

闽中地区中新元古代东岩组地层的含矿性研究

陶建华^{1,2} 胡明安¹

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 福建省地质调查研究院, 福建 福州 350011)

摘要: 闽中地区中新元古代东岩组变质岩为铅锌多金属矿的重要矿源层。东岩组地层由 3 个基性、酸性火山喷发(溢)沉积旋回组成, 具有双峰式火山岩特征。每一火山旋回都是由基性开始、酸性结束, 火山喷发间歇特别是每一旋回结束期间常出现海相碳酸盐岩沉积, 铅锌银矿多与基性火山岩相伴。东岩组变质岩岩石学、岩石化学分析结果揭示了东岩组变质岩原岩具有大陆裂谷拉斑玄武岩特征, 形成于板内裂谷环境, 构造背景为大陆板块内部张性环境。

关键词: 闽中; 东岩组; 双峰式火山岩; 绿片岩; 铅锌矿床

中图分类号: P534.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)02-0418-09

闽中地区地处欧亚大陆东南缘的华南大陆东部, 濒临太平洋, 该区位于闽北加里东隆起带、闽西南拗陷带和闽东火山断拗带的交汇部位^[1]。由于其特殊的构造位置, 长期的构造-岩浆-成矿演化, 成为具有一定规模、矿种丰富的矿产集中区。近年来的地质大调查, 在中新元古代东岩组地层中发现了铅锌多金属矿的重要矿源层, 促使在闽中地区相继开展了尤溪峰岩—苔溪、建瓯王地后—东岩—八外洋、建阳水吉、南平后坪等铅锌多金属成矿集中区的地质勘查工作, 并探明了一批中—大型铅锌多金属矿床。因此, 研究中新元古代东岩组变质岩的含矿性及其古构造环境具有重要的意义。

1 闽中地区中新元古代东岩组地层的地质特征及含矿性

1.1 东岩组地层分布特征

闽中地区出露的中新元古代及早元古代浅变质岩系分别构成前寒武纪上、下两个巨厚的火山—沉积建造旋回。中新元古代的马面山群从上到下划分为龙北溪组(Pt₂₋₃ l)、东岩组(Pt₂₋₃ d)及大岭组(Pt₂₋₃ dl), 其中的东岩组绿片岩系作为闽中地区中新元古代变质基底的主要组成部分, 与该区广泛分布的铅锌多金属矿床有直接关系^①(图 1)。东岩组主要分布于政和—大埔深大断裂带的两侧及闽东火山断拗带次一级隆起带中, 组成东、西两个北东向展布的、由绿片岩夹大理岩透

镜体组成的变质岩条带^[2]。东带出露于政和以北, 延入浙江龙泉一带, 向南沿建瓯东岩、南平上际至尤溪峰岩一带呈近北北东向陆续展布。西带从松溪向南经建瓯、顺昌一带呈北东向展布。在建瓯—顺昌一线由于受加里东期抬升作用而大面积露出地表, 在屏南黛溪、尤溪峰岩由于东部燕山晚期断陷作用而大面积隐伏于燕山期火山岩之下, 只在零星地区以基底“天窗”形式出露, 从政和至尤溪基底“天窗”大致呈南北北向或北北东向分布。

1.2 东岩组地层岩石组合特征及含矿性

依据闽中地区各矿区剖面资料及研究成果^②, 东岩组以灰绿—暗灰绿色钠长阳起片岩、斜长角闪(片)岩、绿泥绿帘阳起片岩为特征, 夹灰白色黑云钠长变粒岩、黑云(二云)二长变粒岩、云母石英片岩、大理岩。变质程度为高绿片岩相—低角闪岩相。本组岩性及厚度虽然各地有变化, 主要表现为绿泥石、阳起石、角闪石、绿帘石等矿物种类和含量的不同, 但以绿片岩为主的宏观特征均相似。在绿片岩及碳酸盐岩中, 普遍存在铅、锌、银的矿化层位, 是本区铅锌多金属矿床的重要矿源层, 典型矿床有尤溪峰岩铅锌银矿、南平后坪铜锌矿、建瓯东岩铜矿。

1.2.1 尤溪峰岩地区东岩组地层特征及含矿性

尤溪峰岩地区中新元古代东岩组地层从下而上大致可分成 6 段。

收稿日期: 2005-12-26; 改回日期: 2006-02-17

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(1212010330810)资助。

作者简介: 陶建华, 男, 1956年生, 博士生, 教授级高级工程师, 主要从事地质矿产勘查工作; E-mail: fjddyjh@public.fz.cn。

① 中国地质大学(北京)地质大调查项目“闽中裂谷铅锌成矿规律研究”(200310200064)2005年度工作方案。

② 福建省闽西地质大队、建瓯—尤溪地区找矿远景研究, 2003。

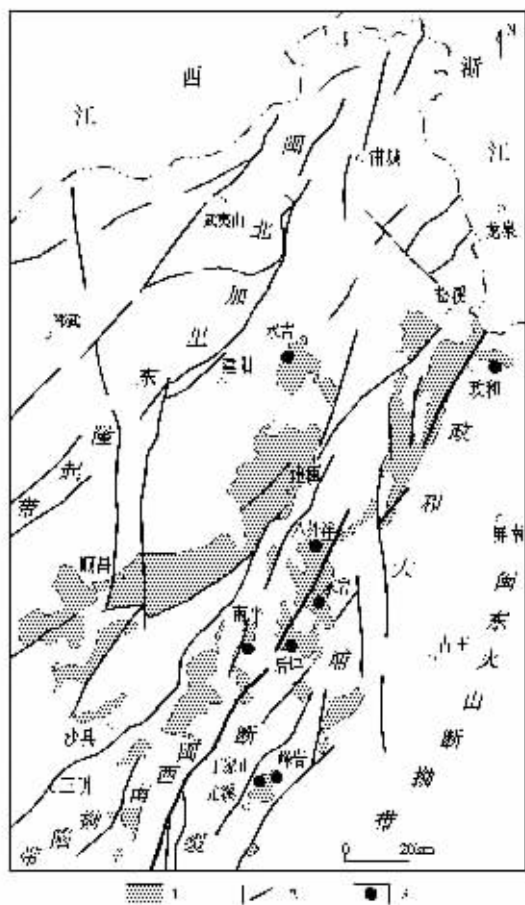


图1 闽中地区地质构造略图(据1:50万福建省地质图改编)

1—东岩组变质岩;2—断裂;3—铅锌矿床

Fig.1 Tectonic sketch map of central Fujian (modified from the 1:500,000 Geological Map of Fujian Province)

1—Metamorphic rocks of the Dongyan Formation;
2—Fault;3—Lead-zinc deposit

第一段($Pt_{2-3}d^1$)由上下两个亚段组成。上亚段为绿帘透辉片岩、阳起绿帘透辉石岩、绿帘阳起片岩夹大理岩,厚度100m。含有3层多金属硫化物矿体,顶部为云母石英片岩、钠长变粒岩。下亚段云母石英片岩夹白云质大理岩,厚度150m。原岩为钙质粉砂岩、钙质泥岩、灰岩、基性火山岩。

第二段($Pt_{2-3}d^2$)为钠长浅粒岩、钠(钾)长变粒岩、二长变(浅)粒岩,上部夹中厚层状大理岩,厚度约250m。原岩以中酸性火山岩为主,上部夹灰岩、泥灰岩。

第三段($Pt_{2-3}d^3$)为绿帘石岩、绿帘透辉石岩、阳起片岩、钠长阳起绿帘石岩互层,中上部夹透镜状大理岩、钠长浅粒岩,厚度150m。夹2~4层铅锌(银)矿,局部含铜。原岩为基性火山岩、泥灰岩、灰岩。

第四段($Pt_{2-3}d^4$)岩性为钠长浅粒岩、钠长阳起片岩,夹薄层云母片岩、透镜状大理岩及不稳定的绿帘透辉石岩,普遍含星散状磁铁矿。其顶界为一层厚2~3m的条带状石英大理岩。厚度140~280m不等,原岩主要为中酸性火山岩。

第五段($Pt_{2-3}d^5$)岩性为一套厚50~90m绿帘石岩、绿帘透辉石岩夹薄层大理岩,厚度约60m基性火山岩、泥灰岩。

第六段($Pt_{2-3}d^6$)以阳起钠长变粒岩、钠长变粒岩为主,夹薄层绿帘石岩、透辉绿帘石岩及1~2层铅锌矿。厚度大于70m。原岩为中酸性火山岩。

以上6个岩性段的原岩是由3个基性、酸性火山喷发(溢)沉积旋回组成,火山岩具有双模式特点。每一火山旋回都是由基性开始、酸性结束,火山喷发间歇特别是每一旋回结束期间常出现海相碳酸盐沉积,铅锌银矿多与基性火山岩相伴。其中第一、三、五绿帘片岩段为主要含矿层位,主要为绿帘石岩、绿帘透辉石岩、阳起片岩、钠长阳起绿帘石岩、大理岩夹钠长浅粒岩、钠(斜)长变粒岩;第二、四、六段变粒岩为无矿段,主要为钠长浅粒岩、钠(斜)长变粒岩。尤溪峰岩绿帘阳起片岩Sm-Nd全岩等时线年龄为(1599±88)Ma,时代大致相当于中新元古代^①。

峰岩铅锌银矿床主要产于中新元古代东岩组地层中(图2),矿体产出部位对应东岩组地层的第一、第三、第五段3个主要含矿层位,矿体均产于不同岩性的转换界面上,矿体产状与围岩产状基本一致,矿体在走向、倾向上均存在尖灭、再现的现象。Pb平均品位为 1.92×10^{-2} , Zn平均品位为 4.09×10^{-2} , Ag平均品位为 67.39×10^{-6} ,资源量已达大型矿床规模^②。I号含矿带分布于东岩组第一段中,矿体严格受层位控制,呈似层状、透镜状,矿体厚度最大15.65m,平均为5.53m, Pb平均品位 1.34×10^{-2} , Zn 7.79×10^{-2} , Ag 81.72×10^{-6} ,其顶板为绿片岩,局部相变为大理岩。III号含矿带分布于东岩组第三段中,发现铅锌(银)矿4层,矿体主要产于绿帘透辉石岩中,呈层状、似层状,沿走向控制延伸长度800m,厚度0.4~2.97m,平均品位Pb 2.22×10^{-2} , Zn 2.21×10^{-2} , Ag 81.99×10^{-6} 。V号含矿带分布于东岩组第五段中,见矿1~4层,矿体呈透镜状,似层状,顶板为透辉绿帘石岩,矿层控制走向长度1200m,倾向延伸1000m,厚度1.00~8.08m,平均品位Pb 2.19×10^{-2} , Zn 4.59×10^{-2} , Ag 80.84×10^{-6} 。

围岩蚀变主要有绿帘石化、透辉石化、阳起石化、绿泥石化、硅化及碳酸盐化等类型。矿物成分有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿,少量黄铜矿、磁黄铁矿。在3个矿带中金属矿物组合从下往上有变简单的趋势。脉石矿物有透辉石、绿帘石、阳起石、方解石、石英等。矿石结构主要以半自形—他形晶粒状结构为主,次为交代结构、固溶体分离浮浊结构、包含结构等。矿石构造主要有条带状构造、斑点—斑杂状构造、次块状—块状构造,次为浸染状构造。

① 福建省闽西地质大队. 建瓯—尤溪地区找矿远景研究, 2003.

② 福建省地质调查研究院. 福建省闽中铜金铅锌银多金属矿评价报告, 2003.

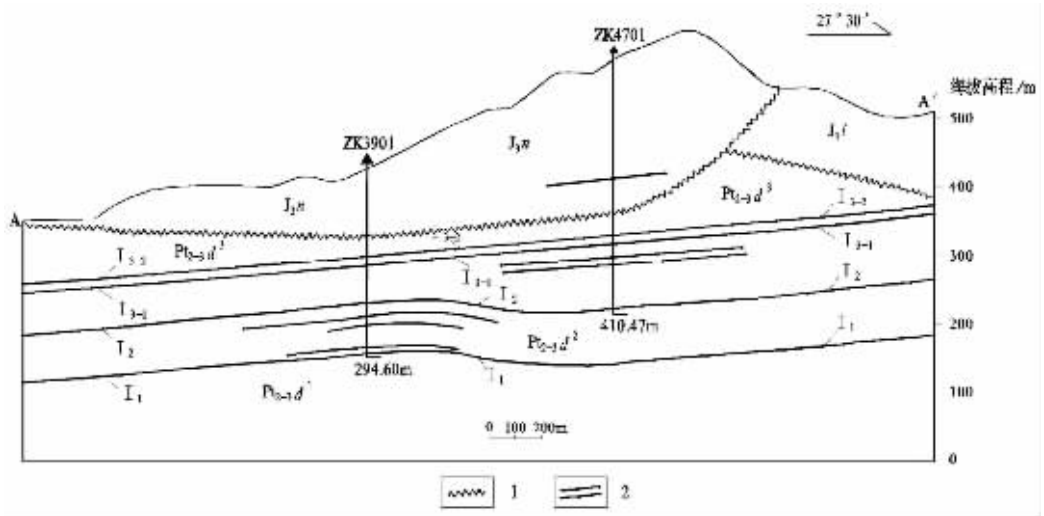


图2 峰岩矿区铅锌银矿区 A-A' 纵剖面图

1—不整合界线；2—矿层；J_{2n}—上侏罗统南园组；J_{1l}—下侏罗统梨山组；Pt_{2-3d}—中新元古界东岩组；I₁-I₃—铅锌银矿体编号；

Fig.2 Longitudinal section A-A' in the Fengyan Pb-Zn-Ag district

1-Unconformity; 2-Ore bed; J_{2n}-Upper Jurassic Nanyuan Formation; J_{1l}-Lower Jurassic Lishan Formation; Pt_{2-3d}-Meso- and Neoproterozoic Dongyan Formation; I₁-I₃-number of lead-zinc-silver orebody

1.2.2 南平后坪地区东岩组地层特征及含矿性

依据岩石组合特征南平后坪地东岩组厚度大于 870 m, 从下而上可分为 7 个岩性段。

第一段为钠长阳起片岩、绿帘透辉石岩、透辉石榴石岩、绿帘透辉石岩夹透辉石英岩, 厚度大于 120 m, 原岩为中基性熔岩、凝灰质泥灰岩、钙镁碳酸盐岩。

第二段岩性为二长变粒岩、钠长浅粒岩夹薄层阳起钠长变粒岩, 厚度 90 m, 原岩为中性-中酸性火山岩。

第三段岩性由角闪片岩、斜长透辉石岩、透辉石英岩、石英岩、大理岩、绿帘透辉石榴石岩组成, 夹有透辉大理岩、透辉透闪阳起片岩、阳起角闪片岩等, 厚度 210 m。含有 3 层铜锌、锌矿体, 是本区的主要含矿层位。原岩主要为基性-中酸性火山岩、碳酸盐岩夹泥灰岩。

第四段岩性单一, 由黑云斜长变粒岩、二长变粒岩组成, 厚度 80 m, 原岩为中-酸性火山岩。

第五段岩性由绿帘透辉石岩、大理岩、石英岩、透辉石英岩及二长变粒岩组成, 夹有透辉角闪片岩、石榴透辉石岩、绿泥石透辉石岩等, 厚度 190 m。含有 4 层铁多金属矿体。原岩为玄武岩、安山玄武岩, 安山岩夹钙镁质硅质岩。属基性-中性火山喷发夹碳酸盐岩。

第六段由黑云斜长变粒岩、黑云二长变粒岩、钠长浅粒岩组成, 厚度 60 m, 原岩多为中性-中酸性火山岩。

第七段为钠长角闪片岩、石榴石透辉石岩、蛇纹石化橄欖岩、透辉石榴石岩及斜长浅粒岩夹薄层的透辉阳起片岩、

绿帘透辉石岩, 厚度 120 m, 原岩为富钙玄武岩、含凝灰白云质泥灰岩、钙镁碳酸盐岩等。

与峰岩地区 3 个完整的基性-中酸性火山岩喷发沉积旋回相比, 后坪地区多了一个基性火山岩层位。该区岩性组合特征具有 3 个特点: ①一、三、五 3 个岩性段中均出现了厚度较大的透辉石英岩; ②火山岩组合中增加了中性火山岩; ③火山岩组合为细碧角斑岩组合。

南平后坪铜锌矿床产于中新元古代东岩组地层中, 矿体产出部位所对应东岩组地层的第三、第五段两个主要含矿层位。矿区见有 13 个主要矿体, 其中 8 个铜锌矿体、5 个磁铁矿体, 矿体均产于东岩组地层中, 呈透镜状、似层状产出, 受层位和岩性的控制。矿体长度 100~300 m, 厚度一般 0.96~2.39 m, 最大 9.09 m。矿石品位 Cu 为 0.34×10⁻²~2.01×10⁻², Pb 为 0.9×10⁻²~2.40×10⁻², Zn 为 0.24×10⁻²~9.38×10⁻²。主要金属矿物有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿、磁黄铁矿。矿石结构为半自形粒状结构、交代残余结构、粒状交晶结构, 矿石构造为块状构造、浸染状构造、条带状构造。矿体的主要围岩有透辉石岩、石英透辉石岩、石榴石透辉石岩、透辉斜长片岩、透辉斜长角闪片岩、角闪片岩。围岩蚀变为绿帘石化、夕卡岩化、蛇纹石化、方解石化, 其中夕卡岩化和绿帘石化是主要的近矿围岩蚀变。

1.3 建瓯东岩地区东岩组地层特征及含矿性

建瓯东岩地区东岩组上段是主要的含矿层位, 矿体多赋存于火山岩向正常沉积岩过渡部位, 该组岩性组合特征以绿

福建省闽西地质大队, 建瓯-尤溪地区找矿远景研究, 2003.

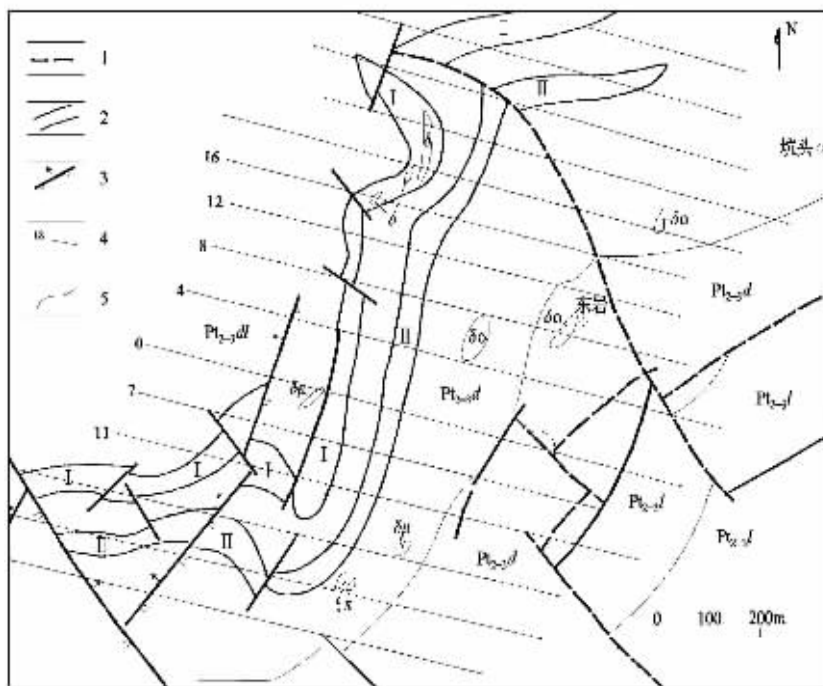


图 3 福建省建瓯东岩铜矿床地质图^①

1—推测断层;2—矿化带界线;3—逆断层;4—剖面线;5—地质界线;Pt_{2-3dl}—大岭组;Pt_{2-3d}—东岩组;Pt_{2-3l}—龙北溪组;
δo—石英闪长岩;δ—闪长岩;δμ—闪长玢岩;ξπ—正长斑岩;I、II—铜矿化绿片岩带编号

Fig.3 Geological map of the Dongyan copper deposit, Jian'ou, Fujian^①

1—Inferred fault;2—Boundary of mineralization zone;3—Thrust;4—Section;5—Geological boundary. Pt_{2-3dl}—Daling Formation;
Pt_{2-3d}—Dongyan Formation;Pt_{2-3l}—Longbeixi Formation;δo—quartz diorite;δ—diorite;δμ—diorite porphyrite;ξπ—syenite porphyry;
I, II—number of copper mineralized greenschist belt

帘片岩类和阳起片岩类为主,夹绿帘透辉片岩、黑云石英钠长片岩及绿帘石化大理岩,划分为两个岩性段,其中包括 5 个碳酸盐岩组合沉积阶段^②。

东岩组下段由钠长(绿泥)阳起片岩、钠长(角闪)绿泥片岩和(黑云)绿泥阳起片岩为主的岩性组合,夹钠长绿帘片岩、阳起(透辉)绿帘片岩和含石墨钠长绿泥片岩透镜体。中上部和中下部夹有两套碳酸盐岩层组,依据该碳酸盐岩层位和整段岩性组合,初步划分为两个较大的中基性喷发-沉积旋回,每旋回以中基性火山喷发沉积为起点至正常沉积。原岩以泥灰岩、凝灰质泥灰岩为主,夹灰岩、细碧质凝灰岩。

东岩组上段中下部以钠长绿帘片岩、透辉(阳起)绿帘片岩和绿泥绿帘岩为主,见有绿泥钠长片岩和石榴石(透辉)绿帘片岩透镜体;上部以绿帘钠长片岩—钠长绿帘片岩为主,过渡为(透辉)阳起片岩,顶部见 1~2 层云母绿泥片岩或石英(钠长)云母片岩透镜体。整段岩性组合中见 3 套碳酸盐岩层组,本段为主要的含矿层位,矿体多赋存于火山岩向正常沉积岩过渡部位。原岩为细碧岩、细碧质凝灰岩、角斑岩、泥灰岩。

建瓯东岩铜矿床共发现 5 个铜(钼)矿化带(图 3),其中

I、II 号矿化带在地表出露较为完整,III、IV 号矿化带局部出露,V 号矿化带在深部。以 II 号矿化带含矿最佳,长 1200 m,延深大于 470 m,连续性好,赋存 4 个层状、似层状工业矿体。矿体走向北北东,倾向 290°~320°,倾角 15°~25°,其中以 II 1、II 2 矿体规模最大,II 1 矿体断续长 400 m,厚度 1.25~2.14 m,断续延深 380 m,Cu 品位一般为 0.36×10⁻²~1.28×10⁻²,平均 0.51×10⁻²。铜矿体及黄铁矿化围岩常伴有 Co,部分地段钴矿体厚度大于铜矿体。初步圈定 5 个钴矿体,其中一个为单一钴矿体(厚度 15.2 m,长 100 m,延深 100 m)。矿石中还伴有 Au(38.8×10⁻⁹)、Ag(96.83×10⁻⁶)、Pb(0.325×10⁻²)、Zn(0.085×10⁻²)、Cu(2.51×10⁻²)、Bi(0.19×10⁻²)等元素。

单矿物分析表明,黄铁矿、黄铜矿和镜铁矿中 Ag、Co 含量和 Cu/Zn 比值较高,显示了其与古火山作用有一定的关系。

矿石矿物以黄铜矿、镜铁矿、硫铜钴矿为主,次为黄铁矿、磁铁矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂、辉铜矿、黝锡矿等;金属矿物以半自形、他形粒状结构为主,还见有乳浊状结构,交代结构、压碎结构等。矿石以条带状构造、浸染状构造为主,团块状构造为次,局部还见有细脉状构造。矿石中与黄铁矿

① 福建省地质调查研究院. 福建省闽中铜金铅锌银多金属矿评价报告,2003.

② 福建省闽西地质大队. 建瓯-尤溪地区找矿远景研究,2003.

共生的透闪石包裹体均一温度为 147.6°C ~ 155.30°C。近矿围岩蚀变主要为绿帘石化、阳起石(透闪石)化、碳酸盐化、钾长石化等,局部见有绢云母化、透辉石-石榴石化和硅化等,绿帘石化在绿片岩中最为普遍,与黄铜矿生成关系密切。绿帘石化、阳起石化、碳酸盐化多数出现于绿片岩中,尤以裂隙附近或黄铁矿化较强地段为发育。钾长石化多见于黄铁矿化体中,呈不规则团块或脉状分布。透辉石-石榴石化常出现于闪长岩附近的绿片岩中,成不规则团块状分布。在铜矿体中常有大量镜铁矿与团块状铜矿紧密共生,反映两者关系密切。

东岩铜矿床具有多期、多阶段成矿的特点,早期火山沉积变质作用形成了矿源层,晚期岩浆热液作用为主要成矿期。矿区岩浆热液成矿作用大致可分为两个阶段,早阶段以铜、钴矿化为主,形成镜铁矿、硫铜钴矿、黄铁矿、磁铁矿等矿物组合;晚阶段为零星的铅、锌矿化,形成闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和少量黄铜矿。矿区 15 个样品 19 种元素的 R 型因子分析表明,Cu 与 Co 以及 Pb 与 Zn 分别呈现显著正相关,而 Cu、Co 与 Pb、Zn 之间却无明显的相关关系,说明它们形成于不同的成矿阶段,这个结论与梅仙矿田是一致的。

综上所述,闽中地区变质火山岩在空间上分布总的特点是:①自东岩往峰岩,火山活动由比较微弱到比较强烈,在下庄、东岩一线以北,火山岩较少,往南增多,后坪地区和峰岩地区火山岩无论单层厚度或是总厚度均明显大于东岩地区。②自东岩往峰岩,火山岩岩石系列有自细碧角斑岩系为主过渡为正常钙碱系列为主的规律;细碧角斑岩系火山岩在空间上与钙硅质岩关系密切,而正常钙碱性系列火山岩则多与泥砂质碎屑岩共生。③火山岩单层和总厚在区内各地变化较大,岩石种类多、厚度较大的集中发育在东岩、后坪、峰岩等地。

2 东岩组变质岩岩石学和岩石化学特征

2.1 东岩组变质岩岩石学特征

东岩组地层在闽中地区主要为绿片岩为主的一套古火山岩沉积建造。据峰岩铅锌矿区资料^①,东岩组中绿片岩占 27%,长英质变粒岩类为 56%,大理岩类 17%。其主要岩性包括各种成分的绿片岩、变粒岩、石英岩和大理岩类。

绿片岩类包括钠长阳起片岩和绿帘钠长阳起片岩,主要分布在东岩组第一、三、五段,属主要含矿围岩。透辉石多为钙铁辉石,具辉石式解理,绿帘石柱粒状,二者集合体混杂分布,含量 70% ~ 90%。钠长石与石英含量一般小于 10%。具有明显的变余斑状结构,斑晶主要为板状钠长石,呈门字形、交叉或雁行斜列排列。基质矿物组成与斑晶的矿物成分相似。无论斑晶、还是基质中的矿物都有明显的蚀变和交代现象。岩石存在变余杏仁状构造,板状钠长石斑晶中有变余空骸结构,显示海底喷发快速冷凝成岩特征。恢复原岩为基性火山

岩,部分相当于细碧岩或细碧质火山岩。

变粒岩类主要为黑云斜长变粒岩和钠长变粒岩,均呈夹层产于绿片岩中。黑云斜长变粒岩主要由长石和石英(二者含量大于 90%)及少量黑云母、绿泥(帘)石、白云阳起石等组成,矿物粒径 0.05 ~ 0.1mm,具细纹状构造,暗色矿物多具微片(纹)理构造。二长变粒岩的斜长石残斑为钠更长石,与之共生的变质火山岩面貌清楚,原岩属中酸—酸性火山岩或火山碎屑岩类。钠长变粒岩主要矿物为钠长石和石英,含量 70% ~ 90%。钠长石为变余斑状结构或变余晶屑。其他矿物为纤柱状阳起石和柱粒状绿帘石,含量 10% ~ 30%,其集合体呈条带状顺片理分布。恢复原岩相当于角斑质—石英角斑质火山岩类。

石英(片)岩主要分布于东岩组上部,与大理岩、白云质大理岩及绿片岩共生。石英岩中石英含量大于 90%。其中一类石英(片)岩常含白云母、黑云母及少量长石,偶见蓝晶石、石榴石,粒径 1~1.5mm,呈平衡镶嵌嵌晶结构,原岩相当于石英砂岩。另一类石英(片)岩具霏细或显微花岗岩变晶结构,粒径 0.05 ~ 0.15mm,形成条带状、微片理构造。这类石英岩可能由硅质岩变质而成,硅质来源一般认为与海底火山喷发有密切关系。

大理岩类主要有大理岩、石英大理岩等,呈薄层状、透镜状,浅灰—灰白色,局部为浅肉红色,细—中粒变晶结构,条带状构造。

2.2 东岩组变质岩岩石化学特征

闽中地区与成矿有关的东岩组变质岩由于岩石组合不同,故在化学成分上有所差异,大致可划分下列几类。

钠长片岩类:包含钠长阳起片岩、钠长绿帘阳起片岩、阳起钠长片岩、绿帘阳起钠长片岩等,岩石化学成分 SiO₂ 含量为 45% ~ 52%,Al₂O₃ 10.91% ~ 15.42%,TiO₂ 含量一般大于 2%,碱总量 0.64% ~ 7.15%,且多具有 Na₂O > K₂O 的特点,在变质岩图解中多落入火山岩区,大致以 Na₂O/CaO 值 0.4 为界可划分为细碧岩和玄武岩两大类。

阳起绿帘片岩类:以低硅、贫碱、富钙为特点,明显区别于其他岩类,CaO 总体含量在 16.65% ~ 20.4%,MgO 1.2% ~ 2.9%,K₂O+Na₂O 多在 0.35% ~ 1.94%,在变质岩原岩恢复图解中多投入沉积岩区,原岩主要为泥灰岩。

变粒岩类:SiO₂、Na₂O、K₂O 含量较高,且 Na₂O 略大于 K₂O,在原岩恢复图解上主要投影于火山岩区,部分投影于砂质沉积岩区,原岩主要为中酸性火山岩,部分为碎屑沉积岩和凝灰质砂岩。火山岩可以根据 Na₂O/CaO > 2 区分角斑岩和英安岩。

根据岩石化学分析(表 1)并结合图解判别分析^②,东岩组变质岩类大多数都位于火成岩区,部分位于沉积岩区中。在 Mg-Si 图上大量的变质岩都位于火成岩区(图 4)。

Si₂O-(Na₂O+K₂O)图解(图 5)中^②,大部分绿片岩样落入玄武岩区、苦橄玄武岩和粗面玄武岩,因此绿片岩的原岩为

① 福建省地质调查研究院. 福建省闽中铜金铅锌银多金属矿评价报告, 2003.

② 福建省闽西地质大队. 建瓯—尤溪地区找矿远景研究, 2003.

表 1 尤溪峰岩地区变质岩岩石化学成分^①
Table 1 Chemical analysis of metamorphic rocks in Fengyan, Youxi

样号	岩性	采样层位	化 学 分 析 (10 ⁻²)													H ₂ O+TFe ₂ O ₃ 灼失	总量		
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	F	S				
GS 1	绿帘石岩		43.19	2.16	10.83	6.68	4.46	3.27	3.48	22.03	0.33	0.23	0.5	0.063	0.08			2.4	100.06
GS 2	钠长变粒岩		78	0.23	9.63	1.24	1.06	0.25	0.38	2.68	2.99	2.01	0.04	0.004	0.06			0.68	99.31
GS 3	透辉石岩	Pt _{2-3d} ⁵	47.73	0.1	8.69	4.53	7.66	6.28	1.87	19.26	0.12	1.62	0.007	0.066	0.09			1.56	100.28
GS 18	阳起绿帘片岩		51.8	1.72	13.2	4.36	7.73	0.5	3.37	6.84	3.05	1.97	0.78			2.36	12.95	3.74	99.92
GS 19	绿帘透辉石岩		44.43	1.15	12.67	5.47	5.18	3.85	2.9	18.74	0.28	0.35	0.5			1.49	12.23	3.26	99.36
GS 4	钠长绿帘阳起片岩		47.74	2.45	14.57	4.54	6.54	0.19	5.78	10.45	2.37	0.94	0.44			2.13	11.81	2.64	99.38
GS 5	钠长阳起片岩	Pt _{2-3d} ⁴	49.28	3.56	13.35	3.4	9.96	0.3	3.91	8.1	2.44	1.71	0.87			1.89	14.47	1.91	99.9
GS 6	阳起绿帘二长片岩		68.68	0.3	10.98	3.55	1.12	0.41	0.72	9.19	1	1.52	0.19			0.57	4.79	2.06	99.84
GS 7	钾长浅粒岩		63.44	0.57	12.46	3.43	2.14	0.35	0.83	8.09	1.97	3.29	0.21			0.84	5.81	2.98	100
GS 8	绿帘石岩		54.51	0.7	10.67	5.52	3.79	2.27	1.92	16.65	0.2	0.15	0.38			0.74	9.73	2.31	99.49
GS 9	钾长浅粒岩	Pt _{2-3d} ³	74.22	0.17	12.52	0.69	1.66	0.1	0.89	1.26	2.91	4.27	0.15			0.66	2.53	1.18	100
GS 10	阳起片岩		44.04	1.62	10.91	1.95	11.22	0.24	14.27	8.92	0.98	0.36	0.48			3.21	14.42	3.94	100.18
GS 11	钠长阳起片岩		65.83	0.78	14.28	1.93	2.97	0.08	2.97	2.36	1.38	5.06	0.3			1.17	5.23	1.91	100.18
GS 12	绿帘透辉石岩		50.2	0.52	11.61	4.84	4.88	3.73	1.8	16.78	0.54	1.4	0.25			0.49	10.26	2.3	99.39
GS 13	阳起钠长变粒岩	Pt _{2-3d} ²	74.07	0.25	12.54	1.22	1.34	0.14	0.29	1.95	5.91	1.55	0.13			0.88	2.71	0.46	100
GS 14	钠长阳起片岩		54.59	0.99	15.12	2.06	4.59	0.24	5.26	5.41	3.78	4.02	0.52			2.18	7.16	3.08	100.17
GS 15	阳起钠长变粒岩		69.45	0.31	13.39	1.76	3.12	0.1	1.3	1.23	4.6	2.32	0.16			1.29	5.23	1.3	99.39
GS 16	绿帘钠长变粒岩		69.3	0.42	12.62	1.33	2.64	0.19	3.02	2.17	2.13	3.33	0.2			1.62	4.26	2.72	100.36
GS 17	绿帘透辉石岩	Pt _{2-3d} ¹	39.32	1.11	17.88	8.83	1.24	1.61	1.32	20.4	0.75	0.99	0.42			1.38	10.21	6.09	100.1
GS 1	钠(斜)长浅粒岩		71.69	0.35	10.99	2.08	1.4	0.07	1.14	2.19	2.24	3.96	0.11					3	99.38
GS 3	混合岩化黑云斜长变粒岩		73.01	0.4	11.12	1.29	2.33	0.08	1.1	2.89	1.6	2.3	0.14					2.95	99.47
GS 4	绢云绿泥千糜岩		45.68	0.59	11.08	1.25	6.06	0.36	6.83	11.92	0.36	1.88	0.24					12.64	99.56
GS 5	绢云绿泥千糜岩	Pt _{2-3dl}	55.04	0.59	11.31	0.84	6.57	0.03	7.92	6.5	0.06	0.91	0.004					8.81	99.31
GS 6	绢云绿泥千糜岩		60.82	0.44	16.58	1.66	2.83	0.11	2.39	2.66	2.39	4.74	0.13					4.59	99.65
	白云母石英片岩		70.23	0.53	14.37	1.43	1.38	0.08	1.37	0.45	3.91	4.18	0.09			1.17			99.62
	黑云二长变粒岩		71.09	0.45	13.85	2.7	1.28	0.13	1.4	0.43	1.9	3.3	0.09			3.01			99.73
	角闪片岩		48.07	1.45	14.76	7.74	6.13	0.16	6.75	9.34	0.83	0.62	0.06			3.38			99.4

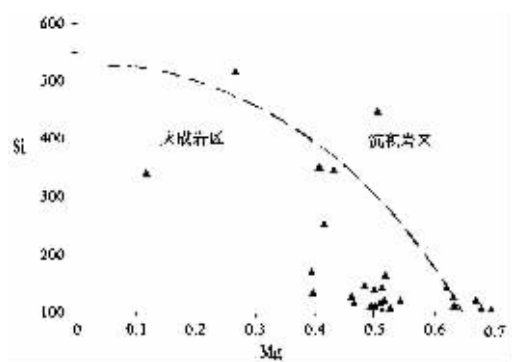


图 4 闽中地区东岩组变质岩 Mg-Si 图解^②

Fig.4 Mg-Si diagram of metamorphic rocks in the Dongyan Formation, Central Fujian^②

玄武岩; 变粒岩类样主要分布于英安岩及流纹岩区; 正常安山岩区没有样品出现; 因此可以得出东岩组变质岩主要分布于中基性玄武岩及酸性火山岩区, 显示出双峰式火山岩特征。

3 火山-沉积旋回与控矿作用

3.1 火山岩系演化与矿化的关系

区内分布的火山岩有细碧-角斑岩系列和玄武岩-流纹岩钙碱系列, 这两套岩浆系列, 在时间上和空间上, 由下往上、由北往南有细碧角斑岩系列向正常钙碱系列演化的趋势, 这种演化趋势构成不同火山岩系列矿化的差异。

东岩一带火山岩主要为细碧角斑岩系列, 具有双模式特征, 与之伴生的是铜钴矿床。后坪地区表现为火山岩系厚度大, 火山岩仍以细碧角斑岩系列为主, 但大量增加了粗安玢岩, 火山岩双模式特征不明显, 同时火山岩系的钠质含量减少, 具有向正常钙碱性火山岩演化的特征, 在矿化上也主要表现为以铜锌矿化为主, 伴随磁铁、铅锌矿化的特征, 分布有上、下枣兜铜钴矿点、后坪铜钴矿点等。至尤溪梅仙地区, 火山岩系主要为以酸性火山岩为主的玄武岩-流纹岩系列, 基本未见细碧岩和角斑岩, 矿化上则表现为铅锌组合, 仅局部见有铜矿化。

① 福建省地质调查研究院. 福建省闽中铜金铅锌银多金属矿评价报告, 2003.

② 福建省闽西地质大队. 建甌-尤溪地区找矿远景研究, 2003.

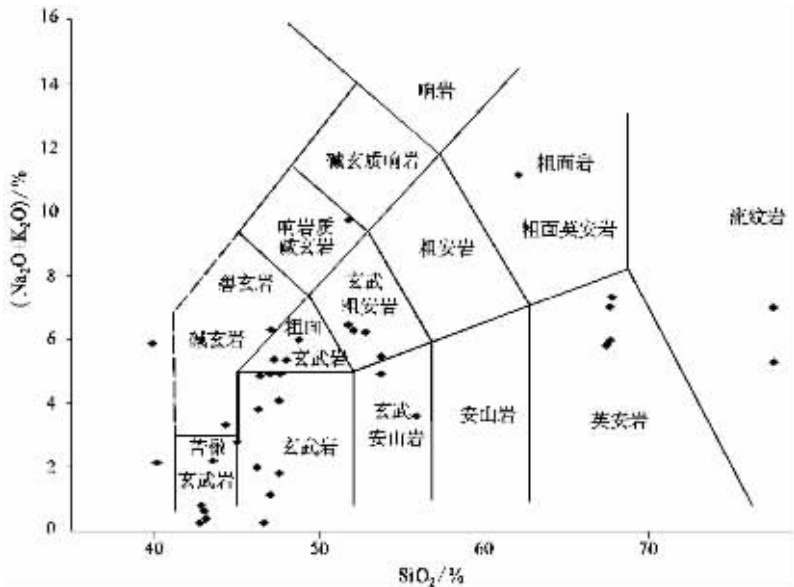


图5 闽中地区东岩组不同类型变质岩 SiO₂—(Na₂O+K₂O)图解^①

Fig.5 SiO₂—(Na₂O+K₂O) diagram of different type of metamorphic rocks in the Dongyan Formation, central Fujian^①

3.2 火山喷发—沉积旋回的控矿作用

测区内已知的铜、铅、锌多金属矿床大部分与海底喷发的火山岩有关系,火山岩类以多层状整合产出为特征,而矿体或直接赋存于火山岩系中,或在矿化上下盘及其附近层位中发育有火山岩。东岩铜矿火山活动的基本特征是两次火山喷发—沉积旋回,原始矿化层主要赋存于第一次火山喷发旋回后期和第二次火山喷发旋回的细碧质火山岩及含火山物质的钙质岩类中,矿化上表现为第一次火山喷发旋回末期以黄铁矿(含钴)为主,黄铜矿为辅;第二次火山喷发旋回早期以铜为主,钴为辅。尤溪峰岩铅锌矿床第三含矿段火山活动的基本特征是火山岩单层厚度小(10~30m),由多层基性、酸性火山岩组成,矿化表现为铅锌矿化为主,伴有磁黄铁矿化和磁铁矿化,同时局部含有黄铜矿;第五含矿段火山活动基本特征表现为强度大,单层厚度大(大于 60m),矿化则表现为以铅锌为主。

东岩组海底基性—中性火山喷发提供了较丰富的矿质来源,而与此相对应的浅海碳酸盐相又为矿质的沉淀创造了适宜的地球化学环境,二者相辅相成,有效地控制了原始含矿岩层的分布。从已知的层控金属矿床来看,以绿帘石为主的钙质绿色片岩是铜铅锌多金属矿的直接围岩,以透辉石为主的硅质绿色片岩是铁矿的直接围岩。

4 东岩组地层形成的古构造环境

4.1 东岩组地层形成于板内裂谷环境

东岩组绿片岩及大理岩组合是一定规模矿床及异常区

的主要地层组合,矿床的形成和东岩组变质岩组合在空间上有密切关系^②。根据东岩组绿片岩、变粒岩及石英岩的岩石学、岩石化学及稀土元素分析结果(表 2、表 3),认为东岩组变质岩是以绿片岩+变粒岩+大理岩为主的一套古火山沉积建造,绿片岩的大部分样品都分布于板内拉斑玄武岩区,对应于大陆内部张性环境,具双峰式火山岩特征。从稀土元素及微量地球化学分析揭示了东岩组变质岩原岩具有大陆裂谷拉斑玄武岩特征^③。

东岩组绿片岩样品在 Zr—Zr/Y 图解上(图 6)几乎全部投影到板内玄武岩区,说明东岩组绿片岩的原岩形成于板内裂谷环境^④。

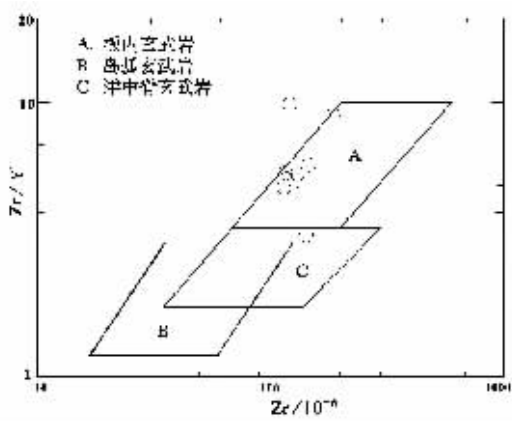


图6 东岩组变质岩 Zr—Zr/Y 图解^④

Fig.6 Zr—Zr/Y diagram of metamorphic rocks in the Dongyan Formation^④

① 福建省闽西地质大队,建瓯—尤溪地区找矿远景研究, 2003.

② 福建省地质调查研究院. 福建省闽中铜金铅锌银多金属矿评价报告, 2003.

③ 中国地质大学(北京),地质大调查项目“闽中裂谷铅锌矿成矿规律研究”(200310200064)2005 年度工作方案.

④ 福建省地质调查研究院,福建省闽中铜金铅锌银多金属矿评价报告, 2003.

表 2 尤溪峰岩地区变质火山岩稀土元素分析
Table 2 Analysis of REE in metavolcanic rocks in the Fengyan area, Youxi

样品编号	KYQ-1	KYQ-2	KYQ-6	KYQ-7	KYQ-10	KYQ-11	KYQ-12	KYQ-15	球粒隕石
采样位置	ZK4704-56m	74m	280m	320m	419m	443m	514m	22m	
岩石名称	钠长绿帘阳起片岩	钠长阳起片岩	钾长浅粒岩	阳起片岩	阳起钠长变粒岩	钠长阳起片岩	阳起钠长变粒岩	阳起绿帘片岩	
La × 10 ⁻⁵	20.8	42.7	58.3	17.8	60.4	35.6	90	72.1	0.32
Ce	40	87	167	36.1	129	62.9	184	146	0.94
Pr	6.04	9.9	19.9	0.6	17.5	9.54	27.6	21.2	0.12
Nd	20.2	43.1	46.9	18.7	47	25	47.9	55	0.6
Sm	3.65	10.3	10.7	3.01	10.2	4.68	18	15.6	0.2
Eu	1.35	3.62	1.69	1.5	1.29	1.4	4.52	5.21	0.073
Gd	3.53	9.9	10.8	3.6	9.47	4.19	16.8	14.3	0.31
Tb	0.97	1.38	2.73	0.18	2.05	1.09	3.39	2.25	0.05
Dy	3.04	8.7	10.1	2.95	9.02	3.39	16.3	12.2	0.31
Ho	0.62	1.59	2.11	0.47	1.82	0.75	3.28	2.33	0.073
Er	1.68	4.75	7.4	0.7	6.31	2.33	11.7	7.81	0.21
Tm	0.52	0.76	2.64	0.04	1.77	1.01	2.78	1.03	0.033
Yb	5.74	2.64	7.36	2.62	4.17	2.33	4.89	5.7	0.19
Lu	0.1	0.52	0.91	0.07	0.82	0.18	1.62	0.99	0.031
Y	14	42.9	53.8	14.3	47.7	16.3	86.8	60.2	1.96
ΣREE	122.24	269.76	402.34	102.64	348.52	170.69	519.58	420.89	
ΣLREE	92.04	196.62	304.49	77.71	265.39	139.12	372.02	315.11	
ΣHREE	30.2	73.14	97.85	24.93	83.13	31.57	147.56	105.78	
ΣL/ΣH	3.05	2.69	3.11	3.12	3.19	4.41	2.52	2.98	
δEu	1.3	1.24	0.55	1.61	0.45	1.08	0.9	1.2	
δCe	0.74	0.86	1.02	1.27	0.82	0.7	0.77	0.77	
La/Sm	5.7	4.15	5.45	5.91	5.92	7.61	5	4.62	
Gd/Yb	0.61	3.75	1.47	1.37	2.27	1.8	3.44	2.51	
La/Yb	3.62	16.17	7.92	6.79	14.48	15.28	18.4	12.65	
Sm/Nd	0.18	0.24	0.23	0.16	0.22	0.19	0.38	0.28	

注: 由福建省地质测试研究中心分析, 2003。

表 3 尤溪峰岩地区矿石稀土元素分析
Table 3 Analysis of REE in ores in the Fengyan area, Youxi

样品号	(2)3901-61	D4--8	G-2	F-09-2	(1)3901-61	Xk-0	F05-1	D1	(1)F-18-2	F-26-3	YK-4	F-10	DJ-14	F-7	球粒隕石
名称	磁黄铁矿	磁黄铁矿	磁黄铁矿	磁黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	方铅矿	方铅矿	方铅矿	方铅矿	闪锌矿	闪锌矿	闪锌矿	
La × 10 ⁻⁶	0.31	0.9	7.28	1.96	0.3	1.12	0.32	0.28	1.18	0.43	0.54	0.99	0.38	3.93	0.32
Ce	0.54	1.67	14.71	3.68	0.57	2	0.57	0.54	2.24	0.77	1.02	1.96	0.69	6.42	0.94
Pr	0.07	0.21	1.7	0.43	0.06	0.26	0.06	0.07	0.33	0.1	0.12	0.25	0.09	0.92	0.12
Nd	0.32	1.05	8.89	2.18	0.3	1.27	0.34	0.34	1.44	0.52	0.6	1.3	0.43	4.4	0.6
Sm	0.05	0.16	1.24	0.31	0.03	0.16	0.05	0.05	0.24	0.07	0.08	0.19	0.08	0.7	0.2
Eu	0.02	0.04	0.23	0.12	0.02	0.06	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.05	0.02	0.1	0.07
Gd	0.04	0.18	1.47	0.36	0.03	0.15	0.04	0.04	0.27	0.08	0.08	0.19	0.07	0.93	0.31
Tb	0.02	0.03	0.22	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02	0.01	0.15	0.05
Dy	0.03	0.1	1.08	0.23	0.02	0.07	0.03	0.03	0.21	0.06	0.04	0.12	0.07	0.61	0.31
Ho	0.01	0.02	0.2	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02	0.01	0.15	0.07
Er	0.02	0.05	0.52	0.1	0.02	0.04	0.03	0.02	0.11	0.04	0.03	0.08	0.05	0.42	0.21
Tm	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.03
Yb	0.02	0.03	0.33	0.06	0.01	0.02	0.02	0.01	0.08	0.05	0.02	0.06	0.04	0.3	0.19
Lu	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.03
Y	0.17	0.47	4.8	1.05	0.15	0.32	0.21	0.28	1.17	0.45	0.26	0.56	0.39	4.3	1.96
ΣREE	1.64	4.93	42.77	10.59	1.55	5.52	1.73	1.71	7.41	2.63	2.84	5.81	2.35	23.43	
ΣLREE	1.31	4.03	34.05	8.68	1.28	4.87	1.36	1.29	5.47	1.91	2.37	4.74	1.69	16.47	
ΣHREE	0.33	0.9	8.72	1.91	0.27	0.65	0.37	0.42	1.94	0.72	0.47	1.07	0.66	6.96	
ΣL/ΣH	3.97	4.48	3.9	4.54	4.74	7.49	3.68	3.07	2.82	2.65	5.04	4.43	2.56	2.37	
δEu	1.42	0.8	0.58	1.21	2.16	1.28	1.42	0.74	0.53	0.89	0.42	0.87	0.86	0.42	
La/Sm	6.2	5.63	5.87	6.32	10	7	6.4	5.6	4.92	6.14	6.75	5.21	4.75	5.61	
Gd/Yb	2	6	4.45	6	3	7.5	2	4	3.38	1.6	4	3.17	1.75	3.1	
La/Yb	15.5	30	22.1	32.7	30	56	16	28	14.8	8.6	27	16.5	9.5	13.1	
Sm/Nd	0.16	0.15	0.14	0.14	0.1	0.13	0.15	0.15	0.21	0.13	0.13	0.15	0.19	0.16	

注: 引自张达^①

① 中国地质大学(北京). 地质大调查项目“闽中裂谷铅锌矿成矿规律研究”(200310200064)2005 年度工作方案.

闽中地区东岩组绿片岩的原岩为玄武岩,其成分为基性程度较高的拉斑质玄武岩和介于拉斑质玄武岩、碱性玄武岩之间的过渡型玄武岩,同时绿片岩及变粒岩构成了一套具有大陆裂谷特征的“双峰”式火山岩。因此,东岩组变质原岩形成的构造背景为大陆板块内部的裂谷环境。

4.2 古裂谷构造与块状硫化物矿床

裂谷环境是形成双峰式火山岩组合及其块状硫化物矿床的最佳构造环境^[4]。闽中地区块状硫化物矿床主要矿石矿物形成于古裂谷构造环境,与东岩组绿片岩具有相同的构造背景及共同的物质来源。中新元古代由于裂谷作用强烈,海底基性—酸性火山活动携带大量的热能和铜、铅、锌等成矿物质不断喷溢,在火山喷发物质沉积成岩的同时,喷发带来的相关成矿金属元素也得到聚集和沉淀,从而形成矿源层和矿体。伴随海底火山喷发的多次增强和逐渐发展,含矿热水也循环喷流、沉淀、堆积,丰富的矿质来源促使矿胚和矿层不断发育,品位变富,规模扩大,形成层状、块状硫化物矿床^[5]。如尤溪峰岩铅锌银矿、南平后坪铜锌矿、建瓯东岩铜铅锌矿床呈层状、似层状产出,具有大陆裂谷晚期阶段火山岩块状硫化物矿床特征。

参考文献 (References):

- [1] 福建省地质矿产勘查开发局. 福建省地质图 1:50 000 说明书[M]. 福州:福建省地图出版社,1998.78~102.
Fujian Bureau of Geology and Mineral Exploration and

Development. Explanatory Notes on 1:500000 Geological Map of Fujian Province [M]. Fuzhou: Fujian Cartographic Publishing House, 1998.78~102(in Chinese with English abstract).

- [2] 张开毕,李学燮,李兼海. 闽西北中新元古代马面山岩群的划分与对比[J]. 福建地质, 2002,2(3):176~185.
Zhang Kaibi, Li Xuexie, Li Jianhai. Classification and comparison of Mesoproterozoic - Neoproterozoic Mamianshan Group Complex in Northwestern Fujian [J]. Geology of Fujian, 2002,2(3):176~185 (in Chinese with English abstract).
- [3] 周丽娅,王鹤年,孙承轅. 闽中马面山群变质火山岩微量元素地球化学特征及其构造意义[J]. 高校地质学报,2001,7(2):164~174.
Zhou Liya, Wang Henian, Sun Chengyuan. Trace element geochemistry and tectonic setting for Proterozoic metavolcanics of the Mamianshan Group in the central part of Fujian province [J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7(2):164~174 (in Chinese with English abstract).
- [4] 姜福芝. 双峰式火山岩与块状硫化物矿床[J]. 矿床地质, 2001,20 (4):331~338.
Jiang Fuzhi. Bimodal volcanic rocks and massive sulfide deposits [J]. Mineral Deposits, 2001,20 (4):331~338 (in Chinese with English abstract).
- [5] 顾连兴. 块状硫化物矿床研究进展评述[J]. 地质论评. 1999,45(3): 265~275.
Gu Lianxing. Comments on the study of massive sulfide deposits [J]. Geological Review, 1999, 45(3):265~275(in Chinese with English abstract).

Ore potential of the Meso- and Cenoproterozoic Dongyan Formation in central Fujian

TAO Jian-hua^{1,2}, HU Ming-an¹

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. Fujian Institute of Geological Survey, Fujian 350011, Fujian, China)

Abstract: Metamorphic rocks of the Meso- and Cenoproterozoic Dongyan Formation in central Fujian are an important source bed of lead-zinc polymetallic deposits. The metamorphic rocks consist of three basic-acid volcanic-sedimentary cycles and show the features of bimodal volcanic rocks. Each volcanic cycle starts with basic rocks and ends with acid rocks, and marine carbonate rocks often occurred during dormant periods, especially at the end of each cycle. Lead-zinc-silver deposits are usually associated with basic volcanic rocks. Petrological and chemical analyses of the metamorphic rocks of the Dongyan Formation reveal that the protoliths of the metamorphic rocks of the formation have the features of continental rift tholeiite and formed in an intraplate rift environment. The tectonic setting should be the extensional environment in the interior of the continental plate.

Key words: central Fujian; Dongyan Formation; bimodal volcanic rocks; greenschist; lead-zinc deposit

About the first author: TAO Jian-hua, male, born in 1956, senior engineer, mainly engages in mineral exploration; E-mail: fjddyjth@public.fz.cn.