兴蒙造山带东缘内生钼矿床的成因类型、成矿年代及成矿动力学背景*

孙景贵[1] 张勇[1] 邢树文[2] 赵克强[1] 张增杰[2] 白令安[1] 马玉波[2] 刘勇胜[3]

SUN JingGui[1], ZHANG Yong[1], XING ShuWen[2], ZHAO KeQiang[1], ZHANG ZengJie[2], BAI LingAn[1], MA YuBo[2] and LIU YongSheng[3]

1. 吉林大学地球科学学院,长春 130061
2. 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037
3. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,武汉 430074
1. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun* 130061, *China*
2. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037, *China*
3. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*

2011-06-01 收稿, 2011-10-27 改回.

Sun JG, Zhang Y, Xing SW, Zhao KQ, Zhang ZJ, Bai LA, Ma YB and Liu YS. 2012. Genetic types, ore-forming age and geodynamic setting of endogenic molybdenum deposits in the eastern edge of Xing-Meng orogenic belt. ***Acta Petrologica Sinica*****, 28(4):1317 – 1332**

Abstract The eastern edge of Xing-Meng orogenic belt in China, is an important polymetallic metallogenic district, where more than 20 large-, medium- and small-scale Mo deposits have been found in recent years. According to geological features, geochemical characteristics and geochronology, the endogenic molybdenum deposits in the region are divided into porphyry type, contact-metasomatic hydrothermal type and medium-high temperature hydrothermal type. The research results show that porphyry deposits are associated with high-potassium calc-alkaline granitic magmas, while contact-metasomatic hydrothermal deposits are related to calc-alkaline granitic magma and the nature of host rocks. Metallogenic materials possess the characteristic of crust-mantle mixing source. The Mo mineralization in the study area mainly occurred in 195 ~ 165Ma and 115 ~ 110Ma. The corresponding geodynamic mechanisms responsible for the Mo mineralization in different times may be closely related to the subduction of paleo-Pacific plate and Izanagi plate towards the Eurasia continent, respectively.

Key words Endogenic Mo deposit types; Ore-forming episodes; Geodynamic setting; The eastern edge of Xing-Meng orogenic belt

摘 要 兴蒙造山带东缘是中国重要内生多金属成矿区,近年来已发现钼矿床20余座。依据矿床地质、地球化学特征和年代学成果,将该区内生钼矿床类型划分为斑岩型、接触交代热液型和中高温浅成热液型。初步确定斑岩型矿床形成与高钾钙碱性花岗质岩浆作用有关,而接触交代热液型矿床形成与钙碱性花岗质岩浆作用以及围岩性质有关,成矿作用主要发生在195 ~ 165Ma和115 ~ 110 Ma两个区间,成矿物质普遍具有壳幔混合源的特点;而其地球动力学背景分别与古太平洋板块俯冲欧亚大陆和伊泽奈崎板块俯冲欧亚大陆相适应。

关键词 内生钼矿类型; 成矿期次; 成矿动力学背景; 兴蒙造山带东缘

中图法分类号 P618.65; P597.3

---

* 本文受吉林省科技发展规划项目(20100450)、中国地质调查计划项目(资[2010]矿评01-26-06)和国家自然科学基金(40772052、41172072)联合资助.

第一作者简介: 孙景贵,男,1961年生,教授,矿床学专业,长期从事大陆内生金属矿床成因与成矿规律研究, E-mail: sunjinggui@jlu.edu.cn

1 引言

兴蒙造山带东缘是中国重要钼矿成矿区之一,继新中国成立初期发现大型大黑山钼矿床以来,近十年来再度相继发现20余座大型、中型及小型内生钼矿床,使得该区成为中国大陆重要的钼成矿区(图1),倍受国内外学者的关注和研究(芮宗瑶等,1984;罗铭玖等,1991; Wilde *et al.*,2010)。通过矿床地质、地球化学和年代学等方面研究,认为该区内生钼矿的成因类型主要有斑岩型、热液交代型矿床,成矿时代主要发生在中生代(罗铭玖等,1991;葛文春等,2007;郭嘉,2009;王成辉等,2009;李立兴等,2009;刘志宏,2009;张苏江,2009;刘莉,2010;孙珍军,2010),并强调早侏罗世是斑岩型钼矿床的主要成矿期(葛文春等,2007)。由于部分钼矿床勘探和发现较晚,相关的科学研究较少,其研究的不足对准确把握该区矿床的成矿特点、成矿规律、形成时代以及指导找矿均具有重要的影响。为了深入研究区域成矿规律,近年来我们对包括新发现矿床在内的内生钼矿床开展了系统的矿床地质、地球化学和成矿年代学研究,本文以矿床地质特征为基础,在进行矿床成因分类基础上,深入讨论了成矿时代、成矿期和成矿动力学背景,初步确定研究区内生钼矿床的成因类型为斑岩型、接触交代热液型和中高温浅成热液型三类,成矿主要发生在195~165Ma和115~110Ma两个阶段,成矿动力学背景与古太平洋板块和伊泽奈崎板块俯冲欧亚大陆相关。这一成果为深入认识该区钼矿的区域成矿规律和未来地质找矿战略部署提供了科学依据。

2 区域地质概况及成矿地质背景

研究区位于吉林省、黑龙江省中东部,地处兴蒙造山带东缘,夹于西伯利亚板块、华北板块和太平洋板块之间,是一个由额尔古纳地块、兴安地块、松嫩地块和东南部佳木斯地块组成的构造区(邵济安和唐克东,1995;唐克东等,1995;Wu *et al.*,2000)。其中,兴安地块与额尔古纳地块在早古生代拼合,佳木斯地块与松嫩地块于志留纪末完成对接(葛文春等,2007;孙德有等,2004),上述块体在二叠纪末期沿西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带最终闭合(孙德有等,2004)。研究区早中生代受西伯利亚板块、华北板块和古亚洲洋板块的相互作用,经历了古亚洲洋的闭合,在古亚洲洋闭合后的中新生代,兴蒙造山带与北部的蒙古-鄂霍茨克和东部的太平洋板块相互作用,并受到南部特提斯构造演化的远距离影响,后期构造活动对前期的改造与叠加,导致本区构造十分复杂(陈衍景等,2009)。区域内出露的地层有太古代表壳岩系、元古代、古生代中浅变质岩系以及中生代以来的陆相火山-沉积岩系(吉林省地质矿产局,1988;黑龙江省地质矿产局,1993)。侵入岩有海西期、燕山期花岗杂岩以及少量基性杂岩、碱性花岗岩等(吴福元等,2007)。发育的深大断裂有牡丹江、敦化-密山、依兰-伊通、西拉木伦-长春和塔源-喜桂图断裂(图1)。研究区经历了古亚洲洋、蒙古-鄂霍茨克海的闭合以及华北板块与西伯利亚板块的最终拼贴等过程,促成本区内生金属矿产资源发育,且成矿具有明显的多阶段性(李晓波,2002;孙景贵等,2006)。

3 钼矿床分布和成因类型

3.1 矿床分布

兴蒙造山带东缘钼矿床的分布大致可划分三个区带:(1)延边-饶河(鸡东)成矿区;(2)吉中成矿区;(3)小兴安岭-张广才岭成矿带。其中延边-饶河(鸡东)成矿区钼矿床(点)主要有东风、砍椽沟、刘生店、新华龙和金场沟等10余座矿床(点),控矿构造主要以北西向和北北东向为主,赋矿围岩主要为侏罗纪和白垩纪花岗闪长岩、花岗闪长斑岩和二长花岗斑岩;吉中钼矿床(点)主要有大黑山、福安堡等10余座矿床(点),控矿构造主要以北西向和北东向为主,赋矿围岩主要为侏罗纪二长花岗岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩;小兴安岭-张广才岭成矿带钼矿床(点)主要有霍吉河和鹿鸣等5座矿床(点),控矿构造主要以北西向和北东向为主,赋矿围岩主要为侏罗纪二长花岗岩、花岗闪长岩和花岗斑岩。

本文根据野外观察、矿床地质和地球化学特征,将研究区钼矿床划分为斑岩型、接触交代热液型和中高温浅成热液型三类。斑岩型矿床以大黑山、霍吉河、鹿鸣和福安堡钼矿为典型代表,接触交代热液型以东风钼矿为典型代表,中高温浅成热液型以大石河钼矿为典型代表。

矿区内的围岩和侵入岩对矿床形成有一定的制约性,斑岩型钼矿床多产于花岗斑岩、似斑状花岗岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩和黑云母二长花岗岩内,而接触交代热液型钼矿床多产在花岗质岩类与火山岩、碳酸盐岩地层接触带内,中高温浅成热液型矿床与中深成侵入体有关,各类矿床具体地质特征详见表1。

3.2 矿化蚀变特征

斑岩型钼矿床矿体受构造裂隙性质及其发育程度控制,矿体类型主要有浸染型、石英细脉型、石英大脉型等;围岩蚀变以钾化、硅化、绢云母化、泥化和青磐岩化为主;成矿阶段主要有细石英脉阶段,宽石英脉阶段,石英大脉阶段,通常最后两个阶段含矿性较好;成矿主要与浅成或超浅成小侵入体有关。接触交代热液型钼矿床矿体形态比较复杂,以扁豆状和透镜状为主;围岩蚀变以绢云母化、碳酸盐化、硅化等为主;成矿阶段主要有基本无矿化的硅、铝、钾交代阶段,钼矿化交代阶段,石英-硫化物阶段,其中,石英-硫化物阶段是辉钼矿的主要形成阶段;成矿作用主要为交代作用。中高温浅成热液型矿体多呈不规则状;围岩蚀变以云英岩化、钾化、硅化等为主;成矿阶段分无矿阶段、石英-黄铁矿阶段、石英-辉钼矿阶段和硫化物石英脉阶段;成矿作用以充填为主。

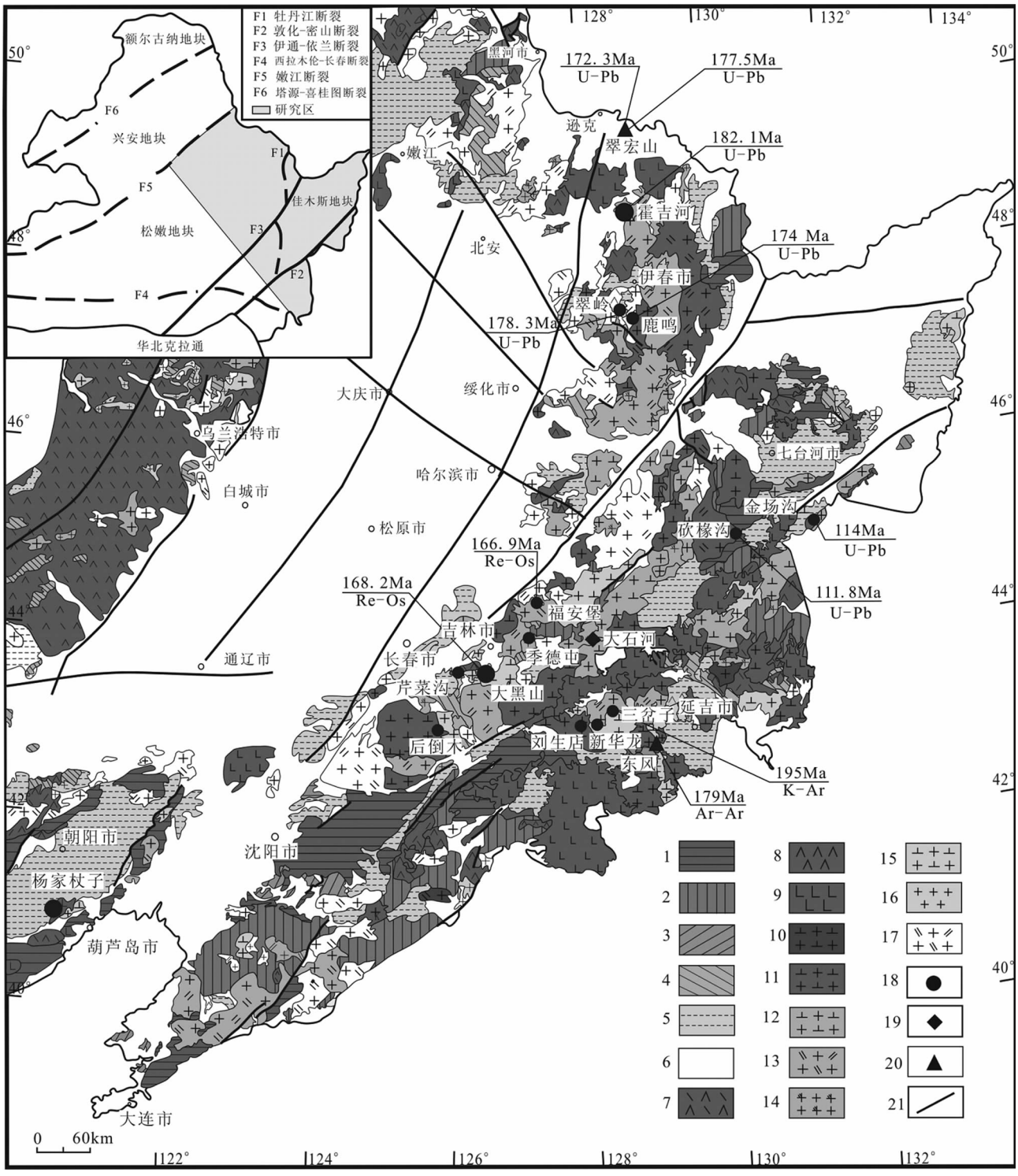


图 1 研究区区域地质和钼矿分布简图

1-太古代地层;2-元古代地层;3-早古生代地层;4-晚古生代地层;5-中生代地层;6-新生代地层;7-中酸性火山岩;8-中性火山岩;9-基性火山岩;10-元古代花岗岩闪长岩;11-古生代花岗岩闪长岩;12-三叠纪花岗闪长岩;13-三叠纪二长花岗岩;14-三叠纪花岗岩;15-侏罗纪花岗闪长岩;16-侏罗纪花岗岩;17-白垩-侏罗纪二长花岗岩;18-斑岩型矿床;19-接触交代热液型矿床;20-中高温浅成热液型矿床;21-断裂

Fig. 1 Map of regional geology and distribution of molybdenum deposits in the studied area

1-strata of Archean; 2-strata of Proterozoic; 3-strata of Early Palaeozoic; 4-strata of Late Paleozoic; 5-strata of Mesozoic; 6-strata of Cenozoic; 7-intermediate-acid volcanic rock; 8-intermediate volcanic rock; 9-mafic volcanic rocks; 10-granite diorite of Proterozoic; 11-granite diorite of Palaeozoic; 12-granite diorite of Triassic; 13-monzogranite of Triassic; 14-granite of Triassic; 15-granite diorite of Jurassic; 16-granite of Jurassic; 17-monzogranite of Cretaceous-Jurassic; 18-porphyry deposit; 19-contact-metasomatic hydrothermal deposit; 20-medium-high temperature hydrothermal deposit; 21-fault

表 1　研究区各类内生钼矿床的地质特征

Table 1　The geological characteristics of endogenic molybdenum deposits in the studied area

矿床类型	典型矿床	矿床规模	赋矿围岩	控矿、容矿构造	围岩蚀变	矿石矿物	矿化阶段	矿体特征规模	类比矿床	资料来源
斑岩型	霍吉河	大型	花岗闪长岩	NW 向、NE 向断裂	钾化、绢云母化、硅化、绿泥石化、及碳酸盐化	主要为辉钼矿、磁铁矿、黄铁矿，少量的黑钨矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿等	石英-黄铁矿阶段，石英-多金属硫化物阶段，石英-辉钼矿阶段	西矿段 SN 向，南北长 1400m、宽 400m；东矿段：长 800m，宽 300m，钼金属量 23 万吨	石林公园、兰家沟、新台门	郭嘉，2009；孙珍军，2010；李林山等，2010
	鹿鸣	中型	二长花岗岩	NW 向、NE 向断裂	硅化、钾化、黑云母化、青磐岩化、云英岩化	主要为辉钼矿、黄铁矿，少量黄铜矿	石英-辉钼矿阶段，石英-多金属硫化物阶段	长 600～800m、厚 44～137m，Mo 金属量 38691.84 吨		时永明等，2007；郭嘉，2009
	大黑山	大型	花岗闪长斑岩	EW 向、NW 向断裂	硅化、高岭土化、绢云母化、钾化、碳酸盐化	主要为辉钼矿、黄铁矿，少量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和磁铁矿	细石英网脉阶段，较宽石英网脉阶段，宽石英网脉阶段，石英大脉阶段	长、宽约 1700m、厚 500m		王成辉等，2009；周伶俐等，2010
	三岔	中型	二长花岗斑岩	NE 向、NW 向断裂	硅化、钾化、绢云母化、碳酸盐化	主要为辉钼矿、黄铜矿，少量黄铁矿、闪锌矿、褐铁矿	含辉钼矿-硅化-绢云母化阶段，辉钼矿-石英脉阶段，辉钼矿-硫化物石英细脉阶段，碳酸盐阶段	矿体长 245m，宽 50～156m，厚 39.20～73.3m		金艳峰等，2007
	金场沟	小型	花岗闪长斑岩	NNW 向、NNE 向、NW 向断裂	硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化	主要为辉钼矿、黄铁矿和少量黄铜矿	黄铁矿-石英阶段，石英-黄铁矿-黄铜矿-辉钼矿阶段，石英-多金属硫化物阶段，碳酸盐阶段	长 15～110m，厚 2.0～31.0m，品位最低 0.02%，最高 1.8%		黄广平等，2007
接触交代热液（矽卡岩型）	东风	中型	火山碎屑岩、石英二长闪长岩、灰岩	NW 向、NNE 向断裂	绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、碳酸盐化、硅化等	主要为辉钼矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿	石英-辉钼矿阶段、石英-多金属硫化物阶段和石英-碳酸盐阶段	长 1300m 左右，宽 200～300m	五道岭、杨家杖子、肖家营子	本文
中高温浅成热液型	大石河	大型	片岩、花岗闪长岩	NE 向、NW 向断裂	硅化、云英岩化、绿泥石化、绢云母化	主要为辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿	无矿阶段，石英-黄铁矿阶段，石英-辉钼矿阶段，碳酸盐阶段	南北 1000m，东西 1100m	上房沟、南泥湖	刘兴桥等，2009

表 2 霍吉河钼矿床花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果

Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb data for granodiorite from Huojihe Mo deposit

分析点	Pb* (%)	Th ($\times10^{-6}$)	U ($\times10^{-6}$)	Th/U	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$ Age (Ma)	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$ Age (Ma)	1σ
Hjh1-01	12.04	104	287	0.36	0.0764	0.0030	0.3513	0.0145	0.0332	0.0003	306	11	210	2
Hjh1-02	35.7	576	966	0.60	0.0523	0.0011	0.2125	0.0045	0.0293	0.0002	196	4	186	1
Hjh1-03	9.20	130	254	0.51	0.0642	0.0024	0.2493	0.0089	0.0283	0.0003	226	7	180	2
Hjh1-04	19.73	297	558	0.53	0.0497	0.0014	0.1976	0.0058	0.0287	0.0002	183	5	182	1
Hjh1-05	10.97	143	324	0.44	0.0545	0.0018	0.2140	0.0073	0.0284	0.0003	197	6	181	2
Hjh1-06	27.54	595	745	0.80	0.0537	0.0014	0.2101	0.0052	0.0283	0.0002	194	4	180	1
Hjh1-07	18.87	377	493	0.76	0.0554	0.0027	0.2341	0.0111	0.0307	0.0003	214	9	195	2
Hjh1-08	15.54	228	437	0.52	0.0507	0.0017	0.2020	0.0066	0.0289	0.0003	187	6	183	2
Hjh1-09	37.4	1195	895	1.34	0.0506	0.0013	0.1992	0.0049	0.0285	0.0002	184	4	181	1
Hjh1-10	17.26	290	492	0.59	0.0565	0.0018	0.2170	0.0069	0.0278	0.0003	199	6	177	2
Hjh1-11	17.23	342	455	0.75	0.0501	0.0016	0.2019	0.0065	0.0291	0.0003	187	5	185	2
Hjh1-12	25.45	414	704	0.59	0.0498	0.0014	0.1999	0.0055	0.0291	0.0002	185	5	185	1
Hjh1-13	23.11	450	618	0.73	0.0521	0.0016	0.2090	0.0065	0.0289	0.0002	193	5	184	1
Hjh1-14	21.32	395	577	0.68	0.0517	0.0014	0.2059	0.0054	0.0289	0.0002	190	5	183	1
Hjh1-15	18.94	358	521	0.69	0.0478	0.0016	0.1896	0.0062	0.0288	0.0003	176	5	183	2
Hjh1-16	23.63	408	684	0.60	0.0508	0.0013	0.1935	0.0049	0.0276	0.0002	180	4	175	1
Hjh1-17	9.50	121	273	0.44	0.0550	0.0020	0.2168	0.0073	0.0287	0.0003	199	6	183	2
Hjh1-18	20.02	405	538	0.75	0.0495	0.0012	0.1989	0.0047	0.0292	0.0003	184	4	185	2
Hjh1-19	16.35	258	466	0.55	0.0498	0.0015	0.1981	0.0059	0.0289	0.0003	184	5	184	2
Hjh1-20	13.45	192	354	0.54	0.0550	0.0023	0.2340	0.0102	0.0307	0.0003	214	8	195	2

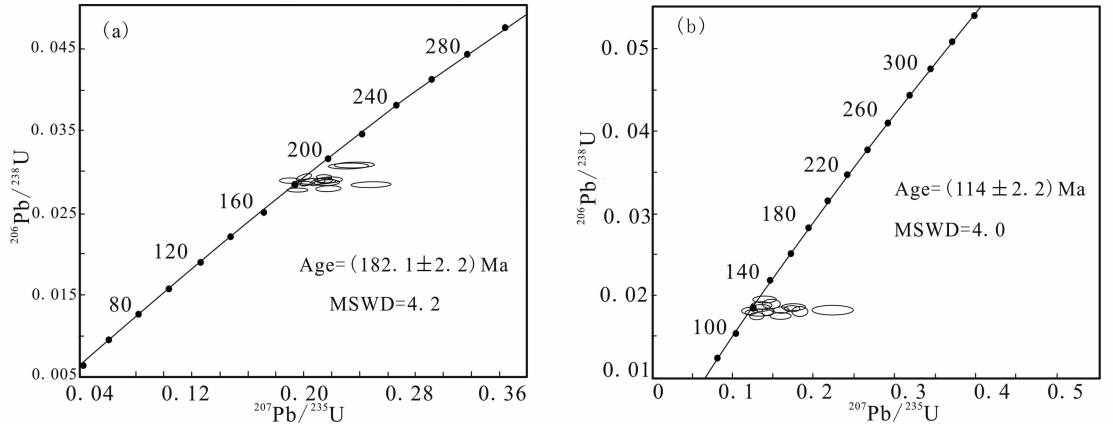


图 2 霍吉河、金场沟与成矿相关的花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄图

Fig. 2 Zircon LA-ICP-MS U-Pb diagram from Huojihe and Jinchanggou deposits

4 成矿时代和成矿期

世界上钼矿床的成矿时代主要为侏罗纪、白垩纪、始新世和中新世(Kula, 2000; Sinclair, 2007)。我国钼矿床成岩成矿时代主要为三叠纪、侏罗纪和白垩纪,少数为石炭纪、二叠纪和第三纪(罗铭玖等,1991; Zeng *et al.*, 2010a)。中生代成矿作用强烈,成矿时间上显示多幕式的特点。我们对区内霍吉河(表 2、图 2a)和金场沟(表 3、图 2b)矿床进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素方法定年研究,同时对前人获得的 Rb-Sr、K-Ar、LA-ICP-MS、SHRIMP U-Pb 和 Re-Os 等成果进行了全面收集和整理。为了深入考证本区的钼矿成矿阶段,将东北地区包括辽西、大兴安岭在内的钼矿床年代学一并列于表 4,数据反映出研究区钼成矿年龄主要分布在 195 ~ 165Ma 和 115 ~ 110Ma 两个区间(图 3),这与燕辽钼矿带、东秦岭钼矿带和内蒙古-大兴安岭钼矿年龄存在一定差别(图 3)。研

表 3 金场沟钼矿床花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果

Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb data for granodiorite from Jinchanggou Mo deposit

分析点	Pb* (%)	Th ($\times10^{-6}$)	U ($\times10^{-6}$)	Th/U	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$ Age (Ma)	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$ Age (Ma)	1σ
09JCG-1-01	1.98	40.0	69.4	0.58	0.1412	0.0099	0.3793	0.0277	0.0194	0.0004	327	20	124	3
09JCG-1-02	2.31	70.5	100	0.70	0.0526	0.0044	0.1235	0.0090	0.0179	0.0003	118	8	115	2
09JCG-1-03	37.21	313	668	0.47	0.0527	0.0011	0.3374	0.0067	0.0464	0.0003	295	5	293	2
09JCG-1-04	3.45	124	150	0.83	0.0620	0.0043	0.1457	0.0092	0.0176	0.0003	138	8	113	2
09JCG-1-05	61.0	443	1110	0.40	0.0516	0.0010	0.3354	0.0067	0.0471	0.0003	294	5	297	2
09JCG-1-06	3.73	151	166	0.91	0.0565	0.0029	0.1309	0.0064	0.0171	0.0003	125	6	109	2
09JCG-1-07	2.06	77.9	89.1	0.87	0.0748	0.0053	0.1761	0.0116	0.0177	0.0004	165	10	113	2
09JCG-1-08	2.39	81.1	107	0.76	0.0603	0.0043	0.1467	0.0110	0.0180	0.0003	139	10	115	2
09JCG-1-09	2.41	60.1	107	0.56	0.0592	0.0040	0.1438	0.0095	0.0184	0.0004	136	8	118	2
09JCG-1-10	2.31	59.8	110	0.54	0.0562	0.0041	0.1309	0.0091	0.0173	0.0003	125	8	110	2
09JCG-1-11	4.18	79.6	186	0.43	0.0706	0.0041	0.1724	0.0095	0.0180	0.0003	161	8	115	2
09JCG-1-12	2.23	80.0	97.4	0.82	0.0714	0.0051	0.1616	0.0105	0.0172	0.0003	152	9	110	2
09JCG-1-13	1.79	52.3	75.2	0.70	0.0952	0.0078	0.2245	0.0196	0.0180	0.0004	206	16	115	3
09JCG-1-14	2.59	72.3	121	0.60	0.0582	0.0043	0.1341	0.0088	0.0174	0.0003	128	8	111	2
09JCG-1-15	2.32	72.2	102	0.71	0.0678	0.0050	0.1569	0.0105	0.0174	0.0003	148	9	111	2
09JCG-1-16	3.04	93.6	135	0.69	0.0557	0.0031	0.1357	0.0074	0.0181	0.0003	129	7	115	2
09JCG-1-17	6.92	126	321	0.39	0.0535	0.0034	0.1403	0.0091	0.0191	0.0003	133	8	122	2
09JCG-1-18	2.28	53.9	84.4	0.64	0.1062	0.0078	0.2866	0.0275	0.0184	0.0004	256	22	117	3

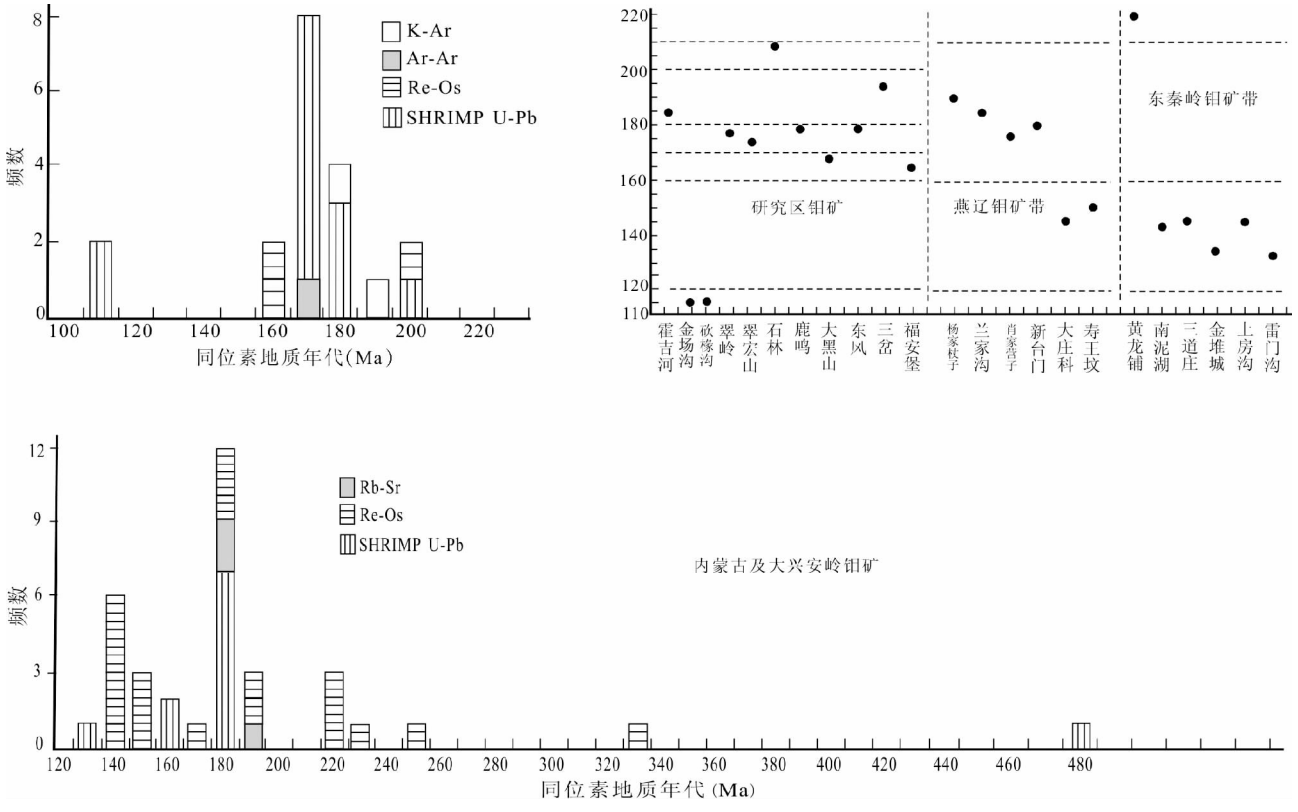


图 3 研究区主要钼矿床同位素年龄分布直方图

Fig. 3 Isotopic age distribution histogram of major Mo deposits in the studied area

表 4 东北地区主要成矿岩体及钼矿床年龄一览表

Table 4 Ages of ore-bearing granitoids and Mo deposits in the northeastern China

矿床名称	年龄(Ma)	测试方法	测试矿物/岩石	资料来源
金场沟	114.0 ±2.2	LA-ICP-MS	花岗闪长岩	本文
霍吉河	182.1 ±2.2	LA-ICP-MS	花岗闪长岩	本文
	178 ±2	LA-ICP-MS	二长花岗岩	孙珍军,2010
	184	LA-ICP-MS	二长花岗岩	
	184.92 ±0.91	LA-ICP-MS	二长花岗岩	郭嘉,2009
东风	179 ±11	Ar-Ar	含矿石英脉	张勇等,2011
砍椽沟	111.8 ±2.2	LA-ICP-MS	花岗闪长岩	刘莉,2010
三岔	195	K-Ar	二长花岗斑岩	刘兴桥等,2010
大黑山	170 ±3	SHRIMP U-Pb	花岗闪长斑岩(含矿)	葛文春等,2007
	178 ±3	SHRIMP U-Pb	花岗闪长斑岩(不含)	
	168.2 ±3. 2	Re-Os	辉钼矿	王成辉等,2009
福安堡	166.9 ±6. 7	Re-Os	辉钼矿	李立兴等,2009
石林	207 ±3.1	LA-ICP-MS	碱长花岗岩(含矿)	孙珍军,2010
	208.9 ±3.2	Re-Os	辉钼矿	
鹿鸣	179.5 ±1.1	LA-ICP-MS	二长花岗岩	
	174.0 ±1.9	锆石 U-Pb	二长花岗岩	张苏江,2009
翠岭	178.3 ±1.1	锆石 U-Pb	石英二长岩	
翠宏山	172.3 ±1.6	LA-ICP-MS	花岗斑岩	刘志宏,2009
	177.5 ±2.1	LA-ICP-MS	石英二长岩	
杨家杖子	193 ±3	Rb-Sr	二长花岗岩	赵一鸣等,1990
	181 ±2	Rb-Sr	斑状二长花岗岩	
	183 ±5	Rb-Sr	花岗斑岩	
	182 ±2	LA-ICP-MS	二长花岗岩	吴福元等,2006
	188 ±2	LA-ICP-MS	二长花岗岩	
	189 ±4	LA-ICP-MS	二长花岗岩	
	187 ±2	Re-Os	辉钼矿	黄典豪等,1996
	190 ±6	Re-Os	辉钼矿	
	191 ±6	Re-Os	辉钼矿	
兰家沟	186.5 ±0.7	Re-Os	辉钼矿	
	188.9 ±1.2	SHRIMP U-Pb	细粒花岗岩	代军治等,2008
肖家营子	169.9 ±1.4	SHRIMP U-Pb	闪长岩	代军治等,2008
	177	Re-Os	辉钼矿	黄典豪等,1996
	165.5 ±4.6	Re-Os	辉钼矿	代军治等,2007
新台门	181 ±2	LA-ICP-MS	花岗斑岩	张遵忠等,2009
	183 ±3	Re-Os	辉钼矿	
多宝山	485 ±8	SHRIMP U-Pb	花岗闪长岩	葛文春等,2007
	507 ±3	Re-Os	辉钼矿	赵一鸣等,1997
	509 ±5	Re-Os	辉钼矿	
	521 ±20	Re-Os	辉钼矿	
古额勒根	332.0 ±9	Re-Os	辉钼矿	聂凤军等,2005
车户沟	257.5 ±2.5	Re-Os	辉钼矿	Liu *et al.*,2010
	245 ±5	Re-Os	辉钼矿	Zeng *et al.*,2010a
	245.1 ±4.4	SHRIMP U-Pb	花岗斑岩	
岗子	139.1 ±2.3	SHRIMP U-Pb	花岗岩	
库里吐	236 ±3.3	Re-Os	辉钼矿	Zhang *et al.*,2009
西沙德盖	226.4 ±3.3	Re-Os	辉钼矿	侯万荣等,2010
小狐狸山	220 ±2.2	Re-Os	辉钼矿	彭振安等,2010
大苏计	222.5 ±3.2	Re-Os	辉钼矿	张彤等,2009
乌奴格吐山	188.3 ±0.6	LA-ICP-MS	二长花岗岩	秦克章等,1999
	183.9 ±1	Rb-Sr	全岩	
	183.5 ±1.7	K-Ar	蚀变绢云母	
	178 ±10	Re-Os	辉钼矿	李诺等,2007

续表 4

Continued Table 4

矿床名称	年龄(Ma)	测试方法	测试矿物/岩石	资料来源
碾子沟	154.3 ±3.6	Re-Os	辉钼矿	张作伦等,2009
鸡冠山	151.1 ±1.3	Re-Os	辉钼矿	陈伟军等,2010
小东沟	138.1 ±2.8	Re-Os	辉钼矿	覃锋等,2008
	135.5 ±1.5	Re-Os	辉钼矿	聂凤军等,2007
	142 ±2	Re-Os	辉钼矿	Zeng *et al.*,2010b
敖仑花	132 ±1	Re-Os	辉钼矿	马星华等,2009
	131.2 ±1.9	Re-Os	辉钼矿	Zeng *et al.*,2010c
羊场	138.5 ±4.5	Re-Os	辉钼矿	
半拉山	140.5 ±2.4	Re-Os	辉钼矿	
太平沟	130 ±1.3	Re-Os	辉钼矿	翟德高等,2009
大庄科	147.1 ±6.6	Re-Os	辉钼矿	黄典豪等,1996
寿王坟	148 ±4	Re-Os	辉钼矿	黄典豪等,1996
黄龙铺	221.5 ±0.3	Re-Os	辉钼矿	Stein *et al.*, 1997
南泥湖	148 ±10	Re-Os	辉钼矿	黄典豪等,1994
三道庄	145.0 ±2.2	Re-Os	辉钼矿	Li *et al.*, 2004
上房沟	144.8 ±2.1	Re-Os	辉钼矿	Li *et al.*, 2004
金堆城	138.4 ±0.5	Re-Os	辉钼矿	Stein *et al.*, 1997
雷门沟	132.4 ±2.0	Re-Os	辉钼矿	李永峰等,2006

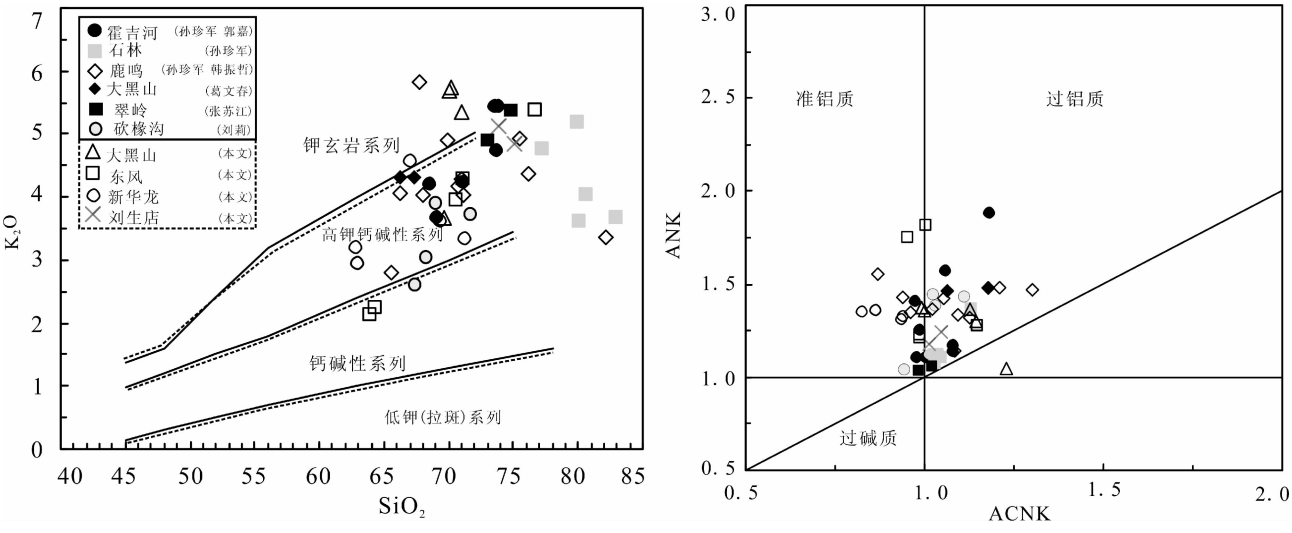


图 4 研究区与成矿密切相关的花岗岩 SiO_2-K_2O 和 ACNK-ANK 判别图解(据 Maniar *et al.*,1989)

Fig. 4 SiO_2-K_2O and ACNK-ANK diagrams of the granitoids in the studied area(after Maniar *et al.*,1989)

究区内吉中成矿区和小兴安岭-张广才岭成矿带内钼矿床成矿时代相接近,而延边-饶河(鸡东)成矿区钼矿床自西向东成矿时代变新。

5 成矿专属性

有关钼成矿岩体的类型主要有壳源重熔型(壳源壳质、壳源壳幔质和壳源幔质)、幔源岩浆分异型和交代型花岗岩,大多数岩体是在地槽褶皱固结后,燕山期和印支期形成的(罗铭玖等,1991)。研究区侵入体岩石类型较多,与钼矿有关的成矿岩体主要有石英二长岩、闪长玢岩、黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩和似斑状花岗岩,围岩主要为火山碎屑岩、灰岩等。

5.1 主量元素特征

研究区岩石的 SiO_2 含量为 62.86% ~82.9%,属中酸性岩范围(表 5)。($Na_2O + K_2O$)含量为 4.67% ~8.58%。斑岩型矿床四个成矿年龄区间从早到晚 SiO_2 均值具有减少的特征(80.17% →72.23% →69.04% →68.33%);K_2O/Na_2O 的均值为 1.53。接触交代热液型矿床 SiO_2 均值为 67.5%;

表 5 研究区钼矿床代表性岩石的主量(wt%)和微量、稀土元素($\times10^{-6}$)组成

Table 5 Major (wt%) and trace element ($\times10^{-6}$) composition of Mo deposit in the studied area

矿床	霍吉河		石林		鹿鸣			翠岭		新华龙		东风	大黑山
岩性	ηγ		γ		ηγ			γ	γπ	δμ	ηγπ	δγ	δγπ
SiO_2	67.06	69.04	77.22	82.9	76.23	82.14	69.94	74.19	73.14	62.86	70.32	67.50	70.17
TiO_2	0.49	0.56	0.04	0.06	0.35	0.3	0.59	0.38	0.23	0.82	0.42	0.41	0.49
Al_2O_3	15.35	15.96	12.3	8.83	11.31	8.63	14.88	11.68	10.32	16.18	14.15	15.42	14.44
Fe_2O_3	1.36	1.51	0.67	0.68	1.37	1.37	1.25	0.30	0.40	1.84	0.50	0.69	1.35
FeO	1.29	1.69	0.22	0.43	0.48	0.51	0.88	0.11	0.16	2.33	1.78	2.55	0.68
MgO	1.62	1.42	0.04	0.042	0.02	0.01	0.03	0.13	0.06	1.52	0.79	1.24	0.92
MnO	0.08	0.07	0.05	0.05	0.52	0.5	1.54	0.02	0.02	0.04	0.02	0.06	0.01
CaO	2.58	2.75	0.27	0.35	0.89	0.44	1.31	0.42	0.49	3.96	2.39	2.82	1.22
Na_2O	2.93	2.72	3.83	2.37	2.23	1.32	2.8	2.84	2.83	5.24	4.24	4.34	3.11
K_2O	4.57	3.68	4.75	3.67	4.37	3.35	4.91	5.49	4.76	3.07	3.47	3.15	5.11
P_2O_5	0.2	0.22	0.03	0.04	0.1	0.07	0.14	0.02	0.02	0.27	0.13	0.17	0.16
Rb	167	132	–	–	113	105	168	219	202	75.4	88.3	130	130
Ba	662	659	–	–	508	345	653	93	41	593	336	567	610
Th	11.9	12.6	–	–	9.75	8.01	12.58	17.9	18.9	5.88	11.98	10.28	5.39
U	2.87	6.6	–	–	2.84	4.34	5.61	6.3	3.9	2.70	6.48	3.60	3.33
Sr	368	420	–	–	246	108	293	42	28	652	419	467	413
Zr	123	149	–	–	136	121	202	53	54	234	127	194	153
Hf	22.6	6	–	–	4.19	3.65	6.64	2.76	2.87	2.23	1.31	1.37	1.28
Ta	0.51	0.63	–	–	0.31	0.23	0.43	0.78	0.52	0.74	0.75	0.97	0.20
Nb	6.3	7.1	–	–	3.36	2.49	4.95	6.5	5.3	8.42	7.71	11.02	2.30
La	28.2	30.4	–	–	10.57	25.82	19.75	–	–	34.87	28.61	43.06	26.06
Ce	56	64	–	–	17.95	40.17	39.6	–	–	64.94	50.97	70.57	50.51
Pr	6.51	7.67	–	–	2.42	4.45	4.93	–	–	8.05	6.01	7.83	6.37
Nd	22.6	27.37	–	–	9.05	15.32	18.04	–	–	28.82	20.46	25.03	22.21
Sm	3.76	4.95	–	–	1.91	2.93	3.85	–	–	5.08	3.40	4.09	3.76
Eu	0.95	1.06	–	–	0.54	0.53	0.71	–	–	1.63	0.88	1.01	1.06
Gd	2.97	4.13	–	–	1.59	2.52	3.27	–	–	3.93	2.76	3.62	2.89
Tb	0.47	0.63	–	–	0.26	0.4	0.55	–	–	0.52	0.38	0.54	0.39
Dy	2.29	3.17	–	–	1.5	2.15	3.32	–	–	2.21	1.70	2.79	1.72
Ho	0.45	0.58	–	–	0.28	0.43	0.66	–	–	0.34	0.29	0.52	0.29
Er	1.24	1.88	–	–	0.78	1.37	1.92	–	–	0.87	0.78	1.49	0.76
Tm	0.19	0.29	–	–	0.13	0.2	0.33	–	–	0.12	0.13	0.26	0.11
Yb	1.28	1.69	–	–	0.86	1.28	2.11	–	–	0.71	0.78	1.66	0.68
Lu	0.21	0.26	–	–	0.14	0.21	0.33	–	–	0.20	0.16	0.27	0.15
Y	13.4	16.6	–	–	7.72	12.94	19.24	–	–	9.48	8.68	15.53	8.89
∑REE	127.1	148.1	–	–	47.98	97.78	99.37	–	–	152.3	117.3	162.7	117.0
$(La/Yb)_N$	15.80	12.90	–	–	8.82	14.47	6.71	–	–	35.23	26.31	18.61	27.49
δEu	0.84	0.70	–	–	0.92	0.58	0.60	–	–	1.07	0.85	0.79	0.95
样品数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	4	4
来源	郭嘉 ,2009		孙珍军,2010		张苏江, 2009					本文			

K_2O/Na_2O 均值为 0.71%。以钼为主的岩体 K_2O 含量为 3.07% ~5.11%。在 SiO_2-K_2O 图解(图 4)中,样品成分点呈现复杂的岩系特征(钾玄岩系列、高钾钙碱性系列、钙碱性系列),但大多数样品落入高钾钙碱性系列和高钾钙碱性系列与钾玄岩系列的界限区域内,显示出岩石相对富钾的特征。斑岩型矿床岩石主要为高钾钙碱性系列,接触交代热液矿床(东风)岩石属于钙碱性系列。岩石铝饱和指数 A/CNK 值在 0.82 ~1.3 之间,多小于 1.1。A/NK 值在 1.07 ~1.88 之间。在 ACNK-ANK 图解中(图 4),样品数据点落在准-过铝质区域。SiO_2-Ce 图解中(图 5),样品落于 I 型花岗岩区。La/Sm-La 图解(图 5)表明大多数岩浆在演化的过程中发生了结晶分异作用。

5.2 稀土元素和微量元素特征

岩体稀土总量∑REE 为 47.98×10^{-6} ~ 162.7×10^{-6},轻稀土富集。$(La/Yb)_N$ 值为 6.71 ~35.23,表明轻、重稀土元素的分馏程度较高。δEu 为 0.6 ~1.07。从球粒陨石标准化

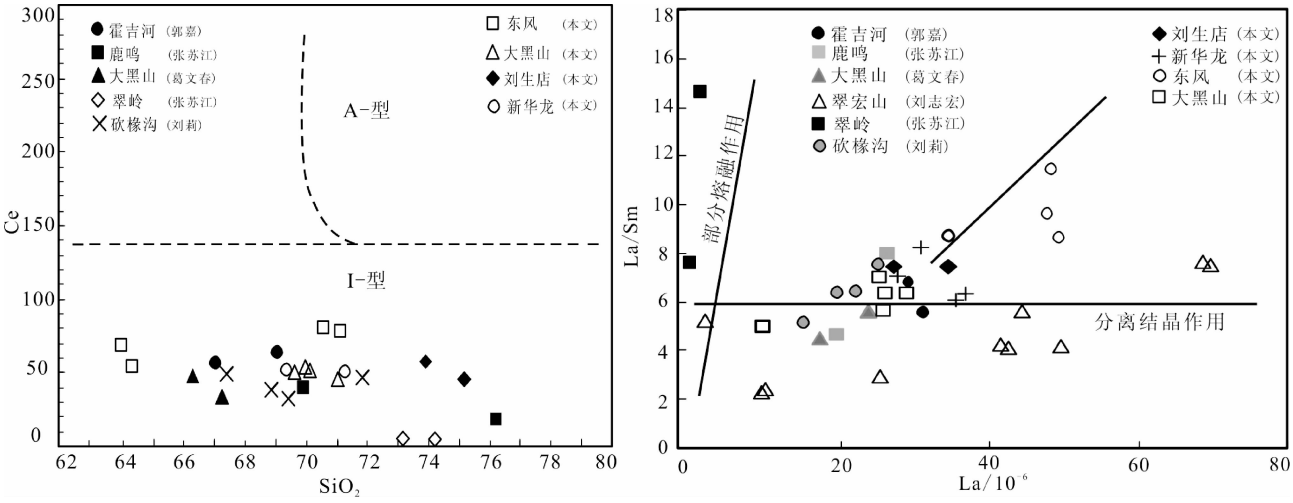


图 5 研究区与成矿密切相关的花岗岩 SiO_2-Ce 和 La/Sm-La 图解

Fig. 5 SiO_2-Ce and La/Sm-La discrimination diagrams of granite in the studied area

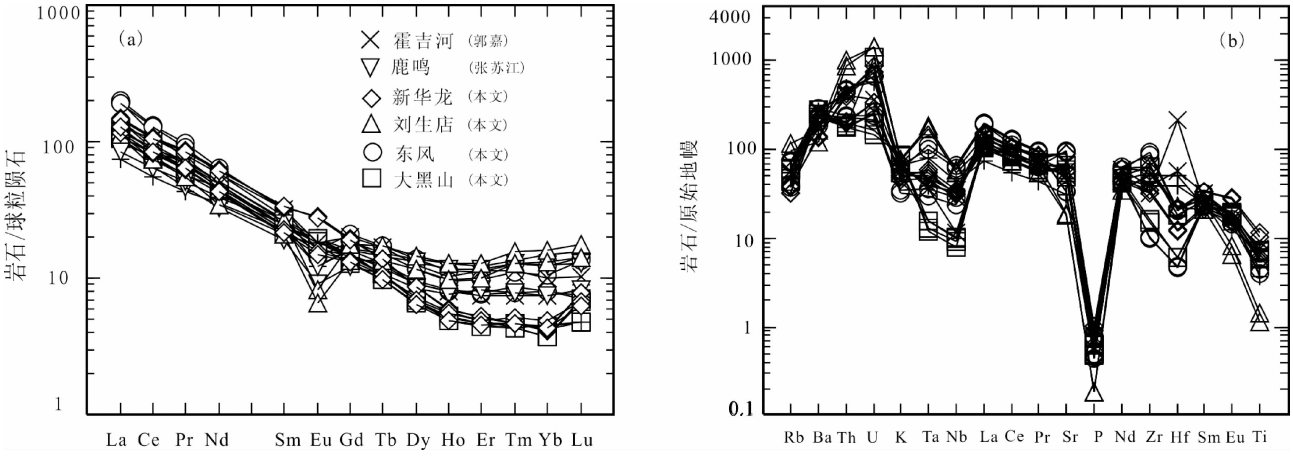


图 6 研究区与成矿密切相关花岗岩稀土元素球粒陨石配分图(a)和微量元素原始地幔蛛网图(b)(球粒陨石和原始地幔标准值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spider diagram (b) of granite in the studied area (normalization values after Sun and McDonough, 1989)

图解上可以看出,稀土元素配分型式呈向右倾(图 6a),且具有铕负异常,说明岩浆经历了一定程度的斜长石分离结晶作用。

研究区花岗岩的大离子亲石元素(Rb、Sr、Ba 等)浓度变化较大。Nb/Ta 为 10.19 ~ 12.35,接近黎彤(1976)所测的地壳平均值(10.00),表示区内花岗岩为地壳熔融的产物。微量元素初始地幔标准化图解(图 6b)显示,花岗岩富集 Ba、Th、U 等大离子亲石元素,亏损 Nb、P、Ti 等高场强元素,P 和 Ti 的亏损表明岩浆经历了磷灰石、钛铁矿、角闪石、黑云母等含 P、Ti 矿物的分离结晶。

5.3 构造环境判别

利用多组微量元素构造环境判解图解判别(Pearce *et al.*,1984),所有矿床样品数据投影在火山弧花岗岩与同碰撞花岗岩区内,在 Y + Nb-Rb、Ta + Yb-Rb 和 Yb-Ta 图解中,仅翠岭和刘生店样品投影点落在同碰撞花岗岩区,大多数矿床投影在火山弧相关的构造背景(图 7)。

5.4 成矿物质来源

对于成矿物质来源,特别是斑岩型钼矿床的研究,国内外学者有着不同的看法,Westra and Keith (1981) 认为与洋壳板片俯冲有关,芮宗瑶等(1984)提出成矿物质是多源的。本文在收集前人资料的基础上,对硫稳定同位素进行了总结,大黑山的 $\delta^{34}S$ 值介于 1‰ ~ 2.5‰(邢树文等,2007)、东风的 $\delta^{34}S$ 值介于 -0.46‰ ~ 1.45‰(孙景贵等,2006),金场沟的 $\delta^{34}S$ 值介于 -2.8‰ ~ 5.2‰(黄广平等,2007),都显示

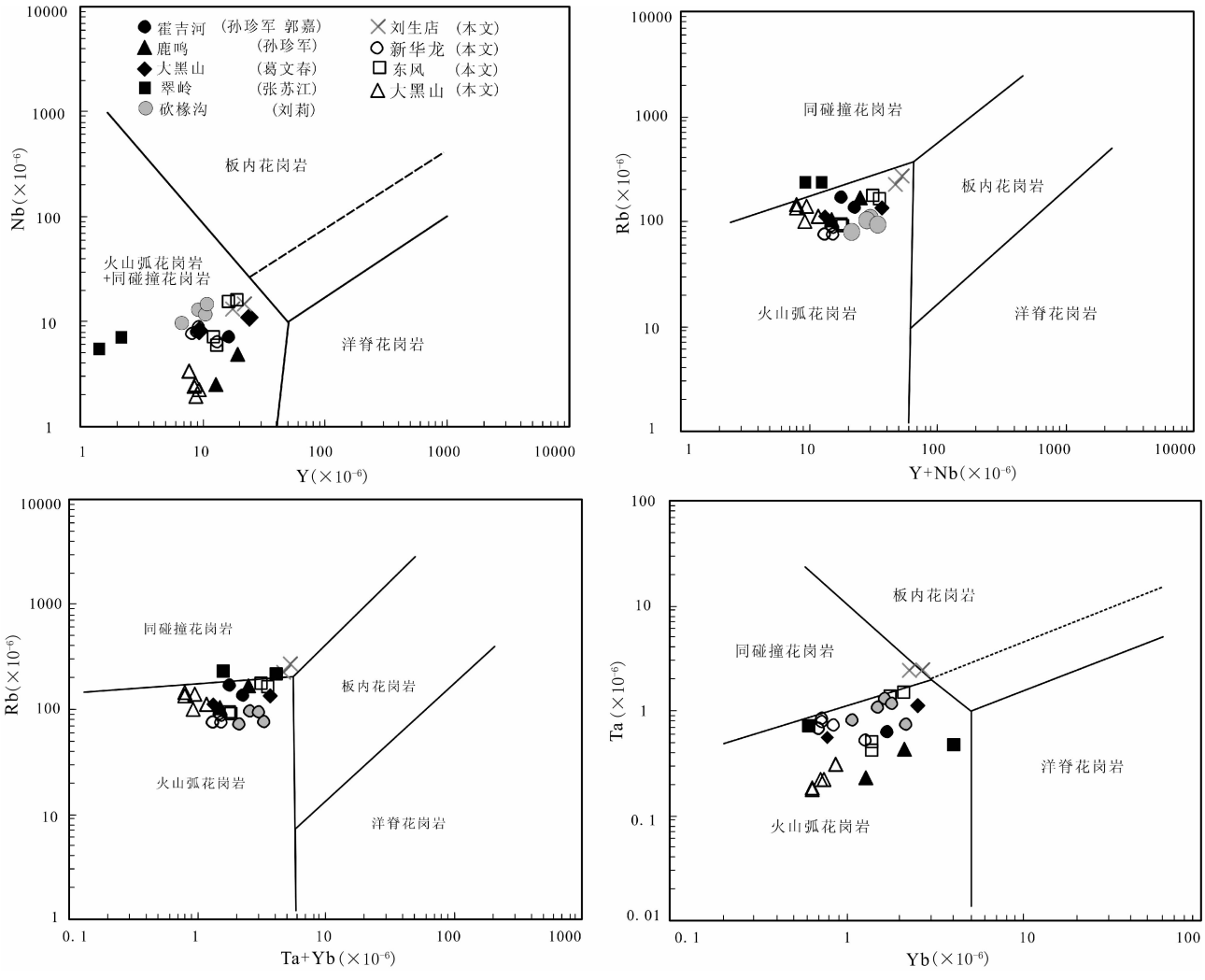


图 7 研究区与成矿密切相关的花岗岩构造环境判别图(据 Pearce *et al.*, 1984)

Fig. 7 Tectonic setting discrimination diagram of granite in the studied area (after Pearce *et al.*, 1984)

出深源或陨石硫的特点。吉黑东部花岗岩类的 $\delta^{18}O$ 值多介于 6‰ ~ 10‰(李之彤和朱群,2001),反映了成矿流体主要来自深部岩浆。吉黑东部岩体的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值大多介于 0.704 ~ 0.706,$^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 比值为:17.557 ~ 19.107、15.447 ~ 15.837、37.67 ~ 39.34,初始钕值较高(吴福元等,1999;李之彤和朱群,2001)。结合 Sr、Nd、Pb 同位素组成特征,认为成矿物质是下地壳与上地幔的同熔产物。

Mao *et al.*(1999)、孟祥金等(2007)综合分析全国各种类型钼矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素测试数据发现:辉钼矿 Re 含量为 100×10^{-6} ~ 1000×10^{-6},成矿物质来源以地幔物质为主;辉钼矿中 Re 含量大多在十几微克至几十微克,成矿物质为壳幔混合源;辉钼矿 Re 含量为 1×10^{-6} ~ $n\times10^{-6}$ 或更低,成矿物质完全来自壳源。研究区 Re 含量为 9.95×10^{-6} ~ 43.56×10^{-6},显示成矿物质主要具有壳幔混合源的特点(图 8a),这与内蒙古地区钼矿的成矿物质来源相似(图 8b)。

6 成矿动力学背景

在中国,大多数钼矿床形成在华北和华南克拉通边缘,空间分布受区域构造背景控制。东秦岭-大别山和我国东部中生代内生钼矿的形成可能与华北板块与扬子板块、太平洋板块向欧亚板块俯冲共同作用有关(罗铭玖等,1991)。

目前研究区内生钼矿床的成岩成矿年代学资料表明:钼矿床的成矿作用与岩浆侵入相伴而生,成矿作用主要分为侏罗纪和白垩纪两个阶段,成矿年龄分别集中在 195 ~ 165Ma 和 115 ~ 110Ma,侏罗纪内生钼矿床分布在研究区的中西部,白垩纪内生钼矿床分布在研究区的东部,自西向东成矿年龄变新。事实上,成矿年龄自西向东逐渐变新的现象也见于华北克拉通、中亚造山带、中央造山带、中央造山带的前陆褶冲带(陈衍景等,2009)。说明研究区钼矿是地质历史演化过程中特殊地球动力学背景的产物。

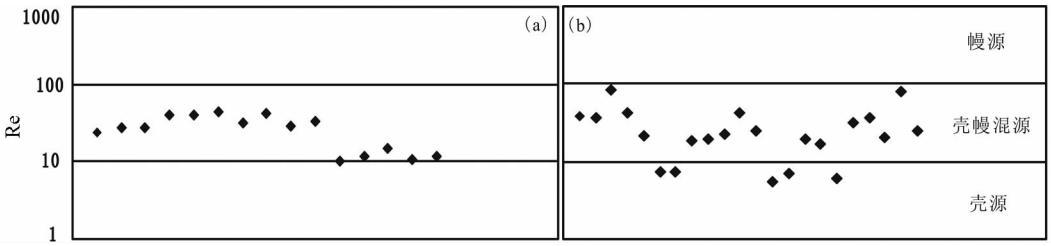


图 8 大黑山、福安堡钼矿床(a)和内蒙古地区(b)钼矿床辉钼矿 Re 含量图

辉钼矿 Re 含量数据来源表 2 中 Re-Os 测年相应参考文献

Fig. 8 Re content in molybdenite from Mo deposit in the studied area(a) and Inner Mongolia(b)

Re contents of molybdenite is from references about Re-Os dating in Table 2

研究区早侏罗纪出现的花岗岩与活动大陆边缘花岗岩具有相同的岩石组合与成分特征(张艳斌,2002)。从区域上看,该类型侏罗纪花岗岩自小兴安岭-张广才岭-吉林中部-延边地区都有分布(苗来成等,2003;隋振民等,2007;孙德有等,2001, 2005; Zhang *et al.*,2004),其构造属性非常类似于现今的太平洋东岸。结合古亚洲洋已于古生代末闭合,欧亚大陆至少在早侏罗纪已处于与板块俯冲有关的构造环境下,这些侏罗纪花岗岩应是古太平洋板块向欧亚大陆俯冲引起岩浆活动的产物(Zeng *et al.*,2010a)。与强烈的岩浆活动相伴,研究区在早侏罗世发生了大规模的钼矿化作用,推测本文研究的侏罗纪内生钼矿床成矿作用与这一板块的俯冲作用有关。

白垩纪是华北克拉通北缘一个重要的成矿期(Zeng *et al.*,2010b)。根据古太平洋板块的运动历史,在 119 ~ 110Ma 之间,伊泽奈崎板块北北西向俯冲欧亚大陆(Engebretson *et al.*,1985;Maruyama and Seno,1986),从而引发岩浆活动,并伴随着成矿作用。所以,研究区后一个阶段的成矿作用应与伊泽奈崎板块的侧向俯冲运动相联系。

7 结论

本文通过对兴蒙造山带东缘内生钼矿床的矿床地质、地球化学和年代学研究,初步得出以下几点认识:

(1)初步厘定的钼矿床成因类型有斑岩型、接触交代热液型和中高温浅成热液型,以斑岩型最为发育,其次是接触交代型。

(2)成矿作用与中酸性岩浆作用密切相关,初步确定斑岩型矿床形成与高钾钙碱性花岗质岩浆作用有关,接触交代热液型矿床形成与钙碱性花岗质岩浆与围岩相互作用有关。

(3)内生钼矿形成主要有两个阶段,分别为 195 ~ 165Ma 和 115 ~ 110Ma,其中早侏罗世最为发育;其各阶段的成矿作用分别与古太平洋板块俯冲欧亚大陆和伊泽奈崎板块俯冲欧亚大陆有关。

致谢 野外样品采集得到天宝山、金场沟和霍吉河矿区领导、技术人员的大力支持与帮助;实验过程中得到了北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室赖勇、季建清教授的帮助;中国科学院地质与地球物理研究所刘红涛、曾庆栋、刘建明研究员对文章修改提出许多宝贵意见;在此对以上同志一并致以衷心感谢!

References

Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. 1993. Regional Geology of Heilongjiang Province. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 216 (in Chinese with English abstract)

Bureau of Geology and Mineral Resources of Jilin Province. 1988. Regional Geology of Jilin Province. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 280 (in Chinese with English abstract)

Chen WJ, Liu JM, Liu HT, Sun XG, Zhang RB, Zhang ZL and Qin F. 2010. Geochronology and fluid inclusion study of the Jiguanshan porphyry Mo deposit, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 26 (5): 1423 – 1436 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ, Zhai MG and Jiang SY. 2009. Significant achievements 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)

Dai JZ, Mao JW, Du AD, Xie GQ, Bai J, Yang FQ and Qu WJ. 2007. Re-Os dating of molybdenite from the Xiaojiayingzi Mo (Fe) deposit in western Liaoning and its geological significance. Acta Petrologica Sinica, 81 (7): 917 – 923 (in Chinese with English abstract)

Dai JZ, Mao JW, Zhao SC, Li FR, Wang RT, Xie GQ and Yang FQ. 2008. Zircon SHRIMP U-Pb age and petrogeochemical features of the Lanjiagou granite in western Liaoning Province. Acta Petrologica Sinica, 82(11): 1555 – 1564 (in Chinese with English abstract)

Engebretson DC, Cox A and Gordon RG. 1985. Relative motions between oceanic and continental plates in the pacific basin. Geol. Soc. Spec. Paper, 206: 1 – 59

Ge WC, Wu FY, Zhou CY and Zhang JH. 2007. Porphyry Cu-Mo deposits in the eastern Xing'an-Mongolian orogenic belt: Mineralization ages and their geodynamic implications. Chinese Science Bulletin, 52(20): 2407 – 2417 (in Chinese)

Guo J. 2009. Geological characteristic and oringin of molybdenum deposit in Huojihe, Heilongjiang Province. Master Degree Thesis. Changchun: Jilin University, 35 – 38 (in Chinese with English summary)

Han ZZ, Jin ZY, Lv J, Li GC and Zhang K. 2010. Characteristics of diagenesis and mineralization of the ore-bearing granite and its tectonic setting in the Early Mesozoic Era in the Luming Xing'an-Qianjin area, southeast of the Lesser Hinggan Mountains. Geology and Prospecting, 46 (5): 852 – 862 (in Chinese with English

abstract)
Hou WR, Nie FJ, Li C, Du AD, Jiang SH, Bai DM and Liu Y. 2010. Re-Os isotopic dating of molybdenite from Xishadegai molybdenum deposit in Urad Front Banner of Inner Mongolia and its geological significance. Mineral Deposits, 29(6): 1043 - 1053(in Chinese with English abstract)
Huang DH, Wu CY, Du AD and He HL. 1994. Re-Os isotope age of molybdenum deposits in east Qinling and their significance. Mineral Deposits, 13(3): 221 - 230(in Chinese with English abstract)
Huang DH, Du AD, Wu CY, Liu LS, Sun YL and Zou XQ. 1996. Mallochronology of molybdenum (-copper) deposits in the North China plat form: Re-Os age of molybdenite and its geological significance. Mineral Deposits, 15(4): 365 - 371(in Chinese with English abstract)
Huang GP, Yang ZW and Dong CT. 2007. The analysis about the geological conditions of copper molybdenum ore in Jinchanggou, Heilongjiang Province. Gold Science and Technology, 15(3):24 - 27(in Chinese)
Jin YF, Liu FY and Lang WM. 2007. Geologic features and prospecting direction of the Sancha Mo deposit, Yanbian area. Jilin Geology, 26(3): 22 - 28(in Chinese with English abstract)
Kula CM. 2000. Understanding Mineral Deposits. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 397 - 413
Li LS, He C, Li SY, Gao HX and Wang HB. 2010. Geological characteristic and origin of Mo deposit in Yichun, Heilongjiang Province. Jilin Geology, 29(2): 53 - 55(in Chinese with English abstract)
Li LX, Song QH, Wang DH, Qu WJ, Wang CH, Wang ZG, Bi SY and Yu C. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Fu'anpu molybdenum deposit of Jilin Province and discussion on its metallogenesis. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 283 - 287(in Chinese with English abstract)
Li N, Chen YJ, Lai Y and Li WB. 2007. Fluid inclusion study of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 23(9): 2177 - 2188 (in Chinese with English abstract)
Li T. 1976. Chemical element abundances in the earth and it's major shells. Geochimica, 3:167 - 174(in Chinese with English abstract)
Li XB. 2002. Large-scale metallogeny in the continental evolution: Examples of three typical orogenic belts in China. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences, 1 - 108(in Chinese with English summary)
Li YF, Mao JW, Guo BJ, Guo BJ, Shao YJ, Fei HC and Hu HB. 2004. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu Mo (W) ore field in the eastern Qinling and its geodynamic process. Acta Geologica Sinica, 78 (2): 463 - 470 (in Chinese with English abstract)
Li YF, Mao JW, Liu D Y, Wang ZL, Wang YT, Li XF, Zhang ZH and Guo BJ. 2006. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os datings for the Leimengou porphyry Mo deposit, in western Henan Province, China and its geological implication. Geological Review, 52(1): 122 - 131(in Chinese with English abstract)
Li ZT and Zhu Q. 2001. Stable isotope composition of granitoids in eastern Jilin and Heilongjiang Provinces. Acta Petrologica et Mineralogica, 20(3): 353 - 359(in Chinese with English abstract)
Liu JM, Zhao Y, Sun YL, Li DP, Liu J, Chen BL, Zhang SH and Sun WD. 2010. Recognition of the Latest Permian to Early Triassic Cu-Mo mineralization on the northern margin of the North China block and its geological significance. Gondwana Research, 17: 125 - 134
Liu L. 2010. Ore-forming geological conditions and propecting of Kanchuangou Mo-Cu deposit in Muling area, Heilongjiang. Master Degree Thesis. Changchun: Jilin University, 1 - 60(in Chinese with English summary)
Liu XQ, Liu JB and Zhang JY. 2009. Geological characteristics and prospecting in Dashihe molybdenum deposit Dunhua, Jilin Province. Jilin Geology, 28(3): 39 - 42(in Chinese with English abstract)
Liu XQ, Peng YJ, Yin CJ, Qi CD and Zhou XD. 2010. Three genetic-tectonic types and their mineral prospecting significances of Late Triassic-Early Cretaceous granites in Jilin Province. Jilin Geology, 29(1): 1 - 4(in Chinese with English abstract)
Liu ZH. 2009. Geological characteristic and origin of deposit in Cuihongshan W-Mo-Zn polymetallic deposit. Master Degree Thesis. Changchun: Jilin University, 1 - 80 (in Chinese with English abstract)
Luo MJ, Zhang FM, Dong QY, Xu YR, Li SM and Li KH. 1991. Molybdenum Deposits in China. Zhengzhou: Henan Press of Science and Technology, 1 - 447(in Chinese with English abstract)
Ma XH, Chen B, Lai Y and Cao YH. 2009. Pertogenesis and mineralization chronology study on the Aolunhua porphyry Mo deposit Inner Mongolia and its geological significance. Acta Petrologica Sinica, 25(11): 2939 - 2950(in Chinese with English abstract)
Maniar PD and Piccoli PM. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geol. Soc. Am. Bull., 101: 635 - 643
Mao JW, Zhang ZC, Zhang ZH and Du AD. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63(11 - 12): 1815 - 1818
Maruyama S and Seno T. 1986. Orogeny and relative plate motion: Example of the Japanese islands. Tectonophysics, 127: 305 - 329
Meng XJ, Hou ZQ, Dong GY, Liu JG, Qu WJ, Yang ZS, Zuo LY, Wan LJ and Xiao MZ. 2007. The geological characteristics and Re-Os isotope age of molybdenite of the Xiongjiashan molybdenum deposit, Jiangxi Province. Acta Geologica Sinica, 81(7): 946 - 950(in Chinese with English abstract)
Miao LC, Fan WM, Zhang FQ, Liu DY, Jian P, Shi GH, Tao H and Shi YR. 2003. SHRIMP zircon geochronology and its implications on the Xinkailing-Keluo complex, northwestern of Lesser Xing'an Range. Chinese Science Bulletin, 48(22): 2315 - 2323(in Chinese)
Nie FJ, Qu WJ, Liu Y, Du AD and Jiang SH. 2005. Re-Os isotopic age dating of molybdenite separates from Elegen porphyry Mo (Cu) mineralized area, northwestern Alxa, western Inner Mongolia. Mineral Deposits, 24(6): 638 - 646(in Chinese with English abstract)
Nie FJ, Zhang WY, Du AD, Jiang SH and Liu Y. 2007. Re-Os isotopic dating on molybdenite separates form the the Xiaodonggou porphyry mo deposit, Hexigten Qi, Inner Mongolia. Acta Geologica Sinica, 81(7): 898 - 905(in Chinese with English abstract)
Pearce JA, Harris NBW and Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock. J. Petrol., 25: 956 - 983
Peng ZA, Li HH, Qu WJ, Zhang SQ, Ding HJ, Chen XR, Zhang B, Zhang YZ, Xu M and Cai MH. 2010. Molybdenite Re-Os age of Xiaohulishan molybdenum deposit in Beishan area, Inner Mongolia. Mineral Deposits, 29(3): 510 - 516(in Chinese with English abstract)
Qin F, Liu JM, Zeng QD and Zhang RB. 2008. The metallogenic epoch and source of ore-forming materials of the Xiaodonggou porphyry molybdenum deposit, Inner Mongolia. Geoscience, 22(2): 173 - 180(in Chinese with English abstract)
Qin KZ, Li HM and Li WS. 1999. Intrusion and mineralization ages of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, northwestern China. Geological Review, 45(2): 180 - 185(in Chinese with English abstract)
Rui ZY, Huang CK, Qi G M, Xu J and Zhang HT. 1984. Porphyry Copper (Molybdenum) Deposits of China. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 350(in Chinese with English abstract)
Shao JA and Tang KD. 1995. Evolution of Northeast China Terranes and the Northeast Asian Continental Margin. Beijing: Seismological Press, 1 - 185(in Chinese with English abstract)
Shi YM, Cui B and Jia WL. 2007. Geological feature of Luming molybdenum deposit at Tieli in Heilongjiang Province. Geology and Prospecting, 43(2): 19 - 22(in Chinese with English abstract)
Sinclair WD. 2007. Porphyry deposits. In: Goodfellow WD (ed.). Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Geological Association of Canada, Mineral

Deposits Division, Special Publication, 5: 223 – 243
Stein HJ, Markey RJ, Morgan WJ, Du A and Sun Y. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt, Shaanxi Province, China. Econ. Geol., 92: 827 – 835
Sui ZM, Ge WC, Wu FY, Zhang JH, Xu XC and Cheng RY. 2007. Zircon U-Pb age, geochemistry and its petrogenesis of Jurassic granites in northeastern part of the Da Hinggan Mts. Acta Petrologica Sinica, 23(2): 461 – 480(in Chinese with English abstract)
Sun DY, Wu FY, Lin Q and Lu XP. 2001. Petrogenesis and crust-mantle interaction of Early Yanshanian Baishishan pluton in Zhangguangca Range. Acta Petrologica Sinica, 17(2): 227 – 235 (in Chinese with English abstract)
Sun DY, Wu FY, Zhang Y B and Gao S. 2004. The final closing time of the west Lamulun River-Changchun-Yanji plate suture zone: Evidence from the Dayushan granitic pluton, Jilin Province. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 34(2):174 – 181 (in Chinese with English abstract)
Sun DY, Wu FY, Gao S and Lu XP. 2005. Confirmation of two episodes of A-type granite emplacement during Late Triassic and Early Jurassic in the central Jilin Province, and their constraints on the structural pattern of eastern Jilin-Heilongjiang area, China. Earth Science Frontiers, 12(2): 263 – 275 (in Chinese with English abstract)
Sun JG, Xing SW, Zheng QD, Huang YW, Yin JF, Liu HW, Wang CF, Ge ZL, Li GH and Chen JQ. 2006. Geology and Geochemistry of Nonferrous and Noble Metal Deposits, Northeastern China. Changchun: Jilin University Publishing House, 60 – 64 (in Chinese with English abstract)
Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implications for mantle composition and process. In: Sanders AD and Norry MJ (eds.). Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society Special Publication, 42: 313 – 345
Sun ZJ. 2010. The mineralization and geochemical features of stone forest park Mo (W) in Xiaoxing´anling. Master Degree Thesis. Changchun: Jilin University: 48 – 53 (in Chinese with English summary)
Tang KD, Wang Y, He GQ and Shao JA. 1995. Continental-margin structure of northeast China and its adjacent areas. Acta Geologica Sinica, 69(1): 16 – 30(in Chinese with English abstract)
Wang CH, Song QH, Wang DH, Li LX, Yu C, Wang ZG, Qu WJ, Du AD and Ying LJ. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Daheishan molybdenum deposit of Jilin Province and its geological significance. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 269 – 273(in Chinese with English abstract)
Westra G and Keith SB. 1981. Classification and genesis of stockwork molybdenum deposits. Econ. Geol., 76: 844 – 873
Wilde SA, Wu FY and Zhao GC. 2010. The Khanka block, NE China, and its significance for the evolution of the central Asian orogenic belt and continental accretion. Geological Society, London, Special Publications, 338: 117 – 137
Wu FY, Sun DY and Lin Q. 1999. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China. Acta Petrologica Sinica, 15(2): 181 – 189(in Chinese with English abstract)
Wu FY, Jahn Bor-ming, Wilde S and Sun DY. 2000. Phanerozoic crustal growth: U-Pb and isotopic evidence form the granites in northeastern China. Tectonophysics, 328(1 – 2): 89 – 113
Wu FY, Yang JH, Zhang YB and Liu XM. 2006. Emplacement ages of the Mesozoie granites in southeastern part of the western Liaoning Province. Acta Petrologiea Sinica, 22(2): 315 – 325(in Chinese with English abstract)
Wu FY, Li XU, Yang JH and Zheng YF. 2007. Discussion on the petrogenesis of granites. Acta Petrologica Sinica, 23(6):1217 – 1238(in Chinese with English abstract)
Xing SW, Sun JG, Li YX, Zhao M and Yin JF. 2007. Model for regional thermodynamic metallogenesis of nonferrous and precious metals in northeast China. Geology and Resources, 16(4): 241 – 251 (in Chinese with English abstract)
Zeng QD, Liu JM, Zhang ZL, Chen WJ and Zhang WQ. 2010a. Geology and geochronology of the Xilamulun molybdenum metallogenic belt in eastern Inner Mongolia, China. International Journal of Earth Sciences, DOI: 10.1007/s00531-010-0617-z
Zeng QD, Liu JM, Qin F and Zhang ZL. 2010b. Geochronology of the Xiaodonggou porphyry Mo deposit in northern margin of North China Craton. Resource Geology, 60(2): 192 – 202
Zeng QD, Liu JM and Zhang ZL. 2010c. Re-Os geochronology of porphyry molybdenum deposit in south segment of Da Hinggan Mountains, northeastern China. Journal of Earth Sciences, 21: 390 – 401
Zhai DG, Liu JJ, Wang JP, Peng RM, Wang SG, Li YX and Chang ZY. 2009. Re-Os isotopic chronology of molybdenite from the Taipinggou porphyry-type molybdenum deposit in Inner Mongolia and its geological significance. Geoscience, 23(2): 262 – 268(in Chinese with English abstract)
Zhang LC, Wu HY, Wan B and Chen ZG. 2009. Ages and geodynamic settings of Xilamulun Mo-Cu metallogenic belt in the northern part of the north China craton. Gondwana Research, 16: 243 – 254
Zhang SJ. 2009. Analysis on the prospecting potentiality and ore-forming geological conditions in Tieli area Mo (Cu) deposit, Heilongjiang Province. Master Degree Thesis. Changchun: Jilin University, 1 – 55(in Chinese with English summary)
Zhang T, Chen ZY, Xu LQ and Chen ZH. 2009. The Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Dasuji molybdenum deposit in Zhuozi County of Inner Mongolia and its geological significance. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 279 – 282(in Chinese with English abstract)
Zhang Y, Sun JG, Song QH, Zhao Z, Chen D, Meng LJ, Bai LA and Han SJ. 2011. Ore-forming geologic significance and $^{40}Ar/^{39}Ar$ laser probe dating of fluid inclusions in mineral from Tianbaoshan polymetallic deposit, Yanbian. Journal of Mineralogy and Petrology, 31(2): 42 – 47(in Chinese with English abstract)
Zhang YB. 2002. Isotopic geochronology of the granitic magmatic activity in Yanbian area. Ph. D. Dissertation. Changchun: Jilin University, 1 – 132(in Chinese with English summary)
Zhang YB, Wu FY, Wilde SA, Zhai MG, Lu XP and Sun DY. 2004. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of 'Early Paleozoic' granitoids at Yanbian, Jilin Province, northeast China. Island Arc, 13: 484 – 505
Zhang ZL, Zeng QD, Qu WJ, Liu JM, Sun XG, Zhang RB, Chen WJ and Qin F. 2009. The molybdenite Re-Os dating form the Nianzigou Mo deposit, Inner Mongolia and its geological significance. Acta Petrologica Sinica, 25(1): 212 – 218(in Chinese with English abstract)
Zhang ZZ, Wu CZ, Gu LX, Feng H, Zheng YC, Huang JH, Li J and Sun YL. 2009. Molybdenite Re-Os dating of Xintaimen molybdenum deposit in Yanshan-Liaoning metallogenic belt, North China. Mineral Deposits, 28(3): 313 – 320(in Chinese with English abstract)
Zhao YM, Lin WW, Bi CS, Li DX and Jiang CJ. 1990. Skarn Deposits of China. Beijing: Geological Publishing House, 292 – 293 (in Chinese with English abstract)
Zhao YM, Bi CS, Zou XQ, Sun YL, Du AD and Zhao YM. 1997. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Duobaoshan and Tongshan porphyry copper (molybdenum) deposits. Acta Geoscientia Sinica, 18(1): 61 – 67 (in Chinese with English abstract)
Zhou LL, Zeng QD, Liu JM, Zhang ZL, Duan XX, Chen WW, Li YC and Wei JJ. 2010. Mineralization stages and fissure distribution regularity of the Daheishan porphyry molybdenum deposit in Jilin Province. Geology and Prospecting, 46(3): 448 – 454(in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

陈伟军, 刘建明, 刘红涛, 孙兴国, 张瑞斌, 张作伦, 覃锋. 2010. 内蒙古鸡冠山斑岩钼矿床成矿时代和成矿流体研究. 岩石学报,

26(5)：1423－1436
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
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. 地质学报，81(7)：917－923
代军治，毛景文，赵财胜，李福让，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. 地质学报，82(11)：1555－1564
葛文春，吴福元，周长勇，张吉衡. 2007. 兴蒙造山带东段斑岩型 Cu-Mo 矿床成矿时代及其地球动力学意义. 科学通报，52(20)：2407－2417
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. 长春：吉林大学，35－38
韩振哲，金哲岩，吕军，李国臣，张坤. 2010. 小兴安岭东南鹿鸣-兴安-前进地区早中生代含矿花岗岩成岩成矿特征. 地质与勘探，46(5)：852－862
黑龙江省地质矿产局. 1993. 黑龙江省区域地质志. 北京：地质出版社，1－216
侯万荣，聂凤军，李超，杜安道，江思宏，白大明，刘妍. 2010. 内蒙古西沙德盖钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 矿床地质，29(6)：1043－1053
黄典豪，吴澄宇，杜安道，何红蓼. 1994. 东秦岭地区钼矿床的铼-锇同位素年龄及其意义. 矿床地质，13 (3)：221－230
黄典豪，杜安道，吴澄宇，刘兰笙，孙亚莉，邹晓秋. 1996. 华北地台钼(铜) 矿床成矿年代学研究. 矿床地质，15(4)：365－371
黄广平，杨增武，董传统. 2007. 黑龙江金场沟区铜钼矿成矿地质条件分析. 黄金科学技术，15(3)：24－27
吉林省地质矿产局. 1988. 吉林省区域地质志. 北京：地质出版社，1－280
金艳峰，刘凤英，郎伟民. 2007. 延边三岔钼矿床地质特征及找矿方向. 吉林地质，26(3)：22－28
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铼-锇同位素定年及成矿作用探讨. 岩矿测试，28(3)：283－287
李林山，何财，李少云，高贺祥，王洪波. 2010. 黑龙江省伊春市霍吉河钼矿床地质特征及成因探讨. 吉林地质，29(2)：53－55
李诺，陈衍景，赖勇，李文博. 2007. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床流体包裹体研究. 岩石学报，23(9)：2177－2188
黎彤. 1976. 化学元素的地球化学丰度. 地球化学，3：167－174
李晓波. 2002. 中国若干典型陆内造山带演化过程与大规模成矿作用初探. 博士学位论文. 北京. 中国地质大学，1－108
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 及辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义. 地质论评，52(1)：122－131
李之彤，朱群. 2001. 吉黑东部花岗岩类的稳定同位素组成. 岩石矿物学杂志，20(3)：353－359
刘莉. 2010. 黑龙省穆棱市砍橡沟钼铜矿床成矿地质条件及找矿远景评价. 硕士学位论文. 长春：吉林大学，1－60
刘兴桥，刘俊斌，张俊影. 2009. 吉林省敦化市大石河钼矿地质特征及找矿方向. 吉林地质，28(3)：39－42
刘兴桥，彭玉鲸，殷长建，齐成栋，周晓东. 2010. 吉林省晚三叠世-早白垩世花岗岩类三大成因构造类型及其地质找矿意义. 吉林地质，29(1)：1－4
刘志宏. 2009. 黑龙江省翠宏山钨钼锌多金属矿床地质特征及成因. 硕士学位论文. 长春：吉林大学，1－80
罗铭玖，张辅民，董群英，许永仁，黎世美，李昆华. 1991. 中国钼矿床. 郑州：河南科学技术出版社，1－447
马星华，陈斌，赖勇，曹颖淮. 2009. 内蒙古敖仑花斑岩钼矿床成岩成矿年代学及地质意义. 岩石学报，25(11)：2939－2950
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. 地质学报，81(7)：946－950
苗来成，范蔚茗，张福勤，刘敦一，简平，施光海，陶华，石玉若. 2003. 小兴安岭西北部新开岭-科洛杂岩锆石 SHRIMP 年代学研究及其意义. 科学通报，48(22)：2315－2323
聂凤军，屈文俊，刘妍，杜安道，江思宏. 2005. 内蒙古额勒根斑岩型钼(铜) 矿化区辉钼矿铼-锇同位素年龄及地质意义. 矿床地质，24(6)：638－646
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辉钼矿铼-锇同位素年龄及地质意义. 地质学报，81(7)：898－905
彭振安，李红红，屈文俊，张诗启，丁海军，陈晓日，张斌，张永正，徐明，蔡明海. 2010. 内蒙古北山地区小狐狸山钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 矿床地质，29(3)：510－516
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. 地质论评，45(2)：180－185
芮宗瑶，黄崇轲，齐国明，徐珏，张洪涛. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京：地质出版社，1－350
邵济安，唐克东. 1995. 中国东北地体与东北亚大陆边缘演化. 北京：地震出版社，1－185
时永明，崔彬，贾维林. 2007. 黑龙江省铁力市鹿鸣钼矿床地质特征. 地质与勘探，43(2)：19－22
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质岩石的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因. 岩石学报，23(2)：461－480
孙德有，吴福元，林强，路孝平. 2001. 张广才岭燕山早期白石山岩体成因与壳幔相互作用. 岩石学报，17(2)：227－235
孙德有，吴福元，张艳斌，高山. 2004. 西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据. 吉林大学学报(地球科学版)，34(2)：174－181
孙德有，吴福元，高山，路孝平. 2005. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约. 地学前缘，12(2)：263－275
孙景贵，刑树文，郑庆道，黄永卫，殷嘉飞，刘洪文，王长峰，葛正林，李光辉，陈军强. 2006. 中国东北部陆缘有色、贵金属矿床的地质、地球化学. 长春：吉林大学出版社，60－64
孙珍军. 2010. 小兴安岭石林公园钼-钨-成矿作用及地球化学特征. 硕士学位论文. 长春：吉林大学，48－53
覃锋，刘建明，曾庆栋，张瑞斌. 2008. 内蒙古小东沟斑岩型钼矿床的成矿时代及成矿物质来源. 现代地质，22(2)：173－180
唐克东，王莹，何国琦，邵济安. 1995. 中国东北及临区大陆边缘构

造. 地质学报, 69(1): 16 -30

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. 2009. 吉林大黑山超大型钼矿辉钼矿铼-锇同位素定年及其地质意义. 岩矿测试, 28(3): 269 -273

吴福元,孙德有,林强.1999. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生. 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时代. 岩石学报, 22(2): 315 -325

吴福元, 李献华, 杨进辉, 郑永飞. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题. 岩石学报, 23(6): 1217 -1238

邢树文, 孙景贵, 李月新, 赵明, 殷嘉飞. 2007. 中国东北部陆缘贵金属有色金属区域热动力成矿模式. 地质与资源, 16(4): 241 -251

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. 现代地质, 23(2): 262 -268

张苏江. 2009. 黑龙江省铁力地区钼(铜)矿床成矿地质条件及找矿潜力分析. 硕士学位论文. 长春: 吉林大学, 1 -55

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-锇同位素定年及其地质意义. 岩矿测试, 28(3): 279 -282

张艳斌. 2002. 延边地区花岗质岩浆活动的同位素地质年代学格架. 博士学位论文. 长春: 吉林大学, 1 -132

张勇, 孙景贵, 松权衡, 赵志, 陈冬, 门兰静, 白令安, 韩世炯. 2011. 延边天宝山多金属矿床的矿物流体包裹体激光探针$^{40}Ar/^{39}Ar$测年及其地质意义. 矿物岩石, 31(2): 42 -47

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. 矿床地质, 28(3): 313 -320

张作伦, 曾庆栋, 屈文军, 刘建明, 孙兴国, 张瑞斌, 陈伟军, 覃锋. 2009. 内蒙古碾子沟钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 岩石学报, 25(1): 212 -218

赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 李大新, 蒋崇俊. 1990. 中国矽卡岩矿床. 北京: 地质出版社, 292 -293

赵一鸣, 毕承思, 邹晓秋, 孙亚莉, 杜安道, 赵玉明. 1997. 黑龙江多宝山、铜山大型斑岩铜(钼)矿床中辉钼矿的铼-锇同位素年龄. 地球学报, 18(1): 61 -67

周伶俐, 曾庆栋, 刘建明, 张作伦, 段晓侠, 陈文文, 李延春, 魏金江. 2010. 吉林大黑山斑岩型钼矿床成矿阶段及含矿裂隙分布规律. 地质与勘探, 46(3): 448 -454