

东昆仑及相邻地区中生代—新生代早期构造过程的热年代学记录

王国灿¹, 向树元¹, 王 岸¹, John I. Garver², Robert P. Wintsch³, 张克信¹

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. Department of Geology, Olin Center, Union College, Schenectady, New York 12308 2311, U.S.A

3. Department of Geological Sciences, Geology Building, Indiana University, Bloomington, Indiana 47405 1403, U.S.A

摘要: 针对东昆仑及相邻地区研究较薄弱的中生代—新生代早期时段的构造过程提供了系列新的热年代学资料. 不同热年代学方法综合揭示了东昆仑及相邻地区在中生代—新生代早期至少存在 3 次明显的热事件记录. 第一次大约启动于 200 Ma 的晚三叠世晚期, 并可能一直延续到中侏罗世之交, 是一次具有广泛影响并奠定造山带区域构造格架的构造热事件. 区域动力背景可能和南部羌塘地块与昆仑地块的碰撞、松潘—甘孜—巴颜喀拉浊积盆地闭合相关. 第二次发生在大约 130~150 Ma 的早白垩世, 并可能延续到早白垩世末, 主要表现为系列区域性 NWW-SEE 向的挤压性断裂活动, 可对应于白垩纪时期拉萨地块沿班公湖—怒江缝合带与欧亚大陆的增生拼贴事件. 第三次为大约 56~45 Ma 的古新世, 表现为一期伸展抬升. 热年代学记录与零星保存的地质记录具有良好的匹配性, 并对构造过程提供了更确切的时间限定.

关键词: 东昆仑; 中生代—新生代早期; 热年代学.

中图分类号: P534

文章编号: 1000-2383(2007)05-0605-10

收稿日期: 2007-06-16

Thermochronological Constraint to the Processes of the East Kunlun and Adjacent Areas in Mesozoic – Early Cenozoic

WANG Guo can¹, XIANG Shu yuan¹, WANG An¹, John I. Garver², Robert P. Wintsch³, ZHANG Ke xin¹

1. Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Department of Geology, Olin Center, Union College, Schenectady, New York 12308 2311, U.S.A

3. Department of Geological Sciences, Geology Building, Indiana University, Bloomington, Indiana 47405 1403, U.S.A

Abstract: This paper displays some new thermochronological data on the tectonic processes of the East Kunlun and its adjacent areas in Mesozoic Early Cenozoic, which were less investigated before. Three thermal events are revealed by different thermochronological methods. The first thermal event, which was a regional tectonic thermal event and established regional tectonic framework, started up at about 200 Ma and lasted to the interim of the early middle Jurassic. Its dynamics can be related to the closure of the Songpan Ganzi Bayan Har Triassic turbidite basin and the collision between the Qiangtang block and the Kunlun block. The second thermal event, mainly shows a series of NWW-SEE regional faults activity, occurred at about 130–150 Ma and lasted to about 100 Ma, the end of Early Cretaceous. The dynamics of this thermal event can be correspond to the collision between the Lhasa block and the Eurasia plate along the Bangong Nujiang suture zone. The last one happened at about 56–45 Ma, showing a extension coursed uplift. The thermochronological records match well to the geological records which fragmentarily presented in the study area and provide a more certain constraint to the tectonic processes.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (Nos. 40672137, 40372104); 中国地质调查局项目“青藏高原新生代地质作用过程与第四纪环境演变综合研究”(No. 1212010610103); “青海 1:5 万库赛湖幅(146C001002); 不冻泉幅(146C001003) 区域地质调查(No. 200313000005)”、“青海 1:5 万阿拉克湖幅(146C001001) 区域地质调查(No. 19991300004021)”和“青海 1:5 万冬给错纳湖幅区域地质调查”(No. 146C001002).

作者简介: 王国灿(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 长期从事造山带地质和构造年代学研究. E-mail: wgcan@cug.edu.cn

Key words: East Kunlun; Mesozoic Early Cenozoic; thermochronology.

0 引言

青藏高原东北部地质过程研究长期以来较多地集中在两个时段,一是古生代—早中生代的古特提斯洋的形成与消亡过程(姜春发等, 1992; 潘裕生等, 1996; 潘桂堂等, 1997; 郭正府等, 1998),二是新近纪以来高原地貌的抬升崛起过程(崔之久等, 1996, 1998; 李吉均等, 1996; 李长安等, 1999; 施雅凤等, 1999; Wu *et al.*, 2001; 王国灿等, 2002)。介于期间的中生代—新生代早期的构造过程则由于地层和地质年代记录的零星而研究十分薄弱。最近一些年,不断积累的年代资料揭示青藏高原东北缘在中生代—早新生代存在十分复杂的构造过程。在阿尔金造山带, Jolivet *et al.* (2001)通过主要来自阿尔金山的锆石和磷灰石裂变径迹年龄资料探讨了青藏高原北缘中—新生代构造过程, 裂变径迹年龄显示, 阿尔金晚三叠世—早侏罗世存在一次快速冷却, 其后在中侏罗世表现为缓慢冷却, 并一直延续到大约(40 ± 10) Ma。李海滨和杨经绥(2004)注意到阿尔金断裂东端与祁连山交汇处白垩纪火山岩活动与阿尔金断裂走滑活动、祁连山的隆升之间的关系, 根据火山岩的年龄, 指出青藏高原北部在白垩纪有明显的快速隆升。刘永江等(2000)测得阿尔金断裂糜棱岩化的加里东期的花岗岩中白云母 Ar/Ar 年龄是 89.2 Ma, 断层附近侏罗纪变沉积地层两个韧性变形样品中黑云母 Ar/Ar 年龄为 91.7 Ma, 白云母 Ar/Ar 年龄为 97.7 Ma, 认为其代表了阿尔金断裂在白垩纪时期发生的一期重要走滑活动。Yuan *et al.* (2003)根据南北向横穿东昆仑的 42 件磷灰石裂变径迹年龄样品, 揭示了东昆仑在 240 ~ 20 Ma 的缓慢冷却及其后的相对快速冷却过程。然而, 东昆仑地区系列 Ar/Ar 年龄测试结果也较集中的记录了早白垩世的冷却事件(Mock *et al.*, 1999; Liu *et al.*, 2005)。尽管不同学者得出的结论存在一定的矛盾之处, 但从已有的热年代学资料显示, 青藏高原北部中生代—新生代早期存在较为复杂的构造过程。

笔者近年来在东昆仑地区进行系列基础地质调查与研究, 积累了诸多年代学资料, 本文拟就这些年代学成果, 结合东昆仑地区零星保存的地质记录和前人资料, 对东昆仑地区中生代—早新生代的构造过程提供更多的时间约束, 并为揭示整个青藏

高原东北缘地区中生代—早新生代地质过程提供基础资料。

1 中生代—新生代早期构造过程的热年龄学记录

1.1 巴颜喀拉山群碎屑锆石裂变径迹颗粒年龄记录

对来自东昆仑南侧巴颜喀拉山群 5 件砂岩碎屑锆石进行颗粒裂变径迹年龄分析(图 1), 结果见表 1。有关的详细说明将另文阐述, 这里主要对其进行结论性说明。从年龄结构来看, 5 件样品中的 3 件出现 2 个峰值年龄, 另外 2 件出现 2 个峰值年龄。靠北侧的 3 件样品其 2 个较老的峰值年龄相近, 分别介于 282.2 ~ 292.4 Ma (P3) 和 170.4 ~ 183.7 Ma (P2), 样品 0955 1 获得 136.9 Ma (P1) 的最年轻的峰值年龄。靠南部的 2 件样品, 其 2 个较老的峰值年龄也十分相近, 分别为 237.6 Ma、236.5 Ma 和 162.9 Ma、177.0 Ma, 样品 A P25 7 2 也产生 142 Ma 的 P1 年龄, 类似于靠北侧样品 0955 1 的最年轻的峰值年龄。

5 件样品中靠北侧的 3 件样品都出现 282.2 ~ 292.4 Ma 的明显的 P3 峰值, 这一年龄和北部东昆仑地区剥露的晚古生代花岗质侵入岩主体时间大体吻合, 因此有可能反映了剥露源区东昆仑地区的花岗岩的年龄信息。靠南部的 2 件样品的最老的峰值年龄 237.6 Ma 和 236.5 Ma 可以解释为样品的沉积年龄, 因为在样品中, 年龄为 230 Ma 左右的锆石颗粒绝大多数呈现出自形或破裂的自形形态, 而一些具有更老年龄的颗粒无一例外地表现出良好圆化的形态, 这就意味着裂变径迹年龄在 230 Ma 左右的颗粒可能是来自同沉积喷发的中酸性火山岩的岩浆锆石, 从而可以反映其沉积时间。

所有的 5 件样品都出现大约 170 ~ 185 Ma 的 P2 年龄, 并且 P2 年龄的锆石颗粒占据了测年锆石的主体部分, 形成最大峰值, 因此它应该是巴颜喀拉山群砂岩在沉积后的一次构造热事件的反映, 需要说明的是这一构造热事件并没有完全重置所有锆石颗粒的裂变径迹, 从而使得样品依然出现更老的年龄峰值 P3。意味着这一构造热事件对锆石裂变径迹来说依然是部分重置, 其峰期温度应该不高于锆石

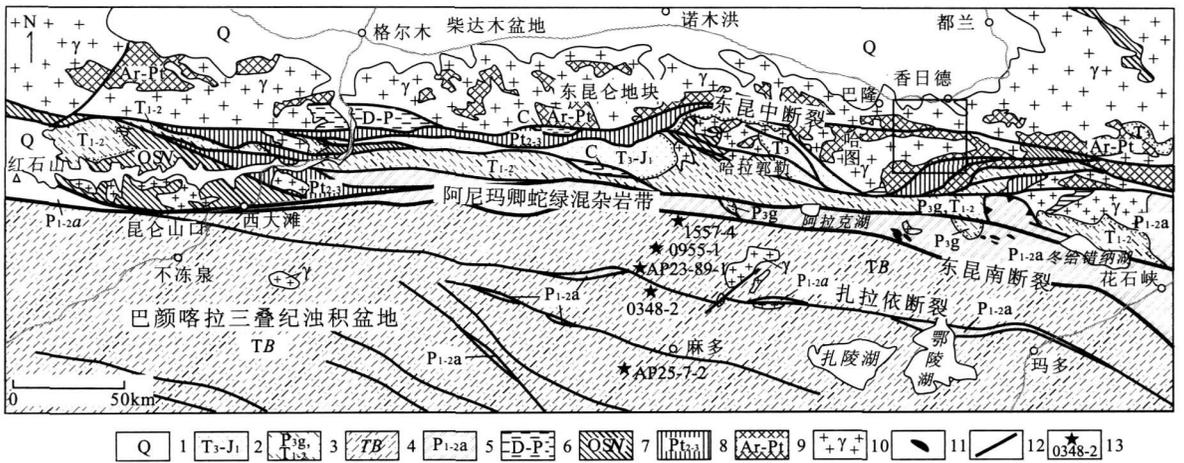


图1 东昆仑中段地质简图(图中方框示图4范围)

Fig. 1 Simplified geological map of the middle eastern Kunlun

1. 第四系; 2. 上三叠统(八宝山组)一下侏罗统(羊曲组)陆相火山碎屑含煤建造; 3. 上二叠统(格曲组)一中下三叠统(洪水川组、闹仓堡组、希里可特组)河流-滨浅海相砂砾岩、碳酸盐岩-一半深海相碎屑复理石建造, 含火山岩; 4. 三叠统巴颜喀拉山群碎屑浊积岩; 5. 中下二叠统阿尼玛卿蛇绿混杂岩系; 6. 泥盆系-二叠系(牦牛山组、哈拉郭勒组、浩特诺洼组)陆相碎屑磨拉石建造, 火山岩建造-浅海碳酸盐岩建造; 7. 奥陶系-志留系纳赤台岩群构造混杂岩系; 8. 中上元古界(冰沟群和万宝沟群)碳酸盐岩及玄武岩; 9. 太古界-元古界片麻岩、大理岩和石英岩; 10. 不同时代花岗岩侵入体; 11. 超镁铁岩 12. 主要断裂; 13. 巴颜喀拉山群碎屑锆石裂变径迹样品取样点及样品编号

表1 三叠纪巴颜喀拉山群砂岩碎屑锆石裂变径迹年龄

Table 1 Detrital zircon fission track ages of sandstones of the Bayan Har Group

样号	岩性	颗粒数	中值年龄 (Ma)	χ^2 年龄 (Ma)	Peak1 年龄 (Ma)	Peak2 年龄 (Ma)	Peak3 年龄 (Ma)
			212.3	194.2		182.9	292.4
1557 4	砂岩	54	- 10.6/+11.2	- 7.2/+7.5		- 8.1/+8.5 (71.8%)	- 21.8/+23.5 (28.2%)
			179.8	155.6	136.9	183.7	286.0
0955 1	砂岩	38	- 9.7/+10.3	- 5.8/+6.0	- 7.8/+8.2 (37.9%)	- 11.4/+12.2 (37.9%)	- 19.7/+21.1 (24.2%)
			201.7	186.9	170.4	282.2	
AP23 89 1	砂岩	19	- 13.5/+14.5	- 8.9/+9.4	- 10.8/+11.6 (65.3%)	- 25.9/+28.4 (34.7%)	
			189.2	188.2		162.9	237.6
0348 2	砂岩	34	- 9.2/+9.6	- 7.6/+7.9		- 8.9/+9.4 (58.9%)	- 15.8/+16.8 (41.1%)
			171.4	164.0	142.0	177.0	236.5
AP25 7 2	砂岩	49	- 6.9/+7.2	- 5.8/+6.0	- 11.0/+12.0 (29.0%)	- 10.9/+11.6 (58.3%)	- 29.0/+33.0 (12.7%)

注: 峰值年龄 (Peak 年龄) 中的百分数表示在该年龄误差范围内的颗粒百分比。

裂变径迹部分愈合带的上限, 即不高于 240 °C。这一年龄峰值和地质上显示的松潘-甘孜-巴颜喀拉山三叠纪浊积盆地的闭合事件相协调, 根据区域地层、构造和地质年代学资料, 松潘-甘孜-巴颜喀拉山三叠纪浊积盆地快速加厚填充发生在晚三叠世, 不整合于其上的最老地层为早中侏罗世 (Burchfiel *et al.*, 1995), 反映盆地在晚三叠世开始闭合, 但是到早侏罗世才结束 (Chen *et al.*, 1994, 1996; Burch

fiel *et al.*, 1995; Worley and Wilson, 1996; Bru guier *et al.*, 1997; Chen and Arnaud, 1997; Yin and Harrison, 2000). 因此三叠世-早侏罗世是一长期的从沉积加载演化到构造加载的过程, 170~185 Ma的碎屑锆石裂变径迹年龄略滞后于早侏罗世的最大构造加载时间, 反映峰期热事件滞后于峰期构造作用时间, 因此 170~185 Ma 代表了这次构造热事件的结束。

5 件样品中的 2 件分别出现 137 Ma 和 142 Ma 的最年轻的峰值年龄(P3), 其应该是巴颜喀山群经历的另一构造热事件的反映, 然而, 其年龄峰值强度远远低于 P2(170~185 Ma), 并且出现 P3 的 2 件样品均靠近 NWW-SEE 向的区域性断裂, 具有明显的空间联系, 因此这一构造热事件很可能主要表现为沿 NWW-SEE 向的区域性断裂活动。

1.2 阿尼玛卿晚古生代蛇绿构造混杂岩的锆石 U-Pb SHRIMP 年龄记录

对格尔木以南东昆仑山红石山一带的红石山构造混杂岩带中片理化变玄武岩进行锆石 U-Pb SHRIMP 年龄测试的结果也揭示了中生代的构造-热事件的年代信息。出露于红石山一带的构造混杂岩是阿尼玛卿晚古生代蛇绿构造混杂岩带向西的延伸(图 2)。和整个阿尼玛卿蛇绿构造混杂岩相似, 这里片理化的变玄武岩也与一套早中二叠世的海绵生物礁灰岩在空间上密切伴生, 体现原始的古特提斯洋的洋岛-海山结构。生物灰岩中大量的蜓、珊瑚和腕足化石反映早中二叠世的沉积年龄。阿尼玛卿构造带不同亚带的主期变形呈现为由北向南的韧性逆冲或褶皱-逆冲变形, 生物礁灰岩和包括变玄武岩在内的混杂岩系多表现为构造接触, 且往往呈无根状与原玄武岩脱离而构造推覆于阿尼玛卿蛇绿构造混杂岩系之上, 在南部还可见其推覆于巴颜喀拉山群之上。

对锆石 U-Pb SHRIMP 年代分析结果显示, 其年龄结构较分散, 所测的 17 个颗粒年龄最老的

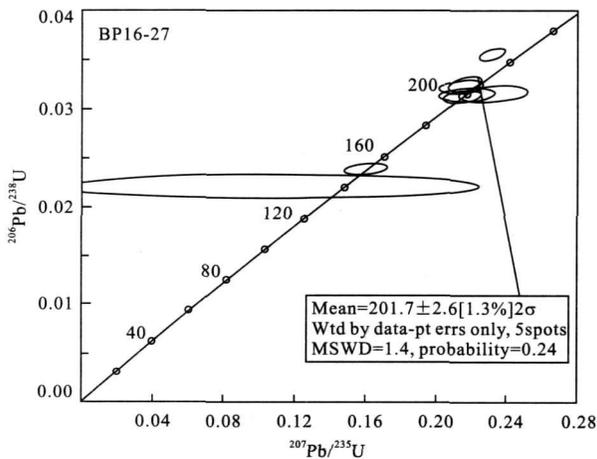


图 2 变玄武岩(BP16 27) 锆石 U-Pb SHRIMP 年龄谐和图
Fig. 2 Concordia plot for zircons of foliated basalt (sample BP16 27) from the early middle Permian A'nymaqen mélange at the Hongshishan area

$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 2802 Ma, 为捕获或残留锆石, 最年轻的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 141.5 Ma(表 2)。从年龄结构分布来看, 在 200 Ma 左右存在明显的群组, 5 个谐和的颗粒年龄的平均值为 (201.7 ± 2.6) Ma(图 2), 应该是阿尼玛卿构造带主期韧性变形年龄的反映; 另外两个较年轻的颗粒的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 (141.5 ± 5.0) Ma 和 (152.1 ± 2.2) Ma, 是燕山期构造活动的表现。两组事件的年龄与巴颜喀拉山碎屑锆石裂变径迹测年揭示的两期构造热事件年龄协调一致, 反映两期构造热事件为区域性的构造-热事件。和巴颜喀拉山群相比, 沿阿尼玛卿构造带的构造热活动影响了锆石 U-Pb 体系的热重置, 红石山一带构造混杂岩系的区域动力变质作用达低角闪岩相, 明显较南部巴颜喀山群的低绿片岩相深。这些都说明沿阿尼玛卿构造带既是强构造变形带, 也是热活动强化带。

1.3 东昆仑巴隆乡哈拉郭勒-哈图一带中生代岩石抬升剥露的锆石裂变径迹年龄记录

东昆仑地区东段巴隆乡哈图一带花岗岩区的锆石裂变径迹年龄显示与高程呈现良好的线性关系(图 3a), 线性回归计算出的 152~181 Ma 间的绝对平均抬升速率约为 47.2 m/Ma。其中, 较早期(181~172 Ma)平均抬升速率约 88 m/Ma, 而较晚期(172~152 Ma)平均抬升速率约 37 m/Ma。哈拉郭勒一带不同高程的火山岩样品锆石裂变径迹年龄与三叠纪变质砂岩碎屑锆石裂变径迹颗粒年龄的最小峰值年龄(P1)组合也呈现出总体随高程增高而年龄增大的趋势(图 3b), 据火山岩和变质砂岩颗粒锆石裂变径迹 P1 峰值年龄与样点海拔高程之间关系得出 148~170 Ma 间的平均抬升速率为 35.7 m/Ma, 并且 170~160 Ma 间具有相对较快的抬升, 抬升速率约 77 m/Ma, 而 160~148 Ma 间抬升速率极为缓慢, 约 9 m/Ma。抬升速率呈减慢趋势。哈图和哈拉郭勒锆石裂变径迹年龄显示的岩石抬升作用从中侏罗世到晚侏罗世的减慢趋势预示着在更早时期(即晚三叠世晚期)存在一次构造强抬升事件, 锆石裂变径迹所记录的中晚侏罗世抬升速率的减慢应该反映的就是这一强构造抬升期的逐渐衰退。有关详细内容和讨论, 笔者曾发表专文讨论(王国灿等, 2003), 在此不赘述。

1.4 东昆仑香日德西南部布尔汗布达山北坡中生代晚期-古近纪岩石抬升剥露的磷灰石裂变径迹年龄记录

东昆仑香日德西南部布尔汗布达山北坡海西期

表 2 红石山早中二叠世阿尼玛卿构造混杂岩系片理化变玄武岩 (BP16-27) 锆石 U-Pb SHRIMP 年龄分析结果

Table 2 Zircon U-Pb SHRIMP age dating results of foliated basalt (sample BP16-27) from the early middle Permian Anyimaqen mélangé at the Hongshishan area

测点	U ($\times 10^6$)	Th ($\times 10^6$)	$^{232}\text{Th}/$ ^{238}U	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\times 10^6$)	$^{206}\text{Pb}_e$ (%)	$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb	$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	年龄 (Ma)	
									$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
BP16 27 6.2	518	509	1.01	236	0.02	0.197 1	14.39	0.529 4	2 739 \pm 27	2 802 \pm 39
BP16 27 6.3	277	197	0.74	15.9	0.14	0.057 1	0.525	0.066 73	416.4 \pm 5.8	495 \pm 5.9
BP16 27 6.4	677	273	0.42	44.2	0.27	0.054 5	0.570	0.075 9	471.4 \pm 6.0	393 \pm 6.2
BP16 27 6.5	760	417	0.57	20.5	0.43	0.049 8	0.214 7	0.031 28	198.5 \pm 2.7	185 \pm 2.7
BP16 27 6.6	4 357	117	0.03	133	0.06	0.047 29	0.231 7	0.035 53	225.1 \pm 2.5	64 \pm 2.5
BP16 27 6.8	300	29	0.10	86.6	0.04	0.115 86	5.359	0.335 5	1 865 \pm 26	1 893 \pm 29
BP16 27 6.10	521	287	0.57	10.7	0.54	0.048 6	0.160 2	0.023 88	152.1 \pm 2.2	131 \pm 2.2
BP16 27 2.1	131	333	2.63	15.1	0.65	0.062 8	1.153	0.133 2	806 \pm 15	701 \pm 15
BP16 27 2.3	300	149	0.51	21.0	1.00	0.063 7	0.708	0.080 6	500 \pm 11	732 \pm 11
BP16 27 2.4	703	194	0.29	19.6	0.62	0.048 2	0.214 4	0.032 25	204.6 \pm 2.7	109 \pm 2.8
BP16 27 2.5	2 321	125	0.06	397	0.36	0.078 5	2.147	0.198 3	1 166 \pm 12	1 160 \pm 13
BP16 27 2.6	2 765	176	0.07	582	0.21	0.089 3	3.01	0.245	1 410 \pm 94	1 411 \pm 100
BP16 27 2.7	870	136	0.16	23.8	0.97	0.053 4	0.232	0.031 56	200.3 \pm 3.3	346 \pm 3.3
BP16 27 2.8	806	752	0.96	47.5	0.27	0.054 9	0.518	0.068 47	426.9 \pm 5.1	407 \pm 5.2
BP16 27 2.9	1 527	261	0.18	42.8	0.36	0.048 2	0.216 4	0.032 55	206.5 \pm 3.2	110 \pm 3.2
BP16 27 2.10	920	103	0.12	25.1	0.87	0.050 1	0.217	0.031 49	199.9 \pm 2.7	199 \pm 2.7
BP16 27 2.11	220	146	0.68	4.85	13.82	0.035	0.107	0.022 18	141.5 \pm 5.0	700 \pm 3.1

注: (1) 误差为 1σ ; Pb_e 和 Pb^* 分别指示普通铅和放射性成因铅. (2) 标准误差为 0.33% (不包括在上述误差中, 只用于不同台之间的数据比较). (3) 普通铅用实测的 ^{204}Pb 进行校正.

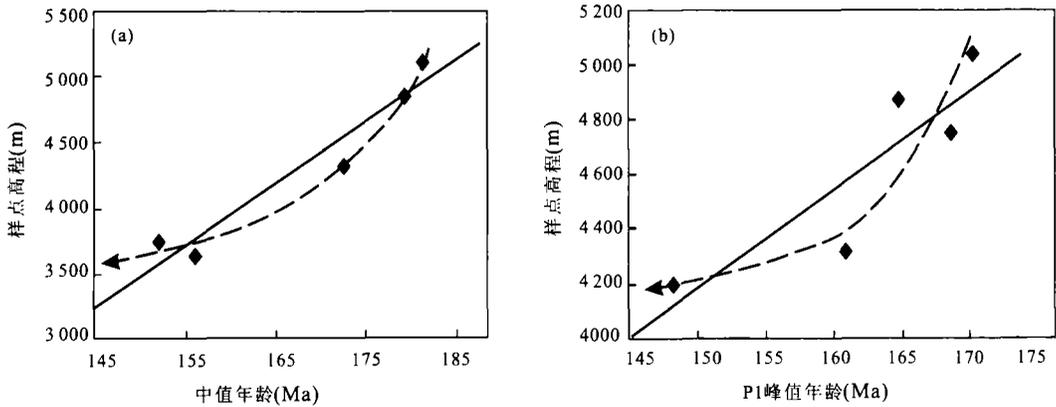


图 3 东昆仑东段巴隆乡哈图和哈拉郭勒一带锆石裂变径迹年龄-样点高程关系

Fig. 3 Relationship between the zircon fission track ages and the sample elevation in the eastern Kunlun mountains

a. 哈图一带侵入岩中锆石裂变径迹年龄随高程的变化; b. 哈拉郭勒南侧三叠纪碎屑岩和火山岩中锆石裂变径迹年龄随高程的变化; 注: 实线为线性回归线. 虚线为样品反映的抬升演化趋势线

花岗岩广泛分布, 东昆中断裂沿主脊北侧近东西向展布, 此外平行东昆中断裂发育系列次级近东西向断裂构造. 为揭示昆仑山岩石差异抬升, 我们对海拔 3 400 ~ 4 600 m 不同高程范围内的海西期花岗岩进行系统磷灰石裂变径迹年龄分析, 有关样品分布及年龄值见图 4, 测试结果见表 3.

不同部位样品年龄值的比较体现了布尔汗布达山北坡在新生代早期存在明显的差异隆升剥露. 样品 0415 1, 0417 1 临近柴达木盆地, 两样品南北相

距很近, 高程类似, 但年龄值差异巨大, 反映 46 Ma 左右存在一次断块差异抬升运动, 南部抬升快, 而北部相对下降. 样品 0325 1 和样品 0255 2、0252 1 分别位于东昆中断裂南北两侧不远, 两者高程也类似, 但同样体现出年龄值的较大差异, 且同样为南新北老, 同样也反映了 45 Ma 左右沿东昆中断裂发生有断块差异抬升运动, 即南快北慢.

另外, 昆中断裂北侧长卡勒 - 乌妥较小的范围内不存在明显的断裂, 相对完整, 不同高程裂变径迹

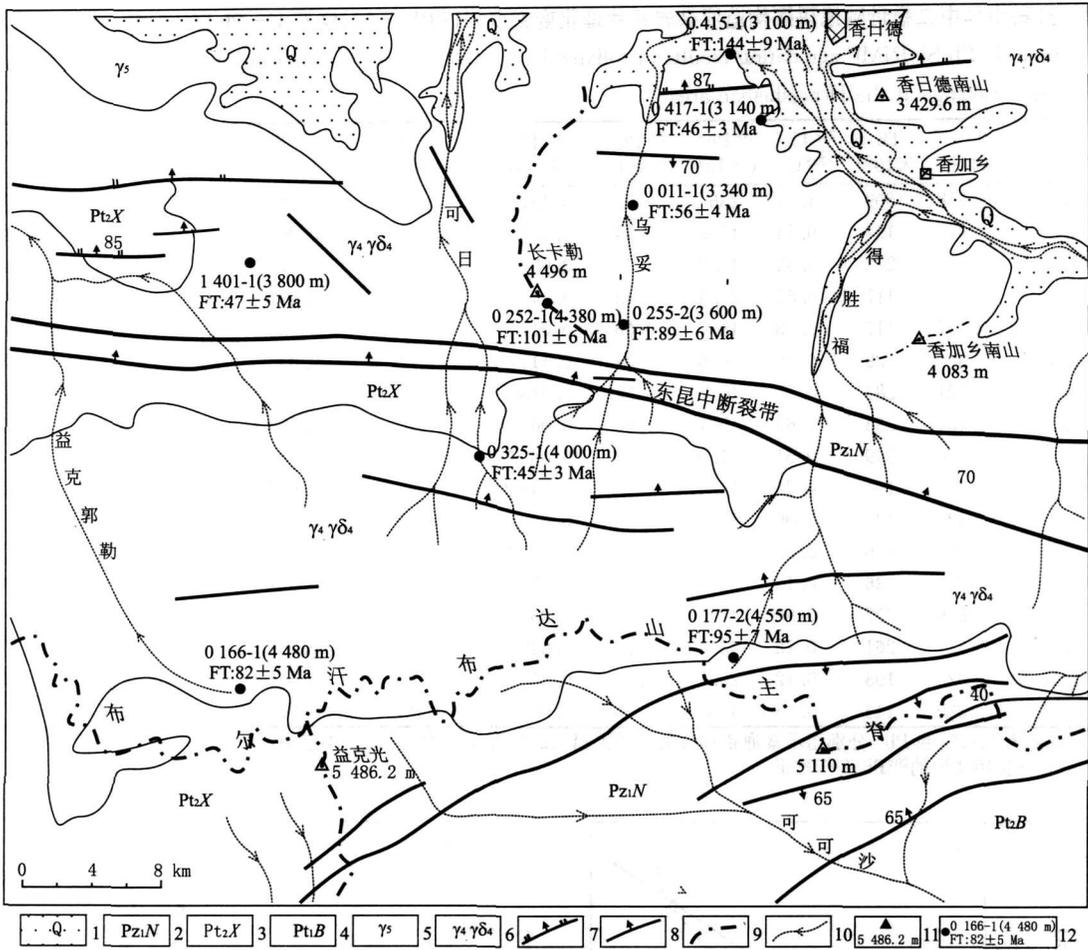


图 4 东昆仑香日德西南部布尔汗布达山北坡地质地貌简图及裂变径迹采样点分布

Fig. 4 Sketch map showing geology, landform and distribution of fission track samples Southwest Xiangri de area, eastern Kunlun
 1. 第四系; 2. 下古生界纳赤台岩群; 3. 中元古界小庙岩群; 4. 古元古界白沙河岩群; 5. 燕山期花岗岩; 6. 海西—燕山期花岗岩或花岗闪长岩; 7. 正断层; 8. 性质不明断层; 9. 主要山脊线; 10. 河流水系及流向; 11. 制高点及标高; 12. 磷灰石裂变径迹年龄样品采样点、样号、样点标高及年龄值

表 3 布尔汗布达山北坡基岩岩石的磷灰石裂变径迹测试结果

Table 3 Results of apatite fission track age dating of the bedrocks from the north slope of the Buerhanbuda Shan, eastern Kunlun

样品编号	岩性	样点高程 (m)	中子通量 $n(\times 10^{15}/\text{cm}^2)$	统计 颗粒数	自发径迹密度 $\rho_s(\times 10^7/\text{cm}^2)$	诱发径迹密度 $\rho_i(\times 10^7/\text{cm}^2)$	ρ_s/ρ_i	径迹年龄 (Ma $\pm 1\sigma$)	平均径迹长度 (μm)
0 415 1	花岗闪长岩	3 100	9. 601	30	0. 105 3	0. 411 0	0. 256 0	144 \pm 9	9. 13 \pm 1. 91
0 417 1	花岗闪长岩	3 140	4. 02	13	0. 073 2	0. 377 3	0. 194 0	46 \pm 3	9. 92 \pm 2. 12
0 011 1	长花岗岩	3 380	9. 601	25	0. 039 3	0. 393 9	0. 099 8	56 \pm 4	8. 78 \pm 1. 43
0 255 2	二长花岗岩	3 600	9. 601	15	0. 070 0	0. 411 0	0. 158 7	89 \pm 6	9. 2 \pm 2. 15
0 252 1	花岗闪长岩	4 380	9. 601	34	0. 066 7	0. 371 0	0. 179 6	101 \pm 6	9. 75 \pm 2. 05
1 401 1	花岗闪长岩	3 800	4. 02	13	0. 029 8	0. 150 0	0. 199 0	47 \pm 5	9. 74 \pm 1. 65
0 325 1	花岗闪长岩	4 000	9. 601	15	0. 070 0	0. 366 0	0. 191 0	45 \pm 3	10. 41 \pm 1. 68
0 166 1	花岗闪长岩	4 480	9. 601	30	0. 053 6	0. 368 1	0. 145 6	82 \pm 5	10. 3 \pm 1. 97
0 177 2	长英质糜棱岩	4 550	9. 601	30	0. 042 3	0. 250 0	0. 169 0	95 \pm 7	8. 82 \pm 1. 98

样品(0252 1, 0255 2, 0011 1, 0417 1)的裂变径迹年龄 画了这一带岩石的抬升历史, 显示出大约 100~90 Ma 显示出随高程的增大而增大的规律变化, 这一变化刻 和 56~46 Ma 两次较快速的抬升(图 5)。其中后一

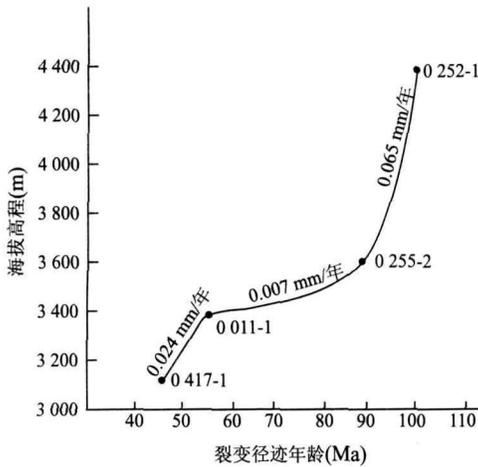


图 5 东昆仑布尔汗布达山北坡长卡勒—乌妥一带磷灰石裂变径迹年龄—高程关系

Fig. 5 Apatite fission track age elevation diagram at the Changkale Wutuo area, the north slope of the Buerhanbuda Shan, eastern Kunlun

阶段快速抬升与上述的裂变径迹年龄所反映的断块的差异抬升时间相协调。

2 东昆仑地区中生代—早新生代构造过程讨论

综合上述热年代学资料, 东昆仑及相邻地区在中生代—新生代早期至少存在 3 次明显的热事件记录。

第一次大约启动于 200 Ma 的晚三叠世晚期, 并可能一直延续到早中侏罗世之交。Jolivet *et al.* (2001) 对阿尔金山的锆石和磷灰石裂变径迹年龄分析也揭示阿尔金在晚三叠世—早侏罗世存在一次快速冷却, 并将之归结为和羌塘地块与昆仑地块的碰撞相关。

第二次发生在大约 130 ~ 150 Ma 的早白垩世, 并可能延续到早白垩世末。其他学者对东昆仑山的 Ar/Ar 年龄分析也支持早白垩世的构造事件的存在。Mock *et al.* (1999) 对西大滩两侧附近的系列中生代侵入岩 (193 ~ 213 Ma) 进行的黑云母和钾长石 Ar/Ar 年龄测试结果揭示出 120 ~ 140 Ma 的一次重要的冷却事件, 他将该冷却事件与沿西大滩断层的韧性变形相联系, 并将之对应于白垩纪时期拉萨地块沿班公湖—怒江缝合带与欧亚大陆的增生拼贴事件; Arnaud *et al.* (2003) 对西大滩一带变形的正片麻岩测年也获得 126 ~ 93 Ma 的白云母和黑云母

Ar/Ar 冷却年龄; Liu *et al.* (2005) 对东昆仑不同变质岩群进行系列 Ar/Ar 年龄分析, 其中对中元古代万宝沟岩群千枚岩的黑云母测年获得 (103.5 ± 2.0) Ma, 从另一侧面反映了东昆仑地区早白垩纪冷却事件的存在。

第三次为大约 56 ~ 45 Ma 的古新世。

上述 3 期热年龄学记录与东昆仑及相邻地区零星的地质记录存在良好的匹配性。根据东昆仑及相邻地区零星的沉积记录、地层的不整合接触关系以及构造变形特点, 可以清楚地鉴别出晚三叠世晚期和燕山期 2 次重要的构造事件。发生在古新世的第三次快速冷却也可以通过构造与年代资料的接合而对此次事件的地质记录进行判别。

东昆仑地区最高的海相构造层位为一套起始于晚二叠世, 主发展期为早中三叠世的裂陷型大陆边缘海盆沉积。晚二叠世沉积格曲组 (P_{3g}), 与下伏岩系呈角度不整合接触, 为一套复成分砾岩逐渐演化为浅海砂岩和灰岩; 早中三叠世发育洪水川组 (T_{1h})、闹仓坚沟组 (T_{2n})、希里可特组 (T_{2x}), 其中洪水川组与格曲组形成超覆关系, 下部主要为一套滨浅海相陆源碎屑岩建造, 上部主要为一套火山凝灰岩、玄武安山岩及碎屑岩; 闹仓坚沟组总体为一套浅海碳酸岩系夹有一些火山凝灰岩及碎屑岩; 希里可特组为半深海相具有浊积特点的碎屑复理石沉积。在南侧的巴颜喀拉山构造带沉积三叠纪巴颜喀拉山群浊积岩系。晚三叠世—早侏罗世为与前一阶段截然不同的构造古地理格局, 东昆仑地区转化为一系列相互分离的并受地貌控制的陆相山间火山—碎屑含煤盆地, 其中晚三叠世八宝山组下部主要为一套粗碎屑岩组合, 包括紫红色复成分砾岩、砂岩夹流纹岩、凝灰岩等, 上部为钙泥质粉砂岩、砂岩、碳质粉砂质页岩夹煤线, 早侏罗世羊曲组为一套灰—灰绿色陆相砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩含煤。东昆仑地区晚三叠世八宝山群与下伏地层呈明显的区域性角度不整合接触关系 (图 6), 反映一次区域性的构造事件。这一构造事件影响深远, 造成东昆仑地区早中三叠世大陆边缘裂陷盆地的闭合, 并形成系列 NWW—SEE 向的褶皱—冲断构造, 和南部巴颜喀拉山群浊积盆地的闭合及其中广泛发育的主期褶皱—断裂构造变形应基本同步。介于东昆仑与巴颜喀拉构造带之间的阿尼玛卿构造带也受到这次构造事件的深刻影响, 根据笔者最新的 1:25 万不冻泉幅和库赛湖幅区域地质调查结果, 阿尼玛卿构造带红石山一带, 阿

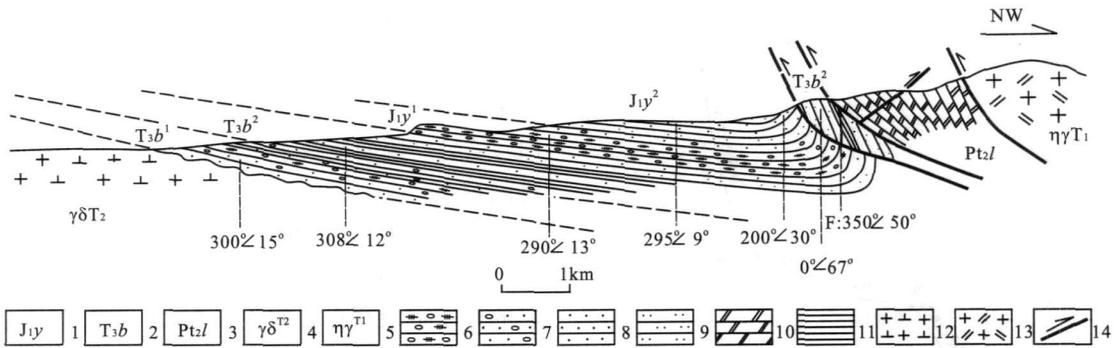


图 6 东昆仑八宝滩晚三叠世—早侏罗世山间盆地沉积的逆冲牵引向斜

Fig. 6 Thrust folding of the Late Triassic Early Jurassic intermountain basin, Babaotan, eastern Kunlun

1. 下侏罗统羊曲组; 2. 上三叠统八宝山组; 3. 中元古界狼牙山组; 4. 中三叠世花岗闪长岩; 5. 早三叠世二长花岗岩; 6. 复成分砾岩; 7. 含砾砂岩; 8. 砂岩; 9. 粉砂岩; 10. 白云质灰岩; 11. 页岩; 12. 花岗闪长岩; 13. 二长花岗岩; 14. 逆冲断层

尼玛卿构造带不同亚带的主期变形均呈现出由北向南的韧性逆冲或褶皱—逆冲变形。构造推覆于混杂岩带之上的早中二叠世树维门科组生物灰岩不仅推覆于马尔争组构造混杂岩系之上,也推覆于南侧的巴颜喀拉山群之上,另外,在黑山—玉珠峰一带下三叠统巴颜喀拉山群总体呈岩片式夹持于中下二叠统马尔争组之间,并且内部也遭受强烈的褶皱—逆冲和韧性剪切变形。这些特点说明,奠定阿尼玛卿构造带现今构造格局的主期变形并非发生于中晚二叠世之交的阿尼玛卿洋盆碰撞闭合的时期,而是在这之后的晚三叠世。由此看来,以晚三叠世八宝山组底部区域性角度不整合为代表的构造运动奠定了整个东昆仑地区、阿尼玛卿构造带以及以南的巴颜喀拉构造带的基本构造格架。这一事件时间应该发生在中三叠世最高海相层希里可特组沉积之后,上覆的晚三叠世八宝山组沉积之间,结合上述的构造热年代资料,应该发生在大约 200 Ma 的晚三叠世晚期,但可以延续到更晚时期。

东昆仑中生代另一次强烈的构造事件记录表现为晚三叠世—早侏罗世系列山间火山—碎屑含煤盆地的闭合和褶皱冲断,如在诺木洪以南东昆仑八宝滩一带,晚三叠世八宝山组—早侏罗世羊曲组构造层受到北侧东西向断裂向南的逆冲而形成轴面倾向北的倒转向斜(图 6);在西大滩南侧,早侏罗世含煤碎屑盆地呈断块夹持于阿尼玛卿构造带中的早中二叠世马尔争组和三叠纪巴颜喀拉山群之间,边界断层也明显表现为由北向南的脆性逆冲。这些逆冲变形导致阿尼玛卿蛇绿构造混杂岩带构造过程的复杂化,并导致巴颜喀拉构造带与东昆仑构造带构造关系的复杂化。从地质记录可以推定其发生在早侏罗世之后,但无法

界定此次变形的准确时间。但和上述的构造热年代学记录匹配,可以推定应该发生在大约 150~130 Ma 的早白垩世。根据东昆仑山北坡磷灰石裂变径迹年龄记录的大约 100~90 Ma 的快速岩石抬升以及 Liu *et al.* (2005)对东昆仑中元古代万宝沟岩群千枚岩的黑云母 Ar/Ar 测年获得的 (103.5 ± 2.0) Ma 的热年代学数据,推测这次构造—热事件可能延续到大约 100 Ma 的早白垩世末期。

在东昆仑及南部相邻地区 56~45 Ma 的古新世构造事件的沉积记录和地层接触关系记录表现并不明显。但上述的香日德西南部布尔汉布达山北坡花岗岩的磷灰石裂变径迹年龄分布所反映的快速差异抬升与系列近东西断裂活动密切相关。分布于香日德南山近东西向断层两侧的 0415 1 和 0417 1 样品的年龄差值反映断层北盘相对下降,南盘相对上升;分布于东昆中断层两侧的 0325 1、0255 2、0252 1 号样品的年龄差值同样显示北盘相对下降,而南盘相对上升。这意味着,大约 45~46 Ma 的古新世构造事件主要表现为断层的差异抬升。根据北部柴达木盆地在始新世和渐新世阶段(54~25 Ma)为明显的伸展正断层活动^①推断,东昆仑北部裂变径迹年龄所反映的这一断块差异抬升运动是东昆仑向柴达木盆地方向的阶梯状正向断落,具有伸展抬升剥露的特点。

3 结论

(1) 巴颜喀拉山群碎屑锆石裂变径迹颗粒年龄

① 范连顺,夏文臣,1997.柴达木盆地形成演化机制及含油气领域预测.研究报告.

记录了其经历的两期构造热事件, 170 ~ 185 Ma 的锆石裂变径迹峰值年龄代表晚三叠世—早侏罗世构造加载事件的结束, 与松潘—甘孜—巴颜喀拉山三叠纪浊积盆地的闭合事件相协调. 裂变径迹峰值年龄略滞后于早侏罗世的最大构造加载时间, 反映峰期热事件滞后于峰期构造作用时间. 137 ~ 142 Ma 的最年轻的峰值年龄反映为与 NW W SEE 向断裂活动时间相关的一次构造—热事件.

(2) 阿尼玛卿构造带在红石山一带出露的晚古生代构造混杂岩系中的片理化变玄武岩的锆石 U-Pb. SHRIMP 年龄测试结果也提供了中生代的两次构造—热事件的年代信息, 5 个谐和的颗粒年龄的平均值为 (201.7 ± 2.6) Ma, 代表阿尼玛卿构造带主期韧性变形的时间; 2 个分别为 (141.5 ± 5.0) Ma 和 (152.1 ± 2.2) Ma 的较年轻的颗粒年龄反映沿构造带在早白垩世的再活动.

(3) 东昆仑地区巴隆乡哈拉郭勒—哈图一带 2 个地形剖面的锆石裂变径迹年龄分析均记录了从中侏罗世到晚侏罗世岩石抬升作用呈减慢趋势, 也预示着在更早时期(即晚三叠世晚期)存在的一次构造强抬升事件.

(4) 对东昆仑巴隆乡进行磷灰石裂变径迹年龄分析结果显示, 昆仑山北坡大约 100 ~ 90 Ma 和 56 ~ 45 Ma 两次较快速的抬升. 100 ~ 90 Ma 的快速抬升可能是早侏罗世构造事件的延续. 56 ~ 45 Ma 的快速抬升反映的是东昆仑向柴达木盆地方向的阶梯状正向断落的差异断块的抬升.

(5) 综合笔者获得的热年代学资料及前人所得的有关热年代学研究成果, 东昆仑及相邻地区在中生代—新生代早期至少存在 3 次明显的热事件记录. 第一次大约启动于 200 Ma 的晚三叠世晚期, 并可能一直延续到早中侏罗世之交. 区域动力背景可能和南部羌塘地块与昆仑地块的碰撞, 松潘—甘孜—巴颜喀拉浊积盆地闭合相关. 第二次发生在大约 130 ~ 150 Ma 的早白垩世, 并可能延续到早白垩世末, 可对应于白垩纪时期拉萨地块沿班公湖—怒江缝合带与欧亚大陆的增生拼贴事件. 第三次为大约 56 ~ 45 Ma 的古新世, 表现为一期伸展抬升. 3 期热事件的年代学记录与零星保存的地质记录具有良好的匹配性.

致谢: 野外工作中得到朱云海、李德威、林启祥、贾春兴、魏启荣和袁晏明等多位同志的协助, 在此对给予帮助的提及和未提及有关人员表示衷心感谢!

References

- Arnaud, N., Tapponnier, P., Wang, S., et al., 2003. Evidence for Mesozoic shear along the western Kunlun and Altyn Tagh fault, northern Tibet (China). *J. Geophys. Res.*, 108(2053): 12-1-12-27.
- Bruguier, O., Lancelot, J. R., Malavieille, J., 1997. U-Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan-Ganzi flysch (Central China): Provenance and tectonic correlations. *Earth and Planetary Science Letters*, 152: 217-231.
- Burchfiel, B. C., Chen, Z., Liu, Y., et al., 1995. Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, Central China. *International Geology Review*, 37(8): 661-735.
- Chen, S., Wilson, C. J. L., 1996. Emplacement of the Longmen Shan thrust Nappe belt along the eastern margin of the Tibetan plateau. *Journal of Structural Geology*, 18(4): 413-430.
- Chen, S., Wilson, C. J. L., Deng, Q., et al., 1994. Active faulting and block movement associated with large earthquakes in the Min Shan and Longmen Mountains northeastern Tibetan Plateau. *J. Geophys. Res.*, 99: 24025-24038.
- Chen, W., Arnaud, N., 1997. Isotope geochronology study for "POG type" granite in Bayan Har Terrain, Qinghai Xizang plateau, China. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(3): 261-266 (in Chinese with English abstract).
- Cui, Z. J., Gao, Q. Z., Liu, G. N., et al., 1996. Planation surfaces palaeokarst and uplift of Xizang (Tibet) plateau. *Science in China (Ser. D)*, 39(4): 391-400.
- Cui, Z. J., Wu, J. Q., Liu, G. N., et al., 1998. On Kunlun Yellow river tectonic movement. *Science in China (Ser. D)*, 41(6): 592-600.
- Guo, Z. F., Deng, J. F., Xu, Z. Q., et al., 1998. Late Palaeozoic Mesozoic intracontinental orogenic processes and intermediate Acidic igneous rocks from the eastern Kunlun mountains of northwestern China. *Geoscience*, 12(3): 344-352 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, C. F., Yang, J. S., Feng, B. C., et al., 1992. Opening and closing tectonics of Kunlun mountains. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Jolivet, M., Brunel, M., Seward, D., et al., 2001. Mesozoic and Cenozoic tectonics of the northeast edge of the Tibetan plateau; Fission track constraints. *Tectonophysics*, 343(1-2): 111-134.
- Li, C. A., Yin, H. F., Yu, Q. W., 2000. Evolution of drainage systems and its development trend in connection with tectonic uplift of eastern Kunlun Mt. *Chinese Science Bulletin*, 45(20): 1904-1908.

- Li, H. B., Yang, J. S., 2004. Evidence for Cretaceous uplift of the Qinghai Tibetan Plateau. *Earth Science Frontiers*, 11(4): 345–359 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. J., Fang, X. M., Ma, H. Z., et al., 1996. Geomorphological and environmental evolution in the upper reaches of the Yellow river during the late Cenozoic. *Science in China (Ser. D)*, 39(4): 380–390.
- Liu, Y. J., Genser, J., Neubauer, F., et al., 2005. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral ages from basement rocks in the Eastern Kunlun Mountains NW China, and their tectonic implications. *Tectonophysics*, 398: 199–224.
- Liu, Y. J., Ye, H. W., Ge, X. H., et al., 2000. Laser probe $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of micas on the deformed rocks from Altyn fault. *Chinese Science Bulletin*, 45(19): 2101–2104 (in Chinese).
- Mock, C., Arnaud, N. O., Cantagrel, J. M., 1999. An early unroofing in northeastern Tibet? Constraints from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology on granitoids from the eastern Kunlun range (Qinghai NW China). *Earth and Planetary Science Letters*, 171: 107–122.
- Pan, G. T., Chen, Z. L., Li, X. Z., et al., 1997. Geological Tectonic evolution in the eastern Tethys. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Pan, Y. S., Zhou, W. M., Xu, R. H., et al., 1996. Geological characteristics and evolution of the Kunlun mountains region during the Early Paleozoic. *Science in China (Ser. D)*, 13(4): 337–347.
- Shi, Y. F., Li, J. J., Li, B. Y., et al., 1999. Uplift of the Qinghai Xizang (Tibetan) plateau and East Asia environmental change during late Cenozoic. *Acta Geographica Sinica*, 54(1): 10–54 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G. C., Hou, G. J., Zhang, K. X., et al., 2002. Mountain building and its dynamic transition since Middle Pleistocene in the east of eastern Kunlun, northeast Tibetan plateau. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(1): 4–12 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G. C., Jia, C. X., Zhu, Y. H., et al., 2004. New results and major progress in regional geological survey of the Alag lake sheet. *Geological Bulletin of China*, 23(5–6): 549–554 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G. C., Xiang, S. Y., John, I. Garver, et al., 2003. Uplift and exhumation during Mesozoic in Halaguole Hatu area, east segment of the eastern Kunlun. Evidence from zircon and apatite fission track ages. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(6): 645–652 (in Chinese with English abstract).
- Worley, B. A., Wilson, C. J. L., 1996. Deformation partitioning and foliation reactivation during transpressional orogenesis: an example from the Central Longmen Shan, China. *Journal of Structural Geology*, 18(4): 395–411.
- Wu, Y. Q., Cui, Z. J., Liu, G. N., et al., 2001. Quaternary geomorphological evolution of the Kunlun Pass area and uplift of the Qinghai Xizang (Tibet) Plateau. *Geomorphology*, 36: 203–216.
- Yin, A., Harrison, T. M., 2000. Geologic evolution of the Himalayan Tibetan orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28: 211–280.
- Yuan, W. M., Zhang, X. T., Dong, J. Q., et al., 2003. A new vision of the intracontinental evolution of the eastern Kunlun mountains, northern Qinghai Tibet plateau, China. *Radiation Measurements*, 36: 357–362.

附中文参考文献

- 陈文, Arnaud N., 1997. 巴颜喀拉地体 POG 型花岗岩同位素年代学研究. *地球学报*, 18(3): 261–266.
- 崔之久, 高全洲, 刘耕年, 等, 1996. 夷平面、古岩溶与青藏高原隆升. *中国科学(D 辑)*, 26(4): 378–386.
- 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 等, 1998. 关于“昆仑—黄河运动”. *中国科学(D 辑)*, 28(1): 53–59.
- 郭正府, 邓晋福, 许志琴, 等, 1998. 青藏东昆仑晚古生代末—中生代中酸性火成岩与陆内造山过程. *现代地质*, 12(3): 344–352.
- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等, 1992. 昆仑开合构造. 北京: 地质出版社.
- 李长安, 殷鸿福, 于庆文, 1999. 东昆仑山构造隆升与水系演化及其发展趋势. *科学通报*, 44(2): 211–213.
- 李海兵, 杨经绥, 2004. 青藏高原北部白垩纪隆升的证据. *地质前缘*, 11(4): 345–359.
- 李吉均, 方小敏, 马海州, 等, 1996. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起. *中国科学*, 26(4): 316–322.
- 刘永江, 叶慧文, 葛肖虹, 等, 2000. 阿尔金断裂变形岩激光微区 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄. *科学通报*, 45(19): 2101–2104.
- 潘桂堂, 陈智梁, 李兴振, 等, 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社.
- 潘裕生, 周伟明, 许荣华, 等, 1996. 昆仑早古生代地质特征与演化. *中国科学(D 辑)*, 26(4): 302–307.
- 施雅凤, 李吉均, 李炳元, 等, 1999. 晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化. *地理学报*, 54(1): 10–54.
- 王国灿, 侯光久, 张克信, 等, 2002. 东昆仑东段中更新世以来的成山作用及其动力转换. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(1): 4–12.

(下转 680 页)

报, 29(6): 661 - 666.

特征. 岩石学报, 16(3): 380 - 384.

周辉, 储著银, 李继亮, 等, 2000. 西昆仑库地韧性剪切带的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄. 地质科学, 35(2): 233 - 239.

周辉, 李继亮, 侯泉林, 等, 1999. 西昆仑库地大型韧性剪切带的厘定. 科学通报, 44(16): 1774 - 1777.

周辉, 李继亮, 2000. 西昆仑库地煌斑岩的年代学和地球化学

(上接 614 页)

王国灿, 贾春兴, 朱云海, 等, 2004. 阿拉克湖幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5-6): 549 - 554.

勒一哈图一带中生代的岩石隆升剥露—锆石和磷灰石裂变径迹年代学证据. 地球科学——中国地质大学学报, 28(6): 645 - 652.

王国灿, 向树元, John I. Garver, 等, 2003. 东昆仑东段哈拉郭

(上接 661 页)

张旗, 王焰, 刘红涛, 等, 2003. 中国埃达克岩的时空分布及其形成背景. 地学前缘, 10(4): 385 - 400.

23(9-10): 959 - 965.

张以弗, 邓建康, 1994. 青海可可西里及临区地质概论. 北京: 地震出版社, 1 - 177.

张旗, 许继峰, 王焰, 等, 2004. 埃达克岩的多样性. 地质通报,