

五子骑龙矿床——被改造的斑岩铜矿上部带*

张德全¹ 李大新¹ 赵一鸣¹ 王文桂² 顾光先¹

(1 地质矿产部矿床地质研究所, 北京 2 福建省地质矿产局第八地质大队, 龙岩)

提 要: 五子骑龙矿床产于紫金山矿田的一个早白垩世火山管道旁侧。火山管道中充填的英安斑岩向深部逐渐相变为花岗闪长斑岩。由于后期断裂的破坏, 该花岗闪长斑岩及其矿化系统被上冲到与五子骑龙矿床相邻的中寮矿床近地表位置, 从而形成斑岩型铜(钼)矿床——中寮矿床。五子骑龙矿床中, 环绕英安斑岩发育明矾石化、迪开石化、埃洛石化和红柱石化蚀变, 这些蚀变是改造并叠加早期绢英岩化蚀变的结果。其铜矿石中的铜蓝、硫砷铜矿和蓝辉铜矿, 也经常交代黄铜矿和斑铜矿。详细的对比研究认为, 五子骑龙矿床是深部的斑岩铜矿系统(中寮矿床)被部分改造了的上部带。同位素测年结果证实, 斑岩铜矿化形成于 $105 \times 10^6 \sim 103 \times 10^6$ a。浅成热液对斑岩铜矿的改造发生于 100×10^6 a。

主题词: 酸性硫酸盐型浅成热液矿床 斑岩铜矿 紫金山矿田

紫金山矿田地处福建省上杭县, 该矿田位于NW向上杭-云霄深断裂带之西北段。上杭-云霄深断裂可能主要发育于白垩纪, 是一莫霍面深度变异带和软流圈顶面陡变带^[1], 沿其分布有白垩世火山-断陷盆地(如紫金山矿田中的碧田盆地)及潜火山-浅成侵入体, 并形成与之相关的有色、贵金属矿产。在紫金山矿田中, 自紫金山矿床^[2]被发现和勘查以来, 已陆续发现多处铜金银矿产地, 它们都是早白垩世构造-岩浆作用衍生的热液成矿作用产物。紫金山矿床是紫金山矿田中的一个大型酸性硫酸盐型(又称为石英-明矾石型)浅成热液铜金矿床^[2,3,5~7], 随着该矿床勘查工作的深入进行, 在距其东北侧不远(1~3 km)处, 又分别发现和勘查出两个铜矿床——五子骑龙矿床和中寮矿床。地质勘查和研究结果显示, 五子骑龙矿床是紫金山矿床的深部带(关于这一点, 笔者将另撰文论证); 而五子骑龙矿床, 又是中寮矿床(斑岩铜矿)被部分改造了的上部带。掌握这一要点, 对该区的矿产勘查将是十分有益的, 深入研究这一问题, 也将有利于阐明酸性硫酸盐型浅成热液矿床与斑岩铜矿的关系——这一国际矿床学界所关注的热点问题^[6]。

1 矿区地质

五子骑龙矿床和中寮矿床实际上是一个矿区(图1), 二者以F1-4和F2-12断裂带为界。

* 国家自然科学基金和地质行业科学技术发展基金联合资助项目(批准号: 49373171)

张德全, 男, 49岁, 副研究员, 长期从事矿床地质科研工作。邮政编码: 100037

1995-7-16 收稿, 1995-10-18 修改回

其中, F1-1、F1-4 和 F2-12 断裂所围限的菱形地块单元为五子骑龙矿床之范围, 而该矿床之 SE 和 NE 部分, 是中寮矿床的范围。

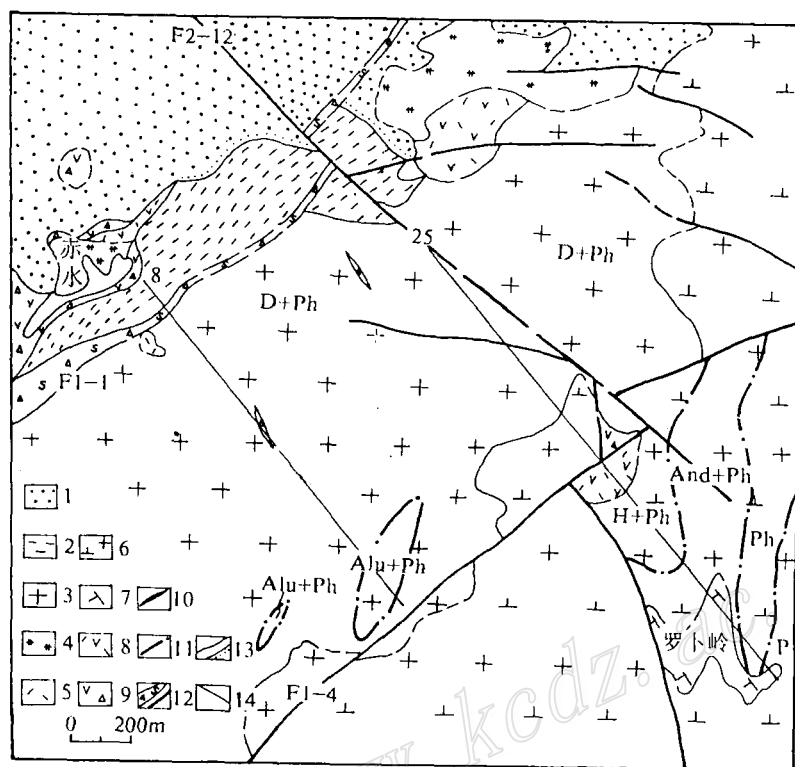


图 1 五子骑龙-中寮矿区地质略图

(据福建省地矿局第八地质队资料修编)

1—上泥盆统沉积岩; 2—下震旦统楼子坝群变质岩; 3—晚侏罗世花岗岩(五龙寺岩体); 4—花岗斑岩; 5—流纹斑岩; 6—早白垩世花岗闪长岩(四坊岩体); 7—早白垩世花岗闪长斑岩(罗卜岭岩体); 8—英安斑岩; 9—隐爆角砾岩; 10—铜矿体; 11—蚀变岩相带界线; 12—断裂; 13—地质界线及地层不整合界线; 14—勘探线及编号

Fig. 1. Geologic sketch map of the Wuziqilong and Zhongliao deposits.

1—Upper Devonian sedimentary rocks; 2—Metamorphic rocks of Lower Sinian Louziba Group; 3—Late Jurassic Wulongsi granite; 4—Granite porphyry; 5—Rhyolite porphyry; 6—Early Cretaceous granodiorite; 7—Early Cretaceous Louboling granodiorite porphyry; 8—Dacite porphyry; 9—Cryptoexplosion breccia; 10—Copper orebody; 11—Boundary of alteration zone; 12—Fault; 13—Geologic and unconformable boundary; 14—Exploration line and its serial number.

矿区西北侧出露下震旦统楼子坝群变质粉砂岩、千枚岩, 其上不整合覆盖着上泥盆统砂岩和砾岩。它们与矿区以 F1-1 断裂相隔, 与成矿关系不大。

矿区中部大面积出露的侏罗纪中细粒花岗岩, 是区域上五龙寺岩体 (Rb-Sr 等时线年龄 141×10^6 a, $I_{Sr} = 0.7107$) 的一部分。受后期 (白垩纪) 构造-岩浆-热液成矿事件的影响, 该岩体强烈蚀变, 从而构成五子骑龙矿床中矿体的主要含矿围岩。矿区东侧及东南侧大面积出露的花岗闪长岩, 是区域上四坊岩体的一部分。该岩体侵入于五龙寺岩体, Rb-Sr 等时线年龄 128

$\times 10^6 \text{a}$ ($I_{\text{Sr}}=0.7075$), 是区域上早白垩世英安质火山岩 (Rb-Sr 等时线年龄 $125 \times 10^6 \text{a}$, $I_{\text{Sr}}=0.7086$) 的同源异相侵入体 (张德全等, 1994 研究报告)。花岗闪长岩已强烈蚀变, 从而成为中寮斑岩铜矿床的主要含矿围岩。

1.1 断裂裂隙系统

F1-1、F1-4 和 F2-12 是贯穿矿区的 NE 和 NW 向断裂 (图 1), 它们分别构成五子骑龙矿床和中寮矿床的边界, 也是矿田乃至更大区域范围内的 NE 和 NW 向断裂系统的重要组成部分。NE 向断裂具陡倾斜的逆冲性质, 主要发育于白垩纪前, 且控制了晚侏罗世花岗岩 (五龙寺岩体) 的分布; 矿田中 NW 向断裂在剖面上呈上陡下缓的“犁”形, 主要发育于白垩纪, 是 NW 向的上杭-云霄深断裂的组成部分, 并主要控制了早白垩世火山-侵入岩浆作用和成矿活动。早白垩世期间, NE 向断裂复合, 并形成一系列 NE 向裂隙, 与 NW 向断裂旁侧裂隙一起, 形成 NW 和 NE 向两组短小而密集的裂隙群。这些裂隙群常为英安斑岩、隐爆角砾岩和热液角砾岩脉及矿脉充填, 是重要的容矿构造。

成矿后, F1-1 和 F1-4 断裂之 SE 盘强烈上冲, 以及 F2-12 断裂 NE 盘的强烈上冲, 导致五子骑龙矿床深部的含铜斑岩系统在近地表位置出露, 从而奠定了五子骑龙矿床和中寮矿床现今的分布格局 (图 1, 2, 3)。

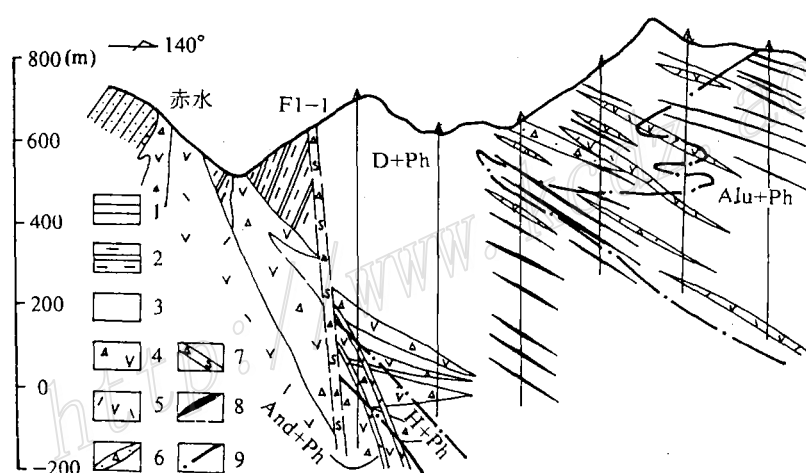


图 2 五子骑龙-中寮矿区 8 线地质剖面图

1—上泥盆统砂岩; 2—下震旦统千枚岩及变质粉砂岩; 3—晚侏罗世花岗岩; 4—隐爆角砾岩; 5—英安斑岩; 6—热液角砾岩; 7—断层角砾岩; 8—铜矿脉; 9—蚀变岩相带界线

Fig. 2. Geologic section along the No 8 exploration line of the Wuziqilong and the Zhongliao deposits.

1—Upper Devonian sandstone; 2—Lower Sinian phyllite and metasiltstone; 3—Late Jurassic granite; 4—Cryptoexplosion breccia; 5—Dacite porphyry; 6—Hydrothermal breccia; 7—Fault breccia; 8—Copper vein; 9—Boundary of alteration zone.

1.2 赤水古火山通道

赤水古火山通道位于矿区西北侧、8 线之西北端 (图 1)。该火山通道之地表部分, 处于 F1-1 断裂之 NW 盘, 平面呈 NE 延长的水滴状, 长约 800 m、宽约 200 m。总体上向 SE (五

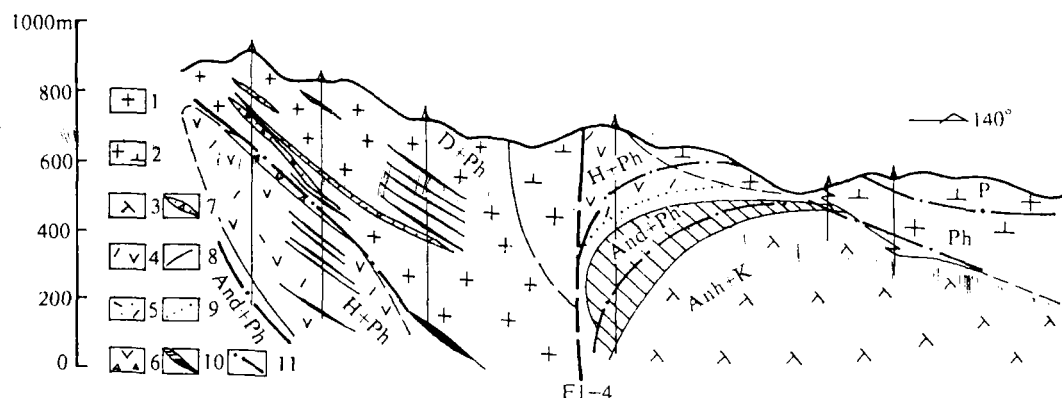


图3 五子骑龙-中寮矿区25线地质剖面图

1—晚侏罗世花岗岩；2—早白垩世花岗闪长岩；3—花岗闪长斑岩；4—英安斑岩；5—晶屑凝灰岩；6—隐爆角砾岩；7—热液角砾岩；8—地质界线；9—花岗闪长斑岩和英安斑岩相界线；10—铜矿体；11—蚀变岩相带界线

Fig. 3. Geologic section along the No. 25 exploration line of the Wuziqilong and the Zhongliao deposits.

1—Late Jurassic granite; 2—Early Cretaceous granodiorite; 3—Granodiorite porphyry; 4—Dacite porphyry; 5—Crystal tuff; 6—Cryptoexplosion breccia; 7—Hydrothermal breccia; 8—Geologic boundary; 9—Lithofacies boundary between dacite porphyry and granodiorite porphyry; 10—Copper orebody; 11—Boundary of alteration zone.

子骑龙矿区内)陡倾,其深部为F1-1断裂所切,8线钻孔中已打到被F1-1断裂上盘上冲的该火山通道之边部岩相(图2)。

古火山通道中,全部由火山通道相的岩石充填,其外侧的喷溢相火山岩似乎已被剥蚀殆尽。火山通道相的岩石可分为隐爆角砾岩亚相和潜火山岩亚相。由英安斑岩和花岗斑岩组成的潜火山岩管,充填于火山管道之中心(图1,2),英安质隐爆角砾岩在地表及深部环绕英安斑岩和花岗斑岩分布,它们一起侵入于晚侏罗世花岗岩或前侏罗纪地层中。

英安斑岩的区域对比和测年结果证实,它们形成于早白垩世,并且曾是紫金山矿田西南侧早白垩世碧田火山盆地边部的寄生火山口之岩相^[3]。赤水古火山通道的发现,证明五子骑龙矿床的成矿深度较浅。

1.3 英安斑岩和花岗闪长斑岩

英安斑岩和花岗闪长斑岩是与成矿有关的岩浆岩,它们以极小的面积分别出露于五子骑龙矿床和中寮矿床的地表。英安斑岩不但呈岩管充填于赤水火山通道中,更多的是呈岩舌和岩脉广泛隐伏于地表之下,且自五子骑龙矿床的SW往NE,隐伏英安斑岩顶部标高由8线的600 m,逐渐增高到16线的700 m、25线的800 m(图2,3),反映矿区岩浆侵位深度是向NE方向逐渐抬高的。花岗闪长斑岩隐伏于中寮矿床深部,地表仅于罗卜岭出露一600×100 m²面积的小岩株(图1,3),故称之为“罗卜岭岩体”。在F1-4断裂之南东盘,目前已有八个钻孔打到了这一隐伏花岗闪长斑岩体,证实它深部(100 m标高的水平上)呈NE和NW两个延长方向的椭圆形,向西南可延至紫金山矿床东南侧、向东南亦延伸较长,向西北方向为F1-4断

裂所切。即在100 m标高的水平上,该岩体呈面积为 $2.1 \times 2.0 \text{ km}^2$ 的岩株状。这一隐伏花岗闪长斑岩的发现,不但为中寮、五子骑龙矿床成矿作用研究找到了证据,而且也为紫金山矿床成矿作用研究找到了证据。

详细的野外观察和室内研究表明,英安斑岩和花岗闪长斑岩之间呈渐变过渡的接触关系,它们在空间上往往呈上、下关系,即英安斑岩是花岗闪长斑岩侵入柱的前峰,前者是超浅成相的潜火山岩,后者则是前者下部的浅成相侵入体(图3)。

英安斑岩和花岗闪长斑岩具有近似的矿物-化学组成。它们均具斑状结构,斑晶主要为斜长石($An=28 \sim 32$)和少量黑云母($Mg/(Mg+Fe)=0.63$)、角闪石($Mg/(Mg+Fe)=0.62$)、石英及极少量钾长石;基质由长英质微晶构成。在英安斑岩和花岗闪长斑岩接触带附近,从前者往后者,斑晶的总量逐渐增多、且粒度变粗、石英斑晶减少、长石和暗色矿物斑晶增多。英安斑岩和花岗闪长斑岩的化学成分变化范围分别是: SiO_2 67.74%~70.69%、64.77%~65.44%, Al_2O_3 14.54%~18.67%、15.26%~15.58%, Fe_2O_3 0.93%~3.31%、1.59%~2.80%, FeO 0.54%~1.63%、1.60%~2.82%, MgO 0.44%~0.83%、1.43%~2.02%, CaO 0.29%~0.65%、2.52%~4.08%, Na_2O 0.06%~2.63%、2.70%~3.75%, K_2O 4.30%~4.97%、2.24%~4.89%。由于强烈蚀变,矿区内很难找到英安斑岩和花岗闪长斑岩的原岩(未蚀变)标本。英安斑岩常被强烈地硅化、迪开石化和绢英岩化,花岗闪长斑岩则被钾硅酸盐化和绢英岩化。上述两类岩石化学上的细微差异,主要源自于它们所经受的蚀变有差异。从总体上看,它们与中国含Cu(Mo)斑岩^[4]的矿物-化学组成较为一致。

2 矿床地质

2.1 蚀变

2.1.1 蚀变类型 各种不同类型的水热蚀变遍布于五子骑龙矿床和中寮矿床中。明矾石化、迪开石化、埃洛石化、红柱石化和绢英岩化是五子骑龙矿床中主要的五种蚀变类型(表1)。

绢英岩化是矿床中见到的最早蚀变,它几乎遍及整个矿床的地表及剖面,并被其它四种蚀变改造和叠加,完全未被改造和叠加的绢英岩化蚀变很少见。它的特征矿物组合是: $Qz+Ser/Il+Py \pm Rt$,即由细粒石英和鳞片状的绢云母或伊利石及晶形较好的黄铁矿,不同程度地交代花岗岩(残留矿物组合为 $Ksp+Qz+Olg$)、英安斑岩或隐爆角砾岩(残留矿物组合为 $An+Ksp+Qz+Bi+Hb$)。绢云母或伊利石的形态和颜色变化较大,电子探针(16个点)分析表明,它们的化学成分有一较宽的变化范围,其中 K_2O 6.43%~11.12%、 Al_2O_3 30.87%~36.89%。这一方面反映了交代作用的不均匀性,另一方面则可能与它们曾经历过多次蚀变作用的交代和改造有关。

红柱石化仅分布于剖面深部,并叠加在绢英岩化岩石中(图2,3)。它的主要特点是呈粗粒状的红柱石和石英集合体交代绢云母,一水铝石则是普遍出现的矿物,细粒黄铁矿($<1\% \sim 20\%$)浸染其间,偶见重晶石微粒嵌布于石英隙间。红柱石和一水铝石在岩石中含量一般分别为1%~5%(最高达20%),绢云母和石英作为绢英岩化蚀变的残留矿物,仍占蚀变岩石的主量,有时可见长石等交代残余矿物,表明最初的原岩是英安斑岩或花岗岩。

表1 五子骑龙和中寮矿床蚀变类型及矿物组合

Table 1. Alteration types and mineral assemblages of the Wuziqilong and the Zhongliao deposits

矿床	蚀变类型 (代号)	新生或重结晶矿物	残留矿物
五子骑龙	明矾石化 (Alu)	Alu+Dick+Py (±Cov±Dig±Ena)	Ser/Il+Dick±Rt±Dia±Cp±Bn 或 Ksp+Olg
	迪开石化 (D)	Dick±Ser/Il+Py±(Bar±Zun±Kol±Pyr)	Ser+Py±Rt (±Cp±Bu) 或 Ksp+Olg
	埃洛石化 (H)	Hall+Dia±Dick±Py (±Bar)	Ser+Py±Rt±Cp±Bn 或 Ksp+Olg
	红柱石化 (And)	And+Dia±Py (±Bar)	Ser+Py±Rt±Cp±Bn 或 Ksp+Olg
	绢英岩化 (Ph)	Ser/Il+Py±Rt±(Cp±Bn±Tet±Sph±Gn)	Ksp+Olg 或 Ksp+An+Bi+Hb
中寮	硬石膏化 (Anh)	Anh/Gyp+Cal+Ksp	Ksp+Bi 或 Ksp+An+Bi+Hb
	绢英岩化 (Ph)	Ser/Il+Py±Rt±Chl±Cp±Bn±Tet	Ksp+An+Bi+Hb
	青磐岩化 (P)	Ep+Ch+Ser+Cal+Py+Rt±Ab	Ksp+An+Bi+Hb
	钾硅酸盐化 (K)	Ksp+Ab+Bi+Chl±Py±Mgt+Rt±(Cp±Bn±Mo)	An+Ksp+Bi+Hb

注: 1) 每个矿物组合中都含石英, 故在所有的矿物组合中石英未写出; 2) 括号中的矿物含量甚微, 其它矿物按含量多少依次列出; 3) 本表中的矿物均经显微镜下鉴定、电子探针成分测定, 粘土类矿物还辅以X射线粉晶衍射和电子显微镜进行确认。矿物代号(后文同本表): Ab—钠长石; An—中长石; And—红柱石; Anh—硬石膏; Bar—重晶石; Bi—黑云母; Bn—斑铜矿; Cal—方解石; Chl—绿泥石; Cov—铜蓝; Cp—黄铜矿; Dia—水铝石; Dick—迪开石; Dig—蓝辉铜矿; Ena—硫砷铜矿; Ep—绿帘石; Gn—方铅矿; Gyp—石膏; Hall—埃洛石; Hb—角闪石; Il—伊利石; Kol—高岭石; Ksp—钾长石; Mo—辉钼矿; Olg—更长石; Py—黄铁矿; Pyr—叶腊石; Rt—金红石; Ser—绢云母; Sph—闪锌矿; Tet—黝铜矿; Zun—氯黄晶

埃洛石化亦仅见之于五子骑龙矿床的钻孔中、叠加于红柱石化上部的绢英岩化蚀变中。由埃洛石、石英和一水铝石构成的新生矿物组合, 交代绢英岩化岩石。埃洛石常呈棒状集合体交代绢云母或伊利石, 且略晚于一水铝石, 含量一般1%~5%, 局部呈脉状穿切岩石。

迪开石化蚀变广泛地见于地表和钻孔中, 在剖面上处于埃洛石化之上(图2, 3)。它主要表现为迪开石和细糖粒状石英, 交代和叠加在绢云母化蚀变岩石中, 与较多的细粒状黄铁矿, 偶见的重晶石、氯黄晶、高岭石和叶腊石一起, 构成新生矿物组合。新生矿物在岩石中含量变化极大(5%~98%), 绢云母(绢英岩化蚀变产物)是这类蚀变中常见的交代残留矿物, 偶见的长石类矿物则证明其原岩是花岗岩类岩石。

明矾石化在五子骑龙矿床中分布很局限, 它呈透镜状、脉状局部交代和叠加于矿床浅部的绢英岩化蚀变中。其蚀变岩石学及矿物学特征与紫金山矿田中典型的酸性硫酸盐型浅成热液矿床——紫金山矿床^[3]十分类似, 主要的差别在于五子骑龙矿床的明矾石化蚀变岩石中常残留有含量变化较大的绢云母。在五子骑龙矿床中, 明矾石化蚀变自西南往东北逐渐减弱, 如矿床最西南部的0线, 明矾石化在钻孔中可厚达数十米, 这里的明矾石化蚀变再往西南即和紫金山矿床中厚大(厚数百米)的明矾石化带相连接, 自0线向东北, 8线、16线之钻孔中

明矾石化显著变薄、变差,到最东北的25线钻孔中,则未见明矾石化(图2,3)。

中寮矿床中四类主要的蚀变类型(表1)及矿物组合,与一般的斑岩铜(钼)矿床的蚀变大体类似。在这四类蚀变中,钾硅酸盐化仅出现在剖面下部的花岗闪长斑岩中,青磐岩化分布于外侧、近地表之围岩(花岗闪长岩)中,绢英岩化蚀变矿物组合与五子骑龙者相似(但中寮矿床中的绢云母比五子骑龙矿床中的绢云母含 K_2O 高1%左右),并分布于花岗闪长斑岩上部及其围岩中。硬石膏化叠加于钾硅酸盐化蚀变岩石中,出现于剖面下部,硬石膏、石膏、方解石、钾长石常构成细脉,不但穿切钾硅酸盐化蚀变形成的钾长石和黑云母,而且还穿切偶见于钾硅酸盐化岩石中、交代热液钾长石或交代热液黑云母的绢云母,表明硬石膏化不但晚于钾硅酸盐化,而且还晚于绢英岩化。

2.1.2 蚀变分带 五子骑龙矿床和中寮矿床的蚀变以面型为主,偶见线型(细脉)分布。根据前述蚀变类型的空间分布及其相互叠加,将五子骑龙矿床的蚀变分成四个带,明矾石化绢英岩化带($Alu+Ph$)、迪开石化绢英岩化带($D+Ph$)、埃洛石化绢英岩化带($H+Ph$)和红柱石化绢英岩化带($And+Ph$),它们分别分布于隐伏的花岗闪长斑岩之上,环绕英安斑岩岩舌或岩脉群由浅而深依次出现(图2,3),从而构成五子骑龙矿床的蚀变分带。中寮矿床的蚀变主要分为三个带,硬石膏化钾硅酸盐化带($Anh+K$)、绢英岩化带(Ph)和青磐岩化带(P)。以 $Anh+K$ 为核(仅见于隐伏斑岩之核部),往上是 Ph 带、边侧部是 P 带,从而构成与大多数斑岩铜(钼)矿床类似的蚀变分带。向五子骑龙矿床一侧,从花岗闪长斑岩凸起之核部往外,依次出现 $Anh+K$ 、 $And+Ph$ 、 $H+Ph$ 、 $D+Ph$ 和 $Alu+Ph$ 的蚀变分带。经构造($F1-4$)复位后,岩凸顶部的 $And+Ph$ 和 $H+Ph$ 带与五子骑龙矿床深部的同类蚀变带可以相接(图3)。另外,自五子骑龙矿床的西南往东北, $Alu+Ph$ 带逐渐变薄、 $And+Ph$ 带逐渐增厚,且出现的标高升高,亦表明沿此方向,蚀变和矿化的深度相增大(图2,3)。

2.2 矿化

2.2.1 矿化及矿体 五子骑龙矿床中,以黄铁矿为主的金属硫化物矿化遍及各类蚀变岩石中,铜矿化在 $Alu+Ph$ 蚀变带最好,其余各带中亦见分布。

铜工业矿体呈缓倾斜的脉状(少数透镜状),在剖面上平行侧列、环绕英安斑岩密集分布(图2)。矿脉附近有时有热液角砾岩脉。矿体沿走向延长一般 ≤ 400 m(最大800 m),倾斜延深一般 ≤ 200 m(最大600 m),厚1.20~3.64 m之间,含Cu 0.53%~2.50%。铜矿化强度及矿体中Cu品位变化较大。

中寮矿床具典型的斑岩铜矿化特征,即沿花岗闪长斑岩内外接触带附近,普遍发育浸染状和细脉浸染状的硫化物矿化,剖面上,沿花岗闪长斑岩凸起的内外接触带形成一镰刀状的含铜硫化物矿化体(图3)。该矿化体在岩凸的顶部厚度和强度最佳,并于紧邻 $Anh+K$ 蚀变带的 Ph (或 $And+Ph$)蚀变带中形成一镰刀状铜矿体(图3),该矿体含Cu在0.5%~0.6%之间。矿化体和矿体环绕隐伏的花岗闪长斑岩顶面分布,岩体顶面产状陡处矿化体和矿体厚大,产状平缓处,矿化体和矿体厚度急剧变小。

2.2.2 矿石 五子骑龙矿床只有一个矿石类型——细脉浸染状铜蓝-黄铜矿矿石。其金属矿物含量主要在1%~10%之间,以黄铁矿、铜蓝为主,黄铜矿、蓝辉铜矿、斑铜矿、硫砷铜矿次之,少量砷黝铜矿、黄锡矿、方铅矿和闪锌矿,微量硫铜锡矿、硫铁锡铜矿、锡砷黝铜矿、硫铜锡锌矿、辉钼矿和磁铁矿等。

交代残余结构是最常见的矿石结构,细脉状、浸染状或细脉浸染状构造及角砾状构造是

常见的矿石构造。即黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿（它们是斑岩铜矿床的特征矿石矿物，主要出现于中寮矿床中）常构成浸染状矿化（偶见细脉状），它们常被铜蓝，蓝辉铜矿和硫砷铜矿（它们是紫金山矿床中最常见的铜矿石矿物）程度不同地交代而呈残余矿物相。黄铁矿和铜蓝构成的细脉穿插于矿石中，是导致较富铜的矿石出现的根本原因。产于热液角砾岩中的铜矿石常具角砾状构造，且铜蓝的含量显著增高。

中寮矿床存在两种矿石类型：细（网）脉浸染状黄铜矿型硫化物矿石（铜矿石）和细（网）脉浸染状辉钼矿型硫化物矿石（钼矿石），并以前者为主，后者偶见。这些矿石的矿石矿物（包括所有的矿化体）主要是黄铁矿（1%~8%），其次是黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿，偶见磁铁矿、磁黄铁矿、赤铁矿、黝铜矿和铜蓝，铜蓝仅交代并分布于黄铜矿边部。显然，中寮矿床的矿石特征类似于斑岩铜矿床。

2.3 金属分带

五子骑龙矿床和中寮矿床中，不同的蚀变带常出现不同的特征性金属矿物，从而显示出一定的金属分带。总体上，由下往上依次是磁铁矿（Anh+K带下部）→辉钼矿（Anh+K带上部）→黄铜矿（主要在Ph带或And+Ph带）→铜蓝（主要在Alu+Ph带）。

对中寮和五子骑龙矿床代表性钻孔岩心按一定间距（10~20 m）采集样品31件，送地部物化探研究所采用等离子光谱、原子吸收光谱等方法进行多元素分析。据样品产状，将分析结果按不同的蚀变带元素含量平均值计算出富集系数（表2）。以富集系数大于1为富集元素，则各蚀变带的富集元素依次是：

表2 五子骑龙矿床和中寮矿床各蚀变带微量元素平均含量及富集系数

Table 2. Average contents and enrichment coefficients of minor elements in various alteration zones of the Wuziqilong and the Zhongliao deposits

蚀变带	W	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Co	Ti	Nb	Zr	Rb	Sr	Ba
Alu+Ph	54.5	29.7	2.25	95.6	1060	721.6	831.4	60.4	2.7	2.3	377.5	17	58	18.5	580	408.5
	2.27	3.00	0.13	10.5	2.1	4.4	3.95	5.3	3.95	0.21	0.15	0.86	0.5	0.13	2.18	0.76
D+Ph	24.0	15.3	3.79	4.32	554.6	202.9	250.8	14.7	0.9	8.2	1787	20.5	94.5	145.5	174.4	249.7
	1.00	1.55	0.22	0.47	1.08	1.32	1.19	1.29	1.39	0.77	0.71	1.04	0.81	0.99	0.66	0.47
H+Ph	39	13.1	1.22	1.09	717.7	15.7	23.9	2.1	0.19	18.3	3010	20	142.7	142.0	100.72	266.7
	1.62	1.33	0.7	0.12	1.39	0.09	0.11	0.19	0.27	1.73	1.19	1.02	1.23	0.97	0.38	0.5
And+Ph	30.0	3.6	49.4	0.92	314.0	263.8	292.3	1.63	0.48	21.4	2792	14.7	161.7	123.4	173.2	666.3
	1.25	0.36	2.84	0.10	0.61	1.59	1.39	0.14	0.71	2.03	1.10	0.75	1.39	0.84	0.65	1.24
Ank+K	12.7	2.1	31.8	2.78	461.7	23.5	63.9	2.14	0.28	8.0	3504	20.9	118.8	196.3	411.3	747.5
	0.53	0.22	1.83	0.31	0.9	0.14	0.3	0.19	0.41	0.76	1.38	1.06	1.02	1.34	1.60	1.39
P	<5	1.6	2.9	0.16	80.5	17	89.4	16.5	0.12	7.3	3261	22.7	138.5	136	259.5	1030
	<0.21	0.16	0.17	0.02	0.16	0.10	0.42	1.45	0.17	0.69	1.29	1.16	1.19	0.93	0.98	1.92

注：1）每格中，上一行为元素平均含量，下一行为富集系数；2）富集系数=该蚀变带元素平均含量/各蚀变带该元素平均含量；3）单位：除Au为 10^{-9} 外，其它元素为 10^{-6}

P带: Au、Ba、Ti、Nb、Zr;

Alu+Ph带: Au、Pb、Zn、Ag、Sn、W、Cu、Sr;

D+Ph带: Sn、Ag、Au、Pb、Zn、Cu、Nb;

H+Ph带: Co、W、Sn、Cu、Zr、Ti;

And+Ph带: Mo、Co、Pb、Zn、Zr、Ba、W、Ti;

Anh+K带: Mo、Sr、Ba、Ti、Rb、Nb、Zr。

因此,元素自下而上的分带序列是: Mo (Rb) -Mo (Pb、Zn、Cu) -Cu-Cu (Pb、Zn、Au、Ag) -Cu、Au、Ag-Au。即,五子骑龙和中寮矿区自上而下构成 Au→Cu (Pb、Zn) →Cu→Mo 的金属分带。

3 流体包裹体

在五子骑龙矿床和中寮矿床中共采集样品48件,并磨片进行流体包裹体研究,同时还分离了单矿物石英进行包裹体群体的气相色谱和离子色谱以及包裹体的氧氢同位素分析。镜下发现,各类蚀变岩的石英中均含有较多的流体包裹体。测相结果显示,有四种类型的流体包裹体具研究意义:Ⅰ型——气液包裹体,气液比小于50%,一般小于30%;Ⅱ型——气相包裹体,其气相体积大于液相体积;Ⅲ型——含CO₂多相包裹体(仅见于紫金山矿床中,五子骑龙和中寮矿床中未见);Ⅳ型——含NaCl子晶多相包裹体。各矿床不同蚀变带中流体包裹体类型见表3。采用法国产Chaixmeca冷热台,对流体包裹体的冰点和均一温度测量及求得的盐度一并列于表3。为便于对比,将笔者测得的紫金山矿床的这类数据也列入表3中。

表3的资料表明,不同矿床、不同蚀变带中流体包裹体类型有差别,即Ⅲ型包裹体仅见于酸性硫酸盐型浅成热液矿床——紫金山矿床中,在五子骑龙和中寮矿床中,Ⅳ型高温高盐度包裹体仅出现于深部隐伏状花岗闪长斑岩及其顶部附近,富气相的Ⅱ型包裹体在剖面中、下部居多,Ⅰ型包裹体遍及所有蚀变带。

各蚀变带均一温度直方图(图4)均呈多峰态,显示矿区的蚀变和矿化是不同期次、不同类型的蚀变和矿化叠加的产物,且从剖面下部的蚀变带往上部的蚀变带,流体包裹体均一温度主峰的温度值有逐步降低的趋势。参考相邻的紫金山矿床中各类蚀变岩中流体包裹体均一温度主峰值,采用扣除法,可大致推定出各类蚀变的温度范围是:明矾石化,180~320℃;迪开石化,160~240℃、260~340℃;埃洛石化,200~280℃、280~340℃;红柱石化,200~260℃、260~340℃;绢云母化,320~440℃;钾硅酸盐化,420~488℃、520~540℃、540~660℃;硬石膏化,220~280℃、160~200℃的弱峰可能代表硬石膏水解形成石膏的温度。结合各测点的盐度值可知,钾硅酸盐化是一种高温、高盐度流体与岩石反应的结果,绢英岩化流体具中一高温度和盐度,而硬石膏化、红柱石化,埃洛石化、迪开石化和明矾石化流体则具中一低温度和盐度。

表3 各蚀变带流体包裹体特征及参数

Table 3. Characteristics and parameters of fluid inclusions in various alteration zones

矿 床	蚀变带		包裹体类型	均一温度 (°C)	盐度 (wt %NaCl)	压力 (MPa)
紫金山	S	早期	I 型、Ⅱ 型、Ⅲ 型	360~420 (380~400)	5.5~19.7	30~56
		晚期	I 型	100~160 (120~140)	0~5	5~14
	D		I 型为主, Ⅱ 型和Ⅲ 型较少	180~280 (200~220)	3~17	13~35
	Alu	早期	I 型、Ⅱ 型和 Ⅲ 型均发育	200~300 (220~240)	2~21.6	14~41
		晚期		160~220 (180~200)	2~15.5	11~27
	Ph	早期	I 型、Ⅱ 型、Ⅲ 型	300~380 (320~360)	2.6~18.5	21~49
		晚期	I 型	220~280 (240~260)	2.5~5.5	16~24
五子骑龙	Alu+Ph		I 型为主, Ⅱ 型少量	180~320	1.5~13.5	12~37
				320~360	10~14.5	33~42.5
				380~420	4.5~12.5	31~47
	D+Ph		I 型为主, Ⅱ 型少量, Ⅳ 型极少	160~240	3.5~11.0	12~25.6
				260~340	4.5~14.5	21~40
				320~420	9.0~32.5	32~50
	H+Ph		I 型为主, Ⅱ 型少量, Ⅳ 型极少	200~280	4.0~14.0	16~32
				280~340	10.5~15.0	29.5~41
				360~420	10.0~37.5	37~53
	And+Ph		I 型 I、Ⅱ、Ⅳ 型	200~260	7.5~33.0	19~29
				260~340	7.0~40.0	24~38
				360~440	9.0~46.5	36~57
中Ⅱ 寮	Ank+K		I 型 I、Ⅱ、Ⅳ 型	220~280	5.0~19.5	18~34
				320~440	8.0~38.0	31~57
				420~480	10.5~33.0	44~62
				520~540	13.5~43.5	60~79
				540~660	11.5~68.5	59~85

注: S代表硅化带; 括号中数据为峰值

4

4 讨论和结论

4.1 五子骑龙矿床和中寮矿床的时空关系

前已述及, 五子骑龙矿床的英安斑岩是中寮矿床中隐伏的花岗闪长斑岩的上部相, 而五子骑龙矿床深部的蚀变带则与中寮矿床的上部蚀变带完全相当, 目前二者在空间上的重叠或上、下关系, 则主要是因F1-4断裂成矿后再次复活破坏造成的, 因此, 成矿时的五子骑龙矿床是位于斑岩铜矿床——中寮矿床的上部的。在这两个矿床中, 自上而下各蚀变带中存在着连

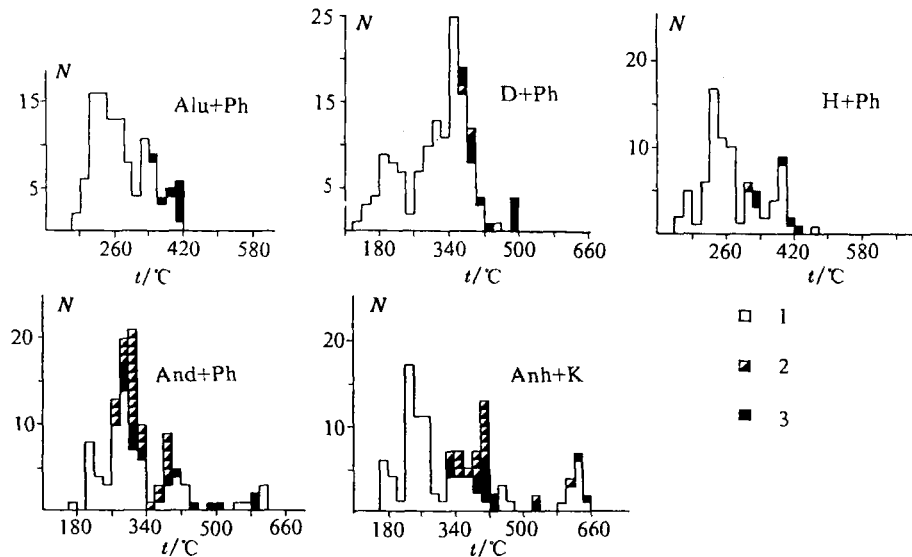


图 4 五子骑龙-中寮矿区各蚀变带均一温度直方图

Alu+Ph—明矾石化绢英岩化带; D+Ph—迪开石化绢英岩化带; H+Ph—埃洛石化绢英岩化带; And+Ph—红柱石化绢英岩化带; Anh+K—硬石膏化钾硅酸盐化带

Fig. 4. Histogram showing homogenization temperatures of various alteration zones in the Wuziqilong and the Zhongliao ore deposits.

Alu+Ph—Alunitization and phyllic alteration zone; D+Ph—Dickitization and phyllic alteration zone; H+Ph—Halloysitization and phyllic alteration zone; And+Ph—Andalusitization and phyllic alteration zone; Anh+K—Anhydritization and K-silicization zone.

续的特征性金属矿物分带和元素分带序列, 也证明了两个矿床的上、下关系。根据剖面的古地理再造, 并结合流体包裹体测压结果推算, 五子骑龙矿床之成矿古深度为 900~1800 m, 中寮矿床则大于 1800 m。

五子骑龙矿床中广泛发育的绢英岩化蚀变, 属于中寮矿床的斑岩铜矿蚀变分带的上部部分, 但又为另一期的多种蚀变——红柱石化、埃洛石化、迪开石化和明矾石化自下而上地依次改造和叠加。作为斑岩铜矿特征的含铜矿物——黄铜矿、斑铜矿, 在五子骑龙矿床中常被铜蓝、蓝辉铜矿和硫砷铜矿这些高硫 (High sulfidation) 矿物组合^[7]交代和改造。因此, 五子骑龙矿床的最终形成和定位要晚于中寮矿床, 前者的蚀变和矿化是交代和改造后者的蚀变和矿化的结果。根据矿区蚀变矿物钾长石、黑云母、明矾石的 K-Ar 同位素测年结果, 钾硅酸盐化蚀变年龄约为 103×10^6 a, 明矾石化的年龄约为 100×10^6 a, 如果将它们近似地看成是中寮和五子骑龙矿床的蚀变和矿化年龄的话, 则自岩体侵入 (105×10^6 a——该年龄可能偏新, 因为花岗闪长斑岩的测年样品已经钾硅酸盐化), 到斑岩型蚀变和矿化 (103×10^6 a) 和其被“浅成热液”改造形成五子骑龙矿床 (100×10^6 a), 其时间间隔分别约为 2×10^6 a 和 3×10^6 a。

4.2 矿化类型及流体类型

中寮矿床与成矿有关的花岗闪长斑岩, 以及环绕该斑岩的中心式、前进的面型蚀变分带

序列和矿化及流体包裹体显示,该矿床属斑岩型铜(钼)矿床。张德全等已经论述过,紫金山矿床是酸性硫酸盐型浅成热液铜金矿床^[2,3,5]。对比后发现,五子骑龙矿床兼有紫金山矿床和中寮矿床的主要特征,且有前者改造和叠加后者的特点,代表后者特征的绢英岩化和黄铜矿,斑铜矿被部分地残留于五子骑龙矿床的蚀变和矿化岩石中,表明这种改造作用的不彻底性。因此,五子骑龙矿床是酸性硫酸盐型浅成热液矿床与斑岩型铜矿床的复合型矿床。鉴于五子骑龙矿床在空间上处在紫金山矿床和中寮矿床之间(关于这一点,笔者将另文讨论),且又兼备二者特征,笔者将其称为过渡型矿床。

根据流体包裹体特征,五子骑龙矿床和中寮矿床的蚀变成矿流体可分成三类:其一是来自深源的流体,这就是形成钾硅酸盐化的高温、高盐度流体,其最高温度高于 660 °C (因为部分这类流体包裹体在 660 °C 时尚未均一,限于仪器的原因,未能再继续加温,直到均一),最高盐度达 68.5wt%NaCl,它们可能是来自深部(地幔?)的蒸气缕的冷凝相;其二是由第一类流体衍生的中—高温度和盐度、偏酸性的流体相,它是形成绢英岩化蚀变和斑岩铜矿化的流体相;第三类流体则是中—低温度和盐度的酸性流体,是斑岩型蚀变-矿化之后,深成流体与大气降水对流循环及水/岩反应形成的流体,它自下而上对含铜斑岩系统(包括斑岩型蚀变与矿化)的改造,尤其是自下往上逐步增强的酸性淋滤,导致斑岩铜矿上部带在强氧化条件下被部分地再次蚀变和矿化加富,形成一种过渡式的铜矿床。

图 5 展示了紫金山矿田不同类型矿床的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 的关系,由于计算公式和参数尚不完善,所以该图中不同温度和不同 W/R 值条件,中生代大气降水与花岗质岩石交换平衡曲线与实际曲线之间可能尚有差距。但是这一图解亦基本反映了区内存在三种不同类型的流体。即中寮矿床中钾硅酸盐化蚀变流体接近岩浆水,五子骑龙矿床及中寮矿床绢英岩化流体(200 °C 和

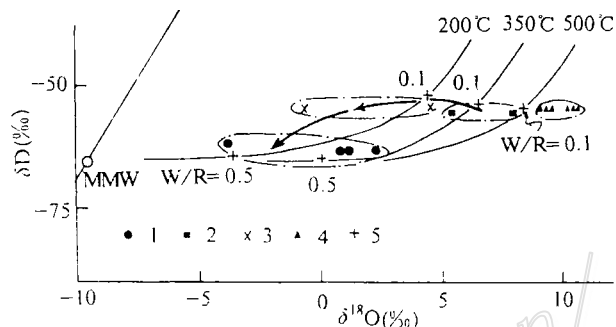


图 5 紫金山矿田三个矿床流体的 δD - $\delta^{18}\text{O}$ 图解

1—浅成热液矿床(紫金山); 2—斑岩矿床(中寮); 3—过渡型矿床(五子骑龙); 4—侵入岩(英安斑岩、花岗闪长斑岩、花岗闪长岩、二长花岗岩及花岗岩); 5—不同温度(200 °C、350 °C、500 °C)和不同 W/R 值条件下大气降水与花岗岩类的交换平衡值。MMW 代表中生代大气降水,大气降水线据 $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ 作出,该图中以虚线分别圈出了花岗岩类岩体、中寮、五子骑龙及紫金山矿床氢氧同位素变化范围;中寮矿床由两个样品(钾硅酸盐化和绢英岩化)组成,靠近侵入岩者为钾硅酸盐化;五子骑龙矿床亦由两个样品(绢英岩化和迪开石化)组成,图中左侧者为迪开石化;紫金山矿床由四个样品组成

Fig. 5. δD versus $\delta^{18}\text{O}$ diagram of fluids in three de-posits of the Zijinshan orefield.

1—Epithermal deposit (Zijingshan); 2—Porphyry deposit (Zhongliao); 3—Transitional deposit (Wuziqilong); 4—Intrusive rocks (dacite porphyry, granodiorite porphyry, granodiorite, adamellite and granite); 5—Exchange equilibrium values between meteoric water and granitoids under the conditions of different temperatures (200 °C, 350 °C and 500 °C) and different W/R values. MMW stands for hydrogen-oxygen isotopic composition of Mesozoic meteoric water. Ranges of hydrogen-oxygen isotopic composition of granitoids and three deposits (Zhongliao, Wuziqilong and Zijinshan) are outlined by dot-and-dash lines. The Zhongliao deposit has two samples: the one near the granitoids is K-silicated rock, and the other is phyllic rock. The Wuziqilong deposit also has two samples: the one on the left is dickitized rock, and the other is phyllic rock. The Zijinshan deposit is represented by four samples.

350℃线之间的两个点)可能既存在岩浆水与大气降水的混合,也存在低W/R值的水/岩交换。而紫金山矿床和五子骑龙矿床中迪开石化蚀变流体,则主要是在200℃至350℃之间,较高的W/R值条件下水/岩交换的结果。

4.3 结 论

(1) 紫金山矿田中的中寮矿床是与早白垩世火山-潜火山-侵入岩浆活动有关的斑岩型铜(钼)矿床,五子骑龙矿床是酸性硫酸盐型浅成热液矿床和斑岩型矿床的复合型矿床。在时间上,五子骑龙矿床比中寮矿床晚(约 3×10^6 a),在空间上,前者位于后者的上部。在成矿深度上,五子骑龙矿床是浅成热液矿床(紫金山矿床)与斑岩型矿床(中寮矿床)之间的过渡类型。

(2) 中寮矿床和五子骑龙矿床中的流体可大致分成三类:来自深部的高温、高盐度的岩浆蒸气缕的冷凝相;主要由深成流体与大气降水混合的中-高温度和盐度的流体相;在深部热流驱动下较高的水/岩交换形成的流体相(仅有极少的深成流体参与)。前二者形成斑岩型蚀变与矿化,后者自下而上地改造了斑岩铜矿系统,并形成另一套较类似于浅成热液型的蚀变与矿化,叠加于斑岩铜矿系统的上部。

(3) 综上所述,五子骑龙矿床位于中寮矿床之上,它是中寮矿床——斑岩铜(钼)矿床被部分改造了的上部带。

参 考 文 献

- 1 王培宗等. 福建省地壳—上地幔结构及深部构造背景研究. 福建地质, 1993, 12 (2): 79~158
- 2 张德全, 李大新, 赵一鸣等. 福建紫金山矿床——我国大陆首例石英-明矾石型浅成低温热液铜-金矿床. 地质论评, 1991, 37 (6): 481~491
- 3 张德全, 李大新, 赵一鸣等. 紫金山铜金矿床蚀变和矿化分带. 北京: 地质出版社, 1992, 1~7, 45~67
- 4 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明等. 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京: 地质出版社, 1984, 18~39, 119~185
- 5 Zhang D Q, Li D X, Zhao Y M et al. The Zijinshan deposit: The first example of quartz-alunite type epithermal deposit in the continent of China. Resource Geology, 1994, 44 (2): 93~99
- 6 Meald P, Foley N K, Hayba D O. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. Econ. Geol., 1987, 82 (1): 1~26
- 7 Hedenquist J W. Volcanic-related hydrothermal system in the Circum-Pacific Basin and their potential for mineralization. Mining Geology, 37, 347~364

THE WUZIQILONG COPPER DEPOSIT — THE REFORMED UPPER PART OF A PORPHYRY COPPER DEPOSIT

Zhang Dequan¹, Li Daxing¹, Zhao Yiming¹, Wang Wengui², Gu Guangxian¹

(1 Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037; 2 No. 8 Geological Party, Fujian Bureau of Geology and Mineral Resources, Longyan)

Key words: Acid-sulfate type epithermal deposit, porphyry copper deposit, the Zijinshan orefield

Abstract

The Wuziqilong deposit adjacent to the Zhongliao copper deposit occur on the side of an Early Cretaceous volcanic pipe filled with dacite porphyry. From the higher level downward, dacite porphyry gradually changes into granodiorite porphyry. The granodiorite porphyry was cut by postmineral faulting and upthrust to the place near the surface of the Zhongliao deposit. Potassic, phyllic and propylitic alterations surround the granodiorite porphyry, and veinlet-disseminated Cu-(Mo)-mineralization composed of pyrite, chalcopyrite, bornite and molybdenite occurs in phyllic alteration zone, forming typical porphyry type alteration and mineralization. The Wuziqilong deposit is characterized by superimposed alterations and mineralizations. From the upper to the lower part of the deposit, alunitic, dickitic, halloysitic (halloysite + diapore) and andalusitic (andalusite + diapore) successively replaced phyllic alteration and were superimposed upon it, forming an alteration zonation around the dacite porphyry. The andalusitic and phyllic alteration zone of the Wuziqilong deposit is linked downwards with the phyllic alteration zone of the Zhongliao deposit. Copper orebodies as veins mainly fill the alunitic and phyllic (Alu + Ph) alteration zone. In ores, chalcopyrite and bornite are replaced generally by covellite, enargite and digenite.

Detailed geochemical sampling reveals an element zonation of Au (Ag, Cu)-Cu (Pb, Zn)-Cu-Mo from the upper part of the Wuziqilong deposit to the depth of the Zhongliao deposit. Fluid inclusion and oxygen-hydrogen isotope studies indicate that three types of fluids exist in the deposits. The first is high temperature and high salinity fluid which comes from magmatic water and results in potassic alteration. The second, characterized by moderate to high temperature and salinity, is a mixture of magmatic water and meteoric water that leads to phyllic alteration and porphyry copper mineralization. The third fluid, characterized by acid and lower temperature and salinity, is derived from water-rock exchange under higher water-rock ratio value. This fluid is superimposed on porphyry copper alteration and mineralization from lower part upward through transformation, forming acid-sulfate type alterations and mineralization of the Wuziqilong deposit.

Evidence mentioned above suggests that the Wuziqilong deposit represents the partly reformed upper part of the deep Zhongliao porphyry copper system. Rb-Sr isochron and K-Ar dating yielded ages of 105×10^6 a, 103×10^6 a and 100×10^6 a for granodiorite porphyry, potassic alteration and alunitic alteration respectively.