

甘肃岷县马坞金矿地球化学特征、控矿因素分析及找矿潜力

孙增战

(西北有色地质勘查局物化探总队, 陕西 西安 710068)

摘要: 马坞金矿分布于岷-礼成矿带的东部, 通过野外地质勘查和1/万土壤地球化学测量, 获得了丰富的矿体地质及地球化学测量数据, 系统分析了矿床的地球化学特征, 围岩蚀变以中-低温热液蚀变为主, 蚀变强度与金矿化程度呈正相关, 从地质的地层、构造、岩浆岩及地球化学特征方面分析了控矿因素, 对找矿潜力进行了分析。

关键词: 控矿因素; 找矿潜力; 马坞金矿; 地化特征; 甘肃岷县

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

西秦岭岷-礼成矿带是西秦岭地区重要的金及多金属成矿带, 围绕中川岩体群分布李坝、马泉、金山、锁龙、寨上等大中型金矿床, 马坞金矿位于该成矿带东段及中川岩体的外接触带中, 在成矿时间、空间分布和矿床成因上均与中川花岗岩体关系密切。经过几年的勘查, 马坞金矿具备中型金矿床规模, 总结该矿床的地质特征、控矿因素, 指出找矿潜力, 对指导该矿区及其外围地质找矿工作具有现实意义。

1 区域成矿地质特征

马坞金矿床处于秦岭褶皱系之礼县-柞水华立西褶皱带西段, 石家河坝复式向斜北翼的次级马坞-酒店复式背斜北翼, 岷礼成矿带的东部(图1)。

1.1 地层

区内出露地层主要为泥盆系, 以及少量中石炭统、二叠系。中泥盆世地层以礼县-洮坪断裂为界, 北侧为舒家坝群, 为深水浊流沉积形成的以细碎屑岩为主的类复理石建造; 南侧为西汉水群, 为浅海

正常沉积的碳酸盐岩夹碎屑岩类复理石建造。中石炭统下家岭组出露于该区中部, 为一套滨浅海相的正常沉积泥灰岩、(粉)砂岩建造。

区域地层以岷县-凤凰梁-新城子断裂为界, 东北地层分区主要沉积中、上泥盆统, 中、下石炭统, 二叠系等; 西南地层分区主要出露三叠纪地层。工作区即属于东北地层分区, 现将出露地层由老到新叙述如下:

1.1.1 泥盆系(D)

主要出露泥盆系中统e组(D_2^{2-cl} 、 D_2^{2-c2} 、 D_2^{2-c3})及泥盆系上统大草滩群(D_3dc_1 、 $D_3dc_2^*$ 、 $D_3dc_2^*$), 现分述如下:

泥盆系中统(D_2^{2-cl}): 岩性为含粉砂质板岩、粉砂岩、细粒石英砂岩。

泥盆系中统(D_2^{2-c2}): 岩性上部为灰质板岩、粉砂质板岩夹灰岩。

泥盆系中统(D_2^{2-c3}): 岩性为灰绿色灰质粉砂质板岩、含灰质条带砂岩夹板岩。

泥盆系上统大草滩群(D_3dc_1): 岩性为板岩夹石英砂岩和透镜状灰岩、砾状板岩。

收稿日期: 2011-04-11; 修回日期: 2011-10-27

作者简介: 孙增战(1970-), 男, 物探工程师, 从事物化探勘查工作。E-mail: 243237713@qq.com

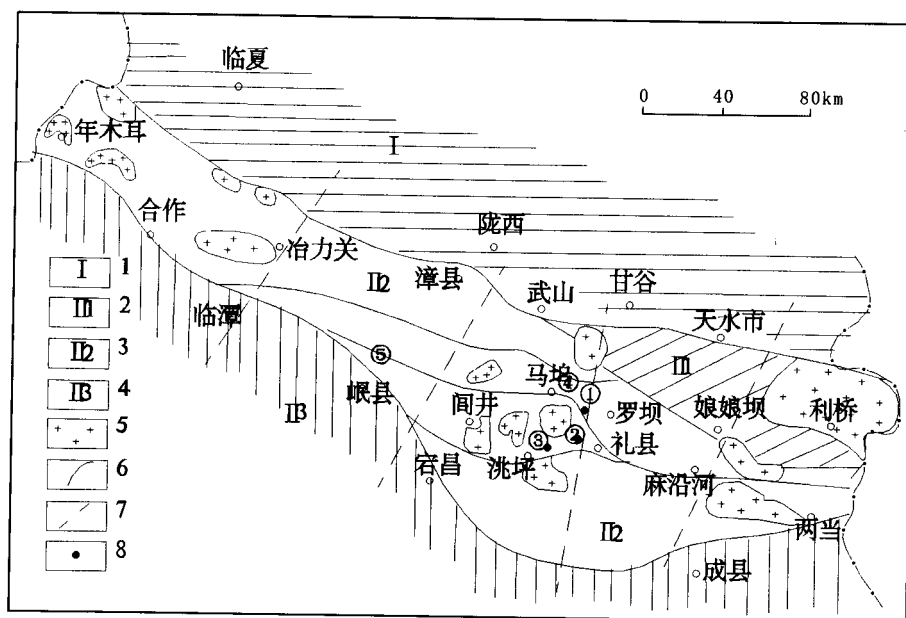


图 1 西秦岭大地构造纲要及花岗岩分布略图

Fig. 1 The tectonic sketch map showing the distribution of the platform and granite in West Qinling Mountain

1. 祁连褶皱系; 2. 北秦岭加里东褶皱带; 3. 礼县柞水华力西褶皱带; 4. 南秦岭印支褶皱带; 5. 印支—燕山期花岗岩;
6. 深断裂; 7. 隐伏断裂; 8. 金矿床; ①. 李坝; ②. 马泉; ③. 金山; ④. 马坞; ⑤. 寨上

泥盆系上统大草滩群 ($D_3dc_2^a$): 岩性为石英砂岩夹粉砂岩、粉砂质板岩。

泥盆系上统大草滩群 ($D_3dc_2^b$): 岩性为紫红色、灰绿色粉砂质板岩、粉砂岩夹石英砂岩。

1.1.2 石炭系 (C)

石炭系分布零星, 多受断裂控制。下统 (C_1) 为浅海相碎屑岩、泥质岩夹碳酸盐岩建造。中石炭统 (C_2) 为滨海相和海陆交互相碎屑岩建造夹含煤岩系。

1.1.3 二叠系 (P)

主要分布于北部, 西南亦有少量分布。二叠系下统 (P_1^{-b} 、 P_1^{-c1} 、 P_1^{-c2} 、 P_1^{-c3} 、 P_1^{-c4} 、 P_1^{-d1} 、 P_1^{-d2} 、 P_1^{-c}), 岩性主要为浅海相有机泥岩建造和碳酸盐岩建造, 其次为滨海相碎屑岩建造, 局部含菱铁矿透镜体或结核。现分述如下:

二叠系下统 (P_1^{-b}): 岩性下部为砾岩、含砾石英砂岩、含碳板岩、砂岩、含碳粉砂岩。

二叠系下统 (P_1^{-c1}): 岩性底部为砾岩、角砾状灰岩; 中上部为含碳板岩夹石英砂岩、粉砂岩; 中部为砂岩部含有菱铁矿层。

二叠系下统 (P_1^{-c2}): 岩性为含碳板岩、夹薄层—中层石英砂岩、底部为砂岩。

二叠系下统 (P_1^{-c3}): 岩性为含碳板岩、深灰色板岩夹石英砂岩; 顶部偶夹石英细砂岩、砂质灰岩透镜体。

二叠系下统 (P_1^{-c4}): 岩性为中厚层灰岩夹含碳板岩。

二叠系下统 (P_1^{-d1}): 岩性为碳质绢云母板岩夹含碳粉砂岩; 向东相变为砂质灰岩夹灰色板岩。

二叠系下统 (P_1^{-d2}): 岩性为薄—厚层灰岩夹含碳板岩、向西相变为块状板岩。

二叠系下统 (P_1^{-c}): 岩性为薄层灰岩夹泥质板岩和深灰色板岩, 向西相变为粉砂质板岩、含碳板岩夹灰岩、砂岩。

1.2 构造

工作区处于区域范围内划分的秦-祁-昆纬向构造体系中, 该体系内在岷县-宕昌-两当褶皱带的一部分。工作区则位于前一构造带内 (北东部分)。

红崖-马坞镇断裂构造带: 断裂发育于晚古生界及印支期花岗岩带中, 东端被中生代天(水)礼(县)盆地所覆盖, 西至岷县以东。高咀-马坞镇断裂带规模最大, 是该带的主体部分。该带岩浆活动强烈, 印支期酸性侵入体, 循主断裂两侧呈岩基状产出, 形成近东西向断续展

布的间井-中川花岗岩带。沿断裂带附近的花岗岩体均被挤压破碎、蚀变,形成近东西向片理化带或糜棱化带。

礼县-山阳深断裂是区内的主要控岩、控矿构造,该断裂在礼县以西分成两支,马坞金矿位于北分枝礼县-罗坝-马坞-锁龙断裂带内。区内主要褶皱构造为石家河坝复式向斜。

1.3 岩浆岩

区内岩浆活动比较强烈,主要为华力西期和印支期,以侵入岩为主,喷出岩次之。

印支期岩浆活动为本区主要岩浆活动,主要表现为酸性岩的侵入,由教场坝、间井、柏家庄、中川、碌坝、茹树沟和燕麦层7个岩体组成。呈较大的岩基和岩株产出。主要为黑云母花岗岩,次为二云母花岗岩和花岗闪长岩。

中川岩体群大面积出露,岩性主要为酸性—中酸性。其中,中川复式岩体为3期5次侵入,其主体为印支期—燕山早期的花岗岩,与地层呈侵入接触。区内主要矿产以金为主,其他矿产有铋、铅、锌、铜等(丁三平等,2005)。

2 区域矿产分布特征、变质作用

2.1 矿产分布特征

本区属西秦岭铅锌、汞锑多金属成矿带的一部分,断裂、构造和岩浆活动均发育,各种成矿条件都有利。区域内矿产主要为铋、铁、铜、银、铅、锌、金等,近年来发现的金矿主要有李坝金矿(大型)、锁龙金矿(中型)、坪定金矿(中型)、金山金矿(中型)、花崖沟金矿、西安河金矿、麻沿河金矿等40余处金矿床(点),使得本地区形成了名副其实的金及多金属成矿区。

2.2 变质作用

工作区内岩石普遍遭受区域变质作用的改造,碳质绢云母板岩、含碳粉砂岩常常变质成为砂质板岩、灰质板岩;薄—厚层灰岩、含碳板岩相变为块状板岩、薄层灰岩、泥质板岩相变为粉砂质板岩等。

3 矿床地化特征

3.1 矿区特征

3.1.1 地层

矿区内出露地层主要为中泥盆统舒家坝群何家店组。该组地层自上而下分为4个岩性段,分布最广且与成矿关系最为密切的分别是第1岩性段(D_2h_1)和第2岩性段(D_2h_2):

第1岩性段:以中—薄层灰岩、灰岩夹细砂岩为主,岩层倾向 $30^\circ\sim 50^\circ$ (局部反倾),倾角 $45^\circ\sim 85^\circ$,为朱家山-明珠山向斜的主要组成层位,分布于矿区中部。

第2岩性段:主要为(绿泥石)绢云母千枚岩、(斑点状)千枚岩、板岩等。矿区北部岩层倾向 $35^\circ\sim 50^\circ$,南部岩层倾向 $210^\circ\sim 230^\circ$,倾角 $40^\circ\sim 72^\circ$,为矿区最主要赋矿岩性段。

第3、第4岩性段:仅在区内西侧及 F_1 断裂以北有零星出露,岩性主要为粉砂质板岩、千枚岩、变粉砂岩。

3.1.2 构造

矿区内主要的褶皱构造为马坞-酒店复背斜,总体构造呈北西向,倾伏方向东南,倾伏角 $15^\circ\sim 25^\circ$,矿区矿脉主要分布于该背斜北翼的北西向断裂带内。

断裂构造发育, F_1 、 F_3 为矿区主断裂破碎带,贯穿矿区,并分别由若干条小断层组成,其中NW-NWW向次级断裂发育。 F_1 断裂走向 320° 左右,倾向南西,倾角 $65^\circ\sim 85^\circ$,宽 $80\sim 240\text{m}$,属压扭性断裂,为矿区的主要导矿构造。 F_3 分布于 F_1 的南侧,属压性—压扭性断裂,宽 $65\sim 120\text{m}$,走向 300° 左右,倾向南西。矿区北部矿脉主要分布于 F_1 、 F_3 断裂之间,南部矿脉主要赋存于 F_3 断裂中或次级断裂中(王祥文,1999)。

3.1.3 岩浆岩

矿区发育闪长玢岩脉、斜云煌岩脉、细晶岩脉等,其规模均不大,矿区南部较北部岩脉发育。煌岩脉于金矿脉关系密切,一般煌斑岩脉斜切矿脉或分布在矿脉上下盘,在空间上与矿脉相伴生。煌斑岩脉周边矿脉含矿性较好,矿脉厚度相对较大,金品位相对较高。例如,南部的煌斑岩脉旁侧的3号矿脉金最高品位达 13.0×10^{-6} ,4号矿脉金品位为 $1.11\times 10^{-6}\sim 2.01\times 10^{-6}$ (图2)。

3.1.4 围岩蚀变

围岩蚀变以中—低温热液蚀变为特征,主要发育于破碎蚀变带中及其两侧,其强度与金矿化强度

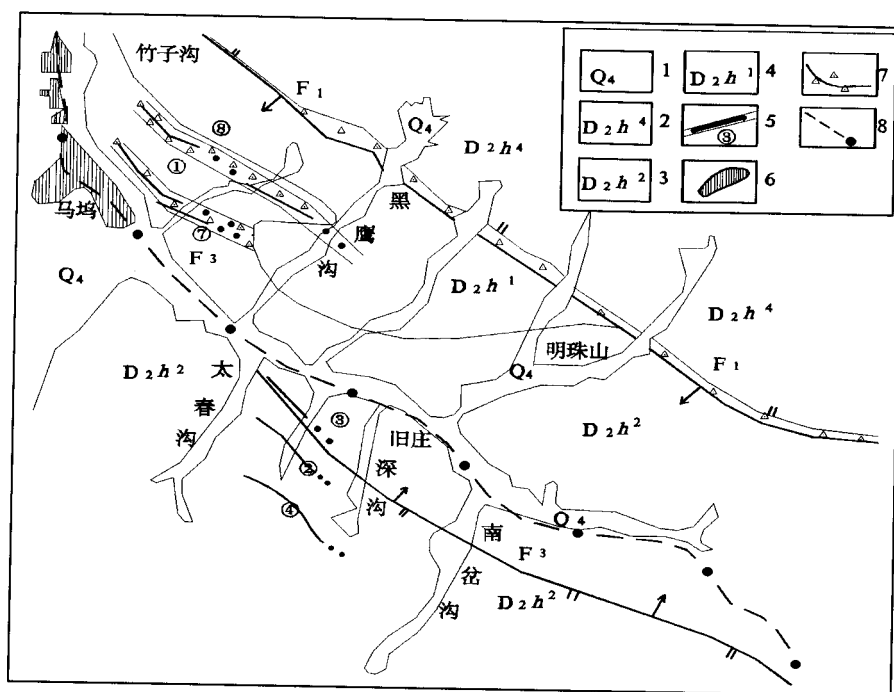


图2 马坞金矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of Mawu gold field

1. 第四系; 2. 舒家坝群何家店第4岩性段; 3. 何家店第2岩性段; 4. 何家店组第1岩性段;
5. 破碎蚀变带及矿脉; 6. 岩脉; 7. 断裂; 8. 公路

呈正相关, 蚀变类型主要有硅化、绢云母化、黄铁矿化, 其次为碳酸盐化、绿泥石化, 蚀变矿物呈浸染状、脉状叠加交代充填改造原岩, 在后期构造作用下形成不同程度的蚀变构造角砾岩和蚀变碎裂岩。黄铁矿化与金矿化关系最为密切, 黄铁矿化发育部位金品位一般较高 (最高达 5.42×10^{-6}), 形成矿 (体) 脉; 硅化、绢云母化与金矿化关系亦较为密切, 一般沿蚀变破碎带、蚀变破碎带内的裂隙密集带。节理密集带分布 (胡晓隆等, 2004)。

3.1.5 地球化学特征

马坞-酒店 1:20 万区域化探 Au、As、Sb、Ag、Pb 综合异常内 (胡晓隆等, 2004), 经 1:5 万水系沉积物检查, 再经 1/万土壤地球化学测量工作证实, 异常重现性好, As、Sb、Hg 元素异常与 Au、Ag、Cu 元素异常一般套合较好且呈群分布, 为直接的找矿标志。

下面用 1/万土壤地球化学测量就异常的重现性做一说明。

(1) 元素富集分散特征

表 1 是本区元素基本地球化学参数, 分析认为, 本区分析测试的 10 种元素平均含量和背景含量均高于中国土壤含量平均值, 富集系数大于 1, 属富集元素。其中, As、Au、Sb 元素富集程度较高, 富集系数分别为 2.70、2.32、2.40, 说明 Au 有富集成矿可能。

在变化系数方面, Au 的变化系数最高; Au、As、Sb 变化系数大于 70%, 离散程度极大, 分布及不均匀。

变化系数的大小反映元素含量的离散和均匀程度, 在一定意义上讲, 元素在特定地质环境中活化、迁移、沉淀、富集程度反映了该元素的成矿能力, 成矿的规律显示富集元素和分布不均匀元素, 其成矿能力较强, 对成矿有利。因此, 本区 Au 成矿能力较强, 极易成矿。

叠加强度系数由小到大的顺序是 As→Au→Sb→W→Mo→Pb→Hg→Zn→Ag→Cu。其中, Au、As 叠加强度系数分别为 1.4 和 1.6, 说明 Au 在后

期构造活动中又有一定叠加富集^①。

表 1 甘肃岷县马坞地区微量元素地球化学参数表
Tab. 1 The geochemical parameter of trace elements in Mawu district, Minxian, Gansu Province

元 素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	Mo	W
样品数	4 370	4 371	4 371	4 371	4 371	4 371	4 371	4 371	4 371	4 371
全区平均值	4.58	135	27.1	40.7	119	44.3	2.37	56.1	1.05	2.65
最大值	61.9	1 097	193.7	3 663	578	410.3	20.8	305.2	3.75	17.13
最小值	0.05	83	5.9	11.6	20	3.8	0.02	2.7	0.55	0
极 差	61.85	1 014	187.8	3 651.4	558	406.5	20.78	302.5	3.20	17.13
背景值	3.25	126	26.7	36.9	114	27	1.92	53.1	0.99	2.34
标准偏差	5.41	45	7.6	62.3	37	44.6	1.76	28.8	0.29	1.38
变化系数（%）	118	33.6	28.1	52.9	31.2	100.8	74.3	51.2	27.7	52.3
富集系数	2.32	1.58	1.11	1.60	1.68	2.70	2.4	1.33	1.24	1.30
叠加强度	1.41	1	1.0	1.1	1	1.6	1.24	1.1	1.07	1.13
中国土壤平均含量	1.4	80	24	23	68	10	0.8	40	0.8	1.8

注：1、元素含量 Au、Ag、Hg 为 $\times 10^{-9}$ ，其他为 $\times 10^{-6}$ 。2、中国土壤平均含量，引用鄯明才、迟清华（1997）中国土壤平均含量。
3、样品细加工由甘肃省有色金属地质调查局中心实验室测试中心加工室承担。

(2) 背景及异常下限

背景值，说明本区背景稳定，所确定的背景（中）

通过统计计算，本区背景及异常下限见表 2。值切合实际。采用此异常下限，本区共圈定编号异

由表中数据可以看出，各元素均方差均小于该元素常 6 个，编号 M-1~M-6。

表 2 甘肃岷县马坞地区背景及异常下限统计表
Tab. 2 The statistics for the background and lower limit anomaly in Mawu district, Minxian, Gansu

元 数	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	Mo	W
样品数	3971	4 042	4 319	4 097	4 167	3 554	3 962	4 242	4 021	4 052
背景值	3.25	126	26.7	36.9	114	27	1.92	53.1	0.99	2.34
均方差	2.39	18	6.5	7.1	23	10.2	0.82	22.2	0.17	0.5
异常下限	8	165	40	50	160	52	3.5	98	1.5	3.5
中国土壤平均含量	1.4	80	24	23	68	10	0.8	40	0.8	1.8

注：1、元素含量 Au、Ag、Hg 为 $\times 10^{-9}$ ，其他为 $\times 10^{-6}$ 。2、中国土壤平均含量，引用鄯明才、迟清华（1997）中国土壤平均含量。

(3) 异常地球化学特征

的 10 种元素中，各元素都有异常出现，但各元素出

①异常基本特征现异常的频率不同，规模不一，强度有别（表 3）。

1/万土壤地球化学测量工作，在本区分析测试

表 3 甘肃岷县马坞测区各元素异常统计表
Tab. 3 The anomaly statistics for each element in Mawu area measured, Minxian, Gansu

元 素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	Mo	W
总样点数	4 370	4 371	4 371	4 371	4 371	4 371	4 371	4 371	4 371	4 371
异常点数	658	503	110	517	620	900	648	264	350	407
异常率/%	15.06	11.51	2.52	11.83	14.18	20.59	14.83	6.04	8.01	9.31
最高含量	61.9	1097	193.7	3663	578	410.3	20.8	305.2	3.75	17.13
平均含量	14.37	217	45.8	77.2	205	113.4	5.67	131.2	1.83	5.93
最大衬度	1.8	1.32	1.15	1.54	1.28	2.18	1.62	1.34	1.83	1.69

① 杨宏林，孙增战等. 甘肃省武山县马其沟地区土壤地球化学测量工作报告，2010。

Au、As、Sb 三种元素异常出现率较高, 异常规模较大, 异常出现率大于 10%。

As 共有 900 个异常点, 异常率 20.59%, 主要集中在 M-4 和 M-1 异常中, 异常平均含量 113.4×10^{-6} , 最高含量 410.3×10^{-6} (M-1), 异常地段主要出露微晶灰岩偶夹细砂岩。其中, 以 M-4 异常规模最大, 面积约 0.74 km^2 , 峰值为 374×10^{-6} 。

Au 共有 658 个异常点, 异常率 15.06%, 主要集中在 M-1 和 M-3 异常中, 异常平均含量 14.37×10^{-6} , 最高含量 61.9×10^{-6} (M-3), 异常

地段主要出露于二叠系的微晶灰岩偶夹细砂岩。其中以 M-1 异常规模最大, 面积约 0.528 km^2 , 峰值为 57.93×10^{-6} 。

Sb 共有 648 个异常点, 异常率 14.83%, 主要集中在 M-1 和 M-4 异常中, 异常平均含量 5.67×10^{-6} , 最高含量 20.8×10^{-6} (M-3), 异常地段主要出露于二叠系的微晶灰岩偶夹细砂岩。其中以 M-1 异常规模最大, 面积约 0.643 km^2 , 峰值为 13.98×10^{-6} 。

其他异常出现率较小的元素, 这里不再一一描述其特征 (图 3)。

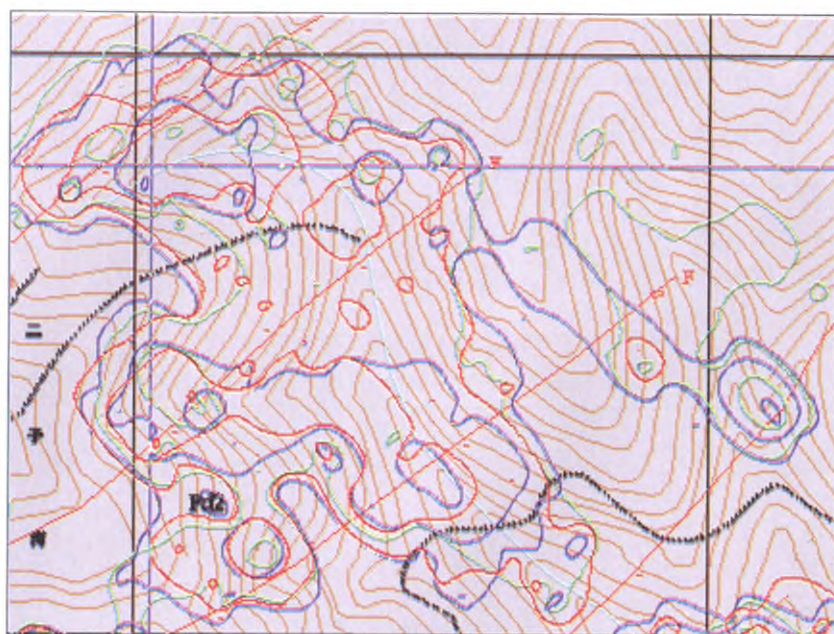


图 3 Au、As、Sb 异常综合图

Fig. 3 Synthetic map showing Au, As, Sb anomaly

1. 红色为 Au 异常等值线; 2. 蓝色为 As 异常等值线; 3. 绿色为 Sb 异常等值线

②重点异常地球化学特征

a. M-1 异常

M-1 异常形态为近等轴状, 有北西向延伸趋势, 面积约 0.65 km^2 。异常元素以 Au、As、Sb 为主, 伴有 Ag、Pb、Zn 异常。Au、As、Sb 元素异常含量高, 形态相似, 浓集中心明显, 吻合非常好。Ag、Pb、Zn 异常规模较小, 仅出现在 Au、As、Sb 异常浓集区。Au 异常呈北西向展布, 有 213 个异常点, 面积 0.53 km^2 , 异常最高值 57.93×10^{-6} , 平均含量 16.8×10^{-6} , 属内带异常, 异常变化系数 46.73%。As 异常共有 237 个异常点,

面积 0.65 km^2 , 异常最高值 410.3×10^{-6} , 平均含量 116.3×10^{-6} , 属中带异常, 异常变化系数 51.1%。Sb 异常, 共有 262 个异常点, 面积 0.64 km^2 , 异常最高值 13.98×10^{-6} , 平均含量 5.91×10^{-6} , 属中带异常, 异常变化系数 34.18%。异常地段为二叠纪地层, 有 3 条北东向断裂通过异常, Au 的高值点大多分布于断裂附近或地形切割较深的低洼地带。

b. M-4 异常

M-4 异常, 沿二叠与白垩系地层接触界面展布, 受 10 条线控制, 向东南未封闭, 呈北东向带

状，长 1 800m，宽 500~600m，面积约 0.6km²。异常元素组合 As-W-Sb-Ag- (Mo-Au-Cu)，特征元素 As、W、Sb、Ag，目标元素均为 W、Ag。As 异常规模最大，W、Mo 异常吻合较好，形态与 As 相似，规模较 As 小，处于 As 异常浓集区。Au、Ag、Cu 异常规模较小，在 As 异常浓集区局部出现。As 共有 271 个异常点，异常最高值 374×10⁻⁶，平均含量 134.3×10⁻⁶，属中带异常。Sb 异常，共有 120 个异常点，面积 0.29km²，异常最高值 16.28×10⁻⁶，平均含量 7.17×10⁻⁶，属内带异常。Au 异常，共有 90 个异常点，呈北东向脉状

展布，面积 0.155km²，异常最高值 24.7×10⁻⁶，平均含量 11.82×10⁻⁶，属中带异常。M-4 异常与 M-6、M-3 及 M-5 异常构成北东向异常带。M-4 是本区规模最大的异常，异常处于两套地层不整合面两侧，尤其是 Au 异常严格沿不整合面展布，应重视和加强该异常的评价工作。

c. M-6 异常

该异常位于工作区西南部，异常不完整，区内出现规模较小，仅有 9 个异常点，但 Au 异常含量较高，Au 平均达 21.17×10⁻⁹，最高 66.79×10⁻⁹，系本工作区最高值，应引起重视。

表 4 甘肃岷县马坞测区异常特征一览表

Tab. 4 The anomaly feature list of Mawu area measured, Minxian, Gansu

异常	M-1			M-4			M-6		
元 素	Au	As	Sb	Au	As	Sb	Au	As	Sb
面积	0.528	0.6541	0.643	0.155	0.7399	0.293	0.038	0.072	0.019
异常点数	213	237	262	90	271	120	9	17	8
最高含量	57.93	410.3	13.98	24.7	374	16.28	60.79	185.2	8.11
平均含量	16.8	116.34	5.91	11.82	134.27	7.17	21.17	109.14	5.47
离差	7.85	59.48	2.02	3.2	62.42	3.24	18.56	43.29	1.87
衬度	2.1	2.24	1.69	1.48	2.58	2.05	2.65	2.1	1.56

本区 Au 背景值 3.25×10⁻⁹，全区平均含量 4.58×10⁻⁹，分别已达到中国土壤含量的 2.32 和 3.27 倍，显示本区 Au 背景比较高。全区最高值 61.9×10⁻⁹，说明本区有 Au 富集事件。

土壤地球化学异常中，Au、As、Sb 最为突出，Au、As、Sb 组合是 Au 矿异常特征组合。As、Sb 异常相伴 Au 异常出现，虽然在规模上超过了 Au，这恰恰是 Au 的重要的指示。因此，Au 是本区主成矿元素，而且具备富集成矿条件。

本区 Au 异常具一定规模，Au 的高值点要么出现在断裂构造附近，要么出现在地形切割较强（或者剥蚀较强）的沟系中，或者构造与沟系交汇处，或者在两套地层不整合面附近，这些地段都是

构造薄弱环节。而在地势较高或剥蚀较浅山梁则无异常或只出现外带异常。结合前述 As、Sb 异常特征，本区异常所反映的矿化蚀变体（如果有）可能埋藏较深。如果是这样，那么，M-1、2、3、6 异常应该是进一步找矿的有望异常。当然也应该重视 M-4 异常评价工作。

综合分析，认为本区仍具有进一步找 Au 的潜力，但矿化蚀变体埋深可能较大。主要找矿有望异常为 M-1、2、3 及 M-6 异常。

3.1.6 地球物理特征

矿区开展的激电联合剖面测量显示，极化体与已知矿化蚀变带有较好的对应关系表 5，经初步验证多数极化体与矿脉位置基本吻合（刘新会等，2005）。

表 5 坞矿区（南部）极化体、破碎带与矿化蚀变带对应关系表

Tab. 5 The features between polar body, fractured zone and alteration zones in the sothern part of Mawu gold deposit

极化体及破碎带编号	控制长度/m	宽度/m	走向	备 注
Jht11	800	5~10	310°	4 号矿化蚀变带
Jht13	400	5~20	305°	3 号矿化蚀变带
Jht14	400	5~10	290°	
Psd12	400	10~40	300°~310°	2 号矿化蚀变带

3.2 矿体特征

矿区共圈定 6 条矿脉, 总体走向北西西, 呈似脉状。局部为大的透镜体状等沿走向及倾向具有尖灭再现、局部膨大缩小的特点, 矿脉主要有千枚岩角砾、角砾状灰岩及少量石英组成, 蚀变以硅化、绢云母化、

黄铁矿化及方铅矿化为主, 蚀变、矿化强烈部位形成矿体, 矿体中多发育一组或几组与主构造成较大角度斜交的北南和北东东向小型张裂隙, 裂隙内充填方解石脉、黄铁矿脉及石英脉, 在这类裂隙脉中一般金品位较高。矿体(矿脉)主要参数见表 6。

表 6 矿体(矿脉)特征一览表
Tab. 6 The features of ore body (veins)

位置	矿(脉)体号	长度/m	厚度/m	金品位/ $\times 10^{-6}$	形态	产状
矿区北部	1-1	304	0.86~6.68 平均 1.82	1.50~4.25 平均 3.61	似脉状	$38^{\circ}/50^{\circ}\sim 75^{\circ}$
	7-1	290	0.75~4.26 平均 2.23	2.08~4.34 平均 2.75	似脉状	$35^{\circ}/65^{\circ}$
	8-1	1 040	0.87~8.28 平均 3.03	1.43~5.21 平均 2.79	脉状	$35^{\circ}\sim 50^{\circ}/69^{\circ}\sim 85^{\circ}$
矿区南部	4-1	264	0.92~5.82 平均 2.14	1.11~2.01 平均 1.64	似脉状	$245^{\circ}/45^{\circ}\sim 78^{\circ}$
	2 号矿脉	400	厚度变化大	0.96~1.78	似脉状	$200^{\circ}\sim 260^{\circ}/50^{\circ}\sim 70^{\circ}$
	3 号矿脉	320	3.0~8.0	1.08~13.0	脉状	$185^{\circ}\sim 225^{\circ}/50^{\circ}\sim 80^{\circ}$

3.3 矿石特征

原生矿石中金属矿物以黄铁矿为主, 次要矿物为毒砂、黄铜矿等; 非金属矿物主要为绢云母、石英、绿泥石、白云母、方解石等。

矿石结构主要有自形一半自形—他形粒状结构、包含结构、交代结构、破裂结构、压碎结构、揉皱结构、交代残余结构等, 矿石构造主要有浸染状、条带状、斑点状、网脉状、角砾状、蜂窝状等。

3.4 控矿因素

3.4.1 地层的控矿作用

中川花岗岩中金含量 2.0×10^{-9} , 而舒家坝群中金含量值 4.9×10^{-9} 与地壳沉积岩中克拉克值 5.1×10^{-9} 比较接近, 比西秦岭地区泥盆系金的背景值 2.9×10^{-9} (冯建忠, 2003), 相对较高。而舒家坝群下伏的上寒武—下奥陶系李子园群中中基性火上碎屑岩特别发育, 其金平均丰度值高达 42.3×10^{-9} (王祥文, 1999) 比地壳克拉克值 (2.19×10^{-9}) 高 20 倍, 比该区泥盆系金的背景值高十几倍, 比舒家坝群中金含量值高近 10 倍。此“沉积柱”具有一定的提供成矿物质的能力。在热动力的作用下, 成矿流体可以通过萃取成矿物质(活化), 迁移并富集到成矿有利部位而成矿。故该矿区的舒家坝群为容矿地层, 而其下伏李子园群则可能为“矿源层”(冯建忠, 2003)。

3.4.2 构造的控矿作用

该区经历了长期的印支—燕山早期构造岩浆作用, 形成了深大断裂构造, 为矿液自深部向上运移准备了良好通道, 如 F_1 等导矿构造。同时也形成了次级断裂构造, 如走向 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}$ 的断裂构造, 这些断裂构造为成矿提供了所必需的有利构造环境, 区域深大断裂控制着矿带或矿田分布, 次级和更次级断裂则控制着矿脉分布。

矿区内所有矿脉均产于断裂构造中, 严格受断裂控制。矿体赋存部位岩石破碎, 对该矿区的赋矿破裂岩、破裂岩以及近矿的岩石、煌斑岩进行系统化探取样^①, 统计其微量元素的平均含量见表 7、8。

从表 8 可以看出, Au 元素在赋矿破裂岩中比舒家坝群中金平均含量富集了近 200 倍, 比近矿岩石中的平均含量富集了 10 倍多, 比破裂岩富集了 6 倍多。按照该矿区矿体规模大、金品位低的特点, 已达到圈定矿体的要求。另外, Ag、As、Sb 等元素也相应富集了 5~10 倍。从以上分析也可以看出, 该区断裂破碎带控矿作用明显。

3.4.3 岩浆岩的控矿作用

目前, 在研究区域内, 所发现的矿床、矿点、矿化点均围绕中川花岗岩体分布, 离岩体边界 0.8~7km, 这种矿床(点)与岩体空间分布特征显示出金的成矿与岩浆活动有着特定的依存关系。中

① 甘肃省地矿局, 1:5 万锁龙幅、马坞幅区域地质调查报告, 2000。

表 7 西秦岭中带舒家坝群 Au 及相关元素含量

Tab. 7 The content of Au and associated elements in the Shujiaba group in western Qinling

地 层	样数	$w_B/\times 10^{-9}$	$w_B/\times 10^{-6}$	$w_B/\times 10^{-6}$
		Au	Ag	AS
石炭系	65	4.8	0.1	6.5
泥盆系	191	5.5	0.13	10.74
志留系	140	4	0.11	11.4
舒家坝群	214	4.9	0.12	37.9
西汉水组	143	3.5	0.11	11.5
西秦岭泥盆系	223	2.9		
上寒武一下奥陶系		42.3		
地壳沉积岩（黎彤）1981		5.1	0.065	8.6
地壳克拉克值（黎彤，1992）		2.19	0.075	2.03

注：资料来源于吕国安，1995；冯建忠，2003；王祥文，2003，修改整理。

表 8 马坞矿区含矿断裂带及其附近岩石微量元素平均含量统计表

Tab. 8 The ore-bearing rocks near by fault zone and concentration of trace elements in Mawu mine

岩石性质	件数	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cu
赋矿碎裂岩	38	893	1.68	764	25.4	1.72	28.8
碎裂岩	45	145.2	0.29	212	23.8	0.58	31.2
近矿岩石	43	87.5	0.26	89	5.42	0.54	42.5
斜云煌岩脉	3	31	0.30	78	3.0	0.47	32.0

注：测试单位为武警黄金第五支队实验室，2008。Au 元素含量为 $\times 10^{-9}$ ，其余元素为 $\times 10^{-6}$ 。

川岩体形成时间为 219~181.5Ma，属印支中期—燕山早期，而成矿时间为 173.3~171.6Ma，属燕山早期。从时间上看，成矿期基本在印支—燕山岩浆活动期内，岩浆活动能够为成矿提供热源，在热动力作用下，各种来源的水在地层中循环运移，萃取成矿物质而形成含矿热液，为成矿提供了物源。

马坞金矿床距中川岩体 5km，处外接触变质带范围内，且大部分矿体与煌斑岩脉呈伴生关系，煌斑岩为一种属富含挥发成分的碱性、钙碱性深源岩，是贵金属矿的重要源岩，与中温热液型金矿在时空上往往并置。

矿区可见沉积建造中发育角岩化蚀变带及斑点状千枚岩，斑点状构造是岩石受岩浆热变质和热液交代的结果，是成矿流体在岩石中不均匀交代的标志。后期岩体及岩脉热源的补充不仅改造了沉积岩的结构、组合，更为金矿化的再次补给和迁移富集创造了热场（罗天伟 周继强，2004）。

地化剖面测量表明（图 4），无脉岩分布的破碎带，则 Au 元素微量分析一般在 $10\times 10^{-9}\sim 25\times 10^{-9}$ 左右；而有脉岩分布的破碎带，Au 元素分析值一般 $150\times 10^{-9}\sim 300\times 10^{-9}$ ，甚至更高。

4 找矿潜力

4.1 矿区找矿潜力

（1）矿区深部找矿潜力 该矿区圈定 6 条呈北西—北西西向近于平行的破碎蚀变带，其规模较大，目前所发现的矿脉均赋存于该组破碎带中。以发现的矿脉仅以地表工程控制，矿区深部有较大的找矿空间。

（2）矿区深大断裂带中找矿潜力 李坝金矿 F_3 、 F_{12} 中赋存 5、6 号主矿体，而与之成矿背景相同、成矿条件基本相似的马坞金矿由于 F_3 所处位置覆盖厚，仅在 F_3 两侧开展工作并发现矿脉，并且矿区南部分布的 F_{12} 所处位置亦尚未开展工作，而物化探工作反应 F_3 、 F_{12} 位置出有较强烈的异常显示。因此，矿区内的几条深大断裂 F_3 、 F_{12} 有很大的工作价值（王瑞廷等，2000）。

（3）矿区极化体中找矿潜力 矿区内激电联合剖面测量圈定了 5 条极化体，且与该区的金矿脉、破碎带吻合较好，推断多为金矿脉引起。因此，继续查证区内极化体的含矿性极为重要。

（4）矿区南部细晶岩、斜云煌岩等脉岩发育，

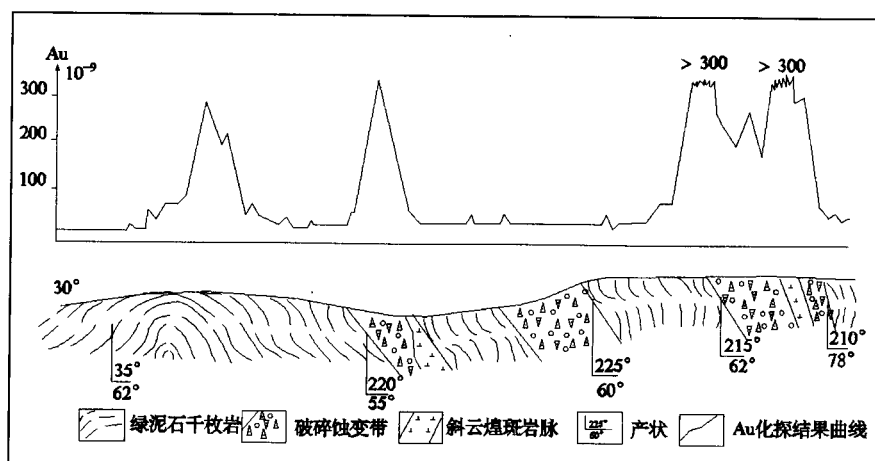


图 4 马坞矿区深沟—孙家沟梁地化剖面 Au 元素测量结果示意图

Fig. 4 A diagram showing Au element contents along the cross-section from Shengou to Sunjiagouliang in Mawu deposit

且岩脉与金矿化体关系密切, 构造破碎蚀变带发育, 矿脉宽且金品位较高。矿区南部工作程度较低, 需要进一步开展勘查工作。

(5) 矿区东部明珠山一带目前仅有矿点发现, 在羊圈沟发现的矿体虽延长小, 但矿体宽, 金品位较高, 有进一步工作的必要。

4.2 矿区外围找矿潜力

矿区外围应沿中川岩体群周边断裂构造发育的热接触变质带进行, 范围距岩体 1~5km 为佳, 赋矿地层仍以泥盆系为主, 赋矿岩性以泥质碎屑岩类为主, 矿床类型以中低温热液矿床为主。应注意在斑点状千枚岩和板岩中找矿, 特别是在煌斑岩脉及其上下盘中找矿。

参考文献 (References):

- 王祥文. 甘肃省李坝金矿床地质特征及成因初探 [J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8 (6): 541-545.
- Wang Xiangwen. Geology and metallogenesis of the Liba gold deposit in Gansu [J]. Geological Exploration for Nonferrous Metals, 1999, 8 (6): 541-545.
- 刘新会, 于岚, 张复新, 等. 甘肃岷县寨上金矿床地质特征及成因初探 [J]. 西北地质, 2005, 38 (4), 45-53.
- Liu Xinhui, Yu Lan, Zhang Fuxin, et al. Geological features and genetic analysis of Zhaishang gold deposit, Min county, Gansu [J]. Northwestern Geology, 2005, 38 (4), 45-53.
- 王瑞廷, 赫英. 超大型金矿床比较研究初探 [J]. 西北地质, 2000, 33 (4), 1-10.
- Wang Ruiting, He Ying. Tentative Comparing Researches on Superlarge Gold Ore Deposits [J]. Northwestern Geology, 2000, 33 (4): 1-10.
- 胡晓隆, 张仲礼, 杨礼敬, 等. 甘肃省武山县竹子沟金矿地质特征及找矿模型探讨 [J]. 黄金地质, 2004, (2).
- Hu Xiaolong, Zhang Zhongli, Yang Lijing, et al. The geologic features and ore-finding model of Zhuzigou gold deposit of Wushan County, Gansu Province [J]. Gold Geology, 2004, (2).
- 罗天伟, 周继强. 甘肃省李坝金矿床成矿地质特征 [J]. 桂林工学院学报, 2004, 4: 408-411.
- Luo Tianwei, Zhou Jiqiang. Mineralizing Geological Features of Liba Gold Deposit in Gansu [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2004, 4: 408-411.
- 丁仁平, 裴先治, 胡波, 等. 甘肃天水地区新生代火山岩地球化学特征及其成因 [J]. 地质与勘探, 2005, 24 (1): 33-38.
- Ding San, Pei Xianzhi, Hu Bo, et al. Geochemical Characteristics and origin of cenozoic acid volcanic rocks in the tianshui area, Gansu Province [J]. Geology and Prospecting, 2005, 24 (1): 33-38.
- 冯建忠, 汪东波, 王学明, 等. 甘肃省礼县李坝大型金矿床成矿地质特征及成因 [J]. 矿床地质, 2003, 10 (3): 32-38.
- Feng Jianzhong, Wang Dongbo, Wang Xueming, et al. Geology and Metallogenesis of Liba Large-size Gold

Deposit in Lixian, Gansu Province [J]. Mineral

Deposits, 2003, 10 (3): 32-38.

Mawu Gold Geochemical Characteristics and Ore-controlling Factors and Prospecting Potential of Min County, Gansu Province

SUN Zeng-zhan

(Northwest Non-Ferrous Geological Prospecting Bureau Geophysical and Geochemical Prospecting Corps., Xi'an 710068, China)

Abstract: Mawu gold deposits are located in the east of Min-Li ore belt. Through field geological survey and the 1/10 000 soil geochemical survey, we get rich orebody geological and geochemical data, and analyzed the ore deposit geochemical characteristics. Wall rock alteration is mainly in low and middle temperature hydrothermal alteration, alteration intensity is positively related to the gold mineralization degree. The ore controlling factors were analyzed from the geological strata, structure, magmatic rocks and geochemical features. The prospecting potential was discussed.

Key words: ore-controlling factors; prospecting potential; Mawu gold field; geochemical characteristics; Min county, Gansu province

《西北地质》版面费付款方式

作者投向《西北地质》的论文一旦确定排版, 请作者主动与编辑部联系咨询版面费数额, 同时尽快通过银行严格按以下地址汇寄至:

单 位: 西安地质矿产研究所

帐 号: 3700021509088101429

银 行: 工商银行西安市南关支行

汇款人: ××× 版面费

汇款时请一定在汇款人栏注明版面费并写上作者姓名, 款到后即寄发票。一般情况发票按汇寄的汇款单位开出, 开出发票有特殊要求的, 请在款项汇出后即刻通知编辑部, 因发票管理较为严格, 因而发票开出, 概不退换。

作者有事最好通过电话咨询, 编辑部的联系方式如下:

邮 编: 710054

地 址: 西安市友谊东路 438 号

单 位: 西安地质矿产研究所《西北地质》编辑部

电 话: 029-87821951

E-mail: xbdzjb@163. com

网 址: www. xian. cgs. gov. cn/ Northwestern-Geology/

《西北地质》编辑部