文章编号:0258-7106 (2005) 03-0292-13

东秦岭钼矿类型、特征、成矿时代及其地球动力学背景*

李永峰[1,2],毛景文[1],胡华斌[1],郭保健[1,2],白凤军[1,2]
(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矿产局,河南 郑州 450052)

摘 要 文章在总结前人研究成果的基础上,综合论述了东秦岭钼矿床的时空分布、分类和基本特征。东秦岭钼矿带沿区域构造线呈近东西向狭长带状展布,钼矿床主要集中分布于金堆城—南泥湖地区内;其形成与燕山期中酸性浅成-超浅成小花岗斑岩体有关,钼矿床直接产于岩体内外接触带及其附近;矿床类型主要为斑岩型、斑岩-矽卡岩型,少量热液碳酸盐脉型。结合 Re-Os 同位素年龄数据,探讨了东秦岭钼矿床的成矿时代及其成矿物质来源、成矿环境、大规模成矿作用时限及其特征,以及成矿地球动力学背景、演化特点和成矿过程。研究结果表明:除黄龙铺钼矿床形成于(221.5±0.3) Ma 外,东秦岭地区钼矿床的大规模成矿主要出现在(144.8±2.1) ~ (132.4±2.0) Ma 时限之间,对应的地球动力学背景为华北克拉通与扬子克拉通的碰撞造山后陆内造山局部伸展过程、中国东部地球动力学体制大转换晚期岩石圈拆沉及伸展时期。

关键词 地质学;东秦岭钼矿;时空分布;地球动力学背景;综述
中图分类号: P618.65 **文献标识码**: A

位于华北克拉通南缘的东秦岭钼矿带是中国重要的大型钼矿分布区之一(图 1),也是仅次于美国西部 Climax-Henderson 斑岩钼矿带的全球第二大钼矿带,钼矿带西起陕西省的金堆城地区,东至河南省栾川南泥湖-三道庄-上房沟、嵩县雷门沟地区,该矿带产出了金堆城、南泥湖、三道庄、上房沟超大型钼矿床和雷门沟等 10 余个钼(钨)多金属矿床,钼储量约占全国总储量的 52 %(张正伟等,2001a)。此外,斑岩钼矿床内还伴有钨、铅、稀土、金、铀等元素的矿化,如南泥湖钼矿中伴生的钨达到超大型规模,其储量位居中国第二(Mao et al., 2002)。

东秦岭钼矿带以其独特的成矿地质背景,丰富的矿产资源,受到国内外地质工作者的瞩目(黄典豪等,1989;罗铭玖等,1991;Fan et al.,1999),其构造演化、成岩成矿规律及其地球动力学背景是国内外学者共同关注的问题(许志琴等,1986;张本仁等,1996;高山等,1999;毛景文等,2003)。1949 年以来,豫、陕两省地勘部门及多家高校、科研院所先后在本区开展了区域地质测量、矿产普查、勘探及科研工作,在地层、构造、岩浆岩、矿产勘查及成矿规律等方面,取得了丰硕成果(刘孝善等,1987;胡志宏等,1990;胡受奚等,1988)。一些重要的钼矿床(田)均有论文或专著论述,不同学者从不同的角度对东秦岭钼矿带的成矿时空分布、成矿物质来源、构造环境、分类、特征等进行了探讨。

20 世纪 60 年代出现的 Re-Os 同位素测年技术,于 80 年代成熟,90 年代日趋精确(李永峰等,2004a),该技术一在中国出现,便被用于东秦岭钼矿床的定年研究,相继发表了大批精测的年龄数据(黄典豪等,1994;1996;Stein et al.,1997;Li et al., 2004b),为准确厘定东秦岭各钼矿床的成矿时代及其成矿物质来源和成矿环境,进而准确刻画东秦岭大规模成矿作用时限及其特征,探讨地球动力学背景、演化特点和成矿过程,提供了科学的依据。本文基于前人的基础研究成果,综合论述了东秦岭钼矿床的时空分布、分类、基本特征、成矿地质环境,结合笔者近几年获得的 Re-Os 年龄数据,重点探讨其形成的地球动力学背景。

1 成矿地质背景

东秦岭地处华北克拉通南缘与秦岭造山带相接的地带,中生代以前为华北克拉通的组成部分,具有典型的克拉通边缘特征(赵振华等,2003)。在中新生代经历了秦岭造山带的陆内造山运动,成为秦岭造山带的北缘组成部分(张国伟等,1997;2001),其地质演化涉及华北克拉通、南秦岭、北秦岭、扬子克拉通 4 个构造单元。

区内结晶基底为新太古代太华群深变质岩系,主要由英云闪长质-奥长花岗质-花岗闪长质(TTG)片麻岩、原岩属拉斑玄武岩的斜长角闪岩和石榴二辉麻粒岩以及具孔兹岩建造特征的富铝、富碳质片麻岩、大理岩和磁铁石英岩等组成,变

* 本文为国家重点自然科学基金项目(编号:40434011)和国家重点基础研究发展规划项目(编号:G1999043211)的成果
第一作者简介 李永峰,男,1964 年生,高级工程师,现为中国地质大学(北京)在读博士研究生,矿床学专业。
收稿日期 2005-03-21;改回日期 2005-04-15。张绮玲编辑。

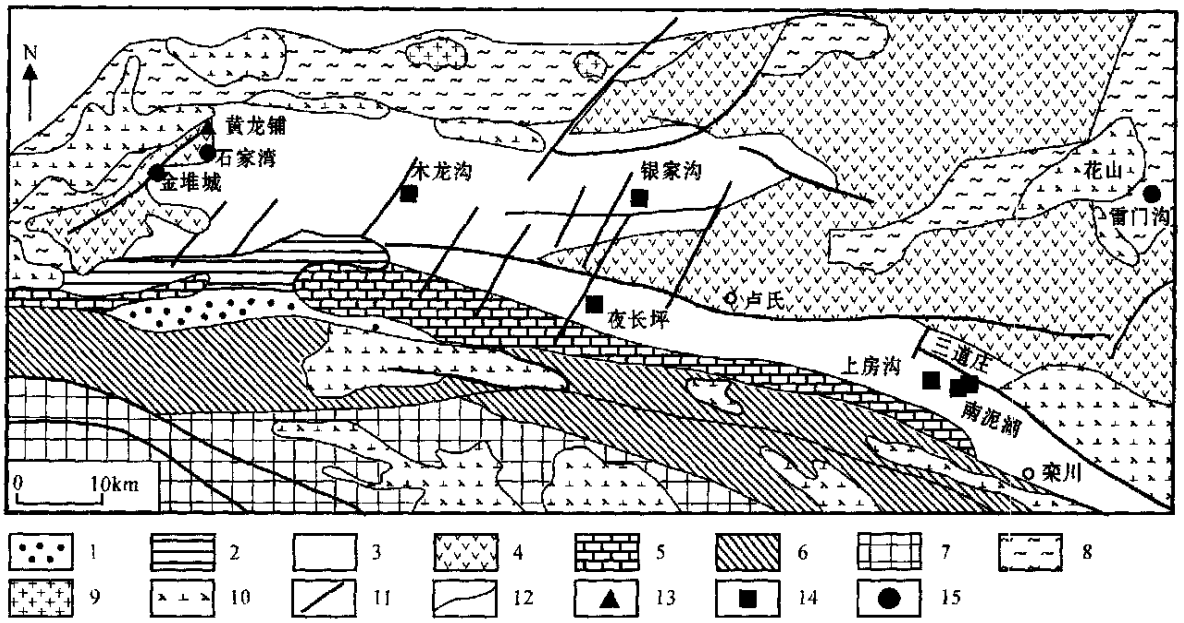

图 1　东秦岭钼矿带地质略图(据黄典豪等,1996)

1—白垩系砂页岩; 2—寒武系灰岩; 3—新元古界官道口群、栾川群碳酸盐岩; 4—中元古界熊耳群火山岩; 5—中元古界陶湾群大理岩; 6—中元古界宽坪群绿片岩; 7—下元古界秦岭群变质岩; 8—太古界太华群角闪斜长片麻岩; 9—燕山期花岗岩;10—燕山期二长花岗岩; 11—断层; 12—地质界线;13—碳酸盐型钼铅矿床; 14—斑岩-矽卡岩型钼(钨)矿床; 15—斑岩型钼矿

Fig.1　Geological sketch map of the East Qinling Mo belt (after Huang et al.,1995)

1—Cretaceous sandstone and shale; 2—Cambrian limestone; 3—Carbonate rocks of Late Proterozoic Guandaokou Group and Luanchuan Group; 4—Metavolcanics of Middle Proterozoic Xiong'er Group; 5—Marble of Middle Proterozoic Taowan Group; 6—Greenschist of Middle Proterozoic Kuanping Group; 7—Metamorphic rocks of Lower Proterozoic Qinling Group; 8—Amphibolite gneiss of Archean Taihua Group; 9—Yanshanian granite; 10—Yanshanian monzonitic granite; 11—Fault; 12—Geological boundary; 13—Carbonatite Mo-Pb deposit; 14—Porphyry-skarn Mo-W deposit; 15—Porphyry Mo deposit

质作用达高角闪岩相和麻粒岩相。太华群英云闪长质片麻岩的锆石$^{207}Pb/^{206}Pb$年龄为(2 841±6)~(2 806±7) Ma(Kroner et al.,1988)。区内盖层主要由中-新元古代的熊耳群、官道口群、栾川群等组成。东秦岭地区于中元古代进入被动大陆边缘裂谷演化阶段,在伸展构造背景中出现以陆相为主的熊耳群火山岩系,这是一套中基性-中酸性双峰火山岩为主夹海陆相碎屑沉积的火山-沉积岩系,沿洛南-栾川断裂北侧呈狭长带状分布,与伸入山西境内的西洋河群形成三角辐射状,熊耳群火山岩的岩石组合特征及其富钾、富铁的地球化学特征既不同于一般碱性火山岩,又不同于一般钙碱性火山岩系,而应属于早期裂谷的偏碱性火山岩,它是本区中元古代辐射状裂谷形成的初期产物,呈角度不整合覆盖于太华群结晶基底之上,是华北克拉通南缘最主要的盖层岩系,在熊耳山-崤山一带厚度达 7 000 m;同位素年龄测定资料表明,该套火山岩系形成于 1 950~1 400 Ma 之间(张宗清等,1994;赵太平等,2001)。官道口群属滨海相碎屑岩-碳酸盐岩沉积建造,呈低角度不整合或假整合覆盖于熊耳群之上,总体组成一个完整的沉积旋回。栾川群整合于官道口群之上,为一套浅海陆源碎屑岩-碳酸盐岩建造,分 4 个较为明显的沉积旋回。下寒武统至上三叠统为典型的华北克拉通沉积,缺失泥盆系和志留系,其中寒武系和奥陶系为海相地层,二叠系和三叠系为陆相地层。中新生代地层分布于局部陆相盆地内,岩性主要为洪积-冲积相及河湖相碎屑沉积物,个别盆地零星产出白垩纪火山碎屑沉积岩。

本区由于受板块边界深断裂和秦岭褶皱带长期活动的影响,构造形态复杂,断裂与褶皱均较发育,区域构造格架为近东西向与 NNE 向两组构造相互交织成的格子状。北部为一些形态较简单的宽缓褶皱,向南变为形态复杂的线型褶皱。区内断裂以近东西向最为发育,其次为 NNE 向。近东西向断裂与 NNE 向断裂交汇部位常控制燕山期中酸性小侵入体的分布。

区内岩浆岩广泛发育,岩浆作用贯穿本区整个地质演化历史,具有长期性、多次性,主要有太古宙晚期的双峰式火山喷发和中元古代早期的溢流与喷发,以及燕山期大规模酸性岩浆活动,其中以燕山期岩浆活动最为强烈。太古宙岩浆活动表现为侵入太华群中的超基性岩、基性岩。中元古代的岩浆活动造成熊耳群在区内广泛分布。燕山期,秦岭进入陆内造山作用演化阶段,并以陆内俯冲的逆冲推覆隆升和伸展为特征(张国伟等,1996),伴随这些构造作用,东秦岭地区发生了大规模花岗岩浆活动,花岗岩体主要以小斑岩体产出,仅部

分地区有大岩基形成,代表性岩体有老牛山岩体、华山岩体、文峪岩体、娘娘山岩体、合峪岩体、花山岩体和五丈山岩体等,岩性以黑云二长花岗岩和黑云母花岗岩为主。小斑岩体及花岗岩基均是造山期后地壳增厚背景下的产物,其源区研究表明,小斑岩体的来源深度明显大于大岩基,可能来自下地壳或上地幔;大岩基则是地壳重熔的产物,其形成则主要与壳内作用直接相关。

东秦岭燕山期斑岩体分布于黑沟—栾川深断裂以北,展布方向与该深断裂大体一致,走向 EW—NWW,已知主要岩体约 100 个。同一岩体早期为石英闪长斑岩,中期为二长花岗斑岩或花岗闪长斑岩,晚期为钾长花岗斑岩。岩石类型以二长花岗岩、花岗闪长岩和黑云母花岗岩为主。地球物理探测及对其深源基性包体的温压条件计算同位素示踪、稀土元素和微量元素地球化学证明,该类花岗岩是下地壳物质部分熔融作用形成的岩浆,又经历了岩浆结晶分异作用,并遵循了由基性向酸性正向演化的规律(李宪梓等,1993;卢欣祥等,2002),一般都发育典型的斑状结构,出现高温石英等,它们是在板内地球动力学条件下,由基性岩浆的底侵作用而形成(肖庆辉等,2002)。由于岩浆的主化学成分的不同,它们可以形成不同的矿物组合,表现出明显的成矿专属性,Mo、W 矿化主要和富硅、富钾的超酸性花岗斑岩有关,当 $w(SiO_2) > 72\%$、$w(K_2O) \geqslant w(Na_2O)$,形成钼矿;当 $w(SiO_2) \leqslant 72\%$、$w(K_2O) \leqslant w(Na_2O)$,则对金、铜矿化有利(卢欣祥等,2002)。

2 矿床空间分布规律

东秦岭钼(钨)矿带主要出露于陕西洛南—河南栾川一带,西起老牛山花岗岩体东侧,东至伏牛山岩体西侧。呈近东西向狭长带状展布,长约 250 km,宽 20 ~ 26 km,面积 >10 000 km^2。南面以铁炉子—黑沟—栾川—固始断裂与秦岭褶皱系分隔;北界西端以石门—潘河—马超营断裂为界,东端以熊耳群与官道口群接触界线为界;矿带中部发育的石门-马超营断裂作为重要的构造标志,大致可将整个矿带分为南、北 2 个成矿亚带。

北亚带出露地层主要为中元古界熊耳群中基性火山岩和官道口群滨海相碎屑岩-碳酸盐岩,太古宙太华群绿岩建造呈零星状分布。矿床类型主要为斑岩型和热液碳酸盐岩脉型,次为斑岩-矽卡岩型,成矿元素组合主要为 Mo、Mo-Re-U-Pb、Mo-Pb-(U),次为 Mo-Fe 和 S-Fe-Mo 多金属,主要分布有金堆城、石家湾、黄龙铺、木龙沟、银家沟、雷门沟、黄水庵等矿床(图 1),空间上可分为 3 个成矿集中区,西部以金堆城、黄龙铺为代表,中部以木龙沟—后瑶峪为代表,东部集中于嵩县西北部的雷门沟一带。上述矿床产于中元古界熊耳群中基性火山岩系和官道口群石英岩、板岩、硅质条带白云岩以及太古界太华群黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、混合岩中(胡受奚等,1988;张正伟等,2001b)。

南亚带出露地层主要为中元古界官道口群碎屑岩-碳酸盐岩和新元古界栾川群碎屑岩-碳酸盐岩。分布矿床主要有夜长坪、南泥湖—三道庄、上房沟、马圈、骆驼山等,矿床类型主要为斑岩-矽卡岩型,成矿元素组合可分为 Mo-W、Mo-(W)-Fe、S-W-Zn-Cu-Be。与北亚带矿床富集铼元素的特点相反,大量富集钨而极少含铼。在空间分布上可分为 2 个矿化集中区。西部为夜长坪—老庙沟矿化集中区,矿床产于中元古界官道口群龙家园组和巡检司组燧石条带、条纹状白云岩、大理岩中,主要为钼钨矿床,伴生铜、硫、锌、铁矿床,东部矿化集中区分布在栾川西北部,矿床产于新元古界栾川群的白术沟组、三川组、南泥湖组大理岩、石英岩、变粒岩、片岩和煤窑沟组白云石大理岩中,主要为钼矿床、钼钨矿床和钼铁矿床(表 1)。

矿床类型与围岩地层的时代无关,但对围岩性质具有选择性,主要表现为不同岩性形成不同类型的矿床(盛中烈等,1984)。如在火山岩中赋存的矿床往往为细脉浸染型矿床,在碎屑岩中形成角岩型矿床,当围岩为大理岩、白云岩等碳酸盐岩时(如官道口群、栾川群),除岩体内带发生斑岩型矿化外,其内、外接触带往往形成矽卡岩型矿化。矿化类型和岩体特征受岩浆侵位深度的控制,侵位较浅时形成爆破(或隐爆)角砾岩型矿化,侵位较深时形成斑岩型矿化,矽卡岩型矿化则可深可浅。含矿流体的沉淀作用往往与地层的化学成分和富集层位对岩体成分和成矿作用的影响有关。

3 矿床类型及典型矿床(田)特征

根据矿床地质特征、成矿元素组合、矿床成因、产出特点和成矿机制,可将东秦岭钼矿床分为斑岩型、斑岩-矽卡岩型、热液碳酸盐脉型 3 类,其中斑岩型矿床以金堆城、雷门沟钼矿床为典型代表,南泥湖—三道庄、上房沟矿床则是斑岩-矽卡岩型矿床的典型代表,热液碳酸盐脉型矿床出露较少,以黄龙铺、黄水庵矿床为典型代表,各矿床特征见表 1。

3.1 斑岩型钼矿——金堆城钼矿

金堆城斑岩钼矿床位于陕西省华县境内(图 2),矿区出露地层为中元古界熊耳群,岩性主要为安山-流纹岩及橄榄安粗岩类,以富钾质为特征,主要分布于老牛山岩体东南地区。矿区南部的上元古界官道口群高山河组不整合覆盖于熊耳群之上,岩性主要为石英砂岩、泥岩和板岩。区内褶皱构造为金堆城背斜,轴向大致呈 NNE 向展布,由熊耳群火山岩构成。断裂构造主要为 NE-NEE 向和 NW-NWW 向 2 组,NW 向断裂控制着金堆城花岗斑岩的侵位和蚀变分带。北侧的燕门凹断裂限定了钼矿化北界,南部碌碡沟逆冲断裂使高山河群石英岩推覆于钼矿之上。区内火成岩为加里东期辉绿岩、燕山期老牛山花岗岩体和金堆城花岗斑岩及脉岩。与矿化有关的金堆城钾长花岗斑岩体呈岩筒状,地表出露长 450 m,宽 150 m,面积约 0.067 km^2;深部长 2 000 m,宽 450 m,面积约 0.35 km^2。岩体北宽南窄,向北西延伸,侵入于中元古界熊耳群火山岩中。岩石以高硅富碱为特征,属于碱-钙碱系

表 1 东秦岭钼矿特征

Table 1 The characteristics of Mesozoic molybdenum deposits in eastern Qinling

矿床名称	矿床类型	成矿元素组合	赋矿围岩	控矿构造	控矿岩体	围岩蚀变	矿石矿物组合	脉石矿物组合	成矿时代/Ma	矿体规模/m	矿床储量/t	矿石品位/%	资料来源
金堆城(陕西华县)	斑岩型	Mo	熊耳群安山岩高山河群石英岩、板岩	NNE-NE、NW 向断裂	花岗斑岩	硅化、钾长石化、云英岩化、方解石化	黄铁矿、辉钼矿、黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿、方铅矿	长石、石英、绢(白)云母、黑云母、绿泥石、萤石	138.4±0.5	长2200、宽600～800、垂厚600～700	978×10^3	0.099	黄典豪等,1987 Stein et al.,1997
黄龙铺(陕西华县)	热液碳酸盐脉型	Mo-Pb	熊耳群黄龙铺组变细碧岩	NE与NW向断裂复合控制		黑云母化、绿帘石化、碳酸盐化、硬石膏化、沸石化	黄铁矿、方铅矿、辉钼矿	方解石、石英、微斜长石、钡天青石	221.5±0.3	长10～500,宽0.1～20	115×10^3	0.086	黄典豪等,1985 Stein et al.,1997
石家湾(陕西华县)	斑岩型	Mo	熊耳群安山岩高山河群石英岩	NE与NW向断裂复合控制	花岗斑岩	硅化、钾长石化、黑云母化、绿泥石化、方解石化	黄铁矿、辉钼矿	长石、石英、绢(白)云母、黑云母、绿泥石、萤石	136±8				黄典豪等,1994
木龙沟	斑岩-矽卡岩型	Mo-Fe	官道口群巡检司组燧石条带白云岩	位于路家街向斜南翼,为一单斜构造,断裂主要为NWW、NNE	花岗闪长斑岩	矽卡岩化、硅化、方解石化、绢云母化、绿泥石化	磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉钼矿、黄铜矿、闪锌矿	石英、长石、透辉石、橄榄石、蛇纹石、方解石、白云石		长<120,厚<55			
银家沟(河南灵宝)	斑岩-矽卡岩型	S-Fe-Zn-Pb-Mo-Ag-Au	官道口群龙家园组燧石条带白云岩	NNE向断裂及岩体中羽状裂隙	钾长花岗斑岩	矽卡岩化、硅化、钾长石化、黑云母化、绢英岩化、方解石化	黄铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、菱铁矿、辉钼矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿	透辉石、透闪-阳起石、绢云母、石英、钾长石、黑云母、斜长石、方解石		厚4.65～91.06		0.096	
夜长坪	斑岩-矽卡岩型	Mo-W	官道口群龙家园组燧石条带白云岩	轴向近东西夜长坪背斜及NWW与NNE断裂复合控制	钾长花岗斑岩	矽卡岩化、硅化、钙长石化、方解石化	黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、白钨矿、黄铜矿、闪锌矿	透辉石、透闪-阳起石、金云母、绿泥石、滑石、石英、方解石、长石		长800,宽500,厚150～230	$>100\times10^3$	0.133	楚新春等,1992
南泥湖(河南栾川)	斑岩-矽卡岩型	Mo-W	新元古界栾川群三川组、南泥湖组大理岩、石英岩等,局部为白术沟组长石石英岩	NWW与NNE向断裂控制	斑状花岗岩	矽卡岩化、硅化、钾长石化、黑云母化、绢英岩化、萤石化、方解石化	黄铁矿、辉钼矿、磁黄铁矿、白钨矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	透辉石-钙铁辉石、石榴石、阳起石、绿帘石、符山石、长石、石英、绢云母、萤石、方解石、绿泥石、沸石等	141.8±2.1		1337.1×10^3	0.079～0.143	李永峰等,2003
上房沟(河南栾川)	斑岩-矽卡岩型	Mo-Fe	新元古界栾川群煤窑沟组白云石大理岩及南泥湖组片岩	位于增河口-石宝沟向斜北翼,受NWW-NNE向断裂控制	花岗斑岩体	矽卡岩化、硅化、钾长石化、绢英岩化、黑云母化、萤石化、方解石化	黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、白钨矿、闪锌矿、磁黄铁矿	透辉石、透闪-阳起石、金云母、蛇纹石、滑石、绿泥石、方解石、长石、石英、镁橄榄石	144.8±2.1		715.8×10^3	0.134	罗铭玖等,2000 李永峰等,2003
马圈(河南栾川)	斑岩-矽卡岩型		中元古界官道口群杜关组白云石大理岩	受NWW、NNE向断裂控制	石英正长岩	矽卡岩化、硅化、钾长石化、绢云母化、绿泥石化、方解石化	黄铁矿、辉钼矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、白钨矿	透辉石-钙铁辉石、石榴石、斜长石、方解石、萤石、石英等		长2500,宽50～150	9119	0.109	胡受奚等,1988
石窑沟(河南栾川)	斑岩型	Mo	中元古界熊耳群鸡蛋坪组、马家河组安山岩			硅化、钾长石化、铁白云石化、绢云母化	辉钼矿、黄铁矿	石英、钾长石、绢云母			21344.4	0.03～0.067	
黄水庵(河南嵩县)	热液碳酸盐脉型	Mo,Pb	太古界太华群黑云斜长片麻岩、隐爆角砾岩	NW向小背斜及裂隙	隐爆角砾岩					>30		0.078	
雷门沟(河南嵩县)	斑岩型	Mo	太古界太华群黑云斜长片麻岩	NW与NE向断裂复合控制	花岗斑岩	硅化、钾长石化、绢云母化、萤石化、绿泥石化、方解石化	黄铁矿、辉钼矿、黄铜矿、方铅矿、白钨矿	石英、长石、绢云母、萤石、高岭石	132.4±2.0	长1000～2000,宽200～1050,厚50～250	340×10^3	0.072	王天瑞,1985 李永峰等,2005

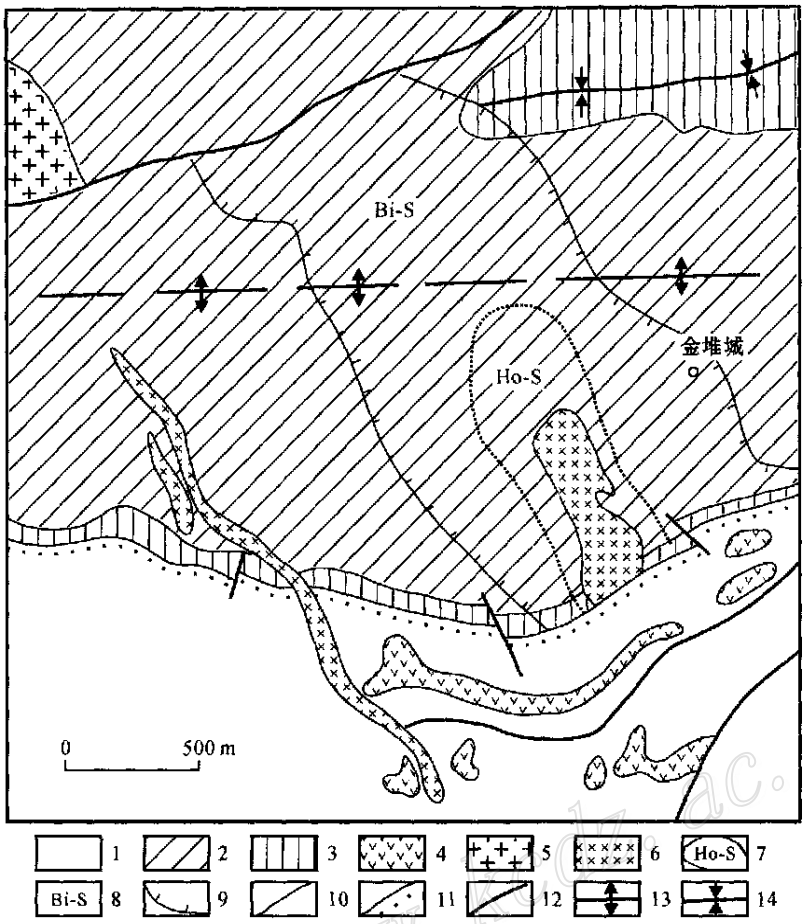

图 2 金堆城钼矿床地质略图(据黄典豪等,1987)

1 —新元古界官道口群石英岩;2 —中元古界熊耳群变细碧岩;3 —中元古界熊耳群板岩;4 —辉绿岩脉;5 —燕山期老牛山二长花岗岩;6 —燕山期金堆城花岗斑岩;7 —黑云母化;8 —角岩化;9 —矿体界线;10 —地质界线;11 —地层不整合界线;12 —断层;13 —背斜轴;14 —向斜轴

Fig.2 Schematic geological map of the Jinduicheng porphyry molybdenum deposit (after Huang et al.,1987)

1 —Quartzite of Late Proterozoic Guandaokou Group; 2 —Metaspilite of Mesoproterozoic Xiong'er Group; 3 —Slate of Middle Proterozoic Xiong'er Group; 4 —Diebase; 5 —Yanshanian Laoniushan monzonitic granite; 6 —Yanshanian Jinduicheng granitic porphyrry; 7 —Biotitization; 8 —Hornfelsation; 9 —Boundary of orebody; 10 —Boundary of strata; 11 —Unconformity; 12 —Fault; 13 —Axis of anticline; 14 —Axis of syncline

列岩类。

矿体主要产于 NW 走向的燕山期花岗斑岩内部,部分产于安山质火山岩中,呈巨大的连续扁豆体沿 325 ~ 145° 方向延伸,矿体地表出露长约 1 600 m,深部控制长 2 200 m,厚度约 600 ~ 700 m。矿石类型分为 3 种:花岗斑岩型、变安山岩型、板岩-石英岩型。矿化与蚀变发育于斑岩体及其外接触带广大范围,自斑岩体向外呈现有规律的面型蚀变:钾长石化-绢英岩化-硅化-青磐岩化。各蚀变带矿化均由不同矿物组合的交错石英细脉所组成(任启江等,1987),大致可分为 3 期:早期为无矿化的钾长石-石英脉;中期为成矿阶段,主要为硫化物-石英、硫化物-萤石-钾长石-石英脉;晚期为硫化物-方解石-石英、黄铁矿-沸石-石英脉。

矿床形成的均一温度为 240 ~ 450 ℃,主成矿阶段均一温度为 300 ~ 400 ℃,黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值为 +3.7‰ ~ +5.60‰,辉钼矿 $\delta^{34}S$ 平均值为 +4.10‰,$\delta^{34}S$ 平均为 +4.8‰(黄典豪等,1987),显示深部岩浆来源。氢、氧同位素研究结果表明(徐兆文等,1998),$\delta^{18}O$ 为 11.83‰ ~ 8.59‰,均值为 9.54‰;$\delta^{18}O_{水}$‰为 7.77‰ ~ -10.12‰,均值为 -1.03‰;氢同位素 δD 为 -57.22‰ ~ -120.69‰,均值为 -82.83‰;从成矿前→成矿期→成矿后,$\delta^{18}O_{水}$、δD 值有逐渐降低的趋势,说明从成矿前至成矿后,雨水的混入量不断增加,成矿流体早期主要来自岩浆热液,晚期伴有大量雨水。

3.2 斑岩-矽卡岩型钼(钨)矿 ——南泥湖钼矿田

南泥湖矽卡岩-斑岩型超大型钼(钨)矿田位于豫西栾川南部,包括南泥湖斑岩型钼(钨)矿床、三道庄矽卡岩型钼(钨)矿床、上房沟斑岩型钼(铁)矿床等 3 个超大型矿床,外围尚有

马圈、石宝沟、鱼库、黄背岭等斑岩型、矽卡岩型中-小型钼矿床(点)(图 3)。

区内出露地层主要为上元古界栾川群巨厚层中浅变质的浅海相碎屑岩及碳酸盐岩,因受燕山期中酸性岩浆活动影响而形成了范围广泛的各种角岩和矽卡岩。主要容矿地层为三川组大理岩、南泥湖组大理岩、片岩及煤窑沟组白云质大理岩(图 3)。区内断裂以 NWW-NW 向最为发育,NE 向组次之。岩浆岩主要有加里东期的变辉长岩、正长斑岩和燕山中晚期的南泥湖、上房沟、石宝沟、鱼库、马圈等中酸性岩体。与钼(钨)矿化有关的花岗斑岩组成复式小岩体,均呈小岩株状,属浅-超浅成相,岩石类型为钙碱性。岩浆演化方向为花岗闪长岩→二长花岗岩→花岗斑岩,在岩浆演化过程中,随着岩浆酸度的增高,钼、钨含量有大幅度的增长,可高于维氏值几十至几百倍。成矿岩石普遍具高碱、富钾、超酸的岩石化学特征(徐兆文等,1995)。

钼(钨)矿体在矿床中的赋存部位有 3 种形式: ①在岩体外接触带(上房沟矿床),矿体呈倒杯状,中心为无矿或弱矿化; ②主要在外接触带角岩中,矿体呈似层状、透镜状(南泥湖矿床); ③远离接触带的矽卡岩中,矿体呈层状、似层状(三道庄矿床)。

南泥湖钼(钨)矿床产于南泥湖斑状二长花岗岩体内及其外接触带矽卡岩、角岩中,矿体北西长2 400 m,南北宽1 000

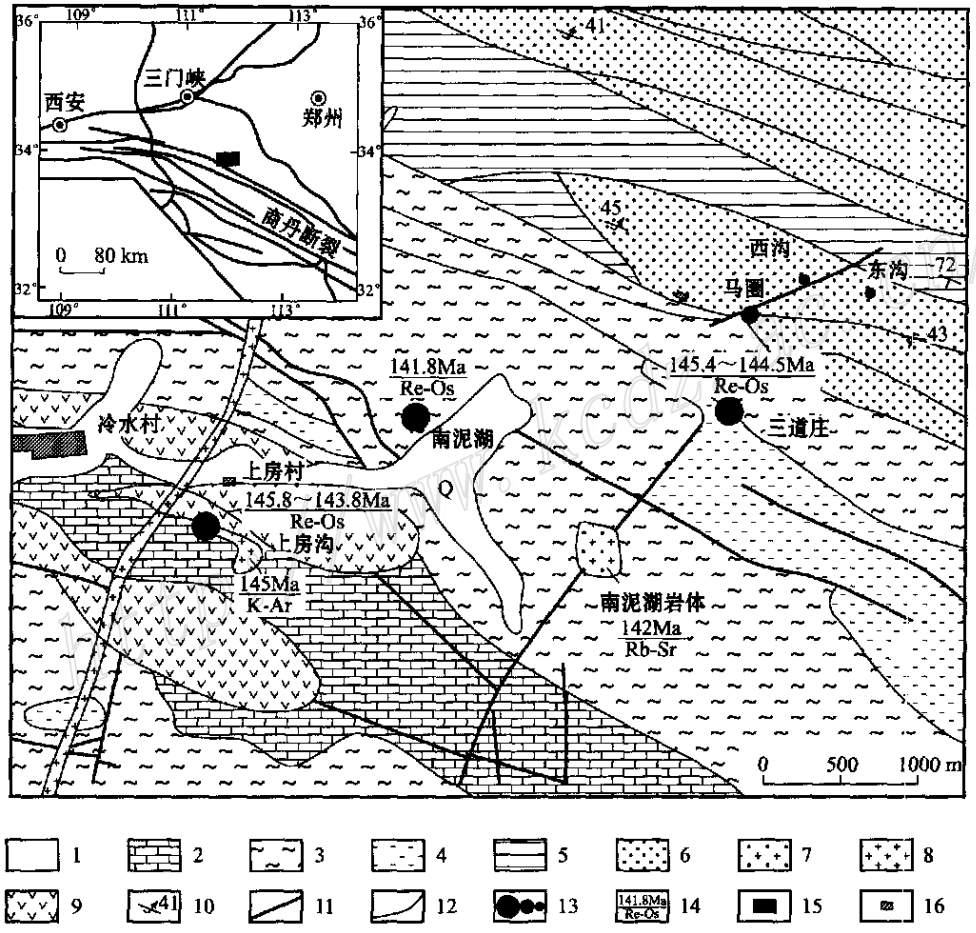

图 3　南泥湖钼矿田地质简图(据 Li et al., 2004b)

1—第四系; 新元古界栾川群; 2—煤窑沟组白云质大理岩; 3—南泥湖组大理岩、片岩; 4—三川组变砂岩、黑云大理岩; 5—白术沟组石英岩、片岩白云质大理岩; 6—中元古界官道口群石英砂岩、白云岩; 7—燕山期斑状花岗岩; 8—燕山期花岗斑岩; 9—变辉长岩; 10—地层产状; 11—断层; 12—地质界线; 13—矿床(大、中、小型); 14—岩体/矿床年龄及测试方法; 15—研究区; 16—村庄

Fig. 3 Geological map of the Nannihu Mo orefield, East Qinling area (after Li et al., 2004)

1—Quaternary sediments; Neoproterozoic Luanchuan Group: 2—Dolomitic marble of Meiyaogou Formation; 3—Marble and schist of Nannihu Formation; 4—Meta-sandstone and biotite marble of Sanchuan Formation; 5—Quartzite, schist and dolomitic marble of Baishugou Formation; 6—Quartz sandstone and dolomite of Mesoproterozoic Guandaokou Group; 7—Yanshanian porphyritic granite; 8—Yanshanian granite porphyry; 9—Meta-gabbro; 10—Atittude; 11—Fault; 12—Geological boundary; 13—Deposits (large, medium, small); 14—Ages of rock and mineralization as well as the measuring method; 15—Study area; 16—Village

~1 179 m,厚度变化大,单孔控制厚度最大 420.12 m,最小 2 m,平均 144.13 m,矿体总体走向 318°,倾向 SW,倾角 15 ~ 26°,平均 20°。矿体形态呈似层状,向四周分支尖灭。

三道庄钼钨矿床主要赋存于三川组上部大理岩及其交代形成的矽卡岩中,主矿体沿走向长 2 100 m,沿倾向延伸 1 800 m,厚度一般 80 ~ 150 m。矿体规模大,形态简单,呈层状或似层状产出。总体产状 280 ~ 310°,倾向 SW,倾角平缓,一般 5 ~ 10°,局部地段因受褶皱、断裂构造影响而变陡。

上房沟钼(铁)矿床产于上房沟花岗斑岩与新元古界栾川群煤窑沟组白云质大理岩的内、外接触带上,钼矿体主要赋存于大理岩、矽卡岩和花岗斑岩中,铁钨矿体主要产于矽卡岩中。矿体平面上呈环带状,花岗斑岩中心为无矿核心,环带东西长 800 ~ 900 m,南北宽 400 ~ 500 m。

矿石类型主要有矽卡岩型(占全区已探明金属储量的 50 %以上)、角岩型(长英角岩型 + 透辉石斜长石角岩型)(占 40 % ±)、花岗斑岩型(占 10 % ±)和细晶正长岩型(储量甚少)。

根据矿物共生组合特点,可将成矿过程大致分为 3 个矿化阶段(罗铭玖等,2000):①基本无矿化的硅、铝、钾交代阶段,②钼、钨、铁矿化交代阶段,③石英-硫化物阶段,是辉钼矿的主要形成阶段,以形成大量的黄铁矿、辉钼矿及少量黄铜矿、闪锌矿等硫化物为特征,并与石英、钾长石、方解石、萤石等组成各种细脉,充填于矽卡岩、大理岩等岩石的裂隙中。

黄铁矿、方铅矿的 $\delta^{34}S$ 均为正值,变化范围为 + 1.84 ‰ ~ + 6.27 ‰,呈塔式分布,表明有大致相同的硫源;从矿化早期到晚期,$\delta^{34}S$ 呈递减趋势。铅同位素具有以深源铅为主的壳幔混合源特点。主成矿期石英-硫化物阶段石英的 $\delta^{18}O$ 变化为 8.4 ‰ ~ 12.5 ‰,对应的成矿流体的 $\delta^{18}O_{水}$ 值为 - 5.0 ‰ ~ 11.8 ‰,且从早到晚明显降低,表明早期成矿流体基本属岩浆水,之后大气降水逐渐加入(罗铭玖等,2000)。

3.3 碳酸盐脉型钼矿床 ——黄龙铺钼矿床

黄龙浦钼矿床与金堆城钼矿床相距约 12 km,但成因类型为碳酸盐脉型钼矿床。探明钼储量 11.5 万 t,钼品位 0.086 %。新太古代太华群片麻岩构成区内结晶基底,中、上元古界铁铜沟组和熊耳群火山岩系及蓟县系浅变质岩构成上构造层,并与基底呈不整合接触。基底构造线(褶皱、断裂)呈近 EW 向和 NW 向。

该钼矿床产于板岔梁-蚂蚁山背斜的北东翼,钼矿体主要赋存于熊耳群黄龙铺组的变细碧岩层内,并受 NW 向和 NE 向断裂的联合控制(图 4),主要由含钼(铅)石英方解石碳酸盐脉组成,呈似层状和透镜状,一般脉长几十至 100 多米,最长者达 500 m 左右,宽 0.1 ~ 1.0 m,最宽达 20 m。围岩蚀变仅局限于矿脉两侧,主要有黑云母化、绿帘石化、黄铁矿化、碳酸盐化、硬石膏化和沸石化。

根据矿石的矿物组合、结构和构造特点,矿化过程大致可分为硅酸盐-硫化物、碳酸盐-硫化物、硫酸盐-硫化物-浮石等 3 个矿化期,其中碳酸盐-硫化物期为主矿化期。

矿床成矿温度为 450 ~ 280 ℃,成矿流体主要为含矿的氯化钠-硫酸盐-碳酸盐-水类型,盐度为 40 % ~ 60 %。$\delta^{34}S$ 值为 - 14.7 ‰ ~ + 7.9 ‰,其中硫化物的 $\delta^{34}S$ 值均为负值,而硫酸盐矿物 $\delta^{34}S$ 为正值。成矿流体的 $\delta^{34}S$ 为 + 1.0 ‰,表明硫为幔源硫(黄典豪等,1984a)。成矿流体的 $\delta^{13}C$ 为 - 5.0 ‰,具有深源(上地幔)碳的特征。石英的 $\delta^{18}O$ 值为 + 8.0 ‰ ~ 9.55 ‰,与方解石的 $\delta^{18}O$ 值十分相似。与石英和方解石平衡水的 $\delta^{18}O_{水}$ 为 + 1.2 ‰ ~ + 6.5 ‰,低于初生岩浆水的 $\delta^{18}O$ 值(Taylor,1977),是由于成矿过程中深源流体与地下水发生混合所致。矿石铅属于放射成因铅低的异常铅(黄典豪等,1984b),主要来自上地幔,但受到区内古老基底(下地壳)铅的部分混染。矿床中方解石和钡天青石的 $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7051 \sim 0.7065$,平均为 0.7058,是深源(上地幔)的产物(黄典豪等,1985)。

4 成矿时代及其物质来源

东秦岭钼矿床的形成与该地区广泛分布的燕山期中酸性花岗斑岩有关(卢欣祥等,2002),小岩体控制了钼矿的生成(卢欣祥,1994)。前人对这些岩体进行过同位素测年,在 20 世纪 80 年代末及 90 年代初利用 Rb-Sr、K-Ar 等同位素方法完成(表 2),获得的成岩年龄数据变化较大,如南泥湖岩体的 K-Ar 年龄从 104.3 Ma 到 255 Ma。由于受测试技术方法的限制,以往难以直接测定成矿年龄,只能利用与矿化有关的地质体的相互关系间接地确定成矿年代,或者测定与钼矿伴生的蚀变岩或蚀变矿物的同位素年龄来间接判断成矿年龄,因此难以准确厘定其成矿时代。Re-Os 同位素体系因其封闭性好、受后期改造很弱,可直接测定硫化物矿床的成矿年龄(Stein et al.,2001),而被广泛用于钼矿床的定年研究。近十年来,运用辉钼矿 Re-Os 同位素方法测定东秦岭地区的钼矿床的年龄,相继发表了一大批测年数据(黄典豪等,1994;1996;Stein et al.,1997)。随着该技术的日趋成熟和不断改进(李永峰等,2004),尤其是近年来测试精度的提高,以及 ^{187}Re 衰变常数($\lambda = 1.666 \times 10^{-6}$)的重新厘定,使精确测定钼矿床的年龄成为可能。李永峰等(2003;2005)测定了南泥湖钼矿田和雷门沟钼矿的成矿年龄,表明除黄龙铺钼矿形成于(221.5 ±0.3) Ma 外,东秦岭地区的其他钼矿床形成时代集中于(144.8 ±2.1) ~ (132.4 ±2.0) Ma(表 2)。

C、H、O、S、Pb 等稳定同位素研究表明,东秦岭地区钼矿床的成矿流体多数表现为以岩浆水为主的混合液,晚期有大量大气降水混入,成矿物质主要来源于岩浆(黄典豪等,1987)以及大气降水所淋滤的围岩。依据岩石学方面的资料(张正伟等,1989)及岩体的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值为 0.7034 ~ 0.7080(罗铭玖等,1991),接近或略高于上地幔的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值(0.702 ~ 0.706),认为成矿物质是下地壳与上地幔的同熔产

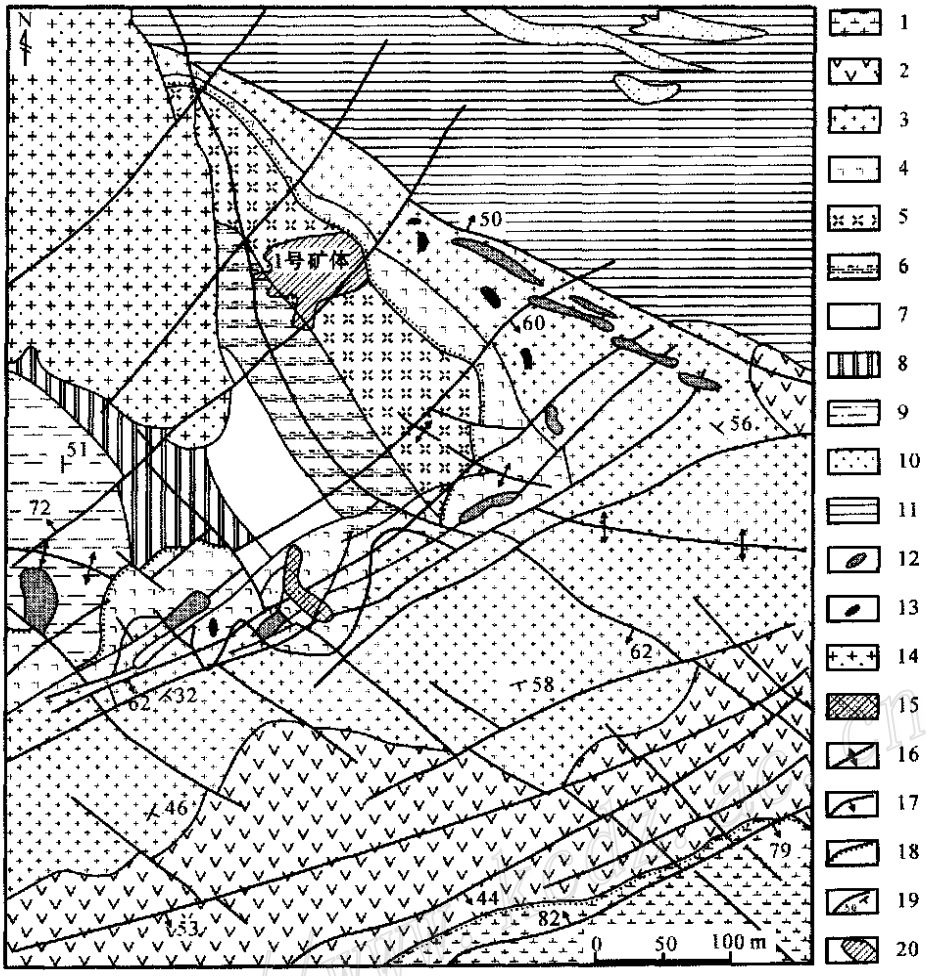

图 4　黄龙铺钼矿床地质略图(据黄典豪等, 1985)

中元古界高山河组: 1 —泥砂质板岩、石英岩; 2 —变石英砂岩; 3 —泥砂质板岩、变石英砂岩; 4 —变石英岩、底砾岩; **中元古界熊耳群**: 5 —变细碧岩、绢云千枚岩; 6 —变细碧岩、变凝灰岩; 7 —变细碧岩、黑云石英片岩; 8 —杏仁状细碧岩、变凝灰岩; 9 —变细碧岩、绢云千枚岩; 10 —新太古界太华群角闪斜长片麻岩; 11 —片麻状花岗岩; 12 —辉绿岩; 13 —正长斑岩; 14 —老牛山花岗岩; 15 —花岗斑岩; 16 —背斜; 17 —断层; 18 —不整合界线; 19 —地质界线及产状; 20 —钼矿体

Fig.4　Schematic geological map of the Huanglongpu molybdenum deposit (after Huang et al.,1985)

Mesoproterozoic Gaoshanhe Group: 1 — Argillo-arenaceous slate and quartzite, 2 — Metaquartzose sandstone, 3 — Argillo-arenaceous slate and metaquartzose sandstone, 4 — Metaquartzite and basal conglomerate; **Mesoproterozoic Xiong'er Group**: 5 — Metaspilite and sericitized-phyllite, 6 — Metaspilite and metatuff, 7 — Metaspilite and quartz-schist; 8 — Amygdaloidal spilite and metatuff; 9 — Metaspilite and sericitized phyllite; 10 — Amphibolite gneiss of Archean Taihua Group; 11 — Gneissic granite; 12 — Diabase; 13 — Syenite porphyry; 14 — Yanshanian Laoniushan monzonitic granite; 15 — Yanshanian granitic porphyry; 16 — Anticline; 17 — Fault; 18 — Unconformity; 19 — Boundary of strata and atittude; 20 — Molybdenum orebody

物(张正伟等,2001b)。有的学者根据岩体的锶、氧同位素特征,认为成矿物质来源于下地壳(陈衍景等,2000)。张本仁等(1994)则详细地研究了华北地台南缘的岩石圈组成,Mo 元素主体上富集于下地壳和上地幔,结合 Nd、Sr 同位素组成特征,认为成矿物质主体来源于下地壳,但混有少量地幔组分。Re-Os 同位素体系也可有效地示踪成矿物质来源,毛景文等(Mao et al., 1999b)综合分析、对比了中国各种类型钼矿床中辉钼矿的铼含量,发现从地幔来源到壳幔混源再到地壳来源,矿石中的含铼量呈 10 倍地下降,从幔源—I 型花岗岩—S 型花岗岩有关的矿床, w_{Re} n×10⁻⁴ ~ n×10⁻⁵ ~ n×10⁻⁶。因此,辉钼矿的 Re 含量可以指示成矿物质的来源(Mao et al., 1999;Stein et al.,2001)。最近的研究表明,南泥湖钼矿田中辉钼矿的 w_{Re} 为 15.2×10⁻⁶ ~ 27.5×10⁻⁶,平均为 22.0×10⁻⁶(Li et al.,2004b),雷门沟钼矿床则为 11.5×10⁻⁶ ~ 16.2×10⁻⁶(李永峰等,2005),显示成矿物质主要来源于下地壳,但混有少量地幔组分。只有黄龙铺钼矿床是个例外,其成

表 2 东秦岭地区花岗斑岩体及钼矿年龄一览表

Table 2 Ages of granitic porphyries and molybdenum deposits in East Qinling area

岩体名称	年龄/ Ma	测试方法	测试矿物	样品数	资料来源
黄龙铺	221 .5 ±0 .3	Re- Os	辉钼矿	7	Stein et al . ,1997
黄龙铺	216 ±2	Re- Os	辉钼矿	3	杜安道等 ,1995
黄龙铺	222 ±4	Re- Os	辉钼矿	5	黄典豪等 ,1994
黄龙铺	206	U- Pb	铅铀钛铁矿	1	黄典豪等 ,1985
金堆城	138 .4 ±0 .5	Re- Os	辉钼矿	2	Stein et al . ,1997
金堆城	141 ±4	Re- Os	辉钼矿	5	杜安道等 ,1995
金堆城	127 ±7	Re- Os	辉钼矿	1	黄典豪等 ,1994
金堆城	129 ±4	Re- Os	辉钼矿	1	黄典豪等 ,1994
金堆城	139 ±2	Re- Os	辉钼矿	7	杜安道等 ,1995
金堆城	135 ±6	Ar- Ar	辉钼矿	不详	杜安道等 ,1995
金堆城	132	Rb- Sr	全岩	不详	尚瑞钧等 ,1988
金堆城	124 ±6	K- Ar	黑云母	2	聂凤军等 ,1994
南泥湖	142 ±15	Rb- Sr	全岩	7	胡受奚等 ,1988
南泥湖	162	K- Ar	白云母	不详	胡受奚等 ,1988
南泥湖	141	Rb- Sr	全岩	5	李先梓等 ,1993
南泥湖	130 .9 ±4 .5	K- Ar	钾长石	不详	罗铭玖等 ,1991
南泥湖	136 .5 ±3 .7	K- Ar	黑云母	不详	罗铭玖等 ,1991
南泥湖	141 .8 ±2 .1	Re- Os	辉钼矿	1	李永峰等 ,2003
南泥湖	148 ±10	Re- Os	辉钼矿	1	黄典豪等 ,1994
上房沟	145	K- Ar	全岩	不详	罗铭玖等 ,1991
上房沟	134	Rb- Sr	全岩	7	李先梓等 ,1993
上房沟	144 .8 ±2 .1	Re- Os	辉钼矿	2	Li et al . , 2004
三道庄	145 .0 ±2 .2	Re- Os	辉钼矿	3	Li et al . , 2004
雷门沟	88 .4	K- Ar	不详	不详	胡受奚等 ,1988
雷门沟	132 .4 ±2 .0	Re- Os	辉钼矿	2	李永峰等 ,2005
雷门沟	136 .2 ±1 .5	SHRIMP	锆石	11	李永峰等 ,2005

矿物质来源于地幔(黄典豪等 ,1985) ,可能为地幔蠕动或脱气过程的一种成矿响应(毛景文等 ,2003) 。

5 地球动力学背景

东秦岭钼矿主要形成于 2 个时段 ,其一为三叠纪晚期的碳酸盐脉型矿化 ,时限为(221 .5 ±0 .3) Ma ;其二也是东秦岭地区最为重要的大规模成矿作用时期 ,即广泛发生于侏罗纪—白垩纪之间的斑岩型-矽卡岩型矿化 ,时限在(144 .8 ±2 .1) ~(132 .4 ±2 .0) Ma 之间。毛景文等(2003)提出华北克拉通及其邻区的中生代金属矿床大规模成矿作用出现在 200 ~ 160 Ma 、140 Ma 左右和 130 ~110 Ma 3 个时期。通过对中生代地球动力学演化的分析研究 ,认为这三大成矿期所对应的地球动力学背景分别为华北板块与扬子板块的碰撞造山后陆内造山和伸展过程 、南北主应力场向东西主应力场构造体制大转折和东西向岩石圈大规模减薄作用。东秦岭钼矿作为区内大规模成矿作用的组成部分 ,其成矿时限和背景基本相同。

自加里东运动开始 ,直到三叠纪早期 ,华北克拉通一直处于稳定发展阶段 ,同位素测年及其他资料表明 ,扬子克拉通与华北克拉通在 238 ~ 218 Ma 之间实现碰撞对接(Ames et al . , 1993 ; 李曙光等 ,1989 ; Meng et al . ,1999 ; 李锦轶 ,2001) ,秦岭内部广泛发育的碰撞型花岗岩 、商丹缝合带内代表造山后产物的环斑花岗岩(卢欣祥等 ,1996) ,表明两个大陆碰撞闭合于印支期末 ,之后开始碰撞造山作用 ,大陆深俯冲到地幔 ,其部分熔融形成的岩浆或脱水形成的流体交代上覆岩石圈地幔 ,形成富集地幔楔。黄龙铺钼矿床出现于扬子克拉通与华北克拉通最初碰撞对接后的陆内造山期间 ,挤压与伸展交替出现 ,钼矿床在壳幔强烈作用的伸展期形成 ,因此 ,控矿断裂以 NW 向的张性断裂系统为主。

约 160 Ma ,受特提斯构造域和太平洋构造域构造动力此弱彼强的影响 ,整个中国大陆中东部的区域构造体制发生转换(任纪舜 ,1991 ;赵越等 ,1994 ;牛宝贵等 ,2003) ,从印支期以近 EW 向构造为主 、NNE—近 NS 向构造为次进入以 NNE—近 NS 向构造为主 、近 NW 向构造为次的构造-动力体制大转换的时期 : ①构造体制上经历了从古生代 EW 向构造格局转变到中生代早期的 NNE 向构造格局 ,由挤压为主到伸展为主的构造体制转变。②动力学体制经历了由古生代—中生代早期由同陆块的拼合转变为陆内构造为主。大洋板块的俯冲作用和深切至地幔的郯庐断裂的左行走滑运动使地幔对流平衡和岩石圈状态平衡遭到破坏 ,幔源岩浆与地壳重熔的岩浆混合形成花岗质岩浆 ,形成比较典型的同熔型或 I 型花岗岩。

http://www.kcdz.ac.cn

这些成矿的花岗质岩浆不仅经历了强烈的分异演化,而且高侵位且未发生喷发作用,使挥发组分和成矿元素得以保存,形成东秦岭地区的钼矿床。尽管成矿带宏观上表现为 EW 向,但控矿主断裂为 NNE 向。这一期大规模成矿作用的控矿构造、相关的深源花岗岩体和盆地演化一致表明它们形成于构造转折的晚期,受伸展构造应力场的制约(毛景文等,1999; 2005)。

6　结　论

通过对东秦岭钼矿带的综合分析研究,可以得出以下几点结论:

(1) 东秦岭钼(钨)矿带主要出露于陕西洛南—河南栾川一带,矿床直接产于燕山期中酸性岩体内外接触带及其附近,其形成与燕山期中酸性小花岗斑岩体有关,斑岩属浅成、中浅成。

(2) 东秦岭钼矿床主要为斑岩型、斑岩-矽卡岩型,少量为热液碳酸盐脉型;成矿物质主要来源于下地壳,混有少量地幔组分。但黄龙铺钼矿床是个例外,其成矿物质来源于地幔。

(3) 东秦岭钼矿形成时代局限于(221.5±0.3) Ma ~ (132.4±2.0) Ma 之间,除黄龙铺钼矿形成于(221.5±0.3) Ma 外,东秦岭地区的其他钼矿床形成时代集中于(144.8±2.1) ~ (132.4±2.0) Ma,其对应的地球动力学背景分别为华北克拉通与扬子克拉通的碰撞造山后陆内造山和伸展过程、中国东部构造体制大转换晚期。

References

Ames L, Tilton G R and Zhou G. 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites[J]. Geology, 21:339 ~ 343.

Cheng Y J, Li C, Zhang J, et al. 2000. Sr and O characteristics of porphyries in Qinling molybdemum deposit belt and their implication to genetic mechanism and type[J]. Science in China(Series D), 30(Supp.): 65 ~ 72(in Chinese)..

Chu X C, Wang H Z, Shen X G, et al. 1992. Geology and mineral resource of Henan Province[M]. Beijing: Zhanwang Press of China. 632 ~ 638, 764 ~ 785(in Chinese).

Fan H R and Xie Y H. 1999. Porphyry-type molybdenum deposits in the eastern Qinling Mo belt, central China[J]. Scientia Geologica Sinica, 8(1):91 ~ 101.

Farmer G L and Depaolo D J, 1987. Nd and Sr isotope study of hydrothemally altered granites at San Manud, Arizona: Implications for element migration paths during formation of porphy copper ore deposits[J]. Econ. Geol., 82: 1142 ~ 1151.

Gao S, Zhang B R and Jin Z M. 1999. The lower crustal delamination in Qinling-Dabie orogeny[J]. Science in China(Series D), 29(6): 532 ~ 541(in Chinese).

Hu S X, Lin Q L, Chen Z M, et al. 1988. The geology and metallogeny of the amalgamation zone between ancient North China plate and South China plate (taking Qinling-Tongbai as an example)[M]. Nanjing: Press of Nanjing University. 442 ~ 489(in Chinese).

Hu Z H, Zhou S Z, Hu S X, et al. 1986. Characteristics of migmatites in Taihua Group of western Henan in relation to gold and molybdenum mineralizations[J]. Mineral Deposits, 5(4): 71 ~ 81 (in Chinese with English abstract).

Hu Z H, Hu S X and Zhou S Z. 1990. The Yanshanian A-type twin granite belts of intracontinental compression-subduction environment in northern part of East Qinling area[J]. Acta Petrologica Sinica, (1): 1 ~ 12(in Chinese with English abstract).

Huang D H, Wang Y C, Nie F J, et al. 1984a. Isotopic composition of sulfur, carbon and oxygen and source material of the Huanglongpu carbonatite vein-type of molybdenum(lead) deposits[J]. Acta Geologica Sinica, 58(3): 252 ~ 264 (in Chinese with English abstract).

Huang D H, Nie F J, Wang Y C, et al. 1984b. Lead isotope compositions of molybdenum deposits in East Qinling as applied to the problem of ore sources[J]. Mineral Deposits, 3(4): 20 ~ 28(in Chinese with English abstract).

Huang D H, Wang Y C, Nie F J, et al. 1985. A new type of molybdenum deposit-geological characteristics and metal-logenic mechanism of the Huanglongpu carbonatite vein-type of molybdenum(lead) deposit, Shaanxi[J]. Acta Geologica Sinica, 59(3):241 ~ 257(in Chinese with English abstract).

Huang D H, Wu C Y and Nie F J. 1987. Geological features and origin of the Jinduicheng porphyry molybdenum deposit, Shaanxi province [J]. Mineral Deposits, 6(3):22 ~ 34 (in Chinese with English abstract).

Huang D H, Dong Q Y, Gan Z X. 1989. Molybdenum deposits in China [A]. In: Song S H, ed. Chinese deposits[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 482 ~ 512(in Chinese).

Huang D H, Wu C Y, Du A D, et al. 1994. Re-Os isotope age of molybdenum deposits in East Qinling and their significance[J]. Mineral Deposits, 13(3):221 ~ 230 (in Chinese with English abstract).

Huang D H, Du A D, Wu C Y, et al. 1996. Metallochronology of Mo(-Cu) deposits in the North China plateform: Re-Os age of molybdenite and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 15(4): 365 ~ 373 (in Chinese with English abstract).

Kroner A, Compston W, Zhang G W, et al. 1988. Age and tectonic setting of late Archean greenstone-gneiss terrain in Henan Province, China, as revealed by single-grain zircon dating[J]. Geology, 16: 211 ~ 215.

Li J Y. 2001. The collision time and way of Yangzte block and Sino-Korea block: Evolution of sediment environment at Yangtze Mid-Lower Valley during Sinian-Jurassic[J]. Acta Geologica Sinica, 75(1): 25 ~ 34(in Chinese with English abstract).

Li S G, Hart S R, Zheng S G, et al. 1989. The collision time of North China plate and South China plate: Evidence from Sm-Nd ages[J]. Science in China(Series B), 19(3): 312 ~ 319(in Chinese).

Li X Z, Yan Z and Lu X X. 1993. Granites of Mt. Qinling and Dabie [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).

Li Y F, Mao J W, Bai F J, et al. 2003. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu Mo(W) orefield in the eastern Qinling and its geological significace[J]. Geological Review, 49(6):652~659 (in Chinese with English abstract).

Li Y F, Mao J W, Bai F J, et al. 2004a. Re-Os isotopic system and its application in geology[J]. Geology and Prospecting, 40(1):64~67(in Chinese with English abstract).

Li Y F, Mao J W, Guo B J, et al. 2004b. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu Mo(W) orefield in the eastern Qinling and its geodynamic process[J]. Acta Geologica Sinica(English Edition), 78(2):463~470.

Li Y F, Mao J W, Liu D Y, et al. 2005. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os datings for the Leimengou porphyry Mo deposit, in western Henan Province, China and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica, (in press).

Liu X S, Yan Z F, Zheng S J, et al. 1987. Geological-geochemical studies on ore-hosting strata of the typical ore deposits in the Eastern Qinling nonferrous metallogenic belt[J]. Mineral Deposits, 6(4):1~10(in Chinese with English abstract).

Lu X X. 1994. Two types granites and two gold deposit series[J]. Geological Review, 40(5):418~428(in Chinese with English abstract).

Lu X X, Dong Y, Chang Q L, et al. 1996. Indosinian Shahewan rapakivi granite in Qinling and its dynamic significance[J]. Science in China(Series D), 39(3):266~272.

Lu X X, Yu Z P, Feng Y L, et al. 2002. Mineralization and tectonic setting of the deep-hypabyssal granites in East Qinling mountain [J]. Mineral Deposits, 21(2):168~178 (in Chinese with English abstract).

Luo M J, Zhang F M, Dong Q Y, et al. 1991. Molybdenum deposits in China[M]. Zhengzhou: Henan Press of Science and Technology. 118~128,403~408(in Chinese).

Luo M J, Li S M, Lu X X, et al. 2000. The mineralization and minerogenetic series of major resource in Henan Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 81~111(in Chinese).

Mao J W, Hua R M and Li X B. 1999a. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits[J]. Mineral Deposits, 18(4):291~299 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H. et al. 1999b. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63(11-12):1815~1818.

Mao J W, Richard J G, Zhang Z W, et al. 2002. Gold deposits in the Xiaoqinling-Xiong'ershan region, Qinling mountains, central China [J]. Mineralium Deposita, 37:306~325.

Mao J W, Zhang Z H, Yu J J, et al. 2003. The geodynamics setting of Mesozoic large-scale mineralization in North China: The revelation from accurate timing of metal deposits[J]. Science in China(Series D):33(4):289~299(in Chinese).

Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, et al. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic setting[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(1):169~188(in Chinese with English abstract).

Meng Q R and Zhang G W. 1999. Timing of collision of the North and South China blocks: Controvery and reconciliation[J]. Geology, 2:123~126.

Niu B G, He Z J, Song B, et al. 2003. The SHRIMP dataing of Zhangjiakou Formation volcanic rock and its important implications [J]. Geological Bulletin of China, 22(2):140~141(in Chinese).

Pei R F and Xiong Q Y. 1999. Metallogenic provincetiality and metallotect convergence of unique ore deposits in China[J]. Mineral Deposits,18(1):37~46(in Chinese with English abstract).

Ren J S. 1991. A discussion on the basic features of the lithosphere tectonics in Chinese continents[J]. Regional Geology of China, 2:289~293 (in Chinese with English abstract).

Ren Q J, Wu Y B, Wu Y C, et al. 1987. Distribution pattern and origin of ore-bearing fissures in the Jinduicheng porphyry molybdenum deposit, Shaanxi Province[J]. Mineral Deposits, 6(3):35~48 (in Chinese with English abstract).

Stein H J, Markey R J, W Morgan J, et al. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt, Shaanxi Province, China[J]. Econ. Geol., 92:827~835.

Stein H J, Markey R J, W Morgan J, et al. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works[J]. Terra Nova, 13(6):479~486.

Taylor H P. 1977. Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits[A]. In: Barnes H L, ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits[M]. Second Edition. John Wiley and Sons. 244~248.

Wang T C. 1985. Geological features of Leimengou molybdenum deposit [J]. Henan Geology, 3(Supp.):270~272(in Chinese).

Xiao Q H, Deng J J, Ma D Q, et al. 2002. The ways of investigation on granitoids[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).

Xu Z W, Qiu J S, Ren Q J, et al. 1995. Characteristics of Yanshanian granites related to molybdenum-tungsten deposits in the southern part of Luanchuan County, Henan Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 11(4):397~408(in Chinese with English abstract).

Xu Z W, Yang R Y, Liu H Y, et al. 1998. Study on the ore-forming fluid of the Jinduicheng porphyry molybdenum deposit, Shaanxi Province[J]. Geological Journal of China University, 4(4):423~431(in Chinese with English abstract).

Xu Z Q, Lu Y L, Tang Y Q, et al. 1986. Deformation characteristics and tectonic evolution of the eastern Qinling orogenic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 60(3):237~247(in Chinese with English abstract).

Zhang B R, Luo T C, Gao S, et al. 1994. Geochemical study of the lithosphere, tectonism and metallogenesis in the Qinling-Dabashan region[M]. Wuhan: Press of China University of Geoscience. 257~277(in Chinese).

Zhang B R, Zhang H F, Zhao Z D, et al. 1996. Geochemical subdivision

http://www.kcdz.ac.cn/

and evolution of the lithosphere in East Qinling and adjacent regions: Implications for tectonics[J]. Science in China (Series D), 26(3): 201 ~ 208 (in Chinese).

Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, et al. 1996. Orogenesis and dynamics of Qinling orogen[J]. Science in China (Series D), 26(3): 193 ~ 200 (in Chinese).

Zhang G W, Meng Q R, Liu S F, et al. 1997. Huge intracontinental subduction zone at south margin of North China block and present 3-D lithospheric framework of the Qinling orogenic belt[J]. Geological Journal of China University, 3(2): 129 ~ 143 (in Chinese with English abstract).

Zhang G W, Zhang B R, Yuan X C, et al. 2001. Qinling orogenic belt and continental dynamics[M]. Beijing: Science Press.

Zhang Z W and Lu X X. 1989. Petrochemical characteristics of the granitoids in East Qinling[J]. Henan Geology, 7(3): 44 ~ 54 (in Chinese with English abstract).

Zhang Z W and Deng J. 2001a. Geological setting of the eastern Qinling molybdenum ore belt and the features of the Mo-associated intrusions[A]. In: Chen Y J, Zhang J and Lai Y, ed. Continental geodynamics and metallogenesis[C]. Beijing: Seismological Press. 100 ~ 109 (in Chinese).

Zhang Z W, Zhu B Q, Chang X Y, et al. 2001b. Petrogenetic metallogenetic background and time space relationship of the East Qinling molybdenum ore belt, China[J]. Geological Journal of China University, 7(3): 307 ~ 315(in Chinese with English abstract).

Zhang Z Q, Liu D Y and Fu G M. 1994. Study on isotopic age of Qinling group, Kuanping Group and Taowan Group in Beiqinling area [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 191 (in Chinese).

Zhao T P, Zhou M F, Jin C W, et al. 2001. Discussion on age of the Xiong'er Group in the southern margin of North China craton[J]. Chinese Journal of Geology, 36(3): 326 ~ 334(in Chinese with English abstract).

Zhao Y, Yang Z Y and Ma X H. 1994. Geotectonic transition from paleoasian system and paleotethyan system to paleopacific active continental margin in Eastern Asia[J]. Scientia Geologica Sinica, 29(2): 105 ~ 109 (in Chinese with English abstract).

Zhao Z H and Tu G C. 2003. Superlarge-scale deposits in China(Ⅱ)[M]. Beijing: Science Press. 523 ~ 542.

附中文参考文献

陈衍景，李　超，张　静，等. 2000. 秦岭钼矿带斑岩体锶氧同位素特征与岩石成因机制和类型[J]. 中国科学(D辑)，30(增刊)：65 ~ 72.

楚新春，王亨治，申学广，等. 1992. 河南省地质矿产志[M]. 北京：中国展望出版社. 632 ~ 638，764 ~ 785.

高　山，张本仁，金振民. 1999. 秦岭—大别造山带下地壳拆沉作用[J]. 中国科学(D辑)，29(6)：532 ~ 541.

胡受奚，林潜龙，陈泽铭，等. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿[M]. 南京：南京大学出版社. 442 ~ 489.

胡志宏，周顺之，胡受奚，等. 1986. 豫西太华群混合岩特征及其与金钼矿化的关系[J]. 矿床地质，5(4)：71 ~ 81.

胡志宏，胡受奚，周顺之. 1990. 东秦岭燕山期大陆内部挤压-俯冲背景的A型孪生花岗岩带[J]. 岩石学报，(1)：1 ~ 12.

黄典豪，王义昌，聂凤军，等. 1984a. 黄龙铺碳酸盐脉型钼(铅)矿矿床的硫、碳、氧同位素组成及成矿物质来源. 地质学报，58(3)：252 ~ 264.

黄典豪，聂凤军，王义昌，等. 1984b. 东秦岭地区钼矿床铅同位素组成特征及其成矿物质来源初探[J]. 矿床地质，3(4)：20 ~ 28.

黄典豪，王义昌，聂凤军，等. 1985. 一种新的钼矿床类型——陕西黄龙铺碳酸盐脉型钼(铅)矿矿床地质特征及成矿机制[J]. 地质学报，59(3)：241 ~ 257.

黄典豪，吴澄宇，聂凤军. 1987. 陕西金堆城斑岩钼矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质，6(3)：22 ~ 34.

黄典豪，董群英，甘志贤. 1989. 中国钼矿床[A]. 宋叔和主编. 中国矿床[C]. 北京：地质出版社. 482 ~ 512.

黄典豪，吴澄宇，杜安道，等. 1994. 东秦岭地区钼矿床的铼-锇同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质，13(3)：221 ~ 230.

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

李锦轶. 2001. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式——长江中下游地区震旦纪-侏罗纪沉积环境的演变[J]. 地质学报，75(1)：25 ~ 34.

李曙光，Hart S R，郑双根. 1989. 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)19(3)：312 ~ 31.

李宪梓，严　阵，卢欣祥. 1993. 秦岭-大别山花岗岩[M]. 北京：地质出版社.

李永峰，毛景文，白凤军，等. 2003. 东秦岭南泥湖钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质论评，49(6)：652 ~ 659.

李永峰，毛景文，白凤军，等. 2004a. Re-Os 同位素体系及其地质应用[J]. 地质与勘探，40(1)：64 ~ 67.

李永峰，毛景文，刘敦一，等. 2005. 豫西雷门沟斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 及辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义[J]. 地质学报(待刊).

刘孝善，严正富，郑素娟，等. 1987. 东秦岭有色金属成矿带中典型矿床赋矿地层的地质地球化学研究[J]. 矿床地质，6(4)：1 ~ 10.

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

卢欣祥，董　有，常秋岭，等. 1996. 秦岭印支期沙河湾奥长环斑花岗岩及其动力学意义[J]. 中国科学(D辑)，26(3)：244 ~ 248.

卢欣祥，于在平，冯有利，等. 2002. 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，21(2)：168 ~ 178.

罗铭玖，张辅民，董群英，等. 1991 中国钼矿床[M]. 郑州：河南科学技术出版社. 118 ~ 128，403 ~ 408.

罗铭玖，黎世美，卢欣祥，等. 2000. 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. 81 ~ 111.

毛景文，华仁民，李晓波. 1999a. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J]. 矿床地质，18(4)：291 ~ 299.

毛景文，张作衡，余金杰，等. 2003. 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)，33(4)：289 ~ 299.

毛景文，谢桂青，张作衡，等. 2005. 中国北方大规模成矿作用的期

http://www.kcdz.ac.cn/

次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 21(1):169~188.
牛宝贵, 和政军, 宋 彪, 等. 2003. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义[J]. 地质通报, 22(2):140~141.
裴荣富, 熊群尧. 1999. 中国特大型金属矿床成矿偏在性与成矿构造聚敛(场)[J]. 矿床地质, 18(1): 37~46.
任纪舜. 1991. 论中国大陆岩石圈构造的基本特征[J]. 中国区域地质, 2:289~293.
任启江, 吴俞斌, 武耀成, 等. 1987. 陕西金堆城斑岩钼矿含矿裂隙分布规律与成因[J]. 矿床地质, 6(3):35~48.
尚瑞钧, 严 阵. 1988. 秦巴花岗岩[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 69~105.
王天聪. 1985. 雷门沟钼矿床地质特征[J]. 河南地质, 3(增刊): 270~272.
肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 2002. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京:地质出版社.
徐兆文, 邱检生, 任启江, 等. 1995. 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, 11(4):397~408.
徐兆文, 杨荣勇, 刘红樱, 等. 1998. 陕西金堆城斑岩钼矿床成矿流体研究[J]. 高校地质学报, 4(4):423~431.
许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, 等. 1986. 东秦岭造山带的变形特征及构造演化[J]. 地质学报, 60(3): 237~247.
张本仁, 骆庭川, 高 山, 等. 1994. 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. 257~277.
张本仁, 张宏飞, 赵志丹, 等. 1996. 东秦岭及邻区壳-幔地球化学分区和演化及其大地构造意义[J]. 中国科学(D辑), 26(3): 201~208.
张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D辑), 26(3):193~200.
张国伟, 孟庆任, 刘少峰, 等. 1997. 华北地块南部巨型陆内俯冲带与秦岭造山带岩石圈现今三维结构[J]. 高校地质学报, 3(2): 129~143.
张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社.
张正伟, 卢欣祥. 1989. 东秦岭花岗岩类岩石化学统计特征[J]. 河南地质, 7(3), 44~54.
张正伟, 邓 军. 2001a. 东秦岭钼矿带成矿背景与含矿岩体特征[A]. 陈衍景, 张静, 赖勇, 主编. 大陆动力学与成矿作用[C]. 北京: 地震出版社. 100~109.
张正伟, 朱炳泉, 常向阳, 等. 2001b. 东秦岭钼矿带成岩成矿背景及时空统一性[J]. 高校地质学报, 7(3):307~315.
张宗清, 刘敦一, 付国民. 1994. 北秦岭变质地层秦岭、宽坪、陶湾群同位素年代研究[M]. 北京: 地质出版社. 1~191.
赵太平, 周美夫, 金成伟, 等. 2001. 华北陆块南缘熊耳群形成时代讨论[J]. 地质科学, 36(3): 326~334.
赵 越, 杨振宇, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. 地质科学, 29(2): 105~109.
赵振华, 涂光炽. 2003. 中国超大型矿床(Ⅱ)[M]. 北京: 科学出版社. 523~542.

Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in East Qinling area

LI Yong-feng[1,2], Mao Jing-wen[1], Hu Hua-bin[1], GUO Bao-jian[1,2] and BAI Feng-jun[1,2]
(1 Faculty of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2 Henan Bureau of Geology and Mineral Resources for Nonferrous Metals, Zhengzhou 450052, Henan, China)

Abstract

Located on the southern margin of the North China craton, the East Qinling molybdenum metallogenic belt is one of several regions in China characterized by the distribution of some important large-size molybdenum deposits. Molybdenum deposits generally occur in nearly E-W direction along the tectonic lineament and are mostly concentrated in a zone stretching from Jinduicheng area of Shaanxi Province in the west to Nannihu-Sandaozhuang-Shangganggou area of Luanchuan and Leimenggou of Songxian in western Henan Province. They are genetically related to Yanshanian intermediate-acid granites distributed extensively in East Qinling area and occur along the endo- and exo-contact zones of the porphyry. The molybdenum deposits are mainly of porphyry and porphyry-skarn type and subordinately of carbonatite vein type. The ore-forming ages of the molybdenum deposits in East Qinling area are within (221.5±0.3) Ma~(132.4±2.0) Ma, and cluster mainly into two pulses of (221.5±0.3) Ma and (144.8±2.1)~(132.4±2.0) Ma. The former pulse geodynamically correspond to the extensional period of post-collision orogenic process between North China and Yangtze cratons. The latter pulse results from the transformation of the tectonic regime from NS- to nearly E W-directions in East China.

Key words: geology, East Qinling molydenum deposits, distribution, geodynamics, comprehensive

http://www.kcdz.ac.cn/