

doi: 10.12029/gc20160411

楚泽松, 余心起, 王宗秀, 等. 中吉天山隆升时代对比——裂变径迹年代学证据[J]. 中国地质, 2016, 43(4): 1248–1257.

Chu Zesong, Yu Xinqi, Wang Zongxiu, et al. A comparison of uplifting history between Tianshan Mountains in China and Kyrgyz: Insights from fission track chronology[J]. Geology in China, 2016, 43(4): 1248–1257(in Chinese with English abstract).

中吉天山隆升时代对比——裂变径迹年代学证据

楚泽松¹ 余心起¹ 王宗秀² 肖伟峰² 陈正乐² 韩淑琴² 杨鑫朋¹

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 中吉天山成矿带境内外天山在成矿时代、矿产种类、矿床规模等多方面存在重大差异。它们的成矿条件基本类似, 是否因为保存条件的不同而产生这种差异值得关注。文章对采自吉尔吉斯斯坦北天山(境外西天山)的磷灰石样品进行了裂变径迹测试分析和温度-时间反演模拟研究, 表明吉尔吉斯斯坦北天山在中新生代发生了四期抬升剥露作用, 分别为晚侏罗世、晚白垩世、始新世和渐新世, 且不同区域其抬升剥露史也不相同: 晚侏罗世的抬升局限于伊塞克湖南岸的泰尔斯山脉, 始新世的抬升主要发生在伊塞克湖南北两侧的泰尔斯山脉和昆格山脉, 晚白垩世和渐新世的抬升为吉尔吉斯斯坦北天山整体抬升。与东部境内西天山对比表明, 境内西天山整体隆升时间较早, 历时较长, 有可能隆升剥蚀程度超过境外西天山, 从而造成了成矿方面的重大差异。

关键词: 裂变径迹; 隆升对比; 成矿差异; 吉尔吉斯斯坦北天山; 境内西天山

中图分类号: P542.1; P597 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)04-1248-10

A comparison of uplifting history between Tianshan Mountains in China and Kyrgyz: Insights from fission track chronology

CHU Ze-song¹, YU Xin-qi¹, WANG Zong-xiu², XIAO Wei-feng²,
CHEN Zheng-le², HAN Shu-qin², YANG Xin-peng¹

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: There are considerable differences of the Tianshan metallogenic belt between China and Kyrgyz in such aspects as metallogenic epoch, mineral type and deposit size. As their metallogenic conditions are similar, due attention should be paid to the problem whether the differences are caused by preservation conditions or not. Apatite fission track analysis of Kyrgyz Northern Tianshan and thermal history modeling were performed, and the result shows that there existed four uplifting events from the Mesozoic to Cenozoic, from late Jurassic to late Cretaceous, Eocene and Oligocene, respectively. The late Jurassic uplifting happened in Terskey Range located in the south of Issyk-Kul Lake; the Eocene uplifting happened in Terskey Range and Kungey Range located in the north of Issyk-Kul Lake; the late Cretaceous Issyk-Kul Lake and Oligocene uplifting happened in Kyrgyz

收稿日期: 2015-11-16; 改回日期: 2016-03-28

基金项目: 中国地质调查局工作项目(1212011120335, 12120114006201)资助。

作者简介: 楚泽松, 男, 1992年生, 硕士生, 地质工程专业; E-mail: chuzesong@cugb.edu.cn。

通讯作者: 余心起, 男, 1962年生, 教授, 研究方向: 构造地质学; E-mail: yuxinqi@cugb.edu.cn。

Northern Tianshan. By comparing uplifting history of Kyrgyz Northern Tianshan with that of China's Western Tianshan, it is shown that China's Western Tianshan uplifted earlier and lasted for a long time; the extent of exhumation exceeded that of Kyrgyz Northern Tianshan. Maybe it is the reason of the significant differences of mineralization between China and Kyrgyz Tianshan.

Key words: fission track; uplifting comparison; mineralization difference; Kyrgyz Northern Tianshan; China's Western Tianshan

About the first author: CHU Ze-song, male, born in 1992, master, majors in geological engineering; E-mail: chuzesong@cugb.edu.cn.

About the corresponding author: YU Xin-qi, male, professor, engages in research on tectonics; E-mail: yuxinqi@cugb.edu.cn.

Fund support: Supported by China Geological Survey Science and Technology Foreign Affairs Department Foundations of China (No. 1212011120335, No. 12120114006201).

中亚地区天山造山带东起中国新疆西部,西经吉尔吉斯斯坦、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦和塔吉克斯坦,长度达2000 km,南北宽200~300 km,地质构造复杂^[1-3]。天山造山带是晚古生代西伯利亚与塔里木2个大陆碰撞的结果^[4],中生代在羌塘、拉萨、冈底斯和印度等地块与亚洲南缘的相继碰撞的构造背景下,经历了多次构造运动^[5]。目前现代天山造山带的变形与印度板块和欧亚板块持续碰撞的远程效应有关,一直延续至今,形成了一个以逆冲断层和走滑断层为特征的陆内造山带^[6]。

中亚地区天山造山带已发现诸多大型、超大型金矿床,如吉尔吉斯斯坦Kumtor、Andash等金矿床,被称为“亚洲金腰带”^[7-9]。中国西天山紧邻中亚天山,所发现的金矿床在数量和储量上均无法与境外中亚天山相比^[10]。这种差异现象前人已有较多研究,主要集中在控矿因素、成矿作用及成矿环境等方面,但其是否与境内外天山的隆升时代和幅度的差异有关,却鲜见有论文报道,本文通过对采自吉尔吉斯斯坦北天山的样品进行磷灰石裂变径迹测试,以分析吉尔吉斯斯坦北天山的隆升剥露过程,并与中国西天山的隆升剥露史形成对比,以此探讨中吉天山隆升剥露史和成矿的差异性。

1 区域地质背景

吉尔吉斯斯坦天山位于天山山脉西部,传统上被分为北天山、中天山和南天山3个部分^[11-15]。吉尔吉斯斯坦北天山与中天山的分界线是尼古拉耶夫断裂带,其是一条晚古生代走滑断层^[15-18]。中天山是一条晚古生代火山岩岛弧带,与南天山的分界线是阿特巴希—伊尼尔凯克斯基断裂带^[11, 19]。

研究区位于吉尔吉斯斯坦北天山(图1),在大地构造位置上位于哈萨克斯坦—准噶尔板块,具有里

菲期、贝加尔期、加里东期及海西期等多期构造层^[18],区域内主要发育近东西向的走滑断层和逆冲断层。北天山主要由前寒武纪变质地体和早古生代岩浆弧组成,大部分被中生代沉积盆地所覆盖。区域内岩浆岩总体呈带状,近东西向展布,岩石类型总体上以花岗质侵入岩为主。在地表出露的岩石中,加里东期的花岗岩体占据近一半的面积且成分较为相似,时代主体为中—晚奥陶世^[21]。

2 样品采集及实验方法

磷灰石裂变径迹即其中的放射性元素如²³⁸U发生裂变,在矿物晶格中造成的长轴状的辐射损伤区。在受热条件下,裂变径迹变短或消失,称为退火作用。磷灰石裂变径迹(AFT)年代学就是根据磷灰石矿物中重核元素由于核裂变产生的辐射损伤特性而进行分析的技术,现已发展成为一种能约束造山带与沉积盆地低温热史的关键技术。它依据磷灰石矿物颗粒年龄(封闭温度约为110°C)、径迹长度与化学成分等数据或其他中低温年代,对地壳浅层温度—年代热演化史进行定量模拟,这种模拟随着AFT退火动力学模型优化而日趋完善。

所测样品来自于昆格山脉、泰尔斯山脉和伊塞克湖盆地内,一共采集了12个样品,其中11个样品提供了精确的磷灰石年龄数据,具体采样位置见图2。每个样品使用便携式GPS逐样定位和标高。在所采集的样品中,KG05-1、KG19-6、KG20-5、KG24-5、KG25-5、KG30-5均为花岗岩、KG08-2、KG06-1B和KG23-5为花岗闪长岩、KG28-5为正长斑岩。

陈正乐等人利用磷灰石裂变径迹测试分析,对中国西天山(图3)的隆升剥露过程展开了初步研究,其样品来自察汗乌苏山,伊犁盆地及科古琴山^[22]。

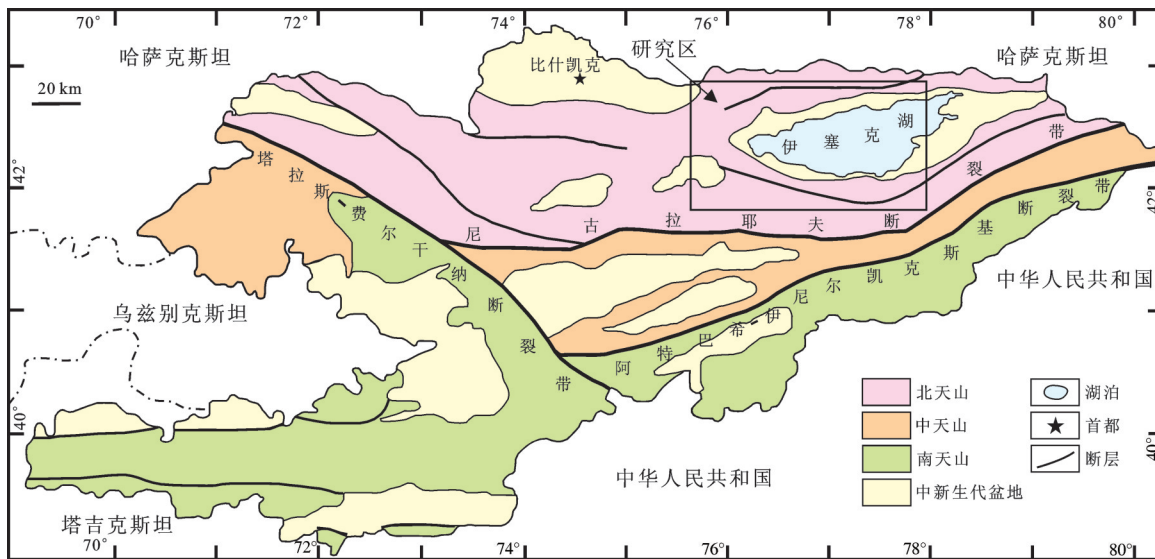


图1 吉尔吉斯斯坦构造分区图(据文献[3]修改)
Fig.1 The tectonic division of Kyrgyz (modified after reference [3])

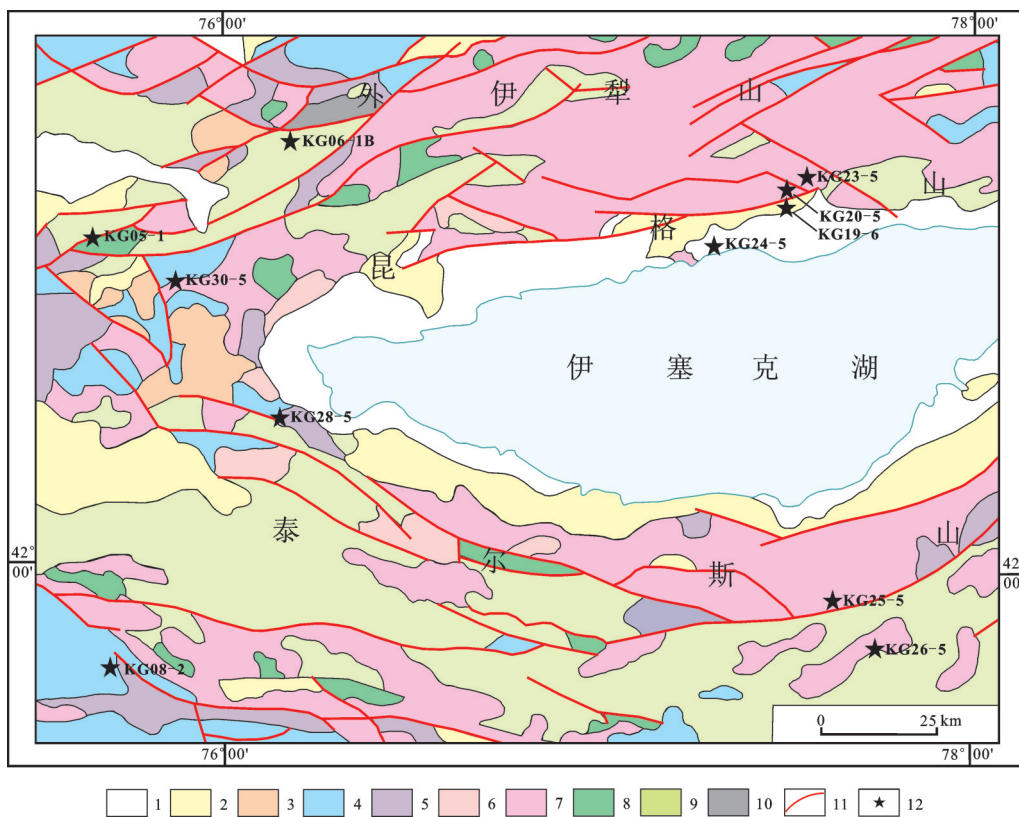


图2 吉尔吉斯斯坦北天山地质构造简图
1—第四系; 2—新近系; 3—二叠系; 4—石炭纪花岗岩; 5—泥盆纪花岗岩; 6—志留纪花岗岩; 7—奥陶纪花岗岩; 8—寒武纪花岗岩; 9—元古宙花岗岩; 10—太古宙花岗岩; 11—断层; 12—采样点

Fig.2 The geological structure of Kyrgyz Northern Tianshan
1—Quaternary; 2—Neogene; 3—Permian; 4—Carboniferous granite; 5—Devonian granite; 6—Silurian granite; 7—Ordovician granite; 8—Cambrian granite; 9—Proterozoic granite; 10—Archean granite; 11—Fault; 12—Sampling position

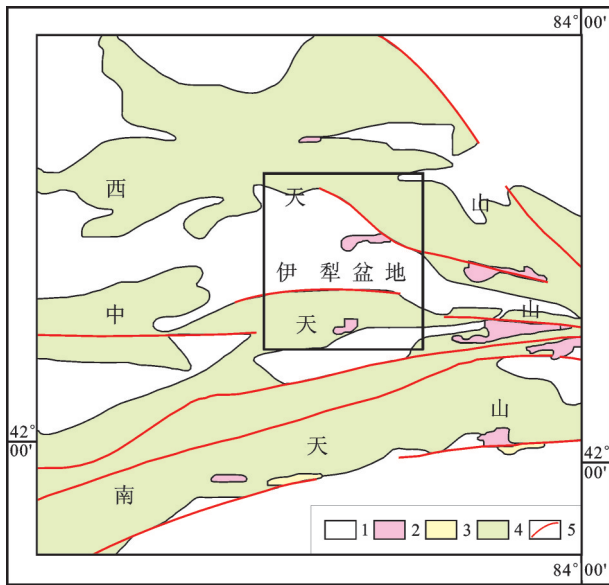


图3 中国天山造山带地质构造简图(据文献[22]修改)
1—新生界; 2—侏罗系; 3—白垩系; 4—前中生界; 5—断层
Fig.3 Simplified geological map of the Tianshan orogeny in China (modified after reference [22])
1—Cenozoic; 2—Jurassic; 3—Cretaceous; 4—Pre-Mesozoic; 5—Fault

本次研究结果将与其形成对比,以探讨中吉天山隆升史的差异性。

裂变径迹年龄测试工作由中国科学院高能物

理研究所裂变径迹实验室完成。样品首先经过粉碎、分选与自然晾干,然后用常规的重液和磁选方法分离出磷灰石单矿物,利用环氧和聚四氟乙烯将矿粒固定,经磨平和抛光后制成光薄片,并与白云母外探测器贴紧。裂变径迹分析采用外探测器法^[21]。有关实验条件为:磷灰石在25℃恒温的6.6% HNO₃溶液中蚀刻30 s揭示自发裂变径迹,再将样品与Co和Au片叠合用以监测中子通量。样品均置于492反应堆内辐照,同时对Co和Au片进行放射性测定与中子通量标定。之后将云母外探测器置于25℃的40% HF中蚀刻35 min,揭示诱发裂变径迹。磷灰石裂变径迹年龄采用Zeta常数法进行计算。为了增加可观察横向封闭径迹,将样品暴露于²⁵²Cf^[22]。长度是矿物内部完全的封闭径迹长度,且仅在柱状磷灰石中测量^[23-24]。因为磷灰石裂变径迹中存在退火的各向异性^[27]。

3 磷灰石裂变径迹测试结果及解释

本文测试了11件样品。样品中磷灰石含量高,平均每个样品测试26个,测试结果表明(表1),磷灰石裂变径迹的年龄主要集中在4个年龄段内:22~32 Ma、58~68 Ma、72~88 Ma、94~119 Ma,变化幅度

表1 吉尔吉斯斯坦北天山磷灰石裂变径迹测试结果
Table 1 Apatite fission track test result from Kyrgyz Northern Tianshan

样品号	经纬度	海拔/m	Nc	$\rho_s/(10^5/cm^2)(Ns)$	$\rho_i/(10^5/cm^2)(Ni)$	$\rho_d/(10^5/cm^2)(Nd)$	$P(\chi^2)/\%$	$T \pm 1\sigma/Ma$	$L \pm 1\sigma/\mu m(N_j)$
KG05-1	42°39' 50.8" / 75°34' 46.1"	2090	28	2.752(524)	7.437(1416)	7.437(1416)	50.03	68±5	12.8±1.6(84)
KG06-1B	42°52' 53.8" / 76°07' 08.5"	2452	28	0.394(149)	2.293(868)	2.293(868)	79.25	32±3	11.5±1.9(14)
KG08-2	41°47' 14.0" / 75°40' 43.8"	3126	25	18.599(1682)	28.584(2585)	10.414(7312)	42.67	119±7	12.5±1.8(101)
KG19-6	42°46' 17.1" / 77°28' 28.1"	1943	28	6.381(1114)	13.793(2408)	10.425(7312)	15.66	85±6	12±1.9(102)
KG20-5	42°47' 43.0" / 77°27' 41.0"	2102	28	8.066(827)	23.516(2411)	10.422(7312)	79.11	63±4	11.7±1.7(104)
KG23-5	42°48' 50.8" / 77°31' 40.9"	2019	21	11.261(890)	21.927(1733)	10.434(7312)	24.12	94±7	12.4±1.6(96)
KG24-5	42°40' 16.7" / 77°16' 25.9"	1632	28	5.383(1009)	11.341(2126)	10.435(7312)	3.47	88±6	12.6±1.8(95)
KG25-5	41°58' 10.8" / 77°38' 10.9"	2513	28	1.594(175)	13.452(1477)	10.433(7312)	99.88	22±2	11.8±2(87)
KG26-5	41°52' 15.7" / 77°44' 09.7"	3809	27	2.767(408)	8.735(1288)	10.431(7312)	22.85	58±5	12.6±1.9(64)
KG28-5	42°18' 42.2" / 76°07' 51.0"	1715	25	12.085(1599)	30.36(4017)	10.429(7312)	0.19	73±5	13.0±1.9(103)
KG30-5	42°34' 42.6" / 75°48' 19.6"	1495	28	3.938(612)	10.07(1565)	10.427(7312)	85.15	72±5	12.6±1.8(102)

注: Nc为样品所测的单颗粒数; ρ_s 、 ρ_i 和 ρ_d 分别为自发径迹密度、诱发径迹密度和标准径迹密度; Ns、Ni和Nd分别为自发径迹数、诱发径迹数和标准径迹数; N_j为测试的径迹条痕数; P(χ²)指Chi-sq检验概率; 当P(χ²)>5%时, 裂变径迹年龄选用“池年龄(Pooled Age)”, 当P(χ²)<5%时, 裂变径迹年龄选用“中心年龄(Central Age)”, 样品由中国科学院高能物理研究所测试。

大,表明了吉尔吉斯斯坦北天山隆升时代具有多期次的特征。平均径迹长度分布在 $(11.5\pm 1.9)\sim(13.0\pm 1.9)\mu\text{m}$,径迹长度中等,每个样品的长度标准偏差较大,表明其在磷灰石退火带滞留时间较长。径迹长度直方图均呈单峰状,反映了样品只经历了持续单一的冷却过程,并没有后期的热扰动。

4 磷灰石温度-时间反演模拟分析

本文根据所测的裂变径迹数据,采用 Ketcham 等人的退火模型及 AFTSlove 软件^[28],开展了磷灰石的温度-时间反演模拟,以每一样品的单颗粒年龄、年龄偏差、自发径迹数、诱发径迹数、封闭径迹长度、径迹与矿物 C 结晶轴的夹角等作为模拟参数,对样品进行模拟。反演模拟的初始条件是根据获得的裂变径迹参数和样品所处的地质背景与条件来确定的。模拟图如图 4、5、6 所示,所测样品均取得最佳热历史路径(图中实线),虚线区代表反演模拟较好的拟合区,点线区代表可接受区。每个图左上角标出样品代号、实测径迹长度和模拟径迹长度,实测 Pooled 年龄和模拟 Pooled 年龄,以及 K-S 检验和 GOF 年龄拟合参数。当 K-S 检验和 GOF 值均大于 0.05 时,模拟结果是可以接受的,均大于 0.5 时,说明模拟结果是高质量的。

采自昆格山脉的 5 个样品温度-时间模拟结果如图 4 所示,所测样品主要经历了 3 个阶段的冷却作用,第 1 阶段和第 3 阶段为快速冷却,主要集中在 90~70 Ma 和新生代 25 Ma 以来。第 2 阶段的冷却作用较平缓,仅部分样品显示的较为清楚,且不同样品的起始时间不同。其中在 90~70 Ma 期间,除样品 KG06-1B 以外,其余 4 个样品均在这期间发生了快速的退火作用,如图 4-d 所示,使样品的古地温下降了约 50~60℃,冷却速率约为 2.5~3℃/Ma。其中样品 KG20-5 还显示出了在 61~40 Ma 期间发生的缓慢冷却作用,使样品的古地温下降了约 10℃,冷却速率约为 0.48℃/Ma。在 42~33 Ma 期间,仅样品 KG06-1B 在此期间发生了快速的退火作用,如图 4-e 所示,使样品的古地温下降了约 28℃,冷却速率约为 3.11℃/Ma。且在 33~24 Ma 期间,样品还经历了缓慢的冷却作用,使样品的古地温下降了约 11℃,冷却速率为 1.22℃/Ma。至于新生代 25 Ma 以来发生的冷却作用,从图上分析,仅部分样品表现较清楚,

温度下降了 40~70℃,冷却速率 1.6~2.8℃/Ma。

采自伊塞克湖盆地的样品如图 5 所示,样品均在 90~70 Ma 发生了快速冷却作用,温度下降了约 40~50℃,冷却速率为 2~2.5℃/Ma。至于 25 Ma 以来发生的冷却作用,从图上分析,同样只有部分样品表现较清楚,温度下降了 40~60℃,冷却速率为 1.6~2.4℃/Ma。

采自泰尔斯山脉的 3 个样品裂变径迹温度-时间模拟结果图如图 6 所示,所经历冷却时间差别较大,对于样品 KG08-2,其在 148~115 Ma,经历了一次快速的冷却作用,如图 6-a 所示,温度下降了约 50℃,冷却速率为 1.52℃/Ma,而样品 KG26-5 在 90~70 Ma 发生了一次快速冷却的作用,如图 6-b 所示,温度下降了 50℃,冷却速率为 2.5℃/Ma。在 42~33 Ma,仅样品 KG28-5 在此期间发生了快速的退火作用,如图 6-c 所示,温度下降了 35℃,冷却速率为 3.89℃/Ma。对于 25 Ma 以来发生的第二次的冷却作用,从图中分析,仅部分样品可较清楚表现,温度下降了约 40℃,冷却速率为 1.6℃/Ma。

总之,所测样品的磷灰石裂变径迹模拟图表明,吉尔吉斯斯坦的抬升具有不均一性,最早始于晚侏罗世,约从 148 Ma 开始,但范围有限,发生整体抬升的时间主要集中在 90~70 Ma 和新生代 25 Ma 以来,至于始新世的隆升也是一次局部隆升事件。

5 讨 论

Yin and Schwab et al.认为,基梅里造山运动及产生的变形导致吉尔吉斯斯坦北天山发生了快速的冷却作用,这一冷却作用在三叠纪就开始了^[29-30]。Golrie 等人认为,吉尔吉斯斯坦北天山的快速隆升最迟发生在侏罗纪,并认为中生代所发生的冷却作用是天山基底在短期构造活化内强烈剥蚀的结果。这一构造活化与侏罗纪到早白垩世帕米尔高原羌塘板块与拉萨板块的碰撞有关^[29-31],这也印证了本文中样品普遍在 90~70 Ma 经历了快速冷却作用这一现象,而泰尔斯山脉在 148 Ma 所出现的快速冷却现象说明了吉尔吉斯斯坦北天山的隆升确实存在着差异性。至于新生代以来吉尔吉斯斯坦北天山的隆升,现今学者普遍认为是由印度板块与欧亚板块碰撞的远程效应所引起的。本文样品的模拟图表明,所测样品普遍在 25 Ma 以来发生了快速

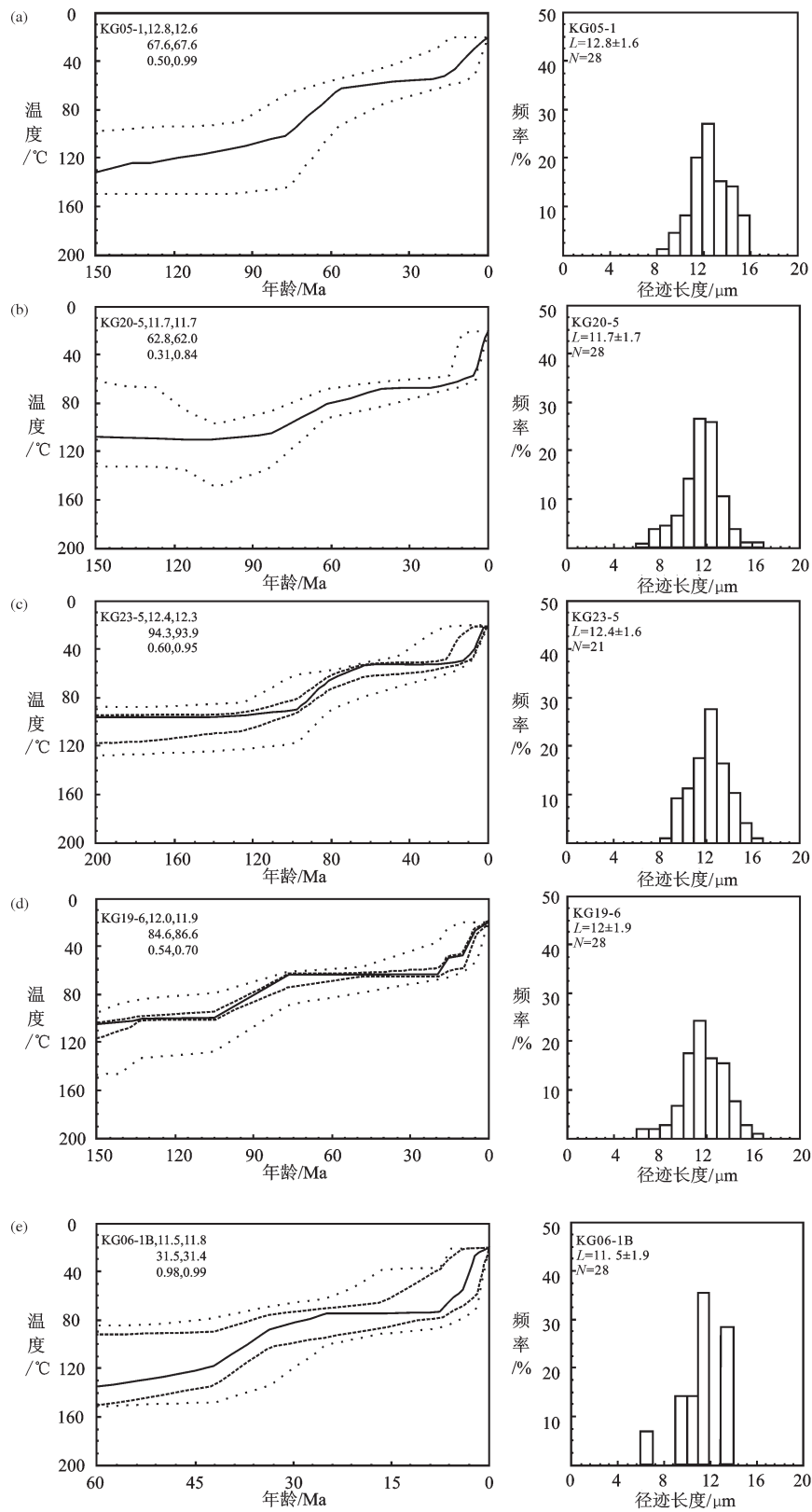


图4 昆格山脉样品磷灰石裂变径迹温度-时间模拟结果图
Fig.4 Temperature-time modeling result of samples from Kungey Range

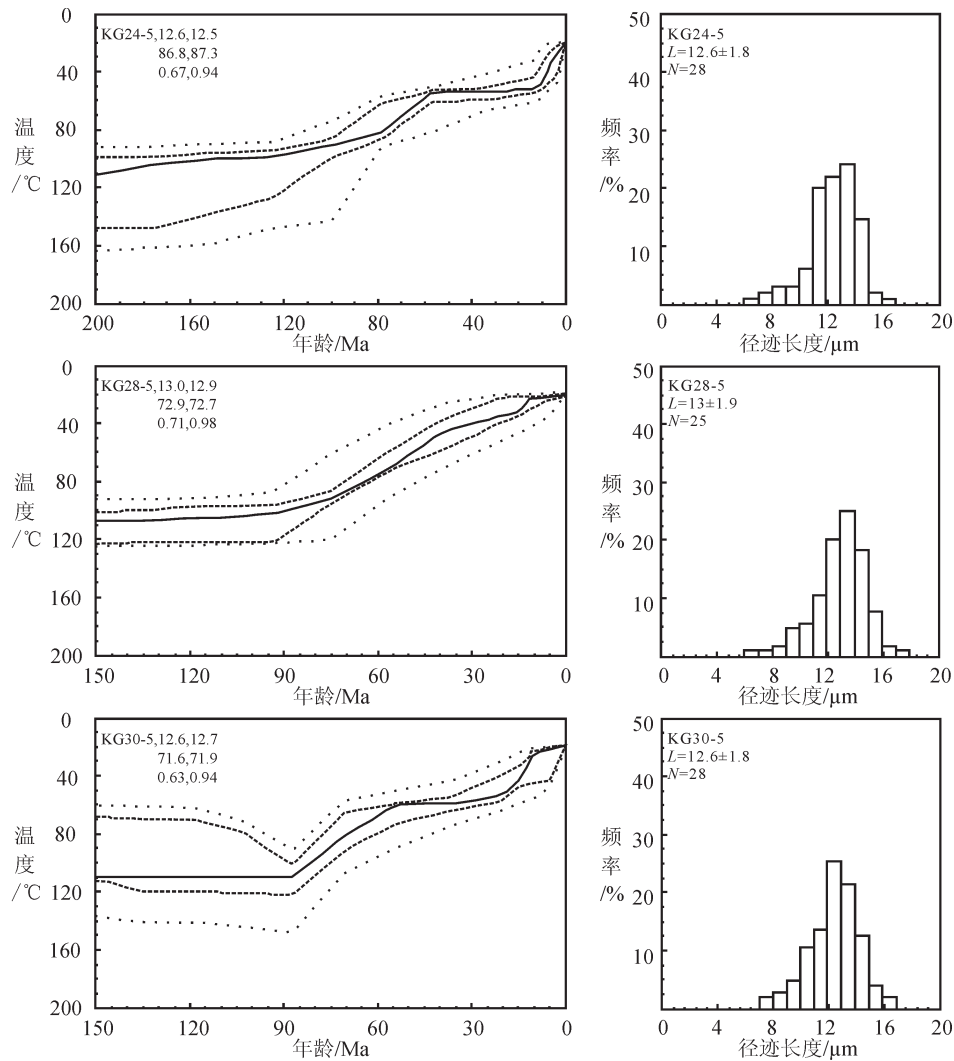


图5 伊塞克湖盆地样品磷灰石裂变径迹温度-时间模拟结果图
Fig.5 Temperature-time modeling result of samples from Issyk-Kul Lake Basin

的冷却作用,很好地证实了这一点。而在42~33 Ma期间,吉尔吉斯斯坦北天山所发生的一次整体抬升事件,其抬升范围不包括伊塞克湖盆地,而是盆地北侧昆格山脉及盆地南侧的泰尔斯山脉,这次快速的冷却作用可能是印度板块与欧亚板块碰撞的远程效应的最早体现^[32]。

陈正乐等人利用磷灰石裂变径迹测试分析,对中国西天山的隆升-剥露过程展开了初步研究,得出了西天山存在多期次的隆升-剥蚀事件且具有不均一性的结论,其具体隆升时间为:侏罗纪早期(200~180 Ma),仅局限于中天山;白垩纪中期(115~95 Ma)天山山脉和伊犁盆地一起发生整体的隆升和剥露;中新世24 Ma以来西天山表现为差异断块隆

升和沉陷^[22]。

本文将此次对吉尔吉斯斯坦北天山隆升时代的研究结果与其形成对比,结果如表2所示。

对比结果表明,侏罗纪时期,中国中天山于200~180 Ma开始隆升,主要发生在察汗乌苏山;随后吉尔吉斯斯坦泰尔斯山脉开始隆升,始于148 Ma,具体位置为泰尔斯山脉。白垩纪时期,中国察汗乌苏山、科古琴山及其间的伊犁盆地发生整体抬升,具体时间为115~95 Ma;其次,吉尔吉斯斯坦北天山发生抬升,隆升从90 Ma开始,具体位置为昆格山脉、泰尔斯山脉与伊塞克湖盆地;新生代以来,吉尔吉斯斯坦、昆格山脉和泰尔斯山脉先发生抬升,具体时间为42 Ma,随后25 Ma以来,吉尔吉斯斯坦

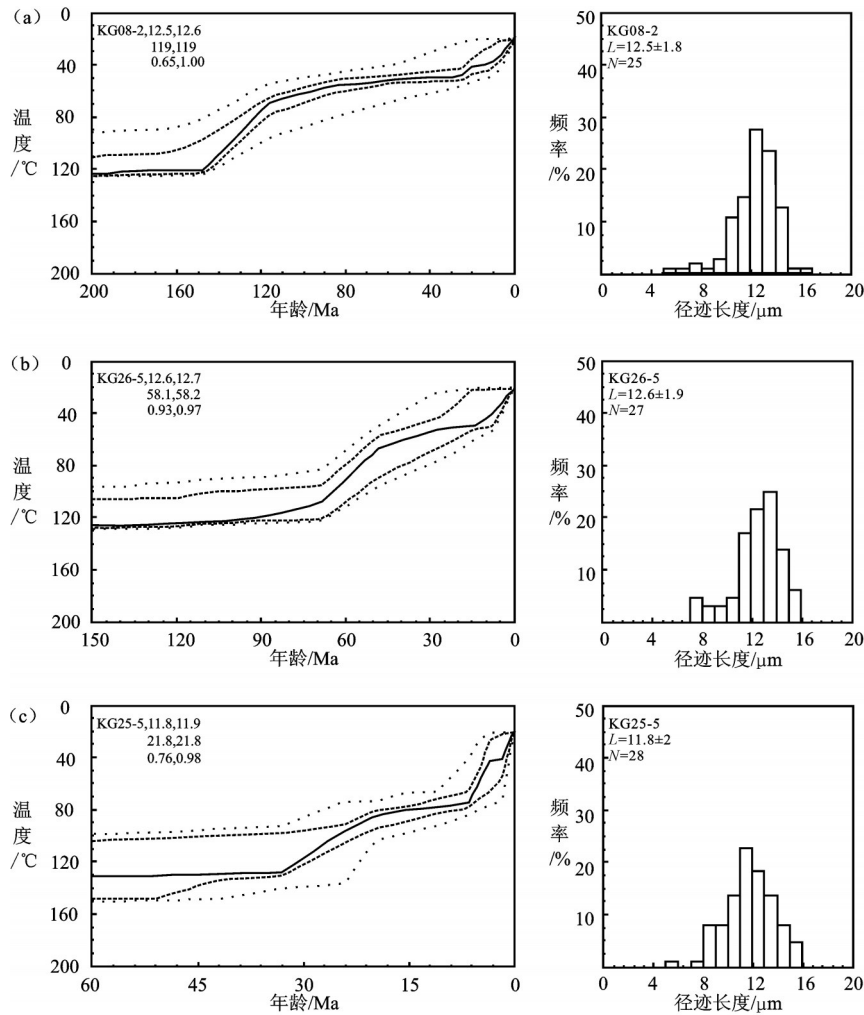


图6 泰尔斯山脉样品磷灰石裂变径迹温度-时间模拟结果图
Fig.6 Temperature-time modeling result of samples from Terskey Range

北天山发生整体抬升,中国西天山则从24 Ma开始发生整体抬升,隆升时间略晚于吉尔吉斯斯坦北天山。由此可以看出,侏罗纪和白垩纪时期,吉尔吉斯斯坦北天山的隆升时代晚于中国西天山,而新生代以来,吉尔吉斯斯坦北天山的隆升时代要早于中国西天山。

西天山地区是中国重要的金成矿带,分布着许多类型的金矿床^[10],但整体规模较小。而吉尔吉斯斯坦共和国的金矿资源主要集中在北天山构造带及南天山构造带西南部^[33],相比中国西天山,金矿床的数量和规模,都远大于中国西天山,出现了所谓的“大矿不过国界”的怪现象^[34]。本文中吉天山隆升时代的对比结果表明,侏罗纪和白垩纪时期中国西

天山的隆升时代均早于吉尔吉斯斯坦北天山,开始接受剥蚀的时间早于吉尔吉斯斯坦北天山,在这一隆升剥蚀过程中,可能导致中国西天山与金矿床发育密切相关的深成岩体暴露于地表并被剥蚀,由于吉尔吉斯斯坦北天山隆升较晚,剥蚀时间少于中国西天山,剥蚀程度相对较低,导致吉尔吉斯斯坦北天山与金矿床发育密切相关的深成岩体可能并未出露地表遭受剥蚀;新生代以来,吉尔吉斯斯坦北天山与中国西天山再次发生整体隆升事件,隆升时间前后只差1 Ma,经历的剥蚀时间较为相似,在这一次的隆升剥蚀过程中,吉尔吉斯斯坦北天山与金矿床发育密切相关的深成岩体可能刚被剥蚀出露于地表,而中国西天山与金矿床发育密切相关的深

表2 中吉天山隆升时代对比

Table 2 The comparison of uplifting history between China and Kyrgyz Tianshan

隆升时代	具体时间/Ma	隆升位置
新生代	24	中国西天山
	25	吉尔吉斯斯坦北天山
	42	吉尔吉斯斯坦昆格山脉和泰尔斯山脉
白垩纪	90	吉尔吉斯斯坦北天山
	115~95	中国西天山
侏罗纪	148	泰尔斯山脉
	200~180	中国中天山(察汗乌苏山)

成岩体可能大部分已经被剥蚀,只剩下了少许的残余岩体,因而在地表出现小矿、少矿甚至无矿状态。

6 结 论

(1) 吉尔吉斯斯坦北天山主要经历了4次隆升过程,每次抬升范围不同:晚侏罗世的抬升约从148 Ma开始,主要发生在泰尔斯山脉;晚白垩世的抬升约从90 Ma开始,吉尔吉斯斯坦北天山发生整体隆升。始新世的抬升约从42 Ma开始,主要发生在昆格山脉和泰尔斯山脉;中新世的抬升约从25 Ma开始,吉尔吉斯斯坦北天山再次发生整体抬升。

(2) 侏罗纪和白垩纪时期,中国西天山的隆升时代均早于吉尔吉斯斯坦北天山,隆升剥蚀程度超过吉尔吉斯斯坦北天山,这种隆升时代和幅度的差异是造成境内外天山成矿差异的主要原因。

(3) 吉尔吉斯斯坦北天山向东延伸至中国新疆西南天山,与金矿床发育密切相关的深成岩体未被剥蚀,大型金矿找矿前景较大。

致谢: 吉尔吉斯斯坦天山野外考察过程中得到吉尔吉斯斯坦共和国自然资源部吉尔吉斯地球物理考察队哈里洛夫·扎拉比金队长、拉提舍夫·尼基塔领队、吉尔吉斯地质矿产部地质经济调查局方法探险队Nurgazy Takenov教授等人的支持和帮助;磷灰石裂变径迹年龄测试由中国科学院高能物理研究所完成;审稿专家对论文提出了宝贵修改意见,在此表示衷心感谢。

参考文献(References):

[1] Jahn B M, Wu F Y, Chen B. Massive granitoid generation in Central Asia: Nd isotope evidence and implication for continental

growth in the Phanerozoic[J]. Episodes, 2000, 23, 82–92.

[2] Windley B F, Alexeiev D, Xiao W, et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. Geological Society of London, 2007, 164, 31–47.

[3] Grave J D, Glorie S, Mikhail M, et al. Thermo-tectonic history of the Issyk-Kul basement (Kyrgyz Northern Tien Shan, Central Asia) [J]. Gondwana Research, 2013, 23(3): 998–1020.

[4] 舒良树, 郭召杰, 朱文斌, 等. 天山地区碰撞后构造与盆地演化[J]. 高校地质学报, 2004, 10(3): 394–404.

Shu Liangshu, Guo Zhaojie, Zhu Wenbin, et al. Post-collision tectonism and Basin-Range evolution in the Tianshan Belt[J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10(3): 394–404 (in Chinese with English abstract).

[5] Hendrix M S, Graham S A, Carroll A R, et al. Sedimentary record and climatic implication of recurrent of the Tian Shan: Evidence from Mesozoic strata of the north Tarim, south Junggar and Turpan basins[J]. Geological Society of America Bulletin, 1992, 104(1): 53–79.

[6] Buslov M M, Klerkx J, Abdrakhmatov K, et al. Recent strike-slip deformation of the northern Tien Shan[J]. Geological Society of London, 2003, 210(1): 53–64.

[7] 薛春纪, 赵晓波, 莫宣学, 等. 西天山“亚洲金腰带”及其动力背景和成矿控制与找矿[J]. 地学前缘, 2014, 21(5): 128–155.

Xue Chunji, Zhao Xiaobo, Mo Xuanxue, et al. Asian Gold Belt in western Tianshan and its dynamic setting, metallogenic control and exploration[J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(5): 128–155(in Chinese with English abstract).

[8] 薛春纪, 赵晓波, 张国震, 等. 西天山金铜多金属重要成矿类型、成矿环境及找矿潜力[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 381–410.

Xue Chunji, Zhao Xiaobo, Zhang Guozhen, et al. Metallogenic environments, ore-forming types and prospecting potential of Au-Cu-Zn-Pb resources in Western Tianshan Mountains[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 381–410(in Chinese with English abstract).

[9] 张祺, 薛春纪, 赵晓波, 等. 新疆西天山卡特巴阿苏大型金矿床地质地球化学和成岩成矿年代[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 411–437.

Zhang Qi, Xue Chunji, Zhao Xiaobo, et al. Geology, geochemistry and metallogenic epoch of the Katebasu large-sized gold deposit, Western Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 411–437(in Chinese with English abstract).

[10] 杨鑫朋, 余心起, 王宗秀, 等. 西天山成矿带热液型金矿成矿地质条件及成矿物质来源对比[J]. 大地构造与成矿学, 2015, 39(4): 633–646.

Yang Xinpeng, Yu Xinqi, Wang Zongxiu, et al. Comparative study on ore-forming conditions and sources of the hydrothermal gold deposits in the Chinese Western Tianshan[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2015, 39(4): 633–646(in Chinese with English abstract).

[11] Zonenshain L P, Kuzmin M I, Natapov L M. Geology of the USSR: A plate-tectonic synthesis[M]. Washington: American

- Geophysical Union, 1990, 242.
- [12] Jenchuraeva R J. Tectonic settings of porphyry-type mineralization and hydrothermal alteration in Paleozoic island arcs and active continental margins, Kyrghyz Range, (Tien Shan) Kyrghyzstan[J]. Mineralium Deposita, 1997, 32(5): 434-440.
- [13] Bakirov A B, Maksumova R A. Geodynamic evolution of the Tien Shan lithosphere[J]. Russian Geology and Geophysics, 2001, 42: 1359-1366.
- [14] 胡雄伟, 吴良士. 吉尔吉斯斯坦共和国地质构造与区域成矿[J]. 矿床地质, 2008, 27(5): 655-658.
Hu Xiongwei, Wu Liangshi. Tectonics and regional metallogeny of Kyrgyz[J]. Mineral Deposits, 2008, 27(5): 655-658(in Chinese with English abstract).
- [15] Bike Y S, Seltmann R. Paleozoic Tian-Shan as a transitional region between the Rheic and Urals-Turkestan oceans[J]. Gondwana Research, 2010, 17: 602-613.
- [16] Mikolaichu A V, Kurenkov S A, Degtyarev K E, et al. Northern Tien Shan main stages of geodynamic evolution[J]. Geotectonics, 1997, 31: 445-462.
- [17] Lomize M G, Demina L I, Zarshchikov A A. The Kyrgyz-Terskei paleoceanic basin, Tien Shan[J]. Geodynamics, 1997, 6: 35-55.
- [18] Bazhnov M L, Collins A Q, Degtyarev K E, et al. Paleozoic northward drift of the North Tien Shan (Central Asia) as revealed by Ordovician and Carboniferous paleomagnetism[J]. Tectonophysics, 2003, 366: 113-141.
- [19] Kheraskova T N, Didenko A N, Bush V A, et al. The Vendian-Early Paleozoic history of the continental margin of eastern Paleogondwana, Paleoasian ocean, and Central Asian foldbelt[J]. Russian Journal of Earth Sciences, 2003, 5(3): 165-184.
- [20] 岳萍(译). 吉尔吉斯斯坦的地质构造及矿产资源[J]. 中亚信息, 2007, 7: 18-24.
Yue Ping(Translation). Tectonics and mineral resources of Kyrgyz[J]. Central Asian Information, 2007, 7: 18-24.
- [21] 肖伟峰, 王宗秀. 中吉天山加里东期构造演化与岩浆活动对比[R]. 北京: 中国地质科学院地质力学研究所, 2012.
Xiao Weifeng, Wang Zongxiu. The Comparison of Tectonic Evolution and Magmatism during Caledonian between Chian and Kyrgyz Tien Shan[R]. Beijing: Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, 2012.
- [22] 陈正乐, 李丽, 刘健, 等. 西天山隆升-剥露过程初步研究[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 625-636 (in Chinese with English abstract).
Chen Zhengle, Li Li, Liu Jian, et al. Preliminary study on the uplifting-exhumation process of the western Tianshan range, northwestern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(4): 625-636(in Chinese with English abstract).
- [23] Gleadow A J W, Duddy L R. A natural long-term track annealing experiment for apatite[J]. Nuclear Tracks, 1981, 5(1): 169-174.
- [24] Donelick R A, Miller D S. Enhanced TINT fission track density apatites using ^{252}Cf -derived fission fragment tracks: a model and experimental observations[J]. Nuclear Track Radiation Measurement, 1991, 18(3): 301-307.
- [25] Gleadow A J W, Duddy L R, Green P F, et al. Confined fission track lengths in apatite: A diagnostic tool for thermal history analysis[J]. Contributions to Mineralogy & Petrology, 1986, 94(4): 405-415.
- [26] Laslett G M, Green P F, Duddy I R, et al. Thermal annealing of fission tracks in apatite 2: A quantitative analysis[J]. Chemical Geology Isotope Geoscience, 1987, 65: 1-13.
- [27] Green P F, Duddy I R, Gleadow A J W, et al. Thermal annealing of fission track in apatite 1: A qualitative description[J]. Chemical Geology, 1986, 59: 237-253.
- [28] Ketcham R A, Donelick R A, Carlson W D. Variability of apatite fission-track annealing kinetics III: Extrapolation to geological time scales[J]. Amer. Mineralogist, 1999, 84: 1235-1255.
- [29] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogrn[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, 28: 211-280.
- [30] Schwab M, Ratschbacher L, Siebel W, et al. Assembly of the Pamirs: Age and origin of magmatic belts from the southern Tien Shan to the southern Parmirs and their relation to Tibet[J]. Tectonics, 2004, 23(4): 443-459.
- [31] Otofuji Y I, Mu C L, Tanaka K, et al. Spatial gap between Lhasa and Qiangtang blocks inferred from Middle Jurassic to Cretaceous paleomagnetic data[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2007, 262: 581-593.
- [32] 杜治利, 王清晨. 中生代天山地区隆升历史的裂变径迹证据[J]. 地质学报, 2007, 08: 1081-1101.
Du Zhili, Wang Qingchen. Mesozoic and Cenozoic uplifting history of the Tianshan region: Insight from apatite fission track[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 08: 1081-1101 (in Chinese with English abstract).
- [33] 胡雄伟, 吴良士. 吉尔吉斯斯坦共和国矿产资源及其地质特征[J]. 矿床地质, 2008, 27(6): 791-793.
Hu Xiongwei, Wu Liangshi. Geological characteristics and mineral resources of Kyrgyz[J]. Mineral Deposits, 2008, 27(6): 791-793 (in Chinese with English abstract).
- [34] 何国琦, 朱永峰. 中国新疆及其邻区地质矿产对比研究[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 451-460.
He Guoqi, Zhu Yongfeng. Comparative study of the geology and mineral resources in Xinjiang, China, and its adjacent regions[J]. Geology in China, 2006, 33(3): 451-460(in Chinese with English abstract).