铁氧化物铜金矿床及其特征和分类*

肖晓林[1] 朱志敏[2]
(1.成都理工大学; 2.中国地质科学院矿产综合利用研究所)

摘 要 铁氧化物铜金矿床是上世纪 90年代以来才被认知的一种重要矿床类型,因其巨大的经济和理论研究价值受到矿业界和学术界的重视。通过总结近年来的新资料和文献,定义铁氧化物铜金矿床是指一类具有贫硫化物、富铁氧化物(低钛磁铁矿±赤铁矿)矿石的热液型铜或铜-金多金属矿床。其基本特征为:有用金属以 Cu或者 Cu-Au为主,矿石硫含量低;矿床属热液矿床,有大范围的 Na-K蚀变;矿床受构造控制明显;矿石富磁铁矿和(或)赤铁矿,铁氧化物钛含量低;与火成岩关系不明确。根据矿床成因可将铁氧化物铜金矿床分为岩浆成因矿床、非岩浆成因矿床和混合成因矿床。

关键词 铁氧化物铜金矿床 概念 特征 分类

Characteristics and Classification of Iron Oxide Copper-Gold Deposits

Xiao Xiaolin[1] Zhu Zhimin[2]
(1. *Chengdu University of Technology*; 2. *Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS*)

Abstract The iron oxide-copper-gold (IOCG) deposit is an important deposit known since 1990's and is paid more attention by scientists and researchers in mining fields due to its large economic and scientific values. In light of new information and documents in recent year, the IOCG deposit is defined as a kind of hydrothermal Cu or Cu-Au deposits family with low sulfide and high iron oxide (magnetite±hematite with low Ti content). Its characteristics are as follows: valuable metals mainly as Cu or Cu-Au with low sulfide; hydrothermal deposits with extensive Na-K alteration; strong structural controls; abundant magnetite and/or hematite with low Ti content; no clear relations with igneous rocks. Based on the genetic type of deposits, IOCG deposits can be classified into three types as magmatic IOCG deposits, non-magmatic IOCG deposits and hybrid IOCG deposits.

Keywords IOCG deposits; Concept; Characteristics; Classification

上个世纪 70年代,奥林匹克坝超大型铜-金-铀矿床的发现,促使人们关注此类富铁氧化物矿床。早期,人们更多地注意到奥林匹克坝矿床区别于其他类型矿床的独特性,认为它是独一无二的,代表了一种新的成矿环境。然而,也有一些研究者注意到奥林匹克坝矿床与其他一些矿床的共同点,认为或许这些矿床之间有一定联系。Hitzman等[1]系统地总结了澳大利亚奥林匹克坝矿床、加拿大 Wernecke山和 Great Bear矿区、瑞典基鲁纳铁矿、美国密苏里东南铁矿区和我国白云鄂博矿床的地质特征,将它们归纳为一种新的矿床类型——铁氧化物铜金矿床(iron oxide-copper-gold deposits,简称 IOCG矿床)。这一概念的提出,使矿业届和学术界以新的视角看待一些已发现的大型-超大型矿床,并成功指导了一系列新矿床的勘查和发现。目前,IOCG矿床已成为世界 Cu-Au-U的主要来源之一,并伴生丰富的具有经济价值的 Fe、REE(主要是 La和 Ce)、Ag、Mo、Co、Bi等可综合利用[2]。然而,由于 IOCG矿床在成矿环境、成矿时代、矿床类型上的多样性以及对成矿机制了解得不够,导致人们在矿床成因上争论不休,阻碍了有效勘探模式的建立[3]。同时,科学地研究并指导勘探找矿需要一个精准的 IOCG矿床的概念和分类。为此,本文将厘定 IOCG矿床的概念,归纳 IOCG矿床的基本特征,并尝试进行分类,以期丰富有关 IOCG矿床的理论体系。

1 IOCG矿床的概念及特征

1992年,Hitzman等将 IOCG矿床称作元古代铁氧化物铜-铀-金-稀土矿床[1];之后,Barton注意到此类矿床也出现于显生宙,于是改称为铁氧化物

* 中国地质调查局地质调查项目(编号:1212010781004)。
肖晓林(1962—),男,成都理工大学地球科学学院,高级工程师,博士研究生,610059四川省成都市成华区二仙桥东三路 1号。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

铜 – 铀 – 金 – 稀土矿床[4]; 2000年 12月, 在澳大利亚帕斯召开了关于 IOCG矿床的专门国际会议, 并出版包括 24篇文章的会议文集 ——《热液铁氧化物铜金矿及其相关矿床: 全球展望》, Hitzman在此次会议上, 利用大量新的资料将此类矿床重新命名为铁氧化物铜金矿床[5], 至此, IOCG矿床的名称得以统一; 2003年, Sillitoe将 IOCG矿床定义为含有大量磁铁矿和 (或)赤铁矿的矿床, 并伴有黄铜矿 ± 斑铜矿, 矿产组合变化范围大, 与一定的构造 – 岩浆环境有关[6]; 2006年, Corriveau进一步将 IOCG矿床定义为具有贫硫化物、铁氧化物 (低钛磁铁矿 ± 赤铁矿)含量超过 20%的热液型多金属 (铜 – 金 – 银 – 铀 – 稀土 – 铋 – 钴 – 铌 – 磷)矿床[7]; 2007年, Hunt等认为 IOCG矿床是指具有富磁铁矿 ± 赤铁矿 (铁氧化物的 TiO_2 含量小于 2%)、大面积蚀变 (尤其是 Fe– Na– K交代)的一类矿床[8]。总之, 目前对 IOCG矿床的定义是松散的, 本文在这些定义的基础上给出一个更加精准的定义: IOCG矿床是指一类具有贫硫化物、富铁氧化物 (低钛磁铁矿 ± 赤铁矿)矿石的热液型铜或铜 – 金多金属矿床。

Williams等[9]对世界上主要的 IOCG矿床进行了系统总结, 指出 IOCG矿床的基本地质特征包括: ①有用金属以 Cu或者 Cu– Au为主, 矿石硫含量低; ②矿床属热液矿床, 有大范围的 Na– K蚀变; ③矿床受构造控制明显; ④矿石富磁铁矿和 (或)赤铁矿, 铁氧化物钛含量低; ⑤与火成岩关系不明确。另外, 其他一些不一定适合所有 IOCG矿床的特征也被识别, 包括: ①与花岗岩类岩基具有时空联系; ②具有大范围的碱交代; ③具有丰富的伴生元素 F– P– Co– Ni– As– Mo– Ag– Ba– LREE– U等 (与围岩相比, Pb– Zn并未富集)。

利用以上概念和特征, 人们已能有效地将 IOCG矿床与其他类型矿床区分, 比较充分地判定某个矿床是否属于 IOCG矿床。李泽琴等[10]系统总结了四川会理拉拉铜金矿的基本特征, 包括: ①矿石的主要有用金属以 Cu– Au为主; ②矿床主要形成于晋宁期的热液活动, 矿石以浸染状和角砾状构造为主, 蚀变类型以钠长石化、黑云母化、萤石化、碳酸盐化为主, 且蚀变面积超过 80 km^2; ③矿床受构造控制明显; ④矿石富磁铁矿 (平均 15. 50%)和黄铜矿 (平均 2. 26%), 其他硫化物含量低, 且磁铁矿的 Ti含量低 (平均 0. 128%); ⑤Cu平均品位 0. 92%, 伴生 Fe– Au– Ag– REE– Mo– Co等元素。因此, 将拉拉铜矿划入 IOCG矿床是可靠的。

2 IOCG矿床的分类

2.1 构造环境

早期的研究大多认为 IOCG矿床产在克拉通或大陆边缘, 与伸展构造有关[1]。随着越来越多的 IOCG矿床被识别, Hitzman[5]认为 IOCG矿床通常出现于 3种构造背景: ①与非造山岩浆有关的大陆地块内部 (如奥林匹克坝); ②与中性岩浆有关的较年轻大陆边缘弧 (如南美安第斯); ③褶皱和推覆带 (如 Mount Isa线形褶皱带内的矿床)。然而, 近年来的研究表明, 基鲁纳矿床和奥林匹克坝矿床成矿时的构造环境是挤压的逆冲构造或造山, 而不是早先认为的非造山伸展构造[3, 11-12]。因此, 看来 IOCG矿床主要的成矿构造背景还是挤压或者与造山过程有关。

2.2 矿床成因

由于 IOCG矿床在成矿环境、成矿时代、矿床类型上的多样性, 导致人们对其矿床成因难以形成统一认识, 争论的焦点是成矿流体来源和成矿物质来源。

2005年以前, 根据传统的流体包裹体和稳定同位素数据, 不同的研究者提出不同的成因模式: 一些研究者根据稳定同位素和包裹体数据, 提出了岩浆热液模式[9]; Barton和 Johnson[13]系统归纳了岩浆模式和非岩浆模式的异同, 认为不同来源的流体会产生不同的地质地球化学特征, 但他们倾向于采用非岩浆模式。2005年以来, 通过采用一些新的研究手段, 已经能够比较有效地区分 IOCG矿床的流体来源。大量有关 IOCG矿床的 C– H– O– S稳定同位素、流体包裹体的卤族元素 – 稀有气体 – Sr– Cl同位素和电气石 B同位素数据[14-20]表明, 不同地区不同矿床具有不同的流体来源, 既有岩浆成因也有非岩浆成因 (非岩浆水包括地表或盆地来源水、变质水), 既可能是某种端元流体参与成矿, 也可能是不同端元流体共同参与成矿, 但大型 – 超大型矿床的形成往往是由于多种端元组分的共同作用。

对于成矿金属来源, 目前讨论较少。Johnson和 McCulbch[21]利用 Nd同位素组成对奥林匹克坝 IOCG矿床的成矿金属来源进行了研究, 提出 Nd和 Cu具深源性 (上地幔或下地壳); Gleanson等[22]利用 Nd同位素组成对美国密苏里东南 St Francois山 IOCG矿床的 REE来源进行研究, 结果表明 REE主要来源于与成矿同期的火成主岩; Mathur等[23]利用

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Re-Os同位素体系对智利 Candelaria IOCG矿床的成矿时代和成矿金属来源进行研究,证明该地区的成矿金属来自深成花岗质岩体,但该区小型磁铁矿-磷灰石矿床具有壳源 Os同位素组成,主要的 IOCG矿床表现出壳-幔混合 Os同位素组成; Marschik等[24]对智利 Candeleria-Punta del Cobre地区 IOCG矿床的 Pb同位素进行了系统研究,结果表明矿石中的 Pb最终来源于上地壳和地幔的混合; Skirrow等[25]利用 Nd同位素组成对澳大利亚 Gawler克拉通 IOCG系统的无矿和弱矿化区的金属来源进行示踪,结果表明这些地区无矿和弱矿化 IOCG系统的 REE-Cu主要来自地壳; Bastrakov等[16]和 Baker等[26]分别对奥林匹克坝地区和 Cloncurry地区流体包裹体进行 PIXE分析,结果表明大型-超大型 IOCG矿床的 Cu主要来自幔源岩浆流体,无矿或次经济 IOCG系统的 Cu主要来自盆地水或者结晶基底。

综上所述,从成矿流体和成矿物质来源看, IOCG矿床的成因可分为岩浆、非岩浆、混合成因 3种模式。但大型-超大型 IOCG矿床的形成更加复杂,其成矿流体是混合的,成矿物质可能主要来自地幔(通过火成岩)。

2.3 分　类

根据以上构造环境和成因分析, IOCG矿床可分成以下 3类:岩浆成因 IOCG矿床、非岩浆成因 IOCG矿床和混合成因 IOCG矿床,其中非岩浆成因 IOCG矿床又包括变质成因和非变质成因两个亚类(参见表 1)。从现有的数据来看,大型-超大型 IOCG矿床都是混合成因的,这可能是由于大型-超大型矿床往往需要巨量的成矿流体、成矿金属和成矿的硫。

表 1　IOCG矿床分类

类　型	流体来源	与岩浆岩关系	金属来源	金属元素组合
岩浆成因	岩浆水	关系密切,尤其是与中性-酸性的钙碱性-碱性(±碳酸岩)岩浆岩	岩浆	Cu-Au,磁铁矿通常 5% ~ 15%
非岩浆成因	地表/盆地水	关系不明确	岩浆或地层	Cu-Au-Co±U,铁氧化物大于 15%
	变质水	关系不明确	岩浆或地层	铁氧化物大于 15%
混合成因	混合来源	有一定关系,可见斑岩型矿化,但与斑岩体无明确关系	岩浆和(或)地层	铁氧化物大于 15%

注:据文献[5, 9, 13]简化。

3　中国的 IOCG矿床

在我国,一些学者对有关 IOCG矿床研究的国际动态给予了关注[27-31],一些学者则研究了国内的一些矿床,认为拉拉铜矿[10]、迤纳厂稀土铁铜矿床[32]、中条山铜矿峪矿床[33]、新疆乔夏哈拉铁铜金矿床[34]、内蒙古哈达门沟金矿[35]、宁芜铁氧化物-磷灰石矿床[36]、海南石碌铁矿[37]等应属于 IOCG矿床,而对白云鄂博矿床是否应划入 IOCG矿床争议很大[31]。以上研究大多将国内矿床与国外 IOCG矿床对比,但对矿床成因、成矿机制缺乏深入的研究。总之,国内的 IOCG矿床研究刚刚起步[30],而对于那些已划入 IOCG系列的矿床,尚需开展进一步的工作[31]。

4　结　论

本文定义 IOCG矿床是指一类具有贫硫化物、富铁氧化物(低钛磁铁矿±赤铁矿)矿石的热液型铜或铜-金多金属矿床。其基本特征为:①有用金属以 Cu或者 Cu-Au为主,矿石硫含量低;②矿床属热液矿床,有大范围的 Na-K蚀变;③矿床受构造控制明显;④矿石富磁铁矿和(或)赤铁矿,铁氧化物钛含量低;⑤与火成岩关系不明确。另外,其他的一些特征也被识别(但不是适合所有的 IOCG矿床),包括:①与花岗岩类岩基具有时空联系;②具有大范围的碱交代;③具有丰富的伴生元素 F-P-Co-Ni-As-Mo-Ag-Ba-LREE-U等(与围岩相比, Pb-Zn并未富集)。

由于 IOCG矿床主要的成矿构造背景是挤压或者与造山过程有关,所以按矿床成因可将其分为岩浆成因 IOCG矿床、非岩浆成因 IOCG矿床和混合成因 IOCG矿床。

国际上的 IOCG矿床研究如火如荼,国内才刚刚起步。国内那些已经划入 IOCG系列的矿床,由于缺乏放射性同位素证据和包裹体卤族元素、稀有气体同位素数据,所以难以系统讨论其成因机制,也难以进行分类。

参　考　文　献

[1] Hitzman M W, Oreskes N, Einaudi M T. Geological characteristics

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

and tectonic setting of proterozoic iron oxide(Cu-U-Au-REE) deposit[J]. Precambrian Research, 1992, 58: 241-287.

[2] Hitzman M W, Valenta R K. Uranium in iron oxide-copper-goled (IOCG) systems[J]. Economic Geology, 2005, 100: 1657-1661.

[3] Sandrin A, Berggren R and Elming S. Geophysical targeting of Fe-oxide Cu-(Au) deposits west of Kiruna, Sweden[J]. Journal of Applied Geophysics, 2007, 61: 92-101.

[4] Barton M D and Johnson D A. Evaporitic-source model for igneous-related Fe oxide-(REE-Cu-Au-U) mineralization[J]. Geology, 1996, 24: 259-262.

[5] Hitzman M W. Iron oxide-Cu-Au deposits: What, where, when, and why? [C]//Porter T M. Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective: Volume 1. Adelaide: PGC Publishing, 2000: 9-25.

[6] Sillitoe R H. Iron oxide copper-gold deposits: An Andean view[J]. Mineralium Deposita, 2003, 38: 787-812.

[7] Corriveau L. Iron oxide copper-gold(±Ag±Nb±P±REE±U) deposits: A Canadian perspective[M]//Open file report of Geological survey of Canada. Toronto: Geological survey of Canada, 2006: 1-56.

[8] Hunt J A, Baker T and Thorkelson D J. A review of iron oxide copper-gold deposits, with focus on the Wernecke breccias, Yukon, Canada, as an example of a non-magmatic end member and implications for IOCG genesis and classification[J]. Exploration and Mining Geology, 2007, 16: 209-232.

[9] 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.

[10] 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.

[11] Direen N G. and Lyons P. Regional crustal setting of iron oxide Cu-Au mineral systems of the Olympic Dam region, South Australia: Insights from potential-field modeling[J]. Economic Geology, 2007, 102: 1397-1414.

[12] Hand M, Reid A and Jagodzinski L. Tectonic framework and evolution of the Gawler craton, South Australia[J]. Economic Geology, 2007, 102: 1377-1395.

[13] Barton M D and Johnson D A. Alternative brine sources for Fe-Oxide(-Cu-Au) systems: Implications for hydrothermal alteration and metals[C]//Porter T M. Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective: Volume 1. Adelaide: PGC Publishing, 2000: 43-60.

[14] Marshall L J, Oliver N H S and Davidson G J. Carbon and oxygen isotope constraints on fluid sources and fluid-wallrock interaction in regional alteration and iron-oxide-copper-gold mineralisation, eastern Mt Isa Block, Australia[J]. Mineralium Deposita, 2006, 41: 429-452.

[15] Chiaradia M, Banks D, Cliff R, et al. Origin of fluids in iron oxide-copper-gold deposits: constraints from δ37Cl, 87Sr/86Sri and Cl/Br[J]. Mineralium Deposita, 2006, 41: 565-573.

[16] Bastrakov E N, Skirrow R G. and Davidson G J. Fluid evolution and origins of iron oxide Cu-Au prospects in the Olympic Dam district, Gawler craton, South Australia[J]. Economic Geology, 2007, 102: 1415-1440.

[17] Benavides J, Kyser T K, Clark A H, et al. The Mantoverde Iron Oxide-Copper-Gold district, III Region, Chile: The role of regionally derived, normagmatic fluids in chalcopyrite mineralization[J]. Economic Geology, 2007, 102: 415-440.

[18] Kendrick M A, Baker T, Fu B, et al. Noble gas and halogen constraints on regionally extensive mid-crustal Na-Ca metasomatism, the Proterozoic Eastern Mount Isa Block, Australia[J]. Precambrian Research, 2008, 163: 131-150.

[20] Fisher L A and Kendrick M A. Metamorphic fluid origins in the Osborne Fe oxide-Cu-Au deposit, Australia: evidence from noble gases and halogens[J]. Mineralium Deposita, 2008, 43: 483-497.

[21] Xavier R P, Wiedenbeck M, Trumbull R B, et al. Tourmaline B-isotopes fingerprint marine evaporites as the source of high-salinity ore fluids in iron oxide copper-gold deposits, Carajás Mineral Province(Brazil)[J]. Geology, 2008, 36(9): 743-746.

[22] Johnson J P and McCulloch M T. Sources of mineralizing fluids for the Olympic Dam deposit (South Australia): Sm-Nd isotopic constraints[J]. Chem Geol, 1995, 121: 177-199.

[23] Gleason J D, Marikos M A, Barton M D, et al. Neodymium isotopic study of rare earth element sources and mobility in hydrothermal Fe oxide(Fe-P-REE) systems[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000, 64: 1059-1068.

[24] Mathur R, Marschik R, Ruiz J, et al. Age of mineralization of the Candelaria iron oxide Cu-Au deposit and the origin of the Chilean iron belt based on Re-Os isotopes[J]. Economic Geology, 2002, 97: 59-71.

[25] Marschik R, Chiaradia M and Fontbot L. Implications of Pb isotope signatures of rocks and iron oxide Cu-Au ores in the Candelaria-Punta del Cobre district, Chile[J]. Mineralium Deposita, 2003, 38: 900-912.

[26] Skirrow R G., Bastrakov E N, Barovich K, et al. Timing of iron oxide Cu-Au-(U) hydrothermal activity and Nd isotope constraints on metal sources in the Gawler craton, South Australia[J]. Economic Geology, 2007, 102: 1441-1470.

[27] Baker T, Mustard R, Fu, B, et al. Mixed messages in iron oxide-copper-gold systems of the Cloncurry district, Australia: insights from PIXE analysis of halogens and copper in fluid inclusions[J]. Mineralium Deposita, 2008, 43: 599-608.

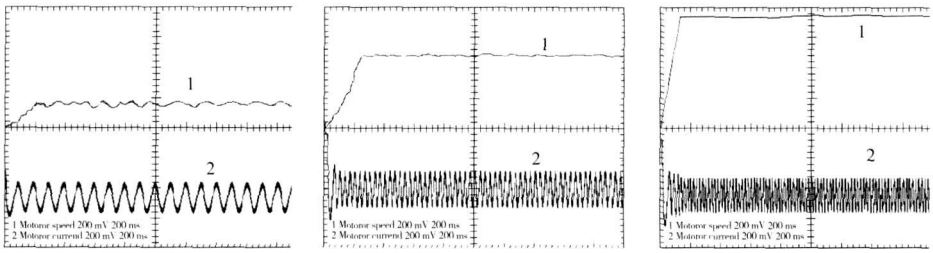
[28] 李上森. 元古宙铁氧化物(Cu-U-Au-REE)矿床[J]. 国外前寒武纪地质, 1996(2): 29-38.

[29] 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): 551-560.

[30] 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): 45-52.

(下转第 105页)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(1) n=300 r/min　(2) n=900 r/min　(3) n=1 450 r/min

图 7　部分电机转速、电流实验波形

测试结果表明交流传动电机车具有较好的牵引性能, 牵引特性曲线较硬, 即电流稍有增加, 更可得到较大的牵引力; 在额定牵引速度时, 交流传动电机车的牵引力可达 17.5 kN, 而直流传动电机车只有 14.8 kN。交流传动电机车起动性能优良, 低速大转矩起动时, 起动电流只有 185 A, 而直流传动电机车的起动电流接近 360 A。为获得额定牵引力 18 kN, 交流传动电机车所需电流为 150 A, 而直流传动电机车需要的电流接近 270 A。因此该系统更有利于节约能源。

4　结　论

煤矿井下电机车是运输的主要手段, 本研究描述了目前电机车牵引驱动的现状以及趋势, 并选择直接转矩控制方式作为其控制策略。直接转矩控制变频调速控制系统是一个双闭环的调速控制系统。内环采用磁链和转矩的闭环控制, 外环采用速度闭环控制。采用 MATLAB 语言中的 Simulink 动态仿真工具建立仿真模型, 并进一步建立 DSP 与智能功率模块(IPM)以及交流电机组成的矿用电机车实验平台调速系统实验平台进行实验, 结果表明建立的煤矿电机车调速系统具有牵引力大, 调速性能好、便于维护、节能等优势。

参　考　文　献

[1] 马宪民. 矿用蓄电池电机车交流调速系统的研究[J]. 煤矿自动化, 2001(2): 1-2

[2] 马宪民, 宋改改. 煤矿电机车交流调速系统的方案选择与考虑[J]. 工矿自动化, 2002(4): 17-19

[3] 孟繁金, 田　军. 电机车牵引力及其相关参数的选择与计算[J]. 煤矿机械, 2000(7): 8-10

[4] 韦通康. 关于电机车牵引重量的探讨[J]. 煤矿机电, 2002(2): 32-34

[5] 胡晓东, 王　建. 煤矿电机车变频调速系统设计与实现[J]. 煤矿机械, 2007(2): 16-18

[6] 陈桂明, 张明照. 应用 MATLAB 建模与仿真[M]. 北京: 科学出版社, 2001

[7] 林瑞全, 邱公伟. 基于 S函数的神经元 PID 控制器 Simulink仿真模型[J]. 中国仪器仪表, 2001(6): 4-6

[8] 李　夙. 异步电动机直接转矩控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999

[9] Plunkett Allan B. Direct Flux and Torque Regulation in a PWM Induction Motor Drive[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1977, 13(2): 139-146

[10] Habetler T G, Profumo F, Pastorelli M, et al. Direct Torque Control of Induction Motor Using Space Vector Modulation[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1992, 28(5): 1045-1052

(收稿日期　2009-06-18)

(上接第 75页)

[31] 毛景文, 余金杰, 袁顺达, 等. 铁氧化物-铜-金(IOCG)型矿床: 基本特征、研究现状与找矿勘查[J]. 矿床地质, 2008, 27(3): 267-278

[32] 聂凤军, 江思宏, 路彦明. 氧化铁型铜-金(IOCG)矿床的地质特征、成因机理与找矿模型[J]. 中国地质, 2008, 35(6): 1074-1087.

[33] 杨耀民, 涂光炽, 胡瑞忠. 迤纳厂稀土铁铜矿床稀土元素地球化学[J]. 矿物学报, 2004, 24(3): 301-308

[34] 周　熊. 中条山铜矿峪铁氧化物型矿床地质地球化学特征研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.

[35] 应立娟, 王登红, 李建康, 等. 新疆乔夏哈拉铁铜金矿床与国内外 IOCG矿床的对比研究[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(3): 338-345

[36] 王美娟, 李杰美, 朝银银. 我国的铁氧化物型铜-金矿床特征及研究现状[J]. 黄金科学技术, 2008, 16(4): 14-19.

[37] Mao Jingwen, Chen Yuchuan and Yu Jinjie. The iron oxide-apatite deposits in the Ningwu Cretaceous Basin in the lower reach of the Yangtze river valley, China[C]//33rd international geological congress, (abstracts). Oslo: International Geological Congress, 2008: 33.

[38] 许德如, 王　力, 肖　勇, 等. "石碌式"铁氧化物-铜(金)-钴矿床成矿模式初探[J]. 矿床地质, 2008, 27(6): 681-694

(收稿日期　2009-06-02)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net