

# 新疆东准噶尔萨北富碱花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其地质意义\*

林锦富<sup>1,2</sup> 喻亨祥<sup>2</sup> 余心起<sup>3</sup> 狄永军<sup>3</sup> 田建涛<sup>4</sup>

LIN JinFu<sup>1,2</sup>, YU HengXiang<sup>2</sup>, YU XinQi<sup>3</sup>, DI YongJun<sup>3</sup> and TIAN JianTao

1. 南京大学地球科学系, 南京 210093

2. 桂林工学院资源与环境工程系, 桂林 541004

3. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

4. 辽河油田勘探局, 盘锦 124010

1. Department of Earth Sciences, Nanying University, Nanjing 210093, China

2. Institute of Concealed Deposit of Guilin University of Technology, Guilin 541004, China

3. Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

4. Exploration Bureau of Liaohe Oil Field, Panjin 120410, China

2007-02-27 收稿, 2007-05-15 改回.

Lin JF, Yu HX, Yu XQ, Di YJ and Tian JT. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb Dating and geological implication of the Sabei alkali-rich granite from Eastern Junggar of Xinjiang, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8):1876-1884

**Abstract** The Sabei superunit is located in the Kelameili alkali-rich granites belt in the eastern Junggar of Xinjiang, NW China. The superunit, classified as A-type granite, is further subdivided as four units including fine-grained, medium-fine grained, medium-coarse, and porphyritic sodahornblende granite. This paper presents the weighted average age ( $313 \pm 2\text{Ma}$  and  $314 \pm 5\text{Ma}$ ) and the concordant age ( $310 \pm 7\text{Ma}$  and  $314 \pm 10\text{Ma}$ ) of the medium-fine grained and the medium-coarse sodahornblende granite, respectively. The U-Pb age determination of zircons using SHRIMP shows that granites of the Sabei superunit were intruded at about 310Ma of late Carboniferous. Combining the late Paleozoic tectonic setting of Eastern Junggar in Central Asian Orogenic Belt (CAOB) and the geochemical characteristics of the granites in the Sabei alkali-rich A-type granite belt suggests that the Sabei superunit is of typical post-collisional pluton, and is related to the first peak of the two late Paleozoic post-collisional plutonism peaks ( $330 \sim 310\text{Ma}$  and  $305 \sim 280\text{Ma}$ ) in Eastern Junggar of CAOB.

**Key words** Zircon SHRIMP U-Pb dating, Alkali-rich granite, Sabei superunit, Eastern Junggar

**摘要** 萨北锡矿赋矿的富碱(A型)花岗岩隶属于新疆东准噶尔地区卡拉麦里富碱花岗岩带, 其中的萨北超单元可以划分为细粒钠铁闪石花岗岩、中细粒钠铁闪石花岗岩、中粗粒钠铁闪石花岗岩和斑状钠铁闪石花岗岩等四个单元。本次工作选择萨北超单元中的中细粒钠铁闪石花岗岩和中粗粒钠铁闪石花岗岩进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 所获得的两个样品加权平均年龄分别为  $313 \pm 2\text{Ma}$  和  $314 \pm 5\text{Ma}$ , 谐和年龄分别为  $310 \pm 7\text{Ma}$  和  $314 \pm 10\text{Ma}$ 。结合对中亚造山带东准噶尔晚古生代构造环境和萨北富碱花岗岩带花岗岩的地球化学特征, 作者认为: 该岩体侵位于晚石炭世(约 310Ma), 为晚古生代后碰撞岩浆活动的产物, 与东准噶尔后碰撞深成岩浆活动的两个峰期(330~310Ma 和 305~280Ma)中的前一个峰期相一致。

**关键词** SHRIMP 锆石 U-Pb 测年; 富碱花岗岩; 萨北超单元; 东准噶尔

中图法分类号 P588.121; P597.3

\* 国家重点基础研究发展规划项目“后碰撞造山与富碱岩浆活动及金属成矿作用(2001CB40980603)”国家 305 项目(96-915-02-06)联合资助。

第一作者简介: 林锦富, 男, 1962 年生, 博士研究生, 副教授, 主要从事矿床学, 资源经济学教学与研究, E-mail: linjfnju@yahoo.com.cn

## 1 引言

新疆北部天山-准噶尔-阿尔泰地区,以其完整的后碰撞演化历史(从主碰撞、后碰撞到板内环境)、强烈的后碰撞构造-岩浆-成矿活动,成为研究后碰撞构造-成矿的理想地区,迄今已发表了大量的成果(肖序常等,1992;涂光炽,1993; Han *et al.*, 1997; 韩宝福等,1998,1999,2004a,2004b,2006; 胡霭琴等,1997; Hu *et al.*, 2000; 马瑞士等,1997; 李锦轶和肖序常 1999; 李锦轶,2004; 舒良树等,2001,2004; 李宗怀等,2004; 杨牧等,2005; 高俊等,2006; 朱永峰和宋彪,2006; 朱永峰和徐新,2006; 苏玉平等,2006; 肖文交等,2006; Zhu *et al.*, 2005, 2006, 2007)。同时,该区后碰撞阶段赋集了新疆优势金属矿产中铜储量的 50% 和金、镍、稀有金属矿产的 85%~95% (刘家远等,1996,1997; 赵振华等,2001; 韩宝福等,2004b),而奇台县萨惹什克锡矿即萨北锡矿就是其中之一。本文所研究的萨北超单元便是萨北锡矿的赋矿岩体。

萨北超单元所在的卡拉麦里碱性花岗岩带在空间上显示出一种由东到西逐渐递变的规律(Han *et al.*, 1997; 韩宝福等,1998,1999,2006; 高俊等,2006; 苏玉平等,2006; 肖文交等,2006)。萨北矿区外围卡拉麦里带上,汤好书等(2006)测得东准噶尔贝尔库都克锡矿石英脉中白云母的 K-Ar 同位素年龄为  $296\text{Ma} \pm 3\text{Ma}$ ; 孙桂华等(2005)测得新疆东部哈尔里克山闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄值  $316 \pm 3\text{Ma}$ ; 李文铅等(2006)测得新疆东天山彩中花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄值为  $316 \pm 4\text{Ma}$ ; 吴昌志等(2006)测得东天山红云滩闪长岩的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为  $328 \pm 9\text{Ma}$ 。韩宝福等(2006)最近研究认为,准噶尔后碰撞深成岩浆活动是从早石炭世中一晚维宪期开始、于早二叠世末期结束的,东准噶尔后碰撞深成岩浆活动发生在  $330 \sim 265\text{Ma}$  之间,而西准噶尔后碰撞深成岩浆活动的时限在  $340 \sim 275\text{Ma}$  之间,持续时间分别约 65Ma。然而,在东准噶尔,后碰撞深成岩浆活动集中在  $330 \sim 310\text{Ma}$  和  $305 \sim 280\text{Ma}$  两个时段发生,而在西准噶尔后碰撞深成岩浆活动的高峰发生在  $310 \sim 295\text{Ma}$  之间(韩宝福等,2006)。同时,这些研究认为,整个卡拉麦里富碱花岗岩带花岗岩复式岩基与地幔岩浆有关,而萨北富碱花岗岩体起源于幔源区,后期有较多壳源物质的加入,且沿幔源区一混合源区演化的趋势。

本文将通过对该岩体二个岩相中锆石的 SHRIMP U-Pb 法定年来厘定其成岩时代,并简要讨论其形成的构造环境。

## 2 地质特征

卡拉麦里造山带(图 1)位于东天山北部,中亚造山带中部,其北侧为西伯利亚板块,南侧为准噶尔-吐哈地块。卡拉麦里与东侧的哈尔里克造山带为-吐-哈陆块北缘的晚古生代火山弧(何国琦等,1994; 吴昌志等,2006),其北则的库兰卡

孜干造山带为西伯利亚板块南缘的晚古生代火山弧,两者之间的克拉麦里-莫钦乌拉断裂带和沿此带分布的蛇绿岩套代表着由晚石炭世碰撞所造成的古亚洲洋闭合带(马瑞士等,1997; 舒良树等,2001)。在古亚洲洋闭合过程中,其洋壳具有双向俯冲的特征(何国琦等,1994; Gu *et al.*, 1999),而古亚洲洋壳向准-吐-哈陆块的斜向俯冲造成该陆块东南端断裂,从而产生了博格达俯冲撕裂型裂谷(顾连兴等,2001a,2001b)。

东准噶尔构造域主要有三条大的断裂带(刘家远等,1996),由北往南依次为:(1)北带,布尔根富碱花岗岩带;(2)中带,乌伦古富碱花岗岩带;(3)南带,卡拉麦里富碱花岗岩带,这是整个东准噶尔构造活动最活跃的地区。刘家远等(1996)认为,三大断裂带将东准噶尔分割成不同的块段,构成了东准噶尔西部地区总体构造格局,控制了各类花岗岩的侵入和空间展布。韩宝福等(2006)研究认为,准噶尔晚古生代后碰撞深成岩浆活动在空间上没有受到重要地质界线(如蛇绿岩带)的分隔控制,在有的地方花岗岩还可以侵入于蛇绿岩带之中。由此可见,晚古生代后碰撞深成岩浆活动不但在准噶尔分布广泛,而且在准噶尔北邻的阿尔泰造山带和南邻的天山造山带中均有出现,具有广泛的区域性。

东准噶尔西部地区花岗岩分布广泛,全区侵入岩总面积为  $4524\text{km}^2$ ,占基岩出露面积的 90%。类型齐全,超基性岩,基性岩,中性岩,酸性岩到碱性岩,都有发育(图 2)。大致可以分为两个成矿岩浆构造:安山-英安质的喷溢喷发岩构造,以及中性-中酸性杂岩建造。Han *et al.* (1997)等对新疆准噶尔乌伦古河地区的碱性花岗岩进行了研究,将其划分为过碱系列和铝质系列,前者有富含碱性角闪石和碱性辉石的花岗岩和脉岩组成,后者以碱性花岗岩、碱性二长花岗岩以及过碱系列中的铝质脉岩为代表。卡拉麦里富碱花岗岩即属于过碱系列,包括五个超单元(刘家远等,1997; 吴郭泉等,1997)即老鸦泉超单元,贝勒库都克超单元,黄羊山超单元,苏吉泉超单元,萨北超单元。其中萨北超单元可以划分为四

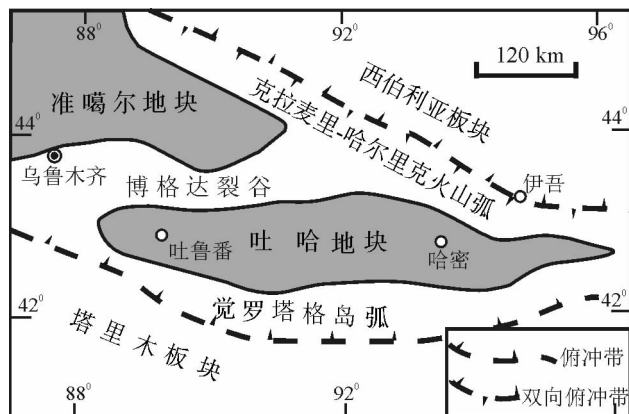


图 1 中亚造山带东部地区大地构造略图(据顾连兴等, 2001b)

Fig. 1 Plate tectonics of Eastern CAOB region

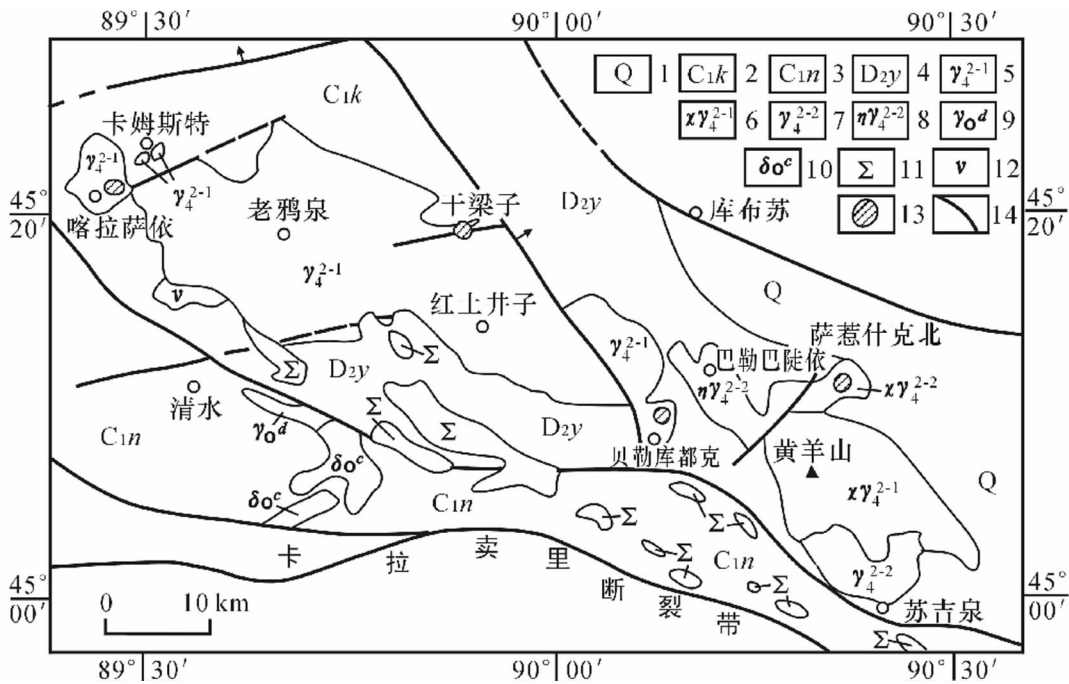


图2 卡拉麦里富碱花岗岩带区域地质图(据刘家远等,1997,修改)

1-第四系; 2,3-下石炭统卡姆斯特组、南明水组凝灰质粉砂岩、凝灰岩; 4-中泥盆统蕴都卡拉组凝灰质粉砂岩、凝灰岩、玄武岩; 5-黑云母花岗岩; 6-碱性花岗岩; 7-角闪石花岗岩; 8-角闪二长花岗岩; 9-斜长花岗岩; 10-石英闪长岩; 11-超基性岩; 12-辉长岩; 13-锡矿点; 14-断层

Fig.2 Regional geological sketch map of the Kelameili high-alkaline granites belt

个单元: 细粒钠铁闪石花岗岩, 中细粒钠铁闪石花岗岩, 中粗粒钠铁闪石花岗岩和斑状钠铁闪石花岗岩。依据野外的直接接触关系和区测资料、航片解释资料, 以及目前工作程度等, 经过综合分析, 确定花岗岩从老到新侵位顺序为: 钠闪石花岗岩→二长花岗岩→角闪石花岗岩→钠铁闪石花岗岩。

总的来说, 萨北碱性花岗岩超单元, 由同源的碱性花岗岩浆先后四次脉动侵入所构成, 岩浆分异演化充分、彻底(喻亨祥等, 2000, 2001)。

萨北锡矿于 1987 年由 305 项目组 IV-I 课题组在该区开展地质工作时首次发现的一种锡矿新类型。矿区位于卡拉麦里碱性花岗岩带的北侧, 东准噶尔界山微陆块的南缘。萨北锡矿区岩石类型有黑云母花岗岩斑岩、钠闪石花岗岩斑岩、钠铁闪式花岗岩、钠铁闪石花岗岩、钠闪石-钠铁闪石花岗岩及含锡石英脉等, 属于卡拉麦里富碱花岗岩萨北超单元的组成部分。自上个世纪 80 年代以来, 不少学者在该地区对含矿岩体及其含矿石英脉进行了同位素年代学研究, 结果表明萨北锡矿矿床的成矿年龄值位于 248 ~ 338Ma 范围, 相当于石炭纪—二叠纪。

### 3 分析方法

#### 3.1 样品采集

本次工作主要采集萨北锡矿的赋矿围岩即萨北碱性花

岗岩的样品进行分析。样品 S2 采于第二单元的中细粒钠铁闪石花岗岩中, 样品 S4 采于第三单元的中粗粒钠铁闪石花岗岩中。岩石有轻度蚀变。样重 10kg 左右, 机械破碎后经清水淘洗出重砂矿物, 然后在双目镜下选出锆石。

样品 S2 中锆石(图 3a)外形特征主要呈长柱状或短柱状, 无色、透明, 内见细小的包裹体及裂纹, 阴极发光图像显示锆石具有岩浆振荡环带结构和扇形环带, 应为岩浆成因, 即原岩结晶锆石。锆石 Th/U = 0.3 ~ 0.7, 也表明了锆石的岩浆成因。但也有相当一部分锆石具有继承核, 有的可见到包裹有未熔蚀彻底的核及小锆石晶体。

样品 S4 中锆石(图 3b)外形特征主要呈短柱状, 图像透明度较差, 具有岩浆振荡环带和扇形环带, 锆石 Th/U = 0.19 ~ 1.02, 清楚地指示它们为岩浆成因锆石。但部分锆石具有继承核。

#### 3.2 分析方法

对样品 S2、S4 进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年。锆石离子探针分析样品的制备按宋彪等(2002a, 2002b)提出的方法进行, 先将挑选出的锆石和标准样品(SL13 和 TEM)用双面胶置于环氧树脂的样品靶上, 用防水细砂纸进行打磨, 至大部分锆石颗粒打磨出中心, 再进行抛光, 对抛光后的样品进行阴极发光和透反射光照相, 便于测定时确定需测定的颗粒位置, 上述准备工作完成后, 再对样品靶进行清洗, 用纯度为 99.999% 的金丝进行镀金, 以备测定使用。

锆石 SHRIMP 测定分析在澳大利亚国立大学地球科学研究院 II 型离子探针 (SHRIMP II) 上进行 (没有提供与测点相对应的锆石编号和测点位置), 吴元宝教授、高天山博士采用 ISOPLOT-III 程序 (Ludwig, 1994) 重新完成了有关年龄的数据处理, 用标准锆石 SL13 校正 U 含量 (标准值为  $U = 238 \times 10^{-6}$ ,  $t = 572\text{Ma}$ )。结果中均给出  $2\sigma$  误差, 采用  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  比值年龄, 其置信度为 95%。

### 3.3 分析结果

对 S2 SUM-041124 号样品进行了 30 个测点的测定, 测试数据如表 1 所示。其中有三个测点所在的锆石晶形不完整, 澳大利亚国立大学地球科学研究院选择了其中 27 个数据进行加权平均, 年龄计算值为  $313 \pm 2\text{Ma}$  (图 4), SMWD 为

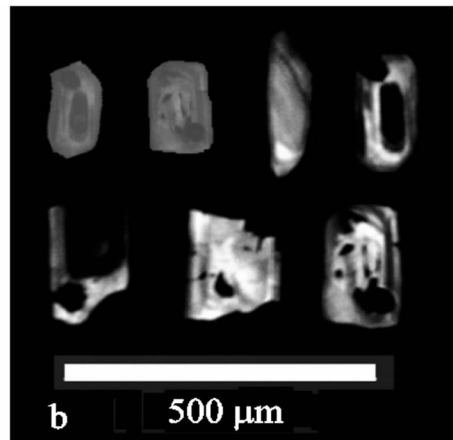
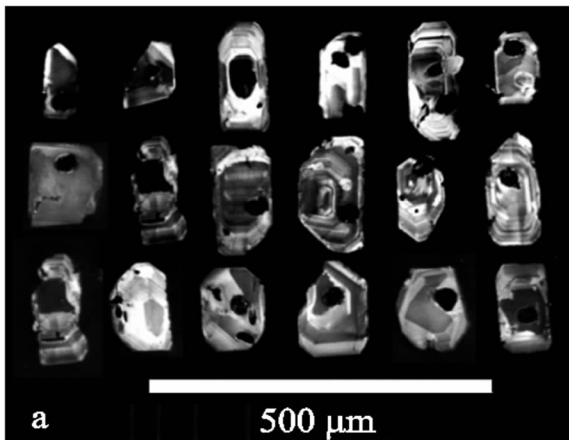


图 3 萨北超单元碱性花岗岩锆石阴极发光图像

a-样品 S2 中一细粒钠铁闪石花岗岩锆石阴极发光图像; b-样品 S4 中一粗粒钠铁闪石花岗岩锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL images for zircons from the Sabei alkali-rich granite

表 1 萨北富碱花岗岩样品 S2 的锆石 SHRIMP 测试数据结果表

Table 1 SHRIMP U-Pb data for zircons of sample S2 from the alkali-rich granite in Sabei

测点编号	Pb ( $10^{-6}$ )	U ( $10^{-6}$ )	Th / U	HfO <sub>2</sub> (wt%)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm \%$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm \%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm \%$	$t_{206/238}$ (Ma $\pm 1\sigma$ )
S2-01. D	7.50	144	0.53	1.0	0.0533	13	0.3601	92	0.0490	3	308 $\pm$ 5
S2-02. D	10.64	200	0.59	0.933	0.0515	10	0.3495	70	0.0492	3	310 $\pm$ 4
S2-03. D	5.00	101	0.34	1.088	0.0533	19	0.3613	136	0.0492	5	310 $\pm$ 5
S2-04. D	21.28	417	0.46	1.391	0.0522	11	0.3539	77	0.0491	4	310 $\pm$ 5
S2-05. D	11.88	230	0.53	0.783	0.0523	14	0.3509	99	0.0486	3	306 $\pm$ 5
S2-06. D	17.13	307	0.70	0.724	0.0516	8	0.3583	61	0.0503	2	317 $\pm$ 4
S2-07. D	5.45	109	0.42	0.929	0.0536	16	0.3597	111	0.0487	3	307 $\pm$ 5
S2-08. D	11.33	192	0.68	0.692	0.0972	34	0.7013	254	0.0523	5	313 $\pm$ 5
S2-09. D	3.77	71	0.36	1.0	0.0546	26	0.3923	193	0.0521	6	326 $\pm$ 6
S2-10. D	7.75	156	0.37	1.0	0.0524	16	0.3539	108	0.0490	3	309 $\pm$ 4
S2-11. D	16.95	336	0.34	1.1	0.0511	12	0.3537	85	0.0502	3	317 $\pm$ 5
S2-12. D	9.91	188	0.43	1.0	0.0525	11	0.3701	82	0.0511	3	322 $\pm$ 5
S2-14. D	18.48	362	0.46	1.1	0.0522	11	0.3534	76	0.0491	3	310 $\pm$ 4
S2-15. D	12.97	239	0.42	1.1	0.0523	11	0.3788	89	0.0526	5	330 $\pm$ 5
S2-16. D	5.68	109	0.42	1.0	0.0506	16	0.3521	116	0.0505	4	318 $\pm$ 5
S2-17. D	9.67	194	0.36	1.0	0.0573	12	0.3867	87	0.0489	3	306 $\pm$ 4
S2-18. D	18.38	349	0.51	1.0	0.0504	8	0.3455	54	0.0497	2	313 $\pm$ 4
S2-19. D	9.47	183	0.46	1.0	0.0528	19	0.3625	133	0.0498	5	314 $\pm$ 5
S2-20. D	50.14	940	0.55	0.9	0.0540	6	0.3728	44	0.0501	3	316 $\pm$ 4
S2-21. D	23.85	470	0.49	0.9	0.0545	14	0.3627	96	0.0483	3	304 $\pm$ 4
S2-22. D	27.11	499	0.71	1.0	0.0524	8	0.3538	60	0.0490	3	310 $\pm$ 4
S2-24. D	6.38	124	0.43	1.0	0.0502	18	0.3456	125	0.0499	4	314 $\pm$ 5
S2-25. D	12.27	231	0.46	1.1	0.0532	24	0.3742	176	0.0510	8	321 $\pm$ 6
S2-26. D	20.11	378	0.50	1.3	0.0516	18	0.3605	128	0.0507	5	321 $\pm$ 5
S2-27. D	7.14	143	0.37	0.8	0.0521	20	0.3542	141	0.0493	5	311 $\pm$ 5
S2-28. D	18.26	346	0.43	1.0	0.0552	9	0.3884	67	0.0510	3	320 $\pm$ 5
S2-29. D	9.04	171	0.56	0.7	0.0548	15	0.3725	103	0.0493	4	310 $\pm$ 5
S2-30. D	9.54	174	0.59	0.8	0.0526	11	0.3692	82	0.0509	3	322 $\pm$ 5

澳大利亚国立大学地球科学研究院 II 型离子探针测定分析并按 Williams (1998) 程序进行了数据处理。用标准锆石 SL13 校正 U 含量 (标准值为  $U = 238 \times 10^{-6}$ ,  $t = 572\text{Ma}$ )。

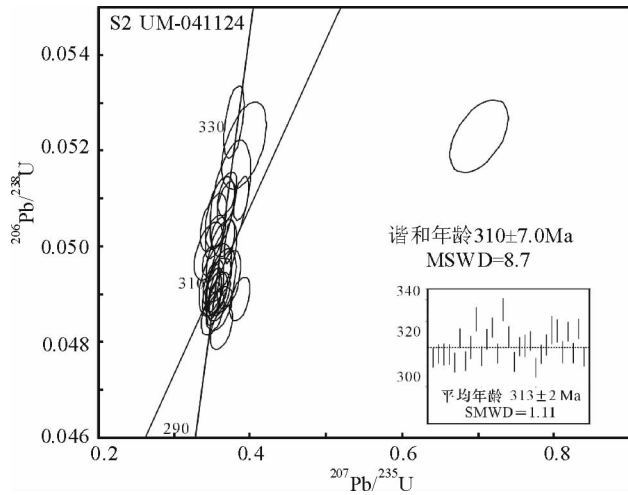


图4 萨北锡矿第二单元中细粒钠铁闪石花岗岩锆石 U-Pb 年龄一致图解

Fig. 4 SHRIMP U-Pb zircon concordia diagram for the rhyolite granite from Sabei, Junggar

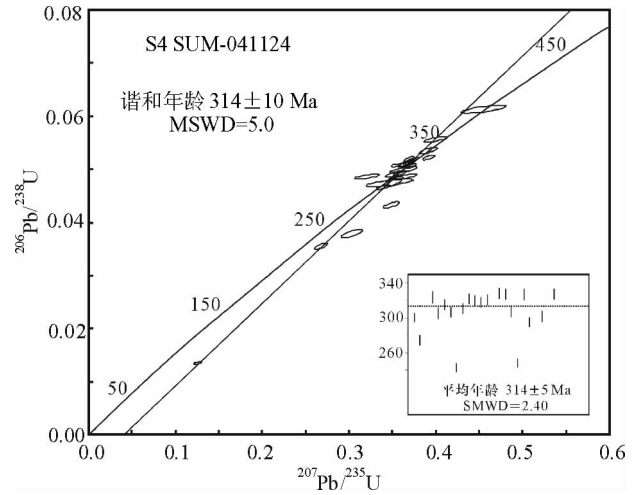


图5 萨北锡矿第三单元中粗粒钠铁闪石花岗岩锆石 U-Pb 年龄一致图解

Fig. 5 SHRIMP U-Pb zircon concordia diagram for the rhyolite granite from Sabei, Junggar

1.11。用 ISOPLOT-III 程序处理的谐和年龄为  $310 \pm 7\text{Ma}$ ，在一致曲线图中相对集中(图4)，SMWD 为 8.7。加权平均年龄与谐和年龄一致，中细粒钠铁闪石花岗岩的结晶时间为晚石炭世。

对 S4 SUM-041124 号样品作了 24 个测点的测定。测定数据见表 2，一致曲线和年龄分布图见图 5。其中 13 个点的加权平均年龄为  $314 \pm 5\text{Ma}$ ，SMWD 为 2.4；用 ISOPLOT-III 程序处理的谐和年龄为  $314 \pm 10\text{Ma}$ ，在一致曲线图中大致集中分布(图 5)，SMWD 为 8.7。加权平均年龄与谐和年龄一致，中粗粒钠铁闪石花岗岩的结晶时间为晚石炭世。另据澳大利亚国立大学地球科学研究院报告，S4 SUM-041124 号样品锆石质量较差，部分碎片、碎粒锆石的分析结果可信度偏低，故舍去不用；有的锆石只有很窄的岩浆增生边，分析点打在老的核或与岩浆增生边上，故给出了新老混合的不一致年龄，偏离谐和线，数据未被选用。而选用的样品点都投影在  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和曲线上或谐和曲线附近，表明这些锆石颗粒在形成后的 U-Pb 同位素体系是基本封闭的，没有 U 或 Pb 同位素的明显丢失或加入。

## 4 讨论

包括萨北锡矿在内的新疆东准噶尔卡拉麦里地区是一个重要的锡成矿带，分布有多种类型花岗岩，岩石普遍富集 Rb、K 等大离子亲石元素及 Zr、Hf 等高场强元素，其  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  和  $10000\text{Ga}/\text{Al}$  值大，明显不同于典型的 I 型和 S 型花岗岩，基本属于典型的铝质 A 型花岗岩(苏玉平等, 2006)。近年来，部分研究者根据大量地球化学和同位素年代学资料，认为塔里木盆地以北的新疆北部地区广泛发育 320 ~

280Ma 后碰撞阶段的岩浆活动(Han *et al.*, 1997; 韩宝福等, 2004; Hu *et al.*, 2000; 夏林圻等, 2003; Chen *et al.*, 2004; 顾连兴等, 2006)，其中碱性花岗岩具高硅( $\text{SiO}_2$  75 ~ 78%)、富碱、富 Nb、富稀土、富 Y、Sn、F、高 FeO/MgO 比值、Sr 和 Eu 强亏损等特征； $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  在 +5.2 ~ +7.1 之间， $I_{\text{Sr}}$  多数在 0.7031 ~ 0.7041 之间，表明其源区有年轻组分存在，但也不排除地壳深熔作用或与陆下俯冲洋脊活动导致的岩浆活动的可能性(李锦轶, 1995, 2004, 2006)。

洪大卫等(1995)、刘家远等(1997)、Han *et al.* (1997)、韩宝福等(1998, 1999, 2006)、Zhao *et al.* (2000)、苏玉平等(2006)等学者探讨了卡拉麦里带后碰撞 A 型花岗岩岩体成因和成岩成矿地质环境。花岗岩微量元素构造判别图显示它们是一种后碰撞花岗岩，成岩时代大致在 310 ~ 330Ma 之间(苏吉泉的黑云母花岗岩  $304 \pm 2\text{Ma}$ ，苏玉平等, 2006；红土井子粗粒黑云母花岗岩中锆石 U-Pb 年龄为  $312 \pm 6\text{Ma}$ ，田慧新等, 1992)，标志晚石炭世卡拉麦里地区造山作用的结束和板内构造演化的开始，或者说这种后碰撞花岗岩的形成和演化标志了准噶尔地区后碰撞幔源岩浆底侵作用导致大陆地壳垂向生长的过程(李宗怀等, 2004)。

本项研究首次进行了卡拉麦里带萨北锡矿成矿 A 型花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 的精确定年，获得年龄值范围在  $313 \pm 2 \sim 314 \pm 5\text{Ma}$  左右，介于新疆北部后碰撞成矿三个高峰期(340 ~ 330Ma, 300 ~ 285Ma, 270 ~ 260Ma, 王京彬等, 2006)的第二成矿高峰期前夕。这一结果与周边花岗岩年龄值(刘家远等, 1997; 韩宝福等, 1998, 1999; 苏玉平等, 2006)一致，表明该地区的岩浆侵入活动发生在 310 ~ 330Ma 之间，属于后碰撞岩浆活动的产物，其源区特征应与上述碱性花岗岩一致。

表 2 萨北富碱花岗岩样品 S4 的锆石 SHRIMP 测试数据结果表

Table 2 SHRIMP U-Pb data for zircons of Sample S4 from the alkali-rich granite in Sabei

测点编号	Pb ( $10^{-6}$ )	U ( $10^{-6}$ )	Th / U	HfO <sub>2</sub> (wt%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	± %	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	± %	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	± %	$t_{206/238}$ (Ma ± 1σ)
S4-01. D	8.74	174	0.54	1.13	0.0530	27	0.3469	180	0.541	5	300 ± 5
S4-02. D	21.40	480	0.43	1.49	0.0584	9	0.3487	62	0.426	8	274 ± 6
S4-03. D	14.46	240	1.05	1.3	0.0531	9	0.3916	71	1.050	33	370 ± 7
S4-04. D	117.94	2324	0.28	1.79	0.0522	5	0.3696	48	0.278	3	323 ± 7
S4-05. D	158.94	3226	0.38	1.61	0.0525	3	0.3498	28	0.385	6	305 ± 6
S4-06. D	5.57	111	0.35	0.97	0.0527	14	0.3628	103	0.346	2	315 ± 6
S4-07. D	7.46	147	0.48	1.12	0.0545	13	0.3651	88	0.480	2	307 ± 6
S4-08. D	57.04	1494	0.83	1.84	0.0547	8	0.2678	50	0.830	15	242 ± 5
S4-09. D	230.21	4700	0.30	2.31	0.0523	2	0.3545	22	0.299	8	310 ± 6
S4-10. D	301.84	6129	0.20	1.97	0.0518	4	0.3642	42	0.197	3	321 ± 6
S4-11. D	160.73	3200	0.29	2.21	0.0532	4	0.3713	38	0.295	4	319 ± 6
S4-12. D	11.95	229	0.63	1.2	0.0523	11	0.3538	80	0.627	13	318 ± 6
S4-13. D	13.37	261	0.34	1.38	0.0515	12	0.3612	87	0.336	2	321 ± 6
S4-14. D	94.50	6400	0.52	2.64	0.0675	13	0.1259	31	0.523	5	83 ± 3
S4-15. D	125.42	2379	0.34	2.09	0.0545	6	0.3921	50	0.343	6	328 ± 6
S4-16. D	247.39	4448	0.66	1.72	0.0522	3	0.3690	29	0.655	46	327 ± 6
S4-17. D	4.94	100	0.37	1.12	0.0478	14	0.3206	95	0.371	2	307 ± 7
S4-18. D	13.00	292	1.04	0.99	0.0581	13	0.3034	80	1.037	14	248 ± 5
S4-20. D	195.20	3761	0.33	1.93	0.0517	4	0.3688	40	0.328	3	327 ± 7
S4-21. D	88.16	1896	0.32	2.18	0.0528	7	0.3392	51	0.319	5	295 ± 6
S4-22. D	5.93	94	0.41	1.04	0.0538	20	0.4550	170	0.414	5	385 ± 7
S4-23. D	40.64	834	0.40	1.46	0.0537	7	0.3530	62	0.400	4	302 ± 6
S4-24. D	11.76	201	0.55	1.18	0.0521	11	0.3996	89	0.547	6	355 ± 7
S4-25. D	215.99	4169	0.30	1.69	0.0527	2	0.3770	22	0.304	2	327 ± 6

澳大利亚国立大学地球科学研究院 II 型离子探针分析并按 Williams(1998)程序进行了数据处理。用标准锆石 SL13 校正 U 含量(标准值为  $U = 238 \times 10^{-6}$ ,  $t = 572$  Ma)。

## 5 结论

综上所述,新疆准噶尔是新疆北部古生代造山带的重要组成部分,以广泛发育晚古生代后碰撞花岗岩为特征,是中亚造山带中生宙陆壳生长作用非常显著的地区之一。东准噶尔地区卡拉麦里带萨北锡矿赋矿 A 型花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 加权平均年龄值分别为  $313 \pm 2$  Ma 和  $314 \pm 5$  Ma, 谐和年龄值分别为  $310 \pm 7$  Ma 和  $314 \pm 10$  Ma, 介于东

准噶尔后碰撞深成岩浆活动两个时段(330 ~ 310Ma 和 305 ~ 280Ma)的第一时段之中,属于后碰撞岩浆活动的产物。

**致谢** 本文作者感谢澳大利亚国立大学地球科学研究院承担 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年,并进行数据处理!真诚感谢北京大学韩宝福教授、北京离子探针中心宋彪研究员阅读全文并提出具体修改意见!感谢中国地质大学(武汉)吴元保教授、中国科学技术大学高天山博士、南京大学吴昌志博士的大力帮助!

## References

- 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
- Gao J, Long LL, Qian Q *et al.* 2006. South Tianshan: A Late Paleozoic or a Triassic orogen? *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1049 – 1061 (in Chinese with English abstract)
- Gu LX, Hu SX, Chu Q, Yu CS and Xiao XJ. 1999. Pre-collision granites in a d post-collision intrusive assemblage of the Kelameili-Harlik orogenic belt. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 73(3): 316 – 329
- Gu LX, Hu SX, Yu CS, Zhao M, Wu CZ and Li HY. 2001a. Intrusive activities during compression-extension tectonic conversion in the Bogda intracontinental orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 187 – 198 (in Chinese with English abstract)
- Gu LX, Hu SX, Yu CS, Wu CZ and Yan ZF. 2001b. Initiation and evolution of the Be'gda subduction-torn-type rift. *Acta Petrologica Sinica*, 17(4): 585 – 579 (in Chinese with English abstract)
- Gu LX, Zhang ZZ, Wu CZ, Wang YX, Tang JH, Wang CS, Xi AH and Zheng YC. 2006. Some problems on granites and vertical growth of the continental crust in the eastern Tianshan Mountains, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1103 – 1120. (in Chinese with English abstract)
- Han BF, Wang SG, Jahn BM *et al.* 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. *Chemical Geology*, 138: 135 – 159
- Han BF, He GQ, Wang SG *et al.* 1998. Postcollisional Mantle-Derived Magmatism and Vertical Growth of the Continental Crust in North Xinjiang. *Geological Review*, 44(4): 396 – 406 (in Chinese with English abstract)
- Han BF, He GQ and Wang SG. 1999. Postcollisional mantle-derived magmatism, underplating and implications for basement of the Junggar Basin. *Science in China (Ser. D)*, 29(1): 16 – 21 (in Chinese)
- Han BF, He GQ, Wu TR *et al.* 2004a. Zircon U-Pb dating and geochemical features of early Paleozoic granites from Tianshan, Xinjiang: Implications for tectonic evolution. *Xinjiang Geology*, 22(1): 4 – 11 (in Chinese with English abstract)
- Han BF, Ji JQ, Song B *et al.* 2004b. SHRIMP zircon U-Pb ages of Kalatongke No. 1 and Huangshandong Cu-Ni-bearing mafic-ultramafic complexes, North Xinjiang, and geological implications. *Chinese Science Bulletin*, 49(22): 2424 – 2429 (in Chinese)
- Han BF, Ji JQ, Song B *et al.* 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)
- He GQ, Li MS, Liu DQ *et al.* 1994. Paleozoic crustal evolution and mineralization in Xinjiang of China. Ummqi and Hongkong: Xingjiang People Publication House and Educational and Cultural Press LTD, 1 – 437 (in Chinese with English abstract)
- Hu AQ, Wang ZG and Tu GC. 1997. Geological Evolution, Petrogenesis and Metallogeny of North Xinjiang. Beijing: Science Press, 1 – 246 (in Chinese)
- Hu AQ, Jahn BM, Zhang GX *et al.* 2000. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotopic evidence. Part I. Isotopic characterization of basement rocks. *Rock Physics and Mineralogy*, 328: 15 – 51
- Li JY and Xiao XC. 1999. Brief reviews on some issues of framework and tectonic evolution of Xijiang crust. *Scientia Geological Sinica*, 34(4): 405 – 419 (in Chinese with English abstract)
- Li JY. 1995. Main characteristics and emplacement processes of the east Junggar ophiolites, Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 11(suppl.): 73 – 84 (in Chinese with English abstract)
- Li JY and Xu X. 2004. Major problems on geologic structures and metallogenesis of northern Xinjiang, northwest China. *Xinjiang Geology*, 22(2): 119 – 124 (in Chinese with English abstract)
- Li JY, He GQ, Xu X *et al.* 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 WQ, Xia B, Wang KZ *et al.* 2006. Zircon SHRIMP Age and Geochemistry of Caizhong Granite from East Tianshan, Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 43 – 52 (in Chinese with English abstract)
- Liu JY, Yu HX and Wu GQ. 1997. Alkali granites and tin deposits of the Kalamaili area, northern Xinjiang. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 6(3): 129 – 135 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig KR. 1994. Isoplot a plotting and regression program for radiogenic-isotopic date, Version 2.75. U. S. Geol. Surv., Openfile Report, 91 – 445, 47
- Ma RS, Shu LS and Sun JQ. 1997. Tectonic evolution and metallogeny of eastern Tianshan mountains. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 202 (in Chinese)
- Shu LS, Lu HF, Yin DH *et al.* 2001. Late Paleozoic continental accretionary tectonics in northern Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 19(1): 59 – 63 (in Chinese with English abstract)
- Shu LS, Guo ZJ, Zhu WB *et al.* 2004. Post-collision tectonism and basin-range evolution in the Tianshan belt. *Geological Journal of China Universities*, 10(3): 393 – 404 (in Chinese with English abstract)
- Song B, Zhang YH and Liu DY. 2002a. Introduction to the naissance of SHRIMP and its contribution to isotope geology. *Journal of Chinese Mass Spectrometry Society*, 23(1): 58 – 62 (in Chinese with English abstract)
- Song B, Zhang YH, Wan YS *et al.* 2002b. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48(Suppl.): 26 – 30 (in Chinese with English abstract)
- Su YP, Tang HF, Liu CQ *et al.* 2006. The determination and a preliminary study of Sujiquan aluminous A-type granites in East Junggar, Xinjiang. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(3): 175 – 184 (in Chinese with English abstract)
- Sun GH, Li JY, Gao LM *et al.* 2005. Zircon SHRIMP U-Pb age of a dioritic pluton in the Harlik Mountain, Eastern Xinjiang, and its tectonic implication. *Geological Review*, 51(4): 463 – 469 (in Chinese with English abstract)
- Tang HS, Chen YJ, Liu YL *et al.* 2006. Isotope dating of the Be'erukuduke tin deposit in the eastern Junggar Area. *J. Mineral. Petrol.*, 26(2): 71 – 73 (in Chinese with English abstract)
- Tian HX. 1992. The granite suite. In: Zhang YR *et al.* (eds). *Geology and gold and tin deposit of East Junggar*. Beijing: Seismic Press. 90 – 123 (in Chinese)
- Tu GZ (ed). 1993. *New improvement of solid geosciences in northern Xinjiang*. Beijing: Science Press, 1 – 546 (in Chinese)
- Williams IS. 1998. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. In: McKibben MA, Shanks III WC and Riddley WI (eds). *Applications of Microanalytical Technique to Understanding Mineralizing Processes*. *Reviews in Economic Geology*, 7: 1 – 35
- Wu CZ, Zhang ZZ, Zaw K, Della-Pasque F, Tang JH, Zheng YC, Wang CS and San JZ. 2006. Geochronology, geochemistry and tectonic significances of the Hongyuntan granitoids in the Qoag area, Eastern Tianshan. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1121 – 1134 (in Chinese with English abstract)
- Wu GQ, Liu JY and Yuan KR. 1997. The composition of the Kelameili

- high-alkaline granite belt, Xinjiang. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 17 (1): 18–25 (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)
- Xia LQ, Xia ZC, Xu XY *et al.* 2004. Carboniferous Tianshan igneous megaprovince and mantle plume. *Geological Bulletin of China*, 23(9–10): 903–910 (in Chinese with English abstract)
- Xiao WJ, Sun S, Li JL *et al.* 2006. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of Northern Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the southern Paleoeasian Domain. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1062–1076 (in Chinese with English abstract)
- Xiao XC, Tang YQ, Feng YM *et al.* 1992. Tectonics of north Xinjiang and its adjacent region. Beijing: Geological Publishing House, 1–169 (in Chinese)
- Yang M, Peng SL, Yang B *et al.* 2005. Crustobody's movement and evolution in northern Xinjiang. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(1): 113–121 (in Chinese with English abstract)
- Yu HX, Xia B, Liu JY *et al.* 2000. Lithogeochemistry of granitic subvolcanic complex in Ulunbulake copper deposit, Xinjiang, China. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 20(3): 213–219 (in Chinese with English abstract)
- Yu HX, Xia B, Liu JY *et al.* 2001. Crustobody tectonic evolution and tectonic-genetic types of granitoids in eastern Junggar, Xinjiang, China. *Geotectonica et Metallogenia*, 25(1): 64–73 (in Chinese with English abstract)
- Zhao ZH, Bai ZH, Xiong XL *et al.* 2000. Geochemistry of alkali-rich igneous rocks of Northern Xinjiang and its implications for geodynamics. *Acta Geologica Sinica*, 74(2): 321–328
- Zhao ZH, Sheng YC, Tu GC *et al.* 2001. Basic research for metal resources in Xinjiang. Beijing: Science Press, 1–276 (in Chinese)
- 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 and Xu X. 2006. The discovery of Early Ordovician ophiolite mlange in Taerbahatai Mts., Xinjiang, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12): 2833–2842 (in Chinese with English Abstract)
- Zhu YF, Zhang LF, Gu LB *et al.* 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, Zhou J and Zeng YS. 2007. The Tianger (Bingdaban) shear zone hosted gold deposit, west Tianshan, NW China: Petrographic and geochemical characteristics. *Ore Geology Review*, doi: 10.1016/j.oregeorev. 2006. 10. 006; 1–29
2006. 关于东天山花岗岩与陆壳垂向增生的若干认识. *岩石学报*, 22(5): 1103–1120
- 韩宝福, 何国琦, 王式洗等. 1998. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵生长. *地质论评*, 44(4): 396–406
- 韩宝福, 何国琦, 王式洗. 1999. 后碰撞岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基地的性质. *中国科学(D辑)*, 29(1): 16–21
- 韩宝福, 何国琦, 吴泰然等. 2004a. 天山早古生代花岗岩锆石 U-Pb 定年、岩石地球化学特征及其大地构造意义. *新疆地质*, 22(1): 4–11
- 韩宝福, 季建清, 宋彪等. 2004b. 新疆克拉通克和黄山东含铜镍矿铁-超镁铁杂质岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *科学通报*, 49(22): 2324–2328
- 韩宝福, 季建清, 宋彪等. 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
- 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. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社. 1–437
- 洪大卫, 王式洗, 韩宝福等. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志. *中国科学(B辑)*, 25(4): 418–426
- 胡霭琴, 王中刚, 涂光炽. 1997. 新疆北部地质演化及成矿成矿规律. 北京: 科学出版社, 1–246
- 李锦轶. 1995. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史. *岩石学报*, 11(增刊): 73–84
- 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. 新疆东部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
- 李锦轶, 徐新. 2004. 新疆北部地质构造和成矿作用的主要问题. *新疆地质*, 22(2): 119–124
- 李锦轶, 何国琦, 徐新等. 2006. 新疆北部及其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
- 李文铅, 夏斌, 王克卓等. 2006. 新疆东天山彩中花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄及地球化学特征. *地质学报*, 80(1): 43–52
- 李宗怀, 韩宝福, 李辛子等. 2004. 新疆准噶尔地区花岗岩中微粒闪长质包体特征及后碰撞花岗岩质岩岩浆起和演化. *岩石矿物学杂志*, 23(3): 214–226
- 刘家远, 袁奎荣, 吴郭泉等. 1996. 新疆东准噶尔富碱花岗岩类及其成矿作用. 长沙: 中南工业大学出版社, 1–170
- 刘家远, 喻亨祥, 吴郭泉. 1997. 新疆北部卡拉麦里富碱花岗岩带的碱性花岗岩与锡矿. *有色金属矿产与勘查*, 6(3): 129–135
- 马瑞士, 舒良树, 孙家齐. 1997. 东天山构造演化与成矿. 北京: 地质出版社, 1–202
- 舒良树, 卢华复, 印栋浩等. 2001. 新疆北部古生代大陆增生构造. *新疆地质*, 19(1): 59–63
- 舒良树, 郭召杰, 朱文斌等. 2004. 天山地区碰撞后构造与盆地演化. *高校地质学报*, 10(3): 393–404
- 宋彪, 张玉海, 刘敦一. 2002a. 微量原位分析仪器 SHRIMP 的产生与锆石同位素地质年代学. *质谱学报*, 23(1): 58–62
- 宋彪, 张玉海, 万喻生等. 2002b. 锆石 SHRIMP 样品制作、年龄测定及有关现象讨论. *地质论评*, 48(增刊): 26–30
- 苏玉平, 唐红峰, 刘丛强等. 2006. 新疆东准噶尔苏吉泉铝质 A 型花

## 附中文参考文献

- 高俊, 龙灵利, 钱青等. 2006. 南天山: 晚古生代还是三叠纪碰撞造山带? *岩石学报*, 22(5): 1049–1061
- 顾连兴, 胡爱葵, 于春水, 赵明, 吴昌志, 李宏宇. 2001a. 东天山博格达造山带挤压-拉张构造转折期的侵入活动. *岩石学报*, 17(2): 187–198
- 顾连兴, 胡爱葵, 于春水, 吴昌志, 严正富. 2001b. 论博格达俯冲撕裂型裂谷的形成与演化. *岩石学报*, 17(4): 585–597
- 顾连兴, 张遵忠, 吴昌志, 王银喜, 唐俊华, 汪传胜, 郝爱华, 郑远川.



- 岗岩的确立及其初步研究. 岩石矿物学杂志, 25(3): 175-184
- 孙桂华, 李锦轶, 高立明等. 2005. 新疆东部哈尔里克山闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 地质论评, 51(4): 463-469
- 汤好书, 陈衍景, 刘玉林等. 2006. 东准噶尔贝尔库都克锡矿成矿年龄测定. 矿物岩石, 26(2): 71-73
- 田慧新等. 1992. 花岗岩系列. 见: 张以熔等著. 东准噶尔地质及金锡矿产研究. 北京: 地震出版社, 90-123
- 涂光炽编. 1993. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社, 1-546
- 吴昌志, 张遵忠, Khin Zaw, Fernando Della-Pasque, 唐俊华, 郑远川, 汪传胜, 三金柱. 2006. 东天山觉罗塔格红云滩花岗岩年代学、地球化学及其构造意义. 岩石学报, 22(5): 1121-1134
- 吴郭泉, 刘家远, 袁奎荣. 1997. 新疆卡拉麦里富碱花岗岩带组成. 桂林工学院学报, 17(1): 18-25
- 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
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义等. 2004. 天山石炭纪大火成岩省与地幔柱. 地质通报, 23(9~10): 903-910
- 肖文交, 孙枢, 李继亮等. 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, 汤跃庆, 冯益民等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京: 地质出版社, 1-169
- 杨牧, 彭省临, 杨斌等. 2005. 新疆北部壳体大地构造演化与运动初步研究. 大地构造与成矿学, 29(1): 113-121
- 喻亨祥, 夏斌, 刘家远等. 2000. 东准噶尔碰撞造山作用与花岗岩类及有关金属成矿系列. 桂林工学院学报, 20(3): 213-219
- 喻亨祥, 夏斌, 刘家远等. 2001. 东准噶尔壳体构造演化与花岗岩构造成因类型. 大地构造与成矿学, 25(1): 64-73
- 赵振华, 沈远超, 涂光炽等. 2001. 新疆金属矿产资源的基础研究. 北京: 地质出版社, 1-276
- 朱永峰, 宋彪. 2006. 新疆天格尔(冰达坂)糜棱岩化花岗岩的岩石学及其 SHRIMP 年代学研究: 兼论花岗岩中热液锆石边的定年. 岩石学报, 22: 135-144
- 朱永峰, 徐新. 2006. 新疆塔尔巴哈台山发现早奥陶世蛇绿混杂岩. 岩石学报, 22: 2833-2842