# 新疆西准噶尔罕哲尕能 Cu-Au 矿床的锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学特征:对源区和成矿构造背景的指示*

郭正林[1,2] 李金祥[1] 秦克章[1**] 董连慧[1,3] 郭旭吉[2] 唐冬梅[1] 杜兴旺[2]

GUO ZhengLin[1,2], LI JinXiang[1], QIN KeZhang[1**], DONG LianHui[1,3], GUO XuJi[2], TANG DongMei[1] and DU XingWang[2]

1. 中国科学院地质与地球物理研究所,中国科学院矿产资源研究重点实验室,北京 100029
2. 新疆有色地勘局 706 队,阿勒泰 836500
3. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查局,乌鲁木齐 830000

1. *Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing* 100029, *China*
2. *No.* 706 *Geological Party, Xinjiang Geoexploration Bureau for Nonferrous Metals, Altay* 839000, *China*
3. *Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resouces, Uramuqi* 830000, *China*

2009-12-18 收稿, 2010-05-18 改回.

**Guo ZL, Li JX, Qin KZ, Dong LH, Guo XJ, Tang DM and Du XW. 2010. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of Hanzheganeng Cu-Au deposit in West Junggar, Xinjiang: Implications for magma source and metallogenic tectonic setting. *Acta Petrologica Sinica*, 26(12):3563 – 3578**

**Abstract** Hanzheganeng Cu-Au deposit, located in northwestern margin of Junggar, is a newly discovered porphyry copper deposit with great potential. Magmatic emplacement activity is mainly diorite in the early stage, and is mainly granodiorite and moznogranite porphyry in the late stage. Porphyraceous quartz monzonite yields a LA-ICP-MS zircon U-Pb age of 343.6 ± 5.7Ma ~ 345.3 ± 8.3Ma, and monzogranite porphyry yields a zircon age of 334.9 ± 7.3Ma ~ 336.4 ± 7.5Ma. These ages indicate that there is an Early Carboniferous important magmatic-hydrothermal Cu-Au mineralization event in Sawuer region of West Junggar. Major elements of granodiorite, quartz monzonite, diorite porphyrite, diorite, and monzogranite porphyry show a consistent evolution trend, indicating that they may be the product of the same magmatic evolution. And their geochemical characteristics of enriching in large-ion lithophile elements (LILE: such as Rb, Ba, K, Sr) and more mobile incompatible elements (such as: U, Th), relatively depleting in high field strength elements (HFSE: such as Nb, Ta, Ti) show that they have the characteristics of arc magma. Their isotopic characteristics with $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ ratio of 0.7033 ~ 0.7037, $^{143}Nd/^{144}Nd$ ratio of 0.512538 ~ 0.512579, $\varepsilon_{Nd}(t)$ value of +6.7 ~ +7.5, indicate their magma source is an analogy of the depleted mantle. And they have young Nd two-stage model age of 488 ~ 553Ma, indicating that Hanzheganeng magmatic rocks may be derived from juvenile basaltic lower crust differentiated from the depleted mantle source. The formation age of Hanzheganeng Cu-Au deposit is significantly earlier than the formation age of A-type granites (290 ~ 300Ma) in this region, combined with trace element characteristics, suggest this deposit was formed in accretional arc setting, and Sawuer district have favorable metallogenetic conditions for porphyry Cu-Au deposits.

**Key words** Zircon U-Pb geochronology; Lithogeochemistry; Magma source; Metallogenic tectonic setting; Hanzheganeng; West Junggar

**摘 要** 位于准噶尔西北缘萨吾尔地区的罕哲尕能 Cu-Au 矿床是新近发现的斑岩型矿床,具有很好的找矿前景。矿区岩浆活动早期以闪长岩为主,晚期以花岗闪长岩和二长花岗斑岩为主。钻孔中所见似斑状石英二长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 343.6 ± 5.7Ma ~ 345.3 ± 8.3Ma;二长花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄为 334.9 ± 7.3Ma ~ 336.4 ± 7.5Ma,表明西准萨吾尔地区早石炭世存在一期重要的岩浆-热液 Cu-Au 成矿事件。花岗闪长岩、石英二长岩、闪长玢岩、闪长岩和二长花岗斑岩的主量元素

* 本文受国家十一五科技支撑计划 305 项目专题(2006BAB07B02-05)和新疆地勘局 706 队勘查项目联合资助.

**第一作者简介**: 郭正林,男,1969 年生,高工,博士研究生,主要从事矿床地质及矿产勘查,E-mail: gygn1@tom.com

** **通讯作者**:秦克章,男,研究员,从事造山带成矿作用研究,E-mail:kzq@mail.iggcas.ac.cn

具有一致的演化趋势,表明它们可能是同一岩浆演化的产物。富集大离子亲石元素(LILE:如 Rb、Ba、K、Sr)和活泼的不相容元素(如:U、Th),相对亏损高场强元素(HFSE:如 Nb、Ta、Ti),显示具有岛弧岩浆的地球化学特征。$^{87}Sr/^{86}Sr_i$ 比值在 0.7033 ~ 0.7037 之间,$^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值在 0.512538 ~ 0.512579 之间,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 在 +6.7 ~ +7.5 之间,显示源区具有类似亏损地幔的特征;而且具有年轻的 Nd 两阶段模式年龄为 488 ~ 553Ma,这些特征表明罕哲尕能矿区岩石的岩浆源区可能来源于亏损地幔分异的新生玄武质下地壳。罕哲尕能 Cu-Au 矿床的形成时代明显早于该区域 A 型花岗岩的形成时代(290 ~ 300Ma 左右),结合岩石微量元素特征反映其形成于岛弧构造背景,萨吾尔山具有寻找斑岩 Cu-Au 矿的成矿条件。

**关键词** 锆石 U-Pb 年代; 岩石地球化学; 岩浆源区; 成矿构造背景; 罕哲尕能; 西准噶尔

**中图法分类号** P588.122; P597.3

近年来在准噶尔周边相继发现了一系列浅成低温金矿和斑岩型铜矿,引起人们的关注(Qin *et al.*, 2002; Shen *et al.*, 2005, 2007)。例如西准的包古图斑岩型铜金矿(成勇和张锐, 2006; 张锐等, 2006; Shen *et al.*, 2009)、北达巴特斑岩型钼矿(张作衡等, 2009)、东准的铜华岭和禾尔赛(屈迅等,2009)斑岩型铜矿、东北准的哈腊苏斑岩型铜金矿(杨文平等, 2005;张招崇等,2006)、北准的索尔库都克斑岩型铜钼矿和希勒库都克斑岩铜金钼矿床(王莉娟等, 2009)以及西北准的罕哲尕能斑岩型铜金矿,这些矿床是环准噶尔斑岩成矿带(董连慧等, 2009)的重要组成部分,这在地质找矿方向、区带布局和靶区选择上将具有重大意义。本文基于对西准噶尔罕哲尕能矿区详细的野外考察,对矿区主要出露中-酸性岩体进行了系统的采样,通过精确的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学限定其形成时代,并进行了系统地球化学分析测试,以期探讨罕哲尕能斑岩 Cu-Au 矿床的岩浆侵入序列、岩浆源区性质及成矿构造背景。

## 1 矿床地质

罕哲尕能矿区的大地构造位置处于西准噶尔西北缘萨吾尔晚古生代岛弧东段(图 1),属于在不成熟的加里东新陆壳之上发展起来的晚古生代岛弧带,成矿区带属哈萨克斯坦扎尔玛-萨吾尔金铜成矿带(李光明等,2008; 尹意求等, 2009)。在该区内发现了阔尔真阔腊浅成低温热液型金矿、布尔克斯岱浅成岩-构造蚀变型金矿、塔斯特金矿、塔斯特铜矿、罕哲尕能金矿等矿产,但与斑岩型有关的矿产至今仍无报道。新疆有色地勘局 706 队通过近年来的工作在罕哲尕能矿区发现了斑岩体,并见到了与斑岩有关的金、铜、钼矿,罕哲尕能斑岩型铜金矿的发现对环准噶尔斑岩型铜矿带的完善具有重大意义。

矿区出露地层为中泥盆统萨吾尔山组($D_2s$)和下石炭统黑山头组($C_1h$)。萨吾尔山组($D_2s$)分布于卧磨卡断裂南侧(图 2),主要岩性为一套海相中、基性火山碎屑岩建造,其岩性为灰绿色块状安山岩与安山质岩屑晶屑凝灰岩、安山质角砾熔岩、安山玢岩不均匀互层。内部夹少量硅质粉砂岩透镜体,上段局部相变为灰绿色硅质粉砂岩、灰白色砂质灰岩、生物碎屑灰岩等,与上覆地层黑山头组断层接触。下石炭统黑山头组($C_1h$)主要分布在卧磨卡断裂以北,主要岩性为泥质粉砂岩、硅质泥岩、粉砂质泥岩、含泥硅质岩、硅质粉砂岩、硅质岩、含炭粉砂岩和晶屑凝灰岩,其中硅质泥岩与含泥硅质岩二者为互层关系。区内主要发育北西向、北东向、近东西向构造,其中北西向断裂为主,区域性卧磨卡断裂的派生北西向分枝断裂亦是罕哲尕能金矿床的控矿、容矿断裂。

罕哲尕能矿区的中酸性岩(体)脉群沿卧磨卡断裂南盘侵位,为华力西中期侵入活动的产物,主要岩性为闪长岩、闪长玢岩、花岗闪长岩,产于矿区中部,具有杂岩体的特征,呈脉状、岩枝状、小岩株状、岩瘤状产出,在岩体中捕掳体较发育,主要为安山岩、安山玢岩。根据岩体间的穿插及捕掳关系,可将本矿区岩浆岩侵入分为两个亚期次,早期以闪长岩侵入为主,晚期以花岗闪长岩和二长花岗斑岩为主,岩浆具中性→酸性演化的特征。侵入岩在形成过程中,其岩浆期后热液组分为金矿成矿提供了有利的条件。闪长岩体位于金矿体的西侧(图 2),为近似椭圆状,长约 800m,宽 400m,主要为细粒闪长岩。闪长岩体内部可见闪长玢岩脉,脉宽 1 ~ 2m,长 30 ~ 60m,岩体边部小型裂隙较发育,并发育青盘岩化和碳酸盐化。该闪长玢岩体也是金矿体的含矿岩体。花岗闪长岩体位于金矿体北西侧,为椭圆状,东西向展布,长约 1000m,宽 300 ~ 400m,岩相较复杂,在其中北部见有小规模的二长花岗斑岩侵入到花岗闪长岩中,该岩体中东部含铜矿化,钻孔中已发现脉状矿化和斑岩型铜化,部分已到工业品位。

矿化蚀变带基本呈带状、椭圆状、环带状分布,且与构造走向一致,均分布于安山岩中,蚀变范围达 5km$^2$。各蚀变类型具分带特点,它们与断裂构造、浅成侵入岩体和矿化关系密切。罕哲尕能矿区主要蚀变类型有泥化、碳酸盐化、青盘岩化、黄铁矿化、绢云母化、硅化以及钾化等。根据目前工作程度,可划分出 4 个蚀变带,由外向内依次为:黄铁矿化-碳酸盐蚀变带(岩体外接触带蚀变)、青盘岩化-泥化-绢云母化(岩体内接触带蚀变)、泥化-绢云母化-黄铁矿化(含铜矿化)、钾化-泥化-(磁)黄铁矿化(含铜矿化)、钾化-硅化-黄铁矿化。钾化-硅化主要发育在岩体中心部位,多表现为石英-钾长石细脉、网脉密集分布在岩石裂隙中,细脉呈浅肉红色,脉宽 1 ~ 2mm,局部可达 5mm,与黄

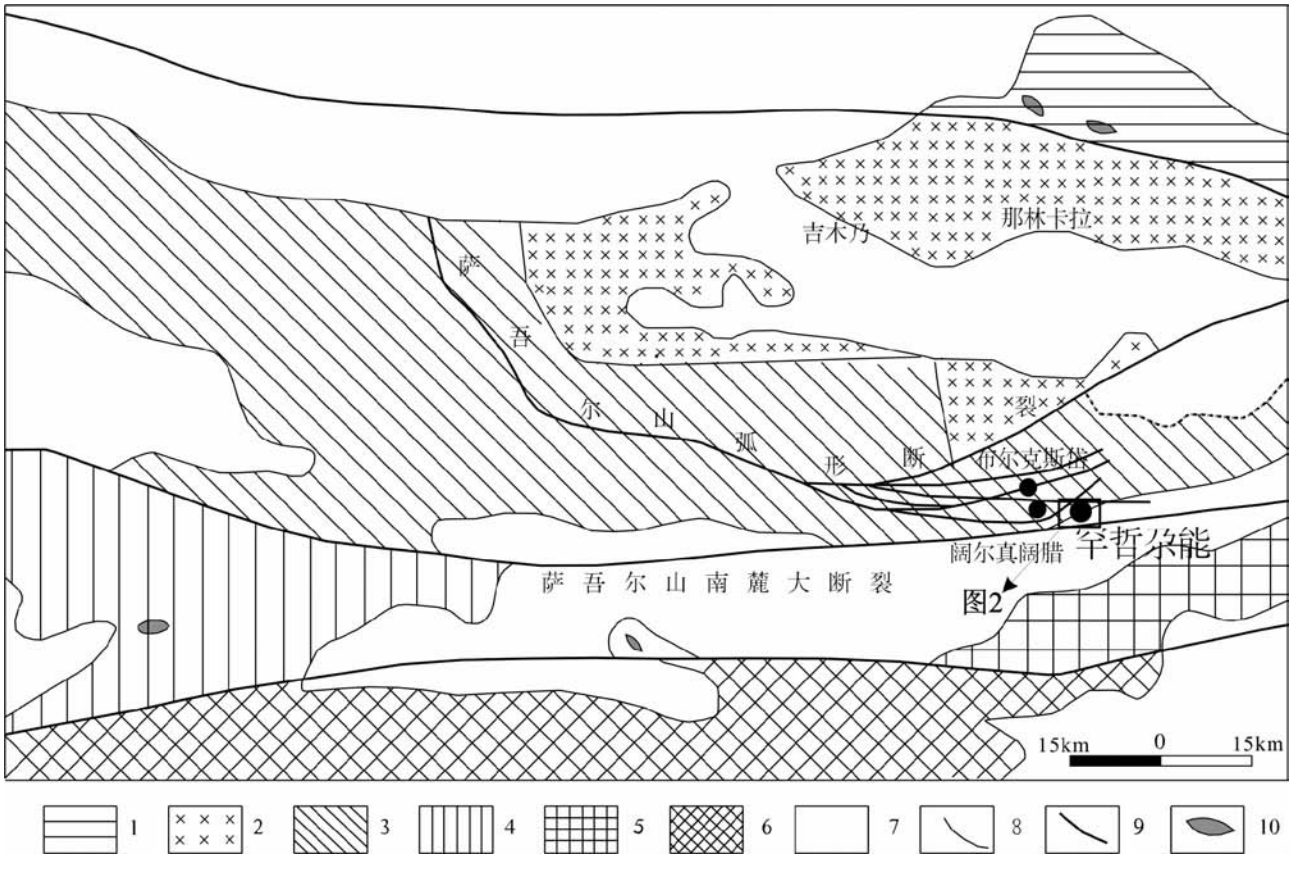



图 1 新疆准噶尔西北缘罕哲尕能 Cu-Au 矿床构造位置图(据尹意求等,2009 修改)

1-科克森套晚古生代陆壳碎块构造区;2-珠万卡拉二叠纪造山后陆相火山盆地;3-萨吾尔山晚古生代岛弧构造区;4-沙尔布提山早古生代复合岛弧构造区;5-前泥盆系构造层;6-谢米斯台晚古生代岛弧构造区; 7-中-新生代沉积盖层;8-不整合面;9-断裂及深大断裂;10-镁铁质、超镁铁质岩

Fig. 1 Tectonic map of Hanzhegeneng Cu-Au deposit, northwest Junggar, Xinjiang (modified from Yi *et al.*, 2009)

1-Kekeshentao Late Paleozoic continental crust; 2-Zhuwankala Permian post-orogenic subaerial volcanic basin; 3-Sawuer Late Paleozoic arc; 4-Shaerbuti Mountain Early Paleozoic composite arc; 5-Pre-Devonian tectonic strata; 6-Xiemisitai Late Paleozoic arc; 7-Mesozoic and Cenozoic sedimentary cover; 8-unconformity; 9-fracture and deep-seated fracture; 10-mafic, ultramafic rocks

铁矿化相伴。

罕哲尕能花岗闪长岩体地表在中东部含铜矿化,通过钻孔验证,向深部自 90m 至 860m 普遍含铜矿化,矿(化)体有 25 层,其中矿体 9 层,矿化基本集中在花岗闪长岩体中,强度随蚀变强度而不同,主要在青盘岩化带和钾化带中,矿石呈块状构造、脉状构造、浸染状结构、稀疏浸染状结构等。矿石矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿,极少量磁铁矿、闪锌矿、辉钼矿等;脉石矿物为石英、方解石、斜长石、钾长石、绿泥石、绢云母、角闪石、黑云母等,矿化品位在 0.11% ~4.49%,由浅向深,铜矿化由脉状、细脉状逐渐向浸染状、星点状过渡,矿石矿物组合也由黄铜矿-黄铁矿组合向黄铜矿-磁黄铁矿过渡。另外,ZK11-1 钻孔 385 ~ 392m 处出现与绿泥石-黑云母-石英脉有关的裂隙型黄铜矿脉、团块,分析铜最高品位 6.40%,平均品位 2.00%,其矿石矿物为黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等,表现为斑岩型铜矿头部带脉状矿体特征。

## 2 样品采集和实验方法

在系统野外工作基础上,采集了矿区主要岩石类型进行地球化学和年代学研究,其岩石镜下描述如下:

花岗闪长岩(图 3a, e):等粒、似斑状结构,斑晶主要为斜长石(1 ~4mm),发育弱-中等粘土化和绢云母化,含量约 20%;其次为角闪石、黑云母和石英,角闪石和黑云母大部分被绿泥石交代,含量约 10%;基质主要为石英、钾长石和少量斜长石,基质颗粒大小 <0.6mm。

闪长玢岩(图 3d):斑状结构,斑晶主要为斜长石、角闪石(部分黑云母化和绿泥石化),斑晶含量为 30% ~ 40% 左右,斑晶颗粒大小 1 ~5mm 左右;基质主要为隐晶质石英、斜长石、黑云母等。

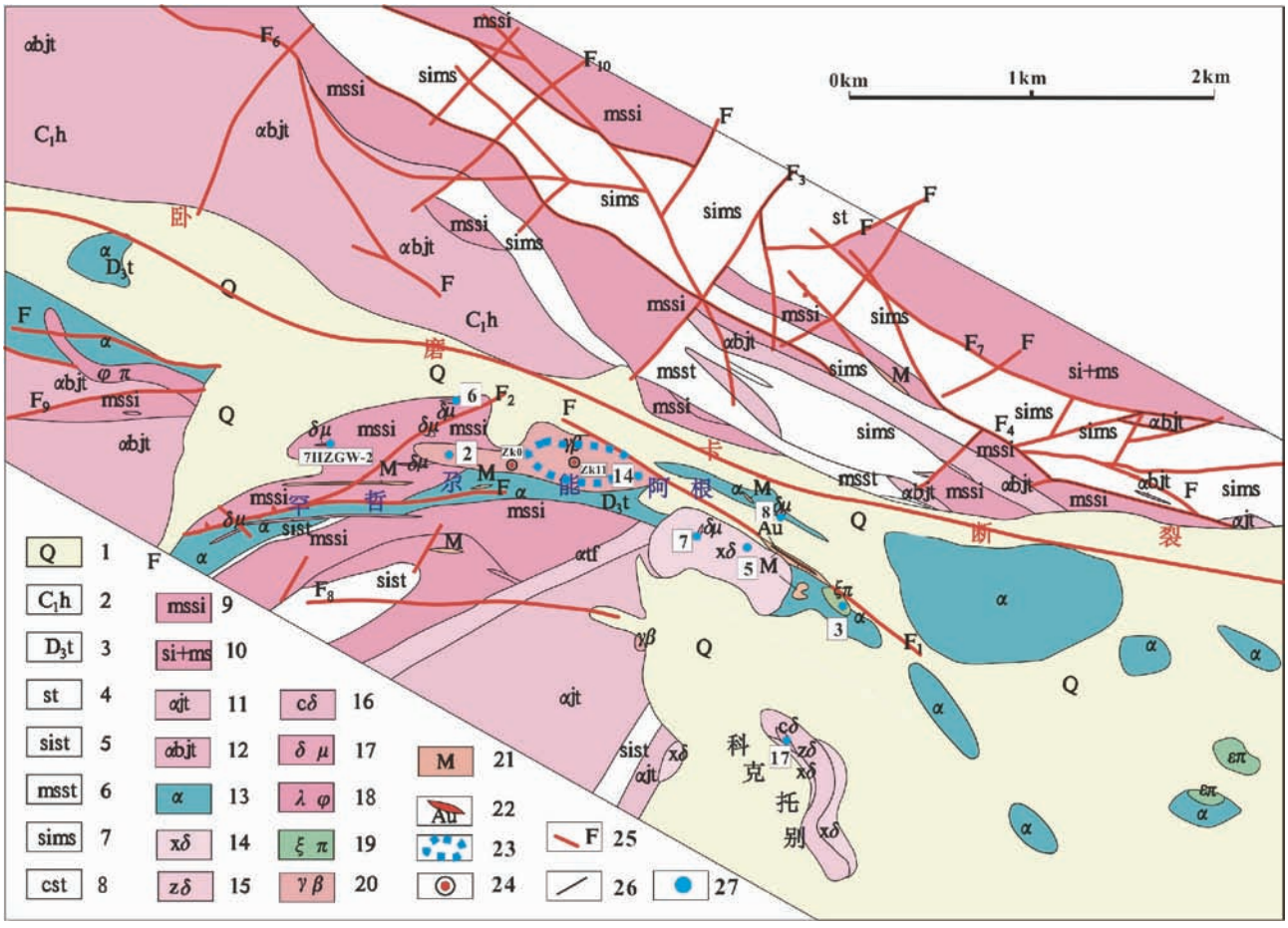



图 2 罕哲尕能铜-金矿区地质略图

1-第四系; 2-下石炭统黑山头组; 3-上泥盆统塔尔巴哈台组; 4-粉砂岩; 5-硅质粉砂岩; 6-泥质粉砂岩; 7-硅质泥岩; 8-炭质粉砂岩; 9-含泥硅质岩; 10-硅质岩泥质岩互层; 11-安山质晶屑凝灰岩; 12-安山质角砾晶屑凝灰岩; 13-安山岩; 14-细粒闪长岩; 15-中粒闪长岩; 16-粗粒闪长岩; 17-闪长玢岩; 18-钠长斑岩; 19-二长花岗斑岩; 20-花岗闪长岩; 21-褐铁矿化破碎蚀变体; 22-金矿化体; 23-铜矿化体; 24-钻孔; 25-断层; 26-地质界线; 27-采样点

Fig. 2 Geologic sketch map of Hanzheganeng Cu-Au deposit

1-Quartary; 2-Heishantou Formation of Lower Carboniferous; 3-Tarbahatai Formation of Upper Devonian; 4-siltsandstone; 5-siliceous siltstone-; 6-stone; 7-siliceous mudstone; 8-Carbonaceous siltstone; 9-mud silicilith; 10-silisilith mudstone interlayer 11-andesitic crystalline tuff; 12-andesitic breccia crystalline tuff; 13-andesite; 14-fine-grain diorite; 15-medium-grain diorite; 16-coarse diorite; 17-diorite porphyrite; 18-albite porphyry; 19-monzogranite porphyrite; 20-granodiorite; 21-limonite fractured alteration; 22-Au mineralized body; 23-copper mineralization body; 24-drill hole; 25-fault; 26-geolgical boundary; 27-sample position

二长花岗斑岩(图 3b):斑状结构,斑晶主要为斜长石(颗粒大小0.8~5mm)、石英、角闪石、黑云母等,斑晶含量约为30%~40%;斜长石斑晶含量远大于石英,且发生强粘土化,保存斜长石卡钠复合双晶晶形,部分发生中等钾长石化;角闪石多发生绿泥石化,可以见到角闪石残余。基质主要为石英、钾长石等,颗粒大小<0.5mm。

细粒闪长岩(图 3c):等粒结构,细粒结构,颗粒大小为0.5mm 左右,矿物主要为斜长石(自形程度好),角闪石、黑云母和石英充填于斜长石颗粒中间。

粗粒闪长岩(图 3f):等粒结构,中粗粒结构,主要矿物为斜长石和角闪石,角闪石含量 20%~25%,颗粒大小 1~2mm;斜长石含量大于角闪石含量,约 60%~70%,颗粒大小 2~6mm,弱蚀变。

## 2.1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年

在地表采集矿区二长花岗斑岩(7HZGN-3),在钻孔岩芯中采集蚀变的似斑状石英二长岩(7HZGNZK0-2-820,曾疑为含矿斑岩)进行精细的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定。锆石分选工作是在河北廊坊区调队完成,整个分选流程使用的装置可彻底清洗,避免了污染。将待测锆石以环氧树脂固定,抛光至暴露出锆石中心面,分别在光学显微镜下用反光、透射光照相和在扫描电镜上进行阴极发光(CL)照相,在中

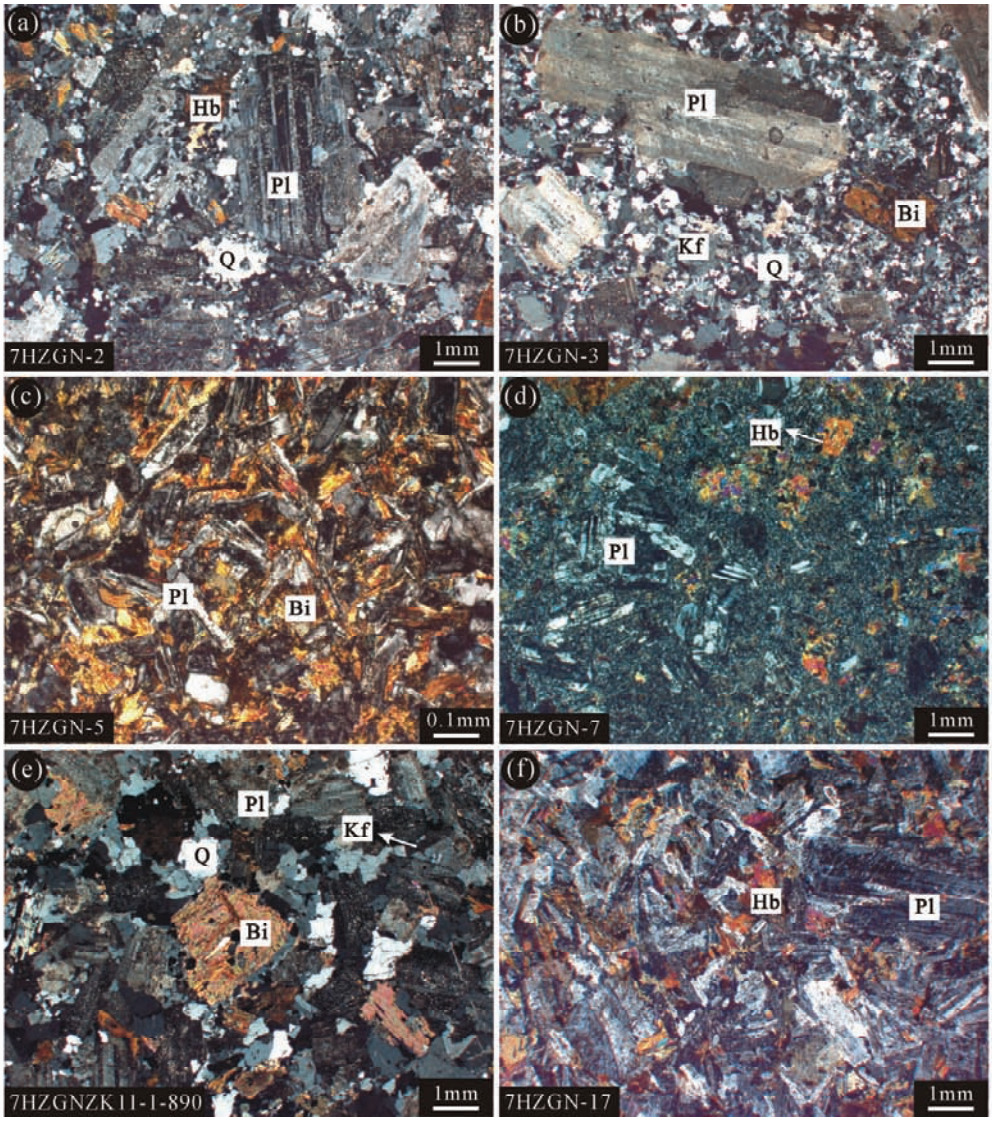



图 3 罕哲尕能矿区的主要岩石类型的显微照片

(a)-似斑状花岗闪长岩;(b)-二长花岗斑岩;(c)-细粒闪长岩;(d)-闪长玢岩;(e)-花岗闪长岩;(f)-粗粒闪长岩. Hb-角闪石;Pl-斜长石;Q-石英;Bi-黑云母;Kf-钾长石

Fig. 3 Photomicrographs of major rock types from Hanzhegeneng ore district

(a)-porphyraceous granodiorite;(b)-monzogranite porphyry;(c)-fine grained diorite;(d)-diorite porphyrite;(e)-granodiorite;(f)-coarse grained diorite. Hb-hornblende;Pl-plagioclase;Q-quartz;Bi-biotite;Kf-K-feldspar

国科学院地质与地球物理研究所 Neptune 多接收器电感耦合等离子体质谱仪(MC-ICP-MS)和 193nm 激光取样系统上进行,分析时激光束直径为 60μm,激光剥蚀时间约 26s。分析中所用的激光脉冲速率为 6 ~ 8Hz,激光束脉冲能量为 100mJ。仪器的运行条件及详细的分析过程可参见(Wu *et al.*,2006)。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄采用 91500 标准锆石外部校正法。普通铅校正采用 Anderson(2002)的方法,年龄采用 ISOPLOT3.0 程序计算(Ludwig,2003)。详细的测试过程参见文献(Yuan *et al.*,2004)。

## 2.2 岩石地球化学测试

采集了矿区闪长岩、闪长玢岩、似斑状石英二长岩、花岗闪长岩和二长花岗斑岩进行地球化学分析。常量和微量元素在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室测定。常量元素的测定采用 X-射线荧光光谱法(XRF):首先称取 0.6g 样品,然后加入适量硼酸高温熔融成玻璃片,最后在 Shimadzu XRF-1700/1500 上采用外标法测定氧化物含量,分析误差小于 5%。微量元素测定采用 ICP-MS 法:首先称取 40mg 样品和国家标准(GRS1、GRS2、GRS3)用

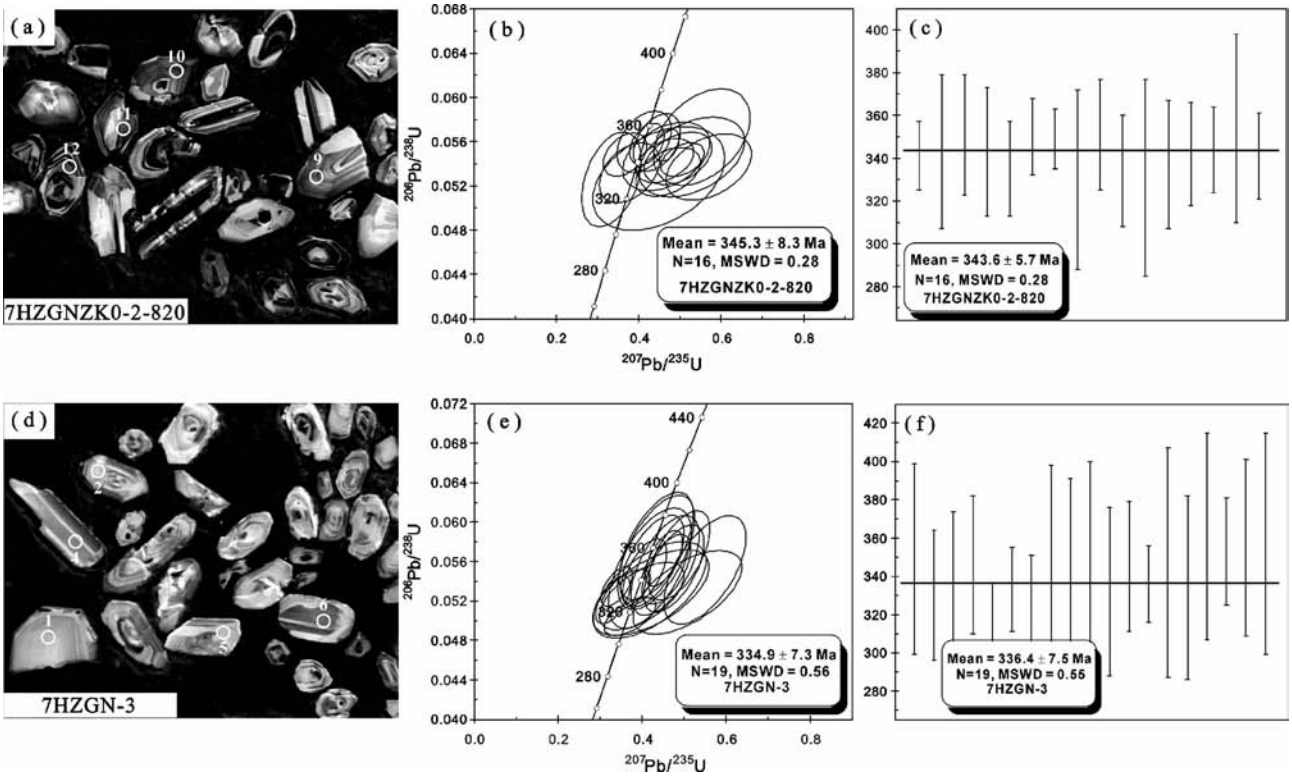



图 4 罕哲尕能矿区石英二长岩(7HZGNZK0-2-820)和二长花岗斑岩(7HZGN-3)的 LA-ICP-MS 锆石$^{207}Pb/^{235}U$-$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄谐和图(b, e)和加权平均年龄(c, f)

Fig. 4 $^{207}Pb/^{235}U$-$^{206}Pb/^{238}U$ concordia (b, e) and weighted average ages (c, f) of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of quartz monzonite (7HZGNZK0-2-820) and monzogranite porphyry (7HZGN-3) from Hanzheganeng Cu-Au deposit

酸溶法制成溶液,然后在 ICP-MS Element II 上进行测定。其精度为:元素含量大于 $10\times10^{-6}$ 的误差小于 5%,小于 $10\times10^{-6}$ 的误差小于 10%。

Sr-Nd 同位素由中国科学院地质与地球物理研究所同位素分析测试中心利用 MAT262 仪器测试,用瑞利法则进行分馏校正。$^{87}Sr/^{86}Sr$ 用 $^{87}Sr/^{86}Sr=0.0094$,$^{143}Nd/^{144}Nd$ 用 $^{143}Nd/^{144}Nd=0.7219$ 标准化。详细分析流程和方法见(Chen *et al.*,2002)。

## 3 实验结果

### 3.1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学

罕哲尕能 Cu-Au 矿床的二长花岗斑岩(7HZGN-3)和似斑状石英二长岩(7HZGNZK0-2-820)的锆石粒度在 100 ~ 400μm 之间,阴极发光照相显示大多数锆石具有较好的晶形,并显示明显的岩浆结晶环带(图 4a, d);锆石的 Th/U 比值范围分别为 0.35 ~ 0.62 和 0.27 ~ 0.71(表 1),均大于 0.1,为岩浆成因锆石(宋彪等,2002;Fernando *et al.*,2003;Samuel *et al.*,2003)。

似斑状石英二长岩(7HZGNZK0-2-820)19 颗锆石(表 1)$^{207}Pb/^{235}U$-$^{206}Pb/^{238}U$ 谐和年龄为 345.3 ± 8.3Ma(MSWD = 0.28;图 4b),加权平均年龄为 343.6 ± 5.7Ma(MSWD = 0.28;图 4c)。二长花岗斑岩(7HZGN-3)16 颗锆石的(表 1)$^{207}Pb/^{235}U$-$^{206}Pb/^{238}U$ 谐和年龄为 334.9 ± 7.3Ma(MSWD = 0.56;图 4e),加权平均年龄为 336.4 ± 7.5Ma(MSWD = 0.55;图 4f)。这两个锆石 U-Pb 年代学结果表明它们形成于早石炭世,与矿区南西侧阔尔真阔腊浅成低温金矿的形成时代相同(Shen *et al.*, 2005)。

### 3.2 地球化学特征

#### 3.2.1 主量元素

岩石主量元素中(表 2),$SiO_2$ 含量介于 50.32% ~ 69.29%,$Al_2O_3$ 13.92% ~ 18.29%,MgO 含量 1.31% ~ 4.40%,$FeO^T$ 含量 3.94% ~ 11.30% 和 CaO 含量 1.19% ~ 9.26%。矿区岩石类型属于准铝质-弱过铝质、高钾钙碱性系列(图 5)。$P_2O_5$、$Al_2O_3$、$TiO_2$、MgO、CaO 和 $FeO^T$ 与 $SiO_2$ 呈负相关(图 6),可能是由于斜长石、角闪石、磁铁矿、磷灰石等矿物结晶分异作用造成的;而 $K_2O$、$Na_2O$ 与 $SiO_2$ 基本呈正相关,是由于它们的地球化学不相容性造成的。

**表 1　西准噶尔罕哲尕能 Cu-Au 矿床的二长花岗斑岩和石英二长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分析结果**

Table 1　Zircon LA-ICP-MS U-Pb analytic results of monzogranite porphyry and quartz-monzonite from Hanzheganeng Cu-Au deposit in West Junggar

| 测点号 | $Pb^*$ ($\times10^{-6}$) | Th ($\times10^{-6}$) | U ($\times10^{-6}$) | Th/U | 原始比值 | | | | 校正比值 | | | | 校正年龄(Ma) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | $^{207}Pb/^{235}U$ | δ | $^{206}Pb/^{238}U$ | δ | $^{207}Pb/^{235}U$ | δ | $^{206}Pb/^{238}U$ | δ | $^{207}Pb/^{235}U$ | δ | $^{206}Pb/^{238}U$ | δ |
| 7HZGN-3　二长花岗斑岩 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7HZ-3 01 | 22.65 | 163.5 | 286.7 | 0.57 | 0.454810 | 0.06650 | 0.05560 | 0.00413 | 0.45481 | 0.06650 | 0.05560 | 0.00413 | 381 | 46 | 349 | 25 |
| 7HZ-3 02 | 33.70 | 259.8 | 421.8 | 0.62 | 0.64939 | 0.05280 | 0.05467 | 0.00276 | 0.39886 | 0.08249 | 0.05250 | 0.00280 | 341 | 60 | 330 | 17 |
| 7HZ-3 03 | 22.94 | 108.7 | 247.3 | 0.44 | 0.72757 | 0.07119 | 0.05479 | 0.00339 | 0.50777 | 0.10605 | 0.05288 | 0.00345 | 417 | 71 | 332 | 21 |
| 7HZ-3 04 | 26.54 | 175.7 | 351.2 | 0.50 | 0.45807 | 0.04747 | 0.05520 | 0.00290 | 0.45807 | 0.04747 | 0.05520 | 0.0029 | 383 | 33 | 346 | 18 |
| 7HZ-3 05 | 19.13 | 137.3 | 257.4 | 0.53 | 0.82937 | 0.03189 | 0.05441 | 0.00154 | 0.37156 | 0.05036 | 0.05044 | 0.00157 | 321 | 37 | 317 | 10 |
| 7HZ-3 06 | 37.68 | 188.7 | 538.8 | 0.35 | 0.56633 | 0.03119 | 0.05479 | 0.00178 | 0.36265 | 0.04699 | 0.05302 | 0.00175 | 314 | 35 | 333 | 11 |
| 7HZ-3 07 | 18.57 | 116.0 | 233.6 | 0.50 | 0.63107 | 0.04097 | 0.05471 | 0.00211 | 0.33080 | 0.03332 | 0.05210 | 0.00195 | 290 | 25 | 327 | 12 |
| 7HZ-3 08 | 11.93 | 106.5 | 252.0 | 0.42 | 0.42470 | 0.06120 | 0.05605 | 0.00381 | 0.42470 | 0.0612 | 0.05605 | 0.00381 | 359 | 44 | 352 | 23 |
| 7HZ-3 09 | 15.29 | 124.6 | 229.5 | 0.54 | 0.47563 | 0.05855 | 0.05528 | 0.00361 | 0.47563 | 0.05855 | 0.05528 | 0.00361 | 395 | 40 | 347 | 22 |
| 7HZ-3 10 | 8.96 | 69.05 | 139.6 | 0.49 | 0.54960 | 0.07977 | 0.05514 | 0.00449 | 0.54960 | 0.07977 | 0.05514 | 0.00449 | 445 | 52 | 346 | 27 |
| 7HZ-3 11 | 7.39 | 53.74 | 91.99 | 0.58 | 0.82414 | 0.07762 | 0.05636 | 0.00352 | 0.42113 | 0.11312 | 0.05286 | 0.00355 | 357 | 81 | 332 | 22 |
| 7HZ-3 12 | 11.79 | 100.7 | 178.2 | 0.57 | 0.40629 | 0.04249 | 0.05494 | 0.00274 | 0.40629 | 0.04249 | 0.05494 | 0.00274 | 346 | 31 | 345 | 17 |
| 7HZ-3 13 | 14.12 | 63.51 | 216.4 | 0.29 | 0.52397 | 0.02914 | 0.05507 | 0.00171 | 0.33947 | 0.03039 | 0.05347 | 0.00163 | 297 | 23 | 336 | 10 |
| 7HZ-3 14 | 11.34 | 74.94 | 156.6 | 0.48 | 0.41835 | 0.08060 | 0.05533 | 0.00497 | 0.41835 | 0.08060 | 0.05533 | 0.00497 | 355 | 58 | 347 | 30 |
| 7HZ-3 15 | 5.62 | 35.95 | 82.12 | 0.44 | 0.63576 | 0.07961 | 0.05502 | 0.00401 | 0.41800 | 0.10971 | 0.05313 | 0.00400 | 355 | 79 | 334 | 24 |
| 7HZ-3 16 | 9.13 | 51.86 | 118.0 | 0.44 | 0.43336 | 0.07177 | 0.05755 | 0.00445 | 0.43336 | 0.07177 | 0.05755 | 0.00445 | 366 | 51 | 361 | 27 |
| 7HZ-3 17 | 6.69 | 48.49 | 99.72 | 0.49 | 0.45265 | 0.03624 | 0.05632 | 0.00230 | 0.45265 | 0.03624 | 0.05632 | 0.00230 | 379 | 25 | 353 | 14 |
| 7HZ-3 18 | 6.55 | 43.20 | 93.48 | 0.46 | 0.48814 | 0.05950 | 0.05661 | 0.00369 | 0.48814 | 0.05950 | 0.05661 | 0.00369 | 404 | 41 | 355 | 23 |
| 7HZ-3 19 | 5.04 | 40.69 | 73.46 | 0.55 | 0.43350 | 0.07440 | 0.05692 | 0.00473 | 0.43350 | 0.07440 | 0.05692 | 0.00473 | 366 | 53 | 357 | 29 |
| 7HZGNZK0-2-820　似斑状石英二长岩 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7HZ-820 01 | 8.68 | 79.03 | 125.0 | 0.63 | 0.68921 | 0.03120 | 0.05597 | 0.00120 | 0.50620 | 0.04292 | 0.05438 | 0.00124 | 341 | 8 | 332 | 6 |
| 7HZ-820 02 | 4.47 | 32.18 | 57.29 | 0.56 | 0.78428 | 0.08481 | 0.05684 | 0.00288 | 0.52845 | 0.10468 | 0.05462 | 0.00294 | 343 | 18 | 332 | 14 |
| 7HZ-820 03 | 4.53 | 32.79 | 69.97 | 0.47 | 0.41331 | 0.05377 | 0.05599 | 0.00226 | 0.41331 | 0.05377 | 0.05599 | 0.00226 | 351 | 14 | 421 | 38 |
| 7HZ-820 04 | 8.19 | 45.14 | 94.98 | 0.48 | 0.69654 | 0.06916 | 0.05667 | 0.00250 | 0.46671 | 0.08604 | 0.05468 | 0.00252 | 343 | 15 | 337 | 14 |
| 7HZ-820 05 | 5.87 | 51.35 | 83.72 | 0.61 | 0.69522 | 0.04822 | 0.05521 | 0.00174 | 0.47130 | 0.06416 | 0.05327 | 0.00179 | 335 | 11 | 327 | 8 |
| 7HZ-820 06 | 6.87 | 71.80 | 101.6 | 0.71 | 0.42029 | 0.03429 | 0.05580 | 0.00154 | 0.42029 | 0.03429 | 0.05580 | 0.00154 | 350 | 9 | 362 | 19 |
| 7HZ-820 07 | 12.44 | 104.9 | 185.6 | 0.57 | 0.46791 | 0.02493 | 0.05569 | 0.00119 | 0.46791 | 0.02493 | 0.05569 | 0.00119 | 349 | 7 | 401 | 16 |
| 7HZ-820 08 | 4.27 | 19.70 | 50.61 | 0.39 | 0.64730 | 0.11661 | 0.05531 | 0.00408 | 0.33388 | 0.05890 | 0.05259 | 0.00350 | 330 | 21 | 453 | 108 |
| 7HZ-820 09 | 10.52 | 57.28 | 164.6 | 0.35 | 0.44420 | 0.04624 | 0.05594 | 0.00210 | 0.44420 | 0.04624 | 0.05594 | 0.00210 | 351 | 13 | 375 | 32 |
| 7HZ-820 10 | 6.29 | 44.42 | 88.40 | 0.50 | 0.52797 | 0.05503 | 0.05450 | 0.00225 | 0.37743 | 0.05986 | 0.05319 | 0.00220 | 334 | 13 | 335 | 18 |
| 7HZ-820 11 | 7.67 | 49.23 | 97.13 | 0.51 | 0.81771 | 0.11881 | 0.05588 | 0.00388 | 0.44860 | 0.13063 | 0.05268 | 0.00382 | 331 | 23 | 325 | 32 |
| 7HZ-820 12 | 7.26 | 24.39 | 91.05 | 0.27 | 0.79916 | 0.07567 | 0.05569 | 0.00246 | 0.56984 | 0.08476 | 0.05370 | 0.00244 | 337 | 15 | 323 | 13 |
| 7HZ-820 13 | 7.91 | 68.31 | 107.3 | 0.64 | 0.70662 | 0.05260 | 0.05633 | 0.00189 | 0.49557 | 0.06697 | 0.05450 | 0.00193 | 342 | 12 | 334 | 9 |
| 7HZ-820 14 | 10.16 | 98.07 | 141.8 | 0.69 | 0.53041 | 0.04075 | 0.05626 | 0.00165 | 0.36663 | 0.04293 | 0.05484 | 0.00160 | 344 | 10 | 348 | 14 |
| 7HZ-820 15 | 6.55 | 28.69 | 81.40 | 0.35 | 0.55303 | 0.09567 | 0.05642 | 0.00355 | 0.55303 | 0.09567 | 0.05642 | 0.00355 | 354 | 22 | 492 | 73 |
| 7HZ-820 16 | 5.56 | 51.02 | 75.77 | 0.67 | 0.64706 | 0.04508 | 0.05588 | 0.00158 | 0.46395 | 0.05680 | 0.05429 | 0.00162 | 341 | 10 | 335 | 8 |

表 2　西准噶尔罕哲尕能 Cu-Au 矿床的岩石主量元素(wt%)、微量元素($\times10^{-6}$)和 Sr-Nd 同位素分析结果

Table 2　Major elements (wt %), trace elements ($\times10^{-6}$) and Sr-Nd isotopic compositions from Hanzheganeng Cu-Au deposit in West Junggar

| Sample | 7HZGNZK 0-2-820 | 7HZGN-2 | 7HZGNZK 11-1-241 | 7HZGNZK 11-1-890 | 7HZGN-14 | 7HZGN-3 | 7HZGN-6 | 7HZGN-7 | 7HZGW-2 | 7HZGN-8 | 7HZGN-5 | 7HZGN-17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 岩性 | 石英二长岩 | 花岗闪长岩 | | | | 二长花岗斑岩 | 闪长玢岩 | | | | 细晶闪长岩 | 闪长岩 |
| $SiO_2$ | 59.53 | 64.98 | 64.19 | 65.33 | 64.68 | 69.29 | 51.97 | 54.47 | 54.04 | 50.32 | 50.75 | 53.14 |
| $TiO_2$ | 0.59 | 0.52 | 0.52 | 0.51 | 0.52 | 0.41 | 1.02 | 0.93 | 0.93 | 0.99 | 0.99 | 1.03 |
| $Al_2O_3$ | 16.73 | 16.07 | 15.73 | 15.59 | 16.11 | 13.92 | 18.01 | 17.84 | 18.10 | 18.29 | 17.90 | 18.21 |
| $Fe_2O_3^T$ | 5.69 | 4.38 | 5.16 | 4.60 | 4.56 | 4.40 | 9.62 | 8.42 | 8.29 | 9.45 | 12.54 | 9.71 |
| MnO | 0.04 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.05 | 0.37 | 0.32 | 0.26 | 0.33 | 0.17 | 0.17 |
| MgO | 1.81 | 1.82 | 1.89 | 1.78 | 1.97 | 1.31 | 4.24 | 2.91 | 3.68 | 4.40 | 3.60 | 4.04 |
| CaO | 4.06 | 3.38 | 3.64 | 3.12 | 3.04 | 1.19 | 7.33 | 8.16 | 7.55 | 9.26 | 5.66 | 5.46 |
| $Na_2O$ | 3.24 | 4.04 | 3.55 | 3.90 | 3.99 | 4.04 | 3.41 | 3.43 | 3.19 | 3.04 | 2.83 | 4.09 |
| $K_2O$ | 3.33 | 3.51 | 3.44 | 3.52 | 3.67 | 4.17 | 1.97 | 2.07 | 1.82 | 1.41 | 2.04 | 1.77 |
| $P_2O_5$ | 0.26 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.16 | 0.13 | 0.33 | 0.43 | 0.30 | 0.30 | 0.39 | 0.38 |
| LOI | 4.30 | 1.46 | 1.26 | 1.28 | 1.40 | 0.64 | 2.02 | 1.06 | 1.94 | 1.58 | 3.00 | 3.16 |
| TOT | 99.58 | 100.40 | 99.61 | 99.86 | 100.19 | 99.53 | 100.27 | 100.06 | 100.09 | 99.36 | 99.87 | 101.16 |
| $FeO^T$ | 5.12 | 3.94 | 4.64 | 4.14 | 4.10 | 3.96 | 8.65 | 7.57 | 7.46 | 8.50 | 11.3 | 8.74 |
| FeO | 3.98 | 2.80 | 3.42 | 2.66 | 3.13 | 1.97 | 6.23 | 6.25 | 6.46 | 7.10 | 8.26 | 6.65 |
| $Fe_2O_3$ | 1.27 | 1.27 | 1.35 | 1.64 | 1.08 | 2.21 | 2.69 | 1.47 | 1.11 | 1.55 | 3.36 | 2.32 |
| Be | 1.60 | 1.40 | 1.39 | 1.53 | 1.75 | 1.82 | 1.14 | 1.22 | 1.30 | 1.01 | 1.06 | 1.33 |
| Sc | 9.50 | 10.6 | 11.3 | 10.6 | 12.2 | 8.93 | 20.7 | 15.8 | 21.4 | 21.7 | 16.4 | 25.2 |
| V | 109 | 85.0 | 89.3 | 83.1 | 99.2 | 62.3 | 211 | 193 | 188 | 218 | 171 | 201 |
| Cr | 143 | 212 | 157 | 168 | 163 | 128 | 59.7 | 32.7 | 364 | 80.7 | 69.8 | 99.9 |
| Co | 21.6 | 11.4 | 10.7 | 9.97 | 12.0 | 12.2 | 23.4 | 12.0 | 19.9 | 22.6 | 9.31 | 19.4 |
| Ni | 48.4 | 79.8 | 48.1 | 44.8 | 49.3 | 43.5 | 50.0 | 6.20 | 269 | 45.9 | 39.8 | 49.5 |
| Cu | 374 | 14.0 | 29.9 | 13.0 | 330 | 457 | 9.82 | 11.6 | 11.7 | 4.97 | 13.6 | 85.2 |
| Zn | 95.3 | 88.3 | 94.0 | 95.4 | 109 | 91.6 | 213 | 133 | 438 | 193 | 152 | 142 |
| Ga | 21.2 | 18.0 | 18.4 | 17.9 | 20.9 | 17.1 | 19.4 | 21.0 | 20.3 | 20.8 | 21.1 | 21.4 |
| Rb | 86.5 | 79.2 | 81.6 | 89.2 | 108 | 91.1 | 59.7 | 37.8 | 43.9 | 42.3 | 82.4 | 41.2 |
| Sr | 417 | 462 | 516 | 501 | 688 | 300 | 684 | 903 | 784 | 895 | 727 | 657 |
| Y | 14.0 | 17.0 | 20.9 | 20.3 | 21.2 | 22.4 | 18.8 | 19.7 | 23.6 | 17.5 | 24.0 | 25.3 |
| Zr | 157 | 191 | 219 | 198 | 188 | 185 | 93.6 | 124 | 165 | 89.2 | 110 | 119 |
| Nb | 7.49 | 7.87 | 8.42 | 8.80 | 9.96 | 11.8 | 8.69 | 11.5 | 8.29 | 8.30 | 5.14 | 8.99 |
| Cs | 2.25 | 2.10 | 4.14 | 3.52 | 2.58 | 2.78 | 4.36 | 3.22 | 2.94 | 2.82 | 7.81 | 1.49 |
| Ba | 466 | 563 | 488 | 591 | 726 | 380 | 296 | 708 | 312 | 192 | 199 | 328 |
| La | 23.67 | 13.02 | 18.02 | 20.58 | 20.60 | 36.91 | 18.92 | 23.78 | 17.04 | 17.28 | 15.19 | 16.43 |

续表 2

Continued Table 2

| Sample | 7HZGNZK 0-2-820 | 7HZGN-2 | 7HZGNZK 11-1-241 | 7HZGNZK 11-1-890 | 7HZGN-14 | 7HZGN-3 | 7HZGN-6 | 7HZGN-7 | 7HZGW-2 | 7HZGN-8 | 7HZGN-5 | 7HZGN-17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 岩性 | 石英二长岩 | 花岗闪长岩 | | | | 二长花岗斑岩 | 闪长玢岩 | | | | 细晶闪长岩 | 闪长岩 |
| Ce | 45.97 | 25.68 | 35.61 | 40.93 | 37.53 | 68.05 | 39.12 | 51.31 | 35.77 | 36.60 | 35.16 | 36.06 |
| Pr | 5.587 | 3.398 | 4.529 | 4.975 | 4.949 | 7.452 | 5.374 | 6.745 | 4.965 | 5.076 | 5.379 | 5.125 |
| Nd | 20.70 | 14.16 | 17.98 | 19.69 | 19.13 | 25.50 | 21.73 | 27.13 | 20.92 | 20.59 | 23.02 | 22.18 |
| Sm | 3.904 | 3.129 | 3.682 | 4.018 | 3.961 | 4.360 | 4.670 | 5.381 | 4.722 | 4.595 | 5.618 | 5.110 |
| Eu | 1.033 | 0.924 | 0.906 | 0.912 | 1.063 | 0.708 | 1.393 | 1.688 | 1.395 | 1.458 | 1.789 | 1.371 |
| Gd | 3.307 | 2.795 | 3.463 | 3.636 | 3.591 | 3.729 | 3.940 | 4.701 | 4.484 | 3.847 | 4.758 | 4.644 |
| Tb | 0.473 | 0.465 | 0.567 | 0.577 | 0.591 | 0.599 | 0.582 | 0.677 | 0.733 | 0.582 | 0.767 | 0.771 |
| Dy | 2.758 | 2.983 | 3.560 | 3.507 | 3.622 | 3.736 | 3.290 | 3.885 | 4.486 | 3.347 | 4.747 | 4.751 |
| Ho | 0.542 | 0.625 | 0.752 | 0.740 | 0.783 | 0.785 | 0.646 | 0.764 | 0.933 | 0.653 | 0.968 | 1.014 |
| Er | 1.558 | 1.768 | 2.184 | 2.110 | 2.219 | 2.350 | 1.708 | 2.070 | 2.598 | 1.757 | 2.597 | 2.818 |
| Tm | 0.231 | 0.270 | 0.339 | 0.324 | 0.349 | 0.371 | 0.247 | 0.306 | 0.393 | 0.252 | 0.377 | 0.427 |
| Yb | 1.516 | 1.839 | 2.187 | 2.168 | 2.230 | 2.654 | 1.512 | 1.969 | 2.560 | 1.540 | 2.399 | 2.693 |
| Lu | 0.231 | 0.290 | 0.336 | 0.344 | 0.357 | 0.453 | 0.226 | 0.302 | 0.389 | 0.234 | 0.358 | 0.412 |
| Hf | 4.76 | 5.49 | 6.22 | 5.77 | 5.44 | 6.29 | 2.59 | 3.47 | 4.54 | 2.67 | 3.09 | 3.52 |
| Ta | 0.68 | 0.63 | 0.67 | 0.79 | 0.82 | 1.47 | 0.46 | 0.72 | 0.59 | 0.48 | 0.33 | 0.60 |
| Tl | 0.272 | 0.286 | 0.310 | 0.325 | 0.400 | 0.310 | 0.176 | 0.144 | 0.170 | 0.162 | 0.433 | 0.220 |
| Pb | 7.53 | 6.35 | 6.59 | 6.14 | 7.36 | 11.3 | 14.0 | 15.6 | 2.58 | 6.39 | 5.53 | 7.95 |
| Bi | 0.59 | 0.09 | 0.06 | 0.05 | 0.08 | 0.14 | 0.05 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.10 |
| Th | 6.45 | 5.85 | 5.32 | 6.79 | 8.03 | 15.4 | 2.49 | 3.75 | 4.07 | 2.32 | 1.43 | 3.86 |
| U | 2.68 | 1.22 | 2.50 | 2.53 | 1.46 | 3.03 | 0.707 | 0.991 | 1.09 | 0.612 | 0.496 | 0.927 |
| $(^{87}Rb/^{86}Sr)_m$ | 0.5869 | 0.5086 | | 0.5165 | | 0.8736 | | | | | 0.3319 | |
| $(^{87}Sr/^{86}Sr)_m$ | 0.706179 | 0.706038 | | 0.706139 | | 0.707785 | | | | | 0.705360 | |
| $t$(Ma) | 340 | 340 | | 340 | | 340 | | | | | 340 | |
| $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ | 0.7033 | 0.7035 | | 0.7036 | | 0.7035 | | | | | 0.7037 | |
| $(^{147}Sm/^{144}Nd)_m$ | 0.1100 | 0.1358 | | 0.1258 | | 0.0973 | | | | | 0.1423 | |
| $(^{143}Nd/^{144}Nd)_m$ | 0.512827 | 0.512867 | | 0.512835 | | 0.512758 | | | | | 0.512900 | |
| $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ | 0.512579 | 0.512561 | | 0.512551 | | 0.512538 | | | | | 0.512579 | |
| $\varepsilon_{Nd}(t)$ | 7.5 | 7.2 | | 7.0 | | 6.7 | | | | | 7.5 | |
| $t_{2DM}$ | 477 | 557 | | 549 | | 516 | | | | | 536 | |
| A/CNK | 1.02 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 1.00 | 1.04 | 0.86 | 0.79 | 0.86 | 0.78 | 1.04 | 0.98 |
| A/NK | 1.87 | 1.54 | 1.64 | 1.52 | 1.53 | 1.25 | 2.33 | 2.26 | 2.51 | 2.81 | 2.61 | 2.11 |
| $Eu^*$ | 0.88 | 0.96 | 0.78 | 0.73 | 0.86 | 0.54 | 0.99 | 1.03 | 0.93 | 1.06 | 1.06 | 0.86 |
| $(La/Yb)_N$ | 11.2 | 5.1 | 5.9 | 6.8 | 6.6 | 10.0 | 9.0 | 8.7 | 4.8 | 8.0 | 4.5 | 4.4 |
| ΣREE | 111 | 71 | 94 | 105 | 101 | 158 | 103 | 131 | 101 | 98 | 103 | 104 |
| Ba/Sr | 1.12 | 1.22 | 0.95 | 1.18 | 1.05 | 1.27 | 0.43 | 0.78 | 0.40 | 0.21 | 0.27 | 0.50 |

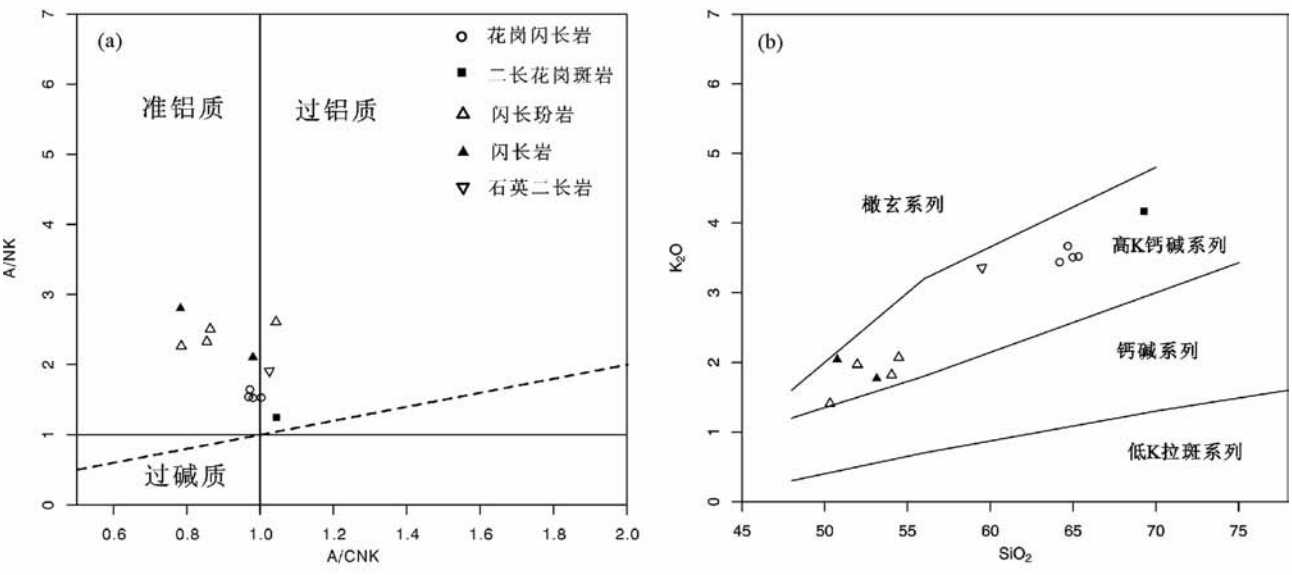



图 5 西准罕哲尕能 Cu-Au 矿床的 A/NK-A/CNK(a)和 $K_2O$-$SiO_2$(b)图解

Fig. 5 A/NK-A/CNK (a) and $K_2O$-$SiO_2$(b) diagrams for the rocks from Hanzhegeneng Cu-Au deposit

3.2.2 微量元素

罕哲尕能矿区岩石的稀土元素总含量 ΣREE 为 $71\times10^{-6}\sim158\times10^{-6}$,二长花岗斑岩的 ΣREE 最高(图 7、表 2),而花岗闪长岩、石英二长岩、闪长玢岩和闪长岩基本一样。所有岩石类型稀土元素球粒陨石标准化配分曲线均为轻稀土富集型(图 7)。花岗闪长岩$(La/Yb)_N$ 为 5.1 ~ 6.8,$Eu^*$ 为 0.73 ~ 0.96;石英二长岩$(La/Yb)_N$ 为 11.2,$Eu^*$ 为 0.88;二长花岗斑岩$(La/Yb)_N$ 为 10,$Eu^*$ 为 0.54;闪长玢岩$(La/Yb)_N$ 为 4.8 ~ 9,$Eu^*$ 为 0.93 ~ 1.06;闪长岩$(La/Yb)_N$ 为 4.4 ~ 4.5,$Eu^*$ 为 0.86 ~ 1.06(表 2)。总体看来,二长花岗斑岩轻重稀土分异最强,具有明显的负 Eu 异常;闪长岩和闪长玢岩分异最弱,Eu 异常不明显(图 7)。

所有样品的原始地幔标准化微量元素配分曲线图(图 8)基本相似,总体上富集大离子亲石元素(LILE:如 Rb、Ba、K、Sr)和活泼的不相容元素(如:U、Th),相对亏损高场强元素(HFSE:如 Nb、Ta、Ti)。二长花岗斑岩具有明显的 Sr、Ba 负异常,主要受斜长石结晶分异控制。

3.2.3 Sr-Nd 同位素特征

罕哲尕能铜-金矿区岩石 Sr-Nd 同位素见表 2,$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 比值在 0.7033 ~ 0.7037 之间,$^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值在 0.512538 ~ 0.512579 之间,$\varepsilon_{Nd}$ 在 +6.7 ~ +7.5 之间,在 $^{87}Sr/^{86}Sr$-$\varepsilon_{Nd}$ 四象限图中(图 9),处于第二象限,且 Sr-Nd 同位素比值一致,暗示可能为同源岩浆的演化。

## 4 讨论

### 4.1 西准萨吾尔地区早石炭世成矿事件

罕哲尕能 Cu-Au 矿床的似斑状石英二长岩(7HZGNZK0-2-820)锆石 U-Pb 年龄为 345.3 ± 8.3Ma ~ 343.6 ± 5.7Ma;二长花岗斑岩(7HZGN-3)锆石 U-Pb 年龄为 334.9 ± 7.3 ~ 336.4 ± 7.5Ma(表 1、图 4),表明其形成于早石炭世且二长花岗斑岩形成年龄晚于石英二长岩。距罕哲尕能 Cu-Au 矿区北西西 10km 的阔尔真阔腊金矿床和布尔克斯岱金矿床,前人测得前者与成矿密切相关的石英中流体包裹体 $^{40}Ar$-$^{39}Ar$ 年龄为 332.05 ± 2.02Ma ~ 332.59 ± 0.51Ma,后者成矿年龄为 335.53 ± 0.32Ma ~ 336.78 ± 0.50Ma(Shen *et al.*, 2005);森塔斯二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 328.2 ± 5.7Ma,沃肯萨拉岩体中二长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 323.8 ± 6.2Ma(袁峰等, 2006; Zhou *et al.*, 2008);塔斯特 Cu-Au 矿区花岗岩体锆石 LA-ICP-MS 的 337.0 ± 4Ma(范裕等, 2007),显示在西准早世炭世存在一期重要的岩浆-热液 Cu-Au 成矿事件。

### 4.2 岩浆源区

罕哲尕能矿区花岗闪长岩、石英二长岩、闪长玢岩、闪长岩和二长花岗斑岩的主量元素 $P_2O_5$、$Al_2O_3$、$TiO_2$、MgO、CaO 和 FeOt 与 $SiO_2$ 呈负相关(图 6),而 $K_2O$、$Na_2O$ 与 $SiO_2$ 基本呈正相关,具有一致的演化趋势,表明它们可能来源于同一岩浆演化的产物。另外,具有富集大离子亲石元素(LILE:如 Rb、Ba、K、Sr)和活泼的不相容元素(如:U、Th),相对亏损高场强元素(HFSE:如 Nb、Ta、Ti)特征(图 8),显示具有岛弧岩浆的特征。二长花岗斑岩具有明显的 Sr、Ba、Eu 负异常,具有富钾钙碱性花岗岩的特征,与天山中段天格尔地区的花岗岩相似(王居里等,2009)。从闪长岩-闪长玢岩-石英二长岩-花岗闪长岩-二长花岗斑岩的 $Eu^*$ 负异常逐渐变强;且随着 Sr 含量降低,Ba/Sr 比值升高(图 10),这些特征都暗示岩浆演化过程中可能存在斜长石的结晶分异,显示这套岩石系列

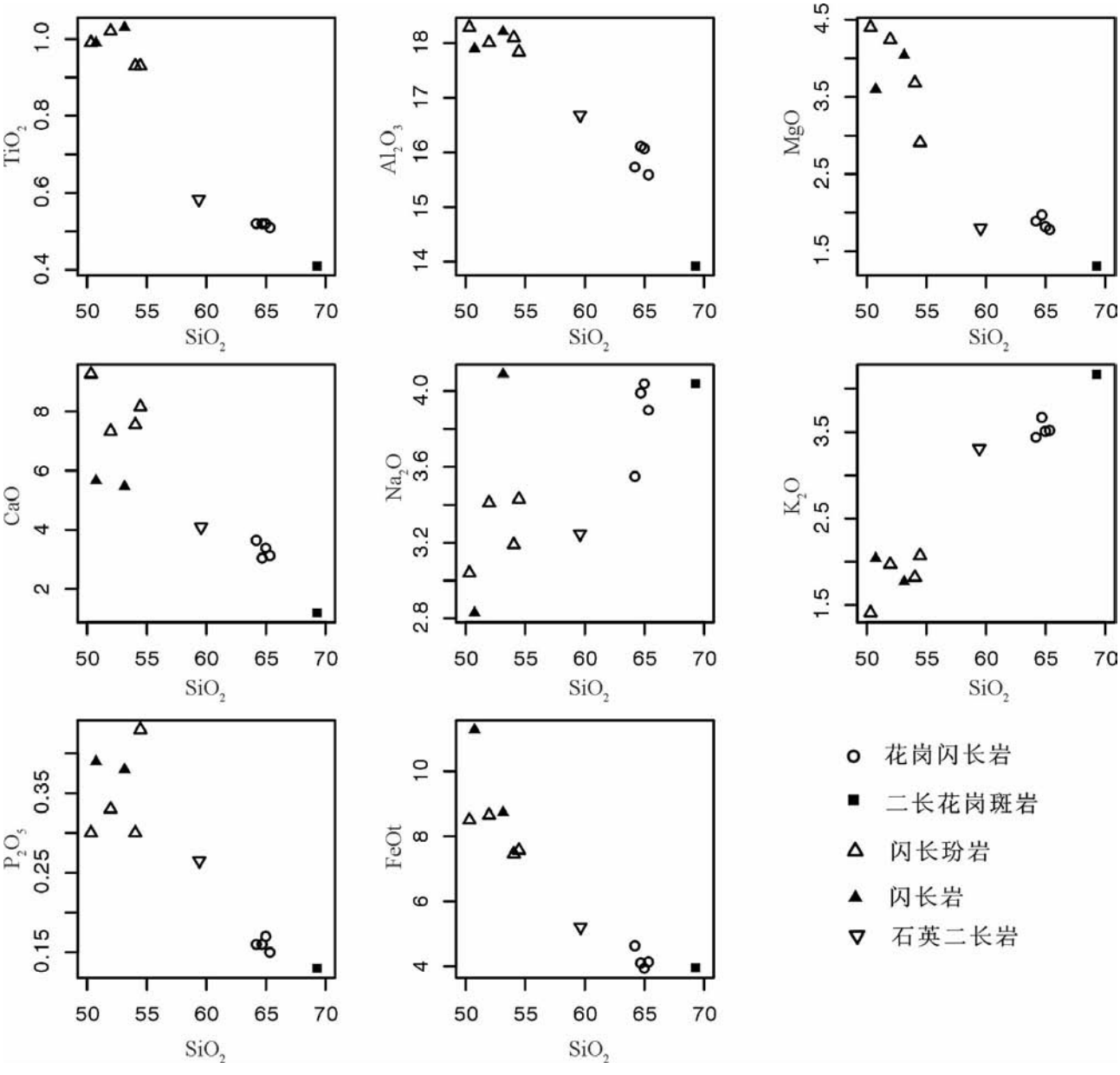



图 6 西准噶尔罕哲尕能 Cu-Au 矿床的主量元素氧化物与 $SiO_2$ 相关图

Fig. 6 Harker diagrams for the rocks from Hanzhegeneng Cu-Au deposit

属于同源岩浆的演化。

岩石 $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ 比值在 0.7033 ~ 0.7037 之间,$^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值在 0.512538 ~ 0.512579 之间,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 在 +6.7 ~ +7.5 之间(图 9、表 2),且它们同位素比值一致,显示它们为同源岩浆演化的产物,且源区具有亏损地幔的特征。但研究表明,除了蛇绿岩中的斜长花岗岩和少数与大面积基性-超基性岩石相伴生的花岗岩类岩石,他们可能来源于亏损地幔基性岩浆的结晶分异;而大部分花岗岩石都来源于地壳的熔融(吴福元等, 2007)。而且罕哲尕能矿区岩石具有年轻的 Nd 两阶段模式年龄为 488Ma ~ 553Ma,这些特征表明罕哲尕能矿区岩石的岩浆源区可能来源于亏损地幔分异的新生玄武质下地壳(Jahn, 2004; 吴福元等, 2007; Zhao and Zhou, 2009)。

### 4.3 构造背景制约

罕哲尕能 Cu-Au 矿床位于西准萨吾尔成矿带,该带西延进入哈萨克斯坦境内斋桑湖南部萨吾尔石炭纪岛弧斑岩成矿带(李光明等,2008),代表矿床如 Kyzylkain 斑岩铜矿等。萨吾尔地区 330Ma 左右斑岩及相关的热液金矿床的成矿构造背景是晚期岛弧(Xiao *et al.*, 2008; Geng *et al.*, 2009)还

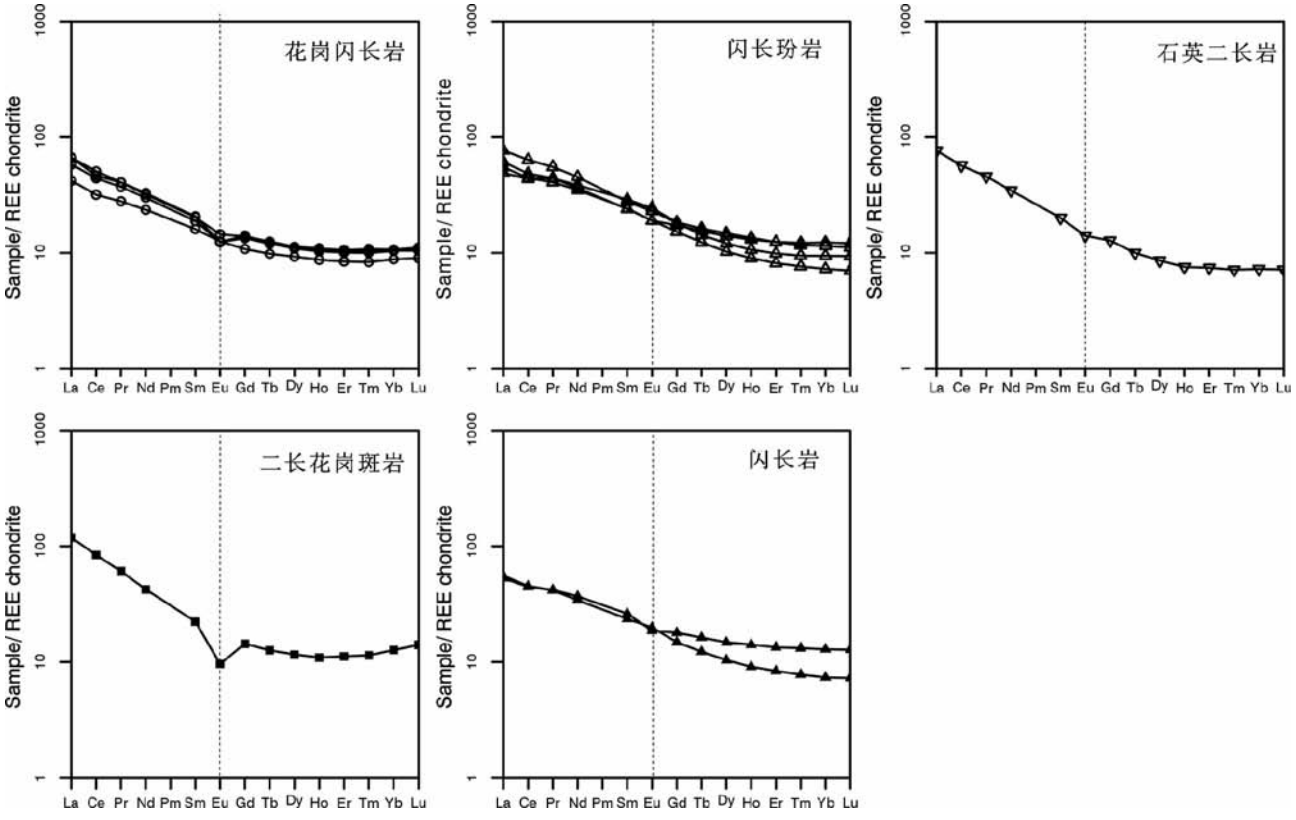



图 7 西准罕哲尕能 Cu-Au 矿床的稀土元素球粒陨石标准化配分图(球粒陨石标准值引自 Boynton,1984)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of trace elements for the rocks from Hanzhegeneng Cu-Au deposit in West Junggar (chondrite values after Boynton,1984)

是后碰撞(王京彬和徐新, 2006; Zhou *et al.*, 2008)? 目前存在着争议。

王京彬和徐新(2006)将新疆北部地区后碰撞阶段的主体时限厘定为石炭纪-二叠纪,同时认为后碰撞阶段的伸展期和挤压-伸展转变期是新疆北部地区大规模成矿的高峰期。而韩宝福等(2006)认为新疆北部地区后碰撞岩浆活动的时限为 330 ~ 250Ma。另外,研究表明新疆阿勒泰地区萨吾尔地区恰其海岩体(锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 290.7 ± 9.3Ma)、阔依塔斯岩体(297.9 ± 4.6Ma)的岩石学和地球化学特征具有 A 型花岗岩的特征,形成于早二叠世初,侵位于板块碰撞后或造山后期(后碰撞阶段)的张性构造环境中,认为西准噶尔萨吾尔地区在早二叠世初处于后碰撞阶段的伸展期(周涛发等, 2006; Zhou *et al.*, 2008)。与罕哲尕能 Cu-Au 矿床处于同一个构造带时代上一致的阔尔真阔腊金矿属于高硫型浅成低温热液型金矿(Shen *et al.*, 2005)。这类矿床一般形成于岛弧构造背景中(Cooke and Simmons, 2000; Hedenquist *et al.*, 2000; Simmons *et al.*, 2005; Taylor, 2007)。另外,罕哲尕能矿床的岩石地球化学构造图解表明其可能形成于岛弧的构造背景(图 11)。其次,该矿床的形成时代(330 ~ 340Ma)与该区域 A 型花岗岩的形成时代(290 ~ 300Ma 左右)相差较大,这些证据表明罕哲尕能 Cu-Au 矿床可能形成于石炭纪的岛弧构造背景(Qin *et al.*, 2005; Xiao *et al.*, 2008; Geng *et al.*, 2009)。

## 5 结论

(1)罕哲尕能 Cu-Au 矿床的似斑状石英二长岩(7HZGNZK0-2-820)锆石 U-Pb 年龄为 343.6 ± 5.7Ma ~ 345.3 ± 8.3Ma,二长花岗斑岩(7HZGN-3)锆石 U-Pb 年龄为 334.9 ± 7.3Ma ~ 336.4 ± 7.5Ma,表明二者均形成于早石炭纪且二长花岗斑岩形成年龄晚于花岗闪长岩。结合区域上阔尔真阔腊金矿床、布尔克斯岱金矿床、塔斯特 Cu-Au 等矿床的成矿年代学结果,显示在西准萨吾尔地区早石炭世存在一期重要的岩浆-热液 Cu-Au 成矿事件。

(2)罕哲尕能矿区花岗闪长岩、石英二长岩、闪长玢岩、闪长岩和二长花岗斑岩的主量元素具有一致的演化趋势,表明它们可能来源于同一岩浆的演化的产物。另外,具有富集大离子亲石元素(LILE:如 Rb、Ba、K、Sr)和活泼的高场强元素(如:U、Th),相对亏损高场强元素(HFSE:如 Nb、Ta、Ti)特征,显示具有地壳的地球化学特征;岩石 $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ 比值在 0.7033 ~ 0.7037 之间,$^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值在

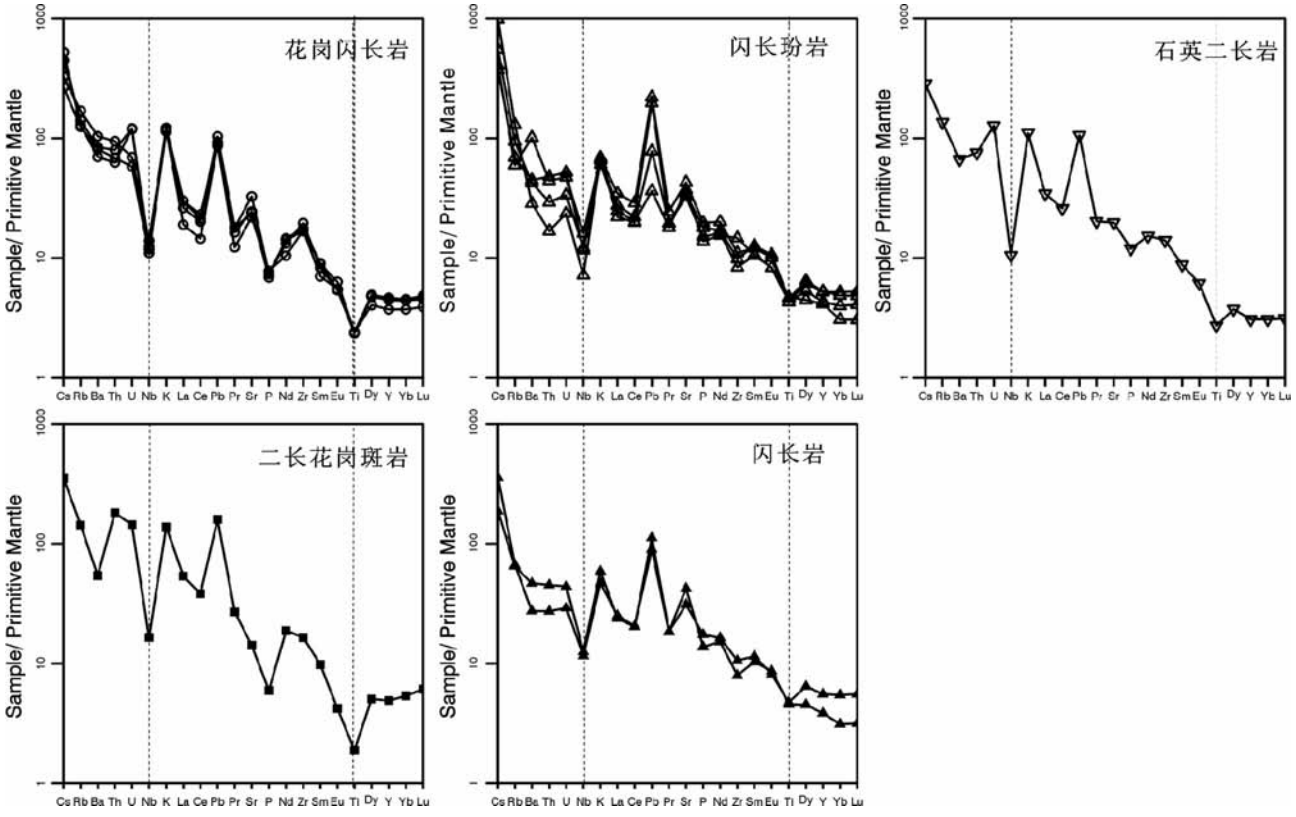



图 8 西准噶尔罕哲尕能 Cu-Au 矿床的不相容元素原始地幔标准化蛛网图(原始地幔标准值引 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 8 Primitive-mantle normalized spider diagrams of trace elements for the rocks from Hanzhegeneng Cu-Au deposit in West Junggar (PM values after Sun and McDonough, 1989)

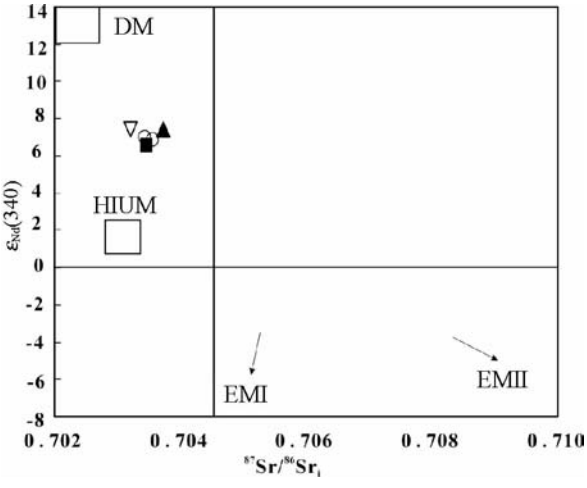



图 9 西准罕哲尕能 Cu-Au 矿床的岩石 $^{87}Sr/^{86}Sr$-$\varepsilon_{Nd}$ 图解

Fig. 9 $^{87}Sr/^{86}Sr$-$\varepsilon_{Nd}$ diagrams for Hanzhegeneng Cu-Au deposit

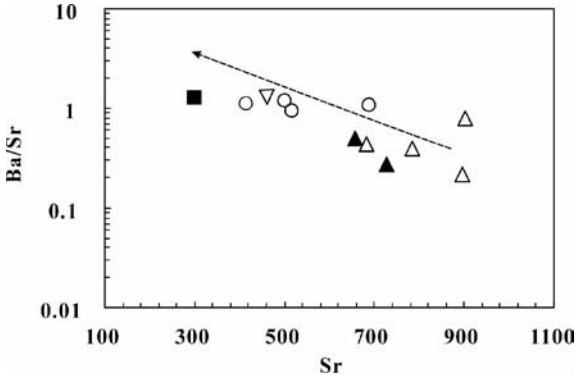



图 10 罕哲尕能 Cu-Au 矿区岩石的 Ba/Sr-Sr 图解

Fig. 10 Ba/Sr-Sr diagram of rocks from Hanzhegeneng Cu-Au ore district

0.512538 ~ 0.512579 之间,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 在 +6.7 ~ +7.5 之间,显示源区具有亏损地幔的特征;而且具有年轻的 Nd 两阶段模式年龄为 488 ~ 553Ma,这些特征表明罕哲尕能矿区岩石的岩浆源区可能来源于亏损地幔分异的初生玄武质的下地壳。

(3) 罕哲尕能 Cu-Au 矿床的形成时代与该区域 A 型花岗岩的形成时代(290 ~ 300Ma)相差较大,后者形成于挤压向伸展过渡阶段的后碰撞的构造背景,而罕哲尕能矿床则形

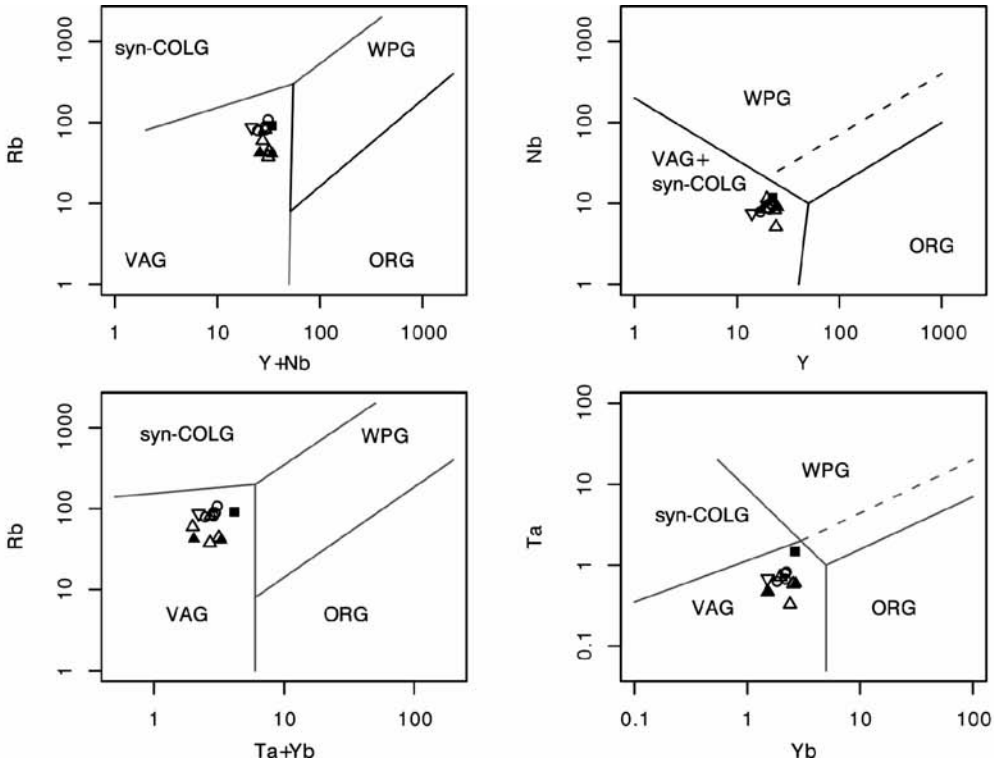



图 11 罕哲尕能 Cu-Au 矿区岩石的构造图解(据 Pearce, 1996)

Fig. 11 Tectonic diagram of the rocks from Hanzhegeneng Cu-Au ore district (after Pearce, 1996)

成于晚期岛弧构造背景。

**致谢** 参加野外工作的还有新疆有色地勘局 706 队张忠利,中国科学院地质与地球物理研究所孙赫博士等;在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年、主量元素、微量元素、Sr-Nd 同位素地球化学试验过程中得到中国科学院地质与地球物理研究所谢烈文、杨岳衡、靳新娣、李禾、王红月等老师的悉心指导和帮助;承蒙李光明副研究员和匿名审稿人悉心审稿,提出宝贵修改意见;在此表示衷心的感谢!

## References

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report $^{204}$Pb. Chem Geol, 192: 59 – 79

Boynton WV. 1984. Cosmochemistry of the earth elements: Meteorite studies. In: Henderson R (eds.). Rare Earth element geochemistry. Developments in Geochemistry 2. Amsterdam: Elsevier, 89 – 92

Chen FK, Siebel W, Satir M, Terzioglu N and Saka K. 2002. Geochoronology of the Karedere basement (NW Turkey) and implication for the geological evolution of the Istanbul zone. International Journal of Earth Sciences, 91: 469 – 481

Cheng Y and Zhang R. 2006. Mineralization regularity of Cu-Au deposits in the Baogutu area, western Jungar, Xinjiang. Geology and Prospecting, 42 (4): 11 – 15 (in Chinese with English abstract)

Cooke DR, Simmons SF. 2000. Characteristics and genesis of epithermal gold deposits. In: Hagemann SG and Brown PE (eds.). Gold in 2000. Society of Economic Geologists Reviews in Economic Geology, 13:241 – 244

Dong LH, Xu XW, Qu X and Li GM. 2009. Tectonic setting and formation mechanism of the circum-Junggar porphyritic copper deposit belts. Acta Petrologica Sinica, 25 (4): 713 – 737 (in Chinese with English abstract)

Fan Y, Zhou TF, Yuan F, Tan LG, Cooke D, Mefre S, Yang WP and He LX. 2007. LA-ICPMS zircon age of Tasite pluton in Sawuer region of West Junggar, Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1901 – 1908 (in Chinese with English abstract)

Fernando C, John MH, Paul WOH and Peter K. 2003. Atlas of zircon textures. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53: 469 – 500

Geng HY, Sun M, Yuan C, Xiao, WJ, Xian WS, Zhao GC, Zhang LF, Kenny W and Wu FY. 2009. Geochemical, Sr-Nd and zircon U-Pb-Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the West Junggar, Xinjiang: Implications for ridge subduction? Chemical Geology, doi:10. 1016/j. chemgeo. 2009. 07. 001

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)

Hedenquist JW, Arribas MA and Gonzalez UE. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. In: Hagemann SG and Brown PE (eds.). Gold in 2000. Reviews in Economic Geology, 13:245 – 277

Jahn BM. 2004. The Central Asian Orogenic Belt and growth of the continental crust in the Phanerozoic. Geological Society, London, Special Publication, 226:73 – 100

Li GM, Qin KZ and Li JX. 2008. Geological features and tectonic setting of porphyry copper deposits rounding the Balkhash region, Central Kazakhstan, Central Asia. Acta Petrologica Sinica, 24(12): 2679 – 2700 (in Chinese with English abstract)

Ludwig KR. 2003. ISOPLOT 3.0: A geochronological toolkit for microsoft excel, Berkeley Geochronology Center. Special publication, No. 4

Pearce JA. 1996. Sources and settings of granitic rocks. Episodes, 19: 120 – 125

Qin KZ, Sun S, Li JL, Fang TH, Wang SL and Liu W. 2002. Paleozoic epithermal Au and porphyry Cu deposits in North Xinjiang, China: Epochs, features, tectonic linkage and exploration significance. Resource Geology, 52(4): 291 – 300

Qin KZ, Xiao WJ, Zhang LC, Xu XW, Hao J, Sun S and Li JL. 2005. Eight stages of major ore deposits in northern Xinjiang, NW – China: Clues and constraints on the tectonic evolution and continental growth of Central Asia. In: Mao JW and Bierlein F (eds.). Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Springer, Vol. 2: 1327 – 1330

Qu X, Xu XW, Liang GL, Qu WJ, Du SJ, Jiang N, Wu HP, Zhang Y, Xiao H and Dong LH. 2009. Geological and geochemical characteristics of the Mengxi Cu-Mo deposit and it's constrain to tectonic setting of the Qiongheba magmatic arc in eastern Junggar, Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 25(4): 765 – 776 (in Chinese with English abstract)

Samuel AB and Mark DS. 2003. High-Precision U-Pb zircon geochronology and the stratigraphic record. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53: 305 – 326

Shen P, Shen YC, Zeng QD, Liu TB and Li GM. 2005. $^{40}Ar$-$^{39}Ar$ age and geological significance of the Sawur gold belt in northern Xinjiang, China. Acta Geologica Sinica, 79: 276 – 285

Shen P, Shen YC, Liu TB *et al*. 2007. Genesis of volcanic-hosted gold deposits in the Sawur gold belt, northern Xinjiang, China: Evidence from REE, stable isotopes, and noble gas isotopes. Ore Geology Review, 32: 207 – 226

Shen P, Shen YC, Liu TB, Meng L, Dai HW and Yang YH. 2009. Geochemical signature of porphyries in the Baogutu porphyry copper belt, western Junggar, NW China. Gondwana Research, 16(2): 227 – 242

Simmons SF, White NC and John D. 2005. Epithermal precious and base metal deposits. In: Hedenquist JW, Thompson JFH, Goldfarb RJ and Richards JP (eds.). One Hundredth Anniversary Volume. Economic Geology, 485 – 522

Song B, Zhang YH and Liu DY. 2002. Introdution 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)

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 Basin. Geological Society of London Special Publication, 42: 313 – 345

Taylor BE. 2007. Epithermal gold deposits. In: Goodfellow WD (ed.). Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No, 5:113 – 139

Wang JB and Xu X. 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in northern Xinjiang, China. Acta Geologica Sinica 80 (1): 23 – 31 (in Chinese with English abstract)

Wang JL, Wang SJ and Liu XM. 2009. Geochemistry, geochronology and geological significance of alkali-feldspar granite from Tianger area, Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 25(4): 925 – 933 (in Chinese with English abstract)

Wang LJ, Wang JB, Wang YW, Long LL, Wang SL and Pu KX. 2009. Geology and ore-forming fluids of Xilekuduke porphyry Cu-Mo deposit in northern Junggar. Acta Petrologica Sinica, 25(4): 944 – 954(in Chinese with English abstract)

Wu FY, Yang YH, Xie LW, Yang JH and Xu P. 2006. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology. Chem. Geol., 234: 105 – 126

Wu FY, Li XH, Yang JH and Zheng YF. 2007. Discussions on the petrogenesis of granites. Acta Petrologica Sinica, 23(6): 1217 – 1238 (in Chinese with English abstract)

Xiao WJ, Han CM, Yuan C, Sun M, Lin SF, Chen HL, Li ZL, Li JL and Sun S. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of North Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of Central Asia. Journal of Asian Earth Sciences, 32:102 – 117

Yang WP, Zhang ZC, Zhou G *et al*. 2005. Discovery of the Xileketehalasu porphyry copper deposit on the southern margin of the Altai copper metallogenic belt. Geology in China, 32(1): 107 – 114 (in Chinese with English abstract)

Yin YQ, Li JX and Chen DJ. 2009. Gold Geology of the Northern Margin of Junggar Basin, Xinjiang. Beijing: Chemical Industry Press, 1 – 356(in Chinese)

Yuan F, Zhou TF, Tan LG, Fan Y, Yang W P, He LX and Yue SC. 2006. Isotopic ages of the I-type granites in West Junggar Sawuer region. Acta Petrologica Sinica, 22(5):1238 – 1248 (in Chinese with English abstract)

Yuan HL, Gao S, Liu XM, Li HM, Gunther D and Wu FY. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Geostand. Newslett., 28: 353 – 370

Zhang R, Zhang YX, Tong GS, Wang J and Li LQ. 2006. Major breakthrough in copper exploration in the Baogutu porphyry copper deposit, western Junggar, Xinjiang, and its significance. Geology in China, 33(6): 1354 – 1360(in Chinese with English abstract)

Zhang ZC, Yan SH, Chen BL, Zhou G, He YK, Chai FM, He LX and Wan YS. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating for subduction-related granitic rocks in the northern part of East Junggar, Xinjiang. Chinese Science Bulletin, 51(8): 952 – 962

Zhang ZH, Wang ZL, Chen WS, Zuo GC and Liu M. 2009. Mineralization and fluid geochemistry of Dabate porphyry copper deposit, western Tianshan in Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 25(6): 1310 – 1318(in Chinese with English abstract)

Zhao JH and Zhou MF. 2009. Melting of newly formed mafic crust for the formation of Neoproterozoic I-type granite in the Hannan region, South China. Journal of Geology, 117: 54 – 70

Zhou TF, Yuan F, Tan LG, Fan Y and Yue SC. 2006. Geodynamic significance of the A-type granites in the Sawuer region in West Junggar, Xinjiang: Rock geochemistry and SHRIMP zircon age evidence. Science in China (Series D), 49(2):113 – 123

Zhou TF, Yuan F, Fan Y, Zhang DY, Cooke D and Zhao GC. 2008. Granites in the Sawuer region of the West Junggar, Xinjiang Province, China: Geochronological and geochemical characteristics and their geodynamic significance. Lithos, 106: 191 – 206

## 附中文参考文献

成勇, 张锐. 2006. 新疆西准包古图地区铜金矿成矿规律浅析. 地质与勘探, 42(4):11 – 15

董连慧, 徐兴旺, 屈迅, 李光明. 2009. 初论环准噶尔斑岩铜矿带的地质构造背景与形成机制. 岩石学报, 25(4): 713 – 737

范裕, 周涛发, 袁峰, 谭绿贵, Cooke D, Meffre S, 杨文平, 何立新. 2007. 新疆西准噶尔地区塔斯特岩体锆石 LA-ICPMS 年龄及其意义. 岩石学报, 23(8):1901 – 1908

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)——后碰撞生成岩浆活动的时限. 岩石学报, 22(5): 1077 – 1086

李光明,秦克章,李金祥. 2008. 哈萨克斯坦环巴尔喀什斑岩铜矿地质与成矿背景研究. 岩石学报, 24(12):2679 – 2700

屈迅, 徐兴旺, 梁广林, 屈文俊, 杜世俊, 姜能, 吴惠平, 张永, 肖鸿, 董连慧. 2009. 蒙西斑岩型铜钼矿地质地球化学特征及其对东准噶尔琼河坝岩浆岛弧构造属性的制约. 岩石学报, 25(4): 765 – 776

宋彪, 张玉海, 刘敦一. 2002. 微区原位分析仪器 SHRIMP 的产生与

锆石同位素地质年代学. 质谱学报, 23(1):58 – 62

王京彬, 徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化和成矿. 地质学报, 80(1):23 – 31

王居里, 王守敬, 柳小明. 2009. 新疆天格尔地区碱长花岗岩的地球化学、年代学及其地质意义. 岩石学报, 25(4): 925 – 933

王莉娟, 王京彬, 王玉往, 龙灵利, 王书来, 蒲克信. 2009. 准噶尔北部希勒库都克斑岩钼铜矿床地质与成矿流体. 岩石学报, 25(4): 944 – 954

吴福元, 李献华, 杨进辉, 郑永飞. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题. 岩石学报, 23(6): 1217 – 1238

杨文平, 张招崇, 周刚等. 2005. 阿尔泰铜矿带南缘希勒克特哈腊苏斑岩铜矿的发现及其意义. 中国地质, 32( 1) : 107 – 114

尹意求, 李嘉兴, 陈大经. 2009. 新疆准噶尔盆地北缘金矿地质. 北京:化学工业出版社,1 – 356

袁峰, 周涛发,谭绿贵, 范裕, 杨文平, 何立新, 岳书仓. 2006. 西准噶尔萨吾尔地区 I 型花岗岩同位素精确定年及其意义. 岩石学报, 22(5):1238 – 1248

张锐, 张云孝, 佟更生, 汪疆, 李龙乾. 2006. 新疆西准包古图地区斑岩铜矿找矿的重大突破及意义. 中国地质,33(6): 1354 – 1360

张招崇, 闫升好, 陈柏林, 周刚, 贺永康, 柴凤梅, 何立新, 万渝生. 2006. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年. 科学通报, 51: 1565 – 1574

张作衡, 王志良, 陈伟十, 左国朝, 刘敏. 2009. 西天山达巴特斑岩型铜矿床流体地球化学特征和成矿作用. 岩石学报, 25(6): 1310 – 1318

周涛发, 袁峰, 谭绿贵, 范裕, 岳书仓. 2006. 西准噶尔萨吾尔地区 A 型花岗岩的地球动力学意义: 来自岩石地球化学和锆石 SHRIMP 定年的证据. 中国科学(D 辑), 36 (1): 39 – 48