文章编号:0258-7106 (2003) 03-0271-07

内蒙古哈达门沟金矿床单矿物金浸出实验研究及其地质意义*

李强之[1,2] 陈衍景[1] 徐登科[3] 杨理勤[3]
(1 北京大学地质与空间科学学院,北京 100871; 2 武警黄金指挥部,北京 100102;
3 武警黄金地质研究所,河北 廊坊 065000)

摘 要 哈达门沟金矿床产于华北克拉通北缘西段,形成于伸展构造背景中,成矿流体富钾高碱且氧化性强,矿石建造中铁氧化物含量高,并且可见铁氧化物被硫化物交代的现象。文章拟揭示金在铁氧化物中的含量和赋存状态,并探讨金矿床成因。对哈达门沟金矿 3 种类型矿石中的黄铁矿、铁氧化物(磁铁矿和赤铁矿)单矿物进行金、铁浸取实验,结果表明:铁氧化物含金较高;黄铁矿中的金和铁的浸出曲线不同步,金浸出率与铁浸出率呈负相关,表明黄铁矿中的金主要以颗粒金形式存在;铁氧化物中金、铁同步浸出,浸出率为正相关,表明铁氧化物中的金主要以晶格金和(或)胶体吸附金形式存在。哈达门沟金矿床的上述特征均表明其具铁氧化物型金矿床的特点。

关键词 地球化学 含金铁氧化物 铁氧化物型金矿 浸取实验 哈达门沟 内蒙古
中图分类号:P618.51;P599 **文献标识码**:A

铁氧化物型(铜)金矿床是最近才认识的一类后生矿床,它们一般形成于早元古代至中元古代的张性环境中(Meyer, 1988; Haauck, 1990; Hitzman et al., 1992; Davidson et al., 1998; Williams, 1998),典型矿床主要有:澳大利亚南部 Stuart Shelf 地区的奥林匹克坝、昆士兰 Cloncurry 地区的 Emest Henry、巴西卡拉加斯地区的 Salobo 及 Igarape Bahia、智利 Atacama 地区的 Candelaria 等矿床。Kerrich 等人将铁氧化物型铜-金矿床作为 6 种重要金矿类型之一,并阐述了其特征、成因及地球动力学背景(Kerrich et al., 2001)。

哈达门沟大型金矿床产于华北克拉通北缘西段,赋矿岩石为前寒武纪一套高级变质岩系,近矿围岩蚀变以钾长石化为主,并构成主要的矿石类型。钾长石化蚀变岩型金矿石中的金属矿物除黄铁矿外,尚有较多磁(赤)铁矿,其成矿温度较高,成矿流体高盐度、高氧逸度、偏碱性。另外该矿床与著名的白云鄂博稀土矿床产于同一地区(图 1),显示了张性构造背景对成矿的重要意义(聂凤军等,1993)。这些特征均与 Kerrich 等人提出的铁氧化物型矿床的特征、成因及地球动力学背景相符合。本次研究过程中笔者对哈达门沟金矿床不同类型矿石的黄铁矿及磁(赤)铁矿单矿物进行了浸取实验,发现磁(赤)铁矿中含金较高,磁(赤)铁矿中金的赋存状态主要为次显微金(胶体金、晶格金、吸附金等),同样给出哈达门沟金矿具铁氧化物型矿床特征的信息。鉴于:①我国罕见关于铁氧化物型金矿的报道,②我国学者对于铁氧化物型金矿床的地质特征了解较少,③铁氧化物型金矿床往往储量巨大,具有重要的经济价值,因此,本文拟报道哈达门沟金矿浸取试验研究中取得的初步结果。

1 区域地质和矿床地质概况

哈达门沟金矿床位于内蒙古自治区包头市西郊,其大地构造位置属于华北克拉通北缘西段内蒙地轴中部的阴山隆起中段。临河-集宁大断裂及其分支断裂的次级 EW 向、NE 向及 NNE 向断裂控制矿床的分布(见图 1)。

哈达门沟金矿区出露地层为早前寒武纪乌拉山

* 本文受财政部黄金地质业务费项目战略地质调查(编号:22800802039)的资助
第一作者简介 李强之,男,1965 年生,高级工程师,主要从事金矿科研与管理工作。
收稿日期 2002-08-30;改回日期 2003-06-11。张绮玲编辑。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

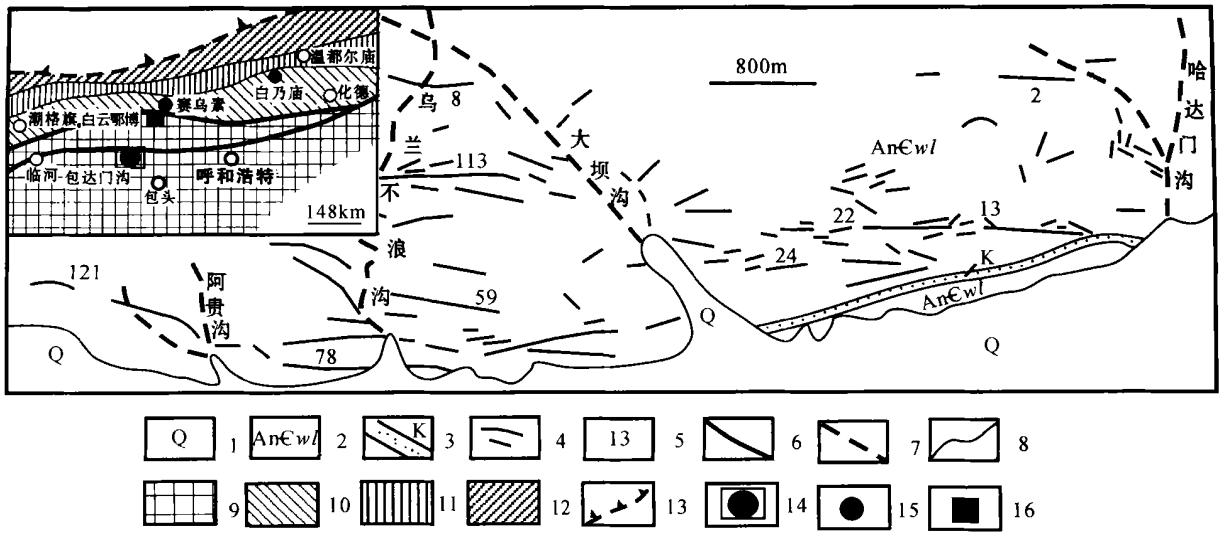


图 1 内蒙古自治区哈达门沟金矿区地质简图(据李强之等,1999 修改)

1 —第四系;2 —前寒武系乌拉山群;3 —钾长石化蚀变带;4 —含金矿脉;5 —矿脉群编号;6 —区域性断裂;7 —矿区内推测断裂;8 —岩性界限;9 —太古宙-古元古代地层;10 —中、晚元古代地层;11 —早古生代岩石地层;12 —晚古生代岩石地层;13 —古大洋缝合带;14 —研究区(哈达门沟金矿区)范围;15 —中型金矿床;16 —超大型稀土矿床

Fig. 1 Geological sketch map showing geological characteristics of the Hadamengou gold ore district, Inner Mongolia (modified after Li et al., 1999)

1 —Quaternary; 2 —Precambrian Wulashan Group; 3 —K-feldspar alteration zone; 4 —Gold-bearing ore vein; 5 —Serial number of ore vein group; 6 —Regional faulted structure; 7 —Inferred fault in the ore district; 8 —Lithological boundary; 9 —Archaeozoic-Early Proterozoic; 10 —Middle and Late Proterozoic; 11 —Early Paleozoic; 12 —Late Paleozoic; 13 —Paleaocean suture zone; 14 —Study area; 15 —Medium-size gold deposit; 16 —Superlarge rare earth deposit

群变质岩。乌拉山群下部主要由基性麻粒岩和片麻岩组成,岩性为(角闪、磁铁)斜长二辉麻粒岩、花岗质麻粒岩夹(紫苏)黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、含石榴石黑云斜长片麻岩夹磁铁石英以及麻粒岩透镜体,属高角闪岩相-麻粒岩相,原岩恢复相当于基性-中酸性火山岩夹火山沉积岩、沉积岩和硅铁建造(王时麒,1994;金巍等,1994)。上部主要由矽线堇青石榴石黑云斜长片麻岩、石榴石黑云二长片麻岩、长石石英岩、含石墨大理岩等组成,属于典型的孔达岩系(王时麒,1994;陈衍景等,2000),原岩恢复相当于含碳富铝的碎屑岩-碳酸盐岩建造。

矿区岩浆岩发育,主要为晚古生代大桦背似斑状花岗岩,次为大量的伟晶岩脉、细晶岩脉、辉绿岩脉、闪长玢岩及煌斑岩脉等。

成矿前断裂主要有 3 组:一组为近东西走向,主要被伟晶岩脉充填;另一组为北东走向,被辉绿岩充填;第三组为近北西走向,也被辉绿岩充填。控制金矿脉产出的容矿断裂以东西走向为主,也有北东及北西走向者(图 1)。

在哈达门沟金矿区已发现含金矿脉 90 余条,其中 13 号脉规模最大。整个矿床中可划分出含金钾长石化蚀变岩型、含金石英脉型、含金黄铁绢英岩化蚀变岩型 3 种矿石类型。

矿石中矿物成分复杂,目前已知的矿物达 50 种以上,其中金属矿物 30 多种,主要为黄铁矿、赤铁矿(磁铁矿),其次是方铅矿、黄铜矿、闪锌矿,少量为辉铜矿、斑铜矿、铜蓝、磁黄铁矿、白铁矿、碲铋铜矿、自然碲、碲镍矿、碲铅矿、钼铅矿、白铅矿等。脉石矿物以石英、钾长石、铁白云石、方解石等为主,次为重晶石、天青石、绢云母、绿泥石、萤石等。

金矿物有自然金、银金矿、碲金银矿、针碲金银矿,以自然金为主。金以包体金为主,占 57.69 %,载金矿物主要为黄铁矿及赤铁矿(磁铁矿),少数为石英、钾长石;晶隙金占 25.92 %,围绕黄铁矿边部产出;裂隙金占 16.39 %,产于黄铁矿、石英等矿物的裂隙中,与方铅矿共生。金矿物的粒径最大可达 0.3 mm,最小 0.001 mm,大多数集中在 0.01～0.02 mm 的细粒金粒级中。金成色为 847.5～989.8,平均为 944.9。

哈达门沟金矿床的主要矿石类型钾长石化蚀变

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

岩中的磁(赤)铁矿分布比较广泛,磁铁矿常被赤铁矿交代,形成交代假象结构、交代骸晶结构及网状结构等;赤铁矿等铁氧化物被黄铁矿充填交代的现象清楚。石英脉型矿石中赤铁矿及磁铁矿均少见,但有重晶石、钡天青石发育;黄铁绢英岩化蚀变岩型矿石中的磁铁矿主要呈片状、鳞片状的集合体产出。

2　浸出实验介绍

对哈达门沟金矿含金石英脉(样品号 DZ1)、钾长石化蚀变岩(样品号 DZ2)、含金黄铁绢英岩化蚀变岩(样品号 DZ3)3 种矿化类型矿石粉碎后,用双目镜挑选黄铁矿、磁(赤)铁矿单矿物,并且采用化学法及电子探针对其进行测试,证明挑选纯度均在 95 % 以上。然后,用玛瑙研钵将单矿物样品研磨至 160～200 目,并对样品进行含金性测试。

实验过程如下: ①每件样品取样 1 g,放于 100 ml 烧杯中,加入王水(1 + 3)40 ml,搅拌冷浸,15 min 后将溶液过滤到 50 ml 容量瓶中。按照上述方法,对残渣再重复实验 4 次。此过程对每件样品各得到 40 ml 的溶液 5 份; ②从上述得到的每份滤液中各取出 5 ml 置于 5 ml 比色管中,用 J-A90-800 型 ICP 直读光谱仪上测定铁含量,相对误差 10 %; ③将剩余滤液分别转移至 300 ml 三角瓶中,加水至约 100 ml,放入泡塑条(0.5 ×1 ×3 cm^3),盖上塞子后放在振荡器上振荡; ④振荡 30 min 后取出泡塑条,用蒸馏水冲洗泡塑条至冲洗液为中性,将泡塑条挤干后放入预先加有 10 ml 浓度为 10 g/l 硫脲的 25 ml 比色管中,经沸水浴 30 min 后取出泡塑条,将溶液冷至室温后,用日立 180-50 原子吸收仪测定金含量,相对误差 5 %。以上萃取实验和测试工作均在武警黄金指挥部测试中心完成,测试结果列于表 1。

表 1　三种金矿石中黄铁矿、磁(赤)铁矿浸取实验结果

Table 1　Leaching experiment of pyrite and magnetite (hematite) in three types of gold ores

t/ min	w_{Au}/ 10^{-6}		w_{Fe}/ 10^{-6}		浸出率/ %	
	溶液	残渣	溶液	残渣	金	铁
石英脉型矿石的黄铁矿(w_{Au} 129.75 ×10^{-6})						
15	0.04	129.13	17.35	30.04	0.03	36.6
30	0.05	129.08	11.11	18.93	0.04	23.4
45	0.29	128.79	8.28	10.65	0.22	17.5
60	1.05	127.74	5.20	5.45	0.81	11.0
75	0.37	127.37	3.72	1.73	0.29	7.85
石英脉型矿石的铁氧化物(w_{Au} 117.48 ×10^{-6})						
15	28.42	89.06	41.12	15.86	24.2	72.2
30	10.54	78.52	6.49	9.37	8.97	11.4
45	1.84	76.68	0.56	8.81	1.57	0.98
60	1.05	75.63	0.31	8.50	0.89	0.54
75	0.89	74.74	0.14	8.36	0.76	0.24
钾长石化蚀变岩型的黄铁矿(w_{Au} 254.05 ×10^{-6})						
15	0.03	254.44	17.62	25.49	0.01	40.9
30	0.16	254.28	12.20	13.29	0.06	28.3
45	0.34	253.94	6.88	6.41	0.13	16.0
60	0.89	253.05	3.58	2.83	0.35	8.30
75	0.42	252.62	1.82	1.01	0.17	4.22
钾长石化蚀变岩型的铁氧化物(w_{Au} 197.37 ×10^{-6})						
15	87.37	110	34.49	20.91	44.3	62.3
30	52.63	57.37	10.24	10.67	26.7	18.5
45	10.53	46.84	3.36	7.31	5.34	6.06
60	3.68	43.16	1.13	6.18	1.86	2.04
75	2.11	41.05	1.51	4.67	1.07	2.73
蚀变岩型矿石的黄铁矿(w_{Au} 283.18 ×10^{-6})						
15	0.03	283.15	18.18	28.69	0.01	38.8
30	0.04	283.11	12.03	16.66	0.02	25.7
45	1.05	282.06	7.99	8.67	0.37	17.1
60	1.05	281.01	4.70	3.97	0.37	10.0
75	2.11	278.90	2.52	1.45	0.75	5.38
蚀变岩型矿石的铁氧化物(w_{Au} 166.94 ×10^{-6})						
15	83.16	83.78	31.61	32.35	49.8	49.4
30	52.63	31.15	19.86	12.49	31.5	31.1
45	10.53	20.62	6.49	6.00	6.31	10.2
60	2.89	17.73	2.94	3.06	1.73	4.60
75	0.89	16.84	1.51	1.55	0.53	2.36

注:溶液中的 Au 和 Fe 含量已分别被换算回 1g 样品中,并非测试溶液的浓度。浸出率 = 溶液中金或铁含量/ 样品中金或铁含量。

3　实验结果及其地质意义

3.1　金浸出曲线和金的赋存形式

研究结果表明,金在矿物中的赋存状态有 3 种形式(Boyle, 1979; 唐肖玫等,1992): ①以颗粒状独立金矿物(或互化物)形式存在; ②以次显微胶体吸附状态不均匀分布在矿物中; ③以原子或离子形式占据晶格质点,均匀分散在矿物中。金的赋存状态受 pH、E_h、离子活度、矿物类型等多种因素的影响。例如,Simon等(1999)对 Twin-Creeks卡林型金矿的研究发现,250 ℃以上缓慢结晶形成的自形-半自形砷黄铁矿或毒砂(含砷 w_{As} 0.33 %～0.85 %)矿物 w_{Au} 60 ×10^{-6},其 Au^0/Au^+ 可低至 0.052,表明金主要以离子状态存在于砷黄铁矿或毒砂矿物中;而 200～120 ℃快速结晶形成的非自形低砷黄铁矿的 w_{Au} 可高达(595～1465) ×10^{-6},其 Au^0/Au^+ 升至 1.17～1.78,表明零价自然金占据金含量的近 60 % 以上。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

从表 1 和图 2 可以看出,黄铁矿和铁氧化物显示了明显不同的浸出曲线,表现在:①铁氧化物的 Au 和 Fe 浸出速率基本同步,即金随着铁氧化物的分解而快速进入溶液;黄铁矿的 Au 和 Fe 浸出速率差别较大,即 Au 并没有随着黄铁矿的分解而溶解于王水溶液中;②随着浸取时间的增长,铁氧化物的 Au 浸出率逐渐降低,而黄铁矿的 Au 浸出率逐渐升高。然而,黄铁矿和铁氧化物的 Fe 浸出速率和曲线却基本相同;③黄铁矿中,金的浸出率与铁的浸出率相关性不明显(表 1);铁氧化物中,金浸出率与铁浸出率正相关(表 1)。以上事实表明,铁氧化物和黄铁矿都可以在王水溶液中快速分解,而金的浸出速率不同并不受溶液铁含量的高低所影响,因此只能考虑以下两个可能的影响因素:①金在硫化物和氧化物的赋存状态不同;②浸出过程中,溶液的物理化学性质存在差异。

如果金占据矿物晶格,或者以极为细小的颗粒被矿物吸附,在寄主矿物被分解时,金同时被解析出来,并以离子或微细胶体粒子的方式进入溶液,在这种情况下,金和寄主矿物可以呈现相同的解析或浸出曲线。因此,图 2 所示的铁氧化物中金与铁的同步浸出曲线表明,金在哈达门沟金矿的铁氧化物中

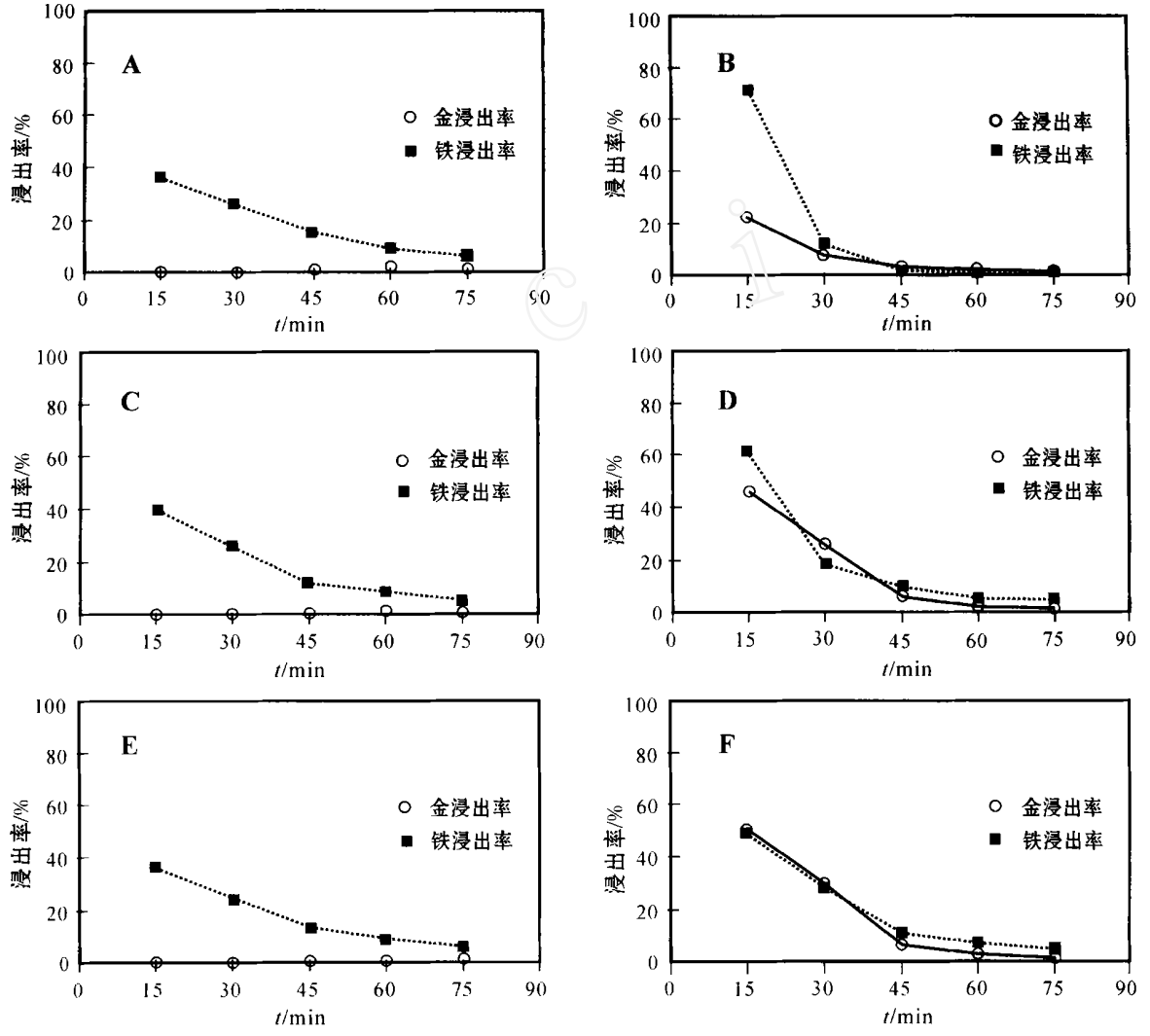


图 2 三种类型矿石中黄铁矿及磁(赤)铁矿单矿物的金、铁浸取率曲线

图 A 和 B 分别为石英脉型矿石中的黄铁矿和磁(赤)铁矿;C 和 D 分别为钾长石化蚀变岩型矿石中的黄铁矿和磁(赤)铁矿;E 和 F 分别为蚀变岩型矿石中的黄铁矿和磁(赤)铁矿

Fig. 2 Leaching curves of Au and Fe from pyrite and iron oxides in three kinds of ores

A and B represent respectively pyrite and iron oxides from quartz-vein type ore, C and D represent respectively pyrite and iron oxides from altered rock type ore with intense K-feldspathization and E and F represent respectively pyrite and iron oxides from altered rock type ore

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的赋存状态应为离子金或被铁氧化物吸附的微粒胶体金。

如果金作为较粗的颗粒金存在于寄主矿物的颗粒之间、裂隙或者内部缺陷中,金的溶解或分解则至少需要先后两个过程:首先是寄主矿物的分解或溶解,使金得以与溶剂接触;其次,颗粒金与溶剂接触后,逐步被溶解或分解。这种情况下,金的浸出一定滞后于寄主矿物的分解和溶解,显示不同步的浸出曲线。因此,图 2 所示的黄铁矿与金浸出曲线不同步现象,尤其是 Au 浸出率在 Fe 浸出率大幅度衰减之后才逐渐增高的现象(表 1),表明金在黄铁矿中主要是以颗粒金的方式存在的。事实上,光片显微镜观察也证明黄铁矿中确实存在粗粒状颗粒自然金。但是,石英脉型和钾长石化蚀变岩型矿石中黄铁矿金浸出率的先升后降的现象(表 1)表明,黄铁矿中可能还有部分离子金的存在。

当向黄铁矿试管中加入王水时,黄铁矿的溶解会逐渐降低系统的氧化性,并且系统仍然保持很强的酸性,即 pH 值较低。如此环境在理论上并不利于自然金的氧化,也就不利于金的溶解。最新的吸附实验(Widler et al., 2002)表明,金在黄铁矿-王水体系的溶解度是 pH 的函数(图 3),即 pH < 7 时,金不溶解,或者以[AuSH]络合物的形式被黄铁矿吸附在黄铁矿的表面;相反,当 pH > 7 时,金主要溶解在溶液中(主要形式仍然为[AuSH])。显然,在王水溶解黄铁矿的过程中,酸性的环境和氧化性的降低不利于金的溶解,尤其不利于粗粒自然金的溶解。但是,石英脉型和钾长石化蚀变岩型矿石中黄铁矿金浸出率的先升后降的现象却难以用这种机制解释,似乎给出了离子金与颗粒金并存的信息,即浸出率的降低指示着离子金基本浸出完毕。

当王水溶解铁氧化物时,溶液的氧化性能够保持,同时热液的酸性将会降低,即 pH 值逐渐升高。这种环境有利于金的进一步氧化,和进一步溶解。此外,带正电荷的 Fe^{3+} 胶体溶液有利于吸附带负电荷的$[AuCl_3]^-$和$[Au(SH)_3]^-$等络合物离子。因此,王水溶液很容易浸出铁氧化物中的离子金或微细粒吸附金。

综上所述,王水的浸出实验表明,铁氧化物中金主要以离子金或微细粒吸附金的形式赋存,有利于金浸出;黄铁矿中金主要以颗粒金形式存在,次为离子金或吸附金,因此不利于金的浸出。

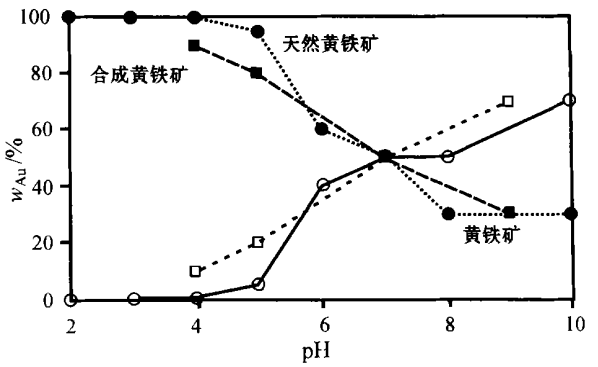


图 3　黄铁矿对[AuSH]络合物吸附性与 pH 值的关系(25 ℃)(Widler et al., 2002)

方框和圆圈分别表示合成黄铁矿和天然黄铁矿;实心和空心符号分别表示金被吸附在黄铁矿表面和溶解在溶液中量的百分比

Fig. 3　Adsorption of gold (I) hydrosulfide complexes by pyrite (squares: synthetic; circles: natural) at 25 ℃ (widler et al. 2002)

The hollow symbol represent percentage of gold in solution, whereas the solid symbol signifies percentage of gold adsorbed on pyrite

3.2　地质意义

从实验前单矿物样品的金含量(表 1)可以看出,黄铁矿及磁(赤)铁矿均有较高的金含量。并且,光片显微镜观察过程中也确实发现黄铁矿中含有颗粒金,磁(赤)铁矿中尚没有观察到颗粒自然金。尽管如此,这些数据和现象能够说明金的富集伴随于黄铁矿和铁氧化物(磁铁矿和赤铁矿)的形成。

金伴随黄铁矿沉淀而富集的现象是所有原生金矿共同具有的普遍规律,该规律已经被实验所证实,并且可以得到软硬酸碱理论的较好解释,即 Au 作为软酸,易于与 S^{2-},HS^-,$S_2O_3^{2-}$,I^-,Br^-等形成络阴离子,具有强烈的亲硫性(陈衍景等,1992;胡受奚等,1998;Seward, 1989;Widler et al., 2002)。虽然铁氧化物富集金的现象也常见报道,但主要见于原生金矿和硫化物矿床的风化带中,原生金矿石的铁氧化物富集金的现象仅见于为数不多的铁氧化物型金矿床中。现在看来,大量富金的铁氧化物(磁铁矿、赤铁矿等)存在应是哈达门沟金矿非常重要的地质特征,因为这些铁氧化物中的相当一部分并非是成矿后的风化产物,而是在热液成矿过程中由高氧逸度的热流体作用形成,因此有时可见铁氧化物被硫化物交代的现象(中国人民武装警察部队黄金指挥部,1995)。

据李强之等(1999)、中国人民武装警察部队黄

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

金指挥部(1995)等研究,哈达门沟金矿的钾长石化现象十分强烈,矿石中磁铁矿、赤铁矿分布广泛且可见重晶石、钡天青石等氧化矿物的存在。钾长石化越强,金富集越强烈;成矿流体中钾含量较高、偏碱性、氧化性强;成矿系统的形成与碱性岩浆的侵入密切相关。这些特征被作为哈达门沟金矿的特征而区别于国内其他原生金矿床,而所有这些特征恰恰吻合于典型铁氧化物型金矿的成因标志(Kerrich et al.,2001)。此外,哈达门沟金矿床与著名的白云鄂博稀土-铌钽-铁矿床产于同一构造单元,并分别位于华北克拉通北缘早元古代盆地的南北边缘(图 1),区域内有较多不同时代的碱性岩浆(含碳酸岩岩浆)活动,指示深大断裂的存在和岩石圈张裂活动的发生,此构造环境对铁氧化物型矿床的形成具有特别重要的意义。

综上所述,哈达门沟金矿床在成矿地球动力学环境(张裂)、控矿地质因素(碱性岩浆岩)、成矿流体特征(富钾、高碱、高氧逸度)、矿石建造(富铁氧化物并被硫化物交代)、金矿化赋存形式等方面均可与典型铁氧化物型矿床相类比。由于该类矿床往往具有很大的储量,因此在今后的金矿床找矿评价过程中应给予重视,而铁氧化物的含金性也是重要的评价标志之一。

4 结 论

对哈达门沟金矿 3 种类型矿石中的黄铁矿、铁氧化物(磁铁矿和赤铁矿)单矿物进行金、铁浸取实验,结果表明:铁氧化物含金较高;黄铁矿金和铁的浸出曲线不同步,金浸出率与铁浸出率呈负相关,表明黄铁矿中的金主要以颗粒金形式存在;铁氧化物中金、铁同步浸出,浸出率为正相关,表明铁氧化物中的金主要以晶格金和(或)胶体吸附金形式存在。结合哈达门沟金矿床形成于伸展构造背景,成矿流体富钾高碱且氧化性强,矿石建造中铁氧化物含量高,并且可见铁氧化物被硫化物交代的现象等,表明哈达门沟金矿床具铁氧化物型金矿床的特点。

致 谢 曾贻善教授、顾连兴教授及聂凤军研究员对本文初稿提出了宝贵的修改意见,特此致谢。

References

Boyle R W. 1979. The geochemistry of gold and its deposits[J]. Geological Survey of Canada, Bulletin 280: 584 p.

Chen Y J, Liu C Q, Chen H Y, et al. 2000. Carbon isotope geochemistry of graphite deposits and ore-bearing khondalite series in North China: Implications for several problems[J]. Acta Petrologica Sinica, 16(2): 233～244 (in Chinese with English abstract).

Davidson G J and Large R D. 1998. Proterozoic copper-gold deposits [J]. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 17: 105～113.

Haauck S A. 1990. Petrogenesis and tectonic setting of middle Proterozoic iron-oxide-rich deposits: An ore deposit model for Olympic Dam-type mineralization[J]. U.S. Geological Survey Bulletin, 1932: 4～39.

Hitzman M W, Oreskes N and Einaudi M T. 1992. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits[J]. Precambrian Research, 58: 241～287.

Hu S X, Wang H N, Wang D Z, et al. 1998. Geology and geochemistry of gold deposits in east China[M]. Beijing: Science Press. 343p (In Chinese).

Jin W and Li S X. 1994. The lithological association and geological features of early Proterozoic orogenic belt in Daqingshan, Nei Mongol [A]. In: Qian X L and Wang R M, eds. Geological evolution of the granulite terrain in north part of the north China craton[C]. Beijing: China Seismological Press. 32～42 (in Chinese with English abstract).

Kerrich R, Goldfarb R J, Groves D I, et al. 2001. The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces[A] In: Chen Y J, Zhang J, Lai Y, ed. Continental Geodynamics and Metallogeny[C]. Beijing: China Seismological Press. 5～72.

Li Q Z, Zhu C W, Wu S Q, et al. 1999. K-feldspathization of the Hadamengou gold deposit, Inner Mongolia and its metallogenic implications[J]. Modern Geology, 13: 315～321 (In Chinese with English abstract).

Meyer C. 1988. Ore deposits as guides to geologic history of the Earth [J]. Annual Reviews Earth and Planetary Science, 16:147～171.

Nie F J, Pei R f, Wu L S, et al. 1993. Magmatic activity and metallogeny of the Bainaimiao area, Inner Mongolia, People's Republic of China[M]. Beijing: Beijing Sci. & Tech. Press. 239p (In Chinese with English abstract).

Seward T M. 1989. The hydrothermal chemistry of gold and its implications for ore formation: boiling and conductive cooling as examples [J]. Econ. Geol., (Monograph 6): 398～404.

Simon G, Huang H, Penner-Hahn J E, et al. 1999. Oxidation state of gold and arsenic in gold-bearing arsenian pyrite [J]. American Mineralogists, 84: 1071～1079.

Tang X M and Yao J Q. 1992. The existing state of gold in ores as revealed by chemical phase analysis [J]. Analysis of Rocks and Minerals, 11(2): 162～167 (in Chinese with English abstract).

Wang S Q. 1994. Carbon isotopic composition and genetic analysis of Wulashan graphite deposits in Nei Mongol[A]. In: Qian X L and Wang R M, ed. Geological evolution of the granulite terrain in north

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

part of the north China craton [C]. Beijing: China Seismological Press. 210～217 (in Chinese with English abstract).

Widler A M and Seward T M. 2002. The adsorption of gold(I) hydrosulfide complexes by iron sulphide surface [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 66(3): 383～402.

Williams P J. 1998. Metalliferous economic geology of the Mt Isa eastern succession, Queensland [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 45: 329～341.

Wu S Q ed. 1995. Geology of Hadamengou pegmatitic gold deposit in Nei Mongol Autonmous [M]. Beijing: China Seismological Press. 227p (in Chinese).

附中文参考文献

陈衍景, 刘丛强, 陈华勇, 等. 2000. 中国北方石墨矿床及赋矿孔达岩系碳同位素特征及有关问题讨论[J]. 岩石学报, 16(2): 233～244.

胡受奚, 王鹤年, 王德滋, 等. 1998. 中国东部金矿地质学及地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 343.

金 巍, 李树勋. 1994. 内蒙古大青山地区早元古造山带的岩石组成及特征[A]. 见: 钱祥麟,王仁民,主编. 华北北部麻粒岩带地质演化[C]. 北京: 地震出版社. 32～42.

李强之, 朱成伟, 吴尚全, 等. 1999. 内蒙古自治区哈达门沟金矿床钾长石化蚀变特征及其成矿意义[J]. 现代地质, 13: 315～321.

聂风军, 裴荣富, 吴良士, 等. 1993. 内蒙古白乃庙地区岩浆活动与金属成矿作用[M]. 北京: 北京科学技术出版社. 239 页.

Kerrich R, Goldfarb R J, Groves D I, et al. 2001. 超大型金成矿省的特征、成因及地球化学动力学背景[A]. 见: 陈衍景, 张静, 赖勇, 主编. 大陆动力学与成矿作用[C]. 北京: 地震出版社. 5～72.

唐肖玫, 姚敬劬. 1992. 化学物相分析方法研究矿石中金的赋存状态[J]. 岩矿测试, 11(2): 162～167.

王时麒. 1994. 内蒙古乌拉山石墨矿床碳同位素组成及成因分析[A]. 见: 钱祥鳞,王仁民, 主编. 华北北部麻粒岩带地质演化[C]. 北京: 地震出版社. 210～217.

中国人民武装警察部队黄金指挥部. 1995. 内蒙古自治区哈达门沟伟晶岩型金矿地质[M]. 北京:地震出版社. 227 页.

An Experimental Study of Gold Leaching from Host Minerals of Hadamengou Gold Deposit and Its Geological Implications

Li Qiangzhi[1,2], Chen Yanjing[1], Xu Dengke[3] and Yang Liqin[3]

(1 College of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China; 2 Gold Headquarters of the Armed Police Force, Beijing 100102, China; 3 Langfang Institute of Gold Geology, Chinese Armed Police Forces, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract

Located in the western part of the northern margin of the North China craton, the Hadamengou gold deposit is of hydrothermal type related to alkaline magmatism. Leaching of Au from pyrite and iron oxides (magnetite and hematite) in three main kinds of ores shows that Au and Fe were dissolved simultaneously from iron oxide (hematite) and that their solubilities are positively correlated. This means that gold is mainly chemical-bonded (lattice gold) and/or colloidal-adsorbed in iron oxides. As to the pyrite, on the contrary, gold extraction obviously lags behind iron, and the solubility of gold shows negative relationship with that of iron. This indicates that Au is mainly hosted as grains of elemental gold (or native gold) within pyrite. Previous studies have revealed that the Hadamengou gold deposit is characterized by intense K-feldspathization and high content of iron oxides occasionally replaced by sulfides, which is probably attributed to the oxidation of K-enriched alkaline fluids under an extensive geodynamic setting. These geological features, together with the high Au content of iron oxides, may suggest that this deposit is the first iron oxide type gold deposit ever discovered in China.

Key word: geochemistry, gold-bearing iron oxide, iron oxide type gold deposit, leaching experiment, Hadamengou, Inner Mongolia

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net