

成矿系统研究与找矿

翟裕生

(中国地质大学, 北京 100083)

摘 要:成矿系统研究适应了地球科学系统化的发展趋势,是当今矿床学研究的重要内容之一。本文中对成矿系统的定义、结构、要素、作用产物等进行论述的基础上,提出成矿系统研究的 4 个要点:按构造动力体制划分成矿系统大类;多因耦合、临界转换的成矿作用机理;矿床系列和异常系列构成的矿化网络;矿床形成变化—保存的演变过程。作者明确了成矿系统研究应从矿化网络入手的方法,总结了矿化网络研究的主要内容,提出了通过成矿系统研究发现新类型矿床的几个途径,分析了成矿系统研究的资源环境效应,并探讨了成矿系统研究的理论意义。

关键词:成矿系统;矿化网络;新类型矿床;资源环境效应

中图分类号: P611

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 4135(2003)03 - 0129 - 07

(接第 2 期第 71 页)

4 成矿系统研究与新类型矿床的发现

4.1 成矿系统的整体分析:由已知到未知

在一个区域成矿系统中,由于成矿强度较大以及成矿物质和控矿因素的多样性和复杂性,可形成多种矿床类型。例如,在广泛分布的与硅铝质火成岩相关的热液成矿系统中,可产有矽卡岩型、斑岩型、脉型、角砾岩筒型、热泉型等矿床类型。它们都是在一个统一的地质成矿事件中形成的,是矿床系列中的成员,各自占有一定的时空位置和表现出特定的物质组成和结构构造。当已经发现其中的一种或少数几种矿床类型时,可根据成矿系统观点,推断在区域中可能存在的其它相关矿床类型。例如在某地区已发现矽卡岩型矿床,可推测在斑岩体内是否存在细脉浸染型矿床或脉状矿床等,并及时注意这些矿床的找矿标志。如运用得当,则可取得“由此及彼”、“举一反三”找到未知矿床的良好效果。

长江中下游成矿带的 Cu、Fe、Au、S 矿床有多种类型。它们在成矿时间、空间、条件等方面密切相关,是燕山期板内中酸性侵入—火山岩成岩成矿事件的统一产物,构成一个成矿系统。其中有些是端元型,有些是过渡型。随着勘查的深入,科技水平的提高,特别是矿床系列和成矿系统思路的建立和

运用,未知的新类型矿床是会逐步发现的。图 5 中以“?”标出的位置,表示在该成矿系统中还有可能发现的新类型矿床,其中包括斑岩铜矿系统中的铂族元素矿床、卡林型金矿和岩溶型矿床等。

4.2 成矿系统的空间结构:向深处找寻

在成矿系统的空间结构中,区域矿化分带是主要表现形式^[8],其中矿化垂直分带指矿床物质组成、结构、矿化类型在垂深方向的变化。已有的丰富勘查资料表明,在广泛分布的热液成矿系统中,矿化垂直分带表现比较明显,国内实例有江西德兴银山—铜厂的火山—次火山热液成矿系统分带模式^[22]和闽南紫金山式热液成矿系统分带模式^[23],国外有加拿大西部广义斑岩成矿系统分带模式^[24]等。矿化垂直分带性不仅对已知矿床的深部探矿,而且对寻找新类型矿床也是有意义的,现以铜陵地区狮子山矿田中隐伏的冬瓜山大型矿床的发现为例来说明这一问题。该区成矿系统的一个重要特征是“多层位控矿”即除沿火成岩体边缘成矿外,还在三叠系底部(大团山矿)、二叠系大隆组底部(老鸦岭矿)、石炭系黄龙—船山组(铜官山矿)等层位中发现多层含铜矽卡岩矿层(图 6)。根据这一特点,安徽省地矿局 321 地质队在狮子山矿田中以钻探在 880 米以下发现了厚达 50 米的铜矿层,经过详细勘探,获金属量达 141 万吨的冬瓜山矿床,从而在深部找矿中获得了重大突破^[25]。

收稿日期:2003 - 01 - 23

基金项目:国土资源部地质调查项目(K1 - 4 - 1 - 5),中国地质调查局项目(200110200069)

作者简介:翟裕生(1930),男,中国科学院院士,教授,博士生导师,矿床学专业,现任国际矿床成因学会矿田构造组主席。

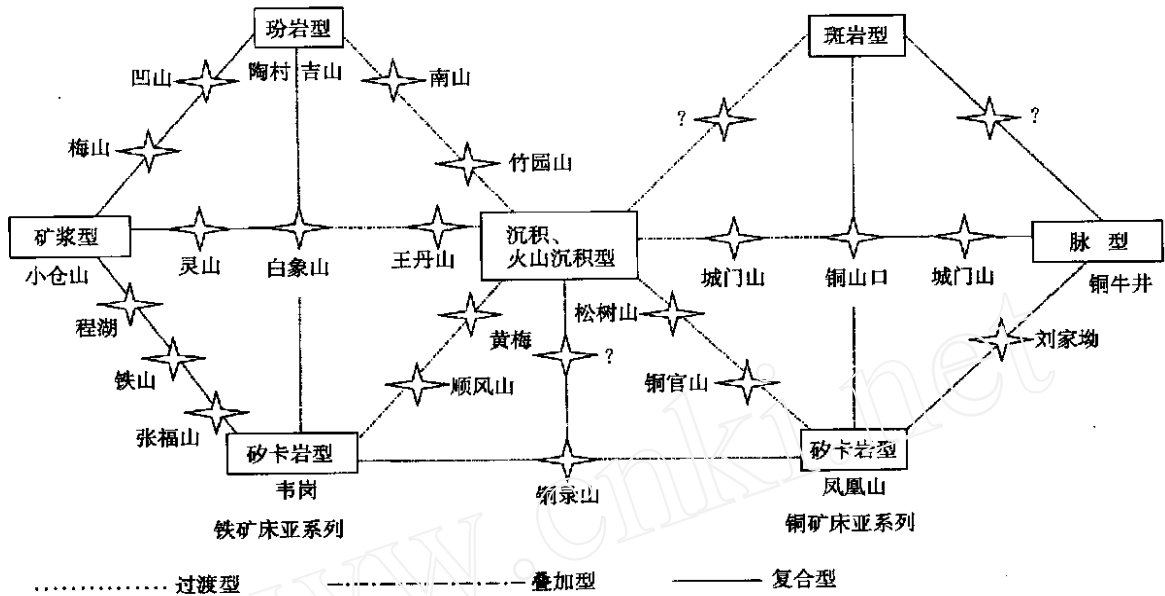


图5 长江中下游铁铜成矿系列结构图

Fig. 5 Structure diagram showing Fe, Cu ore formation in the middle and lower course of Changjiang river

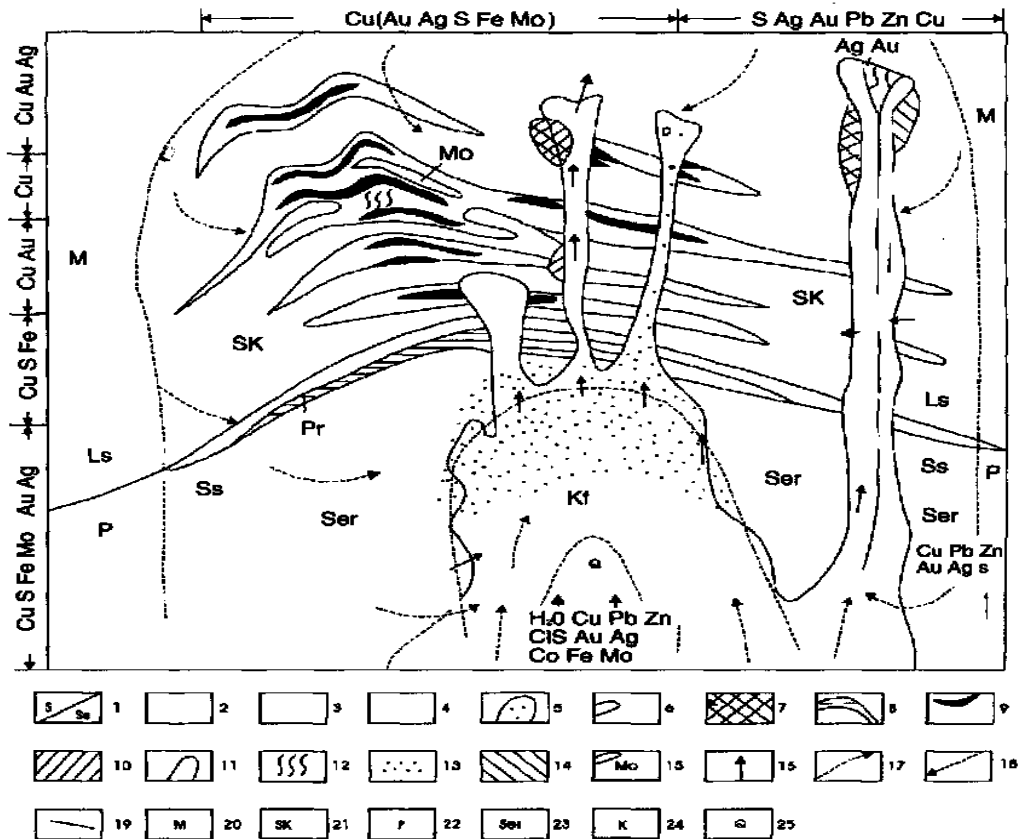


图6 安徽铜陵狮子山矿田成矿模式图

Fig. 6 Ore-forming model of Shizishan orefield in Tongling, Anhui

1. 灰岩/砂岩; 2. 花岗闪长岩; 3. 石英二长闪长岩; 4. 辉长二长闪长岩; 5. 隐爆角砾岩; 6. 层控砂卡岩; 7. 块状砂卡岩;
8. 层控砂卡岩型/沉积变质岩型铜矿(冬瓜山矿床); 9. 层间砂卡岩型铜矿床; 10. 接触砂卡岩型铜矿床; 11. 角砾岩筒砂卡岩型铜矿床;
12. 脉状热液型铜金矿床; 13. 斑岩型铜矿床; 14. 黄铁矿; 15. 钼矿; 16. 成矿元素迁移方向; 17. 岩浆热液; 18. 地层水、天水;
19. 成矿流体; 20. 大理岩化带; 21. 砂卡岩化带; 22. 青磐岩化带; 23. 绢云母化带; 24. 钾化带; 25. 硅化带(石英核)

在找寻深部的新类型矿床时,除利用深部地质、地球物理和地球化学的技术和所提供的信息外,还可利用成矿区带中不同区段剥蚀程度差别的对比,利用已出露矿床去找寻邻区尚在隐伏的同类矿床。

4.3 成矿系统的时间结构:查找成矿链条中的缺失环节

在一个大规模成矿事件中,随着成矿系统作用过程中成矿流体性质和控矿构造—岩石因素的变化,矿床类型也发生相应的变化,所形成的多种矿床类型可组成一个较完整的成矿序列(成矿链条),在找矿中可利用已掌握的环节(已知矿床类型)去查找有可能存在而尚未发现的缺失环节(新类型矿床)。这在有关岩浆演化形成的成矿系统中有较多的实例。

在南岭地区花岗岩类热液成矿系统中,经过对开采矿山的深入研究,发现了有关岩浆与热液过渡型的矿化类型^[26],从而提出了与花岗岩有关

流体系统的较完整成矿序列。即:花岗岩晚期分异型—伟晶岩型—伟晶岩热液过渡型—高温热液型—中(低)温热液型的矿化类型,产有 W、Sn、REE、Bi、Ag、Sb 等矿种。

从区域成矿系统的时间演变分析,还可进一步扩展为研究区域中不同时代成矿系统的继承性和亲缘谱系,即一个或几个矿种,在不同时代中所形成的矿床类型间的亲缘关系。下面依据陈毓川等的工作,以桂北地区的锡多金属矿为例加以说明^[27]。

桂北地区处在扬子陆块与华南褶皱系的交接带,该区存在一个富 Sn 的地球化学块体(四堡群地层及古老花岗岩体中 Sn 丰度较高),由于古老变质基底对成矿的制约作用,以及区域构造—花岗岩浆活动的多阶段性,因而锡元素以不同形式多期次成矿,表现出成矿的继承性,并在燕山期达到高峰(表 5)。成矿时代上的演变还表现为成矿空间的分带性。

表 5 桂北地区锡成矿简表

Table 5 Sn ore-forming in the north part of Guangxi Province

| 地质时代(Ma) | 矿床类型 | 成矿元素组合 |
|--------------------|----------------------|-------------------|
| 雪峰期(700 ~ 900) | 宝坛电英岩型 九毛锡石硫化物型 | Sn、Cu、(B、Pb、Zn) |
| 加里东期(364 ~ 460) | 牛塘界砂卡岩型白钨矿矿床 | W、Sn、(Bi、Ag) |
| 印支末到燕山期(117 ~ 204) | 姑婆山砂卡岩、自变质型 珊瑚热液型 | Nb、Ta、REE、W、Sn |
| 燕山晚期(84 ~ 115) | 大厂层控砂卡岩型 芒场热液型 | Sn、Cu、Pb、Zn、Ag、Sb |
| 第四纪 | 富贺钟砂锡矿 | SnO ₂ |

据陈毓川等(1995),有简化和补充

该区元古宙及加里东期 Sn 及多金属成矿主要产在变质隆起区,成矿时代较早,矿化类型较为简单。海西、印支、特别是燕山期矿床产在环绕变质陆块的褶皱带沉积岩系与晚期花岗岩的接触带内,矿石组分较为复杂(Sn、W、Nb、Ta、REE、Ag、Pb、Zn、Cu 等)。而花岗岩区原生锡矿石在第四纪时期大量风化剥蚀,又在其下游水系的有利地段形成砂锡矿床,本身既有工业价值,又是找寻原生锡矿床的重要标志。因此,从区域成矿演化谱系的观点,可以将早期的锡—多金属矿床系列与晚期的锡—多金属矿床系列以及砂锡矿床互相作为找矿的标志。

5 成矿系统研究的资源环境效应

5.1 成矿系统研究的找矿意义

成矿系统研究的主要目的是为了预测找矿和资源评价。如何运用成矿理论指导找矿,是大家关心的问题,现提出几点认识供参考:

(1) 信息、经验、理论结合找矿:“信息找矿”是利用地质、地球化学、地球物理、遥感、地表矿化等信息作为找矿的依据和标志。“经验找矿”比较强调找矿者找矿经验的重要性。“理论找矿”着重指出地质理论(包括成矿系统、成矿背景、控矿因素、成矿模式等)对找矿的指导意义(图 7)。

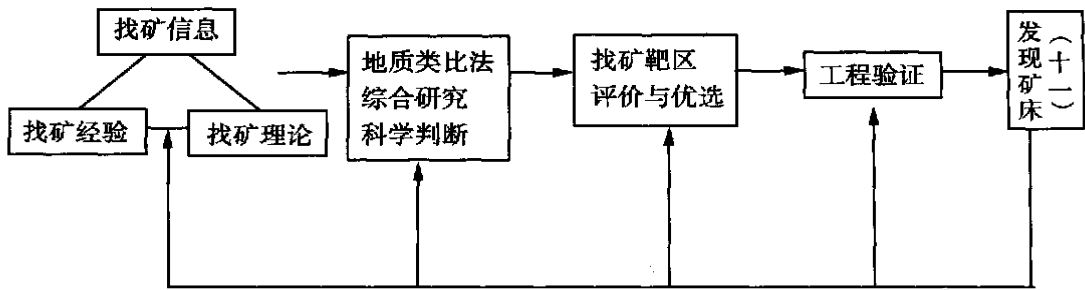


图7 科学找矿概略模型图

Fig. 7 Compendia model of scientific prospecting

(2) 区域找矿目标——由单个矿床到矿床系列:在过去的找矿工作中,常以单个矿种和单个矿床类型为目标,这在一定程度上限制了找矿者的视野,也造成了有可能避免的浪费。当今,综合性区域矿产调查评价工作正全面展开,找矿的目标就不只限于单个矿种和矿床类型,而应该是找寻该区存在的矿床组合或矿床系列,即由一定成矿系统产生的全部矿种和矿床类型。例如,在长江中下游成矿带找寻 Cu、Fe、Au、Ag、Mo、Pb、Zn 等的斑岩型、矽卡岩型、角砾岩筒型、热液脉型和层控型等矿床。这样以一个成矿系统中所形成的矿床系列(组合)作为找矿的整体目标,有利于建立起区域找矿的战略思路,可以胸有全局、举一反三,线索较多,信息量大,回旋余地也大。这就增强了找矿工作的主动权,与“单打一”的找寻单个矿种和矿床类型来比较,更有利于提高找矿命中率。

(3) 从矿区网络入手逐步缩小靶区:在区域找矿中,一般是先发现示矿异常,再据此追溯矿体。因此,深入研究示矿异常,应该成为区域找矿的一项基本内容。在成矿作用中产生的各类异常,如地质的、地球化学的、地球物理的异常,可直接由矿体因素引起,或由矿化蚀变岩石及含矿地层、岩体、构造等引起。它们在时间、空间和成因上是密切关联的,例如,很多地球物理异常就是由地质和地球化学异常引起的。这些异常伴随着矿床系列在形成时间上常显示阶段性,在空间上组成有序结构,表现为分带性,形成三维的矿化-异常网络或称矿化网络(包括矿床、矿点和各种异常)。而这种矿化网络正是进行区域找矿的总体对象。由于示矿异常一般比矿体占有更大的空间,能显示更多的有关成矿的信息,因此常是有效的找矿标志。充分运用地质成矿

理论,区分和筛选这些有关异常,一步步地缩小找矿靶区,可以达到发现矿床的目的。

(4) 全面研究矿床形成条件和保存条件:矿床是地质历史的产物,成矿系统作用过程结束后,所产生的矿床系列及异常系列又进入一个新的历史阶段,即这些产物经受后来地质作用的变化和改造的阶段。主要的地质改造作用有构造变形、流体溶蚀、变质作用和地表风化剥蚀、搬运和掩埋作用等。作为一个矿床,其经受的后来变化有变形、变质、变位、变品位、变规模等,其结局有几种可能:保存完好;部分保存,即矿床规模缩小;转变为其它类型(如岩金矿转变为砂金矿);消亡。目前,已知的地表和近地表的很多矿床都是经过众多地质事件磨难后的“幸存者”。一个区域中的矿床“幸存者”越多,找矿的潜力就越大。因此,区域成矿研究应该“两手抓”,既要研究矿床形成条件,又要研究矿床保存条件。即矿床保存条件研究不是附带任务,在大多数情况下,它是一项并不亚于成矿条件研究的重要内容。扩展来说,不仅研究单个矿床的破坏保存,还要研究一个成矿系统产生的矿床组合和异常系列的被改造过程和整体保存条件,包括哪些矿床类型被破坏了,哪些被保存下来,保存在哪些地段?等等,这对于区域矿产资源评价具有重要意义。关于成矿系统的研究和找矿的关系参见图8。

5.2 成矿系统研究的环保意义

新世纪的矿业既要提供足够的矿产资源,又要在开发利用资源的过程中保护好环境,这就对矿床学研究提出了更高的要求^[20~22]。矿床地质工作者要发展低能耗、无废物、高效益、无污染的“绿色矿业”发挥其应有的基础作用。也即矿床学研究不仅要“瞻前”(矿床的形成环境、条

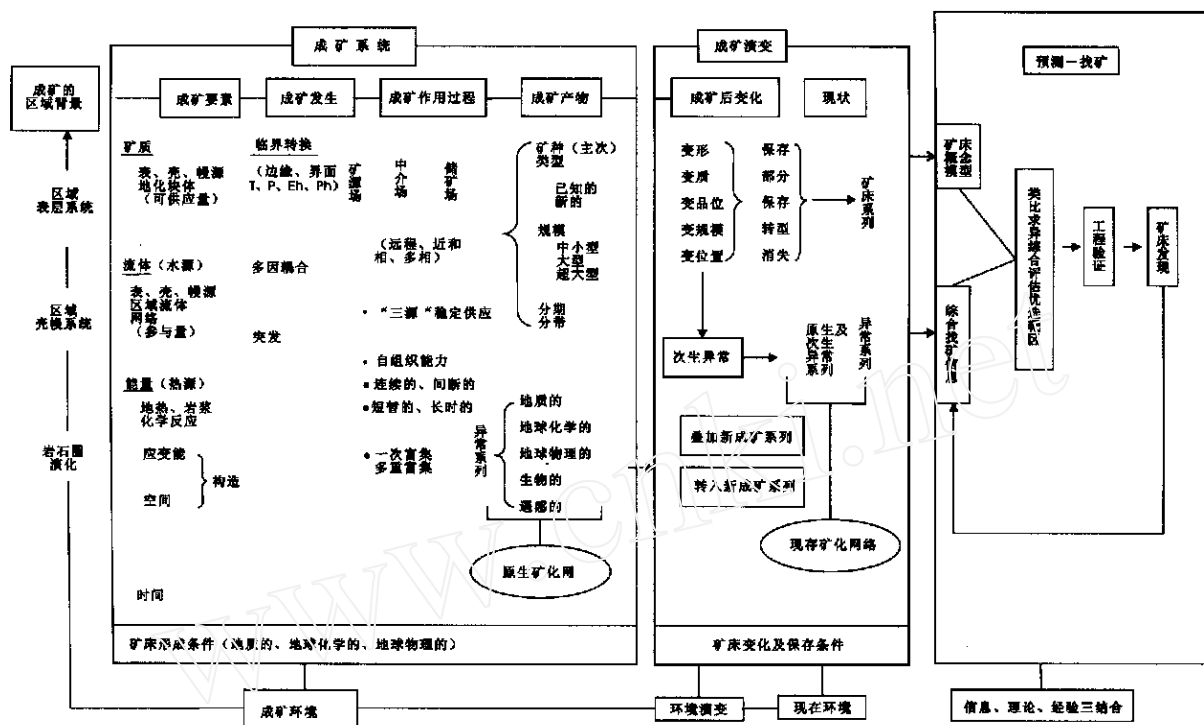


图 8 区域成矿系统及找矿模式

Fig. 8 Regional ore-forming system and ore-hunting model

件和作用过程)、“知今”(矿床地质特征及现有环境),还要“顾后”(矿床开发过程及以后诱发的生态环境地质问题)。面临着矿区环境保护问题,可以从多方面探索解决的途径。本文中试图从成矿系统的角度,对成矿与环保二者的结合研究提出一些思考。总的想法是:成矿系统研究不仅要为找矿评价服务,也要为矿床环境质量评价和实施矿业环保提供科学的基础资料。作者认为,为了服务于环保,成矿系统研究可突出下列内容:

(1) 矿床的物质成分:研究矿石中的有害组分,特别要查清对人畜有害的元素如 S、Cd、Hg、As、U 等的含量、赋存状态,以及它们在矿床开发过程中的化学变化和扩散途径等,并提出处理这些有害物质的技术方案,主要是参与革新采、选、冶和环保技术,将有害物质变为无害或有用物质。

(2) 矿床构造及矿体产状: 矿体及围岩的组成、形态、产状、断层、裂隙和孔隙发育程度等, 既控制矿区地表水和地下水的运动方向、速率和水/岩反应强度, 又与采矿过程中的地面沉降、滑

坡、地震等灾害密切相关。

(3) 矿床的表生变化特征及其环境影响: 依据矿床地质特征及所在地的地理、气候等条件, 研究矿床自然暴露地表或开采出露后遭受表生作用变化及可能诱发的污染现象和机理, 区别短期影响因素和长期影响因素, 提供整治矿山及毗邻地区生态环境的地质依据。

上列的地质因素,归根到底都是由于成矿控制因素、成矿作用、矿床地球化学和成矿后矿床的变化改造所引起的。这也正是成矿系统研究中必不可少的内容。

如前所述,成矿系统的研究对象主要是区域尺度的矿床形成和分布,因此成矿系统研究不只对单个矿区的环保工作有益,还能成矿区带和矿业发达区的区域环境质量评估、发展趋势预测以及区域环保规划提供必需的地质资料,而且这种“宏观”上的研究意义将日显重要。

总的来说,成矿系统研究对矿区环境保护的意义还只是初步提出,需要在实践中不断丰富研究内容和提高理性认识。成矿系统研究的资源、环保效应可概括如图9。

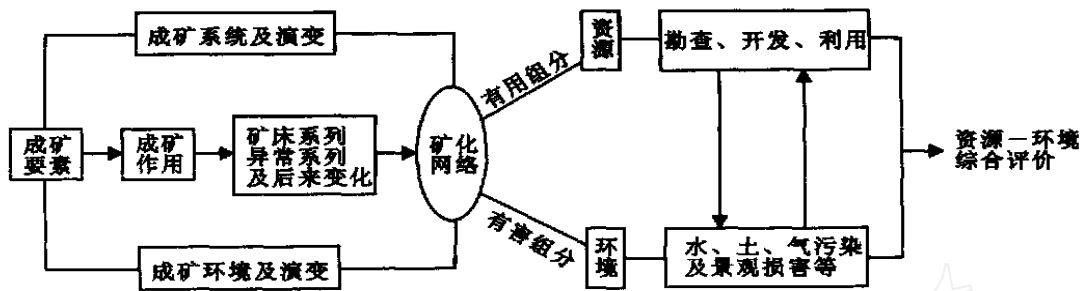


图9 成矿系统研究的资源环境效应

Fig. 9 Resources and environment effect of studying ore-forming system

6 成矿系统研究的理论意义

(1) 推动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路贯穿起来, 将成矿的环境、背景、要素、作用、过程、动力、产物、异常和演变等作为一个自然作用整体加以研究, 这有利于全面认识成矿动力学机制、矿床形成演变历史过程和矿床的时空分布规律, 从而推动矿床学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) 有利于发挥矿床学对整个地球科学的功能: 成矿系统是地球系统的一个组成部分, 其特定功能是成矿物质的高度浓集。这种浓集显示了自然作用的神奇, 高度成熟的有机质集中在人体大脑中使人类成了万物之灵, 而金属、非金属元素的高度富集产生有用物质而变成了贵重的宝藏。每一个成矿系统都发生在一定地质时代和特定的地质环境, 因而在一定程度上可以起到“化石”“地质记录”的作用。例如, 南非古元古宙含金铀砾岩型矿石中碎屑状黄铁矿的出现可以作为当时大气圈中缺氧的证据。类似这样的例子很多, 但在过去, 有关矿床和成矿作用的信息和观点多只限于应用在找矿勘探和矿山地质工作, 而忽视了将这些有用信息应用到地学及其它学科的研究中去, 这对于整个地球科学的发展是不利的。加强成矿系统研究, 有助于辩证认识成矿系统与其它地质系统的关系, 有利于矿床学和其它学科的互相影响、渗透和促进。

总之, 成矿系统研究的理论和方法, 体现了现代矿床学和矿产勘查要理论与实践密切结合的发展趋势。以系统观和历史观为研究思路, 以

资源勘查和环境保护为服务目的的成矿系统研究尽管目前还处在初步阶段, 但它发展的前景是非常喜人的。

参考文献:

- [1] [J]. . 2, . , 1973, 448.
- [2] [J]. , 1992, 47 - 48.
- [3] Jacques, A. L. The role of GIS, empirical modeling and exert system in metallogenic reseach[J]. GSA, Abstract NO. 37, 1994, 196 - 197.
- [4] 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.
- [5] 於崇文, 岑况, 鲍征宇, 等. 成矿作用动力学[M]. 地质出版社, 1998. 1 - 23.
- [6] 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.
- [7] 翟裕生. 成矿系统的结构框架和基本类型[A]. 中国可持续发展的资源环境科学学术讨论会论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [8] 翟裕生. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 13 - 28.
- [9] 陈毓川、裴荣富、宋天锐. 中国矿床成矿系列初论[M]. 北京: 地质出版社, 1998. 63 - 75.
- [10] 孙启桢. 边缘成矿与成矿边缘效应[J]. 地学前缘, 1994, 1(4): 176 - 183.
- [11] 孙启桢. 边缘成矿概论[M]. 北京: 地质出版社, 2001. 1 - 158.
- [12] 李兆薰. 火山岩和相关侵入岩地区金矿的形成机制——内外多元耦合、四维局部富集成矿[J]. 地球科学, 1997, 22(3): 268 - 274.
- [13] 涂光炽, 赵振华, 刘秉光, 等. 庞然大物——与寻找超大型矿床有关的基础研究[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1995. 1 - 116.
- [14] 涂光炽. 试论非常规超大型矿床物质组成、地质背景、形成机制的某些独特性——初谈非常规超大型矿床

- [J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(Supp.): 1 - 6.
- [15] 徐光炘, 等. 中国超大型矿床[M]. 北京: 科学出版社, 2000, 1 - 584.
- [16] 翟裕生, 邓军, 丁式江, 等. 关于成矿参数临界转换的探讨[J]. 矿床地质, 2001, 20(4): 301 - 306.
- [17] 邓军, 吕古贤, 杨立强, 等. 构造应力场转换与界面成矿[J]. 地球学报, 1998, 19(3): 244 - 250.
- [18]. 邓军, 孙忠实, 王建平, 等. 动力系统转换与金成矿作用[J]. 矿床地质, 2001, 20(1): 71 - 77.
- [19] 於崇文. 地质作用的自组织临界过程动力学——地质系统在混沌边缘分形生长[J]. 地学前缘, 2000, 7(1): 13 - 42.
- [20] 於崇文. 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[J]. 地学前缘, 2001, 8(3): 9 - 28.
- [21] 翟裕生, 邓军, 彭润民. 矿床变化与保存的研究内容和研究方法[J]. 地球科学, 2000, 25(4): 340 - 344.
- [22] 黄世全. 峨东北火山—斑岩铜多金属矿床的成因模式[A]. 中国地质学会. “七五”重要科技成果学术交流会论文集[C]. 北京: 科学技术出版社, 484 - 489.
- [23] 翟裕生, 姚书振, 崔彬. 成矿系列研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996, 84 - 88.
- [24] MacIntyre D. G. Sedex - sedimentary - exhalative deposit, ore deposits, tectonics and metallogeny in the Canadian Cordillera [J]. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, British Columbia, Queen's prer for British Columbia, Victoria, 1995, 5 - 20.
- [25] 中国矿床发现史·五徽卷编委会. 中国矿床发现史·安徽卷. 地质出版社, 1996, 83 - 86.
- [26] 林新多. 岩浆—热液过渡型矿床[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999, 1 - 8.
- [27] 陈毓川, 毛景文. 桂林地区成矿系列和成矿历史演化轨迹[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1995, 410 - 413.
- [28] 中国矿床编委会. 中国矿床·中册. 北京: 地质出版社, 1994, 33 - 40.

Research on Metallogenic System

ZHAI Yu - sheng

(School of Earth Sciences and Resources, China university of Geoscience, Beijing, 100083)

Abstract: The research on metallogenic system meets the trend of systematization of Earth sciences. It becomes one of the most important research contents of ore deposit geology. Based on the study on the concept, structure, elements and products of the metallogenic system, the author emphasizes four main points in the research of metallogenic system. (1) Major types of metallogenic system are classified by tectono - dynamic system; (2) Coupling of many factors and criticality - transition are basic ore - forming mechanism; (3) Ore deposit series and anomaly series constitute the mineralization network; (4) The evolutionary process of an ore deposit includes its formation, transformation, and also preservation. In addition, the author puts forward that research of metallogenic system should start from the study of mineralization network. Main contents of research on mineralization network are summarized and several ways to discover new - type of ore deposits with the research of metallogenic system are pointed out in this paper. Finally, effect on mineral resource and environmental protection and theoretic significance of the research on metallogenic system are discussed.

Key words: metallogenic system; mineralization network; new - type of ore deposit; effect on mineral resources and environmental protection