

块状硫化物矿床的宏观与微观构造

李志国^{1,2}, 肖 振³

(1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 中国黄金集团公司, 北京 100011)

摘 要: 根据围岩及成因不同, 块状硫化物矿床可以分为火山成因块状硫化物矿床(VMS)型和沉积喷流(SEDEX)型。文章对两类矿床从宏观和微观地质构造特征上进行总结, 以期对找矿勘探乃至确定矿床成因类型起一定指导作用。

关键词: 块状硫化物; VMS 型; SEDEX 型; 宏观构造; 微观构造; 分带性; 黑烟囱

中图分类号: P613; P616.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2007)02-0139-05

0 引言

块状硫化物这一术语一般指金属硫化物质量分数大于 60%, 而非指其矿床的结构、大小及形态特征^[1]。根据其围岩的不同可以分为以火山岩为容矿岩石的火山成因块状硫化物(Volcanogenic Massive Sulfide, 即 VMS 或 VHMS)型和以沉积岩为容矿岩石的沉积喷流(Sedimentary-exhalation, 即 SEDEX)型。VMS 型块状硫化物矿床通常形成于张裂或裂谷作用阶段。本文所称宏观构造是指矿床的形态特征、矿化及蚀变的分带性, 微观构造则指矿石结构构造。

1 VMS 型矿床的宏观与微观构造

近年来, 我国 VMS 型矿床的研究取得很大进展。本文关于该类矿床宏观、微观构造特征的阐述主要参考了《现代与古代海底热水成矿作用》一书(侯增谦等, 2003)。

1.1 宏观构造

1.1.1 矿床的产出形态

①层状和透镜状矿床以块状硫化物层状透镜体或矿席为主, 网脉或细脉状矿化带次之; ②丘状矿床

的网脉-细脉状矿化带与上覆块状矿体呈不整合接触; ③浸染状-网脉状矿床由浸染状-网脉状黄铜矿-黄铁矿组成, 可伴生少量块状硫化物矿体, 以 Cu 矿为主。

1.1.2 矿床的分带性

(1)矿床的分带性。根据矿床产出的构造背景及成矿元素组合, VMS 矿床划分为 4 种主要类型^[2]: Zn-Cu 型、Zn-Pb-Cu 型(黑矿型)、含 Cu 黄铁矿型(塞浦路斯型)、Cu-Zn 型(别子型)。不同矿床分带特点有所不同。

Zn-Cu 型: 如格陵兰 Isua 矿床和我国的红透山矿床。这类矿床的容矿火山岩系从玄武质岩石为主到流纹质火山岩都有, 且具有连续沉积特点。含矿火山岩系的基底一般是由镁铁质构成的稳定地块, 主要为玄武质成分。含矿岩层顶板常为燧石层或沉积岩层。从顶板往下的矿层可分别划分为①层状硫化物含铁建造层; ②块状黄铁矿和块状闪锌矿层; ③条带状黄铜矿层; ④网脉状矿石层; ⑤枕状熔岩边缘的细网脉状矿石层; 矿体底板为蚀变岩筒, 它是垂直延展的蚀变带和细脉状铜矿带。

Zn-Pb-Cu 型(黑矿型): 本类矿床与 Zn-Cu 型矿床的明显区别是在块状硫化物矿体上部缺少含铁建造的硫化相, 但在整个矿层之上可以出现 Fe 含量较高的含铁建造。与矿体共生的火山岩主要是中性和长英质火山岩, 以及斑状次火山岩、角砾岩和各种火山碎屑岩。玄武岩一般只在矿体下盘深部产出。以

日本黑矿型矿床为典型代表(图 1): 矿床大多赋存于稳定的长英质碎屑岩之上, 白色流纹岩穹窿和伴生的角砾岩在矿床的近矿下盘出现。大多数矿体由上至下具有分带性: ①硅质矿带(主由黄铁矿-黄铜矿-石英网脉组成); ②石膏矿带(由石膏-硬石膏组成, 可含黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿-方铅矿-石英-粘土); ③黄铁矿带(主要为黄铁矿, 可含黄铜矿-石英); ④黄矿带(由黄铁矿-黄铜矿组成, 可含闪锌矿-重晶石); ⑤黑矿带(闪锌矿-方铅矿-黄铜矿-重晶石和黝铜矿-砷黝铜矿); ⑥重晶石矿带(主要为重晶石, 少量方解石、白云石); ⑦含铁燧石层(为隐晶质石英和赤铁矿)。

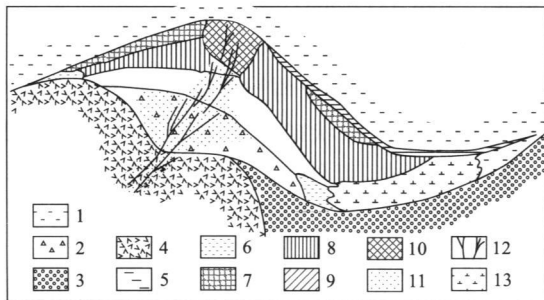


图 1 典型黑矿型矿床理想剖面图

Fig. 1 Ideal section of the typical

Kuroko Type deposits

(Sato, 1974, Horikoshi and Sato, 1970; 引自侯增谦, 2003)

1. 酸性凝灰岩(上盘) 2. 爆发角砾岩 3. 酸性凝灰岩角砾岩(下盘)
4. 白色流纹岩穹窿 5. 含铁燧石 6. 粘土 7. 重晶石矿
8. 黑矿、方铜矿-闪锌矿-重晶石(黄铜矿-黄铁矿)
9. 黄矿、块状(黄铁矿-黄铜矿) 10. 未分带的矿 11. 硅质矿
12. 黄铁矿-黄铜矿-石英细脉或网脉 13. 石膏矿

含 Cu 黄铁矿型(塞浦路斯型): 塞浦路斯 Troodos 地块有 16 个地区产出这类矿床。容矿火山岩主要为大洋壳岩石, 包括超镁铁质火山岩、枕状玄武质熔岩、岩墙及安山岩等, 上覆少量深海沉积岩, 整个火山-沉积岩组合构成蛇绿岩套。极少或缺失长英质火山岩。Troodos 地块的所有矿体都出现在枕状熔岩层内或其顶部。典型矿体由上至下可分为 3 个带: ①沉积赭石层(含有针铁矿、石英、伊利石、黄钾铁矾、黄铁矿锈蚀碎块); ②块状矿石带(多孔条带状胶体黄铁矿和白铁矿碎块组成); ③块状硅质矿石带(由黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿组成)。

Cu-Zn 型(别子型): 本类矿床数量较少, 研究程度较低。容矿火山岩主要为层状玄武岩或层状辉长岩, 并且经强烈变质形成角闪岩相。而前 3 种矿床

火山岩的蚀变以绿片岩相为主。

(2) 蚀变的分带性。VMS 矿床蚀变包括矿体的上盘、下盘两个蚀变体系。

下盘蚀变: VMS 矿床的下盘热液蚀变体系由两个单元组成: 蚀变岩筒和半整合蚀变带^[3]。蚀变岩筒是矿床下部呈板状或胡萝卜形的蚀变岩石带。它是热液流体的上涌通道, 并记录了流体与海水在岩筒边缘发生的相互作用。蚀变岩筒向下延伸与较大的底部半整合蚀变带相接、相切或叠加。澳大利亚 Hellyer 矿床有典型的蚀变岩筒, 由内向外包含 4 个显著的蚀变带: ①与脉状硫化物伴生的由大量硅质-黄铁矿-绢云母-绿泥石组成的硅质蚀变核心; ②绿泥石-黄铁矿-碳酸盐带; ③绢云母-绿泥石-黄铁矿带; ④绢云母-石英-黄铁矿带^[4]。矿体下部的半整合蚀变带的蚀变以层控石英-绢云母-绿泥石-黄铁矿蚀变为最常见的形式, 通常在区域上广泛分布, 在走向上甚至可达 2~6 km^[4]。由于矿体下伏岩石的不同, 半整合蚀变带也有不同的特点。

上盘蚀变: R. R. Large 等通过对澳大利亚 VMS 矿床的研究, 认为矿床的上盘蚀变可以作为找矿勘探的标志^[4]。当然, 不同矿床上盘蚀变程度不同。例如, 在 Hellyer 矿床中, 上盘枕状玄武岩发育了羽状浅绿色绿白云母-方解石蚀变及微弱的绢云母化、绿泥石化、重晶石化和黄铁矿化, 羽状蚀变带边部出现不规则的钠长石蚀变带。在 Mount chalmers 矿床, 块状硫化物矿体之上的流纹质火山碎屑岩发生较弱的绢云母-绿泥石蚀变。Scuddles 矿床的上盘火山岩发生过强烈的绿泥石-石英-碳酸盐蚀变, 并被广泛发育的石英-绢云母-绿泥石-碳酸盐蚀变所包围^[5]。Thalanga 矿床 (Stolz, 1992; 引自刘继顺, 1996) 的上盘英安岩亦发育面状和脉状的钠长石-绿泥石-绿帘石-沸石蚀变。上盘蚀变有的可以延伸到矿体上部或边部 30~200 m。

1.2 微观构造

根据对现代和古代 VMS 型矿床的研究, VMS 型矿床中矿石的典型构造有块状、角砾状、纹层状、条带状、网脉状、脉状、胶状等^[2]。Zn-Cu 型矿床由于强烈的爆破作用, 使块状硫化物矿体破碎, 并在矿体附近或矿体顶部形成角砾状矿石或角砾岩, 这些角砾呈明显棱角状。Zn-Pb-Cu 型矿床火山岩爆破作用明显, 并形成穹状中心。在火山-沉积作用过程中, 产生的外力碎屑沉积作用较之 Zn-Cu 型更广泛和强烈, 因此火山爆发碎屑岩广泛出现。角砾状矿石为硫化物和岩石碎块混杂分布在细硫化物基质中, 形成角砾状构造; 层状矿石由条带状或层状硫化

物组成, 常具沉积特征, 如粒级层或韵律层, 并发生过软泥沉积物变形作用。而塞浦路斯型矿床中碎屑岩或外力碎屑岩偶见, 有时出现凝灰岩与玻璃质碎屑角砾岩和枕状角砾岩互层, 矿石构造以块状为主。别子型矿床大多由块状和条带状矿石组成。

这里需要强调的是角砾状构造, 它作为块状硫化物矿床的典型特征已被普遍接受。这种构造的形成与爆发性火山活动有关, 而不是构造成因。

2 SEDEX 型矿床的宏观与微观构造

海底沉积- 喷流成矿作用, 泛指成矿水热流体(不同成因)喷溢出海底, 液态状通过不同方式将所携带的成矿组分在喷口上下或附近沉积富集成矿的过程。由此作用而形成的矿床, 即称为海底沉积- 喷流(Sedimentary-exhalation) 矿床^[6]。在大洋热水沉积中, 有白烟型和黑烟型两种沉积类型, 前者主要矿物是非晶质二氧化硅、石膏、重晶石及铁的氧化物和氢氧化物, 金属硫化物稀少; 后者除了非晶质二氧化硅之外, 还含大量磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿及石膏。SEDEX 型和 VMS 型矿床相比, 在宏观与微观构造特征上都有不同特点。

2.1 宏观构造

2.1.1 矿床的产出形态

矿床往往由一个或数个水平层状或类透镜扁平状矿体组成, 厚度几十米, 长度可达几千米^[7]。矿体上部喷口相有块状、角砾状矿石, 这些块状硫化物矿体与顶板岩层常呈突变接触关系, 而与下伏网脉状矿化带多为过渡关系。

2.1.2 矿床的分带性

(1) 矿体的分带性。SEDEX 型矿床在横向和垂向上都有明显的矿物分带性。以只有少量金属沉积的含矿热液通道为中心, 水平分带为 Cu-Pb-Zn-(Ba), 垂向分带为: Cu-Zn-Pb-(Ba), 铁有时会富集在分带的中心。在硫化物矿床周围可能会有铁晕出现。铜比铅、锌都更接近分带的中心^[7](图 2)。以甘肃厂坝 SEDEX 型铅锌矿为例, 矿体具有明显的分带性^[8]: 矿体上部为条带状、浸染状和层纹状矿石, 富闪锌矿、重晶石和方解石; 矿体下部为块状矿石, 富黄铁矿、闪锌矿、钠长石和石英; 并且含矿层可以由数个韵律组成。矿石的矿物成分和结构构造从矿体底部到顶部具规律性的变化。

(2) 蚀变的分带性。本类矿床的下盘蚀变比较

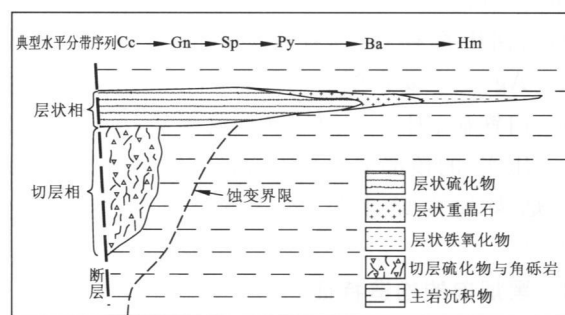


图 2 SEDEX 型 Pb-Zn 矿床矿物分带示意图

(据 Large, 1980; Sangster, 1983)

Fig. 2 Zonation of SEDEX Pb-Zn Deposits

Cc. 黄铜矿 Gn. 方铅矿 Sp. 闪锌矿

Py. 黄铁矿 Ba. 重晶石 Hm. 赤铁矿

明显。

Hass 等发现, SEDEX 型矿床下部补给系统内的蚀变常为硅化, 有时有电气石化、钠长石化, 矿体下盘见白云石化、电英岩化及绿泥石化^[9]。例如, 澳大利亚 Sullivan 矿床底板沉积物的蚀变主为电气石化, 顶板蚀变由钠长石- 绿泥石集合体组成^[7]; 甘肃厂坝铅锌矿床矿体下盘蚀变为阳起石化和绿帘石化。

2.2 微观构造

SEDEX 型矿床特征结构构造: 地表热水沉积物基本属于快速结晶堆积产物, 基本为非晶质或隐晶质, 巢孔构造发育, 伴有水热爆炸的热水沉积物中以热水角砾岩发育为特征^[10]; 由于热水沉积物是一种胶体沉积物, 因此常形成鲕状构造或鞘状构造、管状构造等; 另外, 纹层构造、浸染状构造亦发育; 并且此类矿床中往往化石丰富。例如甘肃厂坝铅锌矿床矿石主要为块状构造、浸染状构造、条带状构造。

3 海底黑烟囱的矿物分带及构造特征

现代与古代海底黑烟囱研究表明, 块状硫化物可以借助海底黑烟囱不断垮塌, 以及硫化物透镜体内的水压致裂及硫化物沉淀来完成^[11, 12]。烟囱的形成使热水圈闭于烟囱内部, 并保持高温, 有利于硫化物结晶生长。通过对河北高板河中元古代硫化物矿床中的古海底黑烟囱群研究表明, 海底黑烟囱常坐落于已垮塌的硫化物角砾丘体上^[13]。因此, 黑烟囱的研究对于探寻块状硫化物矿床有重要意义。

3.1 黑烟囱的矿物分带

黑烟囱矿物分带性表现在烟囱壁及外带主要为

重晶石、石膏及少量非晶硅(重晶石、石膏并非在所有的烟囱中都存在),在黑烟囱中发现的贵金属(Au, Ag)也主要在烟囱的外壁,中央一般为粗粒黄铁矿、白铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿,有时孔隙发育(未压实)的核部常发育闪锌矿与黄铜矿的交生结构。烟囱的内壁多发育一层隐晶质薄层硫化物^[13, 14]。

3.2 黑烟囱的构造特征

海底黑烟囱堆积物常显示硫化物、硫酸盐矿物在自由空间内生长形成的树枝形态、喷口、管道等构造,硫化物堆积物晶体之间多见孔洞,有时包含有岩石角砾,在黑烟囱之下的海底岩石中形成网脉状构造等^[14-17]。

(1) 通道构造: 烟囱的矿物呈同心环状围在紧闭的轴向管道周围; 活动烟囱的通道一般呈竖直状,但低速的热流往往使烟囱内部结晶生长时出现一些弯曲的情形。

(2) 多孔构造及充填构造: 孔隙可以弥漫整个烟囱体,孔隙很不规则; 孔隙普遍被较晚阶段的非晶质硅或黄铜矿、闪锌矿、斑铜矿及磁黄铁矿等部分充填; 孔隙的形成可能和硬石膏、重晶石等易溶矿物在海水长期的溶蚀下消失有关。

(3) 胶状构造: 为烟囱-丘体中的特征构造。一般由胶状白铁矿、黄铁矿、闪锌矿形成,有的成层状或环状,还有的成球状。常发生后期的黄铁矿、黄铜矿等交代作用,而在矿石中保留残片呈角砾状堆积,并被稍晚的硫化物(多为黄铁矿)胶结。

(4) 枝状构造: 一般发育在硫化物烟囱的外壁,晶体呈近垂直烟囱管壁向外的方向分布。枝状构造的形成通常是在不稳定的构造背景下,富硫流体与海水接触后快速冷却结晶,形成淬火构造(Fouquet等, 1993; Zierenberg 等, 1993; 引自牛向龙等, 2004)。

4 结 论

不论是 VMS 或 SEDEX 型矿床,其特有的结构构造特征和蚀变分带特征对块状硫化物矿床的鉴别及成因类型的确定有重要意义。由于其特殊的形成机制,研究古代海底黑烟囱的特点对发现、识别块状硫化物矿床也具有特殊意义。

参考文献:

- [1] Rona P A. Marine minerals for the 21st century[J]. Episodes, 2002, 25: 2-12.
- [2] 侯增谦. 现代与古代海底热水成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2003. 423.
- [3] 别风雷, 李胜荣, 侯增谦, 等. 现代海底多金属硫化物矿床[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(4): 335-342.
- [4] Large R R. Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits features styles and genetic models[J]. Economic Geology, 1992, 87: 471-510.
- [5] Ashley P M, Dudley R J, Lesh R h, *et al.* The Scuddles Cu-Zn prospect, and Archean volcanogenic massive sulfide deposits, Golden Grove district, Western Australia[J]. Economic Geology, 1988, (83): 918-951.
- [6] 池三川. 非火山环境海底沉积-喷流(SEDEX)矿床[J]. 地学前缘, 1994, 1(3-4): 183.
- [7] Sangster. Shourt Course in Sediment-hosted stratiform lead-zinc deposits[J]. Mineralogical Association of Canada, 1983, 8, 6-26.
- [8] 马国良, 祁思敬, 李英, 等. 甘肃厂坝铅锌矿床喷气沉积成因研究[J]. 地质找矿论丛, 1996, 11(3): 36-44.
- [9] Hass J J. Physical properties of Co-existing phases and thermochemical properties of the H₂O Component in boiling NaCl solutions[R]. United States Geological Survey Bulletin, 1976. 1424 A, 739.
- [10] 肖荣阁, 杨忠芳, 杨卫东, 等. 热水成矿作用[J]. 地学前缘, 1994, 1(3-4): 140-147.
- [11] Lydon J W. Ore deposit models(14) Volcanogenic massive sulfide deposit Part 2: Genetic models[J]. Geosci. Canada, 1988, 15: 43-65.
- [12] Gibson H L, Morton R I, Hudak G. Submarine volcanic process, deposits and environments favorable for the location of volcanic associated massive sulphide deposits[A]. In: Barrie C T. Volcanic associated massive sulphide deposits: Processes and examples in modern and ancient settings[C]. Reviews in Economic geology, 1999, 18: 1061-1064.
- [13] 李江海, 初凤友, 牛向龙, 等. 河北兴隆中元古代硫化物黑烟囱群发现及其地质成因[J]. 自然科学进展, 2005, 15(2): 179-191.
- [14] 牛向龙, 李江海, 冯军. 海底硫化物黑烟囱典型结构构造及其成因意义[J]. 高校地质学报, 2004, 10(4): 535-544.
- [15] 刘继顺. 喷流沉积成矿作用研究的若干问题[J]. 矿产与地质, 1996, 10(51): 6-10.
- [16] Rona P A, Scott S D. A special issue on seafloor hydrothermal mineralization: new perspectives preface[J]. Economic Geology, 1993, 88: 1935-1976.
- [17] Rona P A, Hannington M D, Raman C V, *et al.* Active and relict seafloor hydrothermal mineralization at the TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic ridge[J]. Economic geology, 1993, 88: 1989-2017.

THE MACROEXTTURE AND MICROTTEXTURE OF
MASSIVE SULFIDE DEPOSITS

LI Zhi-guo^{1,2}, XIAO Zhen³

(1. State Key laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. School of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. China National Gold Group Corporation, Beijing 100011, China)

Abstract: According to the difference of host-rock and genesis, the massive sulfide deposits can be subdivided into two types: the VMS (i.e. Volcanogenic Massive Sulfide) type and the SEDEX (i.e. Sedimentary-exhalation) type. The macrotexture and microtexture of these two deposit types are summarized in this paper. It can be helpful for prospect and even can be instructive to determine the genetic type of a deposit.

Key Words: massive sulfide; VMS type; SEDEX type; macroscopic texture; microscopic texture; zonation; black smoker

(上接第 106 页)

山期太平洋板块向欧亚大陆俯冲引起应力场不均衡而引发的剪切应力场背景下, 含矿流体沿着剪切应力最强烈部位上升并发生强烈的水-岩相互作用而沉淀成矿的, 成矿物质来自浅部的结晶基底和深部地幔, 其中的郭家岭花岗岩可能为成矿作用提供大量的含矿流体和热源, 因此, 谢家沟金矿床属于同韧性剪切带蚀变岩型金矿床。

参考文献:

[1] 邓军, 方云, 杨立强, 等. 剪切蚀变与物质迁移及金的富集——

以胶东矿集区为例[J]. 地球科学, 2000, 25(4): 428-432.
[2] 邓军, 王庆飞, 杨立强, 等. 胶西北金矿集中区成矿作用发生的地质背景[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 527-533.
[3] 孙丰月, 石准立, 冯本智. 胶东金矿地质及幔源 G-H-O 流体分异成岩成矿[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1995. 1-115.
[4] 韦延光, 王建国, 邓军, 等. 山东谢家沟金矿流体包裹体研究及其地质意义[J]. 现代地质, 2005, 19(2): 224-230.
[5] 姚凤良, 刘连登, 孔庆存. 胶东西北部脉状金矿[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990. 1-234.
[6] 张群喜, 苏燕平. 山东谢家沟金矿控矿因素分析[J]. 黄金科学技术, 2005, 13(4): 17-22.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE XIEJIAGOU GOLD
DEPOSIT, ZHAOYUAN AREA, SHANDONG PROVINCE AND
PRIMARY ANALYSIS OF THE GENESIS

ZHANG Quan-xi¹, SUN Zhong-shi², WANG Jian-guo³

(1. Department of Geoscience, East China Institute of technology, Fuzhou 344000, China;
2. College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130026, China;
3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The Xiejiagou ore deposit is a large Au deposit in ductile shear zone newly discovered in eastern Shandong province in China. Its geological features and genesis is studied based on the geologic background. It is a ductile shear zone type gold deposit, the tectonic movement of the Zhaoping fault belt and Jiaojia fault belt offers the shearing stress field for the formation of gold deposit, and the ore-forming material comes from crust and mantle.

Key Words: Xiejiagou gold deposit; geological feature; genesis of deposit; Shandong province