

河南嵩县安沟钼多金属矿床的地质特征与成因

叶震超^{1,2}, 高光明^{1,2}, 彭光雄^{1,2}

- (1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;
2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083)

摘 要: 安沟钼矿产于东秦岭钼成矿带燕山期花岗岩与花岗斑岩发育处。采用系统的地质勘测手段与微量元素特征分析方法对矿床的地质特征和矿床成因进行研究。结果表明: 区内花岗类岩体 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值较低, 说明该岩浆来源较深; 地层与岩体中 Mo 元素含量远高于平均值, 在矿体周边岩体的 Mo 含量极低, 说明岩浆与热液之间存在强烈的萃取作用; Pb 与 Au 和 Ag 在成因上呈正相关, 钼矿与其他元素成矿关系不明显; 矿床为斑岩-爆破角砾岩型, 成矿过程可归纳为中生代拆离断层体系形成、岩浆侵位与矿质元素萃取、超浅成侵位与爆破作用及热液成矿 4 个阶段。

关键词: 安沟; 爆破角砾岩; 微量元素; 地质特征; 矿床成因

中图分类号: P624.6

文献标志码: A

Geological characteristics and genesis of Angou molybdenum polymetallic deposit, Songxian, Henan Province, China

YE Zhen-chao^{1,2}, GAO Guang-ming^{1,2}, PENG Guang-xiong^{1,2}

- (1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;
2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Angou molybdenum deposit is located in the molybdenum ore belt in East Qinling, where Yanshanian granite and granite porphyry are exposed. Systematic geological survey and trace element analysis were used to identify the geological features and genetic type of the deposit. The results show that the low $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ ratios of the granite-like rock indicate the deep source of magma, the molybdenum content of the stratigraphy and igneous rock is much higher than the average, the very low molybdenum content around the ore body indicates that extraction of magma and hydrothermal effects is strong. Pb is positively correlated with Au and Ag. The relationship between mineralization of molybdenum and other elements is not obvious, Angou molybdenum deposit is defined as a porphyry-blasting breccias type deposit. Ore-forming processes can be summarized as the formation of the detachment fault system in mesozoic, magma emplacement and mineral extraction, ultra-shallow emplacement and blasting and hydrothermal mineralization.

Key words: Angou; explosion breccia; trace elements; geological characteristics; deposit genesis

河南嵩县安沟钼多金属矿区位于熊耳山南坡, 属于东秦岭钼矿带^[1]。该成矿带是我国重要的大型钼矿

分布区之一, 产出有上房沟、南泥湖、金堆城和三道庄等世界级超大型钼矿床^[2]。嵩县安沟钼多金属矿床

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(2011M501296); 中南大学中央高校基本科研业务费资助项目(2011QNZT006); 中南大学硕士学位论文创新资助项目(2011ssxt058)

收稿日期: 2011-12-01; 修订日期: 2012-01-04

通信作者: 高光明, 教授; 电话: 13707485443; E-mail: gjpgmgao@yahoo.com.cn

行政区划隶属于河南省嵩县德亭镇管辖,交通便利,为矿产资源勘查提供了很好的条件。矿床东南部与近几年新发现的大石门沟大型钼矿床相连,在短短 2 a 时间内,本区域内已经发现了多处经济价值极高的钼和铅金属矿床^[3]。查明矿床地质特征和总结成矿规律。对下一步的勘查工作起着重要的作用。

本文作者在对安沟矿区进行大量野外工作基础上,结合矿床微量元素特征分析,对该矿床的成矿机理进行了深入探讨,并总结其成矿模式。

1 成矿地质条件

矿区大地构造位置属华中地洼区,豫西地洼列,

熊耳山地穹东南侧。区内经历了多期次构造运动和大规模岩浆活动,拆离断层发育。

区内主要出露太华群石板沟组中段地层,岩性主要为角闪斜长片麻岩和黑云斜长片麻岩,其次为斜长角闪片麻岩和黑云角闪斜长片麻岩。其分布情况见图 1。

岩石混合岩化强烈,混合岩化大致沿北东和北西两个带断续分布。层间滑脱拆离断层广泛发育,并有陡倾原生及次级断裂交切。北部为花山岩体,南部为五丈山岩体,燕山期斑岩脉普遍发育,伴有隐爆作用,并形成角砾岩体。太华群石板沟组在矿区中南部成单斜地层出露,在局部地段由于构造运动的影响形成次级褶皱。矿区顺层缓倾与切层陡倾的石英脉较多,多

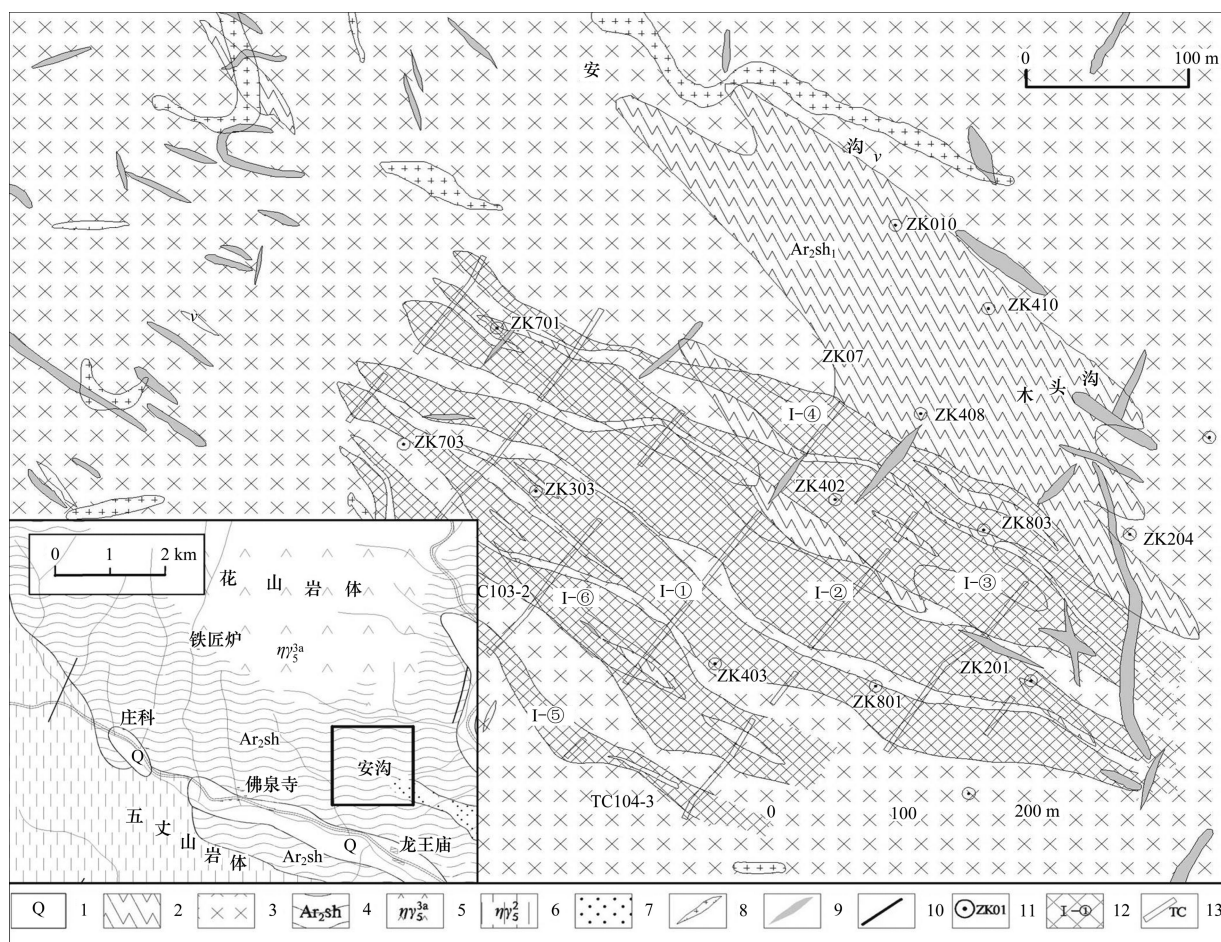


图 1 安沟钼矿区地质图^[4]: 1—新生界沉积物; 2—太华群石板沟组角闪岩-角闪片麻岩类; 3—太华群石板沟组斜长片麻岩类; 4—太华群石板沟组; 5—中细粒斑状二长花岗岩; 6—中粗粒斑状二长花岗岩; 7—爆破角砾岩; 8—花岗岩斑岩; 9—石英脉; 10—断层; 11—钻孔与编号; 12—矿体及符号; 13—探槽

Fig. 1 Geological map of Angou molybdenum deposit^[4]: 1—Cenozoic sediments; 2—Amphibolite-amphibolite gneiss in Shibangou Fm of Taihua group; 3—Plagiogneiss in Shibangou Fm of Taihua group; 4—Shibangou Fm of Taihua group; 5—Medium to fine-grained porphyritic monzogranite; 6—Medium to coarse-grained porphyritic monzogranite; 7—Explosion breccia; 8—Granite porphyry; 9—Quartz veins; 10—Fault; 11—Drilling and number; 12—Ore body and symbol; 13—Trench

数含钼矿, 厚度为 20~40 cm, 两侧围岩多发生钾化和硅化蚀变。

2 矿床地质特征

2.1 矿体形态、规模和产状

I 号钼矿带西起头道沟脑沟, 东至木头沟脑并延出矿区外, 走向 290°~315°, 区内长度达 700 m 左右, 宽 350 m。钼矿体主要赋存该矿带中, 各矿体呈北西向平行带状分布, 赋存于太华岩群变质岩内的石英方解石脉中, 目前经工程控制, 圈定钼矿体 7 个, I-①和 I-②矿体较大, 南侧的 I-⑦矿体较小且为隐伏盲矿带, 分布位置如图 1 所示^[4]。

矿床的矿化类型有脉状型、隐爆角砾岩型及层间隐爆角砾岩型。脉状型为主要的矿化类型, 形态大致呈陡倾斜脉状和缓倾斜似层状, 两者大多相切。矿区内没有明显的后期断裂破坏矿体。钼矿体赋存于侵入

断裂的石英脉和围岩中。各钼矿体特征见表 1。

2.2 矿石质量

钼矿石中的矿物共计 32 种, 其中主要矿石矿物有辉钼矿、方铅矿和闪锌矿; 主要脉石矿物有石英、黄铁矿、方解石、萤石、钾长石、斜长石、黑云母、绢云母、绿泥石、重晶石、硅灰石和石榴子石; 主要氧化矿物有铅钒、褐铁矿、彩钼铅矿和钼华。

主要矿石矿物特征: 辉钼矿常呈自形的六边形鳞片集合体产出, 集合体最大片径为 8 mm, 矿石中辉钼矿呈自形-半自形鳞片状集合体浸染状分布于爆破角砾岩中或与石英、黄铁矿、方解石、钾长石、萤石组成脉状和网脉状充填于太华群分层剥离断层中; 方铅矿常呈自形、半自形粒状或他形粒状嵌布, 粒径为 0.02~0.15 mm, 常呈粒状或粒状集合体分布在脉石中, 部分与黄铁矿和闪锌矿共生, 方铅矿(Gn)沿黄铁矿(Py)裂隙交代, 中心呈自形, 如图 2 所示; 闪锌矿粒径为 0.025~0.3 mm, 他形粒状, 含量约占矿石体积的

表 1 各钼矿体特征参数

Table 1 Characteristic parameters of molybdenum ore bodies

Orebody number	Outcrop elevation/m	Engineering controlling elevation/m	Average occurrence	Length/m	Average thickness/m	Average grade/%
I-①	856-780	856-323	35°∠75°	700	37.16	0.061
I-②	900-794	900-452	36°∠75°	700	43.43	0.065
I-③	925-838	925-591	35°∠74°	645	36.46	0.049
I-④	910-850	875-745	35°∠75°	620	14.49	0.051
I-⑤	806-800	806-147	32°∠73°	420	18.49	0.053
I-⑥	840-805	840-247	31°∠73°	430	22.54	0.061
I-⑦	No outcrop	573-10	35°∠75°	100	21.01	0.045

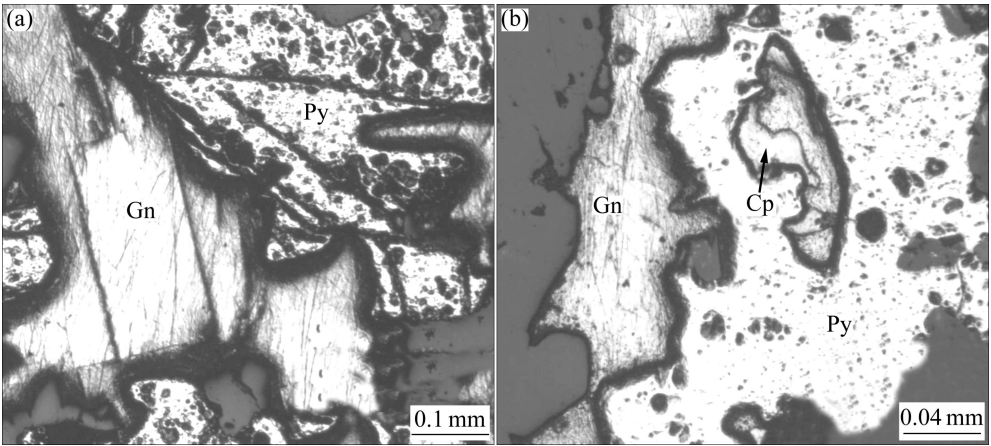


图 2 方铅矿(Gn)与黄铁矿(Py)和黄铜矿(Cp)的共生关系图: (a)一方铅矿交代黄铁矿; (b)一方铅矿沿边缘裂隙充填交代黄铁矿和黄铜矿

Fig. 2 Symbiotic relationship of galena, pyrite and chalcopyrite: (a)—Galena replacing partly pyrite; (b)—Galena partly replacing pyrite and chalcopyrite by border and fracture

5%, 呈浸染状分布于黄铁矿与石英中, 可见沿黄铁矿粒间裂隙交代; 黄铜矿它形粒状, 粒径为 0.03~0.2 mm 左右, 含量占矿石体积的 2% 左右, 镶嵌在方铅矿边上呈镶边结构, 细粒黄铁矿与石英共生, 呈浸染状和岛状分布于黄铁矿中, 黄铜矿呈乳滴状分布与闪锌矿中, 但可见黄铜矿显尖角状交代闪锌矿。矿石结构有交代残余结构、自形-半自形粒状结构、细脉穿插结构和它形粒状结构等; 构造有浸染状构造、脉状穿插构造、角砾状构造和条带状构造等。有用组分为钼和铅。矿石自然矿物组合有石英-辉钼矿-钾长石(斜长石)、石英-黄铁矿-辉钼矿、石英-方解石-黄铁矿-辉钼矿-重晶石、石英-萤石-黄铁矿-辉钼矿和石英-褐铁矿-钼华-彩钼铅矿。

2.3 围岩与蚀变

矿床蚀变为常见的渗透性面式蚀变, 且以岩体与围岩的接触带为中心, 分别向岩体和围岩对称分布, 热液蚀变带范围远远大于岩体的范围^[5]。围岩为片麻岩与花岗斑岩, 蚀变类型主要有方铅矿化、辉钼矿化、钼华化、黄铁矿化、钾化、硅化、高岭土化和碳酸盐化, 其次有绿泥石化、绿帘石化和绢云母化等。从矿体到边部, 呈现由钾化-硅化到硅化-碳酸盐化分带现象。

3 矿床成因

矿床的形成是漫长而复杂的过程, 东秦岭钼矿的主要成矿类型有斑岩-接触带型矿床、矽卡岩型矿床、斑岩-矽卡岩型矿床、斑岩-爆破角砾岩型矿床、破碎带型矿床、石英脉型矿床、韧性剪切带型钼矿床和碳酸盐脉型矿床^[6], 本矿区主要的钼矿石类型是石英脉型和爆破角砾岩型, 矿体中并没有大量的矿化角砾岩体存在。钼矿化类型也并不简单以石英脉型为主, 还有大量已控制的钼矿体为矿化片麻岩。故认为本矿床为受隐爆角砾岩控制的斑岩-爆破角砾岩型矿床, 隐爆作用为后期热液填充提供了良好的运移与容矿的空间, 是主要的控矿因素。

3.1 隐爆角砾岩

斑岩-角砾岩型矿床是东秦岭成矿带重要的矿床类型, 如罗村斑岩型钼矿和嵩鱼池岭钼矿床等^[6-7]。本矿区的隐爆角砾岩在成矿作用中起着决定性的作用, 并具有与构造角砾岩明显不同的特征: 1) 地表发现出

露的隐爆角砾岩的走向为北西向(NW), 延长为橄榄形; 2) 根据出露的角砾岩圈定隐爆角砾岩体的范围与矿体范围吻合; 3) 岩体中心出露的角砾粒径约为 5 cm, 成分为花岗斑岩和片麻岩, 硅质胶结, 角砾填隙物有绿泥石和绿帘石; 4) 边部出露的角砾岩体见方解石化, 并伴有方铅矿化的层间爆破型角砾岩带; 5) 角砾主要呈棱角状和次棱角状, 爆破中心向外, 热液蚀变渐次减弱。

3.2 微量元素特征

作为强烈不相容元素, Rb 趋向集中于上地壳, 而 Sr 在上地壳中只有弱的富集。因此, Rb 和 Sr 等大离子亲石元素 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 比值可作为岩体成因的标志之一, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 比值大, 表明岩浆的来源较浅, 而较小的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值则显示其来源较深。区内花岗岩类 Rb 含量为 $107 \times 10^{-6} \sim 211 \times 10^{-6}$, 接近维氏值, Sr 含量为 $450 \times 10^{-6} \sim 3\,269 \times 10^{-6}$, 远高于维氏值, 因而较小的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值说明, 该岩浆来源较深^[2], 深源岩浆具有更大的矿质元素萃取富集空间, 这与河南钼矿成矿与深大断裂和区域断裂密切相关的特征相符^[8-10]。

工业矿体的形成需要大量的成矿元素, 矿质元素背景值大的区域是成矿的有利地段。豫西地区主要矿源层 1:200 000 水系沉积物元素测量结果显示, 太华群与熊耳群 Mo 含量均较高, 且主要成矿元素多富集, Mo 和 Pb 均表现为强富集和强分异的特点^[11]。区内花岗斑岩 Cu、Pb、Zn、Mo 和 Co 等微量元素含量明显高于维氏值, 数据如表 2 所列。其中, Mo 的含量为维氏值的 7 倍多^[11]。地层和岩浆都可作为良好的矿源层。而紧邻矿区边部花山与五丈山岩体的 Mo 含量极低, 说明在燕山期花岗岩浆活动时期, Mo 元素主要进入斑岩与期后热液中, 富集成矿。因而, 早期形成的岩体越接近矿体, Mo 含量越低。

3.3 元素相关性

相关性分析可以帮助分析两个变量之间的线性相关程度。矿区主要矿化有钼矿化、铅矿化和铁矿化等, 根据矿区 29 个矿化样品实测元素数据, 可利用 Pearson(皮尔逊)相关系数来衡量各主要成矿元素之间的线性相关性。计算结果见表 3。

由结果可见: 矿石中 Pb 与 Au 和 Ag 的相关系数分别为 0.22 和 0.93, 呈正相关, 特别是与 Ag 的相关系数高达 0.93, 说明二者在成矿上关系密切, 而 Mo 与上述其他元素都呈负相关, 且相关系数小于 0.19, 说明钼矿在成因上与其他元素成因关系并不明显。

表 2 安沟矿区及区域岩石微量元素含量

Table 2 Trace element contents of rock in Angou and regional area

Sample number	Sample type	w/10 ⁻⁶								
		Cu	Pb	Zn	Mo	Co	Ni	V	Rb	Sr
D10	钼矿石	2.68	19.77	83.96	56.07	23.94	12.26	43.98	189.07	616.74
D04	中粒花岗岩	3.92	59.85	140.16	<0.01	27.12	15.16	35.05	111.55	1367.83
D21	中粒花岗岩	3.09	35.65	63.87	<0.01	62.06	36.76	15.35	173.82	769.29
Y4	细粒花岗岩	6.24	35.08	30.71	0.15	48.46	34.38	3.22	190.33	852.78
D930	细粒花岗岩	10.27	54.14	61.46	<0.01	15.01	10.29	68.32	211.30	3269.18
ZK-4	花岗斑岩	8.06	29.25	26.52	7.31	34.09	18.47	5.29	191.01	450.68

测试单位: 中南大学地球科学与信息物理学院实验中心测试研究室; 测试方法: X 射线荧光光谱定量分析中超轻元素的处理方法; 测试人: 侯林慧; 测试时间: 2011-05; 样品采样位置从上至下依次为五丈山岩体内部、矿体边部五丈山岩体、矿体边部花山岩体、远离矿体的岩体、爆破角砾岩附近和矿区钻孔。

Testing unit: Testing Laboratory of Experimental Center, School of Geosciences and Info-Physics, Central South University; Testing method: Quantitative treatment of ultra-light elements in X-ray fluorescence spectrum analysis; Tester: HOU Lin-hui; Testing date: 2011-05; Sampling location from top to deep: Wuzhangshan rock body, Wuzhangshan rock body at edges of orebody, Huashan rock body at edges of orebody, rock body away from orebody, explosion breccia and drilling in mining area.

表 3 矿质元素 Pearson(皮尔逊)相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficients of mineral elements

	Au(g/t)	Ag(g/t)	Pb	Zn	Cu	Mo
Au(g/t)	1.00					
Ag(g/t)	0.34	1.00				
Pb	0.22	0.93	1.00			
Zn	0.05	-0.07	-0.11	1.00		
Cu	0.02	-0.04	-0.07	-0.16	1.00	
Mo	-0.19	-0.07	-0.10	-0.13	-0.15	1.00

共 29 个样品; 测试单位: 河南省有色金属地质矿产局第六地质大队实验室; 各元素临界值(w, %): Au: 0.010~0.210, Ag: 0.980~261.000, Pb: 0.011~0.065, Zn: 0.004~0.120, Cu: 0.001~0.230, Mo: 0.002~0.640。

29 samples in total; Testing unit: The Sixth Geological Team of Henan Nonferrous Metal Geology and Mineral Resources Bureau; Critical value of elements (w, %): Au: 0.010~0.210, Ag: 0.980~261.000, Pb: 0.011~0.065, Zn: 0.004~0.120, Cu: 0.001~0.230, Mo: 0.002~0.640.

3.4 矿床分带与成矿阶段

本矿床热液蚀变强烈, 脉状矿化丰富, 为斑岩-角砾岩型矿床, 主要控矿构造为受隐爆作用影响后的拆离断层与原生裂隙组成的复杂体系。该拆离断层体系中常有后期热液的交代充填并成矿, 如图 3 所示。矿床以钼矿体为中心, 向外围延伸, 铅矿化逐渐占据



图 3 拆离断层体系中填充的辉钼矿脉
Fig. 3 Molybdenite veins filled in detachment fault

主导地位, 并有工业矿体形成。叶会寿等^[12]、CHEN 等^[13]通过对东秦岭地区钼矿周围铅锌矿的稳定同位素和流体包裹体研究后指出, 这些铅锌矿是中低温的热液矿床, 成矿温度一般在 150~300 ℃之间。而钼矿成矿温度一般较高, 所以, 矿床矿化类型和围岩蚀变由爆破角砾岩体为中心向外围表现出高-中-低温的分带, 外围与其时空关系密切的铅锌矿与钼矿为同一地质事件的结果^[14]。

本矿床成矿作用可划分为 4 个阶段, 总结如下: 1) 中生代拆离断层体系, 大规模拆离滑脱、逆冲推覆以及块断、平移构造运动, 并伴有强烈的以酸性岩浆为主的壳幔同熔成因的岩浆活动; 2) 碰撞型或陆壳重熔型花岗岩类^[15]的大面积侵入形成中深成大岩基, 以及大量来源较深、高侵位的浅成-超浅成相小型花岗斑岩和花岗闪长斑岩体, 并伴有热液活动, 在拆离断

层系中石英结晶条件良好,形成梳状构造,但该阶段热液成矿不佳;3)岩浆超浅成定位过程中,在其顶部和周围聚集了大量气液组分,其后在构造应力的诱发下,骤然减压,发生隐爆作用成岩,发生气爆-浆爆;4)最后,后期热液注入形成的各种裂隙中成矿,同时

前期的石英晶洞被震毁,并被矿质胶结,这是主成矿阶段,热液以爆破角砾岩为中心,沿着拆离断层系以及原次生的陡倾斜裂隙继续充填交代成矿,向周围呈高温到低温的蚀变分带,矿产也由钼矿到铅矿渐变。成矿模式如图 4 所示。

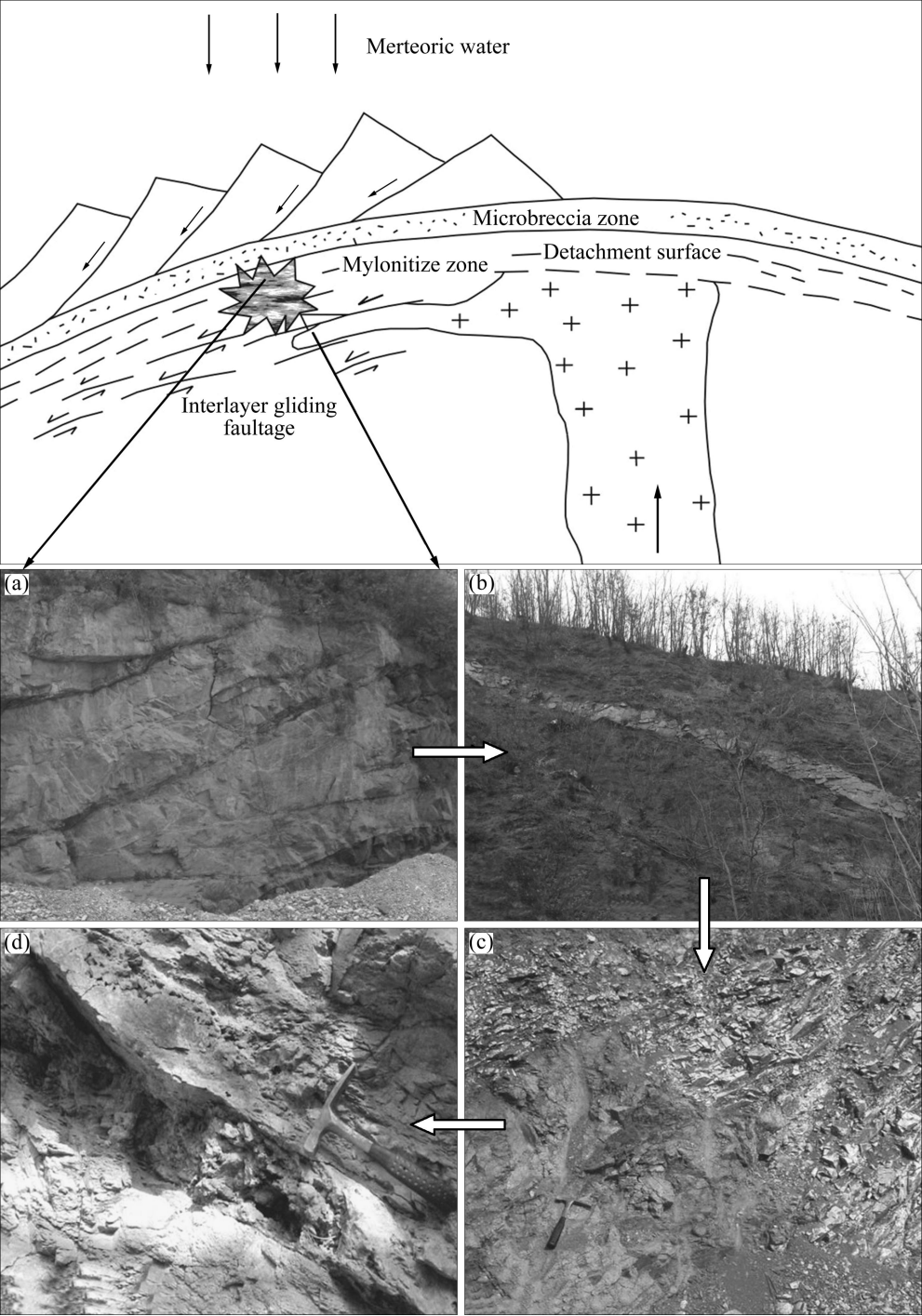


图 4 成矿模式: (a) 第一阶段(中生代拆离断层体系形成); (b)一第二阶段(岩浆侵位矿质萃取); (c)一第三阶段(超浅侵位与爆破作用); (d)一第四阶段(热液成矿)

Fig. 4 Metallogenic model: (a) First stage (Formation of the detachment fault system in Mesozoic); (b) Second stage (Magma emplacement and mineral extraction); (c) Third stage (Ultra-shallow emplacement and blasting); (d) Fourth stage (Hydrothermal mineralization)

4 结论

1) 据岩石学特征与野外混合岩化观察分析,区内地层为太华群石板沟组中段地层,混合岩化大致沿北东、北西两个带断续分布;层间滑脱拆离断层广泛发育,陡倾原生及次级断裂交切是良好的成矿构造。

2) 矿体主要赋存于I号钼矿带中,带内各矿体呈北西向平行带状分布,矿床的矿化类型丰富,矿化类型有脉状型、隐爆角砾岩型和层间隐爆角砾岩型。钼矿体周边铅矿化良好,围岩蚀变以硅化、钾化、碳酸盐化为主,由爆破角砾岩中心向外围呈高温-低温的蚀变分带。

3) 爆破作用为成矿提供了矿质热液的运移通道与矿质沉淀的空间,形成的角砾岩体控制了矿体的范围。

4) 微量元素特征显示,区内花岗岩类Rb含量接近维氏值,Sr含量则远高于维氏值,低 $w(\text{Sr})/w(\text{Rb})$ 值说明岩浆的来源很深,也说明矿床成因与深大断裂和区域断裂相关。地层与五丈山岩体的Mo含量高,均可作为成矿母岩,近矿体的岩石样品中Mo含量极低,显示成矿期岩浆和热液强烈的萃取作用。相关性分析表明Pb在Au和Ag成因上呈正相关,Mo与其他元素成矿关系不明显。

5) 成矿作用经历了中生代拆离断层体系形成,中深成壳源型花岗岩类侵入与矿质元素萃取,斑岩体超浅成侵位并伴有爆破作用和岩浆期后热液的交代充填成矿4个阶段。

REFERENCES

- [1] 刘国庆,赵金洲,王昊,陈德杰,王夏涛,魏明君,乔保龙,崔小玲. 东秦岭(河南段)钼矿床地质特征、矿床分布规律及成矿区带划分[J]. 矿产与地质, 2008, 22(3): 216-220.
LIU Guo-qing, ZHAO Jin-zhou, WANG Hao, CHEN De-jie, WAN Xia-tao, WEI Ming-jun, QIAO Bao-long, CUI Xiao-ling. Geological characteristics distributing rules of deposits and zoning of metallogenic belts for the Mo deposits in East Qinling (Henan Section)[J]. Mineral Resources and Geology, 2008, 22(3): 216-220.
- [2] 李永峰. 豫西熊耳山地区中生代花岗岩类时空演化与钼(金)成矿作用[D]. 北京: 中国地质大学, 2005: 1-10.
LI Yong-feng. The temporal-spatial evolution of mesozoic granitoids in the Xiong'ershan area and their relationship to molybdenum-gold mineralization[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2005: 1-10.
- [3] 张同林,周晓玉,温国栋. 嵩县大石门沟钼矿成矿控制条件及成矿远景分析[J]. 科技创新导报, 2011(4): 67-68.
ZHANG Tong-lin, ZHOU Xiao-yu, WEN Guo-dong. Analysis of ore-forming control conditions and long-term Dashimenggou molybdenum deposit in Songxian[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2011(4): 67-68.
- [4] 陈书中,李军亭,张银启. 河南省嵩县安沟钼多金属矿详查报告[R]. 郑州: 河南省有色金属地质矿产局第六地质大队, 2010.
CHEN Shu-zhong, LI Jun-ting, ZHANG Yin-qi. Report of detailed investigation of Angou Mo polymetallic deposit in Songxian, Henan, China[R]. Zhengzhou: The sixth Geological Team of Henan Nonferrous Metal Geology and Mineral Resources Bureau, 2010.
- [5] 祝朝辉,卢欣祥,罗照华,谷德敏,刘淑霞,李明立. 东秦岭斑岩型钼矿研究的几点新进展[J]. 矿物学报, 2009, 29(S): 111-112.
ZHU Zhao-hui, LU Xin-xiang, LUO Zhao-hua, GU De-min, LIU Shu-xia, LI Ming-li. Some new progress in research of East Qinling molybdenum porphyry[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2009, 29(S): 111-112.
- [6] 孙红杰. 东秦岭钼矿的主要类型和成矿时代浅析[J]. 中国钼业, 2009, 33(4): 28-33.
SUN Hong-jie. Analysis of the main types and mineralogenetic epoch of Dong Qinling molybdenum deposits[J]. China Molybdenum Industry, 2009, 33(4): 28-33.
- [7] 李永峰,毛景文,胡华斌,郭保健,白凤军. 东秦岭钼矿类型、特征、成矿时代及其地球动力学背景[J]. 矿床地质, 2005, 24(3): 292-304.
LI Yong-feng, MAO Jing-wen, HU Hua-bin, GUO Bao-jian, BAI Feng-jun. Geology, distribution, types and tectonic settings of mesozoic molybdenum deposits in East Qinling area[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(3): 292-304.
- [8] 刘永春,黄超勇,付治国,靳拥护,高飞,赵云雷. 河南省钼矿床的分布规律及其控矿地质因素探讨[J]. 矿产与地质, 2006, 20(6): 594-597.
LIU Yong-chun, HUANG Chao-yong, FU Zhi-guo, JIN Yong-hu, GAO Fei, ZHAO Yun-lei. Distribution regularity of molybdenum deposits in Henan and its geological ore controlling factors[J]. Mineral Resources and Geology, 2006, 20(6): 594-597.
- [9] 黄传记. 东秦岭(河南段)钼矿成矿背景与找矿标志[J]. 西部探矿工程, 2009(7): 128-131.
HUANG Zhuan-ji. The background and prospecting criteria of molybdenum mineralization in East Qinling (Henan Province)[J]. West-China Exploration Engineering, 2009(7): 128-131.

- [10] 张正伟, 张中山, 董 有, 彭万夫, 张建军. 东秦岭钼矿床及其深部构造制约[J]. 矿物学报, 2007, 27(3): 372-378.
ZHANG Zheng-wei, ZHANG Zhong-shan, DONG You, PENG Wan-fu, ZHANG Jian-jun. Molybdenum deposits in Eastern Qinling, central China: Deep structural constraints on their formation[J]. Acta Mineralogical Sinica, 2007, 27(3): 372-378.
- [11] 燕长海, 刘国印. 豫西南地区铅锌银成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 44-50.
YAN Chang-hai, LIU Guo-yin. Zn-Ag mineralization rules in southwest Henan[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009: 44-50.
- [12] 叶会寿, 毛景文, 李永峰, 郭保健, 张长青, 刘王君, 闫全人, 刘国印. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2006: 80(7): 1078-1088.
YE Hui-shou, MAO Jing-wen, LI Yong-feng, GUO Bao-jian, ZHANG Chang-qing, LIU Wang-jun, YAN Quan-ren, LIU Guo-yin. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the superlarge Donggou porphyry Mo deposit in East Qinling, China and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(7): 1078-1088.
- [13] CHEN Yan-jing, FRANCO P, SUI Ying-hui. Isotope geochemistry of the Tieluling silver-lead deposit Henan, China: A case study of orogenic silver-dominated deposits and related tectonic setting[J]. Mineralium Deposita, 2004, 39: 560-575.
- [14] 毛景文, 叶会寿, 王瑞延, 代军治, 简 伟, 向军锋, 周 珂, 孟 方. 东秦岭中生代铂铅锌银多金属矿床模型及其找矿评价[J]. 地质通报, 2009, 28(1): 72-79.
MAO Jin-wen, YE Hui-shou, WANG Rui-yan, DAI Jun-zhi, JIAN Wei, XIANG Jun-feng, ZHOU Ke, MENG Fang. Mineral deposit model of mesozoic porphyry Mo and vein-type Pb-Zn-Pt ore deposits in the eastern Qinling, central China and its implication for prospecting[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(1): 72-79.
- [15] 李 诺, 陈衍景, 张 辉, 赵太平, 邓小华, 王 运, 倪智勇. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景[J]. 地学前线, 2007, 14(5): 186-198.
LI Nuo, CHEN Yan-jing, ZHANG Hui, ZHAO Tai-ping, DENG Xiao-hua, WANG Yun, NI Zhi-yong. Molybdenum deposits in East Qinling[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(5): 186-198.

(编辑 陈卫萍)