

文章编号:1000-4734(2007)03-0372-07

东秦岭钼矿床及其深部构造制约

张正伟¹, 张中山^{1,2}, 董有³, 彭万夫³, 张建军³(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 河南省国土资源研究院, 河南 郑州 450053)

摘要:在东秦岭地区分布 14 个大型、中、小型的钼矿床, 构成了长 200 km、宽 20 km 的巨量钼矿化集中区。根据对钼矿床特征分析, 矿床形成在燕山期活动的中酸性小岩体内部、接触带和外围, 岩石类型主要有花岗斑岩和石英二长岩, 它们具有较高的酸、碱和钾含量特征。主要的矿床类型有: ①斑岩型钼矿; ②斑岩-夕卡岩型钼矿; ③夕卡岩型钼矿; ④爆破角砾岩型钼矿; ⑤热液脉型钼矿。尽管这些矿床类型不同, 但是他们都与花岗斑岩的活动有关, 深部格子状构造控制了一系列中酸性花岗岩浆的侵位和构造-岩浆-流体成矿作用。

关键词:钼矿; 花岗斑岩; 东秦岭; 深部构造

中图分类号: P612; P618.65 **文献标识码:** A

作者简介:张正伟, 男, 1959 年生, 研究员, 博士生导师, 从事区域成矿学和矿床地球化研究。

世界钼资源量除中国外大约 10.7 Mt, 其中美国 5.4 Mt, 智利 2.5 Mt, 加拿大 0.91 Mt, 俄罗斯 0.36 Mt, 其他地区 1.67 Mt^[1-2]。根据中国矿产资源储量委员会估算^[3], 截至 1996 年, 中国已探明钼矿床 222 处, 伴生钼多金属矿床 141 处, 钼资源总量 8.23 Mt (国家地调局最近网上发布信息 8.55 Mt, 2005)。在东秦岭钼矿带, 自 1950 年以来发现了钼矿床 14 处^[4], 钼资源总量 3.57 Mt。尽管这些钼矿床的形成作用有一定差异性, 但是它们分布都与燕山期中酸性小岩体的侵位有关, 小岩体的出现、分布、排列组合形式直接受区域地质构造的控制。因此, 本文重点阐述钼矿床类型和成矿地质背景, 讨论区域格子状构造对成岩成矿作用的制约。

1 区域地质背景

成矿带位于东秦岭北坡, 区域构造位于华北古陆块南缘与秦岭造山带的接合带, 主要涉及华北古陆块南缘带和北秦岭造山带^[5]。华北古陆块南缘基底建造一般被认为由太古界太华群构成, 为一套中深区域变质的中基性-中酸性火山-沉积变质岩系^[6]。覆于基底之上的前寒武纪盖层建造

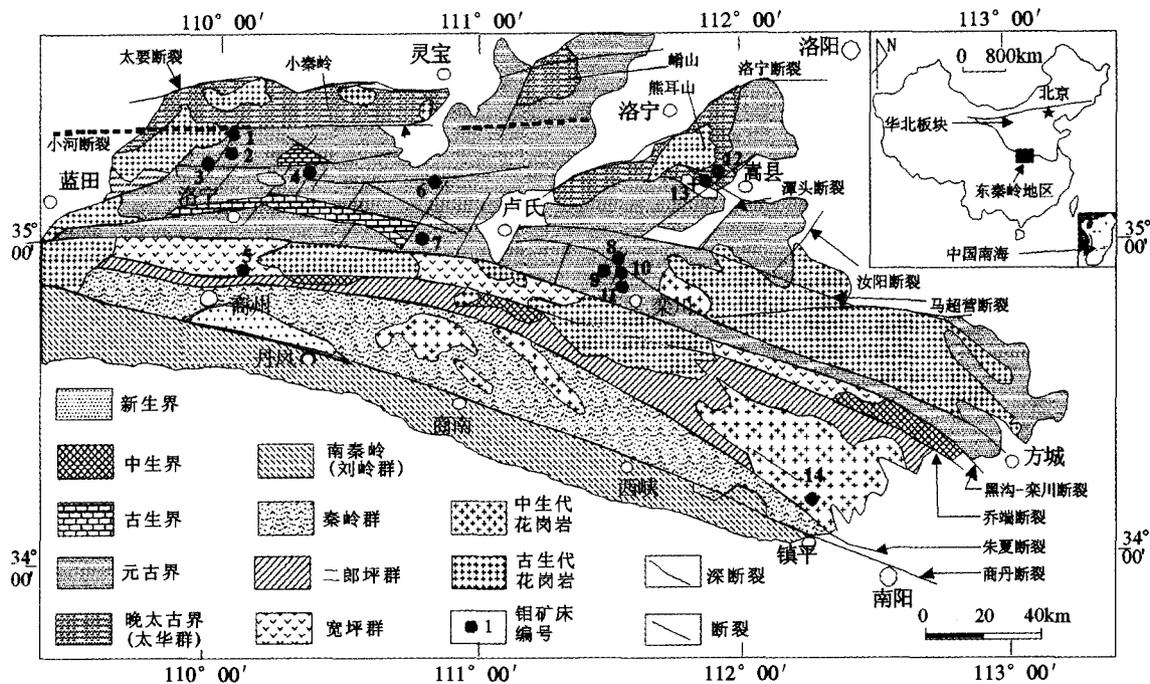
有: 中元古界熊耳群火山岩建造、官道口群碎屑岩-碳酸盐岩沉积建造; 晚元古代栾川群陆源碎屑岩-碳酸盐岩沉积建造; 晚元古代-早古生代陶湾群钙镁质碳酸盐岩-碎屑岩-混杂堆积岩建造^[7]。另外, 分布于北秦岭造山带的沉积建造有: 中(晚)元古代宽坪群、秦岭群和早古生代二郎坪群^[8]。

区内深大断裂发育, 在总体上分为 NE 和 NW 走向^[4]。NW 走向断裂主要有: 太要断裂、小河断裂、潘河-马超营断裂、黑沟-栾川断裂、乔端断裂、朱阳关-夏馆断裂、商丹断裂等。NE 走向断裂有: 洛宁断裂、潭头-嵩县断裂、汝阳断裂等, 有的切穿深度达 51 km^[9], 它们等间距排列, 南端起始于马超营断裂, 北端延伸数十千米后消失。两组断裂呈近直角相交, 在平面上形成格子状形态(图 1)。

区内出露数十个燕山期中酸性小型斑岩体, 已有 48 个岩体开展过勘查工作^[4]。岩体形态比较简单, 大部分呈椭圆形、长条形或不规则状, 产状为岩株、岩枝或岩脉。侵入相有超浅成相, 浅成相和中、浅成相。组成小岩体的岩石类型大体上可分为: 闪长岩-花岗闪长岩类、斑状花岗岩类、花岗斑岩类和爆破角砾岩-斑岩类。由于这些浅成超浅成花岗岩浆的活动, 形成了一系列世界级的钼矿床, 因此对于他们的研究具有重要的地质找矿意义。

收稿日期: 2007-04-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(批准号: 2007CB411401); 国家自然科学基金项目(40072033)



钼矿床编号: 1.大石沟 2.石家湾 3.金堆成 4.木龙沟 5.南台 6.银家沟 7.夜长坪
8.马圈 9.上房 10.南泥湖 11.三道庄 12.雷门沟 13.黄水庵 14.秋树湾 15.东沟

图 1 东秦岭钼矿带地质略图(依据文献[4-5]修编)

Fig.1. Geological sketch map showing the distribution of the molybdenum ore zones in the Eastern Qinling.

2 钼矿床特征和类型

根据矿体与斑岩体和地层的空间关系,钼矿床类型可划分为斑岩型、斑岩-夕卡岩型、夕卡岩型、爆破角砾岩筒型及网脉-脉型五种(表 1)。

斑岩型:金堆城^[10]、南泥湖^[11]钼矿床的矿体产于斑岩体内,或位于岩体的顶部或边部,多数呈巨大的似层状、透镜状、环状,主要为钼矿化。如南泥湖钼矿中 15% 矿量位于岩体顶部。脉石矿物主要为钾长石、斜长石、石英,矿石矿物为黄铁矿、辉钼矿、白钨矿等。金堆城钼矿小岩体本身即为矿体,主要金属矿物有辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、其次有方铅矿、闪锌矿、锡石、磁铁矿等,脉石矿物有石英、钾长石、白云母、萤石等。次生矿物有钼华、黄钾铁矾、含铀钼华及褐铁矿等。

斑岩-夕卡岩(过渡)型:上房^[12]、银家沟^[13]和木龙沟钼矿床的矿体既赋存于岩体内,也产于围岩砂卡岩化带。上房钼矿中 20% 矿量在小岩体边部呈环状产出,矿石类型有镁质夕卡岩型,主要金属矿物有辉钼矿,磁铁矿,白钨矿,黄铁矿等,占矿区钼金属储量的 69%,钼平均品位为 0.187%;硅化花岗斑岩型,主要金属矿物有黄铁矿,辉钼

矿,占矿区钼金属储量 20%,钼平均品位可达 0.244%;角岩型,主要金属矿物为辉钼矿占矿区钼金属储量 6%,钼平均品位 0.139%;辉长岩型,金属矿物为辉钼矿及黄铁矿,占总储量 4%,钼平均品位 0.11%。矿石呈细脉状或细脉侵染状构造,白钨矿富集在砂卡岩或透辉石角岩中,钨(WO₃)品位可达 0.05%。

夕卡岩型:三道庄、马圈^[14]和夜长坪钼矿床的矿体主要赋存于侵入体接触带夕卡岩化带或围岩角岩化带。脉石矿物主要为钙铁榴石、钙铝榴石、钙铁辉石、透辉石,矿石矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、辉钼矿、白钨矿、磁铁矿、黄铜矿等。主要金属矿物有磁铁矿、辉钼矿、黄铁矿、白钨矿,其次有磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿及闪锌矿等,辉钼矿呈稀疏浸染状,细脉状或小团块状。白钨矿沿裂隙充填。矿石的钼品位一般 0.07%~0.118%。

热液脉型:大石沟、石家湾和黄水庵^[15]钼矿床的矿体赋存于侵入体附近的围岩地层,以热液脉型充填方式形成网脉状矿体。矿体远离岩体,但从成因上反映岩浆热液矿床特征,以多金属及钼矿化为主,矿体呈似层状、脉状及透镜状,如大

石沟和黄水庵钼、铅多金属矿床。金属矿物有辉钼矿、黄铁矿、少量方铅矿及黄铜矿。脉石矿物有石英、白云母、钾长石、纤闪石、黑云母、钠天青石等,矿石呈细脉状、细脉浸染状及网脉状构造。

表1 东秦岭钼矿带钼(钨)矿床总体特征简表

Table 1. Characteristics of Mo-W deposits associated with porphyries in the East Qinling Mo ore zone.

矿床名称	矿床类型	成矿元素组合	矿床规模	矿体形态及富集部位	赋矿围岩	成矿岩体类型/时代/产状
金堆城	斑岩型(斑岩-角岩型钼矿)	Mo-(Cu) Mo(Re,Se)	巨型	呈巨大长柱状体产出;在斑岩体内及外接触带变细碧岩中富集	熊耳群细碧岩及官道口群高山河组石英岩	碱长花岗斑岩/146 Ma/不规则岩枝
石家湾	热液脉型	Mo(Re)	中型	呈透镜状、似层状产出;围绕着岩体(接触带)分布	熊耳群变细碧岩	碱长花岗斑岩/124 Ma/不规则岩脉
大石沟	碳酸岩脉型	Mo-Pb-U -Be-Mo- Re(Se)	大型	呈似层状、透镜状产出;在石英-方解石碳酸岩脉中富集	熊耳群变细碧岩	黑云母花岗斑岩/106 Ma/脉状
木龙沟	夕卡岩型	Fe-Mo	小型	呈脉状、似层状、透镜状产出;主要富集于岩体边缘和岩枝	官道口群巡检司组燧石条带状白云岩	二长闪长斑岩/140 Ma/复杂岩筒
南台	夕卡岩型(角砾岩筒型钼矿)	Mo-W (Fe, Cu, Zn)	中型	呈似层状、透镜状产出;在背斜核部较为富集	宽坪群绿片岩与大理岩夹绢云石英片岩	花岗斑岩/125 ~ 110 Ma/爆破角砾岩筒
银家沟	夕卡岩型(斑岩-夕卡岩型钼)	S-Cu-Mo (Pb, Zn)	小型	呈透镜状产出;在岩体内、外接触带附近富集	官道口群燧石条带白云岩、夹薄层页岩、砂砾岩	二长花岗斑岩/194 ~ 165 Ma/超浅成相岩株
夜长坪	夕卡岩型钼矿	Mo-W	大型	呈似层状透镜状产出;在接触带附近较富集	官道口群龙家园组硅质条带白云岩	碱长花岗斑岩/169 Ma/岩脉、岩枝
上房沟	夕卡岩-斑岩型斑岩型钼	Mo-Fe (W, Re)	巨型	呈倒杯状产出;在侵入接触构造带两侧	栾川群煤窑沟组白云岩、大理岩、长英角岩	碱长花岗斑岩/145 ~ 134 Ma/岩筒
三道庄	夕卡岩型钼矿	Mo-W	巨型	呈层状、透镜状产出;在断裂破碎带、接触带附近富集	栾川群三川组、南泥湖组大理岩、长英角岩	斑状钾长花岗岩/136 ~ 131 Ma/岩株
南泥湖	斑岩型(斑岩-角岩型钼矿)	Mo-W	巨型	呈脉状、透镜状产出;在断裂破碎带、接触带附近富集	栾川群三川组、南泥湖组大理岩、长英角	岩斑状钾长花岗岩/136 ~ 131 Ma/岩株
马圈	夕卡岩型	Mo	小型	呈脉状、透镜状产出;在断裂破碎带、接触带附近富集	官道口群冯家湾组白云岩、大理岩、透辉石角岩	二长花岗斑岩/138 Ma/小岩株
雷门沟	斑岩型(角砾岩筒型钼矿)	Mo	大型	呈似层状、透镜状产出;在侵入接触构造两侧富集	太古界太华群黑云斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩	斑状碱长花岗/99 ~ 104 Ma/岩株
黄水庵	方解石-石英脉型	Mo-Pb-(U)	中型	呈似层状、透镜状产出;沿北西向断裂及爆破角砾岩筒内富集	太古界太华群黑云斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩	斑状碱长花岗岩/87 Ma/中深成岩基
秋树湾	夕卡岩型(角砾岩筒型钼)	Cu-Mo	小型	呈不规则透镜状产出;赋存于角砾岩带中	宽坪群大理岩、片岩及片麻岩	黑云母二长花岗岩/145 Ma/小岩株

注:根据河南省大中型矿产地数据库(1998)资料汇编,未包括最近发现的东沟巨型钼矿床(见文献[34])。

爆破角砾岩型:雷门沟^[16]、南台和秋树湾^[17]钼矿床的矿体产于爆破角砾岩带。金属矿物主要有辉钼矿、黄铁矿,极少量黄铜矿、白钨矿、钛铁矿、自然金、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿、赤铁矿、辉铜矿、褐铁矿、孔雀石及钼华。非金属矿物主要有石英、钾长石、绢云母,其次有黑云母、白云母、角闪石、次闪石、绿泥石、绿帘石、方解石、白云石、萤

石、沸石、石膏、硬石膏、高岭石与多水高岭石等。其中辉钼矿为矿石的主要含钼矿物,产于各种岩石的裂隙或各种热液石英脉的脉壁,形成细脉及网脉。钼含量在花岗斑岩中0.065 ~ 0.069%,内接触带0.061% ~ 0.094%,蚀变围岩0.063 ~ 0.079%,表明在空间上品位变化不大,在垂向上也无规律性。

前三种是成矿带内的主要钼矿床类型,均属大型-特大型矿床。爆破角砾岩筒型及网脉-脉型钼矿床规模一般较小,只有少数可达到大型。此外,依矿物组合又可出现铜-钼矿床,铁-钼矿床,钼-钨及钼-铼矿床,前两种组合钼作为伴生有益组分,后两种组合钼为主要元素。

3 中酸性小型侵入体的成岩成矿机制

东秦岭钼矿带分布的中酸性小型侵入体的岩石类型主要有:花岗闪长岩、斑状花岗岩、花岗斑岩和爆破角砾岩-斑岩,构成一个从中性到酸性的岩浆演化系列。甚至在研究区的同一个钼矿区,先后发育中性的花岗闪长岩和酸性的花岗斑岩(如南泥糊钼矿区,木龙沟铁钼矿区)。在岩浆演化过程中,岩石组成 K、Na 和 Si 元素含量变化最大,K 随着 Si 元素含量的增长而增高,而 Na 则随着 Si 元素含量增高而降低, $K/Na > 1$ 。除花岗闪长岩外,斑状花岗岩、花岗斑岩和爆破角砾岩-斑岩富硅、高钾、铝过饱和,以及较低的 Ca, Mg, Fe, Na 元素含量。这些岩石的富碱、富氟元素特点类似于美国西部的 Climax-Henoderson 斑岩钼矿带^[18-19]。但是在形成时代和构造环境方面,二者却有很大不同,Climax 型钼矿及含矿岩体形成于 33 ~ 17 Ma,属于陆缘火山弧向弧后裂谷系统转变环境^[20];然而东秦岭钼矿及含矿岩体形成于 110 ~ 145 Ma^[21],在这个时期,华北与华南两个古大陆已完全闭合并处于碰撞造山过程的伸展隆升阶段^[9],不存在陆缘火山弧环境。

根据东秦岭区域地质资料^[22],成矿小型斑岩体的出露规模一般小于 1 km²,为浅成-超浅成相;侵入体的围岩一般伴随着角岩化、夕卡岩化,表明热液作用强烈;岩石类型主要是钾长花岗斑岩和二长花岗斑岩,为岩浆演化后期阶段产物。成钼矿岩体 K₂O 含量变化于 4.54% ~ 7.52% 之间,Na₂O 含量变化于 0.16% ~ 3.81% 之间,K₂O/Na₂O 比值变化范围 1.2 ~ 11.4,多数为 1.3 ~ 2.4,表明这些岩石的形成过程中有不同程度的钾化,并且可能与地壳重熔过程中大量钾质加入有关,类似于 S 型花岗岩的特征^[23]。另一方面,成钼矿斑岩的岩石 F/Cl 比值的平均值为 9.67,高于中国江西德兴斑岩铜矿花岗岩类^[24],表明成钼矿岩浆在形成过程中加入地壳物质较多。

与此相反, $I_0(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ 范围 0.703 ~ 0.709,

相当于 I 型花岗岩,在 $I_0(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})-t$ 图解^[25]上,投影显示为大陆玄武岩源区范围。由基底变质岩石学和岩石化学研究表明^[5],在钼矿带出露的地壳基底太华群变质岩系 $I_0(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ 变化范围 0.7032 ~ 0.7134,其中 0.7032 和 0.7046 初始比值反映了已成为地壳的幔源物质的锶同位素组成,而 0.7130 初始比值反映了沉积变质的地壳物质的锶同位素组成特征。因此可以推测,成钼矿岩体的形成显然与地壳基底中的幔、壳物质经重熔混合所产生的混合型花岗岩浆有关系。进一步运用氧同位素判别,中酸性侵入岩的 $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 值范围 6.6 ~ 10.6,相当于 S-I 过渡型^[23]和正常 $\delta^{18}\text{O}$ 花岗岩^[26],因此,含钼侵入岩浆可能属于壳、幔物质混合以后再选择重熔形成^[21]。

钼矿床矿石的 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 数值范围 1.63 ~ 4.93,均为正值,呈现塔式分布,接近陨硫组成,显示深源硫组成及分馏特征,表明幔源组分参与了成岩成矿过程。部分钼矿床的矿石铅同位素组成显示, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值范围变化不大, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值在 16.5 左右,相当于洋中脊玄武岩铅同位素值,明显低于华南斑岩铜矿中的方铅矿^[24]和西太平洋岛弧铅同位素值^[27]。铅同位素示踪表明^[21],中酸性小型侵入体成岩矿物中的铅和钼矿床矿石铅主要来自上地幔或下地壳。

归纳上述讨论,成钼矿中酸性侵入体产出的地质环境为大陆内部的古大陆边缘,深部有较厚的地壳基底和切壳断裂活动,成岩方式为深熔浅成,起源岩浆为壳、幔混合型并且有大量的地壳物质参与。基于此,本文提出以下成岩模式(图 2):在燕山期,由于东秦岭陆内造山作用,地壳增厚,局部的地幔凹陷引起华北古大陆边缘的切壳断裂重新活动,上地幔的部分分熔岩浆沿深断裂上涌至深熔区(按 30 °C/km 地温梯度,深度范围为地表 20 km 以下至莫霍面,包括硅镁层、硅铝层和基底太华群的下部),并与地壳熔融的岩浆混合形成混合岩浆。然后,深熔区的混合岩浆沿深部断裂构造面上升至地壳盖层(大约 10 km 左右范围),形成含钼的壳、幔型花岗岩浆房。壳、幔型花岗岩浆进一步分异,沿断裂构造面上侵,并在两组断裂的交叉结点部位侵位形成浅成-超浅成的中酸性侵入体。

4 深部构造型式及控岩控矿机制

世界上大多数钼矿床形成于特定的构造环

境^[28]。在美国西部 Colorado 成矿带^[18],从西海岸向陆内依次出现 Cu-Au, Cu-Mo, Cu-Mo-Pb-Zn-Ag 等矿床的分带规律^[29],表明在板块俯冲带的不同部位控制不同的金属矿床组合。在前苏联,热液型钼矿床形成于中亚及其远东造山带^[30]。在中国,大多数的钼矿床形成于华北和华南两个古大

陆的边缘,表明大型区域构造背景控制钼矿床的空间分布^[24]。Kutina^[31-32]提出,幔根构造不连续面形成于 Cratons 边缘及其邻接带,近垂直的深部构造交切面控制了大陆岩石圈块体的边界,提供热、岩浆和成矿流体上升的通道,为研究深部构造控矿提供了一个范例。

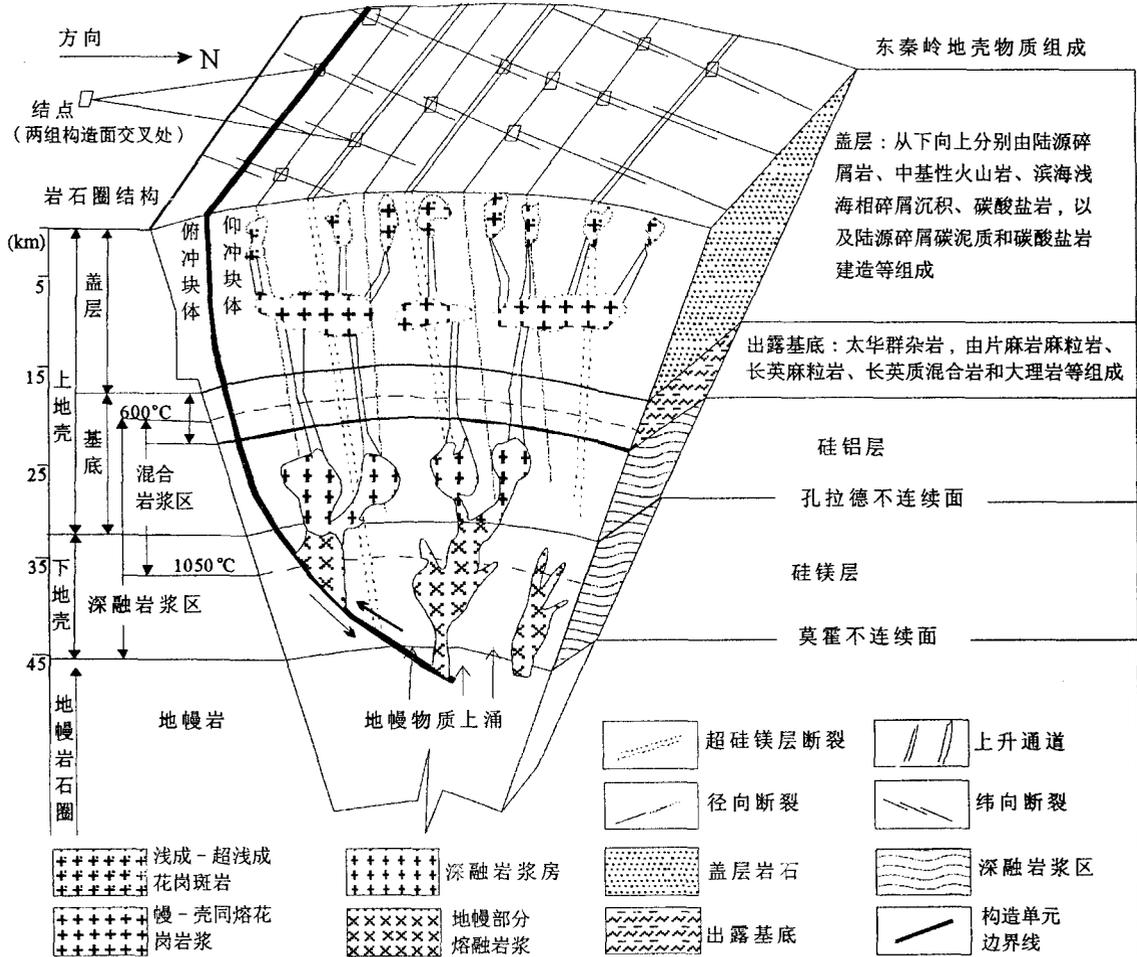


图2 东秦岭中酸性浅成-超浅成花岗斑岩成岩机制和成(钼)矿模式图

Fig. 2. The sketch showing the Mo metallogenic model and the petrogenesis mechanism of the intermediate-acid hypergenetic granite (porphyry) in the East Qinling region.

在东秦岭钼矿带,区域构造背景为前寒武纪的华北古大陆边缘^[6],构造长期活动并在燕山期形成陆内造山带^[9]。成钼矿中酸性侵入体的形成时代为燕山期,因此,燕山期的构造型式是本文要讨论的主要问题。根据区域地质资料^[22],研究区燕山期断裂构造体系分为两组:一组断裂走向近东西,主干断裂主要有太要断裂、小河断裂、马超营断裂和黑沟一栾川断裂,这些断裂之间近等距离平行排列,在发育的不同阶段经历了压性、张性

和扭(压)性三个明显的力学转变过程^[33]。根据构造形迹研究和断裂带内充填的岩体、岩脉形成时代分析,这三种不同力学性质的构造形迹分别为燕山期前、燕山期和燕山期后的构造变化的产物。另一组断裂走向 NE25°,表现为一系列平行排列、近等距离分布,长度一般为 10 km 左右的断裂组合。这一组断裂构造活动分为三期,时代分别为燕山期前、燕山期和燕山期后,力学性质依次为张性、压性和扭(压)性^[33]。由于上述两组断裂的等距离性和

等时性,在空间上组合为格子状构造型式,并且这两组断裂构造都是切壳断裂,由此推测,地壳深部的线性构造同样表现为格子状构造型式。

另一方面,东秦岭铅矿带位于莫霍面凹陷区,洛南—栾川幔向斜的轴向为近东西,表明地壳深部为南北向的挤压力学状态,然而由于研究区地壳增厚(45 km)^[33],上部地壳则处于引张力学状态,二者之间形成了一个较大应力差的构造环境,提供了热流体、岩浆上升的动力学条件。格子状断裂系统不仅连通了深部下地壳的和浅部上地壳,而且在格子状断裂系统的主干断裂旁侧产生一定规模的次级构造带,从而增大了地壳岩石的破碎程度,为热流体、岩浆和成矿热液的上升、运移和充填提供开阔空间。

在燕山期前,近东西向断裂的力学性质为压性,有利于上地幔物质的部分分熔并与地壳下部物质相互作用;北东走向断裂的力学性质为张性,有利于深熔混合岩浆房的空间定位。在燕山期,近东西向断裂的力学性质为张性,有利于上地壳盖层中的幔壳型花岗岩岩浆房沿近东西向展布,由此奠定了铅矿带近东西向分布的空间基础。在燕山期后,近东西向断裂和 NE25°走向断裂的力学性质同为扭(压性),在共轭剪切面的结点上形成小规模的小开阔空间,有利于幔壳型花岗岩岩浆房的成铅矿岩浆上升侵入地表,并在两组断裂相交的结点上定位形成花岗斑岩和爆破角砾岩。因此,在一定意义上可以推测,格子状断裂系统两组断裂的力学性质转变的三个过程,恰好与中酸性

岩浆的三个演化阶段相吻合。

5 结 论

在东秦岭地区,大地构造背景为前寒武纪的华北古大陆南缘,燕山期演化为陆内造山带。已经勘查的 14 个铅矿床在空间上构成一个近东西向的铅矿带。这些铅矿床分别产于燕山期中酸性小型侵入体的内部、接触带以及围岩地层。尽管这些铅矿床的矿体产出特征存在一些差异,但是他们的热液成矿作用都与中酸性侵入体的活动密切相关。最近在东秦岭汝阳东沟发现的特大型铅矿床同样与燕山期小型花岗斑岩的活动有密切关系^[34]。

成铅矿的中酸性侵入体形成于燕山期,形成方式为地壳深部融熔和地表浅部定位。成岩物质来源于部分地幔分异与大量地壳物质混合形成幔、壳混合型花岗岩浆,并在地壳浅表侵位。岩浆形成和侵位的动力表现为,深部地幔向斜区的应力挤压状态与地壳上部应力引张状态构成较大应力差,提供了幔、壳岩浆混合并分异上升、侵位的动力环境。线性断裂构造控制岩浆形成、侵位和空间分布,表现为两组区域性的深断裂相互交叉组成格子状构造型式。尽管它的形成机制需要进一步研究,仍然不失为一种新的控制区域成岩成矿的线性构造型式。

致谢:感谢河南省地勘局、河南省国土资源研究院提供的大量帮助。研究过程中,中国科学院地球化学研究所高振敏研究员曾给予大量的鼓励和帮助,谨致深切怀念!

参 考 文 献:

- [1] Mutschler F E, Ludington S, Bookstrom A A. Giant porphyry-related metal camps of the world - a database [J]. *United States Geological Survey Open-File Report*, 2000, 99-556: 1.
- [2] Singer D A, Berger V I, Morning B C. Porphyry copper deposits of the world: database, map and preliminary analysis [J]. *United States Geological Survey Open-File Report*, 2002, 02-268: 1.
- [3] 朱训. 中国矿情[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1-665.
- [4] 张正伟, 朱炳泉, 常向阳, 等. 洛南-栾川铅矿带成岩成矿背景及时空统一性[J]. *高校地质学报*, 2001, 7(3): 307-315.
- [5] 胡受溪, 林潜龙. 中国南北板块拼合带地质与成矿[M]. 南京: 南京大学出版社, 1988: 1-558.
- [6] 胡受溪, 赵懿英, 徐金方, 等. 华北地台金矿成矿地质[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 1-220.
- [7] 关保德. 河南华北地台南缘前寒武纪-早寒武世地质和成矿[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 1-325.
- [8] 符光宏. 河南省秦岭-大别造山带地质构造与成矿规律[M]. 郑州: 河南科技出版社, 1994: 1-300.
- [9] 陈衍景, 李超, 张静, 等. 秦岭铅矿带岩体铷钬同位素特征与岩石成因机制和类型[J]. *中国科学(D辑)*, 2000, 30(增刊): 64-72.
- [10] 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 等. 华北地台铅(铜)矿床成矿年代学研究——辉铅矿铷-钬年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 1996, 15(4): 365-373.
- [11] 李永峰, 毛景文, 白凤军, 等. 东秦岭南泥湖钨(钨)矿田 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2003, 19: 652-659.
- [12] 徐兆文, 陆现彩, 杨荣勇, 等. 河南省栾川县上房斑岩铅矿床地质地球化学特征及成因[J]. *地质与勘探*, 2000, 36(1): 14-16.

- [13] 徐国风. 论豫西银家沟钼-铜-硫铁矿矿床的物质来源[J]. 河南地质, 1985, 3(增刊): 266-269.
- [14] 张文献. 南泥湖钼矿床地质特征及找矿方向[J]. 河南地质, 1997, 15(2): 94-102.
- [15] 黄典豪. 东秦岭地区钼矿床的铼-钨同位素年龄及其意义[J]. 1994, 13(3): 221-230.
- [16] 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]. 矿床地质, 2006, 52(1): 122-130.
- [17] 朱华平, 祈思敬, 李英, 等. 河南秋树湾角砾岩型铜矿特征及成矿作用[J]. 西安工程学院学报, 1998, 20(1): 14-18.
- [18] Sillitoe R H. Types of porphyry deposits [J]. *Mineralogical Magazine*, 1980, 43: 550-551.
- [19] Wallace S R, MacKenzie W B, Blair R C, Muncaster N K. Geology of the Urad and Henderson molybdenite deposits, Clear Creek County, Colorado, with a comparison of these deposits with those at Climax, Colorado [J]. *Economic Geology*, 1978, 73: 325-368.
- [20] Sawkins F J. Metal deposits in relation to plate tectonics [M]. Springer-Verlag, Berlin, 1984: 1-325.
- [21] 乔怀栋, 刘长命, 董有, 等. 豫西成钼小岩体的成因及其钼质来源. 河南地质[J], 1985, 3(增刊): 281-285.
- [22] 河南省地质局. 河南省地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 1-772.
- [23] Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types [J]. *Pacific Geol*, 1974, 8: 173-174.
- [24] 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 等. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1984: 171-200.
- [25] Faure G. Principles of Isotope Geology, 2nd [M]. New York: Wiley, 1986: 1-251.
- [26] Taylor H P. Oxygen and hydrogen isotope studies of plutonic granitic rocks [J], *Earth Planets Sci Lett*, 1978, 38: 172-210.
- [27] Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics--the model [J]. *Tectonophysics*, 1981, 75: 135-162.
- [28] Zhai Y S, Deng J. Outline of the mineral resources of China and their tectonic setting [J]. *Australian Journal of Earth Science*, 1996, 43: 673-685.
- [29] Westra G, Keith S B. Classification and genesis of stockwork molybdenum deposits [J]. *Economic Geology*, 1981, 76: 844-873.
- [30] Singer D A. World class base and precious metal deposits--a quantitative analysis [J]. *Economic Geology*, 1995, 90: 88-104.
- [31] Kutina J. Regional mantle-rooted structures extending transversely to the margins of cratons and adjacent mobile belts [J]. *Global Tectonics and Metallogeny*, 1995, 5: 7-18.
- [32] Kutina J. The role of mantle-rooted structural discontinuities in concentration of metals [J]. *Global Tectonics and Metallogeny*, 1996, 6: 79-102.
- [33] 许永仁. 洛南-豫西斑岩钼矿带控岩控矿构造环境初步分析[J]. 河南地质, 1985, 3(增刊): 105-109.
- [34] 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): 8-13.

MOLYBDENUM DEPOSITS IN EASTERN QINLING, CENTRAL CHINA: DEEP STRUCTURAL CONSTRAINTS ON THEIR FORMATION

ZHANG Zheng-wei¹, ZHANG Zhong-shan^{1,2}, DONG You³, PENG Wan-fu³, ZHANG Jian-jun³

(1. The State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Graduate University of Chinese Academy Sciences, Beijing 100049, China;

3. Scientific Academy of Land and Resources of He'nan Province, Zhengzhou, 450053, China)

Abstract: More than 14 Mo ore prospects in eastern Qinling, central China, occur in a mineralization zone with a length of 200 km and a width of 20 km. The Mo deposits are hosted mainly in small intermediate-acid intrusions of Cretaceous age. These intrusions are composed dominantly of granoporphry and quartz monzonite. The major types of deposits include: (1) porphyry-type Mo deposits, (2) porphyry-skarn-type Mo deposits, (3) skarn-type Mo deposits, (4) vent breccia-type Mo deposits, and (5) hydrothermal vein-type Mo deposits. Regional geology and deep-seated structures show that there is a mantle depression structure (the Luanchuan mantle syncline) beneath the Mo mineralization zone along an E-W striking axis and it dips westwards. The northern flank of the mantle depression links the Luoyang mantle uplift, which was distorted northwards to develop a set of NE-striking extension-shear faults, overlapping the EW-extending deep-seated faults parallel to the ancient continental margins. The two groups of faults then formed a check-shaped deep-seated fault assemblage, of which the intersection areas provided the ascending channels and precipitation spaces for ore fluids derived from crust-mantle interaction and controlled the emplacement of a series of intermediate-acid granite magmas and thereafter mineralization.

Key words: molybdenum; porphyry; eastern Qinling, China; deep structure