

论地球系统四维成矿及矿床学研究趋向

——七论矿床的成矿系列*

陈毓川¹, 裴荣富², 王登红², 黄凡²

(1 中国地质科学院, 北京 100037; 2 中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

摘要 矿床的成矿系列(简称“成矿系列”)概念是地球系统四维成矿的学术思想。成矿系列亦是矿床的一种新的分类——矿床自然分类。成矿系列概念的创新点:突出成矿在特定的时间域和特定的空间域(地质构造环境),作为四维时空域整体进行成矿作用的成矿过程及其形成矿床的研究;厘定地球系统演化各个时空域中的成矿实体——矿床成矿系列,给每个矿床在地球演化的时空域中定位;开展各时空域成矿体之间的内在联系、组成的各层次成矿体系及地球成矿体系的研究;确定5类成矿作用(岩浆、变质、沉积、表生及非岩浆非变质含矿流体成矿作用);建立成矿系列的5个序次,同时构成新的矿床自然分类体系。提出矿床学研究趋势与内容:深化矿床成因及其形成过程研究、地球系统四维时空域中区域成矿研究、急需战略性矿产研究、矿产预测、勘查与发展矿业的研究、配合找矿技术方法研发与应用。

关键词 地质学;成矿系列;四维成矿;矿床学研究趋向

中图分类号:P618.42

文献标志码:A

Four-dimensional metallogeny in earth system and study trends of mineral deposits: A discussion on minerogenetic series (VII)

CHEN YuChuan¹, PEI RongFu², WANG DengHong² and HUANG Fan²

(1 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China; 2 MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

The concept of minerogenetic series of mineral deposits (called metallogenic series for short) is an academic thought of four-dimensional metallogeny (4DM) in the earth system. Minerogenetic series is also a new classification of mineral deposits, namely the natural classification of mineral deposits. The innovative points of metallogenic series concept include research on the mineralization process and the formational mineral deposits by highlighting mineralization in a specific time domain and a specific space domain (geological tectonic environment) as a whole of four-dimensional space-time domain, the determination of the minerogenetic series for mineral deposits (metallogenic entity) in the temporal and spatial domain of earth system evolution means to locate each deposit in the time-space domain of earth evolution, the study of the internal relations between ore-forming bodies in different time-space domains, the metallogenic systems at different levels and the earth metallogenic systems, the identification of five types of mineralization (magmatic, metamorphic, sedimentary, supergenic and non-mag-

* 本文得到中国地质调查局中国矿产地质志项目(编号:DD20160346、DD20190379)和中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(编号:JYYWF20183701、JYYWF20183704)联合资助

第一作者简介 陈毓川,男,1934年生,研究员,博士生导师,中国工程院院士,主要从事区域成矿学研究。Email: chenyu@cags.ac.cn

收稿日期 2020-08-20;改回日期 2020-08-30。张绮玲编辑。

matic non-metamorphic ore-bearing fluid mineralization), and the establishment of five orders of metallogenic series which form a new natural classification system of mineral deposit. The study trends and contents of mineral deposits are put forward as follows: the deepening of the study of the genesis and formation process of mineral deposits, regional metallogenic process in the four-dimensional space-time domain of the earth system, urgent need for strategic mineral, mineral resources prediction, exploration and development of mining industry, and co-operation with the development and application of prospecting techniques and methods.

Key words: geology, minerogenetic series of mineral deposits, four-dimensional metallogeny, study trends of mineral deposits

矿床的成矿系列(简称成矿系列)概念,自1979年由程裕淇先生为首的集体提出(程裕淇等,1979),至今已过40多年。40多年间,在矿床地质界支持下,不断研究与应用,初步建立了全国各时段的矿床成矿系列、中国四时段成矿体系,研究了各成矿区(带)、成矿省及全国的区域成矿规律(陈毓川等,1995;1998;2007;2015;叶庆同等,1991;韩振新等,1996;刘德权等,1996;章伯明等,1996;翟裕生,1996;裴荣富等,1998;王平安等,1998;罗铭玖等,2000;王登红等;2002;冯学士等,2004;李均权等,2005;邵和明等,2016)。成矿系列概念在第二轮全国区划工作(1992~1995年)、全国重要矿产资源潜力评价工作(2006~2013年)、中国矿产地质志研编工作(2014年至今)和地质找矿工作中得到了应用,取得了国家勘查工作科学部署和一线找矿成果。在应用过程中成矿系列概念不断得到完善与提升,建立了成矿系列5个序次,划分了5大类成矿作用,提出了矿床自然分类,以及矿床成矿系列“全位成矿、缺位找矿”的预测思维等。成矿系列概念实际上就是地球系统的四维成矿论,是一种区域成矿的学术思想。这是在吸纳国内外矿床学发展过程中各类成矿学术思想之所长,结合中国长期积累的找矿与研究的成果,由矿床地质科技工作者提出的一种新的学术思想。矿床界的学术思想很多,都是不同阶段,实践探索中不断创新的成果,为后来者探索、创新建立了重要平台。由于地球系统的复杂性,未知数极多。因此,各类学术思想都具有正确性及时代的局限性,本学术思想亦同样,需在不断研究、应用中完善。

1 矿床学的发展轨迹

矿床学作为一门重要学科,是由人类社会对矿产资源的需要而建立起来,有一个逐步发展的过程。矿产是指可供人类社会开采利用的地球物质(固、

液、气态),作为矿产物质具有一定的指标要求。矿床是由可供开发利用的矿产所构成的实体,可用的矿产、矿床数量,矿床的可利用性指标,都是由人类社会所确定,都是随着社会经济、文化、科技水平的提升而变化。我国前秦时期的《山海经·五藏山经》中已识别出金、玉、石、土4大类矿产,顾琅和周树人(鲁迅)(1906)编著的《中国矿产志》中列出30种矿产,1203处矿产地;而目前中国发现矿产已达173种,其中162种已有探明资源储量。全球矿产已有200多种,今后还会有增有减,与人类社会发展相适应。全球的矿床世界决定于人类社会,两者是共生、共存的。矿床从地质学观点看,它是自然界地质体中的组成部分,可以是各种可用岩体、地层、变质体、各类张、压构造带中的矿物、岩石、流体、气体所组成;对其中任何一种地质体,只要社会需要,经勘查达到指标要求,经济技术可行,即是矿床。有的矿床较简单,如砂石料矿床、石灰岩矿床、花岗石矿床等;有的矿床勘查开发难度很大,成本较高,如铌、钽、金、铀等矿产。因此,矿床存在于各类地质环境自然地质体之中,是人类社会在自然地质体中主观确定的实体。

社会对矿产需求及科技的发展历史,决定了矿床学发展的历史,从单一的矿床成因研究,如18世纪至19世纪的“水、火之争”,到19世纪中叶至20世纪初,多成因研究和以矿床成因为基础的矿床分类研究逐渐成为主流,以美国的林格伦(Lindgren)、德国的史耐特洪(G. Schneiderholm)为代表,并开始区域成矿的研究,以法国的劳耐(L. De. Launay)(1905年)、中国的翁文灏(1920)等学者为代表,是属于矿床学奠基时期,并逐步发展成为地质学科中的重要分支。20世纪中、晚期,在矿床多成因研究深化的同时,区域成矿研究得到很大发展,成矿与区域地质构造相结合,提出地槽成矿、地台成矿、板块构造成矿等,以斯米尔诺夫(C.C. Смирнов, 1937; 1945)、

斯米尔诺夫(1981a; 1981b; 1985)、毕利宾(Ю. А. Билибин, Bilibin, 1955)、阿布杜拉耶夫(Абдуллаев, 1964)、斯特脱隆(Strong)等学者为代表。国内提出了时空域内成矿作用形成矿床类型组合四位一体学术概念——矿床的成矿系列(程裕淇等, 1979; 1983; 翟裕生, 1996; 陈毓川等, 1998; 2007), 已与地球的整体演化相联系。同时, 国内有成矿系统概念的提出(李人澍, 1996; 翟裕生, 1997; 1999)。21世纪, 矿床学的研究趋势是: 矿床成因的研究必将继续深化, 对成矿物质来源、运移与成矿会有新的创新突破; 而区域成矿的研究将会是地球系统研究的组成部分, 区域成矿研究与地球圈层演化的各类地质运动及其形成的地质体一定会整体研究, 更深入的研究区域成矿规律, 更有效地指导找矿。同时, 在地质找矿的技术方法方面, 亦是一个重点, 在成矿物质物理化学等信息远程测试技术方面必将有新的突破。

矿床学研究的目标, 一是发展地质科学, 二是有效地促进找矿和发展矿业, 为人类社会更有效获取矿产资源服务。矿床学既是自然科学, 亦是应用科学, 西方资本主义国家把矿床地质称为经济地质, 亦是同样道理。

2 成矿系列——地球系统的四维成矿

程裕淇等(1979)发表的“初论矿床的成矿系列”, 提出成矿系列的概念, 对矿床的研究“是从区域地质的发展历史角度来考虑, 彼此之间存在着内在的联系, 并构成一个四维成矿整体”, 即一个矿床成矿系列, 并明确是在“一定的地质历史时期”“一定的地质单元”“一定的主要地质作用”下, 形成“含有一定的有用组分”的“矿床类型组合”, 并提出“矿床的研究不仅在于探讨和掌握有关的自然规律, 推动矿床学以及整个地质科学的发展, 更要……进行区域的或具体矿区的成矿分析和矿产预测。为合理部署矿产普查以及更有效地开展综合勘探提供科学依据。”40多年来, 应用成矿系列概念, 开展了大量矿床、不同层次区域成矿及矿产预测的研究与应用, 取得了一批科学与找矿成果。同时, 成矿系列概念得到了阶段性完善, 可以更好地为发展地质科学和促进有效找矿和矿业发展服务。

2.1 成矿系列概念

成矿系列是矿床地质学科中研究矿床及区域成矿规律的一种学术思想。用系统论、活动论观点, 从

四维角度, 研究在地球演化的地质历史各时段、各特定地质构造环境中成矿作用的过程及形成的矿床类型组合自然体; 研究这些自然体之间的联系与演化, 探讨地球演化与成矿的关联及规律; 成矿系列亦是一种矿床的自然分类。其主要学术思想如下。

(1) 矿床是在地球演化的一定时段, 在当时的地质构造环境空间内, 由此四维时空域中的成矿作用所形成。矿床就是地质环境中的地质体, 成矿作用就是此环境中地质作用的组成部分。形成的矿床, 不是单体, 而是有成因联系的多种矿床类型组合自然体。称其为自然体的原因是, 这些矿床是在地球特定的时空域自然界中自然形成, 客观存在的。

(2) 在特定的地质历史时期或构造运动阶段, 在特定的地质构造单元内及地质构造部位, 由相关的地质成矿作用, 形成由各种成矿元素、矿物、岩石、流体、气体组成的多种矿床类型组合自然体, 即三同(同时期、同地质构造环境、同成矿作用)四位一体(前面的三同与形成的矿床类型组合自然体合为一体)。此四位一体的矿床类型组合自然体, 命名为矿床成矿系列(图1), 是地球演化各时期中形成的矿床世界中基本组成单元, 相当于矿床世界的“细胞”。矿床成矿系列内的矿床有内在成因联系, 在时空域中具有一定的演化规律和分布规律。在同一地域内先后形成的矿床成矿系列具有一定的继承性与演变性, 并可出现晚期的对早期的矿床成矿系列的叠加改造。

(3) 在一个地质构造旋回期间有规律地形成多

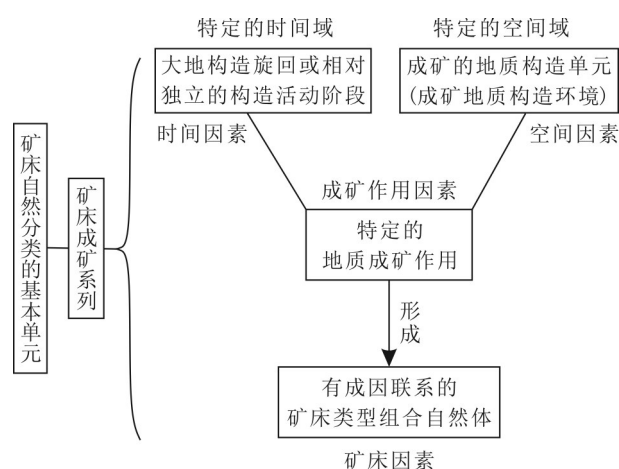


图1 矿床成矿系列及其组成要素

Fig. 1 Minerogenetic series for mineral deposits and its constituent elements

种构造单元,在这些构造单元内,可分别形成各类矿床成矿系列,它们具有一定的分布规律及内在联系,组成矿床成矿系列组。不同时代、不同地域具有类似地质构造环境和同类成矿作用,可形成类似的矿床成矿系列,但又各具特色,组成矿床成矿系列类型。成矿作用分为5类:岩浆、沉积、变质、表生和非岩浆、非变质含矿流体成矿作用,各类成矿作用形成的矿床成矿系列,组成矿床成矿系列组合。有的矿床成矿系列可以是多种成矿作用所形成,如火山-沉积矿床,宜划归为主导成矿作用类,此处即归入岩浆作用矿床成矿系列,但对沉积作用必须研究、论述。

(4) 成矿系列分出5个序次(图2)。第一序次分3类:矿床成矿系列组合、矿床成矿系列类型和矿床成矿系列组;第二序次为矿床成矿系列;第三序次为矿床成矿亚系列;第四序次为矿床式(类型);第五序次为矿床。有些成矿序次可构成不同层次的成矿区(带)及成矿体系。

(5) 成矿系列就是矿床的自然分类。把自然界形成矿床的主要因素(时间、空间和成矿作用)作为分类原则,将具有同样因素的矿床归为一类,亦就是矿床成矿系列实体,就是把地球上矿床世界中的矿床进行定位、归类,亦就是矿床自然分类中的基本单元;然后,把这些基本单元按成矿作用、大地构造旋回、类似的地质构造环境与相似的成矿作用,分别归类为矿床成矿系列组合、组和类型;再对基本单元按次级地质构造环境、成矿作用期次阶段等因素进行科学分解,构成基本单元的次级单元:亚系列、矿床式、矿床。建立矿床自然分类的序次,实际上就是成矿系列划分的序次,形成较为完整的矿床自然分类体系。

成矿系列概念的核心学术思想是:矿床是地球系统演化过程中,在一定的四维时空域内由成矿作

用所形成;所形成的矿床不是单个,而是矿床类型组合自然体;地球内各阶段形成的矿床自然体具规律性,是地球演化各阶段层圈中的组成部分及演化的重要信息。因此,成矿系列研究的对象是时空域中矿床的自然体及其时空结构、形成的地质构造环境、物化条件、演化规律以及这些矿床自然体之间存在的各种关系,建立各层次的成矿体系;通过研究,探索地球演化与成矿的关系,进而探索地球系统演化规律,建立地球系统成矿体系;通过矿床与区域成矿规律研究,深化矿产预测,有效指导和促进找矿。

2.2 成矿系列概念的某些新认识

前面已述及,矿床学领域在数百年发展历史过程中,不断有新的学术思想提出,各阶段都有一些主体观念,新的概念、思想都是在前人研究基础上创新而来,都是阶段性的,都有待完善与更新,但都为矿床学的发展做出了贡献。成矿系列概念的提出亦是吸纳了已有矿床学学术观点之所长,如多种成因成矿、成矿与地质构造环境及地质建造的紧密联系等,亦具有自己的四维成矿的一些新认识。

(1) 突出成矿的时间域。时间域与地球系统演化有关,地球系统演化的不同阶段,成矿元素、成矿环境、成矿方式都各具特色,并具有演化规律,对每个矿床成矿系列必须确定其成矿的时段,探索其与地球系统演化时段的对接。

(2) 突出成矿的地质构造环境。本概念就是全面考虑特定地质构造旋回及其各阶段形成的各种地质构造环境(造山带、构造盆地、构造隆起地块、裂谷、裂隙等构造单元)及多类地质构造-岩石建造,进行整体研究,并分别列入相关的成矿系列序次。因此,矿床成矿系列组及矿床成矿系列可以含有多个地质建造和多个次级构造单元成矿,各时段控矿的地质构造环境与地球系统演化阶段相关。

(3) 对成矿作用按不同性质、不同环境划分为5类:岩浆、沉积、变质、表生和非岩浆、非变质含矿流体成矿作用。把原归入沉积成矿的表生成矿作用单独列出,原因是表生成矿作用其作用性质与环境,不同于地球水圈中沉积成矿作用,是地球大陆表层及气圈范围内的成矿作用,成矿的强度与规模都较大,单独列出是必要的。

(4) 对矿床的研究,除对矿床本身的传统研究外,给予在自然界中的定位,从地球四维时空成矿域中,研究在自然界共生矿床的矿床类型组合自然体,识别同阶段、同构造地质环境、同成矿作用形成的矿

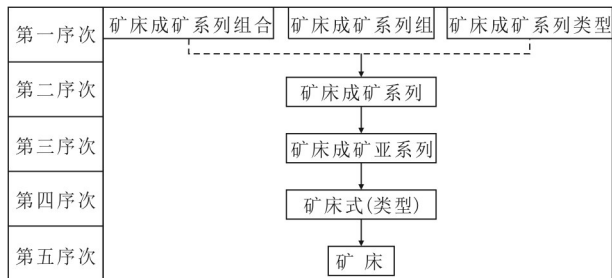


图2 矿床的成矿系列五级序次体系图

Fig. 2 The 5-order system of minerogenetic series of mineral deposits

床类型组合自然体,是客观存在的四位一体的实体,是“矿床世界”组成的基本单元,命名为矿床成矿系列。这是成矿系列的核心部分。因此,矿床的研究跳出了有限的视野,从地球系统演化的整体来确定每个矿床及其组合自然体,在地球系统演化至今的矿床世界中给予在自然界中的定位。从全球四维视野研究矿床形成、时空分布的自然规律。由于矿床成矿系列的建立,新一代的区域成矿规律图,除了传统表达的四位一体(矿种、类型、规模和形成时代)内容外,在图上可表达矿床之间的关系,这是在国内外编制区域成矿规律图的重要创新点。

(5) 在矿床分类领域,开创性的提出矿床自然分类,开拓了矿床分类的新领域。此项分类对研究区域成矿规律、指导找矿具有实用意义。自然分类中,每个矿床均具有双重身份:本身的成因身份、在四维时空域中矿床自然体中的身份,这对矿床研究十分有意义。

(6) 提出矿床成矿系列“全位成矿,缺位找矿”的预测思维。针对具有同类地质构造环境和同类成矿作用形成的矿床成矿系列具有较大程度的成矿共性,可根据工作区的构造环境及成矿作用,借鉴已知同类的矿床成矿系列的矿床类型组合,预测本区可能存在的矿床类型,提出区内矿产调查与勘查参考意见。

成矿系列的研究与应用虽已经历了40多年,取得了一定进展,但尚属初步阶段,地球系统四维成矿需要研究的内容很多,十分复杂,难度大,需要深化探索研究,获取矿床自然界客观存在的真面貌及其存在的成矿规律,和更有意义的找矿预测思维方法。衷心希望与矿床界同仁们一起共同努力进行探索研究。

3 矿床学研究趋向与内容

随着地质科学研究与应用的深化,学界逐步认识到地学各领域均受控于地球各圈层的演化,均属于地球系统科学的范畴。翟裕生(2004)在“地球系统科学与成矿学研究”一文中写到“1983年,美国NASA下属的一个委员会的文件中,提到地球系统和地球系统科学两词,提出要把地球的各组成部分与相互作用作为一个系统来研究,并于1988年出版《地球系统科学》一书。”中国学者对此亦都有论著(陈泮勤,2003;汪品先,2003;汪品先等,2018)。地

质科学已走向地球系统科学。因此,矿床学已成为地球系统科学内的一个重要组成部分。此外,矿床学亦是应用的学科,研究工作要充分考虑此任务。矿床学的研究趋向及内容,要以此为基点进行考虑。

3.1 矿床学是一门十分复杂的综合性学科

矿床学既是一门自然科学学科,亦是一门经济性很强的应用学科,具双重“身份”,受人类社会经济需求所调控,亦是人类社会矿业发展的重要科技保证。因此,矿床本身是多变的,新种类矿床会不断增加,有的矿种矿床会退出矿床领域;矿床学的研究内容亦会有所变化,但矿床学整体研究方向不会变,研究深度会不断提升。

矿床学是一门多学科组成的复合性学科。矿床与区域成矿研究涉及与成矿有关的构造环境、沉积地层、岩浆活动的火山-侵入岩体以及成矿作用过程的各种因素。可见,矿床形成涉及的重要学科有大地构造学、沉积学、岩石学、矿物学、地球物理学和地球化学等,是一门探索性很强的复合性学科。矿床地质工作者要尽力学习、应用这些学科的知识及最新成果,不断扩大知识面,结合矿床学本身的有关知识去研究矿床、区域成矿及找矿。同时,亦说明矿床学的研究比其他学科更有利于对地球系统的研究。

形成矿床的成矿作用及成矿过程具有多元性。多元性表现在2个方面:一方面是成矿作用按其性质是多样的,但形成矿床也不会都是一种成矿作用,可以多种成矿作用的成矿,如内生内成、内生外成、外生内成和外生外成(王登红等,2005)等成矿,需要研究判别;另一方面是成矿作用过程中,外界条件的影响具有多样性,如围岩性质、产状、构造条件、物化条件等。因此,矿床的形成过程对不同的矿产、不同的矿床类型具有不同的复杂程度。有的较简单,如某一种地层、某一种岩石就是矿,分析达到矿床的指标,圈定范围,经济技术评价合格就是矿床,如石灰岩、板岩、花岗石类、有的沉积类矿床等;有的矿床成矿过程十分复杂,如一些稀有、贵金属、分散元素矿床,在一些特殊的环境与条件下才能形成矿床。

上述各点说明,矿床学是一门研究与应用紧密结合、十分复杂的多学科结合的综合性学科。

3.2 矿床学研究的趋势与内容

矿床学的自身特色为其研究趋势与内容指明了方向:矿床学研究要有全球视野和四维时空域、多学科结合、多因素整体观;深化矿床形成的探索;研究区域成矿进入地球系统科学领域;紧跟与超前开展

急需矿产、新矿产研究;要有明确的应用观、经济观,进一步开展促进找矿勘查、找矿技术方法及发展矿业的研究。

(1) 进一步深化矿床成因及其形成过程的研究。这是矿床学的基础。核心问题是成矿物质来源,迁移状态,富集成矿的地质构造环境与物化条件。这方面研究需要扎实的野外一线的观察、调查研究、取样与室内分析测试、实验及综合研究紧密结合。很重要的是要充分吸取前人的创新成果,并有新的思路与创新探索,如所有成矿元素都是地球形成时产生,还是也有在地球演化过程中产生的?不同岩浆成分的岩浆成矿专属性的成矿元素有没有在特殊条件下元素转化而新生的可能?成矿元素的迁移是以液态、气态、固态方式,还是以原子、离子、分子、络合物、纳米级矿物状态,或是都有可能?在什么物化条件下可形成什么迁移状态?矿质富集成矿最佳的地质构造环境、物化条件是什么?这方面有大量探索研究、创新的余地,难度很大,但目前及今后科技水平、实验条件将超过去,研究突破的可能性越来越大,只要专心攻关、不断探索成矿原因的未知数,一定会有新的突破,将会更接近客观实际。在矿床成因研究中,对成矿时代的测定要不断提高精度,并对成矿元素的地球化学加深研究。希望在新世纪里这方面取得重大突破。

(2) 从全球视野,研究地球系统四维时空域中的区域成矿。这亦是成矿系列研究的主要内容。充分应用与区域成矿有关的各类地质学科知识及最新成果,研究与厘定地球系统演化各时段、各地段客观存在的“三同四位一体”的矿床类型组合自然体——矿床成矿系列,在此基础上全面开展地球系统四维时空域中的区域成矿及其规律研究。

区域成矿研究最重要的基础是厘定每一个矿床成矿系列,给每个矿床、每个矿床类型组合自然体在地球系统时空域中定位。在此基础上才能研究探索:同时域,不同区域间区域成矿特征及其之间联系、演化及有关成矿规律;同区域,不同时段区域成矿特征及其之间联系、演化及有关成矿规律;整个地球系统区域成矿的时空、成因、演化规律,并建立不同同时域内不同层次的区域矿床成矿体系。

要科学地厘定矿床成矿系列,通过40多年的研究,共识是:首先以成矿系列概念为指导,全面搜集本区成矿的区域、矿产地质调查、勘查与科研成果,涉及的地质构造环境、地层、岩石建造、形成的矿床、

矿点情况、地球物理、地球化学、遥感、重砂探测信息等,在有条件的情况下,进行必要的野外调查;接着,进行综合分析,在本区不同时空域内初始厘定一个或多个矿床成矿系列。综合分析的关键内容首先是提出不同时段的地质构造环境和各时段的主要成矿作用;其次是对已有矿床、矿点按其成因类型与时空分布状况进行归类,与不同时段的地质构造环境与成矿作用对接,提出本区内矿床成矿系列的初步厘定方案,并提出存在的问题。如有条件,可开展研究,提高厘定的科学依据;第三,对照国内已有厘定的同类矿床成矿系列,用“全位成矿,缺位找矿”的思维,推测本区可能找矿的方向及提出进一步矿产调查与勘查的建议。

矿床成矿系列的科学厘定有一个过程,是随地质工作程度的提高,不断得到完善。其过程是以现状,推断恢复成矿时的成矿时空域中的成矿状况。因此,现状的区域矿产调查研究是科学厘定矿床成矿系列的根本保证。实际上亦就是研究矿床成矿系列形成以后的改造、保存过程,虽已不属于本矿床成矿系列的组成部分,但此过程的研究十分重要,亦是研究厘定矿床成矿系列不可或缺的重要内容。

今后区域成矿研究的内容是进一步厘定全国的矿床成矿系列及形成矿床成矿系列的过程与规律,继续开展重点成矿区、带的矿床成矿系列深化研究,特别是有重点地开展深部地球物理探测及科学深钻,探索研究深部壳幔结构与成矿的联系,深化矿床成矿系列形成过程与规律的研究;进一步建立全国矿床成矿系列组、矿床成矿系列类型及地球演化各重要时段的矿床成矿体系,研究剖析地球系统演化过程中一些重大地质事件过程中的成矿作用、成矿规律及其所构成的成矿系列;有计划开展周边国家及全球的矿床成矿系列研究;不断探索成矿物质、矿床类型组合自然体在地球演化各时段的时空组成与演化规律,并探讨与地球演化的内在联系,追索地球演化过程。此项研究宜长期进行,需结合全国及国际矿产调查、勘查工作项目、国家科技攻关项目、自然科学基金项目进行,并与成矿系统研究结合起来,共同进行。因为每一个矿床成矿系列就是一个相对独立的成矿系统(不包括成矿之后的改造过程)。

(3) 加强急需及战略性矿产、新矿产研究。由于我国矿产资源形势严峻、国际形势的复杂,国家所需的紧缺大宗矿产,如石油、天然气、铬、铁、铜、镍、锰、钾盐等、战略性矿产如钨、锡、锑、萤石、高纯石英

等以及新材料所需的稀土、稀有、稀散元素矿产需加强研究,更好地配合有关矿产的调查与勘查。对新能源如天然气水合物、地热,海洋领域锰结核矿、钴结壳矿、洋脊硫化物金属矿、洋底稀土矿等一些新矿产要有重点地开展研究。这是矿床学研究中的重要内容。

(4) 矿产预测、矿产勘查与发展矿业的研究。前已述及,矿床学研究除科学目标外,还要促进找矿及矿业的发展。矿产预测研究是促进找矿重要环节。在矿床及区域成矿研究过程中,矿产预测都应作为重要的研究内容。我国矿产勘查与科研教学单位历来重视此项研究,并已取得丰硕的找矿成果。这亦是成矿系列研究的重要内容,已总结提出“全位成矿、缺位找矿”的区域找矿思维。成矿系列概念已用于全国及地区性的成矿区划、资源潜力评价与矿产预测,已初步建立了成矿系列综合信息矿产预测理论与方法。今后矿产预测的理论与方法要进一步加以研究和完善。矿产预测作为矿床学科中的重要研究内容,应得到高度重视与持续发展。

矿床学研究要主动与一线的矿产勘查工作及矿山开发工作相结合,共同研究遇到的矿床地质问题,促进矿产勘查与开发。科研、教学单位与矿产勘查与开发单位可以建立产学研结合的合作联盟。这不但使矿床研究落地,直接对促进勘查与矿山开发起到作用,同时对矿床学科的发展十分有利,因为可及时获取自然界最新的矿床信息,扩大视野,研究不断出现的新的矿床学方面的科学问题,为创新提供新机遇。

从事矿床学研究的科技人员可以不同形式参与或承担矿产勘查工作;从事矿产勘查、开发的矿产地质科技人员均需结合勘查、开发工作,同时开展矿产研究工作。矿床界需要不断建设一批研究与应用为一体的高水平矿床地质专业队伍。对国家矿业发展和矿床学科发展都十分必要。

(5) 配合找矿技术方法的研发与应用。目前,地质找矿的技术方法中,铁锤、罗盘、放大镜三大宝不可或缺外,已全面应用钻探、坑探、槽探、物探、化探、重砂、航测、遥感等技术方法,并在不断地研发应用中。这些技术方法都有专门的专业及学科,但其研发与应用离不开矿床学研究工作者,因为这些技术方法的研发与应用都有助于促进矿产调查、勘查与研究的深化,提高找矿效率。用先进技术方法取得的各种信息,需矿床地质方面的合理解释与科学

应用。因此,矿床学研究工作者应同步参与,主动配合。当前最为关注的是空、深探测技术,即遥感、航空探测与地壳深部探测。从元素、矿物、岩石构造、流体的物、化信息,进行远程精准探测十分重要,航空物化探在国内外已成为重要研发方向,航天遥感亦是重要方向,近年来由中国船舶重工集团有限公司、国家地震局、中国科学院联合研发了极低频探地(WEM)工程技术,用于深地、海洋探测,已取得初步成效,进行了超大范围组网式三维极低频电磁波深部资源探测。何继善院士团队研发的大深度高精度广域电磁勘探技术应用于深部探测亦取得成效。中国地质调查局航遥中心研发应用的航空物探探测方法技术亦取得重大进展。这些探测技术研发、应用领域,急需矿床科研工作者的主动参与,是重要工作任务之一。

本文供矿床界同仁参考、探讨,并欢迎大家批评指正! 让我们为发展矿床与区域成矿研究、地球系统科学研究,更好地为找矿、矿业开发服务,共同努力!

References

- Abdullaev X M. 1964. Petrological-minerogenetic series of magmatic rocks and endogenic mineral deposits[J]. Journal of Translation from Foreign Literature of Geology, (9): 47-53(in Chinese).
- Абдуллаев X M 1964. Рудно - петрографические провинции[M]. М. Недра. 1-136(in Russian).
- Bilibin Y A. 1955. Metallogenic provinces and metallogenic epochs[M]. New York: Queens coll Flushing. 35p.
- Chen P Q. 2003. Earth system sciences: Progress and prospect[J]. Advances in Earth Sciences. 18(6): 974-979(in Chinese with English abstract).
- Chen Y C and Mao J W. 1995. Metallogenic series of ore deposits and metallogenic evolution through geological history in north Guangxi[M]. Nanning: Science and Technology Press of Guangxi. 433p(in Chinese).
- Chen Y C, Pei R F, Song T R and Qiu X P. 1998. Preliminary study on minerogenetic series in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-368(in Chinese).
- Chen Y C, Wang D H and Xu Z G. 2015. Important mineral resources and regional metallogenic regularities in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-795(in Chinese).
- Chen Y C, Wang D H, Zhu Y S and Xu Z G. 2007. Chinese metallogenic system and regional metallogenic evaluation[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-1005(in Chinese).
- Cheng Y Q, Chen Y C, Zhao Y M and Song T R. 1979. Preliminary discus-

- sion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1(1): 32-57(in Chinese).
- Cheng Y Q, Chen Y C, Zhao Y M and Song T R. 1983. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 5(6): 1-64(in Chinese).
- Смирнов С С. 1937. Металлогения северо-востока Азии[А]. В кн.: Тезисы докладов. ОНТИ, Гл. ред. горно-топл. и геол. разв. лит[М]. 208-209(in Russian).
- Смирнов С С. 1945. Об олово-вольфрамовом оруденении востока СССР[J]. сер. геол., 6: 47-55(in Russian).
- Feng X S and Wang S Y. 2004. Minerogenetic series of regional resources in Guizhou[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-91(in Chinese).
- Gu L and Zhou S R (Lu Xun), compilation. 1906. Mineral resources of China[M]. Shanghai Popular Book Company. 1-109(in Chinese).
- Han Z X, Hao Z P and Hou M. 1996. Minerogenetic series of major metallogenetic belts in Helongjiang Province[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press(in Chinese).
- Li J Q, Tan Q M and Li J Z. 2005. Minerogenetic series of Hubei[M]. Wuhan: Science and Technology Press of Hubei. 1-270(in Chinese).
- Li R P. 1996. Theory and practice of metallogenetic system analysis[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-262(in Chinese).
- Lindgren W. 1907. The relation of ore-deposition to physical conditions[J]. Econ. Geol., 2(2): 105-127.
- Lindgren W. 1933. Mineral Deposits[M]. 4th Ed. New York: McGraw-Hill Book Company. 1-930.
- Liu D Q, Tang Y L and Zhou R H. 1996. Minerogenetic series of Xinjiang[M]. China. Beijing: Geological Publishing House. 1-174(in Chinese).
- Luo M J, Li S M, Lu X X, Zheng D Q and Su Z B. 2000. Mineralization and minerogenetic series of major mineral resources in Henan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-355(in Chinese).
- Pei R F, Lu F X, Fan J Z, Fang R H and Qi C S. 1998. Minerogenetic series and prospecting of ore deposits in the north margin and further area of the Huabei massif[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-237(in Chinese).
- Shao H M and Zhang L Q. 2016. Main metallogenetic belts and metallogenetic series in Inner Mongolia autonomous Region[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 1-218(in Chinese).
- Smirnov B N. 1981a. The evolution of the material source of endogenous metal deposits in the history of crustal development(Translate by Qin G X and Zhang G R)[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Smirnov B N. 1981b. The mineral source of endogenous ore deposits (Translate by Qin G X and Zhang G R) [M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-195(in Chinese).
- Smirnov B N. 1985. Geology of ore deposits(Chinese translation)[M]. Beijing: Geological Publishing House. 5-12(in Chinese).
- Wang D H, Chen Y C and Xu Y, et al. 2005. Cenozoic metallogenesis in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-853(in Chinese).
- Wang D H, Chen Y C and Xu Z G. 2002. Minerogenetic series and regularity of mineralization in the Altay Metallogenetic Province, China[M]. Beijing: Atomic Press. 1-493(in Chinese).
- Wang P A, Chen Y C, Pei R F and Wu G G. 1998. Regional minerogenetic series, tectonic-mineralization cycle and evolution of the Qinling orogenic belt[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-161(in Chinese).
- Wang P X. 2003. Earth system sciences in China[J]. Advances in Earth Sciences, 18(5): 795-796(in Chinese).
- Wang P X, Tian J, Huang E Q and Ma W T. 2018. Earth systems and evolution[M]. Beijing: Science Press. 1-565(in Chinese).
- Weng W H. 1920. Les provinces métallogéniques de Chine[J]. Bulletin of the Geological Survey of China, Ministry of Agriculture and Commerce, (2): 9-59(in Chinese and German).
- Ye Q T, Shi G H, Ye J H and Yang C Q. 1991. Metallogenic characteristics and metallogenetic series of lead-zinc deposits in Jinshajiang area of Lancang River, Nu River[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press. 1-161(in Chinese).
- Zhai Y S, Yao S Z and Cui B. 1996. Metallogenic series study[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 1-198(in Chinese).
- Zhai Y S, Zhang H, Song H L, Deng J and Cheng X J. 1997. Macroscopic structure and superlarge ore deposit[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-180(in Chinese).
- Zhai Y S, Deng J and Li X B. 1999. Regional metallogeny[M]. Beijing: Geological Publishing House. 287p(in Chinese).
- Zhai Y S. 2004. Earth system sciences and the study on metallogenesis[J]. Earth Science Frontiers, 11(1): 1-10(in Chinese with English abstract).
- Zhang B M, Zhao G L and Ma G X. 1996. Minerogenetic series and model of major metallogenetic belts in Hebei Province[M]. Beijing: Petroleum Press. 1-273(in Chinese).

附中文参考文献

- 阿布杜拉耶夫 X. M. 1964. 岩浆岩和内生矿床的岩矿系列[J]. 地质译丛, (9): 47-53.
- 陈洋勤. 2003. 地球系统科学的发展与展望[J]. 地球科学进展, 18(6): 974-979
- 陈毓川, 毛景文. 1995. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹[M]. 北京: 地质出版社. 1-433.
- 陈毓川, 裴荣富, 宋天锐, 邱小平. 1998. 中国矿床成矿系列初论[M]. 北京: 地质出版社. 1-368.
- 陈毓川, 王登红, 朱裕生, 徐志刚. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社. 1-1005.
- 陈毓川, 王登红, 徐志刚. 2015. 中国重要矿产和区域成矿规律[M]. 北京: 地质出版社. 1-795.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 宋天锐. 1979. 初论矿床的成矿系列问题[J].

- 中国地质科学院院报, 1(1): 32-57.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 宋天锐. 1983. 再论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, 5(6): 1-64.
- 冯学仕, 王尚彦. 2004. 贵州省区域矿床成矿系列与成矿规律[M]. 北京: 地质出版社. 1-91.
- 顾琅, 周树人(鲁迅), 编纂. 1906. 中国矿产志[M]. 上海普及书局. 1-109.
- 韩振新, 郝正平, 侯敏. 1996. 黑龙江省主要成矿带矿床成矿系列[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社.
- 李均权, 谭秋明, 李江洲. 2005. 湖北省矿床成矿系列[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社. 1-270.
- 李人澍. 1996. 成矿系统分析的理论与实践. 北京: 地质出版社. 1-262.
- 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1996. 中国新疆矿床成矿系列[M]. 北京: 地质出版社. 1-174.
- 罗铭玖, 黎世美, 卢欣祥, 郑德琼, 苏振邦. 2000. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列[M]. 北京: 地质出版社. 1-355.
- 裴荣富, 吕凤翔, 范继璋, 方如恒, 齐朝顺. 1998. 华北地块北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查[M]. 北京: 地质出版社. 1-237.
- 邵和明, 张履桥, 著. 2016. 内蒙古自治区主要成矿区(带)和成矿系列[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 1-218.
- 斯米尔诺夫B.N. 1981a. 内生金属矿床的物质来源在地壳发展历史过程中的演变[M]. 秦国兴, 张国荣, 译. 北京: 地质出版社.
- 斯米尔诺夫B.N. 1981b. 内生矿床的矿质来源[M]. 秦国兴, 张国荣, 译. 北京: 地质出版社. 1-195.
- 斯米尔诺夫B.N. 1985. 矿床地质学(中译本)[M]. 北京: 地质出版社. 5-12.
- 汪品先. 2003. 走向地球系统科学的必由之路[J]. 地球科学进展, 18(5): 795-796.
- 汪品先, 田军, 黄恩清, 马文涛. 2018. 地球系统与演变[M]. 北京: 科学出版社. 1-565.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律研究[M]. 北京: 原子能出版社. 1-493.
- 王登红, 陈毓川, 徐珏, 等. 2005. 中国新生代成矿作用[M]. 北京: 地质出版社. 1-853.
- 王平安, 陈毓川, 裴荣富, 吴淦国. 1998. 秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造-成矿旋回与演化[M]. 北京: 地质出版社. 1-161.
- 翁文灏. 1920. 中国矿产区域论[J]. 农商部地质调查所地质汇报, (2): 9-59.
- 叶庆同, 石柱华, 叶锦华, 杨崇秋. 1991. 怒江澜沧江金沙江地区铅锌矿床成矿特征和成矿系列[M]. 北京: 北京科学技术出版社. 1-161.
- 翟裕生, 姚书振, 崔彬. 1996. 成矿系列研究. 武汉: 中国地质大学出版社. 1-198.
- 翟裕生, 张湖, 宋鸿林, 邓军, 程小久. 1997. 大型构造与超大型矿床[M]. 北京: 地质出版社. 1-180.
- 翟裕生, 邓军, 李晓波. 1999. 区域成矿学[M]. 北京: 地质出版社. 1-287.
- 翟裕生. 2004. 地球系统科学与成矿学研究[J]. 地学前缘, 11(1): 1-10.
- 章伯明, 赵国良, 马国玺. 1996. 河北省主要成矿区带矿床成矿系列及成矿模式[M]. 北京: 石油工业出版社. 1-273.