

新生代阿尔金山脉隆升历史的裂变径迹证据

陈正乐 张岳桥 王小凤 陈宣华

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081)

Washburn Z. Arrowsmith J.

(Department. of Geology, Arizona State University, Tempe, AZ, 85287, USA)

摘要 10个片麻岩和花岗岩的磷灰石裂变径迹年龄值位于35.6~13.6 Ma之间, 表明了阿尔金山脉的隆升开始于渐新世, 并一直延续至中新世。山脉早期的隆升速率较低, 后期可能存在一个快速的隆升时期; 阿尔金山脉并非整体的均匀隆升, 其内分布的NEE走向的断裂也局部控制了山体的隆升; 如果山脉的隆升是阿尔金断裂左行走滑的结果, 那么可推测阿尔金断裂大型左行走滑的起始时间应为渐新世。区域资料分析表明, 青藏高原北缘在渐新世至中新世期间发生了大规模的、区域性的抬升。

关键词 新生代 阿尔金 隆升 裂变径迹

Fission Track Dating of Apatite Constrains on the Cenozoic Uplift of the Altyn Tagh Mountain

CHEN Zhengle ZHANG Yueqiao WANG Xiaofeng CHEN Xuanhua

(Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing, 100081)

Washburn Z. Arrowsmith J.

(Department of Geology, Arizona State University, Tempe, AZ, 85287, USA)

Abstract 10 samples of gneiss and granite from the Altyn Tagh Mountain are dated by fission track of apatite. The result yields ages from 35.6 Ma to 13.6 Ma, which suggests that the uplift of the Altyn Tagh mountain began from Oligocene and lasted till Miocene. During the early stage, the uplift rate was very low, and probably a quick uplift occurred later, which is supported by regional geology, structure evolution and sedimentary sequences. The result indicates that the local uplift of the mountain was also controlled by some NEE-trending faults within the mountain. As the uplift of the mountain was probably only related to the strike-slip of the Altyn Tagh fault, the authors hold that the initial age of the left-lateral strike-slip of the fault should have been Oligocene. Regional data also show that a large-scale regional uplift of mountains in the northern edge of the Qinghai-Tibetan plateau occurred during Oligocene-Miocene period.

Key words Cenozoic Altyn Tagh uplift of mountain fission track dating of apatite

阿尔金断裂带位于青藏高原北缘, 分割了塔里木和柴达木盆地, 连接了西昆仑山构造带和祁连山构造带(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。在过去几十年中在青藏高原北缘、阿尔金地区已经开展了一些地质调查和科研工作(Pelter等, 1989; 葛肖虹等, 1998; Metivier等, 1998; 许志琴等, 1999;

Yue等, 1999; Yin等, 1999; 陈正乐等, 2000; 张岳桥等, 2001; 刘永江等, 2001), 但前人对阿尔金山地区的研究工作主要聚集于阿尔金断裂带的走滑历史之上, 而对阿尔金山脉隆升过程的研究, 相对缺乏。

利用磷灰石的裂变径迹来限定山脉隆升历史已有不少成功的先例, 国内外地质学家已在青藏高原南部的喜马拉雅造山带、东喜马拉雅构造结、喀喇昆仑地区、西昆仑和帕米尔构造结等地区开展了裂变

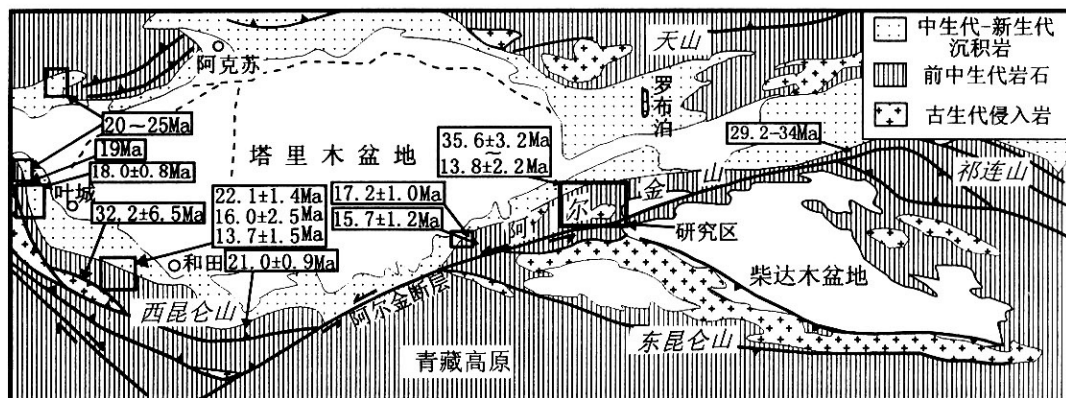


图1 青藏高原北缘地质简图及部分裂变径迹测试结果分布图

Fig.1 Simplified geological map of northern edge of the Qinghai-Tibetan plateau and the distribution of some fission track results

径迹的热年代学研究(丁林等, 1995; Edward 等, 江万等, 1997, 1998; 王军, 1998; 王彦斌等, 1998)。研究中主要是利用横穿阿尔金山脉的地质构造剖面(图2, 3), 根据磷灰石裂变径迹测试分析, 来探讨阿尔金山脉的隆升历史。

1 采样位置

研究区位于阿尔金山脉的中段(图2), 区内出露的岩系主要包括下元古界阿尔金群低角闪岩相为

主的变质岩系、中元古界的碎屑岩-火山碎屑岩-碳酸岩沉积、变质碳酸盐岩和古生界的火山-沉积岩及中生界侏罗系等。加里东期、海西期的花岗闪长岩、闪长岩在研究区内都有发育(新疆地质矿产局, 1993)。研究区的构造样式以新生代的大型走滑机制下的变形叠加在前期形变基础上造成多样式、多层次的形变迹象为特征。走向 NEE、与阿尔金山断裂大致平行的 3~4 条断裂破碎带切过研究区, 将研究区分割为三大块体(图3)。

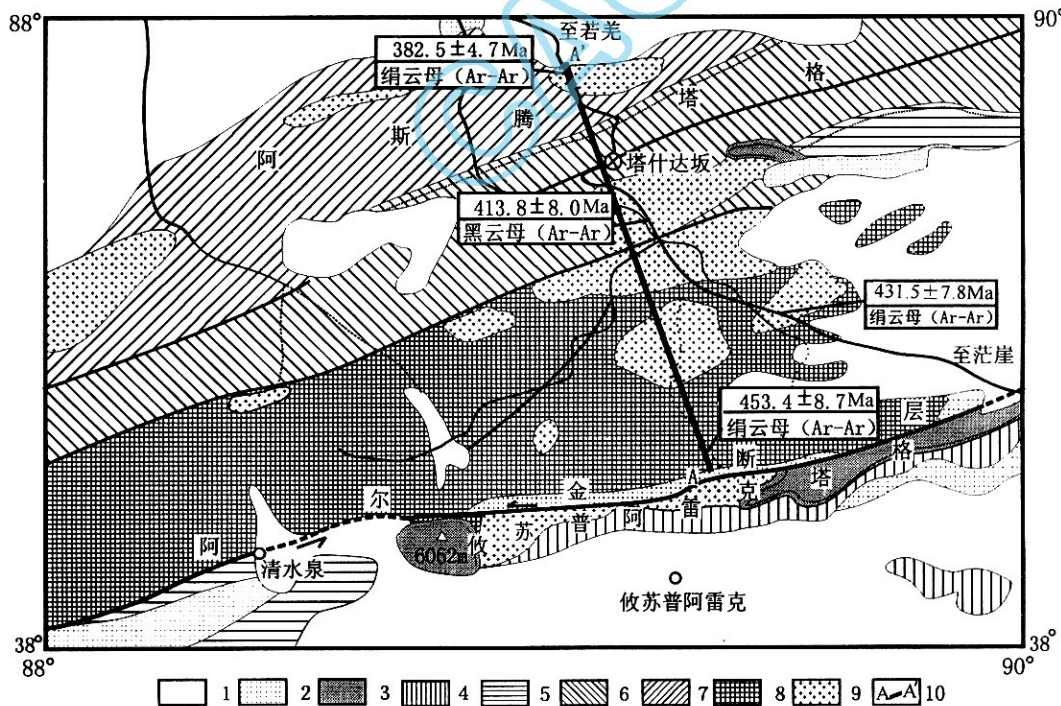


图2 阿尔金山中段地质简图

Fig.2 Simplified geological map in central segment of the Altyn Tagh mountain

1-新生界; 2-第三系; 3-侏罗系; 4-奥陶系; 5-上元古界; 6-中元古界蓟县系; 7-中元古界长城系;
8-下元古界阿尔金群; 9-花岗岩; 10-剖面位置

1-Cenozoic; 2-Tertiary; 3-Jurassic; 4-Ordovician; 5-Upper Proterozoic; 6-Middle Proterozoic; 7-Lower Proterozoic;
9-granite; 10-location of the cross-section

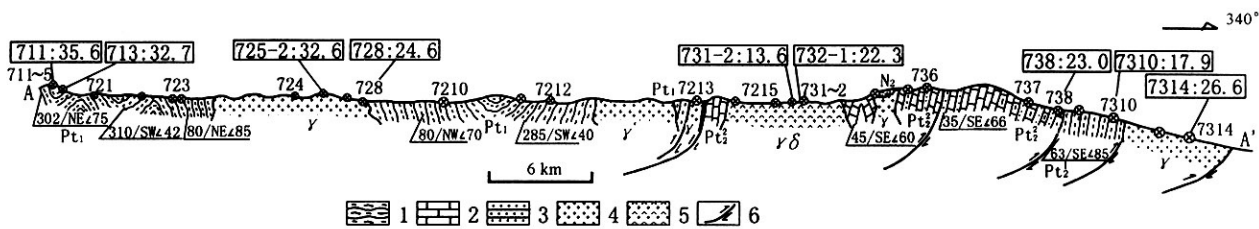


图 3 茫崖-若羌地质构造剖面图
Fig. 3 Cross-section from Mangya to Ruqian
1-片麻岩;2-灰岩;3-砂岩;4-花岗岩;5-花岗闪长岩;6-逆冲断层
1-gneiss; 2-limestone; 3-sandstone; 4-granite; 5-granodiorite; 6-thrust

本文所测样品采样位置见图 3,样品的高程是利用气压计并结合轻便型 GPS 测定的。根据新疆地质志,99711-1、99713-1、99722-2 测定样品都为下元古界阿尔金群的片麻岩,Edward 测定的年龄为 453.4 ± 8.7 Ma (绢云母 Ar-Ar) 的云母片岩 (94MR368)就位于该地层之中(Edward 等,1999);99722-2 发育糜棱状眼球构造;99738 为中元古界片岩;997310 为片麻岩花岗岩;其余样品均为未变形的花岗岩。99725-2 与 99728 为同一岩体,99732-1 与 99731-2 也为同一岩体。根据 Edward 等的 Ar-Ar 测试结果,99732-1 未变形花岗岩中黑云母年龄为 413.8 ± 8.0 Ma (94MR355),997314 花岗岩中绢

云母的年龄为 382.5 ± 4.7 Ma (94MR433) (Edward 等,1999)。

2 测试结果

磷灰石的裂变径迹测试由国家地震局地质研究所采用外探测器法分析。实验程序参考丁林等 (1995,1997) 文献。采用美国国家标准局 SRM612 铀标准玻璃和 Zeta 常数校准法计算裂变径迹年龄,计算公式中的有关参数见文献(丁林,1995,1997)。同时,对样品进行了裂变径迹长度的分析,部分样品由于封闭径迹较少,没有测量(表 1)。

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

样品	高程 m	颗粒数目 个	$RHO_s(N_s)$ $\times 10^5 \text{ cm}^{-2}$	$RHO_t(N_t)$ $\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$	$P(x^2)$ %	r	t /Ma	径迹长度 $\mu\text{m}\cdot\text{条}^{-1}$
99711-1	4196	40	0.753(134)	5.101(908)	100	0.987	36.4 ± 3.2	—
99713-1	3993	43	0.571(89)	4.064(634)	100	0.949	31.6 ± 3.0	$10.01 \pm 3.14(12)$
99722-2	3691	37	1.741(363)	13.05(2721)	98	0.955	27.1 ± 2.6	$11.97 \pm 2.47(103)$
99725-2	3652	20	5.137(940)	37.70(6899)	9.3	0.892	33.9 ± 3.2	$12.11 \pm 2.14(76)$
99728	3481	28	3.503(662)	32.67(6175)	82	0.938	26.7 ± 2.3	$11.52 \pm 2.38(102)$
997321	3298	30	1.052(111)	10.65(1124)	100	0.968	22.4 ± 2.1	$10.64 \pm 1.96(25)$
99731-2	3085	9	0.889(20)	16.13(363)	91	0.608	13.8 ± 2.2	—
99738	2914	40	0.440(66)	4.793(719)	100	0.913	19.7 ± 2.8	—
997310	2627	15	0.585(24)	7.415(304)	100	0.903	18.8 ± 2.3	—
997314	2271	30	1.570(234)	14.28(2127)	100	0.945	28.4 ± 2.7	$10.12 \pm 1.99(53)$

注: $t = \ln(1 + \lambda_D \times \zeta \times \rho_s \times \rho_t) / \lambda_D$, $\zeta = (e^{\lambda_D \times DT_{std}} - 1) / (\lambda_D \times (\rho_s / \rho_t)_{std} \times \rho_d)$ 。实验条件为:磷灰石蚀刻条件为 7% HNO₃;室温 35℃;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 = 352.4 ± 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;P-检验参数;括号内数字表示为平均数。

3 讨论

所有样品的径迹年龄位于 35.6~13.6 Ma 之间,表明阿尔金山脉的隆升开始于渐新世,并一直延续到中新世。从总体上看,海拔高的样品具有较大的年龄值,反映了各样品随隆升先后通过退火带而产生裂变径迹这一事实。

阿尔金山脉被 3 条 NEE 走向的断裂破碎带分割成 3 个块体(图 2)。表 1 显示出,在每个块体内磷灰石的裂变径迹年龄都随着海拔高程的减小而变小,但在每条断裂带的两侧裂变径迹年龄与高程为负相关,反映了阿尔金山脉的隆升并不是呈整体状,NEE 走向的断裂带也控制了局部山体的隆升历史。

目前关于阿尔金断裂走滑的启动时间,国内外诸多学者说法不一:周勇等(1999)认为,阿尔金断裂是一条元古界发生、且一直延续活动至今的古老断裂;许志琴等强调了阿尔金断裂自早古生界以来曾经历了多期的活动(许志琴等, 1997; Edward 等, 1999);黄汉纯等(1987)和崔军文等(1998)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;而葛肖虹等根据柴达木盆地反“S”型构造演化,推测阿尔金断裂是从始新世才开始发生大规模的走滑(葛肖虹等, 1998; Metrivier 等, 1998; Yue 等, 1999); Peter 等(1997)和 Yin 等(1999)根据阿尔金山前新生代沉积学研究认为,阿尔金断裂大规模的走滑开始于渐新世;刘永江等(2001)根据新生云母矿物微区激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年结果,推断阿尔金断裂走滑起始于晚白垩纪(89~92 Ma)。根据本文磷灰石裂变径迹测试结果,如果阿尔金山脉的隆升是由于阿尔金断裂左行走滑所引起的,那么阿尔金左行走滑的起始时间应是渐新世(36 Ma)。这与 Peter 和尹安等地质学家的结论相一致。

结合样品高程,利用“径迹年龄-地形高差法”计算了同一块体内岩体或同一层位的片麻岩在各个年龄段内的平均视隆升速率。如果花岗岩侵位以后的冷却是由于构造抬升和侵蚀的结果,那么可以计算出采样点处的岩石抬升到现在海拔高度的平均抬升速率,称外推法。取平均年龄为径迹年龄,磷灰石的封闭温度为 120 °C,地温梯度为 40 °C/km,计算结果如表 2 所示。结果显示,阿尔金山脉从渐新世至今的平均隆升速率为 0.19~0.42 mm/a,早期各个年龄段内(27~31 Ma、31~36 Ma、26~33 Ma、13~22 Ma)的视平均速率处于 0.02~0.07 mm/a 之间,

明显偏小。因而,推测在后期(第三纪晚期或第四纪)研究区存在一个相对快速的隆升阶段。区域地质、构造、沉积等项研究也揭示了第三纪末期至第四纪早期在青藏高原北部普遍存在一期的构造变形(Chen 等, 2000),但磷灰石的裂变径迹年龄中没有年轻的值(小于 10 Ma)。这或许与磷灰石的封闭温度有关,因为,磷灰石裂变径迹年龄只记录了岩石通过大约 2.5 km 深时的年龄,当岩石剥露至地壳更浅部时,磷灰石的裂变径迹就无法反应,因而更晚期山脉的快速隆升历史没有在磷灰石中记录下来。花岗岩和片麻岩中的裂变径迹长度大致相等,集中于 10~12 μm 之间,都表现较明显的冷却型分布特征,反映出二者大致具有相似的冷却-退火历程。

表 2 阿尔金山脉隆升速率计算结果表

Table 2 Uplift rates of the Altyn Tagh

样品号	高程 m	径迹年龄 Ma	平均隆升速率 $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$	视隆升速率 $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$
99711-1	4196	36.4 ± 3.2	0.195	0.042
99713-1	3993	31.6 ± 3.0	0.206	0.067
99722-2	3691	27.1 ± 2.6	0.216	—
99725-2	3652	33.9 ± 3.2	0.196	0.021
99728	3481	26.7 ± 2.3	0.253	—
99732-1	3298	22.4 ± 2.1	0.271	0.024
99731-2	3085	13.8 ± 2.2	0.429	—
99738	2914	19.7 ± 2.8	0.246	—
997310	2627	18.8 ± 2.3	0.300	—
997314	2271	28.4 ± 2.7	0.189	—

Erich 等在西昆仑山前新生代逆冲地层下盘片麻岩中,得到磷灰石的裂变径迹年龄为 13.7~22.1 Ma;阿尔金山脉北西缘江孜勒萨依地区出露的侏罗系和中元古代片麻岩中磷灰石的年龄分别为 15.7 ± 1.2 Ma 和 17.2 ± 1.0 Ma(Erich 等, 1997);Peter 等(1997)在甘肃肃北地区第三系的碎屑岩中得到磷灰石的年龄为 29.4~32 Ma;Edward 等(1997)通过喀拉昆仑、西南天山地区磷灰石的裂变径迹年龄,证明在青藏高原北部存在 20~25 Ma 山脉的快速剥露事件;王军等(1998)在西昆仑卡日巴子岩体中也发现有 19 Ma 磷灰石裂变径迹年龄。最近,尹安等与地质力学研究所合作,测试分析了于田南疆地区片岩、西昆仑古生代花岗岩和叶城西叶尔羌河地区花岗岩内的磷灰石,结果分别为 21.0 ± 0.9 Ma、 32.2 ± 6.5 Ma 和 18.0 ± 0.8 Ma(未公开发表的数

据)。图1中的这些数据表明了青藏高原北缘山脉的抬升普遍开始于渐新世-中新世期间。Edward等认为,该期次的山脉隆升与印度板块与亚洲板块之间的碰撞有关。现有的地球物理资料表明,塔里木地块存在向南的俯冲作用(高锐等,2000),虽然目前对向南的俯冲作用的起始时间、俯冲位移量及其所导致的块体间汇聚量等都有待于进一步的深入,但笔者推测,青藏高原北缘大规模的、整体的山脉隆升与塔里木盆地的向南俯冲有关。

致谢 国家地震局地质研究所万景林先生为本项目完成了样品的测试分析工作,并与笔者进行了有益的探讨;肖序常院士对本项测试工作给予关心、支持和鼓励,在此表示深切的谢意。

参考文献

- 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.
- 丁林.1997.裂变径迹定年方法的进展及应用.第四纪地质,(3):272~279.
- 高锐,黄东定,卢德源等.2000.横过西昆仑造山带与塔里木盆地结合带深地震反射剖面.科学通报,45(17):1874~1879.
- 葛肖虹,张梅生,刘永江等.1998.阿尔金断裂研究的科学问题与研究思路.现代地质,12(3):295~301.
- 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.
- 江万,莫宣学,赵崇贺等.1998.矿物裂变径迹年龄与青藏高原隆升速率研究.地质力学学报,4(1):13~17.
- 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.
- 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.
- 王彦斌,王军,王世成.1998.高喜马拉雅地区聂拉木花岗岩快速抬升的裂变径迹证据.地质论评,44(4):431~434.
- 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.
- 许志琴,张建新,许惠芬等.1997.中国主要大陆山链韧性剪切带及动力学.北京:地质出版社,39~109.
- 张岳桥,陈正乐,杨农.2001.阿尔金断裂晚新生代左旋走滑位移的地质新证据.现代地质,15(1):8~12.
- tonomous Region. 1993. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House: 1~285 (in Chinese with English abstract).
- 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).
- Chen Zhengle, Zhang Yueqiao, Wang Xiaofeng et al. . 2000. Sedimentary Process of the Cenozoic Basin and its Response to the Slip-History of the Altyn Tagh Fault. NW China. Earth Science Frontiers, 7 (Sup.): 245~246.
- 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).
- Ding Lin. 1997. Progress and application of the fission track dating. Quaternary Sciences, 3: 272~279 (in Chinese).
- Erich C, An Y, Peter R et al. . 1997. Kinematics of the central Altyn Tagh fault system. NW China. Eos, Transactions, AGU.
- Edward R, Nicolas A. 1999. A possible middle Paleozoic suture in the Altyn Tagh. NW China. Tectonics, 18(1): 64~74.
- 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.
- Gao Rui, Huang Dongding, Lu Deyuan et al. . 2000. Deep earthquake reflection profile across the conjunction of the west Kunlun orogenic belt with the Tarim basin. Chinese Sciences Bulletin. 45(17): 1874~1879 (in Chinese).
- Ge Xiaohong, Zhang Meisheng, Liu Yongjiang et al. . 1998. Scientific problems and thought for research of the Altun fault. Geoscience, 12(3): 295~301 (in Chinese with English abstract).
- 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).
- Jiang Wang, Mo Xuanxue, Zhao Chonghe et al. . 1998. Mineral fission track dates and research on uplifting velocity of Qinghai - Xizang plateau. Journal of Geomechanics, 4(1): 13~17 (in Chinese with English abstract).
- 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).
- Meyer B, Tapponnier P, Bourjot L et al. . 1998. Crustal thickening in Gansu-Qinghai, Lithospheric mantle subduction, and oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet plateau. Geophysical Journal International, 135: 1~47.
- Metivier F, Gaudemer Y, Tapponnier P et al. . 1998. Northeastward growth of the Tibet plateau deduced from balanced reconstruction of two sedimentary basins: the Qaidam and Hexi corridor. Tectonics, 17: 823~842.
- Pelzer G, Tapponnier P, Armijo R. 1989. Magnitude of late Quaternary left-lateral displacements along the northern edge of Tibet. Science, 246: 1285~1289.
- Peter R, An Y, Rick R et al. . 1997. Oligocene initiation of deformation of northern Tibet, evidence from the Tarim basin. NW China, Abstract for GSA.
- 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).
- Wang Yinbin, Wng Jun, Wang Shicheng. 1998. Fission track evidence for rapid uplift of the Nyalan. Higher Himalayan, Tibet China. Geological Review, 44(4): 431~434 (in Chinese with English ab-

References

- An Y, Wang X, Mark H et al. . 1999. Preliminary results from a collaborative geologic investigation of Altyn Tagh fault, North Tibet. 14th HKT workshop, 185~186.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Au-