

文章编号: 1006-6616 (2008) 01-0074-13

福建紫金山矿田火成岩系列与浅成低温 热液—斑岩铜金银成矿系统

黄仁生

(福建省闽西地质大队, 福建 三明 365001)

摘要: 紫金山矿田内, 自地表往深部, 发育早白垩世中酸性火山岩、次火山英安斑岩、浅成相花岗闪长斑岩、中深成相花岗闪长岩, 构成中酸性火山—侵入岩系列。围绕着紫金山火山机构发育强烈的蚀变矿化, 形成高硫型浅成低温热液铜金矿、低硫型浅成低温热液银金矿和斑岩型铜(钼)矿床。矿田内各类铜金银矿床存在着密切的时空及物源联系, 它们在时间、空间上连续演化, 都是同源含矿中酸性岩浆在同一成矿背景之下于不同演化阶段的产物。含矿热液的物化性质及时空迁移决定了它们在不同地质部位产出不同的矿床类型, 构成与中酸性次火山—斑岩有关的浅成低温—斑岩铜金银成矿系统。

关键词: 浅成低温热液; 斑岩型; 铜金银矿; 成矿系统; 紫金山矿田

中图分类号: P611[°]1, P618[°]51-52

文献标识码: A

紫金山矿田发育燕山晚期中酸性次火山—侵入岩火成岩系列和相关的高硫型浅成低温热液型铜金矿、低硫型浅成低温热液型银金矿及斑岩型铜(钼)矿床, 是全球已知在一个矿田内发育最完整的浅成低温热液—斑岩铜金银成矿系统之一。矿田内铜、金、银矿均达到大一特大型规模, 是我国 20 世纪 80 年代末至 90 年代初重大找矿成果之一, 其勘查研究成果获得国家科技进步一等奖。近年来, 随着矿床勘查开发的持续进行, 对矿床的认识又有新的进展, 因此有必要在更大范围内以区域成矿背景和主要成矿地质因素的角度探讨其成因联系和组合关系。鉴于国内不少专家、学者对矿床成矿系列、成矿系统和成矿体系的相关研究已经取得一批成果和新认识, 并已发表了有一些代表性的论述^[1~9], 本文作者认为紫金山矿田可以构成一个完整的成矿系统。本文在以往研究工作基础上^[7~9], 根据近年来的研究成果, 试图从中酸性火山—侵入岩系列和与其相关的各类矿床的特征及其时空、成因关系等方面入手, 进一步完善和构筑紫金山矿田的浅成低温热液—斑岩铜金银成矿系统。

1 成矿环境

紫金山矿田位于东南沿海中生代火山活动带西侧, 北西向上杭—云霄深大断裂及其控制的火山—侵入杂岩带之早白垩世上杭火山构造洼地北缘。根据空间上重叠出现的北西向重、磁异常带和莫霍面扭曲变异带特征, 上杭—云霄断裂带为切穿上地幔的深大断裂, 是导致上

收稿日期: 2007-02-03

作者简介: 黄仁生 (1955-), 男, 高级工程师, 主要从事矿产勘查与研究。

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.>

地幔热流体、含矿物质上升的主要通道，经与地壳物质的相互作用，在早侏罗世、晚侏罗世和早白垩世三个时期形成沿断裂带展布的基性、酸性、中酸性火山—侵入杂岩带和铜金银锡多金属矿带。早白垩世中酸性和酸性火山—侵入作用与矿田内的铜金银矿成矿有密切的时空及成因关系。

矿田内广泛分布燕山早期酸性侵入岩——碎裂中粗粒花岗岩、中细粒花岗岩和细粒花岗岩，构成北东向分布的紫金山复式花岗岩体，是铜金矿的主要容矿岩石。花岗岩体两侧出露寒武系浅变质岩和泥盆系—石炭系碎屑岩，南部被下白垩统火山岩不整合覆盖。

与铜金银矿有成生联系的燕山晚期中酸性次火山—侵入岩侵位于燕山早期复式花岗岩体中，中深成相花岗闪长岩出露于矿田北段，次火山—浅成斑岩多围绕紫金山等火山机构中心分布，构成复式斑岩筒。环绕斑岩筒发育宽约 100~200m 的隐爆角砾岩环，外环为一宽几十~百余米的震碎花岗岩带，两侧沿北西向裂隙带发育一群热液角砾岩脉，总体呈“蟹形”。紫金山火山机构是矿田最重要的蚀变矿化中心，环绕该中心形成蚀变矿化分带（图 1）。

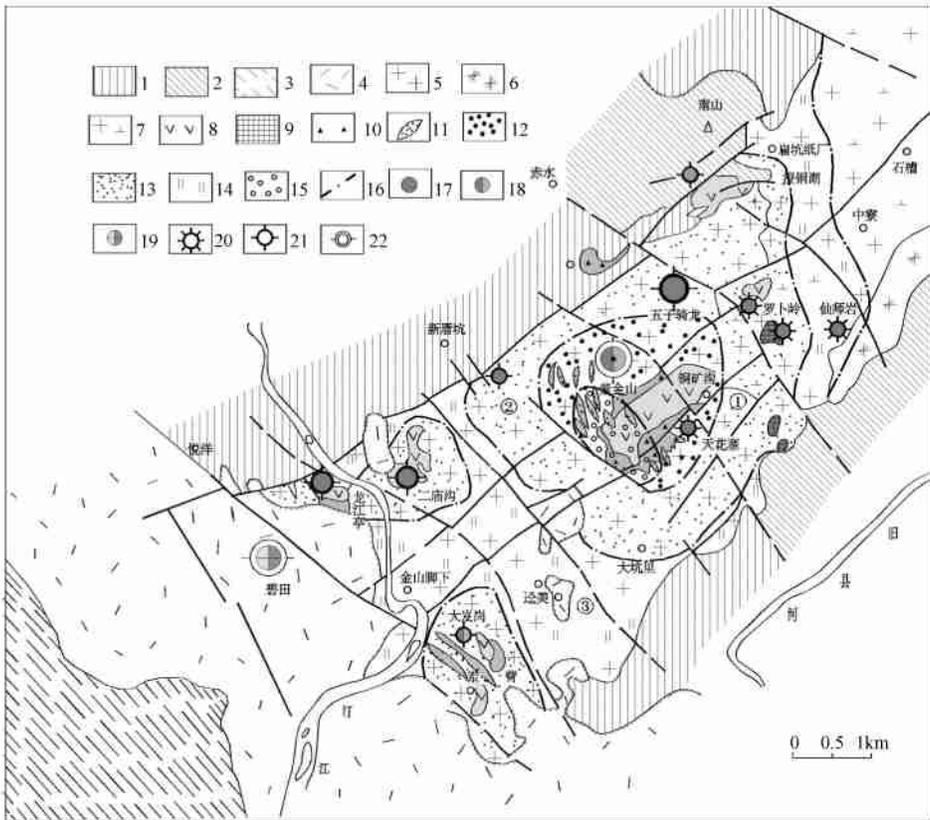


图 1 紫金山矿田蚀变—矿化分带简图

Fig 1 Schematic map showing hydrothermal alteration-mineralization zoning in the Zijinshan ore field
 1. 寒武系变质岩; 2. 泥盆系—石炭系粗碎屑岩; 3. 白垩系碎屑岩; 4. 白垩系中酸性火山岩; 5. 燕山早期花岗岩; 6. 燕山早期二长花岗岩; 7. 燕山早期花岗闪长岩; 8. 英安斑岩; 9. 花岗闪长斑岩; 10. 隐爆角砾岩; 11. 热液角砾岩; 12. 石英—地开石—明矾石化蚀变带; 13. 石英—绢云母—地开石化蚀变带; 14. 石英—绢云母化蚀变带; 15. 低温硅化带; 16. 热液蚀变带界线; 17. 铜矿床 (点); 18. 铜金矿床; 19. 金银矿床; 20. 斑岩型矿床 (点); 21. 高硫型浅成低温热液矿床 (点); 22. 低硫型浅成低温热液矿床 (点)

矿田北东、北西向断裂成群成带展布。北西向断裂带是上杭—云霄深大断裂的次级构造，具多次活动特征，早期北西向裂隙带是区内主要控岩控矿构造，控制了岩脉及铜金矿脉的展布；成矿后的北东、北西向断裂导致矿田北东段地质体抬高，火山岩盖层遭剥蚀，深部的花岗闪长岩、花岗闪长斑岩被抬升。此外，矿田南部沿火山岩盖层与基底接触界面发育的低角度断裂是金银矿的容矿构造。

2 燕山晚期（早白垩世）中酸性火山—侵入岩系列

燕山晚期岩浆活动表现为多次火山侵入作用，它们为同源岩浆在不同的时空以不同作用方式形成之产物，是铜、金、银的成矿母岩。

2.1 下白垩统石帽山群火山岩

主要分布在上杭火山盆地中，下组由安山岩、英安岩、粗面岩、粗安岩、安山玄武岩和英安质凝灰熔岩等岩石组成，与中酸性次火山—侵入岩属同期（英安岩 Rb-Sr, 111 Ma）^[10]、同源岩浆演化的产物；上组为酸性火山岩类，与酸性次火山岩属同源岩浆演化产物。

2.2 燕山晚期中酸性次火山—侵入岩

以多脉动次侵位为特征形成了超浅成相英安斑岩、浅成相花岗闪长斑岩，中深成相花岗闪长岩，它们为同源岩浆在不同的时间和空间定位形成的产物。时间上，从早到晚依次为花岗闪长岩（U-Pb, 128 Ma）→第一脉动次多斑状英安斑岩→第二脉动次少斑英安斑岩（蚀变岩 Rb-Sr, 73 Ma）→花岗闪长斑岩（Rb-Sr, 105 Ma）；空间上自上而下依次为英安斑岩→花岗闪长斑岩→花岗闪长岩。这类岩石的矿物成分、化学成分、稀土组成（图 2）等特征相近，同属钙碱质中酸性岩（图 3）。根据岩石的副矿物（磁铁矿型）、岩石化学特征参数（AKNC

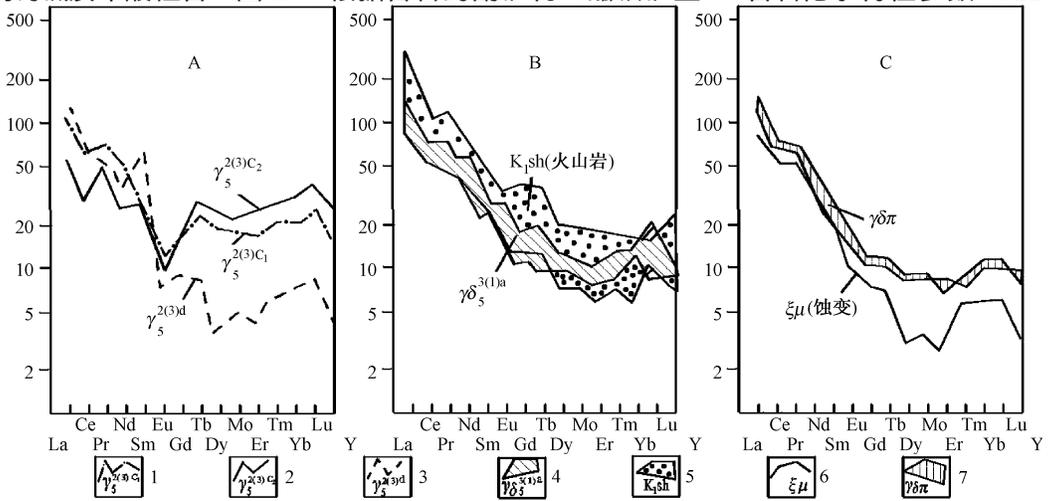


图 2 紫金山矿田岩浆岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式
(A-容矿岩石—花岗岩; B-花岗闪长岩及火山岩; C-花岗闪长斑岩及蚀变英安斑岩)

Fig 2 Chondrite normalized REE patterns of magmatic rocks in the Zijinshan ore field. A. Host rock Yanshanian granites;

B. Yanshanian granodiorite and Lower Cretaceous volcanic rocks; C. granodiorite porphyry and altered dacite porphyry

- 1 燕山早期断裂中粗粒花岗岩稀土配分曲线; 2 燕山早期中细粒花岗岩稀土配分曲线; 3. 燕山早期细粒花岗岩稀土配分曲线; 4. 燕山晚期花岗闪长岩稀土配分分布区; 5 早白垩世火山岩稀土配分分布区; 6 蚀变英安斑岩稀土配分曲线; 7. 花岗闪长斑岩稀土配分分布区

<1.1、OX> 0.2、DI< 80)、稀土模式 (钕亏损不明显) 和铷锶同位数初始比值 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i = 0.7066 ~ 0.7067 等成因判别标志 (表 1)^[7], 岩石成因类型属 I 型花岗岩 (埃达克岩), 岩浆源为壳幔混合源 (图 4)。

3 蚀变分带

紫金山矿田与燕山晚期多次中酸性岩浆活动有关的热液蚀变分布广 (> 30km²)、类型多、强度大。区内花岗岩、英安斑岩等几乎全岩蚀变。蚀变在时、空上与各次岩浆侵位紧密相关, 时间上蚀变发生在岩浆岩定位之后 (蚀变矿物的 K-Ar 同位素年龄为: 绢云母 94.1Ma、明矾石 111.8Ma、钾长石 88.3Ma), 空间上蚀变总是围绕着侵入体分布。每一次岩浆活动都伴随不同强度和类型的热液蚀变: 花岗闪长岩引起广泛的青磐岩化和石英绢云母化, 并以后者强度大、分布广, 构成蚀变“基底”; 英安斑岩侵位伴随多次隐爆—热液角砾岩化, 相应产生一套高硫中低温热液蚀变组合, 依次为石英绢云母化、石英地开石化、石英明矾石化、氯黄晶化和低温硅化; 花岗闪长斑岩侵位之后的热液活动, 则在斑岩体内外接触带发育了一套中高温热液蚀变, 先后形成了钾硅酸盐化、石英绢云母化和埃洛石化; 远离火山机构复式斑岩筒的火山岩区, 发育一套低硫中低温热液蚀变组合: 青磐岩化、石英绢云母化、冰长石化、硅化和碳酸盐化。

矿田面型蚀变分带受构造—岩浆等因素联合控制, 在形成较早、分布最广的基底式蚀变即青磐岩化、石英绢云母化基础上, 围绕复式斑岩筒叠加了晚期局部发育的蚀变类型, 构成多个较大的热液蚀变晕。其中以紫金山火山机构内的次火山侵入体为中心的蚀变晕范围最大、蚀变类型较齐全、分带明显, 并具有后退接触带式蚀变分带特征, 自英安斑岩体往外依次为: 低温硅化带→石英—地开石—明矾石带→石英—地开石—绢云母带→石英—绢云母带; 以花岗闪长斑岩体为中心的蚀变分带具有前进中心式分带模式, 自岩体中心往外分别为: 钾硅酸盐带→石英—绢云母带→石英—绢云母—埃洛石带; 上杭火山岩盆地的热液蚀变具垂直分带现象, 自上而下为: 水云母带→石英—冰长石—碳酸盐带→石英—绢云母带。

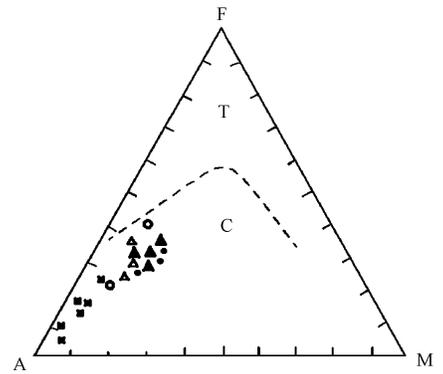


图 3 紫金山矿田岩浆岩岩石化学成分 AFM 图解 (A=Na₂O+K₂O, F=FeO, M=MgO) (据 Irvine & Baragar, 1971^[11]的方法)

Fig. 1 AFM plot of magmatic rocks in the Zijinshan ore field (A=Na₂O+K₂O, F=FeO, M=MgO)
T. 拉斑玄武岩系列; C. 钙碱性系列; ■. 花岗岩; ▲. 花岗闪长岩; △. 英安岩; ○. 英安斑岩; ●. 花岗闪长斑岩

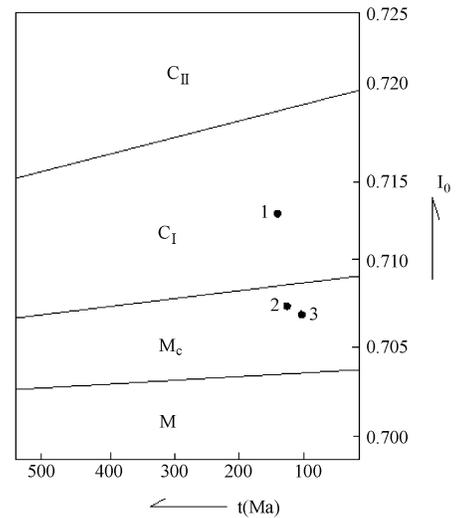


图 4 紫金山矿田岩浆岩岩石化学成分 t-I₀ 图解 (t=岩石形成年龄, I₀ = ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i) (据吴利仁, 1985^[12]的方法)

Fig. 4 Time (t) - ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i (I₀) plot of magmatic rocks in the Zijinshan ore field (t= age of rock)
I₀ 初始值; t. 年龄值; C_{II}. 上地壳源型; C_I. 下地壳源型; M_c. 幔壳混源型; M. 幔源型; 1. 花岗岩; 2. 花岗闪长岩; 3. 花岗闪长斑岩

表1 紫金山矿田中酸性岩浆岩特征一览表

Table 1 Summary of features of intermediate-acid magmatic rocks in the Zijinshan ore field

岩石类型	英安岩*	英安斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长岩
产出形态	层状	岩筒、岩脉	岩瘤、岩枝	岩株
岩体规模	宽度几十~几百米	< 0.5km ²	< 0.2km ²	12km ²
岩石结构	少斑	少斑-多斑	多斑	中细粒花岗结构
主要矿物	斜长石 (An30~32)、角闪石	斜长石、石英、角闪石	斜长石 (An32~49)	斜长石 (An36~48)
次要矿物	黑云母、石英、钾长石	黑云母、钾长石	角闪石、黑云母、钾长石	角闪石、黑云母
副矿物	磁铁矿、磷灰石	磁铁矿、锆石、金红石	磁铁矿、锆石、钛铁矿	磁铁矿、锆石、钛铁矿、榍石
SiO ₂	64.3~66.1	68.9~70.7	64.7~65.8	65.4~67.9
Al ₂ O ₃	14.7	14.5~16.7	15.3~15.4	14.9~15.4
CaO	1.9~3.8	0.8	1.6~2.0	1.3~1.9
Na ₂ O	2.9~3.9	0.1~2.6	3.3~3.8	2.7~3.0
K ₂ O	3.5~5.8	4.3~5.0	2.2~2.4	1.8~3.2
FeO	0.8~1.1	0.6~1.6	2.2~2.4	1.8~3.2
Fe ₂ O ₃	2.8~3.3	0.9~3.3	1.7~1.8	1.0~1.9
MgO	1.2~1.4	0.8	1.6~2.0	1.3~1.9
SI	8.7~11.1	7.6~8.8	12.3~15.9	10.6~14.5
DI	73.6~80.5	76.2~85.8	68.2~78.6	68.5~73.7
δ	2.6~3.3	0.7~2.1	1.7~2.6	1.8~2.0
AKNC	0.85~1.02	1.42~2.81	0.92~1.0	0.94~1.03
OX	0.73~0.81	0.37~0.86	0.38~0.44	0.25~0.44
AR	2.1~2.4	1.7~2.1	1.9~2.1	1.8~1.9
Cu/×10 ⁻²	20.7~48	16~54.5	49.7~78.5	23.2~31
Au/×10 ⁻⁹	1.9~3.9	5.7~11	4.4~0.3	2.1~3.4
Ag/×10 ⁻⁹	41~105	218	53~70	72~970
ΣREE/×10 ⁻⁶	144.5~298.1	108.6	146.1~156.8	147~159
LREE/HREE	3.69~4.04	8.91	4.67~5.31	3.78~4.49
δEu	0.74~0.75	0.81	0.94~0.98	0.77~1.84
(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i		0.7087	0.7066~0.7067	0.7075
形成深度	地表	0.5~2km	1.5~3km	> 2.5km
形成方式	溢流	被动侵位	被动侵位	侵入
成岩年龄Ma	111	73?	110.9、105.1	128
蚀变类型	弱青磐岩化	石英绢云母化、石英地开石化	弱钾硅酸盐化、绢云母化	弱绿泥石化、绢云母化

注：化学成分含量单位为×10⁻²；* 因蚀变强烈，其岩石化学成分代表性差。

4 矿田的成矿系统

紫金山矿田矿化以 Cu、Au、Ag 为主, 伴生少量 S、Pb、Zn 等。矿化以紫金山大型铜金矿床为中心, 围绕这个中心分布一组与之有共生联系的中—小型矿床, 形成“众星捧月”的分布格局 (图 1)。矿化围绕着中酸性次火山—浅成斑岩体分布, 并随着构造、岩浆岩空间配置的不同而在不同部位形成不同类型的矿床: 高硫型浅成低温热液铜矿床 (简称高硫型铜矿)、高硫型浅成低温热液一次生叠加金矿床 (简称高硫型金矿)、低硫型浅成低温热液银金矿床 (简称低硫型银金矿)、斑岩型铜 (钼) 矿床 (图 5)。

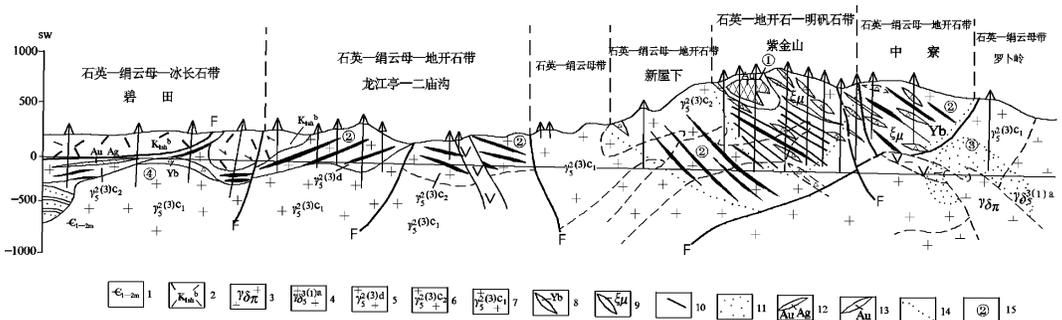


图 5 紫金山矿田碧田—萝卜岭地质剖面图

Fig 5 Geological section along Bitian-Luoboling of the Zijinshan ore field

- 1 中—下寒武统林田组浅变质岩; 2 下白垩统石帽山组中酸性火山岩; 3 花岗闪长斑岩; 4 燕山晚期一阶段中粒花岗闪长岩; 5 燕山晚期三阶段细粒白云母花岗岩; 6 燕山晚期三阶段碎裂中细粒白云母花岗岩; 7 燕山晚期三阶段碎裂中粗粒白云母花岗岩; 8 隐爆角砾岩; 9 英安斑岩脉; 10 脉状铜矿体; 11. 浸染状铜钼矿体; 12 金银矿体; 13 金矿体; 14 蚀变带界线; 15. 矿床类型: ①. 高硫型金矿床; ②. 高硫型铜矿床; ③. 斑岩型铜 (钼) 矿; ④ 低硫型银金矿床; F. 断裂

4.1 各类矿床特征

4.1.1 高硫型浅成低温热液铜矿床

典型矿床为紫金山大型铜矿床。矿床位于中浅剥蚀的紫金山火山机构旁侧, 现存的火山机构由复式斑岩筒 (上部为英安斑岩、下部为花岗闪长斑岩)、隐爆角砾岩环和外侧的热液角砾岩脉组成, 蚀变矿化环绕岩筒中的英安斑岩体分布。特征蚀变有地开石化、石英明矾石化、氯黄晶化、重晶石化, 并具环带状蚀变分带。铜矿化主要沿 NW 向裂隙带分布在岩筒两侧的石英—地开石—明矾石化带中, 矿化发生在石英明矾石化之后。矿体由密集的 NW 向矿脉群构成, 矿石呈平行细脉状构造。金属矿物主要有蓝辉铜矿、铜蓝、硫砷铜矿和黄铁矿, 少量黄铜矿、斑铜矿和黝铜矿等; 随着矿化深度及与火山机构距离的增加, 黄铜矿和斑铜矿增多, 蓝辉铜矿和硫砷铜矿减少。Cu 是唯一主成矿元素, 伴生 Au、Ag、Ga 和 S 等。

4.1.2 高硫型浅成低温热液一次生叠加金矿床

紫金山大型金矿床位于高硫型铜矿床上部的强硅化带中, 成矿环境与高硫型铜矿相似。与金矿带密切相关的低温硅化蚀变带切穿其他蚀变带, 是矿田内最晚的一期热液蚀变。该蚀变带的蚀变岩 95% 以上为低温微粒石英和原岩残留石英, 少量地开石、褐铁矿及烟灰状黄铁矿等矿物。金矿体规模大、品位低、易采选, 金是唯一有用组分。矿石常见多孔状构造。自然金主要赋存在石英和褐铁矿中。过去曾认为金矿化是由含金硫化物经过氧化富集而形成

的次生金矿。事实上, 含金铜矿床 (伴生金 17 吨, Au 品位 0.133×10^{-6}) 经氧化次生富集, 是不能提供如此巨量金的堆积 (金矿床品位 1×10^{-6} , 金金属量约 120 吨, 尚未考虑被剥蚀的部分); 金矿化主要发生在铜成矿之后的低温热液—热泉阶段, 而表生阶段仅造成金的局部富集, 形成沿断裂带分布的富金矿脉。

4.1.3 低硫型浅成低温热液银金矿床

碧田大型银金矿床位于紫金山矿田西南端, 上杭火山构造洼地的北西缘。成矿与中酸性浅成斑岩有密切的时空及成因关系。矿化主要受火山盆地与基底浅变质岩、花岗岩不整合—断层接触界面及基底 NW 向断裂带控制。蚀变、矿化具垂直分带, 自上而下为水云母带→石英—冰长石—碳酸盐、金银矿化带→石英—绢云母、铜铅锌矿化带。金银矿物有自然金、自然银、银金矿、辉银矿等, 铜矿石矿物有黄铜矿、斑铜矿, 少量硫砷铜矿、方铅矿、闪锌矿。矿床中矿化以 Ag 为主, 次有 Au、Cu 等。金银矿空间上分布于铜矿的上部和边部。过去曾将这一类矿床划归中低温热液型矿床, 由于特征蚀变矿物冰长石的发现, 故认为其应属低硫型浅成低温热液矿床^[8]。

4.1.4 斑岩型铜 (钼) 矿床

矿田内斑岩型铜 (钼) 矿多属隐伏矿床, 有罗卜岭铜 (钼) 矿床和紫金山东南矿段深部斑岩铜矿等。与成矿有关的花岗闪长斑岩呈岩瘤、岩枝状侵入于花岗岩、花岗闪长岩、英安斑岩体中, 并常与英安斑岩构成复式斑岩筒。蚀变矿化紧密围绕花岗闪长斑岩体分布, 并有选择地交代弱蚀变花岗闪长岩而使之具较强矿化蚀变, 而对于先存的强蚀变围岩则不利于蚀变矿化的叠加。特征蚀变有钾硅酸盐化、青磐岩化、石英绢云母化、粘土化 (埃洛石、一水铝石) 和硬石膏化等, 蚀变分带以斑岩体为中心作同心环带状分布, 低品位浸染状铜钼矿化分布于花岗闪长斑岩体接触带附近之石英—绢云母化带中。金属矿物以黄铁矿和黄铜矿为主, 少量辉钼矿和磁铁矿。Cu 为成矿主元素, Mo 仅局部含量较高。

各类型矿床的主要特征见表 2^[7, 8]。

4.2 矿化分带及不同矿床类型的时空关系

紫金山矿田矿化水平和垂直分带均较为明显: 垂直分带自上而下 Au/Ag、Au→Cu (Au) →Cu (Pb、Zn) →Cu (Mo), 相应的矿床类型是低硫型银金矿/高硫—次生叠加型金矿→高硫型铜 (金) 矿→斑岩型铜 (钼) 矿, 与温度、压力、pH 值、 fS_2 值和 fO_2 值建立对应关系; 水平分带自南西往北东依次为 Ag、Au、Cu→Cu、Au→Cu、Mo, 矿床的水平分带是垂直分带、构造变动和剥蚀深度等的综合反映。

高硫型矿床与英安斑岩时空关系密切, 主要分布在紫金山火山机构中及其周边的次火山活动中心 (大茂岗、二庙沟) 英安斑岩体 (内) 外接触带上, 时间上从早到晚, 空间上自下而上依次为高硫型铜矿、高硫—次生叠加型金矿; 低硫型矿床分布于远离火山机构复式斑岩筒的上杭火山盆地中; 斑岩型铜 (钼) 矿床主要分布于矿田东北部, 围绕着花岗闪长斑岩体内外接触带分布, 空间上位于高硫型矿床的下部 (图 5)。

矿田内的矿床均形成于早白垩世中酸性次火山岩定位之后, 但各类型矿床形成时间略有差异: 高硫型矿床蚀变矿化发生较早, 结束最晚, 持续时间最长, 先后形成高硫型铜 (金) 矿、高硫—次生叠加型金矿; 低硫型银金矿床、斑岩型铜 (钼) 矿形成时间大致与高硫型铜 (金) 矿相当或稍晚, 而早于高硫—次生叠加型金矿。各类型矿床在成矿时间上既有短暂的先后关系, 又有重叠关系, 都是由深源中酸性岩浆多次脉动侵位、分异演化成多种性质不同的流体, 在不同的时间和空间形成不同的矿床类型。

表 2 紫金山矿田矿床类型特征一览表

Table 2 Summary of features of deposit types in the Zijinshan ore field

成因类型	低硫型浅成低温热液	高硫型浅成低温热液		斑岩型	
		高硫型金矿	高硫型铜矿		
成矿环境	控矿岩浆岩	英安斑岩	英安斑岩	英安斑岩	花岗闪长斑岩
	隐爆角砾岩、热液角砾岩	较发育	发育	发育	无
	控矿构造	NW 向裂隙带层间断裂	NW 向裂隙带	NW 向裂隙带	岩体接触带
	容矿围岩	火山岩、花岗岩、变质岩	花岗岩、英安斑岩、热液角砾岩	花岗岩、英安斑岩、热液角砾岩	花岗岩、英安斑岩、花岗闪长斑岩、花岗闪长岩
矿床特征	产出位置	下白垩统陆相火山盆地	复式斑岩筒及其两侧的铜矿带头部	火山通道中复式斑岩筒两侧的NW向裂隙带	花岗闪长斑岩内外接触带
	矿体形态	脉状、似层状	大透镜状	脉状、透镜状	厚板状、透镜状
	主要矿石矿物	自然金、自然银	自然金	硫砷铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝	黄铜矿
	次要矿石矿物	银金矿、黄铜矿		黄铜矿、斑铜矿	辉钼矿
	脉石矿物	石英、方解石、冰长石	石英、地开石、粉状黄铁矿、褐铁矿	石英、明矾石、地开石、绢云母、黄铁矿	石英、绢云母、黄铁矿
	矿化类型	Ag-Au (Cu)	Au	Cu (Au)	Cu (Mo)
	矿石构造	细脉—浸染状	细脉浸染状	脉状	浸染状
	蚀变类型及蚀变—矿化顺序	石英绢云母化→冰长石化→铜矿化→石英碳酸盐化→银金矿化	高硫型蚀变→低温硅化→金矿化	石英绢云母化→地开石化→石英明矾石化→铜矿化→低温硅化	钾硅酸盐化→青磐岩化→石英绢云母化→铜(钼)矿化→埃洛石化
	矿化深度/km	0.3~1.5	0~0.5	0.3~1.9	2~2.5
	温度/°C	110~210	70~160	100~380	200~660
矿液性质	压力/MPa	12~34	5~14	5~49	16~85
	盐度/wt%NaCl	1~5	0~5	2.0~21.6	4.0~68.5
	SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻		2.71~3.26	1~31	0.9
	pH	6~8	1.24	2.5~6	4~9
	log _f S ₂			-10.4~-5	-9.5~-15
	log _f O ₂	-35	>-36	-44~>-32	-49~>-36
	δ ³⁴ S/‰			-11.18~+5.1	+1.26~+3.54
	δD/‰	-55.1~-11.1	-66.1~-40.6	-76.0~-53.3	-56~-55
	δD _{H₂O} /‰	-3.42~+1.92	-4.17~-2.45	-4.17~+1.16	+3.96~+7.39
	成矿方式	充填交代	充填交代	充填交代	渗滤交代
矿例	碧田	紫金山	紫金山	罗卜岭	

5 成矿物理化学条件及稳定同位素的演化特征

5.1 成矿物理化学条件

由表 2 可见, 空间上自浅部高硫型金矿/低硫型银金矿往深部的高硫型铜矿、斑岩型铜矿, 成矿物化环境基本上是一个连续演变过程, 热液的温度、压力、pH 值和盐度逐渐升高, fO_2 、 fS_2 逐步降低, 从而在不同地质部位形成不同的矿物组合。高硫型铜矿床具有低的盐度和压力、中低温、高 fO_2 值和 fS_2 值、酸性、 SO_4^{2-} 浓度 $>$ Cl^- 浓度的流体物化性质, 从而形成中低温、高硫的酸性蚀变组合(明矾石、地开石)和铜矿物组合(硫砷铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝), 流体物化性质随着成矿深度的增加而变化, 明矾石、地开石、硫砷铜矿、蓝辉铜矿减少, 黄铜矿、斑铜矿增多。高硫型金矿定位于高硫型铜矿床的上部, 具有低温(70~160℃)、低的盐度和压力、高 fO_2 值和 fS_2 值、强酸性(pH<2)的热液流体, 形成低温微粒石英、自然金、烟灰状黄铁矿(多已次变为褐铁矿)组合。斑岩型矿床具高中温、中等的压力和酸碱度、较低的 fO_2 值(早阶段高 fO_2 值)和 fS_2 值、高盐度、 Cl^- 浓度 $>$ SO_4^{2-} 浓度的流体性质, 所形成的矿物组合为高中温、近中性(钾硅酸盐、青磐岩、绢云母)、低硫(黄铜矿 $>>$ 斑铜矿, 出现少量磁黄铁矿)的矿物组合。低硫型金银矿床具有低的盐度和压力、中低温、中偏碱性的流体物化性质, 形成中低温、偏碱性的冰长石、方解石、水(绢)云母等蚀变矿物组合。因此, 成矿物化条件的有规律变化是导致矿田蚀变矿化分带的重要因素。

5.2 稳定同位素

硫同位素: 矿田硫酸盐矿物明矾石 $\delta^{34}S$ 值为 +25.3‰~+26.9‰; 全区 51 件硫化物的 $\delta^{34}S$ 值变化于 -12.9‰~+5.1‰之间, 多数分布于 -5‰~+5‰之间。不同矿床类型硫同位素组成基本一致, 表明它们具有相同的硫源——深源硫, 均来自深源中酸性岩浆。

铅同位素: 矿石铅同位素组成较稳定, 均属正常铅。高硫型铜矿床 $^{206}Pb/^{204}Pb=18.5\pm 0.4$, $^{207}Pb/^{204}Pb=15.7\pm 0.2$, $^{208}Pb/^{204}Pb=38.8\pm 0.4$, 且岩石铅与硫化物铅同位素组成基本一致。斑岩型矿床 $^{206}Pb/^{204}Pb=17.63$, $^{207}Pb/^{204}Pb=15.46$, $^{208}Pb/^{204}Pb=37.8$, 与高硫型铜矿床差异明显。在 Doe 和 Zartman 模式图上^[13], 高硫型矿床投影点落在上地壳与造山带演化曲线上, 具多源铅特点; 斑岩型矿床投影点落入地幔与造山带之间, 表明这一部分铅与深源中酸性岩浆同源^[7]。

氢氧同位素: 各类矿床的氢氧同位素组成见表 2。在 $D-\delta^{18}O$ 关系图上(图 6), 自斑岩型→高硫型铜矿→低硫型银金矿→高硫型金矿, 投影点从岩浆水区逐渐向大气降水线移动, 表明热液活动是朝着岩浆水成分减少、大气降水不断增加的趋势演化。研究结果表明, 成矿介质水为岩浆水与不等量大气降水混合而成, 斑岩型矿床以岩浆水为主, 高硫型铜矿和低硫型银金矿床岩浆水与大气水近等, 高硫一次生叠加型金矿大气降水占优。

6 成矿模式与成矿系统描述

紫金山地区, 早白垩世深源含矿中酸性岩浆多脉动次活动, 形成同源不同定位深度的中酸性火山—侵入岩系列, 时间上从早到晚依次为花岗闪长岩、中酸性火山岩→第一脉动次多斑状英安斑岩→第二脉动次少斑英安斑岩→花岗闪长斑岩, 空间上自上而下依次为中酸性火

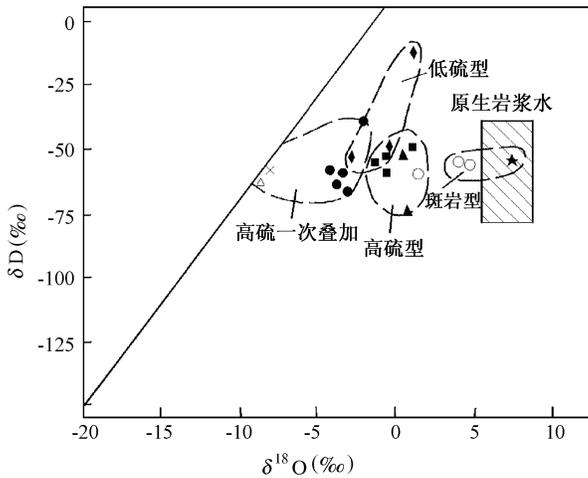


图 6 紫金山矿田 流体包裹体水的

δD - $\delta^{18}O$ 关系图解

Fig. 6 Hydrogen and oxygen isotopic compositions of water in fluid inclusions from the Zijinshan ore field

- . 石英—绢云母化蚀变带; ▲. 石英—明矾石化蚀变带; ●. 硅化蚀变带; ×. 晚期地开石脉; ■. 硫化物石英脉; △. 晶洞石英; ◆. 碧田矿床石英脉; . 钾硅酸盐化蚀变带

山岩→英安斑岩→花岗闪长斑岩→花岗闪长岩, 并伴随大规模的热流体(岩浆气液与大气降水混合)对流循环, 在岩体及其周围产生广泛的热液蚀变和铜金银矿化。含矿热液的物化性质及时空迁移决定了它们在不同地质部位产出不同的蚀变矿化类型, 以紫金山火山机构次火山侵入体为中心, 围绕英安斑岩体往外依次发育低温硅化带、高硫型金矿→石英地开石明矾石带、高硫型铜矿→石英地开石绢云母带→石英绢云母带; 以花岗闪长斑岩体为中心往外是钾硅酸盐带→石英绢云母带、斑岩型铜(钼)矿→石英绢云母埃洛石带; 上杭火山岩盆地的热液蚀变自上而下为水云母带→石英冰长石碳酸盐带、低硫型银金矿→石英绢云母带。紫金山矿田各类铜金银矿床存在着密切的时空及物源联系, 它们在时间、空间上连续演化, 都是同源岩浆在同一成矿场中不同演化阶段的产物, 构成与中酸性次火山—斑岩有关的浅成低温—斑岩铜金银成矿系统。成矿模式和成矿系统示意如图 7 所示。

7 讨论和结论

7.1 讨论

浅成低温—斑岩铜金银成矿系统主要发育于环太平洋成矿带内, 成矿环境主要是会聚板块岛弧及弧后裂谷环境, 成矿时代以古近纪—新近纪为主。紫金山矿田成矿系统产于陆内深大断裂旁侧的拉张环境, 成矿时代为早白垩世, 以发育高硫型铜金矿为主要特色而闻名全国, 也是国内发育最完整的浅成低温—斑岩铜金银成矿系统之一。与我国台湾金瓜石金铜成矿系统比较: 两者蚀变矿化特征相仿^[8], 只是紫金山矿田成矿系统下部的高硫型铜矿和斑岩铜矿发育较完整, 这可能与金瓜石金铜矿勘查深度不足有关。与著名的江西德兴—银山铜铅锌金银成矿系统比较^[14]: 两者成矿地质环境相似, 且均发育较完整的深源含矿中酸性火山

度等有关。

7.2 结论

紫金山矿田发育早白垩世中酸性火山岩、次火山英安斑岩、浅成相花岗闪长斑岩和中深成相花岗闪长岩, 它们是同源岩浆在不同的时间和空间定位形成的产物, 构成较完整的中酸性火山—侵入岩系列。围绕着紫金山火山机构发育强烈的蚀变矿化, 形成浅部的高硫型浅成低温热液金矿、高硫型浅成低温热液铜矿和深部的斑岩型铜(钼)矿床, 外围则形成低硫型浅成低温热液银金矿。矿田内各类铜金银矿床存在着密切的时空及物源联系, 它们在时间、空间上连续演化, 都是同源含矿中酸性岩浆在同一成矿背景之下于不同演化阶段形成的产物, 含矿热液的物化性质及时空迁移决定了它们在不同地质部位产出不同的矿床类型, 构成与中酸性次火山—斑岩有关的浅成低温—斑岩铜金银成矿系统。

紫金山铜金银成矿系统与世界各地同类成矿系统基本可以类比, 但以其发育十分完善而闻名于世; 在国内以其发育罕见的高硫型铜金矿而著称。紫金山矿田以发育一套中酸性火山—侵入岩系列和与之有关的浅成低温—斑岩铜金银矿而构成完整的浅成低温—斑岩铜金银成矿系统, 为其它地区同类成矿系统的研究和勘查提供了典型范例。

参 考 文 献

- [1] 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 初论矿床的成矿系列问题 [J]. 中国地质科学院院报, 1979, (1): 32 ~ 58.
- [2] 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 等. 再论矿床的成矿系列问题 [J]. 中国地质科学院院报, 1983, (6): 1 ~ 64.
- [3] 程裕淇指导, 陈毓川, 朱裕生, 肖克炎, 等编. 中国矿床成矿系列图及说明书 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [4] 翟裕生, 彭润民, 向运川. 区域成矿研究法 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2004.
- [5] 汤中立, 白云来, 徐章华. 华北古陆西南缘(龙首山—祁连山)成矿系统及成矿构造动力学 [M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [6] 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 等. 对中国成矿体系的初步探讨 [J]. 矿床地质, 25 (2): 155 ~ 163.
- [7] 黄仁生, 石礼炎. 福建省紫金山次火山—浅成斑岩铜矿床成矿系列 [M]. 福州: 福建省地图出版社, 1996. 1 ~ 18.
- [8] 高天均, 黄仁生. 福建省上杭紫金山矿田铜金银矿床类型及对比 [J]. 火山地质与矿产, 1998, 19 (4): 283 ~ 294.
- [9] 黄仁生. 福建省紫金山铜金矿床成矿物理化学条件的研究 [J]. 福建地质, 1994, 13 (3): 159 ~ 173.
- [10] 高天均, 王振民. 台湾海峡及其周边地区构造岩浆演化与成矿作用 [J]. 北京: 地质出版社, 2002, 93.
- [11] Irvine TN, Baragar WRA. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1971, 8, 523 ~ 548.
- [12] 吴利仁. 1985 中国东部中生代花岗岩类 [J]. 岩石学报, 1 (1): 1 ~ 10.
- [13] Doc BR, Zartman RE. Plumbotectonics—the model [J]. Tectonophysics, 1981, 75: 135 ~ 162.
- [14] 中国有色金属工业总公司江西地质勘查局, 江西银山铜铅锌金银矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [15] Hedenquist JW, Izawa E, Arribas A, White NC. Epithermal gold deposits: styles, characteristics, and exploration [M]. Resources Geology Special Publication Number 1. Tokyo: Komiyama Printing Co. Ltd., 1996.
- [16] Corbett GJ, Leach IM. Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization [M]. Society of Economic Geologists of America Special Publication Number 6. Chelsea: Sheridan Books Inc., 1998.
- [17] Skinner BJ (ed). Geology and ore deposits of the Central Andes [M]. Society of Economic Geologists of America Special Publication Number 7. Chelsea: Sheridan Books Inc., 1999.
- [18] Hayba DO, Bethke PM, Heald P, Foley NK. Geologic, mineralogic, and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious-metal deposits [A]. In: Berger BR and Bethke PM (eds), Geology and Geochemistry of Epithermal Systems (Reviews in Economic Geology of Society of Economic Geologists Volume 2) [C]. Chelsea: BookCrafters, Inc., 1985.

IGNEOUS SERIES AND EPITHERMAL PORPHYRY Cu-Au-Ag MINERALIZATION SYSTEM IN THE ZIJINGSHAN ORE FIELD, FUJIAN PROVINCE

HUANG Ren-sheng

(*Western Fujian Geological Party, Sanming 365001 Fujian, China*)

Abstract: The rocks in the Zijingshan ore field are from the surface to depth as follows: Lower Cretaceous intermediate-acid volcanic rocks, subvolcanic dacite-porphyry, hypabyssal granodiorite-porphyry and middle- and deep-level porphyritic granodiorite, forming an intermediate-acid volcanic-intrusive sequence. Strong alteration-mineralization occur around the Zijinshan volcanic edifice, forming high-sulfur epithermal Cu-Au deposits, low-sulfur epithermal Ag-Au deposits and porphyry Cu (Mo) deposits. In the ore field, various types of Cu-Au-Ag deposit have close temporal-spatial and material source relations. They evolved continuously in terms of time and space and are products of consanguineous ore-bearing intermediate-acid magmas in the same background of mineralization but in different stages of evolution. The occurrence of different types of ore deposit in diverse geological positions depended on the physico-chemical properties and temporal-spatial migration of ore fluids, thus forming an epithermal porphyry Cu-Au-Ag mineralization system related to intermediate-acid subvolcanic rocks and porphyry.

Key words: epithermal; porphyritic type; Cu-Au-Ag deposit; mineralization system; Zijingshan ore field