

西藏班戈县多巴区矽卡岩型铁多金属矿床含矿花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、地球化学及意义

定 立¹, 赵元艺², 杨永强¹, 崔玉斌¹, 吕立娜²

(1. 中国地质大学 地质过程与成矿作用国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与矿产资源评价重点实验室, 北京 100037)

摘 要: 选择西藏班戈县多巴区梭沙矽卡岩型矿化点与再阿矽卡岩型铁多金属矿床, 在野外地质调查、室内岩相和矿相学研究的基础上, 对含矿花岗岩进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法测年分析、主量与微量元素测试, 并探讨了岩石成因及其与成矿作用的关系。梭沙地区主要矿化岩体为细粒斑状花岗闪长岩, 再阿为中细粒花岗闪长岩。锆石的 LA-ICP-MS 定年结果表明, 细粒斑状花岗闪长岩和中细粒花岗闪长岩的年龄分别为 77.37 ± 0.55 Ma 和 79.78 ± 0.99 Ma, 均为晚白垩世岩浆活动的产物。区内花岗岩的 A/CNK 值变化于 0.78~1.29 之间, A/NK 值变化在 0.88~1.51 之间, 为准铝质系列。花岗岩富集大离子亲石元素 Rb, Th, U, K, 贫 Nb, 总体与班公湖成矿带的同期花岗岩相一致, $\Sigma\text{REE} = 199.82 \times 10^{-6} \sim 274.64 \times 10^{-6}$, LREE/HREE = 3.552~7.199, $\delta\text{Eu} = 0.20 \sim 0.82$, Eu 呈中等负异常, 揭示岩浆演化过程中可能发生斜长石的分离结晶作用。梭沙和再阿岩体的成矿作用与班公湖-怒江洋向南俯冲结束后的碰撞闭合作用有关, 为班公湖-怒江缝合带闭合之后岩浆活动及相关热液作用的产物。梭沙和再阿地区具有良好的铁钼等多金属成矿地质、地球化学条件, 有良好的找矿前景, 应加强该区的找矿评价工作。

关键词: LA-ICP-MS, 班公湖-怒江成矿带, 矽卡岩型铁多金属矿床, 梭沙, 再阿, 西藏班戈县

中图分类号: P588.12⁺1; P597⁺.3; P618.31 文献标识码: A 文章编号: 1000-6524(2012)04-0479-18

LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of ore-bearing granite in skarn-type iron polymetallic deposits of Duoba area, Baingoin County, Tibet, and their significance

DING Li¹, ZHAO Yuan-yi², YANG Yong-qiang¹, Cui Yu-bin¹ and LÜ Li-na²

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resource, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. CAGS/MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: Located in northwestern Baingoin County of Tibet, Duoba area is near the middle of Bangong Co-Nujiang River metallogenic belt with the distribution of a large number of skarn iron-copper polymetallic deposits (mineralization spots) characterized by good prospecting potential. Due to high elevations, traffic inconvenience and less mining, only a small amount of work has been carried out. This research is based on the systematic field

收稿日期: 2012-03-30; 修订日期: 2012-05-30

基金项目: 国家 973 项目(2011CB403103); 国家科技支撑课题(2006BAB01A05); 中国地质调查局青藏专项(1212010818097); 国家自然科学基金资助项目(41072070)

作者简介: 定立(1987-), 男, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业, E-mail: dingli8710@163.com; 通讯作者: 赵元艺, 研究员, 主要从事矿床学与地球化学研究, E-mail: yuanyizhao2@sina.com

geological survey, indoor petrographic and ore microscopic studies, zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and analysis of major and trace elements. The authors chose Sousha skarn mineralization spot and Zai'a skarn iron polymetallic deposit to conduct researches on the relationship between the petrogenesis and the mineralization. There are mainly fine grained porphyritic granodiorites in Sousha area and fine grained granodiorites in Zai'a. Zircon's LA-ICP-MS dating indicates that the age of the fine grained porphyritic granodiorite is 77.37 ± 0.55 Ma, whereas that of the fine grained granodiorite is 79.78 ± 0.99 Ma, suggesting products of late Cretaceous magmatism. Their A/CNK values change between 0.78 and 1.29, and A/NK values change in the range of 0.88 ~ 1.51. The rocks belong to weakly peraluminous. They are enriched in big ion incompatible elements Rb, Th, U and K, and depleted in Nb, identical overall with the same period granite in Bangong Co-Nujiang River metallogenic belt. Σ REE range from 199.82×10^{-6} to 274.64×10^{-6} , LREE/HREE = 3.552 ~ 7.199, $\delta Eu = 0.20 \sim 0.82$, with medium negative Eu anomalies. These data indicate that the separation of plagioclase crystallization might have occurred in magmatic evolution processes. The ore-forming processes of Sousha and Zai'a rock bodies might have had something to do with the southward subduction of the Bangong Co-Nujiang Ocean Basin and acted as the products of magmatic activity after closing. With favorable iron and bismuth polymetallic ore-forming geological and geochemical conditions, this area deserves more attention in further prospecting and evaluation work.

Key words: LA-ICP-MS; Bangong Co-Nujiang River metallogenic belt; skarn-type iron polymetallic deposit; Sousha; Zai'a; Baingoin County, Tibet

班公湖-怒江缝合带及其两侧分布着众多的铜、金、铁、铅、锌多金属矿床,由西向东,以材玛、弗野砂卡岩型铁矿,尔尔穷、嘎拉勒砂卡岩型铜金铁矿,多不杂斑岩型铜金矿,舍索砂卡岩型铜铅锌矿,更乃砂卡岩型铜铁矿等为代表,西段以多不杂地区分布有斑岩型铜(金)矿。因其整体以砂卡岩型铜多金属矿床为主,并且多数矿床普遍存在较高含量的铟和铋,所以班公湖-怒江缝合带不但为一砂卡岩型成矿带(吕立娜等,2011),也是一条重要的铟、铋的找矿远景区带(赵元艺等,2010a,2010b;吕立娜等,2011)。

本文选择位于班公湖-怒江缝合带中段南侧的梭沙砂卡岩型矿化区和再阿砂卡岩型铁(铜)矿床开展研究。由于所处位置较为偏僻,交通不便,海拔较高,并且矿床规模较小而不易引起人们的注意,使该区域的研究程度相对较低。本文在对该区域进行系统的野外地质特征研究基础上,选择代表性样品,进行了地球化学特与年代学特征的系统研究,欲为其成因及相关问题的研究提供基本数据,并为整个区带的找矿提供理论参考。

1 地质背景

西藏境内分布有金沙江缝合带、班公湖-怒江缝

合带和雅鲁藏布江缝合带(芮宗瑶等,2003),3个缝合带反映了古特提斯洋盆、中新特提斯洋盆闭合的历史以及印度大陆与欧亚大陆相碰撞的历史。班公湖-怒江缝合带座落于青藏高原中南部,位于冈底斯火山岩浆弧北缘,在西藏境内全长2 800 km,带宽5 ~ 50 km,是一条巨型缝合带,南北两侧分别是拉萨地块和羌塘地块,以零散分布的蛇绿岩碎块为标志。沿缝合带大规模的岛弧火山活动发生在中晚侏罗世,形成燕山早期陆缘火山弧(西藏地质矿产局,2002),以中酸性幕式侵入为主,岩体一般呈岩株或小岩基状沿东西向带状分布,岩性主要为石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、似斑状花岗岩及花岗斑岩,年龄在70 ~ 140 Ma之间,主要集中在100 ~ 130 Ma(西藏地质矿产局,2002;莫宣学等,2005)。岩浆作用早期岩石通常偏基性,铝不饱和,具I型花岗岩特征。晚期岩石酸性增强,铝过饱和,显示S型花岗岩的特征(曲晓明等,2006)。

梭沙矿化区和再阿矿区位于西藏自治区班戈县城西北50 km处,属多巴地区管辖,区幅坐标东经 $80^{\circ}19'41'' \sim 80^{\circ}29'52''$,北纬 $31^{\circ}26'55'' \sim 31^{\circ}30'35''$ 。大地构造位置处于班公湖-怒江缝合带中段南侧的班戈-腾冲岩浆弧中部,区域出露地层以白垩系为主,由早到晚,沉积环境逐渐由浅海相(下白垩统多尼组、郎山组)变为陆相(上白垩统竞柱山组),其中

下白垩统多尼组、郎山组主要为砂岩、砾岩、灰岩地层，而上白垩统竟柱山组则为前陆盆地磨拉石沉积（图1）。梭沙区域具有一定的矽卡岩型矿化，与矿化有关的岩体主要为细粒斑状花岗闪长岩、细晶花岗岩，再阿矿床则以中细粒花岗闪长岩和文象花岗岩为主，它们皆呈近东西向不规则椭圆状展布，侵位

于下白垩统郎山组灰岩地层和多尼组砾岩地层中。

雄巴岩体与郎山组灰岩的接触部位普遍见矽卡岩化和铜铁多金属矿化，以矽卡岩矿石为主，属于矽卡岩型矿石。原生硫化矿石矿物主要有黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿、褐铁矿（图2b、2c）黄铁矿、赤铁矿（图3b、3c、3d）磁黄铁矿、辉钼矿、辉铜矿等。具中—粗

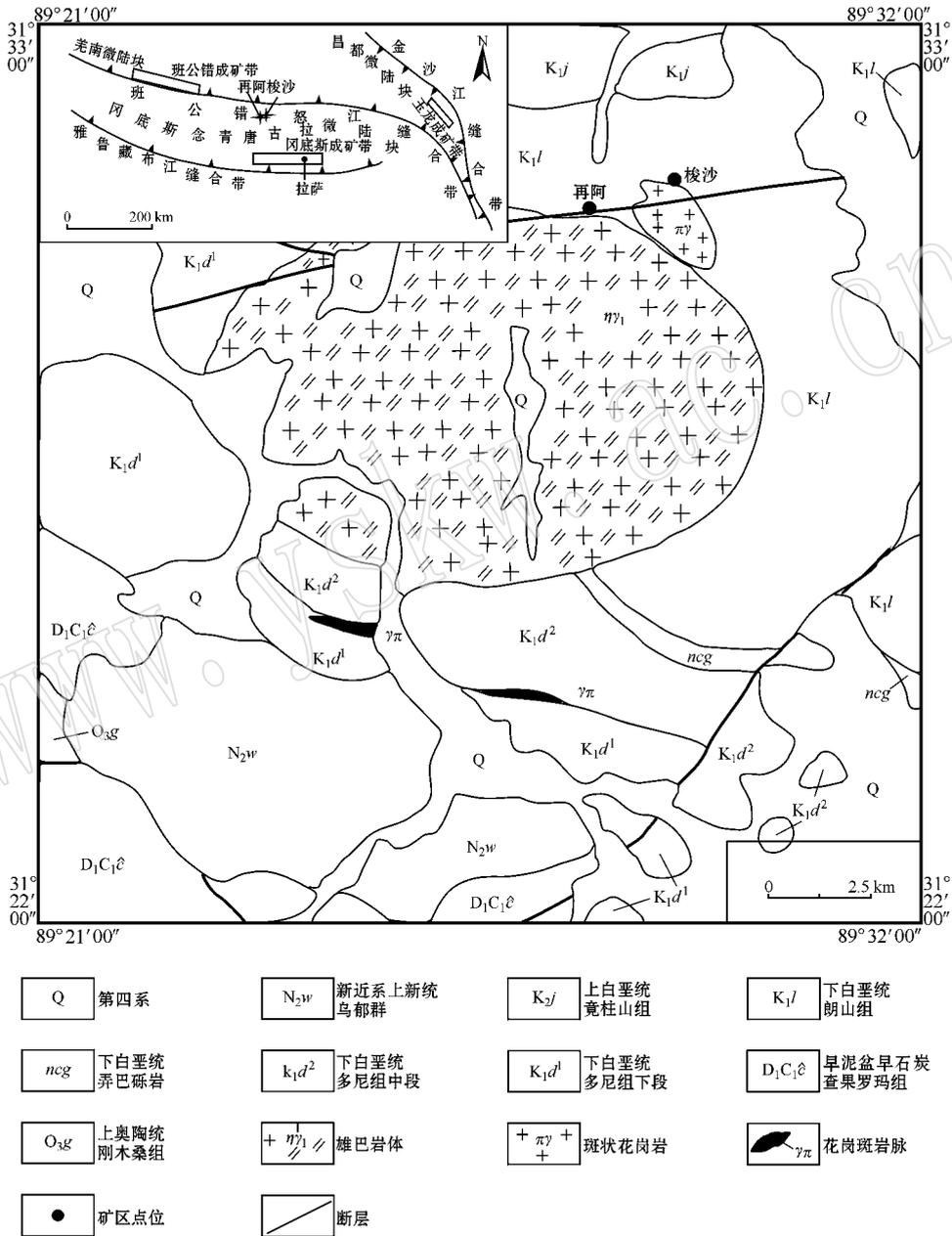


图1 梭沙、再阿区域地质图(据吉林省地质调查院, 2003^①改绘) 构造位置示意图(左上小图)

Fig. 1 Regional geological map(modified after Institute of Geological Survey of Jilin Province, 2003^①) and structural position diagram(upper left) of Sousha and Zai'a area

① 吉林省地质调查院, 2003. 1:25万多巴幅区域地质调查报告.

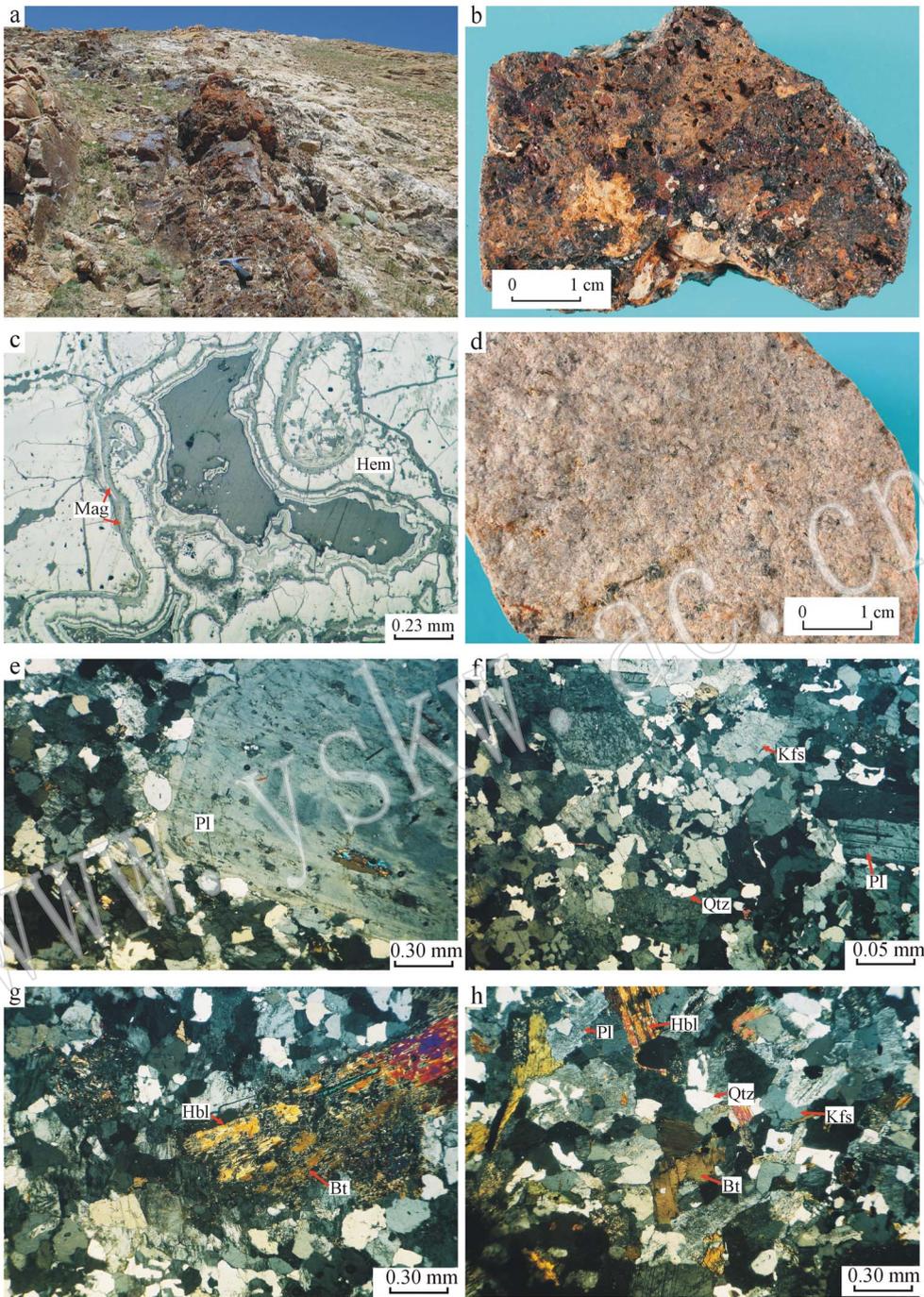


图 2 梭沙矿化区岩石和矿石样品照片

Fig. 2 Photographs of rock and ore samples in Sousha mineralization area

a—梭沙地表矿化露头；b—角砾胶状褐铁矿矿石；c—胶状赤铁矿(Hem)边缘沿裂隙充填有磁铁矿(Mag)；d—自形板状斜长石(Pl)似斑晶，具明显环带结构；e—花岗岩细晶结构；g—自形叶片状黑云母(Bt)被角闪石(Hbl)交代；h—叶片状黑云母(Bt)及柱状角闪石(Hbl)分布在石英(Qtz)及长石(Pl)中

a—Sousha mineralization outcrop at surface; b—breccia colloid limonite ore; c—magnetite (Mag) cracks filled with colloid hematite (Hem); d—fine grained porphyritic granodiorite; e—euhedral platy plagioclase (Pl) phenocryst with obvious zonal structure; f—granite aplite structure; g—hornblende (Hbl) replacing euhedral foliated biotite (Bt); h—foliated biotite (Bt) and columnar hornblende (Hbl) distributed in quartz (Qtz) and plagioclase (Pl)

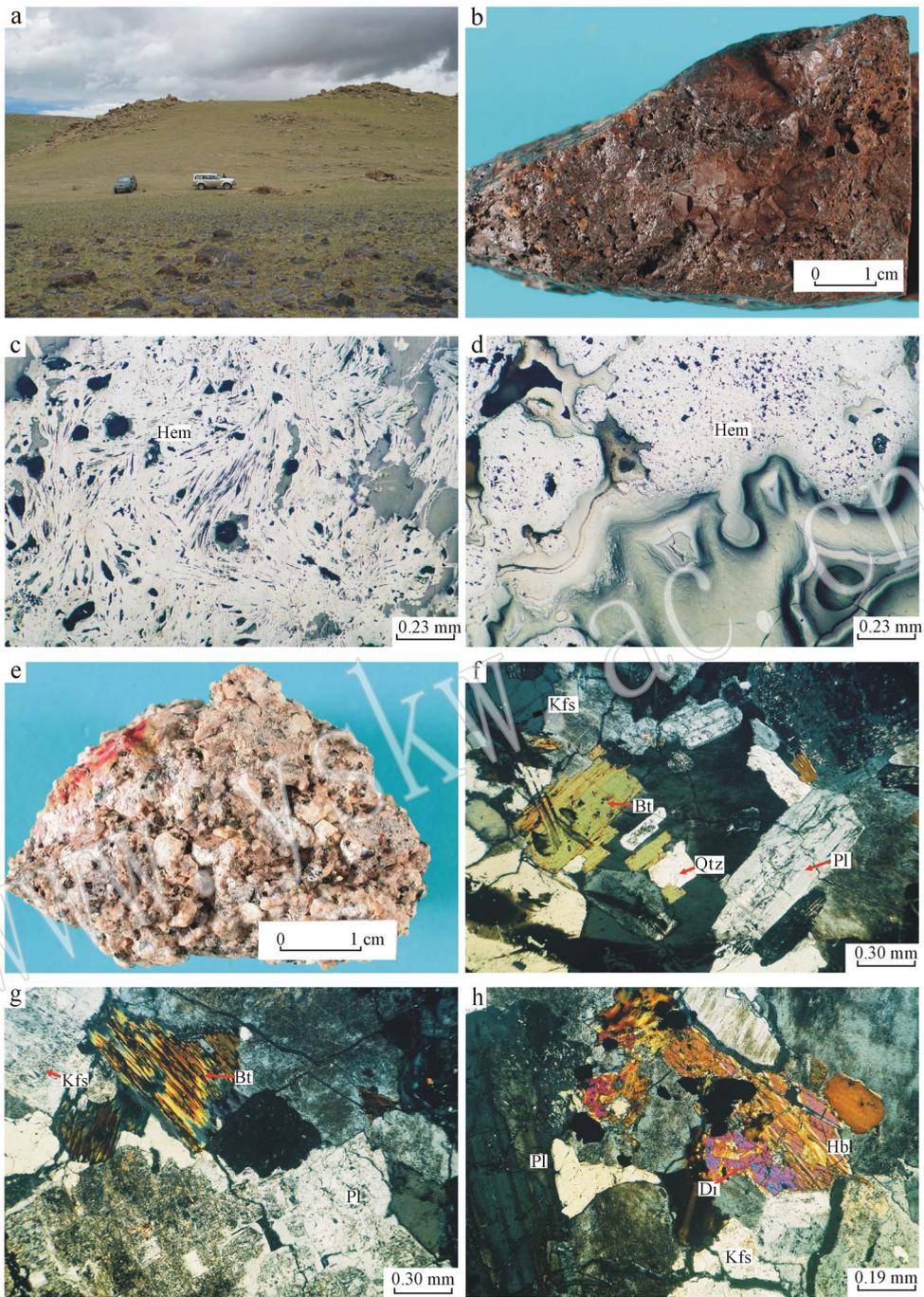


图 3 再阿矿区岩石和矿石样品照片

Fig. 3 Photographs of rock and ore samples in Zai'a deposit

a—再阿矿床地表; b—赤铁矿矿石; c—叶片状赤铁矿(Hem); d—胶状赤铁矿(Hem); e—中细粒花岗岩闪长岩; f—斜长石(Pl)、钾长石(Kfs)、黑云母(Bt)均为自形-半自形,石英(Qtz)呈他形粒状,构成半自形粒状结构; g—半自形板状斜长石(Pl)及他形板状钾长石(Kfs),

黑云母(Bt)交代斜长石; h—柱状角闪石(Hbl)边缘被矽卡岩化阶段的透辉石(Di)交代

a—surface of Zai'a deposit; b—hematite ore; c—foliated hematite (Hem); d—colloid hematite (Hem); e—fine grained granodiorite; f—euhedral-subhedral plagioclase (Pl), K-feldspar (Kfs), biotite (Bt) and xenomorphic grains of quartz (Qtz) forming subhedral grain structure; g—subhedral platy plagioclase (Pl), xenomorphic platy K-feldspar (Kfs) and biotite (Bt) replacing plagioclase (Pl); h—skarn diopside (Di) replacing edge of columnar hornblende (Hbl)

粒、自形-半自形粒状结构,块状,条带状、斑杂状及碎裂结构。脉石矿物主要有石榴石、透辉石、透闪石、绿帘石、石英、方解石等。金属矿物一般以细粒单矿物、细脉状及团块状集合体形式嵌布于脉石矿物颗粒之间。矿体围岩蚀变主要为石榴石透辉石砂卡岩化、大理岩化、硅化、角闪岩化等,局部发育不均匀的黄铜矿化、黄铁矿化等矿化蚀变作用。

2 样品特征与室内工作方法

2.1 样品特征

细粒斑状花岗闪长岩:样品编号 SS-9,采集点为梭沙砂卡岩型矿化区(图 2a),岩石样品总体呈肉红色(图 2d),似斑状结构(图 2e),基质具花岗细晶结构(图 2f),局部文象结构,块状构造。岩石主要由斜长石(35%~40%)、钾长石(20%~25%)、石英(20%~25%)、角闪石(2%~3%)和黑云母(5%~7%)等矿物组成,分布均匀,斑晶约占岩石总量的 15%~20%。斑晶主要为斜长石、少量石英、黑云母和角闪石,均呈自形晶,晶体边缘呈不规则状,斜长石似斑晶呈自形板状,具明显的环带构造,石英似斑晶呈粒状,黑云母似斑晶呈自形叶片状(图 2g),角闪石似斑晶呈自形柱状,似斑晶粒度在 3~5 mm。基质中斜长石部分呈自形-半自形板状,多呈他形板状,钾长石呈他形板状,石英呈他形粒状,构成岩石的花岗细晶结构,局部钾长石石英交生形成文象结构,黑云母呈半自形-他形叶片状,角闪石呈他形短柱状(图 2h),分布均匀,基质粒度 0.2~1 mm 为主。局部见有砂卡岩化产生的透辉石。副矿物有磁铁矿、锆石等。

中细粒花岗闪长岩:样品编号 ZA-13,采集点为再阿砂卡岩型铁矿床(图 3a),岩石样品总体呈灰绿色(图 3e),半自形粒状结构(图 3f),块状构造。主要由斜长石(35%~40%)、钾长石(20%~25%)、石英(20%~25%)、黑云母(5%~7%)和角闪石(2%~3%)等矿物组成。斜长石多呈自形-半自形板状(图 3g),少数呈他形板状,钾长石部分呈半自形板状,发育卡式双晶,多呈他形板状。石英呈他形粒状分布在斜长石、钾长石晶体之间。黑云母呈半自形-他形叶片状,角闪石呈他形短柱状,分布均匀。矿物粒度以 2~5 mm 为主。局部见有砂卡岩化产生的透辉石(图 3h)。次生矿物有绿帘石、绿泥石等。

2.2 测试方法

2.2.1 锆石的挑选及测年方法

将岩石样品准备好,经粉碎、细磨、筛选、淘洗、磁选和重液分离,将锆石从岩石样品中分离出来,在双目镜下尽量挑选无包裹体、无裂纹、透明度好的单颗粒锆石作为测试样品。将测试样品固定于环氧树脂中制靶,待固结后将锆石颗粒抛磨至其厚度的一半左右,使锆石内部充分暴露,然后进行锆石的透射、CL 显微图像及 LA-ICPMS 方法的 U-Pb 同位素年龄测试。详细分析步骤和数据处理方法参见有关文献(Horn *et al*, 2000; Ballard *et al*, 2001; Kosler *et al*, 2002; 袁洪林等, 2003)。

激光剥蚀等离子体质谱(LA-ICP-MS)锆石微区原位单点定年测试地点为西北大学大陆动力学国家重点实验室,是在 Agilent7500 型 ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102ArF 准分子激光器(工作物质 ArF, 波长 193nm)以及 MicroLas 公司的 GeoLas200M 光学系统上联机进行测试的。实验室中采用 He 作为剥蚀物质的载气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质剥蚀,数据采集选用 1 个质量峰 1 个点的跳峰方式,每完成 4~5 个测点的样品测定加测标样一次(李向民等, 2009),测试工作按照 Andersen 的方法(Andersen, 2002),用 LA-ICP-MS Common Lead Correction(ver3.15)对其进行普通铅校正,所有样品均采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,年龄计算及谐和图采用 IsoPlot(ver3.0)(Ludwig, 1991; 李平等, 2011)完成。

2.2.2 常量元素、微量元素和稀土元素测试方法

常量元素的测定依据与方法为 GB/T14506.28-93 硅酸盐岩石化学分析方法 X 射线荧光光谱法测定常量元素,测试仪器为飞利浦 PW2404X 射线荧光光谱仪;微量元素和稀土元素测试方法为 DZ/T0223-2001 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)方法通则,测试仪器为 Finnigan MAT 制造,HR-ICP-MS (Element 1),测定单位均为核工业地质研究院分析测试研究中心。

3 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

3.1 锆石特征

在锆石的透射图像中可见,取自梭沙细粒斑状花岗闪长岩(SS-9)的锆石(图 4a)结晶较好,边缘也较规则,多数呈长柱状,振荡环带结构明显。从再阿

中细粒花岗闪长岩样品中挑选的锆石(图 4b)大部分晶形较细粒斑状花岗闪长岩样品更为规则,晶形完整,振荡环带非常清楚,长轴最小值约为 140 μm ,长宽比值大约介于 1:1~1:5 之间。总的来说,柱状外貌和环带结构都显示了它们是岩浆成因锆石。

3.2 测年结果

各岩石样品的锆石 U-Pb 同位素测试结果分别见表 1 和表 2,单个数据点的误差均为 1σ 。

(1) 梭沙细粒斑状花岗闪长岩(SS-9)样品

梭沙细粒斑状花岗闪长岩(SS-9)样品的 Th/U

值介于 1.18~2.49(表 1),为岩浆成因锆石。由锆石 U-Pb 年龄谐和图(图 5a)可以看出,各测点的表面年龄都处于谐和线附近很小的区域内,谐和年龄为 $77.37 \pm 0.55 \text{ Ma}$,MSWD = 0.85,精度非常高。将取自锆石韵律环带上的 20 个测点的数据进行加权平均计算,获得加权平均年龄为 $76.92 \pm 0.39 \text{ Ma}$ (图 5b),MSWD=1.4,与谐和年龄基本一致。

(2) 再阿中细粒花岗闪长岩(ZA-13)样品

再阿中细粒花岗闪长岩(ZA-13)样品的 Th/U 值介于 0.96~2.07 之间(表 3),为岩浆成因锆石。

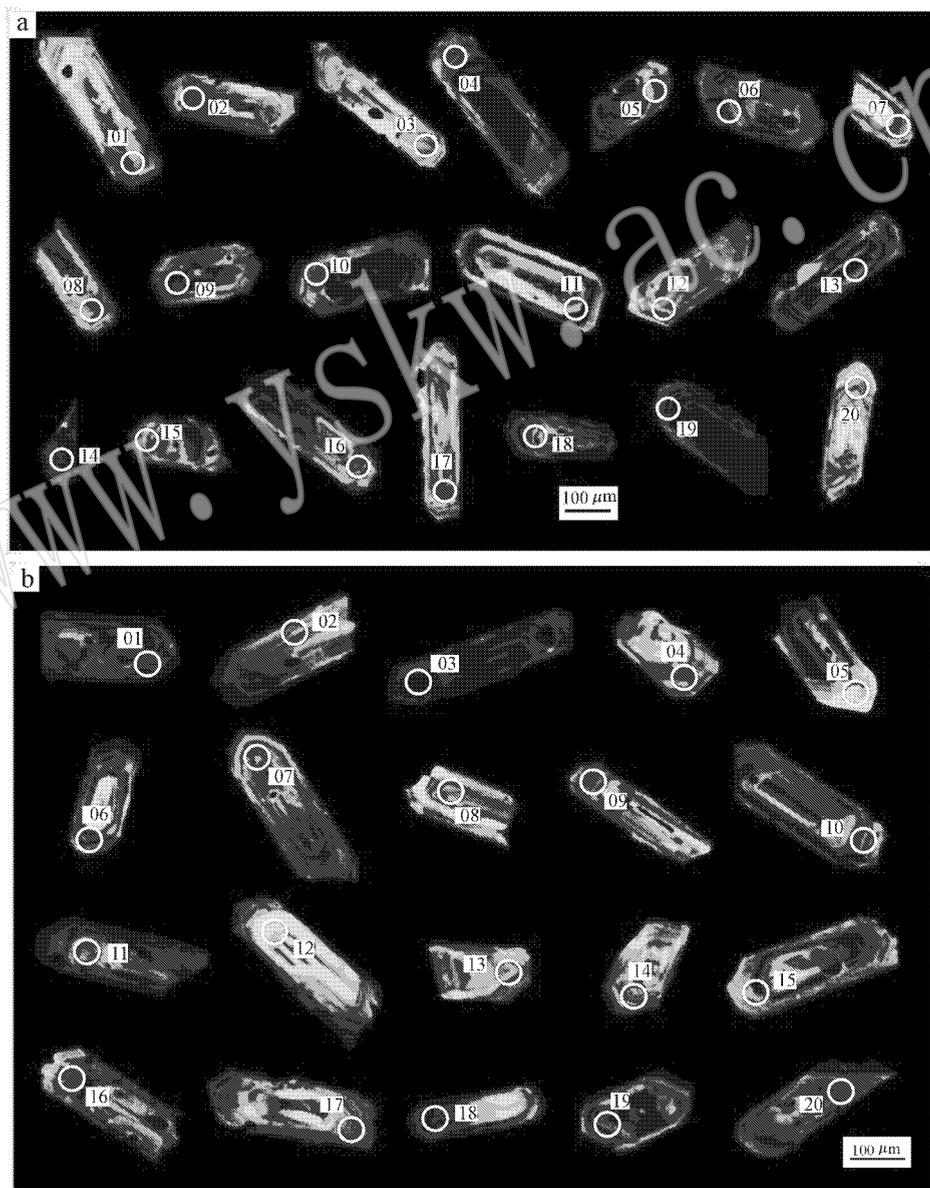


图 4 梭沙细粒斑状花岗闪长岩(a, SS-9)和再阿中细粒花岗闪长岩(b, ZA-13)锆石的阴极发光图像

Fig. 4 Cathodoluminescence images of zircons from the sample of Suosha fine grained porphyritic granodiorite (a, SS-9) and Zai 'a fine grained granodiorite (b, ZA-13)

表 1 梭沙(SS-9)样品中单颗粒锆石 U-Pb 同位素测定结果
Table 1 Dating results of U-Pb isotopes for single zircon in sample SS-9 of Sousha

样号	$\omega_B/10^{-6}$								同位素比值					年龄/Ma			Th/U
	²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb	²⁰⁸ Pb	²³² Th	²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³² Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³² Th			
SS-9-01	7.8	14.8	0.761	1.186	194.09	327.45	0.04648	0.06236	0.00973	0.00291	23±167	61±6	62±1	59±3	1.69		
SS-9-02	5.5	27.18	1.482	2.243	266.92	485.35	0.0493	0.08189	0.01204	0.004	162±46	80±2	77.2±0.5	81±1	1.82		
SS-9-03	4.98	12.14	0.641	1.304	160.1	213.52	0.04781	0.08052	0.01221	0.00388	90±64	79±3	78.2±0.6	78±1	1.33		
SS-9-04	4.83	28.44	1.549	2.199	266.87	506.05	0.04931	0.08201	0.01206	0.00392	163±42	80±2	77.3±0.5	79±1	1.90		
SS-9-05	4.44	24.72	1.591	1.97	186.13	422.92	0.05829	0.10074	0.01253	0.00505	541±54	97±3	80.3±0.7	102±2	2.27		
SS-9-06	4.14	9.78	0.64	1.174	117.76	168.93	0.05932	0.10137	0.01239	0.00476	579±55	98±3	79.4±0.7	96±1	1.43		
SS-9-07	4.03	29.42	1.877	2.173	202.45	503.89	0.05787	0.09964	0.01248	0.00513	525±46	96±3	80±0.6	103±2	2.49		
SS-9-08	3.5	22.39	1.202	1.724	203.69	391.66	0.04868	0.082	0.01221	0.00405	132±55	80±2	78.2±0.6	82±1	1.92		
SS-9-09	4.71	26.96	1.656	2.646	295.35	474.1	0.04655	0.07701	0.012	0.00382	26±71	75±2	76.9±0.5	77.1±0.9	1.61		
SS-9-10	3.51	18.64	1.23	1.611	156.08	329.16	0.05992	0.09976	0.01207	0.00494	601±54	97±3	77.3±0.7	100±2	2.11		
SS-9-11	2.88	44.45	2.487	3.15	384.57	793.06	0.04832	0.07909	0.01187	0.00376	115±60	77±2	76.1±0.5	75.9±0.3	2.06		
SS-9-12	3.07	18.59	1.011	1.582	182.74	328.18	0.04951	0.08207	0.01202	0.00416	172±57	80±2	77±0.6	84±1	1.80		
SS-9-13	2.67	19.81	1.115	2.581	297.11	349.55	0.05125	0.08494	0.01202	0.00418	252±51	83±2	77±0.6	84±1	1.18		
SS-9-14	4.75	22.9	2.98	4.22	279.02	396.07	0.11865	0.20046	0.01225	0.00728	1936±22	186±3	78.5±0.6	147±2	1.42		
SS-9-15	3.18	20.27	1.063	1.988	234	357.13	0.04781	0.07923	0.01202	0.00409	90±45	77±2	77±0.5	82±1	1.53		
SS-9-16	2.37	20.66	1.168	1.561	172.06	366.59	0.05158	0.08469	0.01191	0.00438	267±54	83±2	76.3±0.6	88±1	2.13		
SS-9-17	2.98	22.8	1.322	2.573	288.84	404.21	0.05294	0.08691	0.01191	0.0043	326±52	85±2	76.3±0.6	87±1	1.40		
SS-9-18	4.4	21.7	1.449	2.43	227.03	384.9	0.06099	0.09999	0.01189	0.00516	639±99	97±5	76±1	104±3	1.70		
SS-9-19	4.14	24.8	1.502	2.75	315.45	439.58	0.05531	0.09068	0.01189	0.00422	425±37	88±2	76.2±0.5	85±1	1.39		
SS-9-20	4.25	23.01	1.27	2.095	235.35	404.79	0.05043	0.08322	0.01197	0.00431	215±38	81±2	76.7±0.5	87±1	1.72		

表 2 再阿(ZA-13)样品中单颗粒锆石 U-Pb 同位素测定结果
Table 2 Dating results of U-Pb isotopes for single zircon in sample ZA-13 of Zai'a

样品号	$\omega_B/10^{-6}$							同位素比值					年龄/Ma				Th/U
	^{204}Pb	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb	^{232}Th	^{238}U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	Th/U		
ZA-13-01	3.81	25.12	1.443	2.558	292.41	461.92	0.04835	0.08271	0.01239	0.00386	116±44	81±2	79.4±0.6	78±1	1.58		
ZA-13-02	2.7	9.24	0.567	0.894	98.64	165.45	0.05179	0.09078	0.0127	0.00402	276±79	88±4	81.4±0.8	81±2	1.68		
ZA-13-03	3.24	15.15	0.944	1.759	188.5	273.1	0.04898	0.08454	0.01252	0.00396	147±129	82±4	80.2±0.9	79.9±0.7	1.45		
ZA-13-04	4.7	24.67	2.758	3.81	279.42	449.35	0.04966	0.08003	0.01169	0.00369	179±123	78±4	74.9±0.6	74.5±0.6	1.61		
ZA-13-05	3.81	23.09	2.92	3.67	235.04	409.83	0.05201	0.08459	0.0118	0.00371	286±145	82±5	75.6±0.7	74.8±0.8	1.74		
ZA-13-06	2.5	23.26	1.331	1.836	208.47	417.87	0.04937	0.08506	0.01249	0.00398	165±49	83±2	80±0.6	80±1	2.00		
ZA-13-07	2.82	19.56	1.068	1.871	222.74	355.09	0.04731	0.08046	0.01233	0.00382	65±65	79±3	79±0.7	77±1	1.59		
ZA-13-08	2.32	15.22	1.01	1.545	152.07	269.25	0.04617	0.07916	0.01244	0.00396	6±89	77±3	79.7±0.7	80±2	1.77		
ZA-13-09	2.62	26.95	1.467	2.604	298.48	480.01	0.04757	0.08199	0.0125	0.004	78±51	80±2	80.1±0.6	81±1	1.61		
ZA-13-10	2.4	23.54	1.34	2.057	222.64	416.81	0.04992	0.08634	0.01255	0.00425	191±57	84±3	80.4±0.7	86±1	1.87		
ZA-13-11	2.67	10.85	0.566	1.039	125.05	189.94	0.04656	0.08062	0.01250	0.0039	27±69	79±3	80.5±0.8	79±2	1.52		
ZA-13-12	2.31	4.7	0.347	0.354	43.82	82	0.06612	0.11467	0.01258	0.0038	810±98	110±6	81±1	77±3	1.87		
ZA-13-13	1.44	12.32	0.596	1.289	152.76	215.72	0.04353	0.07497	0.01249	0.00399	-95±80	73±3	80±0.8	80±2	1.41		
ZA-13-14	2.7	27.09	1.859	3.29	349.28	468.27	0.04958	0.08498	0.01243	0.00393	175±98	83±3	79.6±0.6	79.2±0.4	1.34		
ZA-13-15	2.04	30.42	2.166	3.006	286.66	530.48	0.04607	0.0774	0.01219	0.00389	1±56	76±2	78.1±0.5	78±1	1.85		
ZA-13-16	5.53	36.62	5.49	6.38	290.6	600.53	0.04605	0.07418	0.01168	0.00407	±51	73±2	74.9±0.4	82±3	2.07		
ZA-13-17	2.37	11.78	0.693	1.182	129.8	202.63	0.04605	0.079	0.01244	0.004	±109	77±4	79.7±0.9	81±2	1.56		
ZA-13-18	1.91	10.59	0.587	1.14	129.08	180.97	0.04605	0.07961	0.01254	0.00406	±60	78±2	80.3±0.7	82±2	1.40		
ZA-13-19	1.59	18.85	0.959	2.845	334.08	321.16	0.04718	0.08211	0.01262	0.00417	58±53	80±2	80.8±0.6	84±1	0.96		
ZA-13-20	3.32	13.15	1.953	2.418	130.68	224.53	0.04605	0.07048	0.0111	0.00389	±59	69±2	71.2±0.6	78±4	1.72		

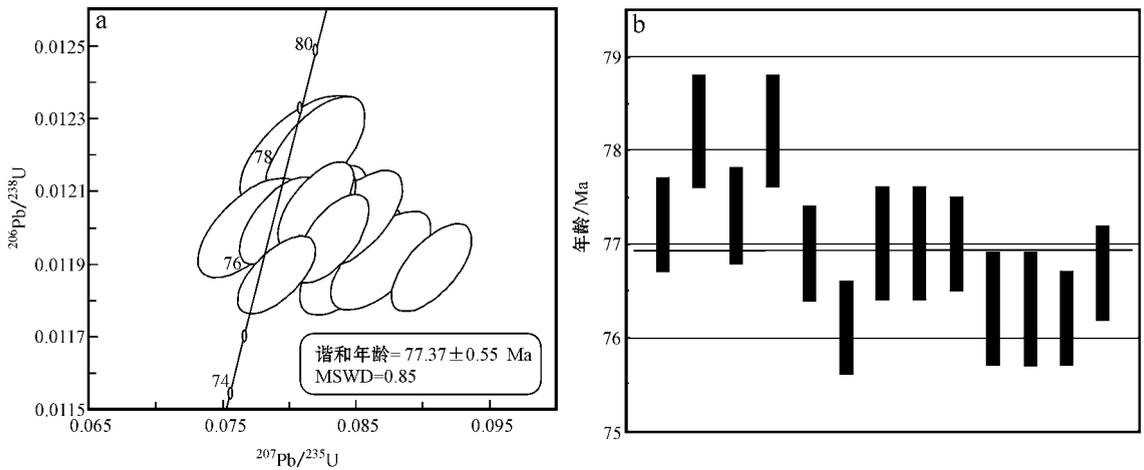


图 5 细粒斑状花岗闪长岩 (SS-9) 样品锆石的 LA-ICP-MS 法 U-Pb 年龄谐和图 (a) 与加权平均年龄图 (b)
Fig. 5 LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram (a) and histogram (b) of zircons from fine grained porphyritic granodiorite (sample SS-9)

由该样品的锆石 U-Pb 年龄谐和图 (图 6a) 可以看出, 各测点的值都处于谐和线附近很小的范围内, 谐和年龄为 79.78 ± 0.99 Ma, $\text{MSWD} = 1.7$, 测年精度

较高。再次将取自锆石韵律环带上的数据进行加权平均计算, 获得加权平均年龄为 79.81 ± 0.48 Ma (图 6b) 与各测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的表面年龄基本一致。

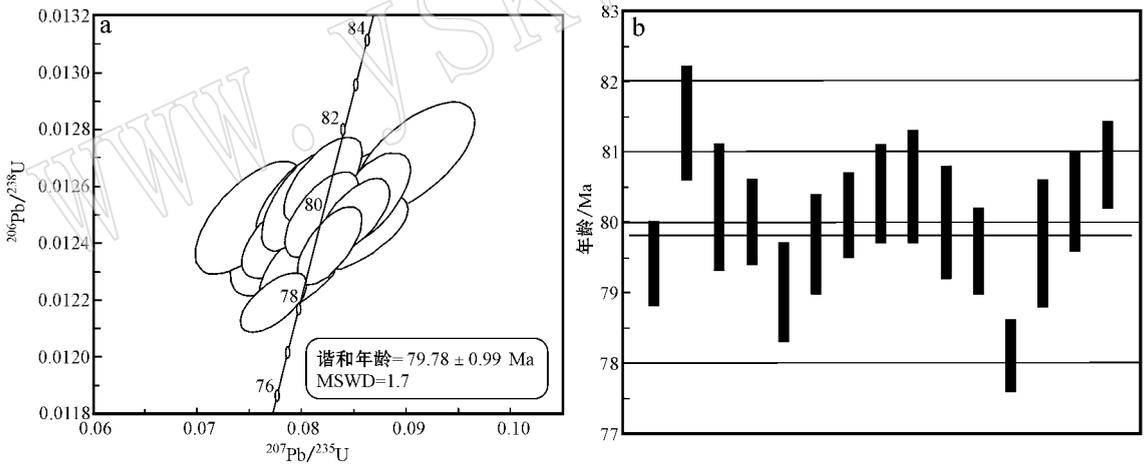


图 6 中细粒花岗闪长岩 (样号 ZA-13) 样品锆石的 LA-ICP-MS 法 U-Pb 年龄谐和图 (a) 与加权平均年龄图 (b)
Fig. 6 LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram (a) and histogram (b) of zircons from fine grained granodiorite (sample ZA-13)

4 地球化学特征

4.1 主量元素

从样品的常量元素、微量元素和稀土元素分析结果 (表 3) 中可看出, 梭沙花岗岩 (SS-1、SS-9、SS-15) 样品的 SiO_2 含量介于 $67.97\% \sim 72.40\%$ 之间, 再阿花岗岩 (ZA-3、ZA-13、ZA-14) 样品 SiO_2 含量介于 $64.37\% \sim 74.49\%$ 之间, 皆为酸性岩。梭沙花岗

岩和再阿花岗岩样品的 Al_2O_3 含量分别为 $12.75\% \sim 14.70\%$ 和 $12.23\% \sim 16.49\%$, K_2O 含量分别为 $4.03\% \sim 6.35\%$ 和 $3.36\% \sim 5.37\%$, Na_2O 含量分别为 $3.17\% \sim 3.68\%$ 和 $3.74\% \sim 4.01\%$, 均显示具富钾特征。铝过饱和指数 (A/CNK) 梭沙花岗岩变化于 $0.78 \sim 0.98$ 之间, 再阿花岗岩变化于 $0.78 \sim 1.29$ 之间, 在 $A/\text{NK} - A/\text{CNK}$ 图解 (图 7a) 中主要为准铝质系列, 具 I 型花岗岩特征。在反映造山带构造演化阶段的 $R_2 - R_1$ 图中, 基本位于造山晚期区域 (图 7b)。

表 3 梭沙矿化区花岗岩(SS-1, 9, 15)和再阿花岗岩(ZA-3, 13, 14)的常量元素($w_B/\%$)、微量元素($w_B/10^{-6}$)和稀土元素($w_B/10^{-6}$)含量

Table 3 Analyses of major elements ($w_B/\%$), trace elements and rare earth elements ($w_B/10^{-6}$) of granites from Suosha (SS-1, 9, 15) and Zai'a (ZA-3, 13, 14) polymetallic area

岩性	文象细晶花岗岩	细粒斑状花岗岩	细粒斑状花岗岩	正长文象花岗岩	中细粒花岗岩	中细粒花岗岩	岩性	文象细晶花岗岩	细粒斑状花岗岩	细粒斑状花岗岩	正长文象花岗岩	中细粒花岗岩	中细粒花岗岩
样号	SS-1	SS-9	SS-15	ZA-3	ZA-13	ZA-14	样号	SS-1	SS-9	SS-15	ZA-3	ZA-13	ZA-14
SiO ₂	72.40	70.92	67.97	74.49	64.37	66.48	Hf	11.30	8.59	6.61	4.20	4.79	3.08
Al ₂ O ₃	12.75	13.58	14.70	12.23	14.49	16.49	Ba	322.00	485.00	488.00	28.50	451.00	477.00
CaO	1.55	2.22	2.59	1.33	2.88	1.43	Ta	2.47	2.24	2.09	6.84	2.08	1.08
K ₂ O	5.53	6.35	4.03	5.37	4.01	3.36	W	3.43	1.31	2.52	3.83	1.94	8.42
TiO ₂	0.28	0.31	0.53	0.09	0.50	0.55	Re	0.001	0.007	0.001	0.000	0.002	0.004
Fe ₂ O ₃	1.95	1.07	3.65	1.01	3.46	3.35	Tl	1.64	1.66	1.98	1.59	1.32	1.14
MgO	0.57	0.29	1.43	0.05	1.34	1.31	Pb	43.80	64.30	89.30	53.60	33.50	24.50
Na ₂ O	3.55	3.17	3.68	3.74	3.80	4.01	Bi	1.92	0.81	2.81	1.77	0.72	1.70
MnO	0.068	0.055	0.090	0.059	0.088	0.085	Th	40.90	37.20	33.60	45.00	26.50	16.60
P ₂ O ₅	0.09	0.10	0.21	0.04	0.19	0.25	U	3.23	5.91	2.94	1.60	3.08	2.82
烧失量	0.77	1.56	0.82	1.45	4.53	2.64	La	29.80	39.40	45.20	42.60	52.50	44.70
FeO	1.05	0.55	2.55	0.70	2.25	2.25	Ce	98.80	87.10	90.00	85.30	101.00	82.20
Li	45.50	13.80	42.20	19.50	38.40	13.00	Pr	6.94	10.40	10.40	10.40	11.10	8.90
Be	3.11	3.44	3.83	3.11	1.89	2.85	Nd	24.30	38.30	39.40	37.30	42.80	33.60
Sc	3.90	4.67	8.77	1.71	7.38	7.78	Sm	4.22	6.55	6.85	6.02	7.13	4.88
V	20.20	25.70	59.80	7.52	68.20	42.00	Eu	0.593	0.879	1.300	0.348	1.150	1.170
Cr	11.90	11.40	33.30	9.71	24.80	36.10	Gd	3.34	5.18	5.69	4.50	6.00	3.58
Co	3.33	3.16	10.10	1.59	7.45	26.70	Tb	0.604	0.932	0.964	0.743	1.020	0.508
Ni	7.13	5.93	18.60	4.00	13.70	37.20	Dy	3.68	5.42	5.59	3.97	5.74	2.54
Cu	50.5	10.9	35.3	10.5	31.5	321.0	Ho	0.785	1.120	1.110	0.777	1.100	0.461
Zn	156.0	270.0	83.4	47.0	76.5	70.5	Er	2.61	3.44	3.31	2.21	3.14	1.24
Ga	13.5	15.2	18.6	15.1	20.4	19.7	Tm	0.441	0.561	0.512	0.344	0.515	0.187
Se	0.115	0.092	0.162	0.183	0.269	0.227	Yb	3.29	3.80	3.41	2.27	3.34	1.17
Rb	282	254	216	294	233	146	Lu	0.484	0.553	0.497	0.340	0.505	0.184
Sr	86.9	475.0	221.0	30.9	226.0	375.0	Y	23.6	17.7	33.3	24.5	37.6	14.5
Zr	319.0	230.0	156.0	89.6	122.0	91.5	∑REE	203.487	221.335	247.533	221.622	274.640	199.820
Nb	18.0	17.4	19.1	20.7	18.5	12.1	LREE	164.653	182.629	193.150	181.968	215.680	175.450
Mo	1.450	1.320	0.954	2.920	0.792	0.636	HREE	38.834	38.706	54.383	39.654	58.960	24.370
Cd	0.554	1.140	0.197	0.149	0.183	0.189	L/H	4.240	4.718	3.552	4.589	3.658	7.199
In	0.098	0.071	0.066	0.030	0.055	0.081	(La/Yb) _N	6.50	7.44	9.51	13.46	11.27	27.40
Sb	2.15	1.38	1.85	1.21	0.60	2.41	δEu	0.47	0.45	0.62	0.20	0.53	0.82
Cs	16.60	8.42	13.70	16.50	13.50	13.30							

4.2 微量元素

在微量元素蛛网图(图 8a)中可以看出,两个矿区花岗岩均富集大离子亲石元素 Rb、Th、U、K,贫 Nb。另外, Bi 的地壳克拉克值为 0.004×10^{-6} (刘英俊等, 1987), 再阿矽卡岩铁矿床微量元素 Bi 元素含量最高可值达 1805×10^{-6} , 说明在该矿区 Bi 已经发生了富集作用, 而且在附近的舍索矿区也发现了 Bi 元素的强异常(赵元艺等, 2010a)。因此, 在该矿区需对 Bi 成矿的可能性进一步研究。

4.3 稀土元素

由稀土元素球粒陨石标准化分布型式图(图 8b)

可以看出, 梭沙和再阿样品具有相似的稀土元素配分模式, 表明它们具有相似的构造环境或者相同的源区。配分曲线向右倾斜, 重稀土元素部分的曲线形态平缓, 其中 ZA-14 显示明显的重稀土元素亏损, 可能与该样品采自岩体边缘、受晚期岩浆热液接触交代影响有关。 $\sum \text{REE} = 199.820 \times 10^{-6} \sim 274.640 \times 10^{-6}$, 具有较高的稀土元素总量。 $\text{LREE}/\text{HREE} = 3.552 \sim 7.199$, 变化不大。 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 在 $6.50 \sim 27.40$ 之间, 轻重稀土元素高度分异。样品具有中等的负 Eu 异常 ($\delta \text{Eu} = 0.20 \sim 0.82$), 说明可能发生过斜长石的分离结晶作用。

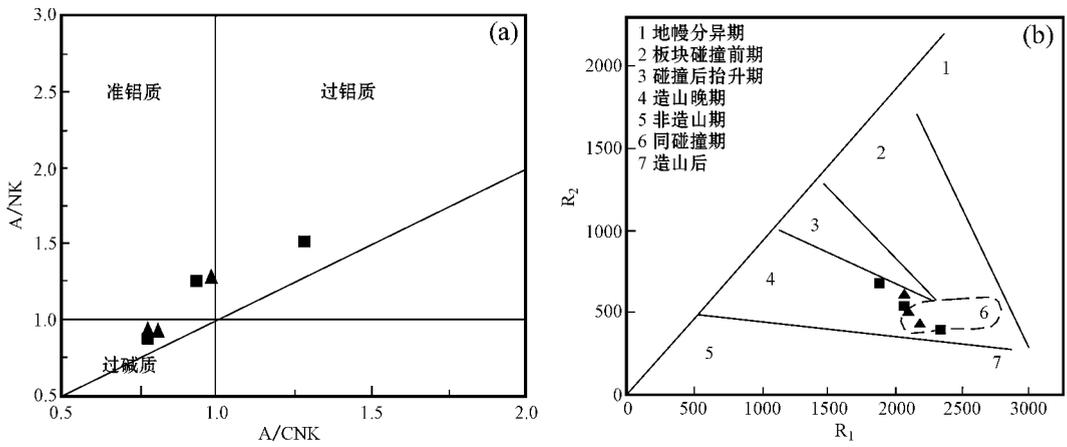


图 7 梭沙、再阿花岗岩的 A/NK - A/CNK (a) 与 R₂ - R₁ (b) 图解

Fig. 7 A/NK - A/CNK (a) and R₂ - R₁ (b) diagrams for rock samples in Sousha and Zai 'a area

▲—梭沙花岗岩; ■—再阿花岗岩
 ▲—Sousha granites; ■—Zai 'a granites

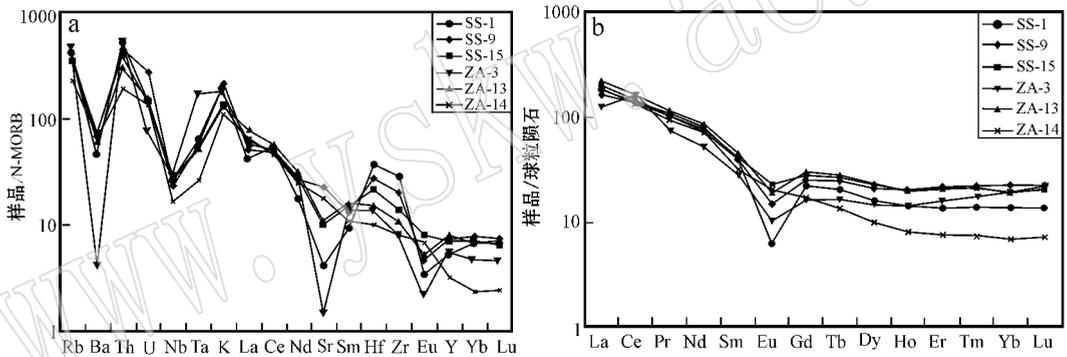


图 8 梭沙、再阿花岗岩微量元素蜘蛛网图 (a) 与稀土元素球粒陨石标准化分布曲线图 (b)

Fig. 8 Spider diagrams (a) and chondrite-normalized REE patterns (b) of samples from the Sousha and Zai 'a deposits

5 讨论

5.1 矿床形成时代

班公湖-怒江洋缝合带的闭合时间是 145 Ma (曲晓明等, 2006), 而根据本文得出的数据, 梭沙 (77.37 ± 0.55 Ma), 再阿 (79.78 ± 0.99 Ma) 与雄巴岩体 K-Ar 同位素年龄 80.5 Ma (吉林省地质调查院 2003) 一致, 表明两矿区形成于班公湖-怒江洋盆碰撞之后, 并与区域上岩石的形成时代具有一致性。已有资料表明, 冈底斯成矿带的形成受控于班公湖-怒江洋壳和雅鲁藏布洋壳分别由北和南两个方向的俯冲作用 (李光明等, 2005), 存在大量该期岩浆活动的数据 (表 4)。除舍索矿床被划分为冈底斯与班公

湖怒江成矿带的过渡带外 (赵元艺等, 2009), 其他矿床均位于班公湖-怒江成矿带。因此, 班公湖-怒江成矿带为燕山期成矿带, 并在冈底斯成矿带形成之前, 班公湖-怒江成矿带就已经形成。

另外, 班公湖-怒江成矿带中存在白垩世-新生代碰撞的可能, 且可能形成相关岩浆热液矿床 (刘伟等, 2010)。冈底斯岩基获得的最老年龄约为 120 Ma (Harrison *et al.*, 2000; 尹安, 2001), 该年龄显示亚洲板块受印度板块俯冲的影响。年轻的部分又可分出两个成岩成矿时代: 50 ~ 40 Ma 和 20 ~ 10 Ma, 其中前者代表印度与亚洲大陆同碰撞阶段的成矿作用, 而后者代表其后碰撞成矿作用 (罗照华等, 2008)。这些年轻的年龄表明它们无论是处在印度大陆与亚洲大陆之间的同碰撞还是后碰撞阶段, 均

为喜马拉雅期成矿。已有一些冈底斯带成矿年龄数据:驱龙斑岩铜矿 $15.82 \sim 16.85$ Ma(王亮亮等, 2006),甲马矽卡岩型铜矿 15.41 ± 0.69 Ma(李胜荣等, 2008),达布斑岩铜矿 14.53 ± 0.8 Ma(芮宗瑶等, 2004)等。冈底斯带的后碰撞构造-岩浆事件,主要都发生在 $10 \sim 20$ Ma(莫宣学等, 2005),冈底斯斑岩铜矿带的成矿年龄为 $12 \sim 17$ Ma(王亮亮, 2007),均属于喜马拉雅期。本文得出的梭沙 77.37 ± 0.55

Ma)再阿(79.78 ± 0.9 Ma)成岩年龄是燕山运动晚期的成岩年龄。可以看出,斑公湖-怒江结合带无论成岩及成矿年龄均早于冈底斯成矿带。而梭沙、再阿的年龄与冈底斯年龄相差太远,与班公湖-怒江成矿带相对更为接近,并且从地理位置上看,梭沙矿化区与再阿矿床相对舍索矿床更接近于班公湖-怒江成矿带。综合认为,将梭沙矿化区和再阿矿床划分为班公湖-怒江成矿带更为合适。

表4 藏北冈底斯带岩浆活动测年结果

Table 4 Age determination result of magmatic activity in the Gangdise belt, northern Tibet

序号	矿区	年龄	测试对象及方法	数据来源
1	巴木错	122.1 ± 0.9 Ma	安山岩锆石/SHRIMP U-Pb 法	陈越等(2010)
2	多不杂	127.8 ± 2.6 Ma	含矿斑岩锆石/SHRIMP U-Pb 法	曲晓明等(2006)
3	尔尔穷	112.0 ± 2.3 Ma	含矿斑岩锆石/SHRIMP U-Pb 法	曲晓明等(2006)
4	那曲东县城	116.3 ± 1.4 Ma	安山岩锆石/SHRIMP U-Pb 法	李奋其等(2010)
5	哈尔麦	111.37 ± 0.73 Ma	安山岩锆石/SHRIMP U-Pb 法	李奋其等(2010)
6	材玛	138.3 ± 6.9 Ma	花岗岩/Rb-Sr 等时线	冯国胜等(2006)
7	弗野	107 Ma	花岗闪长玢岩/K-Ar 法	冯国胜等(2007)
8	舍索	116 Ma	花岗闪长岩锆石/SHRIMP U-Pb 法	赵元芝等(2009)
9	拉屋	309 Ma	磁黄铁矿/Re-Os 法	崔玉斌等(2011)

5.2 含矿岩体形成环境

梭沙、再阿微量元素富集大离子亲石元素 Rb、Th、U、K, 贫 Nb, 具有中等的负 Eu 异常($\delta Eu = 0.20 \sim 0.82$),总体上与班公湖成矿带富集 Rb、K、Sr、Pb 等大离子不相容元素和亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素的特点相一致,具有岛弧带的岩浆作用特征,在 Sr/Y - Y(图 9c)图解中位于经典的岛弧范围。而在 $R_2 - R_1$ 构造环境判别图(图 7b)上,梭沙、再阿区域的岩体样品位于造山晚期范围,在 Rb - Yb + Nb、Nb - Y(图 9a、9b)图解中,均位于典型的后碰撞花岗岩范围内。两者形成环境的研究,还应放在整个班公湖-怒江区域上看,这样才能够得出正确、可信的结论,这就需要探讨班公湖-怒江结合带的俯冲机制、演化历程及梭沙、再阿成矿岩体在其中所处的阶段。

班公湖-怒江洋大致经历了洋盆裂谷阶段、初始洋盆和成熟大洋阶段、洋内俯冲阶段、残余洋盆阶段、洋盆消亡闭合阶段。早期认为俯冲为单向俯冲,但近些年来,对班公湖-怒江缝合带存在双向俯冲机制的认识趋于一致,提出了班公湖-怒江缝合带由多条洋内俯冲带复合而成的观点(Matte *et al*, 1996),双向俯冲模式(刘庆宏等, 2004;潘桂棠等, 2004;廖六根等, 2005;莫宣学等, 2006)也得到认同。但是,目前对于其俯冲、闭合等演化历史存在一定的争议,

认为班公湖-怒江弧后洋盆裂离于晚三叠世,早中侏罗世由北向南发生俯冲消减(Metcalf *et al*, 1998),于晚侏罗世—早白垩世闭合碰撞。通过多年对班公湖-怒江缝合带演化的研究工作,有学者认为其打开时间不晚于晚三叠世,开始俯冲时间约在 170 Ma 左右(双向俯冲)(杜德道等, 2011),在早中侏罗世羌塘盆地南缘地壳减薄,地幔物质上涌,处于边缘海扩张阶段(李胜荣等, 2005),其闭合时间可能自晚侏罗世(约 159 Ma)开始(曲晓明等, 2012),到早白垩世末(约 99 Ma)完成,使拉萨地块与羌塘地块碰撞拼合(莫宣学等, 2006),进入晚白垩世以来,海盆最终关闭,构造隆升造山(李胜荣等, 2005),这与前人提出的时代略晚。

梭沙、再阿花岗岩体形成时代为 80 Ma 左右,地球化学特征显示二者均为典型的后碰撞花岗岩类,结合北侧的多巴岩体、班戈岩体属岛弧花岗岩(时代为 $128.0 \sim 140.6$ Ma),区域上由北至南岩体时代逐渐由老至新的事实,认为班戈地区班公湖-怒江缝合带闭合的时间应在 128 Ma 以后(高顺宝等, 2011)的早白垩世末—晚白垩世初。综合认为班戈地区 80 Ma 左右已逐步转变为后碰撞环境,梭沙、再阿岩体成岩成矿作用就是发生于班公湖-怒江缝合带闭合之后。

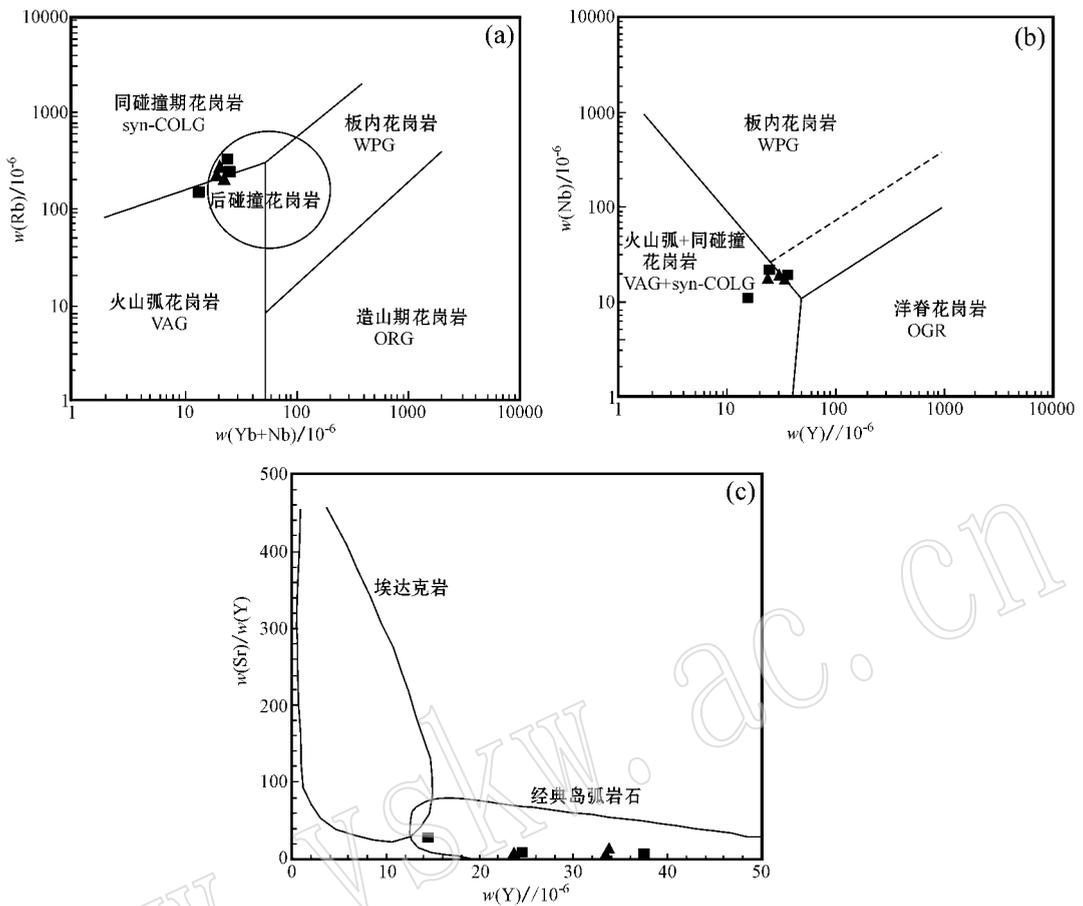


图 9 梭沙、再阿花岗岩 Rb-(Yb+Nb)(a)、Nb-Y(b)与 Sr/Y-Y(c)图解

Fig.9 Rb-(Yb+Nb)(a), Nb-Y(b) and Sr/Y-Y(c) diagrams for rock samples from Sousha and Zai 'a area

▲—梭沙花岗岩; ■—再阿花岗岩
▲—Sousha granites; ■—Zai 'a granites

5.3 区域成矿意义

梭沙区域地表,岩体与地层接触带显示良好的矽卡岩矿化特征,虽然测试结果并未达到工业品位标准,但结合班公湖-怒江成矿带矽卡岩型成矿地质背景,为今后该区域的燕山期矽卡岩型矿床的找矿工作提供契机。

再阿矽卡岩型铁多金属矿区的 Fe 含量变化范围为 1.071%~54.948%,平均值为 22.36%;Cu 含量的变化范围为 $10.05 \times 10^{-6} \sim 1.453 \times 10^{-6}$,平均值为 436.84×10^{-6} (表 5)。而邻近的更乃矿床,Fe 含量的变化范围为 0.66%~68.80%,平均值为 21.62%;Cu 含量的变化范围为 $21.2 \times 10^{-6} \sim 17.365 \times 10^{-6}$,平均值为 $1.483.86 \times 10^{-6}$,均达到了工业品位要求。再阿矿床由于所处位置较为偏僻,开采时间较短,研究程度相对较低,但反观整个班怒成矿带矽卡岩成矿特点,结合邻近矿床的特点对比,

认为本地区矽卡岩型铁铜多金属具较好的成矿前景。

另外,在班公湖-怒江成矿带中,许多矿床(点)中钼和铋的品位达到了工业品位要求(赵元艺等, 2010a, 2010b)。梭沙区域和再阿矿床也有钼和铋的存在,个别样品达到了工业品位。再阿矿床与邻近的更乃矿床的钼铋含量对比见表 5。更乃矿床个别样品中铋含量达到了工业品位,样品平均值达到了边界品位,而且在更乃矿床中还发现了钼的独立矿物自然钼与羟钼石(赵元艺等, 2010b)。在梭沙区域中,钼含量最高达 3.38×10^{-6} ,铋含量最高为 28.9×10^{-6} 。再阿矿床中钼的变化范围为 $1.071 \times 10^{-6} \sim 54.948 \times 10^{-6}$,平均值为 22.36×10^{-6} ;铋的变化范围在 $0.015 \times 10^{-6} \sim 1.57 \times 10^{-6}$,平均值为 0.727×10^{-6} 。而更乃矿床中,钼的变化范围在 $4.22 \times 10^{-6} \sim 21.9 \times 10^{-6}$,平均值为 11.94×10^{-6} ;铋的变化范围在 $31.8 \times 10^{-6} \sim 1.317 \times 10^{-6}$,平均值为

314.22 × 10⁻⁶。由于铜和铋的单位价值远远大于铜、铁等资源,因此,在梭沙、再阿等班戈县多巴矽卡岩型矿化区,需要加强对铜和铋资源的评价,为以后提高矿床资源的综合利用价值提供条件。

表 5 再阿、更乃矽卡岩矿床的 Cu、In、Bi (w_B/10⁻⁶) 和 Fe (w_B/%) 的含量变化特征

Table 5 Variation characteristics of copper, indium, bismuth (w_B/10⁻⁶) and iron (w_B/%) content of Zai 'a and Gengnai skarn-type area

样号	岩性	w _B /%			w _B /10 ⁻⁶		
		Fe ₂ O ₃	FeO	TFe	Cu	In	Bi
再阿矽卡岩型铁铜矿							
ZA-1	硅化岩型赤铁矿矿石	78.05	0.2	54.791	616	1.39	717
ZA-2	硅化岩型赤铁矿矿石	51.62	0.5	36.523	856	1.15	6.91
ZA-3	正长文象花岗岩	1.01	0.7	1.251	10.5	0.03	1.77
ZA-4	矽卡岩	1.03	0.45	1.071	46.8	0.015	1.99
ZA-5	矽卡岩	4.45	1	3.893	70.7	0.621	787
ZA-6	矽卡岩	.56	1.5	5.059	118	0.326	41.2
ZA-7	绿帘石英蚀变岩	7.89	1.75	6.884	116	1.12	2.93
ZA-8	氧化铁矿石	67.06	1.1	47.798	1453	0.95	69.7
ZA-9	氧化铁矿石	72.17	0.5	50.908	1118	1.38	993
ZA-10	氧化铁矿石	78.22	0.25	54.948	500	1.46	1805
ZA-11	氧化铁矿石	57.08	0.5	40.345	811	1.57	707
ZA-12	透辉石石榴石大理岩	1.39	0.35	1.245	47.3	0.03	4.11
ZA-13	中细粒花岗闪长岩	3.46	2.25	4.172	31.5	0.055	0.717
ZA-14	中细粒花岗闪长岩	3.35	2.25	4.095	321	0.081	1.7
平均				22.36	436.84	0.727	367.14
更乃矽卡岩型铁铜矿							
GN-4	英云岩	3.34	.7	3.66	29	21.9	
GN-9	孔雀石化绿帘石石榴石矽卡岩型铁铜矿	67.17	17.55	60.67	17365	19.5	304
GN-11	透辉石石榴石矽卡岩	7.15	0.85	19.67	274	9.81	
GN-13	矽卡岩	3.79	0.7	3.20	48.9		
GN-15	含铜铁矿石	1.78	1.55	2.45	61.5		
GN-16	碳酸盐石榴石矽卡岩	9.7	1.1	7.65	21.2	3.83	67.7
GN-17	绿泥石化石榴石矽卡岩	27.34	0.55	19.57	53.6	12.4	31.8
GN-20	铁矿石	27.57	0.4	19.61	25.6	4.22	
GN-26	地表矽卡岩	24.08	1.65	18.14	24.7		
GN-34	硅化角砾状铁矿石	84.4	12.5	68.80	1846		34.7
GN-35	硅化角砾状铁矿石	56.98	7.1	45.41	1684	1317	
GN-37	角砾状硅化岩	0.28	0.6	0.66	840		466
GN-38	硅化角砾状铁矿石	68.37	3.25	50.39	258		125
GN-39	碳酸盐硅化石榴石矽卡岩	13.8	1	10.44	908		465
GN-40	硅化绿泥石-水云母化石榴石矽卡岩	8.46	0.65	6.43	237		135
GN-41	硅化绿泥石-水云母化石榴石矽卡岩	12.24	0.8	9.19	65.2		196
平均				21.62	1483.86	11.94	314.22

注: TFe (total) = Fe²⁺ + Fe³⁺。

6 结论

(1) 梭沙、再阿花岗闪长岩 LA-ICP-MS 的年龄分别分 77.37 ± 0.55 Ma、79.78 ± 0.99 Ma, 可以确定这两个矿床是燕山运动晚期 (65~137 Ma) 岩浆活动的产物。

(2) 梭沙和再阿花岗岩具有后碰撞花岗岩的特

征, 区域成矿作用与班公湖-怒江洋向南俯冲碰撞闭合有关, 为班公湖-怒江缝合带闭合之后的产物。

(3) 班戈县多巴区属典型班公湖-怒江矽卡岩成矿带特征, 应加大地质工作程度, 尤其是注重铜、铋的找矿工作, 提高其综合利用价值。

致谢 文中锆石挑选由李学山同志完成, 锆石测年由辛洪波副研究员完成。岩矿石薄片矿物组合

鉴定得到中国地质科学院矿产资源研究所刘妍副研究员的大力支持。样品碎样工作由中国地质科学院地质研究所王朋同志完成,常量元素的分析由夏晨光同志完成,微量元素的测试工作由张彦辉同志完成。野外工作期间,得到国家地质实验测试中心樊兴涛工程师的大力协助。成文过程中得到中国地质科学院矿产资源研究所王瑞江所长、西藏地调院刘鸿飞院长、西藏班戈县乡镇企业管理局江才局长的鼓励与支持,特此致谢!

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192: 59~79.
- Ballard J R, Palin J M, Williams I S, *et al.* 2001. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquicamata copper deposit of northern Chile by LA-ICP-MS and SHRIMP [J]. *Geology*, 29: 383~386.
- Chen Yue, Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, *et al.* 2010. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of the Bamco andesites from the northern Gangdese, Tibet [J]. *Acta Geologica Sinica*, 26(7): 2193~2199 (in Chinese with English abstract).
- Cui Yubin, Zhao Yuanyi, Qu Wenjun, *et al.* 2011. Re-Os dating and ore-forming material tracing of the Lawu ore deposit in Damxung area, Tibet [J]. *Geological Bulletin of China*, 30(8): 1283~1294 (in Chinese).
- Du Dedao, Qu Xiaoming, Wang Genhou, *et al.* 2011. Bidirectional subduction of the Middle Tethys oceanic basin in the west segment of Bangonghu-Nujiang suture, Tibet: Evidence from zircon U-Pb LA-ICP-MS dating and petrogeochemistry of arc granites [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 1993~2002 (in Chinese with English abstract).
- Feng Guosheng, Chen Zhenhua, Liao Liugen, *et al.* 2007. Geological characteristics of the Fuye porphyry iron deposit, Rutog County, Tibet, China and its significance for iron prospecting [J]. *Geological Bulletin of China*, 26(8): 1042~1047 (in Chinese).
- Feng Guosheng, Liao Liugen, Chen Zhenhua, *et al.* 2006. Geological characteristics of the Caima iron-polymetallic deposit, Rutog County, western Tibet, China, and its significance for mineral prospecting [J]. *Geological Bulletin of China*, 25(1~2): 267~272 (in Chinese).
- Gao Shunbao, Zheng Youye, Wang Jingshou, *et al.* 2011. The geochronology and geochemistry of intrusive rocks in Bange area: Constraints on the evolution time of the Bangong Lake-Nujiang oceanic basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(07): 1973~1982 (in Chinese with English abstract).
- Harrison T M, Yin A, Grove M, *et al.* 2000. Displacement history of the Gangdese thrust, southeastern Tibet [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 105(19): 211~219, 230.
- Horn I, Rudnick R L and McDonough W F. 2000. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation ICP-MS: Application to U-Pb geochronology [J]. *Chemical Geology*, 167: 405~425.
- Kosler J, Fonneland H, Sylvester P, *et al.* 2002. U-Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies: a comparison of laser ablation ICP-MS and SIMS techniques [J]. *Chemical Geology*, 182: 605~618.
- Li Fenqi, Liu Wei and Geng Quanru. 2010. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of the mesozoic volcanic rocks in Nagqu area of Gangdise in Tibet and their geological significance [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(6): 781~790 (in Chinese with English abstract).
- Li Guangming, Rui Zongyao, Wang Gaoming, *et al.* 2005. Molybdenite Re-Os dating of Jiama and Zhibula polymetallic copper deposits in Gangdese metallogenic belt of Tibet and its significance [J]. *Mineral Deposits*, 24(5): 481~489 (in Chinese with English abstract).
- Li Ping, Chen Junlu, Xu Xueyi, *et al.* 2011. Petrogenesis and LA-ICP-MS Zircon U-Pb dating of the Wuguan intrusive body in North Qinling [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(4): 610~625 (in Chinese with English abstract).
- Li Shengrong, Xiao Run, Zhou Su, *et al.* 2005. Gold mineralization in Gaize area, Tibet [J]. *Mindal Deposits*, 24(1): 1~14 (in Chinese with English abstract).
- Li Shengrong, Yuan Wanming, Qu Wenjun, *et al.* 2008. Comparison of several sets of age data and the origin of the Jiama polymetallic ore deposit in Mozugongka County, Tibet [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 511~518 (in Chinese with English abstract).
- Li Xiangmin, Ma Zhongping, Sun Jiming, *et al.* 2009. A LA-ICP-MS chronological study of basic volcanic in Baiyin orefield, Gansu, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 28(7): 901~906 (in Chinese).
- Liao Liugen, Cao Shenghua, Xiao Yebin, *et al.* 2005. The delineation and significance of the continental-margin volcanic-magmatic arc zone in the northern part of the Bangong-Nujiang suture zone [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 25(1): 163~170 (in Chinese).
- Liu Qinghong, Xiao Zhijian, Cao Shenghua, *et al.* 2004. Preliminary study of the spatio-temporal framework of the archipelagic arc-basin systems in the western part of the Bangong-Nujiang suture zone, Xizang [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 24(3): 15~21 (in Chinese).
- Liu Wei, Li Fenqi, Yuan Sihua, *et al.* 2010. Volcanic rock provenance of Zenong Group in Coqen area of Tibet: geochemistry and Sr-Nd isotopic constraint [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(4): 367~377 (in Chinese with English abstract).

- Liu Yingjun and Ma Dongsheng. 1987. Geochemical characteristics of gold-bearing formation in south China[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 4(2): 1~14 (in Chinese).
- Ludwig K R. 1991. Isoplot: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data[J]. US Geological Survey Open-File Report, 39: 91~445.
- Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Chen Bihe, et al. 2008. The constraints from deep processes on the porphyry metallogenesis in collisional orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(3): 447~456 (in Chinese with English abstract).
- Lü Lina, Cui Yubin, Song Liang, et al. 2011. Geochemical characteristics and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of Galale skarn gold-copper deposit, Tibet and its significance[J]. Earth Science Frontiers, 18(5): 224~242 (in Chinese with English abstract).
- Matte P P, Tapponnier N, Arnaud L, et al. 1996. Tectonics of western Tibet, between the Tarim and the Indus[J]. Earth Planet, Lett., 142: 311~330.
- Metcalfe I. 1998. Palaeozoic and Mesozoic Geological Evolution of the SE Asian Region [Multidisciplinary Constraints and Implications for Biogeography] [M]. Biogeography and evolution of SE Asia, Backhuys Publisher, 4356.
- Mo Xuanxue, Dong Guochen, Zhao Zhidan, et al. 2005. Spatial and Temporal Distribution and Characteristics of Granitoids in the Gangdese, Tibet and Implication for Crustal Growth and Evolution [J]. Geological Journal of China Universities, 11(2): 281~290 (in Chinese).
- Mo Xuanxue and Pan Guitang. 2006. From the Tethys to the formation of the Qinghai-Tibet Plateau: constrained by tectono-magmatic event[J]. Earth Science Frontiers, 13(6): 43~51 (in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Zhu Dicheng, Wang Liquan, et al. 2004. Bangong Lake-Nu River suture zone-the northern boundary of Gondwanaland: Evidence from geology and geophysics[J]. Earth Science Frontiers, 11(4): 371~382 (in Chinese with English abstract).
- Qu Xiaoming and Xin Hongbo. 2006. Ages and tectonic environment of the Bangong Co porphyry copper belt in western Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 25(7): 792~799 (in Chinese).
- Qu Xiaoming, Xin Hongbo, Du Dedao, et al. 2012. Ages of post-collisional A-type granite and constraints on the closure of the oceanic basin in the middle segment of the Bangonghu-Nujiang suture, the Tibetan plateau[J]. Geochimica, 41(1): 1~14 (in Chinese with English abstract).
- Rui Zongyao, Hou Zengqian, Qu Xiaoming, et al. 2003. Metallogenic Epoch of Gangdese Porphyry Copper Belt and Uplift of Qinghai-Tibet Plateau [J]. Mineral Deposits, 22(3): 217~224 (in Chinese with English abstract).
- Rui Zongyao, Li Guangming, Zhang Lisheng, et al. 2004. The response of porphyry copper deposits to important geological events in Xizang[J]. Earth Science Frontiers, 11(1): 145~152 (in Chinese with English abstract).
- Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development. 2002. Regional Geology of Tibet Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 274~283 (in Chinese).
- Wang Liangliang. 2007. The Characteristics of Qulong Ore-bearing Porphyries and Their Relation to Cu(Mo) Mineralization in the Gangdese Belt, Tibet [D]. Beijing: China University of Geosciences, 1~106 (in Chinese).
- Wang Liangliang, Mo Xuanxue, Li Bing, et al. 2006. Geochronology and geochemistry of the ore-bearing porphyry Cu(Mo) ore deposit, Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(4): 1001~1008 (in Chinese with English abstract).
- Yin An. 2001. Himalayan-Tibetan orogen Geological Evolution-Asia continental growth in Phanerozoic [J]. Acta Geoscientia Sinica, 22(3): 193~230 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. 2003. Cenozoic zircons from intrusive rock in Northeast, China by laser ablation U-Pb dating and rare earth element analysis [J]. Chinese Science Bulletin, 48(14): 1511~1520 (in Chinese).
- Zhao Yuanyi, Liu Yan, Cui Yubin, et al. 2010b. Discovery and Significance of Indium Mineralization Belt in Bangong Lake-Nujiang River Metallogenic Belt and Adjacent Regions in Xizang (Tibet) [J]. Geological Review, 56(4): 568~578 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yuanyi, Liu Yan, Wang Ruijiang, et al. 2010a. The Discovery of the Bismuth Mineralization Belt in the Bangong Co-Nujiang Metallogenic Belt of Tibet and its Adjacent Areas and Its Geological Significance [J]. Acta Geoscientia Sinica, 31(2): 183~193 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yuanyi, Song Liang, Fan Xingtao, et al. 2009. Re-Os Dating of Molybdenite from the Shesuo Copper Polymetallic Ore in Shenzha County, Tibet and Its Geological Significance [J]. Acta Geologica Sinica, 83(8): 1150~1158 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈越, 朱弟成, 赵志丹, 等. 2010. 西藏北冈底斯巴木错安山岩的年代学、地球化学及岩石成因 [J]. 岩石学报, 26(7): 2193~2199.
- 崔玉斌, 赵元艺, 屈文俊, 等. 2011. 西藏当雄地区拉屋矿床磁黄铁矿 Re-Os 同位素测年和成矿物质来源示踪 [J]. 地质通报, 30(8): 1283~1294.
- 杜德道, 曲晓明, 王根厚, 等. 2011. 西藏班戈湖-怒江缝合带西段中特提斯洋盆的双向俯冲: 来自岛弧型花岗岩锆石 U-Pb 年龄和

- 元素地球化学的证据[J]. 岩石学报, 27(7): 1993~2002.
- 冯国胜, 陈振华, 廖六根, 等. 2007. 西藏日土地区弗野玢岩铁矿的地质特征及找矿意义[J]. 地质通报, 26(8): 1042~1047.
- 冯国胜, 廖六根, 陈振华, 等. 2006. 西藏西部日土县材玛铁多金属矿地质特征及找矿意义[J]. 地质通报, 25(1~2): 267~272.
- 高顺宝, 郑有业, 王进寿, 等. 2011. 西藏班戈地区侵入岩年代学和地球化学对班公湖-怒江洋盆演化时限的制约[J]. 岩石学报, 27(7): 1973~1982.
- 李奋其, 刘伟, 耿全如. 2010. 西藏冈底斯带那曲地区中生代火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地质意义[J]. 地球学报, 31(6): 781~790.
- 李光明, 芮宗瑶, 王高明, 等. 2005. 西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 24(5): 481~489.
- 李平, 陈隽璐, 徐学义, 等. 2011. 北秦岭武关岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及岩石成因研究[J]. 岩石矿物学杂志, 30(4): 610~625.
- 李胜荣, 袁万明, 屈文俊, 等. 2008. 西藏墨竹工卡县甲马多金属矿床几组年龄数据的比较与成因研究[J]. 岩石学报, 24(3): 511~518.
- 李胜荣, 肖润, 周肃, 等. 2005. 西藏改则地区金成矿作用[J]. 矿床地质, 24(1): 1~14.
- 李向民, 马中平, 孙吉明, 等. 2009. 甘肃白银矿田基性火山岩的 LA-ICP-MS 同位素年代学[J]. 地质通报, 28(7): 901~906.
- 廖六根, 曹圣华, 肖业斌, 等. 2005. 班公湖-怒江结合带北侧陆缘火山-岩浆弧带的厘定及其意义[J]. 沉积与特提斯地质, 25(1): 163~170.
- 刘庆宏, 肖志坚, 曹圣华, 等. 2004. 班公湖-怒江结合带西段多岛弧盆系时空结构初步分析[J]. 沉积与特提斯地质, 24(3): 15~21.
- 刘伟, 李奋其, 袁四化, 等. 2010. 西藏措勤地区则弄群火山岩源区[J]. 岩石矿物学杂志, 29(4): 367~377.
- 刘英俊, 马东升. 1987. 华南含金建造的地球化学特征[J]. 地球找矿论丛, 4(2): 1~14.
- 罗照华, 卢欣祥, 陈必河, 等. 2008. 碰撞造山带斑岩铜矿床的深部约束机制[J]. 岩石学报, 24(3): 447~456.
- 吕立娜, 崔玉斌, 宋亮, 等. 2011. 西藏嘎拉勒砂卡岩型金(铜)矿床地球化学特征与锆石的 LA-ICP-MS 定年及意义[J]. 地学前缘, 18(5): 224~242.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 11(2): 281~290.
- 莫宣学, 潘桂棠. 2006. 从特提斯到青藏高原形成-构造-岩浆事件的约束[J]. 地学前缘, 13(6): 43~51.
- 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 等. 2004. 班公湖-怒江缝合带作为冈瓦纳大陆北界的地质地球物理证据[J]. 地学前缘, 11(4): 371~382.
- 曲晓明, 辛洪波. 2006. 藏西班公湖斑岩铜矿带的形成时代与成矿构造环境[J]. 地质通报, 25(7): 792~799.
- 曲晓明, 辛洪波, 杜德道, 等. 2012. 西藏班公湖-怒江缝合带中段碰撞后 A 型花岗岩的时代及其以洋盆闭合时间的约束[J]. 地球化学, 41(1): 1~14.
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 等. 2003. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 22(3): 217~224.
- 芮宗瑶, 李光明, 张立生, 等. 2004. 西藏斑岩铜矿对重大地质事件的响应[J]. 地学前缘, 11(1): 145~152.
- 西藏地质矿产局. 2002. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 274~283.
- 王亮亮. 2007. 西藏冈底斯带驱龙含矿斑岩的特征及与 $Cu(Mo)$ 成矿的关系[D]. 中国地质大学(北京), 1~106.
- 王亮亮, 莫宣学, 李冰, 等. 2006. 西藏驱龙斑岩铜矿含矿斑岩的年代学与地球化学[J]. 岩石学报, 22(4): 1001~1008.
- 尹安. 2001. 喜马拉雅-青藏高原造山带地质演化——显生宙亚洲大陆生长[J]. 地球学报, 22(3): 193~230.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 48(14): 1511~1520.
- 赵元艺, 刘妍, 崔玉斌, 等. 2010b. 西藏班公湖-怒江成矿带与邻区铀矿化带的发现及意义[J]. 地质论评, 56(4): 568~578.
- 赵元艺, 刘妍, 王瑞江, 等. 2010a. 西藏班公湖-怒江成矿带及邻区铀矿化带的发现与意义[J]. 地球学报, 31(2): 183~193.
- 赵元艺, 宋亮, 樊兴涛, 等. 2009. 西藏申扎县舍索铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年代学及地质意义[J]. 地质学报, 83(8): 1150~1158.