

# 中国自然铜矿床类型、特征、分布及形成条件

曾乔松<sup>1,2</sup>, 陈广浩<sup>1</sup>, 王 核<sup>1</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所成矿动力学重点实验室, 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要:**近年来的找矿进展显示,我国至少存在2种以上成因类型的自然铜矿床(矿化带):火山-沉积碎屑岩型和陆相砂页岩型等,其主要分布在扬子地块西南缘和新疆天山地区。以湘西九曲湾(麻阳)铜矿和滇东北沿河铜矿为例,结合国外典型自然铜矿床(矿化带),分析了自然铜的成矿学特征及形成条件。通过对比分析沉积砂岩铜矿(硫化物)与自然铜矿的成矿学特征,认为自然铜成矿必须具备3个条件:孔隙度丰富而适宜的储矿岩石;水-岩反应中有利于含铜岩石的萃取和运移的浅成低温热液(卤水);贫硫富生物有机质的地球化学还原障壁带。研究显示,自然铜形成于碱性贫硫的还原环境中,生物有机质对自然铜的成矿起重要作用,相对封闭的成矿环境、独特的流体性质对自然铜起保护作用。我国南方的自然铜矿床一般显示出层控、浅成低温及生物有机质参与成矿等特点。最后探讨了自然铜矿床在我国的找矿勘探前景。

**关键词:**自然铜矿床;成因类型;形成机理;生物有机质

**中图分类号:** P618.41

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7849(2006)06-0041-06

铜为亲硫元素,自然铜在表生状态下不稳定,容易形成氧化物和碳酸盐或其他化合物,以 $\text{Cu}^+$ 或 $\text{Cu}^{2+}$ 形式存在,地下原生带和次生富集带高纯度自然铜少见,往往含有少量或微量其他自然金属元素而以合金形式存在<sup>[1]</sup>。自然铜矿床作为一种特殊的铜矿床类型,虽然其资源量只占所有铜资源总量的很小一部分,但其独特的矿床类型仍引起了国内外地质学家的关注<sup>[2-6]</sup>。

中国南方一些沉积盆地中同一时代的沉积型砂岩铜矿床,尽管其成矿的地质背景相似,但有的形成以硫化物为主的矿床;有的形成以自然铜为主的矿床,对于导致这种差异的地质因素何在?是先形成铜的硫化物或氧化物后再还原成自然铜,还是直接结晶还原成自然铜?是以成岩成矿期还原有机质为主还是以后期流体中改造有机质为主?等等这些问题目前还没有定论。作为相对单一的矿种的勘探和开发,自然铜矿床在我国的产出、矿床类型和分布相对较丰富,近年来相继在滇东北、黔西和新疆东天山地区在自然铜矿床的找矿勘探方面有较大突破,说明该类矿床在我国有着较好的找矿前景。笔者在前人研究成果基础上,结合自己所做的工作,对该类型矿床的产出背景及形成机理进行探讨和总结,以期深化对此类矿床的研究。

## 1 自然铜矿床类型及分布

自然铜矿床主要包括火山-沉积碎屑岩型和陆相砂页岩型。火山-沉积碎屑岩型有如美国密歇根州基韦诺(Keweenaw)超大型自然铜矿床<sup>[3-7]</sup>、俄罗斯科拉半岛前寒武纪火山杂岩中的自然铜矿化带<sup>[8]</sup>,中国产于二叠纪玄武岩中的有滇东北沿河铜矿<sup>[2]</sup>、贵州威宁玄武岩铜矿、新疆中天山西段尼勒克县木斯铜矿和东天山长城山—十里坡一带中石炭统火山碎屑岩中自然铜矿化带<sup>[9]</sup>等。陆相砂页岩型有智利中三叠统圣保陀罗红层陆相砂页岩型自然铜矿<sup>[4]</sup>,中国湘西九曲湾(麻阳)铜矿、滇东会泽水槽子铜矿<sup>[10]</sup>等。另外,作为次要或伴生矿种,在一些其他类型的铜矿中也偶见有块状自然铜产出,如湖南衡阳盆地柏坊铜矿床刘家湾矿体中产出重达上百公斤的大块自然铜,胶东玲珑金矿田西山金矿也产出伴生块状自然铜<sup>[11]</sup>。这种伴生块状自然铜主要产于次生氧化富集带中,为局部还原环境下结晶,是铜的硫化物转变为铜的氧化物和含氧盐过程的中间产物<sup>[12]</sup>。有的铜矿床的次生氧化带、金矿床、超基性岩或陨石中也可见微量自然铜颗粒,但由于不具有工业意义,只具矿物学意义,故在此不再赘述。

收稿日期:2006-04-20 编辑:禹华珍

基金项目:中国科学院创新重要方向项目(KZCX-SW-137);国家“十五”科技攻关项目(2003BA612A-06-01)

作者简介:曾乔松(1970—),男,助理研究员,主要从事成矿学及矿床地球化学研究。

陆相砂页岩型自然铜矿床主要产出在中国南方的中、新生代古陆边缘红层盆地中,该古地理环境干燥、炎热,河湖三角洲相或滨湖沼泽相为最有利的产出地带,后期构造运动对前期成矿的破坏一般不大,有利于成矿体系持续保持相对封闭和还原环境。在中国西南地区峨眉山大火成岩省暗色玄武岩体系中,产出火山-沉积碎屑岩型自然铜矿床,其成矿可

能与地幔柱演化有关。该类自然铜矿的形成时代不一,国内以晚古生代成矿为主,国外以前寒武纪成矿为多见。在我国南方,无论是陆相砂页岩型还是火山-沉积碎屑岩型自然铜矿床,一般均显示出层控、浅成低温和生物有机质参与成矿的特点,是扬子地块西南缘大面积低温成矿的具体体现<sup>[13]</sup>。不同的自然铜矿床(矿化带)的地质特征见表 1。

表 1 世界不同自然铜矿床(矿化带)地质特征

Table 1 Geological characteristics of various native copper deposits

矿床(矿化带)	主要工业矿石类型	时代及赋矿岩石	成因类型	成矿物化条件	矿床(体)产出构造位置
中国湘西麻阳铜矿	以自然铜为主,含少量辉铜矿、黄铜矿	白垩纪砂岩、砂砾岩	低温热水沉积	贫硫,有机质可能提供还原条件	三角洲相古河道、背斜倾伏端及两侧、向斜核部及断层和含矿层交汇处等
中国滇东北鲁甸—沿河铜矿	以自然铜为主,辉铜矿、黑铜矿次之	二叠纪溢流玄武岩	火山热液 <sup>[3]</sup>	贫硫,Fe <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup> 及有机质提供还原条件	古火山口、玄武岩与碳质泥岩接触带、向斜构造及韧性剪切带等
中国东天山长城山—十里坡铜矿化带	以自然铜为主,含少量砷铜矿	中石炭统沉凝灰岩	火山热液	未知	可能与地幔柱演化有关
俄罗斯斯科拉半岛铜矿化带	以硫化物为主,次为自然铜	前寒武纪火山杂岩	热液成因	岩浆熔体低电位硫及有机质?提供还原条件	火山岩地层间断面或不整合面及其附近
美国密歇根州基韦诺铜矿	以自然铜为主,含少量辉铜矿	中晚元古代火山岩及碎屑沉积岩	火山热液 <sup>[3]</sup>	贫硫,Fe <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup> 及有机质提供还原条件	区域大断裂带内或旁侧分支小断层、裂隙带或滑移带内

2 火山-沉积碎屑岩型自然铜矿床的形成机理

目前世界上已经发现的与火山岩有关的具有大规模自然铜成矿的只有两例:美国密歇根州基韦诺超大型自然铜矿床和中国滇东北鲁甸—沿河自然铜成矿带,两者均处于岩石圈地球化学急变带上<sup>[2-3]</sup>。鲁甸—沿河铜矿的自然铜主要以片状、浸染状、网脉状产于火山角砾岩、凝灰岩、碳硅质泥岩、硅质沥青和气孔状熔岩中,铜矿化具有明显的层控特征,与古火山口环境下的热液活动密切相关。大陆喷发火山口环境及其褶皱向斜部位是最有利的成矿场所,成矿作用往往只与玄武岩喷发结束拖尾阶段的岩浆分异有关<sup>[3]</sup>。研究显示,沿河铜矿有机质含量明显比基韦诺铜矿高,Fe<sup>2+</sup>向Fe<sup>3+</sup>转化和有机质的参与为自然铜提供了还原条件<sup>[3]</sup>。

中国新疆东天山地区自然铜矿化带位于觉罗塔格晚古生代岛弧南部,阿克库都克深断裂北缘。带内断裂构造、石炭纪酸性侵入岩和中-基性火山岩发育。矿石矿物主要为自然铜和少量砷铜矿,自然铜呈粒状、浸染状和团块状产出,矿化与绿泥石化、绿帘石化、硅化和碳酸盐化关系密切。俄罗斯斯科拉

半岛前寒武纪火山杂岩硫化物金属成矿带中除硫化矿外,还存在大面积浸染状自然铜矿化,为该带最晚成矿期次形成。虽然成矿时间相隔较久,但与中国新疆东天山地区长城山—十里坡铜矿化带一样,铜矿化与绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化和硅化伴生,显示出火山热液成因。<sup>[18]</sup>将该火山杂岩中自然铜的成矿机制概括为:在地下深部含铜玄武质岩浆演化过程中,铜很少进入造岩矿物中,而主要聚集在流体中,岩浆喷发至地表后,铜以一定的物质形态富集于缺乏高电位硫、很少或没有硫化物产生的火山熔岩、火山碎屑岩(杂岩)中,初始的富铜火山热液提供矿源,具较高孔隙度的火山熔岩(杂岩)在喷出冷却后与热液相互作用,阳离子复合体分离出绿帘石,与氧化铁反应而还原成自然铜。这种成矿机制解释最大的不足是忽视了成矿过程中的有机-无机的相互作用。近十多年来,对于自然铜矿的研究<sup>[2-3,14-17]</sup>都显示出有机质(烃类、沥青或有机质碎屑)与自然铜成矿有关,它可能只参与了铜成矿过程的某一环节,也可能参与了自然铜从搬运、富集到成矿的整个过程,但明确列出铜的有机成因类型还有待进一步研究和证实。因此,这种成矿机制解释还有待进一步完善。

从国内外典型火山-沉积碎屑岩中自然铜矿的

成矿背景和条件可以看出,从地下深部上升喷发(溢)的玄武质岩浆中,铜的丰度比地层铜的平均值要高,沉积的火山角砾岩、凝灰岩以及砂岩、砂砾岩等具有较丰富而适宜的孔隙度,为水(热液)-岩反应及铜质的运移、储存和沉淀提供了条件和空间。富含有机质的黑色泥页岩和泥质粉砂岩为自然铜成矿提供了还原剂和矿液储存障壁带。水-岩反应过程中的有机-无机相互作用最终导致自然铜成矿。

### 3 陆相砂页岩型自然铜矿床形成机理

地质学家们<sup>[5-6]</sup>在研究美国怀特潘地区红层砂岩型铜矿后总结出的成矿模式为:矿层上面一般以膏盐层或者蒸发岩作为阻挡覆盖层,下面则存在煤系地层(如碳质泥页岩),矿层为孔隙度丰富而适宜的砂岩、砂砾岩或碳质泥页岩层。富含有机质的流体(含 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CH}_4$ 等挥发分的 $\text{NaCl}$ 型卤水<sup>[18]</sup>) 在迁移过程中不断萃取铜等成矿物质,上升至砂砾岩层在还原环境下析出成矿。滇中地区中分布着中国典型的中生代砂岩型铜矿,湖南沅麻盆地中的麻阳铜矿的成矿地质背景和成矿时代与滇中砂岩型铜矿相似(白垩纪或古近纪早期),但主要工业类型有所不同,前者为硫化矿和氧化矿,后者主要为自然铜矿。甚至在麻阳铜矿与临近衡阳盆地红层中的柏坊铜矿、车江铜矿,其工业类型也不一样。造成最终矿种差异的原因主要在于当时构造-岩相条件、主成矿期流体的成分和性质以及硫逸度。湘西沅麻盆地物源来自雪峰古陆<sup>[19]</sup>,白垩纪—古近纪时陆缘碎屑在炎热、干燥的河湖三角洲地带沉积。硫在风化、搬运及沉积期间部分经细菌等生物活动而进入大气,大部分进入溶液或流体中,成岩期间流体由于压力梯度自下而上运动,在炎热、干旱气候下最后固定在膏盐中。成岩成矿期由于构造运动不强烈(矿区构造相对简单,以褶皱为主,断裂等穿透构造相对不发育),泥岩、泥质粉砂岩及膏盐层等阻水层使上部氧化含硫卤水不能向下运移,造成缺硫、缺氧环境,因此氧逸度 $f(\text{O}_2)$ 、硫逸度 $f(\text{S})$ 均很低,成矿环境相对封闭。成矿流体包裹体成分分析显示,此时充当还原剂的不是 $\text{H}_2\text{S}$ ,而是 $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$ 、烃类和(或)沥青等有机质<sup>[19]</sup>。另外,黄满湘<sup>[20]</sup>发现麻阳铜矿成矿流体(卤水)(有滑感、具咸涩味)中还含有氨[将卤水加热,闻到氨味(氨为硝化细菌作用的产物)] ,将不同中段采矿掌子面原生水取样分析,发现氨含量高的地方含铜也高。在常温开放条件下,铁在卤水溶液中很快被腐蚀氧化,而将铁丝浸入该溶液中却数天不生锈。比铁不活泼的自然铜在该溶液则更难氧化。因此,这种溶液可能对铜起到了保护作用,这也

可以解释自然铜为什么可以保存在氧化带中。从流体成矿学角度看,这种流体体系较独特,可能含有自然铜形成和保存的某种信息。是否如此,尚有待进一步的研究证实。

陈根文等<sup>[21]</sup>用(上下)双重卤水结构建立了滇中楚雄盆地的流体成矿模式,在成岩期间来自上部的氧化含铜卤水与来自下部的还原卤水,在应力中和面反应而形成矿体。因此,滇中砂岩型铜矿主成矿期的成矿环境相对开放。盆地砂岩型铜矿的岩石化学成分分析显示,从紫色砂岩、浅色砂岩到矿层,有机碳含量、铜品位及 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{FeO}$ 含量逐渐升高,而 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 含量则逐渐减少, $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/w(\text{FeO})$ 、 $w(\text{CaO})/w(\text{SiO}_2)$ 比值减小,氧化还原状态的变化过程为氧化—弱还原—还原—强还原<sup>[22]</sup>。成矿酸碱度呈弱碱性,pH值为8~9。紫色砂岩、浅色砂岩特征矿物分别为赤铁矿和黄铁矿,矿体产于浅色层或浅、紫色交互带。分析数据反映出有机质在地层中迁移的方向,杨蔚华等<sup>[23]</sup>认为滇中砂岩型铜矿与铜矿物伴生的有机质主要是异地迁移来的烃类。麻阳铜矿自然铜最主要的产出方式是以胶结物形式赋存于砂岩碎屑物之间的孔隙中。肉眼和镜下观察可以看出,矿石中自然铜与碎屑粒度、岩石孔隙度呈正相关关系,主要与成岩后期重结晶方解石伴生,并交代结晶方解石,而与砂岩的同生胶结物关系不密切,笔者认为这种形式存在的自然铜是成岩过程伴随的成矿产物(主成矿期)。与滇东会泽水槽子铜矿相似之处可能表现为:成岩期即为主成矿期<sup>[10]</sup>(也存在后期热卤水对矿层改造,使成矿叠加富集),而不同之处在于滇东北沿河铜矿铜质先形成氧化铜,后被还原成自然铜<sup>[3]</sup>。

### 4 生物有机作用在自然铜富集生长过程中的作用

生物有机质对铜等金属元素的迁移、富集成矿过程中的作用早已引起国际上的广泛关注<sup>[6,24-26]</sup>。科学家们<sup>[4,14,20,23,27-30]</sup>从硫、碳同位素分析,烃类、干酪根等有机物降解,微生物和藻类生物活动对金属元素富集生长的影响以及显微镜观察等方面,研究生物有机质参与金属元素(铜)“溶解-运移-聚集-生长”的证据和成矿机理。这些研究证实了自然铜形成过程中的有机成矿作用,为进一步揭示铜的成矿机理提供了丰富的材料和坚实的基础。

科学家们<sup>[17-18,27,31-32]</sup>的研究显示,未熟或欠熟油气矿床或煤系地层与自然铜的形成之间存在密切关系。滇东北沿河铜矿油气的显示与沅麻盆地大面积油苗的存在,暗示未熟或欠熟油气层和煤系地层与

自然铜形成的某种因果关系<sup>[32]</sup>。在放大镜下观察发现,麻阳铜矿有的高品位自然铜矿化往往伴随大量同生沉积时期形成的生物遗迹化石,铜品位往往与痕迹化石的发育程度呈正相关关系,分析显示浅色层(含矿层)中有机碳含量与铜含量也呈正相关关系(表 2),同一矿层自然铜矿化很不均匀。综合多方面资料分析认为,麻阳铜矿的有机质以沉积搬运带来的同生碎屑有机质为主。矿石中伴生有机质的镜质体反射率反演温度为 100 ℃ 以下的低温<sup>[33]</sup>,石膏等原生矿物包裹体均一温度变化于 93 ~ 130 ℃ 间。沿河铜矿自然铜矿化伴随阳起石化、透闪石化和沥青化,这些变质矿物的形成温度和沥青质的镜质体反射率反演温度为 350 ~ 400 ℃ 的中高温,朱炳泉等<sup>[2]</sup>认为早期沉淀的氧化铜与 CO、轻烃或重烃发生还原反应,形成自然铜。这种有机碳可能具有多来源和多期次。

表 2 麻阳铜矿 22 号矿层中有机碳与铜质量分数<sup>[20]</sup>

Table 2 Contents of organic carbon and copper in No. 22 ore bed of Mayang copper deposit

	8	15	31	32
有机碳	0.09	0.11	0.12	0.29
铜	0.24	15.1	> 15.00	> 15.00

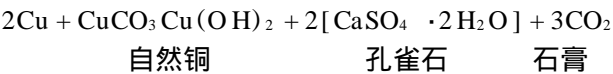
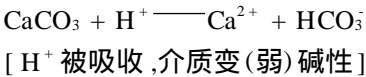
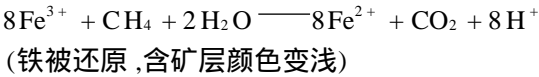
中南工业大学分析测试中心,1996

结合国内外的自然铜矿床成矿实例,虽然笔者没有更充足的证据把自然铜矿床单独划为生物有机质成因类型,但成矿都有生物有机质参与是无疑的;贫硫环境下有机质分解演化产物——烃类(主要为 CH<sub>4</sub> 和 CO,或许还有硝化细菌活动产生的氨气,可能还有氢气等)为还原剂。基于前人的研究成果,可以将生物有机质对自然铜成矿的贡献归纳如下。

(1) 初始沉积阶段 根据有机质生成时间和成熟度(镜质体反射率)等光学特征,砂页岩型(自然)铜矿床中的有机质可能包含 3 种形式:同生沉积有机质、成岩有机质和改造期流体带来的改造有机质<sup>[34]</sup>。在初始表生沉积阶段,某些微生物和(或)藻类活动能够改变沉积环境的酸碱度,有机酸(腐殖酸、氨基酸)能有效地溶解金属盐类,有的有机质颗粒能吸附铜离子,有的生物体甚至直接吸收富集金、铜等金属元素。这些有机质对矿质的迁移富集起积极作用。

(2) 成岩成矿阶段 当沉积成岩作用进行到一定阶段,经历一定的时间、温度后,沉积物中的有机质才能大量降解为烃类。聚矿作用与沉积成岩期或期后是油气形成演化阶段,烃类物质生成阶段的浅成低温热液(卤水)有机成矿作用是最主要的<sup>[18]</sup>。

演化程度高的富有机质的流体,一方面在水-岩反应中溶解、萃取矿质;另一方面当物理化学条件发生改变时,在有利的构造部位,有机质充当成矿还原剂而使铜沉淀成矿。铜的成矿作用主要发生在这一时期。撇开极其复杂的地质过程,有机质还原铜的方式可能以下列方式进行:



(3) 改造富集阶段 后期的构造运动(断裂或褶皱)打破了原有的物理化学平衡,流体在新的物理化学平衡体系下聚集成矿。如在麻阳铜矿中可见部分方解石和石膏膜沿裂隙充填,与自然铜、辉铜矿相伴生。它们是由原岩中局部含有机质的还原矿液由于构造作用而进入裂隙所致。该阶段主要是由于构造作用,成矿体系由相对封闭变为相对开放(这种开放是相对的、有限的,不会引起早期形成的自然铜大规模氧化),不同性质的流体向低压扩容空间运移混合。流体运移同时伴随对已有矿体的破坏、改造和对含矿地层金属元素的萃取。从伴生脉石矿物和黄铁矿、辉铜矿等所做的 C、S 同位素分析可以看出,麻阳铜矿浅色层(含矿层)中有机碳含量平均值比滇中楚雄盆地砂岩型铜矿高出至少 2 倍以上。麻阳铜矿辉铜矿和石膏的硫同位素 (<sup>34</sup>S) 为 - 39.31 ‰ ~ - 19.20 ‰,平均为 - 28 ‰,楚雄盆地硫化矿的 (<sup>34</sup>S) 为 - 24.79 ‰ ~ - 1.70 ‰,平均为 - 13.2 ‰,两者都反映出生物硫和沉积硫特征,说明成矿未受岩浆热液作用影响。

5 自然铜在我国铜资源勘探开发中的前景

自然铜占我国铜资源量的比例虽然很小,但其品位一般较高,选冶工艺简单,环境污染相对较小,具有较高的费效比,是一种比较经济的铜矿工业类型。近年来我国地质工作者<sup>[2-3,17]</sup>根据新的找矿理论——岩石圈地球化学急变带和地幔柱成矿理论,在峨眉山大火成岩省滇东北暗色玄武岩中发现了似基韦诺型的鲁甸沿河铜矿,这一发现引起了地质界的关注。近年发现的黔西威宁县玄武岩铜矿的矿床特征<sup>[35]</sup>与沿河铜矿基本一致,说明在峨眉山大火成

岩省的二叠纪暗色玄武岩及其煤系地层中,寻找同类型矿床有很大的前景。涂光炽等<sup>[36]</sup>认为在我国新疆塔里木和天山地区,可能存在与峨眉山对应的地幔柱。2001~2002年新疆地质调查院第一地质调查所相继发现了新疆东天山长城山和十里坡自然铜矿化带,初步研究显示,其与中国滇东北沿河铜矿和美国基韦诺铜矿有相似性,这种自然铜矿化可能与地幔柱活动有关。随着地质工作的深入,在该地区还将发现有更多的自然型铜矿床(点),与土屋-延东斑岩铜矿一道构成该区一条多种成矿类型的铜多金属成矿带。这说明上述两个地区是我国火山热液型自然铜矿床最有前景的找矿地区。

对于陆相砂页岩型自然铜矿床则应注重在古陆边缘中、新生代断陷-沉积盆地中找矿<sup>[37]</sup>,矿床(体)往往产出在距古陆一定距离的河湖三角洲相或湖滨沼泽带上。这类盆地的古陆基底含铜丰度往往较高,为盆地提供充足的物源。盆地上部一般存在膏盐层或蒸发岩层,下部往往存在欠熟或低熟油气矿床或含煤建造,盆地含矿岩系为以砂砾岩、砂岩、粉砂岩、含碳泥页岩为主,可能还有火山碎屑岩、碳酸盐岩、石膏等的“红层”建造。在我国滇中、滇东、四川、湘西、湘南及青海、安徽等地区的中、新生代盆地中,根据相似类比原理及铜矿吨、品位分形分析方法<sup>[38]</sup>,推测这些地方仍有较好的自然铜矿床找矿前景。

在成文过程中,与李朝阳研究员、汪劲草教授、陈根文研究员和杨牧博士进行了有益的交流和讨论,并得到他们的指导和帮助,在此向他们表示衷心感谢!

## 参考文献:

- [1] 郑大中,郑若峰.自然铜、铜合金矿物及其矿床形成机理新探索[J].四川地质学报,2002,22(2):72-81.
- [2] 朱炳泉,常向阳,胡耀国,等.滇-黔边境鲁甸沿河铜矿床的发现与峨眉山大火成岩省找矿新思路[J].地球科学进展,2002,17(6):912-917.
- [3] 朱炳泉,胡耀国,张正伟,等.滇-黔地球化学边界似基韦诺(Keweenaw)型铜矿床的发现[J].中国科学:D辑,2003,32(增刊2):49-59.
- [4] Flint S. Sedimentary and Diagenetic Controls on Red-Bed Ore Genesis: The Middle Tertiary San Bartolo Copper Deposit, Antofagasta Province, Chile[J]. *Econ. Geol.*, 1986, 81: 761-778.
- [5] Brown A C, Chartrand F M. Diagenetic Features at White Pine (Michigan), Red Stone (N. W. Territories, Canada) and Kamoto (Zaire): Sequence of Mineralization in Sediment-Hosted Copper Deposits (Part 1)[M]. Friedrich G H, et al. *Geology and Metallogeny of Copper Deposits*. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1986: 390-396.
- [6] Hamilton S K. Copper Mineralization in the Upper Part of the Copper Harbor Conglomerate at White Pine, Michigan[J]. *Econ. Geol.*, 1967, 62: 885-904.
- [7] 胡正纲.美国基韦诺自然铜矿床成矿环境、成矿作用和机制[J].四川地质学报,1998,18(1):26-30.
- [8] .科拉半岛早元古代火山作用和自然铜矿化[J].黄坪仙,译.国外前寒武纪地质,1994,1:31-33.
- [9] 董连慧,胡建卫,刘拓,等.新疆东天山地区首次发现自然铜矿化带[J].矿床地质,2003,22(2):封三.
- [10] 王利东.会泽水槽子铜矿床及成因探讨[J].云南地质,2002,21(3):293-299.
- [11] 王启梁.玲珑金矿田西山矿床自然铜产出特征及其与金的关系[J].黄金,1995,16(6):9-11.
- [12] 黄蕴慧,岳树勤,秦淑英,等.中国矿物志.第一卷:自然元素单质及其互化物矿物[M].北京:地质出版社,2000:401-414.
- [13] 赵振华,涂光炽,胡瑞忠,等.中国超大型矿床( ) [M].北京:科学出版社,2003:267-299.
- [14] Marcos Z, Francisco M, Milton C G, et al. Hydrocarbon Involvement in the Genesis of Deposits: An Example in Cretaceous Stratabound (Manto-Type) Copper Deposits of Central Chile[J]. *International Geology Review*, 1997, 39: 1-21.
- [15] 崔银亮,王学琨.滇中地区砂岩铜矿成矿过程中的有机质作用[J].云南地质,1994,13(1):42-48.
- [16] 张可清,熊鹏飞.滇中砂岩铜矿成矿作用和成矿模式[J].地球科学:中国地质大学学报,1995,20(2):199-202.
- [17] 朱炳泉.大陆溢流玄武岩成矿体系与基韦诺(Keweenaw)型铜矿床[J].地质地球化学,2003,31(2):1-8.
- [18] 肖荣阁,陈卉泉,帅开业,等.沉积岩铜矿床的有机聚矿作用[J].矿物岩石地球化学通报,1994,(1):38-41.
- [19] 曾乔松.麻阳铜矿形成机制及找矿预测准则[D].长沙:中南工业大学,1991:56-61.
- [20] 黄满湘.湖南麻阳铜矿成矿机制探讨[J].大地构造与成矿学,1999,23(1):42-49.
- [21] 陈根文,夏斌,吴延之,等.楚雄盆地砂岩铜矿成矿机理研究[J].中国科学:D辑,2000,30(增刊2):169-175.
- [22] 庄汉平,冉崇英,何明勤,等.滇中砂岩铜矿成矿过程中水-岩反应的证据与机理[J].地球科学:中国地质大学学报,1996,21(3):327-331.
- [23] 杨蔚华,刘友梅.滇中中生代层控铜矿床的地球化学[J].中国科学:B辑,1983,9:833-842.
- [24] 叶连俊.外生矿床陆缘汲取成矿论[J].地质科学,1963,(2):67-87.
- [25] Saxby J D. The Significance of Organic Matter in Ore Genesis [M]. Wolf K H. *Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits: 2. Geochemical Studies*. Amsterdam: Elsevier, 1976: 111-133.
- [26] Renfro A R. Genesis of Evaporite-Associated Stratiform Metaliferous Deposits: A Sabkha Process[J]. *Econ. Geol.*, 1974, 69: 33-45.
- [27] 傅家谟,刘德汉.有机质演化与沉积矿床成因( ).煤成烃类与层控矿床[J].沉积学报,1983,(4):15-28.
- [28] Sweeney M, Turner P, Vaughan D J. Stable Isotope and Geochemical Studies of the Role of Early Diagenesis in Ore Formation, Konkola Basin, Zambian Copper Belt [J]. *Econ. Geol.*, 1986, 81: 1838-1852.
- [29] Tarcy D B, Edward M R. Genesis of Sediment-Hosted Copper

- Mineralization in South-Central Kansas: Sulfur/Carbon and Sulfur Isotope Systematics[J]. *Econ. Geol.*, 1990, 85: 601 - 621.
- [30] Douglas W H, Mark S B. Stratiform Copper Deposits Hosted by Low-Energy Sediments: Aspects of Sulfide Precipitation[J]. *Econ. Geol.*, 1987, 82: 875 - 893.
- [31] 涂光炽, 王秀章, 陈先沛, 等. 中国层控矿床地球化学: 第三卷[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 1 - 27.
- [32] 钟建华. 湘西沅麻盆地发现大面积油苗[J]. 中国区域地质, 1994, (3): 284 - 285.
- [33] 钟建华, 张琴华, 李自安, 等. 湖南麻阳、车江铜矿床的有机质及生物成因初探[J]. 地质找矿论丛, 1995, 10(2): 42 - 48.
- [34] 庄汉平, 冉崇英, 何明勤, 等. 楚雄盆地有机质、膏盐与砂岩铜矿生成关系的有机地球化学证据与机理[J]. 沉积学报, 1996, 14(3): 129 - 138.
- [35] 罗孝桓, 刘巽锋, 汪玉琼, 等. 贵州威宁地区玄武岩铜矿地质特征[J]. 贵州地质, 2002, 19(4): 215 - 220.
- [36] 涂光炽. 地幔柱成岩成矿问题讨论[C]. 佚名. 矿物岩石地球化学通报: 第二届全国成矿理论与找矿方法学术研讨会摘要. 广州: 中山大学, 2004: 1 - 2.
- [37] 李朝阳, 徐贵忠, 胡瑞忠, 等. 中国铜矿床主要类型特征及其成矿远景[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 157 - 201.
- [38] 谭凯旋. 砂岩铜矿床的分形分析与资源远景预测[J]. 湘潭矿业学院学报, 1999, 14(1): 6 - 10.

## Types, Distribution and Ore-Forming Characteristics of Native Copper Deposits in China

ZENG Qiao-song<sup>1,2</sup>, CHEN Guang-hao<sup>1</sup>, WANG He<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Metallogenic Dynamics, Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, China; 2. Graduate School, CAS, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Industrial types of copper deposits consist mainly of volcano-sedimentary and sedimentary sandstone copper deposits. These deposits are related respectively to volcano-hydrothermal solution, hydrothermal metasomatism/hydrothermal sedimentation. As a special industrial type of copper resources, native copper is formed under a weak alkaline and sulphur-deficient deoxidized environment. Three conditions are necessary during ore formation, i. e., appropriate-porosity ore-hosted rocks, extraction and migration for epithermal organic matter-enriched hydrothermal solution during water-rock reaction and deoxidized sulphur-deficient barrier belts. This paper analyses the relationship between organic matter and ore formation of copper. The study shows organism and/or organic matter plays an important role for deoxidization and concentration of native copper. However it remains to be further researched and confirmed whether there exists the organism and/or organic matter type copper deposit. Native copper deposits in South China generally display stratabound and epithermal metallogenesis involved in organic matter. This type of deposit is typical of large-area epithermal metallogenesis in the southwestern Yangtze block since the Mesozoic. Finally, the paper discusses prospecting and exploration for native copper deposit in China.

**Key words:** native copper deposit; genetic type; metallogenic mechanism; organic matter