

卤素在银成矿中的作用

——以额仁套勒盖大型银矿床为例

刘铁庚¹ 叶霖¹ 李乙雨¹ 曾明果²

(1.中国科学院地球化学研究所矿床开放实验研究室, 贵州 贵阳 550002

2.贵州省地矿局地质研究所, 贵州 贵阳 550001)

摘要:通过对额仁套勒盖银矿床卤素和Ag的研究,发现卤素在银矿床中具有明显的水平和垂直分带现象,地表和近地表矿石相对富Cl和I,深部矿石相对富F;矿体中相对富Cl和I,近矿围岩中相对富F。卤素与Ag有密切的关系。但是矿石类型不同,卤素与Ag的关系也不同,F与Ag多为负相关,Cl与Ag,I与Ag多为正相关。表明卤素在银的活化、溶解、长距离迁移和沉淀富集过程中可能起着非常重要的作用。

关键词:银矿床;卤族元素;相关关系;成矿作用

中图分类号:P618.52 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2002)01-0076-06

如果没有挥发分(H₂O, CO₂, F和Cl等)参与,金属元素亦不可能发生活化、溶解、迁移,当然也谈不上富集成矿^[1-3]。卤素除形成大量的独立矿物外,还存在于许多热液矿物中,所以说,在热液作用过程中卤族元素无处不在,对金属成矿起着非常重要的影响^[4]。卤素研究目前偏重在:①将含Cl溶液作为成岩、成矿实验的介质;②F和Cl作为成矿流(气液)体包裹体的主要成分而被国内外许多地质工作者研究,此外,还研究了某些矿床和蚀变带中F和Cl含量。如研究富Cl、F岩体与斑岩铜矿的关系^[5],富Cl流体在铂族元素迁移和铜矿化富集过程中的作用^[6-7];研究某些低温矿床从矿体到围岩,再到远矿围岩卤素含量的变化^[8]以及通过TiCl₄的溶度积计算,推测Ti主要以[TiCl₄]形式迁移,并在高盐度水体中富集^[9];③地下热卤水研究是目前热门课题,除研究红海的热卤水外,还研究了加拿大地盾地下热卤水^[10-11];④在调研火山喷气中微量元素存在形式时,发现火山喷气中的许多微量元素(如Cu、Pb、Zn、Sb、K、Na、Mn和Bi等)主要以卤化物形式存在^[12],并认为卤素

在成矿过程中起着极其重要的作用^[13];⑤利用卤素扩散晕找矿,取得很好的效果。如江西利用F和Cl扩散晕找到几个钨矿和斑岩铜矿,辽宁利用Cl和I扩散晕发现隐伏100多米深的石英脉型金矿等^[4]。⑥近年来,国内外学者开始研究Cl同位素,并试图解释一些地质现象^[14]。但是,迄今尚未见到系统研究银矿床卤素地球化学的报道。

1 区域地质构造背景

额仁套勒盖大型银矿床位于海拉尔中生代火山盆地西南部,额仁套勒盖大断裂与巴尔基嘎尔大断裂的交会处。矿区主要出露上侏罗统塔木兰沟组(J₃)安山岩和上库力组(J₃)钙碱性和碱性火山岩。塔木兰沟组在矿区分布很广,并为矿化的直接围岩。上库力组仅在矿区西南部出露。矿区西边有一花岗岩体,Rb-Sr等时线年龄为120 Ma^[15],由二长花岗岩、斜长花岗岩和黑云母花岗岩组成。此外还有石英斑岩脉、正长斑岩脉和安山玢岩脉等出露。含矿石英脉与石英斑岩脉伴生并切穿石英斑岩脉,说明矿化时

收稿日期:2001-07-20;改回日期:2001-08-29

基金项目:国家自然科学基金项目(49772116),国家攀登预选项目(95-预-25-02-03)和中国科学院地球化学研究所矿床开放实验研究室共同资助。

作者简介:刘铁庚,男,1941年生,研究员,主要从事矿床地球化学研究工作。

间比石英斑岩脉形成的时间还晚。

矿区主要发育NE和NW—NNW两组断裂。沿NE向一组断裂被安山玢岩和石英斑岩脉等充填,局部有矿体分布。NW—NNW一组断裂为主要控矿构造,绝大部分矿体产于其中,表示NE向一组形成时间比NW—NNW一组早。

2 矿床地质特征

矿床有7个矿带,每个矿带有2~6个矿体,主要呈NW—NNW走向。矿体为脉状或透镜状,成雁行式排列,严格受断层控制(图1)。矿体一般长大于250m,平均厚度大于5m,延深大于300m。最大的II-2矿体长1200m,最大厚度21.28m,平均为7.2m,最大延深480m。

元素组合比较简单,只有Ag具工业意义。Ag含量一般为 $(67\sim 567)\times 10^{-6}$,最高达 1870×10^{-6} ,平均含量为 181×10^{-6} 。Mn、Pb、Zn和Cd具综合利用价值。矿物组成比较复杂,仅银矿物已发现20种之多,且具有清楚的垂直分带现象。地表和近地表的银矿物以卤化物为主,金属矿物主要是锰的氧化物。深部以硫化物和菱锰矿为主。二者的过渡带主要是硫酸盐矿物。矿物这种垂直分带现象可能是原生分带,因

为,此种分带现象反映矿液的 f_{S_2} 从深部向地表逐渐减少, f_{O_2} 慢慢增大,由还原环境向氧化环境过渡的矿物组合变化规律。

根据矿物组合将矿石分为银锰型、石英脉型、硫化物型和土状矿石4类,以银锰型为主。银锰型矿石又分为氧化锰型和碳酸锰型。氧化锰型分布在地表和近地表,主要由硬锰矿和软锰矿组成。碳酸锰型分布于深部,主要由菱锰矿和少量硫化物组成。石英脉型矿石出露地表的称地表石英脉型,地下深处的称深部石英脉型,矿物组成以微晶或细晶石英为主。硫化物型主要为含硫化物的蚀变安山岩,分布地下深处。土状矿石分布地表,主要由粘土矿物和粉状氧化锰组成。

3 卤素地球化学特征

3.1 分析方法

岩石和矿石样品全用碱溶,离子选择性电极测试F和Cl,化学法测试I和Br,原子吸收光谱法分析Ag。F和Cl的检测限为 1×10^{-6} ,Ag和Br的为 1×10^{-8} ,I的为 1×10^{-7} 。测试结果抽样在中国科学院广州地球化学研究所进行外检。相对误差一般 $<10\%$,个别样品 $>10\%$ 。

3.2 岩石和矿石的卤素地球化学

分析了48个岩石和矿石样品的Ag、F、Cl和I,8个样品的Br,分析结果见表1。从表1可知:

(1)安山岩是矿区最富卤素的岩石,又是矿化的直接围岩,卤素含量可能对矿床的形成及其卤素地球化学有重大影响。安山岩F、Cl、Br和I的平均含量分别为 611×10^{-6} 、 96×10^{-6} 、 2.46×10^{-6} 和 0.9×10^{-6} ,分别是花岗岩的6.3倍、1.24倍和1.24倍,是石英斑岩的2.4倍、1.0倍和1.3倍,正长斑岩的7.5倍、1.3倍和1.3倍。也高于安山岩的平均丰度,其中I含量是安山岩平均丰度的3倍,F含量是安山岩平均丰度的1.22倍。安山岩同时也是富Ag的岩石,Ag含量是安山岩平均丰度的163倍多。石英斑岩脉和正长斑岩脉也有很高的Ag含量。

(2)岩石或矿石的类型不同,卤素含量也明显不同。如矿区含I最高的地表石英脉型矿石比含I较低的硫化物型矿石高121倍多。最富Cl的地表石英脉型矿石比贫Cl的碳酸锰型矿石高15.6倍。含F最高的深部安山岩比含F最低的正长斑岩高8.9倍。F含量由大到小排序是:深部安山岩>蚀变安山岩>地表

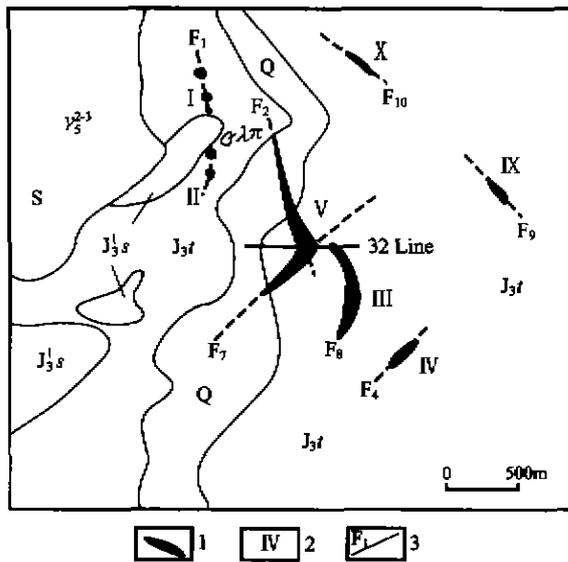


图1 额仁套勒盖银矿区地质图^[9]

Fig. 1 Geological map of the Eren Tolgoi silver district

Q—第四纪; J_3s —上侏罗统上库力组; J_3t —上侏罗统塔木兰沟组; γ_3^2 —花岗岩; $\lambda\pi$ —石英斑岩;
1—矿体;2—矿带及编号;3—断层及编号

表 1 银和卤族元素平均含量(10^{-6})
Table 1 Average contents of silver and halogen elements (10^{-6})

类 型		样品数	Ag	F	Cl	Br	I
银 锰 型	氧化锰型	7	396.29 (193.82 ~ 567.42)	221 (100 ~ 450)	119 (32 ~ 211)	1.82 ^③ (1.7 ~ 1.87)	12.3 (1.8 ~ 39.1)
	碳酸锰型	3	101.48 (57.00 ~ 193.82)	240 (80 ~ 410)	53 (29 ~ 92)	1.87 ^①	8.4 (2.9 ~ 17.7)
石 英 脉 型	地表	5	330.35 (109.62 ~ 474.72)	210 (72 ~ 450)	826 (45 ~ 3580)	1.87 ^①	60.6 (1.3 ~ 342)
	深部	4	98.76 (2.32 ~ 227.53)	420 (230 ~ 590)	68 (37 ~ 128)		1.9 (0.6 ~ 4.5)
土状矿石		2	270.80 (52.83 ~ 488.76)	360 (160 ~ 560)	105 (100 ~ 110)		8.4 (2.9 ~ 17.7)
硫化物型		5	95.66 (46.65 ~ 227.56)	354 (100 ~ 540)	84 (45 ~ 103)		0.5 (0.1 ~ 1.0)
安 山 岩	地表	5	8.81 (3.09 ~ 23.19)	502 (220 ~ 900)	97 (45 ~ 181)	2.46 ^③ (1.6 ~ 3.2)	1.0 (0.0 ~ 2.5)
	深部	5	13.96 (2.32 ~ 35.31)	720 (300 ~ 1350)	95 (55 ~ 155)		0.8 (0.1 ~ 1.7)
	蚀变	6	13.87 (4.12 ~ 46.65)	670 (200 ~ 1200)	91 (35 ~ 181)		0.6 (0.1 ~ 1.0)
花岗岩		2	7.87 (5.16 ~ 10.57)	96 (91 ~ 100)	80 (69 ~ 91)		0.7 (0.0 ~ 0.7)
石英斑岩		2	39.05 (9.03 ~ 69.07)	260 (140 ~ 380)	92 (80 ~ 104)		0.7 (0.4 ~ 1.0)
正长斑岩		2	43.56	81	76		0.0
安山岩的丰度 ^[19]			0.07	500	100	4.5	0.3

注:(1)括号外的为平均含量,括号内的为含量范围,圆圈中的数字是样品数;

(2)由中国科学院地球化学研究所叶先贤和李乙雨分析。

安山岩-深部石英脉型矿石>土状矿石>硫化物型矿石>石英斑岩>碳酸锰型矿石>氧化锰型矿石-地表石英脉型矿石>花岗岩>正长岩。Cl含量排序是:地表石英脉型矿石>氧化锰型矿石>土状矿石>地表安山岩>深部安山岩>石英斑岩>蚀变安山岩>硫化物型矿石>花岗岩>正长斑岩>深部石英脉型矿石>碳酸锰型矿石。I含量排序为:地表石英脉型矿石>氧化锰型矿石>碳酸锰型矿石-土状矿石>深部石英脉型矿石>地表安山岩>深部安山岩>花岗岩-石英斑岩>蚀变安山岩>硫化物型矿石>正长斑岩。

(3)矿石与其围岩安山岩相比,矿石贫F、富I,安山岩贫I,富F,卤素呈现出水平分带现象。矿石的F含量为安山岩的7/10~3/10,I含量却是安山岩的几倍到一百多倍。矿石的Cl含量变化较大。一般情况,出露地表和近地表矿石的Cl含量比安山岩高,深部矿石的Cl含量比安山岩低。在地表不少Ag是以角

银矿形式存在。角银矿的溶解度很小,不易被水带走,形成Cl的次生富集。

(4)出露地表岩石或矿石比深部的岩石或矿石富Cl和I,贫F。如地表石英脉型矿石的Cl平均含量是深部石英脉型矿石的12倍,I含量近32倍,F含量只相当深部石英脉型矿石的50%;再如银锰矿石,氧化锰型的Cl含量为碳酸锰型矿石的2.3倍,I含量为1.5倍,F含量仅为碳酸锰型矿石的92%。表示Cl和I在地表有次生富集,F有丢失。因为①F比Cl、Br和I更具挥发性,出露地表岩石和矿石的F比Cl、Br和I容易挥发掉;②AgF的溶解度远大于AgCl、AgBr和AgI,在地表F随AgF带走而贫化,AgCl、AgBr和AgI残留原地或附近,Cl、Br和I形成次生富集;③F、Cl、Br和I被植物吸收的可能性逐渐增大,所以在表生条件下它们的浓集系数依次增大^[4]。

(5)从额仁套勒盖大型银矿床向西依次为查干

布拉根大型银铅锌矿床, 甲乌拉大型铅锌银矿床, 它们的 F、Cl 和 I 含量由东向西依次减少, F 含量依次为 $274 \times 10^{-6} \rightarrow 181 \times 10^{-6} \rightarrow 97 \times 10^{-6}$, Cl 含量依次为 $230 \times 10^{-6} \rightarrow 99 \times 10^{-6} \rightarrow 74 \times 10^{-6}$, I 含量依次是 $17.0 \times 10^{-6} \rightarrow 2.79 \times 10^{-6} \rightarrow 0.03 \times 10^{-6}$, 表明卤素与 Ag 有密切关系。由额仁套勒盖银矿到查干布拉根银铅锌矿, 再到甲乌拉铅锌银矿岩浆侵入活动加强, 成矿温度升高。卤素是非常活泼并具有很大挥发性的元素, 在高温时容易挥发, 低温时易富集。Ag 是低温元素, 常在低温富集成矿。

3.3 卤族元素与银的关系

卤族元素同族, 不同期。化学行为既相同, 也有明显的区别。因而卤素与 Ag 关系有正相关的, 也有呈负相关的, 但 I 与 Ag, Cl 与 Ag 以正相关为主, F 与 Ag 以负相关为主。如全矿区 I 与 Ag, Cl 与 Ag 均呈正相关 (图 2), 相关系数分别为 0.705 6 和 0.320 6。F 与 Ag 为负相关, 相关系数为 -0.3667 (N=48)。它们的绝对值都大于临界值 ($\alpha_{0.05}=0.288$)^[19]

形成的地球化学环境不同, 元素之间的关系也不同。不同类型的矿石代表不同的形成地球化学环境。不同矿石的卤素与 Ag 的关系也不同。如硫化物矿型 (图 3)、氧化锰型和地表石英脉型矿石等 Ag 与 F 呈负相关关系。地表安山岩、深部安山岩和蚀变安山岩的 Ag 与 F 也呈负相关趋势。碳酸盐型、地表石英脉

型和深部石英脉型 (图 4) 等矿石以及蚀变安山岩 Ag 与 Cl 和 Ag 与 I 都呈正相关。只有深部石英脉型矿石的 I 与 Ag, 氧化锰型矿石的 Cl 与 Ag 为负相关, 碳酸锰型矿石的 F 与 Ag 呈正相关。相关系数的绝对值一般大于 0.6, 最大的相关系数接近 1, 为 0.999 8。从矿体到围岩剖面 (图 5) 上可以明显看出: 在矿体中 Cl 和 I 有高的含量, 向围岩中越来越低, 与 Ag 呈正相关。F 含量是围岩中最高, 向矿体中逐渐减少, 与 Ag 呈负相关关系, 也就是说, F 与 Cl、I 呈负相关, 具水平分带现象。暗示 Ag 可能与卤素一起运移, 在 Ag 沉淀时, Cl 和 I 也在附近沉积。由于 F 比 Cl、I 活泼, 挥发性大, 在 Ag 沉淀后可能会继续向围岩中扩散。

4 卤素在银成矿中的作用

额仁套勒盖独立银矿床产于晚侏罗统塔木兰组火山岩中, 火山岩的 K-Ar 年龄和 Rb-Sr 等时年龄均为 145 Ma^[17]。银矿化形成晚于花岗岩后期的石英斑岩脉, 花岗岩的 Rb-Sr 等时年龄为 120 Ma^[15], 也就是说, 矿床形成时间与火山活动之间有很长间隔。

与矿有关石英包裹体的均一温度为 200~285℃^[15], 其中水的氢氧同位素组成为 $\delta^{18}O_{H_2O} = -18.36\% \sim -1.14\%$, $\delta D_{H_2O} = -110\% \sim -155\%$, 表明成矿热液为加热的下渗大气水^[15-19]。石英包裹体液相成分的阴离子主要是 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 F^- 等。其中 Cl^- 的离子数为 SO_4^{2-} 离子数的 1.37~4.59 倍, (F^-+Cl^-) 离子之和是 SO_4^{2-} 离子数的 2.13~4.90 倍; 离子主要是 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} , 以 Na^+ 离子为主。说明成矿热液为热卤水。硫同位素组成为 $\delta^{34}S = -4.5\% \sim +4.07\%$ ^[18-19], 与安山岩硫化物的硫同位素组成相似。铅同位素组成为 $^{206}Pb/^{204}Pb = 18.19 \sim 18.568$, $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.568 \sim 15.885$, $^{208}Pb/^{204}Pb = 8.359 \sim 38.531$, 与围岩安山岩的铅同位素组成相似, 说明成矿物质主要来源于安山岩。

卤素是非常活泼的非金属元素, 极易与 Ag 化合, 形成易溶于水的化合物或配合物, 且有很大的溶解度和宽的稳定区间^[20-21]。如 AgF 的溶解度比 Ag_2O , Ag_2S , $AgSNC$, $AgNC$ 和 Ag_2SO_4 的溶解度高 7~3 个数量级, 对银的活化、溶解、运移非常有利。当大气降水下渗通过矿区大面积分布的安山岩时, 产生水-岩反应, 从其中汲取了卤素和银等。随着大气降水的下渗, 温度不断上升, 汲取的卤素和银越来越多, 最后成为富含银和卤素的含矿热液 (即热卤水)。当温度 $>350^\circ C$ 时, H_2S 以未离解的中性气体分子存在, 不

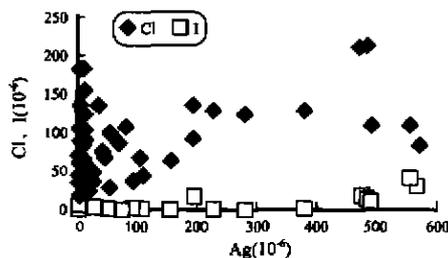


图 2 额仁套勒盖银矿床的 Ag-Cl、Ag-I 图
Fig. 2 Ag-Cl and Ag-I diagram of the Eren Tolgoi silver deposit

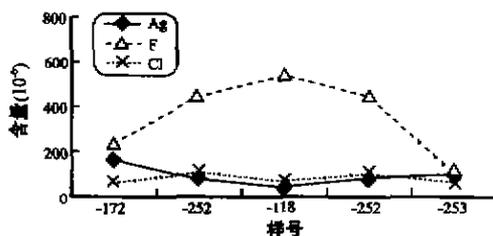


图 3 硫化物型矿石中 Ag、F、Cl 含量曲线
Fig. 3 Curves of Ag, F and Cl contents in sulfide type ores

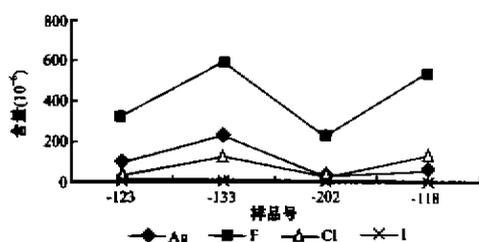


图4 深部石英脉型矿石的Ag、F、Cl和I含量变化曲线

Fig. 4 Curves of Ag, F, Cl and I contents in deep-seated quartz vein type ores

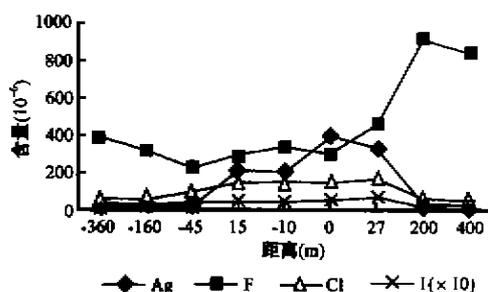


图5 地表32线岩矿石Ag、F、Cl和I含量变化曲线

Fig. 5 Curves of Ag, F, Cl and I contents in rocks and ores along line 32 on the surface

参加化学反应。成矿开始的温度高达385℃以上,S没参加反应,银应以卤化合物或卤化配合物(如 AgF 、 Ag_2SiF_6 、 $\text{AgCl}_n^{(n-1)}$ 等)形式迁移。当含矿热液不断上升,温度下降到一定时, H_2S 开始溶于水,银的卤化物或卤化配合物产生分解,S与Ag结合,形成银的硫化物沉淀。矿液继续上升,矿液中的S越来越少,形成环境也由还原环境向氧化环境过渡,出现硫盐沉淀。当矿溶液上升到地表或接近地表时,形成环境已变为氧化环境,残留的S已变为 S^{4+} 。而 Ag_2SO_4 溶解度远远大于 AgCl 、 AgBr 和 AgI ,而以 AgCl 、 AgBr 和 AgI 形式出现。

石英斑岩脉和正长斑岩脉虽有高的Ag含量,由于石英斑岩脉和正长斑岩脉规模小,数量不多,从中淋滤出Ag的量不会大,对额仁套勒盖银矿床的形成会有一定贡献,但不会很大。

5 结 论

(1)安山岩是矿区含Ag、F和I最高的岩石,而且也高于安山岩含Ag、F和I的丰度。高卤素含量对Ag的活化、溶解和运移,沉淀富集成矿可能起到极其重要作用。

(2)银矿物具有明显的垂直和水平分带现象,卤素也有清楚的分带现象。通常地表和近地表富Cl和I,深处富F;矿体富Cl和I,蚀变围岩富F,表明F有较大的扩散晕,可作为找矿标志,因为F的活泼性和挥发性都比Cl和I大,表现出:①出露地表岩、矿石的F容易丢失,②扩散距离比Cl和I大。

(3)矿石的类型不同,卤素含量也明显不同。一般情况下由大到小有如下排序:F序是深部石英脉型矿石>土状矿石>硫化物矿石>碳酸锰型矿石>氧化锰型矿石>地表石英脉型矿石;Cl序是地表石英脉型矿石>氧化锰型矿石>土状矿石>硫化物型矿石>深部石英脉型矿石>碳酸锰型矿石;I序为地表石英脉型矿石>氧化锰型矿石>碳酸锰型矿石-土状矿石>深部石英脉型矿石>硫化物型矿石。矿石类型不同反映其形成的地球化学环境也不同,元素的地球化学行为当然也有差异。

(4)卤素同族,不同期,化学性质既相似,又有明显区别。Ag与I或与Cl通常为正相关关系,Ag与F多为负相关关系,相关系数的绝对值通常>0.7。

(5)与矿有关的石英包裹体测温 and 氢氧同位素组成显示成矿热液为下渗的加热大气降水。包裹成分表明成矿热液为热卤水,成矿物质主要来自围岩安山岩,少量来自石英斑岩、正长斑岩和花岗岩。在大气降水下渗过程中从围岩汲取了Ag和卤素,并以卤化物或卤的配合物形式运移。在上升过程中,随地球化学环境由还原环境向氧化环境过渡,出现了硫化物+碳酸锰→硫盐→银的卤化物和锰的氧化物沉淀的分带现象。

参考文献:

- [1] 涂光焯.关于 CO_2 若干问题的讨论[J],地学前缘,1996,3:53-62.
- [2] 胡瑞忠,李朝阳,倪师军,等.华南花岗岩型铀矿床 ΣCO_2 来源研究[J],中国科学(B辑),1993,2:189-196.
- [3] Lavery N G. The use of fluorine as pathfinder for volcanic-hosted massive sulfide ore deposits[J]Journal of geochemical exploration 1985,23:35-60.
- [4] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等.元素地球化学[M].北京:科学出版社,1984.470-502.
- [5] Carten R B, Geraghty E P, Walker B M. Cyclic development of igneous feature and their relationship to high-temperature hydrothermal features in Henderson porphyry molybdenum deposit, Colorado[J]. Eco.Geol., 1988,83:266-296.
- [6] Boudreau A E. Chlorine as exploration guide for the platinum-group elements in layered intrusion[J]. Journal of geochemical

- exploration, 1993, 48: 21~37.
- [7] Vanko D A. High chlorine amphiboles from ocean rocks, product of highly saline hydrothermal fluids[J]. *American mineralogist*, 1986, 71: 51~59.
- [8] 张忠, 张宝贵, 陈晔虞, 等. 卤素和硼-金锑砷汞矿床的指示元素[J]. *矿物学报*, 1995, 15: 192~198.
- [9] 张兴茂, 张宝贵, 张忠, 等. 南华砷铌矿床卤素与铌成矿关系[A]. 见: 李朝阳, 张忠 主编. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室年报[C]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1994. 83~89.
- [10] Bottomley D J and Veizer J et al. The nature of ground-water flow in fractural rock: evidence from the isotopic and chemical evolution of recrystallization[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1992, 56: 369~388.
- [11] Bottomley D J, Gregoire D C, Raven K G, et al. Saline groundwater and brine in the Canton Shield, geochemical and isotopic evidence for a residual evaporite component[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1994, 58: 1483~1498.
- [12] Symonds R B, Rose W I and Reed M H, et al. Volatilization, transport and sublimation of metallic and non-metallic elements in high temperature gases at Merapi volcano, Indonesia[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1987, 51: 2083~2101.
- [13] Rober B S, Mark H R and William I R. Origin speciation, and fluxes of trace-element gases at Augustine volcano, Alaska: Insights into magma degassing and fumarolic processes[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1992, 56: 633~657.
- [14] Magenheimer A J, Spivack A J, Volpo C, et al. Precise determination of stable chlorine isotopic ratios in low concentration natural sample[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1994, 58: 3119~3121.
- [15] 李鹤年, 段国正, 郝立波, 等. 中国大兴安岭银矿床[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1994. 162~179.
- [16] 张家斌, 李文范. 地学基本数据手册[M]. 北京: 海洋出版社, 1986. 528~538.
- [17] 田世良, 金力夫, 双宝. 额尔古纳成矿带脉状银(铅锌)矿床与塔木兰沟组火山岩的成矿关系[J]. *有色金属矿产与勘查*, 1995, 4(6): 334~340.
- [18] 涂光炽, 等. 低温地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 28~52.
- [19] 陈祥. 内蒙古额仁套勒盖银矿床地质地球化学特征及成因探讨[J]. *地质找矿论丛*, 1996, 11: 65~75.
- [20] 郝玉妹. 贵州金矿床中控制金成色的因素[J]. *中国科学(B)*, 1995, 34(4): 412~437.
- [21] 别列利曼 B. H. 著. 顾振军, 吴国沛译. 简明化工手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1957.

The role of halogen in silver mineralization: A case study of the large Eren Tolgoi silver deposit

LIU Tie-geng¹, YE Lin¹, LI Yi-yu¹, ZENG Ming-guo²

(1. Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China;

2. Institute of Geology, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550001, Guizhou, China)

Abstract: Study of halogen and silver in the Eren Tolgoi silver deposit indicates that halogen shows lateral and vertical zoning. Ores on and near the surface are rich in I and Cl, while deep-seated ones rich in F; the orebody is rich in I and Cl, while the country rocks adjacent to ores are rich in F. There are close relationships between halogen and silver. But the relationship between silver and halogen differs with different ores type. F and Ag generally show a negative correlation, while Cl and Ag, I and Ag show a positive correlation. This indicates that halogen plays a very important role in activation, dissolution, long transport, precipitation and concentration of silver.

Key words: silver deposit; halogen; mineralization; correlation