

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

# 中条山早元古代铜矿成矿作用与演化

胡 维 兴    孙 大 中

(中国地质科学院天津地质矿产研究所)

中条山重要铜矿床都产于早元古代活动带中。它们是：绛县群(2500—2300 Ma)下部变质泥质一半泥质岩中的沉积变质铜矿床和中上部变质钾质火山岩建造中的变质火山斑岩铜矿床；中条群(2300—1830 Ma)变质碳酸盐黑色页岩建造中的沉积变质-再造铜矿床。这些原生成因不同的矿床，经过 180 Ma 左右的中条运动及其变质作用，而表现了某些相似的热液和地球化学特征，但没有从根本上改变受原岩建造控制的特点。

山西中条山北段是华北地台前寒武系主要发育地区之一，也是我国重要铜矿产地之一。这里，从太古宙的涑水杂岩到中元古代的西阳河群，几乎在所有的前寒武纪地层中，都发现了不同类型、不同规模的铜矿床或矿化点，但重要铜矿床都产于早元古代活动带中。中条山是一个名副其实的铜地球化学区。

对本区单个铜矿床许多单位已进行了很多研究工作。由原华北地质科学研究所<sup>1)</sup>、山西省地质局二一四队和中条山有色金属公司共同组织，有作者等参加的专题组，于 1972 至 1975 年，曾在此进行了比较系统的研究，并在《中条山铜矿地质》(1978)一书中，对本区主要类型铜矿床特征及区域成矿的基本规律，进行过初步总结<sup>[1]</sup>。这里，根据近年来的一些新资料，再作进一步的探讨。

## 一、地 质 背 景

本区前寒武系自下而上为：太古宙涑水杂岩，早元古代绛县群和中条群，中元古代担山石群和西阳河群(图 1，表 1)。涑水杂岩是华北地台原始古陆壳的一个组成部分，为一套变质较深并经强烈混合岩化的沉积-火山岩系。早元古代绛县群为优地槽相，其早期平头岭组、横岭关组主要为具有复理石韵律特征的泥质一半泥质沉积变质岩系；中晚期铜矿峪组、宋家山组是两套分别以钾质和钠质火山岩为特征的沉积-火山变质岩系。早元古代中条群为冒地槽相，包括界牌梁组、龙峪组、余元下组、篦子沟组和余家山组，总体上是一个碎屑岩—泥质岩—碳酸盐岩的大的海浸层序。但中期篦子沟组则处于一个短暂的海退阶段，形成了颇具特征的陆源-碳酸盐黑色页岩建造。涑水杂岩、绛县群和中条群构成了本区的早前寒武纪基底。中元古代担山石群为浅变质的砾岩及石英岩，西阳河群则主要是钾质的中—基性火山岩。本区前寒武系中，明显的不整合界面存在于中条群与绛县群，

本文 1986 年 1 月收到，3 月改回，季国容编辑。

1) 地质矿产部天津地质矿产研究所前身。

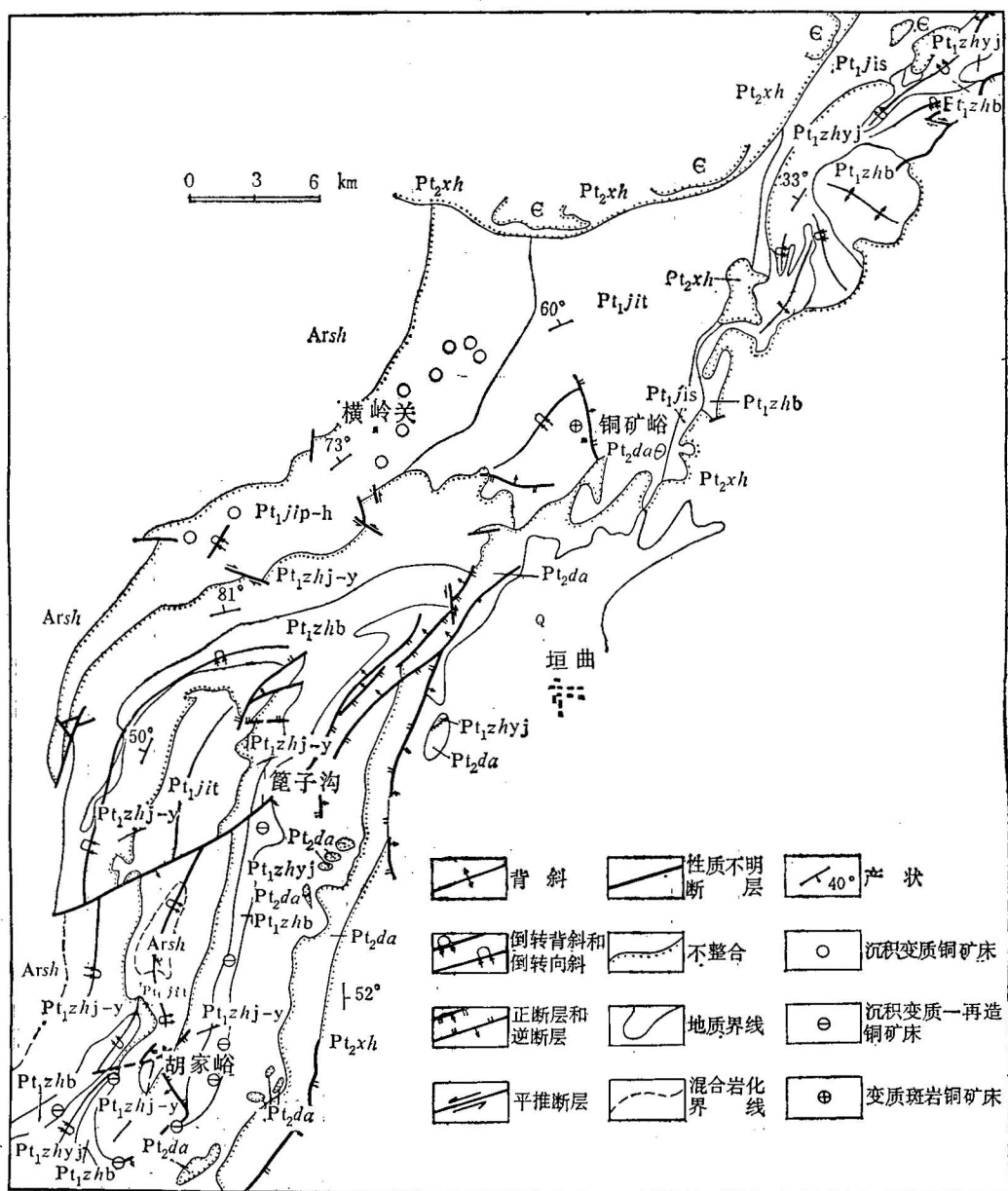


图 1 中条山北段地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the northern sector of the Zhongtiao Mountains

Q 第四系;  $\ominus$  寒武系;  $Pt_1xh$  西阳河群;  $Pt_1da$  担山石群;  $Pt_1zhj$  余家山组;  $Pt_1zhh$  篱子沟组;  $Pt_1zhj-y$  界牌梁组-余元下组;  $Pt_1jis$  宋家山组;  $Pt_1jit$  铜矿峪组;  $Pt_1jip-h$  平头岭组-  
横岭关组;  $Axsh$  洩水杂岩

担山石群与中条群以及西阳河群与担山石群之间。前者相当于五台运动,次者称为中条运动即吕梁运动。至于绛县群与涑水杂岩之间,由于早元古代晚期混合岩化作用的影响,已经模糊了它们之间的界线,目前暂按不整合处理。

表 1 中条山北段前寒武纪地层表

Table 1 Precambrian strata in the northern sector of the Zhongtiao Mountains

| 宇、界  | 系、群              | 组       | 主 要 岩 石 组 成                                | 厚 度<br>(m) | 含铜矿床(化)类型  |
|------|------------------|---------|--------------------------------------------|------------|------------|
| 古生界  | 寒武系              |         | 砾岩、砂岩                                      |            |            |
|      |                  | 西阳河群    | 安山岩夹集块岩、凝灰岩及砂砾岩、页岩和灰岩                      | 1042—>3000 | 火山—气液铜矿化   |
|      |                  | 担山石群    | 变质砾岩、石英岩                                   | 5—>670     |            |
| 中元古界 | 中条群              | 1830 Ma |                                            |            |            |
|      |                  | 余家山组    | 含叠层石的白云石大理岩、含方柱石、夹黑色片岩                     | 370—2000   |            |
|      |                  | 魏子沟组    | 石榴云母片岩、黑色片岩、黑云石英白云石大理岩、钠长浅粒岩夹石英岩、变质砾岩、角闪岩等 | 500—950    | 沉积变质—再造铜矿床 |
|      |                  | 余元下组    | 含叠层石的白云石大理岩、含方柱石、夹黑色片岩                     | 20—1000    |            |
|      |                  | 龙峪组     | 凝灰质砂质板岩、钙质云母片岩、夹大理岩                        | 300        |            |
|      |                  | 界牌梁组    | 变质砾岩、石英岩                                   | 150—200    |            |
|      |                  | 2300 Ma |                                            |            |            |
| 下元古界 | 绛县群              | 宋家山组    | 含叠层石的白云石大理岩、石英岩、绢云母千枚岩、绿片岩                 | >2000      | 沉积火山变质铜矿化  |
|      |                  | ?       |                                            |            |            |
|      |                  | 铜矿峪组    | 变富钾流纹岩、变石英晶屑凝灰岩、黑云片岩、绿泥片岩、绢云石英片岩           | >2000      | 变质火山斑岩铜矿床  |
|      |                  | 横岭关组    | 石墨绢云片岩、云母片岩、铁铝榴石云母片岩、绢云石英片岩、夹角闪岩           | 270—1000   | 沉积变质铜矿床    |
|      |                  | 平头岭组    | 石英岩                                        | 10—89      |            |
| 太古宇  | 2570 Ma—<br>清水杂岩 |         | 混合岩、片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩、石英岩、夹大理岩                 | >10000     | 热液变质铜矿床    |

本区早元古代岩石有多次变质的迹象,但表现明显,对矿床影响最大的,是中条运动所导致的中条期的区域变质作用。

对本区前寒武系同位素年代学的研究,70年代,都是钾-氩法数据<sup>[1]</sup>。1985年,陶铨分别对涑水杂岩(锆石)、绛县群(锆石)和中条群(沥青铀矿和钛铀矿)进行了铀-铅法测定<sup>1)</sup>,其一致年龄分别为  $2568^{+111}_{-82}$  Ma, 2300 Ma 和  $1830^{+34}_{-32}$  Ma, 代表了各群的变质年龄<sup>[2]</sup>。已往的钾-氩法资料<sup>2)</sup>,从涑水杂岩到中条群,年龄值最大频率在 1800 Ma 到 1670 Ma 之间,代表了本区最重要的一次构造运动和区域变质时间。和铀-铅年龄资料对照,说明在 1800 Ma 左右,本区发生了一次重要的构造-热事件,即中条运动,它对本区各类型铜矿床的改造,产生了深刻的影响。乔秀夫等(1985)获得本区西阳河群铷-锶等时年龄为  $1454 \pm 35$  Ma<sup>[3],3)</sup>。

本区早元古代地层组成了一个总体构造线走向为北东的“S”形褶皱带,北端走向北北东,大多向北西倒转倾斜;南端走向南西西,大多向南东倾斜。在中条群主要分布区的中南部,以绛县群为核心,两翼为中条群的背斜褶皱,是本区对矿床改造有重要影响的早期构造之一。

## 二、主要铜矿床类型

中条山早元古代铜矿床,按产出层位和成因分类,主要有:绛县群横岭关组中的沉积变质铜矿床,绛县群铜矿峪组中的变质火山斑岩铜矿床和中条群篦子沟组中的沉积变质-再造铜矿床。它们分别属于变质泥质一半泥质岩、变质钾质火山岩和变质碳酸岩-黑色页岩三个不同的含铜建造。

### 1. 沉积变质铜矿床

以横岭关、庙疙瘩等矿床为代表。矿床赋存在横岭关组。含铜建造由石墨绢云片岩、云母片岩、绢云石英片岩、铁铝榴石云母片岩和斜长角闪岩等组成。前二者为主要含矿岩石,所含矿体形态简单,呈层状、透镜状,与地层整合产出(图2)。以区域变质早期细脉浸染型低品位矿化为主,晚期脉型矿化极不发育。脉体多为石英或方解石。岩石中并见有与脉体无关的浸染-条带状硫化物,显示了变余沉积构造的特点。金属硫化物主要有黄铜矿、黄铁矿,其次为磁黄铁矿及少量闪锌矿、斑铜矿、辉钼矿等。岩石蚀变主要是脉旁的硅化、黑云母化和绿泥石化,其范围微不足道,是区域变质作用晚期的产物。黄铜矿的 Co/Ni 为 0.48—3.47<sup>[1]</sup>,一般在 1 左右,普遍含钒,达几十 ppm,在一定程度上反映了外生成因的特征。

1) 北京铀矿地质研究所测定。

2) 中国科学院地球化学研究所,中国地质科学院力学研究所,湖北地质研究所,长春地质学院等单位测定。

3) 中国地质科学院地质研究所测定。

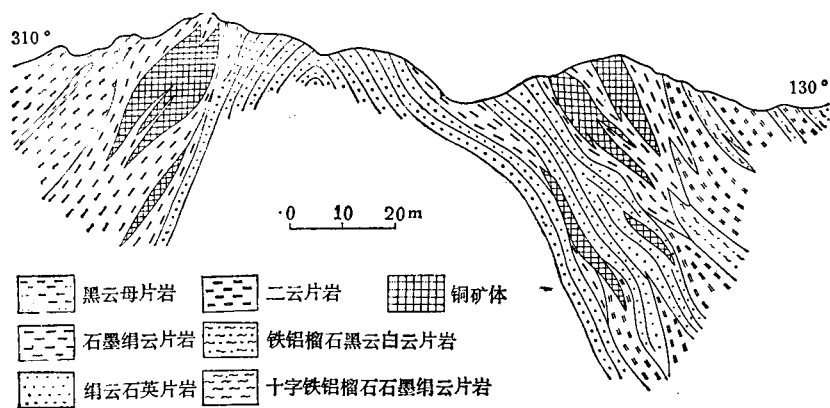


图 2 庙疙瘩矿区剖面图

Fig. 2 Section of the Miaogeda copper district

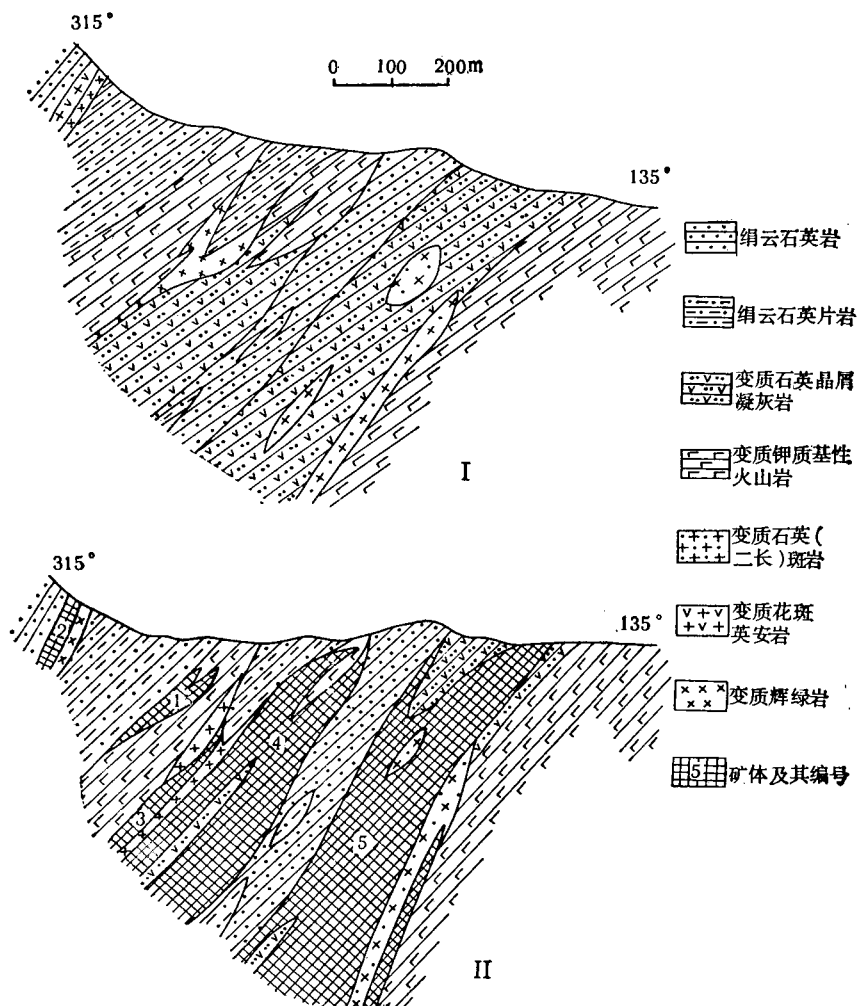


图 3 铜矿峪铜矿床主要剖面岩石分布(I)及矿体分布(II)简图

Fig. 3 Sketch maps showing the distribution of the rock types (I) and orebodies (II) along the main section of the Tongkuangyu copper deposit

## 2. 变质火山斑岩铜矿床

以铜矿峪矿床为主要代表。矿床赋存于铜矿峪组。该组主要岩石为变质钾质基性火山岩(黑云片岩、绿泥片岩)、变质富钾流纹岩、变质石英晶屑凝灰岩及变质半泥质岩(绢云石英片岩)等,并有同火山期或更晚的(碱质和钙碱质)浅成侵入岩。这种双峰式的岩浆作用,形成了一套独特的,以变质火山斑岩铜矿床为主体的火山气液变质铜矿床组合(图3)。

主体矿床(图 3, 4 与 5 号矿体)与酸性火山-侵入杂岩有密切的关系。主要含矿岩石为变质石英晶屑凝灰岩,其次为变质石英斑岩,更次为变质石英二长斑岩。

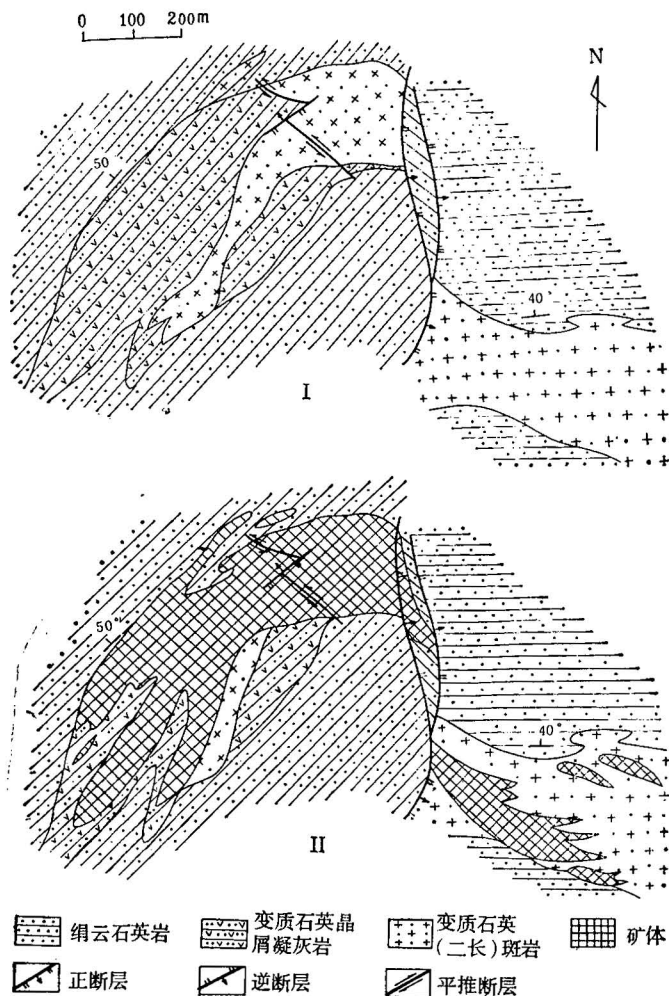


图 4 铜矿峪矿区 5 号矿体 5 中段岩石分布 (I) 及矿体产出 (II) 简图

Fig. 4 Sketch map for level 5 of No.5 orebody in Tongkuangyu mine district, showing the distribution of rock types (I) and the occurrence of ore bodies (II)

这类矿床的基本方面和显生宙的斑岩铜矿是相似的,但岩体和矿体均呈透镜状产出

(图 3), 具一定层位, 且缺乏面型蚀变和矿物分带性, 而与后者相区别。

矿体与围岩产状基本平行产出(图 3, 4), 形态比较简单。未发现因构造变动而使矿体显著富化或贫化的现象。以原生的和区域变质早期叠加的细脉浸染型矿化为主, 金属矿物主要为细粒黄铜矿, 常呈浸染状, 或与石英、蠕绿泥石等组成细脉; 此外还有少量黄铁矿、辉钼矿、斑铜矿和辉铜矿。变质晚期的脉型矿化不甚发育, 金属矿物主要是黄铜矿和黄铁矿, 脉石矿物简单, 为方解石和石英。蚀变对不同的岩石有较为明显的依存关系, 主要是变质热液蚀变。它们叠加在原生成矿期蚀变之上, 在颇大程度上掩盖了原生成矿蚀变的面貌。蚀变有两个主要阶段, 早期为石英绢云母化阶段, 主要表现为石英绢云母化、绿泥石化、方柱石化和电气石化; 晚期为红钠长石化阶段, 主要表现为红钠长石化、硅化、黑云母化、白云母化、绿泥石化、绿帘石化和碳酸盐化。矿石含钼, 与变质石英斑岩有较密切的关系。矿石可资综合利用的元素为银和金, 它们都存在于黄铜矿中。硫化物的 Co/Ni 变化较大, 为 2—43.8, 一般为 5—12;  $\delta^{34}\text{S}$  为 +1.12—+6.8‰, 一般在 +2—+5‰ 之间<sup>[1]</sup>(图 7), 分散范围较窄, 并接近陨石值。

本矿床组合的另外两种次要类型, 一是直接赋存于变质钾质基性火山岩中的典型的火山气液变质铜矿床(图 3, 1 与 3 号矿体), 二是同钙碱质岩浆活动有关的分异辉绿岩变质铜矿床(图 3, 2 号矿体)。

火山气液变质铜矿床, 呈似层状或透镜状, 与地层产状一致。主要含矿岩石为黑云母片岩、角闪黑云片岩和绿泥黑云片岩, 亦有早期细脉浸染型和晚期脉型两种矿化类型。这类矿床的主要特点之一, 是金属矿物组合中不含钼和钴的单独矿物, 并以此区别于上述的变质火山斑岩铜矿床和下述的分异辉绿岩变质铜矿床。硫化物的 Co/Ni 及  $\delta^{34}\text{S}$  的特征, 与前者相似, 而与后者有较大差别<sup>[1]</sup>。

分异辉绿岩变质铜矿床, 矿体受变质的分异辉绿岩控制, 呈透镜状。主要含矿岩石为分异形成的变质花斑英安岩, 其次为变质辉绿岩和变质花斑辉绿岩。以浸染型矿化为主, 且形成富矿。金属矿物组合比较复杂, 主要为黄铜矿、含钴黄铁矿、钛磁铁矿和辉钴矿等。矿石组分的特点是含钴高而不含钼。硫化物的 Co/Ni 变化大, 一般在 10 以上;  $\delta^{34}\text{S}$  在 -4.56—+6.8‰ 之间<sup>[1]</sup>, 与变质火山斑岩铜矿床相比, 其离散程度较大。

变质火山斑岩铜矿与变质钾质基性火山岩中的火山气液变质铜矿具有某些共性, 如母岩均具钾质较高而又属于一个双峰式的岩浆系列, 矿化比较分散、硫化物的 Co/Ni 及  $\delta^{34}\text{S}$  值又相近等等。由这些情况来看, 在成因上有着密切的联系。区内铜矿峪组和铜矿容矿的变质钾质基性火山岩和变质石英晶屑凝灰岩的岩石特征、岩石化学以及微量元素 Ti/Zr, Ba/Sr, Co/Ni 和 Cr/Ni 值都具有一定的相似性<sup>[1]</sup>。因此, 上述两类岩石中含矿与不含矿岩石均可能为同源火山岩, 变质火山斑岩铜矿其空间上和成因上均与浅成的火山-侵入杂岩体不可分割。而分异辉绿岩变质铜矿床, 其火成岩为标准钙碱系列, 具有明显的分异特征; 铜矿化主要富集于分异晚期的中酸性花斑英安岩中, 而且具有含钴高、不含钼、 $\delta^{34}\text{S}$  值较离散等特点。因此, 这类矿床原始形成, 可能更晚于钾质岩石系列的铜矿化, 有其本身的特殊性。

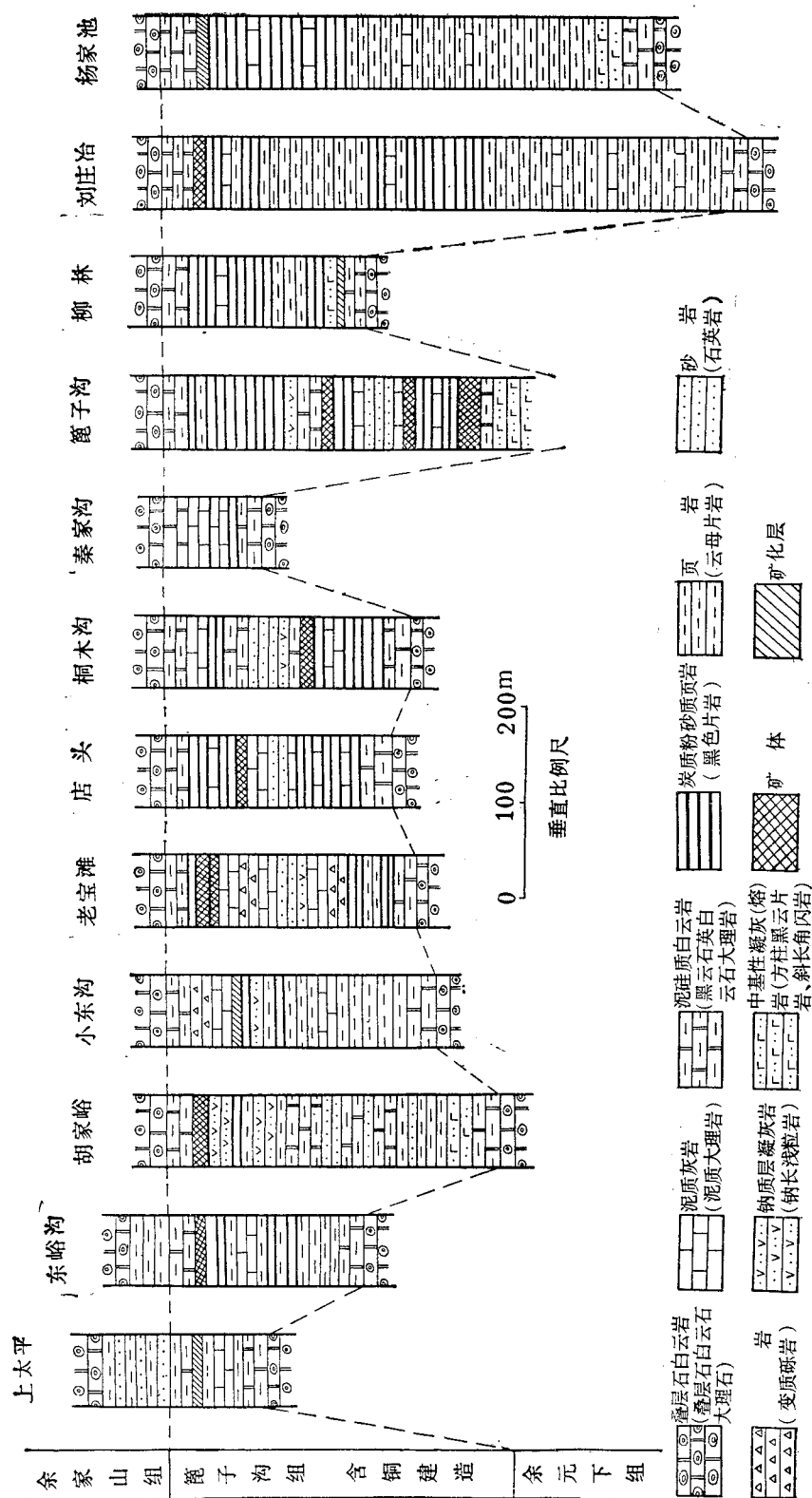


Fig. 5 Correlative column for the sedimentogenous rock assemblage of the metamorphosed copper-bearing carbonate-black shale formation (注: 括号中为变质岩石类型)



### 3. 沉积变质-再造铜矿床

矿床赋存于篦子沟组变质碳酸盐黑色页岩建造中(图 5)。以篦子沟铜矿床和胡家峪铜矿床为代表。原岩建造的岩性、岩相复杂多变,主要是碳酸盐、泥砂质、炭质和钠质火山灰混生交互沉积的变质产物,富含微古植物;属浅海封闭一半封闭海湾相,原始沉积含矿性与海底滞流盆地有密切的关系。含铜建造的上、下均为潮间-潮上带的含方柱石的叠层石白云石大理岩,反映建造沉积前、后可能为相对干燥和较高盐度的环境。建造中有底、中、顶部 3 个主要含铜层位,而以底、顶部的最稳定,矿体规模也最大。矿体无例外地总是与黑色片岩(包括炭质板岩、炭质千枚岩、炭质绢云石英片岩和炭质钠长绢云石英片岩)相毗邻,但黑色片岩本身却很少构成工业矿体。说明铜的原始沉积同两个沉积阶段转变时的物理、化学条件有关。由碳酸盐相转变为碳酸盐黑色页岩相,或相反转变的过渡部位,以及弱还原环境,对成矿最有利。含矿岩石主要是黑云石英白云石大理岩,钠长浅粒岩和绢云石英片岩。钠长浅粒岩是一种非常特征的岩石(图版 I-1),对其成因多有分歧意见。

表 2 炭质钠长绢云石英片岩、钠长浅粒岩的化学成分

Table 2 Chemical composition of the albite-rich carbonaceous schist and leuco-granulitite (lepitite)

| 样品号 \ 组分% | 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  |
|-----------|------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------|-------|------|
| 3298      | 61.64            | 0.59              | 14.63                          | 0.92                           | 4.47            | 0.03 | 2.47  | 2.35 |
| 3299      | 61.09            | 0.52              | 14.93                          | 1.17                           | 2.23            | 0.09 | 2.99  | 4.35 |
| 3308      | 61.82            | 0.63              | 13.34                          | 3.13                           | 4.02            | 0.04 | 2.21  | 2.27 |
| 样品号 \ 组分% | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | CO <sub>2</sub> | 有机炭  | 总和    | 钠长石  |
| 3298      | 1.61             | 4.58              | 0.36                           | 0.97                           | 0.99            | 3.49 | 99.1  | 38.9 |
| 3299      | 0.94             | 5.70              | 0.38                           | 0.99                           | 3.70            | 0.68 | 99.76 | 48.0 |
| 3308      | 2.81             | 3.95              | 0.48                           | 1.12                           | 1.18            | 0.08 | 97.08 | 33.6 |

注: 3298 为黑色片岩(炭质钠长绢云石英片岩), 3299 为该黑色片岩经钠长石化褪色后形成的钠长浅粒岩; 二者采自胡家峪矿区 3 号矿体 5164 穿脉的同一掌子面上。3308 为钠长浅粒岩, 含较多的硫化物, 采自上述矿体 5165 穿脉。样品均系原地质部华北地质科学研究所化验室分析。

岩石致密坚硬, 灰—灰白色, 常带淡红色调; 一般为细条带构造, 有时呈块状, 似霏细结构。主要矿物为微晶钠长石, 粒度一般为 0.01 mm 左右, 其含量一般为 40—65%, 高者达 80% 以上; 有少量白云石、方解石、金红石、镁电气石和磷灰石等。金红石和镁电气石的自形小柱体或微粒, 组成了清晰的线状定向排列, 有时成显微褶皱(图版 I-2), 显示了原岩的沉积特征。金属硫化物常沿条带呈散点状分布, 岩石钠长石化后, 则与石英、钠长石(有时还有少量白云石)共生于变质分形成的微细脉中。在空间上, 钠长浅粒岩经常与白云石大理岩特别是黑色片岩呈纵横相变关系或互为夹层, 从而出现诸如含钠长石的黑色片岩(炭质钠长绢云石英片岩)和钠长黑云石英白云石大理岩之类的过渡性岩石。岩石的钠长石化比较普遍, 它表现为呈霏细结构的无双晶微晶钠长石, 过渡为双晶非常发育、粒度较粗

的钠长石微细脉,这是一种变质分异的产物,与热液交代作用的“钠化”有本质的区别。此外,镜下和岩石化学研究表明:含钠长石的黑色片岩经钠长石化作用褪色后,炭质含量大幅度降低, $\text{Na}_2\text{O}$  和钠长石含量相对增高,而岩石组构和岩石化学基本特征有一定的相似性(图版 I-3, 4, 5; 表 2),其沉积特征是显而易见的。因此,作者认为钠长浅粒岩是一种沉积变质岩,而不是一种交代岩。根据岩石的沉积环境和组合特征分析,岩石中钠质来源,可能主要和某种内生作用(远源火山物质?)有关,而不是和外生蒸发作用有关。

矿体总体上呈似层状、透镜状、与地层产状基本一致,但在变质期褶皱构造的转折部位,常形成形态复杂的不整合富矿体(图 6)。区域变质早期矿化为细脉(条带)浸染型,细脉的脉石矿物因围岩岩性而异,主要有细粒石英、石英-白云石和石英-钠长石等。硫化物再活化迁移的距离不过几毫米(图版 I-6),说明矿化成分系“就地取材”,比较接近于沉积

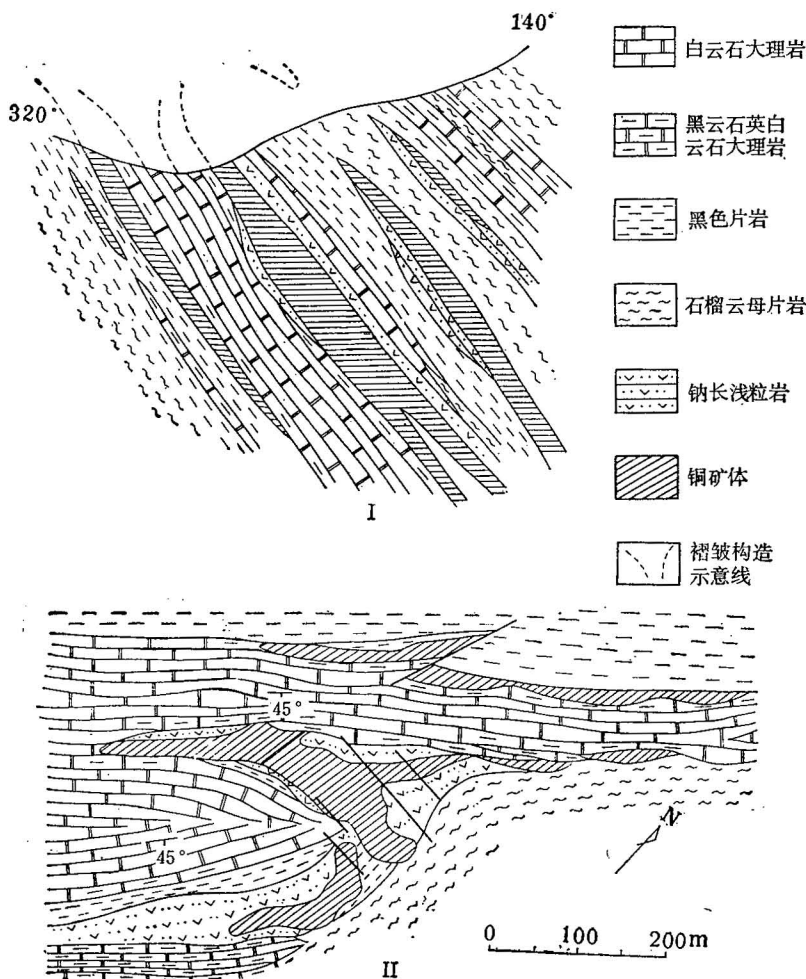


图 6 胡家峪矿区地质剖面(I)及 5 中段地质平面(II)简图

Fig. 6 Geological sketch section of the Hujiayu mine district (I) and geological sketch map for horizontal cross section of the level 5 (II)

变质的特点。晚期矿化为脉型。脉宽一般为数厘米至十数厘米,大者可达数十厘米;长一般为数米至十数米,长者可达 20 m 以上;其分布受构造裂隙的控制,具明显的方向性;脉石矿物很简单,一般仅为粗大的铁白云石自形晶和石英集合体,呈似伟晶构造,而且不因围岩岩性不同而有很大的差异,表现了热液充填作用的特征。其分布范围一般不超出含矿层 30 m。说明硫化物活化迁移的距离也不太远。同上述两类矿化相适应的,主要有两类岩石蚀变:区域变质早期为硅化、钠长石化,晚期为碳酸盐化、黑云母化。它们均与围岩岩性有密切的依附关系,主要表现为原地组分的微小迁移或改组,而无明显的带入、带出。这是变质蚀变的特征之一,其找矿意义不大。

金属矿物主要为黄铜矿、含钴黄铁矿和含钴磁黄铁矿,伴有钴镍黄铁矿、硫钴矿及少量晶质铀矿、钨铀矿等。钴矿化大体上是和铜矿化是一致的,但它明显地依附于黄铁矿和磁黄铁矿而不是黄铜矿的分布。据陶铨研究<sup>[2]</sup>,铀矿化与铜矿化亦有密切的关系,同样也可划分出细脉浸染型和脉型两种矿化类型;矿床系含铀原始沉积物经区域变质作用(早期及晚期)富集而成。虽然铜和铀的原始沉积空间及其尔后的再活化迁移程度不尽一致,但从广义上讲,这一类型矿床属于铜-钴-铀型矿床。

矿石中,由于变质热液作用形成的各种结构,如固溶体分离结构和溶蚀交代结构是十分发育的,然而早期矿化的变余沉积结构,如黄铁矿的胶状结构,仍依稀可见。硫化物的

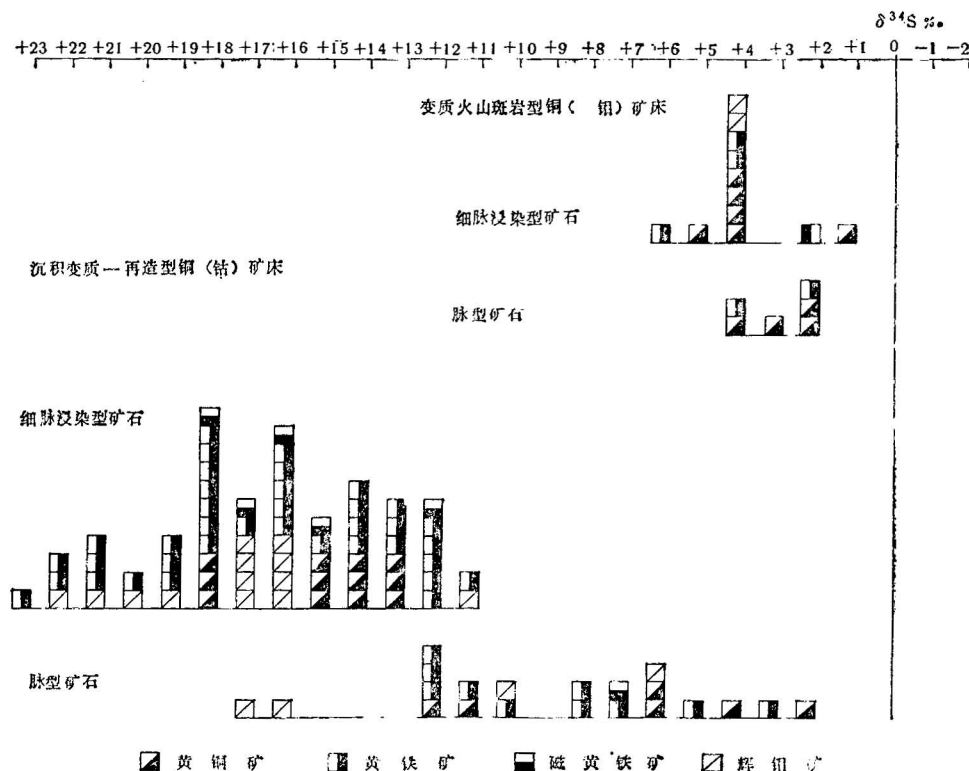


图 7 中条山铜矿床  $\delta^{34}\text{S}$  值分布特征

Fig. 7 Characteristics of  $\delta^{34}\text{S}$  values distribution of the copper deposits of the Zhongtiao Mountains

(据原华北地质科学研究所、原冶金工业部地质研究所采样,原冶金工业部地质研究所分析资料)

Co/Ni 为 1.47—5.82, 一般在 2—5 之间<sup>[1]</sup>; 主要硫化物的硫同位素组成很相近<sup>[1]</sup> (图 7),  $\delta^{34}\text{S}$  值在 +2.4—+23.2‰ 之间, 而在 +11—+19‰ 间有集中显示。由于它显然包含了变质均一化的因素, 可推测原生硫化物的硫同位素应在正值范围之内, 但离散度应该较大一些, 至少不会更小; 反映了主要是沉积盆地的物理、化学条件, 而不是内生作用, 对原生硫化物的形成起了重要的作用。值得注意的是: 两种矿化类型的硫同位素有明显的差异。早期细脉浸染型矿化,  $\delta^{34}\text{S}$  为 +11.2—+23.2‰,  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$  值总徘徊在 21.961—21.717 之间; 而晚期脉型矿化的  $\delta^{34}\text{S}$  为 +2.4—+16.5‰,  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$  一般在 22.125—22.002 之间。说明随着变质热液活动的增强, 硫同位素组成趋向于轻硫相对增加。

矿床受沉积条件控制和变质改造的特点都很明显。原始成矿作用和火山作用的直接关系还不够清楚。但据钠长浅粒岩的产出特点及其与细脉浸染型矿化的密切关系, 推测可能有远源火山物质的参加。中条群的铀-铅一致年龄, 是根据矿床中晶质铀矿和钛铀矿样品取得的, 它无疑代表了区域变质的年龄。因此, 本类型矿床的最后完成应在 1800 Ma 左右, 即中条运动高潮阶段。

### 三、成矿作用演化

上述各类型铜矿床都经历了原生和变质改造两大成矿作用阶段。在时间演化和空间分布上都有内在的联系(图 8)。

太古宙涑水杂岩是本区最古老的基底, 变质时代在 2500 Ma 左右。其东侧裂解或变薄, 导致形成早元古代活动带(裂谷下陷带), 早期绛县群是近陆沉积, 伴有陆源含铜沉积物; 中晚期同钾质火山作用有关的、以斑岩铜矿为主体的火山气液型铜矿床, 可能和古陆壳的断裂和裂隙作用有关。2300 Ma 年左右的构造运动(五台运动), 结束了优地槽环境的历史。之后, 古海盆不断扩大, 形成了中条群向南、向西直接超覆在涑水杂岩之上, 并转化为冒地槽型陆源碎屑-碳酸盐沉积建造。表现为活动带向活动性减弱的方向演化, 火山作用向钠质演化。前中条群古陆特别是绛县群中各类型铜矿床或矿化(可能还有远源火山物质), 为中条群沉积型铜矿床的形成, 提供了丰富的物质来源。中条期中期, 在两个碳酸盐相沉积阶段之间, 一个特殊的古地理环境, 为碳酸盐黑色页岩建造和沉积型铜矿床的形成, 创造了有利的条件。早元古代原生成矿作用经历了以外生作用为主—内生作用为主—外生作用为主的发展演化阶段, 而铜的丰度, 在晚期则表现了继承性的富集。

1800 Ma 左右的中条运动主幕, 是一次重要的构造-热事件。它使早元古代活动带产生了绿片岩相—低角闪岩相区域变质作用及晚期的变质热液作用, 导致不同原生成因的矿床, 表现了相似的热液作用和地球化学演化特征。如: 均有变质早期的细脉浸染型和晚期的脉型两种矿化类型。早期矿化明显地继承了原生成矿作用的某些特点(特别是变质火山斑岩铜矿), 晚期矿化则更多地反映了热液成矿作用的特征; 晚期相对于早期来说, 硫同位素组成趋向于轻硫相对增加(图 7)等等。变质改造可以局部改变矿床的原始形态, 促使矿化富集, 但没有从根本上改变矿床受原岩建造或岩相、岩性控制的特点, 也很难设想矿化元素发生过远距离的再活化转移。对本区各类型矿床的研究对比表明: 在比较接近的变质热力学和相似的构造条件下, 矿床受变质改造和矿化元素再活化转移的程度,

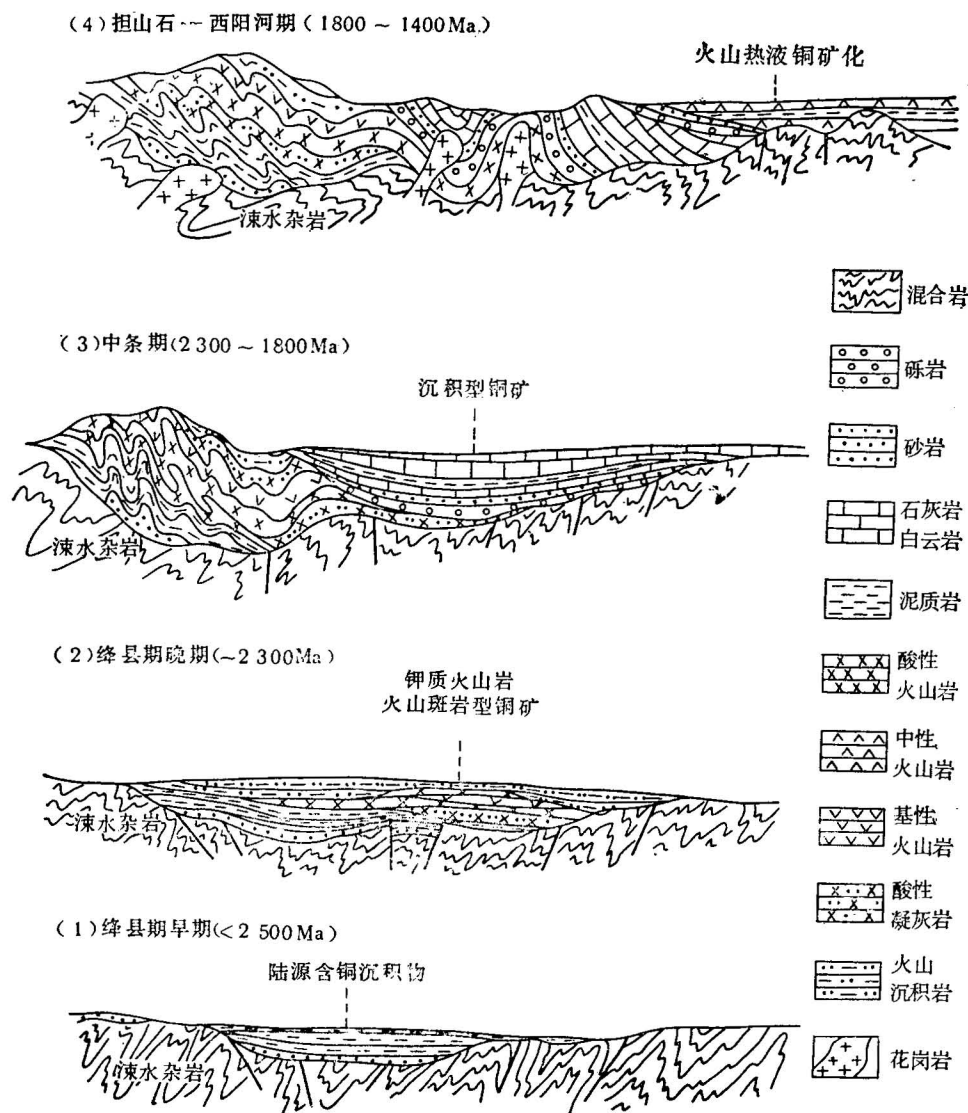


图 8 中条山早前寒武纪地质及铜矿成矿作用演化示意图

Fig. 8 Schematic diagram showing the Early Precambrian geology and the evolution of copper mineralization in the Zhongtiao Mountains

与含矿建造岩石的性质有一定的关系。同泥硅质或硅酸盐岩石相比,在碳酸盐岩相中,更易于形成层控的再造型矿床,因而,以横岭关铜矿为代表的沉积变质铜矿床和以铜矿峪铜矿为代表的变质火岩斑岩铜矿床,其脉型矿化都不如以篦子沟和胡家峪铜矿为代表的沉积变质-再造铜矿床发育。

中条运动之后,地槽回返,形成了担山石群磨拉石建造,继之又形成了裂谷型的西阳河群钾质中-基性火山岩,并伴有火山热液铜矿化,开始了中元古代地质和成矿作用演化史。

## 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。
- [2] 陶铨, 1985, 中条山地区前寒武纪地层的时代. 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊, 第 12 号. 第 29—36 页, 地质出版社。
- [3] 乔秀夫、张德全、王雪英、夏明仙, 1985, 晋南西阳河群同位素年代学研究及其地质意义. 地质学报, 第 59 卷, 第 3 期, 第 258—268 页。

## MINERALIZATION AND EVOLUTION OF THE EARLY PROTEROZOIC COPPER DEPOSITS IN THE ZHONGTIAO MOUNTAINS

Hu Weixing and Sun Dazhong

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Tianjin)

### Abstract

The major copper deposits in the Zhongtiao Mountains all occur in the Early Proterozoic mobile belt. They can be classified into three types:

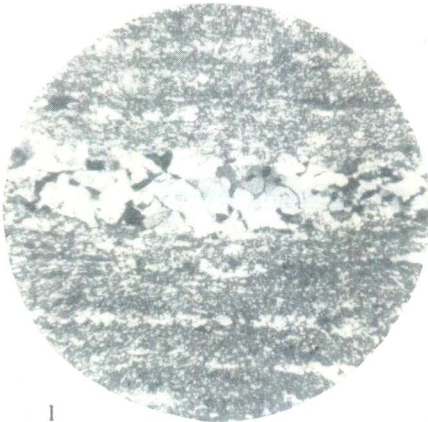
1. Meta-sedimentary copper deposit in meta-pelitic-semi-pelitic rock formation of the lower Jiangxian Group (2500—2300 Ma).
2. Meta-volcanic porphyry copper deposit in meta-potassic volcanic rock formation of the middle and Upper Jiangxian Group.
3. Meta-sedimentary-remoulded copper deposit in meta-carbonate black shale formation of the Zhongtiao Group (2300—1830 Ma).

Having undergone the Zhongtiao Movement at about 1,800 Ma and its related regional metamorphism, these deposits of different primary genesis exhibit similar hydrothermal and geochemical features, but are still controlled by the primary sedimentary or volcanic sedimentary formations.

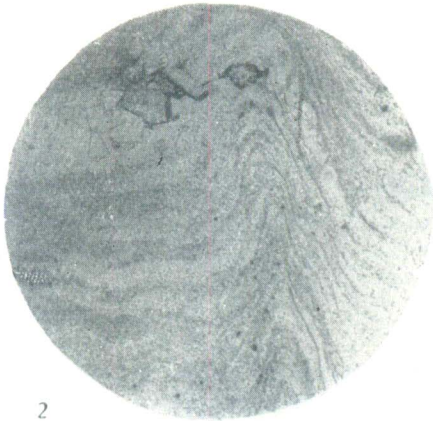
### 图 版 说 明

1. 钠长浅粒岩; 微晶石英、钠长石、金红石及镁电气石呈定向排列, 中间为细晶石英、钠长石组成的条带; 薄片, 正交偏光,  $\times 40$ 。
2. 钠长浅粒岩; 金红石(黑色)、镁电气石(灰色)小柱体呈线形排列, 显示微褶皱构造; 大面积淡色部分主要为微晶钠长石和石英; 薄片, 单偏光,  $\times 157$ 。
3. 黑色片岩(炭质绢云石英片岩)及其褪色带; 岩石成分基本为绢云母鳞片、细粒石英和炭质, 右下半为其褪色部分, 炭质基本消失; 薄片, 单偏光,  $\times 20$ 。
4. 黑色片岩(炭质钠长绢云石英片岩); 微褶皱构造, 黑色条带为炭质、石英、绢云母及其它杂质, 白色条带为石英、钠长石、白云石、金红石和镁电气石等; 薄片, 自然光,  $\times 3$ 。
5. 图版 4 中白色条带的一部分; 粒状者主要为钠长石(显双晶或未显双晶)、石英, 黑色无定形者为炭质; 正交偏光,  $\times 55$ 。
6. 钠长石英白云石大理岩中的细脉浸染型矿化, 示原生沉积硫化物(浸染条带状)经变质作用发生微小迁移, 形成微细脉; 白色为黄铜矿, 黑色为黑云母蚀变边, 大面积灰色为白云石、石英、钠长石; 光面, 反光,  $\times 4$ 。





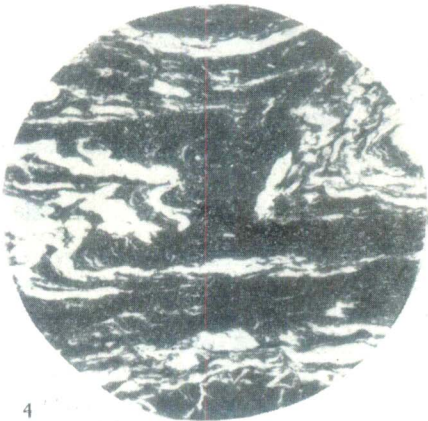
1



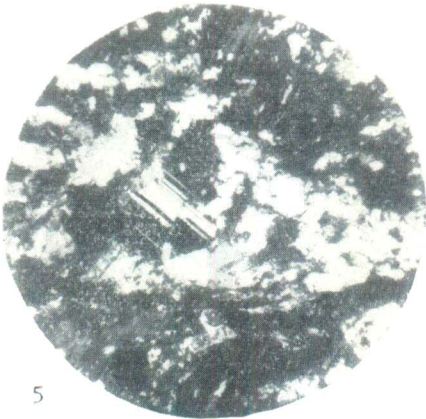
2



3



4



5



6