成矿系统及其演化 ——初步实践到理论思考

翟裕生

(中国地质大学地球科学与资源学院,北京　100083)

摘要: 成矿系统是指在一定的地质时空域中,控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用过程,以及所形成的矿床系列和异常系列构成的整体,它是具有成矿功能的一个自然系统. 依据多年矿床研究的实践经验和理性思考,考虑当前矿床学研究的总体趋势,提出成矿系统研究是今后一段时间内矿床学研究的一个重要领域;以系统观与历史观相结合,提出"成矿系统演化论",认为它是成矿学研究的核心问题之一;又从中国大地构造与地质成矿特征出发,指出成矿系统演化研究对认识中国成矿规律的重要性. 建立了成矿系统的框架结构,突出表现了边界成矿、转换成矿、耦合成矿的普遍意义;提出成矿产物包括矿床系列和异常系列两个方面,以及重视矿床形成后的变化和保存. 这些都是具有理论意义和实际意义的研究课题.

关键词: 成矿系统;结构;类型;演化;系统分析;历史分析.
中图分类号: P61　　**文献标识码**: A
文章编号: 1000 - 2383(2000)04 - 0333 - 07

作者简介: 翟裕生,男,教授,博士生导师,中国科学院院士,1930 年生,1952 年毕业于北京大学地质系,1957 年研究生毕业于长春地质学院,长期从事矿田构造学、金属矿床学和区域成矿学等方面的教学与研究.

在世纪之交,科学技术包括地球科学发展迅速,作为地球科学中一个重要的综合性分支学科 ——矿床学面临着新的机遇和挑战. 矿床学既要努力理解、熟悉和运用地学各分支学科的新成果,使自己的研究立足于现代地学的进步,又要善于运用科学方法总结极为丰富的矿床资料,以便使成矿理论研究提到一个新的高度,更好地指导新世纪的矿产资源勘查和开发利用. 这个任务十分艰巨. 这中间的一个重要方面是加强对成矿系统的综合研究. 本文拟从 4 个方面讨论这个问题:一是回顾作者在矿床研究过程中认识到成矿系统分析的关键作用;二是成矿系统的研究意义;三是成矿系统理论要点;四是成矿系统演化论的提出,及其对认识中国成矿规律的重要意义. 在结论中还提出了有关成矿系统的研究方法.

1　矿床研究的实践与成矿系统观的建立

王鸿祯[1]指出,"50 年代的地学革命使地球科学进入一个新的阶段,使各地质学科从分科研究和独立研究转变为综合研究和交叉融合". 正是在这样的时代背景下,笔者开始了对矿床学的学习和探索. 自 1950 年调研鹤岗煤田地质[2]以来,笔者对矿床学科经历了一个由浅入深,由局部到整体的认识过程.

20 世纪 50 年代中期,笔者较系统地研究了河北大庙钒钛磁铁矿矿床,对罕见的含矿斜长岩类和不同类型矿石作了深入观测,阐明了成岩成矿序列及岩石、矿体的分带特征,并从深源基性岩浆的化学组成变化说明 Fe,V,Ti 的逐步浓集过程,建立了岩浆成岩成矿的三阶段演化模式. 这项研究成果[3]是对成矿的物质、时间、空间关系进行综合研究的初步尝试.

20 世纪 60 年代初期,笔者[4]研究了安徽铜官山矽卡岩型铜矿,将控矿构造与物质变化相结合,开展了构造 - 地球化学研究,认识到控矿侵入岩接触带构造的多变性和复杂性,并在此基础上扩展到研究多个矽卡岩矿床的控矿接触带构造,运用综合观点,提出了侵入接触带构造控矿体系的观点和模式,从对矿床个体的个性认识提高到矿床群体的共性认识,初步摸索到建立成矿模式的途径.

在 20 世纪 70 年代前 5 年中,通过对马鞍山地

收稿日期: 2000 - 03 - 28
基金项目: 国土资源部"九五"重点基础项目(No. 9501107 和 No. 9501103);国家攀登计划项目(No. 95 - 预 - 25).

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

区凹山矿田及整个宁芜火山岩盆地 Fe,S(Cu)矿床的综合研究,共同建立了玢岩铁矿模式[5],认识了浅成 - 超浅成火山作用环境中岩浆 - 热液成矿特征及形成的矿床组合,进一步体会到运用综合观点和整体观点研究成矿环境和成矿系列的有效性.

在研究矿田构造这一分支学科时,笔者的研究没有局限在构造变形对成矿的控制,而是从地质构造整体上认识其控矿作用,既包括变形构造,也包括各种地质体的组构关系及不同成因的容矿空间等(如不整合面、岩溶等);因此,这是矿田地质构造学研究的思路.通过多年实践,将矿田构造研究由侧重几何分析,发展为研究构造与成矿的动态耦合关系,建立了"构造研究与矿床成因研究相结合、单个构造与构造体系研究相结合、矿田构造与区域构造相结合、构造发展阶段与空间分带研究相结合"的学科体系框架,开拓了矿田构造研究的新领域[6],编写了《矿田构造学》教材,主要论文[7]被日本教授译成日文在日本交流.

在上述解剖典型矿床、研究矿田构造的基础上,也逐步开展了对代表性成矿区带的区域成矿研究.先是在张炳熹教授等①领导下,对湘赣闽浙四省内生金属成矿规律做了综合研究,注重不同时代的构造 - 岩浆 - 成矿带的时空关联,共同提出了南岭纬向 W - Sn 成矿带和新华夏 NE—NNE 向 Pb - Zn - Ag - Cu 成矿带两者叠加复合的观点.20 世纪 60 年代以来,笔者又长期研究了长江中下游和南岭二成矿区带,重点是岩浆 - 热液成因矿床和热水沉积矿床的矿床系列及其时空结构.

通过反复实践,运用系统观点,对成矿系列观念有了较全面的认识,提出了成矿系列结构概念[8],认识到层控矿床的复合成矿特征,提出同生断层的多期活动是串联早晚不同成矿系列的动力和纽带,并以多年积累的素材为主,完成了《成矿系列研究》[9]这一综合性专著.

1993 年以来,笔者[10,11]逐步将成矿系列研究扩展为研究成矿系统,并进一步认识到运用系统观点研究成矿学的重要性,几次著文建议加强对成矿系统的研究,并以"古大陆边缘构造演化和成矿系统"为题(以华北陆块为主)开展了多学科的实际研究[12],同时,也进行了有关成矿系统若干问题的思考.在此基础上,提出了以区域成矿系统为核心内容的区域成矿研究的学术思想,总结了多年对成矿带研究的实际资料,出版了《区域成矿学》[13]专著.目前,正在进行成矿系统动力学的研究.

总之,长期以来通过对矿床学的若干不同领域、不同侧面的研究,认识到矿床学科的一个重要特点是综合性、复杂性与经济性的有机结合.针对这个特点,笔者注意学习和初步运用系统科学思想和历史分析方法来从事研究工作,从而能在详细掌握第一性资料(野外的、实验室的)的基础上,进行系统分析和综合研究,提出了若干新的观点和模式,如大庙成岩成矿三阶段模式、控矿不整合面构造、含矿侵入接触构造体系、矿浆 - 热液过渡型铁矿类型、玢岩铁矿模式、同生断层多阶段控矿、矿床形成后变化和保存模型,以及成矿系统结构框架等.

需要强调的是,努力学习运用辩证唯物主义和系统科学思想,是非常有益的,它能帮助我们在复杂的成矿学研究中运用整体观和历史分析方法,抓住要领,掌握全局,认识来龙去脉,从而打下了成矿系统分析的实践基础和认识基础.由对单个矿床成因的综合分析,到对成矿系列的全面探讨,再到成矿系统的整体认识,一步一步地形成了成矿系统观的思路.

2 成矿系统的研究意义

面临世纪之交,地球科学研究正出现两个主要趋势:一是朝着系统化、信息化和全球化的方向发展;二是多方位地为经济社会发展和丰富人民生活服务,为实现可持续发展发挥重要作用.作为地球科学分支之一的矿床学因其研究对象是矿产资源的形成和分布规律,因其在矿产资源保证供应中发挥作用而继续受到重视,并也在向系统化和全球化发展.近年来成矿系统概念被广泛应用,成为现代矿床学研究的一种趋势.

按照系统科学的观点,系统是由若干相互联系和相互作用的诸要素组成的具有特定功能的统一整体.在矿床研究中,成矿作用及有关事物被认为是一个复杂的自然系统.成矿系统(ore-forming system, metallogenic system)一词在 20 世纪 70 年代初见于地质文献[14],被解释为"由成矿物质来源 - 运移通道和矿化堆积场所组成的一个自然系统".以后成矿系统的定义和研究内容被逐步提出[15,16].热水成矿系统、风化壳外生成矿系统、内生流体成矿系统等词也陆续见于地质文献.於崇文等[17,18]以成矿作用动

①张炳熹,赵鹏大,翟裕生,等.湘赣闽浙四省内生金属成矿规律及对太平洋矿带的新认识.北京地质学院,1960.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

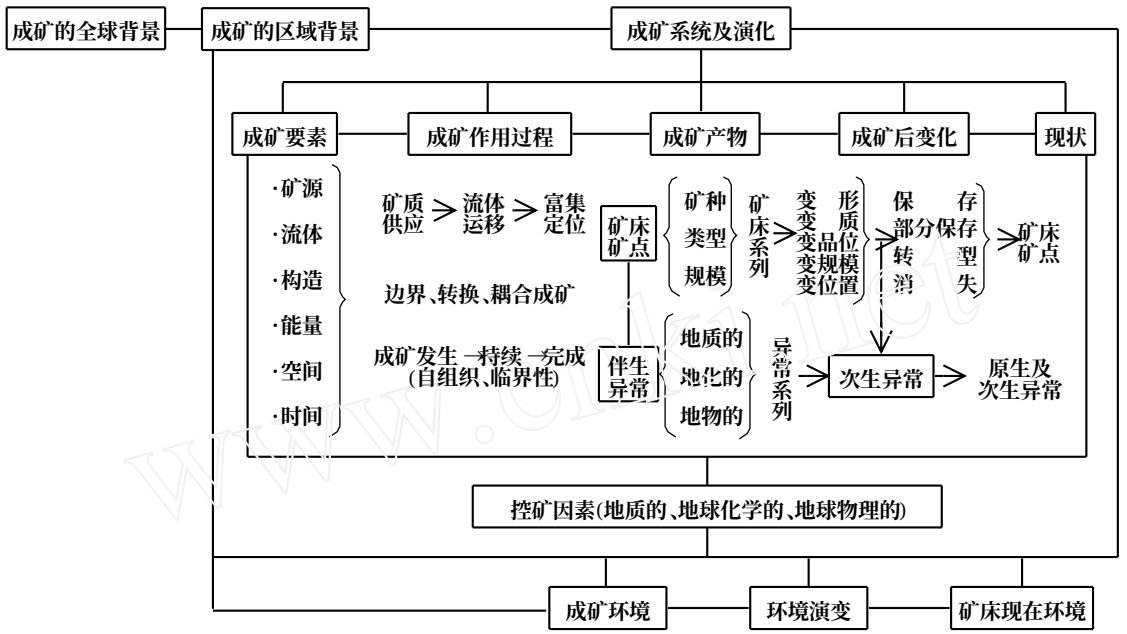


图 1　成矿系统结构及其演化

Fig. 1　Structure of ore-forming system and its evolution

力学来探讨金属成矿系统的形成过程和机理. 李人澍[19]全面论述了成矿系统的研究内容和方法. 翟裕生等[13,20]则进一步讨论了成矿系统理论的构思.

从已有的研究成果看,成矿系统研究的重要意义在于:(1)推动对成矿规律的深入研究. 成矿系统分析从事物的联系性和整体性出发,将复杂万千的成矿作用以系统思想贯穿起来,将成矿的背景、环境、要素、作用过程、产物及其演变等作为一个自然作用整体加以研究,从而推动矿床研究进一步从现象到机理,从静态到动态,从定性到定量,从局部到整体,因而是提高矿床学科学水平的一个重要途径. (2)研究成矿系统的实际意义在于全面、有效地指导矿产勘查工作. 建立了成矿系统观念,认识了某一成矿系统的全局,可以以该成矿系统和所产生的矿床组合为找矿目标,在找矿勘探工作中能起到由此及彼、举一反三、驾驭全局的作用. 实践表明,成矿系统研究还是发现新类型矿床的重要途径. 此外,有关成矿系统的研究成果可丰富整个地球系统科学,提供关于区域资源潜力评估和改善矿业区生态环境的科学资料. 由此可见,成矿系统研究是很有发展前景的一个成矿学研究领域.

3　成矿系统研究要点

成矿系统的概念是指在一定的地质时空域中控制矿床形成、变化和保存的全部地质要素和成矿作用动力过程,以及所形成的矿床系列、异常系列构成的整体,是具有成矿功能的一个自然系统[20].

由上述可见,成矿系统概念中包括了控矿要素、成矿作用过程、成矿产物(矿床系列和异常系列)及其在成矿后的变化和保存等基本内容,这体现了矿床形成和分布有关的物质、运动、时间、空间、形成、演化的统一性、整体性和历史观.

3.1　成矿系统的结构

成矿系统中各要素的相互关联和相互作用过程即成矿系统的结构. 科学地分析一个成矿系统的结构有着重要的理论和现实意义. 概括地说,一个成矿系统的内部结构包括:(1)控矿条件. 沉积、构造、岩浆、流体、变质、生物、大气、风化、地貌等;(2)成矿要素. 矿质、成矿流体、构造变动、成矿热动力、空间、时间等;(3)成矿作用过程. 包括成矿的发生、持续和终结以及基本的动力型式:边界成矿(边缘成矿、界面成矿等)、转换成矿和耦合成矿;(4)成矿产物. 包括矿床(点)及伴生的各种异常;(5)矿床形成后的变化和保存. 成矿系统的基本结构如图 1 所示.

从上述成矿系统的结构图中可以看出,作者在

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

反映成矿一般要素和过程的基础上,强调了以下 3 个问题:

(1)成矿作用过程中,突出了边界成矿、转换成矿和耦合成矿. 这是因为,导致成矿物质由分散态到浓集态的因素和作用机理多种多样,但其基本的成矿动力型式可概括为:边界成矿(边缘成矿、界面成矿)、转换成矿(温压和其他参量的转换、岩相转换、应力转换,主要是这些转换的急变、突变位置)和耦合成矿(矿源场、流体场、热场、应力场、时空域等的耦合),它们的具体表现形式因地质环境、成矿类型等的不同而有所差别.

(2)成矿作用产物中有矿床系列和异常系列两个部分. 之所以将异常系列(地质的、地化的、地物的)包括在内,是因为它们是成矿作用结果的一个有机组成部分,蕴含着多种有关成矿系统的信息(如流体类型、作用强度、作用时限等),有助于认识成矿系统的全貌和全过程. 各种异常又是有效的找矿标志,尤其是异常的浓集区、转变区和叠加区等[21].

(3)成矿系统结构图,还包括了矿床形成后变化(类型、结果)和保存等内容. 这是因为,成矿系统是一种自然历史过程和产物,成矿系统尤其是古老成矿系统的有关信息大部分被保存在现存矿床及有关的地质异常中. 矿床形成及在后来地史中的变化和保存可划分阶段,但不宜分割,而且不少矿床的产状、品位和储量是随以后历史中地质事件的扰动而发生变化的. 从认识过程看,研究成矿系统要从现在的矿床、异常及现在的地质环境入手,再反推其原来的成矿环境、成矿要素、作用过程及产出条件等. 地质研究在很多情况下是由今及古的,成矿系统研究也不例外. 反过来,在对成矿系统的发生和演化历史有了基本认识后,对于各类矿床的保存现状和区域矿产资源潜力评估就更有科学依据[22]. 因此,成矿系统结构模式包括成矿后变化的内容,是有其理论和实际意义的.

3.2 成矿系统的类型

在地质历史过程中,因地质成矿作用的差异形成多种成矿系统. 笔者[20]按构造动力体制将成矿系统划分为 7 类,即:(1)伸展构造成矿系统类(裂谷、大型生长断层、盆岭构造、变质核杂岩构造等);(2)挤压构造成矿系统类(板块俯冲带、碰撞构造带、推覆构造等);(3)走滑构造成矿系统类(转换断层、走滑断层系(含拉分盆地)等);(4)隆升构造成矿系统类(地壳热点、上升地幔柱、底辟构造系等);(5)沉降构造成矿系统类(沉积盆地、拗陷带等);(6)大型韧性剪切成矿系统类;(7)陨击构造成矿系统类(古陨石坑及相伴的侵入杂岩,如加拿大 Subdury Ni - Cu 成矿系统).

在上述分类基础上,再按主要的成矿机理划分出岩浆成矿系统、热液(水)成矿系统、沉积成矿系统、生物成矿系统和改造成矿系统等. 再进一步按含矿建造和产出环境划出亚系统.

以上说明了笔者关于成矿系统分类的思路. 考虑到这个问题的复杂性和现有研究程度,目前还不宜划分太细太固定,宜留出较多的空间和余地,以利于探索. 关键的一点是运用成矿系统的观点和方法.

有关成矿系统的基本要素和系统的发生、持续、结束等作用过程,请参阅有关文献[13,20].

4 成矿系统演化论的提出

从以上讨论中可以看出,对一个成矿事件或成矿作用来说,用系统的整体观和历史分析方法可以帮助我们把握住有关成矿作用全局,认识其形成、发展和变化的历史进程,将物质、运动及其时 - 空结构耦合在一起,从而为深入认识矿床成因和成矿规律奠定了新的科学基础.

从区域成矿和全球成矿的尺度来看,同一地质时期的各不同成矿系统之间,在空间分布上可表现为分带性,指不同成矿系统在大区域内的空间展布形式. 例如,华北陆块北缘元古宙成矿带中,受控于陆块的隆拗交替特征,隆起区变质基底中的热液金成矿系统与拗陷带(裂谷、拗拉槽)中的 SEDEX 型成矿系统,二者平行带状相间分布[23].

不同成矿系统之间还可表现为过渡性,指在两个端元型成矿系统之间,随着地质环境、成矿物质、成矿作用的有序变化,成矿矿种、成矿方式间可发生递变,产生出具有“亦此亦彼”性质的过渡型成矿系统,反映了成矿作用间的连续演化性质. 例如,海相沉积成矿系统与海相火山成矿系统之间常发生兼有沉积成矿作用和火山成矿作用特征的火山 - 沉积成矿系统,不少层控型 Cu,Pb,Zn,Ag,Fe,Mn 矿床就是这类成矿系统的产物.

在区域成矿和全球成矿的不同地质时期内,早晚不同的成矿系统之间,可出现多种不同形式的关系[9],如:

(1)继承转化关系. 指在地史过程中一种成矿系

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

统替换了另一种成矿系统,即成矿物质是永恒存在的,但参加到什么样的成矿系统中去,则随时间、空间、条件的转移而变化. 以铁矿为例,太古宙—古元古代为条带状硅铁建造(BIF)成矿系统(以磁铁矿矿石为主),而到古生代时则演变为海相 Fe - Mn 成矿系统(以赤铁矿矿石为主). 古老的 BIF 系统在遭受区域性断裂 - 重熔时,可参加到富铁熔浆中去,形成中生代的矽卡岩型铁矿或火山 - 次火山岩型铁矿系统. 再如,原生的金、锡、钛、金刚石等成矿系统经地表风化剥蚀沉积,可转化为砂矿型成矿系统.

(2)裂解关系. 在古老地质时期,由于地幔、地壳的结构比较简单,控矿因素也较为单纯,致使对某些富含金属成矿元素的地块地体(或地幔柱)的分解和分异作用不强烈、不彻底,因而形成能保持原有多组分共存的成矿系统. 如产在南非克拉通中的镁铁 - 超镁铁质层状杂岩体中的 Cr,Ni,Cu,PEG,V,Ti,Fe 成矿系统(布什维尔德地区)[9]. 但在以后的地质历史中很少发现这种包容很多组分的成矿系统,推测它有可能分解(裂解)为 3 个成矿系统:①与斜长岩 - 苏长岩有关的 Fe,V,Ti 成矿系统;②富钙的与镁质 - 超镁质岩有关的 Ni,Cu,PEG 成矿系统和 ③与镁铁 - 超镁铁质岩有关的 Cr(PEG)成矿系统. 从这个推断的例子可见,在地史的长期演化过程中,一定岩石建造中成矿物质组分"由繁到简"的裂解演化方向是值得注意研究的. 澳大利亚 Olympic Dam 中元古宙 Cu - U - Au - Fe - REE - F 矿床也是古老的多组分成矿系统的实例,其在地史后期是否有它的裂解产物也是有待探索的问题.

(3)复合叠加关系. 在一些成矿区带中,早晚不同成矿系统间存在着复合及叠加关系. 较晚生成的成矿系统常复合叠加在早期生成的成矿系统之上,即时间上有早晚、空间上有重复,造成复杂的复合、改造、叠加现象. 例如,粤北大宝山多金属矿田,早期为中泥盆海相火山 - 沉积型 Fe - Cu 金属成矿系统,晚期发育燕山期硅铝质侵入岩有关的热液 W - Mo 成矿系统. 这两种成矿系统的叠加复合现象在矿田中部次英安斑岩分布区较为明显. 正是由于晚古生代火山 - 沉积成矿系统和燕山期岩浆 - 热液成矿系统的叠加造成了大宝山矿田的多成因模式[24]. 安徽铜陵地区的铜官山、冬瓜山等层控 - 矽卡岩型矿床,则是在石炭纪黄龙组(C_2h)沉积 Fe - S - 石膏成矿系统与燕山期岩浆 - 热液 Cu - Mo - Au - Fe - S 成矿系统二者复合叠加的结果. 赣西北武山铜 - 金矿床也是类似的复合成矿实例.

除上述实例外,成矿过程复杂的白云鄂博稀土 - 铌 - 铁矿床可能是中元古代裂谷沉积 - 岩浆作用和加里东期乃至海西期岩浆热液作用复合成矿的结果.

有必要强调指出,我国的广大地区,发育多旋回构造运动. 由于构造演化的继承性,不同地质时期的成岩成矿系统在同一个成矿区带中重叠出现的几率是较多的. 区域成矿常具有多期性和复合性特点. 这既产生了相当数量的多成因矿床,造成一部分矿床组分和结构的复杂多样,也是形成大型矿床的一个重要条件.

全球地史中成矿演化表现为前进的、不可逆的发展趋势:控矿因素由少到多;聚矿能力由弱到强;成矿环境类型由少到多;成矿系统和矿床类型逐步增加. 这种变化过程还突出地表现为阶段性和节律性[25].

由上述讨论可见,对地质成矿作用研究,不仅要以系统科学的理论方法来从整体上进行综合研究,建立各类成矿系统,还要运用历史观和发展观,纵向研究成矿系统的孕育、形成和成矿后的演变,建立成矿系统及其产物的演变轨迹(进程),以及多个系统之间的继承演变和复合叠加关系. 不仅对一个区域中的成矿系统如此,对全球地质历史多种不同成矿系统之间,也是如此观察和研究. 因此,可以认为成矿系统及其演化研究体现了系统论和历史观的有机结合,是一种科学的思维、研究方法论,建议称之为"成矿系统演化论". 它既是一种科学方法,又是一种理论观念. 我国的广大地区中地质条件复杂,构造、建造、流体多种多样,各层圈各陆块间的相互作用频繁且激烈,因此,成矿系统类型多样,成矿系统间的相互关系包括演化关系也复杂多变[26],这就使我们具备研究成矿系统演化的先天有利条件. 而深入系统地研究成矿系统及其演化,将对认识我国大陆成矿体系和成矿规律起到重要作用.

5　结语

本文的 3 个要点是:(1)依据个人研究成矿学的实践经验和理性思考,考虑到矿床研究的总体趋势,提出成矿系统研究是当前和今后一段时期内矿床学研究的一个重要方向和领域. (2)以系统观、历史观、发展观相结合,提出成矿系统演化研究是成矿规律

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

学研究的核心问题之一. (3) 从中国大地构造和地质成矿特点出发,强调指出成矿系统演化研究对认识我国成矿规律的特殊重要性.

总的来说,成矿系统研究尚处在初步研究阶段[27],当前对成矿系统的认识有些是在科研实践中总结概括出的,有些则是假定的、推断的. 科学研究允许假设和想象,但实际研究要抓紧进行并深入坚持下去. 笔者建议采用以下的研究思路和步骤: (1) 解剖典型,深入研究那些揭露程度高,地质矿化现象保存好,基础地质有较充分研究的成矿区带,建立可信的成矿系统概念模型和定量动态模型,以指导全局; (2) 由对单一成矿系统的深入研究扩展到对多个成矿系统相互关联的探讨; (3) 由现代成矿系统到古老成矿系统做好对比研究; (4) 在逐步认识全球地质历史演化过程的基础上,选择重要成矿区域,进行成矿系统演化的探索研究; (5) 将已建立的某些成矿系统模型转化为可操作的易掌握的成矿预测的前提、标志和参量,在有关的区域找矿、预测、评价工作中加以应用,以利于成矿系统观念在矿产资源勘查开发中的实际应用,并在实践中加以检验,特别是要重视研究矿业开发中发现的新的矿化现象、矿床类型和成因机理,以便及时充实和修正现有理性认识.

参考文献:

[1] 王鸿祯. 中国地质科学五十年[M]. 北京:地质出版社, 1999. 前言.

[2] 《中国矿床发现史·黑龙江卷》编委会. 中国矿床发现史·黑龙江卷[M]. 北京:地质出版社, 1996. 19～20.

[3] 翟裕生. 某斜长岩的岩石特征及成因[J]. 地质论评, 1965, 23(5): 359～364.

[4] 翟裕生. 侵入接触构造及其控矿作用[A]. 见:翟裕生, 石准立, 曾庆丰. 矿田构造与成矿[C]. 北京:地质出版社, 1981. 29～44.

[5] 宁芜项目编写小组. 宁芜玢岩铁矿[M]. 北京:地质出版社, 1978. 108～118, 160～162.

[6] 翟裕生. 矿山构造学概论[M]. 北京:冶金工业出版社, 1984. 序言.

[7] 翟裕生. 矿田矿床构造的研究内容和研究方法[A]. 见:翟裕生, 石准立, 曾庆丰. 矿田构造与成矿[C]. 北京:地质出版社, 1981. 1～12.

[8] 翟裕生, 熊永良. 关于成矿系列的结构[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1988, 12(4): 375～380.

[9] 翟裕生, 姚书振, 崔彬, 等. 成矿系列研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1996. 1～198.

[10] 翟裕生. 矿床学思维方法的进步[A]. 见:赵鹏大, 王亭君, 主编. 地质科学思维[C]. 北京:地震出版社, 1993. 74～84.

[11] 翟裕生. 矿床地质学的发展前景和思维方法[J]. 地学前缘, 1994, 1(3): 1～8.

[12] 翟裕生. 古大陆边缘构造演化和成矿系统[A]. 见:北京大学地质系主编. 北京大学国际地质科学学术研讨会论文集[C]. 北京:地震出版社, 1998. 769～778.

[13] 翟裕生, 邓军, 李晓波. 区域成矿学[M]. 北京:地质出版社, 1999. 1～287.

[14] Спижарский Т Н Геологический словарь (Том 2)[M]. M: Недра, 1973. 448.

[15] Щералов В Н Развитие эндогенных флюидных рудообразующих систем[M]. Новосибирск: Наука, 1992. 47～48.

[16] Jaques L A, Wyborn L A I, Gallaghe R. The role of geographic information system, empirical modelling and expert systems in metallogenic research [A]. 12th Australian Geological Convention, Geological Society of Australia Abstracts (No. 37) [C]. [s.l.]: Perth, 1994. 196～197.

[17] 於崇文. 成矿作用动力学——理论体系和方法论[J]. 地学前缘, 1994, 1(3): 54～82.

[18] 於崇文, 岑况, 鲍征宇, 等. 成矿作用动力学[M]. 北京:地质出版社, 1998. 1～23.

[19] 李人澍. 成矿系统分析的理论与实践[M]. 北京:地质出版社, 1996. 19～20.

[20] 翟裕生. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 13～27.

[21] 翟裕生. 成矿系统与综合地质异常[J]. 现代地质, 1999, 13(1): 1～7.

[22] 翟裕生. 论矿床形成后的变化与保存[J]. 地学研究, 1997, (29～30): 267～273.

[23] 肖荣阁, 邓军, 彭润民, 等. 华北古陆北缘西段主要成矿系统分析[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(4): 362～368.

[24] 翟裕生. 成矿系列研究问题[J]. 现代地质, 1992, 6(3): 301～308.

[25] 翟裕生. 地史中成矿演化的趋势和阶段性[J]. 地学前缘, 1997, 4(4): 197～204.

[26] 翟裕生. 中国区域成矿若干问题探讨[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 323～332.

[27] 翟裕生. 成矿系统的结构框架模型[A]. 见:中国科学院地球化学研究所等编. 资源环境与可持续发展[C]. 北京:科学出版社, 1999. 77～82.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

METALLOGENIC SYSTEM AND ITS EVOLUTION: FROM PRELIMINARY PRACTICE TO THEORETICAL CONSIDERATION

Zhai Yusheng

(Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, *China)*

Abstract: Mineralization system, a natural system with ore-forming function often within a certain geological time-space zone, includes the geological factors controlling the ore-formation and preservation, the ore-forming processes and their products, namely the ore deposit series and anomaly series. Based on the combination of the principal trend of metallogenic research with the author's personal study (both practice experience and academic thinking) of mineral deposits, the author considers that the study of the metallogenic system will be an important research field in metallogeny for a certain long period. From the system and history points of view, the author suggests that the metallogenic system and its evolution is one of keys to the metallogenic research. The analysis of the geological and metallogenic characteristics in China shows that the study of the evolution of the metallogenic system is of great importance to the understanding of the metallogenic patterns in China. Furthermore, a metallogenic system model is constructed, and the universal significance of boundary ore-formation, transformational ore-formation and coupling ore-formation is stressed in this paper. Finally, the author proposes that the ore-forming products include ore deposit series and anomaly series, and that attention should be paid to the study of the post-mineralization changes and preservation. All the mentioned above topics are of great significance both in theory and practice.

Key words: metallogenic system; structure; type; evolution; system analysis; historical analysis.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net