

## 紫金山铜(金)矿床成矿模式

陈景河

(福建省闽西紫金矿业集团有限公司)

**【摘要】** 紫金山铜(金)矿床为高硫中低温次火山热液矿床,与白垩纪深源拉张机制有关的次火山作用有成因联系,且有显著的“上金下铜”矿化垂直分带特征,论述了矿床地质特征,成矿的物理化学条件,进而建立成矿模式。

**关键词** 紫金山 铜金矿 成矿模式 金矿床, 铜矿床

中图分类号 P618.51

## 1 区域地质背景

紫金山铜(金)矿床位于华南褶皱系东部,东南沿海中生代火山活动带西部亚带,闽西南拗陷之西南,北东向宣和复背斜与云霄—上杭北西向深断裂带交汇部,上杭白垩纪火山—沉积盆地东缘。

紫金山地区中生代以前的地层主要呈北东向展布,基底地层为下震旦统楼子坝群浅变质细碎屑岩,构成背斜核部,两翼为泥盆—石炭纪碎屑岩和部分灰岩,白垩纪火山—沉积岩主要分布于西部上杭火山盆地中。燕山早期酸性岩浆岩沿背斜轴部侵入,并成为紫金山地区最主要的地质体和矿化围岩,主要岩性为花岗岩和二长花岗岩。燕山晚期火山—侵入作用主要受北西向断裂构造及其与北东向构造结点控制,构造结点常成为火山活动中心(图1)。该期的火山—岩浆热液活动对紫金山地区的蚀变和成矿作用有重要影响,其主要岩性为花岗闪长岩类,与之有成因联系的英安玢岩和隐爆角砾岩在区内较为发育,主要分布于火山机构及其邻近。物探资料和地质推测紫金山地区深部可能存在花岗闪长岩岩基。

燕山早期和燕山晚期侵入岩隶属于两个不同的成岩系列,它们具有S型和I型花岗岩的基本特征,特别是燕山晚期火山—侵入岩是一套在扩张环境下与深源机制有关的岩浆岩。

紫金山地区岩石蚀变极为强烈,燕山早期岩体几乎全岩蚀变。主要蚀变类型有硅化、明矾石化、地开石化和绢云母化。强烈的硅化作用常出现在上部,与金的矿化关系密切,绢云母化则出现在下部,明矾石化分布于火山机构边缘,地开石化分布较为广泛。

紫金山地区存在显著的 Au、Cu、Pb、Zn、Ag、Mo 和 Sn 水系沉积物异常,明显突出于区域背景场之上,异常基本上围绕紫金山复式岩体分布,面积十几至几十平方公里。该区的中比例尺岩石及土壤测量,显示低值异常呈北东向,高值异常呈北西向,且有一定的分带性。以紫金山火山机构为中心,往北西和南东两侧依次为:Mo(Cu)→Au、Cu→Pb、Zn、Ag(Cu)。中部 Mo(Cu)异常值较高,与该地段燕山晚期中酸性岩浆岩侵位较高是一致的。在火山机构附近,常形成异常浓集区。

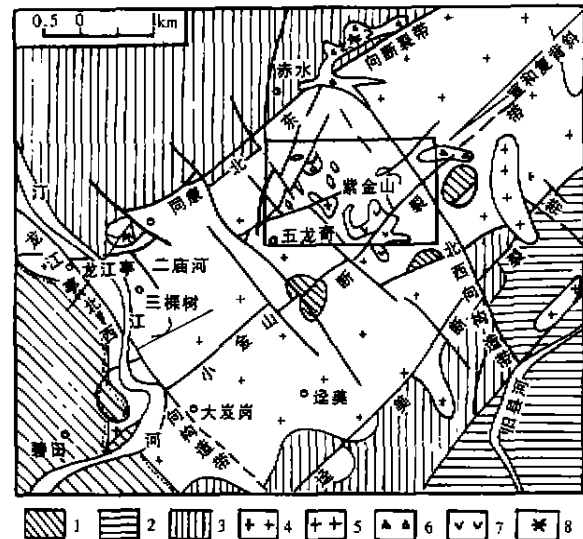


图1 紫金山地区地质构造略图

- 1—燕山期构造层 2—华力西期构造层 3—加里东期构造层  
4—燕山晚期花岗闪长岩 5—燕山早期花岗岩 6—角砾岩  
7—英安玢岩 8—火山作用中心

紫金山地区存在一套较完整的斑岩成矿系列,在斑岩型、次火山岩型和火山岩型以及一些过渡类型矿床。

## 2 矿床地质特征

紫金山矿区主要矿化围岩为燕山早期侵入的花

岗岩,以中细粒花岗岩为主,细粒花岗岩和中粗粒花岗岩次之。岩石已强烈蚀变,基本上由原生石英+蚀变矿物组成,构造作用强烈,其中裂隙裂纹很发育,常见碎裂构造。

矿区中部为燕山晚期潜火山作用中心,中心由直径约 700m 的英安质隐爆碎屑岩组成,为英安质熔浆上侵成岩过程中在近地表条件下隐蔽爆破作用形成。该中心上部为隐爆相,往深部逐渐过渡为次火山岩相,中心碎屑物和胶结物均为英安质次火山物质,周边与花岗岩接触带,花岗岩成分显著增加,并逐渐向震碎花岗岩过渡。该中心处于小金山沟北东向断裂带与紫金山北西向构造带交汇部,往北西和南东,大量的脉状角砾岩和部分英安玢岩呈北西向带状展布,并具有脉动成因特点且形成部分小型裂隙式爆破中心。角砾岩带长、宽均可达千余米,随着与火山中心距离加大,其发育程度逐渐降低。单一脉体厚度一般几十厘米至十几米,部分可达几十米,总体具北东倾向,走向长几十至 200m(图 2)。脉状角砾岩大部分与围岩具清晰的侵入接触关系,其成因特点逐渐向热液角砾岩过渡。

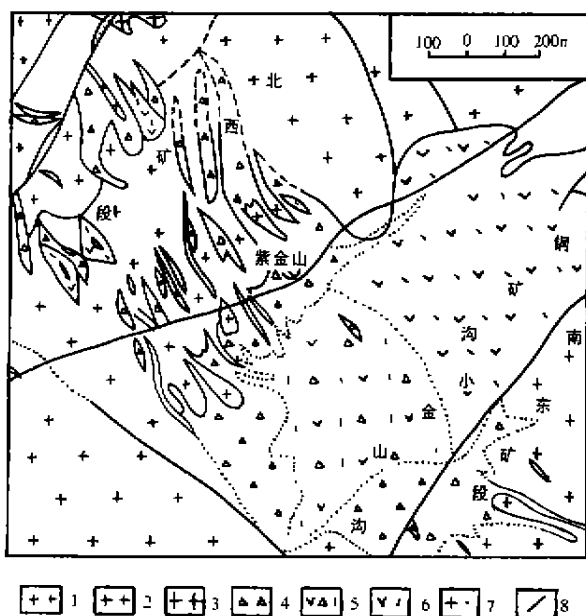


图 2 紫金山铜金矿区地质略图

- 1-燕山早期粗粒白云母花岗岩 2-燕山早期中细粒花岗岩
- 3-燕山早期粗粒花岗岩 4-广义隐爆角砾岩 5-英安质隐爆角砾凝灰岩
- 6-英安玢岩 7-石英斑岩 8-断层

矿区北西向构造最为发育,主要由一系列小型断裂及裂隙密集成带组成,是矿区最主要的赋矿构造。北西向构造与燕山晚期次火山岩、金铜矿体有基本一致的产状,反映了它们之间的成因联系。

矿床分布于火山中心的北西侧外接触带,矿化带的分布与脉状角砾岩近于一致,矿化带长宽均达 1 000 余 m,且宽略大于长,金、铜矿体和矿化体具有北西走向右行侧列的特点,总体呈北西西走向,倾向北东,倾角 10~60°,具上陡下缓的特点。

金矿主要分布于高程 700m 以上的氧化带中,铜矿则主要分布于 650m 以下的原生带内。中间过渡带中发现少量金铜矿体(图 3)。

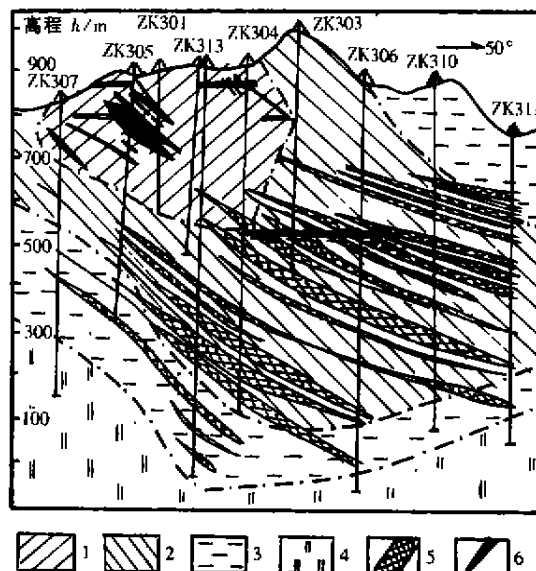


图 3 紫金山铜金矿床 3 线蚀变矿化分带剖面图

- 1-强硅化带 2-石英-明矾石(地开石)带
- 3-石英-地开石(明矾石、绢云母)带 4-石英-绢云母带
- 5-铜矿体 6-金矿体( $\geq 1 \times 10^{-6}$ )

金矿石组份较简单,以微晶蚀变石英为主, SiO<sub>2</sub> 含量 > 90%; 少量的地开石和其它脉石矿物,金属矿物以褐铁矿、针铁矿为主,含量 3% 左右,其它金属矿物微量。金主要以自然金形式存在于充填裂隙的铁的氧化物、氢氧化物细脉和网脉中,粒度粗细不一,形态各异,具有很好的可选性能。矿石有用组份为 Au、Ag,含量仅  $1 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ ,其它组份含量甚微。

铜矿石金属矿物含量约 8% - 10%,以黄铁矿为主,金属铜矿物主要为蓝辉铜矿,其次为铜蓝。硫砷铜矿是主要载砷矿物,含量 0.1% 左右,少量至微量的斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿,偶见硫锡铁铜矿,似黄锡矿、砷黝铜矿等。脉石矿物主要为石英、明矾石和地开石,次要为绢云母等,少量至微量的重晶石、氯黄晶、水云母等。

金矿石自然类型为石英-褐铁矿氧化矿石,铜矿石自然类型为明矾石(石英、地开石)-蓝辉铜矿

(铜蓝、硫砷铜矿)硫化铜矿石。

矿区岩石蚀变极其强烈,主要蚀变类型有硅化、明矾石化、地开石化和绢云母化,各蚀变类型具有多次形成并互相叠加的特点,钾明矾石化宏观上与铜的主要矿化带分布近于一致。地开石化分布范围较明矾石化要广得多,晚期低温硅化作用与金的成矿有密切的关系,金主要分布于这一期的硅化带中。在剖面上,石英-明矾石蚀变带在绢云母化带之上,石英-地开石混合蚀变带位于其两侧,强硅化带则位于其顶部,蚀变分带见图3。

矿区氧化带极其发育,氧化带厚度一般可达200m,局部地段厚达400m,氧化作用对金的成矿有重要的意义,铜矿体在氧化带中被淋滤,而金则产生较显著的次生富集作用。

### 3 成矿物理化学条件

#### 3.1 流体包裹体特征

##### 3.1.1 温度

对矿床各蚀变带包裹体进行了较系统的均一法测温,其结果如图4,温度区间100~420℃,即使在同一样品中,往往也可以获得变幅较大的温度值,表明热液多期叠加作用的特点。从全区看,主要有三个温度峰值,380~400℃,220~240℃,120~140℃,分别代表了早、中、晚三个主要热液活动期的温度峰值,不同交代岩具有不同的温度峰值,热液温度的演化从早到晚逐渐降低,热液性质由岩浆热液向次火山热液、热水溶液演化。绢云母交代岩和早期高温硅化岩代表了早期面型热液蚀变,二期明矾石温度峰值基本上代表了铜的两个主要成矿阶段,硅化岩的低温峰值代表了金的主要成矿温度。

##### 3.1.2 盐度、密度、压力和 pH 值

矿床盐度值在0~21.6% NaCl 之间,其中4%~8%形成显著峰值,从早到晚由于大气降水的稀释作用,盐度有降低趋势,但沸腾作用流体盐度升高。根

据 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系估计的流体密度为0.6~1.0g/cm<sup>3</sup>,低盐度、低密度是矿区流体的总特点,对液态 CO<sub>2</sub> 包裹体进行压力测定,结果为9~80MPa,估算的成矿深度大致为300~2400m。溶液 pH 值3.64~4.13。

##### 3.1.3 流体的沸腾

不同气液比的包裹体样品可以获得相近的温度,这是流体沸腾的证据,此类包裹体在石英-明矾石蚀变带中最为常见,特别在该带中的铜矿石和角砾岩及附近最为发育,含矿流体在上升过程中进入裂隙密集带后减压沸腾,导致气液分离,成矿流体盐度、密度加大,富含矿化剂和金属组分,为成矿物质聚集沉淀创造了有利的条件。沸腾作用也是矿区角砾岩形成的重要因素之一。

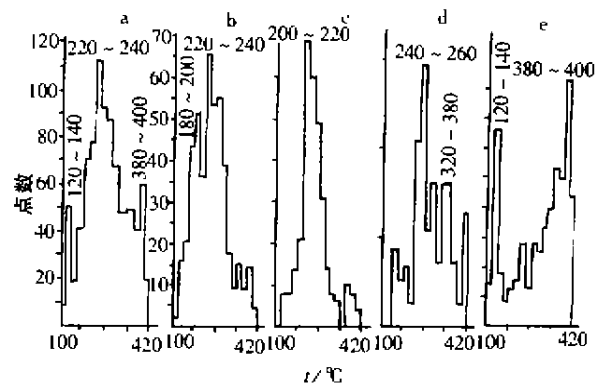


图4 紫金山铜金矿床包裹体均一温度直方图(据张德全(1990)资料修改)

—全区总体 b—石英-明矾石交代岩 c—石英-地开石交代岩  
d—石英-绢云母交代岩 e—硅化岩

##### 3.1.4 流体组分

表1给出了矿区包裹体成分分析结果,并与富家坞斑岩铜矿对比,紫金山包裹体成分明显贫 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、Fe<sup>3+</sup> 也较低,K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> 和 F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup> 都显著高于斑岩铜矿,Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 F<sup>-</sup> 明显高于斑岩铜矿,盐度低于斑岩铜矿。

表1 紫金山矿区包裹体成分对比表

矿区	液相成分/10 <sup>-6</sup>							气相成分*					盐度		
	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	w <sub>NaCl</sub> /10 <sup>-2</sup>	K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup>	F <sup>-</sup> /Cl <sup>-</sup>
紫金山	24254	3359	11893	1957	487	115202	6937	1924	75974	7.76	5.29	58.7	5.58	7.22	3.09
富家坞	2669	22810	3990	5390				350	24520			4.74	9.12	1.17	0.014

注:紫金山样品由南京大学测试,富家坞数据据参考文献;

\* 100g 样品中所形成的 ml 数(其中 H<sub>2</sub>O 为形成的 mg 数)。

根据包裹体成分和矿床微量元素分析资料,紫金山铜金矿床成矿流体是一个高 Si, 富 K、S、F 和 CO<sub>2</sub>, 低 Fe、贫 Na 和 Cl, 富含成矿元素 Cu 和 Au 以及 Mo 的热液系统,其它金属元素 Ag、Se、Ge、Ga、Pb、Sn

也有较高的含量。

#### 3.2 同位素地球化学特征

##### 3.2.1 铅同位素

表2给出了 Pb 同位素组成分析结果,8 件样品

Pb 同位素组成相当接近,属正常铅,采用单阶段模式年龄计算,其年龄区间主要在 1.29 ~ 1.66 亿 a,相当于燕山期,早期黄铁矿年龄 2.65 ~ 4.66 亿 a,相当于海西 - 印支期。Pb 的来源除与燕山期岩浆活动

有关外,一部分可能来源于上古生代地层,燕山早期花岗岩属壳源重熔成因,具有较高的 Cu、Au 背景,也预示了地层供源的可能性。

表 2 紫金山铜金矿区铅同位素组成

样号	测试矿物	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	φ	模式年龄 t/Ma
RZPD6-2-1	黄铁矿	18.434	15.607	38.581	0.5821	159.2
2	黄铁矿	18.496	15.661	38.771	0.5841	178.0
3	蓝辉铜矿	18.477	15.608	38.621	0.5795	127.7
RZPD6-4-1	铜蓝	18.408	15.604	38.437	0.5835	171.7
2	铜蓝	18.520	15.677	38.775	0.5843	184.3
3	黄铁矿	18.450	15.623	38.552	0.5829	165.5
ZIZk804-591	黄铁矿(早期)	18.589	15.788	38.983	0.5919	265.2
ZIZk302-820	黄铁矿(早期)	18.438	15.874	38.329	0.6110	466.2

测试单位 宜昌所同位素室

3.2.2 硫同位素

主要成矿期黄铁矿、铜蓝、方铅矿和闪锌矿 δ<sup>34</sup>S 为 -3.1‰ ~ -8.4‰(CDT),当 pH ≤ 5, lgfO<sub>2</sub> ≤ 10 时,据矿区硫化物和硫酸盐的 δ<sup>34</sup>S 组成,体系的 δ<sup>34</sup>S<sub>Σ</sub> 近似等于零,具有深源特点。

3.2.3 氢氧同位素

图 5 给出了矿区 10 件氢氧同位素在 δD - δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub> 中的图解资料,图中投影点明显出现两个群体,早期硅化石英样品集中分布于右侧,以岩浆水为主,并有部分大气降水参与,晚期硅化石英样品分布于左侧,表明大气降水成为主要水源,为火山期后热液作用产物。

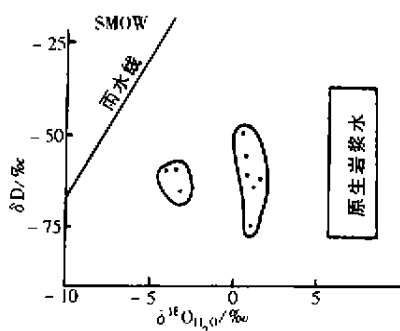


图 5 紫金山铜金矿床 δD - δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub> 图解

(据张德全(1990)和陈景河资料)

3.2.4 同位素年龄的测定

燕山早期岩体锆石 U - Pb 法年龄为 157Ma(省区调队资料),Rb - Sr 全岩等时年龄为 145 ± 9.2Ma,燕山晚期岩体 Rb - Sr 全岩等时年龄 102.2 ± 9.2Ma,金矿石 Rb - Sr 全岩等时年龄为 99.6 ± 9.11Ma(陈景河等,1989),两件明矾石和一件绢云母单矿物 K -

Ar 年龄 94.1 ~ 111.78Ma,上述成岩成矿和蚀变年龄,较好地反映了紫金山矿区主要地质事件的顺序和时代。

3.3 成矿成岩作用

紫金山铜金矿床成矿作用过程见图 6。这一地区的主要成岩成矿作用关系列于表 3。

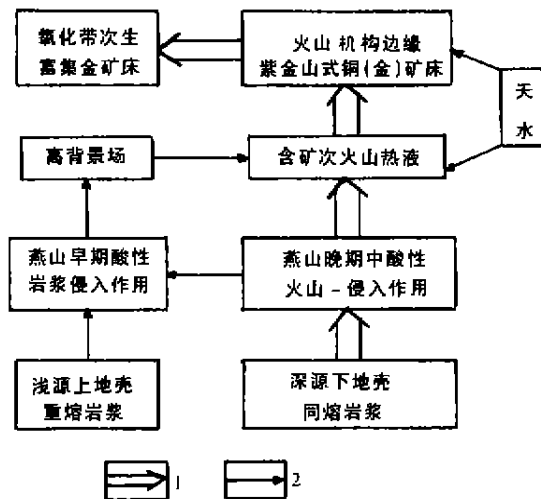


图 6 紫金山铜金矿床主要成岩成矿作用过程示意图

1—主要作用 2—次要作用

根据上述图表,紫金山矿区及紫金山地区燕山期以来的主要成岩成矿作用综述如下。

燕山早期酸性岩浆沿宣和复背斜轴部侵入,构成紫金山地区的主体岩性,该岩浆为壳源重熔成因,可能有部分前中生代含铜地层被重熔,在岩体的部分地段形成高背景场。燕山晚期,紫金山地区发生大规模中酸性岩浆侵入活动。该岩浆具深源成因特点,主要隐伏于燕山早期岩体之下。该隐伏岩体导致紫金山地区地质体强烈蚀变,主要为区域性的面

型硅化和绢云母化。由该期岩浆上侵形成的个别斑岩可能在局部地段形成斑岩铜(钼)矿床,在与地层接触带形成接触交代矿床。该岩浆的超浅成侵入及喷出地表,形成火山机构,并发生隐蔽爆破作用。在北西向构造背景下的火山-次火山气液作用,形成一系列脉状角砾岩,同时发生多期次的蚀变和矿化作用,环绕次一级主热液通道,形成蚀变和矿化分带。这一期火山-次火山热液活动是“紫金山式”铜

(金)矿床的主要成矿作用,它不仅提供热液,也提供硫源和部分水源以及成矿物质。花岗岩也是重要的成矿物质供源者。火山热液期后由于大气降水的大量参与,成矿作用逐渐过渡到低温热液期,并在上部形成低温硅帽,伴生着重要的金矿化作用。氧化作用使金在地表贫化,并在氧化带中部发生此富集,同时使氧化带中的铜矿受到破坏。

表3 紫金山矿区主要成岩成矿作用关系简表

主要地质作用	主要岩石类型	主要蚀变组合	矿化类型及构造	主要金属矿物组合	温度 t/°C
表生作用	氧化的各类岩矿石	(高岭石、褐铁矿)	以金为主蜂窝状,胶状	自然金、褐铁矿	< 100
大气降水为主的低温热液作用	晚期热液角砾岩、硅化岩(硅化帽)	低温硅化地开石化(明矾石化)	金的重要成矿阶段伴生着铜矿化(以细脉充填为主)	银金矿、铜蓝、蓝辉铜矿	100±
中低温次火山热液作用	隐爆角砾岩(以脉状为主)	明矾石化、地开石化、硅化(以线型蚀变为主)	铜的主要成矿作用伴生着 Au、Pb、Zn 等矿化(以细脉充填为主)	蓝辉铜矿、铜蓝(硫砷铜矿、方铅矿、银金矿)	150±
强烈隐蔽爆发作用	隐爆角砾岩	以次火山热液通道为中心,对称分布,强烈明矾石化、地开石化、硅化	铜的重要成矿阶段伴生 Mo、Au 等矿化,以浸染状为主	蓝辉铜矿、硫砷铜矿、铜蓝(斑铜矿、辉铜矿、银金矿)	180±
中酸性岩浆超浅成侵入作用次火山作用	英安玢岩	次火山岩顶部的强烈硅化作用,伴生着绢云母、绿黄晶、地开石等蚀变	金、铜、钼弱矿化	黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、辉钼矿、银金矿	250±
中酸性岩浆脉动侵入(矿区内尚未肯定)	石英闪长玢岩	围绕玢岩的蚀变分带,绢云母化、硅化、青磐岩化(钾化)	斑岩铜钼矿化,细脉浸染状	黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿	300±
燕山晚期中酸性岩浆大规模活动(主要在外围)	花岗闪长岩	区域广泛而强烈的绢云母化,伴随硅化	Cu、Au 等成矿元素往上部边缘活化迁多	黄铁矿	350±
燕山早期酸性岩浆侵入活动	花岗岩	云英岩化	局部形成高背景场	黄铁矿	400±

#### 4 成矿模式

图7给出了紫金山式铜(金)矿床成矿模式,这一模式归纳了该类矿床的主要地质要素,对蚀变和矿化的空间分布和分带,主要金属矿物的分带做了表达。矿床的成因类型为高硫中低温次火山热液铜(金)矿床,金矿为低温热液-次生富集型矿床。

#### 5 评价准则和找矿标志

##### 5.1 评价准则

(1)区域构造的交汇部,特别是区域深断裂带,为深源岩浆和成矿物质上升提供了必要条件,与其它区域构造的复合,常成为区域构造岩浆活动和矿化的结点。

(2)多旋回构造-岩浆活动,使多源成矿物质不断富集,并在燕山晚期的次火山热液作用下叠加成矿,燕山晚期拉张机制有关的深源I型中酸性火山-侵入活动是紫金山式铜金矿床成矿的重要条件。

(3)火山盆地边缘,潜火山机构旁侧次一级中酸性次火山侵入体,并存在强烈气液隐蔽爆破作用,形成一系列的隐爆角砾岩和热液角砾岩类。

(4)存在一套规模宏大,分带性良好的中低温次生石英岩化系列蚀变。

(5)发育的断裂构造。

(6)在上述环境中,中-小比例尺的 Cu、Au、(Ag、Pb、As、Sn、Mo)等水系沉积物组合异常。

(7)硫砷铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝组合是紫金山式铜矿最特征的金属矿物组合,与之伴生的特征脉石

矿物是明矾石、地开石。

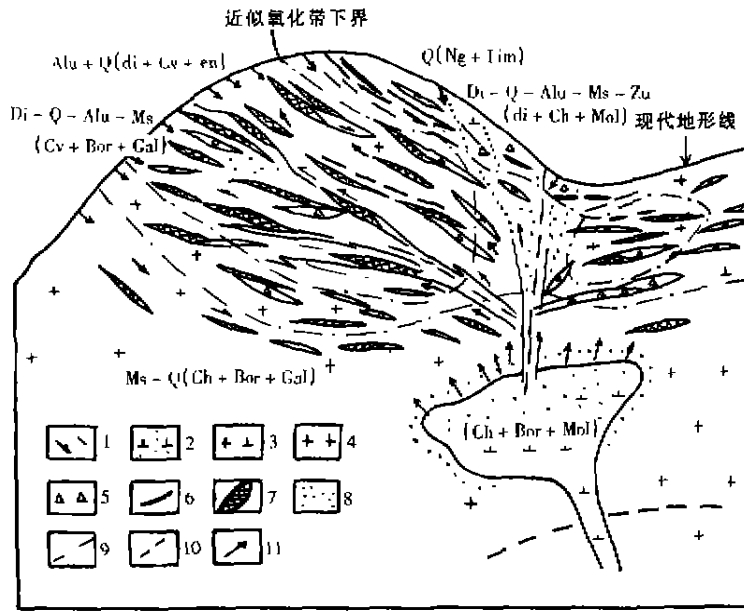


图 7 紫金山式铜金矿床成矿模式图

1—英安玢岩 2—石英闪长玢岩 3—花岗闪长岩 4—花岗岩 5—广义隐爆角砾岩  
6—金矿体 7—铜矿体 8—浸染状矿化 9—断裂 10—蚀变矿化分带界线 11—热液运移方向  
Q—硅化 Alu—明矾石化 Di—地开石化 Ms—绢云母化 Zu—氯黄晶 Cv—铜蓝 di—蓝辉铜矿  
en—硫砷铜矿 Ch—铜矿 Bor—斑铜矿 Gal—方铜矿 Ng—自然金 Mol—辉钼矿 Lim—褐铁矿

### 5.2 找矿标志

在上述预测评价准则的基础上,针对紫金山式铜金矿床特点,提出以下几点找矿标志:

(1)在上述环境中的中-大比例尺原生晕或次生晕 Cu、Au、As、Pb(Mo、Sn)异常,异常环绕火山机构分布,并具有一定的分带性,应充分注意由于氧化作用及埋深,Cu 显示低值异常问题;Au、Cu 元素化探异常是其矿化的最直接指示元素,矿区  $Au > 100 \times 10^{-9}$ 、 $Cu > 100 \times 10^{-6}$ ,可望发现隐伏矿(化)体。

(2)发育的中酸性次火山岩体(脉),并伴生着与之有成因联系的角砾岩类,并沿构造带呈脉群分布。

(3)多期次蚀变作用,蚀变规模广和强度大,为一套高硫中低温蚀变组合,主要为硅化、明矾石化、地开石化和绢云母化。并存在面型和线型两种分带

型式。明矾石化带是铜矿的重要蚀变标志,低温硅化带是金矿的重要蚀变标志。

(4)断裂、裂隙密集带对矿体有显著的控制作用,与火山构造复合的断裂、裂隙发育地段是矿体赋存的有利部位。

(5)氧化带发育,是紫金山矿的重要标志、应注意在地表贫化和在中部富集问题。氧化带中残余铜矿物的发育,可预示下部原生带中可能存在工业铜矿体。

(6)雄伟陡峭地貌特征,是次生石英岩化系列蚀变的典型地貌标志,也是矿床的重要地貌标志。矿区分布众多古代采金老洞和采坑,若它们成带分布,是矿化带直接有效的指示标志。 编辑:宿晓静

## The metallogenic mode of Zijinshan Copper(Gold) Deposit

Chen Jinghe

(Minxi Zijin Mining Industry Group Co., Ltd., Fujian Province)

**Abstract:** Zijinshan Copper(Gold) Deposit is a subvolcanic lower-medium temperature hydrothermal deposit with high sulfur. Its genesis has very close relation to subvolcanism resulted from deep source tensile activity within Cretaceous period. The deposit has obvious features of vertical mineralizing zonation(upper Au, lower Cu). In this paper, the geological features of the deposit, the physical-chemical condition of mineralization are described. Thus the metallogenic mode is established.

**Keywords:** Zijinshan; copper(gold) deposit; metallogenic mode