



闽中太华山金矿区金坂矿段矿化类型及找矿方向探讨*

毛光武^{1,2}, 谭元松², 何东辉², 聂端平², 刘向东²

(1 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074; 2 中国冶金地质总局二局, 福建 福州 350108)

摘要 太华山金矿区位于福建中部尤溪-德化-永泰三县的结合部位之“闽中金矿集中区”, 是该区具有找矿前景的靶区之一。随着太华山金矿区金坂矿段深部找矿勘查较系统的工程投入, 发现了该区段深部的含矿斑岩体及其矿化蚀变系统。通过对金坂矿段 620 m 中段以上的含矿斑岩、矿化类型、蚀变分带特征及斑岩与各类型矿化的关系等进行系统分析, 初步认为太华山金坂矿段矿化类型具有浅成低温热液型金银矿的特征, 其金银矿(化)体在空间上与流纹斑岩紧密相伴, 主要产于流纹斑岩体的内外接触带中, 自上而下的矿化类型分为顶部(微)细粒浸染型、中部石英细脉/网脉型及深部热液角砾/黄铁矿浸染石英脉型等, 成矿具有“一体多型”的特点。结合太华山矿区太华山矿段、尤岭隔矿段地质特征的对比分析, 提出了该区深部金银矿找矿地质模型, 对完善太华山热泉-次火山斑岩成矿系统模型及其指导深部探矿工作具有重要的意义。

关键词 地质学 矿化类型 蚀变特征 “一体多型”找矿模式 太华山金矿 闽中

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

Gold mineralization types and prospecting direction of Jinban ore block in Taihuashan gold ore district of central Fujian Province

MAO GuangWu^{1,2}, TAN YuanSong², HE DongHui², NIE DuanPing² and LIU XiangDong²

(1 China University of Geosciences, Faculty of Earth Resources, Wuhan 430074, Hubei, China; 2 No.2 Bureau of China Metallurgical Geology Bureau, Fuzhou 350108, Fujian, China)

Abstract

Located in the Youxi-Dehua-Yongtai border area in central Fujian Province, the Taihuashan gold ore district is one of the most important gold ore concentration areas in Fujian Province, and is also one of the target areas for gold prospecting. In recent years, systematic deep-seated prospecting work for Jinban ore block in the Taihuashan gold ore district was conducted, which led to the discovery of the mineralized porphyry in the deep zone. The authors analyzed systematically the porphyry characteristics, mineralization type characteristics, alteration and mineralization zoning characteristics and the relationship between the porphyry and various types of mineralization. This preliminary study shows that the Jinban ore block is a hydrothermal epithermal type gold and silver ore deposit, with its gold-silver orebodies closely associated with the rhyolitic porphyry. The main mineralization occurs in the enso- and exo-contact zones of the rhyolitic porphyry bodies, and the mineralization types can be divided from top to bottom into the top (micro) fine disseminated type, central quartz veinlets/stockwork type and deep hydrothermal breccia/disseminated pyrite quartz vein type. The mineralization is characterized by “multiple types in one porphyry”. Combined with data from the geological features of the Tai-

* 本文得到冶金地质自主勘查项目“太华山矿区金矿详查(编号: 20160728)”的资助

第一作者简介 毛光武, 男, 1982 年生, 工程师, 博士研究生, 长期从事有色金属矿产勘查与开发工作。Email: maogwdx200505@sina.com

收稿日期 2016-05-10; 改回日期 2016-11-09。赵海杰编辑。

huashan and Youlingge ore blocks, the authors constructed a deep gold-silver ore-prospecting geological model and a Taihuashan hot springs and subvolcanic porphyry metallogenic system model. These models can effectively guide the deep prospecting work in this region and hence are of great significance.

Key words: geology, mineralization types, alteration characteristics, “multiple types in one porphyry”, prospecting model, Taihuashan gold deposit, central Fujian Province

太华山金-银矿区位于闽中尤溪、德华两县交界部位的中仙乡华山上村南侧。区域地质找矿工作始于1986~1989年,冶勘二局通过对闽中地区2350 km²实施1:5万分散流扫面,圈定了总面积约400 km²的闽中尤溪-德化-永泰金银成矿远景区,太华山矿区位于该远景区的北东部。在随后近30年的时间里,地勘单位在整个太华山矿区太华山矿段、金坂矿段断续投入了部分探槽、钻探和硃探工程,由于工程缺乏连续性、系统性及深部工程验证不足等原因,勘查进展一度停滞不前,限制了对该区成矿规律的认识。时至2011~2015年间,地勘单位引进企业资金,采用较为系统的探槽、钻探及坑探相结合的办法,缩小靶区,主要针对矿区金坂矿段集中开展地质找矿工作,随着勘查工作的深入,金银矿(化)体特征逐渐被揭示出来,新的地质现象不断增加,为矿区进一步的深入研究及找矿工作创造了条件。

虽然矿区开展地质工作历时多年,但研究单位和一些学者通过前期少量的野外浅表地质工作,仅对所揭露的矿区地质、地球化学特征及成矿等方面开展过部分研究(黄亚南,1999;冶勘二局闽中金矿科研项目组,2000;江善元,2003;林美龙,2003)。本文在前人工作的基础上,综合分析野外地质现象,总结区域成矿背景、矿区地质特征、蚀变分带,结合近年来金坂矿段深部坑道地质现象的重要发现,探讨了太华山金矿区斑岩活动与成矿作用之间的关系,提出太华山金矿成矿作用与流纹斑岩密切的空间关系及其浅部浅成低温热液型(热泉型)(黄亚南,1999;冶勘二局闽中金矿科研项目组,2000)-深部热液角砾/黄铁矿浸染石英脉型的‘一体多型’的成矿模式,进一步完善了热泉-次火山流纹斑岩成矿系统模型,这对太华山矿区深部找矿,扩大勘查范围提供相应的地质及理论依据具有十分重要的意义。

1 成矿地质背景

闽中金成矿区属西太平洋铜(金)成矿域之中国东部中新代陆相火山-次火山热液成矿带。位于

闽西南拗陷带与闽东火山断拗带的结合部,靠近火山断拗一侧,属闽中戴云山-石牛山巨型火山构造盆地(Ⅳ级)北部和顺火山机构(Ⅴ级)南东部(朱玉磷等,2007)与上洋——安村断陷带北东部(吴淦国等,1999)的交汇部位,具火山断拗之特点。区域上麻源群卓地组($P_{t_2}z$)($w(Au):7.48\times10^{-9}\sim10.7\times10^{-9}$)和葛坑组($P_{t_2}g$)($w(Au)$ 平均为 6.2×10^{-9})变质岩基底和中生代火山岩为主的盖层建造不整合构成了本区‘二元结构’的地质背景,这有利于热液作用萃取基底变质岩中丰富的金等有用元素,形成含矿流体直接通过有利地质构造运移进入上覆火山岩建造层位,无疑对于区内金矿的形成具有重要意义(周维●,1996;冶勘二局闽中金矿科研项目组,2000)。其次,正常沉积建造零星可见二叠系钙质岩、硅质岩、三叠系碎屑岩等,主要分布于区内NE向断隆构造带的南东侧太华山—安村一带及其NE向倾伏端等地带,以断块形式零星出露。侏罗系—白垩系南园群小溪组下段,岩性为陆相火山喷发中酸性火山岩,矿区发育第二、第三岩性段。印支-燕山期断裂岩浆活动强烈,形成NE向、NW向类似菱形网格状构造,控制区内火山岩-次火山岩沿NE向断隆带两侧呈带状展布。

太华山金矿区属闽中尤溪-德化-永泰金银成矿远景区之B类异常区之一(图1),区域上金银成矿远景区共圈出2个A类异常区(邱村-安村-杨梅金矿预测区、官田-肖坂-上村金矿预测区),3个B类异常区(岭坪头、淳湖-太华山-徐州、东华-龙门场金矿预测区),2个C类异常区(霞川-清溪、葛坑金矿预测区),近年来在该远景区内发现多个金矿床(点),如在A类异常区内发现肖坂、安村、邱村、德化东洋等小型、中型及大型金矿床;在B类异常区发现淳湖、徐州、龙门场等金多金属矿床。

区域上,金-银多金属矿床与燕山晚期陆相火山-次火山高位侵入的中-酸性斑岩成矿关系密切,如闽中德化东洋金矿(次流纹斑岩, $Au>25$ t,大型,福建地勘局,2013)、下坂金矿(流纹斑岩)、安村金矿(英安斑岩)、太华山金矿(次流纹斑岩)等。这些矿床矿体产于英安斑岩、流纹斑岩顶部及其内外接触带,且

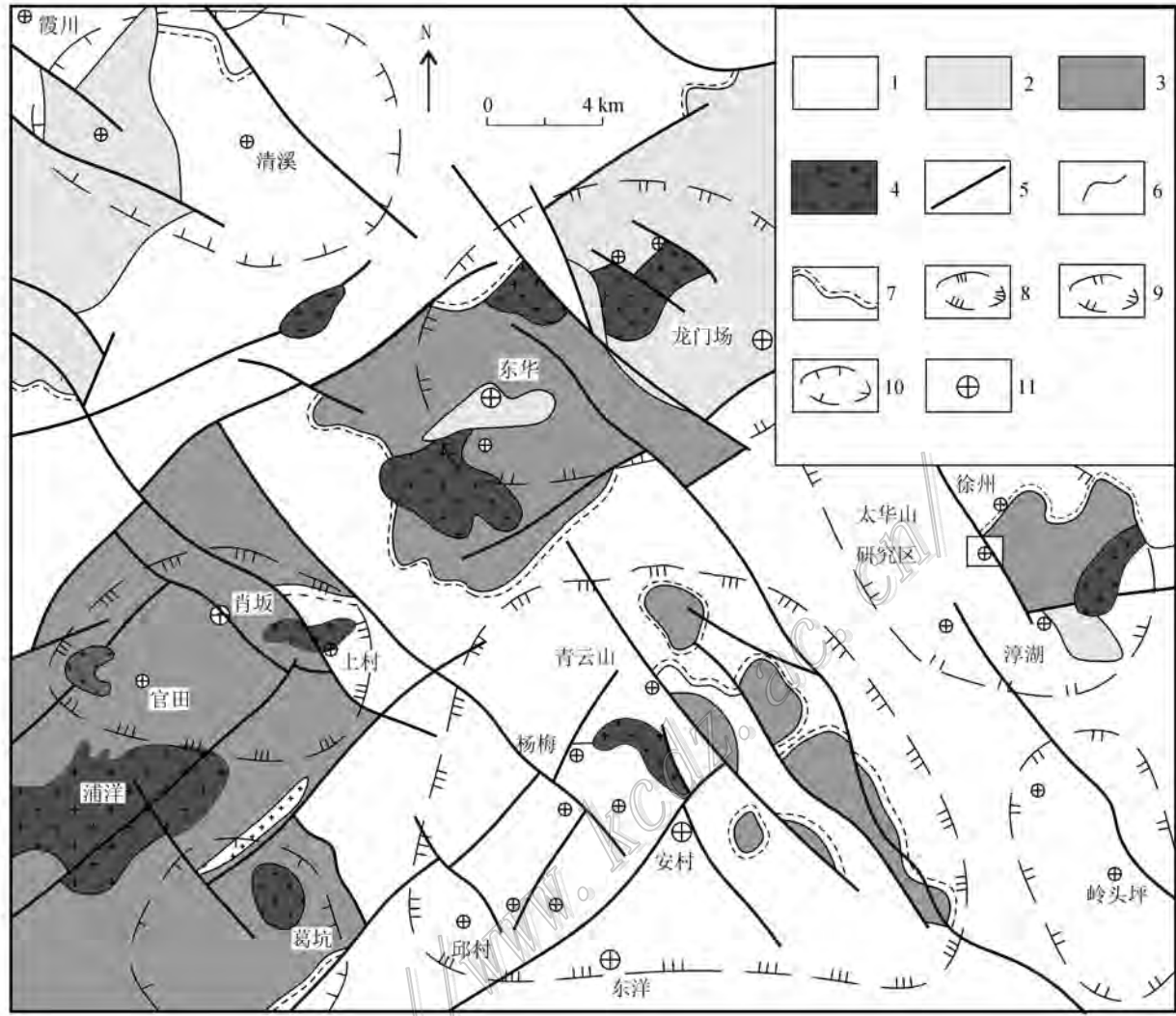


图 1 闽中金成矿区区域地质简图(据冯宗帜等,1991; 吴淦国等,1999; 黄亚南,1999 资料修编)

1—中生界火山岩; 2—古生界碎屑岩; 3—元古界变质基底; 4—中酸性侵入体; 5—断裂构造; 6—地质界线; 7—不整合界线;
8—A 类预测区; 9—B 类预测区; 10—C 类预测区; 11—金矿床

Fig. 1 Geological sketch map of the middle part of Fujian Province (modified after Feng et al., 1991; Wu et al., 1999; Huang et al., 1999)

1—Mesozoic volcanic rocks; 2—Paleozoic clastic rocks; 3—Proterozoic metamorphic basement; 4—Intermediate-acidic intrusion;
5—Fault structure; 6—Geological boundary; 7—Unconformity; 8—Prediction area of Class A; 9—Prediction area of Class B;
10—Prediction area of Class C; 11—Gold deposit

伴有不同程度的隐爆角砾岩(陶奎元等, 1996; 黄亚南, 1999; 江善元, 2003; 林美龙, 2003; 朱玉磷等, 2007; 江启煜, 2014)。

2 矿床地质特征

矿区出露的地层为震旦系稻香组(Zdx)浅变质岩, 上侏罗统长林组(J_{3c})碎屑岩建造, 二者分布局限, 只见于矿区东北角及其外围, 后者局部发育石英

脉和金矿化, 是区内石英脉型金矿的产出变质岩地层之一。南园群小溪组(Jkx)陆相中酸性火山岩建造呈喷发不整合上覆于长林组及其他老地层之上, 为区内重要的赋矿层位, 以浅色的酸性火山碎屑熔岩、火山碎屑岩为主, 中下部发育灰黑色粉砂岩、凝灰岩、凝灰质细砂岩、硅质岩、泥岩等沉积夹层。矿区构造以 NE 向、NW 向及近 EW/NWW 向构造为主, 次火山岩、蚀变带等的展布受其复合控制明显(图 2)。NE 向构造 F4、F5、F6 等以压-压扭性为特

征,构造形成较晚,以“左旋”形式切割 NW-NWW 向的 F2、F7、F8、F9 和近 NWW 向的 F1 张扭性控矿构造,错距一般在 5~25 m 左右;区内次火山岩主要为燕山晚期侵入的流纹斑岩,局部出露于矿区尤岭隔矿段南西侧陡崖处,主要沿 NEE 向构造产出,呈岩株、岩脉状侵入南园群小溪组火山岩内。

2.1 含矿斑岩体特征

含矿斑岩体主要见于金坂矿段深部 620 m 中段矿道,岩性为次火山流纹斑岩,产状为隐伏-半隐伏,地表只在 SW 侧尤岭隔矿段 580m 标高较小范围内出露(图 2),其深部两矿段次流纹斑岩很可能连为一体。该次火山岩总体沿 NWW 向区域构造侵入,具有由西往东,由南往北上侵的特点,产状走向 100°~120°,向南倾。太华山矿段 1102 m 高山峰东西两侧分别施工一个深部直孔,控制深部分别至 800 m

和 440 m 高程,未见流纹斑岩,推测隐伏较深,偏南深部存在的可能性较大。

金坂矿段斑岩产出标高 760 m 以下,为隐伏状产出。斑岩顶部带(约 720~760 m 标高)发育流纹斑岩细脉,新鲜面呈浅肉红色-浅灰白色,脉宽十几至三四十厘米,隐晶质结构,致密块状构造,大者流纹理构造明显。工程揭露 740 m 中段流纹斑岩宽 6 m,褐铁矿化硅质细网脉发育,富含金银,与上、下盘英安质晶屑凝灰熔岩呈锯齿状侵入(图 3a、b),侵入带围岩具不规则状的褪色带和破碎岩带,斑岩流纹构造发育,表明其侵位较浅,属浅成-超浅成侵入岩;接触带黄铁矿化、硅化蚀变发育。700 m 至 620 m 中段揭露流纹斑岩规模逐渐增大,深部规模大于 200 m×300 m,走向 100°~115°,倾向近南。岩石新鲜面呈灰白色,内接触带呈浅绿色,斑状结构,块状

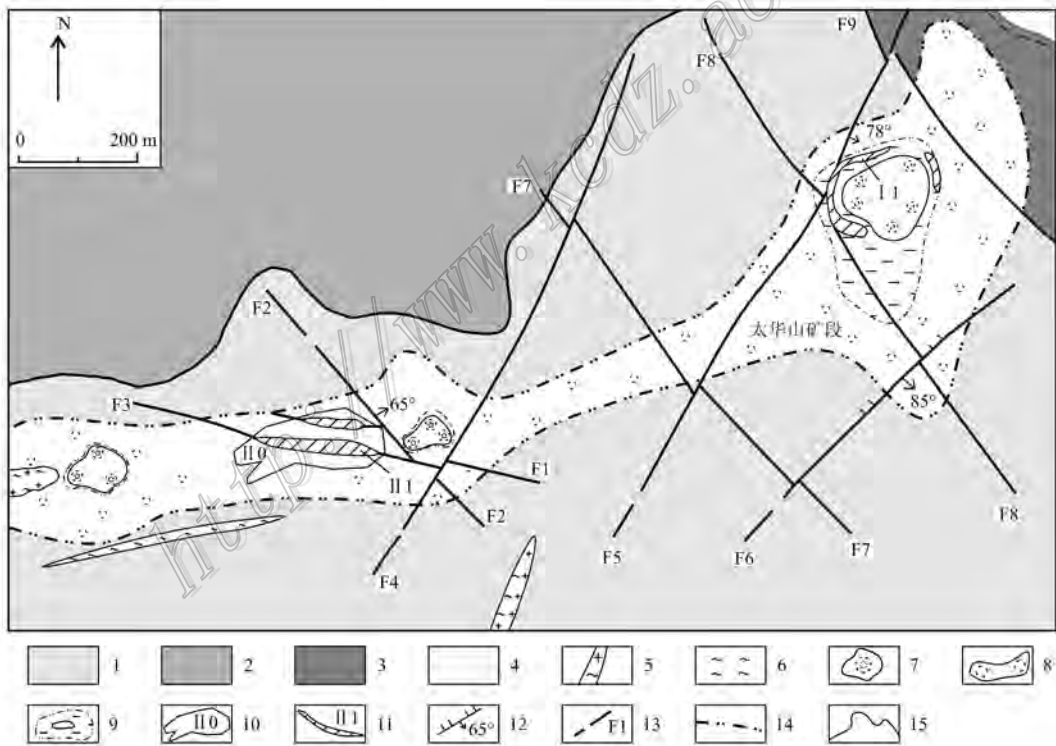


图 2 太华山金矿区地质简图

1—侏罗系—白垩系小溪组第三岩性段; 2—侏罗系—白垩系小溪组第二岩性段; 3—侏罗系上统长林组; 4—震旦系稻香组; 5—流纹斑岩; 6—流纹岩; 7—硅帽; 8—泥化带; 9—黄铁矿弱硅化带; 10—氧化矿; 11—富金矿脉; 12—逆断层; 13—性质不明断裂; 14—蚀变分界线; 15—地质界线

Fig. 2 Geological map of the Taihuashan gold mining area

1—Third lithologic member of Jurassic and Cretaceous Xiaoxi Group; 2—Second lithologic member of Jurassic and Cretaceous Xiaoxi Group; 3—Upper Jurassic Changlin Group; 4—Sinian Daoxiang Group; 5—Rhyolitic porphyry; 6—Rhyolite; 7—Silicon cap; 8—Clay belt; 9—Weakly silicified pyrite zone; 10—Oxidized ore; 11—Rich gold vein; 12—Reverse fault; 13—Unknown fracture; 14—Alteration line; 15—Geological boundary

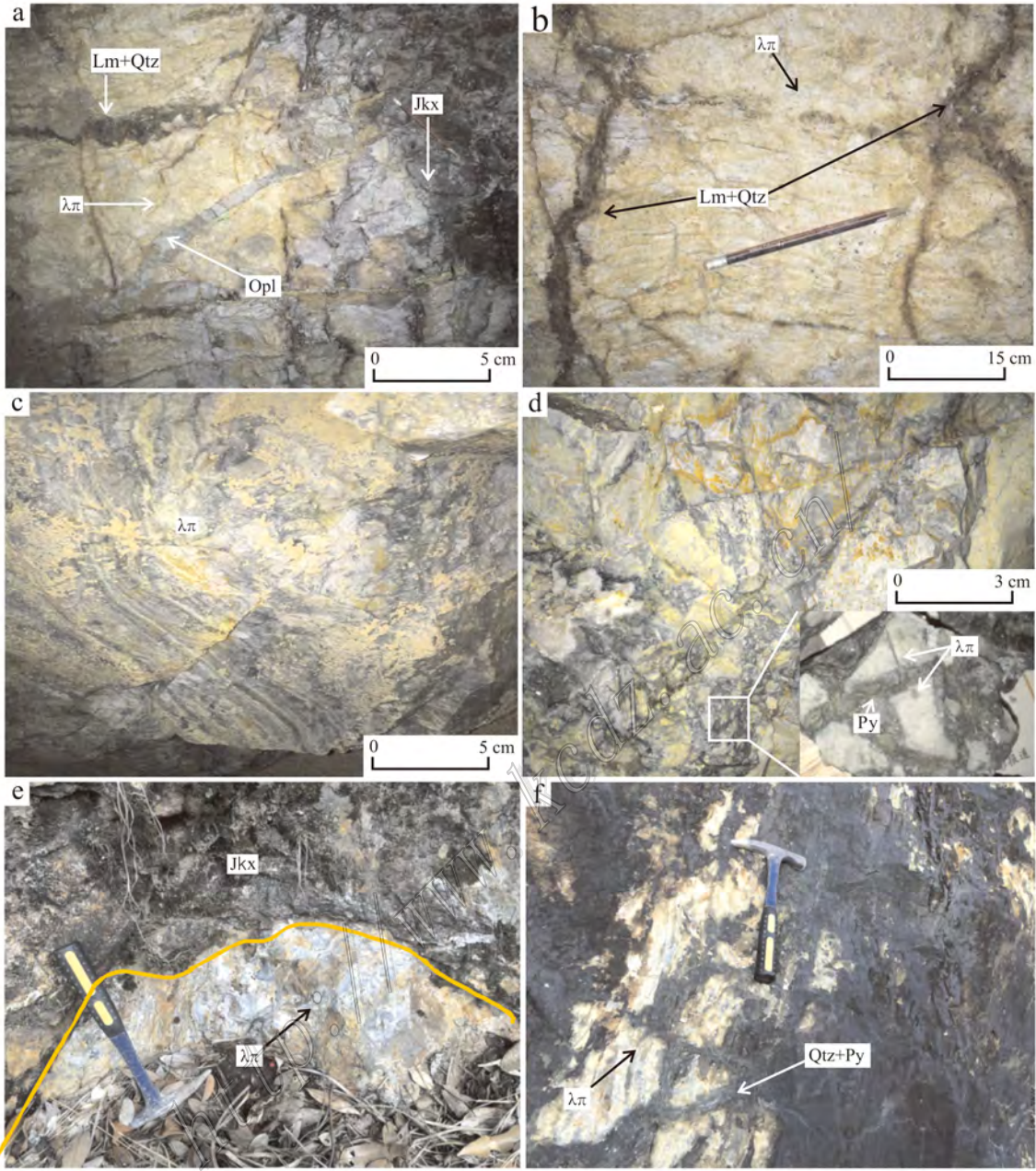


图 3 太华山金矿区金坂-尤岭隔矿段与成矿有关斑岩照片

a. 流纹斑岩与小溪组侵入接触(740 m 标高); b. 含矿流纹斑岩(740 m 标高); c. 流纹斑岩(620 m 标高); d. 热液爆破角砾岩(620 m 标高); e. 流纹斑岩与小溪组侵入接触(580 m 标高); f. 褐铁矿化流纹斑岩(580 m 标高)

Lm—褐铁矿; Opl—蛋白石; Qtz—石英; λπ—流纹斑岩; Py—黄铁矿; Jkx—上侏罗统一白垩统南园群小溪组火山岩

Fig. 3 Photos of mineralized porphyries from the Jinban-Youlingge ore block in Taihuashan gold mining area
a. Rhyolitic porphyry and Xiaoxi Group intrusive contact (740 m elevation); b. Ore-bearing rhyolitic porphyry (740 m elevation); c. Rhyolitic porphyry (620 m elevation); d. Hydrothermal breccia (620 m elevation); e. Rhyolitic porphyry and Xiaoxi Group (580 m elevation); f. Rhyolitic porphyry with limonite (580 m elevation)

Lm—limonite; Opl—Opal; Qtz—Quartz; λπ—Rhyolitic porphyry; Py—Pyrite; Jkx—Jurassic and Cretaceous Xiaoxi Group volcanic rock

构造,斑晶主要为石英,基质隐晶质,以长石、石英为主;620 m 中段斑岩内接触带发育流纹纹理构造,伴有浅灰黑色条带,绿帘石化增强,局部出现黄铁矿硅化

胶结热液爆破角砾岩(图 3c、d)。该矿段流纹斑岩原岩硫化物含量较少,只在其内接触带矿化蚀变角砾岩、硅化-石英细脉带中发育黄铁矿化,呈细粒-微细

粒浸染状、细脉状产出。

矿区地表出露斑岩位于尤岭隔矿段南西侧河边 580 m 标高以下, 见 2 条流纹斑岩, 产状走向 70° , 倾角 $60^\circ \sim 75^\circ$, 向南倾, 出露宽 4~10 m, 追索延长大于 50 m, 露头所见斑岩呈脉状侵入上覆晚侏罗—早白垩纪小溪组第二段含角砾晶屑凝灰熔岩之下, 属燕山期次火山侵入岩。岩石流纹条带、硅化、黄铁矿化发育, 部分黄铁矿呈细脉浸染状顺流纹理产出, 部分呈浸染状分布于网脉状石英细脉中, 岩石局部见角砾状构造(图 3e), 地表氧化呈大片的黑褐色“火烧皮”状(图 3f), 全岩矿化, Au 品位 $0.2 \sim 0.5 \text{ g/t}$ 。后期细粒隐晶质黄铁矿化、石英细脉与金矿化关系密切。

2.2 金矿(化)体形态及产状

金坂矿段金矿(化)体主要分为地表 II_0 号氧化矿体、 II_1 号长英质富金矿脉及深部角砾/浸染状黄铁矿石英脉金矿化体。

II_0 号氧化矿 赋存在标高 740~830 m 之间, 由 2 条长轴呈 NWW 走向的富集带组成(图 2, 图 5 ①②), 分布范围为 $(60 \sim 110) \text{ m} \times 150 \text{ m}$, 厚度 10~50 m。含矿围岩为侏罗系南园群小溪组第三岩性段高渗透性的流纹质晶屑、岩屑凝灰熔岩, 高岭土化发育。矿石类型为高岭土化石英细脉-网脉状氧化矿, 其中石英细脉具多期脉动成因特点(图 4a)。探明 332+333 氧化矿中金的金属量为 1.2 t, Au 平均品位为 0.66 g/t 。

II_1 号长英质富金矿脉 受控于区内 NW 向基底断裂次级张-张扭性 F1 断层, 倾向 200° , 倾角 $66^\circ \sim 70^\circ$, 矿体呈脉状, 控制长度约 200 m, 延深达 180 m, 厚 1.0~2.4 m; 黄铁矿极少, 肉眼不可见。矿体浅部以高岭土化含大量石英细脉/网脉为特征, 向下石英细脉减少, 矿体向深部(620 m 中段)逐渐变小, 金银矿化变弱。矿体局部膨大处形成富金包, Au 品位为 $2.50 \sim 11.20 \text{ g/t}$, 平均为 8.58 g/t 。富矿部位矿石特征如图 4b, 主要由大量高岭土和石英细脉相间沿构造定向排列组成。矿脉中石英细脉宽 1~3 mm, 与金矿化关系较为密切, 呈烟灰色, 局部发育褐铁矿化, 说明含微细粒黄铁矿。

角砾/浸染状黄铁矿石英脉金矿化体 主要呈规则、不规则透镜状、脉状产出于流纹斑岩的内、外接触带中。流纹斑岩接触带金银矿化主要见于 740 m、700 m、620 m 中段, 其中 740 m 中段流纹斑岩小脉(宽约 6 m), 发育高岭土化, 产出 2 期石英细脉, 早期褐铁矿化硅质脉, 金银品位高, $w(Au)$ 为 531 g/t ,

$w(Ag)$ 为 773 g/t , 晚期硅质脉 $w(Au)$ 为 0.73 g/t , $w(Ag)$ 为 5 g/t , 二者呈切割关系(图 4c)。产于 700 m 中段流纹斑岩外接触带中的角砾成分以火山熔岩角砾为主, 黄铁矿呈团包状充填于角砾岩间(图 4d), 矿化蚀变弱, 其胶结物中 $w(Au)$ 为 $0.20 \sim 0.70 \text{ g/t}$, $w(Ag)$ 为 $5 \sim 20 \text{ g/t}$ 。620 m 中段流纹斑岩内接触带角砾成分以斑岩角砾为主, 角砾呈棱角状、次棱角状, 可拼性较好, 胶结物主要为黄铁矿、石英、少量岩屑、蚀变矿物组成, 黄铁矿呈细粒浸染状, 细脉状充填于角砾间(图 4e)。斑岩内接触带角砾岩规模及其矿化由浅入深有增强的趋势, 斑岩内接触带角砾岩胶结物中 Au 的品位为 $0.5 \sim 1 \text{ g/t}$, $w(Ag)$ 品位为 $10 \sim 60 \text{ g/t}$ 。其次, 深部 620 m 中段斑岩内接触带局部发育浸染状黄铁矿化硅质脉, 产状倾向 $180^\circ \sim 200^\circ$, 倾角 $50^\circ \sim 80^\circ$, 脉宽 1~5 cm, 局部脉宽达 10~30 cm。金属矿物主要为黄铁矿, 呈细粒-微细粒、浸染状、细脉状分布于石英脉中及其脉的旁侧, 以黄铁绢英岩化发育为特征(图 4f、g、h、i), 单脉 $w(Au)$ 为 $1 \sim 2 \text{ g/t}$, $w(Ag)$ 为 $25 \sim 60 \text{ g/t}$, 最高可达 341 g/t 。

2.3 蚀变分带

太华山矿区由东往西分为太华山矿段、金坂矿段和尤岭隔矿段, 地表出露标高分别为 1102 m、860 m、750 m。3 个矿段地表矿化蚀变特征极为类似, 各矿段地表以硅帽为中心向外发育泥化-石英细(网)脉硅化带(氧化矿)、绿泥石化及稀疏石英细脉带的蚀变总体分带特征, 形成太华山矿区“一条矿(化)带, 3 个中心(矿段)”的主体格架(图 2)。蚀变带宽 50~200 m, 长超过 1500 m。目前, 在 3 个矿段地表所发现的金银矿脉主要产于蚀变带内的泥化带中, 石英细(网)脉发育, 呈缓倾斜状产出, 但也不乏有受构造控制的陡倾斜矿体, 金银矿(化)体主要受 NW 向或 NWW 向构造控制明显, 倾向南西, 倾角较陡。构造地表出现硅化(硅帽)、黄铁矿化(褐铁矿化)部位, 其深部金银矿化集中富集, 出现局部富金包, 如金坂矿段 II_1 号富金银矿脉。

目前, 太华山矿区金坂矿段是该区探矿工程控制较深且较系统的 3 个矿段之一, 下面对该矿段所揭露的矿化蚀变分带特征进行总结:

金坂矿段最高标高为 860 m, 深部硐探控制达 620 m 标高。矿段前期勘探找矿主要采用槽探、钻探加硐探联合勘探的方式, 对 620 m 中段以上部分地质、构造及矿化蚀变等地质情况进行了较系统的工程揭露。通过野外资料收集及室内镜下观察, 总

结其矿化蚀变具有垂向、横向分带特征。垂向上,蚀变分带以 F1 构造为中心,顶部为致密硅帽蚀变,其下分布为厚薄不均的黏土带,二者呈似层状上覆于构造 F1 控制的带宽 3~5 m 的黏土质-绢英岩化带之上,在断裂构造 F1 内及其两侧发育石英细网脉,为金坂矿段地表金氧化富集带,金属元素组合上部以 Au(Ag)、As、Sb、Hg 为主,深部以 Ag(Au、Pb、Zn) 为主。其横向蚀变分带特征,由斑岩向外:绢英岩化

+绿帘石化、硅化+黄铁矿化(黏土化)、青磐岩化(绿泥石化、黄铁矿化等),具体分带特征情况见表 1。

2.4 矿化类型

金坂矿段矿化类型主要包括(微)细粒浸染型、石英细脉/网脉型及热液角砾/黄铁矿浸染石英脉型。这 3 个典型矿化分带构成了矿段主体特征,地表及深部矿化类型构造了一个完整的“一体多型”的矿化分带。

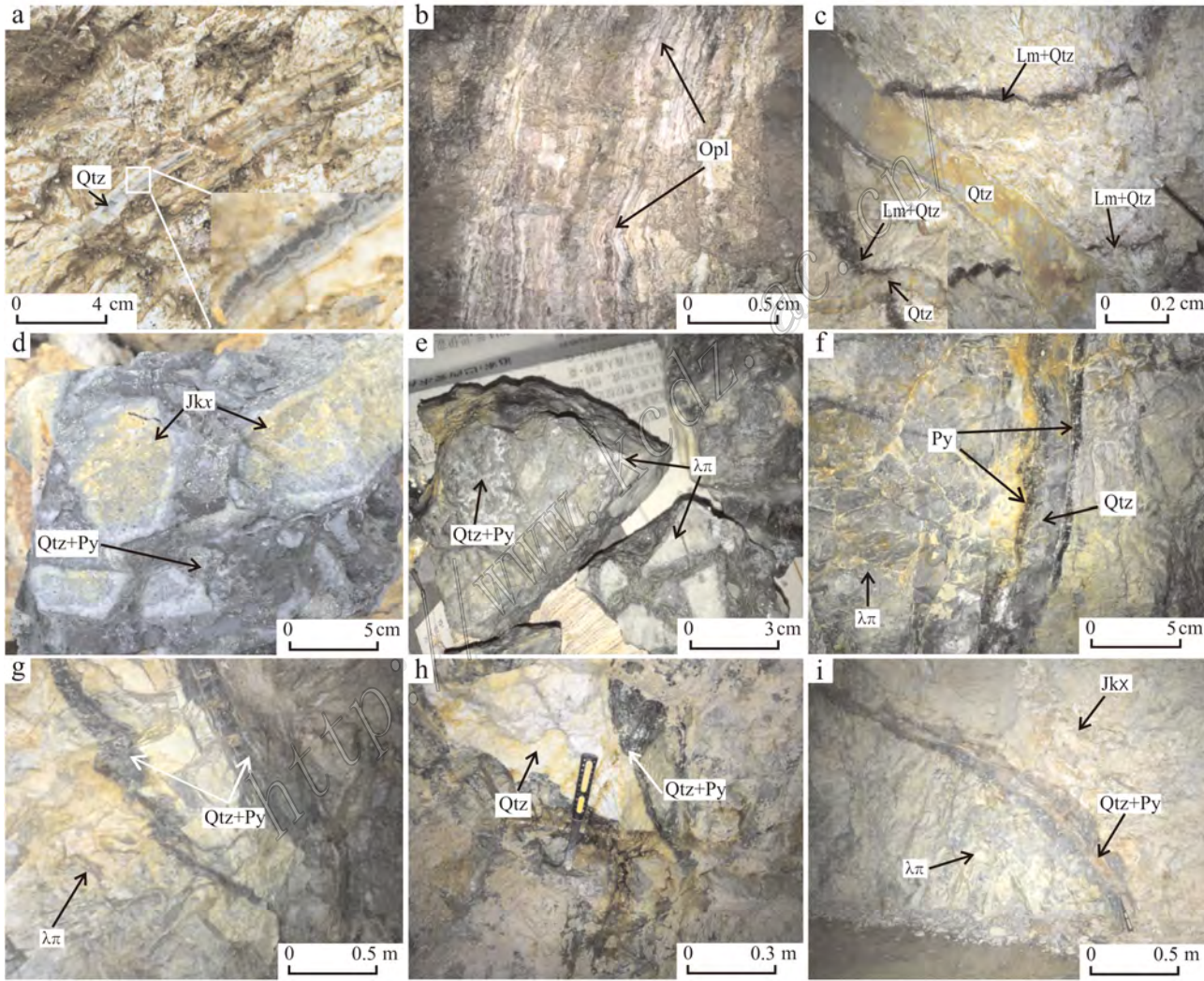


图 4 太华山金矿区金坂矿段不同类型矿石照片

a. 氧化矿(Ⅱ₀); b. 富金银矿脉(Ⅱ₁); c. 泥化流纹斑岩; d. 黄铁矿胶结火山岩角砾; e. 黄铁矿胶结斑岩角砾; f. 富银黄铁矿石英脉; g. 热液爆破角砾岩脉; h. 浸染状黄铁矿石英脉; i. 蚀变流纹斑岩接触带硅化、黄铁矿化银金矿体
Qtz—石英; Opl—蛋白石; λπ—流纹斑岩; Py—黄铁矿; Si—硅化; Jkx—侏罗系—白垩系小溪组; Lm—褐铁矿

Fig. 4 Photos of various types of ores from the Jinban ore block

a. Oxidized ore(Ⅱ₀); b. Rich gold veins(Ⅱ₁); c. Clay liparite; d. Pyrite cementation volcanic breccia; e. Pyrite cementation porphyry breccia; f. Gold and silver rich veinlet; g. Hydrothermal breccias vein; h. Disseminated pyrite bearing quartz veins; i. Rhyolitic porphyry with pyrite-sericite alteration

Qtz—Quartz; Opl—Opal; λπ—Rhyolitic porphyry; Py—Pyrite; Si—Silicified; Jkx—Jurassic and Cretaceous Xiaoxi Group; Lm—Limonite

表 1 金坂矿段蚀变分带特征一览表

Table 1 List of the alteration zoning features from the Jinban ore block

蚀变分带	标高	产状	规模	特征	矿物组成	矿化元素组合	
上部带	硅帽	840~820	进水平层状	40m×80 m 厚度约 20 m	灰白色，致密块状 弥漫微晶面状硅化	蛋白石硅化 (微粒黄铁矿)	弱 (Au、Py)
	黏土带	840~820	不规则层状	厚度不均匀 3~20 m	灰白色，黏土状。	(石英细脉、黄铁矿) 高岭土	↓ 强 Au、Ag (Py、As、Sb、Hg) ↓ 弱 (Py、Au、Ag) ↓ Py、Au、Ag 强 Ag、Py、Au (Pb、Zn)
中部带	黏土质绢英岩化 石英细网脉带 (氧化矿)	820~740	上缓下陡 蘑菇状	带宽 3~5 m 深部受控F1 宽 1~2.4 m 长大于 150 m	产于NWW向F1 断裂 及其两侧南园组火山 岩中，多阶段脉动成 矿特点，发育黏土化、 硅化、绢云母化	绢云母、石英 高岭土、黄铁矿	
	稀疏石英脉 (贫矿带)	740~620	陡倾为主 走向NWW 倾向SSE	脉宽几cm 至十几cm	产于斑岩内外接触 带，尖灭于斑岩内	石英、黄铁矿 绿帘石、绿泥石 伊利石、蒙脱石 碳酸盐等。	
下部带	热液爆破角砾	700~深部	不规则透镜状	宽 1~3 m	产于斑岩内外接触带	硅化石英、黄铁矿 绢云母等蚀变矿物	
	浸染状黄铁矿 石英脉矿化	620~深部	走向 100°~115° 倾角 50°~80°	宽 0.1 cm ~0.3 m	产于斑岩内接触带 或斑岩内裂隙中	石英、黄铁矿 方铅矿、闪锌矿 绢云母等。	

水平主要发育于流纹斑岩上下盘，由斑岩向外，依次出现绢英岩化+绿帘石化、硅化+黄铁矿化（黏土化）、青磐岩化（绿泥石化、黄铁矿化）等。

注：以上部分资料引自黄亚南,1999；（ ）内元素含量较低,排在前面的元素富集程度较后都高。

表 2 金坂矿段垂向矿化类型分带特征

Table 2 Vertical zoning characteristics of mineralization type of the Jinban ore block

矿化类型分带	赋矿标高/m	赋矿围岩	矿石类型	蚀变	金属元素组合
上部带 (微)细粒浸染型	840~820	硅帽	块状硅化	硅化	Py
中部带石英细脉/网脉型	820~740	南园组火山岩	石英细网脉	硅化泥化等	Au (Ag、As、Sb、Hg) ↓
	740~620	南园组火山岩 及流纹斑岩	石英细脉	硅化泥化碳酸盐化等	
下部带	隐爆角砾岩/ 浸染状黄铁矿石英细脉型	620~深部	流纹斑岩	角砾岩+石英脉	Ag (Au、Zn、Pb) ↓
				黏土质绢英岩化、绿帘石化	

注：“（ ）”内元素含量较低,排在前面的元素富集程度较后者高。

各类型分带及其特征见表 2：740 m 标高以上为 (微)细粒浸染型矿化,其下为石英细网脉型-氧化矿富集带,后者主要以石英细网脉、肉眼未见黄铁矿等少硫化物为特征,细网脉呈灰白色-烟灰色,条带状构造,具多阶段脉动形成的特点,Au 平均品位 0.66 g/t,Ag($n \sim 10 \times n$) g/t,其他 As、Sb、Hg 元素含量较高。中部稀疏石英脉型-原生矿化贫矿带,主要由长英质富金矿脉(Ⅱ₁)与其进平行的断裂所控制的多条矿化蚀变带组成,以高岭土化、黏土质绢英岩

化、碳酸盐化及少量石英细脉组成。Au、Ag 矿化与构造中烟灰色石英细脉有关,Au 品位为 0.5~1 g/t,Ag 十几 g/t。下部热液角砾岩/黄铁矿浸染状石英细脉型(次火山流纹斑岩型),赋存标高大致为 740~550 m 深部,角砾岩主要为晶屑、岩屑凝灰熔岩及流纹斑岩,矿化主要以 Ag(Au)为主,流纹斑岩深部(ZK01 控制深部约 537 m 标高)见脉状 Pb、Zn 矿化。成矿元素略具垂直分带,总体上表现为浅部为 Au(Ag),深部为 Ag(Au、Pb、Zn)的垂向分带特征。

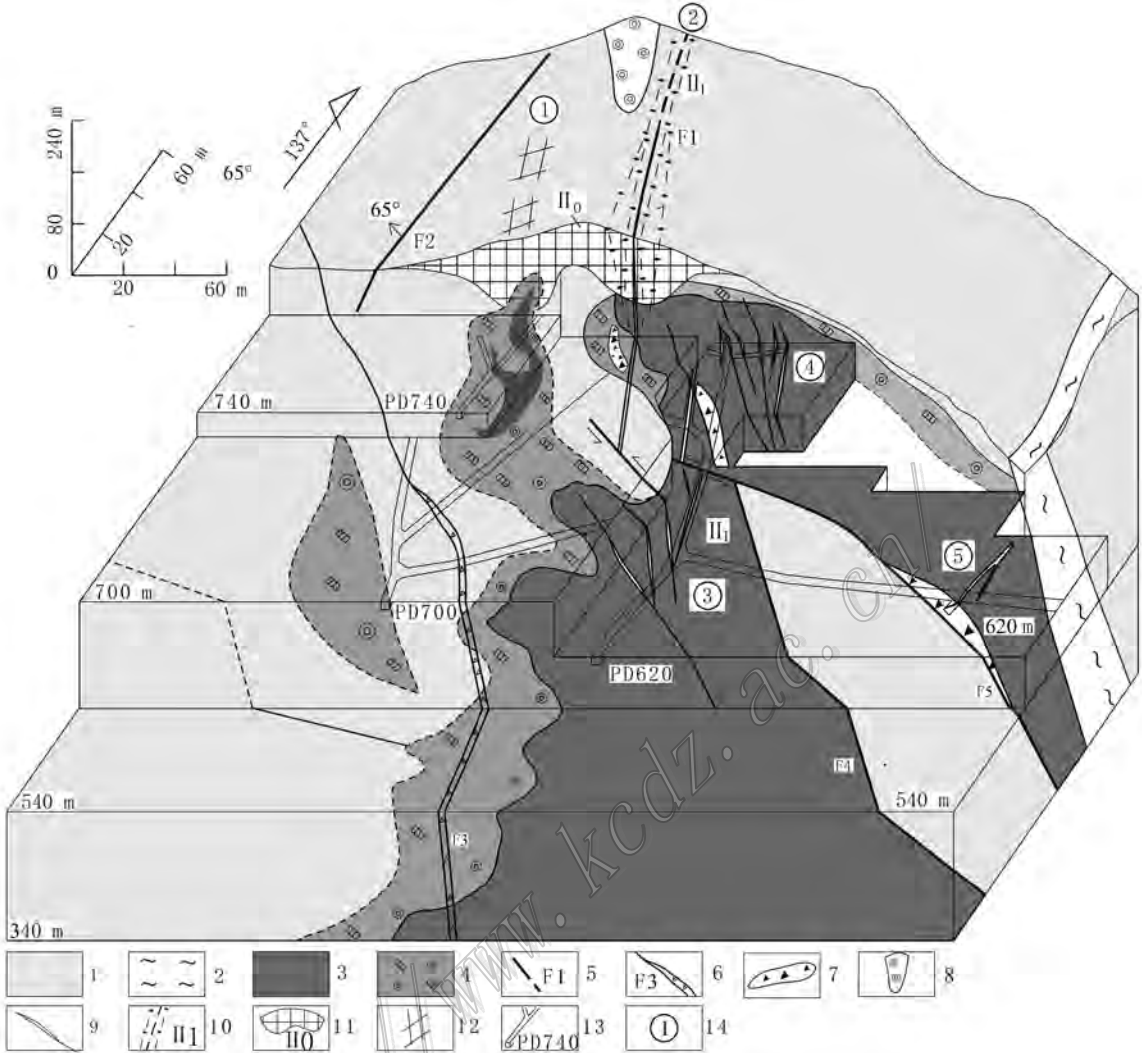


图 5 太华山金矿区金坂矿段地质-构造立体图

1—侏罗系-白垩系小溪组第二、三岩性段；2—流纹岩；3—流纹斑岩；4—黄铁矿-弱硅化带；5—断层；6—断层破碎带；7—角砾岩；8—硅帽；9—角砾/浸染状黄铁矿石英脉；10—浅成低温热液型金银矿(Ⅱ₁)；11—氧化矿；12—褐铁矿化(黄铁矿)硅质细(网)脉；13—平硐；14—矿化类型：①—流纹斑岩黄铁矿(褐铁矿)硅质细(网)脉型；②—石英细(网)脉-浅成低温热液脉型；③④⑤—角砾/浸染状黄铁矿石英脉型(斑岩型)

Fig. 5 Stereogram of geological and tectonic map of the Jinban ore block in the Taihuashan gold mining area
1—The Second and Third lithologic member of Jurassic and Cretaceous Xiaoxi Group; 2—Liparite; 3—Rhyolitic porphyry; 4—Pyrite-weakly silicified zone; 5—Fault; 6—Breccia zone; 7—Brecciated rock; 8—Silicon cap; 9—Quartz vein with breccia/disseminated pyrite; 10—Hypabyssal hydrothermal type gold and silver ore(Ⅱ₁); 11—Oxidized ore; 12—Siliceous fine vein/stockwork with limonite(pyrite); 13—Adit; 14—Mineralization type: ①—Pyrite (limonite) fine vein and fine siliceous vein/stockwork; ②—Quartz fine vein/stockwork and hypabyssal hydrothermal type gold and silver ore; ③④⑤—Breccia/disseminated pyrite-bearing quartz vein type(porphyry type)

2.5 矿(化)体与斑岩关系

综合分析金坂矿段控矿构造、矿化类型等地质特征,初步认为该矿段金银成矿作用与次流纹斑岩存在密切的空间关系(图 5)。顶部以出现硅帽蚀变为特征,其下为石英细(网)脉带,深部在斑岩内外接触带出现角砾/浸染状黄铁矿石英脉型矿化。

上述蚀变及矿化类型均集中于流纹斑岩的内外接触带中,尤其是斑岩体的顶部及其下盘较为发育。740 m 标高中,流纹斑岩脉宽约 6 m,脉内褐铁矿化细网脉及较晚期石英脉发育,Au、Ag 矿化强,褐铁矿化硅质细脉中 Au、Ag 品位均高达 500 g/t。该矿段控矿构造为 F1,顶部形成泉华硅帽,向下形成不规

则黏土带,至700 m中段沿构造出现Au、Ag局部富集地段,沿F1控矿构造继续往下至620 m中段标高逐渐尖灭于流纹斑岩中。在深部F1附近,流纹斑岩内外接触带分别形成石英细脉黄铁矿浸染型矿化及热液爆破角砾岩矿化带。区内NW(或NWW)向控矿构造主要为深部含矿热液向浅部运移提供通道,形成地表石英细(网)脉矿化的同时,其本身对矿质的沉淀富集提供一定的储矿空间,在局部形成富金包。

3 矿床成因浅析

自60年代闽中发现官田金矿点以来的几十年间,前人对闽中地区金矿成因也取得了较深的认识。部分学者研究认为,该区金矿成因主要包括岩浆热液型(如东华、雷潭、上村等)、火山-次火山-斑岩型(如德化东洋)、层间破碎蚀变岩型(如双旗山、官田等)、沉积-热液叠加改造型(如德化安村)、热泉型(如太华山)等(黄永蹇等,1995;周维●,1996;陶奎元等,1996;黄亚南,1999;冶勘二局闽中金矿科研项目组,2000;林美龙,2003;黄树峰等,2005;朱玉磷等,2007;江启煜,2014)。

前人对太华山金矿成因的研究主要通过区域成矿背景,矿区地表及浅部槽探工程所揭露的地质特征及部分测试分析,认为其矿床成因主要为热泉型(黄亚南,1999;黄树峰等,2005;林美龙,2003)。最近,通过太华山矿区金坂矿段深部较系统的坑探工程揭露,发现了深部斑岩体,初步认为矿区金坂矿段矿(化)体的形成与深部流纹斑岩具有明显的空间关系,次流纹斑岩的侵入在其周围,尤其是斑岩的下盘(热散失较慢)形成岩浆热场(张旗等,2013),为同期或较晚期成矿流体沿NW(或NWW)向构造的上侵提供有利的热场环境和储矿空间,使得深部流体在热驱动作用下并能够保持足够的温度上升至浅部的有利位置富集成矿。矿床浅部具热泉型特征,深部具隐爆角砾岩/石英细脉-斑岩型特征。太华山矿区属东南陆相火山岩带密不可分的一部分,位于闽中北西向龙门场-葛坑断裂带南东侧火山拗陷带次级凹陷构造内,在火山喷发作用晚期或期后,发育多期与火山岩同源的浅成-超浅成次火山岩侵入体。次火山岩呈岩脉、岩瘤状产出,和顺火山喷发中心旁侧太华山寄生火山环状构造与区域基底断裂构造结合部位,更晚期的富含火山期后热液及深源成矿物质的含矿流体由深部向地表运移,并通过不断萃取

围岩中的成矿元素,经过长期多次的构造-热力涌动,最后沿区域深断裂次级NW(或NWW)向构造带及其控制的次火山流纹斑岩接触带上侵,定位于NW(或NWW)向构造带内及次流纹斑岩顶部和内外接触带等有利部位。太华山地表凝灰岩中见木图贝类化石,初步认为当时形成于地表富水的环境,有大量大气降水沿凝灰质砂岩类透水层向下渗透并形成循环热水,由寄生火山口形成脉动式喷发热泉,导致上部形成由火山热液长期多次性脉动形成的(微)细粒浸染型、石英细脉/网脉型金(银)矿(氧化矿)。深部角砾/浸染状黄铁石英脉型(次火山岩型)金银(金)矿发生在火山喷发作用之后,封闭及半封闭环境下,流纹斑岩在浅成-超浅成高位侵入过程中,其前沿上侵流体逐渐冷却形成顶部硬壳,下部热液继续上升并不断聚集于硬壳之下,当热液压力大于围岩压力时,岩体顶部形成水压裂隙,使含矿流体快速减压冷却,热液发生水过饱和而沸腾,在大气降水参与下,形成大量熔浆、硫化物胶结的热液隐爆角砾岩型金银矿化。浅部、深部矿(化)体与流纹斑岩之间形成一个完整的成矿体系。

4 深部找矿预测

区内含矿流纹斑岩与矿化蚀变具有一定的空间关系。地表硅帽、外围泥化+石英细(网)脉硅化、深部出现含矿流纹斑岩,三者形成一个完整的矿化系统。而富金银陡倾矿脉和隐爆角砾岩矿(化)体主要产于流纹斑岩的上侵前端,所以,对深部含矿流纹斑岩的产状,尤其是上侵前端赋存位置的预测是确定深部找矿靶区的首要任务。

根据区内各矿段尤其是金坂矿段矿化类型组合、分带及其与次火山流纹斑岩的密切关系,在矿区地表硅帽-石英细(网)脉带氧化矿深部寻找流纹斑岩上侵部位富金银陡倾矿脉及隐爆角砾岩/浸染状黄铁石英脉金银矿(化)体的可能性比较大(图6)。其次,太华山矿段与金坂矿段相隔不到1000 m,由于地质工作及勘查工程投入不足,无疑存在找矿盲区。通过收集前人资料及野外地质考察分析,太华山矿段南部地表以硅帽为特征,向外尤其是南东侧底标高部位出现NW(或NWW)走向大量泥化-富含黄铁矿(褐铁矿)化石英细(网)脉金矿化体,其地表出露地质特征与金坂矿段浅部极为类似,推测其深部可能存在含矿流纹斑岩,并具较大的找矿潜力。

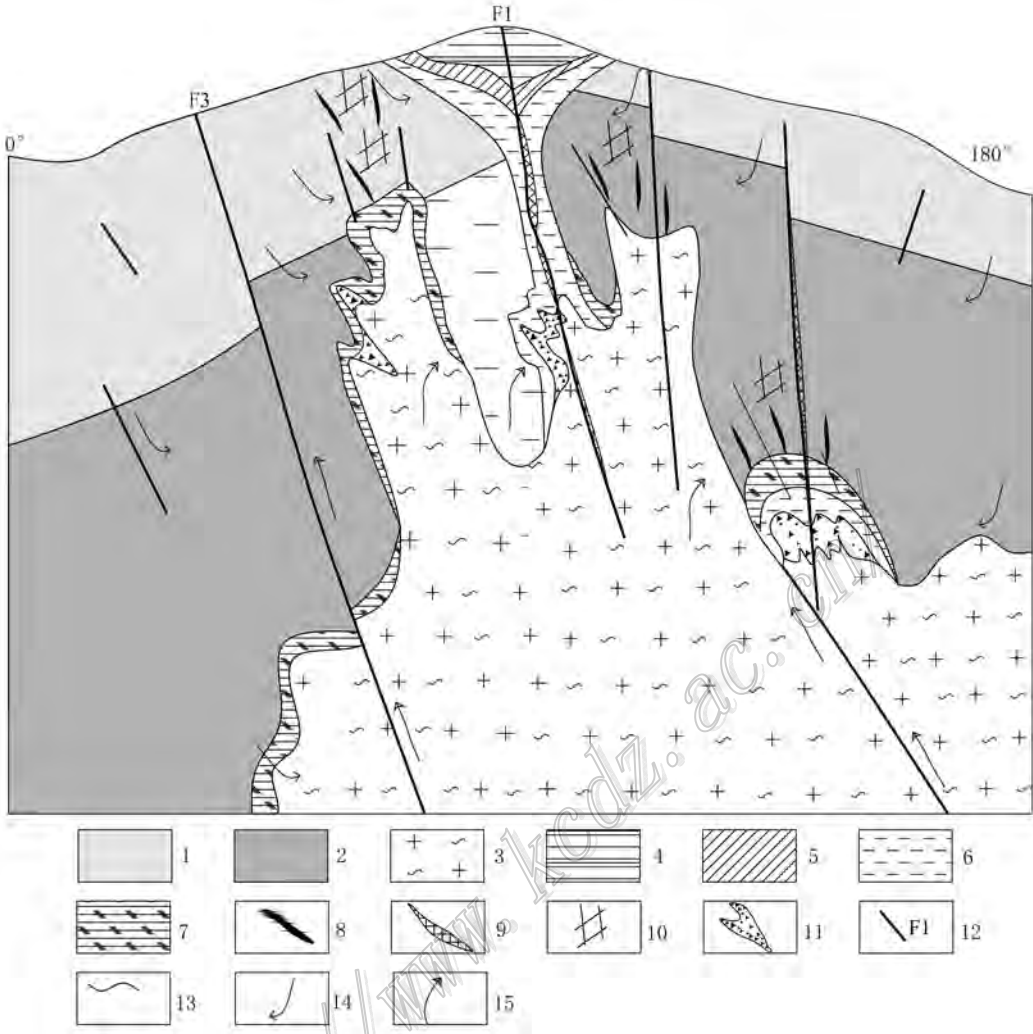


图 6 太华山金矿区金坂-尤岭隔矿段深部找矿预测地质模型

1—侏罗系—白垩系小溪组第三岩性段；2—侏罗系—白垩系小溪组第二岩性段；3—流纹斑岩；4—硅帽；5—泥化带；6—黏土质-绢英岩化带；7—黄铁矿化-弱硅化带；8—(金银矿化)硅质/石英脉；9—浅成低温热液型金银矿；10—富金银黄铁矿细网脉(次流纹斑岩型)；11—热液爆破角砾岩；12—断层；13—地质界线；14—地表水下渗迁移方向；15—热液流体迁移方向

Fig. 6 Prospecting-predicting geological model of deep section of the Jinban-Youlingge ore block in the Taihuashan gold mining area

1—Third lithologic member of Jurassic and Cretaceous Xiaoxi Group; 2—Second lithologic member of Jurassic and Cretaceous Xiaoxi Group; 3—Rhyolitic porphyry; 4—Silicon cap; 5—Clay belt; 6—Clay-silk lithification belt; 7—Pyrite-weakly silicified zone; 8—Silica/quartz vein with silver and gold mineralization; 9—Hypabyssal hydrothermal type gold and silver ore; 10—Rich gold and silver pyrite-quartz veinlets in rhyolitic porphyry; 11—Hydrothermal breccia; 12—Fault; 13—Geological boundary; 14—Surface water infiltration migration direction; 15—Hydrothermal fluid migration direction

目前根据探矿工程对太华山矿区所揭露的地质特征分析,总结矿区找矿标志如下:

(1) 地表硅帽、高岭土化蚀变发育,尤其富集石英细(网)脉硅化伴生黄铁矿(褐铁矿化)蚀变是较为有利的找矿标志。

(2) 北西向区域性断裂旁侧次级张扭性构造,特别是走向北西 $310^{\circ} \sim 340^{\circ}$ 的陡倾断裂,伴有岩石强烈破碎、黄铁矿化、硅化(硅帽)蚀变地段。

(3) 水系、土壤测量 Au、Ag、As、Sb、Hg 异常叠加高值区。

(4) 深部流纹斑岩上侵的头部,是寻找深部隐爆角砾岩型金矿的有利部位。围绕该区地表化探异常、高岭土化石英细(网)脉金矿化发育地带进行深部探矿,是寻找深部次火山流纹斑岩上侵头部陡倾富金矿脉及隐爆角砾岩型金矿较好的办法。

5 结 论

综上所述,太华山矿区金银矿化体与深部流纹斑岩存在一定的时空关系。时间上,根据斑岩产出特征,主要呈隐伏-半隐伏状侵入区内南园群小溪组(J_{kx})第二、三岩性段内,推测金银成矿时代大致为晚侏罗世—早白垩世时期,其成矿时代与斑岩同期或稍晚于斑岩。空间上,根据对野外地质现象的初步分析,矿区地表氧化矿(Ⅱ₀)与图2中流纹斑岩顶部金银矿化氧化富集带及富金银长英质矿脉(Ⅱ₁)的产出存在密切的空间关系,氧化矿以二者为富集中心,向四周石英细/网脉等蚀变逐渐减弱,金银品位迅速降低。并且富金银长英质矿脉主要受区内NWW向的F1构造控制,地表围岩为火山凝灰熔岩,深部尖灭于流纹斑岩内接触带矿化蚀变带内。其次,含矿流纹斑岩矿化蚀变主要产出于斑岩顶部及其内外接触带,远离接触带,流纹斑岩未见矿化,原岩极为新鲜,暗示流纹斑岩与矿区金银矿化不存在直接的成因联系,但富含较大热能的斑岩的存在,对于次火山流纹斑岩浅成-超浅成矿(化)体的形成提供岩浆热场环境,对成矿流体的有利上侵及成矿具有重要的意义。

同时,本文通过对野外地质现象的综合分析,得出太华山矿区金坂矿段金银成矿与深部流纹斑岩有关的认识,对于今后太华山矿区深部找矿工作具有实际意义:其一,矿化与流纹斑岩存在密切的空间关系,有助于找矿靶区的选择;其二,成矿元素大致具有垂向分带特征,矿化类型具有‘一体多型’的特点,对于评价各矿段深部成矿潜力具有一定指导意义;其三,矿床具有蚀变分带特征,富金银陡倾矿体受NW或NWW向构造控制明显,有助于找矿标志的识别,提高找矿效率。

志 谢 成文过程中得到了朱玉磷教授级高级工程师的大力支持,蒋少涌博导及审稿专家审阅了全稿并对本文的修改提出了有益的建议和意见。在此一并表示诚挚的感谢!

References

Jiang Q Y. 2014. Geological characteristics and prospecting significance of Dongyang gold deposit in Dehua County, Fujian Province [J].

Geology of Fujian, 34(1): 27-32 (in Chinese with English abstract).

Jiang S Y. 2003. Research on the ore-forming conditions of Taihuashan Au(Ag) deposit at Youxi County [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 18 (Sup.): 52-55 (in Chinese with English abstract).

Huang Y C, Lu S L and Wan W K. 1995. Au ore-controlling structure and ore-searching analysis for the central Fujian Province [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 10 (2): 49-60 (in Chinese with English abstract).

Huang Y N. 1999. Metallogenic background and geological characteristics of the Taihuashan hot spring gold deposit in Central Fujian [J]. Geology and Prospecting, 35(6): 30-33 (in Chinese with English abstract).

Huang S F, Chen Y S, Lin M L and Li Q P. 2005. Mineralization series and resource potential of subvolcanic-hydrothermal Au(Ag) deposits in central Fujian [J]. Geology in China, 32(1): 115-121 (in Chinese with English abstract).

Fujian geological exploration bureau. 2013. Actual amount gold metal is 25 tons of fujian dehua large gold deposit's gold metal quantity [R]. Newsifeng. com <http://news.ifeng.com/mainland/detail-2013-09/17/29685417-0.shtml> (in Chinese).

Lin M L. 2003. Geological characteristics of Taihuashan Au deposit in the middle of Fujian Province and research on its genesis [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 18 (Sup.): 64-67 (in Chinese with English abstract).

No. 2 Bureau of China Metallurgical Geology Bureau (The second geo-exploration institute). 2000. Optimization of continental volcanic rock gold metallogenic model and prospecting target areas in the middle of Fujian Province [R]. (Internal Report) (in Chinese).

Tao K Y, Xue H M, Mao J R, Yang Z L and Shen J L. 1996. Mineralogical model, prospecting significance and geological criteria for evaluation of large-(middle) scale epithermal-mesothermal deposits in southeastern coast of China [J]. Volcanology & Mineral Resources, 17(1-2): 26-40 (in Chinese with English abstract).

Wu G G, Chen B L, Huang R S, Wu J S and Zhang D. 1999. Metallogenic regular of gold deposit in Xiaoban. Fujian and its vicinity and their further exploration [J]. Journal of Geomechanics, 5(3): 58-65 (in Chinese with English abstract).

Zhou W Y. 1996. Geological characteristics, ore-forming conditions and regular pattern of gold ores in Youxi, Dehua and Yongtai areas of middle Fujian [J]. Geology of Fujian, 15(4): 199-208 (in Chinese with English abstract).

Zhu Y L, Liu Y F and Zhang J T. 2007. On the geologic characteristics and genesis of the Xiaoban porphyritic gold mine in Dehua County, Fujian Province [J]. Geology of Fujian, 28(1): 21-35 (in Chinese with English abstract).

Zhang Q, Jin W J, Li C D and Jiao S T. 2013. Identification and implication of magma thermal field in the geothermal field [J]. Progress in Geophysics, 28(5): 2495-2507 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

江启煜. 2014. 福建德化东洋矿区金矿地质特征及找矿意义 [J]. 福建地质, 34(1): 27-32.

江善元. 2003. 尤溪县太华山金银矿成矿地质条件探讨 [J]. 地质找矿论丛, 18(增刊): 52-55.

黄永蹇, 卢寿麟, 万维铨. 1995. 闽中金矿控矿构造及找矿远景分析 [J]. 地质找矿论丛, 10(2): 49-60.

黄亚南. 1999. 闽中太华山热泉型金矿成矿背景及地质特征 [J]. 地质与勘探, 35(6): 30-33.

黄树峰, 陈玉水, 林美龙, 李秋平. 2005. 闽中地区次火山-热液金(银)矿床成矿系列及资源潜力 [J]. 中国地质, 32(1): 115-121.

福建地勘局. 2013. 德化大型金矿床金金属量实为‘超过 25 吨’[R].

News ifeng. com. <http://news.ifeng.com/mainland/detail-2013-09/17/29685417-0.shtml>.

林美龙. 2003. 闽中太华山金矿床地质特征及矿床成因探讨 [J]. 地质找矿论丛, 18(增): 64-67.

冶勘二局闽中金矿科研项目组. 2000. 闽中地区陆相火山岩金矿成矿模式及找矿靶区优选 [R]. 内部资料.

陶奎元, 薛怀民, 毛建仁, 杨祝良, 沈加林. 1996. 中国东南沿海大(中)型浅成中低温热液矿床-斑岩型矿床评价的地质准则、成矿模式及其找矿意义 [J]. 火山地质与矿产, 17(1-2): 26-40.

吴淦国, 陈伯林, 黄仁生, 吴建设, 张达. 1999. 肖板及其外围金矿成矿规律与找矿方向 [J]. 地质力学学报, 5(3): 58-64.

周维●. 1996. 闽中尤溪-德化-永泰地区金矿地质特征、成矿条件及成矿规律 [J]. 福建地质, 15(4): 199-208.

朱玉磷, 刘永发, 张金塔. 2007. 福建德化下坂斑岩金矿地质特征及成因探讨 [J]. 福建地质, 28(1): 21-35.

张旗, 金惟俊, 李承东, 焦守涛. 2013. 地热场中‘岩浆热场’的识别及其意义 [J]. 地球物理学进展, 28(5): 2495-2507.