



编号: 0258-7106(2010)06-0935-21

中国东部钼矿成矿背景与成岩-成矿时差讨论*

杜保峰¹, 魏俊浩¹, 王 启², 李艳军¹, 刘国春², 于海涛², 刘永利²

(1 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074; 2 内蒙古赤峰市地质矿产勘查开发院, 内蒙古 赤峰 024000)

摘要 中国东部中生代钼矿带属滨太平洋成矿域, 钼矿床多沿不同构造单元的交界部位及区域性深大断裂呈带状分布, 集中分布在东秦岭、燕辽、长江中下游、南岭和大兴安岭等钼矿成矿带。结合前人成果, 以典型矿床为例, 初步讨论了中国东部各个钼矿成矿带的成矿背景, 成矿很可能与碰撞造山后的伸展背景和(或)太平洋板块俯冲有关。文章根据收集到的中国东部典型钼矿床的成矿年龄及相关岩体的同位素测年数据, 详细讨论并定量厘定了钼矿床的成岩与成矿时差。结果表明, 钼矿成矿同步或略滞后于同源岩浆活动, 两个成矿高峰的时差分别为 0~10.0 Ma 和 0~15.0 Ma; 对于单个矿床, 成岩-成矿时差集中在 0~14.0 Ma, 均值为 4.1 Ma; 从斑岩型→斑岩-矽卡岩型→矽卡岩型→石英脉型钼矿床, 成岩-成矿时差呈递增趋势, 这恰与岩浆热液成矿过程的客观地质事实相吻合。

关键词 地质学; 钼矿; 成矿背景; 成岩-成矿时差; 中国东部

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

Discussion on metallogenic setting and time difference between magmatism and mineralization of molybdenum deposits in East China

DU BaoFeng¹, WEI JunHao¹, WANG Qi², LI YanJun¹, LIU GuoChun², YU HaiTao² and LIU YongLi²

(1 Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2 Chifeng Institute of Geological and Mineral Exploration of Inner Mongolia, Chifeng 024000, Inner Mongolia, China)

Abstract

East China was intensely affected by the Marginal Pacific Metallogenic Domain in Mesozoic. Most molybdenum deposits along border areas of different tectonic units or regional deep faults are dominantly distributed in such metallogenic belts as East Qinling, Yanshan-Liaoning, Middle-Lower reaches of the Yangtze River, Nanling and Da Hinggan Mountains. Combined with previous studies, this paper discusses metallogenic settings of these regions exemplified by typical ore deposits, and draws the conclusion that Mo mineralization in these metallogenic belts probably resulted from the extensional setting of post-collision and/or subduction of the Pacific Plate. According to isotopic data of mineralization and ore-related rocks collected from some typical Mo deposits in East China, the authors investigated in detail and quantitatively determined the characteristics of time difference between magmatism and mineralization for Mo deposits. Mo mineralization in East China occurred contemporaneously with or immediately after ore-related granitoids. Time differences of the two peaking stages of Mo mineralization are within 0~10.0 Ma and 0~15.0 Ma respectively. For a single Mo deposit, the time differences are concentrated in 0~14.0 Ma with a mean of 4.1 Ma. In order of porphyry-type Mo deposits→por-

* 本文为教育部创新团队发展计划(IRT0755)及中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室基金资助项目的成果

第一作者简介 杜保峰,男,1985年生,硕士研究生,主要从事矿床地球化学及成矿规律与成矿预测研究工作。通讯地址:中国地质大学(武汉)资源学院资源科学与工程系;Email:dubaofeng517@163.com

收稿日期 2010-03-13;改回日期 2010-05-16。张绮玲编辑。

phyry-skarn complex Mo deposits → skarn-type Mo deposits → quartz vein-type Mo deposits, the time differences seem gradually increase, which is consistent with the observed geological facts of the magmatic hydrothermal ore-formational process.

Key words: geology, Mo deposits, metallogenic settings, time difference between magmatism and mineralization, East China

中国的钼矿储量位居世界第二,钼矿床主要集中在东部,仅东秦岭的钼矿储量就约占全国总储量的43.5%。钼矿床有斑岩型、斑岩-矽卡岩复合型、矽卡岩型、石英脉型、爆破角砾岩型、碳酸岩脉型、沉积型和伟晶岩脉型等类型,其中以斑岩型、斑岩-矽卡岩复合型最为重要,其次为矽卡岩型和石英脉型,这4种类型的钼矿床成矿都与岩浆活动密切相关(李永峰等,2005;孙红杰,2009)。

近二十年来,中国东部中生代钼矿成矿理论研究主要集中在东秦岭钼成矿带,并根据区域地质背景、成矿地质特征、岩石地球化学、流体包裹体、同位素示踪和成矿年代探讨了该地区钼矿成矿背景(邵克忠等,1986;黄典豪等,1994;张正伟等,2001;毛景文等,2003;2005;李永峰等,2004b;张复新等,2004)。就中国东部中生代钼矿成矿的大地构造背景方面获得相对公认的观点是,作为重要矿种的钼矿大规模成矿很可能与太平洋板块从南东向北西方向往欧亚板块强烈挤压俯冲和中国东部岩石圈伸展减薄有关(胡受奚等,1991;1994;毛景文等,2004b;裴荣富等,2008;徐志刚等,2008)。钼矿成岩-成矿时差,是研究矿床成因、指导找矿以及建立区域成矿模式的重要基础,但目前对于钼矿床成岩-成矿时差的研究还比较少。研究整个钼矿成矿阶段及单个矿床和与其有成因关系的岩浆岩的成岩-成矿时差,对确定岩浆演化与成矿的关系不仅具有理论意义,更具有重要的指导找矿意义。近几年,中国东部地区钼矿研究出现了新一轮高潮,不仅连续报道找矿勘查新发现和新进展,而且还运用高精度同位素测年精确厘定成岩成矿时代。笔者结合前人成果,以典型矿床为例,初步讨论了中国东部各个成矿带的成矿背景,并根据收集到的近十几年来中国东部典型钼矿床的成矿年龄及同源岩体的成岩年龄数据,详细讨论了钼矿床的成岩-成矿时差分布特征。

1 钼矿成矿背景

中国东部处于欧亚板块、太平洋板块和印度板

块的交汇地带。大地构造演化大致经历了太古宙—古元古代原始地壳克拉通化阶段,中、新元古代—早古生代大陆边缘或陆内盆地演化阶段,晚古生代欧亚板块拼合,古欧亚大陆形成阶段和中、新生代受太平洋板块和印度板块俯冲产生的叠加构造阶段,构成了滨太平洋成矿域(郭文魁等,1987;胡受奚等,1994;徐志刚等,2008)。钼矿床多沿不同构造单元的交界部位及区域性深大断裂呈带状分布(图1)。从钼矿形成时代来看,除少数钼矿床形成于元古宙、晚古生代和新生代之外,绝大多数钼矿床形成于中生代,年龄集中在190.0~110.0 Ma(表1),为燕山期构造岩浆活动的产物。从三叠纪开始,太平洋板块与初始欧亚板块逐渐发生挤压碰撞与俯冲作用(胡受奚等,1995),燕山期,中国东部处于大陆边缘活动带,俯冲作用引起了地壳内部及壳-幔物质交换,同时形成了交代型富集地幔(胡受奚等,2001),演化晚期产生了与壳幔同熔型-地壳重熔型酸性-中酸性岩浆岩有关的中生代钼矿成矿带,如东秦岭、燕辽、长江中下游、南岭等,其中以东秦岭成矿带的钼矿床最为密集,且多为大型、超大型。另外,大兴安岭成矿带的钼矿研究程度虽然不是很高,但由于近几年在此带上发现的钼矿床数量较多,找矿前景很大,本文也将其作为一个重要的钼矿成矿带加以讨论。

虽然中国东部中生代钼矿成矿大地构造背景基本一致,但不同钼矿成矿带的成矿背景也有所差异,现结合前人成果初步讨论以下各个主要成矿带的形成背景。

1.1 东秦岭钼成矿带

东秦岭地处华北克拉通南缘与秦岭造山带相接的地带,中生代以前为华北克拉通的组成部分,具有典型的克拉通边缘特征(赵振华等,2003),在中生代经历了秦岭造山带的陆内造山运动,成为秦岭造山带的北缘组成部分(张国伟等,1996),区域构造格架表现为近EW向与NNE向2组构造相互交织所形成的格子状构造体系,两组断裂构造的交切点控制了中酸性小岩体的空间侵位(李永峰等,2005)。钼矿床直接产于燕山期中酸性岩体与中新元古界碎屑

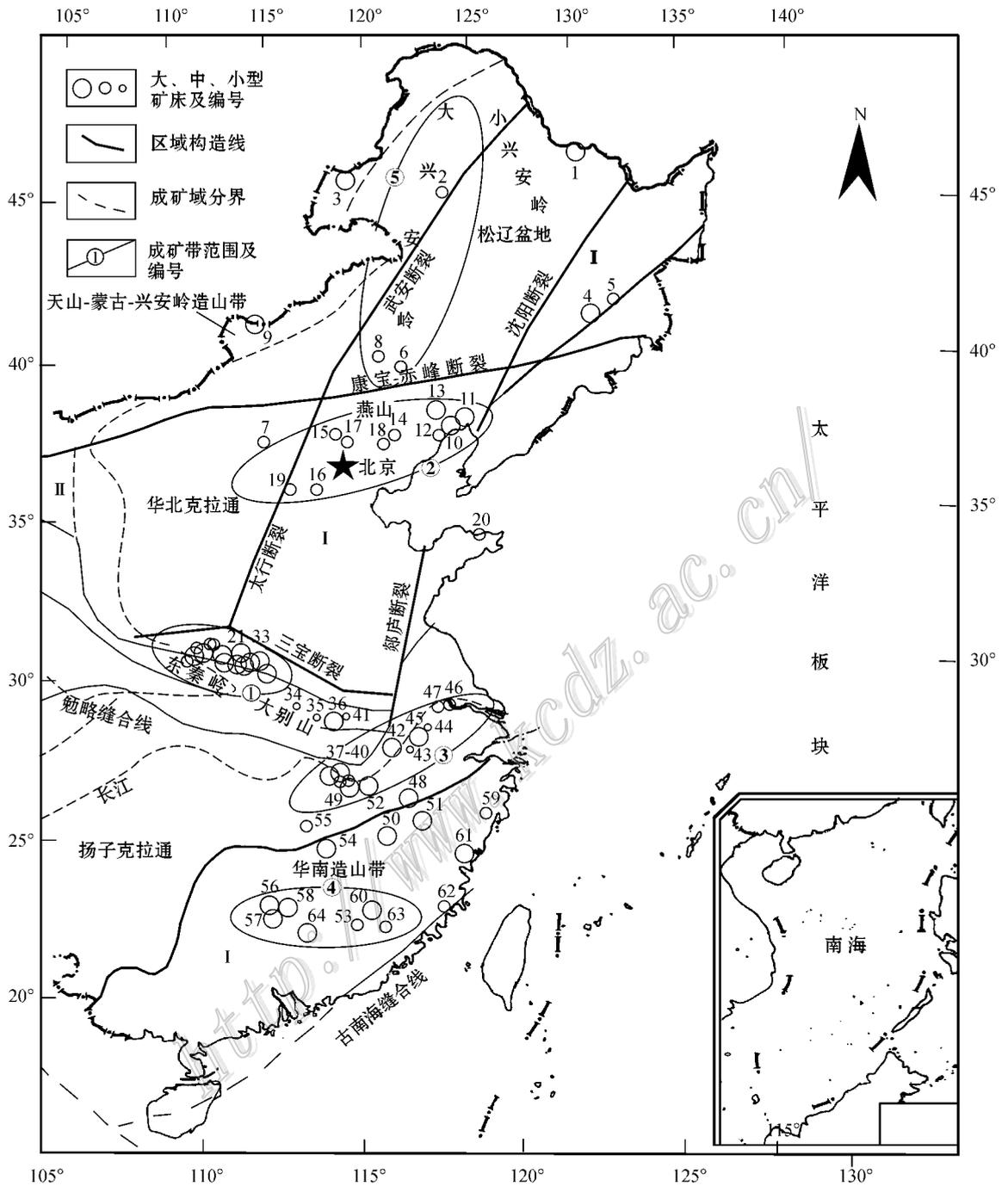


图 1 中国东部钼矿床分布图

I—滨太平洋成矿域；II—古亚洲成矿域；①—东秦岭钼成矿带；②—燕山钼成矿带；③—长江中下游钼成矿带；④—南岭钼成矿带；⑤—大兴安岭钼成矿带；图中矿床编号对应矿床名称见表 1

Fig. 1 The distribution of Mo deposits in East China

I—Marginal Pacific metallogenic domain；II—Pal-Asia metallogenic domain. ①—East Qinling Mo metallogenic belt；②—Yanshan-Liaoning Mo metallogenic belt；③—Middle-Lower Yangtze River reaches Mo metallogenic belt；④—Nanling Mo metallogenic belt；⑤—Da Hinggan Mountains Mo metallogenic belt. Serial number of ore deposits corresponding to the names of ore deposits in Table 1

岩-碳酸盐岩的内外接触带及其附近。钼矿形成时代主要出现在 $(144.8 \pm 2.1) \sim (132.4 \pm 2.0)$ Ma (表 1)。钼矿床类型主要有斑岩型、斑岩-矽卡岩型、热

液碳酸岩脉型 3 类,其中以斑岩型和斑岩-矽卡岩型居多,主要有南泥湖、金堆城、东沟、雷门沟、黄龙铺等钼矿床。

表 1 中国东部钼矿床及其同源岩浆岩同位素年龄

Table 1 Isotope ages of Mo deposits and related comagmatic magmatites in eastern China

编号	矿床名称	矿床类型	同源岩浆岩			矿床			资料来源	时差/Ma
			岩性	测定对象	测定方法	年龄/Ma	测定对象	测定方法		
1	黑龙江霍吉河钼矿床	斑岩型	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	184.9 ± 0.9	辉钼矿	Re-Os	130.1 ± 1.3	郭嘉, 2009
2	内蒙古太平湾钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	131.1 ± 0.9	辉钼矿	Re-Os	155 ± 17	翟德高等, 2009
3	内蒙古乌奴格吐山钼矿床	斑岩型	二长花岗岩	锆石	U-Pb	183 ± 0.6	辉钼矿	Re-Os	168.2 ± 3.2	A. 秦克章等, 1999; B. 赵一鸣等, 1997a
4	吉林大黑山钼矿床	斑岩型	花岗闪长斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	170 ± 3	辉钼矿	Re-Os	166.9 ± 6.7	A. Ge et al., 2007; B. 王成辉等, 2009a
5	吉林福安堡钼矿床	斑岩型	似斑状二长花岗岩	全岩	Rb-Sr	170	辉钼矿	Re-Os	154.3 ± 3.6	A. 金艳峰等, 2004; B. 李立兴等, 2009
6	内蒙古碾子沟钼矿床	石英脉型	黑云母二长花岗岩	全岩	Rb-Sr	167.1 ± 1.5	辉钼矿	Re-Os	222.5 ± 3.2	A. 陈志广等, 2008; B. 张作伦等, 2009
7	内蒙大赤汁钼矿床	斑岩型	花岗斑岩				辉钼矿	Re-Os	135.5 ± 1.5	张彤等, 2009
8	内蒙小东沟钼矿床	斑岩型	斑状花岗岩				辉钼矿	Re-Os	134.0 ± 4.2	聂风军等, 2007
9	内蒙古乌兰德勒铜钼矿床	斑岩型	细粒二长花岗岩	锆石	SHRIMP U-Pb	131.3 ± 1.6	辉钼矿	Re-Os	189	陶然雄等, 2009
10	辽宁杨家杖子钼矿床	斑岩-砂卡岩型	细粒花岗岩	锆石	U-Pb	189 ± 4	辉钼矿	Re-Os	186.5 ± 0.7	A. 吴福元等, 2006; B. 黄典豪等, 1996
11	辽宁新家湾钼矿床	斑岩型	似斑状细粒花岗岩	锆石	SHRIMP U-Pb	188.9 ± 1.2	辉钼矿	Re-Os	178 ± 5	A. 代平治等, 2008; B. 黄典豪等, 1996
12	辽宁新台门钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	181 ± 2	辉钼矿	Re-Os	165.5 ± 4.6	张遵忠等, 2009
13	辽西肖家营子钼矿床	砂卡岩型	闪长岩				辉钼矿	Re-Os	134 ± 3	代军治等, 2007
14	河北小寺沟钼(铜)矿床	斑岩-砂卡岩型	花岗闪长斑岩	全岩	Rb-Sr	124 ± 1.9	辉钼矿	Re-Os	140.0 ± 2.3	A. 黄标等, 1989; B. 黄典豪等, 1996
15	河北大草坪钼矿床	斑岩型	花岗闪长岩	锆石	U-Pb	140.0 ± 1.5	辉钼矿	Re-Os	144.4 ± 7.4	段焕春等, 2007
16	河北大湾钼矿床	斑岩型	流纹斑岩				辉钼矿	Re-Os	147.1 ± 6.6	黄典豪等, 1996
17	北京大庄科钼矿床	爆破角砾岩型	花岗闪长岩	全岩	Rb-Sr	130	辉钼矿	Re-Os	148 ± 4	黄典豪等, 1996
18	河北寿王坟钼(铜)矿床	砂卡岩型	石英斑岩	未知	K-Ar	135	辉钼矿	Re-Os	148.7	A. 张德全等, 1988; B. 黄典豪等, 1996
19	山西后峪钼矿床	斑岩型	花岗闪长斑岩				辉钼矿	Re-Os	228.0 ± 2.7	陈平, 2001 ^①
20	山东尚家庄钼矿床	斑岩型	花岗闪长岩				辉钼矿	Re-Os	143.6 ± 3.5	赵伦华, 1988
21	河南灵宝大湖钼金矿床	石英脉型	斑状二长花岗岩	锆石	SHRIMP U-Pb	157.1 ± 2.9	辉钼矿	Re-Os	147 ± 4	李厚民等, 2007
22	河南南泥湖钼矿床	斑岩型	花岗闪长斑岩	黑云母	K-Ar	145	辉钼矿	Re-Os	145.0 ± 2.2	A. 毛景文等, 2005; B. 黄典豪等, 1994; B. Li et al., 2004a
23	河南秋树湾钼矿床	斑岩-砂卡岩型	花岗闪长斑岩	黑云母	K-Ar	145	辉钼矿	Re-Os	144.8 ± 2.1	A. 卢欣祥, 1984; B. 郭保健等, 2006
24	河南三道庄钼矿床	砂卡岩型	斑状二长花岗岩	锆石	SHRIMP U-Pb	157.1 ± 2.9	辉钼矿	Re-Os	132.4 ± 2.0	A. 毛景文等, 2005; B. Li et al., 2004a
25	河南上房沟钼矿床	斑岩-砂卡岩型	花岗斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	157.6 ± 2.7	辉钼矿	Re-Os	131.2 ± 1.4	A. 毛景文等, 2005; B. Li et al., 2004a
26	河南雷门沟钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	136.2 ± 1.5	辉钼矿	Re-Os	129.9 ± 1.6	李永峰等, 2006
27	河南鱼池岭钼矿床	斑岩型	似斑状二长花岗岩	黑云母	Ar-Ar	135.7 ± 1.3(1)	辉钼矿	Re-Os	116 ± 1.7	A. 张宗清等, 2006; B. 周珂等, 2009
28	河南泉家峪钼金矿床	石英脉型	花岗斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	138.4 ± 2.5	辉钼矿	Re-Os	138.2 ± 1.1	A. 毛景文等, 2005; B. 李厚民等, 2007
29	东秦岭东沟钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	112 ± 1	辉钼矿	Re-Os	221.5 ± 0.3	叶会寿等, 2006
30	陕西金堆城钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	141.0 ± 0.5	辉钼矿	Re-Os	156.3 ± 2.2	A. 朱麟民等, 2008; B. 黄典豪等, 1994; B. Stein et al., 1997
31	陕西黄龙铺钼(铅)矿床	碳酸岩脉型	石英-方解石岩脉				辉钼矿	Re-Os	136.0 ± 6	Stein et al., 1997
32	陕西八里坡钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	U-Pb	155.9 ± 2.3	辉钼矿	Re-Os	0	Stein et al., 1997
33	陕西石家湾钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	U-Pb	155.9 ± 2.3	辉钼矿	Re-Os	-10	焦建刚等, 2009

① 陈平, 2001. 山西省矿床成矿系列特征及主要成矿区带的形成规律与成矿远景. 中国地质调查局地质调查综合研究项目子专题研究报告.

以南泥湖典型斑岩-矽卡岩钼矿田为例,其位于东秦岭钼成矿带的东端,三川-栾川断陷带中东西向构造由 NWW 向 NW 弧形转折部位(王长明等,2006),包括南泥湖斑岩型钼矿床、三道庄矽卡岩型钼矿床、上房沟斑岩型钼矿床等 3 个超大型矿床。区内主要容矿地层为三川组大理岩、南泥湖组大理岩、片岩及煤窑沟组白云质大理岩。区内断裂以 NWW-NW 向最为发育,NE 向次之。岩浆岩主要有燕山中晚期的南泥湖、上房沟、石宝沟、鱼库、马圈等中酸性岩体。与钼矿化有关的花岗斑岩类组成复式小岩体,均呈小岩株状,属浅成-超浅成相,岩石具高酸、高钾、高碱、低镁钙等特征(刘永春等,2006)。钼矿体产于斑状二长花岗岩体内以及岩体与三川组大理岩的内外接触带和中元古界南泥湖组角岩中,由辉钼矿-石英脉、辉钼矿-黄铁矿-钾长石-石英脉、辉钼矿-方解石-辉沸石-石英脉等组成。金属矿物为黄铁矿、辉钼矿及少量磁黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿;脉石矿物有钙铁榴石、富铁透辉石、阳起石、绿帘石、长石、石英、方解石等。围岩蚀变有钾长石化、矽卡岩化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化等。毛景文等(2005)通过锆石 SHRIMP U-Pb 法测得与成矿密切相关的斑状二长花岗岩体年龄为 (157.1 ± 2.9) Ma, Li 等(2004a)通过辉钼矿 Re-Os 法测得钼成矿年龄为 (141.8 ± 2.1) Ma。

自加里东运动开始,直到三叠纪早期,华北克拉通一直处于稳定发展阶段。同位素测年及其他资料表明:扬子克拉通与华北克拉通在 238~218 Ma 之间碰撞对接(李曙光等,1989;Ames et al.,1993;Chen et al.,1995;Meng et al.,1999;李锦轶,2001),之后,开始碰撞造山作用,并向北陆内俯冲,导致形成一系列东西向大断裂。俯冲深度达地幔的栾川-固始深断裂及台缘区的马超营壳层大断裂也加入了这组 A 型俯冲带的活动(刘红樱等,1998)。中-晚侏罗世,在由古特提斯构造系向环太平洋主动陆缘的构造体制大转换中,即由 SN 向主应力场向 NWW 向主应力场转变过程中,东秦岭受板片断离作用和壳幔边界附近发生的基性岩浆的底侵作用的影响,加厚的下地壳物质发生部分熔融形成花岗质岩浆,并沿构造薄弱带上升至浅层位,形成了同熔型侵入斑岩体,在 140 Ma 左右形成了各种类型的钼矿床(Li et al.,2004a;Ye et al.,2005)。

1.2 燕辽钼成矿带

燕辽钼成矿带位于华北克拉通北缘,钼矿床的

分布受区域 EW 向、NE 向、NNE 向断裂的联合控制。钼矿床的形成与燕山期中酸性小侵入体关系密切,矿床多产于花岗斑岩体之中或内外接触带中。钼(铜)矿床的成矿物质及成矿流体主要来源于下地壳或与太古代结晶基底有关的花岗岩,钼矿的形成主要与中生代富硅、富钾质花岗岩有关(代军治等,2006)。成矿年代学研究表明,燕辽钼成矿带大规模成矿作用发生于 180 Ma 左右和 140 Ma 左右 2 个时期(表 1)。矿床类型以斑岩型、斑岩-矽卡岩型、矽卡岩型、爆破角砾岩型为主,以辽西兰家沟、杨家杖子、北京大庄科、河北大草坪等钼矿床为代表。

作为该带的典型矿床,辽西兰家沟斑岩钼矿床处于华北克拉通北缘山海关-北镇古隆起与辽西凹陷之间的过渡带上,该过渡地带南东侧以青龙-锦西大断裂为界,与山海关-北镇古隆起相接壤,北西侧以女儿河大断裂为界,与辽西凹陷邻接(代军治等,2008)。区内中生代构造-岩浆活动强烈,岩浆岩主要为红螺山花岗岩类复式侵入体,花岗岩具高硅、高碱、准铝质特征(代连铎等,2008),以及微量、稀土元素、S、Re 等同位素组成均表明其属于壳幔混熔型(代军治等,2006,2008;代连铎等,2008)。兰家沟钼矿体主要赋存于细粒似斑状花岗岩体边或顶部,矿化受岩体内部不同方向的断裂带和它们之间的多组裂隙所控制,矿化类型主要有 2 种:石英-辉钼矿大脉型和石英-辉钼矿细脉或网脉型。金属矿物主要为辉钼矿、黄铁矿,其次为闪锌矿及少量的黄铜矿、方铅矿、黝铜矿、磁铁矿和辉银矿等,脉石矿物有钾长石、斜长石、石英、方解石及少量菱锰矿、绿泥石和萤石等。围岩蚀变有钾长石化、硅化、伊利石-水白云母化、铁锰碳酸盐化、绿帘石化和绿泥石化等。花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (188.9 ± 1.2) Ma(代军治等,2008),钼成矿的辉钼矿 Re-Os 年龄为 (186.5 ± 0.7) Ma(黄典豪等,1994),成岩与成矿年龄近似,表明钼矿化作用伴随岩体侵位之后,岩体侵位与矿化作用发生于早侏罗世。

华北板块在晚古生代与蒙古地块拼贴到一起,形成了华北-蒙古联合板块,此后燕山地区进入板内造山环境中(赵越,1990;Wang et al.,1995;Yin et al.,1996)。早中侏罗世,燕辽地区地壳运动以挤压作用为主,局部地区发育伸展构造(Davis et al.,1998,2001)。晚侏罗世,整个中国东部进入滨太平洋构造域,区域构造格局发生大转换,华北板块北缘的区域性 EW 向、NE 向断裂复活,进一步向 NE 向、

NNE 向转换(赵越等,2004)。代军治等(2006)根据燕辽成矿带的东段钼矿床形成于 180 Ma 左右,西段钼矿床形成于 140 Ma 左右,认为其对应的成矿背景分别为华北板块与西伯利亚板块碰撞后造山阶段和中国东部构造体制大转折晚期。

1.3 长江中下游钼成矿带

长江中下游地区位于扬子克拉通北缘、秦岭-大别造山带和华北克拉通的南侧。石炭纪、二叠纪和早三叠世碳酸盐岩是钼矿床的主要围岩。钼矿床与中生代钙碱性钾质侵入岩有关(谢桂青等,2006),钼矿体赋存于岩体内部或外接触带中。成矿年代学研究表明,钼成矿集中在 145~135 Ma(表 1)。矿床类型有矽卡岩型、矽卡岩-斑岩型、石英脉型,主要有铜山口、丰山洞、铜牛井、大团山、安基山等钼矿床。

鄂东南铜山口钼矿床作为该带的重要矿床,其大地构造位于长江中下游成矿带的西端,区域上的褶皱和断裂构造多为印支运动和燕山运动的产物,主要有 NW-NWW 向和 NE-NEE 向两组(赵新福等,2006)。成矿作用与铜山口花岗闪长斑岩和三叠系大冶群碳酸盐岩有关。钼矿体呈似层状、透镜状赋存于斑岩体与碳酸盐岩的内外接触带中。矿石类型以细脉浸染状、细脉网脉状和块状钼矿石为主,团囊状和角砾状钼矿石次之。金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、斑铜矿、闪锌矿和磁铁矿等,脉石矿物有石英、石榴子石、透辉石、方解石、绿泥石和蛇纹石等。围岩蚀变有钾化、矽卡岩化、硅化、绿泥石化、绢云母化和碳酸盐化。岩石主量、微量、稀土元素组成及 Nd、Sr、S 同位素组成显示侵入花岗闪长斑岩具高钾钙碱性的埃达克质特征,应为拆沉的下地壳熔融形成的产物(吕新彪等,1992;王强等,2004b)。舒全安等(1992)通过黑云母 K-Ar 法测得侵入岩体年龄 150 Ma 左右,Li 等(2009)运用锆石 SHRIMP U-Pb 法测得与成矿密切相关的斑状二长花岗岩体年龄为 (140.6 ± 2.4) Ma,赵新福等(2006)通过 Ar-Ar 法、谢桂青等(2006)和 Li 等(2008)相继通过辉钼矿 Re-Os 法测得成矿年龄为 143 Ma 左右,属晚侏罗世末。

虽然长江中下游成矿带位于扬子克拉通北缘,但其成矿地球动力学背景与华北克拉通基本一致(毛景文等,2003)。在中侏罗世末到早白垩世初(163~136 Ma),中国东部包括长江中下游地区经历了南北向印支期构造域向北东向滨太平洋构造域的大转折(任纪舜等,1998;毛景文等,2004a;宋国学

等,2008;杨晓勇等,2008)。晚侏罗世以来,长江中下游地区存在明显的幔源玄武质岩浆底侵作用(Lu et al., 2005),后来由于重力失稳和(或)华北板块与华南板块相对逆时针旋转(Zhao et al., 1987),导致较厚岩石圈底部快速垮塌,软流圈上涌诱发了下地壳重熔作用;同时,玄武质岩浆底侵作用加强,使得玄武质岩浆与中-新元古代下地壳重熔的岩浆混合(Chen et al., 2001),富含 Mo 等成矿物质的岩浆沿断裂带和不同深度的滑脱构造面上升形成了矽卡岩-斑岩型钼矿床(王强等,2004b)。

1.4 南岭钼成矿带

南岭钼成矿带为华南地区的一部分,中侏罗世以来主要受古太平洋板块俯冲-弧后伸展和陆内深部构造的联合制约,形成了 NNE 向断裂系统以及陆相盆地与花岗质火山-侵入岩相间的盆山体系统(毛景文等,2007)。钼矿床一般产出在侵入岩体内部及外接触带中。成矿年代学研究表明,钼成矿集中在 170~150 Ma(表 1)。钼矿床类型主要有斑岩型、矽卡岩型和石英脉型,分布有大宝山、铜坑嶂、柿竹园、龙王排等钼矿床。

粤北大宝山斑岩型钼矿床位于华南褶皱系和湘桂粤褶皱带的南缘,构造以 NNE 向、NE 向和近 EW 向断裂为主。区内岩浆活动强烈,主要发生在燕山期,次英安斑岩墙、花岗闪长斑岩株以及规模不大的辉绿岩和粗玄岩脉等出露,其中以次英安斑岩墙、花岗闪长斑岩株在空间上与成矿作用密切(裴太昌等,1994)。岩石主量、微量、稀土元素及 Pb、S 同位素组成显示岩浆属中酸性钙碱系列,主要为壳源,并有少量幔源物质混入(姚德贤等,1994;徐文忻等,2008)。钼矿床产在花岗闪长岩体与次英安斑岩或灰岩接触带上。矿石类型有细网脉状钼矿石和浸染状钼矿石。金属矿物主要为辉钼矿、黄铁矿,次为闪锌矿、黄铜矿、白钨矿等。脉石矿物主要有石英、绢云母、黑云母、钾长石、伊利石等。围岩蚀变有钾长石-黑云母化、石英-绢云母化、伊利石-水白云母化、绿泥石-绿帘石化。花岗闪长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (175.0 ± 1.7) Ma(王磊等,2010),辉钼矿 Re-Os 年龄为 (164.7 ± 3.0) Ma(毛景文等,2004b)。

太平洋板块大约于 170 Ma 左右从 SE 向 NW 发生低角度俯冲,导致华南地块整体加厚,在大陆边缘弧后陆内出现了一系列裂谷带或伸展带,在此伸展带中壳幔强烈作用形成了高分异花岗质岩浆(毛景文等,1998,2007;Li et al., 2006;Li et al., 2007)。

南岭 EW 向深大基底断裂与 NE 向十杭深大断裂带交汇于南岭中南部的湘粤赣地区,携带 Mo 等成矿元素的岩浆沿此断裂带上升侵位至浅成部位,形成各类中酸性侵入岩和火山岩,并在斑岩体内部及外接触带形成了钼矿床(姚德贤等,1994,Zhao et al.,2001;毛景文等,2008)。

1.5 大兴安岭钼成矿带

大兴安岭钼成矿带位于古亚洲洋与滨太平洋构造域的叠加部位。古生代钙碱性花岗岩类和火山岩发育,中生代岩浆活动强烈,早期以钙碱性花岗岩类侵入活动为主,中晚期以弱碱性火山岩喷发为主(张炯飞等,2003)。大兴安岭成岩作用和成矿作用受到滨西太平洋构造活动的控制,其钼成矿作用集中于中生代中晚期,并与成岩作用(岩浆活动)关系极为密切(赵一鸣等,1997b;祝洪臣等,2005)。矿床类型主要有斑岩型和石英脉型,分布有内蒙古乌奴格吐山、太平沟、乌兰德勒、小东沟、黑龙江霍吉河等钼矿床。

以内蒙古太平沟钼矿床为例,其位于西伯利亚板块与华北板块的缝合线上(邵积东等,2007)。断裂以 NE 向和 NW 向为主。岩浆岩主要有二长花岗岩、花岗斑岩、正长斑岩和闪长斑岩,其中花岗斑岩与 Mo 矿化的关系最为密切(翟德高等,2009)。钼矿体大多出现在花岗斑岩体及其与流纹质凝灰岩的接触带内。矿石类型以细脉状钼矿石为主,少量为浸染状钼矿石。金属矿物为辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿及少量的辉铜矿、斑铜矿、方铅矿、磁铁矿和孔雀石等。脉石矿物为石英、钾长石、绿泥石、绢云母、方解石、黑云母等。蚀变类型为绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化、绿帘石化和钾化等。翟德高等(2009)通过锆石 SHRIMP U-Pb 法测得成矿母岩花岗闪长斑岩年龄为(131.1±0.9)Ma,通过辉钼矿 Re-Os 法测得成矿年龄为(130.1±1.3)Ma,成岩年龄与成矿年龄近乎一致,为早白垩世。

对于大兴安岭钼成矿带的成矿背景争议比较大,代表性的观点有 4 种:第一种观点认为大兴安岭成岩作用和成矿作用与东侧太平洋板块俯冲有关(蒋国源等,1988;邓晋福等,1996;朱勤文等,1997;祝洪臣等,2005;隋振民等,2007);第二种观点认为成矿与北部蒙古-鄂霍茨克海向南的俯冲碰撞有关(Wang et al.,2002;武广等,2008),或与兴蒙造山带的造山后演化有关(吴福元等,1999;Fan et al.,2003;林强等,2004);第三种观点认为大兴安岭成矿

带中生代以伸展作用为主,中生代岩浆岩的形成和演化与板内伸展环境下的底侵作用有关(邵济安等,1999,2001;葛文春等,2005;翟德高等,2009);第四种观点则认为成岩、成矿受蒙古-鄂霍茨克洋造山后伸展及太平洋板块俯冲的双重影响(张连昌等,2007)。本文根据大兴安岭钼成矿时限在 170 Ma 左右和 130 Ma 左右两个阶段,并结合构造-岩浆活动背景,认为其很可能对应于中朝-蒙古板块与西伯利亚板块之间的挤压造山环境和岩石圈伸展减薄环境。

从以上讨论可以看出,中国东部各成矿带的钼矿床多分布于不同构造单元的交界部位,受区域性断裂控制,钼矿体多产于中酸性岩体内部及其与围岩的接触带,钼矿成矿与钙碱性-碱性花岗质岩体侵入密切相关。中国东部钼矿成矿时间主要分布在 190~110 Ma,其中东秦岭和长江中下游地区主要在 140 Ma 左右,燕辽钼成矿带和大兴安岭钼成矿带成矿时间分别在 190~170 Ma 左右和 140~130 Ma,而南岭主要在 170~150 Ma,钼矿成矿很可能与碰撞造山后的伸展背景和(或)太平洋板块俯冲有关。

2 钼矿成岩-成矿时差

2.1 数据收集

文章中收集的钼矿床成岩-成矿年龄数据主要为与岩浆活动密切相关的斑岩型、斑岩-矽卡岩型、矽卡岩型和石英脉型等钼矿床。目前,因 Re-Os 同位素体系封闭性好,受后期改造微弱(Stein et al.,2001),对于钼矿床,国内外将辉钼矿 Re-Os 法作为最主要的成矿测试方法。本文中收集的数据绝大部分为该方法年龄(59 个/62 个),对于个别矿床则选择了相对可靠的石英流体包裹体⁴⁰Ar/³⁹Ar 法年龄。对与成矿有关的花岗质岩石年龄,选取以 SHRIMP 锆石 U-Pb 法和单颗粒锆石 U-Pb 法为主(28 个/44 个),也选择了部分可靠的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其他方法的测试数据。对于中生代以前形成的钼矿床,本文未选用其成岩-成矿年龄做时差统计,一是中生代以前形成的钼矿床报道的年龄数据极少,且易受后期地质改造或成矿叠加的影响;二是目前测年方法在古老矿床定年中的应用有相当的局限性,如 K-Ar、Ar-Ar 法中 Ar 的丢失、体系封闭温度低,锆石 U-Pb 体系表层放射性成因铅的扩散等原因。如元古宙形成的山西铜矿峪钼矿床通过锆石 U-Pb 法获得成岩年龄为 2 166~2 145 Ma(孙大中等,1991),而

辉钼矿 Re-Os 法测得成矿年龄为 $2\ 140\sim 2\ 076\ \text{Ma}$ (黄典豪等,1996),时差为 $5\sim 90\ \text{Ma}$,误差范围较大;另外,对于黑龙江多宝山铜钼矿床,与成矿密切相关的花岗闪长岩体采用 K-Ar 法或全岩 Rb-Sr 法获得的年龄为 $310\sim 293\ \text{Ma}$ (杜琦等,1988),而辉钼矿 Re-Os 法测得成矿年龄为 $506\ \text{Ma}$ (赵一鸣等,1997a),成岩-成矿时间存在很大争议。中生代形成的钼矿床成岩-成矿年龄认识相对较统一,因此是时差研究较理想的选择对象。中国东部一些比较典型的钼矿床和相关岩体的同位素测年数据见表 1。

2.2 数据筛选

与钼矿床成矿有关的同源岩体可分为 2 种情况:①成矿流体与成矿物质是矿床内花岗质岩类的岩浆期后分异产物,②与花岗质岩浆均来自深部的同一岩浆区(谭俊等,2006)。

首先选取典型矿床,并通过其成岩-成矿的关系进行判断是否同源。如:卢欣祥等(2002)、黄典豪等(1984)、朱赖民等(2008)通过对东秦岭金堆城超大型钼矿床的岩、矿石微量元素和稀土元素分布特征、 Pb 、 S 、 Sr 、 O 等同位素组成对比研究,并结合成岩-成矿年代,认为钼成矿与花岗斑岩侵入直接相关;对于吉林大黑山超大型钼矿床,王成辉等(2009a)通过岩、矿石稀土元素配分曲线、 Re 含量和成岩-成矿年龄一致,认为钼成矿与花岗闪长斑岩密切相关;对于城门山大型钼矿床,孟良义等(1988)、黄恩邦等(1990)、罗建安等(2007)相继根据岩体与矿体的接触关系和空间产状、成矿元素的分布特征、黄铁矿的 Co/Ni 和 S/Se 比值及 Sr 、 Pb 、 S 、 H 、 O 、 C 等同位素对比,认为城门山钼矿床的成矿物质和成矿流体均来源于岩浆岩,成岩与成矿物质具有同源性。

其次,数据收集时也综合考虑了成矿时间的可比性和不同测年方法的精确性,选择研究程度较深入且被公认可靠性较高的年龄值。如辽西兰家沟大型钼矿床,申永治(1989)采用全岩 Rb-Sr 法测得成岩年龄 $154\ \text{Ma}$,而代军治等(2008)采用高精度的锆石 SHRIMP U-Pb 法测得成岩年龄 $188.9\ \text{Ma}$,黄典豪等(1996)采用辉钼矿 Re-Os 法测得成矿年龄 $186.5\ \text{Ma}$,显然, $188.9\ \text{Ma}$ 的成岩年龄更接近成矿年龄,因此将 $188.9\ \text{Ma}$ 作为成岩年龄做时差统计更可靠;同样,对于豫西雷门沟超大型钼矿床,胡受奚等(1988)通过 K-Ar 法获得成岩年龄为 $99.3\sim 88.4\ \text{Ma}$,而李永峰等(2006)通过锆石 SHRIMP U-Pb 法测得成岩年龄为 $136.2\ \text{Ma}$,辉钼矿 Re-Os 法测得成

矿年龄为 $132.4\ \text{Ma}$,且与东秦岭钼大规模成矿于晚侏罗世和早白垩世之交的地质背景相一致,显然采用 $136.2\ \text{Ma}$ 更加符合事实。

另外,考虑到个别钼矿床的成岩与成矿时差太大,不符合地质事实,如内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床($28\ \text{Ma}$)、河北寿王坟(钼)矿床($-18\ \text{Ma}$),应预先剔除。

2.3 数据统计

从钼矿成岩年龄与成矿年龄直方图中(图 2)可以看出,整个中国东部与钼成矿相关的成岩年龄集中在 $160\sim 155\ \text{Ma}$ 和 $145\sim 135\ \text{Ma}$ 两个时间段;相应成矿年龄集中在 $155\sim 150\ \text{Ma}$ 和 $145\sim 130\ \text{Ma}$ 两个时间段,反映出中国东部钼矿成矿具有两次高峰期。第一阶段成岩-成矿的总体时差为 $0\sim 10\ \text{Ma}$,第二阶段成岩-成矿的总体时差为 $0\sim 15\ \text{Ma}$ 。

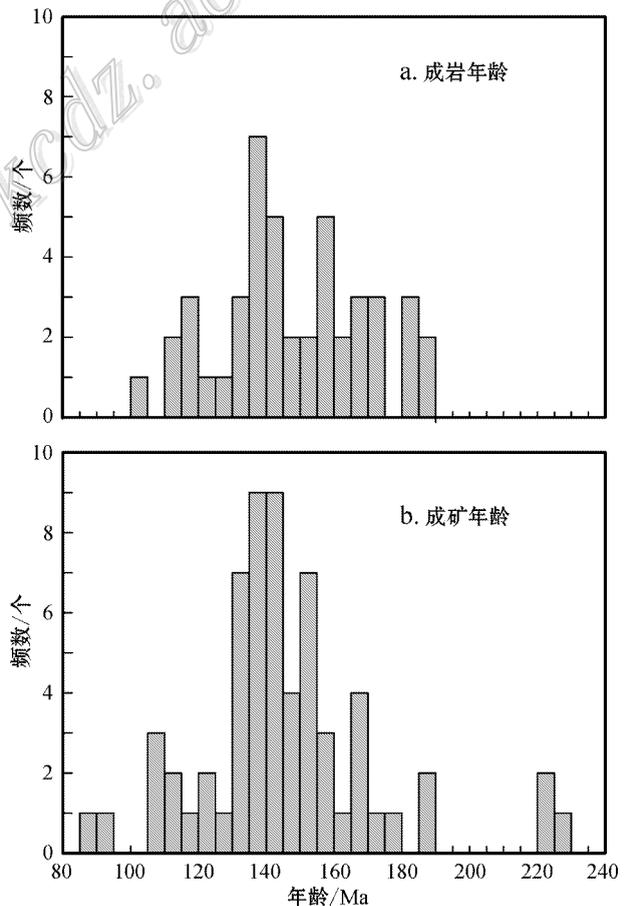


图 2 中国东部钼矿床成岩年龄 (a) 与成矿年龄 (b) 分布直方图 (数据自表 1)

Fig. 2 Isotopic ages histogram of magmatism (a) and mineralization (b) of Mo deposits in East China (data from Table 1)

单个钼矿床的成岩-成矿时差数据(表1)表明,钼矿床的成矿时间同步或略滞后于同源岩浆活动,平均时差介于零到十几个百万年。另外,部分钼矿床的成岩-成矿时差出现了负值(即成矿早于成岩),如:东秦岭东沟钼矿床(-4 Ma)、内蒙古乌兰德钼铜多金属矿床(-2.7 Ma),负值部分应当不具实际地质意义,可能由测量方法、测试误差或测试对象的同位素封闭程度所引起。时差-成矿年龄散点图(图3)显示,钼矿床成岩-成矿时差一般不超过16 Ma,集中在0~14 Ma。时差数据统计直方图(图4)同样显示,单个钼矿床与同源岩体的时差集中于0~14 Ma,时差平均值为4.1 Ma。

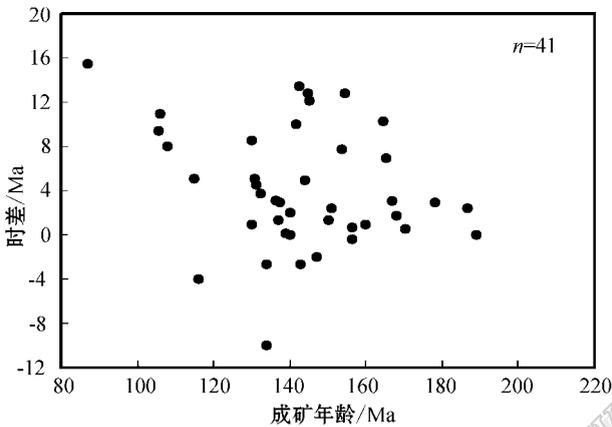


图3 钼矿床成岩成矿时差-成矿年龄分布图(数据来自表1)
Fig. 3 Diagram of magmatism-mineralization time difference and mineralization ages for comagmatic Mo deposits (data from Table 1)

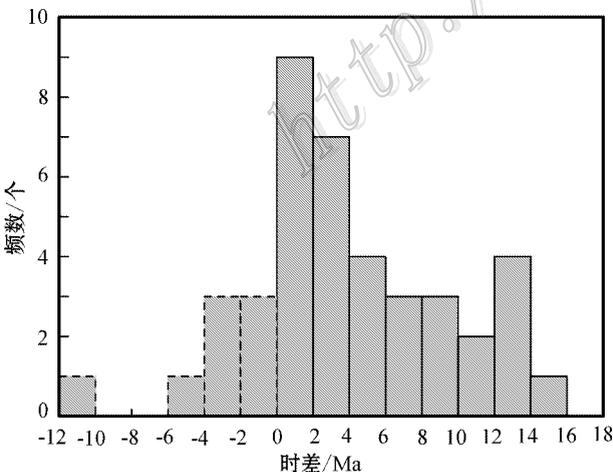


图4 钼矿床成岩成矿时差直方图(数据来自表1,虚线部分为负值,无地质意义)

Fig. 4 Histogram of diagenesis-mineralization time difference for comagmatic Mo deposits (data from Table 1, broken line part has no geological significance)

另外,笔者针对不同类型的钼矿床成岩-成矿时差进行了初步统计(见表1),时差平均值有所不同。斑岩型钼矿床时差平均值为3.3 Ma;斑岩-矽卡岩型(或矽卡岩-斑岩型)钼矿床时差平均值为3.9 Ma;矽卡岩型钼矿床时差平均值为6.6 Ma;石英脉型钼矿床时差平均值为8.7 Ma。

2.4 时差讨论

根据以上统计,初步确定中国东部钼矿成矿高峰的两个阶段成岩-成矿时差分别为0~10.0 Ma和0~15.0 Ma。对于单个钼矿床,则将与岩浆密切相关的钼矿床成岩-成矿时差限定在0~14.0 Ma,平均约为4.1 Ma。尽管也有学者认为,单一侵入体所引起的热液活动最长时间<1.0 Ma (Cathles et al., 1997),但在目前的定年测试条件下,笔者认为,成岩-成矿年龄要精确到1.0 Ma还有困难,而且在地质问题的讨论上也没有太大的实际意义。

另外,考虑到钼矿化一般与花岗岩类小岩株有关,对于一个30 km²的隐伏岩体(埋深在1~2 km以下),从800℃的岩浆冷却到岩体中心为600℃时,其冷凝时间通常仅需7.2~10.0 Ma (沈福农,1993;马昌前等,1994);同时对一个大型、超大型钼矿床的形成,往往具有多期次或多阶段成矿的特征,即在上部小岩株侵位、冷凝、收缩产生裂隙的同时,由于构造-脉动作用使之与下部岩浆联系一直未中断,岩浆房继续分异,同时岩体与围岩接触带构造断裂加剧,从而成为含钼热流体源源不断上升的通道,促成大型、超大型钼矿床各阶段各类矿化的发展、叠加、富集。如东秦岭的南泥湖和上房沟两个超大型钼矿床的成岩-成矿时差较大(12~14 Ma),笔者认为有两种可能,一是一个超大型钼矿床的形成需要多期次多阶段的岩浆活动,持续时间较长;二是从测试的辉钼矿采样位置看,南泥湖为条带状角岩,上房沟为接触带外侧(Li et al., 2004a),都应是岩浆热液运移后期作用形成的辉钼矿,测年反映的时间会偏晚些。

钼矿化温度(一般240~450℃)低于花岗岩类冷凝封闭温度(一般>600℃),说明钼矿床中同源岩体与矿床形成的年龄差是客观存在的。时差获取的关键还是成岩-成矿年龄的准确测定及对矿床成因的正确把握。本文中收集的成矿年龄绝大多数是通过辉钼矿 Re-Os 法测得的,成岩年龄多采用锆石 U-Pb 法以及⁴⁰Ar/³⁹Ar 法,运用这些方法得到的就是直接的成岩、成矿年龄,两者差值反映的是矿床的真时差。另外,笔者还综合考虑了岩体与成矿的同源性、

区域地质背景和成矿时间的可比性及单个矿床年代学数据的可靠性,从多方面来厘定同源岩浆成因钼矿床的时差。

因此有理由相信,大型、超大型同源岩浆钼矿床的成岩-成矿时差可以达到 14.0 Ma,至少可以认为,在同一构造背景条件下,若成岩与成矿存在着 ≤ 14.0 Ma 时差,就应该重视两者之间的联系(岩浆期后热液成矿与深部同源成矿均有可能),并结合微量元素和同位素示踪进一步揭示其成因关系;而当成岩与成矿存在着 > 14.0 Ma 时差时,就可以排除矿床与岩体的直接成因联系,只能将岩体作为容矿围岩来理解,但其也可能提供部分成矿物质。笔者同时认为,鉴于以时差 14.0 Ma 为判别标准的特殊性和笼统性,建立以侵位面积(≤ 30 km²)和埋深(≤ 2 km)为二维限定的岩浆热液消时,再根据该时限判断成岩与成矿关系的研究工作,在钼矿床的时差讨论中应具有重要的理论和实践意义。

谭俊等(2006)曾研究过金矿床成岩-成矿时差,时差平均值为 7.4 Ma,而笔者此次获得的钼矿床成岩-成矿时差平均值为 4.1 Ma,很可能是钼矿化温度一般属于高温和中高温,且在岩体内部或接触带,而金矿化温度属于中低温,且多在岩体外侧或围岩裂隙中,成矿热液冷却沉淀致矿的时间不同所造成的,当然也不能排除现今采用了更为先进的测年手段和本文中选用的精确数据较多的因素。

笔者此次对不同类型的钼矿床成岩与成矿时差进行的初步统计显示,斑岩型、斑岩-矽卡岩型、矽卡岩型、石英脉型钼矿床时差平均值依次为 3.3 Ma、3.9 Ma、6.6 Ma、8.7 Ma,表明从斑岩型→斑岩-矽卡岩复合型→矽卡岩型→石英脉型钼矿床,成岩-成矿时差呈递增趋势,这恰与含矿的岩浆热液从岩体内部→岩体与围岩接触带→围岩裂隙的迁移规律等客观地质事实相吻合。因此,从不同类型钼矿床总结出来的时差规律有望作为钼矿床类型的一个重要参考指标,并对于确定钼矿床成因以及指导进一步找矿勘查也具有指示意义。然而,由于现今各类型钼矿床的同位素数据还不够充分,这个规律还有待进一步的验证。随着同位素地质年代学的进一步完善,钼矿床研究的进一步深入及更多高精度数据的出现,有关钼矿床成岩-成矿时差的厘定将会更加具体,从而确定出更为符合客观事实的时差规律。

3 结论与建议

通过对中国东部钼矿成矿构造背景及成岩-成矿时差统计的讨论,得出以下结论:

(1)中国东部中生代属滨太平洋成矿域,钼矿床多沿不同构造单元的交界部位及区域性深大断裂带呈带状分布,集中分布在东秦岭、燕辽、长江中下游、南岭和大兴安岭等钼矿成矿带,各个钼成矿带的成矿很可能与碰撞造山后的伸展背景和(或)太平洋板块俯冲有关;

(2)钼成矿同步或略滞后于同源岩浆活动,中国东部整个钼矿成矿高峰的 2 个阶段成岩-成矿时差分别为 0~10.0 Ma 和 0~15.0 Ma;对于单个钼矿床,其成岩-成矿时差集中在 0~14.0 Ma,均值为 4.1 Ma;从斑岩型→斑岩-矽卡岩型→矽卡岩型→石英脉型钼矿床,成岩-成矿时差呈递增趋势,这恰与岩浆热液成矿过程的客观地质事实相吻合。

目前,关于钼矿成矿背景及成岩-成矿的研究主要集中在燕山期成矿的东秦岭,其他地区研究程度相对较低,许多钼矿床还未有相关的同位素测年数据,主要原因是矿床年代学研究的不完善以及对其他时期和其他地区成矿的重视程度还不够。为此,笔者对钼矿成矿研究提出了以下建议:

(1)应加强对不同地区和不同时期钼矿床的成矿地质背景、岩石化学、同位素地质学和年代学等多方面的综合研究。中国钼矿成岩-成矿表现出了明显的时域分布特征,即中国东部地区钼成矿集中在中生代的燕山期,而西北地区,钼成矿主要集中在海西期,西南地区则集中在喜马拉雅期。任何矿床的形成都是区域构造-岩浆演化综合作用的结果,因此,应加强综合研究,探讨钼矿成矿规律及其成矿背景,进而指导钼矿的找矿勘查;

(2)重视对同一矿种不同类型、同一类型不同矿种的矿床以及同一矿床不同成矿期和成矿阶段的时差的研究对比,寻找出与地质事实符合的规律,同时还应结合微量元素和同位素示踪的研究,对矿床成因从年代学和地球化学角度作出合理的解释。

志 谢 数据收集和撰写文章过程中得到了中国地质大学(武汉)资源学院的付乐兵、肖广玲、王磊、石文杰等人的支持和帮助,审稿专家在修改文章中也提出了宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

References

- Ames L, Tilton G R and Zhou G Z. 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites [J]. *Geology*, 21: 339-343.
- Cathles L M, Erendi A H and Barrie T. 1997. How long can a hydrothermal system be sustained by a single intrusive event [J]? *Econ. Geol.*, 92: 766-771.
- Chen J F, Li X M, Zhou T X and Foland K A. 1991. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating for the Yueshan diorite, Anhui Province and the estimated formation time of the association ore deposit [J]. *Geoscience*, 5(1): 91-99 (in Chinese with English abstract).
- Chen J F, Xie Z, Liu S S, Li X M and Foland K A. 1995. Cooling age of Dabie Orogen, China, determined by $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ and fission track techniques [J]. *Science in China (Series B) (English Edition)*, 38: 749-757.
- Chen J F, Yan J, Xie Z, Xu X and Xing F M. 2001. Nd and Sr isotopic compositions of igneous rocks from the Lower Yangtze region in eastern China: Constraints on sources [J]. *Physics and Chemistry of the Earth (A)*, 26: 719-731.
- Chen Z G, Zhang L C, Wu H Y, Wan B and Zeng Q D. 2008. Geochemistry study and tectonic background of A style host granite in Nianzigou molybdenum deposit in Xilamulun molybdenum metallogenic belt, Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 879-889 (in Chinese with English abstract).
- Dai J Z, Mao J W, Yang F Q, Ye H S, Zhao C S, Xie G Q and Zhang C Q. 2006. Geological characteristics and geodynamic background of molybdenum (copper) deposits along Yanshan-Liaoning metallogenic belt on northern margin of North China block [J]. *Mineral Deposits*, 25(5): 598-612 (in Chinese with English abstract).
- Dai J Z, Mao J W, Du A D, Xie G Q, Bai J, Yang F Q and Qu W J. 2007. Re-Os dating of molybdenite from the Xiaojiayingzi Mo (Fe) deposit in western Liaoning and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(7): 917-923 (in Chinese with English abstract).
- Dai J Z, Mao J W, Zhao C S, Li F R, Wang R T, Xie G Q and Yang F Q. 2008. SHRIMP zircon U-Pb age and petrogeochemical features of the Lanjiagou granite in western Liaoning Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(11): 1555-1564 (in Chinese with English abstract).
- Dai L D, Zhang Y P and Song Y C. 2008. The geologic characteristic and mineralization pattern of the Lanjiagou molybdenum mine [J]. *Non-Ferrous Mining and Metallurgy*, 24(6): 4-7 (in Chinese with English abstract).
- Davis G A, Wang C, Zheng Y D, Zhang J J, Zhang C H and Gehrels G E. 1998. The enigmatic Yinshan fold and thrust belt of northern China: New views on its intraplate contractional styles [J]. *Geology*, 26(1): 43-46.
- Davis G A, Zheng Y D, Zhang C H and Xu B. 2001. The Mesozoic Fengning-Longhua and Jiaoqier fault zone, North China: New interpretations of controversial structures [J]. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 33(3): 49.
- Deng J F, Zhao H L, Mo X X, Wu Z X and Luo Z H. 1996. The root-plume tectonics of China continental: Key to the continental dynamics [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-110 (in Chinese).
- Du Q and Zhao Y M. 1988. Porphyry copper deposit in Duobaoshan [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-74 (in Chinese).
- Duan H C, Qin Z Y, Lin X H, Zhang B H, Liu X W, Zhang X, Guo P Z, Han F, Qin L and Dai J Z. 2007. Zircon U-Pb ages of intrusive bodies in Dacaping molybdenum ore district, Fengning County, Hebei Province [J]. *Mineral Deposits*, 26(2): 634-642 (in Chinese with English abstract).
- Fan W M, Guo F, Wang Y J and Ge L. 2003. Late Mesozoic calcalkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 121: 115-135.
- Guo J. 2009. Geological characteristic and origin of Mo deposit in Huojiahe, Heilongjiang Province (master candidate paper [D]. Supervisor: Yang Y C and Li Q. Changchun: Jilin University. 38p (in Chinese with English abstract).
- Ge W C, Wu F Y, Zhou C Y and Zhang J H. 2005. Zircon U-Pb ages and its significance of the Mesozoic granites in the Wlanhaote region, central Da Hinggan Mountain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 749-762 (in Chinese with English abstract).
- Ge W C, Wu F Y, Zhou C Y and Zhang J H. 2007. Porphyry Cu-Mo deposits in the eastern Xing'an-Mongolian orogenic belt: Mineralization ages and their geodynamic implications [J]. *Chinese Science Bulletin (English Edition)*, 52(24): 3416-3427.
- Guo B J, Mao J W, Li H M, Qu 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).
- Guo W K, Liu M G, Wang Y Q and Liu L S. 1987. Instructions of metallogenic map of endogenous metallic ore deposits in China [M]. Beijing: Cartographic Pub. House. 1-72 (in Chinese).
- Hu S X, Lin Q L and Chen Z M. 1988. Geology and mineralization of North and South China blocks suture [M]. Nanjing: Nanjing University Press. 442-488 (in Chinese).
- Hu S X, Hu Z H, Guo J C, Ji H Z, Lu B and Sun Y D. 1991. Petrogenesis and metallogenesis of granitoids in East China in relation to their tectonic settings [J]. *Mineral Deposits*, 10(2): 97-106 (in Chinese with English abstract).
- Hu S X, Zhao Y Y, Hu Z H, Guo J C and Xu B. 1994. Evolution and development of tectonics and magmatism at the active continental margin of the East China during Mesozoic and Cenozoic [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 10(4): 370-381 (in Chinese with English abstract).
- Hu S X, Ye Y Y, Zhao Y Y and Liu H Y. 1995. The Mesozoic tectonic setting of north China platform and its relation to hydrothermal metallogenesis [J]. *Geological Journal of Universities*, 1(2): 58-66

- (in Chinese with English abstract).
- Hu S X, Sun J G, Ling H F, Ye Y, Zhai J P and Fang C Q. 2001. Genetic relationship between eclogite, lamprophyre, gold deposit and enriched mantle of Su-Lu active continental margin in the Mesozoic, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(3):425-435(in Chinese with English abstract).
- Huang B and Liu X S. 1989. Stable isotope studies of the Xiaoshigou porphyry-type molybdenum(copper) ore deposit, Pingquan County, Hebei Province [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 4(4):55-61(in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Nie F J, Wang Y C and Jiang X J. 1984. Lead isotope compositions of molybdenum deposits in East Qinling as applied to the problem of ore sources [J]. *Mineral Deposits*, 3(4):20-28(in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Wu C Y, Du A D and He H Q. 1994. Re-Os ages of molybdenum deposits in East Qinling and their significance [J]. *Mineral Deposits*, 13(3):376-381(in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Du A D, Wu C Y, Liu L S, Sun Y L and Zou X Q. 1996. Metalochronology of molybdenum(copper) deposits in the north China platform: Re-Os age of molybdenite and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 15(4):365-373(in Chinese with English abstract).
- Huang E B, Zhang N T and Luo Z S. 1990. The genesis of the Chengmenshan and Wushan copper deposits [J]. *Mineral Deposits*, 9(4):291-300(in Chinese with English abstract).
- Jiang G Y and Quan H. 1988. Mesozonic volcanic rock of Genhe and Hailaer basins in Daxing'anling [J]. *Bulletin of Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences*, 3:23-100(in Chinese).
- Jiao J G, Yuan H C, He K, Sun T, Xu G and Liu R P. 2009. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the Balipo porphyry Mo deposit in East Qinling, China, and its geological implication [J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(8):1159-1166(in Chinese with English abstract).
- Jin Y F, Zhang Z L and Kou X F. 2004. The Mo ore-forming and geological features in the middle west, Yanbian area [J]. *Jilin Geology*, 23(3):53-59(in Chinese with English abstract).
- Li H Y, Mao J W, Sun Y L, Zou X Q, He H N and Du A D. 1996. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit [J]. *Geological Review*, 42(3):261-267(in Chinese with English abstract).
- Li H M, Ye H S, Mao J W, Wang D H, Chen Y C, Qu W J and Du A D. 2007. Re-Os dating of molybdenites from Au(Mo) deposits in Xiaqingling gold ore district and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 26(4):417-424(in Chinese with English abstract).
- Li J W, Zhao X F, Zhou M F, Vasconcelos P and Ma C Q. 2008. Origin of the Tongshankou porphyry-skarn Cu-Mo deposit, eastern Yangtze craton, Eastern China: Geochronological, geochemical, and Sr-Nd-Hf isotopic constraints [J]. *Mineralium Deposita*, 43:315-336.
- Li J W, Zhao X F, Zhou M F, Ma C Q, Souza Z S and Vasconcelos P. 2009. Late Mesozoic magmatism from the Daye region, eastern China: U-Pb ages, petrogenesis, and geodynamic implications [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 157:383-409.
- Li J Y. 2001. The collision time and way of Yangtze block and Sino-Korea block: Evolution of sediment environment at Yangtze Mid-Lower Valley during Sinian-Jurassic [J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(1):25-34(in Chinese with English abstract).
- Li L X, Song Q H, Wang D H, Wang C H, Qu W J, Wang Z G, Bi S Y and Yu C. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Fu'anpu molybdenum deposit of Jilin Province and discussion on its metallogenesis [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3):283-287(in Chinese with English abstract).
- Li S G, Hart S R and Zheng S G. 1989. The collision time of North China Plate and South China Plate: Evidence from Sm-Nd ages [J]. *Science in China(Series B)*, 19(3):312-319(in Chinese).
- Li X H, Li W X and Li Z X. 2007. On the genetic classification and tectonic implications of the early Yanshanian granitoids in the Nanling range, South China [J]. *China Science Bulletin(English Edition)*, 52(14):1873-1885.
- Li Y J, Wei J H, Yao C L, Yan Y F, Tan J, Fu L B, Pan J B and Li Wei. 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and tectonic significance of the Shipingchuan granite in Southeastern Zhejiang Province, SE China [J]. *Geological Review*, 55(5):673-684(in Chinese with English abstract).
- Li Y F, Mao J W, Guo B J, Shao Y J, Fei H C and Hu H B. 2004a. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu Mo(W) ore-field in the eastern Qinling and its geodynamic process [J]. *Acta Geologica Sinica(English Edition)*, 78(2):463-470.
- Li Y F, Wang C Q, Bai F J and Song Y L. 2004b. 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, Wang 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).
- Li Z L, Hu R Z, Peng J T, Bi X W and Li X M. 2006. Helium isotopic geochemistry of ore-forming fluids tin deposit in Hunan Province, China [J]. *Resource Geology*, 56(1):9-16.
- Lin Q, Ge W C, Wu F Y, Sun D Y and Cao L. 2004. Geochemistry of Mesozoic granites in Da Hinggan Ling ranges [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3):403-412(in Chinese with English abstract).
- Liu H Y, Hu S X and Zhou S Z. 1998. A study of rock controlling and

- ore controlling role of the Machaoying fault in western Henan [J]. *Mineral Deposits*, 17 (1): 70-81 (in Chinese with English abstract).
- Liu J, Mao J W, Ye H S, Xie G Q, Yang G Q and Zhang W. 2008a. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Hukeng granite in Wugongshan area, Jiangxi Province and its geochemical characteristics [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (8): 1819-1822 (in Chinese with English abstract).
- Liu J, Ye H S, Xie G Q, Yang G Q and Zhang W. 2008b. Re-Os dating of molybdenite from the Hukeng tungsten deposit in the Wugongshan area Jiangxi province and its geological implication [J]. *Acta Geologica Sinica*, 82 (11): 1572-1579 (in Chinese with English abstract).
- Liu W Z. 1984. Geologic characteristics of Xingluokeng Mo deposit, Fujian Province [A]. In: Yu H Z, ed. *Proceedings of symposium on tungsten geology* [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 105-114 (in Chinese).
- Liu Y C, Fu Z G, Gao F, Jin Y H and Zhao Y L. 2006. Geological character research of ore-forming mother-rock of Nannihu oversize molybdenum ore deposit of Luanchuan in Henan [J]. *China Molybdenum Industry*, 30 (3): 13-17 (in Chinese with English abstract).
- Lu J J, Hua R M and Yao C L. 2005. Re-Os age for molybdenite from the Dexing porphyry Cu-Au deposits in Jiangxi Province, China [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69 (Suppl. A): 882.
- Lu Q T, Hou Z Q, Yang Z S and Shi D N. 2005. Underplating in the middle-lower Yangtze valley and model of geodynamic evolution: Constraints from geophysical data [J]. *Science in China (Series D) (English Edition)*, 48 (7): 985-999.
- Lu X X. 1984. The basic geological features of the porphyry copper (molybdenum) deposit in Qiushuwan: A typical syntectonic granite deposit [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 4: 33-42 (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).
- Lu Y F, Ma L Y, Qu W J, Mei Y P and Chen X Q. 2006. U-Pb and Re-Os isotope geochronology of Baoshan Cu-Mo polymetallic ore deposit in Hunan Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (10): 2483-2492 (in Chinese with English abstract).
- Luo J A and Yang G C. 2007. Geological characteristics of Chengmenshan copper deposit, Jiangxi and its ore genesis [J]. *Mineral Resources and Geology*, 21 (3): 284-288 (in Chinese with English abstract).
- Luo J C, Chen Z H and Qu W J. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Shankou molybdenum deposit in Yongding County of Fujian Province and its geological significance [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28 (3): 254-258 (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. Mo deposits in China [M]. Zhengzhou: Henan Scientific and Technical Publishing House. 1-45 (in Chinese).
- Lv X B, Yao S Z and Lin X D. 1992. The geological characteristics and ore-forming mechanism of Tongshankou skarn-porphyry composite type of copper (molybdenum) ore deposit, Hubei Province [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 17 (2): 171-180 (in Chinese with English abstract).
- Ma C Q, Yang K G and Tang Z H. 1994. Granitoid magma dynamics [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 97-99 (in Chinese).
- Ma L Y, Lu Y F, Qu W J and Fu J M. 2007. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in Huangshaping lead-zinc deposit, southeast Hunan, and its geological implication [J]. *Mineral Deposits*, 26 (4): 425-431 (in Chinese with English abstract).
- Man F S and Wang X S. 1988. Study on the isotope geochronology of Yangchuling porphyry type of tungsten and molybdenum deposit [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2 (3): 61-67 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li H Y, Wang D H and Peng C. 1998. Ore-forming of Mesozoic polymetallic deposits in south China and its relationship with mantle plume [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 17 (2): 130-133 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W and Wang Z L. 2000. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in east China [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 19 (4): 403-405 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z H, Yu J J, Wang Y T and Niu B G. 2003. Mesozoic tectonic setting of large scale ore-forming in East China and adjacent areas: Revealed by precise ages of metallic deposits [J]. *Science in China (Series D)*, 33 (4): 289-299 (in Chinese).
- Mao J W, Stein H, Du A D, Zhou T F, Mei Y X, Li Y F, Zang W S and Li J W. 2004a. Molybdenite Re-Os precise dating for molybdenite from Cu-Au-Mo deposits in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River belt and its implications for mineralization [J]. *Acta Geologica Sinica*, 78 (1): 121-131 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Li X F, Zhang C Q and Mei Y X. 2004b. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China [J]. *Earth Science Frontiers*, 11 (1): 45-55 (in Chinese with English abstract).
- 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 setting [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (1): 169-188 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L and Chen Y C. 2007. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nanling region, South China: Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23 (10): 2329-2338 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L, Yuan S D, Cheng Y B and Chen Y C. 2008. Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings [J]. *Geological Journal*

- of China Universities , 14 (4) : 510-526(in Chinese with English abstract).
- Mei Y X , Mao J W , Li J W and Du A D. 2005. Re-Os dating of molybdenite from stratiform skarn orebodies in the Datuanshan copper deposit , Tongling , Anhui province , and its geological significance [J]. Acta Geoscientica Sinica , 26 (4) : 327-331(in Chinese with English abstract).
- Meng L Y and Huang E B. 1988. The stable isotopic geology of copper , molybdenum ore deposits in Chengmenshan Jiangxi [J]. Journal of Jiling University (Earth Science Edition) , 18 (3) : 269-276(in Chinese with English abstract).
- Meng Q R and Zhang G W. 1999. Timing of collision of the North and South China blocks : Controversy and reconciliation [J]. Geology , 27 (2) : 123-126.
- Meng X J , Hou Z Q , Dong G Y , Liu J G , Qu W J , Yang Z S , Zuo L Y , Wan L J and Xiao M Z. 2007. The geological characteristics and Re-Os isotope age of molybdenite of the Xiongjiashan molybdenum deposit , Jiangxi Province [J]. Acta Geologica Sinica , 81 (7) : 946-950(in Chinese with English abstract).
- Nie F J , Zhang W Y , Du A D , Jiang S H and L Y. 2007. Re-Os isotopic dating on molybdenite separates from the Xiaodonggou porphyry Mo deposit , Hexigten Qi , Inner Mongolia [J]. Acta Geologica Sinica , 81 (7) : 899-905(in Chinese with English abstract).
- Pei T C , Zhong S R , Liu S and Li G C. 1994. Metallogenic series and model in Dabaoshan-Xueshanzhang area , North Guangdong Province [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research , 9 (4) : 48-58(in Chinese with English abstract).
- Pan Y M and Dong P. 1999. The Lower Changjiang (Yangzi / Yangtze River) metallogenic belt , East China : Intrusion and wall rock-hosted Cu-Fe-Au , Mo , Zn , Pb , Ag deposits [J]. Ore Geology Reviews , 15 (4) : 177-242.
- Pei R F , Mei Y X , Mao J W , Li J W , Fu X J and Gong Y F. 2008. Mesozoic mineralization in China [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 227-229(in Chinese).
- Qin K Z , Li H M , Li W S and Ishihara S. 1999. Intrusion and mineralization ages of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit , Inner Mongolia , northwestern China [J]. Geological Review , 45 (2) : 180-185(in Chinese with English abstract).
- Ren J S , Niu B G , He Z J , Xie G L and Liu Z G. 1998. Tectonic framework and geodynamics evolution of eastern China [A]. In : Ren J S and Yang W R , ed. Composition , structure , evolution and environment of continental lithosphere of China [M]. Beijing : Atomic Energy Press. 1-12(in Chinese).
- Shao J A , Zhang L Q and Mu B L. 1999. Magmatism in the mesozoic extending orogenic process of Da Hinggan Mountains [J]. Earth Science Frontiers , 6 (4) : 339-346(in Chinese with English abstract).
- Shao J A , Liu F T , Chen H and Han Q J. 2001. Relationship between mesozoic magmatism and subduction in Da Hinggan-Yanshan Area [J]. Acta Geologica Sinica , 75 (1) : 56-63(in Chinese with English abstract).
- Shao J D , Wang S G , Zhao W T , Jia H Y , Wang X L , Zhang M and Ren Y P. 2007. Geological characteristics and prospecting potential in Daxinganling region [J]. Geology and Resources , 16 (4) : 252-256(in Chinese with English abstract).
- Shao K Z and Wang B D. 1986. Discussion on the magmatism and the mineralization related to the porphyry molybdenum (copper) deposits of Yenshan Epoch in North China [J]. Journal of Shijiazhuang University of Economics , 9 (3) : 207-216(in Chinese with English abstract).
- Shen F N. 1993. Analysis of the relationship between granites and hydrothermal mineralization—three discussions on the deep-source model of hydrothermal mineralization [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 7-8. (in Chinese)
- Shen Y Z. 1989. Studies on chronology of isotopes in molybdenum deposit of Lanjiagou [J]. Liaoning Geology , 4 : 312-320(in Chinese with English abstract).
- Shu Q A , Chen P L and Cheng J R. 1992. Geology of iron-copper deposits in eastern Hubei province , China [M]. Beijing : Metallurgical Industry Press. 1-53(in Chinese).
- Song G X , Qin K Z and Li G M. 2008. Genetic type temporal-spatial distribution and kinetical background of Mo deposits in Middle-Lower Yangtze River [A]. In : Chen Y C , ed. The proceeding of the 9th national conference of mineral deposits , China [C]. Beijing : Geol. Pub. House. 27-28(in Chinese).
- Stein H J , Markey R J , Morgan J W , Du A and Sun Y. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt , Shaanxi Province , China [J]. Econ. Geol. , 92 (3) : 827-835.
- Stein H J , Markey R J , Morgan J W , Hannah J L and Schersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite : How and why it works [J]? Terra Nova , 13 (6) : 479-486.
- Sui Z M , Ge W C , Wu F Y , Zhang J H , Xu X C and Cheng R Y. 2007. Zircon U-Pb ages , geochemistry and its petrogenesis of Jurassic granites in northeastern part of the Da Hinggan Mts [J]. Acta Petrologica Sinica , 23 (2) : 461-480(in Chinese with English abstract).
- Sun D Z , Li H M , Lin Y X , Zhou H F , Zhao F Q and Tang M. 1991. Precambrian geochronology , chronotectonic framework and model of chronocrustal structure of the Zhongtiao Mountains [J]. Acta Geologica Sinica , 65 (3) : 3-7(in Chinese with English abstract).
- Sun H J. Analysis of the main types and mineralogenetic epoch of Dong Qinling molybdenum deposits [J]. 2009. China Molybdenum Industry , 33 (4) : 28-33(in Chinese with English abstract).
- Tan J , Wei J H , Tan W J and Guo D Z. 2006. Statistic study of diagenesis-mineralization time gap for comagmatic gold deposits [J]. Geological Review , 52 (1) : 54-62(in Chinese with English abstract).
- Tao J X , Wang T , Chen Z H , Luo Z Z , Xu L Q , Hao X Y and Cui L W. 2009. The Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Wulandele molybdenum-copper polymetallic deposit in Sonid Zuoqi of Inner Mongolia and its geological significance [J]. Rock and Mineral Analysis , 28 (3) : 249-253(in Chinese with English abstract).

- Wang C H, Song Q H, Wang D H and Li L X. 2009a. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Daheishan molybdenum deposit of Jilin province and its geological significance [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 269-273 (in Chinese with English abstract).
- Wang C H, Wang D H, Chen Z H, Yan C H, Wu Z L, Lin D Y and Liu N Z. 2009b. Geological characteristics and metallogenic epoch of the Lishan molybdenum deposit: A discussion on regional prospecting for Mo in the southeastern coast of China [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 29(1): 63-69 (in Chinese with English abstract).
- Wang C M, Deng J, Zhang S T and Ye H S. 2006. Endogenic metallogenic systems of Nannihu Mo-W-Cu-Pb-Zn-Ag-Au ore-forming area [J]. *Geological Science and Technology Information*, 25(6): 47-52 (in Chinese with English abstract).
- Wang H Z and Mo X X. 1995. An outline of tectonic evolution of China [J]. *Episodes*, 18: 6-16.
- Wang L, Hu M A, Yang Z, Chen K X and Xia J L. 2010. Geochronology and its geological implications of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of granodiorite porphyries in Dabaoshan polymetallic ore deposit, North Guangdong Province [J]. *Earth Science*, 35(2): 175-185 (in Chinese with English abstract).
- Wang L B, Ji K J. 1997. Re-Os isotope ages of molybdenite from the Anjishan copper deposit and the Tongshan copper-molybdenum deposit and their implications [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 16(2): 154-159 (in Chinese with English abstract).
- Wang P J, Liu W Z, Wang S X and Song W H. 2002. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K/Ar dating on the volcanic rocks in the Songliao basin, NE China: Constraints on stratigraphy and basin dynamics [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 91: 331-340.
- Wang Q, Zhao Z H, Jian P, Xu J F, Bao Z W and Ma J L. 2004a. SHRIMP zircon geochronology and Nd-Sr isotopic geochemistry of the Dexing granodiorite porphyries [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 315-324 (in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Zhao Z H, Xu J F, Bai Z H, Wang J X and Liu C X. 2004b. The geochemical comparison between the Tongshankou and Yinzu adakitic intrusive rocks in southeastern Hubei: (delaminated) lower crustal melting and the genesis of porphyry copper deposit [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 351-360 (in Chinese with English abstract).
- Wu C L, Dong S W, Guo H P, Guo X Y, Gao Q M, Liu L G, Chen Q L, Lei M, Wooden J L, Mazadab F K and Mattinson C. 2008. SHRIMP zircon U-Pb dating of intermediate-acid intrusive rocks from Shizishan, Tongling and the deep processes of magmatism [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1801-1812 (in Chinese with English abstract).
- Wu F Y, Sun D Y and Lin Q. 1999. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 181-189 (in Chinese with English abstract).
- Wu F Y, Yang J H, Zhang Y B and Liu X M. 2006. Emplacement ages of the Mesozoic granites in southeastern part of the western Liaoning Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(2): 315-325 (in Chinese with English abstract).
- Wu G, Chen Y J, Sun F Y, Li J C, Li Z T and Wang X J. 2008. Geochemistry of the Late Jurassic granitoids in the northern end area of Da Hinggan Mountains and their geological and prospecting implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 899-910 (in Chinese with English abstract).
- Wu G G, Zhang D, Di Y J, Zang W S, Zhang X X, Song B and Zhang Z Y. 2008. SHRIMP zircon U-Pb dating of the intrusives in the Tongling metallogenic cluster and its dynamic setting [J]. *Science in China (Series D) (English Edition)*, 51(7): 911-928.
- Wu G Y, Ma T Q, Bai D Y, Li J D, Che Q J and Wang X H. 2005. Petrological and geochemical characteristics of granodioritic cryptoplosion breccia and zircon SHRIMP dating in the Baoshan area, Hunan Province [J]. *Geoscience*, 19(2): 198-204 (in Chinese with English abstract).
- Wu L S, Zou X Q. 1997. Re-Os isotopic age study of the Chengmenshan copper deposit, Jiangxi Province [J]. *Mineral Deposits*, 16(4): 376-381 (in Chinese with English abstract).
- Xiao G L, Sun X Y, Wang Q, Liu G C, Yu H T, Li Y J and Pan J B. 2010. Geology and genesis of the Shipingchuan molybdenum deposit, southeastern Zhejiang Province [J]. *Geological Science and Technology Information*, 29(1): 74-79 (in Chinese with English abstract).
- Xie G Q, Mao J W, Li R L, Zhang Z S, Zhao W C, Qu W J, Zhao C S and Wei S K. 2006. Timing of mineralization and geodynamic framework of Cu-Au-Mo(W) deposits from southeastern Hubei province, China: Constraints from Re-Os molybdenite [J]. *Mineral Deposits*, 25(2): 43-52 (in Chinese with English abstract).
- Xie G Q, Zhao H J, Zhao C S, Li X Q, Hou K J and Pan H J. 2009. Re-Os dating of molybdenite from Tonglvshan ore district in southeastern Hubei Province, Middle-Lower Yangtze River belt and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 28(3): 227-239 (in Chinese with English abstract).
- Xu H H, Xiong Z R, Wu S C, Chen Z H and Qu W J. 2009. Geological characteristics and mineralization age of the Longwangpai molybdenum-polymetallic deposit in East Hunan [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 244-248 (in Chinese with English abstract).
- Xu J X, Zeng Z L, Li X Q, Liu J S, Chen Z H, Liu S B, Guo C L and Wang C H. 2007. Geological characteristics and mineralization age of the Tongkengzhang molybdenum deposit in Xunwu County, South Jiangxi Province, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(7): 924-928 (in Chinese with English abstract).
- Xu W X, Li H, Chen M Y, Huang D X, Zhang F T and Wang L M. 2008. Isotope evidence of material sources of the Dabaoshan polymetallic deposit, Guangdong Province [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 29(6): 684-690 (in Chinese with English abstract).
- Xu X C, Lou J W, Lu S M, Xie Q Q, Chu P L and Yin T. 2009. Re-Os ages of molybdenum-lead-zinc polymetallic deposits and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of related magmatic rocks in Yinshan area, Jinzhai, Anhui Province [J]. *Mineral Deposits*, 28(5): 621-632 (in Chinese with English abstract).

- Xu Z G, Chen Y C, Wang D H, Chen Z H and Li H M. 2008. The scheme of the classification of the minerogenetic units in China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 45-47 (in Chinese).
- Yang X Y, Yu L F, Sun W D, Xie J C, Lan X H and Gao Peng. 2008. Discussion on the control from the subduction of Pacific Plate on the mineralization of Cu (Au) in the Middle-Low Yangtze area: Evidences from chronology and geochemistry [A]. In: Chen Y C, ed. The proceeding of the 9th national conference of mineral deposits, China [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 513-516 (in Chinese).
- Yang Z Q. 2007. Re-Os isotopic ages of Tangjiaping molybdenum deposit in Shangcheng county, Henan province and their geological significance [J]. Mineral Deposits, 26 (3): 289-295 (in Chinese with English abstract).
- Yao D X and Zeng L C. 1994. On genesis of Dabaoshan mineral deposits [J]. Acta Scientiarum Naturalium universitatis Sunyatseni, 33 (3): 91-100 (in Chinese with English abstract).
- Yao J M, Hua R M and Lin J F. 2005. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and geochemical characteristics of Huangshaping granite in south-east Hunan province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 21 (3): 688-696 (in Chinese with English abstract).
- Ye H S, Mao J W, Li Y F, Guo B J, Zhang C Q, Liu J 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 (7): 1078-1088 (in Chinese with English abstract).
- Ye H S, Mao J W, Zhao C S, Li Y F, Guo B J, Chai F M, Yan C H and He C F. 2005. Mesozoic Mo-W-Ag-Pb-Zn mineralization in Nannihu area, western Henan Province, China [A]. In: Mao J W and Bierlein F, ed. Mineral deposit research: Meeting the global challenge [C]. Berlin, Germany: Springer. 1205-1208.
- Yin A and Nie S. 1996. A Phanerozoic palinspastic reconstruction of China and its neighboring regions [A]. In: Yin A and Harrison T M, ed. Tectonic evolution of Asia [M]. Cambridge: Cambridge University Press. 442-485.
- Zhai D G, Li J J, Wang J P, Peng R M, Wang S G, Li Y X and Chang Z Y. 2009. Re-Os isotopic chronology of molybdenite from the Taipinggou porphyry-type molybdenum deposit in Inner Mongolia and its geological significance [J]. Geoscience, 23 (2): 262-268 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q and Sun G Y. 1988. Granites in eastern China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 15 (in Chinese).
- Zhang F X, Du X H, Wang W T and Qi Y L. 2004. Mineralization responded to Mesozoic geological evolution of the Qinling Orogen and its environments [J]. Chinese Journal of Geology, 39 (4): 486-495 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Meng Q R and Yu Z P. 1996. Orogenic process and its dynamics of the Qinling Orogen [J]. Science in China (Series D), 26 (3): 193-200 (in Chinese).
- Zhang J F, Zhu Q, Shao J and Jin C Z. 2003. U-Pb age of monomineral zircon of Badaka quartz-diorite in Inner Mongolia and its significance [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 33 (4): 430-433 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J J, Chen Z H, Wang D H, Chen Z Y, Liu S B and Wang C H. 2008. Geological characteristics and metallogenic epoch of the Xingluokeng tungsten deposit, Fujian Province [J]. Geotectonica et Metallogenia, 32 (1): 92-97 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J J, Wu M S, Chen Z H, Liu S B, Li L X, Qiu L M, Wu B, Huang A J and Zhu P J. 2009. Geochronologic study on the Jinzhuping molybdenum polymetallic deposit from Shangrao of Jiangxi Province [J]. Rock and Mineral Analysis, 28 (3): 228-232 (in Chinese with English abstract).
- Zhang K Y, Wang J P, Du A D, Lin Q T, Huang J M, Hu R H and Huang Q M. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Chilu molybdenum deposit in Fu'an, Fujian Province [J]. Geology in China, 36 (1): 147-155 (in Chinese with English abstract).
- Zhang L C, Chen Z G, Zhou X H, Ying J F, Wang F and Zhang Y T. 2007. Characteristics of deep sources and tectonic-magmatic evolution of the early Cretaceous volcanics in Genhe area, Da Hinggan Mountains: Constraints of Sr-Nd-Pb-Hf isotopic geochemistries [J]. Acta Petrologica Sinica, 23 (11): 2823-2835 (in Chinese with English abstract).
- Zhang T, Chen Z Y, Xu L Q and Chen Z H. 2009. The Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Dasuji molybdenum deposit in Zhuozhi county of Inner Mongolia and its geological significance [J]. Rock and Mineral Analysis, 28 (3): 279-282 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z W, Zhu B Q, Chang X Y, Qiang L Z and Wen M X. 2001. Petrogenetic-metallogenetic background and time-space relationship of the East Qinling molybdenum ore belt, China [J]. Geological Journal of China Universities, 7 (3): 307-315 (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. Publ. House. 178-180 (in Chinese).
- Zhang Z Z, Wu C Z, Gu L X, Feng H, Zheng Y C, Huang J H, Li J and Sun Y L. 2009. Molybdenite Re-Os dating of Xintaimen molybdenum deposit in Yanshan-Liaoning metallogenic belt, North China [J]. Mineral Deposits, 28 (3): 313-320 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z L, Zeng Q D, Qu W J, Liu J M, Sun X G, Zhang R B, Chen W J and Qin F. 2009. The molybdenite Re-Os dating from the Ni-anzigou Mo deposit, Inner Mongolia and its geological significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 25 (1): 212-218 (in Chinese with English abstract).
- Zhao L H. 1988. Types of molybdenum ore deposits in the eastern Shandong region and its characteristics of mineralization [J]. Geology of Shandong, 4 (1): 101-112 (in Chinese with English abstract).
- Zhao X F, Li J W and Ma C Q. 2006. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Tongshankou Cu (Mo) deposit in the southeastern Hubei Fe-Cu province: Implications for regional metallogeny [J]. Acta Geologi-

- cal Sinica, 80(6): 849-862(in Chinese with English abstract).
- Zhao X X and Coe R S. 1987. Palaeomagnetic constraints on the collision and rotation of North and South China[J]. Nature, 327: 141-144.
- Zhao Y. 1990. Mesozoic orogenic movement and tectonic evolution of Yanshan area[J]. Geological Review, 36(1): 1-21(in Chinese with English abstract).
- Zhao Y, Xu G, Zhang S H, Yang Z Y, Zhang Y Q and Hu J M. 2004. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia[J]. Earth Science Frontiers, 11(3): 319-328(in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M, Bi C S, Zou X Q, Sun Y L, Du A D and Zhao Y M. 1997a. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Duobaoshan and Tongshan porphyry copper(molybdenum) deposits[J]. Acta Geoscientia Sinica, 18(1): 61-67(in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M and Zhang D Q. 1997b. Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and adjacent regions[M]. Beijing: Seismological Publishing House. 8-156(in Chinese).
- Zhao Z H and Tu G Z. 2003. Superlarge- scale deposits in China (II) [M]. Beijing: Science Press. 523-542(in Chinese).
- Zhao Z H, Bao Z W, Zhang B Y and Xiong X L. 2001. Crust-mantle interaction and its contribution to the Shizhuyuan superlarge tungsten polymetallic mineralization[J]. Science in China(Series D)(English Edition), 44(3): 266-276.
- Zhou H N and He Y J. 1983. Discussion on the characteristics of isotope geology of porphyry molybdenum at Chilu and its source of ore material[J]. Geology of Fujian, 2: 1-12(in Chinese with English abstract).
- Zhou K, Ye H S, Mao J W, Qu W J, Zhou S F, Meng F and Gao Y L. 2009. Geological characteristics and molybdenite Re-Os isotopic dating of Yuchiling porphyry Mo deposit in western Henan Province[J]. Mineral Deposits, 28(2): 170-184(in Chinese with English abstract).
- Zhou T F, Yuan F, Zhang X and Yue S C. 2003. ^{40}Ar - ^{39}Ar fast neutron activation dating of quartz from the Tongniujing vein-type Cu-Mo-Au deposit, Anqing, Anhui Province[J]. Geological Review, 49(2): 212-216(in Chinese with English abstract).
- Zhu H C, Zhang J F and Quan H. 2005. Two stages of Mesozoic lithogenesis and mineralization in Daxing'anling Mountains[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 35(5): 436-442(in Chinese with English abstract).
- Zhu L M, Zhang G W, Guo B and Li B. 2008. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for the large Jinduicheng porphyry Mo deposit in the East Qinling, China, and its metallogenic geodynamical setting [J]. Acta Geologica Sinica, 82(2): 204-220(in Chinese with English abstract).
- Zhu Q W, Lu F X, Xie Y H and Zheng J P. 1997. Volcanic rocks assemblages in active belt of spreading type in continental margin: Study on Mesozoic volcanic rocks around Songliao Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 13(4): 551-562(in Chinese with English abstract).
- stract).
- ### 附中文参考文献
- 陈江峰, 李学明, 周太禧, Foland K A. 1991. 安徽月山岩体的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 及其有关的成矿时代估计[J]. 现代地质, 5(1): 91-99.
- 陈志广, 张连昌, 吴华英, 万博, 曾庆栋. 2008. 内蒙古西拉木伦成矿带碾子沟钼矿区 A 型花岗岩地球化学和构造环境[J]. 岩石学报, 24(4): 879-889.
- 代军治, 毛景文, 杨富全, 叶会寿, 赵财胜, 谢桂青, 张长青. 2006. 华北地台北缘燕辽钼(铜)成矿带矿床地质特征及动力学背景[J]. 矿床地质, 25(5): 598-612.
- 代军治, 毛景文, 杜安道, 谢桂青, 白杰, 杨富全, 屈文俊. 2007. 辽西肖家营子钼(铁)矿床 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 81(7): 917-923.
- 代军治, 毛景文, 赵财胜, 李让, 王瑞廷, 谢桂青, 杨富全. 2008. 辽西兰家沟钼矿床花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及岩石化学特征[J]. 地质学报, 82(11): 1555-1564.
- 代连铎, 张玉平, 宋雨春. 2008. 兰家沟钼矿床地质特征及成矿模式[J]. 有色矿冶, 24(6): 4-7.
- 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 吴宗絮, 罗照华. 1996. 中国大陆根-柱构造-大陆动力学的钥匙[M]. 北京: 地质出版社. 1-110.
- 杜琦, 赵玉明. 1988. 多宝山斑岩铜矿[M]. 北京: 地质出版社. 1-74.
- 段焕春, 秦正永, 林晓辉, 张宝华, 刘学武, 张晓, 郭鹏志, 韩芳, 秦磊, 代军治. 2007. 河北丰宁县大草坪钼矿区岩体锆石 U-Pb 年龄研究[J]. 矿床地质, 26(2): 634-642.
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, 张吉衡. 2005. 大兴安岭中部乌兰浩特地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 岩石学报, 21(3): 749-760.
- 郭嘉. 2009. 黑龙江省霍吉河钼矿床地质特征及成因(硕士学位论文) [D]. 导师: 杨吉辰, 李骞. 长春: 吉林大学. 38 页.
- 郭保健, 毛景文, 李厚民, 屈文俊, 仇建军, 叶会寿, 李孟文, 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): 2341-2348.
- 郭文魁, 刘梦庚, 王永勤, 刘兰笙. 1987. 中国内生金属成矿图说明书 [M]. 北京: 地图出版社. 1-72.
- 胡受奚, 林潜龙, 陈泽铭. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿[M]. 南京: 南京大学出版社. 442-488.
- 胡受奚, 胡志宏, 郭继春, 季海章, 卢冰, 孙治东. 1991. 中国东部花岗岩类的成岩和成矿及其与构造环境的关系[J]. 矿床地质, 10(2): 97-106.
- 胡受奚, 赵亿英, 胡志红, 郭继春, 徐兵. 1994. 中国东部中-新生代活动大陆边缘构造-岩浆作用演化和发展[J]. 岩石学报, 10(4): 370-381.
- 胡受奚, 叶瑛, 赵彭英, 刘红纓. 1995. 华北地台中生代热液成矿的构造环境[J]. 高校地质学报, 1(2): 58-66.
- 胡受奚, 孙景贵, 凌洪飞, 叶瑛, 翟建平, 方长泉. 2001. 中生代苏鲁活动大陆边缘辉岩、煌斑岩、金矿及富集地幔间的成因联系[J]. 岩石学报, 17(3): 425-435.
- 黄标, 刘孝善. 1989. 河北小寺沟斑岩铜矿床稳定同位素研究

- [J]. 地质找矿论丛, 4(4):55-61.
- 黄典豪, 聂凤军, 王义昌, 江秀杰. 1984. 东秦岭钼矿床铅同位素组成特征及成矿物质来源初探[J]. 矿床地质, 3(4):20-27.
- 黄典豪, 吴澄宇, 杜安道, 何红琴. 1994. 东秦岭地区钼矿床的铼-钨年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 13(3):376-381.
- 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 刘兰笙, 孙亚莉, 邵晓秋. 1996. 华北地台北(铜)矿床成矿年代学研究-辉钼矿铼-钨年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 15(4):365-373.
- 黄恩邦, 张乃堂, 罗剑生. 1990. 城门山、武山铜矿成因[J]. 矿床地质, 9(4):291-300.
- 蒋国源, 权恒. 1988. 大兴安岭根河-海拉尔盆地中生代火山岩[J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 3:23-100.
- 焦建刚, 袁海潮, 何克, 孙涛, 徐刚, 刘瑞平. 2009. 陕西华县八里坡钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(8):1159-1166.
- 金艳峰, 张传乐, 寇秀峰. 2004. 延边中西部地区钼矿成矿地质特征[J]. 吉林地质, 23(3):53-59.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚利, 邵晓秋, 何红琴, 杜安道. 1996. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究[J]. 地质论评, 42(3):261-267.
- 李厚民, 叶会寿, 毛景文, 王登红, 陈毓川, 屈文俊, 杜安道. 2007. 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, 26(4):417-424.
- 李锦轶. 2001. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式-长江中下游地区震旦纪-侏罗纪沉积环境的演变[J]. 地质学报, 75(1):25-34.
- 李立兴, 松权衡, 王登红, 王成辉, 屈文俊, 汪志刚, 毕守业, 于城. 2009. 吉林福安堡钼矿中辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及成矿作用探讨[J]. 岩矿测试, 28(3):283-287.
- 李曙光, Hart S R, 郑双根. 1989. 中国华北、华南陆块碰撞时代的 Sm-Nd 同位素年龄证据[J]. 中国科学(B辑), 19(3):312-319.
- 李艳军, 魏俊浩, 姚春亮, 鄢云飞, 谭俊, 付乐兵, 潘锦勃, 李伟. 2009. 浙东南石平川花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及构造意义[J]. 地质论评, 55(5):673-684.
- 李永峰, 王春秋, 白凤军, 宋艳玲. 2004b. 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):571-578.
- 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):292-301.
- 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, 56(1):122-131.
- 林强, 葛文春, 吴福元, 孙德有, 曹林. 2004. 大兴安岭中生代花岗岩类的地球化学[J]. 岩石学报, 20(3):403-412.
- 刘红樱, 胡受奚, 周顺之. 1998. 豫西马超营断裂带的控岩控矿作用研究[J]. 矿床地质, 17(1):70-81.
- 刘珺, 毛景文, 叶会寿, 杨国强, 章伟. 2008a. 江西省武功山地区浒坑花岗岩的锆石 U-Pb 定年及元素地球化学特征[J]. 岩石学报, 24(8):1819-1822.
- 刘珺, 叶会寿, 谢桂青, 杨国强, 章伟. 2008b. 江西省武功山地区浒坑钨矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 82(11):1572-1579.
- 刘文章. 1984. 福建行洛坑钨钼矿床成矿地质特征[A]. 见:余鸿彰, 主编. 钨矿地质讨论会论文集[C]. 北京:地质出版社, 105-114.
- 刘永春, 付治国, 高飞, 靳拥护, 赵雷雷. 2006. 河南栾川南泥湖特大型钼矿床成矿母岩地质特征研究[J]. 中国钼业, 30(3):13-17.
- 卢欣祥. 1984. 一个典型的同熔花岗岩型矿床-秋树湾斑岩铜(钼)矿床基本特征[J]. 矿物岩石, 4:33-42.
- 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.
- 路远发, 马丽艳, 屈文俊, 梅玉萍, 陈希清. 2006. 湖南宝山铜-钼多金属矿床成岩成矿的 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年研究[J]. 岩石学报, 22(10):2483-2492.
- 罗建安, 杨国才. 2007. 江西城门山铜矿地质特征及矿床成因[J]. 矿产与地质, 21(3):284-288.
- 罗锦昌, 陈邦辉, 屈文俊. 2009. 福建省永定山口钼矿辉钼矿铼-钨同位素定年及其地质特征[J]. 岩矿测试, 28(3):254-258.
- 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, 1-452.
- 吕新彪, 姚书振, 林新多. 1992. 湖北大冶铜山口砂卡岩-斑岩复合型铜钼矿床地质特征和成矿机制[J]. 地球科学, 17(2):171-180.
- 马昌前, 杨坤光, 唐仲华. 1994. 花岗岩类岩浆动力学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 97-99.
- 马丽艳, 路远发, 屈文俊, 付建明. 2007. 湖南黄沙坪铅锌多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 26(4):425-431.
- 满发胜, 王小松. 1988. 阳储岭斑岩型钨钼矿床同位素地质年代学研究[J]. 矿产与地质, 2(3):61-67.
- 毛景文, 李红艳, 王登红, 彭聪. 1998. 华南地区中生代多金属矿床形成与地幔柱关系[J]. 矿物岩石地球化学通报, 17(2):130-132.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 王义天, 牛宝贵. 2003. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示[J]. 中国科学(D辑), 33(4):289-299.
- 毛景文, Holly Stein, 杜安道, 周涛发, 梅燕雄, 李永峰, 臧文栓, 李进文. 2004a. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄精测及其对成矿作用的指示[J]. 地质学报, 78(1):121-131.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004b. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 11(1):45-55.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 中国北方中生代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.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 23(10):2329-2338.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 袁顺达, 程彦博, 陈毓川. 2008. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. 高校地质学报, 14(4):510-526.
- 梅燕雄, 毛景文, 李进文, 杜安道. 2005. 安徽铜陵大团山铜矿床层状

- 矽卡岩矿体中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其地质意义[J]. 地球学报, 26(4):327-331.
- 孟良义, 黄恩邦. 1988. 城门山铜、钼矿床的稳定同位素地质[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 18(3):269-276.
- 孟祥金, 侯增谦, 董光裕, 刘建光, 屈文俊, 杨竹森, 左力艳, 万禄进, 肖茂章. 2007. 江西金溪熊家山钼矿床特征及其 Re-Os 年龄[J]. 地质学报, 81(7):946-950.
- 聂凤军, 张万益, 杜安道, 江思宏, 刘妍. 2007. 内蒙古小东沟斑岩型钼矿床辉钼矿-钨同位素年龄及地质意义[J]. 地质学报, 81(7):899-905.
- 裴太昌, 钟树荣, 刘胜, 李光超. 1994. 粤北大宝山-雪山岭地区成矿系列及成矿模式[J]. 地质找矿论丛, 9(4):48-58.
- 裴荣富, 梅艳雄, 毛景文, 李进文, 傅旭杰, 龚羽飞, 胡如全. 2008. 中国中生代成矿作用[M]. 北京:地质出版社. 227-229.
- 秦克章, 李惠民, 李伟实. 1999. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床的成岩、成矿时代[J]. 地质论评, 45(2):180-185.
- 任纪舜, 牛宝贵, 和政军, 谢广连, 刘志刚. 1998. 中国东部的构造格局和动力演化[A]. 任纪舜, 杨巍然, 主编. 中国东部岩石圈结构与构造岩浆演化[M]. 北京:原子能出版社. 1-12.
- 邵济安, 张履桥, 牟保磊. 1999. 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用[J]. 地学前缘, 4(4):339-346.
- 邵济安, 刘福田, 陈辉, 韩庆军. 2001. 大兴安岭-燕山晚中生代岩浆活动与俯冲作用关系[J]. 地质学报, 75(1):56-63.
- 邵积东, 王守光, 赵文涛, 贾和义, 王新亮, 张梅, 任亦萍. 2007. 大兴安岭地区成矿地质特征及找矿前景分析[J]. 地质与资源, 16(4):252-256.
- 邵克忠, 王宝德. 1986. 中国北方地区燕山期岩浆作用及斑岩型钼(铜)矿床成矿作用[J]. 石家庄经济学院学报, 9(3):207-216.
- 沈福农. 1993. 花岗岩与热液成矿关系剖析-三论深源热液成矿模式[M]. 北京:地质出版社. 7-8.
- 申永治. 1989. 兰家沟钼矿床同位素年代学研究[J]. 辽宁地质, 4:312-320.
- 舒全安, 陈培良, 程建荣. 1992. 鄂东铁铜矿产地质[M]. 北京:冶金工业出版社. 1-532.
- 宋国学, 秦克章, 李光明. 2008. 长江中下游地区钼矿床的类型、时空分布及其动力学背景探讨[A]. 见:陈毓川, 薛春纪, 张长青, 主编. 第九届全国矿床会议论文集[C]. 北京:地质出版社. 27-28.
- 隋振民, 葛文春, 吴福元, 张吉衡, 徐学纯, 程瑞玉. 2007. 大兴安岭东北部侏罗纪花岗岩类岩石的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因[J]. 岩石学报, 23(2):461-480.
- 孙大中, 李惠民, 林源贤, 周慧芳, 赵凤清, 唐敏. 1991. 中条山前寒武纪年代学、年代构造格架和年代地壳结构模式的研究[J]. 地质学报, 65(3):3-7.
- 孙红杰. 2009. 东秦岭钼矿的主要类型和成矿时代浅析[J]. 中国钼业, 33(4):28-33.
- 谭俊, 魏俊浩, 谭文娟, 郭大招. 2006. 同源岩浆成因金矿成岩成矿时差的统计研究[J]. 地质论评, 52(1):54-62.
- 陶继雄, 王强, 陈郑辉, 罗志泽, 许立权, 郝先义, 崔来旺. 2009. 内蒙古苏尼特左旗乌兰德勒钼铜多金属矿床辉钼矿-钨同位素定年及其地质特征[J]. 岩矿测试, 28(3):249-253.
- 王长明, 邓军, 张寿庭, 叶会寿. 2006. 河南南泥湖 $\text{Mo-W-Cu-Pb-Zn-Ag-Au}$ 成矿区内生成矿系统[J]. 地质科技情报, 25(6):47-52.
- 王成辉, 松权衡, 王登红, 李立兴, 于城, 汪志刚, 屈文俊, 杜安道, 应立娟. 2009a. 吉林大黑山超大型钼矿辉钼矿-钨同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 28(3):269-273.
- 王成辉, 王登红, 陈郑辉, 严朝辉, 吴资龙, 林东燕, 刘乃忠. 2009b. 福建砺山钼矿的地质特征、成矿时代及区域找矿前景[J]. 矿物学报, 29(1):63-69.
- 王磊, 胡明安, 杨振, 陈开旭, 夏金龙. 2010. 粤北大宝山矿区花岗闪长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地球科学, 35(2):175-185.
- 王立本, 季克俭, 陈东. 1997. 安基山和铜山(钼)矿床中辉钼矿的钨-钨同位素年龄及其意义[J]. 岩石矿物杂志, 16(2):154-159.
- 王强, 赵振华, 简平, 许继峰, 包志伟, 马金龙. 2004a. 德兴花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和 Nd-Sr 同位素地球化学[J]. 岩石学报, 20(2):315-324.
- 王强, 赵振华, 许继峰, 白正华, 王建新, 刘成新. 2004b. 鄂东南铜山口、殷祖埃达克质(adakitic)侵入岩的地球化学特征对比(拆沉)下地壳熔融与斑岩铜矿的成因[J]. 岩石学报, 20(2):351-360.
- 吴才来, 董树文, 国和平, 郭祥炎, 高前明, 刘良根, 陈其龙, 雷敏, Wooden J L, Mazadab F K, Mattinson C. 2008. 铜陵狮子山地区中酸性侵入岩定年及岩浆作用的深部过程[J]. 岩石学报, 24(8):1801-1812.
- 吴福元, 孙德有, 林强. 1999. 东北地区中生宙花岗岩的成因与地壳增生[J]. 岩石学报, 15(2):181-189.
- 吴福元, 杨进辉, 张艳斌, 柳小明. 2006. 辽西东南部中生代花岗岩[J]. 岩石学报, 22(2):315-325.
- 吴淦国, 张达, 狄永军, 臧文拴, 张祥信, 宋彪, 张忠义. 2008. 铜陵集矿区侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其深部动力学背景[J]. 中国科学(D辑), 38(5):630-645.
- 武广, 陈衍景, 孙丰月, 李景春, 李之彤, 王希今. 2008. 大兴安岭北端晚侏罗世花岗岩类地球化学及其地质和找矿意义[J]. 岩石学报, 24(4):899-910.
- 伍光英, 马铁球, 柏道远, 李金冬, 车勤建, 王先辉. 2005. 湖南宝山花岗闪长质隐爆角砾岩的岩石学、地球化学特征及锆石 SHRIMP 定年[J]. 现代地质, 19(2):198-204.
- 吴良士, 邹晓秋. 1997. 江西城门山铜钼矿床 Re-Os 同位素年龄研究[J]. 矿床地质, 16(4):376-381.
- 肖广玲, 孙晓雁, 王启, 刘国春, 于海涛, 李艳军, 潘锦勃. 2010. 浙东南石平川钼矿床地质特征、成矿时代及成因[J]. 地质科技情报, 29(1):74-79.
- 谢桂青, 毛景文, 李瑞玲, 张祖送, 赵维超, 屈文俊, 赵财胜, 魏世昆. 2006. 鄂东南地区 Cu-Au-Mo-(W) 矿床的成矿时代及其成矿地球动力学背景探讨-辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[J]. 矿床地质, 25(2):43-52.
- 谢桂青, 赵海杰, 赵财胜, 李向前, 侯可军, 潘怀军. 2009. 鄂东南铜绿山矿田矽卡岩型铜铁金矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(3):227-239.
- 徐辉煌, 熊峥嵘, 伍式崇, 陈郑辉, 屈文俊. 2009. 湘东龙王排钼多金

- 属矿地质特征及辉钼矿铼-钨同位素定年[J]. 岩矿测试, 28(3): 244-248.
- 许建祥, 曾毓淋, 李雪琴, 刘俊生, 陈郑辉, 刘善宝, 郭春丽, 王成辉. 2007. 江西寻乌铜坑钼矿床地质特征及其成矿时代[J]. 地质学报, 81(7): 924-928.
- 徐文炳, 李 衡, 陈民扬, 黄德鑫, 张富铁, 汪礼明. 2008. 广东大宝山多金属矿床成矿物质来源同位素证据[J]. 地球学报, 29(6): 684-690.
- 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[J]. 矿床地质, 28(5): 621-632.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社. 45-47.
- 杨晓勇, 余良范, 孙卫东, 谢建成, 蓝翔华, 高 彭. 2008. 论太平洋板块俯冲对长江中下游地区铜(金)矿床的控制[A]. 见: 陈毓川, 薛春纪, 张长青, 主编. 第九届全国矿床会议论文集[C]. 北京: 地质出版社. 513-516.
- 杨泽强. 2007. 河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿铼-钨同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 26(3): 289-295.
- 姚德贤, 曾令初. 1994. 论大宝山矿床成因[J]. 中山大学学报(自然科学版), 33(3): 91-100.
- 姚军明, 华仁民, 林锦富. 2005. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征[J]. 岩石学报, 21(3): 688-696.
- 叶会寿, 毛景文, 李永峰, 郭保健, 张长青, 刘 珺, 闫全人, 刘国印. 2006. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIM P 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.
- 翟德高, 刘家军, 王建平, 彭润民, 王守光, 李玉玺, 常忠耀. 2009. 内蒙古太平沟斑岩型钼矿床 Re-Os 等时线年龄及其地质意义[J]. 现代地质, 23(2): 262-268.
- 张德全, 孙桂英. 1988. 中国东部花岗岩[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 15.
- 张复新, 杜孝华, 王伟涛, 齐亚林. 2004. 秦岭造山带及邻区中生代地质演化与成矿作用响应[J]. 地质科学, 39(4): 486-495.
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 孙 勇, 周鼎武, 郭安林. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D辑), 26(3): 193-200.
- 张家菁, 陈郑辉, 王登红, 陈振宇, 刘善宝, 王成辉. 2008. 福建行洛坑大型钨矿的地质特征、成矿时代及其找矿意义[J]. 大地构造与成矿学, 32(1): 92-97.
- 张家菁, 吴木森, 陈郑辉, 刘善宝, 李立兴, 邱良明, 吴 斌, 黄安杰, 祝平俊. 2009. 江西省上饶县金竹坪钼多金属矿床成矿年代学研究[J]. 岩矿测试, 28(3): 228-232.
- 张炯飞, 朱 群, 邵 军, 金成洙. 2003. 内蒙古八道卡石英闪长岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 33(4): 430-433.
- 张克尧, 王建平, 杜安道, 林仟同, 黄金明, 胡荣华, 黄庆敏. 2009. 福建福安赤路钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 36(1): 147-155.
- 张连昌, 陈志广, 周新华, 英基丰, 王 非, 张玉涛. 2007. 大兴安岭根河地区早白垩世火山岩深部源区特征与构造-岩浆演化: Sr-Nd-Pb-Hf 同位素地球化学制约[J]. 岩石学报, 23(11): 2823-2835.
- 张 彤, 陈志勇, 许立权, 陈郑辉. 2009. 内蒙古卓资县大苏计钼矿辉钼矿铼-钨同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 28(3): 279-282.
- 张正伟, 朱炳泉, 常向阳, 强立志, 温明星. 2001. 东秦岭钼矿带成矿背景及时空统一性[J]. 高校地质学报, 7(3): 307-315.
- 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.
- 张遵忠, 吴昌志, 顾连兴, 冯 慧, 郑远川, 黄建华, 李 晶, 孙亚莉. 2009. 燕辽成矿带东段新台门钼矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(3): 313-320.
- 张作伦, 曾庆栋, 屈文俊, 刘建明, 孙兴国, 张瑞斌, 陈伟军, 覃 锋. 2009. 内蒙古碾子沟矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 25(1): 212-218.
- 赵伦华. 1988. 胶东地区钼矿床类型及其成矿特征[J]. 山东地质, 4(1): 101-112.
- 赵新福, 李建威, 马昌前. 2006. 鄂东南铁铜矿集区铜山口铜(钼)矿床 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学及对区域成矿作用的指示[J]. 地质学报, 80(6): 849-862.
- 赵一鸣, 毕承思, 邹晓秋, 孙亚莉, 杜安道, 赵玉明. 1997a. 黑龙江多宝山、铜山大型斑岩铜(钼)矿床中辉钼矿的铼-钨同位素年龄[J]. 地球学报, 18(1): 61-67.
- 赵一鸣, 张德全. 1997b. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价[M]. 北京: 地震出版社. 8-156.
- 赵 越. 1990. 燕山地区中生代造山运动及构造演化[J]. 地质论评, 36(1): 1-13.
- 赵 越, 徐 刚, 张拴宏, 杨振宇, 张岳桥, 胡健民. 2004. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 11(3): 319-328.
- 赵振华, 涂光炽. 2003. 中国超大型矿床(II)[M]. 北京: 科学出版社. 523-542.
- 周鸿年, 何耀基. 1983. 赤路斑岩钼矿床同位素地质特征及其物质来源探讨[J]. 福建地质, 2: 1-12.
- 周 珂, 叶会寿, 毛景文, 屈文俊, 周树峰, 孟 芳, 高亚龙. 2009. 豫西鱼池岭斑岩型钼矿床地质特征及其辉钼矿铼-钨同位素年龄[J]. 矿床地质, 28(2): 170-184.
- 周涛发, 袁 峰, 张 鑫, 岳书仓. 2003. 安庆铜牛井热液脉型铜、钼、金矿床石英的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 快中子活化年龄[J]. 地质论评, 49(2): 212-216.
- 祝洪臣, 张炯飞, 权 恒. 2005. 大兴安岭中生代两期成岩成矿作用的元素、同位素特征及其形成环境[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 35(5): 436-442.
- 朱赖民, 张国伟, 郭 波, 李 焱. 2008. 东秦岭金堆城大型斑岩钼矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成矿动力学背景[J]. 地质学报, 82(2): 204-220.
- 朱勤文, 路凤香, 谢意红, 郑建平. 1997. 大陆边缘扩张型活动带火山岩组合-松辽盆地周边中生代火山岩研究[J]. 岩石学报, 13(4): 551-562.