

文章编号:0258-7106(2004)04-0494-08

川西北马脑壳微细浸染型金矿床地质特征及矿床成因*

王可勇¹ 姚书振² 杨言辰¹ 代军治¹

(1 吉林大学地球科学学院,吉林 长春 130061; 2 中国地质大学,湖北 武汉 430074)

摘要 文章在系统总结马脑壳微细浸染型金矿床地质特征、成矿时代的基础上,通过稀土元素及氢、氧同位素地球化学研究,分析了矿床成因。结果表明,马脑壳金矿床形成于印支晚期,其成矿物质来自围岩地层,岩浆流体参与了成矿作用,矿床为与岩浆活动有关的混合热液金矿床。

关键词 地质学 微细浸染型 矿床成因 成矿时代 马脑壳金矿床 川西北

中图分类号:P618.51

文献标识码:A

川西北地区地处巴颜喀拉印支冒地槽褶皱系北东部,阿坝地块东侧,属特提斯构造域北缘组成部分。20世纪七八十年代以来,在该区广泛发育的三叠系浊积岩建造之中,相继发现了东北寨、桥桥上、马脑壳、哲波山、壤塘等十余处金矿床(点)。近年来围绕该区金矿床地质特征、矿床成因等已开展了一系列的研究工作,取得了一些重要成果。郑明华等(1994)根据矿床赋矿围岩特征,提出了该区金矿床属浊积岩型层控金矿床,成矿流体以大气降水为主,成矿时代为燕山期;李小壮(1996)从区内金矿床与岩浆岩发育及分布特征出发,认为该区金矿床属浅成低温热液型,成矿作用可能与燕山期岩浆热液活动有关。上述认识多建立在对该区地质构造背景及矿化特征研究的基础之上,由于缺少可靠的成矿时代证据支持,致使对矿床成因的认识出现了分歧。本文选取该区较典型的马脑壳大型金矿床为研究对象,在对其成矿地质特征、成矿时代进行研究、总结的基础上,结合稀土元素及氢、氧同位素地球化学研究,讨论了矿床成因,其结果对深化该区金成矿作用的认识,总结区域成矿规律及指导该区进一步找矿均有重要的理论和实际意义。

1 矿区地质

1.1 地层

矿区出露地层主要为石炭系—三叠系沉积岩建

造(图1)。石炭系—二叠系岩性以白云质灰岩为主,夹少量的生物碎屑灰岩、泥灰岩等,区域上厚度为144~1095m,在矿区范围内出露不全,属陆棚浅海碳酸盐台地相沉积;三叠系由老至新划分为下统波茨沟组、中统扎尕山、杂谷脑组及上统侏倭组。波茨沟组以薄层结晶灰岩夹粉砂岩、板岩为主,厚度近200m;扎尕山组以板岩、钙质砂岩、泥灰岩、灰岩为主,厚375~1311m;杂谷脑组岩性则主要为厚层块状长石石英砂岩及细粒钙质砂岩,厚度186~693m;侏倭组岩性以细粒长石石英砂岩与含碳粉砂质板岩互层发育为特征,厚度为362~1700m。在三叠系各组地层中,鲍玛层序普遍发育,显示被动大陆边缘冒地槽沉积相沉积建造特征(殷鸿福等,1992)。在矿区范围内,石炭系—二叠系逆冲推覆于三叠系之上,两者之间为断层接触关系。区内金矿床主要发育于三叠系中统扎尕山组之中。

1.2 构造

矿区构造以褶皱及断层为主,其中褶皱构造主要有马脑壳倒转背斜;断裂构造依其产状特征进一步划分为洋布梁逆冲断层,北西向顺层劈理化破碎带、北北东及近南北向陡倾断裂等4组(图1)。

(1) 马脑壳倒转背斜:位于洋布梁断裂下盘。其核部为扎尕山组地层,向两侧依次分布杂谷脑组及侏倭组地层,其总体轴向北西。该背斜北翼部分被洋布梁及含矿构造带切割破坏,轴向与区域主构造线方向基本一致。

* 本文得到国土资源部“九五”科技攻关项目(95-02-002)的资助

第一作者简介 王可勇,男,1965年生,副教授,矿床学专业。现从事矿床地质、流体包裹体方面的教学及科研工作。

收稿日期 2003-06-02;改回日期 2003-11-21。李岩编辑。

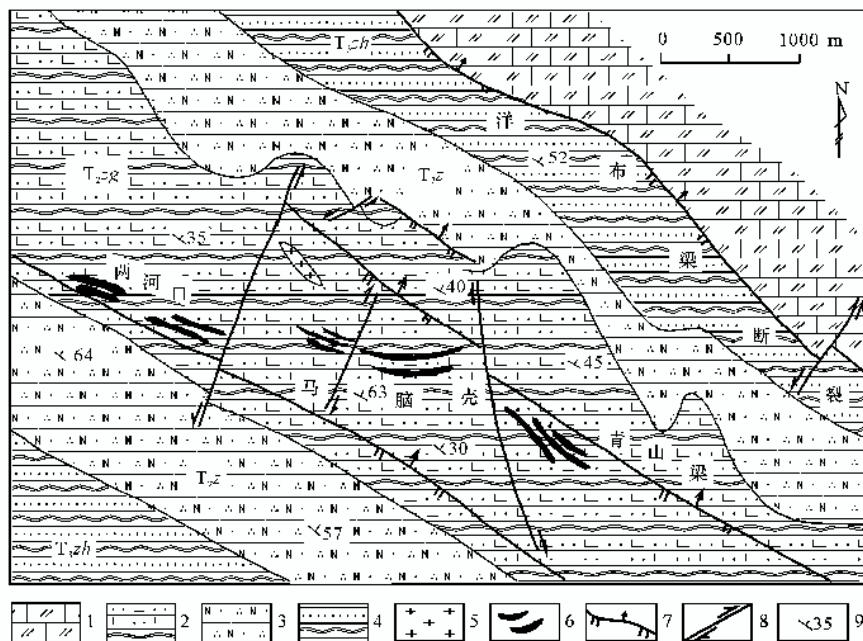


图 1 马脑壳金矿床地质-构造略图(据四川省地质矿产局,1995 修改)

1—石炭系-二叠系白云质灰岩;2—中三叠统扎尕山组钙质砂岩、板岩;3—中三叠统杂谷脑组长石石英砂岩;4—上三叠统侏倭组砂岩、板岩;
5—印支晚期花岗岩斑岩岩脉;6—矿体;7—压-压扭性断层;8—剪切断层;9—地层产状

Fig.1 Schematic geological-structural map of the Manaoko gold deposit

1—Carboniferous-Permian dolomitized limestone; 2—Calcareous sandstone and slate of Middle Triassic Zhageshan Formation; 3—Feldspathic quartzite of Middle Triassic Zagunao Formation; 4—Sandstone and slate of Upper Triassic Zhuwo Formation; 5—Late Indosinian granite-porphphy dyke; 6—Orebody; 7—Compressive (compressive-shear) fault; 8—Shear fault; 9—Attitude of strata

(2) 洋布梁断裂:为区域玛沁—略阳大断裂的分支构造,属逆冲断层。在本区,石炭系—二叠系白云质灰岩沿该断裂带逆冲-推覆于三叠系浊积岩建造之上;在洋布梁山南坡测得其产状为 $40^{\circ} \angle 45^{\circ}$ 。

(3) 北西向顺层强劈理化构造破碎带:位于矿区中部,发育于马脑壳倒转背斜北翼扎尕山组地层之中,其表现形式为板岩的顺层强劈理化及破碎作用;同时,板岩劈理面的揉皱变形及其内灰岩、砂岩层的构造透镜体化现象发育,显示压扭性断层性质。其总体走向为 $310^{\circ} \sim 320^{\circ}$,倾向北东,倾角中等,平均 30° 左右,为矿区主要的控矿构造。

(4) 北北东及近南北向陡倾断层:与地层产状或区域主构造线方向近于垂直发育,规模大小不一,明显切穿北西向控矿构造及矿化蚀变带,显示其形成晚于矿化并具走滑性质的特点。

1.3 岩浆岩

本区岩浆岩不甚发育,仅在矿区中部鹿耳韭沟距主矿体约 500 m 地段出露少量花岗斑岩脉,其化学成分中 $w(\text{SiO}_2)$ 为 74.7%,属酸性岩类, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 9.81%,比同类岩浆岩明显偏低;稀土

元素含量为 204.73×10^{-6} ,具有富轻稀土、贫 Eu 的特点,与地壳重熔型花岗岩类相似;同时,其 w_{Au} 、 w_{As} 较低,分别为 2.4×10^{-9} 及 2.5×10^{-6} (张均等, 2002)。

2 矿化特征

2.1 矿化带产状及其展布

区内金矿化作用明显受地层岩性及构造的双重控制。马脑壳金矿化带主要产于区内倒转背斜北翼扎尕山组地层中发育的北西向顺层强劈理化构造破碎带内,其总体呈北西向延伸,平均走向 $310^{\circ} \sim 320^{\circ}$,倾向北东,平均倾角 30° 。该矿化带具较大规模,长度约 4 km,宽度 200 ~ 500 m;受后期断层切割破坏,分成两河口、马脑壳及青山梁西、中、东 3 段,其中马脑壳矿段矿化较好,为主要矿体部分(图 1)。

2.2 金矿化类型

矿区主要发育蚀变岩及石英脉两种类型的金矿化作用。蚀变岩型按其原岩性质可分为蚀变板岩型、蚀变砂岩型及蚀变灰岩型等 3 类,前者矿化相对

较强,金品位一般为 $3.9 \times 10^{-6} \sim 9.69 \times 10^{-6}$;后两者矿化相对较弱,金品位一般为 $1.79 \times 10^{-6} \sim 2.32 \times 10^{-6}$ (郑明华等,1994)。该类型金矿化沿走向和倾向有较大延伸,为工业矿化的主体。

石英脉型金矿化依其矿物共生组合可划分为石英-黄铁矿-毒砂-辉锑矿-石英及石英-雄(雌)黄等3种类型,其中前两者金矿化相对较强,品位一般为 $1.8 \times 10^{-6} \sim 14.0 \times 10^{-6}$;后者矿化较弱,品位一般小于 2×10^{-6} (郑明华等,1994)。该类型金矿化总体规模相对较小,长度一般几米~几百米,厚几厘米~几十厘米,沿走向、倾向延伸不大,除少数规模较大的辉锑矿-石英脉外,一般构不成独立金矿体。

两类金矿化空间上往往叠加发育在一起,石英脉型金矿化多沿次级脆性构造裂隙穿插于蚀变岩型金矿体之中。空间上,辉锑矿-石英脉型金矿化在马脑壳矿段最为发育,而石英-雄(雌)黄脉型多发育于青山梁矿段;尤其在有辉锑矿-石英脉型矿化叠加发育处,往往构成金的工业富矿体。

2.3 矿石特征

(1) 矿石类型:按主要工业矿物及金属硫化物的发育特征,矿区原生矿石可划分为以下几种类型:

金-黄铁矿-毒砂-石英型:是矿区分布最为广泛的主要矿石类型,约占矿石总量的70%,其含金量变化于 $0.2 \times 10^{-6} \sim 13.0 \times 10^{-6}$,大多数在 $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$ (郑明华等,1994);主要矿石矿物为黄铁矿和毒砂,脉石矿物为石英;蚀变岩及石英-毒砂-黄铁

矿脉型矿石均属此类。

金-辉锑矿-石英型:含金量为 $1.8 \times 10^{-6} \sim 14.0 \times 10^{-6}$,大多数约 10×10^{-6} (郑明华等,1994);矿石矿物以辉锑矿为主,局部含有白钨矿,脉石矿物以石英为主,呈脉状矿化形式产出。

金-雄(雌)黄-石英-方解石型:为次要矿石类型,其矿物组合以雄(雌)黄、石英、方解石为主,含金量一般较低,以脉型矿化形式产出。

(2) 矿石矿物成分及结构构造:矿区各类矿石中,主要矿石矿物有自然金、黄铁矿、毒砂、辉锑矿,次为白钨矿及雄(雌)黄;脉石矿物则以石英为主,少量方解石及绢云母等。矿石发育多种结构构造,常见的矿石结构有结晶粒状、葡萄状、填隙、环边、环带、放射状、胶状和交代残余结构等;常见构造则主要有块状、浸染状、疏松粉末状、脉状穿插及碎裂状构造等。

(3) 主要金属硫化物及其含金性:矿区各类矿石中比较重要和常见的硫化物矿物主要有黄铁矿、毒砂、辉锑矿、雄(雌)黄等,电子探针分析结果表明(表1),它们也是重要的载金矿物。总体来看,金在各种矿物中的产出具有如下特征:

① 各种金属硫化物的含金性有一定的差异,其中含金黄铁矿多具草莓状及环带状结构,金含量变化范围为 $0.104\% \sim 0.223\%$;具环带状结构的黄铁矿,Au与As含量变化具明显的相关性,且金主要产于黄铁矿边部富砷环带中,这一特点与中国同类矿床

表1 马脑壳金矿床金属硫化物电子探针分析结果($w_B/\%$)

Table 1 Electron microprobe analytical results($w_B/\%$) of sulfides in the Manaoko gold deposit

| 样号 | 矿物 | 结构 | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | As | Sb | Au | Ag | S | 备注及参考文献 |
|---------|-----|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-----------|
| MK-5 | 黄铁矿 | 环带结构 | 45.380 | 0.048 | 0.080 | 0.080 | 0.000 | 0.690 | 0.035 | 0.000 | 0.000 | 53.850 | 中心暗带 本文 |
| MK-5 | 黄铁矿 | 环带结构 | 47.380 | 0.061 | 0.008 | 0.000 | 0.000 | 0.731 | 0.939 | 0.104 | 0.018 | 50.760 | 中心暗带 本文 |
| MK-5 | 黄铁矿 | 环带结构 | 39.880 | 0.046 | 0.023 | 0.179 | 0.000 | 7.055 | 4.147 | 0.223 | 0.013 | 48.440 | 边部亮带 本文 |
| MK-5 | 黄铁矿 | 环带结构 | 42.820 | 0.042 | 0.046 | 0.356 | 0.019 | 4.842 | 3.458 | 0.124 | 0.000 | 48.290 | 边部亮带 本文 |
| LH-zh-2 | 黄铁矿 | 草莓状 | 45.840 | 0.061 | 0.000 | 0.035 | 0.000 | 1.618 | 0.000 | 0.119 | 0.004 | 52.320 | 本文 |
| NC-2 | 黄铁矿 | 草莓状 | 44.710 | 0.042 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.337 | 0.025 | 0.021 | 0.005 | 54.800 | 本文 |
| MK-2 | 毒砂 | 菱柱状 | 24.610 | 0.018 | 0.022 | 0.012 | 0.021 | 19.690 | 0.357 | 0.049 | 0.000 | 55.220 | 本文 |
| MK-2 | 毒砂 | 菱柱状 | 28.410 | 0.026 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 17.760 | 0.290 | 1.552 | 0.000 | 51.790 | 本文 |
| LH-zh-2 | 毒砂 | 菱柱状 | 35.140 | 0.035 | 0.000 | 0.019 | 0.000 | 40.470 | 0.057 | 0.242 | 0.000 | 24.030 | 本文 |
| G10-9 | 辉锑矿 | 细粒 | 0.030 | 0.010 | 0.000 | 0.060 | 0.030 | 1.780 | 69.990 | 0.290 | 0.020 | 27.360 | 郑明华等,1994 |
| G9-9-2 | 辉锑矿 | 细粒 | 0.030 | 0.060 | 0.020 | 0.040 | 0.060 | 1.200 | 70.940 | 0.290 | 0.050 | 28.630 | 郑明华等,1994 |
| G8-3-2 | 辉锑矿 | 细粒 | 0.030 | 0.040 | 0.030 | 0.050 | 0.040 | 1.390 | 70.130 | 0.130 | 0.050 | 28.360 | 郑明华等,1994 |
| G6-1-4 | 辉锑矿 | 粗粒 | 0.020 | 0.050 | 0.010 | 0.030 | 0.080 | 1.060 | 71.990 | 0.070 | 0.000 | 27.890 | 郑明华等,1994 |
| G5-1-4 | 辉锑矿 | 粗粒 | 0.060 | 0.020 | 0.000 | 0.030 | 0.070 | 1.040 | 70.240 | 0.110 | 0.070 | 26.780 | 郑明华等,1994 |
| G10-8 | 雄黄 | 不规则粒状 | 0.020 | 0.030 | 0.000 | 0.060 | 0.000 | 67.920 | 1.310 | 0.170 | 0.040 | 30.060 | 郑明华等,1994 |
| G22-9 | 雄黄 | 不规则粒状 | 0.010 | 0.020 | 0.010 | 0.010 | 0.050 | 66.930 | 0.140 | 0.020 | 0.050 | 31.000 | 郑明华等,1994 |

测试单位:中国地质大学(武汉)测试中心电子探针室;仪器型号:JCXA-733型电子探针仪;精度 $\pm 0.01\%$ 。

表 2 矿石微量元素成分分析结果 ($\mu\text{g}/10^{-6}$)Table 2 Analytical results of minor element components of ores ($\mu\text{g}/10^{-6}$)

| | Au* | As | Sb | Hg | Cu | Pb | B | W |
|-----|--------------|-------------|------------|---------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 范围 | 250.0~7230.0 | 79.0~1084.0 | 5.2~1181.0 | 0.7~7.9 | 10.1~21.2 | 8.0~25.0 | 52.4~165.1 | 2.5~500.0 |
| 平均值 | 2885.5 | 696.1 | 441.9 | 3.2 | 18.8 | 17.5 | 96.1 | 84.2 |
| | Cr | Ni | Bi | Mo | V | Zn | Ag | Co |
| 范围 | 38.7~57.0 | 9.5~24.4 | 0.3~0.5 | 0.2~0.7 | 42.0~72.7 | 11.5~60.7 | 0.1~0.3 | 4.1~10.9 |
| 平均值 | 47.8 | 17.8 | 0.34 | 0.5 | 59.2 | 37.4 | 0.2 | 7.5 |

测试单位:国土资源部武汉综合岩矿测试中心。表中数据为 32 个样品的统计结果。* 单位为 10^{-9} 。

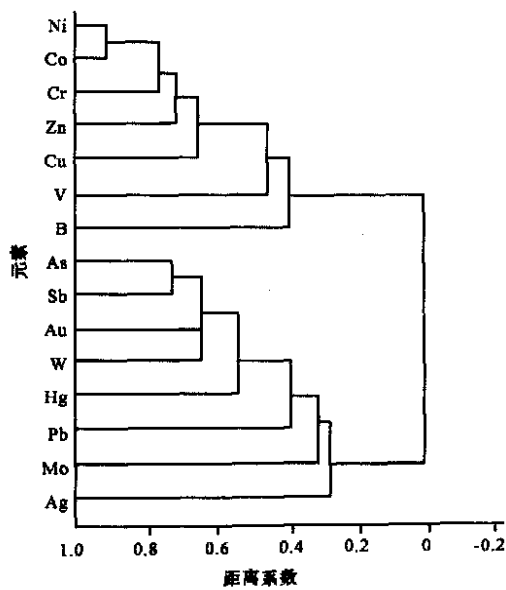


图 2 矿石微量元素聚类分析谱系图

Fig. 2 Dendritic diagram of minor elements in ores based on cluster analysis

及世界卡林型金矿床相似(苏欣东,1991;Arehart,1996);含金毒砂以菱柱状形态为主,其金含量变化范围为 0.049%~1.522%;含金辉锑矿有细粒与粗粒形态之分,其中细粒辉锑矿含金性好,其含金量为 0.13%~0.29%,而粗粒辉锑矿含金量仅为 0.07%~0.11%;雄黄含金性一般较差,其含金量变化范围为 0.02%~0.17%,明显低于其他金属硫化物。由此可见,环带黄铁矿富砷边部带、菱柱形毒砂及细粒辉锑矿含金量明显高于一般黄铁矿、雄黄及粗粒辉锑矿。

② 各种硫化物矿物中金分布极不均匀,这一特点除表现在上述不同类型、不同形态矿物含金量存在明显差异之外,更重要的还体现在同一矿物颗粒内部不同部位含金性明显有别。据此推断,金在载金矿物中可能主要以超显微颗粒金形式赋存。

(4) 矿石微量元素特征

对矿石中 Au、Ag、Hg、Pb、Mo、W、As、Sb、V、Cu、Zn、Cr、Co、Ni、B 等 15 种微量元素成分进行了系统测试(表 2),聚类分析结果表明(图 2),上述元素在 0.3 相似性水平上分成两大组:① Au、W、As、Sb、Hg、Pb、Mo、Ag 代表了成矿元素组合,它们之间密切相关,代表了热液活动中较活动的组分;② Co、Ni、Cr、Zn、Cu、V、B 元素为一组,可能代表了热液中活动性较差的较惰性组分。Au 与 Sb、Ag、Hg、Pb、Mo、W 等元素的较强相关性表明上述元素组合为找矿指示性标志之一。

2.4 成矿期次、阶段划分

室内外综合研究表明,马脑壳金矿床至少经历了 3 期主要成矿作用过程,即:区域变形变质(金初步富集),热液成矿作用(原生金矿床形成)及表生氧化-次生再富集成矿作用等(王可勇,1999)。其中热液成矿作用为金的主要成矿期,据矿脉穿插关系及矿石结构构造特点,热液金成矿作用可以划分为如下 4 个成矿阶段:

I. 石英-毒砂-黄铁矿阶段:以形成强劈理化构造破碎带和较强的硅化、黄铁矿化、毒砂化等为主的蚀变岩型矿化及顺劈理面展布的细小石英-毒砂-黄铁矿脉为标志,是全区分布最为广泛的热液金矿化阶段,该阶段形成层状蚀变岩型矿体的主体。

II. 辉锑矿-石英阶段:形成规模不同的石英-辉锑矿脉,厚数厘米到数十厘米,长数十到数百米,并明显穿切早期蚀变岩型矿层,主要分布于矿区马脑壳矿段。

III. 石英-雄(雌)黄-方解石阶段:以形成不规则细脉为特征,主要分布于青山梁矿段。

IV. 石英-方解石阶段:形成含有少量石英的方解石脉,脉厚数毫米到数厘米,矿化作用微弱,在矿区范围内发育较广泛。

2.5 围岩蚀变特征

矿区范围内发育的近矿围岩蚀变类型主要有硅

化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化,其次为碳酸盐化及少量绿泥石化,围岩蚀变多围绕矿体发育,强蚀变部位可构成蚀变岩型矿体。研究表明(王可勇,1999),由矿体向两侧围岩, SiO_2 、 K_2O 及 Au、As、Sb、W 等含量逐渐降低,显示出其在热液活动过程中为带入组分; CaO 、 CO_2 、 MgO 含量升高,表明随热液活动带出的特点,反映了热液活动中矿体部位原岩较强的去碳酸盐化作用趋势,这与世界卡林型金矿的特点类似(Arehart,1996);其他成分如 TiO_2 、 P_2O_5 、 MnO 含量基本无大的变化,表明它们在热液作用过程中为惰性不活动组分。

3 成矿时代研究

流体包裹体 Rb-Sr 等时线定年方法是近年发展起来的确定成矿时代的较为有效的方法之一。Rossman 通过实验证明,石英中的 Rb、Sr 等元素主要赋存于其流体包裹体之中(Rossman,1987);Shepherd 认为,在大多数地质条件下,原生流体包裹体在其封闭之后,并不泄漏,既没有外来物质加入,也没有包裹体内物质的丢失,因而可以认为原生流体包裹体是保存在矿物中,并与外部环境完全隔离的小液滴,故流体包裹体可以基本满足 Rb-Sr 同位素计时所要求的封闭化学体系(Shepherd,1981)。李华芹等应用这一方法较成功地测定了中国一系列矿床的形成时代(李华芹,1993)。为此,本次工作利用这一方法,对马脑壳金矿床的形成时代进行了研究。

在马脑壳矿区,各热液成矿阶段均发育较多的石英。研究表明,各成矿阶段石英中均含丰富的原生流体包裹体。由于 II 成矿阶段为主要金矿化阶段,且其石英-辉锑矿脉分布较广泛,规模相对较大,便于挑选样品。为此,项目组在矿区不同空间部位采集了该阶段的 5 个石英脉样品,室内磨碎至 60~80 目,在双目镜下分别挑选 5 g 石英单矿物(纯度

99%以上)。石英流体包裹体样品 Rb-Sr 同位素分析在宜昌地质矿产研究所同位素地球化学开放研究实验室完成,样品处理过程及分析流程李华芹等(1993)做过详细论述。结果(表 3,张均等,2002)表明马脑壳金矿床 II 成矿阶段石英流体包裹体 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 为 0.747~1.765, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为 0.71010~0.71387。采用 ISOPROB 程序对数据进行处理,5 个样品拟合成一条较好的等时线(图 3),其 MSWD 为 2.22, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ 为 0.708531,在置信度为 95%的条件下,等时线年龄值为 (210 ± 35) Ma,表明马脑壳金矿床的主要成矿时代为印支晚期。

4 矿床成因讨论

4.1 成矿物质来源

郑明华等(1994)根据对该矿床岩、矿石铅、硫同位素组成研究,认为其成矿物质主要来自赋矿地层,即区内广泛发育的三叠系浊积岩建造。笔者对矿区赋矿围岩、I 阶段含金石英脉型矿石及 II 阶段热液辉锑矿所作的稀土元素地球化学分析结果(表 4,图 4)亦支持这一观点。I 阶段含金石英脉型矿石及 II 阶段辉锑矿除稀土元素总量低于围岩外,其稀土元素配分模式基本继承了围岩所具有的 δEu 负异常的特征(图 4)。但与围岩相比,热液矿石及矿物中的重稀土元素呈现较强的富集趋势,致使其稀土元素配分模式曲线斜率 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 变小,这与该区金矿床的流体性质有关。研究表明,马脑壳金矿床成矿流体以 H_2O 为主,含一定量的 CO_2 ,阳离子主要为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ 及少量 Mg^{2+} ,阴离子以 HCO_3^- 为主,次为 Cl^- 、 F^- (张均等,2002)。由于重稀土元素较轻稀土元素更易于与 HCO_3^- 形成稳定络合物(Lottermoser,1992),故当富含 HCO_3^- 的热液流经本区围岩并与其发生水溶反应时,岩石中的重稀土元素将优先更多地进入热液,由此产生轻、重稀土元素地球化学分

表 3 马脑壳金矿床 II 阶段石英流体包裹体 Rb/Sr 同位素测试结果(据张均等,2002)

Table 3 Analytical results of Rb, Sr isotopes of fluid inclusions in quartz of ore-forming stage II in the Manaoko gold deposit

| 序号 | 实验室编号 | 原送样号 | $w_{\text{Rb}}/10^{-6}$ | $w_{\text{Sr}}/10^{-6}$ | $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\pm 1\sigma)$ |
|----|----------|----------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | 398175-1 | MPD5 | 1.459 | 2.951 | 1.426 | 0.71276 ± 0.00007 |
| 2 | 398175-2 | MMC-1 | 2.702 | 16.700 | 0.467 | 0.71010 ± 0.00005 |
| 3 | 398175-3 | MMC-3 | 2.184 | 7.436 | 0.847 | 0.71102 ± 0.00006 |
| 4 | 398175-4 | MIDI-4-4 | 0.731 | 2.823 | 0.747 | 0.71056 ± 0.00001 |
| 5 | 398175-5 | MIID-8-3 | 1.585 | 2.590 | 1.765 | 0.71387 ± 0.00004 |

测试单位:宜昌地质矿产研究所同位素地球化学开放研究实验室;测试仪器:MAT-261 可调多接受型质谱仪;精度: $\pm 0.01\%$ 。

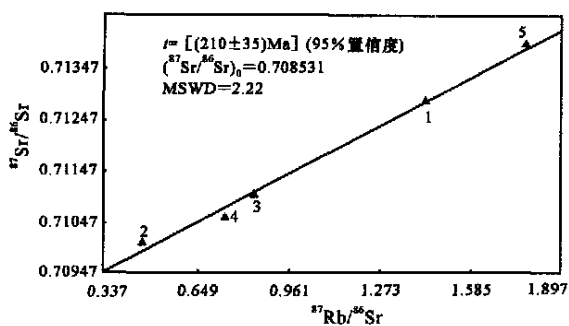


图 3 马脑壳金矿床 II 阶段石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线
Fig.3 Rb-Sr isochron of fluid inclusions in quartz of Ore-forming Stage II in the Manaoko gold deposit

表 4 马脑壳金矿床岩、矿石稀土元素分析结果 ($\mu\text{g}/10^{-6}$)

Table 4 Analytical results of REE content of surrounding rocks and ores in the Manaoko gold deposit ($\mu\text{g}/10^{-6}$)

| 岩(矿)石 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy |
|----------|-------|-------|------|-------|------|---|-------------------|-------------------|------|
| 砂质板岩 | 35.80 | 71.37 | 7.72 | 26.26 | 4.27 | 0.66 | 3.47 | 0.54 | 3.25 |
| I 阶段石英脉 | 10.16 | 19.51 | 2.52 | 8.98 | 2.37 | 0.63 | 2.65 | 0.43 | 2.43 |
| II 阶段石英脉 | 0.24 | 0.70 | 0.09 | 0.24 | 0.07 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.04 |
| 岩(矿)石 | Ho | Gr | Tm | Yb | Lu | $\Sigma\text{REE}(\text{La}/\text{Yb})_N^*$ | δCe | δEu | |
| 砂质板岩 | 0.65 | 1.80 | 0.30 | 1.78 | 0.28 | 158.15 | 12.76 | 1.00 | 0.53 |
| I 阶段石英脉 | 0.44 | 1.10 | 0.17 | 0.83 | 0.13 | 52.35 | 7.77 | 0.90 | 0.78 |
| II 阶段石英脉 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 1.52 | 8.00 | 1.11 | 0.55 |

测试单位:国土资源部武汉岩矿综合测试中心;仪器:ICP;精度 $\pm 0.01\%$; * 单位为 1。

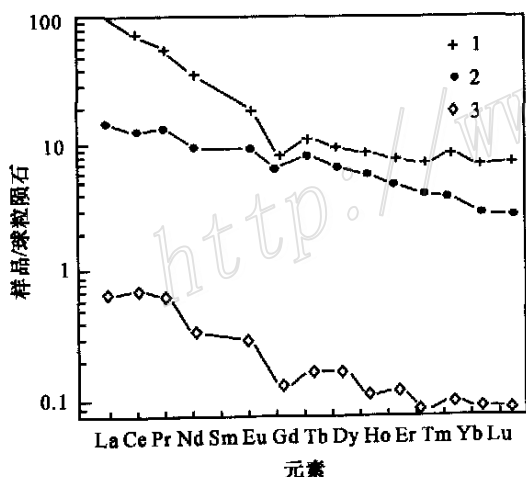


图 4 马脑壳金矿床岩、矿石稀土元素配分曲线
1—砂质板岩;2—I 成矿阶段石英脉;3—II 成矿阶段辉铋矿
Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns of surrounding rocks and ores in the Manaoko gold deposit

1—Arenaceous slate; 2—Quartz vein of Ore-forming Stage I;
3—Stibnite of Ore-forming Stage II

异作用,其结果使得热液矿石、矿物相对富集重稀土元素,其稀土元素配分模式曲线较围岩地层亦趋于平缓。从上述分析可知,本区热液中的稀土元素具有继承围岩稀土元素成分的特点,这也间接地指示了围岩地层为该矿床的形成提供了物质来源。

4.2 岩浆活动与成矿作用关系

(1) 时空关系

川西北地区很多矿床中均有岩浆岩体(脉)发育。在马脑壳矿区,花岗斑岩脉位于矿区外围近 500 m 远的地层中(见图 1);而其他如壤塘、哲波山矿区,矿体直接产于岩体(脉)内及围岩接触带外。马脑壳金矿床 II 成矿阶段石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 (210 ± 35) Ma,表明该矿床主要成矿作用发生于印支晚期。另外,笔者测得矿区内花岗斑岩脉 K-Ar 年龄值为 200 Ma(张均等,2002)。在误差范围内,两者年龄相近,表明该区热液成矿作用与中酸性岩浆活动近于同时发生。对川西北地区其他金矿床的研究亦得出了相似结论。季宏宾等测得哲波山矿区蚀变闪岩型矿石全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 200 Ma,含石英闪长玢岩体 Rb-Sr 等时线年龄为 227 Ma(季宏宾等,1998);张均等测得壤塘矿区赋石英闪长玢岩脉全岩 Rb-Sr 等时线年龄值为 (219 ± 12) Ma, I 矿化阶段石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄值为 (187 ± 12) Ma(张均等,2002)。上述研究结果均表明,印支晚期为川西北地区微细浸染型金矿床的主要成矿期;区内金成矿作用与岩浆活动近于同时或成矿作用稍晚于岩浆侵入活动,两者具密切的时间及空间关系。

(2) 成因关系

马脑壳金矿床流体包裹体氢、氧同位素测试结果表明(王可勇,1999),各矿化阶段石英流体包裹体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $1.04\% \sim 12.11\%$; $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $-57.9\% \sim -100.7\%$ 。在 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 关系图上(图 5),数据点均位于原生岩浆水下方,只有一个点落于岩浆水范围内。壤塘、哲波山金矿床的研究结果亦与此相似(张均等,2002)。王小春(1996)研究表明,川西北地区普弄巴—根达一带地表泉水 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $-117.199\% \sim -122.636\%$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $-117.199\% \sim -18.339\%$;若以该值代表当地中生代—现代大气降水的氢、氧同位素值,则马脑壳等矿区矿石石英流体包裹体较高的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值就表明成矿流体可能为一种混合热液,即既有岩浆流体成分,又有大气降

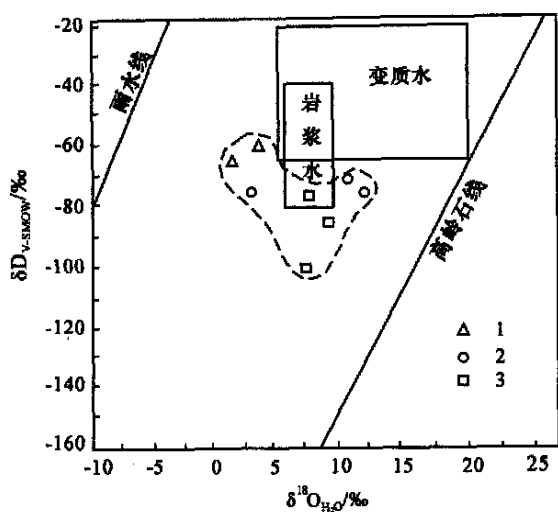


图5 马脑壳金矿床流体包裹体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ - $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解(王可勇,1999)

Fig.5 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ versus $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ diagram of fluid inclusions in the Manaoko gold deposit (after Wang, 1999)

水;虽然在马脑壳矿区范围内仅出露少量的花岗斑岩脉体,但吕新彪等已根据遥感资料,提出了马脑壳矿区深部可能存在隐伏岩体的认识(吕新彪等,1999)。因此,除提供了热动力条件外,金矿床氢、氧同位素研究表明,岩浆物质还直接参与了金矿床的成矿作用过程。因此,本区金矿床的形成与岩浆活动有直接的成因关系。

5 主要结论

综合上述研究,笔者认为包括马脑壳在内的川西北地区一系列微细浸染型金矿床,其成矿作用与印支晚期中-酸性岩浆活动有密切的成因关系,金矿床成矿时代主要为印支晚期,它们均属该区印支晚期褶皱造山作用的产物。岩浆活动不仅为金成矿作用提供了热动力条件,而且也提供了部分成矿物质。因此,中酸性岩浆岩(脉)体的存在亦可作为该区找矿工作的重要标志之一。

References

- Arehart G B. 1996. Characteristics and origin of sediment-hosted disseminated gold deposits: a review [J]. *Ore Geol. Rev.*, 11: 383 ~ 403.
- Ji H B, Li C Y and Wen J M. 1998. Sources of ore-forming materials and metallogenic epoch of Zheboshan gold deposit, western Sichuan Province [J]. *Chinese Sci. Bull.*, 43(8): 870 ~ 875 (in Chinese).
- Li H Q. 1993. Study on fluid inclusion chronology of hydrothermal deposits and its geological application [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 164p (in Chinese).
- Li X Z. 1996. The types and distribution regularity of epithermal gold deposit series in North-Western Sichuan Province [J]. *Geol. J. Sichuan*, 16(2): 135 ~ 141 (in Chinese with English abstract).
- Lottermoser B G. 1992. Rare earth elements and hydrothermal ore formation process [J]. *Ore Geol. Rev.*, 7: 25 ~ 41.
- Lu X B, Liu J P and Zhang J. 1999. Features and ore-controlling significance of structural lineaments from landsat TM image in Songpan-Nanping region, Sichuan [J]. *Earth Sci.*, 24(Supp.): 66 ~ 70 (in Chinese with English abstract).
- Rossmann G R. 1987. Rb, Sr, Nd and Sm concentrations in quartz [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 51: 2325 ~ 2329.
- Su X D. 1991. The existing form of gold in some minerals of fine grain disseminated gold deposits in our country [J]. *Geol. Sci. & Techn. Gold.*, 4: 57 ~ 62 (in Chinese with English abstract).
- Shepherd T J. 1981. Fluid inclusion Rb-Sr isochron for dating mineral deposit [J]. *Nature*, 290: 5807.
- Wang K Y. 1999. Study on systematic structural-hydrothermal evolution and ore-forming mechanics of Manaoko gold deposit in northwestern Sichuan Province [dissertation for doctor degree] [D]. Tutor: Yao S Z. Wuhan: China Univ. Geosci. 92p (in Chinese).
- Wang X C. 1996. Study on physico-chemistry of fluids of fine grain disseminated gold deposits, China [J]. *South Western Metallurgical and Mineral Geology*, 3: 14 ~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Yin H F, Yang F Q, Huang Q S, et al. 1992. The triassic of Qinling Mountain [M]. Wuhan: China Univ. Geosci. Press. 261p (in Chinese).
- Zhang J, Lu X B, Yang F Q, et al. 2002. Geology and metallogenic prospecting of gold deposits, north western Sichuan Province [M]. Wuhan: China Univ. Geosci. Press. 441p (in Chinese).
- Zheng M H, Zhou Y F, Liu J M, et al. 1994. Plume type and turbidity type strata-bound gold deposits [M]. Chengdu: Sichuan Sci. & Techn. Press. 255p (in Chinese).
- 季宏兵, 李朝阳, 文锦明. 1998. 川西哲波山金矿床成矿物质来源及成矿时代 [J]. *科学通报*, 43(8): 870 ~ 875.
- 李华芹. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用 [M]. 北京: 地质出版社. 164页.
- 李小壮. 1996. 川西北地区浅成低温热液金矿系列的矿床类型与分布规律 [J]. *四川地质学报*, 16(2): 135 ~ 141.
- 吕新彪, 刘吉平, 张均. 1999. 四川松潘-南平遥感图像构造线性体特征及控矿意义 [J]. *地球科学*, 24(增刊): 66 ~ 70.
- 苏欣东. 1991. 我国细微浸染型金矿床某些载体矿物中金的赋存状态 [J]. *黄金地质科技*, (4): 57 ~ 62.
- 王可勇. 1999. 川西北马脑壳金矿床构造-流体系统演化与矿床形成

- 机制研究[博士学位论文][D]. 导师：姚书振. 武汉：中国地质大学，92 页.
- 王小春. 1996. 中国细微浸染型金矿的流体物理化学研究[J]. 西南冶金矿产地质, (3) : 14~27.
- 殷鸿福, 杨逢清, 黄其胜, 等. 1992. 秦岭及邻区三叠系[M]. 武汉：中国地质大学出版社. 261 页.
- 张均, 吕新彪, 杨逢清, 等. 2002. 川西北金矿地质和成矿预测[M]. 武汉：中国地质大学出版社. 441 页.
- 郑明华, 周渝峰, 刘建明, 等. 1994. 喷流型与浊流型层控金矿床[M]. 成都：四川科学技术出版社. 255 页.

Geological Characteristics and Origin of Manaoke Fine-grained Disseminated Gold Deposit in Northwestern Sichuan Province

Wang Keyong¹, Yao Shuzhen², Yang Yanchen¹ and Dai Junzhi¹

(1 College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China;

2 China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract

Based on summarization of geological features of the Manaoke fine-grained disseminated gold deposit, the authors analyzed its genesis through an integrated study of Rb-Sr isochron dating of fluid inclusions in quartz of the main ore-forming stage, geochemistry of rare earth elements and isotopes of hydrogen and oxygen. The results show that the Manaoke gold deposit was formed in Late Indosinian epoch, that its ore-forming materials came from surrounding strata, and that magmatic activities were involved in the ore-forming process. It is a mixed hydrothermal gold deposit related to magmatic activities.

Key words: geology, fine-grained disseminated type, origin of an ore deposit, metallogenic epoch, Manaoke gold deposit, northwestern Sichuan Province

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