第9卷 第4期 高 校 地 质 学 报 Vol.9 No.4
2003年12月 Geological Journal of China Universities Dec. 2003

成矿系列的结构模型研究

翟裕生，彭润民，王建平，邓 军
（中国地质大学，北京 100083）

摘 要：由单个矿床研究到成矿系列和成矿系统研究，是成矿学研究的重要进展。在成矿系列理论的探索中，成矿系列的结构尤需关注，因此将成矿系列的内部结构概括为物质的、空间的和时间的三类。其中物质结构包括各矿种、矿床类型间的同源性、多样性、继承性和互补性；空间结构包括各矿种、矿床类型间的共生性、分带性、过渡性、集约性和重叠性；而成矿系列的时间结构含各矿种、矿床类型间的时限性、阶段性、渐进性和突发性，并举例论述了这些结构性质的形成条件，对深入认识成矿规律和指导找矿预测均有参考意义。

关 键 词：成矿系列；物质结构；空间结构；时间结构
中图分类号：P61 **文献标识码**：A **文章编号**：1006-7493(2003)04-510-10

在成矿系列理论的探索中，成矿系列的结构分析是一项受到关注的研究内容。一个成矿系列中各矿种、各矿床类型之间的相互关系属于成矿系列结构的研究范围。结构是指一个系统内部的组成诸要素间的相互联系和相互作用方式。研究成矿系列结构特征对于深入认识矿床分带、矿化阶段以及大矿、富矿在系列中的产出位置有重要意义。

成矿系列的内部结构，可概括为三个方面：一是成矿系列的物质结构——指矿源供应、矿化强度、矿种、矿床类型和规模等的有序配置；二是成矿系列的空间结构——指成矿要素、成矿强度的空间分布、变化及所形成的矿化分带和矿化网络；三是成矿系列的时间结构——指成矿作用过程和矿化阶段。成矿物质在一定的时间、空间中的运动是一个不可分割的整体，研究成矿系列要有四维观念。同时，对物质结构、空间结构和时间结构分别加以探讨，深入认识每一个侧面，可有助于对整个系统的理解。而对这些问题的认识，对于区域成矿预测、普查勘探、矿产资源潜力评估等的重要意义是不言而喻的。

1 成矿系列的物质结构

1.1 矿床的物质组成

包括不同的矿种（如Cu，Au）、矿石矿物（如黄铜矿、银金矿）、脉石矿物（如石英、方解石）及含矿主岩的类型、数量、在成矿系列中所占比重及其时空分布特征等，这是研究成矿系列物质结构的基础内容。

1.2 矿化强度与矿床规模

矿化强度或称成矿强度一般指由成矿物质的富集度（矿石品位）、矿床规模（吨位）和矿床数量所综合体现的成矿作用的发育程度。在一个成矿区带中，由一个成矿事件所形成的矿床

基金项目：国家自然科学基金重点项目（40234051）；国土资源部科技项目（No.20010302）；地质大调查综合研究项目（K1.4）
第一作者简介：翟裕生，1930年生，男，教授，中国科学院院士，主要从事矿床学和区域成矿学研究。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

规模大、矿石品位高，矿床数量多，则表示有很大的成矿强度。显示矿化强度的标志有：① 矿床规模；② 矿石品位；③ 矿床数量(单位面积内的矿床数量)；④ 矿石矿物及伴生矿物的数量；⑤ 矿石/矿化岩石/岩石的比例；⑥ 成矿区带的规模(三维的)；⑦ 其他。

1.3 成矿系列中矿床(化)类型的多样性

成矿系列中，有的只有 1～2 种矿床类型，如砂矿床；有的则有多个矿床类型，如岩浆热液型矿床系列中常有矽卡岩型、斑岩型、脉型、层控型等多种类型。

在一个成矿系列中矿床成因类型的多寡，涉及找矿工作部署，应加以研究。以铜矿为例，同是由于燕山期花岗岩类的热液成矿作用，铜陵地区的矿床类型就比较多，而德兴铜厂矿田的矿床类型就只有斑岩铜矿一种。造成这种差别的一个重要原因是铜厂地区的矿化围岩只有双桥山群的千枚岩、板岩和变质沉凝灰岩，且厚度大(>4 000 m)，适于岩浆侵位后斑岩铜矿的产出；而铜陵地区的含矿岩系从上泥盆统碎屑岩到石炭、二叠直到三叠纪的石灰岩、白云岩、页岩、砂岩及硅质岩等，岩性多样，且一些岩层中已初步富含 FeS_2 等成矿物质(矿源层、矿层)。各层间的破裂、滑脱等小构造又发育，当含矿岩浆就位时，就形成了矽卡岩型、沉积改造型、层控型、热液脉型等多种矿床类型。可见，控矿因素的多样性是导致一个成矿系列中矿床类型较多的一个重要原因。

1.4 成矿系列中矿床类型的过渡性

在一个成矿系列形成过程中，矿床类型随着具体地质条件的有序变化而发生递变，成矿系列内各端元矿床之间常出现过渡型矿床。过渡型矿床有不同的情况，一是矿种间的过渡，如矽卡岩型铜矿与矽卡岩型金硫矿之间的过渡型矿床，实例有铜金硫矿床(如大冶鸡冠嘴)；二是成矿流体间的过渡，如介于矿浆型铁矿和热液型铁矿之间的矿浆－热液过渡型铁矿(如大冶灵乡脑窖)；三是成矿方式间的过渡，如介于晚期岩浆熔离型和矿浆贯入型之间的伟晶岩型磷灰石－阳起石－磁铁矿矿石(如承德大庙—黑山和宁芜大东山)。过渡性矿床都具有“亦此亦彼”性质，记录了成矿作用的连续演化过程。

1.5 成矿系列中成矿元素和成矿强度在不同矿床类型中的分配和互补性

指一个成矿系列中成矿元素种类的分配和矿化强度在不同矿床类型中的分配是不均衡的，具有“此多彼少”和“此强彼弱”的关系。例如，在鄂东南铁铜钼金成矿系列中，铁钴主要产于矿浆型矿床中，铜钼主要产于斑岩型矿床中，铜金主要产于矽卡岩型矿床中，表现出各成矿元素在不同矿床类型中分配的不均匀性。成矿作用强度在不同矿床类型中的不均衡性也是一种普遍现象。如在铜陵地区的 Cu-Fe-S 成矿系列中，矽卡岩型铜矿和层控型铜矿的铜储量占有主导地位，而热液脉型铜矿则居次要地位(表 1)。产生互补性的一个重要原因，在于一个成矿区带的一次成矿事件中，参与成矿的物质的种类和数量具有常量性质。但由于岩石、构造、地球化学、含矿流体和矿化时间长短等因素的差异，从而造成成矿元素和矿化强度在各矿床类型之间的分配是不均衡的。

成矿系列的物质结构概括为表 2。

2 成矿系列的空间结构

成矿系列的空间结构指诸矿床在空间的有序分布，它是由成矿要素、成矿方式、成矿强度及其它控矿因素的空间分布和变化所决定的。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1 安徽铜陵地区的铜矿床类型

Table 1 Cu ore deposit types in Tongling district, Anhui province

成矿类型	层控矽卡岩型	矽卡岩型	沉积-改造型	热液脉型(含角砾岩型)
矿床实例	冬瓜山	药园山	新桥	东狮子山
矿床储量(万t)	141	92	55	11
所占百分比	47	31	18	4
有利控矿因素	A. 先存沉积黄铁矿层,提供少量铜; B. 处于花岗岩与白云岩及灰岩的接触带上; C. 层间滑脱构造和层间裂隙; D. 有利的岩性组合:白云岩、灰岩; E. 有利的构造部位:处于背斜脊部,矿液易于聚集,充填交代成矿; F. 附近的矿源层	A. 花岗闪长岩与围岩的断裂复合接触带; B. T_2n 的薄层灰岩	A. 原先沉积的胶状黄铁矿层和邻近的菱铁矿矿层和局部的石膏层; B. 后期的岩浆热液改造	A. 与花岗闪长岩有关; B. 角砾岩筒、交叉断裂; C. 所处位置离矿源层较远

注:斑岩型矿石已发现,但量较少,且未求得高级储量,故未计入。

表2 成矿系列的物质结构(各矿种、矿床类型的物质关联)

Table 2 Material structure of metallogenic series

结构性质	内涵	典型事例	矿床实例
同源性	一个成矿系列中不同类型矿床具有全部或大部分相同的物质来源	绿岩带中石英脉型和构造蚀变岩型金矿	招远金矿
多样性	同一成矿系列中各成矿元素组合的多种多样	如热液 Cu, Mo, Fe, Au 系列中的 Cu-Mo, Cu-Fe, Cu-Mo-Fe, Cu-Au 等元素组合	鄂东—九瑞矿带的铜山口、铜绿山、城门山、武山等
继承性	在长期成矿演化过程中,主成矿元素(组合)具有一致性,即继承演化关系	富镁碳酸盐型成矿系列中的菱镁矿转化为滑石、水镁石	辽宁海城
互补性	成矿物质在一个系列内各矿床类型间的数量 分配关系及主要成矿元素间数量消长关系	铜陵矿集区中主要铜矿量产在层控矽卡岩和矽卡岩型矿床中,其它矿床类型则少;丰山洞 Cu-Au 矿田中在不同矿床中 Cu, Au 具此消彼长关系	铜陵、鄂东的 Cu, Au 矿床

2.1 成矿分带

在一个成矿系列中,各矿种、各矿床类型、各类地质异常体在空间上常作有序分布,它们或沿某一巨厚岩系分布(如黑色岩系),或围绕某一侵入岩体分布(如湖南千里山花岗岩体),或沿某一断层带作有序分布(如招平含金断裂带)。有的在某一地质体内部,有的在其外围。有的矿床在浅表,有的在较深部位。这种多个矿化体(矿体、矿床、矿田、矿集区)在空间(三维的)有序分布,一般称为成矿分带(矿化分带)。

2.1.1 成矿分带的划分

(1) 按物质组分划分:如铜带、铅锌带、汞锑带。

(2) 按矿床类型或成矿系列划分:如斑岩矿床带、矽卡岩矿床带等,或更大范围内按成矿系列(亚系列)划分。

(3) 按空间维划分:有水平分带、垂直分带、三维分带等。

(4) 按时间维划分:有原生分带、次生分带和复合叠加分带。

几种常见分带型式:有带状、环状、弧形、放射状、网格状等多种形式,受控于地层、构造、岩

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

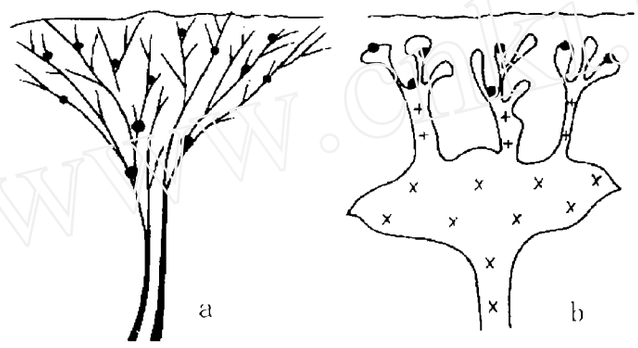
浆岩等多种因素

2.1.2　成矿分带的某些规律性

等距性分带——指诸矿床(田)的空间展布以大致相等的距离有规律地出现。热液矿床受构造控制明显，等距性分带较为常见(如豫西卢氏地区的等距分布的燕山期小侵入体及伴生矿床)。

对称性分带——指诸矿床间的分布常以某种地质体或构造为中心作镜面对称分布，如德兴银山多金属矿床。

离散型分带——在一些矿区或区域的垂直断面上常可发现矿化分带中的离散现象，即主干断裂或主要岩体中常产出主要矿床，而数量较多的次要矿床则产在次级断裂或小型岩株岩枝处。而浅表的断裂和小岩体都有向深部收拢的趋势(图 1)。控矿断裂的垂向变化在宁芜玢岩铁矿和山东招远夏甸金矿等多个矿床中都有发现。



a. 断裂控制(fracture contolled)；b. 侵入体控制(intrusion controlled)；● 矿床(ore deposits)

图 1　矿化垂直分带显示的分支性或离散性

Fig. 1　Branchiness and discreteness of mineralization vertical zoning

2.1.3　成矿分带的研究思路

(1) 矿化分带是一个三维概念，水平分带和垂直分带只表示其一个侧面，在研究程度较高的成矿区带积累有较多的深部资料，可以研究矿化三维分带，尤其是垂向分带特征，这对于深部探矿极有意义。

(2) 矿化分带指矿化的空间表现形式，而空间形式中包含着时间进程。在解释热液矿床分带原因时，就有一种脉动分带观点，即热液沿通道脉动式一次又一次上升，造成矿石组分和构造结构的差异，从而形成矿化分带。在成矿区域(带)中，许多矿化分带是不同期次矿化叠加复合的产物，是矿化时空结构的一种表现。

(3) 矿化分带的内容除矿床外，还应包括矿点、蚀变带和地质异常(含物、化、遥异常)的分带情况，因为它们都是成矿系统的产物，矿点和异常的规律性分布常能指示隐伏矿床(体)位置。

(4) 研究区域矿化分带要抓住主要控矿因素。构造-岩浆-成矿带观点对认识岩浆岩发育区的矿化分带有帮助；构造-热液-成矿系统是研究热液矿床分带性的关键因素；构造-岩相—

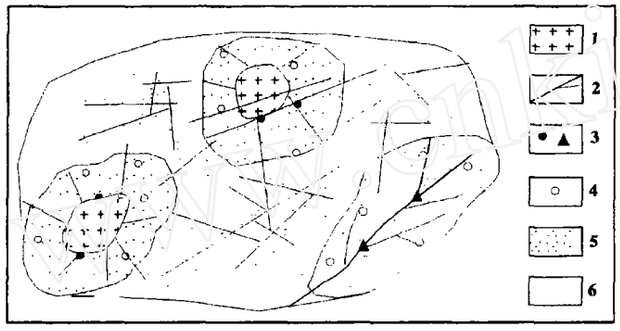
© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

成矿带则是盆地沉积成矿系统分带性的主要表现形式,主要矿床常在含矿盆地内作(环)带状分布。

(5) 区域矿化分带的后期变化和改造。原生矿化分带受到后来地质作用的改造,而不再保持其原状。因此要注意区分原生分带和次生(改造)分带,即后期地质作用对原生分带的改变,包括对原生分带完整性的破坏。

2.2 矿化网络

矿化网络(mineralization network)指成矿区带、矿集区及矿田中矿床、矿点和矿化蚀变岩及相关岩石、构造等有序分布构成的矿化空间结构。矿化网络包括了在一定地质环境中由统一成矿事件形成的矿床系列和矿化异常系列,它既包括已知矿床,又包括尚未被发现的矿床,是一个开放的和动态的矿化体系(图 2)。



1. 侵入体(intrusives); 2. 断裂(faults); 3. 矿床(不同类型)(mineral deposits of different types); 4. 矿点(mineralizations); 5. 蚀变岩(hydrothermally altered rocks); 6. 地层岩石(strata)

图 2 矿化网络结构简图(平面图,以热液矿床为例)

Fig. 2 Structure sketch of mineralization network

之所以除矿化分带外,还提出了矿化网络一词,是因为后者有更广阔的内涵,有更大的包容性,它既包括矿床类型、矿种间的分带特征,也包括除带状以外的各种空间分布形式,如岩石-构造的界面、交点、转换空间等对矿床的控制。也可以说,矿化网络包括了成矿系列空间结构的整体。

矿化网络一词是在成矿系统研究中提出的(翟裕生等,2002)。成矿系统理论研究阐明矿床形成的环境、要素、机理、过程、产物及后来的变化,而矿化网络则是在一个成矿系统中形成的矿床系列和相关异常及其所在环境组成的实体,一般相当于矿集区或矿田的范围。矿化网络是物化了的成矿系统,是可以看得见、摸得着的具体事物,例如,宁芜火山-次火山岩盆地中,在著名的玢岩铁矿系列形成过程中,以含矿辉石闪长玢岩体为核心,发育强烈而广泛的围岩蚀变如钠长石化、阳起石化、硅化、泥化、黄铁矿化等,以及相应的各类地质异常,构成一个长约 50 km,宽达 12 km 的区域矿化网络,而主要矿床都产在这个网络的构造结点,并与次火山岩体密切相关(翟裕生,1992)。

矿化网络有不同的尺度,有成矿区(带)、矿集区和矿田等不同尺度的成矿网络,它们的组构形式常表现出彼此间的自相似性。

矿化网络研究的主要内容包括:①网络中各类矿床的发育程度;②各类矿床的空间关系;

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

③各类矿床的时间关系；④各类矿床的成因联系；⑤各类矿床被改造情况。这些内容在矿床研究和找矿预测工作中经常遇到，研究它们是十分必要的，详见有关文献（翟裕生等，2002）。

2.3 成矿系列空间结构特征

成矿系列空间结构特征如表 3 所示。

表 3　成矿系列的空间结构（各矿种、矿床类型的空间关联）

Table 3　Spatial structure of metallogenic series

结构性质	内涵	典型事例	矿床实例
共生性	成矿系列内不同类型矿床、矿种间的共生，常与某一地质体相伴	花岗闪长斑岩内外的斑岩型、矽卡岩型	铜山口（Cu，Mo）
分带性	不同矿种、矿床类型在空间的有序分布	围绕次火山岩体 Cu，Au，Pb，Zn 矿等成带状分布	银山（Pb，Zn，Ag，Au，Cu）
过渡性	成矿系列内各矿床类型或矿种在空间上的过渡关系	矿浆－热液型过渡型铁矿	大冶灵乡（Fe）
集约性	成矿系列中各矿床间的排列的紧密程度（与松散性相对应）	高：较小空间汇集巨量多矿种矿石；低：沉积成矿系列	柿竹园（Wo，Sn，Mo，Bi）庞家堡（Fe）
重叠性	成矿系列内不同矿床类型在同一空间的重叠交叉关系	晚期矿浆贯入型叠加在早期浸染型矿体之上	河北大庙（Fe，Ti，V）

3　成矿系列的时间结构

成矿作用从孕育、发生到终结有一个比较长的过程。在这个过程中，成矿物质、成矿作用方式和矿化强度随时间进程而变化，表现为成矿系列的时间结构。

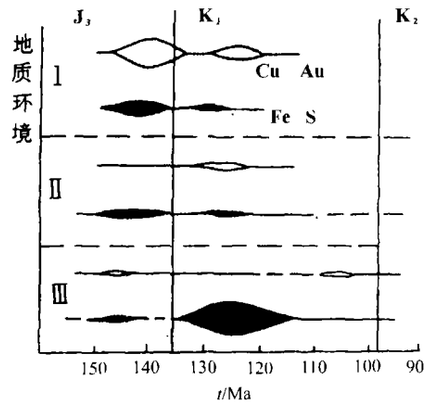
研究表明，成矿在时间分布上是不均匀的，有些时段矿化强烈，有些时段则成矿微弱或没有矿化，在不同时段，成矿的矿种也不尽相同，因此，可划分出若干成矿期和成矿阶段。在每一成矿期中，均有特定的成矿要素和控矿因素在起作用。因此，研究成矿系列的时间结构，要以具体成矿区域中的地质构造条件和地质演化过程研究为基础，进行深入的综合分析。

成矿系列的时间进程包括：（1）矿源供应阶段；（2）流体运移阶段；（3）矿床定位阶段；（4）成矿后变化改造阶段。对不同的成矿系列来说，成矿地质时间过程（geological interval of a metallogenic series）有长有短，成矿发生的地质年龄（geological age）有早有晚，应该作具体的研究。成矿系列时间结构的内涵包括以下内容。

3.1 成矿强度的变化

在一个区域成矿系统中，成矿作用过程有长有短，可以根据直接定年法与地质推断法相结合获得的各个矿化阶段的年龄进行排序，提出成矿过程的时间表。现以研究工作较系统的安徽沿江地区铜、金、铁、硫矿床为例，说明其成矿强度和成矿物质组成随时间的变化情况。据唐永成等（1998）分析，该区与岩浆活动有关的铜、金、铁、硫成矿作用集中在中生代燕山期（170～90 Ma）的构造-岩浆-热事件中。区内铜－金成矿系列集中于 137±5 Ma，为主要成矿期；在晚白垩世初期约 100～90 Ma，仅形成个别铜－金矿床，代表金－铜成矿的尾声。铁－硫成矿系列的成矿起止时间与铜－金系列大体相同，但成矿高峰期偏晚，主要集中在 135～120 Ma 时段，形成了著名的产于中生代火山岩盆地内的“玢岩铁（硫）矿”，是该区铁、硫矿床最主要的成矿期（图 3）。从图中可以看出，铜、金系列和铁、硫系列虽都有 150～90 Ma 的较长形成过程，但主成矿期的间隔是狭窄而短暂的。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



Ⅰ. 块断隆起区(faulted block uplift area); Ⅱ. 过渡区(transition area); Ⅲ. 断陷火山岩盆地(faulted block volcanic basin)

图3 不同地质环境中矿化强度与时间分布(据唐永成等,1998)

Fig. 3 Distribution of mineralization in accordance with time at different geological environments

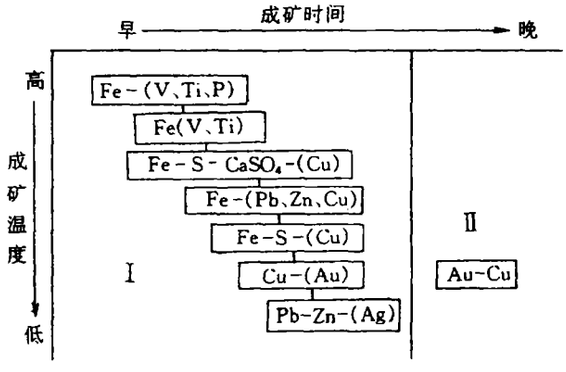
成矿强度随时间的变化,与系统内部各要素耦合状况和外部环境的扰动程度有关。当各种成矿要素开始耦合形成造矿功能时,多是微量、渐变的成矿过程,表现为较轻微或一般强度的变化。当系统内部成矿的持续涨落发展到进入混沌状态边缘时,成矿功能突然进入最强烈状态,形成成矿的高峰,也即大型矿床甚至超大型矿床形成阶段(於崇文,1999)。所以,成矿过程中成矿强度的变化与各成矿要素耦合状态的变化、系统自组织能力的变化以及外界环境干扰状态的变化等因素都有一定关系。

3.2 成矿组分的变化

除成矿作用过程中成矿强度随时间的变化外,成矿物质组分也有随时间变化的趋势。仍以安徽沿江地区为例(唐永成等,1998),在不同的矿床系列中,主要成矿元素和伴生成矿元素(组合)也呈现出一定的演变趋势(图4)。例如,在铁-硫系列中,Fe为主要成矿元素,早期伴生V,Ti,P,中期主要伴生S,到晚期主成矿元素则转化为Cu,Au,间有Pb,Zn和Ag。从安徽沿江地区控矿要素分析,可以认为成矿组分随时间的变化与该区岩浆-热液的成分变化及流体的温度、压力、浓度等的变化有密切关系。

3.3 矿床类型随时间的变化

成矿系列的形成过程中,成矿方式和矿床类型并非一成不变。如前述的安徽沿江地区铜-金矿床系列形成早期,有层控矽卡岩型、矿浆熔离-贯入型、矽卡岩型等矿床,而其后形成的矿床类型有斑岩型、热液充填-交代型等,最后为单一的脉型。在铁-硫矿床系列中,形成较早的矿床类型有矿浆贯入型、气液伟晶型、玢岩型等,其后为热液交代-充填型和沉积-热液叠加改造型,最后为单一的脉型。上述两个成矿系列中,矿床类型由早到晚有由复杂到较简单,再到单一的变化趋势。



Ⅰ. 主成矿期(major ore forming stage);
Ⅱ. 晚成矿期(late ore-forming stage)

图4 铁、硫矿床系列成矿元素组合随时间变化示意图(据唐永成等,1998)

Fig. 4 Change of ore-forming element association of Fe, S ore deposits in accordance with time

3.4 控矿要素随时间的演变

上述成矿强度、成矿组分和矿床类型随时间前进而发生的种种变化,都与成矿系统中的成矿要素和控矿条件随时间的变化有关。前已说明,

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

成矿系统是一个动态的开放系统，系统与环境之间一直进行着物质和能量的交换作用，这个作用时而强烈、时而轻微，视各成矿要素间的耦合程度而变化。成矿过程中，如矿源场的组成和供应数量、供应速度发生变化，或流体中加入某些成矿物质，或溶液中 p，t，Eh，pH 等参量变化导致某些伴生组分的相对浓集等，都可能使成矿物质组分发生变化。成矿过程中，成矿流体的状态或赋矿围岩发生明显变化，如由较高温，密度较大的富矿熔浆（宁芜地区的铁矿浆等）转变为温度较低、密度较小、挥发分增多的富铁气液时，则形成的矿床类型相应由矿浆型铁矿转化为热液交代－充填型铁矿。当围岩为碳酸盐岩时易被含矿流体交代而形成矽卡岩型矿床，而后来的矿液再上升在碎屑岩中就位时，则易形成裂隙充填型矿脉。

总之，由于成矿组分，成矿方式和成矿强度以及控矿因素随时间的显著变化，一个统一的成矿过程显示出阶段性，下一节专门讨论这一问题。

3.5　成矿过程的阶段性

在成矿的时间维上，可划分为三个基本层次或尺度，即成矿事件、成矿期和成矿阶段。一个成矿系统的形成过程，相当于一个成矿事件。在一个事件过程中，因上述的成矿强度、成矿组分、矿床类型及控矿条件的显著变化而划分出成矿期。在一个成矿期中，因成矿微过程，即具体成矿方式的变化，可划分出若干个成矿阶段。在成矿系列研究中经常用不同成矿期来表示成矿作用过程中的几次显著变化。每一个成矿期都产有一定的矿种（组合）和矿床类型（组合）。这些矿床类型组合或矿床系列则各有其一定的空间位置，产于成矿区带中的某一构造－岩石部位，有的构成成矿亚区或亚带。例如，在长江中下游与燕山期同熔花岗岩有关的 Fe-Cu-Mo-Au 成矿系列中，矽卡岩－斑岩型 Cu-Mo-Au 亚系列形成于早期，为 170～130 Ma；矽卡岩、矿浆－矽卡岩复合型 Fe 及 Fe-Cu 亚系列形成稍晚，为 160～120 Ma；玢岩铁矿亚系列形成最晚，为 130～90 Ma。这一成矿过程与区域构造、岩浆和流体的演化密切相关（翟裕生等，1992）。

3.6　成矿系列的时间结构类型

3.6.1　各矿种、矿床类型的时间关联

成矿作用的精细研究包括年代学研究还处在初始阶段，现阶段对成矿系列的时间结构认识还多是经验性的和定性的。现据已有研究成果将成矿系列的时间结构类型列为表 4。

3.6.2　按时间因素划分的矿床系列类型

总的认为，区域成矿过程是复杂的，受多种因素制约，主要是受成矿条件和成矿作用机制

表 4　成矿系列的时间结构（各矿种、矿床类型的时间关联）

Table 4　Temporal structure of metallgoenic series

结构性质	内涵	典型事例	矿床实例
时限性	一个成矿系列的形成局限在一定时段，系列内部各类型矿床或矿中间可有早、晚的差别	玢岩铁（硫）系列中：早期 Fe(V, Ti)；中期 Fe, S；晚期 Cu, Au	宁芜盆地 Fe-S-Au 矿床
阶段性	成矿过程中因某一（些）要素的显著变化而表现出阶段性，导致矿种和矿化类型的差别（脉动性）	如因温度变化而形成高温热液、中低温热液阶段	热液矿床 铁山、铜禄山
渐近性	成矿过程是缓慢渐进的，作用过程漫长	沉积成矿、风化成矿	滨海砂矿、风化矿床(Ni)
突发性	成矿作用是突发的，成矿过程短暂	火山喷溢、陨石撞击	拉科铁矿、肖德贝里 Ni-Cu

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的影响,可分为5种情况:

(1) 一般的沉积或生物沉积成矿作用是缓慢渐进的,成矿的孕育时间长,就位时间也长,其所形成的矿床系列属渐近式的**漫长成矿型**。

(2) 火山喷溢型矿床有较长的孕育时间,但火山喷发、矿质溢流堆积即矿床就位时间是突发式的,时间短暂,其所形成的矿床系列可称为**短暂成矿型**,也可称为**突发成矿型**。

(3) 有些特殊的成矿作用,如巨大陨石冲击诱发的成矿作用(加拿大的肖德贝里 Ni-Cu 矿床),就是偶然性的,孕育时间很短,就位时间也很短,其所形成的矿床系列属**突发成矿型**。

(4) 矿床经过多重富集作用,多次的孕育和多次的富集和最终就位,如绿岩型金矿,其所形成的矿床系列属**多重富集成矿型**。

(5) 在南非一些金伯利岩筒型金刚石矿床中,如 Finsch 和 Kimberly 矿床的金刚石形成于31亿年前的地幔环境(据 Kirkley,1991),而矿床就位则是在约1.2亿年前侵位的火山管道型金伯利岩岩筒中(据 Lynn, 1998),作者将这一漫长的成矿过程称之为**先成后储型成矿系列**。对一些幔源成因的矿床,如铬铁矿、金红石等部分矿床具有先成后储的可能性。

4 讨论和结论

成矿系列的结构研究是深入探索成矿系列理论的重要内容。本文重点论述了成矿系列中各矿种、各矿床类型间的物质的、空间的和时间的关联。根据对大量矿田、矿床的实际研究,并参阅相关文献,提出了成矿系列物质结构的同源性、多样性、继承性和互补性,成矿系列空间结构的共生性、分带性、过渡性、集约性和重叠性,成矿系列时间结构的时限性、阶段性、渐进性和突发性等共13种性质,并举实例加以说明。这些论述和认识是运用系统观和历史观研究成矿作用的一种尝试,希望引起关注和共同深入研究,以期能对成矿预测和评价工作有所帮助。

建议在今后的研究中深入解剖一两个成矿区带或矿田,运用成矿系统观点深入探讨成矿作用的时空结构及其演变,以此为基础研究和建立各矿种及矿床类型间的相互关联模式,尽可能作定量研究,争取获得"立典式"成果。这将有利于促进成矿学研究的普及与提高。

徐克勤院士是著名的地质学家和矿床学家,他对我国的地质科学和地质教育做出过杰出贡献。他的渊博知识、严谨学风,锲而不舍、老当益壮的顽强探索精神,以及他在矿床学、岩石学等领域的著述,使我们深受教育和启发。谨以此文感念尊敬的徐克勤先生。

参考文献:

陈从喜,蔡克勤.1998.辽东镁质碳酸盐岩建造沉积变质镁质非金属矿床及成矿作用研究.第六届全国矿床会议论文集.矿床地质,17(增刊):465-468.

唐永成,吴言昌,储国正.1998.安徽沿江地区铜金多金属矿床地质.北京:地质出版社,1-351.

於崇文.2001.成矿动力系统在混沌边缘分形生长——一种新的成矿理论与方法论(上).地学前缘,8(3):9-28.

翟裕生.1992.成矿系列研究问题.现代地质,6(3):301-308.

翟裕生,王建平,邓军,等.2002.成矿系统与矿化网络研究.矿床地质,21(2):106-112.

翟裕生,姚书振,崔彬,等.1992.长江中下游铁铜(金)成矿规律.北京:地质出版社.

翟裕生,姚书振,崔彬,等.1996.成矿系列研究.武汉:中国地质大学出版社,192.

中国有色金属工业总公司江西地勘局.1996.江西银山铜铅锌金银矿床.北京:地质出版社.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

References:

Bureau of Geology and Mineral Resource Exploration of Jiangxi Province, China Nonferrous Metal Industry Corporation. **1996**. The Yinshan Cu, Pb, Zn, Au, Ag Ore Deposit, Jiangxi Province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Chen Congxi and Cai Keqin. **1998**. Metallogenic conditions of magnesite and talc deposits in the Early Proterozoic Mg-rich carbonate formation, eastern Liaoning Province: Mineral Deposits, 17(Suppl.): 465-468 (in Chinese with English abstract).

Kirkley M B, Gurney J J and Levinson A A. **1991**. Age, Origin and Emplacement of Diamonds: Scientific Advances in the Last Decade. Gems and Gemmology, Springer, 1991: 2-21.

Lynn M D. **1988**. Diamonds. In: Wilson M and Anhaeusser C eds. The Mineral Resources of South Africa. 232-258.

Tang Yongcheng, Wu Yanchang, Chu Guozheng, et al. **1998**. Geology of Copper-Gold Polymetallic Deposits in the Yangzi River valley Area of Anhui Province. Beijing: Geological Publishing House, 1-351 (in Chinese).

Yu Chongwen. **2001**. Fractal growth of Ore-Forming dynamical systems at the edge of chaos——a new metallogeny and methodology. ***Earth Science Frontiers***, 8(3): 9-28 (in Chinese with English abstract).

Zhai Yusheng. **1992**. Some problems on the study of metallogenic series. ***Modern Gology***, 6(3): 301-308 (in Chinese with English abstract).

Zhai Yusheng, Wang Jianping, Deng Jun, et al. **2002**. Metallogenic system and mineralization network. ***Mineral Deposits***, 21(2): 106-112 (in Chinese with English abstract).

Zhai Yusheng, Yao Shuzhen, Cui Bin, et al. **1992**. The Iron, Copper (Gold) Ore-Forming Regularities in the Middle-Lower Reaches of the Yangzi River. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Zhai Yusheng, Yao Shuzhen, Cui Bin, et al. **1996**. Reserch on Metallogenic Series. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1-192 (in Chinese).

Study on Strucure Model of Metallogenic Series

ZHAI Yu-sheng, PENG Run-min, WANG Jian-ping, DENG Jun

(*China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The study from the single deposits to the metallogenic series and metallogenic system is an important progress in the study of metallogeny. In the course of probing into the theory of metallogenic series, their physical structure attracts attention. In this paper, the inner structures of metallogenic series are classified into 3 types: the material structure, the spatial structure and the temporal structure. The material structure comprises homologue, diversity, succession and complementarity between all kinds of ores and ore deposits. The spatial structure of metallogenic series includes paragenesis, zonation, transition, compactness and superposition between different kinds of ores and ore deposits. The temporal structure comprises time-limit, stage asymptotics and paroxysm. This paper gives some examples to explain the forming conditions of these structures, which have an reference effect to understand the metallogenic regularities and to guide the ore prospecting.

Key words: Metallogenic series; physical structure; spatial structure; temporal structure

(收修改稿日期:2003-09-20)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net