

文章编号:1000-4734(2007)01-0057-07

中国自然铜矿化类型、特点 及形成机理浅析

王大鹏^{1,2}, 张乾^{1*}, 朱笑青¹, 张正伟¹

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:铜在自然界中多以氧化物和硫化物形式存在, 只有少部分以单质或者合金状态产出。总结了自然铜矿化的类型、特点、形成条件以及成矿机理, 阐述了找矿前景。自然铜的矿化类型主要有岩浆岩型、砂岩型等, 部分与有机质共生或产在氧化带, 产出环境为低温、弱碱性还原环境。玄武岩型自然铜矿化分布广、规模大, 是形成工业矿床最有利的矿床类型; 砂岩型自然铜矿床主要见于湖南麻阳一带, 成矿前景优越, 有可能找到更大的工业矿床(体)。

关键词:自然铜; 矿化类型; 矿化特征; 成矿机理; 找矿前景

中图分类号:P578.1; P618.5 **文献标识码:**A

作者简介:王大鹏, 男, 硕士研究生, 矿床地球化学专业。

铜的地球化学性质活泼, 容易形成氧化物和硫化物, 硫化物是铜的主要产出形式。自然界也有少部分铜以单质或者合金状态产出, 有时可以富集形成工业矿床。总结前人的资料, 按照自然铜产出环境可以分为岩浆岩自然铜矿和砂岩自然铜矿。岩浆岩自然铜矿可以分为玄武岩自然铜矿床, 中-酸性岩自然铜矿化等两个亚类。其中, 玄武岩型和砂岩型自然铜矿具有较大的工业价值和勘探前景。本文介绍各类自然铜矿化主要特点, 同时对自然铜的形成机理进行讨论。

1 自然铜矿化类型

1.1 岩浆岩自然铜矿化

1.1.1 玄武岩型自然铜矿床

玄武岩型自然铜矿, 又称玄武岩铜矿^[1], 以峨眉山玄武岩自然铜矿床^[2-4]、新疆北天山木斯铜矿床和东天山地区自然铜矿化^[5-7]为典型, 它们在成矿环境上具有一定的相似性。

峨眉山玄武岩及其周边产出铅、锌、铜等多种

金属矿产, 自然铜矿化分布在滇黔交界的鲁甸—威宁一带的三叉拼接裂谷及滇西丽江—宁蒗一带的玄武岩中, 矿化分布广泛, 矿床(点)很多, 低钛和高钛玄武岩中均有矿化, 前者见于滇西地区, 后者主要分布在滇黔交界地区^[8]。

峨眉山玄武岩主喷发期为 259 ~ 257 Ma(二叠纪), 喷发时限约为 1 Ma, 存在多个喷发旋回, 夹有多层凝灰岩层^[9-10]。矿化主要出现在喷发间歇期形成的数层火山角砾凝灰岩或凝灰岩层下部的杏仁状玄武岩中, 矿化受凝灰岩层和断裂构造双重控制, 自然铜常呈脉状、团块状及浸染状分布^[11-13]。

矿石矿物为自然铜及少量铜的硫化物和氧化物; 伴生的脉石矿物有沥青、碳质、石英、沸石、方解石、绿泥石等, 此外还有少量绿帘石、钠长石、阳起石、褐铁矿等。矿化与沸石化、绿泥石化、绿帘石化、硅化、碳酸盐化、沥青岩化等关系密切^[12-14]。

峨眉山自然铜矿床的产出环境含有丰富的有机质。火山喷发间歇期形成凝灰岩层, 同时植被发育, 滇西宁蒗铜厂河玄武岩型自然铜矿床产于黑泥哨组玄武岩和泥质岩中^[15], 含有大量有机质; 产于块状玄武岩者有机质含量较少。滇—黔交界地区的玄武岩型铜矿床中有机质更加丰富, 甚至存在大量的碳质、沥青, 自然铜常呈片状与沥青共生, 有时自然铜呈团块状产于

收稿日期: 2006-05-12

基金项目: 中国科学院重要方向项目(批准号: KZCX3-SW-125)

* 通讯作者, E-mail: zhqiang@163.com

硅化的树干中,且铜矿品位与有机质的含量呈正相关^[8]。

朱炳泉等^[16]指出,峨眉山玄武岩型自然铜矿床的大地构造背景、围岩特征、自然铜产状、矿物组合、蚀变类型、有机质作用等与美国基维诺矿床(1845至1968年生产精铜600万t^①)具有可比性,推测本区可能具有巨大的资源储量;此后本区玄武岩自然铜矿的研究倍受学者们关注。

东天山自然铜矿化带位于新疆维吾尔自治区鄯善县,觉罗塔格晚古生代岛弧带南部,距阿其克库都克深大断裂带北缘3~5 km处。目前该带内已发现的自然铜矿化主要分布于长城山和十里坡两个地区,两个矿化带相距约100 km,均产于中石炭统吐古土布拉克组玄武岩-安山岩组合的火山凝灰岩中,明显受同一层位控制。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,绿泥石化、绿帘石化、硅化、碳酸盐化密切相关^[5]。

新疆木斯铜矿床位于阿吾拉勒隆起西段,产于上二叠统塔尔得套组块状-杏仁状玄武岩、玄武质安山岩中,矿石矿物以自然铜为主。矿石呈浸染状、脉状、杏仁状或角砾状,存在脉状、网脉状自然铜矿化。蚀变以绿泥石化、绿帘石化、葡萄石化、碳酸盐化和硅化为主^[6-7]。

另外,超基性岩和球粒陨石^[17]中也可以有自然铜矿化,与自然铜伴生或共生的多为高熔点、强还原性矿物,如橄榄石、单斜辉石、斜方辉石、铬铁矿、镍黄铁矿、磁黄铁矿、砷黝铜矿、硫砷铜矿、斑铜矿、黄铁矿、黄铜矿等^[18]。此类矿化不常见,不再单独分亚类。

1.1.2 中-酸性岩浆岩自然铜矿化

中、酸性岩浆岩中自然铜矿化很常见,如四川盐源西苑坪斑岩铜矿床斑岩与地层之间的氧化带附近产出自然铜^[19-20],河南祁雨沟金矿中硫化物氧化带的冰长石中产出自然铜显微包裹体^[21],玲珑金矿田西山矿床花岗岩中亦有自然铜产出^[22]。另外,吉林农坪斑岩铜矿^[23]、西藏玉龙斑岩铜矿^[24-25]的表生氧化带附近也有自然铜产出。

上述地区,自然铜为含杂质(Fe、Au、Ag等)的金属矿物,呈脉状、团粒状,产出部位都是岩体与

地层的过渡带或者表生氧化带,与沸石、葡萄石等共生。围岩呈硅化、绿泥石化、绢云母化或碳酸盐化。自然铜为其他铜矿物或者其他矿种的伴生矿物,未达到成矿规模。

中、酸性岩自然铜矿化区别于玄武岩自然铜矿化,其围岩为中性、酸性岩浆岩,有机质不发育,并且矿化出现在氧化带附近。

1.2 砂岩型自然铜矿床

砂岩中的自然铜矿化以湖南麻阳铜矿床和四川若尔盖巴西金矿床中自然铜矿化为代表。

麻阳自然铜矿床^[26-31]位于沅麻盆地中段东南侧,含铜地层为砂岩、含砾砂岩,属于河湖水下三角洲相沉积^[28]、或河湖三角洲水上、水下交替沉积^[29],由“深色层”和“浅色层”交互成层,沉积韵律明显。含矿岩石成分成熟度较低,以钙质胶结为主,胶结类型为孔隙式或充填孔隙式。

矿体具多层性,赋存于浅色岩层中,严格受层位控制,呈透镜状或层状、似层状。部分矿体具侧伏现象,侧伏方向受分流河道延伸方向控制。褶皱轴部、断裂两盘、岩层产状由陡变缓处有矿化集中现象。近矿围岩未见蚀变现象,含铜层内有一定数量的褪色同生泥砾,泥砾褪色程度越高矿化越好^[30-31]。

矿石矿物主要是自然铜,其次是辉铜矿,还有少量铜的氧化物以及孔雀石。自然铜占金属矿物的85%以上,同时存在Ag、Zn、Al、Sn、Pb、W、Cr、Fe等自然元素矿物(湖北省地质科学研究所第三研究室铜组.湖南沅麻盆地白垩——第三纪砂岩铜矿的分布规律和找矿方向的初步研究,1973),自然铜伴生元素还有Au、Pb、Pt、Co、Ni、U等^[32]。自然铜多呈浸染状分布,少数呈细脉状沿裂隙充填;部分产于硅质岩屑或砂砾之中,断层中偶见自然铜呈片状、树枝状与石膏一起产出。少数矿体中自然铜呈层状、线状富集,产状与岩层层理一致。

麻阳自然铜产出环境也含有机质^[28,33],但有别于峨眉山玄武岩自然铜矿:自然铜或辉铜矿与有机质和遗迹化石共生,有机质含量高、虫迹发育,铜矿品位越高;而且自然铜矿化有时沿水生植

① Bomhorst, Theodore J, Precambrian supergene alteration of native copper deposits in the Keweenaw peninsula, Michigan. The Geological Society of America, Denver Annual Meeting, 2002.

物化石发生。定量分析结果表明,铜与有机碳之间具有正相关关系(图 1)。钟建华^[34]根据矿层内有机镜质体反射率推测成矿温度介于 28 ~ 56 °C 之间,平均 44 °C,而矿物中流体包裹体均一温度为 300 ~ 400 °C。

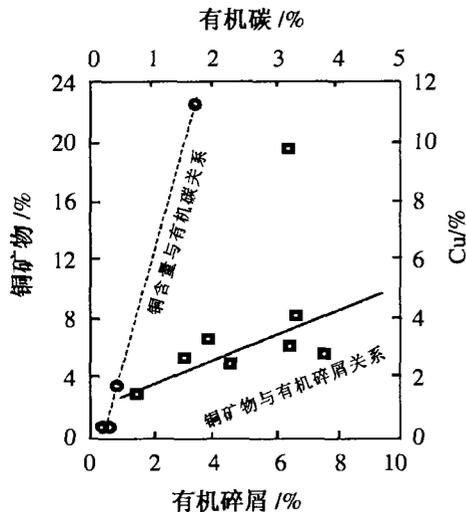


图 1 麻阳铜矿中铜矿物与有机碎屑、铜与有机碳关系(据钟建华等^[34]修改)

Fig. 1. The correlation between copper and organic matter in the Mayang ore deposit.

四川若尔盖巴西金矿床存在铜锌化合物——铜锌矿,产于中、上三叠统草地群与印支—燕山期闪长岩侵入体的接触过渡部位硅化石英砂岩金矿石中。硅化石英砂岩的原岩为细粒泥质长石石英砂岩,岩石中含较多具典型生物有机胶体结构的硅细菌集合体(集合体切面呈枝状、纺锤状、浑圆状),后转化为石英。铜锌矿呈短棒状或不规则粒状分布于有机硅胶体形成的石英颗粒之间,颗粒一般小于 0.005 mm,其实验化学式为 $Cu_{1.94}Zn$ (近似为 Cu_2Zn ,铜锌矿)^[35]。

若尔盖巴西金矿床铜锌矿的赋存环境与麻阳类似:围岩原岩为砂岩,并有生物作用的痕迹;但铜锌矿的产状、围岩岩性及变质情况与麻阳铜矿不同,并且矿化可能与侵入岩有关。

2 自然铜矿床形成机制的有关问题

2.1 成矿物质来源

前文述及的各自然铜矿床(矿化点),除峨眉山自然铜矿床外,铜的来源研究都较薄弱,需要采用同位素地球化学、元素地球化学及成矿时代等

综合方法进行进一步研究。

产出自然铜矿床的基性火山岩都有很高的铜背景值,如滇黔交界地区玄武岩含铜一般在 $50 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$ 之间。据秦德先等^[36]研究,滇西程海带玄武岩含铜达 523×10^{-6} ,金 7.7×10^{-9} ,银 4.2×10^{-6} ,相应地形成拉马古、米厘、宝坪、金安等自然铜-辉铜矿矿床,金、银也在这些矿床中得到富集。据胡受权等^[15]研究,丽江—宁蒗一带晚二叠世黑泥哨组玄武岩、凝灰岩(相当于第四喷发旋回)含铜 $100 \times 10^{-6} \sim 1000 \times 10^{-6}$,赋存了区域自然铜-辉铜矿类矿化的 55%,第三喷发旋回的玄武岩含铜 $< 200 \times 10^{-6}$,赋存了区域 30% 的矿化。近年来,矿床及玄武岩的 Pb-Sr-O-C-H 同位素研究成果表明,铜主要来自峨眉山玄武岩^[8,37-38]。

刘义学^[6]认为木斯矿床属火山热液成因,若果真如此,则铜应该来自基性岩浆分异。按已知同类型矿床的对比可以推测铜主要来自赋矿的玄武岩和安山岩。

吉林农坪含金自然铜矿化岩石学、矿物学及地球化学特征表明岩浆主要来自下地壳或上地幔^[39],据此推测铜的物质来源也是深源的。

黄满湘^[28]根据砂岩中长石牌号与雪峰古陆主要岩体的长石牌号相同,以及古流向证据认为浅色层砂岩的碎屑来源为矿床东南侧的雪峰古陆,进而判断铜来源于雪峰古陆。即沉积形成矿源层,成岩阶段及成岩期后热卤水对其改造形成矿床。

2.2 无机条件下自然铜的形成

黄铜矿溶解实验证明^[40],水-氯化钠(钾)体系中铜以无机络合物形式存在(以 $CuCl_2^-$ 为主),流体中可载铜总量取决于络合反应“ $Cu^{+} + 2Cl^{-} = CuCl_2^{-}$ ”进行的程度,反应进行的越彻底(平衡常数 lgK 越大)铜的溶解度越高,温度,压力,盐度,pH 值等多种因素可以控制铜的沉淀。高温条件下,温度是控制铜沉淀的最主要的因素。200 ~ 300 °C 时,容易形成铜硫化物沉淀;温度从 200 °C 降低后,铜的溶解度会略有升高(图 2),不容易形成铜的沉淀。因此,低温条件下对自然铜的形成不能单独考虑温度的影响。常温、低硫条件下铜可以形成多种矿物沉淀,自然铜只能在 $pH > 4$ 、 $Eh < 0.2$ 的条件下形成(图 3)^[41]。

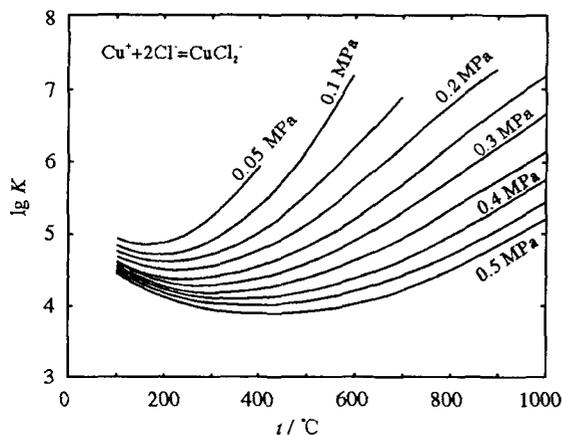
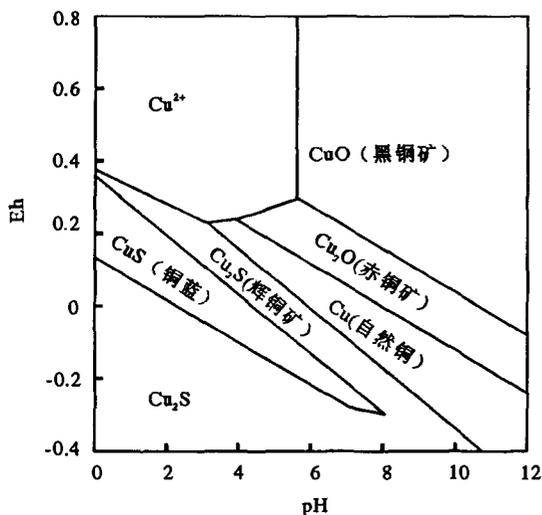


图2 平衡常数与温度关系

Fig. 2. Logarithm of formation constants for CuCl_2^- complexes at 100 ~ 1000 °C and 0.05 ~ 0.5 MPa.



$t = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $p = 0.10\text{ MPa}$, $\Sigma S = 10^{-4}\text{ mol/L}$

图3 Cu-S-O体系 Eh-pH相图

(引自《地球化学》^[41], 据 Rose, 1976)

Fig. 3. Eh-pH diagram of the Cu-S-O system.

现有矿床资料表明,自然铜的产出环境都为低温矿物(物质)组合,因此推测其形成环境为低温环境;进而推测:铜以络合物形式存在于流体中,流体化学条件改变时,如pH值升高、盐度降低等,络合物分解为游离态,发生歧化反应($\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu} + \text{Cu}^{2+}$)生成自然铜,此反应迅速、彻底。前文述及的中、酸性岩自然铜矿化无有机质作用的痕迹,可能是亚铜歧化的结果。

郑大中^[18]指出,“地球深部的强还原富氢环境,能形成单质氢化物及合金氢化物,与相应的单质、合金的宏观物比较,其熔点、沸点均显著降低,

扩散性大增,易于迁移、富集矿化。”这可能是超基性岩自然铜矿化的原因,金属氢化物的可迁移性值得商榷。

2.3 有机质与自然铜成矿的关系

有机质存在的情况下可以创造自然铜形成条件,这一点在玄武岩自然铜矿床中研究较为深入。早些年美国科学家研究基维诺矿床取得很多成果:有机质与自然铜产出关系,有机质成分、结构特征及C同位素的研究结果,表明基维诺矿床有机质与含矿流体发生氧化-还原反应导致自然铜的沉淀,并提出与矿化有关的化学反应机制^[42-44];以后,通过对比含矿层的矿化和非矿化标本的有机质成分,认为有机质裂解发生在第一期矿化(主矿化期)之后,与第二期矿化同时进行,但无法证明有机质与自然铜成因联系^[45]。最近,朱炳泉等^[3]、李厚民等^[46]、胡瑞忠等^[47]根据含矿层的有机质组成、C-O-S同位素特征等确定峨眉山玄武岩中的石油(后期裂解为沥青)形成于主矿化期前,认为自然铜矿化与有机质(石油)还原有关。

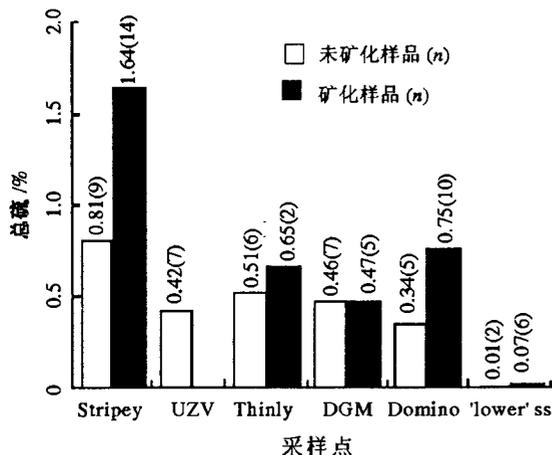
麻阳铜矿自然铜与有机质关系密切,很可能是有机质作用的结果^[28,33];另外,矿床中可以见到硕大的铜矿结核,其中往往有通常以碳屑为核心,核心向外依次是:辉铜矿,蓝铜矿和少量辉铜矿,最外层是赤铜矿,这一序列反映了氧化还原电位自核心向外依次升高,说明这种成矿环境是由碳屑所造成的^[25]。自然条件下,某些微小的环境中可能形成“电解槽”,但其功率低、不稳定,有可能形成铜矿物结核或者少量自然铜,但不可能因自然的电解作用形成独立的自然铜矿床。因此推测,麻阳铜矿自然铜矿化可能是有机、无机共同作用的结果,但无法证明是否发生亚铜歧化反应。

农坪、玉龙等地斑岩铜矿床中自然铜矿化主要出现在氧化带,自然铜矿化过程中铜的迁移与表生作用有关,自然铜的形成必然经历了“氧化—还原”两个过程,或者只有“还原”过程。如果是前者,铜的硫化物被氧化($\text{S}^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$),铜以可溶态存在并搬运,经还原作用形成自然铜,根据铜的化学性质及现代地表水的成分^[48]推测,搬运和还原过程中肯定有有机质参与,但无法证明其作用程度;如果只经历“还原”过程,从铜的角度看毫无疑问是正确的,但考虑到铜的硫化物整体发生氧化-还原反应,氧化带这样低温条件下,这一过程肯定

很复杂,无法推测是否存在有机质的作用。

2.4 硫与自然铜矿化的关系

自然铜的形成必然经历还原过程,还原条件下硫为低价态,易形成硫化物矿物,考察自然铜的形成不能不考虑硫。Eileen^[45]详细论述了美国基



维诺裂谷的白松矿床铜与硫的关系,矿化样品总硫高于未矿化样品,所有含矿样品中,以铜、硫的含量投点均在辉铜矿线以上或附近(图 4)。这只能说明,矿化过程中有硫的参与,但与硫化物相比硫的总量不足;或者铜快速沉淀,只能形成少量的硫化物,使含矿矿石铜硫比高于辉铜矿。

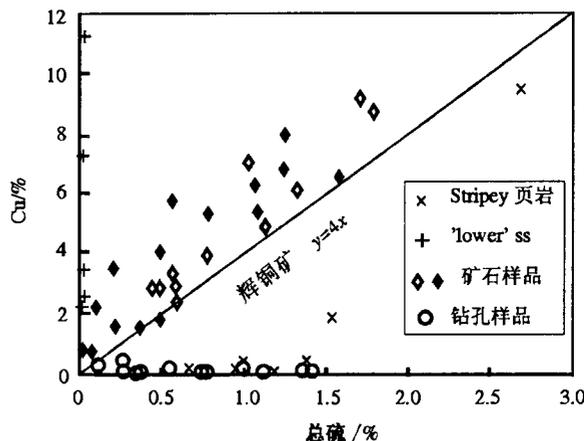


图 4 白松矿床铜与硫关系

Fig. 4. The relationship between copper and sulphur in the White Pine deposit.

自然铜成矿系统中,需要相对还原条件的自然铜、辉铜矿和需要相对氧化条件的赤铜矿、黑铜矿经常共存,说明成矿环境复杂多变;目前,没有更多的证据说明硫在自然铜形成过程中的作用。

2.5 成矿时代的研究

研究自然铜的形成时代,能精确厘定矿化与围岩或地层之间的演化关系,可以确定矿床是火山热液的直接产物还是后期热液对矿源岩改造的产物,这对自然铜矿床的找矿勘探具有重要意义。

朱炳泉等^[49]对滇东北自然铜矿床的成矿时代研究表明存在两期成矿作用。第一期成矿发生于 226 ~ 228 Ma(浊沸石⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄),成矿略晚于峨眉山玄武岩(256 Ma);第二期发生于 135 Ma(片沸石⁴⁰Ar-³⁹Ar 和矿石 U-Th-Pb 年龄),明显属于后期热液成矿。玄武岩型的其它自然铜矿床、砂型自然铜矿床目前还没有可靠的成矿时代资料。

3 自然铜矿床的找矿前景

四川境内峨眉山玄武岩型铜矿床的发育情况至今没有太多的资料,但在滇西和滇黔交界地区的峨眉山玄武岩中,自然铜矿点多达数十处,矿化

点则更多,散布于玄武岩中的浸染状自然铜随处可见。应该说该类型是最有成矿和找矿前景的自然铜矿化。经过早期钻探和近年的找矿研究,到目前为止还没有取得大的突破,仅个别达小型规模(<5 万 t)外,大多数仍属矿化点性质。在玄武岩厚度大、后期构造应力集中的地区应该有更好的找矿前景,查明四川境内自然铜的成矿前景尤其重要。找矿不能只限于高钛玄武岩区,应重点查找凝灰岩层和断裂构造综合控矿的矿床。新疆阿吾拉勒山西段、东天山地区也有很好的自然铜成矿前景。

砂岩型自然铜矿床并不多见,麻阳铜矿经过 30 多年的开采,资源接近枯竭,急需找到后备资源。但在沅麻盆地及周边地区存在许多同类型铜矿化点,有希望扩大储量。

对自然铜矿床的找矿,首先要做的是加强成矿规律的研究。相对于其它类型的矿床,自然铜矿床成矿规律的研究相对薄弱,这在一定程度上影响了找矿和勘查工作。

4 结 论

自然铜不仅存在于硫化物矿床氧化带,而且可以生成于热液系统,甚至有望形成工业矿床。

就自然铜的产出环境而论,可以分为玄武岩型、砂岩型、中-酸性岩型、氧化带型等,构成独立矿床者主要是前两种类型。

存在于不同地质体中的自然铜,除超基性岩矿化外,有很多共同特点:①形成于低温、弱碱性

还原环境;②矿化出现于物质或者构造的转变带附近,受层位和构造双重控制;③有机质在自然铜形成中起重要作用。

玄武岩型和砂岩型是寻找自然铜矿床最有前景的两种类型。

参 考 文 献:

- [1] 王砚耕,王尚彦.峨眉山大火成岩省与玄武岩铜矿以贵州二叠纪玄武岩分布区为例[J].贵州地质,2003,20(1):5-10.
- [2] 朱炳泉,张正伟,胡耀国.滇东北发现新类型具工业价值铜矿床[J].,2002,21(3):310-310.
- [3] 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.
- [4] 朱炳泉.关于峨眉山溢流玄武岩省资源勘查的几个问题[J].中国地质,2003,30(4):406-412.
- [5] 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):F003-F003.
- [6] 刘文学.新疆木斯自然铜矿地质特征及成因探讨[J].新疆矿产地质,1995,(1):63-69,88.
- [7] 孙昌石,黄刚.新疆尼勒克县木斯自然铜矿成因初探[J].新疆矿产地质,1995,(1):52-57.
- [8] Zhang Qian, Zhu Xiaoqing, Zhang Zhenwei. Lead isotopic compositions and lead source of the Tongchanghe basalt-type native copper-chalcocite deposit in Ninglang, western Yunnan, China [J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 2006, 25(2): 122-131.
- [9] 宋谢炎,侯增谦,汪云亮,等.峨眉山玄武岩的地幔热柱成因[J].矿物岩石,2002,22(4):27-32.
- [10] 张招崇,王福生,范蔚茗,等.峨眉山玄武岩研究中的一些问题的讨论[J].岩石矿物学杂志,2001,20(3):239-246.
- [11] 蒋小芳,陈建国.云南省小寨地区玄武岩型铜矿床特征及成矿机理研究[J].矿产与地质,2004,18(6):528-531.
- [12] 罗孝桓,刘翼锋,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.
- [13] 张正伟,程占东,朱炳泉,等.峨眉山玄武岩组铜矿化与层位关系研究[J].地球学报,2004,25(5):503-508.
- [14] 李厚民,毛景文,徐章宝,等.滇黔交界地区峨眉山玄武岩铜矿化蚀变特征[J].地球学报,2004,25(5):495-502.
- [15] 胡受权,郭文平,杨风根,等.宁蒗铜厂河铜矿床成矿条件研究[J].云南地质,2001,20(1):46-58.
- [16] 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),2002,32(增刊):10-19.
- [17] 沈上越,庄小丽.随州陨石不透明矿物研究[J].矿物学报,1990,10(1):52-57, T005.
- [18] 郑大中,郑若锋.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.
- [19] 孙燕,肖渊甫,等.四川西范坪斑岩铜矿中铜矿的发现及成因意义[J].矿物岩石地球化学通报,2002,21(4):266-267.
- [20] 帅德权,张如柏,罗梅,等.天然铜锌系列中的铜锌矿物(Cu_2Zn)的研究[J].矿物学报,1998,18(4):509-513.
- [21] 栾文楼.河南祁雨沟金矿床冰长石中自然铜超显微包体的发现及成因[J].矿物学报 1991,11(3):281-284, F001.
- [22] 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.
- [23] 温镔.农坪含金自然铜矿床地质特征及成因[J].吉林冶金,1990,(3):10-14.
- [24] 胡明铭,唐菊兴.论藏东玉龙铜矿似层状矿体的表生氧化成矿作用[J].矿物岩石,1998,18(2):78-84.
- [25] 胡明铭,郑明华.藏东玉龙铜矿似层状矿体成矿物质来源[J].矿物岩石,1999,19(3):73-76.
- [26] 黄满湘.湖南麻阳铜矿控矿因素分析与找矿[J].中南矿冶学院学报,1991,22(5):506-509.
- [27] 黄满湘.湖南麻阳铜矿含矿岩系岩相分析与找矿方向[J].地质与勘探,1991,27(12):8-12.
- [28] 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.
- [29] 尹承忠.九曲湾砂岩铜矿床矿体的空间分布规律及找矿方向[J].湖南冶金,2001,(1):21-23.
- [30] 王克成.麻阳铜矿矿化富集规律及找矿方向研究麻阳铜矿[J].有色金属:矿山部分,1994,(1):25-28.
- [31] 余左清.麻阳九曲湾砂岩铜矿床地质特征及富集规律与找矿方向[J].湖南地质 2001,20(1):21-24.
- [32] 肖荣阁.湖南麻阳铜矿自然铜成因标志[A].彭汝明,王元龙,黄智龙.地质地球化学研究[C].贵阳:贵州科技出版社,1996:64-71.
- [33] 钟建华,张琴华.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] 钟建华.湖南麻阳、车江砂岩铜矿的最高成矿温度[J].矿产与地质,1995,9(3):191-194.
- [35] 罗梅,王月文.若尔盖巴西金矿床铜锌矿(Cu_2Zn)的发现及其地质意义[J].矿物学报,1999,19(1):20-22.
- [36] 秦德先,燕永峰,林幼斌,等.程海断裂带玄武岩及其成矿[J].有色金属矿产与勘查,1999,8(6):373-377.
- [37] 毛景文,王志良,李厚民,等.云南鲁甸地区二叠纪玄武岩中铜矿床的碳氧同位素对成矿过程的指示[J].地质论评,2003,49(6):610-615.
- [38] 李厚民,毛景文,张长青,等.滇黔交界地区玄武岩铜矿同位素地球化学特征[J].矿床地质,2004,23(2):232-240.
- [39] 张继武,孙超.农坪英云闪长斑岩体地质地球化学特征及成因类型[J].黄金,2001,22(8):1-7.

- [40] Liu Weihua, McPhail D C. Thermodynamic properties of copper chloride complexes and copper transport in magmatic-hydrothermal solutions[J]. *Chemical Geology*, 2005, 221:21-39.
- [41] 赵伦山,张本仁.地球化学[M].北京:地质出版社,1988:213-251.
- [42] 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.
- [43] Ho E S, Meyers P A, Mauk J L. Organic geochemical study of mineralization in the Keweenaw Nonesuch Formation at White Pine, Michigan [J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 16: 229-234.
- [44] Mauk J L, Hieshima G B. Organic matter and copper mineralization at White Pine, Michigan, U.S.A. [J]. *Chemical Geology*, 1992, 99: 189-211.
- [45] Ho E S, Mauk J L. Relationship between organic matter and copper mineralization in the Proterozoic Nonesuch Formation, northern Michigan [J]. *Ore Geology Reviews*, 1996, 11: 71-88.
- [46] 李厚民,毛景文,张长青,等.滇黔交界地区玄武岩铜矿有机质的组成、结构及成因[J].地质学报,2004,78(4):519-526.
- [47] 胡瑞忠,陶琰,钟宏,等.地幔柱成矿系统:以峨眉山地幔柱为例[J].地学前缘,2005,12(1): 42-54.
- [48] 中国科学院矿床地球化学开放实验室.矿床地球化学[M].北京:地质出版社,1997:109-166.
- [49] 朱炳泉,戴檀谟,胡耀国,等.滇东北峨眉山玄武岩中两阶段自然铜矿化 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 与 U-Th-Pb 年龄证据[J].地球化学,2005,34(3): 235-247.

TYPES, CHARACTERISTICS AND ORE-FORMING MECHANISMS OF NATIVE COPPER DEPOSITS IN CHINA

WANG Da-peng^{1,2}, ZHANG Qian¹, ZHU Xiao-qing¹, ZHANG Zhen-wei¹

(1. State Key laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Sulfide and oxide are the familiar minerals of copper, and native copper is peculiar in nature. We summarized the types and characteristics of native copper deposits, and discussed the ore-forming mechanisms, then estimated the possible prospecting area. Native copper was formed in lower temperature and feebleness redox conditions, hosted by flood basalts, sandstone, intermediate-acid magmatic rocks or oxidation zone, and some occur with organic matter. Native copper deposits, associated with basalts are widely distributed in northwest or southwest China, many have economic value. Sandstone-hosted native copper deposits also show a good prospecting perspective in Mayang of Hunan Province.

Key words: native copper; type and characteristic; ore-forming mechanism; China