

阿尔金断裂带 8 Ma 左右的快速走滑及其地质意义

陈正乐¹⁾ 万景林²⁾ 王小凤¹⁾ 陈宣华¹⁾ 潘锦华³⁾

(1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081; 2) 国家地震局地质研究所, 北京, 100029;
3) 辽宁国土资源规划院, 沈阳, 110031)

摘 要 阿尔金断裂带的走滑变形历史与青藏高原的抬升、变形密切相关。阿尔金断裂中段旁侧岩体中磷灰石的裂变径迹测试年龄结果集中在 8 Ma ±。区域资料显示, 沿阿尔金主断裂带旁侧普遍存在 8 Ma ± 的磷灰石裂变径迹年龄。为此推测, 阿尔金断裂带在 8 Ma ± 经历了一期快速的走滑变形事件。结合青藏高原抬升、变形研究资料, 表明 8 Ma ± 是青藏高原抬升、变形等重要构造事件的发生时间。

关键词 阿尔金山脉 快速抬升 青藏高原

Rapid Strike-slip of the Altyn Tagh Fault at 8 Ma and Its Geological Implications

CHEN Zhengle¹⁾ WAN Jinglin²⁾ WANG Xiaofeng¹⁾ CHEN Xuanhua¹⁾ PAN Jinhua³⁾

(1) Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing, 100081; 2) Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing, 100029;
3) Institute of Land and Resource Planning, Shenyang, 110031)

Abstract The strike-slip history of the Altyn Tagh fault was highly related to the uplift and deformation of the Tibetan plateau. This paper mainly presents fission track dating results of apatite from granites near the fault. The fission track dating yields ages concentrated on the 7~9 Ma, with about 2 Ma difference. Regional data also show that 8 Ma obtained by fission track dating of apatite is widely spread along the fault, suggesting a period of rapid strike-slip of the fault during this time. Studies of the uplifting and deformation history of the plateau show that many important events, such as the uplift of the plateau, the formation of the NS-trending extensional structures in south Tibet, and the climate changes in Asia, occurred at about 8 Ma. Therefore, the authors suggest that 8 Ma was one of the most important periods for the deformation and evolution of the Tibetan plateau.

Key words Altyn Tagh fault rapid strike-slip Tibetan plateau

阿尔金断裂带位于青藏高原北部边缘, 是中亚大陆内部一条重要的走滑断裂带(图 1)。由于阿尔金断裂带以及相伴随的阿尔金山系的隆升过程是研究青藏高原生长历史的关键, 成为近几年研究青藏高原的热点地区之一。近年来在青藏高原北缘、阿尔金地区已经开展了一些地质调查和科研工作(许志琴等, 1999; Zhou 等, 1999; Peter 等, 1997; Edward 等, 1999, 2001; 陈正乐等, 2001a、2001b; 张岳桥等, 2001; 刘永江等, 2001; 尹安, 2001), 但对阿尔金断裂带的走滑历史仍有争论: Zhou 等(1999)认为, 阿尔

金断裂是一条元古界发生、一直延续至今的古老断裂; 许志琴等(1999)和 Edward 等(1999)强调了阿尔金断裂自早古生界以来曾经历了多期的活动; 崔军文(1996)和黄汉纯等(1987)认为阿尔金断裂从华力西-印支期开始活动, 控制了两侧柴达木和塔里木盆地侏罗纪以来的发展; 而 Peter 等(1997)根据阿尔金山前新生代沉积学研究结果, 认为阿尔金断裂大规模的走滑开始于渐新世(30 Ma)。

磷灰石的裂变径迹法已广泛地被用于限定山脉隆升历史(丁林等, 1995; Edward 等, 1997, 2001; 王

本文由国家自然科学基金青年基金项目(40102022)、国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409808、2001GB7110013)和国土资源部自由探索项目(B2-38)联合资助。

改回日期: 2002-3-21; 责任编辑: 宫月萱。

第一作者: 陈正乐, 男, 1967 年生, 研究员, 主要从事构造地质研究。

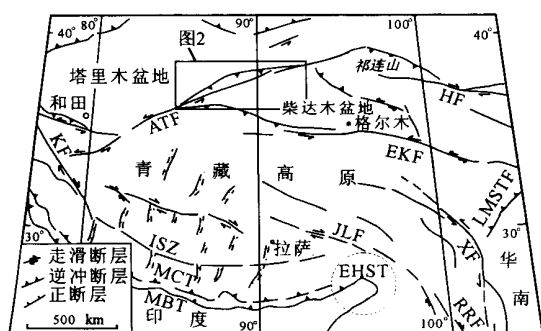


图1 青藏高原构造简图

(根据 Searle, 1996 和尹安, 2001 改编)

Fig. 1 Tectonic map of the Tibetan plateau

(simplified from Searle (1996) and Yin (2001))

图中 ATF-阿尔金断裂带; KF-喀喇昆仑断裂带; HF-海原断裂带;
EKF-东昆仑断裂带; LMSTF-龙门山逆冲断裂带; XF-鲜水河断裂带;
RRF-红河断裂带; JLF-嘉丽断裂带; ISZ-雅鲁藏布江蛇绿岩带;
MCT-主中央逆冲断裂带; MBT-主边界断裂带;
EHST-东喜马拉雅构造结构

ATF-Altyn Tagh Fault; KF-Karakorum Fault; HF-Haiyuan Fault;
EKF-Eastern Kunlun Fault; LMSTF-Long-Men-Shan Thrust Fault;
XF-Xianshuihe Fault; RRF-Red River Fault; JLF-Jia Li Fault;
LSZ-Indus-Yarlungzangbu Suture Zone; MCT-Main Central Thrust;
MBT-Main Boundary Thrust; EHST-Eastern Himalayan Syntaxis

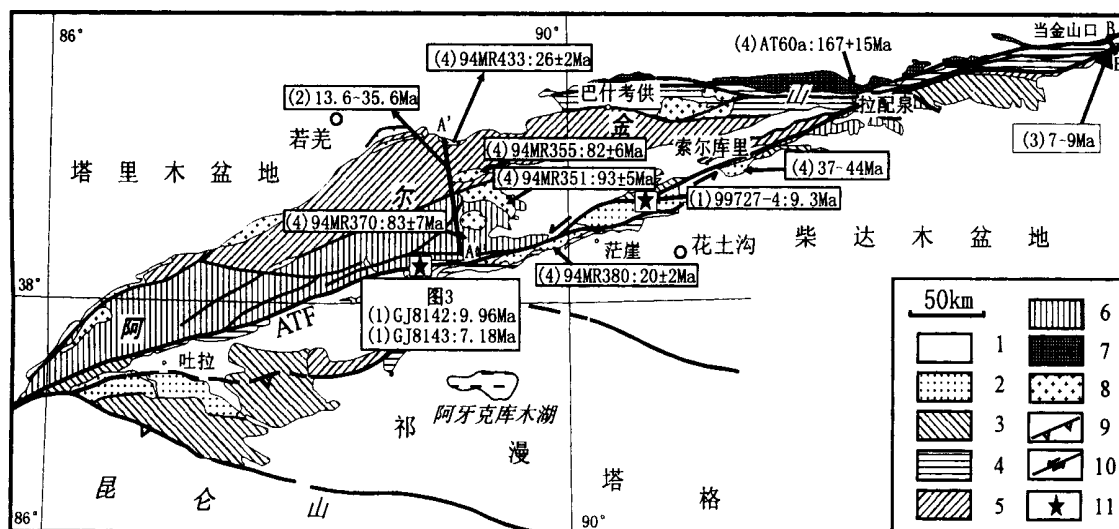


图2 阿尔金山地质构造简图

Fig. 2 Simplified geological map of the Altyn Tagh range

1-新生界; 2-中生界; 3-古生界; 4-奥陶系; 5-中、新元古宇; 6-古元古宇; 7-太古宇;
8-花岗岩; 9-逆冲断层; 10-走滑断层; 11-采样位置; 图中 ATF-阿尔金断裂带;

~ -资料来源: -本文; -陈正乐等, 2001; -万景林等, 2001; -Edward 等, 1999, 2001

1-Cenozoic; 2-Mesozoic; 3-Paleozoic; 4-Ordovician; 5-Meso-Neo Poterozoic; 6-Paleo-Proterozoic;

7-Archean; 8-granite; 9-thrust fault; 10-strike-slip fault; 11-sample's location; ATF-Altyn Tagh fault. ~ -the data in this map are cited from: -this page; -Chen et al., 2001; -Wan et al., 2001; and -Edward et al., 1999, 2001

军, 1998)。在此主要根据磷灰石裂变径迹测年结果(包括先期的测试分析), 揭示阿尔金断裂带在晚新生代期间的活动历史, 并结合青藏高原抬升历史研究, 探讨阿尔金断裂带的走滑变形与青藏高原的抬升、变形之间的动力学联系。

1 地质背景与采样位置

阿尔金山构造带主要由 2 个不同的褶皱断裂构造单元组成, 南西端为 NEE-SWW 走向的索尔库里-且末隆起带, 构成了阿尔金山链的主体; 北部为 E-W 走向的红柳沟-拉配泉褶皱构造带, 这些构造单元被一组走向 N65°~70°E 的巨型扭性断裂构造, 即阿尔金断裂带所截切(图 2)。阿尔金主断裂带以其巨大的规模和强烈的贯穿性、活动性为特征, 分割了塔里木地块和青藏高原, 是青藏高原北缘的一条主控边界断裂, 也是联结青藏高原内部冲断褶皱构造系统的转换边界。

NEE 向阿尔金山主体主要由元古宇、古生界和新生界组成, 其内有元古宙的超基性岩体和海西期为主的花岗岩、花岗闪长岩。EW 向的红柳沟-拉配泉构造带内出露的地层主要有太古宇米兰群、中元

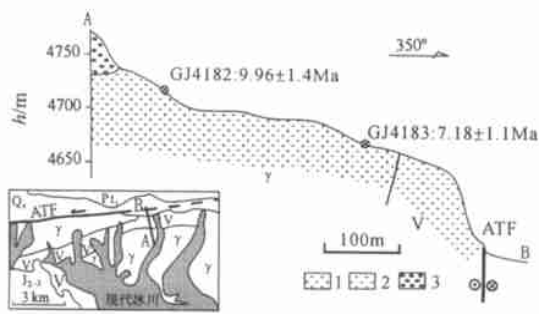


图 3 阿尔金断裂带中段盖吉里克
裂变径迹采样位置图

Fig. 3 Sketch map of the FT-samples from the Gajilike
area in the central Altyn Tagh fault
1-花岗岩;2-玄武岩;3-现代冰川
1-granite;2-basalt;3-modern land-glacier

古界长城系、蓟县系和新元古界青白口系,另有小面积的中、上奥陶统、石炭系及侏罗系和第三系出露。侵入岩体有元古宙、加里东期和海西期的花岗岩和以加里东期为主的超基性岩体。

本文所测样品采样位置见图 2、图 3,样品的高程是利用气压计,结合轻便型 GPS 测定的。所测样品十分接近阿尔金主断裂带的花岗岩和花岗闪长岩。

2 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裂变径迹实验室完成,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,年龄计算公式见公式(1)(Hurford 等,1982)。测试结果见表 1。

表 1 裂变径迹测试分析结果
Table 1 Results of apatite fission track age

样品	高程 m	岩性	颗粒数目 个	$RHO_s(N_s)$ $\times 10^5 \text{cm}^{-2}$	$RHO_i(N_i)$ $\times 10^6 \text{cm}^{-2}$	$P(\chi^2)$ %	r	平均径迹年龄 Ma	资料来源
99727-4	4511	花岗岩	26	0.1013(113)	1.398(1559)	99.9	0.874	9.0 ±1.0	本次测试结果
GJ8142	4735	闪长岩	24	0.0851(80)	1.028(966)	100	0.913	9.8 ±1.0	
GJ8143	4672	闪长岩	25	0.06497(64)	1.204(1186)	100	0.723	7.2 ±0.8	
99711-1	4196	片麻岩	40	0.753(134)	5.101(908)	100	0.987	36.4 ±3.2	陈正乐等 (2001)
99713-1	3993	片麻岩	43	0.571(89)	4.064(634)	100	0.949	31.6 ±3.0	
99722-2	3691	片麻岩	37	1.741(363)	13.05(2721)	98	0.955	27.1 ±2.6	
99725-2	3652	花岗岩	20	5.137(940)	37.70(6899)	9.3	0.892	33.9 ±3.2	
99728	3481	花岗岩	28	3.503(662)	32.67(6175)	82	0.938	26.7 ±2.3	
99732-1	3298	花岗岩	30	1.052(111)	10.65(1124)	100	0.968	22.4 ±2.1	
99731-2	3085	花岗岩	9	0.889(20)	16.13(363)	91	0.608	13.8 ±2.2	
99738	2914	片岩	40	0.440(66)	4.793(719)	100	0.913	19.7 ±2.8	
997310	2627	花岗岩	15	0.585(24)	7.415(304)	100	0.903	18.8 ±2.3	
997314	2271	花岗岩	30	1.570(234)	14.28(2127)	100	0.945	28.4 ±2.7	
NT37	2710	片岩	29	0.234(20)	0.830(710)	5.2	0.09	7.4 ±2.1	万景林等 (2001)
NT38	2730	片岩	41	0.395(99)	0.974(2808)	0.789	0.64	8.8 ±1.2	
NT40	2798	片岩	30	0.187(20)	0.974(1042)	95.6	0.46	5.1 ±1.2	
NT41	2808	碎裂岩	24	0.538(20)	1.199(1042)	89.0	0.90	11.9 ±1.8	
NT43	3031	片岩	30	0.264(45)	0.799(1002)	97.9	0.44	8.8 ±1.7	
NT44	3001	片岩	22	0.309(27)	0.907(816)	18.6	0.44	9.1 ±2.0	
NT45	3093	花岗岩	30	0.130(159)	2.25(2760)	61.1	0.83	15.4 ±1.3	
NT46	3052	片岩	27	1.449(151)	2.861(2982)	0.005	0.61	13.6 ±1.2	
NT48	3082	片岩	33	0.917(120)	1.257(1644)	96.5	0.65	19.6 ±1.9	
NT52	3629	片岩	24	2.19(353)	1.807(2906)	18.6	0.91	32.8 ±1.9	
NT54	3113	花岗岩	25	0.273(57)	1.044(2181)	20.8	0.60	7.1 ±1.1	
NT55	3113	花岗岩	17	0.671(87)	1.890(2449)	9.3	0.89	7.2 ±0.9	

注:表中 RHO_s 为自发径迹密度; N_s 为自发径迹数; RHO_i 为诱发径迹密度; N_i 为诱发径迹数; $P(\chi^2)$ 为自由度 $(n-1)$ χ^2 值的几率; r 为单个颗粒径迹之间的相关系数;实验条件为:磷灰石蚀刻条件为 7 % HNO_3 , 室温, 35 s;外探测器采用低铀含量白云母, 蚀刻条件为 40 % HF , 室温, 20 min;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, $Zeta_{SRM612} = 352.4 \pm 29$;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 OL YMPUS 偏光显微镜, 在放大 1 000 倍浸油条件下完成。

$$t_{\text{UNK}} = \frac{1}{D} \ln \left[1 + \frac{D}{1} \frac{s}{d} \right] \quad (1)$$

上式中的 D 由下式求得:

$$D = \frac{[e^{D T_{\text{STD}}} - 1]}{D \left[\frac{s}{d} \right]_{\text{STD}}}$$

其中: t_{UNK} 为未知矿物年龄; t_{STD} 为标准矿物裂变径迹年龄; s/d 为标准矿物裂变径迹自发与诱发径迹密度比; d 为铀标准玻璃的诱发径迹密度; D 为 ^{238}U 的衰变常数, $D = 1.55125 \times 10^{-10} \text{a}^{-1}$ 。

3 地质意义探讨

本次测试对象都是位于阿尔金主断裂带附近的花岗岩体。结果发现,磷灰石的裂变径迹年龄集中的 7.1~9.9 Ma 之间,考虑到 2 Ma 测试误差,可以确认阿尔金主断裂带附近岩体在 8 Ma 左右经历了一次构造热事件的作用:抬升-冷却或热扰动。

根据笔者等(2001)先期进行的测试分析结果(表 1),在若羌-茫崖段,磷灰石径迹年龄相对较老,位于 13.6~35.6 Ma 之间,推测阿尔金山脉的隆升开始于渐新世并一直延续到中新世,并进一步推断阿尔金断裂带左行走滑的起始时间是渐新世早期(约 36 Ma);Edward 等(1999,2001)分析了阿尔金山地区远离阿尔金断裂带的样品,同样得到磷灰石的裂变径迹年龄都较老(26.2~167 Ma),推断阿尔金山茫崖-若羌段在早—中侏罗世经历了快速的冷却,只有少量地区保留了渐新世—中新世(约 26~19 Ma)抬升事件的记录(图 2)。

万景林等(2001)在当金山口采集了横穿阿尔金断裂带的测试样品,进行了磷灰石的裂变径迹分析,也得到了类似的结论(表 1):靠近阿尔金主断裂带磷灰石的裂变径迹年龄大部分集中在 7~9 Ma 之间,而远离“正花状”构造(阿尔金断裂带在该区形成正花状构造)的中心,裂变径迹年龄明显变老(32.8 Ma),据此,笔者推断阿尔金断裂-造山带在当金山口一带在 8 Ma 左右出现了快速的抬升,平均抬升速率为 0.5~1 mm/a。

本次测试结果和万景林等分析结果都显示,在阿尔金主断裂带附近,普遍存在 8 Ma 左右裂变径迹年龄,但远离阿尔金断裂带的裂变径迹年龄相对

较老,推测该裂变径迹的年龄的形成应与阿尔金断裂带的走滑活动密切相关,指示了阿尔金断裂带在 8 Ma 左右经历了一次重要的构造-热事件的作用。由于磷灰石的封闭温度相对较低(110~130 °C),因而有 2 种可能可以导致磷灰石 8 Ma 裂变径迹年龄的形成:一是由于断裂带的快速走滑而出现的断裂带掀斜作用导致了附近山体出现了快速的抬升,这种现象在现今的阿尔金断裂带上十分普遍(陈正乐,2000),磷灰石的裂变径迹年龄记录的是岩体快速抬升-冷却的历史;另一种可能是断裂走滑变形在附近岩体产生的热效应,磷灰石的裂变径迹年龄记录的是断裂带附近岩体的热扰动历史。2 种情况都表明了阿尔金主断裂带在 8 Ma 左右出现过快速的走滑变形。

事实上,8 Ma 左右的构造变形事件在青藏高原十分普遍:在青藏高原南部发育了多条大致等距离展布的 SN 向张性构造带(图 1),Harrison 等(1992)根据钾长石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄,推断羊八井地堑两侧正断层开始活动的时代为 7~8 Ma,进而推论青藏高原在 7~8 Ma 前已经达到和现代地壳厚度相似的海拔高度;Turner 等(1993)通过研究青藏高原北部新生代火山熔岩的化学成分,认为该熔岩起源于上地幔,是岩石圈底部突然减薄,岩浆沿拉伸裂隙喷出的结果,同时也标志着地壳的隆起,因而熔岩形成的时代(13 Ma)代表了高原隆起的开始;Molnar 等(1993)认为,青藏高原在 8 Ma 前后的几个百万年中迅速抬升了 100~2 500 m,青藏高原曾一度达到海拔 6 000 m 的高度,并认为 8 Ma 的抬升是由于青藏高原岩石圈的减薄,导致轻而高温的软流圈物质上涌而造成地壳物质的熔化、熔岩溢出。张进江等(2001)研究了东喜马拉雅构造结形成演化历史, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测年结果揭示了东喜马拉雅构造经历了 3 期的楔入,时代分别为 60 Ma、23 Ma 和 13 Ma,以及后期 6~7 Ma 开始的跨塌正断变形,并认为 7 Ma 以后的跨塌变形代表了青藏高原的快速隆升;根据青藏高原北缘甘肃河西走廊酒西盆地的沉积演化和古地磁测年结果推断,青藏高原北缘在 8.26 Ma 由稳定隆升转变为持续逐步较快速的隆升(宋

春晖等,2001);古地磁测年结合古夷平面研究表明,青藏高原北缘的六盘山在8.1 Ma开始隆升(宋友桂等,2001)。

此外,8 Ma也是全球气候变化的重要时期:在中国西部地区普遍发育的黄土的形成与演化与青藏高原的隆升有关已被越来越多的地质学家所接受(安芷生等,2001),古地磁测试结果揭示中国最古老黄土——红粘土的底界年龄为8.1 Ma(吕连清等,2001);Quade等(1989)研究了巴基斯坦北部喜马拉雅山南麓西瓦利克组中钙质结核中C同位素的变化,揭示出中新世晚期(7.4~7 Ma)出现 $^{3}\text{C}-^{4}\text{C}$ 生态系的转变,推测这种转变是由于印度洋季风的加强,喜马拉雅山脉抬升到了有一定高度后导致的气候变化效应;阿拉伯海上涌流的出现也开始于8 Ma(Kroon等,1991)。

大量的地质事实表明,大约在8 Ma左右,青藏高原发生了一系列重要的事件。据此笔者推测,印度板块与欧亚板块持续汇聚作用,导致了青藏高原物质沿边缘几条大型的走滑断裂带发生大规模的脱逸,在8 Ma左右发生了一期强烈的构造变形。在青藏高原南部,由于青藏高原岩石圈下部上地幔因“对流剥离”而出现SN向的张性构造(图1);在青藏高原的北缘,导致了阿尔金走滑断裂带出现快速的走滑变形,北缘山脉开始出现快速的隆升。同时,青藏高原发生整体的抬升,影响了亚洲、乃至全球气候、生态的变化。

参 考 文 献

- 安芷生 J. E. Kutzbach, W. L. Prell 等. 2001. 亚洲季风演变与晚中新世以来喜马拉雅-青藏高原的阶段性隆升. 见:卢演涛,高维明,陈国星等主编,新构造与环境. 北京:地震出版社,1~10.
- 陈正乐,张岳桥,王小凤等. 2001a. 新生代阿尔金山脉隆升历史的裂变径迹证据. 地球学报,22(5):413~418.
- 陈正乐,张岳桥,陈宣华等. 2001b. 阿尔金断裂带晚新生代走滑过程的沉积记录. 中国科学(D),31(增刊):90~96.
- 崔军文,唐哲民,邓晋福等. 1999. 阿尔金断裂系. 北京:地质出版社,22~27,137~215.
- 丁林,钟大赉,潘裕生等. 1995. 东喜马拉雅构造结上新世以来快速抬升的裂变径迹证据. 科学通报,40(16):1497~1500.
- 黄汉纯,王长利. 1987. 阿尔金构造带特征及其对塔里木和柴达木盆地的影响. 地球学报,(17):17~31.
- 刘永江,葛肖虹,叶慧文等. 2001. 晚中生代以来阿尔金断裂的走滑模式. 地球学报,22(1):23~28.
- 吕连清,方小敏 J. A. Mason 等. 2001. 8.1 Ma 以来朝那黄土-红粘土剖面粒度揭示的冬季风与北半球高纬度气候的耦合演化. 中国科学(D),31(增刊):149~154.
- 宋春晖,方小敏,李吉均等. 2001. 青藏高原北缘酒西盆地13 Ma以来沉积演化与构造隆升. 中国科学(D),31(增刊):155~162.
- 宋友桂,方小敏,李吉均等. 2001. 晚新生代六盘山隆升过程初探. 中国科学(D),31(增刊):142~148.
- 万景林,王瑜,李齐等. 2001. 阿尔金山北段晚新生代山体抬升的裂变径迹证据. 矿物岩石地球化学通报,20(4):222~224.
- 王军. 1998. 西昆仑卡日巴生岩体和苦子干岩体的隆升. 地质论评,44(4):435~442.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京:地质出版社,1~285.
- 许志琴,杨经绥,张建新等. 1999. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制. 地质学报,73(3):193~205.
- 尹安. 2001. 喜马拉雅-青藏高原造山带地质演化——显生宙亚洲大陆生长. 地球学报,22(3):193~230.
- 张进江,钟大赉,季建清等. 2001. 东喜马拉雅构造结大陆碰撞以来构造年代学格架及其与哀牢山红河断裂带的对比. 矿物岩石地球化学通报,20(4):243~244.
- 张岳桥,陈正乐,杨农. 2001. 阿尔金断裂晚新生代左走滑位移的地质新证据. 现代地质,15(1):8~12.

References

- An Zhisheng, John E Kutzbach, Warren L et al.. 2001. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times. Nature,411:62~66.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House,1~285 (in Chinese with English abstract).
- Chen Zhengle, Zhang Yueqiao, Wang Xiaofeng et al.. 2001. Fission track dating of apatite constrains on the Cenozoic uplift of the Altyn Tagh mountain. Acta Geoscientia Sinica. 22(5):413~418 (in Chinese with English abstract).
- Chen Zhengle, Zhang Yueqiao, Chen Xuanhua et al.. 2001. Late Cenozoic sedimentary process and its response to the slip history of the central Altyn Tagh fault, NW China. Science in China (Series D), 44(Sup.):103~111.

- Cui Junwen, Tang Zheming, Deng Jinfu et al.. 1999. Altun fault system. Beijing: Geological Publishing House, 22 ~ 27, 137 ~ 215 (in Chinese with English abstract).
- Ding Lin, Zhong Dalai, Pan Yusheng et al.. 1995. Fission track evidence for rapid uplift of the eastern Himalayan syntaxis since Pliocene. Chinese Sciences Bulletin, 40 (16) : 1497 ~ 1500 (in Chinese).
- Edward R. Sobel, Trevor A. Dumitru. 1997. Thrusting and exhumation around the margins of the western Tarim basin during the India-Asia collision. JGR, 102 (B3) : 5043 ~ 5063.
- Edward R. Sobel, Nicolas Arnaud. 1999. A possible middle Paleozoic suture in the Altyn Tagh, NW China. Tectonics, 18 (1) : 64 ~ 74.
- Edward R. Sobel, Nicolas Arnaud, Marc Jolivet et al.. 2001. Jurassic to Cenozoic exhumation history of the Altyn Tagh range, NW China constrained by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and apatite fission track thermochronology. In: Paleozoic and Mesozoic tectonics of Central Asia—From continent Assembly to Intracontinental Deformation. Hendrix, M. S., and Davis, G. A., eds., Geological Society of America Memoir, 194, 293 ~ 316.
- Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, Yin A. 1992. Rising Tibet. Science, 255 : 1663 ~ 1670.
- Huang Hanchun, Wang Changli. 1987. Characteristic features of the Altyn Tagh belt and its relation to the Qaidam and Tarim basins. Acta Geoscientia Sinica, 17 : 17 ~ 31 (in Chinese).
- Hurford A J, Green P F. 1982. A users' guide to fission track dating calibration. Earth and Planetary Science Letters, 59 : 343 ~ 354.
- Kroon D, Steens T N F, Troelstra S R. 1991. Onset of monsoonal related upwelling in the Eastern Arabian Sea. Proc. ODP., Sci. Results, 117 : 257 ~ 263.
- Liu Yongjiang, Ge Xiaohong, Ye Huiwen et al.. 2001. Strike-slip model of Altyn Tagh fault developed since Late Mesozoic. Acta Geoscientia Sinica, 22 (1) : 23 ~ 28 (in Chinese with English abstract).
- Lu Lianqing, Fang Xiaomin, Joseph A et al.. 2001. The evolution of coupling of Asian winter monsoon and high latitude climate of northern Hemisphere—Grain evidence from 8.1 Ma loess-red clay sequence on the Chinese central Loess Plateau. Science in China (D), 44 (Sup.) : 185 ~ 191.
- Molnar P., England P., Martinod J. 1993. Mantle dynamics, uplift of the Tibetan plateau, and the India Monsoon. Reviews of Geophysics, 31 (4) : 357 ~ 396.
- Peter R, An Y, Rick B et al.. 1997. Oligocene initiation of deformation of northern Tibet, evidence from the Tarim basin, NW China. Abstract for GSA, 29 : A-143.
- Quadel J, Thure E C, John R B. 1989. Development of Asia monsoon revealed by marked ecological shift during the latest Miocene in northern Pakistan. Nature, 342 : 163 ~ 166.
- Song Chunhui, Fang Xiaomin, Li Jijun et al.. 2001. Tectonic uplift of the Juxi basin in the northern margin of the Tibetan plateau since 13 Ma B.P. Science in China (D), 44 (Sup.) : 192 ~ 202.
- Song Yougui, Fang Xiaomin, Li Jijun et al.. 2001. The Late Cenozoic uplift of the Liupan Shan, China. Science in China (D), 44 (Sup.) : 176 ~ 184.
- Turner S, Hawkesworth C, Liu J et al.. 1993. Timing of Tibetan uplift constrained by analysis of volcano rocks. Nature, 364 : 50 ~ 54.
- Wan Jinglin, Wang Yu, Li QI et al.. 2001. FT evidence of northern Altyn uplift in Late Cenozoic. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 20 (4) : 222 ~ 224 (in Chinese).
- Wang Jun. 1998. Uplift of the Karibusheng and Kuzigan granite in the west Kunlun mountains—evidence from apatite fission track analysis. Geological review, 44 (4) : 435 ~ 442 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Zhang Jianxin et al.. 1999. Comparison between the tectonic units on the two sides of the Altun sinistral strike-slip fault and the mechanism of lithospheric shearing. Geoscientia Sinica, 73 (3) : 193 ~ 205 (in Chinese with English abstract).
- Yin An. 2001. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen in the context of Phanerozoic continental growth of Asia. Acta Geoscientia Sinica, 22 (3) : 193 ~ 230.
- Zhang Jinjiang, Zhong Dalai, Li Jiqing et al.. 2001. The structural-chronological frame of the eastern Himalayan syntaxis since the India-Asia collision and its correlation with the Ailaoshan-Red River structural belt. Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 20 (4) : 243 ~ 244 (in Chinese).
- Zhang Yueqiao, Chen Zhengle, Yang Nong. 2001. New geological evidence for Late Cenozoic left-lateral strike-slip displacement along the Altyn Tagh fault. Geosciences, 15 (1) : 8 ~ 12 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yong, Pan Yusheng. 1999. Kinematics of the Altun strike-slip fault. Scientia Geologica Sinica, 8 (1) : 77 ~ 90.