

层控铅锌矿中两类矿化的成因及相互关系——以陕南八方山为例

戴·问·天

(西安地质学院)

提 要 陕西八方山铅锌矿床存在两类密切共生的矿化: 富含铅锌的整合层状矿和富含黄铜矿的网脉矿。两种矿化均由海底热液活动一次形成。前者代表矿质沉淀于海底, 后者代表矿液补给带。成矿热液来自海水, 于同沉积断裂中经循环加热而成。

关键词 八方山 层状矿 网脉矿 海底热液活动

在诸类层控矿床中, 层控铅锌矿是研究较多、较详细的一类。对这类矿床的成因, 涂光炽等《中国层控矿床地球化学》第一卷(1984)所提出的看法较有代表性^[1]: “除少数矿床在沉积阶段就构成工业堆积外, 大部分矿床是在矿源层沉积以后, 经后期地质作用富集成矿的。”后期地质作用有两种: “(1), 改造作用。主要是指与岩浆无明显联系的地下热水对矿源层的改造, 使成矿物质溶解、迁移与再沉淀形成矿床。”“(2), 变质作用。矿源层受区域变质作用发生塑性变形, 矿源层内的成矿物质重结晶或进入变质热液、迁移及再沉淀而形成矿床。”在总体上, 这种看法十分接近作者早先提出的“两次成矿”观点^[2]。

但是, 通过对秦岭地区赋存于泥盆系沉积岩层中的“层控”铅锌矿的研究, 作者得出和以前不同的新认识。这些通常用“同生沉积——后期改造(或变质)富集”模式解释其成因的矿床, 实际上是由海底热液作用“一次”形成的; 层状矿体是热液喷出海底以后在局部洼陷中形成的同生沉积物, 迄今为止被视作变质、改造或“再造”产物的网脉状矿化, 则代表热液喷出海底以前, 在底盘岩石以及先期沉积物裂隙内充填交代产物。在秦岭地区为数众多的矿床里, 陕西凤县八方山矿床虽只达中型规模, 但对研究地质特征和矿床成因, 却具有典型意义。在这里, 除和区域内其他矿床一样存在整合层状铅锌矿体外, 还存在以富铜为特征, 伴有硅化、铁白云石化强烈热液蚀变的网脉状矿化。

一、矿床地质概况

陕西凤县——太白地区泥盆系地层出露广泛。根据沉积岩相及厚度的不同, 通常认为这套南北有别、相互难以确切对比的地层是在三个沉积小区内分别沉积的: 北部为白云——柞水小区, 中部为凤县——镇安小区, 南部为留坝——白河小区。凤太地区铅锌矿均产在中部的凤县——镇安小区内, 其中八方山、银母寺等矿床邻近作为小区北界的凤镇——山阳断裂带, 铅铜

山、手搬崖、峰崖等矿床则邻近作为小区南界的江口—镇安—板崖镇断裂带。

八方山矿区除少量第四系松散沉积物外，所见全为中泥盆统地层。它们构成一个 NWW—SEE 向、长宽之比约为四比一的背斜，轴部由古道岭组石灰岩（多已变质为结晶灰岩）构成，两翼出露星红铺组泥质和泥灰质岩石（多已变质为绢云母方解石千枚岩、绿泥石绢云母方解石千枚岩以及碳质千枚岩）。星红铺组地层内发育走向断层，沿断层局部有宽 1 米左右的长石石英斑岩岩脉充填。北东和北西向横断层切割背斜翼部千枚岩和轴部结晶灰岩以及其间的矿化带，沿断层有宽度通常小于 1 米的闪长玢岩岩墙侵入。这两类脉岩均无矿化蚀变现象。

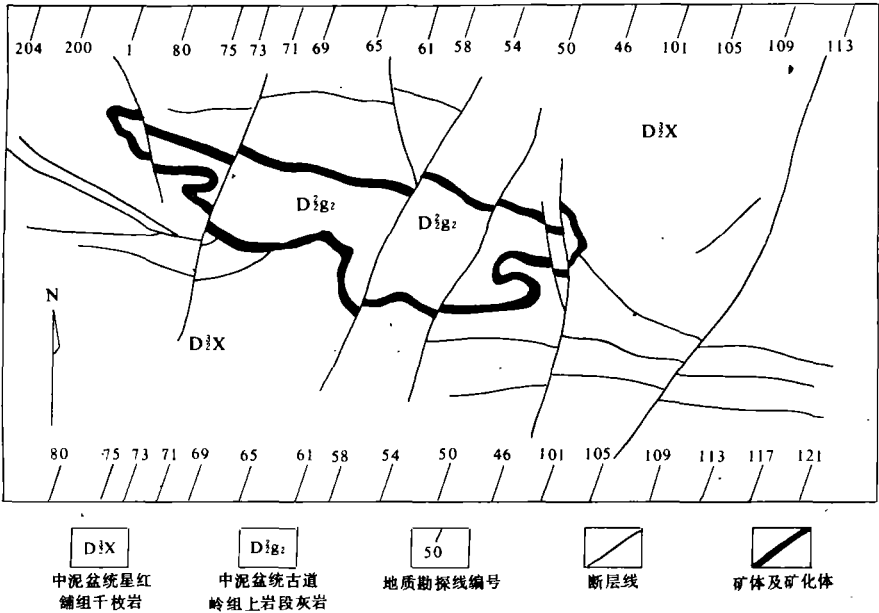


图 1 八方山矿床平面地质略图

(据有色七一七队资料简化)

Fig. 1. Schematic plan map of Bafangshan Pb—Zn deposit

矿化严格受一定地层层位控制。所有矿体无例外地均沿星红铺组与古道岭组地层界面分布，经褶皱变形、风化剥蚀后出露地表，形成一个长径约 950m、短径 40—250m（平均约 150m）的环形矿带（图 1）。矿带形态可以反映背斜特征。北翼矿带走向 100°—105°，北东倾，倾角 70°—90°，往深部局部倒转而向南倾斜；南翼矿带走向 90°—130°，南倾，倾角 50°—70°。从背斜脊线部分矿带的出露高程来看，背斜西端倾伏甚陡（从 1 线到 200 线，100m 内就降低了约 70m），东端倾伏较缓（从 101 线到 117 线，400m 内只降低了 170m）。在西起 1 线东到 101 线的九百余米地段内，背斜脊线部分的矿体已被剥蚀无存（图 2）。

二、两类矿化的特征及其相互关系

八方山矿床的突出特点,是同时存在层状与网脉状两类矿化,而且二者有密切的空间关系和成因关系。

层状矿化从总体上看,是一层含铅锌硫化物的硅质岩石(燧石),视硫化物含量的多寡,矿石有浸染状的也有条带状的(后者更常见),局部地段甚至呈块状。例如54线3号钻孔中连续6个样含Zn都在20%以上(21.35—57.70%),平均达41%。这层硅质岩石在矿区以外的地层剖面上见不到,说明其形成是一种局部现象,可能与铅锌硫化物的沉积有关。硅质岩中常含碳酸盐矿物碎屑(有时是珊瑚、海百合茎碎片),并含有分散状态的碳质物,有人认为它是石灰岩热液蚀变(硅化)的产物。为判明这种含铅锌硫化物的硅质岩的成因,我们在6号坑道71线穿脉取了一个样,经分析其 $\delta^{18}\text{O}$ 值为+22.05‰(SMOW标准、北京第三研究所测定)。这数值显然不同于“火成石英”,(按文献资料通常为+8.5—+10.5‰)或“变质石英”(通常+10.5—+16.7‰),也不同于沉积砂岩(无次生长大现象的石英颗粒通常约+11.2‰)。另在星红峡取的一个变质石英砂岩样 $\delta^{18}\text{O}$ 为+12.43‰。这样,硅质岩的氧同位素组成接近于海相燧石,说明它应是低温沉积成因的,不可能是热液蚀变产物,也不是碎屑沉积物。

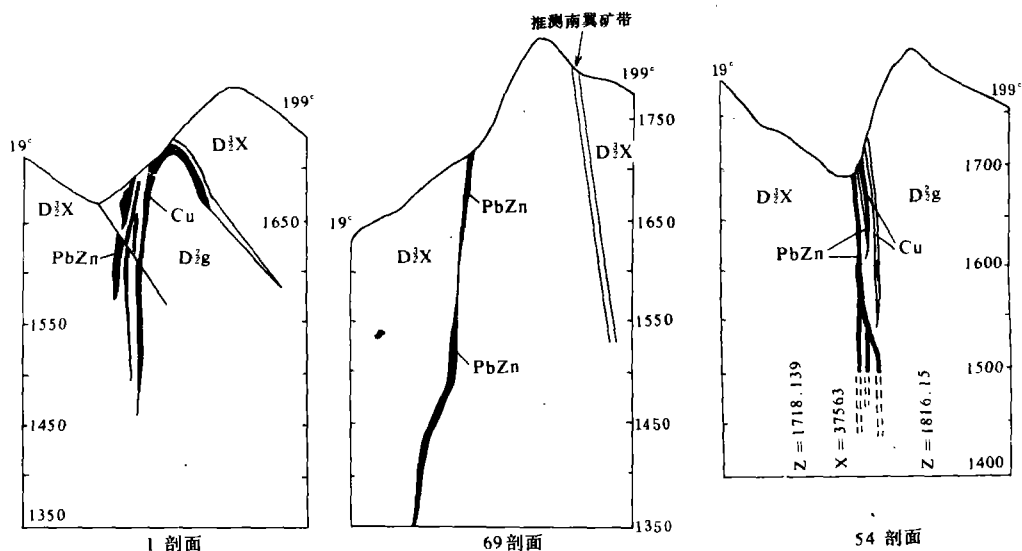


图2 八方山矿床地质剖面图

Fig. 2. Geological sections of Bafangshan Pb—Zn deposit

层状矿体本身黄铁矿含量很少,但往上被一层含多量浸染状细粒黄铁矿的千枚岩覆盖。

这种顶板岩石完全不含铅锌以及铜的硫化物,也不显示底板岩石(石灰岩)中广泛而强烈的硅化、铁白云石化现象。这样,层状矿的顶界是清楚的。与此相反,由于含硫化物的石英——碳酸盐脉的穿插,也由于底板石灰岩的强烈蚀变,层状矿的底界在不少地方很难分辨。但是,在缺失网脉状矿化的地段,例如在6号坑道71—73线一带,可以看到层状矿体直接覆盖在未蚀变的古道岭组灰岩之上,底部有厚约30cm的含细粒浸染状、层纹状黄铁矿的千枚岩,其特征几乎与矿体上盘千枚岩完全相同。如果把被石英、铁白云石和硫化物充填的裂隙看作是热液上升的通道和喷口,那么就可以看出,层状矿底界不清楚,是靠近海底热液喷口处的特征;在热液离开喷口流到附近低洼处以后,层状矿底界则变得比较清楚。

八方山的网脉状矿化由许多含硫化物的碳酸盐石英脉构成,碳酸盐主要是方解石,但铁白云石也很多。剖面上这种矿化集中出现在古道岭组灰岩顶部,及与之相邻的层状矿体内,特别是层状矿体的中下部。网脉矿有时也穿插到层状矿上部,有的地方(如101线)且形成较大铜矿体,但从不过其顶界而进入顶板千枚岩层。少数石英脉切穿层状矿顶界,但它们均不含铁白云石和铜、铅、锌硫化物,和网脉状矿化不同而应属晚期另一种矿体。

在形态和产状上,八方山的网脉状矿化和一般的“脉型”热液矿床有较大区别,它以脉体形态不规则、脉幅变化大、垂直层理方向延深小为特点,总体上构成一个“毯状带”(blanket-like zone)。这反映它们所充填的裂隙显然不是沉积物固结成岩以后在变形过程中产生的构造裂隙,而可能是热液喷发活动本身造成的裂隙。对现代海底热液活动的考察表明^[3],当热液沿海底基岩中的断裂由深部上升到接近海底的地方时,由于压力迅速降低,喷发往往是相当猛烈的,就在海水深度超过2500m的条件下,热液喷发速度仍然达到每秒几米,并常常将通道和喷口破坏。海底热液喷发活动在层状矿沉积过程中仍继续进行,所以网脉矿可以切割作为先期沉积物的层状矿。

三、化学与同位素特征

根据对有色七一七地质队化验数据的粗略统计,层状矿平均约含Cu 0.09%, Pb 1.63%, Zn 5.05%, 显然以铅锌为主并具富锌特征(Pb/Zn 约为0.32), 极其贫铜;网脉状矿化平均含Cu 1.28%, Pb 0.09%, Zn 0.16%, 显然以铜为主, 且与层状矿相比相对富铅(Pb/Zn = 0.56)。地质队所画的“铜矿体”实际上是网脉状矿化够品位的地段, 尽管它们也呈似层状或透镜状且与地层界面大致平行, 但并不像层状铅锌矿那样是天然的地质体, 其边界完全是根据化学分析结果人为圈画的。在坑道里可以清楚地看到, 在所圈定的铜矿体以下十几米处的古道岭组灰岩内, 仍然有含少量黄铜矿、黄铁矿的方解石石英脉或铁白云石石英脉产出, 只不过零星分散, 硫化物含量也低, 已无法圈定与联出矿体。此外还有一些钻孔, 特别是在背斜南翼施工的钻孔, 在离两组地层界面更远(几十米至上百米)的古道岭组灰岩中遇到含铜铁硫化物的方解石石英脉, 但其出现位置在相邻钻孔间也很难对比。这种脉体看来受构造破碎带控制, 可能代表底板岩石中热液上升的通道。

在层状矿中取了四个闪锌矿样, 经分析(北京第三研究所)其 $\delta^{34}\text{S}$ 值在+6.03‰到+

11.86‰之间,两个方铅矿样分别为+6.11‰和+7.80‰,一个黄铁矿样为+5.24‰,均以富集重硫为特征。网脉状矿化中的硫化物(包括闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和黄铜矿),在同位素组成上大多与层状矿近似(数值集中在+6.3—+7.5‰之间),但有一个黄铁矿样,一个黄铜矿样的硫则重得多,分别为+15.88‰和+16.83‰。围岩中的硫化物(全为黄铁矿)从硫同位素组成看与两类矿化中的硫化物都不相同,层状矿顶板千枚岩中的一个细粒黄铁矿样 $\delta^{34}\text{S}$ 值为-1.8‰,远离矿体千枚岩中一个浸染状自形晶黄铁矿样为-6.1‰。

海相沉积物中硫化物的形成一般都与海水硫酸离子的细菌还原有关,在此过程中 ^{34}S 被优先还原,所以所形成的硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 通常为负值。八方山层状矿顶板以及远矿围岩中的黄铁矿,显然都属这种细菌还原硫化物。除细菌还原外,海水硫酸盐离子还可以在较高温度下被无机还原。在此过程中由于温度高,同位素分馏不明显,所产生的还原硫(H_2S 、 HS^- 或 S^{2-})应当具有与来源物质(海水)大致相同的同位素成份。现代海水硫酸离子的 $\delta^{34}\text{S}$ 值大约是+20‰,显生宙期间则变动在+30‰(寒武纪)到+10‰(二叠纪末)之间,泥盆纪时约与现代近似(Nielsen和Ricke, 1964)。八方山网脉状矿化中 $\delta^{34}\text{S}$ 值在+16‰左右的黄铁矿、黄铜矿,可以认为主要是由这种沿断裂循环到深处,因而在较高温度下被无机还原的海水硫形成的;网脉状矿化中 $\delta^{34}\text{S}$ 值在+7‰左右的硫化物以及同位素组成与之类似的层状矿中的硫化物的形成,则可能与热液从深部带来的这种无机还原硫和海盆地内细菌还原硫的混合有关。

四、矿化分带

八方山矿床金属分带现象十分明显。在垂直于岩层层面的方向上,由于网脉状矿化集中产出于层状矿中下部和下盘石灰岩内,所以出现了铅锌偏上(偏向千枚岩一侧)而铜偏下(偏向石灰岩一侧)的分带现象。在平面上如果把褶皱了的岩层“展平”,恢复原来沉积时的位置,那么铜矿化集中在沉积盆地内有热液喷口的地段,可能是在盆地中部偏南的位置;离开热源喷发地段往两边,主要是往北边,网脉状矿化消失,只有层状矿;表现在成矿金属上就是铜消失而代之以铅锌。在邻近热液喷口网脉状矿化穿插层状矿的地方,则铅、锌、铜均有,其数量比例取决于两类矿化中哪一类为主。经过褶皱,网脉状铜矿化分布的位置大约在背斜脊一带,往北翼沿倾斜渐变为以层状矿为主,甚至只剩下层状矿,南翼层状铅锌矿不发育,网脉矿化也零星。如果认为层状矿分布范围大致可表明原来沉积盆地的轮廓,那么就可以推测热液喷发地段并不在盆地中央,而在偏南部份。由于八方山背斜两端倾伏、中段翘起,所以随中段背斜脊部的剥蚀铜矿化已不复保存,只剩下翼部(主要是北翼)的层状铅锌矿,东西两端铜矿化则因背斜脊部倾伏地下而得以保存,这样就造成目前看到的矿区两端富铜而中间只有铅锌的“水平分带”现象。它实际上是由矿床形成时两类矿化的空间关系,后来的褶皱变形特点(背斜两端倾伏中间翘起),以及更后的风化剥蚀这三者结合起来的决定的。

五、与国外类似矿床的对比和海底热液矿床的分类

像八方山这样上部有整合层状矿,下伏岩石中有网脉状或角砾状矿化与蚀变的例子,在国外已屡有报道。例如日本的黑矿型矿床,通常主要由三种类型矿体组成,即以方铅矿、闪锌矿为主的“黑矿”(Kuroko),富含黄铜矿的黄矿(Okoto),和由含硫化物(主要是黄铁矿,也有黄铜矿)的石英细脉组成的网脉矿(Keiko)。前两者是整合的透镜状矿体,有时在顶部或边缘部分伴有重晶石层,其上常被铁质燧石层覆盖,它们合在一起构成具有同生沉积特征的层状矿;后者(Keiko)则是产在下伏底盘岩石中并伴有热液蚀变现象的具后生特征的矿化。又如加拿大不列颠哥伦比亚的苏里万(Sullivan)矿床,主矿体是层状、透镜状的铅锌硫化物和磁黄铁矿,下盘岩石中产有含少量锡的角砾岩化和电气石化带,这个带往下延深距离超过450m。再如西德哈茨山北麓的拉麦斯贝格(Rammelsberg),在由铅锌硫化物和重晶石组成的大大小的透镜状矿体之下,是被称作“Knies”的网脉状矿化蚀变带。类似矿床还见于澳大利亚艾萨山(Mt. Isa)、西德麦根(Megger)、加拿大育空地区汤姆(Tom)、美国阿拉斯加红狗(Red Dog)等地。它们都是铅锌矿,而且在所有这些例子中,整合产出的层状、透镜状矿化都构成矿床主体,下伏的网脉状、角砾状矿化蚀变带被认为代表成矿热液的上升通道,即所谓“补给带”(feeder zones)^[4]。

在八方山的两类矿化中,都出现了大量氧化硅,在层状矿中是硅质岩,在网脉状矿化中是脉石英和相伴的围岩的强烈硅化。这一现象具有普遍意义。例如,日本黑矿中的网脉矿就因有大量氧化硅而又被称作“硅矿”(Siliceous ore),层状矿顶部往往出现铁质燧石层。西德拉麦斯贝格铅锌矿的网脉状矿化蚀变部分,即所谓“knies”(意为“裂纹”,原指烧制陶瓷时表面出现的裂纹)。也以富硅为特征。显然,氧化硅是成矿热液的一个重要组份,在矿床中氧化硅以不同形式大量产出,是海底热液矿床的一个重要特点。在这里,特别值得注意的是分布局限而又与硫化物密切共生的硅质岩。

这几处国外矿床,F·J·Sawkins(1984)从地质构造角度出发认为其形成都和裂谷发育有关^[4]。形成日本黑矿的是和岛弧有关的裂谷(arc-related rifts),爱尔兰产在碳酸盐岩层中的铅锌矿形成在大陆裂谷(Continental rifting)发育的早期阶段,而以苏里万为代表的沉积岩中的块状硫化物矿床和红海的富含重金属沉积物,形成在裂谷发展的成熟阶段(advanced stages)。

按照容矿岩石(host rock)的不同,这些矿床可大致分为两类:容矿岩石是火山岩的,如日本的黑矿型矿床;容矿岩石是沉积岩的,如苏里万和拉麦斯具格。后一类矿床尽管直接顶底板是沉积岩,但亦不乏同期岩浆热事件存在的证据。最典型的如苏里万矿床,其容矿地层被多量基性岩床侵入,有些地段这种岩床竟占到剖面厚度的一半以上。这样,不论容矿岩石为何,形成海底热液系统的热源,可能都和同期火成活动有关。

八方山矿床的容矿岩石也是沉积岩,而且在整个凤太地区以至更大范围内,都没有见到同期火成活动的迹象。容矿地层内未见到可确证的火山岩,沿断裂侵入的所有岩墙,岩脉都是成矿后的。显然,火成活动不大可能是八方山成矿系统的热源。从区域地质背景来看,八方山矿

床以及凤太地区其他矿床的最突出特点,就是和分割泥盆系地层小区的区域性断裂的密切关系。这些断裂控制了泥盆系地层的沉积岩相和沉积厚度,说明它们是同沉积断裂(syn depositional faults)。看来,海水来源的成矿溶液大概是沿断裂循环到地壳深部,受地热增温影响而变成热水溶液的。泥盆纪时期秦岭的构造体制目前还不十分清楚,已有资料表明可能相当于大陆裂谷发展的早期。许多人认为大陆裂谷的进一步发展会导致出现海洋地壳从而转化为海洋裂谷,类似今天红海的情况。这种情况在秦岭显然并未出现,这说明古生代秦岭裂谷大概是一个“夭折”了的裂谷。也许这是秦岭泥盆纪火山活动缺失,海底热液作用主要受区域断裂构造控制而与火成活动无关的根本原因。

尽管容矿岩石和产出地质背有明显差异,但上面提到的这些矿床也有一个基本的共同点,就是它们的形成都和海底热液作用有关。虽然层状矿与网脉矿的相对规模各矿床不尽一致,且有以网脉矿为主的(如日本的北根室、大玖、田子内),但在大多数情况下都以层状矿为主。这样,这类矿床在矿床成因分类中可以作为独立的一类列出,称为“海底热液矿床”(submarine hydrothermal deposits),其形成是跨“同生”和“后生”,跨热液作用和沉积作用的。国外文献上对本文所讨论的一些矿床还用过“exhalative—sedimentary”(喷气沉积)术语,也许由于汉字利于人们发挥语言艺术吧,译过来则有“喷气矿床”、“喷溢矿床”、“喷流矿床”等大同小异的“变体”。其实“气”、“溢”、“流”等字眼对成矿作用的描述都未尽确切,不如就叫海底热液矿床方便易懂。

海底热液作用形成的贱金属矿床可以分成三种类型,分别以日本黑矿、加拿大苏里万矿床和本文介绍的八方山矿床为代表,在所有三种情况下成矿流体显然都主要是被加热的海水,形成金属硫化物的硫来源于海水硫酸离子并常常是在较高温度下被无机还原的,矿床形成过程类似,常见两类矿化(同生层状矿与后生网脉矿)相伴,且其相互关系也类似。三种矿床类型的不同点主要在于和火成活动的关系。黑矿型最密切,八方山型则基本无关,苏里万型介于这两个端元类型之间。另一个区别在所含的金属。产在火山岩中的矿床(黑矿型)虽然经常也以铅锌为主且锌多于铅,但铜也常见并且数量不少;产在沉积岩中的矿床均为铅锌矿,多数矿床几乎完全没有铜矿化,少数(如八方山)虽有铜矿化但也只居次要地位。

根据实验研究(H. C. Helgeson, 1969),在含 NaCl 的水溶液中,金属硫化物的溶解度通常随温度增高而增大,且 $ZnS > PbS > CuFe$ 硫化物。显然,在海底热液矿床中见到的从网脉矿到层状矿,从下到上的金属分带顺序,正好反映了这些金属的硫化矿物从含 NaCl 的热水溶液中析出时受溶解度控制的沉淀顺序。

六、结 语

1. 以陕西凤县八方山矿床为例,可以看出整合同生层状矿与下伏岩石中网脉状矿化蚀变相伴,是海底热液矿床的一个基本特征。对于我国地质文献中描述为“既有同生沉积特征,又有后生改造富集特征”的层控矿床,值得注意这两者之间的关系;它们有可能不是两次成矿,而是由于海底热液作用一次形成的。

2. 海底热液矿床常出现金属分带现象,它受含 NaCl 热水溶液中金属硫化物的溶解度控制。

3. 大量氧化硅的出现,特别是分布局限而又与金属硫化物密切共生的沉积硅质岩的出现,是海底热液成矿的一个重要标志。

4. 在矿床成因分类中,海底热液矿床可作为一类单独划出。它本身又可划分为以日本黑矿、加拿大苏里万和秦岭八方山为代表的三种类型。按照与火成活动关系的密切程度,黑矿型和八方山型分别是两个端员代表,苏里万型则介于二者之间,为中间类型。这三种类型矿床的形成可能都与裂谷构造有关,但裂谷类型或其发展阶段有所不同

参考文献

- [1] 涂光炽等,《中国层控矿床地球化学》第一卷,北京,科学出版社,1984
- [2] 戴问天,地质地勘, (7) 1978, 1—8
- [3] Rona, P. A., *Earth-Sci. Rev.*, (20) 1984, 1—104
- [4] Sawkins, F. J., *Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics*, Springer—Verlag, 1984

GEOLOGY, RELATIONSHIP AND GENESIS OF TWO TYPE OF MINERALIZATION IN BAFANGSHAN Pb—Zn DEPOSIT

Dai Wentian

(*Xian Geology College*)

Abstract

Two type of mineralization were observed in close relationship in Bafangshang deposit, Shanxi Province i. e. conformable bedded ore—sphalerite—galena chert unit and the underlying stockwork ore taking shape of a blandet and consistiong of quartz—carbonate veins rich in chalcopyrite. Both of them are thought to be produced by sub—marine hydrothermal activity. The bedded ore was precipitated from the ore fluid discharged onto the sea floor whereas the stockwork represents the feeder zone. Such mineralization pattern is similar to Kuroko type in Japan, Sullivan in Canada, Meggen and Rammelsberg in the West Germany. However, no contemporaneous igneous activity has been demonstrated at Bafangshan deposit and in the whole Fengxian—Taibai raea. The submarine hydrothermal activity was probably related to the syndepositional faulting, which controled the sedimentary facies and thickness of Devonian sequence—ore—hosting rock. The $\delta^{34}\text{S}$ values of sulfides suggest a sea water origin for ore solution, which may be heated by deep convective circulation along the Syn-depositional faults.