

载于“地球科学思维”
地质出版社, 1993

矿床学思维方法的进步*

翟裕生

摘要 通过对矿床学学科特点和复杂性的分析,认识到采用正确思维方法对研究矿床学的特殊重要性。简述了矿床学思维方法的进步,运用系统科学的理论和方法建立成矿系列;运用立体思维和系统思维方法进行成矿环境和背景分析;运用历史观点研究成矿作用的形成和演化,这三方面代表了矿床学研究思维的重要进展,从而提高了矿床学研究水平和找矿工作的成效。

一、矿床学科的特殊性和复杂性

矿床的形成是综合地质作用的产物,涉及多种多样的控制因素和物理、化学及生物作用,因此,研究矿床形成和分布规律的矿床学是一门综合性很强的学科。凡是涉及有用物质(金属、非金属以及有机物等)相对富集的自然作用和表征都是矿床学的研究对象。它不同于矿物学、岩石学、地层学、古生物学等着重研究地球物质运动的某一个方面,而是研究各种地质运动过程和产物对矿床形成的控制和影响。从这个意义上看,矿床学与区域地质学、大地构造学等有类似之处,带有横断学科的性质,不仅仅是地质学的一个分支,而是以广阔的地质科学为根基的“上层建筑”。

作者简介:翟裕生,矿床学教授,博士生导师,中国地质大学矿床研究室,北京 100083。

* 本文曾在中国地质学会、中国石地学会联合召开的地质、石油科学学术会议上作大会交流。

与基础学科不同的是,矿床学又是应用学科。矿床学研究有经济价值及潜在经济价值的地质体(矿石、矿体、矿床等),它们是经过较长时期的物质分异作用形成的,因之较一般的岩石和矿物更为稀罕少见,并且在地壳中分布更不均匀。因此,在矿床研究工作中常带有地区的局限性(不同区域中地质构造和矿床类型的差异性)。

矿床学是随着采矿业的进步而发展起来的,在各类基础工业中,采矿业生产周期最长。一个矿床从被发现到开采,一般需要几年、十几年或更长时间。一个有一定规模的矿床从开采到闭坑,需经过几十年甚至上百年。矿产一般又是不可再生资源,矿床采完后,有关矿石、矿体、近矿围岩等成矿信息也大都随之消失,无法将矿床作为“标本”永久保存下来。这些情况都限制了人们对矿床的长期的、反复的观察研究,一个矿床地质学家积累完整实践经验的周期也随之加长。

矿产资源的开发又受经济、社会、政治等因素的制约。矿业生产水平和人类社会经济进步密切相关,同步发展。纵观矿业历史,国家间、地域间、经济集团间对矿产资源(尤其是战略和短缺资源)的垄断、封锁和保密等时有发生,这些也都影响到人们对矿床资料的全面观察和客观报道,限制了人们对矿床学知识的了解和掌握,更增加了矿床学研究的复杂性。

正是因为矿床学的综合性、实践性和复杂性,更要求矿床地质工作者应具有科学的思维方法,具有驾驭复杂现象和复杂运动并从中找到规律的能力。

二、矿床学思维方法的进步

“存在决定意识”,由于矿床学科的特殊性复杂性,致使对矿床特征和矿床成因的系统认识经历了较长的历史积累过程,对矿床学的思维方法和方法论,也经历了长期的摸索过程。从16世纪中

三、成矿系列的观念

系统思想在地质学中早就有所运用,例如,构造体系、岩石建造等重要概念中都有系统的因素。70年代末80年代初,成矿系列概念的提出在一定程度上也是受系统科学的启发。

成矿系列是运用系统论的观点方法,研究一定区域中在空间上、时间和成因上有密切联系的各矿种、各矿床类型构成的整体,即与一定成矿事件有关的在不同演化阶段、不同控矿条件下形成的各类型矿床之间的相互关系,研究这些矿床的共同区域地质构造背景和种种控矿因素之间的相互联系和相互作用,因而将对传统矿床成因类型的单一的、个体的研究,提高到区域的、综合的和历史的研究。这可以说是矿床学思维方法的一个飞跃。它不仅从理论上对成矿的一些基本问题如成矿分带、成矿历史、矿床时空分布规律等做出更为深入的解释,还作为矿床学与找矿实践之间的桥梁,具有明显的指导找矿意义。当在一个地区发现某种矿床类型时,即可“举一反三”、“触类旁通”,据此找寻可能存在的同一成矿系列中其他类型的矿床。因而提高了找矿的科学预见性。自程裕淇等^[4]提出成矿系列的概念以来,通过广大地质工作者的运用和讨论,已经证实了上述论断的正确性,并进一步探讨了成矿系列的结构、层次、复合和形成机理等问题^[5,9]。

1. 成矿系列的结构

系统是由若干个相互联系相互作用的部分(要素、过程等)构成的。系统的结构指各部分之间的相互依赖和相互作用关系。在成矿系列中,组成系列的各要素是各个矿床类型。各矿床类型间所存在的空间上、时间和物质组成上的特定联系构成成矿系列的结构。在空间上,各矿床类型表现为共生性(共同产于某一岩石建造或某一岩体中等)、分带性(矿种或矿床类型间在空间上的有序排列)和重叠性(形成时间有先有后的不同矿床类型在同一空间

上,矿床学知识萌芽阶段,就有表生和深成的不同观点,发展到18世纪的“水成论”与“火成论”的重大争论。再以后,同生与后生、内生与外生、海成与陆成、深成与表成等关于矿质来源和成矿作用的不同论点,经历了长时期的反复的有时是很激烈的争论。争论的起因既有研究者思想方法和研究对象上的片面性和局限性,也与上述的经济的和地区上的局限性有关。我们认为,在一定的历史条件下,由于经济和科技发展水平的影响,矿床学研究中的主观片面性和局限性是不可避免的。与地质学的各基础学科相比,矿床学进步较为缓慢也是可以理解的。不同学术观点之间的争论,推动着矿床学家更深入的观察、研究和思考,从而在对立面的斗争中实现了矿床学科的进步。

矿床学的传统思维方法,基本上是从地质学中借鉴的或延伸来的。如成矿条件分析法、地质类比法、成因分析法、模型(式)分析、逻辑推理等,在矿床地质研究中都起到积极的作用。一个矿床学家若能客观地全面地辩证地应用这些方法去研究矿床,就较易取得成效,探索到某些带规律性的认识。这说明,在同样的事物面前,研究者的思维能力、水平即主观能动性是多么重要。

80年代以来,由于整个科学技术的巨大进步,地学的观测研究领域有了很大扩展(卫星、遥感、超深钻、洋底探测、超微观测以及计算机应用等),国际学术交流广泛和深入,也由于地学思维方法的明显进步^[1],因而在矿床学的思维和方法上,有了相应的进步和发展,这主要表明在三个方面:系统科学在矿床学中的应用,使对单一矿床、单一成因、单一模式的研究提高到对成矿系统的整体研究;成矿环境和背景分析,使对矿床的孤立的封闭的研究,扩展到成矿的板块构造环境乃至岩石圈动力体制背景;成矿历史演化分析,使对矿床的静止的将今论古的研究提高到动态的、不可逆过程的研究系统中去。成矿系列、成矿环境和成矿演化等观念的提出和强调,可能是标志着现代矿床学研究正进入一个新的起点。

域的重叠)。在时间上,各矿床类型表现为连续性或阶段性(可根据矿体之间的相变、交切、过渡和成矿温度、压力、年龄等的渐变或突变加以判断)。在物质组成上,各矿床类型间表现为过渡性(过渡型成矿流体或过渡性物质组分形成的过渡型矿床,如伟晶岩矿床介于岩浆矿床和气液矿床之间)和互补性(指成矿强度在各矿床类型间是不均匀的,矿量为一常数,此多彼少,整体上则是互补的)。

研究成矿系列的上述结构特征是区域成矿学(Regional Metallogeny)的重要研究内容,对于认识各类矿床的时空分布特征,掌握各类矿床成矿规模的差异和变化趋势,区分主要和次要找矿对象,都有实用意义。

2. 成矿系列的层次

层次也是系统的一个重要性质。系统一般都是由多个子系统构成的,而子系统则由更低一层次的子系统构成。成矿系列也可划分为若干层次,按成矿地域的规模可分为矿田成矿系列、矿带成矿系列、成矿带成矿系列和全球规模的成矿系列等。这样的划分虽较方便但不严密,按成矿与岩石建造的关系,我们曾将成矿系列定义为“与同一岩石建造有成因联系的各类矿床构成的四维整体”^[9]。若按此定义,则与一定岩石建造相对应的为成矿系列,与亚建造相对应的为成矿亚系列,与岩石建造组合(一定大地构造单元或重大地质事件形成的若干个有成因联系的岩石建造)相对应的则为成矿系列组合,如岩浆成矿系列组合、沉积成矿系列组合、热液成矿系列组合、变质成矿系列组合等。目前,尚无通用的有关成矿系列层次的术语,需要开展这方面的研究。

3. 成矿系列的演化

系统都是动态的,是随时间的转移而变化着的,有其发生、发展和消亡过程。成矿系列的动态性既表现系统内部结构的变化,也表现在系统与外界环境之间物质、能量交换状态的变化,这两种变化也是密切相关的。

由于系统内部结构随时间的变化,造成成矿作用的连续性或间断性(间歇性),产生一系列在时间上相连续或有间断的诸矿床类型。由于系统与外部环境之间关系状态的变化,可引起“成矿机器”的持续开动、减缓或停止,即成矿作用的终结,从而决定着形成矿床的规模。从更大尺度来考察,一定成矿带中乃至全球的地史演化中,由于成矿环境和成矿作用随时间的演变,因而在不同地质历史时期生成不同的成矿系列。例如,太古宙和早元古宙原始地壳较薄条件下生成的火山成矿系列与中新生代以来的火山成矿系列,就有很大的差异。研究大区域乃至全球历史中各种成矿系列间的演化过程是当代矿床学研究的一项新内容。

研究表明,由于地质构造的多旋回性,在一些构造带(如地洼区)中,不同地质时代形成的不同成矿系列常存在重叠关系,即晚期成矿系列重叠在早期成矿系列之上,并不同程度地对早期成矿系列加以改造。最常见的一种重叠形式是早期沉积(变质)成矿系列被晚期岩浆—热液成矿系列叠加。例如,我国南岭和长江中下游地区燕山期岩浆—热液成矿系列对古生代沉积(或热水沉积)成矿系列的叠加和改造(如广东大宝山、安徽铜陵地区、江西瑞地区等)。

已有的研究表明,两个(或两个以上)成矿系列的叠加复合是造成“多成因、多来源、多阶段”矿床的一个重要原因,也是使成矿物质反复地大量地富集在一定地段,因而形成大型和超大型矿床的一个重要条件(如广东矾口多金属矿床、内蒙白云鄂博稀土—铁矿床等)。在我国多旋回构造比较发育的地区,有条件全面研究成矿系列的演化历史,包括它们的叠加复合关系,其理论和找矿意义是不言而喻的。

成矿背景

四、成矿环境的观念

自然界中,成矿系统不是孤立的,它产于一定的环境之中。成

矿环境是成矿作用赖以发生的三维空间及有关事物。成矿背景的含义更广,它还包含着成矿环境的起因和发生过程,因而是更为深刻的概念。将矿床生成与所处环境密切结合研究,是近年来矿床学的一个明显进步。

成矿系统与一般的地质建造或地质体不同,它与周边环境的关系是比较复杂的。一般地说,成矿系统属于开放系统,与所处环境之间进行着物质和能量的交换。成矿物质及其载体是从环境中逐步分离而集中的,系统中某些物质又分散到环境中去,系统与环境处于互相交错互相作用的状态,很难划分二者的边界。

成矿系统有不同层次,成矿环境也有不同层次。矿源场中的矿源岩或矿源层、矿床就位的岩石-构造空间等是成矿的小环境,例如控制矿石堆积的圈闭构造(地球物理障)。而决定成矿系统能否产生、系统基本性质的演化方向的区域构造背景和系统所处深度等,是成矿的大环境。例如,浅成低温热液金矿系列多产于岛弧环境和活动大陆边缘环境。

在成矿环境中,构造环境经常起着基本的甚至是决定的作用¹¹。这是因为:(1)不同的构造环境产生不同的岩浆岩类型及相应的矿床类型。例如,钙碱性岩浆岩产于板块俯冲带中,碱性岩多位于大陆内容裂谷带和转换断层中,而拉斑玄武岩则多分布在大洋的扩张中心;(2)不同的沉积建造及有关矿床类型是受构造环境控制的。例如,含膏盐的红层建造产于干旱陆相盆地环境,而含铅锌矿床的礁相碳酸盐岩建造产于被动大陆边缘的浅海环境;(3)许多构造环境的岩石和矿床遭受了变质作用,有的还被抬升和剥蚀。因此,岩石及有关矿床形成时所处的构造环境,在一定程度上决定了它们的保存潜力;(4)地热场和地热梯度也取决于构造环境,它们是成矿热液的起源和运动的动力,陡的热梯度又是溶液中物质溶解度急剧变化、矿质集中沉淀的重要因素;(5)主干断裂带是控矿成矿流体的循环和水-岩作用的重要因素,控制矿床的形成和分布。例如,剪切带构造对金矿成矿的控制;(6)构造环境还

控制着矿床的空间分布包括分带特征,例如广阔的陆表海域中堆积了大规模的而状分布的沉积矿层,而侵入岩体接触带则控制着金属、非金属矿物在狭窄的空间内高度富集。

由上述可见,在成矿环境中构造环境是更为根本的因素。沉积环境、火山环境、风化剥蚀环境等归根结蒂是由构造环境决定的。

在成矿环境研究中,也逐步摆脱了孤立的、片面的研究方法,而采用全面的、动态的研究方法。现今地质学家不只注意大洋板块及洋-陆结合带成矿环境的研究,还注意到大陆(板块)内部及相邻大陆间各种成矿环境的研究。由于大陆岩石圈结构的复杂性包括其悠久的历史进程,因而大陆内部的成矿环境一般要比大洋板块的更为复杂多样。

成矿的地壳深部环境和地表环境都有着重要意义。单一的“深成论”和单一的“表生论”都不能概括复杂的成矿环境。地壳的深度不同,其成矿的温度、压力、岩石状态、变形变质类型和载矿流体性质等都有差别,因而产生不同的成矿环境和成矿作用。当前在国际地学界,很重视对深部地质作用的研究,地幔热流柱及其对成矿的影响已引起广泛重视,对拓宽深部找矿思路是有帮助的。与此同时,对表生成矿作用包括火山成矿、生物成矿、海底成矿、岩溶成矿等的研究也在逐步深入。现代火山成矿作用、现代热卤水成矿作用、现代洋隆和裂谷中正在形成的硫化物矿床(黑烟囱、白烟囱)等的发现和¹²研究,进一步引起学者们对表生成矿包括海底成矿作用的重视。

成矿环境也是动态的概念,环境随时间而变迁。地球历史早期,只存在少数成矿环境,随着岩石圈、水圈、大气圈、生物圈的形成和演化,成矿环境的类型日趋复杂多样,因而矿床类型的种类也日益增多。

当今,成矿环境的研究已向多元环境发展,从对火山及侵入作用环境的分析,扩展到对大陆、海洋中的古构造、古盆地、古岩

相、古沉积、古生物群落及其控矿作用的分析研究,并与岩石圈构造联系起来加以探讨。因而,矿床学家的思路和眼光已大为开阔,正努力吸收和应用现代地学各领域中的最新成果,以更全面更深入地认识各类成矿环境和所产生的矿床类型。反过来,一定的成矿作用在一定的空间发生和演化,一定矿床类型产于一定环境,一定矿床类型的发现可以作为一定大地构造环境的指示标志。这是当前地学界引人注目的一个课题,它体现了矿床学和构造地质学界的相互依存,共同合作的一个交叉点,并有可能发展成为构造成矿学这一新的学科分支。

成矿演化 五、成矿历史的观念

矿床的形成是长期地质作用的产物。许多矿床在生成后又经历了变形、变质、风化、剥蚀等复杂的变化。因此,用历史思维去观察研究矿床的发生史乃至成矿作用在整个地质历史中的演化是矿床学发展的方向。

矿床研究表明,在矿石、矿体、围岩、储矿构造中都或多或少、或明或暗地保存着种种有关成矿的信息,如矿源岩、成矿流体、成矿物理化学参数、成矿组分变化等。采用多种技术手段,精细地发现和利用这些信息,结合着对各种控矿条件的研究,使我们有可能再造矿床的形成过程,恢复矿床的形成历史。例如,对层控矿床的成因长期以来莫衷一是,“水成论”者强调其同生的一面,“火成论”者强调其后生的一面,互相排斥而未注意其相互联系。以后,通过对一些典型矿床的历史分析,发现它们早期是同生的,而后期又有岩浆、热液或构造热动力的叠加,即寓外生与内生、同生和后生于一体。而这正是层控矿床的本质特征。这就说明,如果一个(类)矿床的形成历史有较全面的了解,则十分有助于掌握矿床的特征,正确认识矿床成因,并对矿床经济价值作出合理评价。这一点在对多成因矿床的研究中尤显重要。

成矿历史研究有不同的尺度和方面。有对单个矿床或矿田的历史研究(划分成矿期和成矿阶段、成矿后变化等)。有对某一控矿条件的历史分析,如控矿的韧性剪切带构造有由韧性剪切→脆性剪切→张性的不同性质的演化,相应的其有关的金矿床类型有由蚀变岩型→石英岩型+蚀变岩型→石英脉型的变化。还有对某一地区中成矿历史的研究,如区域构造、沉积、岩浆、变质、风化等作用历史及对成矿的控制,区域中不同成矿系列的形成和演化等。

最高层次的成矿历史研究是全球成矿史的研究,它涉及大地构造的演化及全球性重大成岩成矿事件的发生、成矿时代的划分等等。随着地质历史的向前推移,地球的壳幔结构和相互作用,水圈、大气圈和生物圈的形成和演化,成矿环境的演变,控矿因素和成矿方式的变化,……等等,共同构成一幅十分复杂的成矿历史画卷。某些原有的类型消失了,并被新的类型取而代之;某些矿床形成后一直保存到今天,但被改造和复杂化^[9]。因此,矿床作为独特的具有经济价值的地质体,把它们放在岩石圈的发展、演化中去加以研究,就有可能建立某类矿床、某成矿系列的发生、演化历史,确定矿床类型和成矿系列形成的地质条件及其必然性,因而能更有效地指导矿产勘查工作。

总之,成矿系列、成矿环境、成矿历史三者的密切结合研究,体现了矿床学科学思维方法的进步,促进了成矿学理论水平的提高。

六、结语

矿床是地球演化过程中诸多地质因素相互作用的产物。复杂的四维成矿系统网络有其自身演化规律,目前尚未洞悉其全貌。运用系统科学思想和历史分析方法,开展对成矿系列、成矿环境和成矿历史的研究是当前矿床学研究的主要趋势,能帮助我们逐

步认识成矿作用的奥秘。

参 考 文 献

- [1] 王子贤,地质哲学概论,武汉:中国地质大学出版社,1989.
- [2] 程裕淇等,再论矿床的成矿系列问题,中国地质科学院院报, No.3,1983.
- [3] 翟裕生等,长江中下游地区铁铜(金)成矿规律,北京:地质出版社,1992.
- [4] 翟裕生等,关于成矿系列的结构,地球科学, No.4,1987.
- [5] 翟裕生,成矿系列研究问题,现代地质, No.3,1992.
- [6] 韩发等,主要矿床类型的成矿作用及其演化,当代地质科学技术进展,武汉:中国地质大学出版社,1989.
- [7] Mitchell, A. H. G., Garson, M. S., Mineral deposits and global tectonic settings, London: Academic Press Inc. Ltd., 1981.

地质研究中几个方法学问题

夏卫华

摘 要 从地球组成的非均匀性、地质作用的交叉性及地质研究的实践性讨论了在地质学研究中要注意理论联系实际,要全面、有机联系地考虑问题,要把地质实践,特别是野外地质实践放在重要的地位,这样才能在地质学研究中获得较好的结果。

地质学是研究地球的科学。它研究地球的结构和物质,研究地球的起源和演化。但是,由于对陨石及月球岩样的研究,对地球的起源及太阳系其他行星的组成有了新的认识,出现了宇宙地质学。因此,近代地质学研究的范畴已超出了地球本身,而涉及到太阳系的其他行星。本文的论述以地球体本身为地质学研究的对象。

一、地球组成的非均匀性

地球是由不同性质的物质组成的圈层构成的,即地球具圈层构造。从总体上看,每一圈层的物质是均一的,如上地壳为硅铝质的,成分相当于花岗岩质,下地壳为硅镁层,成分相当于玄武岩质,而地幔则为超基性成分物质组成。但是,在地球上不同部位或不同地域,同一圈层的性质又是千差万别、非均匀的,这已由许多

作者简介:夏卫华,矿床学教授,中国地质大学矿产系,武汉 430074.