

古大陆边缘构造演化和成矿系统

翟裕生

(中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 古大陆边缘的地质构造运动活跃而强烈, 成矿作用丰富多采。按照古大陆边缘的构造动力学特征, 可划分为离散型陆缘、会聚型陆缘和转换(走滑)型陆缘, 各有其特定的地质-地球化学作用和成矿系统。本文在分别论述各类大陆边缘的构造演化和成矿特征的基础上, 提出古陆边缘成矿演化的复杂性、多样性和阶段性等概念, 并阐明了古陆边缘形成大型超大型矿床的五要素: ①深浅沟通; ②流体汇集; ③矿源丰富; ④热动力异常; ⑤长期活动。

关键词: 古陆边缘、成矿系统、构造演化、离散型、会聚型、走滑型、大型超大型矿床。

1. 古大陆边缘成矿研究概述

古大陆边缘经历了漫长时期的地质作用, 是壳幔作用活跃、构造运动复杂、各层圈的物质及能量交换频繁、成矿作用显著的大地构造单元。全球范围内许多大型超大型矿床分布在现今大陆和古大陆边缘。在中国境内, 华北、扬子和塔里木三个克拉通边缘, 矿产资源丰富, 分布有多个重要的成矿区带。因此, 深入研究不同古陆边缘的构造演化和成矿系统, 将有助于全面认识中国大陆地质构造特点和矿床分布规律, 为区域成矿预测和勘查提供科学依据。

自本世纪 70 年代板块构造学说兴起以来, 一些学者从板块构造与成矿的关系出发, 探讨板块内部和边缘的成矿特征, 提出了全球板块与矿产分布模式(A. H. G. Mitchell 和 M. S. Garson, 1981; C. S. Hutchison, 1983; B. F. Windly, 1984; S. Jankowic, 1987; F. J. Sawkins, 1990 等)。在我国, 王鸿祯等(1978, 1990, 1995)运用活动论与阶段论相结合, 对华北、扬子等克拉通边缘的地质构造作了系统论述^[1]; 涂光炽(1989, 1994)指出我国的超大型矿床大都产于克拉通边缘^[2]。孙启滨(1990, 1994)阐述了“边缘成矿”现象, 包括板块边缘和地台边缘成矿^[3]。宋叔和、胡爱英、周作侠、王楷、裴荣富、祁思敬等也分别探讨了华北和扬子陆块边缘金属成矿条件。何国瑞等(1994)运用发展了的被动陆缘的观点, 阐述了新疆古生代地壳演化及成矿过程^[4]。翟裕生、邓军(1996)论述了华北和华南二陆块的增生扩展过程及相应的矿化分带特征^[5]。目前, 陆缘构造与成矿的研究也已成为成矿学的一项重要研究内容。开展这项研究是将大地构造研究与成矿学研究密切结合, 有着广泛的应用前景。

古大陆边缘和大陆本身一样, 是长期地质作用的累积产物, 常有多个不同时代的地体增生拼贴, 其中保留了大量的地质记录。但是由于古大陆边缘经历了复杂的变形、变质和变位, 相当数量的古老岩层、构造(包括其中的矿床)已被破坏和改造。依据残留部分恢复其整体是很困难的, 需要进行多学科的系统研究, 层层解析, 全面对比, 研究其地质作用随时间的演化, 推定大陆边缘的演化阶段, 也即成矿环境和背景的演化过程。这中间一个重要内容是如何将对现今板块边缘系统的认识合理地运用到大陆内部古板块边缘的分析。

另一个问题是从成矿系统的思路入手, 探讨不同类型大陆边缘成矿的总体特征和形成过程。成矿系统一词近来用的较多, 但缺少明确的含义。作者的理解是, 成矿系统是在一定时、空域中, 由控制成矿诸要素结合成的、具有成矿功能的统一整体, 它包括成矿物质由分散到富集成矿的制约因素、作用过程及各种地质矿化产物。进行成矿系统分析, 能从更深层次上探讨成矿作用的过程的动力学机制以及系统与环境的对立统一关系, 是成矿系列研究方法的深化和发展。尝试运用成矿系统的思路和方法, 来研究古大陆边缘的成矿现象, 并将构

造体系研究和成矿系统分析结合起来,是一项有意义的科学探索,本文就是按这一思路所作的初步研究和概括。

2. 不同类型古陆边缘的构造-成矿系统

古陆边缘在漫长的地史演化中,一般都经历了各种构造格局的演变,包括多次“开”、“合”作用过程。按照古陆边缘的构造动力学特征,可划分为离散型、会聚型和转换型等三类基本的大陆边缘系统(B. C. Burchfiel, 1980)^[4]。结合作者及同行们对华北、扬子两陆块构造演化及成矿特征的研究,阐述这三类大陆边缘的构造-成矿特征。需要说明的是,本文所指的古陆边缘是指沿着古陆边界(界限),及其内侧和附近外缘的构造带;在时间上,主要指前寒武纪的古陆,为讨论方便,也涉及显生宙的。

2.1. 离散型陆缘的构造-成矿系统

离散型陆缘是在伸展构造作用下大陆破裂解离的产物。由于地壳拉张减薄裂解,软流圈物质上涌,向岩石圈浅部和地表运移和汇集;同时,陆源长期风化产物也向大幅度沉降的槽谷内堆积,这就构成深源和表生物质大规模汇集的构造环境。这些环境包括大陆边缘裂谷、裂陷槽和坳拉谷等。在这些构造中,有丰富的成矿物质;有很高的地热能,促成成矿物质的溶解运移;有多种来源和性质的流体(包括热卤水);有火山喷出物和蒸发岩层可提供硫、氟等矿化剂,有利于在还原条件下金属硫化物的堆积;有同生断层等构造作为流体运移的良好通道;封闭好的局部拗陷则可保持矿质的不被流失和持续推积;裂谷盆地后期的沉积层又可覆盖已成的矿层,起到屏蔽保护作用。正是由于这些成矿基本因素集中于裂谷等拉张构造环境,构成集约化的成矿系统,因而能产出相当多的矿床类型,包括 SEDEX 型、VMS 型、钕铁质-超铁铁质岩中的 Cu、Ni、 Σ Pt 以及沉积型 Fe、Mn、P、Al 等矿床类型,有很重要的经济价值。依据对华北陆块北缘狼山-洮尔泰山中元古代裂谷和扬子陆块北缘南秦岭裂陷槽中典型矿床(东升庙、程各乞、厂坝等)的研究^[7,8],可将与伸展构造有关的 SEDEX 成矿系统表述如下。

1. 成矿海盆属于被动大陆边缘伸展构造环境下的槽型断陷盆地(裂谷、裂陷槽、大型台沟等)。矿化集中在它们的局部次级海底洼地中,这些洼地封闭性好,沉积不补偿,有机质含量高,还原性好,是成矿的良好化学封闭。

2. 含矿建造为陆源碎屑岩-碳酸盐岩建造和类复理石建造。在东升庙等矿床中还发现“双峰式”火山岩夹层^[9],说明其确属张性裂谷环境,在成矿过程中有明显的、间歇性的海底火山喷发,矿床的形成与海底火山活动有关。这也说明被动陆缘也发育有火山活动。

3. 同沉积构造体系完整且长期活动,同沉积构造包括同生断层、生长背斜、滑塌构造、同生角砾岩等,它们既是裂谷等构造的组成因素,又是沟通矿源场、中介演化场和储矿场的纽带,为含矿热水的运移提供了通道和场地。不同尺度的同生断层对成矿意义不同:区域型同生断裂控制岩相古地理特征,以及热水沉积岩及矿带的延伸;次级同生断裂与主干同生断层交汇处控制矿田的产生;而三、四级同生断层控制矿床、矿体的就位^[10],形成了《同生断层构造多级控矿》的清楚图象,有一定的普遍意义。

4. 具备长期存在的地热异常场,有较完整的热事件演化史,它来源于上涌的岩浆或热流体,其根源可能为上升的地幔热柱。这个强大的热场足以促成和保持长期稳定存在的热水对流系统,是形成大型超大型热水沉积矿床的一个重要条件。含矿地层中的火山岩夹层、以硫化物矿石为代表的热液矿物、各种火成岩脉、热变质岩类以及硅质岩、钠长岩等热水沉积岩的产出,都是区域构造-热事件的记录。

5. 发育完整的热水对流系统和稳定持续的热水沉积作用是形成 SEDEX 矿床的先决条件。近年的研究表明,热水沉积是一种相当普遍的成矿作用。热水沉积的规模大、持续时间

长、热水中成矿元素含量高、热水作用集中于同生断层和次级局部洼地等则是形成金属巨富矿的基本因素,而热水沸腾、水爆、同生角砾化和硅化交代等对促进热水中矿质沉淀有重要作用。

6. 高丰度成矿元素的矿源层的存在是热水成矿的前提,裂谷等构造中下伏沉积柱和变质岩基底均可作为矿源层。矿源层中的成矿元素本底体高固然必要,但更重要的是成矿元素的赋存状态及其被活化、汲出所需的能量大小。在具备高热流值和大量流体(包括热卤水)作用的条件下,其影响范围内岩石中的多种元素(Cu、Pb、Zn、Fe……)是容易被活化析出的。硅铝质陆壳长期蚀风化产物中的Pb、Zn等物质进入海盆中,也是矿质来源的一个组成部分。

7. 当裂谷等构造发展到终结阶段,由伸展状态转变为挤压状态时,盆地逐渐闭合进而发展到褶皱隆升造山,经历了盆山转换过程。原来的硫化物矿层被卷入造山带,经历了热动变质、晚期变形等,矿体的形态、产状、组成和品位等发生了一系列的变化,包括叠加成矿和改造成矿等作用,这些后继的地质作用有可能使原热水沉积成的Hg、Sb、Au、Ag矿化层等再富集成为矿床。

总起来看,陆缘伸展构造中的成矿特征是热水成矿系统占重要地位,矿化成区域性带状分布,延长可达数百km;在成矿带中,大中小型矿床呈罗棋布,有些成等距分布;矿化的水平分带性较明显;成矿物质的集约度很高,聚矿能力强,矿石储量大,大型和超大型矿床常有产出。

已知这类成矿系统在全球范围内主要发生在元古宙和泥盆纪,成矿时代处在古大陆演化过程的破裂晚期向聚合初期的构造转变阶段^[1],据认为这是有一定的全球背景的。

3.2 会聚型陆缘的构造-成矿系统

古大陆边缘处于挤压状态时,形成不同于离散型陆缘的构造系统和成矿作用。这种会聚型陆缘有两种,一是大陆板块与大洋板块会聚(洋壳削减俯冲);二是两个陆块碰撞焊接。在地质历史上,这两种作用常表现为一个大的运动过程的两阶段,即先期的洋壳俯冲削减及尔后的陆-陆碰撞造山。

当大陆板块与大洋板块碰撞时,密度较大的洋壳俯冲到较轻的陆壳之下。洋壳中富含水和金属的沉积物被带入俯冲带深处,经加热局部熔融,形成以钙碱性成分为主的岩浆岩及热液系统,沿深断裂进入地壳浅部或喷出地表,使幔源和壳源的成矿物质在岛弧区和弧后盆地的局部地段富集。随着俯冲深度的增大,幔源(或深层)物质加多,岩浆、热流体及矿质成分发生系统的变化,沿垂直俯冲带的方向矿化作有规律的分带展布。对现代俯冲带的研究表明,它的影响可扩展到距岛弧区内侧上千km处,常表现为平行大陆边缘的区域构造-成岩-成矿带。

环太平洋构造带是经过详细研究的中新生代活动陆缘的成矿带,以火山岛弧链成矿系统和大陆边缘弧成矿系统最为发育,Cu、Au、Ag、Zn、Mo、Sn、W等为主要成矿金属,矿床类型有斑岩型、黑矿型、浅成低温热液型、火山热液型、接触交代型、热泉型等,其中占目前世界的产量一半以上的斑岩铜矿就产于岩浆弧中。

古生代及时代更早的沟弧盆地体系及成矿系统常被后来叠加的增生地体所改造,出现更为复杂的构造-成矿景象。我国华北陆块西南缘的白银厂矿田是晚元古代早加里东沟弧盆地成矿的一个代表,为VMS型Cu、Pb、Zn、Au、Ag成矿系统。与之可对比的有华北陆块北缘中晚元古代活动陆缘的白乃庙Cu、Mo、Au成矿系统(图1)。

陆-陆碰撞型构造-成矿系统是在挤压收缩动力条件下,两个分开的陆块相向运动,直到碰撞对接,产出构造混染岩、大型推覆构造、大型逆冲断层、以至隆升造山、岩层变质、局部地壳重熔及同构造期火成岩类侵入等。在这些作用下,加剧了对原有地壳的活化和改造,大

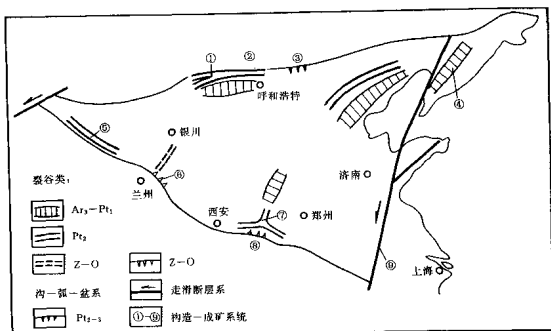


图1 华北陆块边缘前寒武纪构造-成矿系统简图

主要成矿系统:①狼山-渣尔泰山 Cu-Pb-Zn-S 成矿系统;②白云鄂博 REE-Fe-Nb 成矿系统;

③白乃庙 Cu-Au-Mo 成矿系统;④辽吉 Fe、Mg、B、Pb、Zn 成矿系统;

⑤龙首山 Ni-Cu-ΣPt 成矿系统;⑥白银厂 Cu-Pb-Zn-Ag 成矿系统;

⑦中条山 Cu 成矿系统;⑧熊耳山 Au 成矿系统;

⑨郑庐断裂带 Au-Cu-Mo-Fe 成矿系统(中生代陆缘内侧)

陆物质经过重组,提供了有用物质重新运动和富集的机会,以华北陆块北缘中、晚元古代的碰撞造山为例。据白璋等^[12]分析,在中元古代早期(1800—1600Ma),华北陆块北缘为离散型陆缘,形成狼山—渣尔泰山裂谷和白云鄂博裂陷槽。到中元古代后期(1600—1000Ma),相邻的古亚洲洋板块南缘开始向华北陆块北缘削减,白乃庙岛弧拼贴在华北板块北缘上,并造成了上述二裂谷(裂陷槽)的褶皱回返。到晚元古代(1000—600Ma)时,随着大洋板块消减的加剧,西伯利亚地块与华北陆块北缘拼合,分散在古洋中的地块挟持其中,代表洋壳残片的温都尔群上冲到华北陆块北缘上。在此碰撞造山过程中,伴有沉积变质型铁矿、蛇绿岩型铬矿床的形成。碰撞期和碰撞后花岗岩也大量生成。再以华北陆块南缘为例,在南秦岭区晚古生代(350Ma)开始的陆—陆碰撞(华北陆块与扬子陆块),造成地层挤压褶皱、变质隆起以及大规模碰撞型花岗岩类岩浆活动,使泥盆纪时海盆中形成的共生—准共生 Pb—Zn 矿层受到了后期的热动力改造,并使前泥盆系中矿源层中的 Au、Hg、Sb、Cu 等受到岩浆热液和/或构造热液的叠加改造而形成微细浸染型金矿和层控热液型 Cu (Au、Fe、Mo)矿床等。

陆缘挤压构造环境的成矿是以岩浆热液成矿系统为主,矿床类型多样;矿化也呈区域性带状分布,但有较宽的分带。成矿空间结构的集约度高,聚矿能力强;矿床规模大小中均有;成矿后因造山隆升受剥蚀的机率较大,因而其古老成矿系统被保存下来的可能性不如拉伸构造环境下的成矿系统。

3.3. 走滑型陆缘构造-成矿系统

走滑大陆边缘或称转换边缘(Transform margin),即大陆与大洋板块间或陆-陆间相对的水平运动,以走滑构造带相接,常形成宽的复杂的构造变形带。据分析,在板块边界网络中,走滑边界在总的板块边界长度中占有很大的比例,相当长的板块边界是由大型走滑断层

系组成。这些规模巨大的走滑断层深切于地幔,有明显的热动力异常,伴有普遍的流体运动,可诱发岩石圈不同壳层物质的熔融,造成花岗岩类、煌斑岩类的上侵,并常伴有 Cu、Au 等成矿作用。走滑断层的局部转折处可产生拉分盆地,它们常与油气田分布有密切关系。世界上著名的大型走滑断裂有圣安德列斯断裂系和郯庐断裂系。圣安德列斯断裂系邻近太平洋板块和北美板块的边界,属右行走滑性质;郯庐断裂系位于欧亚板块东缘与太平洋板块的毗邻地域,是左行走滑性质。这两个巨大走滑断层系自中生代以来有显著活动,水平位移量均在 400—500km,对区域的岩石圈结构和物质运动均有重大影响。与圣安德列斯断裂系有关的有晚第三纪油田,和正在进行热卤水成矿的索尔顿海。而沿着郯庐断裂系,中生代火山活动频繁,发育与白垩纪富钾火山岩系(安祖岩系)有关的 Cu Au 成矿系统。而晚白垩纪—老第三纪含油盆地与胶东等的绿岩带金矿床均与郯庐断裂系的构造-岩浆-热动力背景密切相关。

类似的走滑断层系有发育在智利境内的近南北走向的右行走滑断层带,它位于东太平洋板块与南美板块的界限,是在白垩纪-第三纪发育的构造-岩浆-成矿带,形成著名的斑岩成矿系统,有多个世界级铜矿床,成矿时间在 40—50Ma,是环太平洋带中矿化最富集的地段之一。类似的情况有我国川藏交界带的玉龙斑岩铜矿带及 NNW—SSE 向的走滑断层系统,以及西北地区的阿尔金走滑断层系。

关于前寒武纪古陆边缘走滑构造及其控矿作用,目前所知甚少,需要进一步研究。

以上分别讨论了离散型、会聚型和走滑型三大类大陆边缘构造-成矿特征(表 1),但这三

表 1 古大陆边缘构造-成矿系统

陆缘构造动力型式	陆缘类型	构造部位	代表性成矿系统	主要矿种	实例
离散型(拉伸)	被动陆缘	裂谷、拗拉谷、同生断层、陆缘盆地、陆缘海、大陆架	热水沉积型、火山沉积型、沉积和生物沉积型	Pb、Zn、Cu、Fe、REE、Mn、Al、P	鞍山-渣尔泰山 P ₁₂ 成矿带、南岭 P ₂₂ 成矿带、扬子陆块西南缘 P ₂₃ 成矿带
		岛弧、陆缘岩浆弧、构造混杂岩、逆冲推覆带、弧后盆地	火山热液型、斑岩型、中深成岩浆热液型、浅成低温型、动力成矿型	Au、Cu、Mo、W、Sn、Pb、Zn、Cr、Ni	日本列岛、美洲西缘 M ₂ —K ₂ 成矿带、华北陆块北缘中段前缘成矿带
转换型(走滑)	转换陆缘	走滑断层系(含拉分盆地及火山一次火山岩带)	动力成矿型、斑岩型、火山热液型、改造成矿型	Au、Cu、Mo、Cr	郯庐断裂系 M ₂ 成矿带、滇西三江地区 K ₂ 成矿带

种陆缘构造型式互相关联,彼此间或递变、或复合。对一个古陆来说,其不同边缘可有不同的动力状态,在同一时期中,可同时存在二或三种构造型式(图 1)。印度板块向欧亚陆块推挤俯冲时,在其东西两侧地域就发生了走滑断层系,如东侧的红河断层就处在扬子陆块的西南缘,产出有哀牢山构造带的第三纪金矿系统。再有,在同一个大陆边缘,在不同演化阶段,其构造动力状态也是有转变的。例如,据徐嘉炜(1993)研究^[12],东亚大陆边缘自中生代以来,经历了三个地球动力学演化的阶段:从被动陆缘(230—150Ma),到剪切(转换)陆缘(150—110Ma),再到活动大陆边缘,后者是由斜向俯冲(110—45Ma)转变到正面俯冲(45Ma 以来)的,这说明欧亚大陆东部边缘有着相当复杂的演变过程。我们在研究其构造—成矿特征时,应充分考虑其多样性和复杂性。

3. 古大陆边缘产出大型超大型矿床的基本因素

如前所述,不论哪一种陆缘构造类型,都有利于形成大型超大型矿床。以华北陆块为例,在其周边地区产有东升庙铅-锌-硫矿、白云鄂博稀土-铁-铀矿、四子王旗萤石矿、东坪金矿、玲珑金矿、焦家金矿、金川镍铜矿、金堆城和南泥湖钼矿、小秦岭金矿、中条山铜矿等。在扬子陆块边缘,产有昆阳磷矿、东川铜矿、老万寨金矿、个旧锡矿、大厂锡-多金属矿、柿竹园钨钼锡钨矿床、铜厂铜矿等,其中有些是世界罕见的超大型矿床。在国外,著名的奥林匹克坝铜-钼-金矿床、布罗肯希爾和芒特艾萨铅锌矿等产在澳大利亚克拉通东缘;美国的密西西比河谷型与加拿大派因波尔特铅锌矿等产在北美陆块南缘和西缘,还有非洲陆块西部和南部边缘的金、铜、铁、铬等矿床。类似的实例还比较多。古陆边缘之所以有利成矿,尤其是有利于产出大型超大型矿床的原因,涉及因素很多,作者认为有5个基本因素对形成大型超大型矿床起着决定作用。

1. 深浅沟通:古大陆边缘是岩石圈中的构造转变带和突变带,物质和能量能大规模地输运和交换。在这个地带中经常产出大型贯通性构造,它们是沟通深部和浅表的通道,驱动深部物质作长距离的运动;其大中小构造形成的构造网络又提供了含矿物质堆积的场所。在这种宏大宽阔的地质-地球物理背景下,极有利于发生能强烈浓集成矿物质的地质-地球化学作用过程。

2. 流体汇集:成矿作用需要流体对矿质的汲取、运输和堆积,大型超大型矿床的形成更需要巨量的流体。在大陆边缘这个陆洋交接带,汇集有多种类型、多种来源的流体(各类地表水、地层水、岩浆热液、变质热液和幔源流体等),且数量巨大,足以形成和保持稳定的热液对流系统或沉积堆积成矿系统。而不同性质不同来源的流体的混合作用则是使矿质富集成矿的重要机制。越来越多的成矿模式(斑岩型、SEDEX、VMS、变质核杂岩-热液型,乃至奥林匹克坝矿床模型)中突出了流体混合形成物理化学障对成矿的重要意义。

3. 矿源丰富:在陆缘构造带中,成矿物质丰富(包括成矿元素、伴矿元素及化合物等),来源多样,既有幔源和地下壳源的深部物质,又有大陆长期风化剥蚀入海的陆源物质,还有海水中的无机盐类和生物有机质。沿着不同陆缘构造带发生的、岩浆活动和形成的岩石组合(侵入岩、火山岩),是物质分异的一个中间过程产物,常可作为初始的矿源层(岩)。对形成金属矿床有独特作用的F、Cl、S等,可来自蒸发岩、火山析出物或海水与盐湖,而成矿金属元素更有广阔多样的矿源场地。

4. 热力异常:古大陆边缘在其强烈活动期,形成异常高的地热流,有较强的岩浆热、构造运动释放大量的能量为其它地质作用提供能量。大陆边缘的上述多种热源有利于维持一个规模巨大的古地热异常场,成为驱动成矿物质运动、分馏并成矿的区域热力背景。成矿作用则经常发生在总的高热动力场背景下的温压突变带、转换带和临界带(高温→低温,高压→低压)。这些局部异常形成的地球化学障和地球物理障,促成含矿流体的物理化学条件的显著改变,从而发生大规模的矿石堆积。

5. 长期活动:古陆边缘是巨型构造带,一般都有长期活动的历史,如陆-陆之间的多次“开”“合”,造盆与造山运动的多次更替,巨型断裂带的多次活动等。大型超大型矿床尤其是低丰度元素矿床常是反复浓集的产物。陆缘构造的多复发性,周期性和继承性,有利于成矿成矿作用的反复发生和成矿物质的多次叠加富集,使它们汇集在同一个有限空间,形成矿质的超常量富集。例如华北陆块南缘的绿岩型金矿(小秦岭、胶东等地),就经历了初生矿源层→衍生矿源层→岩浆热液定位成矿的多次富集,涉及几个地质时代和多种成矿作用。又如扬子陆块北缘南秦岭铅锌成矿带先后经历了裂谷盆地热水沉积成矿→盆地萎缩、矿石变形变质→造山期岩浆热液叠加改造成矿的盆-山转换过程。在长期活动中,一些早成矿床也可能

被后期地质作用破坏和改造,形成复杂的构造-成矿图象。

正是由于古大陆边缘比其它大地构造环境更具备以上的5个成矿有利因素,因此就有形成大型超大型矿床的更多机率。

4. 讨论和建议

古大陆边缘构造演化和成矿作用的关系是一项复杂的、涉及多学科的综合研究,开展这项研究不仅能为区域找矿预测提供新的思路,而且也为大陆动力学研究提供有益的信息。建议采取多学科联合手段,加强对古陆边缘成矿系统的研究,其主要研究问题包括:①古大陆边缘伸展、挤压、走滑构造体制下,构造运动对沉积、火山、岩浆、流体、地热的控制及与其成矿作用的耦合关系。

2. 分别建立不同类型的古陆边缘的成矿系统,研究阐明各成矿系统间的时空结构和成因联系,包括陆缘构造的演化、不同成矿系统间的过渡、叠加、复合、继承和转化等关系。

3. 将控矿地质条件和成矿作用过程转化为成矿地球化学动力学条件和过程,运用数学模拟和实验模拟等方法来研究成矿物质的输运、反应、堆积的过程和机制,建立古大陆边缘成矿系统动力学模型。

致谢:谨以此文祝贺母校——北京大学一百周年诞辰,终生感念母校对我的哺育和培养。本研究获得地矿部“九五”重点研究项目(编号9501107)的资助。在完成论文的过程中,得到余鸿影教授、邓军教授和彭润民副教授的帮助,一并表示谢意。

主要参考文献

1. Wang H. Z. & Mo X. X. An outline of the tectonic evolution of China. Episodes, 1995, 18, 6—16.
2. Tu Guangzi. Some problems pertaining to superlarge ore deposits of China. Episodes, 1995, 18, 83—86.
3. 孙启祯. 边缘成矿与成矿边缘效应, 地学前缘, 1994, 1(3), 176—183.
4. 何国琦、李茂松、刘德权等. 中国新疆古生代地壳演化及成矿, 乌鲁木齐, 新疆人民出版社, 1994, 4—39.
5. Zhai Y. & Deng J. Outline of the mineral resources of China and their tectonic setting. Australian Journal of Earth Sciences, 1996, 43, 673—685
6. Burchfiel B. C. Plate tectonics and the continents: A Review. in "Continental Tectonics", Washington D. C. National Academy of Sciences. 1980. 15—25.
7. 翟裕生、张潮、宋鸿林等. 大型构造与超大型矿床. 北京, 地质出版社, 1997, 87—93
8. 祁思敬、李英. 南秦岭晚古生代盆地演化中的热水成矿系列, 中国地质学会矿床专业委员会编: "第五届全国矿床会议论文集" 北京, 地质出版社, 1993, 64—66.
9. 彭润民、翟裕生. 内蒙古东升庙矿区狼山群中变质“双峰式”火山岩夹层的确认及其意义, 地球科学, 1997, 22(6), 589—594
10. 翟裕生、邓军、宋鸿林. 同生断层对超大型矿床的控制, 中国科学 D 辑, 1998(印刷中)
11. Barley M. E. & Groves D. I.. Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time. Geology, 1992, 20, 291—294.
12. 白瑾、黄学光、王惠初等. 中国前寒武纪地壳演化, 北京, 地质出版社, 1996. 179—182.
13. 徐嘉炜、朱光、马国铎. 东亚大陆边缘演化的若干认识, 载: IGCP 第 321 项中国工作

TECTONIC EVOLUTION OF PALEOCONTINENTAL MARGIN AND ORE-FORMING SYSTEM

(Abstract)

Zhai Yusheng (China University of Geosciences, Beijing, 100083, China)

The paleocontinental margins characterized by active interactions between Earth's crust and mantle, complicated tectonic movements, frequent interexchange of substances and energy within Earth's various spheres, and magnificent ore-forming processes are gigantic tectonic belts where numerous important mineral deposits in China as well as in the world are discovered. So the studying of the tectonic evolution of paleocontinental margins and their ore-forming systems is of practical and theoretical significance.

By tectono-dynamic features, paleocontinental margins are classified as three types, e.g. the divergent (extensional), the convergent (compressional) and the transformational (strike-slip). Each of these types has its own characteristically geologic process and ore forming system. On the basis of research of North-China and Yantze Blocks, this paper discusses the ore forming features of paleocontinental margins of the three types.

1. Tectono-ore-forming system of the divergent type:

This type of paleocontinental margin is a result of continental breakup, such as Earth crust thinning, mantle upwelling, surface subsidence, formation of rift and aulacogen etc. In these tectonic units, the upwelling mantle-origin substances and terrigenous sediments are abundant, geothermal flow are abnormally high, and the fluids from multi-sources and of diverse properties, migrating along synchronous faults, leach out and concentrate ore substances from the country rocks of the passageway and dump them into the secondary reduced depressions of rifts as ore deposits.

The sediments of late rifting overlie the preexisted ores and protect them from destruction. All these conditions favor the formation of diverse types of ores, predominantly the sedimentary and hydrothermal Pb, Zn, Cu, REE, Fe, Mn, P and Al ones and sometimes the superlarge ones in the extensional continental margins. Such ore-forming system mainly occurred in Proterozoic and Paleozoic time, tectonically equivalent to the transforming stage from breakup to convergency of worldwide continental evolution.

2. Tectono-ore-forming system of the convergent type: There are two subtypes. One is that of the convergency of continental plate and oceanic plate. The latter with higher density subducted underneath the former, and was partly heated and melted to yield calc-alkalic magma and accompanying hydrothermal fluids. As a consequence, the volcanic island arc, forearc and backarc basins and the VMS, porphyry and epithermal type mineral deposits, predominantly of Cu, Mo, Au and Ag ores were formed. Such subtype of tectono-ore-forming system around the circum-Pacific belt has been detailedly studied.

The Baiyinchang Cu-Pb-Zn-Ag-Au deposit of Gansu Prov. and the Bainaimiao Cu-Au deposit of Inner Mongolia of China, both of VMS type in active continental margin trench-arc-basin system of Paleozoic and Proterozoic time are examples of this subtype.

Another subtype is that of collision of continental masses. The result of the collision is the formation of tectonic malange, large size overthrust, nappe, syn-tectonic anatectic granites and mantle-origin ophiolitic suite. The accompanying S-type-granite-associated ores are Cu, Mo, W, Sn, Zn, while the ophiolite-associated ores are Cr etc.

3. Tectono-ore-forming system of strike-slipped type: The opposite, horizontal movement of two plates forms gigantic strike-slipped fault systems. Examples are the St. Andreas fault zone of west United States and the Tanglu fault zone of East China. Au and Cu deposits have been discovered in the secondary shear zone of the Tanglu fault zone, and oil and natural gas in its subordinate tensional basins.

The paleocontinental margins have complicated history of development, and their tectonic dynamics changes with time. The passive continental margin can be transformed into active, and again to strike-slipped one. The overlap of various tectono-ore-forming systems formed in different time and the spatial zoning of these systems make a complex pattern of ore formation in a region.

The fundamental elements for formation of large and superlarge ore deposits in paleocontinental margins are:

1. The channelway: The large-size structures provide the channelway for migration of deepseated (mantle) ore substances to the shallow level, which promote the geochemical reorganization and interexchange of substances, and favor the high concentration of ores.

2. Rendezvous of fluids: The continental margins are loci for rendezvous of fluids. Under the influence of abnormal geothermal flow, fluids can form macroscopic and stable convection cell which provides the crucial condition for ore formation. While the mixture of fluids of different properties is the important ore-forming mechanism.

3. Abundance of ore sources: In tectonic belts of continental margin, ore substances and mineralizers from multi-sources are abundant which provides the precondition for ore formation.

4. Thermo-dynamic anomaly: The continental margins are also loci for concentration of energy, including the geothermal, magmatic and structural dynamic, which compose tremendous and active thermo-dynamic anomalous field. The ore formation is most likely to take place in the P-T drastic change zone and critical zone (high temperature→low temperature and high pressure→low pressure) under high thermo-dynamic background.

5. Long duration of structural activities: In continental margin, repeated structural 'opening' and 'closing', alternative development of basin and orogene and reactivation of large fracture zone often take place. All these activities make the repeated rock and ore formation and multiple enrichment of ores. For example, the greenstone type Au deposits in the inner periphery of the southeast margin of North China Block can be taken as an example which from late Proterozoic to Mesozoic time underwent repeated rock-forming and ore-forming history, and finally localized in Mesozoic time.

In last part of this paper, the author suggests the key problems in studying of ore formation of the paleocontinental margins.