

云南华宁—峨山地区震旦系 沉积岩铜矿床成因*

肖荣阁 葛文胜

(中国地质大学, 北京)

提 要: 云南震旦系沉积岩铜矿是产于红色碎屑岩系中的沉积叠加热液改造型铜矿床, 矿床产在上震旦统陡山沱组灰白色砂岩、白云岩、泥灰质页岩中, 具有明显层控特征。地球化学分析表明, 震旦系碎屑岩中铜富集系数明显高于正常壳源沉积岩, 因此加里东期后生改造矿化物质直接来自下部红色沉积岩层的淋滤迁移, 最终在氧化还原过渡带与同生富集矿层叠加。碎屑岩中粘土矿物全部为埋藏变质和区域变质形成的伊利石, 沉积粘土到伊利石的相变脱水是后生成矿热液的直接来源。控矿构造是加里东期平缓背斜叠加层间破碎及走向断层构造。

关键词: 震旦系 沉积岩铜矿 沉积改造矿床 地球化学 云南华宁—峨山地区

1 区域构造及铜矿床(点)特征

分布于康滇地轴东侧的震旦系是不整合于元古宇昆阳群之侧的红色碎屑岩夹碳酸盐系。由下至上分为澄江组、南沱组、陡山沱组和灯影组。

澄江组岩性为紫红色、灰白色中细粒长石石英砂岩, 夹粉砂质泥岩, 厚度 270~1890 m。

南沱组上部以紫红色、局部灰黑色冰积泥岩、粉砂质泥岩, 夹粉砂岩、细砂岩。下部为冰积砾岩夹细砂岩, 厚度不稳定, 砾石成分有紫红色砂岩、灰黑色板岩、灰岩、绿泥石片岩、硅质岩等, 次棱角状, 大小混杂堆积成无序结构。砾石物源主要为澄江组砂岩及昆阳群浅变质岩。最大厚度 118 m, 与澄江组成微角度不整合接触。

陡山沱组分上、中、下三段, 下段底部紫红色中细粒长石石英砂岩夹含砾粗砂岩, 上部灰白色、灰绿色中细粒砂岩, 夹含砾砂岩; 中段中厚层状青灰色白云岩及泥质白云岩; 上段灰绿色石英砂岩夹紫红色粉砂岩, 总厚度 175~231 m。

灯影组为青灰色、灰白色厚层状、块状白云岩, 是区内一个重要的含磷层位, 厚度大于 266 m。

陡山沱组中、下段是铜矿床的重要矿化层位, 从上至下可以进一步划分为 3 个矿化层: 中段顶部泥质白云岩矿化层, 以黄铜矿化为主, 呈细粒浸染状或纹层状矿化; 中段底部灰白色白云岩与下段顶部灰白色砂岩接触带矿化层, 在白云岩中以脉状辉铜矿为主, 砂岩中为浸染状辉铜矿, 近地表氧化为孔雀石或蓝铜矿; 下段底部深灰色砂岩夹砾岩矿化层, 黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿呈浸染状分布于胶结物中。

* 国家自然科学基金与国家计委科技找矿基金资助项目

第一作者简介, 肖荣阁, 男, 1949 年生, 教授(博士生导师), 矿床地质与矿床地球化学专业。邮政编码: 100083
1998-06-23 收稿, 1998-12-15 修改回

震旦系的分布与矿化特征可以分为两个区域，武定、禄劝以北的东川地区，上震旦统陡山沱组直接不整合于元古宇变质岩上^[1]，以南的华宁—峨山地区，震旦系地层由下至上发育完全，表明康滇地轴由北向南倾伏。

东川地区陡山沱组矿化以一、三矿化层成矿为主，华宁—峨山地区以第二矿化层矿化为主，局部有第三矿化层矿化。

本文对华宁—峨山地区震旦系陡山沱组铜矿床（点）构造及矿化特征进行了系统调查分析，从西向东有峨山县的舍郎铜矿点、晋宁县的酸水塘铜矿点、天宝厂铜矿点、甸头铜矿点、华宁县青龙街的子弹山铜矿床等（图1）。其中舍郎铜矿、天宝厂铜矿点留有古人采矿遗迹，其它铜矿有近几年的采矿遗迹或是乡镇正在开采的矿点。

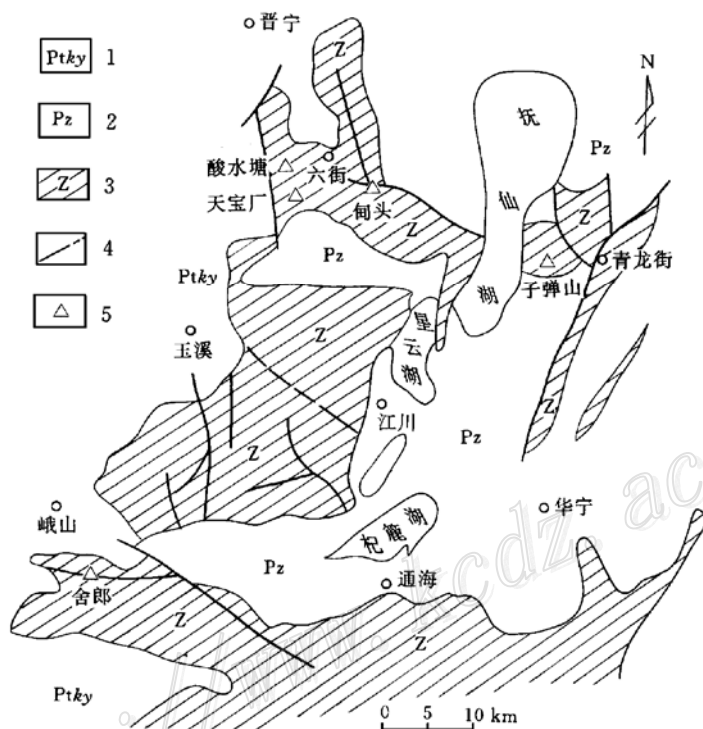


图1 峨山—华宁地区地质与矿床（点）分布简图

（根据云南地矿局地质研究所资料整理）

1—元古宇昆阳群；2—古生界；3—震旦系；4—断层；5—铜矿床（点）

Fig. 1. Geological sketch map of Eshan-Huaning area, showing the distribution of ore deposits (spots).

1—Proterozoic Kunyang Group; 2—Paleozoic; 3—Sinian; 4—Fault; 5—Copper deposit (spot).

2 区域构造与矿床构造分析

华宁—峨山地区属加里东期构造带，震旦系分布于康滇地轴倾没端之南东，地层总体走

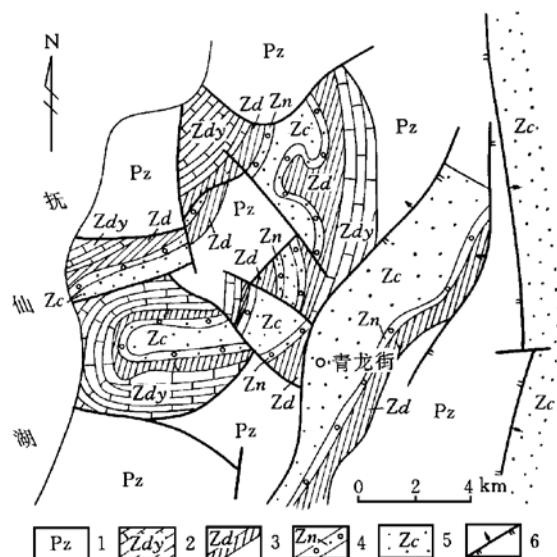


图2 子弹山铜矿床地质简图

1—古生界；2—震旦系灯影组；3—震旦系陡山沱组含铜矿化砂岩；4—震旦系南沱组；5—震旦系澄江组；6—断层

Fig. 2. Diagrammatic geological map of the Zidanshan copper deposit.

1—Paleozoic; 2—Sinian Dengying Formation; 3—Auriferous mineralized sandstone of Sinian Doushantuo Formation; 4—Sinian Nantuo Formation; 5—Sinian Dengjiang Formation; 6—Faults.

峨山—玉溪地区是断裂叠加单斜构造控矿，舍郎、甸头、天宝厂及酸水塘铜矿的矿化均产于断裂复合的单斜矿化层中。

3 矿化特征分析

陡山沱组铜矿化具有明显的层控矿床特征，本区矿化主要发生在陡山沱组第二矿化层，即陡山沱组中段底部白云岩与下段顶部灰白色砂岩接触带附近。产于砂岩中的铜矿化沉积特征明显，产于白云岩中的矿化改造特征明显，东西两区矿化特征有较大差异。

东部华宁地区铜矿化沉积特征明显，铜矿化主要产于灰白色砂岩中。矿化岩层具有明显的沉积韵律，由下到上为含砾粗砂岩或长石石英粗砂岩，含稀疏浸染状辉铜矿，多氧化为孔雀石；中粒长石石英砂岩，含浸染状辉铜矿氧化物孔雀石，沿斜层理分布；纹层状粉砂质泥岩，纹层厚 0.5~2 mm，孔雀石矿化沿纹层分布。韵律层由下到上矿化加强。

灰白色细砂岩碎屑成分主要为石英，粒度 0.05~0.2 mm，接触式胶结，石英具有重结晶边，其次含电气石、长石，泥质胶结，胶结物多已蚀变为绢云母。化学成分主要为 SiO_2 、 Al_2O_3 等，含少量 CaO 、 MgO （表 1）。

向为南北向至北北东向。地层成宽缓褶皱或单斜构造展布，由北西向南东依次为中元古宇、震旦系、古生界、中生界，在震旦系与古生界出露地区构成向南东倾斜的复式褶皱构造。

区内断裂构造以抚仙湖为界可以划分为东西两个构造区，东部华宁地区以北北东向为主的走向断裂发育，其与褶皱及地层界限伴生，南段有纬向横张断裂叠加，使构造复杂化。西部峨山—玉溪地区构造复杂，纬向径向及北西向构造相互交切，使地层呈不规则块状分布，也使局部地层构造线转向。

矿床构造可以分为两类：东部华宁地区褶皱构造控矿。子弹山背斜被北西向断裂切割数段，两翼矿化层中均有矿化（图 2），大部分地段产状平缓，一般在 $20^\circ \sim 30^\circ$ ，断裂构造叠加部位产状变陡，在 45° 以上，局部直立；西部

表 1 子弹山 7 个灰白色含铜石英砂岩平均化学成分表 (%)

Table 1. Average chemical composition of seven greyish white auriferous quartz sandstone samples from the Zidanshan deposit

SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总 量
77.78	7.65	0.02	0.92	4.74	0.46	0.30	1.75	1.91	0.25	0.01	2.80	98.62

灰白色矿化砂岩一般厚 1 m 左右, 延长稳定, 可达 10 km 以上, 2~3 个韵律层组成。

矿化层顶板灰白色硅化白云岩与砂岩接触处具有宽 0.5 m 的红褐色热液蚀变带, 含重结晶方解石, 向上蚀变减弱。矿层与顶板接触处常具有层间滑动及破碎淋滤带, 分布有黑褐色土状铜矿, 主要由黑铜矿组成。

矿层底板紫红色长石石英砂岩或紫红色粉砂质泥岩与矿化灰白色石英砂岩呈不规则的过渡关系或交替出现, 浅色砂岩中残留紫色砂岩, 紫色砂岩中夹浅色砂岩透镜体。铜矿化主要限于浅色砂岩层中, 紫色泥岩层中仅在岩石裂隙中局部有细脉状辉铜矿的氧化物孔雀石, 矿石品位 1%~1.5%。

西部峨山—玉溪地区铜矿化改造特征明显, 铜矿化产于灰白色白云岩中, 部分产于灰白色砂岩中呈透镜状。舍郎铜矿、甸头铜矿及酸水塘铜矿均产于白云岩、泥质灰岩与灰白色砂岩的层间破碎带或糜棱岩带中。产于白云岩、泥质灰岩中的铜矿化呈独立的铜矿脉或与碳酸盐脉复合, 矿化强度与岩石的破碎程度及碳酸盐脉的密度有关, 重结晶的方解石、白云石颗粒中包裹有原生沉积的辉铜矿微粒。产于糜棱岩带中矿化沿糜棱岩片理分布, 以甸头为例, 糜棱岩片理发育处矿化强, 其中也见有脉状矿化。产于砂岩中的矿化呈浸染状叠加脉状, 矿石品位明显增高, 灰白色石英砂岩较东部粒度粗, 石英砂粒 0.2~0.4 mm, 为中砂岩, 绢云母化蚀变强。

原生矿石矿物主要为蓝辉铜矿, 东部子弹山矿区含有少量辉铜矿、黄铜矿、斑铜矿、铜蓝、斜方蓝辉铜矿等, 有些地段含粒状黄铁矿。同生铜矿物在泥质胶结物、石英砂粒或方解石颗粒中分布。在泥质胶结物中的铜矿物颗粒具有重结晶特点, 成不规则板状、条纹状、团块状, 颗粒在 0.01~0.2 mm 大小的细粒; 在石英砂粒或方解石中包裹的铜矿物呈 0.01 mm 的微粒状。产于砂岩中的同生沉积硫化铜矿物个别为碎屑结构, 沿沉积纹层层理成条带分布。后期改造铜矿物成不规则微粒状产于碎屑粒间或石英颗粒次生边中, 或集中成细脉状与热液脉共生, 一般呈与方解石矿物嵌晶的星点状分布, 并见到有交代石英颗粒形成的交代蚕食结构。脉状铜矿石中至少可以见到四期矿脉的穿切现象。矿石矿物中也见到少数蓝辉铜矿具有环带结构, 斑铜矿交代黄铜矿等热液成因结构。

区内铜矿床(点)矿石品位在 0.5%~3% 之间, 主要为 1.0%~1.5% 左右, 如子弹山 I 号矿体品位为 0.95%~2.95%, 平均 1.45%; II 号矿体 0.72%~2.12%, 平均 1.27%。其它小型矿体品位为 0.56%~0.90%; 舍郎铜矿品位 0.56%~1.53%, 平均 1.10%; 甸头、酸水塘铜矿为 0.60%~2.00%。

目前区内各矿床(点)尚未进行深部勘探与开采, 据浅部开采可见以氧化矿为主, 尤其在灰白色砂岩中的铜矿化主要为孔雀石或蓝铜矿等氧化物。白云岩中的脉状矿化可以见到蓝辉铜矿等硫化物, 砂岩铜矿体较白云岩铜矿体氧化深。

4 矿床地球化学特征

本文对矿石矿物与沉积岩中的微量元素分别进行了系统分析。

铜矿物中主要元素为 S、Cu、Fe, 微量元素有 As、Se, 并通常含 Ag、Pb, 个别含 U, 与辉铜矿、黄铜矿、斑铜矿、铜蓝、黄铁矿的标准分子式 (Cu_2S 、 CuFeS_2 、 Cu_5FeS_4 、 CuS 、 FeS_2) 相比, 普遍显高硫特征, 硫原子数高于标准硫原子数。辉铜矿的硫、铜原子比接近于蓝辉铜矿 (Cu_9S_5) 或斜方蓝辉铜矿 (Cu_7S_4), 因此是辉铜矿与蓝辉铜矿之间的过渡系列, 这种矿物特征可能与氧化有关, 是浅源或表生成因的矿物特征, 其中 S 空缺由 As 填补。镜下观察, 辉铜矿也与标准辉铜矿的光学特征有别, 显低反射率、均质性, 接近于黝铜矿的光性特征, 因此矿物学上是蓝辉铜矿矿物。

电子探针分析发现, 各矿床中都存在有黑铜矿 (CuO), 镜下观察属于自然铜氧化成因, 个别氧化不彻底, Cu 含量在 80% 以上。

由于本次研究取样均在近于地表的氧化带或次生富集带, 因此大部分反映的是次生氧化矿物特征, 推测深部原生铜矿物主要是辉铜矿, 并有自然铜出现。

本文对研究区内地层剖面进行了系统微量元素分析, 从微量元素含量及相关分析可以看出, 矿化层下覆紫红色碎屑沉积岩及冰积岩中 Cu 背景值在 $68 \times 10^{-6} \sim 107 \times 10^{-6}$ 之间, 高于地壳克拉克值 55×10^{-6} , 矿化指数 1.2~17 (指沉积层中 Cu 丰度值与地壳克拉克值比值); 矿化层中长石石英砂岩的背景值为 $135 \times 10^{-6} \sim 956 \times 10^{-6}$, 白云岩为 340×10^{-6} , 明显具有沉积富集的特征。

微量元素中深源元素 Ni ($8 \times 10^{-6} \sim 51 \times 10^{-6}$)、Cr ($31 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-6}$)、Co ($1 \times 10^{-6} \sim 101 \times 10^{-6}$)、V ($8 \times 10^{-6} \sim 92 \times 10^{-6}$) 与地球中平均克拉克值相比明显亏损, 在地壳克拉克值范围内; 壳源元素 B ($9 \times 10^{-6} \sim 44 \times 10^{-6}$)、Be ($1 \times 10^{-6} \sim 10^{-6}$)、Ti ($872 \times 10^{-6} \sim 4720 \times 10^{-6}$)、Ba ($300 \times 10^{-6} \sim 770 \times 10^{-6}$)、Sr ($180 \times 10^{-6} \sim 780 \times 10^{-6}$)、P ($500 \times 10^{-6} \sim 3591 \times 10^{-6}$) 明显富集, 显地壳来源特征; Na、Ga、Sn、Mo 通常在花岗岩中富集的元素也显示明显的亏损性^[2]。从震旦系不同地层岩性的微量元素分布型式可以看出, 其分布型式具有明显的吻合性, 矿石中微量元素的分布型式与沉积岩的分布型式是一致的 (图 3)。这表明了砂岩铜矿的沉积富集成因, 其物质来源与沉积岩的物质来源是一致的。在热液改造阶段来自下部沉积岩中淋滤的成矿物质叠加使矿化进一步富集, 同时也使微量元素含量增高, 因此并不改变微量元素的分布型式。矿化元素 Cu、Pb、Zn 等与壳源元素正相关。这种微量元素分布特征表明沉积岩层中矿化元素的直接或间接来源为古陆壳风化来源, 而缺少深部来源或岩浆来源, 这与震旦系中缺少火山岩物质层的特征是一致的。

根据区域地质分析, 中元古界昆阳群含铜岩系^[3]风化剥蚀是震旦系铜质沉积富集的主要来源。

从地层样品的 Q 型聚类分析图解 (图 4) 可以看出, 南沱组、陡山沱组三段、陡山沱组一段矿层底板与澄江组等碎屑岩相关性好, 相关系数在 0.95 以上, 构成紧密一组, 表明相似的古陆风化物质来源与沉积环境的相似性。而陡山沱组一段含矿砂岩与上述各层相关系数仅

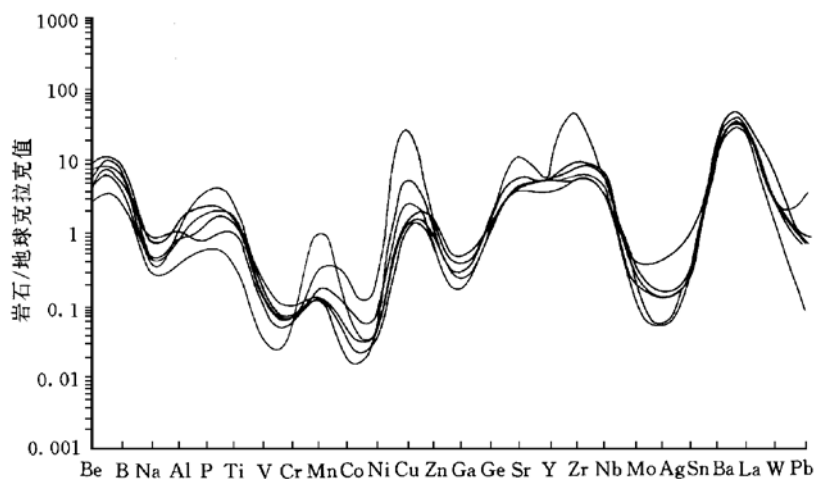


图 3 微量元素的分布型式

Fig. 3. Distribution patterns of minor elements.

在 0.4，表现出分散性，表明了热液活动造成某些元素的分散，因此其表现的是与碎屑岩的同源沉积及热液改造的双重特征。而陡山沱组二段白云岩的分散性则体现了不同的沉积环境特征。

根据粘土矿物的 X 光粉晶分析，震旦系粘土矿物成分主要是伊利石，有极少量高岭石。伊利石的 X 光衍射强峰为 $9.92 \times 10^{-1} \sim 10.04 \times 10^{-1}$ nm，次为 $4.99 \times 10^{-1} \sim 5.03 \times 10^{-1}$ nm、 $4.25 \times 10^{-1} \sim 4.28 \times 10^{-1}$ nm、 $3.32 \times 10^{-1} \sim 3.35 \times 10^{-1}$ nm 等强峰，显示 3T 多型伊利石、白云母特征衍射峰。高岭石衍射峰 $7.12 \times 10^{-1} \sim 7.19 \times 10^{-1}$ nm，弱而不规则，结晶度差，属退变质产物。根据石油地质研究，正常沉积盆地中的粘土矿物以蒙脱石或高岭石为主，在深埋变质或区域变质过程中，高岭石、蒙脱石向伊利石的转化需在含钾卤水中进行，同时形成一些间层矿物，并释放出结晶水、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Si^{4+} 等离子形成酸性卤水。本区脱水粘土矿物全部为伊利石，这表明在沉积埋藏变质或后期区域变质过程中粘土矿物的相变已释放出了大量的结晶水形成了热水溶液。结合红色碎屑岩的氧化还原指数大于 1 的这种氧化环境，必有大量成矿元素被热水溶液淋滤形成含矿溶液，在向上运移过程中遇到碳酸盐还原层而与原生沉积富集矿层叠加，形成沉积改造矿床。据镜下观察，灰白色长石石英含矿砂岩中出现的粘土矿物结晶较粗，成为绢云母类矿物，是热液改造的直接证据，热液改造期成矿温度一般在 $130 \sim 170^\circ\text{C}$ ，属于低温热

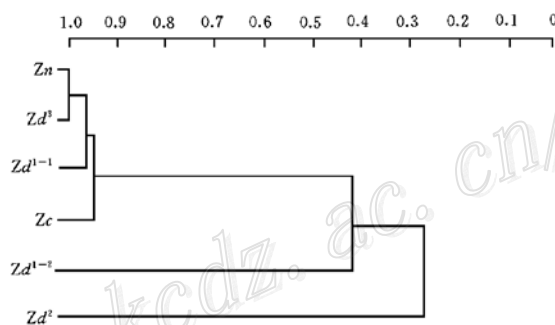


图 4 震旦系样品 Q 型聚类分析图解

Fig. 4. Q-mode cluster analysis of samples from Sinian strata.

液改造成因,相当于加里东期中晚期成岩阶段形成的热液温度。

热液蚀变以硅化与碳酸盐化交代为主,硅化、碳酸盐化往往形成石英、方解石脉,或具有明显切割关系的网脉。表明热液交代具有脉动性,是长期连续的脉动热液交代形成的。改造型脉状铜矿化常与方解石脉共生,显示出了异地热液来源的特征。

5 矿床成因分析

通过上述矿床(点)构造、矿化特征、矿床地球化学分析可以归纳如下几点。

(1) 震旦系砂岩铜矿产于元古宇变质岩古隆起带边缘滨海碎屑岩相沉积建造中。矿化层之下是红色碎屑岩氧化环境,之上是灰绿色碎屑岩、碳酸盐还原环境,矿化层属于氧化还原过渡带。

(2) 矿化严格受地层岩性层位控制,陡山沱组一、二段过渡带灰白色砂岩、硅化白云岩是区内主要矿化层。

(3) 矿床、矿体与加里东期褶皱及断裂构造有关,断裂叠加部位矿化较强。产于灰白色砂岩中的矿体沉积特征明显,矿石主要为浸染状构造,铜矿物颗粒在泥质胶结物中分布。产于白云岩中的矿体穿层改造特征明显,矿石以脉状、角砾状构造为主,但白云岩中有同生微粒铜矿物产出。

(4) 沉积岩及矿化层中微量元素分布特征表明,沉积及成矿物质来源为古陆壳风化剥蚀来源,沉积期已经有初步富集,沉积物淋滤迁移是热液改造成矿的直接物质来源。

(5) 沉积埋藏变质及区域变质导致的粘土矿物相变脱水是主要的后期改造热液来源。

上述特征表明,震旦系砂岩铜矿是沉积改造成因矿床,元古宇变质岩古陆,尤其是元古宇铜矿层的剥蚀提供了含铜溶液或含铜粘土,甚至土状铜矿等丰富的铜质来源,搬运沉积形成震旦系沉积岩层中成矿物质初步富集的含铜泥岩、含铜砂岩或含铜碳酸盐,并在氧化还原过渡带形成了同生矿化层。加里东期区域挤压活动导致沉积变质热液淋滤含铜粘土,形成含矿热液叠加于氧化还原过渡带的同生矿化层中,形成改造富集矿床。

参 考 文 献

- 1 冉崇英,刘卫华.康滇地轴铜矿床地球化学与矿床层楼结构机理.北京:科学出版社,1992.
- 2 黎彤.大洋地壳与大陆地壳的元素丰度.大地构造与成矿学,1984,8(1):19~28.
- 3 孙克祥,沈远仁.元古宙铁铜矿床.武汉:中国地质大学出版社,1991

GENESIS OF THE SINIAN SEDIMENT-HOST COPPER DEPOSITS IN HUANING-ESHAN AREA, YUNNAN PROVINCE

Xiao Rongge and Ge Wensheng

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Key words: Sinian, sediment-hosted copper deposit, sedimentary and reformed copper deposit, geochemistry

Abstract

The Sinian sediment-hosted copper deposits in Yunnan Province are found to be sedimentary copper ones reformed by hydrothermal solution. Copper deposits occur in Upper Sinian greyish white sandstone, dolomite and marl shale and show the character of stratabound copper deposits. Geochemical characteristics of sedimentary rocks suggest that the copper enrichment coefficient of Sinian clastic rocks is higher than that of the common clastic rocks. Therefore, copper contained in hydrothermal solution must have originated from copper leached from red clastic rocks and then mixed up with copper in the sedimentary copper ore bed. Argillites consist of illite derived from sedimentary clay minerals formed in burial and regional metamorphism. The dehydration caused by facies change from sedimentary clay to illite is directly responsible for the epigenetic ore-forming hydrothermal solution, and the ore-control structures are gentle anticlines subjected to interlayer shattering and strike faults.