岩浆流体对长江中下游邓家山铜金成矿作用的贡献*

Contribution of Magmatic Fluids to Ore Forming of Dengjiashan Cu-Au Deposit in Middle-Lower Reaches of Yangtze River

魏家秀[1] 王登红[1] 王宗起[2] 张作衡[1] 蔡俊军[2]
张季生[2] 田邦生[3] 陈友太[3]

(1 中国地质科学院矿产资源研究所，北京 100037；2 中国地质科学院地质研究所，北京 100037；
3 赣西北地质大队，江西 九江 332000)

Wei Jiaxiu[1], Wang Denghong[1], Wang Zongqi[2], Zhang Zuoheng[1], Cai Junjun[2]
Zhang Jisheng [2], Tian Bangsheng[3] and Chen Youtai[3]

(1 Institute of Mineral Deposits ,CAGS, Beijing 100037, China; 2 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China;
3 Northwest Geological Party, Jiujiang 332000, Jiangxi, China)

摘 要 邓家山铜金矿床为近年新发现的 1 个地下隐伏铜金矿床。成矿模式年龄为（173.1±3.06）Ma（Re-Os），与其成岩时代（154±44）Ma(Rb-Sr 法)具一致性。流体包裹体和稳定同位素研究表明，铜金成矿在中温中低压，NaCl-H_2O 和 NaCl~H_2O-SO_4^{2-}盐水溶液中进行，其气液组成由 K^+、Na^+向 Ca^{2+}、Mg^{2+}升高，由 F^-、Cl^-向 SO_4^{2-}升高以及 H_2O 和 CO_2 增高趋势演化。包裹体水的氢、氧和硫同位素组成指示，邓家山铜金成矿早期流体源于地壳深部岩浆房,随着成矿作用的进行,有大气降水的混入。流体运载矿质并富含 H_2O、CO_2、F^-、Cl^-、H_2S 和 SO_4^{2-}等挥发分，激活铜金的运移、活化，并促使 Cu、Au 自络合物中脱载、分配、沉淀并富集，形成夕卡岩型铜金矿床。

关键词 岩浆流体 成矿作用 邓家山铜金矿床 长江中下游

长江中下游成矿带位于我国东部地区，属于环太平洋成矿带，与洋壳俯冲重熔有关的钙碱性岩浆带的内带。它呈南东-北西方向形成构造-岩浆-铜金多金属成矿带，邓家山矿床位于该带西北段的丰山洞-东雷湾之间，这 3 个矿床具有北西-南东向线性等距分布的特征。“九五”期间，江西省地矿局赣西北地质大队在该成矿带的九江-瑞昌地段，对 60 年代发现的地下隐伏盲矿体-邓家山铜金矿进行了重点普查勘探。我们研究组配合地质调查进行矿床研究工作，一致认为邓家山铜金矿床的形成，亦是长江中下游构造-岩浆-流体与成矿作用紧密结合的又一典例。

1 构造地质条件成为铜金成矿作用的基础

长江中下游铜金成矿带，在大地构造上属于秦岭—大别前陆褶冲带，位于华南板块与中朝板块结合部位的南缘，呈一向南突出的似弧形断裂拗陷带。

1.1 构造特征

区内断裂和褶皱构造十分发育。褶皱构造主要形成于印支期-燕山早期。区域大断裂有北北东、北东、北西和北西西向多组，形成长江中下游网格状构造的格局。物探和地质资料表明，北北东罗河-武山断裂、郯-庐大断裂，北西向（广济-城门山-九江，大冶-城门山、东雷湾-于家冲）断裂多为中深部控岩控矿断裂；而北西-南东向贯穿九-瑞地区的丰山洞-邓家山-东

* 本文系部控项目（97-12）的部分成果
第一作者简介：魏家秀，女，1937 年生，研究员，长期从事包裹体和矿床地质、地球化学研究工作。

雷湾-武山-城门山大断裂为深切上地幔的大断裂，它们成为长江流域的主要岩浆和成矿热液与铜金成矿作用的重要通道。

该区经历了多次构造作用，加里东、印支及燕山构造运动对本区构造格架的形成起着主导作用。加里东运动，以地壳抬升为主，同时伴随褶皱变动，泥盆系五通组（D_3w）与中石炭系黄龙组（C_2h）为平行不整合接触。印支和燕山构造运动对于铜金成矿起着至关重要的作用。区内所形成的两组或多组断裂交汇部位，对岩浆的侵入活动、成矿热流体的运移，以及 Cu、Au、Fe 等成矿元素的迁移、活化、沉淀富集成矿极为有利（翟裕生，1996）。沿长江中下游的构造活动带自南东向北西，有城门山、武山、洋鸡山、邓家山、丰山洞、鸡笼山及大冶等铜、金、铁矿床，它们均产于断裂构造交汇部位的大小不等的花岗岩岩体、花岗闪长岩岩体、花岗闪长斑岩岩体的附近。

邓家山矿区,在多组断裂组成网格状格局的基础上，次一级断裂、褶皱也很发育，它们的走向均以东西向为主，主要有 F_1、F_2、F_{10} 等，多为层滑逆断层，属先压后张逆断层。其次，南北向断层有 F_5、F_9、F_{12}。矿区南部猫母山大断裂近东西走向，属逆掩推覆断层。

1.2　地层

区内主要出露志留系、二叠系和三叠系，从老到新依次为：志留系下统罗惹坪组（S_1l）砂页岩，中统龙马溪组（S_2l）、上统纱帽组（S_3s）砂页岩、石英砂岩；二叠系下统茅口组（P_1m）含燧石结核灰岩，上统龙潭组（P_2l）煤系地层、长兴组（P_2c）灰岩。三叠系下统大冶组（T_1d）黄绿色页岩和灰白色厚层灰岩，中统嘉陵江组（T_2j）灰岩、白云质灰岩。二叠系—三叠系灰岩是夕卡岩型铜金矿床有利层位，长兴组（P_2c）灰岩是金矿形成的有利围岩。

1.3　岩浆岩

区域内岩浆活动强烈，晋宁、加里东、燕山和喜马拉雅期均有不同程度的岩浆活动，并且明显受断裂构造运动所控制，邓家山矿区则是燕山期侵入岩体遍布，以花岗闪长斑岩为主。花岗闪长斑岩与茅口灰岩接触交代作用，形成夕卡岩化蚀变带，同时形成铜（钼）、金矿床。

1.4　蚀变与矿化

区内地表所见蚀变以大理岩化、硅化为主。在岩体与灰岩接触带有夕卡岩化、靠近岩体见有钾长石化-硅化带分布。蚀变分带自上而下：灰岩带—大理岩化带—夕卡岩化带—钾长石化—硅化带。大理岩化带和夕卡岩化带是主要的含矿蚀变带。

矿化以黄铜矿、黄铁矿、自然金、辉钼矿和方铅矿为主，次为闪锌矿、辉锑矿，局部有赤铁矿和雄黄出现。地表有孔雀石化、褐铁矿化和铁帽。垂直分带为上金、中铜、下钼（铜）的矿化特征。

2　中酸性岩浆作用为铜金成矿作用的先导

长江中下游岩浆活动以中酸性、酸性岩浆活动为主。岩体沿断裂带多为南东-北西向展布,呈岩体,小岩体、岩株状产出（赵一鸣等，1990）。邓家山地区主要有燕山期中酸性岩浆活动，其岩体在地表仅有 0.5 km^2 出露，但其地下深部有较大的筒状隐伏岩体，成为岩浆热液作用、与围岩交代蚀变作用及铜金矿化的庞大基础。

2.1　岩石学特征

矿区内岩体多为隐伏岩体，竹林塘、邓家山、堡下等岩体,多呈岩墙、裙带状、岩株状产出。岩体与围岩接触界面，就目前钻孔揭露，其下部岩体平缓而上部变陡，且岩体呈分叉状出现。岩石类型，主要为花岗闪长斑岩，其次为石英斑岩。

花岗闪长斑岩：灰白色、灰—灰绿色。块状构造，斑状结构，斑晶主要由斜长石、石英、钾长石及暗色矿物(黑云母和角闪石)组成。长石呈板状、一般（2～3 mm）×(4～7 mm)，含量 5%～18%。石英呈粒状，粒径 2～5mm,含量 3%～7%。钾长石在深部多见，粒径为（2～3 mm）×(2～5 mm)，浅肉色—肉红色，含量在 3%～7%左右。黑云母为六边形片状，片径 0.05～1 mm，含量在 2%～5%。基质为长英质，粒径较粗，为 0.01～0.1 mm。副矿物有磁铁矿、磷灰石、褐帘石、锆石和独居石等。

2.2　岩石化学特征

由岩石化学分析结果看出，该区岩浆岩的特征：① 邓家山岩浆岩的 $w(SiO_2)$含量在 64.04%～67.46%之间，平均 66.20%。主要属于中偏酸性的铝过饱和系列岩石。② 花岗闪长斑岩显示了一定的结晶分异特征。随着 SiO_2含量的增大，TiO_2、FeO 尤其是 Fe_2O_3显著降低，而 K_2O/Na_2O 比值明显增高。③ 空间自上而下有 Fe_2O_3、FeO、MgO 升高、SiO_2 呈下降趋势，表明岩浆的结晶分异作用是自下而上进行的，因而 CO_2和 H_2O 等挥发性组分也趋于向上富集。④ 碱质含量总体上向深部增大，$w(K_2O+Na_2O)$平均 5.91%，低于中国花岗闪长斑岩的平均值（6.62%）。但是邓家山深部龙当沟岩体的碱总量为 7.62%，

因此推测岩体向深部有碱质增高的趋势。⑤ 花岗闪长斑岩在构造环境判别图上主要落在过铝花岗岩区，属于同碰撞或同造山花岗岩类，但成岩物质来源较深，应该有地幔物质的参与。

2.3 稀土元素地球化学特征

邓家山花岗闪长斑岩的稀土元素组成模式图反应出，邓家山岩体的稀土组成配分模式特点属低正 Eu 异常轻稀土富集型。这表明此类花岗闪长斑岩岩浆形成于地壳较深部位（见图 1 ）。

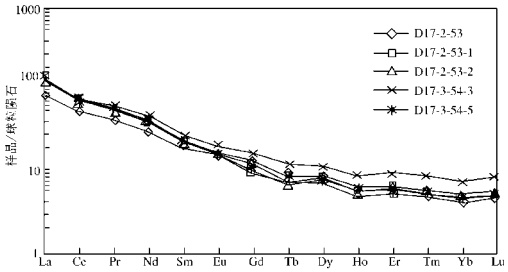


图 1 邓家山花岗闪长斑岩的稀土配分模式图

长江中下游地区铜金矿床有关的岩浆岩主要形成于燕山期(205～100 Ma)，属碱性花岗闪长岩、中酸性铝过饱和花岗闪长斑岩等。岩石的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为 0.7046～0.7087,全岩 $\delta^{18}O$ 值为＋9.5‰～＋10.8‰（张轶男，1999）。这表明长江中下游夕卡岩型铜矿床的岩浆主要来源于上地幔，也有一定壳源物质混入。

2.4 Re-Os 同位素等时线厘定铜金成矿年龄

Re-Os 同位素定年法的测试矿物为与黄铜矿共生的辉钼矿。辉钼矿根据 Re-Os 测试数据，运用 ISOPLOT 软件计算 Re-Os 等时线年龄和相关参数，并进一步绘制其 Re-Os 等时线图（毛景文等，1999）)。

^{187}Re-^{187}Os 图解告知，５个测试点的模式年龄为 160.6～181.9 Ma,平均值为（173.1±3.06）Ma，与等时线年龄（177±6）Ma 很接近（魏家秀等，2000）。

3 成矿流体具有岩浆热流体性质

显微镜下所见到的石英和方解石中各种各样的流体包裹体，而石英、方解石是与黄铜矿、金矿紧密共生，因而，包裹体的类型、所测温度、盐度和化学组成和性质即代表着成矿流体的特征(Roedder,E.,1994)。

3.1 包裹体特征

其流体包裹体的形状多具有主矿物负晶形，正方形、六边形（石英负晶形），矩形、菱形（方解石负晶形），还有椭圆形、拉长的管状、棒状等。其个体大小不一，一般为 2～14 μm，大者可达 30～40 μm。包裹体，呈孤立的、沿晶面晶带生长的和沿裂隙、微裂隙，成行成排地定向产出。有的还表现成平行、交叉，甚至网格状产出，其交角恰似北西西与北东向相交的断裂的微观缩影，显示出该区构造控制岩浆热流体的运移与成矿的特征。该铜金成矿期间包裹体圈闭了大量的 H_2O、CO_2、F^-、Cl^-、CH_4、H_2S 和 SO_4^{2-}等，及少量 H_2 、N_2和 Ar 等挥发组分。形成气液包裹体、气体包裹体、含子矿物（NaCl、KCl、S 等）多相包裹体（少量）。包裹体的气液比一般为 3%～20%，气体包裹体的气液比一般为 55%～70%，大者可达 85%～95%。

3.2 成矿流体的形成温度和盐度

所测均一温度：42 0～80℃,分 3 阶段：Ⅰ为 380～280℃；Ⅱ为 300～180℃;Ⅲ为 200～80℃。铜的主要成矿期为Ⅱ阶段，金的主要成矿期为Ⅲ阶段。测得包裹体流体的盐度，一般 $w(NaCl_{eq})$在 0.1%～11.1%,铜的主成矿期 $w(NaCl_{eq})$为 2.5%～6.8 %，个别 $w(NaCl_{eq})$可达 8%～7.7 %，金的主成矿期 $w(NaCl_{eq})$为 0.5%～2.4%，为稀盐水溶液成矿。

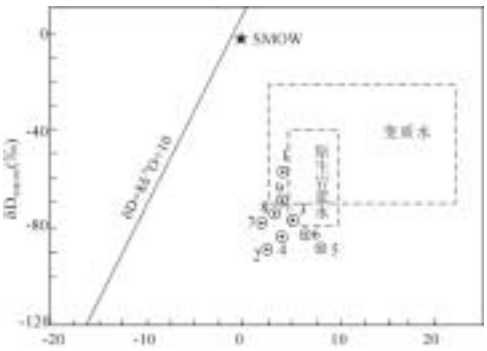
3.3 成矿流体的化学成分

本次所作的包裹体气液相成分分析，反应了该矿床成矿流体的化学组成和牲质 (Spooner, E.T.C.,1994)。其成矿早期流体中主含 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、F^-、Cl^-、H_2O、H_2S、SO_4^{2-}，也含有 H_2、CH_4和 Ar，成矿晚期有大量的 H_2O 和 SO_4^{2-}的加入。与铜钼成矿有关的流体属 NaCl-H_2O 和 NaCl-H_2O-H_2S 体系，而与金成矿有关的流体属 NaCl-H_2O-SO_4^{2-}体系。成矿时期的 Na^+/K^+比较高， Ca^{2+}和 Mg^{2+}含量逐渐增高，并且由 Cl^-、F^-高向 SO_4^{2-}、H_2O 和 CO_2 升高的趋势演化(卢焕章等，1990)。

4 成矿流体源于岩浆热液

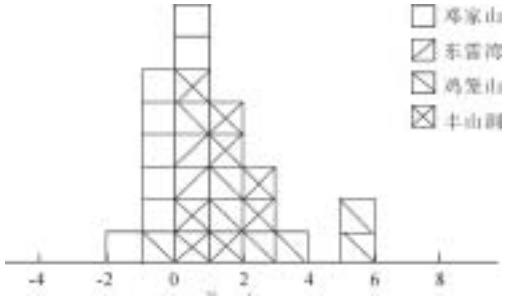
本次作包裹体水的氢，氧同位素分析，运用石英-水的同位素分馏方法，计算出流体的稳定同位素值。本矿区 $\delta^{18}O_{H2O}$ 在+2.1‰～+8.2‰范围；δD -59‰～-90‰。所分析的数据在 δD- $\delta^{18}O$ 图上反应，它们落在靠近岩浆水区域的附近（图 2）；其碳、氧同位素测试结果：与黄铜矿共生的方解石等（共 10 件），其 $\delta^{13}C_{PDB}$ 为-4.5‰～+3.6‰；$\delta^{18}O_{SMOW}$ 为+11.9‰～+20.9‰;另一组方解石包裹体流体样品（共 7 件），其 $\delta^{13}C_{PDB}$ 为-18.2‰～+0.6‰～+20.4‰; $\delta^{18}O_{SMOW}$ 为-2.0‰～+10.7‰，在相

应的 $\delta^{13}C_{PDB}$- $\delta^{18}O_{SMOW}$ 图上的反映：它们落在火成碳酸岩区附近。其硫同位素分析结果为 $\delta^{34}S$ 为-1.8‰～+0. 6‰,由 $\delta^{34}S$ 分布直方图指示，该矿床 $\delta^{34}S$ 集中在 0‰附近的-2. 0‰～+1.0‰（图 3），表现邓家山铜金矿成矿流体主要来源于深部岩浆水，在其成矿作用晚期有大气降水的混入。



$\delta^{18}O_{SMOW}$/‰

图2　邓家山矿床成矿流体δD－δ^{18}O 图解



δ^{34}S/‰

图3　邓家山及相邻矿区硫化物矿物的硫同位素分布直方图

5　总结

(1) 长江中下游区域性北北东、北东、北西向深大断裂构成网格状构造格局。构造是控制该地区内各地质作用的主导因素，是驱动流体运移的动力（王宗起等，1999）。同时各种构造如断裂、裂隙 、破碎带等为地球深部流体提供通道。据统计长江中下游铜金成矿带分布有近 30 多个小岩体和岩株，邓家山岩体为地下隐伏岩体，地表出露面积只有 0.5 km^2.长江中下游两 组以上断裂交汇部位赋存的小岩体形成大矿为一特点。

(2) 长江中下游广泛分布中酸性—酸性岩体。邓家山岩体属富硅、中偏酸性的铝过饱和系列岩石。由 Re-Os 等时线厘定的成矿模式年龄为（173.1±3.06）Ma,与其成岩时代（154±44）Ma(Rb-Sr 法)具一致性。

(3) 铜金主成矿期流体携带着一定量的 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}等和 Cu^{2+}、Mo^{2+}、Au^{3+}等成矿有用元素以及丰富的 F^-、Cl^-、H_2O、CO_2、H_2S、CH_4、SO_4^{2-}挥发组分，由岩浆房提供物质来源和热源。在温度 280~120℃； w（$NaCl_{eq}$）为 0.5%～6.8%条件下，当构造-岩浆-流体适合 Cu、Mo、Au 从氯、硫络合物（$CuCl_2^0 \cdot CuCl_4^{2-}$），硫氢络合物（$Au(HS_2)_2^-$）赋存形式中解离出来时， Cu、Au、Mo 就沉淀和富集，形成邓家山铜（钼）金矿床。

这里强调岩浆热液演化对铜、金成矿的贡献，是由于成矿元素在岩浆热液中不同相之间的存在和分配制约着铜、钼、金等成矿元素的萃取，迁移和沉淀富集。

参　考　文　献

卢焕章，魏家秀，等. 1990. 包裹体地球化学[M]. 北京：地质出版社. 60～69.

毛景文，张作衡，张招崇，等. 1999. 北祁连山小柳沟钨矿床中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其意义[J]. 地质论评， 45，(4)：412～417.

王宗起，汤耀庆. 1999. 大地构造学研究的新兴前沿课题 ——造山过程的流体作用[J]. 地学前缘， 3（3)：131～137.

魏家秀，王立华，王登红,等. 2000. 邓家山岩浆岩与铜金成矿关系[A]. “ 九五 ” 全国地质科技主要成果论文集[C]. 北京：地质出版社. 202～208.

翟裕生. 1996. 关于构造-流体-成矿作用研究的几个问题[J]. 地学前缘, 3（4)：230～236.

赵一鸣，林文蔚,等. 1990. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京：地质出版社. 137～143..

Roedder E.. 1984.　Fluid Inclusions Reviews in Mineralogy, 12:25～35.

Spooner E T C. 1994. Combined gas and in chromatigraphic analysis of fluid inclusions:Applications to Archean granite pegmatite and gold-quartz vein fluids[J]. Geochemmica et Cosmochemica Acta, 58 (3):1101～1118.