1000-0569/2013/029(01)-0095-06 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

大别山北麓钼矿床地质特征和地球动力学背景*

李毅[1] 李诺[2] 杨永飞[2] 王玭[3] 糜梅[3] 张静[4] 陈红瑾[2] 陈衍景[2**]

LI Yi[1], LI Nuo[2], YANG YongFei[2], WANG Pin[3], MEI Mei[3], ZHANG Jing[4], CHEN HongJin[2] and CHEN YanJing[2**]

1. 河南省有色金属地质勘查总院,郑州 450052
2. 北京大学造山带与地壳演化重点实验室,北京 100871
3. 中国科学院广州地球化学研究所矿物学与成矿学重点实验室,广州 510640
4. 中国地质大学地质过程与成矿作用国家重点实验室,北京 100083

1. *Henan Institute of Nonferrous Metal Exploration, Zhengzhou* 450052, *China*
2. *Key Laboratory of Orogen and Crust Evolution, Peking University, Beijing* 100871, *China*
3. *Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou* 510640, *China*
4. *State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*

2012-08-05 收稿, 2012-11-30 改回.

Li Y, Li N, Yang YF, Wang P, Mei M, Zhang J, Chen HJ and Chen YJ. 2013. Geological features and geodynamic settings of the Mo deposits in the northern segment of the Dabie Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 29(1): 95 – 106

Abstract The northern Dabie Mountains in China, hosting more than ten Mo deposits, is another molybdenum belt in China besides the East Qinling Mo belt and the northeast Mo belt. In this paper, we summarize the geological features of Mo deposits in the northern Dabie Mountains, including spatial and temporal distribution, genetic classification, geological and geochemical characters. The Mo deposits mainly occur along the regional EW-trending faults, but in the north of the Xiaotian-Mozitan fault. The location of Mo deposit is controlled by NW- and NE-trending faults, without any preference to host-rocks. Mo mineralization is generally associated with the Yanshanian high-K granitic porphyries, with orebodies being located in the porphyritic intrusions and/or host-rocks at contact zones. Genetically, four types of Mo mineralization can be recognized, i. e. porphyry, breccias, skarn and hydrothermal vein, with porphyry as the dominant. A four stage hydrothermal ore-forming process is common, and the fluids are featured by high temperature, high salinity and CO_2-rich. The majority of available molybdenite Re-Os isotopic ages are between 110Ma and 130Ma, younging eastwardly. The Mo deposits and their related granitic intrusions were formed under a geodynamic setting associated with lithosphere extension and thinning after collisional shortening and thickening.

Key words Mo deposit; Ore geology; Metallogenic time; Geodynamic setting; Northern Dabie Mountains

摘 要 大别造山带北麓新发现有大、中型钼矿床(点)十余个,是继东秦岭和东北钼矿带后又一重要钼金属矿集区。本文总结了大别山北麓钼矿床的地质特征,包括时空分布、成因类型等。大别山地区的钼矿床多沿 NW 向区域性断裂构造带发育,集中于晓天-磨子潭断裂以北;矿床产出受 NW 向与 NE 向断裂交汇部位控制,对赋矿围岩无选择性。钼矿化与燕山期高钾花岗质斑岩体密切相关,矿体产于岩体内部和/或接触带围岩中。矿化类型以斑岩型为主,次为矽卡岩型、热液脉型及爆破角砾岩型。成矿过程普遍具有四阶段性,成矿流体以高温、高盐度、富 CO_2 为普遍特征。辉钼矿 Re-Os 同位素年龄集中于 110 ~ 130Ma,且从西向东变新;钼矿床和相关花岗岩类侵入体形成于岩石圈碰撞缩短加厚之后的伸展减薄地球动力学背景。

关键词 钼矿床;矿床地质;成矿时间;地球动力学背景;大别山北麓

中图法分类号 P618.65

---

* 本文受国家自然科学基金项目(41203029)和国家 973 项目(2006CB403500)联合资助.

第一作者简介:李毅,男,1970 年生,硕士,高级工程师,从事地质矿产勘查与科研工作,E-mail: liyi-051001@163.com

** 通讯作者:陈衍景,男,教授,矿床学专业,E-mail: yjchen@pku.edu.cn 或 gigyjchen@126.com

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

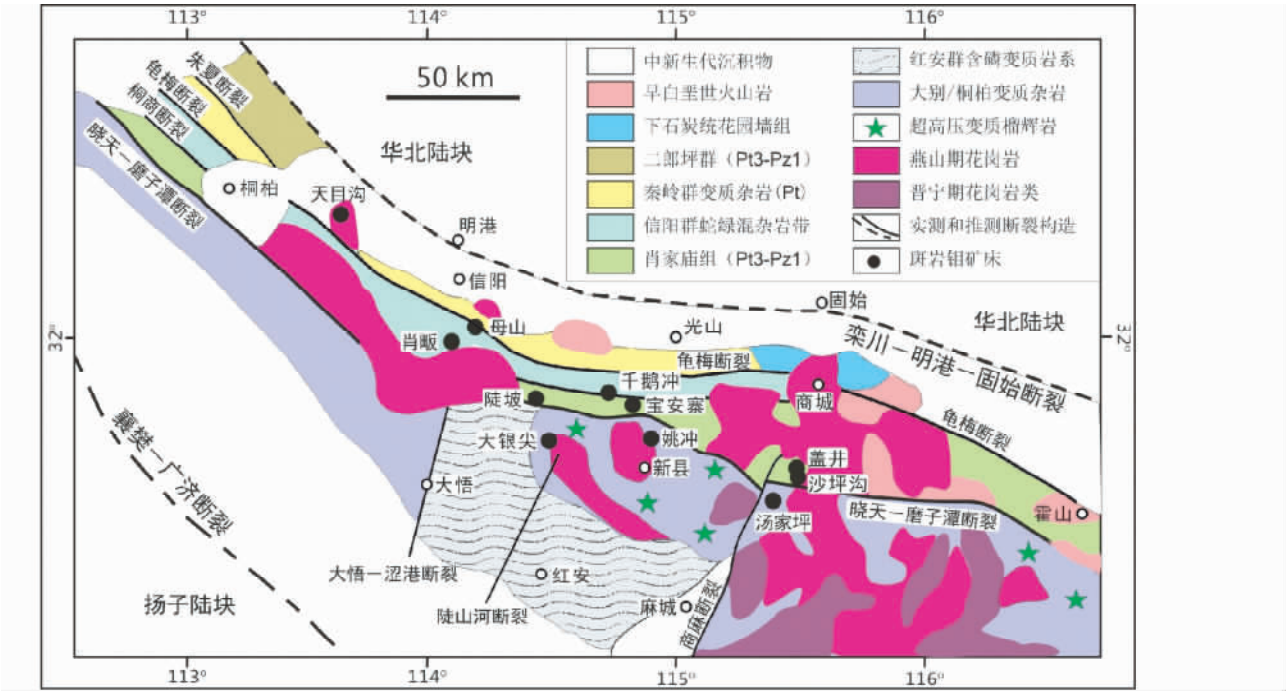


图 1 大别山区钼矿床空间分布略图(据王运等, 2009 修改)

Fig. 1 Schematic map showing the geology and distribution of Mo deposits in Dabie Mountains (modified after Wang *et al.*, 2009)

秦岭-大别造山带横亘于中国大陆腹地,最终形成于中生代华北古板块与扬子古板块的碰撞作用,是一典型的陆陆碰撞造山带(张国伟等, 2001; 陈衍景等, 2009)。秦岭地区蕴含 6 个超大型和 20 余个大、中、小型矿床,已探明钼金属储量超过 500 万吨,是世界上最大的钼金属成矿带(Chen *et al.*, 2000; Mao *et al.*, 2008; 李诺等, 2007)。然而,大别造山带作为秦岭造山带的东延,因剥蚀程度大(大量出露高压-超高压变质岩)、中浅层次的地质记录少,而鲜有大型钼矿床报道。近年来,在大别山北麓相继发现了天目山、肖畈、母山、陡坡、大银尖、千鹅冲、宝安寨、姚冲、汤家坪、沙坪沟、银山等十余个大、中型钼矿床(点)(图 1、表 1),实现了大别山地区内生金属矿床找矿的重大突破。该区也成为继东秦岭钼矿带(Chen *et al.*, 2000; Mao *et al.*, 2008; 李诺等, 2007)、中国东北钼矿带(陈衍景等, 2012)后又一重要钼矿集中区。本文作者在实际研究的基础上,结合前人研究成果和勘查资料,简单总结了大别山北麓钼矿床的类型、特征及时空分布规律,并结合区域构造演化探讨了钼金属成矿的地球动力学背景,以期为大别山北麓钼矿勘查和深入研究提供参考。

1 区域地质背景

大别造山带为秦岭造山带东延部分,形成于三叠纪华北克拉通与扬子克拉通之间的陆陆碰撞作用。造山带东端被郯庐断裂截切,西段以南阳盆地与秦岭造山带相连,南、北边界分别为襄樊-广济断裂和栾川-明港-固始断裂(图 1)。该造山带是由多个形成于不同构造环境,有着各自独立的建造、变质变形和构造演化序列的构造地层地体,经多次聚合拼贴形成的复杂构造带(王勇生等, 2004; 翟明国, 2008),由北向南可分为北淮阳构造带、北大别变质杂岩隆起区、南大别超高压变质带和宿松变质杂岩 4 个构造-岩石单元(王清晨和丛柏林, 1998),亦有学者根据变质作用的温度-压力条件将其划分为 5 个单元,即: 北淮阳低温低压绿片岩相变质带、北大别高温超高压榴辉岩相带、中大别中温超高压榴辉岩相带、南大别低温超高压榴辉岩相带和宿松低温高压蓝片岩相带(Zheng *et al.*, 2003, 2005)。

大别地区断裂构造发育,包括 NW 向和 NE 向两组(图 1)。NW 向断裂为区域性断裂,由北而南依次为: 龟梅(龟山-梅山)断裂、桐商(桐柏-商城)断裂和晓天-磨子潭断裂。其中,龟梅断裂与秦岭地区的商丹断裂相当(胡受奚等, 1988; 陈衍景和富士谷, 1992),被视为华北古板块与扬子古板块的缝合带; 晓天-磨子潭断裂(又称"定远-八里畈断裂")则作为北淮阳构造带与大别变质杂岩的分界带。NE 向断裂见大悟-涩港断裂、陡山河断裂、商麻断裂等,以大致 50km 等间距平行产出,并截切 NW 向断裂呈棋盘格子状。其中商麻断裂被视为东、西大别的分界线。

区内出露的主要地层包括: 二郎坪群、秦岭群、信阳群、肖家庙组、大别/桐柏变质核杂岩(图 1)。其中秦岭群变质杂岩(主体为新元古代,Zhang, 1997; 陈衍景等, 2003; 时毓等, 2009)和二郎坪群浅变质火山-沉积岩系(新元古代-早古生代,胡受奚等, 1988; 陈衍景和富士谷, 1992)分布于龟梅

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　大别山北麓钼矿床地质特征

Table 1　Geological features of Mo deposits in the northern Dabie Mountains

矿床/县/省	类型	成矿元素	矿床储量（万吨）	矿石品位（%）	赋矿围岩	控矿构造	含矿岩体	矿体形态/位置	矿体规模	矿石矿物	脉石矿物	围岩蚀变	资料来源
天目沟/信阳/河南	斑岩型	Mo、Ag、Pb、Zn		Mo：0.03～0.19，最高0.70	花岗岩	NWW向韧性剪切带及其次生节理裂隙	天目山岩体（钾长花岗岩）	似层状/岩体内部		辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿	石英、钾长石、绿帘石、绢云母、高岭石	硅化、钾化、绢英岩化、绿帘石化、高岭土化	郭铁朋，2007
母山/罗山/河南	斑岩型	Mo、Cu	Mo：5.89	Mo：0.04～0.044	南湾组变粒岩、浅粒岩夹斜长角闪岩	NE与NW向断裂交汇控制	母山岩体（花岗斑岩）	似层状/岩体内外接触带	长1200m，倾向延深500m，厚60～80 m	辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿	石英、方解石、钾长石、绿帘石、绿泥石、萤石	硅化、钾化、绢云母化、青磐岩化	徐友灵，2011；杨梅珍等，2011b
陡坡/罗山/河南	斑岩型	Mo			浒湾组片麻岩和灵山花岗岩基		灵山岩体（二长花岗岩）	透镜状、不规则状/岩体内外接触带		辉钼矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁铁矿、磁黄铁矿、斑铜矿	石英、黑云母、绿帘石、钾长石、斜长石、方解石、绿泥石	钾化、硅化、绢云母化、萤石化	骆亚南等，2012
肖畈/罗山/河南	斑岩型	Mo、Cu	Mo：7.2	Mo：平均0.045	大别群南湾组片岩、变粒岩	NE与NW向断裂交汇控制	肖畈岩体（花岗斑岩）	弯月形、层状、透镜状/岩体内外接触带	长1000m，延深440～573 m，厚度最大270 m	辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿	石英、钾长石、绿帘石、绢云母	硅化、钾化、绢英岩化	孟芳等，2012
大银尖/新县/河南	斑岩-矽卡岩-石英脉复合型	Mo、W、Cu	Mo：2.15	Mo：0.05～0.06	浒湾组混合岩-片麻岩，夹大理岩、石英岩薄层	NE与NW向断裂复合控制	大银尖岩体（细粒二长花岗岩）	脉状、透镜状/岩体内外接触带	长150～480m，延伸180～450m，厚1.10～8.28m，最厚78.7m	辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、白钨矿	石英、长石、方解石、石榴石、绿帘石、透辉石、云母、萤石	硅化、钾化、云英岩化、矽卡岩化、碳酸盐化	Li *et al.*，2012；李红超等，2010；罗正传等，2010；杨梅珍等，2011a
千鹅冲/光山/河南	斑岩型	Mo、Cu、Pb、Zn、Ag	Mo：60	Mo：0.081	南湾组片岩	NW和近NS向断裂复合控制	千鹅冲隐伏岩体（黑云母二长岩、花岗岩斑岩）	透镜状/主要在岩体外接触带，少量在岩体内部	长1500m，宽400～1000m，平均厚度330m	辉钼矿、磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	石英、绿帘石、长石、黑云母、绢云母、萤石、方解石	硅化、钾化、绢云母化、泥化、青磐岩化、碳酸盐化、萤石化	杨梅珍等，2010；李法岭，2011；Yang *et al.*，2013
宝安寨/新县/河南	斑岩-构造角砾岩型	Mo	Mo：＜5		肖家庙组和南湾组片岩	NE、近EW-NWW向断裂复合控制	宝安寨岩体（碱长花岗岩）	脉状、透镜状/主要在岩体外接触带，少量在岩体内部	断续长1350m，宽1000m，厚度1.5～7m	辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、白钨矿	斜长石、钾长石、黑云母、石英、萤石等	硅化、钾化、绿帘石化、绿泥石化、绢云母化	陈伟等，2011
姚冲/新县/河南	斑岩型	Mo	Mo：4.9	Mo：0.062	大别群片麻杂岩	近EW节理裂隙控制	戴咀隐伏岩体	不规则状、层状、透镜状/岩体内外接触带	长约960m，宽800m，平均厚度29m	辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、黑钨矿、闪锌矿、方铅矿	石英、钾长石、斜长石、绢云母、绿帘石、黑云母、绿泥石、萤石	硅化、钾化、黄铁矿化、绢英岩化	陈丽娟和陈鹏，2011；王批等，2013
汤家坪/商城/河南	斑岩型	Mo	Mo：23.5	Mo：0.06～0.30	大别片麻杂岩	近EW与NNE向断裂合控制	汤家坪花岗斑岩体	透镜状/岩体及其接触带	长1760m，宽960m，厚度349.75m	辉钼矿、黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、闪锌矿、黄铁矿、方铅矿	石英、钾长石、斜长石、绢云母、绿泥石、绿帘石	硅化、钾长石化、绢云母化、碳酸盐化、青磐岩化	Chen and Wang，2011；杨泽强，2007a，b；杨艳等，2008；王运等，2009
沙坪沟/金寨/安徽	斑岩型-爆破角砾岩复合型	Mo	Mo：220	Mo：0.1～0.3，平均0.15	花岗斑岩、二长花岗岩、石英正长岩、爆破角砾岩	NNE、NW、SN向断裂复合控制	沙坪沟隐伏岩体（花岗斑岩、二长花岗岩、石英正长岩）	筒状/岩体内外接触带	长1100m，宽800～1000m，平均厚度600m	辉钼矿、黄铁矿、方铅矿、磁铁矿、钛铁矿	石英、钾长石、斜长石、绢云母、黑云母、绢云母、萤石、绿泥石、石膏、方解石	硅化、钾化、黄铁绢云岩化、绿泥石化、萤石化、碳酸盐化	Xu *et al.*，2011；张怀东等，2010；黄凡等，2011；张红等，2011；孟祥金等，2012
盖井/金寨/安徽	斑岩-爆破角砾岩复合型	Pb、Zn、Mo	（Pb＋Zn＋Mo）：2	Mo：0.02～0.32 Pb：0.36～2.08 Zn：0.50～1.89	石英正长斑岩、爆破角砾岩	NE-NEE与NW向断裂交汇控制	银山岩体（二长花岗岩、花岗岩、石英正长岩）	层状/岩体内外接触带	最大厚度67m，累计厚度大于130m	辉钼矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉铋矿黄铜矿、赤铁矿、磁铁矿	石英、方解石	钾化、硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化	Xu *et al.*，2011；徐晓春等，2009

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

断裂以北,共同组成了华北克拉通南部的加里东增生带,其上局部被晚古生代地层覆盖,如下石炭统花园墙组(以铁质绢云石英片岩、绢云石英片岩及炭质石英片岩为主;杨泽强,2007a,b)。信阳群主体由泥盆系火山岩和沉积岩组成(高联达和刘志刚,1988;叶伯丹等,1991),含晚古生代蛇绿岩块和前寒武纪碎块以及三叠纪放射虫硅质岩,其时代长期争议(胡受奚等,1988),现被作为晚古生代的蛇绿混杂带(Chen and Wang,2011; Zhang *et al.*,2011)。肖家庙组以白云钠长片岩、白云石英片岩、白云/黑云/二云更长片岩为主,夹大理岩透镜体,原岩为泥砂质碎屑岩夹碳酸盐岩建造,形成于新元古代-古生代。大别/桐柏变质核杂岩由变质深成岩系、表壳岩系和侵入其中的岩浆岩组成,其中变质深成岩系(又称大别群或桐柏群)岩性以二长花岗质片岩、云英闪长质片麻岩和黑云斜长片麻岩为主,蕴含超高压榴辉岩地体;变质表壳岩系以红安群含磷变质岩系为代表,呈不整合覆盖于大别群之上;侵入其中的岩浆岩则以晋宁期和燕山期花岗岩类为主(Chen and Wang,2011;王运等,2009)。

区内岩浆活动频繁,尤以燕山期最为强烈,表现为大量陆相火山岩、中酸性花岗(斑)岩和少量基性-超基性岩密切共生(图1)。燕山期火山岩以英安岩-流纹岩组合为特征,主要沿造山带北麓信阳-商城-霍山一带分布,南不逾晓天-磨子潭断裂。同期的花岗质侵入岩分布最广、规模最大,出露面积约占全区基岩面积的1/5;主要岩体包括灵山、新县和商城三大花岗岩基,沿桐柏—商城断裂自西向东分布。此外,区内见有众多的早白垩世中酸性小斑岩体,多为酸性富碱的花岗斑岩、似斑状花岗岩、石英斑岩、花岗闪长斑岩,其产出明显受网格状构造系统的控制,具有等间距成群成带展布的特点,与斑岩型钼金属矿化关系密切;代表性岩体包括:天目山岩体、肖畈岩体、母山岩体、大银尖岩体、千鹅冲隐伏岩体、宝安寨岩体、戴咀岩体、汤家坪岩体、沙坪沟岩体(Chen and Wang,2011; Yang *et al.*,2013;杨泽强,2007a,b;杨艳等,2008;王运等,2009)。此外,区内尚见少量基性-超基性岩体(图中未标出),多为小规模的侵入体或岩墙(Zhao *et al.*,2005,2007;赵子福和郑永飞,2009及其引文)

2 矿床地质特征

大别山北麓目前已发现大、中型钼矿床(点)十余个,自西向东依次为:天目山、肖畈、母山、陡坡、大银尖、千鹅冲、宝安寨、姚冲、汤家坪、沙坪沟、银山。总体而言,这些钼矿床具有如下特征:

(1)区域空间分布。大别钼矿带西起河南省天目沟矿床,东至安徽省沙坪沟矿床,呈NW向狭长带状展布,长约300km,宽20~40km,面积约9000km^2(图1)。区内多数矿床分布于晓天-磨子潭断裂和龟梅断裂所夹持的狭长区域内,如母山、肖畈、陡坡、千鹅冲、宝安寨、盖井和沙坪沟钼矿床(点)。此外,尚有天目沟钼矿产于龟梅断裂以北,大银尖、姚冲和汤家坪钼矿产于晓天-磨子潭断裂以南。

(2)成矿系统的空间定位。区内钼矿床多产于中生代盆地边缘或盆山过渡带,沿断裂带两侧产出,受NW向与NE向断裂交汇部位控制。例如,母山钼矿位于龟梅断裂附近,陡坡钼矿位于晓天-磨子潭断裂附近,千鹅冲和宝安寨钼矿沿桐商断裂分布,汤家坪、盖井和沙坪沟矿床则产于商麻断裂与晓天-磨子潭断裂交汇部位(图1、表1)。

(3)赋矿围岩性质。大别北麓钼矿床的赋矿围岩具有多时代的特征,从中元古代的浒湾组、新元古代的大别变质核杂岩、新元古代-古生代的肖家庙组到泥盆纪的南湾组均有钼矿床产出(表1),表明成矿不受地层时代和层位限制。赋矿围岩岩性多为变质岩和花岗岩。例如,天目沟、沙坪沟、盖井矿床赋存于花岗岩内(包括花岗岩、花岗斑岩、石英二长岩等),陡坡矿床赋存于灵山岩体与围岩浒湾组片麻岩的接触带中;母山、肖畈、千鹅冲矿床赋存于南湾组片岩、变粒岩中;陡坡、大银尖矿床的赋矿围岩为浒湾组混合岩、片麻岩;宝安寨钼矿床产于肖家庙组和南湾组片岩中;姚冲和汤家坪钼矿床的赋矿围岩为大别变质核杂岩。高压-超高压变质岩系和花岗岩基的广泛出露表明该区总体经历了较强的地壳隆升、剥蚀过程。

(4)成矿岩体性质。大别北麓钼矿床多与燕山期中酸性小斑岩体密切相关。成矿岩体多以椭圆形、长条形或不规则状的小岩株形式产出,岩性以二长花岗岩、石英正长岩、钾长花岗岩为主,且往往具有多期岩浆活动的特点。成钼岩体多属高钾钙碱性、准铝质-弱过铝质岩石,以富集轻稀土元素和大离子亲石元素、亏损高场强元素为特征,普遍具有高的$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$、低的全岩$\varepsilon_{Nd}(t)$、锆石$\varepsilon_{Hf}(t)$以及放射成因Pb同位素组成(Li *et al.*,2012;魏庆国等,2010;杨梅珍等,2011a,b),反应了其岩浆源区为碰撞加厚的岩石圈下地壳。上述特征与东秦岭钼矿带成矿岩体特征(Chen *et al.*,2000;李诺等,2007)类似,也与碰撞体制形成的矽卡岩型金矿成矿岩体性质(Chen *et al.*,2007)一致。

(5)成矿元素及分带。区内成矿元素组合复杂,除单钼矿床(陡坡、宝安寨、姚冲、汤家坪等)外,亦见Mo+Cu(母山、肖畈)、Mo+Cu+W(大银尖)、Mo+Cu+Pb+Zn+Ag(千鹅冲)、Mo+Pb+Zn(盖井)及Mo+Pb+Zn+Ag(天目沟)组合。由岩体中心向外围,往往表现为一定的矿化分带现象。例如,对于盖井矿床,在岩体内部发育斑岩型或爆破角砾岩型钼矿化,外围则表现为脉状的铅锌、银矿化(徐晓春等,2009)。

(6)矿化类型。按照矿体与矿石特征、矿体与岩体的空间关系、成矿/容矿岩体的特征(陈衍景等,2007),可将大别北麓钼矿床划分为4种类型:斑岩型、矽卡岩型、爆破角砾岩型和热液脉型。斑岩型是本区最为重要的钼矿床类型,钼资源量约占区内总储量的70%以上,典型矿床包括汤家坪、千鹅冲等。区内矽卡岩、热液脉型、爆破角砾岩型钼矿较少,多与斑岩型复合产出。例如,大银尖钼矿床以斑岩型矿体为

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

主,含少量矽卡岩型和石英脉型钼矿体; 沙坪沟矿床以斑岩型矿化为主,局部发育爆破角砾岩型矿化。值得强调的是,上述 4 种类型的钼矿床均与燕山期中酸性小斑岩体密切相关,甚至复合产出,可视为统一的斑岩成矿系统。

(7) 矿体特征。钼矿床矿体多以层状、透镜状、脉状或不规则状产出,可赋存于岩体内部、岩体内外接触带或岩体外部。例如,天目沟矿区钼矿体主要位于岩体内部,千鹅冲和宝安寨矿床矿体主要发育于岩体的外接触带,母山、肖畈、大银尖、汤家坪等矿床的矿体则在岩体的内、外接触带皆有发育(表 1)。

(8) 围岩蚀变特征。大别地区的斑岩成矿系统普遍发育强烈的钾化、硅化、绢英岩化、绿帘石化、萤石化、碳酸盐化等热液蚀变。钾长石化、萤石化、碳酸盐化、硅化等"贫水蚀变"广泛而强烈,而绿泥石化、绢云母化等"富水蚀变"相对较弱。这一特征与毗邻的东秦岭钼矿带特征(Chen *et al.*, 2000; 李诺等, 2007)类似,亦与陆内环境发育的其他类型的浆控高温热液成矿系统特征(陈衍景和李诺, 2009)一致。

(9) 成矿过程具有四阶段性。依据矿物组成、结构、构造及脉体间的穿插关系,不同学者对区内钼矿床流体成矿过程进行了划分,提出了三阶段、四阶段或六阶段的流体成矿模型(Chen and Wang, 2011; Yang *et al.*, 2013; 王运等, 2009; 杨梅珍等, 2010; 孟芳等, 2012; 于文等, 2012; 王玭等, 2013)。总体而言,均可大致划分为 4 个阶段: ①石英-钾长石阶段/矽卡岩阶段,以发育石英、钾长石或矽卡岩矿物为标志性特征,可伴有磁铁矿等氧化物出现,偶见金属硫化物(包括辉钼矿); ②石英-辉钼矿阶段,广泛发育石英 + 辉钼矿组合,可含少量其他金属硫化物; ③石英-多金属硫化物阶段,以发育多种金属硫化物为特征,包括黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等,而辉钼矿含量相对较少; ④石英-碳酸盐-萤石阶段,脉体主要由不同比例的石英、方解石、萤石组成,偶见黄铁矿等金属硫化物,不含辉钼矿。

(10) 成矿流体性质和演化。已有成矿流体研究表明(Chen and Wang, 2011; Yang *et al.*, 2013; 王运等, 2009; 于文等, 2012; 王玭等, 2013),钼矿床热液矿物中常见纯 CO_2 包裹体、含 CO_2 包裹体、含子矿物多相包裹体和水溶液包裹体,成矿流体具有高温(多数 > 350℃)、高盐度(常见含子矿物多相包裹体,可达 66% NaCleqv)、富 CO_2(广泛发育纯 CO_2 包裹体和含 CO_2 包裹体)的特征,且由早到晚,流体的温度、盐度、CO_2 含量逐渐降低。这一特征符合典型陆内体制浆控高温热液系统的流体特征及演化规律(陈衍景和李诺, 2009)。

3 典型矿床简介

下面以 3 个代表性的矿床或矿田作为实例,介绍大别地区钼矿床特征。

3.1 斑岩型——汤家坪钼矿

汤家坪钼矿床是河南省地矿局第三地质调查队新近探明的一处大型斑岩型钼矿床,控制钼资源量 23.5 万吨,品位变化于 0.06% ~0.30%,平均 0.076%。该矿床位于晓天-磨子潭断裂南侧的大别变质核杂岩带内,矿区地质简单,仅见大别群黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩和燕山期花岗斑岩。地层总体走向 NW-NWW,原始地层层序因强烈的变质变形改造而破坏,片麻理产状变化大。矿区构造包括近 EW 向(压扭性)和 NNE 向(张扭性)两组; 断裂带内岩石破碎,多发生硅化、高岭土化。受区域构造和斑岩体侵位影响,岩石节理裂隙发育,为钼矿化提供了很好的容矿空间。

汤家坪钼矿床的成矿母岩为汤家坪花岗斑岩体。平面上,岩体呈东南大、北西小的弯月形,南北方向长 1200m,东南部宽 600m,北西部宽约 300m,出露面积约 0.40km^2(李俊平等, 2011); 剖面上呈向南西方向倾伏的不规则小岩株,与围岩大别片麻杂岩呈侵入接触关系。岩体具典型的斑状结构,斑晶以钾长石(5%)、石英(3%)、斜长石(2%)为主,基质主要由微细粒钾长石(20% ~55%)、斜长石(10% ~30%)和石英(10% ~25%)组成,含少量黑云母、白云母。副矿物见磁铁矿、赤铁矿、锆石、榍石、磷灰石、金红石等(王运等, 2009)。此外,岩体局部可见次棱角状角闪安山岩包体。地球化学分析表明,汤家坪花岗斑岩具有高硅(>72%)、富碱($K_2O + Na_2O > 7.4\%$)的特征,铝饱和指数(A/CNK)为 0.99 ~1.18; 在球粒陨石标准化的稀土配分图解中表现为轻稀土富集,重稀土亏损的右倾配分形式,具有明显的 Eu 负异常($\delta Eu = 0.40 \sim 0.58$); 原始地幔标准化的微量元素蛛网图显示岩体明显富集 Rb、Th、Pb 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta、Sr、Zr、Hf 等高场强元素(魏庆国等, 2010)。魏庆国等(2010)获得岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 121.6 ± 4.6Ma,锆石 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 和全岩 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 分别为 -17.6 ~ -10.4 和 -15.5 ~ -13.7,相应的两阶段模式年龄为 1843 ~2281Ma 和 2034 ~2178Ma,认为岩体主要源自古老地壳物质的重熔,并有部分低成熟度地壳物质加入。受热液作用影响,斑岩体发生强烈的硅化、钾长石化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化,且表现出明显的水平分带,由中心到两侧依次为: 钾化-硅化带(强蚀变带)、硅化-绢云母化带(弱蚀变带)、硅化-绿泥石化带(杨泽强, 2007a)。

钼矿体赋存于花岗斑岩体及其内外接触带中,呈透镜状、似层状产出,总体向南西方向倾伏,东北翘起尖灭,倾伏角 20°左右(杨泽强, 2007a)。主矿体(Ⅰ号钼矿体)南北长 1760m,东西宽 960m,最大垂深达 349.75m,地表出露面积 0.33km^2(杨泽强, 2007a, b)。主要矿石矿物包括辉钼矿、黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿等,其中辉钼矿产出方式有三: 或呈放射状集合体形式沿石英或钾长石粒间分布; 或呈鳞片状浸染于花岗斑岩内,抑或与石英、黄铁矿等组成细脉产出(王运等, 2009)。脉石矿物见石英、钾长

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

石、斜长石、绢云母、白云母、黑云母、绿泥石、绿帘石等。矿石结构复杂,包括鳞片状结构、交代结构、放射状结构、自形-半自形结构、碎裂结构等。常见构造包括浸染状、脉状、网脉状、角砾状、梳状、块状等。

按照矿物共生组合及脉体穿插关系,王运等(2009)将流体成矿过程划分为三个阶段:早阶段发育石英、钾长石、磁铁矿、黄铁矿、辉钼矿组合,并伴随钾长石化、硅化及弱绢云母化;中阶段为主成矿阶段,形成石英、绢云母及大量辉钼矿、黄铁矿及少量方铅矿和黄铁矿;晚阶段以发育石英-方解石-黄铁矿或方解石细脉为特征,矿化微弱。杨艳等(2008)、王运等(2009)、Chen and Wang (2011)对各阶段脉石矿物中的流体包裹体进行了详细研究,发现早、中阶段石英中发育水溶液包裹体、含 CO_2 包裹体、纯 CO_2 包裹体及含子矿物多相包裹体,但晚阶段石英中仅见水溶液包裹体。早阶段流体均一温度(>375℃)、盐度(可达 62% NaCleqv)均较高,且发育赤铁矿等指示氧化条件的子矿物;中阶段流体温度集中于 235~335℃,盐度变化于 1.1%~45.9% NaCleqv,包裹体中含黄铜矿、脆硫锑铅矿子矿物;晚阶段流体温度变化于 115~195℃,盐度介于 1.9%~10.0% NaCleqv。总体上,初始成矿流体以高温、高盐度、高氧逸度、高金属元素含量、富 CO_2 为特征,经中阶段流体沸腾、CO_2 逃逸、成矿物质快速沉淀,演化为晚阶段低温、低盐度、贫 CO_2 的大气降水热液。上述流体特征与中国大陆内部浆控高温热液成矿系统特征一致(陈衍景和李诺,2009)。

杨泽强(2007a)获得汤家坪钼矿床 5 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素模式年龄介于 113.5±1.8Ma~118.5±1.9Ma 之间,等时线年龄为 113.1±7.9Ma。罗正传(2010)获得 3 件辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄范围为 117.1±2.0Ma~122.2±1.7Ma,等时线年龄为 122.9±1.7Ma。上述成矿年龄略小于岩体成岩年龄(121.6±4.6Ma,魏庆国等,2010),符合斑岩成矿系统特征。因此,可准确地厘定汤家坪钼矿床形成时代为早白垩世。

3.2 斑岩-爆破角砾岩复合型——沙坪沟和盖井钼矿床

安徽省金寨县沙坪沟钼矿床是大别地区最近发现的超大型斑岩钼矿床,初步探明钼金属资源量达 220 万吨,平均品位 0.15%(黄凡等,2011)。该矿床北侧为盖井(又称为"银山",徐晓春等,2009)钼(铅锌)矿床,二者共同构成了沙坪沟-盖井斑岩-爆破角砾岩型钼多金属矿集区。该矿集区位于大别造山带东段,晓天-磨子潭断裂与商麻断裂交汇部位(图 1)。矿区出露地层简单,主要为新元古界庐镇关岩群黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩和花岗片麻岩等。区内断裂较为发育,多为压性及压扭性,可分为 NNE、NW 和 NS 向三组,以 NNE 向最为发育。该区岩浆活动强烈,种类繁多,尤以燕山期中酸性岩浆岩为最。主要岩体包括:银沙畈、达权店、金刚山单元和银山复式杂岩体,岩性分别为石英二长闪长岩-花岗闪长岩、含斑中粒二长花岗岩、细粒石英二长花岗岩及正长岩-石英正长岩,形成于 145~121Ma,属高钾钙碱性-橄榄玄粗岩系列(徐晓春等,2009)。银山复式杂岩体是区内主要赋矿单元,呈 NW 向产出,出露面积 2.76km^2。岩石类型包括石英正长斑岩、黑云母正长岩、爆破角砾岩、花岗斑岩、石英粗面岩等,以正长岩为主。其中花岗斑岩和石英正长斑岩为成矿母岩,此外,复式杂岩体西部的爆破角砾岩亦发生明显钼矿化。

沙坪沟钼矿床赋存于银山岩体东部。钼矿体呈筒状产出于地表 500m 以下、隐伏花岗斑岩石英正长岩和隐爆角砾岩中,矿体厚大,矿化连续。矿体呈穹隆状,东西长 1200m,南北宽 900m,单孔最大厚度 945m,平均厚 739m(张怀东等,2010)。矿石矿物主要为辉钼矿、黄铁矿,少量钛铁矿、磁铁矿及微量方铅矿,其中辉钼矿产状包括:花岗斑岩体中辉钼矿呈细脉状产出,石英正长岩体中呈稀疏网脉状产出,在爆破角砾岩中则主要赋存于胶结物内,形成浸染状矿化。脉石矿物包括钾长石、石英、斜长石、绢云母、黑云母、萤石、石膏、方解石等。矿石具自形粒状结构、半自形-他形粒状结构、交代残余结构等,浸染状、细脉浸染状构造。矿区发育典型的斑岩蚀变特征,由斑岩体向外依次发育硅化、钾化、黄铁绢英岩化、绿泥石化。钼矿化主要出现在钾化带,其次是黄铁绢英岩化带,而绿泥石化带中矿化微弱(张怀东等,2010)。于文等(2012)将矿化过程划分为三个阶段:早阶段以硅化为主,矿化微弱;中阶段为主矿化阶段,伴有钾化、黄铁绢英岩化;晚阶段以绿泥石化为主,基本无矿化。流体包裹体研究发现,热液石英中发育水溶液包裹体、含 CO_2 包裹体和含子晶多相包裹体。早阶段包裹体均一温度变化于 340~550℃,盐度为 7.9%~16.9% NaCleqv;中阶段流体温度为 240~450℃,盐度分为两个区间,分别为 0.02%~7.4% NaCleqv 和 34%~51% NaCleqv;晚阶段流体温度为 170~330℃,盐度为 0.7%~6.5% NaCleqv;早期成矿流体经流体沸腾、CO_2 逸失导致成矿物质沉淀(于文等,2012)。张红等(2011)、黄凡等(2011)、孟祥金等(2012)分别对沙坪沟钼矿的成岩成矿时代进行了研究,获得含矿石英正长斑岩的锆石 U-Pb 年龄变化于 112~121Ma,石英正长岩的锆石 U-Pb 年龄变化于 112~123Ma,辉钼矿 Re-Os 模式年龄介于 100~114Ma。

盖井矿区以钼和铅锌矿化为主,并伴生金和/或银等。区内多金属矿化范围较大,矿体主要呈脉状产出,以 NEE 至近 EW 向为主,其次为 NW 向;钼矿体均为隐伏矿体,形态不规则,呈不连续的多层状,厚数米至数十米,最厚达 66.88m,工业矿体的单孔累计厚度大于 130m。钼品位一般为 0.02%~0.07%,单样最高品位可达 0.19%。矿体产出对围岩无选择性,严格受断裂和裂隙的控制。矿化以裂隙充填为主,部分以细脉状和浸染状产于石英正长斑岩体中。地表往往钼矿化较弱,甚至以铅锌矿化为主,向深部,钼矿化逐渐增强。中部矿段的局部矿体围绕隐爆角砾岩中心呈环形分布,形成隐爆角砾岩型钼矿体,最大控制深度达 600m(徐晓春等,2009)。矿石类型包括爆破角砾岩型和花岗岩型两种,其中

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

爆破角砾岩型矿石中辉钼矿主要于胶结物内呈针点状或斑点状产出; 而花岗岩型矿石中辉钼矿主要呈细脉状产出。矿化相关热液蚀变包括钾化、硅化、绢云母化、绿泥石化和绿帘石化等。根据矿物共生组合及脉体穿插关系,徐晓春等(2009)将热液成矿作用划分为3个阶段: 早阶段形成辉钼矿、黄铁矿、辉铋矿、磁铁矿组合,并发育钾长石化; 中阶段以铅锌矿化为主,常见黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、赤铁矿等伴随绿泥石化、绿帘石化发育; 晚阶段则形成黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、石英、方解石等矿物。徐晓春等(2009)获得2件辉钼矿样品的Re-Os同位素模式年龄分别为112.6±1.3Ma和113.5±1.3Ma。

3.3 斑岩-矽卡岩-石英脉复合型——大银尖钼矿床

大银尖钼矿床位于河南省新县千斤乡,构造位置上属大别造山带中段,晓天-磨子潭断裂南侧。矿体赋存于大银尖花岗岩体内外接触带中,为斑岩型、矽卡岩型及热液脉型"三位一体"的复合型矿床(罗正传等,2010)。

矿区出露地层主要为中元古界浒湾组斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、混合岩、浅粒岩、眼球状黑云钾长(二长)混合片麻岩、石英岩或长石石英岩等。矿区内构造总体表现为倾向NE的单斜构造,并见有NE、NW及近SN向3组断裂。矿区内岩浆活动强烈,主要有早白垩世大银尖花岗岩体及聂家洼花岗闪长岩体,另见一些花岗斑岩脉。大银尖岩体为成矿岩体,出露于矿区中南部,面积1.4km^2,轴向北东,平面上呈向北岔开的"Y"形岩株。岩石类型以中粒花岗岩、二长花岗岩为主体。岩石呈肉红色,斑状结构,块状构造。主要组成矿物为正长石(含量50%)、斜长石(含量20%)、石英(含量25%)和少量黑云母。副矿物见锆石、榍石、磷灰石、磁铁矿等。地球化学分析(杨梅珍等,2011a)表明,岩体具有高硅($SiO_2>73\%$)、富钾($K_2O>4.3\%$)、贫镁(MgO介于0%~0.80%)、贫钙(CaO变化于0.08%~0.80%)的特征,稀土总量较低($70\times10^{-6}\sim91\times10^{-6}$),Eu负异常明显($\delta Eu=0.26\sim0.48$)。在原始地幔标准化的微量元素图解中显示明显的Ba、Nb、P、Sr、Ti负异常和Th、U、Zr、Hf正异常。Li *et al.*(2012)获得岩体的锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄为124.9±1.3Ma(MSWD=0.51),$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$变化于0.706379~0.707173; 全岩的$\varepsilon_{Nd}(t)$变化于-15.62~-15.17,两阶段Nd模式年龄介于2.15~2.18Ga; 锆石的$\varepsilon_{Hf}(t)$变化于-24.80~-17.80,两阶段Hf模式年龄介于2.31~2.75Ga,表明岩体主要源自下地壳物质的部分熔融。此外,矿区尚见聂洼花岗闪长岩体,呈椭圆形岩株产出,出露面积0.15km^2。

矿区发育三种类型的矿化: 斑岩型、矽卡岩型和石英脉型,以斑岩型为主(罗正传等,2010)。斑岩型和矽卡型矿化以钼为主,伴生铜(钨); 石英脉型矿化以钨为主,伴生铜钼。斑岩型钼(铜)矿体赋存于大银尖岩体的内外接触带中,埋深50~150m不等。辉钼矿或以浸染状形式产出,或以含辉钼矿石英脉形式出现。黄铜矿多以星点状或浸染状与黄铁矿伴生。钼品位一般0.04%~0.15%,平均0.11%; 铜品位一般<0.1%,局部可达0.1%~0.58%。矽卡岩型钨(铜钼)矿体呈似层状展布于矿区西南部,长100~900m,厚0.47~4.43m,倾向20°~40°,倾角35°~55°。金属矿物主要有白钨矿、黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿。矿石品位随垂向变化明显: 下部钨品位一般0.13%~0.2%,最高0.52%; 钼品位一般小于0.03%,最高0.07%; 铜品位一般小于0.13%,最高0.35%。中部钨品位一般0.11%~0.2%,最高0.55%; 钼品位一般0.01%~0.02%; 铜品位一般0.05%~0.14%。上部钨品位一般0.1%~0.14%,最高0.2%。总体上,自上而下,钼、铜品位有相对升高的趋势,尤以铜更明显; 同一矿带自上而下有钨降钼增之趋势。石英脉型钼(铜)矿体主要分布于大银尖岩体西北部,其产出严格受断裂及其两侧的次级裂隙控制,走向一般60°~70°,倾向NW,倾角50°~70°。含矿石英细脉的分布密度变化较大,近断裂带密集而向外变稀疏; 最密可达60~70条/米,稀者3~5条/米,一般5~7条/米。矿脉长10~120m,有时可断续延长约2km; 厚度变化于0.1~3m,多数0.3~0.8m。矿体呈脉状、豆荚状,形态不规则。沿走向和倾向均有分枝复合、尖灭再现现象。矿石较富,钼品位一般0.1%~0.2%,最高可达0.9%,平均0.14%; 铜品位一般0.1%~0.5%,最高1.3%,平均0.3%。

区内围岩蚀变主要为硅化、钾化、绢英岩化、矽卡岩化、碳酸盐化和萤石化。其中硅化和钾化与钼矿化关系密切,常呈线状分布于含钼石英脉两侧。面状绢英岩化见于岩体中,并伴随有微弱的硫化物矿化。矽卡岩化见于斑岩体与围岩接触带,发育典型的矽卡岩矿物组合,包括钙铝榴石、钙铁榴石、钙铁辉石、绿泥石、绿帘石、方解石等,并伴有钼矿化。萤石化和方解石化多以充填形式出现,矿化微弱(杨梅珍等,2011a)。

流体包裹体研究(李红超等,2010)表明,大银尖矿床发育水溶液包裹体、含子矿物多相包裹体和含CO_2包裹体,其中前者按气液比不同可进一步划分为富气相水溶液包裹体和富液相水溶液包裹体。显微测温分析获得包裹体的均一温度峰值分别出现于280~320℃和200~220℃,盐度则明显分为两个区间: 5%~10% NaCleqv和36%~43NaCleqv。氢氧同位素分析指示成矿流体以岩浆热液为主,并伴有大气降水的混入。

大银尖矿床已有多组高精度Re-Os年龄数据。杨泽强(2007a)获得一件辉钼矿样品的Re-Os同位素模式年龄为122.1±2.4Ma。罗正传(2010)获得2件斑岩型和2件矽卡岩型辉钼矿样品的Re-Os模式年龄在误差范围内一致,变化于121.5±1.8Ma~123.9±2.0Ma,4件样品给出的等时线年龄为122.4±7.2Ma。Li *et al.*(2012)测得7件辉钼矿样品的Re-Os等时线年龄为125.07±0.87Ma。上述辉钼矿Re-Os年龄与大银尖岩体的锆石U-Pb年龄(124.9±1.3Ma, Li *et al.*, 2012)在误差范围内一致,限定了斑岩体侵入及钼矿

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2 大别北麓钼矿床成岩和成矿年龄

Table 2 Isotope ages of Mo deposits and related intrusions in northern Dabie Mountains

矿床名称	测试对象	测试方法	样/点数	年龄(Ma)	资料来源
天目沟	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	1	121.6±2.1	杨泽强, 2007a
母山	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	13	142.0±1.8	杨梅珍等, 2011b
	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	1	155.7±5.1	李明立, 2009
陡坡	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	1	140.5±8.2	李明立, 2009
大银尖	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	10	124.9±1.3	Li *et al.*, 2012
	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	1	122.1±2.4	杨泽强, 2007a
	辉钼矿	Re-Os 等时线年龄	4	122.4±7.2	罗正传等, 2010
	辉钼矿	Re-Os 等时线年龄	7	125.07±0.87	Li *et al.*, 2012
千鹅冲	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	14	128.8±2.6	杨梅珍等, 2010
	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	1	119.6±3.2	罗正传, 2010
	辉钼矿	Re-Os 等时线年龄	4	128.7±7.3	杨梅珍等, 2010
宝安寨	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	15	135.3±1.9	杨梅珍等, 2010
汤家坪	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	16	121.6±4.6	魏庆国等, 2010
	辉钼矿	Re-Os 等时线年龄	5	113.1±7.9	杨泽强, 2007a
	辉钼矿	Re-Os 加权平均年龄	3	119.7±2.1	罗正传, 2010
沙坪沟	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	31	111.5±1.5	张红等, 2011
	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	19	111.7±1.9	张红等, 2011
	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	11	120.7±1.1	孟祥金等, 2012
	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	11	122.51±0.81	孟祥金等, 2012
	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	15	121.5±1.3	孟祥金等, 2012
	辉钼矿	Re-Os 等时线年龄	7	111.1±1.2	张红等, 2011
	辉钼矿	Re-Os 等时线年龄	9	113.21±0.53	黄凡等, 2011
	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	1	109.9±1.6	孟祥金等, 2012
	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	1	113.6±1.7	孟祥金等, 2012
盖井	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	1	112.6±1.3	Xu *et al.*, 2011
	辉钼矿	Re-Os 模式年龄	1	113.5±1.3	Xu *et al.*, 2011

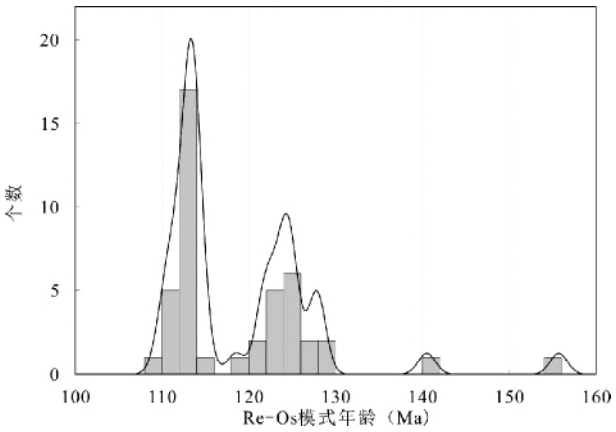


图 2 大别北麓钼矿床辉钼矿 Re-Os 模式年龄分布频谱图

Fig. 2 Distribution of molybdenite Re-Os ages for Mo deposits in northern Dabie Mountains

化事件发生于早白垩纪。

4 成岩成矿时代及地球动力学背景

4.1 成岩成矿时代

锆石 U-Pb 定年和辉钼矿 Re-Os 同位素定年方法被广泛用于大别山北麓钼矿床的成岩成矿时间限定,获得了大批高精度的年龄数据(表 2、图 2)。已有资料显示,区内钼矿床的成岩成矿作用时限具有如下特征。

(1) 成岩与成矿近乎同时。区内钼矿床的形成多与燕山期中酸性小斑岩体关系密切,成矿作用时间与含矿岩体的成岩作用时间趋于同步或稍晚;

(2) 成矿作用具有爆发性。除母山和陡坡钼矿形成较早(141~156Ma)外,其余钼矿床集中形成于 110~130Ma,即早白垩纪;

(3) 从西向东逐渐变新。商麻断裂以西的成矿系统多早形成于 120Ma 之前,以 125Ma 为高峰值;商麻断裂以东的成

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿系统形成于120Ma之后,以112Ma为高峰(图2)。

4.2 地球动力学背景

大别造山带是由华北与扬子古大陆板块在三叠纪时碰撞形成的碰撞型造山带。区内广泛分布的高压-超高压岩石的锆石U-Pb年龄介于240~225Ma之间(刘福来和薛怀民,2007; 赵子福和郑永飞,2009),大规模的中生代岩浆作用自晚三叠世持续至早白垩世,尤以早白垩世岩浆活动最为强烈,以中酸性岩为主,且与钼多金属矿化密切相关(胡受奚等,1988; 陈衍景和富士谷,1992; 李超和陈衍景,2002)。地球化学分析表明,大别地区中生代成钼岩体以富集轻稀土元素和大离子亲石元素、亏损高场强元素为特征,普遍具有高的$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$、低的全岩$\varepsilon_{Nd}(t)$、锆石$\varepsilon_{Hf}(t)$以及放射成因Pb同位素组成(Li *et al.*,2012; 魏庆国等,2010; 杨梅珍等,2011a,b),反应了其岩浆源区为碰撞加厚的岩石圈下地壳。此外,该区还发育部分燕山期基性-超基性岩,且具有与同期中酸性岩浆岩类似的地球化学性质,锆石的氧同位素亦明显不同于地幔锆石(赵子福等,2003)。上述特征反应了大别造山带在早白垩纪时处于伸展的构造背景,岩石圈拆沉及减压增温熔融诱发了大规模的岩浆活动(李超和陈衍景,2002)。

受太平洋构造域的影响,中国东部地区从印支期以近EW向构造为主,NNE至近NS向构造为次,进入以NNE至近NS构造为主、近EW向构造为次的区域构造-动力体制大转换时期(任继舜等,1991),大量近NS向断裂形成,并与早期NW向深大断裂构成大别山地区格子状构造系统。区内北西向桐柏-商城断裂深切至下地壳,与近NS向断裂交汇部位控制着区内深源浅成、高硅、富碱、富钼的中酸性斑岩体的侵位和分布(姚书振等,2002)。在深源岩浆沿断裂构造上侵、分异、定位过程中,岩浆晚期的高温气液使岩体发生自变质,出现浸染状黄铁矿及鳞片状辉钼矿; 在岩浆期后,富硅富碱的中高温热液沿岩体和围岩的节理、裂隙充填交代,使分散在造岩矿物中的钼活化迁移和富集,并伴随后期大气降水的加入,形成细脉、网脉状矿化的斑岩型钼矿体。当围岩为碳酸盐岩时可在外接触带形成矽卡岩型钼矿体,在围岩的断裂带和裂隙中则形成石英脉型钼矿体,在爆破角砾岩中则形成角砾岩型钼矿体。

5 结论

(1)大别山地区钼矿床主要分布于山脉北麓,晓天-磨子潭断裂以北的北淮阳地区,呈NW向带状展布;

(2)区内钼矿床主要产于燕山期中酸性斑岩体及其内外接触带,以斑岩型矿化为主,含少量矽卡岩型、石英脉型和爆破角砾岩型矿化;

(3)大别山北麓钼矿床多数形成于早白垩纪(110~130Ma),且由西向东逐渐变新; 钼矿化发生于造山带岩石圈伸展减薄的构造背景。

致谢 野外工作得到河南有色地质勘查局、河南地质三队、合肥工业大学、紫金集团的大力协助; 徐友灵、万守全、李法岭、李忠烈、包志伟等高级工程师以及魏庆国、张成等博士研究生参加了部分野外工作; 常印佛院士和周涛发教授给予热情指导; 特此感谢。

References

Chen LJ and Chen P. 2011. Study on geological characteristics and ore-controlling factors of Yaochong molybdenum deposit in Xinxian County, Henan Province. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 26(4): 385-392 (in Chinese with English abstract)

Chen W, Li HC, Xu ZW, He YL, Chen JQ, Wang SH and Wang H. 2011. Sources of ore-forming material and formational mechanism of the Baoanzhai Mo deposit, Xinxian County, Henan Province. Acta Mineralogica Sinica, 12(Suppl.): 12-13 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ and Fu SG. 1992. Gold Mineralization in West Henan. Beijing: Seismological Press, 1-234 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ, Li C, Zhang J, Li Z and Wang HH. 2000. Sr and O isotopic characteristics of porphyries in the Qinling molybdenum deposit belt and their implication to genetic mechanism and type. Science in China (Series D), 43(Suppl.): 82-94

Chen YJ, Sui YH and Pirajno F. 2003. Exclusive evidences for CMF model and a case of orogenic silver deposits: Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, east Qinling orogen. Acta Petrologica Sinica, 19(3): 551-568 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ, Chen HY, Zaw K, Pirajno F and Zhang ZJ. 2007. Geodynamic settings and tectonic model of skarn gold deposits in China: An overview. Ore Geology Reviews, 31(1-4): 139-169

Chen YJ, Ni P, Fan HR, Pirajno F, Lai Y, Su WC and Zhang H. 2007. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits. Acta Petrologica Sinica, 23(9): 2085-2108 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ and Li N. 2009. Nature of ore-fluids of intracontinental intrusion-related hypothermal deposits and its difference from those in island arcs. Acta Petrologica Sinica, 25(10): 2477-2508 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ, Zhai MG and Jiang SY. 2009. Significant achievement and open issues in study of orogenesis and metallogenesis surrounding the North China continent. Acta Petrologica Sinica, 25(11): 2695-2726 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ and Wang Y. 2011. Fluid inclusion study of the Tangjiaping Mo deposit, Dabie Shan, Henan Province: Implications for the nature of the porphyry systems of post-collisional tectonic settings. International Geology Review, 53(5-6): 635-655

Chen YJ, Zhang C, Li N, Yang YF and Deng K. 2012. Geology of the Mo deposits in Northeast China. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 42(5): 1223-1268 (in Chinese with English abstract)

Gao LD and Liu ZG. 1988. The discovery of micro-fossil from the Nanwan Formation of the Xinyang Group and its geological implications. Geological Review, 34(5): 421-422 (in Chinese with English abstract)

Guo TP. 2007. Geochemical characteristics and ore-prospecting criteria of the Tianmushan molybdenum ore district. Geophysics & Geochemical Exploration, 31(4): 309-312 (in Chinese with English abstract)

Hu SX, Lin QL, Chen ZM and Li SM. 1988. Geology and Metallogeny of the Collision Belt between the North and the South China Plates. Nanjing: Nanjing University Press, 1-558 (in Chinese)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Huang F, Wang DH, Lu SM, Chen YC, Wang BH and Li C. 2011. Molybdenite Re-Os isotopic age of Shapinggou Mo deposit in Auhui Province and Mesozoic Mo ore-forming stages in East Qinling-Dabie Mountain region. Mineral Deposits, 30(6): 1039 - 1057 (in Chinese with English abstract)

Li C and Chen YJ. 2002. A review on petrologic evidences for Mesozoic lithosphere delamination in East Qinling-Dabie Mountains. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 38(3): 431 - 441 (in Chinese with English abstract)

Li FL. 2011. Geological characteristics and metallogenic epoch of Qianechong large-size porphyry Mo deposit at the northern foot of Dabie Mountains, Henan Province. Mineral Deposits, 30(3): 457 - 468 (in Chinese with English abstract)

Li HC, Xu ZW, Lu XC, Wang XD, Chen W and Zhai DX. 2010. Study on fluid inclusions of the Dayinjian Mo deposit in Xinxian County, Henan Province, China. Geological Journal of China Universities, 16(2): 236 - 246 (in Chinese with English abstract)

Li HC, Xu ZW, Lu XC, Chen W, Qu WJ, Fu B, Yang XN, Yang J and Chen JQ. 2012. Constraints on timing and origin of the Dayinjian intrusion and associated molybdenum mineralization, western Dabie orogen, central China. International Geology Reviews, 54(13): 1579 - 1596

Li JP, Li YF, Luo ZC and Xie KJ. 2011. Geological features of molybdenum deposits and ore prospecting in northern slope of the Dabie Mountain, China. Geotectonica et Metallogenia, 35(4): 576 - 586 (in Chinese with English abstract)

Li ML. 2009. Characteristics of intermediate-acid small intrusive bodies and metallogenic system of molybdenum-polymetallic deposits in Mesozoic in Dabie Mountain, Henan Province. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geoscience, 1 - 147 (in Chinese with English summary)

Li N, Chen YJ, Zhang H, Zhao TP, Deng XH, Wang Y and Ni ZY. 2007. Molybdenum deposits in East Qinling. Earth Science Frontiers, 14(5): 186 - 198 (in Chinese with English abstract)

Liu FL and Xue HM. 2007. Review and prospect of SHRIMP U-Pb dating on zircons from Sulu-Dabie UHP metamorphic rocks. Acta Petrologica Sinica, 23(11): 2737 - 2756 (in Chinese with English abstract)

Luo YN, Chen JW and Tang ZG. 2012. Geological features and genesis for the Doupo Mo deposit in Luoshan, Henan. Acta Geologica Sichuan, 32(3): 278 - 280 (in Chinese with English abstract)

Luo ZC. 2010. Metallogenic regularity and prospecting direction of Mo-Au-Ag polymetallic deposit of north piedmont of Dabieshan. Mineral Resources and Geology, 24(2): 125 - 131 (in Chinese with English abstract)

Luo ZC, Li YF, Wang YT and Wang XG. 2010. The molybdenite Re-Os age of Dayinjian molybdenum deposit in the northern margin of the Dabie Mountain, Xinxian area, Henan, China and its significance. Geological Bulletin of China, 29(9): 1349 - 1354 (in Chinese with English abstract)

Mao JW, Xie GQ, Bierlein F, Qu WJ, Du AD, Ye HS, Pirajno F, Li HM, Guo BJ, Li YF and Yang ZQ. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt. Geochimica et Cosmochimica Acta, 72(16): 4607 - 4626

Meng F, Ouyang ZZ and Luo YN. 2012. Geological characteristics and geodynamic setting of the Xiaofang molybdenum deposit in Henan Province. Geology and Resources, 21(4): 400 - 405 (in Chinese with English abstract)

Meng XJ, Xu WY, Lü QT, Qu WJ, Li XC, Shi DF and Wen CH. 2012. Zircon U-Pb dating of ore-bearing rocks and molybdenite Re-Os age in Shapinggou porphyry molybdenum deposit, Anhui Province. Acta Geologica Sinica, 86(3): 486 - 494 (in Chinese with English abstract)

Ren JS. 1991. The basic characteristics of the tectonic evolution of the continental lithosphere in China. Regional Geology of China, (4): 289 - 293 (in Chinese with English abstract)

Shi Y, Yu JH, Xu XS, Qiu JS and Chen LH. 2009. Geochronology and geochemistry of the Qinling Group in the eastern Qinling Orogen. Acta Petrologica Sinica, 25(10): 2651 - 2670 (in Chinese with English abstract)

Wang P, Chen YJ, Mei M, Li ZL and Wang LJ. 2013. Fluid evolution in the Yaochong porphyry Mo deposit, Dabie Shan, China. Acta Petrologica Sinica, 29(1): 107 - 120 (in Chinese with English abstract)

Wang QC and Cong BL. 1998. Tectonic framework of the ultrahigh-pressure metamorphic zone from the Dabie Mountains. Acta Petrologica Sinica, 14(4): 481 - 492 (in Chinese with English abstract)

Wang Y, Chen YJ, Ma HW and Xu YL. 2009. Study on ore geology and fluid inclusions of the Tangjiaping Mo deposit, Shangcheng County, Henan Province. Acta Petrologica Sinica, 25(2): 468 - 480 (in Chinese with English abstract)

Wang YS, Zhu G, Wang DX, Liu GS and Song CZ. 2004. Relation between *P-T* conditions of two phases of Tanlu strike-slip shear zones and delamination of the orogenic belts on the eastern margin of the Dabie Mountains. Geotectonica et Metallogenia, 28(3): 228 - 238 (in Chinese with English abstract)

Wei QG, Gao XY, Zhao TP, Chen W and Yang YH. 2010. Petrogenesis of Tangjiaping granite porphyry in northern Dabie: Evidence from zircon LA-ICPMS U-Pb dating and geochemical characteristics. Acta Petrologica Sinica, 26(5): 1550 - 1562 (in Chinese with English abstract)

Xu XC, Lou JW, Lu SM, Xie QQ, Chu PL and Yin T. 2009. Re-Os ages of molybdenum-lead-zinc polymetallic deposits and $^{40}Ar/^{39}Ar$ of related magmatic rocks in Yinshan area, Jinzhai, Anhui Province. Mineral Deposits, 28(5): 621 - 632 (in Chinese with English abstract)

Xu XC, Lou JW, Xie QQ, Xiao QX, Liang JF and Lu SM. 2011. Geochronology and tectonic setting of Pb-Zn-Mo deposits and related igneous rocks in the Yinshan region, Jinzhai, Anhui Province, China. Ore Geology Reviews, 43(1): 132 - 141

Xu YL. 2011. Geologic characteristics and its significance for ore-prospecting of molybdenum deposit in Mushan, Luoshan County, Henan Province. Mineral Resources and Geology, 25(5): 380 - 384 (in Chinese with English abstract)

Yang MZ, Zeng JN, Qin YJ, Li FL and Wan SQ. 2010. LA-ICP-MS zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for Qian'echong porphyry-type Mo deposit in northern Dabie, China, and its geological significance. Geological Science and Technology Information, 29(5): 35 - 45 (in Chinese with English abstract)

Yang MZ, Zeng JN, Li FL, Pan SD, Lu JP and Ren AQ. 2011a. Geochemistry of mineralization and granitic magmatism of Dayinjian Mo deposit, Xinxian County, Henan Province and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 32(3): 279 - 292 (in Chinese with English abstract)

Yang MZ, Zeng JN, Ren AQ, Lu JP and Pan SD. 2011b. Characteristics of Mo mineralization and zircon LA-ICP-MS U-Pb geochronology of Mushan Mo deposit from Luoshan County, Henan Province. Mineral Deposits, 30(3): 435 - 447 (in Chinese with English abstract)

Yang Y, Zhang J, Liu JJ, Sun YL, Li J and Yang ZQ. 2008. Hydrothermal metallogeny of the Tangjiaping molybdenum deposit, Henan Province. Geology in China, 35(6): 1240 - 1249 (in Chinese with English abstract)

Yang YF, Chen YJ, Li N, Mi M, Xu YL, Li FL and Wan SQ. 2013. Fluid inclusion and isotope geochemisty of the Qian'echong giant porphyry Mo deposit, Dabie Shan, China: A case of NaCl-poor, CO_2-rich fluid systems. Journal of Geochemical Exploration, 124: 1 - 13

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

Yang ZQ. 2007b. Wallrock alteration and mineralization in the Tangjiaping Mo deposit of Shangcheng County, Henan Province. Geology and Prospecting, 43(5): 17 - 22 (in Chinese with English

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

abstract)
Yao SZ, Ding ZJ, Zhou ZG and Chen SY. 2002. Metallogenic systems of Qinling Orogen. Earth Science, 27(5): 599 – 604 (in Chinese with English abstract)
Ye BD, Xu JW, Li ZC, Cui F and Jian P. 1991. Discovery of animal fossils in the Suijiahe Group in the Tongbo-Dabie region and its significance. Geology in China, (3): 28 – 29 (in Chinese with English abstract)
Yu W, Ni P, Wang GG, Shang L, Jiang LL, Wang BH and Zhang HD. 2012. Evolution of ore-forming fluids of the Shapinggou porphyry molybdenum deposit, Jinzhai, Anhui Province. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 48(3): 240 – 255 (in Chinese with English abstract)
Zhai MG. 2008. State of lithosphere beneath the North China Craton before the Mesozoic lithospheric disruption: A suggestion. Geotectonica et Metallogenia, 32(4): 516 – 520 (in Chinese with English abstract)
Zhang GW, Zhang BR, Yuan XC and Xiao QH. 2001. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics. Beijing: Science Press, 1 – 855 (in Chinese)
Zhang H, Sun WD, Yang XY, Liang HY, Wang BH, Wang RL and Wang YX. 2011. Geochronology and metallogenesis of the Shapinggou giant porphyry molybdenum deposit in the Dabie orogenic belt. Acta Geologica Sinica, 85(12): 2039 – 2059 (in Chinese with English abstract)
Zhang HD, Shi DF, Hao YJ and Wang BH. 2010. Geological features of the Shapinggou porphyry molybdenum ore deposit, Jinzhai County, Henan Province. Geology of Anhui, 20(2): 104 – 108 (in Chinese with English abstract)
Zhang J, Chen YJ, Yang Y and Deng J. 2011. Lead isotope systematics of the Weishancheng Au-Ag belt, Tongbai Mountains, central China: Implication for ore genesis. International Geology Review, 53(5 – 6): 656 – 676
Zhang KJ. 1997. North and South China collision along the eastern and southern North China margins. Tectonophysics, 270(1 – 2): 145 – 156
Zhao ZF, Zheng YF, Wei CS and Wu YB. 2003. Zircon U-Pb age, element and isotope geochemistry of Mesozoic mafic-ultramafic rocks at Shacun and Jiaoziyan in North Dabie. Geological Journal of China Universities, 9(2): 139 – 162 (in Chinese with English abstract)
Zhao ZF, Zheng YF, Wei CS, Wu YB, Chen FK and Jahn BM. 2005. Zircon U-Pb age, element and C-O isotope geochemistry of post-collisional mafic-ultramafic rocks from the Dabie orogen in east-central China. Lithos, 83(1 – 2): 1 – 28
Zhao ZF, Zheng YF, Wei CS and Wu YB. 2007. Post-collisional granitoids from the Dabie orogen in China: Zircon U-Pb age, element and O isotope evidence for recycling of subducted continental crust. Lithos, 93(3 – 4): 248 – 272
Zhao ZF and Zheng YF. 2009. Remelting of subducted continental lithosphere: Petrogenesis of Mesozoic magmatic rocks in the Dabie-Sulu orogenic belt. Science in China (Series D), 39(7): 888 – 909 (in Chinese)
Zheng YF, Fu B, Gong B and Li L. 2003. Stable isotope geochemistry of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu orogen in China: Implications for geodynamics and fluid regime. Earth Science Reviews, 62(1 – 2): 105 – 161
Zheng YF, Zhou JB, Wu YB and Xie Z. 2005. Low-grade metamorphic rocks in the Dabie-Sulu orogenic belt: A passive-margin accretionary wedge deformed during continent subduction. International Geology Review, 47(8): 851 – 871

附中文参考文献

陈丽娟，陈鹏. 2011. 河南省新县姚冲钼矿床地质特征及控矿因素. 地质找矿论丛，26(4)：385 – 392
陈伟，李红超，徐兆文，何雨霖，陈进全，王少华，王浩. 2011. 河南新县宝安寨钼矿床成矿物质来源及形成机制研究. 矿物学报，12(增刊)：12 – 13
陈衍景，富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律. 北京：地震出版社，1 – 234
陈衍景，隋颖慧，Pirajno F. 2003. CMF 模式的排他性依据和造山型银矿实例：东秦岭铁炉坪银矿同位素地球化学. 岩石学报，19(3)：551 – 568
陈衍景，倪培，范宏瑞，Pirajno F，赖勇，苏文超，张辉. 2007. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征. 岩石学报，23(9)：2085 – 2108
陈衍景，李诺. 2009. 大陆内部浆控高温热液矿床成矿流体性质及其与岛弧区同类矿床的差异. 岩石学报，25(10)：2477 – 2508
陈衍景，翟明国，蒋少涌. 2009. 华北大陆边缘造山过程与成矿研究的重要进展和问题. 岩石学报，25(11)：2695 – 2726
陈衍景，张成，李诺，杨永飞，邓轲. 2012. 中国东北钼矿床地质. 吉林大学学报(地球科学版)，42(5)：1223 – 1268
高联达，刘志刚. 1988. 河南信阳群南湾组微体化石的发现及其地质意义. 地质论评，34(5)：421 – 422
郭铁朋. 2007. 天目山钼矿区地球化学特征及找矿标志. 物探与化探，31(4)：309 – 312
胡受奚，林潜龙，陈泽铭，黎世美. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质与成矿. 南京：南京大学出版社，1 – 558
黄凡，王登红，陆三明，陈毓川，王波华，李超. 2011. 安徽省金寨县沙坪沟钼矿辉钼矿 Re-Os 年龄——兼论东秦岭-大别山中生代钼成矿作用期次划分. 矿床地质，30(6)：1039 – 1057
李超，陈衍景. 2002. 东秦岭-大别地区中生代岩石圈拆沉的岩石学证据评述. 北京大学学报(自然科学版)，38(3)：431 – 441
李法岭. 2011. 河南大别山北麓千鹅冲特大隐伏斑岩型钼矿床地质特征及成矿时代. 矿床地质，30(3)：457 – 468
李红超，徐兆文，陆现彩，王旭东，陈伟，翟东兴. 2010. 河南新县大银尖钼矿床流体包裹体研究. 高校地质学报，16(2)：236 – 246
李俊平，李永峰，罗正传，谢克家. 2011. 大别山北麓钼矿找矿重大进展及其矿床地质特征研究. 大地构造与成矿学，35(4)：576 – 586
李明立. 2009. 河南省大别山地区中生代中酸性小岩体特征及钼多金属成矿系统. 博士学位论文. 北京：中国地质大学，1 – 147
李诺，陈衍景，张辉，赵太平，邓小华，王运，倪智勇. 2007. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景. 地学前缘，14(5)：186 – 198
刘福来，薛怀民. 2007. 苏鲁-大别超高压岩石中锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究——综述和最新进展. 岩石学报，23(11)：2737 – 2756
骆亚南，陈加伟，唐中刚. 2012. 河南省罗山县陡坡钼矿床地质特征及成因. 四川地质学报，32(3)：278 – 280
罗正传. 2010. 大别山北麓钼金银多金属矿成矿规律与找矿方向. 矿产与地质，24(2)：125 – 131
罗正传，李永峰，王义天，王小高. 2010. 大别山北麓河南新县地区大银尖钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其意义. 地质通报，29(9)：1349 – 1354
孟芳，欧阳兆灼，骆亚南. 2012. 河南省肖畈钼矿地质特征及动力学背景. 地质与资源，21(4)：400 – 405

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

孟祥金, 徐文艺, 吕庆田, 屈文俊, 李先初, 史东方, 文春华. 2012. 安徽沙坪沟斑岩钼矿锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄. 地质学报, 86(3): 486 - 494

任继舜. 1991. 论中国大陆岩石圈构造的基本特征. 中国区域地质, (4): 289 - 293

时毓, 于津海, 徐夕生, 邱检生, 陈立辉. 2009. 秦岭造山带东段秦岭岩群的年代学和地球化学研究. 岩石学报, 25(10): 2651 - 2670

王玭, 陈衍景, 糜梅, 李忠烈, 王莉娟. 2013. 河南省新县姚冲钼矿床流体包裹体研究. 岩石学报, 29(1): 107 - 120

王清晨, 丛柏林. 1998. 大别山超高压变质带的大地构造框架. 岩石学报, 14(4): 481 - 492

王运, 陈衍景, 马宏卫, 徐友灵. 2009. 河南省商城县汤家坪钼矿床地质和流体包裹体研究. 岩石学报, 25(2): 468 - 480

王勇生, 朱光, 王道轩, 刘国生, 宋传中. 2004. 大别山东缘郯庐两期走滑剪切带形成的温压条件与造山带折返的关系. 大地构造与成矿学, 28(3): 228 - 238

魏庆国, 高昕宇, 赵太平, 陈伟, 杨岳衡. 2010. 大别北麓汤家坪花岗斑岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年和岩石地球化学特征及其对岩石成因的制约. 岩石学报, 26(5): 1550 - 1562

徐晓春, 楼金伟, 陆三明, 谢巧勤, 褚平利, 尹滔. 2009. 安徽金寨银山钼-铅-锌多金属矿床 Re-Os 和有关岩浆岩 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄测定. 矿床地质, 28(5): 621 - 632

徐友灵. 2011. 河南罗山母山钼矿床地质特征及其找矿意义. 矿产与地质, 25(5): 380 - 384

杨梅珍, 曾键年, 覃永军, 李法岭, 万守全. 2010. 大别山北缘千鹅冲斑岩型钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年代学及其地质意义. 地质科技情报, 29(5): 35 - 45

杨梅珍, 曾键年, 李法岭, 潘思东, 陆建培, 任爱群. 2011a. 河南新县大银尖钼矿床成岩成矿作用地球化学及地质意义. 地球学报, 32(3): 279 - 292

杨梅珍, 曾键年, 任爱群, 陆建培, 潘思东. 2011b. 河南罗山县母山钼矿床成矿作用特征及锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年代学. 矿床地质, 30(3): 435 - 447

杨艳, 张静, 刘家军, 孙亚莉, 李晶, 杨泽强. 2008. 河南汤家坪钼矿床流体成矿作用研究. 中国地质, 35(6): 1240 - 1249

杨泽强. 2007a. 河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿铼锇同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 26(3): 289 - 295

杨泽强. 2007b. 河南省商城县汤家坪钼矿围岩蚀变与成矿. 地质与勘探, 43(5): 17 - 22

姚书振, 丁振举, 周宗桂, 陈守余. 2002. 秦岭造山带金属成矿系统. 地球科学, 27(5): 599 - 604

叶伯丹, 许俊文, 李志昌, 崔放, 简平. 1991. 桐柏-大别山地区苏家河群动物化石的发现及其意义. 中国地质, (3): 28 - 29

于文, 倪培, 王国光, 商力, 江来利, 王波华, 张怀东. 2012. 安徽金寨县沙坪沟斑岩钼矿床成矿流体演化特征. 南京大学学报(自然科学版), 48(3): 240 - 255

翟明国. 2008. 华北克拉通破坏前的状态——对讨论华北克拉通破坏问题的一个建议. 大地构造与成矿学, 32(4): 516 - 520

张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社, 1 - 855

张红, 孙卫东, 杨晓勇, 梁华英, 王波华, 王瑞龙, 王玉贤. 2011. 大别造山带沙坪沟特大型斑岩钼矿床年代学及成矿机理研究. 地质学报, 85(12): 2039 - 2059

张怀东, 史东方, 郝越进, 王波华. 2010. 安徽省金寨县沙坪沟斑岩型钼矿成矿地质特征. 安徽地质, 20(2): 104 - 108

赵子福, 郑永飞, 魏春生, 吴元保. 2003. 大别山沙村和椒子岩基性-超基性岩锆石 U-Pb 定年、元素和碳氧同位素地球化学研究. 高校地质学报, 9(2): 139 - 162

赵子福, 郑永飞. 2009. 俯冲大陆岩石圈重熔: 大别-苏鲁造山带中生代岩浆岩成因. 中国科学(D 辑), 39(7): 888 - 909

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net