

# 冀东高板河锌、硫铁矿矿床 中的微生物席与矿床成因

夏学惠

(化工部地质研究院, 涿州)

**提 要:** 冀东高板河锌、硫铁矿矿床容矿岩石具有热水沉积岩的地球化学特点。而沿特定层位、一定的岩性分布的层状矿体, 也证明该矿床具有热水沉积成因。作者在近年的工作中, 于高板河矿床的硫铁矿层中, 发现呈席状产出的黄铁矿细菌。丰富多彩的生物结构从一个侧面证实了该矿床中存在生物成矿作用。因此, 高板河锌、硫铁矿床是海底热水沉积和微生物成矿双重作用的结果。

**主题词:** 热水沉积 微生物席 锌、硫铁矿矿床 冀东高板河

冀东高板河层状锌、硫铁矿矿床赋存于中元古界长城系高于庄组含锰碳酸盐岩与含锰泥页岩内。本文通过容矿岩石与矿层内大量席状微生物的研究, 探讨了矿床成因。

## 1 矿床地质构造背景

矿床位于华北地台北缘, 燕辽成矿带内。含矿建造的分布明显受东西向深断裂控制。在区域上, 含矿建造与元古宙沉积物展布的方向一致。北面有赤城-太平庄深断裂, 南面为马兰峪-山海关古隆起。含矿岩系受东西元古宙燕辽裂陷槽控制<sup>[1]</sup>。该裂陷槽内沉积了一套厚度巨大的元古宙沉积岩, 高板河矿床赋存于其中的高于庄组内。

## 2 容矿岩石化学组成反映的热水沉积特征

高板河硫铁矿床呈层状产出在中元古界高于庄组沉积岩系内, 矿层与围岩呈过渡关系(图 1)。容矿岩石主要为含锰白云岩、碳质白云岩、硅质白云岩、硅质泥岩、含锰碳质页岩、硅质条带白云岩等。

通过对容矿岩石化学成分的分析(表 1)可以看出, 容矿岩石主要特征均与 Bostrom<sup>[6]</sup>等提出的现代热水沉积物与古代热水沉积岩的指标一致。即容矿岩石的  $Fe/Ti$ ,  $(Fe+Mn)/Ti$  比值均大于 20,  $Al/(Al+Fe+Mn)$  比值均小于 0.35。反映本区容矿岩石符合热水沉积特征, 而与本区正常沉积岩明显不同(见表 1)。

夏学惠, 男, 40 岁, 工程师, 从事硫矿床地质及成因矿物学研究。邮政编码: 072754

1995-2-27 收稿, 1995-6-10 修改回

容矿岩石中普遍含有较高的有机碳(表1),含量变化在0.68%~1.57%,平均1.24%。一般认为有机碳含量反映了有机质的含量<sup>[2]</sup>。据傅家模研究认为在成岩过程中有机质损失约80%<sup>[3]</sup>。据此推测,含矿岩石形成时有机质含量是相当高的。这种有机质无疑来源于低等生物,而容矿岩石与硫化物矿石中发现大量细球菌类矿化,说明微生物是形成容矿岩石中有机质的主要来源。

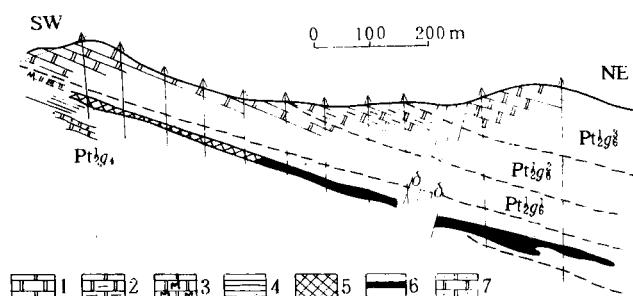


图1 高板河矿床15勘探线剖面图

(据河北地质五队资料修改)

1—板状白云岩; 2—结核白云岩; 3—含锰白云岩; 4—含锰碳质页岩;  
5—锌矿体; 6—硫铁矿体; 7—硅质条带白云岩

Fig. 1. Geological section along No. 15 exploration line of the Gaobanhe zinc-pyrite deposit.

1—Slaty dolomite; 2—Nodular dolomite; 3—Mangandolomite; 4—Manganian carbonaceous shale; 5—Zinc orebody; 6—Pyrite orebody; 7—Siliceous banded dolomite.

表1 容矿岩石化学成分(%)

Table 1. Chemical composition of host rocks (in percentage)

| 岩石类型                           | 含锰碳质页岩<br>(1) | 硅质页岩<br>(1) | 碳质白云岩<br>(2) | 硅质白云岩<br>(2) | 条带内硅质岩<br>(1) | 正常白云岩<br>(4) |
|--------------------------------|---------------|-------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 69.15         | 68.34       | 6.37         | 37.78        | 89.33         | 8.26         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.06          | 5.65        | 1.25         | 2.62         | 1.77          | 1.35         |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.12          | 0.27        | 0.04         | 0.06         | 0.14          | 0.11         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.98          | 6.64        | 2.17         | 1.42         | 1.35          | 0.11         |
| FeO                            | 1.69          | 5.16        | 3.46         | 2.66         | 1.85          | 0.77         |
| MnO                            | 1.47          | 0.79        | 1.35         | 0.99         | 0.59          | 0.06         |
| MgO                            | 7.26          | 2.54        | 17.19        | 18.95        | 1.10          | 19.06        |
| CaO                            | 9.25          | 4.07        | 37.68        | 26.79        | 3.25          | 27.27        |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.74          | 0.11        | 0.12         | 0.25         | 0.09          | 0.14         |
| K <sub>2</sub> O               | 0.95          | 3.91        | 0.21         | 0.93         | 0.68          | 0.21         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.50          | 0.29        | 0.30         | 0.26         | 0.17          | 0.02         |
| C <sub>有机</sub>                | 1.57          | 1.47        | 1.34         | 0.68         | 1.12          | 0.12         |
| Fe/Ti                          | 38.92         | 43.70       | 140.75       | 68.00        | 22.90         | 8.00         |
| (Fe+Mn)/Ti                     | 51.17         | 46.62       | 174.50       | 84.50        | 27.07         | 8.55         |
| Al/(Al+Fe+Mn)                  | 0.33          | 0.31        | 0.15         | 0.34         | 0.32          | 0.59         |

注: 化学分析由化工地质实验测试中心完成; 括号内为样品数

对容矿岩石硅质白云岩内的硅质条带和含锰碳质页岩稀土元素分析结果表明<sup>①</sup>, 它们的稀土总量低, 变化在 $9.53 \times 10^{-6} \sim 100.14 \times 10^{-6}$ 。条带内硅质岩与黄铁矿矿石稀土元素配分模式基本一致(图2)。其中硅质岩和矿石稀土总量很低且接近,  $\Sigma \text{REE} = 9.53 \times 10^{-6} \sim 11.54 \times 10^{-6}$ 。含锰碳质页岩  $\Sigma \text{REE} = 100.14 \times 10^{-6}$ 。岩石轻稀土元素含量大于重稀土元素含量,

① 稀土元素分析由国家地质测试中心伍新宇完成

LREE/HREE 变化在 3.03~6.97, 为轻稀土富集型。除含锰碳质页岩  $\delta\text{Eu}$  值接近 1 外, 余者 Eu 具有显著正异常,  $\delta\text{Eu}=2.9\sim 3.12$ 。容矿岩石具有强烈 Ce 亏损, 在球粒陨石标准化图 2 上, 铈处为明显谷状,  $\delta\text{Ce}=0.34\sim 0.69$ 。容矿岩(矿)石稀土元素特征与 Michard<sup>[7]</sup>等指出的古代热水沉积岩和现代热水沉积物稀土元素的稀土总量低、轻稀土含量大于重稀土、Eu 正异常与 Ce 亏损特征是一致的。

矿石中黄铁矿 Co/Ni 值多数小于 1, 少部分等于 1。Se 含量变化大, S/Se 比值变化在 17448~306476 间, 纹层中黄铁矿 Se 含量较高,  $\text{Se}=7.7\times 10^{-6}$ , 明显比海相沉积中形成的黄铁矿高得多。Se 含量如此高是海底深部热水活动的又一佐证。

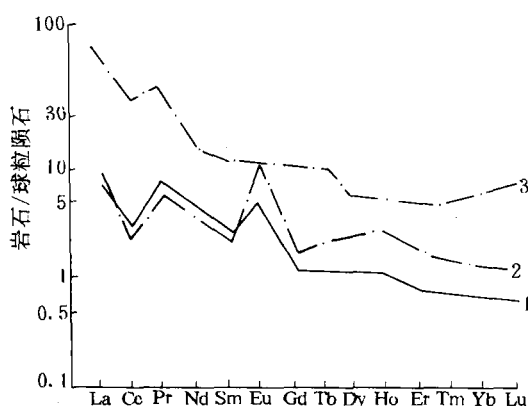


图 2 容矿岩石稀土元素标准化模式

1—矿石; 2—硅质条带; 3—含锰碳质页岩

Fig. 2. Chondrite-normalized REE patterns of host rocks.

1—Ore; 2—Siliceous stripe; 3—Manganian carbonaceous shale.

### 3 成矿温度盐度反映热水沉积证据

据冯钟燕等采用爆裂法测温<sup>[4]</sup>, 本区硫化物矿床中黄铁矿温度为 296~330 °C。闪锌矿包裹体成分分析,  $\text{Ca}^{2+}=0.616\text{ mg}/10\text{g}$ 、 $\text{Na}^{+}=0.22\text{ mg}/10\text{g}$ 、 $\text{Mg}^{2+}=0.105\text{ mg}/10\text{g}$ 、 $\text{K}^{+}=0.016\text{ mg}/10\text{g}$ 、 $\text{F}^{-}=0.31\text{ mg}/10\text{g}$ 、 $\text{Cl}^{-}=0.18\text{ mg}/10\text{g}$ 、 $\text{H}_2\text{O}=3\text{ mg}/10\text{g}$ 。包裹体溶液的离子百分含量相对丰度为:  $\text{Ca}^{2+}>\text{F}^{-}>\text{Na}^{+}>\text{Cl}^{-}>\text{Mg}^{2+}$ 。这种富  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{F}^{-}$ 、 $\text{Na}^{+}$  的特点与正常海相沉积不一致。包裹体成分  $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}$  值是判别流体性质的有效指标<sup>[5]</sup>, 岩浆热液包裹体成分  $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}$  比值一般小于 1, 而沉积或地下热卤水有关的矿床包裹体成分  $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}$  比值较高。高板河矿床包裹体成分  $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}$  比值很高,  $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}=13.75$ 。据流体包裹体成分计算近似总盐度为 29 wt% NaCl。这种高盐度卤水型流体与现代红海热卤水类似。硫化物中包裹体内  $\text{F}^{-}$  含量高达 0.31, 反映成矿流体具有深源特点。由此推测硫化物主要形成于热水环境中。

### 4 呈席状分布的矿化细菌反映的微生物成矿证据

黄铁矿细球菌呈席状产出在硫铁矿层夹层内的碳质页岩中(照片 1)。将矿石垂直层理切片, 可见黄铁矿细球菌呈多层纹层状(照片 1), 层纹一般宽 1.20 mm。在每个纹层中黄铁矿细球菌紧密排列, 在层与层之间象蓆子一样分布。将蓆状黄铁矿球菌放大, 个体主要呈环状(照片 2)。根据不同纹层中细菌形态特征, 可将微球粒分为四种类型: ① 具包裹体黄铁矿细球菌(照片 3), 黄铁矿交代细胞壁膜, 切面呈近于一致的圆形。② 黄铁矿菌胶团(照片 4), 由许多细菌细胞融合在一起, 呈胶团状, 它们均已黄铁矿化。③ 黄铁矿杆菌, 杆菌围绕某一质点生长(照片 5), 它们均已黄铁矿化。④ 黄铁矿草莓(照片 6), 莓群大小近等, 成群集中。

莓粒个体由黄铁矿微粒构成。其中包囊体细球菌和菌胶团在一层内产出,黄铁矿杆菌与黄铁矿莓群均单独呈层状分布。通过大量光片观测未见三种细菌相互在一起的现象。从上述大量不同微生物呈带状分布在含矿层内的事实表明,成矿过程中微生物参与了作用。

## 5 硫同位素组成提供的成矿信息

收集长春地质学院、河北地质五队<sup>①</sup>做的矿床硫同位素数据做直方图3。由图3可以看出, $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较大,变化区间在 $-13.0\text{‰} \sim +27.1\text{‰}$ ,在直方图上出现四个塔式峰值,反映矿床硫源既有生物成因硫,又有深源硫。而在深部热水与海水交换过程中又产生硫酸盐硫。在微生物参与下,海盆中硫酸盐的还原作用进行得很快,硫酸盐在细菌还原作用下产生大量 $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{H}_2\text{S}$ 与热水带来的Fe、Zn等作用形成硫化物矿化。本区硫同位素既有高度富集轻同位素 $^{32}\text{S}$ 的硫化物,又有高度富集重同位素 $^{34}\text{S}$ 的硫化物。硫同位素的这种变化正是那些在沉积条件有变化的环境中由细菌作用形成的硫化物的特点。

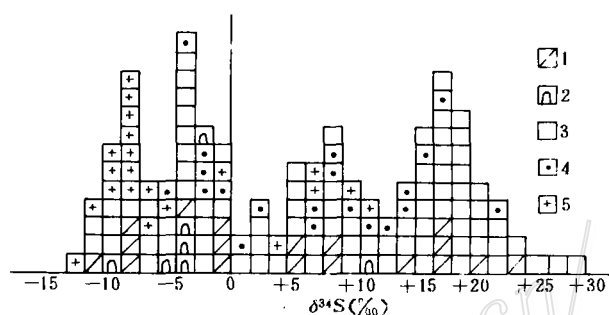


图3 硫同位素组成直方图

1—纹层状黄铁矿; 2—藻黄铁矿; 3—粗粒与脉状黄铁矿; 4—闪锌矿; 5—方铅矿

Fig. 3. Histogram of sulfur isotope composition of the Gaobanhe zinc-pyrite deposit.

1—Laminated pyrite; 2—Algal pyrite; 3—Coarse-grained and veined pyrite; 4—Sphalerite; 5—Galena.

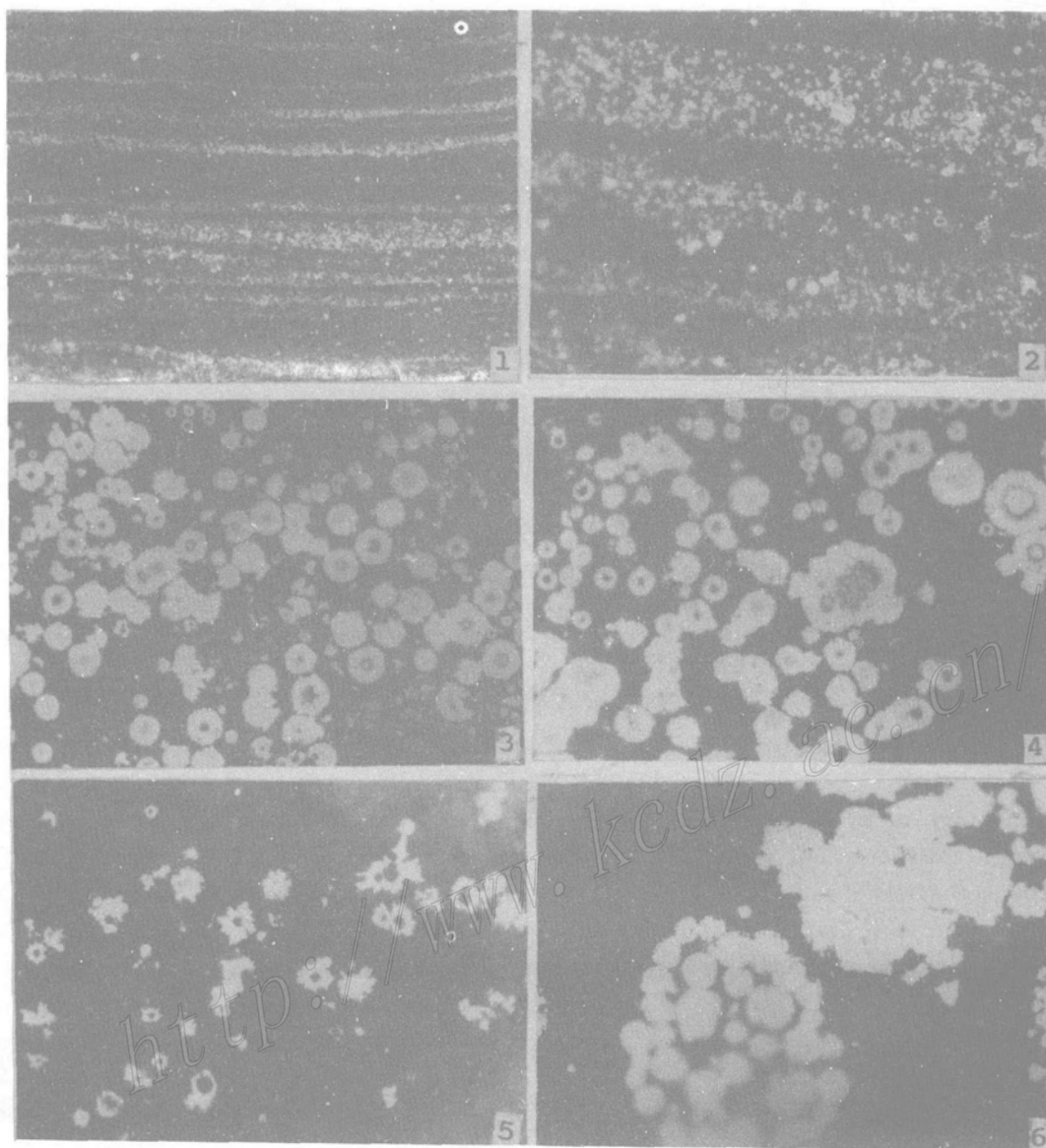
## 6 矿床成因探讨

通过前述几方面的研究可知,冀东高板河锌、硫铁矿矿床既有海底热水沉积作用又具有微生物成矿特征。热水喷流与微生物成矿二者在本区内较明显结合在一起。笔者认为高板河硫化物矿床的形成,主要是因为海底热水沿同生断裂喷溢进入沉积盆地。海底热水交换作用,为微生物活动提供了良好环境,这种环境使嗜热细菌大量繁殖与聚集,在沉积物表面形成了微生物席。这种微生物席又起了吸取、吸附、聚集、还原成矿元素的作用。这种热传递和微生物匹配进一步使盆地环境向有利于形成层状硫化物矿床的方向演化。

海底热水喷流带来的大量Pb、Zn、Fe等金属元素,在微生物的浓集下,金属离子浓度大大提高。由于生物的代谢作用,使沉积环境改变。在厌氧海相沉积物中,细菌将硫酸盐还原为 $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{H}_2\text{S}$ 进一步与 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 等离子反应形成硫化物沉淀。

在成岩过程中,微生物有机组分的分解与转化又可形成 $\text{CO}_2$ 、 $\text{HS}^-$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 和

① 赵东甫等, 1985, 河北省高板河一带黄铁矿(锌)矿床地质特征、成因、成矿规律及找矿(研究报告)



照片说明

1. 黄铁矿细球菌 (白色) 呈席状产出在页岩中, 光片  $\times 50$
2. 黄铁矿细球菌纹层放大, 球菌个体呈环状 (白色), 光片  $\times 100$
3. 具包裹体的黄铁矿细球菌 (白色), 光片  $\times 500$
4. 黄铁矿菌胶团 (白色), 光片  $\times 500$
5. 黄铁矿杆状菌 (白色), 光片  $\times 500$
6. 黄铁矿草莓 (白色), 光片  $\times 100$

大量残余有机质。这些组分对硫化物矿化与进一步富集起了重要作用。含矿建造与矿石内保留的大量黄铁矿微生物组构与高含量的有机质, 是成岩过程中  $\text{HS}^-$  进一步交代微生物遗体的具体证据。由此可见高板河硫铁矿床的形成具有海底热水沉积作用与微生物成矿的双重特

点,是二者共同作用的结果。是海底热水活动——生物成矿这一成矿作用的具体再现。

### 参 考 文 献

- 1 王东方. 中朝古地块元古宙构造地层的某些问题. 地层学杂志, 1986, 10 (1): 41~48
- 2 I D Saxby. 有机质在矿床成因中的重要意义. 层控矿床和层状矿床, 第二卷. 北京: 地质出版社, 1980, 89~101
- 3 傅家模等. 有机质演化与沉积矿床成因 (II) ——煤成烃类与层控矿床. 沉积学报, 1983, 1 (4): 15~27
- 4 冯钟燕等. 冀东兴隆一条层状黄铁矿-铅锌矿床地质特征及其成因. 矿床地质, 1985, 4 (3): 1~6
- 5 卢焕章等. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990, 153~162
- 6 Bostrom K. Genesis of ferromanganese deposits—diagnostic criteria for recent and old deposits. In: Rona P A, ed. Hydrothermal Processes at seafloor centers. New York: Plenum Press, 1983
- 7 Michard A. The REE content of some hydrothermal fluids. Chem. Geol., 1986, 55: 51~60

## MICROBIAL MATS IN THE GAOBANHE ZINC-PYRITE DEPOSIT, EASTERN HEBEI, AND THE GENESIS OF THE DEPOSIT

Xia Xuehui

(Geological Institute for Chemical Mineral, Ministry of Chemical Industry, Zhuozhou 072754)

**Key words:** hot-water deposit, microbial mat, zinc-pyrite dpeosit, Gaobanhe of eastern Hebei

### Abstract

The Gaobanhe ore deposit is a well-known zinc-pyrite dpeosit on the northern margin of the North China platform and within the Yanliao metallogenic belt, and the host rocks are sedimentary rocks of Proterozoic Gaoyuzhuang Formation, consisting of manganiferous dolomite, carbonaceous dolomite, siliceous dolomite, siliceous mudstone, manganiferous carbonaceous shale and siliceous banded dolomite. Orebodies layered in form occur along the strata and exhibit gradual relationship with wall rocks.

Detailed chemical analyses show that host rocks are characterized by  $Fe/Ti$  and  $(Fe + Mn)/Ti > 20$ ,  $Al/(Al + Fe + Mn) < 0.35$ , and high content of organic carbon, thus exhibiting chemical properties of hot-water sedimentary rocks. Main host rocks are analogous to ores in such REE geochemical features as low  $\Sigma REE$ , high  $LREE/HREE$ , positive Eu anomalies and negative Ce anomalies, also quite similar to characteristics of hot water sedimentary rocks. As for pyrite,  $Co/Ni$  ratios are mostly lower than 1,  $S/Se$  ratios are in the range of 17448~306476, and decrepitation temperatures are 296~330 °C.  $Na^+/K^+$  of fluid inclusions in sphalerite is as high as 13.75. Fluid salinity calculated from fluid inclusion composition is 29 wt% NaCl. These data demonstrate that the ore deposit is of hot brine sedimentation origin.

Quite a lot of microbial textures were found in ores of stratiform orebodies. Pyrite cocci in the form of mats are distributed in the intercalations of ore beds —— carbonaceous shale. These pyrite microspherolites might be grouped into four types: Pyrite cocci with wrapped saccate bodies; micelles of pyrite bacteria; pyrite bacilli; pyrite strawberries. It is concluded that the Gaobanhe ore deposit is characterized by dual origin of seawater spouting and biogenic mineralization.