

综述与评述

德兴大型铜金矿集区构造环境和成矿流体研究进展^{*}

华仁民 李晓峰 陆建军 陈培荣 邱德同 王 果

(南京大学地球科学系成矿作用研究国家重点实验室 江苏 南京 210093)

摘 要 江西德兴地区是我国东部成矿带中的大型矿集区之一,集中了铜厂斑岩铜矿、银山多金属矿和金山金矿等大型、超大型矿床。它又处在中国东南部大地构造的关键部位,因此,对德兴大型铜金矿集区的研究始终与该地区的构造背景及演化相伴随。目前对该地区构造格局的认识以 NW 侧的九岭地体与 SE 侧的怀玉地体沿赣东北深大断裂带的碰撞拼贴为主流,在这两个地体于晚元古代碰撞拼贴之后,该地区所经历的主要是板内(陆内)的构造活动。德兴大型铜金矿集区的成矿作用与燕山期构造—岩浆活动有着成因上的密切联系,而德兴地区的中元古界地层成矿元素含量较高,不同程度地为本区铜厂、金山、银山等矿床提供了成矿物质。成矿流体的研究成果已表明不同的矿床有不同的流体过程,铜厂斑岩铜矿成矿早阶段以岩浆派生流体为主,而晚阶段(主要成矿阶段)有大气降水的大量参与,银山多金属矿成矿流体主要为大气降水来源,金山金矿的成矿流体则以变质水为重要来源。

关 键 词 构造背景及演化;成矿流体;矿集区;江西德兴

中图分类号:P612;P618.2

文献标识码:A

文章编号:1001-8166(2000)05-0525-09

江西德兴地区是我国重要的铜、金以及银、铅锌等矿产资源基地,它集中了铜厂斑岩铜矿、银山多金属矿和金山金矿等大型—超大型矿床,是我国东部成矿带中的大型矿集区之一。它不仅在我国矿业经济中占有一席之地,而且还因其独特的成矿作用而受到国内外地质学界的广泛关注。主要从 70 年代起,随着地质勘查工作的不断扩大和深入,对有关矿床的科学研究也逐渐开展并不断取得成果。与此同时,由于板块构造理论研究在国内的兴起,位于扬子板块与华南板块之间的“江南古陆”的大地构造性质及演化也受到地质学者的极大关注,而德兴地区恰处在该“古陆”的一个关键位置。因此,对德兴大型铜金矿集区的研究始终与该地区的构造背景及演化相伴随。70~80 年代的研究重点一方面主要针对以铜厂为核心的德兴斑岩铜矿的地质背景、岩浆活动、蚀变矿化及成矿模式;另一方面则是关于江南古

岛弧、赣东北深大断裂带和江南中—晚元古代板块边缘的沟—弧—盆体系等大地构造领域。90 年代以来,对德兴斑岩铜矿的研究相对而言较少,而金山和银山则引起广大矿床工作者的极大兴趣,构造研究的重点转为地体拼贴、碰撞造山与韧性剪切作用等;而从 90 年代中期起,关于地质流体、水岩反应及其在成矿过程中的意义逐渐成为成矿作用研究的新课题。近 30 年的多学科研究,使我们对德兴大型铜金矿集区的地质构造环境和成矿作用机制有了一个较全面的认识,为今后进一步深入开展研究工作奠定了基础。

1 地质构造环境

1.1 大地构造背景

德兴大型铜金矿集区所在的赣东北地区位于江南造山带东段,北面是扬子板块,南面是华南褶皱

^{*} 基金项目:国家自然科学基金重点项目“中国东部重要金铜矿床成矿过程流体作用研究”(编号:49733120)和国家重点基础研究发展规划项目“大规模成矿作用和大型矿集区预测”(编号:G1999043209)联合资助。

第一作者简介:华仁民(1946-)男,上海人,教授,主要从事矿床地质与地球化学研究。

收稿日期:2000-01-24;修回日期:2000-04-03。

系,东面则是同属江南造山带的江山—绍兴地区。由于我国东部和华南几个主要构造区如华北板块、秦岭—大别造山带、扬子板块、江南造山带和华南褶皱系都在安徽庐江—浙江江山之间的皖赣浙地区呈明显的变窄收敛形态并相互交界,因此该地区成为认识我国东南部大地构造及岩石圈演化的关键部位,受到国内地质学界的重视。

江南造山带是扬子板块东南缘重要的构造单元,曾经被称作“江南地轴”、“江南古陆”、“江南台背斜”、“江南台隆”、“江南地背斜”等(某些名称至今仍在用)。郭令智等 1973 年首次提出江南古岛弧的概念及有关的沟—弧—盆体系;至 80 年代初,郭令智等^[1,2]运用板块构造理论阐述了华南洋壳向扬子板块东南缘俯冲,导致华南陆壳向东南沿海不断增生的机制。根据这一机制,整个华南自西北至东南可划分出东安—雪峰期的江南古岛弧褶皱系、加里东期的武夷—云开古岛弧褶皱系直至喜山期台湾岛弧等 5 个构造带,代表着不同时代的沟弧盆体系从扬子古陆向东南海洋发展,从而造成陆壳不断由西北向东南增生。这一模式对 80 年代的华南大地构造研究起到了重要的推动作用。80 年代中期,郭令智等^[3]又率先运用地层—构造地体的分析方法,把华南地区划分为 10 多个地体,并提出了这些地体拼贴的构造模式,在扬子古陆的南东缘由于元古代九万大山、雪峰、九岭、怀玉等外来地体的先后拼贴而形成了扬子—江南大陆。稍后,舒良树等^[4]进一步具体研究了赣东北的地体构造,确立了该地区的晚元古代地体构造与碰撞造山模式^[5]。

80 年代中期起,关于华南大地构造的研究进入又一个高潮。水涛等^[6]根据陈蔡群的一批同位素年龄数据等事实,提出华南大地构造由扬子和华夏两个古陆夹一个赣湘粤残洋盆地组成的格架,而两个古陆于晋宁期在其东端沿江山—绍兴一线开始对接碰撞,至加里东期整个残洋盆地封闭而完成两个古陆的拼接。许靖华自 70 年代末开始研究华南大地构造,80 年代在国内外发表了一系列论文,对华南大地构造提出了许多新的看法^[7,8],在地学界引起巨大震动。尽管国内学者对许靖华的学术观点颇有争议,但许靖华的新思路、新方法、新模式却无疑是 80 年代华南大地构造研究中极为重要的进展之一,而且至今仍对我国的大地构造研究产生较大影响。80 年代后期,杨森榭^[9]提出华南地区在早前寒武纪可能是一个统一的陆块,到中、晚元古代才分裂成扬子和华夏两个陆块,而其间出现华南陆间裂陷系。

任纪舜^[10]则提出一个印支—南海准地台代替华夏古陆,认为华南的构造格架是由扬子和印支—南海两个准地台及其间的滇越—华南地槽所组成,后者总体上是一个由浙赣向桂越呈剪刀状张开的拗拉槽。

由上可见,80 年代的华南大地构造研究呈现出百家争鸣的局面,而德兴地区所在的赣东北始终是研究的热点。对本区大地构造背景及其演化的大量研究成果表明,赣东北地区有着复杂的构造背景和演化史,正如 1998 年 10 月下旬在德兴召开的华南地区板溪群构造属性再认识野外现场研讨会会议纪要中所总结的:“赣东北地区的地质构造极其复杂,再加上植被覆盖严重,因此要完全揭示该地区的构造格局及其演化历史,还有待于今后进一步的深入、细致的研究工作”。

就现有资料来看,赣东北地区至少经历过自中元古代以来的多次碰撞造山作用。但是目前对赣东北地区构造格局的认识仍以北西侧的九岭(—障公)地体与南东侧的怀玉地体的碰撞拼贴为主流^{[5,11]①②},只是在地体名称及某些具体方面存在着差异而已。笔者认为,在这两个地体于晚元古代碰撞拼贴之后,该地区所经历的主要是属于板内(陆内)的构造活动。其中,受太平洋板块作用的影响,在燕山期发生的 A 型俯冲是本区构造演化最重要的事件之一。

1.2 赣东北深大断裂带

德兴地区地质构造的重要单元及控制因素之一是赣东北深大断裂带。该断裂带系 50 年代由朱训等^[12]发现,几十年来由于其在区域地质构造演化中的重要意义而始终受到关注。该断裂带从江西东乡经德兴、婺源沿北东向延伸至皖南歙县一带,长达 200 多公里,在地层、构造、岩浆活动、矿化、地球物理、遥感影像及地震活动等各个方面都有良好显示,是一条长期活动的超壳深断裂。它对赣东北地区的构造演化、岩浆活动和成矿作用都具有特别重要的控制意义,德兴大型铜金矿集区的几个大型矿床都产在赣东北深大断裂带附近。

赣东北深大断裂带是九岭地体与怀玉地体的碰撞拼贴缝合带,它也是一条蛇绿混杂构造岩带,沿该

① 舒良树. 赣北晚元古代地体构造与碰撞造山带. 南京大学博士学位论文, 1991.

② 张喜慧. 赣东北、江绍地区地体构造及碰撞缝合带运动学研究. 南京大学硕士论文, 1996.

断裂带分布一系列超镁铁质岩体。周国庆^{[13]①}较早开始研究赣东北地区的超镁铁质岩(蛇绿岩),并根据其产出地质特征、岩石学和矿物学、岩石化学和地球化学等将它确定为产于大陆边缘弧后海盆之中的蛇绿岩,否定了前人关于超镁铁质岩体是燕山期侵入的观点。此后不断有人对此进行研究工作,如汪新^②把这些超镁铁质岩称为“怀玉山蛇绿岩”,认为它们属于边缘海蛇绿岩;华仁民^{[14]③}以樟树墩超基性岩为例,认为它们属于阿尔卑斯型橄榄岩—蛇纹岩组合,是海沟蛇绿岩;徐备等^{[15]④}的研究成果显示赣东北蛇绿岩的岩浆来源为单一的中等亏损地幔,其原始构造环境为岛弧或边缘海。除了超镁铁质岩体外,该断裂带内还存在相关的高压变质岩^[13,16]。目前普遍认为,赣东北蛇绿混杂构造岩带虽然是两个地体的缝合带,但它本身仍应归属于怀玉地体的边缘部分。有关赣东北蛇绿岩的研究成果对于深入认识赣东北深大断裂带乃至整个赣东北地区的地质构造特征及演化有着重要的意义。

关于赣东北深大断裂带的形成时代和机制,较早有朱钧等^[17]对更大范围上的浙皖赣深断裂带进行了研究。华仁民^{[14]③}根据板块边缘沟弧盆体系的理论,提出它是由古俯冲带转变而来的,具体来说,赣东北深大断裂带的位置相当于约1 000 Ma BP落可索运动时的古俯冲带,它在雪峰运动后的压应力松弛阶段转化为深断裂带。汪新等^[18]认为该断裂带是强烈的构造变形带,是地质上的明显界线,无疑代表了一条古碰撞缝合线;沿此带发生的是晚元古代古岛弧(怀玉地体)向扬子板块被动大陆边缘(九岭地体)的碰撞推覆。徐备等^[15]测得赣东北蛇绿岩的Sm-Nd同位素年龄为930 Ma。舒良树^④认为沿赣东北深大断裂的碰撞造山模式是“地体碰撞—对冲推覆—走滑拼贴”,可与欧洲华力西期造山带的碰撞造山模式对比,并进一步论证了它又是一条左旋走滑韧性剪切带。总之,目前的资料基本上认同赣东北蛇绿岩是晚元古代的产物,赣东北深大断裂带的形成也应在晚元古代。

2 地层及其对成矿的控制

2.1 地层的时代、层序和名称问题

赣东北地区出露的地层主要是前寒武系的浅变质岩。关于本区前寒武系地层的时代、层序和名称,虽经多次区测、区调和专题研究的厘定,但迄今仍未能统一,不同的研究者使用着各自的方案。在赣东北深大断裂带北西侧的九岭地体内,被大多数入长

期采用的地层名称是双桥山群,它代表着广泛分布于赣东北深大断裂带北西侧的中元古界地层,为一套浅变质富含火山物质的类复理石建造,厚逾6 km,习惯上分为上下亚群。另一个较广泛使用的名称是九岭群,表示其在九岭地体中的大面积出露,它与双桥山群的内涵似乎基本相同。沿赣东北深大断裂带—蛇绿混杂构造岩带(亦即怀玉地体的西北缘)分布的一套地层传统上称为漆工群,而怀玉地体的主体则由登山群、震旦系及下古生界地层组成。近几年来江西省地矿调研大队又将怀玉地体西北部的前寒武系地层序列定为中元古界的张村群与新元古界的登山群^[19]。

德兴大型铜金矿集区位于九岭地体与怀玉地体的碰撞缝合带及其旁侧。以往资料多认为德兴位于赣东北深大断裂带北西侧的九岭地体内,故该区出露地层主要是双桥山群或九岭群,这也是目前大部分文献中使用的地层名称。漆工群的名称也仍在少数文献中使用。然而最近的调研成果表明,赣东北深大断裂带中段的德兴—海口一带,恰是怀玉地体向九岭地体强烈推覆的地段,而德兴矿集区的大部分地区,至少包括铜厂和金山,是在怀玉地体的推覆岩块之内^[20],因此,德兴矿集区出露的地层应是中元古界张村群的韩源组,以海相火山碎屑岩夹细碧—角斑岩沉积建造为特征^[20,21]。谢代强等^[22]最近又提出德兴—铜厂地区的这套沉积建造应改称为铜厂群,并认为它可与同属怀玉地体的浙西(双溪坞群)、皖东南中元古界地层对比。概括起来,德兴大型铜金矿集区主要出露的也是几个大型矿床产出的地层属于中元古界,但其名称仍未统一,目前使用的有双桥山群、九岭群、漆工群、韩源组、铜厂群等。本文则沿用双桥山群的名称。

德兴乃至赣东北地区的这一套前寒武系浅变质岩在更大的区域上与华南的板溪群相当。如前文述及,许靖华等^[8]研究华南大地构造引起的争议之一就是关于板溪群的地质意义,他们提出“板溪群”不是前震旦纪的一个地层单位,而是中生代碰撞造山

① 周国庆,赣东北深断裂—超镁铁质岩探索,全国超基性岩会议论文摘要,1981。

② 汪新,怀玉山蛇绿岩形成环境及其板块构造意义,南京大学硕士论文,1985。

③ 华仁民,德兴地区两类花岗岩的特征及成矿作用,南京大学硕士论文,1981。

④ 舒良树,赣北晚元古代地体构造与碰撞造山带,南京大学博士论文,1991。

的构造混杂岩,因此,包括赣东北双桥山群在内的华南地区这一套地层的构造属性问题就引起了地质学界的广泛重视。赵崇贺等^[23]在赣东北深大断裂带内的樟树墩蛇纹岩两侧围岩中,发现了晚古生代放射虫;而在浙、皖、赣、湘的板溪群及相当地层单位中,也有发现古生代生物化石的报道。于是,我国地质学界在 90 年代后期再次出现了关于板溪群的时代及构造归属、“江南古陆”是否存在,以及华南大地构造格局是否应重新认识的质疑和争论。在这一背景下,由国家自然科学基金委和中国地质学会的构造地质、前寒武纪地质两个专业委员会联合发起,于 1998 年 10 月在江西德兴召开了“板溪群”构造属性再认识野外现场研讨会,实地考察了赣东北蛇绿混杂岩带。不同的观点在会上进行了热烈的讨论和交流,最后未能就双桥山群或板溪群的时代及构造归属达成共识。大多数代表认为,尽管在双桥山群中发现了构造混杂岩并在其中发现晚古生代放射虫硅质岩,但还不足以否定该群和板溪群的存在,因为已经查明的构造混杂岩出露区毕竟还十分有限。

2.2 地层对成矿的控制

关于中元古界地层对德兴地区金、铜等矿床的控制与贡献问题一直是众多地质工作者所孜孜探求的,因为该地区的大型、超大型矿床都与地层密切相关,如金山韧性剪切带型金矿直接赋存于地层中,银山次火山热液型铜金多金属矿床虽然在成因上与次火山岩体有关,但其矿体主要产生在地层之中,即使对铜厂、富家坞等斑岩铜(钼)矿床来说,其矿体也定位于斑岩体与地层的接触带,且围岩(地层)中矿体的金属储量占总储量的三分之二。

对德兴地区地层的含矿性研究主要从 80 年代兴起,并且是从铜厂斑岩铜矿开始的。周耀华等^[24]认为德兴斑岩铜矿的大部分铜来自于深源岩浆,围岩中没有明显的矿源层,但含铜背景较高,因此成矿热液也从围岩中吸取了部分铜,经估算,深源岩浆贡献了 7/8 的铜,而地层贡献了 1/8 的铜。朱训等^[12]、芮宗瑶等^[25]认为德兴斑岩铜矿床的围岩(九岭群九都组地层)中平均含铜量为 65×10^{-6} ,某些岩性为 76×10^{-6} ,部分地区地层含铜量达 203×10^{-6} ,且地层的全铁含量也较高,因此成矿过程中应有少量铜来自围岩。这些观点基本上代表了 80 年代前期关于地层对德兴斑岩铜矿意义的认识,即①地层的含铜背景较高,②矿床中的铜主要来自岩浆,只有少量来自围岩。季克俭等^[26]对德兴铜矿田铜的地球化学场进行了研究,识别出在岩体(矿床)周

围存在的、距岩体自近至远分布的增高场、降低场和正常场,增高场中又分出矿化场与正晕场,据此他们认为围岩为热液成矿提供了矿质。梁祥济^[27]进行了德兴斑岩铜矿成矿物质来源的实验研究,证实围岩中金属元素在一定条件下可以活化,并以多种氯络合物等形式迁移,根据实验数据粗略计算,围岩可提供的铜达 4 986 万 t,从而证明了围岩(九岭群)是德兴斑岩铜矿的矿源层。但金章东等^{[28][10]}近来又提出了德兴铜厂斑岩铜矿体系金属物质的正岩浆来源,认为铜与侵入岩浆为单一体系,铜主要来自岩浆本身,围岩矿质仅少量掺入于斑岩体上盘下部的低品位区。

与德兴斑岩铜矿情况不同,金山金矿直接产在主要由中元古代浅变质岩组成的构造变形带中,因此围岩与成矿的关系较为密切。南京大学刘英俊等^{[29][30]}对江南造山带内中晚元古代浅变质岩系中的金矿床进行了长期系统的研究,其中包括对地层中的含金建造、区域性地层金亏损与金矿化的共轭等专题研究,取得了丰硕成果。他们根据对赣东北金山金矿外围地层样品的含金量统计,认为九岭群浅变质岩中金的丰度值较低,并没有明显的富集,虽然过去认为金山金矿围岩漆工群的含金背景较高,但在剔除了含量过高样品之后,其丰度值也只有 5×10^{-9} [29]。韦星林^[31]则认为德兴地区的双桥山群浅变质岩金丰度高达 15.3×10^{-9} ,为高金背景区,且金山两侧糜棱岩化带存在金的亏损,因此金山金矿床的金来源于就地改造的双桥山群。奚叙等^[32]探讨了赣东北地区前震旦系地层中金的原生富集趋势,发现怀玉山地体各类岩石的金含量均比障公山(九岭)地体的高,尤其在细碧岩及细碧玄武岩中金有明显富集,他们认为怀玉山地体的中元古界铜厂群及晚元古界登山群拔竹坑组可视为金的原生富集层,也是赣东北地区的重要矿源层。

银山多金属矿床的一个重要特征就是多种有用元素的高度富集,铜、金、银、铅、锌、硫的储量都分别达到大型矿床的规模。由于银山的次火山岩规模和分布范围都较小,因此,如此大量的成矿物质从何处来便成为众所关心的问题。不少人根据银山矿所在的双桥山群地层中有较高的成矿元素含量,提出地层提供部分成矿物质的设想。邱德同^[33]认为双桥山群的有利地层层位及韧性剪切带的组合是银山矿

① 金章东. 德兴铜厂斑岩铜矿床成矿流体地球化学及演化. 南京大学博士论文, 1999.

床的主要控矿因素。华仁民等^[34]通过对银山矿区外围 225 km² 范围内 213 个双桥山群地层样品的金含量分析,获得了明显的围绕矿区展布的金地球化学降低场及其含量的梯度变化,从而定量地证实双桥山群为银山矿床的金矿化提供了成矿物质。

从目前已有资料和研究成果看,德兴地区的中元古界地层,不论它被称作双桥山群或九岭群或铜厂群或漆工群,由于其成矿元素含量较高,因而不同程度上为本区铜厂、金山、银山等矿床提供了成矿物质。这一点,在各个矿床的成矿机制和成矿流体过程研究中也得到了证实。

3 燕山期构造—岩浆活动与成矿作用

由于赣东北地区所处的特殊大地构造位置,它在晚元古代九岭地体与怀玉地体碰撞拼贴之后的漫长地质年代里,不断经受着构造运动及变形,以及不同程度、不同类型的岩浆活动,为成矿作用提供动力、能量和物质来源。

德兴地区的岩浆活动相对来说比较简单,主要集中在晋宁期和燕山期这两个阶段,前者以超基性、基性、中基性侵入—喷出岩为主,其中的超基性岩实际上就是产在赣东北深大断裂带中的蛇绿混杂岩;后者则以中酸—酸性侵入岩和火山碎屑岩为特色^①。赵崇贺等^[23,35]在赣东北深大断裂带内岩石中发现晚古生代放射虫的基础上,测定了该带内和带外几个关键地点的火山岩、辉长岩的⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素地质年龄,获得的坪年龄分别为 434.9~486.7 Ma 和 232.5~266.3 Ma,由此认为赣东北地区有早古生代晚期的火山活动。但无论如何德兴地区的岩浆活动应以燕山期最为重要。

德兴大型铜金矿集区的成矿作用与燕山期构造—岩浆活动有着成因上的密切联系。铜厂、富家坞、珠砂红等花岗闪长斑岩,银山的英安斑岩等次火山岩都是燕山期岩浆活动的产物,从已发表的同位素年龄数据来看,它们主要属于燕山早期。华仁民等^②较早提出了德兴地区存在两个不同成因系列的花岗岩类,即以德兴铜矿区花岗闪长斑岩及银山区次火山岩为代表的同熔型花岗岩类与以大茅山花岗岩为代表的改造型花岗岩类,二者基本上分别侵位于赣东北深大断裂带的两侧;从岩石学、矿物学、地球化学的各方面特征将二者进行系统对比,并用 Rb-Sr 同位素测定铜厂花岗闪长斑岩的等时线年龄为 184.2 Ma,确定其为燕山早期岩浆活动的产物,根据岩石特征和地质背景的综合分析,认为德兴地区

同熔型花岗岩类的初始岩浆是由上地幔物质分熔的产物,在它沿赣东北深大断裂上升过程中曾受到地壳物质的同化混染,并演化为一套中→中酸→偏酸性的火成岩类,而该地区以大茅山花岗岩体为代表的改造型花岗岩类则是地壳物质通过长期交代改造—花岗岩化及部分熔融作用的产物。胡志宏等^[37]在此基础上提出本地区的大茅山—灵山岩基带与德兴—婺源斑岩带的空间分布与燕山期陆内挤压俯冲密切相关,构成典型的陆内挤压俯冲背景下的 A 型李生花岗岩带。

关于岩浆活动与铜、金等成矿作用在空间及成因上的具体联系,已有大量的研究成果。尤其是以铜厂为代表的德兴斑岩铜矿,更是从 70 年代后期起就积累了大量文献资料^[12,25,38~40],充分证明铜厂、富家坞、珠砂红等铜矿床与同名花岗闪长斑岩小岩株之间的成因关系。80 年代对银山的研究逐渐开展,例如叶庆同等^[41]对矿床成因的研究等。华仁民^[42]提出银山是一个次火山热液型矿床,而且是两期矿化叠加的结果,即第一阶段流纹英安斑岩伴随的铅锌银矿化及第二阶段英安斑岩伴随的铜(铅锌)矿化,从而对前人关于银山矿以 3 号英安斑岩体为中心南北两侧对称分带的成因模式提出了异议。后来,华仁民等^[43]又总结了银山矿床“成矿时间多期次、成矿空间多中心、成矿物质多来源、控矿条件多因素”的多元成矿作用。胡受奚等^[44]提出气化—热液矿床的侧向分带,并认为这是与活动大陆边缘构造环境中的板块—板片下行—俯冲机制有关,而德兴的银山多金属矿等矿床表现出明显的侧向(东南向)分布和分带特征,应该是沿赣东北深大断裂带发生的 A 型俯冲作用造成的结果。华仁民等^[34]指出银山的成矿作用受北东向主干断裂(F₇)的控制,它既是火山岩浆活动的通道,也是流体活动的中心。

总之,德兴地区的铜厂、富家坞等斑岩铜矿及银山多金属矿床与岩浆活动的密切关系,已经是矿床学界的共识,但是关于金山金矿与岩浆活动的关系则尚未有明确的证据。金山地区岩浆活动微弱,在有深部工程控制的 5 km² 范围内无中酸性岩浆侵入活动迹象^[31],仅有少量辉绿岩、辉石闪长岩脉零星分布,其时代也未能准确界定,因此,一般认为金山金矿属于韧性剪切带变质热液型矿床^[33]或受韧性

① 江西省地质矿产局. 德兴图组 1:50 000 地质图说明书. 1985.

② 华仁民. 德兴地区两类花岗岩的特征及成矿作用. 南京大学硕士论文. 1981.

剪切带控制的蚀变糜棱岩型和石英脉型金矿^[20]。然而,由于金山金矿位于铜厂—富家坞斑岩铜矿以南大约 2 km 处,相距较近,且金山的金矿化带以较缓的倾角向 NNE 倾斜,即向铜厂斑岩铜矿的深部下插,因此也有人关注二者的成因联系。如朱庆祯^[45]根据二者之间的时空及构造关系、化学成分、围岩蚀变、矿化分带等一系列对比分析,认为金山金矿与铜厂斑岩铜矿关系极为密切,其成因是岩浆热液金矿,且属斑岩成矿系列。黄宏立等^[46]认为金山金矿的成因是与深部隐伏岩体引起的热穹隆有关的岩浆热液型金矿床。韦星林^[31]也指出金山延深地段应注意铜—金叠加的成矿作用。

4 德兴大型铜金矿集区主要矿床的成矿流体研究

流体在金属矿床的形成过程中扮演着重要的角色,对于各类热液矿床来说成矿流体更是起着十分关键的作用^[47]。对德兴大型铜金矿集区主要矿床的成矿流体研究从 80 年代即已开始,90 年代起得到重视并逐渐成为矿床研究的主要方向。

4.1 铜厂斑岩铜矿床及银山多金属矿床的成矿流体研究

周耀华等^[24]在研究德兴斑岩铜矿成矿物质来源时认为有部分水来自于深源的花岗闪长质岩浆,又有地下水渗入与岩浆气液混合而形成含矿热液。朱训等^[12]指出德兴斑岩铜矿是由岩浆晚期—期后热流体多次成矿作用叠加而形成的浅成热液铜矿床,与国外典型斑岩铜矿不同的是具有“岩体中心式”叠加“接触带中心式”的特殊面型蚀变分带模式,而其相应的成矿流体活动也具有“正岩浆模式”与“(地下水)对流模式”复合的特征,有早期岩浆水和晚期地下水的双重来源。芮宗瑶等^[25]也有类似的结论。看来,这种早期岩浆水加晚期地下水的成矿流体双重来源代表了 80 年代对德兴斑岩铜矿成矿流体的基本认识;而且至今仍然是关于德兴斑岩铜矿成矿流体来源的占主导地位的认识,如叶德隆等^[40]认为成矿早期阶段热流体主要来自深部的岩浆水,至成矿后期,地下热水在成矿流体中可能起着更重要的作用^[40]。但是也有一些研究者分别强调其中之一。如前所述,季克俭等^[26]根据德兴斑岩铜矿田外围铜的地球化学场特征提出围岩为成矿作用提供了铜源,间接证明地下水在成矿过程中的重要意义,梁祥济^[27]的实验研究也得出类似的结果,张理刚等^[48]则认为铜厂斑岩铜矿成矿流体是由大气

降水渗入深部被加热,在 300 °C 以及 $W/R = 0.5$ 左右条件下与千枚岩、花岗闪长斑岩发生水—岩交换而形成的,从而使“大气降水来源”观点达到顶峰。最近,郭新生等^[49]研究了德兴斑岩铜矿花岗闪长斑岩的氧同位素组成的垂向变化规律,并推论由大气降水演化为成矿热液是可能的。与此相反,一些研究者则提出了以岩浆水为主的观点,这可以金章东^①近来的工作为代表,他在对铜厂矿床进行横向和纵向的地质、蚀变矿物组合、流体包裹体及 H、O 等同位素研究后,提出铜厂体系成矿金属物质的“正岩浆来源”,认为成矿流体主要是由岩浆出溶的 3 种不混溶岩浆水构成的,然而他也承认在成矿晚阶段有大气降水的加入。

银山多金属矿床被很多研究者认为是相当于德兴斑岩铜矿体系的浅部的产物^[50~52],笔者认为,仅从这一点出发,就可以推断大气降水在银山矿床形成过程中的重要意义。但由于银山矿床在空间及成因上与火山机构及次火山岩体的密切联系,因此不少研究者强调了岩浆水的作用,如沈渭洲等^[53]测得银山成矿流体的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为 11.47‰ ~ 3.10‰,变化范围较宽,介于银山地区岩浆水值(11.10‰ ~ 9.76‰)与大气降水值(-9.0‰)之间而接近岩浆水值,据此认为银山成矿流体主要由岩浆水组成,至晚阶段有大气降水加入;叶庆同^[41]、何国朝等^[54]的研究结果与之基本相同。莫测辉等^[55]则提出银山矿床经历构造动力热液成矿和火山岩浆热液成矿的双重耦合成矿作用,但对前一种热液的来源与性质并未阐明。吴志军^[56]利用 H、O、Pb、S、C 等同位素手段研究银山成矿流体来源及水—岩反应,认为银山成矿流体是由岩浆水经水—岩反应演化而来。华仁民等^[57]在对银山矿床地质地球化学特征长期研究的基础上,应用水—岩同位素交换理论,对银山地区各类蚀变岩石的氧同位素变化规律进行研究,并进行了模拟计算,结果表明银山成矿流体应来源于大气降水,是大气降水在深部较高温度和低 W/R 比值条件下与千枚岩发生水—岩反应的产物,而岩浆活动主要为成矿作用提供了热源。

斑岩铜矿的成矿体系经历了比较漫长的演化过程。大量研究表明,铜和金的矿化形成于该演化过程的较晚阶段和相对较低的温度(< 400 °C),而且可能是在以大气降水为主导的环境^[58~60]。因此,

① 金章东,德兴铜厂斑岩铜矿床成矿流体地球化学及演化,南京大学博士论文,1999。

如果把银山与铜厂置于同一成矿体系的不同部位，则笔者认为大气降水对于产在接触带(石英—绢云母带)的铜厂斑岩铜矿体的生成应起着重要的作用，而对位于更浅部的银山矿床则应起着主导的作用。

除了上述关于成矿流体来源与性质的研究外，一些作者也对铜厂与银山等矿床成矿过程中流体作用的其他方面进行了研究，例如郭国章等^[61]进行了德兴斑岩铜矿成矿过程中地下水运移的数值模拟，陈繁荣^[62]进行了银山矿床成矿过程中流体作用的地球化学模拟，张德会等^[63]也运用热—质输运理论模拟了银山矿床成矿流体的温度场和流速场，从而把成矿流体研究与成矿作用动力学研究结合起来。

4.2 金山金矿床的成矿流体研究

虽然到目前为止对金山金矿的成矿流体还没有进行过系统的专题研究，但是有关成矿流体的问题已经在许多文献中提及，归纳起来，主要有三种观点。第一种观点认为金山金矿属岩浆热液型矿床，如黄宏立等。第二种观点突出了(动力)变质作用对成矿的意义，从而认为变质水是成矿流体的主要来源，如朱恺军等^[64]认为金山是在沉积作用形成初始(金)富集的背景下，经变质热液改造而成的金矿床，韦星林等^[31、64、65]提出金山属于韧性剪切带型变质热液金矿床，但他们在强调变质水的同时，都指出在成矿过程中有大气降水的加入，孙承轺等^[66]在进行金山金矿韧性剪切过程中物质迁移的研究时，也认为除了变质水外，还有大量外来水的加入。笔者最近对金山金矿的石英样品进行了硅同位素测定，结果也显示成矿流体具有变质水的特征。第三种观点则以季峻峰等^[67、68]的工作为代表，他们认为金山金矿的成矿作用可分为两个阶段，第一阶段的韧性剪切过程形成含金硅质糜棱岩和石英脉，而在第二阶段，来源于大气降水的地下热水的作用而导致了金的富集成矿。

从对上述文献的分析可见：①成矿流体的研究是与矿床成因、成矿机制的研究密切相关的，成矿流体的三种观点也代表了对金山金矿成因的三种不同认识；②目前对于金山成矿流体的研究还处在初级阶段，主要是以少量氢、氧同位素数据为依据对成矿流体来源进行判断，而对成矿作用中流体生成、运移、卸载的全过程还缺乏深入研究。

5 结 语

矿集区尤其是大型矿集区是重要的矿产资源基地，对国民经济发展具有特别重要的意义，因此，在

对单个矿床进行成矿机制详细研究(小尺度)和对重要成矿区带进行地质构造环境宏观研究(大尺度)的基础上，对矿集区进行成矿条件、控矿因素及找矿前景的中尺度研究，正在成为当前矿床学研究的重点。包括德兴大型铜金矿集区在内的我国东部若干大型矿集区的形成是中生代大规模成矿作用在空间上的非均一性的表现，因此，大型矿集区也是研究大规模成矿作用的关键所在^[69]。可以预见，随着国民经济发展对矿产资源需求的不断增大，以及新的成矿学理论和研究方法的不断发展，大规模成矿作用及大型矿集区预测研究必将成为矿床学研究的热点和前沿领域，对德兴大型铜金矿集区的研究也必将受到更大的重视^[70]，并在成矿构造背景、成矿过程的流体作用等方面取得新的重要成果，成为我国东部大型矿集区研究的典型范例。

参考文献

[1] 郭令智 施央申,马瑞士.华南大地构造格架与地壳演化[A].见:第26届国际地质大会筹备办公室编.国际交流地质学术论文集(一)[C].北京:地质出版社,1980.109~116.

[2] 郭令智 施央申,马瑞士,等.江南元古代板块运动和岛弧构造的形成和演化[A].见:中国地质学会,中国地质科学院编.国际前寒武纪地壳演化讨论会论文集(一)[C].北京:地质出版社,1986.30~39.

[3] 郭令智 施央申,马瑞士,等.中国东南部地体构造的研究[J].南京大学学报,1984,20(4):732~737.

[4] 舒良树 李雅锦.试论江西北部的地体构造[J].江西地质,1987,1(1):31~37.

[5] 徐备 郭令智 施央申.皖浙赣地区元古代地体和多期碰撞造山带[M].北京:地质出版社,1992.

[6] 水涛,徐步台.绍兴—江山古陆对接带[J].科学通报,1986,31(6):487~489.

[7] 许靖华.薄壳板块构造模式与冲撞型造山运动[J].中国科学,1980(11):1081~1089.

[8] 许靖华 孙枢 李继亮.是华南造山带而不是华南地台[J].中国科学(B辑),1987(10):1107~1115.

[9] 杨森楠.华南裂陷系的建造特征和构造演化[J].地球科学,1989,14(1):29~36.

[10] 任纪舜.论中国南部的大地构造[J].地质学报,1990,64(3):225~288.

[11] 舒良树 施央申 郭令智,等.江南中段板块—地体构造与碰撞造山运动学[M].北京:地质出版社,1995.

[12] 朱训,黄崇珂,芮宗瑶,等.德兴斑岩铜矿[M].北京:地质出版社,1983.336.

[13] 周国庆.赣东北元古代蛇绿岩和高温高压变质岩的发现及意义[J].南京大学学报(地球科学版),1989(1~2):25~37.

[14] 华仁民.赣东北深大断裂带形成机制的讨论[J].南京大学学报(地球科学版),1988(1):62~69.

[15] 徐备,乔广生.赣东北晚元古代蛇绿岩套的 Sm-Nd 同位素年龄及原始构造环境[J].南京大学学报(地球科学),1989 (3):108 ~ 114.

[16] 周国庆,舒良树,吴洪亮.与赣东北蛇绿岩有关的高温高压变质岩和重变质作用机制[J].岩石矿物学杂志,1989,8(3):220 ~ 231.

[17] 朱钧,张景垣.试论浙皖赣深断裂带[J].地质论评,1964,22(2)91 ~ 98.

[18] 汪新,马瑞士.怀玉山蛇绿混杂岩及古碰撞缝合线的确定[J].南京大学学报(地球科学),1989 (1-2):72 ~ 81.

[19] 江西省地质矿产厅.江西省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.

[20] 谢代强,熊文亮.江西德兴地区金矿成矿地质特征及找矿方向[J].江西地质,1997,11(4):17 ~ 22.

[21] 占天卫.德兴市金三角成矿规律的几个重要问题的探讨[J].江西地质,1998,11(4):273 ~ 277.

[22] 谢代强,熊文亮,熊丁根.德兴地区怀玉体前震旦纪地层划分与对比[J].江西地质,1999,11(2):85 ~ 92.

[23] 赵崇贺,何科昭,莫宣学,等.赣东北深断裂带蛇绿混杂岩中含晚古生代放射虫硅质岩的发现及其意义[J].科学通报,1995,40(23):2161 ~ 2163.

[24] 周耀华,梅占魁,王传松,等.德兴斑岩铜矿物质来源之刍议[J].江西地质科技,1981 (1):32 ~ 41.

[25] 芮宗瑶,黄崇轲,齐国明,等.中国斑岩铜(钼)矿床[M].北京:地质出版社,1984.

[26] 李克俭,吴学汉,张国柄.热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律[M].北京:北京科学技术出版社,1989.

[27] 梁祥济.江西德兴斑岩铜矿成矿物质来源的实验研究[J].地质论评,1995,41(5):463 ~ 471.

[28] 金章东,朱金初.关于德兴斑岩铜矿的成矿物质来源——与梁祥济研究员商榷[J].地质论评,1998,44(5):464 ~ 469.

[29] 刘英俊主编.江南金矿及其成矿地球化学背景[M].南京:南京大学出版社,1993.

[30] 刘英俊,沙鹏,朱恺军.江西德兴地区中元古界双桥山群含金建造的地球化学研究[J].桂林冶金地质学院学报,1989 (2):115 ~ 126.

[31] 韦星林.江西金山韧性剪切带型金矿地质特征[J].江西地质,1996,10(1):52 ~ 64.

[32] 奚舫,廖洪鑫,周新民.赣东北地区前震旦系地层金的原生富集趋势探讨[J].江西地质,1997,11(1):46 ~ 50.

[33] 邱德同.江西银山矿床成矿构造及成因的新认识[J].地质与勘探,1991,27(6):8 ~ 10.

[34] 华仁民,陈克荣,赵连泽.江西银山外围地层中金的地球化学降低场及其成矿意义[J].矿床地质,1993,11(4):289 ~ 296.

[35] 赵崇贺,何科昭,邵道乾,等.赣东北地区重要火成岩的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄[J].地球科学——中国地质大学学报,1997,22(3):257 ~ 260.

[36] 华仁民,董忠泉.德兴地区两个系列花岗岩类的特征对比及成因探讨[A].见:徐克勤,涂光炽主编.花岗岩地质与成矿关系[C].南京:江苏科技出版社,1984.226 ~ 240.

[37] 胡志宏,胡受奚.挤压—俯冲作用与 A 型李生花岗岩带[M].北京:地质出版社,1993.

[38] 周耀华.江西某地斑岩铜(钼)矿地质成矿特征[A].见:地质科学院地质矿产所编.铁铜矿产专辑(5)[C].北京:地质出版社,1975.

[39] 邵克忠.论德兴斑岩铜矿床热液蚀变分带模式[J].河北地质学院学报,1979 (2):1 ~ 7.

[40] 叶德隆,叶松,王群,等.德兴式斑岩型矿床的构造—岩浆—成矿体系[J].地球科学——中国地质大学学报,1997,22(3):252 ~ 256.

[41] 叶庆同.赣东北铅锌矿床成矿系列和成矿机理[M].北京:北京科学技术出版社,1987.

[42] 华仁民.江西银山铅锌铜矿化机制的讨论[J].矿床地质,1987,6(2):90 ~ 96.

[43] 华仁民,陈克荣,沈兆龙,等.江西银山矿床多元成矿作用[A].见:第五届全国矿床会议论文集[C].北京:地质出版社,1993.43 ~ 45.

[44] 胡受奚,陈武,华仁民,等.气化—热液矿床的侧向分带及其成因机制[J].矿床地质,1992,11(4):291 ~ 300.

[45] 朱庆祖.对江西金山金矿床的成因认识[J].华东地质矿产,1992 (2):56 ~ 62.

[46] 黄宏立,杨文思.赣东北金山金矿床的地质特征及矿床成因[J].地质找矿论丛,1990,5(2):29 ~ 39.

[47] 华仁民.流体在金属矿床形成过程中的意义——水岩反应研究进展系列评述(3)[J].南京大学学报(地球科学版),1993,5(3):351 ~ 360.

[48] 张理刚,刘敬秀,陈振胜,等.江西德兴铜厂铜矿水—岩体系氢氧同位素演化[J].地质科学,1996,31(3):250 ~ 263.

[49] 郭新生,李克俭,黄耀生,等.德兴斑岩铜矿成矿热液来源及其演化——花冈闪长斑岩的氧同位素制约[J].高校地质学报,1999,5(3):260 ~ 268.

[50] 王德滋,陈克荣,杜杨松,等.江西德兴银山火山机构特征及矿床成因研究[J].南京大学学报,1984 (增刊):1 ~ 8.

[51] 黄世全.银山矿床的矿床类型及成因[J].地质与勘探,1992,28(4):11 ~ 17.

[52] 江西有色地勘局.江西银山铜铅锌金银矿床[M].北京:地质出版社,1996.

[53] 沈渭洲,陈繁荣,刘昌实,等.江西银山多金属矿床的稳定同位素研究[J].南京大学学报(地球科学版),1991,3(2):186 ~ 194.

[54] 何国朝,林德松.江西银山矿床的稳定同位素组成特征[J].矿产与地质,1992,6(5):406 ~ 412.

[55] 莫测辉,冯志文,夏卫华,等.江西银山金铜多金属矿床构造动力热液与火山岩浆热液双重耦合成矿作用[J].江西地质,1995,9(2):93 ~ 101.

[56] 吴志军.江西德兴银山多金属矿床稳定同位素地球化学特征[J].矿物岩石地球化学通报,1998,17(1):28 ~ 30.

[57] 华仁民,吴佩红,陈克荣.江西银山多金属矿床水岩反应及成矿流体来源的讨论[J].高校地质学报,1995,1(2):37 ~ 44.

[58] Sheppard S M F, Nielson R L, Taylor H P. Hydrogen and oxygen isotope ratios in minerals from porphyry copper deposits[J]. ECON GEOL, 1971,66:512 ~ 542.

[59] Beane R E, Titley S R. Porphyry copper deposits, Part II: hydrothermal, alteration and mineralisation. In: Skinner B J, ed. Econ

- Geol., 75th Anniversary, 1981, Vol.: 235 ~ 269.
- [60] Corbett G J, Leach T M. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration and Mineralisation [C]. A workshop at the Pacrim Conference, Auckland, New Zealand, 1995. 182.
- [61] 郭国章, 任启江, 方长泉, 等. 德兴斑岩铜矿成矿过程中地下水运移的动力学模拟 [J]. 地球化学, 1994, 23(4): 402 ~ 412.
- [62] 陈繁荣. 成矿过程流体地球化学模拟及其矿床学意义——以江西银山矿床为例 [J]. 地质论评, 1995, 41(1): 42 ~ 47.
- [63] Zhang Dehui, Yu Chongwen, Bao Zhengyu, *et al.* Ore zoning and the dynamics of ore-forming processes of Yinshan polymetallic deposit, Jiangxi [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 1997, (2): 123 ~ 132.
- [64] 朱恺军, 范宏瑞. 江西金山金矿床层控成因的地质地球化学证据 [J]. 地质找矿论丛, 1991, 6(4): 18 ~ 27.
- [65] 韦星林. 金山金矿地质特征及成矿地质作用 [J]. 矿产与地质, 1995, 9(6): 471 ~ 480.
- [66] 孙承轶, 张金春. 江西金山金矿韧性剪切过程中物质的迁移 [J]. 矿床地质, 1994, 13(4): 371 ~ 379.
- [67] 季峻峰, 孙承轶, 郑晴. 江西金山剪切带型金矿床中含金石英脉的成矿特征 [J]. 地质论评, 1994, 40(4): 361 ~ 367.
- [68] 季峻峰, 刘英俊, 孙承轶, 等. 江西金山剪切带型金矿床两类岩石的地球化学特征——兼论两阶段成矿机制 [J]. 地球化学, 1994, (3): 226 ~ 234.
- [69] 华仁民. 试论中国东部中生代成矿大爆发 [J]. 矿床地质, 1999, (4): 300 ~ 308.
- [70] 张德会, 乐华. 德兴成矿带成矿作用研究的进展、问题及展望 [J]. 地质论评, 1998, 44(5): 502 ~ 510.

STUDY ON THE TECTONIC SETTING AND ORE-FORMING FLUIDS OF DEXING LARGE ORE-CONCENTRATING AREA, NORTHEAST JIANGXI PROVINCE

HUA Ren-min, LI Xiao-feng, LU Jian-jun,
CHEN Pei-rong, QIU De-tong, WANG Guo

(State Key Laboratory for Mineral Deposit Research, Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Dexing area of northeast Jiangxi province is one of the large ore-concentrating areas in the Eastern Metallogenic Belt of China, which includes several large or superlarge ore deposits such as Tongchang porphyry copper deposit, Yinshan polymetallic deposit and Jinshan gold deposit. The area is geotectonically located in an important place of south-east China, therefore the study of Cu-Au mineralisation in this area is always associated with that of tectonic setting and evolution. The tectonic framework of Dexing area is the collision between Jiuling terrane in the northwest and Huaiyu terrane in the southeast along the Northeast Jiangxi Deep Fault. After this collision in late Proterozoic, the area was mainly under the intraplate tectonic evolution. The mineralisation in Dexing large Cu-Au ore-concentrating area was closely related to the Yanshanian tectono-magmatic activities, whereas the mid-Proterozoic strata have higher concentrations of ore elements, which possibly provided ore-forming materials to the ore deposits of the area. Studies on ore-forming fluid show that different deposit has its own fluid system. The Tongchang porphyry copper deposit was predominated by magma-derived fluid in the early stage and meteoric water in the late and major ore-forming stage. The Yinshan poly-metallic deposit was mainly formed by fluid of meteoric water origin. While the ore-forming fluid of Jinshan gold deposit was mainly metamorphic water formed in the ductile shearing deformation.

Key words: Tectonic setting; Ore-forming fluid; Ore-concentrating area; Dexing.