

# 铜陵矿集区块状硫化物矿床的二元结构特征

李红阳<sup>1</sup>, 李英杰<sup>1</sup>, 杨秋荣<sup>1</sup>, 侯增谦<sup>2</sup>, 杨竹森<sup>2</sup>, 蒙义峰<sup>2</sup>

(1. 石家庄经济学院勘查技术学院, 石家庄 050031; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**[摘要]** 铜陵矿集区含金铜-硫-铁块状硫化物矿床, 具有明显的地质地球化学二元结构性。与块状硫化物矿床的双层结构相对应, 从下部浸染状-脉状矿化岩石到上部层状矿石, CaO、MgO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、Cu、Au、As 等含量和  $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{30}\text{Si}$ 、Pb 同位素逐渐增高, 流体包裹体温度 307.1°C→159.8°C 和  $\delta^{34}\text{S}$  值逐渐降低。地质地球化学的二元结构特征, 可以作为块状硫化物矿床找矿与勘探的重要标志。

**[关键词]** 块状硫化物矿床 二元结构 找矿标志 铜陵矿集区

**[中图分类号]** P618.51; P618.41 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2006)03-0008-04

## 1 块状硫化物矿床的双层结构

在安徽铜陵铜、硫、铁、金矿集区, 石炭系黄龙组地层中含金铜-硫-铁块状硫化物矿层的区域性分布, 构成铜陵矿集区的重要地质标志与特征<sup>[1-3]</sup>。

与世界所有块状硫化物矿床相类似, 铜陵矿集区含金铜-硫-铁块状硫化物矿床发育典型的双层结构, 表现为上部为似层状块状硫化物矿体, 下部为浸染状、细脉状和网脉状硫化物矿体(图1)<sup>[1-2,4-5]</sup>。

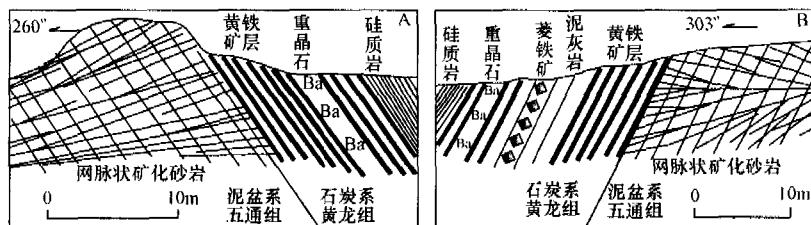


图1 水竹岭(A)和新桥(B)块状硫化物矿床双层结构实测剖面图

矿床具有双层结构是海底喷流沉积成因矿床的最重要标志与特征<sup>[1-2,4-5]</sup>。铜陵矿集区含金铜-硫-铁块状硫化物矿床, 具有与黑矿型矿床相类似的矿石垂直分带性, 自下而上为硅质矿石、黄铁矿矿石、黄铁矿-重晶石-石膏矿石和菱铁矿-铁质燧石, 以及矿层上部脉状铅锌矿石<sup>[1-2,4]</sup>。

矿石具有沉积碎屑结构, 发育海底喷流沉积胶状结构、莓球结构、变胶状晕圈结构、微细层纹状-条纹条带状-马尾丝构造和角砾状构造等<sup>[1-2,4]</sup>。在层状矿体下部泥盆系五通组地层中, 发育一套独特的热液气爆角砾岩细脉-不规则网脉、角砾岩筒和相互连通的虫管状-树枝状-姜块状等黄铁矿通

道和细脉与网脉。

## 2 岩石化学与微量元素的二元结构特征

### 2.1 岩石化学成分的二元结构特征

作者对铜陵矿集区含金铜-硫-铁块状硫化物和含矿岩系进行了较为系统的取样, 岩石化学分析结果列入表1。由未蚀变矿化的五通组粉砂岩到下部浸染状-脉状黄铁矿化和硅化砂岩至上部层状块状硫化物, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O 等含量逐渐降低, 而 CaO、MgO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO 等含量则总体逐渐增高。岩石化学成分的垂向变化, 与块状硫化物矿床的双层结构和矿石(矿化)的垂直分带相吻合。

**[收稿日期]** 2005-05-17; **[修订日期]** 2005-08-31; **[责任编辑]** 韩进国。

**[基金项目]** 国家自然科学基金(编号:40272088)和国土资源部科技专项研究项目(编号:B0002-3)联合资助。

**[第一作者简介]** 李红阳(1959年-), 男, 1998年毕业于中国地质科学院, 获博士学位, 教授, 现主要从事矿床地质地球化学研究工作。

表1 铜陵矿集区块状硫化物和含矿岩系岩石化学分析结果

| 名称(样数)     | $\omega_B/\%$    |                                |                  |                                |       |       |      |                  |                   |      |                               |       |       |
|------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|------|------------------|-------------------|------|-------------------------------|-------|-------|
|            | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | CaO   | MgO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | MnO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 灼失    | 总和    |
| 上部硫化物矿层(7) | 14.36            | 0.79                           | 0.07             | 32.96                          | 11.37 | 11.42 | 0.86 | 0.07             | 0.18              | 0.05 | 0.07                          | 21.08 | 93.28 |
| 下部强矿化砂岩(6) | 68.54            | 9.12                           | 0.7              | 10.16                          | 3.79  | 0.9   | 0.77 | 1.54             | 0.19              | 0.01 | 0.02                          | 3.31  | 99.05 |
| 下部弱矿化砂岩(5) | 67.9             | 16.59                          | 1.11             | 4.57                           | 1.33  | 0.64  | 0.65 | 2.45             | 0.24              | 0.04 | 0.06                          | 2.22  | 97.8  |
| 正常五通组砂岩(3) | 59.45            | 24.81                          | 1.44             | 1.34                           | 1.2   | 0.45  | 0.22 | 5.04             | 0.25              | 0.32 | 0.1                           | 5.08  | 99.7  |

下部矿化砂岩为浸染状-脉状矿化和硅化砂岩;样品由地质科学院地球物理地球化学研究所测定,2002。

2.2 微量元素的二元结构特征

微量元素分析结果列入表2。从下部浸染状-脉状矿化岩石到上部层状矿石, Cu、Au 和 As 等含量明显增高;在上部层状黄铁矿矿层→含铜黄铁矿矿层→含铅锌黄铁矿等块状硫化物矿层中, Pb、Zn、Ag、As 等元素的含量逐渐增高;块状硫化物矿层中

Au 的含量普遍较高,在中下部黄铁矿矿层中达到最高值。与区域地层岩石相对比<sup>[1,2]</sup>, Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As 等成矿元素在下部五通组浸染状-脉状矿化砂岩的含量普遍高数倍至数十倍乃至上百倍,而且与上部块状硫化物矿层中主要成矿元素分布相对应,表现出明显的垂向变化规律。

表2 铜陵矿集区块状硫化物和含矿岩系微量元素分析结果统计表

| 样品(样品数)       | $\omega_B/10^{-6}$ |       |       |      |       |        |      |       |      |       |      |
|---------------|--------------------|-------|-------|------|-------|--------|------|-------|------|-------|------|
|               | Cu                 | Pb    | Zn    | Au   | Ag    | As     | Hg   | Sb    | Mo   | Co    | Ni   |
| * 含铅锌黄铁矿矿石(3) | 1549.3             | 12877 | 30550 | 5.13 | 44.39 | 42043  | 0.44 | 287.3 | 1.9  | 1.0   | 11.6 |
| * 含铜黄铁矿矿石(5)  | 21942              | 105.0 | 848.3 | 0.30 | 24.15 | 1574.2 | 1.61 | 313.4 | 6.2  | 104.8 | 26.3 |
| * 黄铁矿矿石(5)    | 2236.3             | 80.1  | 236.0 | 8.59 | 6.55  | 615.0  | 0.11 | 14.1  | 1.8  | 96.9  | 12.0 |
| 下部矿化砂岩(11)    | 444.9              | 901.0 | 985.5 | 0.10 | 6.93  | 240.6  | 0.04 | 5.3   | 55.0 | 15.1  | 37.1 |

\* 为上部层状硫化物,样品由中国地质科学院地球物理地球化学研究所测定,2002。

3 同位素地球化学的二元结构特征

3.1 硫同位素组成的二元结构特征

铜陵矿集区主要含金铜-硫-铁块状硫化物矿床的重晶石硫同位素分析结果列入表3。从下部浸染状-脉状矿化岩石到上部层状(岩)矿石,重晶石  $\delta^{34}S$  值总体呈现出逐渐降低的趋势,二元结构特征明显。这与西班牙 Tharsis 矿区下部网脉状矿石与上部层状块状硫化物矿石的硫同位素垂向变化相类似<sup>[6]</sup>。

表3 铜陵矿集区块状硫化物矿床重晶石的硫同位素组成

| 样号       | 样品名称            | 产地  | $\omega_B/\%$         |
|----------|-----------------|-----|-----------------------|
|          |                 |     | $\delta^{34}S_{VCDT}$ |
| D172-8   | 矿层顶板含重晶石胶黄铁矿泥质岩 | 峙门口 | 14.1                  |
| XQ623-5  | 矿层顶板含重晶石胶黄铁矿泥灰岩 | 新桥  | 16.2                  |
| TY1024-4 | 上部层状重晶石-黄铁矿矿石   | 桃园  | 16.0                  |
| D172-12  | 上部似层状重晶石-黄铁矿矿石  | 峙门口 | 16.7                  |
| D172-5   | 上部含重晶石层状胶黄铁矿矿石  | 峙门口 | 18.9                  |
| SZLP-5-1 | 上部含重晶石层状胶黄铁矿矿石  | 水竹岭 | 19.9                  |
| D1070-2  | 下部重晶石菱铁矿脉       | 低岭  | 18.8                  |
| D610-3   | 下部重晶石菱铁矿脉       | 新桥头 | 20.9                  |

样品由中国地质科学院地球物理地球化学研究所测定,2003。

3.2 氧、碳、硅同位素的二元结构特征

氧、碳、硅同位素分析结果列入表4,从下部浸染状-脉状矿化砂岩到上部层状含铜硫化物矿石至

顶部含矿硅质岩→含矿白云岩,  $\delta^{18}O$  值平均值变化为 +12.81‰ → +13.97‰ → +12.65‰ → +20.65‰,  $\delta^{13}C$  平均值由 -1.53‰ 到 +2.1‰,  $\delta^{30}Si$  平均值为 -0.35‰ → -0.04‰。  $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{30}Si$  同位素逐渐增高,呈现出明显的垂向变化和二元特征。比如,①与胶黄铁矿互层的上部含矿白云岩  $\delta^{18}O$  为 +16.8‰ ~ +24.5‰,  $\delta^{13}C$  为 +2.0‰ ~ +2.2‰, 属沉积成因;②上部含矿硅质岩  $\delta^{18}O$  为 +12.0‰ ~ +13.9‰,  $\delta^{30}Si$  为 -0.2‰ ~ +0.2‰, 属于热水沉积硅质岩特点;③上部层状含铜硫化物矿石中的菱铁矿  $\delta^{18}O$  为 +11.6‰ ~ +15.3‰;  $\delta^{13}C$  为 -4.1‰ ~ +3.2‰, 具有同生沉积和热液自交代两种特征;④矿层下部浸染状-脉状矿化砂岩石英/全岩  $\delta^{18}O$  为 +9.2‰ ~ +14.0‰,  $\delta^{30}Si$  为 -0.7‰ ~ +0.4‰,  $\delta^{18}O$  和  $\delta^{30}Si$  值明显低于正常沉积物,是热液对沉积岩蚀变矿化的产物。

$\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$  和  $\delta^{30}Si$  的垂向变化,可能更好地反映了喷流沉积矿床形成过程中下部岩浆热液或岩浆水与上部海水的二元混合特征。

3.3 铅同位素组成的二元结构特征

铜陵矿集区新桥和桃园层状块状硫化物矿床铅同位素分析结果列入表5。从下部浸染状-脉状矿化岩石到上部层状硫化物矿石, Pb 同位素逐渐增高。如新桥,自下而上,黄铁矿的  $^{206}Pb/^{204}Pb$ 、

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $\text{Pb}^{208}/^{204}\text{Pb}$  平均值逐渐增高,分别为 18.179 → 18.309、15.526 → 15.553、38.198 → 38.337。铅同位素组成的垂向变化,反映了成矿流

体在向上运移过程中壳源物质混合逐渐增强,特别是与上部海水的混合,表现出铅同位素组成的幔→壳混合二元结构特点。

表 4 块状硫化物矿床氧、硅、碳同位素组成

| 岩矿石名称(样品数)      | 样品名称  | $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ | $\delta^{13}\text{C}_{\text{PD}}$ | $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS}-28}$ |
|-----------------|-------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 顶部含矿白云岩(2)      | 白云石   | +16.8 ~ +24.5                       | +2.0 ~ +2.2                       |  |
| 顶部含矿硅质岩(6)      | 石英    | +12.0 ~ +13.9                       |                                   | -0.2 ~ +0.2                            |
| 上部层状含铜硫化物矿石(3)  | 菱铁矿   | +11.6 ~ +15.3                       | -4.1 ~ +3.2                       |  |
| 下部浸染状-脉状矿化砂岩(9) | 石英/金岩 | +9.20 ~ +14.0                       |                                   | -0.7 ~ +0.4                            |

样品由中国地质科学院地球物理地球化学研究所测定,2003。

表 5 铜陵矿集区新桥和桃园块状硫化物矿床铅同位素组成

| 样品号       | 岩性                      | 产地   | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ |
|-----------|-------------------------|------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| XQPII-2-1 | 含粗晶黄铁矿胶黄铁矿矿石            | 新桥矿层 | 18.266                            | 15.526                            | 38.229                            |
| XQPII-4-1 | 石英粗晶黄铁矿胶黄铁矿矿石           | 新桥矿层 | 18.299                            | 15.574                            | 38.407                            |
| XQPII-7-2 | 胶黄铁矿矿石                  | 新桥矿层 | 18.331                            | 15.544                            | 38.316                            |
| XQPII-6-1 | 胶黄铁矿矿石                  | 新桥矿层 | 18.338                            | 15.569                            | 38.395                            |
| XQPII-1-1 | 硅化黄铁矿化砂岩                | 新桥底板 | 18.146                            | 15.525                            | 38.152                            |
| XQ1022-8  | D <sub>3w</sub> 砂岩中黄铁矿脉 | 新桥底板 | 18.213                            | 15.527                            | 38.245                            |
| TY1024-4  | 含重晶石块状黄铁矿矿石             | 桃园矿层 | 18.413                            | 15.537                            | 38.317                            |
| TYP-22    | 块状中细粒黄铁矿                | 桃园矿层 | 18.418                            | 15.554                            | 38.367                            |
| TYP-7     | 含细黄铁矿网脉结核粉砂岩            | 桃园底板 | 18.267                            | 15.537                            | 38.288                            |

样品由中国地质科学院地球物理地球化学研究所测定,2003。

#### 4 流体包裹体温度的二元结构特征

上部层状块状矿石中的包裹体普遍少而小,分布不均匀,以气液两相包裹体为主,存在无爆裂温度的胶黄铁矿、变胶黄铁矿和硬石膏等共生沉积矿物。然而,下部浸染状-网脉状矿体的透明矿物中通常有大量包裹体存在。冬瓜山上部层状块状矿石主要矿物的流体包裹体平均温度为 159.8°C<sup>[2]</sup>,冬瓜山下部浸染状-网脉状矿化砂岩石英脉石英流体包裹体温度范围为 272.7°C ~ 379.3°C,平均温度为 307.1°C。小铜官山上部层状黄铁矿矿石中石英流体包裹体温度为 183.2°C。新桥层状黄铁矿矿石中石英流体包裹体温度范围为 238.0°C ~ 244.5°C,平均温度为 241.6°C。因此,从下部浸染状-网脉状矿化砂岩到上部层状块状硫化物矿石,流体包裹体温度逐渐降低,为 307.1°C → 241.6°C → 159.8°C。这种垂向上的温度变化特点,与该区块状硫化物矿床的双层结构和矿石(矿化)的垂直分带特征相一致。

#### 5 结 论

1) 与块状硫化物矿床的双层结构相对应,从下部浸染状-脉状矿化岩石到上部层状(岩)矿石,

CaO、MgO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、Cu、Au、As 等含量逐渐增高,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O 等含量逐渐降低,岩石化学成分与微量元素含量呈现出明显的垂向变化和二元结构特点。

2) 从下部浸染状-脉状矿化岩石到上部层状(岩)矿石,流体包裹体温度从 307.1°C → 159.8°C 逐渐降低,具有下部相对温度较高、上部温度明显较低的“二元结构”特点,与块状硫化物喷流沉积成矿流体的运移、迁移、成矿过程相吻合。

3) 从下部浸染状-脉状矿化岩石到上部层状(岩)矿石,重晶石  $\delta^{34}\text{S}$  值总体呈现出逐渐降低的趋势。重晶石的大量分布和  $\delta^{34}\text{S}$  值垂向变化,反映该区块状硫化物矿床的海底喷流沉积成因和海底海水硫的逐步参与。

4) 从下部浸染状-脉状矿化岩石到上部层状(岩)矿石, $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{30}\text{Si}$  逐渐增高,呈现出明显的垂向变化,反映了下部岩浆水与上部海水的二元混合自下而上逐渐增强的趋势。

5) 黄铁矿的铅同位素从下部浸染状-脉状矿化岩石到上部层状(岩)矿石, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $\text{Pb}^{208}/^{204}\text{Pb}$  平均值逐渐增高,表明下部幔源为主的物质与上部海底壳源物质的二元混合自下而上逐渐增强,呈现出以幔源为主的幔壳混合二“源”

结构特征。

6) 铜陵矿集区含金铜-硫-铁块状硫化物矿床的地质地球化学垂向变化规律和二元结构性,构成了块状硫化物矿床的成矿、找矿与勘探的重要标志,值得进一步系统归纳与总结。

[参考文献]

- [1] 顾连兴,徐克勤.论长江中下游中石炭世海底块状硫化物矿床[J].地质学报,1986,(2):176~188.  
[2] 刘裕庆,刘兆廉.铜陵地区冬瓜山铜矿的稳定同位素研究[J].

地质科学院矿床地质研究所刊,1984,(1):70~101.

- [3] 储国正,黄许陈.安徽铜陵地区成矿规律研究[J].地质与勘探,1993,29(2):1~6.  
[4] 吕俊武,夏元法.天马山硫金矿床金的赋存状态及分布规律[J].地质与勘探,2001,(3):29~31.  
[5] 侯增谦,浦边郎.古代与现代海底黑矿型块状硫化物矿床矿石地球化学比较研究[J].地球化学,1996,25(3):228~241.  
[6] Kase K M. Ore mineralogy and sulfur isotope study of the massive sulfide deposit of Filon Norte, tharsis Min, Spain, Mineral Deposita[J]. 1996,25(3):11~24.

## TWO - MEMBER TEXTURE OF MASSIVE SULFIDE DEPOSITS AT THE TONGLING MINERALIZED REGION IN ANHUI PROVINCE, CHINA

LI Hong - yang<sup>1</sup>, LI Ying - jie<sup>1</sup>, YANG Qiu - rong<sup>1</sup>, HOU Zeng - qian<sup>2</sup>, YANG Zhu - sen<sup>2</sup>, MENG Yi - feng<sup>2</sup>

(1. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031;

2. Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

**Abstract:** Au - bearing Cu - S - Fe massive sulfide deposits at the Tongling mineralized region are characterized by a geological - geochemical "two - member texture". To coincide with the two - member texture of the deposits, contents of CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Cu, Au and As, and isotope of  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{30}\text{Si}$  and Pb increase progressively, from the lower disseminated - veinlet mineralized rocks to the upper stratiform ore beds, with the measured temperatures (from 307.1°C to 159.0°C) of fluid inclusions and  $\delta^{34}\text{S}$  decreasing gradually. The geological - geochemical two - member texture features may be served as important indicators for searching and prospecting the massive sulfide deposits.

**Key words:** massive sulfide deposits, two - member texture, indicators for prospecting, Tongling mineralized area

## “十五”新增黄金储量两千三百吨 我国成为世界第四黄金大国

据国土资源报报道:我国已经稳居世界黄金第四大国的地位。“十五”期间,我国累计产金 1008t,累计新增金矿资源储量 2300t 左右,其中武警黄金部队新增资源储量 370 多吨。

国家发改委副主任在日前召开的全国黄金工作会议上透露,“十五”期间 1008t 的产量,占新中国成立以来累计产金 2950t 的 34%,与“九五”同比增长 25%,黄金年产量居世界第四位。黄金行业实现利润 126 亿元,同比增长 80%,创历史最好水平。黄金经济运行质量和产业集中度也有较大提高,一批大公司成为我国黄金行业的主导力量。五年累计新增金矿资源储量 2300t 左右,其中武警黄金部队新

增资源储量 370 多吨,发挥了黄金地质勘探主力军作用。

张国宝指出,“十一五”期间,我国黄金矿业开发模式将向集约开发、以资源和资产为纽带组建大型矿业集团转变。在资源利用方式上向综合开发利用各类资源和低消耗、低排放转变,并将以企业为主体进行自主创新。黄金矿产资源勘查开发引资,也将从过去主要依靠对外借贷和外国直接投资,向利用国际矿业资本市场转变,从单纯注重引资,向引进资金、技术、现代化管理和优秀人才并重的方向转变。