

福建吉花金银矿床地质特征及含矿蚀变带元素迁移对区域成矿的启示

王俊德¹, 汤立伟¹, 杜庆安¹, 黄卫强¹, 侯海峰¹, 陈文庆¹, 鲁涛峰²

(1. 中国冶金地质总局第二地质勘查院; 2. 河南省地质矿产开发局第二地质勘查院)

摘要:吉花金银矿床为中型浅成中低温热液型矿床,共圈定36个金银矿体,均赋存于北东向断裂蚀变带中。银物相分析表明,银以硫化物银、自然银为主,银、金总体上同体共生,且二者品位具有正相关性。主成矿阶段矿物组合以石英-黄铁矿-黄铜矿-金-辉银矿为特征。沿矿体横向(侧向)划分为4个蚀变分带。为了厘定热液蚀变过程中的物质迁移,对蚀变碎裂岩采用标准化Isocon图解法计算物质迁移特征,结果表明,蚀变过程中Fe、Si、Mg、Ti、Cu、As、Mo、Co、Cr、La、Li、Ni、V呈迁入特征;Na、Ca、Ba、Sr、Nb呈迁出特征,其中Ca、Ba、Sr的迁出表明成矿热液具有富硅、去钙化的特征。通过类比区域内邱村金矿床、东洋金矿床、大冬坑金矿床,四者均为闽中金银成矿系统形成的矿床系列,可能是在古太平洋板块俯冲、后撤动力背景下,含矿流体沿火山机构及酸性岩脉通道运移至到浅部断裂中沉淀成矿的区域成矿模式。该成果可为区域内寻找金银矿提供思路。

关键词:吉花金银矿床;矿床地质特征;标准化Isocon图解;蚀变分带;元素迁移;区域成矿模式

中图分类号:TD11 P618.51

文章编号:1001-1277(2024)03-0055-12

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20240313

引言

吉花金银矿床规模为中型,位于闽中地区尤溪县中仙镇东南部,隶属华夏东南沿海构造岩浆成矿带,划属为浙闽沿海Pb-Zn-Au-Ag-Cu-Mo-叶腊石-明矾石-萤石成矿带,华安-浙东Au-Pb-Zn-Ag-Mo-Cu-叶腊石-明矾石成矿亚带^[1-3]。该地区内尤溪、德化、永泰三县交界地带密集分布超过40个大、中、小型金、银矿床(点),号称闽中“金三角”,其矿体地质特征及找矿标志对区域内金银找矿具有一定的普适性。王昌炳^[4]认为,该矿床为火山断裂构造控制的石英脉-构造蚀变岩型银金多金属矿床,但矿床空间蚀变分带不够清晰,成矿动力学背景与成矿模式不明。本文在前人区域地质及矿床研究成果基础上,依托“福建省吉花矿区金银矿勘探”项目,通过系统勘探技术手段,详细查明了矿体地质特征及银赋存矿物相,并利用标准化Isocon图解法厘定了蚀变物质迁移特征,总结了矿床成因及找矿标志,剖析了区域成矿模式。

1 区域地质背景

吉花金银矿床大地构造位置位于闽东火山断拗带(IV-52⁽¹⁾)内,寿宁-华安基底断垄带(IV52^(1)a))

中部^[5],上洋-安村断陷带(见图1-A)内。区域出露地层主要有新元古代变质基底、早古生代浅变质火山-沉积建造及海陆交互相含煤沉积建造、中生代火山-沉积建造,以及新生代第四系。

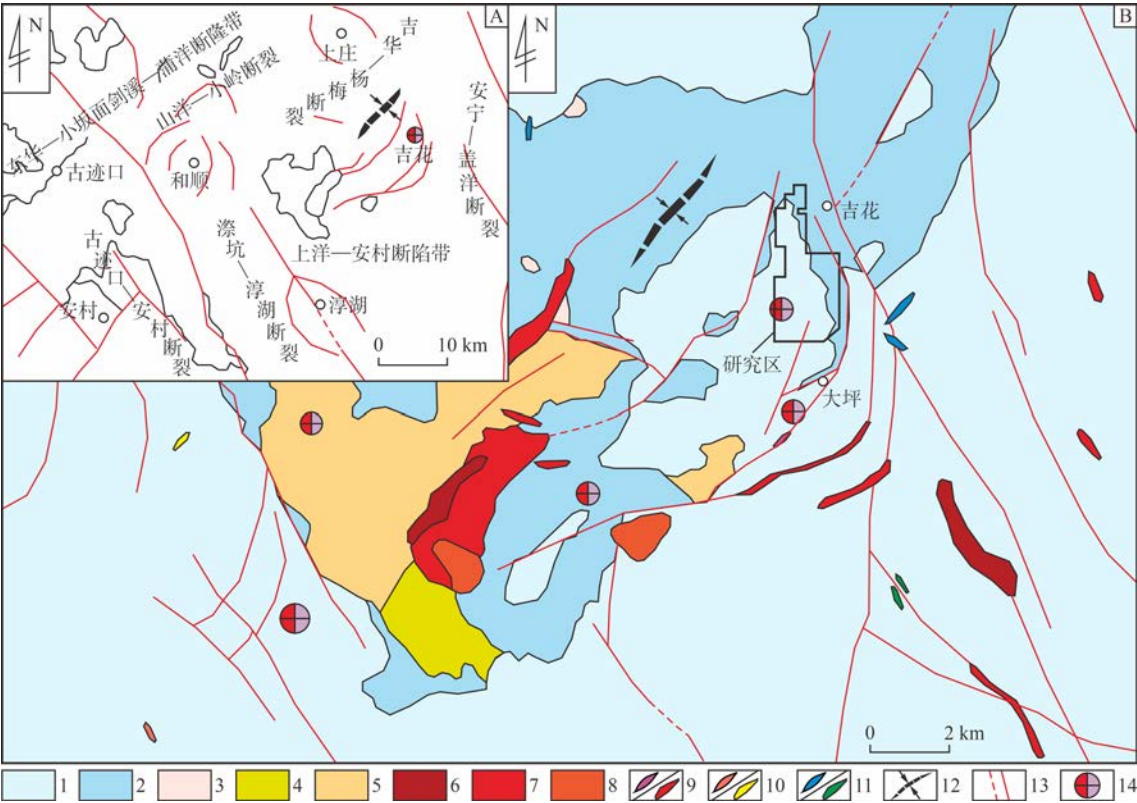
区域构造位于闽东火山断陷带中段,西邻北北东向政和一大埔断裂,东临北北东向福安-南靖断裂,二者之间有北北东向浦城-尤溪断裂穿过。北西向漂坑-淳湖断裂与北东向吉华-杨梅断裂构成共轭状几何形态。褶皱主要为北东向强坑向斜,北北东向-北东向、北西向断裂及北东向向斜构成了区域构造格架(见图1-B)。

侵入岩零星分布,受区域断裂控制,主要为白垩纪、晚侏罗世中酸性岩浆岩,呈小岩瘤、岩脉或岩墙产出。

2 矿区及矿床地质特征

2.1 矿区地质特征

矿区主要出露上侏罗统长林组与南园组二段。南园组喷发不整合于下伏的长林组之上(见图2)。南园组火山岩为主要赋矿围岩;断裂主要为一组北北东向-北东向F₃~F₉压性-张性正断裂,控制了矿区内矿体的空间分布;火山岩主要为晚侏罗世次流纹斑岩、晶屑凝灰岩;侵入岩主要为花岗斑岩、橄榄辉石



1—南园组 2—长林组 3—文宾山组 4—童子岩组 5—林田组 6—早白垩世花岗岩斑岩
7—早白垩世花岗岩闪长岩 8—早白垩世石英闪长岩 9—石英、流纹(斑)岩脉 10—二长花岗岩脉、石英二长斑岩脉
11—闪长玢岩脉、辉绿玢岩脉 12—向斜 13—实测、推测断裂 14—金(银)矿床

图1 吉花金银矿床大地构造位置图(A)及区域地质简图(B)

Fig. 1 Geotectonic location of Jihua Gold-Silver Deposit (A) and regional geological sketch (B)

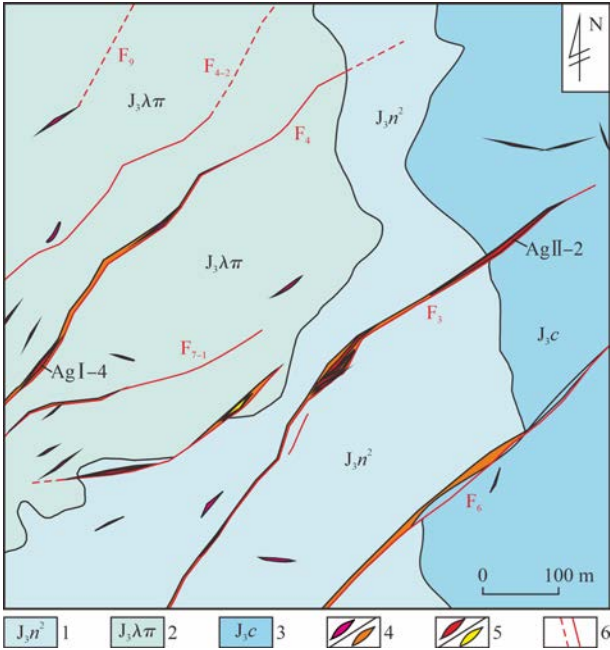
玄武岩。流纹斑岩沿断裂、裂隙分布,呈脉状侵入,出露地表者则为溢流相,沿断裂、裂隙两侧地表呈带状、面状分布,其围岩中可见银矿化。流纹斑岩、橄榄辉石玄武岩与矿体空间分布关系密切。

2.2 矿床地质特征

2.2.1 矿体特征

矿区共圈定 36 个金银矿体,赋存于断裂蚀变带中,严格受断裂控制,Ag I - 4、Ag I - 9、Ag II - 2 矿体为主要银矿体(见图 3),银资源量分别占银总资源量的 33 %、28 %、27 %,共占银总资源量的 88 %^[6]。

Ag I - 4 矿体赋存于 F₄ 断裂内,呈半隐伏脉状产出,产状严格受 F₄ 断裂控制,走向 25°~56°,倾向南东,倾角 62°~81°,沿走向延伸 403 m,倾向延伸 182 m。矿体沿走向呈舒缓波状延伸,厚度随断裂走向变化而变化,在断裂走向转弯部位矿体明显变厚;沿倾向自地表至 902 m 标高矿体逐渐增厚,自 902 m 标高向深部矿体厚度迅速变薄,厚度变化系数 50.4 %,厚度稳定,总体呈脉状。矿体品位与矿体厚度成正比,富矿富集程度较好,品位变化系数 209.4 %,有用组分分布不均匀。

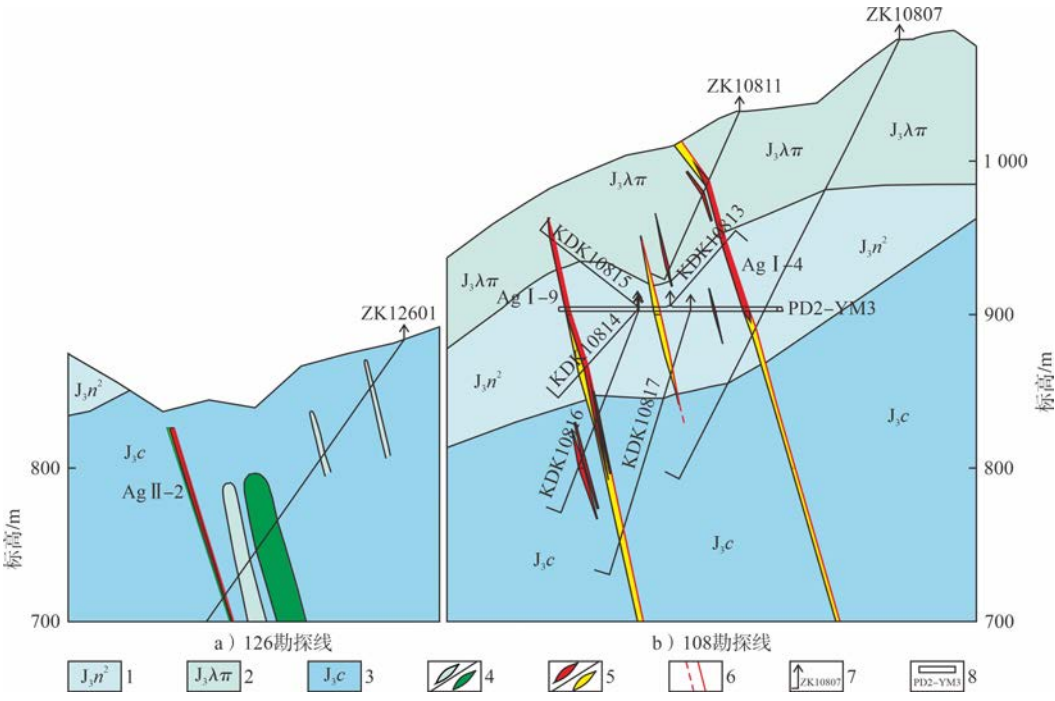


1—南园组二段 2—上侏罗统流纹斑岩 3—长林组
4—石英脉、断裂蚀变带 5—银矿体、金矿体 6—推断及实测断裂

图2 吉花金银矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch of Jihua Gold-Silver District

Ag I - 9 矿体赋存于 F₄₋₂ 断裂内,产状严格受



1—南园组 2—上侏罗统流纹斑岩 3—长林组 4—流纹斑岩、辉绿玢岩
5—银矿体、断裂蚀变带 6—推断及实测断裂 7—钻孔及编号 8—平硐及编号

图 3 吉花金银矿床勘探线剖面图

Fig. 3 Profile of exploration lines in Jihua Gold-Silver Deposit

F_{4-2} 断裂控制,走向 56° ,倾向南东,倾角 $68^{\circ} \sim 88^{\circ}$,沿走向延伸 335 m,倾向延伸 190 m,矿体沿走向呈舒缓波状延展,厚度自南西向北东逐渐变厚;沿倾向与 Ag I-4 矿体类似,自地表至 902 m 标高矿体逐渐增厚,902 m 标高向深部矿体厚度迅速变薄,厚度变化系数 31.2 %,厚度稳定,总体呈脉状。矿体品位与厚度成正比,富矿富集程度较好,品位变化系数 220.9 %,有用组分分布不均匀。

Ag II-2 矿体赋存于 F_3 断裂内,走向 $40^{\circ} \sim 55^{\circ}$,倾向南东,倾角 $68^{\circ} \sim 85^{\circ}$,矿体走向延伸 533 m,倾向延伸 358 m,矿体沿走向呈舒缓波状延展,南西段波动较大,北西段渐趋平缓,厚度沿走向变化不大,沿倾向矿体于 700 ~ 800 m 标高厚度最大,向浅部、深部厚度逐渐均变薄,总体呈脉状。品位变化系数 160.5 %,有用组分分布不均匀。

2.2.2 矿石特征

2.2.2.1 矿石矿物学特征

主矿体赋存的主要岩性为破碎带蚀变碎裂岩,矿石结构多为自形一半自形粒状结构、他形粒状结构,少部分为树枝穿插结构、脉粒状结构、包含结构,矿石构造多为浸染状构造、星点状构造。破碎角砾主要为晶屑凝灰岩、含砾砂岩破碎角砾,次生变化主要为硅化、绢云母化,石英-黄铁矿-黄铜矿-金-辉银矿等为主要成矿阶段矿物组合(见图 4),通过显微镜下鉴定,矿石中金属矿物较常见的是黄铁矿、褐铁矿、赤

铁矿等。脉石矿物以石英为主,次为白云母、黑云母,少量绿泥石、长石、方解石、白云石等,矿石主要矿物相对含量见表 1。

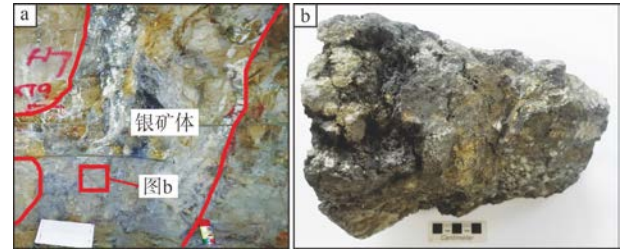


图 4 稠密浸染状构造银矿石

Fig. 4 Silver ore with dense dissemination structure

表 1 矿石主要矿物组成及其相对含量

Table 1 Main mineral composition of ore and its relative content

矿物名称	相对含量/ %	矿物名称	相对含量/ %
黄铁矿	4.1	黑云母、白云母	27.4
自然金	微量	绿泥石	2.5
黄铜矿	0.05	长石	4.1
赤铁矿、褐铁矿	1.5	方解石、白云石	1.5
自然银、辉银矿、硫锑铜银矿	微量	其他	0.55
石英	58.3		

注:相对含量小于 0.05 % 的微量脉石矿物统一计入其他,不予单独列出。长石包括钾长石、钠长石和钙长石 3 种亚类[6]。

矿石矿物为一系列中低温矿石矿物组合,以黄铁矿为主,次为赤铁矿、褐铁矿,少量黄铜矿及金银矿物等。黄铁矿多存在于深部原生矿石中,呈自形一半自

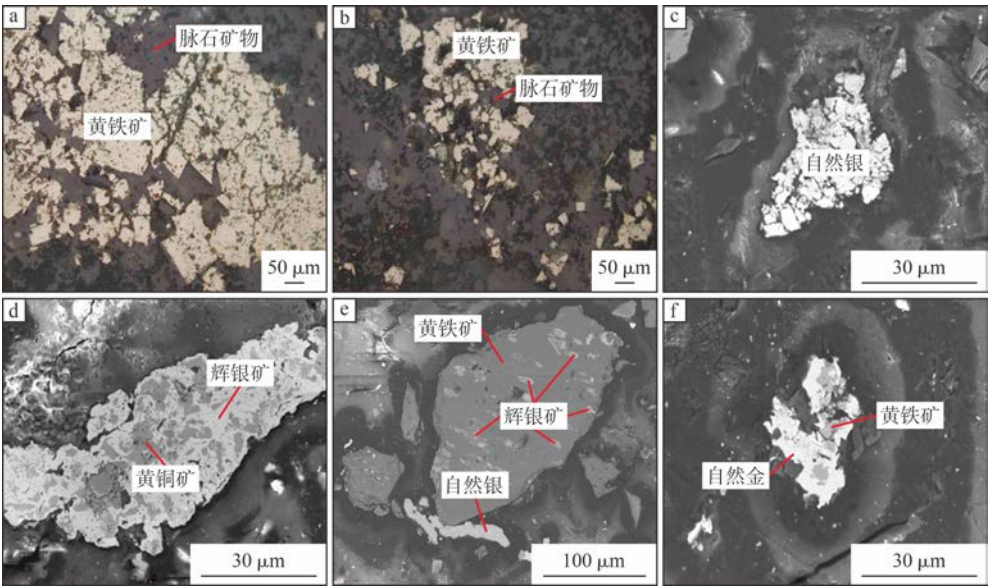
形粒状及碎裂状,镶嵌在脉石矿物中,少量微细粒—细粒黄铁矿星散分布在脉石矿物中,粒度 0.5 ~ 2.0 mm,大的可达 5 mm(见表 2、图 5 - a、b),是重要的载银矿物;赤铁矿与褐铁矿主要形成于近地表的氧化矿石中;黄铜矿主要呈不规则粒状集合体嵌布于黄铁矿和

脉石矿物裂隙中;银矿物主要为辉银矿,少量自然银和硫锑铜银矿(见表 2、图 5 - c ~ e);金一般呈不规则粒状、条状、树枝状、磨圆状、薄片状、细脉状、弯钩状和皮壳状等晶形,颜色呈亮金黄色,嵌布特征以包裹金、粒间金为主,并有少量裂隙金^[6-7](图 5 - f)。

表 2 吉花金银矿区银物相分析结果

Table 2 Analysis results of silver physical phase in Jihua Gold - Silver District

物相分析银 总质量/g	硫化物中银 相对含量/%	角银矿、溴银矿、黄碘 银矿中银质量/g	类质同象中 银质量/g	辉银矿、硫锑铜银矿、 脆银矿中银质量/g	自然银质量/ g	银黝铜矿中 银质量/g	碲银矿中 银质量/g
772.9	98.9	1	7.2	539	110	92.5	23.2
410.5	97.8	1	8.2	277	57.4	58.7	8.2
1 524.2	99.6	1	4.9	1 219	115	60.3	124
1 920.8	99.5	1	8.6	1 611	179	97.3	23.9
1 943.7	99.2	1	13.7	1 592	178	84.8	74.2
1 116.7	94.5	18.9	42.1	527	409	110	9.7
1 758.8	94.3	7.5	93.2	1 030	500	116	12.1
1 063.7	96.4	0	38.3	642	262	113	8.4
1 020.6	95.9	16.8	25.4	679	172	119	8.4



a、b—反射光 c ~ f—背散射

图 5 矿石矿物特征

Fig. 5 Mineral characteristics of the ore

脉石矿物主要有石英、黑云母、白云母,其次为长石、绿泥石、方解石、白云石等。其中,石英为最主要的脉石矿物和重要的载金银矿物,呈灰白色、乳白色粗粒状、细粒状,白色细脉状及薄膜状,而粗粒状及细脉状、薄膜状石英与金银矿成矿关系密切;黑云母呈片状,多被绿泥石交代;白云母主要沿裂隙充填或交代隐晶质石英、斜长石^[6-9]。

2.2.2.2 元素地球化学特征

系统采集了 Ag I - 4 矿体不同空间位置、不同品位矿石,定量光谱分析样品 15 件、矿床矿石组合化

学全分析样品 6 件进行测试分析,二者均在中国冶金地质总局第二地质勘查院中心实验室完成。其中,定量光谱分析采用电感耦合等离子体原子发射光谱仪,利用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP - AES)测试微量元素,测试前先将粉末样品放入聚四氟乙烯溶样罐中并加入 HCl + HClO + HF + HNO₃,静置过夜后蒸发高氯酸,蒸馏水冲洗蒸干后加入盐酸,将样品溶液定容为稀溶液,以供测试,检测数量级为 10⁻⁹,其精密度为 0.3 % ~ 2 %;化学全分析测试方法及质量参考 DZ/T 0130.2—2006《地质矿产实验室测试质

量管理规范 第2部分:岩石矿物分析试样制备》。

Ag I - 4 矿体矿石定量光谱分析结果见表3。由表3可知:矿石具富 Ag、Au 特征,Ag、Au 总体上同体共生,与矿区出现明显的银、金矿化一致,Ag、Au 品位总体上具有正相关性。银矿石中主要伴生有用元素是金,金矿石中主要伴生有用元素是银。矿石主要有益组分为 Ag、Au,矿床工业矿石银、金平均品位分别为 214.84×10^{-6} 、 0.15×10^{-6} 。此外,Ag、Au 元素在不同矿体中分布不均匀,各矿体银、金品位分别为 $85.21 \times 10^{-6} \sim 1\,305.00 \times 10^{-6}$ 、 $2.25 \times 10^{-6} \sim 9.79 \times 10^{-6}$,且在同一矿体中其分布也不均,银、金在断裂交会或者走向变化处品位较高。As、Cd 有害组分各元素含量极低,无综合利用价值。

矿床矿石组合样品化学全分析结果见表4。由表4可知:矿石主要成分为 SiO_2 ,质量分数为 71.48% ~ 78.14%,平均值为 74.18%;其次为 Al_2O_3 ,质量分数为 9.52% ~ 13.08%,平均值为 11.00%; TFe_2O_3 质量分数为 3.94% ~ 6.52%,平均值为 4.90%; K_2O 质量分数为 2.82% ~ 4.57%,平均值为 3.58%; Na_2O 质量分数为 0.16% ~ 0.18%,平均值为 0.17%;S、 MgO 、 CaO 、 TiO_2 平均质量分数分别为 1.39%、0.52%、0.57%、0.40%。其中, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 质量分数为 2.98% ~ 4.75%,平均值 3.75%; K_2O 与 Na_2O 的质量分数比值为 17.26 ~ 26.00,平均值为 20.99,表明矿石钾富集。

矿石与围岩主量元素分析结果见表5。由表5可知:蚀变碎裂岩与晶屑凝灰岩相比,除 SiO_2 、 TFe_2O_3 含量上升外,其他主量元素含量均明显降低;而与流纹斑岩、次流纹斑岩相比, SiO_2 、 K_2O 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 含量介于二者之间。S 与 TFe_2O_3 含量明显上升,可能与矿床矿石中黄铁矿化发育相关。

2.2.3 元素地球化学迁移

成矿地质过程中活动元素、不活动元素等地球化学组分通常都会伴随着沉淀、蚀变过程发生不同程度的迁入或迁出^[10],在 Isocon 图解法^[11]基础上改进的标准化 Isocon 图解法^[12],提供了多样品体系组分转移质量平衡分析方法。因此,本次采用远离矿体的次流纹斑岩为对比样品^[9],对吉花金银矿床矿石及其围岩流纹斑岩、晶屑凝灰岩进行多样品体系组分转移质量平衡分析,讨论元素地球化学组分迁移规律。

本次对 6 件矿石样品主量元素、15 件矿石样品微量元素及晶屑凝灰岩、流纹斑岩^[8]、次流纹斑岩^[9]主微量元素分别取平均值,以 Al_2O_3 为不活动元素,将主量元素、微量元素地球化学组分含量进行标准化,结果见表5、表6。

2.2.3.1 主量元素迁移特征

标准化 Isocon 图解以伴随矿体产出且远离矿体未蚀变的次流纹斑岩为参照。吉花金银矿床蚀变矿化过程中主量元素 TFe_2O_3 、 SiO_2 、 MgO 、 TiO_2 表现为迁入(见图6-a),其中 TFe_2O_3 、 SiO_2 迁入量最大(见图7-a、表7),表明成矿热液富硅,与矿体普遍发育的硅化、黄铁矿化、白钛矿相一致; K_2O 在蚀变过程中基本未发生变化; Na_2O 、 CaO 表现为迁出,呈去钙化特征,其中 Na_2O 迁出量最大。围岩晶屑凝灰岩主量元素迁移特征除 SiO_2 、 CaO 外与蚀变碎裂岩总体一致,推测晶屑凝灰岩与蚀变碎裂岩处于相同蚀变环境。

2.2.3.2 微量元素迁移特征

中低温热液成矿元素 Cu、Mo 迁入(见图6-b),与矿体黄铜矿发育一致,有害元素 As 迁移规律与二者相似,同为迁入且迁入量最大(见图7-b、表7),但 As、Mo 含量极低,无综合利用价值,Cu、Mo 在晶屑凝灰岩、流纹斑岩中含量极低,表明二者可能源于热液深部带入;大离子亲石元素 Sr、Ba 等表现为迁出,Ba 迁出量最大(见图7-b、表7),与主量元素 CaO 的迁移规律相似,可能源于 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 与 Ca^{2+} 离子半径相近,可以类质同象形式替代 Ca^{2+} ^[13],表现为去钙化;Li 的迁入与 SiO_2 的迁移规律一致,可能与矿体硅化石英形成有关,原因可能为 Li^+ 作为电价补偿 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 等结合替代石英晶格中的 Si^{4+} ^[14],Co、Ni 迁入特征与 Cu、As 相似,均表明来源可能为深部区域;除此之外,V、Cr、Be、La 表现为迁入,Nb 表现为迁出。

2.2.4 围岩蚀变

矿区内蚀变种类多,以硅化-黄铁矿化-绢云母化-绿泥石化-碳酸盐化-高岭土化为主的一系列中低温热液蚀变矿物组合,属中低温热液蚀变。蚀变类型主要为硅化、黄(褐)铁矿化、绢云母化、叶腊石化,其次为绿泥石化、碳酸盐化、褐铁矿化等。其中,硅化、黄(褐)铁矿化、绢云母化最为重要,其他与金银矿化密切相关,黄铁矿化石英脉是找矿的良好标志,以线型蚀变、面型蚀变、体型蚀变发育为主。

2.2.5 蚀变分带

2.2.5.1 横向蚀变分带

按照硅化石英、黄铁矿、绢云母、绿泥石、叶腊石、方解石等主要蚀变矿物的分布强度,同时参考金银矿化强度进行蚀变分带研究,矿区内矿体的横向(侧向)蚀变分带具有一定的规律,一般呈内带、中带、外带、围岩 4 个连续蚀变分带,矿化蚀变强度由内带至围岩依次降低,且自内带向两侧呈不对称分布,部分矿段蚀变分带可缺失,可能与流体运移方向有关,矿体蚀变分带硅化、黄铁矿蚀变最为显著,银品位与硅化、黄铁矿化蚀变强度呈明显正相关(见图8)。

表 3 Ag I - 4 矿体矿石定量光谱分析结果

Table 3 Quantitative spectral analysis results of Orebody Ag I - 4

10⁻⁶

元素	CM1003 - H9	CM1203 - H5	CM1202 - H6	CM1202 - H8	CM1604 - H6	ZK1003 - H20	ZK10201 - H6	ZK10201 - H19	ZK10405 - H21	ZK1606 - H25	ZK1606 - H45	ZK12001 - H82	TC10005 - H8	TC10804 - H4	TC11401 - BH14
Ba	376.00	241.00	214.00	182.00	135.00	150.00	810.00	201.00	180.00	283.00	233.00	558.00	190.00	205.00	380.00
Be	1.20	2.81	2.01	2.15	1.95	1.32	1.43	2.50	3.78	2.71	2.43	2.65	1.58	1.88	2.02
Co	6.42	5.19	5.39	5.81	4.56	6.54	3.35	9.19	5.03	5.45	5.65	5.68	2.40	2.64	4.07
Cr	40.30	29.00	26.80	26.20	27.90	39.10	23.10	27.90	24.70	30.40	42.10	28.60	26.60	28.00	28.20
Cu	141.00	67.50	15.40	32.40	32.10	79.50	7.10	170.00	33.30	16.80	79.20	16.40	32.90	44.10	37.40
As	158.00	183.00	178.00	116.00	45.70	90.90	30.00	409.00	257.00	79.60	713.00	24.30	202.00	82.60	612.00
La	20.10	45.70	40.80	41.40	32.50	25.40	48.90	47.80	59.60	40.20	25.30	34.80	45.40	21.00	49.80
Li	31.10	20.80	24.10	28.80	23.00	16.90	11.30	22.50	21.10	17.00	32.90	30.10	22.80	69.80	14.30
Mn	864.00	2 902.00	322.00	232.00	199.00	175.00	162.00	246.00	232.00	244.00	3 218.00	508.00	99.00	288.00	1 058.00
Mo	0.98	85.20	5.60	15.60	18.80	1.99	5.81	21.90	4.26	8.61	1.80	1.43	2.84	160.00	2.31
Nb	6.50	16.80	9.70	9.85	7.86	7.08	11.10	8.60	8.21	10.30	7.88	11.00	11.20	6.61	12.40
Ni	12.57	8.61	8.19	7.87	7.58	13.10	8.19	9.87	8.13	8.46	12.60	9.93	7.39	8.96	7.70
P	253.00	166.00	340.00	388.00	204.00	356.00	513.00	426.00	420.00	789.00	382.00	440.00	267.00	561.00	634.00
Sr	125.00	13.00	11.80	11.30	8.84	12.60	47.80	11.90	8.77	33.00	42.40	78.70	20.00	12.30	37.20
Ti	1 624.00	1 749.00	1 594.00	1 547.00	971.00	1 434.00	1 895.00	1 562.00	1 375.00	1 322.00	1 578.00	1 690.00	1 829.00	1 183.00	1 327.00
V	28.80	85.60	25.60	24.60	36.40	40.70	20.30	23.40	24.30	29.00	43.00	30.30	27.90	16.00	20.90
Au	0.20	3.09	0.33	0.62	0.37	1.24	13.80	<0.050	2.97	0.26	1.83	0.32	0.41	3.58	1.32
Ag	94.60	1 105.00	63.80	144.00	207.00	603.00	10.50	567.00	340.00	217.00	419.00	104.00	171.00	102.00	229.00

表 4 矿床矿石组合样品化学全分析结果

Table 4 Full chemical analysis results of combined ore samples from the deposit							%
元素	21-140-1	21-140-2	21-140-3	21-140-4	21-140-5	21-140-6	平均值
	HX-H1	HX-H2	HX-H3	HX-H4	HX-H5	HX-H6	
SiO ₂	71.48	78.14	73.96	71.96	75.02	74.54	74.18
Al ₂ O ₃	13.08	9.52	11.55	10.64	10.26	10.96	11.00
TFe ₂ O ₃	4.45	4.38	4.75	6.52	3.94	5.37	4.90
CaO	0.80	0.20	0.33	0.39	1.55	0.14	0.57
MgO	0.60	0.43	0.46	0.56	0.62	0.47	0.52
K ₂ O	4.03	2.82	4.57	3.09	3.14	3.83	3.58
Na ₂ O	0.17	0.16	0.18	0.16	0.18	0.17	0.17
TiO ₂	0.42	0.24	0.42	0.51	0.33	0.45	0.40
S	1.65	1.63	1.33	2.08	0.48	1.20	1.39

表 5 矿石与围岩主量元素分析结果及标准化数据

Table 5 Analysis results of major element of ore and surrounding rocks and standardized data						
指标	元素	蚀变碎裂岩(6)	晶屑凝灰岩(11) ^[8]	流纹斑岩(5) ^[8]	次流纹斑岩(7) ^[9]	缩放比例
原始数据/%	SiO ₂	74.18	64.08	78.89	75.47	0.8
	Al ₂ O ₃	11.00	15.95	13.31	13.40	1
	TFe ₂ O ₃	4.90	4.53	0.44	2.64	8
	CaO	0.57	2.91	0.02	0.84	30
	MgO	0.52	1.22	3.85	0.31	25
	K ₂ O	3.58	4.15	3.85	4.65	10
	Na ₂ O	0.17	0.56	0.04	1.49	25
	TiO ₂	0.40	0.58	0.11	0.18	20
标准化因子		1.00	0.69	0.83		
标准化数据/%	SiO ₂	59.35	35.37	52.18	60.38	
	Al ₂ O ₃	11.00	11.00	11.00	13.40	
	TFe ₂ O ₃	39.20	25.02	2.92	21.08	
	CaO	17.03	60.26	0.45	25.07	
	MgO	13.11	21.08	79.62	7.71	
	K ₂ O	35.78	28.61	31.85	46.46	
	Na ₂ O	4.26	9.64	0.83	37.36	
	TiO ₂	7.92	8.02	1.89	3.57	

注:圆括号内为样品数量;缩放比例为无量纲量。

表 6 矿石与围岩微量元素分析结果及标准化数据

Table 6 Analysis results of micro element of ore and surrounding rocks and standardized data						
指标	元素	蚀变碎裂岩(15)	晶屑凝灰岩(11) ^[8]	流纹斑岩(5) ^[8]	次流纹斑岩 ^[9]	缩放比例
原始数据/10 ⁻⁶	Ba	289.21	767.70	290.10	603.89	0.10
	Be	2.16	0.00	1.86	2.40	15.00
	Co	5.16	0.00	0.00	1.06	8.00
	Cr	29.92	40.00	0.88	5.53	2.63
	Cu	53.68	0.00	1.03	4.11	0.50
	As	212.13	0.00	0.00	29.39	0.40
	La	38.57	46.57	46.10	41.36	1.00
	Li	25.77	0.00	33.27	24.24	2.00
	Mo	22.46	0.00	0.92	2.78	1.50
	Nb	9.68	13.77	32.16	17.55	1.50
	Ni	9.28	0.00	0.40	3.04	7.00
	Sr	31.63	62.95	8.65	108.62	0.30
	Ti	1 512.03	5 810.00	1 140.00	1 785.71	0.01
	V	31.78	70.60	1.30	3.61	1.70

表 6(续)

指标	元素	蚀变碎裂岩(15)	晶屑凝灰岩(11) ^[8]	流纹斑岩(5) ^[8]	次流纹斑岩 ^[9]	缩放比例
标准化因子		1.00	0.69	0.83		
标准化数据/10 ⁻⁶	Ba	28.92	52.97	23.99	60.39	
	Be	32.40	0.00	23.09	36.00	
	Co	41.27	0.00	0.00	8.49	
	Cr	78.69	72.59	1.90	14.55	
	Cu	26.84	0.00	0.43	2.06	
	As	84.85	0.00	0.00	11.76	
	La	38.57	32.13	38.12	41.36	
	Li	51.54	0.00	55.01	48.48	
	Mo	33.69	0.00	1.15	4.18	
	Nb	14.52	14.25	39.89	26.33	
	Ni	64.95	0.00	2.30	21.27	
	Sr	9.49	13.03	2.15	32.59	
	Ti	15.12	40.09	9.43	17.86	
	V	54.02	82.81	1.83	6.13	

注:圆括号内为样品数量;缩放比例为无量纲量。

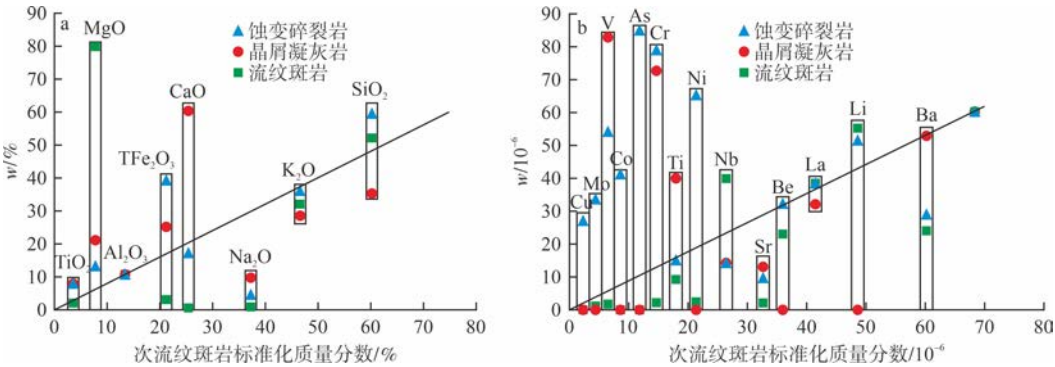


图 6 吉花金银矿床含矿蚀变碎裂岩与围岩地质体标准化 Isocon 图解

Fig. 6 Standardized isocon diagram of altered fractured rock and surrounding rock geological bodies in Jihua Gold-Silver Deposit

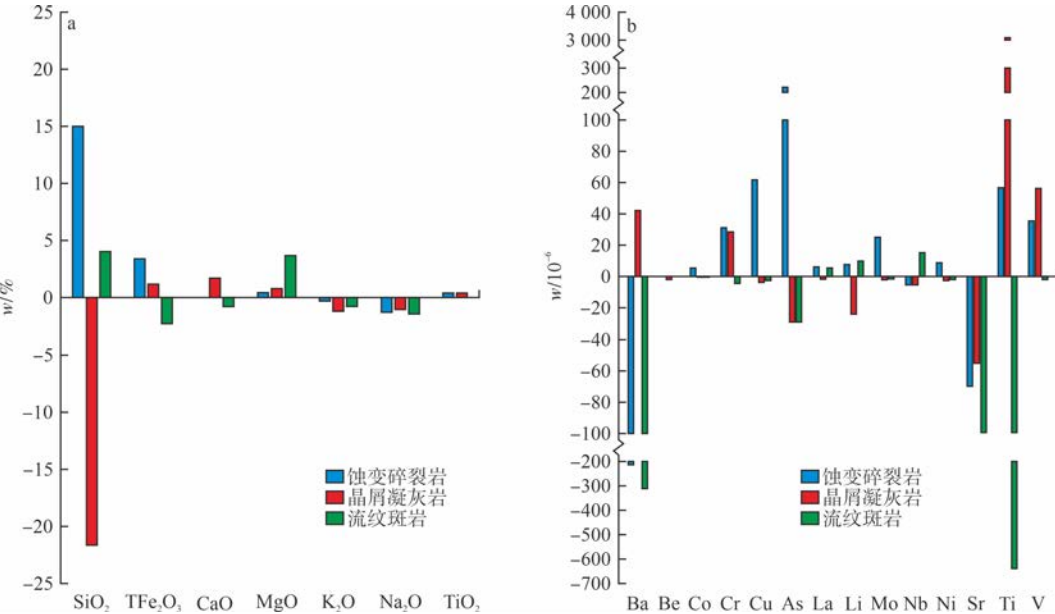


图 7 吉花金银矿床元素迁移量直方图

Fig. 7 Histogram of element migration in Jihua Gold-Silver Deposit

表 7 定量计算矿体及围岩主量元素(%)、微量元素(10⁻⁶)迁移结果

Table 7 Quantitative calculation results of the major elements (%) and micro elements (10⁻⁶) migration of ore body and surrounding rocks

元素	蚀变碎裂岩	晶屑凝灰岩	流纹斑岩
SiO ₂	14.90	-21.61	3.99
TFe ₂ O ₃	3.33	1.18	-2.19
CaO	-0.14	1.61	-0.82
MgO	0.33	0.72	3.57
K ₂ O	-0.29	-1.16	-0.77
Na ₂ O	-1.29	-1.02	-1.45
TiO ₂	0.30	0.31	-0.06
Ba	-251.57	41.42	-311.68
Be	0.23	-2.40	-0.52
Co	5.22	-1.06	-1.06
Cr	30.92	28.09	-4.65
Cu	61.29	-4.11	-3.07
As	229.03	-29.39	-29.39
La	5.63	-2.22	5.07
Li	7.16	-24.24	9.27
Mo	24.58	-2.78	-1.85
Nb	-5.76	-5.98	14.85
Ni	8.26	-3.04	-2.64
Sr	-70.09	-55.71	-99.91
Ti	56.30	3 097.99	-637.41
V	35.11	55.74	-2.29

2.2.5.2 垂向蚀变分带

矿体主要呈隐伏状—半隐伏状展布,矿体的纵向(垂向)上由浅到深,除近地表因氧化作用含有赤铁矿与褐铁矿外无明显变化。

2.2.5.3 小结

综上所述,多种蚀变作用的叠加与矿化关系较为密切,可能与成矿流体运移方向相关。金银矿化强度随硅化、黄铁矿化、绢云母化的增强而增强,随绿泥石化、碳酸盐化出现,以及叶腊石化的增强而减弱。

3 矿床成因与找矿标志

矿物矿石学及物相学研究认为,吉花金银矿床蚀变以硅化—黄铁矿化—绢云母化—绿泥石化—碳酸盐化—高岭土化等中低温蚀变矿物组合为主,银以硫化物银、自然银为主,Ag、Au 总体上同体共生,品位总体上与硅化、黄铁矿化具有正相关性,综合表明其为中低温热液型矿床。元素地球化学迁移研究认为,南园组二段晶屑凝灰岩与蚀变碎裂岩形成于相同蚀变

环境,成矿元素可能来源于深部区域;次流纹斑岩、流纹斑岩相邻产出,推断可能为热液运移提供通道;北东向吉华—杨梅断裂的次级断裂及断裂控制矿体空间分布,断裂交会或者走向、倾向变化处,控制厚大富矿体空间分布,因此吉花金银矿床受北东向断裂控制,且与晚侏罗世次火山岩密切相关。

矿区西南部邱村、东洋、大冬坑等金矿床同样受北东向或者北西向断裂控制,其控矿断裂均为吉华—杨梅断裂的次级断裂;且赋矿围岩均为南园组,蚀变特征以硅化、黄铁矿化、绢云母化为主。地质年代学、岩石与矿床地球化学、流体包裹体测试研究认为,南园组火山岩形成于晚侏罗世 158 ~ 169 Ma,为中—酸性过铝质高钾钙碱性岩石,是中元古代变质基底地层部分熔融产物,幔源物质参与其中,可能形成于俯冲带背景^[8-9,15-18];黄铁矿 Rb—Sr 测年揭示成矿年龄为 164 Ma^[9,16];流体包裹体及 H—O—S—Pb 同位素测试认为,同为中低温热液型矿床,成矿物质来源于岩浆,流体来自深部岩浆,大气水参与其中^[8-9,15-20],流体来源与同一动力背景下雪峰构造带金矿集区具有相似之处。

本次工作与前人对邱村、东洋、大冬坑等金矿床研究成果相一致,认为吉花金银矿床与邱村、东洋、大冬坑等金矿床形成于同一成矿动力学背景,同为闽中金银矿成矿系统形成的矿床系列。区域内以北东向吉华—杨梅断裂的次级断裂为构造标志;以上侏罗统南园组地层中的晶屑凝灰岩、流纹斑岩或者脉状次流纹斑岩为岩体标志;以硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、叶腊石化、方解石等为蚀变标志。

4 区域成矿模式

华南地区中生代经历了从印支期东西向特提斯构造域向燕山期北东向滨太平洋构造域构造动力体制的转换,即印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换^[21-26],印支期华南地块南北边缘碰撞造山事件及随后的燕山期古太平洋板块向华南大陆之下低角度俯冲作用主导了晚侏罗世地壳深熔作用和岩浆侵入活动,随之太平洋板块后撤,构造体制由挤压转为伸展^[27-36],而位于华南地块东南缘的华夏地块,在此期间成矿事件大爆发^[19,37-46],闽中“金三角”区域成矿事件为上述构造体制转换的响应。

本次工作认为吉花金银矿床,以及邱村、东洋、大冬坑等金矿床为闽中金银矿成矿系统中形成的矿床系列,结合中生代华南地块东南缘构造—岩浆—成矿事件地质背景,得出以下可能的区域成矿模式(见图 9):印支期华南地块南北缘碰撞而导致的地壳增厚,燕山期西太平洋板块低角度俯冲叠加其上,随之

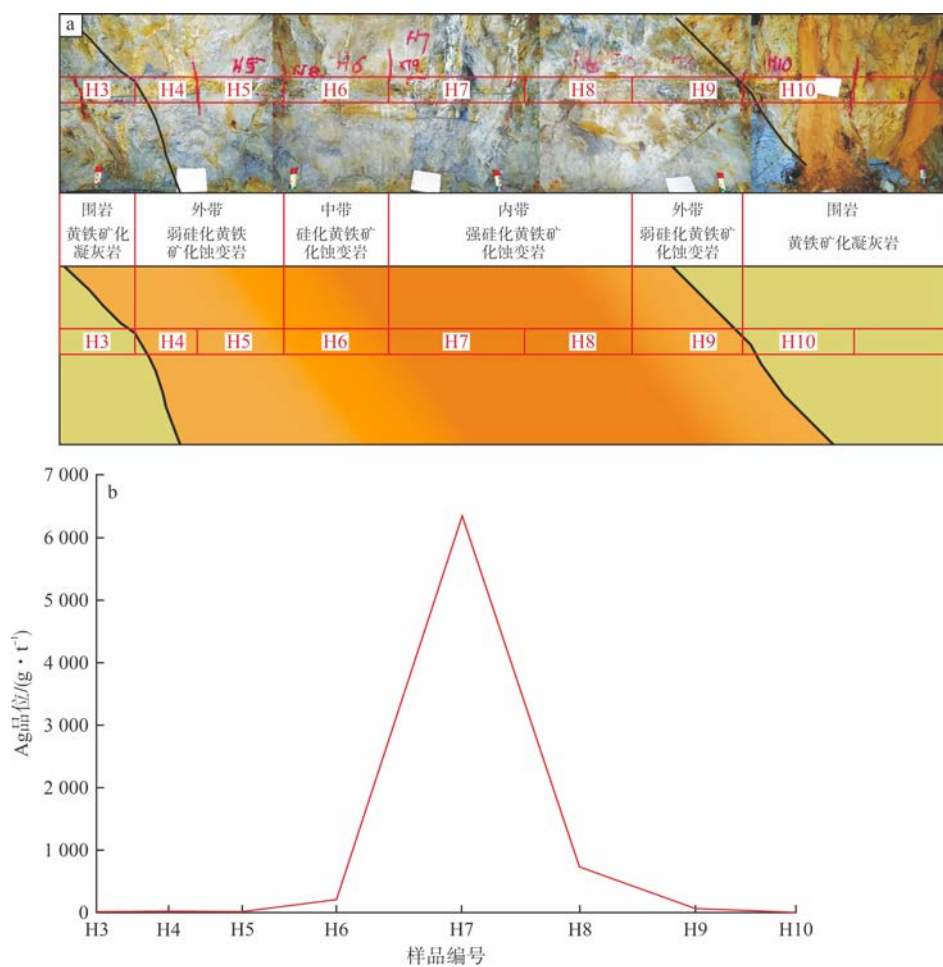


图 8 Ag I - 4 矿体横向蚀变带及品位变化曲线

Fig. 8 Horizontal alteration zones and grade variation curve of Orebody Ag I - 4

古太平洋板块撕裂、拆沉和俯冲后撤,区域构造体制由北西挤压转为南东伸展,应力释放,压力骤减,导致新元古代基底熔融,撕裂、拆沉的俯冲大洋板块深熔岩浆少量上涌,沿闽中断拗带持续运移侵出地表,闽中火山

事件大爆发,深部热液流体携中低温成矿元素 Fe、Si、Ti、Cu、As、Mo 等大量带入,而 Na、Ca、Ba、Sr 等大量带出,有用组分 Au、Ag 富集,成矿流体沿火山机构及酸性岩脉通道运移至浅部断裂内,Au、Ag 沉淀形成矿体。

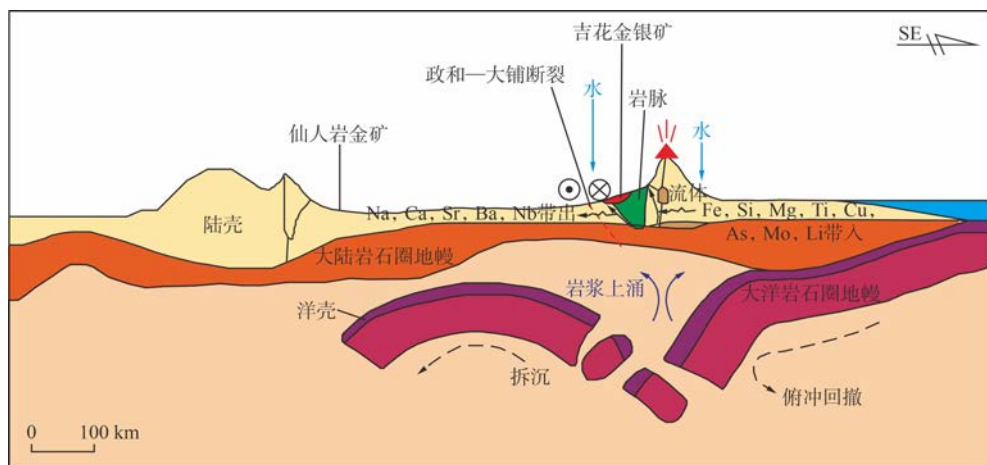


图 9 吉花金银矿床区域成矿模式(据文献[19,46]修改)

Fig. 9 Regional metallogenic model of Jihua Gold-Silver Deposit

5 结论

1) 吉花金银矿床圈定 36 个金银矿体,赋存在东北

向断裂蚀变带中,严格受断裂控制,断裂交会或者走向变化处控制厚大富矿体空间分布,赋矿围岩为酸性南园组火山岩或者次火山岩。

2) 吉花金银矿床银物相分析显示,银以硫化物银及自然银为主;矿石定量光谱分析结果显示,Ag、Au 总体上同体共生,Ag、Au 品位总体上具有正相关性;蚀变过程中 Fe、Si、Mg、Ti、Cu、As、Mo、Co、Cr、La、Li、Ni、V 迁入,且 Fe、Si、Mg、Ti、Cu、As 迁入量最大;Na、Ca、Ba、Sr、Nb 迁出,且 Ca、Ba、Sr 大量迁出,总体表明成矿热液富硅、去钙化的特征;矿体横向呈 4 个连续蚀变分带,宏观上以硅化、黄铁矿化最为显著,银品位与硅化、黄铁矿化呈明显正相关,与叶腊石化、方解石化负相关。

3) 吉花金银矿床为中低温热液型矿床,区域找矿构造标志为北东向断裂及其次级断裂,矿化蚀变标志为南园组火山岩、次火山岩普遍发育的硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、叶腊石化、方解石化。

4) 闽中地区金银矿成矿模式为古太平洋板块俯冲、后撤,地壳深熔岩浆上涌,深部热液携 Fe、Si、Ti、Cu、As、Mo 等大量带入,Na、Ca、Ba、Sr 大量带出,赋矿流体沿火山机构及酸性岩脉通道运移至到浅部断裂,Au、Ag 沉淀成矿。

[参考文献]

- [1] 陈毓川,王登红. 华南地区中生代岩浆成矿作用的四大问题[J]. 大地构造与成矿学,2012,36(3):315-321.
- [2] 陈毓川,王登红,徐志刚,等. 华南区域成矿和中生代岩浆成矿规律概要[J]. 大地构造与成矿学,2014,38(2):219-229.
- [3] 徐志刚. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京:地质出版社,2008.
- [4] 王昌炳. 福建尤溪吉花金银矿床地质特征与找矿方向初探[J]. 华东科技:综合,2019(5):324-325.
- [5] 福建省地质调查院. 中国区域地质志:福建志[M]. 北京:地质出版社,2016.
- [6] 中国冶金地质总局第二地质勘查院. 福建省尤溪县吉花矿区金银矿勘探报告[R]. 福州:中国冶金地质总局第二地质勘查院,2020.
- [7] 黄卫强,侯海峰,杜庆安,等. 福建吉花银矿床矿石特征及银的赋存状态[J]. 矿产与地质,2022,36(3):541-546.
- [8] 南京大学. 福建省中东部矿集区找矿预测报告[R]. 南京:南京大学,2016.
- [9] XU N, LI S R, SANTOSH M, et al. Petrology, geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the Jurassic porphyry dykes in the Dehua gold field, Southeast China: Genesis and geodynamics[J]. Geological Journal, 2016, 53: 547-564.
- [10] 朱兴明,周鑫,杨斌,等. 胶东金矿床蚀变岩岩石地球化学特征与水岩反应机理分析[J]. 黄金,2021,42(9):12-17.
- [11] GRANT J A. The isocon diagram: A simple solution to greenschist equation for metasomatic alteration[J]. Economic Geology, 1986, 81(8):1976-1982.
- [12] GUO S, YE K, CHEN Y, et al. A normalization solution to mass transfer illustration of multiple progressively altered samples using the isocon diagram[J]. Economic Geology, 2009, 104(6):881-886.
- [13] SHANNON R D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides[J]. Acta Crystallographica, 1976, A32:751-767.
- [14] GÖTZE J. Chemistry, textures and physical properties of quartz - geological interpretation and technical application[J]. Mineralogical Magazine, 2009, 73(4):645-671.
- [15] 徐智涛,孙景贵,雷凤至,等. 福建东洋大冬坑金矿成矿动力学背景:伴生脉岩年代学、元素地球化学制约[C]//中国矿物岩石地球化学学会矿床地球化学专业委员会,中国地质学会矿床地质专业委员会,矿床地球化学国家重点实验室. 第八届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要文集. 贵阳:《矿物学报》编辑部,2017:627.
- [16] 徐楠. 福建东洋金矿成矿系统及其成因研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2017.
- [17] 雷凤至,孙景贵,徐智涛,等. 福建德化地区东洋浅成热液金矿床成矿作用与成因研究[J]. 世界地质,2019,38(2):339-353.
- [18] 雷凤至. 福建东洋浅成热液金矿床成因研究[D]. 长春:吉林大学,2019.
- [19] 倪培,迟哲,潘君屹. 斑岩型和浅成低温热液型矿床成矿流体与找矿预测研究:以华南若干典型矿床为例[J]. 地学前缘,2020,27(2):60-78.
- [20] 黄宝,倪培,项洪亮,等. 福建邱村金矿地质特征及矿床成因[J]. 矿物岩石地球化学通报,2017,36(4):650-659.
- [21] 李三忠,余珊,赵淑娟,等. 东亚大陆边缘的板块重建与构造转换[J]. 海洋地质与第四纪地质,2013,33(3):65-94.
- [22] 任纪舜. 印支运动及其在中国大地构造演化中的意义[J]. 地球学报,1984,6(2):31-44.
- [23] 舒良树,周新民. 中国东南部晚中生代构造作用[J]. 地质论评,2002,48(3):249-261.
- [24] 赵越,杨振宇,马醒华. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. 地质科学,1994,29(2):105-119.
- [25] 赵越,徐刚,张拴宏,等. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘,2004,11(3):319-328.
- [26] DONG S W, ZHANG Y Q, LONG C X, et al. Jurassic tectonic revolution in China and new interpretation of the "Yanshan Movement"[J]. Acta Geological Sinica, 2007, 81(11):1449-1461.
- [27] 徐先兵,张岳桥,贾东,等. 华南早中生代大地构造过程[J]. 中国地质,2009,36(3):573-593.
- [28] 刘潜,于津海,苏斌,等. 福建锦城 187 Ma 花岗岩的发现——对华南沿海早侏罗世构造演化的制约[J]. 岩石学报,2011,27(12):3575-3589.
- [29] 张国伟,郭安林,王岳军,等. 中国华南大陆构造与问题[J]. 中国科学:地球科学,2013,43(10):1553-1582.
- [30] 李三忠,臧艺博,王鹏程,等. 华南中生代构造转换和古太平洋俯冲启动[J]. 地学前缘,2017,24(4):213-225.
- [31] 张岳桥,董树文. 晚中生代东亚多板块汇聚与大陆构造体系的发展[J]. 地质力学学报,2019,25(5):613-641.
- [32] 万天丰. 中国东南六省元古代—侏罗纪构造演化[J]. 地球科学,1989,14(1):45-49.
- [33] 杨宗永,何斌. 华南侏罗纪构造体制转换:碎屑锆石 U-Pb 年代学证据[J]. 大地构造与成矿学,2013,37(4):580-591.
- [34] 张岳桥,董树文. 东亚大陆东部陆缘晚中生代周期性岩浆演化历史:对燕山运动深部过程的制约[C]//中国地球物理学会,中国地震学会,全国岩石学与地球动力学研讨会组委会,等. 2020 年中国地球科学联合学术年会论文集(二十九)—专题八十五:深地资源勘查开采年度进展、专题八十六:超深层(油气)重磁地震勘探技术、专题八十七:川藏铁路重大地质灾害:

- 致灾机制、隐患识别与风险预测. 北京:北京伯通电子出版社, 2020:28.
- [35] 田梦宇,狄永军,王帅,等. 广西云开地区那蓬岩体黑云母二长花岗岩年代学、地球化学特征及成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2021,51(3):749-766.
- [36] 贺根文,周兴华,袁慧香,等. 赣南高陂花岗岩斑岩地球化学、年代学特征及其对成矿作用的启示[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2023,53(1):161-176.
- [37] CHEN X H, DONG S W, SHI W, et al. Construction of the continental Asia in Phanerozoic: A review [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2022, 96(1): 26-51.
- [38] ZHANG Y Q, DONG S W, LI J H, et al. Piecemeal delamination of thickened lithosphere triggered pulsed magmatism and mineralization during late Mesozoic intracontinental orogeny in east Asia[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2021, 95 (S1): 112-114.
- [39] 毛景文,谢桂青,李晓峰,等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘,2004,11(1):45-55.
- [40] 毛景文,谢桂青,郭春丽,等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. 高校地质学报,2008,14(4):47-60.
- [41] 毛景文,陈懋弘,袁顺达,等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. 地质学报,2011,85(5):636-658.
- [42] 谢桂青,毛景文,张长青,等. 华南地区三叠纪矿床地质特征、成矿规律和矿床模型[J]. 地学前缘,2021,28(3):252-270.
- [43] 岳来群,黄春鹏,张克尧. 福建省金矿床成矿时代特点[J]. 地质与勘探,2002,38(4):17-21.
- [44] 孙立吉,廖珊,郝立波,等. 湘西雪峰峰构造带金控矿因素与成矿机理[J]. 黄金,2023,44(6):64-70.
- [45] 王会胜,唐秀念,李绪俊,等. 福建政和大药坑金矿床脉岩锆石 U-Pb 测年及金成矿年龄[J]. 黄金,2021,42(10):16-23.
- [46] 陈伟,杨洲畚,廖志权,等. 赣南九龙脑矿田成矿地质特征与成矿预测[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2022,52(2):403-417.

Geological characteristics of Jihua Gold – Silver Deposit in Fujian and implications of element migration in the ore-bearing alteration zone for regional mineralization

Wang Junde¹, Tang Liwei¹, Du Qing'an¹, Huang Weiqiang¹, Hou Haifeng¹, Chen Wenqing¹, Lu Taofeng²

(1. *The Second Geological Exploration Institute of CMGB;*

2. *No. 2 Geological Team of Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources*)

Abstract: A total of 36 gold – silver ore bodies have been delineated in the Jihua medium-scale shallow medium-low temperature hydrothermal gold – silver deposit, all of which occur in the NE fault structural alteration zone. Silver physical phase analysis shows that silver is mainly composed of silver sulfide and native silver. Silver and gold are generally coexisting in the same body, and both grades are positively correlated. The mineral assemblage of the main mineralization stage is characterized by quartz – pyrite – chalcopyrite – gold – silverite. 4 alteration zones were divided along the horizontal (lateral) direction of the ore body. In order to determine the material migration during hydrothermal alteration, the standardized Isocon diagram method was used to calculate the material migration characteristics of altered fractured rocks. The results showed that Fe, Si, Mg, Ti, Cu, As, Mo, Co, Cr, La, Li, Ni, and V showed immigration characteristics during the alteration process; Na, Ca, Ba, Sr, and Nb migrated out. The emigration of Ca, Ba, and Sr indicates the characteristics of silicon-rich and decalcified ore-forming hydrothermal fluids; by analogy with the previous research results of Qiucun Gold Deposit, Dongyang Gold Deposit, and Dadongkeng Gold Deposit in the same area, the 4 deposits are all formed by the gold and silver metallogenic system in central Fujian. They may be the regional metallogenic model of the subduction and retreat of the ancient Pacific plate, the migration of ore-bearing fluid along the volcanic mechanism, and acid dike channel to the shallow fault zone to precipitate mineralization. The research can provide ideas for the search for gold – silver deposits in the region.

Keywords: Jihua Gold – Silver Deposit; deposit geological characteristics; standardized Isocon diagram; alteration zone; element migration; regional metallogenic model