

成矿系统的结构框架和基本类型

翟裕生

(中国地质大学, 北京 100083)

摘要:成矿系统是在一定地质时-空域中形成的复杂的自然系统,它包含控制矿床形成和保存的全部地质要素和作用过程,以及有关的地质、地球物理和地球化学异常。研究成矿系统有显著的学术价值和实际意义,是深入矿床学研究的一个重要领域。本文以成矿物质、控矿因素、作用过程、作用产物及其时-空结构为基本要素,建立了成矿系统的结构模型;并按成矿机理的差别,划分出岩浆、热液、沉积、生物、改造和冲击等六个成矿系统类,每类中又分出若干基本成矿系统。论文还对比分析了五个成矿系统的事件表,说明成矿系统研究的复杂性,并论述了成矿系统的研究方法。

关键词: 成矿系统 概念 结构 类型 方法.

涂光炽先生早年曾在北京地质学院(中国地质大学前身)讲授矿床学,以后又一直关心、指导我们的教学和研究工作。他的渊博学识、严谨学风、敏锐洞察力和不断攀登创新的精神和卓越成就,使我们受益极多……仅以此文敬贺涂先生 80 大寿和从事地质工作 60 周年。

近年来,成矿系统(ore-forming system)一词常见于矿床学文献中,一些学者还研究了不同类型成矿系统的形成和分布。例如,R. W. Hutchinson(1980)和 S. D. Scott(1990)先后论述过地壳的热水成矿系统。R. H. Sillitoe(1972, 1989)描述了斑岩成矿系统。H. Н. Бугельский(1990)论述了外生成矿系统的物理化学参量。B. Н. Царанов(1992)发表《内生流体成矿系统的发展》专著。在我国,於崇文等(1985, 1994, 1998)运用地球化学动力学理论,深入研究了热液成矿系统,提出成矿动力系统的自组织临界性等基本观点。关广岳等(1992)讨论过成矿系统的时空结构。翟裕生等(1996, 1998)进行了内生成矿系统研究并对江西九瑞地区的铜(金)成矿系统作了计算机模拟,还提出古大陆边缘构造演化与三类不同的成矿系统。李入澍(1996)发表了《成矿系统分析的理论与实践》专著。以上著述都是运用现代系统科学的理论和方法来分析成矿作用和矿床分布规律,虽然研究工作是初步的,但是却体现了现代矿床学研究的一个新的领域和方向。本文仅就成矿系统的概念、特征、结构和基本类型作初步讨论。

1 成矿系统的概念

不同作者对成矿系统这一概念有不同的理解,目前尚未形成一个普遍认同的解释,在已知的中外文地质辞典中也未收入这一名词,可见有关成矿系统的研究正在兴起中,与它有关的一套术语系统有待研究和建立。俄罗斯的 M. N. Мазуров(1985)认为:“成矿系统是导致矿床形成的地质体、地质现象和地质过程的总和”。澳大利亚的 A. L. Jaques(1994)将成矿系统定义为“控制矿床的形成和保存的全部地质因素,着重在以下作用:成矿物质从源地的活化、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”。在这个概念中,包括了矿床形成后的保存条件和作用。李入澍(1996)提出:“成矿系统可定义为特定时

本项目受原地质部“九五”重点研究项目(9501107)资助。

空域中从矿源生成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地质体系的总和”。翟裕生(1997)对成矿系统的定义是:“成矿系统是在一定地质时-空域中形成的复杂自然系统,它包括控制矿床形成和保存的全部地质要素和作用过程,以及与成矿有关的地质、地球物理和地球化学异常”。他在这个解释中,强调成矿系统是一个复杂的自然系统,并重视系统中的地、物、化异常,这对于运用成矿系统概念进行预测找矿有实际意义。

由上述几种大同小异的解释可以看到,成矿系统是产于一定的地质时-空背景和环境中的自然作用系统,有一系列的控矿因素和条件,有一个完整的作用过程包括成矿过程和成矿后保存的过程,作用的产物不仅有矿床,还有矿化及其伴生的异常(地质的、地球物理的、地球化学的)。

成矿系统一词的内涵和外延都较矿床成矿系列(成矿系列、矿床组合)更为广阔,它还着重研究有关矿床组合的成因、机理和形成过程,即进行成矿作用动力学研究。因此,可以认为,成矿系统研究是成矿系列研究的深入发展。

2 成矿系统的特性

系统科学将自然和社会中的各种事物归类成多个系统。一个系统由相互联系、相互作用的若干部分组成。系统与环境间相互作用包括物质、能量和信息的交换。对成矿系统来说,它有自己的属性:①它是地史演化的自然产物,是地球物质系统的一个组成部分;②是产在一定地质构造环境中的开放系统,与所在环境之间进行着成岩成矿物质、流体和能量等的交换,以达到成矿物质的高度浓集;③具有非线性反馈的动力学机制和自组织能力,从而能自发排除作用过程中各种干扰,保持成矿作用的持续进行,实现其成矿功能;④成矿系统具有层次性,高层次的有成矿带规模的区域成矿系统,常用 metallogenic system 表示,低层次的有矿田(矿床)的成矿系统,多用 ore-forming system 来表示。本文讨论的主要指区域成矿系统;⑤成矿系统有一定的时-空范畴。在时间上一个成矿系统从产生、发展到消亡,一般需要一百万到几百万年时间;在空间上,一个成矿系统可占地几百甚至到几千 km^2 ,大体相当于矿带、矿结或矿集区的范围;⑥成矿系统具有四维(3dt)属性,它是动态的。它的内部结构、组成和与外部环境的相互作用,都随时间而变化(或显著,或轻微;或突变,或渐变);⑦成矿系统在时间和空间上的分布是不均匀的。在地质历史上,成矿系统的演化是不可逆的。成矿系统的类型、数量随时间而增长并有复杂化的趋势。例如,在前寒武纪的控矿因素和矿床类型比较简单,而显生宙的控矿因素和矿床类型明显增加,如生物成矿作用和风化成矿作用等。

3 成矿系统的结构

成矿系统是由相互用和相互依存的若干部分(或要素)结合成的有机整体。系统中各要素间的相互关联和相互作用即系统的结构。科学地分析一个成矿系统的结构有着重要的理论和实际意义。概括地说,一个成矿系统的内部结构一般包括以下四类要素:

A、控制成矿的地质作用因素,有风化、沉积、构造、岩浆、变质、流体、生物、大地貌、热动力等作用因素。

B、成矿的时-空因素。在空间要素中有矿源场、含矿流体运移场和储矿场(成矿场)等;在时间要素中有:成矿前准备阶段、成矿阶段、成矿后改造和变化阶段等。

C、成矿作用过程因素。包括：矿质从矿源岩中的活化作用过程(获取和供应)、含矿流体的运移演变过程(运移和演化)、矿质的沉淀富集定位过程(沉淀和富集)，以及成矿后的改造作用(变化与保存)。

D、成矿作用的产物：包括矿床、矿点、矿化点，伴生的地质、地物和地化异常。过去研究成矿作用，多只注意矿床本身，而与成矿有关的各类异常(地质的、地物的、地化的)易被忽略。作者认为，各类异常(包括岩石蚀变、矿物变化、构造变形、各类地球化学场和地球物理场的出现等)，既是研究成矿系统的必要信息，又是找矿预测的重要实际标志。因此，在研究成矿系统时，对各种有关异常要重视研究。

这四方面的要素构成一个有机整体，即产在一定地质时-空背景和环境之中，并与该环境进行物质及能量交换的开放系统。成矿系统各要素及所在地质环境的相互关系可表示如表1。

每一个成矿系统都由几个要素组成，这几个要素的形成时间可以称为事件，在不同的成矿系统中，各个要素的配置情况是不同的，而作用时间又是多重的，从表2上中可以看到其复杂的情况。

在自然过程中，成矿系统是一个高度复杂的系统，它具有多层次结构，多种控制因素(参量)和多种作用过程。表1和表2只是表示了主要的控制因素和主要作用过程。限于篇幅，表中各个要素的细节部分不再赘述。

4 成矿系统的基本类型

地球上成矿系统多种多样，可按着一定的原则将其归类，以利于研究和运用。李人澍(1996)根据成矿机制的不同而划分成五类，即①堆积成矿系统(含沉积矿床)；②近等化学改造成矿系统(含变质、受变质矿床)；③熔炼成矿系统(含岩浆及岩浆热液矿床)；④动力改造成矿系统(动力分异成矿)；⑤环流-热液成矿系统(含SEDEX、VMS等矿床)。这个分类的基本原则和所分出的主要类型是合理的，但类型不够完全，且与现在通用的矿床成因分类方案衔接不够。因此，翟裕生(1997)又以此为基础，提出另一种分类方案，共分出6类基本的成矿系统即：I、岩浆成矿系统类；II、热液(水)成矿系统类；III、沉积成矿系统类；IV、生物成矿系统类；V、改造成矿系统类(含叠加-改造成矿系统)；VI、冲击成矿系统类(地外成矿动力源)；这方案与李的方案不同的是：①命名与现有通用成矿学名词一致，便于使用；②增加了生物成矿系统和冲击成矿系统；扩大了改造成矿系统，将化学的、变质的、动力的、风化的等改造成矿都归为一类；③按成矿构造背景和成岩-成矿耦合关系在每一成矿系统类中又分出若干个成矿系统。这些成矿系统中的每一种可产在地史的不同时期和不同的地质环境，但作为系统的基本要素和主要作用过程则是一致的，是可以作为同类对比的。

翟裕生(1998)曾按大地构造动力体制的不同，将大陆板块边缘的成矿系统分为三类，即①离散型大陆边缘成矿系统(如海底喷流热水沉积成矿系统)；②会聚型大陆边缘成矿系统(如岛弧带斑岩型成矿系统)；③转换型大陆边缘成矿系统(如拉分盆地火山-次火山岩热液成矿系统)。在特定的构造环境中，还存在着这三者之间的复合成矿系统。

由于地质成矿作用的多样和复杂，各种成矿系统形成的过程也是繁简不同的。因此，还可以按成矿系统形成过程的复杂程度，将成矿系统划分为：①简约型——即在特定的构造环境中，系统内的矿源岩、含矿岩、成矿流体等基本在同一地质时期形成，成矿过程和作用较为

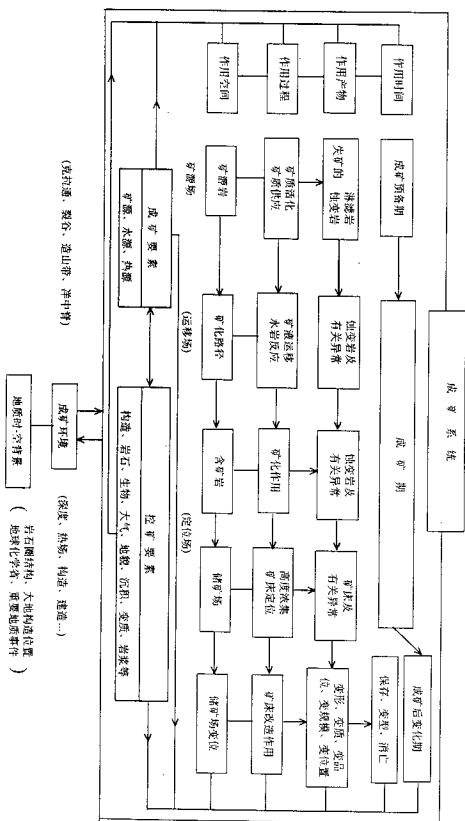


表 2 成矿系统的事件表

成矿系统 类型	3600 2500 1600 1000 540 408 250 65								地质时期 (Ma)	重要 矿床
	Ar	Pt ₁	Pt ₂	Pt ₃	Pz ₁	Pz ₂	M ₂	C _z		
元古宙成矿系统									矿源岩	金川 Ni-Cu 矿
									含矿岩	
									矿液运移	
									矿床定位	
									改造保存	
多带成因绿岩系统									矿源岩	胶东 Au 矿
									含矿岩	
									矿液运移	
									矿床定位	
									改造保存	
中成生代系统岩									矿源岩	江西 铜厂 Cu-Mo 矿
									含矿岩	
									矿液运移	
									矿床定位	
									改造保存	
晚古生代成矿系统									矿源岩	甘肃 厂坝 Pb-Zn 矿
									含矿岩	
									矿液运移	
									矿床定位	
									改造保存	
风化壳改造									矿源岩	古巴 莫湾 Ni 矿
									含矿岩	
									矿液运移	
									矿床定位	
									改造保存	

单一,例如斑岩型成矿系统;②后续型——一个成矿系统的主体形成后,又紧接着发生了后续的地质矿化作用的继承、叠加和改造。很多层控型矿床属于这类成矿系统;③复杂型——成矿历史漫长,常经过二个以上地质时代和多种成矿作用(预富集、富集、再富集等),且其中出现间断。例如我国的绿岩型金成矿系统,它在华北陆块边缘构造带中很发育,如小秦岭、胶东等区的金矿床。以上三类成矿系统的形成过程参见表 2。