

# 南秦岭晚古生代海底喷气-沉积成矿系统

祁思敬 李 英

(西安工程学院,西安,710054)

**摘 要** 南秦岭显生宙喷气-沉积成矿起始于晚志留世,泥盆纪是热水沉积成矿的主富集期,形成了以 Pb, Zn 为主的,伴生有 Cu, Ag, Au, Fe 的矿床(体)和 Au, Hg, Sb, As 等富集体,一般可划分出沉积和成岩两个阶段。之后发生了至少三个阶段的后生成矿作用,包括变质、改造、叠加成矿,以及局部的再造成矿。这一成矿系统有统一的物源和相似的金属组合,下伏沉积柱和基底提供了充足的 Pb, Zn, Au, Ag, Cu, Hg, Sb, As 以及 Fe, Ba 等。成矿与该区地壳的构造-盆地-建造-岩浆-变质变形等演化相伴随,不同阶段与不同性质成矿流体的形成与贯穿造山前后的一系列热事件有密切成因联系,形成了这一金属硫化物成矿系统,并以主富集期和主要成矿形式给予命名。

**关键词** 南秦岭 热事件 喷气-沉积成矿作用 热水沉积岩 贵金属

**CLC** P612, P611

南秦岭多金属成矿带呈东西带状分布于扬子地块北缘,是一规模巨大、独具特色的成矿带<sup>[1,2]</sup>。它形成于晚古生代以来的不同时期。成矿以泥盆纪热水沉积成矿为先导,具有明显的继承性和连续性。对这一成矿带的认识是逐渐的。60年代初期,开始对 Pb, Zn, Ag, Cu, Fe, Hg, Sb 进行勘探,80年代中期,对金矿有了重大突破,从而使我们得以了解成矿的全貌,提出了这一海底喷气-沉积成矿系统。

## 1 成矿系统概貌

### 1.1 矿床类型和金属组合

产于上志留统至下三叠统中、集中于泥盆系中的矿床,具有层控性质。铅、锌、银、铁矿床有显著共生特点。已发现超大型铅锌矿一处,大型铅锌、汞锑、金银矿多处。主要金属组合有 Pb, Zn, Cu, Ag, Au, Hg, Sb, Fe, Ba 等(表1)。

铅锌矿床 可分为两大类,即产于细碎屑岩-碳酸盐岩系中由多种热水沉积岩容矿的层状矿床,主要矿石类型为块状、条带-层纹状硫化物,金属组合有 Pb-Zn-Ba 和 Pb-Cu-Ag 等;产于泥岩-礁灰岩系中由铁白云质硅岩容矿的似层状矿床,矿体不规则,矿石以块状、角砾状为主,金属组合为 Pb-Zn-Cu。两类矿床均表现有沉积-成岩-后生作用连续发展的

收稿日期:1998-09-14 修改稿收到日期:1999-01-06

作者简介:祁思敬,男,1931年生,教授,矿床学专业,主要从事海底喷气-沉积硫化物矿床研究。

本研究受国家科技攀登计划项目(编号:A-30-08)及原地质矿产部“八五”重要基础研究项目(编号:8502214)资助。

特征<sup>[3,4]</sup>。

金矿床 包括准同生型的钠长板岩-角砾岩金矿床,后生型的细碎屑岩系变质变形带中的金矿,以及具多阶段成矿特征的不纯灰岩-泥岩中的金矿床。三类金矿金属组合不同,依次为 Au(Cu),Au(As),Hg-Sb-Au-As 等<sup>[5,6]</sup>。

表 1 主要矿化类型与金属组合

Table 1 Major mineralization type and metal assemblage

矿化类型	矿床类型与金属组合	典型矿床	规模
I . Pb-Zn- (Cu)- Ag	I -1 细碎屑岩-富钠长石岩型[Zn-Pb-Ba,Pb-Ag-Zn-Cu,Zn] I -2 生物灰岩-硅岩型: I -2a 块状-层纹状矿石[Pb-Zn] I -2b 角砾状-网脉状矿石[Pb-Zn-Cu] I -2c 网脉状-浸染状矿石[Pb-Zn]	厂坝、银洞子、桐木沟 邓家山、铅洞山 洛坝、银母寺 页水河、锡铜沟	超大型、大中型 大型 大中型 中、小型
II . Cu	II -1 铁白云岩(菱铁矿岩)-钠长石岩-似碧玉岩-重晶石岩型 II -1a 与 Pb-Zn 共生分带[Cu-Ag,Fe-Cu-Ba] II -1b 铁白云质粉砂岩[Cu] II -2 铁白云质硅岩型 II -2a 角砾状矿石[Cu-Zn-Pb] II -2b 网脉状矿石[Cu-Zn-Pb] II -3 钠长角砾岩型[Cu-Au] II -4 层状夕卡岩-角岩型[Cu-Fe-(Mo)-(Au)]	蒋台子、大西沟 肖台 八方山、毕家山 八方山西段 二台子上部 小河口	中、小型 小型 小型 小型 小型 中、小型
III . Au	III -1 钠长板岩-角砾岩型[Au-(Cu)] III -2 变质-变形带微细-浸染型 III -2a 泥岩-粉砂岩中[Au] III -2b 细碎屑岩-碳酸盐岩中[Au-Ag-Pb-Zn] III -3 石英脉型[Au] III -4 不纯碳酸盐岩-泥岩型[Hg-Sb-Au-As]	双王、二台子 马鞍桥、李坝 八卦庙、安家岔 铁神庙 丘岭、金龙山、坪定	大、中、小型 中、小型 大、中型 小型 中、小型
IV . Hg-Sb	IV -1 汞矿(白云岩中)[Hg-Sb] IV -2 锑矿(硅化灰岩中)[Sb]	公馆 岩湾	大型 大型

汞锑矿床 产于矿带南部含碳酸盐岩层位中,在各成矿区内都有一定的层位。矿化具后生性质,多为裂隙带控制。金属组合有 Hg-Sb,Hg-Sb-As,Zn-Hg 等。

铜矿床 主要为产于铅锌矿含矿层位中的伴生和独立铜矿。伴生矿床可圈出独立铜矿体,与铅锌铁矿体具空间分带。独立铜矿可分为两类,即产于铁白云质粉砂岩中的铜矿床和产于层状夕卡岩-角岩中的铜矿床。

各类矿床具明显的时空和成因联系,受一定地层层位控制,集中于特定构造-岩相带内,有一定的空间分带特征。容矿岩石或为热水沉积岩,或为特定岩类及岩石组合。各类矿床虽主成矿期有异,但可见到由同生期至后生期多阶段成矿的现象,并且成矿与区域构造-岩浆演化有某种内在联系。

## 1.2 成矿的构造-沉积环境

南秦岭造山带可划分出三个构造层。基底为扬子地块的元古宇;下伏沉积柱为震旦系至志留系的显生宇地层,包括中基性火山岩系、蒸发岩系及黑色页岩系;上古生界至下中生界盖层为复陆屑-类复理石建造,厚度达万米以上,是喷气-沉积矿床的主要含矿岩系。

含矿的泥盆系在岩相上时空变化最为明显。与早、晚泥盆世相比,中泥盆世岩相变化明显加剧,可划分出近滨海碎屑岩相、浅水泥岩-粉砂岩相、局限台地-生物礁相以及深水细碎屑岩相等,自南而北展布于扬子北缘陆棚-陆坡之上。沉积-成岩期火山活动微弱,无明显的

同期岩浆侵入,仅发生有喷气-沉积热水活动事件。据分析,本区自晚古生代起,地壳转变为挤压应力场。初时海盆伸展扩张,局部发生拉张裂隙,局部抬升呈岛或水下隆起,这是喷气-沉积成矿的主要成矿期。此后,海盆逐渐收缩,至早三叠世转变为挤压盆地。岩浆侵入活动主期为海西中期至印支早期,伴随有热变质、动力热变质和叠加作用。成矿系列发生于造山前的盆地演化期,经历了造山早期的变质-变形和岩浆叠加期,一直延续到造山期后。

含矿地层中广泛发育了热水沉积岩,如钠长石岩、硅岩、重晶石岩、铁镁碳酸盐岩和含电气石岩等,这是确定矿床属 Sedex 型的主要证据<sup>[7]</sup>。沿矿带北部边界一线,受区域性走向断裂的控制,发育有一类具角岩结构,但与区内侵入体无直接成因和空间联系的角岩,我们称之为类角岩,如方柱黑云角岩、钾长石榴黑云角岩、长英透辉石角岩等。推测它们是热水沉积前后,随古地热异常的增温发生热变质作用形成的。

成矿带主要构造样式为一系列近东西走向大断裂为主、配合以其间的轴向近东西的复式褶皱。这些主干断裂,既是地层分界,又控制了热水沉积岩、类角岩、以及各种侵入岩的分布,从而说明,它们对区内构造-沉积和构造-岩浆演化都有一定的制约<sup>[8]</sup>。

## 2 成矿系统的形成

### 2.1 成矿系统动力学背景

构造-盆地格架是不同阶段地壳中热水对流及循环系统活动的前提,也加速了地壳深部热流及物质向地壳浅部的传导<sup>[9,10]</sup>。

#### 2.1.1 同沉积期构造与成矿盆地

D. Large 论述过 Sedex 成矿盆地的形成与演化<sup>[11]</sup>,指出它是在一个挤压应力背景下发生的。本区盆地初期为伸展盆地形式,沉积中心自南而北迅速迁移,最后扩张为秦岭海。到中泥盆世,随压应力增强,海盆中央逐渐隆起,构成一东西延展的水下隆起——岛链,如武都半岛、佛坪古岛及公馆台地等,其南北受走滑断层控制,分别形成了“内陆棚浅海”和“外陆棚海”。进一步的发展是在这些Ⅰ级海盆的基础上,由南北断陷-隆起而分割出Ⅱ级海盆,如西秦岭的西成海盆、东秦岭的山柞海盆等。此时大陆边缘总体构造样式类似于陆缘走滑-转换断层系统。

在这一应力场持续作用下,Ⅱ级海盆内部进而形成了多级隆陷结构。Ⅱ级海盆中央也发育有一Ⅱ级生长背斜-碳酸盐台地,其北侧一般向深水相过渡,出现了浊流、碎屑流、同生砾岩等陆坡深水沉积相。而南侧则出现了浅海生物礁(发育于Ⅲ级生长背斜之上)带、以及泥质-粉砂质浅水沉积相。喷气-沉积成矿发生于Ⅲ级或更低级次的盆(洼)地中,一般分布于Ⅱ级台地南北两侧靠近走滑断裂带附近。深水相的成矿盆地主要为陆缘走滑主干断裂附近的次级南北向羽状张性断裂控制的断陷型盆地,如厂坝、李家沟等处。南部浅水相则是由Ⅲ级生长背斜-生物礁进一步发展由轴向逆冲断层控制的拗陷型盆地,如邓家山、铅矾山等处。盆地-通道的差异是形成两类矿化的主导因素。

中泥盆世后,海盆逐渐缩小,沉积了巨厚的类复理石。至石炭一二叠纪,已有局部抬升,直到三叠纪才结束了海相沉积。

#### 2.1.2 区域热事件与热历史

区域地壳的热沉降-热伸展,以及盆地中复陆屑-类复理石沉积,包括 Sedex 成矿,都与

该区地壳热状态的变化有一定成因联系,并且在其后的演化中,控制了该区的构造-岩浆演化<sup>[12,13]</sup>。自 400 Ma 起至 170 Ma 出现的主要热事件有:① 早期超镁铁岩的侵位,Sm-Nd 全岩等时线年龄为  $(402.6 \pm 35)$  Ma;② 热水沉积岩的形成,Rb-Sr 全岩等时线年龄为  $(389.42 \pm 13.95)$  Ma 和  $(346.9 \pm 10.9)$  Ma,钠长石 Ar-Ar 坪年龄  $(352.8 \pm 3.5)$  Ma 及等时线年龄  $(346.6 \pm 6.5)$  Ma;③ 类角岩的形成,Rb-Sr 全岩等时线年龄  $(324.54 \pm 19)$  Ma,黑云母 Ar-Ar 坪年龄 314 Ma;④ 中基性杂岩侵入,Rb-Sr 全岩等时线年龄在 274~214 Ma 之间,小岩体(斑岩)为 231 Ma,在次闪石化带的变质年龄为  $(172.52 \pm 53)$  Ma;⑤ 动力热变质作用,形成时间与中基性岩侵入同期,出现十字石-夕线石变质相,伴随有韧性变形作用;⑥ 浅色花岗岩侵入,发生于区域岩浆活动的末期,Rb-Sr 全岩等时线年龄为  $(203.9 \pm 5)$  Ma;⑦ 退变质-脆性变形作用,发生于冷却阶段,表现为有绢云母化和绿泥石化的片理-糜棱岩化带。钠长石 Ar-Ar 坪年龄中出现了一组  $(200.3 \pm 9.8)$  Ma 和  $(184.7 \pm 3.3)$  Ma 的数据,与区域上大量 K-Ar 表面年龄数据相对应。这一系列热事件构成了本区显生宙中期的热旋回,增热峰期在 280~240 Ma,至 180~160 Ma 回归正常热梯度。喷气-沉积成矿起源于这一热旋回初期的增热开始阶段,形成了本区多种金属富集强度最大,类型最多、组合复杂的富集体。其后的岩浆侵入期,既有物质的叠加,也有热叠加。而变质-变形作用又促使物质以多种形式活化富集。从而构成了以喷气为基础的硫化物成矿系统<sup>[12,13]</sup>。

## 2.2 同生热液成矿作用

### 2.2.1 热水沉积岩特征

(1) 低温长石岩类。主要为含少量 An 和 Or 分子(均<10%)的钠长石,局部见有钡长石。一般的矿物组合为铁白云母-镁电气石-黝帘石-斜钙沸石,局部见钙钠柱石(矿物单位自内向外  $\text{Na}_2\text{O}$ , Cl 升高,  $\text{CaO}$  减少,推测是交代斜长石、钠长石类的产物)。电气石含量可达 3%~8%。钡长石主要为铝硅钡石。岩石形成温度约为 300~200 °C, pH 为 6~7。沉淀-堆积而成的是钠长板岩,交代-充填形成的为铁白云石化钠长角砾岩<sup>[14]</sup>。

(2) 铁镁碳酸盐岩类。包括白云岩、菱铁矿岩、铁白云石岩、铁方解石岩及其过渡岩类。主要矿物为白云石、含铁白云石、铁白云石、含镁菱铁矿、菱铁矿等。这些矿物既与钠长石伴生,又可与硅质岩、绿泥石伴生,从而组成了多种热水沉积岩类。岩石一般形成于 200~100 °C, pH 为 6.5~7.5。既有沉积成因,又有交代成因,构成一特殊岩类。

(3) 硅岩类。指含  $\text{SiO}_2$  达 90% 以上的一类热水沉积岩,习惯称之为硅质岩、硅化岩、似碧玉岩等。主要矿物为微晶柱粒状石英,构成了块状-层纹状岩石,也包括由多期穿插于其中的多种石英细脉。柱粒状石英内部有由碳质及微粒碳酸盐构成的混浊状核心,外部为一净化边。胶结柱粒状石英硅岩的脉石英,在粒度上和形态上均与其为过渡关系,仅最晚期的石英脉才有明显边界。与石英伴生的矿物还有铁白云石、白铁矿、萤石、电气石及重晶石等。柱粒石英形成于 250~180 °C, pH 为 7~8。以沉淀-堆积形式可生成硅质岩,以交代-充填形式形成的是硅化岩,后者具特征的残余生物构造和交代角砾构造,并与灰岩呈过渡关系。

其它热水沉积岩类还有绿泥石岩、重晶石岩等。绿泥石岩的矿物共生组合为叶绿泥石-硬绿泥石或高镁绿泥石-铁白云石-阳起石等,伴随有陆屑物质绢云母、石英等。重晶石多分散于硫化物层的上部,局部集中成层。此外块状-条带状-层状硫化物层,以及网脉状-浸染状硫化物体,大多数也是热水沉积形成的,应属特殊的一类热水沉积岩。硫化物层(体)的矿物组合简单(主要为黄铁矿、闪锌矿、方铅矿),层状矿体之下数处发现网脉状-角砾状矿化

体。矿石矿物的标志微量元素,如  $w(\text{Se})/w(\text{S})$  比值,  $\text{Mn}$ ,  $\text{In}$ ,  $\text{Cd}$  含量及  $w(\text{Ga})/w(\text{In})$ ,  $w(\text{Co})/w(\text{Ni})$  比值,也指示出其热水沉积成因。

### 2.2.2 水热流体与成矿热液的演化

(1) 水热对流系统的演化。由钠长角砾岩带,同生砾岩带和上覆地层中的多层热水沉积物,可指示热水对流系统的演化过程,即形成、加深、成熟和消亡。

(2) 成矿热液的喷出旋回。两类铅锌矿含矿层的显著层序性,指示了成矿热液进入喷出通道的上部裂隙带及喷入卤水池底部的成矿过程中发生的化学演化<sup>[15]</sup>。细碎屑岩型的层序自下而上为:白云岩或菱铁矿岩—钠长石岩—块状、层纹状硫化物层—重晶石岩或硅质岩层。硅岩型则为:硅化生物灰岩—网脉、角砾状硅岩—富硫化物硅岩—层纹状硅岩—绿泥石铁白云石岩层。这一层序指示了早期喷出物是中高温成矿热液,活动组分为  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Fe}$  等;中期转变为  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{B}$  及  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{S}$  等;晚期是中低温成矿热液,活动组分为  $\text{Si}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ 。如果卤水池较深,喷出通道口压力较大,成矿热液将持续、稳定进入卤水池底,完成喷出旋回——早期形成层状矿体下盘的钠长石—石英—硫化物网脉带,主期形成层状矿体下部的块状硫化物矿石,晚期形成上部含重晶石的条带(层纹)矿石。如果卤水池浅,通道口压力与温度就会骤减,当与海水混合时,成矿热液的  $\text{pH}$  值会明显升高,此时  $\text{Si}$  质会首先沉淀,并使金属离子失稳而随之以硫化物形式析出,晚期形成  $\text{Ca-Mg}$  碳酸盐沉积,指示了一个不完整的旋回。

(3) 成矿热液喷出的脉动性。多层矿层是形成巨大规模矿床的基本特征之一。厂坝矿床至少可分为两大矿层,即大理岩含矿系统和片岩含矿系统。在约 500 m 厚的含矿地层中,可以划出近 10 个含矿层。主矿体集中于地层下部 200 m 段,段内矿层累积厚度占总厚度的一半。上部段为一些平行小矿(层)体,向上逐渐消失。主矿体层中有四五个具层序性特征的矿体,巨厚矿体中又可出现数个完整的和不完整的韵律层。厂坝 II 矿体的层序为:下部块状硫化物层(以黄铁矿和深色闪锌矿为主),中部为条带状硫化物层(硫化物与钠长石互为条带,上部为重晶石富集层(含方铅矿与浅色闪锌矿)。进一步可观察到多个韵律层——块状硫化物层与多个钠长石岩与硫化物条带互层。在银洞子仅 1 m 至数 m 厚的矿层中亦有明显层序,由下而上依次为钠长板岩—似碧玉岩—菱铁矿岩—重晶石岩,硫化物层集中产于中下部。

### 2.2.3 成岩与热变质阶段的变化

典型的变化是矿物的重结晶,形成新的组合与组构,如板理、片理、缝合线、胶结和莓球构造等<sup>[16]</sup>。处于异常地热区,成岩阶段和热变质阶段常难划分,并且成岩阶段可能缩短。此时孔隙流体的性质与同生热液有明显变化,如还原性增强等。因而造成  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cu}$  等组分活动性的变化,引起金属的再分配。 $\text{Pb}$  可能向矿层顶部迁移,而形成局部富集。 $\text{Cu}$  则生成辉铜矿、斑铜矿及黝铜矿等后生矿物。

## 2.3 造山期变质-变形与叠加成矿

### 2.3.1 早期变质阶段的成矿方式

在动力热变质-岩浆侵入阶段中主要的成矿方式有:硫化物层内的“流化作用”、块状矿体的塑性变形、变质热液活化脉形成、杂岩体内外接触带中  $\text{Cu}$  的叠加与混染、浅色花岗岩及小斑岩体外接触带夕卡岩-角岩化及伴随的  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$  矿化等。

厂坝—李家沟矿体中出现一种粗晶暗色闪锌矿块状矿石,常呈舌状体贯入围岩断层中,

可能是塑性变形的一个实例。在毕家山轴面断裂带中出现过类似的短脉。“流化作用”广泛见于 Broken Hill 矿床中。在厂坝矿床中为一组贯穿块状-条带状矿层的显微粒状-似斑状结构的硫化物平行脉。“斑晶”为受压碎和溶蚀的粗晶黄铁矿及脉石碎屑,而基质为显微颗粒的,具出熔-共结结构的闪锌矿和方铅矿。脉产状平行于岩石中黑云母[010]晶面,脉幅数 mm 至 1 m 多。脉集中产于强糜棱岩化-片理化带中,其中石英碎斑发生旋转、结晶尾和压力影中见被压扁的闪锌矿、方解石双晶纹发生扭曲,指示了其属韧性变形阶段产物。

### 2.3.2 晚期变形阶段改造成矿方式

许多 Sedex 矿床产于构造变形带中,构造样式为“褶皱+逆断层”系统。本区硅岩型铅锌矿床多具有这种特点,存在大量变形组构、改造热液脉、以及透镜体的叠置现象。

可以区分同生热液交代角砾-网脉带与后生改造热液角砾-网脉带。后生角砾边缘无明显蚀变,胶结物较松散,主要为碳酸盐类矿物。改造热液脉由铁白云石、方解石、板状白铁矿及重晶石集合体构成,局部见少量方铅矿和辉锑矿。变形阶段的新组构包括铁白云石的变斑晶、莓球体的增生和重结晶以及一些压溶、柔皱构造等。硅岩矿体厚大部位常产于背斜鞍部冲断层一侧,由数个大透镜体叠置,总体为鞍状-半鞍状。大透镜体间总有千枚岩隔开,其成分为碳质、钙质及泥质等,局部为千糜岩。这反映出挤压透镜体化可进一步发展至透镜体斜列-叠置,使矿体有效增厚。

### 2.3.3 造山期 Hg, Sb, Au 的富集与成矿

已有许多现象证明 Hg, Sb, Au 在同生期就发生过不同程度的富集。沿矿带北部钠长板岩-钠长角砾岩型金矿床就属同生矿床。同时,在铅锌矿的含矿层位和矿体中,也发现了 Hg, Sb 的早期富集体,如铅矾山矿层下部的硫化物层中富含辰砂,而大多数铅锌矿石中都含有硫锑铅矿、黝铜矿、砷锑硫盐等锑矿物。因此,决定了本区 Au, Sb, Hg 矿的层控性质。

但是,大多数 Au, Sb, Hg 矿都有显著的后生特征,其主要成矿期应在造山期前后。据研究,沿北部边界区域性脆韧性变质-变形带分布的微细粒浸染型金矿(如八卦庙等),是由变质流体自深部向上运移时,萃取围岩中的 Au, 至浅部与大气降水混合而发生 Au 的富集。由于 Au 与 Pb, Zn 地球化学性状的明显差异,使之分离,形成了单一的 Au 矿体,共生矿物主要为黄铁矿、磁黄铁矿等简单组合。沿矿带南部分布的 Hg-Sb 矿和 Hg-Sb-As-Au 矿,与区域脆性变形带的形成和发展相关,从而逐步形成了 Hg-Sb, Au-Sb, Au-As 矿体,伴随有硅化和黄铁矿化,共生矿物有雄黄、雌黄、辰砂、毒砂、辉锑矿等。

## 3 成矿的时空演化与成矿系统特征

### 3.1 Pb, Zn, Cu, Au, Hg, Sb 的时空分布

形成于早古生代的扬子地块北缘裂谷系火山沉积-黑色页岩系是一个巨厚的富金属沉积柱,它成为晚古生代盆地演化及其后造山期各阶段多种成矿热液形成的主要矿源层。Pb-Zn-Ag-Cu 的主要成矿期在同生期,同时还形成了个别 Au-Cu 矿体以及 Hg, Sb, Au 的地球化学富集体和矿化富集体。成岩和热变质阶段未发现这些元素的显著迁移富集。Hg-Sb 成矿可能贯穿于造山期前后,自挤压盆地形成,延续到退变质阶段。某些地段 Cu 的成矿与中基性岩浆活动的叠加有关。而 Au 矿主要形成于变质-变形过程。在 160 Ma 之后,还发生过 Au, Cu 的富集作用,包括表生富集(图 1a)。

成矿自北而南呈现一定的分带性(图 1b): ① 陆棚—陆坡边缘断裂带中的金矿(Ⅲ-2); ② 陆棚—陆坡边缘台地外侧次级断裂中的 Cu-Au 矿(Ⅲ-1); ③ 陆棚边缘台地外侧深水相带中的 Pb-Zn-Ag-Cu 矿(Ⅰ-1, Ⅱ-1, Ⅱ-3, Ⅱ-4); ④ 陆棚边缘台地内侧浅水相带中的 Pb-Zn-Cu 矿(Ⅰ-2, Ⅱ-2); ⑤ 陆棚中央隆起带两侧断裂带中的 Hg-Sb 矿(Ⅳ)和 Hg-Sb-Au 矿(Ⅲ-5); ⑥ 内陆棚海中的 Pb-Zn-Cu 矿化。与外陆棚海相似, 有细碎屑岩—硅岩型铅锌矿, 如南沙沟矿床; 断裂带中的铅锌矿, 如泗人沟矿床。但规模仅为中、小型。

### 3.2 成矿系统特征

南秦岭晚古生代喷气—沉积成矿系统, 矿床类型繁多, 成矿空间范围大, 时间跨度长, 主成矿期延续了 200 Ma, 贯穿了盆地演化至造山早期的各主要演化阶段。这一成矿系统具有物源上的统一性、成矿过程的连续性、成矿的继承性、以及宏观上显著层控性等特征。这些是我们确定该区多种矿床为一个成矿系列的主要证据。

区内矿石、围岩及空间上与之有关的各类地质体, 包括各类侵入体, 在铅同位素组成、锶同位素演化、稀土元素配分型等方面的一致性, 说明了本区的成矿—成岩系统被限制于上地壳演化系统中。虽然岩浆系统中出现了 Cr-Ni-Co-Cu 及 Mo-W 组合, 但未能影响区域成矿物源的下伏沉积柱金属组合的总体特征, 从而印证了物源的统一性及成矿的继承性。

整个矿带可划分出造山前盆地演化期与造山期两个主要演化期, 但成矿的划分在时空域上则是逐渐发展的和连续的。这一成矿特征既表现在各类矿床成矿过程的多阶段及多成因, 还表现在金属富集的积累和加成性上, 这才形成了这一独具特色的成矿系统。特征的 Au-As, Hg-Sb-As-Au 等组合、钠长角砾岩型与微细浸染型金矿的伴生、Hg-Sb 矿化与 Hg-Sb-As-Au 矿化在时空上的联系等, 就是这种继承和加成的产物。

各类矿床存在的普遍层控性特征主要表现为它们赋存于特定层位与岩性中, 这已作为我们划分矿床类型的基本原则之一。矿化在空间上与多级断裂系统的密切联系, 造成了矿化富集地段的集中, 这也是使不同类型矿床及金属组合空间联系密切的一个内在原因。如在远离铅锌含矿层位(以富含热水沉积岩为代表)的断裂带中, 形成的是单一金矿化; 而在层状铅锌矿下盘或一侧的热液通道角砾带中, 出现了铜矿化。Hg-Sb 矿则赋存于特定含碳酸盐岩层位的脆性变形带中。

对世界中元古宙和泥盆纪 Sedex 矿床的成因研究已取得了重要成果, 明确了其成矿背景, 建立了较为成熟的成矿模式。遗憾的是至今还未发现与其相似的现代海底热水成矿的

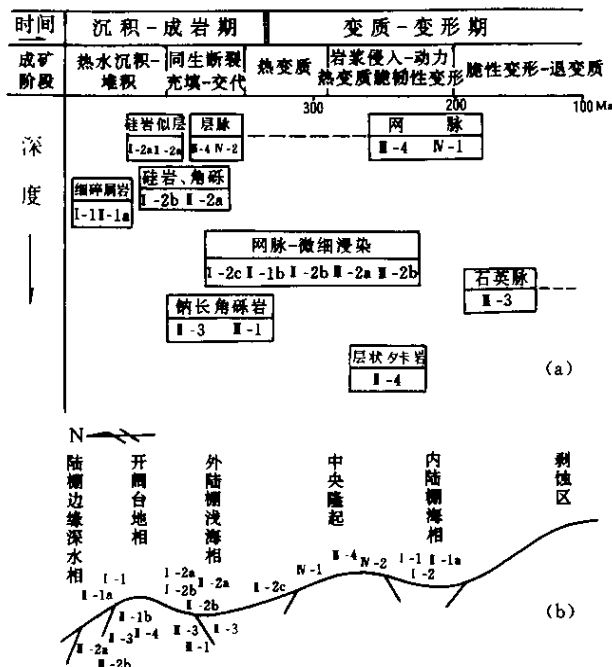


图 1 成矿系列的时间域(a)和空间域(b)

Fig.1 Time(a) and space(b) domain of the metallogenic system

实例<sup>[17]</sup>。这表明,对这类矿床的研究仍有广阔前景,有待不断深化和拓宽。

### 参 考 文 献

- 1 涂光炽. 第三条具世界意义的汞锑矿带——秦岭—中亚汞锑成矿带. 见:中国科学院地球化学研究所年报(1982—1983). 贵阳:贵州人民出版社,1983. 6~8
- 2 涂光炽. 西秦岭中低温热液矿床成矿带及矿床成因问题. 地质科学, 1959(2): 13~19
- 3 祁思敬, 李英. 秦岭泥盆系铅锌成矿带. 北京:地质出版社, 1993. 1~42
- 4 祁思敬, 李英, 曾章仁, 等. 秦岭热水沉积型铅锌(铜)矿床. 北京:地质出版社, 1993. 1~55
- 5 祁思敬, 李英. 南秦岭泥盆系成矿带热水沉积成矿系列. 西安地质学院学报, 1997(3): 19~26
- 6 李英, 祁思敬. 中国北方超大型热水沉积矿床成矿模式. 矿物岩石地球化学通报, 1997(3): 155~158
- 7 祁思敬, 马国良, 李英, 等. 厂坝层状硫化物矿床及下盘网脉带热水沉积岩石学特征. 见:中国矿物岩石地球化学研究进展. 兰州:兰州大学出版社, 1994. 386
- 8 李英, 宁晰春. 试论秦岭泥盆系喷气-沉积成矿的直接控制因素. 地质与勘探, 1993(9): 12~17
- 9 李英. 论热液矿床分类. 地质与勘探, 1992(9): 1~8
- 10 Cathles L M. Fluid Flow and Genesis of Hydrothermal Ore Deposits. *Econ Geol 75th Anniversary Vol.* Econ. Geol. Pub. Comp. 1981. 424~469
- 11 Large D. *The Evaluation of Sedimentary Basin for Massive Sulfide Mineralization, Base Metal Sulfide Deposits in Sedimentary and Volcanic Environments.* Berlin: Springer, 1988. 1~11
- 12 Russell M J. *Major Sediment Hosted Exhalative Zinc-Lead Deposits: Formation from Hydrothermal Convection Cell That Deepen During Crustal Extension, Short Course in Sediment-hosted Stratiform Lead-Zinc Deposits.* Berlin: Springer, 1983. 41~87
- 13 李英, 任名华. 西成盆地热水沉积岩的  $p$ - $T$ - $t$  轨迹与成矿系列. 见:中科院矿床地球化学开放实验室年报. 贵阳:贵州人民出版社, 1992. 153~160
- 14 祁思敬, 李英. 热水沉积岩及后生变化. 见:喷气-沉积成矿理论研究现状及进展. 北京:中国有色金属工业总公司地质勘查总局出版社, 1994. 15~30
- 15 李英. 水热系统、成矿热液与热液矿床. 有色金属地质与勘查, 1993(2): 91~95
- 16 Frey M. *Low Temperature Metamorphism.* N. Y., Glasgow: Chapman and Hall, 1989. 1~8
- 17 Rona P A, Scott S D. Especial issue on sea-floor hydrothermal mineralization: new perspectives. *Econ Geol*, 1993 (8): 1933~2252

## THE UPPER PALEOZOIC SUBMARINE EXHALATIVE- SEDIMENTARY METALLOGENIC SYSTEM IN SOUTH QINLING

Qi Sijing    Li Ying

(Xi'an Engineering University, Xi'an, 710054)

**Abstract** The Phanerozoic sedimentary-exhalative mineralization in south Qinling region took place in the tectonic-sedimentary settings around Devonian, and developed, along with the evolution of the tectonics and magmatism, eventually into a characteristic metallogenic system. During the periods of about 200 Ma from Upper Silurian to Lower Triassic, the tectonic styles, basin types, sedimentary formation, metamorphic-deformational processes and magmatic activi-



ties were all associated with a series of thermal events that occurred before and during the early orogenic stage, and controlled the evolution of the metallogeny. The system is of unified material source and with the same metal association, i. e., Pb-Zn-Au-Cu-Hg-Sb-As, and secondarily Fe-Ba. Although the nature of the mineralization fluids in variable with periods, but the main form of mineralization is the same, i. e., hydrothermal sedimentation-precipitation, metasomatism and filling. Two periods and Five stages of mineralization are recognized. Ore deposits are widely distributed over the whole of the north margin of the Yangtze Block, and the mineralization shows some evident characteristics of inheritance and continuity.

**Key words** South Qinling, thermal events, sedimentary-exhalative mineralization, hydrothermal sedimentary rock, precious metal

## 德尔尼 Cu-Co-Zn 硫化物矿床的成因探讨新进展 ——兼论矿床围岩是蛇绿岩地幔橄榄岩 而不是超基性火山岩

杨经绥 郑新华 王希斌 史仁灯

(中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037)

德尔尼 Cu-Co-Zn 硫化物矿床产在沿昆仑山南缘断裂带展布的二叠纪阿尼玛卿蛇绿岩中, 与超镁铁岩相伴。就矿床的成因, 以往的研究存在三种观点: ① 认为是一种新类型岩浆熔岩矿床(章午生, 1981, 1995; 陈杰, 1992); ② 矿床形成于花岗岩热液(段国莲, 1991; 张北川, 1993); ③ 矿床形成于海底热液作用(杨经绥, 白文吉, 1987; Yang 等, 1997)。近年, 王玉往和秦克章(1997)又提出矿床形成与超基性喷出岩有关。笔者将在列举对该矿床研究取得的新进展的同时, 对是否存在超基性喷出岩做出探讨。

### 1 德尔尼矿床成因研究新进展

(1) 首次在矿石中找到方铅矿。由此, 该矿床的金属硫化物归纳为由黄铁矿(60%~70%)、磁黄铁矿(3%~5%)、黄铁矿(2%~3%)、闪锌矿(0.5%~1%)及少量方铅矿和钴镍黄铁矿组成。

众所周知, 方铅矿、闪锌矿、黄铜矿和磁黄铁矿是塞浦路斯型块状硫化物矿床的典型矿物组合(Hall 和 Yang, 1994)。而钴镍黄铁矿的存在, 则意味着超基性岩在矿源物质方面的贡献。这与脉石矿物中除了方解石、白云石、石英、透闪石、钠闪石、阳起石外, 还出现有蛇纹石、滑石等与超基性岩有关的热液矿物是相一致的。

(2) 矿石中除了在黄铁矿中见到胶状环带构造(Yang 等, 1997)之外, 又在碳酸盐矿物中观察到了胶状环带构造, 二者均类似形成于海底高温热液的硫化物中的结构。此外, 矿石的条带状或似条带状构造也从另一侧面反映了热液沉积的特征。

(3) 于 1997 年在新施工的平硐 Pd10 穿透的 V 号矿体顶板观察到矿化了的沉积层。其与矿体呈整合过渡接触。该层主要由碳酸盐、细粒黄铁矿和石英组成, 往上渐变成凝灰质泥岩, 由此推断矿