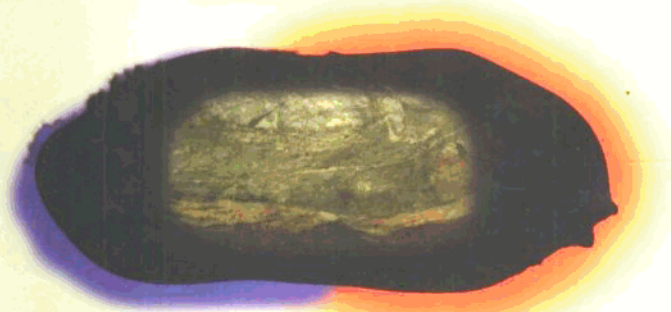
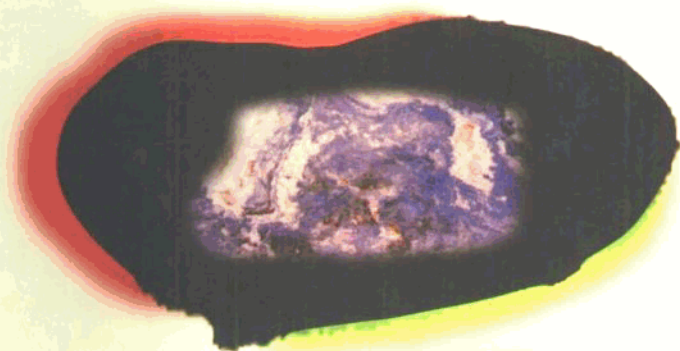
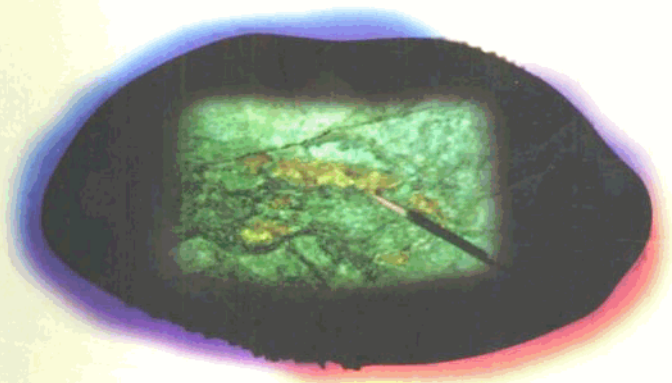


成矿系列研究

翟裕生 姚书振 崔彬等著



中国地质大学出版社

RESEARCH ON METALLOGENIC SERIES

Zhai Yusheng
Yao Shuzhen
Cui Bin
Cheng Xiaojiu
Qin Changxing
Jin Wei

CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES PRESS

前 言

成矿系列研究是近 20 年来矿床学研究的一项重要进展,是多年来矿产勘查工作和矿床地质研究经验的概括。成矿系列研究运用系统的、辩证的观点和方法,将一定区域中有内在联系的各种矿床类型作为一个系统,进行整体性、综合性和动态性研究。这就将传统的对单个矿床类型、单一成矿模式的研究,发展到对一定地质成矿作用中所产生的多种矿床类型的全面研究,并将各类矿床的时间、空间分布与所在区域的地质环境研究紧密结合起来,从而可以更深入地认识区域成矿规律,提高找矿勘探工作的成效。

笔者们在长期的教学和科研实践中,注意应用矿床组合、成矿系列等观点来研究矿床地质。在参加国家“六五”、“七五”和“八五”科技攻关项目以及其他有关课题的研究中,对南岭地区与花岗岩有关的钨-锡成矿系列、长江中下游地区的铁-铜-金成矿系列、粤北古生代盆地中的多金属成矿系列以及中国东部陆相火山岩型铜-金成矿系列等作了较系统的研究;并在此基础上,对成矿系列的若干基本问题(概念、层次、分类、结构、环境、演化等)作了较深入的探讨,旨在将现有对成矿系列的研究再向系统理论提高一步。在这些工作的基础上,完成了本书的著述。

本书包括导论、实例和研究方法三部分,由翟裕生、姚书振、崔彬、程小久、秦长兴、金伟执笔。各章节的分工是:前言和第一、二、五、六章,由翟裕生执笔;第三章由姚书振执笔;第四章由姚书振、崔彬执笔;第七章由程小久执笔;第八章由崔彬、秦长兴、翟裕生、金伟执笔。全书初稿写成后,由翟裕生统一整理定稿。

在著述过程中,阎卫东、吕新彪、丁式江等帮助整理、誊清了部分文稿,负责清绘图件。在本书的矿床实例部分,引用了一些地勘单位和专家们的研究成果,笔者对他们表示衷心的感谢。特别要感谢那些一直工作在找矿勘探和采矿第一线的地质学家们,是他们积累了如此宝贵而丰富的地质矿产资料,使我们有可能在此基础上加以研究探索。

作为本书基础的各项科研课题,曾获得国家科委、国家计委、国家教委、国家自然科学基金委和地质矿产部的资助和支持,在此一并表示诚挚感谢。

期望这本书的问世,能为进一步研究成矿系列和成矿规律提供有益的借鉴。书中的不当之处,敬请读者批评指正。

著 者

1995年11月30日

目 录

第一章 成矿系列研究的历史和现状	(1)
第一节 矿床学科的基本特点和研究方法	(1)
第二节 成矿系列研究简史	(2)
第三节 成矿系列的研究意义	(7)
第四节 成矿系列的研究现状	(8)
第二章 成矿系列研究的基本问题	(10)
第一节 成矿系列研究的思路和途径	(10)
第二节 成矿系列的系统性质	(11)
第三节 成矿系列的层次	(12)
第四节 成矿系列的分类	(12)
第五节 成矿系列的成因类型构成和工业意义	(17)
第六节 成矿系列的内部结构	(18)
第七节 成矿系列间的相互关系	(23)
第八节 成矿系列与大地构造环境	(26)
第九节 地质历史上的成矿系列	(28)
第三章 与同熔型花岗岩有关的成矿系列	(32)
第一节 概述	(32)
第二节 与壳幔同熔(I)型花岗岩有关的成矿系列[Fe、Cu、Mo、(W)、Ag、Au、Pb、Zn等]	(33)
第三节 中国东部与I型花岗岩类有关的成矿系列	(43)
第四节 典型区(带)I型花岗岩类成矿系列解析——以长江中下游Fe、Cu、Au等成矿系列为例	(44)
第四章 与重熔(S)型花岗岩类有关的成矿系列(W、Sn、Bi、Mo、稀土、稀有金属等)	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 华南重熔型花岗岩类的地质特征及其成矿作用	(59)
第三节 华南与燕山期重熔型花岗岩类有关的成矿系列的特征及其内部结构	(71)
第五章 陆相火山-次火山岩系的金、铜(银、铅、锌)成矿系列	(80)
第一节 陆相火山岩区铜金成矿的地质背景和控制因素	(80)
第二节 陆相火山-次火山岩铜-金矿床地质特征及类型	(82)
第三节 代表性矿床实例	(83)
第四节 陆相火山-次火山岩铜-金成矿系列	(96)
第六章 与斜长岩-辉长岩有关的成矿系列(Fe、Ti、V、P)	(98)
第一节 大庙斜长岩体的地质构造背景	(98)
第二节 斜长岩-辉长岩的岩石特征	(99)
第三节 斜长岩-辉长岩体的内部构造及多次侵入现象	(102)

第四节	斜长岩的成因·····	(103)
第五节	含钽铀磁铁矿矿床地质特征·····	(104)
第六节	与斜长岩—辉长岩有关的成矿系列·····	(108)
第七章	与晚古生代沉积盆地有关的成矿系列·····	(111)
第一节	粤北盆地的大地构造背景·····	(111)
第二节	粤北盆地晚古生代岩相古地理·····	(114)
第三节	同生断层的确立及其特征·····	(117)
第四节	同沉积期热事件及其记录·····	(120)
第五节	盆地成矿流体系统概述·····	(124)
第六节	区域的主要矿床类型与成矿系列·····	(127)
第八章	成矿系列的研究方法·····	(141)
第一节	概述·····	(141)
第二节	矿床差异性研究·····	(141)
第三节	矿床间内在联系研究·····	(152)
第四节	区域地质建造演化与成矿分析·····	(160)
第五节	成矿作用和成矿系列中的自相似性研究·····	(165)
第六节	成矿系列的计算机模拟——以江西九瑞铜矿带为例·····	(170)
第七节	成矿系列模型(式)的建立·····	(177)
结语 ·····		(184)
参考文献 ·····		(187)
英文摘要 ·····		(193)

Research on Metallogenic Series

Contents

Chapter 1	History and Current Situation of the Study on Metallogenic Series	(1)
	1. Characteristics and methods of the mineral geology of ore deposits	(1)
	2. Outline of history of the study on metallogenic series	(2)
	3. Significance of the study on metallogenic series	(7)
	4. Current situation of the study on metallogenic series	(8)
Chapter 2	Basic Problems of the Study on Metallogenic Series	(10)
	1. Idea of the study on metallogenic series	(10)
	2. Systematic analysis of metallogenic series	(11)
	3. Gradation of metallogenic series	(12)
	4. Classification of metallogenic series	(12)
	5. Genetic type constitute and industrial significance of metallogenic series	(17)
	6. Internal structure of metallogenic series	(18)
	7. Relationships among metallogenic series	(23)
	8. Metallogenic series and tectonic setting	(26)
	9. Metallogenic series in geological history	(28)
Chapter 3	Metallogenic Series Related to I-type Granites	(32)
	1. Introduction	(32)
	2. Metallogenic series (Fe, Cu, Mo, W, Ag, Au, Pb, Zn) related to I-type granites	(33)
	3. Metallogenic series related to I-type granites of eastern China	(43)
	4. The Fe-Cu-Au Metallogenic Series of the Middle-lower Yangtze region	(44)
Chapter 4	Metallogenic Series Related to S-type Granites	(59)
	1. Introduction	(59)
	2. Rock associations and its ore-forming Processes of Yanshanian S-type granites in Huanan region	(59)
	3. Characteristics and internal structure of metallogenic series related to Yanshanian S-type granites in Huanan region.	(71)
Chapter 5	Cu-Au-(Ag-Pb-Zn)Metallogenic Series Related to Continental Volcanic-intrusive Complexes	(80)
	1. Geological setting and controlling factors of oreforming processes	(80)
	2. Geology and types of Cu-Au ore deposit	(82)
	3. Cu-Au ore deposits types	(83)

4. Cu-Au metallogenic series related to continental volcanic-intrusive complexes ...	(96)
Chapter 6 Fe-V-Ti-P metallogenic series in anorthosite-gabbro association	(98)
1. Geological setting of the anorthosite intrusive in Damiao, Hebei Province	(98)
2. Petrology of the anorthosite-gabbro association	(99)
3. Internal structure and multiple intrusions of the anorthosite-gabbro association	(102)
4. Genesis of the Damiao anorthosite	(103)
5. Genesis of the vanadium-bearing ilmenite-magnetite ore deposits	(104)
6. Metallogenic series related to anorthosite-gabbro association	(108)
Chapter 7 Metallogenic Series in Sedimentary Basin of Late Paleozoic	(111)
1. Tectonic setting of the northern Guangdong Basin	(111)
2. Lithofacies and paleogeography of late Paleozoic of the N. Guangdong Basin	(114)
3. Synsedimentary faults	(117)
4. Synsedimentary thermal events	(120)
5. Ore-forming fluid system in the N. Guangdong Basin	(124)
6. Main ore deposit types and metallogenic series	(127)
Chapter 8 Methods of Study on Metallogenic Series	(141)
1. Introduction	(141)
2. Study on the differences among ore deposits	(141)
3. Relationships among ore deposits	(152)
4. Regional geology and metallogenic analysis	(160)
5. Self-similarity used in study on metallogenic series	(165)
6. Computer modeling of metallogenic series	(170)
7. Establishment of metallogenic series model	(177)
Concluding remarks	(184)
References	(187)
English summary	(193)

第一章 成矿系列研究的历史和现状

第一节 矿床学科的基本特点和研究方法

矿床是地质作用形成的自然产物，其形成和分布受多种地质因素的制约。地质学的几个重要分支——矿物学、岩石学、古生物学、地层学、地球化学、构造地质学、沉积学等都在某种程度上揭示了矿床与地质构造、岩浆活动、沉积作用、变质作用和一定地层层位等的关系，而综合运用这些基础学科的研究成果，全面研究整个地壳发展史中成矿作用的特点，便是矿床学的专门任务。矿床学是研究矿产分布规律和成因的学科，是地质学的一个重要分支。矿床学又是一门经济性学科，它是适应采矿业需要，随采矿业进步而发展起来的，可以直接指导矿产资源勘查、开发和利用。

作为地质科学重要分支的矿床学具有以下几个主要特点（翟裕生，1993）：

综合性 有用物质由初始分散状态到富集成为矿床一般都要经历漫长的过程，涉及多种多样的地质控制因素（构造、沉积、岩浆、热液、风化、变质等作用）和物理作用、化学作用及生物作用等。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。凡是涉及地球有用物质（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、构造地质学等着重研究地球物质运动和产物的某一个方面，而是以这些基础学科的多方面知识和方法，研究各种地质运动过程的产物对矿床形成和分布的控制和影响。从这一个意义上看，矿床学与区域地质学、大地构造学等有相似之处，是一门综合性强、带有横断学科性质、以广阔的地质科学为根基的综合性学科。

生产实践性（或经济性） 矿床学研究有经济价值及潜在经济价值的矿石以及包含矿石的地质体（矿体、矿床等），因此它能满足人们开采矿产资源发展社会经济的需要。同时，矿床学的发展又受到采矿工业的制约，采矿业的兴衰都直接影响矿床学的进步和发展。例如，随着社会科学技术的发展，人类利用矿产的种类越来越多，从使用普通的岩石、矿物，到利用难选冶的稀有、稀土金属和高科技需要的岩矿材料；对每一矿种的用途也在不断扩展；矿山开采的深度逐步加深；贫矿石的利用越来越普遍……这些都对矿床学研究提出新的要求，并为之提供了丰富的实际资料，推动了矿床学的发展和提高。反过来，矿床理论的发展又促进了矿产开发工作。

复杂性 矿石由于要经过较长时期的物质分异作用才能形成，所以较之一般的岩石和矿物是稀罕少见的，并且比岩石、矿物在地壳中的分布更不均匀。因此，在矿床研究工作中常有更为明显的地区局限性（即不同区域之间具有地质构造环境和矿床类型的差异性）。

在各类基础工业中，采矿业生产周期最长。一个有一定规模的矿床从找寻到发现再到勘探、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、上百年或更长的时间。矿产一般不是再生资源，矿床采完后，有关矿石、矿体、近矿围岩等成矿信息的载体也都随之消失或大部消失，矿山闭坑后无法复原，无法将整个矿床作为“标本”永久保存下来。这些情况都限制了人们对矿床长期的、反复的观察研究，一个矿床地质学家积累某个矿床从找矿到基本采完的完整实践经验要投入很多的时间和精力，其认识矿床的周期也随之加长。因此，与其他学科相比，对矿床的科学知识的积累需要更长的时间。

矿产资源的开发又受经济、技术、社会、政治等因素的制约。矿业生产水平和人类社会经济技术密切相关，从宏观上看是同步发展。纵观古今中外矿业开发历史，国家间、地域间、经济集团间由于

各自的局部利益对矿产资源（尤其是战略和短缺资源）的垄断、封锁和保密（包括限制开采）等时有发生，这不仅影响了资源的合理开发和利用，同时也影响到人们对矿床的全面观察和客观报道及其资料的充分交流，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程度。

正是由于矿床学具有上述的综合性、生产实践性和复杂性，更要求矿床地质工作者具有科学的思维方法和探索复杂现象和复杂运动并从中找到规律的开拓能力。“存在决定意识”，由于矿床学科的特殊性和复杂性，致使对矿床特征和成因的系统认识经历了较长的历史积累过程，如从人类开始使用矿产的旧石器时代算起到矿床学科基础理论构架的建立（18世纪），大约经历了几千年的漫长过程。对矿床学的思维方法和研究方法，也经历了长期的反复的摸索过程。从16世纪中叶矿床学知识积累阶段就有地表成矿和深部成矿的对立观点，发展到18世纪有“水成论”与“火成论”的重大争论，这不仅涉及到矿床学，也涉及到岩石学等。再以后，同生与后生、内生与外生，海成与陆成、深源与浅源等关于矿质来源和成矿作用的不同论点，经历了长期的反复的甚至是很激烈的论争。争论的起因与思维方法有关，也与历史和地理上的局限性有关。例如水成与火成之争的一个背景是16—17世纪时水成论者对埃及北方和西欧的洪水泛滥有深刻印象，而火成派代表人物对火山爆发、侵入岩体的观察有更多经验，但两者都因地域和观察的限制而产生认识上的片面性。

科学的发展过程，是逐步由浅入深、由表及里、由感性到理性的过程。我们认为，在一定的历史条件下，由于经济和科学技术发展水平包括交通运输条件等的影响，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，矿床学进步的速度较为缓慢也是可以理解的。不同学术观点之间的争论毕竟能推动着矿床学家更深入更全面地观察、研究和思考，从而在充分的争论中达到更高层次的较为全面的认识，进而推动了矿床学科的进步。

矿床学的研究方法，基本上是从矿物学、岩石学等地质学科中借鉴或延伸来的，并在此基础上形成自己的一套研究方法。如对矿石和矿体的观察描述、成矿条件分析、矿床地质特征类比、矿床成因分析、矿床模型（式）建立、逻辑推理等都是经常使用的基本方法，在矿床地质研究中起到过积极的作用。一个矿床学家若能客观地全面地辩证地应用这些方法去观察和研究矿床，就较易正确把握住矿床特征和成矿条件，探索到某些规律性的认识，在成矿预测中取得成效。这说明，在同样的事物面前，在基本相同的客观条件下，研究者的思维能力、经验和水平即人的主观能动性是多么的重要。

人的认识能力和研究方法也是随社会进步而提高的。19世纪60年代以来，随着科学技术的巨大进步，地学的观测和研究领域有了很大扩展（卫星遥感探测、深部地球物理、超深钻、洋底探测、超微测试以及计算机应用等等），随着航空运输事业的发达，国际学术交流日益方便，特别是野外和矿山的观测、考察、交流已成为相当广泛的学术活动。同时也由于地学思维方法的明显进步（主要表现在辩证法和唯物论的更多普及），因而在矿床学的思维和方法上，有了相应的进步和发展。这些进步和发展，笔者认为在三个方面是比较明显的：成矿系统分析、成矿地质环境和背景分析、成矿历史演化（成矿作用在地球历史上的演化）分析。系统科学在矿床学中的应用将一定地域中有关联的各种成矿现象当作一个自然系统加以研究，这就使对单一矿床、单一成因、单一模式的研究提高到对成矿系统的整体研究。成矿地质环境和背景分析，使对矿床的孤立的封闭的“就点论点”的研究，扩展到成矿的区域构造、大地构造和岩石环境研究乃至岩石圈动力体制背景对矿田和矿带形成的影响。成矿历史演化分析即成矿历史观的建立使对矿床静止的片段的对现状（现存产物和特征）的研究，提高到动态的追根溯源的研究系统中去，因而就有可能更深刻地认识各类成矿作用的本质和时空结构。成矿系列、成矿环境和成矿演化等观念的提出和逐步被接受推动了矿床学的研究，开阔了学者的思路，可以认为是现代衡量矿床学研究水平的几个重要标志。而其中，成矿系列或成矿系统又是在一定成矿环境和历史背景下的产物，是一定的或长或短的成矿历史的产物，对成矿预测和找矿有着更为现实的意义。

第二节 成矿系列研究简史

我国对矿产共生组合的萌芽认识，可以追溯到战国时期，在《管子·地数篇》中有如下记载：“山

上有赫者，其下有铁；上有铅者，下有银；上有慈石者，其下有铜金。”慈石即磁铁矿，说明我国古代人民早在两千年前就开始认识了金属共生和垂直分带现象（袁见齐等，1985）。发展到20世纪初期，一些学者详细研究了元素和矿脉的共生情况，W. H. Emmons (1924, 1933, 1936)曾多次提出围绕花岗岩有金属矿脉系统的分带现象和矿化顺序（由岩体自内而外，自下而上形成W、Sn、Mo、Cu、Pb、Zn、Ag、Sb、Hg等矿化顺序）。尽管世界上未发现有如此完善的矿化系统实例，但他所强调指出的围绕火成岩体矿床带状分布的事实已为大家所公认。

在探索矿床的形成、分布以及不同类型矿床间的关系时，人们使用过矿床分带、矿床分类、矿床组合、矿床类型共生、成矿系列、成矿系统、成矿序列、成矿规律等不同的概念。这些概念各有自己的内涵，但又彼此间存在联系。这里着重回顾一下成矿系列概念的形成历史。

据已经掌握的矿床学文献，首次提出成矿系列(Metallogenic series)的是法国地质学家de Launay，他于1905年初步提出成矿系列的概念（郭文魁，1991）。1920年，翁文灏采用de Launay的成矿理论，提出了“中国矿产区域论”，首次指出中国南部有4个矿带，即锡带、锌铅铜带、锑带和汞带。现在看来，华南内生金属矿床之带状分布说，大体上还是正确的。在1927年，翁文灏发表《含砷矿物在成矿系列中的地位》一文（英文），简要论述了含砷矿物在他所划分的华南4个金属矿带中出现的情况和地位，但未对成矿系列一词作出解释。在同年发表的《中国东部中生代以来的地壳运动及岩浆活动》一文中，在论述了华南的岩浆期和成矿期之后，他写道：“正是由于成矿系列一个挨一个的类型的相等发展和广阔分布，使得中国南部成矿之带状排列表现得如此清楚和典型。”他在该文中也未具体解释成矿系列的涵义，但分析文章内容可以看出，他是将成矿系列和矿产或矿产组合的带状分布联系起来思考的，其寓意有可能是，成矿系列指的是同时代、同类型的金属矿产的组合。

1947年，徐克勤（1957）在湖南瑶岗仙矿区发现了白钨矿矿床，并进一步注意到该钨矿区中砂卡岩型白钨矿床和脉状黑钨矿床的紧密共生关系，并发表了专文加以论述，这也是我国矿床共生现象的早期科学著述。

苏联学者对矿床的共生和伴生关系曾给予密切的关注，他们比较强调矿床与岩石建造的密切关系。X. M. 阿勃杜拉也夫（1960）划分了地槽、地背斜、过渡带和地台等大地构造单元的4个成岩成矿系列，还进一步划分了同岩浆建造有关的矿床成因系列。他写道：“在各成岩成矿区区内孤立的矿床几乎是没的。在这里一般是见到一系列成分和类型相似的矿化；同时代的矿床有成因联系，因而，他们组成了成因系列。这些成因系列是由一定时代、成分和形成条件的岩浆岩建造所形成的，内生矿床的每一成因系列都与一定的岩浆成因系列相当。这些系列的形成取决于相应的构造-地质条件。”X. M. 阿勃杜拉也夫强调矿床成因系列与岩浆岩建造的一致性，尽管他对沉积建造矿床和变质建造矿床没有论述，但他的学术思想“已相当接近现在的成矿系列研究思想和方法”（刘洪波，1992）。

60年代初，冯景兰（1963）在阐述矿床类型的共生规律时，明确指出，“在同一矿化地区，不仅有同种矿化或相似矿种矿化共生的可能，而且在同一矿种所存在的地区中也有不同的成因类型及不同的工业类型共同存在的可能”。他在考察浙东金属矿床时，注意到某山区不仅有铁矿床，而且有萤石矿和铅-锌-铜矿床。又就铜矿这一个矿种而言，在一个矿区中，不仅有斑岩型铜矿、石英脉型铜矿，而且有杏仁状孔隙充填型铜矿床。又如东秦岭某矿区（豫西），不仅有铜矿床，而且有金、银矿床及汞、锑矿床。又以该区矿化较强的钨矿种而言，既有斑岩类型钨矿，又有砂卡岩型钨矿和石英脉型钨矿。在列举了多个实例以后，他进一步分析：“由于各种元素的地球化学性质及成矿作用的连续性和重复性的关系，某些矿种与矿种之间，或某些矿床类型与矿床类型之间，往往存在有共生的规律。因之就形成了多少可以综合利用、综合评价的矿床或矿田……。用分析的眼光看来，现在常用的矿床成因分类——正岩浆矿床、伟晶岩矿床、砂卡岩矿床及高、中、低温热液矿床等，好像是绝不相关的系列；但用综合的眼光看来，他们之间往往有过渡型的内在联系，尤其是对于某一矿区或矿田的实际情况来说，好几种成因类型相近似的矿床可以而且往往是共生在一起的。”由上述可见，冯景兰对矿床类型共生情况曾作过明确的阐述与分析，并提出矿床共生的原因是由于“成矿作用和成矿过程的长期性、连续性和复杂性”，掌握这种规律，可用于对矿产的综合评价和综合利用。

70年代中期,我国地质工作者在研究宁芜盆地火山岩区铁矿时取得了重要进展(宁芜研究项目编写小组,1978),发现过去分别命名的凹山式、向山式、南山式、大东山式等铁硫矿床,原来是与辉长闪长玢岩有成因联系的、具有统一形成过程的一组共生矿床。在统一的地质和成矿作用下,即在中生代陆相断陷火山岩盆地中的火山-次火山岩发展过程中,主要由于气化热液作用,随具体地质条件的差异而产生不同的矿化类型。参加研究工作的学者们用“玢岩铁矿”一词来概括这一类矿床的特点(类似斑岩铜矿、黑矿等概念),并提出这类矿床的理想模式。这一成果是在我国10年动乱后期的艰苦条件下完成的,它不仅适应当时世界上对火山成因矿床重视的研究潮流,而且推动了对我国火山岩区矿床地质和成矿规律的研究;同时在研究矿床的方法上也有突破性进展。它以可信的具体实例说明研究矿床共生组合和矿床模式的必要性和重要性。尽管当时尚未提出成矿系列的概念,但已作了一定意义上的酝酿和准备。

在金属矿床中研究比较深入的斑岩铜矿的成矿模式,也反映了细脉浸染型铜矿和脉型铜铅锌矿及黄铁矿矿床的共生关系。当含矿小侵入体有机会与碳酸盐岩接触时,还能生成砂卡岩型矿石。国内外已有大量这样的实例,西藏玉龙铜矿就是一个典型。江西城门山铜矿的“多位一体”的矿化模式在长江中下游的类似地区也有典型意义。

苏联学者П. А. 斯特罗纳在其所著《含矿建造论》(1978,中译本,1982)中较系统地论述了一定大地构造条件下产生的矿床组合类型。她给出有关“矿石建造”(Рудная формация)的定义是“含矿建造是稳定的自然矿床组合,它们在成因、矿物成分和形成年龄上相近(但不一定完全相同)并在一定大地构造环境中形成,通常它们有成因联系和共生关系,或者至少与某种地质(沉积的、岩浆的和变质的)建造共生。”“必须着重指出,含矿建造采用我们的解释——不是矿物组合也不是矿物共生组合的共生,而是矿床的共生;它应根据不仅是所研究客体的物质成分和内部构造,而且还是它的外部联系决定了各矿床在地质历史中和地质构造中的位置。”“只有揭示矿床的外部联系,才能利用含矿建造来预测矿床。”在这里,斯特罗纳明确指出,含矿建造是稳定的矿床组合,而不仅仅是更具体、更狭义的矿石建造。就其含矿建造的含义,可以说是相当于成矿系列或矿床成矿系列的。

矿床成矿系列的概念是程裕淇、陈毓川、赵一鸣等(1979,1983)首次全面提出并作了比较系统的论述。1975年,程裕淇等在长期系统研究铁矿床地质及分类基础上首先提出铁矿床成矿系列的概念。50年代以来,他们曾多次系统研究和总结中国铁矿床的勘查和研究成果,提出中国铁矿分类及其修改方案。随着全国地质、矿产研究程度的不断提高,他们逐渐认识到一定地质单元内主要形成于同一成矿期的铁矿床,实质上是形成的具体地质条件不同,而在区域成矿的发生、发展上又有内在联系的一组矿床类型,它们构成一定的矿床类型组或矿床类型组合。在我国地质工作者提出赣南粤北钨矿“五层楼”概念和宁芜地区“玢岩铁矿”模式的启发下,于1975年起提出建立铁矿“类型组”基础上的铁矿成矿系列概念^①,指出每一成矿系列所包含的不同类型,许多具有空间上或时间上伴生的特点,即在不同地区,不同成矿期但具有相似的地质背景时,可大致重复出现。因此,在充分了解其区域性质、成矿特征的前提下,常可互为区域性的或一个区域内的找矿标志;并提到这个概念也适用于研究工作较多、矿床类型也较多的钨矿床和铜矿。在上述工作的基础上,经过对中国某些其他矿种、矿组的工作,同类型矿床和国外部分矿床的综合分析研究,认识到上述成矿系列的概念可以扩大应用于许多地质背景中形成的不同矿床的成矿分析,程裕淇等先后发表了《初论矿床的成矿系列问题》(1979)和《再论矿床的成矿系列问题——并兼论中生代某些矿床的成矿系列》(1983)。

在以后的研究中,程裕淇等(1991)对成矿系列的类型划分、成矿系列的后期改造及某些矿床成矿系列的演化又作了进一步的论述。首先,他们划分出3种最高级别的矿床成矿系列,即与3大岩类相对应的,将成矿系列划分为3大组合:①与岩浆作用有关的成矿系列组合(岩浆成矿系列组合),包含15个成矿系列,如岩-1与酸性中、浅成侵入活动有关的成矿系列;②与沉积(成岩)作用有关的成矿系列组合(沉积成矿系列组合),包括7个成矿系列,如沉3-陆相碎屑岩-一蒸发岩组合的成矿系列;

^① 程裕淇、陈毓川、赵一鸣、宋天锐,1991,矿床的成矿系列问题。中国地质科学院成矿远景区划室印

③与变质作用有关的成矿系列组合(变质成矿系列组合)包含5个变质成矿系列。在一个成矿系列中,又根据构造-岩浆活动在各部位的表现不同,包括围岩及其区域地球化学、地球物理等特点上的差别,因而表现出矿化特征、矿床组合上某些特色,从而划分出一些亚系列。如上述的岩-1系列中,又分出岩-1a 岩浆晚期气成、热液型 W、稀土、Nb、Ta 亚系列和岩-1b 云英岩矽卡岩复合型 W、Sn、Pb、Zn 亚系列等5个成矿亚系列。成矿亚系列以下则为“矿床类型”(“矿石相”)。因此,他们明确提出了矿床成因类型方面的4级分类方案,即矿床成矿系列组合→矿床成矿系列→矿床成矿亚系列→矿床类型。该文还对南岭地区岩浆成矿系列组合中一些成矿系列(如岩-1系列)的形成和深化作了初步的分析研究。

由上述可见,他们将成矿系列作为传统矿床分类的一个发展和拓宽,并将矿床类型间的内在联系与区域成矿环境、背景及其演化结合起来,作为区域成矿分析的一个科学依据。无疑,这些学术思想是先进的,是矿床学学术思想和研究方法上的一个重要进步,它适应了区域成矿分析和成矿预测工作的需要;同时,在矿床成因分类方面是一个重要的进展和突破,因而有着广泛的影响。

翟裕生(1957)在研究河北大庙 V-Ti-Fe 矿时发现3种矿床类型(贯入式、浸染式、复合型)都与斜长-苏长-辉长岩组有成因和空间上的联系^①。翟裕生(1958—1959)在研究赣东北 Cu-Pb-Zn 矿床分布规律时,注意到德兴铜厂斑岩铜矿与银山 Pb-Zn-Ag 矿都与燕山晚期火山-侵入岩组有密切的空间和成因联系,且都产于赣东北深断裂旁侧。当时曾作出区域矿化剖面图,说明它们之间可能存在的分带现象,指出应从成因上注意其相关性(袁见齐等,1979)。近年来当地地质工作者包括矿山地质工作者已查明德兴银山铅锌矿与次火山角砾岩筒有关,且在矿区深部发现了铜金矿体,证实了 Cu、Pb、Zn、Ag、Au 矿化之间,斑岩型、次火山岩型、脉型和不整合型矿化之间有密切的成因联系,并建立了斑岩-火山岩型有色金属矿床模型。70年代初至中期,翟裕生等参加组织了宁芜地区陆相火山岩区铁矿的研究工作,并主要集中于对凹山矿田作综合研究。通过对宁芜地区几十个矿床的系统观察,认识到过去分别命名的凹山式、向山式、南山式、大东山式等铁硫矿床并不是彼此孤立的,而是与辉长闪长斑岩(次火山岩)有成因联系的,具有统一形成过程的一组共生矿床,并同时提出“玢岩铁矿”一词来概括这一类矿床的特点。

在多年的研究工作中,翟裕生认识到矿床共生现象不只出现在铁矿、钨矿、铜-铅锌矿区,还可能带有一定的普遍意义,且对成矿预测和矿产勘查有重要意义。“一切客观事物本来是互相联系和具有内部规律的”,从这个研究思路入手,初步搜集和研究有关矿床类型共生情况的一些材料和报道(徐克勤、冯景兰、宁芜火山岩铁矿研究组等,312队报告等),并在其所执笔的《矿床学》(袁见齐等,1979)《成矿控制和成矿规律》一章中,首次专门列出矿床类型共生(矿床系列)一节,以引起读者的重视,并强调指出“通过对矿床共生规律的研究,可以促进相关矿床的找矿和综合评价工作。”“矿床共生关系的发现和引起重视与学习辩证唯物主义的思想方法有关,更是找矿采矿产生产迅速发展的结果。过去采矿规模较小,又只着重采富矿,采矿深度也小,因此就限制了对矿床类型的全面认识”。

在长期系统研究长江中下游地区区域成矿规律的基础上,翟裕生等(1980)于1978年提出了安山岩-闪长岩质火山-侵入岩铁矿系列的概念,建议以建造划分成矿系列,强调成岩成矿系列的一致性(1987),以后又进一步发展提出铁-铜-硫成矿系列(1992)。在研究南岭地区与花岗岩有关成矿系列时,更明确地用系统论的观点来研究成矿系列的基础问题,较深入地探讨了成矿系列的结构,提出了成矿系列中各矿床类型的时-空结构关系和物质结构关系(1987),并根据若干实例(大宝山、铜官山等),提出了不同时代成矿系列间的叠加复合是造成多成因矿床、多因素成矿矿床等成矿复杂现象的重要原因(1992),并认为在我国多构造旋回区,这种成矿系列复合现象有更多的表现,可以作为区域成矿分析和成矿预测的一个重要思路。

章崇真(1983a、b)对华南地区与花岗岩有关的稀土、稀有和有色金属矿床成矿系列和矿床组合模式作过研究。他认为,成矿系列的含义是:“由两个或更多的不同矿种(或矿石相)或不同类型的矿床组成,它们形成于同一成矿期,具有相似的矿质来源,经历了相似的富集途径,只是由于主要控矿

^① 翟裕生,1957,大庙含钨铁矿-磁铁矿矿床的地质-矿物-岩石特点、成因及其工业特征,研究生论文,长春地质学院资料情报室

因素的演化或成矿环境的差异而形成一系列具有一定生成顺序和分布规律的矿床在空间上紧密共生，构成一个成矿系列。”他根据成矿物质来源，富集途径（成矿作用方式）及有关岩石系列揭示了不同矿种和不同类型的矿床之间的成因联系和时、空分布的一般规律，但由于地质条件的千差万别，同一成矿系列中的矿床并非在任何情况下都能同时出现。在一个特定的地质环境中，往往只生成其中一个或几个矿种或类型。而在另一种情况下，由于受地质构造发展演化所制约，也可能出现后期生成的矿床和早期生成的属于不同成矿系列的矿床在空间上伴生，两者之间没有直接成因联系，构成特殊的矿床组合。因此，在研究成矿系列普遍规律的基础上，进而研究矿床组合模式，作为对成矿系列的一个补充，在理论和实践上都是有意义的，据此，他划分了若干基本组合类型：

1. 由同一成矿系列中的矿床组合的单元组合模式

- (1) 由同矿种不同类型构成的组合模式
- (2) 由不同矿种、不同类型矿床构成的组合模式

2. 由不同成矿系列中的矿床组成的多元组合模式

- (1) 继承再造矿床组合模式
- (2) 复合叠加矿床组合模式

他还较系统地阐述了成矿系列的矿床组合模式的找矿意义。

此外，宋天锐（1987）还系统探讨了沉积成矿系列。夏宏远等（1991）对华南钨锡稀有金属花岗岩的矿床成因系列进行了深入的论述。李人树（1991）运用系统科学的方法，以秦岭成矿带研究为基础，探讨了成矿系统的内部结构，划分了自然成矿系统的基本类型，还对成矿系统的其他问题作了开拓性的研讨。

在研究某些地区或某个地质时代的成矿系列的著述有：王时麒（1989）研究了华北地台北缘绿岩带中的金矿系列；叶庆桐（1987）研究了江西东北部铅锌矿床成矿系列；周耀华等（1989）探讨了南岭及邻区钨矿成矿系列；边效曾等（1987）讨论了福建境内的燕山旋回成矿系列；华锡棠等（1985）总结了小秦岭地区燕山期花岗岩有关的成矿系列；杨敏之（1982）论述了晋北前寒武纪铁矿成矿系列及演化的地质-地球化学特征；姚金炎（1985）研究了华北地台中生代岩浆岩建造与内生金属矿床组合；贾恩环总结了甘肃金川铜镍硫化物矿床的成矿系列。

在对成矿系列的综合性研究方面，还有沈永和（1982）、王润民（1988）等的著述。

在总结运用成矿系列找寻金、铜等矿床方面，有张均（1989）、翟裕生（1994d）等导向性论文。

近年来，对非金属矿床成矿系列的研究也有明显进展，其中，代表性的有陶维屏等（1989、1994）的著述。他们的《中国非金属矿床成矿系列》一书按岩浆、沉积、变质三大系列，划分为31个非金属成矿系列，并详细论述了每个沉积和变质系列中的含矿建造、矿床类型和系列形成模式。

从上述简要的回顾可以看出，地质矿床学者们对成矿系列的认知有个发展过程，从矿种共生、矿床共生的认识到成矿系列概念的正式提出，经历了几十年甚至更长时间，其所以在70年代开始系统提出并全面研究成矿系列，笔者认为，可能有以下方面的原因：

(1) 传统的矿床成因分类已不能满足日益发展的区域成矿研究和矿产预测工作的需要。传统的矿床成因分类对于找矿工作确实起到重要的指导作用，直到现在，它还是成矿系列和区域成矿规律研究的重要基础。但是在找矿主要对象是隐伏矿床（对发达地区来说）和地质科学迅速发展的今天，仅仅利用现有的矿床成因分类已不能有效地指导区域矿产预测，需要用全局观点，对一定区域内的地质构造演化、成矿环境和可能存在的矿床类型进行全面分析，建立系统认识，这就需要利用矿床共生组合和成矿系列的分析方法，全面地研究一定区域中各类型矿床之间的内在联系及其形成的共同地质背景和统一成矿过程，以深入地认识矿床成因和分布规律，指导成矿预测。

(2) 矿产勘查、开采等生产实践揭露了大量地质成矿现象，为矿床学以及有关学科研究提供了十分丰富的资料、信息，例如，大量矿床共生现象的查明、对矿床成因类型的全面认识（包括多成因矿床的认识），区域成矿条件的全面认识等等。矿山生产规模的扩大提高了对贫矿的利用能力，同时也促进了许多新矿床类型的发现（如卡林型金矿、蚀变岩型金矿等），对认识各类矿床的共生关系提供了物

质基础,为成矿系列的研究提供了基本前提和条件,这是矿业生产实践推动矿床学研究进展的一个具体体现。

(3)学习运用唯物辩证法来研究地质学是我国很多学者的关心所在,他们能够用全局的观点、联系的观点和发展的(历史的)观点研究复杂的成矿现象(翟裕生,1994a)。在系统研究一定地区的基础地质和矿床地质的基础上,综合分析区域成矿规律包括矿床共生规律已成为广大地质工作者的共识。如果说成矿系列概念的提出是生产实践的客观要求和矿床学研究方法发展的必然结果,那么二次世界大战后诞生的系统科学则直接促成了成矿系列概念的提出。也就是说成矿系列概念很大程度上得益于系统科学的启发。目前,现代系统科学已开始成为地质学家手中的有力武器,许多矿床地质工作者已熟悉和运用整体、联系、动态、层次、有序、自组织等等观念,运用系统的、全面的观点去研究一个成矿带中有关的矿床类型和成矿特征,给现代矿床学研究注入了新的活力。

第三节 成矿系列的研究意义

如前所述,成矿系列的概念是在找矿勘探和矿床地质研究过程中提出的。运用成矿系列概念又可以指导找矿勘探、矿床评价、矿山开发和矿石综合利用等,提高这些工作的成效。

首先,当在一个区域中找矿时,在详细研究区域地质构造特征和地质历史演化的基础上,运用成矿系列的概念可以对该区的成矿环境、控矿因素、成矿作用和可能出现的矿床类型有一个全面的分析和认识,即树立起一个全面观念。可以根据已发现的一种或少数几种矿床类型去预测,找寻属于同一个成矿系列中可能存在但尚未被发现的其他矿床类型,因而能起到扩大找矿思路,明确找矿方向的作用。举例来说,长江中下游地区燕山期花岗岩类有关的砂卡岩矿床、斑岩矿床和层控矿床等广泛发育,且密切共生。江西的地质工作者(黄恩邦,1980)^①,首先提出了“三位一体”广义的砂卡岩成因模式,反映了在丰富找矿实践经验基础上对矿床共生和系列关系的认识。在这些模式的启发下,安徽铜陵地区321地质队在狮子山矿田中(常印佛等,1991),在对砂卡岩型、层控砂卡岩型和热液角砾岩筒型铜矿已有系统研究的基础上,经过预测,又先后在矿区深部钻探发现了冬瓜山层状铜矿(泥盆系五通石英砂岩顶部的层状铜矿体)和斑岩铜矿,因而确定了多种铜、硫矿床类型的共生关系,这是运用成矿系列和矿床模式找矿的成功例证。

在矿山开发过程中,为了扩大矿山远景,找寻后备矿产基地是一项重要工作。过去大都是根据矿床常成群出现,采用“就矿找矿”的方法。现在运用成矿系列的概念,可以从更高层次上去研究矿山周围地区地质成矿特征,综合评价所有的矿床类型和综合评价各种主要的和伴生的矿产资源,以达到综合利用、物尽其用的目的。

除了找矿意义外,成矿系列研究还是对传统矿床成因分类的发展、综合和提高,使对矿床的分类研究提高到一个更高层次。用分析的眼光看,现在常用的矿床成因分类——岩浆矿床、伟晶岩矿床、砂卡岩矿床、斑岩矿床、脉型矿床等,好像是彼此无关的个体,但从综合的角度看,在一定的地质背景下,它们彼此之间又往往具有密切的内在联系(包括过渡类型)。尤其是对某一矿区或矿田的实际情况来说,几种近似的成因类型往往共生在一起,这恰好反映了成矿作用的长期性、复杂性和多样性。因此,现有的矿床成因分类表上只能反映简单矿床的单一成因,对于研究复杂的多成因矿床及成矿系列来说就不够用了,需要加以改进和提高。从这个角度来说,成矿系列的研究把矿床成因类型的研究扩大了,深入了,并和具体的区域成矿环境联系起来。这表现在:①注意到一个地区中各种矿床成因类型之间的内在联系;②综合研究形成这些矿床类型的共同地质构造背景及其发生发展历史;③在综合研究区域地质构造、区域地球化学、区域地球物理等的基础上来整体地研究矿床成因及其分布规律。成矿系列概念的提出,冲破了矿床研究中分门别类,彼此孤立割裂的倾向,而以联系的发展的观点作指导,既考虑成矿过程总的演化特征,又注意地质条件局部变化对矿化的特殊影响。因此,我们认为,从

^① 黄恩邦、王福林、武志华,1980,城门山“三位一体”铜矿床,江西地质,3—4期合刊

矿床单一成因研究发展到成矿系列研究,是矿床成因分类研究史上的一个飞跃。利用成矿系列的分析方法,积累这方面的资料和经验,就有可能使成矿规律研究更深入一步,更好地解决找矿勘探方向问题。

我国地域辽阔,矿床类型众多,区域地质和矿床地质研究都有一定的基础,因此研究成矿系列是有条件的,经过艰苦细致的工作,是能够有所发现的。

成矿系列研究的第三个意义在于将矿床类型研究与区域地质环境和背景联系起来。一定的地质环境,产生一定的岩石组合(岩石建造)和成矿系列。深入认识一个成矿系列的形成、发展演化,必须要加强对区域地质构造环境的研究,把握住区域成矿的环境背景,查清成矿系统与环境相互关系。因此,成矿系列研究也就构成了区域成矿学研究的一项基本内容。

矿床学研究经历了研究矿石、研究矿床、研究矿床组合(成矿系列)以及矿床组合与地质环境的关系等几个阶段,这是一个由个体到系统,由系统本身到所处环境的认识发展过程。也只有揭示矿床的外部联系,才能有效地预测和找到矿床。

第四节 成矿系列的研究现状

自70年代,成矿系列或矿床成矿系列的概念全面提出以来,由于其符合实际,并能直接指导成矿预测和找矿勘探,所以很快得到众多矿床地质工作者以及其他地质人员的关心和认同,较快地得到广泛的运用。

在各类成矿系列中,研究较深入的是与岩浆作用(主要是与中酸性岩浆)有关的成矿系列。因为这方面矿床勘查的研究有较丰富的资料,成矿系列表现也比较明显和全面。80年代初至中期,徐克勤(1982)等对我国华南地区与花岗岩有关的有色、稀有金属成矿系列做了深入的探讨。他们指出,不同种类的有色、稀有金属矿床组合,总体上受不同成因类型花岗岩的控制,而类型的不同,则和它们产生的大地构造环境、成岩成矿物质来源密切相关。80年代中后期,陈毓川等(1983, 1989)在前人工作基础上,对华南与中生代花岗岩有关的有色、稀有金属成矿系列进一步做了深入工作,将该区有色、稀有金属矿床分为5个矿床成矿系列、6个成矿亚系列和21个矿床模式,对每个成矿系列的特征、时空分布、成矿模式都作了较全面的阐述。

崔彬、李忠文(1992)研究建立了江西九瑞地区的铜-金成矿系列。夏宏远等(1991)对华南钨、锡稀有金属花岗岩矿床成因系列作了阐述。毛景文、宋叔和、陈毓川等(1988)出版了《桂北地区火成岩系列和锡多金属矿床成矿系列》。

除了金属矿床成矿系列外,近年来一些单位也开始重视对非金属矿床的成矿系列研究。陶维屏(1989, 1994)系统论述了中国非金属矿床的成矿系列。章少华(1993)^①讨论了角闪岩相和绿片岩相片岩、变粒岩、镁质大理岩建造中区域变质非金属成矿系列。此外,对外生矿床中成矿系列的研究也有较大进展。例如,近代干旱地区盐湖沉积中的食盐、硼砂、卤水中的钾-镁-锂成矿系列,第三纪盆地中的褐煤、油页岩、天然碱、丝钠铝石成矿系列等。

综上所述,成矿系列研究自70年代末期提出后,受到普遍的关注(中国地质学会编,1992;中国地质学会矿床专业委员会,1993)。很多矿床地质工作者接受和运用这个观点,用来分析区域的或矿区的矿床共同组合特征。目前成矿系列研究工作的现状基本上是:

- (1) 在金属矿床方面,研究较多。非金属矿床方面,近年来也已开始有系统成果。
- (2) 与岩浆岩有关的成矿系列,研究较为详细。尤其是与花岗岩有关的成矿系列更为普遍。
- (3) 划分了若干个系列及亚系列,并按成矿区(带)来研究成矿系列。
- (4) 对成矿系列的级别(层位)、结构和不同系列间的相互关系作了初步探讨,而对成矿系列的形成机理只是开始研究。

^① 章少华, 1993, 豫西南镁质大理岩建造非金属矿床成矿系列研究, 博士学位论文, 中国地质大学(北京)

(5) 我国成矿系列的研究开展较早, 涉及领域广泛; 外国的矿床地质文献中也涉及到成矿系统、矿石建造等。有关成矿系列研究的国际交流很不够。

当前成矿系列研究还处于兴起阶段, 很多问题还需进一步探讨, 例如:

(1) 对各类成矿系列需分别进行深入研究。尤其是与区域地质环境演化联系起来, 探索矿质的来源、迁移和富集规律, 确定各成矿系列的组成, 完善成矿系列的划分, 以期对找矿起更大作用。

(2) 成矿系列的共生、演化、改造、重叠、保存、消亡, 属成矿的历史学的范畴。

(3) 成矿系列的形成机理与构造体系、构造-岩石环境结合起来研究, 查明矿床类型形成的条件, 即时空轨迹(结构), 属成矿动力学的范畴。

(4) 广泛收集、整理全球上的主要的矿床地质资料, 用成矿系列的观点加以综合研究, 总结提出全球成矿系列的划分方案, 并探讨其形成和分布规律。

第二章 成矿系列研究的基本问题

成矿系列研究正处于兴起阶段，一些有关的基本问题正在探索，还未形成较系统的理性认识。为了深化对成矿系列的研究，有必要对成矿系列一些基础问题，如成矿系列的系统性质、成矿系列的层次和类型划分、成矿系列的结构、成矿系列间的关系、成矿系列与环境以及成矿系列的历史演化等加以较系统的探讨，以期建立较完整的成矿系列理论打下一定基础。本章将主要讨论上述几个问题，讨论内容是基于笔者的研究成果，也综合分析了一些国内外文献资料。

第一节 成矿系列研究的思路和途径

自从成矿系列的概念提出以来，研究者们从不同角度对其进行探讨。翟裕生(1992)根据研究宁芜玢岩铁矿、长江中下游铁铜金成矿系列以及南岭钨锡成矿系列等的体会，提出以下的研究思路和途径(图2-1)。

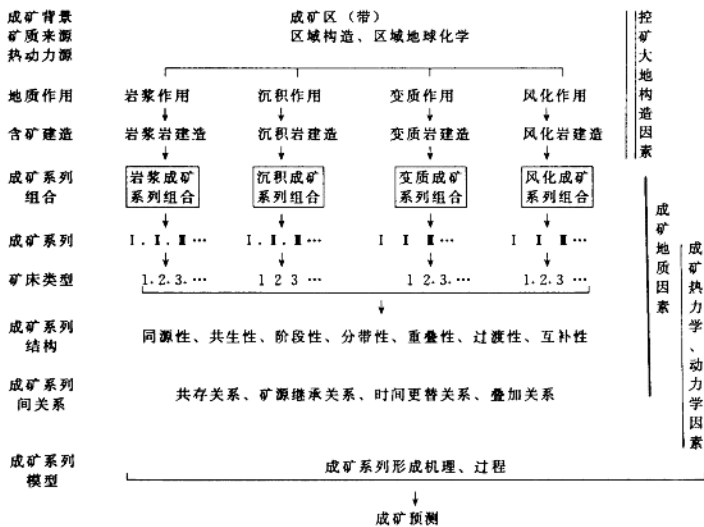


图2-1 成矿系列研究思路(示意图)

成矿系列是一定成矿地域中一定发展阶段的综合地质作用的产物，是受多种因素制约的。其中，岩石建造是孕育和包含矿床及成矿系列的主体，而构造运动和地球化学作用起着关键作用。基于此，对成矿系列的研究思路和技术途径是：运用唯物辩证法和系统论思路，以区域构造-地球化学为环境背景，以构造-成矿作用为统一体系，以矿床的时空演化为主线(四维结构)，探讨成矿系列的形成、分布和演化规律，科学地指导成矿预测工作。

在这个研究思路中，主要包含有4个基本问题：①岩石建造与成矿系列的关系；②成矿系列的内