

柴达木盆地东部中生代两期逆冲断层作用的 FT 定年

蒋荣宝¹, 陈宣华^{1*}, 党玉琪², 尹安³, 汪立群²,
蒋武明², 万景林⁴, 李丽¹, 王小凤¹

1 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081

2 中国石油青海油田分公司, 甘肃敦煌 736202

3 美国加州大学洛杉矶分校地球与空间科学系, 洛杉矶 90095-1567

4 中国地震局地质研究所, 北京 100029

摘要 柴达木盆地东部都兰一带, 由于一系列北东倾的、向南西推覆的逆冲断层作用和温泉断裂的右行走滑作用, 将柴达木盆地的变质基底和前中生界沉积基底翘起, 从而使得柴达木盆地与共和盆地分隔开来。逆冲断层中磷灰石裂变径迹(FT)测年结果反映了柴达木盆地基底断层作用的规律性。从 FT 测年结果可以看出, FT 年龄分为 2 组, 也就是 2 个活动时期: 第 1 期为 108 Ma 至 61 Ma; 第 2 期为 26.6 Ma 至 17.8 Ma。第 1 期反映的断裂活动具有明显的规律性: 从柴达木盆地南缘的东昆仑开始, 向柴北缘方向, 逆冲推覆的断层作用时间逐渐变年轻, 从东昆仑的 108.0 ± 9.6 Ma(柴达木南缘断裂)变为 63.7 ± 4.4 Ma(柴北缘断裂), 之后可能有小的跳动。第 2 期, 在原有的一些逆冲断层上形成了新的活动, 或形成了一些新的逆冲断层, 总体上具有无序或跳跃式变动的特点。

关键词 柴达木盆地东部, 裂变径迹, 热历史, 逆冲断层作用

文章编号 0001-5733(2008)01-0116-09

中图分类号 P314

收稿日期 2007-06-18, 2007-10-08 收修改稿

Apatite fission track evidence for two phases Mesozoic-Cenozoic thrust faulting in eastern Qaidam Basin

JIANG Rong-Bao¹, CHEN Xuan-Hua¹, DANG Yu-Qi², YIN An³, WANG Li-Qun²,
JIANG Wu-Ming², WAN Jing-Lin⁴, LI Li¹, WANG Xiao-Feng¹

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

2 Qinghai Oilfield Company of PetroChina Company Limited, Dunhuang Gansu 736202, China

3 Department of Earth and Space Sciences, University of California, Los Angeles, CA 90095-1567, USA

4 Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

Abstract In eastern Qaidam Basin, the metamorphic and sedimentary Pre-Mesozoic basement had been uplifted due to faulting of the East Qaidam Thrust System and then was separated from the Gonghe Basin due to dextral strike-slip faulting of Wenquan Fault. Apatite fission track analyses and thermochronology of eastern Qaidam Basin show two phases of exhumation and thrusting since Mesozoic. Phase I spanned from 108 Ma to 61 Ma, showing a reduction of AFT cooling ages from south to north, and could be interpreted as the tilting exhumation of the Qaidam basement and thrusting before and at the beginning of Cenozoic. Phase II occurred during 26.6 ~ 17.8 Ma between Paleogene and Neogene, which is expressed as the out-of-sequence Cenozoic thrusting of East Qaidam Thrust System.

Keywords The eastern Qaidam basin, Fission track, Thermal history, Thrust faulting

基金项目 国家自然科学基金(40342015)和国土资源大调查项目(1212010633601)资助。

作者简介 蒋荣宝,男,1981年生,在读硕士生,主要从事构造地质学研究.E-mail: jiang_rongbao@yahoo.com

*通讯作者 陈宣华,男,1967年生,研究员,博士,从事构造地质学研究.E-mail: zhchen@cags.net.cn

1 引言

青藏高原北部的柴达木盆地是世界屋脊青藏高原内部最大的山间盆地,其构造变形与印度-欧亚板块碰撞作用具有密切的联系。有关柴达木盆地成因与新生代构造演化的构造模型,主要包括新生代复向斜模式^[1]、跳跃式与澡盆充填模式^[2-4]、推拉门模式^[5]和自帕米尔向东挤出模式^[6]。在考虑盆地周缘构造时,阶梯式跳跃与澡盆充填模式^[2]推测,柴达木盆地南缘的逆冲断层系的形成早于柴达木盆地北缘逆冲断层系。推拉门模式^[5]认为柴达木盆地南缘的祁漫塔格和柴北缘逆冲断裂的地壳增厚作用都开始于大约 49 Ma 前。与之相反,挤出模型^[6]推测柴达木盆地周缘的断层同时启动,在盆地南缘发育右行走滑断裂,盆地北缘发育左行走滑断裂。

为了检验以上这些构造模型,本文利用柴达木盆地东部基底岩石磷灰石裂变径迹分析和热历史模拟,提出柴东地区逆冲断层系的活动时间可以分为 2 期:第 1 期为 108 Ma 至 61 Ma;第 2 期为 26.6 Ma 至 17.8 Ma。

2 地质背景

研究区位于柴达木盆地与共和盆地之间,是东昆仑、祁连山与柴达木盆地基底、共和盆地基底(属于西秦岭)共同作用的构造体系复合部位(图 1)。区内出露有含榴辉岩透镜体的元古宇沙柳河群变质结晶基底,以及下古生界阿斯扎群、上泥盆统牦牛山组、石炭系中、下统、二叠系、三叠系、侏罗系、新近系和第四系地层,发育晚古生代花岗岩类。

2.1 柴东逆冲断层系

柴东逆冲断层系处在祁连山南缘的北宗务隆山断裂(NZF)与东昆仑的昆仑断裂(KLF)之间(图 2),主要由南边的柴达木南缘断裂(SQF)和北边的柴北缘断裂(NQF)以及它们之间的一系列逆冲推覆构造组成,由北往南依次为鄂拉山断裂(ELS)、哈茨谱断裂(HCPF)、察汗乌苏断裂(CWF;相当于绿梁山-锡铁山南缘断裂 LXSF 的东延)、沟里断裂(GLF)和柴达木南缘断裂南侧的波罗尔断裂(BLF),将东昆仑、柴达木盆地基底与祁连山三个不同的构造单元叠置在一起。都兰逆冲断层(DT)和都兰拆离断层

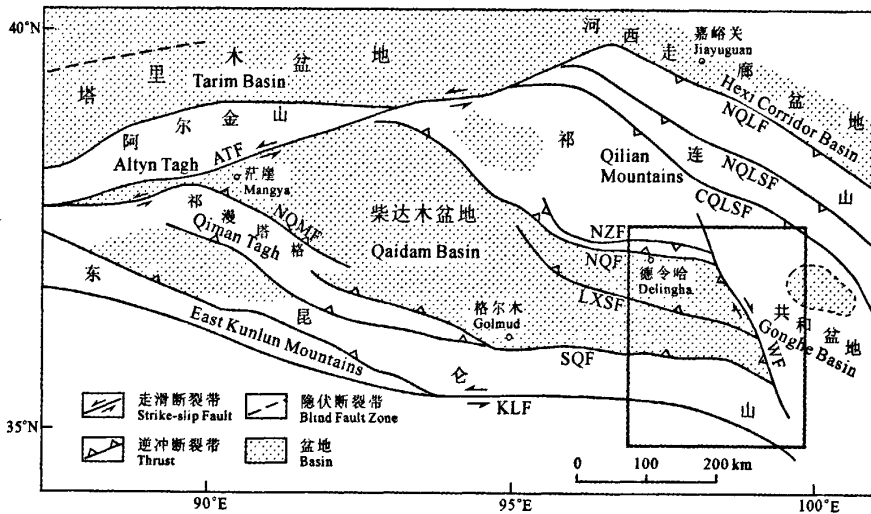


图 1 柴达木盆地地区域断裂系统简图

NQLF - 北祁连山山前断裂带; NQLSF - 北祁连山南缘断裂带; CQLSF - 中祁连山南缘断裂带; NZF - 北宗务隆山断裂带; NQF - 柴北缘断裂带; LXSF - 绿梁山-锡铁山南缘断裂带; NQMF - 祁漫塔格北缘断裂带; SQF - 柴达木南缘断裂带; KLF - 昆仑断裂带; ATF - 阿尔金山断裂带; WF - 温泉断裂带(鄂拉山断裂带)。图中灰色方框为本文研究区域。

Fig.1 Regional sketch map of the Qaidam Basin showing main fault systems and study area

NQLF, North Qilian Mountains front fault zone. NQLSF, South margin fault zone of North Qilian Mountains. CQLSF, South margin fault zone of Central Qilian Mountains. NZF, North Zongwulongshan fault zone. NQF, North Qaidam fault zone. LXSF, South margin fault zone of Luliangshan and Xitieshan mountains. NQMF, North margin fault zone of Qimantage Mountains. SQF, South margin fault zone of Qaidam Basin. KLF, Kunlun fault zone. ATF, Alтын Tagh fault zone. WF, Wenquan fault zone (i.e. Elsshan fault zone). The frame shows study area in this paper.

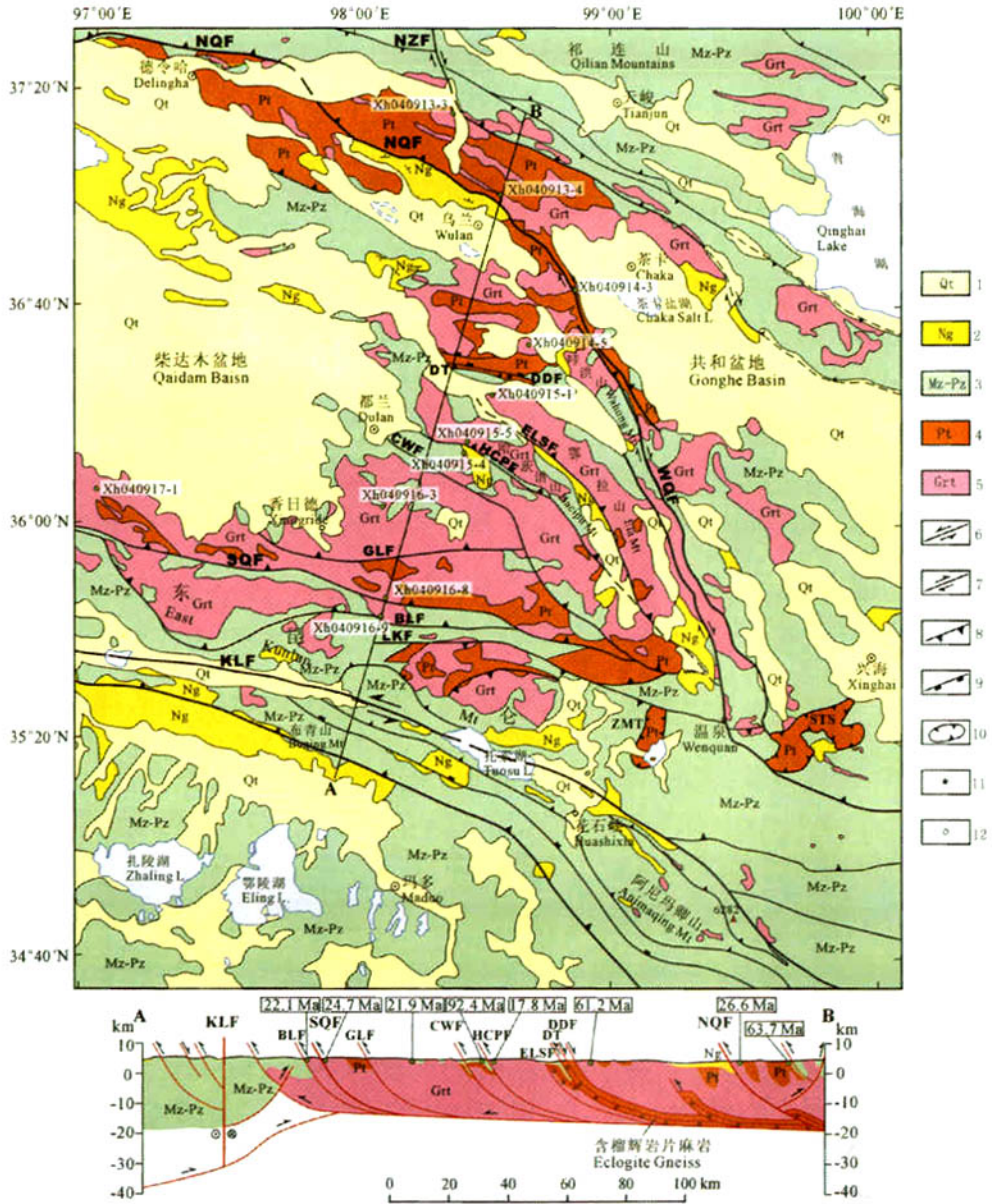


图 2 柴达木盆地东部地质构造简图和剖面

1-第四系;2-新近系;3-中生界-古生界;4-元古界;5-花岗岩类(主要为花岗岩和花岗闪长岩);6-左行走滑断裂;7-右行走滑断裂;8-逆冲断层;9-伸展构造(正断层);10-飞来峰;11-榴辉岩产地;12-采样点位置. WQF-温泉断裂;NZF-北宗务隆山断裂;NQF-柴达木北缘断裂;ELSF-鄂拉山断裂;HCPF-哈茨谱断裂;CWF-察汗乌苏断裂;GLF-沟里断裂;SQF-柴达木南缘断裂;BLF-波罗尔断裂;LKF-龙洼卡鲁断裂;KLF-昆仑断裂;DDF-都兰拆离断层;DT-都兰逆冲断层. STS-赛什塘山飞来峰构造;ZMT-醉马滩飞来峰构造. 图中给出 FT 年龄(单位:Ma).

Fig. 2 Simplified structural map and cross section of eastern Qaidam Basin

1, Quaternary. 2, Neogene. 3, Mesozoic-Paleozoic. 4, Proterozoic. 5, Granitoid (mainly granites and granodiorites). 6, Sinistral strike-slip fault. 7, Dextral strike-slip fault. 8, Thrust fault. 9, Detachment sites. 10, Klippe. 11, Eclogite sites. 12, Sampling localities. Faults: WQF, Wenquan fault. NZF, North Zongwulongshan fault. NQF, North Qaidam fault. ELSF, Elashan fault. HCPF, Hacipu fault. CWF, Chahanwusu fault. GLF, Gouli fault. SQF, South margin fault zone of Qaidam Basin. BLF, Boluoer fault. LKF, Longwakalu fault. KLF, Kunlun fault. DDF, Dulan detachment. DT, Dulan thrust. STS, Saishitang Shan klippe. ZMT, Zuimatan klippe. FT ages in Ma are also shown.

(DDF)也处在柴东逆冲断层系的分布范围内,但是形成的时间可能较早,在新生代也有活动,也可以归入柴东逆冲断层系之内。

乌兰盆地北界的柴北缘断裂,是约 800 km 长的柴北缘逆冲断层系的东延部分,为 NW 走向,北倾,将元古界、早古生代火山岩和三叠纪花岗岩、花岗闪长岩推覆在乌兰盆地中新世油砂山组红层之上。

哈茨谱断裂(HCPF)处在哈茨谱山(“哈茨谱”在蒙语中指帐篷多)的南侧(图 3),将三叠纪哈茨谱山花岗岩类侵入体推覆到英特尔羊场沟新近系油砂山组之上,并在新近系内部形成一系列隐伏逆冲断层及断层相关褶皱。英特尔羊场沟新近系中的背斜褶皱构造具有雁列分布的特点,并显示自西北向东南方向的生长,背斜山与沟谷盆地具有类似的地貌特征,说明哈茨谱断裂前缘的逆冲作用有自西北向东

南发展的趋势,其形成的时代应该在第四纪(或还在活动)。

柴达木南缘断裂(SQF),前人也称之为昆中断裂,它延伸在 1000 km 以上,将柴达木盆地的基底仰冲到东昆仑山上,使得柴达木盆地成为东昆仑山的背驮式盆地。柴达木南缘断裂的向南发展,就是其南边的波罗尔断裂(BLF)。

柴达木南缘断裂部分发育在花岗闪长岩岩基中,野外可见到将花岗闪长岩推覆到花岗闪长岩之上的低角度逆冲断层作用和伴随逆冲作用发育的一系列裂隙构造(图 4)。花岗闪长岩具有似层状构造,发育有较多钾长石含量的裂隙脉。

2.2 温泉断裂带

温泉断裂带,也称为哇洪山断裂带,主要沿哇洪山一线分布,呈 NNW 向延伸达 200 km 以上(图 2),

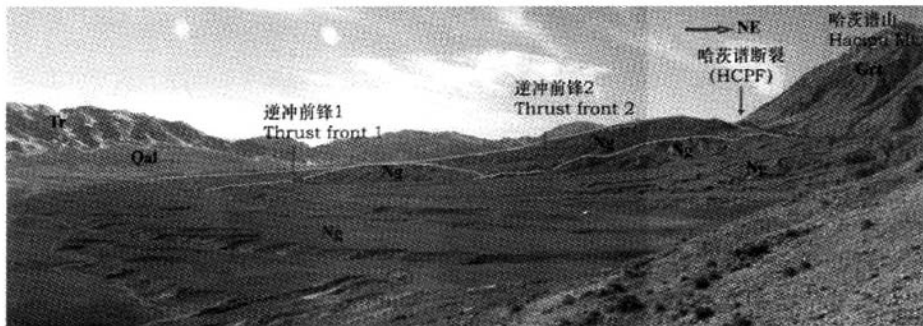


图 3 柴东逆冲断层系中的哈茨谱断裂

Qal-第四系 Quaternary; Ng-新近系 Neogene; Tr-三叠系 Triassic; Grt-花岗岩 Granite
图片中下方的白色越野车为比例尺,镜头指向西北。

Fig. 3 Hacipu fault of the thrust system in eastern Qaidam Basin

For scale, circled white car in the bottom of the photo is about 3m long. View to northwest.

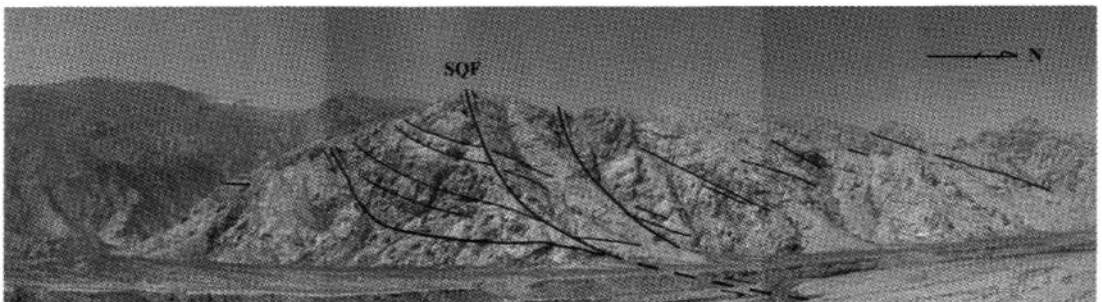


图 4 柴达木南缘断裂带在花岗闪长岩中的发育

东昆仑山中南部向南逆冲推覆的花岗闪长岩片,具有似层状特征。断裂组合形态(镜头指向西)。

Fig. 4 Development of South Qaidam Thrust fault within granodiorites

South thrusting stratiform-like granodiorite fragments in central East Kunlun Mountains. Assemblage of faults. View to West.

为柴达木盆地东缘右行走滑断裂系统. 断裂带内由 3~5 条断裂组成, 呈平行雁列展布, 北端斜截柴北缘断裂, 南端切断柴达木南缘断裂. 温泉走滑断裂系统构成柴达木盆地的东界与共和盆地的西界, 也是东昆仑与西秦岭交接的部位.

温泉断裂的右行走滑作用切过了柴达木盆地基底向昆仑山仰冲的逆冲断裂作用, 因此, 其作用的时间应晚于柴东逆冲断层系, 而与温泉断裂东侧的南木塘断裂和赛什塘山飞来峰构造的年代相当, 断裂作用发生在早上新世时期.

3 裂变径迹(FT)测年方法及结果

3.1 测年方法

裂变径迹(FT)测年法是揭示上地壳岩石经历的冷却历史和地壳运动地表过程的一种有效方法^[7,8]. 隆升之前处在部分退火带(PAZ; 通常为 60~110 °C)底下并具有零年龄的岩石(磷灰石)样品记录了隆升的历史^[9,10], 为确定大型断层带晚期阶段剥露作用历史的运动学提供了关键信息^[11].

裂变径迹测年分析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. 磷灰石样品在中国原子能科学研究院 492 反应堆进行辐照. 采用外探测器法^[12]标准测试流程及 Zeta(ζ)校正法^[13]计算得到样品的 AFT 年龄. 计算 AFT 年龄采用的权重平均 Zeta(ζ)值为 352.4 ± 29 .

3.2 样品采集与测年结果

本研究采集了柴达木盆地东部一系列花岗岩类样品(采样点位置见图 2), 主要为与逆冲断层有关的断裂上盘或下盘侵入岩样品. 图 5 给出了各个样品的磷灰石单颗粒年龄直方图和放射图.

采用 χ^2 检验以确定单颗粒年龄是否落在泊松分布范围内, 以便区分是否属于一个单一的年龄群组^[14]. 表 1 中, 大多数样品的 χ^2 概率 $> 5\%$, 即通过 χ^2 检验时, FT 年龄采用合并年龄(即样品所测颗粒总体法年龄, 或称“池年龄”); 样品 XH040913-3、XH040914-3、XH040914-5 和 XH040915-4 的 χ^2 概率 $\leq 5\%$, 即不能通过 χ^2 检验时, 中值年龄被采用.

所有分析样品的 AFT 年龄均处在中、新生代, 范围为 108.0 ± 9.6 Ma(样品 XH040917-1A)至 17.8 ± 2.8 Ma(样品 XH040915-5)(表 1). AFT 年龄可以分为两组: 第 1 组年龄为 108 Ma 至 61 Ma, 包括 6 个样品; 第 2 组年龄为 26.6 Ma 至 17.8 Ma, 包

括 5 个样品. 所有样品的平均径迹长度分布范围为 11.71 ± 0.17 ($\mu\text{m} \pm 1\sigma$)(样品 XH040914-5)至 12.58 ± 0.18 ($\mu\text{m} \pm 1\sigma$)(样品 XH040916-9)(表 1), 远小于原始径迹长度($16.3 \pm 0.9 \mu\text{m}$)^[15]和快速冷却至地表温度的裂变径迹平均长度($14.5 \sim 15.5 \mu\text{m}$)^[16], 表明这些样品均不同程度地经历过部分退火作用.

3.3 热历史模拟

根据磷灰石裂变径迹年龄数据模拟的时间-温度热历史结果表示在图 6 中, 图中也给出了径迹长度直方图. 由于各个样品单颗粒 AFT 年龄分布的不同, 本文 11 个样品分为 3 组进行模拟. 第 1 组样品(图 6a)(5 个)模拟了 150 Ma 以来的热历史, 具有中生代白垩纪隆升-剥露过程, 在新生代之前已经结束; 新生代早期(古近纪)普遍出现沉降过程, 并在新生代以来再次出现隆升-剥露过程, 以至形成目前的地形地貌. 第 2 组样品(图 6b)(5 个)模拟 65 Ma 以来的热历史, 反映了古近纪以来的隆升-剥露过程, 而新生代以来可能出现新的沉降和快速隆升-剥露过程. 模拟得到的最后一期快速剥露过程出现在中新世晚期, 与前人给出的青藏高原东北缘约 8 Ma 和秦岭西南部约 9~4 Ma 以来的快速冷却和剥露事件^[17-19]相一致, 因此, 可能受青藏高原东北缘普遍存在的这一期新生代晚期构造事件的影响. 第 3 组样品(图 6c)(1 个)模拟了中生代以来的热历史. 与第 1 组相似, 第 3 组样品具有中生代白垩纪以来的隆升-剥露过程, 在新生代早期出现沉降过程, 并在新生代以来出现新的快速隆升-剥露过程. 热历史的模拟结果与根据 AFT 年龄进行的解释具有一致性.

4 讨论

本文分析的磷灰石样品, 均采自柴达木盆地东部被逆冲断层错断的花岗岩岩基(主要属于东昆仑和鄂拉山晚古生代岩浆岩带)中侵入岩, 它们主要经历了受后期逆冲断层作用等而被抬升和冷却的过程^[22], 而与盆地沉积地层中磷灰石样品经历的埋藏愈合与冷却-抬升的热历史有所不同^[15, 17, 18, 23]. 但是, 径迹长度分布和热历史模拟的结果说明, 古近纪以来柴达木盆地东部基底的部分岩石, 经历了受埋藏作用影响而部分愈合的过程.

从 AFT 测年和热历史模拟结果可以看出, AFT 年龄分为 2 组, 也就是 2 个活动时期: 第 1 期为 108

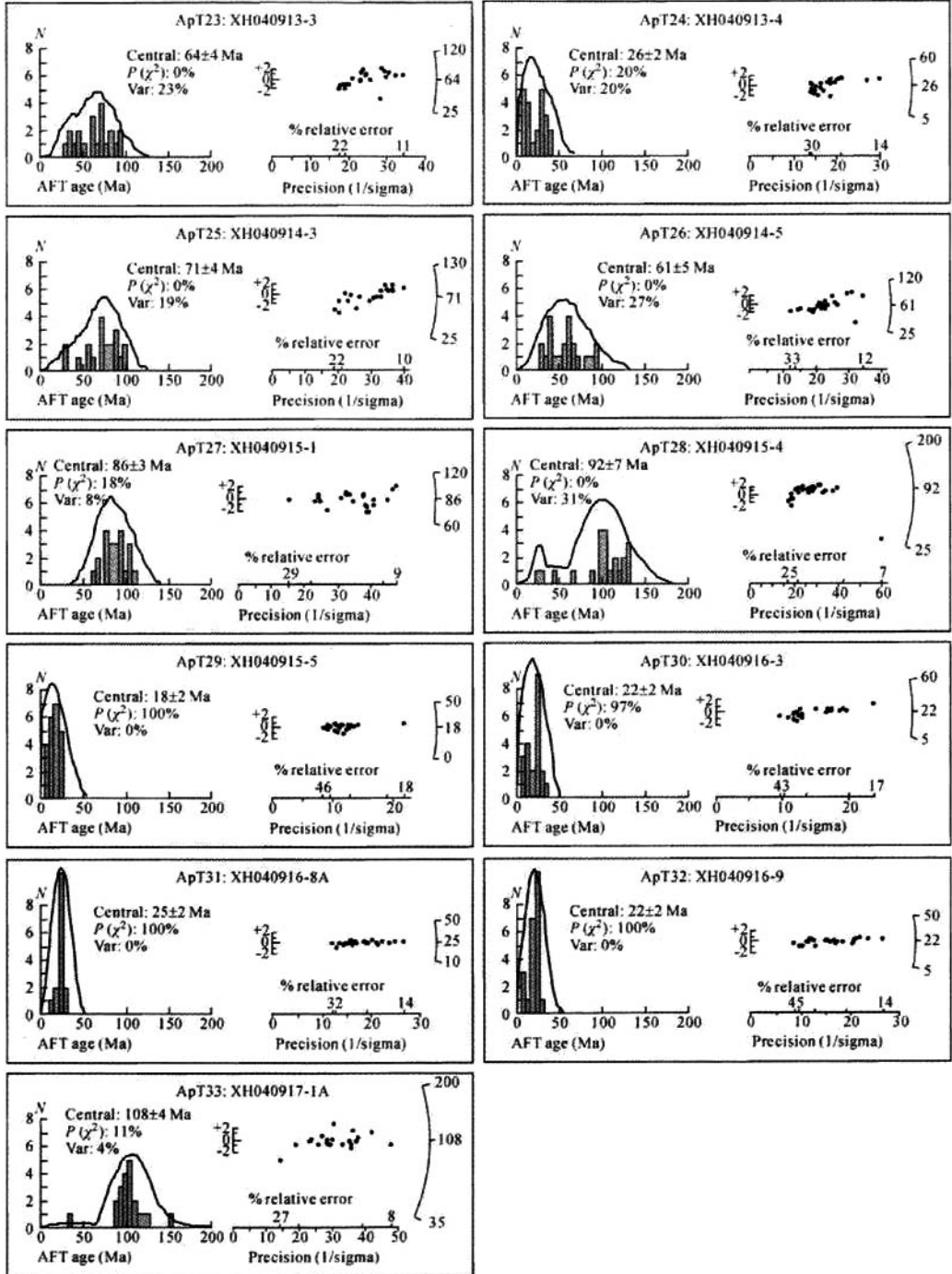


图 5 柴达木盆地东部磷灰石裂变径迹分析结果
左: 单颗粒年龄直方图。曲线为拟合中心年龄趋势。右: 放射图。横坐标上为相对误差, 下为精度。
左侧纵坐标为相对误差范围, 右侧纵坐标为年龄 Ma。

Fig. 5 Apatite fission track results from eastern Qaidam Basin

Left: Histograms show measured single grain apatite FT ages. Curves fit the central AFT ages for each sample. Right: Radial plots. Horizontal upper and lower axes represent ranges of relative errors and age precisions of individual grains (1/sigma). Vertical left axis, bar indicates the standard error of each measurement (2 sigma). Vertical right axis, apatite FT ages in Ma.

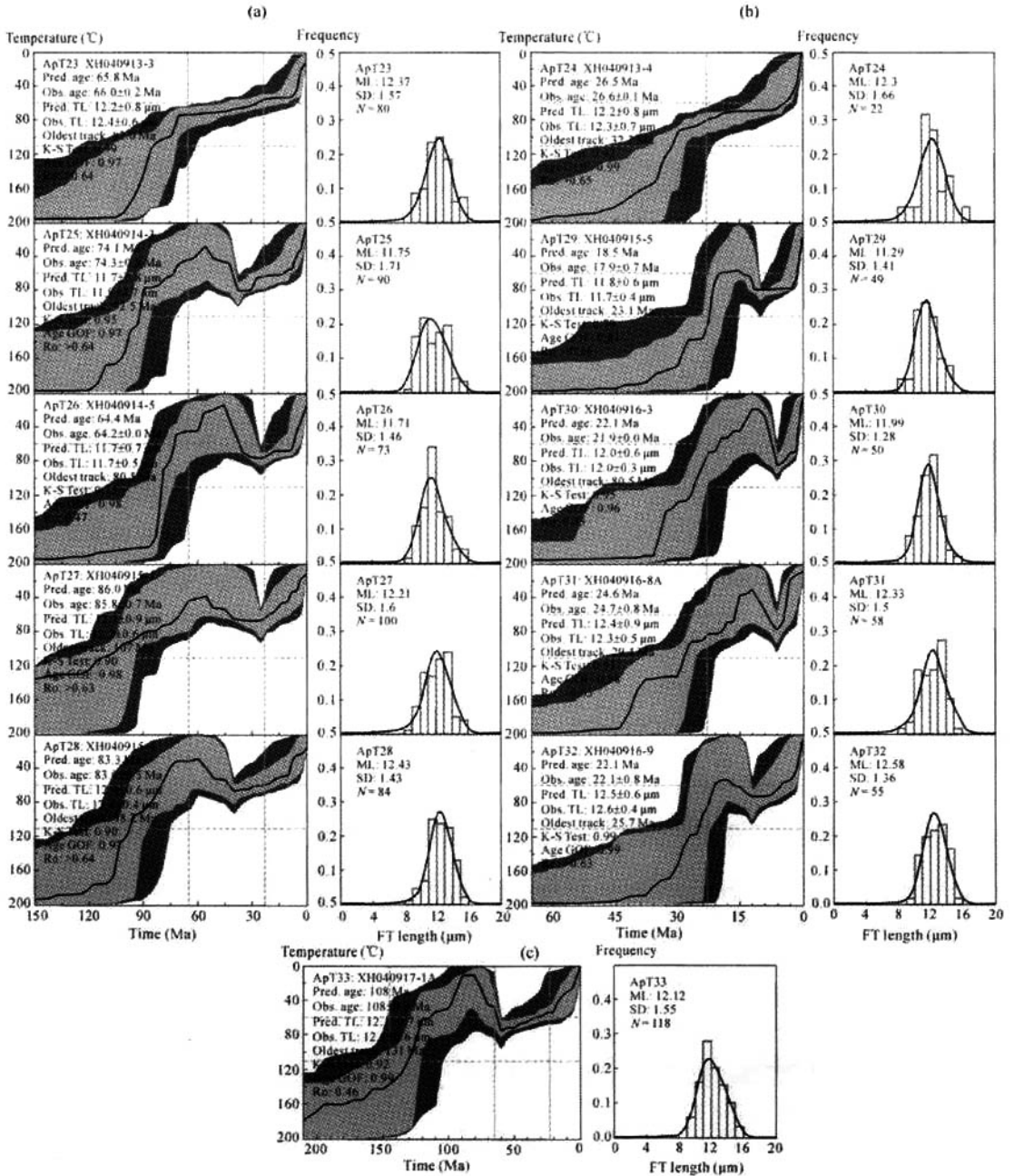


图 6 柴达木盆地东部磷灰石裂变径迹热历史模拟结果

热历史的模拟采用 AFTSolve^[20] 软件和 Ketcham 等(1999)^[21] 退火模型。左侧为时间-温度模型, 浅灰色和暗灰色区域分别代表可接受的(数据不能排除的 $T-t$ 轨迹)和好的(数据支持的 $T-t$ 轨迹)拟合结果, 实线代表最佳拟合时间-温度曲线。上、下水平虚线分别代表磷灰石部分退火带的上限和下限。样品内径迹长度直方图(频数为 f)列于右侧。ML: 平均长度。

Fig. 6 Thermal history modeling of AFT data from eastern Qaidam Basin

The thermal histories were calculated using the AFTSolve^[20] and multi-kinetic model^[21]. Left: Fission-track time-temperature models. Light and dark gray regions mark envelopes of statistically acceptable ($T-t$ path is not ruled out by the data) and good (i.e., the $T-t$ path is supported by the data) fits, respectively. The solid lines within the shaded area correspond to the most probable time-temperature paths (the best fits). Dashed horizontal lines indicate upper and lower limits of apatite partial annealing zone. Right: Histograms show measured track length data. Continuous curves show model-generated track length distributions. ML: Mean length.

Ma 至 61 Ma(第 1 组),主要处在白垩纪;第 2 期为 26.6 Ma 至 17.8 Ma(第 2 组),主要处在渐新世-早中新世。除了处在温泉断裂北端样品(XH040914-3)之外,所有采自逆冲断层上盘并靠近断层的样品均具有较为年轻的年龄,处在第 2 组年龄(26.6 Ma ~ 17.8 Ma)范围内。而处在逆冲断层下盘和断层之间(除样品 XH040916-3 之外)的样品均具有较老的年龄,为第 1 组年龄。样品 XH040916-3 具有第 2 组 AFT 年龄值(21.9 ± 2.9 Ma),而且发育韧性变形,推测可能也是处在一条逆冲断层的上盘。

地壳隆升一般不是一个独立的构造事件,它总是与断裂活动及褶皱作用有着密切的关系。柴达木盆地东部出露的基底岩石主要发育断裂构造,其地壳隆升作用整体上与青藏高原通过其边界及内部断裂而引起的隆升效应有关,而 AFT 年龄分布的细节则更受局部断裂活动的制约。

第 1 期 AFT 年龄反映了白垩纪地壳隆升,与该地区缺失白垩系沉积相一致,是一次区域性的连续事件。第 1 期地壳隆升与断裂活动具有明显的规律性:从柴达木盆地南缘的东昆仑开始,向柴北缘方向,地壳隆升及与之相关的逆冲推覆作用的时间逐渐变年轻,从东昆仑的 108.0 ± 9.6 Ma(柴达木南缘断裂)变为 63.7 ± 4.4 Ma(柴北缘断裂),之后可能有小的跳动,如都兰逆冲断层(图 2 中 DT)在 61.2 ± 4.6 Ma 开始活动,将含有超高压变质榴辉岩的片麻岩系带到地表。这说明在新生代之前,该地区发生了自南向北的掀斜作用,柴北缘部位最后翘起,同时可能发生了柴北缘断裂第 1 期逆冲作用。第 1 期活动可以用东昆仑山作为构造楔向北楔入的鳄鱼嘴构造模型和柴达木盆地东部基底逆冲断层作用来解释,在鳄鱼嘴构造的上颚(即柴达木盆地的基底)发育一系列由北向南逆冲的断层。柴达木盆地东部基底存在第 1 期活动的证据以及断裂活动的规律性说明该地区在印亚碰撞之前的白垩纪已经存在地块挤压和隆升过程。

第 2 期,由于印亚碰撞的远程效应,柴达木盆地基底原有的一些逆冲断层又有了新的活动,或形成了一些新的逆冲断层,并可能贯通而形成主柴达木拆离断层^[24]。这些逆冲断层总体上具有无序或跳跃式变动的特点,个别逆冲断层作用具有一定的规律性。例如,柴达木盆地南缘断裂第 2 期逆冲断层作用开始于 24.7 ± 2.7 Ma,具有前裂式特征;年轻的逆冲断层(22.1 ± 2.6 Ma)出现在柴达木南缘断裂(24.7 ± 2.7 Ma)的前方。

本文分析得到的第 1 期逆冲断层作用的时间序次,与跳跃式高原生长模式有些类似,但是在时间上并不符合。第 2 期逆冲断层作用在盆地各部位及南北两缘在时间上具有同时性,似乎与挤出模型^[6]比较一致,但逆冲断层的启动较阿尔金断裂晚,似乎不好解释它们与阿尔金断裂的关系。因此,本文更倾向于认为,柴达木盆地南、北两缘及内部的逆冲断层作用总体上具有无序性,同时又具有本文提出的两个阶段的规律性。

在时间上,磷灰石 FT 年龄揭示的柴达木盆地东部第 1 期快速冷却与剥露事件,与我国东部以及秦岭西北部晚白垩世以来的快速冷却和剥露事件相对应,如扬子克拉通约为 100 ~ 60 Ma,南秦岭约为 80 ~ 60 Ma^[19, 25]。但是,中国东、西部应力作用的方式却是完全不同的:在中国东部和秦岭南、北地区,晚白垩世以 NE-SW 方向拉张的应力场为主^[19, 25];而在柴达木盆地东部地区,晚白垩世以 NE-SW 方向挤压的应力场为主。

5 结 论

根据 AFT 测年、热历史模拟和区域热演化历史的研究,结合野外地质关系的分析,得到以下结论:

(1)柴达木盆地东部基底逆冲断层具有 2 个活动时期:第 1 期为 108 Ma 至 61 Ma;第 2 期为 26.6 Ma 至 17.8 Ma。第 1 期活动发生在印亚碰撞之前的挤压环境下,其逆冲断层作用具有从柴达木盆地南缘的东昆仑开始,向柴北缘方向逐渐变年轻的后退式特点。第 2 期活动的时间比较集中,反映了印亚碰撞之后柴达木盆地东部基底逆冲断层系的贯通。

(2)柴达木盆地南缘逆冲断层在第 2 期活动过程中,具有前裂式逆冲的特点。

致谢 Michael W. McRivette 和周苏平、申玉山等参加了部分野外工作,中国地震局地质研究所地震动力学实验室完成裂变径迹测年,论文审稿专家提供了建议和帮助,特此感谢。

参考文献(References)

- [1] Bally A W, Chou I-M, Clayton R, et al. Notes on sedimentary basins in China--Report of the American Sedimentary Basins delegation to the People's Republic of China. *U. S. G. S Open File Report*, 1986, 86-327: 1-108
- [2] Metivier F, Gaudemer Y, Tapponnier P, et al. Northeastward growth of the Tibet plateau deduced from balanced reconstruction of two depositional areas: The Qaidam and Hexi Corridor basins, China.

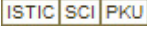
- Tectonics*, 1998, 17: 823 ~ 842
- [3] Meyer B, Tapponnier P, Bourjot L, et al. Crustal thickening in Gansu-Qinghai, lithospheric mantle subduction, and oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet plateau. *Geophysical Journal of International*, 1998, 135: 1 ~ 47
- [4] Tapponnier P, Xu Z, Roger F, et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau. *Science*, 2001, 294: 1671 ~ 1677
- [5] Yin A, Rumelhart P E, Butler R, et al. Tectonic history of the Altyn Tagh fault system in northern Tibet inferred from Cenozoic sedimentation. *Geological Society of America Bulletin*, 2002, 114: 1257 ~ 1295
- [6] Wang E, Xu F Y, Zhou J X, et al. Eastward migration of the Qaidam basin and its implications for Cenozoic evolution of the Altyn Tagh fault and associated river systems. *Geological Society of America Bulletin*, 2006, 118: 349 ~ 365
- [7] Spotila J A. Applications of low-temperature thermochronometry to quantification of recent exhumation in mountain belts. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 2005, 58: 449 ~ 466
- [8] Reiners P W, Brandon M T. Using thermochronology to understand orogenic erosion. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 2006, 34: 419 ~ 466
- [9] Fitzgerald P G, Gleadow A J W. Fission-track geochronology, tectonics and structure of the Transantarctic Mountains in northern Victoria Land, Antarctica. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 1988, 73: 169 ~ 198
- [10] Wagner G A, Gleadow A J W, Fitzgerald P G. The significance of the partial annealing zone in apatite fission-track analysis: Projected track length measurements and uplift chronology of the Transantarctic Mountains. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 1989, 79: 295 ~ 305
- [11] Malusà M G, Polino R, Zattin M, et al. Miocene to Present differential exhumation in the Western Alps: Insights from fission track thermochronology. *Tectonics*, 2005, 24: TC3004, doi: 10.1029/2004TC001782
- [12] Gleadow A J W, Duddy I R. A natural long-term annealing experiment for apatite. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 1981, 5: 169 ~ 174
- [13] Hurford A J, Green P F. The zeta age calibration of fission-track dating. *Isot. Geosci.*, 1983, 1: 285 ~ 317
- [14] Galbraith R F. On statistical models for fission track counts. *Mathematical Geology*, 1981, 13: 471 ~ 478
- [15] 陈刚, 赵重远, 李丕龙等. 合肥盆地构造热演化的裂变径迹证据. *地球物理学报*, 2005, 48(6): 1366 ~ 1374
Chen G, Zhao Z Y, Li P L, et al. Fission track evidence for the tectonic thermal history of the Hefei basin. *Chinese J. Geophys. (in Chinese)*, 2005, 48 (6): 1366 ~ 1374
- [16] Green P F, Duddy I R, Laslett G M, et al. Thermal annealing of fission track in apatite (IV): Quantitative modeling technique and extension to geological time scales. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 1989, 79: 155 ~ 182
- [17] 郑德文, 张培震, 万景林等. 六盘山盆地热历史的裂变径迹证据. *地球物理学报*, 2005, 48(1): 157 ~ 164
Zheng D W, Zhang P Z, Wan J L, et al. Apatite fission track evidence for the thermal history of the Liupanshan basin. *Chinese J. Geophys. (in Chinese)*, 2005, 48 (1): 157 ~ 164
- [18] Zheng D, Zhang P-Z, Wan J, et al. Rapid exhumation at ~ 8 Ma on the Liupan Shan thrust fault from apatite fission-track thermochronology: Implications for growth of the northeastern Tibetan Plateau margin. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 248: 198 ~ 208
- [19] Enkelmann E, Ratschbacher L, Jonckheere R, et al. Cenozoic exhumation and deformation of northeastern Tibet and the Qinling: Is Tibetan lower crustal flow diverging around the Sichuan Basin? *Geological Society of America Bulletin*, 2007, 118: 651 ~ 671
- [20] Ketcham R A, Donelick R A, Donelick M B. AFTSolve: a program for multi-kinetic modeling of apatite fission-track data. *Geological Materials Research*, 2000, 2: 1 ~ 32
- [21] Ketcham R A, Donelick R A, Carlson W D. Variability of apatite fission-track annealing kinetics III: Extrapolation to geological time scales. *American Mineralogist*, 1999, 84: 1235 ~ 1255
- [22] 施小斌, 丘学林, 刘海龄等. 滇西临沧花岗岩基新生代剥蚀冷却的裂变径迹证据. *地球物理学报*, 2006, 49(1): 135 ~ 142
Shi X B, Qiu X L, Liu H L, et al. Cenozoic cooling history of Lincang granitoid batholith, western Yunnan: Evidence from Fission track data. *Chinese J. Geophys. (in Chinese)*, 2006, 49 (1): 135 ~ 142
- [23] 宫红良, 陈正乐, 胡远清等. 伊犁盆地白垩纪剥露事件的裂变径迹证据. *地质力学学报*, 2007, 13(1): 42 ~ 50
Gong H L, Chen Z L, Hu Y Q, et al. Cretaceous denudation of the Ili Basin as revealed by fission-track thermochronology. *Journal of Geomechanics (in Chinese)*, 2007, 13 (1): 42 ~ 50
- [24] 尹安, 党玉琪, 陈宣华等. 柴达木盆地新生代演化及其构造重建—基于地震剖面的解释. *地质力学学报*, 2007, 13(3): 193 ~ 211
Yin A, Dang Y Q, Chen X H, et al. Cenozoic evolution and tectonic reconstruction of Qaidam Basin: evidence from seismic profiles. *Journal of Geomechanics (in Chinese)*, 2007, 13 (3): 193 ~ 211
- [25] Hu S, Raza A, Min K, et al. Late Mesozoic and Cenozoic thermotectonic evolution along a transect from the north China craton through the Qinling orogen into the Yangtze craton, central China. *Tectonics*, 2006, 25, TC6009, doi:10.1029/2006TC001985

(本文编辑 胡素芳)

柴达木盆地东部中生代两期逆冲断层作用的FT定年

作者: 蒋荣宝, 陈宣华, 党玉琪, 尹安, 汪立群, 蒋武明, 万景林, 李丽, 王小凤,
JIANG Rong-Bao, CHEN Xuan-Hua, DANG Yu-Qi, YIN An, WANG Li-Qun, JIANG Wu-
Ming, WAN Jing-Lin, LI Li, WANG Xiao-Feng

作者单位: 蒋荣宝, 陈宣华, 李丽, 王小凤, JIANG Rong-Bao, CHEN Xuan-Hua, LI Li, WANG Xiao-Feng(中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081), 党玉琪, 汪立群, 蒋武明, DANG Yu-Qi, WANG Li-Qun, JIANG Wu-Ming(中国石油青海油田分公司, 甘肃敦煌, 736202), 尹安, YIN An(美国加州大学洛杉矶分校地球与空间科学系, 洛杉矶, 90095-1567), 万景林, WAN Jing-Lin(中国地震局地质研究所, 北京, 100029)

刊名: 地球物理学报 

英文刊名: CHINESE JOURNAL OF GEOPHYSICS

年, 卷(期): 2008, 51(1)

被引用次数: 6次

参考文献(25条)

1. Yin A;Rumelhart P E;Butler R Tectonic history of the Altyn Tagh fault system in northern Tibet inferred from Cenozoic sedimentation[外文期刊] 2002
2. Tapponnier P;Xu Z;Roger F Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau[外文期刊] 2001(5547)
3. Meyer B;Tapponnier P;Bourjot L Crustal thickening in Gansu-Qinghai, lithospheric mantle subduction, and oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet plateau[外文期刊] 1998
4. Hurford A J;Green P F The zeta age calibration of fission-track dating 1983
5. Gleadow A J W;Duddy I R A natural long-term annealing experiment for apatite 1981
6. Malus M G;Polino R;Zattin M Miocene to Present differential exhumation in the Western Alps: Insights from fission track thermochronology 2005
7. Hu S;Raza A;Min K Late Mesozoic and Cenozoic thermotectonic evolution along a transect from the north China craton through the Qinling orogen into the Yangtze craton, central China 2006
8. Fitzgerald P G;Gleadow A J W Fission-track geochronology, tectonics and structure of the Transantarctic Mountains in northern Victoria Land, Antarctica 1988
9. Reiners P W;Brandon M T Using thermochronology to understand orogenic erosion[外文期刊] 2006
10. Spotila J A Applications of low-temperature thermochronometry to quantification of recent exhumation in mountain belts[外文期刊] 2005(0)
11. Wang E;Xu F Y;Zhou J X Eastward migration of the Qaidam basin and its implications for Cenozoic evolution of the Altyn Tagh fault and associated river systems[外文期刊] 2006(3/4)
12. Metivier F;Gaudemer Y;Tapponnier P Northeastward growth of the Tibet plateau deduced from balanced reconstruction of two depositional areas: The Qaidam and Hexi Corridor basins, China 1998
13. 尹安;党玉琪;陈宣华 柴达木盆地新生代演化及其构造重建-基于地震剖面的解释[期刊论文]-地质力学学报 2007(03)
14. 宫红良;陈正乐;胡远清 伊犁盆地白垩纪剥露事件的裂变径迹证据[期刊论文]-地质力学学报 2007(01)
15. 施小斌;丘学林;刘海龄 滇西临沧花岗岩基新生代剥蚀冷却的裂变径迹证据[期刊论文]-地球物理学报 2006(01)
16. Ketcham R A;Donelick R A;Carlson W D Variability of apatite fission-track annealing kinetics III: Extrapolation to geological time scales 1999

17. [Ketcham R A;Donelick R A;Donelick M B AFTSolve:a program for multi-kinetic modeling of apatite fission-track data](#) 2000
18. [Enkelmann E;Ratschbacher L;Jonckheere R Cenozoic exhumation and deformation of northeastern Tibet and the Qinling:Is Tibetan lower crustal flow diverging around the Sichuan Basin?](#)[外文期刊] 2007(5/6)
19. [Zheng D;Zhang P-Z;Wan J Rapid exhumation at~8 Ma on the Liupan Shan thrust fault from apatite fission-track thermochronology:Implications for growth of the northeastern Tibetan Plateau margin](#) 2006
20. [郑德文;张培震;万景林 六盘山盆地热历史的裂变径迹证据](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2005(01)
21. [Green P F;Duddy I R;Laslett G M Thermal annealing of fission track in apatite \(IV\):Quantitative modeling technique and extention to geological time scales](#) 1989
22. [陈刚;赵重远;李丕龙 合肥盆地构造热演化的裂变径迹证据](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2005(06)
23. [Galbraith R F On statistical models for fission track counts](#)[外文期刊] 1981
24. [Wagner G A;Gleadow A J W;Fitzgerald P G The significance of the partial annealing zone in apatite fission-track analysis:Projected track length measurements and uplift chronology of the Transantarctic Mountains](#) 1989
25. [Bally A W;Chou I-M;Clayton R Notes on sedimentary basins in China--Report of the American Sedimentary Basins delegation to the People's Republic of China](#) 1986

引证文献(7条)

1. [高军平,方小敏,宋春晖,李生喜,薛建平 青藏高原北部中—新生代构造—热事件:来自柴西碎屑磷灰石裂变径迹的制约](#)[期刊论文]-[吉林大学学报\(地球科学版\)](#) 2011(5)
2. [陈宣华,尹安,George GEHRELS,李丽,蒋荣宝 柴达木盆地东部基底花岗岩类岩浆活动的化学地球动力学](#)[期刊论文]-[地质学报](#) 2011(2)
3. [陈元春 辽河东部凹陷火山岩油藏高效开发研究](#)[期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2010(1)
4. [李建华,张岳桥,董树文,施炜,李海龙 北大巴山凤凰山基底隆起晚中生代构造隆升历史——磷灰石裂变径迹测年约束](#)[期刊论文]-[地质科学](#) 2010(4)
5. [李松峰,徐思煌 磷灰石裂变径迹研究进展](#)[期刊论文]-[重庆科技学院学报\(自然科学版\)](#) 2009(1)
6. [李丽,陈正乐,祁万修,王世新,陈宣华,吴益平,宫红良,魏新昌,杨屹,李学智 准噶尔盆地周缘山脉抬升-剥露过程的FT证据](#)[期刊论文]-[岩石学报](#) 2008(5)
7. [李丽,陈正乐,祁万修,王世新,陈宣华,吴益平,宫红良,魏新昌,杨屹,李学智 准噶尔盆地周缘山脉抬升-剥露过程的FT证据](#)[期刊论文]-[岩石学报](#) 2008(5)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dqwlxb200801015.aspx