

文章编号: 0258-7106 (2000) 03-0193-08

新疆哈密马庄山金矿成矿流体成因及金沉淀机制的探讨

陈世忠^{1,2} 周济元² 顾连兴¹ 崔炳芳² 肖惠良²

(1. 南京大学, 南京 210008; 2. 国土资源部南京地质矿产研究所, 南京 210016)

提 要: 马庄山大型金矿位于阿齐克库都克东部, 分布有中晚石炭世的中酸性火山岩及相应的次火山岩。近 20 条矿体产于其中。矿石平均品位为 6.4×10^{-6} 。成矿流体均一温度的峰值在 240 ~ 260°C, 成矿深度为 1.6 ~ 2.3 km, 具有浅成成矿的特点。成矿流体成分摩尔浓度比值 m_{K^+} / m_{Na^+} (0.10 ~ 0.81)、 $m_{Na^+}^2 / m_{Ca^{2+}}$ (0.001 ~ 0.338)、 $m_{\Sigma Cl} / m_{\Sigma S}$ 和 $m_{\Sigma C} / m_{\Sigma S}$ 等比值, 成矿条件参数 pH 值为 5.8 ~ 7.4, 氧逸度 (f_{O_2}) 1.9×10^{-55} ~ 2.9×10^{-47} Pa, 硫逸度 (f_{S_2}) 约为 10^{-13} Pa; Eh 值为 -0.6 eV 流体 $\delta^{34}S$ 值为 +3.94‰ ~ +4.98‰, 均随还原参数 $H_y [H_y = (CO + CH_4) / CO_2]$ 和温度有规律变化。且矿石和脉石中的金含量也与 H_y 成正比。矿石和脉石 REE 配分图和微量元素特征与岩浆岩相似, 代表着成矿物质来源与围岩岩浆岩关系密切。推断岩浆来源的成矿流体经地下水的混合作用是金沉淀的重要机制。

关键词: 成矿流体 石英斑岩 成矿机制 新疆马庄山金矿

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

马庄山大型金矿处于北山北部, 塔里木板块与西伯利亚板块的交界处^[1,7-9]。阿齐克库都克古生代岛弧东段北侧活动大陆边缘, 双井子—马庄山—南金山火山凹陷的破火山隆起中段^[4]。该区已发现南金山、双井子、坡子泉、修翁哈拉等大、中、小型金矿床若干处。它们具有一定的相似性。该区矿体多产于古生代火山岩和次火山岩中, 系统研究该矿床的成因具有一定的启发作用。此外, 有关晚古生代浅成中低温热液金矿床在国内报道不多。本文试图通过岩浆岩与成矿关系、成矿流体成分和物化特征探讨金矿成因及其成矿机制。

1 岩浆岩与成矿的关系

该区出露地层主要为上石炭统马庄山组 (图 1), 由中、酸性火山碎屑岩和中、基性熔岩等组成。局部夹有灰岩透镜体, 灰岩中含海百茎化石, 说明马庄山组为海相火山喷发沉积的产物^[3]。该区次火山岩主要为中—晚石炭世石英斑岩、流纹斑岩、花岗斑岩、长石斑岩、长石英斑岩、花岗闪长斑岩和辉绿岩脉及隐爆角砾岩等。石英斑岩体: 出露面积约 3 km², 是矿区

基金项目: 系国家 305 项目 (96-15-05-05) 专题资助的部分成果

第一作者简介: 陈世忠 (1967—), 男, 福建人, 南京地质矿产研究所助理研究员, 南京大学在职博士研究生, 矿床学专业

收稿日期: 2000-03-07, 修订日期: 2000-06-04

最大的次火山岩。据周济元等(1998)和陈世忠等(2000)研究,该区主要次火山岩和火山岩具有相似成分岩浆多次活动的特点。岩石属于过铝质钙(碱)性系列,富钾。岩石Sr、P、Ti、HREE含量低、 Fe_2O_3/FeO 比值为0.44~0.60。火山岩和次火山岩都具有“1”型特征。反映岩浆起源于大陆边缘俯冲带,经结晶分异作用,形成本区岩浆岩有规律的变化,该区为阿齐克库都克岛弧带的东延部分,为活动大陆边缘。它们与金矿有密切的成因联系^[1,4]。

黄铁矿(Py)样品硫同位素组成: $\delta^{34}S$ 为+3.9‰~+5.0‰,平均为4.5‰,接近陨硫特征。说明成矿流体与该区斑岩体关系密切。黄铜矿和方铅矿的 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 比值较为稳定,分别为18.269~18.352、15.550~15.633和38.077~38.355,变化范围 <0.3 ; φ 值在0.586~0.590之间,同位素比值分布在 μ 值为9.38~9.53增长线范围内,变化幅度小,标志铅的来源单一。将 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 比值投入Zartman和Doe(1981)铅同位素组成(图2)上,集中在造山带曲线下方附近,铅源于造山带,与地质实际吻合。表明岩浆岩是源岩,通过岩浆岩提供矿质^[10]。

矿石和脉石的稀土元素总量(ΣREE 为 4.7×10^{-6} ~ 43.1×10^{-6})明显小于围岩岩浆岩的稀土总量(ΣREE 为 72.0×10^{-6} ~ 153.0×10^{-6}),LREE/HREE为0.75~2.88;其配分曲线呈轻稀土略为富集的右倾型(图3),Eu具弱负异常($\delta Eu=0.54$ ~2.24),其中方解石Eu正异常明显,反映了 Ca^{2+} 与 Eu^{3+} 的亲密关系。La/Sm为1.45~2.35,分异不明显。矿石的微量元素蛛网图与围岩火山岩

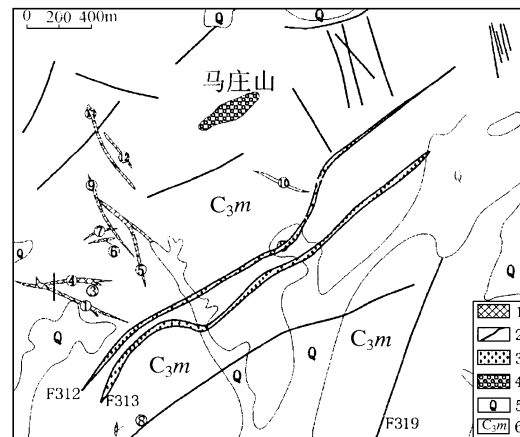


图1 马庄山金矿区地质略图

- 1—金矿体; 2—断层或断裂; 3—构造角砾岩;
4—隐爆角砾岩; 5—第四系; 6—马庄山组

Fig. 1. Diagrammatic geological map of the Mazhuangshan gold ore district.

- 1—Gold orebody; 2—Fault or fracture; 3—Tectonic breccia; 4—Cryptexplosive breccia; 5—Quaternary; 6—Mazhuangshan Formation.

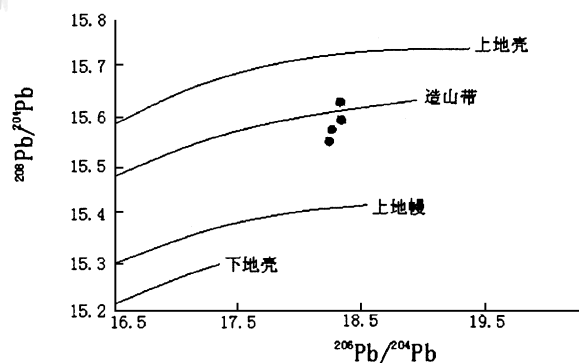


图2 $^{207}Pb/^{204}Pb$ - $^{206}Pb/^{204}Pb$ 图解

Fig. 2. $^{207}Pb/^{204}Pb$ versus $^{206}Pb/^{204}Pb$ diagram.

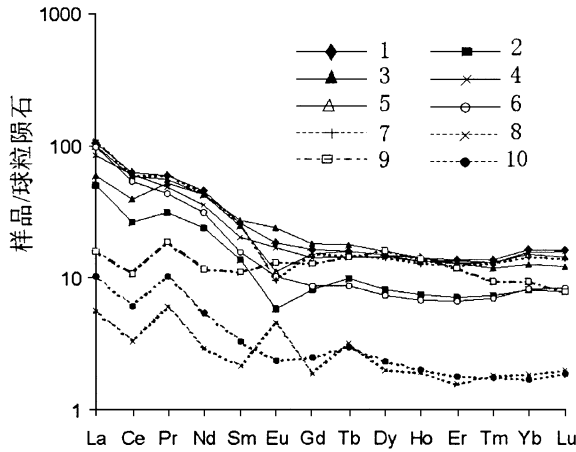


图 3 岩浆岩与矿石稀土元素配分曲线图解

1—隐爆角砾岩; 2—花岗闪长班岩; 3—花岗斑岩; 4—安山岩;
5—石英斑岩; 6—流纹斑岩; 7—辉绿岩; 8—电气石石英脉;
9—方解石脉; 10—含矿石英脉

Fig. 3. Chondrite-normalized REE patterns of magmatic rocks and ores.

1—Cryptoexplosive rock; 2—Granodiorite porphyry; 3—Granite porphyry; 4—Andesite; 5—Quartz porphyry; 6—Rhyolite porphyry; 7—Diorite; 8—Tourmaline quartz vein; 9—Calcite vein; 10—Ore-bearing quartz vein.

热液金矿床^[12-15]。该区晚古生代马庄山火山机构表现为多期次活动的特点, 具有提供大量汽水流体的必要条件。

氢氧同位素组成, 石英的 $\delta^{18}O_{SiO_2}$ 为 4.52‰ ~ 18.13‰, 平均为 9.8‰; 石英平衡水 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 -7.3‰ ~ 8.4‰, 平均为 -0.7‰; δD 为 -124‰ ~ -71‰, 平均为 -98‰, 与原生岩浆水有所偏离, 向大气水靠近(图 5)。表明其组成主要为地下水。这与岩浆水与地下水的混合或地下水在深循环中氧同位素的漂移有关。据岩浆水与大气降水混合模式估计水/岩比率在 0.2 ~ 2 之间。并由早到晚, 随着还原参数(Hy)的增大, 岩浆水有规律地减少, 地下水不断地增加。许多研究表明卸载机制中新物质的加入可能是一种重要过程, 加入的新物质可分为两大类:

相似, 其总量略低于围岩, 略富集大离子元素(LILE)(图 4), 都反映了成矿流体具有岩浆晚期衍生物和分异物的特征。

矿区 Au 的背景值较高, 其平均值(11.94×10^{-9}) 是区域坡子泉幅背景值(2.08×10^{-9}) 的 5.7 倍。马庄山组火山岩及相应的侵入岩具有较高的 Au 含量(石英斑岩, 600×10^{-9} (28 个样品); 流纹斑岩, 331×10^{-9} (79 个样品)) 说明晚石炭世火山活动提供了丰富的 Au 的来源, 尤其火山活动的晚期产物具有较高的 Au 含量。此外, 火山机构或岩浆穹隆控制了一级 Au 化学异常^[2]。

Au 与 Cu 相似, 作为相容元素应在早期结晶的中基性岩浆中富集。近年来人们逐渐认识到气体搬运成矿物质的重要意义, 尤其对于浅成中低温

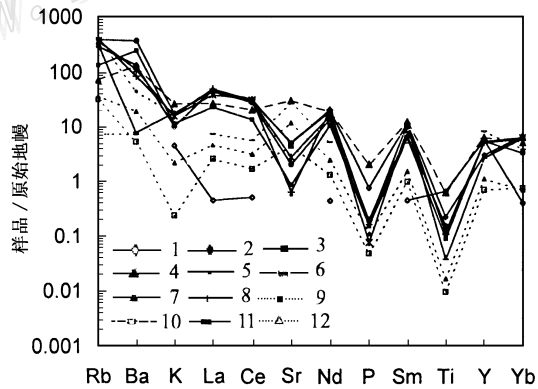


图 4 马庄山地区岩浆岩不相容元素标准化模式曲线 (标准化数据值 McDonough, 1985)

1—玄武岩; 2—安山岩; 3—流纹岩; 4—辉绿岩; 5—花岗闪长岩; 6—花岗斑岩; 7—石英斑岩; 8—隐爆角砾岩; 9—硅化蚀变岩; 10—电气石石英脉; 11—方解石脉; 12—含矿石英脉

Fig. 4. Mantle-normalized patterns of incompatible elements in magmatic rocks of Mazhuangshan.

1—Basalt; 2—Andesite; 3—Rhyolite; 4—Diorite; 5—Granodiorite porphyry; 6—Granophyre; 7—Quartz porphyry; 8—Cryptoexplosive rock; 9—Silic alteration; 10—Tourmaline quartz vein; 11—Calcite vein; 12—Ore-bearing quartz vein.

一类是重要的成矿组分,如 H_2S 、 HS 、 CO_2 等;另一类是氧化剂或还原剂。不同类型热液流体(以岩浆水为主的或以大气降水为主的等)的混合可能是其中重要机制之一。Nesbitt等(1986)、Sun等(1987)、Heinrich等(1992)、Sushchevskaya等(1992)、Shibue(1989)、Richard等人(1989)都认为所研究的岩浆热液矿床是由岩浆水和大气水混合而成的^[11,13]。

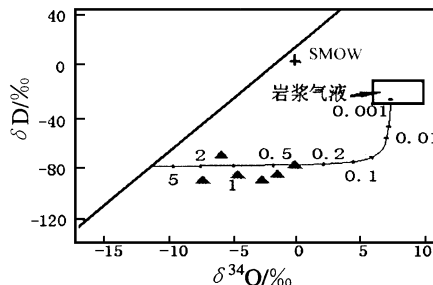


图5 δD - $\delta^{18}O_{H_2O}$ 关系图

Fig. 5. δD versus $\delta^{18}O_{H_2O}$ diagram.

2 马庄山金矿床特征

马庄山金矿区是以石英脉型及硅化蚀变带组成的金矿床,矿体呈脉状产出。现已探明超过20条的矿体,矿石平均品位为 6.4×10^{-6} 。矿石中金属矿物有自然金、金银矿、自然银、角银矿、辉银矿、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿等;非金属矿物以石英、方解石、绢云母和钠长石等为主。矿石结构:半自形—自形粒状结构、碎裂结构、压碎结构、交代残余结构、固溶体分离结构等。矿石构造为脉状构造、碎裂构造和浸染状构造等。

黄铁矿:是主要的载金矿物,常被晚期的铁闪锌矿、方铅矿等矿物交代。碎裂黄铁矿定向明显,金多沿裂隙分布。黄铁矿中S/Fe约为1.07,均为高铁贫硫特征。

根据矿体与火山岩、次火山岩和断裂的关系,可分为3个成矿或矿化期:面型火山热液矿化期、主热液成矿期和叠加热液矿化期。三期具有一定的延续性和继承性。黄铁矿和其它矿物呈脉状,早期黄铁矿定向碎裂,晚期少量方解石和电气石等热液矿物沉淀。

根据矿脉穿插关系、矿石矿物共生组合和矿石结构构造分析,可分为4个成矿阶段,石英(硅化)-黄铁矿阶段、金多金属-石英阶段、黄铁矿-石英-方解石阶段和黄铁矿-方解石阶段。其中硅化(石英)-黄铁矿成矿阶段为最重要。

3 流体物理化学性质及成矿机制

含石英脉中石英流体包裹体较多,个体中等,为 $6 \sim 17 \mu m$ (长轴);大多呈椭圆形、不规则状;气液比大多为 $8\% \sim 40\%$,多在 $25\% \sim 30\%$,系液相包裹体;多见三相 CO_2 和子矿物。流体盐度为 $6.2\% \sim 21\% NaCl$,平均为 15% ,为中低盐度;计算 $NaCl-H_2O$ 体系的流体密度在 $0.87 \sim 1.03 g/cm^3$ 之间,较为集中^[5]。反映了大多数岩浆有关的热液密度($< 1.0 g/cm^3$)^[10]。

流体成分气体以 H_2O 为主要成分,其次为 CO_2 、 CO 。流体还原参数($Hy = \frac{CO + CH_4}{CO_2}$)从成矿前期小于0.1到成矿后期大于0.4,且均一温度也随着减小,反映成矿早期流体主要来自岩浆到后期以地下水为主的成矿过程。

流体液相中阳离子和阴离子含量由高到低分别依次为 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+}

与 SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- 和 F^- (表1), 其特征:

表1 计算后石英包裹体液相成分 (10^{-6})

Table 1. Calculated liquid composition of quartz inclusions

样号	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}	HCO_3^-	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}
97M Z2-2	6029	4803	5178	783	783	1022	886	341	3168	42411
97M Z6-1	5037	4653	10800	1836	13	55	15496	410	2817	39700
97M Z6-3	380	2219	37657	824	0	418	76581	1268	8875	50399
97M Z6-4	295	687	68828	4026	128	1767	122241	4615	6284	119296
97M Z7-1	6803	10772	75403	31749	12	520	36379	1134	9827	301894
97M Z7-2	2980	2152	279589	8608	0	3145	101970	5959	12250	653038
97M Z7-3	1847	1921	57702	3177	0	960	52087	1773	10048	108607

(1) $m_{\text{K}^+}/m_{\text{Na}^+}$ 、 $m_{\text{Ca}^{2+}}/m_{\text{Mg}^{2+}}$ 摩尔浓度比值分别为 0.10~0.81 和 1.44~27.71。 Na^+ 摩尔浓度大于 K^+ , Ca^{2+} 摩尔浓度远大于 Mg^{2+} ; 同时, 从总体上表明随着还原参数 H_y 的增加, $m_{\text{K}^+}/m_{\text{Na}^+}$ 值减少, 这与岩浆水逐步减少有关, 而 $m_{\text{Ca}^{2+}}/m_{\text{Mg}^{2+}}$ 值增加。 $m_{\text{Ca}^{2+}}$ 多大于 m_{K^+} 与 m_{Na^+} 摩尔浓度之和, 而 Ca^{2+} 离子大量存在于该体系中, 说明流体碱性较强。

(2) $m_{\text{Na}^+}^2/m_{\text{Ca}^{2+}}$ 为 0.001~0.338。反映成矿压力变化趋势, 这与斑岩体系成矿流体的变化一致, 并与还原参数 (H_y) 变化相对应, 即较为氧化的地方成矿压力大, $m_{\text{K}^+} + m_{\text{Na}^+}$ 值也较大。

(3) $m_{\Sigma\text{Cl}}/m_{\Sigma\text{C}}$ 比值比较稳定, 而 $m_{\Sigma\text{Cl}}/m_{\Sigma\text{S}}$ 和 $m_{\Sigma\text{C}}/m_{\Sigma\text{S}}$ 随 H_y 的增大而增加, 可能反映了硫参与沉淀硫化物的过程。从该矿床流体包裹体成分: Cl^- 的摩尔含量高于 F^- , 低于 SO_4^{2-} 和 CO_3^{2-} 的摩尔浓度, 显示 H_2S 和 CO_2 , 参与了 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系的成矿作用。

(4) 矿石和脉石中 Au 含量与其中石英包裹体中流体的还原参数值呈正相关, 与地表所见有碳酸盐化叠加的次生石英岩化构成富矿地带一致。反映了晚期成矿流体富集 Au 元素, 但规模较局限。

流体均一温度为 120~340℃, 主要在 240~260℃ 之间, 其次在 260~300℃ 和 120~240℃ 间, 属中(低)温范畴。计算成矿流体压力为 47.2~68.8 MPa, 深度为 1.6~2.3 km, 属于浅成金矿床的特点。通过分析钾长石蚀变为绢云母和石英的现象, 可计算石英包裹体水的 pH 值为 5.8~7.4, 呈中性偏碱性; 据石英包裹体气相组分——碳在流体中以 CO_2 、 CO 与 CH_4 的关系式, 钾长石、绢云母和石英共生反应平衡式计算结果, Eh 值分别为 -0.57~-0.78 eV, 属还原环境; 用 CO_2 、 CO 和 CH_4 的平衡关系估算结果, f_{O_2} 为 10^{-55} ~ 10^{-47} Pa; 据磁黄铁矿和黄铁矿共生的化学反应平衡式估计 f_{S_2} 为 10^{-12} ~ 10^{-14} Pa。

4 矿床成矿机制

关于成矿流体中 Au 、 Ag 的迁移形式历来争议颇多。根据 K B Krauskopf (1951)、R W Boyle (1969)、B G Weissberg (1970)、T M Seward (1973, 1982, 1984)、H L Barnes (1979)、D R Cole and S E Drummond (1986)、Hayashi and Ohmoto (1991) 研究认为在中

低温条件下,弱酸-弱碱性介质中,金主要以硫金络合物形式迁移,并认为 $\text{HAu}(\text{HS})_2$ 和 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 是溶液的主要形式。Shenberger and Barnes (1989)测定了其平衡常数与温度关系。

在浅成中低温热液矿床成矿地质条件下,与较冷的地下水的混合作用及其成矿流体的相分离可能是造成矿质沉淀最有效的机制^[12, 14, 15]。当成矿流体上升或运移进入张性断裂、构造减压、扩容带,与天水相遇, f_{S_2} 、 f_{CO_2} 及压力或温度随着下降,导致 H_2S 、 SiO_2 、 H_2O 大量向围岩渗透、扩散、交代,形成广泛的黄铁矿化、硅化、绢云母化等。特别是随着 f_{S_2} 下降,金络合物稳定性下降。

泥盆纪-石炭纪时,东天山古洋壳消减-陆缘活化^[4],形成大量的钙碱性火山岩及次火山岩。特别是马庄山火山机构附近,从熔体-(>)晶体+气体反应中,释放足够 $P\Delta V$ 能量,引起破裂和隐爆角砾岩筒发育,硅质岩浆富含岩浆水及挥发分(携带一定成矿物质),与地下水构成循环流体;当流体上升至角砾、裂隙间,与地下水相遇,发生温压下降,氧化还原参数, pH 的强烈变化;金硫络合物失稳,导致矿质沉淀,并产生广泛的围岩蚀变。从成因上说该矿为浅成中低温金矿床。成矿时代为中-晚石炭世($298 \times 10^6 \pm 28 \times 10^6 \text{ a}$)^[6]。

5 结 论

- (1) 马庄山金矿床与该区火山岩和次火山岩在空间上、成因上关系密切。
- (2) 该矿床为浅成中低温热液矿床;矿床类型为钠长石-绢云母型低硫矿床。
- (3) 成矿流体富 Ca^{2+} 、 Na^+ 等阳离子和 Cl^- 离子,偏碱性,弱还原与岩浆关系密切,但其组成主要来自地下水。晚期成矿流体富集Au元素,但规模较局限。
- (4) 成矿作用伴随着岩浆作用形成。成矿时代为中-晚石炭世。

参 考 文 献

- 1 周济元,张斌,张朝文等.东天山大陆及其边缘银、铀、金和铜矿地质[M].北京:地质出版社,1996,63~64.
- 2 植起汉,朱谷昌和张远飞等.星星峡马庄山金矿区多源找矿信息的综合处理及分析[J].新疆地质,1990,(1)23~26.
- 3 周济元,曾长华,崔炳芳等.新疆哈密马庄山金矿区次火山岩及其地球化学特征[J].火山地质与矿产,1998,19(2):93~104.
- 4 裴荣富.金属成矿省地质历史演化与特大型矿床[J].矿床地质,1997,16(2),169~170.
- 5 刘斌,沈昆.流体包裹体热力学[M].北京:地质出版社,1999,52~92.
- 6 李华芹,陈富文,蔡红等.新疆东部马庄山金矿成矿作用同位素年代学研究[J].地质科学,1999,34(2):251~256.
- 7 Windley B F, M B Allen. Paleozoic accretion and Cenozoic reformation of the Chinese Tien Shan Range [J], Central Asia, Geology, 1990, 18: 128~131.
- 8 Coleman R G. Continental growth of northwest China [J], Tectonics, 1989, 8: 621~633.
- 9 Dickinson W R. Making composite continents [J], Nature, 1993, 364: 284~285.
- 10 Hedenquist J W, Lowenstern J B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits [J], Nature, 1994, 370 (6490): 519~527.
- 13 Nesbitt B E, Nurow chick J B, Muehlenbachs K. Dual origins of lode gold deposits in Canadian Cordillera [J], Geology, 1986, 14: 506~509.
- 14 Heinrich C A, Ryan C G, Memagh T P, Eactington P J. Segregation of ore metals between magmatic brine and var-

- por: A fluid inclusion study using PIXE microanalysis [J], *Econ. Geol.*, 1992, 87: 1566~ 1583.
- 15 Heinrich C A, Güther D, Audétat A et al. Metal fractionation between magmatic brine and vapor, determined by microanalysis of fluid inclusions [J]. *Geology*, 1999, 27 (8): 755~ 758.
- 16 Ulrich T G, Gütherand A, Heinrich C A. Gold concentrations of magmatic brines and the metal budget of porphyry copper deposits [J]: *Nature*, 1999, 399: 676~ 679.
- 17 Audétat A, Güther D, Heinrich C A, Formation of magmatic-hydrothermal ore-deposits: Insights with LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions [J], *Science*, 1998, 279: 2091~ 2094.

GENESIS OF ORE-FORMING FLUIDS AND PRECIPITATION MECHANISM OF GOLD IN THE MAZHUANGSHAN GOLD DEPOSIT, HAMI, XINJIANG

Chen Shizhong^{1,2}, Zhou Jiyuan², Gu Lianxing¹, Cui Bingfang², Xiao Huiliang²

(1 Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008;

2 Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016)

Key words: metallogenesis, quartz porphyry, ore-forming mechanism, Mazhuangshan gold deposit

Abstract

Mazhuangshan area is the east part of Aqikekuduk island arc, where Middle-Late Carboniferous intermediate-acid magmatic rocks occur. There are more than twenty orebodies in the district with an average gold grade of 6.4×10^{-6} . The dominant metallic minerals are native gold, goldargentid, native silver, pyrite and galena. Pyrite is the main gold carrier characterized by high Fe and low S. Wallrock alteration mainly includes pyritization, silicification and sericitization. Carbonation was extensive at the late stage, frequently forming high-grade orebodies. Three ore-forming stages may be distinguished.

The peak values of homogenization temperatures of primary fluid inclusions range from 240 to 260°C. Mineralization pressures and depths are 47.2~ 68.8 MPa and 1.6~ 2.3 km respectively, showing ore-forming features of a hypogene gold deposit. Salinities of fluid inclusions range from 6.2% to 21% NaCl equivalent, averagely 15% NaCl equivalent. Fluid inclusion geochemistry shows that Ca^{2+} concentration is much higher than Mg^{2+} . The $m_{\text{K}^+}/m_{\text{Na}^+}$, $m_{\text{Na}^+}^2/m_{\text{Ca}^{2+}}$ (0.001~ 0.338), $m_{\text{Zn}^{2+}}/m_{\text{S}^{2-}}$ and $m_{\text{Zn}^{2+}}/m_{\text{S}^{2-}}$ ratios vary with the reducing parameter $[\text{Hy} = (\text{CO} + \text{CH}_4) / \text{CO}_2]$ and temperature. The gold content of ores and gangues is in positive correlation with Hy.

The pH values of inclusion water of quartz range from 5.8 to 7.4, Oxygen fugacity (f_{O_2}) are 10^{-55} to 10^{-47} Pa, sulphur fugacity (f_{S_2}) is about 10^{-13} , and Eh values are estimated to be about - 0.6 eV. $\delta^{34}\text{S}$ values of the fluids range from + 3.9‰ to + 5.0‰, with a

mean of 4.5%. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios of chalcopyrite are 18.269~18.352, 15.550~15.633 and 38.077~38.355 respectively. ΣREE values (4.7×10^{-6} ~ 43.1×10^{-6}) of ores and gangues are obviously lower than those of the host magmatic rocks, but their REE and trace element web diagrams are similar to those of host magmatic rocks, suggesting that the solution consisted dominantly of meteoric water mixed with some magmatic water, and that metallogenic elements mostly came from magmatite. The deposit is intimately related to host magmatic rocks.

Gold in hydrothermal ore fluids migrated mainly in the form of gold sulfide complexes dominated by $\text{HAu}(\text{HS})_2$ and $\text{Au}(\text{HS})_2^-$. Mixing of cooler ground water was probably the most effective mechanism for the precipitation of the ore-forming materials. The deposit is classified as the Middle-Late Carboniferous shallow-seated mesothermal-hypothermal gold deposit.

<http://www.kcdz.ac.cn/>