

编号: 0258-7106(2011)06-1069-06

豫西夜长坪钼矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄 及地质意义*

毛冰¹, 叶会寿^{2*}, 李超³, 肖中军⁴, 杨国强⁵

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 3 国家地质实验测试中心, 北京 100037; 4 河南省地质矿产勘查开发局第一地质调查队, 河南 郑州 450072; 5 中冶国际工程技术有限公司, 北京 100028)

摘要 夜长坪钼矿床位于东秦岭-大别造山带, 其赋矿围岩为中元古界官道口群龙家园组白云岩, 辉钼矿化的主要类型为细脉状、网脉状、浸染状和条带状, 围岩蚀变有透辉石化、金云母化、滑石化、绿泥石化、蛇纹石化、硅化和碳酸盐化, 为斑岩-矽卡岩型钼矿床。选取 5 件辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素定年, 获得模式年龄 (145.4 ± 2.1) Ma ~ (143.6 ± 2.4) Ma, 等时线年龄 (145.3 ± 4.4) Ma (2σ , MSWD=0.80), 表明钼成矿作用发生于晚侏罗世—早白垩世。结合前人对东秦岭-大别造山带不同时期地球动力学背景的研究, 笔者认为, 夜长坪钼矿床形成于古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲的弧后岩浆带。

关键词 地球化学; Re-Os 同位素定年; 斑岩-矽卡岩型钼矿; 夜长坪; 豫西

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

Molybdenite Re-Os isochron age of Yechangping Mo deposit in western Henan Province and its geological implications

MAO Bing¹, YE HuiShou², LI Chao³, XIAO ZhongJun⁴ and YANG GuoQiang⁵

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 3 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China; 4 No. 1 Geological Survey Party, Henan Bureau of Geology for Exploration and Development of Mineral Resources, Zhengzhou 450072, Henan, China; 5 MCC International Incorporation, Beijing 100028, China)

Abstract

The Yechangping Mo deposit is a porphyry-skarn Mo deposit in the East Qinling-Dabie orogenic belt. Its ore-hosting wall rock is chert banded dolomite belonging to Longjiayuan Formation of Middle Proterozoic Guandaokou Group, its main ore types are veinlets, stockworks, disseminations and banding, and its major wall rock alterations include diopsidization, phlogopitization, talcization, chloritization, serpentization, silicification, potassic alteration and carbonation. Five molybdenum-bearing samples were selected for precise Re-Os dating, which yielded model ages ranging from (145.4 ± 2.1) Ma to (143.6 ± 2.4) Ma and an isochron age of (145.3 ± 4.4) Ma (2σ , MSWD=0.80), indicating that the molybdenum deposit was formed in the Late Jurassic-Early Cretaceous period. Based on a study of geodynamic settings of molybdenum deposits of different ages in the East Qinling-Dabie molybdenum belt, the authors hold that the geodynamic setting of the Yechangping Mo deposit is widespread magmatism and back-arc extension caused by subduction of the paleo-Pacific plate beneath the

* 本文得到全国危机矿山接替资源找矿项目(项目编号 20089949 和 200841019)资助

第一作者简介 毛冰,男,1987年生,硕士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: maobing126@126.com

** 通讯作者 叶会寿,男,1964年生,研究员,主要从事矿床学研究。Email: yehuishou@163.com

收稿日期 2010-11-26; 改回日期 2011-07-21。许德焕编辑。

Eurasian continent.

Key words: geochemistry, Re-Os dating, porphyry-skarn Mo deposit, Yechangping, west Henan Province

东秦岭-大别钼矿带呈近 EW 向展布于华北板块的南缘,西起陕西金堆城钼矿床,经河南夜长坪、南泥湖-三道庄、雷门沟、东沟等钼矿床,东至大别山地区的天目沟、汤家坪、金寨等钼矿床(图 1),已查明的钼资源储量大于 8×10^6 t,是世界第一大钼矿带。前人研究表明,东秦岭-大别钼矿带内的钼矿化主要形成于 3 个成矿期(Mao et al., 2008):第 1 期脉状、网脉状钼矿化形成于 233~221 Ma,以黄龙铺碳酸盐脉型钼矿床和大湖石英脉型金钼矿床为代表;第 2 期斑岩-矽卡岩型钼矿化形成于 148~138 Ma,以金堆城斑岩型钼矿床和三道庄-南泥湖斑岩-矽卡岩型矿床为代表;第 3 期斑岩型钼矿化形成于 131~112 Ma,以东沟斑岩型钼矿床和汤家坪斑岩型钼矿床为代表。

夜长坪钼矿床位于河南省卢氏县,地理坐标为东经 $110^{\circ} 42' 58'' \sim 111^{\circ} 43' 04''$,北纬 $34^{\circ} 02' 48'' \sim 34^{\circ} 04' 10''$,是上世纪 70 年代运用地质、物化探方法成功预测并勘查的隐伏大型钼矿床,已查明的钼资源量为 25 万 t, $\alpha(\text{Mo})$ 为 0.133%。该矿床西临金堆城超大型钼矿床,东接三道庄-南泥湖超大型钼矿

床,这 3 个矿床均产于东秦岭-大别钼矿带的东秦岭矿带,显示出东秦岭矿带寻找超大型钼矿床的潜力。然而,夜长坪钼矿床缺乏成矿时代的精确研究。本文以夜长坪钼矿床的成矿地质特征为基础,选取 5 件辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素年龄测定,以精确厘定其成矿时代,为探讨东秦岭-大别钼矿带的地球动力学背景和矿化过程提供证据。

1 区域地质和矿床地质

夜长坪钼矿区位于崤山山脉南部,华北地台南缘华熊台隆洛南-栾川台褶带。该地区的地壳具明显的双层结构,基底为太古界太华岩群变质岩系,盖层为中元古界熊耳群火山岩系和官道口群变质碎屑-碳酸盐岩系及新元古界栾川群变质碎屑-碳酸盐岩系等。区内断裂构造发育,南部主要为近 EW 向的栾川深断裂, NNE 向断裂叠加在近 EW 向断裂之上。夜长坪等燕山期小斑岩株及大量正长岩脉构成了该区的岩浆岩系(图 2)。

与钼矿化有关的钾长花岗斑岩岩株沿近 EW 向

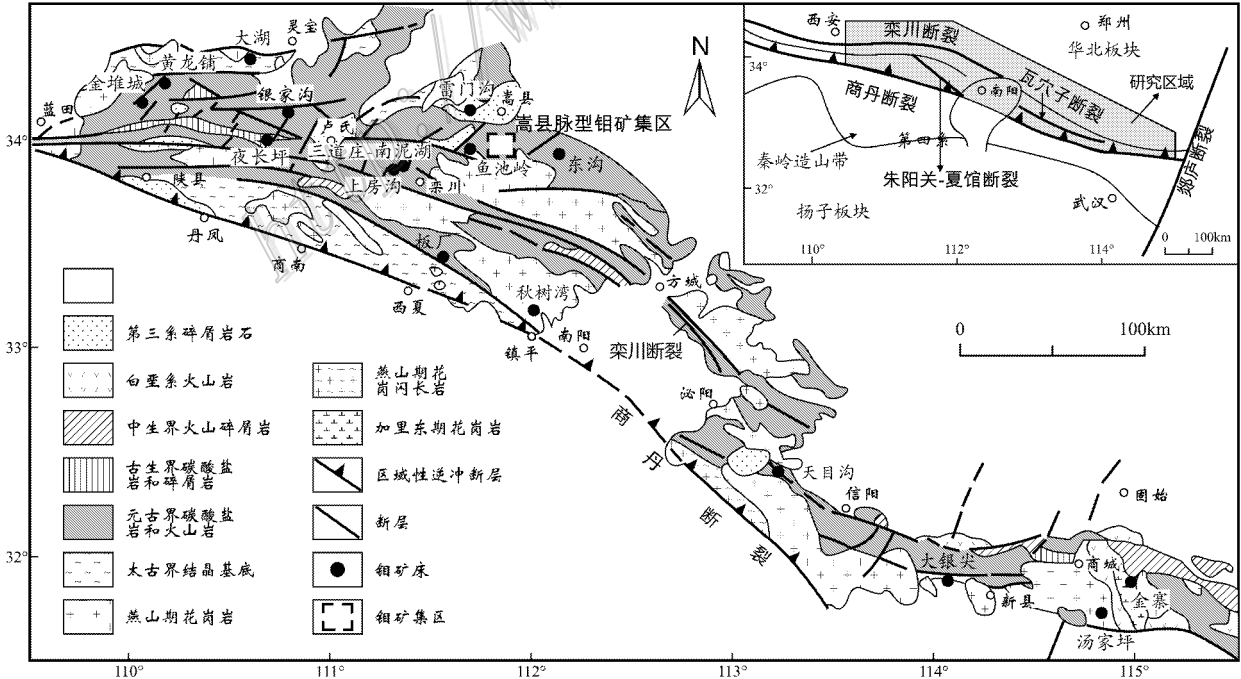


图 1 东秦岭-大别钼矿带地质略图(据 Mao et al., 2010 修改)

Fig. 1 Geological sketch map of the East Qinling-Dabie Mo belt (Modified from Mao et al., 2010)

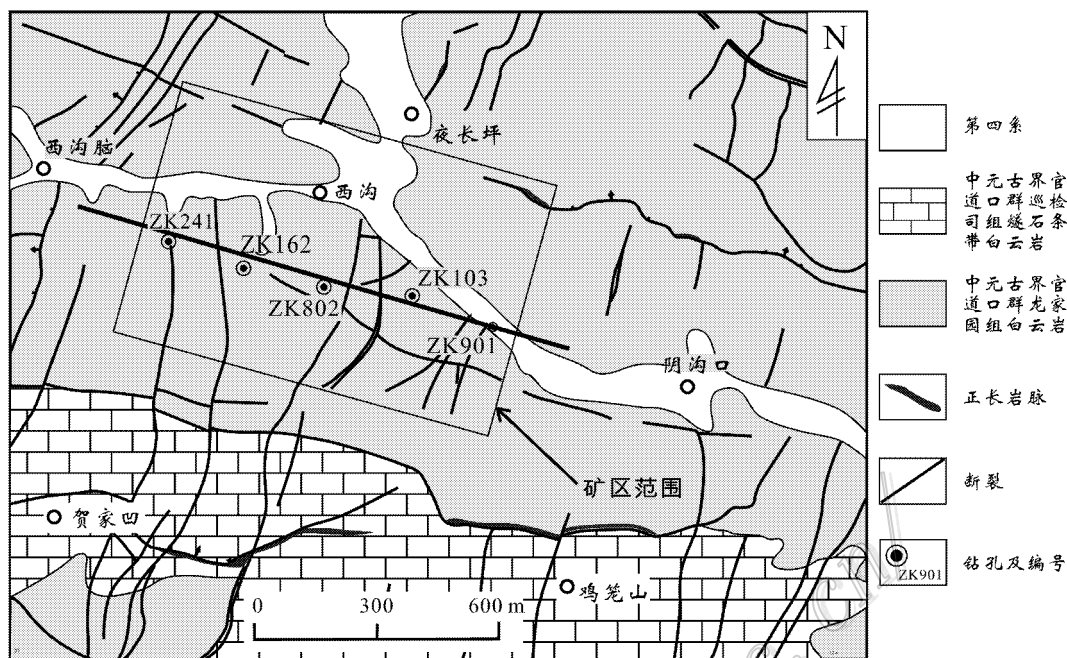
图2 夜长坪钼矿区平面图^①

Fig. 2 Geological sketch map of the Yechangping Mo deposit

断裂与 NNE 向断裂的交汇部位侵入。在 1 040 m 中段,岩体长达 0.3 km,宽约 0.1 km,面积约 0.03 km²,岩石呈肉红色,块状构造,斑状结构。夜长坪钼矿床的围岩为中元古界官道口群龙家园组白云岩(图 3),矿体赋存在钾长花岗斑岩岩株及外接触带的矽卡岩内,属斑岩-矽卡岩型钼矿床。矿体东西长大于 800 m,南北宽大于 500 m,由 3 个矿体组成,上部矿体厚达 150~230 m,中部矿体厚大于 230 m,下部矿体已揭露,但矿体形态尚未完全控制(图 3)。矿石中金属矿物主要为辉钼矿,其次为白钨矿、磁铁矿、黄铁矿等,脉石矿物主要为石英、透辉石、粒硅镁石、透闪石、滑石、方解石等。辉钼矿呈铅灰色,大多呈鳞片状集合体与石英共生形成辉钼矿化石英脉,少量呈浸染状分布在矽卡岩中。围岩蚀变有透辉石化、金云母化、滑石化、绿泥石化、蛇纹石化、硅化和碳酸盐化。可初步将该矿床的成矿作用分为 3 个成矿期,分别为矽卡岩期、热液期和表生期。矽卡岩期可进一步划分为矽卡岩阶段和退化蚀变阶段,热液期可进一步划分为无石英英脉阶段、石英-辉钼矿阶段和碳酸盐阶段,其中,热液成矿期的石英-辉钼矿阶段为主成矿阶段。

2 辉钼矿样品采集及测试方法

2.1 样品采集

5 件辉钼矿样品均产自坑道 PD1040 的斜井 970 m 中段的辉钼矿化石英脉。辉钼矿用微型钻钻取,然后将样品用玛瑙研钵磨碎至 100 目。

2.2 测试方法

辉钼矿样品 Re、Os 含量的测定由国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成。实验采用同位素稀释 Carius tube 溶样法,测试仪器为电感耦合等离子体质谱仪。具体操作步骤见有关文献(杜安道等,1994;2001;Du et al.,2004;屈文俊等,2003;2004;Shirey et al.,1995;Stein et al.,1997;Markey et al.,1998;李超等,2009)。

应用美国 TJA 公司生产的电感耦合等离子体质谱仪(TJA X-series ICP-MS)测定同位素比值。Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差。置信水平 95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02

① 河南省地质局地质四队,1978. 河南省卢氏县夜长坪钼矿区普查评价报告. 内部资料.

表 1 夜长坪钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果及实验标准物质 GBW04436 JDC 测定值

Table 1 Re-Os isotope data of molybdenite from the Yechangping Mo deposit and standard sample GBW04436 JDC

编 号	原样名	m/g	$\alpha(\text{Re})(\text{ng/g})$		$\alpha(^{187}\text{Re})(\text{ng/g})$		$\alpha(^{187}\text{Os})(\text{ng/g})$		模式年龄/Ma	
			测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ
100702-19	JDC	0.10033	17230	130			25.18	0.2064	139.4	1.9
100617-14	YCP-B12	0.02003	14373	111	9033	70	21.91	0.2	145.4	2.1
100714-11	YCP-B7	0.01125	8183	71	5143	45	12.43	0.15	144.9	2.4
100714-12	YCP-B9	0.03061	9597	76	6032	48	14.5	0.13	144.2	2.1
100714-13	YCP-B10	0.02231	11560	94	7266	59	17.41	0.21	143.6	2.4
100714-14	YCP-B15	0.03073	11372	89	7148	56	17.16	0.16	143.9	2.1

测试单位及测试者：国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室李超。100702-19 号样品为实验室标准样。

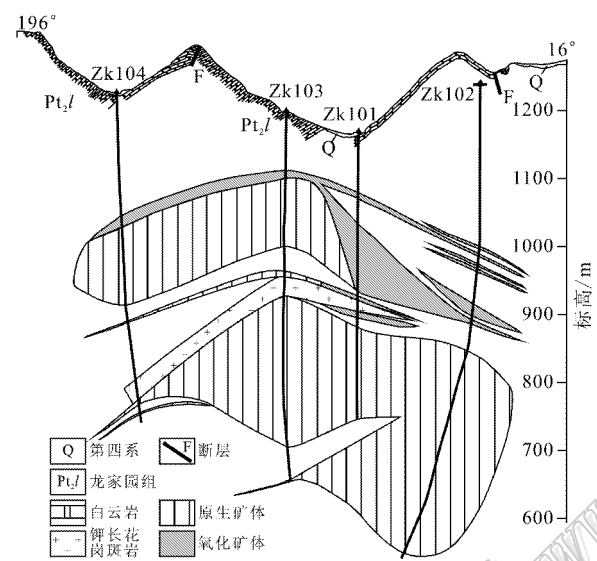


图 3 夜长坪钼矿第一勘探线剖面图

Fig. 3 Geological section along No.1 exploration line of the Yechangping Mo deposit

%)置信水平 95%。样品整个分析流程中的平均 Re、Os 空白分别小于 30 pg 和 0.5 pg,未检测到普 Os,因此 Re、Os 同位素含量的测定未受到影响。标样 HLP 被 2 次用于监测测试数据,可证明测试数据的可靠性。测试结果和标准值列于表 1。模式年龄计算所用公式为： $t = 1/\lambda [\ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})]$ 其中 $\lambda(^{187}\text{Re}) = 1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ (Smoliar et al., 1996)。

3 测试结果与讨论

辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测试结果见表 1。5 件样品得到接近一致的年龄,其模式年龄的变化范围为 $(145.4 \pm 2.1) \sim (143.6 \pm 2.4) \text{ Ma}$,平均年龄为

$(144.42 \pm 0.96) \text{ Ma}$,MSWD = 0.45。应用 Isoplot 软件(Ludwig, 1999)计算得出的等时线年龄为 $(145.3 \pm 4.4) \text{ Ma}$,MSWD=0.80(图 4)。

3.1 成矿时代

夜长坪钼矿床的成矿时代与金堆城钼矿床 $(138.4 \sim 138.3 \text{ Ma})$ 三道庄-南泥湖钼矿床 $(144.2 \sim 139.3 \text{ Ma})$ 板厂钼矿床 $(146.3 \sim 144.3 \text{ Ma})$ 秋树湾铜钼矿床 $(148.0 \sim 145.6 \text{ Ma})$ 上房沟钼矿床 $(142.9 \sim 141.8 \text{ Ma})$ 的成矿时代一致,都形成于晚侏罗世—早白垩世,属东秦岭-大别地区中生代第 2 个大规模钼成矿峰期 $(148 \sim 138 \text{ Ma})$ (Mao et al., 2008)。这些钼矿床在空间上分布于东秦岭商丹断裂以北、金堆城-银家沟-南泥湖以南的区域。而金堆城-银家沟-南泥湖以北的钼矿床则形成于第 1 个或第 3 个峰期,如第 1 个峰期的黄龙铺钼矿床 $(222.0$

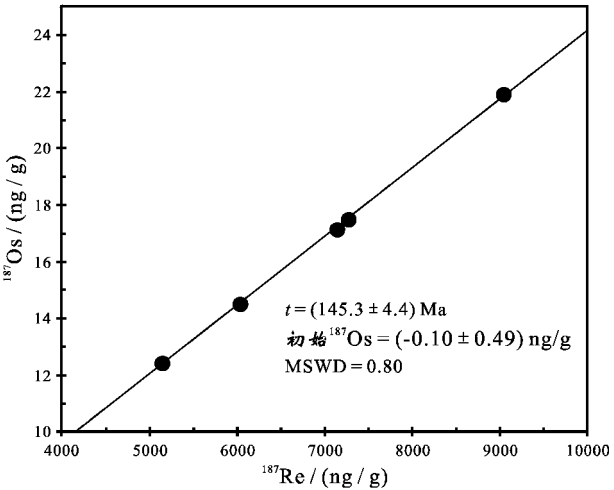


图 4 夜长坪钼矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄

Fig. 4 Re-Os isochron age of molybdenite from the Yechangping Mo deposit

① 河南省地质局地质四队。1978. 河南省卢氏县夜长坪钼矿区普查评价报告。内部资料。

~221.1 Ma),大湖金钼矿床(232.9~223.0 Ma),第3个峰期的雷门沟钼矿床(131.4~129.5 Ma),东沟钼矿床(114.1~115.1 Ma)(Mao et al., 2008)。大别山矿带的钼矿床形成于第3个峰期,如汤家坪钼矿床(118.5~112.3 Ma)(杨泽强, 2007),天目沟钼矿床(121.6 Ma)(Mao et al., 2008)。由此可见,夜长坪等形成于148~138 Ma之间的钼矿床,集中分布于东秦岭矿带的华北板块金堆城-银家沟-南泥湖以南的区域。

3.2 成矿动力学背景

东秦岭-大别钼矿带的3个钼矿化高峰期均与一定的地球动力学相耦合(Mao et al., 2008; 毛景文等, 2009),即233~221 Ma的钼矿形成于华北与扬子板块碰撞晚期局部伸展环境;148~138 Ma的钼矿形成于古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲的弧后岩浆带;131~112 Ma的钼矿形成于岩石圈减薄、折沉和热侵蚀事件。夜长坪钼矿床5件辉钼矿样品的等时线年龄为(145.3 ± 4.4) Ma,为东秦岭-大别钼矿带第2个钼矿化高峰期的产物,亦应形成于古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲的弧后岩浆带。

华北板块从中元古代到古生代末处于相对稳定的时期(翟明国等, 2001),与扬子板块在中、晚三叠世实现了完全对接(张国伟等, 1996; 李曙光等, 2004),秦岭内部广泛发育的碰撞型花岗岩和商丹缝合带内代表造山后产物的环斑花岗岩,表明两大板块碰撞并闭合于印支期末(卢欣祥等, 1996)。中侏罗世—晚侏罗世,东秦岭发生了由北向南的强烈的逆掩推覆及造山作用,使秦岭褶皱带内的上三叠统一侏罗统等陆相岩层遭受到不同程度的变质和变形(李厚民等, 2007),同时,由推覆造成的地壳加厚所导致的陆壳重熔和幔源岩浆底侵,使东秦岭地区形成了大量的辉绿岩脉和深成岩基(刘埃平等, 1996; 毛景文等, 2005)。侏罗纪末—白垩纪初,整个中国东部的区域构造体制发生了转换,主应力场由SN向转为近EW向。在这一时期,与形成于东秦岭-大别钼矿带第2个钼矿化高峰期的夜长坪等钼矿床关系密切的小斑岩株,沿着近EW向与NNE向断裂的交汇部位侵位上升,形成了斑岩-矽卡岩型矿床。事实也已经证明,第2个钼矿化高峰期内形成的矿床,均受这种棋盘格子式构造系统的控制,显示出在东秦岭-大别钼矿带东秦岭金堆城-银家沟-南泥湖以南的区域,在近EW向与NNE向断裂的交汇部位,具有寻找晚侏罗世—早白垩纪斑岩-矽卡岩型钼

矿床的潜力。

4 结 论

(1)夜长坪钼矿床5件辉钼矿样品的Re-Os同位素等时线年龄为(145.3 ± 4.4) Ma,厘定其成矿时代为晚侏罗世—早白垩世。东秦岭-大别钼矿带内形成于晚侏罗世—早白垩世的钼矿床集中分布于东秦岭金堆城-银家沟-南泥湖以南的区域。

(2)夜长坪钼矿床形成于古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲的弧后岩浆带。在晚侏罗世—早白垩世,受古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲的影响,成矿小斑岩株沿近EW向与NNE向断裂的交汇部位侵位上升,形成了夜长坪钼矿床等东秦岭-大别钼矿带第2个钼矿化高峰期的钼矿床。

References

- Du A D, He H L, Yin N W, Zou X Q, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z and Qü W J. 1994. A study on the Rhenium-Osmium geochronometry of molybdenites[J]. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 339-347 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qü W J, Markey R, Stein H, Morgan J W and Malinovskiy D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC[J]. *Geostand. Geoanal. Res.*, 28: 41-52.
- Du A D, Zhao D M, Wang S X, Sun D Z and Liu D Y. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with Carius tube sample preparation[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247-252 (in Chinese with English abstract).
- Li C, Qü W J and Du A D. 2009. Comprehensive study on extraction of rhenium with acetone in Re-Os isotopic dating[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 233-238 (in Chinese with English abstract).
- Li H M, Ye H S, Mao J W, Wang D H, Chen Y C, Qü W J and Du A D. 2007. Re-Os dating of molybdenites from Au(-Mo) deposits in Xiaolinling gold ore district and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 26(4): 417-424 (in Chinese with English abstract).
- Li S G. 2004. Exhumation mechanism of the ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie mountains and continental collision process between the North and South China block[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 63-70 (in Chinese with English abstract).
- Liu A P and Jin J F. 1996. A discussion on problems concerning basic dykes and gold mineralization in Xiaolinling area[J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 18(Supp.): 106-109 (in Chinese).
- Ludwig K R. 1999. *Isoplot / Ex* (Version 2.0): A geochronological

- toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley : Geochronology Center , Special Publication. 43.
- Lu X X, Dong Y, Chang Q L, Xiao Q H, Li X B, Wang X X and Zhang G W. 1996. Indosinian Shahewan rapakivi granite in Qinling and its dynamic significance[J]. Science in China(Series D), 26(3): 244-248(in Chinese).
- 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, Bierlein F, Qü W J, Du A D, Ye H S, Pirajno F, Li H M, Guo B J, Li Y F and Yang Z Q. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 72(18): 4607-4626.
- Mao J W, Ye H S, Wang R T, Dai J Z, Jian W, Xiang J F, Zhou K and Meng F. 2009. Mineral deposit model of Mesozoic porphyry Mo and vein-type Pb-Zn-Ag ore deposits in the eastern Qinling, Central China and its implication for prospecting[J]. Geological Bulletin of China, 28(1): 72-79(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Pirajno F, Ye H S, Wang Y B, Li Y F, Xiang J F and Zhao H J. 2010. Late Jurassic-Early Cretaceous granitoid magmatism in Eastern Qinling, central-eastern China: SHRIMP zircon U-Pb ages and tectonic implications[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 57: 51-78.
- Markey R, Stein H and Morgan J. 1998. Highly precise Re-Os dating for molybdenite using alkaline fusion and NTIMS[J]. Talanta, 45: 935-946.
- Qu W J and Du A D. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with carius tube sample digestion[J]. Rock and Mineral Analysis, 22(4): 254-262(in Chinese with English abstract).
- Qu W J and Du A D. 2004. Correction of mass discrimination in the determination of the determination of the isotope abundance for rhenium and osmium in molybdenite by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 25(1): 181-182(in Chinese with English abstract).
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. Anal. Chem., 67: 2136-2141.
- Smoliar M I, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA and VIB iron meteorites[J]. Sciences, 271: 1099-1102.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Du A D and Sun Y. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt, Shanxi Province, China[J]. Econ. Geol., 92: 827-835.
- Yang Z Q. 2007. Re-Os isotopic ages of Tangjiaping molybdenum deposit in Shangcheng County, Henan and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 26(3): 289-295(in Chinese with English abstract).
- Zhai M G, Yang J H and Liu W J. 2001. Large cluster of gold deposits and large-scale metallogenesis in the Jiaodong Peninsula, eastern China[J]. Science in China(Series D), 31(7): 545-552(in Chinese).
- Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, Sun Y, Zhou D W and Guo A L. 1996. Orogenesis and dynamics of the Qinling Orogen[J]. Science in China(Series D), 26(3): 193-200(in Chinese).

附中文参考文献

- 杜安道, 何红寥, 殷宁万, 邹晓秋, 孙亚利, 孙德忠, 陈少珍, 屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. 地质学报, 68(4): 339-347.
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 20(4): 247-252.
- 李超, 屈文俊, 杜安道, 孙文静. 2009. 铼-钨同位素定年法中丙酮萃取铼的系统研究[J]. 岩矿测试, 28(3): 233-238.
- 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.
- 李曙光. 2004. 大别山超高压变质岩折返机制与华北-华南陆块碰撞过程[J]. 地学前缘, 11(3): 63-70.
- 刘埃平, 金景福. 1996. 小秦岭基性脉岩与金矿化的若干问题讨论[J]. 物探化探计算技术, 18(增刊): 106-109.
- 卢欣祥, 董有, 常秋岭, 肖庆辉, 李晓波, 王晓霞. 1996. 秦岭印支期沙河湾奥长环斑花岗岩及其动力学意义[J]. 中国科学(D 辑), 26(3): 244-248.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 中国北方大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 21(1): 169-188.
- 毛景文, 叶会寿, 王瑞廷, 代军治, 简伟, 向俊峰, 周珂, 孟芳. 2009. 东秦岭中生代钼铅锌银多金属矿床模型及其找矿评价[J]. 地质通报, 28(1): 72-79.
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄[J]. 岩矿测试, 22(4): 254-262.
- 屈文俊, 杜安道. 2004. 电感耦合等离子体质谱测定辉钼矿中 Re、Os 含量时的质量分馏效应的校正[J]. 质谱学报, 25(1): 181-182.
- 杨泽强. 2007. 河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿铼-钨同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 26(3): 289-295.
- 翟明国, 杨进辉, 刘文军. 2001. 胶东大型矿集区及大规模成矿作用[J]. 中国科学(D 辑), 31(7): 545-552.
- 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.