

文章编号:0258-7106 (2001) 02-0119-10

四川呷村 VHMS 矿床:从矿石化学
分析到地球化学模型^{*}李佑国¹ 侯增谦²

(1 成都理工学院, 成都 610059; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

提 要 中国四川呷村矿床是一个典型的含金富银多金属 VHMS 矿床,其主要成矿金属元素 Cu、Zn、Pb、Ag、Au 丰度型式均呈非正态分布,多由两重或多重母体构成,揭示矿床经历了两次以上的成矿作用过程。成矿金属元素总体上集中于块状矿带,但贱金属 Cu、Zn、Pb 没有明显的下部富 Cu+Zn、上部富 Pb+Zn 的分带,贵金属 Ag、Au 没有显示明显的层位优选性。矿床构造恢复和化学结构图像显示,金属元素的空间分布和富集机制严格受海底凹陷盆地的基底张性断裂和热水喷口位置控制。至少有 4 条近 SN 走向的盆地基底断裂带构成海底下部热水流体的迁移-排泄通道和网脉状矿带的容矿空间;近 EW 向断裂与 4 条 SN 向断裂的交汇部位,成为向上排泄的热水流体在海底的主要喷口,控制了金属元素在海底凹地的空间分布。分别处于凹陷盆地东缘和西缘的热水喷口,因正地形地貌形态而形成山丘堆式矿体(mound-style),而处于凹陷盆地中心热水喷口则积聚大量热水流体,构成卤水池,淀积席状块状矿体(sheet-style)。

关键词 VHMS 矿床 矿石化学 化学结构 富集规律 成矿模型

中图法分类号: P611.5

文献标识码: A

古代海底块状硫化物矿床的资料积累和深入研究(Sangster, 1972; Franklin et al., 1981; Skinner et al., 1983; Large, 1992),现代海底热液矿床的相继发现和观察钻探(Rona, 1984; Rona et al. 1993; Fouquet et al., 1993; Humphris, 1995),已使得以火山岩为容矿岩石的块状硫化物矿床(VHMS)的成矿模型(如描述模型和成因模型)日臻完善(Lydon, 1984; 1988)。然而,由于 VHMS 矿床成矿作用的复杂性和多样性,以现代海底热水成矿作用和丘堆式热液矿床的观察研究为基础建立的 VHMS 成矿模型(Lydon, 1988),在解释古代海底 VHMS 成矿过程和成矿机理上仍遇到诸多问题,而促使人们转而立足于古代 VHMS 矿床的精细观察和深入研究,从新的视角获取新的信息,刻画 VHMS 矿床成矿过程。众所周知,成矿过程实际上是在流体介质中成矿物质发生迁移集聚和淀积定位的过程,直接体现为成矿系统中有用金属-非金属矿石的堆积和矿石-岩石地球化学的变化。因此,详细研究矿床的矿石与围岩的地球化学变化规律,可以更直接地获取矿床成因信息,揭示成矿作用过程。

呷村矿床是一个典型的含金富银多金属 VHMS 矿床(侯增谦等,1990,1995;徐明基等,1993),铜铅锌多金属总量约 4 Mt,达特大型规模,平均品位 $w(\text{Cu}) = 0.44\%$, $w(\text{Zn}) = 5.4\%$, $w(\text{Pb}) = 3.7\%$, $w(\text{Ag}) = 160 \text{ g/t}$, $w(\text{Au}) = 0.31 \text{ g/t}$

(叶庆同等,1992;徐明基等,1993)。该矿床处于晚三叠世义敦岛弧弧间裂谷带内,与流纹岩-玄武岩双峰岩石组合密切共生,赋存于多旋回的流纹质火山岩系上部,显示 VHMS 矿床的典型特征(Hou et al., 1992)。受后期地质作用的影响,矿床已发生强烈的褶皱变形。平面上,矿体显示近 SN 向延展,控制长度 1 939 m,宽 250~600 m(图 1);垂向上,矿体显示向东陡倾、局部倒转的形态,延深超过 400 m。本文将在徐明基等(1993)关于呷村矿床原生晕与地球化学分带研究基础上,采用几条重要勘探线剖面上的成矿元素含量分析数据,结合新获得的分析结果,探索矿床成矿元素的空间分布规律,建立矿床形成的地球化学模型。

1 成矿元素丰度型式与分布规律

1.1 成矿元素的丰度型式

为了查明呷村矿床主要成矿元素的丰度分布特征及来源信息,选择了呷村矿床最具代表性的 4 条勘探线(0,3,7,11)剖面(图 1),系统采集了 1 544 件样品进行分析处理。统计分析结果表明,成矿元素的丰度值变化很大(图 2):银的质量分数为 $w(\text{Ag}) = 0.05 \sim 1\,779 \text{ g/t}$,多介于 0.6~25 g/t 之间,不服从对数正态分布,推测由多重母体构成。 $w(\text{Au}) = 0.01 \sim$

* 本项目受国家自然科学基金(49773177)、科技部九五科技攻关项目(96-914-03-05)和原地矿部定向项目联合资助
第一作者简介 李佑国,男,1965 年生,副教授,主要从事地球化学和成矿作用研究
收稿日期 2000-11-14;改回日期 2001-02-02。张绮玲编辑。

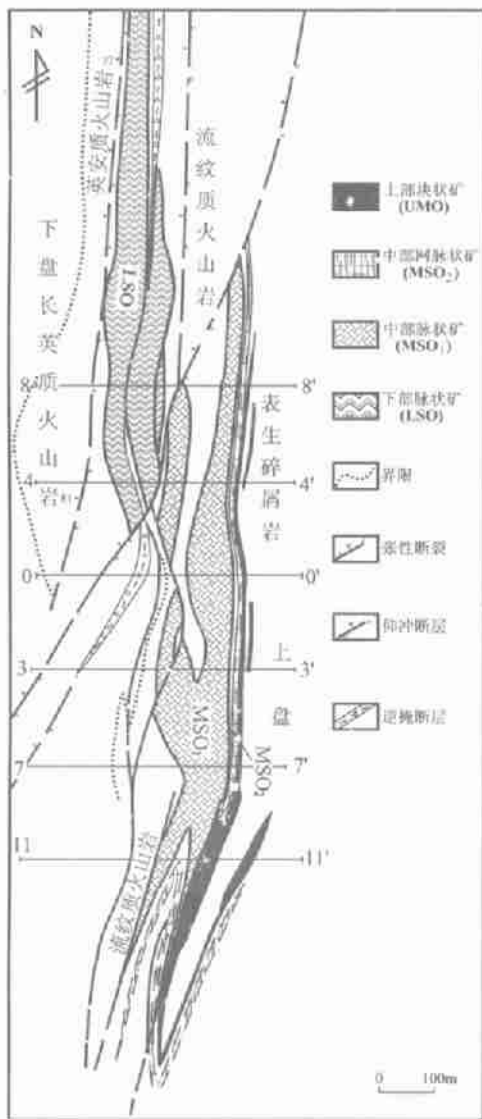


图1 呷村 VHMS 矿床 3900 m 地质略图
(据侯增谦等, 2001)

Fig. 1 Sketch geological map of the Gacun VHMS deposit, showing the distribution of orebodies (modified from Hou et al., 2001)

3.9 g/t, 主要为 0.03~0.1 g/t, 至少由三重母体所构成(图 2), 其背景值分别为 0.05 g/t、0.13 g/t 和 2 g/t, 反映出多次矿化的特点, 同时也表明可能有独立金矿的存在。 $w(\text{Cu}) = 0.01\% \sim 7.61\%$, 绝大多数样品之 $w(\text{Cu})$ 小于 0.15%, 属非正态分布。 $w(\text{Pb}) = 0.01\% \sim 19.45\%$, 由两重母体构成(图 2); 约 1/3 样品的 $w(\text{Pb}) = 0.01\% \sim 0.04\%$, 约 1/2 样品的 $w(\text{Pb}) = 0.2\% \sim 5\%$ 。 $w(\text{Zn}) = 0.01\% \sim 34.06\%$, 属非正态分布(图 2)。 $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 比值变化于 0.003 与 100 之间, 其离散程度大, 但多数样品则相对集中在 0.25~1 之间(图 2)。 $w(\text{Ag})/w(\text{Au})$ 比值(1.3~7950)和 $w(\text{Cu})/w(\text{Zn})$ 比值(0.001~15)的变化范围均较大, 基本服从对数正态分布(图

2)。上述特征表明, 呷村矿床的主要成矿元素(Ag, Cu, Pb, Zn, Au)可能经历了两次以上的成矿作用过程。

1.2 成矿元素的空间分布

为了定量研究呷村矿床成矿元素的空间分布特征, 将 4 条勘探线上的每一个采样点的位置精确换算成测网座标值来研究。该测网在南北方向上用勘探线号表示, 东西方向用测网坐标点表示(规定地形图上公里网 17551 座标线代表测网座标的基线, 基线上的坐标点为 100 点), 每两个坐标点间代表实际长度为 10 m, 基线以西的座标值小于 100, 基线以东的座标值大于 100。

图 3 展示了呷村矿床主要成矿元素丰度和比值在平面上的变化规律。呷村矿床的富矿体(Ag, Cu, Pb, Zn)主要分布于 115 点以东, 该区域内集中了呷村矿床的主要块状矿体; 115 点以西主要是脉状矿和网脉矿的分布区, 在 7 线 99 点附近由于构造重复而出现规模较小的块状矿体。这种元素空间分布型式有力地证明, Ag, Cu, Pb, Zn 主体产出于呷村矿床的块状矿带。Ag 在块状矿带似乎没有明显的层位优选性, Cu, Pb, Zn 也没有显示出类似日本黑矿的“下黄上黑”的矿石化学分带(Urabe et al., 1978)。全部样品的 $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 比值在东西方向上的变化较大, 但块状矿带与脉状-网脉状矿带没有显示出明显的变化规律。

块状矿带与脉状-网脉状矿带中的成矿主元素含量在垂向上也显示明显的变化规律, 表现在海拔高程上的元素分异性和含量差异性。Ag 和 Cu 富集在 3900 m 以上, Pb 和 Zn 则富集在 3700 m 以上(图 4)。Cu, Pb, Zn 和 Ag 在 3700 m 以上的富集程度不同, 主要集中在若干海拔高程上(图 4)。在相应海拔高程上(如 4250 m, 4160 m), $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 和 $w(\text{Cu})/w(\text{Zn})$ 比值范围也出现明显的变化(图 4), 显示强烈的 Pb-Zn 分异。由于呷村矿床经构造变形矿体已近于直立, 所以, 金属元素含量随海拔高程的变化实际上揭示了金属元素丰度在古海底热水沉积盆地的二维分布特点。由于闪锌矿/方铅矿的淀积主要受热水流体系统的温度梯度制约(Lydon, 1988; Herzig et al., 1993), Pb, Zn 分异和 $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 比值变化实际上记录着矿石堆积时的流体系统温度场变化。看来, 图 4 展示的元素含量和元素比值的纵向变化规律, 有力地说明多金属富集作用不仅受矿石堆积的古地理环境控制, 而且受海底热水排泄系统和喷口位置制约。

由于铜和银趋向于在近地表位置上富集, 如 $w(\text{Cu})/w(\text{Zn})$ 、 $w(\text{Ag})/w(\text{Pb})$ 和 $w(\text{Cu})/w(\text{Pb})$ 比值等都明显与海拔高程有关, 其原因将在后面探讨。 $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 比值可能具有某种成因意义, 如图 6 所示, $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 比值在 4250 m 附近的变化范围较大, 显示出铅与锌强烈分离的现象。这种与当今海拔高程密切相关的元素分布特征(注: 矿体产状已经近于直立), 实际上与矿体形成时的平面位置有一定关系, 对于水下热液喷流-沉积矿床而言, 最合理的解释是与含矿热水流体的喷口位置有关。

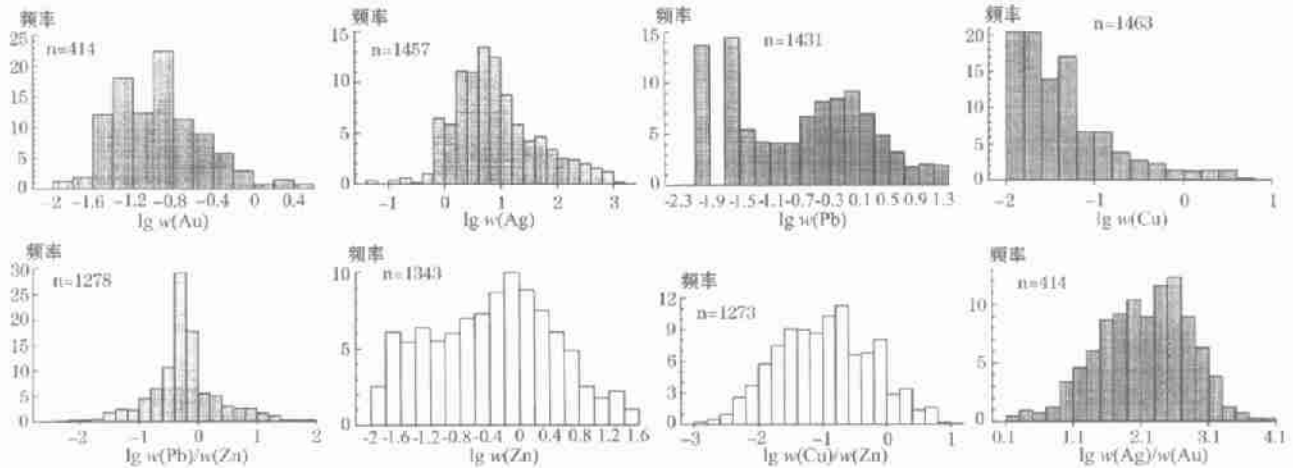


图2 呷村矿床4条勘探线(0,3,4,7)成矿元素及其比值频率分布图(n为样品总数)

Fig. 2 Distributions of abundances and ratios of ore-forming elements in ores collected from four exploration lines (Line 0, 3, 4 & 7) at Gacun

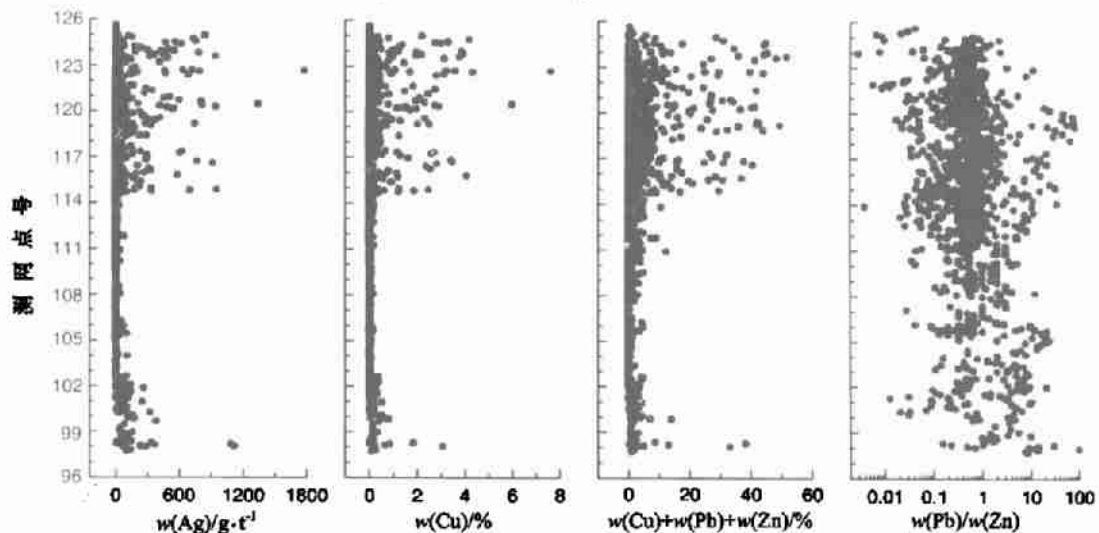


图3 呷村矿床4,0,3,7号勘探线主要成矿元素及其比值与测网座标的关系

由于呷村矿床整体上向东陡倾,因此该图可反映下部网脉状矿带和上部块状矿带中金属元素含量及比值的变化规律

Fig. 3 Relationship of the observation network to abundances and ratios of ore-forming elements from the exploration lines (Line 0, 3, 7) at Gacun. The diagram shows variation of contents and ratios of the massive sulfide ore zone and the underlying stockwork ore zone at Gacun

2 矿体的空间分布与化学分带

呷村矿床4条勘探线剖面上1544件样品均为刻槽取样或均匀拣块组合而成,分析样品的确切位置和良好代表性,使矿体空间分布和化学分带研究成为可能。

2.1 矿体的空间形态

0号勘探线是呷村矿床最重要的富矿部位,银铜富矿体可以分成两个部位:①119点到125点,从4200 m到3700 m分布有一条产状近于直立的银铅锌铜矿体;②115点到122

点,位于4200 m高程以上地段(图5)。两者共同构成呷村矿床块状矿带的主体,矿石化学分布显示块状矿带总体呈层状、似层状或席状轮廓。铅锌富集部位部分与银铜富矿体空间重合,部分处在银铜富矿体的西侧,其原始部位相当于银铜富矿体的下部层位,构成脉状-网脉状矿带的主体(图5),矿石化学分布特征显示,脉状-网脉状矿带空间形态呈似层状或透镜状,具有不明显的层控特征。主要金属元素Cu, Zn, Pb和Ag的空间变化型式清楚地表明,海底热水盆地中堆积的块状矿体以银铜多金属为主,而热水流体补给通道内淀积形成的网脉状矿体则以铅锌金属为主。

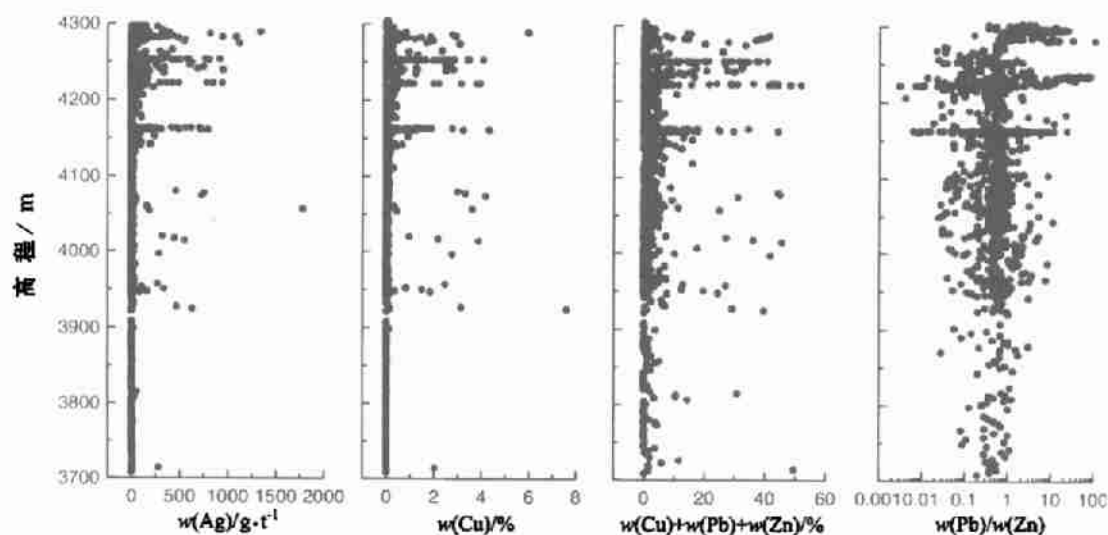


图 4 呷村矿床 4~7 号勘探线块状矿带主要成矿元素及其比值与海拔高程的关系

由于块状矿带因褶皱而近于直立,因此,此图可反映金属元素在古海底的水平空间分布

Fig. 4 Relationship of the sea-level elevation to abundances and ratios of ore-forming elements from the exploration lines (Line 4~7) at Gacun. The diagram shows spatial distribution tendency of contents and ratios of ore-forming elements on the ancient seafloor in the Gacun district

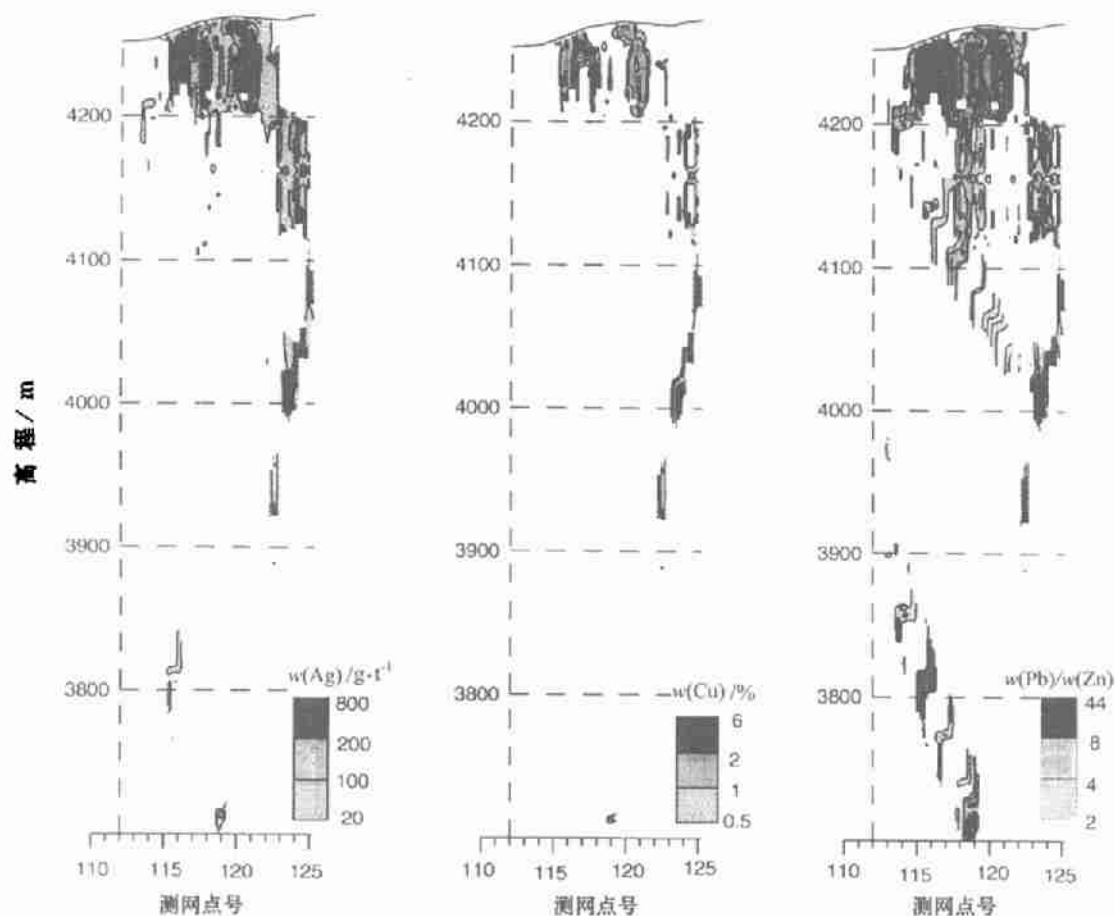


图 5 呷村矿床 0 号勘探线剖面金属元素及其比值变化图

Fig. 5 Variations in metallic elements and their ratios in sulfide ores along No. 0 exploration line of the Gacun deposit

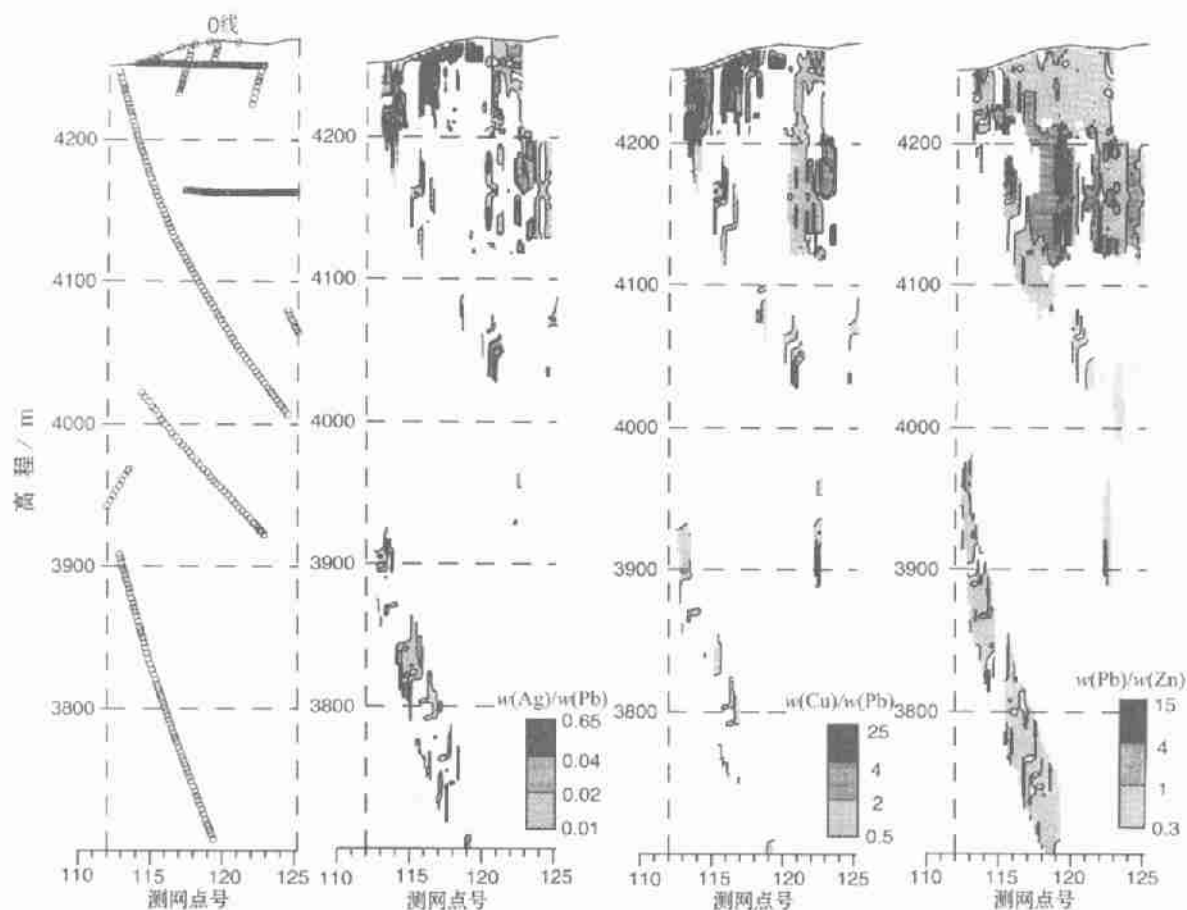


图6 呷村矿床0号勘探线剖面金属元素比值变化趋势图

Fig. 6 Variation of metallic element ratios in sulfide ores along No.0 exploration line of the Gacun deposit

0号勘探线剖面的 $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 、 $w(\text{Cu})/w(\text{Pb})$ 、 $w(\text{Ag})/w(\text{Pb})$ 比值趋势分布图(图6)进一步说明了主要金属元素在空间上的相对富集程度。对于银铜块状矿体,近直立部分的块状矿,上述三比值较低,其 $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 比值多为 $0.3 \sim 1$, $w(\text{Cu})/w(\text{Pb})$ 比值多为 $0.2 \sim 0.5$ (图6);4200 m 以上的块状矿体, $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 比值相对较低(多为 $0.3 \sim 1$),而 $w(\text{Cu})/w(\text{Pb})$ 和 $w(\text{Ag})/w(\text{Pb})$ 比值在整个勘探线剖面达到最高,亦即银铜富集程度最高。

对于网脉状和块状铅锌矿体,其 $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 比值变化较大,在4160 m中段附近块状矿体铅相对富集,而在3700~3900 m一带网脉状矿体锌相对富集(图6)。

由0号勘探线剖面向南(如3线和7线)北(如4线)两侧延伸,矿体的空间分布形态和化学变化趋势大体一致。呷村4号勘探线剖面,在121~125点间块状银多金属矿体中, $w(\text{Ag}) > 100 \text{ g/t}$;118~121点间 $w(\text{Ag}) = 20 \sim 100 \text{ g/t}$ 。

近地表一带, $w(\text{Cu}) > 0.5\%$ 在121~124.5点内富集,构成产状近于直立的富银铜块状矿体。铜的品位并不稳定,在3950~4230 m范围内变化较大。部分铅锌与银铜同位富集,共同构成块状矿体,部分铅锌则在118~119点及4220 m附近富集,并可能构成块状铅锌矿。在更广泛的范围内,则形

成脉状-网脉状铅锌矿带。Pb与Zn存在空间上的分离现象,块状富银铜矿体的 $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 比值相对较低且比较稳定。剖面上,高的 $w(\text{Pb})/w(\text{Zn})$ 比值出现在115~121点及4220 m以上地段。

在3号勘探线剖面114.5点及4240 m附近、119点(相当于习称的B矿带)和120点(相当于习称的A矿带),银品位大于200 g/t。它们都在4200 m以上,并且和重晶石层或灰岩层的接触带有关。根据地质剖面资料及样品分析数据得出,从近地表的119~120点,4160 m高程的122.5~123.5点到3950 m高程的121.5点,构成一条弧形的块状矿带,其产状近于直立,与0线剖面的富银铜块状矿体位置相当,但品位已经明显降低; $w(\text{Cu})$ 大于0.5%的出现在4200 m以上的地段,富集部位与银相当。铅与锌少部分富集于富银铜块状矿体,但主体在107~118点一带形成脉状、网脉状铅锌矿体。由3号勘探线剖面向南至7线,情况类似,但出现多条矿体,上下连通性较差,可能多呈透镜状产出。

2.2 矿石化学分带型式

矿石矿物及矿石化学分带是VHMS矿床的普遍特征之一(Franklin et al., 1981; Lydon, 1984; Large, 1992)。例如日本黑矿,块状矿带显示清楚的垂向分带,下部以“黄矿”为

主,富铜锌,上部以“黑矿”为主,富铅银;网脉状矿带显示明显的侧向分带,由矿带的中央至边缘,矿石由黄铜矿和黄铁矿矿石向方铅矿和闪锌矿矿石递变,金属由铜锌组合向铅锌组合过渡(Eldridge et al., 1983)。这种空间分带关系主要受流体系统的温度梯度制约(Lydon, 1988; Large, 1992)。呷村 VHMS 矿床矿石化学分带型式独具特色。首先,银在块状矿带分布没有显示明显的层位优选性,它似乎并不限于块状矿带的上部。铅、锌尽管在块状矿带出现一定的化学分异,但整体上并没有显示出明显的下部富铜锌上部富铅银的垂向化学分带。其次,网脉状矿带可能因其似层状产出特点而没有出现明显的侧向化学分带,矿化主体为铅锌矿化。第三,银与铜具有更密切的同步聚散关系,它们作为一个紧密共生的金属组合,通常集中产于矿床的特定部位。银铜组合与铅锌组合的空间关系与其说是受温度场控制的空间分带关系,倒不如说是不同期次不同化学性质的流体成矿作用的叠加结果。最近,在对 Juan de Fuca 活动热水区热液硫化物矿床实施的深海钻探中,在矿床深部网脉状矿化带(即热水补给带)也发现了类似的似层状富铜矿体(Zierenberg et al., 1998)。依据呷村 VHMS 矿床矿石化学的空间分布规律,抽象出矿床的化学分带型式,如图 7 所示。

3 矿床的化学结构

为了进一步厘定呷村矿床的化学结构,必须恢复呷村矿床形成时的原始形态,进而刻画化学元素在海底下部热水补给带和海底凹陷盆地的空间分布和结构图像。

对于喷气沉积而成的块状矿体,笔者选择矿体目前的延伸方向和海拔高程,来客观分析矿体在海底凹陷盆地内的水平二维空间分布和形态。考虑到矿体褶皱可能造成的影响,特别避开褶皱的转折端而选择块状矿体的东翼(121.5~152点)来研究。对于热液充填交代而成的脉状-网脉状矿体,选

择 4~7 线剖面上 106~112 点的样品数据,使用矿体走向(近南北向)和海拔高程所在平面进行脉状-网脉状矿体形态恢复。由于脉状-网脉状矿体初始形态多应呈“漏斗状”或“似层状”,因此,所恢复的形态应主要反映脉状-网脉状矿体在斜向二维空间的分布特征。

3.1 块状矿带与化学结构

呷村矿床块状矿带虽因后期的构造变动而呈现近 SN 向带状展布,然而,其原始形态却展示出明显的椭圆形盆地轮廓(图 8)。尽管,在这一海底凹陷盆地内部,金属成矿物质的分布具有明显的不均一性,但可清楚地辨出 4 个规模不等、形态各异、相对分离的金属富集区,整体上呈近 SN 向延展(图 8)。最大富集中心(M1)位于 0 线 4 100 m 附近,矿体厚度最大,品位最高,由中心向四周,金属富集程度逐渐递减(图 8)。第二富集中心(M2)位于 0 线 4 000 m 高程附近,富集区呈“亚铃状”,富集中心处于“亚铃”中部。第三富集中心(M3)偏离 0 线,富集区轮廓不清,局部与第一富集区相连(图 8)。第四富集中心(M4)位于 0 线 3 920 m 附近,Pb+Zn 富集规模最小,Ag 富集区由 0 线中心向南北方向线状延伸。

实际上,这 4 个金属富集区揭示了 4 个不同的海底热水喷口处的硫化物堆积过程。M4 喷口处于凹陷盆地的边缘,热水流体活动较弱。热水流体可能通过黑烟囱向上排泄。喷涌排泄的热水流体在 SN 向延伸的凹陷盆地内向南北两侧流淌,并沉淀富银金属硫化物。与之相比,M2 喷口更靠近盆地内部,规模相应增大,但流体活动方式及矿石淀积过程类似,即热流体由凹陷盆地内的局部“黑烟囱”高地向南北两侧的凹地喷流排泄,硫化物随之淀积。M1 可能是呷村矿区最大的一个海底热水喷口,处于海底凹陷的中心部位,排泄出的热液流体注入并封存在 SN 向延伸的局限凹地内,形成卤水池(Hou et al., 2000)。硫化物在卤水池中不断淀积,形成块状、层状、层纹状和条带状等矿石。热水流体向卤水池周期性注

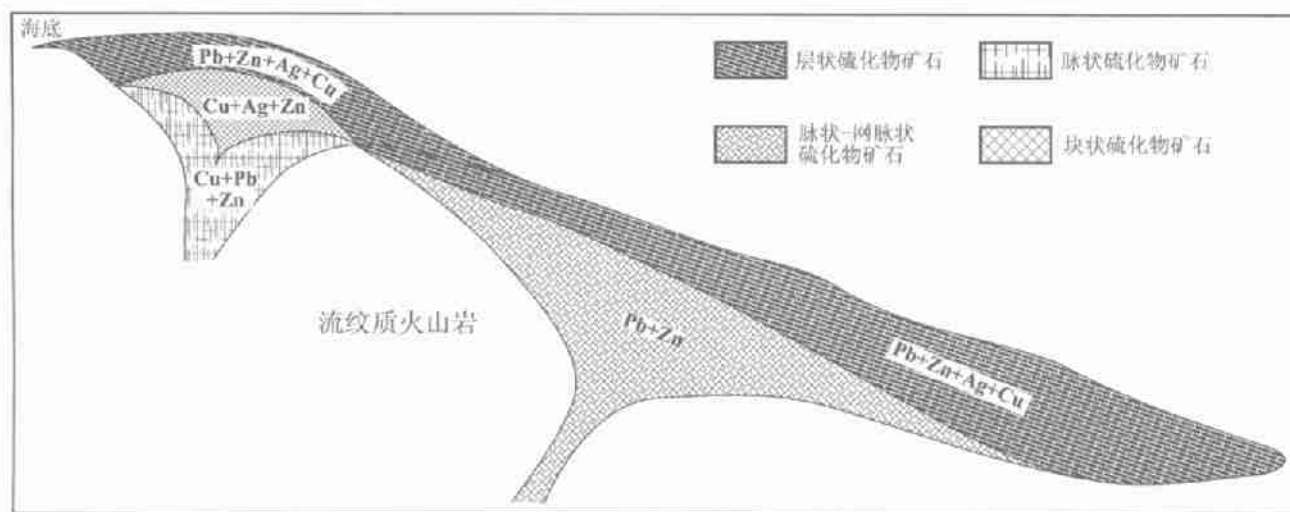


图 7 呷村 VHMS 矿床化学分带型式示意图

Fig. 7 Ideal pattern of metallic element zoning for the Gacun VHMS deposit

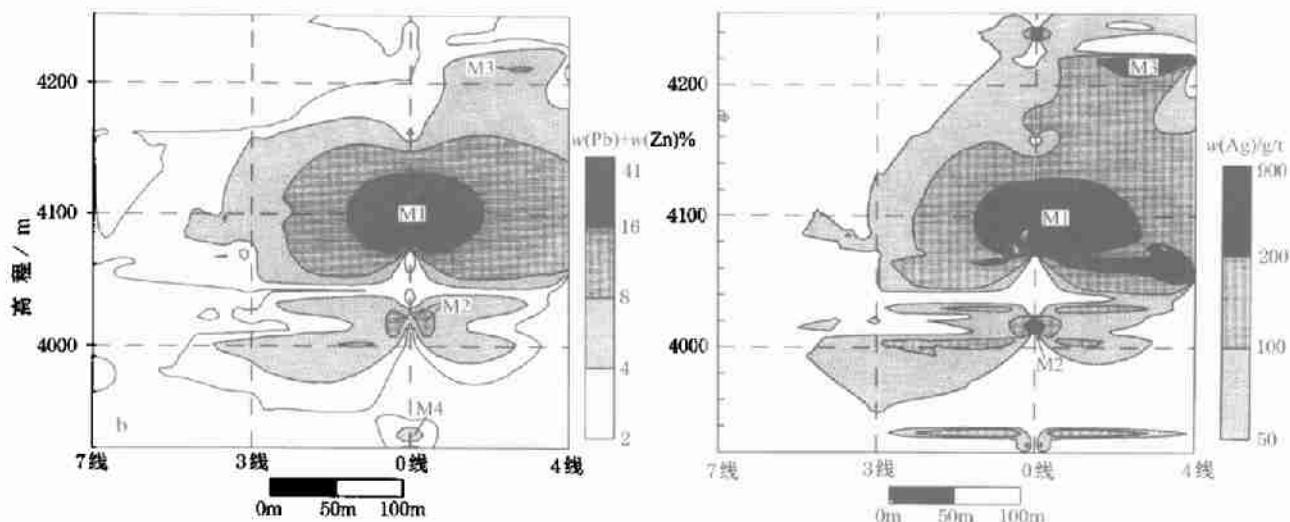


图8 呷村矿床块状矿带金属元素铅、锌和银的空间变化规律

该图展示了块状矿体的原始形态以及卤水池形状和热水喷口位置

Fig. 8 Sketch map for spatial variation of Pb, Zn and Ag in massive sulfide ore zone at Gacun, showing shape of brine-pool and the location of hydrothermal fluid vents in the Gacun field

入,导致硫化物矿石的金属元素出现韵律性变化(徐明基等,1993)。M3 金属富集区局部与 M1 相连,暗示着这两个热水活动的成矿作用具有密切的时空关系,要么 M3 区的热水流体注入 M1 区,要么 M3 区的块状矿石向 M1 区滑塌堆积。

3.2 网脉状矿带与化学结构

呷村矿床网脉状矿带的复原形态与化学结构如图9所示。显然,金属元素在海底下部火山岩系内部的分布具有明显的空间分带性,4个金属富集区带清楚可辨(图9)。平面上,4个富集区带呈现长条状,在纵向上延伸有限,表明脉状-网脉状矿体主体沿海底断裂带分布,热水成矿作用受南北向延伸的凹陷盆地的基底断裂带和线状裂隙控制。空间上,4个金属富集区带相对分离,富集金属类型不同,富集规模不等、富集中心各异(图9)。4100 m 以上富集区带以银铜富集为特征,富集中心集中于0—3线间,与块状矿的 M3 富集区高程接近,富集中心向南偏离。4050 m 至 4180 m 间的富集区带由两个富集中心构成,其一在0线4100 m 附近,以铅锌富集为特征,与块状矿的 M1 空间吻合,其二在3线4150 m 左右,富集银铜(图9)。4000 m 附近的富集区带以铅锌富集为特征,与块状矿的 M2 富集区相比,空间位置吻合,形态规模相近。3800 m 附近的富集区带也以铅锌富集为特征,与块状矿的 M4 相比,富集中心向下偏离,富集规模明显较大(图8,9)。

网脉状矿带的化学结构清楚地显示,银铜富集与铅锌富集明显的不同步。铅锌在4个富集区带均有不同程度的富集,而银铜则主要集中于4100 m 以上高程。银铜金属主要产于凹陷盆地西缘附近的热液补给带内。换句话说,海底下部的热水系统至少有两期热水活动,其中,大规模热水活动

导致了强烈的铅锌矿化,小规模热水活动造成了强烈的银铜叠加富集。呷村网脉状矿带的化学结构同时显示,其金属富集区带与块状矿相比,富集空间大体吻合,富集中心大体对应,清楚地表明含矿的海底凹陷盆地底部有热水流体不断补给的通道,在此断裂-裂隙通道内的热水流体通过流体充填与热液交代作用形成网脉状矿带。含矿海底凹陷盆地本身因深度大具有重要的封存聚集流体及防止流体沸腾的功能,在盆地内部,热水流体发生化学沉积形成块状矿带。因此,网脉状矿带与块状矿带分别代表了统一的热液系统在热水补给系统和海底盆地系统的沉积产物。

3.3 从化学结构到成矿模型

详细对比分析两大矿带的化学结构图像,可以刻画出呷村矿床成矿系统的图像轮廓(图10),并显示如下要点:

(1) 晚三叠世弧间裂谷作用导致了呷村矿区范围发生双峰式火山活动和弧间裂陷作用,前者形成由下部少量玄武岩和上部大量流纹质火山岩构成的含矿岩系,为矿床的形成提供了大量的成矿物质(徐明基等,1993);后者沿裂陷带形成一系列的局限盆地或凹陷盆地,并发育一组走向近 SN 的基底断裂或裂隙系统,为成矿热水流体活动提供了重要的迁移通道。

(2) 在凹陷盆地,至少有一组(4条)近 SN 向基底断裂带或裂隙带,构成热水流体在海底下部流纹质火山岩系中的活动通道。盆地的东缘与西缘断裂规模最大,由此形成的网脉状矿体规模也最大,品位也最高(图9)。热水流体沿4条断裂向上运移,并在流纹质火山碎屑岩透水层内“弥散状”充填交代,形成似层状、脉状-网脉状矿带,显示独具特色的层控特征(侯增谦等,2000)。

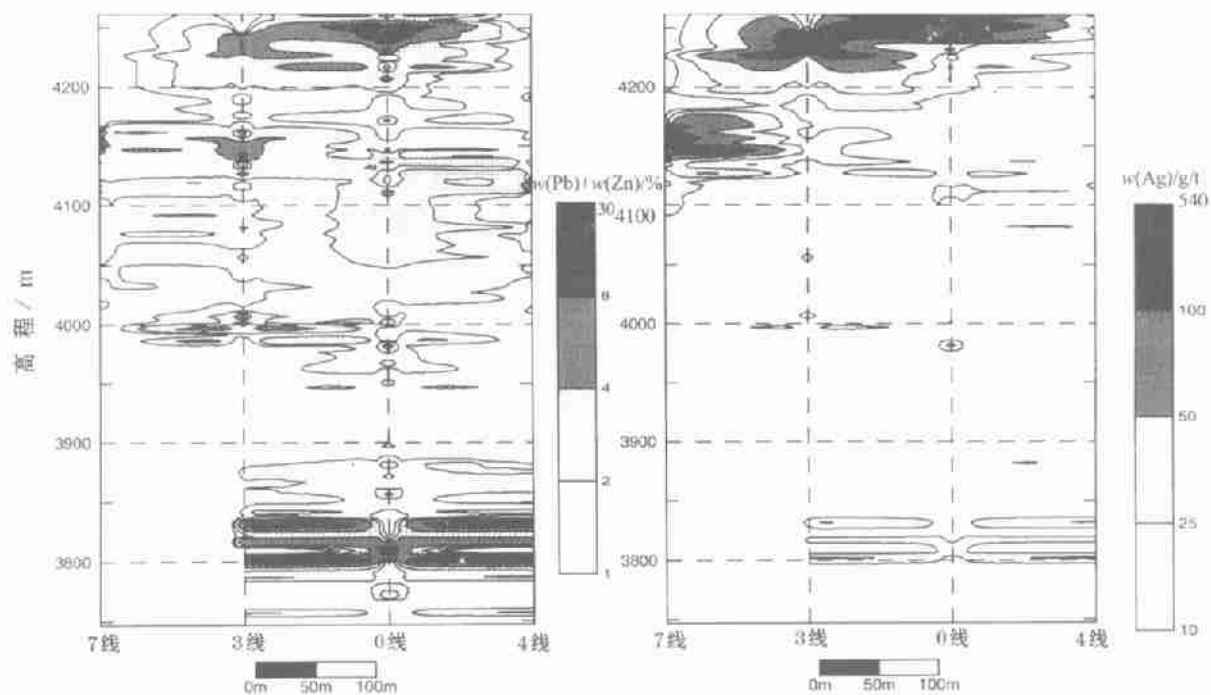


图 9 呷村矿床网脉矿带主要金属元素含量的空间变化规律

该图反映了网脉矿带的原始结构形态以及控制网脉矿带空间分布的同生断裂构造

Fig. 9 Sketch map for spatial variation in metallic element contents in the stockwork sulfide ore zone at Gacun. The map showing outlines of stringer-stockwork ore zones, the constraints of syn-faults and fracture belts on hydrothermal conduits and spatial distribution of stockwork ore zone

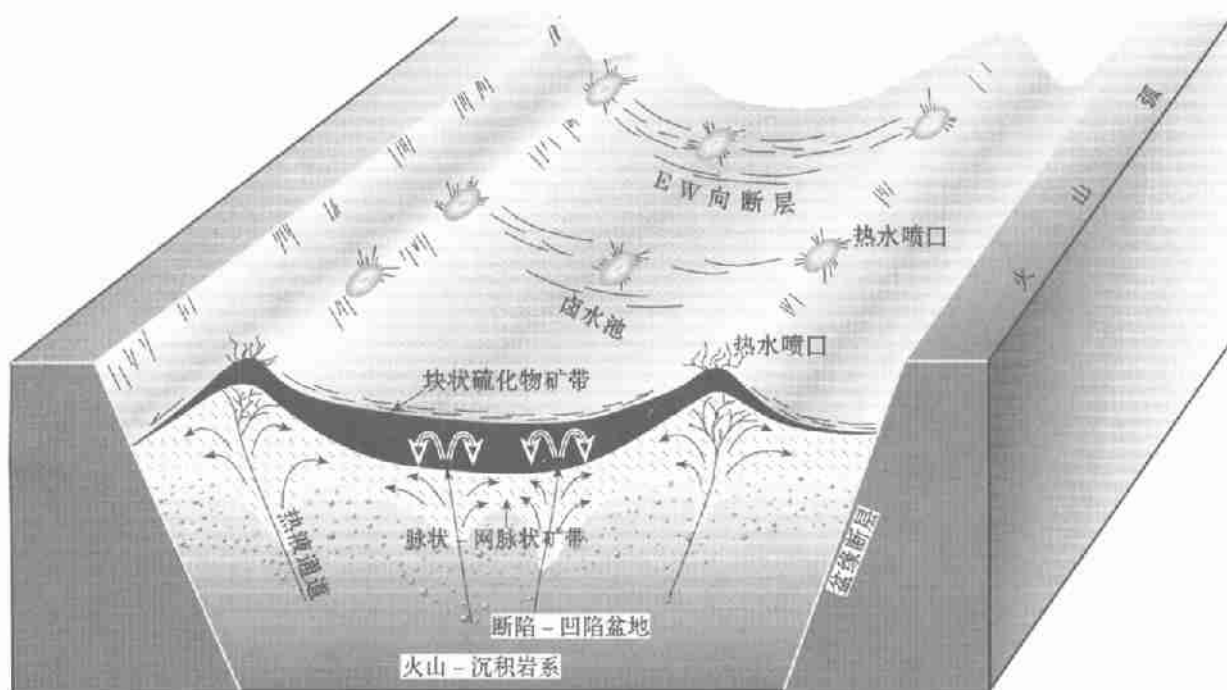


图 10 根据呷村矿床化学结构推测的成矿地质模型

Fig. 10 Ideal VHMS model based on chemical patterns of ore-forming elements in the massive sulfide ore and the underlying stockwork zone at Gacun

(3) 穿透流纹质火山岩系向上排泄的热流体,在海底凹陷盆地内的排泄点,即热水喷口,严格地受两组断裂控制,位于0线附近的EW向断裂与4条SN向断裂的交汇部位(图8)。位于凹陷盆地东缘和西缘的热水喷口M2、M3、M4,可能因其处于盆地的正地形位置,故喷射的热流体沿斜坡向南北两侧流动,形成“丘堆式”块状硫化物矿体。位于凹陷盆地中心的热流体喷口M1,因其处于负地形位置而大量集聚不断从喷口排泄出来的热流体,形成较大规模的卤水池。块状矿带的化学结构反映,该卤水池呈SN向延展的窄长条状形态,而高盐度流体包裹体资料(徐明基等,1993; Hou et al., 2000)证实,该卤水池的发育是形成块状硫化物矿带的关键。在卤水池内,伴随着热流体与冷海水的大量混合,硫化物依次沉积,形成席状块状硫化物矿带。

(4) 大多数 VHMS 矿床的金属元素分带通常受流体系统的温度控制,从透镜状块状矿体的下部向上部,从漏斗状网脉状矿体的核心向外部,金属分带常由Cu+Zn向Pb+Ag递变(Franklin et al., 1981; Lydon 1984)。在呷村矿床,块状矿带Ag与Pb(+Zn)同步富集(图8),而网脉状矿带Ag与Cu及Pb+Zn叠加富集,集中产于凹陷盆地西缘(图9)。这种化学结构特点说明,凹陷盆地西缘附近的流体排泄系统似乎不是呷村矿床的热流体主活动通道,而是富银铜热流体的叠加活动的化学记录。

致谢 四川省地矿局403地质队提供了呷村矿区大量原始分析资料,使研究得以顺利进行。四川省地矿局侯立纬、徐明基、何虹等高级工程师给予了笔者无私的帮助,中国地质科学院矿产资源研究所曲晓明博士、余金杰博士和成都理工学院的同事们也给予了大力帮助和指导,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- 叶庆同,石桂华,叶锦华,等. 1992. 三江地区铅锌矿床地质特征和成矿系列[M]. 北京:北京科学技术出版社. 125.
- 侯增谦,侯立纬,叶庆同,等. 1995. 三江地区义敦岛弧构造-岩浆演化与火山成因块状硫化物矿床[M]. 北京:地震出版社. 185.
- 侯增谦,莫宣学. 1990. 三江地区义敦岛弧演化及其对火山成因块状硫化物矿床的控制作用[J]. 地球科学, 16(2): 153~164.
- 侯增谦,曲晓明,徐明基,等. 2001. 四川呷村 VHMS 矿床:从野外观察到成矿模型[J]. 矿床地质, 20(1): 44~56.
- 徐明基,傅德明,尹裕民,等. 1993. 四川呷村银多金属矿床[M]. 成都:科学技术出版社. 164.
- Eldridge C S, Barton P B, and Ohmoto H. 1983. Mineral textures and their bearing on formation of the Kuroko orebodies[J]. Econ. Geol., Mon. 5: 241~281.
- Fouquet Y, Stackelberg U, Charlou J L, et al.. 1993. Metallogenesis in back-arc environments: the Lau basin example[J]. Econ. Geol., 88: 2154~2181.
- Herzig P M, Hannington M D, Fouquet Y, et al.. 1993. Gold-rich polymetallic sulfide from the Lau Backarc Basin and implication for the geochemistry of gold in seafloor hydrothermal systems of the Southwest Pacific[J]. Econ. Geol., 88: 2182~2209.
- Hou Z Q. 1993. Tectono-magmatic evolution of the Yidun island-arc and geodynamic setting of Kuroko-type sulfide deposits in Sanjiang Region, China [J]. Resource Geology, Special Issue, 17: 336~350.
- Hou Z Q, Mo X X. 1993. Geology, geochemistry and genetic aspects of Kuroko-type volcanogenic massive sulfide deposits in Sanjiang Region, Southwestern China[J]. Explor. Mining Geol., 2(1): 17~29.
- Humphris S, Herzig P M, Miller D J. 1995. The internal structure of an active sea-floor massive sulfide deposit [J]. Nature, 377: 713~716.
- Large R R. 1992. Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits: features, styles and genetic models [J]. Econ. Geol., 87: 469~470.
- Lydon J W. 1984. Volcanogenic massive sulfide deposits Part I: a descriptive model [J]. Geoscience Canada, 11: 195~202.
- Lydon J W. 1988. Ore deposit models# 14 volcanogenic massive sulfide deposits Part 2: Genetic models [J]. Geosci. Canada, 15: 43~65.
- Rona P A. 1984. Hydrothermal mineralization at seafloor spreading centers [J]. Earth Sci. Rev., 20: 1~104.
- Rona P A, Scott S D. 1993. A special issue on seafloor hydrothermal mineralization: new perspectives-Preface [J]. Econ. Geol., 88: 1933~1976.
- Urabe T, Sato T. 1978. Kuroko deposits of the Kosaka mine, Northeast Honshu, Japan-products of submarine hot springs on Miocene seafloor [J]. Econ. Geol., 73: 161~179.
- Zierenberg R A, Fouquet Y, Miller D J, et al.. 1998. The deep structure of a seafloor hydrothermal deposit [J]. Nature, 392: 485~488.

The Gacun VHMS Deposit in Sichuan Province: from Chemical Analysis of Ores to Geochemical Model

Li Youguo

(Chengdu College of Technology, Chengdu 610059)

Hou Zengqian

(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037)

Key words: VHMS deposit, ore chemistry, chemical structure, enrichment regularity, metallogenic model

Abstract

The Gacun deposit in Sichuan Province is a typical auriferous Ag-rich polymetallic deposit in the intra-rifting zone developed in the Triassic Yidun Island-Arc, whose major ore-forming metallic elements such as Cu, Zn, Pb, Ag and Au unexceptionally assume nonnormal distributions composed mostly of double or multiple parent bodies, suggesting the existence of more than two times of ore-forming processes. Ore-forming elements are generally concentrated in the massive sulfide ore belt; nevertheless, base metals like Cu, Zn and Pb fail to show obvious zoning characterized by Cu + Zn in the lower part and Pb + Zn in the upper part, and noble metals Ag and Au do not display evident horizontal preference. The tectonic reconstruction and chemical structural images of the ore deposit demonstrate that the spatial distribution and enrichment mechanism of metallic elements are strictly controlled by basement tensional fractures and hydrothermal fluid spouting vents in the submarine depressed basin. There are at least four nearly SN striking basinal basement faulted zones that make up the migration-draining channelways of submarine lower hydrothermal fluids and the host space of stockwork ore belts; the intersections of EW-striking faults with four SN-striking faults serve as the major vents or black smokers of upward draining hydrothermal fluids at the ancient sea floor, which control the spatial distribution of metallic elements at the submarine depression. Due to the positive landform, the hot-water vents at the eastern and western edges of the depressed basin formed mound-style orebodies; in contrast, the hot-water vents in the central part of the depressed basin, having accumulated large quantities of hydrothermal fluids, formed brine pools and precipitated sheet-style massive sulfide orebodies.

(上接第 189 页)(Continued from p. 189)

years ago in the Xiechi Lake, Yuncheng, Shaanxi province. Most Quaternary saline lakes occur in West and Northeast China. Four main saline lake regions can be distinguished: Qinghai-Tibet Plateau, Northwest region, Northeast region and East region of scattered lakes, which consists of thirteen saline lake districts. All the hydrochemical types in the world have been found in saline lakes of China, which include carbonate type (strong, moderate and weak subtypes), sodium sulfate subtype, magnesium sulfate subtype, chloride type and nitrate type. From the Quaternary arid center of the Qaidam Basin-Eastern Tarim Basin outwards, there are successively a chloride (nitrate)-magnesium sulfate subtype zone, a magnesium-sulfate subtype zone or sodium-sulfate zone, and a carbonate type + sodium-sulfate subtype or carbonate type zone.

According to Quaternary saline lake records, since the beginning of the Quaternary, there have been more than six stages of arid climate (salinization): Stage I (2.36~2.00 Ma B.P.), Stage II (1.62~1.00 Ma B.P.), Stage III (0.90~0.60 Ma B.P.), Stage IV (31 000~21 000 a B.P.), Stage V (18 000~5 000 a B.P.) and Stage VI (4 500 a B.P. ~the present day).