1000-0569/2008/024(08)-1875-88 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

铜陵地区朝山矽卡岩型金矿床及含矿岩体的成因：$^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄、元素地球化学及多元同位素证据*

王建中[1,2] 李建威[2,3**] 赵新福[4] 钱壮志[1] 马昌前[2]

WANG JianZhong[1,2], LI JianWei[2,3**], ZHAO XinFu[4], QIAN ZhuangZhi[1] and MA ChangQian[2]

1. 长安大学地球科学与国土资源学院，西安 710054
2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室，武汉 430074
3. 中国地质大学资源学院，武汉 430074
4. 香港大学地球科学系

1. *College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an* 710054, *China*
2. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*
3. *Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*
4. *Department of Earth Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong SAR, China*

2008-06-13 收稿，2008-07-22 改回.

Wang JZ, Li JW, Zhao XF, Qian ZZ and Ma CQ. 2008. Genesis of the Chaoshan gold deposit and its host intrusion, Tongling area: Constraints from $^{40}Ar/^{39}Ar$ ages and elemental and Sr-Nd-O-C-S isotope geochemistry. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1875 – 1888

Abstract The Chaoshan gold deposit, one of few gold-only skarn deposits throughout the Middle-Lower Yangtze metallogenic belt, is located in the central of the Shizishan ore-field, Tongling district. The deposit is closely related to the Baimangshan pyroxene diorite, with a majority of the ore bodies occurring within the contact between the Baimangshan intrusion and the limestones of the Middle Triassic Nanlinghu Formaion. Three hornblende separates from the Baimangshan pyroxene diorite were dated by the $^{40}Ar/^{39}Ar$ incremental heating technique, yielding well-defined plateau ages of 139.7 ± 0.3 ~ 138.3 ± 0.6Ma (2σ). These are interpreted as cooling age of the Baimangshan intrusion at 500 ~ 550℃. In light of previously published SHRIMP zircon U-Pb age and the present hornblende $^{40}Ar/^{39}Ar$ age, a cooling rate of ca. 100℃/Ma was estimated for the Baimangshan intrusion based on the closure temperatures of argon isotope in hornblende and U-Pb isotopes in zircon. Given that the argon closure temperature in hornblende is comparable with the mineralization temperature of the Chaoshan gold deposit, the present $^{40}Ar/^{39}Ar$ plateau ages can be reliably interpreted as the timing of gold mineralization. Rocks of the Baimangshan pyroxene diorites are alkaline, sodic, metaluminous, and are characterized by enrichment of LREEs and large ion lithophile elements (LILE) but depletion in HREEs and high filed strength elements (HFSE). The samples exhibit extremely homogeneous, slightly radiogenic Sr-Nd isotopic compositions, with $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ = 0.706598 ~ 0.707460 and $\varepsilon_{Nd}(t)$ = −7.78 ~ −8.12. In the $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ versus $\varepsilon_{Nd}(t)$ diagram, the samples lie in the enriched extension of the mantle array defined by mantle-derived rocks. Thus, the petrographical, geochemical, and Sr-Nd isotopic data indicate that the Baimangshan pyroxene diorite was derived from partial melting of enriched lithospheric mantle, with some degree of fractional crystallization of pyroxene, hornblende and plagioclase and minor amounts of crustal materials adding into magmas during their ascent. The Au-bearing sulfides are enriched in heavy sulfur isotope and have $\delta^{34}S$ values of +6.2‰ ~ +9.3‰, signature interpreted as a mixing of magmatic sulfur and sedimentary sulfur that was most likely contributed by the gypsum layers in the Carboniferous and Triassic sedimentary rocks in the Tongling district. The carbon and oxygen isotopes of the gangue mineral calcite are similar to the mantle carbonatites but distinctly different from the marine sedimentary rocks in the deposit areas, indicating that carbon (occurring mostly as CO_2) in the mineralizing fluids are dominantly of deep-seated origin. A combination of regional geochronological and

* 自然科学基金创新群体基金(40521001)、科技部国际合作项目(2007DFA21230)、国家自然科学基金重点项目(40334037)联合资助.

第一作者简介：王建中，男，1978 年生，博士生，矿床学专业，E-mail：zhong_jw2004@yahoo.com.cn

** **通讯作者**：李建威，男，1970 年生，教授，博士生导师，矿床学专业，E-mail：jwli@cug.edu.cn

geochemical data of Late Mesozoic igneous rocks and ore deposits suggest that lithospheric extension was an important geodynamic control on the mineralization at Chaoshan and the whole Tongling district, by providing abnormal heat flow, voluminous fluids of multiple sources and ore metals.

Key words Chaoshan gold deposit; $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating; Isotope geochemistry; Lithospheric extension; Metallogeny; Tongling

摘 要 位于铜陵地区狮子山矿田的朝山金矿是长江中下游成矿带少有的矽卡岩型独立金矿床,成矿与白芒山辉石闪长岩有关,绝大多数金矿体产于白芒山辉石闪长岩与中三叠统南陵湖组灰岩的接触带上。辉石闪长岩中三个角闪石单矿物样品的$^{40}Ar/^{39}Ar$激光阶段加热分析给出了很好的坪年龄,年龄值介于139.7±0.3~138.3±0.6Ma(2σ),代表白芒山岩体冷却到500~550℃(氩同位素在角闪石中的封闭温度)的年龄。根据角闪石$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄和前人获得的SHRIMP锆石U-Pb年龄(142.9Ma)以及Ar同位素和U-Pb体系在角闪石和锆石中的封闭温度,计算出白芒山岩体冷却速率大约为100℃/Ma。由于氩同位素在角闪石中的封闭温度与朝山金矿的成矿温度非常接近,因此,上述$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄可以代表朝山金矿的成矿年龄。白芒山辉石闪长岩具有富碱、高钠、准铝质、富集轻稀土元素和大离子亲石元素、亏损重稀土元素和高场强元素的地球化学特点,其Sr-Nd同位素组成($(^{87}Sr/^{86}Sr)_i=0.706598\sim0.707460$,$\varepsilon_{Nd}(t)=-7.78\sim-8.12$)与铜陵及邻区同时代或稍晚时候的辉长岩和玄武岩非常相似。以上地球化学和Sr-Nd同位素特征暗示白芒山辉石闪长岩起源于富集岩石圈地幔的部分熔融,并经历了一定程度的分离结晶和地壳混染作用。矿石矿物的硫同位素组成($\delta^{34}S=+6.2‰\sim+9.3‰$)呈偏离零值的塔式分布,富集$^{34}S$,可能是岩浆硫与中石炭统和/或中三叠统膏盐层混合的产物。矿石中脉石矿物方解石的C-O同位素与矿区三叠系海相碳酸盐明显不同,而与地幔原始碳酸岩相似,反映成矿流体中碳(主要是CO_2的形式)的来源以深源为主,与含矿岩体成因研究得出的认识一致。对区域成岩成矿年代学及岩浆活动与成矿作用特点的分析认为,朝山金矿形成于岩石圈伸展的构造背景;强烈的岩石圈伸展及玄武质岩浆底侵为铜陵矿地区大规模岩浆活动及成矿作用提供了必要的动力学环境,也为成矿作用带来了丰富的热能、流体及金属成矿元素。

关键词 铜陵地区;朝山金矿床;成矿作用;Ar-Ar定年;同位素;岩石圈伸展

中图法分类号 P588.312;P618.51;P597.3

铜陵地区是我国重要的Cu-Au矿床集中区,也是长江中下游铁铜多金属成矿带的主要组成部分之一(常印佛等,1991;周涛发等,2008)。区内矿床类型以矽卡岩型为主,其次为斑岩型和沉积-热液叠加改造型(唐永成等,1998)。由原安徽地矿局321地质队于1990年发现的朝山金矿床位于铜陵矿集区狮子山矿田内,是长江中下游为数不多的矽卡岩型独立金矿床,成矿作用与白芒山辉石闪长岩有关(胡欢等,2001;徐兆文等,2004;李进文等,2007)。该矿床自发现以来,不少学者已经从矿石学(胡欢等,2001;任云生等,2007)、流体包裹体(田世洪等,2001;任云生等,2004)、地球化学(田世洪等,2004)、岩石学(杜杨松和李铉具,2004;徐兆文,2004)和同位素年代学(王彦斌等,2004;Wang *et al.*, 2008)等不同角度对朝山金矿及其含矿岩体的成因进行过探讨,取得了一些新认识。本文在已有工作的基础上,系统研究了白芒山辉石闪长岩的$^{40}Ar/^{39}Ar$年代学、岩石Sr-Nd同位素组成以及朝山金矿床的矿石C-O-S同位素组成特征,利用获得的这些资料对白芒山岩体和朝山金矿床的成因及成岩成矿地球动力学背景进行全面讨论。

1 成矿地质背景

铜陵矿集区位于扬子板块东北部、秦岭—大别造山带东侧。区内地层除缺失中、下泥盆统和下石炭统外,自志留系—第四系均有分布。志留系—泥盆系地层为一套滨海相碎屑岩类复理石建造,主要岩性为砂岩、粉砂岩、细砂岩和砂质页岩。中-上石炭统以浅海—半深海沉积为主,主要岩性为页岩、白云岩、灰岩和少量钙质细碎屑岩。二叠系—中三叠统则以出现巨厚的碳酸盐岩沉积夹硅质岩、页岩、细碎屑岩和膏盐层为特征。铜陵地区主要的赋矿岩层主要是各种碳酸盐岩(特别是含同生沉积黄铁矿和/或菱铁矿和膏盐层的碳酸盐岩层)和碳酸盐岩与硅铝质沉积岩层(砂岩、页岩、硅质岩)的组合,特别是中石炭统黄龙组下部白云岩和中-下三叠统以灰岩为主的碳酸盐岩地层(唐永成等,1998)。

铜陵地区不同尺度的断裂构造十分发育,包括切割岩石圈的深断裂、切割基底的基底断裂以及发育于沉积盖层中的盖层断裂(常印佛等,1991)。矿集区东西两侧分别被常州—阳新断裂和郯庐断裂围限,这两条断裂也大致限定了长江中下游成矿带的范围。另外,根据地球物理资料解译的长江深断裂横贯全区,可能是一条切穿岩石圈的断裂,控制了长江中下游古生代和中生代的沉积岩相、岩浆活动和成矿作用(常印佛等,1991)。基底构造主要为近东西向和南北向的隐伏断裂,其中近东西向的铜陵—戴家汇深大断裂控制了铜陵岩浆—成矿带的分布。盖层构造以北东至北北东向印支期盖层褶皱和印支—燕山期断裂构造为主,基底断裂与印支—燕山期盖层断裂的交汇部位是岩浆岩侵位的有利场所(唐永成等,1998)。

铜陵地区侵入岩浆活动强烈,以中小型岩株、岩枝和岩脉为主,大小岩体70余个。各侵入体沿铜陵—戴家汇深大断裂近东西向成群展布,形成一宽约20km、长40km的岩浆岩带。单个岩体的空间展布方向大致与区域构造线一致,呈

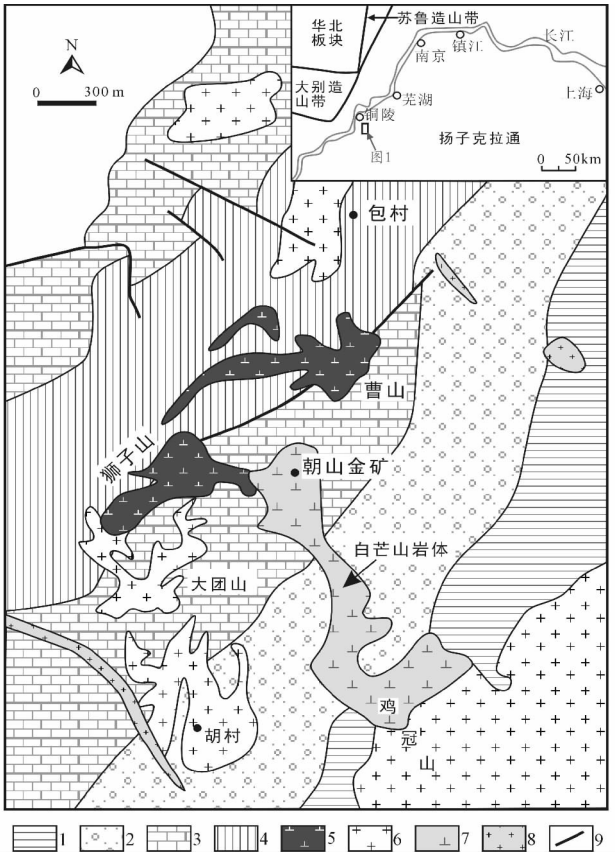


图 1　狮子山矿田地质简图(据胡欢等,2001)

1-中三叠统龙头山组；2-中三叠统分水岭组；3-中三叠统南陵湖组；4-下三叠统塔山组；5-闪长岩；6-石英闪长岩；7-辉石闪长岩；8-花岗斑岩；9-断层

Fig. 1　Geological map of the Shizishan ore field, Tongling district (after Hu *et al.* 2001)

1-Middle Triassic Longtoushan Formation; 2-Middle Triassic Fenshuiling Formation; 3-Middle Triassic Nanlinghu Formation; 4-Lower Triassic Tashan Formation; 5-Dirotie; 6-Quartz diorite; 7-gabbro-diorite; 8-Granite porphyry; 9-Fault

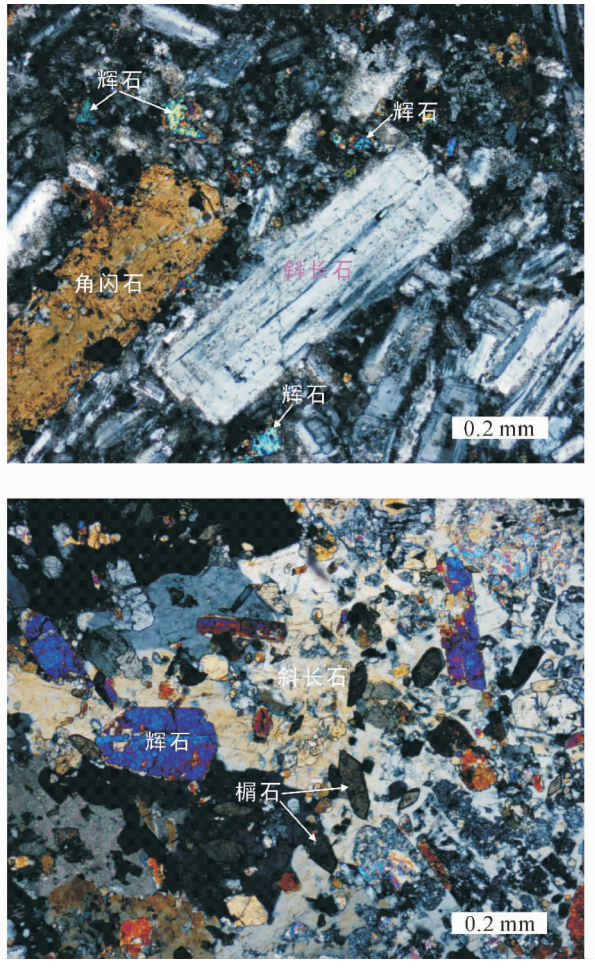


图 2　白芒山辉石闪长岩矿物组成和结构显微照片(正交偏光)

Fig. 2　Photomicrographs showing mineralogy and texture of the Baimangshan pyroxene diorite

北东—北北东向分布,地表出露形态多呈椭圆形或长椭圆形,长轴方向主要为北东向,表明岩体侵位受构造控制较为明显。侵入岩的岩石类型多样,包括辉长岩、辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩,其中辉长岩—闪长岩类占 20% 左右,其余岩性占 80% 左右。许多中基性和中酸性侵入岩中岩浆成因的包体非常发育。近几年高精度同位素年代学研究表明,铜陵地区中生代侵入岩浆活动始于晚侏罗世末期(沙滩角岩体,151.8Ma; Di *et al.*, 2005),但大规模的岩浆活动集中于 142 ~ 135Ma(吴才来等,1996; Xu *et al.*, 2004; Di *et al.*, 2005)。

2　矿床地质特征

2.1　矿区地质

朝山金矿位于狮子山矿田中部,矿田内出露三叠系下统塔山组和中统南陵湖组、分水岭组和龙头山组地层,主要岩性为灰岩和白云岩夹钙质页岩,累积厚度 >700m(图 1)。燕山期侵入岩发育,岩石类型有石英闪长岩、闪长岩、辉石闪长岩和少量花岗闪长岩。与朝山金矿床有关的岩体为白芒山辉石闪长岩,呈 NW 向侵入于中三叠统南陵湖组灰岩中(图 1)。辉石闪长岩具有中-细粒结构(局部出现似斑状结构)、块状构造,造岩矿物以斜长石(60% ~ 70%)、辉石(10% ~20%)和角闪石(8% ~ 12%)为主,其次有少量黑云母(2% ~3%),偶见石英(<1%);副矿物有磁铁矿、榍石、磷灰石和锆石(图 2)。造岩矿物石英中含有丰富的熔体包裹体和熔体—流体包裹体,熔体包裹体的均一温度高达 1280 ~1290℃(田世洪等,2001)。辉石闪长岩中还出现较丰富的辉石和角闪石巨晶、辉石岩、角闪石岩及辉长质包体(杜杨松和李铉具,2004)。王彦斌等(2004)利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法测得白芒山辉石闪长岩的侵位年龄为 142.9 ± 1.1Ma。

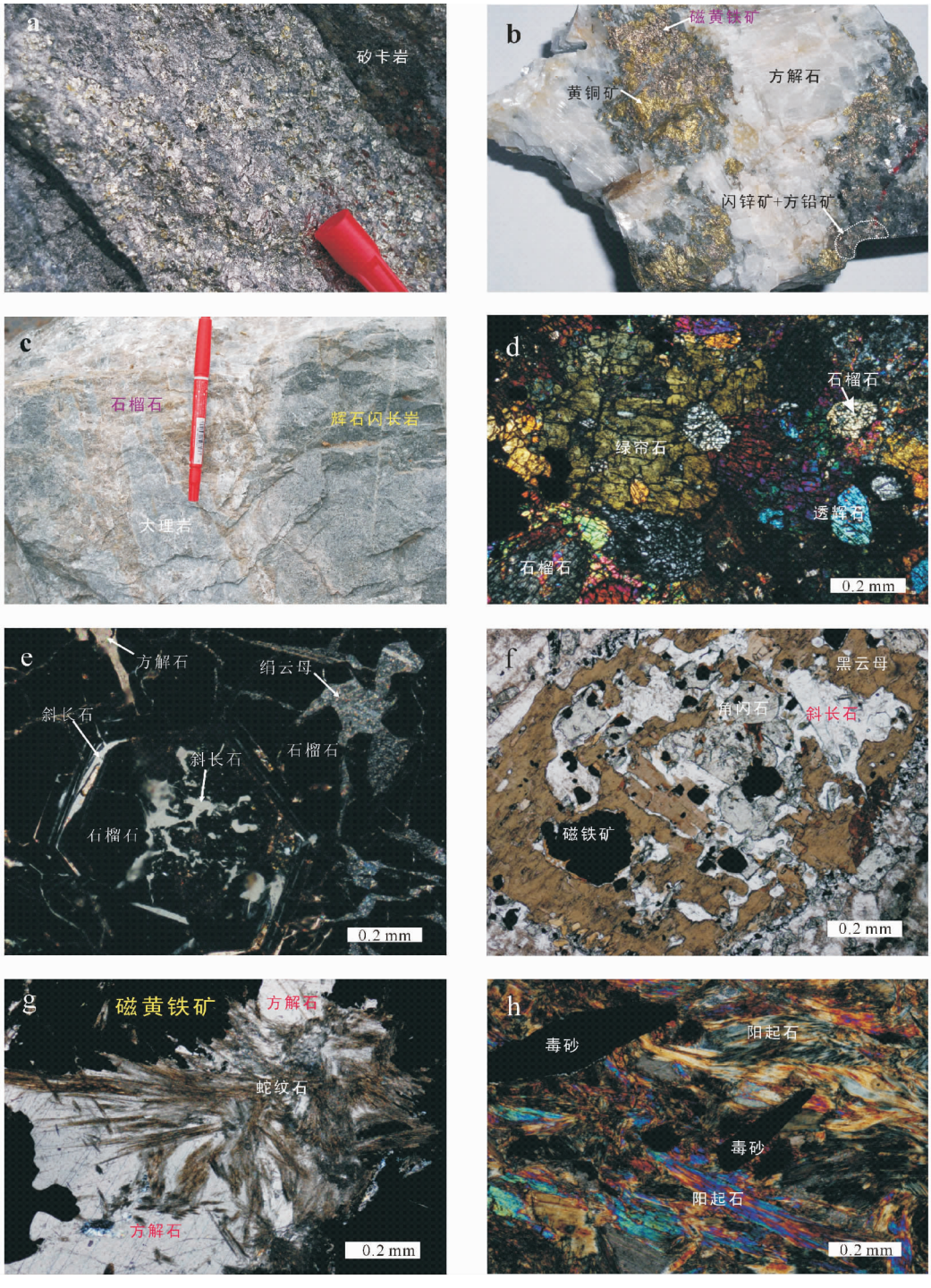


图 3 朝山金矿蚀变和矿化特征

a-由磁黄铁矿和少量黄铜矿和黄铁矿组成的块状矿石(石英-硫化物阶段); b-团块状多金属硫化物金矿石; c-沿辉石闪长岩和南陵湖组大理岩接触带发育的石榴石矽卡岩; d-石榴石透辉石矽卡岩被晚期绿帘石交代; e-早期矽卡岩矿物石榴石被晚期矽卡岩矿物斜长石和方解石交代,而斜长石又被更晚期的绢云母交代; f-氧化物阶段的典型矿物组合; g-方解石阶段的蛇纹石和方解石与石英—硫化物阶段的磁黄铁矿共生; h-石英—硫化物阶段的毒砂叠加于晚期矽卡岩阶段的阳起石之上. 显微照片均为透射光下的正交偏光

Fig. 3 Photographs (a-c) and photomicrographs illustrating features of mineralization and alteration at the Chaoshan gold skarn deposit, Tongling district

a-Massive sulfide ores consisting of pyrrhotite and minor amounts of chalcopyrite and pyrite; b- Lumpy sulfide ores; c-garnet skarn developed at the contact between gabbro-diorite and the Nanlinghu Formation marble; d-Epidote replacing garnet-diopside skarn; e-Replacement of garnet by calcite and plagioclase, with the later being replaced by sericite; f-Ttypical minerals of the oxide-stage; g-coexistence of serpentine and calcite with pyrrhotite; h-Coexistence of arsenopyrite with early skarn minerals actinolite. All photomicrographs were captured under transmitted lights (cross polarization)

2.2 矿化和蚀变特征

朝山金矿床共圈定金矿体 20 个，其中具有一定规模的工业矿体 10 个。多数矿体呈透镜状、似层状或薄板状赋存于白芒山辉石闪长岩体与下三叠统南陵湖组的东、西接触带中，另有少数矿体呈不规则小透镜状赋存于近接触带围岩的层间破碎带内（任云生等，2004）。矿体自北而南呈斜列式侧伏产出，在走向和倾向上均有膨大缩小、分支复合、尖灭再现等变化规律。矿体厚度在接触带弯曲部位增大，而平直的接触带附近矿体通常较薄。已探明的 20 个矿体中，T-1、T-2 和 T-3 等三个矿体规模最大，其侧伏长度 160m ~ 300m，倾斜延深 27m ~ 70m，单工程厚度 1.2m ~ 25.9m。金矿石品位 2.4 ~ 35.0g/t，最高 145g/t，平均品位 16 ~ 17g/t。

野外和镜下观察及电子探针分析结果表明（王建中，2007），矿石中金属矿物主要有磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂，其次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿和辉铋矿等（图 3），其中磁黄铁矿和黄铁矿是最重要的载金矿物。金以自然金、金银矿和银金矿的形存在于载金矿物的显微裂隙和晶间缝隙中，其次呈包裹物的形式存在于载金矿物晶体内。

与金矿化有关的围岩蚀变主要是矽卡岩化（图 3），主要发育于辉石闪长岩与南陵湖组灰岩的接触带中，在岩体产状变化处的内凹、拐弯及超覆部位尤为发育。主要的矽卡岩矿物有石榴石、透辉石、绿帘石、阳起石、透闪石、绿泥石，其次为方柱石、符山石和蛇纹石等（图 3）。根据野外观察和镜下鉴定结果，将朝山金矿的蚀变矿化过程划分为矽卡岩期和热液期（王建中，2007），前者又可进一步分为早期无水矽卡岩阶段（形成石榴石、透辉石和符山石等无水矽卡岩矿物）、中期含水矽卡岩阶段（形成绿帘石、阳起石、透闪石等含水矽卡岩矿物）和晚期氧化物阶段（形成角闪石、黑云母、斜长石、磁铁矿和赤铁矿等），后者分为石英—硫化物阶段（主要形成金属硫化物、绿泥石、绢云母、石英、方解石）和碳酸盐阶段（形成大量方解石和少量石英、蛇纹石等）（图 3）。在内矽卡岩带和辉石闪长岩中，还不同程度地发育钾长石化和黑云母化蚀变。石英—硫化物阶段是矿石矿物大量沉淀的阶段，即主成矿阶段。

3 实验方法

3.1 角闪石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年

在矿区深部坑道采取重量约 0.5kg 新鲜辉石闪长岩标本三件，将样品进行破碎、筛选、去离子水清洗、60 ~ 80℃ 烘干后，在双目镜下挑选出纯净的角闪石单矿物（0.5mm ~ 1.8mm），与用于中子通量监测的标样（GA1550 黑云母，98.8 ±0.5Ma；Renne *et al.* 1998）在澳大利亚新南威尔士州的 HIFAR 反应堆中照射 72 小时，样品照射后冷却 3 个月在澳大利亚墨尔本大学地球科学学院利用 MAP215-50 稀有气体同位素质谱仪进行激光阶段加热 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素分析。每个样品在不同的激光功率（$P = 1.0 \sim 5.0W$）条件下连续加热 4 ~ 5 个阶段，每个阶段加热时间为 60 秒，使角闪石晶体在不同的温度条件下充分释气。中子照射过程中由 Ca 和 K 裂变所产生的干扰同位素比值为 $(^{36}Ar/^{37}Ar)_{Ca} = (3.20 \pm 0.02) \times 10^{-4}$，$(^{39}Ar/^{37}Ar)_{Ca} = (7.54 \pm 0.5) \times 10^{-4}$，$(^{40}Ar/^{39}Ar)_{K} = (0.035 \pm 0.005)$；用于 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄计算的 ^{40}K 总衰变常数采用 5.543×10^{-10} year^{-1}（Steiger and Jager，1977）。详细的分析流程已由 Forster *et al.*（2004）报道。

3.2 全岩主-微量元素分析

主量元素和微量元素分析均在香港大学地球科学系完成；主量元素用 XRF（X-Ray Fluorescence Spectrometry）方法测定，所用仪器为 Philips PW 2400 光谱仪。将约 1g 岩石粉末样品与湿硼酸锂按 1∶10 的比例混合后，在 1300℃ 的温度下，于铂金坩锅中熔融制成玻璃片，然后用 XRF 方法测定氧化物含量。主要氧化物的分析误差一般小于 2%。微量元素及稀土元素利用 ICP-MS 方法测定，所用质谱仪为 VG Plasma-Quad Excell ICP-MS。将样品粉末（约 0.05g）与 HF 和 HNO_3 溶液混合后置于一种高压的钢套中放在保温箱充分溶解。在质谱分析过程中用 Rh 元素作为内标来进行内部校正，纯的元素标样作为外部校正（Qi and Gregoire，2000），实验室标样 BHVO-1 和 SY-4 作为参考标准。大多数微量元素的分析误差优于 5%。

3.3 全岩 Sr-Nd 同位素分析

样品的 Sr-Nd 同位素分析在中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素地球化学实验室完成。每个样品取大约 100mg 全岩粉末，加入适量的 ^{87}Rb-^{84}Sr 和 ^{149}Sm-^{150}Nd 混合稀释剂和纯化的 HF-$HClO_4$ 酸混合试剂后，在高温下完全溶解。Rb-Sr 的分离提纯在石英交换柱中用 2 毫升 AG50W-X12 交换树脂（200 ~ 400 目）进行，而 Sm 和 Nd 的分离提纯则用 1 毫升 Teflon 粉末为交换介质完成。锶和钕的全流程本底分别为 < 100pg 和 < 50pg。浓度（或 $^{147}Sm/^{144}Nd$ 和 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 比值）的测定误差小于 0.5%。同位素比值测量采用德国 Finnigan 公司 MAT262 热电离质谱计，详细的化学流程和同位素比值测试参见 Chen *et al.*（2000）。本次实验 Sr 同位素标样 NBS987 的测试结果为 0.710240 ± 12，Nd 同位素标样 Ames 为 0.512147。实验全流程标样 BCR-1 的测试结果 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.704998 ± 12，$^{143}Nd/^{144}Nd$ 为 0.512658 ± 13。

3.4 C-O-S 同位素分析

对石英—硫化物阶段的 7 个硫化物样品和碳酸盐阶段的 1 个磁黄铁矿样品及 4 个方解石样品分别进行了 S 同位素和 C-O 同位素分析，实验在国土资源部中南矿产资源监督检测中心（宜昌）完成。将硫化物和方解石样品粉碎至

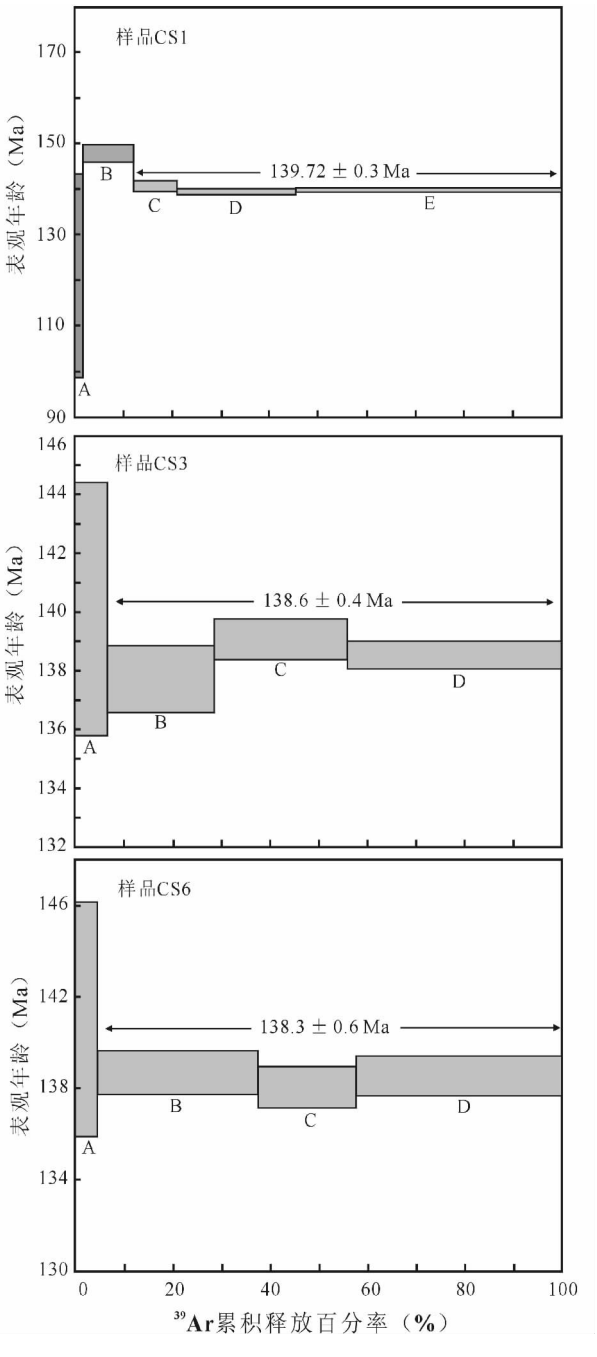


图4 白芒山辉石闪长岩角闪石$^{40}Ar/^{39}Ar$激光阶段加热表观年龄谱

Fig. 4 Incremental heating $^{40}Ar/^{39}Ar$ spectra of hornblende separates from the Baimangshan pyroxene diorite

0.25mm ~ 0.50mm，筛选后在超声波清洗仪中清洗，在60℃的温度条件下烘干，然后在双目镜下按纯度99%的要求挑选单矿物颗粒。在玛瑙钵中将硫化物单矿物样品研磨至200目以下，称取0.5mg左右置于反应器中与BrF_5反应，生成SF_6气体后，采用Ress色谱分离方法对SF_6气体进行纯化，在温度20℃、湿度30%的条件下，用MAT251质谱仪测定硫同位素组成。对于研磨至200目的方解石样品，在105℃下烘干2小时，以去掉吸附水，放在干燥器中备用；称取2mg左右的样品，置于反应管底部，再于试管中注入约4ml的100%磷酸，迅速将反应管放入真空制样系统，冷阱套上液氮开始抽真空。用酒精冷液冷却收集的CO_2经纯化后送MAT251质谱仪进行同位素分析。S-C-O同位素的分析精度均为0.02%左右。

4 结果

4.1 角闪石$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄

$^{40}Ar/^{39}Ar$同位素分析结果列于表1，相应的表观年龄谱如图4所示。这些表观年龄谱具有以下特点：(1)有三个或三个以上的连续加热阶段其释放的^{39}Ar占^{39}Ar总量的80%以上；(2)这些阶段的表观年龄在2σ误差范围内完全一致；(3)所有样品第一个加热阶段的表观年龄误差较大，这主要是因为矿物晶体表面或矿物外层晶格吸附了少量大气氩，导致低温加热阶段释放的气体中放射性成因氩所占比例较低；(4)样品CS1的第一个加热阶段所产生的表观年龄明显偏低，说明角闪石矿物表面遭受了很轻微的氩丢失(McDougall and Harrison 1988)。根据上述年龄谱的特征及McDougall and Harrison (1988)对坪年龄的定义，本次研究的三个样品均给出了很好的坪年龄，年龄值介于139.7 ± 0.3Ma ~ 138.3 ± 0.6Ma(2σ)。不同样品的坪年龄在误差范围内完全一致，证明分析结果可靠。

4.2 主量-微量元素组成

白芒山辉石闪长岩的主量和微量元素元素含量如表2所示。样品的主量元素具有如下特征：(1)在Harker图解上(图5)，随SiO_2含量的降低，样品的K_2O和$Na_2O + K_2O$增加，Al_2O_3、CaO、MgO、TiO_2和P_2O_5减少，而Na_2O没有明显规律性；(2)SiO_2含量变化小，介于53% ~57 %；(2)全碱含量较高，$Na_2O + K_2O$ = 6% ~7 %，但岩石明显富钠(Na_2O = 3.3% ~4.5%，)，Na_2O/K_2O比值为1.50 ~ 2.04，在K_2O-SiO_2图解中落入高钾钙碱性岩石系列(图6a)；(3)高铝，Al_2O_3含量 > 16%；(4)在A/CNK-A/NK关系图解上(图6b)，所有样品表现为准铝质岩石(A/CNK = 0.64 ~ 0.74)。

白芒山辉石闪长岩样品的稀土及微量元素具有如下特征：(1)轻、重稀土分异强烈，$(La/Yb)_N$比值19 ~23。在球粒陨石标准化图解上，各岩体的稀土元素配分曲线均为右倾(图6c)，但重稀土部分的曲线比较平坦，没有明显的Eu异常；(2)强烈富集大离子亲石元素(如Sr = 750×10^{-6} ~ 915×10^{-6}，Ba = 642×10^{-6} ~ 766×10^{-6})，亏损高场强元素，在原始地幔标准化曲线上出现明显的Nb-Ta-Ti负异常(图6d)。

4.3 Sr-Nd同位素特征

岩石的Sr-Nd同位素分析数据列于表3。Sr-Nd同位素

表 1 白芒山辉石闪长岩角闪石氩同位素分析结果

Table 1 $^{40}Ar/^{39}Ar$ data of hornblende separates from the Baimangshan pyroxene diorite

样品和阶段号	激光功率 (W)	$\frac{^{40}Ar}{^{39}Ar}$	$\frac{^{38}Ar}{^{39}Ar}$	$\frac{^{37}Ar}{^{39}Ar}$	$\frac{^{36}Ar}{^{39}Ar}$	$\frac{^{40}Ar^*}{^{39}Ar}$	$^{40}Ar^*$ (%)	^{39}Ar (Moles)	^{40}Ar (Moles)	表观年龄 (Ma)	± (Ma)
Sample CS1, $J = 0.012825 \pm 0.000034$											
A	1.0	44.187	1.189	2.294	0.132	5.41	12.2	0.0119	0.0526	121.0	22.2
B	2.0	8.254	0.739	4.017	0.068	6.65	80.4	0.0568	0.0469	147.7	1.9
C	3.0	6.829	0.465	5.647	0.035	6.32	92.2	0.0492	0.0336	140.6	1.0
D	4.0	6.551	0.357	5.747	0.028	6.25	95.1	0.1340	0.0878	139.2	0.7
E	5.0	6.410	0.323	6.116	0.023	6.28	97.6	0.3002	0.1924	139.7	0.4
Sample CS3, $J = 0.012845 \pm 0.000033$											
A	1.0	13.126	5.4278	0.753	0.244	6.21	47.2	0.0399	0.0523	140.5	3.6
B	2.0	6.594	4.228	0.403	0.037	5.99	90.5	0.0744	0.0491	138.7	0.7
C	3.0	6.418	4.051	0.251	0.028	6.21	96.4	0.1197	0.0768	138.5	0.6
D	4.0	6.899	3.902	0.233	0.033	6.09	94.9	0.1287	0.0822	135.9	0.5
Sample CS6, $J = 0.012861 \pm 0.000031$											
A	1.0	11.767	6.967	3.760	0.198	6.32	53.6	0.0170	0.0200	141.0	5.1
B	2.0	6.446	4.189	4.172	0.022	6.20	95.9	0.1207	0.0778	138.3	1.3
C	3.0	6.389	3.6.97	4.248	0.021	6.17	96.2	0.0740	0.0473	137.7	1.2
D	4.0	6.439	3.838	4.231	0.021	6.21	96.1	0.1555	0.1001	138.5	0.9

表 2 白芒山辉石闪长岩主量(wt%)和微量元素($\times 10^{-6}$)

Table 2 Major (wt%) and trace element ($\times 10^{-6}$) abundances of the Baimangshan pyroxene diorite

样品	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5	CS6	CS37	CS51	CS52	CS54	CS56	CS96
SiO_2	54.0	52.9	55.2	53.9	56.5	55.5	54.0	53.6	54.7	57.0	56.2	54.8
TiO_2	1.03	1.28	1.05	1.14	1.01	1.07	1.22	1.23	1.15	0.99	1.02	1.01
Al_2O_3	16.2	16.6	16.5	16.6	17.1	16.6	17.0	16.6	16.8	16.5	16.4	16.3
Fe_2O_3	7.64	9.27	7.80	8.76	7.62	7.77	8.99	8.99	8.85	7.70	7.83	8.17
MnO	0.15	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.17	0.14	0.16	0.14	0.15	0.17
MgO	2.93	3.62	2.97	3.20	2.59	3.00	3.04	3.48	3.12	2.90	3.03	2.99
CaO	8.50	8.47	8.46	8.81	7.29	8.53	7.97	8.05	7.75	7.28	7.56	8.86
Na_2O	4.13	3.91	4.24	3.88	4.17	4.46	3.46	3.71	3.57	3.64	3.78	3.32
K_2O	2.74	2.47	2.80	2.23	2.64	2.56	2.53	2.69	2.47	2.67	2.75	3.09
P_2O_5	0.41	0.54	0.42	0.54	0.45	0.41	0.47	0.50	0.43	0.39	0.38	0.46
LOI	1.98	0.63	0.30	0.74	0.48	0.35	0.60	0.85	0.97	0.94	0.72	0.42
Total	99.7	99.8	99.9	100.0	100.0	100.5	99.4	99.8	100.0	100.1	99.9	99.5
$Na_2O + K_2O$	6.87	6.38	7.04	6.11	6.81	7.02	5.99	6.40	6.04	6.32	6.53	6.42
K_2O/Na_2O	0.66	0.63	0.66	0.57	0.63	0.58	0.57	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50
A/CNK	0.64	0.67	0.64	0.66	0.74	0.64	0.69	0.69	0.70	0.71	0.71	0.72
La	43.3	42.1	40.4	38.8	41.3	42.9	37.9	39.3	35.6	34.8	38.0	38.2
Ce	84.4	87.2	78.7	81.0	89.8	79.3	74.9	80.4	70.2	66.8	75.4	76.3
Pr	8.93	10.0	8.88	8.63	9.66	9.21	7.87	9.02	7.67	7.27	8.09	8.14
Nd	36.2	40.2	34.9	35.0	39.5	37.3	33.0	35.6	31.1	29.2	32.7	32.8
Sm	6.42	7.64	6.60	6.61	7.09	6.44	6.38	6.87	5.98	5.29	5.84	6.19
Eu	1.97	2.17	1.85	1.99	1.93	1.98	1.74	1.81	1.73	1.52	1.60	1.63
Gd	5.05	5.81	4.80	5.49	5.43	5.31	5.74	5.81	5.42	4.91	5.07	5.34
Tb	0.71	0.79	0.67	0.79	0.74	0.66	0.74	0.72	0.73	0.62	0.64	0.69
Dy	4.18	4.68	3.86	4.23	4.22	4.12	3.87	3.79	3.84	3.47	3.43	3.72
Ho	0.79	0.80	0.68	0.77	0.77	0.74	0.78	0.75	0.77	0.69	0.70	0.78
Er	2.06	2.23	1.96	2.13	2.23	2.01	2.16	2.05	2.00	1.86	1.85	2.12
Tm	0.28	0.30	0.29	0.32	0.30	0.30	0.30	0.30	0.28	0.27	0.29	0.30
Yb	1.88	2.12	1.84	1.97	2.01	1.89	1.82	1.85	1.87	1.76	1.69	1.79

续表 2

Continoued Table 2

样品	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5	CS6	CS37	CS51	CS52	CS54	CS56	CS96
Lu	0.32	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.25	0.26	0.29
Sc	12.9	16.6	12.6	12.7	11.7	12.5	13.4	13.9	13.3	12.1	12.6	12.5
V	169	223	162	178	152	174	180	187	178	138	139	153
Cr	14.7	13.4	14.8	10.7	8.77	15.5	22.4	25.3	22.6	29.6	30.9	24.4
Co	20.3	28.2	21.6	25.8	21.6	22.1	16.2	18.0	16.1	13.9	15.0	15.9
Ni	15.5	16.7	16.2	14.2	11.7	15.9	18.6	22.2	18.1	23.0	23.7	19.3
As	1.94	1.69	2.25	2.85	2.99	2.72	3.33	5.10	2.59	2.96	3.15	2.53
Rb	75.5	68.8	72.7	61.8	77.3	73.7	70.5	75.9	68.2	78.7	76.7	94.1
Cs	3.09	3.40	2.94	2.62	3.02	2.91	2.84	2.89	2.75	1.53	2.61	2.41
Sr	911	876	881	915	845	896	786	825	750	836	795	834
Y	21.8	23.1	21.5	21.8	23.5	22.0	22.6	22.1	21.9	19.6	21.0	22.5
Zr	211	184	191	170	186	195	153	161	140	165	166	147
Nb	15.4	14.3	14.3	13.6	15.1	15.6	12.4	13.0	11.3	12.8	12.5	12.0
Ba	745	693	716	659	727	766	647	642	643	691	684	657
Hf	5.05	4.81	4.95	4.33	4.81	4.91	4.16	4.44	3.87	4.31	4.32	4.15
Ta	0.91	0.83	0.83	0.75	0.84	0.98	0.66	0.68	0.59	0.66	0.66	0.64
Pb	20.3	17.3	18.0	15.1	23.5	20.0	29.8	28.1	25.7	24.1	41.1	33.6
Th	9.88	8.96	9.13	8.89	10.2	9.69	8.48	8.78	7.68	9.27	9.25	9.77
U	2.69	2.30	2.52	2.62	2.68	2.79	2.81	2.47	2.38	2.77	2.72	3.77
$(La/Yb)_N$	23.1	19.9	21.9	19.7	20.6	22.6	20.9	21.2	19.0	19.7	22.5	21.3

表 3 白芒山辉石闪长岩 Sr-Nd 同位素分析结果

Table 3 Sr-Nd isotope data of the Baimangshan pyroxene diorite

样品	Rb ($\times10^{-6}$)	Sr ($\times10^{-6}$)	$\frac{^{87}Rb}{^{86}Sr}$	$\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}$	t (Ma)	$\left(\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}\right)_i$	Sm ($\times10^{-6}$)	Nd ($\times10^{-6}$)	$\left(\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd}\right)_i$	$\varepsilon_{Nd}(t)$	t_{DM} (Ga)
CS3	74.7	965	0.2220	0.707123	141	0.706672	6.52	35.8	0.512052	−7.84	1.46
CS4	61.8	979	0.1810	0.707152	141	0.706784	6.98	36.9	0.512043	−8.01	1.53
CS5	78.1	851	0.2447	0.707135	141	0.706637	6.76	36.8	0.512056	−7.78	1.47
CS6	68.7	969	0.2030	0.707011	141	0.706598	6.52	35.8	0.512038	−8.12	1.48
CS37	70.5	786	0.2056	0.707013	141	0.707179	6.61	35.9	0.512155	−7.91	1.49
CS96	76.7	195	0.2143	0.707004	141	0.707460	6.71	36.1	0.512146	−8.11	1.51

表 4 朝山金矿床热液方解石和矿区大理岩碳-氧同位素组成

Table 4 Carbon and oxygen isotopic compositions of calcite and marble from the Chaoshan gold deposit

样号	样品	成矿阶段	$\delta^{13}C_{V_PDB}$/‰	$\delta^{18}O_{V_PDB}$/‰	$^{*}\delta^{18}O_{V_SMOW}$/‰	数据来源
C120-19-10	大理岩	地层	3.6	−8.1	22.5	
C120-19-11	大理岩	地层	3.9	−6.4	24.2	
C120-19-6	方解石	石英—硫化物阶段	−4.5	−16.3	14.0	田世洪等(2004)
C120-19-9	方解石	石英—硫化物阶段	−4.6	−16.4	13.9	
C120-19-3+1	方解石	碳酸盐阶段	−5.3	−16.5	13.9	
CS15	方解石	石英—硫化物阶段	−5.34	−17.49	12.83	
			−5.30	−17.52	12.80	
CS65	方解石	石英—硫化物阶段	−5.61	−16.46	13.89	本文
CS67	方解石	石英—硫化物阶段	−4.09	−17.23	13.10	
CS68	方解石	石英—硫化物阶段	−5.57	−16.80	13.54	

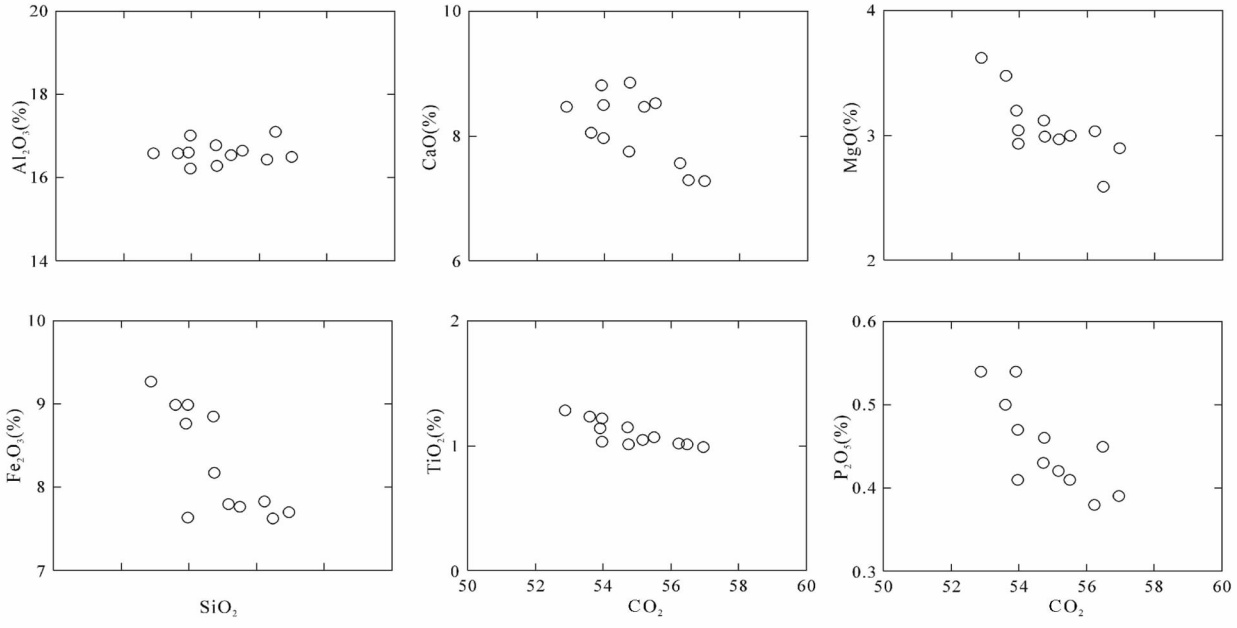


图 5　白芒山辉石闪长岩主量元素 Harker 图解

Fig. 5　The Harker diagrams for selected major oxides of the Baimangshan pyroxene diorite

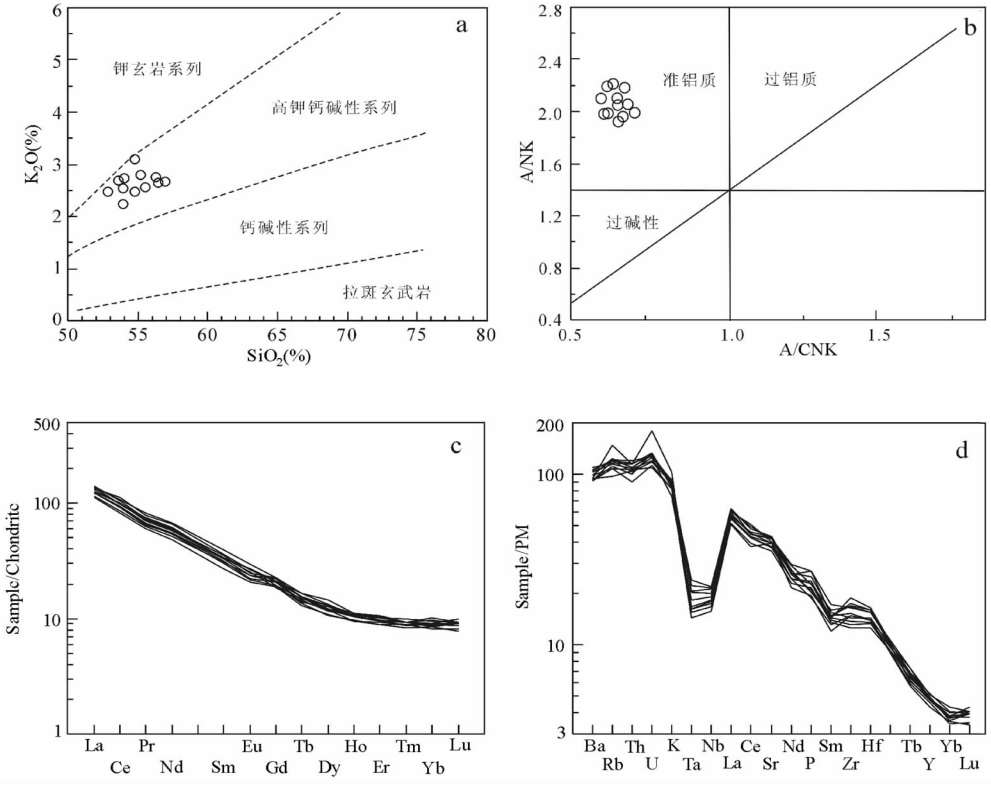


图 6　白芒山辉石闪长岩的 K_2O-SiO_2 图解(a)、A/CNK－A/NK 图解(b)、球粒陨石标准化的稀土元素配分模式(c)和原始地幔标准化的微量元素蛛网图(d)

c 和 d 中的标准化数据分别参考 Boynton (1984)和 McDonough and Sun(1995). 图 a 的底图引自 Peccerillo and Taylor (1976)

Fig. 6　K_2O-SiO_2 (a, after Peccerillo and Taylor, 1976), A/CNK－A/NK (b), chondrite－normalized (after Boynton, 1984) REE pattern (c) and primitive mantle－normalized (after McDonough and Sun, 1995) trace element spider diagrams (d) of the Baimangshan pyroxene diorite

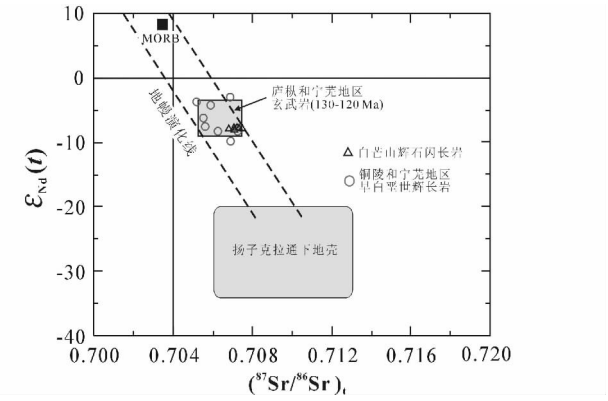


图 7 白芒山辉石闪长岩的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i - \varepsilon_{Nd}(t)$ 图解

扬子克拉通下地壳参考 Jahn *et al.* (1999); 庐枞和宁芜地区玄武岩的数据来自王元龙等(2001)和刘洪等(2002); 铜陵和宁芜地区早白垩世辉长岩引自 Chen *et al.* (2001)

Fig. 7 Initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ versus $\varepsilon_{Nd}(t)$ plot showing the similarity of Nd-Sr isotopic compositions between the Baimangshan pyroxene diorite and the mafic rocks in the Luzong, Ningwu, and Tongling areas

Date sources for the reference rocks are from Jahn *et al.* (1999), Chen *et al.* (2001), Wang *et al.* (2001), and Liu *et al.* (2002)

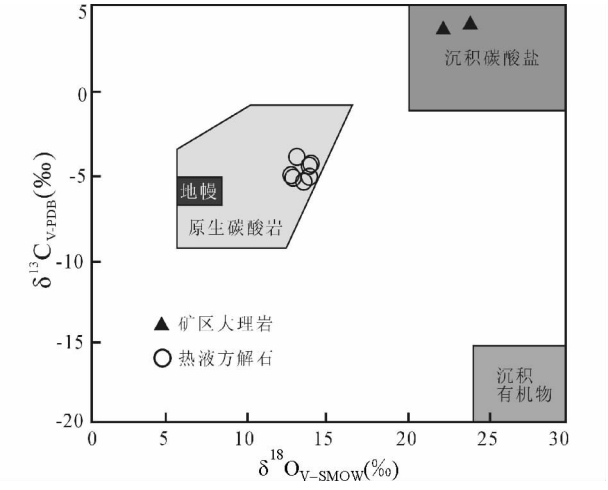


图 8 朝山金矿床脉石矿物方解石和矿区大理岩的 δ^{13} CV-PDB 和 δ^{18}OV-SMOW 图解

大理岩样品引自田世洪等(2004). 图中各参考范围引自 Ohmoto and Goldhaber (1997)

Fig. 8 δ^{13}CV-PDB 和 δ^{18}OV-SMOW diagram of the gangue mineral calcite from the Chaoshan gold deposit and marble in the deposit area

Data of marble samples are from Tian *et al.* (2004). The reference areas follow Ohmoto and Goldhaber (1997)

组成很均一,锶同位素初始比值 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 为 0.7066 ~ 0.7075,钕同位素初始比值 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ 为 0.51204 ~ 0.51216。

表 5 朝山金矿床矿石矿物硫同位素组成

Table 5 Sulfur isotopic composition of Au-bearing sulfide minerals from the Chaoshan Gold deposit

样品	矿物	成矿阶段	$\delta^{34}S_{CDT}$(‰)
CS13	黄铁矿	石英—硫化物阶段	6.24
CS26	磁黄铁矿	石英—硫化物阶段	7.17
CS31	方铅矿	石英—硫化物阶段	6.20
	方铅矿	石英—硫化物阶段	6.31
CS39	闪锌矿	石英—硫化物阶段	8.73
CS17	磁黄铁矿	碳酸盐阶段	9.29
CS48	磁黄铁矿	石英—硫化物阶段	6.38
CS59	黄铁矿	石英—硫化物阶段	7.75
CS62	黄铁矿	石英—硫化物阶段	7.20

根据岩体侵位年龄(142Ma; 王彦斌等, 2004)计算的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值为 -7.8 ~ -8.1, Nd 模式年龄(t_{DM})约为 1.5Ga。在 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i - \varepsilon_{Nd}(t)$ 关系图上(图 7),样品点位于洋中脊玄武岩(MORB)和扬子下地壳之间的演化线上。

4.4 C-O-S 同位素特征

方解石阶段热液方解石的 C-O 同位素分析结果如表 4 所示。方解石的碳-氧同位素组成较为均一,其 $\delta^{13}C_{V\text{-}PDB}$ 和 $\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}$ 分别为 -4.1‰ ~ -5.6‰和 12.8‰ ~ 13.9‰,与原生碳酸岩(primary carbonatites)的碳、氧同位素组成相同(Ray *et al.*, 1999),而与海相沉积碳酸盐岩相差很大(图 8)。石英—硫化物阶段硫化物的硫同位素分析结果列于表 5。黄铁矿、磁黄铁矿和方铅矿的 $\delta^{34}S$ 值集中分布于 +6.2‰ ~ +9.3‰,呈偏离零值较远的"塔式"分布。由于朝山金矿床的硫化物以磁黄铁矿、黄铁矿和毒砂为主,矿石中未见重晶石等硫酸盐矿物,因此磁黄铁矿、黄铁矿等硫化物的 $\delta^{34}S$ 值可近似地看作成矿流体总的硫同位素组成 $\delta^{34}S_{\Sigma}$ (Ohmoto and Goldhaber., 1997)。

5 讨论

5.1 成岩成矿时代

角闪石的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄一般被解释为岩体的冷却年龄。但由于氩同位素在角闪石中的封闭温度较高,约为 500 ~ 550℃(McDougall and Harrison, 1988),在岩浆冷却速率较大的情况下,其 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄可近似看作岩体的侵位年龄。朝山辉石闪长岩 3 个角闪石单矿物样品的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄(139.7 ± 0.3 ~ 138.3 ± 0.6Ma)虽比该岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(142.9 ± 1.1Ma; 王彦斌等,2004)略微年轻,但若考虑各自误差,则二者十分接近,证明本次分析的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄可靠,也说明岩体侵位后冷却较快,冷却年龄近似于岩体侵位年龄。根据锆石中 U-Pb 体系的封闭温度(900 ~ 1000℃, Cherniak and Watson, 2001)和角闪石中 Ar 同位素

的封闭温度(500～550℃)，计算出朝山辉石闪长岩的冷却速率大致为100℃/Ma。

任云生等(2004)对朝山金矿石英—硫化物阶段的石英矿物原生流体包裹体的均一法测温结果为337～478℃，峰值380～440℃。据此可以推断早期矽卡岩阶段的成矿流体温度至少在500℃以上，这与世界上大多数矽卡岩矿床成矿作用始于500～700℃的事实一致(Meinert *et al.*, 2005)。对白芒山辉石闪长岩中的熔体包裹体和流体包裹体的综合研究也揭示出含矿热液在700℃左右的温度条件就已开始从岩浆中分异出来，并标志着矽卡岩化和相关成矿作用的开始(田世洪等，2001)。因此，朝山金矿成矿作用开始的温度不会低于氩同位素在角闪石中的封闭温度，从而角闪石的$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄可以比较可靠地解释为朝山金矿的成矿年龄。近期 Sun *et al.* (2003)获得狮子山矿田龙虎山矽卡岩型 Cu-Au-Mo 矿床的辉钼矿 Re-Os 和 Os-Os 模式年龄为139Ma 和 138Ma，梅燕雄等(2005)获得狮子山矿田大团山铜(钼)矿床的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为139.1Ma，与朝山岩体的角闪石完全吻合，进一步证明上述解释的合理性。这些年龄数据还说明狮子山矿田的成矿具有同时性，成矿时代约为138～139Ma，即早白垩世初期。

5.2 含矿岩体成因

朝山金矿是典型的矽卡岩型金矿，成矿与白芒山辉石闪长岩有关；因此对白芒山辉石闪长岩的成因认识有助于正确理解朝山金矿的矿床成因和成矿机理。白芒山岩体为准铝质的富钠高钾钙碱性中基性侵入岩，具有轻重稀土元素分异强烈、无 Eu 负异常、富集大离子亲石元素、强烈亏损高场强元素等地球化学特点(图6)，与岛弧岩浆岩(Pearce *et al.*, 1984)或由富集岩石圈地幔(EMII)部分熔融产生的岩浆(Icenhower *et al.*, 1998)相似。但现有工作表明，铜陵地区以及长江中下游其他地区的早白垩世岩浆组合不具有岛弧岩浆特征(邢凤鸣和徐祥，1996；唐永成等 1998)；相反，这一时期大量橄榄玄粗岩系(王德滋等，1996)的发育反映出大陆裂谷的特点(Foley and Peccerillo, 1992)。另外，早白垩世时期古太平洋板块与欧亚大陆的俯冲拼合带位于现今台湾中央山脉一线(Zhou and Li, 2000)，进一步说明铜陵地区构造环境并不是典型的岛弧环境。

白芒山辉石闪长岩的 Sr-Nd 同位素组成与长江中下游的基底或下地壳岩石的 Sr-Nd 同位素的组成(Jahn *et al.*, 1999；Chen *et al.*, 2001)有很大差别(图7)，说明本区古老基底或下地壳的部分熔融不可能形成白芒山辉石闪长岩。这一认识与岩石具有较低的 A/CNK 值(0.64～0.74)和较高的 Na_2O 含量及 Na_2O/K_2O(1.5～2.0)比值是一致的。白芒山辉石闪长岩具有轻度富集的 Sr-Nd 同位素组成：$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 为0.7066～0.7075；$\varepsilon_{Nd}(t)$ 值为 -7.78～-8.12，在 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$-$\varepsilon_{Nd}(t)$ 关系图上(图7)，样品点位于亏损地幔和扬子地块下地壳之间的演化线上。这种同位素特征可能是来自亏损地幔的熔体遭受地壳物质混染的结果(Gibson *et al.*, 2005；周涛发等，2005)，也可能是地幔源区被地壳物质交代的反映(Rapp *et al.*, 2008)。大量地球化学研究表明，铜陵及长江中下游其他地区的岩石圈地幔在晚白垩世以前均是富集的，亏损地幔的出现则是新生代以来的事件(闫峻等，2003，2005；袁峰等，2008)，说明上述同位素组成特征不可能是亏损地幔熔体受地壳物质同化混染的结果。区域对比发现，白芒山岩体与铜陵地区早白垩世(140～135Ma)辉长岩(闫峻等，2003)以及庐枞和宁芜地区早白垩世玄武岩(王元龙等，2001；刘洪等，2002；袁峰等，2008)的 Sr-Nd 同位素组成非常相似，说明白芒山辉石闪长岩的母岩浆主要来自富集地幔的部分熔融，轻度富集的 Sr-Nd 同位素组成主要是源区特点的反映。

白芒山辉石闪长岩中发育大量辉长质包体，被认为是幔源玄武岩浆直接冷凝结晶的产物(杜杨松和李铉具，2004)。这些包体的 Sr-Nd 同位素组成($(^{87}Sr/^{86}Sr)_i=0.7070$，$\varepsilon_{Nd}(t)=-7.9$，杜杨松和李铉具，2004)与其寄主岩几乎完全一样，反映白芒山岩体的岩浆源区是地幔而非下地壳。铅同位素和氧同位素的研究结果也支持白芒山辉石闪长岩起源于富集岩石圈地幔的部分熔融(高庚等，2006)。白芒山辉石闪长岩中熔体包裹体的均一温度高达1280～1290℃(田世洪等，2001)，进一步支持白芒山岩体的原始岩浆起源于岩石圈地幔；这是因为铜陵地区早白垩世的地壳厚度仅30km 左右(常印佛等，1991)，按照正常的地温梯度，下地壳底部的温度不会超过1000℃。Harker 图解表明(图5)，白芒山岩体的母岩浆在岩浆房和上升侵位过程中发生过角闪石、辉石、斜长石、磷灰石和钛铁氧化物的分离结晶，这与岩体中普遍出现角闪石和辉石堆积晶的事实一致(杜杨松和李铉具，2004)。

5.3 矿床成因

矿区内三叠系中统南陵湖组大理岩的碳氧同位素组成分别为 $\delta^{13}C_{V\text{-}PDB}=3.6‰\sim3.9‰$，$\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}=22.5‰\sim24.2‰$，具有典型的海相碳酸盐特征(Ohmoto and Goldhaber, 1997)。而朝山金矿方解石阶段热液方解石的碳氧同位素组成分别为 $\delta^{13}C_{V\text{-}PDB}=-4.1‰\sim-5.6‰$，$\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}=12.8‰\sim14.0‰$；与南陵湖组大理岩明显不同，而与幔源原生碳酸岩相似(图8)，说明矿石中碳、氧具有明显的深源特征。具有这种深源特征的碳氧同位素组成可能直接来自高温岩浆($\delta^{13}C_{V\text{-}PDB}=-9‰\sim-3‰$)，也可能与地幔脱气($CO_2$，$\delta^{13}C_{V\text{-}PDB}=-5‰\sim-2‰$)有关(Taylor, 1987；Zhou *et al.*, 2007)。田世洪等(2004)分析了朝山金矿石英—硫化物阶段脉石矿物的氢-氧同位素组成，结果为 $\delta D=-65‰\sim-46‰$，$\delta^{18}O_{H_2O}=5.1‰\sim7.7‰$，在 δD-$\delta^{18}O_{H_2O}$ 图解上全部落入岩浆水范围，说明成矿流体主要来自岩浆热液。熔体—流体包裹体的研究为白芒山岩体冷凝结晶过程中分异出大量热液参与成矿提供了直接证据(田世洪等，2001)。

绝大部分矽卡岩矿床的硫同位素组成与成矿岩浆岩相似(赵一鸣等,1990; Meinert *et al.* 2005)。朝山金矿床矿石 $\delta^{34}S$ 值介于 +6.20‰ ~ +9.29‰(表 6),呈偏离零值的塔式分布,峰值为 7.2‰左右。田世洪等(2004)和聂桂平等(2007)也对朝山金矿的硫化物进行了同位素分析,除一个样品具有类似陨石硫的 $\delta^{34}S$(+1.2‰)外,其余样品的 $\delta^{34}S$ 介于 +4.5‰ ~ +8.5‰, 据此他们认为朝山金矿的硫同位素组成具有岩浆硫的特征。与典型的岩浆硫($\delta^{34}S = 0 \pm 5$‰)相比,朝山金矿的硫同位素组成明显富集重硫,因此,单一的岩浆硫源不能解释现今观察到的矿石硫同位素组成。我们认为,朝山金矿的矿石硫同位素组成反映了岩浆硫和膏盐层重硫的混合。长江中下游地区(包括铜陵地区)有两个重要的膏盐层位,一为中石炭统下部,如铜陵地区的冬瓜山等矿床见硬石膏层; 另一个层位(也是分布最广的膏盐层)是相当于三叠系中统马鞍山组或周村组的蒸发岩(常印佛等,1991; 周涛发等, 2005)。该层位在长江中下游沿江地带形成 20 余处石膏及硬石膏矿床,厚度几十米 ~ 几百米不等。由于膏盐层中的石膏和硬石膏具有很大的 $\delta^{34}S$ 正值(通常介于 +20‰ ~ +30‰),一旦这种富重硫成分加入岩浆系统或成矿流体(Zhou *et al.*, 2007),将会导致后者富集 ^{34}S,最终使矿石的 $\delta^{34}S$ 呈现正值。

5.4 成矿构造背景

含矿岩体的元素地球化学特征、Sr-Nd 同位素组成以及矿石的硫-碳-氧同位素地球化学特征一致表明,白芒山辉石闪长岩是富集岩石圈地幔部分熔融的产物,成矿物质主要来源于幔源岩浆,少量的地壳物质参与了岩浆活动和成矿作用。白芒山辉石闪长岩中出现大量辉石和角闪石巨晶及其堆积晶或堆积岩; 其矿物学特征和矿物温压条件计算结果表明它们的形成与幔源玄武岩浆有关(杜杨松等,2004)。狮子山矿田内的中酸性侵入岩还不同程度地发育辉长质和闪长质包体,其成因也普遍认为与幔源基性岩浆活动有关(Wu *et al.*, 2000; 杜杨松和李铉具,2004; 杜杨松等,2004); 铜陵及邻区地表出露的同时代辉长岩和玄武岩可能是这种基性岩浆活动的直接反映。闫峻等(2003)对这些基性岩的 Pb 同位素研究结果表明, 其母岩岩浆起源于富集岩石圈地幔的部分熔融。最近完成的深地震反射剖面清晰地揭示出铜陵地区的下地壳普遍存在似层状强反射层,目前认为这一强反射层是由于玄武质岩浆底侵引起的(吕庆田等, 2004)。以上现象说明,早白垩世铜陵地区出现过广泛的地幔熔融和玄武质岩浆底侵作用; 而岩石圈伸展(通常伴有软流圈上涌)是地幔熔融的最重要控制因素。岩石圈伸展不仅使地幔橄榄岩的压力减小,而且伴随有软流圈的上升,为地幔橄榄岩提供持续的热源。这两种因素都极其有利于岩石圈地幔的部分熔融和基性岩浆的产生。铜陵地区和长江中下游成矿带主要金属矿床的产出位置正好位于沿长江流域展布的地幔隆起带上,其地壳厚度比邻近的岳西和旌德地区小 5km ~ 10km(常印佛等,1991),反映岩石圈伸展减薄与大规模成矿作用之间的密切联系。强烈的岩石圈伸展及玄武质岩浆底侵为铜陵矿地区大规模岩浆活动及成矿作用提供了必要的动力学环境,也为成矿作用带来了丰富的热能、流体及金属成矿元素。

6 结论

朝山金矿是长江中下游成矿带少有的矽卡岩型独立金矿床,成矿与白芒山辉石闪长岩有关。成矿岩体的角闪石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 激光阶段加热定年表明朝山金矿的成矿时间大致为 139 ~ 138Ma。白芒山辉石闪长岩的地球化学和 Sr-Nd 同位素组成特征暗示其原始岩浆起源于富集地幔的部分熔融。朝山金矿的成矿流体以岩浆热液为主,但载金矿物磁黄铁矿、黄铁矿和方铅矿的硫同位素组成与岩浆硫相比明显富集 ^{34}S,可能反映了岩浆硫与铜陵地区石炭系和/或三叠系膏盐层中硫的混合。主成矿阶段和成矿晚期的脉石矿物方解石的 C-O 同位素也支持成矿物质和成矿流体来自幔源岩浆。区域地质构造条件和成岩成矿年代学数据分析表明,强烈的岩石圈伸展是朝山金矿和铜陵地区早白垩世岩浆活动及成矿作用的重要动力学条件; 这种深部构造环境导致岩石圈地幔的部分熔融和幔源岩浆的广泛底侵,并为区域大规模成矿提供了必要的热、流体和成矿物质。

致谢 感谢周涛发教授的热情约稿。澳大利亚墨尔本大学地球科学学院 David Phillips 博士协助完成角闪石的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年。主量和微量元素分析分别得到香港大学傅晓女士和贵阳地球化学研究所漆亮博士的热情帮助,野外工作得到安徽 321 地质队陈林杰工程师的大力支持。研究生邓晓东帮助完成了文中部分图件的编绘,毕诗健参加了部分野外工作并协助完成部分图件绘制。两位审稿人的中肯意见对提高本文质量具有重要作用。对以上人员的帮助一并致以衷心感谢!

References

Boynton WW. 1984. Geochemistry of the rare earth element: Meteorite studies. In: Henderson P(ed.). Rare Earth Element Geochmistry: Developments in Geochemistry 2. Amsterdam: Elsevier, 89 – 92

Chang YF, Liu XP and Wu YC. 1991. The Copper-iron Belt of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 379 (in Chinese with English abstract)

Chen FK, Hegner E and Todt W. 2000. Zircon ages, Nd isotopic and chemical compositions of orthogneisses from the Black Forest, Germany: Evidence for a Cambrian magmatic arc. International Journal of Earth Sciences, 88: 791 – 802

Chen JF, Yan J, Xie Z, Xu X and Xing F. 2001. Nd and Sr isotopic compositions of igneous rocks from the Lower Yangtze region in eastern China: Constraints on sources. Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy, 26: 719 – 731

Cherniak DJ and Watson EB. 2001. Pb diffusion in zircon. Chemical Geology, 172 (1 – 2): 5 – 24

Di Y, Wu G, Zhang D, Song B, Zang WS, Zhang ZW and Li JW. 2005. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Xiaotongguanshan and Shatanjiao intrusions and its petrological implications in the Tongling area, Anhui. Acta Geologica Sinica, 79(6): 795 – 802 (in Chinese with English abstract)

Du YS and Lee HK. 2004. Discovery of gabbroic xenoliths from Early Cretaceous intrusions in Tongling, Anhui Province, China and its geological significance. Geological Journal of China Universities, 10: 332 – 342 (in Chinese with English abstract)

Du YS, Qin XL and Lee HK. 2004. Mesozoic mantle-derived magma underplating in Tongling, Anhui Province: Evidence from megacrysts and xenoliths. Acta Petrologica et Mineralogica, 23 (2): 109 – 116 (in Chinese with English abstract)

Foley S amd Peccerillo A. 1992. Potassic and ultrapotassic magmas and their origin. Lithos, 28: 181 – 185

Forster DB, Seccombe PK and Phillips D. 2004. Controls on skarn mineralization and alteration at the Cadia deposits, New South Wales, Australia. Economic Geology, 99(6): 761 – 788

Gao G, Xu ZW, Yang XN, Wang YJ, Zhang J, Jiang SY and Ling HF. 2006. Petrogenesis of the Baimangshan pyroxene diorite intrusion in Tongling area, Anhui Province: Constraints from Sr-Nd-Pb-P isotopes. Journal of Nanjing Univeristy (Natural Sciences), 42(3): 269 – 279 (in Chinese with English abstract)

Gibson SA, Thompson RN, Day JA, Humphris SE and Dickin AP. 2005. Melt-generation processes associated with the Tristan mantle plume: Constraints on the origin of EM-1. Earth and Planetary Science Letters, 237 (3 – 4): 744 – 767

Hu H, Wang RC, Lu JJ and Liu GH. 2001. Mineral association, chemical composition and genetic significance of skarn gold deposits in the Shizishan ore field, Tongling Area, Anhui Province. Mineral Deposits, 20(1): 86 – 98 (in Chinese with English abstract)

Icenhower JP, Dymek RF and Weaver BL. 1998. Evidence for an enriched mantle source for j tunite (orthopyroxene monzodiorite) associated with the St. Urbain anorthosite, Quebec. Lithos, 42 (3 – 4): 191 – 212

Jahn BM, Wu FY, Lo CH and Tsai CH. 1999. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: Geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China. Chemical Geology, 157: 119 – 146

Li JW, Pei RF, Zhang DQ, Mei YX, Zang WS, Meng GX, Zeng PS, Li TJ and Di YJ. 2007. Geochemical Characteristics of the Yanshanian intermediate-acid intrusive rocks in the Tongling mineralization concentration area, Anhui Province, and their geological implications. Acta Geoscientica Sinica, 28 (1): 11 – 22 (in Chinese with English abstract)

Liu H, Qiu JS, Lu QH, Xu XS, Ling WL and Wang DZ. 2002. Petrogesis of the Mesozoic potash-rich volcanic rocks in the Luzong basin, Anhui Province: Geochemical constraints. Geochemica, 31 (2): 129 – 140 (in Chinese with English abstract)

Lv QT, Hou ZQ, Shi DN, Zhao JH, Xu MC and Chai MT. 2004. Seismic reflection study of Shizishan ore field, Tongling, and its significance in regional exploration. Mineral Deposits, 23(3): 390 – 398 (in Chinese with English abstract)

McDougall I and Harrison TM. 1988. Geochronology and Thermochronology by the $^{40}Ar/^{39}Ar$ Method. London/New York: Oxford University Press, 1 – 269

McDonough WF and Sun SS. 1995. The composition of the Earth. Chemical Geology, 120: 223 – 253

Mei YX, Mao JW, Li JW and Du AD. 2005. Re-Os dating of molybdenite from stratiform skarn orebodies in the Datuanshan copper deposit, Tongling, Anhui Province, and its geological significance. Acta Geoscientica Sinica, 26 (4): 327 – 331 (in Chinese with English abstract)

Meinert LD, Dipple GM and Nicolescu S. 2005. World Skarn Deposits. Economic Geology 100th Anniversary Volume: 337 – 370

Nie GP, Liu LG, Xu ZW, Gao G, Yang XN and Li HY. 2007. Concentrations and distribution of gold and sulfur isotope compositions of gold ores at the Chaoshan gold deposit, Anhui Province. Geology of Jiangsu Province, 31 (3): 200 – 205 (in Chinese with English abstract)

Ohmoto H and Goldhaber MB. 1997. Sulfur and carbon isotopes. In: Barnes HL(ed.). Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. 3rd edition. NewYork: John Wiley and Son, 517 – 599

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

Peccerillo R and Taylor SR. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcalic rocks from the Kaslanlonu area, Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58: 63 – 81

Qi L and Gregoire DC. 2000. Determination of trace elements in 26 Chinese geochemistry reference materials by inductively coupled plasma mass spectrometry. Geostandard Newsletter, 24: 51 – 63

Rapp RP, Irifune T, Shimizu N, Nishiyama N, Norman MD and Inoue T. 2008. Subduction recycling of continental sediments and the origin of geochemically enriched reservoirs in the deep mantle. Earth and Planetary Science Letters, doi:10.1016/j.epsl.2008.02.028 (in press)

Ray JS, Ramesh R and Pande K. 1999. Carbon isotopes in Kerguelen plume-derived carbonatites: Evidence for recycled inorganic carbon. Earth and Planetary Science Letters, 70: 205 – 214

Ren YS, Liu LD, Wan XZ and Liu G. 2004. Discussion on the metallogenic depth of skarn type gold deposit in Tongling area, Anhui Province. Geotectonica et Metallogenia, 28(4): 397 – 403 (in Chinese with English abstract)

Ren YS, Liu LD, Chen GH and Liu G. 2007. Ore characteristics and occurrence of gold of the Chaoshan gold deposit. Geology and Prospecting, 43:60 – 64 (in Chinese with English abstract)

Renne PR, Swisher CC, Deino AL, Karner DB, Owens TL and DePaolo DJ. 1998. Intercalibration of standards, absolute ages and uncertainties in $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating. Chemical Geology, 145: 117 – 152

Steiger RH and J ger E. 1977. Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo-and cosmochronology. Earth and Planetary Science Letters, 36(3): 359 – 362

Sun WD, Xie Z and Chen JF. 2003. Os-Os dating of copper and molybdenum deposits along Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, China. Economic Geology, 98: 175 – 180

Tang YC, Wu YC, Chu GZ, Xing FM, Wang YM, Cao FY and Chang YF. 1998. Geology of Copper-Gold Polymetallic Deposits in the Along-Changjiang Area of Anhui province. Beijing: Geological Publishing House

Taylor BE. 1987. Stable isotope geochemistry of ore-forming fluids. In: Kyser TK (ed.). Geochemistry of Low Temperature Fluids. Mineralogical Society of Canada Short Course, Toronto, 13: 37 – 445

Tian SH, Du YS, Qin XL, Li HK, Kim SJ, Yin JW and Lee CH. 2001. Mineral inclusion study of the intermediate and acid intrusive rocks and their rock enclaves in Tongling area, Anhui province. Earth Science Frontiers, 8 (4): 421 – 427 (in Chinese with English abstract)

Tian SH, Ding TP, Yang ZS, Meng YF, Zeng PS, Wang YB, Wang XC and Jiang ZP. 2004. REE and stable isotope geochemical characteristics of chaoshan gold deposit in Tongling, Anhui Province. Mineral Deposits, 23(3): 365 – 374 (in Chinese with English abstract)

Wang DZ, Ren QJ, Qiu JS, Chen KR, Xu ZW and Zen JH. 1996. Characteristics of volcanic rocks in the shoshonite province, eastern China and their metallogenesis. Acta Geologica Sinica, 70(1): 23 – 34 (in Chinese with English abstract)

Wang JZ. 2007. Genesis and geodynamical setting of the Chaoshan skarn gold deposit, Tongling Cu-Au-Mo district, Anhui Province. Unpublished MSc thesis. Wuhan: China University of Geosciences, 1 – 80 (in Chinese with English abstract)

Wang JZ, Li JW, Zhao XF, Ma CQ, Qu WJ and Du AD. 2008. Re-Os dating of pyrrhotite from the Chaoshan gold skarn, eastern Yangtze Craton, eastern China. International Geology Review, 50: 392 – 406

Wang YB, Liu DY, Zeng PS, Yang ZS and Tian SH. 2004. SHRIMP U-Pb geochronology of pyroxene diorite in the Chaoshan gold deposit

and its geological significance. Acta Geoscientica Sinica, 25: 423 – 427 (in Chinese with English abstract)
Wang YL, Zhang Q and WangY. 2001. Geochemical characteristics of volcanic rocks from Ningwu area, and its significance. Acta Petrologica Sinica, 17: 565 – 575 (in Chinese with English abstract)
Wu CL, Zhou XR, Huang XC, Zhang CH and Hang WM. 1996. $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronology of intrusive rocks from the Tongling district. Acta Petrologica et Mineralogica, 15 (4): 299 – 306
Xing FM and Xu X. 1996. High-K calc-alkaline intrusive rocks in the Tongling area, Anhui Province. Geochimica, 25(1): 29 – 38 (in Chinese with English abstract)
Xu XS, Fan QC, O'Reilly SY, Jiang SY, Griffin WL, Wang RC and Qiu JS. 2004. U-Pb dating of zircons from quartz diorite and its enclaves at Tongguanshan in Anhui and its petrogenetic implication. Chinese Science Bulletin, 49: 2073 – 2082
Xu ZW, Fang CQ, Lu XC, Song JX, Lu JJ, Hua M, Huang SS, Nie GP and Zhu SP. 2004. Geological and geochemical characteristics of rock mass related with gold mineralization in the Chaoshan Deposit. Geology and Prospecting, 40(3): 42 – 46 (in Chinese with English abstract)
Yan J, Chen JF, Yu G, Qian H and Zhou TX. 2003. Pb isotopic characteristics of Late Mesozoic mafic rocks from the Lower Yangtze Region: Evidence for enriched mantle. Geological Journal of China Universities, 9(2): 195 – 206 (in Chinese with English abstract)
Yan J, Chen JF, Xie Z, Yang G, Yu G and Qian H. 2005. Geochemistry of late Mesozoic basalts from Kedoushan in the Middle and Lower Yangtze region: Constraints on the characteristics and evolution of the lirhospheric mantle. Geochimica, 34(5): 455 – 469 (in Chinese with English abstract)
Yuan F, Zhou TF, Fan Y, Lu SM, Qian CC, Zhang LJ, Duan C and Tang MH. 2008. Source, evolution and tectonic setting of Mesozoic volcanic rocks in Luzong basin, Anhui Province. Acta Petrologica Sinica, 24(8):1691 – 1702 (in Chinese with English abstract)
Zhao YM, Lin WW and Bi CS. 1990. Skarn Deposits in China. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 354 (in Chinese with English abstract)
Zhou TF, Fan Y and Yuan F. 2008. Advances on petrogensis and metallogeny study of the mineralization belt of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area. Acta Petrologica Sinica, 24(8): 1665 – 1678 (in Chinese with English abstract)
Zhou TF, Yuan F, Yue SC, Liu XD, Zhang X and Fan Y. 2007. Geochemistry and evolution of ore-forming fluids of the Yueshan Cu-Au skarn- and vein-type deposits, Anhui Province, South China. Ore Geology Reviews, 31(2): 279 – 303
Zhou TF, Yue SC and Yuan F. 2005. Lithogenesis of diorites and copper, gold mineralization in Yueshan ore field, Anhui Province. Beijing: Geol. Pub. House, 1 – 186 (in Chinese with English abstract)
Zhou XM and Li WX. 2000. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. Tectonophysics, 326: 269 – 287

附中文参考文献

常印佛,刘湘培,吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社,1 – 379
狄永军, 吴淦国, 张达, 宋彪, 臧文拴, 张忠义, 李进文. 2005. 铜陵地区小铜官山和沙滩脚岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究及其岩石学意义. 地质学报, 79(6): 795 – 802
杜杨松,李铉具. 2004. 安徽铜陵岩浆岩中辉长质岩石包体的发现及其地质意义. 高校地质学报,10(3): 332 – 342
杜杨松, 秦新龙, 李铉具. 2004. 安徽铜陵地区中生代幔源岩浆底侵作用——来自矿物巨晶和岩石包体的证据. 岩石矿物学杂志, 23(2): 109 – 116
高庚,徐兆文,杨小男,王云健,张军,蒋少涌,凌洪飞. 2006. 安徽铜陵白芒山辉石闪长岩体的成岩: Sr-Nd-Pb-O 同位素制约. 南京大学学报(自然科学),42(3): 269 – 279
胡欢,王汝成,陆建军,刘光华. 2001. 安徽铜陵狮子山矿田矽卡岩金矿床的矿物组合、化学成分及成因意义. 矿床地质,20(1): 86 – 98
李进文,裴荣富,张德全,梅燕雄,臧文拴,孟贵祥,曾普胜,李铁军,狄永军. 2007. 铜陵矿集区燕山期中酸性侵入岩地球化学特征及其地质意义. 地球学报,28(1): 11 – 22
吕庆田,侯增谦,史大年,赵金花,徐明才,柴铭涛. 2004. 铜陵狮子山金属矿地震反射结果及对区域找矿的意义. 矿床地质, 23(3): 390 – 398
刘洪,邱检生,罗清华,徐夕生,凌文黎,王德滋. 2002. 安徽庐枞中生代富钾火山岩成因的地球化学制约. 地球化学,31(2): 129 – 140
梅燕雄,毛景文,李进文,杜安道. 2005. 安徽铜陵大团山铜矿床层状矽卡岩矿体中辉钼矿. 地球学报,26(4): 327 – 331
聂桂平,刘良根,徐兆文,高 庚,杨小男,李海勇. 2007. 安徽朝山金矿床矿石含金性和硫同位素研究. 江苏地质,31(3): 200 – 205
任云生,刘连登,万相宗,刘良根. 2004. 铜陵地区矽卡岩型独立金矿成矿深度探讨. 大地构造与成矿学,28(4): 397 – 403
任云生,刘连登,陈国华,刘良根. 2007. 铜陵朝山金矿床矿石特征与金的赋存状态研究。地质与勘探,43: 60 – 64
唐永成,吴言昌 储国正,邢凤鸣,王永敏,曹奋扬,常印佛. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质. 北京: 地质出版社
田世洪,杜杨松,秦新龙,李铉具,金尚中,尹京武,李赞熙. 2001. 安徽铜陵地区中酸性侵入岩及其岩石包体中的矿物包裹体研究. 地学前缘,8(4): 421 – 427
田世洪,丁悌平,杨竹森,蒙义峰,曾普胜,王彦斌,王训诚,姜章平. 2004. 安徽铜陵朝山金矿床稳定同位素、稀土元素地球化学研究. 矿床地质,23(3): 365 – 374
王德滋,任启江,邱检生,陈克荣,徐兆文,曾家湖. 1996. 中国东部橄榄安粗岩省的火山岩特征及其成矿作用. 地质学报,70(1): 23 – 34
王建中. 2007. 安徽铜陵朝山金矿床成因及其成矿动力学背景. 武汉: 中国地质大学硕士学位论文,1 – 80
王彦斌,刘敦一,曾普胜,杨竹森,田世洪. 2004. 安徽铜陵地区幔源岩浆底侵作用的时代——朝山辉石闪长岩锆石 SHRIMP 定年. 地球学报, 25(4): 423 – 427
王元龙,张旗,王焰. 2001. 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义. 岩石学报,17(4): 565 – 575
吴才来, 周珣若, 黄许陈,张成火,黄文明. 1996. 铜陵地区中酸性侵入岩年代学研究. 岩石矿物学杂志,15(4): 299 – 306
邢凤鸣,徐祥. 1996. 铜陵地区高钾钙碱性系列侵入岩. 地球化学,25(1): 29 – 38
徐兆文,方长泉,陆现彩,宋敬祥,陆建军,华明,黄顺生,聂桂平,朱士鹏. 2004. 与朝山金矿有关岩体地质地球化学特征. 地质与勘探,40(3): 42 – 46
闫峻,陈江峰,喻钢,钱卉,周泰禧. 2003. 长江中下游晚中生代中基性岩的铅同位素特征富集地幔的证据. 高校地质学报,9(2): 195 – 206
闫峻,陈江峰,谢智,杨刚,喻钢,钱卉. 2005. 长江中下游地区蝌蚪山晚中生代玄武岩的地球化学研究: 岩石圈地幔性质与演化的制约. 地球化学,34 (5): 455 – 469
袁峰,周涛发,范裕,陆三明,钱存超,张乐骏,段超,唐敏慧. 2008. 庐枞盆地中生代火山岩的起源、演化及形成背景. 岩石学报, 24(8):1691 – 1702
赵一鸣,林文蔚,毕承思. 1990. 中国矽卡岩矿床. 北京: 地质出版社, 1 – 27
周涛发,范裕,袁峰. 2008. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展. 岩石学报, 24(8):1665 – 1678
周涛发,岳书仓,袁峰. 2005. 安徽月山矿田成岩成矿作用. 北京: 地质出版社,1 – 186

铜陵地区朝山矽卡岩型金矿床及含矿岩体的成因:40 Ar/39 Ar年龄、元素地球化学及多元同位素证据

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者: 王建中， 李建威， 赵新福， 钱壮志， 马昌前， WANG JianZhong， LI JianWei， ZHAO XinFu， QIAN ZhuangZhi， MA ChangQian

作者单位: 王建中,WANG JianZhong(长安大学地球科学与国土资源学院,西安,710054;中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,武汉,430074)， 李建威,LI JianWei(中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,武汉,430074;中国地质大学资源学院,武汉,430074)， 赵新福,ZHAO XinFu(香港大学地球科学系)， 钱壮志,QIAN ZhuangZhi(长安大学地球科学与国土资源学院,西安,710054)， 马昌前,MA ChangQian(中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,武汉,430074)

刊名: 岩石学报 ISTIC SCI PKU

英文刊名: ACTA PETROLOGICA SINICA

年，卷(期): 2008，24(8)

被引用次数: 2次

参考文献(84条)

1. Boynton WW Geochemistry of the rare earth element:Meteorite studies 1984

2. Chang YF. Liu XP. Wu YC The Copper-iron Belt of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River 1991

3. Chen FK. Hegner E. Todt W Zircon ages,Nd isotopic and chemical compositions of orthogneisses from the Black Forest,Germany:Evidence for a Cambrian magmatic arc 2000

4. Chen JF. Yan J. Xie Z. Xu X and Xing F Nd and Sr isotopic compositions of igneous rocks from the Lower Yangtze region in eastern China:Constraints on sources 2001

5. Cherniak DJ. Watson EB Pb diffusion in zircon 2001(1-2)

6. Di Y. Wu G. Zhang D. Song B Zang WS Zhang ZW and Li JW SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Xiaotonggnanshan and Shatanjiao intrusions and its petrological implications in the Tongling area,Anhui[期刊论文]-Acta Geologica Sinica 2005(06)

7. Du YS. Lee HK Discovery of gobbroic xenoliths from Early Cretaceous intrusions in Tongling,Anhui Province,China and its geological significance[期刊论文]-Geological Journal of China Universities 2004(10)

8. Du YS. Qin XL. Lee HK Mesozoic mantle-derived magma underplating in Tongling,Anhui Province:Evidence from megacrysts and xenoliths[期刊论文]-Acta Petrologica et Mineralogica 2004(02)

9. Foley S. Peccerillo A Potnssie and ultrapotassie magmas and their origin 1992

10. Forater DB. Seccombe PK. Phillips D Controls on skarn mineralization and alteration at the Cadia deposits,New South Wales,Australia 2004(06)

11. Gao G. Xu ZW. Yang XN. Wang YJ Zhang J Jiang SY and Ling HF Petrogenesis of the Baimangshan pyroxene diorite intrusion in Tongling area,Anhui Province:Constraints from Sr-Nd-Pb-P isotopes[期刊论文]-Journal of Nanjing University(Natural Science) 2006(03)

12. Gibson SA. Thompson RN. Day JA. Humphris SE and Dickin AP Melt-goneration processes associated with the Tristan mantle plume:Constraints on the origin of EM-1 2005(3-4)

13. Hu H. Wang RC. Lu JJ. Liu GH Mineral association,chemical composition and genetic significance of skarn gold deposits in the Shizishan ore field,Tongling Area,Anhui Province[期刊论文]-Mineral Deposits 2001(01)

14. Icenhower JP. Dymek RF. Weaver BL Evidence for an enriched mantle source for j tunite (orthopyroxene monzodiorite) associated with the St. Urbain anorthosite 1998(3-4)

15. Jahn BM. Wu FY. LO CH. Tsai CH Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust:Geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dahie complex, central China 1999

16. Li JW. Psi RF. Zhang DQ. Mei YX Zang WS Meng GX Zeng PS Li TJ and Di YJ Geochemical Characteristics of the Yanshanian intermediate-acid intrusive rocks in the Tongling mineralization concentration area, Anhui Province, and their geological implications[期刊论文]-Acta Geoscientica Sinica 2007(01)

17. Liu H. Qiu JS. Lu QH. Xu XS Ling WL and Wang DZ Petrogesis of the Mesozoic potash-rich volcanic rocks in the Luzong basin, Anhui Province:Geochemical constraints[期刊论文]-Geochimica 2002(02)

18. Lv QT. Hou ZQ. Shi DN. Zhao JH Xu MC and Chai MT Seismic reflection study of Shizishan ore field, Tongling, and its significance in regional exploration[期刊论文]-Mineral Deposits 2004(03)

19. McDougall I. Harrison TM C, eochronology and Thermochronohigy by the 40Ar/39 Ar Method 1988

20. McDonough WF. San SS The composition of the Earth 1995

21. Mei YX. Mao JW. Li JW. Du AD Re-Os dating of molybdenite from stratiform skarn orebodies in the Datuanshan copper deposit, Torlgling, Anhui Province, and its geological significance[期刊论文]-Acta Geoscientica Sinica 2005(04)

22. Meinert LD. Dipple GM. Nicolescu S World Skam Deposits 2005

23. Nie GP. Liu LG. Xu ZW. Gao G Yang XN and Li HY Concentrations and distribution of gold and sulfur isotope compositions of gold ores at the Chaoshan gold deposit, Anhui Province 2007(03)

24. Ohmoto H. Goldhaber MB Sulfur and carbon isotopes 1997

25. Peareo JA. Harris NB. Tindle AG Trace-element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks 1984

26. Peccerillo R. Taylor SR Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcalic rocks from the Knslanlonu area, Northern Turkey 1976

27. Qi L. Gregoire DC Determination of trace elements in 26 Chinese geochemistry reference materials by inductively coupled plasma mass spectrometry 2000

28. Rapp RP. Irifune T. Shimizu N. Nishiyama N, Norman MD and Inoue T Subduction recycling of continental sediments and the origin of geochemically enriched reservoirs in the deep mantle 2008

29. Ray JS. Ramesh R. Pande K Carbon isotopes in Kerguelen plume-derived carbonstites:Evidence for recycled inorganic carbon 1999

30. Ren YS. Liu LD. Wan XZ. Liu G Discussion on the metallogenic depth of skarn type gold deposit in Tongling area, Anhni Province[期刊论文]-Geotectonica Et Metallogenia 2004(04)

31. Ben YS. Liu LD. Chen GH. Liu G Ore characteristics and occurrence of gold of the Chaoshan gold deposit 2007

32. Reane PR. Swisher CC. Deino AL. Karner DB Owens TL and DePaolo DJ Intercalibration of standards, absolute ages and uncertainties in 40Ar/39Ar dating 1998

33. Steigor RH. J ger E Subcommissian on geochronology:Convention on the use of decay constants in geo-and cosmochronology 1977(03)

34. Sun WD. Xie Z. Chen JF Os-Os dating of copper and molybdenum deposits along Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, China 2003

35. Tang YC. Wu YC. Chu GZ. Xing FM, Wang YM, Cao FY and Chang YF Geology of Copper-Gold Polymetallic Deposits in the Along-Changjiang Area of Anhui province 1998

36. Taylor BE Stable isotope geochemistry of ore-forming fluids 1987

37. Tian SH. Du YS. Qin XL. Li HK Kim SJ Yin JW and Lee CH Mineral inclusion study of the intermediate and acid intrusive rocks and their rock enclaves in Tongling area, Anhui province 2001(04)

38. Tian SH. Ding TP. Yang ZS. Meng YF Zeng PS Wang YB Wang XC and Jiang ZP REE and stable isotope geochemical characteristics of chaoshan gold deposit in Tongling, Anhui Province[期刊论文]-Mineral Deposits 2004(03)

39. Wang DZ. Ren QJ. Qiu JS. Chen KR Xu ZW and Zen JH Characteristics of volcanic rocks in the shoshonite province, eastern China and their metallogenesis 1996(01)

40. Wang JZ Genesis and geodynamical setting of the Chaoshan skam gold deposit, Tongling Cu-Ao-Mo district, Anhui Province 2007

41. Wang JZ. Li JW. Zhao XF. Ma CQ Qu WJ and Du AD Re-Os dating of pyrrhotite from the Chaoshan gold skarn, eastern Yangtze Craton, eastern China 2008

42. Wang YB. Liu DY. Zeng PS. Yang ZS and Tian SH SHRIMP UPb geochronology of pyroxene diorite in the Chaoshan gold deposit and its geological significance[期刊论文]-Acta Geoscientica Sinica 2004

43. Wang YL. Zhang Q. WangY Geochemical characteristics of volcanic rocks from Ningwu area, and its significance[期刊论文]-Acta Petrologica Sinica 2001

44. Wu CL. Zhou XR. Hnang XC. Zhang CH and Hang WM 40Ar/39Ar geochronology of intrusive rocks from the Tongling district 1996(04)

45. Xing FM. Xu X High-K calc-alkaline intrusive rocks in the Tongling area, Anhui Province[期刊论文]-Geochimica 1996(01)

46. Xu XS. Fan QC. OReilly SY. Jiang SY Griffin WL Wang RC and Qiu JS U-Pb dating of zircons from quartz diorite and its enclaves at Tongguanshan in Anhui and its petrogenetic implication[期刊论文]-Chinese Science Bulletin 2004

47. Xu ZW. Fang CQ. Lu XC. Song JX Lu JJ Hna M Huang SS Nie GP and Zhu SP Geological and geochemical characteristics of rock mass related with gold mineralization in the Chaoshan Deposit[期刊论文]-Geology and Prospecting 2004(03)

48. Yan J. Chen JF. Yu G. Qian H and Zhou TX Pb isotopic characteristics of Late Mesozoic marie rocks from the Lower Yangtze Region:Evidence for enriched mantle[期刊论文]-Geological Journal of China Universities 2003(02)

49. Yan J. Cben JF. Xie Z. Yang G Yu G and Qian H Geochemistry of late Mesozoic basalts from Kedoushan in the Middle and Lower Yangtze region:Constraints on the characteristics and evolution of the

lirhospheric mantle[期刊论文]-Geochimica 2005(05)

50. Yuan F. Zhou TF. Fan Y. Lu SM Qian CC Zhang LJ Duan C and Tang MH Source, evolution and tectonic setting of Mesozoic volcanic rocks in Luzong basin, Anhui Province 2008(08)

51. Zhao YM. Lin WW. Bi CS Skam Deposits in China 1990

52. Zhou TF. Fan Y. Yuan F Advances on petrogensis and metallogeny study of the mineralization belt of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area 2008(08)

53. Zhou TF. Yuan F. Yue SC. Liu XD Zhang X and Fan Y Geochemistry and evolution of ore-forming fluids of the Yueshan CuAu skarn-and vein-type deposits, Anhui Province, South China 2007(02)

54. Zbou TF. Yue SC. Yuan F Lithogenesis of diofites and copper, gold mineralization in Yueshan ore field, Anhui Province 2005

55. Zhou XM. Li WX Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China:Implications for lithosphere subduetion and underplating of mafic magmas 2000

56. 常印佛. 刘湘培. 吴言昌 长江中下游铜铁成矿带 1991

57. 狄永军. 吴淦国. 张达. 宋彪. 臧文拴. 张忠义. 李进文 铜陵地区小铜官山和沙滩脚岩体锆石SHRIMP U-Pb年代学研究及其岩石学意义[期刊论文]-地质学报 2005(06)

58. 杜杨松. 李铉具 安徽铜陵岩浆岩中辉长质岩石包体的发现及其地质意义[期刊论文]-高校地质学报 2004(03)

59. 杜杨松. 秦新龙. 李铉具 安徽铜陵地区中生代幔源岩浆底侵作用--来自矿物巨晶和岩石包体的证据[期刊论文]-岩石矿物学杂志 2004(02)

60. 高庚. 徐兆文. 杨小男. 王云健. 张军. 蒋少涌. 凌洪飞 安徽铜陵白芒山辉石闪长岩体的成岩:Sr-Nd-Pb-O同位素制约[期刊论文]-南京大学学报(自然科学版) 2006(03)

61. 胡欢. 王汝成. 陆建军. 刘光华 安徽铜陵狮子山矿田矽卡岩金矿床的矿物组合、化学成分及成因意义[期刊论文]-矿床地质 2001(01)

62. 李进文. 裴荣富. 张德全. 梅燕雄. 臧文拴. 孟贵祥. 曾普胜. 李铁军. 狄永军 铜陵矿集区燕山期中酸性侵入岩地球化学特征及其地质意义[期刊论文]-地球学报 2007(01)

63. 吕庆田. 侯增谦. 史大年. 赵金花. 徐明才. 柴铭涛 铜陵狮子山金属矿地震反射结果及对区域找矿的意义[期刊论文]-矿床地质 2004(03)

64. 刘洪. 邱检生. 罗清华. 徐夕生. 凌文黎. 王德滋 安徽庐枞中生代富钾火山岩成因的地球化学制约[期刊论文]-地球化学 2002(02)

65. 梅燕雄. 毛景文. 李进文. 杜安道 安徽铜陵大团山铜矿床层状矽卡岩矿体中辉钼矿[期刊论文]-地球学报 2005(04)

66. 聂桂平. 刘良根. 徐兆文. 高庚. 杨小男. 李海勇 安徽朝山金矿床矿石含金性和硫同位素研究[期刊论文]-江苏地质 2007(03)

67. 任云生. 刘连登. 万相宗. 刘良根 铜陵地区矽卡岩型独立金矿成矿深度探讨[期刊论文]-大地构造与成矿学 2004(04)

68. 任云生. 刘连登. 陈国华. 刘良根 铜陵朝山金矿床矿石特征与金的赋存状态研究[期刊论文]-地质与勘探 2007

69. 唐永成. 吴言昌. 储国正. 邢凤鸣. 王永敏. 曹奋扬. 常印佛 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质 1998

70. 田世洪. 杜杨松. 秦新龙. 李铉具. 金尚中. 尹京武. 李赞熙 安徽铜陵地区中酸性侵入岩及其岩石包体中的矿物包裹

体研究[期刊论文]-地学前缘 2001(04)

71. 田世洪. 丁悌平. 杨竹森. 蒙义峰. 曾普胜. 王彦斌. 王训诚. 姜章平 安徽铜陵朝山金矿床稳定同位素、稀土元素地球化学研究[期刊论文]-矿床地质 2004(03)

72. 王德滋. 任启江. 邱检生. 陈克荣. 徐兆文. 曾家湖 中国东部橄榄安粗岩省的火山岩特征及其成矿作用 1996(01)

73. 王建中 安徽铜陵朝山金矿床成因及其成矿动力学背景 2007

74. 王彦斌. 刘敦一. 曾普胜. 杨竹森. 田世洪 安徽铜陵地区幔源岩浆底侵作用的时代--朝山辉石闪长岩锆石SHRIMP定年[期刊论文]-地球学报 2004(04)

75. 王元龙. 张旗. 王焰 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义[期刊论文]-岩石学报 2001(04)

76. 吴才来. 周徇若. 黄许陈. 张成火. 黄文明 铜陵地区中酸性侵入岩年代学研究 1996(04)

77. 邢凤鸣. 徐祥 铜陵地区高钾钙碱性系列侵入岩[期刊论文]-地球化学 1996(01)

78. 徐兆文. 方长泉. 陆现彩. 宋敬祥. 陆建军. 华明. 黄顺生. 聂桂平. 朱士鹏 与朝山金矿有关岩体地质地球化学特征[期刊论文]-地质与勘探 2004(03)

79. 闫峻. 陈江峰. 喻钢. 钱卉. 周泰禧 长江中下游晚中生代中基性岩的铅同位素特征富集地幔的证据[期刊论文]-高校地质学报 2003(02)

80. 闫峻. 陈江峰. 谢智. 杨刚. 喻钢. 钱卉 长江中下游地区蜊蚪山晚中生代玄武岩的地球化学研究:岩石圈地幔性质与演化的制约[期刊论文]-地球化学 2005(05)

81. 袁峰. 周涛发. 范裕. 陆三明. 钱存超. 张乐骏. 段超. 唐敏慧 庐枞盆地中生代火山岩的起源、演化及形成背景[期刊论文]-岩石学报 2008(08)

82. 赵一鸣. 林文蔚. 毕承思 中国矽卡岩矿床 1990

83. 周涛发. 范裕. 袁峰 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展[期刊论文]-岩石学报 2008(08)

84. 周涛发. 岳书仓. 袁峰 安徽月山矿田成岩成矿作用 2005

相似文献(2条)

1. 学位论文 王建中 安徽铜陵朝山金矿床成因及其成矿动力学背景 2007

朝山金矿床位于铜陵矿集区中部狮子山矿田内，是长江中下游唯一的矽卡岩型独立金矿床。区域地层除缺失中、下泥盆统和下石炭统外，白志留系．第四系均有分布。主要地层为石炭系．三叠系海相沉积碳酸盐岩，其中赋矿地层主要为二叠．中三叠灰岩、硅质岩、页岩夹半深海．海陆交互相碎屑岩。区内岩浆活动强烈，广泛出露的晚中生代侵入岩类主要为一套中基性-中酸性侵入岩，主要岩石类型有辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩，但许多岩体实质上是中酸性岩和基性岩组成的复式岩体或杂岩体。前印支期棋盘格式的导岩、导矿基底断裂和燕山期浅部北东向“S”形盖层褶皱构造相复合，组成了铜陵地区“立体网络状”构造格架，控制着铜陵矿集区矿田和矿床的分布。区内矿产丰富，已探明矿产地上百处，主要矿种为Cu，Au，Mo，S，主要矿床类型为矽卡岩型、层控型，其次还有斑岩型及少量热液脉型，组成完整的岩浆热液矿床组合。绝大多数矿床的形成与晚中生代中酸性岩浆作用有关。

朝山金矿床是铜陵矿集区典型的还原性矽卡岩金矿，规模不大，但品位高(6-38g/t，平均18.4 g/t)。矿区内出露地层主要为三叠系中统南陵湖组(T<,2>n)和分水岭组(T<,2>f)，岩性以灰岩、大理岩为主，夹少量泥岩或角岩条带。矿区内近EW向、近SN向、NNE向、Nw向断裂构造及层间破碎带或层间断层发育，这些构造控制了矿床(体)的空间展布。矿区内侵入岩以花岗闪长岩和石英闪长岩为主，其次是辉石闪长岩和后期的脉岩。矿体主要赋存于三叠系下统南陵湖组与白芒山中基性杂岩体东接触带及其围岩的层间裂隙中。主矿体形态多呈透镜状、陡薄板状，严格受构造控制，构造叠加处矿体变厚。矿石矿物以磁黄铁矿黄铁矿、为主，其次为毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿和辉铋矿等，其中磁黄铁矿是矿床内含量最多和主要的载金矿物。脉石矿物为方解石、石英、绿泥石、石榴石等。围岩蚀变主要有矽卡岩化、钾长石化、黑云母化、交代石英岩化、碳酸盐化，局部见绿帘石化、阳起石化、绿泥石化、绢云母化。

白芒山杂岩体以辉石闪长岩为主，其次为石英闪长岩。辉石闪长岩含大量角闪石和辉石巨晶和堆积晶以及辉石堆积岩，寄主岩具有准铝质、高钾钙碱性的地球化学特点。此外，白芒山辉石闪长岩富集大离子亲石元素(Rb、Ba、Th、Sr)和轻稀土LREE，亏损高场强元素(Nb、Ta、Ti)和HREE，无明显的Eu异常。Sr-Nd同位素组成较均一，具有较低的(<’87>Sr/<’86>Sr)<,i>值和较高的εNd(t)，分别为0.7065～0.7074和-7.78～-8.01。Ba/Th和Ba/La比值较高，分别为64.65-74.76和13.61-15.56，但Rb/Sr比值和Sm/Nd比值低，分别为0.068-0.09和018-0.20。

地球化学和同位素组成特征与长江中下游地区白垩纪玄武岩和基性侵入岩基本一致，表明白芒山岩体的初始岩浆可能来源于富集的岩石圈地幔(EMI)。结合前人资料，可将白芒山岩体的成因总结为：富集的岩石圈地幔减压熔融形成高钾钙碱性玄武质岩浆，之后底侵到壳幔边界形成深位岩浆房。大量幔源岩浆的底侵导致下地壳物质的熔融及岩浆混合，形成壳幔混源型岩浆。这种岩浆在深位岩浆房及随后的上升侵位过程中与中下地壳之间发生了较明显的AFC过程，并在不同深度的结晶分异过程中形成角闪石、辉石巨晶/堆积晶和辉石堆积岩和辉长质包体。在整体伸展的构造背景下，经过复杂演变的中基性岩浆以“底辟”形式侵位，至大约2.5-3.2 km的上地壳浅部就位，形成白芒山辉石闪长岩。白芒山辉石闪长岩中角闪石的Ar-Ar定年结果表明其侵位时代大致为142-138 Ma；而磁黄铁矿的Re-Os定年说明朝山金矿床形成于141.7 Ma左右。这反映成岩成矿时代基本一致，也进一步证明了白芒山辉石闪长岩与朝山金矿床的成因联系。

矿石矿物和蚀变脉石矿物的O、C、S、Pb、H、Os、Si同位素分析结果表明成矿物质主要来自白芒山辉石闪长岩，成矿作用与燕山晚期的岩浆活动密切相关。成矿流体早期以岩浆水为主，晚期则大气降水的加入增多。朝山金矿床是地层、构造和岩浆岩等多种地质因素和地质作用综合作用的结果。地层的虚脱部位和层间裂隙系统是成矿和赋矿的主要场所；白芒山岩体不仅为朝山金矿床提供直接的热动力，而且为成岩成矿提供了必要物质基础；而构

造则是密切组合各成矿因素的关键，既是岩浆侵位和流体迁移的通道，又是有利的控岩控矿因素(接触带的内凹部分)，控制着岩体和重要的矿床(体)的分布。

近年的高精度同位素年代学研究结果(如SHRIMP锆石U-Pb、辉钼矿Re-Os、单矿物<’40>Ar/<’39>Ar等)表明，铜陵地区大规模的中酸性-中基性岩浆活动时代始于晚侏罗世末期，但集中在143-136 Ma。同样，绝大多数矿床的成矿时代集中在145-135 Ma，说明铜陵地区大规模成矿作用发生于早白垩世约8-10Ma的时间内，成矿作用与早白垩世岩浆作用密切相关。

铜陵矿集区成岩成矿时代与鄂东南矿集区巨量岩浆活动与大规模成矿的时代(144-135Ma)几乎完全一致，也与长江中下游晚中生代第一阶段(145-133 Ma)成岩成矿时代十分吻合。不同矿集区内岩浆活动与成矿作用近于同时发生的事实表明它们受统一的地球动力学背景和深部过程控制。长江中下游成矿带位于地幔的隆起带，地壳厚度比邻区一般要小2.3 km，表明该区自晚中生代以来发生了明显的软流圈上涌和岩石圈伸展减薄。热的软流圈上涌必然引发岩石圈地幔的大规模熔融和伸展减薄，并沿几条超岩石圈断裂(如长江深断裂、常州-阳新断裂等)形成长江中下游凹陷带，这也是朝山金矿床和长江中下游晚中生代成矿作用发生的深部地球动力学背景：强烈的岩石圈伸展及玄武岩浆底侵为大规模岩浆活动及成矿作用提供了必要的热、物质和流体来源以及重要的构造。这种构造背景与晚中生代时期整个中国东部地区处于总体伸展的地质事实一致，并可能与古太平洋板块向欧亚大陆的斜向俯冲有关。

2.学位论文 高庚 安徽铜陵朝山金矿成矿地球化学及成因研究 2006

安徽铜陵狮子山矿田是长江中下游成矿带铜、金等金属矿产重要产地之一，矿田内分布着一系列与燕山期岩浆作用有关的铜、金矿床，朝山金矿床就是其中一个典型实例。本文在详细的野外地质工作基础上，通过岩石地球化学、流体地球化学和同位素地球化学方法研究，试图探讨：(1)白芒山辉石闪长岩岩石地球化学特征及其与朝山金矿床成矿关系，(2)朝山金矿床的成矿地球化学特征及矿床成因。研究表明：

白芒山辉石闪长岩属于高钾钙碱性岩系和橄榄粗玄岩系，具有显著的Nb、Ta、Ce、K、Ti负异常和Pb正异常，缺乏明显的Eu、Sr负异常，轻稀土明显富集、重稀土明显亏损，轻重稀土分馏明显；Sr、Nd、Pb、O同位素特征表明辉石闪长岩具有中等，ISr值、低εNd(t)值(ISr=0.707 291～0.707 315、εNd(t)=-13.04～-14.01)和富放射性成因Pb的特点，指示辉石闪长岩体起源于富集岩石圈地幔和扬子下地壳的部分熔融和混合的产物，富集型岩石圈地幔曾受到过俯冲板片脱水产生的流体交代地幔楔的混染和交代作用影响，同时后期受到上地壳物质的微弱混染作用影响。

矿化石英脉和方解石脉中流体包裹体均—温度分别介于135～375℃和115～375℃之间，盐度分别介于2.5～47.5wt. %NaCl eq和2.5～42.5wt. %NaCl eq之间；推测流体包裹体捕获时压力大致为42.47 Mpa，深度约为1.61 km；在均一温度为215～355℃区间内，出现了富气相的两相水溶液包裹体、富液相的两相水溶液包裹体和含子晶的三相水溶液包裹体共存现象，以及富气相包裹体均一到 气相和同期富液相包裹体均一到液相的特征，表明成矿流体曾发生过沸腾作用：第一次沸腾作用发生于岩浆流体演化的早期阶段，由于骤然减压导致流体沸腾及不混溶分离；第二次沸腾作用发生于岩浆流体演化的中期，由于物理化学条件的改变，H2O-NaCl体系流体发生不混溶又一次分离出中温中盐度的富液相、中温低盐度的富气相和中温高盐度含矿流体。有利的围岩及构造条件导致大气降水与深源流体发生混合，促使流体中的金沉淀成矿，该阶段为朝山金矿床主要成矿期。

C、H、O同位素和矿石矿物S、Pb同位素研究显示：①成矿流体主要来源于岩浆，后期受到大气降水影响；②矿石中的硫、铅主要来源于深部，成矿后期受到围岩或大气降水的混染；③矿石铅同位素组成还与壳源和岩浆作用有关，说明区域构造对铅同位素的混合有重要的影响。

在上述研究基础上，参照铜陵地区构造演化史，推测朝山金矿床形成大致经历了早期挤压缩短、中期的挤压．伸展转变和晚期的伸展减薄三个不同性质的地球动力学过程，分别对应成矿作用的三个演化阶段，符合CMF成矿模式。其中挤压-伸展转变阶段有利地促进了朝山金矿床中金的沉淀和富集，从而在地壳中浅层环境下形成朝山金矿床，其成因类型为中浅层中温热液充填交代型金矿床。

引证文献(2条)

1.徐晓春.楼金伟.尹滔.石磊.鞠林雪 论安徽铜陵地区侵入岩的岩石系列[期刊论文]-矿物学报 2009(z1)

2.周涛发.范裕.袁峰 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展[期刊论文]-岩石学报 2008(8)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ysxb98200808019.aspx

授权使用：西北大学(xaxbdx)，授权号：fa9d6299-8921-4893-a6fb-9dfe009c7aea

下载时间：2010年9月27日