

贵州银厂坡银矿床蚀变过程中组分迁移特征

胡耀国 李朝阳 温汉捷

(中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 550002)

摘要: 银厂坡银矿床碳酸盐蚀变作用与银的矿化富集在空间上紧密相伴, 这种蚀变作用导致矿石与围岩中组分有明显差异。本文通过定量计算阐明组分之间的迁移方向, 计算表明在银的原生富集过程中, 常量组分的带入与带出最不明显, 而微量组分 Ag 和 Cu、Pb、Zn、As、Sb、Cd、Ga、Ge 带入围岩明显。在银的次生富集过程表现为 Ag 和 Cu、Pb、Cd、Ga、Ge、REE、Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、MnO、K₂O、P₂O₅ 的强烈带入, 以 Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O、P₂O₅ 带入强度最大, 这是由于 CaO、MgO 被淋滤, 体积亏损造成强烈带入的假象, 而 As、Sb、Zn、V、Cr、Co、Ni、CaO、MgO 为自围岩中带出组分, 以 CaO、MgO 带出强度最大。REE 除原生富集的弱蚀变白云岩→矿化白云岩表现为带出外, 其余原生富集过程均表现为带入围岩。造成组分发生迁移的主要因素除各组分自身的地球化学性质的差异外, 水岩反应的物化条件也是造成银的不同富集阶段中不同组分发生不同程度迁移的一个重要因素。

关键词: 银富集 组分迁移 定量计算 银厂坡

中图分类号: P594 P618.52

文献标识码: A

文章编号: 1000-4734(2000)04-0371-07

作者简介: 胡耀国, 男, 1971年生, 博士生, 矿床地球化学专业

银厂坡银矿床是近年来贵州发现的最大的独立银矿床, 银储量达 600t。该矿床为产在石炭系摆佐组碳酸盐岩中。矿床围岩蚀变作用简单, 主要为碳酸盐化、白云石化和方解石化, 微弱的硅化及黄铁矿化。蚀变作用导致围岩、蚀变岩及矿石化学成分有较大差异, 银的富集与碳酸岩化蚀变作用关系十分密切。本文通过定量计算研究银富集的两条途径(原生富集与次生富集)中各组分迁移特征。

1 地质概况

银厂坡银多金属矿床位于扬子地台西南缘, 是以 Ag 为主要组分, Pb、Zn 为次要组分的独立银矿床。矿区主要发育一套较厚的古生代碳酸盐沉积岩系中, 碳酸盐化是区内最主要蚀变作用。矿体主要定位于下石炭系摆佐组白云岩与中石炭系黄龙组灰岩接触带上。主要金属硫化矿物为方铅矿、闪锌矿及少量的黄铁矿, 银矿物有螺硫银矿、银黝铜矿、硫锑铜银矿、角银矿、银铁矾^[1]。蚀变带沿南北向的断裂分布。区内岩浆侵入活动不明显, 晚二叠世发育有较厚的峨眉山玄武岩。

2 围岩蚀变与银富集

2.1 围岩蚀变

围岩蚀变作用主要有碳酸盐化和弱的硅化, 以碳酸盐化为主。碳酸盐化主要表现为白云石化、方解石化、菱铁矿化和菱锰矿化, 伴随方铅矿化、黄铁矿化等硫化作用。碳酸盐化与银的成矿关系密切, 按蚀变强度、阶段和空间关系将蚀变岩划分为五类: 未蚀变白云岩、弱蚀变白云岩、强蚀变白云岩、矿化白云岩以及与强蚀变白云岩有关的次生富集银矿石。其中未蚀变白云岩、弱蚀变白云岩属贫硫化物阶段产物, 而强蚀变白云岩及矿化白云岩则为富硫化物阶段产物。次生富集型银矿石则是氧化富集阶段晚期的产物。各种蚀变岩平均化学组成见表 1。其宏观地质特征如下。

未蚀变白云岩: 是摆佐组的主要岩石类型。岩石呈灰白色, 块状, 距矿体较远, 常为粗晶白云岩, 未见硫化物及褐铁矿分布, 自形晶的白云石呈明显的菱面体, 等粒状分布, Ag 的含量为 1.83×10^{-6} 。

弱蚀变白云岩: 为矿区分布最为广泛的蚀变岩, 主要表现为灰白色白云岩蚀变成米黄色白云岩, 少量的方解石和白云石团块分布于其中。未见黄铁矿

等硫化物的分布。Ag 的品位为 64.252×10^{-6} 。

表 1 银厂坡银矿床不同类型的原岩、蚀变岩平均化学组成表

Table 1. The average chemical composition of different altered rocks and original rocks in the Yinchangpo silver deposit

岩石类型	未蚀变白云岩	弱蚀变白云岩	矿化白云岩	强蚀变白云岩	残余富集矿石	岩石类型	未蚀变白云岩	弱蚀变白云岩	矿化白云岩	强蚀变白云岩	残余富集矿石
样品数	8	9	8	5	10	样品数	8	9	8	5	10
SiO ₂	4.55	3.74	4.84	4.38	6.36	Ni	11.21	9.03	3.85	15.95	12.87
TiO ₂	0.06	0.02	0.02	0.03	0.05	Rb	0.07	0.09	0.12	0.72	10.06
Al ₂ O ₃	0.09	0.14	0.09	0.11	1.43	Sr	45.66	50.65	37.82	50.85	25.46
Fe ₂ O ₃	0.51	1.02	0.83	0.79	37.77	Ba	9.72	23.65	22.21	57.17	13.61
FeO	0.09	0.08	0.07	0.08	0.46	U	0.14	0.61	0.44	1.53	6.99
MnO	0.04	0.08	0.05	0.06	0.06	W	1.05	0.61	0.08	0.14	0.37
MgO	17.30	15.40	12.40	15.03	0.70	Mo	0.31	0.39	0.26	1.53	9.25
CaO	28.60	28.70	21.90	26.40	1.53	Y	1.53	0.89	0.50	9.91	30.02
Na ₂ O	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	La	0.47	0.21	0.14	5.08	69.56
K ₂ O	0.03	0.02	0.01	0.02	0.55	Ce	0.81	0.30	0.19	8.69	145.43
P ₂ O ₅	0.06	0.03	0.04	0.04	1.01	Pr	0.14	0.05	0.03	2.16	32.15
CO ₂	40.76	30.95	25.67	32.46	29.78	Nd	0.60	0.28	0.15	9.72	144.15
挥发分	7.3	19.5	3.8	1.2	0.2	Sm	0.14	0.06	0.04	2.47	30.71
Pb	25	750	32.5%	16.4%	15.4%	Eu	0.03	0.02	0.01	0.36	4.43
Cu	1.6	149	4 050	175	4.3%	Gd	0.13	0.07	0.04	2.00	20.62
Zn	366.90	946.6	521.53	860.35	0.28%	Tb	0.02	0.01	0.01	0.28	2.07
Ag	1.83	64.25	160.31	4.35	324.80	Dy	0.15	0.08	0.04	1.18	6.29
As	10.12	110.36	2 000.62	340.34	10.37	Ho	0.03	0.02	0.01	0.17	0.67
Sb	15.56	160.47	190.41	160.27	30.31	Er	0.10	0.07	0.03	0.44	1.39
Cd	0.6	3.56	3.30	5.07	14.75	Tm	0.01	0.02	0.01	0.05	0.11
V	1.02	0.59	0.28	5.45	43.23	Yb	0.10	0.05	0.02	0.22	0.52
Cr	20.86	16.92	6.18	32.99	39.31	Lu	0.02	0.01	0.01	0.04	0.09
Ga	0.04	0.09	0.11	0.55	4.79	LREE	2.18	0.93	0.56	28.48	426.43
Ge	0.33	0.23	0.21	0.46	2.21	HREE	0.56	0.32	0.15	3.8	31.76
Co	0.88	0.35	0.17	1.35	1.65	合计	99.43	99.7	98.9	99.6	99.6

注:单位 SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、MnO、MgO、CaO、Na₂O、K₂O、P₂O₅、CO₂、挥发分、合计为%,其余除专门标志外均为 $\times 10^{-6}$ 。造岩氧化物及 Cu、Pb、Zn 由中国科学院地球化学研究所李荪蓉分析(化学定量分析法),微量元素由中国科学院地球化学研究所漆亮分析(ICP-MS法)

强蚀变白云岩:呈肉红色,夹少量的团块状方解石、白云石、浸染状方铅矿及黄铁矿等硫化物,银矿化不明显,银的平均品位 4.349×10^{-6} 。

矿化白云岩:呈褐黄色,并夹许多团块状的方解石和白云石,与块状方铅矿共生,出现明显的银矿化及较弱的黄铁矿化,Ag 的平均品位为 160.31×10^{-6} 。

残余富集型矿石:为蚀变期后的产物,主要表现为出现大量的次生氧化矿物,如孔雀石、褐铁矿、铅矾等,尤其以褐铁矿和孔雀石的发育明显区别于前述几类蚀变岩,无硫化物矿物,银含量变化范围较小,平均品位为 324.754×10^{-6} 。

空间上,这几类蚀变岩的分布也有一定规律性,通常矿化白云岩在蚀变体的中心部位,向两侧渐为强蚀变白云岩、弱蚀变白云岩,再远离蚀变体中心为未蚀变白云岩,基本呈对称分布。而残余富集型矿石则常位于强蚀变白云岩附近。

2.2 银的富集途径及各种蚀变岩化学组成特征

本矿区银的富集主要有两条途径:原生富集和次生富集。原生富集过程在矿区表现为未蚀变白云岩→弱蚀变白云岩、未蚀变白云岩→强蚀变白云岩、弱蚀变白云岩→银矿化白云岩的转化,银的次生富集过程为强蚀变白云岩→残余富集型银矿石的转化。其中原生富集是形成银矿床的主要因素,本矿区约 78% 的银矿石为原生富集形成,而次生富集形成的银矿石仅占 1%。

各蚀变岩(矿)石组分含量有明显的差异(表 1),在整个原生富集阶段,即从未蚀变白云岩→弱蚀变白云岩→矿化白云岩及由未蚀变白云岩→强蚀变白云岩,Ag、Cu、Pb、As、Sb、V、Cr、Ga、Rb 均呈明显增加的趋势,而呈明显减少趋势的组分有 Co、Ni、V、W、Y、REE、MgO、CO₂。次生富集阶段,强蚀变白云岩转化为次生富集型矿石,多数组分的含量呈富集的趋势,尤其以 Fe₂O₃ 的增加最为明显。仅 As、Sb、Ba、Sr、Ni、CaO、MgO 为减少的趋势,CaO、

MgO 减少的最为明显。

银的两条富集途径中 REE 的含量也有一定的差异。原生富集过程中自未蚀变白云岩→弱蚀变白云岩→强蚀变白云岩,REE 含量明显减少,而矿化白云岩的 REE 含量在弱蚀变白云岩和未蚀变白云岩含量范围内上下波动;次生富集过程中自矿化白云岩转化为残余富集型矿石 REE 明显富集。

从 REE 的球粒陨石标准化配分模式来看(图 1),原岩、各蚀变岩的配分形式相似,都为较为平坦,略向右倾, Eu 呈负异常的特点,不同蚀变岩应有共同的源岩。

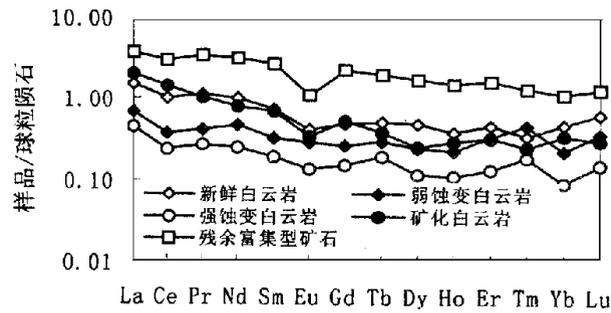


图 1 不同蚀变岩石与矿石稀土配分图

Fig. 1. REE patterns in various altered rocks and ores.

3 组分质量迁移计算

质量平衡方程是一种较有效的定量计算蚀变过程中组分迁移特征的方法。基本原理为确定地质过程中最不活动的组分为惰性组分,并以其为数学不变量来衡量其他组分的迁移特征。最早以 Gresens 方程^[2]为代表,主要以元素氧化物的含量与岩石比重为基本变量估计组分在蚀变过程中质量与体积的变化,并以总质量为 100g 来计算;Grant^[3]发展了 Gresens 方程,提出了以图解法确定最佳惰性组分,以惰性组分为参考点,得出方程 $C_i C_i^0 = C_i^a k C_i^0 - 1$ (C_i^a 和 C_i^0 分别代表组分 i 在原岩与蚀变岩中的浓度, k 值为各惰性组分在 $C_i^a - C_i^0$ 图上多元回归直线的斜率),若 $\Delta C_i C_i^0$ 大于 0,则表明该组分为带入,若该值小于 0,则为带出;王祖伟、周永章等^[4]提出用组分 i 的质量系数 $fm(i)$ 与惰性组分 $fm(\text{惰性组分})$ 质量系数之比 R_i 来度量物质的迁移程度与方向。邓海琳^[5]则提出用质量平衡方程 $C_i^0 - C_i^a = \mu C_i^a - \Delta C_i$, $(C_i^0 - C_i^a) / C_i^0 = \mu C_i^a / C_i^0 - \mu_i$ 来计算物质质量迁移,并强调了系统的体积、密度、孔隙度和质量变化的整体性。不管上述何种方法,都必须选定一定的惰性组分作为数学不变量,以确定其它组

分的迁移特征。

3.1 最佳惰性组分的确定

不活动组分的确定方法较多。有的研究者采用组分间的相关系数大小来确定其不活动性程度^[6],缺点是当两个元素为协变元素时容易被误认为是惰性组分,为此,至少要确定两种以上惰性组分的相关系数,才能确定出最佳惰性组分点;另外一些研究者^[6,7]采用 Grant 方程,定义各种组分 i 在蚀变岩中的浓度为 C_i^a ,组分 i 在原岩中的浓度为 C_i^0 ,作出 C_i^a 和 C_i^0 二元图解,通过原点和斜率为 1 的直线上的组分点确定最佳惰性组分点,本文即采用该方法进行确定。

由于矿区内多数微量元素含量较低,利用微量元素的 C_i^a 和 C_i^0 图解判断出的最佳惰性元素与测量误差有一定关系。本文选择主量组分中最不活动组分来计算,作出各组分的 $C_i^a - C_i^0$ 图(图 3),得出最佳惰性组分为 Al_2O_3 和 TiO_2 。由于 TiO_2 作为不活动组分的普遍意义^[7-10],本文确定 TiO_2 为最佳惰性组分。

3.2 质量迁移的计算

本文的计算采用质量系数法^[4],组分 i 的质量系数为 $fm(i)$, $fm(i) = C_i^a / C_i^0$,代表组分 i 在蚀变岩中的浓度 C_i^a 与原岩中的浓度 C_i^0 之比值;定义 $fm(a)$ 为最佳惰性组分 a 的质量系数,代表惰性组分 a 在蚀变岩中与原岩中的含量之比值。前已确定 TiO_2 为最佳惰性组分,求得未蚀变白云岩→弱蚀变白云岩、未蚀变白云岩→强蚀变白云岩、弱蚀变白云岩→矿化白云岩、强蚀变白云岩→残余富集矿石 TiO_2 质量系数 $fm(TiO_2)$ 分别为 0.333, 0.55, 1.00, 1.42。

由于各组分间迁移程度的差异较大,本文采用惰性组分 TiO_2 进行对数标准化, $lgR(i) = \lg \{ (fm(i) / fm(TiO_2)) \}$,则当 $lgR(i) > 0$ 时代表组分 x 带入,而当 $lgR(i) < 0$ 时则代表组分 x 的带出。从 TiO_2 的对数标准化值 $lgR(i)$ 可以确定组分迁移的绝对迁移量。计算结果见表 2。

4 计算结果及讨论

4.1 主量组分

本文主量组分指的是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 CaO 、 MgO 、 MnO 、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O_5 、 CO_2 共九个组分,不包括已确定的不活动组分 TiO_2 。质量平衡计算表明,在原生富集过程中,在未蚀变白云岩→弱

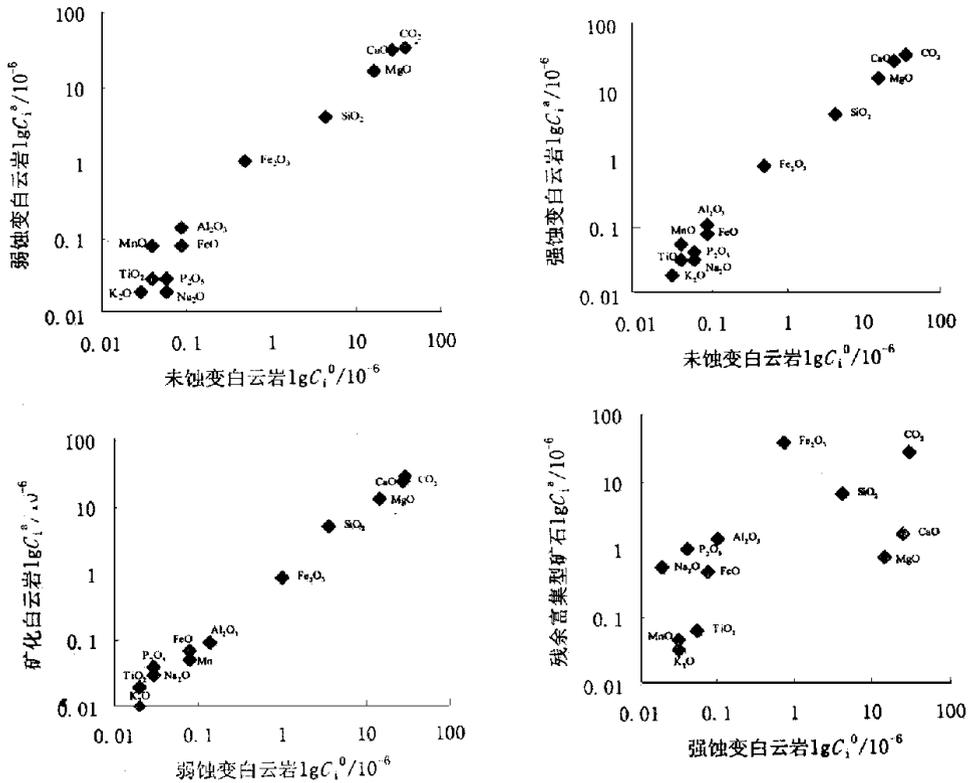


图2 银厂坡银矿床未蚀变与蚀变白云岩常量组分的 Grant 图解

Fig.2. The grant diagram of major components in fresh and altered dolomite in the Yinchangpo silver deposit.

表2 银厂坡银矿床蚀变与矿化过程中 lgR (i) 值

Table 2. The lgR (i) values in the process of alteration and mineralization from the Yinchangpo silver deposit

岩石类型	未蚀变-弱蚀变白云岩	弱蚀变-矿化白云岩	未蚀变-强蚀变白云岩	强蚀变-残余富集矿石	岩石类型	未蚀变-弱蚀变白云岩	弱蚀变-矿化白云岩	未蚀变-强蚀变白云岩	强蚀变-残余富集矿石
SiO ₂	0.392	0.112	0.243	0.270	Ni	0.384	-0.371	0.413	0.015
TiO ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	Rb	0.563	0.125	1.245	1.256
Al ₂ O ₃	0.669	-0.192	0.333	1.234	Sr	0.523	-0.127	0.306	-0.193
Fe ₂ O ₃	0.779	-0.090	0.448	1.789	Ba	0.864	-0.027	1.029	-0.515
FeO	0.426	-0.058	0.208	0.868	U	1.121	-0.145	1.302	0.767
MnO	0.779	-0.204	0.411	0.156	W	0.243	-0.911	-0.631	0.546
MgO	0.427	-0.094	0.199	-1.224	Mo	0.586	-0.176	0.958	0.890
CaO	0.479	-0.117	0.225	-1.128	Y	0.241	-0.254	1.070	0.589
Na ₂ O	0.353	0.000	0.180	0.108	La	0.131	-0.188	1.294	1.244
K ₂ O	0.301	-0.301	0.084	1.547	Ce	0.053	-0.203	1.293	1.332
P ₂ O ₅	0.177	0.125	0.118	1.475	Pr	0.046	-0.180	1.464	1.280
CO ₂	0.358	-0.081	0.161	0.070	Nd	0.147	-0.270	1.469	1.279
Cu	2.446	1.434	2.299	2.589	Sm	0.122	-0.231	1.497	1.202
Pb	1.954	2.637	4.077	0.255	Eu	0.323	-0.322	1.333	1.204
Zn	0.889	-0.259	.630	0.624	Gd	0.210	-0.241	1.461	1.120
Ag	2.023	0.397	0.636	1.981	Tb	0.243	-0.192	1.333	0.971
As	1.519	1.260	1.791	-1.424	Dy	0.188	-0.329	1.144	0.835
Sb	1.505	0.075	1.288	-0.619	Ho	0.250	-0.301	1.060	0.701
Cd	1.470	-0.032	1.406	0.572	Er	0.345	-0.398	0.923	0.611
V	0.241	-0.320	0.987	1.007	Tm	0.612	-0.398	0.890	0.472
Cr	0.387	-0.438	0.459	0.184	Yb	0.154	-0.393	0.599	0.490
Ga	0.813	0.070	1.375	1.050	Lu	0.235	-0.380	0.536	0.462
Ge	0.311	-0.044	0.400	0.789	LREE	0.107	-0.221	1.375	1.283
Co	0.084	0.326	0.447	0.197	HREE	0.238	-0.328	1.155	0.968

蚀变白云岩过程中以及从未蚀变→强蚀变白云岩过程中均表现为主要组分的带入,以 Fe₂O₃、MnO 带入较强为特征(图 3),宏观上以出现褐铁矿和菱锰

矿为特征,而自弱蚀变向矿化白云岩演化过程则表现除 SiO₂、P₂O₅ 和 CO₂ 为稍有带入以外,其余均表现为带出,但带入量不是很大。

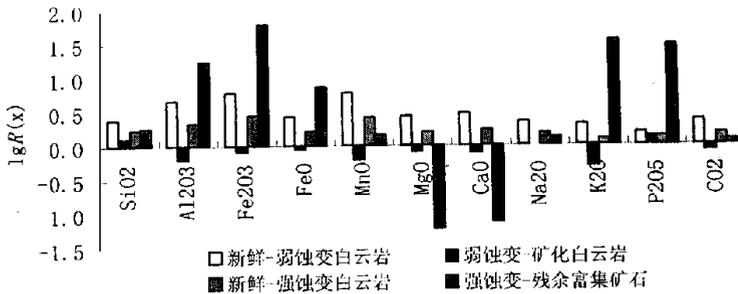


图 3 银厂坡常量组分迁移特征图

Fig. 3. The characteristics of migration of major components in the Yinchangpo silver deposit.

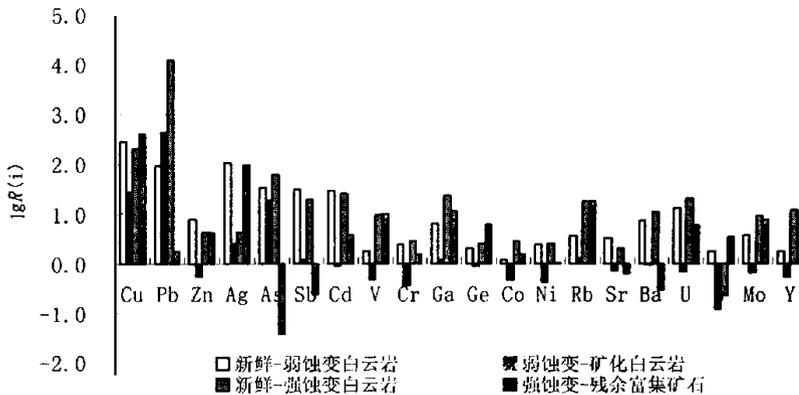


图 4 银厂坡银矿床微量元素迁移特征图

Fig. 4. The characteristics of migration of trace elements in the Yinchangpo silver deposit.

次生富集过程即从强蚀变白云岩→残余富集型矿石过程,主要组分 Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、MnO、K₂O、P₂O₅ 表现为带入,其中 Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O、P₂O₅ 带入幅度最大。这种带入并非真正带入围岩,而是 CaO、MgO 被淋滤,体积亏损,造成带入假象;而 CaO、MgO 则为强烈带出组分,这与区内的去碳酸盐化作用有关。

4.2 微量元素

原生富集:由未蚀变→弱蚀变白云岩过程带入强度较大的几个元素为亲硫元素 Cu、Pb、Ag、As、Sb、Cd、Zn、造岩元素 Ba 及放射性元素 U(图 4);未蚀变→强蚀变白云岩过程中带入强度较大的几个元素为亲硫元素 Pb、Cu、As、Cd、Sb、Ga、Zn 和造岩元素 Rb、Ba 及放射性元素 U,而 W 表现为带出;弱蚀

变白云岩→矿化白云岩过程中,元素的迁移表现为亲硫元素 Zn 和铁族元素 V、Cr、Co、Ni 和造岩元素 Sr、Ba 和高温成矿元素 W、Mo、Y 及放射性元素 U 的带出。次生富集:即从强蚀变白云岩→次生富集型矿石过程中,明显带入的元素有亲硫元素 Cu、Ag、Ga、Ge、Cd、Zn 和 U、Rb、Mo、V、Y 等一些微量元素,而带出的元素有 Ba 与 As、Sb。

4.3 稀土元素

原生富集:从图 5 可以看出,从未蚀变白云岩→弱蚀变白云岩过程中,稀土元素均表现为带入,但带入量不大,呈现不很明显的活动性;从未蚀变白云岩→强蚀变白云岩的蚀变过程中,稀土元素则表现为强烈的带入;从弱蚀变白云岩→矿化白云岩的蚀变过程中,REE 则表现为明显的带出趋势。

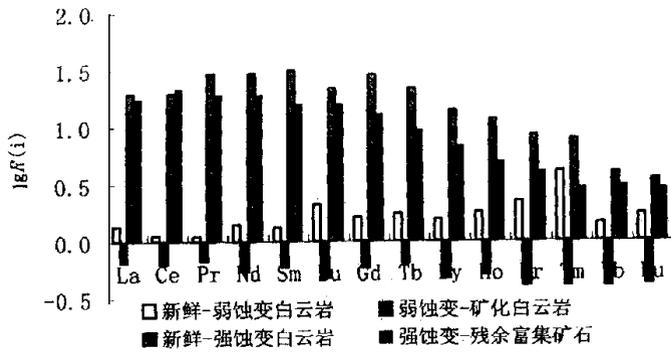


图5 稀土元素在蚀变与矿化过程中迁移特征

Fig. 5. The features of REE's migration in the processes of alteration and mineralization.

次生富集 强蚀变向残余富集型矿石的演化过程中,所有稀土元素明显呈带入的趋势,其带入强度与原生蚀变过程中自未蚀变白云岩→强烈蚀变白云岩过程相类似。从图5还可以看出,所有稀土元素的带入与带出具有协变性,不同稀土元素之间迁移程度的差异不明显。

4.4 银的富集与其它组分的不平衡迁移

由上述各组分的迁移特征可以看出,原生富集与次生富集过程中,各组分的带入与带出具有明显的不平衡性。造成各组分在银的原生富集过程及其次生富集过程中不平衡迁移的原因是什么呢?除了各组分自身的地球化学性质不同以外,与成矿流体的性质、成矿流体的演化、围岩的性质、水岩反应的物化条件不无关系。

原生富集阶段主要出现的矿物组合为硫化物矿物——方铅矿、闪锌矿和黄铁矿以及少量的黄铜矿,显然,这种组合暗示为还原环境。

由于成矿流体作用于围岩而使原岩的质量发生净增加,加上围岩疏松多孔的特征,很容易与成矿流体发生反应。测得未蚀变白云岩、弱蚀变白云岩及矿化白云岩的密度分别为2.623, 2.797, 3.0,可以看出,密度逐渐递增。显然原生富集过程由于多数组分的带入,主量组分又无明显的带出,造成蚀变岩

与原本疏松多孔的未蚀变白云岩相比明显致密,与计算所得的结论——即从未蚀变白云岩→弱蚀变白云岩、未蚀变白云岩→强蚀变白云岩、弱蚀变白云岩→矿化白云岩过程中多数组分带入围岩的结论相吻合。

稀土元素的迁移在弱蚀变白云岩→矿化白云岩过程中为明显的带出,此阶段与银矿化有密切关系。而其余各阶段,即从未蚀变白云岩→弱蚀变白云岩、未蚀变白云岩→强蚀变白云岩,REE都表现为明显的带入。显然稀土元素的迁出与银的强烈矿化关系密切。

次生富集过程,即成矿的晚期,环境由还原向氧化转变,主要体现在大量次生氧化矿物的出现,此阶段表现为Zn、V、Cr、Co、Ni、Zn、As、Sb、REE为明显带出, CaO、MgO被强烈带出,其它组分均表现为大量带入围岩。

5 结 论

(1) 银厂坡银矿床银的富集至少经历了银的原生富集和银的次生富集两个阶段,两者都与碳酸盐化有较为密切的关系,其中前者是银矿床形成的重要机制。

(2) 原生富集过程中表现为明显从外来成矿流体带入围岩中的元素有Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Cd、Ga、Ge,其中以Ag和Pb带入量最大,主量元素的带入与带出均不明显。而在次生富集阶段,早期形成的强蚀变岩中的微量元素和稀土元素均呈带入假象,仅As、Sb、V、Cr、Co、Ni、Zn被带出。

(3) REE除从弱蚀变白云岩→矿化白云岩过程由围岩中带出以外,在整个蚀变过程的其他阶段均表现为带入的趋势。

(4) 从银的原生富集与次生富集过程中可以看出,两个过程中所经历的物化条件不一样,原生富集为还原的环境下,成矿流体作用于围岩,使银发生富集。而银的次生富集则是在氧化条件下流体与围岩相互作用的结果。

参 考 文 献

[1] 胡耀国,李朝阳,廖震文,周琦. 贵州银厂坡银矿床银矿物特征及其赋存状态. 矿物学报, 2000, 20(2): 150~159.

[2] Gresens R L. Copsition-Volume relation relationships of metasomatism [J]. *Econ. Geol.*, 1967, 2: 47~55.

[3] Grant J A. The isocorn diagram a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration [J]. *Econ. Geol.*, 1985, 81: 1976~1982.

- [4] 王祖伟, 周永章, 张海华, 等. 粤西廉江银金矿床热液围岩蚀变特征及元素迁移的定量估算 [J]. 地球化学, 1998, 27 (6): 252~256.
- [5] 邓海琳, 涂光炽, 李朝阳. 地球化学开放系统的质量平衡: 1. 理论 [J]. 矿物学报, 1999, 19 (2): 121~131.
- [6] Maclean W H and Kranidiotis P. Immobile Elements as Monitors of Mass Transfer in Hydrothermal Alteration: Phelps Dodge Massive Sulfide Deposit, Matagami, Quebec [J]. *Econ. Geol.*, 1987, 82: 951~962.
- [7] 黄智龙, 肖化云, 朱丹, 等. 云南镇源金矿煌斑岩矿化过程中元素活动规律 [J]. 矿物学报, 1998, 18 (6): 336~343.
- [8] Maclean W H. Mass change calculations in altered rock series [J]. *Mineral Deposita*, 1990, 25: 44~49.
- [9] 周永章, 涂光炽, Chown E H. 热液围岩蚀变过程中数学不变量的寻找及元素迁移的定量估计 [J]. 科学通报, 1994, 39 (11): 1026~1028.
- [10] 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. 1~335.

CHARACTERISTICS OF COMPONENT MIGRATION IN THE PROCESS OF SILVER ENRICHMENT IN YINCHANGPO SILVER DEPOSIT, GUIZHOU, CHINA

Hu Yaoguo Li Chaoyang Wen Hanjie

(*Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002*)

Abstract: The Yinchangpo silver deposit experienced strong carbonatization, which has close relationship with the enrichment of silver. In this paper, we determined TiO_2 as the most immobile component. Calculation of mass balance shows that in the process of original enrichment of silver, the migration of major components is not very strong. However, Cu, Pb, Ga, Zn, Ge, As, Sb, Ag and Cd were brought into the host rocks distinctly; in the process of hypo-enrichment of silver, Ag, Cu, Pb, Zn, Ga, Ge, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO, MnO, K_2O and P_2O_5 , especially Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O and P_2O_5 were brought into the host rocks obviously, but As, Sb, Zn, V, Cr, Co, Ni, CaO, MgO, especially CaO, MgO, were exported from the host rocks. In the whole process of enrichment of silver, the REEs were imported into the wall rocks excepted the stage of alteration of dolomite to mineralization of dolomite. Research also shows that the physical and chemical condition of fluid-rock response is an important factor affecting the degree of migration of various components in different stages during the process of silver enrichment. The mineralizing components are dominantly derived from a kind of fluid enriched in Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Cd, Ga, Ge, etc. Strongly positive anomalies of these elements and carbonatization are crucial clues to silver exploration.

Key words: Yinchangpo; silver enrichment; migration of components; calculation