

基于地质环境成矿专属性的成矿-找矿体系^{*}

Metallogenic and ore-prospecting system based on metallogenic specialization of geological environment

葛良胜

(中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000)

GE LiangSheng

(Gold Geology Institute, Chinese People's Armed Police Force, Langfang 065000, Hebei, China)

摘 要 在回顾大型-超大型金矿床成矿地质环境和成矿系统研究现状的基础上, 对金矿成矿与地质环境、矿床类型的关系进行了辩证分析, 对成矿系统的定义、属性等进行了详细讨论。基于对金矿床成矿和找矿问题的深入思考, 提出金矿床成的地质环境专属性认识。地质环境包括地质构造环境, 它是成矿的空间基础和地球化学环境, 是成矿的物质基础。不同的地质环境对成矿具有专属作用, 表现在不同地质环境中会形成特定类型的矿床或元素组合等特征。建立了基于地质环境成矿专属性的成矿-找矿体系, 它由一个广义的成矿系统和找矿系统组成。对于找矿系统而言, 特别强调矿床形成后的变化与保存及其所处地理环境对确定合理找矿勘查方法组合的重要意义。

关键词 金矿床; 地质环境; 专属性; 成矿系统; 找矿系统

在《中国金矿床 I: 成矿理论研究新进展和找矿勘查新发现》一文(待发表)中, 笔者全面总结并研究了最近十几年来中国金矿床(包括伴生或共生金矿床)的成矿研究和找矿工作方面取得的重要突破。以此为基础, 又在《中国金矿床 II: 基于成矿时空坐标的分类探讨》一文中, 对金矿床的分类问题进行全面回顾和总结, 并提出了基于成矿时代-成矿环境为坐标的新的分类方案。该分类方案的突出特点是将金矿床分类确定为理论分类和应用分类两个层次, 理论分类中将成矿时代和成矿环境做为分类的主要依据, 这样就将成矿环境与矿床类型有机地联系起来。其主要目的不仅是为了对诸多金矿床进行分类, 而且还要通过进行成矿环境与矿床类型的对应分析, 通过金矿成矿的地质环境专属性研究, 建立成矿-找矿体系, 以充分发挥理论研究对于生产实践的指导作用。

1 矿床及找矿概述

矿床是人们在目前的条件下可以利用的矿产资源, 即有用物质在一定条件下, 通过不同的方式于特定位置相对聚集达到一定程度的部分(矿产在地壳中的集中产地), 即由地壳中地质作用形成的, 其所含有用矿物资源的质和量在一定经济技术条件下能被开采利用的地质体(袁见齐等, 1984)。所谓找矿, 就是要在地球浅部发现这样一些特定位置的地质体, 即矿床。对于金矿找矿工作来说, 就是要确定在什么样的地区以及在这些地区哪些特定位置, 会以何种特定的方式发生成矿物质(金等)的相对聚集以及用什

^{*}本文得到“十一五”国家科技支撑计划“危机矿山接替资源勘查技术与示范研究”重点项目课题(2006BAB01B10)、中国地质大学(北京)“地质过程与矿产资源”国家重点实验室基金项目(GPMR200628)、中国地质调查局国土资源大调查项目 20001020211003(2000 年度)、200010200158(2001-2002 年度)和武警黄金指挥部地质科研项目(WJ2007-011)联合资助
第一作者简介 葛良胜, 男, 1966 年生, 博士研究生, 高级工程师, 现主要从事区域构造与矿床地质研究。通讯地址: 河北省廊坊市武警黄金地质研究所, 065000。E-mail: geliangsheng@yahoo.com.cn

么方法去发现和揭露它。显然要找到矿床就必须对相关的地区在特定时期内的空间和物质属性进行研究。运用地质学上的术语,某一地区的空间属性就是该区的地质构造环境及其变换,而物质属性就是该区的元素地球化学特征及其在不同地质构造环境中,对于不同类型地质作用的反映和运动规律。长期的地质研究和找矿工作实践表明,这里存在着2个基本链条:一是区域大地构造演化形成了不同的大地构造环境(成矿构造环境),在不同的环境中发生了不同类型的地质作用(包括成矿作用),由不同类型的地质作用形成了各种各样的产物,如沉积岩、岩浆岩、变质岩、构造(岩)以及矿床等;二是区域固有的物质(元素地球化学)组成及其在前述链条不同阶段发生的状态改变。这2个链条内部的发展演化及它们之间的相互作用是十分复杂的,当它们形成有效交集(或称耦合)时,矿床便得以形成。从区域找矿的角度,笔者发现可以用地质环境成矿专属性认识对其加以研究和讨论。反过来,也就是说,地质环境成矿专属性认识是建立成矿-找矿系统的基础理论。

2 成矿地质环境与成矿系统研究的简要回顾与思考

在讨论上述问题之前,先不妨对近十年来有关成矿地质环境与成矿系统研究现状进行简单的回顾和思考,以做为本文讨论的基础。世界范围内一系列大型或超大型金矿床的发现激发了人们对成矿学研究热情的空前高涨,并导致人们在开展成矿学研究时思维和找矿思路上的重大突破。对其研究工作的不断深入,有关金矿床成矿地质环境和成矿系统研究取得了可喜的进展。突出地集中在以下2个方面。

2.1 大型或超大型金矿床研究硕果累累

对于矿床学家来说,大型或超大型金矿床的发现总是令人激动的,因而对大型或超大型金矿床的研究是目前的热点课题之一。其内容主要涉及大型或超大型金矿床的矿床类型、(成矿)地质环境和成矿机理等方面。研究表明(Laznicka, 1999; 梅燕雄等, 1997)大型超大型金矿床的主要类型包括:①产于太古宙地体中的花岗-绿岩带型金矿,如加拿大赫姆洛(Hemlo)、美国霍姆斯塔克(Homestake)、印度的科拉尔(Kolar)、澳大利亚的金哩(Golden Mile)和中国的玲珑、焦家及文东(文峪与东闯)金矿床;②产于含炭质变碎屑岩建造,主要与变质热液作用有关的变质细碎屑岩型,如乌兹别克斯坦的穆龙套(Muruntau)、俄罗斯的宗毫巴、吉尔吉斯斯坦的库姆托尔(Kumtor)和澳大利亚的本迪戈-巴拉腊特(Bendigo-Ballarat)金矿等;③产于含铁质、有机质的碳酸盐-碎屑岩建造,主要与地下热卤水渗滤作用有关的微细粒浸染型金矿,已知矿床有美国的卡林(Carlin)及波斯特-贝茨(Post-Betze)金矿和中国的八卦庙金矿等;④产于火山岩型建造内,主要与岩浆活动和火山作用有关的斑岩型金矿,如美国的克里普尔克里克(Cripple Creek)金矿、多米尼加的旧普韦布洛(Dueblaviejo)金矿、巴布亚新几内亚的利希尔岛(Lihir Island)金矿、俄罗斯的达拉松金矿、新西兰的豪拉基金矿、菲律宾阿库潘-安塔莫凯(Acupan-Antamok)金矿、墨西哥瓜那华托(Guanahuaco)银金矿、日本的菱刈金矿和中国的金瓜石、老王寨金矿等;⑤产于古老变质砾岩层中的砾岩型金矿,如南非维特瓦特斯兰德(Witwatersrand)金矿等;⑥产于俯冲型造山带的岛弧岩浆岩套或碰撞造山带,主要与岩浆热液有关的斑岩型金矿,如美国宾厄姆(Bingham)、巴布亚新几内亚的潘占纳(Panguna)和印度尼西亚的格拉斯贝格(Grasberg)金矿等;⑦铜-铀-金型,目前只发现一个奥林匹克坝(Olympic Dam)铜-铀-金-银综合矿;⑧砂金矿型,如巴西的塞拉佩拉达(Serra Pelada)金矿和澳大利亚布顿顿风化铝土矿型金矿等。

裴荣富等(1999)研究认为,超大型金矿床不是在任何地质环境中均可形成的,它产出在特定位置和环境,主要构造背景有:①克拉通边缘破碎带(花岗-绿岩带型);②克拉通外围拗陷带(变质细碎屑岩型及火山岩型);③板块俯冲碰撞带(火山岩型);④克拉通内裂谷(砾岩型);⑤板内断裂(岩浆接触带型产于其中)。

Kerrich、Goldfarb、Groves等(2000)按照数百吨到上千吨金产量成矿省的特征,将(大型或超大型)金矿床分为6类:①造山带型金矿;②卡林和类卡林型金矿;③浅成低温型热液金-银矿床;④斑岩型铜-

金矿床；⑤铁氧化物型铜-金矿床；⑥富金块状硫化物（VMS）矿床和沉积喷流矿床（SEDEX）。这些类型反映不同的地球动力学背景（地质环境）。造山带型金矿产于近地体边缘的地壳中部（4~16 km），如在 Cordilleran 型造山带转换挤压的俯冲-增生杂岩内；有些造山带型金矿省形成在板内地幔岩石圈拆沉或地幔柱上涌处。卡林型和类卡林型金矿产于拉伸的会聚边缘的地壳浅部（<4 km）；而另一些成矿省与岩石圈底部软流圈地幔柱上涌有关。浅成低温热液金矿床（1~2 km）和铜-金斑岩矿床（1~4 km）定位于大陆边缘弧或洋内弧的地壳浅部。铁氧化物铜-金矿床（1~6 km）形成于地壳中部到浅部，与拉伸陆块非造山岩浆活动有关。元古宙矿床位于厚的太古宙地幔岩石圈向薄的元古代地幔岩石圈的转变部位。富金火山块状硫化物矿床则是陆弧或洋弧之弧后海底热水沉积物。

2.2 区域成矿与成矿系统研究成果丰富

成矿系统一个相对较老的命题，它是在成矿系列的概念基础上发展和深化而来的。李人澎（1996）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，放崇文（1994；1998）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。但这个老命题却是近年来被人们特别关注的另一个新热点，它同样是人们对大型或超大型矿床研究的产物。尽管存在着有疑问的孤立点式分布（所谓孤立点状分布，是指单个矿床其储量规模达到超大型者。其特点不仅是其周围无这类矿床，有的甚至迄今世界上还是独一无二的。如白云鄂博 REE-Fe-Nb 矿床、Olympic Dam Cu-U-Au 矿床等）的大型或超大型矿床，但更多的却是在时空上和成因上紧密联系的一组矿床。因此，对大型或超大型矿床的研究不可避免地要涉及到区域成矿研究的问题。显然对区域成矿开展研究要比对单个矿床研究复杂得多。面对这样复杂的对象，系统科学的基本概念、原理、方法和手段引入成矿学是区域成矿研究的必然趋势。近年来，中国地质学家对成矿系统的研究倾注了很大的精力，并取得了很多成果。在前人工作的基础上，翟裕生（1999）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，就与金矿成矿有关或涉及到金矿成矿的如：流体成矿系统与成矿作用研究、古大陆边缘构造演化和成矿系统、幔柱构造与成矿系统、论剪切带构造成矿系统、SEDEX 型矿床成矿系统、富碱岩石组合与壳-幔成矿系统、变质岩区金矿成矿系统、成矿系统自组织-新金属成矿论、生物成矿系统理论、裂谷带成矿系统、造山带金成矿系统、海底喷气-沉积成矿系统、碰撞造山成矿系统、浅成热液成矿系统、构造-流体-成矿系统、海底热水成矿系统等等。

2.3 思考

2.3.1 若干问题

大型-超大型矿床以及区域成矿和成矿系统开展深入研究所取得的一系列重要成果，极大地丰富了成矿学的知识体系，奠定了现代成矿学的理论基础，开创了成矿学研究的崭新局面。然而，在成矿学研究不断取得进展的同时，并没有为所有成矿问题提供答案，同时新的问题也随之出现。例如针对上述的一些成果认识，还存在着以下争论或问题。

（1）大型超大型矿床是一个矿床还是一组矿床？是地理概念还是地质概念？

自从大型超大型矿床的概念提出以来，立即引起了人们极大的兴趣。从过去对矿床规模划分的情况看，大型矿床含义是基本明确的，但到目前为止，对超大型甚至特大型矿床具的体含义仍未取得一致意见。王秀璋（1998）对此做过系统总结。

在上世纪 80 年代前期，有学者提出超大型矿床的概念时指的是单一矿床。在储量要求上，不能将一个矿田内几个矿床合起来算一个超大型矿床，所以那时国内超大型矿床是不多的。P. Laznicka 在统计巨型矿床和超巨型矿床时，并未严格区分开矿床与矿田。显然要弄清这一问题，还不可避免地要涉及到对矿床地理属性的认识。

前已述及,矿床是指矿产在地壳中的集中产地,由此可以看出,矿床并没有地理范围上的明确限制,同时也没有说明一个矿床只能是由一个地质体组成。“矿田”则是指在时空上和成因上紧密联系的一组矿床的集中产区(地质辞典[四],1986)。从这个意义上看,矿床和矿田的含义是一致的,只不过后者的地理范围可能更大一些。特别是大型超大型矿床的概念提出以后,这两者几乎没有区别。这就是国外学者在统计大型或超大型矿床时没有区分矿床与矿田的根本原因。但在中国,矿床一词实际上赋予了地理属性的含义。在许多传统的金成矿区内走一遍不难发现,许多在地质上应属于同一个矿床的矿区,由于被多家矿山瓜分,因而出现了多个矿床名称,本是一个大型或超大型金矿床也因此变成了若干个中型甚至小型矿床。矿田是因这种现象而提出的一个名词。这也是中国与国外相比矿床数目多,但规模普遍较小,因而大型超大型矿床较少的原因之一。当然也可以注意到在一个地理矿区范围内,本来具有较大差异在地质上并不属于一个矿床的部分却当作了同一个矿床去对待的现象(主要指对同一矿化元素而言)。

(2)(大型-超大型)金矿床成矿存在成矿类型的局限性和(成矿)地质环境的选择性吗?

人们不厌其烦地对大型超大型金矿床的类型和产出环境进行统计分析,目的在于发现矿化类型和产出环境上规律性。然而却得出了不相同的结论。上面所引述资料的研究者倾向于(大型超大型)金矿床成矿存在成矿类型的局限性和(成矿)地质环境的选择(偏在性)性,但随着大型超大型矿床的不断发现以及统计范围的增大、数量的增加,这种规律似乎正趋于模糊。

王秀璋(1998)认为超大型金矿床包括特殊作用形成及一般作用形成的两种,后者又可分为绿岩带型、火山岩型、侵入岩及其内外接触带型、变质细碎屑岩型及沉积岩型。其成矿时代有太古宙、元古宙、古生代、中生代及新生代。在大地构造上分布在克拉通、克拉通边缘、板块边缘及板内断裂中。矿床规模大。主要控矿构造为脆韧性剪切带、破火山口、推覆构造及正断层。并总结出成矿类型多、成矿时代多和空间分布广的特点。

王瑞廷、赫英(2000)通过对超大型金矿床的比较研究后认为,超大型金矿床与常规(非超大型)金矿床一样,类型较多,几乎在所有类型金矿床中都有超大型金矿床的发现。例如在上述总结出的大型或超大型矿床的类型中,几乎包括了目前所有的金矿床类型。就连砂金也有大型矿床存在,这也就是说大型超大型矿床并非由某几种类型所特有,具有成矿类型的无选择性。

在产出的地质环境方面,从总结出的金矿床产出的各种地质环境看,它实际上也几乎包括了已发现金矿床的所有成矿背景。就板块构造环境来说,Groves等(1998)总结了金矿床产出的大地构造模式。该模式表明,与板块构造活动有关的各种大地构造环境中均可有相关类型的大型超大型金矿床产出。上面对Kerrich、Goldfarb、Groves等(2000)成果的引述也表明,主要的6种大型超大型矿床类型只是反映了不同的动力学环境,而没有说明在其它的动力学环境中就不会产出。

(3)(大型-超大型)金矿床具有特殊的成矿作用或机制吗?

有关大型超大型金矿床的成矿机制问题是目前观点最多、争论较为激烈的领域之一。由于流体是金成矿作用中最为活跃同时也是不可缺少的因素,因此有关成矿流体的认识最为引人注目。何知礼(1994)通过对超大型金矿床成矿流体的研究认为,超大型与中、小型金矿床虽然规模相差悬殊,但成矿流体没有实质性差别,似乎不存在能形成超大型金矿的独特流体。成矿流体中的 CO_2 及 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 虽可作为重要的找矿标志并和矿床类型有一定关系,但它们与金矿床规模之间没有必然联系。然而也有相当多的学者强调形成大型矿床的成矿流体至少有其来源或成分上的特殊性,如富含 CO_2 的流体或者多期次循环淋滤的不同类型的多相组分成矿流体(王瑞廷等,2000)。同时还有学者特别强调从地幔来源的流体对于大型金矿床成矿贡献。

在成矿作用方面,涂光炽(1994)把超大型矿床的形成机制概括为:①多种成矿作用的叠加;②封闭的聚矿盆地;③同生构造的发育;④热水沉积成矿作用的参与。翟裕生等(1997)认为①成矿因素的良好匹配;②多重分异富集成矿;③成矿系统的复合叠加;④特定的地球化学省;⑤全球背景及事件是大型矿床

形成的重条件。M. M. Konstantinov 提出超大型金矿床 3 种成矿模式：①地幔-煌斑岩成矿模式。②流体-安山岩成矿模式。③流体-地壳成矿模式。对于一些具体类型的金矿床，不同学者也提出了各自的成矿机制或模式。如金的构造流体成矿模型（赵志忠等 1999）、盆地流体成因模式（微细粒浸染型金矿床，刘建明等，1996）、沉积成岩-变质-改造三阶段成矿演化模式（穆龙套金矿床），研究认为，改造强度-成矿模式（绿岩带及变质细碎屑岩系金矿床，王秀璋等，1999）等等。

（4）成矿系统定义的标准化与研究的规范化

到目前为止，尽管很多人都在开展成矿系统的研究，但对成矿系统的理解却是不完全相同的，有些方面还有很大的分歧。虽然成矿系统是在成矿系列的概念与基础上深化而来，但它远没有成矿系列那样直观和明确。根据翟裕生（1999）总结有如下认识。

俄罗斯学者认为成矿系统为“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”（俄文地质辞典，1973，卷 2）。M. 小马祖洛夫 1985 指出“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”。B. H. 森雅克夫（1986）提出“成矿系统是下列因素的总和：能量和物质的来源、搬运介质、矿质运移的机理和通道、矿石堆积场以及矿石堆积作用，这些因素的相互作用导致矿床形成”。B. M. 契克夫（1987）“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-物质因素和流体因素相互作用的总和”。

欧美学者中，澳大利亚的 A.L. 贾奎斯（1994）认为“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。”

中国学者中，放崇文（1994；1998）将成矿系统定认为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。许多成矿作用又是两种或两种以上过程耦合的多重耦合过程。成矿系统总体上是远离平衡、时-空延展的复杂耗散系统。李人澎（1996）认为“成矿系统可以定义为特定时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体系的总和”。朱创业（2000）认为“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”。

翟裕生（1999）在总结前人定义的基础上，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”。翟先生关于成矿系统的这个定义不仅包括了有关矿床形成的所有方面，如控矿要素、成矿作用过程、成矿产物，同时还包括了矿床形成后的变化和保存等内容。此后（2003），他又从矿化网络入手，对成矿系统的结构、产物、分类、研究方法及其意义等进行了全面的讨论与阐述。

从上述成矿系统定义的回顾可以看出，成矿系统的研究还处于起步阶段，人们对成矿系统的确切含义仍没有取得完全一致的意见。例如 ① 成矿系统如何标度？即它有无时空限制？② 成矿系统应该包含哪些要素？③ 成矿系统分类学。④ 成矿系统与成矿环境。⑤ 成矿系统与成矿预测等都有待进一步探讨。这些问题的存在导致了目前成矿系统研究的空前繁荣而又复杂局面。

2.3.2 若干认识

上述成矿学领域内的重要进展在一定程度上为地质找矿工作开阔了思路，拓宽了视野。但同时存在的问题又为成矿新理论的深入研究与应用提出了挑战。通过对这些进展与问题进行辩证思考发现，问题的答案也蕴含于研究进展之中，它主要涉及到对成矿系统这个核心问题的认识。以下试图通过对上述一些问题的回答提出笔者的粗浅认识，供大家讨论。

（1）大型-超大型矿床的地质-地理属性

前面列举了人们对大型超大型矿含义的主要认识,同时对矿床的概念内涵进行了分析。笔者认为矿床应该是一个地质学概念,它可以只指一个地质体,同样也可以是多个地质体,大型超大型矿床只不过是其中规模较大者,它们都指的是一个矿产在地壳中相对集中的产地。至于多大才算大型或超大型应该在全球范围内有一个统一的衡量标准,这个问题有待矿床统计学家去认真思考。另一方面,一个矿床应该是多大的面积(或地理范围),则应该由矿床学家去考虑。但无论如何,人为地将地质上一个相对完整的矿床分割成多个矿床的作法对于成矿学研究而言是要不得的。总结成矿学理论的发展历程可以看出,先进成矿理论的提出大多是在大型超大型矿床或具有特别地质意义的矿床(不一定是大型或超大型)深入研究基础上取得的。将一个完整的矿区从地理上划分得支离破碎,不利于对成矿的系统研究。因为对一个矿床的局部开展研究由于观察视野、地质现象、考虑问题的角度、客观环境等方面的局限,整体性、宏观性、全面性和系统性均不足,所取得的认识相对零散,正如瞎子摸象一般,许多相关认识得不到很好的统一和升华。说得严重一些,这种现象在很大程度上阻碍了矿床学的深入讨论和成矿理论的发展和完善。以区域成矿为研究对象的成矿系统提出是扭转这一局面的重要时机,矿床学家们应该对以前研究的矿床从成矿系统的高度进行现一次思考。如果以成矿系统的思路去看待问题就会发现,中国的矿床数量可能就不会那样多,反过来中国大型超大型矿床也不会像现在统计的那样少。

(2) 关于成矿作用叠加

现在看来,几乎所有的大型超大型矿床,特别是金矿床都是多种或多个成矿过程综合作用的产物。人们习惯上用多期成矿叠加来说明这一问题。但是人们对“成矿作用叠加”这同一个名词表达出来的却是多种含义。①表达的是同一成矿期多矿化阶段的成矿叠加或者一个成矿期与表生期的成矿叠加。如果是前者,可能涉及只是同一期成矿作用内部的多阶段活动历史,而没有涉及到多期成矿作用的问题。因此将这种叠加描述为多期成矿作用叠加是不确切的。后者中的表生作用对于内生矿床成矿而言,严格来说不能看成是一个成矿期。表生作用是对内生期已经形成的矿床的改造甚至破坏作用。尽管矿床形成后的保存与变化是矿床学家应该倍加关注的问题之一,原则上这已经不属于成矿学的范畴。因此笔者也不赞成将这种情况描述为多期成矿叠加。②表达的是多种成矿作用参与,即所谓多成因叠加。一般情况下发生在同一成矿期的多成因叠加的现象是极少见的,更多的是表现为不同期成矿作用参与。问题的核心在于不同成矿期的成矿作用是否真的形成了矿床(体)还是只是形成了其基础?显然,如果矿床(体)只是在最后一个成矿期的成矿作用中形成,此前有成矿作用只是形成了其基础(如预富集)的话,在矿床(体)上就看不出多期叠加的直观表现。当在开展矿床成因研究时,则可能示踪出多种成矿作用的痕迹(如早期的变质作用导致矿质预富集→晚期的岩浆活动导致矿床形成)。在这种情况下,实际上是一个长期多个成矿作用参与成矿的过程,可能涉及到区域上的多个成矿系统,但并没发生真正的成矿叠加现象,而只是继承效应。③笔者对多期成矿叠加的理解建立在对成矿事件的确定之上。将在一定的时空域内(通常与成矿系统的时空域相对应)形成了具经济意义的矿床(体)一种或一组地质(成矿)作用过程称之为一个成矿事件。它与成矿作用的区别在于前者形成了矿床(体)而后者不一定,有可能只是形成了矿质的预富集(远没有达到可以得用的矿床(体)程度)。可以看出,当某成矿作用形成了具经济意义的矿床(体)时,就相当于发了一次成矿事件。因此,尽管在漫长的地质构造演化中,各种各样的地质作用(变质、沉积、岩浆、构造、流体)等频繁发生,其中也可不同程度地伴随着成矿元素的地球化学行为,但真正能称为成矿事件却相对要少得多。此外成矿事件具有相对成矿元素而言的。即同一地质作用对于这种元素没有形成矿床,不是一次成矿事件,但可能形成了其它元素的矿床,因此又可以称之为成矿事件。一次成矿事件一般对应于一个相对完整独立的成矿系统,当然成矿事件还具有其它多种属性特征。只有当至少2个不同地质时代的成矿事件共同作用于一个矿床(体)时,才能称之为多期成矿叠加。

(3) 关于成矿系统的定义、属性与特点

从一般系统的内在属性看，成矿系统应具有以下属性特征。

地质时空域属性，亦即有相对明确的时空标度，而不是无限的。一般成矿系统的时间属性表现在它是一定的地质历史时期内形成的，是地质历史演化的产物，一个成矿系统的整体活动时间可持续 $10^4\sim 10^6$ 年或更长，通常与一个地质构造活动期或其中的某一阶段相对应。这样在该期之间或之后地质一成矿作用，尽管对本系统（产物）有影响，但它们并不包含于本系统之内；其空间属性表现在它总是占有一定空间范围，大可达全球构造成矿区（带），小可至某一山间小盆地内部的风化剥蚀沉积成矿系统。

成矿环境的产物，即区域地质背景和条件属性。一个完整成矿系统的形成有其特定的区域地质背景和条件。正是区域地质背景和条件不同，形成了各具特色的成矿系统。这种背景或条件包括历史的和现实的两个方面，历史的构成成矿系统的基础，现实的则是成矿系统的条件。作为环境的产物，显然者会生相互作用，因而成矿系统是开放系统。

具有成矿能力。成矿能力是一个成矿系统的专有属性。在一定地质历史演化条件下，伴随着不同类型的地质作用会形成许多系统，只有那些具有成矿能力的系统，才能称之为成矿系统。在地质学上，一个地质系统能否成为成矿系统以及一个成矿系统到底会形成什么矿主要取决于系统内部各要素以及系统与环境之间在一定时空域内的匹配状况。

系统产物标志。一个地质作用系统能否称为成矿系统，主要的直接标志就是看该系统是否已经或正在形成矿床或矿化异常等产物，作为成矿系统，这种特殊产物是应该存在且必不可少的。然而，系统的产物并不一定就是系统的组成部分。由于地质作用历史的复杂性，并不是每一个成矿系统的产物都能够被发现或完整保存下来，所以在整个地质历史时期内形成的多种多样的成矿系统，并不一定完全让人们所认识。由此可以看出，在地质历史长期演化过程中，由于系统产物被破坏或到目前为止尚未发现而被忽略的成矿系统可能是客观存在的。这一属性告诉我们，尽管存在着确实不能成矿的地质作用系统，但还是不要去轻易地怀疑或否定任何地质时期内与任何地质作用相关的系统的成矿能力，这有利于扩大找矿思路，开拓找矿视野，有时可能起到意想不到的效果，世界上许多著名矿床实际上就是这样的被“偶然”发现。

根据成矿系统的上述属性特征，可以看出：①成矿系统依赖于地质环境而存在，是地质环境的产物。尽管二者之间具有千丝万缕的联系，但不属同一层次上的内容。②成矿产物依赖成矿系统而存在，是成矿系统的产物，它是系统存在并发生作用的标志，不应该包含在系统本身之中。因此将系统产物的保存和变化包含在成矿系统之中，势必会打破系统所具有最基本的时空域属性，特别是在时间域方面，使得成矿系统变成了实际无时间限制的范围。认识到这一点对于开展成矿系统研究至关重要，笔者后面将要讨论到，正是成矿产物扮演了理论与实践联系枢纽角色。根据上述认识，笔者将成矿系统定义为在特定时期、特定地质环境中形成的具有成矿能力并已经或正在形成矿化产物的自然系统。这一定义告诉笔者，成矿系统主要涉及到成矿物质、成矿作用和成矿时空等要素。可以体会一下作为系统组成部分的成矿物质与不是其组成部分的系统产物之间的差异。前者指参与成矿的物质，如金属元素，后者指由成矿系统形成的包含金属元素的矿床（体），而不是金属元素本身。

2.4 关于成矿系统研究

首先，由于成矿系统作为地质环境的产物并依赖于地质环境而存在，因此，开展成矿系统研究时要明确其形成的地质环境。所谓地质环境是指在一定时空范围内受一定动力学机制控制的地质表现。其主要研究方法是岩石-构造组合反演法。只有当地质环境弄清楚之后，成矿系统形成的基础、机制，成矿系统的时空属性、成矿能力及其产物才能得到有根据的讨论。其次，成矿系统的研究内容是系统各要素及其间的相互作用（成矿作用），其核心是成矿作用。正如一般系统科学只讨论系统的共有特征一样，一般的成矿系统研究并不过多的考虑成矿物质和成矿时空的具体指向。但对于具体成矿系统而言，成矿物质和成矿时空问题，包括物质的来源、组成、运动、定位，成矿的时间和空间等就非常重要。它们是成矿系统应用的

基础。显然成矿物质和成矿时空在成矿系统中是通过成矿作用发生有机联系的。

众所周知,成矿理论研究的终极目的不是简单地对现有成矿现象的解释,而是为了指导未知矿床的探寻和发现。先进的成矿理论成果如何同找矿实践相结合并有效地指导地质找矿工作开展是目前各项研究中最薄弱的环节。理论家们热衷于不断地提出新的或高深的理论和认识,但对这些理论如何指导实践、发挥作用却讨论较少,其中很多新的理论和观点在工作中缺乏可操作性;另一方面,也存在着对于同一问题不同学者可能会提出多种多样,有些甚至是互相矛盾的结论的现象,所有这些都不利于理论成果的应用。对于金矿地质找矿而言,存在着同样的问题。

正如前面所分析的,随着对大型超大型金矿床类型、产出环境统计研究工作的不断深化,大型-超大型金矿床类型的特殊性和产出环境的选择性的统计性规律正在消失,取而代之的是我们更应该去关注金矿床的产出类型和产出环境的相互关系问题。大型-超大型金矿床的成矿作用也没有本质上更多的特殊之处,而只是同成矿系统的成矿能力有关。这仿佛使我们失去了找矿的目标与重点。大量的有关金矿或包括金矿在内的成矿系统相继建立,但对它们产出的地质环境以及这些系统如何使用都没有给出明确或充分的说明,甚至让人怀疑成矿系统研究的必要性。可以看出,如何使这些成果发挥有价值的作用,是目前迫切需要解决的问题。基于对这些问题的思考,笔者提出金矿成矿的地质环境专属性认识,并以此为基础,在新的金矿床分类指导下,阐明金矿的成矿与找矿问题。

3 地质环境及其成矿专属性

3.1 地质环境

这里强调的地质环境是一个广义的概念,它有2个基本组成部分。

一是在一定时空范围内由地质作用(事件)形成的地质构造环境,它包括两个(甚至更多个)层次。第一层次是区域大地构造环境,它由地球动力学背景所控制。例如从板块构造这一地球动力学观点,看一个地区特定时期的大地构造演化,它可能包括了板块(包括洋陆板块)的复杂开合作用(即所谓威尔逊旋回)所形成的各种各样的大地构造环境,如在板块会聚会形成俯冲带、海沟、前陆盆地、岛弧、弧后(间)盆地、边缘海盆、陆缘弧、碰撞缝合带及板内构造带等空间上呈有序配置的一系列大地构造环境(葛良胜等,1996)。第二个层次是成矿区带的地质构造和地理环境,即矿区、矿体赋存的具体背景,如控制矿(床)体的地层、构造、岩浆活动、变质作用特征等。在讨论成矿区带的地质构造环境时,特别加入与相应地区相关的地理环境,这是基于找矿问题而提出的。大量找矿的成功经验表明,在不同地理景观区的找矿工作应采用有针对性找矿方法或组合。如何针对特殊地理景观区开发出有效、快速的找矿方法、技术和组合已成为西部地质找矿工作亟需解决的首要问题之一。国家“十一五”科技攻关重点项目中有多项研究将此问题列为重要的课题加以支持,正是体现了这一问题的重要性。通常情况下,地理环境主要包括地形地貌特征、植被发育状况、类型及其覆盖特征、地表堆积物厚度及其属性特征、人类活动特征(人口密度、构成、人类活动等等)和经济社会环境等内容。我们说地质构造环境是成矿的空间基础。

二是在一定时空范围内由地质作用(事件)形成的地球化学环境,它也包括两个有相互影响(作用)的层面。一是地球浅部范围内的地球化学块体。大量的地质研究表明,地球内部的物质组成是不均一的,地球化学区(块、带、省等)正是这种地球物质组成不均一性(或者称区域性)特点的客观反映。必须注意的是,现在所划分的区域地球化学区(块)实际上是在相关地区整个地质历史过程中,不同性质和类型地质事件对于元素地球化学行为综合作用的结果。地球化学区块同地质构造环境(单元)一样具有层次属性。大部分地球化学区可能与不同级别的大地构造环境(单元)相吻合,但也可能是跨构造单元分布的,这同地质历史上复杂的大地构造演化分不开。因为作为某大地构造演化阶段形成的地质环境(单元)的实

体现在可能不存在,但并不意味着组成这些实体的物质也随之消失,而是加入到了新形成的大地构造单元之中。另一个层面是涉及地球内部的地球化学层圈。目前看来,地球内部各层圈物质组成也是不均一的(朱炳泉,1998),有些地区差异也许还很大。就算某些层圈物质组成大致相同,它们的存在状态也可能不同,如有些是处于熔融状态,有些则是处于固体状态,甚至气态或超临界态等。具体地区壳幔地球化学结构(物质组成,特别是富集的元素和流体)及其存在状态是影响区域成矿的重要控制因素。地球化学区块和地球化学层圈这两个层面是相互影响的,即壳-幔相互作用,如地幔或软流层上涌、岩石圈拆沉和减薄以及地幔柱活动等。正是在壳-幔相互作用形成了地球内部物质的交换、对流、迁移和富集特征。我们说地球化学环境是成矿的物质基础。

地质构造环境和地球化学环境是成矿地质环境的基本内容。两者在不同地质历史时期中通过一定地球动力学背景下发生的各种地质作用形成复杂耦合,最终导致了多姿多彩成矿作用的发生和矿床的形成。例如构造作用或地幔柱活动切割不同壳幔层圈,起源于不同深度条件下的岩浆活动就会在特定区域形成由这些地质作用波及范围内各种要素控制的矿床。

3.2 地质环境成矿专属性

从事地质科学研究的人员对“专属性”这一词语应该不会陌生,恐怕首先想到的就是“岩浆岩成矿专属性”的理论。不妨想象一下地质学研究的思维过程,它实际上就是一个专属性思维的最集中体现。地质学就一个研究、探讨、建立、明确和应用专属性的科学。地质学上如果不存在专属性的本质现象,很多研究都将无从谈起,“将今论古”也将失去其基础。笔者这里强调专属性是一种带有普遍性的客观事实,但并非就是说它是唯一的;事实上也正是由于地质学所存在的专属性是十分复杂的(不一一对应),才导致了地质解释的多解性和地质结论的推断性。笔者的研究的目的一方面在于弄清专属关系,另一方面在于应用专属关系。

(1) 地质环境的地质作用专属性

大地构造环境与地质作用之间密切而复杂的关系是不言而喻的。近代和现代地质学的许多基本理论和认识均是基于对这种复杂关系的研究后而得出的,尽管其侧重点各不一样。其中最为热门的就是利用火山岩—构造组合分析判定(岩石形成的)大地构造环境。按 Dickinson (1971) 的定义,岩石—构造组合指的是板块边界线或板块内部环境中特定的岩石组合,他这里所指的主要就是岩浆岩中的火山岩—构造组合。火山岩—构造组合分析是恢复古板块构造格局和演化历史的最有效手段之一,也是研究造山带火山作用和大地构造环境关系的基本方法。其原因就在于在不同的大地构造环境条件下,形成的火山岩(组合或系列)具有岩浆起源和演化机制、火山岩时空分布和物质组成等方面的不同特征。这体现了火山岩岩浆活动与环境之间的特定对应关系。但显然不仅仅只有火山岩(火山作用)与环境之间才有这样的对应关系。例如,历史大地构造学很早就揭示出不同性质的构造环境内可能会形成相应的不同沉积物质记录(沉积类型),并基于这种认识开展了构造相分析(建造分析)(前苏联地质学者的概念)。所谓构造相(建造)分析实际上就是沉积岩—构造组合分析(欧美学者的概念)。这种认识体现了沉积岩(沉积作用)与环境之间的对应关系。事实上,除火山岩、沉积岩以外,侵入岩(岩浆侵入作用,它与火山作用一起即构成岩浆作用)、构造岩(构造作用)、变质岩(变质作用)等与环境之间也具有密切对应或者叫专属关系。

可以看出,不同类型的地质作用与发生这些作用的大地构造环境之间均存在着特定的对应关系,这些关系可以通过相关地质作用的产物作扭带加以联系并反演。为了更好和全面地对这种认识进行表述,笔者提出了地质作用的地质构造环境专属性的观点。其基本含义是,不同类型的地质构造环境专属有不同类型和特征的地质作用,并由此形成了不尽相同的产物(组合)。其重要意义在于,笔者现在可以通过系统、全面、详细研究现有地质产物(其中主要就是各种不同类型的岩石—构造组合)去反演地质作用,进而讨论相关地区的区域大地构造演化及在地质历史时期形成的地质构造环境。由于在漫长的地质演化过程中,

随着大地构造活动机制、形成等不同,会在同一或不同地区形成各种各样的地质环境,它们在时间上、空间上及物质上可能相互交织,从而构成了一种复杂的局面,其留下来的产物(岩石-构造组合)也相应多种多样、错综复杂,随着时空变化而变化。因此,用地质作用的地质构造环境专属观点指导开展区域成矿地质环境的研究要求必须从时间系列、空间系列和成因系列上厘定精细的岩石-构造组合结构。通过各不同专门学科的地质研究,可以在理论上建立系统、全面而详细的地质构造环境与地质作用及其产物间的专属性关系,而一旦建立了这样理论模式,就可以在实践工作中发挥巨大作用。其在地质找矿方面的指导意义更是不容低估的。

(2) 地质环境的成矿(作用)专属性

最近 20 年来,人们对于矿床地质特征和成矿作用的研究已经从过去仅关注相对小的范围,如单一矿床或单一矿区(田)内的几个矿床等向矿床组合、成矿系列、成矿系统等区域成矿的方向转变,这直接得益于世界范围内越来越多的超大型、巨型矿床(或矿集区)的发现和确立。这种转变导致了人们对即使是单一矿床成矿作用的研究已不再局限于一个相对较小的地区,而是将它放到区域成矿的大背景中,即区域成矿地质环境去认识和分析。尽管很早便有许多大地构造和矿床学家注意到了金属矿床的宏观分布与大地构造演化之间的关系,但将区域大地构造活动同区域成矿乃至一个或一组矿床的成矿作用直接地联系起来则是最近十余年来事。这方面研究成果的不断积累,人们发现一些矿床或它们的组合可以看成是区域大地构造环境的标志(指针),正如人们现在广泛关注的火山岩岩石-构造组合一样,也可以在区域大地构造演化研究中发挥重要作用,也就是说,矿床(它主要由矿石组成)作为不同地质(成矿)作用的产物之一,也同形成矿床的环境有着密切的联系,它体现了特殊的地质作用,即成矿作用与环境间的某种对应关系。是地质环境地质作用专属性重要组成部分和表现形式之一。为了强调成矿内涵,笔者还提出金属成矿的地质环境专属性观点,即在特定的地质环境中会形成(专属有)特定的金属矿床(类型)或它们的组合、成矿元素(或它们的组合)和一些标志性的地质特征(葛良胜, 1999; 2000; 2001)。注意,这里指出的专属产物可以同时出现,也可是其中的某一种或几种。例如对金矿而言,它可能出现在几乎所有的地质环境中,其专属性特征主要通过其矿床类型或它们的组合、伴生元素组合以及相应的地质特征表现出来。至于某些环境找到了很多金矿,而别的相似环境内没有找到更多的矿床,则是由其地球化学环境(不均一性)决定的。金属成矿的地质环境专属性是金属成矿的区域性规律之一,反映的是地质环境对于金属成矿的控制作用,而其本身又通过成矿系统、矿床系列和矿床组合等内容加以表现。笔者 1996 年曾总结过金矿成矿不同板块构造环境的专属性特征。

金属成矿的地质环境专属性的提出,在理论上回答了诸如应该到什么地方去找矿,到那些地方又应该寻找一些什么样或还会找到一些什么样的矿床等问题。显然金属成矿的地质环境专属性不仅仅是一种形式上的专属关系,其实质上是由区域大地构造作用过程中不同类型地质作用(成矿作用)等决定的,是相关地质环境内各种地质作用和圈入其中的物质组成对于成矿贡献的综合(包括物质、能量、时空、动力等)体现。对于成矿作用而言,由于地质环境的层次性,其成矿专属性也具有明显的层次性。

(3) 地质环境成矿专属性的特点

基于任何地球动力学观点出发建立的地质环境成矿专属性均具其相应的特征,从地质环境对成矿控制的角度主要表现为地质构造环境的普遍性、地球化学环境的不均一性;从地质环境成矿专属的角度主要表现在空间分带性、时间演化性和时空叠加复合 3 个方面。以板块构造为例,并主要从地质构造环境的角度简单讨论如下。

金属成矿的地质构造环境普遍性 理论上金属成矿在地质构造环境方面是无选择性的,即金属矿床可以在任何一种地构造环境中形成,即使大型、超大型矿床也是这样。例如前面所引述的 Laznicka (1999)、梅燕雄等(1997)大型-超大型矿床类型及其所产出的地质环境可以看出,几乎任何地质构造环境内都可以

形成大型、超大型矿床,其他金属矿床也是一样。然而同一类型的矿床却并不一定在所有的地质环境中出现,即使出现,其元素组合也不会一样,体现了成矿作用同时受地质构造环境和地球化学环境综合控制的特点,这正是专属性所强调的内容。

金属成矿的地球化学环境不均一性 正如上述,理论上金属成矿在地质构造环境方面是无选择性的,但现实中笔者在相似的地质构造环境中却并不都能寻找出相同元素种类或规模的矿床。这一现象在金矿床中表现得差一点(这是由于金这种元素的独特习性决定的),但在其他元素(如铜、钨、锡等)中表现得相当明显,例如一些地区无论地质构造环境如何变换形成的都是某一类元素(或其组合)的矿床,即所谓某些元素的矿集区,只是矿床类型不一样(这又表现出专属性特征)。这实际上就是由于金属成矿的地球化学环境的不均一性所决定的,也就是说在金属成矿在具有地质环境专属性的前提下,不仅具有地质构造环境的无选择性,还有地球化学环境的不均一性特征。例如中国的钨锡矿床主要集中在华南地区,而钼矿床则主要集中在华北地区。不均一性特征在成矿区带的尺度上表现更为显著。地球化学环境精细结构及不均一性研究是部署地质找矿工作、确定主攻(矿种)方向的重要前提。以前这方面的工作主要根据现有找矿成果和经验予以判定,从理论的角度提高预见性的研究还不多,这就是为什么一些地区找矿总有意外发现或者反过来本认为能有突破的找矿工作却屡不见效果的重要原因。

空间分带性 与板块构造相关的诸成矿地质环境是不同板块间相互作用的结果,这一系列的地质环境伴随板块活动的进行,在空间上作有序的分布;同时由于地质构造作用涉及到不同的地球化学块体和层圈,其矿床类型、成矿元素及其组合也会表现出相应的空间分带特征。例如,在板块会聚边缘,自海向陆依次形成俯冲带缝合线构造、弧前盆地、岛弧岩浆带、弧后盆地及弧后构造岩浆带、构造隆起带和断陷盆地等环境。在不同地区,受具体的板块构造活动控制,不同类型的地质环境发育程度会有差异,但总体上空间分布规律不会改变。由于不同地质环境对金矿成矿的控制作用,因而造成了板块构造环境成矿专属性的空间分带现象,依照这种分带性可以划分出某一地区的金矿大地构造成矿带。事实上,这种分带性在中国不同地区的板块构造成矿地质背景中都有明显的反映。

时间演化性 不同的板块构造环境本质是在整个地质历史时期内某一阶段板块演化的产物,它实际表征的是板块活动某一个特定阶段的构造型式。一个完整的板块运动过程可用威尔逊旋回加以说明,它包括大陆裂谷、海底扩张、俯冲缝合和碰撞造山等几个彼此不同又相互联系的阶段,在每一个阶段都有与之相对应的不同类型的大地构造背景。因而对特定地区来说,某一时期它只能处在板块演化的某一个阶段有关地质环境中,并表现出相应成矿作用特征。所以,在一个板块运动旋回中,成矿作用也将随板块作用的逐步发展而依次处在不同的大地构造背景中,从而呈现出时间上的演化规律。另一方面,虽然不同时期板块构造运动对某一地区都有影响,但对金矿成矿的贡献并不是同样重要的,金矿成矿只与某一或某几个地史时期内最剧烈的板块构造运动及其相应的地质作用和成矿作用相关。也就是说,对特定地区来说,仍有相对重要的成矿期存在。

时空复合特征 在漫长的地质历史年代里,板块内部的地质变动、板块之间的相互作用(如板块的裂解和扩张、拼接和缝合、运动方向和速度的改变、大陆增生和边缘迁移等)十分复杂,并表现出旋回性,更重要的是这种旋回性不是板块运动的简单重复,即在不同的板块运动旋回中,各板块的边界、大小、形状、应力作用方式、时间长短、深部构造特征、周围环境以及板块内部组成等都不相同。也就是说,对于特定地区而言,在整个地质历史时期中,不可能永远处于同一种大地构造环境,而是随着板块的运动而发生变化的。不同板块运动旋回对于同一地区而言会形成不同类型大地构造环境在一定程度上的交叉、重叠,这种地质构造环境的时空复合,进而导致了地质作用和成矿事件重复和/或叠加,使相关地区内的成矿作用特征复杂化,最终结果是造成某一地区不同地质环境所专属的矿床都有出现,从整个地区而言,金属元素组合可能走向趋同性。这种时空复合特征在我国东部(古亚洲和滨太平洋大地构造域的叠加区)及西南地区(古

亚洲、滨太平洋和特提斯-喜马拉雅大地构造域叠加区)表现得极为明显。

4 成矿-找矿体系

与传统的基础学科不一样,地质学虽是一门基础学科,但兼有基础科学和技术科学的双重属性,既具有探索性,又具有很强的实践性。其中特别是成矿理论研究应以找矿服务为根本目的,脱离找矿实践的纯成矿理论象牙塔式的研究只能是满足个人的人生追求和思维快感。负责任的理论工作者应该说明其理论研究成果的应用价值及如何应用。笔者这里提出的地质环境成矿专属性认识(如果还不算理论的话)的目的,也在于指导找矿实践。基于这一认识,初步建立了其从理论到实践的基本框架,命名为基于地质环境成矿专属性的成矿-找矿体系(图 1),它包括以成矿系统的产物,即矿床(矿化、异常)为纽带而连接的成矿和找矿两个系统。以下对这一体系在上述基础上进行补充说明。

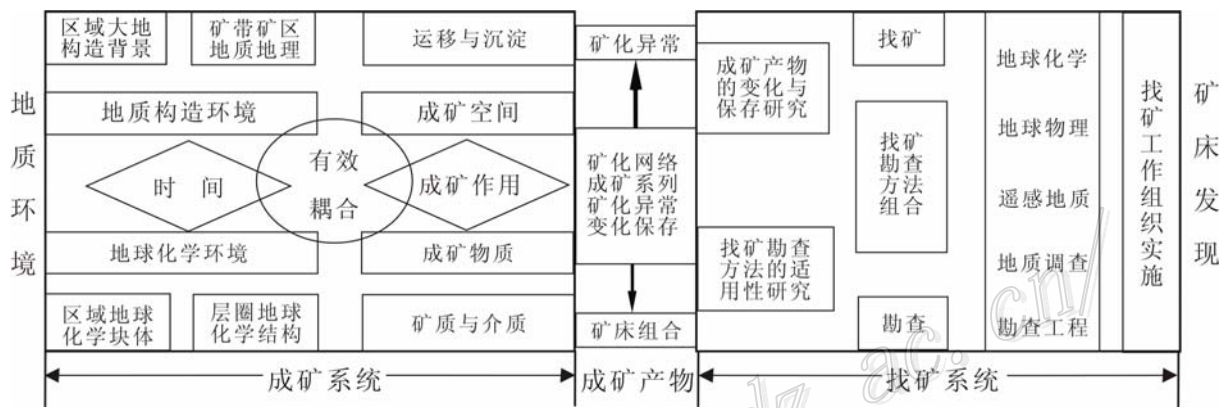


图 1 基于地质环境成矿专属性的成矿-找矿体系

图 1 的左侧方框所揭示的是从地质环境到成矿产物的完整过程,可以表征为广义的成矿系统(左向箭头用虚线表示)。其中地质环境包括地质构造和地球化学环境两个部分,前者是成矿的空间基础,后者是成矿的物质基础。每一部分又划分有不同的层次。这两个部分在一定时间尺度上通过成矿作用形成有机耦合,成矿的产物(包括异常或矿床等)便得以形成。在《中国金矿床 II: 基于成矿时空坐标的分类探讨》一文中,笔者详细论述了以板块构造理论为指导的,不同地质构造环境条件下所形成金矿床的理论类型和可能的应用类型。在该文同时还指出,这些应用类型中,有些是某一构造环境所特有的,或者在其中占主要地位,这正体现了专属作用的本质。例如基性-超基性岩型矿床一般只会出现在裂谷内部或俯冲造山环境内的缝合带中;铁氧化物型金矿床通常出现在板内的边缘裂陷环境中等。尽管这里主要讨论的是金矿床,似乎成矿地球化学环境不必开展研究,但这种认识是错误的。根据上面所阐述的认识,地质构造环境事实上仅提供了成矿的空间基础,但在这样的空间内能否形成有意义的金矿床,本质上还是由该区的地球化学环境所决定的。此外,不同地区地球化学环境的不同,还在很大程度上决定了与金共(伴)生的元素组合特征、矿床中的矿物组合特征、地球化学原生晕特征等一系有关成矿和找矿的基本特点。因此,即使是对于明确的金矿床而言,对相应地区开展深入的地球化学环境研究也是必不可少的。此外,从综合找矿、系统找矿的角度出发,现在的找矿工作已并不专门针对某一矿种开展,而是在选定的区域内寻找矿所有可能发现的矿床,这更体现出了对地质环境(包括地质构造环境和地球化学环境)开展综合研究的重要性。

从图 1 还可以看出,有关成矿系统研究的内容广泛而复杂,是属于理论研究范畴内的工作,其中特别是成矿时间(代)和成矿作用更是理论工作者长期以来孜孜不倦地研究、追求和探索的对象。成矿系统的研究是找矿系统建立的基础,笔者反对对成矿系统中有关问题进行反复、重复以及不同地质环境结合的象

牙塔式的研究工作。但这一问题不研究清楚,找矿系统就无法合理有效建立,开展的找矿工作必然带有盲目性。

找矿系统是建立在成矿系统基础之上的,也就是说找矿系统的前提是成矿系统产物的存在及对地质环境的深入认识(这其中特别应提到地理环境的重要性),包括确立找矿目标到矿床发现的完整过程。其中对地质构造环境的认识主要解决到哪里去找以及找矿什么类型矿床的问题,而对地球化学环境的认识解决的是找什么种类的矿床,两者的有机结合决定了运用什么样的技术方法组合去找矿。可以注意到的是,笔者这里将成矿产物(即矿床)的变化与保存作为找矿系统中要研究的内容,以了解成矿产物的具体状态,同时强调在找矿工作开展之前必须对诸多找矿方法在不同地理景观区的适用性进行试验。这是制定合理找矿方法组合的重要前提。中国地质找矿工作者通过长期野外的找矿实践,针对不同地区曾经总结出许多经典的找矿思路或模式,如在胶东地区的金矿找矿就有“跟着构造走,围着异常转”、在哀牢山成矿带有“剪切带+化探异常”、在黑龙江东宁金厂地区有“角砾岩筒+化探异常”等等通俗易懂的找矿经验总结,有些经验总结中还加入了有关找矿方法组合的内容。对照上面的讨论,可以看出,每一种找矿经验实际上都体现出了地质构造环境(空间)+地球化学环境(物质)成矿专属性和成矿-找矿体系的深刻内涵。此外,由于要考虑到找矿系统的建立,以及确立矿床的找矿勘查方法组合,所以在地质构造环境的讨论中,加入了地理环境的内容。在某种程度上说,地理景观是决定找矿技术方法取舍的重要因素之一。

显然在这一过程中,应该开展矿床(即成矿系统产物)的变化和保存研究,也就是说成矿系统产物的变化和保存研究实际上是属于找矿系统范围内的工作,这种研究更大程度上体现在找矿勘查的各个过程之中。找矿系统的基本内容体现在图3右侧的粉红色框内。其中找矿勘查技术方法组合及其实施是找矿系统的中心,可以看出,找矿系统是属于实践范畴内的工作。成矿产物是联系成矿系统和找矿系统的核心纽带,通过它实现了从理论到找矿有机结合,形成统一的成矿-找矿体系。

这里提出的有关地质环境成矿专属性观点及基于其建立的成矿-找矿体系只是一个基本理论框架,在具体工作中的实际应用包含的内容很多,具体运用这种理论对金矿开展区域成矿区划及优先区域成矿远景区时应该弄清以下几个问题:① 该区所处的大地构造环境及其历史演化过程;② 由这些大地构造环境专属的主要类型地质作用及其特征;③ 区域地球化学区块和壳幔地球化学层圈特征(元素地球化学组合);④ 不同类型地质作用涉及到的地球内部相关层圈的地球化学属性;⑤ 有关地质作用对于主要成矿元素地球化学行为的制约以及不同元素对于有关地质作用的响应;⑥ 金属成矿的地质环境专属性特征(理论类型和可能的应用类型);⑦ 针对地质环境及其专属的找矿对象所确立的找矿勘查技术方法(组合)。也就是说,基于具体地区而言,笔者可能将具体地区的相关情况代替上述系统内的有关内容,从而建立起适合特定地区的成矿-找矿体系。

参 考 文 献

地质辞曲编写组编. 1986. 地质辞曲(四)[M]. 北京:地质出版社.

葛良胜, 武玉海. 1996. 板块构造环境对金矿成矿的控制作用[J]. 黄金地质, 2(3): 6-13.

葛良胜, 郭晓东, 等. 2000. 滇西北(近)东西向隐伏构造及其对岩浆和金成矿的控制作用[A]. 见: 中国地质学会编“九五”全国地质科技重要成果论文集[C]. 北京:地质出版社.

葛良胜, 李振华. 2001. 金矿成的大地构造环境控制及专属性[A]. 见: 中国人民武装警察部队黄金地质研究所编, 中国西部地区金矿地质学术讨论会论文集[C]. 北京:地震出版社.

何知礼. 1994. 超大型金矿床成矿流体某些特征及其找矿[M]. 地学前缘, 1(3~4): 133-139.

李人澎. 1996. 成矿系统分析的理论与实践[M]. 北京:地质出版社.

刘建明, 刘家军. 1996. 滇黔桂金三角区微细浸染型金矿床的盆地流体成因模式, 《矿物学报》, 17(4): 448-456

- 梅燕雄, 朱裕生, 叶锦华. 1997. 中国超大型矿床的若干统计特征[J]. 地球学报, 18 (4): 358-366.
- 裴荣富, 吴良士, 熊群尧, 等. 1998. 我国特大型矿床成矿偏在性与成矿构造聚敛场[M]. 北京: 地质出版社.
- 王瑞廷, 赫 英. 2000. 超大型金矿床比较研究初探[J]. 西北地质, 33(4): 1-11.
- 王秀璋. 1998. 超大型金矿床的基本特征及找矿思路[J]. 成都理工学院学报, 25(2): 215-223.
- 王秀璋, 陆德复, 程景平, 等. 1999. 改造强度——中国绿岩带及变质细碎屑岩系中大型及超大型金矿床成矿的关键条件[J]. 地球化学, 28(6): 551-561.
- 於崇文. 1994. 成矿作用动力学理论体系和方法论[J]. 地学前缘, 1: 3-4.
- 於崇文, 岑 况, 鲍征宇, 等. 1998. 成矿作用动力学[M]. 北京: 地质出版社. 1-23.
- 袁见齐, 等. 1984. 矿床学[M]. 北京: 地质出版社.
- 翟裕生. 1997. 论矿床形成后的改变与保存, 地学研究, 第 29-30 号[M]. 北京: 地质出版社. 267-273.
- 翟裕生. 1998. 矿床学研究的思维方法[A]. 见: 陈毓川, 主编. 矿产勘查评价的理论和方法[M]. 北京: 地震出版社. 3-10.
- 翟裕生, 邓 军, 李晓波. 1999. 区域成矿学[M]. 北京: 地质出版社.
- 翟裕生. 2003. 成矿系统研究与找矿[J]. 地质调查与研究, 26 (2): 65-71.
- 赵志忠, 李志纯. 1999. 地壳内部流体与金成矿关系的研究现状与进展[J]. 地质地球化学, (2): 76-82.
- 朱创业. 2000. 成矿系统研究现状及发展趋势[J]. 成都理工学院学报, 27(1): 50-53.
- Dickinson W R. 1971. Plate tectonic models for orogeny at continental margins[J]. Nature, 232: 41-42.
- Groves D J, Goldfarb R J, GebreMariam M, et al. 1998. Oro-genic gold deposits: A proposed classification in the content of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types[J]. Ore Geology Reviews, 13: 7-27.
- Kerrick R, Goldfarb G D I and Garwin S. 2000. Geodynamics of world-class gold deposits: Characteristics, space-time distribution and origins[J]. Rev. Econ. Geol., 13: 501-551.
- Laznicka P. 1999. Quantitative relationships among giant deposits of metals[J]. Econ. Geol., 94(4): 455-473.

<http://www.kcdz.ac.cn/>