

阿尔泰造山带南缘基性杂岩的形成背景及其动力学含义*

陈汉林¹ 杨树锋¹ 厉子龙¹ 袁超³ 肖文交² 李继亮² 余星¹ 林秀斌¹

CHEN HanLin¹, YANG ShuFeng¹, LI ZiLong¹, YUAN Chao³, XIAO WenJiao², LI JiLiang², YU Xing¹ and LIN XiuBin¹

1. 浙江大学地球科学系, 杭州 310028

2. 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室, 北京 100029

3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

1. Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

2. State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2005-12-16 收稿, 2005-12-29 改回.

Chen HL, Yang SF, Li ZL, Yuan C, Xiao WJ, Li JL, Yu X and Lin XB. 2006. Tectonic setting of mafic rocks in southern Altay orogenic belt and its geodynamic implication. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1):127-134

Abstract Located in southern Altay orogenic belt, North Xinjiang, a suit of mafic rocks exhibited lentoid in Late Paleozoic gneissic granite. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of mafic rocks in Alagak yielded plateau age of 262.7 ± 1.1 Ma. Geochemical analysis of samples in Alagak, Taerlang and along Buerjin-Altay highway shows that there are no differentiation between LREE and HREE, while in Wuqiagou, Fuyun County shows mid-light differentiation. These mafic rocks are enriched in Th and Rb, but depleted in Nb and Zr which is similar to seamount basalts. The discriminate figures of tectonic setting show that the mafic rocks were formed in seamount basalts. Combined with the ages of 400 ~ 410 Ma by SHRIMP U-Pb dating of zircons and 240 Ma by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age in granite from the literature, the authors suggest that age of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating represents a tectonic event happened at late Permian and mafic rocks parasited in granites was caused by a tectonic event. Assemblage of mafic rocks and granite is due to tectonic chaotic assemblage. Conclusively, two stages of formation were proposed: (1) during subduction stage in the early of Late Paleozoic, in which granites and accretionary prism containing seamount basalts formed, and (2) during intensive collision stage, in which granites and accretionary prism experienced tectonic deformation and mixture.

Key words Mafic rocks, Tectonic setting, Geodynamics, Southern Altay orogenic belt

摘要 新疆北部阿尔泰造山带南缘出露一套基性杂岩, 它们呈透镜状存在于晚古生代片麻状花岗岩中。阿拉尔克基性杂岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 262.7 ± 1.1 Ma。基性杂岩的地球化学分析结果显示阿勒泰阿拉尔克、塔尔浪乡样品的轻、重稀土元素基本上没有发生分异, 富蕴县乌恰沟基性岩的轻、重稀土元素发生了中—弱的分异; 在微量元素特征方面, 富集 Th、Rb。通过地球化学图件判别, 认为该基性杂岩形成于海山的构造环境。结合前人获得的花岗岩锆石 SHRIMP 的年代集中在 400 ~ 410 Ma 左右, 而花岗岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 240 Ma 左右, 作者认为基性杂岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄代表了晚二叠世时期的一次构造事件的年龄, 基性杂岩寄生于花岗岩中是通过构造混杂作用实现的。在此基础上, 提出了形成过程的两个阶段, 即: 晚古生代早期的俯冲阶段, 为花岗岩与含海山玄武岩的增生楔形成阶段, 晚二叠世的强烈碰撞阶段, 导致花岗岩和增生楔物质的变形和构造混杂。

关键词 基性杂岩; 构造成因; 地球动力学含义; 阿尔泰造山带南缘

中图法分类号 P588.124

* 国家重点基础研究发展规划项目(编号 2001CB409801)资助成果。

第一作者简介: 陈汉林, 男, 1964 年生, 教授, 博士生导师, 构造地质学专业, E-mail: hlchen@zju.edu.cn

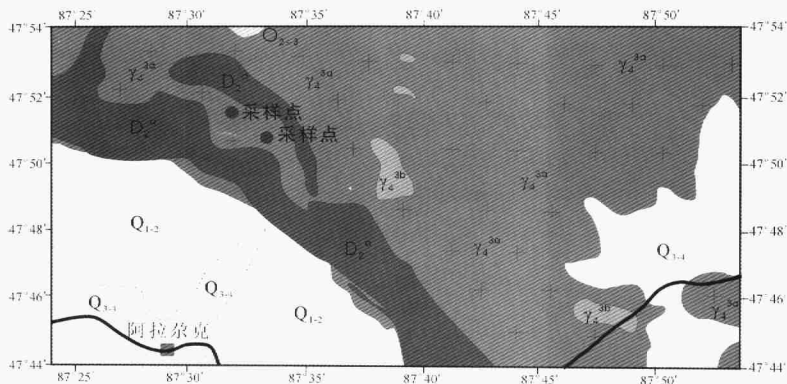


图1 阿尔泰阿拉拉克-塔尔滚地区地质图和采样点位置

Fig.1 Geological map in Alagak-Taerlang, Altay and sampling site

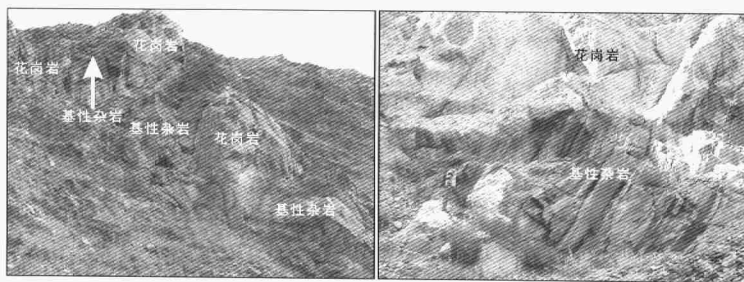


图2 阿尔泰造山带南缘基性杂岩的野外产出状态

Fig.2 The outcrop of mafic rocks in Southern Altay Orogenic Belt

阿尔泰造山带是由一系列大陆块体、高弧和增生杂岩构成的增生型造山带 (Sengör AMC *et al.*, 1993; Natalin BA and Sengör AMC, 1994; Xiao WJ *et al.*, 2003)。在阿尔泰造山带南缘, 自西向东从哈巴河、阿勒泰、富蕴到热坝河一带, 分布着一条 NW-SE 向的泥盆纪花岗岩 (刘生等, 1995; 袁峰等, 2001a, 2001b; 袁峰等, 2003; 郑长青等, 2003)。在大地构造位置上, 花岗岩带位于增生弧到弧前盆地区域 (Windley BF *et al.*, 2002; Li S *et al.*, 2003; Xiao WJ *et al.*, 2003)。在这一花岗岩带内部发育有大量的基性岩块体, 它们呈透镜状产出片麻状花岗岩中, 有的与片麻状花岗岩一起经历了强烈的变形作用。图1和图2分别为沿阿拉拉克-塔尔滚一带的地质图和片麻状花岗岩中的辉长岩透镜体。从野外可以发现, 片麻状花岗岩与基性辉长岩之间为一种断层接触关系, 在很多野外观察点上两者之间为一平直的面, 与花

岗岩当中的来自于地球深部的基性幔源包体完全不同。这说明这些基性杂岩不太可能是属于花岗岩体中深部幔源包体, 而是通过其它地质作用过程使花岗岩和基性杂岩混杂在一起。根据袁超等 (2005a) 对阿拉拉克-塔尔滚杂岩体的不同类型花岗岩的年代学研究结果, 发现不同类型的花岗岩具有相似的锆石 U-Pb 年龄, 片麻状二云母花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄为 411 ± 5 Ma 和 414 ± 7 Ma, 灰黑色片麻状花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄为 398 ± 9 Ma 和 406 ± 5 Ma, 肉红色细粒二长花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄为 400 ± 8 Ma。袁超等 (2005b) 同时对该花岗岩进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年, 获

① 袁超等, 2005. 古生代洋陆格局演变与大陆侧向增生 (2001CB409801). 973《中国西部中业型造山与成矿》专题项目汇报。

得片麻状二云母花岗岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 $240.7 \pm 0.2\text{Ma}$ 和等时线年龄为 $237.0 \pm 2.0\text{Ma}$, 片麻状花岗岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $235.1 \pm 3.8\text{Ma}$ 和等时线年龄为 $236.3 \pm 4.1\text{Ma}$ 。锆石的 SHRIMP 年龄和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄存在较大的差异, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄可能反映了后期构造事件的年龄。

本文在对阿勒泰阿拉扎克、塔尔浪乡、富蕴县东南等地区进行野外地质调查基础上,开展了阿尔泰造山带南缘基性杂岩的岩石地球化学特征研究,判别这些基性杂岩形成的原始构造环境;并结合前人对阿尔泰造山带南缘花岗岩的研究结果,探讨基性杂岩的产出的构造机制和形成过程。这项研究对于深入研究阿尔泰中亚造山带的形成和演化具有重要的意义。

1 岩石学特征

基性杂岩样品主要采集于阿勒泰南部的阿拉扎克、塔尔浪、富蕴县东南乌恰沟一带,基性岩主要由变玄武岩、变辉长岩和辉绿岩组成。

基性杂岩一般呈灰绿色,但有些颗粒较粗的岩石中辉石、角闪石和斜长石明显可见块状或片状构造。显微镜下观察,其矿物组合由斜长石、角闪石、单斜辉石、绿帘石、黑云母组成,且副矿物有磷灰石、榍石和不透明矿物。有些基性岩局部受绿泥石化和糜棱岩化的影响。辉石被角闪石所交代,有些仅保留辉石的假象。角闪石中有不透明矿物包体,且出现被黑云母交代现象。斜长石具聚片双晶,An 含量变化较大,并或多或少被绢云母等交代。黑云母呈片状,多数呈褐

色。鳞片粒状变晶结构,块状或片状构造为主,有些样品具变余辉长和辉绿结构,少数变玄武岩样品保留有变余斑状结构。

2 岩石地球化学特征

实验条件:岩石的常量、微量和稀土元素的化学分析在国家地质实验测试中心进行。其中常量元素采用 X 射线荧光(XRF, Rigaku3080E)、微量和稀土元素采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)进行测试,基性杂岩的分析结果列于表1和表2。

这些来自阿勒泰阿拉扎克、塔尔浪、富蕴县东南乌恰沟的基性杂岩的 SiO_2 介于 $45.19\% \sim 50.04\%$ 之间; Al_2O_3 含量偏高($13.52\% \sim 17.49\%$); Na_2O 和 K_2O 含量变化范围较大,且 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$; $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^*)$ 主要介于 $0.40 \sim 0.70$ 之间; TiO_2 含量总体偏高,但是样品间的差异较大,有的高达 5.27% (乌恰沟),有的仅 0.83% (塔尔浪)。 SiO_2 -($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)图解(Irvine TN and Baragar WAR, 1971)显示本区基性岩的成分属碱性到亚碱性系列的过渡区(图3)。

利用 Pearce JA(1982)提供的洋中脊玄武岩(MORB)数据进行标准化后的微量元素蛛网图中,塔尔浪、阿拉扎克和乌恰沟的基性岩样品表现为大离子亲石元素相对富集,轻微的亏损 Nb、Ta(图4)。因此,基性杂岩的微量元素特征不同于典型的洋中脊玄武岩。基性杂岩虽然出现轻微的 Nb、Ta 亏损,但它与岛弧环境形成的强 Nb、Ta 亏损玄武岩又有不同,因此它们形成于岛弧环境的可能性较小(图4)。

表1 基性杂岩的主量元素分析结果(wt%)

Table 1 Major element compositions (wt%) of mafic rocks

	ALT3103	ALT3107	ALT3108	ALT0107	ALT0103	ALT0108	ALT0301	ALT0304	ALT0305
SiO_2	50.04	45.82	45.19	46.56	47.32	48.76	45.47	46.50	46.34
TiO_2	0.83	2.94	3.32	2.51	1.70	1.61	5.27	3.50	3.39
Al_2O_3	17.49	16.04	15.91	15.23	15.49	15.96	13.52	15.65	15.58
Fe_2O_3	2.47	4.79	4.91	2.63	1.80	3.99	7.06	5.97	6.02
FeO	5.14	7.85	8.51	10.20	9.29	7.36	9.09	8.07	7.87
MnO	0.16	0.22	0.22	0.23	0.21	0.20	0.18	0.24	0.24
MgO	8.91	6.70	6.51	7.75	8.55	7.05	5.08	5.35	5.40
CaO	10.56	8.27	8.85	9.66	10.26	10.15	8.52	8.30	8.04
Na_2O	2.56	3.59	3.63	2.95	2.56	3.38	2.79	3.48	3.69
K_2O	0.64	0.73	0.65	0.40	0.22	0.32	0.78	0.59	0.59
P_2O_5	0.07	1.01	1.03	0.33	0.17	0.22	0.10	0.80	0.73
烧失量	1.06	1.30	0.92	1.22	1.24	0.88	1.22	1.30	1.48
Total	99.93	99.26	99.65	99.67	98.81	99.88	99.08	99.75	99.37

实验条件:在国家地质实验测试中心采用 X 射线荧光(XRF, Rigaku3080E)测定。

表2 基性杂岩的微量元素和稀土元素含量($\times 10^{-6}$)Table 2 Trace and rare earth element abundances($\times 10^{-6}$) of mafic rocks

	ALT3103	ALT3107	ALT3108	ALTO107	ALTO103	ALTO108	ALTO301	ALTO304	ALTO305
Ba	167	282	250	128	35.5	32.6	150	168	167
Rb	13.8	7	2.58	9.14	5.24	4.81	20.8	8.29	6.97
Sr	170	608	580	534	277	310	337	446	412
Zr	55	380	444	202	134	114	206	452	417
Nb	1.97	17.1	19.1	7.7	4.53	4.19	18.3	14.1	12.5
Y	16.5	50	53.6	38.2	30.3	27	25.3	66	62.2
Ga	16.5	23	23.7	22.9	19.4	20.2	18.5	28.7	26
Th	0.43	0.89	0.77	0.7	0.51	0.59	2.21	1.59	1.44
Zn	75.8	136	149	129	117	105	112	203	193
Pb	13.7	8.34	8.14	11.3	16.9	7.43	23.2	81.8	124
W	0.21	0.37	0.29	0.45	0.35	0.38	0.32	0.45	0.48
F	0.064	0.098	0.11	0.07	0.052	0.048	0.054	0.14	0.14
Hf	1.59	7.26	8.4	4.23	3.17	2.5	5.44	8.99	8.22
Sc	29.7	24.9	29.3	39.7	38.4	41.9	37.2	35.4	31
Cr	536	95.9	96.9	204	273	185	45.5	80.7	75.6
La	3.96	38.4	36.2	11.3	6.66	8.24	16.3	32.4	28.8
Ce	9	83.5	83.9	29.1	18.1	18.5	34.4	78.7	75.6
Pr	1.31	11.5	11.7	4.46	2.88	2.91	4.43	11	11
Nd	6.62	49.5	49.5	21.3	13.9	14.4	20	52.5	47.3
Sm	2.16	11.4	12	6.17	4.72	4.06	5.36	13.5	12.4
Eu	0.88	3.51	3.96	2.24	1.68	1.55	1.45	4.13	3.97
Gd	2.51	10.2	10.9	6.53	4.89	4.87	5.06	12.5	11.2
Tb	0.46	1.57	1.84	1.17	0.9	0.78	0.84	1.98	1.89
Dy	3.1	9.33	9.99	7.14	5.83	4.88	5.28	12.9	11.3
Ho	0.66	1.86	2.03	1.47	1.19	1.04	1.02	2.45	2.32
Er	1.86	4.99	5.86	4.25	3.28	2.86	2.96	6.46	6.36
Tm	0.28	0.79	0.77	0.6	0.5	0.42	0.45	0.99	0.93
Yb	1.79	4.56	5.14	3.68	3.33	2.77	2.77	6.13	6.14
Lu	0.29	0.67	0.75	0.59	0.52	0.49	0.42	0.97	0.9
Ta	0.17	1.1	1.21	0.55	0.32	0.32	1.38	1.00	0.89
Σ REE	34.88	231.78	234.54	100.00	68.38	67.77	100.74	236.61	220.11
Σ LREE	26.44	208.01	208.16	81.10	52.83	54.53	87.00	204.73	190.27
Σ HREE	8.44	23.77	26.38	18.90	15.55	13.24	13.74	31.88	29.84
L/H	3.13	8.75	7.89	4.29	3.40	4.12	6.33	6.42	6.38
(La/Yb) _N	1.49	5.68	4.75	2.07	1.35	2.01	3.97	3.56	3.16
(La/Sm) _N	1.15	2.12	1.90	1.15	0.89	1.28	1.91	1.51	1.46
δ Eu	1.16	1.00	1.06	1.08	1.07	1.07	0.85	0.97	1.03
Th/Ta	2.53	0.81	0.64	1.27	1.59	1.84	1.60	1.59	1.62
Ta/Hf	0.11	0.15	0.14	0.13	0.10	0.13	0.25	0.11	0.11

实验条件:在国家地质实验测试中心采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)测定。

陈汉林等：阿尔泰造山带南缘基性杂岩的形成背景及其动力学含义

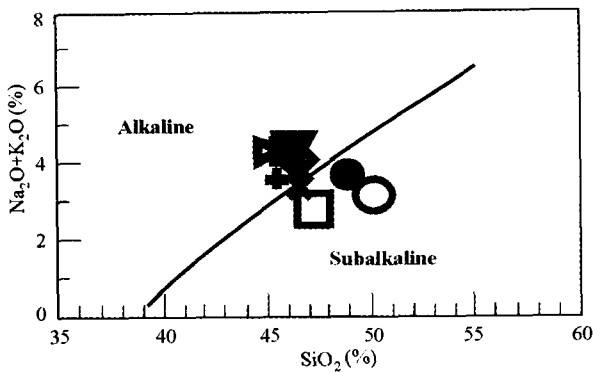


图3 (Na₂O + K₂O)-SiO₂ 图解(据 Irvine TN and Baragar WAR, 1971)

Fig. 3 Diagram of (Na₂O + K₂O)-SiO₂

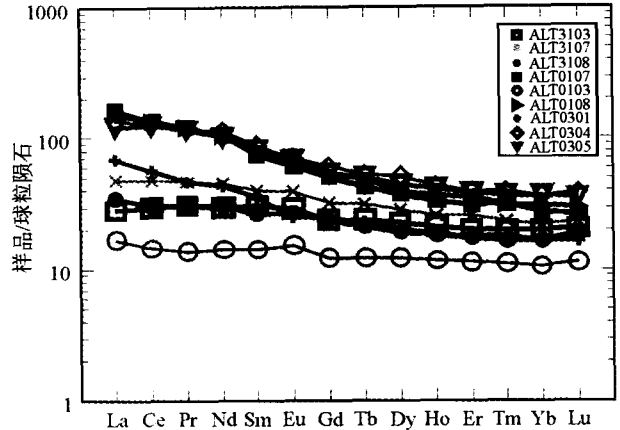


图5 阿尔泰基性杂岩球粒陨石标准化的稀土元素配分曲线

Fig. 5 Chondrite normalized REE patterns of the Altay mafic rocks.

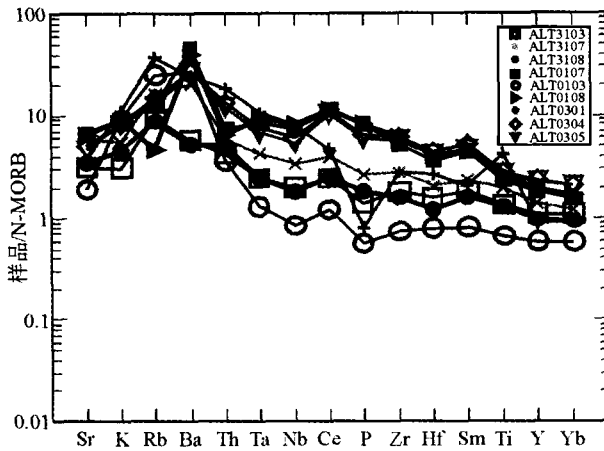


图4 阿尔泰基性杂岩洋中脊玄武岩标准化微量元素蜘蛛网(据 Pearce JA(1982)数据标准化)

Fig. 4 Ocean-ridge granite normalized trace spider diagram of the Altay mafic rocks

基性岩类稀土元素总量为 $\Sigma\text{REE} = 34 \times 10^{-6} \sim 236 \times 10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 1.36 ~ 5.68。在经球粒陨石标准化稀土元素分配模式上(图5),阿勒泰阿拉扎克、塔尔浪样品的稀土元素基本上没有发生轻、重稀土分异,为一条近平直的曲线;而富蕴县乌恰沟基性岩的稀土元素发生了中-弱的轻、重稀土分异,为一条略微右倾的曲线。 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 比值变化较大,为 0.89 ~ 2.12 之间; $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_N$ 值在 0.85 ~ 1.15 之间,以接近于 1 为主,显示了弱的 Eu 正异常。 Th/Ta 变化大,在 0.1 ~ 2.5 之间。一般来说,与消减作用有关的玄武质岩石亏损 Ta、富集 Th, Th/Ta 值多在 4 以上,而产于岛弧环境的玄武岩比值通常大于 3(Pearce JA, 1982)。因此基性杂岩不可能形成于岛弧的环境。汪云亮等(2001)根据世界典型大地构造环境区玄武岩类的 Th、Hf、Ta 资料,提出玄武岩类形成的大地构造环境的 Th/Hf - Ta/Hf 图解判别,认为大洋板内的洋岛、海山链玄武岩的 $\text{Th}/\text{Ta} < 1.6$, $\text{Ta}/\text{Hf} \geq 0.1$ 。而基性杂岩

的 Th/Ta 除了个别样品大于 1.6 外,其它都小于 1.6;而 Ta/Hf 在 0.10 ~ 0.25 之间,因此基性杂岩的形成环境与大洋板类的洋岛和海山的环境相似。

3 基性杂岩形成的构造环境判别

采用 TiO_2 - MnO - P_2O_5 , Ti-Zr-Y (Pearce JA and Cann JR, 1973)、Th-Hf/3-Nb/16、Ti-Zr、Y-Cr 的构造判别图对花岗岩中基性杂岩进行构造环境的判别。在 TiO_2 - MnO - P_2O_5 的图解上基性杂岩的的大部分样品落在洋岛玄武岩的区域(图6);在其它图解上,基性岩样品落在洋中脊玄武岩和岛弧玄武岩的过渡区域(图6),与位于大洋板块不同位置上(靠近俯冲带和靠近洋中脊)的海山玄武岩所表现出的特点相似(图6)。

结合前面的地球化学特征分析,认为花岗岩中的基性杂岩的原岩形成环境主体为大洋板块上的海山环境。

4 地球动力学含义

4.1 基性杂岩中角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年代及其含义

为了获得阿勒泰南缘基性杂岩的年代,作者对阿拉扎克基性杂岩样品进行了角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年代学测定。该岩石为变基性岩,所采的样品比较新鲜,遭受变质作用后以角闪石和斜长石为主要矿物成分。通过碎样、过筛,挑选出角闪石矿物进行⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年代测定,测定在中国地质科学院地质研究所同位素实验室进行。样品测试结果显示坪年龄为 $262.7 \pm 1.1\text{Ma}$ (表3,图6),这一结果与袁超等(2005a)获得的塔尔浪地区角闪辉长岩的年龄(坪年龄 $266.9 \pm 4.2\text{Ma}$)基本一致,而并也与袁超等(2005a)获得的片麻状

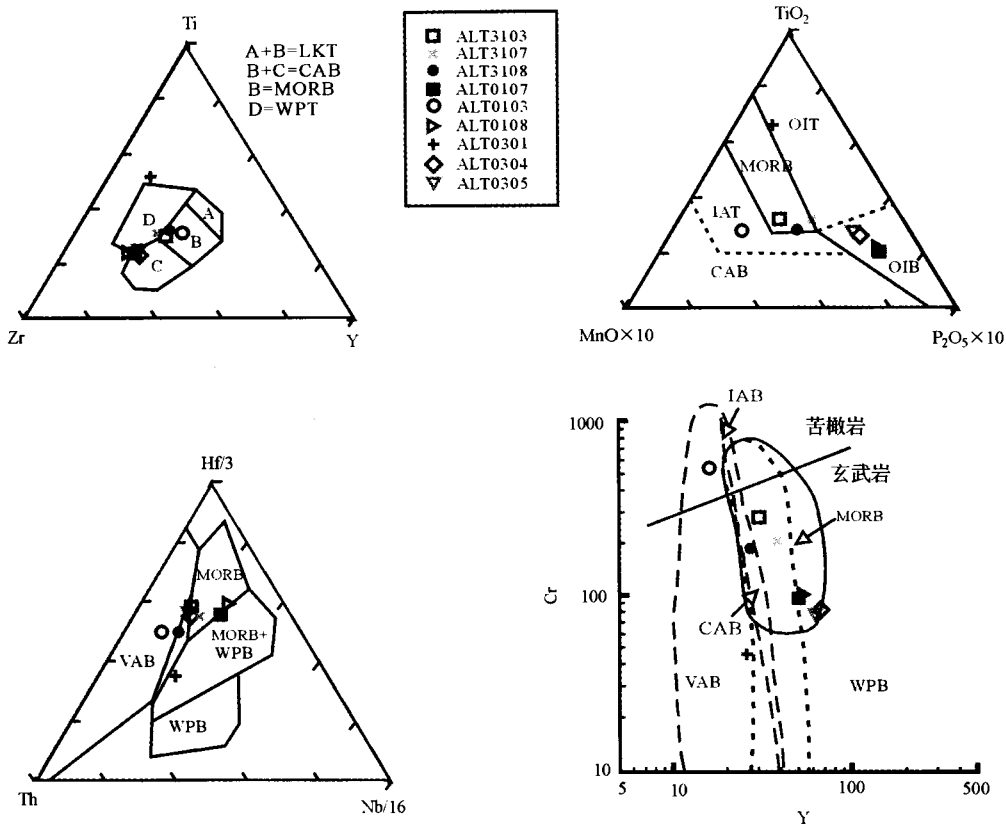


图6 阿尔泰基性岩构造背景判别图(据 Pearce JA and Cann JR, 1973)

其中 LKT-低钾拉斑玄武岩; CAB-大陆弧玄武岩; MORB-洋中脊玄武岩; IAT-岛弧拉斑玄武岩; VAB-火山弧玄武岩; OIB-洋岛玄武岩; OIT-洋岛拉斑玄武岩

Fig. 6 Tectonic discriminative diagrams of the Altay mafic rocks

表3 阿尔泰阿拉尕克变基性岩中角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar测定值

Table 3 ⁴⁰Ar/³⁹Ar data of hornblende in mafic rocks from Alagake, Altay

T(°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	* ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁹ Ar (× 10 ⁻¹⁴ mol)	³⁹ Ar (%)	年龄 (Ma)	+ 2σ (Ma)
500	201.1400	0.6672	28.7134	0.4141	6.1697	3.79	2.47	99	16
600	418.7818	1.4099	25.1706	0.5518	4.0246	1.86	3.68	65	54
700	413.0867	1.3799	23.8335	0.5022	7.1609	1.94	4.95	114	51
800	319.2029	1.0464	2.8654	0.4806	10.1999	2.50	6.58	161	43
900	489.5175	1.6442	14.9460	0.5208	4.7642	1.63	7.64	77	62
950	1135.7679	3.8281	22.9203	0.9284	6.3101	0.735	8.11	101	35
1000	685.1578	2.3003	17.5979	0.6005	6.7614	1.34	8.99	108	26
1100	74.3703	0.2134	17.6619	0.0706	12.7363	14.17	18.22	198.8	8.7
1200	26.7423	0.0366	14.8763	0.0266	17.1961	91.00	77.54	263.6	2.8
1300	47.8441	0.1094	17.2853	0.0745	16.9876	28.27	95.97	260.6	5.8
1350	120.8541	0.3569	18.6072	0.2057	16.9461	6.19	100.00	259.9	7.7

注: 表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值, Total age = 242.8Ma; 测试在中国地质科学院地质研究所同位素实验室完成。

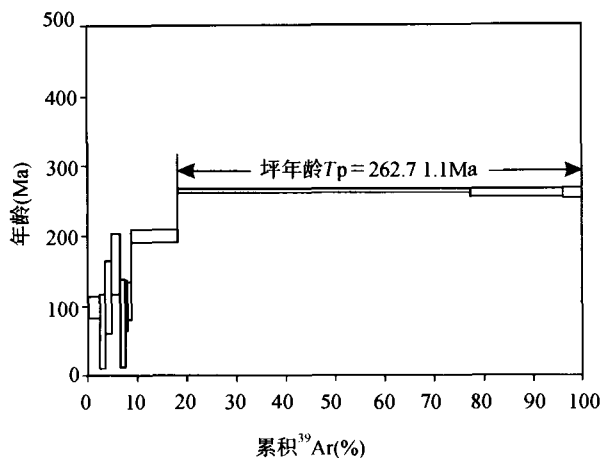


图7 阿尔泰阿拉尕克变基性岩中角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄
Fig. 7 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age of amphibole of the Aerduoke meta-mafic rock.

二云母花岗岩和片麻状花岗岩的年龄十分相似,它们都是记录了晚古生代末期的一次重要的构造热事件的年龄。因此,这一变基性岩的角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄并不是代表基性岩形成的年龄,而是后期构造热事件影响的年龄。Zhu YF *et al.* (出版中)在阿勒泰地区获得的黑云母花岗岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 248Ma,二云母花岗岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 247Ma,伟晶岩 3 号脉的 Rb-Sr 等时线年龄为 218Ma。

因此,不同的学者在不同的地区都获得了 240 ~ 270Ma 年左右的年龄,这些年龄不可能是一次局部的构造事件的所造成的年龄,如缝合带后期侧向走滑变形所记录的年龄 (Laurent-Charvet S *et al.*, 2002),应该是代表了一次重要的,区域性的、强烈的构造事件的年龄。

从前面的分析,作者认为阿拉尕克基性杂岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄是晚古生代末期一次重要的构造热事件的记录,它并不是基性杂岩的形成年龄。

4.2 阿勒泰南缘基性杂岩的形成构造环境

从前面的分析可以得出,阿勒泰造山带南缘的产于片麻状花岗岩内部的基性杂岩形成于海山的构造环境,属于海山玄武岩。但是,作为基性杂岩寄生母体的片麻状花岗岩,却形成于完全不同的构造环境。袁超等(2005b)年对基性杂岩所寄生的花岗岩进行了岩石地球化学特征和形成的构造背景分析,认为这些花岗岩显示出次铝质至轻微过铝质以及中钾或高钾钙碱性的特征;在微量元素方面相对富集大离子亲石元素,相对亏损高场强元素,具有中等程度的轻稀土富集和相对平缓的重稀土分布以及不同程度的负钕异常,并认为这些花岗岩均与消减作用有关。海山玄武岩寄生在岛

弧成因的花岗岩内部,它不可能作为花岗岩的深源包体形式出现,只可能是通过后期的构造作用形成。因此,作者认为海山玄武岩寄生在岛弧成因的花岗岩内部是通过碰撞造山作用过程中的构造混杂作用的结果。

结合年代学的结果,本文提出了以下的构造模式:

(1) 晚古生代早期,古亚洲洋向北俯冲到西伯利亚板块之下,形成了阿勒泰南缘的 400 ~ 410Ma 左右的岛弧花岗岩;同时由于古亚洲洋的俯冲,有大量的洋壳物质(包括海山玄武岩)未能俯冲下去,成为增生楔的一部分。

(2) 到晚二叠世时期,由于哈萨克斯坦板块与西伯利亚板块的强烈碰撞(碰撞开始时间可能要早于晚二叠世时期,晚二叠世是碰撞最强烈的时期)导致增生楔和岛弧地带的强烈挤压变形,并导致增生楔物质和花岗岩的强烈变形与构造混杂。

致谢 感谢两位审稿人朱永峰教授和张连昌博士提出的建设性修改意见。

References

- Irvine TN and Baragar WRA. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8:523-48
- Li JY, Xiao WJ, Wang K, Sun G and Gao L. 2003. In: Mao JW, Goldfarb RJ, Seltmann R, Wang D, Xiao W and Hart C. (Eds.), *Proceedings Volume of the International Symposium of the IGCP-473 Project in Urumqi and Guidebook of the Field Excursion in Xinjiang, China: August 9 - 21, 2003, IAGOD Guidebook Series 10. CERCAMS/NHM London, 31-74*
- Li S and Yuan KR. 1995. The geological characteristics of Wulungu high-alkaline granite belt, Xinjiang, *Journal of Guilin Institute of Technology*, 15(3):243-251 (in Chinese with English abstract)
- Laurent-Charvet S, Charvet J, Moni P and Shu L. 2003. Late Paleozoic strike-slip shear zones in eastern central Asia (NW China): New structural and geochronological data. *Tectonics*, 22(2), doi 10.1029/2001TC901047
- Natal'in BA and Sengör AMC. 1994. The tectonic setting of the Tien Shan within the Altaid orogenic belt. In: *Geol. Soc. Am. Abst. Program, Annual Meeting, Seattle, A464*
- Pearce JA. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In Thorpe RS (ed). *Andesites*. John Wiley, Chichester, 525-47
- Pearce JA and Cann JR. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19:290-300
- Sengör AMC, Natal'in BA and Burtman VS. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364: 299-307
- Wang YL, Zhang CJ and Xiu SZ. 2001. Th/Hf-Ta/Hf identification of tectonic setting of basalts. *Acta Petrologica Sinica*, 17(3):413-421 (in Chinese with English abstract)
- Windley BF, Kroner A, Guo JH, Qu GS, Li Y and Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai orogen, NW China: new zircon age data and tectonic evolution. *The Journal of Geology*, 110: 719-737

- Xiao WJ, Windley BF, Badarch G, Sun S, Li JL, Qin KZ and Wang ZH. 2004. Paleozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altai; implications for the lateral growth of Central Asia. *Journal of the Geological Society, London*, 161:339-342
- Yuan C, Sun M, Xiao WJ, Xia XP, Chen HL and Li JL. 2005. SHRIMP U-Pb dating of zircons and Geochemical character of granite in Southern Altay. *Abstract of 2005 Petrology and Geodynamics in China*, 418-419 (in Chinese)
- Yuan F, Zhou TF and Yue SC. 2001. The ages and the genetic types of the granites in the Nurt, Altay. *Area. Xinjiang Geology*, 19(4): 202-296 (in Chinese with English abstract)
- Yuan F, Zhou TF and Yue SC. 2003. Study on mechanism of formation of volcanic rock in North Altay by using rare earths. *Journal of the Chinese Rare Earth Society*, 21(3): 343-347 (in Chinese with English abstract)
- Zheng CQ, Xu XC and He ZW. 2005. Study on the characteristics and genesis of plagiomonzonitic granitic gneiss in Altay orogen. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 23(2): 1-5 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Zeng YS and Gu LB. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite no. 3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altay Mountains, northwest China. *Journal of Asian Earth Sciences* (in press)
- 刘生, 袁奎荣. 1995. 新疆乌伦古富碱花岗岩的地质特征, 桂林工学院学报, 15(3): 243-251
- 汪云亮, 张成江, 修淑芝. 2001. 玄武岩类形成的大地构造环境的 Th/Hf-Ta/Hf 图解判别. *岩石学报*, 17(3): 413-421
- 袁超, 孙敏, 肖文交, 夏学平, 陈汉林, 李继亮. 2005. 阿尔泰山缘花岗岩的锆石 U-Pb 年代学及其地球化学特征. 2005 年全国岩石学与地球动力学会议论文集, 418-419
- 袁峰, 周涛发, 岳书仓. 2001a. 阿勒泰诺尔特地区花岗岩形成时代及成因类型. *新疆地质*, 19(4): 202-296
- 袁峰, 周涛发, 岳书仓. 2001b. 新疆阿勒泰诺尔特地区石炭纪火山作用. *新疆地质*, 19(2): 133-137
- 袁峰, 周涛发, 岳书仓. 2003. 北阿勒泰火山岩形成机制的稀土判别. *中国稀土学报*, 21(3): 343-347
- 郑长青, 徐学纯, 何政伟. 2003. 阿尔泰山带晚古生代斜长-二长花岗岩质片麻岩特征及成因研究. *矿物岩石*, 23(2): 1-5

附中文参考文献