

华北地台北缘燕辽钼(铜)成矿带矿床地质特征及动力学背景*

代军治¹, 毛景文^{1,2}, 杨富全¹, 叶会寿¹, 赵财胜¹, 谢桂青¹, 张长青¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要 华北地台北缘是中国重要的多金属成矿带, 中段部位钼(铜)矿床的分布受区域 EW 向、NE 向、NNE 向断裂的联合控制。成矿带东端辽西地区以钼矿为主, 西端冀北地区以铜(钼)矿为主。钼矿床的形成与燕山期中酸性小侵入体关系密切, 矿床多产于花岗斑岩体之中或内外接触带中, 矿床类型以斑岩型、斑岩-矽卡岩型、矽卡岩型为主。同位素研究表明, 钼(铜)矿床成矿物质及成矿流体主要来源于下地壳或与太古代结晶基底有关的花岗岩, 钼矿的形成主要与中生代富硅、富钾质花岗岩有关, 而与铜矿成因有关的花岗岩酸碱度相对较低。成矿年代学研究表明, 燕辽钼(铜)成矿带大规模成矿作用发生于 180 Ma 左右和 140 Ma 左右 2 个时期, 其对应的成矿动力学背景分别为华北板块与西伯利亚板块后碰撞造山阶段和中国东部构造体制大转折晚期。

关键词: 地质学; 燕辽钼(铜)成矿带; 矿床类型; 时空分布; 成矿作用; 成矿动力学背景

中国分类号: P618.65; P618.41

文献标识码: A

Geological characteristics and geodynamic background of molybdenum (copper) deposits along Yanshan-Liaoning metallogenic belt on northern margin of North China block

DAI JunZhi¹, MAO JingWen^{1,2}, YANG FuQuan¹, YE HuiShou¹, ZHAO CaiSheng¹,
XIE GuiQing¹ and ZHANG ChangQing¹

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The northern margin of the North China craton is one of the most important polymetallic (Mo-Cu-Fe, Pb-Zn, Au, Ag) ore-forming areas in China. The Yanshan-Liaoning molybdenum (copper) metallogenic belt is located in this area and controlled jointly by EW-, NE- and NNE-trending faults. Mineralization exhibits zoning distribution, with molybdenum deposits in western Liaoning whereas copper (molybdenum) deposits in northern Hebei. These deposits are associated with intermediate-acid granites in time and space. The molybdenum (copper) deposits are usually distributed along the endo- or exo-contact zone of the granite porphyry, and belong to porphyry, porphyry skarn and skarn types. Sulfur and strontium isotope analyses show that ore-forming materials and ore-forming fluids were derived from the syntectonic type granites of the lower continental crust. Molybdenum deposits are associated with Mesozoic Si and K-rich granite porphyry, whereas copper deposits are related to

* 本文得到中国地质调查局国土资源大调查项目(200413000026, 1212010634001)的资助

第一作者简介: 代军治, 男, 1978年生, 在读博士研究生, 矿床学专业, 主要从事金属矿床成因及矿产勘查研究。

收稿日期: 2006-05-20; 改回日期: 2006-07-01。张绮玲编辑。

granites with relatively low acid-alkaline contents. Based on metallogenic chronology, the authors hold that there existed two pulses of large-scale mineralization (180 Ma and 140 Ma) in the Yanshan-Liaoning metallogenic belt, whose metallogenic geodynamic settings were the post-collisional orogeny of Northern China block and Siberian block and the late variation stage of the tectonic regime in eastern China, respectively.

Key words: geology; Yanshan-Liaoning molybdenum (copper) metallogenic belt; deposit type; distribution metallogenesis; metallogenic geodynamic settings

华北克拉通是中国最古老的地质单元,自元古代吕梁运动形成结晶基底之后,中生代之前,很少经历重大的构造事件。中生代以来,该区进入了陆内造山阶段,构造岩浆活动广泛,与之相伴形成了金、钼、铜、铅、锌、银等金属矿产(芮宗瑶等,1994;裴荣富等,1998),成为中国重要的金属成矿带之一。位于华北克拉通北缘中段的燕辽钼(铜)成矿带是继东秦岭钼矿带和小兴安岭—张广才岭钼、铜多金属矿带之后,中国第三大钼矿带。该带西起内蒙古四子王旗、白乃庙,东至辽宁锦州—北票一线(罗铭玖等,1991)。目前已发现钼(铜)矿床(点)26余处。矿床类型主要为斑岩型、斑岩-矽卡岩型、热液脉型,如杨家杖子矽卡岩型钼矿、贾家营矽卡岩-斑岩型钼矿、兰家沟斑岩型钼矿、寿王坟矽卡岩型铜(铁、钼)矿、小寺沟斑岩-矽卡岩型铜(钼)矿床等。该带处于华北板块与西伯利亚板块、太平洋板块的接合部位,其内独特的地质背景和丰富的矿产资源引起了许多专家学者的关注(芮宗瑶等,1984;艾永富等,1985;余和勇,1985;黄典豪等,1989;1996;赵一鸣等,1990;罗铭玖等,1991;权恒等,1992;1994;章百明等,1996)相关的研究成果较多。关于成矿带内钼(铜)矿床的形成机理,前人较多着重于对矿床特征、赋矿规律及成矿时代等方面的讨论,认为钼(铜)矿床的形成主要与中生代次碱性或钙碱性花岗岩类小侵入体有关(黄典豪等,1989;1996;柴立社等,1994;马国玺,1995;韩秀丽等,1999;田豫才,1999),而对成矿带内不同矿床类型和不同矿种之间的内在联系、时空分布特征及其形成的地球动力学背景等方面的讨论显得比较薄弱。鉴于上述情况,本文在充分收集成矿带内典型钼(铜)矿床地质资料的基础上,结合前人的研究成果,系统总结了成矿带内钼矿床的地质特征、矿床类型及时空分布规律,分析了成矿动力学背景。

1 地质背景

燕辽钼(铜)成矿带位于华北克拉通北缘中段,

西起内蒙古四子王旗、白乃庙,东至辽宁锦州—北票一线,南临北京北部山区,北达内蒙赤峰以南山区,东西延长约 800 km,地理坐标:东经 $112^{\circ}00' \sim 121^{\circ}45'$,北纬 $39^{\circ}00' \sim 42^{\circ}00'$ (图 1)。

燕辽成矿带在元古代吕梁运动形成结晶基底后,经历了中元古代至晚古生代长期的稳定沉积,形成了上万米的沉积岩系(马寅生等,2002)。区内结晶基底为太古宙变质岩系,有强烈的混合岩化,变质程度为麻粒岩相—角闪绿片岩相,原岩主要为基性—中基性钙碱性火山岩。中、新元古代,华北板块北缘裂隙广泛发育,在燕辽地区裂隙槽内沉积了巨厚的,以蓟县中、新元古界地层剖面为代表的沉积岩,岩性以砾岩、石英岩、砂岩、页岩、白云质灰岩、白云岩为主;早古生代寒武纪—奥陶纪,区内进入浅海相环境,发育紫红色页岩、灰岩,假整合于新元古界青白口系之上;晚古生代石炭纪—二叠纪为海陆交互沉积环境,以陆相碎屑岩沉积为主,伴有少量煤层沉积;中生代侏罗纪—白垩纪以中基性、中酸性火山碎屑岩沉积为特征,夹少量河湖相碎屑岩,岩石组合为玄武岩、安山岩、流纹岩、凝灰岩、砂砾岩。

华北地台北缘处于华北板块、西伯利亚板块和库拉—太平洋板块的结合地带,经历了漫长的地质演化,区域构造十分复杂。古生代,在长期稳定的克拉通化的基底上,华北板块北缘和西伯利亚板块之间经历了古亚洲洋的发生、发展和消亡,并于石炭纪—二叠纪晚期闭合,形成华北板块北缘造山带——兴蒙造山带(任继舜等,1988),初步奠定了华北北缘 EW 向、NE 向的构造格局。中生代以来,该区进入陆内造山作用阶段,构造运动最为强烈。燕辽地区发生大规模的推覆事件和伸展运动,早期 EW 向、NE 向构造受到活化,形成了不同期次的 EW 向、NE 向的逆冲推覆构造,NE 向、NNE 向的韧性剪切带和变质核杂岩构造(郑亚东等,1998;杨庚等,2001; Davis et al., 2002; 马寅生等,2002; 张晓晖等,2002)。中生代库拉—太平洋板块向华北板块的深俯冲作用,使得区域构造格局发生大规模转化,NE 向、NNE

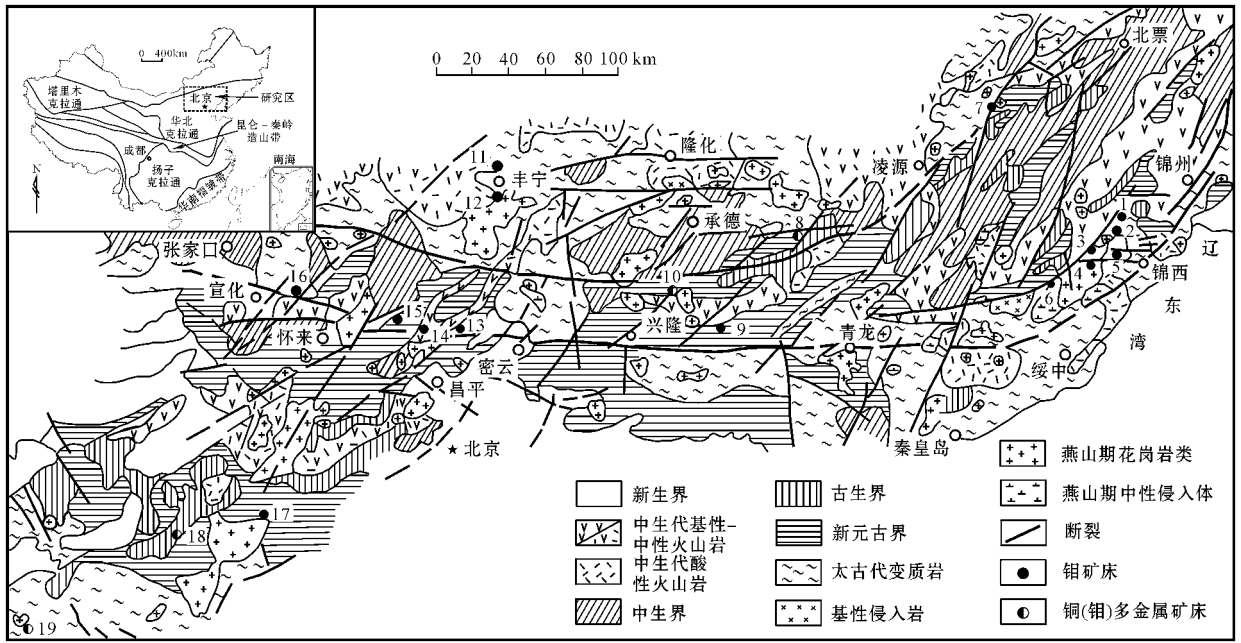


图1 华北地台北缘燕辽钼(铜)成矿带地质略图(据黄典豪等,1996修改)

主要矿床:1—钢屯,2—兰家沟,3—新台门,4—松北,5—杨家杖子,6—老虎沟,7—肖家营子,8—小寺沟,9—莫古峪,10—寿王坟;11—撒岱沟门,12—大草坪,13—石湖峪,14—东三岔,15—大庄科,16—贾家营,17—野弧,18—大湾,19—后峪

Fig. 1 Schematic geological map of the Yanshan-Liaoning molybdenum metallogenic belt on the northern margin of the North China platform (modify from Huang et al., 1996)

Majior deposit: 1—Gangdun; 2—Lanjiagou; 3—Xintaimen; 4—Songbei; 5—Yangjiazhangzi; 6—Laohugou; 7—Xiaojiayingzi;

8—Xiaosigou; 9—Moguyu; 10—Shouwangfen; 11—Sadaigoumen; 12—Dacaoping; 13—Shihuyuy; 14—Dongsancha; 15—Dazhuangke;

16—Jiajiaying; 17—Yehu; 18—Dawan; 19—Houyu

向构造叠加于EW向构造系统之上。新生代地壳运动强度大大减弱,本区进入以伸展体制为主的盆地构造演化阶段,大型山系和大型盆地相间分布。裴荣富等(1998)称区域性EW向、NNE向构造为“行、列、汇”控矿构造,它们为中生代矿床的形成提供了有利空间。

华北地台北缘由于其所处大地构造位置的特殊性,岩浆活动多表现出同源多阶段、多旋回性,岩石类型繁多、成因复杂(陈昌勇,1998)。太古宙大规模的花岗岩类的侵入和强烈的构造活动,地壳首次克拉通化,本区广泛发育了太古宙花岗岩-绿岩带和麻粒岩-片麻岩区;中、新元古代华北古大陆的伸展-裂解的同时,广泛分布的基性岩墙群、高钾质火山岩和非造山期斜长岩-奥长环斑花岗岩,具有其明显的特色;古生代晚期,华北板块与西伯利亚陆块对接碰撞,使变质基底受到活化改造,形成张宣一带的偏碱性杂岩体和沿大庙-娘娘庙断裂带分布的基性-超基性岩的侵入体(沈保丰等,2001);中、新生代,颇有特色的燕山陆内造山和深部地质作用,使得区内岩

浆活动最为强烈,往往形成重要的构造岩浆成矿带。中生代岩体出露面积虽小,但分布最广,主要受EW向、NE向、NNE向构造控制,多呈岩株、岩枝产出,少数表现为岩床、岩脉或岩基。主要由闪长岩、石英闪长岩、石英二长岩、花岗闪长岩、花岗斑岩组成,偶见辉长辉绿岩、流纹斑岩、角砾岩,如肖家营子岩体、大湾岩体、大庄科岩体。岩石化学成分分析表明,当中生代花岗岩 $w(\text{SiO}_2)$ 平均为72%, $w(\text{K}_2\text{O})$ 为4%~6%, $w(\text{Na}_2\text{O})$ 为2%~3%时,是钼矿床形成的有利因素之一; $w(\text{SiO}_2)$ 平均为66%, $w(\text{K}_2\text{O}) \leq w(\text{Na}_2\text{O})$ 时对铜矿床形成有利(罗铭玖等,1991)。钼矿多产于含钼花岗岩系的一些中酸性复式小侵入体、杂岩之中或内外接触带中(柴立社等,1994)。

2 主要钼(铜)矿床类型及分布规律

根据矿床赋存的地质条件、围岩蚀变和矿物共生组合特征,华北地台北缘燕辽成矿带钼(铜)矿床可划分为斑岩型、矽卡岩型、斑岩-矽卡岩型、爆破角

砾岩型和热液脉型矿床。斑岩型 Mo 矿床或 Mo-Cu 矿床通常形成于陆内裂谷或与陆弧有关的陆内环境, 主要与石英二长岩、高钾钙碱性系列花岗斑岩侵入体有关, 矿化蚀变以钾化为主, 云英岩化、泥化、青磐岩化次之(Kula, 2000; Seedorff et al., 2004a; 2004b; Anita et al., 2005)。燕辽成矿带钼(铜)矿床在空间上主要分布于古亚洲洋和滨太平洋的构造域结合部位, 即燕山弧形沉降带内, 并严格受控于区域 EW 向、NE 向、NNE 向断裂。钼矿化强烈地段, 主要位于弧形沉降带偏南侧, 而钼矿床(点)的定位, 多在沉降带内次级构造——中生代火山盆地边缘隆起区和中晚元古代—古生代地层组成的推覆体系中。按地理位置, 燕辽成矿带钼(铜)矿床可分为辽西和冀北 2 段, 虽然辽西和冀北地区成矿元素组合相似, 均以 Mo、Cu、Pb、Zn、Fe、Au、Ag 为主, 但辽西地区以 Mo 多金属矿床为主, 主要有杨家杖子矽卡岩型 Mo 矿床, 兰家沟、新台门、钢屯斑岩型 Mo 矿床, 肖家营子斑岩-矽卡岩型 Mo(Fe)矿床, 八家子 Ag、Pb、Zn 多金属矿床, 冀北地区以 Cu(Mo)矿床为主, 分布有小寺沟、大湾斑岩-矽卡岩型 Cu(Mo)矿床, 寿王坟矽卡岩型 Cu(Fe、Mo)矿床, 贾家营矽卡岩-斑岩型 Mo(Cu)矿床、大庄科爆破角砾岩型 Mo 矿床, 撒岱沟门斑岩型 Mo 矿床等。侵入岩与围岩条件对矿床的形成存在一定的制约性, 产于花岗斑岩、长英质或中性火山岩内的钼矿床多为斑岩型, 而产在花岗质岩类与碳酸盐岩地层接触带的钼或铜(钼)矿床为矽卡岩型或斑岩-矽卡岩型(黄典豪等, 1996)。此外, 矿床类型还与成矿环境有关, 如大庄科爆破角砾岩型矿床的形成与陷落的古火山机构有关。各类矿床地质特征详见表 1。

3 典型矿床

3.1 杨家杖子矽卡岩型—兰家沟斑岩型 Mo 矿床

杨家杖子-兰家沟钼矿床位于杨家杖子至八家子钼多金属成矿带上, 大地构造位置处于山海关-北镇古隆起与辽西凹陷之间的过渡带上。矿区出露地层为蓟县系雾迷山组白云质灰岩、燧石条带灰质白云岩, 寒武纪—奥陶系石灰岩、页岩和白垩系义县组火山碎屑岩。区内断裂以 EW 向、NE 向为主, EW 向断裂多平行等间距产出, 形成钼成矿亚带, EW 向与 NE 向断裂交汇处往往是钼多金属成矿集中区。印支-燕山期岩浆活动强烈, 分布有早侏罗世中基性

火山熔岩和火山碎屑岩, 中侏罗世虹螺山粗粒花岗岩, 晚侏罗世细粒似斑状碱长花岗岩和花岗斑岩。经同位素年龄测定(余和勇等, 1985), 粗粒花岗岩年龄为 186.3~178 Ma(K-Ar 法), 细粒花岗岩年龄为 (154.46 ± 14.65) Ma(Rb-Sr 法), 花岗斑岩年龄为 131~108 Ma(K-Ar 法)。从早到晚, 岩浆演化酸度越来越高, 规模由大变小, 不同期侵入体常形成复式岩体。与钼矿化关系密切的主要为细粒碱长花岗岩和花岗斑岩。细粒碱长花岗岩在区域上呈小岩体产于虹螺山岩基中(图 2), 其中, 杨家杖子矿区, 细粒花岗岩在地表呈近似椭圆状岩株, 面积约 0.7 km², 岩石化学成分表明, 虹螺山花岗岩岩基 $w(\text{SiO}_2)$ 为 73.65%~77.88%, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 11.73%~13.60%, $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 为 1.09~1.69, 属富硅、富钾、铝过饱和系列(田豫才, 1999)。

杨家杖子钼矿床主要分布于细粒似斑状碱长花岗岩、花岗斑岩与中晚寒武统一奥陶统灰岩的接触部位, 矿体沿着相互平行的似层状复杂矽卡岩体分布(图 3), 少部分矿体分布在灰岩层间构造破碎带中。矿体一般长 300~800 m, 厚 3~10 m, 延深 200~250 m, 钼金属量 26.18 万吨, 平均品位 0.14%。辉钼矿在矿体中呈浸染状、细脉状、结晶粗大的菊花状产出。矿石多呈半自形—他形叶片结构, 残余结构, 具浸染状、细脉状或网脉状构造。矿化蚀变作用可分为 5 个阶段: 早期矽卡岩阶段, 矿化微弱; 磁铁矿阶段, 以磁铁矿为主, 伴生有部分黄铁矿、方铅矿和黄铜矿; 辉钼矿阶段, 辉钼矿呈浸染状、团块状、网脉状交代石榴子石矽卡岩和透辉石矽卡岩; 铅、锌多金属硫化物阶段, 以铅锌矿为主, 分布于钼矿体外侧的灰岩中; 晚期碳酸盐阶段, 形成少量的黄铁矿和方铅矿, 方解石、玉髓发育。

兰家沟斑岩钼矿床由上兰家沟、中兰家沟、下兰家沟、小马沟、元宝山、西山等 6 个矿区组成。经勘探, 仅在下兰家沟、小马沟 2 个矿区就探明钼金属量 21 万吨, 钼平均品位 0.13%, 成为一个大型钼矿床(马永昌等, 2002)。兰家沟矿区虹螺山粗粒花岗岩、细粒似斑状花岗岩和花岗斑岩形成一个旋转构造(田豫才, 1999), 钼矿体主要赋存于细粒似斑状花岗岩体内部及细粒花岗岩与粗粒花岗岩的接触部位。矿体规模较大, 延长 360~1 280 m, 延深 200~550 m, 平均厚 13~31 m(图 4)。矿石类型有石英大脉型、石英网脉型、破碎带型和节理裂隙型, 其中石英大脉型和破碎带型矿石品位较高。辉钼矿沿细脉脉

表 1 燕辽钼(铜)成矿带矿床地质特征

Table 1 The geological characteristics of Yanshan-Liaoning molybdenum and copper metallogenic belt

矿床名称	矿床类型	成矿元素组合	容矿地层	控矿构造	控矿岩体面积(km ²)及产状	围岩蚀变	矿石矿物	脉石矿物	矿床规模/m	矿石金属量/t及品位/%	资料来源
杨家杖子	砂卡岩型	Mo	中晚寒武统—奥陶统灰岩、页岩及砂卡岩	EW向、NE向断裂与围岩接触控制矿	细粒似斑状花岗岩、花岗斑岩, 0.7, 岩株	硅化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化	辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	石榴子石、透辉石、透闪石、金云母、绿帘石、方解石、萤石	长300~800, 厚3~10, 延深200~250	Mo: 26.2 × 10 ⁴ ; 0.14	黄典豪等, 1989
兰家沟	斑岩型	Mo	雾迷山组白云质灰岩、燧石条带白云质灰岩、义县组火山碎屑岩	EW、NE向断裂控制矿	细粒似斑状花岗岩, 岩株	钾化、云英岩化、硅化、伊利石化、碳酸盐化、绿泥石化	辉钼矿、黄铁矿、方铅矿、磁铁矿、辉银矿	钾长石、斜长石、石英、白云母、伊利石、方解石	长360~1280, 厚13~31, 延深200~550	Mo: 21.7 × 10 ⁴ ; 0.13	黄典豪等, 1989
肖家营子	斑岩-砂卡岩型	Mo(Fe)	雾迷山组白云质灰岩、燧石条带白云质灰岩	NNE向断裂与围岩接触控制矿	细粒似斑状闪长岩, 0.8, 岩株	矽卡岩化、黄铁矿化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化	辉钼矿、黄铁矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿	透辉石、透闪石、蛇纹石、金云母、绿帘石	长150~800, 厚7~21, 延深150~600	Mo: 10.5 × 10 ⁴ ; 0.28; Fe: 296.3 × 10 ⁴ ; 33.4	马建德等, 2002
大庄科	斑岩型(爆破角砾岩式)	Mo	蓟县系碳酸盐岩	爆破角砾岩筒控制矿	矿化角砾岩, 1.0, 岩株	钾化、硅化、沸石化、黄铁绢英岩化、青磐岩化	辉钼矿、磁铁矿、黄铁矿、闪锌矿、铁闪矿、黄铜矿	斜长石、钾长石、石英、黑云母、角闪石	长350~1000, 厚20~95, 延深350~500	Mo: 1.04 × 10 ⁴ ; 0.08	董得茂等, 1985
大湾	斑岩-砂卡岩型	Cu(Mo、Zn、Ag)	雾迷山组白云岩	NNE向、NW向、NE向断裂联合控制	流纹斑岩, 0.4, 岩株	钾化、硅化、矽卡岩化、蛇纹石化、碳酸盐化	辉钼矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿等	透辉石、透闪石、石英、阳起石、金云母、绿泥石等	长数千千米, 厚度数十米, 延深数百米	Mo: 25.9 × 10 ⁴ ; 0.12	马国玺, 1995
小寺沟	斑岩-砂卡岩型	Cu(Mo)	雾迷山组燧石条带白云岩、白云质灰岩	EW向、NNE向、NW向断裂联合控制	花岗岩长斑岩, 3~4, 岩株	钾化、黄铁绢云岩化、粘土岩化、矽卡岩化、蛇纹石化	黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿、辉钼矿、斑铜矿、黝铜矿	二长斑岩、蛇纹石化大理岩、石榴子石	长2000, 厚30~100, 延深300~500	Cu: 1.85 × 10 ⁴ ; 0.74; Mo: 5.98 × 10 ⁴ ; 0.09	韩秀丽等, 1999
寿王坟	砂卡岩型	Cu(Fe、Mo)	雾迷山组白云岩、燧石条带白云岩	EW向、NW向裂隙控制矿	似斑状花岗岩, 岩株	矽卡岩化、绿泥石化、绢云母化、硅化、蛇纹石化	黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、磁铁矿、闪锌矿、方铅矿等	透辉石、石榴子石、透闪石、硅镁石、金云母、榍石、蛇纹石等	长200~500, 延深150~300	Cu: 1.62 × 10 ⁴ ; 0.72; Mo: 0.22 × 10 ⁴ ; 0.31	赵一鸣等, 1990

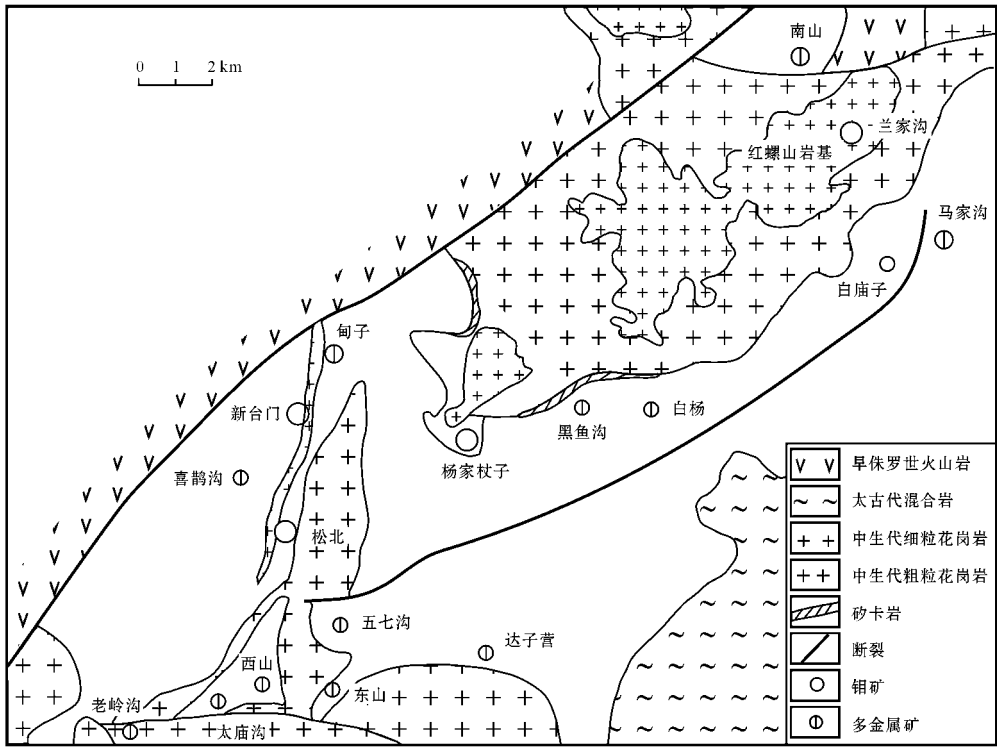


图 2 杨家杖子、兰家沟矿区地质图(马永昌等 2002)

Fig. 2 Geological map of the Yangjiazhangzi and Lanjiagou orefield(after Ma et al. ,2002)

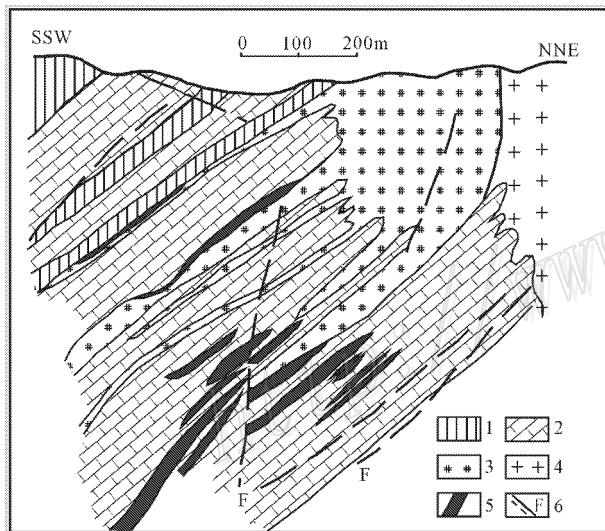


图 3 杨家杖子钼矿床矿体剖面示意图(据黄典豪等,1989)

1—上寒武统页岩 2—中寒武统灰岩 3—砂卡岩 4—细粒斑状花岗岩 5—钼矿体 6—断层及推测断层

Fig. 3 Geological section of the ore bodies in the Yangjiazhangzi Mo deposit(after Huang et al. ,1989)

1—Upper Cambrian shale ; 2—Middle-Cambrian limestone ; 3—Skarn ; 4—Fine porphyritic granite ; 5—Molybdenum ore body ; 6—Fault and inferred fault

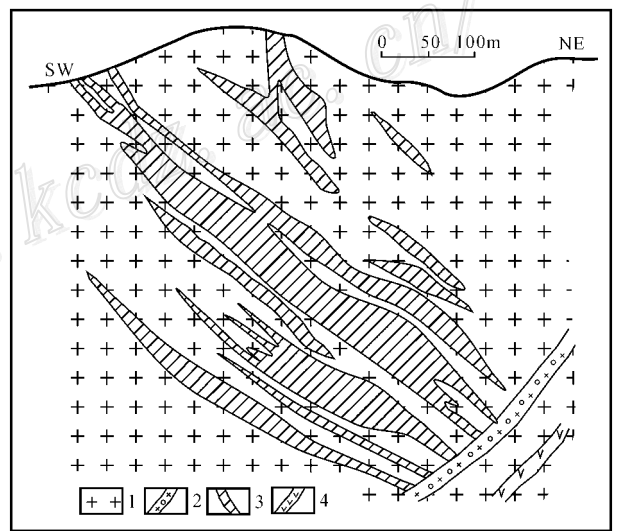


图 4 兰家沟钼矿床矿体剖面示意图(据黄典豪等,1989)

1—细粒似斑状花岗岩 2—石英斑岩脉 3—钼矿体 4—中基性脉岩

Fig. 4 Geological section of the ore bodies in the Lanjiagou Mo deposit(after Huang et al. ,1989)

1—Fine porphyritic granite ; 2—Quartz porphyry vein ; 3—Molybdenum ore body ; 4—Intermediate-basic dyke

壁、节理或裂隙呈细脉状、浸染状、团块状、薄膜状产出。矿石多半自形、自形叶片结构,少量放射结构、残余结构。矿石构造以细脉状为主,网脉状次之。矿化期次有气液交代作用和热液硫化物作用 2 期(黄典豪等,1989),其中热液硫化物期为主成矿期,首先形成石英-辉钼矿网脉、大脉;其次是沿花岗岩节理、裂隙充填的薄层状纯辉钼矿脉;最后是分布于破碎带中的团块状或囊状辉钼矿。

3.2 大庄科爆破角砾岩型 Mo 矿床

大庄科钼矿床属北京市延庆县管辖,大地构造位置处于张家口—朝阳沉降带中,是燕辽成矿带内的一个重要矿床。中元古界蓟县系碳酸盐岩零星分布于矿区外围。燕山期构造-岩浆活动强烈,火山-侵入杂岩分布面积达90%以上。燕山早期(205~163

Ma 沈保丰等,2001)侵入岩规模较小、侵位浅,岩性复杂,主要有闪长玢岩、石英二长岩、花岗斑岩、花岗闪长岩、流纹斑岩、含矿隐爆角砾岩和似斑状花岗岩,岩体多呈岩株、岩瘤产出。区内钼矿化与该期火山岩浆活动有关。与钼矿化有关的石英二长岩岩石化学成分特征为: $w(\text{SiO}_2)$ 为 60.59%~64.91%, $w(\text{K}_2\text{O})+w(\text{Na}_2\text{O})$ 为 7.65%~7.86%, $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 为 0.61~0.88,里特曼指数 $\sigma=2.67\sim 3.51$,属于钙碱性系列^①。燕山晚期(135~65 Ma)岩浆虽然侵入规模较大,但都形成于钼矿床生成之后,仅对区内钼矿床产生了一定破坏作用。

大庄科矿床成矿作用及矿体规模等主要受龙潭、塘石 2 个含矿爆破角砾岩控制,矿体赋存在两处角砾岩体内。大庄科矿床由大庄科、董家沟 2 个矿区组成。据董得茂等(1985)资料,大庄科矿段区 7 个钼矿体,主矿体呈陡倾斜产于岩筒中心,倾角 60°,矿体长

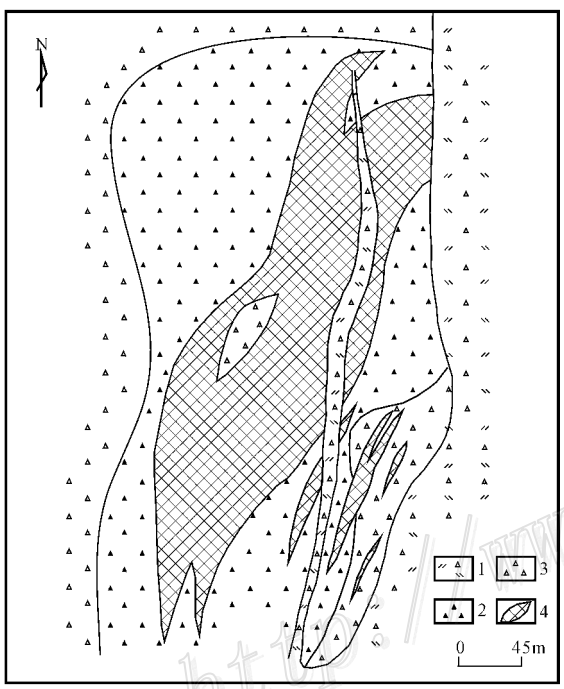


图 5 龙潭爆破角砾岩筒及钼矿体 400 m 水平断面(据董得茂等,1985)

- 1—角砾石英二长斑岩 2—爆破角砾岩 3—侵入崩塌角砾岩;
- 4—钼矿体

Fig. 5 Horizontal section of Longtan explosive breccia pipe and Mo ore body at 400 m level (after Dong et al., 1985)

- 1—Brecciated adamellite porphyry ; 2—Explosive breccia ;
- 3—Intruded collapse breccia ; 4—Molybdenum ore body

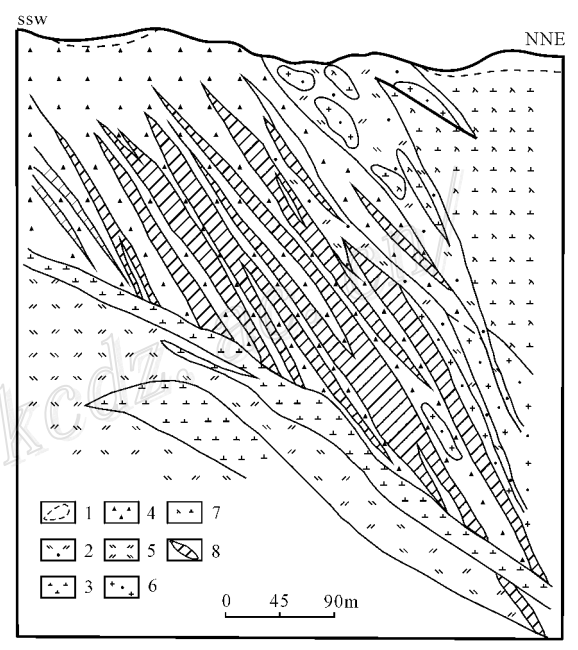


图 6 塘石矿化角砾岩、钼矿体剖面图(据董得茂等,1985)

- 1—第四系坡积物 2—石英二长斑岩 3—黑云母石英闪长岩;
- 4—矿化角砾岩 5—石英二长岩 6—花岗斑岩 7—闪长玢岩;
- 8—钼矿体

Fig. 6 Geological section of Tangshi mineralized breccia and Mo ore body (after Dong et al., 1985)

- 1—Quaternary cliff debris ; 2—Adamellite porphyry ; 3—Biotite quartz diorite ; 4—Mineralized breccia ; 5—Adamellite ; 6—Granite porphyry ; 7—Dioritic porphyrite ; 8—Molybdenum ore body

① 董得茂,李殿奎,崔彬. 1985. 北京市延庆县大庄科爆破角砾岩型钼矿床地质特征. 1~94.

350~400 m, 厚 40~95 m, 延深 205~275 m (图 5), 平均品位 0.09%, 其余矿体规模小, 长一般小于 200 m, 厚度小于 10 m, 董家沟矿区同样由 7 个钼矿体组成, 彼此平行呈陡倾斜状产出, 走向 NWW—SEE, 倾向 NNE, 倾角 50~60°, 矿体长 700~1 000 m, 厚 20~50 m, 延深 350~600 m (图 6), 平均品位 0.07%。

矿石类型为辉钼矿角砾岩型。辉钼矿以浸染状、细网脉状、团块状及胶结物状分布在角砾岩中。

矿石平均含钼 0.112%, 含铼 0.0016%^①。围岩蚀变与典型斑岩矿床具相似性, 由蚀变中心向外, 依次为钾化-硅化带, 硅化-黄铁绢云母化带, 青磐岩化带。根据矿化蚀变、矿物共生组合, 成矿作用分为^②: 气成高温热液阶段(460~380°C)和高中温热液阶段(350~280°C), 其中高温热液阶段为主成矿阶段, 辉钼矿多呈细网脉状沿角砾岩裂隙充填-交代, 形成富集钼矿体。

3.3 寿王坟砂卡岩型 Cu(Fe, Mo) 矿床

寿王坟铜矿床大地构造位置处于燕辽沉降带中段北缘的兴隆台凹部位, 距承德市南约 46 km。矿区地层主要为雾迷山组中厚层白云岩、含燧石条带或结核灰质白云岩和后城组凝灰质砂岩。区内褶皱、断裂构造十分发育, 构造线多呈 EW 向或 NEE 向, 寿王坟复式倒转背斜奠定了矿区构造的总体轮廓, 背斜轴向近于 EW, 轴面北倾, 倾角 60~70°, 寿王坟背斜轴部断裂往往成群出现, 断裂面北倾, 倾角 30~60°。燕山期闪长岩(石英)二长闪长岩-花岗闪长岩多次侵入雾迷山组白云岩中, 形成杂岩体, 呈岩株状出露于矿区北部和中部。研究表明花岗闪长岩与成矿关系密切, 其 K-Ar 年龄值为 127 Ma (权恒等, 1992), 其化学成分(权恒等, 1994)为: $w(\text{SiO}_2)$ 66.68%, $w(\text{K}_2\text{O}) + w(\text{Na}_2\text{O})$ 为 8.08%, $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 为 0.94, 里特曼指数 σ 为 2.76, 属钙碱系列同熔型岩浆。

在杂岩体与雾迷山组白云岩的接触部位形成长约 3.5 km、宽约 200 m 的镁质和钙质砂卡岩带, 其中, 镁砂卡岩与铜、铁矿化关系密切, 钙砂卡岩与铜、钼矿化关系密切。已在砂卡岩带内及周围发现铜、铁、钼矿化点 13 处。矿化类型为砂卡岩型铜、铁矿化和裂隙充填交代型铜、钼矿化。受接触面形态的控制, 矿体形态比较复杂, 以扁豆状和透镜状为主,

少数似层状、串珠状, 延长 200~500 m, 延深 150~300 m, 铜金属量 16 155 t, 品位 0.72%; 钼金属量 2 172 t, 品位 0.13%。矿体走向近 EW 向转为 NW 向, 多数倾向南, 少数倾向北, 倾角 80°左右(图 7)^②。矿石结构为自形—他形粒状结构、交代结构、骸晶结构、乳滴结构、胶状结构及碎裂结构等, 矿石构造多为块状、浸染状、斑点状构造。

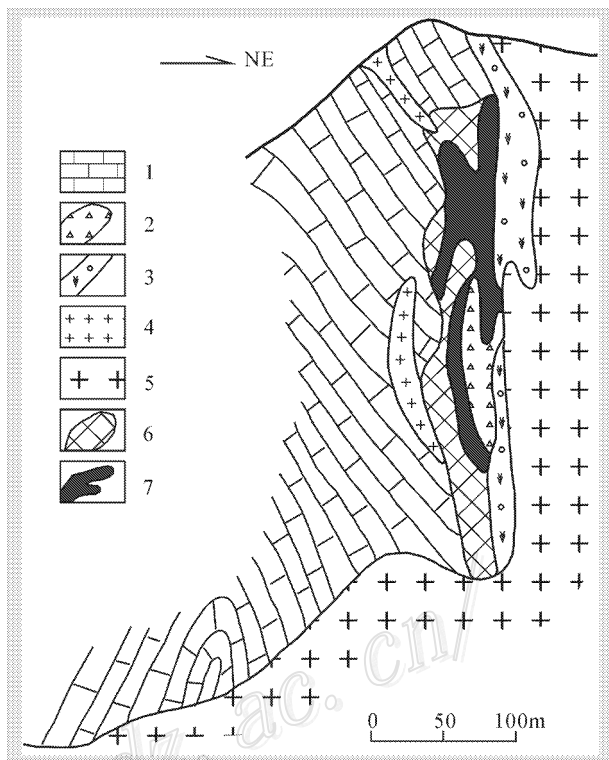


图 7 寿王坟砂卡岩型铜矿床矿体剖面图(据华北有色金属公司 514 队资料改编, 1965)

1—雾迷山组白云岩 2—酸性脉岩 3—花岗闪长岩 4—角岩;
5—砂卡岩 6—磁铁矿体 7—铜矿体

Fig. 7 Geological section of Shouwangfen ore body (modify from No. 514 Geological Party of North China Nonferrous Metals Co., 1965)

1—Dolomite of Wumishan Formation; 2—Acid dykes;
3—Granodiorite; 4—Hornfels; 5—Skarn; 6—Magnetite ore body; 7—Copper ore body

4 讨论

4.1 成矿时代

中生代是华北克拉通多金属矿床形成的高峰

① 董得茂, 李殿奎, 崔彬. 1985. 北京市延庆县大庄科爆破角砾岩型钼矿床地质特征. 1~94.

② 原冶金部华北地质勘探公司 514 队. 1965. 河北兴隆县寿王坟矿区成矿地质条件及远景研究报告

期 燕辽钼(铜)成矿带的形成与区内中生代中酸性岩浆活动密切相关。黄典豪等(1996)采用 Re-Os 法对燕辽钼(铜)成矿带内的钼(铜)矿床成矿年龄进行了测定,获得了一批可靠的年龄值(表 2)。其中,成矿带东端辽西杨家杖子矿床辉钼矿 Re-Os 模式年龄为(187±2)Ma~(191±6)Ma,兰家沟钼矿床 Re-Os 等时线年龄为(186.5±0.7)Ma,肖家营子钼矿床 Re-Os 年龄为(177±5)Ma,成矿带西端冀北大庄科钼矿床 Re-Os 模式年龄为(144.4±7.4)Ma,寿王坟铜(铁、钼)矿床 Re-Os 年龄为(148±4)Ma,小寺沟铜(钼)矿床 Re-Os 年龄为(134±3)Ma。这些数据反映出燕辽钼(铜)成矿带东、西两端大规模成矿作用分为 2 期,即辽西地区 180 Ma 左右的钼成矿作用和冀北地区 140 Ma 左右的铜、钼成矿作用。这与东秦岭钼矿带及长江中下游铜、钼成矿带矿床成矿年龄存在一定差别(图 8)除黄龙铺碳酸盐岩型钼矿床成矿年龄为 221 Ma 外,两个成矿带钼、铜矿床成矿年龄基本都在(132.4±1.9)Ma~(148±4)Ma(黄典豪等,1994;李永峰等,2005)和(137.0±1.7)Ma~(142.3±2.3)Ma(蒙义峰等,2004;毛景文等,2005),主要集中于 140 Ma 左右。

尽管兰家沟、肖家营子等矿床辉钼矿的 Re-Os

年龄较其控矿岩体(细粒似斑状花岗岩)的 Rb-Sr、K-Ar 同位素法年龄值大(表 2),原因可能是这些岩体受到了与成矿有关的热液蚀变的影响,热液蚀变破坏了 Rb-Sr 和 K-Ar 法定年所要求的封闭系统体系,必然导致测试年龄值的偏小。

毛景文等(2003,2005)研究认为,中国北方中生代出现过 3 次大规模成矿作用,这三大成矿事件对应的地球动力学背景分别为:200~160 Ma 的后碰撞造山过程,140 Ma 左右的构造体制大转折晚期和 120 Ma 左右岩石圈大规模快速减薄。燕辽成矿带内钼、铜矿床成矿年龄为 180 Ma 左右和 140 Ma 左右,表明其形成处于华北板块北缘 200~160 Ma 和 140 Ma 左右的 2 个不同的地球动力学背景之中。

4.2 成矿物质来源

侵入体与围岩条件是内生矿床形成的重要因素。兰家沟虹螺山花岗岩稀土元素分析表明(田豫才,1999),从早期粗粒花岗岩到中期细粒似斑状花岗岩,再到晚期花岗斑岩,稀土总量越来越低,δEu 亏损越来越大(0.44→0.25→0.11),指示它们是经不断分异演化形成的,具同源岩浆性质。对粗粒花岗岩、细粒似斑状花岗岩、花岗斑岩中的金属元素分析表明,这些花岗岩中的钼含量依次为 2.1×10^{-6} ,

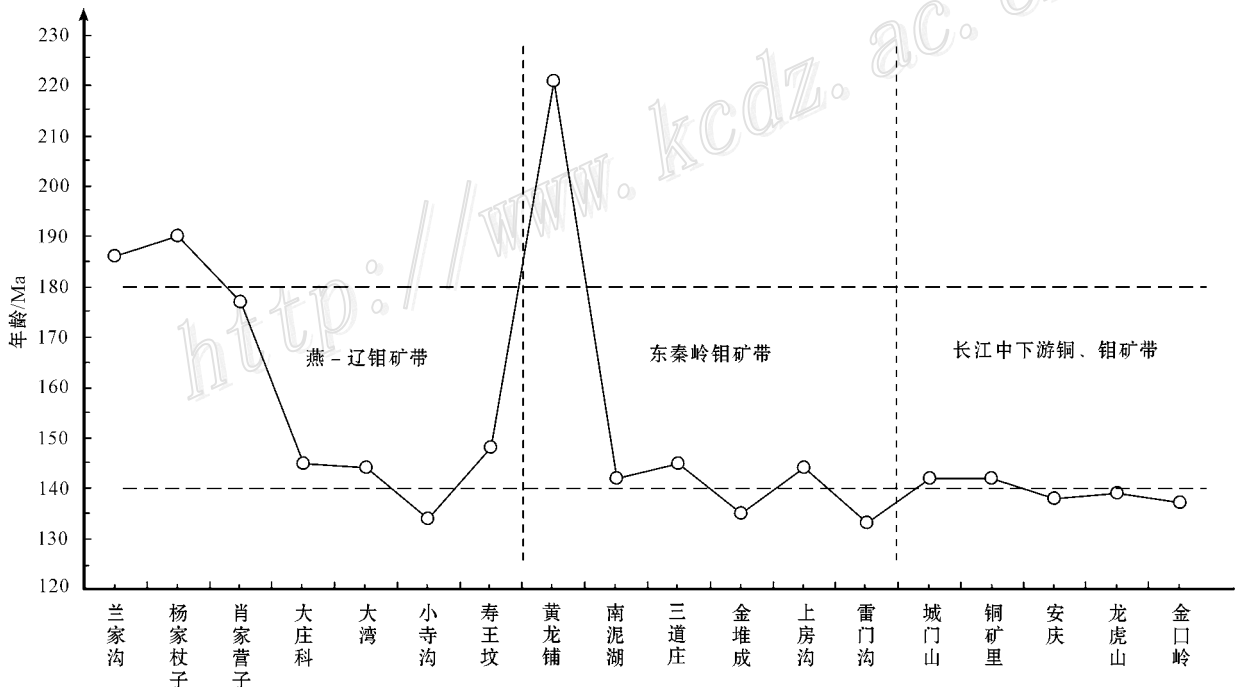


图 8 华北周缘主要钼、铜矿床成矿年龄变化曲线图(据黄典豪等,1994;1996;毛景文等,2005;Sun et al.,2003;蒙义峰等,2004 资料作图)

Fig. 8 Variations of ore-forming ages of molybdenum and copper deposits around North China block

表 2 燕辽成矿带钼、铜矿床成矿年龄及与之有关岩体的成岩时代

Table 2 Ore-forming ages of molybdenum and copper deposits and rock-forming ages of ore-related granites in Yanshan-Liaoning metallogenic belt

矿床名称	样号	测试矿物	测试方法	模式年龄/Ma	等时线年龄/Ma	资料来源
兰家沟	L-1	辉钼矿	Re-Os	188 ± 5	186.5 ± 0.7	黄典豪, 1996
	L-3	辉钼矿	Re-Os	186 ± 5		黄典豪, 1996
	L-5	辉钼矿	Re-Os	188 ± 5		黄典豪, 1996
	L-17	辉钼矿	Re-Os	192 ± 5		黄典豪, 1996
	L-18	辉钼矿	Re-Os	185 ± 4		黄典豪, 1996
杨家杖子	Y-15-1	辉钼矿	Re-Os	190 ± 6	黄典豪, 1996	
	Y-15-2	辉钼矿	Re-Os	187 ± 2	黄典豪, 1996	
	Y-17	辉钼矿	Re-Os	191 ± 6	黄典豪, 1996	
肖家营子	X-5	辉钼矿	Re-Os	177 ± 5	黄典豪, 1996	
大庄科	DC-95-1	辉钼矿	Re-Os	147.1 ± 6.6	黄典豪, 1996	
	DC-95-11	辉钼矿	Re-Os	144.7 ± 10.7	黄典豪, 1996	
	DC-95-2	辉钼矿	Re-Os	146.4 ± 5.9	黄典豪, 1996	
大湾	DW95-1	辉钼矿	Re-Os	144.4 ± 7.4	黄典豪, 1996	
小寺沟	S-17	辉钼矿	Re-Os	134 ± 3	黄典豪, 1996	
寿王坟	SH-13	辉钼矿	Re-Os	148 ± 4	黄典豪, 1996	
矿床名称	测试岩体	测试矿物	测试方法	成岩年龄/Ma	资料来源	
兰家沟	粗粒花岗岩	白云母	K-Ar	186.3~178	田豫才, 1999	
	细粒似斑状花岗岩	全岩	Rb-Sr	154.5 ± 14.7	田豫才, 1999	
	石英斑岩	白云母	K-Ar	131~108	田豫才, 1999	
杨家杖子	粗粒花岗岩	白云母	K-Ar	188.8	赵一鸣等, 1990	
	砂卡岩	金云母	K-Ar	211	赵一鸣等, 1990	
肖家营子	辉长辉绿岩	不详	K-Ar	177	①	
	细粒似斑状闪长岩	不详	K-Ar	113	①	
大庄科	石英二长岩	不详	K-Ar	126	②	
大湾	石英二长岩	全岩	Rb-Sr	147	马国玺, 1995	
	流纹斑岩	全岩	Rb-Sr	142	马国玺, 1995	
	粗粒斑状花岗岩	全岩	Rb-Sr	137	马国玺, 1995	
小寺沟	花岗闪长斑岩	不详	K-Ar	129	韩秀丽等, 1999	
寿王坟	花岗闪长岩	不详	K-Ar	127	权恒等, 1992	
	花岗闪长岩	全岩	Rb-Sr	130	张德全等, 1988	

① 康书泽. 1979. 辽宁省喀左县肖家营子钼多金属矿床第一期地质勘探报告

② 董得茂, 李殿奎, 崔彬. 1985. 北京市延庆县大庄科爆破角砾岩型钼矿床地质特征. 1~94.

8.0×10^{-6} , 17.5×10^{-6} (田豫才, 1999), 反映出中生代花岗岩质及其演化对钼的富集起着重要的作用。当然, 区域性钼地球化学异常对华北地台北缘钼矿床的形成不容忽视, 权恒等(1992)对冀北—辽西地区蓟县系和下古生界地层查明, 其中的钼含量分别为 2.53×10^{-6} 和 4.5×10^{-6} , 高于地壳中钼的平均丰度 (1.3×10^{-6}), 是钼矿床形成的一个有利因素。

硫同位素分析表明, 燕辽钼矿带钼、铜矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 值均为正值, 离差较小。杨家杖子、兰家沟的 $\delta^{34}\text{S}$ 值介于 $1.1\text{‰} \sim 6.7\text{‰}$, 平均 4.06‰ (艾永富等, 1985; 赵一鸣等, 1990); 大庄科^①、小寺沟(权恒等, 1992)的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围分别为 $2.0\text{‰} \sim 5.9\text{‰}$ 和 $1.7\text{‰} \sim 6.7\text{‰}$, 平均为 3.9‰ 和 2.9‰ 。钼矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 值略大于铜矿床, 显示出壳源岩浆硫的特点, 而铜矿床则表现出深源或陨石硫的特点 (Ohmoto, 1986; Ohmoto et al., 1997)。

杨家杖子、兰家沟与钼成矿有关的花岗斑岩体锶同位素分析(余和勇等, 1985)表明, 其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值均小于 0.706, 但这可能与太古代结晶基底有关, 太古代基底岩石以变质中基性火山岩为主, 中基性火山岩的混入导致了锶同位素初始比值的降低。大庄科成矿岩体 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值为 0.707^①, 具有同熔型花岗岩质的特征。

权恒(1994)对兰家沟钼矿床成矿流体氢氧同位素分析结果表明, 脉石矿物石英的氢氧同位素值接近岩浆水; 成矿流体的液相成分以 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 为主, 气相成分有 H_2O 、 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2 , 其中 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2 等气体成分含量均大于 1mol%, 反映成矿流体处于较还原的环境中。寿王坟铜矿床碳、氧同位素研究表明(张瑞斌等, 2003), 其 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-5.61\text{‰} \sim -8.41\text{‰}$, 平均 -7.5‰ ; $\delta^{18}\text{O}$ 为 $9.6\text{‰} \sim 12.58\text{‰}$, 平均 10.8‰ , 与花岗岩岩浆岩的碳同位素值 ($-10\text{‰} \sim 2\text{‰}$)、氧同位素值 ($6\text{‰} \sim 12\text{‰}$)、幔源碳同位素值 ($-3\text{‰} \sim -7\text{‰}$) 比较接近 (Ohmoto et al., 1997; Hoefs, 1997; 郑永飞等, 2000), 反映了成矿流体中碳主要来自深部岩浆。

此外, 毛景文等(1999)在对比研究了我国各类钼矿床中辉钼矿的钼含量后, 总结出从地幔到壳幔混源再到地壳, 矿石中钼的平均含量从几百 $\times 10^{-6}$ \rightarrow 几十 $\times 10^{-6}$ \rightarrow 几 $\times 10^{-6}$, 呈 10 倍地下降。黄典豪

等(1996)测得辽西兰家沟、杨家杖子钼矿床的辉钼矿含钼量介于 $31.04 \times 10^{-6} \sim 60.60 \times 10^{-6}$, 肖家营子钼矿床钼含量最高为 119.58×10^{-6} , 冀北寿王坟、小寺沟铜(钼)矿床和大庄科钼矿床钼含量较低 (10.51×10^{-6} 、 37.14×10^{-6} 、 20.19×10^{-6}) 表明燕辽钼、铜矿床的成矿物质主要来自下地壳。

以上综合研究表明, 燕辽钼(铜)成矿带钼、铜矿床成矿物质主要来源于下地壳或与太古代结晶基底有关的花岗质岩。这与张本仁等(1994)、李永峰等(2005)认为华北克拉通西南缘钼元素主要富集于下地壳, 并受区域地球化学异常影响的研究结果相似, 反映了华北克拉通北缘与西南缘钼的来源具有一定的可比性。

4.3 成矿动力学背景

斑岩型钼矿或钼(铜)矿床通常形成于陆内裂谷或与陆弧有关的陆内环境, 主要与石英二长岩或高钾钙碱性系列花岗斑岩小侵入体有关。华北板块北缘处于华北板块与西伯利亚板块、太平洋板块的接合部位, 经历了长达 3 800 Ma (Liu et al., 1992) 的地质演化和多次构造热事件, 是中国陆区最古老的地质单元, 古元古代末的吕梁运动(约 1 800 Ma 年)形成结晶基底以后, 近 1 600 Ma 年间未发生重大构造变形事件, 在稳定环境下形成了上万米厚沉积岩系(马寅生等, 2002)。已有资料表明, 华北板块在晚二叠纪—三叠纪与蒙古地块拼贴到一起, 形成了华北—蒙古联合板块(赵越, 1990; Wang et al., 1995; Yin et al., 1996), 此后至晚侏罗世之前, 华北—蒙古板块与西伯利亚板块南缘之间被蒙古—鄂霍茨克洋分割(任纪舜等, 1992)。近年来不少学者研究表明, 西伯利亚板块与华北—蒙古板块的碰撞缝合作用一直持续到晚侏罗世蒙古—鄂霍茨克洋的闭合(Meng, 2003; 赵越等, 2004; 胡健民等, 2004; 邓晋福等, 2005)。两大板块 SN 向的挤压碰撞不但导致了一系列深达地幔的以 EW 向为主, NE 向次之的断裂构造, 为后期成矿流体及物质运移提供了有利条件, 而且成为华北北缘陆内造山的主要动力学来源之一(毛景文等, 2005)。

中生代开始, 华北板块进入广泛的陆内造山阶段, 强烈的板内挤压变形形成了一系列推覆构造和伸展构造, 同时伴随多期次的火山喷发和岩浆侵入

① 董得茂, 李殿奎, 崔彬. 1985. 北京市延庆县大庄科爆破角砾岩型钼矿床地质特征. 1~94.

活动。刘红涛等(2002)通过对华北板块北缘中生代花岗岩的研究指出,160Ma 以前的中生代早中期,华北板块北缘岩石圈仍处于碰撞后前期的强烈加厚的过程之中,表明此时华北板块北缘处于后碰撞造山环境。毛景文等(2000,2005)通过对华北中生代大规模成矿作用的研究表明,大规模成矿作用通常发育于后碰撞造山环境而不是同碰撞造山期间。在碰撞造山过程的伸展松弛期间,一方面,由于伸展垮塌作用而达到较高的温度产生熔融作用(Thompson,1990);另一方面,玄武质岩浆底侵,下地壳岩石经过多次重熔及同熔作用,不仅形成了高度分异的富硅、富钾质花岗岩,沿着区域性 EW 向、NE 向深大断裂上升,而且伴随着大规模的成矿事件发生。早侏罗世(180Ma),华北板块北缘出现的辉长辉绿岩(肖家营子)及似斑状花岗岩、花岗闪长(斑)岩和与之关系密切的 Mo、Pb、Zn、Au、Ag 矿床,正是对此次事件的响应。在这些似斑状花岗岩、花岗闪长(斑)岩体内及与碳酸盐地层接触部位形成了兰家沟斑岩型、肖家营子斑岩—矽卡岩型及杨家仗子矽卡岩型等钼矿床,围绕这些岩体中心并作用于不同的围岩出现不同的元素分带性。

大量的事实表明,太平洋板块虽然在早侏罗世就开始了活动,但直到晚侏罗世—早白垩世(140Ma±)才进入活动高峰期(赵越等,1994,2004;与侯泉林个人交流,2006),整个中国东部进入西太平洋构造域,区域构造格局发生大转换,华北板块北缘的区域性 EW 向、NE 向断裂被复活,进一步向 NE 向、NNE 向转换。区域构造应力场的大转换使得造山带底下的岩石圈地幔部分发生快速机械减薄,与上覆的地壳剥离,并下沉到更深的地幔,在此过程中,软流圈物质上涌,加剧壳幔物质相互作用,形成了同熔型或 I 型花岗闪长岩、花岗斑岩、二长岩花岗岩等。与斑岩型钼矿相比,这些相对低钾、富钠质的中酸性岩浆沿着 NNE 向与 EW 向构造的交汇部位上升,控制并形成了寿王坟矽卡岩型、大湾、小寺沟等斑岩—矽卡岩型铜(钼)矿床及大庄科隐爆角砾岩型钼矿。

5 结 论

(1) 华北克拉通北缘燕辽钼(铜)成矿带广泛发育斑岩型、斑岩—矽卡岩型、矽卡岩型及热液脉型钼、铜矿床,矿床的分布受区域 EW 向、NE 向、NNE 向

断裂的联合控制,成矿带东端辽西地区以钼矿为主,西端冀北地区则以铜(钼)矿为主。

(2) 燕辽成矿带钼(铜)矿床的形成与燕山期中酸性小侵入体关系密切,矿床多产于花岗闪长岩、似斑状花岗岩之中或围岩接触带中,其成矿物质主要来源于下地壳或与太古代结晶基底有关的花岗质岩,钼矿的形成主要与中生代高硅富钾质花岗岩类有关,而与铜矿成因有关的花岗岩酸碱度相对较低。

(3) 燕辽成矿带钼(铜)矿床的形成与东秦岭钼矿带及长江中下游铜、钼矿带的形成存在一定差别,东秦岭及长江中下游钼、铜矿床的形成主要集中于 140 Ma 左右,而燕辽钼(铜)成矿带的形成有 2 个时期,辽西地区钼矿床形成于 180 Ma 左右,冀北地区铜、钼矿床形成于 140 Ma 左右,其对应的成矿动力学背景分别为华北板块与西伯利亚板块碰撞后伸展造山阶段和中国东部构造体制大转折晚期。

致 谢 成文过程中得到芮宗瑶研究员、黄典豪研究员、刘家军教授的帮助与指教,在此表示衷心的感谢!

References

- Ai Y F and Feng R Z. 1985. Mo-bearing granitic material sources and genetic type of Yangjiazhangzi-Lanjiagou area [C]. *Henan Geology* (Supp.), 198~204 (in Chinese).
- Anita N B, Vitaly I S, Maria E E and Demetrios G E. 2005. Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu-Mo and Mo-Cu deposits of Russia (Siberia) and Mongolia [J]. *Ore Geology Reviews*, 26: 91~113.
- Chai S L, Cai J and Zou Z R. 1994. A comparative study on geology and geochemistry and mineralization of the Mo-bearing and Au-bearing granite series on the north China platform [J]. *J. Changchun Univ. Earth Sciences*, 24(3): 284~290.
- Chen B, Zhao G C and Simon W. 2001. Subduction and collision-related granitoids from southern Sonidzuoqi, Inner Mongolia: Isotopic ages and tectonic implication [J]. *Geological Review*, 47(4): 361~366 (in Chinese with English abstract).
- Chen C Y. 1998. Gold and polymetallic geological settings on the northern borderland of Huabei massif [J]. *Liaoning Geology*, (4): 241~250 (in Chinese with English abstract).
- Davis G A, Zheng Y D, Wang Z, Brian J D, Zhang C H and George G. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China [A]. In Hendrix M S and Davis G A, ed. *Paleozoic and Mesozoic tectonic evolution of central Asia: From continental assembly to intracontinental deformation* [C]. Boulder, Colorado,

- Geological Society of America Memoir 194, 171~197.
- Deng J F, Zhao G C and Su S G. 2005. Structure overlap and tectonic setting of Yanshan orogenic belt in Yanshan ea[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(2): 157~165(in Chinese with English abstract).
- Han X L, Yi L J. 1999. The study on the ore-controlled factors and metallogenic regularity of Xiaosigou Cu-Mo deposit[J]. *Journal of Hebei Institute of Technology*, 21(2): 62~66(in Chinese with English abstract).
- Hoefs J. 1997. *Stable isotope geochemistry*[M]. Heidelberg: Springer. 1~201.
- Hu Jian M, Liu X W, Zhao Y, Xu G, Liu J and Zhang H Q. 2004. On Yanshan intraplate orogene: An example from Taiyanggou area, Lingyuan, western Liaoning Province, Northeast China[J]. *Earth Sciences Frontiers*, 11(3): 255~271(in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Du A D, W C Y, Liu L S, Sun Y L and Zou X Q. 1996. Metalochronology of molybdenum(copper) deposits in the north China platform: Re-Os age of molybdenite and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 15(4): 289~297(in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Wu C Y, Du A D and He H L. 1994. Re-Os ages molybdenum deposits in east Qinling and their significance[J]. *Mineral Deposits*, 13(3): 221~230(in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Dong Q Y and Gan Z X. 1989. China molybdenum deposits[A]. In: Song S H ed. *China Deposits*(Volum 1) [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 493~536(in Chinese)
- Kula C M. 2000. *Understanding mineral deposits*[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 397~413.
- Li Y F, Mao J W, Hu H B, Guo B J and Bai F J. 2005. Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in East Qinling area[J]. *Mineral Deposits*, 24(3): 292~304(in Chinese with English abstract).
- Liu D Y, Nutman A P, Compston W, Wu J S and Shen Q H. 1992. Remnants of ≥ 3800 Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton[J]. *Geology*, 20: 339~342.
- Liu H T, Zhai M G, Liu J M and Sun S H. 2002. The Mesozoic granitoids in the northern marginal region of North China Craton: Evolution from post-collisional to anorogenic settings[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4): 433~448(in Chinese with English abstract).
- Luo M J, Zhang F M, Dong Q Y, Xu Y R, Li S M and Li K H. 1991. China molybdenum deposits[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press. 1~425(in Chinese).
- Ma G X. 1995. Geological characteristics of Dawan Zn-Mo deposit of Liayuan, Hebei Province[J]. *Journal of Geology and Mineral Resources of North China*, 10(1): 64~76(in Chinese with English abstract).
- Ma Y S, Cui S Q, Zhao Y, Zeng Q L and Wu M L. 2002. The transformation process of Mesozoic-Cenozoic tectonic regime in the north of north China[J]. *Journal of Geomechanics*, 8(1): 15~25 (in Chinese with English abstract).
- Ma Y C, Wang C G, Feng Q G, Li Y Q, Song Y C and Jia G N. 2002. Prospecting of yangjiazhangzi ore deposit area[J]. *Mineral Deposits*, 21(Supp.): 434~438(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 settings[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 169~188(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z H, Yu J J, Wang Y T and Niu B G. 2003. The geodynamic setting of Mesozoic large-scale mineralization in North China: the revelation from accurate timing of metal deposits[J]. *Science in China (Series D)*, 33(4): 289~300(in Chinese).
- Mao J W and Wang Z L. 2000. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of metallogeny in East China[J]. *Mineral Deposits*, 19(4): 289~297(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H and Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou (Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63(11-12): 1815~1818.
- Meng Q R. 2003. What drove Late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract? [J]. *Tectonophysics*, 369: 155~174.
- Meng Y F, Yang Z S, Zeng P S, Xu W Y, Wang X L. 2004. Tentative temporal constraints of ore-forming fluid systems in Tongling metallogenic province[J]. *Mineral Deposits*, 23(3): 271~280 (in Chinese with English abstract).
- Ohmoto H. 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits[A]. In: Valley J W, Taylor H P Jr, O'Neil J R ed. *Stable isotopes on high temperature geological processes*[C]. *Reviews in Mineralogy*, 16: 491~559.
- Ohmoto H and Goldhaber M B. 1997. Sulfur and carbon isotopes[A]. In: Barnes, H L ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*[C]. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons. 517~611.
- Pei R F, Lv F X, Fan J Z, Fang R H and Qi C S. 1998. Metal deposits metallogenic series and prospecting of north margin of the north China massif and its north side[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~237(in Chinese).
- Quan H. 1994. Nonferrous metallic deposit in the northern Hebei-western Liaoning Mesozoic activating region[A]. In: Rui Z Y, ed. *Geology of nonferrous metallic deposits in the northern margin of the north China landmass and its adjacent area*[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 383~420(in Chinese).
- Quan H, Han Q Y, Ai Y F, Lin Y C and Wei J Y. 1992. Au, Ag Polymetallic metallogenesis and prospect in Yanshan-Liaoning area [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~134(in Chinese).
- Ren J S, Chen T Y, Niu B G and Liu Z G. 1988. Tectonic evolution and metallogenic of east China and its adjacent area[M]. Beijing: Science Press. 217(in Chinese).
- Rui Z Y, Huang C K, Qi G M, Xu J and Zhang H T. 1984. Porphyry copper(molybdenum) deposits of China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~350(in Chinese with English abstract).
- Seedorff E and Einaudi M T. 2004a. Henderson porphyry molybdenum

- system, Colorado: II decoupling of introduction and deposition of metals during geochemical evolution of hydrothermal fluids[J]. *Econ. Geol.*, 99: 39~72.
- Seedorff E and Einaudi M T. 2004b. Henderson porphyry molybdenum system, Colorado: I sequence and abundance of hydrothermal mineral assemblages, flow paths of evolving fluids, and evolutionary styl[J]. *Econ. Geol.*, 99: 3~37.
- Shen B F, Li J J, Zhai A M and Cao X L. 2001. The distribution of the gold deposit type and their geological characters in the middle north margin of North China block[J]. *Progress in Precambrian Research*, 24(1): 9~16(in Chinese with English abstract).
- Sun W, Xie Z, Chen J, Zhang X, Chai Z, Du A, Zhao J, Zhang C and Zhou T. 2003. Re-Os dating of copper and molybdenum deposits along the Middle and Lower reaches of the Yangtze River, China [J]. *Econ. Geol.*, 98: 175~180.
- Thompson A B. 1990. Heat, fluids, and melting in the granulite facies [A]. In: Vielzeuf D; Vidal P, ed. *Granulites and crustal evolution* [M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 37~57.
- Tian Y C. 1999. Metallogenic structure, magmatic evolution and mineralizing process of molybdenum mineral area of Lanjiagou west Liaoning[J]. *Mineral Resource and Geology*, 13(3): 135~140 (in Chinese with English abstract).
- Wang H and Mo X. 1995. An outline of tectonic evolution of China[J]. *Episodes*, 18: 6~16.
- Xue B and Chen B. 1997. Framework and evolution of the middle Paleozoic orogenic belt between Siberian and North China Plates in northern Inner Mongolia[J]. *Science in China (Series D)*, 27(3): 227~232(in Chinese).
- Yang G, Chai Y C and Wu Z W. 2001. Thin-skinned thrust nappe structures in western Liaoning in the eastern sector of the Yanshan orogenic belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(3): 321~332(in Chinese with English abstract).
- Ye H Y and Wang J J. 1985. Mo-bearing pluton geological age of lower Lanjiagou of Liaoning Province[C]. *Henan Geology*, (Supp.): 204~205(in Chinese).
- Yin A, Nie S. 1996. A Phanerozoic palinspastic reconstruction of China and its neighboring regions[A]. In: Yin A and Harrison T M, ed. *Tectonic evolution of Asia* [M]. Cambridge: Cambridge University Press. 442~485.
- Zhao Y M, Lin W W, Bi C S, Li D X and Jiang C J. 1990. China skarn deposits[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 268~293(in Chinese).
- Zhao Y, Xu G, Zhang Q H, Yang Z Y, Zhang Y Q and Hu J M. 2004. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 319~328(in Chinese with English abstract).
- Zhao Y, Yang Z Y, Ma X H. 1994. Geotectonic transition from paleoasian system and paleotethyan system to paleopacific active continental margin in Eastern Asia[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 29(2): 105~119(in Chinese with English abstract).
- Zhao Y. 1990. Mesozoic orogenic movement and tectonic evolution of Yanshan area[J]. *Geological Review*, 36(1): 1~21.
- Zhang B M, Zhao G L, Ma G X and Bi F K. 1996. Mineralization series and patterns of the deposits in the primary mineralization areas and belts of Hebei Province, China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press. 1~273(in Chinese).
- Zhang B R, Luo T C, Gao S, Ou Y J P, Chen D X, Ma Z D, Han Y W and Gu X M. 1994. Geochemical Study of lithospheric structure and ore forming processes in the Qin-Ba area[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 257~277(in Chinese).
- Zhang D Q and Zhang G Y. 1988. Granite in Eastern China[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 156(in Chinese).
- Zhang R B, Liu J M, Ye J and Li Y B. 2003. C & O isotopic geochemistry of shouwangfen copper deposit, Hebei Province[J]. *Mineral Resource and Geology*, 17(2): 122~126(in Chinese with English abstract).
- Zhang X H, Li T S and Pu Z P. 2002. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology of two ductile shear zones from Yiwulvshan, West Liaoning: Age constraints on the Mesozoic tectonic events[J]. *Chinese Science Bulletin*, 47(9): 697~701(in Chinese with English abstract).
- Zheng Y D, Davis G A, Wang C, Darby B J and Hua Y G. 1998. Major thrust system in the Daqingshan area I Inner Mongolia, China [J]. *Science in China (Series D)*, 28(4): 289~295(in Chinese).
- Zheng Y F and Chen J F. 2000. Stable isotopic geochemistry[M]. Beijing: Science Press. 50~57, 143~217(in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Liaoning Province. 1989. Regional geology of Liaoning Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 50~54(in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hebei Province. 1989. Regional geology of Hebei Province, Beijing and Tianjing[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 14~31(in Chinese).

附中文参考文献

- 艾永富,冯瑞志. 1985. 杨家杖子-兰家沟地区含钼花岗岩类物质来源及成因类型[C]. 全国钼矿学术讨论论文集,河南地质(增刊):198~204.
- 柴立社,蔡晶,邹祖荣. 1994. 华北地台北缘钼和含金花岗岩系的地质地球化学及其成矿作用对比研究[J]. 长春地质学院学报, 24(3): 284~290.
- 陈斌,赵国春, Simon Wilde. 2001. 内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义[J]. 地质论评, 47(4): 361~366.
- 陈昌勇. 1998. 华北地块北缘金、多金属成矿地质背景[J]. 辽宁地质(4): 241~250.
- Davis G A, 郑亚东, 王琮, Brian J Darb, 张长厚, George Gehrels. 2002. 中生代燕山褶皱冲断带的构造演化——以河北省和辽宁省为重点的研究[J]. 汪洋, 李凯明, 译. 北京地质, 14(4): 1~40.
- 邓晋福, 赵国春, 苏尚国, 刘翠, 陈亦寒, 李芳凝, 赵兴国. 2005. 燕山造山带燕山期构造叠加及其大地构造背景[J]. 大地构造与成矿学, 29(2): 157~165.

- 韩秀丽,尹力军. 1999. 小寺沟铜钼矿床控矿因素及成矿规律[J]. 河北理工学院学报, 21(2):62~66.
- 河北省地质矿产局. 1989. 河北省、北京市、天津市区域地质志[M]. 北京:地质出版社. 14~31.
- 胡健民,刘晓文,赵越,徐刚,刘健,张拴宏. 2004. 燕山板内造山带早期构造变形演化——以辽西凌源太阳沟地区为例[J]. 地学前缘, 11(3):255~271.
- 黄典豪,杜安道,吴澄宇,刘兰竺,孙亚莉,邹晓秋. 1996. 华北地台钼(铜)矿床-钼年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 15(4):289~297.
- 黄典豪,吴澄宇,杜安道,何红蓼. 1994. 东秦岭地区钼矿床的钼-钨同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 13(3):221~230.
- 黄典豪,董群英,甘志贤. 1989. 中国钼矿床[A]. 见:宋叔和主编. 中国矿床(上册)[M]. 北京:地质出版社. 493~536.
- 李永峰,毛景文,胡华斌,郭保健,白凤军. 2005. 东秦岭钼矿类型、特征、成矿时代及其地球动力学背景[J]. 矿床地质, 24(3):292~304.
- 辽宁省地质矿产局. 1989. 辽宁省区域地质志[M]. 北京:地质出版社. 50~54.
- 刘红涛,翟明国,刘建明,孙世华. 2002. 华北克拉通北缘中生代花岗岩:从碰撞后到非造山[J]. 岩石学报, 18(4):433~448.
- 罗铭玖,张辅民,董群英,许永仁,黎世美,李昆华. 1991. 中国钼矿床[M]. 郑州:河南科学技术出版社. 1~425.
- 马国玺. 1995. 河北涞源钼矿床地质特征[J]. 华北地质矿产杂志, 10(1):64~76.
- 马寅生,崔盛芹,赵越,曾庆利,吴满路. 2002. 华北北部中生代构造体制的转换过程[J]. 地质力学报, 8(1):15~25.
- 马永昌,王长刚,冯国清,李友权,宋雨春,贾广宁. 2002. 杨家杖子矿区再找矿[J]. 矿床地质(增刊), 21:434~438.
- 毛景文,谢桂青,张作衡,李晓峰,王义天,张长青,李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 21(1):169~188.
- 毛景文,张作衡,余金杰,王义天,牛宝贵. 2003. 华北中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示[J]. 中国科学(D辑), 33(4):289~300.
- 毛景文,王志良. 2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J]. 矿床地质, 19(4):289~297.
- 蒙义峰,杨竹森,曾普胜,徐文艺,王训练. 2004. 铜陵矿集区成矿流体系统时限的初步厘定[J]. 矿床地质, 23:271~280.
- 裴荣富,吕凤翔,范继璋,方如恒,齐朝顺. 1998. 华北地块北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查[M]. 北京:地质出版社. 1~237.
- 权恒,韩庆云,艾永富,林彦春,魏菊英. 1992. 燕辽地区多金属、金、银成矿与远景[M]. 北京:地质出版社. 1~134.
- 权恒. 1994. 冀北-辽西中生代活化区有色金属矿床[A]. 见:芮宗瑶等,主编. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社. 383~420.
- 任继舜,陈廷愚,牛宝贵,刘志刚. 1988. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化及成矿[M]. 北京:科学出版社. 217.
- 芮宗瑶,黄崇珂,齐国明,徐珏,张洪涛. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京:地质出版社. 1~350.
- 沈保丰,李俊建,翟安民,曹秀兰. 2001. 地壳演化和成矿耦合——以华北陆块北缘中段为例[J]. 前寒武纪研究进展, 24(1):9~16.
- 田豫才. 1999. 辽西兰家沟钼矿区域成矿构造、岩浆演化及成矿作用[J]. 矿产与地质, 13(3):135~140.
- 徐备,陈斌. 1997. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中生代的结构及演化[J]. 中国科学(D辑), 27(3):227~232.
- 杨庚,柴育成,吴正文. 2001. 燕山造山带东段-辽西地区薄皮逆冲推覆构造[J]. 地质学报, 75(3):321~332.
- 余和勇,王吉珺. 1985. 辽宁下兰家沟钼矿含钼岩体的地质年龄[A]. 全国钼矿学术讨论论文集[C]. 河南地质(增刊):204~205.
- 赵一鸣,林文蔚,毕承思,李大新,蒋崇俊. 1990. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京:地质出版社. 268~293.
- 赵越,徐刚,张拴宏,杨振宇,张岳桥,胡健民. 2004. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 11(3):319~328.
- 赵越,杨振宇,马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. 地质科学, 29(2):105~119.
- 赵越. 1990. 燕山地区中生代造山运动及构造演化[J]. 地质论评, 36(1):1~21.
- 章百明,赵国良,马国玺,毕伏科. 1996. 河北省主要成矿区带矿床成矿系列及成矿模式[M]. 北京:石油工业出版社. 1~273.
- 张本仁,骆庭川,高山,欧阳建平,陈德兴,马振东,韩吟文,谷晓明. 1994. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社. 257~277.
- 张德全,孙桂英. 1988. 中国东部花岗岩[M]. 武汉:中国地质大学出版社. 15页.
- 张瑞斌,刘建明,叶杰,李永兵. 2003. 河北寿王坟铜矿碳-氧同位素地球化学特征及其意义[J]. 矿产与地质, 17(2):122~126.
- 张晓晖,李铁胜,蒲志平. 2002. 辽西医巫闾山两条韧性剪切带的⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄:中生代构造热事件的年代学约束[J]. 科学通报, 47(9):697~701.
- 郑亚东, Davis G A, 王琮, Darby B J, 华永刚. 1998. 内蒙古大青山大型逆冲推覆构造[J]. 中国科学(D辑), 28(4):289~295.
- 郑永飞,陈江峰. 2000. 稳定同位素地球化学[M]. 北京:科学出版社. 50~57, 143~217.