

# 东秦岭钼、金多金属矿区域成矿系统与成矿预测

肖荣阁<sup>1</sup>, 白凤军<sup>1,2</sup>, 原振雷<sup>3</sup>, 冯建之<sup>4</sup>, 张宗恒<sup>5</sup>, 刘国印<sup>6</sup>

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 河南省有色金属地质勘查总院, 河南 郑州 450052;  
3. 河南省国土资源科学研究院, 河南 郑州 450016; 4. 河南省地质矿产勘查开发局 第一地质调查队, 河南 洛阳 471023;  
5. 河南省国土资源厅, 河南 郑州 450016; 6. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450001)

**摘要:**以区域成矿理论为基础, 将东秦岭构造带划分为华北古陆南缘、北秦岭造山带、南秦岭造山带和扬子古陆等4个构造单元, 其间商丹缝合断裂带分割南北秦岭造山带, 形成华南古陆和华北古陆的分界, 区内断裂构造及燕山期岩浆岩发育。研究区位于台地边缘, 具有基底和盖层二元台地沉积结构, 基底太古宇太华岩群变质岩和盖层熊耳群火山岩及燕山期岩浆岩构成区内重要的矿源岩。根据东秦岭地区的地球化学特征分析, 矿源岩的基本特征是亏损铜, 而钨和钼、铅和锌、金和银则分别在不同的物源岩中富集。研究区内矿产资源丰富, 以热液成因钼、金多金属矿床为主, 根据成矿流体成因及其与地质作用的关系, 划分为3个成矿系统, 即岩浆热液作用成矿系统、火山热液作用成矿系统及构造热液作用成矿系统, 其分别与燕山期岩浆热液、熊耳期火山热液及中生代构造热液活动有关。根据燕山期岩浆岩、熊耳期火山机构及中生代的区域构造性质, 分别预测了研究区内重点成矿区域。

**关键词:** 东秦岭; 钼、金矿; 矿源岩; 成矿系统; 成矿预测

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

文章编号: 1000-8527(2010)01-0001-10

## Metallogenic System and Prediction of Mo-Au Polymetallic Deposits in East Qinling

XIAO Rong-ge<sup>1</sup>, BAI Feng-jun<sup>2</sup>, YUAN Zhen-lei<sup>3</sup>, FENG Jian-zhi<sup>4</sup>, ZHANG Zong-heng<sup>5</sup>, LIU Guo-yin<sup>6</sup>

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;  
2. Henan Nonferrous Metals Geological Exploration Institute, Zhengzhou, Henan 450052, China; 3. Henan Scientific Academy of Land and Resources, Zhengzhou, Henan 450016, China; 4. The 1st Geological Exploration Team, Henan Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Luoyang, Henan 471023, China; 5 Department of Land and Resources of Henan Province, Zhengzhou, Henan 450016, China; 6. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou, Henan 450001, China)

**Abstract:** According to regional metallogenic theory, East Qinling structural belt can be divided into the southern margin of North China paleo-continent, orogenic belts of North Qinling and South Qinling, and the fourth tectonic unit of the Yangtze paleo-continent. The South and North Qinling orogenic belts are bound by the Shangdan suture-fault zone, forming the boundary of North China paleo-continent and South China paleo-continent. Fractures and Yanshanian magmatic rocks are well developed within the East Qinling structural belt. The study area is located at the margin of the block, with dual mesa sedimentary structure composed of basement and cap-rocks. The basement consists of Archean Taihua Group metamorphic rock and Xiong'er Group volcanic rocks and Yanshanian magmatic rocks, which constitutes ore source rocks in this area. Ore source rocks are characterized by depletion in Cu and enrichment in W, Mo, Zn, Pb, Au and Ag in the cap-rocks. Mineral resources are rich in this area, and dominated by hydrothermal genetic Mo-Au polymetallic deposits. Based on the genesis of ore-forming fluid and other geological actions, three metallogenic systems are classified, including magmatic hydrothermal metallogenic Mo-Au polymetallic deposits, volcanic hydrothermal metallogenic system

收稿日期: 2009-03-10; 改回日期: 2009-10-05; 责任编辑: 戚开静。

基金项目: 河南省科学技术厅“东秦岭(河南段)钼矿床类型及评价标志”项目(豫财建[2007]262号)。

作者简介: 肖荣阁, 男, 教授, 博士生导师, 1949年出生, 矿床学专业, 主要从事矿床地球化学、矿产资源评价等方面的教学与研究工作。Email: rgxiao@cugb.edu.cn。

and tectonic hydrothermal metallogenic system. They are correspondingly related to early Yanshannian hydrothermal activities, Xiong'ernian volcanic hydrothermal and Mesozoic tectonic hydrothermal activities. Meanwhile, the key metallogenic areas within the study area are predicted based on the analysis of regional tectonic natures of the three tectonic activities.

**Key words:** East Qinling; Mo-Au deposit; ore source rock; metallogenic system; metallogenic prediction

## 1 区域地质背景

### 1.1 区域构造

东秦岭构造带属于华北古陆南缘和扬子古陆北缘之间的陆陆碰撞造山带, 历经 30 多亿年的地质演化, 期间经历了多期次的地质事件, 在中生代早期, 华南、华北两大地块发生了陆陆碰撞造山运动, 形成秦岭造山带和秦岭山脉。

东秦岭构造带可划分为华北古陆南缘、北秦岭造山带、南秦岭造山带和扬子古陆等 4 个构造单元(图 1), 分别相当于碰撞大地构造相<sup>[1]</sup>的仰冲基底推覆体、增生弧地质体、大洋台地复理石褶冲带和前陆带。期间商丹缝合断裂带分割南北秦岭造山带, 形成华南古陆和华北古陆的分界。区内断裂构造发育, 平行古陆边缘及缝合带形成 NWW 向的系列断裂构造。

由北向南华北古陆一侧有潼关—三门峡—鲁山断裂、石门—马超营逆冲断层、洛南—栾川逆冲推覆断层(栾川断裂)、皇台—瓦穴子推覆带(瓦

穴子断裂)和尚县朱阳关—夏馆逆冲断层(朱夏断裂)。洛南—栾川断裂进一步分割华北古陆南缘形成华北南缘造山带和北秦岭造山带。

华南古陆一侧有山阳—凤镇逆冲推覆断层、十堰断裂、石泉—安康逆冲断层、红椿坝—平利断裂和勉略断裂带。有资料<sup>[2]</sup>认为勉略断裂带是一条缝合带, 但是实际上其构造规模及建造特征显然次于商丹缝合带, 因此属于与北缘潼关—三门峡—鲁山断裂对称的构造推覆带。

商丹缝合断裂带与勉略断裂带之间划分为南秦岭造山带, 勉略断裂带以南为华南古陆北缘构造带, 华南古陆西缘一系列断裂一般呈 NE—SW 向展布。

### 1.2 区域地层

东秦岭地区属于台地边缘, 具有基底和盖层二元台地沉积结构, 基底为太古宇太华岩群, 盖层岩系主要包括长城系熊耳群、蓟县系高山河群、中元古界官道口群、新元古界栾川群和下古生界陶湾群等(表 1), 尤其是基底太华群变质岩、元

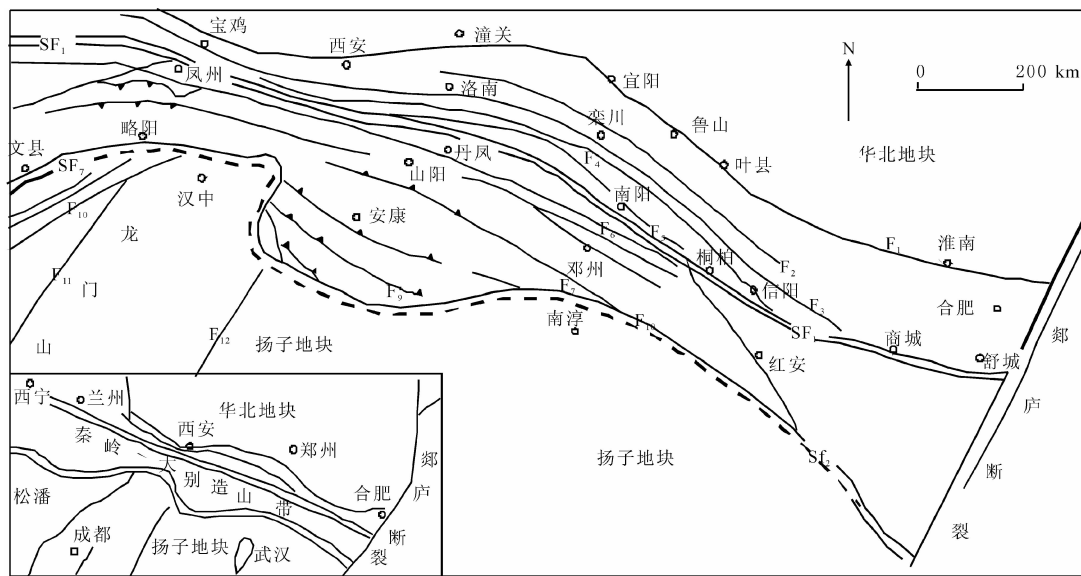


图 1 华北古陆南缘构造格架格(据张国伟等<sup>[1]</sup>, 1996)

Fig. 1 Geotectonic framework in the south margin of North China Paleo-continent (after Zhang guowei et al<sup>[1]</sup>, 1996)

SF<sub>1</sub>. 商丹缝合带; SF<sub>2</sub>. 勉略缝合带; F<sub>1</sub>. 秦岭北界潼关—三门峡—鲁山逆冲断裂; F<sub>2</sub>. 石门—马超营逆冲断裂; F<sub>3</sub>. 洛南—栾川逆冲推覆断裂; F<sub>4</sub>. 皇台—瓦穴子推覆带; F<sub>5</sub>. 尚县—夏馆逆冲断裂; F<sub>6</sub>. 山阳—凤镇逆冲推覆断裂; F<sub>7</sub>. 十堰断裂; F<sub>8</sub>. 石泉—安康逆冲断裂; F<sub>9</sub>. 红椿坝—平利断裂; F<sub>10</sub>. 阳平关—巴山弧—大别南缘逆冲推覆带; F<sub>11</sub>. 龙门山逆冲推覆带; F<sub>12</sub>. 华莹山逆冲推覆带

表 1 研究区前侏罗系岩石地层单位划分表

Table 1 Division of lithostratigraphic units of pre-Jurassic in the study area

年代地层			华北地层区										扬子地层区													
界	系	符号	豫西分区					北秦岭分区					南秦岭分区													
													西峡-大别小区	浙川小区												
中生界	三叠系	T <sub>3</sub>						太子山组		五里川组																
		泰山庙组																								
		T <sub>2</sub>																								
T <sub>1</sub>																										
上古生界						二叠系	P <sub>2</sub>						蔡家凹组													
	P <sub>1</sub>																									
	石炭系											C <sub>2</sub>										柿子园组	子母沟组			
		C <sub>1</sub>																								
	泥盆系	D <sub>3</sub>													南湾组											
		D <sub>2</sub>																								
		D <sub>1</sub>																								
	下古生界	志留系	S <sub>2-3</sub>																							
S <sub>1</sub>																										
奥陶系																							陶湾群	0 <sub>2-3</sub>	秋木沟组	
		0 <sub>1</sub>	风脉庙组		火神庙组		张家大庄组																			
			三岔口组						大栗树组																	
寒武系			Є <sub>3</sub>						抱树坪组		歪头山组			周进沟组	肖家庙组	张湾组										
			Є <sub>2</sub>						小寨组									蜜子营组								
			Є <sub>1</sub>																			蚌岫组				
新元古界	震旦系	Z <sub>2</sub>											周进沟组	肖家庙组	牛尾巴山组											
		Z <sub>1</sub>													栾川群		鱼库组		宽坪岩群		谢湾岩组		白龙庙组			
	Qb	大红口组						秀子沟组																		
		煤窑沟组						蜈蚣丫组																		
		南泥湖组						蔡沟组																		
		山川组						岳家坪组																		
中元古界	蓟县系	Jx	官道口群	白术沟组		宽坪岩群	四岔口岩组					龟山岩组	武当岩群													
				冯家湾组																						
				杜关组																						
				巡检司组																						
				龙家园组																						
				高山河群			广东坪岩组																			
	长城系	Ch	熊耳群			峡河岩群																				
				马家河组																						
鸡蛋坪组																										
许山组																										
大古石组																										
古元古界		Pt <sub>1</sub>						秦岭岩群						陡岭岩群	大沟岩组											
太古宇		AR	太华岩群										桐柏岩群		瓦屋场岩组											

古界熊耳群火山岩及栾川群浅变质海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积岩组分布最为广泛，也是区内的主要矿化地层。

1.3 岩浆岩岩体

东秦岭地区侵入岩分布广泛，主要以酸性岩和中性岩类为主，其次为碱性岩、基性—超基性

岩。根据岩浆岩区域分布特征、接触关系以及同位素年龄资料,可划分为古元古代、中—新元古代、古生代、晚侏罗世—早白垩世4个侵入阶段,其中—新元古代、古生代、晚侏罗世—早白垩世岩浆岩最为发育。成因类型以S型、I型花岗岩类为主,构造背景可分为主造山阶段(新元古代—古生代)俯冲(岛弧)型、同碰撞型和碰撞后拉张型花岗岩类(A型花岗岩)及后造山(陆内)阶段(晚侏罗世—早白垩世)隆起型花岗岩类<sup>[2-3]</sup>。

中生代末期华南、华北两大古板块的碰撞造山运动由碰撞早期强烈挤压向碰撞晚期强烈伸展转变,这一过程所造成的区域热异常使大量物质发生减压分熔作用并形成大规模燕山期花岗岩体。

与成矿关系密切的熊耳山地区的花山复合岩体和外方山地区的合峪—泰山庙复合岩体,分别形成较大的岩基,其他地区所见岩体分别形成规模较小的岩株或岩脉<sup>[4]</sup>。

#### 1.4 区域矿产

东秦岭地区矿产资源丰富,有钼、金、银、铅、锌等多种矿产(图2),矿床成因类型极其复杂,分别形成于不同的岩浆、构造流体作用,分别集中于不同的矿集区<sup>[5]</sup>。

## 2 成矿物质来源与矿源岩

研究资料<sup>[1-6]</sup>表明,东秦岭地区除了区域性质的大地构造、岩浆活动及沉积作用控制区域矿

带之外,具体矿床的成矿地质作用由3个因素控制,即成矿物质来源、成矿流体性质及物理化学条件、控矿构造。成矿物质来源是成矿的物质基础,成矿流体是矿物质运移富集的媒介,而控矿构造是矿物质运移的通道,也是富集定位的空间。

成矿物质来源分为直接来源与间接来源<sup>[6]</sup>,直接由地幔岩浆、花岗岩浆或沉积介质提供成矿物质到矿床中的物质来源称之为直接来源,由幔源、壳源固结岩石,即矿源层或矿源岩提供成矿物质所反映出的幔源或壳源来源特征,称之为间接物质来源,间接物质来源来自地幔,但是作为矿源岩它们可以直接为矿床提供成矿物质。本研究主要考虑直接成矿物质来源,这对区域性找矿预测更具有现实意义。

从区域地质条件分析,东秦岭地区可能提供成矿物质来源的矿源岩地质体主要为太华群、熊耳群和中生代花岗岩浆。本区物源岩的主要特征是亏损铜,而钨和钼、铅和锌、金和银则分别在不同的物源岩中富集。

#### 2.1 太华群含矿性

通过对小秦岭及河南西部等地区金矿的研究<sup>[1-6]</sup>,多数人赞同金主要来自绿岩地层太华群。世界上75%的金矿位置集中在太古宙古老变质岩区。小秦岭金矿带矿床全部以新太古代太华群为矿化围岩,崤山、熊耳山成矿区一些金矿床也主要产于太华群中。同时,在熊耳山—外方山地区,

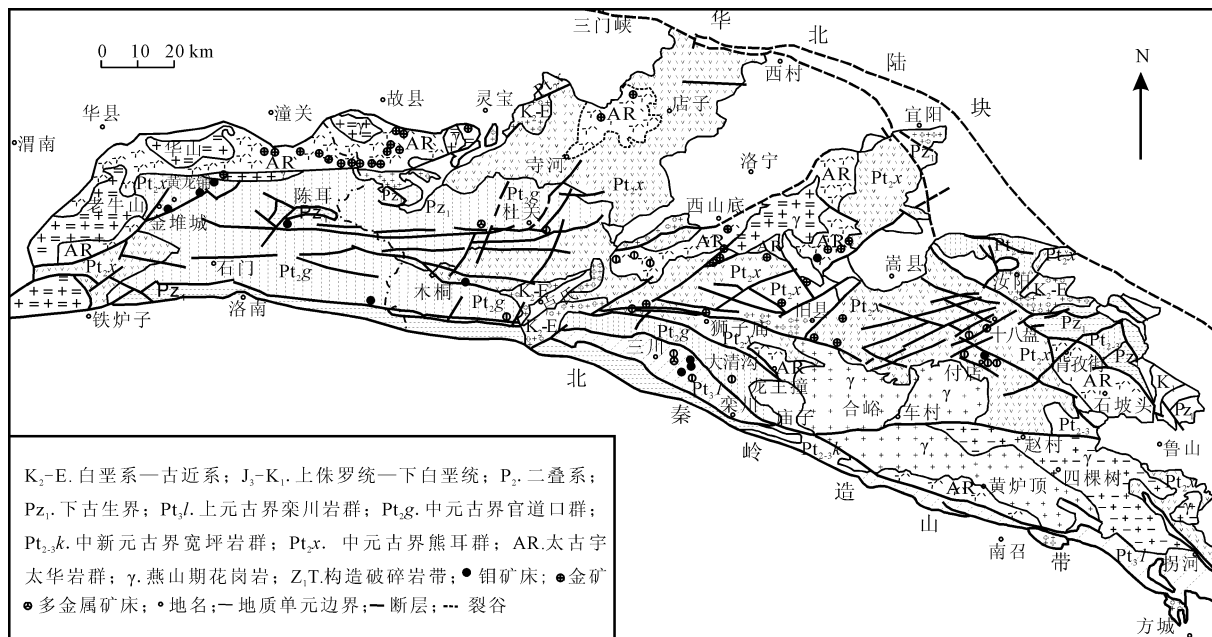


图2 东秦岭区域矿产地质图

Fig. 2 The regional mineral and geological map of the East Qinling district



一些金矿基底也属于太华群变质岩，因此多数研究者认为这些金矿的形成，依然与太古宙太华群有关<sup>[7-11]</sup>。

小秦岭太华群变质岩中 Au 的平均含量为  $0.71 \times 10^{-9} \sim 2.94 \times 10^{-9}$ ，而辉长辉绿岩镁铁质岩石含量明显较高<sup>[9]</sup>，因此推测含镁铁质火山岩的太华群是富金的，平均金含量为  $5.84 \times 10^{-9}$ 。我们分析了小秦岭地区不同变质岩的金及有关矿化元素丰度值，其中斜长角闪岩、黑云片麻岩、变粒岩中金、钨、钼富集系数较高，而铜、银相对亏损(表 2)，其他岩石如石英岩、大理岩矿化元素都极度亏损。

表 2 太华群变质岩矿化元素丰度值  
Table 2 Mineralization elements abundances of metamorphic rocks of Taihua Group

岩石类型	样品数	Cu	Mo	W	Ag	Au	资料来源
角闪斜长片麻岩	16	35.9	2.6	1.7	44.2	3.3	本文
黑云斜长片麻岩	12	31.7	1.3	0.8	37.7	3.1	本文
变粒岩	7	17.2	3.0	1.2	42.0	3.8	本文
华北克拉通南缘下地壳		36.0	0.86				张本仁等 <sup>[10]</sup>
华北克拉通南缘上地壳		29.0	0.80				张本仁等 <sup>[10]</sup>
地幔岩石丰度值	40	0.6	0.3	60	5		黎彤 <sup>[12]</sup>

注：Au、Ag 的含量单位为  $10^{-9}$ ；其他元素的含量单位为  $10^{-6}$ ；本文数据由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所测试。

总体来说小秦岭地区太华群变质岩含金只是接近地幔岩石金的丰度值，但是较区内燕山期花岗岩还是明显高得多，这可能反映在后期的地质作用过程中，太华群中的金发生了大规模活化转移。

小秦岭 14 个金矿区和太华群变质岩中 326 个硫化物  $\delta^{34}\text{S}$  值显示，以较富<sup>34</sup>S 为特征， $\delta^{34}\text{S}$  变化范围为  $-12.5\text{‰} \sim 11.5\text{‰}$ ，主要集中于  $+2\text{‰} \sim +3\text{‰}$  之间，硫同位素略显正值，表明硫并不是直接来自岩浆岩，可能与变质作用有关。

2.2 熊耳群含矿性

东秦岭地区熊耳群火山岩以中基性和中酸性火山岩为主，可分为 2 个大的喷发旋回：第一旋回由许山组—鸡蛋坪组组成，岩浆总体由中基性向酸性演化；第二旋回由马家河组组成，岩性变化规律亦是由中基性向酸性演化。整个岩系属钙碱性系列和弱碱性系列，火山岩 SiO<sub>2</sub> 含量为双峰式分布，稀土元素、微量元素含量具大陆裂谷玄武岩特点。

熊耳群火山岩地层由下至上划分为大古石组、许山组、鸡蛋坪组和马家河组，其中鸡蛋坪组中酸性火山岩是主要矿化地层岩性，以紫红→灰紫色英安岩—流纹岩为主，其中有金矿、钼矿、铅锌银矿及局部铜矿化。鸡蛋坪组中酸性火山岩不相容元素 Li、Be、F、Sr、Rb、Ba、U、Th 明显富集，W、Sn、Mo、REE 及 Au、Ag 富集系数较大(表 3)，表明原始岩浆矿化富集程度较高。

表 3 鸡蛋坪组英安岩微量元素成分  
Table 3 Trace element contents of dacite in Jidanping Formation

样品	Cu	Mo	Ag	Au	W	Y	ΣREE
ZF-9	34.0	12.0	560	7.18	4.80	48.2	326.90
ZF-23	23.0	3.1	55	0.24	1.27	40.7	281.31
地幔岩	40.0	0.6	60	5.00	0.30	50.0	3.29

注：Au、Ag 的含量单位为  $10^{-9}$ ；其他元素的含量单位为  $10^{-6}$ ；本文数据由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所测试，2008；地幔岩数据引自参考文献 [12]。

熊耳群火山期后热液活动明显，以火山热液充填形成杏仁状火山岩广泛发育为特征，尤其是发育钾长石杏仁、硫化物杏仁，其中具有 Au、Ag 矿化和 Ba、F 富集，一些硫化物杏仁体中金达到工业品位(表 4)。一些金矿区矿化围岩有热水沉积钾长石岩，与成矿关系极为密切。可以看出，熊耳群火山岩中一些成矿元素富集系数较高，火山期后热液具有成矿潜力，对于 W、Mo、Au 甚至稀土元素来说可以作为重要的物源岩。

表 4 巨晶钾长石杏仁体微量元素特征  
Table 4 Element contents of amygdaloid body of potash feldspar megacryst

样品	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Q4-1	77.3	8.85	1.1	0.59	0.52	3.52	0.67	4.25
WP12	66.5	18.19	0.26	0.13	0.09	0.39	0.2	14.20
样品	Au	Ag	Cu	Pb	U	Th	Y	ΣREE
Q4-1	10.6	65	25.5	20.3	0.08	0.47	1.8	6.83
WP12	3.3	389	33.1	2.2	0.07	0.95	1.3	4.93

注：其中 Q4-1 采自前河金矿；WP12 采自王坪铅锌矿；表中氧化物含量单位为%；Au、Ag 含量单位为  $10^{-9}$ ；其他元素含量为  $10^{-6}$ ；数据由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所分析。

2.3 中生代岩浆岩含矿性

东秦岭地区中生代岩浆岩分布广泛，以偏碱性花岗岩为主，主要有斑状(似斑状)花岗岩、花岗岩、碱性花岗岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩等，

表 5 燕山期花岗岩矿化元素丰度值  
Table 5 The abundance of mineralization elements in Yanshanian granite

岩体	样数	Cu	Mo	Ag	Au	W	Pb	Zn	F	Cl	资料来源
文峪	5	2.50	0.70	27.80	0.70	0.40			870		本文
花山	1	9.50	0.35	1.08		3.50	58.00	103.00	1100	63.96	文献 [11]
蒿坪	3	13.50	3.20	1.44		9.13	49.33	72.67	895	41.44	文献 [11]
万村	3	7.33	2.30	1.18		4.36	61.67	45.33	500	63.53	文献 [11]
泰山庙	1	30.42	11.42								文献 [13]
东沟斑岩	1	21.50	226.00								文献 [13]
地幔岩		40.00	0.60	60.00	5.0	0.30	1.20	60.00	170	50.00	文献 [12]

注：Au、Ag 含量单位为 10<sup>-9</sup>；其他元素含量单位为 10<sup>-6</sup>；数据由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所分析。

花岗岩与成矿关系密切。花岗岩体呈花岗岩基或小斑岩体产出，典型的花岗岩体有小秦岭的老牛山、华山、文峪、娘娘山岩体，熊耳山的花山岩体、外方山的合峪—泰山庙岩体等，岩基周围分布有较多的同期小花岗斑岩体。在崤山地区未见大型花岗岩体出露，仅发育有小花岗岩株，但区内发现有隐伏花岗岩体分布。

燕山期花岗岩主要为钾长花岗岩体，少数岩体属于二长花岗岩，花岗岩均表现为富硅、富铝特征，显示为偏铝质—过铝质、硅过饱和岩石类型。西部崤山地区表现为 I 型花岗岩，熊耳山地区表现为 I 型为主混合 S 型花岗岩系列，外方山地区则表现为 A 型特征，主要属于造山期后—晚造山期花岗岩。其成因与秦岭造山带中生代陆内造山、地壳增厚、熔融，继之伸展减薄引起岩浆侵入有关，属于造山期后花岗岩—晚造山期花岗岩。

东秦岭内各区燕山期花岗岩中 W、Mo、Pb、Zn 富集，Cu、Au、Ag 都亏损，并且富集矿化元素 F、Cl(表 5)，因此其可作为成矿物质来源，燕山期花岗岩可以提供钼、铅、锌矿的来源，而不能提供金的来源。

3 区域成矿系统

东秦岭地区各类型矿床成矿均与构造和热液作用有关，因此本研究根据控矿构造特点及热液成因类型将该区成矿系统划分为岩浆热液作用成矿系统、火山热液作用成矿系统和构造热液作用成矿系统。

3.1 岩浆热液成矿系统

东秦岭地区的岩浆热液作用主要与燕山期岩浆活动有关，由于岩浆作用形成的热液及岩浆热液可以继承岩浆成分，因此岩浆中成矿元素富集特征可以反映到岩浆热液成矿作用中<sup>[10-16]</sup>。燕山

期岩浆岩富集 Mo、W、Pb、Zn，而亏损 Cu、Au，因此燕山期岩浆热液可以提供 W、Mo、Pb、Zn 成矿物质，而不利于 Cu、Au 的成矿(表 5)。岩浆作用于围岩可以活化围岩成矿物质，导致成矿元素的迁移富集，尤其是太华群变质岩岩石渗透率较高，其中金、银、钼都可能被渗滤迁移成矿。

根据岩浆热液作用和矿床的产出部位，将东秦岭地区多金属矿床划分为内接触带型、接触带型和外接触带型矿床，这 3 种矿床类型的成矿物理化学条件、矿化蚀变、矿化元素组合及矿石结构构造都有一定差异。

3.1.1 内接触带型矿床

内接触带型矿床多产于脉动式复式岩体内部，以同源早期岩浆岩为围岩，晚期岩浆岩侵入于早期岩浆岩中，以接触交代和热液充填的方式，形成高温热液交代的、以高温元素组合为主的矿床。本区主要为钼矿床。

脉动式岩浆岩早期一般为偏钙碱性二长花岗岩，晚期一般为偏碱性钾长花岗岩，由钾长花岗岩岩浆热液提供成矿物质交代早期二长花岗岩并形成接触交代型斑岩钼矿床。关于脉动式复式岩体的成因，可以设想原始岩浆房中的岩浆具有熔离分层结构，由于富钾岩浆密度大于钙碱性岩浆，因此位于岩浆下层而晚于钙碱性岩浆喷出，也可能在岩浆侵位运移过程中发生熔离分层，晚于钙碱性岩浆侵位。东秦岭地区合玉岩体和泰山庙岩体脉动式侵位特征明显，因此在岩体中发现了一系列内接触带型钼矿，如鱼翅岭钼矿、荆村钼矿、竹园沟钼矿和白庙沟钼矿等。

金堆城钼矿主要产于燕山期花岗斑岩内部，部分产于安山质火山岩中，因此可以作为这类矿床的研究对比<sup>[17]</sup>。

3.1.2 接触带型矿床

接触带型矿床产于岩体与围岩的接触带内外，

岩体主要为富钾花岗岩、花岗斑岩,围岩有各种岩石,如太华群变质岩、熊耳群火山岩及栾川群碳酸盐岩等,可以形成斑岩型、矽卡岩型及爆破角砾岩型等矿床。矿床类型与围岩性质有关,碳酸盐岩围岩化学性质活跃,以形成矽卡岩型矿床为主;太华群变质岩围岩显示塑性状态,主要形成爆破角砾岩型矿床;火山岩围岩脆性程度较高,主要形成细脉充填型矿床。

东秦岭地区接触带型矿床主要为钼矿,其次为金矿,以栾川南泥湖矽卡岩钼矿、雷门沟爆破角砾岩型钼矿、罗村爆破角砾岩型钼矿与祁雨沟爆破角砾岩型金矿为代表<sup>[18-19]</sup>。

### 3.1.3 外接触带型矿床

外接触带型矿床远离接触带,主要产于围岩。目前东秦岭地区发现的外接触带型矿床以汝阳东沟钼矿为代表,周围分布有一系列铅、锌矿床,因此外接触带型矿床是钼、铅、锌矿床组合<sup>[20-21]</sup>。

矿化围岩主要是熊耳群火山岩,岩石脆性程度高,矿化以网脉状脆性裂隙充填为主,形成细脉状钼矿化,而铅、锌矿则以大脉充填为特征。

岩浆热液作用成矿系统以岩浆作用形成中—高温流体成矿为特征,围岩蚀变以中—高温的钾化、硅化、石榴石矽卡岩化为特征。

成矿流体测温由内接触带到外接触带依次降低,但是总体成矿温度较高,如金堆城钼矿形成的均一温度为240~450℃,主成矿阶段均一温度为300~400℃;祁雨沟爆破角砾岩型金矿及雷门沟钼矿,早阶段流体包裹体均一温度为351~460℃,中阶段的为265~349℃,晚阶段温度介于157~244℃,从早到晚流体成矿温度逐渐降低;东沟钼矿含矿石英脉的石英均一温度平均为296℃,王坪铅锌矿石英均一温度为340℃。

## 3.2 火山热液成矿系统

东秦岭地区中元古代熊耳期是一次重要的火山活动期,该期火山活动伴随着强烈的热液活动和成矿,该期火山岩浆以中基性岩浆为主,岩浆中W、Mo、Au及稀土元素具有较高的富集系数,导致火山期后热液中这些元素也明显富集,为成矿奠定了物源基础。

火山期后热液活动的特点是各类杏仁体发育,发育其他地区火山岩中常见的石英、方解石、绿泥石、沸石等矿物杏仁,也出现其他地区火山岩中很少见的钾长石、硫化物如含金黄铁矿、黄铜矿等杏仁,有些地段构成杏仁状金、铜矿化或者

矿体。小秦岭局部地区发现中—高温热水沉积钾长石硅质岩,这些热液活动特征和热液活动产物表明,本区熊耳期火山期后热液活动极其强烈,并伴随着成矿作用。

嵩县南部熊耳群火山岩广泛分布似层状钾长石英脉型钼矿,这种矿床是最近几年发现的重要钼矿类型,从西向东呈现带状分布,有嵩县纸房钼矿床、土岭村钼矿床、凡台沟钼矿床和大西沟钼矿床等<sup>[22-23]</sup>。石英脉边缘可见钾长石结晶矿物或者钾长石化交代作用,剖面上钾长石英脉呈顺层平行排列,由于岩层产状平缓,至今不能控制深部矿层。

从矿床地质背景、矿化特征及地球化学特征分析,东秦岭地区矿床成矿与熊耳期火山喷发有一定关系,成矿物质主要来自火山热液,成矿年龄为 $(1\,352.95 \pm 27.06)$  Ma,与熊耳期火山喷发期后时间一致。

成矿流体成分特征的 $n(\text{Na}^+)/n(\text{K}^+)$ 、 $n(\text{F}^- + \text{Cl}^-)/n(\text{SO}_4^{2-})$ 及氢氧同位素表明,东秦岭地区成矿流体属于高温地质作用条件下形成的中—高温混合流体,是高盐度和低盐度流体共存、富 $\text{CO}_2$ 流体和贫 $\text{CO}_2$ 流体共存、气相包裹体和液相包裹体共存的中—高温硅酸盐卤水。高盐度含石盐子晶包裹体盐度为28.04%~31.35%,均一成液相温度为302~386℃。因此成矿机制属于中—高温热液沸腾和不混溶成矿,成矿压力为 $28 \times 10^5 \sim 68 \times 10^5$  Pa,属于低压浅成火山机构热液充填成矿。

矿化石英脉的形成分3个阶段,早中期石英脉含有钾长石、萤石,晚期石英脉含碳酸盐矿物,这表明成矿流体喷流结晶过程中发生了流体分异,早期热液充填交代形成非矿石英脉,中期充填交代形成矿石英脉,晚期充填作用以形成无矿碳酸盐石英脉为主。

东秦岭地区火山热液类矿床形成于火山机构附近,因此矿化围岩一般是火山机构相的火山角砾岩或者集块岩,而控制火山机构一般是同生深源断裂带,东秦岭地区南部马超营断裂属于控制熊耳群火山喷发的裂谷边缘断裂。

## 3.3 构造热液成矿系统

东秦岭地区钼、金多金属矿床矿体形态产状、赋存空间主要受构造控制,本区受构造控制形成的金矿类型较多,如石英脉型、韧性剪切带型、蚀变岩型金矿等。但是近几年也发现受构造破碎

带控制产出的钼矿,如破碎带型矿床(栾川老定沟钼矿床、栾川灰柴沟钼矿床和洛宁龙门店钼矿点)、韧性剪切带型钼矿床等,一般认为这类矿床成矿与燕山期岩浆活动有关,但是从上述控矿特征来看,很明显其与构造热液有明显的成因关系,因此归结为构造热液成矿系统。此类矿床研究程度较低,尚没有系统的矿床地球化学资料。

### 3.3.1 构造蚀变岩型矿床

构造蚀变岩型矿床以栾川老定沟钼矿床为代表,含矿围岩是中元古界巡检司组燧石条带白云岩,矿化构造破碎带呈北西西向斜切地层,分布于矿区中、南部 2 条矿化构造蚀变带(K1 和 K2)。K1 位于矿区中部巡检司组中,矿区内地表出露长度约 1 500 m,蚀变带宽度达 300 m,产状为( $20^{\circ} \sim 31^{\circ}$ ) $\angle$ ( $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ )。K2 地表出露长度 870 m,厚度为 1.00~2.20 m,产状为( $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ) $\angle$ ( $65^{\circ} \sim 70^{\circ}$ )。

K1 构造蚀变带是主矿带,主要蚀变有硅化、绢云母化、碳酸盐化、黄铁矿化、绿泥石化、泥化等。硅化表现为石英细脉沿岩石、节理裂隙充填,个别地段有团块状石英出现。构造蚀变带内蚀变主要有辉钼矿化、黄铁矿化、黄铜矿化等,在地表氧化带则发育褐铁矿化等。辉钼矿多呈细粒状、浸染状,在蚀变带裂隙中矿化最强,在岩石层面及裂隙中常呈薄膜状充填,在蚀变带岩石中多为细脉状和星点状。辉钼矿一般呈叶片状、弯曲叶片状或集合体状,粒度较细,多为 0.005~0.200 mm。辉钼矿主要是沿岩石裂隙充填,呈细脉状、薄层状、薄膜状分布。另有少量辉钼矿与黄铁矿相伴分布在白云石-透辉石-钾长石-石英细脉中,辉钼矿呈星状分布。该细脉穿切岩石,脉宽 0.2~2.0 mm。矿石呈灰绿色,自形-它形晶结构、叶片状结构、镶嵌结构、包体结构、交代残余结构、交代环状结构等。矿石构造主要有细脉状构造、浸染状构造、细脉-浸染状构造等。硅化石英脉蚀变带中部多金属矿化最强,两侧较低,钼平均品位为 0.09%~0.11%。

K2 蚀变带构造岩为碎裂岩、燧石条带白云岩,钼矿化相对较弱,可见褐铁矿化、少量方铅矿化。蚀变带内金属矿物主要为褐铁矿、方铅矿,蚀变带矿化极不均匀,带内局部硅化发育处方铅矿化较强,Pb 品位为 0.344%~2.364%。

### 3.3.2 韧性剪切带矿床

在东秦岭地区伏牛山东麓方城四里店一拐河

一带,出露地层主要为上元古界栾川群南泥湖组及煤窑沟组,此外还有大红口组、龙泉沟组和第四系。区内构造活动强烈,拐河断裂的次级构造发育,为一系列北西西向次级断层。区内发现一新类型钼矿(点)床,如莫沟、黄庄、周庄、韩家庄、七顶山及杓留等钼矿(点)床,属于剪切带型钼矿床。以方城县莫沟钼矿床为代表,其主要特征为钼矿化受区域性韧-脆性剪切带的控制,钼矿体延伸长,厚度大,与围岩呈渐变关系,矿石成分简单,辉钼矿赋存于萤石矿上、下盘,沿裂隙面或呈浸染状分布。钼矿带产状为( $180^{\circ} \sim 220^{\circ}$ ) $\angle$ ( $50^{\circ} \sim 75^{\circ}$ ),以辉钼矿矿化为主,辉钼矿多呈薄膜状沿岩石裂隙面分布,少数呈细脉状或浸染状分布;围岩蚀变以绢英岩化、硅化为主,矿石品位为 0.03%~0.21%。

### 3.3.3 构造热液金矿床

东秦岭地区金矿床矿体形态产状、赋存空间主要受构造控制,前人研究提出多种成因类型,如石英脉型、韧性剪切带型、蚀变岩型等,一般认为其成矿与燕山期岩浆活动有关<sup>[23-26]</sup>,本文统称这类矿床为构造蚀变岩型矿床,认为其主要属于构造热液成矿,含矿围岩是太华群变质岩和熊耳群火山岩,控矿构造以核杂岩边缘的拆离构造及区域性的北西西向构造和次级北东向构造为主。

含矿岩石主要是热液充填石英脉、糜棱岩及构造角砾岩,石英脉及构造破碎带边缘经常发育硅化、绢云母化、钾长石化、碳酸盐化蚀变。

该类矿床常由 1 条主矿脉和多条次级矿脉组成矿化带,主矿脉储量占矿床储量 70% 以上,一些矿床主矿脉平面和剖面上呈现雁行排列形态。

崤山地区构造蚀变岩型金矿矿化单一,主要为石英脉型和构造蚀变岩型金矿化及伴生银、铅矿化。矿化集中于变质核杂岩中心部位的张村矿田一带的拆离带内,金属矿点多产在太华群和熊耳群中。熊耳群发育的矿点以充填石英脉型为主,严格受脆性断裂控制,蚀变交代现象微弱;太华群中的金矿点为与韧性剪切带有关的金矿,既有石英脉型,又有蚀变岩型,存在较窄的矿化围岩蚀变,但在金矿脉发育处均为脆性变形叠加处。

前河-狮子庙矿集区位于华北陆块南缘华熊台隆南部,南侧属于马超营构造带,该构造控制了熊耳群南部边界,呈现北西西向延伸的区域构造带,与商丹断裂系(板块主缝带)、栾川断裂平行,都属于区域性地质边界,也控制了区域成矿

作用。沿断裂带分布一系列金多金属矿床，其成矿及矿体分布均受构造控制，属于构造热液成矿。构造热液金矿成矿流体一般属于中—高温硅酸盐和碳酸盐型卤水，具有富含 CO<sub>2</sub> 和中—低盐度的特点，成矿温度一般为 200 ~ 300 ℃，显示成矿物质来源于围岩的特征，属于减压沸腾和不混溶成矿。

4 区域成矿预测

区域成矿预测是在矿床成因和成矿系统研究基础上，总结主要的控矿因素和成矿标志，从而进行区带预测和矿床定位预测，在此基础上本研究结合适当的物化探及工程揭露达到找矿的目的。因此区域成矿预测是确定找矿靶区和找矿目标的理论基础。

4.1 区域成矿系统

东秦岭地区划分为 3 个成矿系统，分别与燕山期岩浆热液、熊耳期火山热液及中生代构造热液活动有关，因此本区的成矿预测应该是重点研究燕山期岩浆岩、熊耳期火山机构及中生代的区域构造性质特征。

4.1.1 岩浆热液成矿系统

东秦岭地区燕山期岩浆热液活动极其强烈，岩浆岩体分布广泛，大部分为壳源重熔岩浆，具有偏碱性富钾的特点。本区燕山期岩浆热液成矿多围绕岩体周围接触带内外，成矿岩体为多期复合岩体，晚期偏碱性富钾岩体与矿床矿化关系密切，多侵入于早期岩体接触带内外，甚至形成隐伏岩体。合峪—泰山庙岩体内外接触带都有钼矿床发现，其他岩体只在接触带发现矿床，因此仍具有巨大找矿潜力。燕山期岩体以提供钼矿物质来源为主，重点在该类岩体附近寻找岩浆热液型钼矿床及铅、锌矿床。在复合岩体内寻找晚期偏碱性富钾岩体及主岩体外围重点寻找隐伏偏碱性富钾斑岩体，此类岩体与矿床形成及矿化关系密切。从西向东分布的老牛山岩体、熊耳山地区花山岩体、外方山南段的四棵树岩体内外接触带仍具有较大的找矿潜力。淆山地区一系列小岩体零散出露，表明具有隐伏岩体分布，具有较大找矿潜力。

4.1.2 火山热液成矿系统

火山热液成矿系统主要与熊耳期火山活动有关，火山岩浆富集金、银、钨、钼各种金属元素，因此可以形成多金属矿床。火山热液活动限于火山机构及火山盆地边缘断裂带，目前在熊耳山—

外方山地区都已经发现火山热液型钼、金多金属矿床，淆山地区尚没有发现矿床的明确报导，仍具有较大找矿潜力。

4.1.3 构造热液成矿系统

东秦岭地区褶皱断裂构造极其发育，区域性控矿断裂为 NWW—SEE 向的压扭性断裂构造，其发育于不同地质体边缘及构造单元边缘，规模较大，控制了构造蚀变岩型矿床的成矿。

4.2 区域成矿预测

根据区域成矿地质背景、成矿条件、典型矿床的研究，本研究取得如下认识：

(1) 东秦岭地区区域成矿受构造控制，北西成矿带分别为华北陆块南缘成矿带、北秦岭构造成矿带和南秦岭构造成矿带，它们呈现 NNW 向平行排列。不同成矿带上区域成矿背景即地层构造和岩浆活动不同，则形成不同的矿床类型。成矿具有北东斜列成行特点，不同成矿带矿化集中于某些地段，从北西向南东划分 4 个多金属成矿斜列带。其中卢氏、栾川、嵩县、汝阳钼、金、铅、锌多金属成矿斜列区最为复杂，斜跨了华北陆块南缘成矿带、北秦岭构造成矿带、南秦岭构造成矿带。东秦岭地区矿种多、矿床成因类型复杂，也是钼矿主要的成矿区域。

(2) 区域矿床成矿受物源岩控制，东秦岭地区太华群变质岩斜长角闪岩、黑云变粒岩、片麻岩等提供金及钼成矿物质，熊耳群英安质火山热液提供了钼、金等，燕山期花岗岩主要提供钨、钼、铅、锌等成矿物质。

(3) 东秦岭地区成矿流体分为燕山期岩浆作用形成的高温成矿流体、熊耳期火山期后热液和构造动力作用形成的中—低温流体，相应形成的矿床类型划分为 3 种，即岩浆热液交代型矿床、石英脉型矿床和构造蚀变岩型矿床。岩浆热液交代型矿床主要有斑岩型钼矿、矽卡岩型钼矿，根据其产出空间位置及围岩性质不同，进一步划分内接触带型、接触带和外接触带型矿床。火山热液石英脉型矿床可以划分高温钾长石石英脉型钼矿和中—低温碳酸盐石英脉型铅锌矿床，成矿时代与熊耳期火山机构有关，属元古宙成矿。构造蚀变岩型矿床一般分布在区域性主构造带边缘及古陆基底与盖层间的拆离构造，常形成中—低温矿床。

(4) 东秦岭地区嵩县纸房钾长石英脉型钼矿床中伴生的稀土元素和金接近边界品位，稀土元素

品位最高达到  $0.44 \times 10^{-6}$ ，金品位达  $0.33 \times 10^{-6}$ ，可以作为伴生矿产利用。矿石与非矿石 2 种石英脉稀土配分模式也不同，石英脉矿石轻、重稀土分馏比无矿化石英脉轻、重稀土分馏更明显。

(5) 根据成矿物质来源、控矿条件及矿床成因类型研究，认为东秦岭地区燕山期岩浆热液交代型斑岩矿床、矽卡岩矿床成矿潜力巨大，可以重点在岩体内接触带、隐伏岩体和燕山期花岗岩体周边的空白区进行找矿研究。火山期后热液充填型石英脉状钼、铅、锌矿，如纸房—土岭一带钾长石英脉型钼矿呈系列平行脉状，深部找矿潜力巨大。在区域性主构造带边缘及古陆基底与盖层间的拆离构造中，注意寻找构造蚀变岩型矿床，即中—低温矿床，因此以找寻金矿为主，局部高温带也可出现钼矿，甚至稀土矿化。

(6) 北西成矿带的有利部位组成了北东成行特点，不同成矿带矿化集中于某些地段，从北西向南东划分 4 个多金属成矿斜列带。以卢氏、栾川、嵩县、汝阳钼、金、铅、锌多金属成矿斜列区最为复杂，斜跨了华北陆块南缘成矿带、北秦岭构造成矿带、南秦岭构造成矿带。该区矿种多、矿床成因类型复杂，是东秦岭钼矿主要成矿区域。

参考文献：

[1] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-221.

[2] 卢欣祥. 东秦岭两类花岗岩与两个金矿系列 [J]. 地质论评, 1994, 40(5): 418-428.

[3] 卢欣祥, 于在平, 冯有利, 等. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景 [J]. 矿床地质, 2002, 21(2): 168-178.

[4] 徐兆文, 邱检生, 任启江, 等. 河南栾川南部地区与 Mo-W 矿床有关的燕山期花岗岩特征 [J]. 岩石学报, 1995, 11(4): 397-408.

[5] 李诺, 陈衍景, 张辉, 等. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景 [J]. 地学前缘, 2007, 14(5): 186-198.

[6] 肖荣阁, 刘敬党, 费红彩, 等. 岩石矿床地球化学 [M]. 北京: 地震出版社, 2008: 1-330.

[7] 罗铭玖, 黎世美, 卢欣祥, 等. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列 [M]. 北京: 地质出版社, 2000: 81-111.

[8] 庞振山, 梁天佑, 肖中军. 崤山太古宙花岗—绿岩地体的地质特征 [J]. 河南地质, 2000, 18(1): 32-37.

[9] 黎世美, 瞿伦全, 李新民, 等. 熊耳山地区蚀变构造岩型金矿成矿地质条件、富集规律、成矿模式及远景预测 [M] //地质矿产部秦巴科研项目办公室. 秦巴金矿论文集. 北京: 地质出版社, 1993: 96-132.

[10] 张本仁, 骆庭川, 高山, 等. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994: 257-277.

[11] 张邻素. 从华北地台铀矿化时序看中—新生代构造—岩浆活化对其成矿的影响 [J]. 铀矿地质, 1986(3): 3-10.

[12] 黎彤. 化学元素的地球丰度 [J]. 地球化学, 1976(3): 167-174.

[13] 赵太平, 徐勇航, 翟明国. 华北陆块南部元古宙熊耳群火山岩的成因与构造环境: 事实与争议 [J]. 高校地质学报, 2007, 13(2): 191-206.

[14] 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示 [J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(4): 289-299.

[15] 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 等. 华北地台钼(铜)矿床成矿年代学研究 [J]. 矿床地质, 1996, 15(4): 365-373.

[16] 张正伟, 朱炳泉, 常向阳, 等. 东秦岭钼矿带成矿背景及时空统一性 [J]. 高校地质学报, 2001, 7(3): 307-315.

[17] 徐兆文, 杨荣勇, 刘红樱, 等. 陕西金堆城斑岩钼矿床成矿流体研究 [J]. 高校地质学报, 1998, 4(4): 423-431.

[18] 郭东升, 陈衍景, 祁进平. 河南祁雨沟金矿同位素地球化学和矿床成因分析 [J]. 地质论评, 2007, 53(2): 217-228.

[19] 李永峰, 毛景文, 刘敦一, 等. 豫西雷门沟斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义 [J]. 地质论评, 2006, 52(1): 122-131.

[20] 付治国, 吕伟庆, 田修启, 等. 东沟钼矿矿床地质特征及找矿因素研究 [J]. 中国钼业, 2005, 29(2): 8-16.

[21] 郑榕芬, 毛景文, 高建京. 河南熊耳山沙沟银铅锌矿床中硫化物和银矿物的矿物学特征及其意义 [J]. 矿床地质, 2006, 25(6): 715-726.

[22] 刘国印, 温森坡, 田恪强, 等. MoS<sub>2</sub> 的同质异相与纸房石英大脉型钼矿床 [J]. 中国钼业, 2007, 31(2): 14-17.

[23] 郭保健, 戴塔根, 徐孟罗, 等. 熊耳山北坡拆离断层带地球化学特征及其与金银矿化的关系 [J]. 矿产与地质, 1997, 11(1): 20-25.

[24] 朱嘉伟, 张天义, 侯存顺. 崤山地区拆离滑脱构造控矿模式及其找矿意义 [J]. 矿床地质, 2001, 20(3): 265-270.

[25] 李莉, 卿敏, 陈祥. 河南前河金矿床地球化学特征 [J]. 黄金地质, 1999, 5(3): 75-80.

[26] 石铨曾, 秦国群, 李明立. 豫西后造山阶段的剥离伸展构造与金矿化 [J]. 河南地质, 1993, 11(1): 28-36.