

同位成矿作用的概念、类型与机制^①

汪东波 梅友松 刘国平
(北京矿产地质研究所, 北京 100012)

摘要 同位成矿作用系指在同一成矿空间内, 循时间序列, 伴随地质演化的进程, 某种元素、元素组合的多期富集成矿、叠加和定位作用过程的总称。以铜多金属矿床为例, 初步厘定了同位成矿作用的类型(异时单期同位成矿、异时多期同位成矿、同时多型同位成矿)、剖析了同位成矿作用的边界条件(丰富的成矿物质和成矿流体、稳定且长期活动的热中心及迁移通道、优化的成矿系统结构和局部适宜的沉积环境), 并从理论上阐述了同位成矿作用与区域地幔成分的不均一性、地幔喷流柱的关系和同位成矿作用的机制。

关键词 同位成矿作用 铜多金属矿床 地幔喷流柱 成矿机制

中图法分类号 P611

1 概念

近年来随着成矿理论及超大型矿床的全球背景及成矿机制研究的深入, 越来越多的事实说明单一地质作用过程很难形成重要的工业矿床^[1]。矿床多成因、矿化多阶段、成矿物质与流体多来源的观念已普遍被接受。现代矿床学强调矿化的继承性和演化上的方向性^[2], 虽然成矿作用同成矿环境关系密切且成矿环境随时间而变化, 但往往在某一地区, 在相当长的时间跨度内, 发生同一矿种多期不同类型或多期不同矿种的成矿作用。康滇地轴铜矿化集中区即是最好的例证, 区内从太古宙—白垩纪均有不同类型组合的铜矿床产出。如太古宙产有大红山、拉拉厂式的铜铁矿床, 中元古代产有东川式、稀矿山式铜矿床, 震旦纪产有烂泥坪式铜矿床, 晚三叠世产有弥勒、路南铜矿床, 侏罗纪—白垩纪产有六苴、郝家河和大铜厂铜矿床^[3, 4]。胶东招掖金矿带上产出的几个超大型金矿床均经历了太古宙矿源层形成阶段($> 2.5 \times 10^9$ a)、元古宙区域变质—花岗岩化阶段等($0.8 \times 10^9 \sim 2 \times 10^9$ a)、中生代花岗岩—脉岩—

成矿阶段($110 \times 10^6 \sim 154 \times 10^6$ a), 超大型金矿床的形成是三个地质历史时期地壳物质聚焦成矿的结果, 此处的“焦”是地点、地段^[5], 相当于本文同位成矿作用中的“位”。在美国西北部至加拿大不列颠哥伦比亚南西部, 自元古宙、寒武纪到第三纪均有 Pb-Zn-Cu-Ag 矿化; 大约在 1.6×10^9 a 以前, 金属在区域上是分散的, 仅有局部成矿, 但随后伴随其他地质作用过程两次再循环, 形成不同类型的矿床^[6]。因此, 循时间序列, 成矿省的演化也涉及到成矿过程的改变。在中国长江中下游铜铁多金属成矿带, 中条山铜矿化集中区, 加拿大科迪勒拉, 美国亚利桑那铜矿化集中区也具有多期成矿的特征。目前已有迹象表明某些火山成因块状硫化物矿床与产在火山岛弧中的某些斑岩铜矿及浅成低温热液金矿床, 可能是在同一原生系统中形成的^[7]。根据中国主要铜矿床的产出和分布规律, 在现代矿床学研究进展的基础上, 笔者^[1, 8, 9]将同位成矿作用定义如下: 同位成矿作用系指在同一成矿空间内, 循时间序列, 伴随地质演化进程, 某种元素或元素组合的多期富集成矿、叠加和定位作用过程的总称。在此

① 收稿日期: 1997-06-02, 修回日期: 1998-08-12 汪东波, 男, 博士, 教授级高级工程师

过程中, 伴随地质环境、地质过程的转变, 可发生矿种和矿化类型的改变。

2 类型

在系统研究国内外某些铜矿床、铜多金属矿床区域成矿规律、成矿系列的基础上^[1, 8, 9], 可将同位成矿作用初步划分为如下几种类型:

2.1 异时单期同位成矿作用

在同一成矿空间(即: 位), 早期的地质活动为后期的矿床定位和形成提供了物质基础和空间准备, 后期的地质活动所形成的矿体定位在早期地质活动所形成的有利空间内; 或后期地质作用所产生的成矿流体作用于早期形成的矿源层, 从中萃取成矿物质并在适宜的环境下沉淀成矿。如陕西略阳铜厂铜矿床, 虽然该矿床的最终形成同加里东期侵入的闪长岩有关, 但中新元古代大规模的岩浆喷发活动, 形成了区内广泛分布、铜含量较高的碧口群火山岩系, 为后期矿化提供了部分物质基础(如碧口群局部可见铜矿化体和铜的工业矿体)和成矿空间(古火山机构); 加里东期的岩浆沿古火山通道的侵入活动为铜矿床的形成带来了部分物质和促使成矿物质转移的热能, 它是铜厂铜矿床形成和最终定位的关键。

2.2 异时多期同位成矿作用

在同一成矿空间(矿田、矿带、矿床)内, 先后多期发生矿化并均对矿床的形成起到了重要的作用。这种同位成矿又分为两个亚类, 一类为早期成矿元素同晚期成矿元素相同, 另一类为前期和后期矿化元素(组合)不同。前者如长江中下游铜铁多金属成矿带中的城门山铜矿床, 武山铜矿床, 新桥铜矿床, 天马山铜硫金矿床等。上述矿床在海西期长江中下游沉积断裂拗陷演化期间, 在上泥盆统五通组(D_{3w})砂岩和中石炭统黄龙组(C_{2h})灰岩、白云岩不整合面上形成了喷流沉积型含铜黄铁矿矿体, 燕山期的岩浆侵入活动形成了矽卡岩型和斑岩型铜矿床。据推测燕山期中酸性小岩体侵位处可

能系海西期喷气沉积矿体形成时的古喷气孔的位置。在中条山铜矿化集中区, 可以发现区内晚太古宙的岩浆活动为“铜矿峪型”铜矿和“胡蓖型”铜矿的形成准备了物质基础(绛县群), 大约在 $2.1 \times 10^9 \sim 2.2 \times 10^9$ a间, 伴随海底沉积喷流成矿作用, 形成了“胡蓖型”铜矿床; 大约在 1.8×10^9 a左右, 伴随长英质岩浆的侵入和区域变质作用, 形成了“铜矿峪型”铜矿床和“胡蓖型”铜矿床中的脉状矿体^[10, 11]。后者如江西永平铜矿床, 海西期的海底喷流沉积成矿作用形成了赋存在中石炭统叶家湾组(C_{2y})中的铜工业矿体, 燕山期岩浆活动沿古喷流中心同位侵入的花岗斑岩又造成了钨钼及少量铜矿化, 叠加在海西期形成的铜矿体之上。

2.3 同时多(类)型同位成矿作用

在同一成矿空间范围内, 在一定时间跨度内(关键是不应有明显的地质活动的突变), 发生同矿种的多类型或不同种类的矿化作用。如在东川地区, 在中元古代昆阳裂谷发育期间, 在因民组到黑山组形成时限内, 发生了三期重要的铜矿化, 分别形成了赋存在因民组中的“稀矿山式”铜铁矿床、落雪底部狭义的“东川式”铜矿和黑山组中的“桃园式”铜矿床; 在上述三类矿床形成期间, 并没有明显的地质活动的突变。如果从太古宙“大红山式”铜铁矿床形成起考虑, 直到侏罗纪—白垩纪郝家河铜矿、六直铜矿形成时止, 则应列入异时多期同位成矿作用。又如在南秦岭贵金属成矿带内, 从中泥盆世至晚泥盆世, 沉积作用连续演化, 从早到晚(层位从下至上)先后形成了铜矿床、铅锌矿床和金矿床(定位于中生代), 其中铜矿床和铅锌矿床产在中泥盆统碳酸盐岩中(伴有热水沉积岩), 金矿床产在上泥盆统碎屑岩中, 矿体所处的层位分明, 这种矿体时空上的先(下)后(上)关系是不能用简单的矿化分带来解释的, 而是“同时多(类)型同位成矿”的典型代表。

3 讨论

同位成矿作用的发生绝非偶然^[1, 8], 通常

它应满足如下边界条件: (1) 丰富的物质来源, 现在普遍认为能否形成大矿, 首先取决于有无丰富的成矿物质稳定来源; (2) 丰富的成矿流体和稳定而长期的热活动中心, 它能确保成矿作用过程中物质的迁移所需的介质和能量; (3) 同物源区和热活动中心相贯通的构造, 它是成矿作用过程中物质迁移的通道; (4) 优化的成矿系统结构和局部适宜的沉积环境, 以利于成矿作用的适时启动, 并使成矿过程持续而稳定。

这说明同位成矿作用同区域地幔的不均一性、地幔喷流柱(mantle plume)、壳幔作用、热点的长期稳定活动, 以及成矿元素的继承矿化有关。其依据如下:

(1) 地幔成分的不均一性对矿化的限制作用十分明显。地球的壳幔结构和组成是不均一的, 包括垂向的层圈性和横向上的不均一性。从横向上看, 这种不均一性表现为一个一个的地球化学块, 它可能对应于一些大的成矿省^[12], 这种成分上的差异性形成各种金属成矿省(如南岭钨、锡、稀有金属成矿省)和引起同位成矿作用的物质基础。如华北地台北缘及北秦岭为富金钼、贫铜之地幔, 因此区内发育多期多类型重要的金(钼)矿化, 但缺少重要的铜矿床产出^[13]。赣东北、中条山地区(均是重要的铜矿化集中区)的前寒武系火山—沉积岩明显富铜, 预示深部地幔具有富铜之特征^[10, 14]。

(2) 同沉积喷流有关的铜及铜多金属矿床的形成主要同深部物质有关, 成矿过程中有大量丰富的流体参加(这从广泛而强烈的围岩蚀变、明显的矿化分带可获佐证), 通常喷流活动中心部位也是引起矿化作用的长期稳定的热流体活动中心。研究表明, 喷流沉积矿床形成时的喷流孔及生长断裂常被后期的辉绿岩(东川铜矿田、广东玉水铜矿床等)和I型花岗岩(长江中下游铜多金属成矿带中的新桥铜矿床、城门山铜矿床等)所占据。在长江中下游铜多金属成矿带, 后期的岩浆侵入和热液活动导致同位成矿作用发生。当侵入体为I型花岗岩

时, 发生斑岩铜矿化和矽卡岩型铜矿化; 而若侵入体为S型花岗岩时, 则后期的侵位并不造成重要的铜矿化, 这说明铜矿化同深部岩浆活动的密切关系, 意味着引发同位成矿作用的根源在深部。

(3) 铜多金属矿床通常受控于深大断裂, 如我国南部重要的铜矿床主要与赣东北大断裂、长江主干断裂、小江及绿汁江断裂等20条左右的区域性深大断裂有关, 因为只有深大断裂的长期活动才能将深部岩浆、成矿流体和成矿物质稳定而持续地传输到浅部。

(4) 许多铜多金属矿化集中区在遥感影像上通常呈环状构造, 其中在较大的环形影像内套叠数量不等的小环状构造; 对复式岩体而言, 中心常为时代最新的侵入体, 对火山活动而言, 矿化主要发育在火山机构内及邻近区域; 上述现象说明深部可能存在一个热活动柱。翟裕生(1992)^[15]建立的长江中下游矿田构造模型为: 岩基(岩浆房)→岩浆柱→岩株的三层结构模型亦从较客观的角度说明了热活动柱的存在。

(5) 在充分注意到消减带壳幔作用的事实的基础上, Kellog(1992)^[16]提出在地核和地幔间有一个界面, 该界面为一化学性质极活动带, 看来系幔流柱(mantle plume)的发源地, 这种核幔作用可能支持上部的壳幔作用。壳幔作用是深部与浅部进行物质和能量交换的主要地域, 是地球物理和地球化学作用最强的地带。地幔柱中的熔浆、热流体等在向浅部运行过程中, 在前方可造成成矿流体和物质的高度富集, 当运行至地壳的某些适宜地段则淀积成矿。冀西北金银多金属矿化集中区成矿规律和航磁、重力及遥感影像的综合研究表明: 在冀西北地区存在一个超越内蒙地轴与燕山褶皱带之上的中生代地幔热柱构造, 并建立了地幔热柱构造的壳幔成矿模式^[17, 18]。该模式由成矿物质的大规模富集、成矿物质和流体的运移、传输、矿床定位三大体系构成, 分别对应于幔流柱驱使下的物质聚集→运移→定位三个演化阶段。

在上述分析的基础上,可初步勾勒出同位成矿作用的可能机制为:由于区域地幔成分的不均一性,富集某种元素(如铜)或元素组合(如铜、铅、锌、银)的地幔物质在幔流柱的作用下直接影响壳幔作用,在某一地质历史时期以不同的地质作用方式,通过深大断裂,经由岩浆活动输送到地壳表层,或通过地幔脱气 \rightarrow 海底喷流(气)的方式,在丰富的成矿流体参与的情形下直接形成矿(化)体。对于前者,岩浆活动可以形成初始富集某种元素的基底,在后期随地质作用方式的改变,一旦其他成矿的边界条件具备,即可成矿。综上可以看出,同位成矿作用以其强调同位、成因上的内在联系而区别于“多因复成”成矿作用^[19];以强调某一地区地质演化历史全过程、而不是局部时段和某一过程中的矿化作用而区别于成矿系列,又以其强调成矿作用的继承与叠加而同“多因复成矿床”和成矿系列有相似之处。

REFERENCES

- 1 Mei Y S *et al.* Trans Nonferrous Met Soc China, 1996, 6 (Suppl. 1): 11.
- 2 Zhai Y S(翟裕生). Geology and Prospecting(地质与勘探), 1997, 33(1): 1.
- 3 Gong L *et al.*(龚琳等). Proterozoic Rift Copper Deposits in Dongchuan, Yunnan Province(云南东川元古宙裂谷型铜矿). Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996: 222- 225.
- 4 Chi S C(池三川). Earth Science Frontiers(地学前沿), 1994, 1(3- 4): 20.
- 5 Yang M Z(杨敏之). In: Abstracts Presented to the Fourth All-China Symposium on Petrology, Mineralogy and Geochemistry(全国第四届矿物岩石地球化学学术讨论会论文摘要汇编). Beijing: Seismological Press, 1991: 322- 324.
- 6 Hutchinson R W. In: 29th IGC Abstracts, 1992: 1: 188.
- 7 Chi S C(池三川). Earth Science Frontiers(地学前沿), 1994, 1(3- 4): 83.
- 8 Wang D B *et al.* In: Papers Presented to the Fifth All-China Symposium on Mineral Deposits(第5届全国矿床会议论文集). Beijing: Geological Publishing House, 1993: 422- 424.
- 9 Mei Y S *et al.*(梅友松等). Geology and Prospecting(地质与勘探), 1995, 31(5): 3.
- 10 Sun H T *et al.*(孙海田等). The metallogenetic Evolution of Lower Proterozoic Copper Deposits in Zhongtiaoshan Area(中条山早元古铜矿成矿作用演化). Beijing: Geological Publishing House, 1990: 1- 5.
- 11 Ji S K *et al.*(冀树楷等). The Metallogenetic Model and Prospecting Model of Copper Deposits in Zhongtiaoshan Area(中条山铜矿成矿模式与勘查模式). Beijing: Geological Publishing House, 1992: 83- 98.
- 12 Wang D B. Geological Exploration for Non-ferrous Metals(有色金属矿产与勘查), 1995, 2(5): 257.
- 13 Zhang B R *et al.*(张本仁等). Contribution to Regional Geochemistry of Qinling and Dabashan Mountains(秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究). Wuhan: China University of Geosciences Press, 1994: 1- 32.
- 14 Ji K J *et al.*(季克俭等). Geological Exploration for Nonferrous Metals(有色金属矿产与勘查), 1992, 1(1): 1.
- 15 Zhai Y S *et al.*(翟裕生等). In: Proceedings of the Symposium on the 7th Five-year Key Geological Achievement. (“七五”地质科技重要成果学术交流会议论文集). Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1992: 478- 483.
- 16 Kellog L. In: 29th IGC Abstracts: 1992, 1: 5.
- 17 Li H Y *et al.*(李红阳等). Mineral Deposits(矿床地质), 1996, 15(3): 249.
- 18 Niu S Y *et al.*(牛树银等). Mineral Deposits(矿床地质), 1996, 15(4): 298.
- 19 Chen G D(陈国达). Geotectonica et Metallogenia(大地构造与成矿学), 1992, 16(1): 1.

ISOSPATIAL METALLOGENESIS: CONCEPT, TYPES AND METALLOGENETIC MECHANISM

Wang Dongbo, Mei Yousong and Liu Guoping

Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, P. R. China

ABSTRACT The isospacial metallogenesis is a special term concerning the processes of multi-periodic mineralization, superposition and localization of an element or element association in the same metallogenetic domain and along the temporal sequence. Taking copper-polymetallic deposits as example, the isospacial metallogenesis can be divided preliminarily into three types: (1) heterochronous monoperoiodic isospacial metallogenesis; (2) heterochronous multiperoiodic isospacial metallogenesis; (3) synchronous multitype isospacial metallogenesis. The boundary conditions of isospacial metallogenesis are: (1) abundant sources of ore-forming material and ore-forming fluids; (2) stable and long actively thermal center; (3) the structure connecting the ore-forming material source and the active thermal center; (4) locally suitable deposition environment. The mechanism and relation of the isospacial metallogenesis to "mantle plume" were discussed either in the paper.

Key words isospacial metallogenesis copper-polymetallic deposit mantle plume metallogenetic mechanism

(编辑 何学锋)