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*

屈迅[1,3] 徐兴旺[2**] 梁广林[3] 屈文俊[4] 杜世俊[2] 姜能[2] 吴惠平[3] 张永[2] 肖鸿[3] 董连慧[2,3]

QU Xun[1,3], XU XingWang[2**], LIANG GuangLin[3], QU WenJun[4], DU ShiJun[2], JIANG Neng[2], WU HuiPing[3], ZHANG Yong[2], XIAO Hong[3] and DONG LiangHui[2,3]

1. 中国地质大学,北京 100083
2. 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
3. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局,乌鲁木齐 830000
4. 国家地质实验测试中心,北京 100037

1. *China University of Geosciences*, *Beijing* 100083, *China*
2. *Key Laboratory of Mineral Resources*, *Institute of Geology and Geophysics*, *CAS*, *Beijing* 100029, *China*
3. *Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources*, *Uramuqi* 830000, *China*
4. *National Research Center of Geoanalysis*, *Chinese Academy of Geological Sciences*, *Beijing* 100037, *China*

2008-10-24 收稿,2009-2-18 改回.

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 its constraint to tectonic setting of the Qiongheba magmatic arc in eastern Junggar, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 25(4):765 – 776

Abstract The Mengxi Cu-Mo deposit located north to the contact zone of Qiongheba granite batholith at the eastern segment of Beitashan—Qiongheba arc, eastern Junggar, is characterized by strong alternation, development of fracture-filled veins, and vertical zoning of veins with various mineral composition, and is kind of porphyritic Cu-Mo deposit strong affected by fault structures in the ore district. Diorite porphyries and feldspar porphyries are ore-forming porphyry in the Mengxi Cu-Mo deposit. Granite in the Qiongheba area are calc-alkaline, and characterized by high Pb, K, Sr, U, Th and Zr, low Rb, Nb, Y, Ta, Yb and Ti, enriched LREE with $(La/Yb)_N$ value from 3.1 to 15.5. All the 22 analyzed intrusive samples have plots in the VAG (volcanic arc granite) domain in diagrams of Rb-Y + Nb, Nb-Y, Rb-Ta + Yb and Ta-Yb, and similar trace element and REE spiders with that of continental arc volcanic in Andes. These granite were production of continental arc magmatism with a composition containing component from the upper, middle and lower continental crust and equal to the average of continental arc volcanic rocks in Andes. Result of Re-Os dating shows that both the molybdenite and Cu-Mo deposit in the Mengxi area were formed at about 411Ma BP, the diorite porphyries and feldspar porphyries in the Mengxi ore district and granite in the Qiongheba area were possible formed at latest Silurian- earlist Devonian. This indicates that Yemaquan-Beitashan- Qiongheba porphyries and porphyry copper mineralization belt is most likely the western extending of the the Oyu Tolgoi Silurian-Devonian porphyry copper mineralization belt. The granite belt in the Qiongheba area, as a part of Paleozoic continental arc magmatic belt, is a potential target for porphyritic Cu deposit.

Key words Mengxi Cu-Mo deposit; Re-Os dating; Element geochemistry; Magmatic arc; Tectonic setting; Eastern Junggar

摘 要 蒙西铜钼矿床位于东准噶尔北塔山-琼河坝岛弧带东段琼河坝大花岗岩基北接触带,具有矿化蚀变类型多样、构造应力破裂-充填脉体发育、及不同组分脉体垂向分带等特征,为形成于断裂构造背景下的斑岩型铜钼矿床,闪长玢岩与二长花岗斑岩为成矿斑岩。琼河坝地区以花岗岩为主体的岩体均为钙碱性系列岩石,富 Pb、K、Sr、U、Th 和 Zr,贫 Rb、Nb、Y、Ta、Yb 与 Ti,轻稀土富集,$(La/Yb)_N$值介于 3.1 与 15.5 之间,在 Rb-Y + Nb、Nb-Y、Rb-Ta + Yb 与 Ta-Yb 图中位于 VAG(火山岛弧花岗

* “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAB07B01-03)、中国科学院知识创新工程主要方向项目(KZCXZ-YW-107)与中国科学院矿产资源重点实验室基金联合资助.

第一作者简介:屈迅,男,1960 年生,教授级高工,博士研究生,主要从事区域地质与矿产地质研究,E-mail: xjquxun@yahoo.com.cn

** **通讯作者**:徐兴旺,男,1966 年生,副研究员,主要从事构造地质、矿床地质和流体构造动力学研究,E-mail: xuxw@mail.igcas.ac.cn

岩)区,与安第斯山火山岩具相似的微量稀土元素分配结构,为形成于大陆地壳构造背景下的岛弧型岩浆岩,其原始岩浆成分包含大陆下、中与上地壳的组分、并与安第斯山岛弧火山岩平均成分相当。蒙西铜钼矿床形成年龄为411Ma,蒙西矿区的闪长玢岩与二长花岗斑岩形成于晚志留纪-早泥盆纪。这意味着北塔山-琼河坝斑岩铜矿带可能是南蒙古欧玉陶拉盖(Oyu Tolgoi)斑岩铜矿带的西延。琼河坝地区以花岗岩基为代表的岩浆岩带为古生代大陆岛弧岩浆岩带,是形成与寻找斑岩铜矿的有利地区。

关键词 蒙西铜钼矿床;Re-Os 同位素年龄;元素地球化学;岩浆弧;构造属性;东准

中图法分类号 P618.41;P597.3

蒙西斑岩铜钼矿位于新疆东准噶尔东段伊吾县琼河坝地区,因其位于中蒙边境之西而得名。研究区铜矿是1988~1990年新疆维吾尔自治区人民政府国家305项目办公室在东准噶尔地区实施三塘湖幅、克孜勒塔格幅与琼河坝幅1∶20万化探扫面过程发现的、并被称为202斑岩铜矿,1991年新疆第二区域地质调查大队在承担与执行新疆维吾尔自治区人民政府国家305项目办公室关于研究区斑岩铜矿评价任务时将研究区铜矿称为云英山斑岩铜矿、并在地表圈出具一定规模的铜矿体,2002~2003年新疆地矿局物化探大队对研究区铜矿开展普查评价、将研究区铜矿称为桑德乌兰斑岩铜矿,2006年始新疆地矿局第一地质大队在桑德乌兰铜矿区东段开展进一步找矿评价、新发现了具一定规模的铜钼矿矿体、并将该区段矿床称为蒙西铜钼矿。近年来,琼河坝地区还新发现了和尔赛斑岩铜矿、铜华岭斑岩铜矿、琼河坝斑岩铜矿与桑南斑岩铜矿等斑岩铜矿,这显示出琼河坝地区斑岩型铜钼矿床成矿与找矿的巨大潜力。另一方面,由于琼河坝地区地质研究程度低,对斑岩形成时代、成矿时代、斑岩产出的构造背景(是大洋岛弧还是大陆岛弧)等基础地质问题缺乏研究,这严重制约东准噶尔琼河坝地区斑岩铜矿成矿规律的研究与区域成矿预测研究工作的开展。本文在报道蒙西斑岩铜钼矿地质研究成果的基础上,选择蒙西矿区及其琼河坝地区典型岩体开展岩石主量与微量元素地球化学研究,开展源于蒙西铜钼矿床岩芯辉钼矿的Re-Os测年研究,进而探讨其形成的构造背景,旨在引起更多同行对琼河坝地区斑岩铜矿的关注。

1 区域地质背景

蒙西斑岩型铜钼矿位于东准噶尔库兰卡孜干-北塔山-纸房-琼河坝岛弧带东段(图1a)。该岛弧带由早古生代岛弧型火山岩与上叠的晚古生代火山岩组成(董连慧等,2009)。东准噶尔地区寒武-奥陶系地层强烈变形、变质达绿片岩相,并为中、上志留统海相砂砾岩所不整合;其中、下奥陶统为一套中-基性火山岩、形成于火山岛弧环境(李亚萍等,1999),麦钦乌拉山南坡中-晚奥陶统主体部分是具有浊积岩特征的复理石组合、形成于陆坡环境(何国琦和李茂松,2000)。东准噶尔色克森巴依花岗岩(Pb-Pb同位素视年龄为423Ma,李卫东和李文铅,1999)是目前确认的早古生代岛弧花岗岩。库兰卡孜干-北塔山-纸房-琼河坝地区叠置发育在早古生代岛弧之上的晚古生代火山岩,主体由泥盆-石炭系组成;下泥盆统由滨海、浅海相中基性、中酸性火山碎屑岩和正常碎屑岩组成;中泥盆统广泛发育火山岩建造,以滨海、浅海相-海陆交互相,甚至为陆相的中酸性、中基性火山岩及其碎屑岩,北塔山组中见枕状玄武岩和放射虫硅质岩;上泥盆统以中酸性火山岩及其碎屑岩为主夹安山玢岩、钠长斑岩及流纹岩,其上被下石炭统滨海、浅海相碎屑岩和中性火山岩所不整合覆盖;上石炭统多缺失;早二叠世为陆相双峰式火山岩建造,晚二叠世为陆相红色磨拉石沉积。库兰卡孜干-北塔山-纸房-琼河坝地区晚古生代的岩浆活动以发育碱性花岗岩为特征,年龄为320~290Ma(韩宝福等,1991;苏玉平等,2006;林锦富等,2007),为晚古生代后碰撞岩浆活动的产物(林锦富等,2007)。卡拉麦里地区的碱性花岗岩伴生有石英脉型锡矿,典型矿床有贝尔库都克锡矿、萨惹什克锡矿与卡姆斯特锡矿。

琼河坝地区古生代侵入岩发育,主体为中酸性岩体,并呈岩基与岩珠状产出(图2b)。出露面积较大的岩体类型有斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩与钾长花岗岩,岩浆的侵位与演化具从中性的斜长花岗岩到花岗闪长岩、二长花岗岩,最后为碱性的钾长花岗岩。在这些花岗岩基中还发育辉长岩、闪长岩、闪长玢岩、二长花岗斑岩、钾长花岗斑岩等岩株、及辉绿岩与闪长玢岩等脉岩。在蒙西铜钼矿区与和尔赛铜矿区,花岗岩基即其中的矿化蚀变带被石炭系火山岩所不整合。在蒙西东小山与老爷庙铁矿北石炭系火山沉积岩中发育有含磁铁矿的辉长岩的侵位。琼河坝地区是多金属矿床的集中区,已发现矿床包括:桑德乌兰-蒙西铜钼矿、琼河坝铜矿、桑南铜矿、铜华岭铜钼矿与和尔赛铜金矿等斑岩型矿床,伊吾宝山铁矿、绿石沟铁铜矿、灰西沟铁矿与琼河坝铁矿等夕卡岩型矿床,伊吾北山金矿与淖毛湖明矾石矿(图2b)。

2 蒙西斑岩铜钼矿地质特征

蒙西斑岩铜钼矿区位于琼河坝东大花岗岩基的北部外接触带(图1b与c)。矿区出露的地层主要为奥陶系粉砂质与硅质片岩和大理岩,并以发育斜长花岗斑岩与二长花岗斑岩为特征。奥陶系片岩片理产状陡立,在平面上有褶曲现象。斜长花岗斑岩呈岩枝状产出,长500~2300m,宽40~60m,走向310°,倾向40°,倾角60°~85°。矿区南侧花岗岩基的岩体类型有斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩与钾

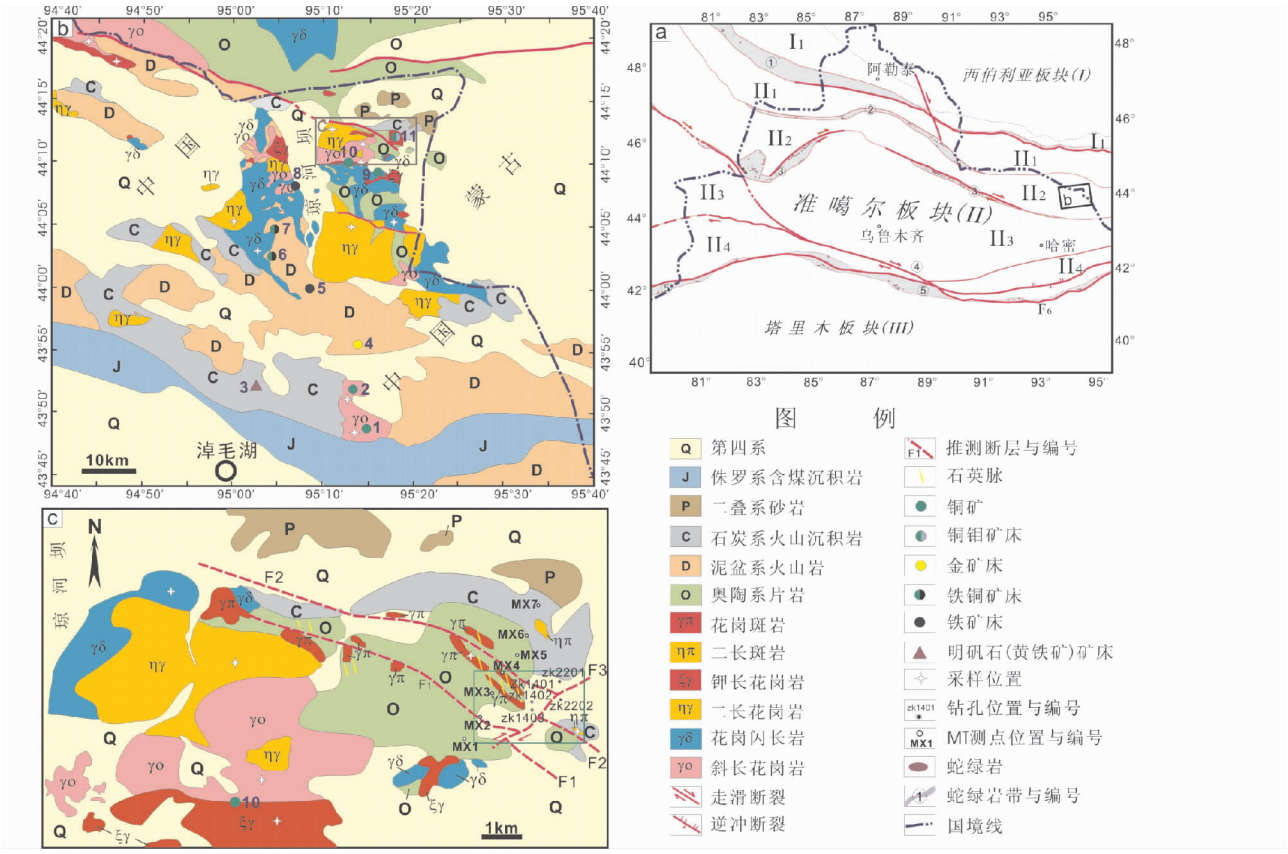


图 1　蒙西铜钼矿床大地构造位置(a)、区域地质图(b)与矿田地质图(c)

图 a 中的蛇绿岩带:①乔夏哈拉-布尔根蛇绿岩带;②阿尔曼台-洪古勒楞-塔城蛇绿岩带;③卡拉麦里-达拉布特/克拉玛依-唐巴勒蛇绿岩带;④冰达坂-干沟-却勒塔格蛇绿岩带;⑤长阿吾子-那拉提-古洛沟—库米什-红柳河蛇绿岩带。图 a 中的大地构造单元划分:Ⅰ-西伯利亚板块,I_1-阿尔泰南缘古生代弧盆系统;Ⅱ-准噶尔板块,II_1-萨吾尔山晚古生代大洋岛弧,II_2-谢米斯台-库兰卡孜干-纸房-琼河坝古生代岛弧,II_3-准噶尔-吐哈地块,II_4-天山地区古生代复合弧盆系统;Ⅲ-塔里木板块。图 a 与 b 中方框分别示图 b 与图 c 的位置,图 c 中的方框示蒙西铜钼矿区的位置。图 b 与图 c 所示矿床的名称:1-和尔赛铜矿;2-铜华岭铜矿;3-淖毛湖明矾石(黄铁矿)矿;4-伊吾北山金矿;5-琼河坝铁矿;6-宝山铁铜矿;7-绿石沟铁铜矿;8-灰西沟铁矿;9-桑南铜矿;10-琼河坝铜矿;11-桑德乌兰-蒙西铜钼矿

Fig. 1　Location (a), regional geologic map (b) and ore district map (c) of Mengxi Cu-Mo deposit

Ophiolite belts: ① Qiaoxiala-Buergen ophiolite belt; ② Aermantai-Honggueleleng-Tacheng ophiolite belt; ③ Kelameile-Darabut /Karamay-Tanbale ophiolite belt; ④ Bindaban-Gangou-Queletage ophiolite belt; ⑤ Changawuzi-Nalati-Gulupgou-Kumisi- Hongliuhe ophiolite belt. Tectonic units: I-Siberian plate, I_2- Paleozoic arc-basin system in the Altay area; II-Junggar plate, II_1- Sawuer Late Paleozoic island arc, II_2-Xiemisitai-Kulan-zifang-Qiongheba Paleozoic arc, II_3-Junggar-Tuha block, II_4-Tianshan Paleozoic arc-basin system; III-Tarim plate. Rectangles in diagram a and b show location of diagram b and c respectively, and rectangle in diagram c for location of Mengxi Cu-Mo deposit. Deposits in diagram b and c: 1-Heersai porphyry copper deposit (PCD); 2-Tonghualin PCD; 3-Naomaohu pyrite deposit; 4-Beishan gold deposit; 5-Qiongheba iron deposit; 6-Baoshan Fe-Cu deposit; 7-Lvshigou Fe-Cu deposit; 8-Huixigou Fe deposit; 9-Sangnan PCD; 10-Qiongheba PCD; 11-Sangdewulan-Mengxi porphyry Cu-Mo deposit

长花岗岩,在外接触带有夕卡岩化。这些不同成分花岗岩的侵位序次与区域上花岗岩的侵位次序一致,而斑岩的侵位可能稍晚一些。

矿区北侧为石炭系火山碎屑岩与沉积岩,其中见花岗岩角砾与矿化蚀变岩角砾,这意味着矿区的花岗岩、斑岩及其伴生的成矿作用形成于石炭纪之前,石炭系地层不整合分布矿化蚀变带与矿床之上。基于遥感卫片影像资料与矿区物探资料,推断矿区发育两条北西向断层(F1 与 F2)与一条北东向断层(F3)。其中断层 F1 与 F2 在剖面上为高角度断层(图 2),在平面上表现为区域北西向断层在矿区的东延(图 1b),矿区内的斜长花岗斑岩、二长花岗斑岩及矿化蚀变带具沿该北西向断层带分布的特征。

矿区的矿化蚀变类型多样,有黄铁矿化、黄铜矿化、辉钼矿化、磁铁矿化、角闪岩化、钾长石化、硅化、孔雀石化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化、钛铁矿化、萤石化。矿化蚀变带在地表具一定的分带特征,即内带为钾化带,主要为钾长石化、云英岩化,以发育钾长石脉为特征,含少量黑云母;中带为泥化带,发育绢英岩化、泥化、硅化,常叠加在钾化带之上

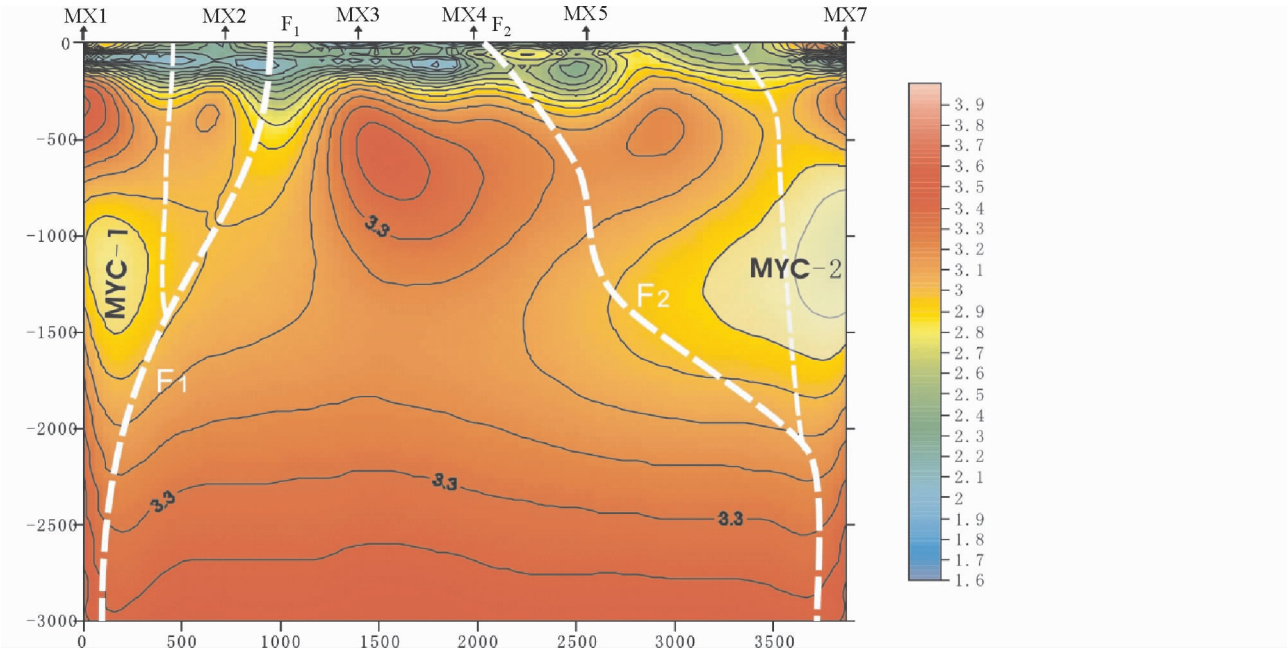


图 2 蒙西铜钼矿区 MT 测量二维反演结果

Fig. 2 Two dimensional inversion result of magnetotelluric (MT) survey in the Mengxi Cu-Mo ore district

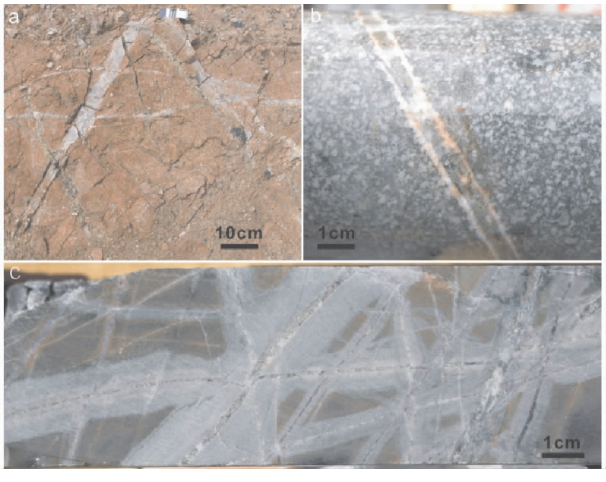


图 3 蒙西铜钼矿区矿化蚀变岩石照片

a-红色钾化斜长花岗斑岩中发育的石英脉;b-闪长玢岩中浸染状矿化与细脉状矿化;c-硅质凝灰岩中的充填脉与脉状蚀变

Fig. 3 Photographs showing alternation in Mengxi Cu-Mo deposit

a-Quartz veins in K- altered plagioclase granitic porphyry; b-Disseminations and stockworks in dioritic porphyry; c-fluid-filled veins and associated alteration in siliceous tuff

(图 3a),绢英岩化与钾化叠加部位为主要矿化地段;外带为青磐岩化带,主要有绿泥石化、绿帘石化、碳酸岩化。值得指出的是矿区的石英脉总体走向 330°~340°,与地表斜长花岗斑岩的走向有明显交角。

矿区深部岩石的矿化蚀变有浸染状矿化蚀变与脉状矿化蚀变两种类型。面状浸染状蚀变矿化主要发育于闪长玢岩与二长花岗斑岩中(图 3b)。脉状矿化是矿区的矿化蚀变主体,发育于不同类型的岩石中,其以发育充填细脉及沿脉体向围岩扩散渗透蚀变为特征(图 3c)。脉体类型有石英脉、黄铁绢英岩脉、硫化物(黄铁矿、辉钼矿与黄铜矿)石英脉、硫化物钾长石石英脉、磁铁矿石英脉、含萤石磁铁矿钾长石石英脉、磁铁矿钾长石石英脉、钛铁矿石英脉、铁白云石脉、及黄铜矿脉与黄铁矿脉。不同类型的脉体在垂向上分带特征明显。以 zk003 孔为例,从上往下依次为:硫化物石英脉、硫化物钾长石石英脉、磁铁矿石英脉、含萤石磁铁矿钾长石石英脉、磁铁矿钾长石石英脉、钛铁矿石英脉、铁白云石脉。脉体厚几毫米至几厘米不等。

充填脉体从其力学成因看,有流体自创破裂充填脉与构造应力破裂充填脉。流体自创破裂充填脉的主要特征是主脉常伴生有一些“V”字形次脉,次脉的开口处与主脉相连(图 4a),主脉与次脉成因于流体的液压作用(徐兴旺等,2001;Xu *et al.*, 2000,2004,2007)。构造应力破裂充填脉的主要特征是脉体相对平直,脉体间切割明显并表现为构造位错与剪破裂特征(图 4b),其为在构造应力与流体压力联合作用下是岩石破裂、成矿流体注入破裂并结晶固化的结果。

脉状矿体具脉动成矿的特征。以图 4c 的岩芯为例,该岩石至少经历了 4 次破裂与脉体充填:①钛铁矿铁白云石脉,②铁白云石脉,③石英铁白云石脉,及④黄铁矿石英钛铁矿脉。先期的脉体被后期的破裂与脉体切割与位错。总体而言,充填脉体的产出受构造应力的作用与影响明显,微破裂的形成可能与矿区 F1 与 F2 断层的活动有关。

矿区在地表基岩区内共圈出铜矿体 3 个,铜矿化体 9

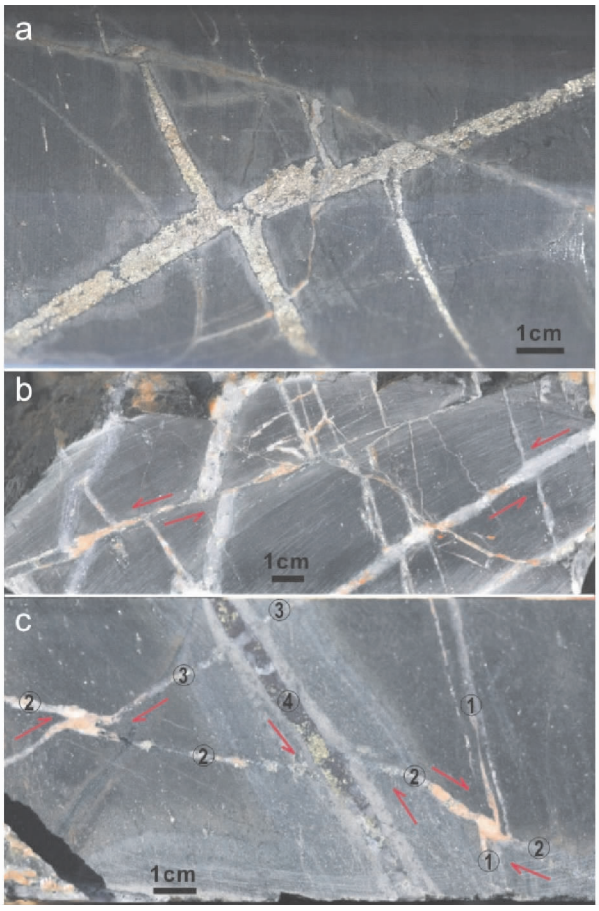


图 4 蒙西铜钼矿床岩芯照片，示脉体的结构与成因

a-鱼骨刺状黄铁矿脉；b-沿破裂充填的脉体；c-示 4 期脉体的穿切关系

Fig. 4 Photographs of drilling core showing textures and structures of veins

a-fish-bone shaped pyrite veins; b-fracture-filled veins; c-interaction among veins formed at various stage

个。地表矿体呈脉状，产于斜长岗斑岩体中。铜矿体长一般 80～90m，最长 490m，厚度一般 1～2m，最厚 7.5m，含铜平均品位 0.60%。

矿区深部的矿化为铜钼矿化。例如，ZK1401 孔全孔铜钼矿化，上部圈出三层铜矿体，累计视厚度 17.70m，铜平均品位为 0.22%，钼平均品位 0.018%；下部圈出四层铜钼矿体，累计视厚度 53m，铜平均品位 0.22%，钼品位 0.034%。ZK1402 孔全孔铜钼矿化，圈出 9 层铜钼矿体，视厚 7.8～70.74m，累计视厚 207.93m；含铜品位 0.21%～0.33%，平均品位为 0.25%；含钼品位 0.01%～0.034%。

因此，蒙西铜钼矿为断裂构造背景下的斑岩型铜钼矿，成矿斑岩为闪长玢岩与二长花岗斑岩。

3 样品选择与分析测试方法

为了研究与确定蒙西斑岩铜钼矿床和琼河坝地区花岗岩形成的构造背景，我们在蒙西铜钼矿区及琼河坝其它地区系统采集了典型侵入岩体岩石样品 22 件，开展岩石地球化学研究。分析测试工作在中国科学院地质与地球物理研究所国家岩石圈构造与演化开放实验室完成，主量元素分析采用的是顺序式 X 射线荧光光谱仪（XRF-1500），微量元素分析所用质谱仪型号为电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）ELEMENT。为了研究与确定蒙西斑岩铜钼矿的成矿年龄，进而推断琼河坝地区侵入岩形成与活动时间，我们选择采于蒙西铜钼矿床 zk1401 孔 6 件含辉钼矿石英脉样品分离辉钼矿并开展 Re-Os 同位素测年研究，实验测试工作由屈文俊在在国家地质实验测试中心进行，其化学分离、质谱测定和数据计算遵照 Re-Os 同位素分析与测定的试验流程与标准执行（杜安道等，1994，2001；Shirey and Walker，1995；Du *et al.*，2004）。

4 琼河坝地区岩体主量与微量元素特征及其构造意义

表 1 为琼河坝地区典型岩体 22 件样品主量与微量元素分析结果。在 TAS 图解（图 5a）中，样品投点位于亚碱性-拉斑系列区内，并主要位于花岗岩与花岗闪长岩区内，少量位于闪长岩区内，2 个点位于辉长岩区内，这与基于岩石矿物组合的定名结果是一致的。在 AFM 图解（图 5b），22 个分析样品 19 个点位于钙碱性区内，另 3 个点位于钙碱性系列与拉斑系列的界限附近。因此，琼河坝地区岩体为钙碱性系列岩体。

琼河坝地区岩体 Nb、Y、Yb 和 Ta 元素含量较低，Nb：2.68×10^{-6}～13.62×10^{-6}、平均 5.20×10^{-6}，Y：6.7×10^{-6}～21.18×10^{-6}、平均 14.20×10^{-6}，Yb：0.90×10^{-6}～2.46×10^{-6}、平均 1.56×10^{-6}，Ta：0.13×10^{-6}～1.11×10^{-6}、平均 0.38×10^{-6}。在 Rb-Y + Nb 图、Nb-Y 图、Rb-Ta + Yb 图与 Ta-Yb 图（Pearce *et al.*，1984）中，22 个分析样品无一例外的分布于 VAG（火山岛弧花岗岩）区（图 6），这意味着琼河坝地区的侵入岩形成于火山岛弧环境。

作为琼河坝地区侵入岩的主体，花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩与二长花岗斑岩微量元素组成具相同或相似的配分结构，表现为富含壳源元素 Ba、Pb、K、Sr、U、Th 和 Zr，而元素 Rb、Nb、Y、Ta、Yb 与 Ti 含量较低。岩石具富 Pb 和贫 Nb、Ta 与 Ti 的特征（图 7），这是大陆地壳组成的重要特征（Rudnick and Gao，2003）。其与安第斯山大陆岛弧火山岩具相似的微量元素配分结构；而与洋岛玄武岩相比，岩石中元素 Ta、Nb 与 Ti 明显亏损；与大洋岛弧玄武岩相比，岩石具明显的 P 与 Ti 亏损（图 7）。

采于宝山铁矿西花岗岩与禅德沟花岗岩中的闪长岩包体（样品号为 BS18-2 与 CDG-2），其与琼河坝地区花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩与二长花岗岩相比，除了元素 Ba 含量较低外，其它微量元素含量和组成具相似的特征。

表 1 琼河坝地区岩体主量(wt%)与微量元素($\times10^{-6}$)分析结果表

Table 1 Major (wt%) and trace element ($\times10^{-6}$) concentrations for intrusions in the Qiongheba area

样品号	HES2-1	D1-1	D2-2	D5-1	D11-1	BS16-1	BS18-1	BS18-2	MX8-1	MX12-2	MX14-1	MX18-1	MX19-1	ZK1403	SNYT-1	QHB-1	CDG-2	CDG-5	LYM16-1	LYM17-1	LYM18-1	HRS-1
SiO_2	66.4	75.2	60.6	72.7	65.2	72.0	71.8	59.0	58.4	48.7	70.2	65.8	69.1	55.0	65.5	52.0	58.6	66.5	54.6	69.7	46.7	72.8
TiO_2	0.34	0.11	0.41	0.15	0.40	0.24	0.24	0.80	0.72	1.02	0.18	0.40	0.33	0.68	0.43	1.32	0.69	0.42	1.16	0.36	1.18	0.25
Al_2O_3	16.6	13.2	17.6	15.0	17.4	13.8	14.2	16.5	14.1	24.6	15.9	16.0	14.3	18.0	16.0	17.6	16.5	15.5	16.9	14.4	20.5	14.4
Fe_2O_3	1.72	0.25	2.04	0.40	0.83	0.48	0.12	2.89	3.47	4.20	0.59	2.59	1.97	5.06	2.17	4.89	2.87	1.82	5.59	1.10	5.02	1.10
MnO	0.09	0.03	0.15	0.03	0.06	0.07	0.07	0.46	0.14	0.09	0.04	0.11	0.07	0.20	0.09	0.17	0.17	0.10	0.13	0.06	0.18	0.05
MgO	1.62	0.32	3.14	0.53	1.90	0.58	0.50	2.65	4.86	1.81	0.43	1.78	0.98	2.35	2.02	4.20	3.73	1.56	5.22	0.93	4.54	0.34
FeO	1.76	0.64	2.71	0.78	1.86	1.35	1.71	3.50	4.34	2.66	0.54	1.63	1.01	2.34	2.53	5.64	3.83	2.00	2.17	1.79	5.31	0.35
CaO	4.35	0.83	5.27	2.26	1.87	1.91	1.56	5.41	5.83	10.8	1.75	4.10	1.99	5.63	4.31	7.85	6.19	3.66	7.53	2.45	10.1	0.60
Na_2O	4.26	4.29	4.66	4.83	5.93	3.82	4.61	5.67	3.41	3.65	3.88	4.18	4.14	4.07	3.71	3.33	3.82	3.76	3.66	3.59	3.03	4.58
K_2O	1.23	3.82	1.10	2.04	1.78	3.38	3.86	1.26	1.94	0.28	3.66	1.59	2.93	1.46	1.99	0.95	1.83	3.22	1.86	4.34	0.49	4.50
P_2O_5	0.14	0.05	0.16	0.06	0.18	0.07	0.07	0.20	0.20	0.12	0.07	0.17	0.10	0.35	0.12	0.33	0.27	0.17	0.40	0.10	0.39	0.06
LOI	1.03	0.70	1.52	0.63	2.33	1.57	0.65	1.32	2.18	1.87	2.65	1.38	2.85	4.48	0.95	1.37	1.32	0.93	0.45	0.92	1.53	0.72
Total	99.72	99.55	99.73	99.57	99.90	99.40	99.64	100.03	100.13	100.04	99.88	99.89	99.89	99.86	100.05	100.30	100.23	99.89	99.98	99.88	99.63	99.78
Li	9.14	7.73	18.8	7.64	25.3	20.2	17.1	19.2	10.2	0.43	10.8	10.7	12.2	12.6	11.7	20.9	14.16	7.44	7.11	12.3	6.41	5.62
Be	0.83	1.07	1.33	0.71	0.85	1.12	1.57	2.87	0.80	0.36	1.23	0.95	0.96	1.03	0.83	0.93	1.58	1.23	1.36	1.26	0.54	2.80
Sc	6.15	2.94	14.20	2.49	9.16	3.35	4.56	17.7	27.8	15.5	3.65	8.05	6.56	14.2	11.2	27.2	17.7	8.14	22.9	6.08	23.6	2.95
V	65.0	11.2	102	15.1	79.5	28.4	17.5	181	194	230	24.0	83.1	44.4	179	99.5	239	167	76.2	173	45.3	275	18.3
Cr	11.8	1.84	9.65	1.45	42.7	1.27	0.82	0.71	127	3.96	3.22	3.37	2.37	7.98	2.52	12.1	66.7	10.9	92.9	5.15	1.75	1.64
Co	6.64	1.55	9.93	1.78	7.87	2.59	2.16	10.1	21.9	7.52	1.75	8.05	4.94	14.0	10.5	26.2	19.6	7.86	27.2	4.24	26.6	2.60
Ni	12.3	0.83	15.1	1.58	6.99	0.06	0.03	5.77	37.8	6.73	0.76	3.21	1.62	7.50	2.86	13.2	28.0	7.45	59.3	3.44	13.6	0.91
Cu	13.5	52.0	14.0	7.81	3870	4.93	1.67	20.1	124	17.6	43.3	24.4	12.4	227	110	72.0	135	11.4	54.7	32.6	73.6	9.62
Zn	45.6	29.5	61.6	17.1	31.1	37.3	36.9	98.0	64.1	57.4	15.3	56.3	31.9	661.6	40.9	87.8	65.9	42.8	82.5	47.2	69.9	22.5
Ga	15.5	12.2	17.2	13.1	16.5	13.5	15.2	19.0	14.3	17.8	14.8	16.7	14.1	17.3	15.7	18.8	17.2	14.7	19.3	14.5	19.2	16.9
Rb	14.6	50.0	21.8	21.2	32.2	64.2	81.2	30.6	25.9	2.4	41.3	21.4	53.5	33.9	36.2	16.8	41.0	65.2	33.1	119.8	6.0	90.1
Sr	623	236	596	593	971	573	200	417	354	640	284	561	273	952	435	450	567	534	889	291	815	244
Y	9.43	16.4	13.6	6.70	8.74	10.3	15.9	19.2	21.2	9.64	14.0	13.8	14.7	13.1	13.5	23.9	20.0	12.9	20.2	12.6	12.3	10.6
Zr	87.7	60.1	54.5	68.9	80.0	115	194	109	127	30.4	101	100	136	69.6	103	112	109	139	163	158	27.1	158
Nb	3.92	8.76	3.69	3.95	3.39	4.45	5.96	6.90	4.08	1.66	4.35	5.08	4.15	2.79	3.67	6.93	6.03	4.38	6.70	7.74	2.68	13.2
Cs	1.73	1.31	2.09	0.50	2.24	3.09	1.61	1.07	0.32	0.32	2.83	2.30	2.44	4.16	1.72	1.54	0.57	0.59	0.61	4.54	0.351	0.70

续表 1

Continoued Table 1

样品号	HES2-1	D1-1	D2-2	D5-1	D11-1	BS16-1	BS18-1	BS18-2	MX8-1	MX12-2	MX14-1	MX18-1	MX19-1	ZK1403	SNYT-1	QHB-1	CDG-2	CDG-5	LYM16-1	LYM17-1	LYM18-1	HRS-1
Ba	405	481	250	583	759	940	942	195	394	84	409	443	755	317	652	236	242	709	625	738	170	513
La	8.67	9.32	7.92	10.4	10.2	19.0	22.5	15.2	15.5	4.57	7.47	13.9	14.4	10.8	12.2	11.9	23.9	17.8	24.6	16.2	8.20	27.0
Ce	20.1	18.7	18.0	19.6	20.8	32.7	40.9	37.5	33.6	10.7	16.1	31.7	28.7	23.0	24.9	28.8	50.3	33.9	52.0	28.4	18.4	53.2
Pr	2.31	2.48	2.48	2.21	2.64	3.48	4.53	5.01	4.27	1.46	2.10	3.74	3.36	2.97	2.88	3.93	6.21	3.95	6.56	3.18	2.70	5.45
Nd	8.88	9.55	10.3	7.73	10.0	11.5	15.8	20.7	16.8	6.46	8.44	14.7	12.3	12.3	11.4	17.1	24.9	15.1	26.2	11.7	11.9	18.4
Sm	1.86	1.96	2.32	1.35	2.00	2.11	3.00	4.29	3.66	1.64	2.11	3.02	2.56	2.74	2.29	4.38	4.79	3.04	5.09	2.38	3.00	2.88
Eu	0.69	0.38	0.62	0.47	0.74	0.68	0.68	0.93	0.98	0.82	0.67	0.84	0.75	0.99	0.76	1.39	1.18	1.00	1.61	0.69	1.18	0.56
Gd	1.80	1.98	2.23	1.19	1.84	1.87	2.47	3.37	3.64	1.71	1.99	2.67	2.21	2.32	2.26	4.40	4.11	2.62	4.56	2.15	2.81	2.38
Tb	0.27	0.35	0.37	0.18	0.27	0.29	0.41	0.56	0.59	0.27	0.35	0.40	0.37	0.38	0.37	0.74	0.62	0.38	0.69	0.34	0.42	0.33
Dy	1.56	2.36	2.33	0.99	1.55	1.65	2.63	3.47	3.86	1.67	2.25	2.32	2.40	2.36	2.32	4.56	3.56	2.27	3.82	2.06	2.40	1.91
Ho	0.33	0.53	0.49	0.21	0.31	0.35	0.58	0.74	0.82	0.36	0.51	0.50	0.53	0.49	0.51	0.98	0.72	0.47	0.77	0.44	0.48	0.40
Er	0.95	1.60	1.38	0.63	0.87	1.01	1.68	2.10	2.27	0.99	1.48	1.39	1.59	1.33	1.49	2.67	2.04	1.31	2.08	1.25	1.27	1.14
Tm	0.15	0.27	0.22	0.10	0.14	0.17	0.27	0.32	0.35	0.15	0.24	0.22	0.25	0.20	0.24	0.39	0.33	0.20	0.31	0.20	0.18	0.17
Yb	0.98	2.00	1.44	0.68	0.91	1.18	1.86	2.08	2.33	0.97	1.66	1.52	1.73	1.30	1.68	2.58	2.46	1.42	1.96	1.38	1.11	1.19
Lu	0.16	0.34	0.23	0.12	0.15	0.20	0.32	0.33	0.37	0.14	0.27	0.27	0.29	0.21	0.28	0.38	0.41	0.24	0.30	0.22	0.16	0.20
Hf	2.51	2.45	1.62	2.04	2.22	3.17	5.57	3.21	3.71	0.91	2.80	2.98	3.66	1.98	3.14	3.09	3.16	3.78	4.09	4.68	0.85	4.80
Ta	0.26	1.11	0.17	0.30	0.20	0.39	0.52	0.41	0.21	0.07	0.29	0.40	0.29	0.18	0.27	0.44	0.35	0.30	0.39	0.79	0.13	1.00
Tl	0.08	0.14	0.09	0.08	0.17	0.25	0.26	0.12	0.11	0.05	0.14	0.10	0.19	0.18	0.17	0.08	0.14	0.19	0.11	0.46	0.07	0.33
Pb	4.80	20.5	19.9	5.56	7.37	7.05	9.19	5.80	4.73	2.91	4.46	5.89	7.52	6.44	4.31	3.00	6.02	7.81	7.62	7.20	1.95	13.8
Bi	0.02	0.11	0.03	0.05	1.00	0.06	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.04	0.11	0.53	0.04	0.02	0.07	0.06	0.03	0.17	0.03	0.16
Th	1.23	5.57	0.48	1.43	0.63	5.15	6.95	4.00	3.16	0.11	1.19	3.16	4.57	1.50	2.80	1.95	6.25	7.98	2.43	11.62	0.16	7.15
U	0.51	1.72	0.49	0.67	1.43	1.74	1.17	3.14	1.58	0.15	0.65	1.24	0.86	0.89	1.10	1.01	1.45	1.20	0.76	3.28	0.12	1.52
∑REE	48.7	51.8	50.3	45.9	52.4	76.1	97.7	96.6	89.4	31.9	45.6	77.2	71.4	61.4	63.6	84.3	125.7	83.7	130	70.5	54.2	115
$(La/Yb)_N$	6.01	3.16	3.73	10.5	7.67	10.94	8.22	4.99	4.62	3.20	3.07	6.26	5.67	5.63	4.93	3.15	6.61	8.54	8.56	8.01	5.01	15.5
$(La/Sm)_N$	2.92	2.96	2.13	4.84	3.19	5.63	4.69	2.22	2.71	1.74	2.22	2.89	3.52	2.47	3.34	1.71	3.13	3.66	3.02	4.27	1.71	5.86
$(Gd/Yb)_N$	1.49	0.80	1.25	1.43	1.64	1.28	1.07	1.31	1.26	1.42	0.97	1.42	1.04	1.44	1.09	1.38	1.35	1.49	1.88	1.26	2.05	1.62

HES2-1(样品号)：黑云斜长花岗岩(岩石名称)，和尔赛(采样点)；D1-1：钾长花岗岩，和尔赛；D2-2：花岗闪长岩，和尔赛；D5-1：石英正长斑岩，和尔赛；D11-1：石英长石斑岩，和尔赛；BS16-1：花岗岩，宝山铁矿；BS-18-1：花岗岩，宝山铁矿；BS18-2：闪长岩包体，宝山铁矿；MX8-1：二长花岗斑岩，蒙西；MX12-2：含磁铁矿辉长岩，蒙西；MX14-1：钾长花岗斑岩，蒙西；MX18-1：斜长花岗岩，蒙西；MX19-1：钾长花岗岩，蒙西；ZK1403：闪长玢岩，蒙西；SNYT-1：角闪二长花岗岩，桑南铜矿；QHB1-1：闪长岩，桑南；CDG-2：闪长岩包体，禅德沟；CDG-5：角闪二长花岗岩，禅德沟；LYM16-1：辉石闪长岩，老爷庙；LYM17-1：黑云二长花岗岩，老爷庙；LYM18-1：含磁铁矿辉长岩，老爷庙；HRS-1：石英二长岩，呼仍山

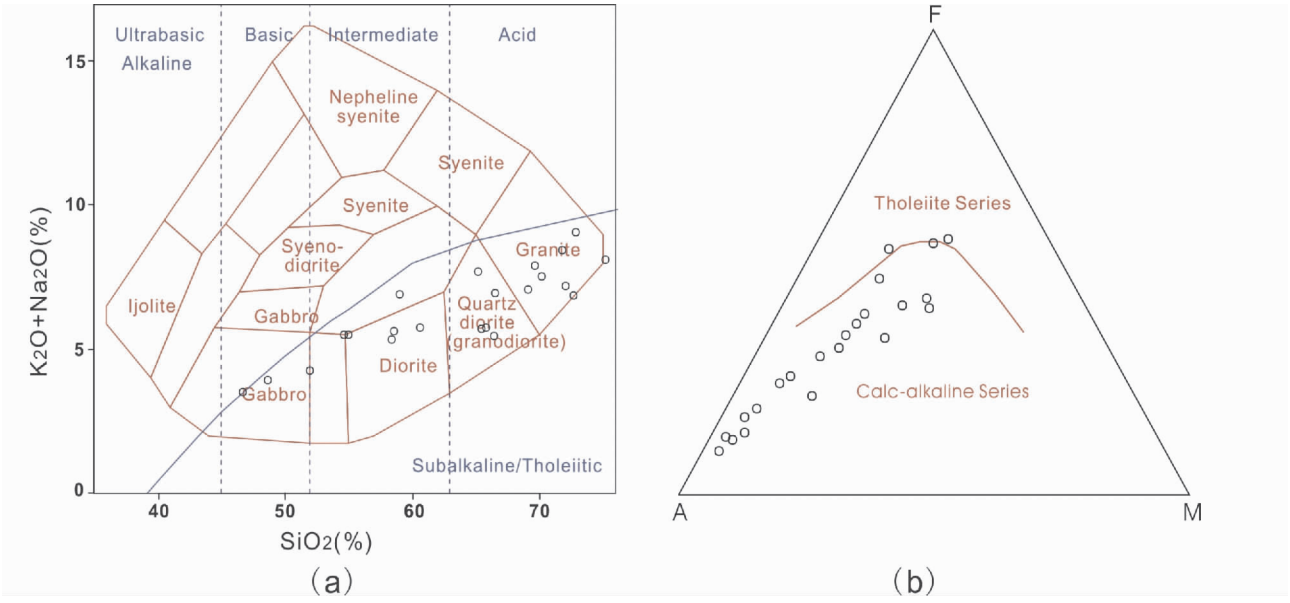


图 5 琼河坝地区岩体的 TAS 图解(a)与 AFM 图解(b)

Fig. 5 TAS (a) and AFM (b) diagram of intrusions in the Qiongheba area

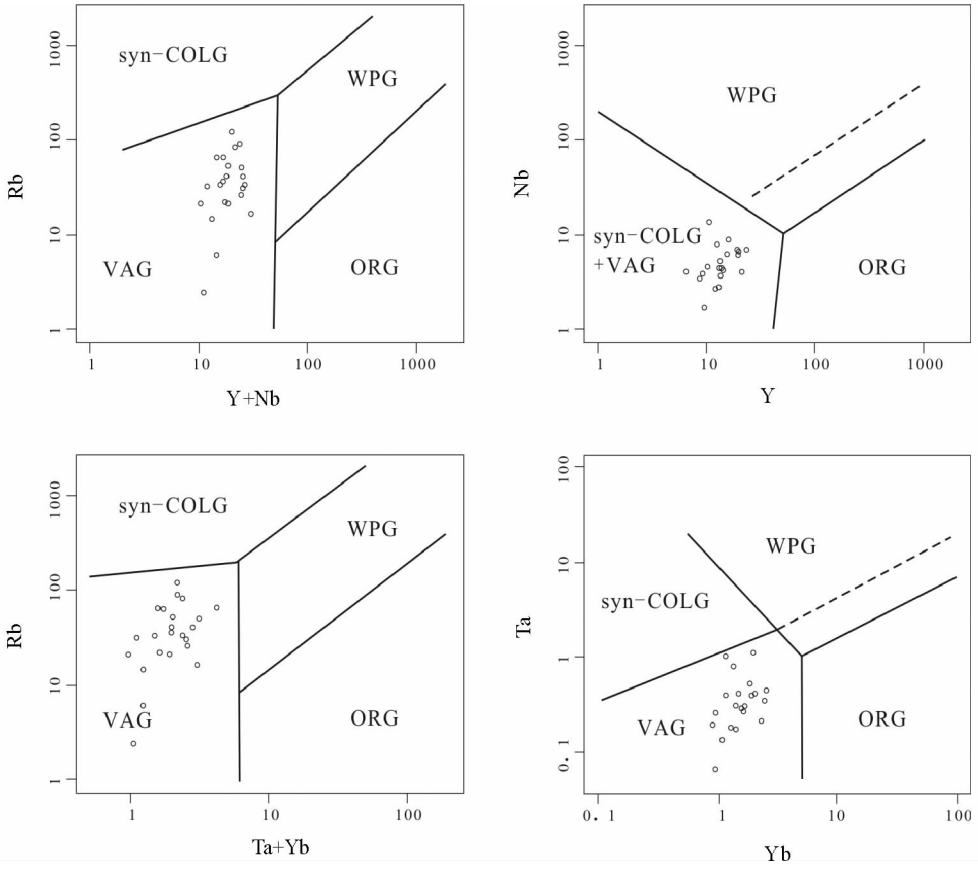


图 6 琼河坝地区岩体形成构造环境判别图解(据 Pearce *et al.*, 1984)

ORG-大洋中脊花岗岩;VAG-火山岛弧花岗岩;WPG-板内花岗岩;COLG-碰撞成因花岗岩

Fig. 6 Tectonic diagrams of intrusions in the Qiongheba area (After Pearce *et al.*, 1984)

ORG-ocean ridge granites; VAG-volcanic arc granites; WPG-within plate granites; COLG-collision granites

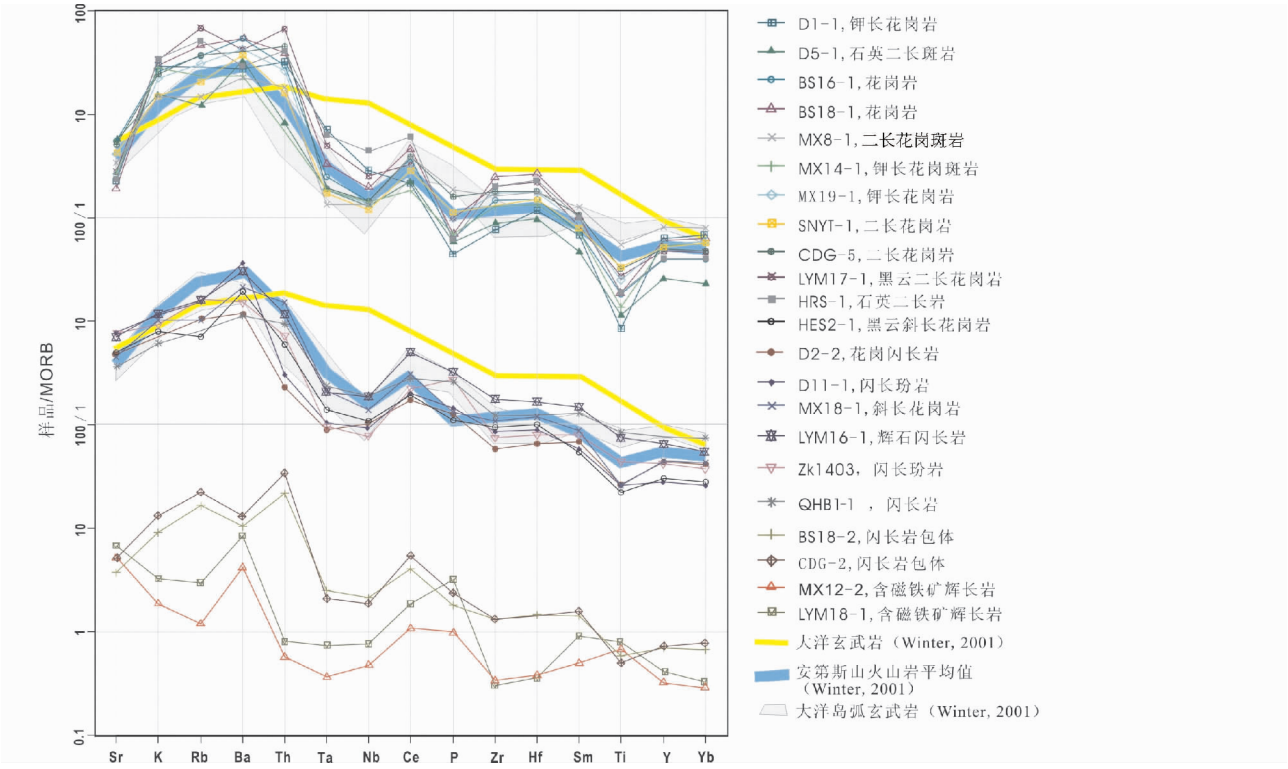


图 7　琼河坝地区岩体微量元素 MORB 标准化蛛网图(据 Pearce *et al.*，1984)

Fig. 7　MORB-normalized trace element variation diagrams for intrusions in the Qiongheba area (after Pearce *et al.*, 1984)

而两个辉长岩样品(样品号为 MX12-2 与 LYM18-1)与上述花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、二长花岗斑岩和闪长岩包体明显不同,其元素 Zr 与 Hf 含量较低,元素 K、Rb、Th、Ta、Nb、Ce、P、Sm 和 Ti 具与洋中脊玄武岩(MORB)相似或一致的含量,这可能意味着这两个地区的辉长岩源于上地幔,而非岛弧岩浆分异的产物。这两个辉长岩富含磁铁矿的特征也说明其与非岛弧岩浆分异结晶的基性岩(如老爷庙杂岩体 LYM16 测点的辉长岩与辉石闪长岩)不同。这也说明北塔山-琼河坝岛弧带也发育有晚古生代的基性-超基性岩浆的侵位。

琼河坝地区 22 个岩体样品其稀土总量为 31.9×10^{-6} ~ 130.5×10^{-6},总体为轻稀土富集型,$(La/Yb)_N$值介于 3.1 ~ 15.5 之间。根据岩石的稀土配分曲线(图 8),22 个样品可分为 3 种类型:①Eu 富集型,其特征是元素 Eu 表现为富集异常,$(La/Sm)_N$值较小、为 1.7 ~ 3.2,其岩石类型为辉长岩、黑云斜长花岗岩与闪长玢岩;②Eu 亏损型,其特征是元素 Eu 表现为亏损异常,岩石类型以花岗岩与钾长花岗岩为主,Eu 的亏损与负异常可能意味着这些岩体是经过分异结晶(以斜长石为主导的分异结晶)后残余岩浆结晶的产物,这与区域岩体侵位时序的认识是一致;③过渡型,其特征是元素 Eu 富集或亏损微弱或不明显,岩石类型以闪长岩、斜长花岗岩与二长花岗岩为主。琼河坝地区岩体其稀土配分曲线可以与大陆地壳和大陆岛弧火山岩对比,而与大洋玄武岩差别较大(图 8)。其中,Eu 富集型岩体具与大陆下地壳相似的稀土配分曲线,Eu 亏损型岩体具与大陆上地壳相似的稀土配分曲线,过渡型岩体具与大陆中地壳和安第斯山岛弧火山岩相似的稀土配分曲线;若不考虑含磁铁矿辉长岩,研究区 20 个样品其稀土元素含量平均值所对应的配分曲线与大陆中地壳和安第斯山岛弧火山岩稀土配分曲线非常相似或相近(图 8)。这意味着琼河坝地区的花岗岩体其原始岩浆成分可能包含大陆下地壳、中地壳与上地壳的组分、并与安第斯山岛弧火山岩平均成分相当,即琼河坝地区的花岗岩形成于大陆地壳背景下的岛弧环境。

因此,琼河坝地区的侵入岩形成于大陆地壳背景的岛弧环境,琼河坝岩浆弧为陆缘弧型岩浆弧。

5　蒙西铜钼矿床 Re-Os 年龄及其意义

表 2 是蒙西矿区 6 个辉钼矿样品 Re-Os 同位素分析结果,图 9 是采用 Isoplot 软件作的等时线图。其中普 Os 是根据 Nier 值的 Os 同位素丰度,通过$^{192}Os/^{190}Os$ 测量比计算得出,^{187}Os 是^{187}Os 同位素总量;Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差。置信水平 95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%),置信水平 95%;模式年龄 t 按下式计算

$$t=\frac{1}{\lambda}\left[\ln\left(1+\frac{^{187}Os}{^{187}Re}\right)\right]$$

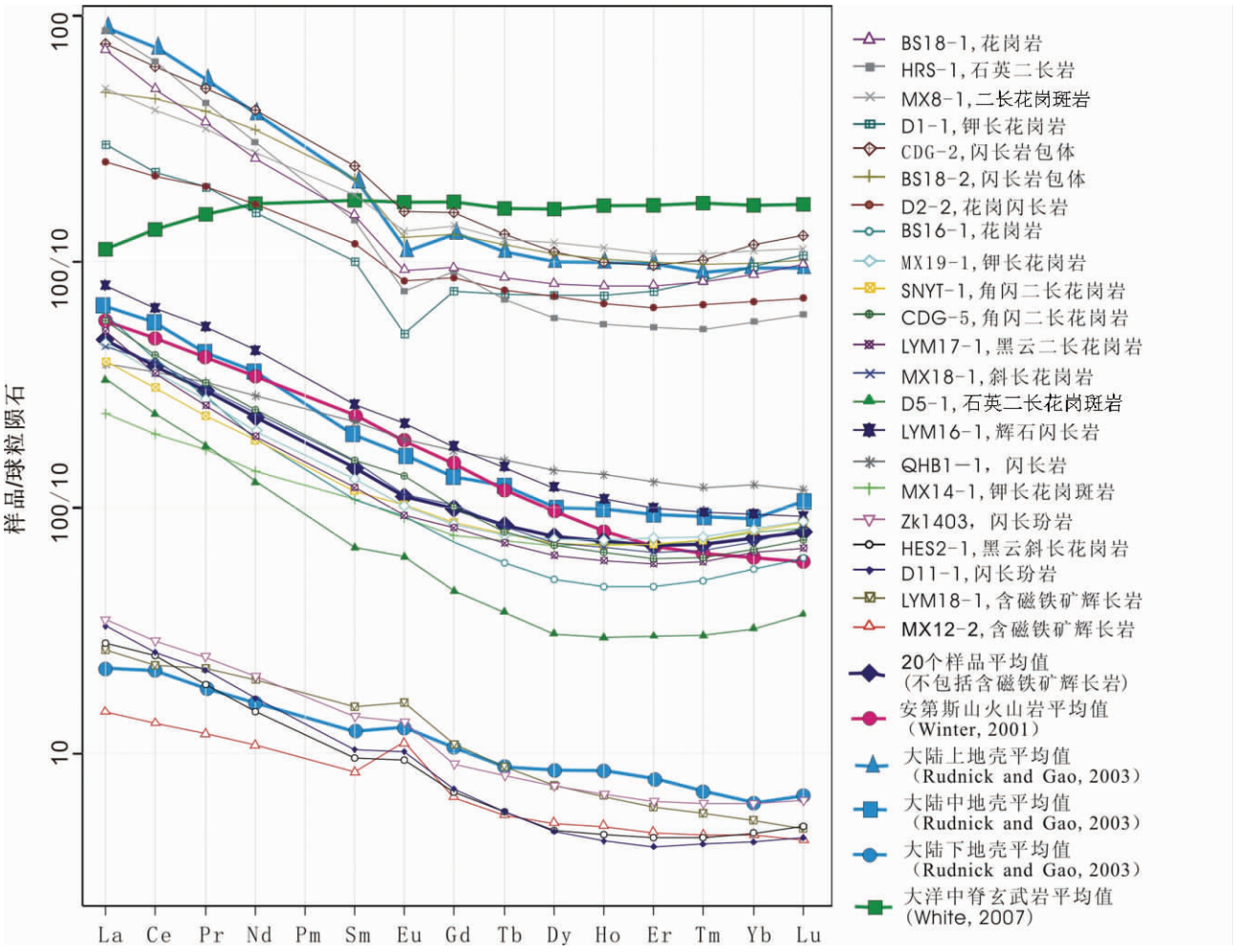


图 8 琼河坝地区岩体球粒陨石标准化 REE 图(据 Boynton,1984)

Fig. 8 Chondrite-normalized REE variation diagrams for intrusions in the Qiongheba area (Boynton,1984)

表 2 蒙西矿床含矿石英脉辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 2 Re-Os isotopic data of molybdenite from ore-bearing quartz vein in the Mengxi Cu-Mo deposit

样品号	zk1401 孔中位置(m)	样重(g)	Re($\times10^{-9}$)		普 Os($\times10^{-9}$)		Re^{187}($\times10^{-9}$)		Os^{187}($\times10^{-9}$)		模式年龄(Ma)	
			测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
MXHMK-1	246.2	0.00354	227635	2133	0.0004	0.0010	143073	1341	972.6	7.7	406.7	6.0
MXHMK-2	283.5	0.00580	1260751	11757	0.0005	0.0012	792407	7390	5459.0	46.3	412.1	6.2
MXHMK-3	325	0.00602	1113806	9302	0.0005	0.0016	700049	5847	4820.7	41.2	411.9	5.9
MXHMK-4	180	0.00329	1113264	8568	0.0003	0.0014	699709	5385	4792.1	43.2	409.7	5.9
MXHMK-5	323	0.00061	1135489	8475	0.0001	0.0002	713678	5327	4880.9	43.9	409.1	5.8
MXHMK-6	338	0.00012	647105	7117	0.0000	0.0000	406719	4473	2691.6	34.3	395.9	7.4

其中 λ(^{187}Re 衰变常数) = $1.666\times10^{-11}\,yr^{-1}$。

从表 2 与图 9 可以看出,蒙西矿区辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果的不确定度低、^{187}Re 与 ^{187}Os 同位素总量的测量与计算误差小于 2%,测量结果可信可靠;6 个样品 $^{187}Re/^{187}Os$ 比值呈线性关系,MSWD 值为 0.37,测年结果非常相近,这意味着矿区辉钼矿具相同的成因、形成于同一成矿流体事件。测试样品的总 Re 和总 Os 含量分别为 227635 $\times10^{-9}$ ~ 1260751 $\times10^{-9}$ 和 0 $\times10^{-9}$ ~ 0.0005 $\times10^{-9}$。6 个样品模式年龄介于 395.9Ma 与 412.1Ma 之间,误差介于 5.8Ma 与 7.4Ma 之间;它们的等时线年龄为 411.6 ± 3.2Ma。因此,蒙西铜多金属矿区辉钼矿及铜钼矿床形成于志留纪,年龄为 411Ma。这可能意味着蒙西矿区的闪长玢岩与二长花岗斑岩及琼河坝地区的花岗岩基也形成于志留纪或稍早。

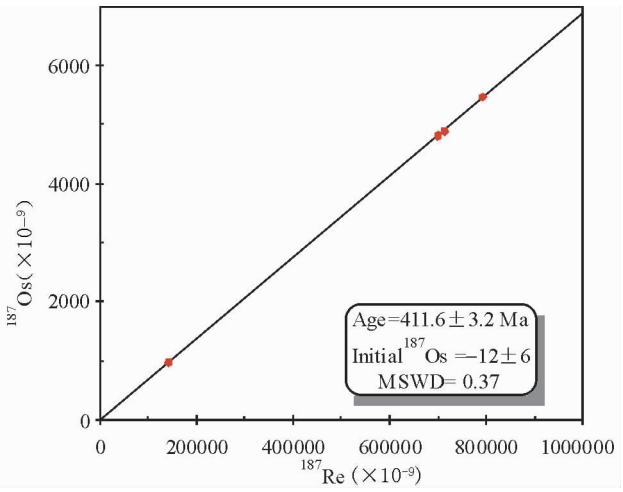


图 9 蒙西矿区含矿石英脉辉钼矿^{187}Re-^{187}Os 等时线图

Fig. 9 Re-Os isochron of molybdenite from the ore-bearing quartz vein in the Mengxi Cu-Mo deposit

6 结论

蒙西铜钼矿床为发育于琼河坝大花岗岩基外接触带、形成于断裂构造背景下的斑岩型铜钼矿床，发育黄铁矿化、黄铜矿化、辉钼矿化、磁铁矿化、钾长石化、硅化与绢云母化等多种类型矿化蚀变，蚀变体的分布以脉体充填和沿脉体向两侧扩散渗透为特征，矿物组成不同的脉体垂向上分带，充填脉体有流体自创破裂充填脉与构造应力破裂充填脉两种类型，大量构造破裂充填脉的形成与矿区断裂构造有关，脉体形成与成矿具脉动特征，成矿斑岩为闪长玢岩与二长花岗斑岩。

琼河坝地区以花岗岩为主体的岩体均为钙碱性系列岩石，富 Pb、K、Sr、U、Th 和 Zr，贫 Rb、Nb、Y、Ta、Yb 与 Ti，轻稀土富集，在 Rb-Y + Nb、Nb-Y、Rb-Ta + Yb 与 Ta-Yb 图中位于 VAG（火山岛弧花岗岩）区，与安第斯山火山岩具相似的微量元素分配结构，形成于大陆地壳构造背景下的岛弧型岩浆岩，其原始岩浆成分包含大陆下、中与上地壳的组分、并与安第斯山岛弧火山岩平均成分相当。蒙西铜多金属矿区辉钼矿及铜钼矿床形成于年龄为 411Ma，蒙西矿区的闪长玢岩与二长花岗斑岩形成于晚志留纪-早泥盆纪，显著早于东、西天山和西准已有斑岩铜矿及浅成低温金矿的成矿时代（石炭纪及早二叠世）（Qin *et al.*，2002，2003；Zhang *et al.*，2006）。该年龄与南蒙古欧玉陶拉盖（Oyu Tolgoi）斑岩 Cu-Au 矿的成矿年龄（411Ma，Perello *et al.*，2001）一致，这意味着野马泉-北塔山-琼河坝斑岩铜矿带可能是南蒙古欧玉陶拉盖（Oyu Tolgoi）斑岩铜矿带的西延。琼河坝地区以花岗岩基为代表的岩浆岩带为古生代大陆岛弧岩浆岩带，是形成与寻找斑岩铜矿的有利地区。

致谢 作者在野外工作期间得到哈密国土资源局陈世平与初振利、新疆地矿局地质一大队蒙西项目组、新疆地矿局地质六大队陈松林与邓刚等同志的帮助与协助，在实验室样品处理与分析测试过程得到了杜安道、李禾、靳新娣和田桂茹等的帮助，在成文过程与秦克章、蔡新平、冯京、李凤明等进行了有益讨论，张连昌研究员、申萍副研究员等审阅本文并提出建设性的修改意见，在此向他们表示衷心地感谢。

References

Boynton WV. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies. In: Henderson P (ed.). REE Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 63 – 114

Dong LH, Xu XW, Qu X and Li G. M. 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)

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

Du AD, Zhao DM, Wang SX, Sun DZ and Liu DY. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with carius tube sample preparation. Rock and Mineral Analysis, 20:247 – 252 (in Chinese with English abstract)

Du A, Wu S, Sun D, Wang S, Qu W, Markey R, Stein H, Morgan J and Malinovskiy D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC. Geostandard and Geoanalytical Research, 28:41 – 52

Han BF. 1991. The middle Devonian bimodal association of volcanic rocks in the northern area of east Junggar, Xinjiang. Acta Geologica Sinica, 65 (4): 317 – 328 (in Chinese with English abstract)

He GQ and Li MS. 2000. New achievement in researching ophiolitic belts in central Asia and its significance in the links of tectonic belts between northern Xinjiang and adjacent area. Xinjiang Geology, 18 (3):193 – 203 (in Chinese with English abstract)

Li YP, Li SL and Li WQ. 1999. Discussion on the ownership of intermedia basic volcanics under Taheierbasitao formation in East Junggar. Xinjiang Geology, 17 (4): 393 – 398 (in Chinese with English abstract)

Li WD and Li WQ. 1999. Geological characteristics of Sekesenbayi super unit of north Balikun coal mine of East Junggar. Xinjiang Geology, 17(4): 377 – 384 (in Chinese with English abstract)

Lin JF, Yu HX, Yu XQ, Di YJ and Tian JT. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geological implication of the Sabei alkali-rich granite from Eastern Junggar of Xinjiang, NW China. Acta Petrologica Sinica,23(8): 1776 – 1884 (in Chinese with English abstract)

Pearce JA, Harris NBW and Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25: 956 – 983

Perell J, Cox D, Garamjav D, Sanjdorj S, Diakov S and Schissel D. 2001. Oyu Tolgoi , Mongolia: Siluro-Devonian porphyry Cu-Au-(Mo) and high-sulfidation Cu mineralization with a Cretaceous chalcocite blanket. Economic Geolology 96, 1407 – 1428

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, Zhang LC , Xiao WJ, Xu XW, Yan Z and Mao JW. 2003. Overview of major Au, Cu, Ni and Fe deposits and metallogenic evolution of the eastern Tianshan Mountains, Northwestern China. In: Mao, Goldfarb and Seltmann (eds.). Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan (London), 227 – 249

Rudnick RL and Gao S. 2003. Composition of the continental crust. In: Rudnick RL (ed.). The Crust. Treatise on Geochemistry, vol 3. Elsevier-Pergamon, Amsterdam, 1 – 64

Shirey SB and Walker RJ. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis. Anal. Chem., 67: 2136 – 2141

Su YP, Tang HF, Hou GS and Liu CQ. 2006. Geochemistry of aluminous A-type granites along Darabut tectonic belt in West Junggar, Xinjiang. Geochimica, 35(1): 1 – 5 (in Chinese with English abstract)

White WM. 2007. Geochemisty. John-Hopkins University Press, 265 – 317

Winter JD. 2001. An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall, 150 – 210

Xu XW, Cai XP, Qin DJ, Wang J, Liang GH, Zhang XY and Liu LJ. 2000. Fluids double-fracturing genetic mechanism and mineralization of gold-copper of the breccia pipe at Qibaoshan in Shandong Province. Science in China (Series D), 43: 113 – 121

Xu XW, Cai XP, Wang J, Zhang BL and Liang GH. 2001. Tectonic dynamics of fluids and its advance tectonic dynamics. Advance in Earth Sciences, 16: 324 – 331 (in Chinese with English abstract)

Xu XW, Cai XP, Zhang BL and Wang J. 2004. Explosive microfractures induced by K-metasomatism. Journal of Asian Earth Sciences, 23: 307 – 319

Xu XW, Zhang BL, Qin KZ, Mao Q and Cai XP. 2007. Mixing of mafic and alkaline melts and origin of lamprophyre in the Beiya area, western Yunnan, China. Lithos, 99: 339 – 362

Zhang LC, Xiao WJ, Qin KZ, and Zhang Q. 2006. The adakite connection of the Tuwu-Yandong copper porphyry belt, east Tianshan, NW-China: Trace element and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry. Mineralium Deposita, 41(2): 188 – 200

附中文参考文献

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

杜安道,何红蓼,殷宁万,邹晓秋,孙亚利,孙德忠,陈少珍,屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-锇同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报,68:339 – 347

杜安道,赵敦敏,王淑贤,孙德忠,刘敦一. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-锇同位素地质年龄. 岩矿测试,20:247 – 252

韩宝福. 1991. 新疆东准噶尔北部地区中泥盆世双峰式火山岩组合. 地质学报, 65 (4): 317 – 328

何国琦,李茂松. 2000. 中亚蛇绿岩带研究进展及区域构造连接. 新疆地质,18(3):193 – 203

李亚萍,李嵩龄,李文铅. 1999. 东准噶尔原塔黑尔巴斯套组下部中基性火山岩建造归属. 新疆地质, 17 (4):393 – 398

李卫东,李文铅. 1999. 东准噶尔巴里坤煤矿北色克森巴依超单元特征. 新疆地质,17(4): 377 – 384

林锦富,喻亨祥,余心起,狄永军,田建涛. 2007. 新疆东准噶尔萨北富碱花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其地质意义. 岩石学报,23: 1776 – 1884

苏玉平,唐红峰,侯广顺,刘丛强. 2006. 新疆西准噶尔达拉布特构造带铝质 A 型花岗岩的地球化学研究. 地球化学,35:1 – 5

徐兴旺,蔡新平,王杰,张宝林,梁光河. 2001. 流体构造动力学及其进展. 地球科学进展,16:324 – 331