域构造概况

伊犁盆地是天山造山带中的一个山间盆地。位于哈萨克斯坦板块南部东段中天山隆起带

收稿日期: 2006-12-26

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2001CB409808、2001CB7110013); 国家自然科学基金资助项目(40572116)。

作者简介: 宫红良(1980), 男, 在读硕士。主要从事构造地质学研究。E-mail: gonghongliang880@sina.com。

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.

内的伊犁—中天山微地块, 是与造山带断裂活动有关的断陷-挠曲凹陷的复合盆地, 呈狭长的三角形东西向夹持于新疆天山西北部, 向西撒开通向中亚地区。在构造单元上, 伊犁盆地南边与中、南天山板块间早、中生代的哈尔克—那拉提缝合线相接, 北边与早、中生代的科古琴—博罗科努构造带相接。南北两侧相对向盆地内部逆冲推覆 (图 1)。

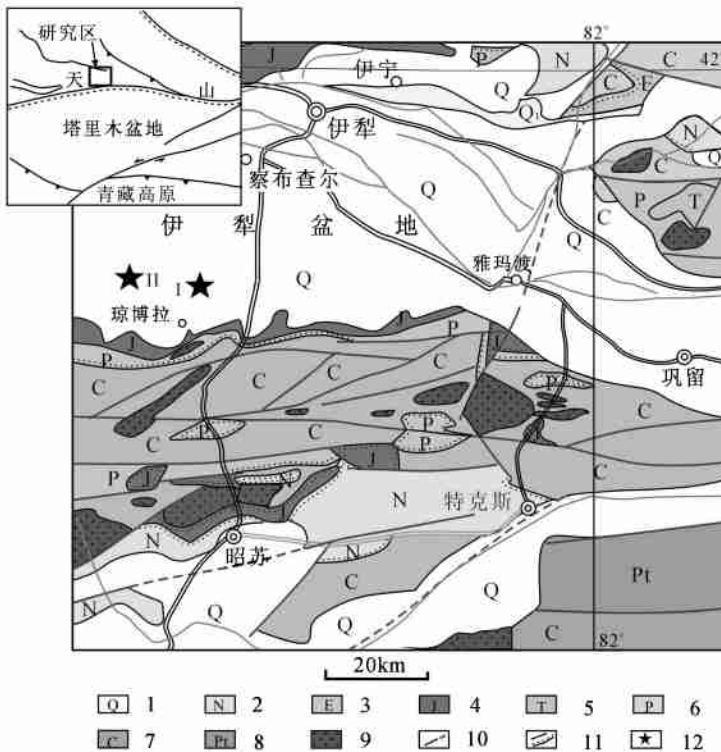


图 1 伊犁盆地及其周缘地质构造简图及大地构造位置图
(根据 1:20 万区调资料简化)

Fig 1 Geological sketch map of the Ili basin and its surrounding areas showing the tectonic location
(modified from 1:200000 regional geological map)

- 1-第四系; 2-新近系; 3-古近系; 4-侏罗系; 5-三叠系; 6-二叠系; 7-石炭系; 8-元古宇; 9-花岗岩; 10-实测及推测断层
- 11-不整合界线; 12-采样钻孔位置
- 1-Quaternary; 2-Neogene; 3-Paleogene; 4-Jurassic; 5-Tertiary; 6-Pennian; 7-Carboniferous; 8-Proterozoic; 9-Granite; 10-Measured and inferred faults; 11-Unconformity; 12-Location of core sampling

2.2 地层

伊犁盆地自下而上为 3 层结构^[4], 即由中上元古界变质基底、中下石炭统裂谷火山岩系褶皱变形基底和二叠纪以来的盆地沉积盖层三大构造层组成。伊犁盆地沉积盖层主要有中、上三叠统小泉沟群、下一中侏罗统水西沟群、上白垩统、上新统 (图 2)。

小泉沟群主要分布在伊宁市北, 为灰黑色、灰绿色粉砂质泥岩、粉-细砂岩夹粗砂岩。

侏罗系以中下侏罗统水西沟群为主, 水西沟群分布较广, 主要为河流—沼泽相的含煤地层, 按岩性又可分为下统八道湾组、三工河组和中统西山窑组。八道湾组在区内分布较广, 主要由灰、深灰色-灰黑色泥岩、粉砂质泥岩、页岩、粉-细砂岩、砂岩、含砾粗砂岩及煤层或煤线组成。三工河组以含有较多的砂岩、砂砾岩和湖相泥岩为特征, 煤层少见。经常在泥岩或粉砂质泥岩中夹细砂岩、砂岩或砂砾岩透镜体。西山窑组岩性主要是中-薄层状细砂岩、

砂岩, 厚层含砾砂岩、块状砂砾岩、黑色粉砂质泥岩、页岩及煤线。其中煤层经自燃后变为棕红色、砖红色细粒烧结岩, 露头和影像均较明显。

地层	地方性名称	岩性	主要岩性描述
第四系(Q)			砂砾、砂、粉砂及粘土
新近系(N)	独山子组(N ₂ d)		黄色砾岩、钙质泥岩
白垩系(K)	东沟组(K ₂ d)		灰白色砂砾岩、泥质砂岩及泥岩
	J ₃ -K ₁		缺失
侏罗系(J)	西山窑组(J ₂ x)		灰色砂岩、粉砂岩及泥岩 中、粗粒砂岩 泥岩及煤线 灰色砂岩
	三工河组(J ₃ s)		粉砂岩、泥岩及煤线 砾质砂岩、粉砂岩及泥岩
	八道湾组(J ₁ b)		煤线及砂岩 砂质砾岩、砂岩、泥岩 煤线、砂岩 砂质砾岩、岩屑砂岩
三叠系(T)	小泉沟群(T _{2,3} x)		粉砂岩、泥岩互层 细粒砂岩 砂质砾岩、砂岩夹粉砂岩

注: ⊗ 表示采样位置

图2 伊犁盆地地层柱剖面图

Fig. 2 Stratigraphic column of the Ili basin

白垩系只出露上白垩统东沟组, 以灰白、黄褐色砂岩、砂砾岩为主。与下伏地层西山窑组和上覆上新统独山子组地层均为角度不整合接触。地表出露很少, 主要在钻孔中可以见到。

新近系以上新统独山子组为主, 主要由灰黄、灰紫、深灰色砂砾岩, 紫红色粘土、砂质粘土, 浅黄褐色、灰紫色泥质砂岩组成。

3 裂变径迹测试

3.1 采样情况

本次测试样品采自伊犁盆地南部的钻孔内, 样品 3J-1 取自埋深 190m 的侏罗系八道湾组含煤地层中的砂岩, 7J-1、7J-2 分别取自埋深 185m 和 160m 的侏罗系西山窑组含煤地层中的砂岩 (图 2)。砂岩经重砂分选挑选得到磷灰石。

3.2 方法

天然自发径迹的形成是一个不可逆的连续过程, 矿物上的每一个裂变径迹记录了样品所经历的低于封闭温度的整个热历史的信息。裂变径迹分析的一个重要特征是其径迹年龄、长度反映的不仅仅是样品达到最大古地温 (封闭温度) 时的时间, 而且还记录了样品所经历的温度历史^[20]。换言之, 样品的古地温历史是由所有径迹所记录的各个时段温度信息的综合。因此根据矿物单颗粒年龄和径迹长度数据, 可以恢复该样品的热演化历史。

影响沉积物所经历温度变化的热事件主要有埋藏、基底热流、热流体和岩浆活动等。我们可以根据地温梯度的变化来确定加热和冷却事件是否由埋藏及随后的抬升剥露作用引起。如果埋藏和随后的抬升剥露作用控制了沉积物的温度变化, 则可以根据裂变径迹分析数据确

定沉积地层开始的冷却时间, 即发生抬升剥露作用的时间。由冷却温度除以地温梯度便可估算出剥蚀量。

盆地沉降接受沉积, 由于后期构造作用, 往往会由于地壳隆升造成地层剥蚀或缺失。伊犁盆地就普遍缺失上侏罗统至下白垩统, 地层的缺失使确认反转时代及构造反转持续时间成为难点, 而裂变径迹技术可较好地解决此问题^[23, 24]。沉积埋藏过程是一个增温过程, 埋藏到一定深度即可导致矿物裂变径迹退火或部分退火, 而地壳隆升的冷却事件则可重新启动已退火的裂变径迹时钟, 从而较准确地记录构造反转发生的时间^[17]。

另外, 在造山作用过程中, 山体的抬升和盆地的沉积密不可分, 是一耦合过程。在盆地的沉积物中包含丰富的源区基岩抬升剥露的信息, 山体抬升、冷却研究与盆地沉积研究的结合, 将为研究区域地质作用过程提供丰富的信息, 使人们对造山作用过程有一个更全面的理解。低温热年代学方法正是连接山体抬升、剥露与盆地沉积研究的有效手段^[25]。因此对伊犁盆地的抬升剥露历史研究有助于我们更好的认识西天山的隆升历史。

3.3 测试结果

所有磷灰石的裂变径迹测试分析是在中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室完成, 流程采用外探测器法, 年龄计算经 Zeta 校正, 标准样为 Durango 磷灰石, 铀标准玻璃为美国国家标准局 SRM612, 有关磷灰石的年龄计算可参考有关文献^[15, 16, 18, 23, 25]。测试结果见表 1 及图 3。

表 1 磷灰石裂变径迹测试分析结果

Table 1 Apatite fission-track analysis

样品 编号	埋深 (m)	采样点	N_c (n)	ρ_d (N_d) (10^6 cm^{-2})	ρ_s (N_s) (10^6 cm^{-2})	ρ_i (N_i) (10^6 cm^{-2})	U (ppm)	P (x^2) %	r	T (Ma $\pm\sigma$)	L ($\mu\text{m}\pm 1\sigma$) (N_j)
3J-1	190	八道湾组	18	1.346 (3348)	8.291 (1252)	1.590 (2401)	14.5	0.0	0.905	112.6 \pm 9.0	13.45 \pm 0.17 (67)
7J-1	185	西山窑组	18	1.345 (3345)	5.835 (811)	1.426 (1982)	13.0	0.0	0.805	79.3 \pm 11.4	13.15 \pm 0.16 (70)
7J-2	160	西山窑组	22	1.344 (3342)	6.717 (1256)	1.576 (2948)	14.4	0.0	0.853	94.0 \pm 7.4	13.17 \pm 0.17 (59)

注: 表中 N_c (n): 测量的磷灰石颗粒数; ρ_d : 标准径迹密度 ($\times 10^5 / \text{cm}^2$); N_d : 标准径迹数; ρ_s : 自发径迹密度 ($\times 10^6 / \text{cm}^2$); N_s : 自发径迹数; ρ_i : 外部探测器中的诱发径迹密度 ($\times 10^6 / \text{cm}^2$); N_i : 诱发径迹数; U : 单颗粒铀含量; P (x^2) 为自由度 ($n-1$) x^2 值的几率; r 为单个颗粒径迹之间的相关系数; T : 单颗粒裂变径迹年龄; L : 平均裂变径迹长度; N_j 为实测的裂变径迹条数。实验条件为: 磷灰石蚀刻条件为 7% HNO_3 , 室温, 35s; 外探测器采用低铀含量白云母, 蚀刻条件为 40% HF , 室温, 20min; Zeta 标定选用国际标准样 Durango 磷灰石; 标准玻璃为美国国家标准局 SRM612 铀标准玻璃, $Zeta_{\text{SRM612}} = 352.4 \pm 29$; 样品送中国原子能科学研究院 492 反应堆进行辐照; 径迹统计用 OLYMPUS 偏光显微镜, 在放大 1000 倍浸油条件下完成; 当 P (x^2) > 5% 时, 裂变径迹年龄选用“池年龄” (Pooled age), 当 P (x^2) < 5% 时, 裂变径迹年龄选用中心径迹年龄 (Central age)。

磷灰石径迹长度测量结果如图 3 所示, 径迹长度平均值集中在 13.2 ~ 13.5 μm 之间 (表 1), 长度配分形态为单峰式特征, 反映出这些样品具有较简单的热演化历史, 主要经历了一次冷却事件。

盆地内部样品磷灰石的年龄介于 79 ~ 113Ma 之间 (表 1), 远远小于地层的沉积年龄; 三个样品的单颗粒年龄在 80 ~ 120Ma 之间有个集中区间 (图 4); 平均径迹长度在 13.2 ~

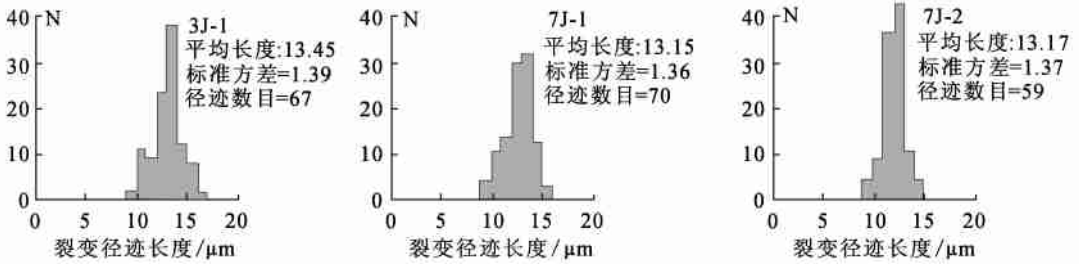


图3 磷灰石裂变径迹长度测试结果图

Fig 3 Fission track length of apatite

13.5 μm 之间。这些特征表明了样品经历了部分退火过程。从样品的单颗粒年龄分布曲线分析, 每个样品都有颗粒年龄大于或接近沉积地层时代的数据 (图 4), 表明在沉积期后的热活动对样品中磷灰石裂变径迹的改造不彻底, 即表明地层沉积期后所经历的温度不会大于磷灰石裂变径迹的愈合温度的下限。同时, 由于大部分磷灰石颗粒的年龄小于沉积年龄, 因此样品沉积期后都经历了一定的热活动, 其温度达到了磷灰石裂变径迹部分愈合温度带的上限。

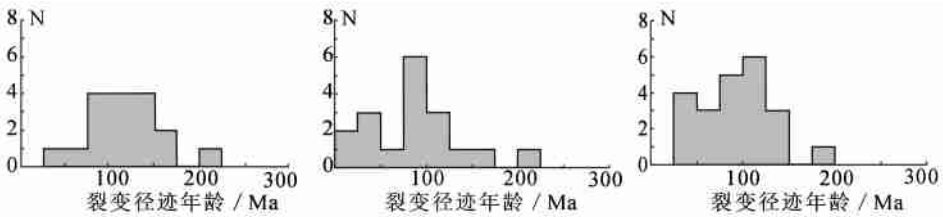


图4 单颗粒磷灰石裂变径迹测年结果直方图

Fig 4 Histograms of single-apatite fission-track ages

根据实测的裂变径迹数据和径迹长度参数, 我们进一步利用 AFTSolve 软件, 开展了磷灰石的温度-时间反演模拟研究。磷灰石径迹愈合模式采用 Ketcham 等 Multi-Kinetic 模式 (1999), 根据磷灰石的池年龄 (Pooled age), 选用 Monte Carlo 模拟方法进行模拟。每个样品模拟时, 模拟结果的长度拟合度 (K-F Test) 和年龄配分拟合度 (Age GOF) 一般都远大于 0.5, 表明模拟结果是可靠和可信的 (表 2)。所有样品的最佳拟合曲线 (如图 5、图 6) 显示, 与单纯的裂变径迹年龄相比, 最佳拟合曲线更好地反映出了样品的退火历程。

表2 磷灰石裂变径迹温度-时间模拟结果表

Table 2 Temperature-time modeling for apatite fission-track dating

样品编号	K-S Test	Age GOF	径迹长度 (μm)	模拟径迹长度 (μm)	年龄 (Pooled age, Ma)	模拟年龄 (Ma)	快速冷却时代 (Ma)
3J-1	0.79	0.84	13.5±0.4	13.3±0.9	123±1	121	113~98
7J-1	0.94	0.97	13.2±0.4	13.1±0.8	96.7±0.9	96.4	117~90
7J-2	0.86	0.96	13.2±0.4	13.0±0.7	100±0.0	99.7	115~92

盆地钻孔内砂岩样品磷灰石的温度-时间模拟显示出样品经历了两阶段的热演化历史, 早期应为样品的埋藏过程。钻孔资料和区域资料显示, 伊犁盆地缺失了上侏罗统一白垩

统, 这与反演模拟所得到的样品晚期的冷却事件发生的时间一致。据此我们推断, 伊犁盆地在白垩纪中晚期 (115 ~ 95Ma) 发生一期重要的抬升剥露事件。

裂变径迹温度-时间模拟也显示样品的埋藏深度达到了磷灰石部分愈合温度带所对应的深度界限。如果取地温梯度 30 °C/km, 磷灰石裂变径迹愈合温度的下限为 115 °C, 上限为 65 °C, 推算可以求得地层的埋深不超过 4km, 但大于 2km。由于现在样品所处的埋深为 150 ~ 200m 之间, 第四系沉积物厚度约 20 ~ 30m, 上白垩统厚度约 20m, 因此可以推断伊犁盆地在中晚白垩世期间 (115 ~ 95Ma) 抬升和剥露幅度至少达到 1.8km, 如果按 20Ma 抬升剥露时间计算, 可得抬升剥蚀速率至少为 0.09mm/a。

4 讨论与结论

根据伊犁盆地侏罗系砂岩中磷灰石裂变径迹测年结果, 并利用实测的磷灰石径迹长度数据, 开展了温度-时间反演模拟, 认为伊犁盆地在 115 ~ 95Ma 存在一期强烈的快速抬升剥露事件。

在侏罗纪, 中国西部正是新特提斯洋盆打开之时^[4], 包括伊犁盆地在内的整个新疆地区处于扩展沉陷的沉积期和成煤期, 具有广阔的夷平沉降和断陷沉降历史。因此在伊犁盆地, 中下侏罗统发育巨厚沉积并含有多层含煤层或煤线。然而在伊犁盆地乃至整个天山地区上侏罗统不发育或完全缺失, 侏罗系岩层普遍遭受构造变动, 这就反映燕山运动性质开始由早期的扩张转为中后期的强烈挤压构造作用。在天山造山带大多缺失了白垩

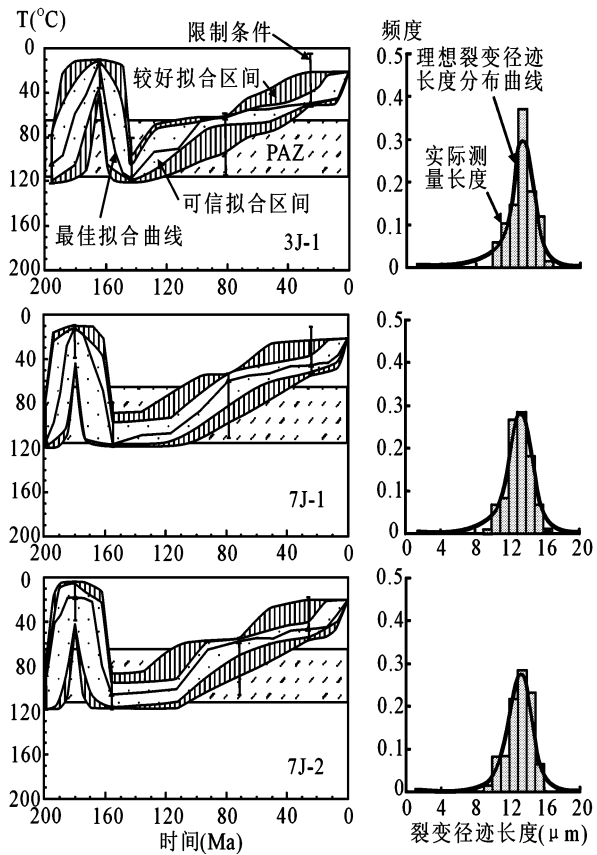


图 5 磷灰石单个样品 t-T 模拟 (采用 Ketchan 等 1999 退火模型)

Fig 5 Temperature-time modeling of a single apatite sample (after the annealing model of Ketchan, 1999)

图中: PAZ-partial annealing zone, 部分愈合带

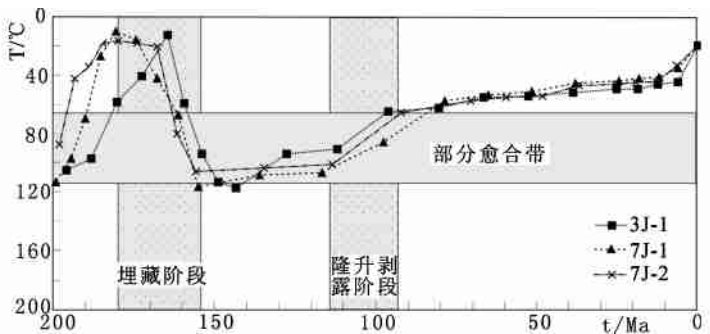


图 6 磷灰石裂变径迹温度-时间模拟最佳拟合曲线图

Fig 6 Best-fit line of temperature-time modeling based on apatite fission track measurements

运动性质开始由早期的扩张转为中后期的强烈挤压构造作用。在天山造山带大多缺失了白垩

系的沉积, 伊犁盆地的南缘达拉地、735 矿等地地表及其钻孔资料都显示白垩系与下伏的中、下侏罗统之间为角度不整合接触, 表明了燕山运动对本区有重要的影响。杨庚等 (1995) 通过对锆石、磷灰石裂变径迹研究得出在 134 ~ 109Ma, 天山板内造山带发生了明显的快速隆升^[12]。陈正乐等 (2006) 通过对西天山山脉隆升剥蚀研究进一步得出在 160 ~ 130Ma 和 110 ~ 80Ma 期间, 西天山存在两次快速隆升-剥蚀热事件^[9]。王彦斌等 (2001) 的独库公路磷灰石裂变径迹测年^[29] 以及贾承造等 (2003) 进行的库车前陆盆地的沉积-构造演化分析^[27] 都指示了天山山脉在白垩纪中晚期发生了重要的抬升剥露事件。其他学者也研究表明, 伊犁盆地在中晚白垩世所经历的隆升剥蚀事件在整个天山造山带具有普遍性^[28~31]。不仅如此, 在整个新疆地区, 准噶尔和阿尔泰地区同样也经历了白垩世中晚期的热冷却历史^[7,10], 朱文斌等 (2004) 通过磷灰石裂变径迹测试对吐哈盆地中生代热历史演化进行分析, 结果表明吐哈盆地在晚中生代 120 ~ 100Ma 期间经历了一次抬升剥露事件^[32]。郭召杰等 (2006) 对天山地区、准噶尔地区、阿尔泰地区进行了磷灰石裂变径迹分析对比, 结果表明在冰达坂南乌拉斯台地区存在一次 155Ma 左右的冷却年龄; 后峡地区主要是晚白垩世 (90Ma 左右) 开始发生剥露隆升; 采自东西准噶尔和阿尔泰可可托海地区的磷灰石裂变径迹年龄表明在 170 ~ 90Ma 期间经历了缓慢持续的冷却过程^[10]。以上研究说明中晚白垩世的隆升-剥露热事件不局限于天山地区, 在新疆不同的构造单元均存在。造成晚白垩世天山乃至新疆地区隆升-剥露事件发生的主要原因是印度大陆和欧亚大陆碰撞的远程效应作用的结果。

总之, 磷灰石裂变径迹显示伊犁盆地在 115 ~ 95Ma 存在一期重要抬升剥露事件, 使得伊犁地区缺失晚侏罗世-早白垩世地层, 造成在盆地内上白垩统不整合覆盖于中侏罗统之上。根据磷灰石裂变径迹的部分愈合温度和古地温梯度推算在这次抬升剥露过程中, 盆地的剥蚀量至少为 1.8km, 剥蚀速率至少为 0.09mm/a。

参 考 文 献

- [1] 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [2] 汤耀庆, 肖序常, 赵民, 等. 新疆北部大地构造研究的新进展[J]. 新疆地质科学, 北京: 地质出版社, 1993, 第4辑: 1~121.
- [3] 车自成, 刘良, 刘洪福, 等. 论伊犁古裂谷[J]. 岩石学报, 1996, 12(3): 478~490.
- [4] 张国伟, 李三忠, 刘俊霞, 等. 新疆伊犁盆地的构造特征与形成演化[J]. 地学前缘, 1999, (04): 203~214.
- [5] 李向东, 李茂松. 中国西天山地质构造与西邻区的对比研究[J]. 地质论评, 1996, 142(2): 107~115.
- [6] 陈正乐, 万景林, 刘健, 等. 西天山山脉多期次隆升-剥露的裂变径迹证据[J]. 地球学报, 2006, 27(2): 97~106.
- [7] 郭召杰, 陈正乐, 舒良树, 李胜祥, 等. 中国西部中亚型造山带中生代陆内造山过程与砂岩型铀矿成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [8] 刘健, 陈正乐, 张红喜, 等. 准噶尔盆地西北部中生代地层铀矿成矿能力探讨[J]. 地质力学学报, 2003, 9(3): 241~245.
- [9] 冯建辉, 陶国强, 梅志超, 等. 新疆伊犁盆地地层划分与对比[J]. 断块油气田, 1996, 3(3): 22~28.
- [10] 郭召杰, 张志诚, 吴朝东, 等. 中、新生代天山隆升过程及其与准噶尔、阿尔泰比较研究[J]. 地质学报, 2006, 80(1): 1~15.
- [11] 丁林. 裂变径迹定年方法的进展及应用[J]. 第四纪研究, 1997, (03): 272~279.
- [12] 杨庚, 钱祥麟. 中生代天山板内造山带隆升证据: 锆石、磷灰石裂变径迹年龄测定[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1995, 31(4): 473~478.
- [13] 江万, 莫宣学, 赵崇贺, 等. 矿物裂变径迹年龄与青藏高原隆升速率研究[J]. 地质力学学报, 1998, 4(1).

- [14] 吴珍玟, 崔盛芹, 朱大岗, 等. 燕山南缘盘山岩体的热历史与构造-地貌演化过程 [J]. 地质力学学报, 1999, 5 (3): 28~32.
- [15] Hurford A J, Green P F. A users' guide to fission track dating calibration [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1982, 59: 343~354.
- [16] 胡圣标, 汪集旻. 沉积盆地热体制研究的基本原理和进展 [J]. 地学前缘, 1995, 2 (3~4): 171~180.
- [17] 朱文斌, 万景林, 舒良树, 等. 裂变径迹定年技术在构造演化研究中的应用 [J]. 高校地质学报, 2005, 11 (4): 593~600.
- [18] 郑德文, 张培震, 万景林, 等. 碎屑颗粒热年代学 [J]. 地震地质, 2000, 22 (增刊): 25~36.
- [19] 刘树根, 赵锡奎, 罗志立, 等. 龙门山造山带-川西前陆盆地系统构造事件研究 [J]. 成都理工学院学报, 2001, 28 (3): 221~230.
- [20] 周祖翼, 廖宗廷, 杨凤丽, 等. 裂变径迹分析及其在沉积盆地研究中的应用 [J]. 石油试验地质, 2001, 23 (3): 332~337.
- [21] 洪景鹏, 宫田隆夫, 孙元林. 马站盆地成因与晚白垩世郯庐断裂带的活动性 [J]. 地质力学学报, 1998, 4 (1): 33~36.
- [22] 韩松, 贾秀琴, 董金泉. 现代核分析技术在资源环境研究中的应用 [J]. 地质力学学报, 2003, 9 (1): 85~90.
- [23] Green P F, Duddy I R, Bray R J. Applications of thermal history reconstruction in inversion [M]. ed. J G Buchanan, PG Buchanan, Geological Society London Special Publish, 1995, 88: 149~165.
- [24] Hill K C, Hill K A, et al. Inversion around the Bass basin SE Australia. In: Basin Inversion [M], ed. J G Buchanan, PG Buchanan, Geological Society London Special Publish, 1995, 88: 525~547.
- [25] Green P F, Duddy I R, Gleadow A J W et al. Fission-track annealing in apatite: track length measurements and the form of the Arrheniusplot [J]. Nuclear Tracks, 1985, 10: 323~328.
- [26] 王彦斌, 王永, 刘训, 等. 天山、西昆仑山中、新生代幕式活动的磷灰石裂变径迹记录 [J]. 中国区域地质, 2001, 20 (1): 94~99.
- [27] 贾承造, 陈汉林, 杨树锋, 等. 库车拗陷晚白垩世隆升过程及其地质响应 [J]. 石油学报, 2003, 24 (3).
- [28] Zhou D, Dumitru T A, Graham S A, et al. Apatite fission track record of Mesozoic and Cenozoic episodic reactivation of the Chinese Tian Shan [J]. Geol. Soc. Am. Abstr. Programs., 1995, 27: 456.
- [29] 邓起东, 冯先岳, 张培震, 等. 天山活动构造 [M], 北京: 地震出版社, 2000.
- [30] 方世虎, 郭召杰, 张志诚, 等. 天山北缘前陆冲断带形成时间的初步确定 [J]. 新疆地质, 2004, 22 (1): 24~29.
- [31] 方世虎, 郭召杰, 张志诚, 等. 中新世代天山及其两侧盆地性质与演化 [J]. 北京大学学报, 2004, 40 (6).
- [32] 朱文斌, 万景林, 舒良树, 等. 吐鲁番-哈密盆地中新世代热历史: 磷灰石裂变径迹证据 [J]. 自然科学进展, 2004, 14 (10): 1194~1198.

CRETACEOUS DENUDATION OF THE ILI BASIN AS REVEALED BY FISSION-TRACK THERMOCHRONOLOGY

GONG Hong-liang¹, CHEN Zheng-le¹, HU Yuan-qing², LI Li¹,
Li Sheng-xiang³, ZHENG En-jiu⁴, HAN Xiao-zhong³

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Geological Party of Northeastern Hubei, Hubei Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xiaogan 432100, Hubei, China; 3. Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029;

4. Geological Party No. 216, CNNC, Ürümqi 830001, Xinjiang, China)

Abstract: The fission-track dating method has been widely used to constrain the exhumation of mountains and tectono-thermal evolution of basins. This paper mainly presents the results of apatite

fission-track dating and discusses the Mesozoic uplift-denudation event in the Ili basin. Fission-track dating revealed that the fission-track ages of three sandstones from drilling wells at the south margin of the basin are 112.6 ± 9 , 79.3 ± 11.4 and 94.0 ± 7.4 Ma respectively, and that the corresponding fission-track lengths are 13.45 ± 0.17 , 13.15 ± 0.16 and $13.17 \pm 0.17 \mu\text{m}$ respectively with a single peak distribution pattern. Further temperature-time modeling of apatite was conducted using the apatite fission-track solution program after the model of Ketcham, based on measurements of the fission-track lengths and pooled ages. The results show that one important uplift-denudation and cooling event took place in the Ili basin at 115-95 Ma. This cooling event is fairly consistent with the absence of Upper Jurassic-Lower Cretaceous strata in the basin, suggesting the uplift and subsequent denudation of the Ili basin during this period of time. The coexistence of the single apatite fission-track ages older and younger than the sedimentation age indicates that the apatite fission track was partially annealed after sedimentation as response to the temperature increase resulting from the burial. Supposing that the geothermal gradient is $30^\circ\text{C}/\text{km}$ and that the temperatures of the partial annealing zone of apatite fission track vary from 80°C to 120°C , it can be estimated that the samples were buried at $\sim 2.6-4$ km depth and that at least at least 1.8-km-thick material has been denuded with a denudation ratio of 0.09mm/a during the Mid-Late Cretaceous (115~95Ma). Correlation and analysis of regional data suggest that the Mid-Late Cretaceous uplift and denudation event was widespread in the whole Tianshan Range and even the whole orogenic belt in northern Xinjiang.

Key words: Ili basin; fission-track; denudation; Cretaceous; Tianshan orogenic belt

(上接第 30 页)

the continental crustal surface. The present tectonic features of the East Asian continent are the product of the Himalayan movement since the Cenozoic and this process is now still going on. It not only has exerted important influence on the geological structure and tectonics, distribution characteristics of earthquakes and resources and environmental problems, but also are closely related to the formation of the atmospheric circulation and climatic and environmental changes.

Key words: Asian continent; structural analysis of remote sensing data; latitudinal convergence; arcuate structure