

# 甘肃省岷县马坞金矿地质特征及成矿模型

崔 龙

(武警黄金第五支队 陕西西安 710100)

**摘要:**马坞金矿分布于岷—礼金成矿带的东部,距中川岩体5 km左右。通过野外地质勘查和地球化学测量,获取丰富的矿床地质特征数据,系统分析了马坞金矿区的矿床地质特征、矿体地质特征。围岩蚀变以中—低温热液蚀变为主,蚀变强度与金矿化强度呈正相关;极化体与已知矿化蚀变带有较好的对应关系;矿区共圈定6条矿脉,沿走向及倾向具有尖灭再现、局部膨大缩小的特点,总体呈脉状、似板状、局部为大的透镜体状等,沿裂隙发育的矿脉金品位较高。矿石结构主要有自形—半自形—它形粒状结构、包含结构、交代结构、碎裂结构、压碎结构、揉皱结构及交代残余结构等;矿石构造主要有浸染状、条带状、斑点状、(网)脉状、角砾状、蜂窝状等构造。从地层、构造、岩浆岩等三个方面分析了控矿因素。建立了马坞金矿的“地层—构造—岩浆岩”成矿模式。在此基础上,提出了从矿区、矿区东部、南部及外围等四个方面的找矿方向,并分析了其找矿潜力。

**关键词:**控矿因素 找矿方向 矿床成矿模式 甘肃岷县马坞金矿

**中图分类号:**P578.1+1.62 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-8755(2010)02-0043-08

## Geological Characteristics and Structure of the Mawu Gold Deposit, Min County, Gansu Province, China

CUI LONG

(Fifth gold Detachment of Chinese People's Armed Police, Xi-an 710100, Shanxi, China)

**Abstract:** The Mawu gold deposit is located in the eastern part of the main Minxian-Lixian gold zone, 5 km from the Zongchuan Rock mass, a huge gold field. The geological structure is complex. Geological and geochemical field surveys reveal the following characteristics of the deposit and the ore body: 1. The wall-rock alteration is mainly low-to-medium-grade hydrothermal alteration. And the alteration intensity was positively correlated with the gold mineralization intensity. 2. The attitude of the ore potential body corresponds with that of the known mineralized zone. 3. Six ore veins were delineated, of variable thickness, and pinching out and reappearing along strike. The veins vary from tabular to lenticular in shape. The gold grade is highest in veins developed conformable with the fracture pattern. The individual ore bodies show automorphic-hypautomorphic-allotriomorphic granular texture, as well as Poikilitic texture, metasomatic texture, cataclastic texture, pressure texture, corrugation texture and metasomatic relict texture. Their configuration is disseminated, banded, patchy, vein-like (in general), brecciated, or honeycomb in nature. Factors controlling ore distribution were analyzed from three perspectives: geological formation, structure, and igneous rock type. Then, a “strata-tectonic-magmatic rock” model was established for the Mawu gold deposit, and four prospective ore concentrations, their potential, and their probable structural extent were defined and analyzed, i. e. the main mines, southern mines, eastern mines,

收稿日期:2010-04-02

基金项目:中央黄金专项基金,甘肃省岷县马坞金矿岩金普查(2008-2009)。

作者简介:崔龙(1968-),男,工程师,陕西西安人,从事金矿地质研究与勘查工作。E-mail:cuilong1024@126.com。

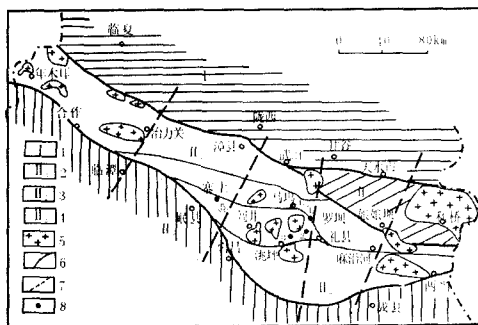
and external mines.

**Key words:** Ore-controlling factors; Mining prospecting orientations; Mineral deposit model; Mawu gold field; Min county; Gansu province

西秦岭岷礼盆地是我国重要的金及多金属成矿带,近年来所发现的微细浸染型金矿床是该区主要的金矿床类型之一<sup>[1]</sup>。目前,围绕中川岩体群发现了李坝、马泉、金山、锁龙、寨上等大中型金矿床,这些矿床大多分布在岩体的内外接触带上,或者分布在岩体外围岩脉发育区域中<sup>[2]</sup>。马坞金矿位于李坝金矿与寨上金矿之间,分布在中川岩体的外接触带中,矿区内煌斑岩脉、闪长斑岩脉发育,矿床具有品位低、矿脉厚、规模大等特点,矿床类型类似李坝金矿,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。马坞金矿经过几年的勘查,已具备中型金矿床规模,总结该矿床的地质特征、控矿因素,建立矿床成矿模式,指出找矿方向,对指导该矿区及其外围地质找矿工作具有现实意义。

## 1 区域地质概况

马坞金矿床处于秦岭褶皱系之礼县—柞水华力西褶皱带西端,北接祁连褶皱系和北秦岭加里东褶皱带,南邻南秦岭印支褶皱带;位于石家河坝复式向斜北翼的次级马坞—酒店复式背斜北翼,岷礼金成矿带的东部(图1)。



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。

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 of the distribution of the Platform and the granite in West Qinling Mountain

区内出露地层主要为泥盆系,以及少量中石炭统、二叠系。中泥盆统在全区分布最广,以礼县—洮坪断裂为界,南北两侧为同期异相沉积,北侧舒家坝群,为深水浊流沉积形成的一套以细碎屑岩为主的类复理石建造;南侧西汉水群,为浅海正常沉积的一套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,位于中川岩体的北西及南东侧,为一套滨浅海相的正常沉积泥灰岩、硅质岩、(粉)砂岩建造。

礼县—山阳深断裂是区内的主要控岩、控矿构造,该断裂构造在礼县以西分成两支:北支沿礼县—罗坝—马坞—锁龙呈北西向延伸,南支沿礼县—洮坪呈近东西向延伸,马坞金矿即位于礼县—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<sup>[1]</sup>,呈北西

向西向展布,由3个二级褶皱组成:北部为马坞—酒店复式背斜,主要为舒家坝群组成;中部为石家河坝向斜,主要由石炭系组成;南部为张凤坡背斜,主要由西汉水群组成。

该区岩浆岩活动强烈,中川岩体群(俗称“五朵金花”)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,呈等轴状,与中泥盆统和中石炭统地层呈侵入接触。

## 2 矿床地质特征

马坞金矿区地质简图见图2。

### 2.1 矿区地质

#### 2.1.1 地层

矿区内出露地层主要为中泥盆统舒家坝群何家店组,为本区重要的含矿层位。该组地层自上而下岩性

分为4段,分布最广且与成矿关系最为密切的分别是何家店组第1岩性段( $D_2h^1$ )和第2岩性段( $D_2h^2$ ):

第1岩性段:岩性以中—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 $45^\circ \sim 85^\circ$ ,为区内朱家山—明珠山向斜的主要组成层位,分布于矿区中部。

第2岩性段:岩性主要为(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,目前发现的矿脉主要赋存于该岩性段中。

第3岩性段:在区内西侧仅有零星出露,岩性主要为粉砂质板岩、千枚岩,底部为厚层—块状变中粒石英砂岩。

第4岩性段:岩性主要为斑点状板岩、薄层灰岩、浅灰色变石英砂岩、变粉砂岩等。区内分布较广,主要分布于 $F_1$ 断裂以北。

### 2.1.2 构造

区内主要的褶皱构造为马坞—酒店复背斜及朱家山—明珠山向斜。其中马坞—酒店复背斜为石家河坝复式向斜北翼的次级褶皱构造,矿区位于该复背斜的东北翼,总体构造呈北西向,倾伏方向东南,倾伏角 $15^\circ \sim 25^\circ$ ,其南翼有李坝金矿田,该矿区的矿脉主要分布于该背斜北翼的NW向断裂带内。朱家山—明珠山向斜为马坞—酒店复背斜的次级褶皱,主要由何家店组第一岩性段组成。

区内断裂构造发育, $F_1$ 、 $F_3$ 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—NNW向次级断裂发育。 $F_1$ 断裂为礼县—罗坝—锁龙口深断裂之分支断裂,走向 $320^\circ$ 左右,倾角 $65^\circ \sim 85^\circ$ ,宽80~240 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 m~120 m,走向 $300^\circ$ 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,矿区南部矿脉主要赋存于 $F_3$ 断裂中或其次级断裂中。

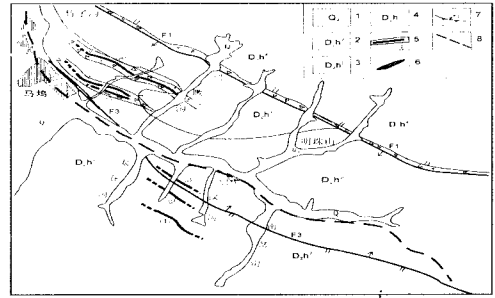
### 2.1.3 岩浆岩

矿区发育闪长玢岩脉、斜云煌岩脉、细晶岩脉等,其规模都不大,一般宽几米、长几十米,分布比较零乱,矿区南部较北部岩脉发育。煌岩脉与金矿脉关系密切,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。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。如南部的煌斑岩脉旁侧的3号矿脉最高品位达 $13.0 \times 10^{-6}$ ,4号矿脉厚5.82 m,金品位 $1.11 \times 10^{-6} \sim 2.01 \times 10^{-6}$ 。闪长玢岩脉、细晶岩脉规模较小,与矿化关系不大。

### 2.1.4 围岩蚀变

矿区蚀变破碎带发育于成矿热液作用有关的斑点状千枚岩,斑点受热液蚀变后表现为强烈的黄铁矿化、硅化、绢云母化。其分布范围与褪色化蚀变范围基本一致,并与金矿化关系密切(表1)。通过对该矿区几条破碎蚀变带及6条矿体观察,远矿千枚岩形成铁白云石、方解石等的斑点,表现为斑点状构造;近矿千枚岩内的斑点表现为初步被黄铁矿、石英等交代。形成矿体的千枚岩或矿化蚀变强烈有金品位显示的千枚岩内的斑点完全被石英、黄铁矿等交代。

马坞金矿围岩蚀变以中—低温热液蚀变为特征,主要发育于破碎蚀变带中及其周边,其强度与金矿化强度呈正相关,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,其蚀变常沿断裂构造呈浸染状、脉状叠加交代充填改造原岩,并伴随构造活动形成不同程度的蚀变构造角砾岩和蚀变碎裂岩,与金矿的形成密切相关。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 $5.42 \times 10^{-6}$ ),形成矿(体)脉;硅化、绢云母化与金矿化关系亦较为密切,这两种蚀变分布范围较大,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;碳酸盐化主要表现为方解石化,方解石脉主要分



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。

图2 马坞金矿区地质简图

Fig.2 Geological sketch map of Mawu gold field

为两期(NEE 和 NE 向),另外在较大的石英团块中有方解石团块分布。

表1 马均金矿不同岩石中的微量元素值

Table 1 The values of trace elements in different rocks in Mawu gold field

项 目	Au	Zn	Ag	W	Pb	Cu	As	Sb	Bi
花岗岩岩脉	5.42	109.0	0.33	12.52	13.36	23.58	146.16	10.59	0.11
近蚀变带斑点状千枚岩	42.4	29.60	0.16	2.10	34.50	30.00	84.85	9.18	0.63
蚀变带内斑点状千枚岩	89.05	64.33	0.31	7.94	33.82	28.18	165.30	13.77	0.39
蚀变矿化角砾状千枚岩	170.73	73.45	0.37	15.27	22.53	30.37	292.75	22.90	0.24
黄铁矿化千枚岩	132.68	45.25	0.39	1.88	64.88	28.78	337.43	12.43	0.58

注:微量元素值 Au 元素为  $10^{-9}$ ,其余元素为  $10^{-6}$ 。

蚀变分带总体不明显,但从内(矿体)一中(整个破碎蚀变带)一外(近矿围岩)大致可划分为:硅化、黄铁矿化、强绢云母化带—绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、弱硅化、弱黄铁矿化带—碳酸盐化、绿泥石化、弱黄铁矿化带。

### 2.1.5 地球化学、物理特征

矿区位于马均—酒店 1:200000 区域化探 Au、As、Sb、Ag、Pb 综合异常内<sup>[3]</sup>,经 1:50000 水系沉积物检查,其异常重现性好,并在矿区进行 1:10000 土壤测量,共圈定土壤 Au 异常 20 个,Au—Ag 组合异常 3 个,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,大部分异常为矿致异常,与已知矿(化)体吻合度高,为直接的找矿标志。

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 2),极化体极化率、电阻率异常明显且宽度较大,反映极化体内金属硫化物较多、硅化较强,经初步验证一般与该区已发现的金矿脉和断层吻合较好,其中多数极化体推断由矿脉引起。

表2 马均金矿区(南部)极化体、破碎带与矿化蚀变带对应关系表

Table 2 The Relation between polar body, fractured zone and alteration zones in southern part of Mawu gold deposit

破碎带及极化体编号	控制长度/m	宽度/m	走向	备注
Jht11	800	5~10	310°	4号矿化蚀变带
Jht12	400	5~10	310°	
Jht13	400	5~20	305°	3号矿化蚀变带
Jht14	400	5~10	290°	
Psd11	800	10~70	300°	
Psd12	400	10~40	300°~310°	2号矿化蚀变带

### 2.2 矿体特征

矿区共圈定 6 条矿脉(矿区北部 1、7、8 号矿脉,矿区南部 2、3、4 号矿脉),其走向 NW—NEE 向,与区域构造基本一致,沿走向及倾向具有尖灭再现、局部膨大缩小的特点,总体呈脉状、似板状、局部为大的透镜体状等。矿脉厚度变化较大,主要由千枚岩角砾、角砾状灰岩及少量石英组成,蚀变以硅化、绢云母化、黄铁矿化及弱的方铅矿化为主,次生矿化为褐铁矿化,蚀变、矿化较强部位形成矿体,矿体中多发育一组或几组与主构造造成较大角度斜交的 NS—NEE 向小型张裂隙,裂隙内充填方解石脉、黄铁矿脉及石英脉,在这类裂隙脉发育处一般金品位较高。矿体(矿脉)主要参数见表 3。

### 2.3 矿石特征

原生矿石中金属矿物以黄铁矿为主,次要矿物为方铅矿、闪锌矿、毒砂、黄铜矿等;氧化带中矿物主要有褐铁矿、孔雀石、赤铁矿等,非金属矿物主要为绢云母、石英、绿泥石、白云母、碳酸盐,其次为石墨、黑云母及有机炭等。副矿物主要有电气石、锆石、磷灰石、黝帘石。

矿石结构主要有自形一半自形—它形粒状结构、包含结构、交代结构、碎裂结构、压碎结构、揉皱结构、包含嵌晶结构、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、蜂窝状等构造。

表3 矿体(矿脉)特征一览表  
Table 3 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	$38^{\circ} \angle 50^{\circ} \sim 75^{\circ}$
	7-1	290	0.75 ~ 4.26, 平均 2.23	2.08 ~ 4.34, 平均 2.75	似脉状	$35^{\circ} \angle 65^{\circ}$
	8-1	1040	0.87 ~ 8.28, 平均 3.03	1.43 ~ 5.21, 平均 2.79	脉状	$35^{\circ} \sim 50^{\circ} \angle 69^{\circ} \sim 85^{\circ}$
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	$245^{\circ} \angle 45^{\circ} \sim 78^{\circ}$
	2号矿脉	400	厚度变化大	0.96 ~ 1.78	似脉状	$200^{\circ} \sim 260^{\circ} \angle 50^{\circ} \sim 70^{\circ}$
	3号矿脉	320	3.0 ~ 8.0	1.08 ~ 13.0	似脉状	$185^{\circ} \sim 225^{\circ} \angle 50^{\circ} \sim 80^{\circ}$

2.4 控矿因素

2.4.1 地层的控矿作用

中川花岗岩中 Au 含量  $2.0 \times 10^{-9}$ , 小于地壳克拉克值 ( $2.19 \times 10^{-9}$ , 黎彤 1992)<sup>[2]</sup>, 也小于秦岭地层中金含量值。而西秦岭中带各时代地层金的丰度值偏低, 舒家坝群地层中金含量值  $4.9 \times 10^{-9}$  与地壳沉积岩中克拉克值  $5.1 \times 10^{-9}$  比较接近, 比西秦岭地区泥盆系金的背景值  $2.9 \times 10^{-9}$  (冯建忠, 2003)<sup>[7]</sup> 相对较高, 但相差不远, 无明显的富集增高趋势(表4)。以上表明地层和岩体提供 Au 成矿物质的能力有限。而舒家坝群下伏的上寒武—下奥陶系李子园群地层中中基性火山碎屑岩特别发育, 其金平均丰度值高达  $42.3 \times 10^{-9}$  (王祥文, 2003)<sup>[6]</sup>, 比地壳克拉克值高二十倍, 比该区泥盆系金的背景值高十几倍, 比舒家坝群地层中金含量值高近十倍。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。故矿区内的舒家坝群地层为容矿地层, 而其下伏李子园群地层可能为“矿源层”。

表4 西秦岭中带舒家坝群 Au 及相关元素含量  
Table 4 The content of Au and associated elements in the Shujiaba group of western Qinling belt

地 层	样 数	$\omega_B (\times 10^{-6})$		
		Au	Ag	As
三叠系	205	0.006	0.107	3.94
二叠系	72	0.0043	6.9	
石炭系	65	0.0048	0.1	6.5
泥盆系	191	0.0055	0.13	10.74
志留系	140	0.004	0.11	11.4
舒家坝群	214	0.0049	0.12	37.9
西汉水组	143	0.0035	0.11	11.5
西秦岭泥盆系	223	0.0029		
上寒武—下奥陶系		0.0423		
地壳沉积岩(黎彤)1981		0.0051	0.065	8.60
地壳克拉克值(黎彤, 1992)		0.00219	0.075	2.03

资料来源: 吕国安, 1995<sup>[4]</sup>; 冯建忠, 2003<sup>[7]</sup>; 王祥文, 2003<sup>[6]</sup>, 修改整理。

2.4.2 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<sub>1</sub> 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, 矿床受构造控制的特征十分明显, 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。

马坞金矿分布于由 F<sub>1</sub> 及其次级断裂所形成的北亚成矿带内, 该带呈北西西向延伸, 断裂带主要由断层泥、糜棱岩、碎裂岩组成, 区内岩石中成矿元素 Au、Ag、As 含量高, 而 Sb、Hg 等元素含量较低(表5)。

表5 礼县—山阳分枝断裂及地层中矿化元素含量

Table 5 The mineral element contents in Lixian—Sanyo branch breakage and formation

地质体	样品数	Au( $\times 10^{-9}$ )	Ag( $\times 10^{-6}$ )	As( $\times 10^{-6}$ )	Sb( $\times 10^{-6}$ )	Hg( $\times 10^{-6}$ )
礼县—洮坪深断裂	9	8.75	0.19	68.7	119.7	0.10
礼县—罗坝—锁龙深断裂	4	7.5	1.10	11.3	0.8	0.06

资料来源:卢纪英,2000<sup>[2]</sup>。

矿区内所有矿脉均产于断裂构造中,严格受断裂控制。矿体赋存部位岩石较破碎,对该矿区的赋矿碎裂岩(多为密集节理带发育的蚀变矿化碎裂岩、破碎强烈的蚀变矿化碎裂岩)、碎裂岩(处断裂带内)以及近矿的岩石、煌斑岩进行系统化探取样,统计其微量元素的平均含量见表6。

表6 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

Table 6 Mawu mine the ore-bearing rocks near the fault zone and its average concentration of trace elements in tables

岩矿石性质	件数	Au( $\times 10^{-9}$ )	Ag( $\times 10^{-6}$ )	As( $\times 10^{-6}$ )	Sb( $\times 10^{-6}$ )	Bi( $\times 10^{-6}$ )	Cu( $\times 10^{-6}$ )
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

从表6可以看出,Au元素在断裂破碎蚀变带中(多为密集节理带发育的含矿蚀变矿化碎裂岩)比舒家坝群地层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,比在断裂破碎蚀变带中的碎裂岩(破碎程度及矿化蚀变均较弱)仅富集了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。同属断裂破碎蚀变带内,而破碎程度及矿化蚀变均较弱的碎裂岩中Au元素含量比近矿岩石中的Au平均含量仅富集了近2倍,比舒家坝群地层中金平均含量也富集了近30倍;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。

#### 2.4.3 岩浆岩的控矿作用

在研究区域内,目前所发现的矿床、矿点、矿化点均围绕中川花岗岩体分布,离岩体边界0.8~7 km,这种矿床(点)与岩体紧密协和的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。中川岩体形成时间为219 Ma~181.5 Ma,属印支中期—燕山早期,而成矿时间为173.3 Ma~171.6 Ma,属燕山早期<sup>[2]</sup>。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热液,为成矿准备了物质资源,对成矿起了间接控制作用。

马坞金矿床中川岩体5 km,处于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。煌斑岩脉与中温热液型金矿在时空上往往并置,且与中川岩体稀土元素组成特征十分相似, $\Sigma\text{REE}$ 值分别为152.330和174.427,变化较小,说明与中川岩体是同源的产物。因此,认为煌斑岩类是把金从地幔深部及深部地层带上的主要搬运者。

后期岩浆活动直接改造了早期的沉积地层。矿区经常见到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,含矿岩石中的斑点是热变质和岩浆热液交代的产物。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。

地质工作及地化剖面测量显示,在破碎带中分布有脉岩(细晶岩、斜云煌岩)和花岗闪长岩脉处,一般金矿化较好或形成金矿脉。地化剖面测量表明,无脉岩分布的破碎带,则Au元素微量分析一般在 $10 \times 10^{-9}$ ~ $25 \times 10^{-9}$ 左右;而有脉岩分布的破碎带,Au元素分析值一般 $150 \times 10^{-9}$ ~ $300 \times 10^{-9}$ ,甚至更高。实测Au元素含量沿地化剖面的分布进一步证实了这一规律(图3)。

### 3 矿床成矿模式

该区各地质成矿事件由早到晚为:中川岩体侵位—接触变质作用—控矿构造形成矿前脆韧性变形,控矿构造造成矿期脆性变形,主成矿期,各种脉岩就位。印支期伴随着中酸性岩浆的多次侵入,形成中川岩体,大规模的中酸性岩浆侵入为金矿成矿提供了重要的热动力源;随着深断裂的多次活动,沿断裂下渗的大气降水与深部变质水、岩浆水等混合,向下遇热后转为沿应力薄弱的深断裂(如礼县—锁龙断裂)上升,形成围绕岩浆热源分布的热卤水循环系统,这一热水循环系统不断萃取深部地层(上寒武—下奥陶系李子园群  $Pz11$ )中成矿物质,形成富含成矿物质的热卤水(矿液),这种含矿热液在循环系统下,沿深大断裂(导矿构造)上升至地表浅部有利容矿空间中,由于物理(温度、压力)、化学条件的改变而发生充填、交代作用形成金矿体。与此同时,岩浆经过冷凝、结晶、膨胀形成巨大的侧向挤压应力,这种侧向挤压应力与区域应力(深大断裂)共同作用形成控矿构造及相应的主成矿前的脆韧性变形( $F_1$ 断裂),随着岩浆源温度降低,控矿构造发生脆性变形,成矿构造( $F_3$ )中运移的含矿热液发生沉淀成矿。另外,在燕山运动早期,深部与中川岩体同源的煌斑岩在主成矿期的晚期变得活跃,易于沿先前存在的矿液通道( $F_3$ 及其次级断裂)上侵,就位于矿体分布区(图4)。

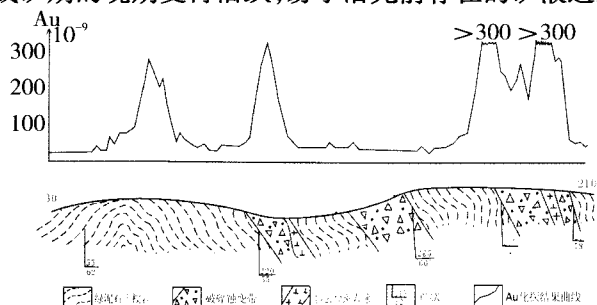


图3 马坞矿区深沟—孙家沟梁地化剖面 Au 元素测量结果示意图

Fig.3 The diagram of Au element contents along the cross-section from Shengou to Sunjiagou Beam in Mawu mine

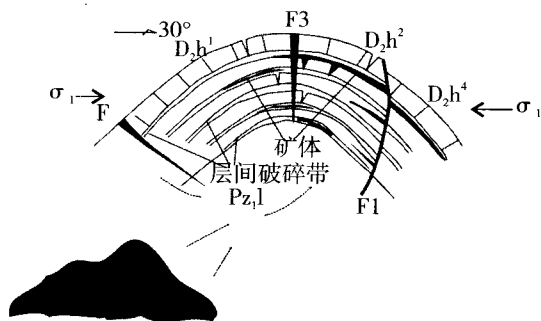


图4 马坞金矿区矿床成矿模式

Fig.4 Metallogenic model of gold zones in Mawu gold field

在整个过程中,构造—岩浆活动起了很大作用,燕山早期岩浆热力成为成矿热动力,一方面使地下水在地层中循环萃取成矿物质形成矿液,另一方面使矿液自深部向上运移到地表附近有利容矿空间中。

### 4 找矿方向

本文从区域地质、矿床地质等方面总结了马坞金矿矿床地质特征,从地层、构造、岩浆岩等三个方面总结了控矿因素,并且建立了马坞金矿的“地层—构造—岩浆岩”矿床模式,在此基础上,从矿区、矿区东部、矿区南部、矿区外围等四个方面提出了该矿床的找矿方向。

#### 4.1 矿区找矿方向

①矿区深部找矿分析:该矿区圈定6条呈北西—北西西向近于平行的破碎蚀变带,破碎蚀变带规模较大,长度一般大于1000 m,宽一般50 m~200 m,目前所发现的矿脉均赋存于该组破碎带中。矿区发现有一定规模及找矿前景的矿脉6条,其中矿区北部的1、7、8号矿脉、南部的2、3、4号矿脉仅以地表工程控制,尚未进行深部探矿,矿区深部有较大的找矿空间。

②矿区深大断裂带中找矿分析:矿区南部的李坝金矿  $F_3$ 、 $F_{12}$  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。因此,矿区内的几条深大断裂  $F_1$ 、 $F_3$ 、 $F_{12}$  有进一步探索的价值。

③矿区极化体中找矿分析: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,其中多数极化体推断由金矿脉引起。因此,继续查证区内极化体的含矿性极为重要。

#### 4.2 矿区南部找矿分析

矿区南部细晶岩、斜云煌岩等脉岩发育,且岩脉与金矿化体关系密切,构造破碎蚀变带发育,矿脉(如3、

4号矿脉)宽且金品位较高(金品位最高可达 $13.0 \times 10^{-6}$ )。矿区南部工作程度较低,需要进一步勘查。

#### 4.3 矿区东部找矿分析

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。

#### 4.4 矿区外围找矿分析

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1~5 km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。在找矿过程中应特别注意斑点状千枚岩和板岩中找矿,特别是煌斑岩脉发育区及其上下盘。

#### 参考文献

- [1] 张复新. 秦岭卡林型金矿床及相关问题探讨[J]. 矿床地质, 1998, 17(2): 172~184.  
ZHANG Fu-xin. Discussion on Carlin-type Gold Deposits in Qinling and the Relevant Issues[J]. Mineral Deposits, 1998, 17(2): 172~184. (in Chinese)
- [2] 卢纪英, 李作华, 张复新, 等. 秦岭板块金矿床[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2001.  
LU Ji-ying, LI Zuo-hua, ZHANG Fu-xin, et al. Gold Deposits in Qinling Tectonic Plate[J]. Xi-an: Shanxi Science and Technology Press, 2001.
- [3] 胡晓隆, 张仲礼, 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, 25(2): 4~7.  
HU Xiao-long, ZHANG Zhong-li, et al. The Geologic Features and Ore-finding Model of Zhuzigou Gold Deposit of Wushan County, Gansu Province[J]. Gold Geology, 2004, (2): 4~7. (in Chinese)
- [4] 吕国安. 西秦岭泥盆系地层金的赋存规律调查[R]. 甘肃兰州: 甘肃有色地质勘查局研究所, 1995.  
Lv Guo-an. Strata Gold Hosting Rules of the Devonian of the West Qinling[R]. Lanzhou: Gansu Non-ferrous Metal Geological Exploration Bureau, 1995.
- [5] 罗天伟, 周继强. 甘肃李坝金矿床成矿地质特征[J]. 桂林工学院学报, 2004, 24(4): 408~411.  
LUO Tian-wei, ZHOU Ji-qiang. Mineralizing Geological Features of Liba Gold Deposit in Gansu[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 2004, 24(4): 408~411. (in Chinese)
- [6] 王祥文. 甘肃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 Xiang-wen. Geological Characteristics and Genesis on the Liba Gold Deposit in Gansu[J]. Non-ferrous Metal and Exploration, 1999, 8(6): 541~545. (in Chinese)
- [7] 冯建忠. 甘肃礼县李坝大型金矿床成矿地质特征及成因[J]. 矿床地质, 2003, 22(3): 257~263.  
FENG Jian-zhong. Geology and Metallogenesis of Liba Large-size Gold Deposit in Lixian, Gansu Province[J]. Mineral Deposits, 2003, 22(3): 257~263. (in Chinese)
- [8] 姜启明. 甘肃崖湾金矿地质特征及前景分析[J]. 黄金地质, 2004, (3): 32~38.  
JIANG Qi-ming. Geological Features and Prospective Analysis of Yawan Gold Deposit, Gansu[J]. Gold Geology, 2004, (3): 32~38. (in Chinese)
- [9] 高珍权. 李坝金矿床地球化学特征及成因探讨[J]. 甘肃地质学报, 1999, 8(增刊): 49~53.  
GAO Zhen-quan. Geochemical Characteristics and Genesis on the Liba Gold Deposit in Gansu[J]. Gansu Geological Journal, 1999, 8(Supplement): 49~53. (in Chinese)
- [10] 柳森. 李坝式金矿的找矿标志及找矿方法[J]. 甘肃地质学报, 1994, 3(1): 79~89.  
LIU Miao. The Ore-hunting Indicators and Rvspecting Methods of "Liba Type" Gold Deposits[J]. Gansu Geological Journal, 1994, 3(1): 79~89. (in Chinese)