

铁氧化物-铜-金型矿床的地质特征、成矿模式和找矿标志*

李友枝 周 平 唐金荣 施俊法

(中国地质调查局发展研究中心, 北京 100083)

提要: 铁氧化物-铜-金矿床 (IOCG), 是20世纪70年代中期发现的一种新矿床类型, 它以其显著的地球化学特征和多样化的矿物学、容矿岩石和局部地质背景等特征区别于其他矿床类型。由于该类矿床规模大、品味高, 近年来对其关注程度正日益加大, 对其研究程度也在逐渐加深。但是, 对于该类矿床的研究而言, 有着较多较为复杂的制约因素。例如, 成矿地质背景尚不明了, 成矿流体和成矿金属来源等还存在较大的争论。因此, 笔者试图通过总结国内外IOCG矿床的重要研究进展和成果, 分别从矿床的基本特征、成矿模式和找矿标志角度出发, 进行较为系统而详尽的总结与阐述, 希望能进一步促进该类矿床的研究和发展。

关键词: 铁氧化物-铜-金矿床; 成矿模式; 找矿标志; 地质特征; 矿床成因

20世纪90年代, 国际上掀起了超大型矿床的研究热潮。在预期成矿类型之外“偶然”发现的奥林匹克坝铜-金-铀矿床, 类型十分独特, 曾被称为世界上独一无二的矿床, 即“独生子”矿床。然而, 随着近年大量类似矿床的发现, 以及对该类矿床研究的不断深入, 矿床学家们发现, 这些矿床构成了一个新的类型, 且将其统称为铁氧化物-铜-金(-铀)-稀土及有关矿床 (英文多写为Iron oxide-Copper-Gold Deposits, 通常缩写成IOCG矿床)。该类型矿床一般规模大, 品位较高。代表性矿床还有: 澳大利亚的欧内斯特亨利、智利的坎德拉里亚 (中生代) 和巴西的萨洛博。目前, 在国内已有众多学者关注该类型矿床^[1-3]。但是, 无论是在国内, 还是国外, 对其成因和归类尚未统一, 对其找矿标志也缺少系统总结。笔者以国内外文献为基础, 力图描述其主要特征, 并总结其主要找矿标志, 以引起国内勘查者的兴趣。

1 矿床基本特征

1.1 矿床时空分布

矿床可见于太古宙—上新世的岩石中, 以形成于古元古代—中元古代的矿床较多。例如, 巴西的萨洛博 3A Cu(-Au-Mo-Ag)矿床, 赋存在大陆环境形成的太古宙萨洛博群变质火山—沉积岩系里。矿床形成压力和深度范围较大, 产出深度从地下 200m 至 9km, 形成温度为低温到中温。

1.2 矿床形态与矿石矿物组合

矿体产出形态复杂多样, 从不规则状到板状、筒状和透镜状等均有呈现。

矿石含磁铁矿或赤铁矿, 或二者兼有, 比例一般达 20%以上。在以磁铁矿为主的矿床

* 收稿日期:2007-08-17

基金项目: 国土资源部百名优秀青年科技人才计划资助。

作者简介: 李友枝, 女, 1967 年生, 副研究员, 主要从事地质科技情报研究; E-mail: lyouzhi@mail.cgs.gov.cn。

中，矿石矿物是黄铜矿；在以赤铁矿为主的矿床中，铜矿物以斑铜矿和蓝辉铜矿-久辉铜矿为主，且矿床含 U，即沥青铀矿和钛铀矿。磁铁矿或赤铁矿体中均有不规则分布的硫化物。以赤铁矿为主的矿床有矿物分带现象：无矿赤铁矿-蓝辉铜-斑铜矿-黄铜矿-黄铁矿。

在所有矿床中，都有与黄铜矿伴生的黄铁矿。矿石中一般都含碳酸盐矿物、石英、重晶石、萤石和磷灰石。矿石中的伴生元素有 Co、Mo、Ag、As、U。

1.2 同位素数据与热液流体来源

该类型矿床中的硫化物， $\delta^{34}\text{S}$ 为 $0\sim+4\text{‰}$ 与 $-15\text{‰}\sim-7\text{‰}$ ，硫系混合来源。奥林匹克坝矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 接近 0，表明有硫酸盐-硫化物缓冲矿物（与硫化物一起沉积的重晶石或硬石膏）存在。

该类矿床的 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化不定，与其混合来源是一致的。在有些矿床中，针对“成矿阶段”所做的计算 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{34}\text{S}$ 值，或者表示是岩浆源流体，或者表示流体与缓冲系统内热发生互相作用。

流体包裹体的均一化温度 T_{H} 为 $150\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，盐度可达 70wt%当量；而成矿阶段的流体温度较冷， T_{H} 为 $150\sim 450^{\circ}\text{C}$ ，盐度较低，为 (10~30)wt%当量，成分变化不定，气体含量变化无常。

据称，奥林匹克坝矿床的流体，是酸性和基性源流体混合的结果。有些矿床具有复杂的元素组合，且出现重晶石和萤石矿物组合，表明矿石是由两个以上不同来源热液流体相互作用而形成的。

2 成矿模式

IOCG 成矿系统的所有模型，都需要有盐度较高、贫硫、相对氧化的流体，以解释系统中存在的丰富的铁氧化物和稀少的硫化物。关于 IOCG 矿床成因的争论，主要集中在成矿物质是否来源于岩浆热液（图 1，表 1）。关于某些或所有金属的“正岩浆”成因假说，目前研究结果不是将其归因于花岗岩，就是归因于其他火成岩^[4-11]，亦有归因于亲碱性的较基性岩浆的^[12-13]。其他的研究结果^[14-15]，支持早期提出的假说，认为以岩浆热液成因为主的高温深成矿石，由于发生了各种低温热液事件或低温表生事件，使其品位有所增高或降低。岩浆模式涉及氧化的贫硫含金属卤水从同时期的岩浆中析出，此后的矿质沉淀受多种过程的驱动。对岩浆流体源的具体情况有各种推断，包括原始钙碱性弧岩浆、澳大利亚和北美有争议的克拉通内或远弧环境（Distal ore settings）中的 I 型或 A 型花岗岩、碳酸岩到强碱性岩浆。流体源含有 CO_2 是岩浆模式中的一个重要因素，这不仅是因为在与矿化有关的流体包裹体中普遍存在 CO_2 ，而且还因为其在与 IOCG 系统推断深度相应的宽阔压力范围内对流体从岩浆中析出起控制作用。还有人提出， CO_2 的存在可以影响硅酸盐熔融体与流体之间的碱质配分，有可能生成具高 Na/K 比值的卤水，这种卤水可能导致了存在于许多 IOCG 环境的广泛分布的钠质蚀变作用。

其他研究结果则认为，IOCG 系统是一种以上的“非岩浆”成因热液流体的混合。据称，

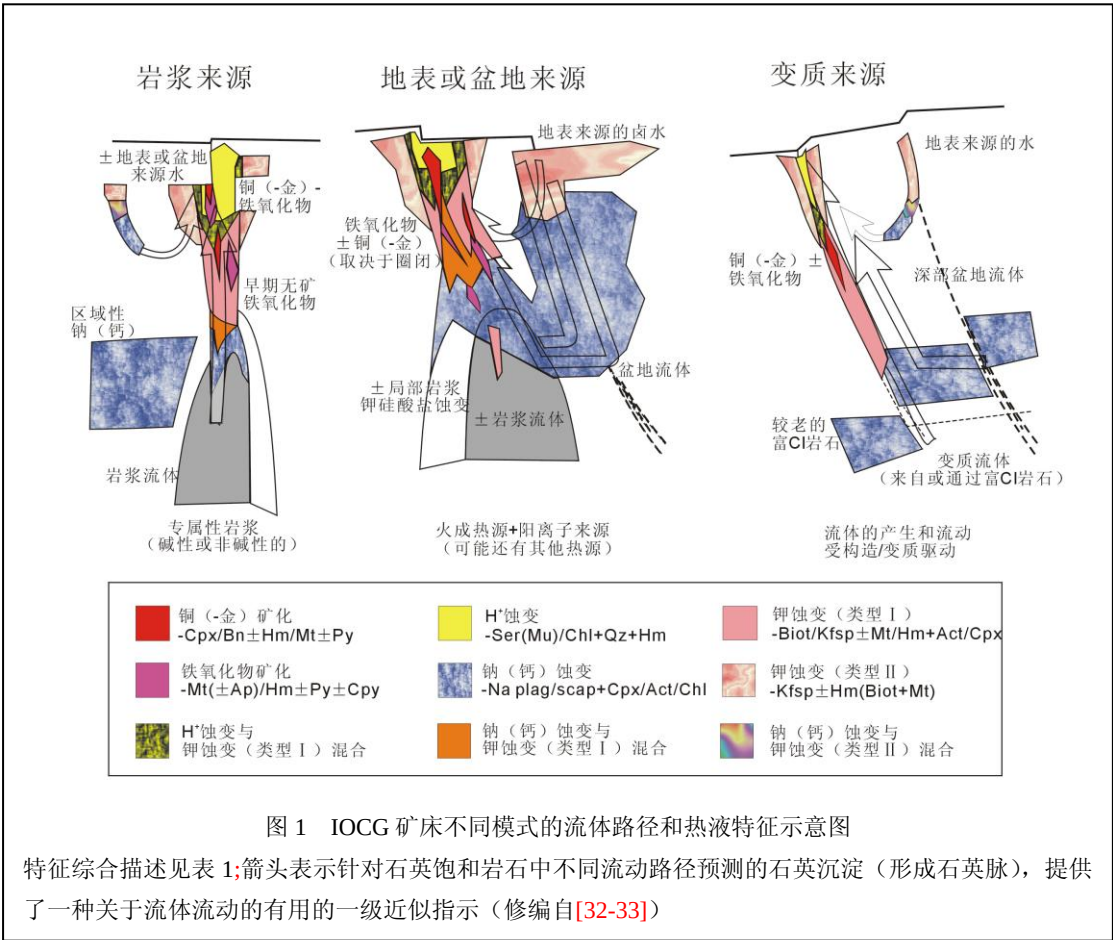
奥林匹克坝、拉康德拉里亚、欧内斯特亨利和伊加拉佩湾等矿床的成矿作用属于这种类型。G. Mark 等^[16]对欧内斯特亨利矿床的矿石，研究过岩浆源热液流体与变质热液流体之间的混合作用；D.W.Haynes 等^[16]针对奥林匹克坝矿床的矿石，研究过较热的深部循环热液流体或岩浆源热液流体，与较高盐度干盐湖产生的热液流体间发生的持续不断和周期性的混合。对奥林匹克坝矿床而言，根据稳定同位素、矿物共生组合和地球化学特征所作的解释，往往会含糊不清，不能确定较高温热液流体的来源，只能说它是岩浆成因的，或“深循环地壳水成因”的。D.K.Huston 等^[18]和 R.G.Skirrow^[19]得出结论说，不同氧化状态的变质地层水，或与早期形成的赤铁矿或磁铁矿混合，或与之反应，产生了坦南特克里克矿田的 Au-Cu-Bi 矿床。

非岩浆模型可以分成两类：一是流体主要派生于地表或浅部盆地的模型，二是涉及在地下壳到中地壳变质环境中演化的流体的模型。两类模型都需要能提供非岩浆氯化物的专属环境。在前一类模型中，侵入体的主要作用是驱动非岩浆卤水的热对流。流体的含盐性可能来自发生了蒸发的地表水（温暖、干旱环境），或来自循环水与先存蒸发盐沉积物的相互作用。含盐性来自方柱石之类含 Cl 硅酸盐的可能性在克朗柯里矿区等环境中曾被考虑过，在那些环境中，与 IOCG 有关的热液活动被认为发生在中地壳深度。变质模式不需要火成热源，尽管同期侵入体可能存在并且向流体提供了热量和组分（例如 Fe、Cu）。

表 1 IOCG 系统不同成因模式对比^[20]

流体来源	岩浆	非岩浆	
		盆地/地表	变质
基本过程	从岩浆析出贫 S ²⁻ 的含金属卤水；受浮力而上升；冷却、围岩反应±流体混合提供圈闭机制	非岩浆卤水热对流；围岩反应提供金属；冷却、围岩反应或流体混合提供圈闭机制	卤水组分通过脱挥成分或与其他水流体的反应以变质方式析出；受浮力而上升；冷却、围岩反应±流体混合物提供圈闭机制
与火成岩的伴生关系	成分从闪长岩到花岗岩的高钾氧化岩套；有些人提出与碳酸岩和强碱性岩有联系	多样的火成岩（辉长岩到花岗岩）；已知存在无岩浆活动的实例；在大多数情况下为关键热源；物质来源，反映于地球化学特征的多样性	虽然通常存在联系，但这种联系并非必不可少；在某些环境中可能为热源，可以是物质来源
含长石容矿岩石的热液蚀变	Na（Ca），另一些类型（K、H ⁺ ）与岩浆有联系	K（类型 I），流体上升带内的 H ⁺ ±Na（Ca）补给带内的 Na（Ca）±K（类型 II）	与矿床伴生的主要为 K 和 H ⁺ 蚀变；区域性 Na（Ca）组合反映来源
铁氧化物与 Cu（-Au）的关系	有些铁氧化物伴有 Cu（-Au），可能是较大深度或较高温度条件下的相应产物；无矿铁氧化物可能是由特殊流体形成的，通常见于同一地区内较老的热液系统	富磁铁矿（Me）者是成矿系统较深、较早和较高温部分；磁铁矿或赤铁矿（Hm）一般也伴有 Cu；无矿铁氧化物代表对 Cu 而言缺少 S 圈闭或缺少二次含铜流体	铁氧化物存在但相对为少量（黑云母（Bi）或绿泥石（Chl）常见）；铁氧化通常是由镁铁质物质分解而不是由铁的代入形成的

局部背景： 深度/构造	浅到中地壳水平；通常沿区域构造发育但产在成矿侵入体附近	产于（主要为）脆性的上地壳；区域或火山构造导致的倾伏	靠近或处在主要构造的中到浅地壳水平；地表流体要求浅的水平
全球背景	产生特征性岩浆（氧化的高钾或碱性岩浆）的弧或拉伸环境	具有适当卤水源（干旱环境或较老的富 Cl 物质）、倾伏系统和热驱动源的地区	具有富 Cl 低到中级变质的源岩的地区；挤压构造环境（例如盆地塌陷）或前进变质作用
关键参考文献	[21-24]	[25-28]	[29-31]



说到底，IOCG 成因的主要问题在于，矿床究竟是通过岩浆与地幔或下地壳有直接联系（特别是对非常大的矿床而言），还是完全在地壳内部形成于巨大的热液系统，这些系统能有效地富集先前分散于大范围岩石内的金属。对这一问题的答案目前仍在不确定性之中，这是由于缺少关键性数据，而获取这些数据则是今后研究的重要方向。

3 找矿标志

3.1 地质标志

大量已知大型矿床的对比研究表明,含大型、超大型氧化铁-铜-金矿的成矿省,无法与只含小型矿床的成矿省区分开来。这个结论与针对其他类型贱金属和贵金属矿床的研究结果是一致的。不过,无论就“成矿省尺度”而论,还是就“矿床尺度”而言,某些重要的地质特征都不是独一无二的,这将有助于确定更可能含有巨型和世界级氧化铁-铜-金矿床的地质环境。

3.1.1 区域特征

- (1)有 Cu 或 Cu-Au 小矿点存在,呈脉状和不均匀的浸染状产出。
- (2)有老硅铝壳存在,有一个或几个酸性和基性岩浆旋回、沉积旋回、变质旋回和变形旋回存在的证据。
- (3)产有基性或中性火山岩或其变质岩。
- (4)没有或只有少量还原性(含碳或硫化铁的)岩系产出。
- (5)有区域性 Na-Ca 矿物蚀变(产有钠长石和两种以上的下列矿物:方柱石、绿泥石、绿帘石、阳起石、磁铁矿、赤铁矿、碳酸盐~~和~~榍石)。
- (6)有穿插在 Na-Ca 蚀变岩中的 A 型或 I 型花岗岩或基性岩侵入体。
- (7)在断层中普遍发生局部的 Na-Ca 或含水钾长石蚀变,断层有时沿走向延伸很长。
- (8)蚀变岩石组合、或 A 型或 I 型花岗岩、或基性岩侵入体,未发生明显的塑性变形或变质作用。
- (9)如果有与 A 型或 I 型花岗岩或基性岩侵入体同时代的(未变形)火山岩存在,则在局部上会没有 Na-Ca 蚀变,而有含水钾蚀变(含赤铁矿尘的绢云母、碳酸盐、氧化硅和绿泥石)存在。

3.1.2 局部(近矿)特征

- (1)如果发生了 Na-Ca 蚀变,则会局部出现深粉色到红色钠长石和黑云母,或~~钾~~长石和黑云母,以及一两种下列矿物:绿泥石、绢云母、碳酸盐、方柱石、磁铁矿~~和~~赤铁矿;如果有与 A 型或 I 型花岗岩或基性侵入岩体同时代的火山岩存在,则会局部产生含水 K 蚀变和内嵌的及边缘的菱铁矿-赤铁矿-氧化硅脉。
- (2)火山岩与其他岩石接触,例如,酸性火山岩(或其变质岩)与沉积岩接触,或火山岩与花岗岩接触。
- (3)如果发生区域性 Na-Ca 蚀变,则表明有背斜或背形构造存在。
- (4)如果有 Na-Ca 蚀变存在,则会出现富含长石的岩石或含 Fe^{2+} 矿物的“含铁层”;如果有与 A 型或 I 型花岗岩同时代的火山岩存在,则会出现富长石的岩石。

3.2 蚀变标志

- (1)以赤铁矿为主的矿床有绢云母、绿泥石和碳酸盐内蚀变晕。
- (2)以磁铁矿为主的矿床有~~钾~~长石和黑云母、或钠长石和黑云母、或绿泥石和黑云母内蚀变晕。
- (3)局部产有阳起石、磁铁矿~~和~~石榴子石,一般产在以磁铁矿为主的矿床的矿体之下。

(4)碳酸盐矿物，如菱铁矿和方解石，一般呈脉状产在蚀变晕内。

(5)近矿蚀变叠覆在区域 Na-Ca 蚀变之上。

(6)在以赤铁矿为主的成矿系统中，含水 K 蚀变晕离矿体 4 km 左右；在以磁铁矿为主的矿床中，彼此相距较近。

3.3 矿物地球化学标志

具有稳定矿物磷灰石、电气石、独居石和石榴子石。矿石中含 Fe、Cu、Co、Mo、Au、Ag、As，有时还含 Bi、Te、Hg、U、Pb、Zn。在非硫化物蚀变带，含 Mn、Bi、P、LREE、F、K 或 Na、Ca、Ba、W、Th、Sn，但没有 Nb 和 Zr。

3.4 地球物理标志

由于 IOCG 矿床富含铁氧化物，常常缺失硫化物，而且蚀变范围广阔，因此，地球物理是寻找 IOCG 的有效手段，尤其是在隐伏矿区，依磁场和重力场确定效果最好。成矿区的磁场和重力效应明显，具有重力高。矿床以中等到高幅度磁异常为标志。找矿标志（如含水 K 蚀变）在地表有露头的矿区，使用放射性法找矿效果较佳。在奥林匹克坝、欧内斯利亨利、埃洛伊斯等矿床的发现过程中，地球物理起着关键性的作用。

需要指出的是，在众多构造环境下，由于地质结构复杂，成矿物质来源多样，致使地球物理资料的解释复杂化。因此，应将地球物理资料与地质资料密切结合起来考虑。

3.5 矿床成因标志

如果矿床属岩浆成因的，那么，岩浆岩组合（例如，富钾或碱性岩浆）是成矿的关键因素，它必须出现，而且要产在特定的构造环境（例如，大陆弧、弧后、非造山环境）中。由于岩浆强烈贫硫，在金属受圈闭而沉淀的过程中，需要有外部的硫源。

如果是非岩浆岩起关键作用，流体可能来自近地表，或系盆地内流体，火成岩岩体只提供热源和相关溶液。此时，火成岩的成分和古地理的控制就不那么重要了。这种情况下，变质作用与造山崩塌具有自己的显著特征，它既不需要温暖的通道，也与组合无关。相反，取决于最初系统水的总体成分。这种系统需要在侧向和深部扩展更大的范围来探讨。

参考文献:

- [1] 王绍伟. 重视近 20 年认识的一类重要热液矿床——铁氧化物-铜-金(-铀)-稀土矿床[J]. 国土资源情报, 2004, (2): 45-51.
- [2] 张兴春. 国外铁氧化物铜-金矿床的特征及其研究现状[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4): 551-557.
- [3] 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.
- [4] Hitzman M W, Oreskes N, and Einaudi M T. Geological characteristics and tectonic setting of proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits[J]. Precambrian Research, 1992, 58: 242-287.
- [5] Blake K. The Kītrunavaara magnetite-apatite deposit: a high temperature magmatic-hydrothermal deposit[J]. Geological Society of Australia Abstract, 1993, 35: 25.
- [6] Pollard P J, Perkins C. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of alteration and Cu-Au-Co mineralization in the Cloncurry district, Mount Isa inlier[C]// Australian Mineral Industry Research Association (AMIRA) Cloncurry Base metals and Gold Final Report P438, 1997a, 3: 40.
- [7] Pollard P J, and McNaughton N J. U/Pb and Sm/Nd isotope characterization of Proterozoic intrusive rocks in the Cloncurry district,

- Mount Isa inlier[C]// Australian Mineral Industry Research Association (AMIRA) Cloncurry Base Metals and Gold Final Report P438, 1997b, 4: 19.
- [8] Pollard P J. Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-oxide Cu-Au mineralization[C]//Porter T M (ed.). Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A global perspective: Adelaide, Australian Mineral Foundation. 2000: 27-41.
- [9] Williams P J. Metalliferous economic geology of the Mt. Isa eastern succession, Queensland [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1998, 45: 250-260.
- [10] Williams P J. Fe-oxide-Cu-Au deposits of the Olympic Dam/Ernest Henry-Type[C]//Hodgson C J , Franklin J M(ed.). New Development in the Geological Understanding of Some Major Ore Types and Environments, with Implications for Exploration. Short Course Proceedings, Prospectors and Developers Association of Canada. 1999: 1-43.
- [11] Requía K and Fontbote L. The Salobo iron oxide copper-gold deposit, Carajás[C]//Porter T M(ed.). Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A global Perspective: Adelaide, Australian Mineral Foundation. 2000: 225-237.
- [12] Johnson J P , Cross K C. U-Pb geochronological constraints on the genesis of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia [J]. Economic Geology, 1995, 90: 1046-1063.
- [13] Campbell I H, Compston D M, Richards J P, et al. Review of the application of isotope studies to the genesis of Cu-Au mineralization at Olympic Dam and Au mineralization at Porgera, the Tennant Creek District and the Yilgarn Craton [J]. Australian Journal of Earth Science, 1998, 45: 201-218.
- [14] Oreskes N ,Einaudi M T. Origin of rare earth element-enriched haematite breccias at the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, Roxby Down, South Australia[J]. Economic Geology, 1990, 85:1-28.
- [15] Barton M D, Marikos M A, Johnson D A. A comparison of felsic and mafic Fe-P (REE-Cu) Deposits. Geological Society of America Abstracts with Programs, 1993, 25: 5.
- [16] Mark G, Oliver N H S, Williams P J, et al. The evolution of the Ernest Henry hydrothermal system[C]//Porter T M(ed.). Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective: Adelaide, Australian Mineral Foundation. 2000: 123-136.
- [17] 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.
- [18] Huston 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: 1198-1225.
- [19] Skirrow R G. Gold-copper-bismuth deposits of the Tennant Creek district, Australia: A reappraisal of diverse high grade systems[C]//Porter T M(ed.). Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective: Adelaide, Australian Mineral Foundation. 2000: 149-160.
- [20] Williams P J, Barton M D, Johnson D A, et al. Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution, and Possible Modes of Origin [J]. Economic Geology, 2005, 100th Anniversary Volume: 371-405.
- [21] Hauck S A. Petrogenesis and tectonic setting of middle Proterozoic iron oxide-rich ore deposits: An ore deposit model for Olympic Dam-type mineralization [J]. U.S. Geological Survey Bulletin, 1990, B-1932: 4-39.
- [22] Pollard P J. Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-oxide Cu-Au mineralization[C]//Porter T M(ed.). Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective: Adelaide, Australian Mineral Foundation. 2000: 27-41.
- [23] Groves D I , Vielreicher N M. The Phalaborwa (Palabora) carbonatite-hosted magnetite-copper sulfide deposit, South Africa: An end member of the iron oxide-copper-gold-rare earth element deposit group [J]. Mineralium Deposita, 2001, 36: 189-194.
- [24] Sillitoe R H. IOCG deposits: An Andean view [J]. Mineralium Deposita, 2003, 38: 787-812.
- [25] Barton M D , Johnson D A. Evaporitic source model for igneous-related Fe oxide-(REE-Cu-Au-U) mineralization [J]. Geology, 1996, 24: 259-262.
- [26] Barton M D , Johnson D A. Alternative brine source for Fe oxide (-Cu-Au) systems: Implications for hydrothermal alteration and metals[C]//Porter T M(ed.). Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold And Related Deposits: A Global Perspective: Adelaide, Australian Mineral Foundation. 2000: 43-60.

- [27] Haynes D W, Cross K C, Bills R T, etc. Olympic Dam ore genesis: A fluid mixing model [J]. *Economic Geology*, 1995, 90: 281-307.
- [28] Haynes D W. Iron oxide copper (-gold) deposits: Their position in the ore deposit spectrum and modes of origin[C]// Porter T M(ed.). *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold And Related Deposits: A Global Perspective*: Adelaide, Australian Mineral Foundation. 2000: 71-90.
- [29] Williams P J. Iron mobility during synmetamorphic alteration in the Selwyn Range area, NW Queensland: Implications for the origin of iron-stone-hosted Au-Cu deposits [J]. *Mineralium Deposita*, 1994, 29: 250-260.
- [30] De Jong, Rotherham G, Phillips J, etc. Mobility of rare-earth elements and copper during shear-zone-related retrograde metamorphism [J]. *Geologie en Mijnbouw*, 1998, 76: 311-319.
- [31] Hitzman M W. Iron oxide-Cu-Au deposits: What, Where, When, and Why[C]// Porter T M(ed.). *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold And Related Deposits: A Global Perspective*: Adelaide, Australian Mineral Foundation. 2000: 9-26.
- [32] Barton M D, Johnson D A. Footprints of Fe oxide (-Cu-Au) systems. *University of Western Australia Special Publication* 2004, 33: 112-116.
- [33] Barton M D, Johnson D A. Evaporitic-source model for igneous-related Fe-oxide-(REE-Cu-Au-U) mineralization [J]. *Geology*, 1996, 24: 259-262.