卷(Volume) 32 期(Number) 3 总(SUM) 118
页(Pages) 338~345 2008 8(August 2008)

大地构造与成矿学
Geotectonica et Metallogenia

新疆乔夏哈拉铁铜金矿床与国内外 IOCG 矿床的对比研究

应立娟[1], 王登红[1], 李建康[1], 陈郑辉[1], 席忠[2], 杨文华[3], 刘乃忠[4]
(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 内蒙古第| 地质矿产勘查开发院, 内蒙古 土默特 左旗 010100; 3 内蒙古地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 4 福建地质调查院, 福建 福州 350011)

摘 要: 随着 IOCG 矿床不断取得巨大的勘探成果, IOCG 矿床在国内外都日益受到关注。新疆乔夏哈拉铁铜金矿床在构造环境、元素组合、蚀变特征等方面与国外典型的 IOCG 矿床有相似之处, 乔夏哈拉铁铜金矿床处于大陆边缘拉张环境, 具有 Fe-Cu-Au(-REE)多元素组合, 蚀变以绿帘石矽卡岩化为主, 垂直分带不明显; 在成矿时代方面又区别于多数产在元古代的 IOCG 矿床, 而是在古生代; 乔夏哈拉西矿区切割铁矿层的闪长岩脉角闪石的 Ar-Ar 坪年龄为 378.1±3.6Ma, 故铁的成矿年龄应在泥盆纪。本文认为乔夏哈拉铁铜金矿床不仅与 IOCG 矿床有较多相似之处, 与国内内蒙古白云鄂博铁稀土铌矿床、云南迤纳厂铁铜稀土矿床、云南拉拉铜铁金钴钼稀土矿床和云南稀矿山铁铜矿床等也有相似之处, 因此, 在中国寻找 IOCG 矿床尤其是大型矿床, 是有可能的。

关键词: IOCG 矿床; 乔夏哈拉; 铁铜金矿床
中图分类号: P611.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-1552(2008)03-0338-08

IOCG 矿床(Iron Oxide-Copper-Gold 矿床), 即铁氧化物-铜-金(-铀-稀土)及有关矿床。近三十多年来, 随着世界各地一大批大型或特大型 IOCG 矿床的陆续发现, IOCG 矿床已成为矿业界、勘查界和学术界的关注焦点(王绍伟和刘树臣, 2006)。国外典型的 IOCG 矿床以大型或特大型矿床为主, 已取得巨大的勘查成果, 而国内除内蒙古的白云鄂博大型铁稀土铌矿床和云南迤纳厂中型富铁矿(伴生铜和稀土矿)外, 大型的 IOCG 矿床还少见。IOCG 型矿床一般形成于大陆边缘的裂谷带或类似于三叉裂谷的环境, 在大陆内部只要有地幔流体的强烈交代也可以形成规模巨大的 IOCG 矿床。我国类似的成矿条件是具备的, 但已知的典型矿床还比较少。白云鄂博算一个。考虑到此类矿床一般规模巨大但具有独特的成矿特征, 往往不易识别, 本文提供一个新的研究实例, 即新疆的乔夏哈拉矿床。

位于新疆阿勒泰地区富蕴县的乔夏哈拉铁铜金矿床, 从 20 世纪 60 年代的小型铁矿床和铜矿点, 已发展到目前的小型铁矿床和铜矿床, 并伴生有金。随着勘探力度的不断加大, 边采边探, 其深部以铜为主, 并且钻孔多数未穿透矿体, 其规模在深部很有潜力。通过其与国外典型 IOCG 矿床的对比研究, 它与 IOCG 矿床具有较多相似之处, 认为其具有扩大规模的潜力, 并能为国内开展 IOCG 矿床, 尤其是大型 IOCG 矿床的找矿工作, 提供一些资料。

收稿日期: 2008-02-22; 改回日期: 2008-03-14
基金项目: 本文得到国家科技支撑计划"西部优势矿产资源潜力评价体系及集成示范研究"课题(2003BA612A-01)、中国地质大调查"中国成矿体系综合研究"项目(1212010634002)、"中国成矿体系与区域成矿评价"项目(K1.4)、"我国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估"项目(200420190004)、"我国重要矿产和区域成矿规律研究"项目(1212010633903)等的资助.
第一作者简介: 应立娟(1981-), 女, 研究实习员, 硕士, 矿床学专业. Email: biyuntian518@sina.com

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

1　矿床地质特征

乔夏哈拉铁铜金矿床位于新疆富蕴县城东南 34km, 处于准噶尔北缘的活动地带。矿床产于中泥盆统北塔山组中基性海相火山岩和火山碎屑岩中, 呈 NW–SE向展布 (图 1)。矿区出露地层主要有中泥盆统北塔山组 (D_2b)、蕴都喀拉组 (D_2y)和下石炭统南明水组 (C_1n), 赋矿地层为中泥盆统北塔山组 (D_2b)。矿区北部的额尔齐斯大断裂呈北西向延伸, 是控制矿体走向的主要构造因素。按矿体的空间分布与相对密集程度, 可将磁铁矿带划分为三个矿区, 自北西往南东方向, 依次为乔夏哈拉西矿区、中矿区和东矿区。矿体主要呈似层状、层状、透镜状产出。矿石包括磁铁矿矿石、含铜磁铁矿矿石和黄铜矿矿石, 主要呈块状、条带状、浸染状构造。

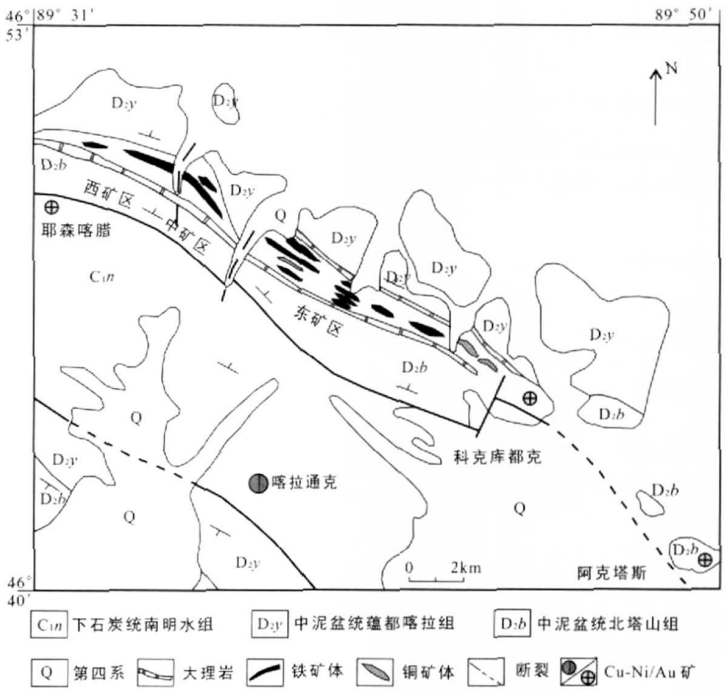


图 1　乔夏哈拉矿床的地质略图

Fig. 1　Geological map of the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit

2　与国外 IOCG矿床的对比

1975年澳大利亚奥林匹克坝 (Olympic Dam)矿床的发现, 及随后 1980年发现的澳大利亚 Starra矿床, 1987年发现的智利 La Candelaria矿床, 1988年发现的澳大利亚 Osborne矿床和 1991年发现的 Ernest Henry矿床的陆续发现, Hitzman等在 1992年提出了铁氧化物铜铀金稀土矿床这个概念, 将澳大利亚的奥林匹克坝矿床、加拿大的韦尔内克 (Wernecke)山和大熊河 (Great Bear)矿区、瑞典的基鲁纳 (Kiruna) 铁矿、美国密苏里 (Missouri)东南铁矿区和我国白云鄂博矿床等归入了这一广泛的类型中 (Hitzman *et al*., 1992; Hitzman, 2000) (表 1)。

目前, 对于 IOCG矿床而言, 重要的特征可以包括元素和矿物组合、成矿时代、构造环境、与火成活动的关系、形态、蚀变特征等方面。将乔夏哈拉铁铜金矿床与典型的 IOCG矿床进行对比, 认为乔夏哈拉与 IOCG矿床有较多相似之处, 也具有自身的特点。

元素和矿物组合方面: IOCG矿床的一个明显特点是含大量的铁氧化物矿物, 而铁的硫化物相对含量较低。乔夏哈拉矿床中, 磁铁矿是主要的铁金属矿物, 黄铁矿普遍可见, 但含量低, 可能为后期的热液产物。地表见褐铁矿化, 赤铁矿、镜铁矿量少。IOCG矿床一般为一套多元素组合矿床, 如澳大利亚的奥林匹克坝 (Olympic Dam)矿床为 Fe-U-Cu-Au-Ag-REE矿床, 显山 (Prominent Hill)矿床为 Fe-Cu-Au-Ag-U-REE矿床 (Oreskes and Hitzman, 1993; 王登红, 1999; 王绍伟和刘树臣, 2006)。乔夏哈拉矿

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

表 1 全球重要的 IOCG矿床及其资源量与品位

Table 1 Global major IOCG deposits and their resources and grades

国家	地区	典型矿床(资源量(Mt)@品位)
澳大利亚	Gawler地区	奥林匹克坝(3810@ 1.1% Cu, 0.4kg/t U_3O_8, 0.5g/t Au; 2000@ 0.24–0.45% La+Ce, 0.3285% REO), Acropolis, Moonta, Oak Dam, Prominent Hill(101@ 1.5% Cu, 0.55g/t Au+21@ 1.2g/t Ag), Wirrda Well
	Cloncurry地区	Ernest Henry(167@ 1.1% Cu, 0.5g/t Au), Eloise(3@ 5.5% Cu, 1.4g/t Au(+Fe, Ni)), Mount Elliot, Osborne, Starra(7.4@ 1.9% Cu, 3.8g/t Au)
	Cumamona	North Portia, Cu Blow
	Tennant Creek地区	Gecko, Peko/Juno, Warrego
巴西	Carajas地区	Cristalino(500@ 1% Cu, 0.30g/t Au), Alemao/Igarap Bahia, Salobo(789@ 0.96% Cu, 0.52g/t Au), Sossego(355@ 1.1% Cu, 0.28g/t Au; 380@ 0.4% Cu, 0.2g/t Au, 4g/t Ag)
加拿大	Great Bear岩浆带	Sue-Dianne(17@ 0.72% Cu, 2.7g/t Ag), NICO(3400@ 0.5g/t Au, 0.1% Co, 0.12% Bi; 1500@ 35% Fe)
	Wernecke, Iran Range	
	西海岸矽卡岩和中央成矿带	
智利	Chilean铁矿带	Kwyjibo; Candelaria(470@ 0.95% Cu, 0.22g/t Au, 3.1g/t Ag), El Algarrobo, El Romeral, Manto Verde(600@ 0.5% Cu, 0.1g/t Ag), Punta del Cobre
中国	内蒙古	白云鄂博(48–100@ 6% REE_2O_3; 1@ 0.13% Nb)
	长江下游地区	梅山、大冶
伊朗	Bafq地区	Chogust, Chadoo Malu, Seh Chahoon
毛里塔尼亚		Akjoujt
墨西哥	Durango地区	Cerro de Mercado
秘鲁	Peruvian Coastal Belt	Raul, Condestable, Eliana, Monterrosas, Marcona
瑞典	基鲁纳地区	Kiirunavaara, Loussavaara; Aitik(226@ 0.37% Cu, 0.2g/t Au, 3g/t Ag)
南非		Phalaborwa(850@ 0.5% Cu(+Au, Ag, PGE, U, Zr, REE, Ni, Se, Te, Bi)), Vergenoeg
美国	Southeast Missouri	Pea Ridge(120@ 57% Fe), Pilot Knob
	Adirondack and Mid-Atlantic铁矿带	Reading Prong
赞比亚		Shimyoka, Kantonga, Kitumba远景区

据 Corriveau, 2006; 王绍伟和刘树臣, 2006

床的 Fe-Cu-Au都是工业可利用的金属元素,磁铁矿石平均含铁 35.05%,最高 57.80%,可熔铁 33.85%;含铜矿石铜平均 0.8%;含铜磁铁矿矿石中的金含量平均为 3.269 g/t,块状黄铜矿石的金含量为 2.715~4.859 g/t。IOCG矿床还可能有一套次要的金属元素组合,包括 U、Ag、Mo、Co、As和 Zn等,乔夏哈拉伴生有 Co。几乎所有 IOCG矿床都含有异常富集的 REE。乔夏哈拉块状黄铜矿石的 REE含量异常高,ΣREE(不包括 Y)在 205.38×10^{-6}~2021.68×10^{-6}之间变化,平均含量可达 736.26×10^{-6},尤其富集轻稀土,ΣLREE=197.75×10^{-6}~2015.55×10^{-6},平均可达 723.28×10^{-6}(表 2),其配分曲线向右陡倾,轻、重稀土发生明显的分异(图 2)。将云南迤纳厂矿石的 REE配分特征与之对比(图 2),乔夏哈拉富集 REE的黄铜矿石与迤纳厂矿石的稀土配分特征类似,明显右倾,轻 REE尤为富集。有些 IOCG矿床有金属分带现象,早期的矿物共生组合大部是以铁氧化物为主,接着是铜的硫化物和金为主的晚期组合。根据以往的研究,乔夏哈拉的铁铜金矿床也很可能是两期成矿,为后期的铜硫化物和金叠加在早期的铁矿之上。这点也是相似之处。

构造环境方面:大型 IOCG矿床大致有三种构造端元:(A)大陆内造山塌陷区;(B)大陆内非造山岩浆作用环境;(C)沿着俯冲有关的大陆边缘拉张环境(Hitzman, 2000)。所有这些环境以显著的火成活动、高热流和相对氧化的源岩(玄武岩,沉积岩和/或岩浆)为特点。乔夏哈拉矿床位于准噶尔北缘,为大陆边缘拉张环境的活动地带,其构造环境与 IOCG矿床相似。

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

表 2　乔夏哈拉铁铜金矿区矿石稀土元素配分特征表 (10^{-6})

Table 2　REE contents of ores from the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit (10^{-6})

样号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	来源
Qe3#-1	矽卡岩型黄铜矿石	85. 89	119. 3	11. 42	41. 83	7. 838	9. 438	8. 042	1. 018	5. 342	0. 965	2. 699	0. 331	2. 022	0. 308	①
Qe3#-1b	矽卡岩型黄铜矿石	131. 3	181. 6	16. 79	59. 75	10. 2	9. 799	10. 51	1. 217	5. 779	1. 027	2. 733	0. 322	1. 976	0. 299	①
Qe3#-3	团块状黄铜矿石	61. 36	137. 2	10. 77	38. 45	5. 428	2. 621	5. 64	0. 624	3. 22	0. 611	1. 833	0. 242	1. 534	0. 218	①
Qx-6-2	块状富铜矿石	48. 8	100	7. 6	28. 3	5. 07	7. 98	3. 29	0. 39	1. 96	0. 33	0. 85	0. 1	0. 62	0. 09	②
Qx-34	块状富铜矿石	426	644	42. 1	126	7. 45	1. 99	7. 19	0. 33	0. 49	0. 07	0. 35	0. 04	0. 12	0. 03	②
Qx-34-1	块状富铜矿石	386	581	38	117	7. 04	1. 93	2. 45	0. 15	0. 45	0. 07	0. 34	0. 02	0. 13	0. 02	②
Qx-34-2	块状富铜矿石	681	1037	68. 6	213	12. 7	3. 25	4. 55	0. 25	0. 61	0. 09	0. 49	0. 02	0. 1	0. 02	②
Qx-6	块状含铜磁铁矿	0. 84	1. 64	0. 29	1. 89	0. 86	0. 37	1. 08	0. 19	1. 14	0. 22	0. 61	0. 09	0. 58	0. 09	②
Q-12	块状含铜磁铁矿	1. 7	3. 51		2. 84	0. 94	1. 05	1. 51	0. 27		0. 34		0. 13	0. 76	0. 13	③
Q02	黄铜磁铁矿矿石	0. 476	2. 027	0. 142	0. 792	0. 308	0. 13	0. 352	0. 069	0. 46	0. 095	0. 296	0. 046	0. 288	0. 048	①
DB-11	块状矿石	328	564	46. 8	143	19. 5	18. 8	14. 4	1. 86	10. 2	1. 8	4. 81	0. 62	3. 17	0. 302	④
DB-15	块状矿石	237	456	40. 9	137	24	14. 1	19. 5	2. 88	16. 5	3. 01	8. 11	1. 04	5. 57	0. 526	④
YDB-4	块状矿石	441	633	68. 7	228	31	26. 4	26. 1	3. 06	15. 9	3. 22	9. 54	1. 21	6. 9	0. 672	④
YDFH-6	块状矿石	509	786	84. 5	282	39. 7	21. 8	35. 6	4. 65	24. 7	4. 68	13. 2	1. 72	9. 19	0. 903	④
DB-31	块状矿石	436	798	64. 7	192	25. 5	37. 2	19. 1	2. 71	16. 3	3. 21	9. 05	1. 13	5. 67	0. 501	④
DFH-3	条纹条带状矿石	810	1336	135	470	73. 2	71. 8	66. 2	8. 06	42. 5	8. 53	23. 7	3. 04	16. 2	1. 93	④
DHF-III-1	条纹条带状矿石	148	323	31	109	19. 2	10. 7	14. 2	1. 92	11. 1	2. 02	5. 61	0. 734	4	0. 382	④
YDFH-11	条纹条带状矿石	357	474	49. 3	172	29. 7	32. 4	31. 1	4. 79	29. 3	6. 06	17. 7	2. 4	13. 9	1. 57	④
GS-1	条纹条带状矿石	574	1276	114	497	96. 2	48. 3	80	12. 1	70. 5	12. 7	32. 3	3. 85	19. 2	1. 78	④
DFH-6	条纹条带状矿石	1412	2092	151	495	76. 6	72. 1	58. 1	6. 94	38. 8	7. 01	18. 2	2. 21	11. 7	1. 25	④

注: 资料来源: ①应立娟等, 2006; ②闫升好等, 2005; ③邓吉牛等, 2000; ④杨耀民, 2004　空格处表示原文献中未给出此数据。测试单位: 国家地质测试中心; 分析方法: ICP-MS

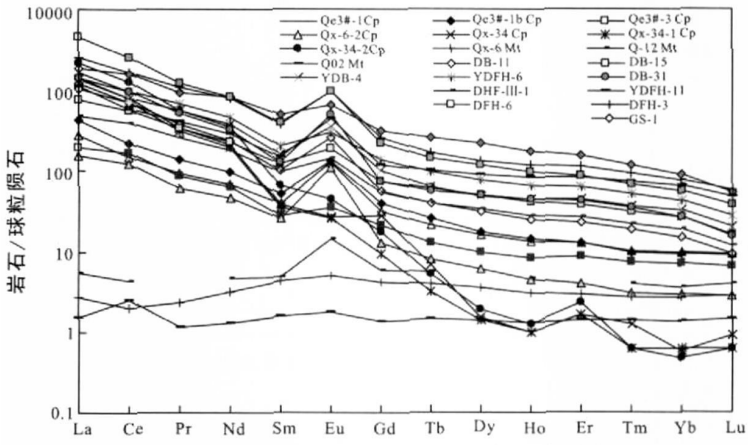


图 2　新疆乔夏哈拉黄铜矿石 (Cp) – 磁铁矿石 (Mt)和云南迤纳厂矿石的稀土配分曲线

Fig 2　Chondrite-normalized REE patterns of chalcopyrite and magnetite ores from Qiaoxiahala, Xinjiang and Yinachang, Yunnan

与火成活动相关: IOCG大型矿床在空间和时间上与特殊的岩浆作用相关。从成矿作用的构造因素方面看, IOCG矿床与特定侵入体在空间上并不直接相关。乔夏哈拉矿床赋存于中泥盆统北塔山组地层中, 与侵入体在空间上不直接相关, 但矿区范围内的侵入活动多见, 中基性岩脉分布较广。尤其是铜金矿化可能与后期的侵入活动关系更为紧密, 热液叠加改造早期火山沉积作用形成的磁铁矿, 进一步富集铜金, 使其成为工业可利用的矿体。

蚀变特征方面: IOCG矿床的主岩一般都强烈蚀变, 蚀变矿物取决于主岩的岩性。IOCG矿床一般和钠化、钾化等热水蚀变相关, 蚀变强度取决于和大气水或原生流体相互作用的程度。蚀变分带较为明显, 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。乔夏哈拉矿床的围岩蚀变分带不是很明显, 大体上: 以矿体为中心, 发育矽卡岩化 (绿帘石化)带; 向两侧, 绿泥石 – 碳酸盐化 (包括少量绢云母化 – 硅化)达到最大强度; 再外侧, 为远矿的绿帘石 – 纤闪石 – 黑云母化带叠加碳酸盐 – 绿泥石化带。其与 IOCG矿床的蚀变特征也还是可对比的。乔夏哈拉矿体中铜 – 金含量差别较大, 与蚀变的强度密切相关。当磁铁矿体及其围岩的蚀变愈强, 则铜 – 金矿化也较好。该矿床的铜 – 金矿化与原始磁铁矿体

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

受后期热液的叠加改造关系密切,因此程度不同的叠加改造可导致不同地段不同磁铁矿体中铜–金矿化的差别。

时代方面:在太古代之后的岩石中发现有 IOCG矿床,尤其是元古代较为集中,如巴西 Carajas地区的 Igarap Bahia矿床(2.57Ga)和 Salobo矿床(2.58Ga),南非的 Phalaborwa矿床(2.06Ga),瑞典的 Kiruna矿床(1.88~1.89Ga)和 Aitik矿床(~1.87Ga),加拿大的 Sue-Dianne矿床和 NICO矿床(~1.87Ga)(Corriveau, 2006),澳大利亚的奥林匹克坝矿床(1.59Ga)(Corriveau, 2006)。乔夏哈拉的成矿时代明显区别于多数典型的 IOCG矿床,不是在元古代,而是在古生代。乔夏哈拉矿床受中泥盆统北塔山组地层的控制,矿体均产在该地层中,推测其成矿时代与地层同时或稍晚。西矿区一条切割磁铁矿层的闪长岩脉中角闪石的 Ar-Ar坪年龄为 378.1±3.6Ma(表 3,图 3),认为铁矿的成矿作用早于该年龄。乔夏哈拉铁矿的成矿时代应以中泥盆世为主。IOCG矿床在不同的地质时代都有可能出现,但其规模、元素和矿物组合等方面可能有所差别。这为在与 IOCG矿床有相似成矿背景,但具有不同时代地层的地区,进一步寻找 IOCG矿床提供了实例。

表 3 乔夏哈拉 Qwe-δ闪长岩中角闪石 $^{40}Ar/^{39}Ar$阶段升温加热分析数据

Table 3 Data from $^{40}Ar/^{39}Ar$ stepwise heating dating for hornblende in diorite (Qwe-δ) from Qiaoxiahala

T(℃)	$(^{40}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{36}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{37}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{38}Ar/^{39}Ar)_m$	$^{40}Ar^*/^{39}Ar$	^{39}Ar(×10^{-14}mol)	^{39}Ar(Cum.)(%)	Age(Ma)	±1σ(Ma)
W=290.25mg J=0.011769									
600	170.6051	0.4870	1.3059	0.1791	26.8209	61.58	0.56	495	18
700	88.2230	0.2692	1.3715	0.1166	8.7763	522.88	5.39	177.3	5.2
800	110.9842	0.3387	1.5442	0.0890	11.0320	211.71	7.35	220.2	9.6
900	31.8376	0.0640	0.7558	0.032	12.981	289.82	10.03	256.5	4.2
1000	20.0057	0.0252	0.5177	0.0246	12.5930	377.57	13.52	249.3	2.8
1080	18.4779	0.0182	2.8189	0.0255	13.3251	391.00	17.14	262.8	2.6
1150	23.0355	0.0214	6.1223	0.0273	17.2129	476.61	21.55	332.8	4.1
1200	22.9448	0.0174	3.7411	0.0234	18.1173	587.84	26.99	348.7	3.3
1250	20.3898	0.0053	4.0209	0.0206	19.1725	1402.63	39.96	367.0	3.4
1280	20.5017	0.0039	4.0016	0.0205	19.6861	2063.32	59.04	375.9	3.5
1310	20.3815	0.0039	3.7193	0.0212	19.5569	1769.96	75.4	373.7	3.6
1350	20.8473	0.0037	4.1431	0.0208	20.1125	2165.54	95.42	383.3	3.5
1400	21.6136	0.0071	4.1659	0.0220	19.8807	495.30	100	379.3	3.5
Total age=349.0Ma t_p=378.1±3.6Ma t_i=382±17Ma									

注:表中下标 m代表样品中测定的同位素比值;$^{40}Ar^*/^{39}Ar$是指放射性成因 ^{40}Ar和 ^{39}Ar比值;Total age=总气体年龄;t_p=坪年龄;t_i=反等时线年龄

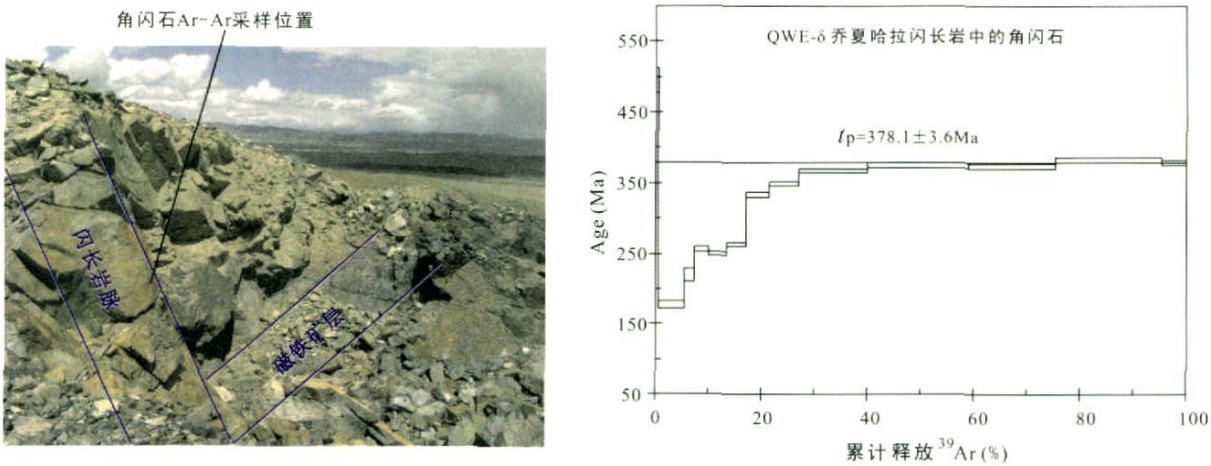


图 3 乔夏哈拉闪长岩脉与磁铁矿层的穿切关系和角闪石采样位置及其 $^{40}Ar/^{39}Ar$坪年龄谱图

Fig. 3 The occurrences of diorite vein (Qwe-δ) and magnetite in Qiaoxiahala and its $^{40}Ar/^{39}Ar$ age spectra isochron diagram of hornblende

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

表 4　乔夏哈拉铁铜金矿床与各矿床的对比

Table 4　Comparisons between Qiaoxiahala and other IOCG-type deposits in China

矿床	奥林匹克坝铜多金属矿床	乔夏哈拉铁铜金矿床	白云鄂博铁稀土铌矿床	拉拉铜铁金钴钼稀土矿床	迤纳厂稀土铁铜矿床	东川稀矿山铁铜矿床
构造背景	中元古代大陆扩张区, 陆内裂谷 - 奥林匹克坝地堑	中生代准噶尔陆块边缘	华北古大陆板块北缘裂谷	扬子地块西缘、康滇地轴中段, 在早 - 中元古代为大陆裂谷环境	扬子地块西南缘大陆边缘昆阳裂谷	中 - 晚元古代扬子地台西缘裂谷系昆阳裂谷北段会理 - 东川坳拉槽
含矿地层建造与时代	中元古代奥林匹克坝组与格林菲尔德组碱性花岗岩、花岗质角砾岩 - 赤铁矿角砾岩 - 长英质火山 - 沉积建造 (同位素年龄 1400 ~ 1590Ma)	中生代中泥盆统北塔山组基性火山岩 - 火山岩碎屑岩火山沉积建造 (378Ma闪长岩脉)	中元古代硅质岩、白云岩	元古代河口群, 为一套偏碱性的变质火山岩和变质海相沉积岩	中元古代昆阳群因民组地层白云岩	中元古代昆阳群因民组中下部复杂角砾岩 - 中基性钠质火山岩 - 火山喷流岩 - 浊积岩建造 (U-Pb年龄 1765Ma)
与成矿有关岩浆岩	碱性花岗岩 (角砾化), 中酸性火山岩、火山角砾岩次火山 - 隐爆角砾岩	中基性闪长岩、花岗闪长岩	非造山型岩浆岩 (1.54~1.92Ga) 为主, 后期有辉长岩与碳酸岩参与成矿	晋宁期的基性岩浆侵入作用, 主要为辉长岩火山熔岩主要为钠质角斑岩、钠长岩	变碱性中基性火山岩 (粗面安山岩: 1685Ma)	富钠中基 - 基性火山岩 (细碧角斑岩系) 及次火山岩
成矿环境	受断裂矿质所围限的地堑 - 凹槽, 陆上高能干燥环境	板块边缘	属于典型岩浆来源特征, 表生高氧环境富集矿床。	矿体一般赋存于黑云片岩和钠长岩接触处或这些岩石交替出现部位		火山岩丘或浅海台地之间的半深水局限洼地, 火山 - 浊流岩相
控矿构造	地堑内局部隆起, 受断裂围限含矿赤铁矿 - 石英角砾岩杂岩	NW向断裂控制	乌兰宝力格深大断裂、同生大断层、向斜	轴向东西, 向东倾没的河口复式背斜	易门同生断裂, 矿区背斜	近 SN向主干生长断层与近 EW向次级生长断层交汇, 复式褶皱, 层间断裂
矿体形态产状	层状、似层状整合型矿体; 透镜状和交切脉状矿体	层状、似层状、透镜状	呈似层状或透镜状, 产状与地层一致	呈似层状、透镜状以及脉状, 产状与围岩片理基本一致	层状、似层状或透镜状, 矿层沿走向厚度变化不大, 与围岩整合接触	主体为与围岩整合的层状、似层状、透镜状、陡倾多层产出
矿石金属矿物	赤铁矿、磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿等	磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿等	磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿等	磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿等	磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿等	斑铜矿、黄铜矿、辉铜矿、赤铁矿、磁铁矿, 很少见黄铁矿
矿石脉石矿物	石英、绢云母、钾长石、岩石、重晶石、菱铁矿、绿泥石、硬石膏等	绿泥石、绿帘石、石英、方解石、石榴子石等	白云石、钾长石等	石英、黑云母、钠长石、萤石、方解石等	萤石、磷灰石、石英、碳酸盐等矿物	石英、钠长石、铁白云石、方解石、菱铁矿、绿泥石、绢 (白) 云母, 重晶石、氯磷灰石等
矿石组构	块状、细脉状、中细粒浸染状构造, 多产于角砾岩胶结物中, 见少量铜硫化物碎屑存在	块状、条带状、浸染状	呈块状、浸染状或条带状构造, 半自形或他形晶、细粒和不等粒结晶粒状结构	浸染状和细脉状构造, 以半自形晶粒状结构和交代结构为主	条纹条带状、浸染状及块状矿石	铁矿呈块状、角砾状、条带状、鲕状 - 豆状等构造; 铜矿常稍晚于铁矿生成, 呈斑点浸染状、层纹条带状、细脉 - 网脉状及团块状构造, 少数为碎屑状及韵律状构造
矿化分带	从赤铁矿核心 (少量辉铜矿、斑铜矿) 向外依次具: 辉铜矿、斑铜矿带→斑铜矿、黄铜矿带→远端的黄铜矿、黄铁矿带	上铁下铜	矿体分带现象明显, 而铁矿体上、下盘围岩则是白云石型铌、稀土矿石	在拉拉矿带内铁矿化的范围也比铜矿化的大, 且有“上铜下铁”的变化趋势		由火山喷流中心向外, 由块状磁 (赤) 铁矿化→含斑铜 (黄铜) 矿条带状赤铁矿化→含黄铜 (斑) 矿黄铁矿层状角砾状赤铁矿化
围岩蚀变	硅化、绢云母化、赤铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化	绿帘石化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化	矿体上盘围岩为黑色板岩蚀变而成为黑云母岩, 下盘为萤石化、钠闪石化白云岩	钠长石化、黑云母化、萤石化、碳酸盐化		硅化、黑云母化、水白云母化, 绢云母化、碳酸盐化
成矿元素组合	铜 - 铀 - 金 - 银 - 稀土组合, 均具工业价值, 硫化矿石中 ∑REE极高	Fe-Cu-Au, 黄铜矿矿石中富集 REE, 磁铁矿矿石中 REE含量较低	Fe-REE-Nb	Fe-Cu, 伴生 Co、Mo、Au、Ag、REE; 黑云母片岩和含矿萤石化黑云母片岩中, ∑REE为 745.71 × 10^{-6} 和 2443.6 × 10^{-6}	Fe-Cu-REE	铁 - 铜, 矿石中稀土元素含量较低, 一般 ∑REE < 500 × 10^{-6}
矿床成因	沉积岩容矿层控型; 热液交代型; 双流体混合型	火山沉积 - 热液叠加改造型	热水沉积 - 岩浆气液交代为主	海相火山沉积 - 热液改造型铜矿床	热水沉积 + 后期改造, 多种成矿作用叠加	火山喷流热水沉积 - 改造叠加型
参考文献	吴健民和黄永平, 1998; 王登红, 1999; 杨耀民等, 2005	应立娟等, 2006;	白鸽和袁忠信, 1996; 杨耀民等, 2005	肖渊甫和孙燕, 1992; 李泽琴等, 2002, 2003; 李云峰, 2004	杨耀民等, 2004, 2005	张学诚等, 1994; 李天福等, 1996; 吴健民和黄永平, 1998

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

3 与国内 IOCG矿床的对比

内蒙古白云鄂博铁稀土铌矿床早在 1992年 Hitzman等提出 IOCG概念时, 就被放入到 IOCG矿床的广义范畴内。白云鄂博矿床可以说是国内最先被认知的 IOCG型矿床。另外, 长江中下游地区的大冶和梅山等铁矿床也被 Hitzman等人纳入到 IOCG矿床的广义范畴。显然, Hitzman等 (1992)提出的 IOCG矿床概念比典型的 IOCG概念要更为广范, 甚至包括安第斯造山带产出的一系列斑岩型铜矿。本文主要以典型的 IOCG矿床为例, 将乔夏哈拉铁铜金矿床与国内几个与 IOCG矿床相似的矿床进行对比研究 (表 4), 认为国内寻找 IOCG矿床, 尤其是大型矿床, 具有重要的经济价值和理论价值。

4 结 论

我国铁矿矿产资源形势不容乐观, 近期召开的全国铁矿勘查工作会议表明加强铁矿勘查迫在眉睫。在新一轮铁矿勘查中, 除了在老区找新矿外 (如东天山的小红山式铁矿, 王登红等, 2007), 加强对新类型铁矿包括 IOCG式矿床的研究至关重要。新疆乔夏哈拉矿床与国外典型的 IOCG矿床相似, 是一个产于拉张环境的铁铜金矿床, 但其成矿时代特征与多数形成于元古代的 IOCG矿床又有所区别。其深部仍具较大的找矿潜力。国内多个矿床也与 IOCG矿床有相似之处, 在中国寻找 IOCG矿床是有希望的, 尤其是华北地台的北缘、扬子地台的西缘、华夏古陆的边缘裂谷带, 分别形成有内蒙古白云鄂博、云南迤纳厂及福建洋墩等元古代的 IOCG矿床, 具有进一步找矿的潜力。

致谢: 衷心感谢袁忠信研究员的宝贵意见, 并衷心感谢审稿人卢焕章教授等人对本文提出的修改建议。

参考文献 (References):

白鸽, 袁忠信. 1996. 白云鄂博矿床地质特征和因论证. 北京: 地质出版社, 1-92.

邓吉牛, 王军升, 廖启林. 2000. 布尔根矿带金铜找矿评价研究报告. 新疆 305项目办公室: 内部资料.

李天福, 蒋家申, 陈贤胜. 1996. 易门狮子山矿床稀矿山式铁铜矿特征及其找矿意义. 有色金属矿产与勘查, 5(2): 68-74.

李云峰. 2004. 拉拉铜矿矿床地质特征及其成因分析. 采矿技术, 4(2): 58-61.

李泽琴, 胡瑞忠, 王奖臻, 刘家军, 李朝阳, 叶霖. 2002. 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. 矿物岩石地球化学通报, 21(4): 258-260.

李泽琴, 王奖臻, 刘家军, 李朝阳, 杜安道, 刘玉平, 叶琳. 2003. 拉拉铁氧化物铜金钼稀土矿床 Re-Os同位素年龄及其地质意义. 地质找矿论丛, 18(1): 39-42.

王登红. 1999. 奥林匹克坝铜-铀-金-稀土矿床及其成功勘查的启示. 见: 陈毓川主编. 1999. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法. 地质出版社. 458-464.

王登红, 陈世平, 王虹, 孟贵祥, 陈郑辉, 王成辉, 李纯杰. 成矿谱系研究及对东天山铁矿找矿问题的探讨. 大地构造与成矿学, 2007, 31(2): 186-192.

王绍伟, 刘树臣等编著. 2006. 21世纪初期国外矿产勘查形势与发现. 地质出版社. 40-51.

吴健民, 黄永平. 1998. 稀矿山式铁铜矿床与奥林匹克坝式铜多金属矿床的对比研究. 矿产与地质, 12(2): 79-85.

肖渊甫, 孙燕. 1992. 拉拉铜矿床含矿岩系岩石学特征及其变质原岩. 成都理工大学学报 (自然科学版), 19(2): 41-49.

闫升好, 张招崇, 王义天, 陈柏林, 周刚, 何立新. 2005. 新疆阿尔泰山南缘乔夏哈拉式铁铜矿床稀土元素地球化学特征及其地质意义. 矿床地质. 24(1): 25-35.

杨耀民. 2004. 中元古代昆阳群 Fe-Cu-REE矿床地球化学研究——以武定迤纳厂矿床为例. 博士论文. 25-55.

杨耀民, 涂光炽, 胡瑞忠, 石学法. 2005. 武定迤纳厂 Fe-Cu-REE矿床 m-Nd同位素年代学及其地质意义. 科学通报, 50(12): 1253-1258.

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

应立娟, 王登红, 梁婷, 周汝洪. 2006. 阿尔泰乔夏哈拉铁铜金矿床的地质特征及其特殊性. 地质学报. 80(10): 1572-1577.

张学诚, 马丽华, 陈启良. 1994. 东川稀矿山铜 (铁)矿床火山-喷流沉积成矿作用的初步研究. 云南地质, 13(2): 139-148.

Corriveau L. 2006. Iron oxide copper-gold (±Ag±Nb±P±REE±U) deposit: A Canadian perspective. In: Mineral deposit of Canada: Consolidation and synthesis of mineral deposit knowledge. Ottawa, Ontario: Geological Survey of Canada, 1-23.

Hitzman M W, Naomi Oreskes and Marco T Einaudi. 1992. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposit. *Precambrian Research*, 58(1-4): 241-287.

Hitzman M W. 2000. Iron oxide-Cu-Au deposit: what, where, when, and why. In: Porter T M (ed). Hydrothermal iron oxide-copper-gold and related deposit: A global perspec-

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

tive, Australian Mineral Foundation, Adelaide, Australia 9–25

Oreskes N and Hitzman M W. 1993. A model for the origin of Olympic Dam-type deposit. In: Kirkham R V, Sinclair W D, Thorp R I and Duke J M (eds). Mineral deposit modeling. Geol Association of Canada Special Paper, 40: 615–633.

COMPARISONS BETWEEN THE QIAOXIAHALA FE-CU-AU DEPOSIT IN XINJIANG AND OTHER IOCG-TYPE DEPOSITS

YING Lijuan[1], WANG Denghong[1], LI Jiankang[1], CHEN Zhenghui[1], XI Zhong[2], YANG Wenhua[3] and LIU Naizhong[4]

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, *China; 2. 1st Exploration and Development Team of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia, Tumotezuo Banner* 010100, *Inner Mongolia, China; 3. Inner Mongolia Geological Survey, Huhehaote* 010020, *Inner Mongolia, China; 4. Fujian Geological Survey, Fuzhou* 350011, *Fujian, China)*

Abstract: IOCG (Iron-oxide-copper-gold) deposits have been attracting more and more attentions at home and abroad, since more and more exploration fruits on IOCG deposits are obtained in the world. The Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit is, to some extent, similar to typical IOCG deposits abroad on tectonic settings, element and mineral combinations and alteration features. The Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit is located in an extensional setting of the continental margin and has a multiple elements combination of Fe-Cu-Au(-REE). Its vertical zoning of alterations was not obvious, but epidotization skarn is the major alteration in those hot-water alterations. On metallogenic epoch, the Qiaoxiahala deposit was different from most IOCG deposits occurring in the Proterozoic, but in Paleozoic Era. The $^{40}Ar/^{39}Ar$ plateau age of hornblende from diorite vein in the western Qiaoxiahala mining district is at 378.1±3.6 Ma. Since this diorite vein cuts the magnetite layer, the iron mineralization might be completed in the Devonian. Through more comparisons between the Qiaoxiahala and other IOCG deposits in China, such as the Bayan Obo Fe-REE-Nb deposit in Inner Mongolia, Yinachang Fe-Cu-REE deposit, Lala Fe-Cu-Au-Co-Mo-REE deposit and Xikuangshan Fe-Cu deposit in Yunnan, it's promising to explore more IOCG deposits in China, especially those IOCG deposits at large scale, even ultragiant scale.

Keywords: IOCG deposit; Qiaoxiahala; Fe-Cu-Au deposits

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