

新疆谢米斯台中段火山岩岩石地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及其地质意义^{*}

孟磊^{1,2} 申萍^{1**} 沈远超¹ 刘铁兵¹ 宋国学¹ 代华五¹ 李成凯² 郎泽松²

MENG Lei^{1,2}, SHEN Ping^{1**}, SHEN YuanChao¹, LIU TieBing¹, SONG GuoXue¹, DAI HuaWu¹, LI ChengKai² and LANG ZeSong²

1. 中国科学院地质与地球物理研究所,中国科学院矿产资源研究重点实验室,北京 100029

2. 有色金属矿产地质调查中心,北京 100012

1. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. China Non-Ferrous Metal Resource Geological Survey, Beijing 100012, China

2010-05-06 收稿, 2010-06-10 改回.

Meng L, Shen P, Shen YC, Liu TB, Song GX, Dai HW, Li CK and Lang ZS. 2010. Igneous rocks geochemistry, zircon U-Pb age and its geological significance in the central section of Xiemisitai area, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 26(10):3047-3056

Abstract The igneous rocks, occurred in the central section of the Xiemisitai area in Xinjiang, are made of the andesite, dacite and rhyolite. Geochemical data indicate that the igneous rocks have a high-K calc-alkaline composition ($K_2O = 3.42\% \sim 9.85\%$; $Na_2O = 0.48\% \sim 5.30\%$), and are enriched in large ion lithophile elements (LILE) and depleted in high field strength elements (HFSE) with a clear negative Nb, P and Ti anomaly. REE patterns show distinct enrichments in LREE relative to HREE. Lead isotope composition of the rocks span a narrow range ($^{206}Pb/^{204}Pb = 18.435 \sim 19.409$, $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.535 \sim 15.602$, $^{208}Pb/^{204}Pb = 38.361 \sim 39.213$). The rocks also exhibit high initial $\epsilon_{Nd}(t)$ ($+4.43 \sim +6.65$) ratios and low initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ values ($0.700953 \sim 0.704435$). Volcanic activity occurred at 422.5 ± 1.9 Ma based on U-Pb (SIMS) analyses of zircons from the rhyolite. These data are consistent with a mature arc and suggest that the volcanic rocks were derived from the partial melting of multiple sources including oceanic crust and enriched mantle, with melts undergoing significant crystal fractionation and minor crustal assimilation during convergence between the paleo-Junggar ocean and the Xiemisitai mature arc in Late Silurian.

Key words Igneous rocks; Geochemistry; SIMS zircon U-Pb date; Island arc; the central section of the Xiemisitai

摘要 谢米斯台中段地区发育的火山岩主要为安山岩、英安岩和流纹岩。岩石地球化学研究表明,岩石的 K_2O 、 Na_2O 含量高 ($K_2O = 3.42\% \sim 9.85\%$; $Na_2O = 0.48\% \sim 5.30\%$), 大离子亲石元素 (LILE) 相对富集, 高场强元素 (HFSE) 相对亏损, 其中 Nb、P、Ti 强烈亏损, 轻稀土元素 (LREE) 和重稀土元素 (HREE) 分馏较强; Pb 同位素比值为 $^{206}Pb/^{204}Pb = 18.435 \sim 19.409$ 、 $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.535 \sim 15.602$ 、 $^{208}Pb/^{204}Pb = 38.36 \sim 39.213$; 火山岩具有高的初始 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值 ($+4.43 \sim +6.65$) 和低的初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值 ($0.700953 \sim 0.704435$)。该地区流纹岩 SIMS 锆石 U-Pb 测年结果为 422.5 ± 1.9 Ma。综合研究认为, 谢米斯台中段地区火山岩是晚志留世准噶尔洋壳俯冲, 在地幔楔形区, 经过洋壳与富集地幔的局部熔融, 经历了一定程度的分离结晶作用形成的中酸性岩浆喷发而成, 在岩浆上升过程中有少量地壳物质的混染。

关键词 火山岩; 地球化学; 锆石 U-PbSIMS 测年; 岛弧 谢米斯台中段

中图法分类号 P588.14; P597.3

* 本文受中国科学院知识创新工程重点项目 (KZCX2-YW-107)、国家自然科学基金项目 (40972064) 和国家 305 项目 (2006BAB07B01) 联合资助。

第一作者简介: 孟磊, 男, 1983 年生, 硕士, 从事火山岩及成矿作用研究, E-mail: st.ng@163.com

** 通讯作者: 申萍, 女, 1964 年生, 博士, 副研究员, 矿床学专业, E-mail: pshen@mail.iggcas.ac.cn

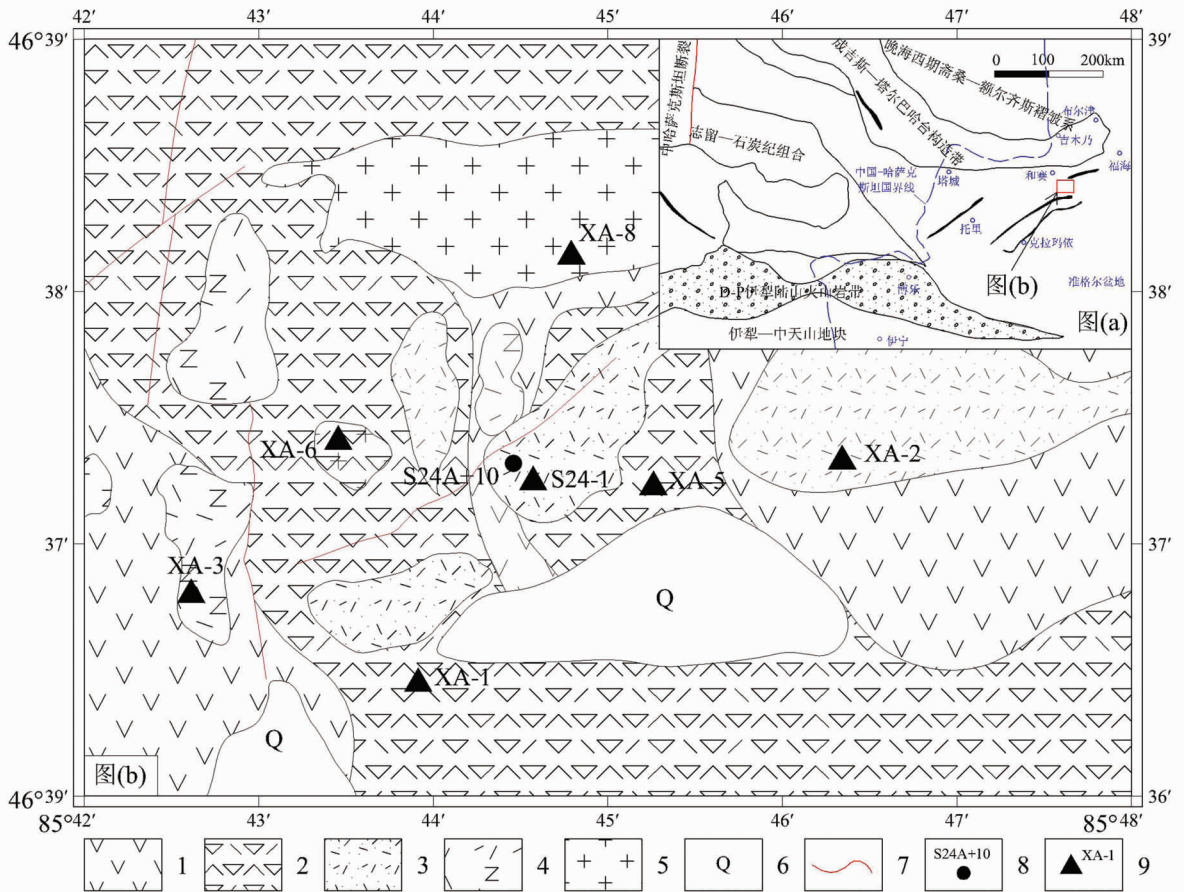


图1 巴尔喀什-西准噶尔及邻区的构造简图(a, 据何国琦等, 2005; 朱永峰和徐新, 2006 编绘)和谢米斯台地区地质简图(b, 据新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1979①; 孟磊等, 2010 编绘)

1-安山岩; 2-英安岩; 3-流纹岩; 4-霏细岩/霏细斑岩; 5-细晶花岗岩; 6-第四纪堆积; 7-断裂; 8-锆石分析采样号及位置; 9-岩石分析采样号及位置

Fig. 1 Simplified geological-tectonic map for the Balkhash-western Junggar and its adjacent region (a, modified after He *et al.*, 2005; Zhu and Xu, 2006) and geological map of the central section of the Xiemisitai (b, modified after Meng *et al.*, 2010)

新疆地区是中亚造山带的一个重要组成的部分 (Sengör *et al.*, 1993; 李锦轶和肖序常, 1999; 王京彬和徐新, 2006; Windley *et al.*, 2007), 其以洋-陆、陆-陆碰撞为特征 (Buckman *et al.*, 2004; 肖文交等, 2006)。后碰撞岩浆活动可能是引起新疆地区古生代陆壳垂向增生的主要原因, 对中亚造山带成矿起着非常重要的作用 (韩宝福等, 1999; 王京彬等, 2008; Zhou *et al.*, 2008)。谢米斯台地区位于北疆地区西准噶尔的北部。

本文重点依据微量元素、Sr-Nd-Pb 同位素资料, 并结合单颗粒锆石离子探针定年, 研究谢米斯台地区火山岩的岩浆源区特征及演化关系, 进而探讨含矿岩石的成因和形成时代。

1 地质概况

谢米斯台地区位于哈萨克斯坦-准噶尔板块北部的活动

大陆边缘, 其北为萨吾尔晚古生代岛弧, 属额尔齐斯-斋桑晚古生代褶皱系南部; 其南缘即为准噶尔盆地, 该地区是哈萨克斯坦成吉思-塔尔巴哈台加里东-华西期褶皱带东延部分 (肖序常等, 1992; 何国琦等, 1994; 王广瑞, 1996; 李锦轶等, 2006; 朱永峰和徐新, 2006) (图 1a)。

谢米斯台地区出露一套古生代的汇聚型过渡壳阶段弧-盆体系的火山岩建造 (何国琦等, 1995)。谢米斯台地区出露地层主要包括泥盆系、石炭系、侏罗系以及第四系的地层, 在该地区泥盆系以中泥盆呼吉尔斯特组 (D_2h) 的一套中酸性火山岩分布为主, 约占 90%; 石炭系、侏罗系均为一系列的滨海相沉积, 包括一些有机质含量较高的沉积岩; 第四系为山间的一些砂砾石堆积 (新疆地质矿产局, 1993)。

我们研究的谢米斯台地区火山岩属于中泥盆呼吉尔斯特组 (D_2h) 的一套中酸性火山岩, 出露岩石主要是安山岩、

① 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1979. 1: 20 万乌鲁木齐幅区域地质图

表 1 谢米斯台中段岩石主量元素 (wt%)、稀土元素和微量元素 ($\times 10^{-6}$) 分析数据Table 1 Major element (wt%), REE and trace element ($\times 10^{-6}$) analyzed data of rocks in the central of the Xiemisitai

样品号	XA-1	XA-5	XA-2	XA-3	XA-6	XA-8	S24-1
岩性	英安岩	英安岩	流纹岩	霏细斑岩	细晶花岗岩	细晶花岗岩	流纹岩
来源	孟磊等(2010)				本文		
SiO ₂	64.25	65.17	74.56	74.86	71.20	69.13	72.99
TiO ₂	0.47	0.53	0.26	0.19	0.40	0.51	0.25
Al ₂ O ₃	14.97	14.61	12.80	12.45	13.82	14.51	12.42
Fe ₂ O ₃ ^T	4.70	4.91	1.38	1.20	1.88	2.25	1.40
MnO	0.11	0.12	0.02	0.03	0.04	0.07	0.05
MgO	2.34	1.46	0.22	0.32	0.66	0.79	0.42
CaO	3.62	3.52	0.36	0.97	0.90	1.35	0.14
Na ₂ O	3.99	4.33	3.58	4.22	4.80	5.30	0.58
K ₂ O	3.43	3.42	5.61	4.68	4.43	4.16	9.85
P ₂ O ₅	0.18	0.15	0.04	0.04	0.10	0.13	0.05
FeO	1.57	1.66	0.18	0.16	0.69	0.82	0.38
LOI	1.46	1.50	0.56	1.08	1.18	1.58	0.90
TOT	99.51	99.72	99.39	100.07	99.41	99.76	99.06
La	19.4	18.7	18.2	24.4	27.2	27.2	14.4
Ce	34.0	34.0	29.8	41.2	49.0	53.3	29.6
Pr	4.09	4.27	3.44	4.58	5.50	6.18	2.84
Nd	15.5	16.9	11.9	15.4	19.8	23.9	9.8
Sm	3.01	3.45	2.09	2.63	3.36	4.38	1.88
Eu	0.87	0.88	0.37	0.41	0.71	1.26	0.36
Gd	2.86	3.24	1.90	2.44	3.03	4.04	1.78
Tb	0.45	0.52	0.31	0.41	0.46	0.62	0.31
Dy	2.75	3.20	1.92	2.56	2.82	3.73	1.91
Ho	0.58	0.70	0.42	0.58	0.60	0.79	0.41
Er	1.72	2.00	1.27	1.70	1.75	2.22	1.19
Tm	0.27	0.31	0.21	0.27	0.27	0.35	0.20
Yb	1.77	2.09	1.51	1.88	1.85	2.38	1.37
Lu	0.28	0.33	0.26	0.31	0.31	0.38	0.24
Sc	13.7	16.8	2.7	2.5	3.8	5.7	2.3
Co	11.8	13.2	1.0	1.4	1.4	2.1	2.1
Ga	14.7	14.9	9.7	13.0	15.3	16.4	10.0
Sr	351	314	209	88	116	160	142
Y	16.18	19.75	12.95	17.20	16.84	22.13	12.70
Zr	111	137	159	99	214	236	147
Nb	5.51	5.06	6.74	10.21	9.67	10.89	6.70
Cs	2.98	2.71	3.57	2.52	3.25	3.53	4.85
Hf	3.35	3.88	4.55	3.34	5.43	5.84	4.47
Pb	14.8	13.6	21.8	9.5	10.8	13.2	25.3
Th	10.3	6.9	11.8	12.1	8.9	7.8	12.2
U	3.23	1.97	3.13	2.40	2.44	2.55	3.03
Li	25.5	27.4	5.1	6.0	14.3	16.5	9.7
Be	0.97	0.97	1.19	1.56	1.57	1.56	0.84
V	130.3	126.5	15.0	12.5	22.9	25.8	15.4
Cr	13.34	4.99	2.74	6.03	4.91	4.42	3.81
Ni	8.06	3.53	0.06	2.31	1.41	2.44	2.78
Rb	79.6	59.9	124.6	90.9	78.1	71.9	255.0
Ba	600	671	1044	506	1075	960	1036
Ta	0.46	0.37	0.54	0.93	0.74	0.77	0.56
Th/Yb	5.82	3.32	7.82	6.42	4.83	3.30	8.91
Ta/Yb	0.26	0.18	0.36	0.49	0.40	0.32	0.41
Ba/La	30.96	35.83	57.44	20.73	39.53	35.23	71.97
Ba/Nb	109	133	155	49.6	111	88.1	155
Ba/Zr	5.43	4.90	6.55	5.13	5.03	4.07	7.06
δ Eu	0.91	0.80	0.56	0.50	0.68	0.91	0.61
(La/Yb) _N	7.39	6.04	8.10	8.74	9.92	7.72	7.10
(Ce/Yb) _N	4.97	4.22	5.10	5.67	6.85	5.80	5.59
Σ REE	87.44	90.68	73.58	98.78	116.7	130.7	66.19

英安岩、流纹岩,有少量的火山碎屑岩,并发育大量的花岗岩侵入岩(图1b)。该套火山岩在地球化学元素特征上具有高钾钙碱性系列特征和岛弧火山岩特征(孟磊等,2010)。

2 样品的选择及分析测试结果

2.1 样品的选择

本次研究从大量的样品中选取新鲜的具有代表性的不同岩石类型,包括英安岩、流纹岩、霏细斑岩及细晶花岗岩,其中火山岩为中泥盆呼吉尔斯特组岩石,花岗岩侵入中泥盆呼吉尔斯特组地层的的花岗岩体。对所有样品进行主量、微量元素以及 Sr-Nd-Pb 同位素分析,样品分析在中国科学院地质与地球物理研究所进行。

2.2 主量和微量元素

主量元素测试采用 Analytate-V2 高频熔融制样机制样,使用 XRF-1500 (SHIMADZU),采用标准曲线法进行分析,FeO 的含量分析用化学容量法完成,分析精度在 $\pm 0.005\%$ ~ $\pm 0.2\%$ 之间(表1)。

谢米斯台地区岩石 SiO₂ 含量变化范围为 64.25% ~ 74.86%; K₂O 为 3.42% ~ 9.85%; Na₂O 含量为 0.48% ~ 5.30%; K₂O/Na₂O 比值为 0.78 ~ 16.99, Al₂O₃ 为 12.45% ~ 14.97%。总体上该区岩石具有 MnO、MgO、Fe₂O₃、TiO₂ 含量很低, K₂O、Na₂O、CaO₂ 含量较高的特征。

微量元素测试是采用钢套酸溶样品,使用(ICP-MS) ELEMENT(FINNIGAN MAT 公司制造),采用标准曲线法进行分析,大多数元素 RSD $\leq 10\%$ 。

谢米斯台地区火山岩岩石 Σ REE 范围为 59.84×10^{-6} ~ 130.7×10^{-6} ; 整个地区岩石样品的球粒陨石标准化稀土配分曲线呈缓右倾状展布; (La/Yb)_N 为 6.04 ~ 11.2; (Ce/Yb)_N 范围为 4.22 ~ 6.85; δ Eu 为 0.50 ~ 0.91。

2.3 Sr-Nd-Pb 同位素

本次同位素采样与主量、微量元素分析样品相对应,样品的溶解分离与测试方法如下:

称取大约 100mg 全岩粉末样品,加入适量的⁸⁷Rb-⁸⁴Sr 和¹⁴⁹Sm-¹⁵⁰Nd 混合稀释剂和纯化的 HF-HClO₄ 酸混合试剂后,在高温下完全溶解。Rb-Sr 和 REE 的分离和纯化是在装 2mL 体积 AG 50W-X12 交换树脂(200 ~ 400 目)的石英交换柱进行的,而 Sm 和 Nd 的分离和纯化是在石英交换柱用 1mL Teflon 粉末为交换介质完成的。Sr 同位素比值测定采用 Ta 金属带和 Ta-Hf 发射剂,而 Rb、Sm 和 Nd 同位素比值测定采用双 Re 金属带测试。分别采用¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0.7219 和⁸⁶Sr/⁸⁸Sr = 0.1194 校正测得的 Nd 和 Sr 同位素比值。Rb-Sr 和 Sm-Nd 的全流程本底分别为 100×10^{-6} 和 50×10^{-6} 左右。化学流程和同位素比值测试可参见 Chen *et al.* (2000,

2002)。化学分离和同位素比值测量在中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素地球化学实验室完成,测量所用仪器为德国 Finnann 公司 MAT-262 热电离质谱计。

Pb 同位素分析采用 HF 酸(2% HNO₃)、在高温高压条件下将粉末样品完全溶解。溶样后,蒸干样品溶液,用 6N HCl 酸将氟化物样品转化为氯化物,蒸干后,用 0.6N HBr 酸提取样品。在装有 80 μ L AG1 \times 8 (100 ~ 200 目)交换树脂的 Teflon 交换柱上,采用 0.6N HBr 和 6N HCl 酸流程分离纯化 Pb 样品。Pb 的全流程本底小于 50×10^{-6} 。Pb 同位素测量采用硅胶发射剂和 Re 金属带,测量温度为 1300 $^{\circ}$ C。Pb 同位素质量分馏校正系数为每质量单位 1‰。该校正系数源于对 Pb 标准物质 NBS981 的大量测试所获得的数据。同位素比值测量采用 MAT-262 质谱计。

谢米斯台地区岩石系同一时期火山作用产物,故本文使用该地区流纹岩的 SIMS 年龄(422.5Ma)来推算其(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i、(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_i 和 $\epsilon_{Nd}(t)$, 其相关的 Sm-Nd 同位素分析结果列于表 2。该地区岩石(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i 变化范围为 0.700953 ~ 0.704435, (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_i 为 0.512320 ~ 0.512434, $\epsilon_{Nd}(t)$ 变化范围为 4.43 ~ 6.60。Pb 同位素结果见表 3,本地区岩石²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 变化范围为 18.435 ~ 19.409, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 为 15.535 ~ 15.602, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 为 38.361 ~ 39.213。详细特征见文后讨论部分。

3 流纹岩锆石 SIMS 测年

3.1 锆石年龄样品采集与分析

对谢米斯台地区的岩石样品经过仔细挑选后,挑选出 S24A + 10 样品进行了锆石单矿物的挑样。S24A + 10 该样品为中泥盆呼吉尔斯特组(D₂h)顶部的流纹岩(新疆地质矿产局,1993),其斑晶相对较大,易于挑选锆石矿物。样品的处理过程是将用于 U-Pb 年龄测定的样品用常规的重选和磁选技术分选出锆石等非磁性重矿物。将锆石样品颗粒以及锆石标样 Temora 粘贴在环氧树脂靶上,然后对其抛光直至锆石露出一半晶面。对锆石进行透射光和反射光显微照相以及阴极发光(CL)图象分析,以检查锆石的内部结构、帮助选定最佳的待测锆石部位。样品靶在真空中镀金以备分析。

锆石 U、Th、Pb 的测定在中国科学院地质与地球物理研究所 CAMECA IMS-1280 二次离子质谱仪(SIMS)上进行。锆石标样与锆石样品以 1 : 3 比例交替测定。锆石样品的 U-Th-Pb 同位素比值用标准锆石 Temora 校正获得(Wiedenbeck *et al.*, 1995; Black *et al.*, 2004),详细的分析方法见 Li *et al.* (2009)。在 Pb/Pb 和 Pb/U 同位素比值测定中所用的质谱分辨率为 5400。普通 Pb 校正采用实测²⁰⁴Pb 值。由于测得的普通 Pb 含量非常低,可以认为普通 Pb 主要来源于制样过程中带入的表面 Pb 污染,因此用现代地壳的平均 Pb 同位素组成(Stacey and Kramers, 1975)作为普通 Pb 组成进行校正。单点分析的同位素比值及年龄误差为 1 σ , U/Pb (和 Pb/Pb)

表 2 谢米斯台中段火山岩 Pb 同位素组成及参数

Table 2 Pb isotopic compositions of the igneous rocks in the central section of the Xiemisitai

样品号	XA-1	XA-5	XA-2	XA-3	XA-6	XA-8	S24-1
U($\times 10^{-6}$)	3.23	1.97	3.13	2.40	2.44	2.55	3.03
Th($\times 10^{-6}$)	10.3	6.9	11.8	12.1	8.9	7.8	12.2
Pb($\times 10^{-6}$)	14.8	13.6	21.8	9.5	10.8	13.2	25.3
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	18.912 \pm 21	18.615 \pm 9	18.674 \pm 8	19.409 \pm 8	19.002 \pm 9	18.738 \pm 32	18.435 \pm 10
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	15.602 \pm 25	15.535 \pm 9	15.588 \pm 8	15.605 \pm 8	15.554 \pm 9	15.593 \pm 40	15.570 \pm 9
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	38.766 \pm 33	38.361 \pm 9	38.657 \pm 9	39.213 \pm 8	38.658 \pm 8	38.614 \pm 45	38.412 \pm 10
μ	9.42	9.32	9.42	9.4	9.33	9.42	9.4

表 3 谢米斯台火山岩 Sr-Nd 同位素组成及参数

Table 3 Sr-Nd isotopic compositions of the igneous rocks in the central section of the Xiemisitai

样品号	XA-1	XA-5	XA-2	XA-3	XA-6	XA-8	S24-1
Rb($\times 10^{-6}$)	81.8	59.6	127.6		81.7	75.5	248.3
Sr($\times 10^{-6}$)	364.0	302.2	203.7		109.8	146.8	129.4
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.6502	0.5708	1.8146		2.1556	1.4895	5.5710
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.708251 \pm 15	0.707870 \pm 14	0.714635 \pm 10		0.715805 \pm 12	0.711714 \pm 11	0.734477 \pm 10
($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) _i	0.704338	0.704435	0.703716		0.702831	0.702748	0.700953
Sm($\times 10^{-6}$)	2.90	2.97	1.98	2.58	3.19	4.08	1.62
Nd($\times 10^{-6}$)	14.36	13.72	10.93	14.47	17.99	20.89	8.26
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.1223	0.1309	0.1097	0.1078	0.1072	0.1180	0.1184
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.512718 \pm 17	0.512733 \pm 14	0.512654 \pm 14	0.512671 \pm 15	0.512731 \pm 14	0.512758 \pm 15	0.512648 \pm 15
$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	5.58	5.41	5.01	5.45	6.65	6.60	4.43
($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) _i	0.512380	0.512371	0.512350	0.512373	0.512434	0.512431	0.512320

Sr-Nd 初始比值计算采用 422.5Ma 的年龄

表 4 谢米斯台中段流纹岩 (S24A + 10) 锆石 SIMS U-Pb 定年数据

Table 4 SIMS zircon U-Pb isotopic data for the rhyolite (S24A + 10) from the central section of the Xiemisitai

测点号	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	Pb ($\times 10^{-6}$)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	error(%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	error(%)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	error(%)	Age(Ma)	error
S24A10@15	148	108	0.73	12.7	0.0505	5.4	0.475	5.7	0.0682	1.7	427.9	7.0
S24A10@12	280	303	1.08	26.1	0.0502	4.1	0.465	4.4	0.0672	1.7	421.8	6.8
S24A10@11	222	180	0.81	19.1	0.0542	2.7	0.490	3.2	0.0656	1.6	410.0	6.6
S24A10@10	131	50	0.38	10.6	0.0552	1.6	0.525	2.2	0.0690	1.5	430.4	6.4
S24A10@9	394	273	0.69	33.7	0.0556	1.8	0.515	2.4	0.0672	1.6	419.0	6.6
S24A10@8	360	273	0.76	31.7	0.0552	2.1	0.520	2.6	0.0682	1.5	425.6	6.4
S24A10@6	98	60	0.61	8.3	0.0559	2.6	0.526	3.1	0.0683	1.7	425.4	7.1
S24A10@5	143	86	0.60	11.7	0.0524	2.6	0.487	3.0	0.0674	1.5	421.9	6.3
S24A10@4	200	137	0.69	17.1	0.0558	1.6	0.520	2.2	0.0676	1.5	421.5	6.3
S24A10@3	127	110	0.87	11.7	0.0568	2.2	0.543	2.7	0.0693	1.5	431.5	6.4
S24A10@2	84	52	0.62	7.0	0.0534	3.0	0.495	3.4	0.0672	1.5	419.9	6.4
S24A10@1	127	112	0.88	11.5	0.0567	2.5	0.533	2.9	0.0681	1.6	424.2	6.5

表中所有误差为 1σ

平均年龄误差为 95% 置信度。数据结果处理采用 ISOPLOT 软件 (Ludwig, 2001)。

3.2 锆石年龄测试结果

S24A + 10 为流纹岩, 样品中锆石的阴极发光 (CL) 图像

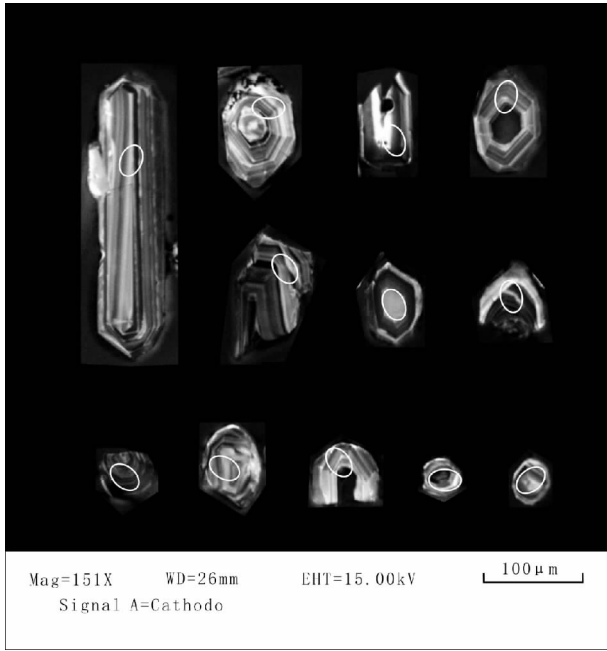
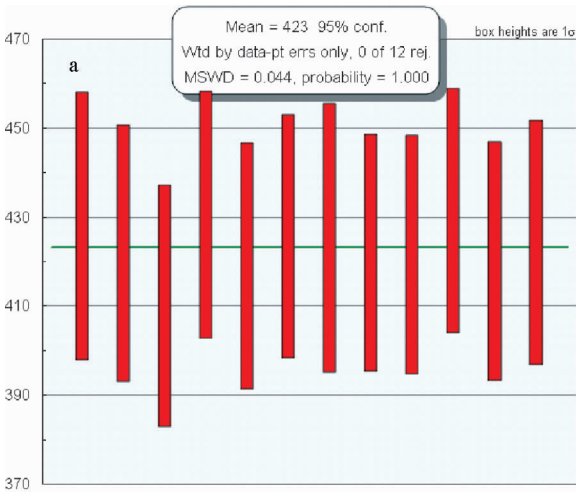


图2 S24A + 10 锆石的 CL 图像

Fig. 2 CL photographs of the zircon from Sample S24A + 10

(图2)研究表明,锆石均具明显岩浆环带,没有被后期改造的痕迹。因此认为所分选出来的锆石是从岩浆中结晶出来的,锆石核部或者代表早期岩浆房中的结晶产物,或者代表早期岩浆锆石的残余。测定结果在表4中。

锆石的 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比值在0.38~1.08区间变化,表观年龄在410~427.9Ma之间变化(表4),大部分测点反映了锆石的年龄。剔除那些明显混杂的非同期的锆石的5个测点后,对其余12个测点计算得到的一个平均年龄值为 $422.5 \pm 1.9\text{Ma}$ (MSWD = 0.40,图3a);所有的年龄测定值均落在U-Pb谐和线上(图3b)。



4 讨论

4.1 岩石地球化学特征及构造背景

谢米斯台地区位于哈萨克斯坦地块与古亚洲洋的交汇地区,中亚造山带中西部。中亚造山带中西部地区大面积的安第斯型岩浆弧、岛弧、增生楔、蛇绿岩片和/或微地块组成了一个大型的增生活动大陆边缘序列的多岛古地理环境(Xiao *et al.*, 2008)。准噶尔洋是古亚洲洋演化的阶段性产物,它位于西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块之间,在新元古代中期(约750Ma)古超大陆裂解形成的,在石炭纪末期关闭(肖序常等,1992;何国琦等,1994;王广瑞,1996)。谢米斯台地区火山岩即形成于古生代准噶尔洋闭合时洋-陆格局演化期间形成(李锦轶等,2006)。

稀土元素呈典型的轻稀土富集重稀土亏损模式, Eu 具有弱-中等的负异常(图4a),表明该地区岩石成岩之前经历了一定程度的分离结晶作用。微量元素蛛网图中 Nb、P、Ti 强烈亏损, Rb、K 等大离子亲石元素相对富集(图4b),表明该地区的岩石为具典型岛弧特征的火山岩(Rollison, 1993)。根据现有的测试数据以及孟磊等(2010)部分地球化学资料,我们采取了 Th-Co 稳定微量元素图解(Hastie *et al.*, 2007)进行投图,得出该套火山岩为高钾钙碱系列-钾玄岩系列的安山岩-英安岩-流纹岩组合(图5a),主要以酸性的英安岩-流纹岩为主。在 Th/Yb-Ta/Yb 构造环境判别图解中(Rollison, 1993),谢米斯台火山岩均落入了活动陆缘与碱性洋内弧的范围内(图5b)。Ba/La、Ba/Nb 和 Ba/Zr 的比值都相对较高,表明该地区的大离子亲石元素与高场强元素分离比较彻底,这种分离具消减俯冲带的典型特征(Ajaji *et al.*, 1998)。

4.2 岩浆来源

研究区内前人尚未做过有关火山岩岩浆性质的研究,本

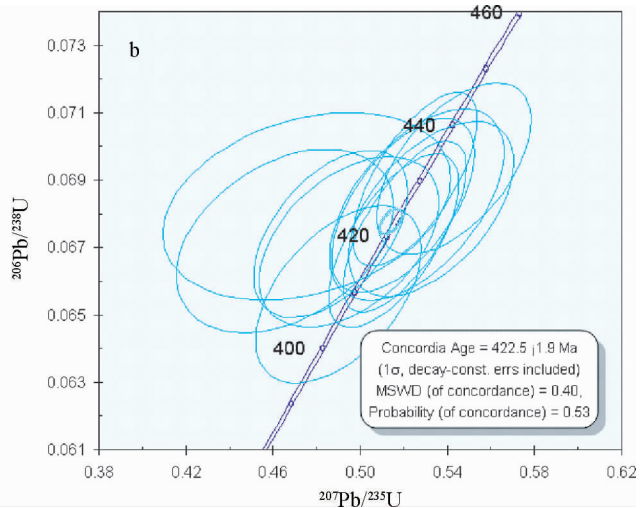


图3 谢米斯台中段流纹岩(S24A + 10)锆石 SIMS U-Pb 定年图

Fig. 3 SIMS zircon U-Pb concordia diagrams for the rhyolite (S24A + 10) from the central section of the Xiemisitai

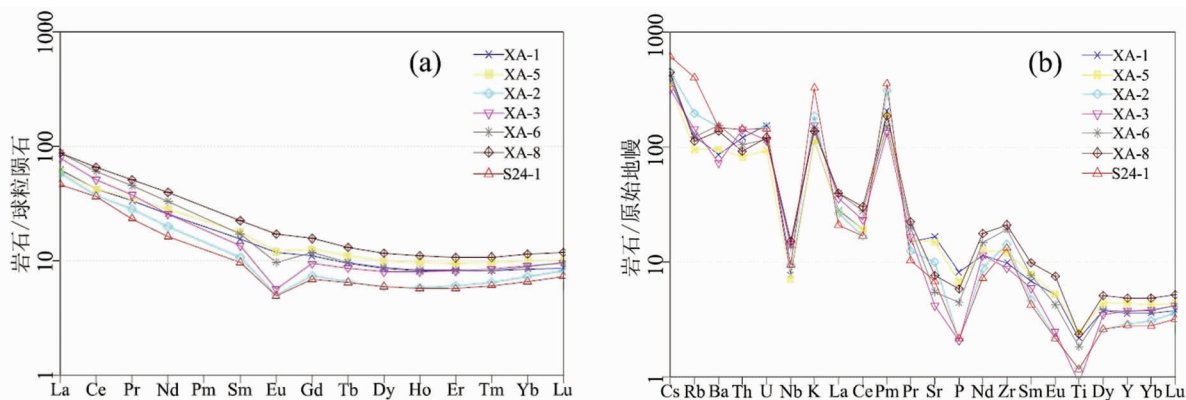


图4 谢米斯台中段火山岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线及原始地幔标准化微量元素蛛网图(据 Sun and McDonough, 1989)

Fig.4 Chondrite normalized REE pattern and primitive mantle normalized trace spider diagram for the igneous rocks in the central section of the Xiemisitai(after Sun and McDonough,1989)

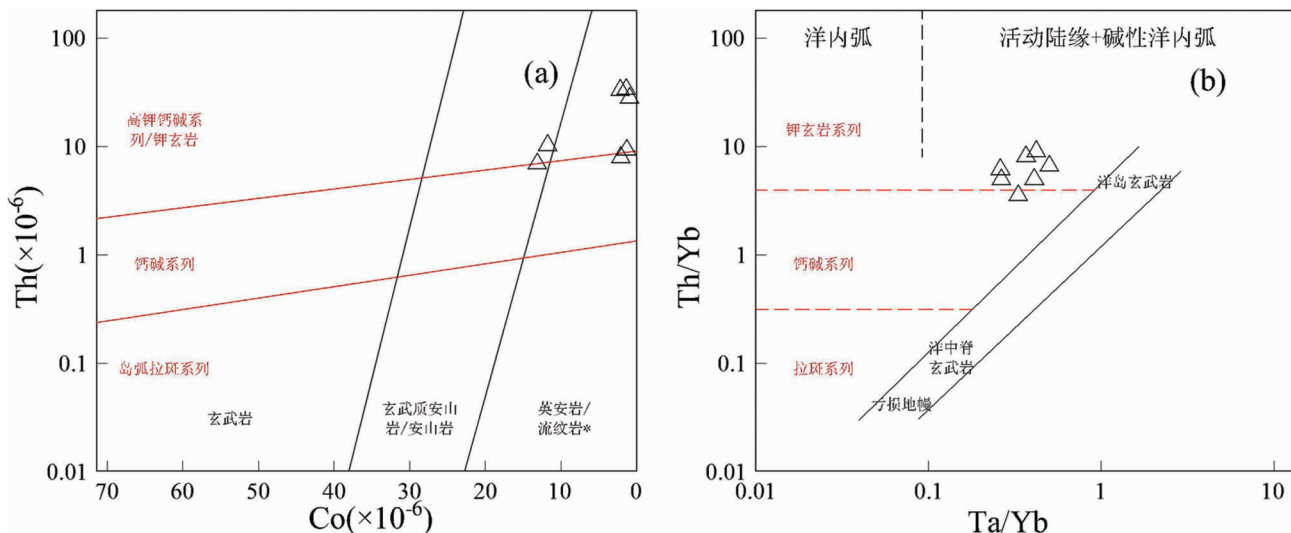


图5 谢米斯台中段火山岩 Th-Co 和 Th/Yb-Ta/Yb 图解(据 Hastie *et al.*, 2007; Rollison, 1993)

Fig.5 Th-Co and Th/Yb-Ta/Yb diagrams for the igneous rocks in the central section of the Xiemisitai(after Hastie *et al.*, 2007; Rollison, 1993)

次以 Sr-Nd-Pb 同位素组合来研究岩浆性质。

谢米斯台地区火山岩 Sr 含量为 $109.8 \sim 364.0 \times 10^{-6}$, Nd 含量为 $8.26 \sim 20.89 \times 10^{-6}$, 呈 Sr 高 Nd 低态势, $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$ 为 $0.512320 \sim 0.512434$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为 $0.700953 \sim 0.704435$ 。图 6 中虚线部分代表了 N-MORB 与 EMI 之间混合的百分比, 谢米斯台地区火山岩为洋壳即正常洋中脊玄武岩占 $30\% \sim 50\%$ 、I 型富集地幔组分占 $50\% \sim 70\%$ 的范围。推测为洋壳与下地壳幔源物质较富集 EMI 型富集地幔组分相混合, 因此其 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 的变化范围较大。

谢米斯台地区火山岩的 U、Th 含量较低(表 2), U 平均含量为 2.67×10^{-6} , Th 平均含量为 9.7。该地区的 Pb 同位素组成十分均一(表 2), 表明该套岩石为同源。我们依据

Zartman and Doe(1981) 提出的火山岩 Pb 同位素岩浆源区判别图, 得出该地区岩石除 XA-3 号样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 19.409, 比值略显偏高外, 其它 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 18.435 ~ 19.002, 均落于成熟岛弧区内(图 7)。认为该地区的岩石主要来源于成熟岛弧, 个别样品(XA-3)可能为经历上地壳混染作用的岩石。

4.3 岩浆活动时代

在西准噶尔地区, 中奥陶世首次出现洋壳唐巴勒, 此时的萨吾尔-扎尔玛岛弧位于西准地区的北部, 其后向北相继在志留纪玛依勒、泥盆纪达尔布特两次出现洋壳, 洋盆的多次开合, 形成了一系列拉张-汇聚阶段建造的交替和侧向迁

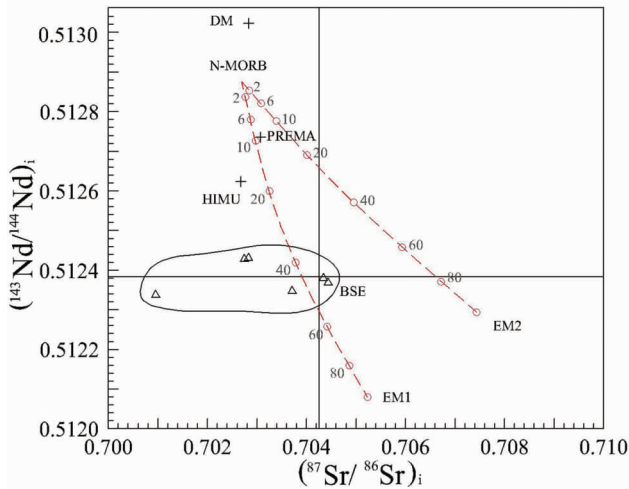


图6 谢米斯台中段火山岩 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和 $\varepsilon_{\text{Nd}}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 图解(据 Alibert, 1985; Deckart *et al.*, 2005)

DM-亏损地幔; N-MORB-洋中脊玄武岩; BSE-地球总成分; HIMU-高 $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ 比值地幔; PREMA-原始地幔; EMI-I型富集地幔; EMI-II型富集地幔

Fig. 6 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $\varepsilon_{\text{Nd}}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ diagram of igneous rocks in the central section of the Xiemisitai (after Alibert, 1985; Deckart *et al.*, 2005)

移,使西准噶尔各带志留系、泥盆系呈现复杂的岩相建造组合(何国琦等, 1995; 李锦轶和肖序常, 1999)。泥盆纪末,整个西准噶尔全部转入汇聚阶段,组成了宽阔的弧-盆系环境(成守德和王元龙, 1998; 申萍等, 2008; Xiao *et al.*, 2008; Shen *et al.*, 2009), 萨吾尔-扎尔玛岛弧、阿尔曼太岛弧等组合成为西准噶尔北部复合岛弧。

SIMS 测定的锆石均来自谢米斯台地区火山岩的近顶部。其 422.5 Ma 的年龄为晚志留世。1:20 万乌尔禾幅地质图(1979)及新疆地质矿产局(1993)均认为该套火山岩为中泥盆的产物,同时伴有一些地层学古生物学的证据(许汉奎, 1991; 王庆明, 2000); 朱永峰和徐新等在塔尔巴哈台山发现一套蛇绿混杂岩,其中的辉长岩 SHRIMP 年龄为 478.3 Ma (朱永峰和徐新, 2006); 在克拉玛依的附近徐新与何国琦等发现了一条蛇绿混杂岩带,其 SHRIMP 年龄为 414.4 Ma 和 332 Ma 两组年龄(徐新等, 2006),其微体古生物化石进一步确定该蛇绿混杂岩带形成于早古生代(何国琦等, 2007),随着这些新的岩石组合及年龄的出现,谢米斯台地区的火山岩的形成时间得到了更进一步的认识。

该地区在奥陶-志留期间为活跃的岛弧、弧前、弧后盆地的构造环境,而在志留-泥盆之间的造山作用虽然使得本区的前古生代地层发生强烈褶皱、变质作用,但其并未完全转化为稳定古陆的一部分(何国琦和李茂松, 2001)。同时该地区蛇绿混杂岩中岩石组合记录着蛇绿岩形成时期以及之后部分岩块通过俯冲带循环到地幔深处(最大深度~70 km)并折返到地壳浅部的全过程(朱永峰等, 2008)。

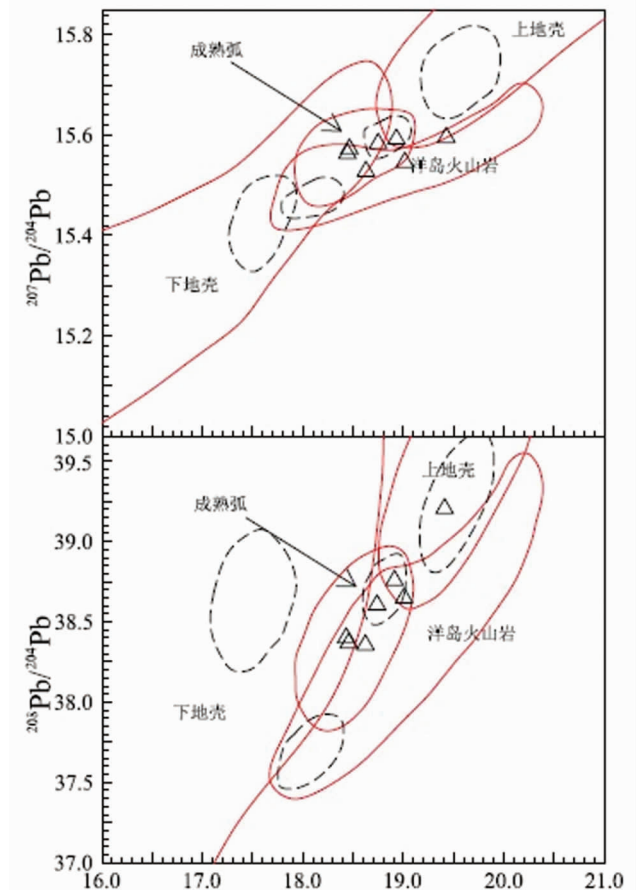


图7 谢米斯台中段火山岩的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 及 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解(据 Zartman and Doe, 1981)

Fig. 7 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagram of igneous rocks in the central section of the Xiemisitai (after Zartman and Doe, 1981)

综上所述,该地区的火山岩可能并非为前人所认为的泥盆纪火山活动,应为晚志留世的产物。该年龄也使得该地区与北部的萨吾尔岛弧的时间间隔加大(Shen *et al.*, 2008),岛弧岩浆活动时间的变长。该年龄与古亚洲洋的闭合时间比较一致,为西准地区北部的陆壳垂向增生的一个主要阶段,该年龄对西准地区的岛弧火山活动的认识以及构造演化可能会有重要影响。

5 结论

(1) 谢米斯台地区的火山岩在地球化学特征上具有岛弧火山岩的特征,其为西准噶尔北缘复合岛弧的一部分。

(2) 谢米斯台地区火山岩地球化学及其同位素特征均表明,该地区火山岩岩浆具成熟岛弧特点,岩浆来源于地幔楔形区俯冲的洋中脊玄武岩洋壳及 I 型富集地幔的混合,洋壳的比例约为 30%~50%。同时在岩浆上升过程中受到了少

量的上地壳物质的混染。

(3) 谢米斯台流纹岩形成时代为晚志留世, 该时代意义有待进一步的研究与探讨, 对北疆地区岩浆活动研究及呼吉尔斯特组地层的年龄界定具有重要意义。

致谢 野外工作中得到了和布克赛尔县国土资源局的大力支持, 国家“305”项目办公室对本研究给予了关心和指导。审稿人朱永峰教授提出了建设性的建议。谨致谢忱。

References

- Ajaji T, Weis D and Giret A. 1998. Coeval potassic and sodic calc-alkaline series in the post-collisional Hercynian Tanncherfi intrusive complex, northeastern Morocco: Geochemical, isotopic and geochronological evidence. *Lithos*, 45: 371 – 393
- Alibert C. 1985. A Sr-Nd isotope and REE study of late Triassic dolerites from the Pyrenees (France) and the Messejana dyke (Spain and Portugal). *Earth Planetary Science Letter*, 73: 81 – 90
- Black LP, Kamo SL, Allen CM, Davis DW, Aleinikoff JN, Valley JW, Mundil R, Campbel IH, Korsch RJ, Williams IS and Foudoulis C. 2004. Improved $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemical Geology*, 205: 115 – 140
- Buckman S and Aitchison JC. 2004. Tectonic evolution of Paleozoic terranes in West Junggar, Xinjiang, NW China. In: Malpas J, Fletcher CJN, Ali J and Aitchison JC (eds.). *Aspects of the Tectonic Evolution of China*. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.*, 226: 101 – 129
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang. 1993. *Regional Geology of Xinjiang Uyghur Autonomous Region*. Beijing: Geological Publishing House, 64 – 76 (in Chinese)
- Chen F, Hegner E and Todt W. 2000. Zircon ages, Nd isotope and chemical compositions of orthogneisses from the Black Forest, Germany: Evidence for a Cambrian magmatic arc. *International Journal of Earth Sciences*, 88: 791 – 802
- Chen F, Siebel W, Satir M, Terzioglu N and Saka K. 2002. Geochronology of the Karadere basement (NW Turkey) and implications for the geological evolution of the Istanbul zone. *International Journal of Earth Sciences*, 91: 469 – 481
- Cheng SD and Wang YL. 1998. Basic characteristics of geotectonic evolution of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 16(2): 97 – 107 (in Chinese with English abstract)
- Deckart K, Bertrand H and Liégeois JP. 2005. Geochemistry and Sr, Nd, Pb isotopic composition of the Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) in Guyana and Guinea. *Lithos*, 82: 289 – 314
- Han BF, He GQ and Wang SG. 1999. Post collisional mantle genesis magma activity, bottom uplifting and character of Zhungeer basin basement. *Science in China (Series D)*, 29(1): 16 – 21 (in Chinese)
- Hastie AR, Kerr AC, Pearce JA and Mitchell SF. 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: Development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology*, 48(12): 2341 – 2357
- He GQ, Li MS, Liu DQ, Tang YL and Zhou RH. 1994. Palaeozoic Crustal Evolution and Metallogeny of Xinjiang, China. Hong Kong: Hong Kong Culture and Education Press, 1 – 437 (in Chinese)
- He GQ, Liu DQ, Li MS, Tang YL and Zhou RH. 1995. The five-stage model of crust evolution and metallogenic series of chief orogenic belts in Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 13(2): 99 – 196 (in Chinese with English abstract)
- He GQ and Li MS. 2001. Significance of paleostructure and paleogeography of Ordovician-Silurian rock associations in northern Xinjiang, China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 37(1): 99 – 110 (in Chinese with English abstract)
- He GQ, Chen SD, Xu X, Li JY and Hao J. 2005. An Introduction to the Explanatory Text of the Map of Tectonics of Xinjiang and Its Neighboring Area (1 : 250000). Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- He GQ, Liu JB, Zhang YQ and Xu X. 2007. Keramay ophiolitic mélange formed during Early Paleozoic in western Junggar basin. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1573 – 1576 (in Chinese with English abstract)
- Li JY and Xiao XC. 1999. Brief reviews on some issues of framework and tectonic evolution of Xinjiang crust, NW China. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 34(4): 405 – 419 (in Chinese with English abstract)
- Li JY, He GQ, Xu X, Li HQ, Sun GH, Yang TN, Gao LM and Zhu ZX. 2006. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 148 – 168 (in Chinese with English abstract)
- Li XH, Liu Y, Li QL, Guo CH and Chamberlain KR. 2009. Precise determination of Phanerozoic zircon Pb/Pb age by multi-collector SIMS without external standardization. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 10(4) doi: 10.1029/2009GC002400
- Ludwig KR. 2001. *Users manual for Isoplot/Ex (rev. 2.49)*. Berkeley Geochronology Centre Special Publication, No. 1a, 56
- Meng L, Shen P, Shen YC and Liu TB. 2010. The research of igneous petrology, geochemistry and mineral bearing quality in mid segment of Xiemisitai Mountain, Xinjiang. *Chinese Journal of Geology*, 45(2): 551 – 563 (in Chinese with English abstract)
- Rollison HR. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. London: Longman Group UK Ltd, 1 – 267
- Sengör AMC, Natalin BA and Burtman US. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364: 299 – 307
- Shen P, Shen YC, Liu TB, Li GM and Zeng QD. 2008. Geology and geochemistry of the Early Carboniferous eastern Sawur caldera complex and associated gold epithermal mineralization, Sawur Mountains, Xinjiang, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 259 – 279
- Shen P, Shen YC, Liu TB, Lu JJ, Wei JP, Song GX and Meng L. 2008. Late Paleozoic gold and copper mineralization and tectonic evolution in northwestern Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 24(5): 1087 – 1100 (in Chinese with English abstract)
- Shen P, Shen YC, Liu TB, Meng L, Dai HW and Yang YH. 2009. Geochemical signature of porphyries in the Baogutu porphyry copper belt, western Junggar, NW China. *Gondwana Research*, 16: 227 – 242
- Stacey JS and Kramers JD. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, 26: 207 – 221
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in Ocean Basins*. Geological Society of London, Special Publication, 42: 313 – 345
- Wang GR. 1996. Classification of tectonic units and geologic evolution in the northern Xinjiang and neighboring area. *Xinjiang Geology*, 14(1): 12 – 27 (in Chinese with English abstract)
- Wang JB and Xu X. 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in northern Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 23 – 31 (in Chinese with English abstract)
- Wang JB, Wang YW and Zhou TF. 2008. Metallogenic spectrum related to post-collisional mantle-derived magma in north Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 743 – 752 (in Chinese with English abstract)
- Wang QM. 2000. Palaeogeography of the Devonian in Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 18(4): 319 – 323 (in Chinese)
- Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, Griffin WL, Meier M, Oberli F, Vonquadt A, Roddick JC and Speigel W. 1995. Three natural zircon

- standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace-element and REE analyses. *Geostand Newsletter*, 19: 1–23
- Windley BF, Alexeiev D, Xiao WJ, Kröner A and Badarch G. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of the Geological Society, London*, 64: 31–47
- Xiao WJ, Han CM, Yuan C, Chen HL, Sun M, Lin SF, Li ZL, Mao QG, Zhang JE, Sun S and Li JL. 2006. The unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of northern Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the southern Pale Asian Domain. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1062–1076 (in Chinese with English abstract)
- Xiao WJ, Han CM, Yuan C, Sun M, Lin SF, Chen HL, Li ZL, Li JL and Sun S. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of northern Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32:102–117
- Xiao XC, Tang YQ and Feng YM. 1992. Tectonics of North Xinjiang and Its Adjacent Region. Beijing: Geological Publishing House, 1–169 (in Chinese)
- Xu HK. 1991. Early and Middle Devonian boundary strata of Hoboksar, West Junggar and their Brachiopods. *Acta Palaeontologica Sinica*, 30(3):307–333 (in Chinese with English abstract)
- Xu X, He GQ and Li HQ. 2006. Basic characteristics of the Karamay ophiolitic mélange, Xinjiang, and its zircon SHRIMP dating. *Geology in China*, 33(3):470–475 (in Chinese with English abstract)
- Zartman RE and Doe BR. 1981. Plumbotectonics: The model. *Tectonophysics*, 75:135–162
- Zhou TF, Yuan F, Fan Y, Zhang DY, David RC and Zhao GC. 2008. Granites in the Sawuer region of the west Junggar, Xinjiang Province, China: Geochronological and geochemical characteristics and their geodynamic significance. *Lithos*, 106: 191–206
- Zhu YF and Xu X. 2006. The discovery of Early Ordovician ophiolite mélange in Taerbahatai Mts., Xinjiang, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12):2833–2842 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Xu X, Chen B and Xue YX. 2008. Dolomite marble and garnet amphibolite in the ophiolitic mélange in western Junggar: Relics of the Early Paleozoic oceanic crust and its deep subduction. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12):2767–2777 (in Chinese with English abstract)
- 附中文参考文献**
- 成守德, 王元龙. 1998. 新疆大地构造演化基本特征. *新疆地质*, 16(2):97–107
- 韩宝福, 何国琦, 王式洸. 1999. 后碰撞幔源岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底性质. *中国科学(D辑)*, 29(1):16–21
- 何国琦, 李茂松, 刘德权等. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 香港: 香港文化教育出版社, 1–437
- 何国琦, 刘德权, 李茂松, 唐延龄, 周汝洪. 1995. 新疆主要造山带地壳发展的五阶段模式及成矿系列. *新疆地质*, 13(2):99–196
- 何国琦, 李茂松. 2001. 中国新疆北部奥陶-志留系岩石组合的古构造、古地理意义. *北京大学学报(自然科学版)*, 37(1):99–110
- 何国琦, 成守德, 徐新, 李锦轶, 郝杰. 2005. 中国新疆及邻区大地构造图(1:250000). 北京: 地质出版社
- 何国琦, 刘建波, 张跃迁, 徐新. 2007. 准噶尔盆地西缘克拉玛依早古生代蛇绿混杂岩带的厘定. *岩石学报*, 23(7):1573–1576
- 李锦轶, 肖序常. 1999. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述. *地质科学*, 34(4):405–419
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明, 朱志新. 2006. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨. *地质学报*, 80(1):148–168
- 孟磊, 申萍, 沈远超, 刘铁兵. 2010. 新疆谢米斯台地区中段火山岩岩石地球化学及其含矿性研究. *地质科学*, 45(2):551–563
- 申萍, 沈远超, 刘铁兵等. 2008. 新疆西北部晚古生代金铜成矿作用与构造演化. *岩石学报*, 24(6):1087–1100
- 王广瑞. 1996. 新疆北部及邻区地质构造单元与地质发展史. *新疆地质*, 14(1):12–27
- 王京彬, 徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿. *地质学报*, 80(1):23–31
- 王京彬, 王玉往, 周涛发. 2008. 新疆北部后碰撞与幔源岩浆有关的成矿谱系. *岩石学报*, 24(4):743–752
- 王庆明. 2000. 新疆泥盆纪古地理. *新疆地质*, 18(4):319–323
- 肖文交, 韩春明, 袁超, 陈汉林, 孙敏, 林寿发, 厉子龙, 毛启贵, 张继恩, 孙枢, 李继亮. 2006. 新疆北部石炭纪-二叠纪独特的构造-成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约. *岩石学报*, 22(5):1062–1076
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京: 地质出版社, 1–169
- 新疆地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 64–76
- 徐新, 何国琦, 李华芹. 2006. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息. *中国地质*, 33(3):470–475
- 许汉奎. 1991. 新疆西准噶尔下、中泥盆统界线地层及腕足类. *古生物学报*, 30(3):307–333
- 朱永峰, 徐新. 2006. 新疆塔尔巴哈台发现早奥陶世蛇绿混杂岩. *岩石学报*, 22(12):2833–2842
- 朱永峰, 徐新, 陈博, 薛云兴. 2008. 西准噶尔蛇绿混杂岩中的白云石大理岩和石榴角闪岩: 早古生代残余洋壳深俯冲的证据. *岩石学报*, 24(12):2767–2777