新疆萨惹什克锡矿与萨北碱性 A 型花岗岩成因关系的年代学制约*

唐红峰[1] 屈文俊[2] 苏玉平[1,3] 侯广顺[1,3] 杜安道[2] 丛峰[1,3]

TANG HongFeng[1], QU WenJun[2], SU YuPing[1,3], HOU GuangShun[1,3], DU AnDao[2] and CONG Feng[1,3]

1. 中国科学院地球化学研究所 地球深部物质与流体作用地球化学研究室, 贵阳 550002
2. 国家地质实验测试中心, 北京 100037
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049

1. *Laboratory for Study of the Earth's Interior and Geofluids, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang* 550002, *China*
2. *National Research Center for Geoanalysis, Beijing* 100037, *China*
3. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*

2007-03-07 收稿, 2007-05-07 改回.

Tang HF, Qu WJ, Su YP, Hou GS, Du AD and Cong F. 2007. Genetic connection of Sareshike tin deposit with the alkaline A-type granites of Sabei body in Xinjiang: constraint from isotopic ages. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8):1989 – 1997

Abstract Sareshike tin deposit occurs as veins within Sabei granitic body in East Junggar, Xinjiang. For such vein deposit, the temporal constraint from nearly simultaneous mineralization with emplacement is the most important evidence for confirming the genetic connection between the ore-body and its direct wall rock. Sabei body is composed of alkalin granites with the development of alkaline ferromagnesian. The granites have high alkali but low Ca contents, obvious enrichment in REE, HFSE (Zr, Hf, Nb, Ta, Y) and LILE (Rb, Th, U), and strong depletion of Sr, Ba, Eu. They are defined as typical alkaline A-type. The ore veins are predominately composed of cassiterite and quartz, and their occurrence is controlled by faults in NE and nearly EW trend. Previous investigation has shown that the ore-forming fluid is magmatic water with high temperature but low salinity and density. Based on these features together with the wall rock of ore veins, it was suggested that the tin deposit has genetic link with the alkaline granites. However, appropriate isotopic ages, for both the granites and tin deposit, have not previously been obtained due to the limits from analytic method and sample selection. In this paper, LA-ICP-MS U-Pb age of zircons from the alkaline granite and Re-Os age for molybdenites from the deposit are reported, which are 306 ± 3Ma and 307 ± 11Ma, respectively. These ages imply that the alkaline granites and tin deposit are resulted from a simultaneous geological process, and provide important chronological constraint for the closely genetic connection of Sareshike tin deposit with the alkaline granites of Sabei body. In addition, from the $\varepsilon_{Nd}(t)$ ($\approx +5.0$) of the alkaline granites, 4.5 epsilon units lower than that of the depleted mantle under the studied region, we consider that the granitic magma forming Sabei body was not originated by crystallization differentiation of basaltic magma directly from depleted mantle, but probably by partial melting of young oceanic crust and continent-derived sediments.

Key words Zircon LA-ICP-MS U-Pb age, Molybdenite Re-Os age, Sareshike tin deposit, Alkaline A-type granite, East Junggar, Xinjiang

摘 要 新疆东准噶尔地区的萨惹什克锡矿呈脉状产于萨北花岗岩体中。对于这种脉状矿床,成岩和成矿近时性的时间制约是证明矿床与围岩有成因关系的首要证据。萨北岩体由含碱性铁镁矿物的碱性花岗岩组成,全岩地球化学结果显示,碱性花岗岩具高碱、低 Ca,明显富集稀土元素、高场强元素(Zr, Hf, Nb, Ta, Y)和大离子亲石元素(Rb, Th, U),而强烈亏损 Sr, Ba, Eu,属于典型的碱性 A 型花岗岩。锡矿脉由占绝对优势的锡石和石英组成,受北东和近东西向的断裂破碎带控制。原有研究证实,形成该锡矿床的成矿流体属于具高温、低盐度和低密度的岩浆水。据此并结合锡矿体的围岩性质,前人认为

* 国家自然科学基金项目(40772044)和国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409805)资助.

第一作者简介: 唐红峰, 男, 1963 年生, 研究员, 岩石学和地球化学专业, E-mail: tanghongfeng@vip.gyig.ac.cn

锡矿床与碱性花岗岩有成因联系。但是,由于分析技术和样品选择上的制约,萨北岩体成岩和萨惹什克锡矿成矿的确切时代一直没有得到合理的解决。本文报道了我们最近获得的碱性花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 和锡矿石辉钼矿 Re-Os 同位素年龄(分别为 306±3Ma 和 307±11Ma)。上述结果表明,萨北碱性花岗岩和萨惹什克锡矿石属于同期地质事件的产物,从而为两者具有密切成因联系提供了重要的年代学制约。此外,根据碱性花岗岩的$\varepsilon_{Nd}(t)$(≈+5.0)低于研究区亏损地幔 4.5 个 ε 单位,我们认为形成萨北岩体的花岗岩浆不是直接来源于亏损地幔玄武质岩浆结晶分异作用的产物,而更可能是起源于本区年轻洋壳和陆源沉积物的部分熔融。

关键词 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄; 辉钼矿 Re-Os 年龄; 萨惹什克锡矿; 碱性 A 型花岗岩; 东准噶尔; 新疆

中图法分类号 P588.121; P597.3; P618.44

1 引言

对世界主要锡矿床的研究表明,与锡成矿有关的花岗岩主要是起源于富锡的地壳物质的部分熔融,成因类型为 S 型花岗岩(伍勤生等,1984; 毛景文等,1987; 尹意求,1990; Schwartz *et al.*, 1995; Mlynarczyk and Williams-Jones, 2005)。但随着花岗岩及其相关矿床研究的深入,在世界许多地方不断发现了与 A 型花岗岩有密切成因关系的原生锡矿床,如加拿大(Liverton and Botelho, 2001)、巴西(Lenharo *et al.*, 2003)。在我国目前已报道新疆(毕承思等,1992)、湖南(郑基俭和贾宝华,2001; 毛景文等,2004; 蒋少涌等,2006)、四川(曲晓明等,2002)和江西(邱检生等,2005)等少数地方也发育与 A 型花岗岩有关的锡矿床。然而,Loiselle and Wones (1979)提出 A 型花岗岩定义时,主要强调了该类花岗岩"碱性、无水、非造山"的特性,但与花岗岩有成因关系的锡矿床属于岩浆热液矿床,它的形成需要一定量的成矿流体。此外,由于六次配位的 Sn^{4+} 与 Fe^{3+}, Mg^{2+}, Nb^{5+}, Ta^{5+} 等离子半径相近似,而 A 型花岗岩有一定量的铁镁矿物并富含高场强元素,Sn^{4+} 可以分散富集于 A 型花岗岩的黑云母、钠闪石、钠铁闪石、霓石等矿物中,因此该类花岗岩一般不易形成锡矿床。从以上两方面考虑,A 型花岗岩与发育于其中的锡矿床是否存在成因关系是需要深入研究的课题。

位于新疆北部东准噶尔地区的贝勒库都克锡矿带是我国北方地区首次发现具独立锡矿床的锡成矿带,自西向东有卡姆斯特、干梁子、贝勒库都克、萨惹什克 4 个独立锡矿床(毕承思等,1991; 1993)。毕承思等(1992)根据萨惹什克锡矿的围岩属性确定该矿床是与 A 型花岗岩有关的锡矿床。但是,野外地质特征显示,发育于萨北钠闪石花岗岩体(图 1)内的萨惹什克锡矿是呈脉状或透镜状产出在岩体的构造裂隙中,属于石英脉型锡矿床(图 2)。要证明这种矿床一定与其花岗岩围岩有直接的成因关系,需要两方面证据:(1)花岗岩成岩和锡矿床成矿近时性的时间制约;(2)成矿物质(包括成矿流体和金属元素)与花岗岩有亲缘关系的物源制约。其中,成岩成矿的时间制约是讨论两者关系的基础和前提,必须首先解决。对于萨北碱性花岗岩体的时代,前人由全岩 Rb-Sr 和锆石 U-Pb 同位素定年方法获得了几个年龄数据,结果在 246.4~292.5Ma 之间(毕承思等,1992;

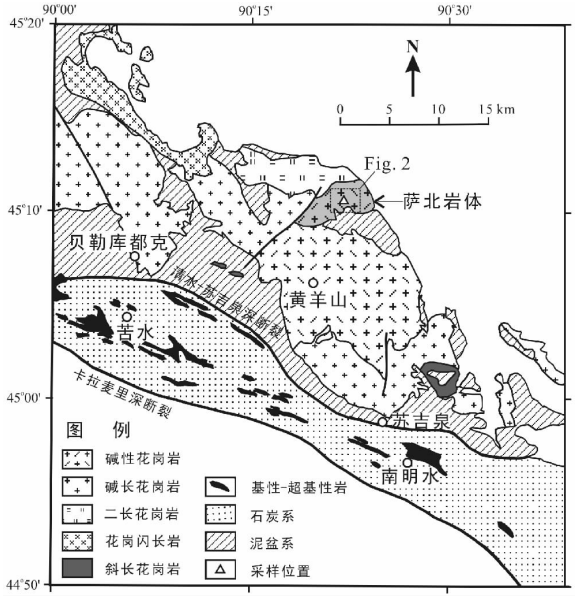


图 1 新疆萨惹什克锡矿区域地质简图(据李锦轶等,1990 和 1/20 万库普幅地质图简化)

Fig. 1 Regional geological sketch for Sareshike tin deposit in Xinjiang (modified from Li *et al.*, 1990 and 1/200,000 Geological Map of Kupu)

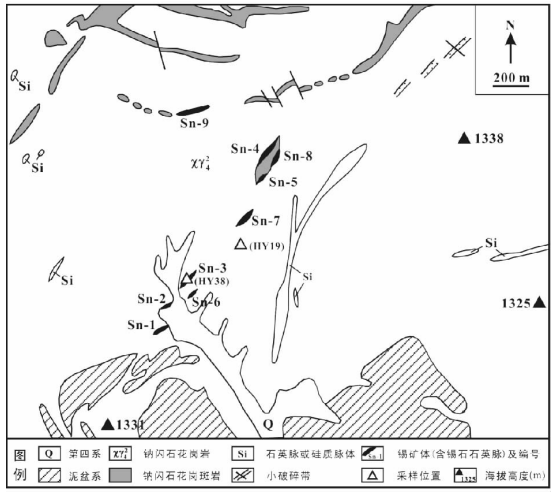


图 2 新疆萨惹什克锡矿地质简图(据毕承思等,1992 简化)

Fig. 2 Geological map of Sareshike tin deposit in Xinjiang (modified from Bi *et al.*, 1992)

刘家远等,1996),上述年龄值的变化范围和误差明显偏大。而对于锡矿的形成时代,原来的一个数据 263.6Ma,是含锡石石英脉中的锆石 U-Pb 年龄(刘家远等,1996)。然而,热液矿床中的锆石与矿石的成因关系不清楚,它能否代表成矿时代是有疑问的。因此,萨北岩体和萨惹什克锡矿的形成时代问题还没有很好地解决。本文报道了我们最近对萨北岩体进行的锆石 U-Pb 和萨惹什克锡矿中新发现的辉钼矿 Re-Os 同位素定年的结果,这些年龄数据为萨惹什克锡矿床与萨北碱性花岗岩的成因关系提供了重要的时间证据。

2 地质背景和样品

萨惹什克锡矿所在地区发育大量的花岗岩,其中,紧邻蛇绿岩出露有典型的斜长花岗岩(图 1)。唐红峰等(2007)通过对斜长花岗岩的地球化学组成和同位素年龄研究认为,该花岗岩是大洋斜长花岗岩,属于蛇绿岩套的一部分。在卡拉麦里缝合带北侧发育的主要是出露面积大、以富碱为特征、成岩年龄较晚(海西期)的花岗岩,岩石类型主要有花岗闪长岩、二长花岗岩、碱长花岗岩和碱性花岗岩。这些花岗岩侵入于泥盆系(主要岩性为凝灰质粉砂岩、凝灰岩)。此外,在这些花岗岩南侧的卡拉麦里缝合带内发育由碎屑沉积岩组成的早石炭统南明水组和清水组(图 1),它们属于陆间残余海盆沉积物(李锦轶等,1990)。

萨惹什克锡矿所在的萨北岩体呈近东西向展布,出露面积约 32km^2(毕承思等,1992)。它与其南侧的黄羊山岩体一样,以发育碱性铁镁矿物为特征,属于典型的碱性花岗岩。图 3a 是萨北碱性花岗岩的代表性样品(HY19)的显微照片,从中可以看到,岩石主要由条纹长石和石英组成,另外含少量的、与长石和石英晶体平衡共生的钠闪石。在碱性花岗岩的外侧发育大面积的碱长花岗岩(如黄羊山岩体南侧的苏吉泉岩体和西侧的贝勒库都克岩体),岩石也主要由条纹长石和石英组成,有少量的斜长石,铁镁矿物以发育黑云母为特征。前人认为这些黑云母花岗岩是 S 型花岗岩(毕承思等,1993; 刘家远等,1996),但我们最近的研究表明,它们属于铝质 A 型花岗岩(苏玉平等,2006)。

萨惹什克锡矿产于萨北钠闪石花岗岩体南部的内接触带中,矿体以脉状(锡石-石英脉)为特征,并主要受北东和近东西向的断裂破碎带控制(图 2)。矿化蚀变主要是硅化。流体包裹体和石英氧同位素的结果表明,形成该锡矿床的成矿流体主要是来自于具高温(平均 334℃)、低盐度(平均 3.4%)和低密度(≈0.65)等特征的岩浆水(刘家远等,1996)。组成锡石-石英脉的矿物主要是石英和锡石(两者含量超过 90%),其它矿物种类较多(毕承思等,1992),但含量很少,因此从原来的矿物组合中难以选出合适的对象进行精确的同位素年龄研究。在最近的采矿中发现了新的矿石矿物—辉钼矿,它呈斑团状、浸染状发育于锡石-石英脉中并与锡石和石英平衡共生(图 3b)。

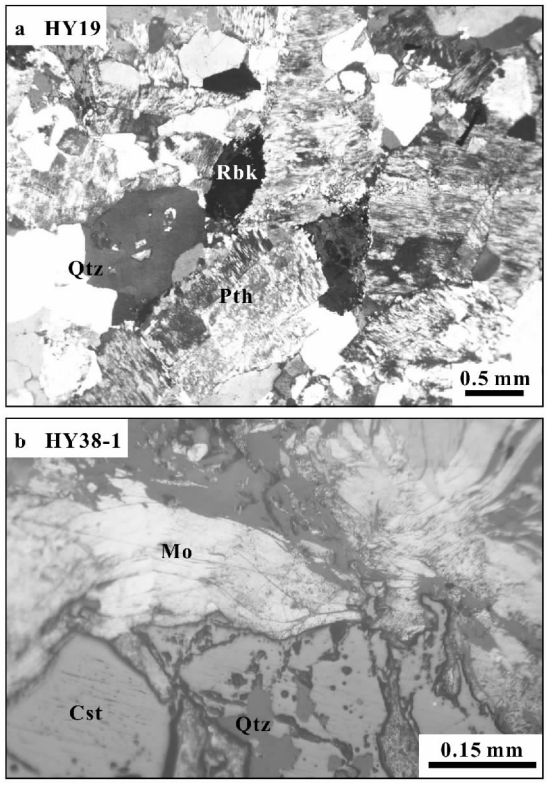


图 3 岩相学特征的显微照片

a-萨北岩体碱性花岗岩,正交偏光; b-萨惹什克锡矿含辉钼矿锡矿石,反射光; 矿物代号: Qtz-石英,Pth-条纹长石,Rbk-钠闪石,Mo-辉钼矿,Cst-锡石

Fig. 3 Photomicrographs showing petrographic features

(a) The alkaline granite from Sabei body, cross-polarized light; (b) The molybdenite-bearing tin ore from Sareshike tin deposit, reflected light; Qtz-quartz; Pth-perthite; Rbk-riebeckite; Mo-molybdenite; Cst-cassiterite

3 分析方法

花岗岩的主量元素采用湿化学法,在中国科学院地球化学研究所完成。微量元素在中国科学院广州地球化学研究所用 ICP-MS 分析,分析精度总体优于 10%。Sm-Nd 同位素组成在中国科学院地质与地球物理研究所同位素实验室测定。所用仪器为 MAT-262 热电离质谱计,全流程本底 5×10^{-11}g,Nd 同位素采用$^{146}Nd/^{144}Nd=0.7219$ 校正,样品分析过程中标样 La Jolla 的测定结果为$^{143}Nd/^{144}Nd=0.511862\pm4$ ($n=13$)。

花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄是在加拿大纽芬兰纪念大学(MUN)分析的。按照常规方法选出锆石,在双目镜下挑纯并制成环氧树脂样品靶,然后在显微镜下观察并进行阴极发光照相,以确定样品分析的锆石颗粒及其位置。所用等离子质谱仪为 HP 4500,它与 NewWave UP-213nm 的

Nd:YAG 激光系统连接。激光熔样的频率为 10Hz,束斑直径(spot size)40μm,以氦气作为载气,将熔蚀的样品送入质谱仪。用外标(实验室的内部标准样品 02123,U-Pb 年龄值 295Ma)方法对仪器和激光熔样导致的质量偏倚和 U-Pb 分异进行校正,数据处理软件为 LAMTRACE(Fryer *et al.*, 1993),采用$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄,其权重平均值及谐和图由 Isoplot/Ex 程序(Ludwig, 1999)得到。

锡矿石的辉钼矿 Re-Os 年龄测定是在国家地质实验测试中心完成的。采用 Carius 管溶样,经过化学处理的样品通过两次蒸馏分离 Os,将蒸馏残液萃取分离 Re。质谱测定采用美国 TJA 公司生产的 TJA X-series ICPMS 测定同位素比值。对于 Re,选择质量数 185 和 187,用 190 监测 Os。对于 Os,选择质量数 186、187、188、189、190 和 192,用 185 监测 Re。详细的化学分离和质谱测定方法见杜安道等(1994)和屈文俊和杜安道(2003)。用测定的 Re、Os 同位素比值作等时线,根据所得到的初始 Os 同位素比值计算每件样品的^{187}Os。

4 分析结果

4.1 碱性花岗岩的地球化学组成

我们选择了该岩体代表性的钠闪石花岗岩样品进行微量元素的等离子质谱分析,并开展 Nd 同位素研究。本次研究的萨北岩体碱性花岗岩的地球化学组成列于表 1。

表 1 萨北岩体碱性花岗岩的主量元素(wt%),微量元素($\times10^{-6}$)和 Sm-Nd 同位素组成

Table 1 Composition of Major(wt%), trace elements($\times10^{-6}$) and Sr-Nd isotope for the alkaline granites from Sabei body

样品号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	烧失量	总量	A/CNK	A/NK
HY19	76.98	0.48	9.74	0.83	0.95	0.16	0.11	0.40	3.58	3.98	0.20	1.96	99.37	0.89	0.96
HY20	77.36	0.53	9.00	1.81	1.05	0.18	0.11	0.38	3.46	4.13	0.21	1.54	99.76	0.83	0.89
HY34	76.68	0.53	9.27	1.61	0.71	0.16	0.11	0.47	3.07	4.48	0.28	2.17	99.54	0.86	0.94
HY37	76.77	0.51	10.86	1.87	0.70	0.18	0.15	0.20	4.41	3.08	0.22	0.85	99.80	0.99	1.03

样品号	Rb	Sr	Ba	Th	U	Pb	Ga	Cr	Sc	Sn	Nb	Ta	Zr	Hf	Y	La
HY19	210	2.72	2.97	17.6	6.06	34.1	20.2	15.7	1.42	11.5	19.3	1.70	543	16.6	68.4	26.8
HY20	228	3.29	2.90	22.4	6.24	31.7	24.7	15.2	1.66	10.9	23.1	2.09	570	18.1	107	34.5
HY34	192	7.13	11.6	15.3	4.40	23.3	22.7	20.3	2.41	11.2	16.1	1.37	330	12.0	58.4	31.0
HY37	168	13.4	75.1	18.2	6.21	10.6	29.0	18.6	2.76	15.2	23.4	2.03	655	19.2	109	28.4

样品号	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	∑REE	δEu	La_N/Yb_N
HY19	68.0	7.59	31.2	8.45	0.02	10.2	1.77	11.2	2.42	7.02	1.06	6.91	0.97	183.61	0.01	2.78
HY20	81.6	10.5	44.7	12.8	0.03	17.0	2.86	18.2	4.02	11.6	1.71	10.9	1.54	251.96	0.01	2.27
HY34	68.7	9.15	38.3	9.73	0.04	10.8	1.70	10.3	2.23	6.54	0.99	6.88	1.04	197.40	0.01	3.23
HY37	62.0	8.54	36.3	10.5	0.13	14.9	2.65	17.3	3.92	11.3	1.68	10.8	1.57	209.99	0.03	1.89

样品号	Sm ($\times10^{-6}$)	Nd ($\times10^{-6}$)	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	(2()	$\varepsilon_{Nd}(t)$	t_{DM}(Ma)
HY19	13.09	47.25	0.1677	0.512830	(10)	4.9	685
HY34	10.52	42.21	0.1509	0.512817	(11)	5.3	652

$t_{DM}=\frac{1}{\lambda}\ln\left[1+\frac{(^{143}Nd/^{144}Nd)_S-(^{143}Nd/^{144}Nd)_{DM}-[(^{147}Sm/^{144}Nd)_S-(^{147}Sm/^{144}Nd)_{CC}]\times(e^{\lambda t}-1)}{(^{147}Sm/^{144}Nd)_{CC}-(^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM}}\right]$式中:$t$ 为岩石的结晶年龄,$\lambda=6.54\times10^{-12}a^{-1}$;下角的 S,DM 和 CC 分别代表样品、亏损地幔和大陆地壳;$(^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM}=0.2137$,$(^{143}Nd/^{144}Nd)_{DM}=0.51316$,$(^{147}Sm/^{144}Nd)_{CC}=0.118$

表 1 的结果表明，钠闪石花岗岩在 A/CNK-A/NK 图上（图略）属于过碱性系列。岩石的稀土元素总量高，在球粒陨石标准化的稀土元素配分模式上呈左高右低（La_N/Yb_N = 1.89 ~ 3.23）、明显负铕异常（δEu = 0.01 ~ 0.03）的 V 字形曲线（图 4a）。在原始地幔归一化的不相容元素蛛网图上，所研究的岩石样品一致地表现出稀土元素、高场强元素（Zr, Hf, Nb, Ta, Y）和大离子亲石元素（Rb, Th, U）的明显富集，而元素 Ba, Sr, Eu 强烈亏损的特征（图 4b）。高 Rb-K 和极低 Ba-Sr-Eu 的特征与岩石中碱性长石发育而斜长石极少的特征一致。有意义的是，全部 4 件样品 Sn 含量都较高（10.9×10^{-6} ~ 15.2×10^{-6}）。上述微量元素组成显示萨北岩体的碱性花岗岩具有一般 A 型花岗岩的全部特征，在 Whalen *et al.* (1987) 提出的判别图上它们也都落入 A 型花岗岩区（图 5a, 5b），因此这些岩石属于典型的 A 型花岗岩，且属于 Eby (1992) 划分的 A_2 型（图 5c），指示岩石形成于后造山的构造背景。

两件碱性花岗岩样品的$\varepsilon_{Nd}(t)$（依据后述锆石定年结果

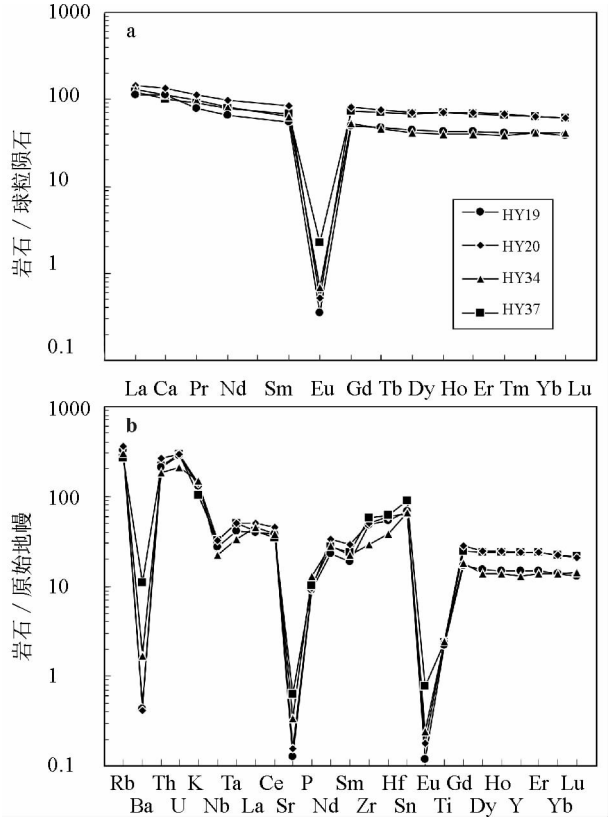


图 4　萨北碱性花岗岩球粒陨石标准化的稀土元素配分模式（a）和原始地幔归一化的不相容元素蛛网图（b）（球粒陨石和原始地幔值据 Sun and McDonough, 1989）

Fig. 4　Chondrite normalized REE patterns (a) and primitive mantle normalized spiderdiagrams for the alkaline granites from Sabei body (b) (normalized values of chondrite and primitive from Sun and McDonough, 1989)

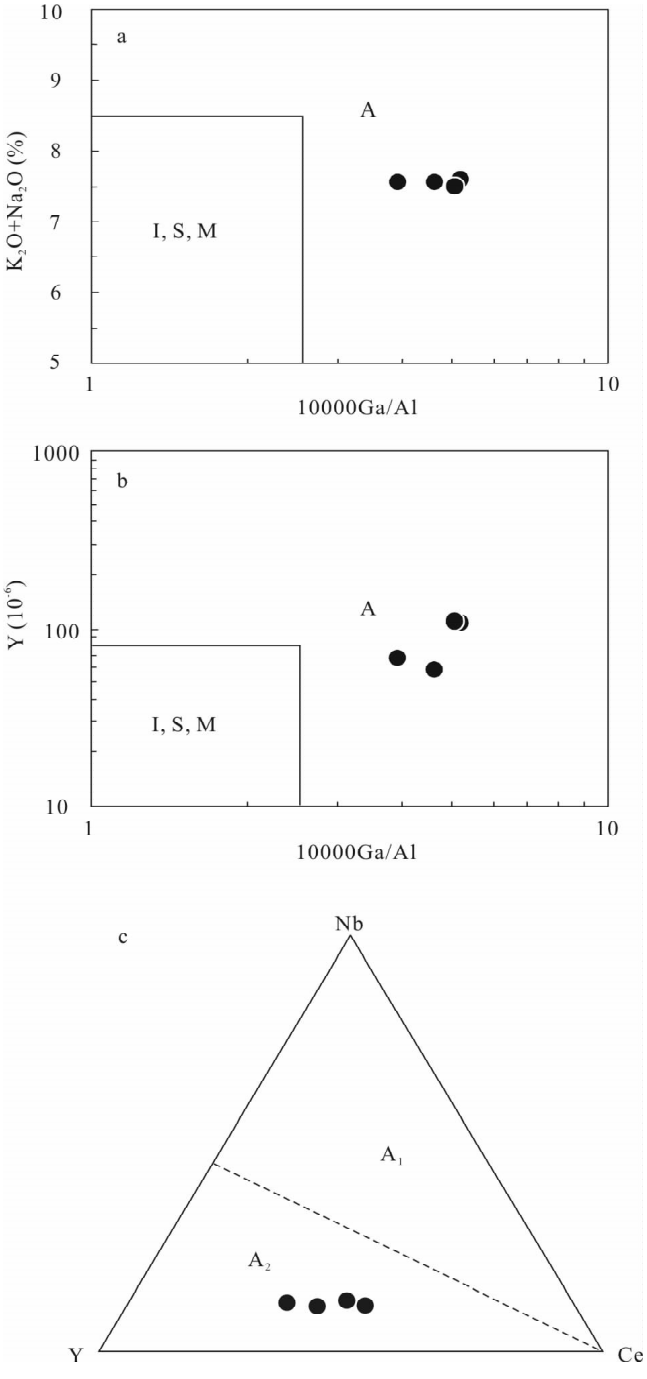


图 5　萨北岩体碱性花岗岩的（$K_2O + Na_2O$）（a）和 Y（b）对 10000Ga/Al 及 Y-Nb-Ce（c）判别图（a 和 b 的底图据 Whalen *et al.*, 1987；c 的底图据 Eby, 1992）

Fig. 5　$K_2O + Na_2O$ (a) and Y (b) vs. 10000Ga/Al and Y-Nb-Ce (c) discrimination diagrams for the alkaline granites from Sabei body (a and b based on Whalen *et al.*, 1987, and c on Eby, 1992)

表 2 萨北岩体(样品 HY19)的锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄测定结果

Table 2 LA-ICP-MS U-Pb dating results for zircons in sample HY19 from Sabei body

分析点	同位素比值						表观年龄 (Ma)			
	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ
1.1	0.0475	0.0009	0.3601	0.0246	0.0550	0.0025	299	6	312	18
1.2	0.0475	0.0006	0.3381	0.0038	0.0516	0.0004	299	3	296	3
2.1	0.0495	0.0014	0.3546	0.0213	0.0519	0.0022	312	9	308	16
3.1	0.0461	0.0008	0.3325	0.0064	0.0523	0.0005	291	5	291	4
4.1	0.0495	0.0006	0.3582	0.0056	0.0525	0.0006	311	3	311	4
5.1	0.0485	0.0005	0.3486	0.0048	0.0522	0.0004	305	3	304	4
5.2	0.0486	0.0010	0.3476	0.0046	0.0519	0.0008	306	6	303	4
6.1	0.0483	0.0006	0.3528	0.0201	0.0530	0.0029	304	3	307	15
6.2	0.0487	0.0004	0.3488	0.0095	0.0520	0.0013	306	2	304	7
6.3	0.0485	0.0007	0.3677	0.0210	0.0550	0.0015	305	4	318	16
7.1	0.0481	0.0005	0.3576	0.0028	0.0539	0.0004	303	3	310	2
8.1	0.0499	0.0006	0.3639	0.0034	0.0528	0.0006	314	3	315	2
9.1	0.0476	0.0014	0.3264	0.0082	0.0497	0.0009	300	9	287	6
10.1	0.0495	0.0004	0.3591	0.0036	0.0526	0.0007	312	3	312	3
11.1	0.0479	0.0004	0.3472	0.0035	0.0525	0.0004	302	3	303	3
11.2	0.0481	0.0004	0.3618	0.0157	0.0546	0.0016	303	3	314	12
12.1	0.0518	0.0007	0.3719	0.0058	0.0521	0.0003	325	4	321	4
13.1	0.0479	0.0008	0.3435	0.0028	0.0520	0.0007	302	5	300	2

t = 306Ma)均为较高的正值(+4.9 和 +5.3),其两阶段 Nd 同位素模式年龄 t_{DM} 较小(653 ~ 686Ma),与兴蒙造山带花岗岩的相应特征(洪大卫等,2000)一致。

4.2 同位素年代学

碱性花岗岩(样品 HY19)的锆石 U-Pb 定年结果列于表 2,其 U-Pb 年龄谐和曲线如图 6。考虑到锆石年轻和普通铅校正对 $^{207}Pb/^{235}U$ 和 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄的影响,采用 $^{206}Pb/^{235}U$ 权重平均年龄作为锆石的结晶年龄,其结果为 306 ± 3Ma。锆石特征显示它们是花岗岩浆原生的,因此萨北碱性花岗岩岩体的侵位年龄是 306Ma。

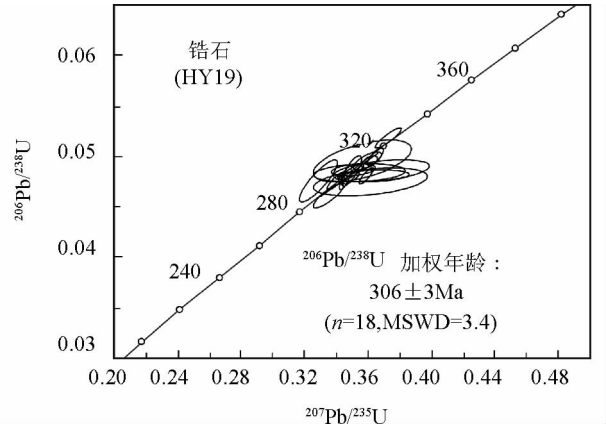


图 6 萨北岩体(样品 HY19)锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 6 U-Pb concordia plot for zircons in sample HY19 from Sabei body

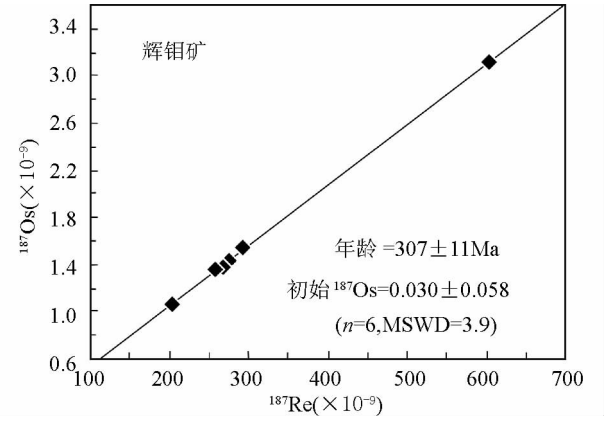


图 7 萨惹什克锡矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素等时线

Fig. 7 Re-Os isochron for molybdenites from Sareshike tin deposit

萨惹什克锡矿石中辉钼矿的 Re-Os 同位素定年结果列于表 3,利用 Isoplot 得到的 Re-Os 同位素等时线如图 7。结果显示,萨惹什克锡矿 6 件辉钼矿扣除初始 ^{187}Os 后的模式年龄在误差范围内一致,其加权平均值是 306.5 ± 3.4Ma(2σ, MSWD = 2.7),而 Re-Os 等时线年龄值为 307 ± 11Ma。由于辉钼矿与锡石是平衡共生的,因此上述年龄值也代表了锡石的形成年龄,即锡矿的成矿时代约为 307Ma。

5 讨论与结论

如前文所述,原来的研究没有能够合理地解决萨北岩体

表 3 萨惹什克锡矿床中辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄测定结果

Table 3 Re-Os isotope analysis for molybdenites from Sareshike tin deposit

样品号	样重(g)	Re($\times10^{-9}$)	2σ	普 Os($\times10^{-9}$)	2σ	^{187}Re($\times10^{-9}$)	2σ	^{187}Os($\times10^{-9}$)	2σ	模式年龄(Ma)	2σ
HY38-1	0.40115	323.1	2.5	0.2277	0.0062	203.1	1.6	1.069	0.010	306.4	4.0
HY38-2	0.39968	960.9	8.2	0.0240	0.0012	604.0	5.1	3.120	0.023	306.3	3.7
HY38-3	0.39987	439.4	3.4	0.0559	0.0026	276.2	2.1	1.437	0.013	305.1	3.9
HY38-4	0.40038	425.8	3.3	0.0339	0.0015	267.7	2.1	1.377	0.013	301.3	4.0
HY38-5	0.40033	409.5	4.1	0.0429	0.0013	257.4	2.6	1.357	0.011	308.7	4.2
HY38-6	0.40082	464.3	3.9	0.0734	0.0007	291.8	2.4	1.546	0.013	311.1	3.9

模式年龄按照 $t=\frac{1}{\lambda}=\ln\left(1+\frac{^{187}\mathrm{Os}}{^{187}\mathrm{Re}}\right)$ 计算，^{187}Re 的衰变常数 $\lambda=1.666\times10^{-11}$/a

和萨惹什克锡矿的时代问题，这主要是由于受到当时分析技术的限制和样品选择上的制约。研究表明，富碱的 A 型花岗岩的 Sr 同位素体系可能遭受后期热液蚀变的扰动而使等时线年龄的地质意义不明确(魏春生等，2001)，萨北岩体的两个差别很大的 Rb-Sr 等时线年龄值 246.4±15.7Ma 和 292.5±28.8Ma(刘家远等，1996)，很可能就是 Rb-Sr 法对该岩体定年不合适的体现。另外，我们观察到萨北碱性花岗岩中的锆石大多不同程度地发育裂隙和其它矿物的包裹体，那么锆石多颗粒 U-Pb 稀释法或单颗粒逐层蒸发法的结果，也难以反映岩石的真实年龄。因此，利用目前已发展完善的微区原位技术，选择锆石这一性质稳定的矿物开展的 U-Pb 定年，是获得 A 型花岗岩成岩时代的首要途径。另一方面，萨惹什克锡矿所在的卡拉麦里地区是东准噶尔古生代造山带的一部分，该造山带强烈的造山运动发生在早石炭世末，晚石炭世已经进入了后碰撞阶段(李锦轶等，1990；李锦轶，2004)。而花岗岩的地球化学组成表明，萨北岩体形成于后造山构造背景(图 5c)，即属于后碰撞阶段的产物，因此萨北岩体的成岩年龄 306Ma(属于晚石炭世)，与区域地质背景和演化历史相吻合，而且与卡拉麦里地区其它后造山花岗岩的定年结果(如苏玉平等，2006；韩宝福等，2006)一致。因此，我们认为本文报道的萨北碱性花岗岩的同位素年龄值真实地代表了该岩体的成岩时代。

已有研究显示，东准噶尔地区的 A 型花岗岩普遍有较高的正$\varepsilon_{Nd}(t)$值(Han *et al.*, 1997；洪大卫等，2000；Chen and Jahn, 2004；苏玉平等，2006)，前人对具这种 Nd 同位素特征的 A 型花岗岩的成因有两种明显不同的认识：①认为花岗岩的岩浆直接来源于亏损地幔(刘家远等，1996；Han *et al.*, 1997；韩宝福等，1999)；②认为花岗岩的岩浆起源于具有幔源同位素特征的年轻地壳(李锦轶和肖序常，1999；洪大卫等，2000；Chen and Jahn, 2004；苏玉平等，2006)。萨北碱性花岗岩的$\varepsilon_{Nd}(t)$值约为 +5.0(表 1)，明显低于根据亏损地幔 Nd 同位素线性演化(Goldstein *et al.*, 1984)得到的当时亏损地幔的$\varepsilon_{Nd}(t)$值 +9.5。如果花岗岩浆直接来源于亏损地幔，就需要相应的亏损地幔源区受到一定程度 Nd 同位素富集作用的改造。然而，根据卡拉麦里蛇绿岩中斜长花岗岩的 Nd 同位素组成(唐红峰等，2007)，本区亏损地幔在萨北花岗岩形成时的$\varepsilon_{Nd}(t)$值为 +9.5，完全符合 Goldstein *et al.* (1984)提出的线性演化模式。因此，萨北花岗岩与亏损地幔 Nd 同位素组成的明显差异不支持上述第一种认识，其岩浆更可能是起源于本区年轻的玄武质洋壳和一部分陆源沉积物的部分熔融。当然，这一认识还需要其它证据的进一步验证。

辉钼矿 Re-Os 同位素定年结果表明，萨惹什克锡矿石的形成时间为 307Ma，与萨北碱性花岗岩的成岩时代一致，因此它们是同期地质事件的产物。由于与花岗岩有关的锡矿是花岗质岩浆演化较晚阶段的热液产物，因此从实际地质作用的时序上考虑，矿石的形成应稍晚于花岗岩，但因不同同位素定年方法技术的制约和精度的差别，目前要精确地分辨出这一时间上的细微差异还是有困难的。前人对与萨惹什克锡矿处于同一构造带的干梁子锡矿进行的 Rb-Sr 同位素定年结果显示，锡矿石和其花岗岩围岩的年龄值分别是 305±25Ma 和 307±20Ma(陈富文等，1999)。上述结果尽管误差较大，但在误差范围内一致，也表明锡矿与花岗岩是同期地质事件的产物。萨惹什克与干梁子两个锡矿时代的一致证明了它们是同时形成的。前人大量的研究表明，整个新疆北部(包括天山-准噶尔-阿尔泰地区)在晚石炭世进入了“后碰撞”的构造演化阶段(如朱永峰等，2005；2006；王京彬和徐新，2006)，以发育强烈的后碰撞构造-岩浆活动和大规模成矿作用为特征。本文报道的上述定年结果显示，萨北岩体和萨惹什克锡矿形成于晚石炭世，地球化学组成也显示萨北花岗岩具后造山的构造背景，因此它们是北疆后碰撞阶段构造-热事件的产物，属于新疆北部大规模成岩成矿作用的一部分。

萨北碱性花岗岩 Sn 的含量高，是地壳平均值 2.5×10^{-6} (Taylor and McLennan, 1983)的 4~6 倍，与世界其它含锡花岗岩的高锡特征一致；对锡矿石中石英的流体包裹体组成研究表明，成矿流体属于岩浆水(刘家远等，1996)，因此花岗岩浆提供了成矿的流体保障；辉钼矿(样品 HY38-5)的 δ^{34}S 为 -1.51‰(在环境地球化学国家重点实验室的 Continuous Flow-IRMS 上测定)，该值符合岩浆流体的硫同位素组成特征。上述几方面资料从物质组成的角度，提供了萨惹什克锡矿与萨北碱性花岗岩有成因关系的佐证。

实验和实例研究显示,锡在花岗岩浆演化中的行为属于不相容元素,花岗岩浆的结晶分异作用可以导致锡的显著富集(Eugster, 1985; 毛景文等,1987)。萨北碱性花岗岩具有高碱、贫 Ca、富 Rb 和强烈亏损 Ba, Sr, Eu 等特征(表 1,图 4),一致地表明这些花岗岩很可能是初始花岗质岩浆经过了斜长石的结晶分异作用后的产物。据此,设想初始岩浆可能是前文指出的卡拉麦里地区年轻洋壳和陆源沉积物部分熔融形成的、有一定 Sn 含量的花岗闪长质岩浆。该岩浆发生以斜长石为主的结晶分异作用后,熔体部分向浅部侵位形成萨北碱性 A 型花岗岩,而富 Sn 的流体相最终形成了萨惹什克锡矿床。

致谢 野外工作得到中国科学院广州地球化学研究所李文铅博士的大力帮助,加拿大纽芬兰纪念大学地球科学系的 Paul Sylvester 教授和 Mike Tubrett 先生为锆石 U-Pb 同位素测试提供了支持和协助,中国科学院地质与地球物理研究所同位素实验室陈福坤研究员和储注银博士在 Nd 同位素分析时提供了热情支持,安宁工程师测定了辉钼矿的硫同位素组成,两位匿名评审专家和朱永峰教授认真审阅了稿件并提出宝贵的修改意见。在此向他们表示诚挚的感谢。

References

Bi CS, Shen XY and Xu QS. 1991. Prospecting and assessment criteria of quartz-vein type of tin deposits in northern Xinjiang. Geoscience of Xinjiang, (2): 134 – 141 (in Chinese with English abstract)

Bi CS, Shen XY and Xu QS. 1992. The first discovery of a tin deposit related to Hercynian A-type granites in China. Science in China (Series B), (6): 632 – 638 (in Chinese)

Bi CS, Shen XY, Xu QS, Ming KH, Sun HL and Zhang CS. 1993. Geological characteristics of stanniferous granites in the Beilekuduk tin metallogenic belt, Xinjiang. Acta Petrologica Mineralogica, 12 (3): 213 – 223 (in Chinese with English abstract)

Chen B and Jahn BM. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd Sr isotope and trace element evidence. Journal of Asian Earth Sciences, 23: 691 – 703

Chen FW, Li HQ, Cai H, Liu Q and Chang HL. 1999. Chronology and origin of the Gangliangzi tin ore field, Xinjang. Mineral deposits, 18 (1): 91 – 97 (in Chinese with English abstract)

Du AD, He HL, Yin NW, Zou XQ, Sun YL, Sun DZ, Chen SZ and Qu WJ. 1994. A study on the rhenium (osmium geochronometry of molybdenites. Acta Geologica Sinica, 68 (4): 339 – 347 (in Chinese with English abstract)

Eby GN. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenises and tectonic implications. Geology, 20: 641 – 644

Eugster HP. 1985. Granites and hydrothermal ore deposits: A geochemical framework. Mineralog. Mag., 49: 7 – 23

Fryer BJ, Jackson SE and Longerich HP. 1993. The application of laser ablation microprobe (inductively coupled plasma-mass spectrometry LAM-ICP-MS) to in situ U-Pb geochronology. Chem. Geol., 109: 1 – 8

Goldstein SL, O'Nions RK and Hamilton PJ. 1984. A Sm-Nd isotopic study of atmospheric dusts and particulates from major river systems. Earth Planet. Sci. Lett., 70: 221 – 236

Han BF, Ji JQ, Song B, Chen LH and Zhang L. 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism. Acta Petrologica Sinica, 22 (5): 1077 – 1086 (in Chinese with English abstract)

Han BF, Wang SG, Jahn BM, Hong DW, Kagami H and Sun YL. 1997. 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. Chem. Geol., 138: 135 – 159

Hong DW, Wang SG, Xie XL and Zhang JS. 2000. Genesis of positive $\varepsilon_{Nd}(t)$ granitoids in the Da Hingggan Mts. (Mongolia orogenic belt and growth continental crust. Earhth Science Frontiers, 7(2): 441 – 456 (in Chinese with English abstract)

Jiang SY, Zhao KD, Jiang YH, Ling HF and Ni P. 2006. New type of tin mineralization related to granite in South China: Evidence from mineral chemistry, element and isotope geochemistry. Acta Petrologica Sinica, 22(10): 2509 – 2516 (in Chinese with English abstract)

Lenharo SLR, Pollard PJ and Born H. 2003. Petrology and textural evolution of granites associated with tin and rare-metals mineralization at the Pitinga mine, Amazonas, Brazil. Lithos, 66: 37 – 61

Li JY and Xiao XC. 1999. Brief reviews on some issues of framework and tectonic evolution of Xijiang crust, NW China. Scientia Geologica Sinica, 34(4): 405 – 419 (in Chinese with English abstract)

Li JY, Xiao XC, Tang YQ, Zhao M, Zhu BQ and Feng YM. 1990. Main characteristics of late Paleozoic plate tectonics in the southern part of East Junggar, Xinjiang. Geological Review, 36(4):305 – 316 (in Chinese with English abstract)

Li JY. 2004. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China. Geological Review, 50 (3): 304 – 322 (in Chinese with English abstract)

Liu JY, Yuan KR, Wu GQ, Xin JG and Liu S. 1996. A study on alkali-rich granitoids and related mineralization in eastern Junggar, Xinjiang, China. Central South University of Technology Press, Changsha (in Chinese with English abstract)

Liverton T and Botelho NF. 2001. Fractionated alkaline rare-metal granites: Two examples. Journal of Asian Earth Sciences, 19: 399 – 412

Loiselle MC and Wones DR. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. Geol. Soc. Am. Abstr. Prog., 11: 468.

Ludwig KR. 1999. Isoplot/Ex v. 2.6. Berkeley Geochronological Center Spec Pub1, no. 1a

Mao JW, Li XF, Lehmann B, Chen W, Lan XM and Wei SL. 2004. ^{40}Ar-^{39}Ar dating of tin ores and related granite in Furong Tin Orefield, Hunan Province, and its geodynamic significance. Mineral Deposits, 23(2): 164 – 175 (in Chinese with English abstract)

Mao JW, Zhang SL and Rossi P. 1987. The tin-granites and their relation to mineralization in Tengchong, Yunan. Acta Petrologica Sinica, 3 (4): 32 – 43 (in Chinese with English abstract)

Mlynarczyk MSJ and Williams-Jones AE. 2005. The role of collisional tectonics in the metallogeny of the Central Andean tin belt. Earth Planet. Sci. Lett., 240: 656 – 667

Qiu JS, McInnes BIA, Jiang SY and Hu J. 2005. Geochemistry of the Mikengshan pluton in Huichang County, Jiangxi Province and new recognition about its genetic type. Geochimica, 34(1): 20 – 32 (in Chinese with English abstract)

Qu WJ and Du AD. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with Carius tube sample digestion. Rock and Mineral Analysis, 22(4): 254 – 257 (in Chinese with English abstract)

Qu XM, Hou ZQ, Zhou SG and Tang SH. 2002. The Age and tectonic setting of Lianlong Sn-bearing granite in western Sichuan Province. Acta Geosicentia Sinica, 23 (3): 223 – 228 (in Chinese with English abstract)

Schwartz MO, Rajah SS, Askury AK, Putthapiban P and Djaswadi S. 1995. The Southeast Asian tin belt. Earth-Science Reviews, 38: 95 – 293

Su YP, Tang HF, Liu CQ, Hou GS and Liang LL. 2006. The determination and a preliminary study of Sujiquan aluminous A-type

granites in East Junggar, Xinjiang. Acta Petrologica Mineralogia, 25(3): 175 – 184 (in Chinese with English abstract)
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 the Ocean Basins. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 42: 313 345
Tang HF, Su YP, Liu CQ, Hou GS and Wang YB. 2007. Zircon U-Pb age of the plagiogranite in Kalamaili belt, northern Xinjiang and its tectonic implications. Geotectonica et Metallogenia, 31(1): 110 – 117 (in Chinese with English abstract)
Taylor SR and McLennan SM. 1983. Geochemical application of spark-source mass spectrography, IV: The crustal abundance of tin. Chem. Geol., 39: 273 – 280
Wei CS, Zheng YF and Zhao ZF. 2001. Nd-Sr-O isotopic geochemistry constraints on the age and origin of the A-type granites in eastern China. Acta Petrologica Sinica, 17(1): 95 – 111 (in Chinese with English abstract)
Whalen JB, Currie KL and Chappell BW. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contrib. Mineral. Petrol., 95: 407 – 419
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)
Wu QS, Xu JZ and Yang Z. 1984. Sr isotopic characteristics of Gejiu Sn-bearing granites and a study of oresearch indicators. Geochimica, (4): 293 – 302 (in Chinese with English abstract)
Yin YQ. 1990. Origin of the Dachang hidden granite in Guangxi. Journal of Guilin College of Geology, 10(4): 381 – 388 (in Chinese with English abstract)
Zheng JJ and Jia BH. 2001. Geological characteristics and related tin-polymetallic mineralization of the Qitianling granite complex in southeastern Hunan Province. Geology and Mineral Resources of South China, (4): 50 – 57 (in Chinese with English abstract)
Zhu YF, Zhang LF, Gu LB, Guo X and Zhou J. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains. Chinese Science Bulletin, 50: 2201 – 2212
Zhu YF, Zeng YS and Gu LB. 2006. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite no. 3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altay mountains, northwest China. J. Asian Earth Sciences 27, 61 – 77
Zhu YF and Song B. 2006. Petrology and SHRIMP chronology of mylonitized Tianger granite, Xinjiang: Also about the dating on zircon hydrothermal zircon rims in granite. Acta Petrologica Sinica, 22: 135 – 144 (in Chinese with English Abstract)
Zhu YF, Zhou J and Guo X. 2006. Petrology and Sr-Nd isotopic geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in the western Tianshan Mountains, NW China. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1341 – 1350 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

毕承思，沈湘元，徐庆生，明奎海，孙惠礼，张春生. 1993. 新疆贝勒库都克锡矿带含锡花岗岩地质特征. 岩石矿物学杂志，12(3)：213 – 223
毕承思，沈湘元，徐庆生. 1991. 北疆石英脉型锡矿的找矿评价及标志. 新疆地质科学，(2)：134 – 141
毕承思，沈湘元，徐庆生. 1992. 我国与海西期 A 型花岗岩有关锡矿床的新发现. 中国科学(B 辑)，(6)：632 – 638
陈富文，李华芹，蔡红，刘群，常海亮. 1999. 新疆干梁子锡矿田成岩成矿作用同位素年代学研究及矿床成因探讨. 矿床地质，18(1)：91 – 97
杜安道，何红蓼，殷宁万，邹晓秋，孙亚利，孙德忠，陈少珍，屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-锇同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报，68(4)：339 – 347
韩宝福，季建清，宋彪，陈立辉，张磊. 2006. 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. 岩石学报，22(5)：1077 – 1086
洪大卫，王式洸，谢锡林，张季生. 2000. 兴蒙造山带正 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长. 地学前缘，7(2)：441 – 456
蒋少涌，赵葵东，姜耀辉，凌洪飞，倪培. 2006. 华南与花岗岩有关的一种新类型的锡成矿作用：矿物化学、元素和同位素地球化学证据. 岩石学报，22(10)：2509 – 2516
李锦轶，肖序常，汤耀庆，赵民，朱宝清，冯益民. 1990. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征. 地质论评，36(4)：305 – 316
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. 2004. 新疆东准噶尔新元古代晚期和古生代构造格局及其演变. 地质论评，50(3)：304 – 322
刘家远，袁奎荣，吴郭泉，忻建刚，刘生. 1996. 新疆东准噶尔富碱花岗岩及其成矿作用. 长沙：中南工业大学出版社
毛景文，李晓峰，Lehmann B，陈文，蓝晓明，魏绍六. 2004. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄及其地球动力学意义. 矿床地质，23(2)：164 – 175
毛景文，张士鲁，Rossi P. 1987. 云南腾冲地区含锡花岗岩及其与成矿关系. 岩石学报，3(4)：32 – 43
邱检生，Mclnnes BIA，蒋少涌，胡建. 2005. 江西会昌密坑山岩体的地球化学及其成因类型的新认识. 地球化学，34(1)：20 – 32
曲晓明，侯增谦，周书贵，唐绍华. 2002. 川西连龙含锡花岗岩的时代与形成构造环境. 地球学报，23(3)：223 – 228
屈文俊，杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-锇地质年龄. 岩矿测试，22(4)：254 – 257
苏玉平，唐红峰，刘丛强，侯广顺，梁莉莉. 2006. 新疆东准噶尔苏吉泉铝质 A 型花岗岩的确立及其初步研究. 岩石矿物学杂志，25(3)：175 – 184
唐红峰，苏玉平，刘丛强，侯广顺，王彦斌. 2007. 新疆北部卡拉麦里斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 大地构造与成矿学，31(1)：110 – 117
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
魏春生，郑永飞，赵子福. 2001. 中国东部 A 型花岗岩形成时代及物质来源的 Nd-Sr-O 同位素地球化学制约. 岩石学报，17：95 – 111
伍勤生，许俊珍，杨志. 1984. 个旧含 Sn 花岗岩的 Sr 同位素特征及找矿标志的研究. 地球化学，(4)：293 – 302
尹意求. 1990. 广西大厂隐伏花岗岩体的成因. 桂林冶金地质学院学报. 10(4)：381 – 388
郑基俭，贾宝华. 2001. 骑田岭岩体的基本特征及其与锡多金属成矿作用关系. 华南地质与矿产，(4)：50 – 57
朱永峰，张立飞，古丽冰，郭璇，周晶. 2005. 西天山石炭纪火山岩 SHRIMP 年代学及其微量元素地球化学研究. 科学通报，50：2004 – 2014
朱永峰，周晶，郭璇. 2006. 西天山石炭纪火山岩岩石学及 Sr-Nd 同位素地球化学研究. 岩石学报，22(5)：1341 – 1350