

西秦岭中川地区构造-岩浆活动 及微细浸染型金矿成矿作用分析

程 YU^{1,2}, 张旺定¹

(1. 西北大学 地质系, 陕西 西安 710069; 2. 甘肃有色地质勘查局, 甘肃 兰州 740000)

摘要: 中川地区历经了韧性-脆韧性-脆性变形3阶段, 遭受了3期5次岩浆侵入。李坝式金矿床为中低温浅成热液-岩浆再造矿床, 其矿源层主要为晚古生代沉积建造, 成矿过程经历了早期金元素活化迁移阶段、构造-热液成矿作用改造阶段和印支-燕山期岩浆作用再造阶段。区域性深大断裂是成矿热循环的主通道, 成矿流体以大气降水为主, 有部分岩浆流体参与成矿。

关键词: 构造-岩浆活动; 金成矿作用; 中川地区; 西秦岭

中图分类号: P618; 52; P611 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2001)02-0094-05

中川地区位于甘肃省东南部礼县境内, 大地构造位置属扬子板块向华北板块俯冲所形成的礼岷前陆盆地东部。超岩石圈断裂山阳-凤镇断裂进入西秦岭礼岷盆地后分为南北两支, 北支礼县-罗坝-锁龙口断裂和南支礼县-洮坪-隈子坝断裂。印支-燕山期花岗岩沿南北断裂带两侧及其所夹的区域内多期多阶段侵入, 形成了中川、碌础坝、柏家庄、闫井和教场坝五大花岗岩群, 同时在中川岩体周缘定位了以李坝、金山、马泉和崖湾为主的几十个大小不等的李坝式微细浸染型金矿床(点)。

1 区域地质概况

西秦岭礼岷盆地是晚古生代以来发育在秦岭微板块北缘被动陆缘之上的前陆盆地。中泥盆世, 由于晚加里东运动的持续发展, 扬子板块继续向华北板块俯冲, 在西秦岭表现为南秦岭向祁连-北秦岭古陆俯冲。礼岷前陆盆地的发展经历了早期深海-半深海复理式沉积阶段, 中期深海-半深海浊积岩沉积阶段和晚期的陆相磨拉石沉积阶段。盆地北部的上泥盆统大草滩群以粗碎屑砾岩沉积阶段和晚期的陆相磨拉石建造代表了该盆地的首次隆升, 但随着

微秦岭板块从扬子板块中游离出来和接踵而至的特提斯洋的逐步扩张, 该盆地在总体俯冲收敛的构造背景下叠加了新的相对扩张^[1]。印支期秦岭板块与华北板块全面碰撞并造山, 伴随着岩浆侵位和造山后伸展作用, 该地区在经历复杂的逆冲推覆、韧脆性剪切及伸展拉张等构造变形后转入陆内演化阶段, 在隆起的基底上由于张裂和剪切作用而形成自侏罗纪至第三纪山间断陷内陆盆地。

礼岷盆地北以武山-天水断裂为界, 在关子镇以南与下古生界李子园群相连, 在关子镇以北直接与祁连古陆的下元古界牛头河群相接。礼岷盆地北部为陡倾斜的陆缘斜坡带, 形成从陆棚相到半深海相、深海相的浊积岩系列的碎屑岩沉积, 即舒家坝组(D_{2s}), 舒家坝组中浊积相由北向南向外扇体过渡, 浊积岩由完整的鲍玛序列渐变为不完整鲍玛序列, 其沉积物源主要来源于祁连古陆; 其南部为浅海-滨海-陆棚的碳酸盐岩-泥质碎屑岩沉积建造, 即西汉水组(D_{2x})。西汉水组与舒家坝组为同期异相沉积, 发育于前泥盆系基底之上而在泥盆纪重新活动的礼县-罗坝-锁龙口断裂是沉积盆地不同岩相的分界线, 该断裂使礼岷盆地形成南高北低的明显不对称地堑式组合形式。石炭-二叠纪, 该盆地略有抬升, 且沉积中心向西南部偏移, 发育一套含不纯碳酸

收稿日期: 2000-11-10; 修订日期: 2001-02-10

基金项目: 甘肃有色地质勘查局人才工程基金资助。

作者简介: 程 YU(1968-), 男, 湖北钟祥人, 工程师, 1991年毕业于中南工业大学, 现为西北大学在职硕士研究生, 研究方向为岩石大地构造及成矿。

盐岩夹层的含砾碎屑岩建造。

2 构造-岩浆活动特征

2.1 构造变形

随着礼岷前陆盆地的不断演化,中川地区历经了 3 次明显的构造形变。

(1) 以早期固态塑性流变为特征的纵向构造置换作用。能干性较弱的泥质岩层发生了构造置换,褶皱轴面 S_1 置换或部分置换了原始层理 S_0 , 残存的 S_0 面理由能干性强的石英砂岩或粉砂岩组成,形成一系列的片内无根褶皱或石香肠构造。该期变形发生于盆地形成初期(加里东晚期),该期变形南强北弱,舒家坝组地层变形较为强烈,西汉水组相对较弱,变形机制以构造置换作用、挤压、剪切作用为主,为韧性变形。

(2) 以形成区域性宽缓开阔褶皱为特征的海西期褶皱作用。该阶段形成了石家河坝复向斜,马坞—酒店复背斜,张风坡复背斜以及次一级褶皱。在次一级褶皱的轴部或近轴部发育一系列 EW 向张性特征的节理带和裂隙带。礼县—罗坝—锁龙口断裂以及礼县—洮坪—隈子坝断裂发生 EW 向走滑,受其影响,石家河坝复向斜及其次级褶皱因剪切、拖曳而造成不协调褶皱,局部小褶皱轴部形成正扇形或反扇形劈理。舒家坝组地层褶皱较西汉水组地层和中石炭统褶皱更为紧闭,变形机制为弯滑褶皱作用和剪切作用,变形为韧性—脆韧性。

(3) 以 EW, NW, NWW 向破碎带、节理带广泛

发育为特征的印支期逆冲推覆、剪切和造山后伸展作用。印支期秦岭地区全面造山,区域上自南向北逆冲推覆,形成以 EW 向为主体的构造脊线。印支造山晚期由于应力暂时松弛该地区又发生伸展,先前形成的 EW 向、NWW 向断裂重新拉开,表现为早挤压晚伸展的多期特征。该期变形主要为脆性变形,同时由于花岗岩沿深大断裂旁侧侵位,在中泥盆统、中石炭统中形成一系列岩浆侵位构造,如锥状节理、环状节理及放射状节理等。

2.2 岩浆活动特征

本区的中川岩体为 3 期 5 次侵入的复式岩体,主侵入期为印支期。

(1) 海西期(4): 辉长岩沿深大断裂南侧侵位于西汉水组地层之中,多为后期花岗岩包裹。

(2) 印支期: 分三次侵入。第一次,细粒黑云母石英闪长岩(5);第二次,中粗粒似斑状黑云母花岗岩(5)(K-Ar 法年龄= 219 Ma);第三次,中粗粒含斑黑云母花岗岩(5)(K-Ar 法年龄= 196 Ma)。

(3) 燕山期(5)(K-Ar 法年龄= 181.5 Ma): 中细粒黑云母花岗岩。

3 个主侵入体为印支期的中粗粒似斑状黑云母花岗岩、中粗粒含斑黑云母花岗岩和燕山期中细粒黑云母花岗岩,且 3 个主侵入体依时间次序由岩体边缘向中心分布。岩体与地层发生热接触变质作用,使沉积建造角岩化、黑云母化及斑点化。自岩体外向内可划分 3 个变质带: . 绿泥石绢云母带: 以区域变质岩绿泥石绢云母千枚岩为主; . 黑云母带: 由黑云母角岩、接触黑云母千枚岩和片岩组成; . 红柱石堇青石角岩带: 由红柱石角岩、堇青石角岩和接

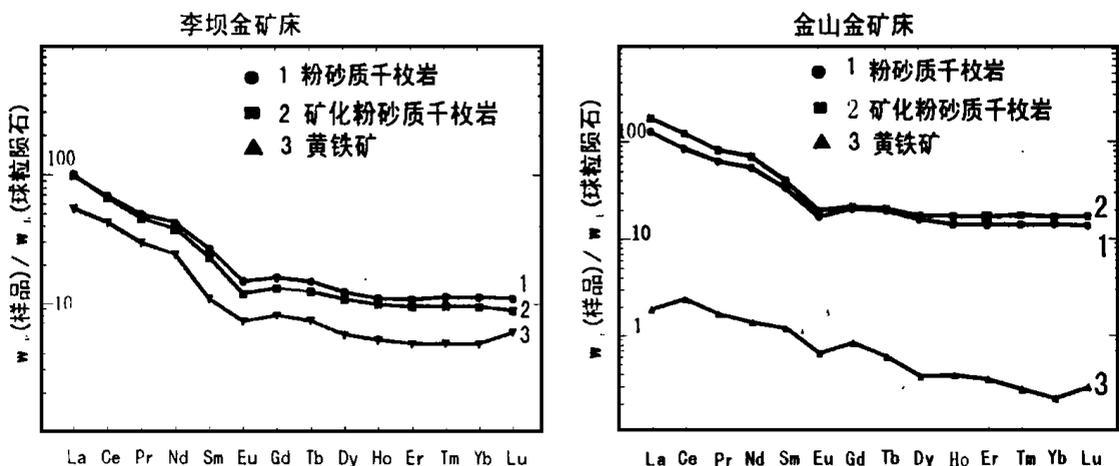


图 1 李坝金矿床和金山金矿床球粒陨石标准化 REE 分布型式

Fig. 1 Chondrite-normalized REE distribution patterns of Liba gold deposit and Jinshan gold deposit

片岩(钾长透闪岩、透闪透辉片岩)组成。带主要为区域变质作用形成,带则在区域变质作用上叠加了热接触变质作用。

中川岩体从早到晚总体向富硅富碱富挥发分演化,属钙碱性铝过饱和型, $\text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$, 富含锆石、磷灰石、榍石、钛铁矿、电气石、独居石、磷钇矿、沥青铀矿、褐帘石、萤石、黄铁矿和磁铁矿等副矿物。微量元素中 Pb, Zn, Ba, W, Sn, Be 含量高, Ni, Cr, Co 略低, A-C-F 图上绝大部分投影点落在 S 型花岗岩范围内。以上说明该花岗岩为陆壳改造重熔成因的 S 型花岗岩。岩体外侧发育大量斜闪煌斑岩脉、花岗斑岩脉及石英闪长岩脉,其中煌斑岩脉与金矿化体紧密相依。

3 成矿作用分析

3.1 矿源层

通过对李坝金矿床和金山金矿床的围岩(粉砂

质千枚岩)、矿化体(矿化粉砂质千枚岩)及载金矿物黄铁矿稀土元素配分曲线及特征值对比研究可知,黄铁矿、矿化体及围岩稀土曲线几乎完全平行。围岩与矿化体稀土总量接近,黄铁矿稀土总量明显降低。围岩与矿化体 $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 值相当,黄铁矿略低。造成黄铁矿稀土总量下降的原因是稀土元素在金属硫化物、硫酸盐矿物中的分配系数较低,黄铁矿不是良好的稀土元素寄主矿物。以上说明矿化体、载金矿物黄铁矿稀土元素是对围岩稀土元素的良好继承,同时从一个侧面说明成矿元素主要来源于含矿建造。

金山金矿床矿化体(7件样品)全岩 (^{18}O) 变化范围为 $13.67 \times 10^{-3} \sim 17.10 \times 10^{-3}$, 极差 3.34×10^{-3} , 平均 15.89×10^{-3} ; 围岩(5件样品)全岩 (^{18}O) 变化范围为 $16.19 \times 10^{-3} \sim 17.35 \times 10^{-3}$, 极差 1.16×10^{-3} , 平均 16.89×10^{-3} ; 李坝金矿床矿化体(3件样品)全岩 (^{18}O) 变化范围为 $15.05 \times 10^{-3} \sim 16.01 \times 10^{-3}$, 极差 0.96×10^{-3} , 平均 15.46×10^{-3} 。由以上数据可以看出,围岩与矿化体的氧同位素非常接近。

表 1 中川地区李坝式金矿床稀土元素组成及特征值

Table 1 Compositions and characteristic parameters of Liba-style gold deposit in Zhongchuan area $w_B/10^{-6}$

矿床	样品名称	样数	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Bu	Gd	Tb	Ho	Dy	Er	Tm
李坝	围岩	3	33.04	59.63	6.48	26.84	5.39	1.15	4.41	0.74	0.85	4.22	2.43	0.40
	矿化体	3	32.48	57.31	5.60	24.19	4.63	0.92	3.64	0.62	0.76	3.72	2.13	0.34
	黄铁矿	6	18.12	37.11	3.84	15.22	2.97	0.55	2.22	0.37	0.40	1.95	1.09	0.17
金山	围岩	1	40.88	72.40	8.19	34.27	6.82	1.30	5.68	0.97	1.09	5.44	3.10	0.50
	矿化体	2	56.68	103.72	10.62	44.11	8.15	1.52	5.96	1.02	1.33	5.99	3.80	0.62
	黄铁矿	1	0.62	2.08	0.22	0.86	0.24	0.05	0.23	0.03	0.03	0.13	0.08	0.01
矿床	样品名称	样数	Yb	Lu	REE	LERR/HREE	La/Yb	Ce/Yb	(Eu)	Sm/Nd	La/Sm	Gd/Yb		
李坝	围岩	3	2.47	0.37	171.73	3.38	13.36	24.12	0.71	0.20	6.14	1.79		
	矿化体	3	2.08	0.30	160.23	3.36	15.65	27.62	0.66	0.19	7.02	1.75		
	黄铁矿	6	1.07	0.20	95.82	4.32	17.02	34.84	0.68	0.20	6.10	2.09		
金山	围岩	1	3.12	0.46	213.49	3.30	13.12	23.23	0.62	0.20	5.99	1.82		
	矿化体	2	3.73	0.58	283.29	3.84	15.21	27.83	0.65	0.19	6.95	1.60		
	黄铁矿	1	0.05	0.01	5.31	3.29	11.72	39.28	0.69	0.28	2.62	4.38		

测试单位:湖北省地质实验室

金山金矿床热液主成矿阶段 (^{34}S) (4件毒砂样品) 范围为 $+5.5 \times 10^{-3} \sim +7.7 \times 10^{-3}$, 极差 2.2×10^{-3} , 平均 $+6.4 \times 10^{-3}$; 三人沟金矿床热液主成矿阶段 (^{34}S) (4件黄铁矿样品) 范围为 $+8.0 \times 10^{-3} \sim +11.5 \times 10^{-3}$, 极差 3.5×10^{-3} , 平均 $+9.7 \times 10^{-3}$; 李坝金矿床热液主成矿阶段 (^{34}S) (2件毒砂, 20件黄铁矿样品) 范围为 $+0.6 \times 10^{-3} \sim +10.6 \times 10^{-3}$, 极差 10.0×10^{-3} , 平均 $+7.4 \times 10^{-3}$; 容矿围岩 (34

S) (2件黄铁矿样品) 范围为 $+5.8 \times 10^{-3} \sim 8.7 \times 10^{-3}$, 极差 2.9×10^{-3} , 平均 $+7.2 \times 10^{-3}$; 矿区闪长玢岩脉(1件黄铁矿样品) (^{34}S) = $+22.2 \times 10^{-3}$, 煌斑岩脉(1件毒砂样品) (^{34}S) = $+4.3 \times 10^{-3}$ 。以上似可说明热液硫更接近围岩硫。

3.2 成矿流体及运移动力

由表 2 计算可知,成矿溶液主要组分的平均浓度 (mol/L): $c(\text{K}^+) = 0.173$, $c(\text{Na}^+) = 0.135$,

$c(\text{Ca}^{2+}) = 4.100$, $c(\text{Mg}^{2+}) = 0.157$, $c(\text{F}^-) = 0.127$, $c(\text{Cl}^-) = 0.334$, $c(\text{CO}_2) = 2.976$, $c(\text{CO}) = 0.091$, $c(\text{CH}_4) = 0.078$, $c(\text{H}_2) = 0.050$, $c(\text{N}_2) = 0.229$, $c(\text{H}_2\text{O}) = 1.830$ 。成分类型为 $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^+-\text{Cl}^-$ 型, 液相主要为 Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , 次为 K^+ , Mg^{2+} , F^- , SO_4^{2-} , 气相主要为 CO_2 , 次为 N_2 , CH_4 , CO 。热液阶段石英、方解石中液体包裹体盐度 $w(\text{NaCl}) = 6.9\% \sim 11.6\%$, 按包裹体测定成分计算的矿化度为 $13.80 \sim 130.82 \text{ g/L}$, 平均 76.27 g/L , 成矿溶液相当于卤水, pH 值 = $3.67 \sim 4.87$ 。成矿温度 = $145 \sim 383$, 主成矿期温度 = $210 \sim 259$, 成矿压力 = $213 \times 10^5 \sim 611 \times 10^5 \text{ Pa}$, 平均 $452 \times 10^5 \text{ Pa}$, 属中低温浅成矿床。金可能主要以氯络合物或硫络合物迁移, 在中高温酸性环境下溶解, 在中低温碱性环境下沉淀。

表 2 李坝金矿床矿物包裹体成分

Table 2 Fluid inclusion contents of Liba gold deposit
 $\text{cB/mol} \cdot \text{L}^{-1}$

样号	ZX80-1	ZK32-1	A13-1	SJ-P	ZK16-4
测试矿物	黄铁矿	毒砂	黄铁矿	黄铁矿	方解石
K^+	0.168	0.028	0.606	0.050	0.015
Na^+	0.263	0.043	0.199	0.142	0.028
Ca^{2+}	1.096	3.114	3.662	10.433	2.196
Mg^{2+}	0.177	0.054	0.115	0.316	0.084
F^-	0.032	0.406	0.132	0.049	0.014
Cl^-	0.793	0.552	0.096	0.142	0.115
SO_4^{2-}					0.801
CO_2	4.240	6.313	3.327	0.674	0.327
CO	0.190	0.183	0.014	0.004	0.063
CH_4	0.120	0.159	0.020	0.010	0.082
H_2	0.003	0.004	0.003	0.002	0.232
N_2	1.000	0.037	0.015	0.008	0.083

资料来源: 甘肃有色地质研究所

通过对李坝、金山矿床 12 件热液成因的石英、黄铁矿及毒砂氢氧同位素测定成果(柳森, 1992)并在 (D)-(^{18}O) 图上投影, 投影点落在大气降水与岩浆之间, 少数点靠近岩浆水。以上说明成矿流体主要为大气降水, 且有少量岩浆水参与。

流体运移动力有构造应力驱动、岩浆热驱动和围岩静压驱动。构造活动是流体运移的主动动力, 在挤压应力场中, 含矿流体向应力较小的拉张区移动, 剪切作用作用于围岩, 可排挤出围岩中的流体及成矿物质, 在伸展体制下, 地壳浅部发生脆性断裂, 减压造成深部流体向浅部或地表运移并成矿。岩浆向地壳浅部运动时, 上部岩层增温, 流体被加热, 形成强大的热量载体向上部开放系统运移, 而浅部水因相对密度较大而下沉, 加热后再上升。如此循环,

在岩体热所及范围内广泛进行水-岩反应并形成对流系统。由于盆地各部位沉降幅度不同和岩相差异, 造成不同的静压力差, 盆地中心拗陷深, 沉积物厚, 承压大, 因而流体向压力较小的盆地边缘转移。

3.3 成矿时间和就位空间

李坝式金矿床成矿年龄^[6]为 172 Ma, 属印支晚期至燕山早期, 与中川复式岩体侵入期同时或稍晚。成矿空间受中川复式岩体和礼县—罗坝、礼县—洮坪断裂的共同控制。圆嘴、金山、马泉、庙山等矿床位于岩体南侧 2~4 km 接触变质带带(黑云母角岩带)内, 矿化体呈似层状、囊状或透镜状赋存于与礼县—洮坪断裂平行的 EW 向破碎带中, 总体走向 EW, 局部 SN 走向。圆嘴、金山及庙山矿床(点)赋矿层位为中泥盆统西汉水组, 马泉矿床位于中石炭统中川组之中。三人沟、李坝、王河及崖湾金矿床(点)位于岩体东北侧 0~5 km 接触变质带带(黑云母角岩带)内, 礼县—罗坝断裂以北, 矿体走向 EW 向、NW 向及 NNW 向, 大多产于小背斜核部脆性断裂之中。崖湾金矿床赋矿层为中石炭统中川组, 三人沟、李坝及王河矿床赋存于中泥盆统舒家坝组之中。

4 结论及讨论

随着晚古生代以来秦岭板块的盆-山变迁和礼岷前陆盆地的构造演化, 中川地区经历明显的三期构造形变和 3 期 5 次的岩浆侵位。李坝式金矿床成矿物质来源于晚古生代含金沉积建造, 成矿流体中的水以大气降水为主, 流体运移驱动力有构造驱动力、岩浆驱动力和围岩静压驱动力。区域性深大断裂为成矿作用过程中流体运移的主渠道。李坝式金矿床成矿作用过程可简单分为如下三期:

4.1 沉积建造成矿元素再分配

分散于沉积建造中的成矿元素在早期的韧性变形机制下活化迁移, 即在区域变质作用、构造置换作用下金元素在不同岩相之间有限转移, 造成沉积建造中元素分配的不均一性, 并在一定层位出现较高丰度值。中泥盆统舒家坝组、西汉水组以及中石炭统中川组中金元素在不同岩性之间分配极不均匀, 其中泥质成分较高的板岩金丰度值高, $w(\text{Au})$ 为上地壳的 2~5 倍^[4], 而砂质岩和碳酸盐岩金丰度值较低, 比上地壳 $w(\text{Au})$ 略低。该阶段沉积建造中的碳酸盐岩、砂质粉砂质岩石中的金元素向板岩、千枚岩迁移, 从而沉积建造中金元素丰度呈现多峰特征。

4.2 构造-热液成矿改造

该期主要指海西期—印支早期,以构造作用为特点,远离岩浆作用,矿床形成 Au-Ag-Sb-Hg 等中低温矿物组合的型式。以大气降水为主体且萃取了沉积建造中金元素的含矿热液沿深大断裂以及印支期逆冲推覆滑动带不断向褶皱轴部的 EW 向节理裂隙带运移,并在该部位逐步沉淀。该期成矿热液运移的动力主要来源于构造应力,但围岩的静压力也是促成成矿的重要因素。当含矿溶液受构造应力驱动自围岩转向构造通道时,迅速的减压促使溶液骤然增温并沸腾,从而快速向储集场所运移。该期在中川地区形成大规模致矿异常、矿化点,局部地段形成工业矿体。该期成矿作用可与美国卡林型金矿床成矿作用过程相类比。

4.3 岩浆作用再造

印支晚期,由于应力暂时松弛,该地区发生伸展,前期形成的 EW, NW 及 NNW 向构造进一步沟通了矿源层与储集场。岩浆在伸展体制下自岩浆房上涌侵入围岩,并挤压围岩使之首先形成锥状裂隙,这种锥状裂隙倾向岩体且在塑性岩层中保存下来,其次再形成环状裂隙和放射状裂隙。这些岩浆侵位形成的构造再次增大了含矿岩层的渗透率,同时由于部分岩浆热液的加入,含矿流体的温度升高,增加了热液对矿源层中金元素的萃取能力,同时加快了

热液循环的频率。自印支晚期至燕山期,由于岩浆频繁活动和多次入侵,对前期形成的致矿异常、矿化点及矿床的构造改造、热液改造不断加强,最终促进了工业矿体的形成。

致谢: 本文曾得到了西北大学地质系孙勇教授、张复新教授的指导,在此深表感谢!

参考文献:

- [1] 张国伟,孟庆任,于在平,等.秦岭造山带的造山过程及动力学特征[J].中国科学(D辑),1996,26(3):190-200.
- [2] 翟裕生.论成矿系统[J].地学前缘,1999,6(1):13-26.
- [3] 张复新,宋静婷,马建泰.秦岭卡林型金矿床及相关问题探讨[J].矿床地质,1998,17(2):172-183.
- [4] 奚小双.甘肃礼岷金矿田控矿因素、控矿构造及找矿方向[R].兰州:甘肃有色地质勘查局,1996.
- [5] 张曾荣.甘肃李坝金矿变质岩构造与金成矿关系[J].大地构造与成矿,1993,23(3):29-34.
- [6] 柳森.甘南重要金矿区(礼岷金矿东部)找矿预测研究[R].兰州:甘肃有色地质勘查局,1992.
- [7] 黄杰,王建业,韦龙明.甘肃李坝金矿地质特征及成因研究[J].矿床地质,2000,19(2):105-114.
- [8] 孙省利,宋春辉,武安斌.西秦岭礼岷金矿带李坝群含金浊积岩建造地球化学特征[J].沉积学报,1998,13(4):145-151.

STRUCTURAL AND MAGMATIC ACTIVITY AND THE RELATION TO GOLD MINERALIZATION IN ZHONGCHUAN AREA, WEST QINLING

CHENG Yu^{1,2}, ZHANG Wang-ding¹

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. Bureau of Gansu Geological Exploration, CNNC Lanzhou 740000, China)

Abstract: Zhongchuan area underwent ductile-ductile-brittle-brittle deformation with 3 periods and 5 times of magmatic intrusion. Liba style Au deposits are medium-low epithermal-magma reworked deposits. Late palaeozoic sedimentary formations are the source beds. Ore formation included the early Au mobilization and transportation, tectonic-hydrothermal rework and Indo-China-Yanshanian magmatism rework. The regional deep fractures are main conduit of ore fluid which is dominated by meteoric water.

Key words: activity of structure and magma; gold mineralization; Zhongchuan area