2009 年 4 月
Apr., 2009

矿 床 地 质
MINERAL DEPOSITS

第 28 卷 第 2 期
28(2):170～184

文章编号:0258-7106 (2009) 01-0170-15

豫西鱼池岭斑岩型钼矿床地质特征及其辉钼矿铼-锇同位素年龄*

周 珂[1],叶会寿[2],毛景文[2],屈文俊[3],周树峰[4],孟 芳[1],高亚龙[1]

(1 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083; 2 中国地质科学院矿产资源研究所,国土资源部成矿作用与资源评价重点开放实验室,北京 100037; 3 国家地质实验测试中心,北京 100037; 4 洛阳龙羽山川钼业有限公司,河南 洛阳 471400)

摘 要 河南省嵩县鱼池岭钼矿是近几年在东秦岭钼矿带中新发现的超大型斑岩钼矿床。该钼矿床产于合峪复式花岗岩体及隐爆角砾岩中。含矿岩体以富二氧化硅、铝质、贫钙、富碱、高 F 以及 K_2O 含量大于 Na_2O 含量为特征。矿区内辉钼矿化主要类型为浸染状、细脉状、网脉状、薄膜状和薄饼状。成矿围岩蚀变类型有钾长石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、黄铁绢英岩化、绿帘石化、绿泥石化和高岭石化等,具典型的斑岩型钼矿床的矿化和围岩蚀变特征。笔者选取了 6 件不同矿化类型的辉钼矿样品进行 Re-Os 同位素定年,获得模式年龄(130.3 ± 2.0)～(131.7 ± 1.9)Ma,等时线年龄(131.2 ± 1.4) Ma。表明该矿床形成于早白垩世,与赋矿的合峪花岗岩体的侵位年龄相一致,应为同一构造-岩浆-流体活动的产物。辉钼矿中 Re 的含量为 12.48×10^{-6}～53.39×10^{-6},表明成矿物质具有壳幔混源性质。鱼池岭钼矿与东沟、汤家坪等斑岩钼矿形成于同一时期,应为东秦岭—大别地区晚中生代区域岩石圈大规模伸展的响应。

关键词 地质学;Re-Os 同位素定年;斑岩型钼矿;伸展环境;鱼池岭;河南

中图分类号: P618.65 **文献标志码:** A

Geological characteristics and molybdenite Re-Os isotopic dating of Yuchiling porphyry Mo deposit in western Henan Province

ZHOU Ke[1], YE HuiShou[2], MAO JingWen[2], QU WenJun[3], ZHOU ShuFeng[4], MENG Fang[1] and GAO YaLong[1]

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China; 4 Luoyang Longyushanchuan Mo Co. Ltd., Luoyang 471400, Henan, China)

Abstract

The Yuchiling Mo deposit located in Songxian County of Henan Province is a newly discovered superlarge porphyry Mo deposit in the East Qinling molybdenum belt. The deposit is hosted in the porphyritic monzogranite and breccia unit of Heyu composite granitic pluton. The host rock is characterized by rich silica and aluminum, poor calcium and abundant alkali with high K_2O/Na_2O ratios and F content. The main ore-forming types in the deposit include disseminated, veinlet, stockwork, and laminated molybdenite mineralizations, and the major alteration types of wall rocks comprise potassic

* 本文得到全国危机矿山接替资源找矿项目(编号 20089949、200841019)、国土资源大调查项目(1212010634001)和国家自然科学基金项目(40434011)的共同资助

第一作者简介 周珂,女,1985 年生,硕士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: zhouke@yahoo.cn

收稿日期 2009-01-06。改回日期 2009-03-10。张绮玲编辑。

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

alteration, silicification, sericitization, pyritization, phyllic alteration, epidotization, chloritization, argillic alteration etc., which constitute typical ore-forming and alteration characteristics of porphyry Mo deposits. Six molybdenite-bearing samples of different mineralizing types were selected for precise Re-Os dating, which yielded model ages ranging from (130.3±2.0)Ma to (131.7±1.9) Ma and an isochron age of (131.2±1.4) Ma. The deposit was formed in the Early Cretaceous, which is consistent with the emplacing age of the host rock Heyu granitic pluton. The authors thus believe that they are products of the same magma-structure-fluid activity. The Re contents of molybdenite are (12.48～53.39)×10^{-6}, indicating that they were derived from mixed crust and mantle sources. The Yuchiling Mo deposit was formed at the same time with the Donggou and the Tangjiaping Mo deposits, and hence should be the response to Late Mesozoic large-scale regional lithospheric extension in East Qinling-Dabie area.

Key words: geology, Re-Os dating, porphyry Mo deposit, extensional environment, Yuchiling, Henan Province

鱼池岭钼矿床是中国东秦岭钼矿带中近几年新发现的超大型斑岩钼矿床,位于河南省嵩县南部童子庄一带,地理坐标约为东经 111°50′30″～111°54′00″、北纬 32°56′45″～34°58′00″。该矿是在 1∶5 万区域地质矿产调查中,对圈定的前河地区以 Au、Ag、Pb、Zn、Mo、W 为主的多元素综合水系沉积物异常进行踏勘检查时发现的,后经河南省有色金属地质勘查总院 2005～2006 年的普查、河南磊鑫矿业有限公司 2007 年的详细普查,现已查明钼资源量达 55 万吨,矿床规模属超大型,钼平均品位为 0.06%。

位于华北陆块南缘的东秦岭钼矿带是中国重要的大型钼矿床集中分布区之一(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(李永峰等, 2005)。该带西起陕西省的金堆城地区,东至河南省方城地区,产有金堆城、木龙沟、夜长坪、银家沟、南泥湖、三道庄、上房沟、东沟、雷门沟等 10 余个大、中型钼(钨)多金属矿床。该带向东南延伸,也发现有众多的钼矿床,如秋树湾、汤家坪、大银尖、天目沟、肖畈和母山等(郭保健等, 2006;杨泽强,2007;Mao et al., 2008)。由于其丰富的资源储量和独特的成矿地质背景,引起了学者们的广泛关注,相继对带内钼矿床展开了地质特征、成岩成矿年代学、成矿动力学背景、矿床模型、找矿方向等大量详细的研究(罗铭玖等, 1991;黄典豪等, 1994;Stein et al., 1997;张正伟等, 2001;2007;李永峰等, 2004;2005;叶会寿等, 2006;Mao et al., 2008)。多数钼矿床都与晚侏罗世壳幔同熔型(I 型)中酸性小斑岩体有关,如金堆城、南泥湖、上房沟、雷门沟、秋树湾等(卢欣祥等,2002;王晓霞等, 1986),成矿物质和岩浆一样来自地壳深部。但新近探明的鱼池岭超大型斑岩钼矿则产于合峪花岗岩岩基及其中的隐爆角砾岩相中,与上述产于中小斑岩体中的钼矿明显不同。笔者对鱼池岭钼矿床的地质特征、成矿年代学开展了研究,探讨了成矿地质背景,试图为进一步找矿提供理论依据和方向。

1　成矿地质背景

华北陆块南缘结晶基底为新太古代花岗-绿岩,主要由片麻状花岗岩、TTG(英云闪长质-奥长花岗质-花岗闪长质)岩系和太华群中深成变质火山-碎屑岩组成;盖层主要由中元古界熊耳群火山岩夹碎屑岩、官道口群碎屑岩-碳酸盐岩、新元古界栾川群碎屑岩-碳酸盐岩-火山岩组成,呈角度不整合覆于新太古代结晶基底之上。区内出露大量中生代花岗岩基,如华山、文峪、娘娘山、花山、五丈山、合峪、太山庙、老君山等,以及中酸性小斑岩体,如金堆成、八宝山、银家沟、后瑶峪、南泥湖、雷门沟等,与中生代金属成矿密切相关。

合峪岩体位于华北陆块南缘、栾川断裂北侧,豫西熊耳山-外方山地区,东西长 118 km,南北最宽处 25 km,面积约 784 km^2,为豫西地区燕山期最大的岩基(河南省地质矿产局, 1989),岩体北面与熊耳群火山岩呈侵入接触,马超营断裂切过岩体北部边界,南面与伏牛山混合花岗岩呈侵入接触。据 1∶25 万区调报告❶,合峪复式岩体有 6 个侵入期次,主要

❶ 河南省地质调查院. 2003. 河南省内乡幅 1∶25 万区调报告. 244-291.

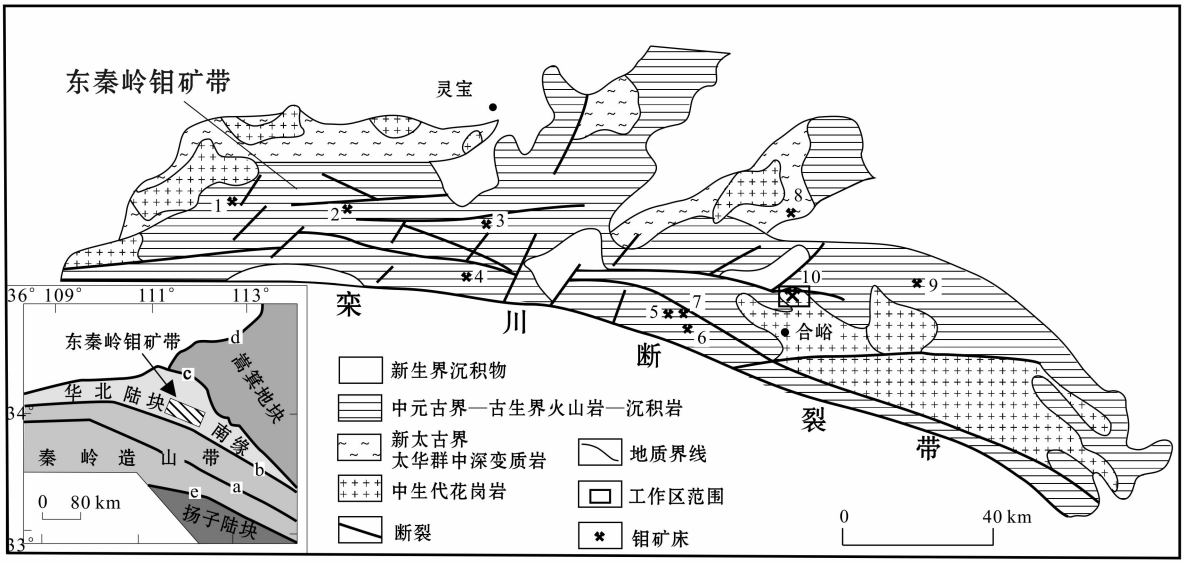

图 1 东秦岭钼成矿带地质简图(转引自叶会寿等,2006,略改)

钼矿床:1—金堆城钼矿;2—木龙沟铁(钼)矿;3—银家沟钼多金属硫铁矿;4—夜长坪钼矿;5—上房沟钼矿;6—南泥湖钼矿;7—三道庄钼矿;8—雷门沟钼矿;9—东沟钼矿;10—鱼池岭钼矿;插图中:a—商丹断裂带;b—栾川断裂带;c—三门峡-鲁山断裂带;d—太行山断裂带;e—南漳断裂带

Fig. 1 Geological map of the East Qinling Molybdenum belt (modified from Ye et al., 2006)

Molybdenum deposits: 1—Jinduicheng Mo deposit; 2—Mulonggou Fe (Mo) deposit; 3—Yinjiagou Mo polymetallic pyrite deposit; 4— Yechangping Mo deposit; 5—Shangfanggou Mo deposit; 6— Nannihu Mo deposit; 7— Sandaozhuang Mo deposit; 8— Leimengou Mo deposit; 9— Donggou Mo deposit; 10—Yuchiling Mo deposit; a—Shangdan fault; b—Luanchuan fault; c—Sanmenxia-Lushan fault; d—Taihangsha fault; e—Nanzhang fault

岩性为似斑状的黑云母二长花岗岩,晚期过渡到正长花岗岩。鱼池岭矿区地质填图成果表明,岩体中还存在晚期隐爆角砾岩。

据 1∶25 万区域地质调查报告❶,合峪复式岩体各侵入期次的岩石富二氧化硅、高钾、低镁、钙,$K_2O/Na_2O>1$,A/CNK>1,属于富钾的铝质-过铝质、碱质、亚碱性岩系。从早期到晚期,岩石成分表现出具有 SiO_2、(Na_2O+K_2O)含量由低到高,MgO、CaO 含量由高到低,K/Na 比值由低到高及 AR、A/CNK 值由低到高的同源岩浆演化特征。岩体具有较高的稀土元素含量,ΣREE 为 $182.12\times10^{-6}\sim589.55\times10^{-6}$,较大的 LREE/HREE 比值(12.47～27.55),中等程度的 Eu 负异常;稀土元素配分模式为向右倾斜的不对称 V 字型,具有以壳源为主的壳幔岩浆混合特征。

2 矿床地质特征

2.1 含矿岩体特征

鱼池岭钼矿主要赋存于合峪复式花岗岩体北部童子庄一带。在 1∶2000 矿区填图中对矿区出露的地质单元做了细致的岩相期次划分(图 2),共分为 7 个期次,包括:第一期灰白色中粗粒含斑黑云二长花岗岩;第二期灰红色中细粒黑云二长花岗岩;第三期肉红色中粗粒含斑黑云二长花岗岩;第四期灰白、灰红色粗粒巨斑黑云二长花岗岩;第五期灰白、灰红色粗粒聚斑黑云二长花岗岩;第六期肉红、灰白色花岗斑岩、细粒钾长花岗岩;第七期杂色隐爆角砾集块岩(图 2)。在隐爆角砾集块岩中,角砾主要为暗色中基性火山岩,推测可能与熊耳群火山岩有关,还出现少量辉绿岩。角砾往往成棱角状,分选和磨圆度都较差,胶结物多为花岗质围岩。辉钼矿化主要发育在第一、二、三、六、七期次中。

2.2 矿区构造

矿区内断裂发育,主要有近东西向(70～80°)和近南北向(约 25°)两组,并具多期活动特征,在主构造两侧发育一系列似平行次级构造。断裂两侧往往矿化发育较好。与隐爆角砾岩有关的张性节理发育,节理中多辉钼矿化。规模较大的断裂中充填有辉钼矿-石英脉或由辉钼矿胶结的脉石英、花岗岩等

❶ 河南省地质调查院. 2003. 河南省内乡幅 1∶25 万区调报告. 244-291.

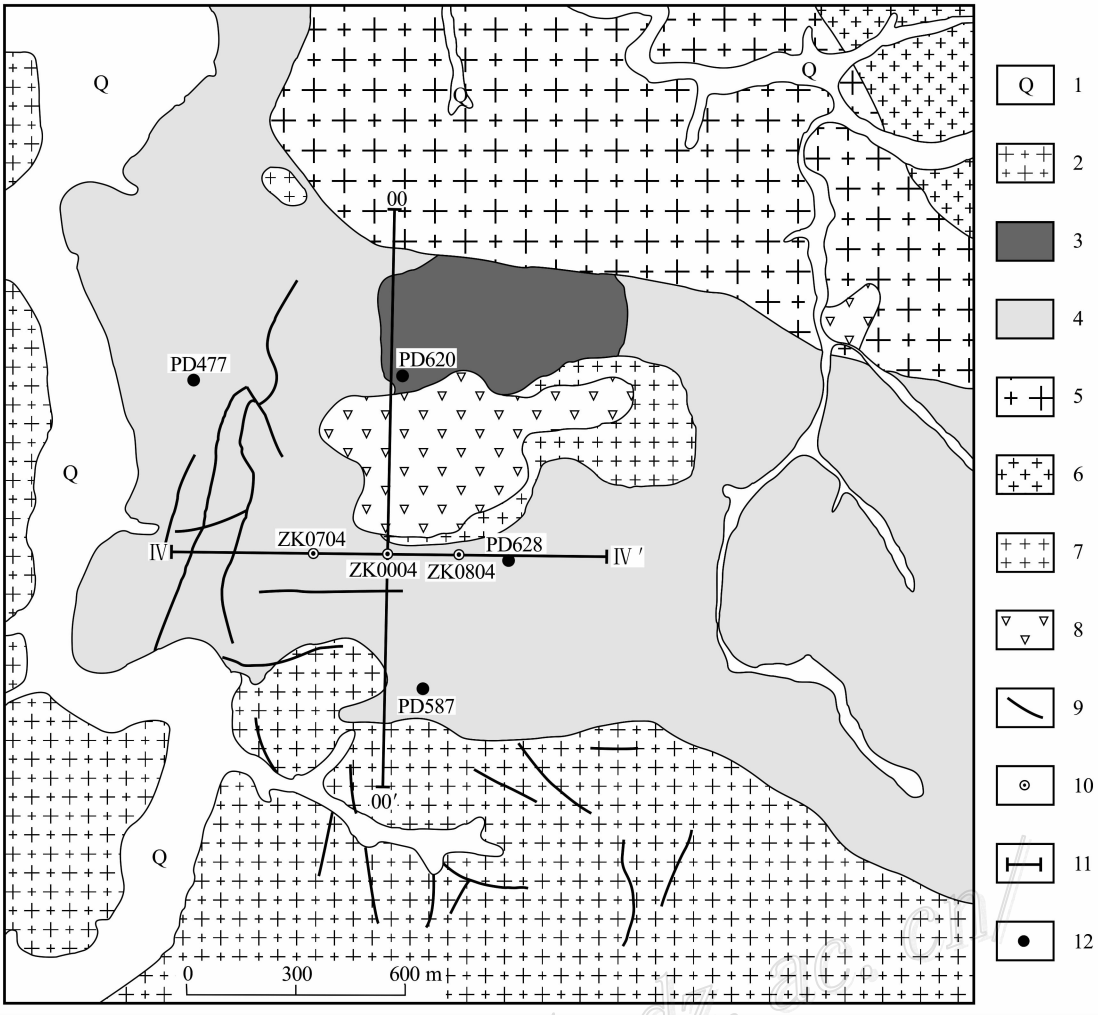

图 2　鱼池岭钼矿矿区地质略图❶

1—第四系沉积物;2—第一期灰白色中粗粒含斑黑云二长花岗岩;3—第二期灰红色中细粒黑云二长花岗岩;4—第三期肉红色中粗粒含斑黑云二长花岗岩;5—第四期灰白、灰红色粗粒巨斑黑云二长花岗岩;6—第五期灰白、灰红色粗粒聚斑黑云二长花岗岩;7—第六期肉红、灰白色花岗斑岩、细粒钾长花岗岩; 8—第七期杂色隐爆角砾集块岩; 9—断层;10—钻孔位置及编号;11—勘探线位置及编号;12—采样坑道位置及编号

Fig. 2　Geological sketch map of the Yuchiling Mo deposit

1—Quaternary sediments; 2—Grayish white medium-coarse grained phenocryst-bearing biotite monzogranite; 3—Grayish red medium-fine grained biotite monzogranite; 4—Pink medium-coarse grained phenocryst-bearing biotite monzogranite; 5—Grayish white and grayish red coarse-grained biotite monzogranite with megacrysts; 6—Grayish white and grayish red coarse-grained biotite monzogranite with accumulative phenocysts; 7—Pink and grayish white granite porphyry, fine—grained alkali granite; 8—Breccia; 9—Fault; 10—Drill hole and its serial number;11—Exploration line and its serial number; 12—Sampling tunnel and its serial number

角砾,甚至有纯辉钼矿薄饼出现。一些小的原生节理或微裂隙中往往充填致密辉钼矿形成薄膜或中等稠密浸染状辉钼矿。

2.3　矿体特征

2.3.1　矿体分布

钼矿体分布于隐爆角砾岩及周围含斑黑云二长花岗岩中(图 3),东西长约 1 200 m(Ⅳ勘探线),南北宽约 1 600 m(00 勘探线),赋存标高约 200～700 m。矿体形态呈厚大的似层状、透镜状,总体产状倾角平缓(图 3)。矿石具有上贫、下富的特征,富矿往往分布在角砾岩体的顶底板和周边的花岗岩围岩以及断裂带中。

❶ 河南省有色金属地质勘查总院. 2006. 河南省嵩县鱼池岭钼矿普查地质报告.

2.3.2 矿化特征

矿区钼矿化类型主要有：① 蚀变花岗岩中呈浸染状、薄膜状、细脉、网脉状辉钼矿（图 4A、C、D），为主要的矿石类型；②断裂带中充填的薄饼状辉钼矿或辉钼矿-石英脉（图 4F），此类矿石往往品位较高。③隐爆角砾岩中的薄膜状、浸染状、微细脉状辉钼矿化（图 4B）；④碎裂状（震碎）花岗岩中的浸染状辉钼矿化（多分布于角砾岩筒与岩体的外接触带，矿石较富）（图 4E）。辉钼矿-石英细（网）脉通常宽 2～5 mm，宽者可达 3～6 cm，辉钼矿多沿石英细脉壁分布，有些也呈不连续细条带状或浸染状分布于石英脉中，为典型的斑岩型矿床的矿化特征（White et al.，1981；Westra et al.，1981）。金属矿物主要有辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、黑钨矿、磁铁矿、方铅矿等，脉石矿物有石英、钾长石、斜长石、黑云母、绿帘石、绿泥石、绢云母、萤石、方解石、高岭石等。萤石在鱼池岭钼矿中十分普遍。另外，矿区还发育石英晶洞构造和梳栉状石英脉（图 7E、F）。

2.3.3 围岩蚀变

成矿围岩蚀变主要有钾长石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、（黄铁）绢英岩化、绿帘石化、绿泥石化、高岭石化、萤石化、方解石化等。

钾长石化最为普遍和强烈，有呈面状（图 5A），也有线状和网脉状（图 5B），或沿一些石英脉两侧分布（图 5F）。钾长石化主要发育于成矿岩体的中下部，可构成钾化带，往往伴随较强的钼矿化。硅化和绿帘石化也比较常见（图 5E），有时伴随钾长石化出现（图 5A、B）。黄铁绢英岩化多分布于辉钼矿化石英细（网）脉两侧，以细粒的黄铁矿、石英和绢云母蚀变组合为特征，在矿区内也较为普遍（图 5C、D），分布于矿体的上部、钾化带的上部或外部，辉钼矿化不强。高岭石化通常出现在构造破碎带中或充填于石英晶洞中，属于成矿后期的产物，有时也伴随绿帘石化等出现（图 5B）。萤石化在矿区内普遍发育，早期的石英脉中可含有少量萤石，晚期可单独出现萤石脉。方解石化属于成矿后期的产物，可见于破碎带中（图 7C）。

通过对坑道及 ZK0704 和 ZK0804 两个钻孔岩心的编录，发现辉钼矿化强烈的地方往往发育钾长石化、硅化、绿帘石化等，而黄铁绢英岩化、高岭石化强烈的地方辉钼矿化通常不发育（图 6）。

2.3.4 成矿期次与成矿阶段

根据矿脉穿插关系和矿物共生组合的特点，可将成矿过程划分为热液期和表生期。其中热液期可划分为 4 个成矿阶段：第Ⅰ阶段辉钼矿-钾长石阶段（岩浆期后气液交代阶段），主要形成面状的钾长石化蚀变和浸染状辉钼矿、黄铁矿，局部还可见岩浆结晶晚期的花岗伟晶岩（脉）。该阶段矿化较弱，黄铁矿和辉钼矿呈星点状、浸染状，主要分布于隐爆角砾岩及其附近的钾长石化二长花岗岩中，主要矿物有钾长石、石英、黑云母、辉钼矿、黄铁矿等。第Ⅱ阶段石英-黄铁矿-（辉钼矿）阶段，主要形成含辉钼矿黄铁

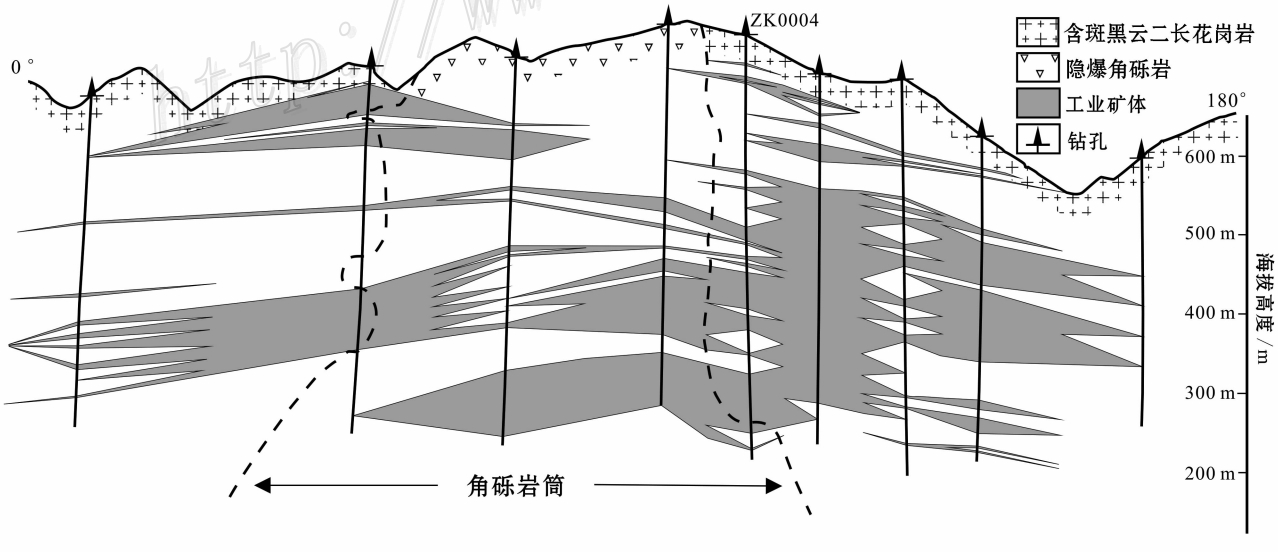

图 3 第 00 号勘探线剖面简图（修改自鱼池岭钼矿资源储量估算剖面图）

Fig. 3 Geological section along No. 00 exploration line (modified from cross section for resource evaluation of Yuchiling deposit)

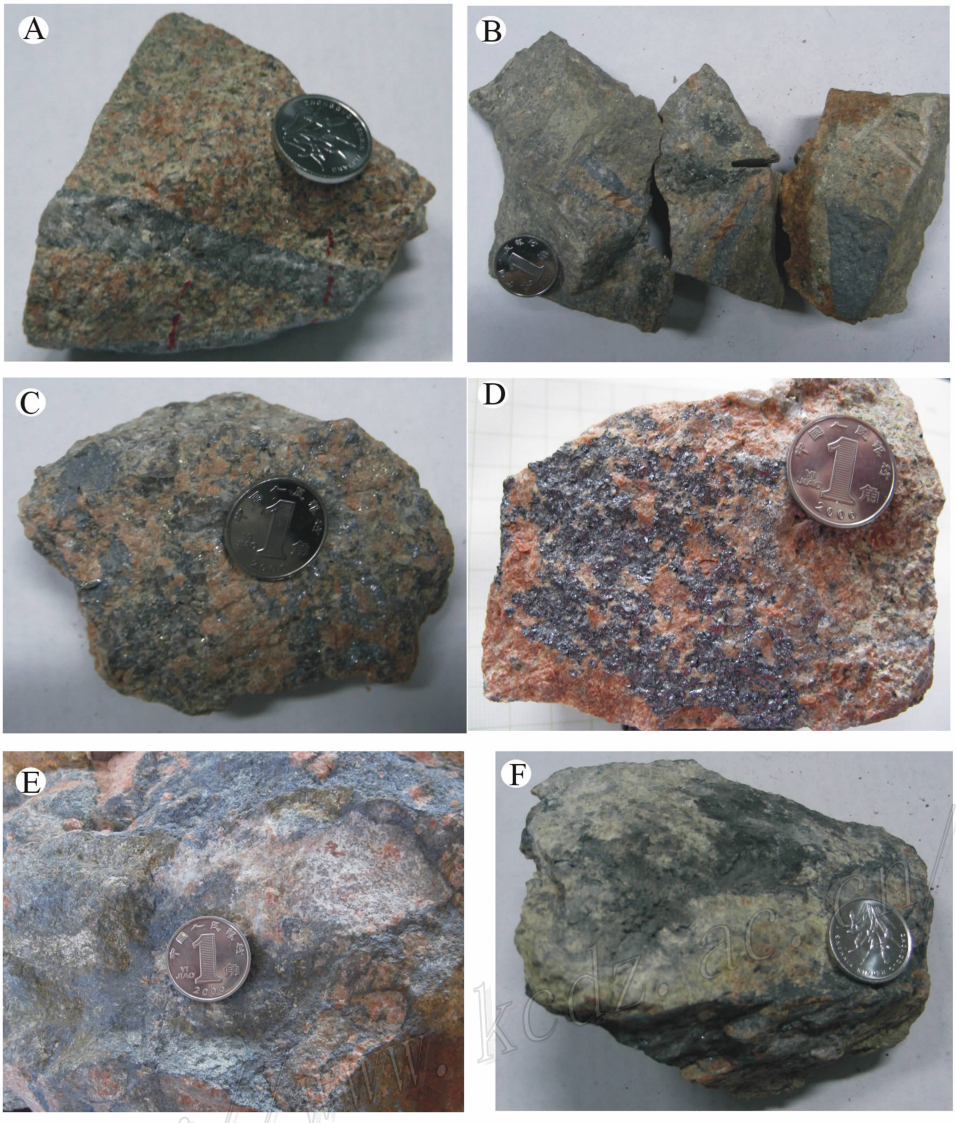

图 4　鱼池岭钼矿床矿石类型

A. 钾长石化二长花岗岩中的细脉状辉钼矿(PD628); B. 隐爆角砾岩中的微细脉状辉钼矿(PD587-5); C. 钾长石化花岗岩中的浸染状辉钼矿(PD620-1); D. 钾长石化花岗岩裂隙面中充填的中等稠密浸染状辉钼矿;E. 震碎岩中浸染状辉钼矿(辉钼矿胶结花岗岩岩屑);F. 断裂带中充填辉钼矿薄饼的样品(PD477)

Fig. 4　Ore types in the Yuchiling Mo deposit

A. Molybdenite veinlet in potassic altered monzogranite (PD628); B. Molybdenite veinlet in breccia (PD587-5); C. Disseminated molybdenite in potassic altered granite (PD620-1); D. Disseminated molybdenite filled along fracture surface of potassic altered granite; E. Disseminated molybdenite in clastic granite (molybdenite cementing granitic clasts) ; F. Molybdenite filled in fractures (PD477)

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

矿化石英脉,黄铁矿呈中粗粒、团块状,还有少量辉钼矿、黑钨矿、白云母和萤石等(图 7A)。围岩蚀变主要有钾长石化、硅化等。矿物主要由石英、钾长石、黄铁矿、辉钼矿、萤石、白云母、黑钨矿等组成,是重要的成矿阶段。第Ⅲ阶段石英-辉钼矿阶段,主要形成辉钼矿化石英细脉(图 4A)、网脉(图 7B)及微裂隙中充填的薄膜状、浸染状辉钼矿(图 4D),在挤压破碎带中沿构造面充填辉钼矿薄饼或辉钼矿石英细脉(图 4F),在角砾岩筒附近的碎裂花岗岩带中还形成浸染状辉钼矿(图 4E)。主要蚀变种类有钾长石化、硅化、绿帘石化、黄铁绢英岩化等,破碎带中还见绿泥石化和粘土化等。矿石中的脉石矿物有石英、钾长石、萤石、绢云母、绿帘石、绿泥石、粘土矿物等,金属矿物主要为辉钼矿、少量黄铁矿、黄铜矿等,

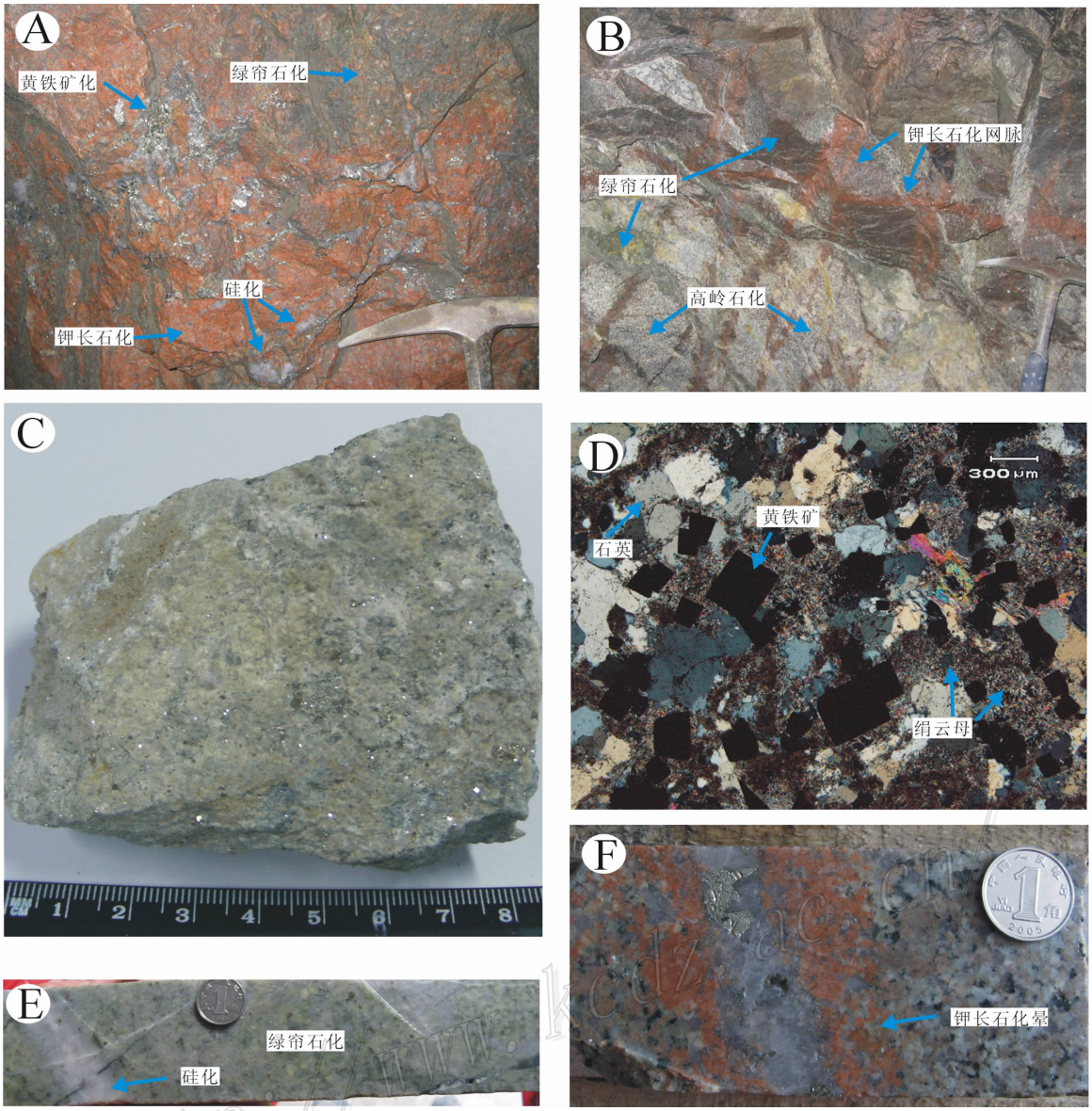

图 5 鱼池岭钼矿蚀变类型

A. 围岩发育强烈的面状钾长石化，伴随有硅化、绿帘石化、黄铁矿化等；B. 线状钾长石化网脉，还伴随有绿帘石化、高岭石化等；C. 黄铁绢英岩化(手标本)；D. 黄铁绢英岩化(正交偏光镜下)；E. 强烈硅化和绿帘石化(钻孔 ZK0804 岩心)；F. 黄铁矿化石英脉两侧钾长石化晕(钻孔 ZK0704 岩心)

Fig. 5 Alteration types in the Yuchiling Mo deposit

A. Massive K-felsparization in wall rocks accompanied by silicification, epidotization and pyritization; B. Linear K-felsparization stockwork accompanied by epidotization and kaolinitization; C. Phyllic alteration in hand specimen; D. Phyllic alteration (under crossed polarizer); E. Strong silicification and epidotization (from drill core of ZK0804); F. K-feldspar halo along the pyrite-quartz vein (from drill core of ZK0704)

是主要的成矿阶段。第Ⅱ、Ⅲ两个阶段也可统称为石英-硫化物阶段。第Ⅳ阶段石英-萤石-方解石阶段，形成梳栉状石英脉(图 7F)、萤石脉、石英(玉髓)萤石脉(图 7D)、方解石脉(图 7C)，还可见少量的方铅矿(图 7E)，主要蚀变类型有黄铁绢英岩化(图 7F)、绿帘石化、萤石化和粘土化(图 7C)等。表生期为地表风化产物，主要形成褐铁矿、钼华等。

3 辉钼矿样品及分析方法

3.1 样品采集

6 件辉钼矿样品均取自于坑道平硐中。样品位

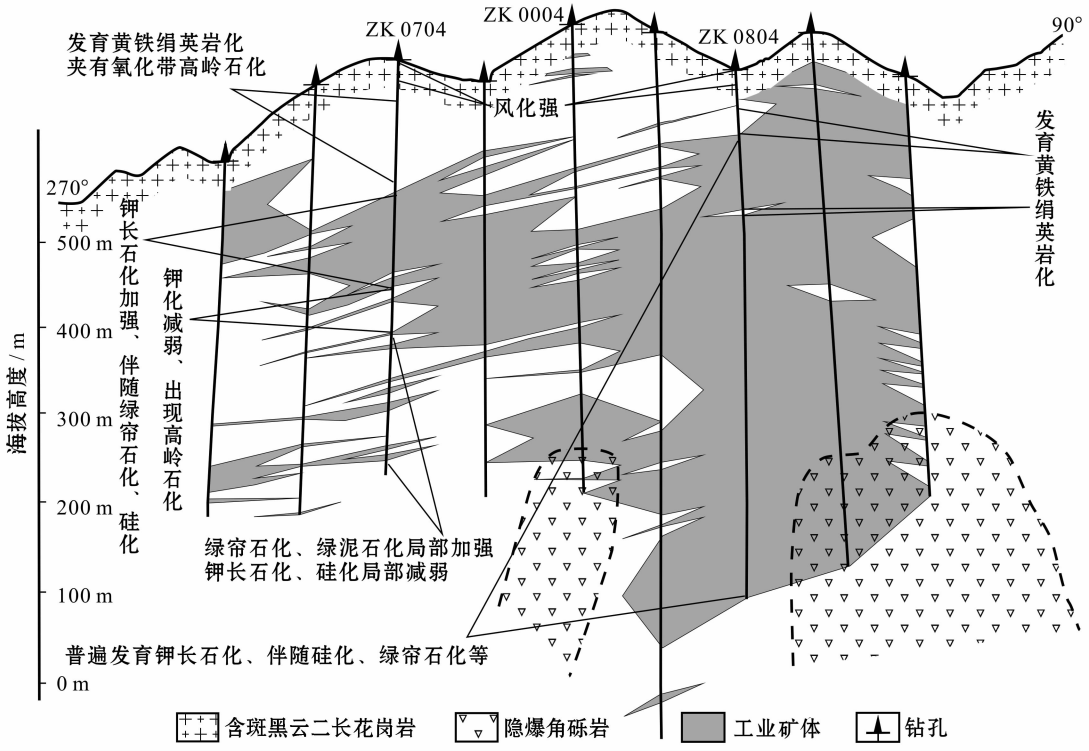

图 6　Ⅳ勘探线剖面简图(修改自鱼池岭钼矿资源储量估算剖面图)

Fig. 6　Geological section along No. Ⅳ exploration line (modified from cross section for resource evaluation of Yuchiling deposit)

置和描述见表 1 及图 2,部分样品照片见图 4。样品经无污染粉碎、浮选、重液等方法处理,并在双目镜下挑选,最终得到纯度大于 98%的辉钼矿粉末。

3.2　分析方法

辉钼矿样品 Re-Os 含量的测定是在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室进行的,实验所用的仪器是电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS,采用 Carius tube 熔样法,所用的^{190}Os 和^{185}Re 稀释剂来自于美国橡树岭国家实验室。具体操作步骤见相关文献(杜安道等,1994;2001;Du et al.,2004;Shirey et al.,1995;Stein et al.,1997;Markey et al.,1998)。本次分析方法简述如下:

(1)分解样品　准确称取待分析样品,通过长细颈漏斗加入到 Carius 管(一种高硼厚壁大玻璃安瓿瓶)底部。缓慢加液氮到有半杯乙醇的保温杯中,调节温度到摄氏－50～－80℃。装好样的 Carius 管放到该保温杯中,通过长细颈漏斗把准确称取的^{185}Re 和^{190}Os 混合稀释剂加入到 Carius 管底部,再加入 2 mL 10 mol/L HCl,4 mL 16 mol/L HNO_3,1 mL 30% H_2O_2,当管底溶液冰冻后,用丙烷氧气火焰加热封好 Carius 管的细颈部分。放入不锈钢套管内。轻轻放套管入鼓风烘箱内,待回到室温后,逐渐升温到 230 ℃,保温 24 h。在底部冷冻的情况下,打开 Carius 管,并用 40 mL 水将管中溶液转入蒸馏瓶中。

(2)蒸馏分离 Os　于 105～110℃蒸馏 50 min,用 10 mL 水吸收蒸出的 OsO_4。用于 ICP-MS(TJA X-series)测定 Os 同位素比值。将蒸馏残液倒入 150 mL Teflon 烧杯中待分离铼。

(3)萃取分离 Re　将第一次蒸馏残液置于电热板上,加热近干。加少量水,加热近干。重复两次以降低酸度。加入 10 mL 5 mol/L NaOH,稍微加热,转为碱性介质。转入 50mL 聚丙烯离心管中,离心,取上清液转入 120 mL Teflon 分液漏斗中。加入 10 mL 丙酮,振荡 5min,萃取 Re。静止分相,弃去水相。加 2 mL 5 mol/L NaOH 溶液到分液漏斗中,振荡 2 min,洗去丙酮相中的杂质。弃去水相,排丙酮到 150 mL 已加有 2 mL 水的 Teflon 烧杯中。在电热板上 50 ℃加热以蒸发丙酮。加热溶液至干。加

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

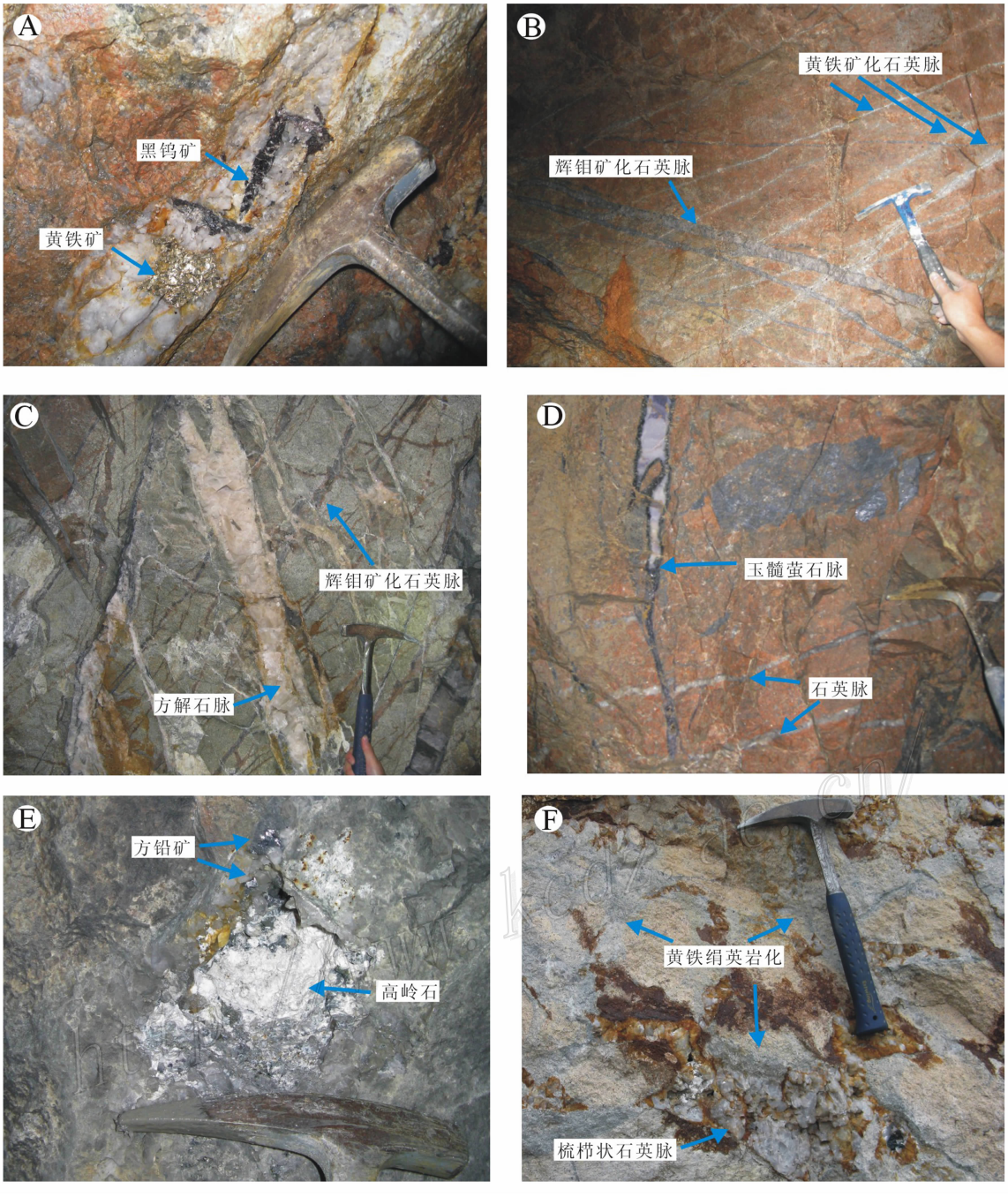

图 7 鱼池岭钼矿床不同矿化阶段产物

A. 乳白色石英脉＋团块状黄铁矿＋黑钨矿(Ⅱ)；B. 辉钼矿化石英脉(Ⅲ)切穿早期的黄铁矿化石英脉(Ⅱ)；C. 晚期方解石脉(Ⅳ)切穿断层中早期充填的辉钼矿细脉(Ⅲ)；D. 晚期玉髓萤石脉(Ⅳ)切穿早期石英细脉(Ⅲ)；E. 石英晶洞中充填有高岭石、方铅矿(Ⅳ)；F. 梳栉状石英脉，围岩发育黄铁绢英岩化(Ⅳ)

Fig. 7 Products of different ore-forming stages in the Yuchiling Mo deposit

A. Milk-white quartz vein + massive pyrite + wolframite(Ⅱ); B. Molybdenite-quartz vein (Ⅲ) cutting early stage pyrite-quartz vein(Ⅱ); C. Late-stage calcite (Ⅳ) vein cutting earlier filled molybdenite veins in fault(Ⅲ); D. Late stage chalcedony-fluorite vein (Ⅳ) cutting early-stage quartz veins(Ⅲ); E. Quartz druse filled with kaolinite and galena(Ⅳ); F. Vuggy quartz veins with pyllic alteration in wall rocks(Ⅳ)

表 1　辉钼矿样品描述

Table 1　Description of the molybdenite samples

样品号	采样位置	描述	对应成矿阶段	照片号
PD477	坑道 PD477	断裂带内辉钼矿石薄饼	石英-辉钼矿阶段(Ⅲ)	图 4F
PD587-1	坑道 PD587	构造破碎带中的辉钼矿石英脉	石英-辉钼矿阶段(Ⅲ)	(无)
PD587-5	坑道 PD587	隐爆角砾岩中微细脉状辉钼矿	石英-辉钼矿阶段(Ⅲ)	图 4B
PD587-6	坑道 PD587	钾长石化黑云二长花岗岩中细脉浸染状辉钼矿	石英-辉钼矿阶段(Ⅲ)	(无)
PD620-1	坑道 PD620	钾长石化黑云二长花岗岩中浸染状辉钼矿	石英-辉钼矿阶段(Ⅲ)	图 4C
PD628	坑道 PD628	钾长石化黑云二长花岗岩中辉钼矿化石英脉	石英-辉钼矿阶段(Ⅲ)	图 4A

数滴浓硝酸和 30%过氧化氢,加热蒸干以除去残存的锇。用数毫升稀 HNO_3 溶解残渣,稀释到硝酸浓度为 2%。备 ICP-MS 测定 Re 同位素比值。如含铼溶液中盐量超过 1 mg/mL,则需采用阳离子交换柱除去钠。

(4) 质谱测定　采用美国 TJA 公司生产的 TJA X-series ICP-MS 测定同位素比值。对于 Re,选择测定 ^{185}Re 和 ^{187}Re。有时含 Re 的溶液中会残留少量未被分离的 ^{187}Os,从而影响 ^{187}Re,因此选用 ^{190}Os 来监测 ^{187}Os。如果在测试过程中观测到微弱的 ^{190}Os 信号,那么要用 Os 稀释剂的 ^{187}Os/^{190}Os 比值来修正 ^{187}Re 信号中的 ^{187}Os。对于 Os,选择测定 ^{187}Os、^{190}Os 和 ^{192}Os。类似的,会有少量 ^{187}Re 混入而影响 ^{187}Os,用 ^{185}Re 来监测 ^{187}Re,用稀释剂的 ^{185}Re/^{187}Re 比值进行修正。修正通常很少,不超过同位素信号的 0.1%,这里用到的最大修正百分比小于 1%。

样品熔样过程中的平均 Re、Os 空白分别小于 30 pg 和 0.5 pg,没有普 Os 被检测到(表 2),因此 Re、Os 同位素含量的测定没有受到影响。标样 HLP 被两次用于监测分析数据,测试结果和标准值列于表 3,可证明分析数据的可靠性。

Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差。置信水平 95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%),置信水平 95%。

表 2　本次实验空白水平

Table 2　Blank level

编号	Re/ ng		普 Os/ ng		Os^{187}/ng	
	测定值	不确定值	测定值	不确定值	测定值	不确定值
080701-24	0.026	0.001	0.0000	0.0000	0.0015	0.0002
080623-18	0.011	0.004	0.0000	0.0000	0.0003	0.0001

有关学者提出,失偶效应会使结果产生误差,而细粒(<2 mm)的辉钼矿几乎不显示失偶效应(Stein, 2003; Selby et al., 2004)。由于本次样品多为细脉浸染状,在辉钼矿挑纯的过程中,已经通过不断的粉碎和混合达到了颗粒的细化均一,因此基本不会对结果产生影响。

4　测试结果

辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果见表 4。模式年龄计算所用公式为:$t=1/\lambda\,[\ln(1+{}^{187}Os/{}^{187}Re)]$,其中衰变常数 $\lambda = 1.666\times10^{-11}\ a^{-1}$。除样品 PD587-1 所得年龄存在异常(是否可能存在多期矿化,还需要进一步工作的证实),其他 5 个样品得到接近一致的年龄,模式年龄变化范围(130.3 ± 2.0)~(131.7 ± 1.9) Ma,平均年龄(131.07 ± 0.83) Ma,MSWD = 0.35 (图 8)。用 Isoplot(Ludwig, 1999)计算得出的等时线年龄为(131.2 ± 1.4) Ma, MSWD = 0.60(图 9)。

表 3　实验标准物质 GBW04435 HLP 测定值和标准值

Table 3　Analytical data and certificated values of Re-Os isotopes for standard sample HLP

编号	原样名	样重/g	Re/μg/g		Os^{187}/ng/g		模式年龄/Ma	
			测定值	不确定值	测定值	不确定值	测定值	不确定值
080623-17	HLP	0.0101	274.5	3.1	629.0	6.5	218.4	3.8
080709-12	HLP	0.0085	281.4	3.0	647.5	5.5	219.3	3.5
GBW04435	HLP		283.8	6.2	659.0	14	221.4	5.6

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

表 4 鱼池岭钼矿中辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果

Table 4 Re-Os isotope data for molybdenite from the Yuchiling porphyry molybdenum deposit

编号	原样名	样重/g	Re / μg/g		Re^{187} / μg/g		Os^{187} / ng/g		模式年龄/ Ma	
			测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
080702-1	PD477	0.0501	33.84	0.32	21.27	0.20	46.70	0.37	131.7	1.9
080702-2	PD587-1	0.0507	9.42	0.10	5.922	0.062	13.64	0.11	138.1	2.2
080702-3	PD587-5	0.0244	45.64	0.61	28.68	0.39	62.97	0.50	131.6	2.3
080702-4	PD587-6	0.0503	37.93	0.38	23.84	0.24	51.82	0.46	130.3	2.0
080702-5	PD620-1	0.0502	12.48	0.11	7.843	0.071	17.12	0.14	130.8	1.9
080702-6	PD628	0.0501	53.39	0.69	33.55	0.43	72.96	0.58	130.4	2.2

注：模式年龄计算所用衰变常数为 $\lambda(^{187}Re) = 1.666\times10^{-11}a^{-1}$（Smoliar et al.，1996），不确定值是 2σ 水平；测试单位：国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室；分析者：屈文俊、曾法刚。

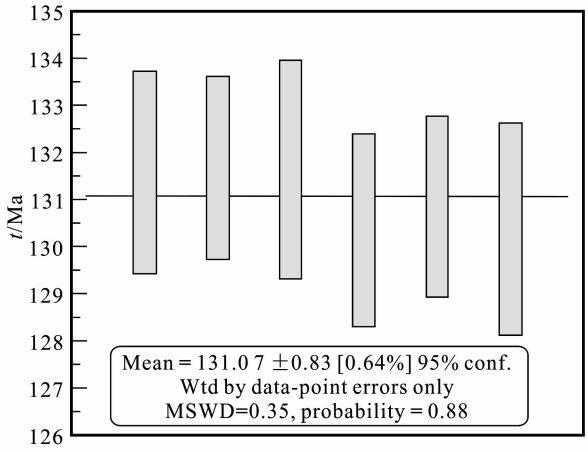

图 8 鱼池岭钼矿中辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值（080702-2 数据未用）

Fig. 8 Weighted mean of Re-Os model ages for molybdenite from the Yuchiling deposit (080702-2 not used)

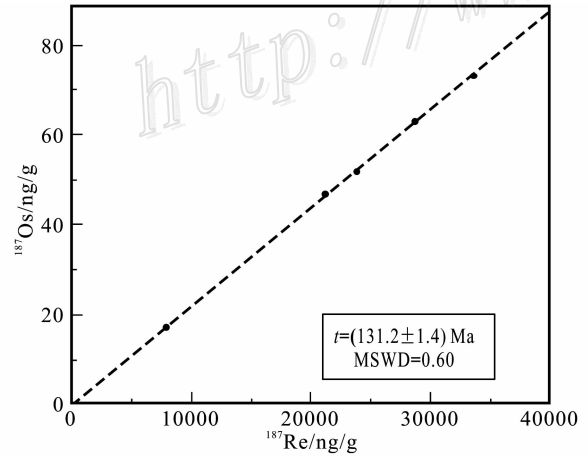

图 9 鱼池岭钼矿中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线（080702-2 数据未用）

Fig. 9 Re-Os isochron age for molybdenite from the Yuchiling deposit (080702-2 not used)

5 讨 论

5.1 矿床类型及其特点

鱼池岭钼矿产于合峪复式花岗岩体及其中的隐爆角砾岩中。赋矿岩体属于富钾的铝质-过铝质碱质亚碱性岩系，矿区内还普遍发育萤石，这些特征都与美国 Climax 型（高 F）斑岩钼矿赋矿围岩特征（White et al.，1981；Westra et al.，1981；Wallace，1995）相似。钼矿化类型主要为浸染状、薄膜状、细脉状、网脉状以及断裂带中薄饼状辉钼矿，有钾长石化、硅化、绿帘石化、黄铁绢英岩化、绿泥石化、萤石化和高岭石化等蚀变。蚀变类型及分带随距离矿体由近到远，有从钾长石化（带）向黄铁绢英岩化（带）再到粘土化带转变的趋势。隐爆角砾岩体中发育浸染状、薄膜状和微细脉状辉钼矿，角砾岩体外接触带震碎岩中发育浸染状辉钼矿，以及断裂构造带中发育薄饼状辉钼矿，是本矿区特有的矿化类型。与东秦岭钼矿带中其他钼矿床相比，鱼池岭钼矿矿化类型有其独特性，成矿与合峪花岗岩基和隐爆角砾岩密切相关，与以往所认识的钼矿通常与中生代中酸性小斑岩体有关明显不同。

5.2 成矿时代

据毛景文等（2005），合峪岩体中似斑状二长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为（127.0±1.4）Ma。张宗清等（2006）测得合峪岩体的黑云母 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄为（135.7±1.3）Ma。Han 等（2007）测得童子庄附近含中斑黑云母二长花岗岩的黑云母 Ar-Ar 坪年龄为（131.8±0.7）Ma，等时线年龄为（132.5±1.1）Ma。本文所得的鱼池岭钼矿 Re-Os 等时线年龄为（131.2 ± 1.4）Ma，表明成岩成矿时代均为早白垩世，成矿与合峪岩体的岩浆活动和

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

侵位关系密切,为同一构造-岩浆-流体活动的产物。

通过对 13 个矿床系统的辉钼矿 Re-Os 定年以及与之前 2 个已定年矿床的比较,Mao 等(2008)提出,与相应的构造事件对应,在东秦岭-大别地区存在 3 个中酸性岩浆活动和钼矿化的峰期,即 233～221Ma, 148～138Ma 和 131～112 Ma。鱼池岭钼矿属于第 3 个峰期的产物,同期产出的矿床还有东沟钼矿〔(114.1±1.4) Ma; (115.1±2.0)Ma, 模式年龄,叶会寿等,2006〕、汤家坪钼矿〔(113.1 ±7.9) Ma, 等时线年龄,杨泽强等,2007〕、大银尖矿点〔(122.1±2.4)Ma, 模式年龄,杨泽强等,2007〕、天目沟矿点〔(121.6±2.1)Ma, 模式年龄,杨泽强等,2007〕和雷门沟矿床〔(129.5±2.6)Ma; (131.4±1.4)Ma, 模式年龄,李永峰等,2006〕。

5.3　成矿物质来源

辉钼矿中的 Re 含量可以作为指示成矿物质来源的参考 (Mao et al.,1999; Stein et al., 1997), Mao 等(1999) 经综合分析,对比了中国各种类型钼矿床中辉钼矿的 Re 含量,发现从地幔来源到壳幔混源再到地壳来源,矿石中辉钼矿的 Re 含量呈 10 倍级下降,从与幔源→与 I 型花岗岩→与 S 型花岗岩有关的钼矿床,Re 含量从 $n\times10^{-4}\rightarrow n\times10^{-5}\rightarrow n\times10^{-6}$ 变化。鱼池岭钼矿的 Re 含量介于 $12.48\times10^{-6}\sim53.39\times10^{-6}$,反映其可能为壳幔混合来源。据 1∶25 万区调报告❶:合峪复式岩体 $\delta^{18}O<10‰$,为9.49‰,$(^{87}S/^{86}Sr)_0<0.708$,为 0.7075,也显示具有壳幔岩浆混合(I 型)花岗岩特征,这与刘振宏等(2004)提出的合峪岩体具有岩浆混合的来源,以及 Han 等(2007)认为该岩体属 I 型花岗岩的本质相一致。雷门沟钼矿是东秦岭钼矿带中与鱼池岭钼矿在形成空间和时间上最为接近的一个,其辉钼矿 Re 含量为 $11.5\times10^{-6}\sim16.2\times10^{-6}$(李永峰等,2006),成矿物质被认为主要来源于下地壳,但混有少量地幔组分。

鱼池岭矿区出露有隐爆角砾岩体,根据钻孔资料,还有多个隐伏的角砾岩筒。Pirajno 等 (2005) 指出,碰撞造山带中伴随角砾岩筒出现的斑岩系统可指示富挥发分的条件,这可能同时来自于下沉大陆板片和软流圈地幔。Berzina 等(2005)提出,控制斑岩型 Cu-Mo 矿床中辉钼矿 Re 含量分布的主要因素可能有:母岩浆的成分、成矿流体中 Re 的含量以及结晶过程中物理、化学条件的变化〔$f(O_2)$, pH, Cl 的活性, p, t〕。由于缺乏成矿流体包裹体以及稳定同位素特征的数据,因此目前对成矿物质的来源还不能下结论,但有理由推测,鱼池岭钼矿的成矿物质应主要来源于下地壳,同时有地幔物质的加入。

5.4　成矿动力学背景

Wu 等(2005)提出,早白垩世是中国东北部一个重要的岩浆活动期,大约 132～120 Ma 的岩浆岩均侵位于一个伸展环境。大规模的岩浆事件与中国东部同时期的岩石圈拆沉有关,这是由于 Izanagi 或 Kula-Pacific 板块的俯冲所导致,可能受到当时地幔上涌的超地幔柱活动的影响。谢桂青等(2008)根据年代学和地球化学特征初步认为,早白垩世(132～128Ma)可能是长江中下游地区岩石圈减薄高峰时间。Mao 等(2008)结合众多学者对中国东部板块构造及地球动力学背景的研究认为,东秦岭大约 131～112 Ma 的第 3 个峰期的岩浆和成矿事件与 Izanagi 板块运动的改变有关,这个改变可能导致了俯冲板片的拆沉和热侵蚀,以及软流圈上涌和上、下地壳的底侵,使地壳发生熔融。鱼池岭钼矿 Re-Os 等时线年龄为(131.2 ± 1.4) Ma,成矿发生于该时限内,所对应的构造环境应为岩石圈的减薄和伸展(Mao et al., 2008),大量石英-辉钼矿脉充填和交代于裂隙和构造带中,以及矿区内常见典型的梳栉状石英脉、晶洞构造等,均反映出成矿事件发生于拉张环境中。在三叠纪—侏罗纪,豫西地区基本没有盆地发育,但早白垩世沿三鲁断裂带发育一些小的断陷盆地和中酸性岩浆喷出活动,经古近纪至新近纪,小盆地逐渐合并,最终演化形成规模较大的南阳山前断陷盆地(河南省地质矿产局, 1989; 陈衍景等, 1992),表明该区总体上处于伸展拉张状态。东秦岭早白垩世太山庙铝质 A 型花岗岩(叶会寿等,2008)以及一系列断陷盆地和基性岩墙(Han et al., 2007)也被认为形成于大陆岩石圈稳定之后的拉张环境(板内拉张)。因此可以认为,鱼池岭钼矿形成于伸展拉张的构造环境,对应的构造动力学背景为区域的岩石圈减薄、拆沉和热侵蚀(Mao et al., 2008)。

6　结　论

(1) 鱼池岭超大型钼矿是东秦岭钼矿带中重要

❶ 河南省地质调查院. 2003. 河南省内乡幅 1∶25 万区调报告. 244-291.

的斑岩型钼矿床。成矿与合峪复式花岗岩体及其中的隐爆角砾岩体密切相关。赋矿岩体的地球化学特征与美国 Climax 型斑岩钼矿的富二氧化硅、铝质、贫钙、富碱、高 F 含量以及 K_2O 含量大于 Na_2O 等特征相似。钼矿化类型主要为浸染状、细脉、网脉状、薄膜状。蚀变类型有钾长石化、硅化、绿帘石化、黄铁绢英岩化、绿泥石化、萤石化和高岭石化等。与东秦岭钼矿带中其他钼矿床相比,鱼池岭钼矿矿化类型具有独特性,成矿与合峪花岗岩基和隐爆角砾岩密切相关,与以往所认识的斑岩型钼矿通常与晚中生代中酸性小岩体有关明显不同。

(2) 6 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素精确定年得到模式年龄范围为(130.3 ± 2.0)～(131.7 ± 1.9) Ma,等时线年龄为(131.2 ± 1.4) Ma,成矿作用发生于早白垩世,与合峪花岗岩体的岩浆活动和侵位年龄相一致,表明为同一构造-岩浆-流体活动的产物。

(3) 辉钼矿中的 Re 含量为 12.48×10^{-6}～53.39×10^{-6},揭示成矿物质可能来源于下地壳,但同时混有地幔物质。

(4) 鱼池岭钼矿的成矿作用发生于东秦岭—大别地区中生代钼成矿作用的第 3 个峰期(131～112 Ma),处于区域的岩石圈减薄、拆沉和热侵蚀的伸展拉张的构造背景。

志 谢 在野外工作中得到向君峰硕士、洛阳龙羽山川钼业有限公司刘彦伟、徐卫强、杜彦臣、闫立伟等技术人员的大力支持与协助;室内工作得到 Re-Os 同位素实验室杜安道研究员的帮助与指点;成文过程中得到两位审稿人的细致评阅和中肯建议,在此一并表示衷心感谢。

References

Chen Y J and Fu S G. 1992. Mineralization of gold deposits in west Henan, China[M]. Beijing: Seismological Press. 1-46 (in Chinese with English abstract).

Berzina A N, Sotnikov V I, Economou-Eliopoulos M and Eliopoulos D G. 2005. Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu-Mo and Mo-Cu deposits of Russia(Siberia) and Mongolia [J]. Ore Geology Reviews, 26 :91-113.

Bureau of Geology and Mineral resource of Henan Province. 1989. Regional geology of Henan Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 772p (in Chinese with English abstract).

Du A D, He H L, Yin N W, Zou X Q, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z And Qv W J. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites [J]. Acta Geologica Sinica, 68 (4): 339-347 (in Chinese with English abstract).

Du A D, Zhao D M, Wang S X, Sun D Z and Liu D Y. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with Carius tube sample preparation [J]. Rock and Mineral Analysis, 20(4): 247-252 (in Chinese with English abstract).

Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Markey R, Stein H, Morgan J W and Malinovskiy D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. Geostand. Geoanal. Res. , 28: 41-52.

Guo B J, Mao J W, Li H M, Qv W J, Qiu J J, Ye H S, Li M W and Zhu X L. 2006. Re-Os dating of the molybdenite from the Qiushuwan Cu-Mo deposit in the east Qinling and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(9): 2341-2348 (in Chinese with English abstract).

Han Y G, Zhang S H, Pirajno F and Zhang Y H. 2007. Evolution of the Mesozoic granites in the Xiongershan-Waifangshan Region, Western Henan Province, China, and its tectonic implications [J]. Acta Geologica Sinica (English edition), 81(2): 253-265.

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

Li Y F, Wang C Q, Bai F J and Song Y L. 2004. Re-Os isotopic ages of Mo deposits in East Qinling and their geodynamic settings [J]. Mineral Resources and Geology, 18 (6): 571-578 (in Chinese with English abstract).

Li Y F, Mao J W, Hu H B, Guo B J and Bai F J. 2005. Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in East Qinling area [J]. Mineral Deposits, 24(3): 292-304 (in Chinese with English abstract).

Li Y F, Mao J W, Liu D Y, Wang Y B, Whang Z L, Wang Y T, Li X F, Zhang Z H and Guo B J. 2006. Shrimp zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the Leimengou porphyry molybdenum deposit, West Henan and its geological implication [J]. Geological Review, 52 (1): 122-131 (in Chinese with English abstract).

Liu Z H, Wang S Y, Zhang L, Yang C X, Wu T A and Cui X F. 2004. The Jurassic magmatism of intracrationic orogen in the southern margin of the North China Craton [J]. Geological Survey and Research, 27(1): 35-42 (in Chinese with English abstract).

Lu X X, Yu Z P, Feng Y L, Wang Y T, Ma W F and Cui H F. 2002. Mineralization and tectonic setting of 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, Xu Y R, Li S M and Li K H. 1991. Molybdenum deposits in China [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press. 452 p(in Chinese).

Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H and Du A D. 1999. Re-Os isotopic

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

dating of molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 63: 1815-1818.

Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, Li X F, Wang Y T, Zhang C Q and Li Y F. 2005. Mesozoic large scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings [J]. Acta Petrologica Sinica, 21(1): 169-188 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, Qv W J, Du A D, Ye H S, Pirajno F, Li H M, Guo B J, Li Y F and Yang Z Q. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 72(18): 4607-4626.

Markey R., Stein H and Morgan J. 1998. Highly precise Re-Os dating for molybdenite using alkaline fusion and NTIMS[J]. Talanta 45: 935-946.

Pirajno F and Chen Y J. 2005. Hydrothermal ore systems associated with the extensional collapse of collision orogens[A]. In: Mao J W, Bierlein F P, ed. Mineral deposit research: Meeting the global challenge[C]. The 8th Biennial SGA Meeting in Beijing, 2005. Berlin: Springer. 1045-1048.

Selby D and Creaser R A. 2004. Macroscale NTIMS and microscale LA-MC-ICP-MS Re-Os isotopic analysis of molybdenite: Testing spatial restrictions for reliable Re-Os age determinations and implications for the decoupling of Re and Os within molybdenite[J]. Geochim. et Cosmochim. Acta, 68(19): 3897-3908.

Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tufbe dgestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. Anal. Chem., 67: 2136-2141.

Smoliar M I, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA and VIB iron meteorites[J]. Sciences, 271: 1099-1102.

Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Du A D and Sun Y. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt, Shanxi Province, China[J]. Econ. Geol., 92: 827-835.

Stein H J, Schersten K, Hannah J L and Markey R. 2003. Subgrain-scale decoupling of Re and ^{187}Os assessment of laser ablation ICP-MS spot dating in molybdenite[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 92: 827-835.

Wallace S R. 1995. The climax-type molybdenite deposits: What they are, where they are and why they are[J]. Econ. Geol., 90: 1359-1380.

Wang X X, Jiang C Y and An S Y. 1986. The characteristics of two-pyroxene granulite in felsic small pluton and its implications[J]. Journal of Xi'an Geological Institution, 8(2): 16-22 (in Chinese).

Westra G and Keith S B. 1981. Classification and genesis of stockwork molybdenum deposit[J]. Econ. Geol., 76: 844-873.

White W H, Bookstrom A A, Kamilli R J, Ganster M W, Smith R P, Ranta D E and Steininger R C. 1981. Character and origin of Climax-type molybdenum deposits[J]. Econ. Geol., 75: 270-316.

Wu F Y, Lin J Q, Simon A, Wilde S A, Zhang X O and Yang J H. 2005. Nature and significance of the Early Cretaceousgiant igneous event in eastern China[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 233: 103-119.

Xie G Q, Li R L, Jiang G H, Zhao C S and Hou K J. 2008. Geochemistry and petrogenesis of Late Mesozoic granitoids in southeastern Hubei Province and constrains on the timing of lithosperic thinning, Middle-Lower Reaches of the Yangtze River, eastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(8): 1703-1714 (in Chinese with English abstract).

Yang Z Q. 2007. Re-Os isotopic ages of Tangjiaping molybdenum deposit in Shangcheng County, Henan and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 26(3): 289-295 (in Chinese with English abstract).

Ye H S, Mao J W, Li Y F, Guo B J, Zhang C Q, Liu J, Yan Q R and Liu G Y. 2006. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the superlarge Donggou porphyry Mo deposit in East Qinling, China and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica, 80: 1078-1088 (in Chinese with English abstract).

Ye H S, Mao J W, Xu L G, Gao J J, Xie G Q, Li X Q and He C F. 2006. Shrimp zircon U-Pb Dating and Geochemistry of the Taishanmiao aluminous A-type granite in west Henan Province [J]. Geological Review, 54(5): 699-711 (in Chinese with English abstract).

Zhang Z W and Deng J. 2001. 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, Zhang Z S, Dong Y, Peng W F and Zhang J J. 2007. Molybdemun deposits in eastern Qinling, central China: Deep structure constraints on their formation[J]. Acta Mineralogica Sinica, 27(3/4): 372-378 (in Chinese with English abstract).

Zhang Z Q, Zhang G W, Liu D Y, Wang Z Q, Tang S H and Wang J H. 2006. Isotopic Geochronology and geochemistry of ophiolites, granites and clastic sedimentary rocks in the Qinling orogenic belt[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 178-180 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈衍景，富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京：地震出版社. 1-46.

杜安道，何红寥，殷宁万，邹晓秋，孙亚利，孙德忠，陈少珍，屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-锇同位素地质年龄测定方法研究[J]. 地质学报，68(4)：339-347.

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

杜安道，赵敦敏，王淑贤，孙德忠，刘敦一. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-锇同位素地质年龄[J]. 岩矿测试，20（4）：247-252.

郭保健，毛景文，李厚民，屈文俊，仇建军，叶会寿，李蒙文，竹学丽. 2006. 秦岭造山带秋树湾铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 岩石学报，22(9)：2141-2148.

河南省地质矿产局. 1989. 河南省区域地质志[M]. 北京. 地质出版社. 772 页.

黄典豪，吴澄宇，杜安道，何红蓼. 1994. 东秦岭地区钼矿床的铼-锇同位素年龄研究[J]. 矿床地质，13(2)：221-230.

李永峰，王春秋，白凤军，宋艳玲. 2004. 东秦岭钼矿 Re-Os 同位素年龄及其成矿动力学背景[J]. 矿产与地质，18(6)：571-577.

李永峰，毛景文，胡华斌，郭保健，白凤军. 2005. 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，24(3)：292-304.

李永峰，毛景文，刘敦一，王彦斌，王志良，王义天，李晓峰，张作衡，郭保健. 2006. 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]. 地质论评，52(1)：122-131.

刘振宏，王世炎，张 良，杨长秀，武太安，崔霄峰. 2004. 华北陆块南缘燕山期陆内造山岩浆活动特征[J]. 地质调查与研究，27(1)：35-42.

卢欣祥，于在平，冯有利，王义天，马维峰，崔海峰. 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，许永仁，黎世美，李昆华. 1991. 中国钼矿床[M]. 郑州：河南科学技术出版社. 403-408.

毛景文，谢桂青，张作衡，李晓峰，王义天，张长青，李永峰. 2005. 中国北方大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报，21（1）：169-188.

王晓霞，姜常义，安三元. 1986. 中酸性小斑岩中二辉麻粒岩的特征及其意义[J]. 西安地质学院学报，8（2）：16- 22.

谢桂青，李瑞玲，蒋国豪，赵财胜，侯可军. 2008. 鄂东南地区晚中生代侵入岩的地球化学和成因及对岩石圈减薄时限的制约[J]. 岩石学报，24(8)：1703-1714.

杨泽强. 2007. 河南商场县汤家坪钼矿辉钼矿铼-锇同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质，26(3)：289-295.

叶会寿，毛景文，李永峰，郭保健，张长青，刘 君，闫全人，刘国印. 2006. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报，80（7）：1078-1088.

叶会寿，毛景文，徐林刚，高建京，谢桂青，李向前，何春芬. 2008. 豫西太山庙铝质 A 型花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地球化学特征[J]. 地质论评，54(5)：699-711.

张正伟，邓 军. 2001 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，张中山，董 有，彭万夫，张建军. 2007. 东秦岭钼矿床及其深部构造制约[J]. 矿物学报，27(3-4)：372-378.

张宗清，张国伟，刘敦一，王宗起，唐索寒，王进辉. 2006. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学[M]. 北京：地质出版社. 178-180.

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