

谨将此书献给第三十届国际地质大会

幔枝构造及其成矿规律

牛树银 罗殿文 叶东虎 李红阳 王金锁 著



地质出版社

大学(北京)

P54

027

谨将此书献给第三十届国际地质大会

幔枝构造及其成矿规律

牛树银 罗殿文 叶东虎 李红阳 王金锁 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本专著是近年来对华北地台北缘地壳演化及成矿规律方面的较全面、系统的综合性研究成果。作者应用地幔热柱多级演化的地质科学前沿理论对该区地壳演化、岩浆活动、变质作用及成矿元素的活化、迁移、聚集与成矿等方面进行了深入研究。探讨了金、银多金属矿床的主要控制因素,解剖了若干典型矿床,划分了金、银多金属矿床类型,分析了矿床时空分布规律及其共生组合关系,建立了成矿系列,归纳出了成矿模式,总结了成矿规律,圈定了成矿集中区,提出了新的找矿方向。

本书可供从事地质勘查、科研和教学人员参考,亦可作为地质院校高年级学生、研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

幔枝构造及其成矿规律/牛树银等著. -北京:地质出版社,1996.11

ISBN 7-116-02172-8

I. 幔… I. 牛… II. ①地幔-地质构造-研究②地幔-成矿规律-研究 N.P54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 18216 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:王章俊 李胜荣

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:8.5 字数:186 千字

1996 年 11 月北京第一版·1996 年 11 月北京第一次印刷

印数:1—600 册 定价:18.00 元

ISBN 7-116-02172-8

P·1631

序

冀北地区位于华北地块北缘,其主体部分为燕山山脉所占据。著名的燕山山脉是中生代以来形成的一条陆内造山带。这里是“燕山运动”的命名地,蓟县中、新元古代地层剖面(即昔称“北方震旦系”或“震旦亚界”),开平盆地的奥陶系地层剖面 and 冀东辽西地区晚侏罗世—早白垩世的“热河生物群”早已驰名中外地质界;这里出露有中国最古老的岩石(早中太古代的迁西群)和发育良好的晚中生代的构造-岩浆岩带;这里蕴藏着丰富的铁、金、银、有色金属和非金属矿产资源,是中国东部主要矿产集中区之一。正是由于这些原因和它所处的优越的地理位置,这里的地质调查工作起步较早,成为我国矿产资源开发较早的地区和近代地质研究发祥地之一。特别是近年来随着板块构造“登陆”所遇到的理论上的挑战,燕山山脉作为一条中生代陆内造山带,其造山带类型、造山作用过程和动力学机制,就格外引人注目。地质学家们渴望通过对它的研究来揭示这一特殊造山带类型的形成机制,建立或完善“陆内造山带”的理论模式,探讨这种造山类型对构造变形、岩浆活动以及成矿作用的制约。

为了进一步开展对华北地块北缘矿产资源的勘查、评价,地质矿产部于“八五”期间下达了“华北地块北缘矿化集中区控制因素及找矿方向”的科技攻关项目。由河北地矿局和原河北地质学院共同承担完成的“冀北金银多金属矿床控矿因素、矿床类型及成矿预测”是上述项目的一个二级课题。他们经过四年野外与室内相结合的调查研究,把握地质科学前沿,运用现代地质科学的新理论、新方法,精心研究,努力探索,圆满地完成了既定的科研任务,获得了丰硕的科研成果。由牛树银教授等撰写的《幔枝构造及其成矿规律》这本专著集中体现了这一研究的主要成果。

专著从冀北地区整体出发,通过对区域地质、地球物理、地球化学资料的综合分析,深入研究、论述了冀北地区金、银多金属矿产成矿集中区大地构造演化及成矿构造背景;较详细地研究、探讨了本区金、银成矿的构造、岩浆、地层等控矿因素;在分别剖析东坪、牛圈子-营房等典型矿床基础上,划分了冀北金、银多金属矿床成因类型,提出本区主要成矿期为海西-燕山期的认识,并以对深部地质认识为基础,划分出三个金、银多金属矿成矿系列;在综合分析矿床时空分布特征的基础上,建立了冀北地区金、银多金属矿床成矿模式,总结了成矿特征和矿质运移和矿床(体)定位机制;归纳了本区成矿规律,圈定了矿化集中区,提出了找矿靶区,为本区新一轮矿产普查工作部署提供了依据,为矿床研究提供了

新的思路。

科学研究工作的生命力在于创新。作者在完成本区金、银多金属矿床研究任务的同时,为了深入探讨冀北地区成矿地质背景,重视实践,勇于探索,从获得的实际资料出发,运用科学的思维,引用地幔热柱多级演化的观点解释了本区区域构造特征,提出中国东部由于巨大地幔热柱的上升使岩石圈减薄、裂解;地幔亚热柱的形成驱动岩石圈发生多重流变,形成山盆相间的构造格局;而地幔枝的上涌形成典型构造岩浆岩带,在构造岩浆岩带隆升较快区段形成变质核杂岩等若干新认识。同时首次提出冀北地区存在一个巨大的热穹隆构造(幔枝活动带),控制着这个地区海西-燕山期岩浆活动和主要金、银矿床分布的观点。这些观点为本区大地构造背景和成矿作用的解释提供了新的思路。

科学的发展需要假设,科学的假设允许出现谬误。作者上述的概括和假设可能会有不同的认识和争议,也会有某些不尽完善之处。但是,只要是在实际资料的基础上概括出来的认识,特别是发人以深思的新的认识,就应当予以肯定和鼓励,因为“拥有无条件的真理权的那种认识是在一系列相对的谬误中实现的”(恩格斯《反杜林论》)。

最后,我热烈祝贺这本专著的出版,相信它会在发展地质科学理论和运用于地质矿产勘查的实践中给人以启迪,发挥其重要的作用。

李 廷 栋

1996年7月

前 言

华北地块北缘是华北古陆核(Ar_1-Pt_1)的形成区和华北板块(Pt_2-Pz)的陆缘活动带,又被濒太平洋构造带($Mz-Kz$)所叠加和改造,具有复杂且强烈的活动历史,是中国东部矿种齐全、储量可观的矿化集中区。尽管近年来我国地质找矿工作已有很大进展,但与世界著名的成矿带相比还有明显的差距,仍有很大的找矿潜力。因此,华北地块北缘被国家列为“八五”矿产勘查重点区域之一。为使该区新一轮地质找矿取得重大突破,地质矿产部专门设立了“华北地块北缘矿化集中区控矿因素及找矿方向”(编号:85—01—002)的地质找矿科技攻关项目,组织有关科研院所、地质院校和地矿局、队进行联合攻关。

冀北地区是华北地块北缘的重要区段,又是巨大的濒太平洋构造域北北东向太行山构造岩浆带(幔坎)与古亚洲域近东西向构造(幔阶)“立体交叉”、“剪刀叉”的交汇部位,成为地块北缘研究的关键所在,是我国基础地质研究的发祥地、地质找矿的“聚宝盆”。早在明、清时代,该区就有多处官办金、银矿山和冶炼场地。本世纪前叶完成了部分路线地质调查和某些矿种的专项研究。而大规模的矿产地质普查则始于解放以后,金、银矿的全面研究和勘查只是近十余年的重点工作。迄今为止,已先后探明多处大、中型金、银多金属矿床,发现了一大批很值得进一步研究的矿床、矿点,展示了非常诱人的找矿前景和巨大的资源潜力。

本书是在“冀北金银多金属矿床控矿因素、矿床类型及成矿预测”(编号:85—01—002—06)报告基础上撰写的。该课题是地矿部“八五”攻关项目“华北地块北缘矿化集中区控矿因素及找矿方向”的二级课题,由河北省地矿局和原河北地质学院共同承担,组织原河北地质学院及地质矿产部河北地质矿产勘查开发局所属地质矿产勘查院张家口工作部、承德工作部等单位参加研究。工作范围北起康保-围场一线,南到蔚县-宽城一带(北纬 $42^{\circ}-40^{\circ}$),西自尚义-阳原之界,东至平泉-青龙之边($114^{\circ}-119^{\circ}$)的河北北部广大地区。工作时间自1991年5月至1995年7月,为期四年,旨在加强冀北地区的基础地质研究。在已有工作的基础上,充分运用现代地质科学的新理论、新技术、新方法,深入研究冀北地区的成矿控制因素,划分矿床类型,进行地质找矿预测。

课题下设两个专题:“冀西北金、银多金属矿化集中区的控矿因素、矿床类型及成矿预测”(编号:85—01—002—06—1),由原河北地质学院负责,河北地勘院张家口工作部参加;“河北省承德市北部银多金属矿化集中区控矿因素、矿床类型及成矿预测”(编号85—01—002—06—2),由河北地勘院承德工作部负责。专题负责人参加课题组研究。课题组制定了集中与分散、典型与提高相结合的原则,工作中,首先穿越几条重要区域路线,解决关键问题,统一认识,提出方案,然后分散研究。课题组人员参加到专题中去,协同作战,共同研究。在撰写研究报告过程中,专题报告注重解剖典型,突出重点,充实资料,打好基础;课题报告则注重简明扼要,突出区域,总结规律,上升到理论。根据上述原则,专题组人员通过大量艰苦的野外地质调查研究,室内整理、分析和综合,撰写了高质量的专题科研报告。在课题研究及两个专题报告的基础上进行综合、归纳、提高。课题报告以整个冀北地区为研究对象,深入

研究了冀北金、银多金属成矿集中区的大地构造演化及成矿构造背景,探讨了主要成矿控制因素,解剖了多个典型矿床,划分了若干金、银多金属成矿类型,分析了矿床的时、空分布规律及其共生组合关系,建立了成矿系列,归纳了成矿模式,总结了成矿规律,圈定了矿化集中区,提出了新的找矿靶区,为本世纪末、下世纪初新一轮地质找矿提供了依据。其重要进展反映在以下几个方面:

(1)从中国东部的大地构造演化特征探讨了冀北地区的区域构造演化特征及成矿背景,认为华北地块北缘经历了太古宙-古元古代陆核形成期、中元古代-古生代的板块活动期,而进入中生代以后转为濒太平洋活动带,中国东部岩石圈发生拆沉作用,岩石圈去根减薄,并进入活动时期。由于太平洋板块的深部俯冲挤压,巨大的北北东向太行山构造岩浆带与前古生代的東西向构造呈“立交桥式”或“剪刀叉式”斜跨叠加,使冀北地区成为构造活动强烈、成矿条件优良的矿化集中区。

(2)首次将地幔热柱的多级演化与区域构造演化有机地结合起来,认为中国东部巨大地幔热柱的上升使中国东部岩石圈发生减薄、裂解,地幔亚热柱的形成驱动岩石圈发生多重流变,形成造山带与相邻断陷盆地相间排列的地貌景观,而幔枝(mantle-branch 地幔热柱的三级单元)的上涌,则可形成典型的构造岩浆带。构造岩浆带隆升较快的区段可形成典型的变质核杂岩构造。

(3)依据金、银的地球化学特征及金、银主要富集在地核之中的地球模型,联系到中国东部巨大的地幔热柱的多级演化,第一次明确提出金、银主要来自地核,通过地幔热柱上升向上涌动,并经过地幔亚热柱活动向软流圈运移。在幔枝岩浆(喷出)侵入过程中,金、银随断裂活动或岩浆上侵迁移到近地表构造扩容带中,在特定构造部位形成矿床。因此,构造运动-岩浆活动-成矿作用是一个不可分割的地质演化系列,是成矿的主导因素,而地层岩石中所含的成矿元素是微不足道的,充其量只不过是矿质的部分来源。

(4)根据冀北地区的区域构造演化序列及成矿作用特征,明确提出了张宣幔枝、燕山幔阶、太行山幔坎三大成矿系列。认为幔枝、幔阶、构造岩浆带都是地幔热柱演化的第三级(幔枝)表现形式,由于受先存构造形迹的影响而表现出不同的地质特征。它们分别控制着与深源热流体活动有关的金、银成矿系列、与韧性剪切变形变质带有关的金、银多金属成矿系列和与构造岩浆带有关的金、银多金属成矿系列。

(5)解剖了3个不同类型的金矿,4个不同类型的金、银多金属矿床,探讨了不同构造环境、不同成因矿床的地质特征,明确提出了金、银多金属矿床总体上具有明显的相似性、同源性与深源性,为深源与壳幔混合来源。其中,金矿以深源为主,银多金属矿床则明显有较多的壳源物质混入。

(6)系统研究和划分了矿床的成因类型,归纳出冀北地区的金、银多金属矿床为壳幔相互作用演化的产物,在两大构造体系的叠加改造过程中,沟通了深部矿质来源。但由于壳幔相互作用的强度或不同区域壳幔混合程度不同,以及次级控矿、容矿构造性质和容矿围岩的差异,对金银多金属矿床进一步划分出了若干亚类。

(7)在系统深入地研究了冀北金银多金属成矿作用的基础上,首次总结出能量场在成矿作用中起主导控制作用。张宣幔枝、太行山幔坎都是以其轴部主干韧性剪切带作为热源释放体系。因此,铜、金矿床往往形成在轴部及其附近,而成矿温度稍低的银多金属矿往往形成在远离轴部的外围,构成内带为金(铜)、外带为银(铅、锌)多金属的共生组合关系。而燕山幔阶

则有由南向北逐渐加深的趋势,表现出三条深断裂相间排列,并由此控制着自南向北由金(铜、钼)为主向以银(铅、锌)为主过渡的成矿系列。

(8)成矿时空分布与区域构造演化过程密切相关,冀北地区成矿作用主期发生在海西末-燕山期构造运动最强烈的时期,同时也是岩浆活动强烈、成矿作用最集中的时期。当然,并不排除主成矿期前存在着早期富集作用,它们构成了本区的成矿基础。而喜马拉雅山运动时期则以大规模的差异升降运动为主,造山带强烈隆升,使形成在一定深度中的矿床被抬升到地壳浅部(当然,也有部分矿床已被剥蚀掉)。

(9)明确提出和建立了冀北地区大型、特大型矿床的成矿模式,认为成矿物质大规模聚集系统(地幔热柱演化及深部来源)、矿质运移传输系统(岩石圈中幔枝、幔阶、幔坎构成的通道及含矿热流体交代作用)、矿床、矿体定位系统(韧性剪切带、岩浆岩内外接触带、主要构造扩容带)三大系统控制着成矿作用过程和矿床产出特征。

(10)依据成矿理论、成矿系列、成矿模式的深入研究,参照已有物探、化探、遥感资料,按不同成矿作用对冀北地区进行了成矿预测,提出了若干有很好找矿前景、有望实现新的找矿突破的找矿靶区。更为可喜的是,有些找矿靶区已取得实质性进展,如丰宁双井子银矿就是本课题研究中发现的矿床,经初步工程控制证实,它是具有中型以上远景的银矿,并展示了很好的找矿前景。

为突出重点,本书仅分三章,直接阐述成矿控制因素、矿床类型及找矿预测三大主题。前言由罗殿文、牛树银编写;第一章、结语由牛树银执笔;第二章由叶东虎(典型矿床)、王金锁(矿床类型、成矿系列)执笔;第三章由李红阳执笔;最后,由牛树银进行了部分内容调整,补充了有关河淮地幔亚热柱演化及外围幔枝构造成矿作用的部分内容,并统编定稿。

应该提出的是,许传诗教授在1991—1992年曾任该项目负责,唐勤民教授级高级工程师在1991—1994年曾任技术负责,并参加了部分工作,对项目研究起了积极推动作用。赵克昌总工程师、章百明总工程师、白寅周主任工程师、邵振国院长、杨其维总工程师等对项目的研究始终给予了热情指导和帮助。孙爱群副教授协助整理了大量基础资料和文稿打印工作,英文摘要由张建珍副教授翻译,图件由李艳秋工程师清绘,在此一并致谢。

在项目研究过程中,始终得到了地矿部直管局,85—01—002项目办,河北地矿局、科技处、地勘院,原河北地质学院,河北地质三队、四队等有关单位和领导的大力协助和支持,谨致以诚挚的谢意。

著者还衷心感谢著名地质学家、中科院院士李廷栋教授在百忙中为本书作序,并给予很高的评价和热情鼓励。对宋叔和、翟裕生、陈鑫、朱裕生、石准立、黄崇柯等地质前辈给予的高度评价和指导谨致深深的谢意。

目 录

序

前 言

第一章 地幔热柱多级演化及区域成矿控制因素	(1)
第一节 金、银的来源、特征及成矿性	(1)
一、金、银来源探讨	(1)
二、金、银的主要地球化学特征	(2)
三、金、银的活化、迁移、聚集和成矿	(3)
第二节 河淮地幔亚热柱的形成及演化	(3)
一、区域大地构造环境	(3)
二、河淮地幔亚热柱的形成	(4)
三、河淮地幔亚热柱的特征	(8)
四、河淮地幔亚热柱的构造演化	(10)
第三节 地幔热柱的多级演化与成矿元素的迁移过程	(11)
一、上升幔流——成矿物质的深部来源	(11)
二、地幔亚热柱——成矿物质的运移通道	(11)
三、幔枝构造——成矿控矿的有利空间	(12)
第四节 区域成矿控制因素探讨	(13)
一、研究区区域构造位置	(13)
二、构造环境的历史变迁	(13)
三、中新生代的构造演化	(14)
四、幔枝构造特征	(15)
五、韧性剪切带的复活及晚期构造变形的叠加	(18)
六、区域构造演化特征	(24)
七、岩浆活动序列	(25)
八、地层含矿性的讨论	(31)
第五节 成矿作用研究	(33)
一、金、银矿床的时空分布	(33)
二、金、银矿的成矿过程	(34)
三、构造变形-岩浆活动-成矿作用序列	(37)
第二章 矿床类型及成矿系列	(39)
第一节 典型矿床	(39)
一、主要金矿床	(39)
二、银多金属矿床	(57)
第二节 矿床基本类型划分	(73)
一、概述	(73)
二、金、银多金属矿床成因类型的划分	(74)

第三节 矿床成矿系列	(79)
一、张宣幔枝构造——地壳热流体活动区成矿系列.....	(79)
二、燕山幔阶——韧性剪切带有关的成矿系列.....	(83)
三、太行山幔坎——构造岩浆带有关的成矿系列.....	(83)
第三章 成矿规律与找矿预测	(85)
第一节 矿床时空分布规律	(85)
一、成矿时间分布规律.....	(85)
二、成矿空间分布规律.....	(87)
第二节 矿床的共生组合规律	(91)
一、冀北西部张家口地区金、银多金属矿床空间共生组合规律	(91)
二、冀北东部承德地区矿床空间共生组合规律.....	(94)
三、成矿作用特征.....	(95)
第三节 典型矿床成矿模式	(96)
一、冀北地区金、银多金属矿床壳幔成矿体系	(96)
二、冀北地区金、银多金属矿床典型矿床成矿模式	(97)
第四节 找矿预测.....	(104)
一、找矿标志	(104)
二、找矿方向	(106)
三、找矿方法	(112)
结束语.....	(115)
参考文献.....	(117)
英文摘要.....	(122)

CONTENT

Preface

Foreword

Chapter 1 Multi-stage evolution of mantle plume and control factors of regional mineralization	(1)
1.1 Source, characteristics and mineralization of gold and silver	(1)
1.1.1 Source	(1)
1.1.2 Main geochemical characteristics	(2)
1.1.3 Activation, migration, concentration and mineralization	(3)
1.2 Formation and evolution of Hehuai sub-mantle plume	(3)
1.2.1 Regional tectonic setting	(3)
1.2.2 Formation of Hehuai sub-mantle plume	(4)
1.2.3 Characteristics of Hehuai sub-mantle plume	(8)
1.2.4 Evolution of Hehuai sub-mantle plume	(10)
1.3 Multi-stage evolution of mantle plume and migration of ore-forming elements	(11)
1.3.1 Upwelling mantle-derived flow—deep-seated mineralization material	(11)
1.3.2 Sub-mantle plume—migration passages of mineralization material	(11)
1.3.3 Mantle branch—mineralization spaces	(12)
1.4 Control factor of mineralization	(13)
1.4.1 Regional tectonic location of studied area	(13)
1.4.2 Change of tectonic setting	(13)
1.4.3 Mesozoic tectonic evolution	(14)
1.4.4 Characteristics of mantle branch	(15)
1.4.5 Reactivation of ductile shear belts and superimposed late structures	(18)
1.4.6 Regional tectonic evolution	(24)
1.4.7 Sequence of magmatic activity	(25)
1.4.8 Orepotentiality of strata	(31)
1.5 Metallogenesis	(33)
1.5.1 Temporal and spatial distribution of gold and silver deposits	(33)
1.5.2 Metallogenesis of gold and silver deposits	(34)
1.5.3 Structural formation-magmatic activity-metallogenesis	(37)
Chapter 2 Deposit types and mineralization series	(39)
2.1 Typical deposits	(39)
2.1.1 Major gold deposit	(39)
2.1.2 Silver-polymetallic deposits	(57)

2.2	Division of deposit types	(73)
2.2.1	Outline	(73)
2.2.2	Division of genetical types of gold and silver-polymetallic deposits	(74)
2.3	Mineralization series	(79)
2.3.1	Zhang-Xuan mantle branch structure—mineralization series in active area deep-derived heat flow	(79)
2.3.2	Yenshan mantle step—mineralization series in ductile shear defor- mation-metamorphic belts	(83)
2.3.3	Taihangshan mantlestage—mineralization series in tectono-magmatic zone	(83)
Chapter 3	Mineralization regularity and prospecting orientation	(85)
3.1	Time and spatial distribution of deposits	(85)
3.1.1	Metallogenic time evolution	(85)
3.1.2	metallogenic spatial distribution	(87)
3.2	Paragenetic and associated regularity of deposits	(91)
3.2.1	Inner gold and external silver mineralization belts in Zhangjiakou area	(91)
3.2.2	Paragenetic and associated regularity of deposits in Chengde area	(94)
3.2.3	Characteristics of Metallogenesis	(95)
3.3	Mineralization model of type deposits in North Hebei Province	(96)
3.3.1	Metallogenic system of gold and silver-polymetallic deposits	(96)
3.3.2	Metallogenic model of type gold and silver-polymetallic deposits	(97)
3.4	Prospecting and prognostic deposits	(104)
3.4.1	Prospecting indicator	(104)
3.4.2	Prospecting orientation	(106)
3.4.3	Prospecting method	(112)
Conclusion		(115)
References		(117)
Abstract		(122)

第一章 地幔热柱多级演化及 区域成矿控制因素

金、银等元素在地壳中的丰度值较低,化学性质也不活泼。但由于它们的某些价态具有较强的极化力,常与某些阴离子形成易溶络合物,使其在含矿流体中保持很强的活动迁移能力,在有利的成矿控制条件下,不仅可以形成成片分布的中、小型金、银矿床,甚至可形成一系列中、大型金、银矿床或超大型金、银矿床。

华北地区得天独厚的区域大地构造位置,多期次复杂的构造变形、岩浆活动、变质作用,导致本区的金、银多金属矿也具有多期次、多类型复合成矿的特征,成为我国重要的金、银矿产地。为了便于探讨该区的区域成矿控制因素,有必要简要介绍一下金、银的主要地球化学性质。

第一节 金、银的来源、特征及成矿性

世界上已发现的很多矿种都有很明显的成矿专属性。但是,金、银却很特殊,可形成于所有的地质时期、各种地质构造环境及不同岩石类型之中。从前寒武纪至新生代,由稳定的地台区到强烈活动的造山带,变质岩、火山岩、侵入岩、沉积岩等不同岩性都可产出金、银矿(涂光炽等,1991;吴美德,1991)。但是,大型-超大型金、银矿床则主要形成在深大断裂及其附近。这与金、银的来源,主要地球化学特征及活化、迁移、聚集方式密切相关。

一、金、银来源探讨

金、银来源于地核,这已被越来越多的研究所证实。以金为例,依据金的成矿非专属性、金的特性及金的原子结构模型,推测金起源于地核(霍明远,1991)。据地球物理探测资料,地核以金属铁、镍为主,并含有少量硫、硅等其它元素。金以紫色气体状混合于其中。在地核的收缩和膨胀过程中,金蒸气通过核幔间因地核缩胀而局部和暂时形成的大分子间隙向上运移,并随地幔热柱多级演化继续向上运移。当金蒸气到达地幔软流圈或地幔亚热柱体系时,一部分转变成液态,形成气-液混合相金。而当地幔热柱演化进入层次更浅的幔枝演化阶段时,这种气-液相金往往随岩浆侵入或断裂(韧性剪切带)活动迁移、聚集到塑变软化的围岩或构造扩容带中成矿(图1-1)。此模式可概括如下:

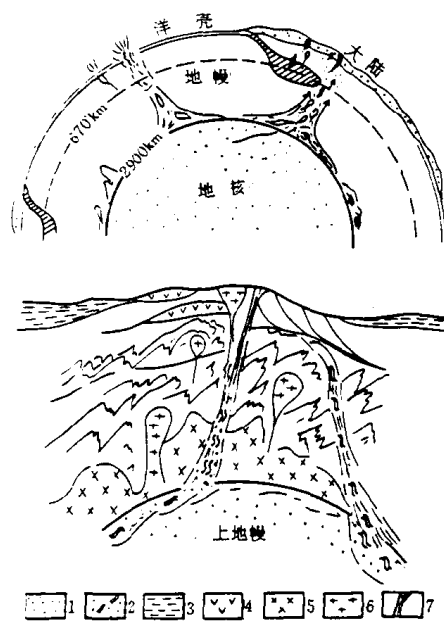


图 1-1 金的成矿模式

1—气体金;2—气-液混合相金;3—沉积盖层;
4—火山岩;5—花岗质岩石;6—花岗岩;
7—热液活动通道

金的主要来源:地核→地幔→地壳→近地表

存在状态:紫色气体→气-液混合相→含矿流体→固态

主要通道:地幔热柱→亚热柱→幔枝→构造扩容带

表现形式:构造变形→岩浆活动→变质作用→成矿作用

当然,金的最终成矿作用也明显受活化剂(水、溶于水中的卤盐、硫、硫化物、二氧化碳等)、活化环境(温度、压力、pH、Eh、杂质离子)等(能量场)的控制。

银也有类似的特性。刘英俊等(1987)在综合探讨金、银在宇宙及地球中的丰度之后,给出了金、银在地球及其各圈层中的分布特征(表1—1)。在后来的研究中,刘英俊等(1991)又将地球、地核、地幔、地壳中金的丰度值分别调整为 284×10^{-9} 、 900×10^{-9} 、 1×10^{-9} 、 3×10^{-9} 。Ganapathy 等(1974)、Kimura 等(1974)、Mason(1966)等研究者用不同方法估算出的丰度值也基本相近。这就更证明了金、银以深部来源为主的推断。而变质岩、岩浆岩等不同类型的赋矿岩系提供的矿质来源仅仅是成矿物质的一部分。这也与很多大中型矿床地球化学测试表明成矿物质以深部来源为主的结论是一致的。

表 1—1 金、银在地球及其各圈层中的分布(10^{-9})

元 素	地 球	地 核	下地幔	上地幔	地 壳
Au	800	2600	5	5	4
Ag	3200	10000	50	60	80

(据刘英俊等,1987)

二、金、银的主要地球化学特征

金、银的地球化学特征与它们的主要地球化学参数(表1—2)有关。金、银的原子结构复杂,由于它们的 d 亚层刚好被填满,开始充填外面的 s 亚层,而 s 亚层受内层电子的屏蔽效应小,原子有效核电荷较大。因此,对外层的 s 电子束缚力较强,使得金、银的原子半径较小,电离势较高。金、银的氧化还原电位也比碱金属高,电负性亦很高。

表 1—2 金、银的主要地球化学参数

主要参数	Au	Ag	主要参数	Au	Ag
原子序数	79	47	地球化学电价	0,1 ⁺ ,3 ⁺	0,1 ⁺ ,2 ⁺
原子量	196.97	107.87	原子半径[nm(12配位)]	0.1442	0.144
原子体积 (cm ³ /mol)	10.2	10.3	共价半径(nm)	0.134	0.134
原子密度 (g/cm ³)	19.3	10.5	离子半径[nm(6配位)]	0.137(+1)	0.126(+1)
熔点(℃)	1063.0	960.8		0.085(+3)	0.089(+2)
沸点(℃)	2966	2212	电离势(eV)	9.22	7.574
电子结构	5d ¹⁰ 6s ¹	4d ¹⁰ 5s ¹	还原电位(V)	Au ³⁺ →Au,1.42	Ag ⁺ →Ag,0.7996
电负性	2.3	1.9	离子电位	0.73(+1),3.53(+3)	0.79(+1),2.25(+2)
地壳丰度 (10^{-9})	4	80	EK 值	0.65(+1)	0.60(+1)

正因为金的电离势、电负性和氧化还原电位都很高,决定了金的惰性,故常呈原子状态存在于自然界中。除显惰性之外,金也可表现出相当的活动性,因为它可呈 Au^0 出现,也可呈 Au^+ 及 Au^{3+} 氧化态出现, Au^+ 及 Au^{3+} 具有较强的极化力,尽管它们的离子电位不很高,但也可以与 Cl^- 、 HS^- 、 S^{2-} 、 $S_2O_3^{2-}$ 、 CN^- 、 CNS 等形成易溶络合物,因而金在各种水溶液中具有较强的迁移活动能力。

银的电离势、电负性和氧化还原电位都较金低,因此,除形成自然银外,还常呈硫化物出现。银的原子半径、共价半径与金相近或相同,晶体化学性质亦相近。银的化学性质较金活泼,能与 Cl^- 、 NH_3 、 $S_2O_3^{2-}$ 、 CN^- 等形成稳定性不同的络阴离子,因此,也具有很强的迁移能力。

三、金、银的活化、迁移、聚集和成矿

如前所述,尽管金、银的化学性质不太活泼,但它们的离子一旦形成络合物便比较稳定。所以,在金、银在随热液从地壳深部向上迁移过程中具有很强的活动能力。它们在热液中的迁移形式主要是与 K^+ 、 Na^+ 等形成各种氯的络合物,如 $Na[AuCl_2]^-$ 、 $K[AuCl_4]^-$ 、 $Na[AgCl_2]$, 硫、多硫或硫氢络离子,如 $[AuS]^-$ 、 $[AuS_2]^-$ 、 $[AgS]^-$ 、 $[Ag(S_4)_2]^{3-}$; $Ag_2S \cdot nH_2S$ 等以及硫代硫酸络离子或多硫代硫酸络离子 $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ (刘英俊等,1987)。

金、银从热液中沉淀→聚集→成矿,与它们的络合物分解有关,而控制金、银络合物分解的,除 Eh 和 pH 的改变起着较重要的作用以外,温度、压力和构造扩容带的开放程度及某些硫化物,特别是 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 离子的加入,以及碳及有机质的混入皆可使金、银从热液中沉淀出来。

金的聚集成矿主要发生在高-中温阶段,常形成独立金矿床,也可与铁、铜硫化物共生,脉石矿物多为石英。银的聚集成矿主要在中-低温阶段,可形成独立银矿,但更常见的是同铅、锌、铜等硫化物共生,脉石矿物多为碳酸盐及重晶石。

此外,由于金和银同为 IB 族元素,原子半径相同,单质晶体构造类型相同,晶胞参数相近,所以金、银可形成类质同象。加之两者成矿条件相近,故常可形成金银矿的过渡类型及不同形式的共生组合,甚至可以与铜、铅、锌、铁等形成银金多金属矿床组合。

第二节 河淮地幔亚热柱的形成及演化

尽管金、银主要来自深源,并可在不同时代、不同岩石类型中成矿,但是,世界上的金、银矿床分布却有显著的成矿集中区和明显的成矿作用时期。我国也不例外,金、银矿的形成与展布主要受古亚洲域、濒太平洋域、特提斯域三大构造体系以及其发生、发展、交切、复合与演化的控制。华北地区的成矿作用,除受三大构造体系控制外,河淮地幔亚热柱的形成与演化是成矿的区域性主导控制因素。

一、区域大地构造环境

华北地区的地质演化历史大致可划分为三个大的阶段:古大陆的形成阶段($Ar-Pt_1$),经历了迁西运动、阜平运动、五台运动、吕梁运动而联接成华北初始古大陆;华北板块稳定发展阶段(Pt_2-Pz),华北地台区总体呈稳定发展整体升降,沉积了中新元古界、早古生界寒武-奥陶系、晚古生界石炭-二叠系三套似盖层-盖层沉积,而其主要活动区在华北地台北缘(形成了中晚元古代褶皱带、加里东褶皱带、华力西褶皱带)和南缘(形成了中条褶皱带、祁连

褶皱带、秦岭褶皱带)(牛树银等,1993;周作侠等,1993),海西运动使华北地台北与西伯利亚地台、南与扬子地台连为一体,形成规模巨大的亚欧板块;地台活化阶段,自燕山运动以来,由于太平洋板块深部向亚欧板块的强烈俯冲导致华北地台(濒太平洋地区)活化,并进入强烈活动时期,陈国达称之为地洼阶段(陈国达,1975、1992)。

华北地台活化的最突出表现是构造-岩浆(火山)活动,最明显的结果是华北地区盆-岭系的形成。以华北地区为例,燕山、秦岭-大别山、太行山、胶辽山地均大幅度强烈隆升,其隆升幅度在10—20km(王江海等,1991;吕古贤等,1993;周作侠等,1993;牛树银等,1994),隆升较快的部位形成揭顶式剥离,外围盖层大幅度拆离,核部的变质结晶岩系裸露,形成典型的变质核杂岩构造(牛树银等,1991、1994;王志光,1995)。王秀文(1991)通过大面积复测水准网所得资料表明,太行山、五台山、燕山等山系自1964年以来,年上升率为3mm。与此同时,华北裂谷区则形成由一系列由铲状断层控制的大型断陷盆地,现代年平均沉降速率仍为1—3mm(叶连俊,1983;马廷著等,1990),某些断陷内仅新生界堆积厚度就达5000—9000m(刘国栋,1984;王同和,1995)。而地幔形态则恰与造山带的隆升和断陷盆地的裂陷呈反相关关系。在华北断陷(地幔亚热柱)区地幔为隆起,莫霍面深为34.5—35.5km,外围造山带则为拗陷,从山前至主造山带莫霍面逐渐加深到40km以下(图1—2)。

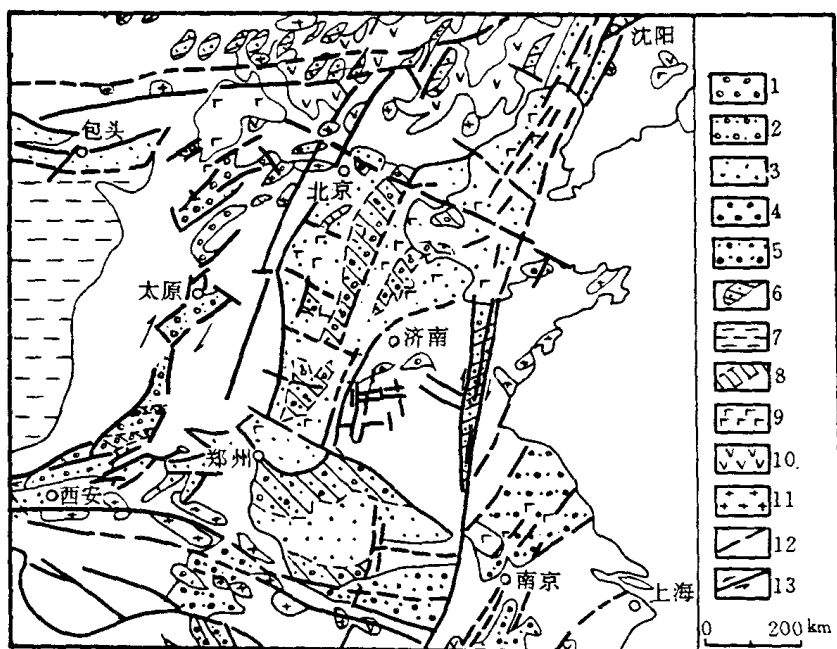


图1—2 华北地台东部伸展构造略图

(据马杏垣等,1993,略作修改)

1—第四系; 2—上第三系—第四系; 3—新生界; 4—白垩—下第三系; 5—白垩系—新生界; 6—下侏罗统—上白垩统; 7—中生代大型断陷; 8—伸展构造中的隆起; 9—新生代玄武岩; 10—中生代中酸性喷出岩; 11—中生代酸性侵入岩; 12—断裂; 13—平移断层

另一个十分有趣的事实是胶东、冀北、秦岭、太行山地区是中国东部金、银(多金属)矿床的集中产地。成矿作用均伴随强烈的构造-岩浆活动(200—70Ma),成矿时代多在180—70Ma,矿化集中区多位于华北断陷一侧,并具有远离断陷方向银、多金属矿床增多的趋势(表1—3)(吕古贤等,1993;周作侠等,1993;牛树银等,1994;宋瑞先等,1994)。

二、河淮地幔亚热柱的形成

表 1-3 河淮地幔亚热柱外围幔枝构造及其成矿特征

地 区	冀北地区	秦 岭 地 区	太 行 地 区	胶 东 地 区
形成时间	240—100Ma	230—54Ma	210—80Ma	195—70Ma
幔 枝 形 成 特 征	构造表现 T ₂₋₃ 地壳活动增强、山脉隆升 J ₁ 活动强烈 J ₂₋₃ 强烈活动,山间断陷发育 K ₂₋₃ 逐渐平静,全区成山	T 开始隆起 J 活动强烈 K 已大范围抬升	T ₂₋₃ 太平洋板块俯冲,山脉开始隆升 J ₁ 山脉隆升,缺失 J ₁ 地层 J ₂₋₃ 强烈活动,火山侵入岩广泛 K 太行山已成巍峨挺拔之势	J ₁₋₂ 本区隆起,发生花岗岩化 J ₃ 短时期挤压体制 K ₁ 区域性隆升 K ₂ 上隆作用广泛
	岩浆活动 195—87Ma J ₁ 中性岩浆活动为主 J ₂ 中性岩浆活动为主,少量酸性 J ₃ 酸性岩浆活动为主	151—92Ma 华熊基底为壳幔质半原地花岗岩 地台盖层中为壳幔质异地花岗岩	170—90Ma 早期(170—145)中性岩浆活动 中期(145—130)酸性岩浆活动 晚期(120—90)酸性偏碱性岩浆活动	190—70Ma 早期,以中性岩浆活动为主 晚期,以酸性兼有碱性-超基性岩浆活动
	隆升时间 赋矿围岩 成矿时代	印支期-燕山期-喜馬拉雅期 Ar Pt ₂ γ ₅ 166—90Ma	印支期-燕山期-喜馬拉雅期 Ar ₂ Pt ₂ γ ₅ 165—120Ma	印支期-燕山期-喜馬拉雅期 γ ₅ γ ₄ γ ₃ 155—71Ma
幔 枝 成 矿 作 用	温压状态 (成矿深度)	380—190℃ 17—62MPa 5—2km	330—110℃ 6—4 km	350—100℃ 150—20 MPa 3.455—0.721km
	矿质迁移 方向	成矿物质具有深源性,迁移方向由南向北	成矿物质具有深源性 从东向西由金向银多金属矿过渡	成矿物质具有同源性,矿质由西向东迁移
	矿床分带	张宣地区具有幔枝,中部以金为主,向外围过渡为银多金属。燕山地区具有由南向北,由金铜铅向银多金属矿过渡	太行山轴部以金矿为主,阜平变质核杂岩轴部以西以银多金属矿为主	由西向东,绢英岩型为主→绢英岩型+石英脉型→硫化物石英英脉型
矿床成因	幔源含矿流体沿幔枝轴部韧性剪切带或随岩浆活动在幔枝有利构造扩容带成矿,矿体多脉状、蚀变岩型	在强烈的构造-岩浆活动中,来自深源的含矿流体萃取部分绿岩中的金,而在幔枝(变质核杂岩)有利部位成矿,矿体多为脉状	在变质核杂岩形成过程中,深源含矿流体沿韧性剪切带向上运移,并萃取围岩中部分矿质,在有利构造部位富集成矿,矿体多为脉状、蚀变岩型	由前寒武纪变质岩系交代重熔形成的中生代花岗岩期后热液矿床,矿体多为石英英脉、黄铁矿英蚀变岩型