

文章编号: 0258-7106 (2006) 02-0155-09

对中国成矿体系的初步探讨*

陈毓川¹, 王登红², 徐志刚², 朱明玉¹

(1 中国地质科学院, 北京 100037; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要 文章通过对中国成矿体系的含义、特点、表达方式及演化过程的分析、界定, 提出中国成矿体系是指中国境内各个地质历史时期所形成的矿床及其与成矿作用密切相关的地质要素所共同构成的整体。这一成矿体系是中国疆域在其漫长的演化过程中逐步形成的最终结果, 具有明显的阶段性、多期叠加和成矿演化特征。应用矿床的成矿系列概念和方法初步构筑起中国成矿体系这一复杂体系的框架, 有助于今后系统地研究其形成机制, 并为成矿预测提供理论依据。这一体系大致可进一步分为太古宙的陆核成矿体系、元古宙的陆块边缘裂谷-裂陷槽为主的成矿体系、古生代的板块成矿体系及中-新生代的大陆成矿体系。

关键词 地质学; 中国成矿体系; 成矿系列; 成矿规律; 成矿预测

中图分类号: P612

文献标识码: A

Preliminary study of Chinese mineralization system

CHEN YuChuan¹, WANG DengHong², XU ZhiGang² and ZHU MingYu¹

(1 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China; 2 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037, China)

Abstract

China has rich mineral resources. This paper deals with the systematic summarization of the metallogenic regularity with the purpose of serving the ore-prospecting work better. The Chinese Continental Mineralization System (CCMS) can be referred to as the whole group of mineral deposits located in the present continent of China and their genetically related geological factors. The Chinese Continental Mineralization System is the final result of mineralization through the whole evolutionary history of Chinese continental crust, obviously characterized by multiple stages of ore-forming evolution and overprinted by late stages of mineralization. Although the Chinese mineralization system is very complex, its framework can be outlined by the concept and methodology of the mineralogenic series. The Chinese mineralization system can be divided into four sub-systems of mineralization, i.e., the Archean nucleus mineralization system, the Proterozoic land marginal rifting mineralization system, the Paleozoic plate tectonic mineralization system and the Mesozoic-Cenozoic continental mineralization system. The construction of the framework of the Chinese mineralization system contributes greatly to the further study of its formation mechanism and the ore prognostic work.

Key words: geology, Chinese mineralization system, mineralogenic series, evolution regularity, ore prognosis

* 本文得到地质大调查项目(中国成矿体系与区域成矿评价、中国成矿体系综合研究、我国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估)和国家科技攻关计划课题(中国西部优势矿产资源潜力评价技术及示范研究)的联合资助

第一作者简介 陈毓川, 男, 1934 年生, 中国工程院院士, 研究员, 长期从事矿产资源的研究。

收稿日期 2005-09-12; 改回日期 2005-12-05。李岩编辑。

中国矿产资源丰富,分布广泛,种类繁多;已发现矿产地 20 余万处,矿种 171 种,在全国各地均有不同程度的分布(中国地质矿产信息研究院,1993;《中国矿床发现史》编委会,2001),其复杂性本身就是中国矿产资源的一大特点(王登红等,2005a;2005b)。如何对丰富的矿产资源进行系统的研究,从中总结出成矿规律以便于指导找矿,是目前中国成矿体系研究的重要任务,也是本文要探讨的主要问题。

1 成矿体系的含义

目前在科研立项和学术论文及有关专著中经常见到“成矿体系”和“成矿系统”的称谓。那么,何谓“成矿体系”?何谓“成矿系统”?两者有什么联系?

系统和体系在英语中都可以称为“system”,但在中文里,两者却有不同含义。按照《现代汉语词典》的解释,“系统”是指“同类事物按一定的关系组成的整体”,如系统化、组织系统、灌溉系统;另外一个意思是指有条理的,如系统学习、系统研究。“体系”则是指“若干有关事物或某些意识互相联系而构成的一个整体”,如防御体系、思想体系、工业体系。不能把“系统研究”叫成“体系研究”,也不能把“思想体系”叫成“思想系统”。工业系统和工业体系的概念是不同的,前者强调产业部门的组织关系,后者强调工业的内部要素,如“工业系统的代表出席了会议”指的是人,而“工业体系”则无法派出代表,它包括生产丝绸面料的轻工业、生产钢铁的重工业、生产军火的军事工业,等等,谁也代表不了谁。在自然科学领域,体系和系统也具有约定俗成的使用范围,如人体解剖学使用“消化系统”、“呼吸系统”等名词而不用“消化体系”、“呼吸体系”等名词,在一定程度上是人为的但已经约定俗成。考虑到“体系”除了强调事物的整体性之外还强调事物之间的相互关系,而“系统”一般更强调事物的内在属性和功能性,笔者认为,在研究成矿作用的“整体性”时,采用“系统”和“体系”均可以,考虑到中国大陆范围内存在众多的各种性质和规模的成矿系统(侧重于成矿之功能),而由它们所组成的成矿整体不宜再用系统来表达,故此采用体系来加以表示(强调矿床与矿床、矿床与环境、矿床与示矿信息等方面相互之间的内在联系)。

有鉴于此,本文理解的“成矿体系”是指某一较

大空间范围内各个地质历史时期各种成矿作用所形成的矿床及其与成矿作用密切相关的地质要素所共同构成的整体。此处的地质要素包括成矿时代、成矿时的大地构造背景、成矿地质环境、与成矿有关的地质作用及其过程、控矿构造、特定的赋矿围岩等等。它包括了在此空间范围内所构成的各个局部成矿系统及其相互关系。具体到“中国成矿体系”,则可以理解为在目前中国境内大陆地壳和大洋地壳漫长的形成、发展过程中,随着壳幔相互作用、变形和地壳海陆变迁而形成的成矿作用及其产物的有机整体及其在四维时空中的分布规律。“有机整体”是事物的本质属性,包括了成因(成矿之基因),而“规律”则反映了事物之间的相互关系。这样,对于某个级别的成矿体系,如“中国大陆成矿体系”则不妨理解为在中国大陆地壳环境中发生并形成的成矿体系(Wang et al., 2005c)。从全国范围看,真正典型的大陆成矿体系是中新生代才逐步形成的,尽管中生代以前的基础也必不可少。

2 中国成矿体系的基本特点

从中国成矿体系的形成过程并相对于全球各地的成矿体系而言,中国成矿体系具有以下特点:

(1) 阶段性。中国成矿体系可分为 4 个形成阶段,主要依据是中国地壳构造演化比较明显地可以分出 4 个时期(程裕淇等,1994),即:太古宙时期,地壳初始形成阶段,形成陆核;元古宙时期,在中国见到地壳的增生是以陆块边缘裂谷、裂陷槽的发育为特色的,当然并不排除当时已经存在板块构造活动的可能性;古生代时期,在中国境内地壳运动以板块构造活动为主体,十分典型;进入中生代以后至今,中国全境(除台湾地区)进入大陆构造地质环境。由于构造环境是与整个地球各层圈的不可逆的演化相关的,因此,不同阶段的地壳构造环境伴随着当时各层圈演化,反映在物质组成上各具特色,其中也包括成矿的特色。这也造成了各阶段在成矿作用性质、成矿类型和成矿物质组成上的差异。对于中国的成矿体系,笔者是以中国地域地壳构造范围内进行概括的,它具有地域性。在地球的其他地域,地壳构造的演化可以具有不同的演化阶段。

(2) 多期叠加。中国在全球处于构造频繁活动的位置,因此造成全球性构造成矿域在中国地域内的多次叠加,特别明显的是显生宙时期。古生代多

期的横贯欧亚和北美的古亚洲构造成矿域、中生代—新生代时期环太平洋构造成矿域、新生代时期穿越欧亚的特提斯—喜马拉雅构造成矿域,均进入中国境内,在中国东部、西南部造成不同时期成矿域的重叠。中国境内以古生代板块成矿体系为主体的东西向古亚洲成矿域,其东部被环太平洋成矿域叠加、改造。新生代特提斯—喜马拉雅成矿域在中国西南地区叠加于扬子地台西缘古生代成矿带之上。另外,太古宙、元古宙成矿体系所构成的成矿区、带也普遍被上述显生宙成矿区、带所叠加与改造。因此,中国 4 个主要成矿体系,后者叠加于前者,特别是显生宙时期大规模的后期成矿作用十分强烈地叠加改造了前期成矿区、带,使中国不少矿床呈现多期次成矿的特点,明显不同于南非、南美、西澳等大面积古老地块分布区相对稳定的构造-成矿特点。

(3) 成矿演化。中国成矿体系演化过程中,成矿物质的组合与成矿类型的组合也具有规律性的演化特点。例如,成矿的金属元素有由太古宙的 Fe、Cu、Au → 元古宙的 Fe、Cu、Ni、Co、PGE、Nb、REE、Pb、Zn、Ag、(Sn) → 早古生代的 Cu、Pb、Zn、Fe、Cr、金刚石 → 晚古生代的 Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au、Ni、PGE、(Sn) → 中-新生代的 Sn、W、Mo、Bi、Cu、Pb、Zn、Sb、Ag、Au、As、Hg、U、Nb、Ta、REE、Cr、Fe 的演化趋势。成矿类型组合也显示从太古宙简单地以火山-沉积类型为主到中-新生代复杂的各种热液型(含斑岩型)、岩浆型、各类沉积型、风化壳型、火山型等组合的演化趋势。从单一元素看,其成矿历史也都具有一定的演化过程,以 Fe 元素为例,仅就局部而言,如华北地区的铁矿,从太古宙到中生代均有成矿作用发生,如:古太古代有杏山式铁矿,中太古代有水厂式和沙厂式铁矿,新太古代有弓长岭式和司家营式铁矿,均是海相基性火山-沉积型铁矿,以规模大为其特色;元古宙主要出现沉积型铁矿和岩浆型铁矿,已知矿床数不多,如中元古代的宣龙式和白云鄂博式铁矿,新元古代有临江式铁矿、大庙式铁矿和高旺庄式铁矿;古生代以沉积型和岩浆型为主,矿床数量多,如早古生代的翠宏山式铁矿,晚古生代的山西式铁矿、谢尔塔拉式铁矿;中生代则发育与中-基性岩浆岩有关的铁矿和火山岩型铁矿,总量也有限,但分布向南扩展,如印支期的林海—库源式铁矿,燕山期的邯邢式铁矿、莱芜式铁矿、徐淮式铁矿等等。可见,华北地区铁矿的演化历史经历了从基性火山-沉积矿床(太古宙) → 沉积铁矿、岩浆型铁矿

(元古宙-古生代) → 与中-基性岩浆有关的矽卡岩型铁矿及火山岩型铁矿(中生代)。这种现象在国外主要铁矿集中区不多见,北美、俄罗斯、澳大利亚和南美洲的铁矿集中区往往只在前寒武纪的某个时期集中成矿。

3 中国成矿体系的构筑与表达

在对中国成矿体系有了一个基本的认识之后,如何构筑与表达中国成矿体系则不但是一个方法论的问题,也是一个实践论的问题,在研究过程中可以不断深化对成矿体系本质属性的认知。由于“中国成矿体系”本质上是一个复杂的自然系统的总和,人类迄今为止还只是部分地撩开了其神秘的面纱。由于人类对于自然系统的认识始终带有时代的局限性,因此,迫切需要一种恰当的解决方案来反映人类对于“成矿体系”这一自然现象的认识能力和认知程度。经过反复思考,笔者倾向于认为,宜采用“矿床成矿系列”作为成矿体系的基本组成单位,因为对于每一个具体的矿床成矿系列而言,它本身就已经涵盖了成矿时代、构造环境、地质成矿作用及所形成的矿产资源这 4 个要素,比单个的零散矿床或单一矿床类型拥有更加丰富而明确的内涵。因此,采用矿床成矿系列这一基本单位来构筑中国成矿体系比较合适。所有的形成于不同时代、分布于不同空间的矿床成矿系列的有机总和可以构成“成矿体系”的框架。单个矿床、单一矿种的矿床、单一环境的矿床、单一成因类型的矿床可以作为成矿体系的“元素”、“细胞”和“组织”。也可以说,成矿体系是一系列具有独立成矿功能的成矿系统的有机组合。比如,大陆成矿体系就是在大陆形成过程中及大陆构造环境条件下,一系列矿床成矿系列(可对应于相对独立的成矿系统)所构成的“矿”的总和。这个总和是有序的组合,而不是简单的加和。

为了相对完整地反映目前对于中国成矿体系的认识水平和研究成果,此处概括为:① 中国成矿体系在本研究中处于分类系统的顶级,其下由不同时代的次级成矿体系(可称为“分时代成矿体系”)构成;② 在同一个时代尺度上,以构造环境为单位区别出“分空间成矿体系”,也更接近于翟裕生等(2004)和汤中立等(2002)常用的“系统”;③ 在特定的时空构造环境中,以矿床成矿系列作为基本单位,相当于一个特定的成矿系统。与形成矿床成矿

系列共存的成矿系统可以称为基本的成矿系统,具有相对独立成矿的功能性。一组具有内在时空联系的矿床成矿系列(可称为成矿系列组)形成的成矿系统可以是组合的成矿系统,具有**联合**(同时间但不同空间)、**组合**(同空间但不同时间)、**复合**(同时间同空间)成矿的功能。组合的成矿系统形成于以地壳尺度构造运动为基本单位的四维时空中,因而也可以被称为地壳尺度构造成矿系统,等等。

4 中国成矿体系的4阶段演化

中国成矿体系的形成过程和机制非常复杂,但是,统观中国地质构造与成矿的总貌,可以清楚地看出中国成矿体系在整体上经历了太古宙陆核、元古宙陆块边缘、古生代板块和中新生代大陆这样4个地壳构造演化阶段的形成过程,因此,中国成矿体系可以划分为4个次一级的阶段性成矿体系(按研究程度,今后还可以进一步细分):

(1) 太古宙陆核成矿体系

中国现代大陆的形成、发展、演化过程,可以概括为陆核、陆块、陆缘、陆内4个发展阶段(程裕洪等,1994),其中太古宙是陆核形成的主要时期。这一时期以基性火山-沉积成矿作用及后来的变质成矿作用为主,形成以铁矿床为主兼有铜、锌、金、石墨、矽线石矿床,成矿元素与成矿类型均比较简单。在地域上,太古宙陆核成矿体系主要分布在辽宁、河北、山西、北京等地,其铁矿分布集中,而且可能对太古宙以后铁矿的形成产生影响。其中,古太古代曹庄岩组中赋存有杏山式铁矿;中太古代迁西岩群中赋存有水厂式铁矿,密云岩群中赋存有沙厂式铁矿,桑干杂岩中赋存有大同式石墨矿床等;新太古代在中东部鞍山岩群中有红透山式铜锌矿和弓长岭式铁矿,滦县岩群中有司家营式铁矿,中西部在色尔腾山群中有三合明式铁矿,涑水杂岩中有铜镍矿,五台群中有桐峪式铬矿。在太古宙晚期向元古宙过渡的时期,成矿作用以变质作用为特色,矿种以与变质作用有关的铁矿(登封群中的许昌式铁矿、太华群中的铁山式铁矿)、石墨矿(瓦屋式)和金矿(遵化岩群中的金厂峪式)为主,范围遍及整个华北地台地域,标志着华北地台从陆核到陆块演化过程的基本完成。

目前已经识别出属于该成矿体系的具体矿床成矿系列,包括华北地台与古太古代海相火山沉积作用有关的Fe矿床成矿系列,华北地台中太古代陆核发育阶段形成的Fe、Au、石墨矿床成矿系列等,具体

见图1。

(2) 元古宙陆块边缘裂谷-裂陷槽为主的成矿体系,并向板块构造成矿体系过渡

元古宙是中国太古宙陆核通过多种方式增生、并向现代大陆演化的重要时期,不但地域大大扩展(从华北向华南扩展)而且成矿作用明显多样化,尤其是海相火山-沉积作用及后来的变质成矿作用较为发育,并有不同成分的岩浆侵入成矿作用,形成铁、铜、镍、稀土、铅、锌、金、锡、菱镁矿、磷、硼、石墨、矽线石、红柱石等矿床,开始出现斑岩型铜矿和岩浆型铜镍矿床,与壳源酸性岩有关的成矿作用相对欠发育。华北地台东缘随着元古古代辽吉裂谷的演化形成有一系列的世界级矿床和大型超大型矿床(如翁泉沟的硼矿),华北地台北缘也是目前已知元古宙成矿体系发育最好的地区之一,形成了重要的矿床成矿系列,其中包括中新元古代裂陷槽中的白云鄂博世界级矿床和炭窑口、东山庙、甲生盘、霍各乞等大型、超大型矿床;华北地台西南缘也形成有金川世界级矿床和镜铁山、毕机沟等大型、超大型矿床;而华北地台内部的某些拉张环境古元古代裂陷槽中也有众多矿床形成(如中条山地区的铜矿)。中新元古代,随着陆壳增生的中心向南和向西迁移,华北地台相对稳定,成矿作用的主体也迁移到了扬子地台及其周边地区,并且盖层型沉积成矿作用(如东部杨家桥式铁矿、中部大屋式锰矿、西部开阳式磷矿和北部锦屏式磷矿)和陆缘裂谷型成矿作用(如拉拉厂、汤丹等地的铜矿)均很发育。塔里木地台及周边地区的成矿作用似乎从新元古代才开始成规模地发育,并且以类型复杂、分布广泛、矿种繁多为特点,如目前(中-)东天山地区的天湖铁矿、兴地塔格铜镍矿、且干布拉克蛭石矿床等,西天山地区的阿克塞磷矿、萨瓦甫齐石墨矿,西昆仑地区的布琼铁矿、卡拉玛-布伦口铜矿、梅爷山石墨矿、三素白云母矿、巴尔达仑水晶矿等,阿尔金地区的因格布拉克铁矿和安南坝石棉矿等。这些矿床尽管规模还不是很大,但对应于塔里木地区在新元古代的全面增生过程,经过这一时期的增生,矿种增多,成矿环境也多样化,成矿作用发生的地域范围也显著扩大,因而其找矿潜力也是良好的,并且奠定了古生代板块构造体制下新成矿体系发育的基础。

属于元古宙成矿体系的矿床成矿系列包括华北地台东部与古元古代裂谷带火山-沉积变质改造作用有关的Pb、Zn、Au、B、菱镁矿、滑石、Co、Cu、Ni、

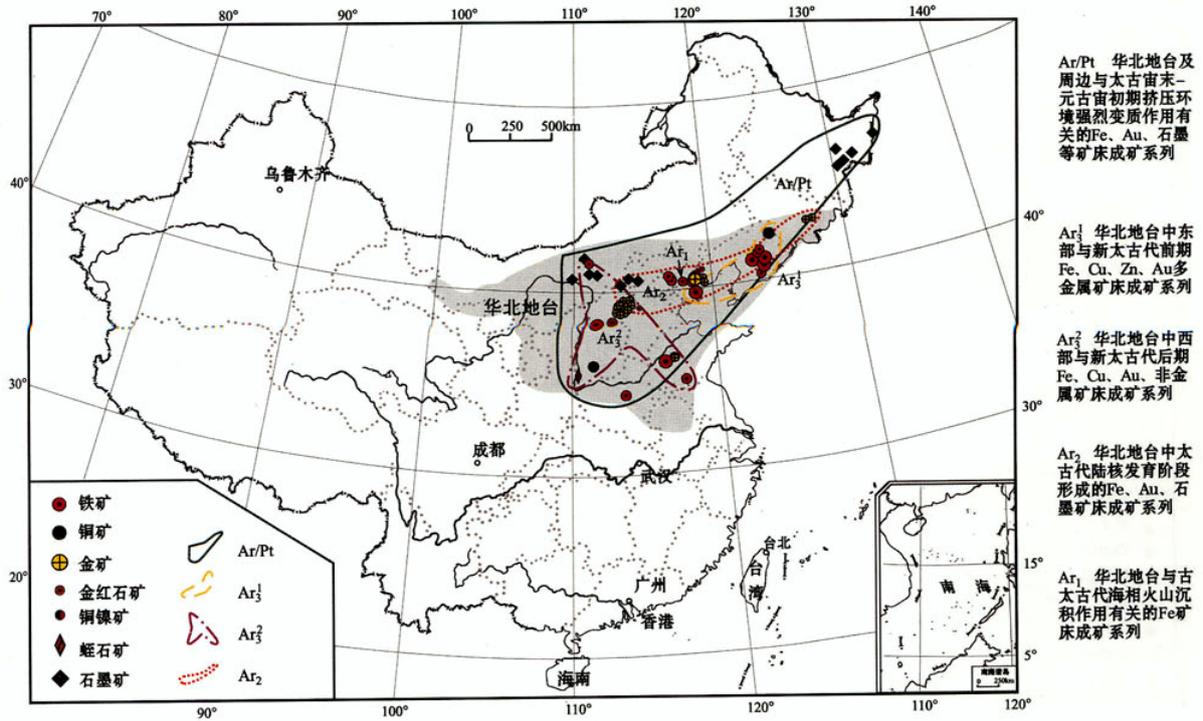


图 1 太古宙陆核阶段矿床成矿系列分布示意图

Fig. 1 Distribution map of the Archean mineralogenic series during the land-nucleus stage in China

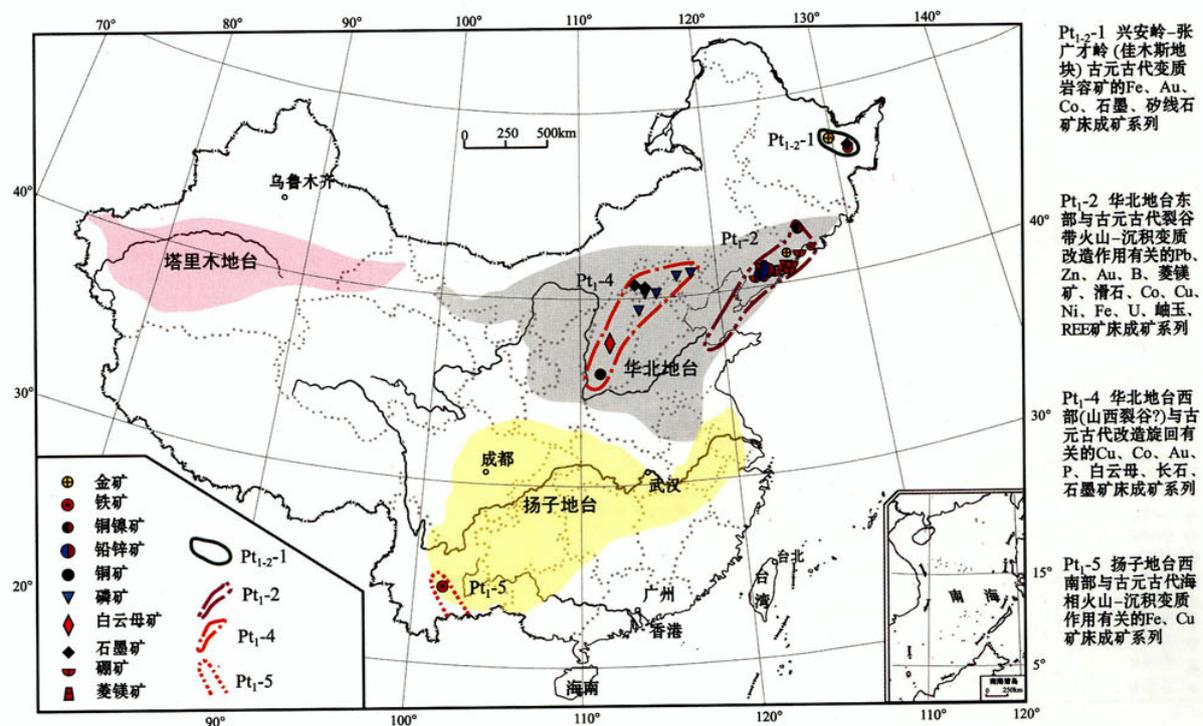


图 2 古元古代矿床成矿系列分布示意图

Fig. 2 Distribution map of the mineralogenic series during the Paleo-Proterozoic stage in China

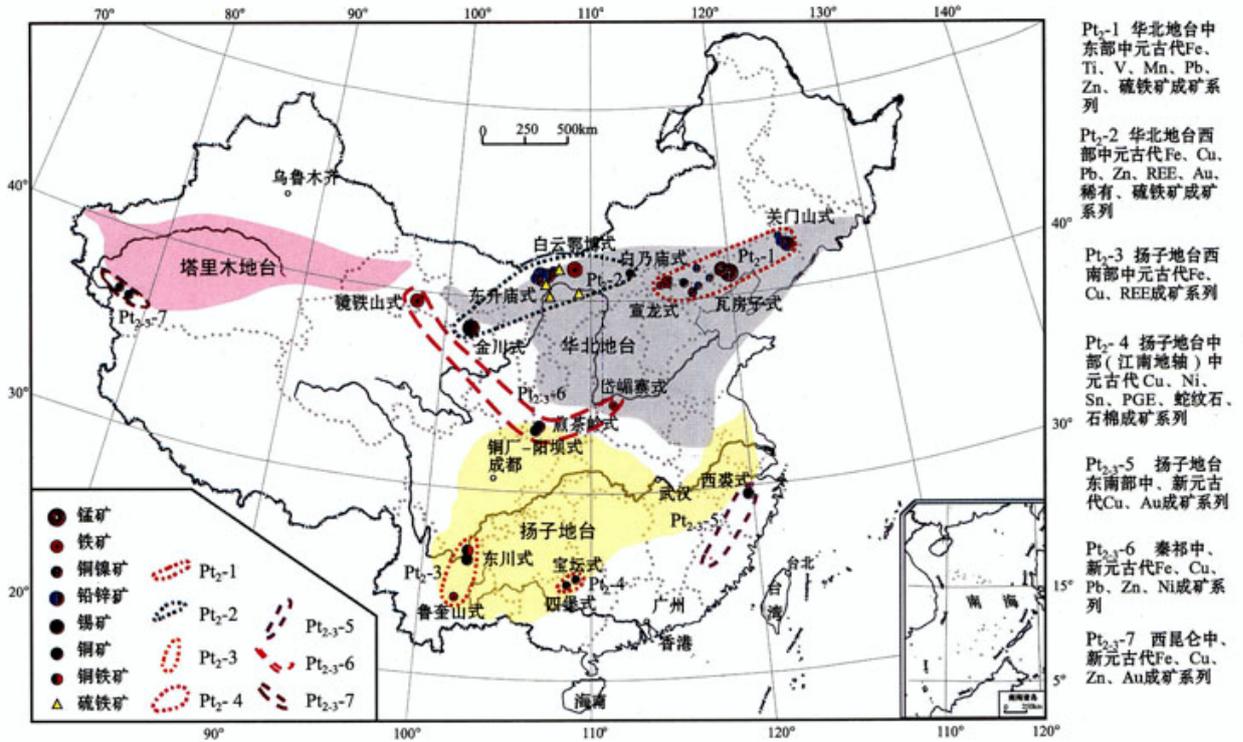


图 3 中元古代矿床成矿系列分布示意图
Fig. 3 Distribution map of the mineralogenic series during the Middle Proterozoic stage in China

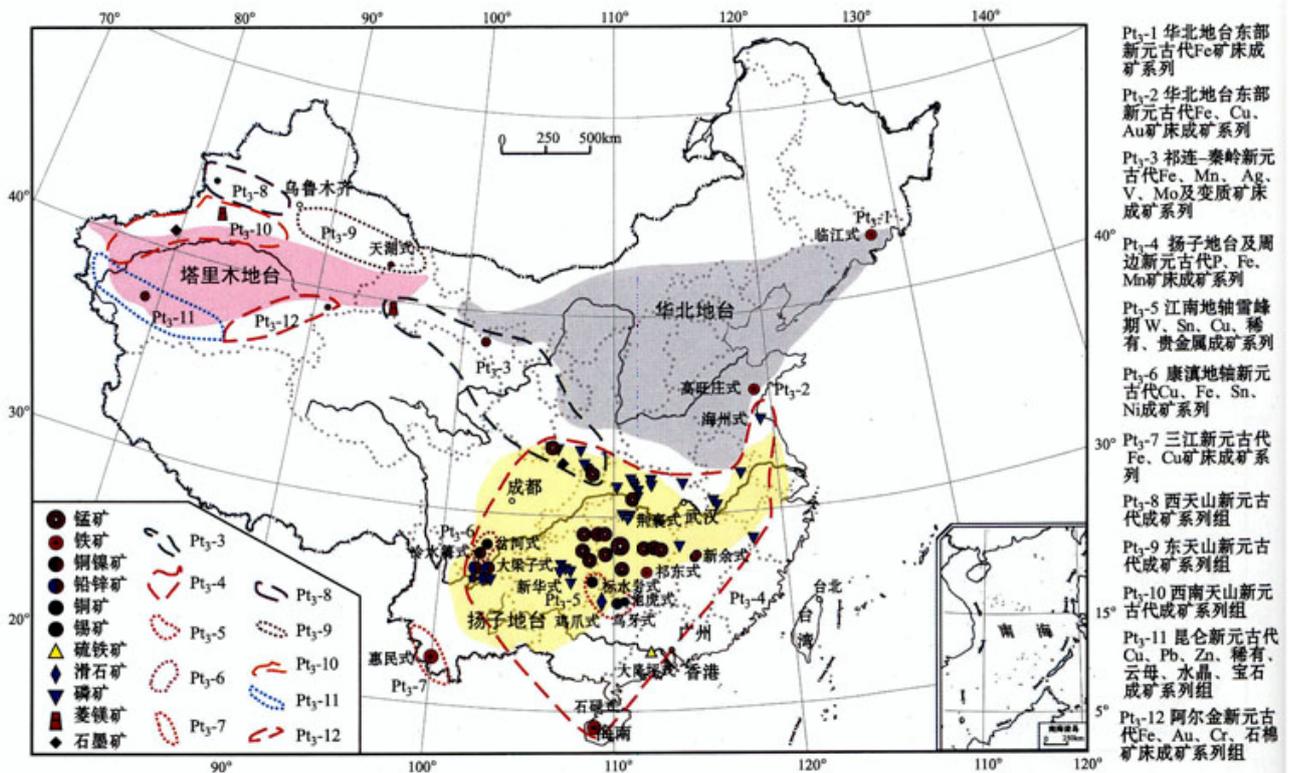


图 4 新元古代矿床成矿系列分布示意图
Fig. 4 Distribution map of the mineralogenic series during the Neoproterozoic stage in China

Fe、REE、岫玉矿床成矿系列、兴安岭—张广才岭(佳木斯地块)古元古代变质岩容矿的 Fe、Au、Co、石墨、矽线石矿床成矿系列等 38 个矿床成矿系列,具体见图 2、图 3 和图 4。

(3) 古生代板块构造活动为主的成矿体系*

在中国境内,加里东和海西构造旋回,特别是后者在西部、北部地区发育完整,在此期间西伯利亚古陆、华北—塔里木古陆、扬子古陆与华夏古陆之间多次开合,在这些古陆(板块)对接带及其两侧有序地发生岩浆成矿作用、沉积成矿作用及变质成矿作用,涉及的成矿元素与矿床类型比元古宙更多。古生代时期的中国地壳以板块构造发育为特点,与板块构造对应的地壳演化历史大致可以用威尔逊旋回来体现,在一个相对独立的构造单元内与一个较为完整的威尔逊旋回对应的矿床成矿系列的组合可构成矿床成矿系列组,每个矿床成矿系列组大致是在从拉张(裂解)→扩张→碰撞→俯冲或对接→造山→造山后的调整这样一个相对完整的构造演化过程中形成的,每个不同的阶段对应于不同的矿床成矿系列或亚系列,并且其先后形成的次序和空间分布不是随意出现而是有规律的,其次序大致为:与裂陷槽海火山作用有关的 Fe、Cu 多金属矿床成矿(亚)系列→海相或洋壳正常沉积 Fe、Mn、P 矿床成矿(亚)系列→残余海蒸发沉积盐类矿床成矿(亚)系列→与岩浆重熔中酸性岩浆作用有关的矿床成矿(亚)系列→与深熔岩浆作用和变质作用有关的矿床成矿(亚)系列→与大规模构造调整有关的岩浆和(或)流体成矿(亚)系列→陆相盆地沉积煤、油气、膨润土等非金属和铀、砂岩铜矿等成矿(亚)系列。

典型的例子如阿尔泰成矿省,该地区在海西期经历了从大陆边缘拉张到后期褶皱造山的过程,在拉张阶段形成了与海相火山-沉积作用有关的 Fe、Cu、Pb、Zn、Au、Ag 矿床成矿亚系列,在后期的造山过程中分别形成了与中酸性侵入岩有关的 Cu、Au 成矿亚系列,与伟晶岩有关的稀有金属、宝石、白云母矿床成矿亚系列,与构造-岩浆-流体作用有关的 Au 矿床成矿亚系列,并且复合了一个与基性-超基性岩有关的 Cu-Ni 硫化物矿床成矿亚系列。海西期的这一矿床成矿系列可以与中生代与岩浆作用有关的稀有金属、宝石、Au、W 矿床成矿系列组成一个跨

古生代和中生代的矿床成矿系列组,代表了阿尔泰造山带从古生代到中生代演化历史的必然产物。类似的矿床成矿系列组也出现在东天山地区,除了海西期的矿床外,中生代与花岗岩类有关的稀有金属、有色金属矿床也同样出现,并且同样复合了一个与幔源基性-超基性岩有关的 Cu-Ni 硫化物矿床成矿亚系列。因此,根据阿尔泰造山带在中生代形成了大量稀有金属、有色金属矿床的事实,笔者认为东天山地区也可能存在中生代的成矿作用。通过近年来的研究,也的确证实东天山的白山钼矿形成于中生代[辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(229±3) Ma],相邻地区北山的辉铜山—花牛山铜矿形成于 194~192 Ma,金窝子金矿形成于 230~228 Ma,南金山金矿形成于 250~232.7 Ma(李华芹等,2005;聂凤军等,2002)。反过来,根据东天山出现斑岩铜矿(土屋等)的事实,也有理由预测阿尔泰地区可能存在斑岩型铜矿,目前在阿尔泰西部哈巴河杂岩体中存在有阿依纳布拉克斑岩型铜矿化(王登红等,2002),最近在阿尔泰东部发现的希勒克特哈腊苏铜矿点也可能属于斑岩型。

古生代成矿体系所涵盖的矿床成矿系列比较多,其中早古生代至少 20 个,晚古生代 28 个^①。

(4) 中生代大陆成矿体系

中生代是中国成矿体系演化到以大陆背景成矿为主的阶段(Chen et al., 2000; Wang et al., 2000; 陈毓川等,2001;王登红等,2005a;2005b),以陆内成矿为主,兼有大陆边缘板块成矿。成矿元素与成矿类型比古生代时期更多,但未见磁铁矿石岩建造型的铁矿,岩浆型铜镍矿罕见,变质成矿作用也少见,斑岩型铜矿、矽卡岩型铁铜矿、与花岗岩有关的钨、锡、铋、钼、稀有、稀土、铅锌、铋、银、金矿床却很发育。其中中生代是中国大陆成矿体系基本定型的时期,并且具有显著的新特色。通过“东降西隆”,中生代的中国大陆明显不同于中生代,大陆成矿体系也面貌一新,如东部出现大量的油气矿藏,表生成因矿床成矿系列集中于中国南方,而岩浆成因矿床成矿系列集中在青藏高原及其周边地区。蒸发沉积和化学沉积成因矿床成矿系列似乎呈逆时针方向转移的趋势,即中生代末期到新生代初期在兰坪—思茅盆地和四川盆地形成有大型的钠盐、钙芒硝等盐

* 限于篇幅,古生代、中生代和新生代的矿床成矿系列分布图略去。

① 陈毓川,等,编写,2004. 中国成矿体系与区域成矿评价成果报告(下册). 内部资料.

类矿床,在早第三纪则转移到在中国东部的江西、安徽、山东及江汉盆地、南襄盆地等处形成许多大型、超大型的石盐、石膏、天然碱等矿床(江西的清江 E_1 、湖北的应城 E_1 、山东的枣庄 E_1 和大汶口 E_1 、河南的吴城 E_2 等),而晚第三纪至第四纪的盐湖矿床则转移到了华北(山西运城 Q_{2-4} 、内蒙古的吉兰泰 Q_4 、察干里门诺尔 Q_{3-4} 、新疆哈密七角井 Q_4 、青海察尔汗 Q_4)并进一步转移到青藏高原的腹地(扎布耶等现代盐湖)。

属于中生代成矿体系的矿床成矿系列在数量上要比太古宙、元古宙和古生代成矿体系多得多,其中已经识别出的成矿系列中生代印支期 18 个,燕山期 33 个,新生代 76 个。

综上所述,中国成矿体系是中国各个地质历史时期成矿作用的最终结果。上述 4 个次级的成矿体系是以其主体构造成矿环境划分的,但它们之间具有依次演化的关系,难以划分出绝对的界线。由于前寒武纪构造与成岩、成矿结果保存程度相对较差,因此要恢复原来的面貌有较大困难,对那个时期的成矿体系目前只能是一个粗的轮廓,特别对板块构造运动及其成矿作用的起点及在元古宙时起到多大作用,尚难以确定。但从整个地质历史演化过程的地质构造与成矿事实看,在中国分出上述 4 个成矿体系的形成阶段是符合实际的。

应当指出,由于中国地质构造复杂,演化历史曲折,各地区工作程度差别很大,笔者的认识水平也有限,因此,对于中国成矿体系的研究仍然处于探索阶段,还有很多问题尚未揭示,已有的认识也不全面,本文旨在抛砖引玉,缺点错误在所难免,恭请读者批评指正。

致谢 在成矿体系的研究过程中,参阅了参与“中国成矿体系与区域成矿评价”项目各专题及各省(自治区)地勘局等单位编写的科研报告,限于篇幅不一一罗列,在此对裴荣富院士、任纪舜院士、汤中立院士、翟裕生院士、常印佛院士、沈保丰研究员、朱裕生研究员及陈平、刘德权、朱安庆、伍广宇、邵和明、艾宪森、黄香定等众多高级工程师的支持深表感谢。

References

Chen Y C, Xu J, Wang D H, Yang J M, Xue C J and Yan S H. 2000. Mesozoic - Cenozoic mineralization pattern in the continent of China

[J]. *Acta Geologica Sinica*, 74(3): 439 ~ 446.

Chen Y C, Xu J, Wang D H, Yang J M, Xue C J and Yan S H. 2001. Mesozoic-Cenozoic mineralization pattern in the continent of China [A]. In: Geological Society of China, ed. Contributions to the 31th IGC by Chinese Geologists. [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 238 ~ 245 (in Chinese).

Cheng Y Q, ed. 1994. Introduction of regional geology of China [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).

Li H Q and Chen F W. 2005. Isotopic geochronology of regional mineralization in Xinjiang, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).

Nie F J, Jiang S H, Bai D M, Wang X L, Su X X, Li J C, Liu Y and Zhao X M. 2002. Metallogenic studies and ore prospecting in the conjunction area of Inner Mongolia, Gansu and Xinjiang (Beishan Mt.), north west China [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).

Tang Z L, Bai Y L and Xu Z H. 2002. Metallogenic systems and metalotectonic dynamics in the southwest margin (the Longshouhan Mountains and the Qilianshan Mountains) of north China paleocontinent [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 393p (in Chinese with English Synopsis).

The Committee of "Discovery History of China Deposits". 2001. Discovery history of China deposits [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 801p (in Chinese with English abstract).

Wang D H, Chen Y C, Xu J, Yang J M, Xue C J and Yan S H. 2000. Cenozoic mineralization in China, as a key to past mineralization and a clue to future prospecting [J]. *Acta Geologica Sinica*, 74(3): 478 ~ 484.

Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, Li T D and Fu X J. 2002. Minerogenic series and metallogenic regularity of the Altay metallogenic province, Xinjiang, China [M]. Beijing: Atomic Energy Press. 493p (in Chinese).

Wang D H, Chen Y C, Xu J, Zuo T R, Xue C J, Luo J L, Luo Y N, Wu G Y, Li Z W, Yu J J, Yan S H, Yang J M, Fu X J, Fu X F, Fu D M, C Y S, W L and L X Y. 2005a. Cenozoic mineralization in China [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).

Wang D H, Chen Y C and Xu Z G. 2005b. Preliminary study on Cretaceous mineralization systems in China: Implication for future prospecting [J]. *Earth Science Frontiers*, 12(2): 231 ~ 239 (in Chinese with English abstract).

Wang D H and Chen Y C. 2005c. Preliminary study on the Chinese continental mineralization system [A]. In: Mao J W and Frank P B, ed. Mineral deposit research: Meeting the global challenge [C]. Springer. 853 ~ 856.

Zhai Y S, Peng R M and Xiang Y C. 2004. Study method of regional mineralization [M]. Beijing: China Dadi Press. 183p (in Chinese).

Information Academy of Geology and Mineral Resources of China. 1993. Mineral resources of China [M]. Beijing: China Building Material Industry Press. 391p (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈毓川,徐 珏,王登红,杨建民,薛春纪,闫升好. 2001. 中国大陆中生代成矿格局[A]. 见:中国地质学会,编. 第 31 届国际地质大会中国代表团学术论文集[C]. 北京:地质出版社. 238 ~ 245.
- 程裕淇,主编. 1994. 中国区域地质概论[M]. 北京:地质出版社.
- 李华芹,陈富文. 2005. 中国新疆区域成矿作用年代学[M]. 北京:地质出版社.
- 聂凤军,江思宏,白大明,王新亮,苏新旭,李景春,刘 妍,赵省民. 2002. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向[M]. 北京:地质出版社.
- 汤中立,白云来,徐章华. 2002. 华北古陆西南缘(龙首山-祁连山)成矿系统及成矿构造动力学[M]. 北京:地质出版社. 1 ~ 393.
- 王登红,陈毓川,徐志刚,李天德,傅旭杰. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京:原子能出版社. 493 页.
- 王登红,陈毓川,徐 珏,邹天人,薛春纪,罗君烈,骆耀南,伍广宇,李志伟,余金杰,闫升好,杨建民,傅旭杰,付小方,傅德明,楚莹石,魏 琳,李晓焰. 2005a. 中国中生代成矿作用[M]. 北京:地质出版社.
- 王登红,陈毓川,徐志刚. 2005b. 中国白垩纪大陆成矿体系的初步研究及找矿前景浅析[J]. 地学前缘, 12(2): 231 ~ 239.
- 翟裕生,彭润民,向运川. 2004. 区域成矿研究法[M]. 北京:中国大地出版社. 183 页.
- 中国地质矿产信息研究院. 1993. 中国矿产[M]. 北京:中国建材工业出版社. 391 页.
- 《中国矿床发现史》编委会. 2001. 中国矿床发现史(综合卷)[M]. 北京:地质出版社. 801 页.

声 明

因第一作者本人失误,本刊 2005 年第 24 卷第 6 期 676 ~ 683 页中刊登的名为“浅层地震与 MT 联合技术在隐伏金属矿床定位预测中的应用——以新疆哈密图拉尔根铜镍矿区为例”一文中作者及单位有差错,现更正如下:

肖骑彬^{1,2},蔡新平²,徐兴旺²,梁光河²,张宝林²,王 杰²,秦克章²,彭晓明³,
惠卫东³,三金柱³,康 峰³,张 文³

(1 中国地震局地质研究所,北京 100029; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029; 3. 新疆维吾尔自治区有色地质勘探局 704 地质大队,新疆 哈密 839000)