

大兴安岭地区内生铜矿床的成因类型、成矿时代与成矿动力学背景*

白令安 孙景贵** 张勇 韩世炯 杨凤超 门兰静 古阿雷 赵克强

BAI LingAn, SUN JingGui**, ZHANG Yong, HAN ShiJiong, YANG FengChao, MEN LanJing, GU ALei and ZHAO KeQiang

吉林大学地球科学学院, 长春 130061

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2011-08-14 收稿, 2011-10-29 改回.

Bai LA, Sun JG, Zhang Y, Han SJ, Yang FC, Men LJ, Gu AL and Zhao KQ. 2012. Genetic type, mineralization epoch and geodynamical setting of endogenous copper deposits in the Great Xing'an Range. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2):468-482

Abstract The Great Xing'an Range, located in the eastern Mongolia-Hinggan orogenic belt, is characterized by intense tectonic and magma activity, abundant endogenous non-ferrous and precious metal mineral resources. Based on studies of geological characters, genetic type and chronology, the endogenous copper deposits can be divided into three genetic types: porphyry copper deposits, epithermal high-sulphidation deposits (Cu-Ag, Cu-Sn) and contact-metasomatic deposits. The mineralization is collectively closely related to high-K calc-alkaline I-type granitic magmas, except for Cu-Sn deposits. In the eastern part of the area, porphyry copper deposits were mostly emplaced during 180 ~ 170Ma, with a small amount in around 485Ma, whereas epithermal high-sulphidation copper-silver deposits, in the middle of the Great Xing'an Range, have an emplacement age of 170 ~ 160Ma. In the west, epithermal high-sulphidation Cu-Sn deposits which emplaced between 150Ma and 135Ma are related to A-type granitic magma. The contact-metasomatic deposits are associated with above two types, concentrated in 180 ~ 160Ma and 150 ~ 135Ma. Conclusions can be drawn that the metallogenic geodynamic setting is consistent with Early Paleozoic collision between the Xing'an block and Songnen block, Middle Jurassic collision between the Siberia and North China plates epicontinental accretional belt, and the crustal extension and thinning effects of Early Cretaceous collisional orogeny. Accordingly, these deposits emplaced in intra-continental transformation orogenic regime or post-orogenic extension stages. This result will provide a scientific basis for in-depth study of the endogenous polymetallic mineralization regularity.

Key words Endogenous copper deposits; Genetic type; Metallogenic ages; Geodynamics; Great Xing'an Range

摘要 大兴安岭地区位于兴安造山带的东段,构造、岩浆活动强烈,蕴藏着丰富的内生有色金属、贵金属矿产资源。本文通过对该区内生铜矿床的地质特征、成因类型和年代学研究,初步将区内内生铜矿床划分为斑岩型、浅成热液高硫化型(铜银、铜锡)和接触交代型三种成因类型,除铜锡矿床外,它们的成矿作用均与高钾钙碱系列I型花岗质岩浆密切相关;其中斑岩型和浅成热液高硫化型(铜、银)的成矿分别发生在485Ma、180~170Ma和170~160Ma;而浅成热液高硫化型(铜锡)矿床与A型花岗质岩浆相关,成矿在150~135Ma之间;接触交代型与它们相伴生,主要发生在180~160Ma和150~135Ma。其成矿动力学背景分别与早古生代兴安地块与松嫩地块的拼合碰撞造山、中侏罗世的西伯利亚板块和华北板块的陆缘增生带碰撞缝合造山与早白垩世碰撞造山后的地壳伸展减薄作用过程相适应,矿床在不同阶段的造山挤压与伸展转换或造山期后的伸展阶段就位,这项研究为深入研究该区内生多金属成矿规律提供了科学依据。

关键词 内生铜矿床;成因类型;成矿时限;地球动力学背景;大兴安岭

中图法分类号 P611.1; P618.41; P597.3

* 本文受国家自然科学基金项目(40772052,41172072)和中国地质调查局计划工作项目(资[2010]26-06)联合资助。

第一作者简介:白令安,男,1981年生,博士生,矿床学专业,E-mail:bla127@yahoo.com.cn

** 通讯作者:孙景贵,男,1961年生,教授,博士生导师,长期从事地化及热液矿床的研究与教学工作,E-mail:sunjingui@jlu.edu.cn

1 引言

大兴安岭是中亚巨型内生金属成矿带的重要组成部分,以其广泛发育内生铜等有色金属、贵金属矿床、矿化点倍受国内外地质学家的关注(芮宗瑶等,1994;赵一鸣等,1997; Zeng *et al.*, 2009, 2010, 2011; 刘建明等, 2004);特别是近年来的地质矿产勘查,先后发现了多座大型铅锌矿、铜矿、钼矿床以及中小型矿床(如:额仁陶勒盖、甲乌拉铅锌矿,多宝山、乌奴格吐山铜钼矿,莲花山、闹牛山、布敦花铜银矿、大井铜矿、白音诺尔铅锌矿、敖仑花钼矿等),使得本区成为中国内生金属矿产勘查、开发和研究的的重要地区之一,并取得了许多新认识。在基础地质研究方面,板块学说认为东北地区的构造演化可分为古亚洲洋俯冲增生阶段、蒙古与华北陆块碰撞阶段、碰撞后/造山后岩石圈阶段与太平洋板块俯冲阶段(范蔚茗等,2008);陆内造山与地幔柱理论认为中生代的造山作用起源于软流圈物质的上涌、底侵与拆沉,其造山过程为早中生代的前或初造山、中/晚侏罗世的主造山与白垩纪的晚造山幕三个阶段(肖庆辉等,2006)。

矿床地质研究方面,祝洪臣等(2005)提出大兴安岭中生代早期的成矿作用形成于挤压造山环境,成矿母岩为钙碱系列中酸性浅成侵入岩,主要矿种为Cu;晚期成矿作用形成于伸展环境,母岩为酸性浅成侵入岩,主要矿种为Sn(刘光海和白大明,1994;耿文辉等,1995,2004;肖丙建等,2008)。葛文春等(2007a)认为中国东部侏罗纪-白垩纪初期大规模斑岩-矽卡岩型铜钼矿床的形成应与东侧古太平洋板块的俯冲有关,120~130 Ma的大规模岩石圈减薄并不伴随此类矿床的发育。Zeng *et al.* (2011)将本区划分为四个成矿带,并对本区矿床类型、特征及成矿潜力进行了系统总结。

岩石地球化学方面,东北地区显生宙的花岗岩具有低初始Sr、高初始Nd,显示其形成与地幔关系密切(吴福元等,1999;Wu *et al.*, 2011);中生代的花岗岩根据微量元素的特征可划分为起源于幔源岩浆分异作用的高Sr花岗岩与幔源基性岩石部分熔融的低Sr花岗岩(林强等,2004)。

这些成果一定程度上推动了该区内生铜矿床成矿理论的研究,为深入研究该区成矿特征奠定了基础,但是从发表的研究成果来看,对研究区的内生铜矿床的成因类型、成矿时代以及成矿动力学背景的认识还有较大的争议。本文在全面总结各类铜(钼)矿床地质特征的基础上,深入解剖了内生铜矿床的成矿时代、成矿期与成矿专属性,初步确定大兴安岭地区内生铜矿床的成因类型主要为斑岩型、浅成热液高硫化型和接触交代型三类,前两者的成矿分别发生在485Ma左右的早古生代、180~170Ma的中侏罗世,与170~160Ma的中侏罗世、150~135Ma的早白垩世早期,后者为中侏罗世、早白垩世早期;成矿动力学背景与早古生代地块拼合碰撞造山环境和中侏罗世的板块碰撞缝合造山以及早白垩世岩石圈伸展减薄环境相适应,这一成果为今后进一步揭示该

区成矿规律提供了科学依据。

2 区域成矿地质背景

大兴安岭地处华北地台与西伯利亚地台之间的天山-兴蒙造山带的东端,南以西拉木伦断裂为界与华北板块接壤,东以嫩江-八里罕中生代断裂与松辽盆地、小兴安岭、张广才岭相邻,整体呈现为NE-NNE向展布的成岩成矿构造域(图1)。先后经历了古亚洲洋演化、太平洋板块俯冲以及新生代深断裂等多期构造、岩浆作用,使得本区成为中国东北部寻找内生铜等有色金属、贵金属矿床的重要地区之一。

研究区的前寒武地层仅发育于东段的北部,为元古代绿片岩、角闪岩相类变质岩。盖层为古生代的碎屑岩、碳酸岩以及中生代的火山碎屑岩系。区内出露的地层主要是中奥陶统多宝山组和铜山组,为一套安山质、凝灰质海相火山沉积建造,主要分布于大兴安岭北东段(黑龙江省地质矿产局,1993);下二叠统大石寨组为浅海相的基性、中性、酸性火山岩组合,局部夹有正常碎屑岩,分布于黄岗梁-甘珠尔庙-乌兰浩特一带(内蒙古自治区地质矿产局,1991;鲍庆中等,2005;周振华等,2010);上二叠统林西组为湖相粗碎屑沉积,广泛发育于大兴安岭南段的林西地区,碎屑锆石的年龄为 $256 \pm 2\text{Ma}$ (李福来等,2009;韩杰等2011)。此外广泛分布晚中生代次火山岩,并发育古生代-中生代的二长花岗岩-花岗闪长岩-花岗斑岩为代表的花岗杂岩(图1)。

3 矿床空间分布、成因类型与典型铜矿床的基本地质特征

3.1 矿床空间分布特点

迄今为止,区内已探明内生铜矿床(矿化点)多达148个,其中超大-大型矿床3个,中型矿床10个,小型矿床25个。整体分布表现为沿北东向深大断裂呈现北东成带,北西成行的特点,并且断裂交叉部位成矿条件优越。大多数铜矿床或矿化点集中分布于三个区域,分别是北侧的额尔古纳成矿带、中间的塔木察格-牙克石-黑河成矿带与南侧的二连东、西乌旗-乌兰浩特成矿带。

额尔古纳成矿带属于额尔古纳早古生代增生造山带,介于鄂霍次克缝合带与得尔布干断裂带之间,区内断裂、岩浆、火山活动强烈,广泛发育前寒武的绿片岩、角闪岩相变质岩,侵入岩主要为黑云母花岗岩,地层是中生代的火山-碎屑岩。该区分布有众多的内生金属矿床,已发现多座大中型矿山,如乌奴格吐山、八大关、八八一铜钼矿等。成矿多与中酸性斑岩体密切相关,以斑岩型铜钼矿床为主。

塔木察格-牙克石-黑河成矿带位于大兴安岭北段晚古生代中期增生造山带内,北西侧为得尔布干断裂带,东侧以嫩江-白城断裂为界,中酸性岩浆活动频繁,花岗闪长岩、二长花岗岩与花岗斑岩极为发育,与成矿有关的地层为中奥陶统

可划分为四个热液阶段:硅化、钼矿化、铜矿化与碳酸盐石英阶段,以钼矿化与铜矿化最为发育。石英内流体包裹体均一温度为 120 ~ 550℃,盐度为 2% ~ 60% NaCleqv (武广等, 2009),符合典型的斑岩型矿床特征 (Sillitoe, 2010)。

乌奴格吐山铜钼矿床位于中生代海拉尔盆地与古生代额尔古纳褶皱隆起的隆凹转换地带,矿体产于火山管道二长花岗斑岩的内外接触带,岩浆活动频繁,依次为流纹质凝灰岩-二长花岗斑岩-英安质角砾岩-安山玢岩、花岗斑岩 (秦克章和王之田, 1993)。矿体受断裂分割为南北两个矿段,连续性多,多呈透镜状、板状或条带状产出;矿石为细粒他形粒状-自形粒状结构,主要呈细脉浸染状,以铜钼矿化为主,并伴有铅锌银等矿化。蚀变具有中心式面状蚀变的特征,可分为三个带:钾化带、绢英岩带和泥化带。依据前人的研究,石英内流体包裹体均一温度为 100 ~ >510℃,盐度为 6.3% ~ 75% NaCleqv,早中期发育有子晶矿物 (李诺等, 2007a),同样具典型的斑岩型特征。

3.2.2 浅成热液高硫化型铜矿床

浅成热液高硫化型铜矿床分布于大兴安岭的中段和南段,可分为两个亚类:一为铜银矿床,代表性矿床为莲花山铜银矿床;另一个为铜锡多金属矿床,代表性矿床为毛登铜锡多金属矿床。

莲花山铜银矿床是大兴安岭东南缘铜成矿带的一个重要矿床,位于突泉中生代火山盆地野马次级隆起的西南缘,矿区内发生了多次岩浆侵入事件,尤其是闪长玢岩和二长花岗斑岩,两者侵入下二叠统大石寨组变质凝灰岩和侏罗系万宝组砂砾岩、粉砂岩中,并于大石寨组中成矿。矿体受北西向断裂、裂隙带控制,呈脉状、透镜状产出;矿石矿物组合为黄铜矿、黄铁矿及少量的方铅矿与闪锌矿,细粒他形粒状结构,网脉状、脉状、浸染状、角砾状及块状构造。围岩蚀变为电气石化、阳起石化、硅化与绿泥石化,矿化可划分为四个阶段:早期的石英-硫化物、硫化物-石英、多金属硫化物和晚期的石英-方解石阶段,以中间的两个阶段为主 (刘光海和白大明, 1994)。流体包裹体显示,成矿温度介于 130 ~ >450℃,均值约为 350℃,盐度为 10% ~ 40% NaCleqv,可见石盐、硫酸盐子矿物与富气相包体包裹体共存,隐爆特征明显 (数据另文发表),整体显示为浅成热液高硫化型矿床 (Bonham, 1986)。

毛登铜锡多金属矿床是大兴安岭中南部典型的铜锡多金属矿床之一,位于华力西晚期地槽褶皱系的南东翼,裸露地层为早中侏罗世复成分砂砾岩,侵入岩为晚侏罗世的花岗斑岩,矿体呈脉状、串珠状产出于两者内外接触带的北西向压扭性断裂裂隙带内。金属矿物主要为黄铜矿、锡石及方铅矿、闪锌矿等,他形粒状结构,以脉状构造为主。蚀变具有明显的线型分布特征,可划分为三个区带:钾化带、云英岩化带和硅化带;相应的矿化阶段为磁铁矿化、锡石化与多金属硫化物矿化,与铜矿有关的为最后一个阶段。石英内流体包裹体均一温度为 200 ~ 550℃,盐度为 8% ~ 17.5% NaCleqv,且

均一温度相近的富液相包裹体、富气相包裹体和含 NaCl 子晶的高盐度流体包裹体共存,反映发生了明显的沸腾 (刘玉强, 1996)。与莲花山铜银矿床具有一致的浅成热液高硫化型矿床的成因属性。

3.3 接触交代型铜矿床

接触交代型矿床在大兴安岭分布较少,仅有少数几个出现在局部地段,这与我国其它地区该类型铜矿占有较大比例的事实不符,本区代表性矿床为三矿沟铜铁矿。

三矿沟铜铁矿位于大兴安岭早古生代陆缘的多宝山岛弧活动带上,矿床受北西向 (三矿沟背斜) 与北东向 (三矿沟断裂) 构造控制,容矿构造主要是北西向次级破碎断裂构造或层间破碎带。矿区地层为中奥陶统多宝山组砂岩,粉砂岩夹安山玢岩、凝灰质粉砂岩和大理岩透镜体。燕山早期花岗岩侵入,形成矽卡岩和铜矿化,矿体形态受矽卡岩产状和地层控制,呈条带状展布;矿石中金属矿物主要为黄铜矿、辉铜矿及磁铁矿等,结构多为他形或半自形粒状,构造主要为块状、胶状、浸染状构造。围岩蚀变以矽卡岩化为主,绿泥石化、绿帘石化较少见;矿化大致可以分为三个阶段,分别为矽卡岩、热液硫化物和表生阶段,以中间阶段最为重要 (李之彤等, 2008; 王洪瑜等, 2008)。

4 成矿年代学、成矿时代与成矿期

长期以来,有关大兴安岭铜矿床的成矿时代和成矿期一直存在较大的争议,前人曾提出大兴安岭存在 4 个成矿阶段 (贾盼盼等, 2011),中生代存在 3 个成矿阶段 (毛景文等, 2005) 或 2 个阶段 (刘翠等, 2011; 祝洪臣等, 2005); 这些分歧不难看出,主要是不同学者采用测年方法不同 (K-Ar、Rb-Sr、U-Pb、Re-Os) 以及所测定的对象差异; 本文将它们发表的数据和本次获得的定年结果分别列于表 2 和表 3,下面就各成因类型铜矿床的测试结果分述如下。

我们剔除表 2 中精度较差的数据,然后以 10Ma 为间隔制成年龄频数直方图 (图 2),从中可以看出大兴安岭的铜成矿作用主要集中于两个时间段,分别为中侏罗世和早白垩世早期; 尽管古生代存在如多宝山的超大型铜钼矿床,但整体显得较为孤立,暂且称为另一个重要的成矿时间段。

4.1 早古生代成矿期

大兴安岭地区古生代铜钼矿床主要位于研究区东段的多宝山一带,以多宝山和铜山铜钼矿为代表,但长期以来对其成岩成矿时代却一直存在较大的争议。多数学者认为矿床就位于早古生代,前人测得的多宝山矿区的数据 (K-Ar 法、Rb-Sr 等时线法) 显示,成矿时间在 170.4 ~ 397Ma 之间 (杜琦, 1988; 赵一鸣等, 1997; 刘驰等, 1995),波动巨大,由于数据多为 K-Ar 法,反映成矿后曾遭受过后期热事件,而非真

表2 大兴安岭地区铜多金属矿床同位素测年数据(Ma)

Table 2 Dating data of Cu-polymetallic deposits in the Great Xing'an Range(Ma)

矿床名称	K-Ar 年龄	Rb-Sr 等时线	U-Pb 谐和线	Re-Os 模式年龄	测试矿物或岩石	资料来源
加里东/海西期	292		485 ± 8		花岗闪长岩 花岗闪长岩	杜琦,1988 葛文春等,2007a
多宝山斑岩型铜钼矿				507 ± 3 509 ± 5 521 ± 20	辉钼矿	赵一鸣等,1997
铜山斑岩型铜钼矿		283 310 ± 17			花岗闪长斑岩 花岗闪长岩	杜琦,1988
奥尤特高硫化型铜多金属矿	286.5 ± 1.8			476 ± 14 505 ± 14	辉钼矿	赵一鸣等,1997
中侏罗世			188.3 ± 0.6		二长花岗斑岩 全岩	秦克章等,1999
乌奴格吐山斑岩型铜钼矿	183.5 ± 1.7	183.9 ± 1		178 ± 10	蚀变绢云母 辉钼矿	李诺等,2007b
三矿沟接触交代型铜铁多金属矿	174.3		176 ± 3		花岗闪长岩 花岗闪长岩	王洪瑜等,2008 葛文春等,2007a
小多宝山接触交代型铜铁多金属矿			170.8 ± 0.6		花岗闪长岩	本文
布敦化高硫化型铜矿		166			花岗闪长岩	
闹牛山高硫化型铜矿		161.8			闪长玢岩	盛继福和傅先政,1999
莲花山高硫化型铜矿			161.8		闪长玢岩、含矿 花岗闪长斑岩	
早白垩世早期						
二十一站斑岩型铜矿	146 ~ 155				花岗闪长岩	黑龙江省地质矿产局,1993
岔路口斑岩型铜多金属矿床				146.9 ± 0.8	辉钼矿	聂风军等,2011
毛登高硫化型铜锡多金属矿		149			花岗斑岩	刘玉强,1996
敖脑达巴高硫化型铜锡多金属矿		148.8			花岗斑岩	赵一鸣等,1994
朝不楞接触交代型铜铁多金属矿			136.9 ± 1.5	140.7 ± 1	辉钼矿 二长花岗岩	聂风军等,2007 许立权等,2010
大井高硫化型铜锡多金属矿	138.3				闪长斑岩 英安斑岩	Wang <i>et al.</i> ,2001

正的成矿年龄。赵一鸣等(1997)使用 Re-Os 法测得多宝山铜钼矿的辉钼矿模式年龄为 507Ma ~ 521 ± 14Ma,铜山铜钼矿的模式年龄为 476Ma ~ 505 ± 14Ma,这与葛文春等(2007a)获得的多宝山铜钼矿 U-Pb 谐和年龄(485 ± 8Ma)以及崔根等(2008)测得的花岗闪长岩 SHRIMP 年龄(479.5 ± 4.6Ma)在误差范围之内,说明多宝山铜钼矿形成于早古生代的热事件,而非长期以来认为的晚古生代。

4.2 中侏罗世成矿期

研究区内中侏罗世铜矿床分布较广,数量较多,多发育

在大兴安岭北东段的得尔布尔断裂一线、中南段的莲花山一带及东段局部地区。得尔布尔断裂一线的铜钼矿多处于未开发状态,精确测年数据较少,仅乌奴格吐山铜钼矿床的成岩和成矿时代问题进行过详细研究,王之田和秦克章(1988)认为黑云母花岗岩(围岩)年龄为 187Ma;秦克章等(1999)获得的二长花岗斑岩锆石 U-Pb 等时线年龄为 188.3Ma,全岩 Rb-Sr 年龄 183.9Ma,蚀变绢云母年龄 183.5Ma,与李诺等(2007)测得辉钼矿 Re-Os 等时线年龄约 178Ma 基本一致,因此基本上可认为其成岩成矿热事件为中侏罗世,而王之田和秦克章(1988)曾得到成矿相关的乌奴格吐山斑岩体 K-Ar 年

表3 小多宝山花岗闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年结果

Table 3 LA-ICP-MS U-Pb data of zircons from granodiorite in Xiaoduobaoshan

Spot Number	Isotopic ratios						Th/U	Age (Ma)					
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ
01	0.0487	0.0006	0.1818	0.0018	0.0271	0.0002	0.5238	132	12	170	2	172	1
02	0.0497	0.0005	0.1852	0.0018	0.0271	0.0002	0.5389	181	11	173	2	172	1
03	0.0501	0.0006	0.1856	0.0020	0.0269	0.0002	0.4600	200	13	173	2	171	1
04	0.0492	0.0007	0.1669	0.0022	0.0246	0.0002	0.4996	156	17	157	2	157	1
05	0.0535	0.0008	0.1970	0.0026	0.0267	0.0002	0.4099	352	16	183	2	170	1
06	0.0490	0.0006	0.1810	0.0018	0.0268	0.0002	0.4854	146	12	169	2	171	1
07	0.0486	0.0006	0.1814	0.0018	0.0271	0.0002	0.4854	130	12	169	2	172	1
08	0.0581	0.0006	0.2280	0.0021	0.0285	0.0002	0.4854	535	9	209	2	181	1
09	0.0545	0.0006	0.2127	0.0020	0.0284	0.0002	0.4854	390	10	196	2	180	1
10	0.0500	0.0006	0.2090	0.0020	0.0303	0.0002	0.4854	195	11	193	2	193	1
11	0.0461	0.0026	0.1688	0.0093	0.0266	0.0002	0.4644		120	158	8	169	1
12	0.0494	0.0005	0.1835	0.0017	0.0270	0.0002	0.4644	166	10	171	1	171	1
13	0.0492	0.0006	0.1804	0.0020	0.0266	0.0002	0.4644	156	13	168	2	169	1
14	0.0490	0.0007	0.1823	0.0022	0.0270	0.0002	0.4644	147	15	170	2	172	1
15	0.0492	0.0006	0.1823	0.0019	0.0269	0.0002	0.4644	156	12	170	2	171	1
16	0.0515	0.0007	0.1902	0.0023	0.0268	0.0002	0.4609	265	15	177	2	170	1
17	0.0491	0.0006	0.1827	0.0021	0.0270	0.0002	0.4609	154	14	170	2	172	1
18	0.0480	0.0006	0.1764	0.0022	0.0267	0.0002	0.4609	97	16	165	2	170	1
19	0.0485	0.0007	0.1788	0.0022	0.0268	0.0002	0.4609	124	16	167	2	170	1

注:测试单位为北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室

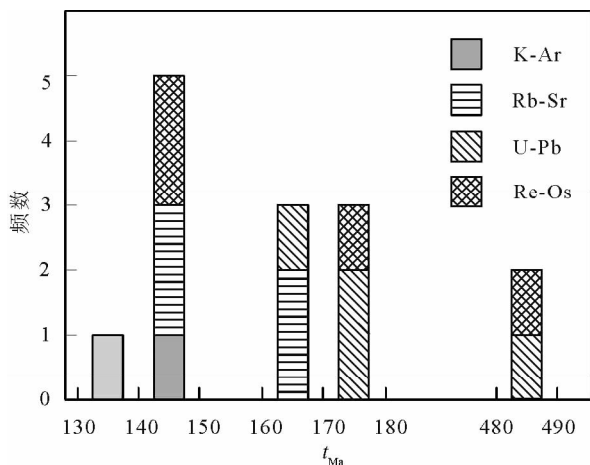


图2 大兴安岭地区内生铜矿床的年代学数据直方图

Fig. 2 Distribution of the geochronological data of the endogenous copper deposits in the Great Xing'an Range

龄为 138Ma,可能代表成矿后某一期热事件的年龄。在中南段,盛继福和傅先政(1999)使用 U-Pb 等时线法测得莲花山与成矿有关的闪长玢岩年龄为 161.8Ma,闹牛山闪长玢岩、布敦化花岗闪长岩的 Rb-Sr 年龄分别为 161.8Ma 和 166Ma。在北段东部,王洪瑜等(2008)测得三矿沟的花岗闪长岩 K-Ar 年龄为 174.3Ma,这与葛文春等(2007a)用锆石 U-Pb 法得到的三矿沟与成矿密切相关的花岗闪长岩年龄(175Ma)十分相近。本文获得的小多宝山花岗闪长岩的 U-Pb 谐和年龄

为 $170.8 \pm 0.63\text{Ma}$ (表3、图3),也表明其属于中侏罗世岩浆活动的产物。

4.3 早白垩世早期成矿期

该期是本区又一重要的成矿期,形成数量众多的中小型铜多金属矿床,主要分布于大兴安岭地区的南段,成矿多集中在 140Ma 左右。大井铜锡多金属矿的成矿年龄为 138.3Ma(Wang *et al.*, 2001),敖脑达巴花岗斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 148.8Ma(赵一鸣等,1994),毛登锡多金属矿花岗斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 149Ma(刘玉强,1996),聂凤军等(2007)获得朝不楞铜多金属矿床的 Re-Os 年龄为 $140.7 \pm 1\text{Ma}$,显然这一系列矿床的产生多与早白垩世早期的岩浆热事件密切相关。

5 成矿专属性与成矿规律

5.1 斑岩型矿床的成矿环境

5.1.1 岩石地球化学特征

从表1与表4可知,大兴安岭斑岩型铜矿主要产在两种典型的高钾钙碱性岩石组合中,分别为早古生代的花岗闪长(斑)岩与英云闪长岩,中生代的花岗斑岩、黑云母花岗岩。成矿相关的花岗质岩石与典型 I 型花岗岩相比(表4),具有较低 SiO_2 含量(65.82% ~ 71.10%),相似的 Al_2O_3 (13.36% ~ 15.26%)、 MgO (0.38% ~ 1.97%)、 Fe_2O_3^T (2.31%

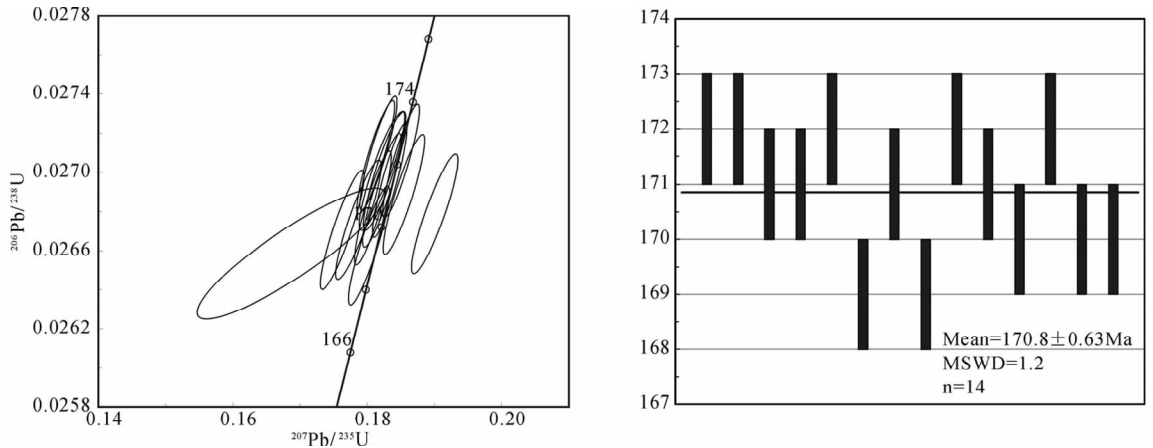


图3 小多宝山花岗闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谱和图

Fig.3 Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram of granodiorite in Xiaoduobaoshan

表4 大兴安岭地区铜矿床代表性岩石的主量(wt%)和微量、稀土元素($\times 10^{-6}$)组成

Table 4 Major (wt%), trace element and REE($\times 10^{-6}$) composition of copper deposit in the Great Xing'an Range

样品号	多宝山		乌山		闹牛山		莲花山		布敦化		大井		毛登		小多宝		三矿沟		长英质		
	$\gamma\delta\pi$	$\gamma\delta$	$\gamma\pi$	$\gamma\delta\pi$	$\gamma\delta\pi$	$\gamma\pi$	$\gamma\delta\pi$	$\gamma\pi$	$\gamma\delta\pi$	$\gamma\pi$	$\gamma\delta$	$\gamma\delta$	A 型	I 型	S 型						
SiO ₂	71.10	65.82	70.58	72.79	68.87	67.09	66.91	75.95	65.84	66.36	73.81	73.39	73.39								
Al ₂ O ₃	13.36	15.26	14.83	14.08	15.39	14.80	15.77	11.89	15.50	15.62	12.4	13.43	13.45								
TiO ₂	0.19	0.36	0.29	0.29	0.35	0.45	0.59	0.19	0.57	0.51	0.26	0.26	0.28								
Fe ₂ O ₃	0.76	1.88	0.91	1.04	0.82	1.51	0.71	0.81	2.10	1.83	1.24	0.60	0.36								
FeO	2.48	1.72	1.26	1.87	1.48	2.71	2.65	0.85	1.78	2.15	1.58	1.32	1.73								
CaO	2.14	2.72	1.27	1.57	1.59	2.19	3.69	0.57	3.58	3.47	0.20	1.71	1.28								
MgO	0.62	1.97	0.38	0.70	1.38	1.63	2.27	0.26	1.73	1.68	0.75	0.55	0.58								
K ₂ O	3.38	3.84	3.87	3.81	2.99	3.18	3.23	4.95	2.65	2.82	4.07	4.13	4.56								
Na ₂ O	3.98	3.45	4.52	3.70	4.86	3.98	3.96	2.87	4.46	4.35	4.65	3.33	2.81								
MnO	0.03	0.31	0.03	0.07	0.04	0.06	0.11	0.03	0.06	0.08	0.06	0.05	0.04								
P ₂ O ₅	0.11	0.21	0.05	0.08	0.11	0.12	0.13	0.04	0.18	0.18	0.04	0.07	0.14								
Ba	—	395	731	—	255	398	—	—	529	631	352	510	388								
Rb	—	54.8	124.2	—	30.9	82.0	—	—	65.6	68.6	169	194	277								
Th	—	2.77	2.72	—	5.11	15.6	—	—	7.78	3.02	23.00	22.00	18.00								
U	—	0.92	1.16	—	1.49	4.00	—	—	8.65	3.04	5.00	5.00	8.00								
Sr	—	247	48	—	420	264	—	—	609	464	48	143	81								
Zr	—	76	123.5	—	—	171	—	—	—	145	528	144	136								
Hf	—	2.12	3.74	—	0.91	6.27	—	—	1.01	3.72	—	—	—								
La	8.32	14.86	17.01	—	17.51	31.40	—	59.06	24.65	24.70	—	—	—								
Ce	14.62	28.44	32.36	—	33.99	61.35	—	115.7	47.96	51.20	—	—	—								
Pr	1.77	3.60	3.77	—	4.43	7.78	—	15.24	6.19	5.80	—	—	—								
Nd	7.12	14.35	12.88	—	15.32	30.15	—	54.54	21.14	22.50	—	—	—								
Sm	1.43	2.76	2.13	—	2.84	6.13	—	10.13	3.82	4.11	—	—	—								
Eu	0.33	0.75	0.50	—	0.82	0.95	—	0.56	1.07	1.03	—	—	—								
Gd	1.12	2.30	1.39	—	2.38	5.73	—	8.46	3.28	3.68	—	—	—								
Tb	0.16	0.34	0.17	—	0.34	0.86	—	1.35	0.51	0.52	—	—	—								
Dy	0.85	1.84	0.74	—	1.63	5.20	—	6.77	2.63	2.77	—	—	—								
Ho	0.18	0.37	0.13	—	0.28	1.06	—	1.28	0.49	0.54	—	—	—								
Er	0.45	1.05	0.36	—	0.74	3.11	—	3.47	1.38	1.47	—	—	—								
Tm	0.06	0.16	0.06	—	0.11	0.46	—	0.46	0.25	0.22	—	—	—								
Yb	0.32	1.10	0.43	—	0.65	3.08	—	1.68	1.48	1.61	—	—	—								
Lu	0.04	0.17	0.08	—	0.13	0.45	—	0.42	0.23	0.26	—	—	—								
Na ₂ O/K ₂ O	0.85	1.11	0.86	1.03	1.62	1.25	1.23	0.58	1.68	1.54	—	—	—								
(Na ₂ O + K ₂ O)/CaO	3.43	2.68	6.61	4.79	4.95	3.27	1.95	13.76	1.98	2.06	—	—	—								
A/CNK	0.95	1.03	1.07	1.08	1.09	1.06	0.94	1.07	0.93	0.95	—	—	—								
A/NK	1.31	1.55	1.28	1.38	1.37	1.48	1.58	1.18	1.52	1.53	—	—	—								
La/Yb	17.53	9.11	26.54	—	18.16	6.88	—	23.74	11.26	10.38	—	—	—								
δEu^*	0.77	0.89	0.84	—	0.94	0.48	—	0.18	0.90	0.79	—	—	—								
数据个数	6	7	8	4	4	6	2	7	2	2	148	421	205								

注:资料来源:①多宝山:杜琦,1988;葛文春等,2007a,②乌山:王荣全等,2007;陈志广等,2008,③闹牛山:李忠军等,1995;耿文辉等,2004;祝洪臣等,2005,④莲花山:赵一鸣等,1994;祝洪臣等,2005;白令安等,2011,⑤布敦化:赵一鸣等,1994,⑥大井:李蒙文,2006,⑦毛登:石得凤,2007,⑧小多宝山:白令安等,2011,⑨三矿沟:葛文春等,2007a

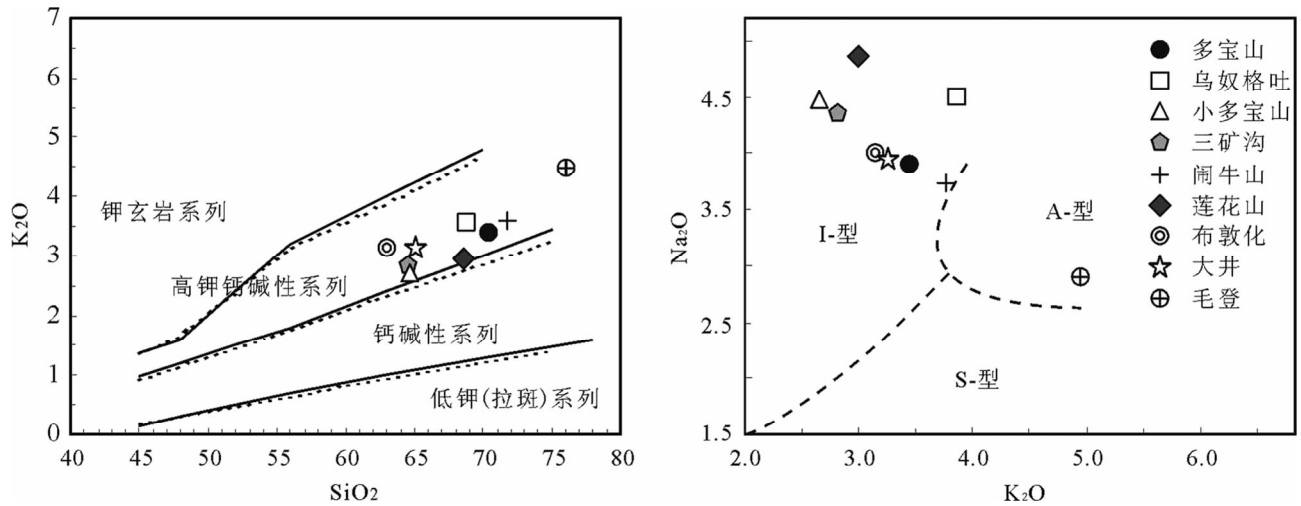


图4 大兴安岭成矿期花岗岩的岩浆系列判别图解(a)与岩石类型判别图解(b)

Fig. 4 Discrimination diagrams of metallogenic granite magma series (a) and rock type (b) in the Great Xing'an Range

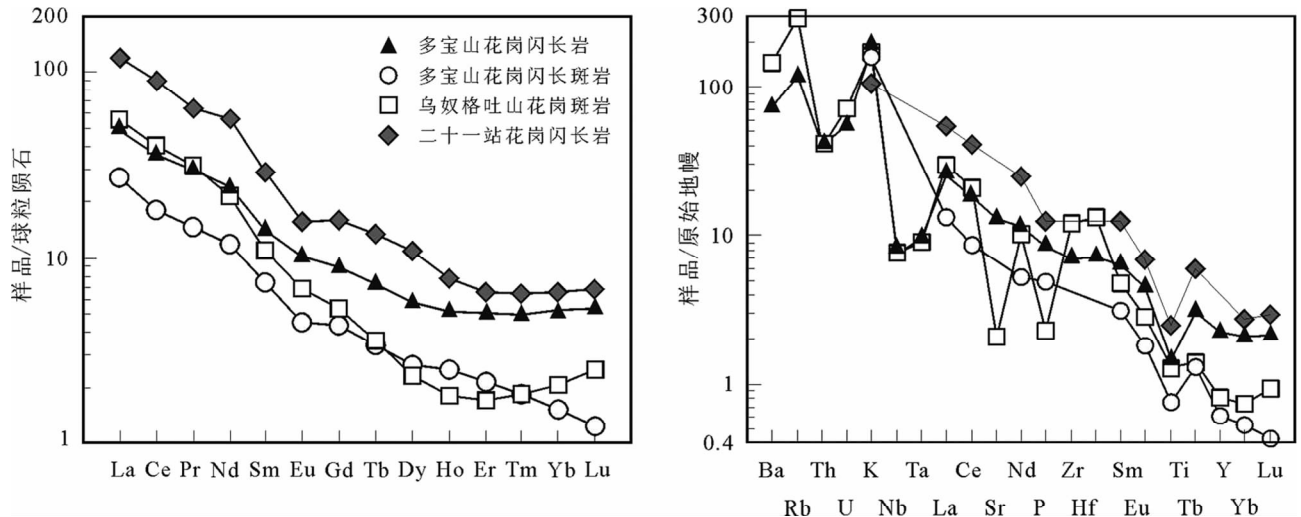


图5 球粒陨石标准化的稀土元素配分图(a, 标准值据 Boynton, 1984)与原始地幔标准化的微量元素蛛网图(b, 标准值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE element pattern (a, normalization values after Boynton, 1984) and primitive mantle-normalized trace element pattern (b, normalization values after Sun and McDonough, 1989)

~3.63%) 与 P_2O_5 (0.05% ~ 0.21%), K_2O/Na_2O 、 A/CNK 、 A/NK 也与 I 型花岗岩较接近, 均值分别为 0.85 ~ 1.11、0.95 ~ 1.07、1.28 ~ 1.55, 这与罗铭玖等 (1991) 得出的斑岩型矿床具有相似的地球化学特征; 在岩浆系列判别图解中, 21 个样品的均值全部落入高钾钙碱性区域内 (图 4a), 在岩石类型判别图解中 (图 4b) 投入到 I 型花岗岩区。

斑岩型铜矿床的花岗质岩石具有较低的稀土总量, ΣREE 处于 36.77×10^{-6} ~ 72.08×10^{-6} 之间, 低于地壳平均值。在稀土元素配分图上 (图 5a), 分配曲线完全一致, 均为右倾型, $(La/Yb)_N$ 在 9.11 ~ 26.54 之间, 轻重稀土分馏较明显, 显示极轻微的正异常, δEu^* ($\delta Eu^* = 2 \times (Eu/0.0735) / ((Sm/0.195) + (Gd/0.259))$) 为 0.63 ~ 1.00。在原始地幔

标准化蛛网图中 (图 5b), 富集 Ba、Rb、K 等大离子亲石元素, 强烈亏损 Nb、Ta、Ti、P、Sr 等高场强元素, Nb、Ta 的亏损说明了岩浆起源于地壳, 而 P 和 Ti 的强烈亏损反映了岩浆曾经经历了磷灰石、榍石等副矿物的分离结晶。

5.1.2 构造环境讨论

在花岗岩 Y-Nb 判别图中 (图 6b), 样品投点多落入同碰撞与火山弧花岗岩区, 说明其形成应与造山活动相关; 在 R_1 - R_2 构造环境判别图解中 (图 6a), 多宝山与乌奴格吐山样品投影点除个别点位于碰撞后隆起区外, 基本都落入同碰撞花岗岩区, 二十一站全部落入碰撞后隆起花岗岩区。年代学资料的显示, 多宝山岩体可能形成于中蒙古-兴安微板块与佳木斯-松嫩微板块碰撞拼合的早期; 乌奴格吐山岩体产于

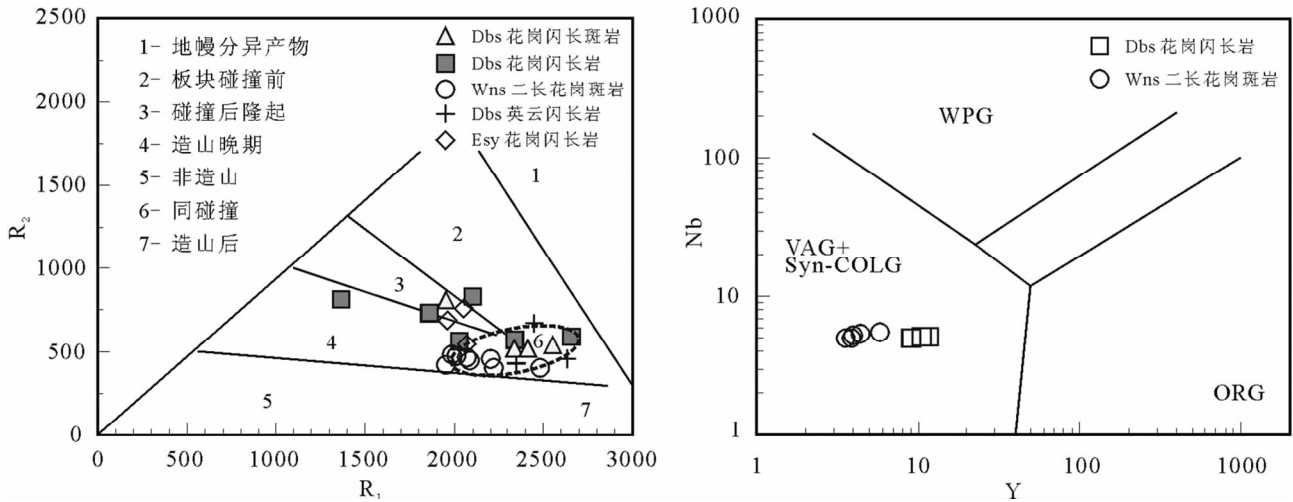


图6 斑岩型矿床成(含)矿岩体的 R_1 - R_2 构造环境判别图(a)与 Y-Nb 构造环境判别图(b)

Fig.6 R_1 - R_2 tectonic discrimination diagram (a) and Y-Nb tectonic discrimination diagram (b) of porphyry deposits ore-forming (containing) rocks

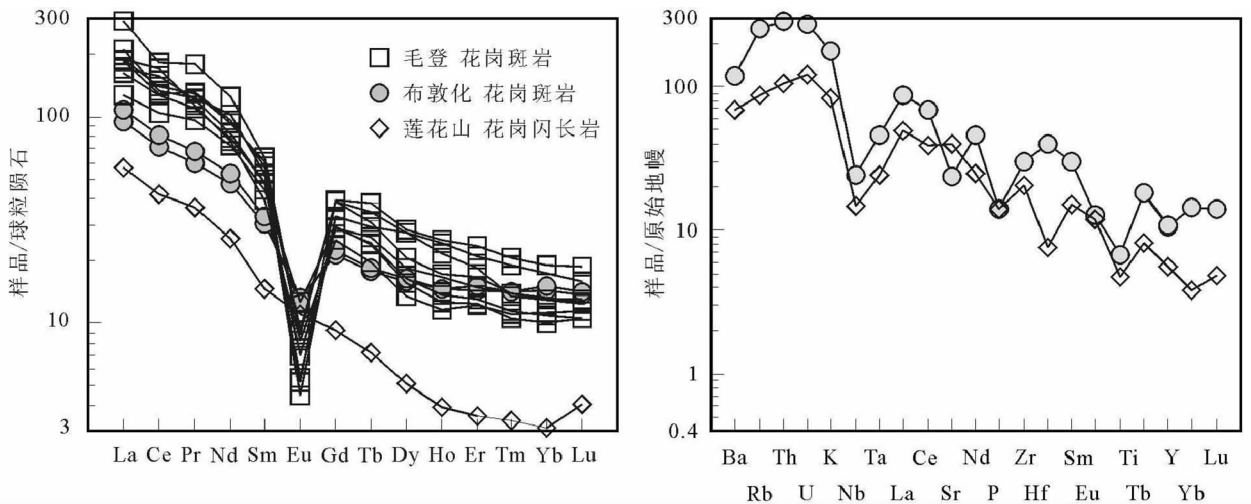


图7 球粒陨石标准化的稀土元素配分图(a, 标准值据 Boynton, 1984)与原始地幔标准化的微量元素蛛网图(b, 标准值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig.7 Chondrite-normalized REE element pattern (a, normalization values after Boynton, 1984) and Primitive mantle-normalized trace element pattern (b, normalization values after Sun and McDonough, 1989)

鄂霍次克洋俯冲消亡后,西伯利亚板块与华北板块陆缘增生带碰撞对接的早阶段;二十一站则处于碰撞后的隆升阶段。

5.2 浅成热液高硫化型矿床的成矿环境

5.2.1 岩石地球化学特征

区内浅成热液高硫化型矿床的典型岩石组合为花岗斑岩、花岗闪长岩与次火山岩,其中花岗质岩石与成矿最为密切(表1)。从表4可知,与高硫化型矿床密切相关花岗岩的地球化学特征分为两类,一类以莲花山为代表, SiO_2 为 66.91% ~ 72.79%, MgO 为 0.70% ~ 2.27%, CaO 为 1.57%

~ 3.69%, TiO_2 为 0.29% ~ 0.59%, Al_2O_3 为 14.08% ~ 15.77%; ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 含量为 7.16% ~ 7.85%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值为 1.03 ~ 1.62, ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)/ CaO 比值为 1.95 ~ 4.79; 另一类以毛登为代表,具有高 SiO_2 , 低 Al_2O_3 、 MgO 、 P_2O_5 , 富碱的特征, SiO_2 均值含量为 75.95%, Al_2O_3 含量为 11.89%, MgO 含量为 0.26%, P_2O_5 含量为 0.04%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量为 7.82%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 为 0.58, A/CNK 为 1.07, A/NK 为 1.18。与 A 型、I 型和 S 型花岗岩相比(表4),在 Al_2O_3 、 CaO 、($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)/ CaO 等参数上,前者接近于长英质 I 型花岗岩,后者趋向于 A 型花岗岩;在岩浆系列判别图解中,两类样品全部落入高钾钙碱性区域内(图4a),在岩石类型判别图

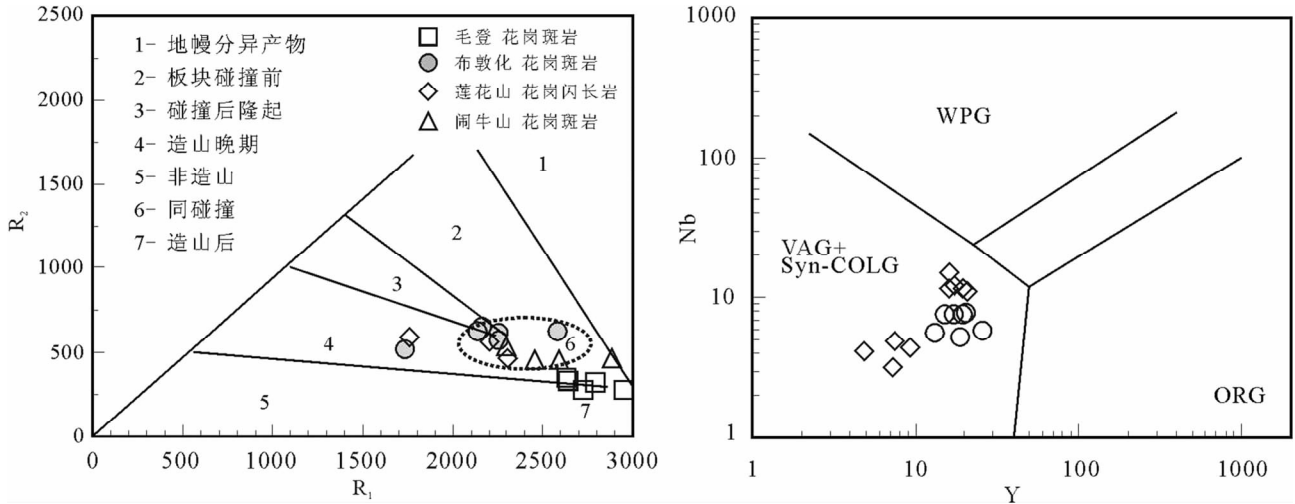


图8 高硫化型矿床成(含)矿岩体 R_1 - R_2 构造环境判别图(a)与 Y-Nb 构造环境判别图(b)

Fig. 8 R_1 - R_2 tectonic discrimination diagram (a) and Y-Nb tectonic discrimination diagram (b) of hydrothermal vein deposits ore-forming (containing) rocks

解中(图 4b)前者投入到 I 型花岗岩区,后者落入 A 型花岗岩区域。

浅成热液高硫化型与成矿密切相关的花岗岩稀土含量较斑岩型明显富集,稀土总量均值为 $81.17 \times 10^{-6} \sim 279.1 \times 10^{-6}$, $(La/Yb)_N$ 在 6.88 ~ 23.74 之间,轻重稀土分馏较明显。在稀土元素配分图上(图 7a),各矿床曲线几乎完全一致,显示为强烈右倾型, δEu^* 为 0.18 ~ 0.94,除莲花山外,均具有强烈的铕负异常。蛛网图中(图 7b),存在 Rb、Ba、Th、U、K 等正异常与 Nb、Ta、Ti、P 等负异常,表现出大离子亲石元素的强烈富集与高场强元素的相对亏损,反映了源区可能有大量的壳源物质的加入, Eu 的负异常说明了岩浆曾发生过斜长石的结晶分异或其作为残留矿物相被保留在源区。

5.2.2 构造环境讨论

浅成热液高硫化型花岗质岩石富集 LREE, 贫化 HREE, 亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素,显示为高钾钙碱性 I 型或 A 型花岗岩的微量元素特征。在 Y-Nb 花岗岩的构造环境判别图解中(图 8b),与无论是铜银矿床,还是铜锡多金属矿床的花岗质岩石全部落入岛弧或同碰撞花岗岩区内;而在 R_1 - R_2 判别图解中(图 8a),铜银矿床中除个别样品外,大多数位于或非常接近同碰撞花岗岩区,铜锡多金属矿床的样品更趋近于造山后花岗岩区,反映经历了不同的构造演化历史。

5.3 接触交代型铜矿床的成矿环境

接触交代型铜矿床的数量较少,规模较小,多与斑岩型共生,其成(含)矿体的主量、微量及稀土特征多与斑岩型相似,根据现有的资料推测其产生于碰撞后隆起区,本文不作过多的探讨。

5.4 成矿时空演化规律

兴蒙造山带具有典型的微陆块碰撞造山的特点,成岩成

矿过程与古亚洲洋和鄂霍次克洋的演化密切相关。自早古生代开始东部的佳木斯地块与松嫩地块沿嘉荫-牡丹江一线碰撞拼合(张兴洲,1992;张梅生等,1998;Wu *et al.*, 2011),并于奥陶世末结束,形成了佳木斯-松嫩微板块;西部的额尔古纳地块与兴安地块也于加里东期沿得尔布干一线构成统一的额尔古纳-兴安微板块。早中奥陶世以来,佳木斯-松嫩微板块与额尔古纳-兴安微板块沿贺根山-嫩江-黑河一线开始拼合(李双林和欧阳自远,1998),最终在晚泥盆-早石炭世形成了独立于两大板块之间的黑龙江板块,其南部为古亚洲洋,北部为蒙古-鄂霍次克洋,同时在兴安地块产生了早古生代岛弧火山岩(510Ma,苗来成等,2003)和加里东期闪长岩-花岗闪长岩(~490Ma,崔根等,2008;葛文春,2007a)组合,该阶段形成了以多宝山为代表的塔木察格-牙克石-黑河铜钼成矿带。二叠纪末-早三叠世,华北板块与黑龙江板块沿西拉木伦-长春-延吉一线呈自西向东的“剪刀式”碰撞对接(李双林和欧阳自远,1998),古亚洲洋消失,黑龙江板块成为华北板块的一部分。晚二叠世开始,鄂霍次克洋向南北两侧俯冲,闭合于晚侏罗-早白垩世(Zhao *et al.*, 1990),至此西伯利亚板块与华北板块最终缝合,产生了大量与俯冲造山或造山后相关的花岗岩与火山岩,同时伴生了额尔古纳与二连-东、西乌旗-乌兰浩特成矿带。从此以后,太平洋域的构造演化成为这一区域构造演化的主导因素(任收麦和黄宝春,2002)。

5.5 地球动力学过程对内生铜(钼、多金属)成矿的制约

已有大量研究结果表明不同矿床往往出于特定的地球动力学背景,裴荣富(2010)认为矿床是地壳运动的特定产物,也是地壳运动的遗迹和极为重要的指示剂,它反映了特定的构造岩浆热事件。

多宝山矿田的花岗质岩石具有典型的岛弧与同碰撞花岗岩的性质,其成岩成矿年龄为 485Ma 前后,同期在漠河、塔河等地发现了大量的碰撞型花岗岩(葛文春等,2005,2007b;隋振民等,2006),说明在额尔古纳地块与兴安地块碰撞拼合的过程中,或在额尔古纳地块的推动下,兴安地块南东侧逐步遭受洋壳的俯冲消减,开始产生一系列携有大量金属元素的岛弧火山岩,此后随着俯冲的加剧,兴安地块与松嫩地块的某些凸出部位逐渐碰撞,地壳继续挤压变形,导致局部地段温压急剧增加,大量的花岗质岩石经过同熔和重熔作用,并沿若干伸展部位上升侵位,同时在近地表附近形成斑岩型流体成矿系统,伴随着温压的下降,岩浆流体汲取自岛弧火山岩及其自身的金属元素缓慢卸载下来,最终形成多宝山、铜山为代表的铜钼矿床。

乌奴格吐山铜钼矿、莲花山、闹牛山和布敦化铜银矿的构造环境为岛弧和同碰撞性质,成岩成矿集中分布于 160 ~ 180Ma 之间,前人多认为是受到了太平洋体系的影响(秦克章等,1999),但赵越等(1994)提出中国北方地区在 160Ma 以后才受到太平洋板块构造的影响,并且距离遥远,远非太平洋岛弧所能达到(陈衍景,2002)。古地磁资料显示直到早白垩世西伯利亚板块才最终与华北板块完成拼合(李林庆和欧阳自远,1998)。因此我们完全有理由认为这一系列矿床产生于鄂霍次克洋南北俯冲后,两大板块的增生带碰撞造山,岩石圈增厚,温度上升,发生大规模部分熔融,岩浆沿局部伸展导致的薄弱部位侵位,后期随着温压的下降,金属元素等在有利部位逐渐释放出来,围岩为花岗质岩石则形成斑岩型,若为火山岩、次火山岩则形成浅成热液高硫化型。

大兴安岭中南段的铜锡多金属矿床出于造山后环境,岩石具有 A 型非造山或造山后期花岗岩的性质,地化特征及盆地演化表明其受控于伸展构造的制约。成岩成矿时代在 135 ~ 150Ma 之间的早白垩世早期,此时正好处于西伯利亚与华北板块陆缘增生带碰撞造山后,增厚的岩石圈伸展减薄,从而引发大规模的岩浆侵入热事件,而不是通常认为的受滨西太平洋体系的制约。

6 结论

本文在对大兴安岭地区铜矿床的基础地质、岩石地化及同位素年代学等系统性总结的基础上,对该区的铜矿床类型、成矿时代和动力学背景进行探讨,取得了以下三点结论:

(1) 大兴安岭地区内生铜矿床主要为斑岩型、浅成热液高硫化型和接触交代型,斑岩型与成矿密切的岩浆岩组合为高钾钙碱系列的 I 型花岗斑岩和花岗闪长(斑)岩,高硫化型为高钾钙碱系列 I(Cu-Ag)或 A 型(Cu-Sn)花岗斑岩与次火山岩,矽卡岩型为高钾钙碱系列 I 型花岗闪长岩、花岗斑岩与碳酸盐等碎屑岩。

(2) 年代学研究结果揭示,区内存在三个大规模的内生铜(钼)成矿期,分别为早古生代、中侏罗世与早白垩世早期,

其中斑岩型矿床主要发生在 485Ma 和 180 ~ 170Ma,浅成热液高硫化型铜银矿床集中发育在 170 ~ 160Ma 之间,而铜锡矿床成矿则发生于 150 ~ 135Ma。

(3) 大兴安岭地区铜成矿分别与早古生代兴安地块与松嫩地块的拼合碰撞造山、中侏罗世西伯利亚板块和华北板块的陆缘增生带碰撞缝合造山以及晚侏罗世碰撞造山后的地壳伸展减薄作用过程相适应,斑岩铜钼矿床、浅成热液高硫化型铜银矿床和接触交代型铜多金属矿床发生在上述造山挤压与伸展转换阶段,而高硫化型铜锡矿床的成矿则发生在与之相适应的造山期后伸展阶段。

致谢 野外工作中得到了莲花山、闹牛山矿山、紫金矿业公司等单位领导和技术人员的大力帮助;锆石 U-Pb 年龄测试过程得到北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室赖勇教授、马芳老师的热情帮助和支持;在论文撰写过程得到中国科学院地质与地球物理研究所刘红涛、刘建明和曾庆栋研究员的指点;在此一并表示衷心的感谢。

References

- Bao QZ, Zhang CG, Wu ZL, Wang H, Li W, Su YZ, Sang JH and Liu YS. 2005. The Carboniferous-Permian lithostratigraphic division of west Ujimqin, Inner Mongolia. *Journal of Stratigraphy*, 29 (Suppl.): 512 - 519 (in Chinese with English abstract)
- Bonham HF Jr. 1986. Models for volcanic-hosted epithermal precious metal deposits: A review. *International Volcanological Congress, Symposium 5*. Hamilton, New Zealand. 13 - 17
- Boynnton WV. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements; Meteorite studies. In: Henderson P (ed.). *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 63 - 114
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. 1993. *Regional Geology of Heilongjiang Province*. Beijing: Geological Publishing House, 56 - 81 (in Chinese with English abstract)
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. 1991. *Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region*. Beijing: Geological Publishing House, 237 - 270 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ. 2002. Several important problems in study of regional metallogenesis in China: Their relationship to continental collision. *Earth Science Frontiers*, 9(4): 319 - 328 (in Chinese with English abstract)
- Chen ZG, Zhang LC, Wan B, Zhang YT and Wu HY. 2008. Geochemistry and geological significances of ore-forming porphyry with low Sr and Yb value in Wunugetushan copper-molybdenum deposit, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 24(1): 115 - 128 (in Chinese with English abstract)
- Cui G, Wang JY, Zhang JX and Cui G. 2008. U-Pb SHRIMP dating of zircons from Duobaoshan granodiorite in Heilongjiang and its geological significance. *Global Geology*, 27(4): 387 - 394 (in Chinese with English abstract)
- Du Q. 1988. *Duobaoshan Porphyry Copper Deposit*. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 335 (in Chinese)
- Fan WM, Guo F, Gao XF and Li CW. 2008. Sr-Nd isotope mapping of Mesozoic igneous rocks in NE China: Constraints on tectonic framework and crustal growth. *Geochimica*, 37(4): 361 - 372 (in Chinese with English abstract)
- Ge WC, Wu FY, Zhou CY and Abdel RAA. 2005. The era of Tahe granite block structure and the ownership constraints of Ergun in

- northern Daxinganling. Chinese Science Bulletin, 50(12): 1239 – 1247 (in Chinese)
- Ge WC, Wu FY, Zhou CY and Zhang JH. 2007a. Porphyry Cu, Mo ore-forming age and its geodynamic implications in east of Xing-Meng orogenic belt. Chinese Science Bulletin, 52(20): 2407 – 2417 (in Chinese)
- Ge WC, Sui ZM, Wu FY, Zhang JH, Xu XC and Cheng RY. 2007b. Zircon U-Pb ages, Hf isotope characteristics and their implications of the early Paleozoic granites in the northeast Daxinganling Mts, northeastern China. Acta Petrologica Sinica, 23(2): 423 – 440 (in Chinese with English abstract)
- Geng WH and Wang JC. 1995. Fractal features of spatial distribution of deposits in the Naoniushan-Julihe copper polymetallic ore belt, eastern Inner Mongolia. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 4(5): 295 – 298 (in Chinese with English abstract)
- Geng WH and Yao JY. 2004. Metallogenic background of the Naoniushan copper deposit, East Inner Mongolia. Mineral Resources and Geology, 18(3): 240 – 244 (in Chinese with English abstract)
- Han J, Zhou JB, Zhang XZ and Qiu HJ. 2011. Detrital zircon U-Pb dating from sandstone of the Upper Permian Linxi Formation, Linxi area, Inner Mongolia, China and its tectonic implications. Geological Bulletin of China, 30(2 – 3): 258 – 269 (in Chinese with English abstract)
- Jia PP, Wei JH, Gong QW and Zhao WL. 2011. Analysis of geological background and ore-searching prospect for the copper-molybdenum deposits in the Da Hinganling area. Geology and Prospecting, 47(2): 151 – 162 (in Chinese with English abstract)
- Li FL, Qu XY, Liu L, Yang DM, Wang DH and Zhao GX. 2009. Sedimentary environment on Upper Permian Linxi Group in Inner Mongolia. Acta Sedimentologica Sinica, 27(2): 265 – 272 (in Chinese with English abstract)
- Li MW. 2006. Research on metallogenic series and prognosis of endogenetic metallic deposits in the middle section of Tianshan-Xingmeng orogen. Ph. D. Dissertation. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 68 – 114 (in Chinese with English summary)
- Li N, Chen YJ, Lai Y and Li WB. 2007a. 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 N, Sun YL, Li J and Li WB. 2007b. Molybdenite Re/Os isochron age of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia and its implication for metallogenic geodynamics. Acta Petrologica Sinica, 23(11): 2881 – 2888 (in Chinese with English abstract)
- Li SL and Ouyang ZY. 1998. Tectonic framework and evolution of Xing'anling-Mongolian orogenic belt (XMOB) and its adjacent region. Marine Geology and Quaternary Geology, 18(3): 45 – 54 (in Chinese with English abstract)
- Li ZJ. 1995. Subvolcano rocks and relationship with the mineralization of Naoniushan copper deposit. Mineral Resources and Geology, 3(9): 153 – 159 (in Chinese)
- Li ZT, Wang XJ, Wang HB and Wu G. 2008. Geology of the Sankuanggou gold-bearing iron-copper deposit in Nenjiang County, Heilongjiang Province. Geology and Resources, 17(3): 170 – 174 (in Chinese with English abstract)
- Lin Q, Ge WC, Wu FY, Sun DY and Cao L. 2004. Geochemistry of Mesozoic granites in Da Hinganling ranges. Acta Petrologica Sinica, 20(3): 403 – 412 (in Chinese with English abstract)
- Liu C, Mu ZG, Liu RX and Huang BL. 1995. ^{40}Ar - ^{39}Ar laser microprobe dating on hydrothermal minerals from Duobaoshan porphyry copper mining district, Heilongjiang Province, China. Scientia Geologica Sinica, 30(4): 329 – 337 (in Chinese with English abstract)
- Liu C, Deng JF, Xu LQ, Zhang Y, Zhao HD, Kong WQ, Li N, Luo ZH, Bai LB, Zhao GC and Su SG. 2011. A preliminary frame of magma-tectonic-Mo metallogenic events of Mesozoic era in Da Hingan Mountains and Xiao Hingan Mountains areas. Earth Science Frontiers, 18(3): 166 – 178 (in Chinese with English abstract)
- Liu GH and Bai DM. 1994. The integrated geological-geophysical-geochemical prospecting model of the Lianhuashan copper-silver deposit. Mineral Deposits, 13(2): 163 – 180 (in Chinese with English abstract)
- Liu JM, Zhang R and Zhang QZ. 2004. The regional metallogeny of Da Hinganling, China. Earth Science Frontiers, 11(1): 269 – 277 (in Chinese with English abstract)
- Liu YQ. 1996. Metallogenic zoning and origin of the Maodeng tin-copper deposit. Mineral Deposits, 15(4): 318 – 329 (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, 329 – 350 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Xie GQ, Zhang ZH, Li XF, Wang TY, Zhang CQ and Li YF. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings. Acta Petrologica Sinica, 21(1): 169 – 188 (in Chinese with English abstract)
- Miao LC, Fan WM, Zhang FQ, Liu DY, Jian P, Shi GH, Tao H and Shi YR. 2003. Zircon SHRIMP geochronology and its significance of Xinkailing-Kele complex in northwest Xiaoxing'anling. Chinese Science Bulletin, 48(22): 2315 – 2323 (in Chinese)
- Nie FJ, Zhang WY, Du AD, Jiang SH and Liu Y. 2007. Re-Os isotopic age dating of molybdenite separates from the Chaobuleng skarn iron-polymetallic deposit, Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia. Acta Geoscientia Sinica, 28(4): 315 – 323 (in Chinese with English abstract)
- Nie FJ, Sun ZJ, Li C, Liu FL, Lu KP, Zhang K and Liu Y. 2011. Re-Os isotopic dating of molybdenite separates from Chalukou porphyry Mo polymetallic deposit in Heilongjiang Province. Mineral Deposits, 30(5): 828 – 836 (in Chinese with English abstract)
- Pei RF. 2010. Study on large and super large deposits. The 10th National Deposit Conference, Changchun, 2010 (in Chinese)
- Qi JP, Chen YJ and Franco P. 2005. Geological characteristics and tectonic setting of the epithermal deposits in the Northeast China. Journal of Mineralogy and Petrology, 25(2): 47 – 59 (in Chinese with English abstract)
- Qing KZ and Wang ZT. 1993. Rare earth element behaviour in the Wunugetushan Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, and its significance. Acta Geoscientia Sinica, 67(4): 323 – 335 (in Chinese with English abstract)
- Qing 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)
- Ren SM and Huang BC. 2002. Preliminary study on post-Late Paleozoic kinematics of the main blocks of the Paleo-Asian Ocean. Progress in Geophysics, 17(1): 113 – 120 (in Chinese with English abstract)
- Rui ZY, Shi LD and Fang RH. 1994. Geology of Nonferrous Metallic Deposits in the Northern Margin of the North China Landmass and Its Adjacent Area. Beijing: Geological Publishing House, 270 – 356 (in Chinese with English abstract)
- Sheng JF and Fu XZ. 1999. Environment and Geology of Copper Polymetallic Deposits in the Middle of Daxinganling. Beijing: Seismological Press, 106 – 152 (in Chinese)
- Shi DF. 2007. The geological feature and metallogenic model of Maodeng potymetallic ore deposits. Master Degree Thesis. Changsha: Central South University, 1 – 68 (in Chinese with English summary)
- Sillitoe RH. 2010. Porphyry copper systems. Economic Geology, 105: 3 – 41
- Sui ZM, Ge WC, Wu FY, Cu XC and Wang QH. 2006. U-Pb chronology in zircon from Harabaqi granitic pluton in northeastern Daxing'anling area and its origin. Global Geology, 25(3): 229 – 236 (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
- Wang HY, Ma LL and Wang Z. 2008. Geological character and genesis

- of Sankuanggou copper (iron) mineral deposit, Duobaoshan area, Heilongjiang Province. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 38 (Suppl.): 214 - 218 (in Chinese with English abstract)
- Wang JB, Wang YW, Wang LJ and Uemoto T. 2001. Tin-polymetallic mineralization in the southern part of the Da Hinggan Mountains, China. *Resource Geology*, 51(4): 283 - 291
- Wang RQ, Song LY, Cao SW and Jia JB. 2007. Geochemical characteristics of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit and its evaluation indicators. *Mineral Resources and Geology*, 21(5): 515 - 519 (in Chinese with English abstract)
- Wang ZT and Qin KZ. 1988. Geological-geochemical characteristics and metallogenetic material sources of the Wunugetushan lower crust porphyry copper-molybdenum deposit. *Mineral Deposits*, 7(4): 3 - 14 (in Chinese with English abstract)
- Wu FY, Sun DY and Lin Q. 1999. Petrogenesis is of the Phanerozoic granites and crustal growth in northeast China. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 181 - 189 (in Chinese with English abstract)
- Wu FY, Sun DY, Ge WC, Zhang YB, Matthew L, Simon A and Jahn BM. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41: 1 - 30
- Wu G, Liu J, Zhong W, Zhu MT, Mi M and Wan Q. 2009. Fluid inclusion study of the Tongshan porphyry copper deposit, Heilongjiang Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2995 - 3006 (in Chinese with English abstract)
- Xiao BJ, Wang WD, Zhang Q, Li XD, Wang ZL, Liu T and Hu LL. 2008. Geology background of Lianhuashan Ag-Cu deposit in Tuquan County, Inner Mongolia. *Geology and Prospecting*, 44(1): 26 - 30 (in Chinese with English abstract)
- Xiao QH, Qiu RZ, Wu GY, Xing ZY, Zhang Y and Tong JS. 2006. Mesozoic asthenospheric upwelling orogeny in eastern China. *Geology in China*, 33(4): 730 - 750 (in Chinese with English abstract)
- Xu LQ, Chen ZY, Chen ZH, Zhang T and Zhang YQ. 2010. SHRIMP dating of medium-coarse-grained granite in Chaobuleng iron deposit, Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia. *Mineral Deposits*, 29(2): 317 - 322 (in Chinese with English abstract)
- Yin BC and Ran QC. 1997. The tectonic environments of metallogenesis of Duobaoshan superlarge copper deposit. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(2): 220 - 224 (in Chinese with English abstract)
- Zeng QD, Liu JM, Zhang ZL, Jia CS, Yu CM and Ye J. 2009. Geology and lead-isotope study of the Baiyinnuoer Zn-Pb-Ag deposit, south segment of the Da Hinggan Mountains, Northeastern China. *Resource Geology*, 59(2): 170 - 180
- Zeng QD, Liu JM and Zhang ZL. 2010. Re-Os geochronology of porphyry molybdenum deposit in south segment of Da Hinggan Mountains, northeastern China. *Journal of Earth Sciences*, 21: 390 - 401
- Zeng QD, Liu JM, Yu CM, Ye J and Liu HT. 2011. Metal deposits in the Da Hinggan Mountains, NE China: Styles, characteristics, and exploration potential. *International Geology Review*, 53: 846 - 878
- Zhang MS, Peng XD and Sun XM. 1998. The Paleozoic tectonic geographical pattern of northeast China. *Liaoning Geology*, 2: 91 - 96 (in Chinese with English abstract)
- Zhang WY, Nei FJ, Liu Y, Jiang SH, Xu DQ and Guo LJ. 2008. ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology of the Aououte Cu-Zn Deposit in Inner Mongolia and its significance. *Acta Geoscientia Sinica*, 29(5): 592 - 598 (in Chinese with English abstract)
- Zhang XZ. 1992. Heilongjiang melange: The evidence of Caledonian suture zone of the Jiamusi massif. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 22: 94 - 101 (in Chinese with English abstract)
- Zhao XX, Coe RS, Zhou YX, Wu HR and Wang J. 1990. New paleomagnetic results from north China: Collision and suturing with Siberia and Kazakstan. *Tectonophysics*, 181: 43 - 81
- Zhao Y, Yang ZN and Ma XH. 1994. Geotectonic transition from Paleasian system and Paleotethyan system to Paleopacific active continental margin in eastern Asia. *Scientia Geologica Sinica*, 29(2): 105 - 119 (in Chinese with English abstract)
- Zhao YM, Wang DW and Zhang DQ. 1994. Geological Character and Prospecting Model of Copper Polymetallic Deposits in Southeastern Inner Mongolia. Beijing: Seismological Press, 55 - 85 (in Chinese)
- 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 ZH, Feng JR, Lv LS, Li T and Yang YJ. 2010. Ore forming mechanism and the temporal and spatial structure of the Huanggangliang-Wulanhaote tin-lead-zinc-copper polymetallic metallogenetic belt, Inner Mongolia. *China Mining Magazine*, 19(6): 100 - 104 (in Chinese with English abstract)
- Zhu HC, Zhang JF and Quan H. 2005. Two stages of Mesozoic lithogenesis and mineralization in Daxing'anling Mountains. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 35(4): 436 - 442 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 鲍庆中, 张长捷, 吴之理, 王宏, 李伟, 苏养正, 桑家和, 刘永生. 2005. 内蒙古西乌珠穆沁旗地区石炭二叠纪岩石地层. *地层学杂志*, 29(增刊): 512 - 519
- 陈衍景. 2002. 中国区域成矿研究的若干问题及其与陆陆碰撞的关系. *地学前缘*, 9(4): 319 - 328
- 陈志广, 张连昌, 万博, 张玉涛, 吴华英. 2008. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床低 Sr-Yb 型成矿斑岩地球化学特征及地质意义. *岩石学报*, 24(1): 115 - 128
- 崔根, 王金益, 张景仙, 崔革. 2008. 黑龙江多宝山花岗岩闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. *世界地质*, 27(4): 387 - 394
- 杜琦. 1988. 多宝山斑岩铜矿床. 北京: 地质出版社, 1 - 335
- 范蔚茗, 郭锋, 高晓峰, 李超文. 2008. 东北地区中生代火成岩 Sr-Nd 同位素区划及其大地构造意义. *地球化学*, 37(4): 361 - 372
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, Abdel RAA. 2005. 大兴安岭北部塔河花岗岩体的时代及对额尔古纳地块构造归属的制约. *科学通报*, 50(12): 1239 - 1247
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, 张吉衡. 2007a. 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
- 葛文春, 隋振民, 吴福元, 张吉衡, 徐学纯, 程瑞玉. 2007b. 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义. *岩石学报*, 23(2): 423 - 440
- 耿文辉, 汪劲草. 1995. 内蒙古东部闹牛山-巨里河铜多金属矿带矿床空间分布的分维特征. *有色金属与矿产勘查*, 4(5): 295 - 298
- 耿文辉, 姚金炎. 2004. 内蒙古东部闹牛山铜矿成矿地质背景分析. *矿产与地质*, 18(3): 240 - 244
- 韩杰, 周建波, 张兴洲, 邱海峻. 2011. 内蒙古林西地区上二叠统林西组砂岩碎屑锆石的年龄及其大地构造意义. *地质通报*, 30(2-3): 258 - 269
- 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, 56 - 81
- 贾盼盼, 魏俊浩, 巩庆伟, 赵万莉. 2011. 大兴安岭地区铜钼矿床成矿区带背景及找矿前景分析. *地质与勘探*, 47(2): 151 - 162
- 李福来, 曲希玉, 刘立, 杨德明, 王德海, 赵国祥. 2009. 内蒙古东北部上二叠统林西组沉积环境. *沉积学报*, 27(2): 265 - 272
- 李蒙文. 2006. 天山-兴蒙造山带中段内生金属矿床成矿系列及成矿预测. 博士学位论文. 北京: 中国地质科学院, 68 - 114
- 李诺, 陈衍景, 赖勇, 李文博. 2007a. 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
- 李诺, 孙亚莉, 李晶, 李文博. 2007b. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床辉钼矿铼钨等时线年龄及其成矿地球动力学背景. 岩石学报, 23(11): 2881-2888
- 李双林, 欧阳自远. 1998. 兴安造山带及邻区的构造格局与构造演化. 海洋地质与第四纪地质, 18(3): 45-54
- 李之彤, 王希今, 王宏博, 武广. 2008. 黑龙江省嫩江县三矿沟含金铁矿矿床地质特征. 地质与资源, 17(3): 170-174
- 李忠军. 1995. 闹牛山铜矿床次火山岩及与成矿的关系. 矿产与地质, 3(9): 153-159
- 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. 岩石学报, 20(3): 403-412
- 刘驰, 穆治国, 刘如曦, 黄宝玲. 1995. 多宝山斑岩铜矿区水热蚀变矿物的激光显微探针⁴⁰Ar-³⁹Ar定年. 地质科学, 30(4): 329-337
- 刘翠, 邓晋福, 徐立权, 张昱, 赵寒冬, 孔维琼, 李宁, 罗照华, 白立兵, 赵国春, 苏尚国. 2011. 大兴安岭-小兴安岭地区中生代岩浆-构造-钼成矿地质事件序列的初步框架. 地学前缘, 18(3): 166-178
- 刘光海, 白大明. 1994. 莲花山铜银矿床综合找矿模式. 矿床地质, 13(2): 163-180
- 刘建明, 张锐, 张庆洲. 2004. 大兴安岭地区的区域成矿特征. 地学前缘, 11(1): 269-277
- 刘玉强. 1996. 毛登锡铜矿床成矿分带及其成因讨论. 矿床地质, 15(4): 318-329
- 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, 329-350
- 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. 岩石学报, 21(1): 169-188
- 苗来成, 范蔚茗, 张福勳, 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
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 237-270
- 聂凤军, 张万益, 杜安道, 江思宏, 刘妍. 2007. 内蒙古朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄及地质意义. 地球学报, 28(4): 315-323
- 聂凤军, 孙振江, 李超, 刘冀飞, 吕克鹏, 张克, 刘勇. 2011. 黑龙江岔路口钼多金属矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 30(5): 828-836
- 裴荣富. 2010. 大型、超大型矿床研究. 第十届全国矿床会议, 长春, 2010
- 祁近平, 陈衍景, Franco P. 2005. 东北地区浅成低温热液矿床的地质特征和构造背景. 矿物岩石, 25(2): 47-59
- 秦克章, 王之田. 1993. 内蒙古乌奴格吐山铜-钼矿床稀土元素的行为及意义. 地质学报, 67(4): 323-335
- 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. 地质评论, 45(2): 180-185
- 任收麦, 黄宝春. 2002. 晚古生代以来古亚洲洋构造域主要块体运动学特征初探. 地球物理学进展, 17(1): 113-120
- 芮宗瑶, 施林道, 方如恒. 1994. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 270-356
- 盛继福, 傅先政. 1999. 大兴安岭中段成矿环境与铜多金属矿床地质特征. 北京: 地震出版社, 106-152
- 石得凤. 2007. 内蒙古锡林浩特市毛登多金属矿区地质特征及成矿模式研究. 硕士学位论文. 长沙: 中南大学, 1-67
- 隋振民, 葛文春, 吴福元, 徐学纯, 王清海. 2006. 大兴安岭东北部哈拉巴奇花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其成因. 世界地质, 25(3): 229-236
- 王洪瑜, 马丽玲, 王卓. 2008. 黑龙江省嫩江县三矿沟铜(铁)矿床地质特征及成因探讨. 吉林大学学报(地球科学版), 38(增刊): 214-218
- 王荣全, 宋雷鹰, 曹书武, 贾继标. 2007. 乌奴格吐山斑岩铜-钼矿床地球化学特征及评价标志. 矿产与地质 21(5): 515-519
- 王之田, 秦克章. 1988. 乌奴格吐山下亮源斑岩铜钼矿床地质地球化学特征与成矿物质来源. 矿床地质, 7(4): 3-14
- 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
- 武广, 刘军, 钟伟, 朱明田, 糜梅, 万秋. 2009. 黑龙江省铜山斑岩铜矿床流体包裹体研究. 岩石学报, 25(11): 2995-3006
- 肖丙建, 王伟德, 张强, 李宪栋, 王真亮, 刘同, 胡来龙. 2008. 内蒙古突泉县莲花山银铜矿床成矿地质背景探讨. 地质与勘探, 44(1): 26-30
- 肖庆辉, 邱瑞照, 伍光英, 邢作云, 张昱, 董幼松. 2006. 中国东部中生代软流层上涌造山作用. 中国地质, 33(4): 730-750
- 许立权, 陈志勇, 陈郑辉, 张彤, 张玉清. 2010. 内蒙古东乌旗朝不楞铁矿区中粗粒花岗岩 SHRIMP 定年及其意义. 矿床地质, 29(2): 317-322
- 尹冰川, 冉清昌. 1997. 多宝山超大型铜矿床的成矿构造环境. 矿物学报, 17(2): 220-224
- 张梅生, 彭向东, 孙晓猛. 1998. 中国东北区古生代构造古地理格局. 辽宁地质, 2: 91-96
- 张万益, 聂凤军, 刘妍, 江思宏, 许冬青, 郭灵俊. 2008. 内蒙古奥尤特铜-锌矿床钼云母⁴⁰Ar-³⁹Ar同位素年龄及地质意义. 地球学报, 29(5): 592-598
- 张兴洲. 1992. 黑龙江岩系-古佳木斯地块加里东缝合带的证据. 长春地质学院学报, 22: 94-101
- 赵一鸣, 王大畏, 张德全. 1994. 内蒙古东南部铜多金属成矿地质条件及找矿模式. 北京: 地震出版社, 55-85
- 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-钨同位素年龄. 地球学报, 18(1): 61-67
- 赵越, 杨振宁, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折. 地质科学, 29(2): 105-119
- 周振华, 冯佳睿, 吕林素, 李涛, 杨永军. 2010. 内蒙古黄岗梁-乌兰浩特锡铅锌铜多金属成矿带成矿机制及时空架构. 中国矿业, 19(6): 100-104
- 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. 吉林大学学报(地球科学版), 35(4): 436-442