

河南嵩县钾长石石英脉型钼矿矿床成因分析

白凤军^{1, 2}, 肖荣阁¹, 刘国营^{1, 2}

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 河南省有色金属地质勘查总院, 郑州 450016)

[摘 要] 河南嵩县钾长石石英脉型钼矿顺层产出, 呈似层状、透镜状密集平行排列, 与围岩整合产出。矿化石英脉两侧呈条带状蚀变, 钼矿化均伴随着钾长石化、强硅化和黄铁矿化, 远离石英脉则蚀变减弱, 矿化也随之减弱。石英脉可以划分三期, 早期无矿石英脉; 中期石英脉含有辉钼矿-黄铁矿-黄铜矿-方铅矿-闪锌矿, 构成石英脉型矿石。晚期属于石英-碳酸盐细脉, 无矿化。文章对三期石英脉分别进行了地球化学分析, 石英脉矿石和非矿石英脉稀土含量配分曲线及微量元素差异反映成矿流体喷流结晶过程中发生了流体分异。成矿流体包裹体反映系高盐度富 CO_2 的沸腾和不混溶流体成矿, 成矿压力 $28 \times 10^5 \sim 68 \times 10^5 \text{ Pa}$, 属于低压浅成环境。测定了矿化石英脉的 Ar/K 年龄 $1352.95 \pm 27.06 \text{ Ma}$ 。根据上述分析, 认为嵩县钾长石石英脉型钼矿属于火山期后中高温热液矿床, 成矿物质来自火山岩浆热液, 在火山口及火山机构附近沿火山岩层间裂隙充填交代成矿。

[关键词] 嵩县 熊耳群 钾长石石英脉 钼矿 矿床成因

[中图分类号] P618.65 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2009)04-0335-08

Bai Feng-jun, Xiao Rong-ge, Liu Guo-ying. Genesis of K-Feldspar-Quartz vein type molybdenum deposit in Songxian county, Henan[J]. Geology and Exploration, 2009, 45(4): 355-342.

钾长石石英脉型钼矿是该区近几年发现的一种新型矿床类型, 是一种以高温热液充填为主的矿床类型。2005年以来, 在豫西嵩县南部的外方山地区的中元古界火山岩中发现了一系列钾长石石英脉型钼矿, 自西至东已经有凡台沟钼矿、纸房钼矿、土岭村钼矿和大西沟钼矿等^①, 是该区最重要的找矿突破, 显示了巨大的找矿潜力^[1]。

1 地质背景

研究区大地构造位置处于华北陆块南缘^[2]中元古界火山岩盆地, 属于熊耳山—外方山之间(图1)。

区内地层主要为中元古界熊耳群一套中基性(偏中性)—中酸性火山熔岩建造, 岩系最大厚度7000~8000 m, 与下伏结晶基底太华岩群或古元古界呈角度不整合接触。成岩时代1778~1400 Ma^[3]。自下而上划分为大古石组、许山组、鸡蛋坪组和马家河组, 含矿地层为鸡蛋坪组。

区内断裂构造发育, 马超营断裂带控制了熊耳

群火山岩盆地南缘, 也控制了中生代岩浆活动^[4, 5], 因此是多期深源断裂构造, 其次有北东、北西向次级断裂。矿区外围火山岩盆地边缘燕山期岩浆岩分布较多, 南部有合峪岩体、太山庙岩体, 西部有雷门沟岩体等。

在矿区的周围熊耳群火山岩中分布有一系列燕山期的构造蚀变岩型、角砾岩型金矿床, 如前河金矿、店房金矿; 斑岩型钼矿床, 如雷门沟钼矿、鱼池岭钼矿、东沟钼矿等, 因此区域上是东秦岭多金属成矿带的重要成矿远景区。

2 含矿围岩

2.1 岩性

中元古界熊耳群鸡蛋坪组(Pt_2j)火山岩是矿区内主要含矿围岩, 岩性主要为灰、灰紫色流纹岩、球粒流纹岩, 少量安山岩及粗面岩。矿体上下盘直接围岩为流纹岩, 呈灰色, 斑状结构, 块状构造, 斑晶主要为钾长石和石英、少量斜长石。钾长石斑晶边部

[收稿日期] 2008-12-09; [修订日期] 2009-06-01。[责任编辑] 杨欣。

[基金项目] 河南省国土资源厅—东秦岭(河南段)钼矿床类型及评价标志(编号: 豫财建[2007]272号)资助。

[第一作者简介] 白凤军(1964年—), 男, 1986年毕业于中南工业大学, 获学士学位, 在读博士研究生, 高级工程师, 现从事矿产勘查工作。

①赵金洲, 白凤军, 黄传计. 东秦岭(河南段)钼矿勘查选区研究报告, 2007。

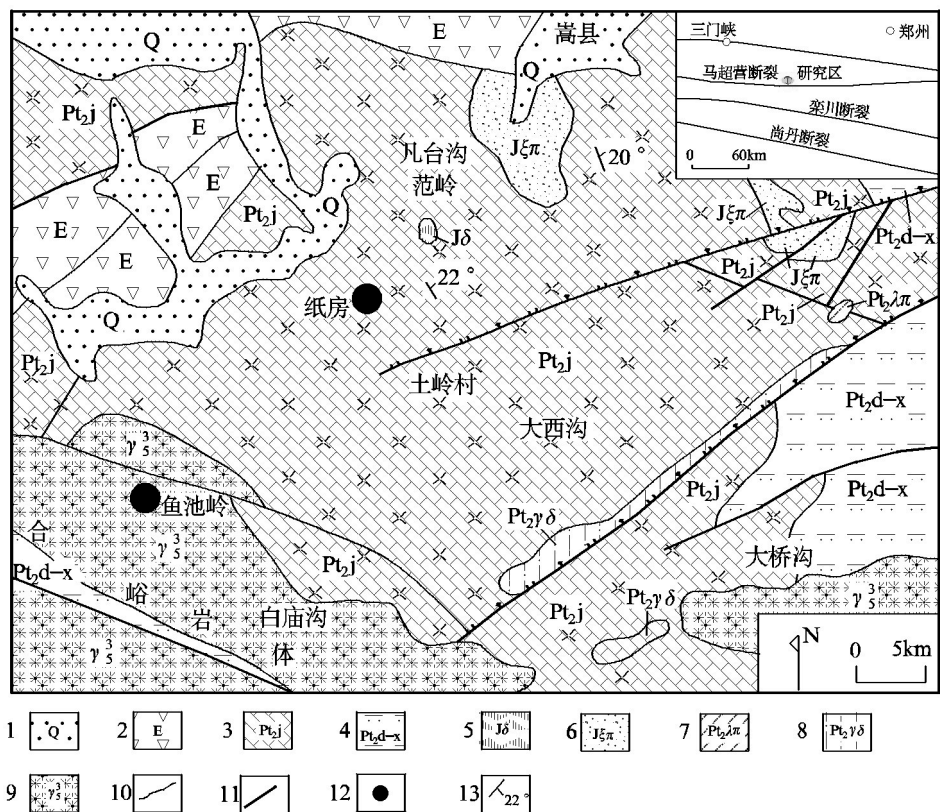


图 1 嵩县南部区地质略图

Fig. 1 Simplified geological sketch of southern part of Songxian

1—第四系;2—古近系;3—熊耳群鸡蛋坪组;4—熊耳群大古石组许山组;5—侏罗系闪长岩;6—侏罗系正长斑岩;7—中元古代石英斑岩;
8—中元古代花岗闪长岩;9—燕山晚期花岗岩;10—地质界线;11—断层;12—矿点;13—产状
1—Quaternary; 2—Eogene; 3—Jidanping Formation of Xiong'er Group; 4—Dagushi Formation and Xushan Formation of Xiong'er Group; 5—Ju-
rassic diorite; 6—Jurassic syenite porphyry; 7—Middle Proterozoic quartz porphyry; 8—Middle Proterozoic granodiorite; 9—Cretaceous
granites; 10—geological boundary; 11—fault; 12—mineral occurrence; 13—occurrence

可见文象结构,斜长石斑晶具环带结构。斑晶约占 30%,粒度一般为 0.5~3 mm。基质由长石微晶及石英集合体等组成。

岩石杏仁状构造发育,杏仁体成分为石英、钾长石、方解石、绿泥石、沸石及金属矿物黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、钛铁矿等,火山岩杏仁是火山期后热液活动的标志,大量火山岩杏仁的存在可以指示火山喷发期后广泛的热液活动。肖荣阁等(2008)^[6]研究认为,石英钾长石杏仁的出现指示高温热液活动,方解石杏仁表示了中温热液活动,绿泥石、沸石是在低温条件出现。该区大量钾长石杏仁体的出现,表明了火山期后广泛的高温热液活动。金属矿物的杏仁体的出现表明火山热液活动期间伴随着成矿作用发生。

矿区北部大面积分布有火山角砾岩和集块岩,反映矿床位于火山机构附近,甚至与火山机构有关。

2.2 含矿性

根据外方山地区熊耳群剖面,及一些金矿区的含矿围岩建造,鸡蛋坪组中酸性火山岩是主要矿化地层岩性,大部分多金属矿床产于这个层位。鸡蛋坪组中酸性火山岩和其他层位火山岩进行了微量元素分析(表 1,图 2),不相容元素 Li、Be、F、Sr、Rb、Ba、U、Th 明显富集,W、Sn、Mo、REE 及 Ag 富集系数

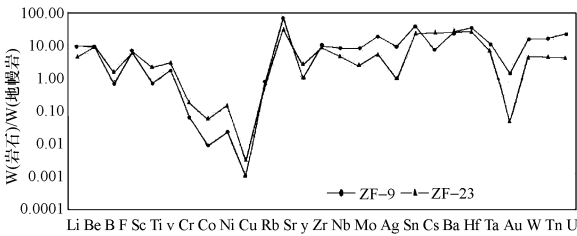


图 2 熊耳群鸡蛋坪组火山岩微量元素蛛网图

Fig. 2 Spidergram of trace element in volcanic rocks of the Jidanping Formation of the Xiong'er Group

表 1 鸡蛋坪组英安岩微量元素成分(×10⁻⁶)

Table 1 Trace element composition of dacite in Jidanping Formation (×10⁻⁶)

样品号	Li	Be	B	F	Sc	Ti	V	Cr	Co	Ni	Cu	Rb	Sr	Y
ZF-9	40.9	1.82	1.28	1142	7.1	4324.2	53	15	3.7	2.4	34	182	131	48.2
ZF-23	19.3	1.79	2.89	875	22.2	7529.6	143	87	23.6	32.3	23	77	287	40.7
An1							194			38.0	83.3			
样品号	Zr	Nb	Mo	Ag	Sn	Cs	Ba	Hf	Ta	Au	W	Th	U	
ZF-9	451	51.2	12.0	560	3.27	2.12	1899	10.8	1.20	7.18	4.80	12.9	3.01	
ZF-23	229	14.1	3.1	55	1.83	7.41	1967	7.6	0.73	0.24	1.27	3.3	0.54	
An1			16.7											

国土资源部地球物理与地球化学研究所测试, An1: 安山岩。

较大,说明原始岩浆矿化富集程度较高。

2.3 火山热液矿物及含矿性

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状火山岩是熊耳群火山岩的重要特征。在大部分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(表 2)。

表 2 巨晶钾长石杏仁体微量元素特征(×10⁻⁶)

Table 2 Trace element characteristics of macrocrystal K-Feldspar almond(×10⁻⁶)

样品	Q4-1	WP12	样品	Q4-1	WP12	样品	Q4-1	WP12
Au	10.6	3.3	Ni	6.9	5.9	Rb	79.8	2.5
Ag	65	389	V	26.4	6	Zr	16	10
B	3.5	1.6	Cd	60	7	Pb	20.3	2.2
As	11.2	10.9	Co	10.9	1.1	Ta	0.11	0.14
Sb	0.41	0.29	Cs	2.37	0.52	Hf	0.45	0.29
Hg	5	5.5	Cu	25.5	33.1	Nb	0.79	0.58
F	54	50	Ba	5763	1694	U	0.08	0.07
Be	0.31	0.07	Sr	218	65	Th	0.47	0.95
Cr	21.9	23.5	Zn	18	5	Sc	0.9	0.5
Li	5.7	0.5	Ga	8.6	5.5			

Q4-1 采自前河金矿; WP12 采自王坪铅锌矿; 由地质科学院地球物理地球化学勘查研究所分析。

钾长石杏仁体中,微量元素 B、F、Sr、Rb、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Hg、Cr、Li、Ni、Cd、Co、V、Ba 明显富集,尤其具有 Au、Ag 矿化和 Ba、F 富集。其中 F 是以萤石矿物存在, Ba 以重晶石矿物或者在钾长石中形成钡冰长石的形式存在。

上述资料分析可以看出,熊耳群火山岩原始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 来说可以作为重要的物源岩。

3 矿床矿化特征

3.1 主要矿脉

目前矿区内共发现矿化石英脉 30 余条,似层状、具有尖灭再现及膨缩的透镜状平行排列(附图 1),矿脉长 300~1600 m,最长 2800 m,一般厚 0.35~5.0 m,主矿脉最厚 11.09 m。整体倾向北东,局部倾向南东,倾角 3°~26°,一般 15°左右,与围岩产状一致。局部辉钼矿矿化富集构成矿体,辉钼矿在石英脉及两侧的蚀变岩中呈现浸染状分布,钼矿品位一般 0.031×10⁻²~0.36×10⁻²,个别达 1.081×10⁻²,总体品位较富^{②③}。

3.2 围岩蚀变

矿化石英脉两侧呈条带状蚀变,主要有钾长石化、硅化、绿泥石化、绢云母化、绿帘石化和黄铁矿化,局部可见紫色萤石化。所有钼矿化均伴随着钾长石化、强硅化和黄铁矿化,远离石英脉则蚀变减弱,矿化也随之减弱。

3.3 矿化特征

石英脉上盘蚀变流纹岩中金属矿物主要为褐铁矿、辉钼矿和黄铁矿。石英脉中主要金属矿物为黄铁矿、褐铁矿、少量方铅矿、闪锌矿,微量黄铜矿、辉铜矿、孔雀石。石英脉与下盘蚀变流纹岩接触处,金属矿物为褐铁矿、辉钼矿、黄铁矿。下盘蚀变流纹岩中金属矿物与蚀变带相差不大。

根据矿脉穿插关系、矿石组构、矿物组合等,将成矿过程划分为 3 个阶段:早阶段形成连续而厚大的石英脉,呈致密块状,含立方体黄铁矿,石英脉下

② 王宪伟,陈少伟,王佩刚. 河南省嵩县大西沟矿区钼矿普查阶段性总结,2008.
③ 温森坡,李怀乾,李耀辉. 河南省嵩县纸房矿区钼矿普查报告,2006.

盘可见钾长石化。早阶段石英脉及其蚀变围岩遭受构造应力而破碎、变形,裂隙和颗粒间隙被中阶段石英-硫化物充填交代,石英矿物具波状消光现象。中阶段以多金属硫化物呈脉状或者定向的网脉状为主,具有较强的钾化,局部可见萤石。充填在破碎的早阶段矿物组合中,主要矿物组合为细粒石英-辉钼矿-黄铁矿-黄铜矿-方铅矿-闪锌矿。晚阶段发育少量石英-碳酸盐细脉,偶含黄铁矿或方铅矿、重晶石、硬石膏,伴随辉钼矿化较弱,充填交切早、中阶段矿物组合。成矿后的表生氧化作用形成了褐铁矿、铜蓝等次生矿物。

在以下的研究中我们根据石英脉中钼矿品位分为早期无矿石英脉和中期矿石石英脉,并重点进行地球化学分析,对比研究其地球化学特征。

3.4 矿石

原生矿石可分为石英脉型和蚀变岩型两种,矿石金属矿物有黄铁矿、褐铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉铜矿、少量孔雀石、铜蓝、辉钼矿、白钨矿等;非金属矿物主要为石英、钾长石、斜长石、方解石、萤石、绿泥石、绿帘石、绢云母等,局部可见少量的石墨、重晶石、硬石膏、锆石、独居石等。

该区石英脉型钼矿矿物仅有辉钼矿,分布于石英脉上下接触带及近脉蚀变流纹岩中,辉钼矿呈云雾状、浸染状或薄膜状充填。在显微镜下,辉钼矿的光学特征清楚,灰白色,双反射为灰白—灰蓝色,强非均质性,呈鳞片状、纤维状、毛发状集合体或细粒状集合体,单个矿物的粒度较细,在 0.005 ~ 0.02 mm,集合体的粒度可达 0.5 mm。主要以集合体的形式存在,也有少部分细粒、纤维状辉钼矿以浸染状分布于脉石中,晶体容易挠曲。由于矿物比较细小,在低倍镜下与纤维状的褐铁矿容易混淆,但在高倍镜下,转动载物台可见明显的双反射,正交镜下非均质性明显。在辉钼矿集合体出现的地方,时常伴生有他形粒状、板状或细脉状分布的石墨。辉钼矿的单矿物粒度小于栾川罗村钼矿和嵩县鱼池岭钼矿等岩浆热液交代型钼矿,为斑岩型钼矿中辉钼矿大小的 1/10 ~ 1/100。

矿石呈现浸染状、云雾状、网脉状、脉状、块状、条带状构造,辉钼矿呈浸染状、云雾状充填在石英晶体之间或呈现细脉状、网脉状充填在钾长石英中沿石英边缘分布;呈薄膜状沿石英脉裂隙充填而呈网脉状、脉状矿石构造。

4 矿床地球化学

4.1 成矿流体

根据赵太平等(2008)^④研究资料,可以见到三个阶段流体包裹体,主成矿阶段石英中原生流体包裹体以 NaCl-H₂O 型包裹体为主,并见有 CO₂(V)+CO₂(L)+H₂O(L)三相包裹体和含石盐子晶包裹体。

高盐度含石盐子晶包裹体盐度为 28.04 ~ 31.35wt% NaCl,均一成液相温度为 302 ~ 386 ℃。低盐度 NaCl-H₂O 型流体包裹体盐度为 0.18 ~ 13.18 wt% NaCl;液相均一温度约 322 ~ 388 ℃,气相均一温度约 320 ~ 467 ℃,我们实际测试的液相包裹体均一温度为 242 ~ 292 ℃。

CO₂-H₂O 型包裹体盐度为 4.07 ~ 19.00wt% NaCl,均一成气相温度 236 ~ 408℃。

根据 NaCl-H₂O 密度、盐度和均一温度,以及 CO₂-H₂O 体系相图分别求得包裹体均一压力、密度。CO₂-H₂O 型流体包裹体压力数据分为高压和低压两组,低压组压力为 40×10⁵ ~ 80 ×10⁵ Pa,与早阶段水溶液包裹体压力相当,为 28 ×10⁵ ~ 68 ×10⁵ Pa。高压组 CO₂-H₂O 型包裹体压力为 170×10⁵ ~ 180×10⁵ Pa。

流体包裹体特征显示为沸腾和不混溶成矿作用^[7-9]。

4.2 微量元素

分为含矿石英脉和矿石石英脉,比较两种石英脉的微量元素分布特征,按照元素序数排列可以看出两种石英脉微量元素富集特征基本一致,都富集 Ti 前的轻元素和 Cu 以后的重元素,明显富集的元素是 F、Sr、Y、Nb、Cd、Ba、Au、Th、U,同时矿石石英脉的微量元素含量普遍高于无矿化石英脉,亏损过渡族元素 V、Cr、Co、Ni,铜含量也比较低(表 3,图 3)。

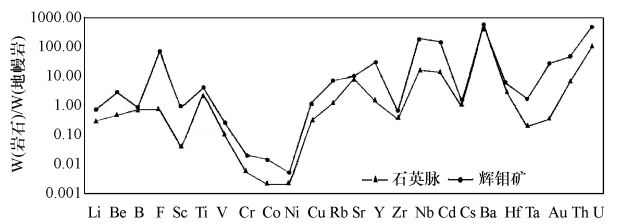


图3 矿化石英脉微量元素蛛网图
Fig.3 Spiderdian of trace elements of mineralized quartz veins

④ 赵太平. 外方山-熊耳山-崤山钼金多金属成矿规律及找矿预测(河南省国土资源科学研究院科研项目报告),2008.

表 3 矿化石英脉微量元素化学分析表($\omega_{\text{B}}/10^{-6}$)

Table 3 Trace element composition of mineralized quartz veins ($\omega_{\text{B}}/10^{-6}$)

样品	ZF-1	ZF-13	ZF-18	ZF-24	ZF-11	ZF-4	ZF-15	ZF-19	ZF-20	ZF-22
Li	1.12	1.89	0.42	0.84	1.6	2.11	2.11	2.9	2.38	1.16
Be	0.1	0.1	0.06	0.09	0.1	1.35	0.22	0.89	0.16	0.21
B	1.1	1.2	1.4	1.5	2.11	1.1	1.1	2.4	1.1	3.3
F	74	112	60	83	315	756	303	438	56361	387
Sc	0.12	0.43	0.35	0.25	0.6	9.98	18.47	8.13	5.88	4.24
Ti	11932	11173	1033	7418	256.35	5064	12688	13076	8024	8338
V	108.4	120.7	13.6	75.1	89	120.3	246.1	379.8	112.9	167.9
Cr	2	2	6.1	4.2	3	3.9	2	2.4	0.2	0.4
Co	0.6	0.5	0.4	1.3	0.5	2.9	0.9	1.6	3.4	1.3
Ni	5.1	5	1.7	4.1	1.4	6.2	6.1	5.5	5.4	7.4
Cu	16.6	9.5	3.8	23.4	5	49.6	49.3	45	84.5	16
Ga	0.77	1.14	0.19	0.88		23.5	7.65	4.25	5.99	7.41
Rb	2	2	4.2	1.8	5	76.6	2	5.5	2.2	2.5
Sr	1529.4	1390.9	26.2	866.4	1505	550.1	2036.3	1764.4	1519.1	512.4
Y	6.33	11.81	0.9	4.48	12.7	214.9	45.73	170.8	235.5	59.85
Zr	14.8	23.8	9.7	21.9	13	21.2	48.3	28.2	551.7	29.5
Nb	140.3	139.9	77.7	134.1	5.4	564.1	807	1648	92.07	1986
Cd	187	2121	641	984	1332	8865	7403	17796	15496	8049
Cs	0.24	0.29	0.32	0.3	0.13	0.62	0.27	0.45	0.35	0.36
Ba	76804	70101	6057	45183	61354	8113	68482	38962	41132	21209
Hf	0.71	1.29	0.48	0.99	0.5	1.21	1.98	1.3	2.7	1.52
Ta	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.37	0.02	0.26	0.07	0.21
Au	5.5	0.9	0.7	0.8	1.49	12.5	88.4	239.4	328.7	26.4
Th	1.25	2.97	1.95	7.22	10.1	14.18	47.96	28.96	42.7	51.98
U	13.09	1.53	25.25	26.33	1.01	8.4	26.47	16.25	104.89	172.04

国土资源部地球物理与地球化学研究所测试。

值得注意的是,石英脉中 Y、Th、U 放射性元素异常高,矿石石英脉中 Y、Au、Th、U 更高,进一步分析稀土和金达到接近边界品位,稀土最高达到 0.44%,金 0.33×10^{-6} ,可以作为伴生矿产利用。

4.3 稀土元素

矿化石英脉中稀土元素总量普遍比较高,根据含量可以分为两组,低矿化品位或者无矿化的石英脉稀土总量明显偏低,在 $17.44\times10^{-6}\sim618.98\times10^{-6}$,平均 192.10×10^{-6} 。辉钼矿品位高的石英脉矿石稀土总量 0.13%~0.44%,平均 0.29%,达到工业品位(表 4)。

两种石英脉稀土配分模式也不同,石英脉矿石轻重稀土分馏明显,呈现高角度右倾斜线形态(图 4)。而无矿化石英脉轻重稀土也有明显分馏,但是

轻稀土各元素没有分馏,因此配分曲线左侧呈现弧形突起形态(图 5)。

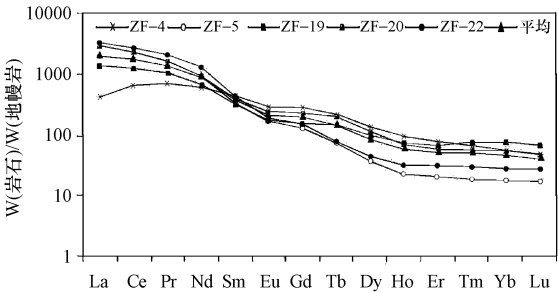


图 4 石英脉型钼矿石稀土元素配分曲线图

Fig.4 Ree distribution pattern of quartz-vein type molybdenum ore

表 4 矿化石英脉稀土元素化学分析表 ($\omega_B/10^{-6}$)

Table 4 Ree composition of mineralized quartz veins ($\omega_B/10^{-6}$)

无矿石英脉							石英脉矿石					
样号	ZF-1	ZF-13	ZF-18	ZF-24	ZF-11	平均	ZF-4	ZF-4	ZF-19	ZF-20	ZF-22	平均
La	2.92	10.3	2.94	17.5	62.91	19.32	126.84	571.56	424.2	917.52	1008.36	609.7
Ce	12.3	52.22	7.98	63.1	263.63	79.85	498.36	1377.6	994.08	1854	2168.4	1378.49
Pr	2.62	10.39	1.08	9.84	48.86	14.56	84.46	167.52	127.8	195.12	256.08	166.2
Nd	13.92	47.33	3.81	39.29	183.68	57.61	355.08	520.2	416.52	561.6	776.64	526.01
Sm	3.09	8.48	0.62	5.84	29.61	9.53	80.64	62.21	62.96	73.27	80.2	71.86
Eu	0.73	1.73	0.17	1.08	5.44	1.83	20.18	12.06	13.44	18.02	13.48	15.44
Gd	2.22	5.05	0.38	3.06	15.23	5.19	70.76	33.14	40.3	59.6	39.42	48.64
Tb	0.3	0.55	0.05	0.32	1.47	0.54	10.15	3.5	6.71	9.68	3.65	6.74
Dy	1.24	2.28	0.19	1.13	5.08	1.98	41.92	11.73	30.8	36.6	14.05	27.02
HO	0.21	0.37	0.03	0.17	0.64	0.29	6.62	1.16	5.33	5.02	2.25	4.17
Tm	0.56	1	0.09	0.41	1.44	0.7	15.16	4.21	13.95	11.68	6.41	10.28
Yb	0.1	0.16	0.01	0.06	0.15	0.1	2.18	0.6	2.47	1.84	0.96	1.61
Lu	0.57	0.96	0.08	0.3	0.76	0.53	11.2	3.64	15.19	11.32	5.76	9.42
ΣREE	40.87	140.96	17.44	142.21	618.98	192.1	1325.08	2770.1	2155.97	3756.79	4376.54	2876.9
La/Yb	5.08	10.73	36.49	57.7	83.29	36.13	11.33	157.14	27.93	81.02	175.1	64.71
δEu	0.85	0.81	1.05	0.78	0.78	0.8	0.82	0.81	0.82	0.83	0.73	0.8
δCe	1.07	1.21	1.08	1.16	1.14	1.15	1.16	1.07	1.03	1.05	1.03	1.04

国土资源部地球物理与地球化学研究所测试, An1 : 安山岩。

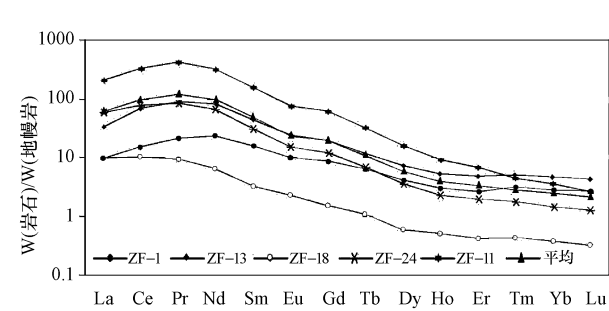


图 5 无矿石英脉稀土元素配分曲线图
Fig. 5 Ree distribution pattern of barrenquartz-veins

两种石英脉均显弱负铕异常, δEu 平均 0.80, 弱正铈异常, δCe 平均 1.15 和 1.04。

上述稀土元素特征说明两种石英脉物质来源是相同的,但是含矿石英脉与无矿石英脉经历了不同的演化过程^[10]。在 La/Lu— Σ REE 图解中可以看出,稀土来源与玄武岩浆及花岗岩不同,落于玄武岩浆、花岗岩到碳酸岩的过渡区域很分散的区域内(图 6),非矿化石英脉重要落于正常岩浆岩区域内,

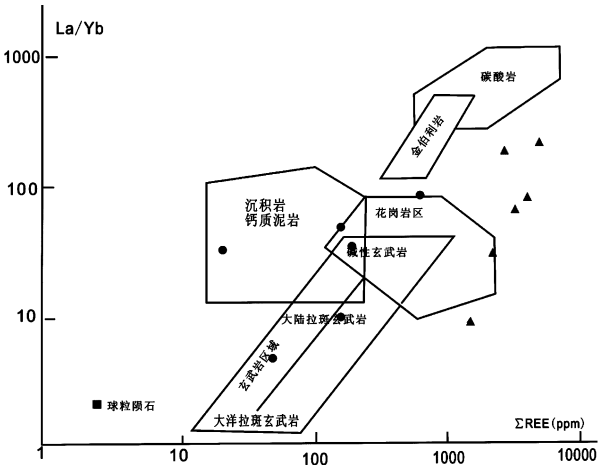


图 6 矿化石英脉 La/Lu— Σ REE 图解
Fig. 6 La/Lu— Σ REE diagram of mineralized quartz-veins

而矿石石英脉显示为一种特殊的碱性岩浆来源。

4. 4 同位素年龄测试

钾长石石英脉型钼矿是高温流体充填交代成矿,其中含有钾长石矿物,石英脉中 K_2O 含量也较高,在 0.02% 以上。为了了解成岩成矿年龄笔者采

集石英脉样品委托桂林矿产地质研究院陈民扬教授利用英产 MM1200 同位素质谱仪测定钾氩法同位素年龄,测得 Ar/K 年龄为 $1352.95 \pm 27.06\text{Ma}$ 。石英脉顺层侵入于中元古代熊耳群(1778 ~ 1400Ma)流纹岩中,石英脉的成岩期晚于中元古代,在时间顺序上是一致的。

赵太平(2008)^④测定西部龙门店钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素年龄介于(1868.1 $\pm$ 6.0Ma)~(2044.5 $\pm$ 13.7Ma),等时线年龄为 1884Ma^[11,12]。

这些年龄数据进一步表明中元古代熊耳群火山活动期间有明显的火山热液活动,并发生成矿作用,因此该区钾长石石英脉型钼矿成矿与中元古代火山活动有关。

5 矿床成因分析

根据区域岩石地球化学分析^[13],该区出露的各时代地层岩石均以富集 Mo、W 为特征^[14],但是在熊耳群火山岩和太华群变质岩中金也明显富集,而燕山期岩浆岩中金则明显亏损^[13]。因此对于钼矿物质来源可能来自任何地层岩石^[15],但是熊耳群火山岩除了杏仁体火山期后热液矿物发育外,岩石结构致密坚硬,在其成岩后,其中的成矿物质难于被活化迁移。

矿化石英脉年龄 $1352.95 \pm 27.06\text{Ma}$,属于中元古代熊耳群(1778 ~ 1400Ma)火山活动期后。根据矿化特征分析,钼金及稀土来源都与熊耳期火山活动有关,成矿物质来源于火山期后热液^[16,17]。

成矿流体体系高盐度和低盐度流体共存,富 CO₂ 流体和贫 CO₂ 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 ~ 31.35wt% NaCl,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 $28 \times 10^5 \sim 68 \times 10^5\text{Pa}$,属于低压浅成火山机构热液充填成矿。

根据含矿石英脉稀土地球化学特征,可以明显分为两类,石英脉矿石中稀土含量明显高于非石英脉,轻重分馏也高于非石英脉。两种石英脉稀土分配曲线也有差异,非石英脉轻稀土元素分馏差,形成突起型曲线形态。矿石石英脉的不相容元素和矿化剂元素含量普遍高于无矿化石英脉,并且异常富集 Th、U 放射性元素。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石英脉,晚期充填交代形成矿石石英脉。

此类矿床形成于火山机构附近,因此矿化围岩经常有火山机构相的火山角砾岩或者集块岩,而控

制火山机构经常有同生深源断裂带,该矿区南部马超营断裂属于控制熊耳群火山喷发的深大边缘断裂。

总结上述分析,嵩县钾长石石英脉型钼矿属于火山期后中高温热液矿床,成矿物质来自火山岩浆热液,在火山口及火山机构附近沿火山岩层间裂隙充填交代成矿。

[参考文献]

[1] 郭保健,李永峰,王志光,叶会寿. 熊耳山 Au-Ag-Pb-Mo 矿集区成矿模式与找矿方向[J]. 地质与勘探,2005,41(5):43-47. Guo Bao-jian, Li Yong-feng, Wang Zhi-guang, Ye Hui-shou. *Metallogenic Models and Prospecting Direction of Au, Ag, Pb and Mo in Mt. Xiong'er Areas* [J]. *Geology and Exploration*, 2005, 41(5):43-47.

[2] 李曙光, Hart S R, 郑双根. 中国华北、华南陆块碰撞时代的 Sm-Nd 同位素年龄证据[J]. 中国科学(B 辑), 1989, 19(3):312-319. Li Shu-guang, Hart S R, Zheng Shuang-gen. Sm-Nd Isotopic Age Evidence to The Collision Between The Central-North-China Plate and Central-South-China Plate [J]. *China Science (Book B)*, 1989, 19(3):312-319.

[3] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989:30-90. Henan Bureau of Geology and Mineral Resources. *Regional Geology of Henan Province* [M]. Beijing:Geology Publishing Company, 1989:30-90.

[4] 刘红樱,胡受奚,周顺之. 豫西马超营断裂带的控岩控矿作用研究[J]. 矿床地质,1998,17(1):70-81. Liu Hong-ying, Hu Shou-xi, Zhou Shun-zhi. Study on the rock-controlling and ore-controlling effect of Machaoying faults belt in west part of Henan[J]. *Deposit Geology*, 1998, 17(1):70-81.

[5] 李文勇,夏斌,路文芬. 东秦岭的地球物理、构造分带特征及演化[J]. 地质与勘探,2004,40(1):36-40. Li Wen-yong, Xia Bin, Lu Wen-fen. Geophysical and Tectonic Zonation Characteristics and Evolvement of East Qinling [J]. *Geology and Exploration*, 2004, 40(1):36-40.

[6] 肖荣阁,刘敬堂,费红彩. 岩石矿床地球化学[M]. 北京:地震出版社,2008:6. Xiao Rong-ge, Liu Jing-dang, Fei Hong-cai. *Rock and Deposit Geochemistry* [M]. Beijing:Earthquake Publishing Company, 2008:6.

[7] 徐兆文,杨荣勇,刘红樱,陆现彩,徐文艺,任启江. 陕西金堆城斑岩钼矿床成矿流体研究[J]. 高校地质学报,1998a,4(4):423-431. Xu Zhao-wen, Yang Rong-yong, Liu Hong-ying, Lu Xian-cai, Xu Wen-yi, Ren Qi-jiang. *Study on Metallogenic Fluid of Porphyry Molybdenum Deposit at Jinduicheng of Shanxi Province* [J]. *College Geological Transaction*, 1998a, 4(4):423-431.

[8] 徐兆文,杨荣勇,陆现彩. 金堆城斑岩钼矿床地质地球化学特征及成因[J]. 地质找矿论丛,1998b,13(4):18-27. Xu Zhao-wen, Yang Rong-yong, Lu Xian-cai. *Geological and Geochemical Characteristics and Deposit Genesis of Porphyry Molybde-*

- num Deposit at Jinduicheng [J]. Thesis Series of Geological Prospecting, 1998b, 13(4): 18–27.
- [9] 徐兆文, 陆现彩, 杨荣勇, 解晓军, 任启江. 河南省栾川县上房斑岩钼矿床地质地球化学特征及成因[J]. 地质与勘探, 2000, 36(1): 14–16.
- Xu Zhao-wen, Lu Xian-cai, Yang Rong-yong, Xie Xiao-jun, Ren Qi-jiang. Geological and Geochemical Characteristics and Deposit Genesis of Shangfang Porphyry Molybdenum Deposit in Luanchuan of Henan [J]. Geology and Exploration, 2000, 36(1): 14–16.
- [10] 卢欣祥, 盛吉虎. 东秦岭含钼斑岩的稀土元素组成与成矿关系[J]. 河南地质(增刊), 1985, 291–294.
- Lu Xin-xiang, Sheng Ji-hu. The Relation between Rare Earth Element Composition and Ore-formation of Molybdenum-containing Porphyry of East Qinling [J]. Henan Geology(supp), 1985, 291–294.
- [11] 李永峰, 毛景文, 白凤军, 王雨, 李俊平. Re–Os 同位素体系及其地质应用[J]. 地质与勘探, 2004a, 40(1): 64–67.
- Li Yong-feng, Mao Jing-wen, Bai Feng-jun, Wang Yu, Li Jun-ping. Re–Os Isotope System and Its Geological Application [J]. Geology and Exploration, 2004a, 40(1): 64–67.
- [12] 刘孝善, 孙晓明. 金堆城钼矿床成矿流体包裹体及稳定同位素研究[J]. 地质与勘探, 1989, 25(2): 12–20.
- Liu Xiao-shan, Sun Xiao-ming. Study on Metallogenic Fluid Inclusions and Stable Isotope of Jinduicheng Molybdenum Deposit [J]. Geology and Exploration, 1989, 25(2): 12–20.
- [13] 马振东. 华北地台南缘金和钼两个成矿系列的区域地球化学研究[A]. 见: 张本仁等著. 秦巴区域地球化学文集[C]. 中国地质大学出版社, 1990: 193–209.
- Ma Zhen-dong. Study on Regional Geochemistry of Gold and Molybdenum Metallogenic Series at Southern Edge of Central-northern China Platform [A]. Thesis series on regional geochemistry of Mt. Qinling and Mt. Bashan areas [C]. Publishing company of China University of Geosciences, 1990: 193–209.
- [14] 罗铭玖, 张辅民, 董群英. 中国钼矿床[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1991: 118–128, 403–408.
- Luo Ming-jiu, Zhang Fu-ming, Dong Qun-ying. Molybdenum Deposits in China [M]. Zhengzhou: Henan Publishing Company of Science and Technology, 1991: 118–128, 403–408.
- [15] 李永峰, 毛景文, 郭保健. 豫西公峪金矿床地质地球化学特征及成因探讨[J]. 矿床地质, 2004b, 23(1): 61–66.
- Li Yong-feng, Mao Jing-wen, Guo Bao-jian. Geological and Geochemical Characteristics and Deposit Genesis of Gongyu Gold Deposit in West Henan [J]. Deposit Geology, 2004b, 23(1): 61–66.
- [16] 沈福农. 金堆城钼矿的成因—兼论深源热液成矿机制[J]. 地质与勘探, 1985, 21(6): 8–15.
- Shen Fu-nong. Genesis of Jinduicheng Molybdenum Deposit and Metallogenic Mechanism of Deep-originated hypothermal fluid [J]. Geology and Exploration, 1985, 21(6): 8–15.
- [17] 严正富, 杨正光, 程海. 雷门沟钼矿化花岗斑岩成因浅析[J]. 南京大学学报, 1986, 22(3): 525–535.
- Yan Zheng-fu, Yang Zheng-guang, Cheng Hai. Brief Analysis to The Genesis of Molybdenum-mineralized Granite Porphyry at Leimengou [J]. Transaction of Nanjing University, 1986, 22(3): 525–535.

Genesis of K–Feldspar–Quartz Vein Type Molybdenum Deposit in Songxian County, Henan

BAI Feng-jun^{1,2}, XIAO Rong-ge¹, LIU Guo-ying^{1,2}

(1. School of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Henan Non-ferrous Metals Geological Exploration Institute, Zhengzhou 450016)

Abstract: The K–feldspar–quartz vein type molybdenum deposits in Songxian county of Henan province occurred along the volcanic rock strata of the Xiong'er Group of Middle Proterozoic. They appear stratiform-like, lenticular, parallel and dense, and have a conformable contact with wall rocks. Banded alteration halos developed at both sides of these mineralized quartz veins. Molybdenum mineralization usually occurs with k–silicate (k–feldspar) alteration, strong silicification and pyritization. Alteration and mineralization become weaker with the distance farther from quartz veins. Quartz veins are formed in three stages. The quartz veins formed in early stage were not mineralized. The quartz veins formed in middle stage produce quartz vein-type ores containing molybdenite, pyrite, chalcopyrite, galena and sphalerite. The ones of late stage are small quartz–carbonate veins without mineralization. The geochemical characteristics of quartz veins of three stages are analyzed respectively. The rare earth elements distribution pattern and trace element contents of ore-bearing quartz veins and barren quartz veins are different. It shows that the fluid differentiated during mobilization and evolution process. Fluid inclusions in ore-bearing quartz veins show high salinity and rich in CO₂ that might indicate the boiling and immiscibility of ore-forming fluids, at pressure varying between $28 \times 10^5 \sim 68 \times 10^5$ Pa. The Ar/K age of mineralized quartz veins is about 1352.95 ± 27.06 Ma. It is concluded that the molybdenum mineralization in Songxian is mesothermal to hypothermal deposits related with volcanic–magmatic fluids, which fill the fissures among the strata near the crater and volcanic edifice, and alteration halos developed by metasomatism between fluid and host rocks.

Key words: deposit genesis, Xiong'er Group, k–feldspar–quartz vein, molybdenum deposits, Songxian, Henan