

# 中条地区胡家峪—篦子沟型铜矿床 稀土元素地球化学特征

李兆龙 陈爱民

李继英

(天津地质研究院)

(山西冶金地质勘探公司)

胡家峪—篦子沟型铜矿床是中条山地区具重要意义的铜矿类型之一。矿床以严格受地层控制、品位高、并伴生钴、金为特点,引起许多地质学家对此类矿床的重视。随着地质工作的深入和发展,对该类型矿床的认识也不断加深,先后提出过岩浆热液、变质热液、沉积变质及火山—沉积变质等成因观点。本文仅就中条山地区胡家峪,篦子沟铜矿带稀土元素地球化学特征进行阐述,以期对该区矿床成因提供信息。

## 一、矿床地质

胡家峪、篦子沟铜矿呈带状分布于中条山北段。工业矿床主要分布在胡家峪—上玉坡背斜的东翼及南部倾伏端。篦子沟矿床规模最大,胡家峪次之。矿区地层主要为中元古界中条群,自下至上为:界牌梁组石英岩、龙峪组板岩、余元下组大理岩、篦子沟组片岩和余家山组大理岩。

铜矿床主要赋存在篦子沟组及篦子沟组上下相邻两组过渡带上。篦子沟组以片岩为主,夹大理岩和火山凝灰岩薄层。主要有方柱石黑云片岩、条带状斜长角闪岩、石榴石云母片岩不纯白云石大理岩、黑色片岩、方柱石不纯大理岩、钠长浅粒岩、层凝灰岩等。硅化大理岩、黑板岩、钠长浅粒岩、层凝灰岩为主要含矿岩石。余元下组由白云石大理岩夹黑色片岩组成。余家山组主要有白云石大理岩,含叠层石。

矿体呈层状、似层状、透镜状,严格受地层层位控制。由于矿区经受了中级区域变质作用(绿帘角闪岩相),不仅岩石遭受变质,而且在变质作用过程中成矿物质活化迁移富集,使矿体在褶皱轴部变厚变富,并具有多种矿化类型,计有条带型矿化、细脉浸染型矿化、脉型矿化等。矿石的金属矿物组成比较简单,主要有黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、变胶状黄铁矿等,其次有闪锌矿、磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿及辉钴矿、硫钴矿、钴镍黄铁矿等。次生矿物有斑铜矿、辉铜矿、孔雀石。

矿床蚀变主要有钠长石化、硅化、碳酸盐化、黑云母化和绿泥石化。蚀变作用主要是原岩组分的局部迁移和改组,与区域变质矿物间有因袭关系。蚀变强度与矿化作用有关。

## 二、稀土元素地球化学特征

为了对比性研究,按地区、岩组、岩石类型和矿化类型采集了样品。样品的地质特征及化学成分特征如表 1 所示。REE 分析由地矿部岩矿测试技术研究所用等离子体光谱法完成,稀土元素含量及参数列于表 2。

### 1、大理岩的稀土元素地球化学特征

位于含矿层上下的余元下组白云石大理岩及余家山组白云石大理岩和大理岩,  $La/Yb$  没有显著差异,为 8.39—19.19, 平均为 13.75。两组岩石稀土元素总量有所差别,余元下组大理岩  $\Sigma REE$  平均为 26.91 ppm, 余家山组大理岩  $\Sigma REE$  平均为 42.84 ppm, 后者为前者的 1.59 倍。

两组岩石球粒陨石标准化 REE 分配模式极为相似(图 1), 均以轻稀土富集和 Eu 的微量亏损为特征。与澳大利亚坎宁盆地中石炭纪灰岩<sup>[1]</sup>比较, 中条群大理岩较坎宁盆地灰岩具有较高的稀土元素总量, 较弱的 Eu 亏损。前者  $La/Yb$  比值范围为 8.39—9.27, 平均为 7.64; 而坎宁盆地灰岩,  $La/Yb = 9.0$ ,  $\Sigma LREE / \Sigma HREE = 6.2$ 。显然, 中条群大理岩含轻稀土相对较高, 指示出两者物源和形成环境上的差别。

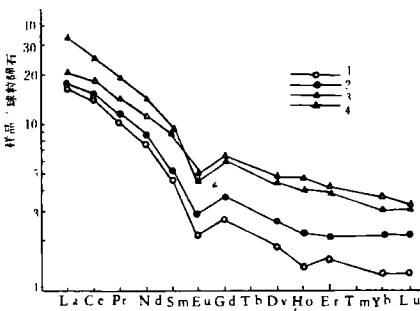


图 1 中条地区白云石大理岩稀土元素球粒陨石标准化分配模式

1. 余元下组白云石大理岩; 2. 余元下组灰色白云石大理岩;  
3. 余家山组灰色白云石大理岩; 4. 余家山组灰色大理岩

前人对一些岩石和矿物中  $Sm/Nd$  比值进行了系统研究, 不同成因类型岩石具不同的  $Sm/Nd$  比值, 沉积岩的  $Sm/Nd$  比值域为 0.142 ~ 0.217, 中条群大理岩无例外的落于此范围中, 表示它们为正常海相沉积岩。

不同时代沉积岩中稀土元素绝对丰度研究发现, 对同时代的同种岩石而言, 其稀土总量随着岩石形成时代的变新而逐渐增加<sup>[1]</sup>。中条群上下大理岩亦显示出相同趋势。中条群大理岩平均 REE 图式与内蒙中部元古代大理岩及澳大利亚元古代沉积岩相比十分相似(表 3), 而与太古代沉积岩则有较大差别, 太古代沉积图式平缓<sup>[2]</sup>, 不显 Eu 亏损, LREE 富集程度低。

### 2、矿化大理岩及矿化白云石脉稀土元素地球化学特征

篦子沟组大理岩由于矿物组成上的差别, 在岩性上显示出多样性, 计有白云石大理岩, 泥质白云石大理岩、黑云母石英白云石大理岩和钠长石英白云石大理岩, 凝灰质白云石大理岩等。后者为矿区主要含矿岩石。

篦子沟矿区矿化钠长石英白云石大理岩和矿化白云石脉的  $\Sigma LREE / \Sigma HREE$  比值和  $La/Yb$  比值分别为 2.00、2.40 和 1.08、0.86, 表明它们的轻重稀土元素间无明显分异, 稀土分配模式均属平坦型(表 2, 图 2)。矿化白云石大理岩有 Eu 亏损,  $Eu/Eu^*$  为 0.48。

胡家峪矿区钠长石英白云石大理岩和层凝灰质白云石大理岩较篦子沟矿区有较高的钠

表 1

岩石化学成分表

| 序号 | 样品号    | 岩 石 名 称       | 时代   | 采样地点 | 分 析 结 果 ( % )    |                  |                                |                                |                   |      |       |       |                  |                   |                               |                 |                               | 总 计    |
|----|--------|---------------|------|------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|------|-------|-------|------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|--------|
|    |        |               |      |      | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO               | MnO  | MgO   | CaO   | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> |        |
| 1  | 84Z-1  | 白云石大理岩        | 余元下组 | 马家窑  | 9.90             | 0.07             | 1.05                           | 0.16                           | 1.30              | 0.14 | 19.58 | 25.94 | 0.36             | 0.18              | 0.03                          | 40.81           | 0.32                          | 99.84  |
| 2  | 84Z-11 | 灰色白云石大理岩      | "    | 马铺沟东 | 12.57            | 0.13             | 2.38                           | 0.04                           | 1.23              | 0.18 | 21.72 | 19.58 | 2.50             | 0.18              | 0.32                          | 37.88           | 0.20                          | 99.01  |
| 3  | 84Z-5  | 灰白色白云石大理岩     | 余家山组 | 冶炼厂  | 22.42            | 0.20             | 3.03                           | 0.08                           | 2.72              | 0.66 | 12.68 | 22.37 | 1.31             | 0.16              | 0.17                          | 32.78           | 0.42                          | 99.00  |
| 4  | 84Z-4  | 灰色大理岩         | "    | 杨家池  | 20.71            | 0.20             | 4.06                           | 0.02                           | 1.17              | 0.06 | 2.80  | 37.61 | 1.22             | 0.28              | 0.13                          | 31.37           | 0.81                          | 100.44 |
| 5  | B-6    | 钠长石英白云石大理岩    | 麓子沟组 | 麓子沟  | 42.51            | 0.40             | 12.31                          | 1.06                           | 2.85              | 0.19 | 6.53  | 11.02 | 0.36             | 6.28              | 0.16                          | 15.56           | 0.20                          | 99.41  |
| 6  | H坑-35  | 层凝灰质白云石大理岩    | "    | 胡家峪  | 45.33            | 0.60             | 13.07                          | 8.31                           | 2.27 <sup>*</sup> | 0.12 | 4.10  | 6.48  | 0.26             | 7.04              | 0.19                          | 9.05            | 0.22                          | 97.04  |
| 7  | B坑-52  | 脉状透闪石、铁白云石铜矿石 | "    | 麓子沟  | 3.15             | 0.02             | 0.47                           | 3.35                           | 5.96              | 0.61 | 14.92 | 27.23 | 0.14             | 0.22              | 0.06                          | 41.45           | 0.21                          | 97.79  |
| 8  | H坑-33  | 脉状铁白云石铜矿石     | "    | 胡家峪  | 4.23             | 0.02             | 0.51                           | 3.97                           | 9.45              | 1.06 | 12.77 | 25.16 | 0.21             | 0.22              | 0.02                          | 39.79           | 0.11                          | 97.53  |
| 9  | B坑-51  | 方柱石黑云母片岩      | "    | 麓子沟  | 50.14            | 1.07             | 15.39                          | 1.02                           | 7.61              | 0.09 | 9.42  | 3.89  | 6.04             | 1.66              | 0.15                          | 0.84            | 2.50                          | 99.82  |
| 10 | 84H-7  | 方柱石黑云母片岩(矿化)  | "    | 胡家峪  | 50.52            | 1.20             | 16.78                          | 1.55                           | 15.36             | 0.13 | 4.38  | 2.07  | 4.40             | 0.80              | 0.10                          | 0.73            | 1.98                          | 100.00 |

注：化学分析由天津地质研究院分析室完成

中条山矿区岩石矿石稀土元素、微量元素含量表 (ppm) 表 2

| 元素<br>及<br>数<br>值 | 84Z-1 | 84Z-11 | 84Z-5 | 84Z-4 | B-6   | H坑-35  | B坑-52 | H坑-33  | B坑-51 | 84H-7  |
|-------------------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|                   | 1     | 2      | 3     | 4     | 5     | 6      | 7     | 8      | 9     | 10     |
| La                | 4.99  | 5.20   | 6.46  | 10.31 | 4.22  | 44.72  | 1.81  | 112.60 | 7.96  | 42.63  |
| Ce                | 11.55 | 12.31  | 14.68 | 20.38 | 8.71  | 85.22  | 4.97  | 227.60 | 17.30 | 89.08  |
| Pr                | 1.28  | 1.22   | 1.72  | 2.32  | 1.06  | 8.99   | 0.75  | 26.65  | 2.22  | 0.67   |
| Nd                | 4.63  | 4.90   | 6.69  | 8.55  | 4.95  | 30.45  | 3.91  | 101.30 | 9.14  | 41.59  |
| Sm                | 0.74  | 0.84   | 1.42  | 1.47  | 1.38  | 5.21   | 1.95  | 21.86  | 2.14  | 8.69   |
| Eu                | 0.16  | 0.21   | 0.36  | 0.34  | 0.33  | 0.57   | 0.75  | 2.12   | 0.69  | 1.96   |
| Gd                | 0.71  | 0.95   | 1.64  | 1.59  | 2.57  | 4.62   | 3.37  | 19.94  | 2.51  | 9.15   |
| Tb                | ∠0.3  | ∠0.3   | ∠0.3  | ∠0.3  | 0.40  | 0.40   | 0.57  | 2.54   | 0.29  | 1.33   |
| Dy                | 0.60  | 0.74   | 1.54  | 1.43  | 2.83  | 3.22   | 3.69  | 12.14  | 2.14  | 8.31   |
| Ho                | ∠0.1  | 0.16   | 0.34  | 0.29  | 0.62  | 0.59   | 0.82  | 1.90   | 0.44  | 1.78   |
| Er                | 0.35  | 0.46   | 0.88  | 0.81  | 1.68  | 1.53   | 1.93  | 4.13   | 1.08  | 4.64   |
| Tm                | ∠0.1  | ∠0.1   | 0.14  | ∠0.1  | 0.28  | 0.15   | 0.33  | 0.42   | 0.15  | 0.67   |
| Yb                | 0.26  | 0.46   | 0.77  | 0.64  | 1.76  | 1.41   | 2.11  | 2.65   | 0.97  | 4.50   |
| Lu                | ∠0.1  | ∠0.1   | ∠0.1  | ∠0.1  | 0.16  | 0.15   | 0.33  | 0.31   | ∠0.1  | 0.55   |
| Y                 | 2.63  | 4.60   | 9.91  | 7.30  | 16.06 | 13.83  | 17.51 | 38.74  | 9.88  | 39.52  |
| Sc                | 0.94  | 1.94   | 2.68  | 2.81  | 9.02  | 5.16   | 10.62 | 16.97  | 25.98 | 42.41  |
| ΣREE              | 25.87 | 27.95  | 37.04 | 48.63 | 30.95 | 187.23 | 27.29 | 536.16 | 47.13 | 225.37 |
| Ce / Ce*          | 1.08  | 1.14   | 1.05  | 0.96  | 0.97  | 0.96   | 1.02  | 0.97   | 0.95  | 0.98   |
| Eu / Eu*          | 0.59  | 0.62   | 0.64  | 0.60  | 0.48  | 0.30   | 0.80  | 0.27   | 0.81  | 0.59   |
| Eu / Sm           | 0.22  | 0.25   | 0.25  | 0.23  | 0.24  | 0.11   | 0.38  | 0.10   | 0.32  | 0.22   |
| Sm / Nd           | 0.16  | 0.17   | 0.21  | 0.17  | 0.28  | 0.17   | 0.50  | 0.22   | 0.23  | 0.21   |
| La / Yb           | 19.19 | 11.30  | 8.39  | 16.11 | 2.40  | 31.72  | 0.86  | 42.49  | 8.21  | 9.47   |
| ΣLREE/ΣHREE       | 9.27  | 7.55   | 5.49  | 8.25  | 2.00  | 14.51  | 1.08  | 11.18  | 5.13  | 6.33   |
| Co                | 4     | 2      | 4     | 3     | 170   | 170    | 70    | 74     | 46    | 80     |
| Ni                | 3     | 2      | 4     | 3     | 11    | 50     | 30    | 56     | 150   | 64     |
| Ga                | 3     | 3      | 4     | 5     | 17    | 22     | 3     | 3      | 14    | 24     |
| Ba                | 27    | 350    | 91    | 150   | 26    | 29     | 23    | 23     | 330   | 620    |
| Sr                | 100   | 60     | 47    | 210   | 41    | 47     | 180   | 150    | 40    | 35     |

注:Ce\*、Eu\* 分别取 La 与 Pr、Sm 与 Gd<sub>1</sub> 的球粒陨石标准化数值, 用内插法求得。

不同地区岩石 REE 参数值对比

表 3

| 地区   | 沉积岩时代            |     | La / Yb | Eu / Eu * | Ce / Ce * | $\frac{\Sigma \text{LREE}}{\Sigma \text{HREE}}$ | $\Sigma \text{REE}$ |
|------|------------------|-----|---------|-----------|-----------|-------------------------------------------------|---------------------|
| 中条山  | 中条群<br>(1700 my) | 大理岩 | 13.75   | 0.57      | 1.03      | 7.64                                            | 34.87               |
| 内蒙 * | 元古代<br>(1500 my) | 大理岩 | 14.5    | 0.90      | 0.86      | 7.14                                            | 38.67               |
|      |                  | 泥质岩 | 17.1    | 0.98      | 0.70      | 10.72                                           | 236.36              |
|      |                  | 砂 岩 | 17.7    | 0.82      | 0.76      | 10.18                                           | 46.46               |
| 澳大利亚 | 晚元古代             | 沉积岩 | 12.72   | 0.68      | 0.93      | 9.24                                            | 172.46              |
|      | 中元古代             |     | 14.88   | 0.65      | 0.92      | 9.91                                            | 162.46              |

\* 刘仁福、汪壁忠, 1984资料

长石含量。钠长石英白云石大理岩钠长石含量为31.5~49.5%；而在篦子沟矿区为23.0~26.1%。胡家峪矿区钠长浅粒岩钠长石含量变化在33.6~82.0%之间，平均为58.4%，表明火山作用较强。胡家峪矿区矿化大理岩和矿脉  $\Sigma \text{REE}$  分别为187.23 ppm和536.16 ppm，

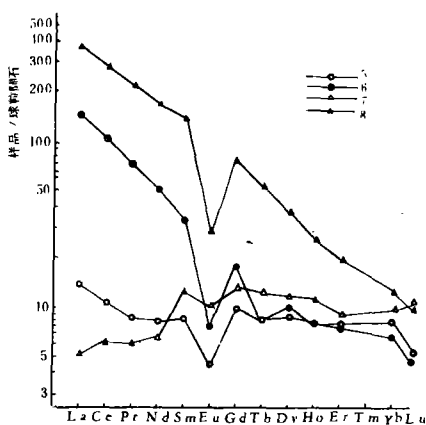


图2 中条山地区篦子沟组岩石、矿石的  
稀土元素分配模式

5. 钠长石英白云石大理岩; 6. 层凝灰质白云石  
大理岩; 7. 脉状透闪石铁白云石铜矿石; 8. 脉状  
钠长石、铁白云石铜矿石

La / Yb 比值分别为31.72 和42.49。因而具轻重稀土强烈分异的陡倾斜分配模式 (图2)。Eu明显亏损, 两者的 Eu / Eu\* 比值分别为 0.30 和 0.27; 且稀土分配模式极为相似。两者的唯一差别是矿化白云石脉具有高的稀土总量。

胡家峪矿区矿化钠长石英白云石大理岩轻稀土富集, Eu 呈负异常受两方面因素制约: 一是继承了陆源物质稀土元素分配特征; 二是与较强的海底火山喷发作用有关。海底喷发使钠质酸性火山物质大量沉积。因为在岩浆岩结晶演化过程中, 随着分异作用的进行, 愈近晚期碱性阶段, 轻稀土元素愈富集, Eu 出现负异常。矿化石英白云石大理岩和钠长石白云石脉稀土元素特征是酸性火山岩和大理岩的综合性特征的反映。

该区矿化钠长石铁白云石脉是矿化钠长石白云石大理岩、层凝灰质白云石大理岩的变质分异产物。它保留了原岩的 REE 分配模式; 另一方面, 由于变质作用产生的富含挥发份的钠长石铁白云石脉, 在弱碱性条件下, 稀土元素形成可溶性碳酸盐络合物  $[\text{TR}(\text{CO}_3)]^{-3}$  转入溶液, 导致脉体中稀土元素总量的增加。

篦子沟矿区矿化白云石大理岩较胡家峪矿区有低得多的稀土总量。将此样品的 REE 含

量用北美页岩稀土元素<sup>1)</sup>为基准进行标准化处理, 显示出 $\Sigma\text{REE}$ 低和 $\Sigma\text{LREE}$ 的相对富集程度(图3)。篦子沟矿化大理岩较胡家峪矿化大理岩重稀土元素明显富集是典型特征。Yu · A · 巴拉肖维<sup>[5]</sup>(1964)对含有机物的沉积碳酸盐进行溶解性试验, 发现当碳酸盐与北美页岩对比时LREE较HREE富集, 而有机质部分则富集重稀土。篦子沟矿区重稀土元素富集, 可能与富含有机炭有关。篦子沟组地层中, 其炭质板岩、炭质千枚岩、炭质钠长石石英大理岩都是含矿岩石。篦子沟矿区铜矿化与生物作用有着密切关系。

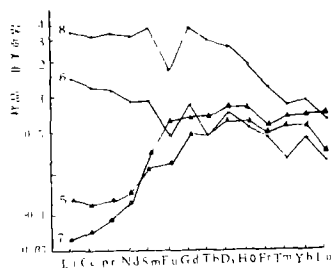


图3 胡—篦铜矿含矿岩石稀土元素标准化图式

- 1. 钠长石石英大理岩
- 2. 钠长石石英大理岩
- 3. 钠长石石英大理岩
- 4. 钠长石石英大理岩

篦子沟矿区含铜透闪石铁白云石脉稀土元素分配模式(图2、图3)可以看出其重稀土丰度高于矿化大理岩。这可能继承了火山物质深部来源特征。另一方面, Sinkova等(1968)指出, 在高温条件下的碳酸盐溶液中重稀土元素较轻稀土元素具有更大溶解性。矿化白云石脉中含有透闪石, 黄铜矿的包体温度295~320℃, 综合矿物组合和测温资料, 推定其变质成矿温度主要在300~450℃。这就使更多的重稀土转入溶液, 导致了含矿碳酸盐脉重稀土较源岩相对富集。

### 3、变中—基性火山岩稀土元素地球化学特征

黑云母片岩、方柱石黑云母片岩在含铜建造底部断续出现, 尤其篦子沟矿区最为发育。岩石主要由绿色黑云母组成, 并有垂直或平行片理发育的方柱石变斑岩。岩石化学研究表明原岩为中—基性(层)凝灰岩<sup>[3]</sup>。

胡家峪、篦子沟矿区方柱石黑云母片岩的稀土总量相差悬殊, 前者为后者的4.8倍。尽管 $\Sigma\text{REE}$ 不同, 但两者的稀土元素分配模式极为相似(图4)。这亦可由胡家峪、篦子沟矿区黑云母片岩的La/Yb比值(分别为9.47和8.21) $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 比值(分别为6.33和5.14)相近来显示。Eu均有轻微亏损。

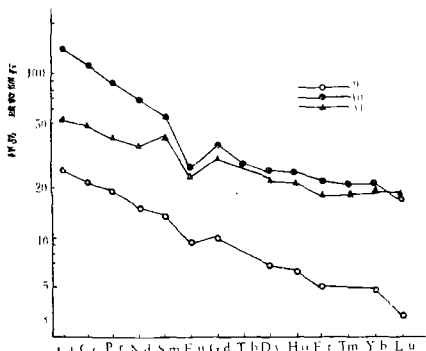


图4 中条地区变中—基性火山岩REE分配模式

1. 钠长石石英大理岩 2. 钠长石石英大理岩

方柱石黑云母片岩REE分配模式与大陆碱性玄武岩REE分配模式相似, 均具有轻稀土元素的中等程度富集。胡家峪矿区篦子沟组下部有一层条带状斜长角闪岩, 石榴石斜长角闪岩, 具片麻状构造, 原岩为基性凝灰熔岩, 其稀土元素分配模式类似方柱石黑云母片岩, 具弱的负Eu异常, 但轻重稀土分异较差, 图式较为平缓(11号样)。

不同构造环境中形成的玄武岩其La:Y:Ce三者的比率明显不同, 板块内部钙碱性玄武岩较洋底低钾拉斑玄武岩具低比率的Y, 高比率的Ce和La

(4)。将该区方柱石黑云母片岩、斜长角闪岩 REE 含量投影在 La—Y—Ce 三角图上,均落在板块内钙碱玄武岩区(图 5)。说明二者是在大陆板块环境下形成的。由该区地质构造特征考虑,可能与岛弧或弧后盆地相当。岩石的 Sm / Nd 比值亦显示出岛弧特征。

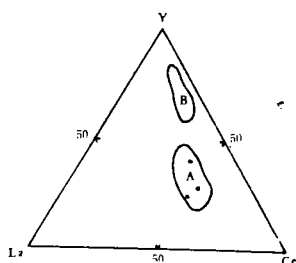


图 5 中条山地区变中—基性火山岩 La—Y—Ce 变异图(据 R. S. Thorpe 1972)

A. 板块内钙碱玄武岩区;  
B. 洋底低钾拉斑玄武岩区

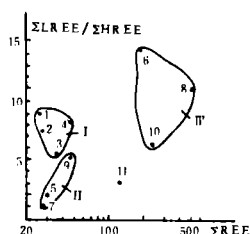


图 6 中条山地区岩石、矿石 ΣLREE/ΣHREE—ΣREE 图

I. 大理岩区; II. 篦子沟矿区分布区  
III. 胡家峪矿区分布区; 序号 1—10  
同表 1, 11. 斜长角闪岩。

胡、篦两矿区方柱石黑云母片岩 ΣREE 含量的差别是火山作用性质的差异引起的。由岩石化学特征得知,篦子沟地区方柱石黑云母片岩含 MgO 偏高, SiO<sub>2</sub> 偏低, 基性程度较高, 深源特征更为明显。成矿作用继承了火山岩系演化的稀土元素特征。

#### 4、中条山地区稀土元素特征对比

以样品的 ΣLREE / ΣHREE 对 ΣREE 作图, 在图上则出现样品按矿区相对集中分区(图 6)。胡家峪矿区的岩石和矿石具有高的 ΣLREE / ΣHREE 比值和高的稀土元素总量, 篦子沟矿区则与此相反。

方柱石黑云母片岩、含矿钠长石石英白云石大理岩、含矿铁白云石脉 REE 分区的一致性, 反映出三者成因的相互关联。它们是受相同地质作用因素制约的。方柱石黑云母片岩是变中—基性火山岩, 含矿钠长石石英白云石大理岩是含酸性层凝灰火山物质的大理岩, 含矿铁白云石脉是凝灰质大理岩的变质分异产物。三者稀土元素特征的一致性, 是受火山作用控制的, 说明成矿物质的主要来源是海底火山喷气作用。

关于胡家峪矿区、篦子沟矿区稀土元素总量上的差别和轻稀土元素富集程度的不同, 主要取决于沉积物来源和火山物质的性质及变质程度。胡家峪矿区火山活动较强, 变质程度较高, 局部出现兰晶石、十字石、柎榴石组合, 普通角闪石、铁铝榴石、斜长石 (An<sub>10-20</sub>) 矿物组合稳定, 属角闪岩相。

余元下组、余家山组大理岩, 样品虽采自不同地点, 但在篦子沟分布区上方相对集中, 成独立分布区。表明大理岩稀土元素地球化学特征相似, 但又不同于矿化白云石大理岩。

篦子沟组下部的斜长角闪岩, 稀土元素分配模式似方柱石黑云母片岩, 但又不落入两区之内, 与成矿无直接联系。

#### 5、稀土元素与某些元素的关系

中条山地区稀土元素与主元素和微量元素的关系, 由图 7 知, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O、

Ni、Co、Ga、Ba 的丰度有随  $\Sigma\text{REE}$  增大而相对增加的趋势。 $\text{CaO} + \text{MgO}$  则有随  $\Sigma\text{REE}$  增大而减少的趋势。Sr 与  $\Sigma\text{REE}$  关系不明显。

该区含矿钠长石英白云石大理岩及矿化白云石脉  $\Sigma\text{REE}$  较高, 碳酸盐岩中则低, 这与岩石的化学成分和矿物组成有关。 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、Ni、Co、Ga、Ba 与海底火山喷气作用有关。大理岩、绢云片岩中有层凝灰质岩、钠长浅粒岩薄层, 变一中基性火山岩的存在, 同样表明该区含矿岩石中 REE 除来源于表生沉积作用外, 而与火山喷气作用的密切关系。层凝

灰质白云石大理岩稀土元素的高丰度是胡家峪、篦子沟型铜矿的找矿标志。 $\text{CaO} + \text{MgO}$  与  $\Sigma\text{REE}$  负相关是沉积碳酸盐含稀土元素低引起的。

### 三、结论

1. 中条山地区中条山群不同层位的大理岩稀土元素具有相似的地球化学特征。与内蒙中部元古代大理岩及澳大利亚元古代沉积岩相比十分相似, 表明 Eu 亏损及稀土元素含量是地质时代的信息。变中—基性火山岩: 方柱石黑云母片岩、斜长角闪岩稀土元素特征与大陆钙碱性玄武岩 REE 特征相似, 中条群含矿层可能是在边缘海盆弱碱性条件下形成的。

2. 含矿岩石显示出比非含矿岩石有更明显的 Eu 负异常和较高的稀土元素含量, 这是含矿岩石特征。胡家峪矿区  $\Sigma\text{REE}$  和  $\Sigma\text{LREE}$  均较篦子沟矿区富集, 表明两矿区成矿作用的差别, 胡

家峪矿区与成矿作用有关的火山活动更强烈、交代作用更明显。

3. 含矿钠长石英白云石脉、含矿铁白云石脉是含矿层凝灰质白云石大理岩、钠长石英白云石大理岩变质分异产物, 一般其稀土元素分配模式继承源岩 REE 特征。由于受变质流体及源岩有机炭含量的影响, 或稀土元素富集, 或使重稀土元素相对富集。

4. 稀土元素地球化学特征表明胡家峪、篦子沟型铜矿物质来源可能与含矿岩石是同源的, 由陆源与海底火山喷气作用提供, 由古老的含矿岩系补给。区域变质作用又使成矿物质活化、迁移、富集。胡家峪、篦子沟型铜矿成矿物质是多来源的火山—沉积变质层控铜矿。

### 参 考 文 献

- ①《中条山铜矿地质》编写组, 1978, 中条山铜矿地质, 地质出版社。
- ②W. B. Nance and S. R. Taylor, 1976, Rare earth element patterns and crustal evolution - I Australian post - Archean sedimentary rocks, Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 40, No. 12.
- ③O. A. Bavinton and S. R. Taylor, 1980, Rare earth element geochemistry of Archean metasedimentary rocks

from Kambalke, western Australia, *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 44, No. 5

(4) R. S. Thorpe 1972. Ocean floor basalt affinity of precambrian glaucophane schist from Anglesey, *Nat. phys. sci.*, 240, pp. 146-166.

(5) Yu. A. Balashov, A. B. Ronov, A. A. Migdisov and N. V. Turanskaya, 1964, The effect of climate and facies environment on the fractionation of the rare Earths during sedimentation, *Geochem.* 5

## REE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF HUJIAYU-BIZIGOU-TYPE COPPER DEPOSITS IN ZHONGTIAO MOUNTAIN AREA, SHANXI PROVINCE

Li Zhaolong    Chen Aimin    Li Jiying

### Abstract

This paper deals with the rare earth element geochemical characteristics of various rocks and ores of Hu-Bi-type copper deposits in Zhongtiao mountain area, including upper and lower marbles, Cu-bearing albite-quartz-dolomitic marbles, Cu-bearing ferrodolomite veins and scapolite-biotite schists.

REE pattern of marble in Yuyanxia formation is similar to that of marble in Yujiashan formation. Both are characterized by slight differentiation between LREE and HREE and trace depletion of Eu.

In Bizigou copper deposits,  $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$  ratios of Cu-bearing albite-quartz-dolomitic marbles and Cu-bearing dolomite veins are 2.0, 2.4 and La/Yb ratios are 1.08, 0.86 respectively. There is no obvious differentiation between LREE and HREE. The  $\Sigma\text{REE}$  values of mineralized tuffaceous marbles and dolomite veins are 183.23 ppm, 536.16 ppm respectively in Hujiayu copper deposit. La/Yb ratios are 31.72 and 42.49, characterized by strong differentiation in LREE and HREE, steep inclined patterns and large negative Eu anomaly.

The REE distribution patterns of scapolite-biotite schists for both copper deposits are similar and also related genetically to the REE features of Cu-bearing albite-quartz-dolomitic marbles and Cu-bearing dolomitic veins. Both are of volcano-sedimentary reworked deposits.