

# 地幔热柱的多级演化及其成矿作用

——以冀北地区为例\*

牛树银 李红阳 孙爱群 罗殿文 叶东虎 王金锁

(河北地质学院, 石家庄)

(河北地勘局, 石家庄)

**提 要:** 冀北地区金、银多金属成矿作用研究表明, 金、银等成矿元素除部分萃取自含矿围岩外, 主要来自深源。幔枝构造是重要的热源释放体系, 控制着深源含矿流体的迁移、聚集和成矿, 从而构成了以幔枝构造为中心, 内带为金、外带为银多金属的构造-岩浆成矿系列, 并据此归纳出幔枝构造成矿模式。

**主题词:** 地幔热柱 成矿作用 成矿模式 冀北

地幔热柱是指地球深部核幔边界附近产生的呈柱状上升的高温低粘度热物质流, 其顶部呈喇叭形张开, 形成具有半球状顶冠和细颈尾柱的蘑菇状构造, 并可出现多级演化<sup>[1~3, 18~21]</sup>。它不仅可引起地壳深熔、大规模岩浆活动、区域变质作用以及地壳伸展、变质核杂岩隆升, 也是金、银多金属成矿物质运移的重要载体和成矿控矿构造<sup>①</sup>。

本文以地幔热柱多级演化与区域构造相结合的方法, 探讨冀北地区金、银多金属成矿集区的大地构造演化、成矿背景及主要控矿因素。在解剖典型矿床的基础上, 划分了金、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, 建立了构造-岩浆成矿系列, 归纳了总体成矿模式。

## 1 区域成矿控制因素探讨

冀北地区的大地构造演化可以燕山运动为标志划分为两个阶段, 前燕山期古亚洲构造域演化阶段和中新生代滨太平洋构造域演化阶段。古亚洲域阶段最重要的地质事件是太古代东西向岛链状古陆的形成, 大规模的火山喷溢以及裹挟于其间的幔源侵入体将深部成矿物质带到地表, 构成金、银矿的早期富集及背景值较高的初始矿源层。尔后, 华北地台北缘一直作为活动陆缘及板内活动带, 直到中生代早期, 这种陆缘(间)活动带才告结束, 并让位于巨大的滨太平洋陆缘活动带<sup>[4]</sup>(图 1)。

太平洋板块向欧亚板块之下的俯冲以及印度板块向北推挤, 使冀北地区成为受三大板块运动制约的强烈活动带。实际上, 这种构造活动带既有与整个中国东部大陆构造的一致性, 又有它区域变形的独特性。这是因为中国东部地壳块体以秦岭-大别山和天山-阴山两大深层构

\* “八五”地质矿产部地质找矿科技攻关项目(85-01-002-06)资助

牛树银, 男, 1952 年生, 教授, 从事构造地质学的教学与研究。邮政编码: 050031

1995-12-7 收稿, 1996-5-9 修改回

① 牛树银、叶东虎、李红阳、王金锁, 1995, 冀北金、银多金属矿床控矿因素、矿床类型及成矿预测

造带为界,自北向南分为蒙古、华北、华南三大块体<sup>①</sup>,又存在着北北东向的隆起造山带和其间分布的裂谷带<sup>②</sup>,从而构成了平面上块断镶嵌与剖面上岩片堆叠的构造特征,表现出差异升降显著的盆岭系地貌景观,并导致强烈的构造变形-动力变质-岩浆活动-成矿作用旋回。这种旋回又明显地受着深部构造过程和区域地质特征的控制。

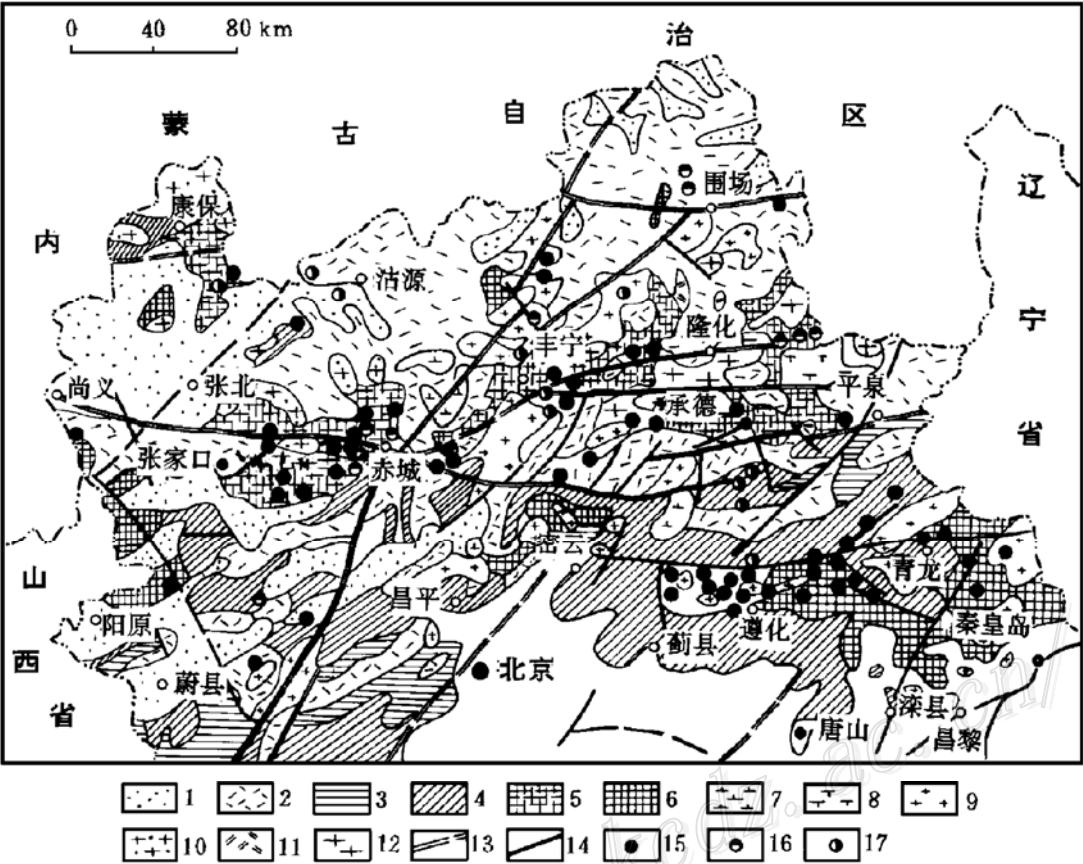


图 1 冀北地区矿点分布及地质略

1—新生界;2—中生界;3—古生界;4—中晚元古界;5—上太古界;6—下太古界;7—燕山期正长斑岩;  
8—燕山期闪长岩;9—燕山期花岗岩;10—海西期花岗岩;11—海西期二长岩;12—太古代花岗岩;13—深  
大断裂、推测深大断裂;14—一般断裂;15—金矿点;16—银矿点;17—多金属矿点

Fig. 1. Geological sketch map of northern Hebei, showing distribution of ore spots.

1—Genozoic; 2—Mesozoic; 3—Paleozoic; 4—Middle-Late Proterozoic; 5—Upper Archean; 6—Lower Archean; 7—Yanshanian syenite porphyry; 8—Yanshanian diorite; 9—Yanshanian granite; 10—Hercynian granite; 11—Hercynian monzonite; 12—Archean granite; 13—Deep fault and inferred deep fault; 14—Fault; 15—Gold spot; 16—Silver spot; 17—Polymetallic spot.

1.1 地幔热柱的多级演化与多重流变

在地质历史中,任何一个地质单元的发展演化都受其所处大地构造位置及深部过程的制约。中国东部这种深部过程实际上是地幔热柱(Mantle Plume Structure)多级演化的表现。地幔热柱的认识最初源于热点理论,全球板块构造理论创始人 Morgan<sup>[22]</sup>认为,加拿大地质学家

① 任纪舜,中国大陆构造的基本模型,中国构造地质学 1995 年年会  
② 刘国栋,中国东部大陆岩石圈结构与动力学,中国构造地质学 1995 年年会

Wilson<sup>[23]</sup>所指的固定热地幔源区实际上是一个产于地幔底部热边界附近的热幔柱;Defeys<sup>[24]</sup>认为热幔柱是下地幔上涌形成的;Anderson<sup>[18]</sup>认为热幔柱源于地幔底部 D'' 层, D'' 层从地核那里聚集大量的放射性元素,放射热导致 D'' 层具高温低粘度特征,从而产生热幔柱;日本学者丸山茂德<sup>[21]</sup>等利用地震层析成图研究地球深部构造,并以地幔底界(2900 km)、上地幔底界(670 km)和地壳底界(100 km)为限划分一、二、三次热柱。他们认为地球及类地行星的演化发展过程是:① 层状结构形成的生长构造;② 具有特殊对流形式的幔柱构造向上传送幔内热能;③ 具有特殊对流类型的板块构造,最后是加厚外壳的收缩构造。并把这种自成体系的地球动力学及其演化的观点称为大陆漂移和板块构造以后的第三次浪潮<sup>[5,21]</sup>。

邓晋福等(1994)通过对中国东部的研究认为,中生代早期(印支期)东部诸陆块最终拼合成统一大陆时确实存在着岩石圈根,其深度 $\geq 150\sim 200$  km,而新生代以来,东部岩石圈厚度只有 60~80 km。这种岩石圈去根作用可通过两种有效机制来完成,一种是地幔热柱上升与热减薄来实现;另一种是通过岩石圈的拆沉作用(delamination)与香肠化机械型去根减薄作用<sup>[2,3]</sup>。

造山运动末期的拉张盆地、变形与快速隆升剥蚀,近年来被称为造山带的崩塌(collapse),它常是岩石圈根的拆沉作用或地幔热柱上升作用的结果。印支期与燕山期造山末期 A 型花岗岩的出现表征造山崩塌阶段,伴随造山崩塌的快速隆升是造山带根部物质,包括超高压变质岩快速剥露的重要机制。

迄今为止,华北地区做了大量深部探测工作<sup>[6~11]</sup>,华北地区总体特征是华北断陷区(简称“河淮断陷”)为一幔隆(其规模、形态相当于地幔亚热柱),呈半球形顶冠,并向外扩展。阜平-赤城、赤城-平泉为华北幔隆西界和北界的幔坎和幔阶,表现为非常明显的地壳厚度陡变带、重力梯级带、地震多发带和热泉分布带。地壳厚度由华北断陷区向西部太行山和北部燕山区逐渐加厚。地壳厚度等深线表明渤海南部地壳最薄,仅为 29 km,河淮断陷区厚为 30~36 km,太行山以西逐渐加大到 40 km 以上,向燕山地区也逐渐加厚到 38~40 km。

此外,地壳中还存在明显的低速层。在华北地区地壳三分明显:上地壳以沉积地层为主,厚度为 9~12 km;中地壳主要为硅铝层,是一显著的低速层,且在此低速层中具有高、低速相间的特征,中地壳在河淮断陷区厚为 8~10 km,向山西加厚到 20 km,燕山中部为 12~14 km;下地壳可能为硅镁层,为一正速度梯度层,其厚度在沿海地区 10 km,向太行山、燕山厚度加大至 12~14 km。而在壳幔界面附近速度梯度明显增大,这个壳幔过渡层由平原区的 2 km 左右向山区增厚至 5~6 km。此外,在上地幔顶部(埋深 50 km 左右)还有一厚约 8 km 的低速层<sup>[6]</sup>。而岩石圈中存在的这些低速层正是导致造山带隆升和断陷区沉降的多重流变拆离滑脱层<sup>[12]</sup>。

河淮地幔亚热柱导致地幔物质上涌,并以基性玄武岩喷溢、基性岩脉侵入等形式向地壳扩展,使地壳增温,地表开裂断陷,并在其箕状断陷中沉积千米至上万米盖层沉积,具备良好的生、储油气条件,并控制许多沉积矿产和非金属矿产。

阜平-赤城幔坎、赤城-平泉幔阶则是河淮亚热柱与幔拗的过渡地带,岩石圈物质在地幔位势差、密度差及区域构造应力场的控制下,沿主拆离带由亚热柱向幔拗区迁移,物质的迁移可通过中地壳、壳幔界线、上地幔顶部等低速带中的缓倾拆离流变带来实现。随着岩石圈物质沿

向造山带缓倾的低速带向山根流变,由于温压条件的增高和深部韧性剪切作用,使含水物质发生脱水,形成深源流体,并促使韧性软化物质转变为深熔岩浆。这种深熔岩浆以岩枝的形式向上运移,并发生交代混熔作用。深部的韧性剪切作用不断提供流体和热源,使深部形成连续的深熔岩浆源地,当上侵岩浆形成一定规模时,加之造山带陡倾深切韧性剪切带的减压释荷作用,使上侵深熔岩浆的围岩发生更大规模的重熔,加之地幔亚热柱的影响,以致形成沿幔阶排列的点状或线状岩浆源地——表现为地幔热柱演化的三级单元特征,这里暂命名为幔枝构造(Mantle-branch structure)。源于幔枝的深熔岩浆可沿陡倾的韧性剪切带以强力贯入的形式向上侵,并随着岩浆上侵层次的变浅,围压减小,岩体产生气球膨胀式横向拓宽,定位于地壳浅部。也可以通过浅部脆性断裂作为通道直达地表,形成火山喷发。幔枝的形成及源于幔枝的岩浆活动往往受不同方向深切韧性剪切带的控制。地表则表现为以构造岩浆带为轴部的隆起构造。其中隆升较快的部位可发育成典型的变质核杂岩构造。如张(张家口)-宣(宣化)地区、赤城-平泉地区、冀东地区皆为伸展体制控制的隆升(变质核杂岩)构造<sup>[12,13]</sup>。

## 1.2 金、银的深部来源

世界上已发现的很多矿种都有很明显的成矿专属性。但金、银矿却很特殊,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、沉积岩、侵入岩等不同岩性都可以产出金、银矿<sup>[14]</sup>①。但是,凡是大型-超大型金、银矿床则主要形成于深大断裂及其附近,这与金、银的矿质来源、其主要地球化学特性、活化、迁移、聚集方式密切相关。

金、银主要来源于地核,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<sup>[15]</sup>。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。在核幔胀缩过程中,金蒸气通过核幔间由于地核胀缩而局部和暂时形成的大分子间隙向上运移,并随地幔热柱的多级演化继续向上迁移。当金蒸气到达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-液金往往随岩浆侵入或断裂活动迁移、聚集到塑变软化围岩或构造扩容带中成矿。

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着活化剂(水、溶于水的卤盐、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。

## 2 构造-岩浆成矿系列及矿床类型

矿床的形成与特定的成矿作用环境密切相关。从成矿的构造部位来看,矿床可形成在幔枝

① 吴美德,1991,国外银矿床。中国地质矿产信息研究院编。国外银矿及典型矿床,1~26

隆起轴部断裂中或岩体的内外接触带,可形成在隆起外围的主拆离滑脱带中,也可形成在区域性剪切带之中。从成矿物质来源来看,成矿物质可以主要来自幔源,也可为壳幔混合来源为主,或两者兼而有之。从赋矿围岩来看,矿床可形成在岩浆岩中、变质结晶岩系之中、火山-沉积岩系之中,亦或它们之间的接触带中。而从成矿类型上看,它们可以形成独立金矿床、独立银矿床,也可形成金银矿、银金矿,或者金银多金属矿床。当然,尽管各个矿床之间存在千差万别,但是,由于冀北地区总体构造背景和主要控矿因素已有明确的认识,矿床的主要类型、主要的成矿系列还是有规律可循的。

## 2.1 冀北地区的三大构造-岩浆成矿系列

冀北地区金、银多金属矿床的空间展布、成矿作用的内在联系、不同矿种的组合关系明显的表现出与地幔热柱多级演化有关的三大构造-岩浆成矿系列(图 2)。

### (1) 张宣幔枝——与地幔热流体活动有关的构造-岩浆成矿系列

张-宣地区是前古生代构造强烈活动地区,尚义-赤城断裂的持续活动,使其构成了内蒙地轴和燕山台褶带的天然界线。中生代巨大滨太平洋构造带的强烈活动及其由此诱发的地幔热柱演化、多重流变作用,在北北东向深层拆离流变带与古东西向构造交汇部位,形成了较为典型的幔枝构造,进入了构造变形-岩浆活动-成矿作用活跃时期,并在地质特征、遥感解译、物探、航磁、重力、地热、地球化学等方面表现出明显的组合特征。以与成矿作用关系密切的构造变形、岩浆活动为例,从张宣幔枝构造中心向

图 2 深部地质作用和幔枝构造模式图

Fig. 2. Model of deep geological process and mantle-branch structure.

外围,断裂构造表现出由韧性剪切带→脆韧性剪切带→韧性剪切带→脆性断裂带的发展演化系列,并且表现在垂向上的复合叠加关系。

强烈活动韧性剪切带的深切,使深部地幔薄层重熔,形成幔源岩浆与壳幔混合岩浆演化系列。在幔枝隆起的核部出现与地幔重熔有关的基性玄武岩侵入,如赤城北吕合堡蛇纹石化超基性岩体中见有二辉橄榄岩脉穿插于辉橄岩之中,表明在超基性岩形成之后,地幔物质再度上涌,形成不同时期的幔源岩相相互穿插的组合分布。向外围则演化为与壳幔混熔及地壳重熔有关的中酸性、酸性岩浆活动。主要岩石类型为超基性岩、碱交代杂岩、煌斑岩、碱性花岗岩→花岗斑岩、正长斑岩、石英正长斑岩、偏碱性火山岩等浅成-超浅成次火山岩、火山岩<sup>[16,17]</sup>。

矿床(种)的形成与展布则与张宣幔枝构造变形和岩浆活动密切相关,在幔枝核部崇礼-宣化-赤城一带主要为金矿分布区,如东坪、小营盘、后沟、黄土梁、韩家沟、水晶屯一批大中型金矿都集中分布在该区。而在幔枝隆起的外围康保-赤城-涿鹿一带,则为兰阎、蔡家营、青羊沟、彭家沟、上碌碡湾、相广等中大型银多金属矿床构成的成矿带。这种空间组合既是该区区域性深部幔枝隆起,壳幔相互作用复杂演化的最终产物,也是成矿过程中构造、岩浆、热流体交代蚀

变与矿化三大系列复杂演化的最终结果。从而构成了张宣幔枝内带为金、外带为银多金属矿的构造-岩浆成矿系列。

### (2) 燕山幔阶——与韧性剪切带有关的构造-岩浆成矿系列

尚义-赤城深断裂穿过赤城往东分为三支:北支为赤城-隆化断裂带;中支为大庙-娘娘庙断裂带;南支为赤城-平泉断裂带。其向东至辽宁建平一带三条断裂再度汇合,再往南尚有密云-喜峰口断裂带。四条断裂带都曾经经历过强烈活动,并表明断裂是叠加早期韧性剪切带之上的再次活动。在地质特征与成矿作用上,南部主要以同熔型中深成花岗岩体为主,北部则以浅成-超浅成酸性侵入岩及次火山岩为主。成矿作用南部表现为以金、铜钼为主,向北过渡为银多金属矿床为主。其深部受由南向北缓倾的河淮断陷区亚热柱顶冠影响,形成燕山幔阶与韧性剪切带有关的成矿系列。

### (3) 太行山幔坎——与构造岩浆带有关的构造-岩浆成矿系列

大河南-上黄旗断裂构造活动始于晚太古代,元古代控制了裂谷型堆积物的带状展布,后经吕梁运动闭合。中生代断裂活动复活并强烈活动,断裂经历了初始破裂(导致超基性岩浆侵入,并控制裂谷型堆积的带状分布)—强烈变形(大幅度断块活动,西盘抬升)—岩浆活动(由早—中侏罗世中基性火山活动及侵入活动—中酸性火山活动及侵入活动—晚期调整(早白垩世末,断裂以左行扭动为主,伴随局部性的中性火山活动)),各阶段形成自成体系的断裂-岩浆活动系统。沿断裂带岩浆活动的性质有所差异。断裂带南部以大规模的幔源为主,壳幔混合的岩浆侵入为特征,形成大河南、大海坨等规模较大的同熔型花岗杂岩岩基及其周围的中—晚侏罗世中酸性火山活动;断裂带北部则以火山-次火山活动为主,形成中—晚侏罗世的大面积中酸性火山岩及偏碱性—中酸性—酸性浅成-超浅成次火山岩岩体。沿断裂带中生代岩浆活动明显的遵循着由深成—浅成(或超浅成)、由中基性—酸性(超酸性)、由深源(幔源为主)—浅源(壳幔混合、壳幔物质混入较多)演化系列的规律。

大河南-上黄旗构造岩浆带成矿作用十分明显,形成以内生矿床为主,由金、银铜矿-含铜磁铁矿-铁锌钼矿-银或银多金属矿的成矿组合或成矿系列。该带南段大河南-河东一带,分布有上明峪、胡峪、岔河-北龙门等金银矿和金矿,其中均伴生铜。成矿与深成同熔型花岗杂岩体(大河南岩体)有关,以接触交代-中高温岩浆热液型矿床为主。该段附近还同时产有含铜磁铁矿、铁锌钼矿等矿床。该带北段由于火山活动的加强,银多金属矿增多,到北端则以银矿床为主,成矿主要与晚侏罗世中酸性陆相火山岩、次火山岩有关,以火山-次火山热液矿床为主。成矿温度由南到北逐渐由中高温降至中低温,主要矿床为柴厂、龙门、金铜塔、相广、常庄子、上碌碡湾、彭家沟、牛圈子、满汉吐-小扣花营等金矿床或银多金属矿床。

## 2.2 矿床成因类型的划分

依据冀北地区的区域构造演化特征、成矿系列的划分及典型矿床的解剖,可划分出金、银多金属矿床的成因类型。

金矿可划分为幔枝轴部断裂幔壳碱交代型热液金矿(以东坪矿为例)、幔枝隆起(变质核杂岩)外围主拆离滑脱带型金矿(以小营盘金矿为例)和同熔-重熔岩浆热液型金矿(以峪耳崖金矿为例)。具体可依矿床特征划分为若干亚类。

银多金属矿床可划分为中深成岩浆热液型银多金属矿床和浅成-超浅成次火山热液矿床,并可按具体矿床特征划分为若干亚类(表1)。

表 1 冀北地区金、银多金属矿床成因类型表

Table 1. Genetic types of gold , silver polymetallic deposits in northern Hebei

| 成矿作用                 | 成矿物质来源      | 矿床类型  | 矿床成因类型              |                 | 元素组合           | 构造部位             | 赋矿围岩建造             | 成矿时代<br>(10 <sup>6</sup> a) | 矿床规模 | 矿床实例 |
|----------------------|-------------|-------|---------------------|-----------------|----------------|------------------|--------------------|-----------------------------|------|------|
|                      |             |       | 类型                  | 亚类              |                |                  |                    |                             |      |      |
| 幔源(岩浆)热液成矿作用         | 幔源为主        | 金矿床   | 深源热流体交代矿床           | 幔源热流体交代型        | Au、Ag、Cu、Pb、Zn | 幔枝轴部韧性剪切带碱交代作用区  | 碱交代二长岩-正长岩类        | 印支期末—燕山期初                   | 特大型  | 东坪   |
|                      |             |       |                     | 含金蚀变岩型          | Au、Ag、Cu、Pb    | 幔枝轴部韧性剪切带热液蚀变作用区 | 碱性杂岩辉石岩            | 印支期末—燕山期初                   | 小型   | 金家庄  |
|                      |             |       |                     | 拆离滑脱带型          | Au、Ag、Pb、Mo    | 幔枝外围正向拆离滑脱蚀变带    | 角闪-麻粒岩相片麻岩         | 印支期末—燕山期初                   | 特大型  | 小营盘  |
| 幔壳交代混合(岩浆、次火山)热液成矿作用 | 幔源为主、幔壳混合来源 | 伴生金银矿 | 重熔改造型矿床             | 重熔岩浆热液脉型        | Au、Ag          | 幔阶翼部张性构造带        | 重熔花岗岩体内接触带         | 燕山期(149)                    | 大型   | 峪耳崖  |
|                      |             |       |                     | 重溶岩浆热液脉型        | Ag、Au、Pb、Zn、Cu | 幔坎构造岩浆带张扭性断裂     | 超浅成次花岗岩斑岩          | 燕山期(200~138)                | 中大型  | 牛圈   |
|                      |             | 银矿床   | (次火山热液)构造蚀变、构造充填型矿床 | 构造蚀变带型          | Pb、Zn、Ag、Au    | 幔枝外围赤城-康保构造带     | 下元古界角闪岩相片麻岩、侏罗系火山岩 | 燕山期                         | 大型   | 蔡家营  |
|                      |             |       |                     | 与锰帽有关的构造蚀变脉型    | Ag、Mo          | 幔枝外围侏罗纪断陷盆地      | 中上侏罗统中酸性火山岩        | 燕山期                         | 中大型  | 相广   |
|                      |             |       |                     | 构造蚀变带型          | Ag、Au          | 幔坎构造岩浆带岩体外缘断裂带   | 上侏罗统张家口组凝灰岩        | 燕山期(102.13±16.7)            | 中大型  | 双井子  |
|                      |             |       |                     | 与韧性剪切带有关的构造蚀变岩型 | Ag、Pb、Zn       | 幔阶赤城-隆化韧性剪切带     | 构造角砾岩带             | 燕山期(129.34~118.24)          | 中型   | 姑子沟  |
|                      |             |       |                     | 热液蚀变岩型          | Ag、Au、S        | 幔坎构造岩浆带          | 长城系高于庄组大理岩         | 燕山期                         | 小型   | 胡峪   |
|                      |             |       |                     | 热液蚀变岩型          | Ag、Au、S        | 幔坎构造岩浆带          | 角闪岩相片麻岩            | 燕山期                         | 小—中型 | 汤池口  |

3 区域矿床模式

区域地质背景的研究、成矿规律的探讨以及成矿系列的建立、成因类型的划分等等,其目的在于摸清成矿规律,指导新一轮地质找矿。因此,在地幔热柱多级演化与区域构造、深部过程、变质核杂岩等研究的基础上提出区域综合性成矿模式,借以阐述区域成矿规律及金、银多金属矿床间的成因联系(图 3)。

模式的基础是滨太平洋域强烈的构造活动叠加在古亚洲构造域之上,地幔亚热柱的半球状顶冠的形成造成地幔对流,并诱发岩石圈发生多重流变,派生地幔热柱的三级单元——幔枝

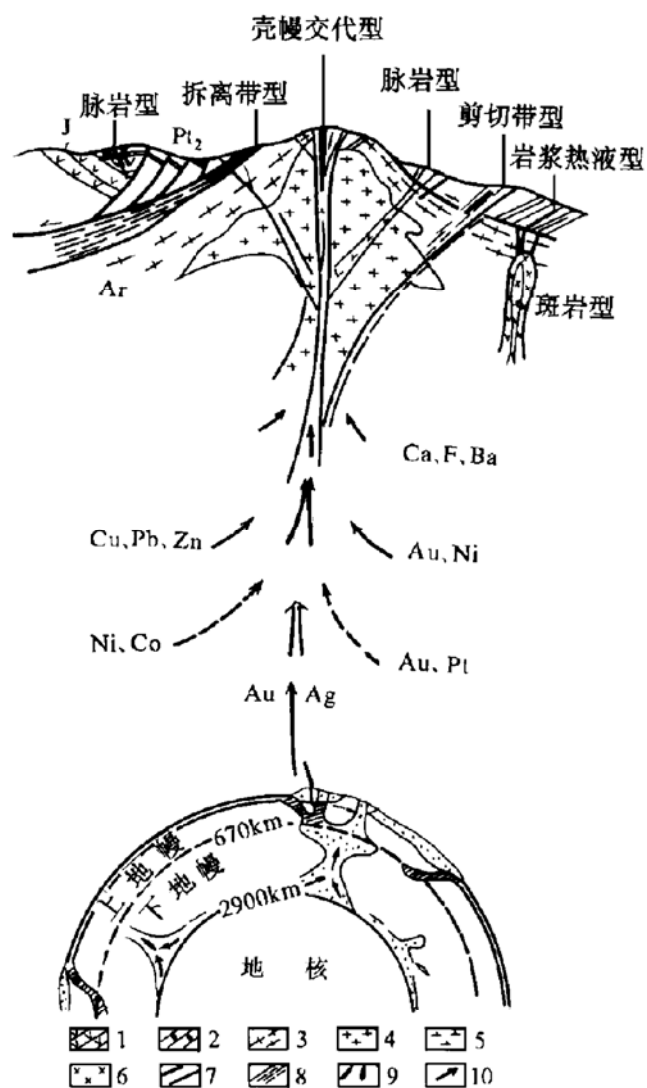


图3 冀北地区综合成矿模式

1—中生代火山岩;2—中晚元古界盖层;3—强变形变质岩石;  
4—花岗质岩石;5—(深源)碱交代岩石;6—深成侵入体;7—断  
层;8—(正向拆离)韧性剪切带;9—矿体;10—矿源运移方向

Fig. 3. Integrated metallogenic model of northern Hebei area.

1—Mesozoic volcanic rock; 2—Middle-Late Proterozoic cover;  
3—Intensely deformed and metamorphic rock; 4—Granitic rock;  
5—(Abyssal) alkali-metasomatic rock; 6—Abyssal intrusive;  
7—Fault; 8—Ductile shear zone; 9—Orebody; 10—Migration  
direction of ore source.

构造,促使地壳呈等轴状、或椭圆状隆升(变质核杂岩)。

在幔枝形成过程中,幔枝轴部的深断裂沟通了地壳深部矿质活动的通道,其演化表现为成矿物质的富集、运移、定位三大系统。

(1) 成矿物质大规模聚(富)集系统。由于幔枝构造的形成和活动,导致幔源物质大量上涌。一方面幔源热流体重熔上地幔与地壳,形成大规模幔源岩浆、壳幔混合岩浆系列;另一方面,幔源流体、岩浆活动及深部去硅、去钾、脱挥发分作用,产生富K、Na、Si等组分的幔壳混合源的热液与岩汁,使幔枝构造进入全面的构造、岩浆、热流体活化阶段,形成成矿物质大规模聚(富)集系统。

(2) 矿质运移系统。幔枝构造的形成及其隆升作用,使前武纪就已存在的不同方向、不同性质的韧性剪切带复活动,或被脆韧性断裂所改造叠加,在构造应力集中的部位也可形成一些新的断裂活动带,这些断裂构造是深部幔源岩浆、富碱热流体、含矿热流体运移的主要通道和活动中心。

(3) 矿床、矿体的定位系统。含矿流体的聚(富)集除需要一定的活化环境化,还须有好的成矿扩容空间。幔枝轴部韧性变形变质带上部或两侧的脆韧性断裂构造、深大断裂构造带上部或两侧次级断裂构造等直接制约着中深成、浅成-超浅成岩浆、含矿热流体的就位空间,成为金、银多金属矿床与矿体的最终形成与定位空间。按着成矿物质的

聚集、迁移、定位三大系统以及已知矿床特征的研究,综合成矿模式分别表述了壳幔交代型、拆离带型、脉岩型、剪切带型、岩浆热液型、斑岩型矿床的可能赋存部位,其成矿特征将另文论述。

参加野外工作的还有唐勤民、许传诗、白寅周等同志,工作中得到了地质矿产部科技司、直管局、项目办、河北地勘局、河北地质学院、地质三队、四队有关领导的大力协助和支持,赵克昌、章百明、陈华山、杨其维总工、冯家麟处长、白寅周主任始终对项目研究给予了热情指导和帮助。在成文过程中,还得到芮宗瑶、毛景文、侯增谦研究员的鼓励和指导,在此深致谢意。作者对宋叔和、翟裕生、陈鑫、李廷栋、朱裕生、黄崇轲、石准立等地质前辈所给予的热情鼓励表示衷心感谢。

## 参 考 文 献

- 1 傅容珊. 地幔热动力学模型. 地球物理学进展, 1993, 8(3): 13~25
- 2 邓晋福, 赵海玲, 吴宗絮等. 中国北方大陆下的地幔热柱与岩石圈运动. 现代地质, 1992, 6(3): 276~274
- 3 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲等. 中国东部岩石圈根/去根作用与大陆活化. 现代地质, 1994, 8(3): 349~356
- 4 牛树银, 胡晓, 孙爱群. 华北地台北侧的古板块构造演化. 地质科技情报, 1993, 12(1): 17~21
- 5 王鸿祯. 全球构造研究的简要回顾. 地学前缘, 1995, 2(1): 37~42
- 6 孙武城, 祝治平, 张利等. 对华北地壳上地幔的探测与研究. 见: 国家地震局科技监测与进展. 北京: 地质出版社, 1988. 19~37
- 7 郑炳华, 马宗晋. 华北北部断块构造及中下地壳的构造滑脱. 中国地震, 1991, 7(3): 1~10
- 8 常恩祥. 华北平原北部地温场和深部地质构造关系. 中国地质科学院 562 综合大队集刊, 1989, (7~8): 282~294
- 9 马杏垣, 刘昌铨, 刘国栋. 江苏响水至内蒙满都拉地学断面. 地质学报, 1991, (3): 199~215
- 10 滕吉文, 吴华, 王爱武等. 中国东南陆缘地带岩石圈结构和动力学. 中国科学(B 辑), 1994, 24(8): 866~875
- 11 刘国栋, 刘昌铨. 华北北部地区地壳上地幔构造及其与新生代构造活动的关系. 中国科学(B 辑), 1982, (12): 1132~1140
- 12 牛树银, 孙爱群, 白文吉. 造山带与相邻盆地间物质的横向迁移. 地学前缘, 1995, 2(1): 85~92
- 13 牛树银, 董国润, 许传诗. 论太行山构造岩浆带的岩浆来源及其成因. 地质论评, 1995, 41(4): 301~310
- 14 涂光炽, 霍明远等. 金的经济地质学, 北京: 科学出版社, 1991, 56~64
- 15 霍明远. 金的原子结构模型及其成矿模式. 见: 涂光炽, 霍明远等著: 金的经济地质学. 北京: 科学出版社, 1991, 1~7
- 16 李红阳, 张建珍. 崇礼-赤城含金剪切带与碱性杂岩体成矿特征. 黄金科学技术, 1994, (2): 17~21
- 17 李红阳, 彭岚, 王国富. 冀西北崇礼-赤城含金剪切带成矿机制. 贵金属地质, 1994, 3(3): 169~175
- 18 Anderson D L. Chemical plumes in the mantle. Geol. Soc. Am. Bull., 1975, 86: 1593~1600
- 19 Boss A P, Sack I S. Formation and growth of deep mantle plumes. Geophys. J. R. Astron. Soc., 1985, 241-255
- 20 Campbell I H, Griffiths R W. The changing nature of mantle hotspots through time: implications for the chemical evolution of the mantle. J. Geol., 1992, 100: 487~524
- 21 Maruyama S. Plume tectonics. J. Geol. Soc. Japan, 1994, 100: 24~49
- 22 Morgan W J. Plate motions and deep mantle convection. Geol. Soc. Am. Mem., 1972, 132: 7-22
- 23 Wilson J T. Mantle plumes and plate motions. Tectonophysics, 1973, 19(2): 149-164
- 24 Deffeyes K S. Plume convection with an upper mantle temperature inversion. Nature, 1972, (240): 539~544

## MULTISTAGE EVOLUTION AND MINERALIZATION OF MANTLE PLUME AS EXEMPLIFIED BY NORTHERN HEBEI AREA

Niu Shuyin, Li Hongyang, Sun Aiqun

(Hebei College of Geology, Shijiazhuang 050031)

Luo Dianwen, Ye Donghu and Wang Jinsuo

(Hebei Geoexploration Bureau, Shijiazhuang 050081)

**Key words:** mantle plume, mineralization, metallogenic model

### Abstract

A study of gold-silver polymetallic mineralization in northern Hebei area reveals that

tectonic activity seems to be the leading factor controlling the ore-forming process. Besides being partly derived from ore-bearing wall rocks, gold, silver and some other ore elements mainly came from the depth. Multistage evolution of mantle plume resulted in the formation of deep channelways for migration of ore materials. The tabular low velocity block in the upper part of Hehuai submantle material was decoupled below the orogenic belt. The incision of ductile shear zone along the Yanshanian axial part of orogenic belt caused depressurization and unloading of the deeper part, which in turn resulted in the ascending of anatectic magma and the formation of the third-order-mantle branching of mantle plume. The formation of mantle-branch structure and the activity of anatectic magma derived from mantle-branch were frequently controlled by sharply declined ductile shear zones in different directions. At surface, there appeared upwarped structure with the tectonomagmatic belt as the axis, in which the cover rocks of quickly-upwarping segments were largely decoupled and the basement rocks were exposed, leading to the formation of typical metamorphic core complex. The mantle-branch structure not only served as an important releasing system of thermal energy but controlled the migration and concentration of ore-bearing fluids. Different typical deposits were formed in different locations of the mantle-branch structure. According to multidisciplinary analysis, three large tectonomagmatic metallogenic series have been recognized, which are respectively related to mantle thermal fluid activity, ductile shear zone and tectonomagmatic zone. In addition, a typical mantle-branch metallogenic model has been advanced in this paper.

## 1996 年《矿床地质》审稿人员名单

1996 年度以下同志为本刊审阅过稿件,为本刊质量的提高做出了贡献,特表感谢!

|     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王之田 | 王小凤 | 王书凤 | 王关玉 | 王秀璋 | 王鹤年 | 毛景文 |
| 母瑞身 | 卢欣祥 | 卢家烂 | 叶庆同 | 白 鸽 | 吕凤翔 | 刘正义 |
| 孙海田 | 孙家树 | 祁思敬 | 杜乐天 | 李九玲 | 李云从 | 李纯杰 |
| 李荫清 | 杨岳清 | 吴良士 | 芮宗瑶 | 陈文明 | 陈代璋 | 陈安福 |
| 陈殿芬 | 陈毓川 | 沈保丰 | 宋学信 | 罗君烈 | 罗镇宽 | 张代时 |
| 张荣华 | 张理刚 | 张德全 | 范德廉 | 林文蔚 | 周珣若 | 施林道 |
| 赵一鸣 | 胡受奚 | 徐志刚 | 徐 珏 | 姬金生 | 黄典豪 | 黄崇轲 |
| 章邦桐 | 崔盛芹 | 韩 发 | 程敏清 | 傅家模 | 谢佑新 | 童潜明 |
| 赖应  | 熊光楚 | 谭运金 | 谭顺道 | 魏东岩 | 魏菊英 |     |