

川西北马脑壳金矿床地质特征及成因分析*

Geological Characteristics and Origin Analysis of Manaoke Gold Deposit in NW-Sichuan, China

付绍洪^{1, 2} 顾雪祥² 王 苹³

(1 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002;

3 中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

Fu Shaohong^{1, 2}, Gu Xuexiang², Wang Ping³

(Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059, Sichuan, China; 2 Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002, Guizhou, China; 3 China University of Geosciences, Wuhan, 430074, Hubei, China)

摘 要 马脑壳金矿床为川西北及陕甘川金三角内的一重要微细浸染型金矿床。赋存于中上三叠统碎屑岩和碳酸盐岩系内, 构造和地层控矿特征明显。矿床的中低温热液蚀变作用发育, 主要有碳酸盐化、硅化、粘土化和绿泥石化。载金矿物主要有黄铁矿、毒砂、辉锑矿、雄黄和褐铁矿。矿床具 Au-As-Sb-Hg-W 元素地球化学组合。矿床的形成经历了 3 个时期, 即沉积-成岩期, 热液成矿期, 表生氧化期。其中, 热液成矿期为主成矿期, 发生于印支运动晚期, 成矿物质来自中上三叠统。成矿流体从早期至晚期由盆地卤水逐渐向大气降水演化。热液成矿具有中低温、中低压力、中低盐度的特征。

关键词 马脑壳 金矿床 地质特征 成因 川西北

近 20 年来, 在陕甘川相邻区域内发现了大量的微细浸染型(卡林型)金矿床, 使其成为我国重要的金矿资源富集区。马脑壳金矿床即是其中一重要的矿床, 已探明储量达大型规模。矿床因其在矿石类型、载金矿物、元素组合等方面具典型特征而受到研究人员的广泛重视。矿床还由于埋藏浅、氧化程度高和易于氧化提取, 已进行规模开采, 产生了良好的经济效益。

1 矿床产出地质背景

区域性大断裂玛曲-略阳断裂的前锋断裂洋布梁断裂横贯矿区北部。矿床的产出受该断裂的影响明显, 主要矿体产于该断裂的次级构造内。断裂及区域构造线的总体走向为北西西向, 倾向北北东。矿体赋存于一长约 4 km, 宽 200~500 m 的矿化破碎带内(图 1)。

矿区内分布有三叠系、石炭系、二叠系, 其中石炭系和二叠系灰岩仅出露于矿区北部。三叠系在矿区内广泛分布, 为一套碎屑岩夹碳酸盐岩组合, 出露厚度约 1000 m, 系矿床的容矿地层。受后期构造影响, 岩层的变形较强烈, 局部由于褶皱作用使地层重复出现。地层总体倾向北北东, 倾角由地表至深部逐渐变大。根据前人所做的研究(郑明华等, 1994), 容矿地层的金丰度高, 浓度系数在 2~4 之间。

2 矿床地质特征

2.1 矿体产出特征

* 中国科学院“百人计划”项目和国家自然科学基金(49872038)资助

第一作者简介 付绍洪, 男, 1964 年生, 博士生, 工程师, 主要从事金矿床地质研究。

迄今已发现数 10 个大小不等的矿体，均沿一构造矿化带产出。矿体呈似层状、透镜状、囊状、脉状、网脉状和分叉复合状等。似层状矿体为主矿体，产状与地层呈小角度相交，倾向北北东，倾角向深部有逐渐变陡的趋势，此类矿体约占矿床总储量的 70%。其它类型矿体的规模相对较小，产状变化大。矿体最长达 1020 m，最厚约 30 m。单个矿体金储量达 6 t。

2.2 矿石特征

(1) 矿石类型：依据氧化程度的不同，可将矿石分为两大类^{①②}，即原生矿石和氧化矿石。其中原生矿石可进一步划分为蚀变岩型金矿石和脉岩型金矿石。

蚀变岩型金矿石：包括有蚀变钙质板岩型金矿石，蚀变绢云母板岩型金矿石，蚀变砂岩型金矿石，蚀变灰岩型金矿石。此类矿石在矿体中所占比例高，但品位相对较低，通常为 2~5 g/t。

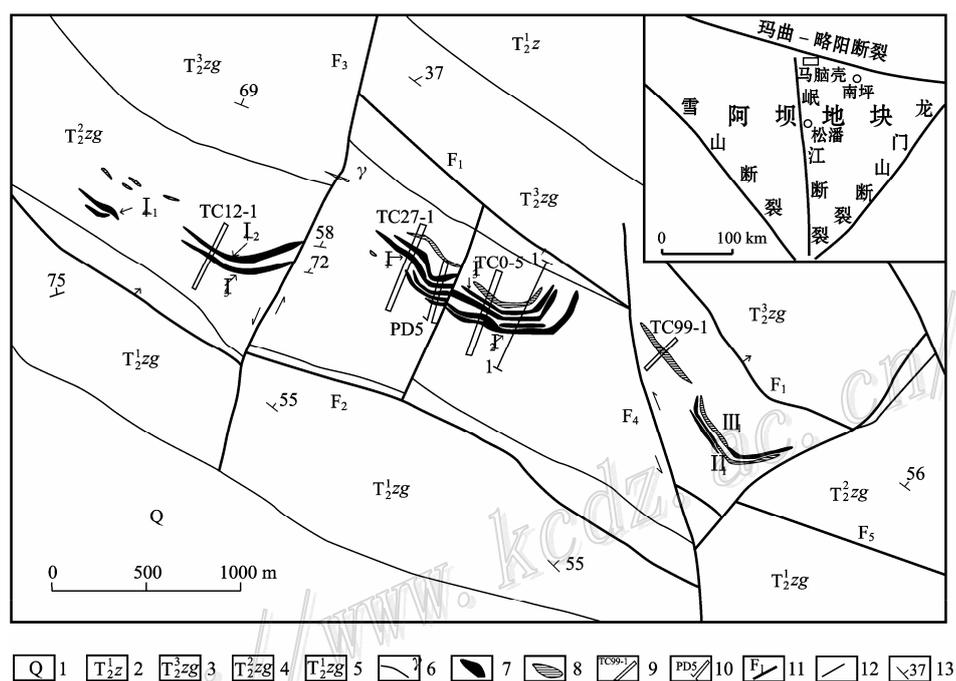


图 1 马脑壳金矿床地质简图

1—第四系；2—杂谷脑组一段；3—扎尕山组三段；4—扎尕山组二段；5—扎尕山组一段；6—花岗岩组；7—富矿体；8—贫矿体；
9—探槽及编号；10—坑道及编号；11—断层及编号；12—地层界限；13—地层产状

脉型金矿石：依其矿物组合可分为黄铁矿-毒砂石英脉型金矿石，辉锑矿-雄黄（雌黄）石英脉型金矿石，辉锑矿石英脉型金矿石，雄黄石英方解石脉型金矿石。与蚀变岩型金矿石相比，品位较高，一般为 5~10 g/t，但产出范围相对局限。

(2) 矿石组构：马脑壳金矿床的矿石具有多样的结构构造（王萃等，1999），其特征可在一定程度上反映矿床的成矿作用过程。

矿石构造：主要有浸染状构造、块状构造、团块状构造、脉（网脉）状构造、角砾状构造、条带状构造、蜂窝状构造、疏松粉末状构造等。

矿石结构：矿石具有自形—半自形粒状结构、他形粒状结构、增生结构、草莓状结构、环带结构、包含结构、双晶结构、填隙结构、交代残余结构和假象结构等。

① 刘启伟等，1994，四川省南坪县马脑壳矿区金矿普查地质报告

② 熊剑铭等，1998，四川省九寨沟县两河口矿区金矿普查地质报告

2.3 围岩蚀变

矿床广泛发育有中低温热液蚀变作用, 主要蚀变类型有碳酸盐化、硅化、绿泥石化、粘土化等。其中以碳酸盐化最为普遍, 形成于热液成矿期的各个阶段, 并在整个矿区内均有分布, 但与矿化的关系不明显。硅化主要形成于热液成矿作用的早期, 分布主要局限于矿体内及其附近, 与矿化关系密切, 往往矿化集中部位伴随有大量的硅化。

2.4 载金矿物

通过单矿物化学分析和电子探针测试表明, 矿床内的载金矿物有黄铁矿、毒砂、辉锑矿、雄黄、褐铁矿。通常, 晶粒大、晶形完整者含金量低, 而晶体粒径小、呈他形者剪金量高, 可达 1.52%。形成于不同世代的同一种矿物的含金量也存在着显著差异。

2.5 元素组合

马脑壳金矿床的元素组合特征: 一方面以富含 Au-As-Sb-Hg 而相似于其它形成于中低温条件的微细浸染型金矿床 (Radtke, etc. 1980; 袁万春等, 1997); 另一方面又以富含 W 而有别于其它同类型矿床。矿床中产有大量的白钨矿脉, 已达中型矿床规模 (郑明华等, 1994)。在空间上白钨矿的产出与金矿体密切相伴。

2.6 矿床的表生氧化

根据载金矿物和矿石组合特征, 可将矿床划分为氧化带和原生带。矿区处于构造活动剧烈和深切割的山区, 加之雨量充沛、植被发育, 矿床经历强烈的表生风化作用, 氧化带深度达 150 m。氧化带矿石中的载金矿物主要为褐铁矿, 金以游离金的形式存在。而原生带中载金矿物则为热液期形成的黄铁矿、毒砂、雄黄和辉锑矿, 控制深度大于 400 m。迄今所开发利用的均是氧化矿石。

3 成因分析

总体上, 可将矿床的形成划分出 3 个成矿期, 即沉积-成岩期、热液成矿期和表生氧化期。

3.1 沉积-成岩期

中、晚三叠世时期马脑壳矿区处于巴颜喀拉地槽系南坪海域, 沉积了一套数千米厚的碎屑岩和碳酸盐岩系。该套岩层具有较高的金含量, 如杂谷脑组平均含金达 12.02×10^{-9} , 浓集系数为 2.80, 其中又以碎屑岩的金含量最高, 达 13.40×10^{-9} ; 新都桥组含金 6.28×10^{-9} , 浓集系数为 1.46, 其中碎屑岩的含金量相对较高, 达 8.80×10^{-9} (李小壮, 1993; 郑明华等, 1994)。这些岩层中金含量不仅较高, 而且具有离散度大的特点 (郑明华等, 1994); 加之岩层厚度大、分布广, 碎屑岩空隙度高、碳酸盐岩化学活动性强, 均有利于热液的流通和从中萃取出金硫等成矿物质。初步认为, 沉积-成岩期对金起到了预富集作用, 形成了金的矿源层。

3.2 热液成矿期

根据矿物 (矿脉) 之间的共生及穿插关系, 可将热液成矿期划分出四个阶段。矿物组合分别为石英-黄铁矿-白钨矿-毒砂 (I), 石英-辉锑矿-雄黄 (II), 石英-雄黄-方解石 (III), 石英-方解石 (IV)。其中 I、II 为主成矿阶段, 而 III、IV 阶段矿化强度明显减弱, 未形成具有工业价值的矿体。

热液成矿条件标定:

(1) 温度: 对形成于各阶段的脉石矿物石英和方解石中的流体包裹体进行测定, 所获得的均一温度分别为 $175 \sim 230^\circ\text{C}$, 峰值 $185 \sim 205^\circ\text{C}$ (I 阶段); $179 \sim 255^\circ\text{C}$, 峰值为 $200 \sim 230^\circ\text{C}$ (II 阶段); $157 \sim 207^\circ\text{C}$, 峰值 $170 \sim 190^\circ\text{C}$ (III 阶段); $120 \sim 200^\circ\text{C}$, 峰值 $130 \sim 170^\circ\text{C}$ (IV 阶段)。存在着两种形成于 I 阶段的流体包裹体, 即富气二相和富液二相包裹体, 两类具有相同的均一温度, 显示成矿流体曾经历过沸腾作用。

(2) 盐度: 在冷热台上测定流体包裹体的冰点温度, 再应用图解法求得盐度。成矿 I、II、IV 阶段热液的盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 分别为: $4.9\% \sim 11.0\%$, 峰值 $6.5\% \sim 8.0\%$; $4.0\% \sim 9.5\%$, 峰值 $5.0\% \sim 6.5\%$;

0.85%~5.85%，峰值 1.5%~3.5%（付绍洪等，2000；王可勇等，2001）。可见，主矿化阶段成矿流体具有更高的盐度。

(3) 压力：结合包裹体的密度、盐度和温度，通过计算求得 I、II、IV 阶段的成矿系统压力分别为 51.04~105 MPa，平均 78.02 MPa；40~80 MPa，平均 60 MPa；32.87 MPa。分别相当于 2.9 km，2.3 km，1.2 km 深处的岩石静压力，表明成矿作用是在地壳不断抬升的构造背景下进行的。

(4) 成矿流体：通过测试形成于热液期的脉石矿物石英中的流体包裹体的氢、氧同位素组成及与流体处于平衡的石英氧同位素值判定流体来源。其结果显示成矿 I 阶段流体与封闭盆地卤水的氢氧同位素值相近(Craig, 1961)，III 阶段流体则具有大气降水的特征，II 阶段介于两者之间。

(5) 成矿年代：对 5 个 II 阶段石英样品中的流体包裹体做铷-锶法定年，获得等时线的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值为 0.70852，等时线年龄为 (210 ± 11) Ma，代表热液成矿的年代。

3.3 表生氧化期

该区在印支运动之后又相继经历了燕山运动和喜马拉雅运动，地壳持续抬升，覆盖于矿体之上的岩层被剥蚀，矿体暴露于地表，进而发生表生氧化作用，其氧化深度达 150 m。在表生作用过程中，原生载金矿物被蚀变分解形成新矿物，同时将金淋漓出，与地表水一道向下渗透，形成金的次生富集带。在这一过程中，从原生矿物中淋漓出的超显微金通过化学和生物化学作用而聚集成显微自然金。

4 结 论

(1) 马脑壳矿床为一微细浸染型金矿床，其容矿岩石、矿石类型、载金矿物、蚀变类型及元素组合等的总体特征与美国西部和中国滇黔桂和陕甘川地区的卡林型金矿床相类似，但也有其独特的一面。

(2) 矿床的形成大致经历了 3 个时期，即沉积-成岩期、热液成矿期和表生氧化期。各成矿期之间存在着内在的联系。即时间继起，空间并存，前期作为后期成矿的基础和条件。其中，热液成矿期为主成矿期，可进一步划分出四个成矿阶段。

(3) 热液成矿期的流体具有中低温、中低压力、中低盐度的特征，成矿物质主要来源于地层，成矿流体 I 阶段以盆地卤水为主，演化至 III 阶段则具有大气降水的性质，II 阶段介于两者之间。

(4) 从成矿作用的时限分析，热液成矿发生于印支晚期，即伴随着晚三叠世南坪海槽的关闭，区域性地壳开始隆升，在盆地热卤水和大气降水的联合作用下，将地层中的金等成矿元素萃取出，经热液循环，在构造和岩石有利部位富集成矿。

(5) 热液成矿期后，地壳进一步抬升，矿体在风化剥蚀作用下出露于地表。表生氧化作用导致原生载金矿物发生蚀变、分解，形成新的载金矿物；同时，所析出的金通过淋滤作用向下迁移，并形成金的次生富集带。

参 考 文 献

- 付绍洪, 王 苹. 2000. 川西北马脑壳金矿床流体包裹体研究及对成矿条件的制约[J]. 岩石学报, 16(4): 569~574.
- 李小壮. 1993. 四川东北寨金矿床的主要地质特征及控矿条件[M]. 北京: 地质出版社.
- 王可勇, 姚书振, 吕新彪. 2001. 川西北马脑壳金矿床成矿流体地球化学特征与性质[J]. 地球化学, 30(3): 273~281.
- 王 苹, 付绍洪. 1999. 川西北微细浸染型金矿床矿石组构特征及其示踪意义[J]. 地球科学, 24(增刊): 52~58.
- 袁万春. 1997. 滇黔桂地区汞锑金种等低温矿床组合碳、氢、氧、硫同位素地球化学[J]. 矿物学报, 17(4): 422~426.
- 郑明华, 张 斌, 刘建明, 等. 1993. 四川马脑壳金矿床中白钨矿体的发现及其意义[J]. 成都地质学院学报, 20(1): 1~8.
- 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. 1~320.
- Craig H. 1961. Standard for reporting concentration of deuterium and oxygen-18 in natural waters[J]. Science, 133: 1833.
- Radtke A S, Rye R O and Dickson F W. 1980. Geology and stable isotope studies of the Carlin gold deposit, Nevada[J]. Econ. Geol., 75: 641~672.