

成矿系统研究现状及发展趋势

朱 创 业

(成都理工学院地质学系, 成都 610059)

[摘要] 成矿系统是当今矿床学研究的一个新领域。它是指在一定成矿环境下, 由矿源场、矿质运移场和聚矿场等要素组成的具有成矿功能的有机整体。成矿系统研究强调整体上、从系统要素之间的联系上去认识成矿过程, 这有助于更新传统矿床学的研究思路, 有助于全面深刻认识成矿规律, 有助于提高成矿预测的精度。成矿系统的研究方向为: (1) 继续开展成矿系统理论和分析方法的研究; (2) 开展流体成矿系统的研究; (3) 开展浅成低温热液成矿系统的研究; (4) 开展成矿系统动力学的研究。

[关键词] 成矿系统, 成矿规律, 成矿流体, 低温地球化学, 成矿动力学

[分类号] P61

[文献标识码] A

人口、资源与环境是人类社会所面临的共同问题。以矿产资源为研究对象的矿床学科, 也正面临着矿产后备资源不足、找矿难度越来越大的巨大压力。21 世纪将是知识经济时代。经济和社会的可持续发展将越来越多地依赖于知识创新和创新知识的应用, 以解决日趋严重的资源及环境问题。矿床研究和勘查要取得重大突破, 也必须依赖于科学技术的进步, 依赖于成矿理论及研究方法的创新。

长期以来, 矿床研究的重点主要是矿体及其附近围岩, 通过对控制矿床的有关地质因素, 即地(岩)层、构造、岩石、矿物和地球化学等特征进行描述和总结, 探讨矿床的成因与形成过程, 进而得出相应的理论、假说或模型^[1]。矿床学发展到今天, 单纯地以矿论矿的研究方法已不能适应矿床学发展的需要^[2]。而成矿系统概念的提出, 不仅是系统科学方法在矿床学研究中的一种创新性应用, 而且也给矿床学的研究注入了活力, 体现了现代矿床学向系统化、全球化发展的一种趋势^{[1]~[5]}。

1 成矿系统的概念

成矿系统一词最早于 20 世纪 70 年代初见于俄文地质辞典(卷二)^[6], 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”。之

后, 不少学者从不同的角度对成矿系统提出了不同的定义。马祖洛夫(1985)^[7]提出:“成矿系统是导致矿床形成的地质体、地质现象和地质作用的总和”, 强调成矿系统还包括地质作用这个动态过程。B. M. 契克夫(1987)^[7]在成矿系统的概念中强调了构造、流体的作用, 指出“成矿系统是在一定空间(现在的或地质历史时期的)导致成矿物质高度浓集的构造-物质因素相互作用的总和”。A. L. Jasques(1994)^[8]提出“成矿系统可定义为控制矿床的形成和保存的全部地质要素, 着重在以下作用: 成矿物质从源区的活化、运移, 并以高度富集的形式堆积, 以及在以后地质历史中将它们保存下来的作用”, 强调矿源、运移、富集及保存的成矿作用过程。於崇文(1994, 1998)^{[9]、[10]}则从成矿作用动力学的角度, 认为“成矿系统是一个多组成耦合和多过程耦合的动力学系统, 多组成包括‘多组分’和‘多个体’的双重涵义”。李人澍(1996)^[3]认为:“成矿系统可定义为特定时空域中从矿源到矿质定位全过程所形成的工业与非工业矿化, 与矿体生成有联系的中间产物, 反映成矿作用的各种指示物, 以及卷入成矿系统空间的自然体系的总和”。瞿裕生(1999)^[5]提出“成矿系统是指在一定的时-空域中, 控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用动力过程, 以及所形成的矿

[收稿日期] 1999-08-10

[基金项目] 原地矿部青年地质学家基金(9616), 国家攀登项目(95-预-39-03-03), 国土资源部年轻教师资助计划项目

[作者简介] 朱创业, 男, 1961 年生, 博士, 教授, 沉积学专业

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”。这个定义包括了控矿要素、成矿作用过程、形成的矿床系列和异常系列,以及成矿后变化和保存等4方面基本内容,体现了矿床形成有关的物质、运动、时间、空间、形成、演化的统一性、整体性和历史观^[5]。

上述成矿系统的定义尽管各不相同,但都反映了人们试图用系统观点来研究成矿作用的趋势。按系统科学的理论和观点,系统是指存在于一定的环境之中,由相互间具有有机联系的许多要素所构成的具有特定功能的有机整体。要构成一个系统,必须具备三个条件:第一,系统必须由一些要素所组成,这些要素是构成系统的组成部分;第二,要素之间要相互联系,相互作用,相互制约,按照一定的方式结

合成一个整体;第三,系统具有特定的功能,它与环境之间有物质、能量或信息的输入和输出。对于一个成矿系统来说,任何矿床的形成都离不开物质(矿源场)、能量(成矿动力)、空间(矿质运移场和聚矿场)。成矿过程实际上是成矿物质由分散、活化、迁移到富集的整个过程,也是成矿作用动力学的多重耦合过程。因此,成矿系统可定义为在一定成矿环境下,由矿源场、矿质运移场和聚矿场等要素组成的具有成矿功能的有机整体。在成矿系统中,成矿流体是联结矿源场、矿质运移场和聚矿场三者之间的纽带;而成矿流体的活动则受成矿作用动力学的控制,成矿系统的功能表现在成矿作用上,形成矿床及相应的矿化异常。成矿系统的结构可用图1表示。

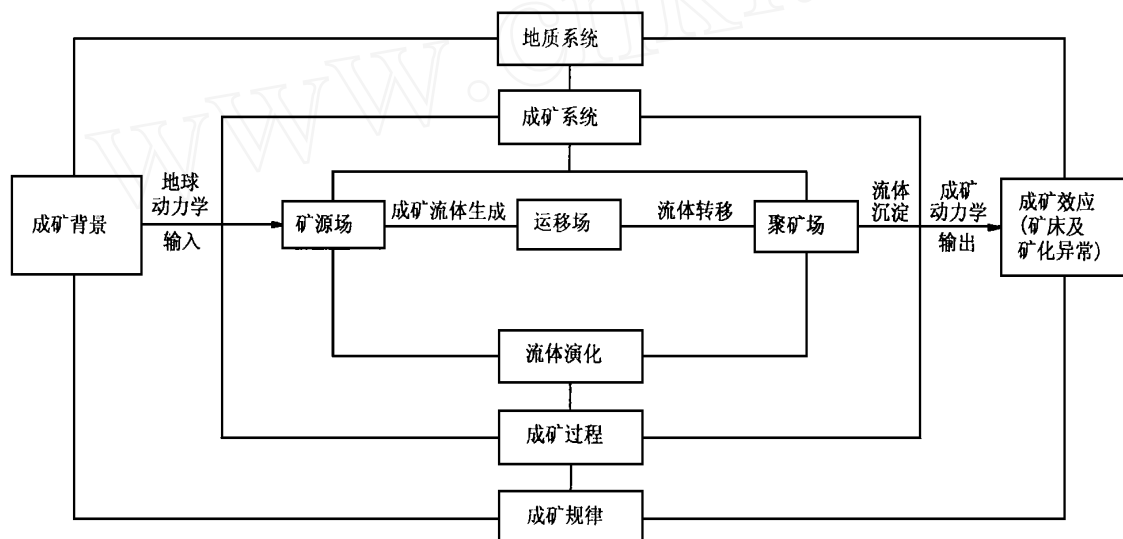


图1 成矿系统结构图

Texture diagram of ore-forming system

2 成矿系统的研究意义

成矿系统的研究意义表现在以下三个方面:

a 现代科学已进入学科相互交融的新时代,整体性研究已成为复杂系统研究的大趋势。矿床是地球演化过程中复杂地质因素相互作用的产物,是一个复杂的自然系统。成矿系统的研究把系统方法引入到矿床学的整体研究中,强调从整体上、从系统要素之间的联系上去认识成矿过程,这有助于更新传统矿床学的研究思路,将会给矿床学的发展带来一次飞跃。

b 成矿系统的研究强调把成矿背景、控矿要素、成矿过程及成矿产物作为一个整体加以系统研究,有助于全面认识矿床形成的过程和时空分布规律,提高成矿预测的精度,可有效地指导找矿勘探实践。

c 成矿系统的复杂性决定了成矿系统研究方

法、研究手段的多样性。成矿系统研究的兴起,将有助于矿床学研究中多学科、多手段的相互渗透,提高矿床学的研究水平。

3 成矿系统研究现状

成矿系统是近年来逐渐被人们所认识并关注的一个新概念。中国学者对成矿系统进行了不少开创性的研究。程裕淇先生倡导的成矿系列的理论^{[11]、[12]},蕴藏着系统科学的一些原则和合理因素,他们都是把系统科学思想引入地球科学的前驱者^[3]。李人澍(1996)^[3]在其专著《成矿系统分析的理论与实践》中,建立了成矿系统框架,对成矿系统的研究方法进行了初步总结,并以陕西秦巴地区为例进行了区域含矿性评价和成矿预测,探索了成矿研究的新途径。於崇文(1994, 1998)^{[9]、[10]}从成矿作用

动力学的角度对成矿系统的形成过程和机理作了深入分析。翟裕生(1999)^[5]对成矿系统的概念、要素、结构、类型以及成矿系统的作用过程及作用产物进行了系统的论述,对促进成矿系统的研究起到了积极的推动作用。与此同时,一些学者也运用成矿系统的概念进行了不同系统层次的研究,如:流体成矿系统与成矿作用研究^[1]、古大陆边缘构造演化和成矿系统^[13]、试论幔柱构造与成矿系统^[14]、论剪切带造成矿系统^[15]、Sedex 型矿床成矿系统^[16]、火成岩构造组合与壳幔成矿系统^[17]、变质岩区金矿成矿系统^[18]、成矿系统自组织-新金属成矿论^[19]、生物成矿系统理论^[20]。

从成矿系统的研究现状上看,其研究仍处在起步阶段。一个成矿系统是一定的地质历史阶段的产物,古老成矿系统因受后来地质变动而难以完整保存,很难全面认识其形成要素和作用过程。已有的对古老成矿系统的认识不少是推测的,还需要作深入研究^[5]。此外,一些学者将成矿系统与成矿体系或矿床相等同,缺乏对系统的真正含义的理解。尽管如此,成矿系统研究的观点和方法,成矿系统概念模型的建立,都有助于将矿床地质研究工作建立在极为完整的科学理论基础之上,将会提高找矿勘探工作的成效。

4 成矿系统研究的若干发展趋势

4.1 从系统科学与矿床学交叉的角度,继续开展成矿系统理论和分析方法的研究

成矿系统的研究刚刚起步,其理论体系和研究方法仍处于探索阶段。系统科学作为一种方法论,为研究成矿系统提供了有力的武器;但系统科学方法只能指导成矿系统的研究,而不能取代矿床学本身的研究。因为矿床是复杂的地质系统的一个组成部分,它也有自身的学科特点、理论和研究方法。因此,在成矿系统的研究中应该把系统科学与矿床学有机地结合,相互交叉,既保留矿床学科的特色,又引入系统科学的思维方式,进一步建立和完善成矿系统研究的理论和方法。

4.2 从成矿流体演化的角度,开展流体成矿系统的研究

20 世纪 80 年代以来,国际学术界出现了一个研究流体地质作用的热潮^{[21]~[23]}。大批学者从各自的角度,阐述了流体作用研究的重要性,矿床学家们更是如此。这是因为越来越多的研究证实,绝大多数矿产的形成都与成矿流体的活动有关。成矿流体的研究强调流体是连结矿源岩、成矿背景和矿体发育

场所三者的纽带,流体作用是贯穿于整个矿床形成过程的主要控制因素。因此,将成矿系统的研究与成矿流体的研究结合起来,开展在一定成矿背景下,由成矿流体的来源、运移和聚集等要素组成的具有成矿功能的流体成矿系统的研究,这是了解矿床成因、总结成矿规律、指导成矿预测的关键所在,也是成矿系统研究的一个重要发展趋势。

4.3 从低温地球化学的角度,开展浅成低温热液成矿系统的研究

低温地球化学是研究自然界中低于 200 °C 条件下元素被萃取、活化、运移并富集成矿的地球化学行为。长期以来,国内外矿床学界和地球化学界在对热液矿床(不管热液性质、来源与成因)形成的认识上多侧重于高中温,划为低温热液矿床的只有汞矿、锑矿、雄黄雌黄矿与密西西比河谷型铅锌矿等少数矿床,其他大量热液矿床均被视为高中温热液矿床^[24]。然而,近年的研究结果表明,除 Hg, Sb, As 等外,许多被传统理论归并为中、中高温的成矿元素,如 Au, Ag, U, Pb, Zn, Pt 族, REE 等,在低温条件下的地球化学性状要比习惯认为的活跃得多,它们在低温条件下可出现大规模矿化富集,许多非金属矿床密集区也是低温地球化学作用的直接产物。这些新的认识驱使地质地球化学家们重新评价低温矿床和低温地球化学研究的重要性^[25]。鉴于一些重要的矿产资源及与人类活动密切相关的环境条件都是在低于 200 °C 条件下形成的,低温地球化学的研究已成为当前国际上地球化学研究领域的前沿课题^[23]。因此,用成矿系统的理论和方法,开展低温热液成矿系统的研究,将是成矿系统研究的另一个重要发展趋势。

4.4 从动力学的角度,开展成矿系统动力学的研究

系统动力学是了解某些复杂系统的一种构模方法,主要用于处理关于系统行为随时间变化的问题。矿床是一种复杂系统,而成矿作用则是一种复杂的动力学过程。在成矿系统中,动力学是确定系统演化 and 最终结果的关键^[14]。成矿系统动力学体系包括宏观地球动力学、成矿系统(过程)动力学及微观地球化学过程动力学三个层次,这三个层次是成矿系统过程中密不可分的整体,逐级制约了系统的过程^[3]。成矿系统动力学的研究可揭示成矿作用的本质,即成矿作用过程及其时空结构,从而使矿床成因和成矿规律的研究从静态上升到动态,从定性上升到定量,对传统成矿理论将有新的突破^{[9]、[10]}。

以上所述表明,成矿系统是矿床学研究中的一个新概念,是系统科学与矿床学相互结合、相互渗透

的产物。如何用成矿系统的基本概念和分析方法来认识成矿规律,指导成矿预测,已成为现代矿床学研究的一个前沿课题。相信在越来越多的矿床学家们的关注下,成矿系统的研究将会取得突破性的进展,将会给矿床学的发展带来深远的影响。

本文承蒙曾允孚教授、黄思静教授指导及提出宝贵的修改意见,在此深表谢意。

[参 考 文 献]

- [1] 贾跃明 流体成矿系统与成矿作用研究[J] 地学前缘, 1996, 3(4): 253~ 258
- [2] 翟裕生 关于矿床学研究前景的探讨[J] 矿床地质, 1999, 18(2): 146~ 152
- [3] 李人澍 成矿系统分析的理论与实践[M] 北京: 地质出版社, 1996 1~ 240
- [4] 胡云中, 侯增谦 当代主要金属矿产资源勘查与研究的发展态势(上)[J] 地质科技管理, 1998, (1): 1~ 7
- [5] 翟裕生 论成矿系统[J] 地学前缘, 1999, 6(1): 13~ 26
- [6] Γ (2) [] : , 1973 448
- [7] [M] : , 1992 47~ 48
- [8] Jacques A L. The role of GIS, empirical modeling and expert system in metallogenic research [J] GSA Abstract, 1994, (3): 196~ 197.
- [9] 於崇文 成矿作用动力学——理论体系和方法[J] 地学前缘, 1997, 1(3): 54~ 82
- [10] 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
- [11] 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 等 初论矿床的成矿系列问题[J] 中国地质科学院院报, 1979, 1(1): 33~ 58
- [12] 程裕淇, 陈毓川 再论矿床的成矿系列问题[J] 地质评论, 1983, 29(2): 127~ 139
- [13] 翟裕生 古大陆边缘构造演化和成矿系统[A] 北京大学地质学系 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
- [14] 侯增谦, 李红阳 试论幔柱构造与成矿系统[J] 矿床地质, 1998, 17(2): 97~ 113
- [15] 邓军, 翟裕生, 杨立强, 等 论剪切带构造成矿系统[J] 现代地质, 1998, 12(4): 493~ 505
- [16] 韩发, 孙海田 Sedex 型矿床成矿系统[J] 地学前缘, 1999, 6(1): 139~ 162
- [17] 邓晋福, 莫宣学, 罗照华, 等 火成岩构造组合与壳幔成矿系统[J] 地学前缘, 1999, 6(2): 259~ 270
- [18] 肖荣阁, 龚羽飞, 翟裕生, 等 变质岩区金矿成矿系统[J] 地学前缘, 1999, 6(2): 243~ 250
- [19] 於崇文 成矿系统自组织——新金属成矿论[M] 武汉: 中国地质大学出版社, 1999
- [20] 殷鸿福 生物成矿系统论[M] 武汉: 中国地质大学出版社, 1999
- [21] 贾跃明 地壳中的流体作用[A] 当代地质科学前沿[C] 武汉: 中国地质大学出版社, 1993 54~ 66
- [22] 沈照理, 钟佐桑, 文冬光, 等 地质流体研究新进展——1993 年国际地质流体会议剖析[J] 地球科学进展, 1994, 9(3): 43~ 47
- [23] 陈红汉 地质流体: 多学科技术和概念的相互渗透——第二届国际沉积盆地和造山带流体演化、运移和相互作用大会简介[J] 地球科学进展, 1998, 13(2): 204~ 206
- [24] 涂光炽, 高振敏, 程景平, 等 低温地球化学[M] 北京: 科学出版社, 1998 1~ 5
- [25] 周永章, 胡瑞忠 低温地球化学[J] 地球科学进展, 1995, 10(5): 442~ 444

THE PRESENT RESEARCH SITUATION AND TREND OF ORE-FORMING SYSTEM

ZHU Chuang-ye

(Chengdu University of Technology, China)

Abstract: The ore-forming system is a new domain in the study of geology of ore deposits. It is an organic whole with ore-forming function in a certain mineralizing setting. The essential factors of the ore-forming system are composed of source-field, transport-field and accumulation-field. The emphasis of the research of the ore-forming system is placed on the study of mineralizing processes on the whole and the connection of the essential factors of the ore-forming system. This is helpful to renew the tradition research train of thoughts, understand deeply the mineralogenic regularities and raise the precision of mineralogenic prognosis. The main research fields of the ore-forming system have been summarized follow: (1) continue to study the theory and analysis method of the ore-forming system; (2) study the fluid ore-forming system; (3) study the epithermal ore-forming system; (4) study the dynamics of ore-forming system.

Key words: ore-forming system; mineralogenic regularities; ore-forming fluid; low-temperature geochemistry; the dynamics of ore-forming system