

秦岭地区印支期钼矿化特征及找矿前景

胡海珠¹ 李 诺² 邓小华² 陈衍景² 李 毅¹

(1.河南省有色金属地质勘查总院,河南 郑州 450052;2.北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室,北京 100871)

摘要:秦岭地区印支期钼矿床包括 3 种类型:碳酸岩脉型、断控石英脉型及斑岩型。碳酸岩脉型钼矿床与火成碳酸岩密切相关,矿体以含钼碳酸岩脉形式产出,成矿元素出现特殊的 Mo+U+REE 组合,以黄龙铺和黄水庵钼矿为典型代表。断控石英脉型钼矿受断裂控制明显,矿体以含钼石英脉形式产出,部分蚀变岩亦含钼。该类矿床具有与造山型矿床类似的矿体地质和成矿流体特征,属造山型矿床系列的中高温、中深成端元。典型实例包括外方山石英脉型钼矿田(纸房、前范岭等)、大湖金钼矿床、马家洼金钼矿床等。斑岩型钼矿以温泉钼矿床为代表。该类矿床与印支期中酸性小斑岩体密切相关,矿化呈细脉状、细脉浸染状产出,围岩蚀变包括钾化、绢英岩化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化等。综合区域地质情况及已有找矿勘查成果,指出秦岭造山带最北缘的碳酸岩-碱性岩带是寻找碳酸岩脉型钼矿的有利地区;华北克拉通南缘马超营断裂以北、三宝断裂以南有利于断控石英脉型钼矿的产出,其中小秦岭和熊耳山地区可出现石英脉型的 Au-Mo 矿化;强调应注重对东秦岭地区印支期花岗岩及其钼矿的找矿评价工作。

关键词:印支期;钼矿化;成矿预测;秦岭

中图分类号:P618.65 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)02-0549-17

秦岭造山带横亘于中国大陆腹地,形成于中生代华北克拉通与扬子克拉通之间的陆陆碰撞作用。该地区是中国重要的钼、金、银、铅、锌、汞、锑、钨等金属产地^[1],其中东秦岭是世界第一大钼成矿省^[2,3],西秦岭是世界第二大卡林型-类卡林型金矿省,华熊地块(小秦岭、熊耳山等地体)是中国第二大造山型金矿集中区和黄金产地^[4],南秦岭是中国重要的铅锌和钨矿田^[5]。上述各类金属矿床主要形成于侏罗纪—白垩纪之交,即燕山期。

自黄典豪等^[6]报道黄龙铺热液碳酸岩脉型钼矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄变化于 220~231 Ma 以来,秦岭地区是否存在印支期的重要成矿事件一直备受关注^[6-7]。近年来找矿勘查工作和科学研究进展识别出了一批重要的印支期矿床^[1-2,8](图 1),其成矿地质特征和找矿潜力引起了地质学家的广泛兴趣。本文简要介绍秦岭地区印支期钼矿床特征,并初步评述其找矿前景。

1 碳酸岩脉型钼矿床

该矿床类型是秦岭地区最早识别出的印支期钼矿类型,均产于东秦岭地区,典型矿床包括黄龙铺和黄水庵钼矿床。

1.1 黄龙铺钼矿田

陕西黄龙铺钼矿田产于华北克拉通南缘的华熊地块,区内出露地层主要为熊耳群火山岩和官道口群高山河组绢云板岩和砂质板岩等,并发育印支期碳酸岩脉及燕山期花岗斑岩、辉绿岩^[9]。矿田内断裂构造发育,走向 300~330°,宽 1~3 km,深度可达上地幔^[10]。矿田展布受北西向断裂带控制,长约 6 km,包括了垣头、文公岭、大石沟、石家湾、桃园和二道河等矿床或矿点(图 2)。其中以大石沟、石家湾和桃园规模最大。该矿田以印支期与燕山期钼矿化并存为鲜明特色。已有 Re-Os 同位素定年结果表明,大石沟等含钼碳酸岩脉形成于 221~231 Ma,而石家湾含钼石英脉

收稿日期:2012-09-10;改回日期:2012-12-17

基金项目:国家 973 项目(2006CB4035008)和自然科学基金项目(40425006)资助。

作者简介:胡海珠,男,1971 年生,高级工程师,主要从事矿产勘查工作;E-mail:haizhuh@163.com。

通讯作者:陈衍景,男,1962 年生,教授,矿床学专业,E-mail:yjcheng@pku.edu.cn;gigyichen@126.com。

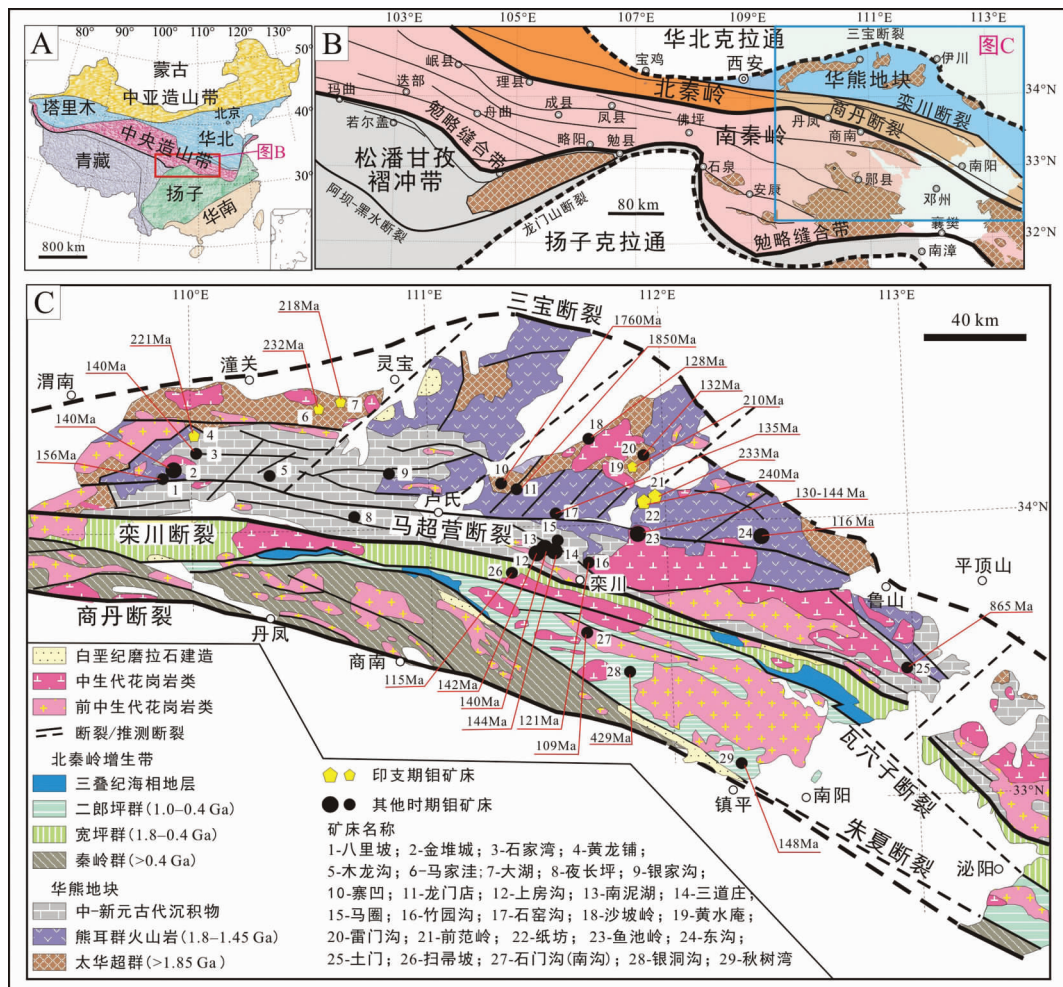


图1 纸房钼矿床地质简图(据文献[2]修改)

Fig.1 Simplified geological map of the Zhifang Mo deposit (modified after Reference [2])

形成于 138 Ma^[9]。并且,印支期与燕山期矿化具有截然不同的产状、矿物组合、成矿元素组合及成因,其中印支期以碳酸岩脉型矿化为主,而燕山期则表现为斑岩型矿化(如石家湾矿床)。综合黄典豪等^[10]、罗铭玖等^[11]及许成等^[12]资料,现将印支期各矿床(矿点)特征简介如下。

垣头矿点: 矿体主要呈碳酸岩脉形式产出于太华超群片麻岩中,单条脉体长 100~1 000 km,走向 NW-NNW。主要金属矿物包括辉钼矿、黄铜矿、方铅矿、铌钛铀矿,常见脉石矿物包括方解石、石英、天青石、微斜长石、独居石、磷钇石等。矿化元素品位: Mo:0.07%~0.144%; Pb:0.1%~0.5%; La₂O₃:0.01%~0.1%; Ce₂O₃:0.03%~0.3%; Sr:0.05%~0.3%; Ag:1~5 g/t。推算钼资源量 1 700 t,轻稀土 1 000 t,铅 2 000 t。

文公岭矿点: 矿区出露地层为熊耳群火山岩和

官道口群板岩,见 NNW 向断裂,主要侵入岩包括燕山期石英闪长岩、黑云二长花岗岩和少量的伟晶岩、细晶岩脉。此外尚见海西—印支期碳酸岩脉。矿体以钾长石—石英脉形式产于燕山期石英闪长岩周围的爆破角砾岩中,长约 600 m,宽 200~260 m。常见金属矿物包括辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和黑钨矿,脉石矿物以石英、钾长石、方解石和萤石为主。矿化元素品位: Mo:0.036%~0.136%; Pb:平均为 7.56%; Ag:500~1 000 g/t; WO₃:0.1%~0.5%。初步求得 Mo 储量 2 000 t, Pb 储量 1 000 t, Ag 储量 6.75 t, W 储量 3 560 t。

大石沟(西沟)矿床: 矿体受 NW 和 NE 向断裂控制,呈相互平行的北西向碳酸岩脉形式产出于熊耳群火山岩和高山河组石英砂岩、绢云板岩内,单条脉体最长可达 500 m(图 3)。常见金属矿物包括辉

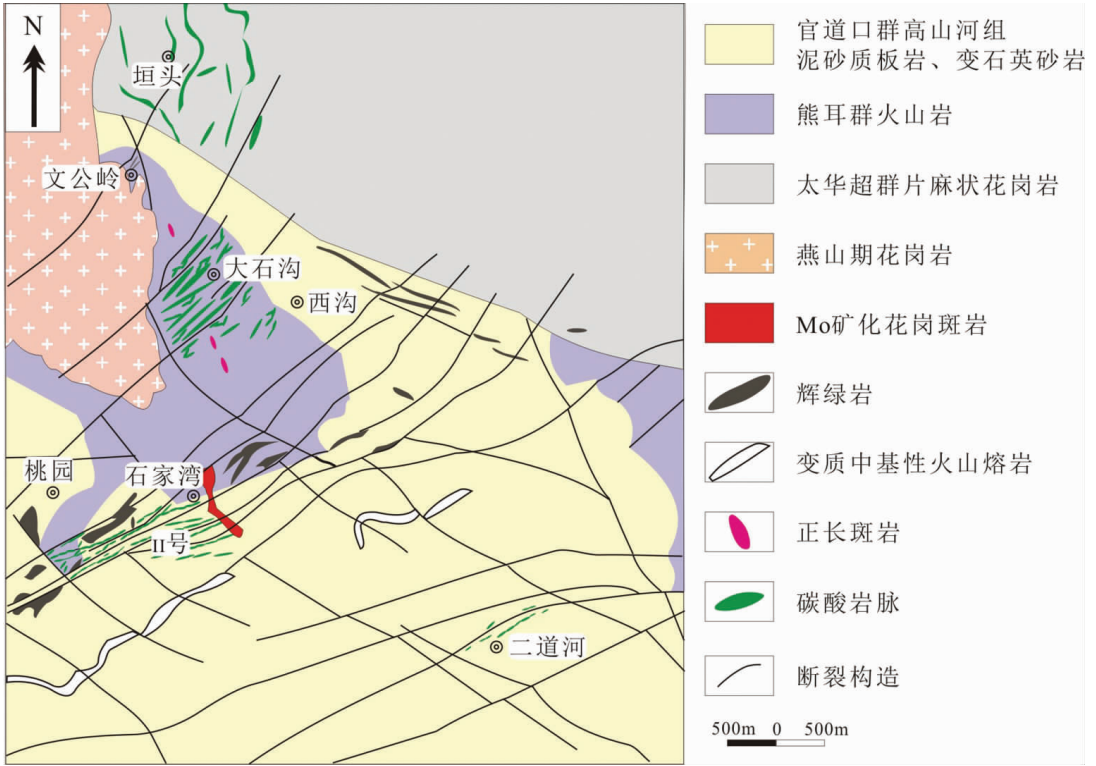


图 2 黄龙铺钼矿田地质图(据文献[12]修改)

Fig.2 Geological map of the Huanglongpu Mo orefield (Modified after reference [12])

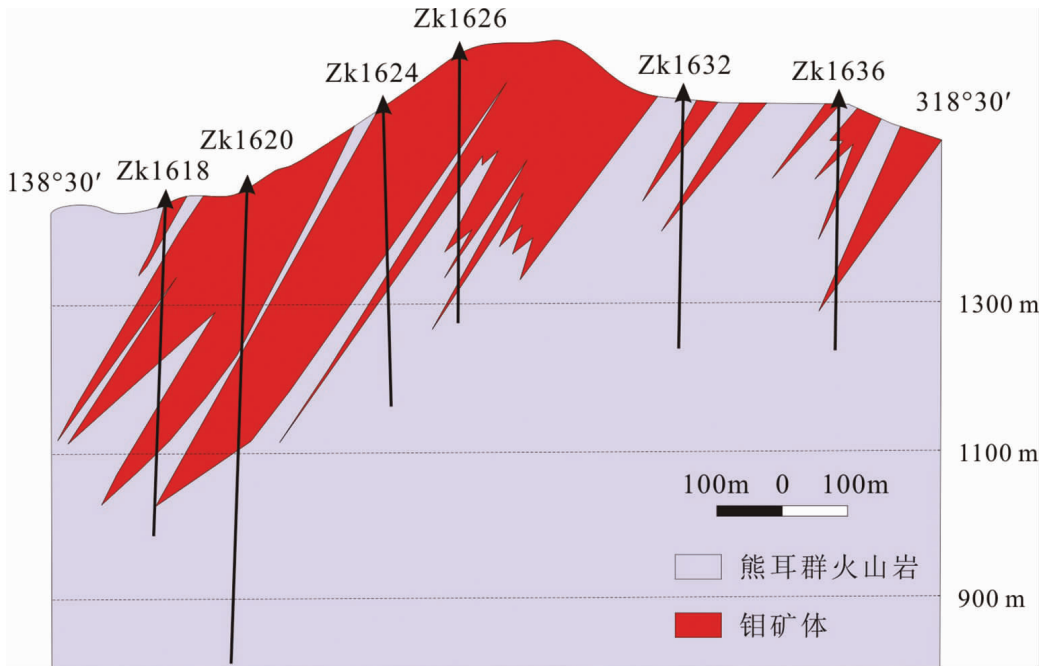


图 3 黄龙铺钼矿田剖面图(引自文献[10])

Fig.3 Cross section of the Huanglongpu Mo orefield (after Reference [10])

钼矿、黄铁矿、方铅矿、氟碳铈矿、铌钽铀矿和铅铀钒铁矿,脉石矿物包括方解石、石英、天青石、微斜长石、独居石、金红石等。沿脉体两侧发育黑云母化、绿帘石化、黄铁矿化、碳酸盐化、硬石膏化和沸石化等热液蚀变。Mo元素品位变化于0.075%~0.103%,储量约8.94万t。此外还含有19万tPb。部分矿脉轻稀土品位较高,可达1.1%~2.79%,最高4.30%。

桃园矿床:主要赋矿围岩为官道口群高山河组石英砂岩夹绢云板岩,次为熊耳群火山岩。NW向与NE向断裂构成了区内主要构造格架。矿体以碳酸岩脉形式产出,走向NE-NNE,长度可达800m。主要金属矿物包括辉钼矿、黄铁矿、方铅矿、黄铜矿和氟碳铈矿,脉石矿物见方解石、石英、钾长石、天青

石和萤石。Mo品位0.041%~0.096%,储量3.84万t。

1.2 黄水庵钼矿田

黄水庵钼矿田位于河南省嵩县境内,大地构造位置上属华北克拉通南缘的熊耳地体。区内出露地层主要为太华超群石板沟组黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩及混合岩^[13](图4)。矿区内断裂构造发育,可分为NW、NS和NE向三组,以NW向最为发育,NE向次之。其中NW向断裂控制了210号钼矿带的展布。该断裂走向110~120°,倾角75°,长1700m,宽40~90m,最宽处可达100m。三组断裂的交汇部位控制了富矿体的展布。此外可见木头沟脑—黄水庵背斜呈310°方向延伸,长约1300m^[14]。断裂两翼地层倾角为5~45°,沿轴部被隐爆角砾岩切断并形成宽300~600m

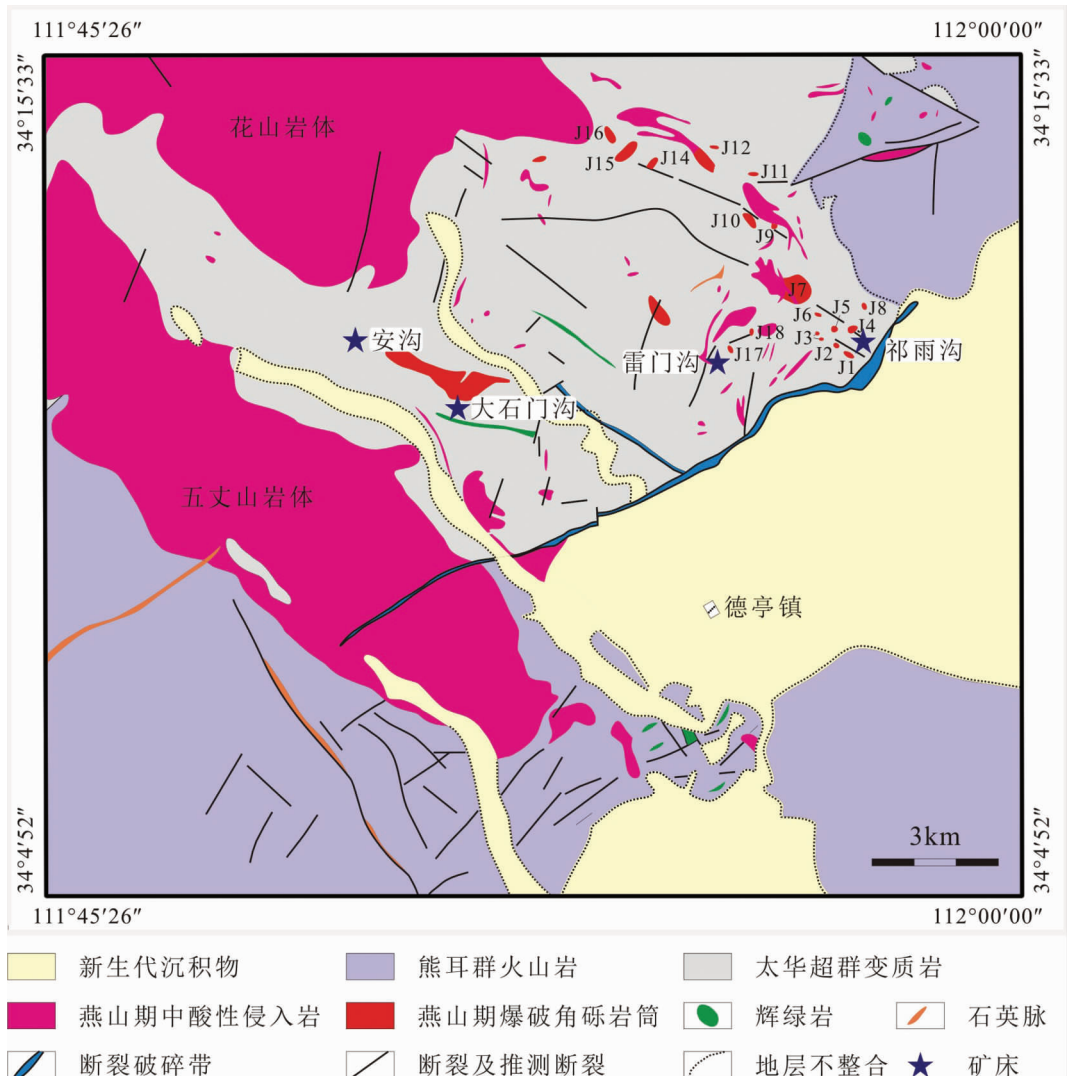


图4 黄水庵钼矿田地质图(据文献[13]修改)

Fig.4 Geological map of the Huangshui'an Mo orefield (modified after Reference [13])

的方解石石英脉密集带^[15]。矿区范围内见有花岗斑岩脉等中酸性侵入岩出露,并发育大量隐爆角砾岩体(图 4)。该矿田包括了安沟、大石门沟(螃蟹沟)等矿床(点)。黄典豪等^[16]获得 4 件辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄变化于 206~213 Ma,加权平均年龄为 209.5~4.2 Ma。李靖辉^[17]发现螃蟹沟矿区辉钼矿 Re-Os 同位素年龄可分为两组:205~229 Ma 和 153~162 Ma。各矿床地质特征分述如下。

安沟矿床:安沟钼多金属矿区内见大量石英-方解石脉填充于 NW 向断裂中,倾角 74°,长 200~500 m,宽从线状单脉到几十米的脉带,局部具有分支复合、膨大收缩现象(图 5)。这些石英-方解石脉是区内钼矿的主要赋存部位。已探明矿体位于矿区中部木头沟一带,揭露出工业钼矿体 6 个,产状 30~40°∠74~78°,呈脉状、透镜状赋存于石英-方解石脉中。常见围岩蚀变包括硅化、绢英岩化、钾化、黄

铁矿化、方解石化、重晶石化、萤石化等^[18]。常见金属矿物包括:辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿等,脉石矿物见石英、方解石、萤石、钾长石、绢云母、绿泥石、重晶石等^[19]。

大石门沟矿床:含钼矿化带主要有两条,即 D201 和 D25 号钼矿带,以前者为主(图 6)。其中 D201 号带(又称螃蟹沟矿带^[17])主要由两个隐爆角砾岩体组成。钼矿体分布于硅化、钾长石化、方解石化蚀变带中。矿体长 1 400 m,控制斜深 540 m(未尖灭),厚 50~228 m。Mo 品位一般 0.03%~0.36%,平均 0.063%。D25 号受 F25 断层控制,包括 7 个不同深度的钼矿体,以盲矿体为主。常见金属矿物包括辉钼矿、黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、褐铁矿、磁铁矿,脉石矿物包括石英、钾长石、方解石、萤石、绿帘石、重晶石等。矿化相关蚀变包括硅化、钾长石化、碳酸盐化、萤石化等^[15]。

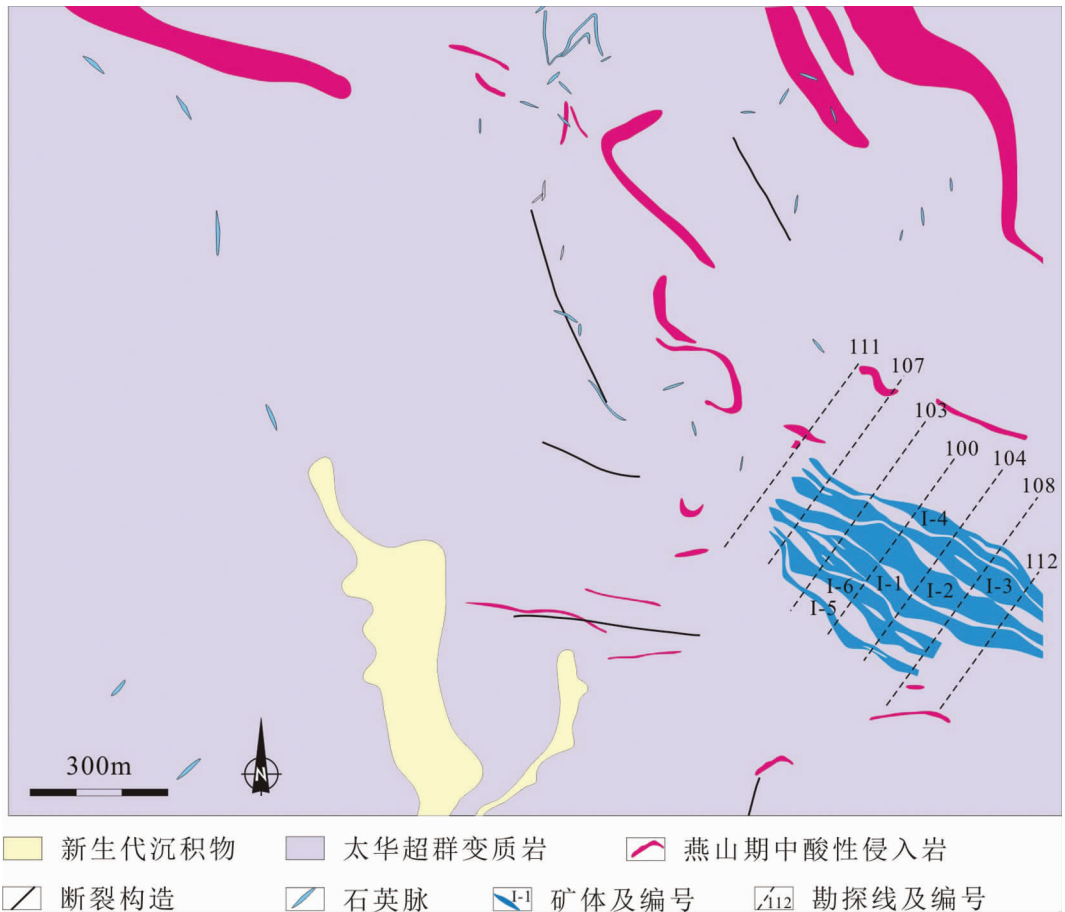


图 5 安沟钼矿床地质图(据文献[13]修改)

Fig.5 Geological map of the Angou Mo deposit (modified after Reference [13])

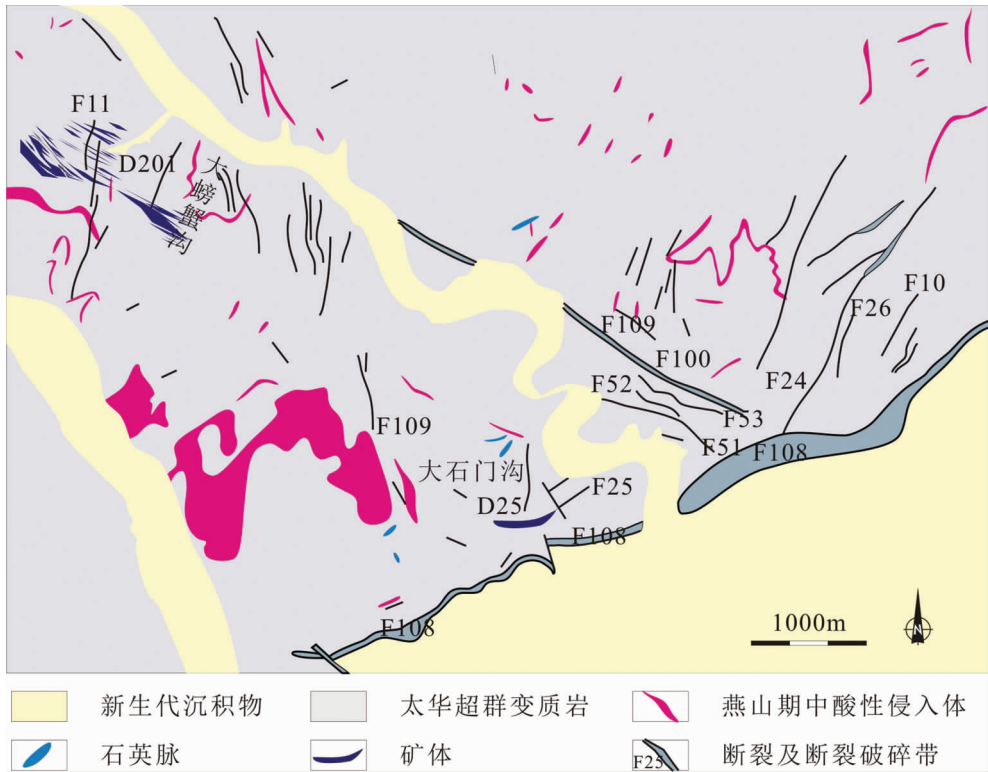


图 6 大石沟钼矿床地质图(据文献[14]修改)

Fig.6 Geological map of the Dashigou Mo deposit (modified after Reference [14])

此外,黄典豪等^[19]研究认为黄水庵矿体以含钼碳酸岩脉形式产出,呈似层状或透镜状,常见分支复合现象。个别岩体呈似筒状产于爆破角砾岩筒内。矿体一般长 100~379 m,厚 20~30 m。常见金属矿物包括辉钼矿、方铅矿、黄铁矿和少量闪锌矿,脉石矿物常见方解石、石英和微斜长石。围岩蚀变多沿脉体两侧产出,以黑云母化、碳酸盐化为主。Mo 元素平均品位 0.078%,探明储量 3.49 万 t。但未给出所研究矿体的位置和名称。

2 石英脉型钼矿床

石英脉型钼矿床是东秦岭地区新近识别出的脉状矿床类型,主要见于熊耳山—外方山一带。嵩县纸房钼矿床是最早发现的石英脉型钼矿床^[20],勘查进展最快,已发现 5 条矿脉,K2 矿脉长达 2 800 m^[21],矿石品位高,资源量达中型规模^[20]。随后,大量同类钼矿床被陆续发现,如凡台沟、香椿沟、八道沟、大西沟、毛沟、土岭村、前范岭、石梯上、康家沟等,钼资源量约 15 万 t,伴生铅资源量约 30 万 t,潜在储量预计可达超大型规模,构成了外方山石英脉型钼矿田^[22-23]。此

外,在大湖、马家洼地区亦有同类矿床被识别出来。

2.1 外方山钼矿田

外方山钼矿田位于河南省嵩县境内,区内出露地层主要为熊耳群鸡蛋坪组流纹(斑)岩、流纹质火山角砾岩和集块岩^[24](图 7)。该石英脉型钼矿田包括纸房、凡台沟、香椿沟、八道沟、大西沟、毛沟、土岭村、前范岭、石梯上、康家沟等钼矿床,均产于熊耳群鸡蛋坪组,具有相似的矿床地质特征,钼资源量约 15 万 t,伴生铅资源量约 30 万 t^[24]。

邓小华^[24-25]对来自纸房、八道沟矿区和香椿沟矿床的 15 件辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素年龄测定,获得模式年龄变化于(232.9±2)~(247.7±4.4) Ma,等时线年龄为(239.9±4.0) Ma。高阳等^[26, 27]获得前范岭矿床 6 件辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄变化于(233.3±3.3)~(248.2±3.5) Ma,等时线年龄为(239±13) Ma;纸房、大西沟、毛沟钼矿的 9 件辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄变化于(230.9±3.3)~(238.8±3.2) Ma。

2.1.1 纸房钼矿床

纸房钼矿床矿体呈脉状、层状、似层状产于熊耳

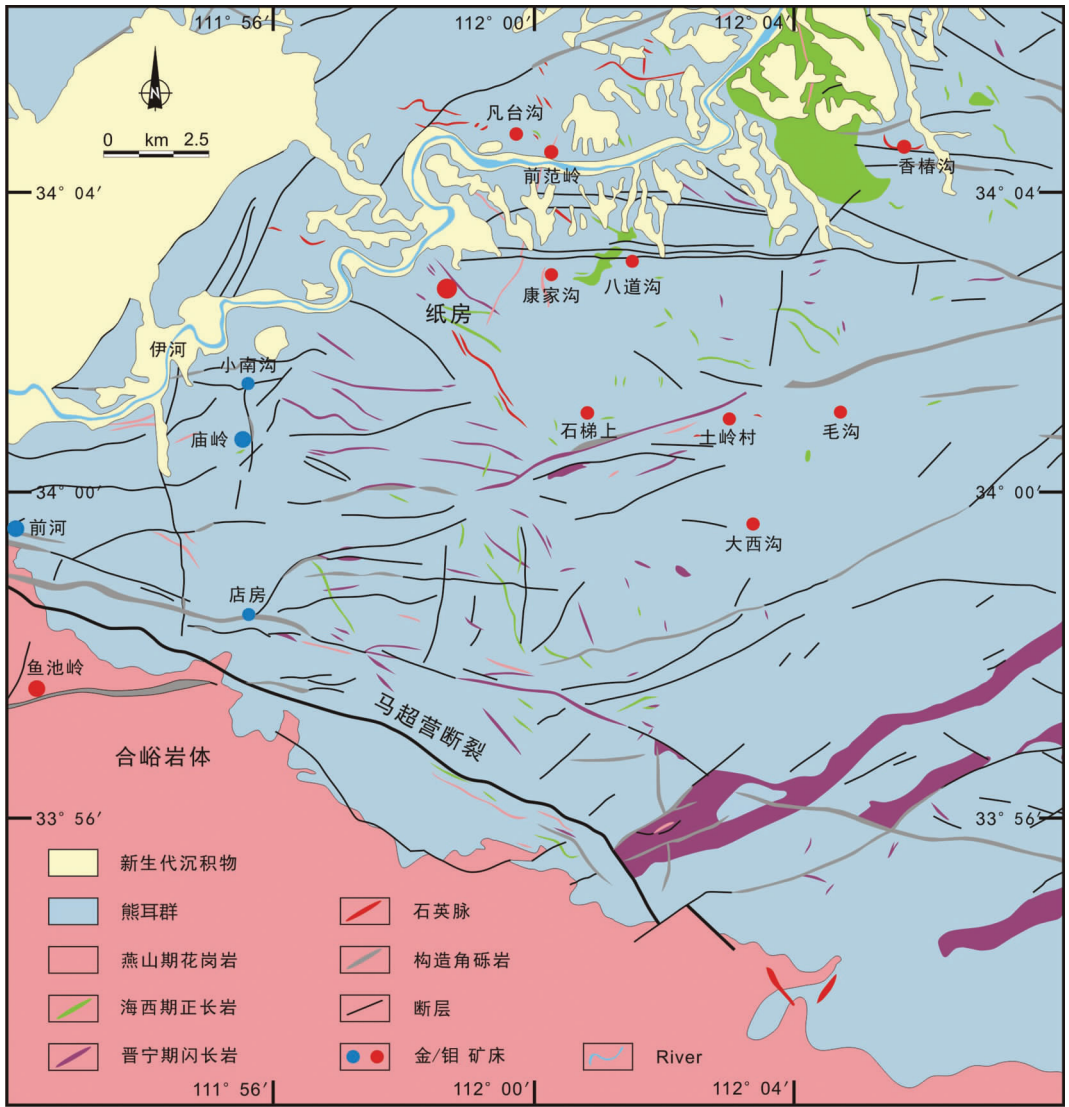


图 7 外方山钼矿田地质简图(引自文献[24])

Fig.7 Simplified geological map of the Waifangshan Mo orefield (after Reference [24])

群流纹斑岩中,沿层间拆离断层充填或交代成矿(图 8)。区内目前已发现矿脉/带 6 条,分别称为 K1、K2、K3、K4、K5、K6(K6 为盲矿脉),以 K2、K4、K5 为主矿脉。单条矿脉最长可达 2 800 m,厚 0.50 ~ 2.50 m^[2]。K2 矿脉呈层状、似层状产出,倾向 52 ~ 87°,倾角 9 ~ 39°;地表控制长度 2 800 m,倾向控制延伸 225 m,总体具有两端厚、中间薄的特点,平均厚度 2 m。Mo 品位变化于 0.03%~0.29%,平均 0.064%。K4 矿脉走向 NW-SE,倾向 25~72°,倾角 9~34°,具波状起伏特征。地表控制长度 500 m,倾向控制延伸 550 m,平均厚度 2.15 m。矿脉沿走向具分支复合、膨大收缩等现象,常被近 EW 向后期断层错开成眼球状透镜

体,但地表连续性较好。Mo 品位变化于 0.033%~1.081%,平均 0.158%。以石英脉为中心发育线性钾化等蚀变。蚀变围岩中亦可见矿化,且通常上盘矿化弱,下盘矿化强^[20-21]。K5 矿脉呈层状、似层状产出,倾向 9~77°,倾角 9~39°。地表控制长度 580 m,倾向控制延伸 170 m,平均厚度约 3.53 m。Mo 品位稳定,介于 0.031%~0.534%,平均 0.113%。

原生矿石类型可分为石英脉型和蚀变岩型。常见金属矿物包括辉钼矿、黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、烧绿石、铀烧绿石、褐铁矿、铜蓝等,脉石矿物见石英、钾长石、方解石、绿帘石、绿泥石、绢云母等。该矿床中辉钼矿产状较为特殊,反射光下灰白色-

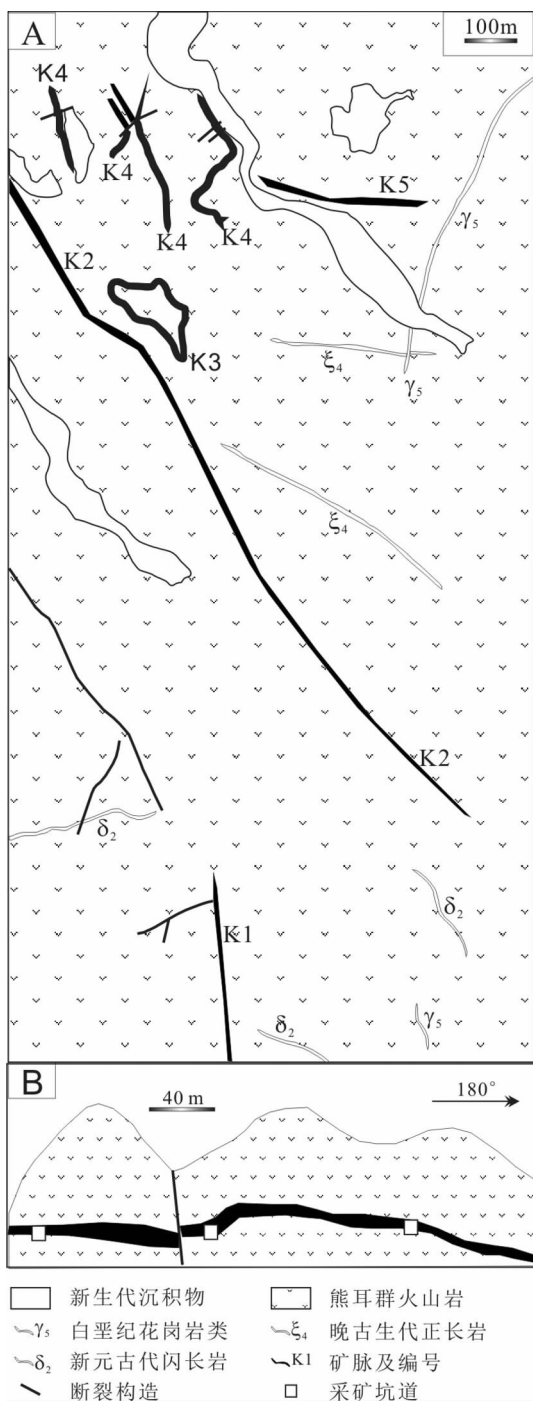


图8 纸房钼矿床地质图(A)及剖面地质图(B)(引自文献[25])
Fig.8 Geological map (A) and cross section (B) of the Zhifang Mo deposit (after Reference [25])

白色多色性不明显,显示均质特征^[25]。刘国印等^[20]认为其可能属辉钼矿的同质多象变体。围岩蚀变主要为钾化和硅化。蚀变的强度与含矿石英脉的厚度及距离石英脉远近有关,石英脉厚度越大,围岩蚀变越

强,距石英脉越近,围岩蚀变亦越强^[24]。

流体成矿过程具有三阶段特征^[25]。早阶段主要形成连续而厚大的石英脉,可见立方体黄铁矿和钾长石化。中阶段形成标志性的多金属硫化物脉,并充填在破碎的早阶段矿物组合中。晚阶段则发育石英-碳酸盐细脉,偶见黄铁矿,矿化较弱。邓小华等^[25]的研究结果表明,热液石英中发育CO₂包裹体、水溶液包裹体和含子矿物多相包裹体,主成矿阶段温度介于250~360℃,表明成矿流体具有中高温、富CO₂的特征,与造山型矿床的成矿流体系统特征类似。

2.1.2 前范岭钼矿床

前范岭矿区主要由3个矿体组成,编号P1~P3,每个矿体包含若干次级矿脉。矿脉厚度变化较大,一般几十厘米至数米不等。P1矿体总体走向近NS向,倾向110°,倾角9~15°。局部厚度较大,可达10余米。辉钼矿主要产于石英脉内,少量产于石英脉周围的蚀变岩中。P2矿体地表出露长约1200m,走向NW-NS向,倾角20~25°,其厚度变化较大,一般2~5m。P3矿体地表出露仅50m,矿脉倾向80°,倾角25°。

钼矿石类型包括石英脉型和蚀变岩型,以前者为主。常见金属矿物包括辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等,脉石矿物以石英为主,次为方解石、萤石等。围岩蚀变类型包括硅化、钾化和青磐岩化等,蚀变强度、规模与石英脉厚度及距石英脉远近有关,石英脉厚度越大,距石英脉越近,则蚀变越强,反之亦然^[26]。

流体成矿过程可分为4个阶段:(1)纯净石英阶段,以发育纯净石英脉为特征,偶见黄铁矿,但不含辉钼矿;(2)石英-辉钼矿阶段,以辉钼矿大量出现为特征,局部可含较多黄铁矿及其他金属硫化物;(3)石英-黄铁矿阶段,以石英+黄铁矿组合为特征,不含辉钼矿;(4)石英-萤石、方解石阶段,以发育石英+萤石+方解石组合为特征,基本不含矿^[26]。

2.1.3 八道沟钼矿床

八道沟钼矿的产出严格受层间剪切构造带控制。目前区内已发现含钼石英脉5条。矿体呈脉状、似层状、板状产出,沿走向长630~980m,延深300~350m,厚度一般2.4~3.5m。常见金属矿物包括辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、褐铁矿、磁铁矿等,脉石矿物以石英、钾长石、斜长石为主,见少量黑云母、磷灰石、绿泥石、方解石。区内围岩蚀变沿断裂构造带及其顶、底板分布,以钾化、硅化为主,次为绿泥石化、绢云母化^[28]。

2.1.4 香椿沟钼矿床

香椿沟矿区矿体呈脉状、层状、似层状沿层间剥离断层充填或交代成矿。区内已发现5层矿脉,其中地表3层,但仅1层为主矿脉,深部隐伏有2层矿脉。地表矿脉呈层状、似层状近平行产出,倾向约 10° ,倾角约 25° ;矿脉延伸长达数千米,厚度超过10 m,深部钻孔控制的矿脉甚至厚达40 m,且品位可高达0.2%~0.3%,矿床储量已达中型规模。地表控制长度上千米,被地形分割为罗圈凹矿脉和香椿沟矿脉,矿体整体出露连续性好,未见分枝复合、膨大收缩等现象。

2.2 大湖金钼矿床

河南省灵宝市大湖金矿位于小秦岭矿田北缘,矿体定位受近东西向韧性剪切带或断裂破碎带控制,属典型的断裂控制的中温脉状或造山型金矿^[29-30],目前已探明黄金储量28 t,平均品位8.7 g/t。近年来,随采矿工作的深入,发现部分含金石英脉向深部转变为含钼石英脉,在海拔500 m以下的空间,还发现了多条独立的辉钼矿-石英脉,目前探获钼资源量10万 t,已达大型规模。该矿床是东秦岭地区发现的首个Au-Mo共生的脉状矿床。李厚民等^[31]、李诺等^[32]对来自S35矿脉的辉钼矿样品进行了年龄测定,获得的Re-Os模式年龄介于 $(215.4\pm 5.4)\text{Ma}$ ~ $(255.6\pm 9.6)\text{Ma}$,即印支期。然而,Li et al.^[33]对与辉钼矿共生的热液独居石的SHRIMP U-Pb年龄测定获得了两组结果,其中年龄较为集中的一组为 $(216\pm 5)\text{Ma}$,被认为代表了热液独居石的形成年代,而小于125 Ma的年龄被认为代表了独居石的重结晶年龄。据此,认为大湖金钼矿床发生了两期的矿化作用,第一期发生在印支期,以辉钼矿的沉淀为主,第二期发生在燕山期,表现为对先期矿化的叠加改造,同时有金的矿化^[33]。

矿区范围内出露的地层主要为太华超群间家峪组混合片麻岩和黑云斜长片麻岩^[30](图9)。区内褶皱构造不发育,主要控矿构造为一组近东西向展布、向北缓倾的韧性剪切带及断层,自北向南依次为F1、F8、F7、F35、F5、F6,总体近平行排列,偶有交汇复合,具多期活动、由压性经压扭性向张扭性断裂转化的特点。其中F5是矿区主要的控矿构造,控制着多数含金石英脉和金矿体的产出^[34-35]。

目前已发现的钼矿体产于F5、F35和F7构造带,以F5为主。矿体呈厚层状、透镜状产出,形态较为复杂。沿走向和倾向分枝复合现象显著,且矿体和

顶板岩石十分破碎,常见石英+钾长石±黄铁矿±辉钼矿组成的角砾,并见细粒粉末状辉钼矿胶结石英角砾。在构造复合或接近底板处见糜棱岩化矿石。矿区范围内共圈定钼矿体4个,自南向北依次为:Mo-I、Mo-II、Mo-III、Mo-IV,近平行排列。

Mo-I号矿体:产于F5下部层位中,浅部斜切到F5底部。该矿体形态复杂,为不规则大型脉状体,但产状较稳定,走向 80° ,倾向N-NNW,倾角 42.5° 。东西长700 m,沿倾向延伸约150 m,总体呈近等轴状,局部与上层钼矿体交叉复合。矿体厚度变化于4.85~13.55 m,平均8.66 m。单工程品位最低0.06%,最高0.14%,平均0.099%。

Mo-II号矿体:产于F5中下部层位中,浅部斜切到F5底部,与Mo-I号矿体以断层面相隔。矿体形态复杂,但产状比较稳定,走向 80° ,倾向N-NNW,平均倾角 29° ,局部与上、下层钼矿体交叉复合。东西长600 m,沿倾向延伸约100 m。矿体厚度变化于2.16~38.20 m,平均18.54 m,具小型规模。单工程品位最低0.06%,最高0.18%,平均0.093%。该矿体下部470、435中段揭露为氧化矿,黄铁矿氧化为褐铁矿,辉钼矿氧化为钼华等矿物。

Mo-III号矿体:产于F5中部层位。矿体总体呈哑铃状,产状稳定,平均倾角 40° ,局部与下层钼矿体复合。东西方向长280 m,沿倾向延伸约130 m。该矿体形态复杂,矿体厚度变化于1.50~13.20 m,平均5.95 m。单工程品位最低0.07%,最高0.39%,一般0.08%~0.14%,平均0.10%。

Mo-IV号矿体:产于F5上部层位,在7线附近与F7相交。矿体形态规则,产状稳定,走向 80° ,倾向N-NNW,倾角 23° 。东西方向长230 m,沿倾向延伸约40 m,总体呈近等轴状。该矿体西部见氧化矿,黄铁矿氧化为褐铁矿,辉钼矿氧化为钼华等矿物。矿体厚2.44~10.32 m,平均6.0 m。单工程品位最低0.06%,最高0.14%,一般0.08%~0.125%,平均0.096%。

矿石可分为石英脉型和蚀变岩型两种,以前者为主。原生金属矿物见自然金、黄铁矿、辉钼矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿等,氧化矿物见钼华、褐铁矿、赤铁矿、斑铜矿、铜蓝、孔雀石等。脉石矿物主要有石英、钾长石、斜长石、方解石、绢云母、绿泥石等。区内热液蚀变主要沿构造带及其两侧围岩呈线状分布,主要类型包括硅化、钾化、绢英岩化、碳酸盐化、绿泥石化、黄铁矿化等。

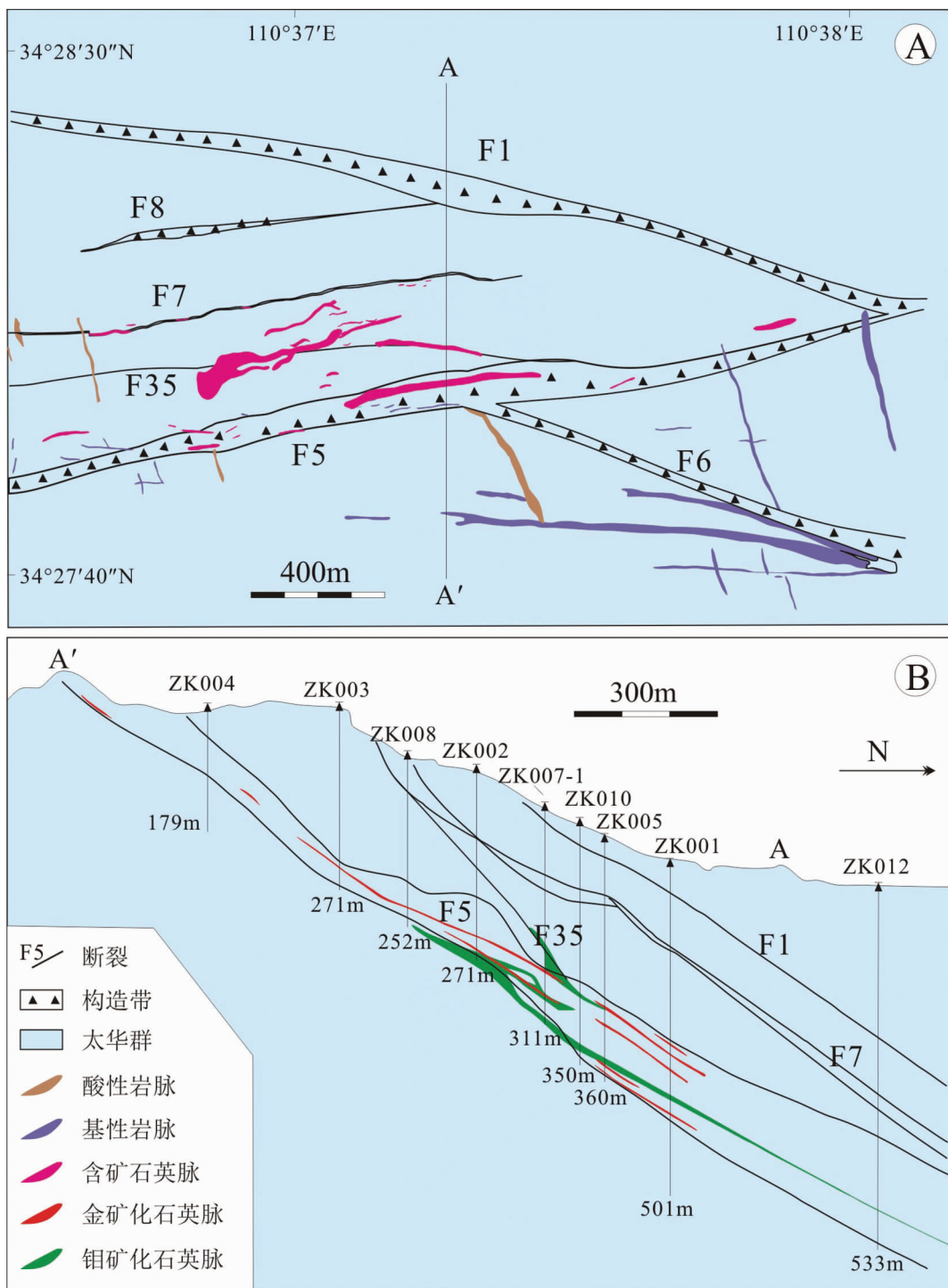


图9 大湖钼矿床地质图(A)及剖面地质图(B)(据文献[33])

Fig.9 Geological map (A) and cross section of the Dahuo Mo deposit (after Reference [33])

成矿过程具有多阶段特征,按照矿物组合、矿石结构构造及同位素定年结果,将成矿过程划分为如下3期:(1)钼成矿期(印支期):目前可识别出的属于该成矿期的矿物组合均来自各种角砾,主要矿物

包括钾长石、石英、黄铁矿、辉钼矿及少量的闪锌矿和热液独居石,矿物颗粒较为粗大;(2)金成矿期(燕山期):伴随强烈的构造活化,钼金属成矿期形成的矿石多呈角砾状被新生矿物所胶结,新生矿物包括

细粒石英、黄铜矿、方铅矿、钾长石、独居石、自然金等;(3)成矿后热液活动期(燕山期):热液活动微弱,形成梳状的石英-碳酸盐细脉,但对矿化贡献微弱^[36]。

成矿流体研究表明^[36-37],石英中所含流体包裹体从钼成矿期单一的含CO₂包裹体,经金成矿期共存的纯CO₂包裹体、不同相比比例的含CO₂包裹体及含子矿物多相包裹体,向成矿后的水溶液包裹体演化,成矿流体总体具有中-高温、中-深成、低盐度、富CO₂的特征,与典型造山型矿床一致,但钼矿化温度、压力均高于金矿化阶段。

2.3 马家洼金钼矿床

马家洼金钼矿床位于小秦岭金矿田北缘,大湖金钼矿床的西侧。区内出露地层主要为太华超群混合花岗岩和大理岩。矿床赋存于4条近东西向的脆韧性断裂构造带中,自北而南依次为0、I、II、III。0号矿脉带长1500 m,宽30~340 m,平面上呈中间宽、两端窄的纺锤形。矿脉往往密集分布,成群出现,走向与断裂带一致,倾向南,倾角30~80°。其中9条矿脉可构成工业矿体,矿体厚度1~5 m,总体呈舒缓波状,具有膨大狭缩、尖灭再现等特征;金平均品位6.03 g/t,钼平均品位0.034%。来自0号矿脉带2号矿体的5件石英脉型钼矿石给出的辉钼矿Re-Os模式年龄变化于232.5~268.4 Ma,等时线年龄为(231±11)Ma^[38]。

金、钼矿化类型主要为石英脉型和构造蚀变岩型,常见金属矿物包括辉钼矿、黄铁矿、方铅矿、黄铜矿及少量自然金、银金矿、碲金矿、白钨矿、毒砂、辉铜矿等,脉石矿物以石英为主,其次为绢云母、钾长石、黑云母、重晶石、方解石、白云石、绿帘石、绿泥石等。围岩蚀变普遍发育,带宽1 m左右,主要蚀变类型包括硅化、绢云母化、黄铁矿化、黄铁绢英岩化、碳酸盐化、褐铁矿化、绿帘石化、绿泥石化、重晶石化、钾化、高岭土化等。上述围岩蚀变表现出一定的分带性,靠近矿体一侧以黄铁矿化、绢云母化、硅化、黄铁绢英岩化为主,次为碳酸盐化、重晶石化,而远离矿体一侧主要表现为绿泥石化、绿帘石化、钾化和黑云母化^[38]。

3 斑岩型钼矿床

秦岭地区识别出的印支期斑岩型钼矿床目前仅见于西秦岭甘肃武山地区的温泉钼矿床。该矿床主要赋存于三叠纪温泉复式花岗岩体中^[39](图10)。宋

史刚等^[40]获得5件辉钼矿样品的Re-Os模式年龄变化于(212.7±2.6)~(215.1±2.6)Ma,等时线年龄为(214.4±7.1)Ma,略小于岩体(216.2±1.7)Ma~(217.2±2.0)Ma的侵位年龄^[41]。

温泉复式花岗岩体由黑云母花岗岩、含斑黑云母二长花岗岩、似斑状含角闪石二长花岗岩、似斑状粗斑-巨斑状黑云母二长花岗岩和似斑状正长花岗岩组成,以二长花岗岩为主。温泉钼矿主要发育于其中的似斑状黑云母二长花岗岩和花岗斑岩单元。目前初步查明矿化带4个、矿体34条,探获钼矿石量7805万t,Mo品位变化于0.03%~3.99%,平均0.053%。矿体呈似层状、不规则脉状产出,走向340~355°,倾角30~75°^[42](图11)。矿化类型以细脉状和细脉浸染状为主,脉体一般呈烟灰色,宽1~5 mm,个别达1 cm。常见金属矿物包括辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿以及少量的磁黄铁矿、闪锌矿、斑铜矿、黝铜矿、白钨矿、毒砂、方铅矿、褐铁矿、钛铁矿、铜蓝等,脉石矿物见石英、钾长石、斜长石、黑云母等^[39]。区内发育典型的斑岩型热液蚀变,常见钾化、硅化、高岭石化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、黄铁绢英岩化和碳酸盐化。其中钼矿化与钾化和硅化关系密切。

4 印支期钼矿化特征及找矿前景

4.1 碳酸岩脉型钼矿化特征及找矿前景

碳酸岩脉型钼矿以其特殊的产状(含钼方解石脉)、成矿元素组合(Mo+U+REE)而备受关注。关于其成因争议较大,罗铭玖等^[11]曾将其归为与燕山晚期斑状花岗岩有关的方解石-石英脉型钼-铅-铀矿床,而李永峰等^[43]亦认为其属热液成因,称之为“热液碳酸盐脉型”。然而,据许成等^[12]及黄典豪等^[16]研究,该类型矿床的C、O、Sr、Nd、Pb同位素组成显示典型的火成碳酸岩特征。事实上,在陕西华阴-洛南地区、河南方城杨集乡地区、河南嵩县纸房-黄庄地区分布有大量火成碳酸岩^[44],并与碱性岩一起构成了展布于秦岭造山带最北缘的碳酸岩-碱性岩带。因此,寻找与火成碳酸岩有关的钼矿床应在马超营断裂以北的区域开展,可尝试以碱性岩作为共生标志,同时加强对其中的U、Th、REE等共生元素的评价。

4.2 石英脉型钼矿化特征及找矿前景

秦岭地区目前已识别的印支期石英脉型钼矿床产出明显受断裂控制,呈脉状、似层状产出,沿脉体两侧发育钾化、绢英岩化、碳酸岩化等线性热液蚀

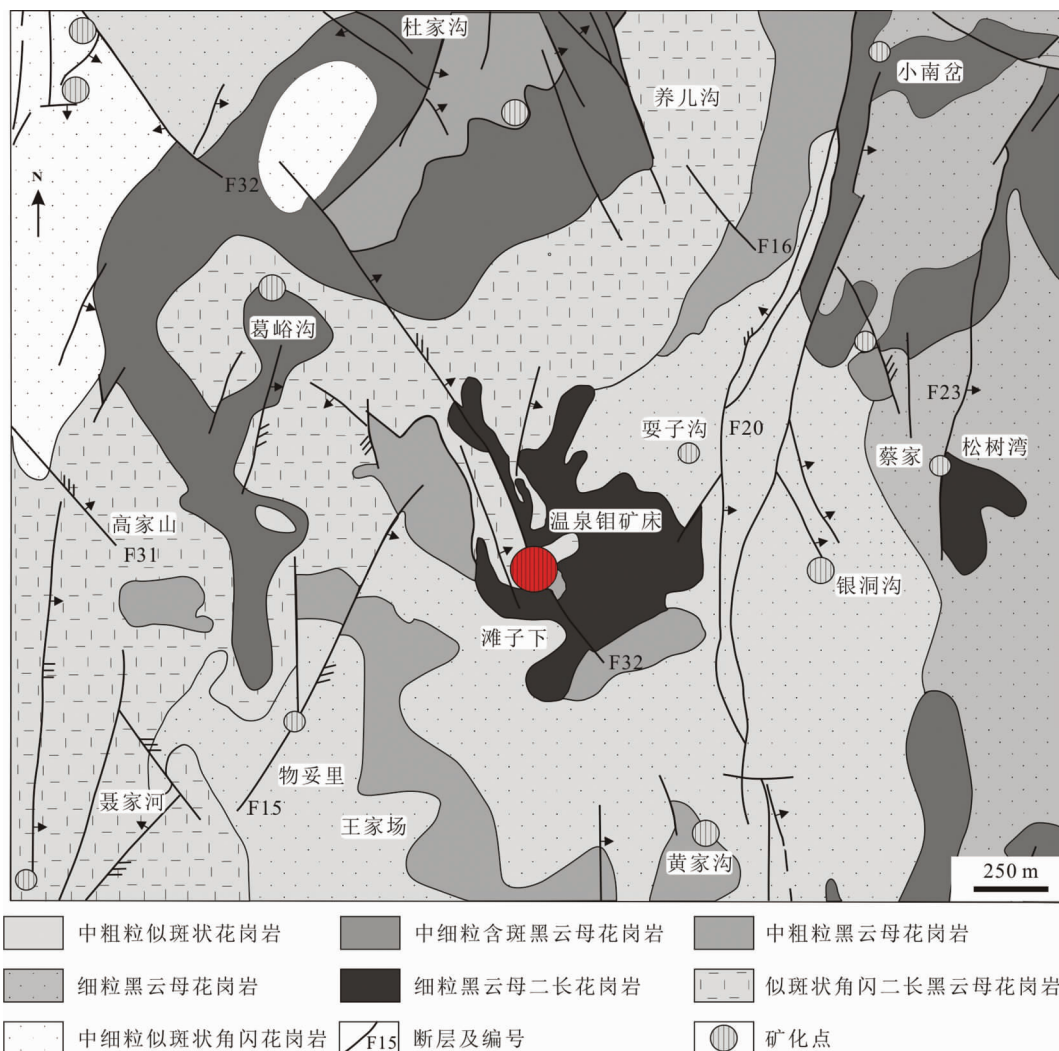


图 10 温泉钼矿床地质图(据文献[39]修改)

Fig.10 Geological map of the Wenquan Mo deposit (modified after Reference [39])

变,成矿流体具有中高温、低盐度(可出现由于沸腾导致的少量高盐度包裹体)、富 CO₂ 的特征,与典型造山型矿床特征一致,被认为属于造山型矿床系列的中高温、中深成端元^[25,30]。按照造山型矿床成矿模式,该类矿床形成深度较大,可达 18 km^[45]。因此,在找矿过程中可加大深部探矿工作,尤其是已有矿区深部的资源潜力评价。大湖金矿深部钼矿化的发现即一成功范例。

按照陈衍景提出的 CMF 模式^[46],造山型脉状矿床带(D 带)往往与花岗岩带(G 带)及斑岩带(P 带)空间上依序出现。考虑到华北克拉通南缘具有富集 Mo 的地球化学背景,认为华北克拉通南部马超营断裂至三宝断裂之间的区域具有良好的寻找断控石

英脉型钼矿的良好前景。目前区内已发现的断控石英脉型钼矿床均位于该区域内。

已知小秦岭地区的大湖、马家洼脉状钼矿同时见金、钼矿化,而外方山石英脉型钼矿田仅见单钼矿化。据此,认为这种矿化特征可能受区域 Au 元素背景控制。则在脉状金矿大量发育的小秦岭地区和熊耳山区南部是寻找类似于大湖石英脉型金钼矿床的有利靶区,而在外方山区尚无强烈金矿化的显示,出现石英脉型金钼矿床的可能性较小,但可发育单钼矿床。

此外,石英脉型钼矿的发育尚需要化学性质相对“惰性”的围岩,如熊耳群火山岩、太华超群变质岩等。而在栾川群、官道口群广泛发育的卢氏—栾川地区,由于碳酸盐化学性质活泼,易与成矿流体发生反

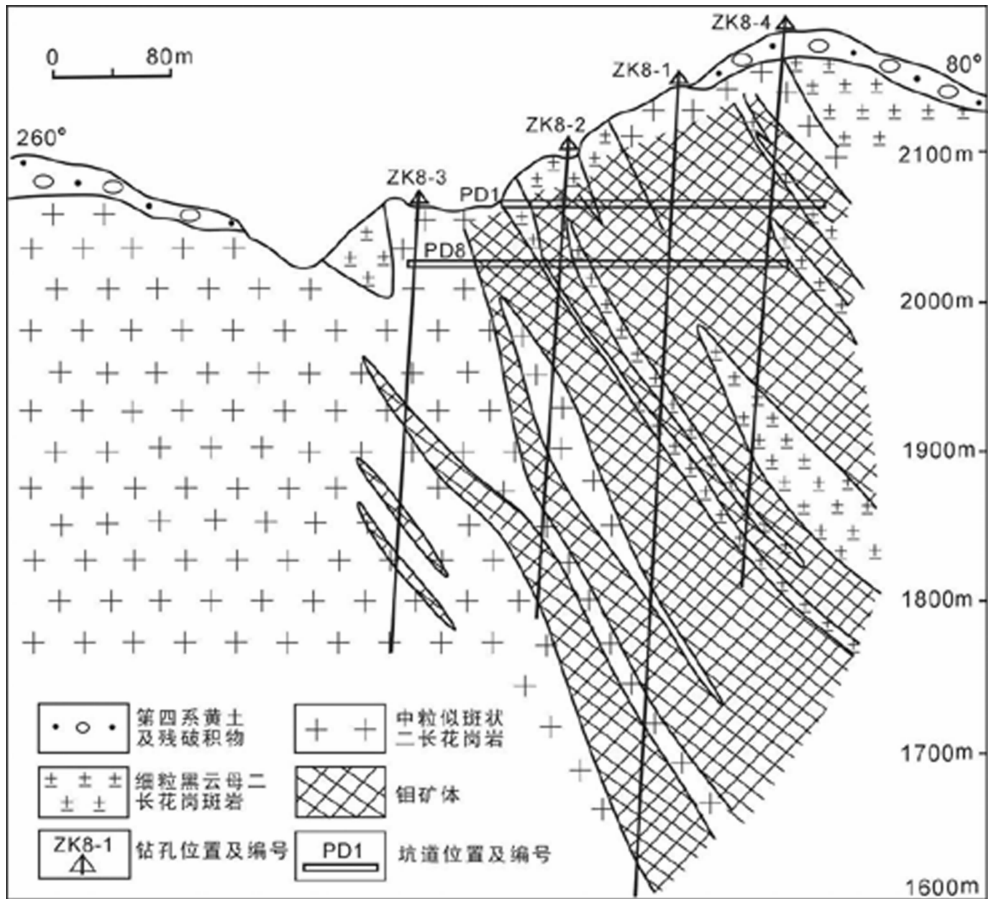


图 11 温泉钼矿床 8 线地质剖面图(引自文献[39])

Fig.11 Cross section along No. 8 exploration line of the Wenquan Mo deposit (after Reference [39])

应,难以形成粗大的石英脉。

4.3 斑岩型钼矿化特征及找矿前景

斑岩型矿化是秦岭地区最主要的钼矿化类型。区内 6 个超大型钼矿床中的 4 个(东沟、金堆城、南泥湖、鱼池岭)均为此类。这类矿床与中酸性小斑岩体密切相关,矿化可发生在斑岩体内部或外围;成矿深度较小,一般不超过 8 km。当围岩为碳酸盐地层时,可同时出现矽卡岩型钼矿化(如:南泥湖—三道庄钼矿床)。

秦岭地区已知斑岩型钼矿床成矿时代以燕山期为主,罕见印支期斑岩型钼矿化。目前已知的印支期斑岩型钼矿化仅见于西秦岭地区,即温泉钼矿床。事实上,西秦岭地区广泛发育印支期花岗岩类^[47-49],但由于区域 Mo 地球化学背景较东秦岭略差,斑岩型钼矿发育较少。东秦岭地区具有良好的 Mo 成矿地球化学背景,但已知大规模的花岗质岩浆活动及相关成矿作用集中爆发于燕山期,而印支期花岗岩未

得到充分重视。考虑到东秦岭两侧的西秦岭地区和大别—苏鲁地区均广泛发育印支期花岗岩类^[50],认为该区同样可能发育印支期花岗岩及相关的斑岩型钼矿化。因此,在今后的找矿勘查中应重视寻找印支期花岗岩及相关钼矿化。

参考文献(References):

- [1] 陈衍景. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用 [J]. 中国地质, 2010, 37(4):854- 865.
Chen Yanjing. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogensis in Qinling Orogen, central China [J]. Geology in China, 2010, 37(4):854-865(in Chinese with English abstract).
- [2] 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.
Li Nuo, Chen Yangjing, Zhang Hui, et al. Molybdenum deposits in East Qinling [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14 (5):186-198 (in Chinese with English abstract).
- [3] 卢欣祥, 罗照华, 黄凡, 等. 秦岭—大别山地区钼矿类型与矿化组

- 合特征[J]. 中国地质, 2011, 38(6):1518-1535.
- Lu Xinxiang, Luo Zhaohua, Huang Fan, et al. Mo deposit types and mineralization assemblage characteristics in Qinling-Dabie Mountain area[J]. *Geology in China*, 2011, 38(6):1518-1535 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王成辉, 王登红, 黄凡, 等. 中国金矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 2012, 39(5):1125-1142.
- Wang Chenghui, Wang Denghong, Huang Fan, et al. The major gold concentration areas in China and their resource potentials[J]. *Geology in China*, 2012, 39(5):1125-1142(in Chinese with English abstract).
- [5] 黄典豪, 吴澄宇, 杜安道, 等. 东秦岭地区钼矿床的铼-钨同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 1994, 13(3):221-230.
- Huang Dianhao, Wu Chengyu, Du Andao, et al. Re-Os isotope ages of molybdenum deposits in East Qinling and their significance[J]. *Mineral Deposits*, 1994, 13(3):221-230(in Chinese with English abstract).
- [6] 卢欣祥, 尉向东, 董有, 等. 小秦岭-熊耳山地区金矿时代[J]. 黄金地质, 1999, 5(1):11-16.
- Lu Xinxiang, Wei Xiangdong, Dong You, et al. The metallogenic epoch of gold deposits in Xiaoqingling-Xiong'er shan region[J]. *Gold Geology*, 1999, 5(1):11-16(in Chinese with English abstract).
- [7] 任富根, 殷艳杰, 李双保, 等. 熊耳裂陷印支期同位素地质年龄耦合性[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(4):286-288.
- Ren Fugen, Yin Yanjie, Li Shuangbao, et al. The coupling character between isotopic geochronology of Indosinian epoch in Xiong'er fault basin[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(4):286-288 (in Chinese with English abstract).
- [8] 陈衍景, 翟明国, 蒋少涌. 华北大陆边缘造山过程与成矿研究的重要进展和问题[J]. 岩石学报, 2009, 25(11):2695-2726.
- Chen Yanjing, Zhai Mingguo, Jiang Shaoyong. Significant achievements and open issues in study of orogenesis and metallogenesis surrounding the North China continent[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(11):2695-2726 (in Chinese with English abstract).
- [9] 赵海杰, 毛景文, 叶会寿, 等. 陕西黄龙铺地区碱性花岗斑岩及辉绿岩的年代学与地球化学: 岩石成因及其构造环境示踪[J]. 中国地质, 2010, 37(1):12-27.
- Zhao Haijie, Mao Jingwen, Ye Huishou, et al. Geochronology and geochemistry of the alkaline granite porphyry and diabase dikes in Huanglongpu area of Shaanxi Province: Petrogenesis and implications for tectonic environment[J]. *Geology in China*, 2010, 37(1):12-27(in Chinese with English abstract).
- [10] 黄典豪, 王义昌, 聂凤军, 等. 一种新的钼矿床类型—陕西黄龙铺碳酸岩脉型钼(铅)矿床地质特征及成矿机制[J]. 地质学报, 1985, 59(3):241-257.
- Huang Dianhao, Wang Yichang, Nie Fengjun, et al. A new type of molybdenum deposit—Geological characteristics and metallogenetic mechanism of the Huanglongpu carbonatite vein-type of molybdenum (lead) deposit, Shaanxi[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1985, 59(3):241-257(in Chinese with English abstract).
- [11] 罗铭玖, 张辅民, 董群英, 等. 中国钼矿床[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1991:1-452.
- Luo Mingjiu, Zhang Fumin, Dong Qunying, et al. Molybdenum deposits of China[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1991:1-452(in Chinese).
- [12] 许成, 宋文磊, 漆亮, 等. 黄龙铺钼矿田含矿碳酸岩地球化学特征及其形成构造背景[J]. 岩石学报, 2009, 25(2):422-430.
- Xu Cheng, Song Wenlei, Qi Liang, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of ore-bearing carbonatites in Huanglongpu Mo ore field[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(2):422-430(in Chinese with English abstract).
- [13] 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 Shuzhong, Li Junting, Zhang Yinqi. 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 (in Chinese).
- [14] 王玮. 河南嵩县黄水庵钼矿床矿体特征及找矿标志[J]. 福建冶金, 2011, 4:1-5.
- Wang Wei. Huangshuian molybdenum ore mine characteristic and exploring ore sign in Song County, Henan Province[J]. *Fujian Metallurgy*, 4:1-5(in Chinese with English abstract).
- [15] 陈化凯, 殷建武, 吴新志. 河南省嵩县大石门沟钼矿床地质特征及找矿前景[J]. 矿产与地质, 2010, 24(5):419-423.
- Chen Huakai, Yin Jiangwu, Wu Xinzhi. Geological characteristics and ore-prospecting potential in Dashimengou molybdenum deposit, Songxian, Henan[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2010, 24(5):419-423(in Chinese with English abstract).
- [16] 黄典豪, 侯增谦, 杨志明, 等. 东秦岭钼矿带内碳酸岩脉型钼(铅)矿床地质—地球化学特征、成矿机制及成矿构造背景[J]. 地质学报, 2009, 83(12):1968-1984.
- Huang Dianhao, Hou Zengqian, Yang Zhiming, et al. Geological and geochemical characteristics, metallogenetic mechanism and tectonic setting of carbonatite vein-type Mo (Pb) deposits in the East Qinling molybdenum ore belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(12):1968-1984 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李靖辉. 嵩县螃蟹沟大型钼矿床成矿特征及成矿地球动力学背景[J]. 河南地球科学通报, 2011:18-22.
- Li Jinghui. The metallogenetic characteristics and metallogenetic geodynamic setting of large-size molybdenum ore deposit in Pangxiogou of Songxian[J]. *Geoscience Bulletin of Henan*, 2011:18-22 (in Chinese with English abstract).
- [18] 叶震超, 高光明, 彭光雄. 河南嵩县安沟钼多金属矿床的地质特征与成因[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(3):819-826.
- Ye Zhenchao, Gao Guangming, Peng Guangxiong. Geological characteristics and genesis of Angou molybdenum polymetallic deposit, Songxian, Henan Province, China[J]. *The Chinese Journal*

- of Nonferrous Metal, 2012, 22 (3):819-826 (in Chinese with English abstract).
- [19] 申保川, 李建宏, 王存智, 等. 河南嵩县安沟钼矿地质特征 [J]. 资源调查与环境, 2011, 32(1):45-49.
Shen Baochuan, Li Jianghong, Wang Cunzhi, et al. Geological characteristics of molybdenum deposit in Angou area, Songxian County, Henan Province [J]. Resources Survey & Environment, 2011, 32(1): 45-49(in Chinese with English abstract).
- [20] 刘国印, 温森坡, 田恪强, 等. MoS₂的同质异相与纸房石英脉型钼矿床 [J]. 中国钼业, 2007, 31(2):14-17.
Liu Guoyin, Wen Senpo, Tian Keqiang, et al. Isomerism of MoS₂ and Zhifang thick-vein type molybdenum deposit [J]. China Molybdenum Industry, 2007, 31(2):14-17(in Chinese with English abstract).
- [21] 温森坡, 刘国印, 乔保龙, 等. 嵩县纸房钼矿地质特征与找矿方向 [J]. 矿产与地质, 2008, 22(2):121-124.
Wen Senpo, Liu Guoyin, Qiao Baolong, et al. Geological characteristics and prospecting direction of the Zhifang Mo deposit in Song County [J]. Mineral Resources and Geology, 2008, 22(2): 121-124(in Chinese with English abstract).
- [22] 陈德杰, 朱文凤, 赵金洲, 等. 东秦岭两种新型钼矿床的矿物特征及成因分析 [J]. 矿产与地质, 2008, 22(05):447-450.
Chen Dejie, Zhu Wenfeng, Zhao Jinzhou, et al. Minerals characteristics of the two new types of Mo deposits in East Qinling with the studying on their genesis [J]. Mineral Resources and Geology, 2008, 22(05): 447-450(in Chinese with English abstract).
- [23] 白凤军, 肖荣阁. 嵩县钾长石英脉型钼矿地质特征及成矿预测 [J]. 中国钼业, 2009, 33(02):19-23.
Bai Fengjun, Xiao Rongge. Geological characteristics and metallogenic prognosis of potassium feldspar quartz vein type molybdenum deposits in Songxian County of Henan Province [J]. China Molybdenum Industry, 2009, 33(02):19-23(in Chinese with English abstract).
- [24] 邓小华. 东秦岭造山带多期次钼成矿作用研究 [D]. 北京:北京大学博士论文, 2011:1-247.
Deng Xiaohua. Anatomy and Comparative Study on the Multiple Molybdenum Mineralization Pulses in East Qinling Orogenic Belt [D]. Beijing: Peking University, 2011:1-247 (in Chinese with English abstract).
- [25] 邓小华, 李文博, 李诺, 等. 河南嵩县纸房钼矿床流体包裹体研究及矿床成因 [J]. 岩石学报, 2008, 24(9):2133-2148.
Deng Xiaohua, Li Wenbo, Li Nuo, et al. Fluid inclusion constraints on the origin of Zhifang Mo deposit, Songxia County, Henan Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24 (9):2133-2148 (in Chinese with English abstract).
- [26] 高阳, 李永峰, 郭保健, 等. 豫西嵩县前范岭石英脉型钼矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄 [J]. 岩石学报, 2010, 26(3):757-767.
Gao Yang, Li Yongfeng, Guo Baojian, et al. Geological characteristics and molybdenite Re-Os isotopic dating of Qianfanling quartz-vein Mo deposit in Songxian County, western Henan Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(3):757-767 (in Chinese with English abstract).
- [27] 高阳, 毛景文, 叶会寿, 等. 东秦岭外方山地区石英脉型钼矿床地质特征及成矿时代 [J]. 矿床地质, 2010, 29(增刊):189-190.
Gao Yang, Mao Jingwen, Ye Huishou, et al. Geological and geochronological features of the quartz vein-type Mo deposits in the Waifangshan area, East Qinling [J]. Mineral Deposits, 2010, 29 (Sup): 189-190(in Chinese).
- [28] 刘波, 张旭, 贺永绍, 等. 嵩县八道沟萤石矿区钼矿成矿地质特征及找矿方向浅析 [J]. 中国钼业, 2010, 34(2):24-27.
Liu Bo, Zhang Xu, He Yongshao, et al. A brief analysis on the Mo ore-forming geological features and prospecting direction in Badaogou fluorite mining area [J]. China Molybdenum Industry, 2010, 34(2):24-27 (in Chinese with English abstract).
- [29] 李晓波, 刘继顺. 小秦岭大湖金矿床的矿化分带规律及其指示意义 [J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(4):243-248.
Li Xiaobo, Liu Jishun. Zonation pattern of mineralization in Dahu Au deposit, Xiaoqinling area and its indicative importance for Au ore prospecting [J]. Contribution to Geology and Mineral Resource Research, 2003, 18(4):243-248(in Chinese with English abstract).
- [30] 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, 等. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征 [J]. 岩石学报, 2007, 23(9):2085-2108.
Chen Yanjing, Ni Pei, Fan Hongrui, et al. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (9):2085-2108 (in Chinese with English abstract).
- [31] 李厚民, 叶会寿, 毛景文, 等. 小秦岭金(钼)矿床辉钼矿铼-钨定年及其地质意义 [J]. 矿床地质, 2007, 26(4):417-424.
Li Houming, Ye Huishou, Mao Jingwen, et al. Re-Os dating of molybdenites from Au (-Mo) deposits in Xiaoqinling gold ore district and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 2007, 26(4):417-424 (in Chinese with English abstract).
- [32] 李诺, 孙亚莉, 李晶, 等. 小秦岭大湖金钼矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄及印支期成矿事件 [J]. 岩石学报, 2008, 24(4):810-816.
Li Nuo, Sun Yali, Li Jing, et al. Molybdenite Re-Os isotope age of the Dahu Au-Mo deposit, Xiaoqinling and the Indosinian mineralization [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(4):810-816(in Chinese with English abstract).
- [33] Li N, Chen Y J, Fletcher I R, et al. Triassic mineralization with Cretaceous overprint in the Dahu Au-Mo deposit, Xiaoqinling gold province: Constraints from SHRIMP monazite U-Th-Pb geochronology [J]. Gondwana Research, 2011, 20:543-552.
- [34] 何春芬. 小秦岭金矿田北矿带 F5 断裂控矿作用 [J]. 黄金, 2003, 24(3):3-7.
He Chunfen. The effect of fracture ore-controlling of the north mineralized belt F5 in Minor Qinling Mountain gold field [J]. Gold, 2003, 24(3): 3-7(in Chinese with English abstract).
- [35] 陈莉. 小秦岭大湖金矿床成矿流体特征及矿床成因探讨 [D]. 中国地质大学(北京), 硕士学位论文, 2006:1-88.

- Chen Li. Characteristic of Ore-forming Fluid and Ore Genesis of Dahu Gold Deposit, in Xiaoqinling Gold Area [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2006:1-88 (in Chinese with English abstract).
- [36] 李诺. 东秦岭地区燕山期钼金属巨量堆积过程和机制 [D]. 北京: 北京大学, 博士学位论文, 2012:1-262.
- Li Nuo. Process and Mechanism of Yanshanian Large-scale Mo Accumulation in East Qinling [D]. Beijing: Peking University, 2012:1-262 (in Chinese with English abstract).
- [37] 倪智勇, 李诺, 管申进, 等. 河南小秦岭金矿田大湖金-钼矿床流体包裹体特征及矿床成因 [J]. 岩石学报, 2008, 24 (9):2058-2068.
- Ni Zhiyong, Li Nuo, Guan Shenjing, et al. Characteristics of fluid inclusions and ore genesis of the Dahu Au-Mo deposit in the Xiaoqinling gold field, Henan Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(9):2058-2068(in Chinese with English abstract).
- [38] 王义天, 叶会寿, 叶安旺, 等. 小秦岭北缘马家洼石英脉型金钼矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄及其意义 [J]. 地学前缘, 2010, 17(2): 140-145.
- Wang Yitian, Ye Huishou, Ye Anwang, et al. Re-Os age of molybdenite from the Majiawa Au-Mo deposit of quartz vein type in the north margin of the Xiaoqinling gold area and its implication for metallogeny [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(2):140-145 (in Chinese with English abstract).
- [39] 王飞, 朱赖民, 郭波, 等. 西秦岭温泉钼矿床地质-地球化学特征与成矿过程探讨 [J]. 地质与勘探, 2012, 48(4):713-727.
- Wang Fei, Zhu Laimin, Guo Bo, et al. Geology and geochemical characteristics of the Wenquan molybdenum deposit and ore-forming process in the western Qinling [J]. Geology and Exploration, 2012, 48 (4):713-727 (in Chinese with English abstract).
- [40] 宋史刚, 丁振举, 姚书振, 等. 甘肃武山温泉辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其成矿意义 [J]. 西北地质, 2008, 41(1):67-73.
- Song Shigang, Ding Zhenju, Yao Shuzhen, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenite and its implication for molybdenum mineralization of Wenquan porphyry, Wushan, Gansu Province [J]. Northwestern Geology, 2008, 41 (1):67-73 (in Chinese with English abstract).
- [41] Zhu L M, Zhang G W, Chen Y J, et al. Zircon U-Pb ages and geochemistry of the Wenquan Mo-bearing granitoids in West Qinling, China: Constraints on the geodynamic setting for the newly discovered Wenquan Mo deposit [J]. Ore Geology Reviews, 2011, 39:46-62.
- [42] 任新红. 甘肃武山温泉钼矿床地质特征及成因 [J]. 甘肃冶金, 2009, 31(6):58-61.
- Ren Xinhong. Geological characteristics and genesis of molybdenum deposits in Wushan County of Gansu [J]. Gansu Metallurgy, 2009, 31(6):58-61(in Chinese with English abstract).
- [43] 李永峰, 毛景文, 胡华斌, 等. 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 Yongfeng, Mao Jingwen, Hu Huabin, et al. Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in East Qinling area [J]. Mineral Deposits, 2005, 24(3): 292-304 (in Chinese with English abstract).
- [44] 阚国翰, 牟保磊, 曾贻善, 等. 华北克拉通火成碳酸岩时空分布和锶钕同位素特征及其地质意义 [J]. 高校地质学报, 2007, 13(3): 463-473.
- Yan Guohan, Mou Baolei, Zeng Yishan, et al. Igneous carbonatites in North China Craton: The temporal and spatial distribution, Sr and Nd isotopic characteristics and their geological significance [J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13(3):463-473 (in Chinese with English abstract).
- [45] 陈衍景. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力 [J]. 中国地质, 2006, 33(6):1181-1196.
- Chen Yanjing. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential [J]. Geology in China, 2006, 33 (6):1181-1196 (in Chinese with English abstract).
- [46] 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律 [M]. 北京: 地震出版社, 1992, 1-242.
- Chen Yanjing, Fu Shigu. Gold Mineralization in West Henan [M]. Beijing: Seismological Press, 1992, 1-242 (in Chinese with English abstract).
- [47] 张宏飞, 靳兰兰, 张利, 等. 西秦岭花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成对基底性质及其构造属性的限制 [J]. 中国科学 (D 辑), 2005, 35(10):914-926.
- Zhang Hongfei, Jin Lanlan, Zhang Li, et al. Geochemical and Pb-Sr-Nd isotopic compositions of Indosinian granitoids from the Bikou block, northwest of the Yangtze plate: Constraints on petrogenesis, nature of deep crust and geodynamics [J]. Science in China (Series D), 2005, 35(10):914-926(in Chinese).
- [48] 刘树文, 杨朋涛, 李秋根, 等. 秦岭中段印支期花岗岩浆作用与造山过程 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2011, 41(6): 1928-1943.
- Liu Shuwen, Yang Pengtao, Li Qiugen, et al. Indosinian granitoids and orogenic process in the middle segment of the Qinling Orogen, China [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41 (6): 1928-1943 (in Chinese with English abstract).
- [49] 王娟, 李鑫, 赖少聪, 等. 印支期南秦岭西荏河、五龙岩体成因及构造意义 [J]. 中国地质, 2008, 35(2):207-216.
- Wang Juan, Li Xin, Lai Shaocong, et al. Petrogenesis of the Early Triassic Xichahe and Wulong plutons in the South Qinling Mountains and their tectonic significance [J]. Geology in China, 2008, 35(2):207-216 (in Chinese with English abstract).
- [50] 赵子福, 郑永飞. 俯冲大陆岩石圈重熔: 大别-苏鲁造山带中生代岩浆岩成因 [J]. 中国科学 (D 辑), 2009, 39(7):888-909.
- Zhao Zifu, Zheng Yongfei. Remelting of subducted continental lithosphere: Petrogenesis of Mesozoic magmatic rocks in the Dabie-Sulu orogenic belt [J]. Science in China (Series D), 2009, 39(7):888-909 (in Chinese).

Indosinian Mo mineralization in Qinling area and prospecting potential

HU Hai-Zhu¹, LI Nuo², DENG Xiao-Hua², CHEN Yan-Jiang², LI Yi¹

(1. Henan Institute of Nonferrous Metal Exploration, Zhengzhou 450052, Henan, China; 2. Key Laboratory of Orogen and Crust Evolution, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Three types of Indosinian Mo mineralization can be observed in the Qinling area, namely carbonatite-type, fault-controlled quartz vein type and porphyry type. Carbonatite-type Mo deposits are represented by the Huanglongpu and Huangshuihan deposits. They are spatially and genetically associated with magmatic carbonatite, and the ore bodies are present as Mo-bearing carbonatite veins, with specific Mo+U+REE mineralization. Fault-controlled quartz vein type Mo deposits are represented by the Waifangshan Mo ore district (composed of Zhifang and Qianfanling Mo deposits), Dahu Au-Mo deposits and Majiawa Au-Mo deposits. They occur as fault-controlled quartz veins, and the hydrothermally altered wall rocks can be mineralized, either. Such deposits share similar geological and fluid inclusion features with the orogenic type deposit, and are regarded as its medium to high temperature endmembers. Porphyry-type Mo deposits, represented by the Wenquan Mo deposit, are associated with Indosinian intermediate-acid granite porphyry, and molybdenite crystals occur as veinlets or veinlet-disseminations. Typical porphyry type hydrothermal alterations include potassic alteration, phyllic alteration, chloritization, epidotization and carbonation. It is concluded that the carbonatite-alkali rocks in the northernmost part of the Qinling Orogen are in favor of carbonatite-type Mo mineralization, the area between Machaoying fault and Sanbao fault in the southern margin of the North China Craton is favorable for fault-controlled quartz-vein type Mo mineralization, and quartz vein type Au-Mo deposits can be found in Xiaoqinling and Xiong'ershan regions. Emphasis should be placed on Indosinian granite and related Mo mineralization in East Qinling area.

Key words: Indosinian, Mo mineralization, prospecting potential, Qinling

About the first author: HU Hai-zhu, male, born in 1971, senior engineer, engages in geological exploration; E-mail: haizhuh@163.com.

Corresponding author: CHEN Yan-jing, male, born in 1962, professor, E-mail: yjcheng@pku.edu.cn; ggyjchen@126.com.