河南祁雨沟金矿蚀变地球化学研究*

Alteration Geochemical Studies of Qiyugou Gold Deposits, Henan

高永丰 魏瑞华 栾文楼

（石家庄经济学院，河北 石家庄 050031）

Gao Yongfeng, Wei Ruihua, Luan Wenlou

（Shijiazhuang College of Economy, Shijiazhuang 050031, Hebei, China）

摘 要 河南祁雨沟破碎带型金矿围岩蚀变主要为碳酸盐化、绿泥石与绿帘石化、钾化和硅化。在破碎带金矿围岩横剖面上表现出清楚的以破碎带为中心的对称蚀变分带。根据不同蚀变带岩石化学成分和微量元素组分得失定量计算，Al_2O_3、TFe、TiO_2 和 P_2O_5 表现为相对“惰性”组分；SiO_2、K_2O、Na_2O、CO_2、MnO 和 Rb、Mo、Pb、Cu、Au、Ag 等均显富集；CaO、MgO、S 和 Sr、Ni、Co 在各蚀变带中明显亏损；SiO_2、K_2O、Na_2O、CO_2 等物质组分得失变化主要反映了热液流体是富 Si、K 和挥发分的高温流体，硫的丢失反映了围岩 S 加入到热液体系中，改变了热液的硫同位素组成。

关键词 蚀变地球化学 金矿床 祁雨沟

河南祁雨沟地区除分布着较大规模的隐爆角砾岩型金矿床外，在各级断裂构造中还发育了一系列构造破碎带蚀变岩型金矿。研究表明，两类型金矿均发育了明显的热液蚀变，它们是同期、同源、不同（赋矿）空间的金矿成矿统一体（栾文楼等,1990）。本文详细研究了构造破碎带金矿蚀变带特征，通过各蚀变带化学成分和微量元素组分得失定量计算，讨论了祁雨沟金矿蚀变过程中物质组分的带入带出特征和成矿流体的变化。

1 矿床地质特征

两类型金矿床或产于太古宇太华群片麻岩系或产于元古界熊耳群浅变质岩系，均明显受构造控制。祁雨沟矿区及其外围区域主要经历了加里东期 NE-SW 挤压和晚期 NW-SW 向挤压两次影响最深远的构造运动，分别形成了 NE 和 NW 走向的褶皱和纵断层。燕山中晚期地壳上升，伴随大规模岩浆侵位，沿背斜轴部延伸的 NE 和 NW 向断裂复活而呈张性裂开，成为主干控岩控矿构造。区内含矿角砾岩体的定位明显受 NE 和 NW 向断裂控制，含矿构造破碎带与含矿角砾岩体具有同时性和较好的连续性。越靠近含矿角砾岩体,构造破碎带矿化越好，可见二者具有同源性。金矿床与区内中晚燕山期花岗斑岩侵入体分布密切相关， 同位素和包裹体研究表明，成矿流体主要是花岗岩浆热液，早期成矿热液是一种高盐度富挥发分的高温流体，晚期有上地壳成矿物质和大气降水加入到岩浆热液中（高永丰等，1994，1995）。

2 蚀变带的基本特征

通过详细的野外工作和室内研究发现，本区两类金矿均经历了前锋蚀变成矿期、主体蚀变成矿期和晚期蚀变矿化作用。在不同类型金矿中均铸成了典型的蚀变分带现象，由于热液运移的构造空间不同，造成分带的位置有所区别，但产出的类型是一致的。角砾岩型金矿床构成了比较典型的中心式面型蚀变分带，自上而下为：青盘岩化带、石英-黑云母化带、石英正（冰）长石化带、正（冰）长石绿（钙）钠闪石化带。在构造破碎岩型金矿床则以破碎带为中心的对称型蚀变分带，中心为

* 本文系中国科学院矿床地球化学开放实验室资助项目成果。
第一作者简介 高永丰，男，1955 年生，副教授，主要从事岩石地球化学研究工作。

石英-方解石化带，向外依次为石英-钾长石化带、石英黑云母化带和青盘岩化带。本文以区内与爆破角砾岩型金矿连通性较好的构造破碎带石英脉型金矿为例，详细研究其蚀变带的岩石、矿物和蚀变地球化学特征，以阐明祁雨沟金矿床的成矿热液性质和演化。

构造破碎带石英脉型金矿分布在角闪斜长片麻岩围岩之中（图 1）。围岩蚀变晕以矿脉为中心在两侧呈对称平行展布，矿脉两侧的蚀变晕宽度一般小于 10 。虽然蚀变晕的发育程度在沿构造破碎带走向上存在变化，但基本上是连续完整的，蚀变晕的规模与破碎带的宽度密切相关，即蚀变晕发育程度和规模与构造破碎带中石英脉充填厚度呈正相关。在露头上，蚀变晕岩石类型、颜色、矿物成分和结构构造上表现出清楚的分带，但各带之间呈现渐变关系。表 1 列出了破碎带金矿各蚀变带的矿物组合。一般来说，自围岩向矿脉方向蚀变矿物类型和数量表现出增多的趋势，内带总可以见到相邻外带的交代矿物残留。近矿蚀变带和远矿蚀变带的矿物组合在空间上并不出现逆序，没有发现近矿蚀变带与围岩接触和蚀变带之间的相互截切。以上特征表明，蚀变带是以构造破碎带为中心向外侧发育的，而且是在一个持续的阶段形成的。蚀变晕的结构形态表明，它们是由成矿热液沿构造裂隙流动和垂直于破裂面方向上的扩散作用形成的。这种规则的带状型式反映出成矿流体的成分随着运移的距离或与围岩的反应程度而发生变化。

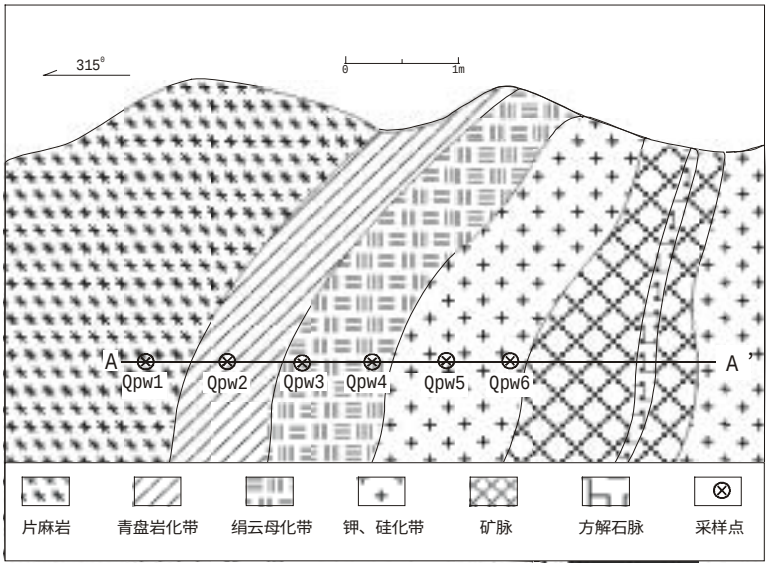


图 1　祁雨沟构造破碎带石英脉型金矿围岩蚀变带横剖面图

表 1　祁雨沟构造破碎带型金矿围岩蚀变带中定量矿物组合

样品号	Qpw1	Qpw2	Qpw3	Qpw4	Qpw5	Qpw6
普通角闪石	╳	╳	╳			
黑云母	○	△	△	○	○	
斜长石	╳	╳	╳	╳	○	○
钠长石					╳	╳
钾长石				△	╳	╳
石英		○	○	╳	╳	╳
黄铁矿	○	○	○	○	○	○
娟云母	△	△	△		○	○
绿帘石	△	△	△	△	△	△
绿泥石	○	○	○	○	○	○
磷灰石	○	○	○	○	○	○
阳起石	○	○				
赤铁矿	○	○	○	○	○	○

注：╳—主要矿物；△—次要矿物；○—微量矿物

蚀变晕中的主要蚀变类型为绿帘石化、斜黝帘石化、绿泥石化、阳起石化、钠长石化、绢云母化、黑云母化、钾长石化和硅化。蚀变类型及其发育程度在空间上具有明显的分带性。绿帘石化、绿泥石化贯通整个蚀变晕。绢云母化和斜黝帘石化发育与岩石的斜长石存在有关，它们主要分布在外蚀变带，而在靠近矿脉的内蚀变带，绢云母化、斜黝帘石化只限定于斜长石残留体中。自内蚀变带向外蚀变带方向黑云母化具有减弱的趋势。在外蚀变带，黑云母沿普通角闪石边缘和解理缝进行穿切交代，而在靠近矿脉的内蚀变带普通角闪石往往呈交代残余被黑云母包裹。钾长石化与石英化都表现出自外带向靠近矿脉的内蚀变带增强的趋势。

3 蚀变带质量平衡计算

表 2 列出了祁雨沟构造破碎带石英脉型金矿围岩蚀变带的常量元素和微量元素的分析资料。虽然从表 2 中可以看出某些元素显示出规律性的变化（如自外带至内带方向 SiO_2 含量呈递增趋势），但蚀变带的化学分析结果直接与蚀变原岩化学分析资料的简单对比，并不能对热液蚀变引起的化学组分变化得出令人满意的结论。因为在岩石蚀变过程中，化学组分的丰度

表 2 祁雨沟构造破碎带金矿脉围岩蚀变带横剖面化学元素（w_B/%）、微量元素（10^{-6}）分析结果

样品号	Qpw6	Qpw5	Qpw4	Qpw3	Qpw2	Qpw1
SiO_2	69.84	70.30	64.98	58.98	58.32	51.92
Fe_2O_3+FeO	4.96	5.09	5.05	6.23	6.45	7.43
Al_2O_3	12.67	12.71	15.74	16.70	17.30	19.19
CaO	1.68	1.21	2.95	6.42	3.60	6.53
MgO	0.70	0.65	2.19	3.20	2.50	3.72
K_2O	5.50	5.36	2.81	1.88	3.75	2.54
Na_2O	2.31	2.14	4.42	3.37	3.87	3.13
MnO	0.06	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01
TiO_2	0.51	0.45	0.50	0.60	0.66	0.67
P_2O_5	0.15	0.14	0.25	0.14	0.29	0.22
L.O.T	0.99	1.08	1.74	2.12	2.50	3.43
S	0.10	0.41	0.14	0.01	0.91	0.88
CO_2	0.76	0.64	0.26	0.55	1.02	0.26
Cu	28	49	15	10	328	33
Pb	78	85	76	67	91	100
Zn	36	42	49	57	64	67
Co	5	5	4	7	15	31
Ni	8	8	16	30	24	33
Sr	203	209	423	747	571	1599
Mo	2.6	2.4	1.4	3.1	1.6	0.5
Li	4	3	7	11	6	7
Rb	139	106	114	81	145	118
Ag	0.2	0.2	0.4	0.2	1.4	0.2
$Au/10^{-9}$	96	210	76	74	610	203
距离 /m ①	0.1	0.5	1.3	2.0	2.8	3.4

分析单位：武警黄金地质研究所化验室。①—样品点至矿脉的距离。

可以通过实际的获得或丢失而发生变化，也可以通过其它组分的加入和其它易溶组分的淋滤或岩石体积的变化而使该化学组分丰度值发生变化。Gresens（1967）对此提出了质量平衡计算模式，能够量度出化学组分的实际加入和损耗。这一方法在许多热液蚀变研究中得到广泛的应用。Grant（1986）对 Gresens 模式提出了一个数学解的方法，给出了基本公式 $C_i^A=(M^0/M^A)(C_i^0+\triangle C_i)$．这一公式表示了蚀变岩组分的浓度与原岩组分浓度呈线性关系，在蚀变岩组分-原岩组分图上，所有惰性组分投影点构成了一条斜率为 m^0/m^A 且通过原点的直线。由于该线上 $\triangle C_i=0$，此线被称之为等浓度线，活动组分的相对带入和带出可以从偏离等浓度线的数据点得到，也可以从公式 $\triangle C_i/C_i^0=(m^0/m^A)(C_i^A/C_i^0)-1$ 直接得出。

通过详细的野外观察和室内的岩石学研究发现，祁雨沟构造破碎带围岩 Qpw1 是蚀变最浅的岩石，其化学成分基本上接近未蚀变的角闪斜长片麻岩，将此作为原岩成分的代表样品。利用 Grant 的浓度方法在选择与确定蚀变过程中“惰性”组分和等化学浓度时，以元素质量得失最小为准则，以性质相似元素的同步变化为验证。根据得到的各蚀变岩的 Al_2O_3 “惰性”组分对未蚀变“原岩”——角闪斜长片麻岩的“惰性”组分标准化，其比值作为蚀变岩组分 k 值，进而根据 Grant 的公式计算了各蚀变带中，在角闪斜长片麻岩蚀变过程中元素相对浓度变化趋势及其幅度（表 3）。

4 结果与讨论

计算结果表明，祁雨沟破碎带金矿蚀变岩石的相对“惰性”组分为 Al_2O_3、Fe_T、TiO_2 和 P_2O_5，其中 Al_2O_3 为最佳“惰性”组分，说明这些元素在蚀变过程中是未活化的，围岩与蚀变流体之间没有发生明显的交换。SiO_2、K_2O 和 Na_2O 是主要的带入造岩元素，SiO_2 和 K_2O 都表现出自内蚀变带至外蚀变带相对浓度增加幅度降低的趋势，与岩石中钾化、硅化强度自内向外降低的趋势相一致，说明蚀变流体的交代是由内向外进行的。与 K、Si 相比，Na_2O 的相对浓度增加幅度明显变小，这与岩相学中见到的以钾化、硅化为主，钠质交代较弱的事实一致，说明成矿流体是富集 K、Si 的流体。

Fe 族元素在蚀变过程中表现出不同的性状。Fe、Ti 基本保持恒定为“惰性”元素。Mn 为蚀变过程中的带入元素，表现出与 SiO_2、K_2O 同样的变化趋势，而 Co、Ni 则表现为与 Mn 相反的变化趋势，自外带向内带浓度降低幅度逐渐增大，说明围

岩中大量 Co、Ni 在蚀变过程中进入成矿热液。富含硫和其它挥发组分的岩浆溶离流体对围岩的绿化蚀变作用往往使分散到硅酸盐晶格的像镍、钴这样的亲硫元素被萃取出来转入成矿热液（刘英俊等，1987）。Mo、Cu、和 Pb 都为带入元素，尤其是 Mo 增加幅度最明显。Mo 在卤素浓度较高体系内压大于外压和气成为主的岩浆晚期，Mo 以气相卤化物形式进行迁移，当溶液沿裂隙向上迁移并与围岩发生物质交换，尤其是水的大量加入改变了溶液的物理化学平衡，Mo 则发生沉淀。这与祁雨沟金矿包裹体和同位素研究结果相一致，成矿热液是来自岩浆热液，具有高温高盐度特征，后期有大气水的加入（高永丰等，1995）。

表 3　祁雨沟构造破碎带金矿围岩蚀变带横剖面质量平衡计算结果（$\triangle C_i/C_i^0$）

样品对	Qpw1-Qpw6	Qpw1-Qpw5	Qpw1-Qpw4	Qpw1-Qpw3	Qpw1-Qpw2
K 值	0.7894	0.8421	0.7948	0.8571	0.8974
Sr	-0.81	-0.80	-0.67	-0.46	-0.60
Co	-0.76	-0.75	-0.84	-0.74	-0.46
S	-0.83	-0.21	-0.80	-0.98	+0.15
MgO	-0.72	-0.74	-0.28	-0.01	-0.26
CaO	-0.61	-0.72	-0.55	+0.13	-0.39
Ni	-0.63	-0.63	-0.40	+0.05	-0.19
L.O.I	-0.57	-0.53	-0.39	-0.29	-0.20
Au	-0.29	+0.55	-0.54	+2.48	+2.35
Ze	-0.18	-0.05	-0.09	-0.01	+0.06
Li	-0.14	-0.35	+0.24	+0.82	-0.05
Al_2O_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe_T	0.00	0.02	-0.17	+0.03	-0.04
TiO_2	+0.16	+0.02	-0.07	+0.04	+0.09
Na_2O	+0.12	+0.04	+0.72	+0.24	+0.37
Cu	+0.28	+1.26	-0.44	-0.65	+10.07
P_2O_5	+0.04	+0.03	+0.41	-0.26	+0.47
SiO_2	+1.03	+1.05	+0.52	+0.30	+0.25
Rb	+0.78	+0.37	+0.19	-0.20	+0.37
Ag	+0.51	+0.52	+1.48	+0.16	+6.79
Pb	+0.18	+0.29	+0.05	-0.22	+0.01
Mo	+6.85	+6.29	+2.47	+6.18	+2.56
CO_2	+3.41	+2.74	+0.24	+1.45	+3.37
K_2O	+2.27	+2.19	+0.35	-0.15	+0.63
MnO	+8.12	+5.08	+1.48	+1.32	+1.23

蚀变带中 MgO、CaO、Sr 是主要的亏损组分，而且表现出内蚀变带浓度降低增强的趋势。Mg 的丢失与角闪石、黑云母的蚀变有关，而 Ca 与 Sr 主要是斜长石的钾化、硅化造成的。在热液与围岩相互作用过程中，大量的 Mg 、Ca 进入溶液后，除在饱和状态下晶出相应矿物相（晚期的方解石）外，残余部分被热液带走。

蚀变带中 CO_2 为富集组分，尤其在硅化带相对浓度明显增加，与石英中发育大量气相包裹体的事实一致，说明热液是一种富集 CO_2 流体。祁雨沟金矿的同位素研究结果显示出成矿流体具有岩浆源的碳（高永丰等，1994），本次研究结果为此提供了佐证。S 元素相对浓度表现为带出元素，说明围岩中的 S 组分在蚀变过程中进入成矿热液。祁雨沟金矿硫同位素研究显示，与角砾岩型金矿相比，破碎带蚀变岩型金矿硫同位素组成和其热液体系总硫同位素组成显示正偏，且在硫同位素组成直方图上出现双峰值（高永丰等，1994）。造成这种差异的原因是围岩和大气水中的硫加入到热液体系中，这在本次研究中得到了证实。

参 考 文 献

高永丰, 栾文楼, 魏瑞华, 等. 1995. 河南祁雨沟金矿流体包裹体研究[J]. 地球化学, 24(增刊): 150~159.

高永丰, 栾文楼, 魏瑞华. 1994. 祁雨沟地区金矿床稳定同位素研究[J]. 矿床地质, 13(4): 354~362.

栾文楼, 高永丰. 1990. 初论祁雨沟地区不同类型金矿床的同期同源性[A]. 见: 李朝阳, 朱祥坤, 主编. 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年报(1990)[C]. 贵阳: 贵州科技出版社. 131~136.

Grant J A. 1986. The isocon diagram–a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration[J]. Econ.Geol., 81: 1976~1982.

Gresens R L. 1967. Compsition-volume relationships of metasomatism[J]. Chemical Geology, 2(1).