

甲乌拉矿床成矿次火山岩系 构造地球化学特征

王大平 田筱鹏

(黑龙江有色金属矿产地质研究所·哈尔滨市)

本文从研究甲乌拉大型银多金属矿床成矿次火山岩系的化学成分和微量元素入手,结合矿床构造地质特点,分析了岩石化学成分与构造环境的关系,阐述了成矿次火山岩系的演化和成矿特征,建立了成矿岩体的构造地球化学找矿标志。

关键词: 构造地球化学;次火山岩系;找矿标志

甲乌拉大型银多金属矿床地处内蒙古呼伦贝尔盟新巴尔虎右旗境内。大地构造位置属东北地洼区的额尔古纳地穹列^[1],北西向木哈尔地穹中段。该区因晚古生代(或延至早中生代)发生北东向滨克鲁伦基底隆起而固化^[2]。早中生代遭受暂短剥蚀,晚中生代则进入地洼阶段。由一系列相间的北西向地穹、地洼组成该区北东向晚中生代数万 km² 的火山—碎屑岩及岩杂浆岩带。矿床所处的木哈尔银多金属矿带即属北西向地穹之一,由3~4组张扭性断裂和火山一次火山链及碎屑岩组成。

矿区出露早中生代(印支期)挤压隆起环境形成的黑云母斜长花岗岩和晚中生代(燕山晚期)引张穹隆环境形成的次火山岩系斑杂岩体。后者与成矿关系密切。成矿以多阶段裂隙脉状充填、成矿热液主要来自次火山岩浆源为特征。矿床形成于地洼成矿阶段。

岩体地质特征

早中生代黑云母斜长花岗岩分布在矿区东北部(图1),岩体走向北西,中粗粒花岗岩结构,由斜长石、黑云母、石英、正长石等组成,并见北西向片麻理构造。岩体侵位于由二叠纪火山—沉积岩层组成的北西转北东

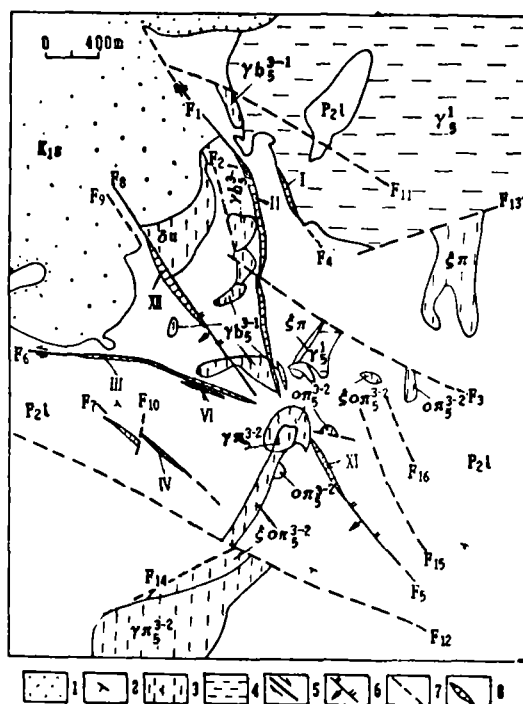


图1 甲乌拉矿床构造纲要图

K.s—下白垩统上库力组火山岩; P_{2.1}—上二叠统老龙头组碎屑岩及变质火山岩; $\xi\pi_5^{1-2}$ —一次石英正长斑岩; $\gamma\pi_5^{1-2}$ —一次花岗斑岩; $\pi\pi_5^{1-2}$ —一次石英斑岩; γb_5^{1-1} —一次英安岩; δu_5^{1-1} —一次多斑安山岩;
 $\xi\pi$ —正长斑岩脉; γ_5^1 —黑云母斜长花岗岩;
1—中生代构造层; 2—古生代构造层及产状; 3—张裂性岩; 4—挤压性岩; 5—张剪性断裂及编号;
6—压性转张性断裂; 7—推测及性质不明断裂;
8—矿体及编号

甲乌拉矿床各期岩体岩石类型表

表 1

期 次	岩石类型	代 号	出露位置	产出状态	K-Ar 年龄 (Ma)
印 支 期	黑云母斜长花岗岩	γ_1^1	东 北 部	岩 基	178.4
燕山晚期第 1 期	次多斑安山岩	δa_3^{1-1}	北 部	小岩株、脉状、似层状	133
	次英安岩	γb_3^{1-1}	北部和中部	小岩株、脉状、似层状	133
燕山晚期第 2 期	次石英斑岩	$\alpha \pi_3^{1-2}$	中 部	脉状、小岩株、筒状	116
	次花岗斑岩	$\gamma \pi_3^{1-2}$	中部和南部	脉状、岩株状、筒状	110
	次石英正长斑岩	$\xi \alpha \pi_3^{1-2}$	中部和南部	脉 状	34(?)

东向甲乌拉背斜的核部,呈岩基状产出,属典型的挤压性岩套,与成矿关系不大。

晚中生代次火山岩系斑杂岩体(王太平、邵永恕,1989),受北北西及北西向断裂构造控制,主要呈脉状、小岩株状侵入到晚二叠世老龙头组火山—沉积岩层和早白垩世上库力组陆相火山岩层中。时间上由矿区北北西向南逐渐从老变新。该岩系属燕山晚期地洼构造作用的产物,大体可分为两期(表1)。第一期为次多斑安山岩→次英安岩,K-Ar年龄为133.1Ma(平均),在 F_1 、 F_2 、 F_3 、及 F_3 断裂交汇处形成复式岩体(图1)。次多斑安山岩,灰色,斑状结构,基质具交织结构,斑晶主要为斜长石,副矿物有磁铁矿、绿帘石;次英安岩,斑状结构,基质具交织结构,斑晶为中酸性斜长石及钾长石,副矿物为磁铁矿、绿帘石、磷灰石。第二期为次石英斑岩→次花岗斑岩→次石英正长斑岩,K-Ar年龄114.1Ma(平均),在 F_1 、 F_5 、 F_6 、 F_7 断裂交汇处形成复式岩体(见图1)。次石英斑岩,斑状结构,基质呈显微晶质结构,斑晶为石英、长石和少量暗色矿物,副矿物为磁铁矿、磷灰石、锆石;次花岗斑岩,少斑结构,基质具显微嵌晶结构,斑晶为石英、长石,副矿物有磁铁矿、磷灰石;次石英正长斑岩,斑状结构,基质具显

微粒晶结构和显微嵌晶结构,斑晶为钾长石、斜长石、黑云母,副矿物为萤石、磷灰石、褐铁矿。矿脉主要赋存在两期次火山岩侵入体周围的断裂、裂隙内,控矿、赋矿断裂主要为北西、北北西、北西西向。

岩体微量元素特征

晚中生代次火山岩系内的Ag、Pb、Zn、Cu、S等主要成矿元素含量,较早中生代黑云母斜长花岗岩及晚二叠世老龙头组砂岩、安山岩等围岩要高1~5倍。绝大多数微量元素含量变化曲线显示双峰的特点(图2)。特别是与成矿关系密切的Cu、Pb、Zn、Ag、W、Sn、Bi、Mo、As和S等元素,在次多斑安山岩向次花岗斑岩演化过程中,显示出对称和不对称的双峰变化曲线;W/Sn、Zn/Pb、Cu/Mo等元素对比值也具双峰曲线特征。表明在次多斑安山岩→次英安岩、次石英斑岩→次花岗斑岩的演化进程中,成矿元素的迁移、富集具有多阶段性,即成矿次火山岩系具有两次矿液活动高峰(两个成矿阶段),亦反映出成矿元素纵向迁移演化的构造地球化学规律。早期矿液活动围绕次多斑安山岩→次英安岩复式岩体,矿化活动较强,成矿元素由Mn、Cu、S、Sb、W、Bi(Ag)组合向Pb、Ag、Mo、Sn(Mn)组合

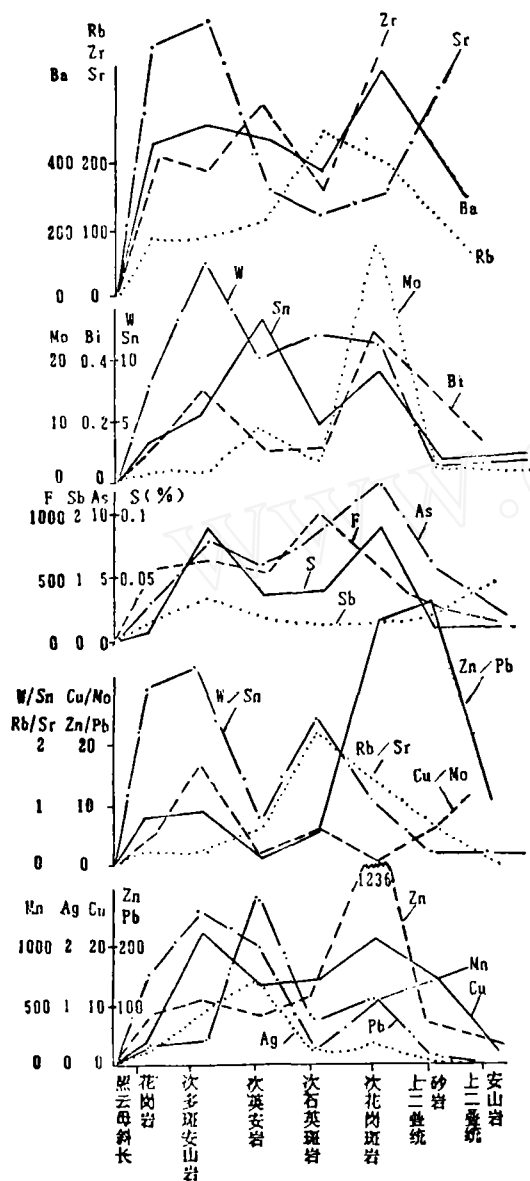


图 2 成矿次火山岩系微量元素变化曲线

演化。晚期矿液活动则围绕次石英斑岩→次花岗岩斑复式岩体，矿化活动相对较弱，成矿元素以W、F、Pb→Zn、Cu、S、Mo、Bi、Sn、As、(Pb、Ag)元素组合迁移演化为特征。

岩体岩石化学特征

由甲乌拉矿床各岩体的平均岩石化学成分，分别计算其岩石主要化学参数列于表2，并投在图3中。从中可知，甲乌拉矿床各期岩体的组合指数σ值均小于4，属钙碱性系

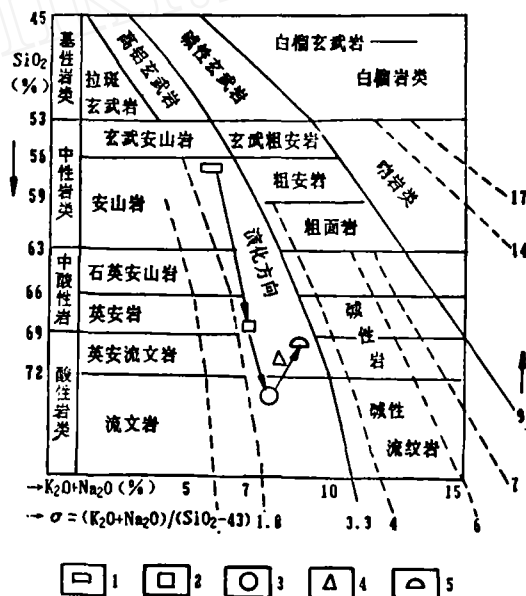


图 3 确定陆相火山岩名称、酸度、碱度系列组合简化化学方法图解

(据邱家骥, 1978)

1—次多斑安山岩; 2—次英安岩; 3—次石英斑岩;

4—花岗岩; 5—次石英正长斑岩

甲乌拉矿床各类岩体主要岩石化学参数表

表 2

岩 性	组合指数 σ	$\frac{K_2O}{Na_2O}$	氧化度 O^{2+}	$K_2O + Na_2O$ (%)	SiO_2 (%)	$\frac{FeO + Fe_2O_3}{MgO}$	其 他
黑云母斜长花岗岩	2.44	< 1	0.26	7.16	60.04	3.42	富钙贫钾
次多斑安山岩	3.02	< 1	0.20	6.42	56.66	2.30	富钙贫钾
次英安岩	2.63	< 1	0.12	8.26	68.94	4.92	富钙贫钾
次石英斑岩	2.32	> 1	0.38	8.44	73.69	6.50	富钾贫钙
次花岗岩	2.75	> 1	0.26	8.75	70.86	4.88	富钾贫钙
次石英正长斑岩	3.24	> 1	0.12	9.38	70.14	4.46	富钾贫钙

列岩石。燕山晚期成矿次火山岩系的岩石由中性→中酸性→酸性→酸(碱)性演化,在图3中均向碱性岩一侧靠近。

燕山晚期第一期次多斑安山岩→次英安岩在由中性向中酸性演化过程中,显示碱性由强变弱、酸度和铁镁比值由低到高、氧化度由高到低(相对形成深度由浅变深)、 K_2O+Na_2O 由低变高,氧化钾含量小于氧化钠,富钙而贫钾等岩石化学特征。

燕山晚期第二期次石英斑岩→次花岗斑岩→次石英正长斑岩在由酸性向酸(碱)性演化过程中,显示碱性由弱到强、酸度和铁镁比值由高到低、氧化度由高到低(相对形成深度仍由浅变深,近地表石英斑岩似火山管道相,氧化度最高)、 K_2O+Na_2O 含量由低变高,氧化钾含量大于氧化钠,富钾而贫钙等岩石化学特征。

岩体生成构造环境与 岩石成分关系

国内外大多数学者认为,火山岩的成分与构造环境有某些依赖关系^[3]。G.V.Cottine(1968)曾指出, τ 指数可以反映火山岩形成的构造环境。 $\tau = (Al_2O_3 - Na_2O) / TiO_2$ (皆为重量%),当 $\tau > 0$ 时(一般10~30±),为造山带火山岩组合; $\tau < 10$ (一般为3~4)时,为稳定区火山岩组合。本矿床成矿次火山岩系 τ 值在16.45~34.41之间,次多斑安山岩为16.45,次英安岩为18.94,次石英斑岩为30.06,次花岗斑岩为34.41,次石英正长斑岩为25.56。属造山带火山岩组合,即晚中生代地洼演化阶段,断裂隆起构造活化区内地洼岩浆作用的产物。这与矿床所处大地构造背景完全吻合。

里特曼(1973)把组合指数 σ 和 τ 指数结合起来编制 $\log \tau - \log \sigma$ 图解(图4),用以研究火山岩成分与其构造环境的关系。他把世界各地1300个活火山熔岩投影于该

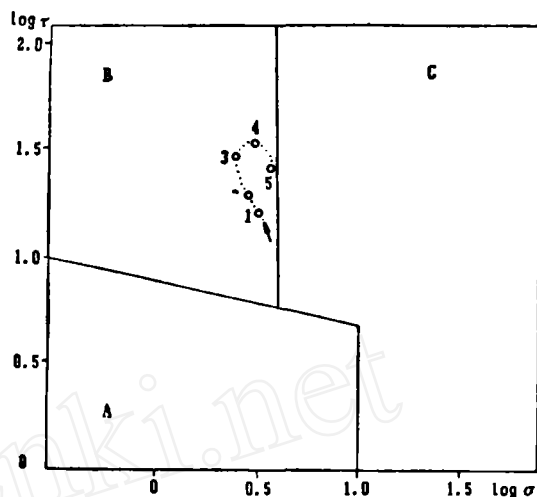


图4 $\log \tau - \log \sigma$ 图解

A—非造山带(稳定构造区)火山岩; B—造山带和岛弧区火山岩; C—A、B区火山岩派生的偏碱性、碱性岩; 1—次多斑安山岩; 2—次英安岩; 3—次石英斑岩; 4—次花岗斑岩; 5—次石英正长岩

图,按照实际地质构造环境和岩石成分特点,把该图分为3个区。甲乌拉矿区燕山晚期成矿次火山岩系均投在该图的B区(图4),与次火山岩系所处大地构造环境完全吻合。投图点落在B区右侧,属偏碱性,与地洼岩浆岩一般偏碱性的特征相同。即属地洼区构造岩浆活化作用所形成的地穹列内火山—岩浆隆起的产物。

W.L.Petro等人(1979)认为,火成岩的化学成分与其所处的构造应力环境有关,可以利用化学成分来区分构造环境。并指出利用 DI 、 CaO 、 K_2O+Na_2O 、 $Ca/(K_2O+Na_2O)$ 和 $TFe/(TFe+MgO)$ 等变量可区分张裂性和挤压性构造环境的花岗岩类^[4]。作为火成岩组成部分的次火山岩,其化学成分也应能用来区分构造环境。现将甲乌拉矿床各期岩体与W.L.Petro等所研究的张裂性和挤压性花岗岩进行对比(表3)。

据表3,甲乌拉矿区印支期具有轻微片麻理构造的黑云母斜长花岗岩基,接近于典型的挤压性岩套,是该区晚古生代—早中生

甲乌拉矿各期岩体与典型挤压性、张裂性岩套岩石化学特征对比

表 3

类 型		DI	$K_2O + Na_2O$ (%)	CaO (%)	$\frac{CaO}{K_2O + Na_2O}$	$\frac{TFe}{TFe + MgO}$	$\frac{K_2O + Na_2O}{TiO_2 + MgO}$	资料来源
典型 挤压性 岩套	阿留申群岛—阿拉斯加岩套	83.10	6.68	2.40	0.382	0.791	8.68	W.L.Petro (1979)
	黑云母斜长花岗岩	76.37	7.16	2.38	0.332	0.774	3.56 ^①	本 文
典型 张裂性 岩套	冰岛深成岩套	91.97	8.40	0.86	0.104	0.928	17.50	W.L.Petro (1979)
	次英安岩	86.42	8.26	1.31	0.158	0.83	7.51 ^①	本文
	次石英斑岩	93.73	8.44	0.62	0.073	0.87	16.23	本文
	次花岗斑岩	89.61	8.75	0.58	0.066	0.83	10.42	本文
	次石英正长斑岩	88.81	9.38	1.03	0.110	0.82	9.38	本文

①甲矿区MgO偏高

代滨克鲁伦基底挤压隆起固化时期的产物。燕山晚期的成矿次火山岩系斑杂岩体,则接近于典型的张裂性岩套,属于晚中生代地洼阶段(断裂构造岩浆活化区)断裂隆起的产物,归属于北东向(纵向)火山—岩浆隆起带。此时,甲乌拉矿床处于横向(次级)火山—岩浆构造活化隆起带(北西向木哈尔地穹),与相邻地洼对比,地穹构造特征显著,其幅度与强度均相对较高,在基底挤压隆起的基础上叠加活化期火山—岩浆构造引张隆起,形成近穹隆型正构造单元。为甲乌拉矿区次火山岩浆和矿液的充分演化提供了广泛的空间和时间。致使正构造单元里面的酸性成分及其带来的元素发育,故形成张裂性浅成、超浅成花岗岩类次火山岩系斑杂体。矿区由北北西向南,随时间、空间的演化,次火山—岩浆构造活化引张作用愈来愈强(矿区岩组分析可以进一步佐证),次火山岩系的组合指数 σ 、 $K_2O + Na_2O$ 、碱度等越来越高,并由Pb、Ag、Mn等元素组合演化为Cu、Zn、W、Sn、Bi、Mo元素组合趋势等特征的构造地球化学区。同时反映出成矿岩体由北向南纵向的时空及物质成分迁移演化的构造地球化学特征。

次火山岩系成矿特征

1. 岩体与成矿的时空关系

甲乌拉矿床绝大多数矿脉(都与次火山岩系在时间、空间上紧密伴生。该次火山岩系由矿区北部向南迁移,形成两处以上的复式岩体。硫同位素等值线平面投影(杨竟红等,1989)和矿脉包裹体等温线平面投影的中心位置都与这些复式岩体吻合。矿化活动主要集中在这些复式岩体附近,赋存在引张成矿期的断裂、裂隙内。早期矿化活动中心在矿区北部,金属矿物铅同位素平均模式年龄,方铅矿126Ma,闪锌矿124Ma,黄铁矿133Ma。与早期矿化活动中心的次多斑安山岩→次英安岩复式岩体的平均K—Ar年龄(133.1Ma)接近。晚期矿液活动中心在矿区中部及南部,金属矿物铅同位素上限模式年龄,方铅矿93Ma,闪锌矿112Ma。与晚期矿化活动中心附近的次石英斑岩→次花岗斑岩复式岩体的平均K—Ar年龄(114.1Ma)相近似。

2. 成矿物质来源

甲乌拉矿区 $\delta^{34}S$ 值主要集中在2~3.5%之间,均值为2.69%,其分布型式具塔式效应,接近陨石硫特征,说明该区成矿物质以深源为主。矿区含矿石英脉中 $\delta^{18}O$ 平均值为10.87%,在 $\delta^{18}O$ ‰自然界的位置图上落在花岗岩(以及陨石)的范围内,说明成矿热液来自深源中—酸性次火山岩浆。矿区铅同位素数据在多伊和萨特曼的铅同位素演化

弧模型上, 投影点主要集中在 a 弧和 b 弧之间, 即地幔铅和造山带铅附近, 说明铅主要来自深源和造山活动带。从矿床上述同位素地球化学特征可以看出, 成矿物质来源环境与成矿次火山岩系化学成分所反映的构造环境基本相同, 即成矿物质来源于中生代地洼成矿阶段火山—岩浆构造隆起带的深部岩浆源。

实验及观察证明, 高温、酸性、高盐度的水溶液有极强的从岩石或岩浆中萃取金属的能力^[5]。甲乌拉矿床次火山岩系熔融岩浆所分异的成矿热液, 含有金属离子、水和 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 F^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2 、 N_2 等离子和可溶性气体(据包裹体成分分析), 属中低—中高温、中等盐度、中等密度、偏酸性的具有很强萃取地层及岩体中金属离子的热流体(结晶成矿时转偏碱性)。它是形成矿脉的主要物质来源。

3. 多阶段成矿特征

甲乌拉矿床在地洼成矿阶段的成矿演化过程中, 经历了两个以上的成矿活动阶段, 并形成两个以上的成矿热液活动中心, 成矿次火山岩系微量元素的变化规律, 反映出成矿活动有早、晚两个阶段; 包裹体测定成矿温度具有两个连续的区间: $390\sim 250^\circ\text{C}$ (高中温) 和 $250\sim 138^\circ\text{C}$ (中低温); 矿物铅同位素模式年龄也分为两个连续阶段; 矿床的主要矿物类型也划分为两套矿物组合。上述均说明甲乌拉矿床在燕山晚期第一期次火山岩向第二期次火山岩演化过程中, 存在两个以上成矿活动阶段的连续演化过程, 即脉动式连续成矿过程。并有矿液胶结矿石角砾等多期叠加、改造的成矿特点。矿床成因类型为受断裂构造控制的陆相次火山热液裂隙充填式银多金属矿床。

成矿岩体找矿标志

1. 时空标志

成矿岩体分布于木哈尔地穹内, 为燕山

晚期受断裂控制呈链状展布的次火山岩系斑杂岩体。这些岩体常呈规模很小的岩株、岩筒、岩脉等产出, 并常在几组断裂交汇部位形成复式岩体。

2. 岩石化学标志

岩石化学参数反映成矿岩体属钙碱系列, 是由中性→中酸性→酸性→酸(碱)性演化, 整体具偏碱性的特点(图3)。早期成矿岩体为中性→中酸性, 碱性由强→弱, 酸度、铁镁比值由低→高, 钠大于钾, 富钙贫钾, O_2° 由高变低, 矿种以银铅为主。晚期成矿岩体为酸性→酸(碱)性, 碱性由弱→强, 酸度、铁镁比值由高→低, 钠小于钾, 富钾贫钙, O_2° 仍由高→低, 矿种以铜铅锌为主。

3. 微量元素标志

成矿岩体中主要成矿元素 Pb、Ag、Cu、Zn、S 等高出围岩 1~5 倍。微量元素的双峰变化规律还可反映出次火山岩系具有多阶段成矿特征。

4. 构造环境标志

成矿次火山岩系属造山活动带火山岩组合, 晚中生代构造岩浆活化区地洼发展演化阶段火山—岩浆构造隆起带之产物。岩石化学参数对比为张裂性构造环境的浅成、超浅成花岗岩类次火山岩系斑杂岩体, 并具有明显的纵向时、空及物质成分的构造迁移演化规律。

本文岩石化学等数据主要取自本所, 成文后唐春发、戴塔根等同志删改, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 国家地震局广州地震大队主编, 《中国大地构造图》, 地质出版社, 1977年。
- [2] 苏联地科队, 《蒙古地质基本问题》, 地质出版社, 1980年。
- [3] 王人境, 《岩石化学》, 武汉地质学院岩石教研室, 1984年。
- [4] 杜方权, 地质与勘探, 1988, 第10期。
- [5] 赵伦山、张本仁, 《地球化学》, 地质出版社, 1988年。