

马鞍桥金矿成矿地质条件及矿床成因^①

张复新

马建秦

(西北大学地质系, 西安 710069) (中科院贵阳地化所, 贵阳 530002)

提 要 通过对板—沙地区构造沉积演化、岩相古地理、变质作用、构造变形和矿床特征的地质地球化学综合研究, 表明马鞍桥矿床属于变质细碎屑岩型层控金矿床。矿床的形成可划分为沉积、变质、构造叠加和热液改造三个阶段。

关键词 成矿条件 矿床成因 变质细碎屑岩型 马鞍桥金矿床

马鞍桥金矿是秦岭地区 80 年代中期第二轮找金热潮中发现的, 位于周至县南部板房子—沙沟泥盆纪沉积盆地中。由于该地区处于较特殊的秦岭造山带构造背景下, 板沙盆地具有特征的形成演化。一则导致马鞍桥金矿床地质地球化学特征及其成因在总体上与秦岭成矿带诸多金矿床特征趋同, 另则又显示了它的独特与过渡性。认识该类型金矿床的特征与形成, 对于总结与完善秦岭成矿带金矿地质理论, 开展新一轮找矿无疑是十分重要的。

1 构造地质背景与板沙盆地类型

马鞍桥金矿区及其赋存的板沙盆地沉积建造, 位于秦岭南、北板块的俯冲对接带, 也即商丹断裂带内及其附近。以往将商丹带南侧沉积岩系作为南秦岭北缘刘岭群的一部分, 最近研究^①, 由于沉积岩系砾岩的主要物源供给区为北秦岭丹凤岛弧蛇绿岩, 致使商丹断裂带向南重新厘定。显然, 板沙盆地沉积体系则由北部活动大陆边缘弧前沉积和南部被动大陆边缘下弓塌陷盆地沉积的“二合一”组成, 并且板沙盆地形成亦受南北两板块边界形态及碰撞和走滑构造的控制。

不规则的板块边界在俯冲对接过程中, 其边界突出部位首先发生碰撞, 在其两侧凹进部位保留残余盆地继续接受沉积。板沙地区晚古生代沉积就形成于该独立的小型盆地中。碰撞之初沉积环境总体向上变浅。由于南北的斜向俯冲和碰撞, 必然导致沿板块边界的走滑作用的发生。在进一步的俯冲碰撞过程中, 盆地不断地卷入碰撞带, 走滑作用将对其进行改造。由于走滑产生的拉分伸展, 盆地内出现加深环境, 在浅水沉积基础上, 突然快速变为深水沉积组合, 发育浊积岩及较广泛的碎屑流沉积, 成为本区有利的含矿建造。板沙盆地发展演化为残留-拉分盆地。

^① 收稿日期 1996-12-26

2 含矿岩相及其环境

马鞍桥金矿赋存于上泥盆统桐峪寺组上岩段。由于南北板块俯冲会聚, 本区碰撞砥触于汉南古老硬化基底, 使板沙地区成为秦岭造山带最狭窄的应力集中区, 形成以佛坪结晶杂岩为核心的, 周围发育大量花岗岩和具有明显变质晕圈的动热中心⁽²⁾(图 1)。致使本区地层岩石发生中—浅变质。现将本区小五涧以东—西清水河东西长 35km, 沙梁子断裂以南 10km 范围内岩相组成及其环境分析如下。

2.1 含矿与赋矿岩相类型

在上述区域范围内, 根据已出露的中—浅变质的各种成分之千枚岩、变砂岩、碳质片岩和大理岩的原岩恢复, 研究区大致由三种岩相类型组成: (1) 泥质岩相, 又可划分为泥岩、钙质泥岩、砂-泥质岩互层微相, 含碳钙质泥岩微相; (2) 砂岩相, 由泥质砂岩、钙质砂岩、含碳钙质砂岩、含碳钙质泥砂岩微相组成; (3) 灰岩相, 由含砂(泥)粒屑灰岩、泥灰岩微相组成。它们在本区形成的岩相组合, 反映出了较复杂的岩相古地理的变化。又以钙质砂岩-含碳钙质砂岩-含砂质钙屑泥灰岩-含碳钙质泥岩岩相组合, 组成了马鞍桥金矿有利的含矿与赋矿岩相。

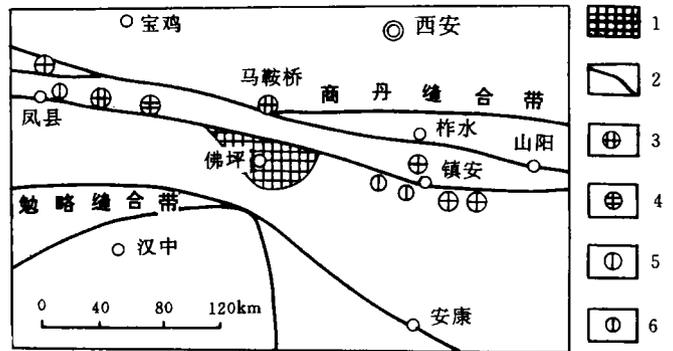
2.2 岩相组合与环境

2.2.1 岩相组合 I (A_1)——斜坡盆地环境

此岩相组合构成上泥盆统桐峪寺组中、下岩段, 自西清水河至小王涧横向延伸稳定, 东西相变不明显。根据(钙质)绢云石英变砂岩、黑云石英千枚岩、(钙质)石英千枚岩、(钙质)千枚岩组合, 经原岩恢复相当于由泥质砂岩相-钙质砂泥岩相-泥岩相-钙质泥岩相组合而成。垂向上, 上述岩相多以不同岩相间的突变变化为主, 砂质岩层与泥质岩层高频叠复的岩段占层序的较大比例。变余粒序层理、块状层理、平行层理较发育, 反映了一种受线状物源控制的古地貌相对平缓的浊积斜坡-盆地环境(图 2)。

2.2.2 岩相组合 II (A_2)——碳酸盐陆棚环境

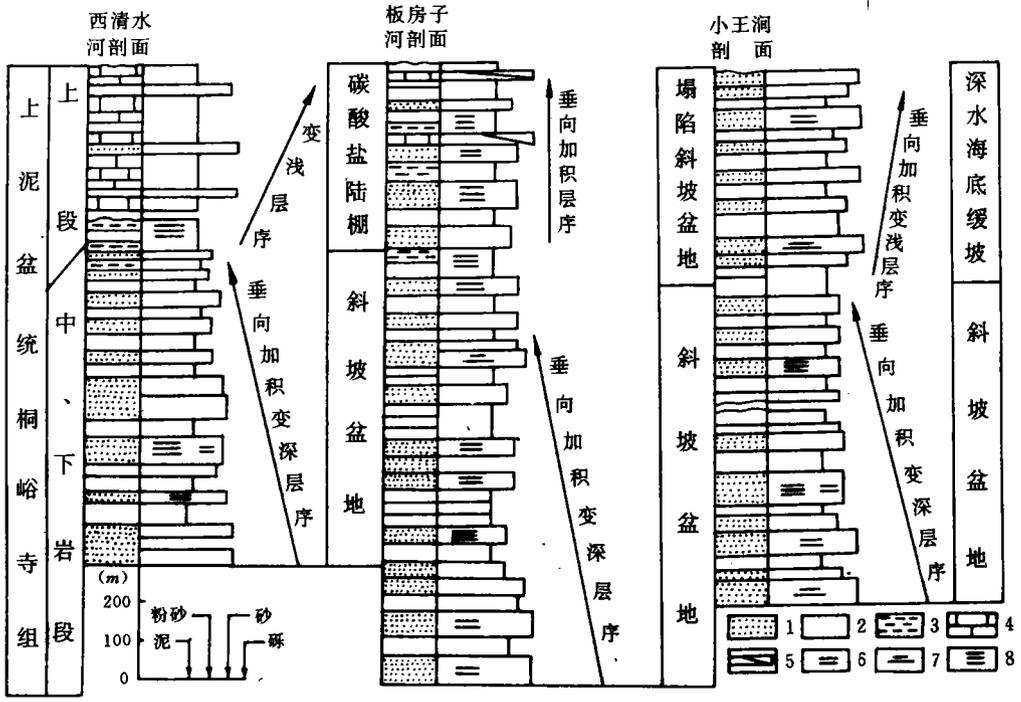
该岩相组合发育本区西部西清水河一带, 剖面层序中发育斜坡盆地沉积岩相之上, 构成研究区西部桐峪寺组上岩段。根据剖面中块状大理岩、不纯(含绢云母、石英、绿泥石)大理岩夹钙质千枚岩、钙质石英变砂岩的原岩恢复, 主要应由灰泥岩-含泥-砂质粒屑灰岩组成碳酸盐岩陆



1. 古隆起 2. 区域性大断裂 3. 变质碎屑岩型金矿 4. 热水沉积改造型金矿 5. 卡林型金矿 6. 脉状体型金矿

图 1 马鞍桥金矿床大地构造位置图

Fig. 1 Geotectonic position of Maanqiao Au deposit



- 1 砂质岩层 2 泥质岩层 3 钙质泥岩/钙质砂岩 4 碳酸盐岩 5 透镜状构造 6 平行层理 7 粒序层理
- 8 韵律层理

图2 研究区不同剖面沉积层序对比图

Fig.2 Stratigraphic correlation in the study area

棚建造。这种由中、下段较深水沉积环境较快地转变为浅水环境,是与本区同沉积构造引起的局部抬升有关。

2.2.3 岩相组合 III (A₃)——深水海底缓坡环境

此组合分布于本区东部小王洞及其以东地区之桐峪寺组上岩段。主要由泥质砂岩-钙质泥质砂岩-粉砂质泥岩-钙质泥岩叠置组成。变余粒序层理、平行层理、块状层理,以及岩性突变接触为特征的层序,反映了以浊流沉积为主的垂向加积为特征的沉积组合。与下伏斜坡盆地相沉积相比,砂质成分明显增高,变余块状砂岩、平行层理砂岩所占比例增大。反映了海底缓坡浊积岩近端部分的沉积特征。

2.2.4 岩相组合 IV (A₄)——塌陷斜坡盆地环境

该组合分布于大黑沟至小王洞地区桐峪寺组上岩段。由(钙质)绢云石英千枚岩、钙泥质变砂岩、钙质千枚岩、含碳绢云变砂岩、含碳钙质绢云石英千枚岩、碳质绢云石英片岩夹不纯大理岩透镜体构成。其下部岩层对岩相组合 I 有继承性。此岩相组合包含了前述三种岩相类型及大多数微相,使得岩相组成及其叠置递变关系明显复杂。其中含碳质岩相、钙质岩相发育;砂质岩石在横向上递变明显。

上述岩相组合反映的沉积环境的快速转变与此时期南北板块斜向俯冲碰撞,造成沿对接

带的走滑构造作用发生,直接影响到板沙残留盆地内,由于拉伸作用产生的局部断陷而形成的塌陷斜坡盆地环境。该环境中形成的变砂岩相-变泥岩相-碳质片岩相的韵律组合,构成了马鞍桥金矿的含矿岩系。

2.3 有利岩相的含金性

据区域化探资料统计,上泥盆统桐峪寺组上岩段主要岩性微量金分析为 4.4×10^{-9} ,高于其它地层单元含金性,是本区区域背景含金性(3.1×10^{-9})的 1.42 倍。在马鞍桥矿区外围大黑沟一小王涧范围的塌陷斜坡盆地岩相区,46 件岩石微量金统计含金平均为 10.2×10^{-9} ,是区域含金背景的 3 倍以上。可见,该有利岩相是本区金矿床成矿物质的提供者,其本身就是含金丰度较高的矿源层。

3 区域性中—浅变质作用-成矿物质的预富集

随着板沙盆地萎缩成陆,于印支末期以后,在统一的陆内造山作用影响下,研究区广泛受到低绿片岩相—低角闪岩相的递进变质作用。在各种岩层绢云母化、黑云母化变质过程中,由变质分异形成了绢云母、石英、黑云母、钙质条带,或者由含铁硫化物、黑云母、碳酸盐矿物组成的斑点或浸染状体。在变质变形强烈地段,变质热液分异出平行片理的石英脉体。显示出本区由变质作用而导致的变质演化特点。

对上述含矿岩系中—浅变质岩中的沉积变质重结晶之散布状黄铁矿和斑点状磁黄铁矿,经单矿物微量金分析,其含金性分别为 $0.23 \times 10^{-6} \sim 0.25 \times 10^{-6}$ 和 $0.15 \times 10^{-6} \sim 1.00 \times 10^{-6}$ 。表明随着变质分异和硫化物矿物聚变晶的形成,岩石中微量金向变质作用产物集中,部分改变了微量金在岩石中的存在形式,在达到金的变质预富集的同时,使转移出来的金多以易释放形式赋存金属硫化物中。尽管这一作用过程还远远达不到工业矿化程度,但是这种区域性的成矿物质的“中转”作用,对后期地质改造具有重要作用。

4 韧脆性剪切变形控矿构造与工业矿体形成

金矿床受剪切带的控制已被越来越多的事实所证明。剪切带的发育过程是一个演化序列产物,而不是一次变形的结果。在陆内造山过程中,剪切带由韧性向脆性的发育是一连续过程,同时剪切带在空间上由下部深处向上部浅处发育,由窄变宽发育。因此,一个地区剪切变形带中,每一期次都有相应的变形发育,而金的矿化作用与剪切变形演化同步。马鞍桥金矿控矿构造也不例外,其控矿剪切构造可划分为三个阶段^①。

4.1 韧性变形及浸染状矿化阶段

该变形阶段以韧性千糜岩化、片理化作用为特征。斑点变晶矿物多成为千糜岩化岩石中眼

① 张复新,马建泰. 陕西省周至县马鞍桥金矿床地质地球化学研究报告. 1995

球体;沿千糜叶理,片理带及压溶三角区,多有钾长石化、硅化及碳酸盐化蚀变矿物发育;细粒浸染状黄铁矿、磁黄铁矿及少量毒砂微晶与之共生。该早期变形及矿化与蚀变作用往往形成近矿蚀变岩石或贫矿石。

4.2 韧-脆性变形及细脉浸染状矿化阶段

早期韧性变形的进一步演化,出现韧-脆性破裂变形。能干性岩层剪切为构造透镜体,与非能干塑性岩层组成瓣状排列;或在具有较强烈而又相当均匀的片理化组构的岩层中,在平行或近似平行片理而方向受压时,局部发育膝折带。这些韧-脆性变形提供的扩容带,都是该阶段矿化与蚀变矿物沉淀聚集的有利空间。中细粒黄铁矿、磁黄铁矿及较粗粒毒砂多以细脉状、浸染状分布于上述扩容空间。黄铜矿-闪锌矿团块浸染体亦明显出现。自然金多在上述细脉及浸染体中出现,构成本区重要工业矿化阶段。

4.3 脆性变形及规则脉矿化阶段

该阶段已近矿化晚期,以低角度斜切剪切片理化带的脆性构造中,多充填有石英-方解石脉体,其中金属硫化物甚少,偶见较粗粒黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿聚晶或零星散布单晶。

5 矿床地质地球化学特征

马鞍桥金矿床产于由上述沉积变质含矿建造组成之复向斜北翼的次级倒转背斜褶皱带中。该次级背斜核部由桐峪寺组中、下岩段组成,南北翼为桐峪寺组上岩段。两翼上均叠加有剪切构造,形成研究区南、北两个矿带,马鞍桥金矿位于南矿带中(图3)。

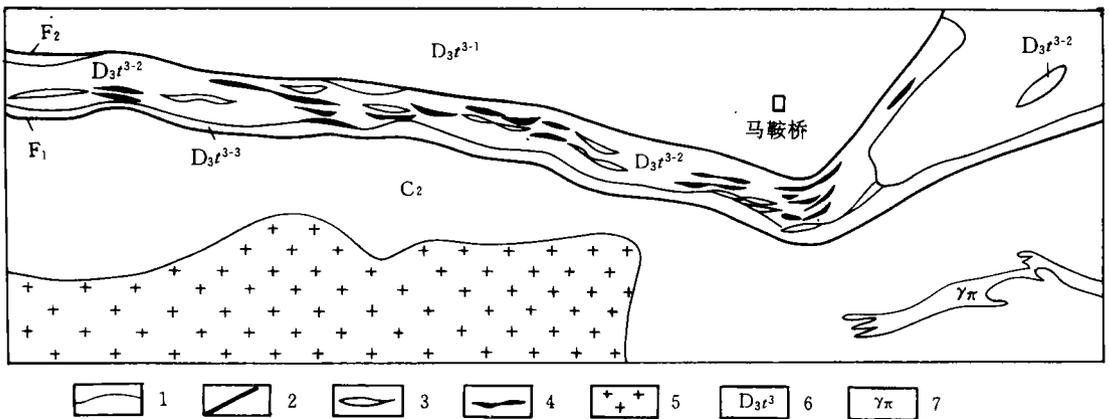


图3 马鞍桥金矿床地质简图(1:3000)

Fig. 3 Geological map of Maanqiao Au deposit

5.1 矿体形态、规模与产状

按矿体集中分布程度,将马鞍桥金矿划分为东矿段、中矿段和西矿段。已勘探的工业矿体

分布于东矿段和中矿段, 规模较大者有 4 个: 分别为 K_2 、 K_5 、 K_{18} 、 K_{19} , 均呈较稳定的似层状或透镜状体。其中 K_2 延长 365m, 平均厚度 1.8m, 延深 438m, 倾向 $68^\circ\sim 192^\circ$, 倾角 $35^\circ\sim 62^\circ$ 。 K_5 延长 421m, 平均厚度 1.9m, 延深 266m, 倾向 $70^\circ\sim 190^\circ$, 倾角 $35^\circ\sim 48^\circ$ 。 K_{18} 延长 400m, 厚度 0.79~9.13m, 延深 460m, 倾向 $185^\circ\sim 195^\circ$, 倾角 $45^\circ\sim 70^\circ$ 。 K_{19} 与 K_{18} 平行斜列, 产状近同, 规模稍小。上述矿体金的平均品位变化于 $4.82\times 10^{-6}\sim 5.28\times 10^{-6}$, 属低品位金矿床。

5.2 矿石特征

根据赋矿岩石类型将矿石划分为 3 种类型, 其空间分布、矿物组成及结构构造如表 1。虽然矿石类型赋矿岩石差别较大, 然而矿化与蚀变是近于相同的。热液期金属硫化物以细脉浸染产出者含金性最好。其中黄铁矿单矿物含金 $12.39\times 10^{-6}\sim 53.40\times 10^{-6}$ (平均 39.93×10^{-6}), 毒砂含金为 $29.8\times 10^{-6}\sim 61.6\times 10^{-6}$ (二件), 磁黄铁矿含金为 $5.20\times 10^{-6}\sim 11.50\times 10^{-6}$ (二件)。

表 1 马鞍桥金矿床原生矿石类型及其特征

Table 1 The primary ore types of Maanqiao Au deposit and their features

| 特 类 型 征 | 紫矿类型 | 白矿类型 | 黑矿类型 |
|------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 矿石颜色 及产生原因 | 暗紫色 强烈黑云母化所致 | 灰白色 赋矿岩石含钙、铁白云石所致 | 黑色 赋矿岩石含碳所致 |
| 赋矿岩石 | 黑云母变砂岩、黑云母石英 千枚岩、斑点状黑云绢 云千枚岩 | 钙质千枚岩、铁白云质绢云千 枚岩、钙质绢云石英千枚岩 | 碳质石英片岩、碳质绢云千 枚岩、碳质方解绢云千枚岩 |
| 地层剖面中位置 | D_3t^{3-3} 下部 | D_3t^{3-3} 中部 | D_3t^{3-3} 上部 |
| 金属矿物 | 主要 | 黄铁矿为主, 磁黄铁矿次之 | |
| | 次要 | 毒砂、黄铜矿、闪锌矿、白铁矿、辉锑铅矿、锑铋碲矿 | |
| 矿石构造 | 细脉浸染状、条带浸染状、条痕浸染状、团块-浸染状 | | |
| 矿石结构 | 自形-半自形、他形、交代残留、包含、填隙、碎裂 | | |

5.3 金矿物及其赋存状态

经查定矿床中金以显微金独立矿物存在, 大部分为银金矿, 成色为 793—896。对发现的 38 粒银金矿分布统计, 约 75% 分布于蚀变脉石矿物粒间; 脉石矿物中包裹体金约占总数的 8.5%; 分布于金属矿物和脉石矿物裂隙金约占总数的 6.5%; 分布于金属矿物粒间或边缘的金约为 2.5%; 也常见金矿物包裹于毒砂、黄铁矿和磁黄铁矿中, 占总数的 7% 左右。

5.4 矿床地球化学特征

在对矿床地质特征分析基础上, 进而对矿床地球化学进行探讨, 为矿床成因提供证据。

5.4.1 矿石矿物微量元素特征

众所周知, 黄铁矿中化学成分和微量元素含量及其比值具有成因标型意义。本区含矿围岩

及矿石中黄铁矿含金性及微量元素如表 2。Co/Ni 值除一件为 3.60 外,大多数近于 1,且沉积变质黄铁矿 Co/Ni 平均值大于后期热液黄铁矿值,反映出同沉积期火山热液成分加入,和后期改造过程中壳源物质的大量加入。黄铁矿的 S/Se 比值进一步支持了热液改造的沉积演化来源。

表 2 马鞍山金矿床黄铁矿微量元素*

Table 2 Minor element analysis of pyrite in Maanqiao Au deposit

| 项 目 样 品 | 矿 物 产 出 | Au | Co | Ni | Co/Ni | S | Se | S/Se |
|--------------|------------|------------------|------------------|------|-------|-------|------------------|--------|
| | | $\times 10^{-6}$ | $\times 10^{-6}$ | | | % | $\times 10^{-6}$ | |
| 小王涧-1 | 围岩 | 0.25 | 396 | 110 | 3.60 | 53.24 | 7.8 | 68256 |
| M 剖-2(1) | 围岩 | 0.99 | 195 | 242 | 0.81 | 51.48 | 4.2 | 122571 |
| ME-1049 | 矿石 | 43.03 | 90.4 | 83.5 | 1.08 | 53.16 | 19 | 27979 |
| ME-2 | 矿石 | 53.1 | 32.2 | 107 | 0.30 | 51.79 | 5.5 | 94164 |
| MX-PD1285(1) | 矿石 | 31.3 | 137 | 127 | 1.08 | 52.61 | 3.2 | 164406 |
| MX-PD1285(2) | 矿石 | 53.4 | 120 | 125 | 0.96 | 53.01 | 3.3 | 160636 |

* 西北有色地质研究所分析测试中心

5.4.2 矿石稳定同位素特征及其意义

利用矿石中共生的黄铁矿-磁黄铁矿矿物对 $\delta^{34}\text{S}$ 测定,在 $\delta^{34}\text{S}-\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{PY-PO}}$ 图解中(图 4),求得成矿溶液总硫值为 $+1.6\text{‰}\sim+2.3\text{‰}$,表明成矿硫源大部分来自地壳深部。

对矿石热液石英及其流体包裹体氢氧同位素分析,并在氢氧同位素组成图解中投影,位于变质水和岩浆水重叠范围内。表明成矿溶液主要来自中-浅变质水,并受到岩浆作用的影响,这与矿床处于佛坪动热中心附近的地质背景是一致的。

6 矿床成因分析

由上所述,马鞍山金矿床具有成因意义的地质地球化学特征为:

(1) 矿带及工业矿体限制在上泥盆统桐峪寺组上岩段,以杂砂岩为主的浊积含矿岩系中。含矿岩系受塌陷斜坡盆地岩相环境控制,具有明显的

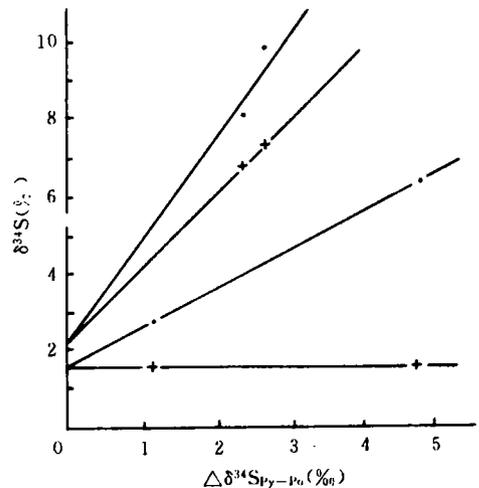


图 4 黄铁矿(PY)—磁黄铁矿(PO)共生对的 $\delta^{34}\text{S}-\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{PY-PO}}$ 图解

Fig. 4 $\delta^{34}\text{S}$ versus $\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{PY-PO}}$ diagram of pyrite-pyrrhotite pair

层控特征。

(2) 矿化与蚀变矿体完全受韧-脆性剪切变形构造带控制; 矿化与蚀变产物呈细脉-浸染状沿构造扩容带分布; 矿化作用具有多期多阶段演化和后生热液矿床特点。

(3) 成矿溶液以变质水为主, 硫源主要来自地壳深部。由于变质区域广泛, 受变质地层的建造水、层间水是变质热液的主要提供者。而同沉积期残留-拉分盆地形成的伸展构造条件, 是海盆深部硫源进入沉积建造的主要方式。

(4) 经成矿主期石英包裹体测定, 成矿温度具有 355~295℃ 和 192~155℃ 两个阶段, 属中、低温热液矿床类型。

由此认为, 马鞍桥金矿床为产于沉积岩区, 经沉积变质、构造叠加、热液改造的变质细碎屑岩型层控金矿床。

参考文献

1. 孟庆任, 薛峰, 等. 秦岭商丹带内黑河地区砾岩沉积及其构造意义. 沉积学报, 1994, 12(3)
2. 张复新. 沉积岩型金矿床综述——兼论秦岭沉积岩区金矿类型及其分布. 西北地质, 1996, 17(4)

METALLOGENIC CONDITION AND GENESIS OF MAAN QIAO GOLD DEPOSIT

Zhang Fuxin

(Department of Geology, Northwest University, 710069, Xi'an)

Ma Jianqin

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

Abstract

Integration of geochemical study on tectonic-sedimentary evolution, lithofacies and paleogeography, metamorphism structural deformation and features of deposit in Ban-Sha area suggests that Maan Qiao Au deposit is a stratabound gold deposit of metamorphosed fine-clastic rock type. The formation of this ore-deposit might be divided into three stages: sedimentary stage, metamorphic stage and structural superposition and hydrothermal transformation stage.

Key words: metallogeny metallogenic condition metamorphosed fine-clastic rock type
Maan Qiao Au deposit