

文章编号: 1004-5589 (2010) 04-0588-13

## 赣东北地区的区域成矿特征和成矿谱系

王长明<sup>1</sup>, 吴淦国<sup>1</sup>, 张达<sup>1</sup>, 罗平<sup>1,2</sup>, 狄永军<sup>1</sup>, 余心起<sup>1</sup>

1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2. 江西地矿局赣东北地质大队, 江西 上饶 334000

**摘要:** 赣东北地区位于扬子、华夏两大构造单元复合部位, 中、新生代受到北北东向滨西太平洋构造-成矿域强烈叠加作用, 成矿地质条件优越、成矿期次多、成矿强度大、矿床类型多样。近年来区内找矿工作有了新突破, 对内生金属矿床区域成矿规律的认识也有了新的进展。对照其大地构造单元笔者将赣东北地区划分成2个成矿带, 7个成矿亚带, 总结了4个主要成矿期, 归纳出4大主要成矿系列, 构建了区域矿床成矿谱系。

**关键词:** 区域成矿; 成矿系列; 成矿谱系; 赣东北

中图分类号: P617 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1004-5589.2010.04.009

## Regional metallogenic characteristics and mineralizing pedigree in northeastern Jiangxi

WANG Chang-ming<sup>1</sup>, WU Gan-guo<sup>1</sup>, ZHANG Da<sup>1</sup>,  
LUO Ping<sup>1,2</sup>, DI Yong-jun<sup>1</sup>, YU Xin-qi<sup>1</sup>

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Northeastern Jiangxi Geological Surveying Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Shangrao 334000, Jiangxi, China

**Abstract:** The northeastern Jiangxi is located in the composite part between the Yangtze and Cathaysia tectonic belts, and strongly overprinted by the Mesozoic and Cenozoic NNE-stretching circum-Pacific tectonic metallogenic domain, which favored this area, in ore-forming condition, including multi-stages and high-intensity ore-forming with various types of deposit. Recently, a number of promising ores were discovered in this area and the regional metallogenic regularity has been achieved in recognition, particularly in the endogenous metallic deposit. According to the tectonic framework, the authors divided the northeastern Jiangxi area into 2 metallogenic zones and 7 metallogenic sub-zones, and summarized 4 main metallogenic events with 4 main metallogenic series. The regional mineralizing pedigree of ore deposits is recognized also.

**Key words:** regional metallogeny; metallogenic series; mineralizing pedigree; northeastern Jiangxi

## 0 引言

赣东北地区位于江西省东北部, 东邻浙江, 北

毗安徽, 南靠武夷山与福建接壤, 西濒鄱阳湖与省会南昌市隔湖相望。115°59'00" ~ 118°18'25"E, 27°40'00" ~ 29°59'23"N, 总面积约 31 600 km<sup>2</sup>。20

收稿日期: 2010-05-24; 改回日期: 2010-07-16

基金项目: 中国地质调查局地质调查工作项目 (1212010981048)、中央高校基本科研业务费专项基金资助项目 (2010ZY02)、国土资源部公益性行业科研专项经费项目 (200911007)、国家自然科学基金项目 (40772134)、“111计划” (B07011) 和中国博士后科学基金项目 (20090460400) 联合资助。

世纪70年代以来在赣东北地区发现铜厂铜矿、富家坞铜矿、永平铜矿、金山金矿、银山铅锌矿、冷水坑银铅锌矿及众埠街锰矿大型矿床,朱砂红铜矿、铁砂街铜矿、虎家尖银金矿、长寿源银铅锌矿、下湖铅锌银矿、观音寺铅矿及磨盘山钨矿中型矿床。20世纪90年代以后由于找矿难度增大、探矿投入不足,找矿工作一度停滞不前。最近几年,区内找矿工作有了新突破,对内生金属矿床区域成矿规律的认识也有了新的进展,显示了新的资源前景,故有必要对北武夷山成矿带进行重新梳理,为该区开展进一步的资源评价工作提供科学依据。

成矿谱系是近年来逐渐被人们所认识并关注的一个新概念,国外学者对成矿谱系的研究历来非常重视,如Breuning<sup>[1]</sup>提出成矿多样性的某种规律性序列表现为矿床的一种谱系,矿床的规律性序列可以表现在成因、规模、成分、数量和质量以及它们的组合上,但最基本的是表现在成矿时间上和成矿空间上的“有序性”和“成套性”。中国学者对成矿谱系进行了不少开创性的研究。如翟裕生院士<sup>[2]</sup>早期进行的成矿谱系研究,认为“在特定成矿区域中,随着区域地质构造环境的发展演变,成矿作用阶段式分期演进,在不同地质时期内形成的多个成矿系统间的有序关联”;陈毓川等<sup>[3]</sup>认为“一个成矿系列类型中的不同系列既是时代的产物,也是成矿构造环境分异的结果。由于不同的成矿构造环境都有其本身的地质演化历史,同时具有相应的成矿演化历史,把特定区域成矿作用的演化历史与分布规律称为成矿谱系。”说明成矿谱系研究是区域性的,它是宏观上历史地研究一个成矿区域中各种矿床及其成矿作用之间的内在联系。成矿系列的演化作为成矿谱系的基本研究内容,可起到提纲挈领的作用。赵鹏大院士<sup>[4-5]</sup>提出“三联式”成矿预测,把成矿多样性—成矿谱系进行联合分析研究作为成矿预测和找矿的“切入点”,是找矿预测与定量评价领域的一项创新探索。说明矿床谱系在时间、空间及成因上与成矿多样性密切相关,它在评价与预测新类型矿床中起着极其重要的作用<sup>[6-9]</sup>。

笔者在对赣东北地区的区域成矿作阶段性总结概述的基础上,构建区域矿床成矿谱系,希望对该区下一步内生金属矿床的找矿工作起到抛砖引玉的作用。

## 1 区域成矿地球动力学背景

赣东北地区大地构造位于扬子板块的江南地体与华南板块的华夏地体交接部位,两个地块之间的界线目前尚有争议,但多趋向于以萍乡—广丰—江山—绍兴断裂带为界。从北西到南东划分为7个构造单元,依次为修水—祁门构造单元、乐平—歙县构造混杂岩带、万年构造单元、怀玉构造单元、东乡—广丰混杂岩带、铁砂街—永平裂陷槽和北隆夷隆起构造单元(图1)。

赣东北地区地层发育齐全。印支运动前本区以萍乡—广丰—江山—绍兴断裂带为界,分为扬子地层区和东南地层区。印支运动后则为一个统一的地层区。赣东北地区的地层从老至新大致分成以下构造层:①区内已确定的最古老变质岩基底,由角闪岩相变质的前震旦系混合岩、片麻岩、片岩和变粒岩等构成,同位素测年主要集中在1500~1200 Ma;②新元古代地层主要为一套巨厚的泥砂质夹火山碎屑物的复理石建造;③寒武纪—早志留世地层发育良好,层序齐全。可区分出稳定陆缘(怀玉地层小区)与活动陆缘(广丰地层小区)2套沉积序列;④石炭系和二叠系为一套海相、海陆交互相—浅海相的沉积建造。三叠系为海陆交互相砂砾岩、粉砂岩、泥岩、炭质泥岩夹含煤建造;⑤侏罗系为一套钙碱性—碱钙性系列陆相火山杂岩。白垩系为陆相盆地含膏盐红色碎屑岩。绝大部分地区都是以上元古界及震旦系地层为基底,上覆石炭系—白垩系地层,显示典型的二层结构。

除地层中的火山岩外,区内的岩浆侵入岩主要属印支期和燕山期,也有晋宁期和加里东期岩体出露。岩石类型齐全,超基性—超酸性及碱性岩类均有分布,以酸性岩类为主体<sup>[10]</sup>。花岗岩成因类型多种多样,包括陆壳改造型、同熔型、A型及地幔分异型<sup>[10]</sup>。其中燕山期为区内最主要的构造岩浆活动期,岩浆侵入—火山喷出均十分强烈,活动产物以酸性岩类为主,分布全区。

赣东北地区构造格架和构造单元布局主要是在古华南海演化期间形成的。古华南海是中元古代期间发育于华夏古陆和扬子地块之间的一个复杂的多岛洋,以大规模的岛弧体系发育为特征。赣东北地区构造演化大致经历了如下几个阶段:①中元古代末期,华夏古陆和扬子地块实际上隔华南海而处

**Fig. 1** Tectonic sketch of northeastern Jiangxi

部分。青白口纪晚期, 华夏板块大规模扩张裂陷, 浙西下沉, 海水总体向南变深, 基性-酸性火山广泛喷发, 在裂陷盆地中形成了一套以细碧岩、石英角斑岩、碳酸盐岩为主的建造, 该构造事件与铁砂街海相火山型铜矿床形成有关。青白口纪末晋宁运动(约800 Ma), 江南、浙西地体与雪峰地体北部拼合加入到扬子陆块中, 形成金山式韧性剪切带型金矿带。② 奥陶纪末古板块持续俯冲, 扬子和华夏板块最终拼合为统一的华南大陆。③ 加里东运动首先沿萍乡—绍兴一线向扬子板块俯冲形成近东西向的北武夷褶皱—花岗岩带, 并伴有与其相交的北西向剪褶皱带; 然后处于萍乡—绍兴与佛冈—五华断裂带之间的武夷地区整体向西推挤, 形成主体为北北东向的褶皱—花岗岩带, 并伴随有近东西向的转换型剪切断裂带; 最后发生近东西向左旋扭动, 形成一系列北东向韧性剪切带和宽缓的叠加褶皱。④ 在晚古生代石炭—二叠纪陆块微扩张与特提斯海侵时期, 与此相应形成石炭纪末期的永平铜多金属矿床、东乡枫林铜硫矿等。⑤ 印支运动导致了武夷地区构造变形和岩浆活动的重大变革, 不仅完成了向大陆的转变成武夷复式背斜隆起, 还出现了一系列北东—北北东向逆冲走滑断裂和推覆构造、韧性剪切带以及交代—侵入型花岗岩带。⑥ 燕山运动早期(侏罗纪), 因板内收缩和库拉—太平洋等相邻板块的相互作用, 形成了北北东向隆起—花岗岩带、逆冲走滑断裂和推覆构造, 韧性剪切带也有进一步发展, 并伴随有中酸性—酸性火山喷发与浅成—超浅成岩浆侵入, 形成一系列斑岩型、火山—次火山热液型矿床。

## 2 成矿区带和成矿期次

### 2.1 主要成矿区带

与前文以萍乡—广丰—江山—绍兴断裂带为界划分江南地体和华夏地体两个区域构造单元相吻合, 赣东北地区划分为江南地体成矿带和北武夷山成矿带, 前者包括金家坞—大背坞金锡钨成矿亚带(A)、塔前一赋春铜铅锌金银矿成矿亚带(B)、虎家尖—铜厂铜铅锌金银成矿亚带(C)、灵山—怀玉山铜铅锌钨成矿亚带(D)和广丰铜多金属成矿亚带(E); 后者包括铁砂街—永平铜金锰铅锌银成矿亚带(F)和北武夷铅锌银成矿亚带(G)(图1)。

金家坞—大背坞金锡钨成矿亚带 位于扬子地块修水—祁门构造单元的北部, 南以宜丰—景德镇断裂带为界。出露中元古界双桥山群浅变质岩, 燕山期岩浆活动强烈, 主要有潘村、鹅湖花岗岩复式花岗岩体。在中元古界双桥山群浅变质岩中赋存与脆—韧性剪切带有关的变质热液型金家坞金矿床, 在燕山期花岗闪长斑岩中形成了斑岩型钨钼矿床, 在花岗岩和花岗斑岩中形成了岩浆热液型钨锡矿床。

塔前一赋春铜铅锌金银矿成矿亚带 北以宜丰—景德镇断裂带为界, 南以进贤—婺源韧性剪切带(万年—东坑口深断裂)为界。成矿有利构造单元为塔前一赋春晚古生代陆内裂陷带。出露地层为中元古界溪口岩群, 为一套富含火山质的火山—细碎屑岩建造, 下部为泥沙质复理石建造, 中部为一套深海相火山—细碎屑岩夹变细碧岩—石英角斑岩系的沉积建造, 上部为夹变细碧岩—石英角斑岩系的火山物质的泥沙质复理石建造。古生代石炭—二叠系、中生代白垩—侏罗系, 褶皱构造位于巨厚的溪口岩群, 构成NE向乐平—婺源复向斜的NE端北翼。断裂构造以基底构造为主, 发育北东向、近东西向断裂, 伴有一系列叠瓦逆冲带、推覆构造、糜棱岩化、片理化带和韧性剪切带。区内近年来已发现月形和横路铜矿(点)处, 以及受控于韧性剪切型的天井源、汪坑金矿点。

虎家尖—铜厂铜铅锌金银成矿亚带 北西以进贤—婺源韧性剪切带为界, 南以赣东北深断裂带的西界万村韧性剪切带为界。成矿地质单元包括东乡—乐华晚古生代陆内裂陷带、乐德中生代火山岩盆地、铜厂—金山变质岩隆起区。区内出露中元古界万年群及张村岩群海相火山—沉积岩含矿建造, 石炭—二叠系断陷盆地基础上发展起来的晚侏罗世火山盆地, 为一套陆相火山岩含矿建造。整个成矿带处于东西向、北东向和北西向构造复合地带, 晋宁早期和燕山期火山岩浆活动十分强烈, 形成了基性至中性海相火山岩系和火山—次火山超浅成斑岩体, 成矿地质条件十分有利。有铜厂、朱砂红、富家坞大—特大型斑岩铜矿床、银山特大型火山—次火山热液型铜铅锌金银矿床、脆性剪切带型虎家尖中型银金矿床和韧性剪切带型金山和朱林大—特大型变质热液金矿床。该带是赣东北重点成矿带, 经过近年来的工作, 已发现杨家湾、八十源、先告山和墩

上等金矿点,该成矿区存在着巨大的找矿潜力。

**灵山—怀玉山铜铅锌钨铋成矿亚带** 北东以赣东北深断裂为界,南至弋阳—球川逆冲断裂带,东至赣浙省边界,是以怀玉山和灵山岩体为中心组成的钨铋钨锡和铜多金属成矿带。区内双溪坞群组成变质基底,其上青白口系登山群组成过渡构造层,南华系—震旦系、古生界及中—新生界为扬子型盖层。震旦系和古生界地层组成北东向复向斜,伴有北东向和北北东向断裂,它们共同控制了花岗岩体的产出。在灵山岩体内外接触带产出有钨铋矿和钨锡矿,外接触带产出钨锡矿和钨锡(铅锌)矿脉。在怀玉山岩体边缘,特别是小岩枝旁侧有钨锡、铁铜、铜钼和铜砷矿点以及花岗岩风化壳型钨铋矿等。已发现有葛源钨铋矿田,黄山和松树岗大型矿床。

**广丰铜多金属成矿亚带** 北以弋阳—球川逆冲断裂为界,南至萍乡—广丰深断裂。带内前震旦纪地层分布零星,主要有田里岩片、铁砂街岩片等。田里岩组以云母石英片岩为主,上夹含锰白云岩及石英岩。铁砂街岩组以千枚岩为主,夹变粉砂岩、岩屑杂砂岩、含炭千枚岩和大理岩;中下部发育变细碧岩和角斑岩。翁家岭组为滨海环境沉积的一套粉砂岩、硅质板岩、海绿石粉砂质泥岩夹少量砂砾岩。已发现下溪、月光山二处铜矿点及各类物化探异常十余处。综合分析该区具有一定的成矿地质条件,但以往地质矿产工作程度低。

**铁砂街—永平铜金锰铅锌银成矿亚带** 处于华夏地体北武夷构造单元的铁砂街—永平裂陷槽,成矿地质条件十分有利。北以东乡—广丰深断裂为界,南以北武夷隐伏基底断裂带为界。成矿地质单元包括铅山—广丰中生代火山岩盆地、北武夷燕山期复式花岗岩带的一部分、陈坊—永平和花厅—五都晚古生代陆内裂陷带。出露中元古界铁砂街岩组细碧岩—石英角斑岩含矿建造、蓟县—青白口系周潭岩组泥砂质复理石夹火山岩含矿建造、上元古界震旦系—寒武系泥砂质含碳夹硅铁、碳酸盐岩含矿建造、上古生界石炭系—二叠系含火山岩的碳酸盐岩、碎屑岩含矿建造以及中生界晚侏罗世—早白垩世含陆相酸性火山岩建造。前4套岩石中产出的矿床显示海底热液喷流沉积成矿的特征,而后1套岩石所含的矿床则是典型的与火山侵入岩有关的浅成热液矿床。因此,本区是寻找海底热液喷流沉积型

有色金属矿床的有利地段,带内已发现永平大型铜矿、铁砂街小型铜矿。另外岩浆热液叠加改造型铜(硫)矿床2处,以及长寿源、下湖、陈坊、观音寺、杨村等矿床(点)及各类物化探综合异常上百处。

**北武夷铅锌银成矿亚带** 位于华夏地体北侧武夷构造单元的北武夷隆起内,是本区重要成矿带之一。北以武夷隐伏基底断裂(五里山—横山)为界,西起金溪,东至广丰四十五都,并延至浙江、福建省。成矿地质单元包括北武夷花岗岩基和天华山、黄岗山、铜钹山、仙霞岭(主体位于浙江境内)4个火山盆地及边缘,广泛分布侏罗系、白垩系火山岩、火山碎屑岩,局部为蓟县系周潭岩组,与铅锌银铜矿床的形成关系密切。强烈的断隆活动导致一系列高位构造—岩浆—成矿,西端在中生代天华山火山盆地西缘产出有冷水坑特大型斑岩银铅锌矿床;东端在黄岗山火山盆地产有徐家厂、楼梯顶、勒马山、焦塘等银铅锌铜矿化集中区。因此,本区是寻找斑岩型和火山—次火山热液型有色金属矿床的有利地段。

## 2.2 主要成矿期次

赣东北地区主要金属矿床成矿时代阶段性集中分布特征非常明显。成矿时代主要在新元古代、早古生代、晚古生代及中生代4个时代,正好和赣东北所经历的主要构造演化阶段相对应。

中—新元古代赣东北地区进入强烈裂谷期,岛弧火山活动强烈,沉积了一套地槽型的复理石建造、细碧—角斑岩—火山碎屑岩建造和碳酸盐岩建造,伴生铜铅锌(金银)矿化。中元古代形成了江西铁砂街最早的铜矿床。

早古生代加里东运动主要表现为古板块发展演化与拼合时期,江南地区隆升,强烈造山,岩浆侵入,区域变质。南华纪晚世莲沱期、障公山一带处于被动陆缘滨浅海沉积环境,南沱期时发生了雪球地球事件,随后出现了震旦纪硅碳酸盐岩帽和磷矿成矿事件、早寒武世生物大爆炸及缺氧事件等。同时,由于经历强烈的构造变形改造,对金矿的初始富集具明显的控制作用。

晚古生代早期,研究区处于被动陆缘活动时期,广泛发育有浅海、滨海相碳酸盐岩建造、碎屑岩建造和火山岩建造,是海相火山沉积—热水沉积成矿作用的主成矿期。形成喷流复合型铜多金属矿

床,元素组合有 Cu、Ag、Pb、Zn、Fe、Mn、W、Au 等。特别是晚石炭世,区内形成一系列 NE 向陆内断裂拗陷带,其沉积物包括一套裂陷带强烈活动的喷流沉积岩,是区内 Cu 和 Mn 元素重要的矿源层,对区内永平铜矿床、众埠街锰矿床起着直接的控制作用。

中生代时期,研究区处于大陆边缘活动阶段,特别是燕山期构造—岩浆活动极其剧烈,导致了陆块活化和岩浆与成矿大爆炸,形成系列火山盆地和火山—花岗质杂岩,是区内最重要的铅锌银铜成矿期,毛景文等<sup>[14,15]</sup>初步提出华南中生代 3 次爆发式成矿作用,认为它们可能与侏罗纪晚期局部伸展和白垩纪岩石圈全面大减薄相关。本期成矿作用多样,矿床类型多,有斑岩型铜金矿(铜厂等)、银铅锌铜矿(冷水坑)、火山岩型铅锌银矿、岩浆热液型铜铅锌银矿和剪切带型金矿等,均有大型—超大型矿床产出。

此外,赣东北地区的主要成矿阶段几乎都和拉张构造应力场相对应。虽然加里东期的成矿形成于挤压构造应力场,但不论从规模还是类型上都不占主导地位。新元古代古裂谷环境、晚古生代的裂陷环境、中生代早期及末期的伸展环境对应的成矿作用强度大、持续时间长,是主要成矿环境<sup>[15]</sup>。

### 3 主要成矿系列、重要矿床类型和典型矿床介绍

根据目前积累的资料,赣东北地区主要的内生金属矿床可以归为下述 4 大成矿系列(表 1):①与同熔型岩浆活动有关的铜铅锌多金属成矿系列(I);②与重熔型岩浆活动有关的银铅锌多金属成矿系列(II);③海相火山沉积—热水沉积叠改型成矿系列(III);④剪切带型金银(铅锌)成矿系列(IV)。

#### 3.1 与同熔型岩浆活动有关的铜铅锌多金属成矿系列(I)

指成矿作用主要与源自上地幔或地壳下层岩浆、并不同程度混熔部分上地壳物质而形成的同熔型岩浆岩有关的成矿系列,在一定地质条件下所形成的彼此有成因联系的一组不同矿种的矿床组合,是同源岩浆不同侵位的成岩系列产物。从成岩物质来源的角度分析,同熔型花岗质火山—侵入杂岩的基本特征是幔源物质与壳源物质的混合。从这个意

义来说,同熔型亦即壳幔混源型。赣东北地区该成矿系列受深大断裂或蛇绿混杂岩带及火山机构的控制,如铜厂、富家坞、朱砂红和银山等铜钼金银矿床产于赣东北深断裂(蛇绿混杂岩亚带)北西侧,铜山和船坑铜(金)矿床受萍乡—广丰深断裂控制,银山矿床则受火山机构控制。成矿岩体由陆相中酸性火山岩—次火山岩(斑岩)组成,形成时代主要为燕山期,主要集中于中—晚侏罗世。耿文辉等<sup>[16]</sup>认为中国东部铜多金属矿床与同熔型中酸性岩类有成因联系。岩石普遍具斑状结构,向深部过渡为似斑状结构,部分岩体还发育隐蔽爆破作用,如银山、铜山等岩体。成矿岩体岩性有花岗闪长斑岩、石英闪长斑岩、英安斑岩、斜长花岗斑岩等。成矿流体具有岩浆热液流体性质,成矿物质来源于下地壳(或上地幔)。主要成矿矿种为 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、W、Mo,常出现多矿种共生组合。

该成矿系列可分为 3 个亚系列:①陆相火山岩成矿亚系列,上饶沙潭金银矿床为其典型实例;②陆相次火山岩成矿亚系列,德兴银山铅锌矿床为其典型实例;③浅成—超浅成斑岩成矿亚系列,德兴铜厂、富家坞和朱砂红斑岩型铜矿床为其典型实例。根据矿床产出特征划分为 4 种矿床成因类型:斑岩型、火山岩型、次火山热液型和矽卡岩型,其中斑岩型铜矿床是赣东北地区最重要的铜矿床类型。

#### 3.2 与重熔型岩浆活动有关的银铅锌多金属成矿系列(II)

指成矿作用与源自地壳上层的重熔岩浆有关,在岩浆不同侵位条件下形成的一套不同矿种的矿床组合。赣东北地区该成矿系列受中生代构造—花岗岩带和基底构造的双重控制,位于构造隆起带和复背斜上,主要集中在北武夷地区的火山盆地及边缘,在怀玉构造单元中的怀玉山—灵山花岗岩带以中深成花岗岩成矿亚系列为主。成矿岩体为高硅、富钾的超酸性花岗岩类,耿文辉等<sup>[16]</sup>认为中国东部银多金属矿床与地壳重熔型酸性岩类有成因联系。大多数属于具有同源演化关系的多阶段侵入的复式花岗岩,成岩时期主要为侏罗纪。花岗斑岩、花岗正长斑岩、石英二长(斑)岩及流纹斑岩等,成岩时间主要为白垩纪,多为火山喷发后的浅成—超浅成岩浆侵入,如冷水坑花岗斑岩体。成矿流体主要来自岩浆热液,硫主要来自壳源岩浆,成岩成

矿物质具同源性。主成矿期为燕山期，尤其集中于燕山中、晚期。容矿岩石为上侏罗统火山岩及花岗岩、花岗斑岩、花岗正长岩、石英二长（斑）岩、流纹斑岩及有关的围岩（火山岩）。主要成矿矿种为 Pb、Zn、Cu、Ag。

表 1 赣东北地区铜多金属矿床成矿系列  
Table 1 Copper-polymetallic metallogenic series in northeastern Jiangxi

成矿系列	成矿亚系列	矿床式	成矿元素	地质构造环境	控矿构造	赋矿地层	岩浆岩类	成岩时代 /Ma	成矿时期 /Ma	矿床成因类型	代表性矿床（田）
与同熔型岩浆活动有关的铜铅锌多金属成矿系列(I)	浅成—超浅成斑岩成矿亚系列	铜厂式	Cu、Mo (Au)	浙赣坳陷深断裂带	断裂、接触带、隐爆构造	中上元古界火山—浊积岩变质岩系	花岗闪长斑岩	燕山期	燕山期	斑岩型	铜厂、富家坞、朱砂红
	陆相次火山岩成矿亚系列	银山式	Pb、Zn、Ag、Cu、Au	深断裂带火山盆缘	火山机构、断裂、隐爆构造	上元古界火山—浊积岩变质岩系及上侏罗统火山岩	英安斑岩	燕山期	燕山期	次火山热液型	银山
		铜山式	Cu、Au	深断裂带南拗陷盆地	向斜	三叠系下统灰岩	石英闪长斑岩	燕山期	燕山期	矽卡岩型	铜山、赵家坞、月形
	陆相火山岩成矿亚系列	沙潭式	Au、Ag、Pb	深断裂带火山盆地边缘	火山机构、断裂裂隙构造	上侏罗统中酸性火山岩	石英闪长玢岩	燕山期	燕山期	火山岩型	沙潭
与重熔型岩浆活动有关的银铅锌多金属成矿系列(II)	酸性火山岩型成矿亚系列	相山式	U (Th、Pb、Zn)	深大断裂带、隆起带前缘、火山岩带	火山机构及断裂构造	上侏罗统中酸性火山岩	次花岗岩	燕山期	燕山期	次火山热液型	相山矿田
	（浅—超浅成）斑岩成矿亚系列	冷水坑式	Ag、Pb、Zn	武夷隆起前缘	逆掩断层及接触带构造	上侏罗统中酸性火山岩	钾长花岗岩斑岩、石英正长岩	燕山期	燕山期	次火山斑岩型	银路岭、鲍家、下湖、樟树潭、生米坑
海相火山喷流—热水沉积叠改型成矿系列(III)	中晚元古代海相火山喷流—叠改型成矿亚系列	铁砂街式	Cu (Au、Pb、Zn)	火山岛弧	层间破碎带	宜丰岩组、铁砂街组海相火山（细碧角斑岩）岩系	花岗斑岩脉、石英斑岩脉	燕山期	晋宁—燕山期	喷流沉积型	铁砂街
	晚古生代海相火山喷流—热水沉积叠改型成矿亚系列	枫林式	Cu (S、W、Fe)	陆缘浅海	古深断裂带及层间构造	石炭系上统砂页岩碳酸盐岩及少量火山碎屑岩	花岗斑岩脉、花岗闪长斑岩脉	燕山期	华力西期—燕山期	喷流沉积型	枫林
		永平式	Cu (S、W)	滨浅海	深断裂带及层间构造	石炭系上统碳酸盐岩及碎屑岩	似斑状花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩	燕山期	华力西期—燕山期		永平、众埠街
剪切带型金银（铅锌）成矿系列(IV)	韧性剪切带型成矿亚系列	金山式	Au	古火山岛弧深断裂带	韧性剪切带	中新元古界浅变质浊积岩海相火山岩系			晋宁—加里东—燕山期	变质热液型	金山
	脆-韧性剪切带型成矿亚系列	金家坞式	Au (Ag)	隆起带	挤压破碎带	中上元古界含少量火山岩的浊积岩浅变质岩系	外围有花岗岩	燕山晚期	燕山晚期	变质热液型	金家坞、蛤蟆石
	脆性剪切带型成矿亚系列	虎家尖式	Ag (Au、Pb、Zn)	隆起带	脆性剪切带	中上元古界含少量火山岩的浊积岩浅变质岩系	石英闪长玢岩、英安玢岩脉	燕山期	加里东—燕山期	变质热液型	虎家尖、长寿源

该成矿系列可分为 2 个亚系列：① 酸性火山岩型成矿亚系列，抚州相山式次火山热液型铀矿床为其典型实例；② 浅成—超浅成斑岩成矿亚系列，鹰潭冷水坑式银铅锌次火山斑岩矿床为其典型实例。

（1）江西贵溪冷水坑银铅锌矿床位于武夷山隆起带的北缘，北部邻近萍乡—广

丰深大断裂带, 西近安远—鹰潭深断裂带, NE 向断裂带及断块控制的天华山陆相火山盆地的西部。近年来, 江西省地质矿产勘查开发局和九一二地质调查队在冷水坑矿田鲍家矿区基础上, 陆续探明和发现了下鲍、银珠山和小源等大型铅锌银矿区, 累计探明铅锌资源量 400 多万 t, 银 1 万 t, 取得了找矿的重大突破。随着研究工作的深入开展, 在斑岩型矿床的外围及深部发现一种新类型火山沉积—热液改造型矿床, 认为在侏罗系上统打鼓顶组和鹅湖岭组火山喷发的间歇期, 形成了以长英质火山角砾岩和铁锰碳酸盐岩为主的沉积层位, 并未出现铅锌矿化, 仅为后期构造活动形成层间破碎带以及热液作用提供了有利部位, 之后, 次火山热液与铁锰层发生接触交代作用, 形成顺层的叠加改造型铁锰铅锌银矿体。前人称之为“层控叠生型”矿床或“层状改造型”矿床<sup>[17]</sup>, 笔者认为尚不够确切, 故以“火山沉积—热液改造型”矿床命名能较好反映银铅锌矿化的属性和特征。

斑岩型矿体包括银路岭、鲍家、银珠山 3 个矿区。可分为银铅锌矿体、铅锌矿体、金硫矿体、铜硫矿体等, 以银铅锌矿体为主, 矿体呈规则透镜状产于花岗斑岩前缘带、主体带及接触带附近, 部分产于岩体近根部带及外带火山岩中, 产状与花岗斑岩产状一致 (图 2), 矿体的分布与矿区中心式多阶段蚀变矿化叠加分布模式相一致: 沿赋矿岩体中心向边部的内带—接触带—外带火山岩, 依次产出绿泥绢云母化带中的铜硫矿体、绢云母碳酸盐化硅化带中的铅锌矿体和碳酸盐绢云母化带中的银矿体。火山沉积—热液改造型矿体包括下鲍、银坑、营林、小源 4 个矿区。由侏罗系上统打鼓顶组、鹅湖岭组中的含铁锰碳酸盐岩层, 经火山期后成矿热液交代叠加成矿, 矿体呈层状、似层状, 产状稳定, 品位较均匀。银铅锌矿化作用的强弱与距碱性花岗斑岩的空间距离远近有明显的依存关系。当铁锰矿体靠近斑岩体时, 交代作用明显增强, 银铅锌矿化强烈, 矿体受铁锰含矿层及其附近的层间裂隙带的明显控制, 表现为顺层交代, 银铅锌矿体与铁锰矿体的产状基本一致; 当距斑岩体较远时, 交代作用明显减弱, 甚至没有银铅锌矿化交代发生。

冷水坑银铅锌矿床花岗斑岩体超浅成就位为大量的大气水向岩体渗透提供了便利条件。含矿的岩浆流体在岩体就位过程中随着温度、压力等条件的

改变以及大气水的加入而发生矿化作用。一方面在岩浆热液与长英质火山角砾岩和铁锰碳酸盐岩沉积层先成的铁锰层发生接触交代作用, 形成层状的铁锰铅锌银矿体; 另一方面, 在花岗斑岩近根部发生铜 (金) 矿化, 随后在温度降低过程中于岩体内部发育大规模的铅锌矿化作用。大气水的持续渗透, 使岩浆热液与大气水混合加剧, 在岩体边部及接触带形成银铅锌矿化。矿田成矿流体为岩浆水与大气水的混合。冷水坑银铅锌矿田硫、碳、铅同位素地球化学特征揭示了成矿物质和流体主要来自斑岩岩浆体系, 部分来源于地层。

## (2) 江西铅山篁碧生米坑铅锌银矿床

位于武夷山隆起北侧黄岗山中生代陆相火山盆地的北西端。出露地层有侏罗系水北组和鹅湖岭组, 水北组岩性为长石石英砂岩夹粉砂岩、泥岩, 鹅湖岭组岩性为流纹质熔结凝灰岩、英安质熔结凝灰岩及含砾凝灰岩、凝灰角砾岩等。矿区发育有呈小岩瘤状产出的粗安斑岩和流纹斑岩, 侵位于鹅湖岭组地层中, 在其内接触带发育隐爆角砾岩。生米坑矿段共有 5 条大致平行展布的铅锌矿体, 赋存于侏罗系鹅湖岭组流纹质晶屑凝灰熔岩中的北西西走向断层中, 呈脉状分布于绿泥石化蚀变岩内, 空间上分布于粗安斑岩的西侧。另外粗安斑岩内也见有铅锌矿化, 呈星点状、浸染状及团块状分布。2009 年江西省地质矿产勘查开发局张家箐<sup>[18]</sup>所测篁碧生米坑铅锌银矿床闪锌矿样品的 Rb—Sr 等时线年龄为  $135.4 \pm 4.4$  Ma, Sm—Nd 等时线年龄为  $139.4 \pm 15$  Ma, 说明该矿床形成于燕山期白垩纪早期。燕山期富含成矿物质的流体在斑岩的内外接触带及围岩断裂破碎带和封闭的斑岩体内就位成矿, 形成了斑岩和热液脉型 2 种矿化类型, 属次火山热液型铅锌银矿床。

## 3.3 海相火山喷流—热水沉积叠改型成矿系列 (III)

火山喷流—热水沉积已有众多研究<sup>[19-22]</sup>, 在赣东北地区可分为中晚元古代和晚古生代 2 个成矿亚系列。前者形成于新元古代的陆内古裂谷环境, 典型矿床为武夷山隆起西部的铁砂街铜矿床; 后者由于晚古生代地壳伸展作用而在海盆内形成多个张裂中心, 导致深源的火山及气液活动, 如典型矿床有江西铅山永平和枫林式铜矿床。

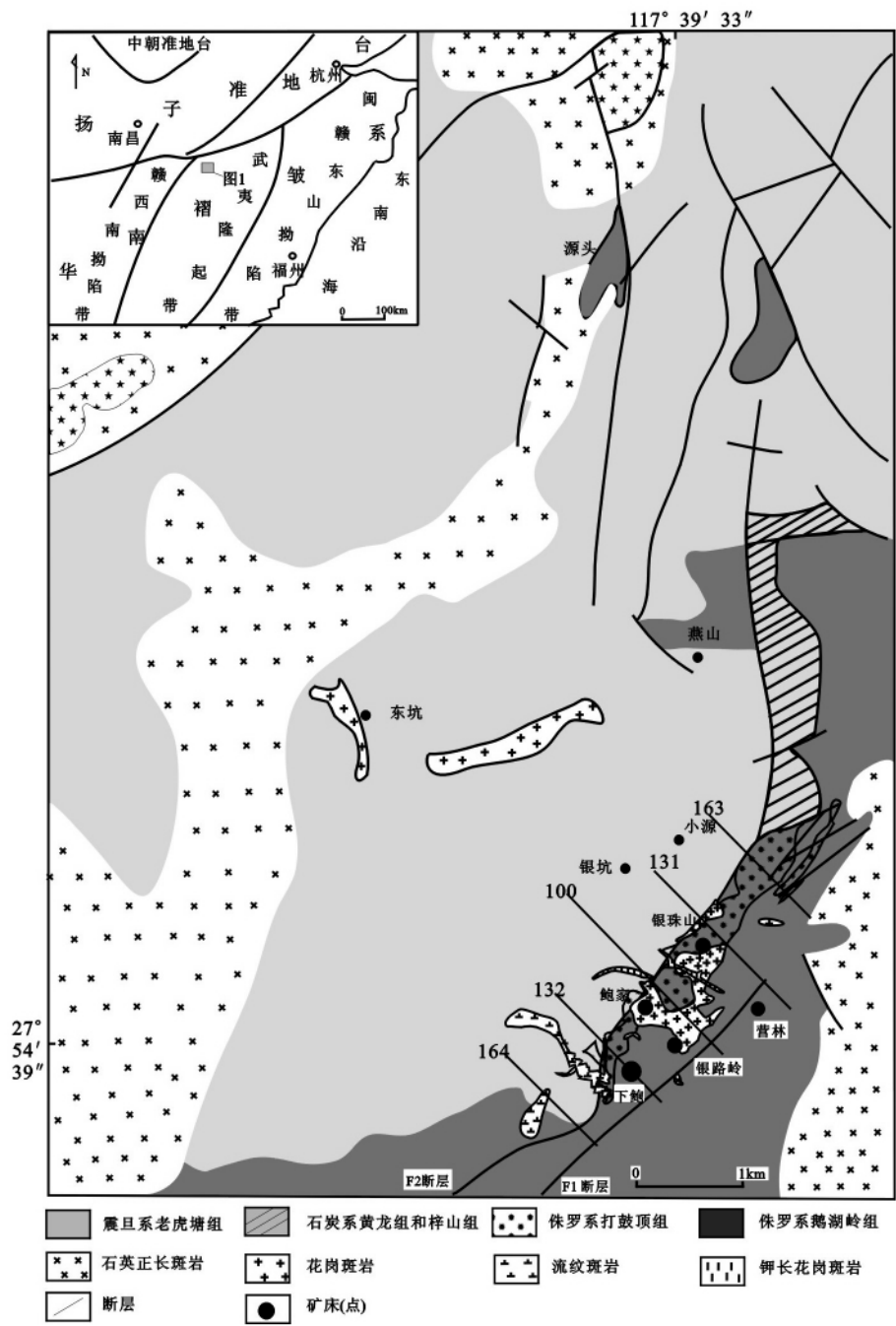


图 2 冷水坑银铅锌矿田区域地质 (据江西省地质矿产勘查开发局 912 地质队修改<sup>①</sup>)  
Fig. 2 Regional geology of Lengshuikeng Ag-Pb-Zn ore field

铁砂街铜矿床位于扬子与华夏两板块的拼接地带，萍乡—广丰深断裂南侧的中元古代晚期蓟县纪裂陷槽内，是以铜为主的中型多金属矿床。矿区内地层主要为中元古界蓟县系铁砂街岩组，为一套浅

变质海相细碧—石英角斑岩及碳酸盐岩、砂泥质沉积建造，形成于造山带和岛弧环境。主要岩性为细碧岩、石英角斑岩、硅质岩、凝灰岩、泥灰岩及砂泥质岩，厚度 > 1 000 m。岩石普遍受绿片岩相区

<sup>①</sup> 江西省地质矿产勘查开发局 912 地质队. 江西省贵溪县冷水坑银矿地质报告 [R]. 鹰潭: 江西 912 地质队, 1997.

域变质作用。矿体多数赋存于中元古界铁砂街岩组中上部的火山碎屑岩-碳酸盐-硅质岩岩石组合中, 少部分产于该组中部基性熔岩-碳酸盐-泥质岩岩石组合中。矿床划分为海底火山喷发-成岩、变质改造-叠加和表生3个成矿期。据前人所测变质岩系中细碧角斑岩(全岩) Rb-Sr 同位素等时线年龄值为1 159 Ma, 石英角斑岩(锆石) U-Pb 单点年龄分别为1 201 Ma、1 162 Ma 和1 091 Ma, 应属中元古代晚期产物<sup>[18]</sup>。项目组在2008年对铁砂街铜矿床进行取样测试, 得出铁砂街岩组变质岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $1\,153.4 \pm 38.4$  Ma、浅灰白色绢云千枚岩为  $902 \pm 23$  Ma<sup>①</sup>。从以上年龄可以得出铁砂街铜矿区内赋矿层位铁砂街岩组的形成年龄为中元古界晚期。与区域变质作用相关的浅灰白色绢云千枚岩测年结果表明, 大规模的区域变质作用发生在新元古代早期<sup>①</sup>, 是华夏古陆向扬子板块俯冲作用早期岩浆活动的证据, 并为成矿作用创造了良好的矿化层位。中生代燕山早期产生一系列重熔型花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩和煌斑岩等, 对铜矿的形成有一定叠加和改造作用。该矿床主要形成于中元古代晚期蓟县纪裂陷槽内, 由于海底基性-酸性火山喷溢及喷流, 形成海相细碧-石英角斑岩型铜矿, 并受燕山期岩浆热活动的叠加与改造。

### 3.4 剪切带型金银(铅锌)成矿系列(IV)

区内剪切带型金银(铅锌)成矿系列与地体及其边界的线性构造有关, 如赣东北深断裂控制了金山矿田(德兴地体), 进贤-婺源韧性剪切带(乐安江深断裂)控制了虎家尖银金矿田(万年地体), 景德镇深断裂控制了金家坞金矿田(障公山地体)。赋矿围岩主要为中元古界蓟县系张村岩群、万年群、双桥山群和周潭岩组等变质岩系, 铁砂街群细碧角斑岩系、震旦系含碳硅质碎屑沉积岩等。成矿期跨度大, 成矿过程具有多期多阶段和复杂性的特点。成矿时期为从晋宁期至燕山期, 主成矿期有晋宁期和燕山期。本系列可分为3个亚系列: ①脆性剪切带型成矿亚系列的赋矿围岩为中上元古界含少量火山岩的浊积岩浅变质岩系, 虎家尖式矿床为其典型实例; ②脆-韧性剪切带型成矿亚系列的赋矿围岩为中上元古界含少量火山岩的浊积岩浅变质岩系, 金家坞式矿床为其典型实例; ③韧性剪切带型成矿亚系列赋矿围岩中新元古界浅

变质浊积岩海相火山岩系, 金山式矿床为其典型实例。金山矿区出露中元古界双桥山群浅变质岩系, 为一套浅变质的火山碎屑沉积岩夹大量的基性火山熔岩, 受控于北东向的江光-富家坞韧性剪切带和八十源-铜厂剪切带。构造岩在韧性剪切带中见有明显的分带性, 由下至上分为4个构造带: 含碳千糜岩-绿泥石、方解石、绢云母化带; 超糜棱岩、糜棱岩-石英、黄铁矿、铁白云石化、金矿化带; 初糜棱岩石-石英、绢云母、白云石化带; 糜棱岩化岩-绿泥石、方解石化带。矿区共圈出10个矿体( $V_1 - V_{10}$ ), 均产于韧性剪切带应变中心超糜棱岩、糜棱岩-金矿化蚀变带中。矿石划分为3种类型: 星散浸染状硅化黄铁矿化超糜棱岩-糜棱岩型、星散浸染状硅化黄铁矿化千糜岩型和石英脉型。金山金矿床与韧性剪切带的发展、演化与金矿化的形成和发展密切相关, 成矿具多阶段、演化特点, 成矿模式可概括为“火山沉积-区域变质-韧性剪切带控矿容矿”的综合成矿模式, 矿床成因类型为受韧性剪切带控制的变质热液型金矿床。

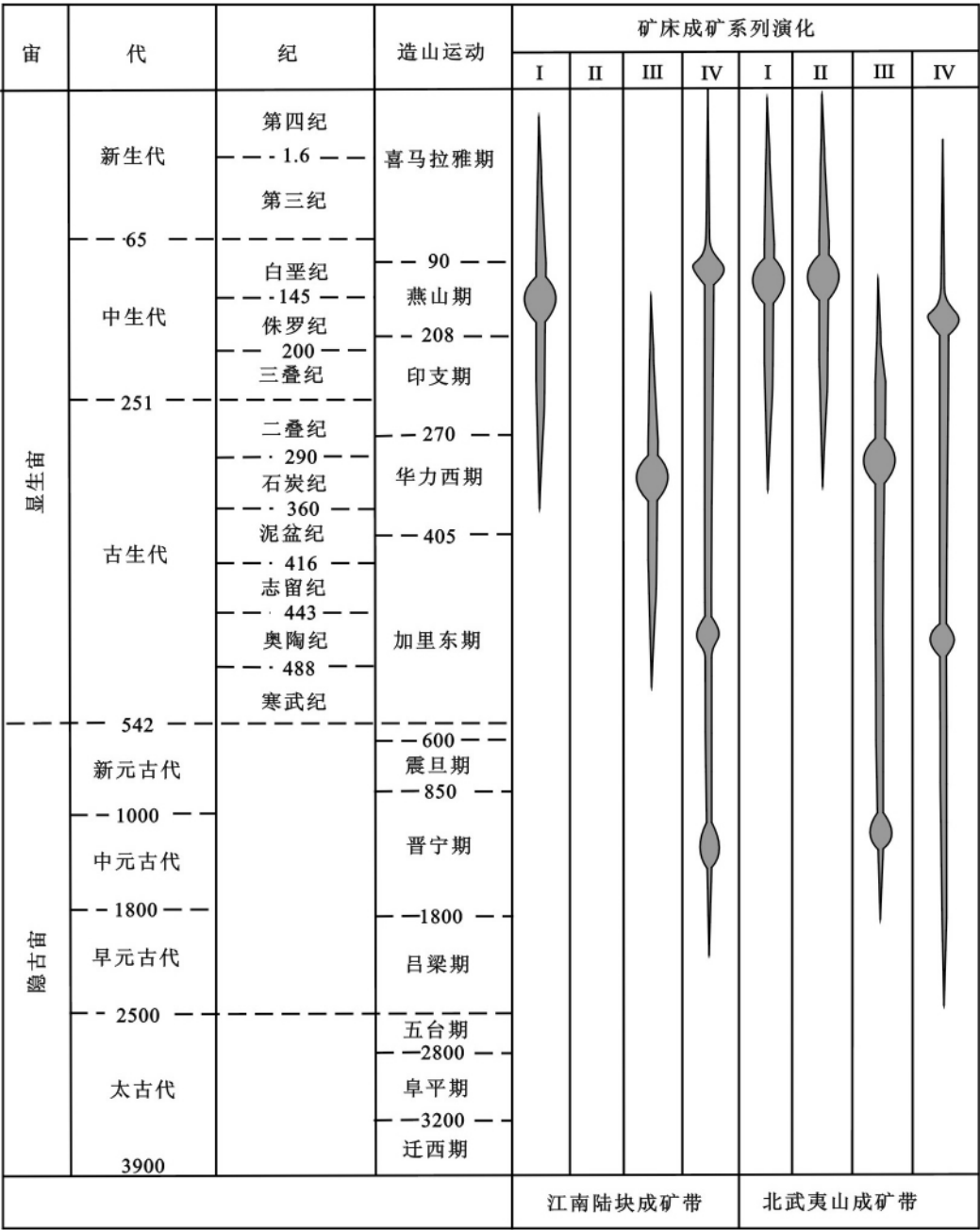
## 4 矿床成矿谱系

区域成矿谱系具有不同的规模, 大可至全球、亦可指不同级别的成矿带。为简明扼要地反映赣东北地区的成矿谱系, 笔者仍按前面划分的成矿区(带), 以成矿系列为基本单位建立成矿谱系(图3)。

江南陆块铜多金属成矿带包括金家坞-大背坞金锡钨成矿亚带、塔前-赋春铜铅锌金银矿成矿亚带、虎家尖-铜厂铜铅锌金银成矿亚带、灵山-怀玉山铜铅锌钽铌成矿亚带和广丰铜多金属成矿亚带。该成矿带的成矿系列主要有: 与同熔型岩浆活动有关的铜铅锌多金属成矿系列(I), 如燕山期与浅成-超浅成斑岩成矿有关的铜厂、富家坞、朱砂红等斑岩型铜矿床, 燕山期与陆相次火山岩成矿有关的银山式次火山热液型矿床和铜山式矽卡岩型矿床; 海相火山喷流-热水沉积叠改型成矿系列(III), 如在晚石炭世形成的众埠街锰矿床; 剪切带型金银(铅锌)成矿系列(IV), 如与韧性剪切带型成矿有关的金山式变质热液型金矿床, 该矿床

① 张达. 武夷山中生代推覆构造研究与铜多金属矿成矿预测[R]. 北京: 中国地质大学, 2010.

式从晋宁期、加里东期到燕山期均有成矿作用发生，燕山期与脆—韧性剪切带型成矿有关的金家坞金矿床，加里东期到燕山期与脆性剪切带型成矿有关的虎家尖式银金矿床。



I. 与同熔型岩浆活动有关的铜铅锌多金属成矿系列； II. 与重熔型岩浆活动有关的银铅锌多金属成矿系列； III. 海相火山喷流—热水沉积叠改型成矿系列； IV. 剪切带型金银（铅锌）成矿系列。

图 3 赣东北地区铜多金属矿床成矿谱系

Fig. 3 Copper-polymetallic mineralizing pedigrees in northeastern Jiangxi

北武夷铜多金属成矿带包括铁砂街—永平铜金锰铅锌银成矿亚带和北武夷铅锌银成矿亚带。该成矿带的成矿系列主要有：与同熔型岩浆活动有关的铜铅锌多金属成矿系列（ I ），如燕山期与陆相火

山岩成矿有关的沙潭式火山岩型金银矿床; 与重熔型岩浆活动有关的银铅锌多金属成矿系列 (II), 如燕山期与浅-超浅成斑岩成矿有关的冷水坑式次火山斑岩型银铅锌矿床; 海相火山喷流-热水沉积叠改型成矿系列 (III), 如与中晚元古代海相火山喷流-叠改型成矿有关的铁砂街式喷流沉积型矿床, 晚古生代海底火山喷流-热水沉积叠改型成矿有关的永平式喷流沉积型矿床; 剪切带型金银 (铅锌) 成矿系列 (IV), 如加里东-燕山期与脆性剪切带型成矿有关的长寿源矿床。

致谢: 本文得到江西省地勘局赣东北地质大队张家菁、912 地质大队徐贻赣、刘建光及诸多地质同行的帮助, 在此一并致以诚挚的谢意!

#### 参考文献:

- [1] Breuning M. An approach to the integration of spatial data and systems for a 3D geo-information system [J]. Computers and Geosciences, 1999, 25 (1): 39-48.
- [2] 翟裕生. 论成矿系统 [J]. 地学前缘, 1999, 9 (3): 5-11.  
ZHAI Yu-sheng. On the metallogenic system [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 9 (3): 5-11.
- [3] 陈毓川. 中国主要成矿区 (带) 矿产资源远景评价 [M]. 北京: 地质出版社, 2001: 1-100.  
CHEN Yu-chuan. Evaluation of mineral resources in the metallogenic domains and districts, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 1-100.
- [4] 赵鹏大, 陈建平, 陈建国. 成矿多样性与矿床谱系 [J]. 地球科学, 2001, 26 (2): 111-117.  
ZHAO Peng-da, CHEN Jian-ping, CHEN Jian-guo. On diversity of mineralization and the spectrum of ore deposits [J]. Earth Science, 2001, 26 (2): 111-117.
- [5] 赵鹏大. 非传统矿产资源研究: 可持续发展的重要课题 [J]. 中国地质, 2001, 28 (5): 1-10.  
ZHAO Peng-da. Study on nontraditional mineral resources: continued social and economic development [J]. Chinese Geology, 2001, 28 (5): 1-10.
- [6] 王长明, 邓军, 张寿庭, 等. 河南省卢氏-栾川地区铅锌矿成矿多样性分析及成矿预测 [J]. 地质通报, 2005, 24 (10/11): 1074-1080.  
WANG Chang-ming, DENG Jun, ZHANG Shou-ting, et al. Analysis of diversity of mineralization and metallogenetic prognosis of lead-zinc ores in Lushi-Luanchuan area [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24 (10/11): 1074-1080.
- [7] WANG Chang-ming, CHENG Qiu-ming, ZHANG Shou-ting, et al. Magmatic hydrothermal superlarge metallogenic systems—a case study of the Nannihu ore field [J]. Journal of China University of Geosciences, 2008, 19 (4): 391-403.
- [8] 李春华, 路来君, 毕明丽, 等. 吉林白山地区金矿综合信息找矿模型 [J]. 世界地质, 2010, 29 (1): 71-77.  
LI Chun-hua, LU Lai-jun, BI Ming-li, et al. Integrated ore prospecting model of the Baishan area, Jilin Province [J]. Global Geology, 2010, 29 (1): 71-77.
- [9] 胡大千, 姚杰. 江西茅排金矿矿物学找矿标志 [J]. 世界地质, 2007, 26 (3): 282-286.  
HU Da-qian, YAO Jie. Ore prospecting guides of mineralogy, in the Maopai deposit, Jiangxi Province [J]. Global Geology, 2007, 26 (3): 282-286.
- [10] 吴淦国, 张达, 彭润民, 等. 东南沿海成矿带矿床形成的时间演化规律研究 [J]. 地学前缘, 2004, 11 (1): 237-247.  
WU Gan-guo, ZHANG Da, PENG Run-min, et al. Study on the evolution regularity of mineralization ages in southeastern China [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11 (1): 237-247.
- [11] 李培铮, 邓国萍, 陶红, 等. 赣东北壳体构造演化与铜金多金属成矿系列 [J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23 (4): 300-307.  
LI Pei-zheng, DENG Guo-ping, TAO Hong, et al. Analysis of tectonic evolution and major Cu (Au) polymetallic metallogenic series in northeast Jiangxi Province [J]. Geotectonic et Metallogenia, 1999, 23 (4): 300-307.
- [12] 杨明桂, 王发宁, 曾勇. 赣东北地区的成矿环境与成矿作用 [J]. 资源调查与环境, 2002, 23 (2): 122-129.  
YANG Ming-gui, WANG Fa-ning, ZENG Yong. The ore-forming environment and its process in Northeast Jiangxi [J]. Resources Survey and Environment, 2002, 23 (2): 122-129.
- [13] 杨明桂, 罗霄. 武夷隆起及郴州—上饶拗陷成矿规律及预测 [M]. 北京: 地质出版社, 1998: 19-21.  
YANG Ming-gui, LUO Xiao. Metallogenetic regularity and prognosis of Wuyishan uplift and Chenzhou-Shangrao depression [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 19-21.

- [14] 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精确得到启示 [J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33 (4): 289-299.  
MAO Jing-wen, ZHANG Zuo-heng, YU Jin-jie, et al. Geodynamic settings of Mesozoic large scale mineralization in the South China and adjacent areas: implications for metallogenic ages of metal deposits [J]. China Science (Ser. D), 2003, 33 (4): 289-299.
- [15] 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): 46-55.  
MAO Jing-wen, XIE Gui-qing, LI Xiao-feng, et al. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in southern China [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11 (1): 46-55.
- [16] 耿文辉, 王滋平, 姚金炎. 中国东部中生代陆相次火山岩型铜银矿床成矿地球化学特征 [J]. 地质与勘探, 2000, 26 (1): 10-13.  
GENG Wen-hui, WANG Zi-ping, YAO Jin-yan. Features of metallogenic geochemistry of the copper-silver deposits of Mesozoic continental sub-volcanic type in eastern China [J]. Geology and Prospecting, 2000, 26 (1): 10-13.
- [17] 孟祥金. 江西冷水坑斑岩型铅锌银矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 2009: 1-200.  
MENG Xiang-jin. Lengshuikeng porphyry Pb-Zn-Ag deposit in Jiangxi Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009: 1-200.
- [18] 张家箐. 北武夷地区铜多金属矿成矿规律成矿系列研究: 博士学位论文 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2009.  
ZHANG Jia-qing. Metallogenic regularity and system of Cu polymetallic in northern Wuyishan: PhD dissertation [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2009.
- [19] 贺菊瑞, 王爱国, 芮行健, 等. 江西弋阳铁砂街中元古代海底火山喷流成矿作用 [J]. 资源调查与环境, 2008, 28 (4): 261-269.  
HE Ju-rui, WANG Ai-guo, RUI Xing-jian, et al. Middle Proterozoic submarine volcanic exhalative metallogenesis of Tieshajie, Yiyang, Jiangxi Province [J]. Resources Survey and Environment, 2008, 28 (4): 261-269.
- [20] 王长明. 内蒙古大井矿床碳氧同位素组成及其成因意义 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40 (4): 810-820.  
WANG Chang-ming. Carbon and oxygen isotopic composition and its genetic significance in the Dajing deposit, Inner Mongolia, China [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40 (4): 810-820.
- [21] WANG Chang-ming, DENG Jun, ZHANG Shou-ting. Metallogenic province and large scale mineralization of VMS deposits in China [J]. Resource Geology, 2010, 60 (3): 402-413.
- [22] WANG Chang-ming. Geology and geochemistry of Huanggangliang stratabound skarn deposit in Inner Mongolia, China [J]. Global Geology, 2010, 13 (2): 61-69.