

前寒武纪条带状铁建造金矿床成矿机理初探

郑大中, 郑若锋

(成都综合岩矿测试中心, 四川 成都 610081)

摘要:通过对前寒武纪条带状铁建造铁、金矿床的矿物流体包裹体的组成, 代表性金矿物的化学成分, 主要共、伴生矿物组合的研究, 结合构成金矿物的主要和次要元素的氯化物、羧基化合物的物理化学性质, 认为氯化物、合金氯化物、羧基化合物是金成矿的主要迁移形式。它们是从地球深部的富氢、富CO强还原环境, 随岩浆、热液、热气迁移至地球浅部, 由于压力、温度、pH值下降, Eh值上升, Hz、CO逃逸、氧化, 成矿物质的氯化物、羧基化合物分解、氧化形成金矿物, 沉淀、富集形成金矿床。有的金矿床, 可被以后的地质事件叠加、增富、增大。

关键词:条带状铁建造金矿床; 成矿机理; 氯化物; 羧基化合物

中图分类号: P618.51; P618.31

文献标识码: A

文章编号: 1671-1211(2008)04-0395-06

0 引言

前寒武纪条带状铁建造是世界及中国工业铁矿的主要类型, 其中常有金矿化, 有的形成金矿床^[1], 甚至特大型金矿床。中国辽东鞍山一本溪地体的歪头山、龙神庙、棉花堡子金矿, 五台地区的小板峪和殿头山铁矿, 佳木斯地体的东风山金矿等^[1-6]。在国外此类型的金矿床也较多, 如印度的科拉尔金矿, 澳大利亚的维多利亚金矿^[7], 朝鲜的茂山金矿, 加拿大的贝德莫雷-杰拉尔顿金矿, 坦桑尼亚的格塔山金矿, 津巴布韦的武巴奇奎金矿, 巴西卡韦铁钼

金矿^[2], 美国的霍姆斯塔克金矿^[4]。霍姆斯塔克金矿于1878年开始生产金, 至1979年已采金1 120 t, 尚保有黄金储量98 t, 矿石品位6.53 g/t。此类金矿床已成为世界上一种重要的金矿类型。目前其成矿机理尚未根本解决, 因此, 对其进行研讨探索是十分必要的, 对金的地球化学、找矿学、矿物学、矿床学、工艺学均有重要意义。

1 铁金矿床的矿物流体包裹体的组成

铁金矿床的矿物流体包裹体气相成分列于表1, 液相成分列于表2。

表1 铁金矿床的矿物流体包裹体气相的化学成分

Table 1 Gas phase chemical components in mineral fluid inclusions of iron-gold deposit

序号	产地及样号	矿物名称	H ₂	CH ₄	CO	N ₂	CO ₂	H ₂ O	资料来源
1	97W143	石英	9.9	14.7	nd	nd	24.9	35.40	[4]
2	五 DT1-5	石英	0.03	1.53	0.00	1.40	15.26	569.24	[4]
3	DT5-4	石英	0.03	5.77	0.00	4.28	22.88	707.04	[4]
4	台 DT8-1	石英	0.04	6.38	0.00	4.96	36.33	784.75	[4]
5	WD 113	石英	0.14	0.72	2.43	1.62	17.52	340.00	[4]
6	山 WD 115	石英	0.20	0.76	2.00	0.87	16.30	230.00	[4]
7	F1	磁铁矿	10.50	0.60	1.55	nd	5.0	0.087	[8]
8	弓 F2	磁铁矿	45.50	2.50	8.20	nd	2.4	0.182	[8]
9	长 F3	磁铁矿	34.40	1.55	5.80	nd	18.0	0.186	[8]
10	F4	磁铁矿	42.25	2.95	9.65	nd	2.0	0.154	[8]
11	岭 F5	磁铁矿	23.50	1.55	3.90	nd	12.0	0.158	[8]
12	五龙	矿物岩石	0.059~0.509	0.893~13.71	2.250~3.375	1.871~2.500	5.50~74.69	54.86~201.50	[5]
13	四道沟	矿物岩石	0.198~0.599	2.30~5.04	5.50~11.83	4.00~13.00	30.05~219.5	500~1 640	[5]
14	猫岭	矿物岩石	0.150~0.166	1.66~1.800	3.76~5.72	4.74~5.36	7.22~11.54	104~168	[5]
15	白云	矿物岩石	1.30~5.26	9.90~18.90	22.8~61.1	2.83~4.12	39.7~104.5	647~1 037	[5]
16	隈子	矿物岩石	0.60~0.73	12.26~25.84	nd	9.21~23.06	158~256	621~714	[5]

注: (1) 成分单位: 序号1为W_B/10⁻²; 2~6、12~16为W_B/10⁻⁶; 7~11为mL/100 g; (2) 序号1含H₂S 15.1; 5、6分别含O₂ 0.71、0.58。

收稿日期: 2008-03-18

作者简介: 郑大中 (1937-), 男, 教授级高级工程师, 从事元素浓度值及其存在形式测试方法与地球化学的研究。

285

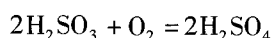
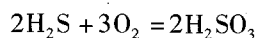
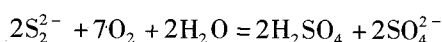
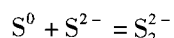
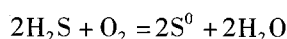
表 2 铁金矿床的矿物流体包裹体液相的化学成分 ($W_B/10^{-6}$)

Table 2 Liquid phase chemical components in mineral fluid inclusions of iron-gold deposit

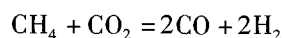
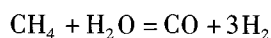
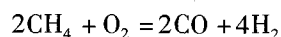
序号	产地及样号	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	资料来源
2	DT 1-5	9.30	5.77	6.70	2.23	27.17	1.30	5.02	[4]
3	DT 5-4	21.20	3.27	7.68	0.00	50.93	0.85	2.99	[4]
4	台 DT 8-1	25.49	4.09	5.94	0.92	57.05	0.79	3.57	[4]
5	WD 113	3.08	3.48	4.80	0.82	6.88	0.14	8.99	[4]
6	WD 115	1.48	6.35	4.47	0.81	1.81	0.41	5.08	[4]
12	五 龙	0.23 ~ 1.30	0.80 ~ 1.60	0.00 ~ 0.20	0.00 ~ 0.11	1.40 ~ 6.40	0.65 ~ 2.80	0.67 ~ 2.70	[5]
13	四道沟	0.60 ~ 1.80	0.57 ~ 2.90	0.02 ~ 0.30	0.02 ~ 0.20	1.10 ~ 3.00	nd	0.39 ~ 8.90	[5]
14	猫 岭	2.50 ~ 4.90	1.20 ~ 1.50	0.95 ~ 2.50	0.35 ~ 1.00	11.00 ~ 15.00	0.41 ~ 5.00	0.40 ~ 2.20	[5]
15	白 云	0.39 ~ 0.67	0.06 ~ 0.17	0.04 ~ 0.06	0.00 ~ 0.02	0.02 ~ 0.30	nd	0.10 ~ 0.26	[5]
16	限 子	16.12 ~ 24.90	0.66 ~ 3.30	7.33 ~ 34.48	0.05 ~ 1.18	29.66 ~ 31.89	0.46 ~ 0.71	1.86 ~ 9.52	[5]

注:矿物名称见表 1。

表 1、2 矿物岩石流体包裹体化学成分中普遍含有 H₂、CO 等成矿物质的配合剂,又含有 H₂O、CO₂、CH₄ 等矿质搬运剂。其中部分 H₂O、CO₂ 可能是 H₂、CO、CH₄、氢化物、羰基氢化物、羰基化合物氧化的产物。值得注意的是氢,它的原子半径、原子质量最小,穿透、扩散能力极强,易逃逸。流体包裹体化学成分中同一元素有低价和高价化合物,如氢有 H⁻、H⁰、H⁺,碳有 C²⁺、C⁴⁺,硫有 S²⁻、S⁶⁺,表明成矿演化过程是从强还原环境向氧化环境演化的。其中 SO₄²⁻ 可能是 S²⁻ 氧化的产物。此外低价硫氧化为高价硫有强酸产生,使流体的 pH 值下降。



值得注意的是:H₂、CO 有很强的还原能力,在 500 ~ 900℃ 时,能将铁、镍、钴、铜、锌、锡、铅、镉、铋、砷、钨、钼等元素的氧化物及钨、钼的卤化物还原成单质^[9,10];在 220℃ 碱性水浆中, H₂ 能将 Ag₂S、CuS、Cu₂S、PbS 还原成单质银^[11]、单质铜^[12]、单质铅^[9]。CH₄ 能裂化为 H₂ 和 CO^[13],亦具有很强的还原能力。



2 代表性金矿物的化学成分

前寒武纪条带状铁建造铁金矿床代表性金矿物的化学成分列于表 3。

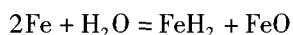
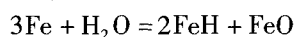
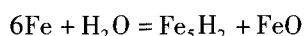
从表 3 看出:前寒武纪条带状铁建造铁金矿床中的金矿物主要为自然金、银金矿。其矿物成分除主要成分金、银外,还有次要成分铁、钴、镍、铜、锌、砷、锑、碲、硒等,现代微区、微量检测技术所得结果表明,它们大多是金矿物的组成部分,而不是金矿物污染所致。这些金矿物可认为是以金为主的合金。在研究金矿物形成机理时,须考虑其它组分是如何与金一道迁移、沉淀形成金矿物的。所列金矿物的化学元素均能形成氢化物或(和)合金氢化物,有的还能形成羰基化合物。这些氢化物、羰基化合物属于特殊的络合物^[14,15]。它们的熔点、沸点较对应单质的熔点、沸点低许多,且熔点与沸点的温度距离很小,如 As、Sb、Se、Te 单质的熔点分别为 817℃、630.5℃、217℃、449.5℃,沸点分别为升华、1380℃、684.9℃、989.8℃;而 AsH₃、SbH₃、H₂Se、H₂Te 的熔点分别为 -166.9℃、-88℃、-65.73℃、-48℃,沸点分别为 -62.5℃、-18.4℃、-41.25℃、-1.8℃。AgH、NiH₂、ZnH₂ 在室温条件下即挥发,可用惰性载气引入进行定量测定^[16-18]。氢是极活泼的元素,它几乎可以溶入所有金属液体和固体中,其溶解过程是:H₂ 吸附在金属表面—离解成 H 原子—扩散进入金属晶格内,形成固溶体或化合物^[19]。有趣的是当压力 > 2.8 GPa,温度高于 550℃ 时,金属铁与水反应形成铁的氢化物和铁的氧化物,在 1100 ~ 1200℃ 熔融成为液态 FeH_{0.4}^[20]。据此推断,铁氢化物随氢、铁原子的比值增大,其熔点还会显著递降。

表3 铁金矿床代表性金矿物的化学成分($W_B/10^{-2}$)

Table 3 Chemical Components of representative gold mineral in iron-gold deposit

样号	金矿物产出特征	Au	Ag	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Se	Te	Σ
96W50	自然金包裹于石英中	89.89	9.47	0.09	0.05	0.27	0.02	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	100.02
96W59	银金矿产于 Fe_3O_4 与 FeS_2 间隙	83.26	15.42	0.51	0.04	0.07	0.30	0.03	0.00	0.11	0.00	0.28	100.02
96W112	自然金产于褐铁矿中	85.06	13.06	0.86	0.15	0.11	0.00	0.45	0.00	0.20	0.00	0.15	100.04
96W119	银金矿包裹于石英中	79.63	10.94	1.28	0.00	0.00	0.00	0.41	0.13	0.00	0.06	7.34	100.01
96W123	自然金包裹于石英中	89.94	7.54	0.27	0.13	0.00	0.00	0.28	0.00	0.40	0.00	0.24	98.80
96W125	银金矿产于石英与 FeS_2 间隙	81.21	15.30	2.22	0.00	0.44	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	100.02
96W142	自然金产于褐铁矿与石英间隙	86.07	11.16	0.07	0.16	1.74	0.33	0.19	0.20	0.00	0.00	0.11	100.03
96W78	自然金产于 FeS_2 裂隙中	95.26	2.20	0.55	0.00	0.39	0.05	0.72	0.00	0.45	0.01	0.38	100.01
96W99	自然金产于 Fe_3O_4 石英 FeS_2 间隙	94.10	4.59	0.72	0.04	0.31	0.00	0.19	0.06	0.00	0.00	0.00	100.01
97W66	银金矿产于石英与 FeS_2 间隙	82.10	16.24	0.69	0.35	0.00	0.20	0.39	0.00	0.00	0.04	0.00	100.01
97W73	自然金产于石英与 FeS_2 间隙	88.79	10.66	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	100.02
97W58	银金矿产于 Fe_3O_4 间隙	82.29	14.92	1.42	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06	0.07	99.03
97W115-1	银金矿产于石英粒间褐铁矿中	84.64	9.72	5.23	0.00	0.14	0.04	0.11	0.00	0.05	0.00	0.09	100.02
97W115-2	自然金包裹于石英中	86.63	12.41	0.53	0.00	0.20	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

注:资料来源据文献[4]整理;样号96W119含S0.22。



含金石油提取金的方法是将石油在300~400℃分馏,使大部分金挥发。石油“低温”燃烧残渣的含金量常比原油低^[21]。在尼加拉瓜 Momo tombo 高热火山喷气中 Au、Ag、Zn、Pb、Sb、Cu、As 有较高的含量,金最高含量达 24×10^{-9} ^[22],气体凝结物铜含量最高达 8.4×10^{-6} ^[23]。Grasberg 斑岩铜、金矿流体包裹体气相的金浓度为 10×10^{-6} ^[22]。有的富气相的流体包裹体中金、铜、钼等元素的含量显著的高于液相包裹体^[23]。哥伦比亚一火山每日向空中喷出约半公斤金。加莱拉斯火山在过去56万年以来周期性地喷出黄金,1993年1月14日该火山喷发后,在火山口发现了金矿脉^[24]。将有机碳、褐煤与金矿粉混匀在还原气氛快速升温焙烧,金的挥发损失率高达19.98%^[25]。在煤气中熔炼黄金,其金的挥发损失率为在空气中熔炼金的挥发损失率的6倍^[26]。这是因为石油热解、燃烧及煤、炭加热燃烧均产生了大量 H_2 、CO、 CH_4 、 CO_2 等气体,火山喷气中亦较普遍存在这些气体^[27,28],金等成矿物质能与 H_2 、CO形成低熔点、低沸点、易挥发的氢化物、羰基化合物或(和)羰基氢化物,还能形成金的合金氢化物^[29]: AuH 、 $Au(CO)_5$ 、 $AuH(CO)_4$ 、 AgH 、 $Ag(CO)_5$ 、 $AgH(CO)_4$ 、 FeH_2 、 $Fe(CO)_5$ 、 $FeH_2(CO)_4$ 、 NiH_2 、 $Ni(CO)_4$ 、 COH_2 、 $CO_2(CO)_9$ 、 $COH_2(CO)_4$ 、 H_2Se 、 $SeCO$ 、 H_2Te 、 $TeCO$ 、 $AuAgH_2$ 、 $(Au, Ag)H$ 。其中 $Fe(CO)_5$ 熔点为-20℃,沸点为+103℃; $Ni(CO)_4$ 熔点为-25℃,沸点为+43℃; $CO_2(CO)_9$ 熔点为+51℃。

羰基化合物的熔点与沸点的温度距离较小,有的甚至未达熔点即升华^[14]。羰基氢化物较对应的羰基化合物的熔点更低, $FeH_2(CO)_4$ 熔点仅-70℃, $COH_2(CO)_4$ 熔点为-26℃。 $SeCO$ 、 $TeCO$ 在25℃为气态,其熔点、沸点均很低。

已获得专利并生产的储氢非晶合金中就有金、银、铁、铜、镍、钴、锌等^[30],这表明金合金是能形成合金氢化物的。

金能与许多元素形成合金^[31],据表3金矿物的化学成分,可求得其大致的合金化合物:96W50为: $Au_{41}Ag_8(Ni, Zn, Fe, Co, Cu)_1$,96W59为: $Au_{23}Ag_7(Fe, Cu, Te, Ni, Sb, Co, Zn)_1$,96W112为: $Au_{15}Ag_4(Fe, Zn, Co, Ni, Sb, Te)_1$,96W119为: $Au_{14}Ag_3Te_2(Fe, Zn)_1$,96W123为: $Au_{28}Ag_4(Fe, Zn, Sb, Co, Te)_1$,96W125为: $Au_{20}Ag_7Fe_2(Zn, Ni)_1$,96W142为: $Au_{28}Ag_7Ni_2(Cu, Zn, Co, As, Fe, Te)_1$,96W78为: $Au_{24}Ag(Zn, Fe, Ni, Sb, Te, Cu, Se)_2$,96W99为: $Au_{21}Ag_2(Fe, Ni, Zn, As, Co)_1$,97W66为: $Au_{15}Ag_5(Fe, Zn, Co, Cu, Se)_1$,97W73为: $Au_{70}Ag_{15}FeTe$,97W58为: $Au_{298}Ag_{99}Fe_{18}Ni_3(Se, Te, Sb)_1$,97W115-1为: $Au_{45}Ag_{10}Fe_{10}(Ni, Zn, Te, Cu, Sb)_1$,97W115-2为: $Au_{34}Ag_9(Fe, Zn, Ni)_1$ 。由此可见金合金化合物具有多样性、复杂性。据元素周期系各类元素生成氢化物的类型和规律^[27]。在一定温度高压强还原富氢环境,上述合金可形成如下合金氢化物: $Au_{41}Ag_8(Ni, Zn, Fe, Co, Cu)H_{51}$ 、 $Au_{23}Ag_7(Fe, Cu, Te, Ni, Sb, Co, Zn)H_{32}$ 、 $Au_{15}Ag_4(Fe, Zn, Co, Ni, Sb, Te)H_{21}$ 、 $Au_{14}Ag_3Te_2(Fe, Zn)H_{23}$ 、 $Au_{28}Ag_4(Fe, Zn, Sb, Co, Te)H_{34}$ 、 $Au_{20}Ag_7Fe_2(Zn, Ni)H_{33}$ 、 $Au_{28}Ag_7Ni_2(Cu, Zn, Co, As, Fe, Te)H_{41}$ 、 Au_{24}

$\text{Ag}(\text{Zn}, \text{Fe}, \text{Ni}, \text{Sb}, \text{Te}, \text{Cu}, \text{Se})_2\text{H}_{29} \cdot \text{Au}_{21} \text{Ag}_2(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Zn}, \text{As}, \text{Co})\text{H}_{25} \cdot \text{Au}_{15} \text{Ag}_5(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co}, \text{Cu}, \text{Se})\text{H}_{22} \cdot \text{Au}_{70} \text{Ag}_{15} \text{FeTeH}_{89} \cdot \text{Au}_{298} \text{Ag}_{99} \text{Fe}_{18} \text{Ni}_3(\text{Se}, \text{Te}, \text{Sb})\text{H}_{441} \cdot \text{Au}_{45} \text{Ag}_{10} \text{Fe}_{10}(\text{Ni}, \text{Zn}, \text{Te}, \text{Cu}, \text{Sb})\text{H}_{77} \cdot \text{Au}_{34} \text{Ag}_9(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Ni})\text{H}_{45}$ 。金的合金氢化物亦具有多样性、复杂性。

3 主要共、伴生矿物组合

具代表性条带状铁建造金矿床金矿物的共生伴生矿物列于后:

美国霍姆斯塔克金矿床中自然金常与毒砂伴生。在高品位金矿石中,自然金主要赋存在毒砂中,有少量赋存在磁铁矿、绿泥石中。金矿化有 4 类矿物组合:①石英、毒砂、绿泥石;②石英、磁黄铁矿、铁白云石及少量钠长石、蛋白石、白云母、石榴子石、镁铁闪石;③磁

黄铁矿;④黄铁矿、方解石及少量石英、绿泥石、蛋白石、白云石、菱锰矿、镜铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、雄黄、自然砷^[4]。

中国五台山地区前寒武纪条带状铁建造金矿床有碳酸盐相铁建造金矿;碳酸盐、氧化物混合相铁建造金矿;硅酸盐、氧化物混合相铁建造金矿;氧化物相铁建造金矿。载金矿物主要为黄铁矿(富含稀土元素)、石英,其次为磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂、铁白云石等。矿石矿物为自然金、银金矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、毒砂、辉钴矿、红砷镍矿、辉砷镍矿、磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿、铁白云石、铁闪石、石英、绿泥石、绢云母、电气石、金云母、方解石等。富含稀土元素黄铁矿的化学成分列于表 4。

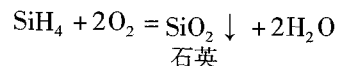
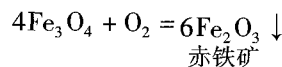
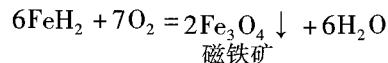
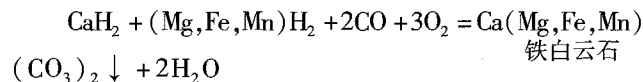
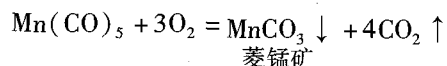
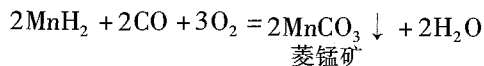
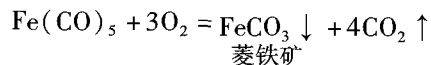
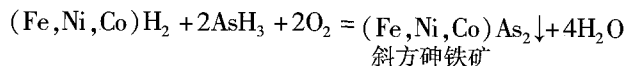
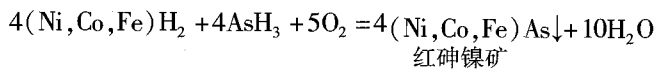
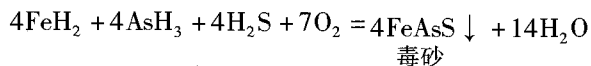
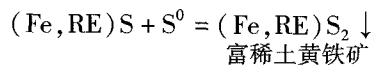
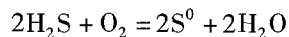
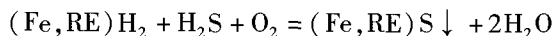
表 4 富稀土元素黄铁矿的化学成分
Table 4 Chemical component of REE-rich phrites

样号	Fe	S	Cu	Ni	Co	Au	Ag	As	Sb	Se	Te	TRE	Σ
96W126	50.31	48.48	0.029	0.007	0.006	18.99	6.49	8.61	0.50	0.00	0.82	3 162	99.15
97W164	46.27	51.97	0.042	0.008	0.004	23.63	4.50	231.18	1.10	0.00	0.32	25 043	100.79
93W123	46.43	52.92	0.024	0.004	0.014	7.97	4.49	0.53	0.05	0.22	1.15	4 506	99.84
96W73	45.35	50.52	0.075	0.038	0.004	54.25	7.99	1 563.75	3.30	0.62	0.68	44 611	100.45
97W96	46.26	52.17	0.014	0.043	0.082	1.67	10.48	45.90	0.20	0.00	0.72	22 287	100.80

资料来源:据文献[4]整理;成分单位:Fe、S、Cu、Ni、Co 为 $W_B/10^{-2}$;Au、Ag、As、Sb、Se、Te、TRE 为 $W_B/10^{-6}$;TRE 为稀土元素总量。

棉花堡子金矿带产在火山岩硅铁建造中,金矿化有 18 处,金品位为 3.01 ~ 10.71 g/t,矿化带长 2 500 m,宽 1 ~ 30 m。银金矿、金银矿与黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、斜方砷铁矿、石英、磁铁矿、透辉石、方解石、阳起石、绿泥石等共生伴生。

上述矿物与金矿物共生、伴生,这主要与它们的成矿物质呈氢化物或(和)羰基化物迁移成矿有关。



共生伴生矿物中不同矿物的同一元素有多种价态:砷有 As^{2-} (红砷镍矿)、 As^{1-} (毒砂、黄铁矿)、 As^0 (自然砷)、 As^{2+} (雄黄);铁有 Fe^{2+} (黄铁矿、磁黄铁矿、菱铁矿、黄铜矿、斑铜矿、红砷镍矿、毒砂、铁白云石、磁铁矿等)、 Fe^{3+} (赤铁矿、磁铁矿等)。同一矿物同一元素有不同价态:从表 4 富稀土元素黄铁矿化学成分知该硫化物为 RE_2S_3 、 FeS_2 、 FeS 组合,其中硫有 S^{1-} 、 S^{2-} ;斑铜矿、磁黄铁矿中硫亦为 S^{1-} 、 S^{2-} 组合。这些表明成矿过程是从强还原环境向氧化环境演化的。

共生伴生矿物中有的含有相当高的 Fe、Ni、Co、As、Sb、Se、Te 等深源元素,特别是富稀土元素黄铁矿普遍含有较高的稀土元素,有的质量分数高达 4.46% (表 4),它们也是深源元素^[32]。寓示成矿物质大多源于地球深部。

上述共生伴生矿物多为热液矿物,这表明火山气

液的活动在熔浆喷出前即已开始,在火山熔浆喷发物和溢流物冷凝堆积过程中亦有热液作用,有的还有岩浆期后热液的叠加,并发育一系列的矿物流体包裹体。

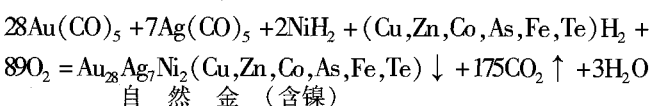
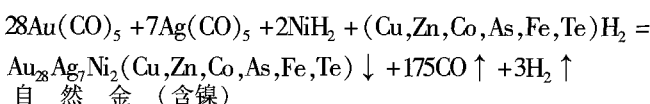
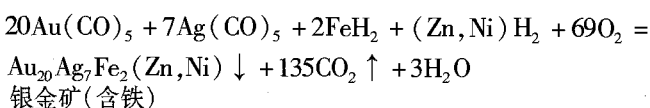
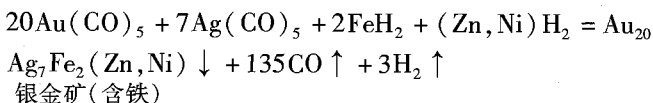
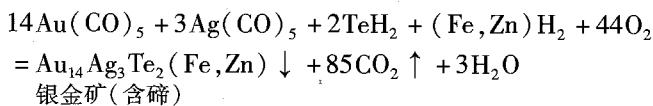
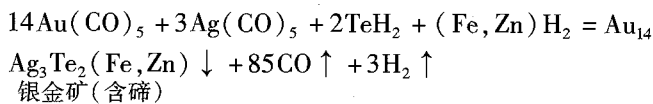
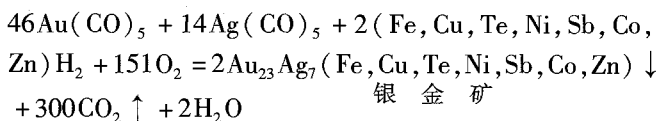
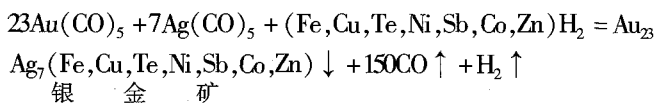
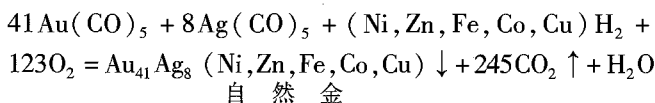
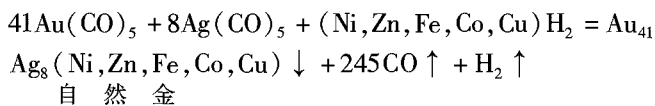
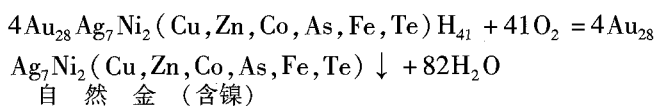
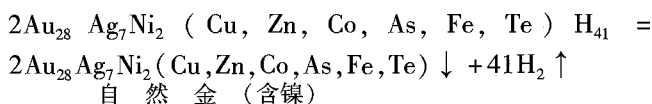
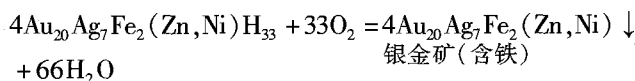
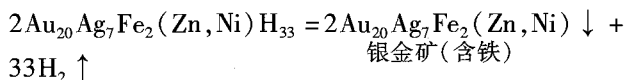
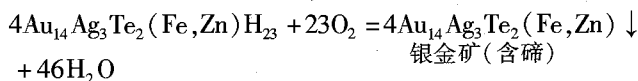
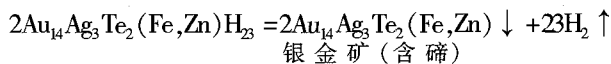
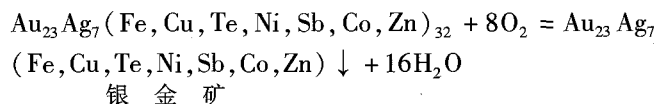
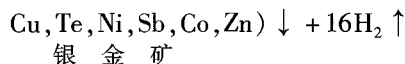
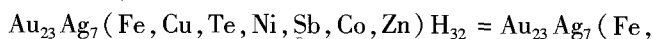
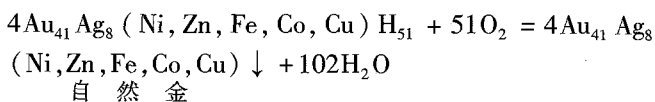
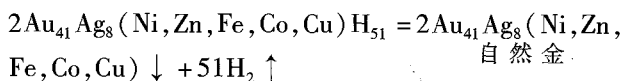
4 氢化物、羰基化合物的物理化学性质

单质氢化物、合金氢化物的熔点、沸点较相对应的单质、氧化物、合金的熔点、沸点低得多,其气态具高挥发性,其固态具易粉脆性,失氢后可反复重新氢化。在高压富氢碱性强还原环境它们相当稳定,不分解、不氧化、不硫化,一些硫化物还能氢化,而在常压(低压)贫氢的中、酸性氧化环境则易分解、热解、水解、氧化、硫化^[27]。在贫氢富CO强还原环境可转化为羰基化合物或(和)羰基氢化物。

在一定温度高压富CO强还原环境,金属氧化物或其它化合物、新还原出来的活性金属粉均能与CO作用形成羰基化合物,即使是高熔点、高化学惰性的铂族元素,其原子都能与CO生成低熔点易挥发的羰基化合物^[33]。其中Ru(CO)₅的熔点为-22℃,Os(CO)₅的熔点为-15℃。易生成羰基化物的元素有钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、银、金、钼、钨、铼、钌、铑、铈、铀、铂及硫、硒、碲等^[9,14,15,33]。羰基化合物是一类特殊的络合物,其熔点、沸点一般都比常见的相应金属化合物低,容易挥发。羰基化合物在高压富CO强还原环境相当稳定,不分解、不氧化、不硫化;而在低压贫CO氧化环境则易分解、氧化、硫化。失去CO后的物质在高压富CO强还原环境可再生;如遇高压富氢贫CO环境则可转化成氢化物。

5 成矿机制

通过对前寒武纪条带状建造铁、金矿床的矿物流体包裹体的组成,代表性金矿物的化学成分,主要共、伴生矿物组合的研究,结合构成金矿物的主要和次要元素的氢化物、羰基化合物的物理化学性质,认为氢化物、合金氢化物、羰基化合物是金成矿的主要迁移形式。它们从地球深部富氢、富CO强还原环境,随岩浆、热液、热气迁移至地球浅部,由于压力、温度、pH值下降,Eh值上升,H₂、CO逃逸、氧化,成矿物质的氢化物、羰基化合物分解、氧化形成金矿物,沉淀、富集形成金矿床。有的金矿床,可被以后的地质事件叠加、增富、增大。其代表性的化学反应式为:



参考文献:

- [1] 郑大中,郑若锋. 前寒武纪条带状铁建造形成机理新探[J]. 资源环境与工程, 2007, 21(2): 101-107.
- [2] 李碧乐,霍亮,李永胜. 条带状铁建造(BIFs)研究的几个问题[J]. 矿物学报, 2007, 27(2): 205-211.
- [3] 胡桂明,王守伦,谢坤一,等. 华北陆台北缘地体构造与铁金矿产[M]. 北京:地质出版社, 1998: 1-255.
- [4] 骆辉,余克忍,陈志宏,等. 五台山区条带状铁建造金矿地质及成矿预测[M]. 北京:地质出版社, 2002: 1-147.
- [5] 张鹏程,刘如琦,郭万超. 辽东地区前寒武纪地体金矿化特征[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(1): 21-28.
- [6] 于永海. 棉花堡子铁矿区地质特征与金的矿化[J]. 中国矿业, 2003, 12(1): 66-14.
- [7] 刘平,周平. 前寒武纪含铁石英岩建造中金矿床的地质和地球化学特征[J]. 地质科技情报, 1991, 10(2): 45-50.
- [8] 陈光远,黎美华,汪雪,等. 弓长岭铁矿成因矿物学专辑[J]. 矿物岩石, 1984, 4(2): 1-254.
- [9] 邱竹贤. 有色金属冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社, 1991: 139-240.
- [10] 李洪桂. 稀有金属冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社, 1990: 87-101.
- [11] 梁焕珍,唐清. 硫化银碱性水浆直接加氢还原制备金属银[J]. 稀有金属, 2006, 30(5): 657-660.
- [12] 喻克宁,梁焕珍. 铜硫化物直接水浆加氢还原制备铜粉[J]. 有色金属, 2004, 56(4): 74-76.
- [13] 傅崇说. 有色冶金原理[M]. 北京:冶金工业出版社, 1990: 73-84.
- [14] 严志弦. 络合物化学[M]. 北京:人民教育出版社, 1962: 135-197.
- [15] 无机化学编写组. 无机化学(下册)[M]. 北京:人民教育出版社, 1978: 335-336.
- [16] 周焕英,冯泓水,徐淑坤. 流动注射氨性样品注入蒸气发生原子吸收光谱法测定银的初步研究[J]. 冶金分析, 2001, 21(4): 4-7.
- [17] 江祖成,胡斌,彭天右. 原子发射光谱分析[J]. 分析实验室, 2001, 20(2): 101-108.
- [18] 郭小伟,郭旭明. 硼氢化物与锌在水溶液中的反应研究及其分析应用[J]. 分析化学, 1998, 26(6): 674-676.
- [19] 张劭. 关于紫铜熔铸中吸气的思考[J]. 有色金属(冶炼部分), 1998(2): 36-38.
- [20] 夏群科,杨晓志,郝艳涛,等. 深部地球中水的分布和循环[J]. 地质前缘, 2007, 14(2): 10-23.
- [21] ИВАНОВ П. Ф. 黑色页岩层中金的沉淀特征[J]. 地质地球化学, 1988(5): 9-13, 51.
- [22] 张荣华,胡书敏,张雪彤. 金铜在气相中的迁移实验及矿石的成因[J]. 矿床地质, 2006, 25(6): 705-714.
- [23] 包志伟. 成矿金属元素的气相运移研究进展[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 83-91.
- [24] 姜泽春,章振根. 金的气相迁移探索[J]. 地质地球化学, 1996(2): 23-26.
- [25] 郑大中,郑若锋. 焙烧含金物料金挥发归因及其解决方法[J]. 四川化工与腐蚀控制, 2000, 3(6): 19-23.
- [26] 黄礼煌. 金银提取技术[M]. 北京:冶金工业出版社, 1995: 1-2.
- [27] 郑大中,郑若锋. 论氢化物是成矿的重要迁移形式[J]. 盐湖研究, 2004, 12(4): 9-17.
- [28] 杜乐天. 国外天然气地球科学研究成果介绍与分析[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(1): 1-18.
- [29] 郑大中,郑若锋. 微细浸染型金矿床成矿机制新探[J]. 化工矿产地质, 2007, 29(4): 202-208.
- [30] Grasselli R. K. 储氢非晶合金的生产 US4902579[J]. 有色金属文摘, 1991, 6(7-8): 106.
- [31] 宁远涛. 合金元素对金的强化效应与应用[J]. 贵金属, 2002, 23(3): 51-56.
- [32] 郑大中,郑若锋. 稀土元素的迁移形式富集机理初探[J]. 化工矿产地质, 2003, 25(4): 219-228.
- [33] 刘时杰. 铂族金属矿冶学[M]. 北京:冶金工业出版社, 2001: 35.

Preliminary Study on Metallogenic Mechanism of Banded Iron Formation Gold Deposit in Precambrian

ZHENG Dazhong, ZHENG Ruofeng

(Chengdu Center of Comprehensive Mineral and Rock Test, Chengdu, Sichuan 610081)

Abstract: On the basis of the analysis on three aspects including composition of mineral fluid inclusions of Precambrian banded iron formation iron, gold deposit, and chemical component of representative gold deposit, as well the physicochemical properties of hydride and carbonyl compound in main and minor elements consisting gold deposit, the authors believe that hydride, alloy hydride and carbonyl compound are main migration forms of gold mineralization. In hydrogen-rich and CO-rich strong reductive environment of deep earth, they transport to shallow part of earth with magma, hydrothermal fluid and hot gas, because of the increase of pressure, temperature and pH value, H_2 , CO escape, and are oxidized, hydride and carbonyl compound of metallogenic materials are decomposed, and hydrogenated to form gold mineral, finally precipitate and enrich to form gold deposit. Some gold deposits may be superposed by later geological event, and amplification increase.

Key Words: banded iron formation gold deposit; metallogenic mechanism; hydride; carbonyl compound