

总 序

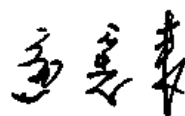
不断将地质调查和地质科研成果进行综合集成，形成系列地质科学文献，具有重要价值。由中国工程院院士陈毓川同志主持，常印佛、汤中立、裴荣富、任纪舜、翟裕生、滕吉文、张本仁等 200 多位专家共同参加完成的“中国成矿体系与区域成矿评价”项目及其所属各课题、专题研究成果陆续出版，将为中国地质学界提供一批重要的文献资料。

“中国成矿体系与区域成矿评价”是 1999 年中国地质调查局设立的国土资源大调查关于矿产资源调查评价工作的全国性、综合性研究项目。该项目成果是对新中国成立 50 多年来广大野外地质工作者和地质科研工作者辛勤劳动成果的一次全面、系统地总结和提升，是目前关于我国大陆矿床成矿系列、主要地质时期大规模成矿作用及其时空结构与成因机理、主要成矿区（带）成矿物质富集规律和定位机制等方面研究的最新、最完整的世纪性科学巨著。

在“中国成矿体系与区域成矿评价”系列成果中，涉及全国性的成矿背景的成果包括“中国地质构造环境、演化及其对成矿的控制”、“中国大陆地球物理场与深部结构及其对成矿作用的制约”及“中国地球化学场与成矿”等；涉及全国性和区域性成矿规律研究的成果有“中国主要成矿区带研究”及“大别-台湾走廊域成矿区带形成的四维结构”等；涉及不同时代成矿作用的包括“前寒武纪成矿作用”、“古生代成矿作用”、“中生代成矿作用”及“新生代成矿作用”等；涉及区域成矿理论的有“中国矿床成矿系列、成矿系列组合、成矿谱系”及“主要成矿系列形成机制和结构特征”的研究，并在此基础上构筑了“中国成矿体系”框架；涉及矿产资源评价的有“综合信息区域成矿评价系统”及

“全国成矿远景评价与重要矿产资源潜力评估”等专题成果及相应的专著。同时，各省、自治区也分别对区域成矿规律进行了系统的总结，对找矿前景和找矿方向进行了分析，并且结合地质大调查资源评价项目的实施，取得了很好的找矿效果。这一系列成果的出版，无疑是对几十年来中国区域成矿规律研究的检阅，也将对今后的地质勘查和地质科研工作产生极大影响，同时对矿产资源调查评价工作部署和生产实践具有重要的指导意义。

中国地质调查局局长



2005年1月

目 录

第一章 绪 论	(1)
一、成矿系列研究简史和现状	(1)
二、专题的研究任务、研究内容及技术路线	(2)
三、专题工作情况、编写分工和致谢	(4)
四、主要进展和认识	(4)
第二章 海底热水喷流成矿系列——以狼山-渣尔泰山成矿带为例	(8)
第一节 区域地质构造背景与成矿环境	(8)
一、区域构造格架及演化	(8)
二、狼山-渣尔泰山裂陷槽的空间范围	(8)
三、狼山-渣尔泰山裂陷槽的变质基底	(8)
四、狼山-渣尔泰山裂陷槽的形成和发展	(11)
五、狼山-渣尔泰山裂陷槽的沉积建造与原岩恢复	(11)
六、狼山-渣尔泰山裂陷槽的重要地质事件及其演化	(16)
第二节 主要控矿因素	(17)
一、赋矿盆地	(17)
二、地层层位与岩性	(18)
三、同生断裂活动	(19)
四、同沉积期火山活动	(24)
五、成矿金属来源	(28)
六、热水对流系统	(29)
第三节 代表性矿床剖析	(30)
一、东升庙矿床	(31)
二、炭窑口矿床	(39)
三、霍各乞矿床	(41)
四、甲生盘矿床	(41)
五、朱拉扎嘎金矿床	(42)
第四节 成矿系列的形成过程与时空分布	(43)
一、形成过程	(43)
二、时空分布	(44)
第五节 成矿系列中大矿产出部位及控矿因素	(45)
第六节 待深入研究问题	(46)
第三章 富镁碳酸盐岩建造非金属成矿系列——以辽东裂谷成矿区为例	(47)
第一节 区域地质构造背景及成矿环境	(47)

一、区域地层	(47)
二、辽东裂谷	(49)
三、岩浆岩	(49)
四、变质作用	(50)
五、区域地质发展史与重大地质事件	(53)
第二节 主要控矿因素	(54)
一、大地构造	(54)
二、含矿建造	(55)
三、岩相古地理	(57)
四、成矿构造	(60)
五、成矿地球化学	(64)
六、成矿流体	(73)
第三节 区域矿床时空分布	(76)
一、菱镁矿矿床	(76)
二、滑石矿床	(77)
三、硼矿床	(80)
第四节 矿床类型及典型矿床特征	(81)
一、矿床类型	(81)
二、菱镁矿矿床	(81)
三、滑石矿床	(87)
四、硼矿床	(87)
第五节 成矿系列的结构、成因与结构模型	(91)
一、成矿系列划分	(91)
二、成矿系列结构与成因	(97)
三、成矿系列结构模型	(101)
四、大矿、富矿的产出部位及控矿因素	(101)
第六节 区域主要矿种资源潜力	(105)
一、找矿标志	(106)
二、找矿方向	(106)
第四章 粤北晚古生代复合成矿系列——以粤北盆地成矿区为例	(108)
第一节 地质背景与主要矿床特征	(108)
一、地质背景	(108)
二、典型矿床地质特征	(108)
第二节 盆地晚古生代岩相古地理	(110)
第三节 盆地同生断层分布及特征	(113)
第四节 盆地同沉积期热事件	(119)
第五节 盆地成矿流体系统	(122)
一、盆地成矿流体类型划分	(122)
二、凡口矿床海底热泉喷口的判定	(125)

第六节 盆地成矿物质来源	(127)
一、硫的来源	(127)
二、铅的来源	(128)
三、水的来源	(131)
第七节 粤北层控矿床成矿过程和成矿模式	(132)
一、成矿系列的形成过程	(132)
二、凡口矿床形成过程和特定条件	(133)
第八节 粤北晚古生代复合成矿系列	(136)
一、成矿系列及其模式	(136)
二、粤北晚古生代盆地成矿系列的若干特点	(136)
第五章 成矿系列的结构模型	(139)
第一节 成矿系列的物质结构	(139)
第二节 成矿系列的空间结构	(142)
一、成矿分带	(142)
二、矿化网络	(145)
第三节 成矿系列的时间结构	(146)
一、成矿过程的复杂性	(146)
二、成矿过程的阶段性	(148)
三、成矿系列的时间结构类型	(149)
第四节 成矿系列中大型-超大型矿床的时空位置及制约因素	(151)
一、大型-超大型矿床形成的基本条件	(151)
二、成矿因素的良好匹配	(152)
三、大型-超大型矿床在成矿系列中的时空位置	(154)
第五节 成矿系列间的相互关系	(157)
一、成矿系列的相互关联	(157)
二、叠加复合成矿系列	(158)
第六节 成矿系列模式	(161)
一、成矿系列模式的内容	(161)
二、建模原则和工作要点	(162)
三、区域成矿系列模式实例	(164)
主要参考文献	(165)
英文摘要	(169)

Contents

General Preface

Chapter 1 Introduction	(1)
1. 1. 1 Brief history and situation of metallogenic series research	(1)
1. 1. 2 Research tasks, contents and technical route	(2)
1. 1. 3 Work process, compiling division and acknowledgement	(4)
1. 1. 4 Main achievements	(4)
Chapter 2 Submarine hydrothermal exhalative sedimentary (SEDEX) metallogenic series—example from the Langshan-Zhaertaishan metallogenic belt	(8)
2. 1 Regional tectonic setting and ore-forming environment	(8)
2. 1. 1 Regional tectonic frame and evolution	(8)
2. 1. 2 Spatial distribution of the Langshan-Zhaertaishan rift	(8)
2. 1. 3 Metamorphic basement of the Langshan-Zhaertaishan rift	(8)
2. 1. 4 Formation and development of the Langshan-Zhaertaishan rift	(11)
2. 1. 5 Sedimentary formations and original types of metamorphic rocks of the Langshan-Zhaertaishan rift	(11)
2. 1. 6 Major geological events and evolution of the Langshan-Zhaertaishan rift	(16)
2. 2 Major ore-controlling factors	(17)
2. 2. 1 Ore-bearing basin	(17)
2. 2. 2 Stratigraphy and lithology	(18)
2. 2. 3 Activity of synchronous faults	(19)
2. 2. 4 Syn-sedimentary volcanic activities	(24)
2. 2. 5 Source of ore-forming metals	(28)
2. 2. 6 Hydrothermal circulation system	(29)
2. 3 Analysis of typical ore deposits	(30)
2. 3. 1 The Dongshengmiao ore deposit	(31)
2. 3. 2 The Tanyaokou ore deposit	(39)
2. 3. 3 The Huoqeqi ore deposit	(41)
2. 3. 4 The Jiashengpan ore deposit	(41)
2. 3. 5 The Zhulazhaga gold deposit	(42)
2. 4 Forming processes and temporal-spatial distribution of metallogenic series	(43)
2. 4. 1 Forming processes	(43)
2. 4. 2 Temporal-spatial distribution	(44)
2. 5 Position of large ore deposit in the metallogenic series and ore-controlling factors	(45)
2. 6 Problems need to be researched in detail	(46)

Chapter 3	Mg-B metallogenic series related to Mg-rich carbonate formation	
	—example form the ore-forming belt in Liaodong rift zone	(47)
3.1	Regional tectonic setting and ore-forming environment	(47)
3.1.1	Regional strata	(47)
3.1.2	The Liaodong rift zone	(49)
3.1.3	Magmatic rocks	(49)
3.1.4	Metamorphism	(50)
3.1.5	Regional geological evolutionary history and important geological events	(53)
3.2	Major ore-controlling factors	(54)
3.2.1	Tectonics	(54)
3.2.2	Ore-bearing formations	(55)
3.2.3	Petrography and palaeogeography	(57)
3.2.4	Ore-forming structure	(60)
3.2.5	Ore-forming geochemistry	(64)
3.2.6	Ore-forming fluids	(73)
3.3	Temporal and spatial distribution of ore deposits	(76)
3.3.1	Magnesite deposits	(76)
3.3.2	Talc deposits	(77)
3.3.3	Boron deposits	(80)
3.4	Ore deposit types and features of typical ore deposit	(81)
3.4.1	Ore deposit types	(81)
3.4.2	Magnesite deposits	(81)
3.4.3	Talc deposits	(87)
3.4.4	Boron deposits	(87)
3.5	Genesis and structure of the metallogenic series	(91)
3.5.1	Classification of the metallogenic series	(91)
3.5.2	Genesis and structure of the metallogenic series	(97)
3.5.3	Structural model of the metallogenic series	(101)
3.5.4	Position of large and high-grade ore deposit in the metallogenic series and ore-controlling factors	(101)
3.6	Resource potential of main ore commodities in the region	(105)
3.6.1	Prospecting criteria	(106)
3.6.2	Prospecting direction	(106)
Chapter 4	Late Paleozoic compound metallogenic series in the northern Guangdong area—example form the Yuebei Basinal ore-forming zone	(108)
4.1	Geological setting and features of major ore deposits	(108)
4.1.1	Geological setting	(108)
4.1.2	Geological features of the ore deposits	(108)
4.2	Late Paleozoic petrography and palaeogeography of the basin	(110)
4.3	Distribution and features of the synchronous fault	(113)

4.4	Synsedimentary heat events of the basin	(119)
4.5	Ore-forming fluid system of the basin	(122)
4.5.1	Classification of the fluid systems of the basin	(122)
4.5.2	Confirmation of erupting center of mineralizing fluids in the Fankou Pb-Zn ore deposit ...	(125)
4.6	Source of ore-forming materials in the basin	(127)
4.6.1	Source of sulfur	(127)
4.6.2	Source of lead	(128)
4.6.3	Source of water	(131)
4.7	Ore-forming process and metallogenic model of stratabound deposit in the Yuebei basin	(132)
4.7.1	Ore-forming process of the metallogenic series	(132)
4.7.2	Ore-forming process and special conditions of the Fankou ore deposit	(133)
4.8	Late Paleozoic compound metallogenic series in the Yuebei Basin, northern Guangdong province	(136)
4.8.1	Metallogenic series and its model	(136)
4.8.2	Some features of basinal metallogenic series of late Paleozoic in Northern Guangdong province	(136)
Chapter 5	Structural model of metallogenic series	(139)
5.1	Material structure of metallogenic series	(139)
5.2	Spatial structure of metallogenic series	(142)
5.2.1	Ore-forming zonation	(142)
5.2.2	Mineralization network	(145)
5.3	Temporal structures of metallogenic series	(146)
5.3.1	Complexity of ore-forming processes	(146)
5.3.2	Multistage of ore-forming processes	(148)
5.3.3	Temporal structure type of metallogenic series	(149)
5.4	Temporal and spatial position of large-superlarge ore deposit in the metallogenic series and controlling factors	(151)
5.4.1	Basic conditions for the formation of large-superlarge ore deposits	(151)
5.4.2	Well coupling of ore-forming factors	(152)
5.4.3	Temporal and spatial position of large-superlarge ore deposit in the metallogenic series ...	(154)
5.5	Relationships between different metallogenic series	(157)
5.5.1	Relationships between different metallogenic series	(157)
5.5.2	Superimposed metallogenic series	(158)
5.6	Model of metallogenic series	(161)
5.6.1	Contents of metallogenic series	(161)
5.6.2	Principles and essential of constructing model	(162)
5.6.3	Examples of regional metallogenic series model	(164)
References	(165)
English Abstract	(169)

第一章 绪 论

一、成矿系列研究简史和现状

据已掌握的矿床学文献，法国地质学家 De Launay 于 1905 年初步提出成矿系列的概念（郭文魁，1991）。1920 年翁文灏提出“中国矿产区域论”，1923 年，翁文灏又发表“含砷矿物在成矿系列中的地位”一文，论述了含砷矿物在华南四个金属成矿带中出现的情况及地位。

成矿系列概念的全面论述是我国地质学家在总结新中国成立后几十年来找矿勘探工作和矿床地质研究过程中提出来的。它将在一个区域中与某一地质事件有关，在空间、时间、成因上有联系的一组矿床类型，作为一个整体加以研究。这对于深入认识成矿规律，指导矿产勘查工作，有重要的意义。

首先，当在一个区域找矿时，在详细研究区域地质构造背景的基础上，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，即树立起一个整体观念，根据已知矿床，找寻未知矿床，因而能起到扩大找矿思路，明确找矿方向的作用。

其次，成矿系列研究冲破了过去矿床研究中只注重单个矿床类型的倾向，而以联系的观点作指导，既考虑成矿过程总的演化特征，又注重地质局部异常对矿化类型的控制作用。从矿床个体成因研究发展到成矿系列研究，可以认为是矿床成因分类研究史上的一个突破。

自 20 世纪 70 年代程裕淇等全面提出矿床成矿系列概念以来，我国的广大地矿工作者在应用成矿系列观点指导找矿勘探，总结区域成矿规律方面做了大量工作，取得显著的成绩。研究机构和院校的专家们对成矿系列也作了广泛深入的研究。在各类成矿系列中，研究较深入的是与岩浆和热液作用有关的成矿系列。因为这方面矿产勘查和研究的资料很丰富，成矿系列表现也较明显和全面，有较多研究成果（陈毓川，裴荣富，1983，1989；夏宏远等，1991；翟裕生等，1992；崔彬等，1992；毛景文等，1998 及其他）。陶维屏等（1989，1994）系统论述了中国非金属矿产的成矿系列。在成矿系列内涵方面，翟裕生等（1980，1987）提出了成矿系列结构概念，包括分带性、阶段性、过渡性、重叠性、互补性等结构型式，以表示一个成矿系列内部各矿床类型间的时空、物质和成因联系。

在国外，苏联学者也曾提出类似成矿系列的观点。X. M. 阿伯杜拉也夫（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，并进一步划分了与岩浆建造有关的矿床成因系列。П. A. 斯特罗纳（1978）系统论述了“含矿建造”，划分了含矿建造类型。她明确指出，含矿建造是稳定的矿床组合，而不仅仅是狭义的、具体的矿石建造。就其含矿建造的定义，是相当于成矿系列或矿床成矿系列的。西方地质学家较少运用成矿系列，而多用成矿系统一词，如热液成矿系统、斑岩成矿系统等。

当前，成矿系列研究在我国已广泛深入地展开，矿产勘查单位、科研院所、大专院校等的专家们在大量地矿资料基础上，运用成矿系列观点总结提炼我国不少成矿区带和矿田（床）的成矿规律，发表了大量的著述。仅举若干例子：在区域成矿系列方面如《桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹》（陈毓川、毛景文等，1995）、《秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造-成矿旋回与演化》（王平安等，1998）、《华北地块北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查》（裴荣富等，1998）；在不同地质时代的成矿系列方面有《中国北方古元古代成矿带矿床成矿系列研究》（杨言辰等，2002）；在有关矿种的矿床成矿系列方面有《海相火山沉积岩区铁-铜-硫成矿系列及铁-铜型矿床》（邬介人等，1999）。很多省区的地矿部门都运用成矿系列观点指导找矿和综合研究，取得了明显的成效，并出版了总结性著述，例如《河北省主要成矿区带矿床成矿系列及成矿模式》（章百明等，1996）、《中国新疆矿床成矿系列》（刘德权等，1996）、《黑龙江省主要成矿带矿床成矿系列》（韩振新等，1996）等。

在成矿系列的综合研究方面，翟裕生等（1996）的《成矿系列研究》一书，较系统地论述了成矿系列研究的理论基础。陈毓川等（1998）以对中国的区域成矿研究为基础，出版了《中国矿床成矿系列初论》专著。

总的认为，我国的成矿系列研究开展较早，成果明显，居于国际同类研究的前列。在当前正在开展的矿产资源大调查中，为了更有成效地运用成矿系列理论指导找矿，需要加强对成矿系列形成机理和结构特征的研究，以深入认识成矿系列的形成条件、控制要素、形成过程及其动力学机制，即深入探索成矿系列的形成和分布规律。

二、专题的研究任务、研究内容及技术路线

本专题《主要成矿系列的形成机制和结构特征》（K1.4-1-5）在整个项目研究中属于重点深入的部分，重点研究几种主要成矿系列的形成机制和内部结构特征，建立成矿系列动力学模型。以便更好地指导找矿，并为建立中国大陆成矿体系提供有关成矿系列的若干理论观点。

（一）目标任务

1) 研究阐明重要成矿系列的构造背景及其形成-演化特征，探索系列内各矿床类型发育程度的控制因素，以及各类型间的时空和成因关联，建立成矿系列的结构模式。

2) 重点解剖海底热水成矿系列、富镁非金属成矿系列和复合型成矿系列，以典型地区为例，阐明它们的控制要素、形成过程、成矿机理和产物系列；并根据研究区地质条件，分析这些系列中产出新矿种、新矿床类型、大矿和富矿的可能性，为区域资源潜力评价提供科学依据。

（二）选择三个成矿系列的理由

之所以选择这三个成矿系列的原因在于：海底热水成矿系列的时空分布广泛，从元古宙到现代的海洋中均有分布，是铜、铅、锌、银、金、锡、硫等矿产的重要来源。狼山成矿带是我国已知最老的海底热水沉积成矿系列分布区，在该类成矿系列中有代表性，成矿条件好，矿种多，是西部地区的重要后备矿业基地。

富镁非金属成矿系列是辽吉地区很发育的矿床成矿系列，镁、硼等矿产资源丰富，是我国已知最老的蒸发岩相成矿系列，与国外类似矿床比较也很有特色，且非金属矿床系列过去研究很少，值得深入探索。

复合型成矿系列是指两个（以上）成矿系列的叠加复合，它常能生成大型矿床和复杂组分矿床。由于我国地质构造历史复杂，多旋回构造发育，复合型成矿系列比较多见。粤北晚古生代盆地中的热水成矿系列及复合成矿系列在华南有代表性，且产出多个大型-超大型矿床，因此，选择该区做深入研究并与长江中下游等成矿区带作对比。

岩浆成矿系列、岩浆-热液成矿系列、火山-次火山成矿系列等也有重要的理论和实际意义，对它们已有较系统研究，参见翟裕生等（1996）著的《成矿系列研究》及其他文献，不再作重点探索。

（三）研究内容

1) 研究成矿系列内部各矿种、矿床类型发育或不发育的控制因素，探索矿床多样性或单一性的原因。

2) 研究成矿系列内各矿种、各矿床类型间在空间、时间、物质组成和成因上的联系及其原因。

3) 研究成矿系列的垂直分带特征，探索矿化垂直分带控制因素。

4) 以东升庙、炭窑口等矿床为例，研究海底热水沉积成矿系列的形成机理和结构特征。

5) 以大石桥矿床等为代表，研究辽吉元古宙海盆的蒸发岩建造成矿系列的形成演变历史和结构特征。

6) 以粤北等地区金属矿床为例，研究叠加复合成矿系列的形成演变历史和结构特征。

（四）技术路线

1) 成矿系列的形成机制和结构特征是“中国大陆成矿地质环境及成矿系列”课题的有机组成部分，其任务是对中国几个重要成矿系列作较深入解剖，探索研究成矿系列成因的方法和途径。其研究思路是：以系统论、整体观和历史观为指导，以区域构造-成岩-成矿为主线，以成矿环境、成矿要素、成矿过程、成矿产物为基本内容，研究代表性成矿系列的形成过程和时空结构，阐明成矿系列形成和分布规律。

2) 以综合研究为主，充分收集、研究和应用已有的地质、矿产、地球物理和地球化学资料，运用新思路和新方法，进行加工提炼；同时，也进行必要的实地调查研究及分析测试工作，包括示踪矿物、元素和同位素的测定和对比研究。

3) 采用点面结合的原则，在深入解剖几个成矿系列时，注意与国内外同一类成矿系列的比较研究。

4) 研究工作实行地、物、化、遥等多学科结合，注重产、学、研各方的密切协作，重视阶段性研究成果的及时交流。

5) 加强与有关专题的协调与合作，相互促进，完成项目整体目标。

三、专题工作情况、编写分工和致谢

专题由翟裕生、彭润民、陈从喜、王建平、蔡克勤、邓军、陈学明、程小久等承担，并按专题设计来分工开展工作。工作分两方面进行，一方面是对重点矿床和矿集区的现场调研和实验室工作，包括狼山区的东升庙、炭窑口、甲生盘；辽宁的大石桥、翁泉沟、青城子；粤北的凡口、大宝山、红岩以及长江中下游的铜官山、狮子山、冬瓜山等矿床。另一方面工作是对已有的矿床系列研究成果进行学习、研究与较深入的提炼、加工和综合研究。为了与国外有关成矿系列作对比，专题组主要成员还于2001年9月赴南非共和国参观考察了铬-铂-钽-铌矿床、金刚石矿床和金-铀矿床，扩大了眼界，搜集到较系统的第一性资料。

除上述工作外，还对澳大利亚、加拿大、美国等有关矿床文献、资料作了对比研究。

专题报告和本专著的编写分工是：第一章：翟裕生、王建平；第二章：彭润民；第三章：陈从喜、蔡克勤；第四章：程小久、陈学明、邓军；第五章：翟裕生、邓军。全书初稿写成后，由翟裕生、王建平统一整理定稿。

专题研究工作是在项目负责人陈毓川院士和项目办朱明玉同志的统一组织下进行的。几次项目工作会议的学术交流和深入研讨对我们很有启发。各有关矿山、地质队和中国地质大学（北京）的地球科学与资源学院、科技处和“211项目”办公室与杜杨松教授等都给予专题工作多方面帮助和支持，在此一并致以谢意。

在研究和编著本书的过程中，王庆飞、刘玉祥等帮助整理文稿，清绘图件。在矿床实例部分，引用了一些地勘单位和专家们的研究成果。笔者一并对他们表示谢意。还要感谢那些长期工作在矿产勘查和开发第一线的地质专家们，是他们积累了丰富的第一性地质矿产资料，使我们有可能在此基础上加以研究探索。作为本书基础的各级研究课题，曾获得国土资源部、科技部、教育部（211工程）和国家自然科学基金委（重点基金项目40234051）的资助和支持，在此一并表示衷心感谢。

四、主要进展和认识

专题取得的主要进展和认识是：

（一）富镁碳酸盐岩非金属成矿系列

在过去工作基础上，通过三年的研究工作，对辽东硼镁非金属矿床成矿系列的结构和成因有了新的认识，主要有以下几点：

1) 阐明了辽东裂谷的发生、演变和闭合历史，并提出辽东裂谷内辽河群发育的大规模富镁碳酸盐岩矿床与所在裂谷形成、演变的一致性。

2) 确定了该成矿系列中各类矿床矿化强度的主要控制因素。辽东古元古代古裂谷环境制约了成矿系列的矿质、流体来源、热力驱动等。其中，蒸发岩系和蒸发作用是该成矿系列区别于其他成矿系列的主要特征。

与其他非金属成矿系列不同，辽东硼镁非金属成矿系列矿床类型较多，矿床规模不等，且呈互补性的特点。最典型的是菱镁矿与滑石矿床的互补与相互过渡和转化，这是由于成矿微环境的变化造成的。

3) 提出蒸发沉积-变质热液改造是形成菱镁矿床的基本过程,建立了叠加复合成矿系列模型。野外调查发现,菱镁矿层中含有大量叠层石,表明该矿有生物成矿的参与;在菱镁矿层底部发现石膏层,找到了蒸发成因的直接证据。结合现代塞卜哈蒸发形成菱镁矿的情况,提出了辽东菱镁矿原生蒸发沉积的观点。而滑石矿床则是富镁质碳酸盐岩建造经构造-流体改造的结果。

4) 结合前人资料,查证辽东硼矿床矿化特征,对辽东硼矿床的构造-流体-蚀变-矿化分带作了室内外综合研究,认为辽东的硼矿是火山、沉积、变质等综合作用形成的。火山-热液作用使硼初步富集,区域变质使硼矿床(化)改造富集。

5) 对辽吉硼镁非金属成矿系列内部结构作了进一步研究,提出了同源性、共生性、重叠性、转化性等概念,建立了两个成矿亚系列,初步建立了早期蒸发沉积、火山活动和热水沉积,成矿后期叠加区域变质改造的成矿模式。

(二) 粤北盆地热水沉积多金属成矿系列

粤北盆地是华南海西-印支期沉积盆地中的组成部分,处在构造叠加复合地带,表现为拉伸裂陷和俯冲挤压造山交替的多旋回演化特征。它在震旦纪至古生代期间处于伸展性大陆边缘。晚古生代时受古特提斯裂谷作用和古西太平洋裂谷作用的影响,粤北盆地中发生了两期重要的热事件——中-晚泥盆世早期海底的火山活动和早石炭世末期热水活动与基性岩浆侵入,从而形成了与成矿密切相关的海底火山喷气系统、海底热水循环系统和压实流体系统,进而产出大宝山、凡口和红岩等重要的铅、锌、铜、铁、硫等矿床。这些矿床的形成与盆地流体系统密切相关,因此在该成矿系列进行整体研究的同时,重点对其流体系统进行了研究,取得以下进展:

1) 通过盆地演化过程、矿床地质、流体包裹体、同位素地球化学等的研究,提出粤北盆地流体系统由4个子系统组成,即①中-晚泥盆世早期海底火山喷气系统:发生在大宝山一带,由深部或岩浆的热能驱动的由岩浆气液、海水、大气降水等组成的混合流体系统;②早石炭世末期至中石炭世海底热水循环系统:发生在凡口一带,是在构造-热事件影响下的大规模中-低温热液系统;③盆地沉降期压实流体系统:几乎遍布整个盆地,流体运动的驱动力是压实作用力,流体主要来源于因沉积物随埋深增大孔隙度衰减而被挤出的地层水或建造水;④印支-燕山盆地隆升期重力流体系统:流体运动的驱动力是其自身的重力,流体主要来源于在重力作用下渗入地层或岩石的大气降水,流体作用的范围在补给区和排泄区之间。

2) 对粤北凡口矿床的构造-流体-蚀变-矿化带作了室内外综合研究,初步查找到海底热泉喷口与含矿流体运移方向(运用断裂构造分析与矿物流体包裹体分析相结合的方法),为判定凡口矿床为叠加复合成矿系列提供了新的依据。

3) 粤北盆地及邻区主要矿床分布于华南加里东不整合面上海西旋回之中,绝大部分矿床赋存在底部碎屑岩建造与上部碳酸盐岩建造的过渡部位,底部有利于流体运移的碎屑岩建造与上部富有硫化氢的浅海碳酸盐岩建造组合构成有利的矿化环境。

4) 综合研究表明,大宝山多金属矿田与海底火山沉积作用及后期岩浆叠加作用有关,凡口铅锌银矿床与海底热泉喷溢沉积作用有关,红岩黄铁矿矿田与盆地成岩压实流体作用有关。

5) 在对粤北盆地演化与典型矿床深入研究的基础上, 综合分析成矿的流体系统、矿源系统、动力系统及其相互关系, 提出该盆地演化过程中自晚古生代至中生代发育了复合成矿系列, 包括三个成矿系列: ①晚古生代盆地热水及火山-喷气成矿系列 (含红岩、凡口及大宝山矿 Cu-Pb-Zn-Fe 矿床); ②燕山期岩浆-热液成矿系列 (大宝山附近斑岩型 Mo 矿、砂卡岩型 W-Mo 矿等); ③海西期热水成矿与燕山期岩浆热液的叠加成矿系列 (大宝山矿北段的复合型矿体)。初步建立了粤北盆地 Pb、Zn、S、Cu 多金属复合成矿系列及其演化模型。

(三) 狼山热水喷流沉积 Pb-Zn-Cu-Au-S 成矿系列

在全面研究狼山-渣尔泰山成矿带的构造背景、控矿要素、成矿机理和矿床系列的基础上, 深入研究了火山活动、同生断裂对成矿的控制作用, 并扩大了狼山式 SEDEX 成矿系列的矿种和空间范围, 主要成果包括:

1) 在东升庙矿床中进一步确认出变质的“双峰式”火山岩夹层。同时首次在炭窑口矿床的含矿狼山群二组岩层中发现同沉积期的钾质细碧岩和偏酸性火山岩的夹层, 基本上也属“双峰式”。两地的火山岩夹层主要产在矿层的下部层位, 表明火山活动可能为成矿提供了热源、流体和部分矿质, 这些发现为建立狼山式多金属矿床的近火山-热水喷流沉积成矿模式提供了依据。

2) 对狼山-渣尔泰山成矿带同生断裂活动特征及其对成矿的控制作用做了深入研究, 确认同生断裂具有多期活动特征, 同生断裂活动与火山活动关系密切。同生断裂的规模、活动频率、持续时间的差异是造成矿床不同规模及不同成矿组分的重要因素, 同时, 也基本确认不同尺度的同生断裂对区域矿化和局部成矿有不同的控制作用。

3) 经与国外同类矿床对比, 确认狼山-渣尔泰山成矿带的成矿特征有特殊性。将朱拉扎嘎金矿床与霍各乞、炭窑口等 Cu-Pb-Zn-S 矿床作了对比, 认为其含矿岩系、构造背景、矿体产状、成矿元素、同生断裂等都有可对比性, 初步将朱拉扎嘎金矿床作为狼山式海底热水喷流沉积 Cu-Pb-Zn-Au-S 成矿系列中的一员, 从而扩大了狼山式 SEDEX 型成矿系列的矿种及空间范围。

(四) 成矿系列的结构模型

1) 阐明成矿系列结构研究的重要意义, 以实例深入分析了成矿系列的内部结构——物质结构、空间结构和时间结构, 总结提出成矿系列的同源性、多样性、过渡性、互补性、分带性、网络性、集约性、阶段性、重叠性特征, 并说明了造成这些特征的原因。

2) 初步总结出成矿系列中矿床类型多样化的制约因素, 包括①矿质充分; ②热液环流系统畅通且持久; ③成矿方式多样; ④多阶段成矿; ⑤成矿过程稳定、持续, 自组织能力强等。

3) 尝试将成矿系列按成矿时间和成矿过程划分为若干类型, 包括①漫长成矿型 (如一般的沉积或生物沉积矿床系列); ②短暂成矿型 (如火山喷溢型矿床系列, 其形成经过较长时间的孕育, 但矿床就位时间是突发式的, 时间短暂); ③突发成矿型 (加拿大的肖德贝里 Ni-Cu 陨击矿床, 孕育时间很短, 就位时间也短); ④多重富集成矿型 (如绿岩型金矿, 矿床经过多重富集作用, 多次的孕育和多次的富集和最终就位); ⑤先成后储型

(如在南非一些金伯利岩筒型金刚石矿床中,如 Finsch 和 Kimberly 矿床的金刚石形成于 31 亿年前的地幔环境,而矿床就位则是在约 1.2 亿年前侵位的火山管道型金伯利岩岩筒中)。

4) 通过正反实例的分析指出,成矿因素(包括巨量矿质、流体、能量的持续供给、系统矿源场、中介场和储矿场结构紧凑、适时的成矿启动、稳定持续的成矿作用及良好保存条件等)的良好匹配是成矿系列中大型-超大型矿床的形成的必要条件。大型-超大型矿在空间上常常产出于多次矿化活动中心,在时间上处于较长成矿过程的主要成矿期,多期成矿作用在同一空间的叠合也是形成大型-超大型矿床的重要因素。

5) 初步提出成矿系列间可能存在以下几种关系:①过渡关系;②伴生关系;③继承转化关系;④演化更替关系;⑤裂解分支关系和⑥叠加复合关系,指出成矿系列间关系的研究应是成矿系列研究的重要课题之一。

6) 总结了成矿系列模式研究的主要内容,提出建立成矿系列模式的原则和工作要点,列举了长江中下游地区的典型成矿系列模型。

上述研究成果主要是在专题研究期间(2000~2003 年)取得的,在 2004 年以来又获得一些关于成矿系列、成矿系统的新的认识,未来得及反映在本书中,特此说明。

第二章 海底热水喷流成矿系列

——以狼山-渣尔泰山成矿带为例

第一节 区域地质构造背景与成矿环境

狼山-渣尔泰山海底热水喷流成矿系列位于华北陆块的西北边缘，它东与白云鄂博稀土-铁矿区为邻，是中国中元古宙海相热水喷流沉积矿床的典型发育地区，内产东升庙、炭窑口、霍各乞和甲生盘等大型-超大型矿床。现有研究成果和众多待深入探索问题已引起广泛的关注，本次研究选此成矿带作为典型海相热水成矿系列、就其若干问题作初步探讨，显然有着特殊地质意义。

一、区域构造格架及演化

元古宙期间，由于大地构造作用的不均一性，在华北地台北缘拗陷区的地壳伸展、变薄、下陷、裂开、深部成岩、成矿物质上涌时都表现出非对称性和不均衡性，以致在华北地台北缘从东至西形成了延吉裂陷槽（或称裂谷）、燕辽裂陷槽和内蒙古中西部的狼山-渣尔泰山（白云鄂博）裂陷槽（图 2-1）。并在这些裂陷槽中形成了一系列性质、规模、时限不同的次级断陷盆地。而其中的三级或四级盆地往往是各典型矿床产出的具体场所，故在华北地台北缘形成了东起延吉，西至内蒙古狼山地区，绵亘 2000 余公里的元古宙多金属和稀有、稀土元素矿床成矿带。该成矿带的东部辽吉一带，在古元古代便接受沉积，有 B、Mg 等成矿元素富集。而内蒙古西部的狼山-渣尔泰山裂陷槽，则到中元古代才接受（喷流）沉积，形成了以 Pb-Zn-Fe-Cu 硫化物为主的海底热水喷流成矿带。

二、狼山-渣尔泰山裂陷槽的空间范围

狼山-渣尔泰山裂陷槽是上述华北地台北缘裂陷槽带西段（图 2-2）的重要组成部分，它西起狼山地区的千德曼一带，东延至渣尔泰山地区。狼山南侧的太阳庙-翁根深断裂和狼山北麓深断裂把华北地台北缘西段拗陷区分割成三个带，即狼山北裂陷槽（北带）、狼山主峰断隆（中带）和南裂陷槽（南带）。

在狼山地区，裂陷槽呈近北东向展布，向东弧形转折至渣尔泰山（白云鄂博）地区，南、北两裂陷槽可分别与白云鄂博及渣尔泰山裂陷槽相连，并向东转为呈近东西向展布，总长约 400 km，宽 30~50 km（图 2-3），其南北两侧均为区域性大断裂。

三、狼山-渣尔泰山裂陷槽的变质基底

狼山-渣尔泰山裂陷槽是在太古宙结晶基底上发展起来的（王楫等，1992）。侯明等

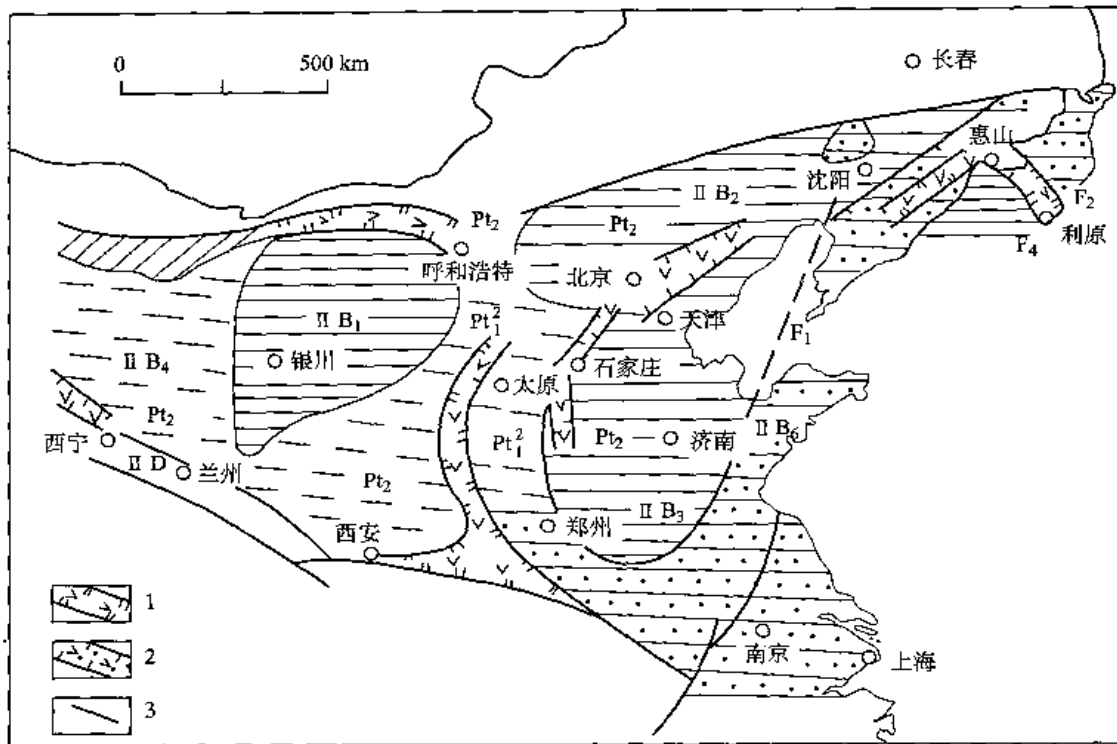


图 2-1 中国前寒武纪基底构造略图

(据王鸿祯等, 1986; E. E. 米兰诺夫斯基, 1983)

II B—华北地块: II B₁—鄂尔多斯陆核, II B₂—燕辽陆核, II B₃—河淮陆核, II B₄—阿拉善地块, II B₆—胶辽隆起。II D—兰州西宁地块。1—大陆边缘裂陷槽; 2—大陆内部裂陷槽; 3—大断裂

(1981) 将狼山地区的基底岩石定为乌盖群, 并进一步划分为乌拉特组、达拉盖组、苏对口组, 认为属于古太古代。亦有研究者将狼山-渣尔泰山地区的太古宙结晶基底称为乌拉山群 (高级变质区)、五台群 (或东五分子群—古太古代的绿岩-花岗岩地体) 或集宁群。

狼山地区太古宙变质杂岩的特征, 可从分析东升庙沟、苏对口沟两条代表性剖面后得出:

1) 变质杂岩中心部分的岩石为下部层位 (相当于侯明等人所称的乌拉特组), 岩性为斜长角闪岩、角闪石岩、角闪斜长片麻岩及少量黑云母阳起石片岩、黑云绿泥石片岩。其原岩相当于玄武岩, 并且有少量样品成分与冀东地区迁西群中的科马提岩相似 (侯明等, 1981)。该套岩石相当于典型绿岩带的下部层位。

2) 狼山变质杂岩中部层位 (即侯明等人所称的达拉盖组) 的岩石主要为黑云斜长片麻岩及黑云角闪片麻岩, 夹少量层状角闪岩及斜长角闪岩。原岩以钙碱性中性火山岩为主、含少量凝灰质沉积岩及基性火山岩, 相当于典型绿岩带中部层位之上段。

3) 狼山变质杂岩最上部层位 (即侯明等人所称的苏对口组) 是以黑云变粒岩、黑云母石英片岩为主, 夹少量斜长角闪岩。原岩以粘土质碎屑岩、粉砂质泥岩为主, 相当于绿岩带上部的沉积建造 (王思源等, 1993)。

上述狼山主峰变质杂岩的 Sm-Nd 同位素组成见表 2-1, 等时线年龄为 2735 Ma。可代表其原岩年龄, 属于新太古代。目前在狼山地区尚未找到老于 2800 Ma 的地质体, 但在阿拉善迭布斯格获得过 3108.3 Ma 的全岩 Rb-Sr 年龄。在乌拉山、大青山地区有古太古代集