

文章编号: 1674-9057(2013)03-0394-12

doi: 10.3969/j.issn.1674-9057.2013.03.002

新疆阿尔泰地区库尔提蛇绿岩的锆石 U-Pb 和角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学及其地质意义

沈晓明¹, 张海祥², 马林^{2,3}

(1. 中国地震局地壳应力研究所 地壳动力学重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院 广州地球化学研究所 同位素年代学与地球化学国家重点实验室, 广州 510640;

3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 蛇绿岩年代学研究可以为洋壳的形成、演化以及区域板块构造演化提供重要约束。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年表明, 库尔提蛇绿岩中的斜长花岗岩形成于(389 ± 3) Ma, 蛇绿岩的形成和库尔提弧后盆地扩张的时代为中泥盆世; ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素定年表明, 库尔提蛇绿岩中与斜长花岗岩脉互层产出的角闪片岩的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为(277 ± 4) Ma。结合区域构造、沉积、岩浆岩和变质岩等资料, 认为库尔提弧后盆地蛇绿岩形成于泥盆纪古亚洲洋洋脊俯冲的构造背景, 并在之后经历了早二叠世后碰撞软流圈上涌导致的区域变质, 记录了(277 ± 4) Ma 的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄。同时, 年代学研究表明, 蛇绿岩侵位后可能遭受后期的变质作用, 因此在使用 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素对蛇绿岩定年时应特别注意。

关键词: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年; 角闪石; ⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年; 蛇绿岩; 库尔提; 阿尔泰
中图分类号: P588.12; P597.3 **文献标志码:** A

蛇绿岩通常被认为代表了古老的洋壳残片, 是研究古洋盆形成与演化的窗口。众多研究表明, 蛇绿岩可以产生在洋中脊、岛弧、弧前和弧后盆地等多种构造环境中, 而且绝大部分蛇绿岩形成于消减带之上^[1-2]。蛇绿岩的形成时代不仅可以为洋壳的形成和演化提供重要信息, 而且可以为区域板块构造演化提供重要约束, 因此, 蛇绿岩的年代学研究是目前蛇绿岩研究中最重要内容之一^[3]。新疆位于亚洲大陆的北部, 构造上跨越了古亚洲和特提斯两大构造域, 沿大型断裂普遍发育蛇绿岩^[4]。近年来, 由于阿尔泰地区各种特殊的岩石类型相继被发现, 使得该地区古生代的构造背景和构造演化备受关注^[5]。本文对阿尔泰库尔提蛇绿岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 和角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学研究, 以期对阿尔泰造山带大地构造演化及其

地球动力学提供年代学信息。

1 区域地质概况

库尔提蛇绿岩位于新疆北部富蕴县境内, 大地构造上位于西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块缝合带-额尔齐斯断裂带的北侧(图1)。阿尔泰及其南缘出露的地层主要由奥陶纪-志留纪沉积岩和变质岩, 泥盆纪-早石炭世海相火山-沉积岩, 晚石炭世-二叠世陆相火山-沉积岩和中生代含煤沉积岩及新生代沉积物组成^[6]。总体上, 区域分布的古生代地层有从北到南逐渐变年轻的特点。阿尔泰及其南缘分布的泥盆系火山岩都被认为形成于岛弧环境^[7-8], 而上泥盆统宝塔玛依内山组(C₂b)中火山岩形成的构造环境还存在争议, 被认为形成于后碰撞或岛弧环境^[7-9]。花

收稿日期: 2013-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41203044); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项项目(ZDJ2012-02)

作者简介: 沈晓明(1983—), 男, 博士, 助理研究员, 构造地球化学专业, xiaoming_shen@163.com。

引文格式: 沈晓明, 张海祥, 马林. 新疆阿尔泰地区库尔提蛇绿岩的锆石 U-Pb 和角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学及其地质意义[J]. 桂林理工大学学报, 2013, 33(3): 394-405.

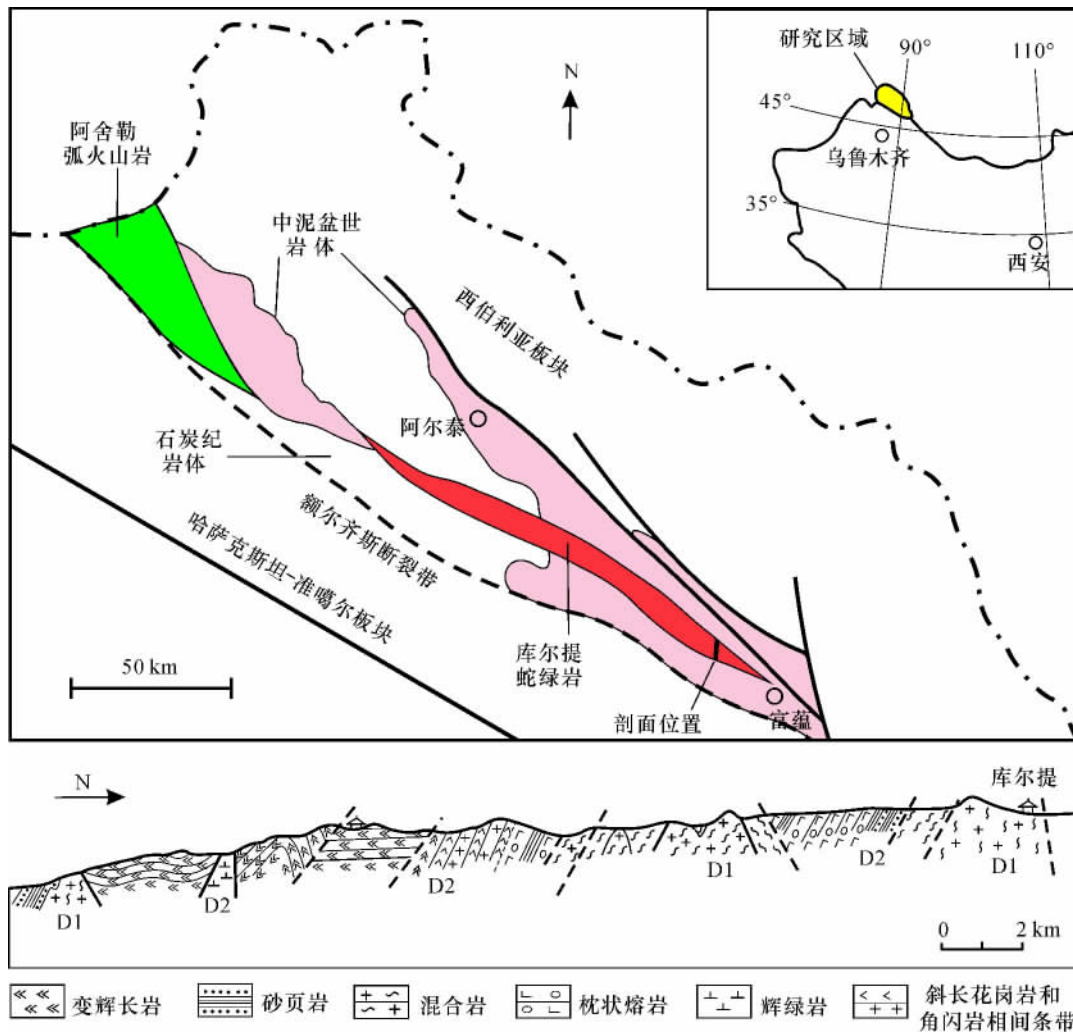


图 1 阿尔泰晚古生代地质略图及库尔提蛇绿岩地质剖面图

Fig. 1 Sketch geological map of Kuerti area in Altay and profile of Kuerti ophiolite

花岗岩在各个时代地层中均有发育^[10]。阿尔泰地区大量年代学和地球化学研究表明: ~350 Ma 以前的岩浆活动以岛弧火山岩和钙碱性 I 型花岗岩为主, 如索尔库都克埃达克岩和富铀玄武岩、希勒科特哈腊苏花岗岩斑岩等^[11-12]; 而大约在 320 Ma 以后的岩浆活动则以出现大量的 A 型(碱性)花岗岩、铝质 - 过铝质 S 型花岗岩以及基性 - 超基性岩为特征, 如乌伦古碱性花岗岩带、玛因鄂博强过铝型花岗岩、喀拉通克基性 - 超基性杂岩等^[13-16]。

2 蛇绿岩地质特征

库尔提蛇绿岩在库尔提河两侧出露较为完整, 呈两个岩片侵位于早泥盆世康布铁堡组变质岩系中。其中, 北部岩片属于蛇绿岩的上部, 主要由具枕状构造的变质玄武岩及侵入其中的少量辉长

岩、辉绿岩岩墙组成, 枕状玄武岩的变质程度较低, 为绿片岩相, 枕状构造保存完好。南部岩片主要由变质的辉长岩组成, 它们普遍遭受了角闪岩相的变质作用, 岩石的韧性变形较普遍, 基性岩脉发育, 仅在岩片的最北侧出现少量枕状玄武岩。由北至南, 库尔提蛇绿岩由喷出岩到侵入岩的产状表明这两个岩片很可能代表了由顶至底的一套弧后盆地地壳序列^[17]。在南部岩片蛇绿岩下部的辉长岩单元中, 可见斜长花岗岩呈脉状与角闪片岩黑白互层产出, 脉体宽度从几到几十厘米不等, 最大宽度约 1 m (图 2)。值得注意的是, 斜长花岗岩与角闪片岩条带之间并没有冷凝边。由于受后期强烈的构造影响和断层控制, 库尔提蛇绿岩各岩石单元的层序和厚度都不清晰, 从地表情况看, 这种斜长花岗岩和角闪片岩的互层在地



图2 库尔提蛇绿岩斜长花岗岩和角闪片岩野外露头
Fig.2 Field outcrop of Kuerti ophiolite

表断续出露的可视厚度约 1 km。

本次年代学的研究对象即为蛇绿岩下部互层的斜长花岗岩和角闪片岩。斜长花岗岩呈白色、灰白色，以条带状产于角闪片岩中，呈致密块状、斑状结构。矿物组成主要为斜长石（53% ~ 60%）、石英（28% ~ 34%）、云母（4% ~ 6%）、角闪石（7% ~ 8%）和少量的副矿物，如锆石、绿帘石以及赤铁矿。石英多为他形粒状，粒径较小。斜长石多呈半自形板状，颗粒较石英粗大，无色透明，发育聚片双晶及一组完全 - 不完全解理，部分可见两组解理，平行消光。云母以黑云母为主，白云母极少见。黑云母显褐绿色，多色性明显，发育一组极完全解理。角闪石为浅绿色，具明显多色性，一组不完全解理，斜消光。

角闪片岩呈黑色、墨绿色，中细—中粗粒块状，其中可见大量后期石英脉。矿物组成主要为角闪石（70% ~ 75%）、斜长石（20% ~ 25%）和少量石英、黑云母、绿泥石及绿帘石。角闪石粒径通常在 2 ~ 5 mm，多为半自形 - 他形片柱状，单偏光下为浅绿色、黄绿色，多色性明显，部分受后期蚀变而发生了绿泥石化。斜长石的粒径相对略小，一般在 1 ~ 2 mm；不规则柱状，发育聚片双晶，部分可见卡钠复合双晶，部分斜长石沿解理缝绢云母化发育。基质为细小的角闪石、斜长石及石英颗粒。角闪片岩片理化明显，显微镜下可看到明显的定向排列，部分角闪石颗粒可观察到明显的旋斑、眼球状构造，岩石手标本上可观察到明显的韧性变形构造，表明其在形成时遭受了应力拉伸和构造剪切。

3 分析方法

3.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

斜长花岗岩中锆石的单矿物分选、制靶和阴极发光（CL）照相在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年在中国地质大学（武汉）地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005，ICP-MS 为 Agilent 7500a。分析时激光束斑直径为 32 μm ，频率为 8 Hz，能量为 70 mJ，激光剥蚀时间为 50 s。每个时间分辨分析数据包括 20 ~ 30 s 的空白信号和大约 50 s 的样品信号。U-Pb 同位素定年中采用锆石标准 91500 作外标进行同位素分馏校正，每分析 5 个样品点，分析 2 次 91500。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移，利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行了校正。锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据 Wiedenbeck 等^[18]。对分析数据的离线处理（包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算）采用软件 ICPMSDataCal 完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法同 Liu 等^[19]。锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex-ver 3^[20]完成。测试数据见表 1。

3.2 角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年

角闪片岩中角闪石单矿物的分选、角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素测试均在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成。质谱计为英国 GV Instruments 公司生产的 GV5400 Ar 稀有气体质谱仪，激光器为美国 New Wave 公司生产的 MIR10-50W 二氧化碳激光器。将用于年代学测定的角闪石用铝箔包装，标准样品用铜箔包装。每 5 个样品间插 1 个标准样品（底顶各有 1 个标样）装入石英玻璃管中，几根石英玻璃管样品组成一批样品，外用铝罐密封，再用锡包裹，送入核反应堆辐照。样品在中国原子能科学研究院 49-2 堆照射 54 h。Ar 同位素校正参数（³⁹Ar / ³⁷Ar）_{Ca}、（³⁶Ar / ³⁷Ar）_{Ca}和（⁴⁰Ar / ³⁹Ar）_K 分别为 8.98 × 10⁻⁴、2.67 × 10⁻⁴和 5.97 × 10⁻³。采用 Koppers^[21]编写的软件 ArArCALC 进行数据处理。实验结果见表 2，其中 Ar 同位素测定值均进行了本底校正，³⁷Ar_(Ca)、

表 1 摇库尔提蛇绿岩中斜长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析数据
Table 1 摇 LA-ICP-MS zircon U-Pb data of plagiogranites from Kuerti ophiolite

点号	Pb _{ind} /10 ⁻⁶	²³⁸ U /10 ⁻⁶	²³² Th /10 ⁻⁶	Th/U	同位素比值				表观年龄 /Ma							
					²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ		
K24-2-01	198.0	577.2	725.7	1.26	0.053 80	0.000 81	0.467 07	0.007 27	0.062 85	0.000 43	363	23	389	5	393	3
K24-2-02	352.3	996.6	1 293.2	1.30	0.054 94	0.000 84	0.477 45	0.007 79	0.062 94	0.000 60	410	20	396	5	393	4
K24-2-03	84.2	246.6	303.7	1.23	0.057 35	0.002 21	0.492 15	0.019 00	0.062 16	0.000 57	505	69	406	13	389	3
K24-2-04	31.1	130.6	96.9	0.74	0.056 88	0.002 49	0.485 21	0.019 75	0.062 23	0.000 73	487	69	402	13	389	4
K24-2-05	24.9	116.5	82.0	0.70	0.053 58	0.001 57	0.463 26	0.013 54	0.062 79	0.000 53	354	51	387	9	393	3
K24-2-06	101.1	363.0	364.9	1.01	0.055 76	0.001 33	0.479 85	0.013 29	0.061 45	0.000 52	443	46	398	9	384	3
K24-2-07	203.9	559.6	763.7	1.36	0.056 13	0.001 05	0.480 32	0.009 20	0.061 99	0.000 48	458	29	398	6	388	3
K24-2-08	35.5	149.3	110.1	0.74	0.057 19	0.002 14	0.490 64	0.018 80	0.062 31	0.000 82	499	61	405	13	390	5
K24-2-09	123.5	357.9	461.6	1.29	0.053 60	0.001 03	0.456 01	0.008 73	0.061 63	0.000 41	354	31	381	6	386	2
K24-2-10	108.2	354.7	384.6	1.08	0.054 77	0.001 02	0.470 08	0.008 96	0.062 13	0.000 44	403	30	391	6	389	3
K24-2-11	83.2	249.8	287.4	1.15	0.055 12	0.001 27	0.477 99	0.010 84	0.062 97	0.000 62	417	33	397	7	394	4
K24-2-12	101.3	325.8	370.7	1.14	0.056 10	0.001 20	0.482 88	0.010 22	0.061 88	0.000 42	456	35	400	7	387	3
K24-2-13	98.8	306.8	355.4	1.16	0.053 32	0.001 13	0.465 41	0.009 77	0.062 87	0.000 48	343	33	388	7	393	3
K24-2-14	273.4	715.6	1020.0	1.43	0.054 26	0.000 91	0.460 08	0.007 65	0.061 33	0.000 35	382	27	384	5	384	2
K24-2-15	79.4	268.9	238.0	0.89	0.054 39	0.001 28	0.473 70	0.011 79	0.062 97	0.000 80	387	33	394	8	394	5
K24-2-16	121.1	413.5	442.2	1.07	0.055 32	0.000 97	0.471 70	0.008 89	0.061 64	0.000 53	425	27	392	6	386	3
K24-2-17	191.7	656.5	702.6	1.07	0.054 20	0.000 94	0.460 61	0.008 35	0.061 46	0.000 54	380	25	385	6	385	3
K24-2-18	60.2	259.8	216.6	0.83	0.057 49	0.001 22	0.495 53	0.011 27	0.062 38	0.000 63	510	32	409	8	390	4
K24-2-19	140.5	367.1	546.2	1.49	0.054 72	0.000 97	0.468 71	0.008 26	0.062 09	0.000 49	401	25	390	6	388	3
K24-2-20	130.0	374.0	477.4	1.28	0.053 22	0.001 18	0.458 35	0.010 82	0.062 23	0.000 61	338	36	383	8	389	4
K24-2-21	43.7	175.0	156.8	0.90	0.057 70	0.001 46	0.494 18	0.013 12	0.061 93	0.000 54	518	43	408	9	387	3
K24-2-22	100.8	333.8	403.6	1.21	0.053 42	0.001 58	0.459 01	0.013 60	0.062 15	0.000 60	347	50	384	9	389	4
K24-2-23	85.3	328.4	311.0	0.95	0.054 83	0.002 01	0.473 57	0.016 89	0.062 55	0.000 76	405	58	394	12	391	5
K24-2-24	25.2	106.6	77.3	0.73	0.054 23	0.002 30	0.465 05	0.020 26	0.062 41	0.001 18	381	64	388	14	390	7
K24-2-25	68.3	229.1	245.7	1.07	0.053 51	0.001 33	0.458 39	0.011 01	0.062 23	0.000 57	350	38	383	8	389	3
K24-2-26	15.1	83.6	52.5	0.63	0.051 70	0.002 64	0.436 79	0.020 48	0.061 84	0.000 74	272	86	368	14	387	4
K24-2-27	44.9	188.9	165.2	0.87	0.054 73	0.003 39	0.459 70	0.028 92	0.060 71	0.000 85	401	116	384	20	380	5
K24-2-28	15.8	75.2	46.1	0.61	0.054 67	0.002 12	0.470 93	0.018 36	0.062 49	0.000 74	399	66	392	13	391	4

表 2 摇库尔提蛇绿岩中角闪片岩的角闪石 Ar 同位素分析结果

Table 2 摇 Amphibole Ar isotopic data of hornblende schist from Kuerti ophiolite

加热阶段	激光功率/W	$^{36}\text{Ar}_{(e)}$	$^{37}\text{Ar}_{(a)}$	$^{38}\text{Ar}_{(c)}$	$^{39}\text{Ar}_{(c)}$	$^{40}\text{Ar}_{(e)}$	表观年龄/Ma	$\pm 2\sigma$	$^{40}\text{Ar}_{(e)}/\%$	$^{39}\text{Ar}_{(c)}/\%$	K/Ca	$\pm 2\sigma$
1	3.00	0.000 017	0.000 578	0.000 000	0.000 076	0.001 243	252.21	38.03	19.47	0.34	0.073	0.006
2	4.50	0.000 019	0.002 280	0.000 001	0.000 277	0.003 206	180.88	13.52	35.91	1.24	0.068	0.005
3	5.50	0.000 013	0.004 695	0.000 001	0.000 390	0.004 544	182.02	10.27	53.59	1.75	0.047	0.003
4	7.00	0.000 014	0.017 004	0.000 002	0.000 972	0.013 474	214.80	4.93	75.94	4.35	0.032	0.002
5	8.50	0.000 018	0.031 506	0.000 003	0.001 658	0.025 546	237.16	3.65	82.74	7.43	0.029	0.002
6	10.00	0.000 016	0.02 9607	0.000 003	0.001 467	0.025 936	269.58	4.51	84.19	6.57	0.028	0.002
7	11.50	0.000 021	0.034 446	0.000 003	0.001 729	0.030 627	270.19	4.51	82.97	7.74	0.028	0.002
8	13.00	0.000 010	0.017 768	0.000 002	0.000 913	0.016 186	270.31	4.90	85.19	4.09	0.029	0.002
9	15.00	0.000 026	0.057 864	0.000 005	0.002 848	0.050 884	272.27	3.54	86.69	12.76	0.028	0.002
10	17.00	0.000 067	0.062 946	0.000 005	0.003 008	0.055 158	278.91	3.78	73.61	13.48	0.027	0.002
11	19.00	0.000 014	0.035 503	0.000 003	0.001 646	0.029 876	276.26	4.50	87.75	7.37	0.026	0.002
12	22.00	0.000 014	0.035 513	0.000 003	0.001 715	0.031 179	276.76	4.78	88.17	7.68	0.027	0.002
13	25.00	0.000 016	0.045 400	0.000 004	0.002 076	0.038 491	281.83	3.92	88.74	9.30	0.026	0.002
14	29.00	0.000 019	0.049 164	0.000 004	0.002 142	0.039 749	282.02	4.14	87.83	9.60	0.024	0.002
15	34.00	0.000 016	0.036 532	0.000 003	0.001 405	0.026 916	290.41	5.05	85.40	6.30	0.022	0.002

³⁸Ar_(Cl)、³⁹Ar_(K) 分别为 Ca、Cl、K 元素在中子活化照射过程产生的相应 Ar 同位素, 计算 K/Ca 值的转换系数为 0.56。详细的实验流程参见文献 [22]。

4 结果分析

4.1 锆石 U - Pb 定年结果

斜长花岗岩中的锆石颗粒为呈淡黄色、透明

一半透明的短柱状自形晶, 颗粒长约 100 ~ 150 μm, 长宽比约为 1.0 ~ 2.0。阴极发光图像中, 大多数锆石具有清晰的岩浆振荡环带 (图 3)。锆石的 Th/U 值介于 0.61 ~ 1.49, 表明这些锆石为典型的岩浆成因。样品的 28 个锆石分析点给出 380 ~ 394 Ma 的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄, 加权平均值为(389 ± 3) Ma (2σ) (表 1、图 3)。笔者认为, 这一年龄可以代表库尔提蛇绿岩中斜长花岗岩的形成年龄。

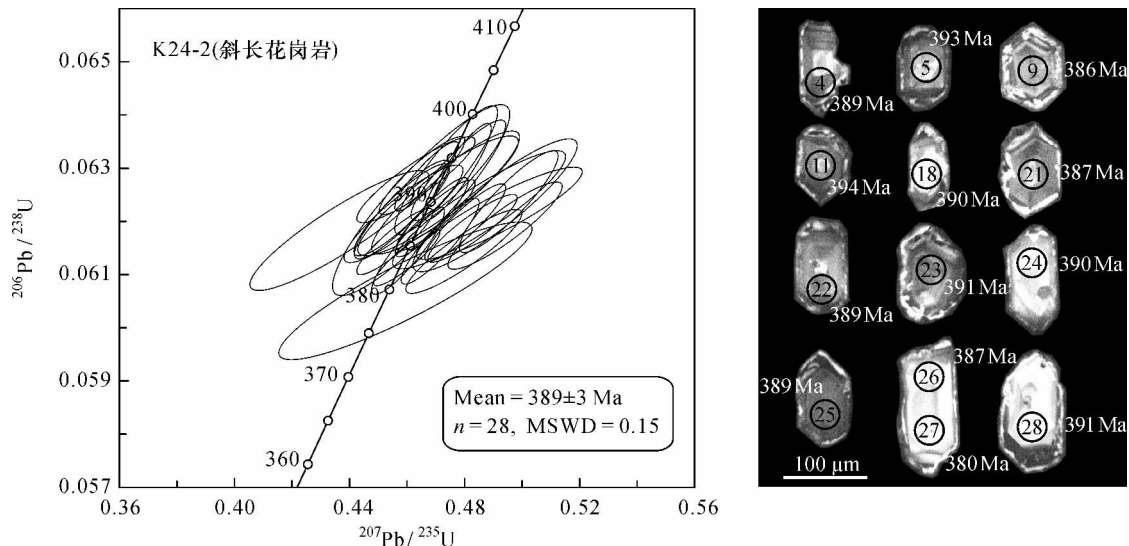


图 3 库尔提蛇绿岩中斜长花岗岩的锆石 U - Pb 年龄协和图和锆石阴极发光图像
Fig. 3 U - Pb concordant diagram and representative cathode luminescence (CL) images for zircon from the plagiogranite of Kuerti ophiolite

4.2 角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年结果

库尔提蛇绿岩中角闪片岩的角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为(277 ± 4) Ma(图 4a), 等时线年龄为(273 ± 11) Ma(图 4b), 与坪年龄在误差范围内一致, 坪年龄与等时线年龄均可靠。⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年结果表明, 库尔提蛇绿岩中的角闪片岩年龄为早二叠世, 明显晚于斜长花岗岩(389 ± 3) Ma 的形成年龄。

5 讨论

地质与地球化学证据表明^[3, 23], 库尔提斜长花岗岩可能是在洋壳演化过程中由洋壳第 3 层辉长岩经高温韧性剪切部分熔融形成的: 斜长花岗岩和角闪片岩条带之间并没有见到冷凝边, 表明它们不是侵入关系, 更可能是岩浆分凝作用的产物; 角闪片岩具有明显的韧性剪切变形特征, 显微镜下可看到明显的定向排列及旋斑、眼球状构造; 岩石学和地球化学特征都表明, 库尔提斜长花

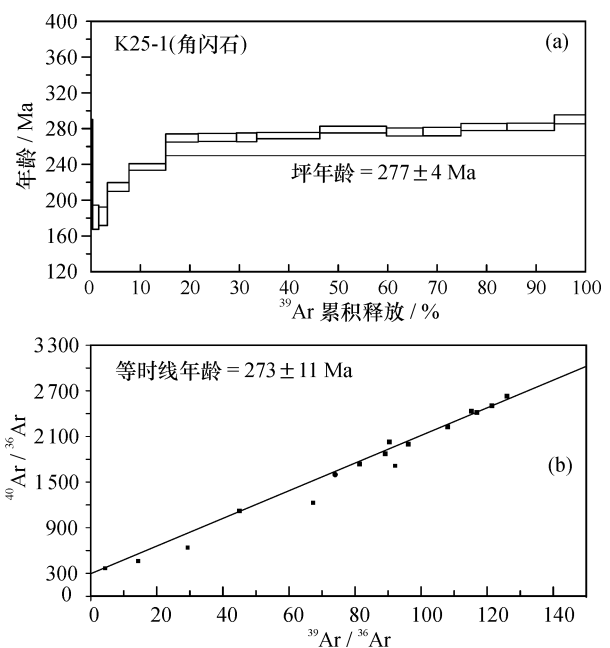


图 4 库尔提蛇绿岩中角闪片岩的角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄
Fig. 4 ⁴⁰Ar/³⁹Ar for amphibole from the hornblende schist of Kuerti ophiolite

岗岩属于剪切型斜长花岗岩; 蛇绿岩套上部枕状玄武岩和下部辉长岩之间变质和变形程度的明显差异也可能表明, 辉长岩的变质变形是蛇绿岩定位前洋壳发生剪切作用所致。这些特征与加拿大 Allalachian 山 Fournier 蛇绿岩中剪切成因的斜长花岗岩非常相似^[24]。

库尔提蛇绿岩中斜长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (389 ± 3) Ma, 该年龄与笔者等之前获得的斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 (372 ± 19) Ma 在误差范围内一致^[3]。两次年代学的锆石 Th/U 值相近, 介于 0.6~1.5, 而本次测年的 28 个锆石分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数据 $(380 \sim 394 \text{ Ma})$ 较之前的测年数据 $(16 \text{ 个锆石分析点的 } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \text{ 年龄介于 } 336 \sim 432 \text{ Ma})$ 更加集中 (表 1, 图 3), 数据质量更好。因此, 锆石 U-Pb 年代学表明蛇绿岩的形成时代和库尔提洋盆的扩张时代为中泥盆世; 而蛇绿岩中角闪片岩的角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 (277 ± 4) Ma, 明显晚于斜长花岗岩的形成年龄, 可能表明在斜长花岗岩形成后角闪岩又经历了一次热事件。

5.1 泥盆纪洋脊俯冲

由于蛇绿岩这一古老的碎片通过构造作用侵位于陆地中, 要正确鉴别一个蛇绿岩的构造环境通常是不容易的。一般认为, 详细的研究蛇绿岩的地球化学组成, 并综合考虑蛇绿岩与其他共生地质体的成因联系, 是成功鉴别蛇绿岩形成构造背景的有效方法^[25]。已有的研究表明^[17, 23, 25], 库尔提蛇绿岩具有 MORB (洋中脊玄武岩) 和 IAB (岛弧玄武岩) 的双重地球化学特征, 同时具有高的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值, 与典型的 Mariana 弧后盆地的玄武岩类似^[26]; 同时, 在库尔提蛇绿岩南侧的中泥盆统海相火山地层中发育有沙尔布拉克玻镁安山岩^[27] 和阿舍勒富镁火山岩系 (高镁安山岩和高镁英安岩)^[28], 这些是前弧地区典型的岩石组合^[29]。因此, 库尔提蛇绿岩与其南侧的火山岩构成了泥盆纪古亚洲洋北侧的弧/前弧-弧后盆地系统^[17, 23, 25]。弧后盆地形成的动力学机制与板块动力学、俯冲板块的性质、地幔对流作用和地幔楔动力学有关^[30], 目前提出的模式主要有地幔底辟、板片后撤、重力塌陷、挤出、平行压缩、地幔对流、板块剪切、软流圈注入地幔楔等^[31-32], 其实是具备使弧后发生伸展的动力来源。笔者等研

究认为, 库尔提弧后盆地形成的地球动力来源于古亚洲洋扩张洋脊的俯冲。

当大洋岩石圈发生俯冲, 扩张的洋中脊最后都会俯冲进入海沟, 与俯冲带发生作用^[3, 33-34]。因此, 洋脊俯冲是威尔逊旋回的重要部分^[33]。当扩张的洋脊俯冲进入到上覆板块之下的地幔, 由于不断产生的新的岩浆不再固结, 持续的扩张便会在分离的板片边缘形成一个板片窗^[35-36]。软流圈地幔通过板片窗上涌, 并在周围的软流圈地幔产生异常的热的、物理的和化学的效应, 导致形成独特的岩浆活动、变质作用和沉积作用。热的软流圈上升会导致上覆板块伸展, 从而形成一系列的前弧或弧后盆地^[37-38]。软流圈提供的热量将会导致板片边缘、上覆地幔楔和地壳物质发生熔融, 产生埃达克岩、富铌玄武岩、高镁岩石 (玻安岩和苦橄岩)、拉斑玄武岩或具有特殊地球化学特征的蛇绿岩和 A 型花岗岩等^[34, 39-44]。另外, 软流圈地幔上涌形成的高温环境还可能在上覆板块造成高温或低温变质作用^[45-46]。

Windley 等^[47] 首次尝试将洋脊俯冲模式运用于中亚造山带构造演化的研究, 认为在中亚造山带演化历史中至少发生过 7 次洋脊俯冲。最近的一些研究实例支持洋脊俯冲在中亚造山带演化中的存在^[44, 48]。

洋脊俯冲模式也可以合理地解释阿尔泰中泥盆世 (389 ± 3) Ma 库尔提弧后盆地的形成, 主要证据如下:

(1) 卡拉先格尔斑岩铜矿带的埃达克质斑岩形成的时代为 376~393 Ma, 与库尔提蛇绿岩形成时代相近, 并且它们具有与 MORB 相似的 Sr-Nd 同位素组成 $(\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = +6.7 \sim +8.5, (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7037 \sim 0.7043)$ ^[12, 49], 可能是由俯冲的洋脊板片边缘部分熔融形成的^[44];

(2) 富蕴西南约 20 km 的沙尔布拉克分布有中泥盆世的玻安岩, 它们可能起源于板片流体交代的亏损的弧前地幔^[27], 这可能是由局部的俯冲板片之下的软流圈注入引发的;

(3) 沙尔布拉克和库尔提地区的中泥盆统地层中分布有高 Ti 玄武岩, 它们具有 MORB 的地球化学特征^[50], 可能是上涌软流圈地幔减压熔融产生的;

(4) 在乔夏哈拉-老山口地区分布有中泥盆

世的苦橄岩, 它们具有岛弧岩石的地球化学特征, 可能起源于蚀变洋壳流体交代的地幔楔 (石榴子石 - 尖晶石过渡相) [61];

(5) 在阿尔泰西北的哈巴河地区新发现的泥盆纪 (376 ± 5) Ma 辉长岩和辉绿岩脉分别具有 N-MORB 和 E-MORB 的地球化学特征, 它们的同时出现被认为起源于洋脊俯冲导致的亏损软流圈地幔和由俯冲流体/熔体交代的富集地幔楔 [51];

(6) 阿尔泰地区的高温低压变质作用发生在 ~390 Ma [52-53], 这与洋脊俯冲通常会产生的变质作用相符 [45]。

因此, 笔者认为洋脊俯冲模式可以合理的解释阿尔泰及其南缘泥盆纪大规模的岩浆活动。当洋脊俯冲进入地幔, 板片窗形成, 上涌的软流圈地幔加热上覆板块, 从而导致其伸展形成库尔提后盆地 (图 5)。这个过程产生的蛇绿岩与世界其他地方发现的与洋脊俯冲相关的蛇绿岩相似, 如智利南部的 Taitao 半岛 [54] 和北美阿拉斯加地区 [55] 的蛇绿岩等。

5.2 二叠纪后碰撞环境

库尔提蛇绿岩中角闪片岩的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为

(277 ± 4) Ma, 与区域广泛发育早二叠世的高温变质岩的时代 (281 ~ 255 Ma) 相一致, 如青河、富蕴、扎河坝等地区 [56-59], 这可能与后碰撞阶段地幔物质上涌造成的高热环境有关 [60] (图 6)。该结论得到了区域沉积、构造和岩浆岩等一系列地质证据的支持。根据 Liégeois [61] 对后碰撞的定义, 结合蛇绿岩构造侵位、区域变形变质及岩浆岩等, 王京彬等 [62] 认为阿尔泰后碰撞的主体时限为早石炭世中期—晚二叠世。李锦轶 [63] 根据地层分布及组成以及地层与蛇绿岩的关系也认为阿尔泰在石炭纪末已进入后碰撞时期。同时, 沉积学研究表明, 在阿尔泰及其南缘地区存在一套晚石炭世—早二叠世的陆相火山—沉积岩角度不整合覆盖于早期的海相沉积之上, 表明碰撞事件发生在石炭纪 [64-65]。韩宝福等 [66] 通过花岗岩年代学统计认为阿尔泰及其南缘后碰撞深成岩浆活动发生在 330 ~ 265 Ma, 以出现大量的 A 型 (碱性) 花岗岩、铝质—过铝质 S 型花岗岩和基性—超基性岩为特征, 如乌伦古碱性花岗岩带、玛因鄂博强过铝型花岗岩、喀拉通克基性杂岩等 [13-15]。

然而, 许多学者认为塔里木二叠纪地幔柱影响

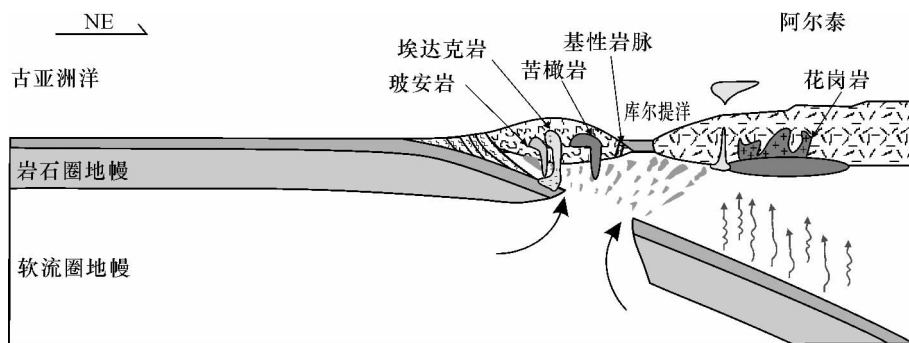


图 5 阿尔泰泥盆纪洋脊俯冲模式图

Fig. 5 Schematic diagram showing Devonian ridge subduction in Altay

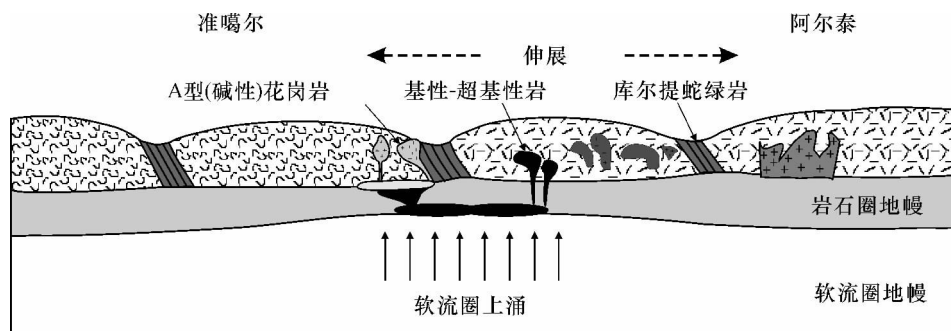


图 6 阿尔泰晚石炭世—早二叠世后碰撞模式图

Fig. 6 Schematic diagram showing Late Carboniferous to Early Permian post-collision stage in Altay

范围广泛,塔里木盆地周缘以及新疆北部大量早二叠世的岩浆和变质作用均与该地幔柱有关^[67-69]。但是,时间上,塔里木地幔柱的活动时代大约在 275 Ma,而新疆北部大量早二叠世的变质作用、A 型(碱性)花岗岩、基性-超基性岩、酸性岩脉形成的时间都明显早于该时间^[15 70-71]。因此,阿尔泰地区早二叠世后碰撞过程中是否叠加了塔里木二叠纪地幔柱的影响,还需进一步深入研究。

6 结 论

(1) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果表明,库尔提蛇绿岩中的斜长花岗岩形成于(389 ± 3) Ma,表明蛇绿岩的形成和库尔提洋盆的扩张时代为中泥盆世。

(2) ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素定年结果表明,库尔提蛇绿岩中与斜长花岗岩脉互层产出的角闪片岩的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为(277 ± 4) Ma。

(3) 库尔提弧后盆地蛇绿岩形成于泥盆纪古亚洲洋洋脊俯冲的构造背景,并在之后经历了早二叠世后碰撞软流圈上涌导致的区域变质,记录了(277 ± 4) Ma 的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄。

(4) 年代学研究表明,蛇绿岩侵位后可能遭受后期的变质作用,因此在使用 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素对蛇绿岩定年时应特别注意。

参考文献:

- [1] Stern R J, Bloomer S H, Lin P N, et al. Submarine arc volcanism in the southern Mariana Arc as an ophiolite analogue [J]. *Tectonophysics*, 1989, 168 (1): 151-170.
- [2] Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1984, 16 (1): 77-94.
- [3] 张海祥,牛贺才, Terada K, 等. 新疆北部阿尔泰地区库尔提蛇绿岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 年代学研究 [J]. *科学通报*, 2003, 48 (12): 1350-1354.
- [4] 董连慧,朱志新,屈迅,等. 新疆蛇绿岩带的分布、特征及研究新进展 [J]. *岩石学报*, 2010, 26(10): 2894-2904.
- [5] 沈晓明,张海祥,马林. 洋脊俯冲及其在新疆阿尔泰地区存在的可能证据 [J]. *大地构造与成矿学*, 2010, 34 (2): 181-195.
- [6] Zhang Z C, Mao J W, Cai J, et al. Geochemistry of picrites and associated lavas of a Devonian island arc in the northern Junggar terrane, Xinjiang (NW China): Implications for petrogenesis, arc mantle sources and tectonic setting [J]. *Lithos*, 2008, 105 (3-4): 379-395.
- [7] 张招崇,周刚,闫升好,等. 阿尔泰山南缘晚古生代火山岩的地质地球化学特征及其对构造演化的启示 [J]. *地质学报*, 2007, 81 (3): 344-358.
- [8] Xiao W J, Han C M, Yuan C, et al. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of central Asia [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32 (2-4): 102-117.
- [9] 龙晓平,孙敏,袁超,等. 东准噶尔石炭系火山岩的形成机制及其对准噶尔洋盆闭合时限的制约 [J]. *岩石学报*, 2006, 22 (1): 31-40.
- [10] 刘家远,喻亨祥. 新疆东准噶尔两类花岗质成矿岩浆建造及其矿床系列 [J]. *桂林工学院学报*, 1998, 18 (3): 205-214.
- [11] 张海祥,沈晓明,马林,等. 新疆北部富蕴县埃达克岩的同位素年代学及其对古亚洲洋板块俯冲时限的制约 [J]. *岩石学报*, 2008, 24 (5): 1054-1058.
- [12] 张招崇,闫升好,陈柏林,等. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年 [J]. *科学通报*, 2006, 51 (13): 1565-1574.
- [13] Han B F, Wang S G, Jahn B M, et al. Depleted-mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: Geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth [J]. *Chemical Geology*, 1997, 138 (3-4): 135-159.
- [14] 周刚,张招崇,罗世宾,等. 新疆阿尔泰山南缘玛因鄂博高温型强过铝花岗岩: 年龄、地球化学特征及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 2007, 23 (8): 1909-1920.
- [15] Shen X M, Zhang H X, Wang Q, et al. Late Devonian-Early Permian A-type granites in the southern Altay Range, Northwest China: Petrogenesis and implications for tectonic setting of "A₂-type" granites [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 42 (5): 986-1007.
- [16] 刘生,袁奎荣. 新疆乌伦古富碱花岗岩带的地质特征 [J]. *桂林工学院学报*, 1995, 15 (3): 243-251.
- [17] Xu J F, Castillo P R, Chen F R, et al. Geochemistry of late Paleozoic mafic igneous rocks from the Kuerti area, Xinjiang, northwest China: Implications for backarc mantle evolution [J]. *Chemical Geology* 2003, 193(1-2): 137-154.
- [18] Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses [J]. *Geostandards Newsletter*, 1995, 19(1): 1-23.
- [19] Liu Y S, Gao S, Gao C G, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths [J]. *Journal*

- of Petrology, 2010, 51 (1-2): 537-571.
- [20] Ludwig K R. Isoplot/Ex version 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Geochronology Center, Special Publication, 2003: 1-71.
- [21] Koppers A A. ArArCALC-software for ⁴⁰Ar/³⁹Ar age calculations [J]. Computers and Geosciences, 2002, 28 (5): 605-619.
- [22] Qiu H N, Jiang Y D. Sphalerite ⁴⁰Ar/³⁹Ar progressive crushing and stepwise heating techniques [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2007, 256 (1): 224-232.
- [23] 马林, 张海祥, 张伯友, 等. 新疆北部库尔提蛇绿岩中角闪片岩的原岩恢复及其成因 [J]. 岩石学报, 2008, 24 (4): 673-680.
- [24] Flagler P A, Spray J G. Generation of plagiogranite by amphibolite anatexis in oceanic shear zones [J]. Geology, 1991, 19 (1): 70-73.
- [25] 许继峰, 陈繁荣, 于学元, 等. 新疆北部阿尔泰地区库尔提蛇绿岩: 古弧后盆地系统的产物 [J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20 (3): 344-352.
- [26] Gribble R F, Stern R J, Bloomer S H, et al. MORB mantle and subduction components interact to generate basalts in the southern Mariana Trough back-arc basin [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1996, 60 (12): 2153-2166.
- [27] 张海祥, 牛贺才, 于学元, 等. 新疆北部富蕴县沙尔布拉克玻安岩的地球化学特征及构造意义 [J]. 地球化学, 2003, 32 (2): 155-160.
- [28] 牛贺才, 许继峰, 于学元, 等. 新疆阿尔泰富镁火山岩系的发现及其地质意义 [J]. 科学通报, 1999, 44 (9): 1002-1004.
- [29] Macpherson C G, Hall R. Tectonic setting of Eocene boninite magmatism in the Izu-Bonin-Mariana forearc [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 186 (2): 215-230.
- [30] Sdrolias M, Müller R D. Controls on back-arc basin formation [J]. Geochemistry Geophysics Geosystems, 2006, 7 (4): Q04016.
- [31] Schellart W, Lister G. Tectonic models for the formation of arc-shaped convergent zones and backarc basins [C] // Orogenic Curvature: Integrating Paleomagnetic and Structural Analyses, 2004: 237-258.
- [32] Tatsumi Y, Maruyama S, Nohda S. Mechanism of backarc opening in the Japan Sea: Role of asthenospheric injection [J]. Tectonophysics, 1990, 181 (1): 299-306.
- [33] DeLong S E, Fox P J. Geological consequences of ridge subduction [M] // Talwani M, Pitman W C. Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back-arc Basins. Washington, DC: American Geophysical Union, 1977: 221-228.
- [34] Sisson V B, Pavlis T L, Roeske S M, et al. Introduction: An overview of ridge-trench interactions in modern and ancient settings [C] // Sisson V B, Roeske S M, Pavlis T L. Geology of a Transpressional Orogen Developed During Ridge-trench Interaction Along the North Pacific Margin. Geological Society of America Special Paper 371, 2003: 1-18.
- [35] Dickinson W R, Snyder W S. Geometry of triple junctions related to San Andreas Transform [J]. Journal of Geophysical Research, 1979, 84: 561-572.
- [36] Thorkelson D J. Subduction of diverging plates and the principles of slab window formation [J]. Tectonophysics, 1996, 255 (1-2): 47-63.
- [37] Bourgois J, Martin H, Lagabrielle Y, et al. Subduction erosion related to spreading-ridge subduction: Taitao peninsula (Chile margin triple junction area) [J]. Geology, 1996, 24 (8): 723-726.
- [38] Sample J C, Reid M R. Large-scale, latest Cretaceous uplift along the northeast Pacific Rim: Evidence from sediment volume, sandstone petrography, and Nd isotope signatures of the Kodiak Formation, Kodiak Islands, Alaska [C] // Sisson V B, Roeske S M, Pavlis T L. Geology of a Transpressional Orogen Developed During Ridge-trench Interaction Along the North Pacific Margin. Geological Society of America Special Paper 371, 2003: 51-70.
- [39] Martin H, Smithies R H, Rapp R, et al. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: Relationships and some implications for crustal evolution [J]. Lithos, 2005, 79 (1-2): 1-24.
- [40] Mortimer N, Hoernle K, Hauff F, et al. New constraints on the age and evolution of the Wishbone Ridge, southwest Pacific Cretaceous microplates, and Zealandia-West Antarctica breakup [J]. Geology, 2006, 34 (3): 185-188.
- [41] Escuder Viruete J, Contreras F, Stein G, et al. Magmatic relationships and ages between adakites, magnesian andesites and Nb-enriched basalt-andesites from Hispaniola: Record of a major change in the Caribbean island arc magma sources [J]. Lithos, 2007, 99 (3-4): 151-177.
- [42] Hung C, Chung S, Cole R, et al. Zircon U-Pb ages for the McKinley Sequence and associated plutons, central Alaska Range [C] // American Geophysical Union, American Geophysical Union, Fall Meeting, 2007: 0574.
- [43] Cole R B, Stewart B W. Continental margin volcanism at sites of spreading ridge subduction: Examples from southern Alaska and western California [J]. Tectonophysics, 2009, 464 (1-4): 118-136.
- [44] Tang G, Wang Q, Wyman D A, et al. Ridge subduction and crustal growth in the Central Asian Orogenic Belt: Evidence from Late Carboniferous adakites and high-Mg diorites in the western Junggar region, northern Xinjiang (west China) [J]. Chemical Geology, 2010, 277(3-4): 281-300.
- [45] Brown M. Ridge-trench interactions and high-T-low-P met-

- amorphism, with particular reference to the Cretaceous evolution of the Japanese Islands [C]. Geological Society, London: Special Publications, 1998, 138: 137-169.
- [46] Iwamori H. Thermal effects of ridge subduction and its implications for the origin of granitic batholith and paired metamorphic belts [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2000, 181 (1-2): 131-144.
- [47] Windley B F, Alexeiev D, Xiao W, et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt [J]. Journal of the Geological Society, 2007, 164: 31-47.
- [48] Jian P, Liu D Y, Kroer A, et al. Time scale of an early to mid-Paleozoic orogenic cycle of the long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for continental growth [J]. Lithos, 2008, 101 (3-4): 233-259.
- [49] 相鹏, 张连昌, 吴华英, 等. 新疆青河卡拉先格尔铜矿带 II-III 矿区含矿斑岩锆石年龄及地质意义 [J]. 岩石学报, 2009, 25 (6): 1474-1483.
- [50] Niu H C, Sato H, Zhang H X, et al. Juxtaposition of adakite, boninite, high-TiO₂ and low-TiO₂ basalts in the Devonian southern Altay, Xinjiang, NW China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2006, 28 (4-6): 439-456.
- [51] Cai K D, Sun M, Yuan C, et al. Geochronological and geochemical study of mafic dykes from the northwest Chinese Altai: Implications for petrogenesis and tectonic evolution [J]. Gondwana Research, 2010, 18 (4): 638-652.
- [52] Long X P, Sun M, Yuan C, et al. Detrital zircon age and Hf isotopic studies for metasedimentary rocks from the Chinese Altai: Implications for the Early Paleozoic tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt [J]. Tectonics, 2007, 26 (5): doi: 10.1029/2007TC002128.
- [53] Wei C J, Clarke G, Tian W, et al. Transition of metamorphic series from the Kyanite-to andalusite-types in the Altai orogen, Xinjiang, China: Evidence from petrography and calculated KFMASH and KFMASH phase relations [J]. Lithos, 2007, 96 (3-4): 353-374.
- [54] Lagabriele Y, Lemoigne J, Maury R C, et al. Volcanic record of the subduction of an active spreading ridge, Taitao Peninsula (southern Chile) [J]. Geology, 1994, 22 (6): 515-518.
- [55] Bradley D, Kusky T, Haeussler P, et al. Geologic signature of early Tertiary ridge subduction in Alaska [C] // Sisson V B, Roeske S M, Pavlis T L. Geology of a Transpressional Orogen Developed During Ridge-trench Interaction Along the North Pacific Margin. Geological Society of America Special Paper 371, 2003: 19-49.
- [56] 胡霏琴, 王中刚, 涂光炽, 等. 新疆北部地质演化及其成岩成矿规律 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 9-105.
- [57] 胡霏琴, 韦刚健, 邓文峰, 等. 阿尔泰地区青河县西南片麻岩中锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2006, 22 (1): 1-10.
- [58] 陈汉林, 杨树锋, 厉子龙, 等. 阿尔泰造山带富碱基性麻粒岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其构造意义 [J]. 岩石学报, 2006, 22 (5): 1351-1358.
- [59] 牛贺才, 单强, 张海祥, 等. 东准噶尔扎河坝超高压变质成因石英菱镁岩的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年代学信息及地质意义 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (7): 1627-1634.
- [60] 韩宝福, 何国琦, 王式泮. 后碰撞幔源岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底的性质 [J]. 中国科学: D 辑, 1999, 29 (1): 16-21.
- [61] Liégeois J P. Preface—Some words on the post-collisional magmatism [J]. Lithos, 1998, 45 (1-4): 15-17.
- [62] 王京彬, 徐新. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿 [J]. 地质学报, 2006, 80 (1): 23-31.
- [63] 李锦轶. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变 [J]. 地质论评, 2004, 50 (3): 304-322.
- [64] 周刚, 张招崇, 谷高中, 等. 新疆东准噶尔北部青格里河下游花岗岩类的时代及地质意义 [J]. 现代地质, 2006, 20 (1): 141-150.
- [65] Zhang Z C, Zhou G, Kusky T M, et al. Late Paleozoic volcanic record of the eastern Junggar Terrane, Xinjiang, northwestern China: Major and trace element characteristics, Sr-Nd isotopic systematics and implications for tectonic evolution [J]. Gondwana Research, 2009, 16 (2): 201-215.
- [66] 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长 (I) ——后碰撞深成岩浆活动的时限 [J]. 岩石学报, 2006, 22 (5): 1077-1086.
- [67] Zhou M F, Zhao J H, Jiang C Y, et al. OIB-like, heterogeneous mantle sources of Permian basaltic magmatism in the western Tarim Basin, NW China: Implications for a possible Permian large igneous province [J]. Lithos, 2009, 113 (3): 583-594.
- [68] Zhang C L, Xu Y G, Li Z X, et al. Diverse Permian magmatism in the Tarim Block, NW China: Genetically linked to the Permian Tarim mantle plume? [J]. Lithos, 2010, 119 (3-4): 537-552.
- [69] Pirajno F, Mao J W, Zhang Z C, et al. The association of mafic-ultramafic intrusions and A-type magmatism in the Tian Shan and Altay orogens, NW China: Implications for geodynamic evolution and potential for the discovery of new ore deposits [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32 (2-4): 165-183.
- [70] 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 科学通报, 2004, 49 (22): 2324-2328.
- [71] 宫红良, 陈正乐, 胡远清, 等. 阿尔泰额尔齐斯带东段酸性岩墙群地球化学特征及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (5): 889-899.

Zircon U - Pb and Amphibole ⁴⁰Ar/³⁹Ar Geochronology of Kuerti Ophiolite in Altay and Geological Implication

SHEN Xiao-ming¹, ZHANG Hai-xiang², MA Lin^{2,3}

(1. Key Laboratory of Crustal Dynamics, Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China; 2. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 3. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: Palaeozoic ophiolites are dotted sporadically along the suture zone in southern Altay Range, a key part of the Central Asian Orogenic Belt (CAOB). Without enough precise age constraints, the tectonic settings of the ophiolites in this area have been controversial, which cause the debate on accretionary orogenic processes in CAOB. Plagiogranite dykes interbedded with amphibolite dykes are found within the gabbro unit of the lower part of Kuerti ophiolite in southern Altay Range. New LA - ICP - MS zircon U - Pb dating indicates that plagiogranite was generated at 389 ± 3 Ma. This ~ 390 Ma age is the best estimate for the formation of ophiolite, although a little late. ⁴⁰Ar/³⁹Ar amphibole dating for an amphibolite sample from Kuerti ophiolite gives a plateau age of 277 ± 4 Ma, revealing an Early Permian thermal event in the study area. Previous studies suggest that the Kuerti Ophiolite be formed in a spreading back-arc basin when the Paleo-Asian ocean subducted under the Altay arc. However, recently, more evidence, including approximately synchronous adakites, boninites, high-Ti basalts, picrites, mafic dykes, and high-*T* metamorphism strongly indicates that Kuerti ophiolite was formed in a ridge subduction extensional setting. It is possible that ridge subduction around 390 Ma caused upwelling of the hot asthenosphere and triggered the spreading of the Kuerti back-arc basin, following the differentiation of the plagiogranites and amphibolites in Kuerti ophiolite. Then, at ~ 277 Ma Kuerti ophiolite underwent a metamorphic event. Taking into account tectonics, sedimentology, and the coeval mafic-ultramafic rocks and voluminous A-type granites in this region, it is suggested that this metamorphic event occurred during a post-collisional extensional regime, and ophiolite may undergo metamorphism after emplacement which requires caution when using ⁴⁰Ar/³⁹Ar technique to date the age of ophiolite.

Key words: LA - ICP - MS zircon U - Pb dating; amphibole ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating; ophiolite; Kuerti; Altay