

文章编号:1001-8166(2003)04-0551-10

## 国外铁氧化物铜—金矿床的特征及其研究现状

张兴春

(中国科学院地球化学研究所矿床地球化学重点实验室,贵州 贵阳 550002)

**摘要:**铁氧化物铜—金矿床是一类具许多共同特征但成因联系不太密切的矿床类型,近来已成为国外铜—金勘探的主要矿床类型之一。该类矿床以矿石中含有大量的铁氧化物(磁铁矿或赤铁矿)且伴有很强的区域性钠(—钙)质蚀变为特征,可以产于元古代克拉通内或新生代大陆边缘岛弧环境,其周围具火成岩或含蒸发盐层,时空上与之有关的侵入岩为磁铁矿系列花岗岩,矿化主要产于近区域主断裂的羽状次级断裂中。部分该类矿床的形成与一定的主岩类型有关,而多数矿床可能由高盐度  $H_2O-CO_2$ —盐混合流体的不混溶作用形成,且矿化通常与钾化有关。对成矿流体是主要来自岩浆还是受围岩控制尚有争论,成矿模式有蒸发盐来源模式、外来流体加热模式和岩浆—热液流体模式。但对部分该类矿床详细的流体包裹体和稳定同位素研究表明成矿流体主要源于岩浆。对该类矿床进行地球物理勘探需要考虑磁铁矿、硫化物和 Cu—Au 矿化之间的相互关系。在我国开展对该类矿床的研究将有益于发现新的铜资源基地。

**关键词:**铁氧化物铜—金矿床;磁铁矿或赤铁矿;钠(—钙)蚀变;钾化;岩浆—热液流体模式  
中图分类号:P61 文献标识码:A

## 0 引言

Hitzman 等<sup>[1]</sup>于 1992 年提出了铁氧化物 Cu—U—Au—REE 矿床这个概念,将澳大利亚的奥林匹克坝矿床、加拿大的韦尔内克(Werneck)山和大熊河(Great Bear)矿区、瑞典的基鲁纳(Kiruna)铁矿、美国密苏里(Missouri)东南铁矿区 and 我国白云鄂博矿床归入了这一松散的类型中,其最基本的共同点是富含铁氧化物矿物组合。Hitzman<sup>[2]</sup>认为基鲁纳型铁矿和铁氧化物铜—金矿床是一个连续系列的 2 种端元,且它们相互间有成因联系。本文关注的是铁氧化物铜—金矿床,它除含大量铁氧化物和富 Cu、Au 外,还可不同程度地富集 Co、Ni、As、Mo、W、U、REE、Te 等元素。

铁氧化物铜—金矿床可说是近年来才被认知的、在国外已成为一种重要的铜—金矿床勘探类型。在过去的十多年中,已有多个该类铜—金矿床被发现或已投入生产,如 1991 年发现的澳大利亚欧内斯

特—亨利(Ernest Henry)矿<sup>[3]</sup>、1987 年发现的智利坎德拉里亚(Candelaria)矿<sup>[4]</sup>、澳大利亚克朗克里(Cloncurry)地区的一些铜—金矿床、巴西的 Salobo、Igarape Bahia/Alemao、Sossego 和 Cristalino 矿床等<sup>[2]</sup>。该类矿床具有与斑岩铜—金矿体系相似的矿石资源和铜、金品位。一些国外铁氧化物铜—金矿床的简要特征列于表 1。

虽然该类矿床在找矿方面取得了许多成功结果,但目前我们还缺一个综合成因模型来区分有经济价值的矿床、无经济意义的弱铜—金矿化体及无铜—金矿化的铁氧化物体系<sup>[2]</sup>。对这类矿床的一些重要特征,特别是与蚀变和矿化有关流体来源及特定岩浆所起的作用等方面,勘探地质师和研究人员间存在着根本不同的观点。最近,这些争论越来越集中在与这些矿化系统有关的流体是主要源自岩浆<sup>[5-8]</sup>还是受围岩控制<sup>[9-11]</sup>。

Hitzman<sup>[2]</sup>和 Pollard<sup>[5]</sup>对铁氧化物铜—金矿床的主要特征作了简要概括。本文试图通过对一些有

收稿日期:2002-09-06;修回日期:2003-03-17.

作者简介:张兴春(1964-),男,江苏江阴人,副研究员,主要从事矿床地质和地球化学研究。E-mail: xingchunzhang686@hotmail.com

表 1 澳大利亚(澳洲)、巴西、智利等地的一些铁氧化物铜-金矿床的简要特征

Table 1 Brief summary of some iron oxide Cu-Au deposits from Australia, Brazil, Chile and other countries

矿床和位置	矿床规模、成矿年龄	含矿主岩地质	矿石矿物组份/组合、伴生元素	矿化结构、类型	控矿构造	主要资料来源
奥林匹克坝, 澳洲高勒克拉通	23.2 亿 t 矿石资源, 平均 Cu 1.3%、 $U_3O_8$ 0.04%、Au $0.5 \times 10^{-6}$ 、Ag $2.9 \times 10^{-6}$ ; 其中 6 亿 t 可采矿石, 平均 Cu 1.8%、 $U_3O_8$ 0.05%、Au $0.5 \times 10^{-6}$ 、Ag $3.6 \times 10^{-6}$	Roxby Downs 花岗岩体中的含赤铁矿花岗岩角砾岩	蚀变: 主要绢云母-赤铁矿和次要绿泥石、硅华、碳酸盐、磁铁矿 金属矿物: 黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、自然铜、沥青铀矿、水硅铀矿、钛铀矿、自然金和自然银	爆破角砾岩, 浸染状、脉状	梯列式断层网络、可能的拉张位错带	文献 [9, 12, 13, 42]
Eloise, 澳洲克朗克里地区	320 万 t 可采矿石, 平均 Cu 5.8%、Au $1.5 \times 10^{-6}$ 、Ag $19 \times 10^{-6}$ , 坑采; 黑云母、角闪石 Ar-Ar 法 1 536~1 512 Ma	1.67~1.60 Ga 变长石砂岩、云母片岩、角闪岩	①钠长石; ②角闪石-黑云母-石英; ③绿泥石-白云母-阳起石-方解石-磁铁矿-黄铜矿-磁黄铁矿-黄铁矿 伴生元素为 Co、Ni、Zn、As、Pb、Bi	块状硫化物交代	高价度剪切带	文献 [31, 45]
欧内斯特-亨利, 澳洲克朗克里地区	1.67 亿 t 可采矿石, 平均 Cu 1.1%、Au $0.54 \times 10^{-6}$ , 露采; 黑云母 Ar-Ar 法约 1 510 Ma	1.75~1.73 Ga 变质中性火山岩	①钠长石-透辉石-阳起石-磁铁矿; ②黑云母-黄榴石-钾长石-磁铁矿; ③钾长石/锆冰长石; ④黑云母-石英-磁铁矿-黄铜矿-黄铁矿-方解石-重晶石-荧石; ⑤方解石-白云石-石英; 伴生元素 F、Mn、Co、As、Mo、Ba	角砾岩、少量脉状	交织倾斜剪切带	文献 [14, 46]
Mount Dore, 澳洲克朗克里地区	2 600 万 t 矿石量, 平均 Cu 1.1%、Ag $5.5 \times 10^{-6}$ , 勘探靶区; 1 550~1 500 Ma	1.67~1.60 Ga 碳质片岩	①钾长石-黑云母-白云母-石英-电气石; ②白云石-方解石-磷灰石-黄铁矿-黄铜矿; 伴生元素为 B、F、P、Co、Zn、Au、Pb、U	脉状和角砾岩状	中等倾斜的断层	文献 [47]
Mount Elliott, 澳洲克朗克里地区	330 万 t 可采矿石, 平均 Cu 3.6%、Au $1.8 \times 10^{-6}$ , 坑采; 阳起石 Ar-Ar 法 1 510 $\pm$ 3 Ma	1.67~1.60 Ga 碳质片岩、角闪岩、粗面安山岩	①钠长石; ②透辉石-阳起石-方柱石; ③钙铁榴石-磁铁矿-黄铁矿-黄铜矿-磁黄铁矿; ④方解石-磷灰石; 伴生元素为 F、P、Co、Ni、LREE	脉状和角砾岩状	高角度到中角度倾斜的断层	文献 [43, 47, 48]
奥斯本, 澳洲克朗克里地区	1 120 万 t 可采矿石, 平均 Cu 3.51%、Au $1.49 \times 10^{-6}$ , 坑采; 黑云母、角闪石 Ar-Ar 法 1 545~1 535 Ma	1.67~1.60 Ga 泥质片麻岩、斜长石-黑云母片岩、磁铁矿-石英铁建造	①钠长石; ②黑云母/金云母-石英-磁铁矿; ③石英-磁铁矿-赤铁矿-黄铁矿-磁黄铁矿-黄铜矿; ④白云母-绿泥石-方解石; 伴生元素为 Co、Mo、W、Hg	交代体	断层转折部	文献 [40]
Starna, 澳洲克朗克里地区	690 万 t 可采矿石, 平均 Cu 1.65%、Au $4.8 \times 10^{-6}$ , 坑采; 黑云母 Ar-Ar 法 1 502 $\pm$ 3 Ma	约 1 750 Ma 片岩、钙硅酸盐	①钠长石; ②黑云母-磁铁矿; ③白云母-绿泥石-赤铁矿-方解石-硬石膏-黄铁矿-黄铜矿-斑铜矿-辉铜矿; 伴生元素为 Co、W	选择性交代	剪切带	文献 [27, 28]
Warrego, 澳洲滕南特克里克地区	475 万 t 可采矿石, 平均 Cu 2%、Au $8 \times 10^{-6}$ 、Bi 0.3%	绿泥石化石英白云母片岩; 顶板为石英斑岩; 西边为 Warrego 花岗岩	金矿带: 磁铁矿-绿泥石-白云母-灰铀矿-Au; 铜矿带: 黄铜矿-磁铁矿-绿泥石-石英-黄铁矿-磁黄铁矿(白铁矿) $\pm$ 菱铁矿	细脉状、网脉状	铁建造与石英斑岩相接触, 并被底板断层切割	文献 [49]
Gecko K44, 澳洲滕南特克里克地区	300 万 t 可采矿石, 平均 Cu 4.9%、Au $1.2 \times 10^{-6}$	赤铁矿砂页岩、杂砂岩、砾岩; 区域上有闪长岩	赤铁矿-磁铁矿-绿泥石-石英黄铜矿-黄铁矿-辉铋矿-Au-白云母	交代、脉状	区域背斜构造上的剪切的背斜构造汇聚部	文献 [49]

矿床和位置	矿床规模、成矿年龄	含矿主岩地质	矿石矿物组份/组合、伴生元素	矿化结构、类型	控矿构造	主要资料来源
Salobo 矿床, 巴西 Carajas 绿岩带	7.89 亿 t 矿石, 平均 Cu 0.96%, Au $0.52 \times 10^{-6}$ , Ag $5.5 \times 10^{-6}$ , 成矿年龄 2.57 ~ 1.88 Ga? 伴生 Co、Mo、Ni、REE、U	2.74 ~ 2.68 Ga 变杂砂岩、角闪岩、花岗岩、铁建造、镁铁质岩脉和岩床	磁铁矿、斑铜矿、黄铜矿、辉铜矿、少量赤铁矿、辉钼矿、沥青铀矿、铜兰、蓝辉铜矿、自然金、铁橄榄石、铁闪石、铁黑云母、铁蛇纹石、铁黑硬绿泥石(蚀变形形成?)、石榴石、石英、萤石	角砾岩	强烈韧性—脆性剪切带	文献 [50]
Alemao, 巴西 Carajas 绿岩带	1.7 亿 t 矿石, 平均 Cu 1.5%, Au $0.8 \times 10^{-6}$ ,	2.577 Ga 太古代变火山沉积岩(变火山基性岩、铁建造、和变沉积碎屑岩)	硫化物矿化磁铁矿角砾岩、硫化物矿化绿泥石角砾岩; 磁铁矿、黄铜矿、菱铁矿、绿泥石、黑云母、角闪石、萤石、石英、铁白云石、沥青铀矿、REE 碳酸盐、电气石、辉钼矿、金和银; 伴生 Mo、U、Ag、REE	角砾岩, 蚀变带中	变质的沉积岩/火山碎屑岩和火山岩之间界面	文献 [51]
Igarape Bahia, 巴西 Carajas 绿岩带	2 900 万吨 t 可采矿石, 平均 Au $2 \times 10^{-6}$ , 伴生 Mo、U、Ag、Pb	2.35 ~ 2.577 Ga 太古代变火山沉积岩(变火山基性岩、铁建造、和变沉积碎屑岩)	氧化带: 赤铁矿、针铁矿、三水铝矿、石英; 过渡带: 孔雀石、赤铜矿、自然铜、针铁矿、少量蓝辉铜矿、辉统考; 硫化带: 黄铜矿、斑铜矿、碳酸盐、磁铁矿、少量辉钼矿和黄铁矿	角砾岩	变质的沉积岩/火山碎屑岩和火山岩之间界面	文献 [52]
Sossego, 巴西 Carajas 绿岩带	2.19 亿 t 矿石, 平均 Cu 2.19%, Au $1.14 \times 10^{-6}$ , 伴生 Co、Ni. 2.7 Ga 太古代变火山沉积岩	2.7 Ga 太古代变火山沉积岩		角砾岩		文献 [13]
Cristalino, 巴西 Carajas 绿岩带	5 ~ 8 亿 t 矿石, 平均 Cu 1.3%, Au $0.3 \times 10^{-6}$ , 伴生 Co、Ni	2.7 Ga 太古代变火山沉积岩		网脉状		文献 [13]
Pojuca, 巴西 Carajas 绿岩带	5 800 万 t 矿石, 平均 Cu 0.9%, 伴生 Au、Co、Ni、Mo、Zn	2.75 Ga 太古代变火山沉积岩		脉状、蚀变铁建造中		文献 [5, 52]
Candelaria, 智利 Punta del Cobre 地区	4.7 亿 t 可采矿石, 平均 Cu 0.95%, Au $0.22 \times 10^{-6}$ , Ag $3.1 \times 10^{-6}$ ; Re - Os 年龄 114 ~ 115 Ma	K <sub>1</sub> 大陆火山弧火山岩和火山碎屑岩(安山岩、英安岩、粉砂岩)	石英、钾长石、钠长石、方柱石、磁铁矿和/或赤铁矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、辉钼矿、毒砂; 伴生元素为 As、Mo、Pb、Zn	粗脉、细脉、网脉、交代体	NNW 和 NW 向高角度转换断层, NE 向高角度脆性断层	文献 [4, 15, 34]
Mantos Blancos, 智利	4 亿 t 矿石, 平均 Cu 1%, 伴生 Ag; 成矿年龄 100 ~ 133 Ma	K <sub>1</sub> 火山岩(粗面、安山、英安、流纹和凝灰岩)和砂岩、灰岩	矿石矿物: 辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿 脉石矿物: 钠长石、赤铁矿、方解石、绢云母、绿泥石、绿帘石、石英、碳酸盐	角砾岩、脉状、浸染状	主要分布在含铁建造和变火山岩接触带, 似层状层状矿化、断层和断层交汇部	文献 [53]
El Soldado, 智利	2 亿 t 矿石, 平均 Cu 1.5%	K <sub>1</sub> 火山岩(粗面岩、安山岩和凝灰岩)	矿石矿物: 黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、赤铁矿 脉石矿物: 方解石、绿泥石、石英、钠长石、赤铁矿、绿帘石、粘土矿物	细脉状		文献 [53]
Manto Verde, 智利	2.5 亿 t 矿石资源, 平均 Cu 0.75%; 矿化年龄 117 ~ 121 Ma	117 ~ 121 Ma 安山岩和相关的次火山相闪长斑岩	脉石矿物: 钾长石、绿泥石、石英、绢云母、方解石(菱铁矿) 矿石矿物: 赤铁矿、胆矾、块铜矾、硅孔雀石、孔雀石、氯铜矿、水锰辉石、褐铁矿、局部黄铜矿	热液和构造角砾岩	断层	文献 [41, 53]
Panulcillo, 智利	已采 300 万 t 矿石(表生带 Cu 10%, 深成硫化带 Cu 3.5%); 新增矿石资源 1 040 万 t, 平均 Cu 1.45%	K <sub>1</sub> 之火山岩和火山碎屑岩被花岗闪长岩和二长闪长岩侵入	黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、少量闪锌矿、方铅矿、石榴石、方解石、金云母、磁铁矿、钾长石、钠长石、黑云母、方柱石、绿泥石、石英	脉状	透镜状、层状变质火山岩和火山碎屑岩中	文献 [53]

矿床和位置	矿床规模、成矿年龄	含矿主岩地质	矿石矿物组合/组合、伴生元素	矿化结构、类型	控矿构造	主要资料来源
Teresa de Colmo, 智利	0.7 亿 t 矿石资源, 平均 Cu 0.8%,	K <sub>1</sub> 之中酸性火山岩、火山碎屑岩和砂岩被 112 Ma 花岗闪长岩侵入	①黄铁矿、黄铁矿、钠长石、绿泥石、方解石、硅华;②镜铁矿、黄铜矿、黄铁矿、方解石、硬石膏/石膏、氟铜矿、孔雀石、少量硅孔雀石和赤铜矿	热液—构造角砾岩、脉状	与走滑断层有关的拉张位错带	文献 [53]
Santos, 智利	1 900 万 t 矿石资源, 平均 Cu 1.7%, 含 Au 0.4 × 10 <sup>-6</sup> , 伴生 Ag			脉状、角砾岩		文献 [19]
Minita-Despreciada, 智利	300 万 t 矿石资源, 平均 Cu 16%, 伴生 Mo、U			脉状		文献 [18]
Pahtohavare, 瑞典	115 万 t 矿石资源, 平均 Cu 2.1%, Au 0.9 × 10 <sup>-6</sup> , 伴生 Co	早元古富钠长石霏细岩	主要蚀变矿物: 钠长石、方柱石、黑云母、碳酸盐 矿石矿物: 黄铜矿、黄铁矿、自然金、磁铁矿	角砾岩	地层和构造控制	文献 [16, 29]
Aitik, 瑞典	3 亿 t 矿石资源, 平均 Cu 0.4%, 含 Au 0.2 × 10 <sup>-6</sup> , Ag 4 × 10 <sup>-6</sup> 伴生 Mo; 年采矿石 1 800 万 t	富微斜长石片麻岩、和云母石榴石片岩、石英白云母片岩	矿石矿物: 黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、少量磁铁矿、斑铜矿、辉钼矿、孔雀石、局部闪锌矿、方铅矿、毒砂; 脉石矿物: 石英、重晶石、萤石、方解石、电气石、方柱石、磷灰石、角闪石、黑云母	浸染状、脉状、角砾岩	N-S 向剪切带	文献 [16]

关文献的调研, 对国外(主要是澳大利亚、智利和巴西等地)的铁氧化物铜—金矿床的地质特征和研究现状作一个简要介绍, 增进我们对该类矿床的总体特征、产出的构造背景、形成年龄、与侵入体的时空关系、与区域性钠(—钙)质蚀变和钾质蚀变的关系、构造和主岩对矿化的控制作用、可能的流体和金属来源、该类矿化与其它类型矿化(特别是斑岩型铜—金矿化)的异同点等的了解, 并希望有益于在我国寻找和研究这类矿床。

## 1 铁氧化物铜—金矿床的地质背景和特征

### 1.1 总体特征

与斑岩型铜—金矿床不同, 铁氧化物铜—金矿床不具备与次火山相侵入杂岩有稳定和紧密的联系, 该类矿床可以形成在比典型斑岩铜—金矿化体系范围大得多的地壳中。该类具有如下最基本的共同特征:

- (1) 矿化作用, 特别是地壳深部的矿化是受早期存在的构造而由岩浆结晶和热液形成阶段的构造所控制。
- (2) 矿床通常具高铁低硫特点, 铁氧化物(磁铁矿和/或赤铁矿)在矿石中很普遍。
- (3) 除铜、金外, 矿床中常(但非一定)富集有

钴、钼、铀、稀土、钡和氟。此外, 绝大多数铁氧化物铜—金矿化区有大量约与矿化年龄相当时间侵入的镁铁质—中性—长英质侵入岩, 且有证据表明这些侵入体为矿化提供了主要的流体和金属来源<sup>[5-8]</sup>。该类矿床通常发育在侵入杂岩体外缘较老的变火成岩或变沉积岩中, 并发育有以钠长石、方柱石、阳起石和单斜辉石为主要矿物组合、早于铜—金矿化的区域性钠质和/或钠—钙蚀变。铁氧化物铜—金矿床的多样性表现在 3 个矿床实例: 奥林匹克坝<sup>[12, 13]</sup>、欧内斯特—亨利矿<sup>[3, 14]</sup>和智利的坎德拉里亚铜—金矿<sup>[4, 15]</sup>。除具上述基本共同点外, 它们的形成深度和地质背景不同, 可以从中深地壳环境(欧内斯特—亨利)变化到浅部地壳的环境(奥林匹克坝), 可以从克拉通内(欧内斯特—亨利、奥林匹克坝)变到大陆边缘岛弧的构造背景(智利的坎德拉里亚矿床)。

### 1.2 年龄和大地构造背景

大多数铁氧化物铜—金矿床形成于元古代, 如澳大利亚的克朗克里地区、滕南特克里克(Tennant Creek)地区、Curnamona 克拉通和高勒(Gawler)克拉通, 但智利北部和秘鲁南部的许多该类矿床则形成于新生代。美国中西部、瑞典/芬兰等地的元古代形成的该类矿床通常位于克拉通内部、并被认为形成于裂谷阶段<sup>[1]</sup>。然而, 对几个矿化区的研究表明,

矿化作用和花岗岩的侵入发生于与区域变质高峰期同时或稍后的挤压变形阶段<sup>[16]</sup>。其它的一些矿床,如加拿大大熊河矿区则形成于大陆边缘的构造环境<sup>[17]</sup>。而新生代形成的该类矿床通常产于大陆边缘火山弧的剥蚀部分(如智利和秘鲁的 Coastal Range 带<sup>[4,18,19]</sup>)。有人认为克拉通内的矿化与大陆拉伸有关,大陆边缘的矿化则与俯冲作用有关<sup>[1]</sup>;但一些克拉通内的矿化似乎与地壳的缩减作用有关<sup>[5]</sup>。

### 1.3 有关的侵入体特征

与铁氧化物铜—金矿床在时空上有关的侵入岩是磁铁矿系列花岗岩类(成分从闪长岩变到花岗岩)。它们通常为多期次侵入的大花岗岩类岩基,有时与玄武质或超镁铁岩有联系。在克拉通内,岩浆是由中下地壳较老火成岩的部分熔融并混入部分地幔物质而成<sup>[7]</sup>,这将利于形成低 S、高 F、高 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 比值的岩浆<sup>[20]</sup>,黑云母和角闪石分解所需的高温将使难熔矿物如铁钛相矿物和锆石具较高的溶解性,从而导致岩浆中富集 Zr、Ti、U、REE 等组分,U 和 REE 被强烈分配到富 F 的热液中<sup>[21]</sup>,这可能是这些元素在克拉通内该类矿床(如 Ernest Henry)富集的原因。在克拉通内,花岗岩的侵入和与之相关的铜—金矿化通常发生在高温低压变质过程或在变质高峰期稍后的阶段,因而,与该类矿床形成有关的主要热事件、花岗岩类的形成和铜—金矿化作用都受到了地幔的驱动<sup>[6,7]</sup>。在大陆边缘岛弧构造背景下,岩浆将显示一系列反映混合来源(下插板块、上覆地幔楔和大陆地壳)的特征并可能在相关的铜—金矿床中显示出来。在大陆岛弧和克拉通内,幔源的镁铁质岩浆也可能与花岗岩类有联系<sup>[5]</sup>,因而它们也可能为铜—金矿床(如奥林匹克坝)提供一部分组分。因此,一个侵入体的成矿远景取决于该侵入体的水和其它挥发份的含量、分异程度、性质及流体释放时间和机制的综合作用。

### 1.4 有关的区域性蚀变作用

铁氧化物铜—金矿化区多发育有区域性的富 Na、Ca 和 Cl 矿物组合的钠—钙质蚀变<sup>[10]</sup>,这些蚀变矿物包括钠长石、阳起石、单斜辉石、方柱石、不定量的磷灰石、榍石、绿帘石、磁铁矿、赤铁矿和硫化物。这种区域性钠(—钙)质蚀变作用可在几十至几百平方公里的范围内强烈发育并与大量不同类型的脆性和韧性构造有关,有时可有多期蚀变叠加<sup>[6]</sup>。对蚀变有控制的常见构造包括:脆性—韧性剪切带<sup>[16]</sup>、与区域变质有关的韧性片理化带<sup>[22,23]</sup>、

角砾岩杂岩体<sup>[22,24]</sup>和脆性断裂系统(脉)等。如澳大利亚克朗克里地区,大量的钠(—钙)质蚀变与沿克朗克里断层出露的、产于花岗岩基边缘的角砾岩杂岩体的形成有关<sup>[22,24]</sup>,几十米至几百米宽的角砾岩带通常由钠长石化的主岩角砾(变沉积岩、钙硅酸盐、花岗岩、角闪岩)和由钠(—钙)质矿物组成蚀变的基质组成;对该地区的蚀变作用、变质作用、变形作用与花岗岩之间的相互关系研究表明,蚀变作用经历了大约与花岗岩侵入相同的 40 Ma 的时间跨度(1 545 ~ 1 500 Ma)<sup>[23,25]</sup>。虽然不同矿床的蚀变矿物组合与它们的形成深度和主岩有关,但蚀变类型总的有一个从较深部的钠质蚀变,到中至较浅部的钾质蚀变,及到浅部的绢云母化和硅化的变化趋势<sup>[1]</sup>。

### 1.5 构造和主岩对矿化的控制作用

铁氧化物铜—金矿床的矿化作用常受矿化阶段活动的、切穿地壳的区域性深大断裂构造所控制。这些断裂构造在较深部常同时具有脆性和韧性构造部分,有时则代表了较老韧性剪切带的活化结果。矿化作用通常发生于区域主构造附近的羽状次级断裂中。如澳大利亚克朗克里地区有一条长 100 km 以上、南北向展布的 Mount Dore 断裂带,沿该带分布了许多中至小型的矿床(如 Starra、Mount Dore、Mount Elliott 等);智利北部的阿塔卡马(Atacama)地区一条长 1 000 km 的断裂带也是一个铁氧化物铜—金矿床和磁铁矿—磷灰石型铁矿的集中区,而矿床本身通常产于该主断裂带附近的次级构造中。在相对较小范围内,矿床可产于如断层错位带、断层接合部、断层和岩层接触带、主断层与次断层结合部等构造中。热液型侵入角砾岩、破碎角砾岩、破裂带和热液脉体等是相对较小范围内常见的流体通道。一定类型的主岩可能对矿石形成起了化学控制作用,如澳大利亚滕南特克里克地区的铁氧化物铜—金矿床<sup>[26]</sup>和克朗克里地区的 Starra 矿床<sup>[27]</sup>似乎是形成在引起岩浆流体还原、进而导致铜和金沉淀及蚀变交代的铁建造部位;而热液流体与含石墨的变沉积岩的反应也可能导致了流体的还原和金属的沉淀<sup>[16]</sup>。

### 1.6 流体和金属来源

铁氧化物铜—金矿床的矿化通常与以黑云母化和钾长石化为代表的钾化作用有关。对几个矿床的详细的流体包裹体和稳定同位素研究表明成矿流体的主要组成源自岩浆<sup>[28,29,5]</sup>。最近的研究表明,与磁铁矿—单斜辉石—钠长石(—黄铁矿—黄铜矿)

脉有关的文象状和球粒状花岗岩基结晶过程所形成的流体含有高于 1% 的 Cu, 相关网脉含大量磁铁矿表明有大量富铜流体从花岗岩的脉状通道中流出并在其它地方形成矿化<sup>[8]</sup>。另一可能的金属来源是与矿化有关的区域性蚀变, 即与钠(—钙)质蚀变有关的流体从一定主岩中淋滤出金属后对较浅地壳部位蚀变并对 Fe—Cu—Au 等矿化有贡献<sup>[24,30]</sup>。矿床的低 S 特征促使了对流体的 S 含量和来源问题的研究, 对一些矿床如 Starra<sup>[28]</sup>、Eloise<sup>[31]</sup>、Aitik<sup>[16]</sup>、滕南特克里克地区<sup>[26]</sup>、坎德拉里亚<sup>[32]</sup>的 S 同位素数据表明 S 主体源于岩浆; 而非岩浆 S 则被认为在奥林匹克坝矿床的成矿过程中起了主要作用<sup>[12]</sup>及在坎德拉里亚矿床晚期流体中起了作用<sup>[32]</sup>。

### 1.7 与其它矿化类型的联系

铁氧化物铜—金矿床在时空上与其它类型的矿化有联系。在某些地区这类矿床与磁铁矿—磷灰石矿床紧密相连(如瑞典的基鲁纳地区、智利的 Coastal Batholith 地区<sup>[1]</sup>), 且一些磁铁矿—磷灰石矿床含有少量的铜—金矿化并具有相似的蚀变作用。在一些元古代铁氧化物铜—金矿化区, 这类矿床与 Mn—Pb—Zn—Ag 矿床(如克朗克里地区的坎宁顿(Cannington) Ag—Pb—Zn 矿)有联系<sup>[33]</sup>。智利北部 Coastal Batholith 地区的白垩系铁氧化物铜—金矿床(如 Candelaria 矿床<sup>[4,34]</sup>)产于具相似年龄的斑岩铜(—金)矿床(如 Andacollo 矿床<sup>[35]</sup>)相同的构造带中, 虽然这两种类型矿化之间的关系还不清楚, 但无疑是个令人感兴趣的问题。Pollard<sup>[5]</sup>认为铁氧化物铜—金矿床和斑岩铜—金矿床代表了与侵入岩有关的岩浆热液成矿体系的不同部分, 如在较浅部位形成的这两种矿床都具热液侵入角砾岩和爆破角砾岩, 它们都有早期的钠—钙质蚀变、随后的钾质蚀变(黑云母化、钾长石化), 及大量的磁铁矿、阳起石和晚期的硫化物的形成。再考虑到环太平洋斑岩铜—金矿带 11 个巨型矿床中有 9 个的矿石含 5% 或更多的热液磁铁矿的特征(如印尼的 Grasberg 斑岩铜—金矿床), 铁氧化物铜—金矿床和斑岩铜—金矿床之间的联系可能绝非偶然的巧合。

## 2 矿床的成因、勘探和研究意义

### 2.1 矿床的成因

铁氧化物铜—金矿床的研究还处于早期阶段, 它的成因模式相对较新, 还没有形成一致的观点, 目前的争论焦点是热液流体的来源和流体中的不同组分的来源问题。现主要有 3 类成因模式, 即①蒸

发盐来源模式<sup>[10]</sup>; ②外来流体加热模式<sup>[36]</sup>; ③岩浆—热液流体模式<sup>[5,6]</sup>。

(1) 蒸发盐来源模式<sup>[10]</sup>认为铁氧化物 Cu—Au (—REE—U) 矿床中的富钠蚀变和特征元素的富集反映了在一个由花岗岩类侵入所驱动的巨大热液循环系统中, 热液从由流体和蒸发盐反应产生贫硫热卤水, 到在流体向下循环部位的富钠蚀变, 再到金属在较冷部位和流体向上循环部位沉淀的一个演化过程。该模式强调即使流体和金属可由同期的花岗岩、变质流体或天水带来, 矿化是由蒸发盐的存在而直接导致的, 至少部分 Cu—Au 矿化与非岩浆卤水有关<sup>[10]</sup>。

(2) 外来流体加热模式<sup>[36]</sup>认为钠—钙质蚀变是由同源流体在其向侵入体中心下流时被加热的过程中发生的, 而钾质蚀变则是在流体向上/外流和流体变冷时在热液体系中心形成的。该模型依赖于长石—流体交换平衡, 即在长石质岩石—热液体系中, 温度增加将伴有钠长石化, 而温度降低则伴有钾长石化; 钠—钙质蚀变可将蚀变岩石中的一些组分如 K、Fe 和 Cu 迁移走, 而被迁移的 Cu 可能相当于约 15% 的斑岩铜矿体系中的 Cu<sup>[36]</sup>。

(3) 岩浆 CO<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>O—盐流体的不混溶作用模式<sup>[5,6]</sup>指出铁氧化物铜—金矿床及有关的钠—钙质蚀变的流体包裹体和稳定同位素研究通常表明有高盐度流体和富 CO<sub>2</sub> 流体存在, 并认为这种富 CO<sub>2</sub> 流体是由同期岩浆分离出的 H<sub>2</sub>O—CO<sub>2</sub>—盐流体的不混溶作用所产生的。由温度降低和压力降低所引起的 H<sub>2</sub>O—CO<sub>2</sub>—盐流体的不混溶作用将导致围岩的钠长石化, 并随后产生较低温度的钾长石化<sup>[5,6]</sup>。CO<sub>2</sub> 在花岗质岩浆中的低溶解度<sup>[37]</sup>说明在岩浆上侵过程中, 压力的降低可引起岩浆中 CO<sub>2</sub> 的饱和, 随即将导致水、氯化物和金属从岩浆中分离到流体相中, 流体在结晶岩浆中的饱和及随后的出溶和不混溶作用导致了体积的膨胀, 从而引起了由富 CO<sub>2</sub> 气相的逃逸而引起的角砾岩化, 由较晚的富盐流体渗透而引起的钠长石化, 并因温度的进一步降低而引起围岩的钾质(或绢云母化)蚀变<sup>[5,6]</sup>。这与铁氧化物 Cu—Au 体系中的钾长石化和绢云母化在较浅部位较晚形成的情况相一致<sup>[11]</sup>。

### 2.2 勘探模型要素

(1) 丰富的侵入岩: 不同的成因模型对侵入岩在铁氧化物 Cu—Au 矿化中所起作用的认识是很不相同的; 目前看来, 中碱性到次碱性、磁铁矿系列镁铁质岩浆到无大量黑云母分异的中性岩浆与该类矿

床的关系最密切。虽然某些地区低钾岩石与矿化有些关系<sup>[38]</sup>,但对斑岩 Cu—Au 体系研究所获证据表明高钾岩石更富成矿物质<sup>[39]</sup>。

(2) 构造控制:在区域范围内,主要断裂系统是侵入岩和矿化定位的主控因素;在局部范围内,具有容矿潜力的构造为脆性和脆—韧性构造,常见的如断裂的结合点和交汇部,断裂和岩性的交汇部,这些构造能引起便于流体运移和沉淀的角砾岩发育和局部伸展构造的形成,如澳大利亚欧内斯特—亨利矿床产于角砾岩化火山岩中,奥斯本(Osborne)矿床则选择性地发育在由近于平行铁建造和长石质砂屑岩间接触带的断层作用所形成的伸展构造中<sup>[40]</sup>。尤其是由不同岩性、形态和比例的岩屑组成的角砾岩是几个大型铁氧化物铜—金矿床的控矿和容矿构造,矿化作用可在角砾中发生并叠加有蚀变(如奥林匹克坝矿床<sup>[12]</sup>、智利的曼托—瓦尔德(Manto Verde)<sup>[41]</sup>和苏萨纳(Susana)矿床<sup>[18]</sup>等)。

(3) 地球物理勘探注意点:铁氧化物 Cu—Au 矿床与磁铁矿有一定的空间关系但非耦和关系,这是因为 Cu—Au 矿化可能与磁铁矿的形成时间不同或 Cu—Au 矿化可能是带状分布的。因而,磁法测量可发现磁铁矿体(和基性侵入体)并对一些矿床的发现起了重要作用,但对找矿并非总有效。铁氧化物 Cu—Au 体系的磁铁矿、硫化物和 Cu—Au 矿化间的相互关系可用克朗克里地区为例来说明,如奥斯本矿床西部的磁铁矿建造在成因上与 Cu—Au 矿化无关,但磁铁矿建造和砂屑岩间的岩性反差导致沿接触带形成的角砾岩带则为 Cu—Au 矿化提供了容矿构造<sup>[40]</sup>;对 Eloise 矿床这样的条带状矿化体系,磁法和电法测量对发现该体系中 Cu—Au 富矿体不太有效;虽然欧内斯特—亨利矿床中硫化物、Cu—Au 矿化和磁铁矿之间有很强的相关关系,但该矿床周围具相似磁强的无矿磁铁矿,若不能引起不连续瞬变电磁法(ATM)异常的次生自然铜存在,且该异常被选作最初打钻的靶区,很可能该矿床到现在还不会被发现<sup>[42]</sup>;像 Mount Elliott 一样具有较多氧化和还原流体组分的矿床<sup>[43]</sup>的 Cu—Au 矿化可能与富磁铁矿带和磁黄铁矿带有关。其它矿床如 Starra 矿床具有的高品位金矿化作用则与矿带中几乎不含硫化物、赤铁矿比磁铁矿丰富得多有关<sup>[27]</sup>。因此,铁氧化物铜—金矿床的地球物理勘探需要仔细和谨慎地考虑到磁铁矿、硫化物和 Cu—Au 矿化间相互关系的复杂性和多种可能性,为正确布置和合理评估对这类矿床的钻孔勘探工作提供依据。

### 2.3 研究意义

虽然自新中国成立以来我国一直非常重视铜矿资源的寻找和研究工作,且不断有新的矿床被发现,但能建成铜资源基地的大型、超大型铜矿较少,我国面临的铜矿资源短缺局面依然存在。在我国开展对铁氧化物铜—金矿床的研究和探索,将有益于发现新的铜金资源基地。在过去的 10 多年中,一些大型和超大型铁氧化物铜—金矿床在澳大利亚、巴西和智利等地的发现和开发,说明了该类矿床具有广阔的勘查前景和经济意义。我国的一些克拉通内也可能产有这类矿床,希望能对一些产于元古代海相火山岩型铜(金)矿(如大红山铁—铜(金)矿床、拉拉铜矿<sup>[44]</sup>等)的已有地质资料与国外典型铁氧化物铜—金矿床的典型特征进行对比研究,从一个较新的角度去考虑和分析在我国开展寻找铁氧化物铜—金矿床的可能性并探索在我国寻找这类矿床的基本要点和可能的成矿区域。

致谢:本文得到了中国科学院地球化学研究所领域前沿项目基金资助,成文过程中得到了李朝阳研究员的帮助,在此一并感谢。

### 参考文献(References):

- [1] Hitzman M W, Oreskes N, Einaudi M T. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au REE) deposit [J]. *Precambrian Research*, 1992, 58: 241-287.
- [2] Hitzman M W. Iron oxide copper-gold deposits: What, where, when and why [A]. In: Porter T M, ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 9-25.
- [3] Craske T E. Geological aspects of the discovery of the Ernest Henry Cu-Au deposit, northwest Queensland [J]. *Australian Institute of Geosciences Bulletin*, 1995, 16: 95-109.
- [4] Ryan P J, Lawrence A L, Jenkins R A, et al. The Candelaria copper-gold deposit, Chile [J]. *Arizona Geological Society Digest*, 1995, 20: 625-645.
- [5] Pollard P J. Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-Oxide Cu-Au mineralisation [A]. In: Porter T M ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 27-41.
- [6] Pollard P J. Sodic-calcic alteration in Fe-oxide-Cu-Au districts: an origin via unmixing of magmatic H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl ± CaCl<sub>2</sub>-KCl fluids [J]. *Mineralium Deposita*, 2001, 36: 93-100.
- [7] Pollard P J, Mark G, Mitchell L C. Geochemistry of post-1540 Ma Granites in the Cloncurry District, northwest Queensland [J]. *Economic Geology*, 1998, 93: 1 330-1 344.
- [8] Perring C S, Pollard P J, Dong G, et al. The Lightning Creek sill complex, Cloncurry district, northwest Queensland: A source of

- fluids for Fe-oxide-Cu-Au mineralization and sodic-calcic alteration [J]. *Economic Geology*, 2000, 95: 1 067-1 089.
- [9] Haynes D W, Cross K C, Bills R T, *et al.* Olympic Dam ore genesis: A fluid mixing model [J]. *Economic Geology*, 1995, 90: 281-307.
- [10] Barton M D, Johnson D A. Evaporitic-sourced model for igneous-related Fe-oxide-(REE-Cu-Au-U) mineralization [J]. *Geology*, 1996, 24: 259-262.
- [11] Barton M D, Johnson D A. Alternative brine sources for Fe-Oxide (-Cu-Au) systems: Implications for hydrothermal alteration and metals [A]. In: Porter T M, ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 43-60.
- [12] Reeve J S, Cross K C, Smith R N, *et al.* Olympic Dam copper-uranium-gold-silver deposit [A]. In: Hughes F E, ed. *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea* [C]. Melbourne: The AusIMM, 1990. 1 009-1 035.
- [13] Haynes D W. Iron oxide copper (-gold) deposits: Their position in the ore deposit spectrum and modes of origin [A]. In: Porter T M ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 71-90.
- [14] Ryan A J. Ernest Henry copper-gold deposit [A]. In: Berkman D A, Mackenzie D H, eds. *Geology of Australian and Papua New Guinean Mineral Deposits* [C]. Melbourne: The Australian IMM, 1998. 759-768.
- [15] Marschik R, Leveille R A, Martin W. La Candelaria and the Punta del Cobre District, Chile: Early Cretaceous iron-oxide Cu-Au(-Zn-Ag) mineralization [A]. In: Porter T M ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 163-175.
- [16] Frietsch R, Tuisku P, Martinsson O, *et al.* Early Proterozoic Cu (Au) and Fe ore deposits associated with regional Na-Cl metasomatism in northern Fennoscandia [J]. *Ore Geology Reviews*, 1997, 12: 1-34.
- [17] Hildebrand R S. Kiruna-type deposits: Their origin and relationship to intermediate subvolcanic plutons in the Great Bear Magmatic Zone, northwest Canada [J]. *Economic Geology*, 1986, 81: 640-659.
- [18] Espinoza S R, Veliz H G, Esquivel J L, *et al.* The cupriferous province of the Costal Range, northern Chile [A]. In: Camus E, Sillitoe R H, Peterson R, eds. *Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralisation, Styles and Metallogeny* [C]. Society of Economic Geologists Special Publication No. 5, 1996. 19-32.
- [19] Marschik R, Fontbote L. Copper (-iron) mineralization and superposition of alteration events in the Punta del Cobre belt, northern Chile [A]. In: Camus E, Sillitoe R H, Peterson R, eds. *Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralisation, Styles and Metallogeny* [C]. Society of Economic Geologists Special Publication No. 5, 1996. 171-190.
- [20] Harris N B W. The Petrogenesis of alkaline intrusives from Arabia and northeast Africa and their implications for within-plate magmatism [J]. *Tectonophysics*, 1982, 83: 243-258.
- [21] Keppler H, Wyllie P J. Partitioning of Cu, Sn, Mo, W, U and Th between melt and aqueous fluid in the systems haplogranite-H<sub>2</sub>O-HCl and haplogranite-H<sub>2</sub>O-HF [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1991, 109: 139-150.
- [22] De Jong G, Williams P J. Giant metasomatic system formed during exhumation of mid crustal Proterozoic rocks in the vicinity of the Cloncurry Fault, NW Queensland [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1995, 42: 281-290.
- [23] Rubenach M J, Barker A J. Metamorphic and metasomatic evolution of the Snake Creek Anticline, Eastern Succession, Mt Isa Inlier [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1998, 45: 363-372.
- [24] Mark G. Albite formation by selective pervasive sodic alteration of tonalite plutons in the Cloncurry district, NW Queensland [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1998, 45: 765-774.
- [25] Page R W, Sun S-S. Aspects of geochronology and crustal evolution in the Eastern Fold Belt, Mt Isa Inlier [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1998, 45: 343-362.
- [26] Houston D L, Bolger C, Cozens G. A comparison of mineral deposits at the Gecko and White Devil deposits: Implications for ore genesis in the Tennant Creek District, Northern Territory, Australia [J]. *Economic Geology*, 1993, 88: 1 198-1 225.
- [27] Rotherham J F. A metasomatic origin for the iron-oxide Au-Cu Starra orebodies, Eastern Fold Belt, Mount Isa Inlier [J]. *Mineralium Deposita*, 1997, 32: 205-218.
- [28] Rotherham J F, Blake K L, Cartwright I, *et al.* Stable isotope evidence for the origin of the MesoProterozoic Starra Au-Cu deposit, Cloncurry district, northwest Queensland [J]. *Economic Geology*, 1998, 93: 1 435-1 449.
- [29] Lindblom S, Broman C, Martinsson O. Magmatic-hydrothermal fluids in the Pahtohavare Cu-Au deposits in greenstone at Kiruna, Sweden [J]. *Mineralium Deposita*, 1996, 31: 307-318.
- [30] Williams P J. Iron mobility during synmetasomorphism alteration in the Selwyn Range area, NW Queensland: Implications for the origin of ironstone-hosted Au-Cu deposits [J]. *Mineralium Deposita*, 1994, 29: 250-260.
- [31] Baker T, Laing W P. Eloise Cu-Au deposit, east Mt Isa Block: Structural environment and structural controls on ore [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1998, 45: 429-444.
- [32] Ullrich T D, Clark A H. The Candelaria copper-gold deposit, Region III, Chile: Paragenesis, geochronology and fluid composition [A]. In: Stanley, *et al.* eds. *Mineral Deposits: Processes to Processing* [C]. Rotterdam: Balkema, 1999. 201-204.
- [33] Williams P J. Metalliferous economic geology of the Mt Isa Eastern Succession, Queensland [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1998, 45: 329-342.
- [34] Mathur R, Marschik R, Ruit J, *et al.* Age of mineralization of the Candelaria Fe oxide Cu-Au deposit and the origin of the Chilean iron belt, based on Re-Os isotopes [J]. *Economic Geology*, 2002, 97: 59-71.
- [35] Reyes M. The Andacollo strata-bound gold deposit, Chile, and



- its position in a porphyry copper-gold system [J]. *Economic Geology*, 1991, 86: 1 301-1 316.
- [36] Dilles J H, Einaudi M T. Wall-rock alteration and hydrothermal flow paths about the Ann-Mason porphyry copper deposit, Nevada—A 6 km vertical reconstruction [J]. *Economic Geology*, 1992, 87: 1 963-2 001.
- [37] Holloway J R. Fluid in the evolution of granitic magmas: Consequences of finite CO<sub>2</sub> solubility [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1976, 87: 1 513-1 518.
- [38] Vidal C E, Injoque-Espinoza J, Sidder G B, *et al.* Amphibolitic Cu-Fe skarn deposits in the central coast of Peru [J]. *Economic Geology*, 1990, 85: 1 447-1 461.
- [39] Sillitoe R H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1997, 44: 373-388.
- [40] Adshead N D, Voulgaris P, Muscio V N. Osborne copper-gold deposit [A]. In: Berkman D A, Mackenzie D H, eds. *Geology of Australian and Papua New Guinean Mineral Deposits* [C]. Melbourne: The Australia IMM, 1998. 793-799.
- [41] Vila T, Lindsay N, Zamora R. Geology of the Manto Verde copper deposit, Northern Chile: A specularite-rich, hydrothermal-tectonic breccia related to the Atacama Fault Zone [A]. In: Camus E, Sillitoe R H, Peterson R, eds. *Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralisation, Styles and Metallogeny* [C]. Society of Economic Geologists Special Publication No. 5, 1996. 157-170.
- [42] Reynolds L J. Geology of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag-REE deposit [A]. In: Porter T M, ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 93-104.
- [43] Wang S, Williams P J. Geochemistry and origin of Proterozoic skarns at the Mount Elliott Cu-Au (-Co-Ni) deposit, Cloncurry district, NW Queensland, Australia [J]. *Mineralium Deposita*, 2001, 36: 109-124.
- [44] Li Zeqin, Hu Ruizhong, Wang Jiangzhen, *et al.* Lala Fe-Oxide Cu-Au-U-REE ore deposit, Sichuan China—An example of superimposed mineralization [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2002, 21 (4): 258-260. [李泽琴, 胡瑞忠, 王奖臻, 等. 中国首例铁氧化物铜金铀—稀土型矿床的厘定及其成矿演化 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2002, 21 (4): 258-260.]
- [45] Baker T. Alteration, mineralisation and fluid flow evolution at the Eloise Cu-Au deposit, Cloncurry district Northwest Queensland, Australia: Filtering key components in exploration models [J]. *Economic Geology*, 1998, 93: 1 213-1 236.
- [46] Mark G, Oliver N H S, Williams P J, *et al.* The evolution of the Ernest Henry Fe-Oxide-(Cu-Au) hydrothermal system [A]. In: Porter T M, ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 123-136.
- [47] Williams P J, Skirrow R G. Overview of iron oxide-copper-gold deposits in the Cumamona province and Cloncurry district (Eastern Mount Isa Block), Australia [A]. In: Porter T M, ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 105-122.
- [48] Fortowski D B, McCracken S J A. Mount Elliot copper-gold deposit [A]. In: Berkman D A, Mackenzie D H, eds. *Geology of Australian and Papua New Guinean Mineral Deposits* [C]. Melbourne: The Australia IMM, 1998. 775-782.
- [49] Skirrow R G. Gold-copper-bismuth deposits of the Tennant Creek District, Australia: A reappraisal of diverse high-grade systems [A]. In: Porter T M, ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 149-160.
- [50] Souza L H, Vieira E A P. Salobo 3 Alpha deposit: Geology and mineralisation [A]. In: Porter T M, ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 213-224.
- [51] Ronze P C, Soares A D V, dos Santos M G S, *et al.* Alemão copper-gold (U-REE) deposit, Carajas, Brazil [A]. In: Porter T M, ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 191-202.
- [52] Tazava E, de Oliveira C G. The Igarapé Bahia Au-Cu-(REE-U) deposit, Carajas mineral province, Northern Brazil [A]. In: Porter T M, ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 203-212.
- [53] Hopper D, Correa A. The Panulcillo and Teresa de Colmo copper deposits: Two contrasting examples of Fe-Ox Cu-Au mineralization from the Coastal Cordillera of Chile [A]. In: Porter T M, ed. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* [C]. Adelaide: AMF, 2000. 177-189.

## THE CHARACTERISTICS OF THE OVERSEAS IRON-OXIDE CU-AU DEPOSITS AND THE PRESENT SITUATION OF THE STUDIES

ZHANG Xing-chun

(*Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China*)

**Abstract:** The iron-oxide Cu-Au deposits is a class of loosely related ores that share a pool of common characteristics but no common genetic relationship, it has become one of the major targets of Cu-Au exploration industry over the last decade. This class of deposits is characterized by the abundance of iron oxide (magnetite or hematite) in the ores and the associated intensive regional sodic (-calcic) alteration. They may occur in Proterozoic intracraton or Phanerozoic continental margin volcanic arcs with nearby intrusive complex or evaporite. The spatially and temporally associated intrusive rocks are magnetite-series granitoids. Mineralization mainly occurs in second order echelon structures near the main regional structure. The mineralization of a number of deposits of this class were associated with certain types of host rocks, but the most were formed by the unmixing of H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-salt fluid with very high salinities and the mineralization is commonly linked to potassic alteration. There is argument whether the fluids responsible for mineralization is a dominant magmatic source or controlled by host rocks. The main genetic models include "an evaporite source model", "a fluid heating model" and "a magmatic-hydrothermal model". However, detailed fluid inclusion and stable isotope studies at several deposits have indicated a dominant magmatic component to the fluids responsible for mineralization. The sorts of relationships between magnetite, sulphides and Cu-Au mineralization in Fe-oxide Cu-Au systems should be considered in the geophysical exploration. To study this type of deposits will be helpful for the discovery of new Cu resources base in China.

**Key words:** Iron-oxide Cu-Au deposits; Magnetite or hematite; Sodic (-calcic) alteration; Potassic alteration; Magmatic-hydrothermal model.