文章编号:0258-7106 (2012) 02-0347-12

新疆准噶尔北缘乔夏哈拉铁铜金矿床成岩成矿时代*

张志欣[1,2],杨富全[1],李 超[3],刘 锋[1],耿新霞[1],
刘国仁[4],柴凤梅[5],欧阳刘进[5]

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点开放实验室,北京 100037;2 中国科学院新疆生态与地理研究所 新疆矿产资源研究中心,新疆 乌鲁木齐 830011;3 国家地质实验测试中心,北京 100037;4 新疆地质矿产勘查开发局第四地质大队,新疆 阿尔泰 836500;5 新疆大学地质勘查与工程学院,新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要 乔夏哈拉铁铜金矿位于新疆准噶尔北缘,矿体赋存于中泥盆统北塔山组第三岩性段凝灰质砂岩、粉砂岩、大理岩、凝灰岩、玄武岩及安山岩中。铁矿体呈似层状、扁豆状或透镜状,铜金矿体产于铁矿体内及铁矿体下盘的绿帘石蚀变岩中,空间上与矿区广泛出露的闪长玢岩密切相关。对矿区闪长玢岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及绿帘石磁铁矿矿石、黄铜矿磁铁矿矿石中辉钼矿 Re-Os 年龄进行了研究,闪长玢岩的$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为(377.6±1.4) Ma(MSDW=0.20),4 件样品的 Re-Os 同位素模式年龄为(377.7±5.9)~(383.1±5.4) Ma,加权平均值为(380.1±2.7) Ma(MSDW=0.66),等时线年龄为(377.4±4.3) Ma(MSDW=0.36),表明乔夏哈拉铁铜金矿成矿时代与闪长玢岩侵入时代一致,均为中泥盆世晚期,矿床的形成与闪长玢岩有成因关系。辉钼矿样品的 w(Re)为 383.1~1 928 μg/g,指示成矿物质主要来源于地幔,可能有地壳物质的加入。

关键词 地球化学;锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄;Re-Os 年龄;中泥盆世;乔夏哈拉;准噶尔北缘

中图分类号:P618.31;P618.41;P618.51 **文献标志码**:A

Rock-forming and ore-forming ages of Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit on northern margin of Junggar Basin, Xinjiang

ZHANG ZhiXin[1,2], YANG FuQuan[1], LI Chao[3], LIU Feng[1], GENG XinXia[1], LIU GuoRen[4], CHAI FengMei[5] and OUYANG LiuJin[5]

(1 MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Xinjiang Research Center for Mineral Resources, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 3 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China; 4 No.4 Geological Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Altay 836500, Xinjiang, China; 5 College of Geology and Prospecting Engineering Program, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China)

Abstract

The Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit is located in the northern margin of Junggar Basin, and the ore bodies are hosted in tuffaceous sandstone, aleurolite, marble, tuff, basalt and andesite, belonging to the 3rd lithologic section of the Beitashan Formation. Iron ore bodies occur in stratoid, phacoidal or lenticular forms, while copper-gold ore bodies are hosted in iron ore bodies and epidote alterated rocks. Ore bodies are closely related to the diorite porphyrite widely exposed in the study area. Precise zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of diorite porphyrite and Re-Os dating of molybdenite from the epidote-magnetite ore and chalcopyrite-magnetite ore were carried out

* 本文得到"十二五"国家科技支撑计划重点项目(编号:2011BAB06B03-02)、公益性行业科研专项经费项目(编号:201211073)和国家自然科学基金项目(编号:40672065)的联合资助

第一作者简介 张志欣,男,1984 年生,研究实习员,矿物学、岩石学、矿床学专业。Email:ddzhangzhixin@163.com

收稿日期 2011-05-14;改回日期 2012-02-20。秦思婷编辑。

in this study. The results show that the $^{206}Pb/^{238}U$ weighted average age of diorite porphyrite is (377.6±1.4) Ma (MSDW=0.20), the Re-Os model ages of four samples range from (377.7±5.9) Ma to (383.1±5.4) Ma, the weighted mean age is (380.1±2.7) Ma (MSDW=0.66), with a Re-Os isochron age of (377.4±4.3) Ma (MSDW=0.36). These data suggest that the mineralization age of the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit is similar to the intrusion age of diorite porphyrite, which took place at the end of the Middele Devonian, and that the mineralization was closely related to the intrusion of the diorite porphyrite. The rhenium content of molybdenite samples is in the range of (383.1~1 928) μg/g, which indicates that the metallogenic material was mainly derived from the mantle, probably mixed with crustal materials.

Key words: geochemistry, zircon LA-ICP-MS U-Pb age, Re-Os age, Middele Devonian, Qiaoxiahala, northern margin of Junggar Basin

阿尔泰及准噶尔北缘系指乌伦古河以北的广大阿尔泰地区,位于哈、中、俄巨型有色成矿带的中段,具有复杂的地质构造和强烈的岩浆活动,是寻找铜、金、多金属矿床的有利地段(王福同,1993)。目前,该带北侧发现了喀拉通克铜镍矿(大型)、哈腊苏铜矿(中型)、索尔库都克铜钼矿床(中型)、乔夏哈拉铁铜金矿(中型)、托斯巴斯套铁铜金矿(小型)、希勒库都克铜钼矿(中型)、科克库都克金矿(小型)、阿克塔斯金矿(小型)等一系列铜、金、多金属矿床。乔夏哈拉铁铜金矿与托斯巴斯套铁铜金矿均赋存于中泥盆统北塔山组海相火山岩系中,具有'上铁、下铜'的分带规律,铁、铜矿石普遍含金,金以伴生为主。其特殊的地质特征及成矿元素组合吸引了众多学者的关注,尽管对乔夏哈拉铁铜金矿地质特征、稀土元素、同位素和矿床成因进行过研究(李泰德,2002;闫升好等,2005;刘悟辉等,2006;应立娟等,2006;2008;2009;周涛等,2008),但对于成因还存在矽卡岩型、火山岩型、火山岩+矽卡岩型、IOCG型之争,对闪长(玢)岩与铁铜金成矿的关系也存在分歧,成矿时代的研究还很薄弱。本文对东矿区与铁、铜关系密切的闪长玢岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及西矿区绿帘石磁铁矿矿石、黄铜矿磁铁矿矿石中辉钼矿 Re-Os 年龄进行了研究,并探讨了成岩与成矿时代意义,为进一步研究乔夏哈拉铁铜金矿的成因和成矿过程提供了依据。

1 成矿地质背景

乔夏哈拉铁铜金矿位于新疆富蕴县城东南约 34 km 处,大地构造上处于阿尔泰造山带与准噶尔造山带接合部位的额尔齐斯断裂带南侧(图 1a),属萨吾尔晚古生代岛弧带(何国琦等,2004)。区域出露地层主要为上奥陶统加波萨尔组、下泥盆统托让格库都克组、中泥盆统北塔山组与蕴都喀拉组、上泥盆统卡希翁组、下石炭统南明水组、中石炭统巴塔玛依内山组,另见少量第三系及第四系。上奥陶统加波萨尔组为一套海滨-浅海相陆源碎屑岩、海底火山喷发岩-碳酸盐岩建造。托让格库都克组以陆源碎屑沉积岩为主,主要为一套中基性火山岩、火山碎屑岩夹火山碎屑沉积岩、碳酸盐岩。北塔山组为一套以基性-中基性火山熔岩、火山碎屑岩及火山碎屑沉积岩为主,夹碳酸盐岩。蕴都喀拉组为一套以安山质凝灰岩夹凝灰质粉砂岩为主的中基性火山碎屑岩。卡希翁组主要为凝灰岩、凝灰质砂岩、玄武岩、辉绿玢岩、粉砂岩及千枚岩等。南明水组为一套海陆交互相含碳碎屑岩。巴塔玛依内山组属海陆交互相陆源碎屑岩-中酸性与基性双峰式火山岩。

区内断裂构造发育,多呈北西向展布,北有额尔齐斯大断裂,南有阿尔曼泰断裂。此外,还发育北东东向和北北西向断裂,与北西向断裂互相交切,组成菱形格状断裂框架。褶皱构造为一系列北西向复式褶皱,主要为锡泊渡-富蕴复向斜、依铁克-耶森喀腊复背斜、萨尔布拉克-喀拉通克复向斜、加波萨尔复背斜和扎河坝-恰库尔特复向斜。区内侵入岩发育,形成时代主要为华力西期,主要岩性为闪长岩及石英闪长岩、石英斑岩及花岗岩、钾长花岗岩、二长花岗岩及镁铁-超镁铁质岩。

2 矿床地质特征

矿区主要出露中泥盆统北塔山组、蕴都喀拉组及下石炭统南明水组,矿体产于北塔山组(图 1b)。北塔山组可分为3个岩性段,第一岩性段以基性-中

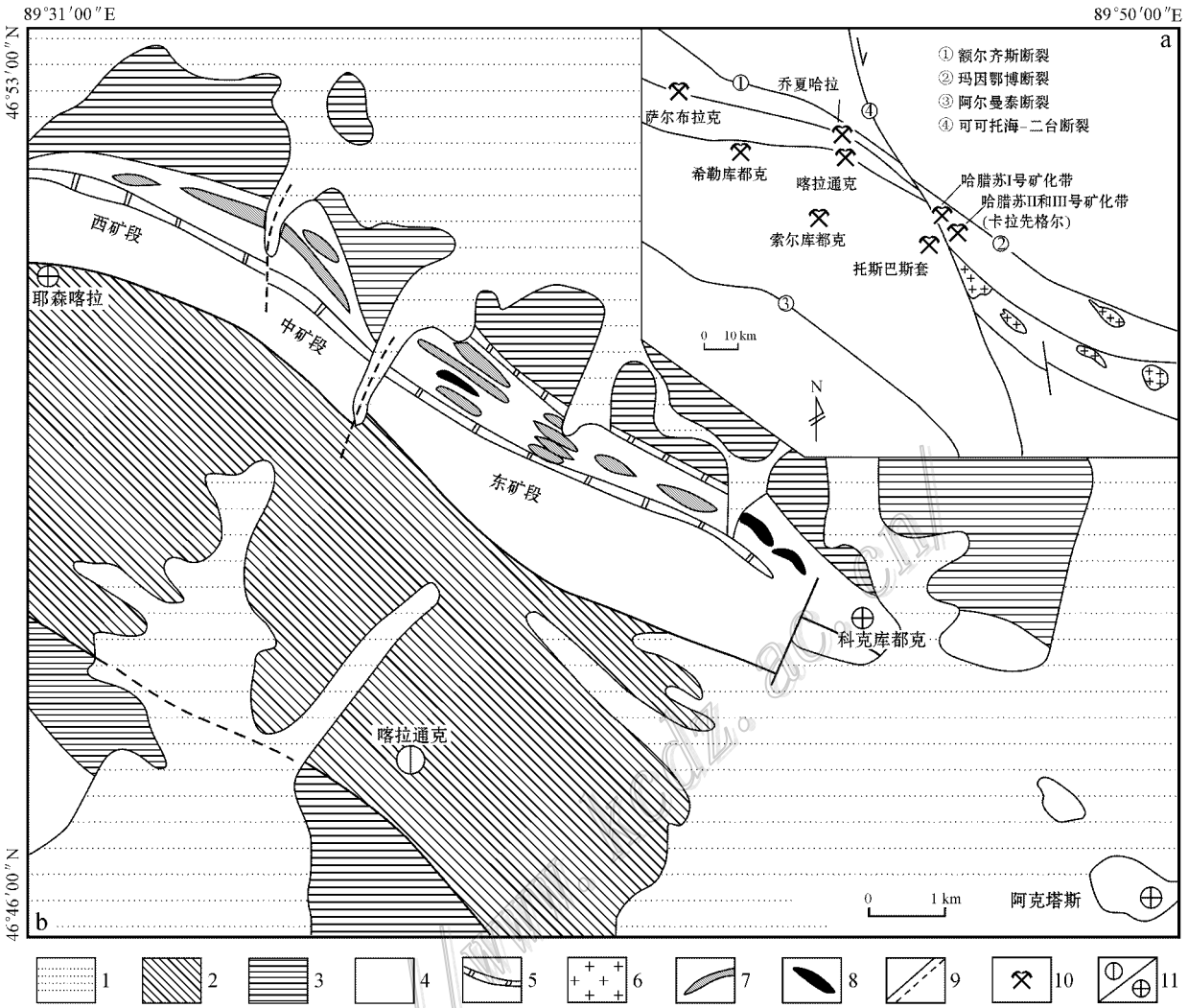


图 1　乔夏哈拉铁铜金矿床矿区地质图(据邓吉牛等,2000❶修改)

1—第四系；2—下石炭统南明水组千枚岩、砂岩；3—中泥盆统蕴都喀拉组凝灰岩、凝灰质砂岩；4—中泥盆统北塔山组玄武安山岩、凝灰岩、凝灰质砂岩；5—大理岩化灰岩；6—海西中晚期花岗岩；7—含铜磁铁矿体；8—铜金矿体；9 —实测及推测断裂；10—矿床位置；11—Cu-Ni/Au 矿床

Fig. 1　Geological map of the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit (modified after Deng et al., 2000❶)

1—Quarternary; 2—Sandstone and phyllite of Lower Carboniferous Nanmingshui Formation; 3—Tuff and tuffaceous sandstone of Middle Devonian Yundukala Formation; 4—Basaltic andesite, tuff and tuffaceous sandstone of Middle Devonian Beitashan Formation; 5—Marbleized limestone; 6—Midlle-Late Hercynian granite; 7—Copper-bearing Magnetite ore body; 8—Copper-gold ore body; 9—Measured or inferred fault; 10—Location of ore deposit; 11— Copper-nickel/gold deposit

基性火山碎屑岩和火山熔岩为主,岩性主要为灰色、灰绿色火山岩与灰绿色变质细-粗砂岩;第二岩性段为一套中基性火山-沉积岩,夹少量火山熔岩,岩性主要为玄武岩、玄武安山质角砾岩、集块岩、凝灰岩;第三岩性段岩性为凝灰质砂岩、粉砂岩、大理岩、凝灰岩、玄武岩、安山岩,为矿体的赋存层位。

矿区侵入岩较为发育,以中基性岩为主,岩性为闪长岩、闪长玢岩、辉绿玢岩、花岗闪长岩等,多呈岩脉、岩株、岩枝等形态产出。岩体规模一般长几十米,宽约几米不等。闪长岩脉部分呈顺层产出,部分切割地层(图 2)。

铁铜金矿带西起耶森喀拉,东至科克库都克,长

❶ 邓吉牛,王军升,廖启林. 2000. 布尔根矿带金铜找矿评价研究报告. 新疆 305 项目办公室. 内部资料.

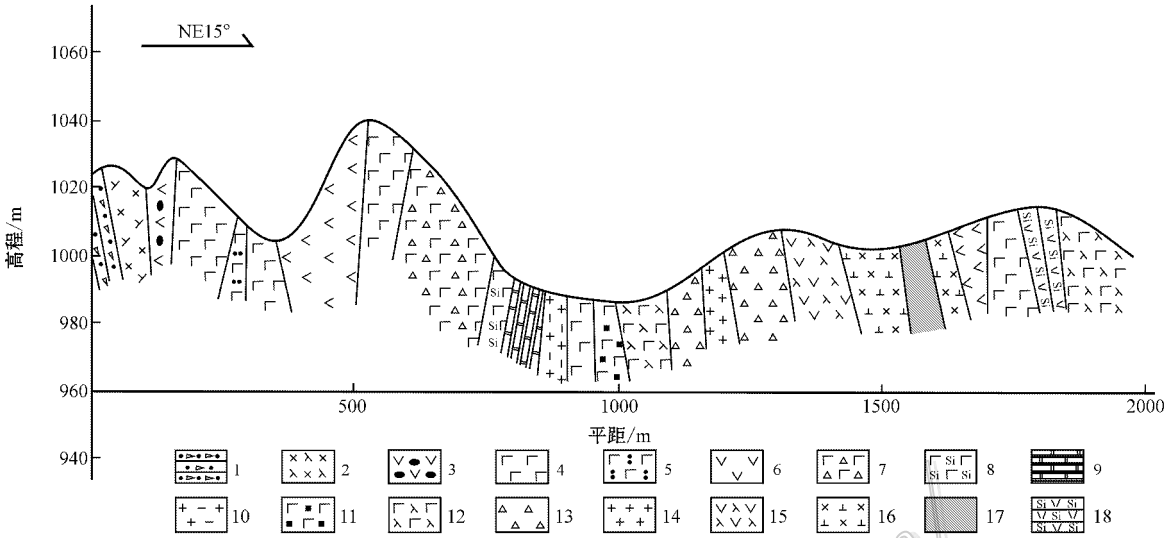


图 2 乔夏哈拉铁铜金矿西矿区实测地质剖面图

1—砂岩；2—辉石安山玢岩；3—杏仁状安山岩；4—玄武岩；5—玄武质凝灰岩；6—安山岩；7—玄武质火山角砾岩；8—硅化玄武岩；9—大理岩；10—苦橄岩；11—绿帘石化磁铁矿化玄武岩；12—辉石玄武岩；13—火山角砾岩；14—花岗岩；15—辉长岩；16—闪长玢岩；17—磁铁矿体；18—硅质岩

Fig. 2 Measured geological section of western ore district of the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit

1—Sandstone；2—Pyroxene-andesitic porphyrite；3—Amygdaloidal andesite；4—Basalt；5—Basaltic tuff；6—Andesite；7— Basaltic volcanic breccia；8—Silicified basalt；9—Marble；10—Picrite；11—Epidotized magnetic basalt；12—Pyroxene basalt；13—Volcanic breccia；14—Granite；15—Gabbro；16—Diorite porphyrite；17—Magnetite body；18—Siliceous rock

约 9 km、宽 100～200 m，自西向东划分为西矿段、中矿段和东矿段。矿体赋存于玄武岩、凝灰岩、大理岩、闪长(玢)岩和绿帘石矽卡岩中。各矿段均有多层矿体，最多达 5 层，一般只有 1～2 个主矿层。铁矿体呈似层状、扁豆状或透镜状。已发现矿体十几个，但规模较大的有 7 个，可划分为磁铁矿矿体、含金铜磁铁矿矿体和铜金矿体。铜金矿体或产于局部铜金含量较高的铁矿体内，或位于铁矿体下盘的绿帘石矽卡岩中。矿体长 80～540 m，宽 1～20 m，倾向上延深 20～500 m。铁矿体与围岩界线清楚，产状与地层基本一致。

矿石类型可分为磁铁矿矿石、含铜金磁铁矿矿石和铜金矿石。矿石构造主要呈斑杂状、条带状、块状、浸染状和脉状。矿石结构主要为自形或半自形粒状、他形、交代残余结构和骸晶结构。矿石中主要金属矿物有磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、赤铁矿、镜铁矿、斑铜矿、辉铜矿、黝铜矿、自然金和辉钼矿；非金属矿物有石英、长石、绿帘石、石榴子石、绿泥石、方解石、阳起石、透闪石、透辉石、黑云母和白云母。金的主要赋存矿物为黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿和磁铁矿。矿石中 w(TFe)变化于 20%～62%，平均 43%～53%；w(Cu)平均 0.55%～2.21%；w(Au)平均 0.13～2.4 g/t(李泰德，2002)。

围岩蚀变主要为绿帘石化，硅化、碳酸盐化、石榴子石化、绿泥石化、钾长石化、透闪石化等次之。区内以发育绿帘石化为特色，绿帘石是后期热液交代闪长(玢)岩脉与灰岩的产物，少数交代凝灰质砂岩、玄武岩等。局部可见被绿帘石交代呈残余状分布的钙铁榴石和钙铝榴石。绿泥石发育，交代绿帘石。钾长石化主要指钾长石呈细脉状分布于磁铁矿中。绿帘石化与铜金矿化关系密切，并且铜与金正相关(李泰德，2002)。矽卡岩及铜金矿体的形成与闪长(玢)岩侵入有关，据此将成矿过程划分为矽卡岩期，进一步划分为早期矽卡岩阶段、退化蚀变阶段和铜金矿化阶段。早期矽卡岩阶段主要形成石榴子石，少量透辉石；退化蚀变阶段形成绿帘石，少量绿泥石、阳起石、透闪石，伴有磁铁矿化；铜金矿化阶段主要形成石英、方解石、黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿和自然金等。

3　样品与测试方法

3.1　闪长玢岩锆石 U-Pb 法测年

本次测年的样品采自东矿区矿体附近的闪长玢岩，坐标为 89°41′40″E，46°48′20″N，样品编号为 QXHL-1。该岩体出露的面积约 20 m×200 m，灰白色，块状构造，斑状结构（图 3a、b）。岩石由斑晶和基质两部分组成。斑晶主要为斜长石及角闪石，斜长石呈自形-半自形板状，粒度为 0.5～5 mm，含量约 40%，部分发生高岭土化、绢云母化及碳酸盐化；角闪石含量约 5%，部分蚀变为绿帘石。基质主要由斜长石组成，粒度＜0.1 mm，含量约 55%。

锆石样品靶的制作和锆石阴极发光照相在北京离子探针中心完成。锆石 U-Pb 定年在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室完成，所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。锆石定年激光剥蚀所用斑束直径为 25 μm，频率为 10 Hz，能量密度约为 2.5 J/cm^2，以 He 为载气。信号较弱的 ^{207}Pb、^{206}Pb、^{204}Pb（+^{204}Hg）和 ^{202}Hg 用离子计数器接收，^{208}Pb、^{232}Th、^{238}U 信号用法拉第杯接收，实现了所有目标同位素信号的同时接收，且不同质量数的峰基本上都是平坦的，进而可以获得高精度的数据，均匀锆石颗粒 $^{207}Pb/^{206}Pb$、$^{206}Pb/^{238}Pb$、$^{207}Pb/^{235}U$ 的测试精度（2σ）均为 2% 左右，对锆石标准的定年精度和准确度在 1%（2σ）左右。LA-MC-ICP-MS 激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式，数据分析前用锆石 GJ-1



图 3　乔夏哈拉铁铜金矿区闪长玢岩及辉钼矿样品

a、b. 闪长玢岩；c. 含薄膜状辉钼矿绿帘石磁铁矿矿石；d. 含薄膜状辉钼矿黄铁矿黄铜矿磁铁矿矿石

Fig. 3　Samples of diorite porphyrite and molybdenite from the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit

a、b. Diorite porphyrite; c. Molybdenite as membrane in epidote-magnetite ore; d. Molybdenite as membrane in chlorite-pyrite-chalcopyrite-magnetite ore

进行调试仪器,使之达到最优状态,锆石 U-Pb 定年以锆石 GJ-1 为外标,U、Th 含量以锆石 M127〔w(U) 923×10^{-6}、w(Th) 439×10^{-6}、Th/U 比值为 0.475;Nasdala et al., 2008)〕为外标进行校正。在测试过程中每测定 10 个样品点后,前后重复测定 3 个锆石标样(2 个 GJ-1 和 1 个 Plesovice)进行校正,观察仪器的状态以保证测试精度。数据处理采用 ICPMADataCa 4.3 程序(Liu et al., 2008),测试过程中绝大多数分析点$^{206}Pb/^{204}Pb>1\ 000$,未进行普通铅校正,^{204}Pb 由离子计数器检测,^{204}Pb 含量异常高的分析点可能受包体等普通铅的影响,对^{204}Pb 含量异常高的分析点在计算时剔除,锆石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序获得,表达式中所列单个数据点的误差均为 1σ,谐和年龄具 95% 的置信度。详细实验测试过程参见侯可军等(2009)。

3.2 辉钼矿 Re-Os 法测年

本次测定的 4 件辉钼矿样品采自西矿区,为绿帘石化磁铁矿矿石、含黄铁矿黄铜矿磁铁矿矿石(图 3c、d)。辉钼矿呈薄膜状分布于磁铁矿矿石和黄铜矿磁铁矿矿石表面及裂隙中。从 4 件样品中分选出的辉钼矿单矿物,无氧化,无污染,纯度达到 99% 以上,用于 Re-Os 同位素年龄测定。

Re-Os 同位素分析测试工作在国家地质实验测试中心完成,采用 Carius 管封闭溶样分解样品,Re 和 Os 的分离等化学处理过程及质谱测试过程参见文献(Du et al., 2004;Mao et al., 2003;Shirey et al., 1995)。质谱测定采用美国 TJA 公司生产的 TJA X-series ICPMS 测定同位素比值。对于 Re:选择质量数 185、187,用 190 监测 Os。对于 Os:选择质量数为 186、187、188、189、190、192,用 185 监测 Re。本次实验标准物质为 GBW04435 (HLP)。

4 测试结果

4.1 闪长玢岩锆石 U-Pb 年龄

闪长玢岩中锆石主要为无色透明,部分为淡黄色,金刚光泽,大部分锆石颗粒为自形晶,长柱状为主,长轴变化于 100~200 μm,长短轴变化于 1∶1~3∶1。在阴极发光图像中,大部分锆石发育较好的岩浆锆石振荡环带结构(图 4),显示出岩浆锆石的特点,个别锆石含有不透明的包裹体。在样品中选择了 20 颗锆石进行了 LA-ICP-MS U-Pb 分析,分析结果列于表 1。

20 颗锆石样品测试分析点获得的 w(U) 范围 96.33×10^{-6}~$2\ 126.96\times10^{-6}$,w(Th) 范围 64.19×10^{-6}~457.79×10^{-6},变化范围较大,平均含量分别为 451.58×10^{-6}、147.64×10^{-6}。Th/U 比值为 0.14~0.84,均大于 0.1,两元素之间正相关性良好,结合其具有典型的自形结构和振荡环带结构,认为闪长玢岩中的锆石为岩浆锆石(Claesson et al., 2000;Belousova et al., 2002;Rubatto, 2002;Rayner et al., 2005;李长民,2009)。由于测点 8.1、12.1、13.1、15.1 的$^{207}Pb/^{206}Pb$、$^{206}Pb/^{238}U$ 和$^{207}Pb/^{235}U$ 年龄值与其他测点数据有偏差,故剔除。其余 16 个测点分析数据变化范围较小,在误差范围内有一致的$^{207}Pb/^{206}Pb$、$^{206}Pb/^{238}U$ 和$^{207}Pb/^{235}U$ 年龄值,$^{207}Pb/^{235}U$ 表面年龄值变化于 365~383 Ma,$^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄值变化于 375~380 Ma,二者基本一致,在年龄谐和图上集中成群分布(图 5),$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为(377.6±1.4) Ma(MSDW=0.20)。

4.2 辉钼矿 Re-Os 年龄

Re-Os 模式年龄 t 按下式计算:$t=1/\lambda[\ln(1+{}^{187}Os/{}^{187}Re)]$。采用 λ(^{187}Re 衰变常数) $=1.666\times10^{-11}a^{-1}$。乔夏哈拉铁铜金矿 4 件辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果见表 2。辉钼矿的 w(Re) 介于 383.1~1 928 $\mu g/g$ 之间,w(^{187}Re) 范围为 240.8~1 212 $\mu g/g$;w(Os) 介于 0.826~1.792 ng/g 之间,w(^{187}Os) 范围为 1 542~7 692 ng/g。4 件样品的 Re-Os 同位素模式年龄十分接近,为(377.7±5.9)~(383.1±5.4) Ma,加权平均值为(380.1±2.7) Ma(MSWD=0.66)。采用 ISOPLOT 软件(Ludwig, 1999)对所获得的数据进行等时线计算,4 件辉钼矿样品均匀分散开,获得的等时线年龄为(377.4±4.3) Ma(MSWD=0.36)(图 6),与模式年龄加权平均值十分接近。

5 讨 论

5.1 成岩时代

据前人的资料及笔者进行的野外地质调查发现,闪长(玢)岩侵入于北塔山组火山-沉积岩系中,与矿体在空间上关系紧密,铁铜金矿体往往赋存于闪长玢岩与灰岩及火山岩接触带形成的绿帘石化蚀变带中,而且铁矿体及围岩的蚀变越强,矿体的铜金矿化程度就越高。对于矿区中闪长玢岩的年代学研究较少,应立娟等(2009)获得闪长岩脉的角闪石

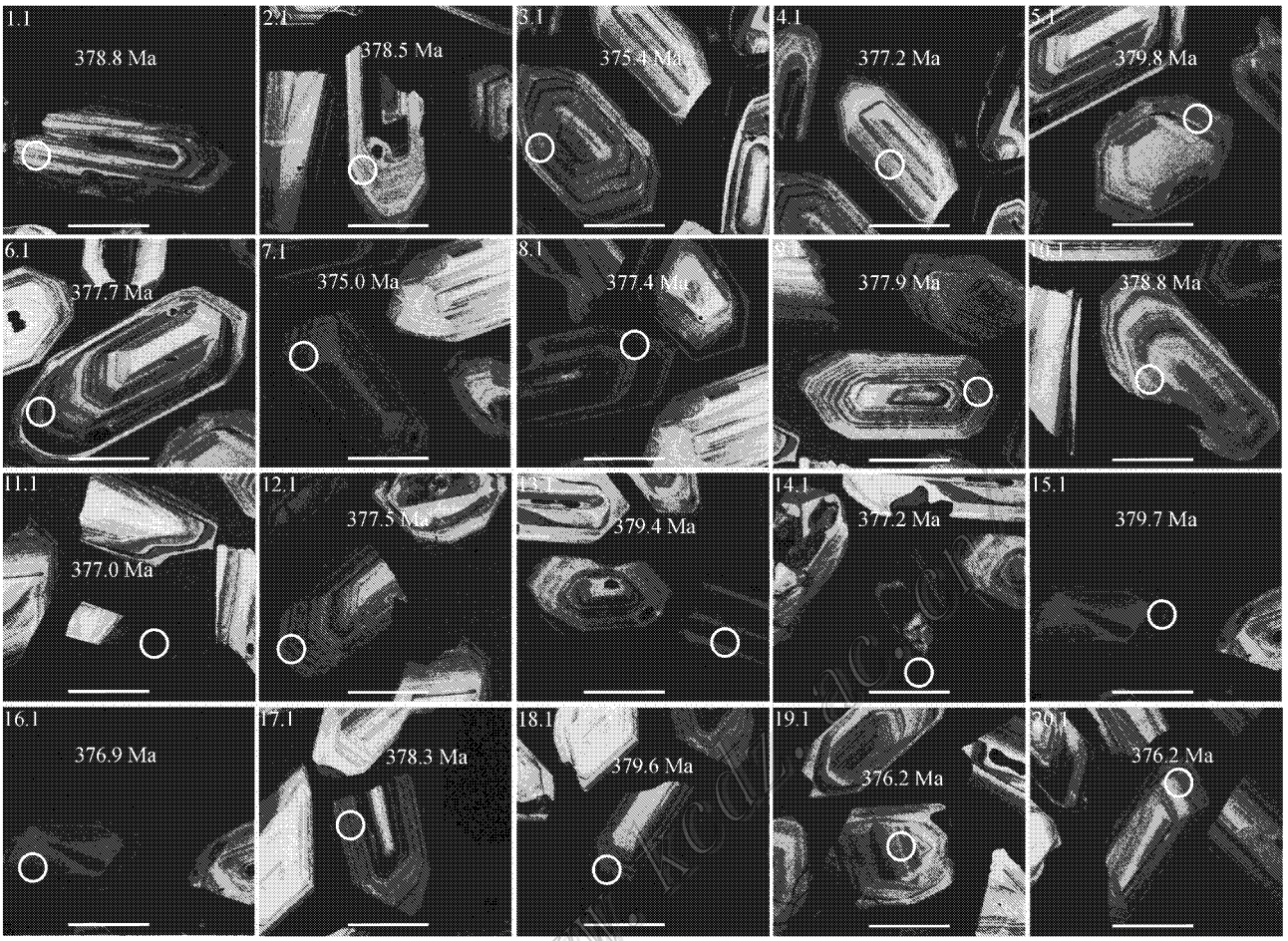


图 4　乔夏哈拉铁铜金矿区闪长玢岩中代表性锆石的阴极发光图(图中比例尺为 100 μm)

Fig. 4　CL images of representative zircon from diorite porphyrite in the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au ore district (scale in figure is 100 μm)

Ar-Ar 坪年龄为(378.1±3.6) Ma。本文测得的闪长玢岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄为(377.6±1.4) Ma，与闪长岩脉的角闪石 Ar-Ar 坪年龄基本一致，表明闪长岩和闪长玢岩为中泥盆世晚期同期岩浆活动的不同侵入体。

近年来大量的锆石 SHRIMP U-Pb 和锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄数据表明，390～370 Ma 是准噶尔北缘晚古生代早期大规模岩浆活动的一个高峰期，形成了大量中酸性-酸性岩体，岩石类型以花岗闪长岩为主，闪长岩次之，少量花岗岩。如卡拉先格尔Ⅰ号矿区花岗闪长斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为(390.2±4.9) Ma(相鹏等，2009)，希勒克特哈腊苏花岗闪长斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(381±6) Ma 与(375±8.7) Ma(Zhang et al.，2006；吴淦国等，2008)，玉勒肯哈腊苏斑状花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为(381.6±2.5) Ma(赵战峰等，2009)，老山口黑云母闪长岩和闪长玢岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为(379.3±2.3) Ma 和(379.7±3) Ma(吕书君等，2012)，喀腊萨依二长闪长斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(376±10) Ma(Zhang et al.，2006)，哈腊苏花岗闪长斑岩 SHRIMP U-Pb 年龄为(371.8±9.6) Ma(薛春纪等，2010)。本文获得的乔夏哈拉铁铜金矿区闪长玢岩与上述岩体形成时代基本一致，同为准噶尔北缘晚古生代早期大规模岩浆侵入活动的产物。

准噶尔北缘中泥盆世北塔山组中发育玻安岩、苦橄岩、富铌玄武岩和中基性火山岩(于学元等，1993；陈毓川等，2004；张海祥等，2004；张招崇等，2005)，表明中泥盆世准噶尔北缘为岛弧环境。研究认为，390～370 Ma 花岗岩是准噶尔洋经历板块

表 1　乔夏哈拉铁铜金矿闪长玢岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试结果

Table 1　Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating result of diorite porphyrite from the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit

点号	$w(B)/10^{-6}$			同位素比值								表面年龄/Ma							
	Pb	Th	U	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ
1.1	18.22	129.66	368.53	0.0549	0.0004	0.4586	0.0062	0.0605	0.0007	0.0050	0.0005	405.6	21.3	383.3	4.3	378.8	4.1	101.5	9.7
2.1	13.08	93.03	210.54	0.0540	0.0013	0.4474	0.0063	0.0605	0.0009	0.0061	0.0006	368.6	58.3	375.5	4.4	378.5	5.6	122.6	11.8
3.1	13.70	92.71	259.27	0.0523	0.0004	0.4330	0.0047	0.0600	0.0005	0.0058	0.0005	298.2	18.5	365.3	3.4	375.4	2.9	116.5	10.2
4.1	8.08	64.19	96.33	0.0522	0.0006	0.4341	0.0047	0.0603	0.0003	0.0065	0.0006	294.5	6.5	366.1	3.3	377.2	2.0	131.6	12.9
5.1	11.96	84.75	157.25	0.0531	0.0005	0.4443	0.0040	0.0607	0.0004	0.0067	0.0004	331.5	22.2	373.3	2.8	379.8	2.2	135.7	9.0
6.1	56.40	397.01	985.89	0.0530	0.0002	0.4415	0.0031	0.0603	0.0004	0.0063	0.0003	327.8	9.3	371.3	2.2	377.7	2.6	127.8	5.9
7.1	12.04	87.99	201.43	0.0533	0.0005	0.4407	0.0068	0.0599	0.0007	0.0056	0.0009	338.9	22.2	370.7	4.8	375.0	4.4	112.1	17.4
8.1	33.34	200.78	692.25	0.0518	0.0002	0.4313	0.0039	0.0603	0.0006	0.0063	0.0003	279.7	−23.1	364.1	2.8	377.4	3.4	126.3	7.0
9.1	17.97	128.41	272.61	0.0540	0.0003	0.4496	0.0042	0.0604	0.0004	0.0067	0.0005	368.6	14.8	377.0	2.9	377.9	2.7	135.9	9.6
10.1	10.81	73.61	170.07	0.0524	0.0002	0.4374	0.0045	0.0605	0.0006	0.0072	0.0005	301.9	11.1	368.4	3.2	378.8	3.8	144.7	9.7
11.1	96.35	457.79	2126.96	0.0536	0.0001	0.4458	0.0033	0.0602	0.0004	0.0067	0.0003	353.8	5.6	374.3	2.3	377.0	2.4	135.3	6.7
12.1	20.78	148.85	331.87	0.0514	0.0004	0.4270	0.0042	0.0603	0.0006	0.0073	0.0004	257.5	16.7	361.0	3.0	377.5	3.7	147.2	8.2
13.1	17.30	119.91	272.93	0.0517	0.0004	0.4320	0.0041	0.0606	0.0006	0.0082	0.0006	272.3	14.8	364.6	2.9	379.4	3.9	165.8	11.7
14.1	33.65	164.21	807.93	0.0521	0.0002	0.4330	0.0037	0.0603	0.0005	0.0072	0.0007	300.1	11.1	365.3	2.6	377.2	3.2	144.0	13.1
15.1	18.59	77.18	442.90	0.0513	0.0002	0.4294	0.0038	0.0607	0.0005	0.0080	0.0005	253.8	2.8	362.7	2.7	379.7	3.0	160.6	9.1
16.1	19.27	66.45	491.40	0.0533	0.0003	0.4430	0.0040	0.0602	0.0005	0.0078	0.0007	342.7	11.1	372.4	2.8	376.9	2.8	157.0	13.6
17.1	22.96	190.74	363.62	0.0547	0.0004	0.4562	0.0044	0.0604	0.0004	0.0064	0.0005	398.2	16.7	381.6	3.1	378.3	2.2	129.4	9.3
18.1	17.99	113.13	319.41	0.0540	0.0003	0.4518	0.0041	0.0607	0.0006	0.0072	0.0005	372.3	11.1	378.5	2.9	379.6	3.6	144.1	9.2
19.1	13.50	150.92	178.90	0.0528	0.0003	0.4383	0.0049	0.0601	0.0005	0.0057	0.0004	320.4	13.0	369.1	3.4	376.2	2.9	114.8	7.4
20.1	15.69	111.53	281.54	0.0542	0.0003	0.4491	0.0054	0.0601	0.0007	0.0066	0.0005	388.9	13.0	376.6	3.8	376.2	4.1	132.9	9.5

http://www.kcdz.ac.cn

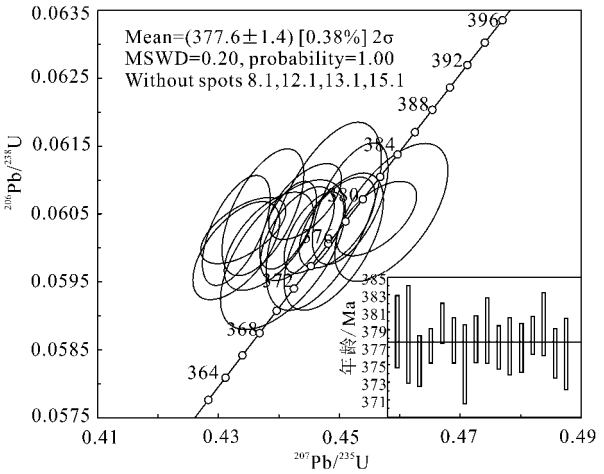


图 5　乔夏哈拉铁铜金矿区闪长玢岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图

Fig. 5　Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagrams of diorite porphyrite from the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit

俯冲过程的重要标志(Han et al., 1997),由于准噶尔洋壳向北俯冲作用持续进行,后期俯冲的大洋玄武岩受到地幔楔热的影响,381～375 Ma 在卡拉先格尔一带形成类似埃达克质的石英闪长斑岩-花岗闪长斑岩,在乔夏哈拉-老山口一带形成 380～377 Ma 闪长(玢)岩。

5.2　成矿时代

乔夏哈拉铁铜金矿矿区中磁铁矿 Rb-Sr 等时线年龄为(339±50)Ma,磁铁矿矿石 Rb-Sr 等时线年龄为(263±38) Ma,黄铜矿 Sm-Nd 等时线年龄为(382±49)Ma 和(209±48)Ma,年龄范围均较大,应立娟(2007)认为,矿床在泥盆纪主成矿期后有热液活动而发生接触交代作用,暗示矿床成矿作用可能持续时间较长。辉钼矿是迄今发现的 Re 含量最高的硫化物,其 Re-Os 体系在经历热接触后仍可以保持稳定,很难被后期地质过程重置(Stein et al., 1998; Bingen et al., 2003),可以精确限定矿床的形成时代,目前已经在矿床年代学研究中得到广泛的应用。本文研究的辉钼矿与黄铜矿近于同时形成,稍晚于磁铁矿的形成,因此可以代表矿床的铁、铜矿化时代。4 件辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(377.4±4.3) Ma (MSWD=0.36),矿区中与成矿密切相关的闪长玢岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄[(377.6±1.4) Ma]在误差范围内一致,认为辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[(377.4±4.3) Ma]代表乔夏哈拉铁铜金矿成矿时代,即该矿床形成于中泥盆世晚期。这与应立娟(2007)认为矿床的主成矿期为泥盆纪的观点相同,但是对于后期是否存在热液活动还需要进一步研究。

杨富全等(2010a;2010b)获得哈腊苏铜矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(378.3± 5.6) Ma,玉勒肯哈腊苏铜矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(373.9±2.2) Ma,认为准噶尔北缘的卡拉先格尔一带斑岩铜矿形成时代为中泥盆世。乔夏哈拉铁铜金矿成矿时代与卡拉先格尔斑岩铜矿成矿时代基本一致,结合两者相似的成岩时代,认为 390～370 Ma 期间准噶尔北缘不仅发生了大规模岩浆活动,形成了大量中酸性-酸性岩体,同时伴随着斑岩铜矿化和矽卡岩型铁铜金矿化。因此,认为乔夏哈拉矿区闪长玢岩中也有形成斑岩铜矿的可能性。

5.3　成矿物质来源

Re-Os 同位素的含量和比值可以示踪成矿物质来源(Mao et al., 2003;2008)。Mao 等(1999)对中国各种类型矿床中辉钼矿的 Re 含量进行了对比研究,综合分析认为成矿物质从地幔、壳幔混合到地壳来源的不同,辉钼矿中的 Re 含量大大降低,从几百 μg/g、几十 μg/g 到几 μg/g。乔夏哈拉铁铜金矿绿帘石磁铁矿矿石及黄铜矿磁铁矿矿石中辉钼矿的 w(Re)变化于 383.1～1 928 μg/g,与成矿物质主要来源于地幔的准噶尔北缘哈腊苏铜矿辉钼矿的 w(Re)变化范围相同,后者变化于 555.622～1 567.130 μg/g(杨富全等,2010a),表明乔夏哈拉铁铜

表 2　乔夏哈拉铁铜金矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素数据

Table 2　Re-Os data for molybdenite from the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit

样号	w(Re)/(μg·g^{-1})		w(Os)/(ng·g^{-1})		w(^{187}Re)/(μg·g^{-1})		w(^{187}Os)/(ng·g^{-1})		模式年龄/Ma	
	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
QXHL-08	1599.687	11.78	0.832	6.524	1005.435	7.405	6346	71	377.7	5.9
QXHL-09	699.966	5.37	1.792	1.895	439.942	3.367	2790	23	379.4	5.3
QXHL-10	383.134	3.25	0.914	2.050	240.808	2.040	1542	12	383.1	5.4
QXHL-11	1927.654	17.06	0.826	3.705	1211.569	10.722	7692	69	379.9	5.7

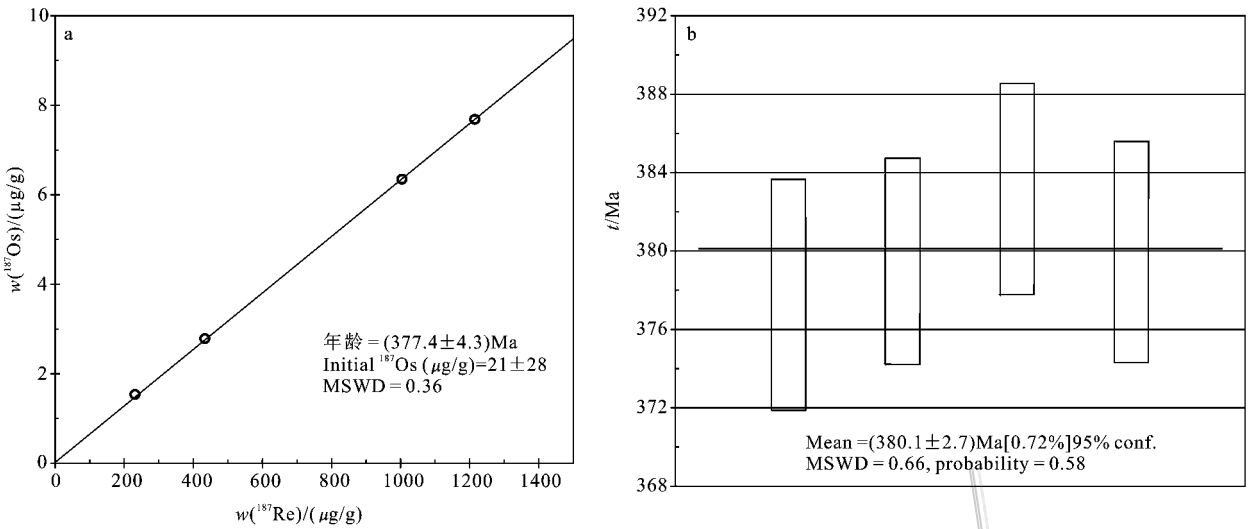


图 6 乔夏哈拉铁铜金矿辉钼矿 Re-Os 同位素等时线(a)和模式年龄加权平均值(b)

Fig. 6 Re-Os isochron diagram for molybdenites (a) and weighted average model ages (b) of the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit

金矿成矿物质主要来源于地幔,可能有地壳物质的加入。

地质学者们利用稀土元素及稳定同位素示踪对乔夏哈拉铁铜金矿床的成矿物质来源进行了研究,认为其成矿物质有多种来源(廖启林等,2000;闫升好等,2005;应立娟等,2009),但均认同矿区中广泛出露的与成矿密切相关的闪长玢岩提供了成矿物质。矿区中闪长玢岩与准噶尔北缘同期的岩体(如哈腊苏、卡拉先格尔、喀腊萨依、托斯巴斯套)微量元素表现出相似性,均为大离子亲石元素明显富集,高场强元素相对于 MORB 明显亏损,呈锯齿状分布,表明成岩物质并非来自于亏损地幔,而是具有壳幔混合的特征(吴淦国等,2008;应立娟等,2009)。结合上述辉钼矿中 Re 元素示踪,认为乔夏哈拉铁铜金矿床的成矿物质源以幔源物质为主,在携带成矿物质的岩浆上升侵位过程中受到了地壳物质的混染。

6 结 论

(1) 乔夏哈拉铁铜金矿区中闪长玢岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄为[(377.6±1.4) Ma],形成时代为中泥盆世晚期,为准噶尔北缘晚古生代早期大规模岩浆侵入活动的产物。

(2) 绿帘石磁铁矿矿石及黄铜矿磁铁矿矿石中的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(377.4 ± 4.3) Ma (MSWD = 0.36),与闪长玢岩年龄[(377.6 ± 1.4) Ma]在误差范围内基本一致,表明矿床成矿时代为中泥盆世晚期。闪长玢岩侵入活动可能提供了成矿的热源和物源。

(3) 乔夏哈拉铁铜金矿辉钼矿的 $w(Re)$ 变化于 383.1~1 928 μg/g,指示成矿物质主要来源于地幔,可能有地壳物质的加入。

志 谢 野外工作期间得到新疆宏泰矿业有限公司的大力支持和帮助,样品的年龄测试得到了中国地质科学院矿产资源研究所侯可军老师的帮助,在此一并表示感谢。

参考文献/References

陈毓川, 刘德权, 王登红, 唐延龄, 周汝洪, 陈振宇. 2004. 新疆北准噶尔苦橄岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 23(11):1059-1065.

何国琦, 成守德, 徐 新, 李锦轶, 郝 杰. 2004. 中国新疆及邻区大地构造图(1:2500000)说明书[M]. 北京:地质出版社. 1-65.

侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 28(4):481-492.

李长民. 2009. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J]. 地质调查与研究, 33(3):161-174.

李泰德. 2002. 新疆富蕴县乔夏哈拉金铜铁矿地质特征及成因分析[J]. 地质与勘探, 38(1):18-21.

廖启林, 戴塔根, 刘悟辉, 邱冬生. 2000. 阿尔泰南缘典型块状硫化

物矿床成矿环境浅析[J]. 地质与勘探，36(6)：23-26.

刘悟辉，戴塔根，廖启林. 2006. 新疆富蕴县乔夏哈拉铜(金)矿床成因探讨[J]. 地质找矿论丛，21(4)：232-235，252.

吕书君，杨富全，柴凤梅，张希兵，姜丽萍，刘 锋，张志欣，耿新霞，欧阳刘进. 2012. 东准噶尔北缘老山口铁铜金矿区侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. 地质论评，58(1)：149-164.

王福同. 1993. 新疆阿尔泰、准噶尔北缘铜、金、多金属资源现状及找矿前景分析[J]. 新疆地质，11(2)：108-114.

吴淦国，董连慧，薛春纪. 2008. 新疆北部主要斑岩铜矿带[M]. 北京：地质出版社. 1-345.

相 鹏，张连昌，吴华英，张晓静，陈广志，万 博. 2009. 新疆青河卡拉先格尔铜矿带Ⅰ-Ⅲ矿区含矿斑岩锆石年龄及地质意义[J]. 岩石学报，25(6)：1474-1483.

薛春纪，赵战锋，吴淦国，董连慧，冯 京，张招崇，周 刚，池国祥，高景岗. 2010. 中亚构造域多期叠加斑岩铜矿化：以阿尔泰东南缘哈腊苏铜矿床地质、地球化学和成岩成矿时代研究为例[J]. 地学前缘，17(2)：53-82.

闫升好，张招崇，王义天，陈柏林，周 刚，何立新. 2005. 新疆阿尔泰南缘乔夏哈拉式铁铜矿床稀土元素地球化学特征及其地质意义[J]. 矿床地质，24(1)：25-32.

杨富全，闫升好，屈文俊，周 刚，刘 锋，耿新霞，刘国仁，王 祥. 2010a. 新疆哈腊苏铜矿床Ⅰ号矿化带流体包裹体和碳氢氧同位素地球化学[J]. 地学前缘，17(2)：359-374.

杨富全，闫升好，刘国仁，周 刚，张志欣，刘 锋，耿新霞，郭春丽. 2010b. 新疆准噶尔斑岩铜矿地质特征及成矿作用[J]. 矿床地质，29(6)：956-1016.

应立娟，王登红，梁 婷，周汝洪. 2006. 阿勒泰乔夏哈拉铁铜金矿床的地质特征及其特殊性[J]. 地质学报，80(10)：1572-1578.

应立娟. 2007. 新疆乔夏哈拉铁铜金矿床矿床地质、地球化学特征及成因研究(硕士论文)[D]. 导师：王登红. 北京：中国地质科学院. 1-97.

应立娟，王登红，李健康，陈郑辉，席 忠，杨文华，刘乃忠. 2008. 新疆乔夏哈拉铁铜金矿床与国内外 IOCG 矿床的对比研究[J]. 大地构造与成矿学，32(3)：338-345.

应立娟，王登红，梁 婷，周汝洪. 2009. 新疆乔夏哈拉铁铜金矿的矿床成因及其成矿模式[J]. 矿床地质，28(2)：211-217.

于学元，梅厚钧，杨学昌. 1993. 额尔齐斯火山岩及构造演化[A]. 涂光炽，主编. 新疆北部固体地球科学新进展[M]. 北京：科学出版社. 185-198.

张海祥，牛贺才，Hiroaki Sato，单 强，于学元，Junichi Ito，张 旗. 2004. 新疆北部晚古生代埃达克岩、富铌玄武岩组合：古亚洲洋板块南向俯冲的证据[J]. 高校地质学报，10(1)：106-113.

张招崇，周 刚，闫升好，陈柏林，贺永康，柴凤梅，何立新. 2005. 阿尔泰造山带南缘中泥盆世苦橄岩及其大地构造和岩石学意义[J]. 地球科学，30(3)：298-297.

赵战峰，薛春纪，张立武，温长顺，周 刚，刘国仁. 2009. 新疆青河玉勒肯哈腊苏铜矿区酸性岩锆石 U-Pb 法定年及其地质意义[J]. 矿床地质，28(4)：425-433.

周 涛，刘悟辉，戴塔根，廖启林. 2008. 新疆富蕴县乔夏哈拉铜(金)矿床成因[J]. 物探与化探，32(2)：131-134.

Belousova E A, Griffin W L, O Reilly S Y and Fisher N I. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 143: 602-622.

Bingen B and Stein H. 2003. Molybdenite Re-Os dating of biotite dehydration melting in the Rogaland high-temperature granulites, S. Norway[J]. Earth and Planetary Science Letters, 208: 181-195.

Claesson S, Vetrin V, Bayanova T and Downes H. 2000. U-Pb zircon age from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia: A record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic [J]. Lithos, 51(1-2): 95-108.

Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Stein R M H, Morgan J and Malinovskiy D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: molybdenite HLP and JDC[J]. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41-52.

Han B F, Wang S G, Jahn B M, Hong D W, Kagami Hiroo and Sun Y L. 1997. Depleted mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: Geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implication for Phancrozoic crustal growth[J]. Chemical Geology, 138: 135-159.

Liu Y S, Hu Z C, Gao S, Gunther D, Xu J, Gao C and Chen H. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 257: 34-43.

Ludwig K. 1999. Isoplot/Ex, version 2.0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel[CP]. Geochronology Center, Berkeley, Special Publication 1a.

Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H and Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou w(Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 63: 1815-1818.

Mao J W, Du A D, Sletmann R and Yu J J. 2003. Re-Os dating for the Shameika porphyry Mo deposit and the Lipovy Log pegmatite rare metal deposit in the central and southern Urals[J]. Mineralium Deposita, 38: 251-257.

Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, Qu W J, Du A D, Ye H S, Pirajno F, Li H M, Guo B J, Li Y F and Yang Z Q. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 72: 4607-4626.

Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, Schoene B, Tubrett M N and

http://www.kcdz.ac.cn/

Whitehouse M J. 2008. Plesovice zircon-A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis[J]. Chemical Geology, 249:1-35.

Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry:Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and netamorphism[J]. Chemical Geology, 184:123-138.

Rayner N, Stern R A and Carr S D. 2005. Grain-scale variations in trace element composition of fluid-altered zircon, Acasta Gneiss Complex, northwestern Canada[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 148:721-734.

Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. Analytical Chemistry, 67:2136-2141.

Stein H J, Sundblad K, Markey R J and Morgan M J. 1998. Re-Os ages for Archaean molybdenite and pyrite Kuittila-Kivisuo, Finland, and Proterozoic molybdenite, Lithuania: Testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting[J]. Mineralium Deposita, 33: 329-345.

Zhang Z C, Yan S H, Chen B L, Zhou G, He Y K, Chai F M, He L X and Wan Y S. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating for subduction-related granitic rocks in the northern part of east Junggar, Xinjiang[J]. Chinese Sci. Bull., 51(8):952-962.

http://www.kcdz.ac.cn/