

福建紫金山矿田岩浆演化与蚀变成矿事件的年代学制约

于波^{1,2)}, 邱小平^{3,4)}, 裴荣富²⁾, 陈景河⁵⁾, 黎敦朋³⁾, 刘文元^{2,3)}, 张运涛^{2,6)}, 潘伟¹⁾

1) 广东省地质建设工程集团公司, 广州, 510080; 2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;

3) 福州大学紫金矿业学院, 福州, 350108; 4) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037;

5) 紫金矿业集团公司, 福建上杭, 364200; 6) 江西中核矿业开发有限公司, 南昌, 330096

紫金山矿田位于福建省西南部的上杭县, 以紫金山高硫化型金铜矿(特大型)为中心主体矿山, 兼顾南东的悦洋低硫化型银金矿(大型)、北东的罗卜岭斑岩型铜钼矿(中型)以及外围的五子骑龙铜矿床(中型)、龙江亭铜矿、二庙沟铜矿点、大岩里(赤水)铜矿点等过渡类型的矿床(点)。矿田的成矿作用与中生代构造岩浆-火山活动相关, 特别是与燕山晚期的花岗闪长质岩浆关系尤为密切。近年来, 一批高质量的年代学数据(赵希林, 2007; 黄文婷等, 2013; 于波, 2012; 肖爱芳等, 2012a,b; 胡春杰等, 2012)的获得, 对全面深入了解矿田构造-岩浆演化、成矿作用起了积极作用。

矿田区域上位于华南褶皱系东部, 东南沿海火山活动西部亚带, 闽西南晚古生代坳陷之西南, 北东向宣和复式背斜和北西向上杭-云霄深断裂的交汇处, 复背斜的西南倾伏端, 上杭东西向白垩纪火山-沉积盆地北东缘。矿田地层沿宣和复背斜的核部两翼出露, 主要有下震旦统楼子坝群浅变质细碎屑岩, 上泥盆统天瓦寨组和下石炭统林地组砂砾岩。晚侏罗世紫金山复式岩体、才溪岩体均沿宣和复背斜核部侵入, 紫金山复式岩体由迳美碎裂中粗粒花岗岩、五龙寺中细粒花岗岩、金龙桥细粒花岗岩三个岩体构成, 才溪岩体为二长花岗岩。空间上紫金山岩体属于矿田核心位置, 才溪岩体出露在矿田东北部, 两个岩体均不成矿, 紫金山岩体全岩矿化蚀变, 是矿田主要的赋矿岩体。才溪岩体远离矿化中心, 未见任何矿化(张德全等, 2001a)。四方花岗闪长

岩体出露于矿田东北侧, 包裹罗卜岭岩体, 是矿田斑岩型铜钼矿床“控矿岩体”(毛建仁等, 2002); 罗卜岭岩体是矿田地表出露的唯一含铜(钼)斑岩体, 地表出露面积很小, 向深部迅速增大, 紫金山金铜矿东南矿段, 钻探揭露深部大面积发育花岗闪长(斑)岩(张德全等, 2003b)。矿田火山岩为下白垩统石帽山群, 主要出露于矿田西南部的上杭—碧田盆地, 矿田中部有少量残留体, 石帽山群分上、下两段, 上段主要为流纹质晶屑凝灰岩、火山角砾岩、流纹岩; 下段主要为流纹质火山岩夹凝灰岩、安山岩、英安岩及晶屑凝灰熔岩, 在碧田一带相变为粗面岩和粗安岩, 矿田的次火山岩通常被火山岩包围, 与石帽山群、隐爆角砾岩或浅成侵入的斑岩构成火山机构。

岩浆活动分为晚侏罗世和白垩纪二幕。

第一幕晚侏罗世(157~146Ma)形成了紫金山复式岩体和才溪岩体, 迳美岩体的年龄 $157.9 \pm 1.2 \sim 154 \pm 2 \text{ Ma}$ (于波, 2012; 肖爱芳等, 2012b)、五龙寺岩体 $149 \pm 2 \text{ Ma}$ (于波, 2012; 肖爱芳等, 2012b)、金龙桥岩体 $146.3 \pm 1.6 \text{ Ma}$ (肖爱芳等, 2012b); 才溪岩体侵位时代约 150Ma 左右(赵希林, 2007; 于波, 2012)。

第二幕白垩纪岩浆活动发生于 113~93 Ma, 可分为 4 期活动。第 1 期早白垩世早期(113~110 Ma)火山喷发与溢流, 表现为石帽山群下段火山岩形成($113 \pm 1.9 \text{ Ma}$)(肖爱芳等, 2012a,b); 第 2 期岩浆作用(109~103 Ma)表现为石帽山群下段中性火山喷发

($106 \pm 2\text{Ma}$)(于波,2012)与四方岩体的侵位($107.8 \pm 1.2 \sim 109 \pm 2\text{Ma}$)(于波,2012; 毛建仁等,2002)以及英安玢岩($105 \pm 0.7\text{Ma}$)(胡春杰等,2012)的形成; 第 3 期岩浆喷发与侵入作用($103 \sim 100\text{Ma}$)表现为英安岩喷发($102 \pm 2\text{Ma}$)(于波,2012)和罗卜岭-紫金山似斑状花岗闪长(斑)岩的侵位($102 \pm 2 \sim 103 \pm 2\text{Ma}$)(于波,2012; 黄文婷等,2013)以及龙江亭、二庙沟附近的石英闪长玢岩(可能为英安玢岩)的形成($102.2 \pm 9.2\text{Ma}$)(石礼炎等,1989),第 4 期岩浆喷发与侵入作用($100 \sim 93\text{Ma}$)表现为晚期罗卜岭斑岩的侵位($100 \pm 2 \sim 97.6 \pm 2.1\text{Ma}$)(于波,2012; 黄文婷等,2013)、石帽山群上段流纹岩的喷发($94 \pm 7.7\text{Ma}$)(张德全等,2001b)和成矿后期无矿的大岩里花岗斑岩脉($93 \pm 2\text{Ma}$)、金铜矿的石英斑岩($96 \pm 2\text{Ma}$)的侵位(于波,2012)。

前人对于紫金山蚀变成矿事件的同位素年代学成果(周肃等,1996; 陈好寿,1996; 地质矿产部矿床地质研究所,1994; 张德全,2005; 赵希林,2007; 梁清玲等,2012)可划分成三个阶段。

第一阶段由 6 个测年结果组成,变化范围为 $117 \sim 125\text{Ma}$,平均年龄 120Ma ,其中罗卜岭铜钼矿钾硅酸盐化带中 ZK5/25 的黑云母 K-Ar 年龄 $117.27 \pm 1.87\text{Ma}$ (地质矿产部矿床地质研究所,1994)大于罗卜岭斑岩体及四方岩体的年龄,作者核对了罗卜岭矿床及整个矿田的钻孔资料,发现 ZK5/25 并不存在,这个钻孔可能是五子骑龙矿区的 ZK25-5 或 ZK2505,即五子骑龙矿床可能受过这一期钾硅酸盐化热液蚀变。紫金山金铜矿强蚀变中细粒花岗岩、强蚀变中粗粒花岗岩、铜金矿体的石英流体包裹体的 Rb-Sr 等时线年龄分别为 124 ± 5 、 120 ± 4 、 $122.2 \pm 3.9\text{Ma}$ (陈好寿,1996)、含矿蚀变岩的明矾石 K-Ar 年龄 $117.78 \pm 2.86\text{Ma}$ 、五龙寺岩体中的热液改造锆石 Shrimp 年龄 $119 \pm 15\text{Ma}$ (赵希林,2007)均比较接近。前人对这期矿化蚀变的解释认为由四方花岗闪长岩侵位(Rb-Sr 等时线 128Ma)而引起的早期蚀变的记录(陈好寿,1996); 近期高精度测年结果表明四方岩体是在 $107 \sim 109\text{Ma}$ (于波,2012; 毛建仁等,2002)形成,故这一期蚀变的热及物质来源有待进一步研究,但可以说明在紫金山复式岩体就位以后近 40Ma 的时间范围内,至少有一次大规模的热液蚀变,涉及紫金山金铜矿的早期蚀变、五子骑龙矿区的早期蚀变,可能与岩浆活动第二幕第一期的与火

山爆发与溢流形成石帽山群下段有关。

第二阶段由 8 个测年结果组成,变化范围为 $100 \sim 104\text{Ma}$,平均年龄为 103Ma ,该阶段年龄为蚀变成矿事件的记录, 103Ma 以前蚀变主要与四方岩体侵位有关, 103Ma 以后主要与紫金山深部及罗卜岭花岗闪长斑岩体侵位有关。蚀变黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $104.54 \pm 1.72\text{Ma}$,记录了五子骑龙矿区钾硅酸盐化蚀变及 Cu(Mo)矿化年龄,蚀变绢云母坪年龄 $102.53 \pm 1.49\text{Ma}$ 记录了五子骑龙矿区绢英岩化及铜-硫化物矿化的年龄(张德全等,2005),紫金山金铜矿与金矿化相关的石英的流体包裹体 Rb-Sr 年龄约为 $100 \pm 3\text{Ma}$ (陈好寿,1996),由于残留石英及石英包裹体继承年龄信息,可能比金矿实际成矿年龄略高。与铜伴生的明矾石 K-Ar 年龄为 103.86Ma (周肃等,1996),罗卜岭斑岩体的辉钼矿年龄 $104.9 \pm 1.6\text{Ma}$ (梁清玲等,2012)年龄略大于罗卜岭斑岩体($103 \pm 2 \sim 97.6 \pm 2.1$)的年龄(于波,2012; 黄文婷等,2013),总体在误差范围之内。紫金山复式岩体中获得得 $102.2 \pm 2.3\text{Ma}$ 、 $101.7 \pm 2.3\text{Ma}$ 和 $100.9 \pm 2.3\text{Ma}$ 的热事件年龄(于波,2012),由上述可知,第二组同位素年龄可能早期成矿事件信息。

第三阶段由 8 个测年结果组成,变化范围为 $73 \sim 94.1\text{Ma}$,平均年龄约为 88Ma ,热源来源于晚期罗卜岭花岗斑岩和后期斑岩脉的侵入。以悦洋银矿冰长石 $94.69 \pm 2.25\text{Ma}$ (张德全等,2003)、 $91.47 \pm 0.39\text{Ma}$ (刘晓东等,2005)的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为代表,与紫金山金铜矿绢云母 K-Ar 年龄 $94.1 \pm 2.43\text{Ma}$ (地质矿产部矿床地质研究所,1994)基本吻合,紫金山矿田晚期重要的低温热液成矿阶段约发生在 94Ma 。紫金山金铜矿明矾石 K-Ar 年龄 89Ma 、 82Ma 、 $73 \pm 6\text{Ma}$ (周肃等,1996)五子骑龙矿区钾长石 K-Ar 年龄 $88.30 \pm 3.85\text{Ma}$ 、五子骑龙铜矿明矾石化年龄 $88.87 \pm 1.57\text{Ma}$ 表明紫金山矿田在燕山晚期 90Ma 以后仍然有热液蚀变发生,矿化趋于减弱结束。

紫金山矿田高硫化型、低硫化型和斑型岩矿床共存的现象世界范围内较为罕见,与西南太平洋岛弧带的世界级浅成热液-斑岩型铜金成矿系统 Lepanto 矿田(Hederquist et al., 1998)和 Wafi-golpu 矿田(Sillitoe, 2010)较为相似,紫金山高硫化型浅成热液矿目前延伸已经超过 1500m ,蚀变规模世界罕见

的,预示着深部斑岩热液成矿系统具有巨大的找矿前景(邱小平,2010)。紫金山矿田成矿从 125Ma(早期矿化蚀变)开始,主成矿作用始于 104Ma(高硫化型金铜矿化,斑岩型铜钼矿化)(张德全等, 2005),终于 94Ma(低硫化型金银矿化)(刘晓东等, 2005),矿化以罗卜岭-紫金山深部花岗闪长质岩浆侵入及火山爆发溢流-次火山岩形成为起点,矿化作用延续时间达 10 个百万年之久,直至各种成矿流体的消耗殆尽为终点。Lepanto 铜金矿床及 Far Southeast 斑岩铜矿的整个矿化(从斑岩型到浅成低温热液型)持续的时间大约为 30 万年(Hederquist et al., 1998),紫金山矿田的成矿作用持续时间更长。

参 考 文 献 / References

- Hederquist J W, Antonio Arribas Jr.. 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposit, Philippines. *Economia Geology*, 93(4):373-404.
- Sillitoe R H. 2010. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105:3-41.
- 陈好寿. 1996. 紫金山铜金矿床成矿年代及同位素找矿评价研究[J]. 大地构造与成矿学, 20(4): 348-360.
- 地质矿产部矿床地质研究所. 1994. 福建上杭紫金山地区潜火山(火山)-侵入岩系与成矿作用的关系 [R]. (内部资料).
- 胡春杰, 黄文婷, 包志伟, 梁华英, 王春龙. 2012. 福建省紫金山矿田晚中生代英安玢岩形成时代及其成矿意义[J]. 大地构造与成矿学, 36(2): 284-292.
- 黄文婷, 李晶, 梁华英, 王春龙, 林书平, 王秀璋. 2013. 福建紫金山矿田罗卜岭铜钼矿化斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及成矿岩浆高氧化特征研究[J]. 岩石学报, 29(1): 283-293.
- 梁清玲, 江思宏, 王少怀, 李超, 曾法刚. 2012. 福建紫金山矿田罗卜岭斑岩型铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及地址意义[J]. 地质学报, 86(7):1113-1118.
- 刘晓东, 华仁民. 2005. 福建碧田金银铜矿床冰长石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄[J]. 地质论评, 51(2): 151-155.
- 毛建仁, 陶奎元, 李寄岬, 谢方贵, 许乃政. 2002. 闽西南晚中生代四方岩体同位素年代学、地球化学及构造意义. 岩石学报, 18(4):449-458.
- 邱小平, 蓝岳彰, 刘羽. 2010. 紫金山金铜矿床深部成矿作用研究和找矿前景评价的关键[J]. 地球学报, 31(2): 209-215.
- 石礼炎, 李子林. 1989. 福建上杭紫金山潜火山热液铜金矿床地质特征初探[J]. 福建地质, 8(4): 286-299.
- 肖爱芳, 黎敦朋, 柳小明. 2012a. 福建紫金山铜金矿田石帽山群下组火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年与白垩纪岩浆活动期次[J]. 大地构造与成矿学, 36(4): 613-623.
- 肖爱芳, 黎敦朋. 2012b. 福建省紫金山复式花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 35(4):343-351.
- 于波. 2012. 紫金山矿田中生代岩浆岩演化及成矿特征研究[D]. 中国地质科学院博士论文.
- 张德全, 李大新, 丰成友, 董英君. 2001a. 紫金山地区中生代岩浆系统的时空结构及其地质意义[J]. 地球学报, 22(5): 403-408.
- 张德全, 余宏全, 阎升好, 徐文艺. 2001b. 福建紫金山地区中生代构造环境转换的岩浆岩地球化学证据[J]. 地质论评, 47(6): 608-616.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 余宏全, 董英君. 2003a. 福建碧田矿床冰长石的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 22(4): 360-364.
- 张德全, 余宏全, 李大新, 丰成友. 2003b. 紫金山地区的斑岩-浅成热液成矿系统[J]. 地质学报, 77(2): 253-261.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 余宏全, 董英君. 2005. 紫金山地区斑岩浅成热液成矿系统的成矿流体演化[J]. 地球学报, 26(2): 127-136.
- 赵希林. 2007. 福建省上杭地区中生代花岗岩体的年代学、岩石学、地球化学特征及其成矿意义[D]. 中国地质科学院硕士论文.
- 周肃, 陈好寿. 1996. 紫金山铜金矿同位素年代学及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, (4): 216-219.