

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

乐华—德兴成矿带成矿作用研究的 进展、问题及展望

张德会

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳, 550002)

内容提要 赣东北乐华—德兴成矿带位于江南地块东南缘。带内有超大型的德兴斑岩铜矿床、金山金矿床、银山多金属矿床以及许多中小型矿床, 其中铜储量和伴生金储量分别占全国的17.5%和37%。深入研究乐华—德兴成矿带内典型矿床和区域成矿作用, 对深刻揭示大型—超大型矿床的成因、矿床分带的形成机理以及发展中国的金属成矿学理论等都有重要意义。本文讨论了近年来对该成矿带成矿作用的研究进展、存在问题, 并对研究前景作了展望。

关键词 乐华—德兴成矿带 成矿作用 赣东北

赣东北乐华—德兴(乐-德)成矿带位于江西省东北部的婺源到万年, 处在华南板块扬子古陆的江南地块东南缘, 东以赣东北深断裂带(歙县—德兴断裂带)为界, 西以乐安河断裂带为界, 与一些学者所称的德兴地体相当^[1,2], 延伸百余千米, 宽约20 km, 面积约1300 km²。

乐-德成矿带是中国华南地区一个铜-金-多金属成矿密集区。其中有超大型德兴斑岩铜矿床、金山金矿床、银山金-铜-多金属矿床、中—大型乐华多金属矿床和虎家尖银(金)矿床等。据不完全统计, 在德兴铜厂到银山不到200 km²的地域内, 已探明Cu储量约占中国Cu储量的17.5%^[3]; Au约占中国已探明伴(共)生Au储量的37%^①; Pb、Zn数百万吨。如此重要的成矿带, 引起了国内外学者的极大兴趣, 如著名的德兴铜矿已作为斑岩铜矿分带的良好实例编入了代表西方矿床学研究水平的《矿床地质学》教科书中^[4]。在近年来对超大型矿床形成机理的研究中, 乐-德成矿带更是一个不可多得的研究超大型矿床形成机理、成矿密集区形成条件和成矿分带形成机理的理想地区。

1 区域地质研究

乐-德成矿带处于江南地块南缘, 下扬子地块和南华活动带之间, 位于稳定地块到活动构造带的过渡带。因此, 自元古宙以来, 每一个大的大地构造旋回的构造岩浆活动都有表现, 其中赣东北深断裂带对带内的成岩成矿起了决定性的作用。

赣东北深断裂带是朱训等^[5]在研究德兴斑岩矿床时提出的。80年代以来, 随着板块构造理论、地体理论等的发展, 对于这条断裂带的形成有了新的认识。华仁民^[6]指出, 距今约1000 Ma时发生的落可栋(四堡)运动, 太平洋板块向北西俯冲, 古俯冲带正好位于赣东北深大

注: 本文为国家自然科学基金重点项目(编号49633120)、国家自然科学基金(编号49773196)、中国博士后科学基金A类及中国科学院矿床地球化学开放研究实验室资助。

① 谭铁龙. 江西德兴金山矿床成矿时空结构系统分析及勘查模型建立. 中国地质大学(武汉)博士论文. 1997. 101页. 本文1997年10月收到, 12月改回, 章雨旭编辑。

断裂带的位置。约 800 Ma 时发生的晋宁(雪峰)运动,以该俯冲带为边界,在其南侧发生上叠性质的断裂拗陷,古俯冲带转换为深断裂带。而在赣东北深断裂带中发现的蛇绿混杂岩——即蛇绿岩、混杂岩和高压低温变质带,特别是蓝闪石-硬柱石高压相系的存在,确定了赣东北深断裂带是一条典型的分隔两个不同构造单元的古碰撞缝合线——地壳拼接带^[7]。徐备等^[8,9]提出了新元古代发育在赣东北的沟弧盆体系,时间约在 800~1100 Ma 前,新元古代本区为扬子地台东南大陆边缘的一部分,华南板块向扬子板块的俯冲,从扬子地台向外依次形成弧后盆地、岛弧带、弧前盆地及海沟。上述观点也得到同位素年龄的佐证,如赣东北蛇绿岩带中全岩 Sm-Nd 年龄为 930 ± 34 Ma,蓝闪石的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 799.3 ± 9.2 Ma^[9];蛇绿岩的离子探针锆石 U-Pb 年龄为 $970_{-6.7}^{+4.3}$ Ma^[10]。表明赣东北新元古代碰撞带发育的时限为 0.97~0.80 Ma。上述认识对于从板块构造角度认识成矿带的成岩成矿作用是有意义的,如具有高的 Au 含量背景的双桥山基底地层的形成、与金山金矿、银山多金属矿床等矿床成矿作用有关的韧性剪切带的形成以及燕山期与多金属矿床形成有关的陆壳俯冲带型岩浆活动等。

近年来,关于赣东北深断裂带内蛇绿岩带及该成矿带分布广泛的双桥山群的形成时代的研究又有新的进展。徐树桐等^[11]在皖南相当于赣东北双桥山群的中元古代地层中,发现了多种早古生代化石;赵崇贺等^[12]在赣东北深断裂带的硅质岩中发现了晚古生代放射虫化石;杨晓松等^[13]在相当于双桥山群的蛇绿混杂岩中鉴定出属于早古生代的化石,认为双桥山群浅变质岩中至少有一部分不属于中、新元古代,而是古生代。在早古生代,赣东北存在岛弧和与之相伴的小洋盆,乐-德成矿带经历了早古生代末或晚古生代初的弧-陆碰撞造山过程。赵崇贺等^[14]测定了与含晚古生代放射虫硅质岩相伴生的火山岩以及赣东北蛇绿混杂岩带内、外的古火山岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄,获得了古火山岩 435~487 Ma 和蛇绿混杂岩内辉长岩 233~266 Ma 的年龄数据,肯定赣东北地区有晚古生代的火山活动。然而,这些火山岩是否都是晚古生代洋壳和蛇绿岩套的组成部分?有无可能是与洋壳无关的大陆岩浆活动?赣东北深断裂带内蛇绿混杂岩或双桥山群部分岩石的形成时代为古生代证据的发现,显然对于乐-德成矿带构造岩浆活动和成矿作用的认识有重要影响。而且,赣东北地区乃至华南大地构造演化都是需要重新认识 and 研究的。

对于乐-德成矿带的构造岩浆活动,胡志宏等^[15]提出了孪生花岗岩带的假说,解释发生在燕山期的岩浆活动。即燕山期太平洋板块向库拉板块碰撞后俯冲没有停止,而是在陆内继续进行,特别是在一些早期形成的深断裂带产生 A 型俯冲,这一俯冲过程中也能形成成对花岗岩带,但其模式与洋壳向大陆的 B 型俯冲形成的模式正好相反,即陆壳重熔(S)型花岗岩分布在俯冲带附近,而壳-幔同熔(I)型花岗岩则距离俯冲带较远。他们根据乐-德成矿带及其两侧发生的构造挤压和地壳缩短、燕山期形成的孪生花岗岩对以及岩浆岩的同位素年龄、产状、组合及物质来源等等,提出建德—上饶北深断裂带和赣东北深断裂带分别构成主滑脱俯冲带和超壳断裂带,在 A 型俯冲过程中,由南东向北西,依次为主滑脱俯冲带→改造系列岩基带→超壳断裂带→同熔系列火山—潜火山岩株、岩管带。与断裂带两侧发育两种成因花岗岩系列一致,断裂带南东侧,主要形成与 S 型花岗岩类有关的钨、锡、钼、稀土和铌、钽等的矿床或矿化,而赣东北深断裂带北西侧则主要形成与 I 型花岗岩类有关的铜、铅、锌、金、银、多金属矿床或矿化。这一认识较好地解释了乐-德成矿带在燕山期的成岩和成矿作用。然而,该假说没有阐明为什么发育在断裂带南东侧的稀有金属矿床在规模上远小于发育在北西侧的多金属矿床的原因,前者主要为一些中小型矿床,后者则为大型—超大型矿床。而垂直断裂带的岩浆活动也不易解

释乐-德成矿带由北东向南西展布由铜-金-钼→金→铜-铅-锌-金-银→铅-锌-银-金→银-金的区域成矿分带现象^[3]。

综上所述,乐-德成矿带区域地质的研究还有许多工作要做,而区域地质和深部地质的深入研究也会极大地提高区域成矿学的研究水平,为揭示成矿带矿床密集区的形成机理提供成矿的大地构造背景信息。

2 矿床地质研究现状及存在问题

乐-德成矿带内的矿床都各有自己的特征,就是同一成矿系列中的各个矿床,由于形成环境的差异,成矿特征也差别很大。

2.1 德兴斑岩铜矿床

由朱砂红、铜厂斑岩铜(金)矿床和富家坞斑岩铜钼矿床构成。研究最多、最详细的是铜厂斑岩铜(金)矿床。该矿床自60~70年代就于勘探的同时开始了研究工作,成果体现在1983年出版的《德兴斑岩铜矿》一书中^[5]。进入90年代,对德兴斑岩铜矿床的研究向纵深发展。如高合明等指出矿床具有裂隙-脉系统的放射状和同心圆状的分布规律,并模拟了流体驱动裂纹扩展和斑岩体系点源模型的动力学^[16];黄方方等^[17]利用有限元方法进行了斑岩和矿床的动态构造应力场模拟,强调了应力场对成矿作用的制约;郭国章等^[18]对斑岩铜矿进行了热-质输运数值模拟;何文武等^[19]则运用输运-化学反应耦合动力学对矿床面型和线型热液蚀变分带进行了有限差分数值模拟,解释了岩体中心式-接触带中心式蚀变分带的形成原因;於崇文^[20]应用分形弥散理论证明矿床表现出浸染状矿化、热液蚀变和裂隙系统三方面的自相似性,其地质多孔介质具有多重尺度的分形非均质性,其中所发生的成矿作用是一种差异平流所导致的流体动力分形弥散机制,而其本质是一种平流-分形随机游动。上述研究,极大地深化了对德兴斑岩铜矿床成矿作用的认识,而成矿作用动力学研究的引入使人们对这一超大型矿床成矿机理的认识跃上了新的水平。然而,欲深刻揭示这一超大型矿床的成矿机制,还有许多问题尚需深入研究。首先在成矿流体方面,如成矿流体成分(盐度等)的系统研究,通过同位素进行成矿流体水/岩比的研究等^[21]。从成矿流体地球化学和成矿作用动力学方向深入研究矿床的成矿机理意义深远,而进一步应用二维输运-反应耦合动力学研究矿床的蚀变-矿化特征是发展的方向。

2.2 银山多金属矿床

银山铜-铅-锌-金-银矿床规模达大型-超大型,对其研究的意义主要有:①它是一个Cu、Pb、Zn、Au、Ag和S都构成了工业富集的综合型矿床,矿床所形成的环境在成矿系列中具有过渡性(从浅成热液矿床、脉状多金属矿床向斑岩矿床的过渡)。②矿床发育顺向成矿分带,且既有水平分带也有垂向分带,既有矿区规模的分带又有矿带和矿体的分带,这种分带在全世界也不多见^[22]。该矿床在整个乐-德成矿带中具有很强的代表性,许多学者来此研究。80年代叶庆同做了深入细致的工作^[23]。

进入90年代以来,研究进展主要表现在:①在矿床属于火山-潜火山岩浆热液矿床成因的基础上,许多学者强调了韧性剪切带在成矿作用中的意义。如邱德同^[24]认为韧性剪切带与双桥山群控矿地层组合,是银山矿床的主导控矿因素;刘丹英等^[25]、冯志文等^[26]、莫测辉等^[27]提出了构造动力热液与火山岩浆热液双重耦合成矿的认识;笔者认为剪切带在银山矿床Au(Cu)等元素的最初富集中起了重要的作用^[28]。②认为成矿作用具有成矿演化多期次、成矿作

用多中心和成矿物质多来源的特征^[29~32]。③成岩和成矿演化具有由北东向南西迁移的规律,这一规律与成矿带内乐-德盆地北部成岩成矿作用由北东向南西迁移的规律一致^[28]。这对深刻认识银山矿床乃至整个成矿带的成矿作用都具有重要意义。④成矿作用动力学数值模拟被用于该矿床的研究中。如陈繁荣通过单盒-滴定(single-box-titration)模型对银山矿床成矿流体的沸腾作用进行了模拟^[33],结论是沸腾作用在矿床形成中的意义不大,这与笔者等的认识一致^[31,32]。笔者一方面运用多相多组分化学平衡计算程序(VCS)计算了矿床几种主要矿石矿物的溶解度,深入讨论了矿物溶解度对矿床分带形成的意义;另一方面运用热-质输运理论模拟了成矿热液的温度场和流速场,结果不仅证明矿区深部有隐伏岩体,还从隐伏岩体角度讨论了成矿分带形成的深层次原因^[34]。值得提出的是,《江西银山铜铅锌金银矿床》^[1]一书对银山矿床70年代以来地质勘查和科研工作进行了全面总结,资料丰富、认识新颖。

综上所述,银山矿床的地质研究程度已达到较高的水平,但仍然有一些重要问题尚未完全解决。①矿床分带问题:该问题还没有最终阐明,特别是涉及矿床在成矿系列中的位置时,如矿床深部究竟能否变为斑岩铜矿床,目前仍难下定论。②成矿流体地球化学:成矿流体特别是流体包裹体工作尚不够系统,如包裹体成分(盐度等)等的测试研究不够,直接影响了对矿质沉淀机制的讨论,如引起矿物沉淀的机制是沸腾作用?还是流体的混合作用?拟或是热液蚀变作用等,这可借鉴国外最新的研究成果^[35]。最近流体包裹体的初步研究表明,矿床多金属矿脉中发现了含石盐子矿物的流体包裹体,表明成矿流体的盐度可能更高^①,前人研究认为最高只有12wt%NaCl。这可能对深入认识银山矿床成矿流体的地球化学特征和预测深部斑岩型矿化的存在有重要意义。③成矿作用动力学的研究才刚开始,而涉及水-岩相互作用的流体流动与化学反应耦合研究,可能对于揭示成矿分带机理具有重要作用,是下一步的研究方向之一。

2.3 金山金矿床

金山金矿是80年代末—90年代初在乐-德成矿带上发现的一个超大型岩金矿床,由于主要受韧性剪切带的控制,受到众多学者的关注。肖勇^[36]、黄宏立等^[37]、朱恺军等^[38]、韦星林^[39]阐述了矿床的地质特征,讨论了矿床成因;孙承轅等^[40]、季俊峰等^[41,42]系统研究了剪切带的流体活动、成分变异及水-岩相互作用,提出了含金剪切带矿石和石英脉型矿石两阶段的成矿机制。该矿床的研究程度尚不高,关于成矿作用的认识仍存在许多问题:①矿床成因的认识尚不一致。是晋宁期与韧性剪切带或沉积构造层控有关的变质热液矿床还是与燕山期同熔型岩浆活动有关的岩浆热液矿床^[36~39,43]②?是否是典型的同韧性剪切带型矿床?成矿年龄测定的可靠性如何③?最近笔者等的初步工作表明,典型的糜棱岩型矿体中,糜棱岩仅是早期韧性变形的产物,后期的脆性叠加很强烈,而金矿化主要与脆性变形事件有关。②成矿流体地球化学研究还停留在传统矿床地质方面,缺乏对韧性剪切带的显微构造学、流体-岩石相互作用、成矿流体地球化学以及金的沉淀机制等问题的深入研究。③矿床与区域成矿作用的关系,如与德兴斑岩铜矿床、银山多金属矿床等的关系以及在乐-德成矿带中的位置。糜棱岩型矿体——矿床的主矿体,是由韧性剪切作用形成的,形成时代为晋宁期,而品位极富但规模较小的石英脉型矿

① 张德会,刘伟. 银山多金属矿床高盐度含子矿物多相流体包裹体的发现及其意义. 1998(待刊).

② 朱庆祖. 对江西金山金矿床的成因认识. 华东矿产地质, 1992, (2): 56~62.

③ 伍勤生. 金山成矿年龄测定及矿床成因探讨. 第四届全国同位素地质年代和同位素地球化学学术讨论会论文(摘要)汇编. 1989. 37页.

体的形成,与燕山期岩浆活动的脆性叠加有关。成矿物质主要源于双桥山群浅变质岩系。

2.4 其它矿床

乐华锰-铅-锌-银-金(?)-多金属矿床:属于一中一大型锰矿床,多金属矿床的规模还不清楚。对于该矿床的成因有3种认识:①认为矿床上部的锰矿体为海相沉积成因;深部的脉状多金属矿体为燕山期岩浆热液成因^[3,23]。②两种矿体同为海底热液型,只是形成的环境不同^[44,45]。③两种矿体同为地下水渗滤型^[46]。由于该矿床深部地下水的问题未解决,目前矿床未能开采,因此,对该矿床的研究难度较大。

虎家尖小型银(金)矿床:据研究,该矿床为中低温变质热液型矿床,成矿物质主要源于双桥山群浅变质岩系,据单阶段铅模式年龄确定成矿时代为早加里东运动末期(497 Ma)^[47],与金山金矿有相似之处。但有些学者认为属于与燕山期岩浆活动有关的矿床^[3]。

3 区域成矿作用研究

3.1 成矿地质条件

乐-德成矿带内的多金属矿床,其一致的成矿地质条件是:①夹持于NE向的赣东北深大断裂与乐安江断裂带之间,一条NW向的隐伏基底断裂德兴—景德镇断裂穿过火山盆地与银山矿床之间^[2]。②成矿带内由NE向SW,由变质岩隆起区→乐-德火山沉积盆地→东乡—乐华晚古生代陆内裂陷带。③矿床的主要容矿围岩都是元古宙结晶基底:双桥山群浅变质岩系;双桥山群Au等成矿元素含量较高,平均达 5.53×10^{-9} ,而乐-德成矿带内的双桥山群Au可达 15.3×10^{-9} ^[1]。如此高的背景含量使其成为乐-德成矿带Au等成矿元素的矿源层。④多期多阶段的构造岩浆活动。从最早形成基底地层的晋宁期海相火山岩浆活动,到晚古生代海相火山岩浆活动,再到燕山期陆相火山—潜火山—浅成构造岩浆活动,形成了不同时期、不同类型的火山岩和侵入岩,使成矿物质不断富集。(5)乐-德火山沉积盆地。形成于燕山期,作为一个构造断陷—沉积盆地,对成矿带中的矿床分带可能有重要的制约作用。

3.2 区域成矿特征和成矿系列

乐-德成矿带处在一个非常特殊的地理和大地构造位置,作为扬子基底隆起的江南地块的北东缘,其北部是盖层褶皱发育的下扬子地块凹陷,为一燕山期火山岩—斑岩带和一系列中—新生带火山—断陷盆地;东部为夹持于歙县—德兴和绍兴—鹰潭两条四堡期缝合线之间的古微陆块,是经历了中元古代晚期的岛弧型火山活动和震旦纪后的扬子型沉积盖层的印支期褶皱带;而南部则是包括元古宙—早中生代基底、晚古生代—中三叠世沉积盖层和中—新生代陆盆沉积的南华加里东褶皱区^[48]。相应区域成矿为:北部为长江中下游铁、铜(金)成矿带,东部为东南沿海铜-铅-锌-金-银-多金属成矿带,南部为赣南钨-锡-铋-钽-稀土-铀-稀有金属成矿带^[49]。3个带的典型成矿元素在乐-德成矿带都有,表现出过渡带的特征。如赣东北深断裂带东部发育有与S型花岗岩有关的稀有金属矿床,包括葛源黄山铋矿床、灵山松树岗钽-铋-钨-锡矿床等;而乐-德成矿带内则主要表现为长江中下游成矿带和东南沿海成矿带的特征,近年来在银山多金属矿床深部中段,也发现有钨、锡的矿化^[28]。

据研究^[3],乐-德成矿带的主要矿床(化)可以分为两个成矿系列:①与基底双桥山群浅变质岩系中剪切带有关的金(银)矿床。②与燕山期火山—潜火山(斑岩)期后热液有关的铜-金-多金属成矿系列。前者包括金山金矿床、蛤蟆石金矿床及虎家尖银(金)矿床;后者包括德兴斑岩铜矿床、银山火山—潜火山热液矿床和乐华多金属矿床。张祖海等^[2]提出成矿带的三大成矿

系列,补充了晚古生代海底火山喷流—热水沉积成矿系列。关于火山—潜火山岩浆热液成矿系列,最早由叶庆同^[23]提出,以后得到许多学者的赞同。然而,在火山—潜火山岩浆热液成矿系列与变质热液金矿成矿系列之间有没有交叉叠加?像银山多金属矿床,矿床具有早期变形变质成因(铜)的初步富集;而与剪切带有关的变质热液金矿也可能受到燕山期岩浆热液的叠加,如金山金矿床是否是岩浆热液体系的远缘产物^[50],能否建立类似于加拿大 Cordilleran 浅成热液金银矿床成矿模式^[51]或 Sillitoe 的斑岩铜矿成矿体系模式^[52],都需深入研究。

3.3 成矿分带和成矿模式

由北东的德兴斑岩铜矿床到南西的虎家尖银(金)矿床,区域成矿分带表现为由铜-金-钼→金→铜-铅-锌-金-银→铅-锌-银-金→银-金,这种区域分带可能还受乐-德盆地的影响,以燕山期火山—潜火山(斑岩)期后热液成矿系列为例,由盆地远缘到盆地近源,分带表现为有铜-钼-金到铜-铅-锌-金-银-多金属的分带。成矿时代上,与成矿有关的岩浆活动和成矿的年龄呈现出由盆地远缘到近源逐渐变新的趋势,如德兴斑岩铜矿斑岩成岩年龄为157~170 Ma,银山矿床潜火山岩的同位素年龄为142~167 Ma,乐华矿床蚀变矿物的年龄为141 Ma^[23]。这一平行于两侧深断裂带由隆起带向坳陷带转移的成矿分带形成原因的阐明,似应借鉴陈国达先生的地洼学说,因为乐-德成矿带的地质构造特征与地洼区很相似,例如银山矿床岩浆活动就呈现出由酸性—中酸性—中性的演化顺序。

综上所述,乐-德成矿带的成矿系列、成矿系列间的关系、区域成矿分带以及大型—超大型矿床成矿密集区的形成机理等问题还未阐明。

4 研究前景展望

美国地质学家对很特征的科罗拉多州 San Juan 火山岩田的 Creede 浅成热液矿床进行了长期深入的研究,不仅积累了丰富的研究资料,而且提出了许多新的成矿观点,培养了许多杰出的地质学家^[35]。对乐-德成矿带进行长期不懈的地质地球化学研究,对发展矿床学理论同样具有重要意义,首先,成矿带表现出特有的发育良好的区域分带、矿床分带和矿体分带,对这些不同层次分带形成机理的解释将为矿床分带理论增添新的内容;其次对探索大型—超大型矿床成矿机理以及提出新的具有中国特色的成矿理论意义重大。

4.1 典型矿床成矿机理研究

成矿带中德兴斑岩铜矿、银山多金属矿床和金山金矿床分别代表了斑岩型、多金属脉型和与剪切带有关的典型矿床,对其成矿机理和矿床成因的深刻认识将有助于新的成矿理论的提出、典型矿床成矿模型的建立和成矿作用动力学研究。铜、金是目前中国的紧缺矿种,对此类矿床形成机理的深刻认识,无疑将有益于此类矿床成矿理论的深化和指导资源勘查实践。

4.2 区域成矿模型研究

继续深入开展区域成矿模型的研究,将成矿建造、成矿系列和成矿模式结合在一起,提出有区域特色的成矿模型,探索矿床分带和大型—超大型矿床分布密集区形成机理,从区域成矿学(regional metallogeny)、成矿大地构造学(metallotectonic)^[53]角度研究区域成矿分带的分布规律和形成机理。对赣东北断裂带和乐安江断裂带和乐华火山—沉积盆地与成矿关系的深入研究也将有助于区域成矿模型的建立。

4.3 区域流体地球化学研究

这是近年来西方的研究前沿。如 Nesbitt 对加拿大 British Columbia 南部区域成矿流体的

研究^[54]值得我们借鉴,他们在 $0.8 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的广大地域上采取了8000个样品,系统地开展涉及地壳规模流体地球化学的研究,以确定古流体的地质和地球化学特征,探索地壳流体作用与构造、岩浆活动和变质作用的关系。燕山期乐-德成矿带的成矿作用,不仅在单个矿床中有特征的成矿流体流动和反应,整个成矿带都存在成矿流体的对流流动。这种流动可能还具有定向性的特点,如上升流体由地台区(北东,地块)流向地洼区(南西,乐-德盆地),而下降流体则由乐-德盆地流向地台区,形成区域地壳规模的流体对流。在成矿环境发生显著变化的位置,因成矿流体的沸腾、混合或与围岩的反应等等作用,造成矿质过饱和沉淀而成矿。区域成矿流体的研究,对于从更深层次揭示区域成矿分带、大型—超大型矿床分布密集区的形成机理等有重要的意义,也是区域成矿学研究的新方向。

4.4 成矿作用动力学研究

对成矿带内典型矿床继续深入进行成矿作用动力学的研究,如对德兴斑岩铜矿床、银山多金属矿床深入进行流体流动—化学反应耦合作用的计算机模拟,从新的视角揭示矿床分带、蚀变分带的形成机理,是一个有前途的研究方向。对金山剪切带型金矿床开展成矿作用动力学研究,分析在动力变形变质过程中,成矿元素的成分变异和水—岩相互作用及其对于 Au 沉淀的意义,而应用搬运理论研究古温度梯度下流体的流动方向和流体的时间积分流体通量^[55,56],将为研究韧性剪切带变形变质作用条件下的成矿作用动力学开辟道路。

当前,传统的以描述性为主的矿床地质学面临着新的挑战和机遇,迫切需要新的金属成矿理论的形成。而近年来对大型—超大型矿床成矿机理的研究,也急需新的思路和突破点。於崇文院士对区域成矿带成矿作用动力学提出了“复杂成矿动力系统自组织临界性的时-空分形动力学”的思想,从这一思想出发,将乐-德成矿带作为一个大的复杂成矿动力系统,通过自组织临界性的时—空分形动力学理论,研究和探索成矿带特征的区域成矿分带机理和揭示大型—超大型矿床分布密集区的产生原因,是区域成矿学研究的新思路,也是在更高层次上对作为地质事件中最为复杂的成矿系统进行符合客观实际研究的有效途径。

综上所述,乐-德成矿带是中国一个很有特色的多金属成矿带,作为华南地区多金属成矿作用的缩影和不可多得的天然成矿作用实验室,对其进行长期、深入的成矿作用研究,必将对发展中国矿床地球化学理论作出贡献。

参 考 文 献

- 1 中国有色金属工业总公司江西地质勘查局《江西银山铜铅锌金银矿床》编写组. 江西银山铜铅锌金银矿床. 北京:地质出版社,1996. 1~380页.
- 2 张祖海,吴延之,黄定堂,樊建强. 赣东北隐伏矿床大比例尺成矿预测. 北京:地质出版社,1996. 1~182页.
- 3 王成发. 乐-德成矿带成矿系列与成矿规律. 矿产与地质,1992,6(4):257~263.
- 4 Guilbert J M, Park C F Jr. The Geology of Ore Deposits. New York: W. H. Freeman and Company, 1986. 217~250.
- 5 朱训,黄崇珂,芮宗瑶,周耀华,朱贤甲,胡淙生,梅占魁. 德兴斑岩铜矿. 北京:地质出版社,1983. 1~336页.
- 6 华仁民. 赣东北深大断裂带形成机制的讨论. 南京大学学报(地球科学),1988,(1):62~69.
- 7 汪新,马瑞士. 怀玉山蛇绿混杂岩及古碰撞缝合线的确定. 南京大学学报(地球科学),1989,(1~2):72~81,86.
- 8 徐备. 论赣东北—皖南晚古生代沟弧盆体系. 地质学报,1990,64(1):33~42.
- 9 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. 北京:地质出版社,1992. 1~111页.
- 10 李献华,周国庆,赵建新. 赣东北蛇绿岩的离子探针铀 U-Pb 年龄及其构造意义. 地球化学,1994,23(2):125~131.
- 11 徐树桐,陈冠宝,陶正,石永红,孙枢,尹磊明,欧阳舒,廖卓庭. 皖南变质岩中古生物化石及其大地构造意义. 中国科学(B辑),1993,23(6):652~658.
- 12 赵崇贺,何科昭,莫宣学,郇道乾,叶德隆,叶丹,林培英,毕先梅,郑伯让,冯庆来. 赣东北深断裂带蛇绿岩带蛇绿混杂岩

- 中含晚古生代放射虫硅质岩的发现及其意义. 科学通报, 1995, 40(23): 2161~2163.
- 13 杨晓松, 薛重生, 张克信, 曾忠平, 樊光明, 李昌年, 尹磊明, 杨群. 赣东北浅变质岩系中微体古生物化石及其大地构造意义. 科学通报, 1997, 42(4): 409~412.
- 14 赵崇贺, 何科昭, 郇道乾, 乐昌硕, 聂泽同, 叶丹. 赣东北地区重要火成岩的⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄. 地球科学, 1997, 22(3): 257~260.
- 15 胡志宏, 胡受奚. 挤压—俯冲作用与孪生花岗岩带. 北京: 地质出版社, 1993. 1~192页.
- 16 高合明, 於崇文, 鲍征宇. 斑岩铜矿床中脉体形成的动力学. 地质论评, 1994, 40(6): 508~512.
- 17 黄方方, 翟裕生. 德兴斑岩铜矿床构造化学研究. 见: 第五届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 1993. 111~114页.
- 18 郭国章, 任启江, 方长泉, 徐文艺. 德兴斑岩铜矿成矿过程中地下水运移的动力学模拟. 地球化学, 1994, 23(4): 402~412.
- 19 何文武, 李铁平. 流体输运—反应时空动力学质量守恒方程的数值模拟. 地质科技情报, 1996, 15(1): 79~85.
- 20 於崇文. 江西德兴斑岩铜矿田成矿作用的流体动力学分形弥散机制. 地质论评, 1995, 41(3): 211~220.
- 21 Sheets R W, Nesbitt B E, Muehlenbachs K, Zaluski G, Tebar H. Meteoric water interaction in porphyry copper mineralization of central British Columbia. In: Hendry J P et al. eds.: GEOFLUIDS II '97, Extended Abstracts Volume, The Queen's University of Belfast, 1997. 205~208.
- 22 Laznicka P. Zoning and ores. In: Wolf K H. ed. Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits. Part IV, Cap. 3, Elsevier, Amsterdam, 1985. 317~523.
- 23 叶庆同. 赣东北铅锌矿床成矿系列和成矿机理. 北京科学技术出版社, 1987. 1~114页.
- 24 邱德同. 江西银山矿床成矿构造及成因的新认识. 地质与勘探, 1991, (6): 8~10.
- 25 刘丹英, 冯志文, 张德会, 夏卫华. 构造动力—火山岩浆同步—成矿机制——以江西银山金铜多金属矿床为例. 地球科学, 1994, 19(6): 815~820.
- 26 冯志文, 夏卫华, 刘丹英, 莫渊辉. 银山 Au-Cu 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. 黄金科学技术, 1995, 3(6): 39~44.
- 27 莫渊辉, 冯志文, 夏卫华, 刘丹英, 李桂荣. 江西银山金铜多金属矿床韧性剪切带的识别及其意义. 现代地质, 1996, 10(3): 365~371.
- 28 张德会. 关于银山矿床成矿作用的几个问题——兼与《江西银山铜铅锌金银矿床》一书的作者商榷. 地质论评, 1997, 43(5): 491~497.
- 29 Mo Cehui, Liu Danying, Feng Zhiwen, Xia Weihua. Multi-order and multi-center metallogenic zoning of Yinshan Cu-Au polymetallic ore deposit, Jiangxi Province, China. Jour. China Univer. Geosci., 1993, 4(1): 65~68.
- 30 华仁民, 陈克荣, 沈兆龙, 赵连泽, 吴佩红. 江西银山矿床多元成矿作用. 见: 中国地质学会矿床地质专业委员会编: 第五届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 1993. 43~45页.
- 31 张德会, 唐仲华, 鲍征宇. 江西银山多金属矿床成矿作用动力学研究. 见: 吴学益等主编. 全国第四届构造地球化学学术讨论会论文集. 贵阳: 贵州科技出版社, 1995. 105~111页.
- 32 张德会, 鲍征宇, 岑况, 唐仲华. 江西银山多金属矿床成矿分带结构及形成机理探讨. 见: 彭汝明等主编. 地质地球化学研究——中国科学院地球化学研究所博士后论文集(1). 贵阳: 贵州科技出版社, 1996. 22~34页.
- 33 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. 地质论评, 1995, 41(1): 42~47.
- 34 Zhang Dehui, Yu Chongwen, Bao Zhengyu, Tang Zhonghua. Ore zoning and the dynamics of ore-forming processes of Yinshan polymetallic deposit, Jiangxi. China Journal of Geochemistry, 1997. (2): 123~132.
- 35 Hayba D O. Environment of ore deposition in the Creede Mining District, San Juan Mountains, Colorado; Part V. Epithermal mineralization from fluid mixing in the OH vein. Econ Geol, 1997, 92: 29~44.
- 36 肖勇. 江西省德兴县金山金矿床成矿地质特征及矿床成因探讨. 江西地质, 1990, (3): 247~261.
- 37 黄宏立, 杨文思. 赣东北金山金矿床的地质特征及矿床成因. 地质找矿论丛, 1990, 5(2): 29~39.
- 38 朱恺军, 范宏瑞. 金山金矿的地质特征和形成条件. 南京大学学报(地球科学), 1991, (2): 177~185.
- 39 韦星林. 金山金矿田地质特征及成矿地质作用. 矿产与地质, 1995, 9(6): 471~480.
- 40 孙承辇, 张金春. 江西金山金矿韧性剪切过程中物质的迁移. 矿床地质, 1994, 13(4): 371~379.
- 41 季俊峰, 刘英俊, 孙承辇, 邱德同, 郑晴. 江西金山剪切带型金矿床两类矿石的地球化学特征——兼论两阶段成矿机制. 地球化学, 1994, 23(3): 226~234.
- 42 季俊峰, 孙承辇, 郑晴. 江西金山剪切带型金矿床中含石英英脉的成矿特征. 地质论评, 1994, 40(4): 361~367.
- 43 梁湘辉. 江西德兴金山金矿成矿机理探讨. 有色金属矿产与勘查, 1997, 6(1): 16~23.
- 44 顾连兴. 江西乐华层状锰矿与脉状铅—锌矿的成因联系. 地质论评, 1987, 33(2): 267~274.

- 45 王蔚英,黄世全. 乐华锰-铅锌矿床岩石和矿石特征及矿床成因探讨. 华东矿产地质,1993,(2):26~35.
- 46 杨子江. 江西乐华地下热(卤)水渗滤型银铅锌矿床的特征和成因. 有色金属矿产与勘查,1993,2(6):343~350.
- 47 徐磊明,白鸽,何全泊. 江西虎家尖银金矿床地质及成因探讨. 矿床地质,1993,12(2):139~147.
- 48 程裕淇 主编. 中国区域地质概论. 北京:地质出版社,1994. 1~517页.
- 49 张宏良,裴荣富,熊成云,於崇文,赵子杰,陈毓川,曾允孚,林新多. 南岭地区有色稀有金属矿床的控矿条件成矿机理分布规律及成矿预测(总论). 武汉地质学院出版社,1987. 1~76页.
- 50 Sillitoe R H. Sediment-hosted gold deposit: Distal product of magmatic—hydrothermal systems. *Geology*, 1990,18: 157~161.
- 51 Panteleyev A. A Canadian cordilleran model for epithermal gold-silver deposits. *Geosci Cana*, 1986, 13: 101~111.
- 52 Sillitoe R H. The tops and bottoms of porphyry copper deposits. *Econ Geol*, 1973, 68: 799~815.
- 53 Gabelman J W. Strata-bound ore deposits and metallotectonics. In: Wolf K H ed. *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits 1. Principles and general studies. V 4*, Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1976. 77~163.
- 54 Nesbitt B E. Comparative analysis of crustal fluid regimes in extensional and compressional tectonic settings. In: Hendry J P et al. eds. *GEOFLUIDS II '97, Extended Abstracts Volume*, The Queen's University of Belfast, 1997. 125~128.
- 55 Dipple G M, Ferry J M. Metasomatism and fluid flow in ductile fault zones. *Contrib. Miner. Petrol.*, 1992, 112(2/3): 149~164.
- 56 Ferry J M, Dipple G M. Fluid flow, mineral reactions, and metasomatism. *Geology*, 1991,211~214.

The Ore-Forming Processes of the Lehua—Dexing Metallogenic Belt in Northeast Jiangxi: Its Research Progress, Current Problems and Prospects

Zhang Dehui

(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou, 550002)

Abstract

The Lehua—Dexing metallogenic belt in northeastern Jiangxi is located on the northeast margin of the Jiangnan massif, where there are the super-large Dexing porphyry copper deposit, the super-large Jinshan gold deposit and the large Yinshan polymetallic deposit as well as many medium and small deposits. The copper and gold reserves in the belt account respectively for 17.5 per cent of copper reserves and 37 per cent of gold reserves of associated gold deposits (in which gold occurs as a valuable component in ores) of the whole country. Intensive study of the representative deposits and regional ore-forming processes of the Lehua—Dexing metallogenic belt has great significance for revealing the genesis of large and super-large deposits, bringing to light the formation mechanisms of zoning of ore deposits and developing the metallogeny of ore deposits. In this paper, new advances in the study of the ore-forming processes of this metallogenic belt are reviewed and the current problems in the study discussed. Finally, the research prospects on the ore-forming processes are presented by the author.

Key words: Lehua—Dexing metallogenic belt, ore-forming processes, northeastern Jiangxi

作 者 简 介

张德会,男,1955年出生。1995年于中国地质大学(武汉)地球化学系获理学博士学位。现在中国科学院地球化学研究所作博士后研究,副教授。研究方向为矿床地球化学。通讯地址:550002,贵阳市观水路73号中国科学院地球化学研究所。